事業活動による低炭素社会への貢献量評価に向けた滋賀県の取組

Shiga's challenge to assess the contribution of business towards a low-carbon society

○奥田一臣
Kazuomi Okuda
滋賀県琵琶湖環境部温暖化対策課
* okuda-kazuomi@pref.shiga.lg.jp

1. はじめに

滋賀県の中央にある琵琶湖は、世界有数の歴史を持つ古代湖であり、多くの固有種を育む貴重な水資源であるとともに、漁業、観光、景観など様々な価値を有する、滋賀県にとってかけがえのない存在です。このため、これまで滋賀県では水質問題を中心に琵琶湖の保全に様々な取組を実施してきました。

一方で世界的な課題である地球温暖化については、どこか遠い世界の問題であると感じていたものでしたが、琵琶湖で見られたある変化によって我々にも身近に迫った課題であると強く認識しました。琵琶湖では、例年冬季に湖面の水が冷やされて重くなり、下層に沈み込むことで上下の水が混合する全層循環が起こります。これは春から秋にかけて溶存酸素が消費され減少してきた琵琶湖の湖底に新たな溶存酸素を届け、イサザをはじめとする豊かな生態系の維持や底泥からの水質汚濁物質の溶出抑制のために重要な現象です。地球温暖化の進行によって、この全層循環が阻害されることがかねてより専門家の間で懸念されている中で、気温が平年より約 1.5 度高い暖冬となった平成 19 年に、全層循環が例年どおりの時期に起きませんでした。今後、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が予測するような気候変動が起きると、これまでの琵琶湖の保全の取組にもかかわらず、その生態系や水資源に大きな影響が生じることが予想されます。

滋賀県では、琵琶湖をはじめとする自然を守り、その恩恵を受ける人々の暮らしや産業を守るため、琵琶湖で起きた変化をきっかけに地球温暖化対策を本格化させることとしました。しかし、原因が滋賀県内で発生していた水質問題とは異なり、地球温暖化という課題は、県域を越えて世界中で排出された温室効果ガスが原因であり、そのうち滋賀県域から排出される約 1,100 万 t（二酸化炭素換算：平成 21 年度）の温室効果ガスは、地球規模から見ると 0.04%にすぎず、滋賀県内での削減だけでは解決になりません。この様な中、地域だからこそ取り組むべき対策として、低炭素社会づくりに率先して取り組むこととしました。

2. 滋賀県の低炭素社会づくり

滋賀県では、2030 年に低炭素社会を実現するという目標を掲げています。いずれ枯渇する化石燃料になるだけ依存しない低炭素社会づくりは、世界的に進むべき方向性ですが、滋賀県はこれにいち早く取り組み、新たな社会経済構造へ転換することが、国際的な競争力を確保するなど、地域経済の将来に向けた持続的な発展にもつながると考えています。

この前例のない社会づくりに向けた行動として滋賀県では、目標を達成するための取組とその規模を洗い出し、2030 年までにどの様に取組を進める必要があるのか検討を行い、「滋賀県低炭素社会実現のための行程表」というシミュレーションを行いました。検討した取組は、歩いて暮らせるまちづくりや、家庭や事業所での省エネ機器や太陽光発電設備の普及、子どものころからの環境学習など 190 に及びました。この検討の結果、県内の全ての県民や事業者などが省エネ取組に努力するだけでは、低炭素社会を実現することは困難であり、省エネ機器や再生可能エネルギーを創出する機器等の普及が不可欠であることが明らかになりました。また行程表では、2030 年までに必要となる累計経費を滋賀県内で７～８兆円と推計しています。この経費について、機器等を導入する立場からは“負担”と論じられることも多いのですが、逆に機器等を供給する立場から見ると、相当規模のビジネスチャンスが生じる”可能性”であり、長期的には経済の活性化が進むことを示していると捉えることもできます。滋賀県は、この両方の立場に着目していくことが、低炭素社会づくりを考える上で重要な視点であると考えています。

3. 低炭素社会づくりに向けた制度設計

滋賀県では、製造業を中心とした事業活動からの二酸化炭素排出量が県域からの排出量の約６割を占めると同時に、太陽光発電設備や省エネ機器をはじめとした環境関連製品やその部品・素材を生産する事業所が数多く存在するという特徴があります。このため滋賀県では、低炭素社会づくりを進める上で事業活動の役割は大変大きいと考えています。この様な発想の下、滋賀県は平成 23 年３月に「滋賀県低炭素社会づくりの推進に関する条例」を制定しました。この条例には、①社会経済構造を転換する必要、②全ての者の主体的

かつ積極的な参画、③各主体の連携および協働の下、様々な分野における取組を総合的に推進、④温室効果ガスの排出の抑制等と経済の持続的な成長との両立を基本理念に掲げ、県、県民、事業者などが多くの活動の場面で実施すべき取組を規定しています。その中でも特に事業者に関しては、「自らの省エネ取組」だけでなく「製品等を通じた他者の温室効果ガスの排出削減に貢献する取組」を併せて評価するという特徴を有した「事業者行動計画書制度」を設けています。この事業者行動計画書制度では、自主目標を設定し、これらの取組を実施していただくこととしており、さらに計画した内容や、実施した取組について公表し、特に優れた取組に対しては顕彰を行うこととしています。この様な制度としたのは、低炭素社会づくりを進めるにあたっては規制的な手法は効果的ではなく、むしろ進んだ取組の情報を社会で共有し、多くの事業者による実践に展開することや、進んだ取組を行う事業者に対する県民等からの応援などに繋げていくことが効果的であるとの発想に基づいています。

4. 貢献量評価の検討

事業活動において、エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）や地球温暖化対策の推進に関する法律などの既存の制度でも着目されている「自らの省エネ取組」については、多くの事業者にとってなじみある評価である一方で、「製品等を通じた他者の温室効果ガスの排出削減に貢献する取組」は、CSR 報告書の中に記載する事業者や、算定方法について検討する業界団体など、いくつかの取組例があるものの、まだ多くの業種や特に中小規模事業者にとってはなじみが薄いものとなっています。これは、製品等を通じた貢献が、自社の活動地域や活動期間を超えて、LCA の考え方にならい、サプライチェーン全体を見て事業活動の影響や効果を評価する必要があるためです。

これに対して滋賀県は、新たに「製品等を通じた温室効果ガスの排出削減に貢献する取組」の定量的な評価、すなわち「貢献量評価」を始めようとする事業者にとって参考となる評価算定手法を作成するため、県内で先進的に取組を行っている事業者および学識者の６名の委員で構成された検討会を平成 23 年度に立ち上げて検討を行っており、平成 24 年度末における貢献量算定の手引きのとりまとめを目指しています。これまでの検討では、ベースライン設定の考え方など、貢献量を算定する上で設定すべき９項目の算定条件に対して、取りうる選択肢とその特徴などを整理しました。また、具体的な算定作業を支援するため、算定作業シートや算定事例などの情報を併せて提供しています。

この検討では、より多くの事業者が参加しやすいものとすることを基本スタンスとしています。したがって算定条件については、特定の考え方に限定するのではなく、複数の選択肢を示し、算定を行う各事業者でどの選択肢を選ぶかを判断することとしています。これは、事業者間で算定結果を単純に比較することを困難にしますが、貢献量評価が製品等の種類によって多種多様な視点があること、滋賀県の事業者行動計画書制度が基本的に自主目標に対する自己評価としていること、そして何よりも貢献量評価という取組はこれから普及し、社会的に認知されていかなければならない段階にあるとの現状認識から、あえて柔軟な運用が可能となるようにしています。

滋賀県の事業者行動計画書制度は、貢献量算定の手引きの取りまとめに先立ち、今年度から施行しています。今年度提出いただいた事業者行動計画書における製品等を通じた貢献の取組に関する定量的な記載の状況は全体の 14%程度に留まっていました。しかし、定性的な記載も含めると４割を超える事業者行動計画書の中で製品等を通じた貢献の取組に関する記載をしていただいており、また別に滋賀県が行った事業者アンケートの結果では、事業者側からの貢献量評価に対する高い期待が示されております。このことを踏まえて、今後は貢献量算定の手引きを活用しながら、また提出いただいた算定結果の有効な広報などの活用も図りながら、より多くの事業者に貢献量評価を普及していきたいと考えています。

5. まとめ

地球温暖化問題が、もはや遠い世界の問題ではなく、身近に迫った喫緊の課題である今、あらゆる主体が立場を超えて連携し、ライフスタイルや産業構造、都市構造などの変革を進め、低炭素社会づくりを進めていく必要があります。特に事業者には、供給する製品やサービスを通じて低炭素社会づくりに貢献することが期待されます。こうした事業活動による低炭素社会への貢献を明らかにする上で、LCA の視点が欠かせません。今後、LCA の視点で明らかにする事業活動の貢献量評価は、社会全体で進める低炭素社会づくりにおいて重要なツールとなっていくと考えています。

琵琶湖に現れた現象への危機感から、滋賀県では事業活動による低炭素社会への貢献量評価を他の地域に先駆けてスタートしましたが、今後、低炭素社会を目指す多くの地域にとって道しるべになることができるよう、事業者をはじめ、LCA に関わる多くの方々の協力を得ながらこの取組を展開していきたいと考えています。

東レグループの地球環境への取り組みとＬＣＡに基づくＬＣＭ環境経営

The Action to the Global Environment of the Toray group
and LCM Environment Management based on the LCA

○岡 研一郎
Ken-ichiro Oka
東レ株式会社　地球環境事業戦略推進室
*Kenichiro_Oka@nts.toray.co.jp

1. はじめに

20 世紀の科学技術と経済の飛躍的発展の代償として、地球は大きな危機的状況を迎えています。地球温暖化、ｴﾈﾙｷﾞｰ資源枯渇、水や食糧不足等が顕在化しています。その根元的な原因は、世界人口の爆発的増加（20 世紀の 100 年間で 16 億人から 61 億人に膨れ上がり、2011 年で既に 70 億人超）と化石ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量の膨大な増加（この 100 年間で石油換算で 4 億ﾄﾝから 90 億ﾄﾝ）です。今後、更なる世界人口の増加と新興国や発展途上国の経済発展、生活水準の向上は、更なるｴﾈﾙｷﾞｰ消費量を増加させることは必至です。CO_2 排出量の増加は必然です。このまま行けば、世界共通の唯一の地球は健全で美しいまま次世代に引き渡せない事は明らかです。

地球温暖化の原因は 2007 年の IPCC（気候変動に関する政府間ﾊﾟﾈﾙ）の第 4 次評価報告で、「地球気温の上昇は自然現象ではなく、人為的な原因である可能性が非常に高い」と報告されています。'92 にﾘｵﾃﾞｼﾞｬﾈｲﾛで開催された第 1 回地球ｻﾐｯﾄで地球環境問題、特に地球温暖化問題が世界の共通の課題になり、'95 からは、国際会議 COP（気候変動枠組条約締約国会議）が毎年開催され、地球環境の危機と対応策を訴え続けています。既に 18 回を数える COP 会議ですが、同じ目的を共有化しているとはいえ、先進国と途上国の認識と達成手段の違いにより有効な対策が実現できていないのが現状です。しかも、昨年 3.11 の東日本大震災、大津波、原発事故は日本と世界のｴﾈﾙｷﾞｰ政策の見直しと従来型ﾗｲﾌｽﾀｲﾙの変革を我々に問い掛けました。3.11 で提起された原子力発電の問題は世界中の原子力発電による CO_2 削減戦略に大きな影響をもたらしています。必然の流れとして、CO_2 排出量の多い火力発電への回帰が進んでいます。

21 世紀を迎えた世界は今、20 世紀型の化石ｴﾈﾙｷﾞｰ多消費型社会から新しいﾗｲﾌｽﾀｲﾙの持続可能な低炭素社会の実現に向け、環境・資源・ｴﾈﾙｷﾞｰの新時代を迎える歴史的転換期に立っています。

現状の地球環境に危機感を持って、快適で持続可能な低炭素社会の実現、美しい地球環境実現に貢献する事業運営をしない企業は生き残れず、企業として存在価値の無い時代になりました。

２．地球環境問題の現状

地球温暖化問題に関しては、COP 国際会議での議論、京都議定書の発効、CO_2 排出量の削減に向けた環境税の導入や CO_2 排出量取引制度及び再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰの拡大を目指した再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰ固定買取制度の実施等の経済的対策が世界的規模で実施されています。更に GHG ﾌﾟﾛﾄｺﾙや米国の TSC の動向等の企業の立場からの警鐘も鳴らされています。しかしながら、世界の CO_2 排出量は単調増加の一途を辿り、2011 年度は 316 億ﾄﾝで、'92 の地球ｻﾐｯﾄの年の約 1.5 倍にまで増加しています。この CO_2 増加傾向は、このままでは、2050 年までに地球の気温上昇が 6℃上がるという IPCC の最悪のｼﾅﾘｵに完全に一致し、地球に壊滅的な影響を及ぼすことを示唆しています。

又、21 世紀に入り、地球環境問題は欧州の「環境ﾌｯﾄﾌﾟﾘﾝﾄ」規制等で見られるように、CO_2 排出量のみならず、水、生態毒性、土地等 14 項目の環境負荷物質にまで議論が及んでいます。

３．東レの地球環境への取り組み姿勢と LCA 思想

地球温暖化対策は世界的規模で実施しなければなりません。前述した CO_2 排出量取引等の経済的対策では限界があるばかりでなく、国内産業の空洞化を助長し、ｶｰﾎﾞﾝﾘｰｹｰｼﾞにより地球規模では CO_2 を増加していることはこの十数余年の実績が証明しています。

世界が成長しつつ地球規模で CO_2 を削減できる答えは、CO_2 削減のための革新技術開発にあります。そして、CO_2 削減のための革新技術開発を効率的且つ効果的に推進する方法論が LCA（ﾗｲﾌｻｲｸﾙｱｾｽﾒﾝﾄ）思想なのです。LCA とは技術や製品の CO_2 発生量の実態を、そのﾗｲﾌｻｲｸﾙ視点から、すなわち資源採掘と原料・材料段階、製造段階、流通や使用・消費段階、廃棄段階までのﾄｰﾀﾙとして科学的、定量的に分析し、問題の所在や解決法を見いだす手法です。LCA 視点からの新しい革新技術・革新製品を開発し、世の中に提供することが重要です。

このような考えの下、当社は2009年に「東ﾚｸﾞﾙｰﾌﾟは、全ての事業戦略の軸足を地球環境に置き、持続可能な低炭素社会の実現に貢献します」と公表し、2020 年近傍での地球環境に関する次の二つの数値目標を社内外に公表しました。

①環境に貢献するｸﾞﾘｰﾝｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ製品：１兆円達成

②CO_2削減貢献量：２億トン以上達成

そしてその二つの数値目標を達成するために、LCAに基づくLCM（ﾗｲﾌｻｲｸﾙﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ）環境経営を導入しました。当社はこの数値目標を含め、2011年4月に、長期経営ﾋﾞｼﾞｮﾝ“AP-Growth TORAY 2020”を発表、LCM環境経営推進を明確にしました。

４．東レのLCM環境経営

当社はLCM環境経営を実践するため、LCA思想に基づいた二つの環境評価ﾂｰﾙ「CO_2削減貢献量（度）」と「T-E2A（Toray Eco-Efficiency Analysis）」を開発しました。前者は、当社製品を社会へ適用することにより、既存製品と比較して、どの程度のCO_2の削減に貢献出来るかを指標化する分析ﾂｰﾙ、後者はﾗｲﾌｻｲｸﾙ視点からの経済性LCC（ﾗｲﾌｻｲｸﾙｺｽﾄ）も評価し、LCAとLCCの両面から２次元評価するｴｺ効率分析ﾂｰﾙです。「見える化」が可能になります。

当社は主要製品や技術に対し、「CO_2削減貢献量（度）」と「T-E2A」を試算する全社体制も構築し、既に活動を開始しています。そしてこの分析結果を研究開発、設備投資等の経営・事業戦略の指針や判断基準、生産活動やCSR活動及びﾏｰｹﾃｨﾝｸﾞ活動に活用しています。これがLCM環境経営です。

このLCM環境経営と環境評価ﾂｰﾙは社内活用のみならず、他企業、業界、社会に提唱し、普及を図っています。「T-E2A」は産環協（JEMAI）の最新LCA支援ｿﾌﾄと連携し、ﾈｯﾄ上で公開しています。

一方、LCA思想やCO_2削減貢献量の概念は国際的にも浸透してきています。2009年にICCA（国際化学工業協会協議会）が、CO_2削減貢献量の概念で世界の化学産業がLCA視点で如何に世界のCO_2削減に大きく貢献しているかを明らかにし、2011年にはJCIA（日本化学工業会）が日本国内の化学製品のLCA視点からのCO_2削減貢献量を明確にしました。

更に、WBCSD（持続可能な開発のための世界経済人会議）とWRI（世界資源研究所）が連携して提唱している「GHGﾌﾟﾛﾄｺﾙ」は正にLCA視点からのCO_2排出量の把握と削減の重要性を説いています。

５．東レ製品のLCA分析の事例

当社製品のLCA分析の結果、CO_2削減貢献の大きい製品の事例を幾つか紹介します。

(1) CFRP製（炭素繊維複合材料）航空機

航空機の一般的主力材料である既存材料のｱﾙﾐﾆｳﾑをCFRPに代替すれば、大幅な軽量化が実現可能で燃費向上によるCO_2削減が図れます。今年就航したﾎﾞｰｲﾝｸﾞ社のB787はその機体構造の50%をCFRP化することで、約20%の軽量化を行いました。LCA分析結果では、約27,000ﾄﾝ／機・10年のCO_2削減に貢献しています。

(2) CFRP製自動車

自動車の車体構造の17%にCFRPに代替すれば、し、一般的主力材料であるｽﾁｰﾙ自動車に比較して約30%の軽量化が図れます。軽量化による燃費向上により、LCA分析の結果では、約5ﾄﾝ／台・10年のCO_2削減に貢献しています。

(3) CFRP製ﾌﾞﾚｰﾄﾞを使用した超大型風力発電

CO_2削減に大きな効果を発揮する再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰの中で、超大型風力発電は超大型化するﾌﾞﾚｰﾄﾞ製造に課題がありますが、軽量且つ高剛性の炭素繊維は好適な材料です。CFRP製ﾌﾞﾚｰﾄﾞを適用することにより、3MWｸﾗｽ以上の超大型風力発電の実現が容易になります。ある前提でLCA分析を行った結果、3MWｸﾗｽ（実効発電量1MW想定）のCFRP製ﾌﾞﾚｰﾄﾞの風力発電は、火力発電に比較して約15万ﾄﾝ／基・20年のCO_2削減貢献量があることが分かりました。

(4) 海水淡水化用RO膜での水処理技術

一般的に海水淡水化技術は蒸発法ですが、水処理技術の適用で大きな省ｴﾈﾙｷﾞｰ効果が期待出来ます。両技術のLCA分析を行ったところ、RO膜技術は蒸発法に比較して、約84%のCO_2削減効果があることが分かりました。

６．まとめ：21世紀の企業のあるべき姿

地球環境問題、特に地球温暖化抑制は地球規模の喫緊の課題であり、各国の利害関係を超越して地球規模で対応しなければなりません。国と同様に、21世紀の企業も新しい企業の存在価値が問い直されています。20世紀の企業は事業拡大を通じて資本効率や利益の追求を行い、その適正な利潤を社会に貢献することで企業の存在価値を高めてきました。しかし、21世紀の企業は、20世紀の企業の存在価値に加え、危機的状況なる地球環境問題解決に積極的に貢献するような企業理念、事業経営が必須になります。

世界の経済発展と地球環境問題の解決をともに実現するためには、LCAに基づいたLCM環境経営は極めて重要になります。当社は21世紀の企業として、新しい企業理念と企業運営を通して、快適で持続可能な低炭素社会の実現に向けて貢献します。

NIKKEI225 企業における環境リスクマネジメント

－歴史と分析－

Corporate Environmental Risk-Management on NIKEEI225 companies -History and Analysis-

○九里 徳泰*[1)]、長谷川 慶輔 [1)]
Noriyasu Kunori, Keisuke Hasegawa
1) 富山県立大学工学部環境工学科
*kunori@pu-topyama.ac.jp

1. はじめに

近年、企業を取り巻くリスクが急速に巨大化・複雑化してきた。同時に、社会の一員としての企業の存在が指摘されるようになり、CSR という範疇で企業の社会的責任も追及されるようになってきた。このような背景から、企業が様々なリスクに対しどうマネジメントしていくかが企業の存続に重要なファクターとなる。特に企業が発生源となりやすい公害問題及び企業責任が追及される地球環境問題といった「環境リスク」と企業における対応現象としての「マネジメント」に注目した。

本研究では日本をリードする企業（日経225選定企業）が環境に関するリスクのマネジメント活動の実態を明らかにするために企業情報データベースを構築し、企業の歴史を検証し、企業活動の実態調査を行った。

2. 企業における環境リスクマネジメントの先行研究

企業における環境リスクマネジメントとは、環境リスクの管理は測定が不可能な不確実なものではないという前提で、「保険や安全対策、経営戦略などを活用して事業から引き起こる環境に関する偶発的なあるいは人為的なリスクを発生させないようにし、もしリスクが発生した場合には、それを最小化し、さらに適切に対応する経営管理の手法」[1)] だ。現代的な企業における環境リスクは、リーガルリスク、マーケットリスク、レピュテーションリスク、地球環境の限界という 4 分類があげられている[2)]。

企業における伝統的な化学物質管理以降の環境リスクマネジメントへの言及の初出の１つは Steger.,U.(1993) UMWELTMANAGEMENT で、企業環境リスクマネジメントの問題点として、排除・代替、川上での対応、時間経過問題、組織構造と意思決定プロセスが指摘されている。その後の ISO14001: 2004 の序文には「組織は、自らの環境方針及び環境目的に整合して、自らの活動、製品及びサービスが環境に及ぼす影響を管理することによって、健全な環境パフォーマンスを達成し、実証することへの関心を高めてきている」と書かれている。これは日本政策投資銀行が 2004 年にスタートした環境格付の経営全般事項のリスクマネジメントの評価として反映されている。しかし、ISO14001:2004 の付属書にはリスクマネジメントの組み込みは「範囲外の将来項目」としている。企業はより自主的に、また独自に環境リスクマネジメントを展開しなくてはいけない現状だ。それには、企業の環境方針に忠実に環境目標と計画を設定し、できる限りの定量的な測定を行い、環境負荷低減に継続的に努めるマネジメントサイクルが求められる。

3. 研究の方法と目的

2012 年の日経 225 企業が発行している環境報告書等を集めデジタルでのデータベースを構築した。日経 225 企業で環境報告をしていない企業は 0 社であり（2012 年末現在）、有効対象企業は 225 社となる。データベースから日経 225 企業の総合的な環境リスクマネジメントの取り組み状況、業種別の実施状況を分析した。また、2012 年、2009 年、2004 年の日経 225 選定企業の環境報告書等の環境報告のクロス調査を行い、サンプル企業を業界別に 5 社抽出し、環境リスクマネジメントの実施経過、環境リスクマネジメントの事業上の重点項目を調査した。

4. 日経 225 企業の環境リスクマネジメント分析結果

2012 年における日経 225 企業において環境リスクマネジメントまたは環境リスク管理を報告書に明言している企業は、全体で 31%、製造業は 37%、非製造業は 22%という結果になった。詳細情報は SI の図 S1 で示す。

製造業では、医薬品、石油、ゴム、非鉄金属・金属製品、造船、精密機器が 50%を超えていて鉄鋼業、機械、電気機器、自動車・自動車部品が 40%を超えている。非製造業では、水産が 100%のほか、商社、保険、電力が 50%を超えている。しかし、鉱業、その他金融、陸運、海運、空運、倉庫・運輸関連 、情報・通信、サービス業で 0%となり、大手優良企業でも非製造業の場合は環境リスクを強く認識せずに事業運営上重要なマネジメントであると認識していないことが理解できる。

環境リスクマネジメントまたは環境リスク管理を報告書に言及していた企業のテキストマイニング（±3L）、共起ネットワーク分析（4 語共起）を行ったところ、資源循環社会の構築、ISO14001 認証、事故未然、適切是正予防、コンプライアンス、化学物質、緊急訓練、目標実績、関連会社、海外工場、容器リサイクル、エネルギー側面と

いった環境リスクマネジメントの関連用語とともに、地球温暖、生物多様、外部経済、コスト効果などの地球環境問題や経済に関わる言葉も抽出できた（図S2参照）。

5. 環境リスクマネジメント導入企業事例

企業における環境リスクマネジメント導入に関して歴史的な考察とその管理対象を把握できる企業5社を業界別にサンプリングした。以下、5社を紹介する。

①新日本製鉄（現新日鉄住金）／鉄鋼業（製造業）

1972年に環境管理基本方針ができ、化学物質等の環境影響の管理体制ができる。1992年の国際鉄鋼協会の環境声明を受けて翌年に環境に関する行動指針を出す。1996年ISO14001の認証取得と同時に環境管理方針を決め、鉄鋼連盟の自主行動計画に参画する。1998年に環境経営委員会を発足し、同社初の環境報告書を発行する。2003年発行の　環境報告書で、グローバルな標準に対応するために初めて「環境リスクマネジメント」という言葉が使われた。以前は環境負荷低減対策としていた。管理対象は、ベンゼン、ダイオキシン、PRTR法に基づく特定化学物質である。同年に中期環境計画がスタートし3年ごとに見直す。

②トヨタ自動車／自動車・自動車部品（製造業）

1992年の基本理念で、クリーンで安全な商品の提供を使命とし、トヨタ地球憲章で環境問題に対する未然防止を謳った。また、環境委員会を設置。1996年にISO14001を取得し、環境取組プランを造る。1998年に同社初の環境報告書を発行。2000年から環境リスクという言葉を多く使うようになり、2004年発行の環境報告書で、「環境リスクマネジメント」という言葉が使われた。管理対象は、環境取組プランでは、鉛、水銀、カドミウム、六価クロムの全廃が優先課題とされた。1996年に策定した環境取組プランは5年ごとに見直している。

③パナソニック／電気機器（製造業）

1972年に環境管理室を設置。1975年に環境管理規程を制定。1989年に環境保護推進室を設置する。1991年に松下環境憲章を制定し、翌年環境政策委員会を置く。1997年の環境本部設置と同時に環境マネジメントという言葉が使われ始める。1998年に同社初の環境報告書を発行。1999年に全事業所でのISO14001取得が完了する。1999年に環境リスクマネジメント委員会が発足。1997年にはすでに環境負荷化学物質削減は行われている。管理対象は、PRTR対象物質、製品・生産でのアセスメント指定物質。内分泌撹乱物質等をあわせて245物質とした。この物質のリスク評価を行い化学物質管理ランク指針を設け、1998年よりこの指針により総合管理体制がとられた。環境ビジョン、グリーンプラン2010が2001年に策定。後者は数年不定期に改訂される。

④積水化学工業／化学工業（製造業）*2012年末選定外

1972年に環境管理部が発足、1991年に環境委員会、安全環境管理部を設置。1998年ISO14001取得を行い、同社初めてのレポートを発行。1999年に環境中期計画を開始。2002年より環境リスクという言葉が使われだした。2003年の中期経営ビジョンで「環境で際立つ」と宣言。2005年には環境トップランナープランを策定、環境経営総合管理指標の導入をした。管理対象は、ジクロロエタン、HCFC、PRTR法対象化学物質であり、その排出と移動を把握し、前者2つは全廃、後者は大幅な削減を行う。

⑤三井物産／商社（非製造業）

1990年に環境問題対策委員会設置、地球環境に関する基本理念制定。1999年にISO14001を取得。同社で最初に発行された2000年度の環境報告書では環境調和型企業を目指す上での環境リスクへの対応として環境リスクマネジメントがいわれている。全世界的なグローバルな企業展開から管理対象は、既存事業では資源開発から製造、貯蔵までの企業バリューチェーンで「関連会社環境管理」として環境負荷、リスク評価を16項目で1993年から毎年行っている。新規事業でも同様なアセスメントを行っている。また、商品・サービスの負荷低減、事業所の負荷削減も行われている。

6. 考察

非製造業が環境リスクを強く認識していないこと、製造業においてもまだまだ環境リスク認識が必要なことがわかった。消極的な法令遵守から自主的な環境経営の中に環境リスクマネジメントがとりこまれていくべきである。Hart.,S.L.(1997)の指摘では、持続可能性への経営戦略は、汚染防止、プロダクト・スチュワードシップ(ライフサイクルアプローチ)、グリーンテクノロジー、サステナビリティという4段階を指摘している[3)]。黒澤ほか(2000)の戦略的環境マネジメントシステムではEMSにリスクマネジメントを入れ込むケーススタディが提示されている[4)]。経済産業省環境政策課（2004）は企業を取り巻く環境リスク対応の視点を指摘している。管理範囲を、サプライチェーン、ライフサイクル、企業グループにとること。環境影響側面が生物多様性まで拡大され、法制度を越えた管理が必要であること。環境リスクが倫理、社会面と融合したCSRマネジメントに統合すること。環境リスクコミュニケーションの重要性も指摘している[5)]。

引用文献

1)高梨智弘,”リスクマネジメント入門”,第5版,(2001),pp.27-28

2)環境経営戦略辞典編集委員会,”環境経営戦略辞典”,(2003),pp.49-55

3) Hart.,S.L:HBR,Jan-Feb 75(1) ,(1997),pp.66-77

4) 黒澤ほか,”戦略的環境マネジメントシステム”,日科技連,（2000）,pp.87-119

5) 経済産業省環境政策課,”検証!日本の環境経営”,ケイブン出版,（2004）,p.42

Supporting Information

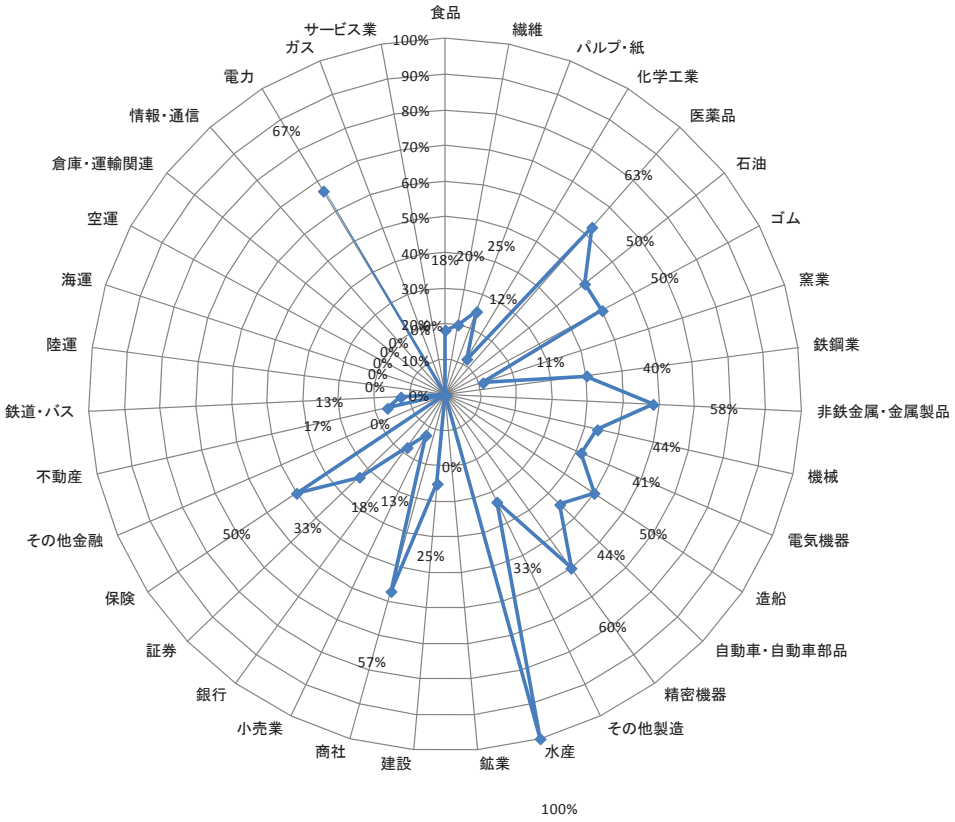


図 S1　日経 225 企業の環境リスクマネジメントの報告書への明記（%）

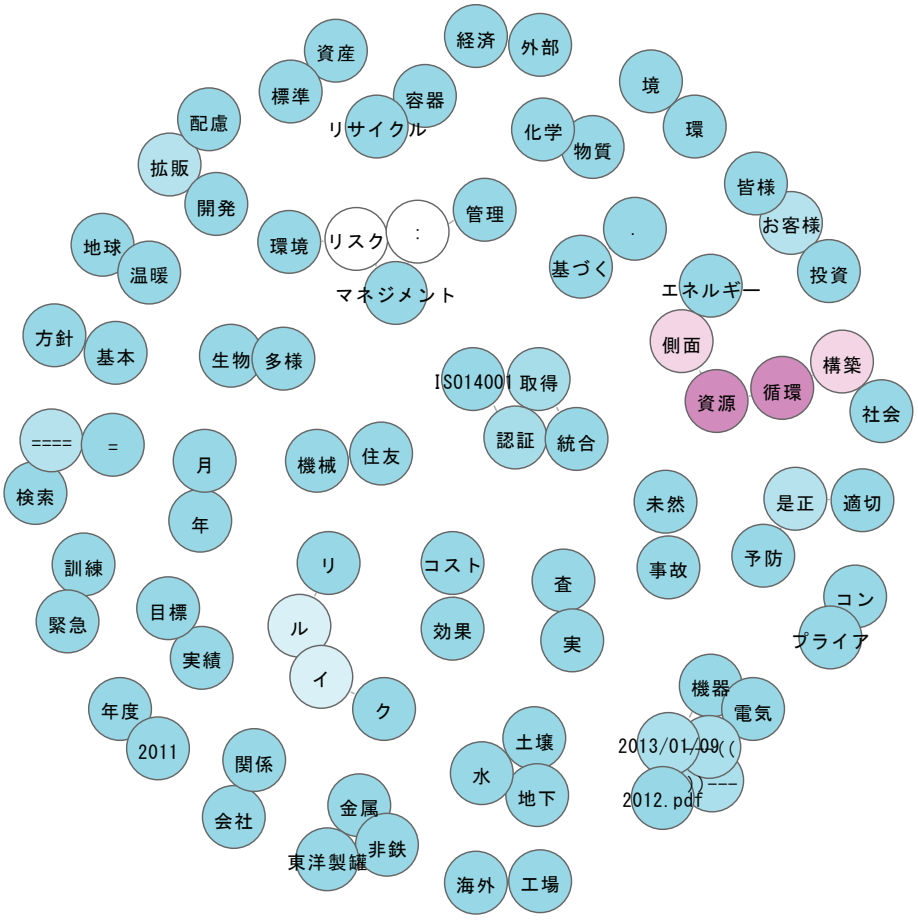


図 S2　環境リスクマネジメントに関するテキストマイニングと共起ネットワーク分析

非負行列因子分解によるサービス産業の排出責任評価

Evaluation of Emission Responsibility of Tertiary Industry Using Nonnegative Matrix Factorization

○岡本隼輔*[1)]、加河茂美[1)]、南斉規介[2)]
Shunsuke OKAMOTO, Shigemi KAGAWA, Keisuke NANSAI
1) 九州大学、2) 独立行政法人国立環境研究所
*solitario_halcon_azul@yahoo.co.jp

1. はじめに

日本経済のサービス産業への移行は、国内産業起源 CO_2 排出量の削減に貢献してきた。しかしながら、どの程度この影響が地球温暖化の進展を緩めたかははっきりしていない。国内産業のサービス産業の比率が増加するというサービス経済化と CO_2 排出量との関係に関する重要な実証研究として、Suh (2006)と Nansai *et al.* (2009)がある。Suh (2006)は、アメリカの CO_2 排出量全体のうち 37%は、電力利用と輸送サービスを除いたサービス産業の家計消費に起因するということを明らかにした。Nansai *et al.* (2009)は、1990 年から 2000 年にかけての日本におけるサービス産業のライフサイクル CO_2 排出についての要因分析を行い、サービス産業におけるエネルギーや物質（材料や部品など）の投入の増加が CO_2 排出量を大きく増加させていることを明らかにした。しかしながら、Suh (2006)と Nansai *et al.* (2009)の研究では、特定のサービス産業の生産に起因するサプライチェーンのどの部分が、CO_2 排出量に多大な影響を与えているのかの考慮はされていない。

サービス産業が生産に用いるエネルギーや物質の投入に関する政策提言を行う際、各産業単体でなく CO_2 排出負荷の観点から関連性の高い産業を一つのグループ（以下、産業クラスター）として抽出し政策の効果を議論する方が、国内産業起源 CO_2 排出量の削減をより効率的に行えると考えられる。

そこで本研究では、環境産業連関表から得られるネットワーク情報に非負行列因子分解を適用して、CO_2 排出量の観点から関連性の高い産業クラスターを検出する (Kagawa *et al.*, 2013a)。算出された結果から、特定のサービス産業のクラスターを用いて、CO_2 排出量に対してそのサプライチェーンが果たす役割について評価する。

2. 研究手法

まず、本研究で使用するデータについて説明する。用いるデータは、総務省が公表している「平成 17 年（2005 年）産業連関表」および独立行政法人国立環境研究所・地球環境センターが公表している「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」の「2005 年生産者価格基準原単位（内訳データを含む）および生産者価格基準原単位」である。産業連関表に関しては、生産者価格評価表の 108 部門表を用いている。この部門分類に合わせて 403 部門存在する 3EID における産業の基本分類を 108 部門にまとめている。

ここで修正産業連関モデル (Kagawa *et al.*, 2013b)に従い次の(1)式を表すことができる。

$$\mathbf{B}^{j^*} = \mathrm{diag}\left(\mathbf{f}^{j^*}\right) + \mathbf{A}\mathrm{diag}\left(\mathbf{f}^{j^*}\right) + \mathbf{A}\mathrm{diag}\left(\mathbf{A}\mathbf{f}^{j^*}\right) \quad (1)$$

ここで、$\mathbf{A} = \left(a_{ij}\right)$ は産業 i から産業 j への投入係数を要素に持つ行列である投入係数行列を表す。$\mathbf{f}^{j^*}$ は j^* 番目の要素が産業 j^* の最終需要であり、その他の要素が0であるベクトルを表す。$\mathrm{diag}\left(\mathbf{f}^{j^*}\right)$ は $\mathbf{f}^{j^*}$ を対角化した行列であり、$\left(j^*, j^*\right)$ 要素が f^{j^*} であり、その他の要素が0である行列を表す。結果的に、$\mathbf{B}^{j^*} = \left(b_{ij}^{j^*}\right)$ は特定の産業 j^* の最終需要が発生した際に、その製品を製造するために産業 i から産業 j への投入された中間投入を表す。

$\mathbf{B}^{j^*}$ は金額ベースの数値を持つ行列となっている。そこで、産業 i から産業 j への中間投入によって誘発される CO_2 排出負荷の強さを分析するために、(2)式に示される CO_2 排出モデルを定式化する。

$$\mathbf{G}^{j^*} = \mathrm{diag}\left(\boldsymbol{\alpha}\right)\mathbf{B}^{j^*} \quad (2)$$

ここで、$\boldsymbol{\alpha} = \left(\alpha_i\right)$ は産業 i 起源の CO_2 排出量を産業 i の生産額で割ることで算出した産業 i の CO_2 排出係数を要素に持つベクトルである。したがって、$\mathbf{G}^{j^*}$ は特定の産業 j^* に対する最終需要が発生した際に、その製品を製造するために産業 j が産業 i への財・サービスの供給として生産するために発生させた CO_2 の量を表す。

CO_2 排出量に基づいた産業クラスターを抽出するため、$\mathbf{G}^{j^*}$ を次の(3)式を用いて行列を対称化する。

$$\tilde{\mathbf{G}}^{j^*} = \begin{cases} g_{ij}^{j^*} + g_{ji}^{j^*} & (i \neq j) \\ 0 & (i = j) \end{cases} \qquad (3)$$

ここで、g_{ij}^{j*} は、行列$\mathbf{G}^{j^*}$ の(i, j)要素である。(3)式で算出した$\tilde{\mathbf{G}}^{j^*}$ を用いて、Ding *et al.* (2005)で提案された非負行列因子分解に従い、各産業クラスターに CO_2 排出負荷の観点から関連性の高い産業クラスターを検出する。Ding *et al.* (2005)に従うと、(4)式で示される問題を解くことによってクラスターを検出することができる。

$$\underset{\mathbf{H}\geq 0}{\text{Minimize}} \quad J = \left\| \mathbf{D}^{-1/2}\tilde{\mathbf{G}}^{j^*}\mathbf{D}^{-1/2} - \mathbf{H}\mathbf{H}' \right\|_F^2 \qquad (4)$$

ここで、$\mathbf{D}$ は各産業の次数$d_i = \sum_j g_{ij}^{j^*}$ を対角成分に持つ対角行列であり、$\mathbf{H} = (h_{iK})$ は、内生的に求まる割当行列を表す。プライム記号は行列の転置を表し、K は産業クラスターの数を表す。$\| \bullet \|_F^2$ は行列のフロベニウスノルムを表す。(4)式の最小化問題の解$\mathbf{H}$ は、次の(5)式で示される更新ルールに基づいた計算を繰り返し行い算出できる (Ding *et al.*, 2005)。

$$h_{ij} \leftarrow h_{ij}\left(1 - \beta + \beta \frac{\left(\mathbf{D}^{-1/2}\tilde{\mathbf{G}}^{j^*}\mathbf{D}^{-1/2}\mathbf{H}\right)_{ij}}{\left(\mathbf{H}\mathbf{H}'\mathbf{H}\right)_{ij}}\right) \qquad (5)$$

ここでβ は任意のパラメータである。(5)式の繰り返し計算によって最終的に算出された行列を$\hat{\mathbf{H}} = (\hat{h}_{ij})$ とする。最終的に求められた行列$\hat{\mathbf{H}}$ を利用した *K*-means 分析を行うことによって、CO_2 排出量を基準とした各産業の各クラスターを検出した（Kagawa *et al.* (2013a)を参照）。

3. 分析結果

産業 j^* の最終需要が発生した場合のサプライチェーンに帰属する CO_2 排出ネットワーク（すなわち$\tilde{\mathbf{G}}^{j^*}$ ）は産業部門の数 *n* 個分得られる。本要旨では、紙面の都合上第三次産業の一つである商業部門$(j^* = 73)$ の最終需要が発生した場合の産業クラスターの検出結果について述べる。商業部門における最終需要は、平成17年産業連関表における民間消費支出に基づいて69兆円とした。これによる産業起源 CO_2 排出量は、73 Mt CO_2-eq であった。

分析の結果抽出された複数のクラスターのうち、排出量が最も高いクラスターは、商業部門の属するクラスターであり、属する産業が商業部門および電力部門の 2 部門のみであった。次に排出量の大きなクラスターとして抽出されたのが下に示す表 1 のクラスターであり、現れた産業部門の特性上、流通クラスターと呼ぶことにする。

表 1 を見てわかるように、商業部門に需要があった際に必要となる財・サービスの中間投入（在庫を常備するための「不動産仲介および賃貸」、様々な形態の輸送およびそれに付随する「金融・保険」など）に関して、CO_2 排出量が高いと思われる産業が局所的に集中してこの産業クラスターを形成している。なお、この流通クラスターに属する産業部門間の中間投入取引に起因する CO_2 排出量を計算すると 690 kt CO_2-eq であった。

すなわち、商業部門に一定の最終需要が発生した場合、CO_2 排出負荷に関するサプライチェーンネットワークの中においては、表 1 に示される流通クラスターの重要性が定量的にわかった。

表 1 流通クラスターおよび属する産業部門

#16 家具・装備品	#79 道路輸送（除自家輸送）
#27 化学最終製品（除医薬品）	#81 水運
#70 ガス・熱供給	#82 航空輸送
#72 廃棄物処理	#86 通信
#74 金融・保険	#88 情報サービス
#75 不動産仲介及び賃貸	#99 物品賃貸サービス
#78 鉄道輸送	#101その他の対事業所サービス

4. 終わりに

本要旨では、商業部門の最終需要が発生した際に、その製品を生み出すサプライチェーンの中での CO_2 排出量を基準として産業クラスターを検出した。研究発表会では、商業部門以外のサービス産業の最終需要によって得られるサプライチェーンネットワークから CO_2 排出集約的な産業クラスターを検出し、どのサービス産業の生産に起因するサプライチェーンのどの産業クラスターが CO_2 排出量に影響を与えているのかを評価・報告する。

引用文献

1) Ding C., Li T., Jordan M.I.: Proc. SIAM Int'l Conf. Data Mining (SDM'05), (2005), pp.606-610
2) Kagawa S., Suh S., Kondo Y., Nansai K.: (2013a), working paper
3) Kagawa S., Suh S., Kondo Y., Nansai K.: Economic Systems Research, (2013b), forthcoming
4) Nansai K., Kagawa S., Suh S., Fujii M., Inaba R., Hashimoto S.: Environmental Science & Technology, 43, (2009), pp.4241-4246
5) Suh S.: Environmental Science & Technology, 40, (2006), pp.6555-6560

サプライチェーンを通した化学物質リスク管理

-産業洗浄における取組みに基づく提言－

Chemical risk management through supply chain – proposal based on approaches in industrial cleaning -

○上原恵美*[1)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]
Emi Kikuchi-Uehara, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao
1) 東京大学
*e-uehara@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1.　諸言

持続可能な産業活動を実現するために、産業プロセスで使用される化学物質の健康・環境リスクの適正な管理が求められている。化学物質の製造、使用、廃棄に至るライフサイクルは、製品サプライチェーンと密接に関わっている。リスク削減を実現するためには、定量的なリスク評価に基づくサプライチェーンを通した包括的な化学物質管理体制を整備する必要がある。

化学物質製造に携わるサプライチェーンの川上の事業者に対しては、MSDS による原料含有物質に関する情報伝達が義務付けられている。また、製品組立を行う川下の事業者に対しては、製品含有物質に対する規制の遵守が求められている。一方、川中の製造プロセスにおいて化学物質を使用する事業者に対しては、化学物質の排出抑制のための自主的取組みが求められているが、その具体的な方法や支援の仕組みが不足している。

本研究では、川中産業で稼動しているプロセスの一つである産業洗浄を対象とし、リスク解析や事業者の取組事例の調査を通して、サプライチェーンを通した化学物質リスク管理の支援のあり方を提言することを目的とする。

2.　産業洗浄における取組み

2.1. 産業洗浄プロセスのリスク管理の現状

めっきや熱処理などの電子部品の表面処理において、部品表面の汚れを取り除くために洗浄が行われる。洗浄剤として使用される塩素系有機溶剤等の化学物質は健康・環境への影響が懸念されており、事業者による適切な管理が求められている。

塩素系有機溶剤を含む VOC 排出量の削減を目的とした自主的な取組みとして、代替洗浄剤の利用や装置、オペレーションの変更が行われてきた。しかし、プロセス変更に伴うリスク削減効果の定量的な評価が十分に行われていないため、最適な対策の導出が困難であり、また、リスクトレードオフの懸念も存在する。さらに、洗浄プロセスを保有する事業者の多くがサプライチェーンの川中で部品製造に携わる中小企業である。そのため、川下の組立メーカーから与えられる多様かつ複雑な品質要求に対応し、かつ、限られた資金でプロセス設計を行わなければならないといった制約も存在する。

2.2. リスク解析に基づくプロセス設計

図 1 に洗浄剤として使用される化学物質のライフサイクルを通して発生するリスクを示した。洗浄剤は作業者の健康や工場周辺の環境における局所的なリスクを引き起こす他、一般環境への排出や製造時の環境負荷物質の排出により、地球規模の環境影響を引き起こす。リスクを考慮した洗浄プロセスの設計を支援するために、プロセスからの化学物質の排出に伴う多様なリスクを統合的に解析するための手法を整備する必要がある。

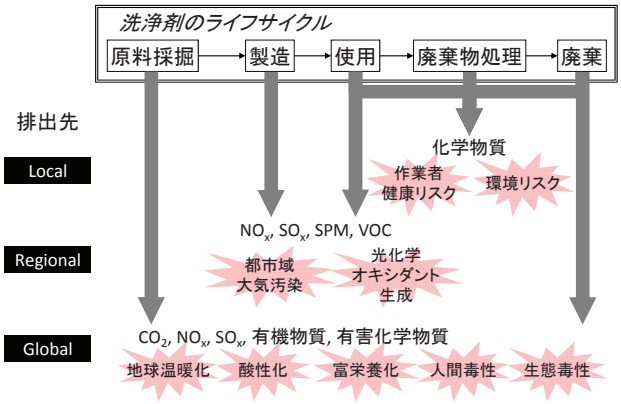


図 1　化学物質のリスクの多様性

さらに、リスク解析にはプロセスで使用される装置やオペレーションの影響を考慮した排出量推算のためのプロセスモデルが必要となる。本研究では、産業用洗浄装置を用いた実験を行い、測定結果に基づき溶剤のマスフローを解析しモデル化を行った[1)]。

モデルを利用した洗浄プロセスのリスク解析結果の例を図 2 に示した。塩素系有機溶剤を開放型の装置で使用する現行プロセスを想定し、代替物質である水系洗浄剤の利用、装置の密閉化、オペレーションの改善という 3 つの代替案を評価対象とした。洗浄剤のライフサイクルを通した一般環境影響を LCA によって、洗浄プロセスからの洗浄剤の排出に伴う局所的なリスクをリスクアセスメント（RA）によって評価した。LCA と RA を利用した解析を行うことで、多様なリスク間の関係を可視化することが可能となった[2)]。

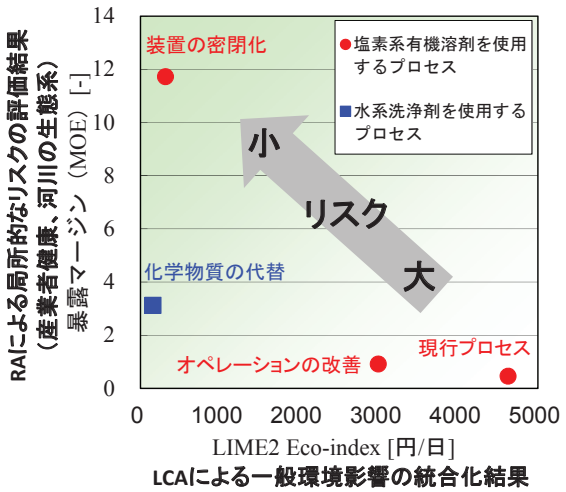


図 2　産業洗浄プロセスのリスク解析結果

2.3. リスク削減対策の意思決定

リスク解析結果に基づき代替案の意思決定を行う際には、技術的・経済的な制約を考慮する必要がある。これまでに、現場調査により洗浄技術に関わる経験的知識を収集し、収集した知識を科学的・工学的知見に基づき分析することでプロセスの条件と適用可能な洗浄剤・装置との関係を整理した。図 3 に洗浄後のプロセスと被洗浄物の素材に応じて使用可能な洗浄剤を示した。リスク削減を目的として代替洗浄剤を利用する場合には、プロセスに対する品質要求によっては、代替可能な洗浄剤が限られる場合がある。技術的な制約を変更し実行可能な代替案の幅を広げるためには、製品設計において品質要求を決定している川下の事業者との情報共有を行う必要がある。

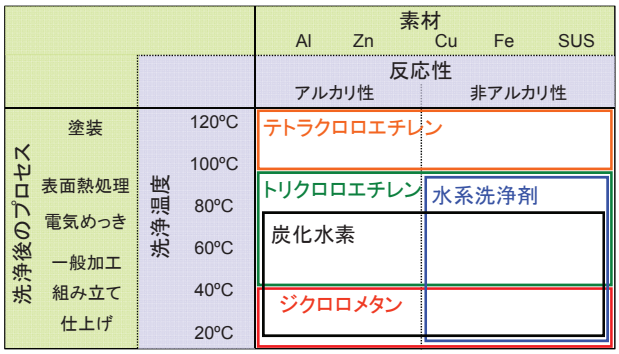


図 3　洗浄後のプロセスと被洗浄物の素材に応じて使用可能な洗浄剤

さらに、実際の洗浄サイトにおけるプロセス改善事例を調査し、代替案の実行可能性とコストとの関係を分析した。図 4 に、6 つの洗浄サイトの 7 つの洗浄プロセスに対して提案された代替案について、VOC 排出量削減率とコスト（初期投資と 10 年間のランニングコストの和）の関係を示した。さらに、対策案の導入可否についての洗浄サイトの意思決定結果を○、△、×の別で示した。

代替案は、VOC 削減効果が高いが高コストであり導入不可能と判断されたもの（グループ 1）、比較的低コストで 30～80%程度の VOC 削減が可能であり導入可能と判断されたもの（グループ 2）、低コストであるが VOC 削減効果が小さく導入不可能と判断されたもの（グループ 3）に大きく分類され、VOC 削減効果だけでなくプロセス変更に伴い発生するコストが意思決定に大きな影響を与えていることが分かる。

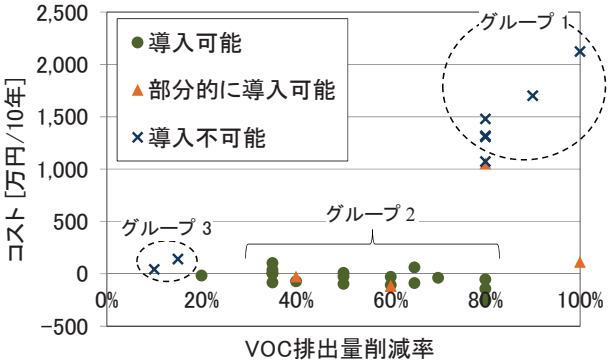


図 4　VOC 削減率とコストに応じたリスク削減対策の選択

3.　化学物質リスク管理の課題

産業洗浄プロセスの化学物質リスク評価、及び、管理の取組み事例の調査を通して、サプライチェーンを通したリスク管理の実現に向けて、以下の課題が明らかになった。

1)　化学物質管理のための事業者による自主的取組みを支援するために、化学物質の利用に伴う多様なリスクを統合的に解析するための実践的手法・ツールを整備する必要がある。

2)　川中の製造プロセスにおいては、製品設計を行う川下の組立メーカーからの品質要求が技術的制約となり、効果の高いリスク削減対策が実行できない場合がある。代替案に対し、リスク削減効果だけでなく機能面も考慮した評価を行い、川下との情報共有を支援する必要がある。

3)　中小企業においては、プロセス変更に必要なコストがリスク削減対策の意思決定を大きく左右する。経済性を考慮した幅広い代替案の導出の支援を行う必要がある。

4.　結言

産業洗浄プロセスをケーススタディとしてリスク解析手法の整備とプロセス設計における意思決定の仕組みを分析した。ケーススタディを通し、サプライチェーンを通したリスク管理の支援の課題と課題解決に必要な支援のあり方を提言した。

参考文献

1)　Kikuchi E., Kikuchi Y., Hirao M. : Ann. Occup. Hyg., 56 (7), (2012), pp.829-842

2)　Kikuchi E., Kikuchi Y., Hirao M. : J. Clean Prod., 19 (5), (2011), pp.414-423

代替比較に基づく難燃剤含有製品の規制影響分析

Analysis of regulatory impact on flame retardant materials based on alternative assessment

○真名垣聡*[1)]、益永茂樹[1)]、小林剛[1)]、半井豊明[1)]、三宅淳巳[1)]、本藤祐樹[1)]
Satoshi Managaki, Shigeki Masunaga, Takeshi Kobayashi, Toyoaki Nakarai, Atsumi Miyake, Hiroki Hondo
1) 横浜国立大学環境情報研究院
*managaki@ynu.ac.jp

1. はじめに

現在使用中の化学物質が規制される場合、しばしば予防的に代替化合物や代替製品への移行が起こる。しかしその際、事前に代替によってリスクが低減するか否かが評価されることは稀である。有害性情報の少ない物質への代替が、全体としてのリスクの増大や、温室効果ガス排出削減など他の社会的目標・政策課題とのトレードオフの発生へ繋がることが懸念されるため、これらを留意した化学物質のリスク削減対策・リスク管理が重要となっている。このような背景のもと本研究では、規制対象候補物質を用いている「製品」のライフサイクルと代替比較に着目したリスク低減手法を提案し、化学物質の管理政策の立案に寄与することを目指している。本稿では、臭素系難燃剤ヘキサブロモシクロドデカン(HBCD)を例として、可能性のある代替物質／プロセスを抽出し、それらについて全ライフサイクルリスク評価と代替リスク比較を実施し、具体的な評価事例を提示することを目的とした。

2. 方法

2.1 前提条件

本研究では、HBCDを含む発泡ポリスチレン製の建築用断熱材及び繊維製品を分析対象とした。本研究では、HBCDの規制に対応する複数のライフサイクル・シナリオを想定して、各シナリオにおけるライフサイクル・インベントリ分析を実施した。機能単位は戸建住宅における8.8万トンの建築用断熱材（押し出し発泡ポリスチレン; XPS、ビーズ法ポリスチレン; EPS)の30年間にわたる使用と2万トンの7年間にわたる繊維製品の使用を想定した。ライフサイクルは、HBCDの製造、発泡ポリスチレンと繊維の製造から断熱材と繊維としての使用を通し、最終的にその断熱材、繊維製品が廃棄/リサイクルされるまでのプロセスで構成されるシステムを対象とした。さらに、本研究では、HBCDの継続使用と、代替物質の導入､代替製品の導入という3種のシナリオを用意した。以下に設定したシナリオの概要を示す。

比較基準シナリオ（HBCDの継続使用)

本研究では、HBCDは規制されず、従って代替物質の導入はないシナリオを比較基準とした。尚、HBCDの需要量は全用途において製品の需要量に従って使用量が増加するとした。

シナリオ1（代替物質の導入）

規制によりHBCDの使用が禁止され、HBCDを使用する全用途において、代替物質が導入されるケースを仮定した。代替シナリオの共通の前提条件として、製品中に含まれるHBCDと代替物質の難燃性は同等であると仮定したため、HBCDより難燃性の劣る代替物質の需要量は多くなる。

シナリオ2（代替製品の導入）

シナリオ1と同様にHBCDが使用禁止となり､HBCDを使用する全用途において、代替化がおこなわれるケースを仮定した。建築用断熱材は国内出荷量から出荷量の多い2つを選択し､繊維系断熱材としてグラスウール（シナリオ2-1）を、発泡系断熱材としてポリウレタンフォーム（シナリオ2-2）を想定した。また繊維製品は素材難燃糸を選択した。

2.2 ライフサイクル・インベントリ分析

各シナリオについて、HBCD製造、断熱材製造、断熱材の利用、廃棄・リサイクル、繊維製造、繊維の利用、廃棄・リサイクルにおいて、単位プロセス毎にインベントリ分析を行い、ライフサイクルにわたる化学物質（HBCD、代替難燃剤）の排出量及び曝露量、CO_2排出量を求めた。HBCDおよびモデル代替化合物のサブスタンスフローは各ステージにおける流入量、移動量及び環境排出量からなる物質収支に基づいている。各ライフステージにおける環境排出量は流入量に排出係数を乗じて算出した。排出係数はNITE 排出係数一覧表に記載されている値を用いた。NITE 排出係数一覧表は4プロセス（製造、調合、工業使用、製品使用）について、47用途分類、26詳細用途と、水溶解度、蒸気圧の値から類型化された排出係数の一覧表である。また水溶解度、蒸気圧はEPI suiteを用いてHBCD及び、そのモデル代替化合物について推定した。

CO_2排出量に関しては、産業管理協会(JEMAI)のLCAオンラインデータベース、およびソフトウェアJEMAI-LCA Pro等に記載された値を用いて各プロセス

別に排出量を推計した。本研究では温室効果ガスとしてCO_2のみを対象として、ポリスチレン製造プロセスなどからのメタン排出や、断熱材使用時などに漏洩するフロン類の影響については考慮していない。

3. 結果

図1に各シナリオにおけるライフサイクルHBCD及び代替物質の排出量をプロセス別に示す。HBCDの排出量はライフサイクルで見ると繊維製品の製造過程（HBCDの工業使用過程）からの寄与が最も多く、続いてHBCDの製造過程となった。一方、HBCDを代替したシナリオ1やHBCD含有製品を代替したシナリオ2はHBCDの排出量はなくなるが、その代わりに代替物質の排出量が多くなった。特に代替物質を導入したシナリオ1では代替物質の合計排出量（断熱材用代替物質 + 繊維用代替物質）は比較基準シナリオのHBCD排出量の約1.3倍となり単純に排出量のみを比較すると化学物質の代替によって負荷が大きくなることが示唆された。一方、製品を代替したシナリオ2では代替した製品に難燃剤が含まれるが、素材難燃糸からの排出が減少することで、比較基準シナリオのそれに比して約37%の削減が見込まれる。HBCD排出量の推計と同一の前提条件下でライフサイクルCO_2排出量を計算した結果を、図2に示す。CO_2排出量はグラスウールに代替したシナリオ2-1が最も小さくなった。グラスウールへの代替案では、使用するXPSの量に比べてグラスウールの使用量が0.65倍と少ないこと、また難燃剤が含まれないため、難燃剤の製造工程からの排出がないことによる。対して、HBCDを代替物質に変えたシナリオ1では使用量の増加にともなって化学物質の製造過程からのCO_2排出量が多くなった。つまり、HBCD排出量の低減方策が、代替案の排出量を増加させる可能性があることを示唆している。

4. おわりに

HBCDとその代替候補化合物を対象として、フロー分析に基づく排出量を推定した結果、規制によって化学物質の排出量が増加する可能性があることが示唆された。

謝辞

本研究の一部は、環境研究総合推進費(C-1003)の支援により実施された。

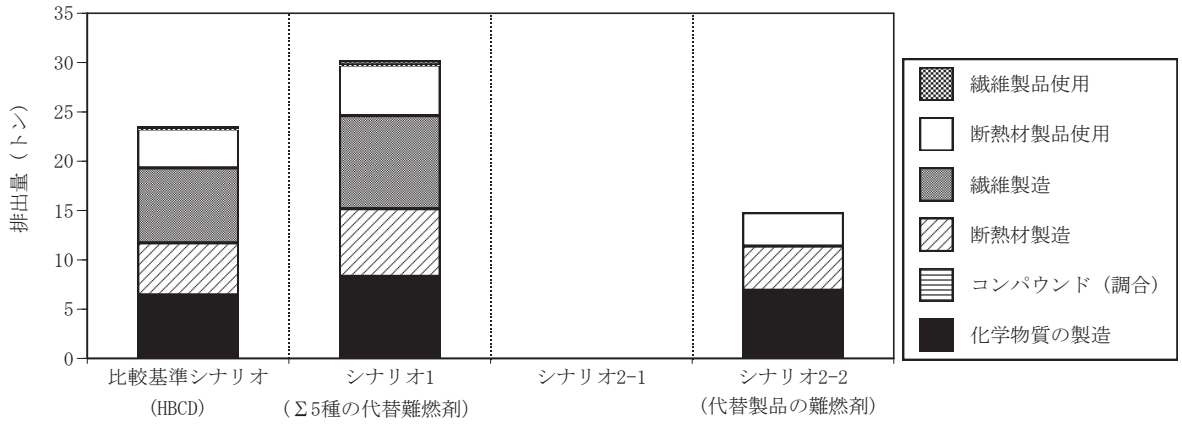


図1 シナリオ別のHBCD及び代替物質のライフサイクル排出量

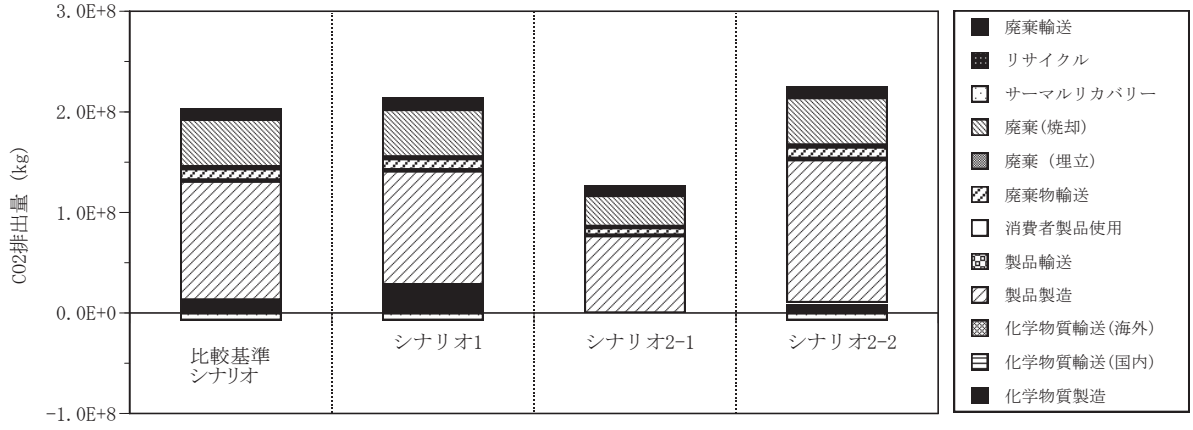


図2 シナリオ別のライフサイクルCO_2排出量

トレードオフ解析に基づく印刷業務プロセスの改善支援

Support for process improvements in printing based on trade-off analysis

○田中沙由利*[1)]、上原恵美[1)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]
Sayuri TANAKA, Emi UEHARA, Yasunori KIKUCHI, Masahiko HIRAO
1) 東京大学
*s-tanaka@pse.t.u-tokyo.co.jp

1. はじめに

近年、大気汚染による健康リスクの削減のために産業印刷から排出される揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds : VOC）の排出削減が求められている。また、同時に地球温暖化リスクの削減のために GHG 排出削減も求められている。しかしながら VOC の削減を目的に排気を燃焼処理した場合には GHG 排出量が増大するため異なるリスク間でのトレードオフが発生する。

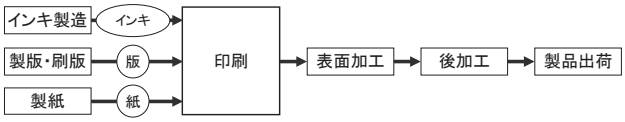


図 1　印刷プロセスの概要

図 1 に印刷プロセスの概要を示した。印刷にはインキ・版・紙といった資材を要する。それぞれの工程でのエネルギー消費や資材使用量、VOC 等の排出量を把握することにより、ライフサイクルアセスメント（LCA）の実施が可能となり、その評価結果を用いることで、トレードオフについて定量的に可視化出来ることを示してきた[1,2)]。

しかしながら印刷産業は受注型産業であるため、発注の段階で印刷物の仕様の多くを決定する。

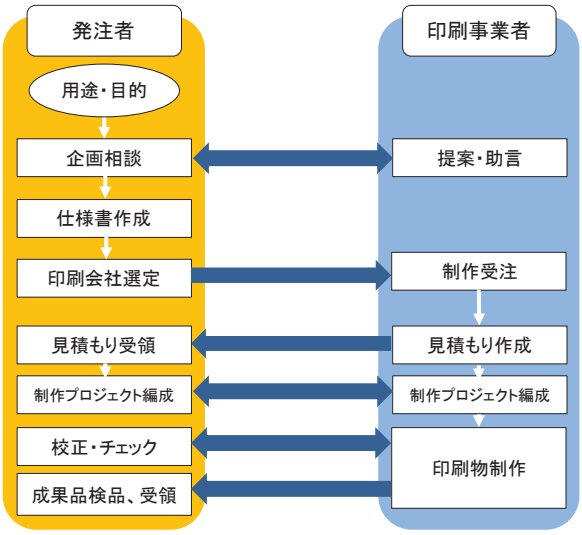


図 2　印刷物作成の流れ

図 2 に印刷事業者からのヒアリングによって得られた印刷物作成の流れとその際の発注者と印刷事業者の間での情報のやり取りを示した。印刷の仕様は最終的に発注者が決定し、その情報に従って印刷事業者側は印刷を行うため、より良い印刷プロセスを選択するためには発注の段階で両者が協調して検討を行う必要がある。

表 1　印刷の仕様項目とパラメータ・環境影響との関係

			影響を受ける																													
			印刷会社の決定項目											印刷パラメータ														指標					
			用紙	印刷		版			インキ		湿し水		表面加工		後加工		用紙		印刷		版		インキ		湿し水		表面加工		後加工		環境影響			
			用紙サイズ	使用機械	速度	面付数	枚数	使用機械	速度	銘柄	使用量	恒温装置	使用量	使用機械	速度	使用機械	速度	銘柄	使用量	使用機械	消費電力	種類	消費電力	銘柄	使用量	消費電力	使用量	消費電力	種類	使用量	消費電力	種類	使用量	消費電力	GHG	VOC	品質
影響を与える	発注者の決定項目	印刷物 規格	9	3		3	3			3		3					3		3		3		3		3		3	3		3	3		3	3	
		印刷物 数量								3		3					3		3		1		3		3		3	1		3	3		3	3	
		印刷物 ページ数					3			3		3					3		3		3		3		3						3		3	
		用紙 種類															9																	9
		用紙 坪量		1													3														3			
		印刷 方式		3			3			9		9									9													3	9
		インキ 色数								3	3																9								
		表面加工 方法													9														9						
		後加工 方法														9														9					
	印刷会社の決定項目	用紙 用紙サイズ		3		3		1										3		3		3		3		3		3		3		3			
		印刷 使用機械																	9	3															
		印刷 速度																		3															
		版 面付数																			3														
		版 枚数																				3													
		版 使用機械																				3													
		版 速度																				3													
		インキ 銘柄																					9												
		インキ 使用量																					9												
		湿し水 恒温装置																							3										
		湿し水 使用量																							9										
		表面加工 使用機械																											3						
		表面加工 速度																											3						
		後加工 使用機械																													3				
		後加工 速度																													3				

したがって、環境配慮のための印刷プロセスの改善を実行するには、印刷事業者のみではなく発注者も含めた取り組みが重要となる。本研究では、発注者及び印刷事業者で共有するべき情報の支援を目的とする。

2. 方法

発注の段階ではその製品について詳細なLCAが不可能であるため、まず印刷物製造の際に必要となる仕様項目の抽出と、各項目の持つ環境への影響度をLCAの評価を基に半定量化した。

表1に発注・印刷で決定する項目と印刷パラメータ・環境影響との関係を示した。数値は1,3,9の三種類で、影響の大きいもの程数値を高く設定した。

数値の高い項目について変更を行うと、その分環境影響に対して効果が強く出ることとなる。

また、この表から発注者の決定する項目と印刷会社の決定する項目との関係性を見ることができるため、各仕様項目を誰が最終決定するのかを見ることも可能である。

数値の多くが発注者側に設定されていることから、ここでの改善が最終的な製品製造におけるGHGやVOC排出量に強く影響を及ぼすことが分かる。

また、これら印刷仕様の変更は環境影響以外にも印刷物の品質についても影響を及ぼす。品質面の変動についても考慮できるようにするために、印刷仕様によって生じる影響を表2の形で評価した。

これらの二つの情報を利用することで、発注段階においても適切な印刷仕様及びプロセスの選択が可能となる。

表 2　仕様と印刷品質との関係

種類		色再現	階調再現性	光沢	平滑性	耐摩擦性	耐水性	リサイクル性
用紙	非塗工紙			△	△			
	塗工紙	○		○	○			
	坪量							
	規格							
印刷方式	オフセット枚葉	○	○		○	△		○
	オフセット輪転	○	○		○	△		○
	UV	○	○		○	○		△
	水なし	○	○		○	△		○
	グラビア	◎	◎		△	◎		○
	フレキソ	○	○		◎	◎		○
色数	カラー	◎	◎					
	モノクロ	△	△					
表面加工	OPニス			△	△	○	△	○
	水性ニス			△	△	◎	△	○
	UVニスコート	△		◎	○	◎	○	△
	ビニール引き	△		○	△	○	△	○
	プレスコート	△		◎	◎	△	△	○
	PP貼り	△		◎	○	○	◎	×
	PET貼り	△		◎	○	○	◎	×
	PVC貼り	△		◎	○	○	◎	×
	箔押し			◎				×

3. 結果

ケーススタディとして、印刷数量を変更した場合とインキの色数を変更した場合について評価を行う。

まず、印刷数量を変更した場合では、表1の「印刷物数量」の項目を辿って分かる通り、各資材の使用量や工程全体の消費電力に関わる。よって、GHG排出に関して大きく寄与することとなる。インキの色数を変更した場合については、インキの使用量に影響を及ぼすためVOCについても寄与が大きいと考えられるほか、版の枚数にも影響があり、GHG排出が増大すると考えられる。

実際にLCAを用いてこれら二つのケースについて評価した結果を図3に示す。

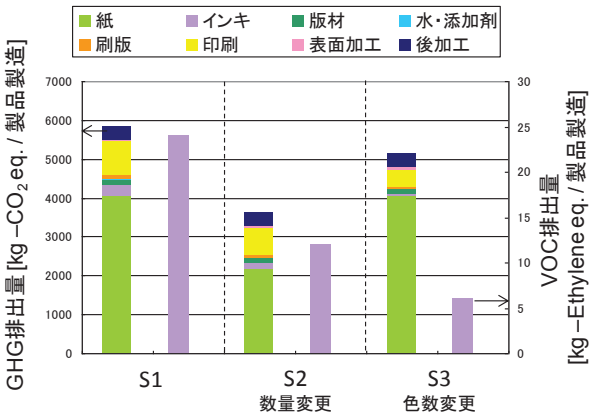


図 3　印刷物製造による環境影響

対象製品としてA5、256ページの本を印刷した場合を想定する。シナリオ1では数量を10000部、カラー印刷としており、シナリオ2では数量を5000部に変更、シナリオ3ではモノクロ印刷と設定する。

図3からも分かる通り、シナリオ2、シナリオ3はともにシナリオ1と比較するとGHG排出量、VOC排出量のどちらも削減することが出来、特にシナリオ2では主にGHGの削減に、シナリオ3ではVOCの削減に寄与している。これらの評価結果は表1で導き出される結果と一致することが分かる。

また、シナリオ3の場合では品質面でも影響があるため、表2の色数の項目を参照する。この場合、品質面の低下というトレードオフが発生する。実際に変更をするかどうかはこれらの情報を基に発注者が検討していくこととなる。

これらの評価を図2における企画相談の段階で行うことにより、製品製造の適切なプロセスを選択することが可能となる。

4. おわりに

本研究では印刷産業における印刷物発注段階で適切なプロセスの選択を支援するための情報の整理を行った。

印刷の仕様項目を抽出し、それらの与える影響を半定量化し、改善の目安となる表を作成した。また、実際に与える影響についてもLCAで評価し、結果の妥当性を検証した。

リスク間のトレードオフも含め、発注者はこれらの情報から優先順位を取捨選択し、製品ごとにプロセスを選択していく必要がある。

参考文献

1) 三木暁子,菊池康紀,平尾雅彦,第6回日本LCA学会研究発表会講演要旨, pp.168-169(2011)

2) 田中沙由利,菊池康紀,平尾雅彦,第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨,pp.100-101,(2012)

用紙再使用対応型複写機を対象とした WF と CFP

WF and CFP of Copier which can use reuse paper

○横山創*[1)]、中村鐵也[2)]、山内俊昭[2)]、吉田稔[2)]、柏倉勇二[2)]、伊坪徳宏[1)]
Hajime Yokoyama, Tetsuya Nakamura, Toshiaki Yamauchi, Minoru Yoshida, Yuji Kashiwagura, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 東芝テック
*g0931236@tcu.ac.jp

1. はじめに

90 年代以降、世界における紙の消費量が大幅に増え、2007 年の生産量は 1985 年のそれの約 1.6 倍であった。紙は生物由来であるため、カーボンニュートラルが期待されるが、森林伐採をはじめとした生態系への影響に加え、育林時・パルプ・製紙時における水の消費に対する管理が重要である。

一方で、複写機の運用における環境影響評価では、待機時間や起動時間の短縮、複写機本体の省資源化に重点が置かれてきた。近年、複写機に消去機を付属させて、紙の印字を消去することで紙の再使用を可能にする複合機が開発された。従来のものは印字の跡が残ってしまう課題があったが、2012 年になって跡がほとんど残らずかつ短時間で消去するシステムに改良された。新システムによれば、複写機に付属した消去機に印刷した紙を投入すると印字を瞬時に消去して、数秒で紙を消去機の再生済みカセットに戻すとともに、印字を電子データ化することが可能である。

このシステムの開発を機に、複写機の環境影響を考える際には、印刷用紙の負荷を含めた評価をすることで省資源化を目指す動きが出てきた。

これまでに複写機の環境影響評価は数多く行われて来たが、紙の再生機能を持った複写機について、紙の再生効果を含めた形で分析した例は無い。更に、既存研究の多くは GHG を対象としており、水の消費については言及されていない。

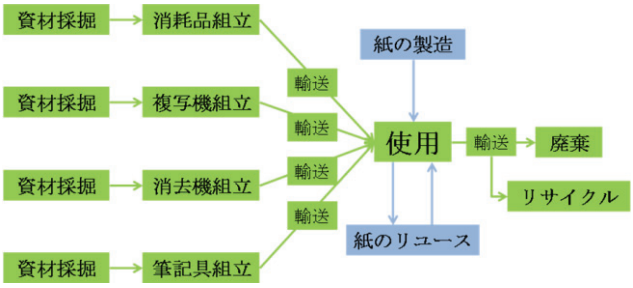
2. 研究目的

本研究では、2012 年に発表された用紙再使用対応型複写機の最新機種を対象に、紙の消費量変化に伴う水消費量の変化を見るとともに、CO2 について分析して従来機種と比較する。また、LIME2 の影響評価手法による統合化結果の従来機種との比較も行う。

3. 算定対象及び範囲

今回は、2012 年に発表されたモデルを対象とした。また、印刷部分の他に「書き込み」部分を同時に消去することもできることから、「書き込み」に使用する筆記具の使用数も算定結果に含むことにした。

図 1 にシステム境界、表 1 に機能単位及び評価シナリオの一覧を記載する。



※資源採掘～組立間の輸送は、輸送元を特定出来ないため対象外
※紙の輸送は、紙の消費量に比例して減るため対象外

図 1　システム境界

表 1　機能単位及び評価シナリオの一覧

使用機器	用紙再使用型複合機、従来型複合機（各 1 台）
使用期間	5 年間
5 年間で使用する紙の枚数	54 万枚 (9000 枚/月)
紙の種類	市販の PPC 用紙（A4 サイズ）
紙のリユース回数	0 回、5 回（一括消去）、5 回（逐次消去）の 3 つのシナリオ
筆記具使用数	1200 本 ⇒1 本/2 カ月/人×40 人×5 年間（60 カ月） ※一人が二カ月で一本の筆記具を消費する。
その他備考	1 台の機械を 40 人がシェアしていると仮定

システム境界内それぞれの分野の生産地点に関する情報は、一次データを参考にした。

WF の原単位は伊坪研究室で扱っている WF データベースを使用した。ただし、紙の水消費原単位は WFN で 2012 年に発表されている、Towords qualification of the water footprint of Paper　から引用した。

また CFP については MiLCA（産業環境管理協会　原単位：IDEA）を使用して結果を比較した。ただし、紙だけは ecoinvent の値を用いている。

用紙のリユース回数は 0 回と 5 回の場合で計算しているが、リユースにあたっては消去機にかけられる最大量の紙を一度に消去する「一括消去（消去回数 4 回）」と、紙をこまめに消去する「逐次消去（消去回数 15 回）」に場合分けしている。5 回使いまわしたという仮定は、紙が破損などで再生不可能な場合が消去一回につき約 10%の

割合で発生する想定のもと、現実的に使いまわし続けられる回数を 7 回に設定し、そこから紙の平均利用可能回数を求めたものである。

また、筆記具の使用本数はアンケートにより筆記具の消費期間を聞きだし、それらの平均値を算出して使用している。

4. 評価結果

4.1 消費水量算定結果

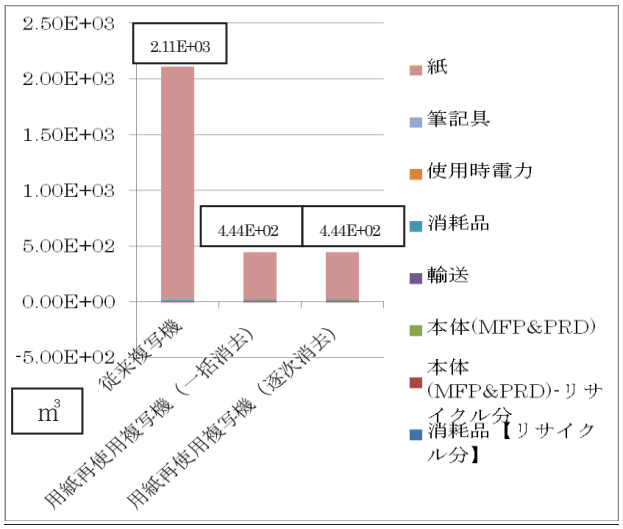


図 2 WF（消費水）算定結果（紙 54 万枚/5 年間 想定）

なお、今回の評価ではバージンパルプを用いた紙を使用したという前提で評価しているが、再生パルプを使った場合が算定出来なかったため、再生パルプとバージンパルプとの比較が今後の課題となる。紙由来の水消費量のほとんどが木を育てる段階で消費されているため、紙のリユースによる削減効果は機械を含めた全体の削減量に直結し、リユースの回数を増やせば増やすほど高い効果があると言える。

4.2 CO2 排出量算定結果

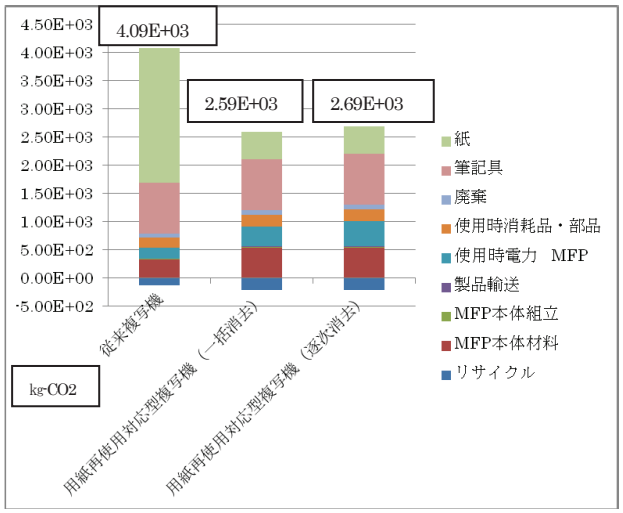


図 3 CO_2 排出量算定結果
（MiLCA 使用 紙 54 万枚/5 年間想定）

用紙再使用対応型複写機では、紙の使用量が大幅に減る一方で、消去機による消去電力が加わることで使用電力量が通常に比べて大きくなる他、消去機がある分だけ複写機本体の負荷が大きくなるが、紙の負荷の削減効果がより大きい為、WF においても CFP においても、環境影響の総量は低減したことが分かる。しかし、紙は原料の栽培地点や製紙方法、生産国などによって、WF も CFP も算定結果が大きく異なるため、条件によって環境負荷の削減率が大きく異なる可能性が高く、評価の際は注意が必要であることも分かった。

なお、CFP においては筆記具の環境負荷が紙のリユースを行った場合に最も大きくなるが、筆記具の使用本数はアンケートによる平均値を使用しており、筆記具の使用本数については今後、より厳密なデータを得ることが今後の課題である。

5. おわりに

用紙の再使用を行うことで、複写機を使用する上での環境負荷を大きく削減することが可能であることが、WF と CFP の観点から定量的に証明することができた。しかし、今回はあくまでも平均値を用いたおおよその目安であり、今後はバージンパルプと古紙配合再生紙の場合別の比較や、使用する紙や機械を使用する国、紙の製造国や紙の輸出入による事例別に分けた算定結果の整理が課題となる。

また、紙の使用数や筆記具の本数、一台あたりを共有する従業員数などを、実際にオフィス等で使用された時の実測値を用いた算定結果を事例別に論じ、使用者の職種や使用時期などによる環境負荷削減率の変化を見ることも今後の課題となった。

参考文献

- Towords qualification of the water footprint of Paper（2011）-P.R.van Oel & A.Y.Hoekstra
- THE GREEN AND BLUE WATER FOOTPRINT OF PAPER PRODUCTS(2010)- P.R.van Oel & A.Y.Hoekstra
- From forest of paper , The story of our water footprint(2011)- Jesse Rep, Senior Environmental Specialist at UPM-Kymmene
- 再生複写機による循環型社会実現への取り組みと今後の展望（2005 年）-亀山敏明ら（RICOH）
- 限りなく廃棄物ゼロを目指して ～複写機～（1997）-小渋弘明 （富士ゼロックス）
- リマニュファクチャリング複写機の LCA（2000）-加地靖 （みずほ情報総研）
- 421 E2-PA による複写機の評価と他の LCA 手法との比較（2005） -永田勝也 （早稲田大学）
- 日本製紙連合会 http://www.jpa.gr.jp/

産業における時間変化の分析　-製造業の労働時間に着目して-

Analysis of time change in industry.
-Attention to the working hour of manufacturing.-

○甲斐正也*1)、長妻大介 1)、岡田龍幸 1)、八木田浩史 2)
Masaya Kai, Daisuke Nagatsuma, Tatsuyuki Okada, Hiroshi Yagita
1)日本工業大学大学院，2）日本工業大学
※scaercrow01469@gmail.com

1.　はじめに

1. 1.　製造業の背景

日本の製造業は高度な機械化がなされているが、機械化が雇用の減退や正社員比率の減少を招いているのではないかという示唆もある。[1)]

図 1 に示すように、産業構造の変化もあり、生産性は高いものの雇用者数は減少傾向に向かっている。

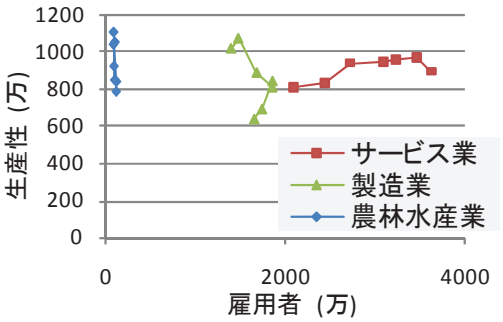


図 1　生産性と雇用者の関係

1. 3.　労働時間について

日本の年間労働時間は 1986 年に前川春雄元日本銀行総裁によってまとめられた「国際協調のための経済構造調整研究会」いわいる「前川レポート」[2)]の通り年間 1800 時間に達したが、一般労働者(正社員)の労働時間は、まだ年間 2000 時間近くある。所定外労働時間(残業時間)は年間 200 時間近くあり、本研究の背景の一つとする。

1. 2.　製造業の今後

表 1 のように世界 GDP シェアにおいて 1990 年には 14.3%であった日本が 2008 年に 8.9%に下がり、世界における日本の経済的地位は低下している。経済産業省は日本の産業の行き詰まりの深刻さに対し、「今後、日本は、何で稼ぎ、雇用していくのか」、を検討する「産業構造ビジョン(仮称)」戦略を打ち立てている。[3)]

機械化する事により製造する際のコストを安くできるが、正社員の雇用の減少により新規の製品開発に携わる専門職の雇用者も減少してしまう可能性がある。

また、エネルギー問題を背景に省エネルギー化が求められる中、機械化を推し進めることによりエネルギー消費が増加するのではないかとも考えられ。

表 1　世界における日本の経済的地位

一人当たりGDPの世界ランキング推移		
2000年	⇒	2008年
3位		23位
世界GDPに占めるシェアの推移		
1990年	⇒	2008年
14.30%		8.90%
IMD国際競争力順位の変遷		
1990年	⇒	2008年
1位		22位

2.　目的

本研究では時間の評価を産業分野に拡張することを目的とし、今回はその中でも製造業の雇用者を対象に時間のマクロな評価が可能か検討する。

また、製造業に対して時間の評価を行うにあたり、機械化による効率化や機械化によるエネルギー消費の関係にも着目する。

3.　研究方法

製造業を対象にして、国民経済年報(平成 22 年版)より 1990 年度から 2009 年度間の労働時間，雇用者数，実質 GDP を用いて雇用者の労働時間の価値を求める。加えて機械化に伴うエネルギー消費と雇用者の労働時間の関係を考察する。

4.　結果

4. 1.　労働の貨幣価値換算

製造業における労働時間における効率の向上について考察するにあたり、“労働する時間” について貨幣換算を式 1 を用いて算出する。

労働の貨幣価値換算＝実質 GDP(円)／労働人口(雇用者数)＊労働時間(時間)　(式 1)

対象として1980年度から2009年度までの、食料品・たばこ製造業、繊維工業、パルプ・紙製造業、化学工業、窯業・土石製品、一次金属、建設業、卸売・小売業の８業種と製造業の平均(2nd ave)をプロットしたものを図２に示す。

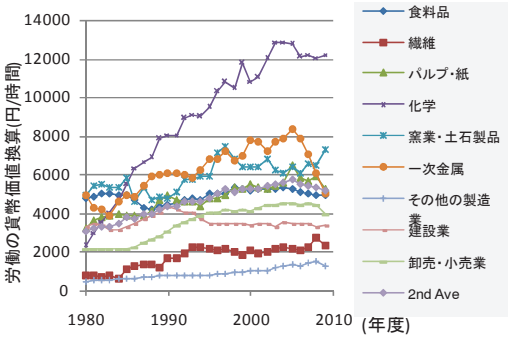


図 2　労働の貨幣価値換算

労働の貨幣価値換算では、各産業の総労働時間から生み出される付加価値が増加していることを示している。製造業全体として機械化を導入したことによって総労働時間を減少させ、付加価値を生み出していると考えられる。

2009 年度で労働の貨幣価値が下がっている産業は2009 年に起きた世界的金融危機を受けたものだと考えられる。8 業種のうち化学工業が最も労働に対する貨幣価値が高く 1998 年度に約 5336 円になっている。化学工業はもともと生産性が高く、2009 年度の出荷額は製造業内の 8.4%を占めている。

4.2.　エネルギーと労働時間の関係

1980 年度から 2009 年度までの最終エネルギー消費と総労働時間の推移を図 3 に示す。

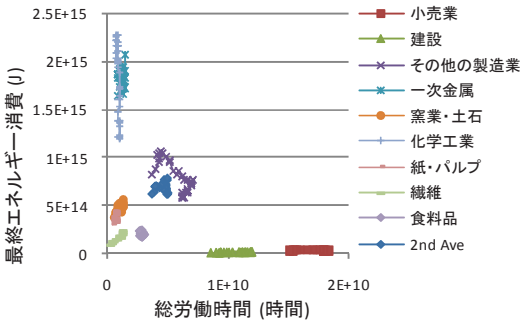


図 3　2009 年度のエネルギーと労働時間の関係

総労働時間を雇用数、エネルギー消費を機械化していると考える。ここでは雇用者が多く、エネルギー消費が少ない業種を時間他消費型業種、雇用者が少なく、エネルギー消費が多い業種をエネルギー多消費型業種とする。

化学工業，一次金属などの素材系分野がエネルギー多消費型産業に分類でき、建設業，小売業(サービス産業)が時間他消費型業種に分類できる。産業全体としてはエネルギー消費が減少傾向にある。

4.3.　エネルギーと労働時間と GDP の関係

1980 年度から 2009 年度のエネルギー消費，労働時間と GDP の関係の推移を図 4 に示す。食料品，繊維工業，紙・パルプ工業，化学工業，窯業・土石，一次金属，建設の 7 業種、製造業の平均(2nd Ave)とサービス産業の参考として卸業・小売業を対象とする。

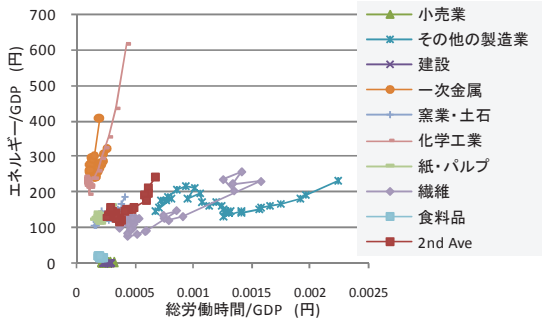


図 4 エネルギーと労働時間と GDP の関係

一 GDP を産出するのに使用する総労働時間を労働の効率として、一 GDP を産出するのに使用するエネルギー消費を機械のエネルギー効率とする。一次金属や化学工業などの素材系分野の業種は雇用が少ないがエネルギー効率がよく GDP を多く必要とする。エネルギー消費も少なく、総労働時間も少ない食料品，建設業や小売業(サービス産業)は機械化の効率化がなされ、労働も効率化されている。

5.　まとめ

製造業の雇用者は機械化に伴ってパートタイマーに置き換わってきているが、省エネルギー化によりさらにパートタイマー化に加速がかかるのではないかと考えられる。

製造業に対してマクロでの時間評価は拡張できたが、関係性について整理までしかできず、統合し評価するに至っていないため今後の課題としたい。

また、日本標準産業分類の中分類項目で行ったため、各産業の中の差異につてまで触れることができなった。

参考文献

1) 塩沢由具「機械化と労働雇用」京都大学経済学会
2)　「前川リポート(全文)」
〈http://www.komazawa-u.ac.jp〉(2012/12/25)
3) 経済産業省「産業構造ビジョン(仮称)」
〈www.meti.go.jp/〉(2012/12/28)

ICT化による効率改善の評価−タブレットPCに着目して−

Evaluation of efficiency improvement by introduction of ICT -Focusing on Tablet PC-

○長妻 大介[*1)]、甲斐 正也[1)]、八木田 浩史[2)]
1)日本工業大学大学院, 2)日本工業大学
ash.d.n.jai.@live.jp

1. はじめに

ビジネスパーソン(実業者、経営者、会社員、事務員)の残業時間は増加傾向にある[1)]。残業時間の増加は可処分時間(自分の裁量で自由に使える時間)の減少に直結している。近年、スマートフォンやポータブルコンピュータ(タブレットPC)といった携帯機器の性能が上がり普及率を急激に高めている。スマートフォンやポータブルコンピュータを職場に導入する企業も増えている[2)]。

2. 目的

本研究ではビジネスパーソンの生活にタブレットPCを導入して生活時間の変化を定量的に考察する(図1)。時間を費用換算した時間の価値からタブレットPC を導入する場合の環境効率を推計する。

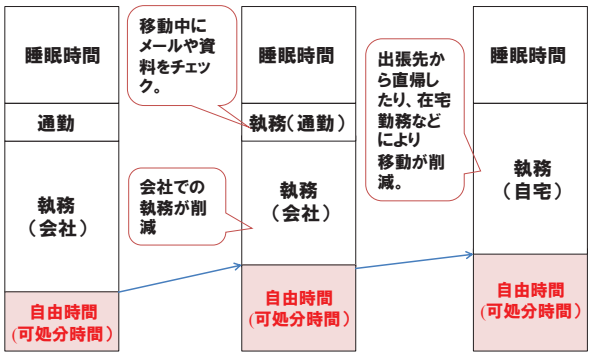


図1　研究イメージ

3. 研究対象

移動手段は東京圏21区間の電車、ビジネスパーソンは業種の限定はしないが、ホワイトカラー(頭脳労働に就いている人)を想定して考察する。

3.1 ケーススタディ

自宅～最寄り駅、降車駅～目的地までの徒歩による時間を除き「電車を(乗り換え含め)30分間利用した」計算する(図2) 。時間の費用換算の方法としては、地域や所得の違いの扱いなど課題はあるが、シチズンのアンケート調査に基づく2,497円/時とした[3)]。

$$\text{タブレットPCの環境効率} = \frac{\text{タブレットPC価値}}{\text{タブレットPCの環境負荷}}$$

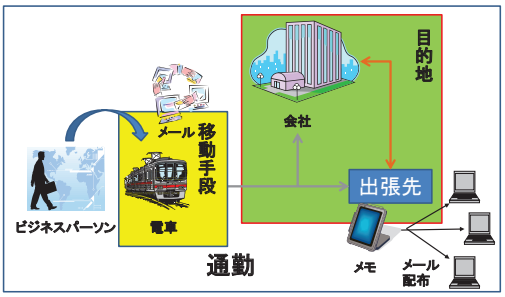


図2　ケースモデル

3.2 ビジネスメールに使う時間

ビジネスパーソンがビジネスメール1通にかける時間を計算したものを示す(表1)。受信時間はイギリスの調査を参考に2分と想定した[4)]。

表1　ビジネスメールの所要時間

	平均作成時間(1通当たり)	平均受信時間(1通当たり)
ビジネスメール	8分	2分

3.3 出張報告

出張報告における作業時間は資料作成に10分、資料のコピーに1分、配布5分を想定した(表2)。

表2　出張時の必要な時間

項目	出張報告
オフィスに帰るために必要な時間	30分
メモを参考にした配布資料作成に必要な時間	10分
配布資料をコピーするために必要な時間(8枚を5セット=40枚)	1分
コピーした資料を配布するために必要な時間	5分
1週間の作業回数	週2回
1年間の作業時間	4416分(73時間36分)

※1年間を12ヶ月、1ヶ月を4週間として計算した。4週間×12ヶ月＝48週間/年

3.4 環境負荷

環境負荷の数値はタブレットPCのライフサイクルにおける環境影響に関するデータがないため構造部品の近いノートパソコンのデータ約27.8kg-CO_2/年/台を代用した[5)]。

3.5　電車の混雑による疲労費用

電車はラッシュアワー時とそれ以外の時間で混雑率に差があるので、疲労を考慮する必要があり、疲労コストを以下の式により算出した[6]。

疲労費用
＝9,826(180－Ti／180－0.807Ci$^{1.112}$Ti)$^{0.1764}$－9,826 (1)
※Ci：駅から０駅までの通勤区間平均混雑率
Ti　：　駅から０駅までの乗車時間
9,826：勤労者半日の所得
180：余暇の平均保有時間
0.807：疲労乗数

3.6　タブレットPCの使用料金

タブレットPCを導入するにあたっての購入費は20,000円、通信費は通勤中のタブレットPC使用からモバイルWi-Fiルーター月額4,000円を想定した。

4.　結果・考察

4.1　ビジネスメールの効果

電車利用時間30分の中で処理可能なビジネスメールの最大値を示す(表3)。通勤中にメールの確認は最大15件、メールの作成なら3件できる。この値はビジネスパーソンの1日のメール確認の約33%、メール作成は27%になるため1日のメールの約1/6が可能である。情報収集は1日の約1/3が消費可能である[7]。電車通勤の中でメールを行うことは年間で259,680円分の時間の価値がある。

表3　通勤時間内で処理可能なビジネスメール数

通勤時間利用結果	メール	
	打つ	読む
通勤中可能数	3通	15通
年間獲得時間利益	259680円	

4.2　出張中にタブレット使用

出張にタブレットPCを導入すると表2のような導入前の作業が無くなり時間を短縮できる(表4)。表2と表4から、タブレットPC導入前後の作業に必要な時間をまとめると導入前が出張報告に4,416分/年(約74時間)であり、導入後は768分/年(約13時間)である。比較すると3,648分/年(約61時間)の差がでる。

表4　タブレットPC導入後の必要な時間

項目	出張報告
メールを作成・送信までに必要な時間	8分
1週間の作業回数	週2回
1年間の作業時間	768分(12時間48分)

4.3　混雑費用

本研究では混雑率を東京圏21区間の平均混雑率171%で計算した(図3)。

平均の混雑率で計算した場合30分で約170円の疲労費用が発生し、年間で40800円/年になる。

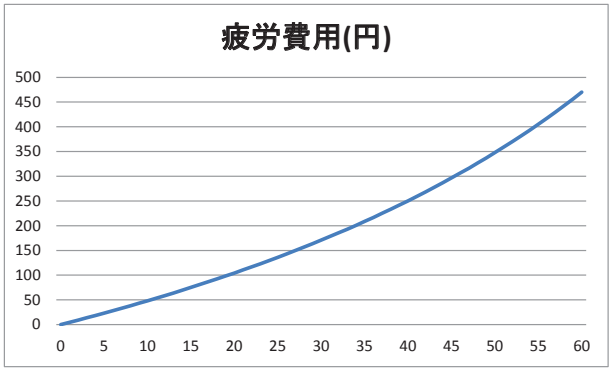


図3　東京圏21区間の平均混雑率による疲労費用

5.　まとめ

タブレットPCをビジネスパーソンの平日の生活に導入すると本研究の条件の場合通勤中にメールをすることで年間218,880円、出張に使うことで年間152,317円の利益が出る。約27.8kg-CO_2/年の負荷に対して年間303,197円の時間の価値を得られる。

6.　おわりに

本研究は、現段階では推測による計算が多く整合性が欠けている。そのため、データを更新しながら環境効率を求めていく必要がある。

参考文献

1)　毎月勤労統計調査(2011/11/16)
http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/05j017.pdf
2)　モバイルソリューション(2012/11/5)
http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Active/20120530/399432/?act02
3)　シチズンホールディングス株式会社: ビジネスマン・0L400人に聞く『私の“可処分時間”』(2012/11/5)
http://www.citizen.co.jp/research/time/19980610/08.html
4)　Email becomes a dangerous distraction(2012/11/5)
http://www.smh.com.au/news/biztech/youve-got-interruptions/2008/09/08/1220857455459.html?page=fullpage
5)　第２章　ＩＣＴ分野におけるＣＯ２排出量及びＣＯ２排出削減効果(2012/12/24)
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ict_globalwarming/pdf/0804_h1_2.pdf
6)　容積率緩和による通勤鉄道混雑への影響(2012/11/5)
http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/05j017.pdf
7)　メールを処理する(2011/11/5)
http://business-mail.jp/data/enqute_04.html

ミクロ交通流シミュレーションを組み込んだ交通施設整備のライフサイクル CO_2 変化の推計

Estimating Change in Life Cycle Carbon Dioxide Emissions from Transportation Infrastructure Development Using Microscopic Traffic Flow Simulation

○眞野新吾*[1)]、加藤博和[1)]、柴原尚希[1)]、工藤希[2)]、伊藤圭[1)]、森本涼子[1)]
Shingo Mano, Hirokazu Kato, Naoki Shibahara, Nozomi Kudo, Kei Ito, Ryoko Morimoto
1) 名古屋大学, 2) 交通安全環境研究所
* smano@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

交通施設整備が環境負荷を削減しうるかどうかの判断を行うためには、整備の内容や、地域の諸状況などに伴って変化する利用を考慮に入れた定量評価を行うことが必要である。その方法として、車両の運行はもとより、インフラ建設や車両新造も含めたシステム全体の環境負荷をライフサイクルにわたって評価することが必要である。また、交通施設は直接利用されるのみならず、競合もしくは補完的な交通施設の利用状況を変化させ、さらに周辺社会にも間接的・波及的な影響を及ぼす。結果としてそれら諸活動に伴う環境負荷も変化することから、評価範囲を施設整備によって施設外において波及的に生じる環境負荷変化分にまで拡張することが妥当であり、これまでも交通施設整備の環境負荷評価へ適用されてきた[1)2)3)]。一方、交通施設整備によるライフサイクル環境負荷変化に大きな影響を及ぼす運行起源の環境負荷推計については、入手できるデータの制約から、日交通量や平均旅行速度といったマクロデータを用いて推計することが広く行われてきた。しかし、局所的に整備される交通施設の場合、信号の影響、道路勾配や車両の混在等に影響を受けるミクロな交通流を把握する必要がある。

そこで本研究では、実際の交通施設整備計画の評価にミクロ交通流シミュレーションを導入し、マクロ推計で扱えなかった車両走行挙動の詳細な変化が環境負荷に及ぼす影響を評価することを目的とする。

2. 評価範囲の設定

本研究では、LRT を評価対象とする。路線バス及び自動車を評価範囲に含める。LRT はインフラ(軌道等の本体構造物、停留所等の付帯構造物)と車両から構成される。これらをシステムとして捉えライフサイクル環境負荷を推計する。一方、従来運行している路線バスについては、インフラ(道路・停留所等)はもともと存在するとして推計に加えず、車両製造・更新及び走行に伴う環境負荷を評価する。

ライフタイムは、LRT・路線バスいずれのシステムも60 年とし、車両は LRT30 年、路線バス 10 年で更新されるとする。また、LRT 整備や路線バス廃止によって交通流の変化する自動車（乗用車・トラック）については、走行起源の環境負荷変化を扱う。環境負荷の種類として CO_2 を取り上げる。評価範囲を図 1 に示す。

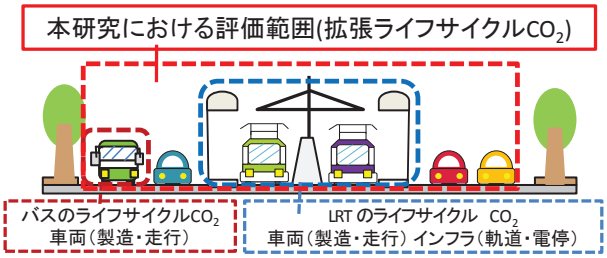


図 1　評価範囲の設定

表 1　LRT・路線バスの CO_2 排出原単位

システム	構成要素	段階	排出原単位
LRT	車両	a)製造[t-CO_2/編成]	39.3[4)]
	インフラ	b)軌道[t-CO_2/km]	1,070[2)]
		c)電停[t-CO_2/箇所]	14.4[2)]
		d)維持補修[t-CO_2/年]	4[2)]
路線バス	車両	e)製造[t-CO_2/台]	36.4[4)]

3. CO_2 排出量推計方法

3.1 車両製造およびインフラ建設・維持段階の推計方法

LRT・路線バスの各システムについては、車両製造・インフラ(LRT のみ)それぞれの CO_2 排出量を求める。車両製造については著者らの先行研究[4)]による推計値を用いる。また LRT のインフラ建設は軌道と電停に大別し、それぞれ先行研究[2)]で整備した原単位を用いる。LRT のインフラ維持補修は毎年行うとし、レール交換は 20 年に 1 度と仮定する。表 1 にこれらの推計設定値をまとめる。

3.2 車両走行段階の推計方法

本研究では(独)交通安全環境研究所が開発した都市交通シミュレータ[5)]を用いて現行の路線バスや自動車および新設 LRT の車両走行の CO_2 排出量を求める。シミュレータの概要を表 2 に示す。このシミュレータは車両間の追従挙動モデルに基づいたミクロ交通シミュレーション

となっており、車両 1 台毎に 0.5sec 毎の位置データを得られるため、加減速や停止(アイドリング)といった走行モードを再現することができる。走行状況は、国土交通省による平成17年度の一般道路交通量調査データに基づき、シミュレーション区間における各交差点の直進右左折交通量を用いて再現されている。シミュレーション設定条件を表 3 に示す。各車からの CO_2 排出量は普通ガソリン自動車と大型・バスディーゼル自動車別に瞬時燃料消費量を計算し、環境省が定める CO_2 排出係数を乗じて算出される [6]。

4. ケーススタディにおける推計

4.1 ケーススタディの概要

評価対象とするLRT導入計画の概要を表4に示す。LRTの導入により、従来同じ区間・ルートを運行している路線バスは廃止され、利用者はLRT利用に転換するとする。なお専用軌道の敷設に伴って車線は減少するものとし、また並行道路を走る自動車交通からの転換は考慮しないものとする。

4.2 ミクロ交通流シミュレーションを用いた推計結果

図3にライフサイクルCO_2推計結果をこれまでLCAで主に用いられてきた簡略推計法(平均旅行速度法・燃費法)による結果と合わせて示す。なお、簡略推計法では平均旅行速度 v を交通工学における基本公式である $q=k \cdot v$ 式 (q：交通量、k：交通密度)より算出し、土肥ら [7]によるガソリン乗用車の燃料消費率式により求める。また、LRTの走行については表 4 に示した表定速度における車両走行距離あたり電力消費量 1.5[kWh /編成 km]を用いる。推計の結果、簡略推計法では、CO_2 排出量が LRT 導入によって 242[kt-CO_2/60 年]減少する一方で、ミクロ交通流シミュレーションでは 73[kt-CO_2/60 年]増加するという結果が得られた。

5. まとめ

本研究では、LRT 整備事業を対象に環境負荷変化をライフサイクルで評価するにあたり、ライフステージのうち走行段階について環境負荷が大きな割合を占める推計に、ミクロ交通流シミュレーションを適用することで、自動車や LRT のエンジン挙動(加減速や停止など)を考慮した環境負荷評価を行う推計手法を開発した。その結果、簡略推計法ではLRT導入によってCO_2削減されるという結果が得られる一方で、ミクロ交通流シミュレーションによる推計では逆に増加するという結果が得られた。これは、シミュレーションでは車線減がもたらした自動車の渋滞による CO_2 排出量増加等が考慮できていることによるものであり、従来の簡略推計法が交通流変化を過小に評価していることが示唆される。

表２　都市交通シミュレータの概要 [5]

	機能	設定するパラメータ
道路	交差点ノードとするネットワークを構成	シミュレーション対象領域
信号	信号に従った自動車交通の再現	サイクル長 オフセット 青矢現示にも対応
自動車	1台ずつルートを想定して走行 前方を走る自動車の速度に応じた走行 同方向多車線にも対応 旅行時間・燃費・環境負荷等の計算	発生点から消滅点までの交通OD表 車間距離 車線数 大型・小型車に分けてパラメータを設定
他交通	LRTと同時走行 バスの同時走行	路線及び車両パラメータ 路線、時刻表、バス停

表３　シミュレーション設定条件

LRT路線	三方原本線（JR浜松駅～都田テクノ北）
ODデータ	平成17年度道路交通センサス 主要交差点の交通流調査
交通信号	LRTに対してはPTPSを適用
計算時間	1h（ラッシュ時間帯を想定）

表４　評価対象とするLRT計画と現行バス路線

	路線バス（現行）	LRT（計画）
車両重量[t/両（編成）]	10.7	25
運行本数[本/日]	450	320
表定速度[km/h]	10.2	16.8
停留所数[箇所]	50	36
路線延長[km]	14.5	14.5
輸送量[人/日]	27,000	27,000
車両数	15[台]	20[編成]
定員[人]	80	150

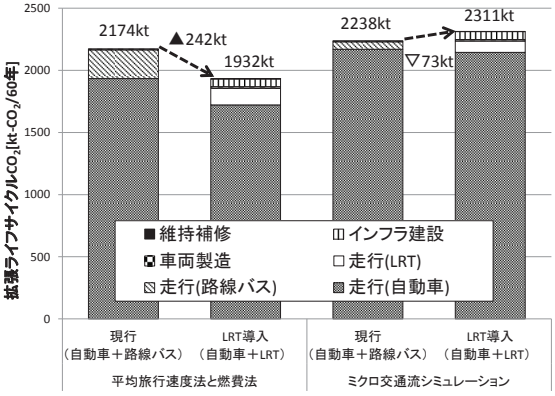


図３　ライフサイクルCO_2推計結果の一例

参考文献

1) 加藤博和：IATSS Review, 26(3), (2001), pp.55-62
2) 渡辺由紀子ほか：日本 LCA 学会誌, 2(3), (2006), pp.246-254
3) 森本涼子ほか：日本 LCA 学会誌, 7(4), (2011), pp.329-338
4) 森本涼子ほか：第 16 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 9(65), (2009), pp.385-388
5) 工藤希ほか：土木計画学研究・講演集 44, (2011), CD-ROM
6) 水嶋教文ほか：土木計画学研究・講演集 46, (2012), CD-ROM
7) 土肥学ほか：国総研資料, 671, (2012), pp.258-264

デマンド交通システム(DRT)の環境影響と満足度の評価

ー埼玉県ときがわ町、鳩山町の事例ー

Environmental impacts and customer satisfaction of demand responsive transport system; Case of Tokigawa town and Hatoyama town

○三浦遼*[1)]、栗島英明[1)]
Ryo Miura、　Hideaki Kurishima
1)　芝浦工業大学
* f09100@shibaura-it.ac.jp

1.　はじめに

公共交通機関は環境負荷の小さい交通機関と考えられる一方で、路線バスや鉄道などの公共交通機関の利用者が減少しており、廃線や運行本数の減少などが起きている。その結果、自家用車の利用の増加による移動・輸送に伴う環境負荷の増加が懸念されているほか、交通空白地域が生まれたことで子どもや高齢者などの交通弱者の移動に支障をきたしている。

このような問題に対応するため、交通弱者と環境対策を踏まえた「新しい交通機関」であるデマンド交通システム(DRT)の導入が各地で検討されている。DRT とは、電話やインターネットなどの通信技術を用いて利用者からの要望を把握し、停留所に呼び寄せたり、停留所以外でも乗り降りができる交通システムである。

本研究では、DRT についての既存研究[1]では十分に考慮されていなかったDRT の環境影響と満足度を定量的に評価し，既存交通(路線バス，乗用車)との比較検討を行った。

2.　研究方法

図 1 に、研究フローを示す。



図１　研究フロー

2-1.評価対象システム

本研究では、町内に鉄道駅が皆無であり、交通空白地域が存在する埼玉県比企郡ときがわ町と鳩山町を対象とした。ときがわ町の DRT は、一般路線バスの一部の便をデマンド便とし予約に応じて運転する路線型という運行体系である。鳩山町の DRT は、町内各地を巡回する町内便と、町内から埼玉医大へ向かう医大便の 2 つの運行タイプが運転されている。町内であれば乗降場所に制限がないフルデマンドという運行体系である。

2-2.環境影響の評価方法

環境負荷の推定は、自動車(バス)の製造段階、走行段階、廃棄段階の 3 段階が考えられるが、廃棄段階での環境負荷は、既存研究[2]より微小であることが明らかなため、車両の製造と走行の 2 段階を対象とした。また、DRT は予約システムや配車問題の処理のために、管理サーバーやパソコンを使用するため、それらの環境負荷についても考慮した。評価物質は、CO_2、SOx、NOx、PM の 4 つとし、JLCA データベースや LCA ソフトウェア MiLCA などの既存のデータベースを用いて排出量を推定した。また、日本版被害算定型影響評価手法 LIME2 を用いてインパクト評価を行った。

2-3.満足度の評価方法

満足度は、既存研究[3][4]を踏まえ、時間帯、運行本数、乗車地点までの距離、予約の有無、費用の 5 つの項目で構成される以下のモデルで評価した。

$$V = \sum_{d=1}^{2} \beta_{TI}\, TI_d + \sum_{d=1}^{4} \beta_{FR}\, FR_d + \sum_{d=1}^{4} \beta_{DI}\, DI_d + \sum_{d=1}^{2} \beta_{RE}\, RE_d + \sum_{d=1}^{2} \beta_{CO}\, CO_d$$

ここで、V:満足度、β:各項目の重み、TI:利用時間帯、FR:運行本数、DI:乗車地点までの距離、RE:予約の有無、CO:費用である。β は、選択型実験のアンケート調査を行い、その結果をコンジョイント分析（条件付きロジットモデル）により推定した。ただし、住民に対する調査ができなかったため、アンケート調査は芝浦工業大学の学生 140 名を対象に行った。表 1 にコンジョイント分析の各属性と水準を示した。

表１　コンジョイント分析の属性と水準

	利用できる時間帯	運行本数（1時間あたり）	乗車地点までの距離	予約の有無	費用（1kmあたり）
水準1	制限なし	1本	0m	必要あり	10円
水準2	制限あり	2本	50m	必要なし	20円
水準3		5本	100m		30円
水準4		いつでも	250m		40円
水準5			500m		50円

3. 結果

3-1.環境負荷の測定結果

図2にときがわ町の CO_2 排出量、図3に鳩山町の CO_2 排出量の推定結果を示す。

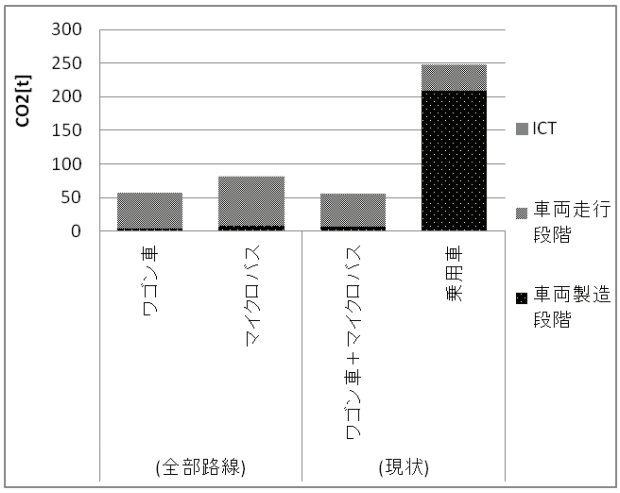


図２　ときがわ町の CO2 排出量の比較

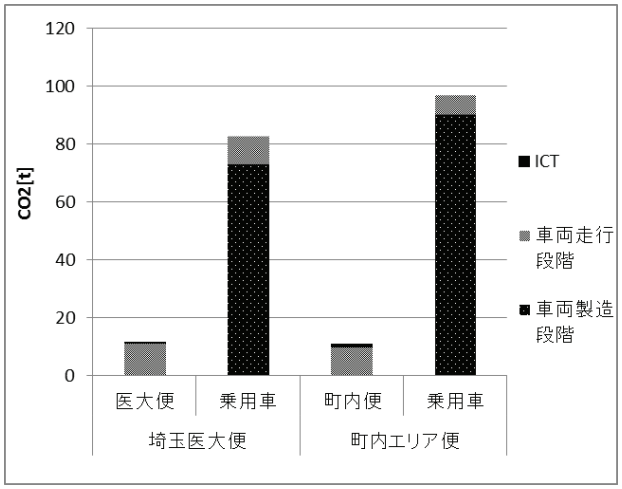


図３　鳩山町の CO2 排出量の比較

いずれもDRTを含めた現状システムが既存の交通機関の排出量を下回る結果となった。また、配車効率を上げる ICT 部分の排出量は全体の 5～11%であった。なお、DRT はニーズによる運行のために空バスが少なく、環境負荷も小さいことが予想されたが、ときがわ町の場合、下りのみの利用が多かった（上りは路線バスを利用）ため、結局は回送のために空バスを走らせることとなってしまい、大きく削減されなかった。

さらに、乗用車の CO_2 排出量が非常に多いのは、公共交通が廃止された場合の乗用車の増加数が不明であるため、DRT 利用者 1 人に対して、乗用車を 1 台製造するという仮定で計算を行ったためである。もちろんこの仮定は、現実性に欠けており、過大推計である。そこで、乗用車とDRTを含めた現状システムの CO_2 排出量が一致する場合の乗用車の製造台数を求めたところ、ときがわ町では33台、鳩山町の医大便では13台、町内便では19台であった。公共交通が廃止されれば、これ以上の乗用車の増加は起こりうるため，現状システムの負荷は乗用車のみと比べて小さいといえる。

3-2.満足度調査の結果

コンジョイント分析によって推定された各属性の β を表 2 に、その結果を受けて満足度モデル式で求められた DRT および既存交通機関の満足度を表 3 に示す。

表２　β の測定結果

項目	内訳	β	項目	内訳	β	項目	内訳	β
時間帯	制限あり	0.000	距離	0m	0.823	費用	10円/km	1.822
	制限なし	0.629		100m	0.482		20円/km	1.135
運行本数	1本	0.000		250m	0.171		30円/km	0.650
	2本	0.543		500m	0.000		40円/km	0.040
	5本	1.689	予約	必要あり	0.000		50円/km	0.000
	いつでも	1.757		必要なし	1.348			

表３　DRT と既存交通機関の満足度

交通機関		満足度	交通機関		満足度
ときがわ	DRT（と03系統）	2.47	鳩山	DRT(医大便)	0.97
	路線（と03系統）	1.12		DRT(町内便)	4.24
	DRT（と04系統）	2.35	乗用車		4.89
	路線（と04系統）	1.01			

ときがわ町の路線バスと DRT は、いずれも乗用車より低い満足度となった一方で、最も自由度の高いフルデマンドタイプの DRT である鳩山町の町内便は、乗用車に近い満足度が算出された。また、予約の有無に関しての β 値が 1.348 と大きく、DRT を利用するうえで必須である予約という行為が利用者にとって大きな壁になっていることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、DRT の環境影響と満足度を定量的に評価し、既存交通との比較を行った。その結果、DRT を含む現状システムによる環境負荷が既存交通より小さい一方で、満足度は乗用車より低かった。自由度の低い公共交通機関の満足度の低さは仕方がない部分もあるが、DRT に必須の予約が満足度を大きく下げる結果となった。ときがわ町でも予約が利用の障害になっていることが指摘されており、この点の改善が必要であろう。ただし、DRT の予約システムには、ICT が深く関わっており、その環境負荷は小さいことも今回の結果から明らかになっている。今後は ICT によって予約の手間や配車問題が改善され、環境負荷の面でも満足度の面でも優れたシステムとすることが望まれる。

参考文献

[1] 坪内孝太, 大和裕幸, 稗方和夫：季刊「運輸政策研究, 10（39）,（2008）, pp.11-20.
[2] 渡辺由紀子, 長田基広, 加藤博和：日本 LCA 学会誌, 2（3）,（2006）, pp.246-254
[3] 中野宏幸：季刊「運輸政策研究」, 8（28）,（2005）, pp.22-30
[4] 交通環境部消費者行政・情報課：WEBComPASS, 国土交通省中国運輸局,（オンライン）, 入手先＜http://web-compass.jp/＞,（参照 2012-11-7）

電気自動車の導入評価のためのコンシクエンシャルLCAモデルの統合的利用

Integrated use of consequential LCA models for evaluating introduction scenarios of electric vehicles: direct emission reduction, power supply structure, and fuel production

Ning-Yi, WU*,1) and Yasuhiro FUKUSHIMA1)
1) National Cheng Kung University
*ninginthehouse@hotmail.com

1. Introduction

Electric vehicle (EV) is promoted in Taiwan as to transform its economic structure and mitigate environmental load of transportation.[1] In addition, it is considered as one of the key factors in the future grid system by adding demand-response and load-balancing capability, the two critical characteristics to accommodate distributed power suppliers. In this study, an integrated evaluation of EV's contribution in reduction of environmental impacts considering advantages abovementioned is demonstrated using EV's introduction in 2020 as example.

2. Methodology

Introducing EV would change the emissions by changing source of energy in transportation and power supply. Hence, the model is designed as Fig. 1 to integratedly assess emissions from different sectors. The emission changed by consumption of electricity and reducing demand of petroleum would be evaluated by using consequential material flow model (COM)[2] and power mix optimization model (POM), respectively. Electricity storage function equipped on EV can be used to balance the load of the grid, behavior of which is simulated by using smoothing model. Finally, the integrated models are used for scenario evaluation.

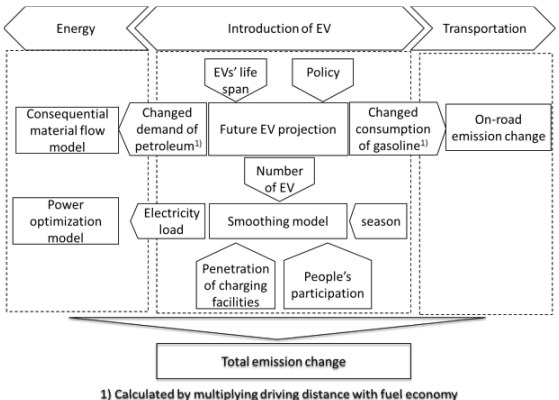


Figure 1 Framework of the study

2.1 Smoothing model

In Taiwan, the hourly power demand pattern has its peak in around the noon and valley at night. By scheduling EV's charging time, the pattern may be leveled and thus increase the efficiency of power generation. To examine the leveling potential, the model is designed to minimize the standard deviation of hourly electricity load which is shown in equation 1.

$$\min \sigma = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{24}} \qquad \text{eqn.1}$$

2.2 Scenario design

To examine EV's leveling effect, understandings on people's behavior, penetration of charging facilities and driving profile are needed. For the driving profile, it is assumed according to the statistics done by automotive research and testing center of Taiwan[3]. The scenarios are designed as Fig. 2. Take C1M1P1 for example, the scenario would be that charging facility is completely equipped and people are fully participating in the scheduling. People's driving behavior would be changed with season and their willingness to participate. In different season, the destination as well as commuting time of EV may differ. Detailed description of people's behavior changed with season is shown in Table 1. As for charging facilities, their capacity in different location and penetration are considered[4].

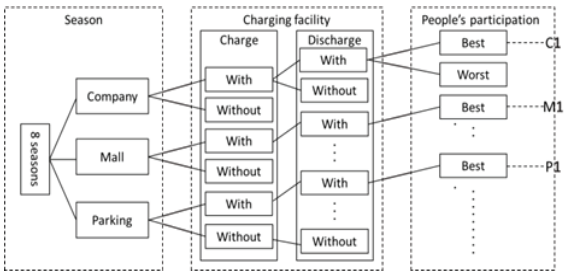


Figure 2 Scenario design

Table 1 People's behavior in using EV

	Mall	Company	Road-side parking
Commuting time	10:00-11:00 19:00-20:00	08:00-09:00 17:00-18:00	10:00-11:00 19:00-20:00
Distribution of EV in different season			
Weekday	50%	25%	25%
Weekend	25%	25%	50%
Chinese new year	50%	0	50%

3. Result

Figure 3 shows an example of how EV's state of charge (SOC) changes within a day in a selected season. With charging scheduling, EV would be recharged at night; thus fill the valley and discharge electricity to the grid in daytime shaving the peak. Figure 4 demonstrates the result of smoothing model using three extreme scenarios which are with/without charging facilities and original pattern in 2020 of which the projected EV number is 395,000. For the scenario without charging facilities, the charging of EV is assumed to be only at home. Due to different commuting time and charging location the pattern differs from season to season. It is shown that the smoothing effect would only be achieved by enough charging facilities. Figure 5 shows the result of POM which calculates the annual distribution of electricity generation to each generator by optimizing the cost. Although the introduction of EV brings extra load to the grid, it reduces the electricity generation of oil-fired power plant (which increases its use in daytime) by peak shaving. As a result, the total emission change by introduction of EV is shown in Fig. 6.

4. Discussion and conclusion

In this paper, the emission change by EV introduction from less burning of gasoline and extra load to the grid is calculated. The importance of charging facilities is also examined here and it shows that only with enough penetration of charging facility, would EV introduction reduce the CO_2 emission.

Changing vehicle energy source from gasoline into electricity would not only change on-road emission but also the emission from petrochemical industry. This part of change in emission will be further elaborated on in the future study using COM[2]. Additionally, more scenarios will be designed by considering EV's role in incorporating distributed power suppliers and more detailed driving pattern.

References

(1) The Promotion Strategy and Action Plan of Electric Vehicle, Government document, Ministry of Economic Affairs, R.O.C., 2010, p.1-11

(2) Chuang, P.-C. Master thesis, National Chen Kung University, 2012

(3) Li, Yi-Ching, The 17th National Conference on Vehicle Engineering, 2012

(4) T.S. Chen, C.J. Liao, Company report, Taipower, 2010, p.81-86

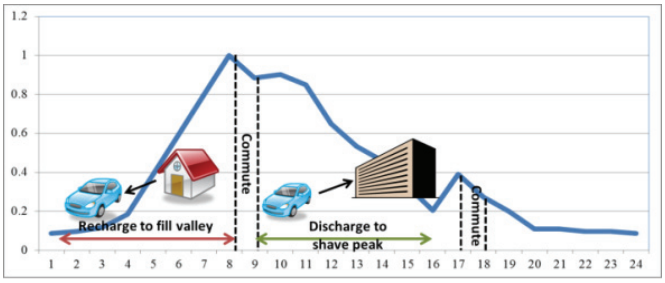


Figure 3 EV's daily schedule

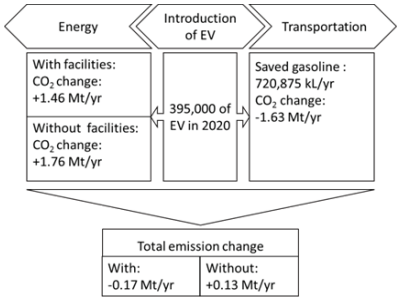


Figure 6 Total change of emission

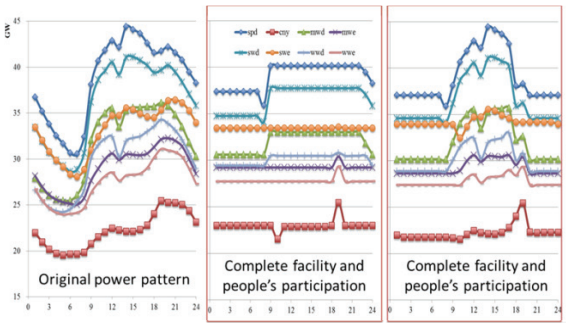


Figure 4 Smoothing effects of 3 scenarios

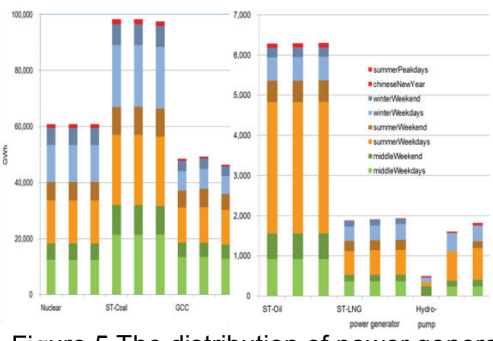


Figure 5 The distribution of power generation

国レベルでの旅客交通ネットワークのライフサイクル CO_2 推計：インドにおける高速鉄道と航空の比較

Estimation of Life Cycle Carbon Dioxide from Nation-wide Passenger Transport Networks : Comparing High Speed Railway and Aviation in India

○中山潤也*[1)]、加藤博和[1)]、柴原尚希[1)]、伊藤圭[1)]、竹下博之[2)]
Junya Nakayama, Hirokazu Kato, Naoki Shibahara, Kei Ito, Hiroyuki Takeshita
1) 名古屋大学, 2) 運輸政策研究機構
*jnaka@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

アジア発展途上国においては近年、都市間での自動車・航空輸送量の急増が顕著である。これらの交通機関は単位輸送量あたりの CO_2 排出量が大きいため、輸送量増加はエネルギー消費量、CO_2 排出量の増加に直結する。一方、鉄道は自動車や航空に比べて輸送量単位のエネルギー消費量・温室効果ガス排出量が少ないことが知られている。そのため、省エネルギーでかつ低炭素な交通手段として高速鉄道の導入を検討する国が増加している[1)]。その一例として、インドでは近年、年間 8～9%の経済成長が続いているが、それに伴い、自動車・航空需要が大幅に増加している。それらの需要を鉄道へ転換させるため、既存路線の抜本的改革に加え高速鉄道導入を盛り込んだ施策である「Indian Railway Vision 2020」（以下 Vision 2020）を発表している[2)]。

しかしながら、高速鉄道導入によって CO_2 が無条件に削減されると考えるのは早計である。今後新たに鉄道整備が行われる区間については、インフラを建設することにより莫大なエネルギー消費・CO_2 排出が生じる。また、実際に運行を始めても、利用者が少なければ輸送量あたり CO_2 排出量が多くなり、削減効果も期待できなくなる。高速鉄道を新設する場合にはこれらの要因を含めて考慮しなければならない。

そこで本研究では、Vision 2020 で計画されている路線を対象として、鉄道・航空から発生する CO_2 排出量を LCA によって評価する。

2. 「Indian Railway Vision 2020」の概要

Vision 2020 はインド国鉄道省によって策定された、2020 年を目標年次とする鉄道改善計画である。計画の主な内容として、既存路線の運行システムの改良・輸送力拡大、電化の促進に加え、高速鉄道の導入が盛り込まれている。図 1 に Vision 2020 で計画された路線を示す。



図 1　計画路線図

3. LC-CO_2 推計方法

高速鉄道と航空、それぞれの LC-CO_2 排出量を推計する。本研究では CO_2 排出原単位として、日本国内で推計された値を適用する。

3.1 高速鉄道

高速鉄道は、インフラ建設、車両製造・メンテナンス、運行からの CO_2 排出量を評価対象とする。各計画区間のルートは、並行する既存鉄道路線に沿うものと考える。

3.1.1 インフラ建設

インフラ建設に伴う CO_2 排出量は軌道、駅からのものを扱う。

① 軌道

文献[3)]より、新設する軌道インフラとして高架橋、トンネル、土構造の 3 種を対象とする。インドでは既存路線の多くが平野部を通っていることを考慮し、路線延長に対する 3 種の比率をそれぞれ 2:1:7 と仮定する。各路線構造の CO_2 排出原単位を表 1 に示す。

② 駅施設

文献[4)]より、駅の建設に係る CO_2 排出原単位は 335,395[t-CO_2/駅]とする。駅数は「Indian Railway Vision 2020」で計画された駅数とする。

3.1.2　車両製造・メンテナンス

文献[4]より、CO_2 排出原単位を 150[t-CO_2/両]、メンテナンスは 95[t-CO_2/両]とする。車両のライフタイムは 20 年と仮定する。

3.1.3　運行

使用車両として、日本の新幹線に用いられている 700 系を想定し、座席数 1,323[席]、表定速度 225[km/h]、1 日あたりの走行時間を 15[h]、乗車率を 50%とする。文献[5]より運行起源CO_2排出原単位は 12.25[kg-CO_2/km]とする。なお、このシミュレーションは電力消費量を用いているため、インドの発電効率は日本の 0.41 である[6]ことを考慮する。

3.2 航空

航空は既存の空港を利用すると考え、運航部分の排出量のみを算出する。IPCC ガイドラインで推奨されている巡航部分と離着陸 (LTO) 部分に分けて計算を行う。

機体は現在インドで最も多く使用されている Airbus A320 とする。LTO 部分は離着陸時に発生する CO_2 排出量で 2.68[t-CO_2/LTO]を用いる。飛行起源 CO_2 排出原単位については、既報[7]の航続距離に応じた CO_2 排出原単位を用いる (式(1))。航続距離 R から燃料消費量 W_f を算出し、ジェット燃料の CO_2 換算係数を乗じて CO_2 排出量を計算する。

$$R = \frac{V}{C} \cdot \frac{L}{D} \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_f}\right) \qquad (1)$$

R：航続距離、V：巡航速度（578[km/h]）、C：燃料消費率（0.75）、L/D：揚抗比（18）、W：最大積載重量（77[t]）

4.　LC-CO_2 算出結果

高速鉄道、航空の人 km あたりの LC-CO_2 排出量と輸送密度[人/日]との関係を図 2 に示す。高速鉄道は輸送密度が低い場合、人 km あたりに配分されるインフラ建設時の CO_2 排出量が大きくなる。航空ではインフラを考慮していないため一定となる。輸送密度が 8,000[人/日]を超える需要が見込めるとき、高速鉄道は航空よりも環境的に優位となる。

5.　まとめ

首都 New Delhi と Patna 間では、既存鉄道路線の旅客需要は 5,500[人/日](2011 年実績)である。これらの需要を高速旅客システムで担うことを考える場合、高速鉄道を新設するよりも航空に転換した方が優位と言える。

ただし、2020 年に運行開始し、年率 1%で需要が増加していくと仮定した場合でも、2048 年には輸送密度は 8,000[人/日]に達する。また、高速鉄道はネットワークとして発達することで、より大きな需要が発生すると考えられる。そのため、将来の需要増加をネットワーク全体で考慮した上で、排出量を評価する必要性が示唆される。

表１　インフラ建設の CO_2 排出原単位

構造物種別	CO_2 排出原単位[t-CO_2/km]
高架橋	7,550
トンネル	4,160
土構造	2,020

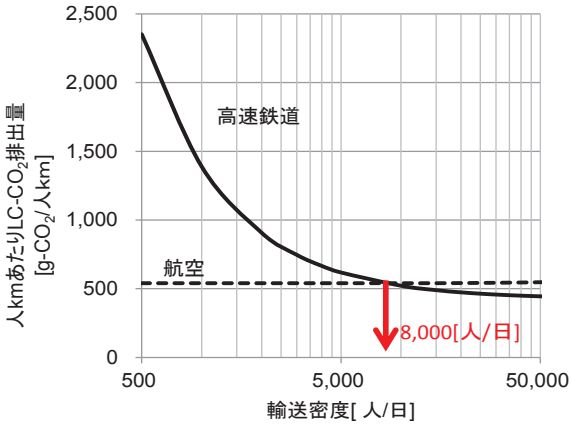


図２　輸送密度と人 km あたり LC-CO_2 排出量

参考文献

1) 竹下博之：土木計画学研究講演集，Vol.45，(2012)，CD-ROM
2) Government of India Ministry of Railway：Indian Railway Vision 2020，(2009)
3) 行澤義弘，毛利誠信，山田孝弘，佐藤豊：鉄道総研報告，Vol.16，No.10，(2002)，pp.7-12
4) 相原直樹，辻村太郎：鉄道総研報告，Vol.16，No.10，(2002)，pp.13-18
5) 福田典子，渡邉朝紀：鉄道総研報告，Vol.16，No.10，(2002)，pp.19-22
6) 電気事業連合会：h-3 電気事業からの CO_2 排出量，電気事業連合会，(オンライン)，入手先<http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/info_h.pdf>，（参照　2012-12-20）
7) 柴原尚希，加藤博和，林良嗣：日本 LCA 学会誌，Vol.5　No.1，(2009)，pp.40-46

鶏肉を用いた長期常温貯蔵食品のライフサイクルCO2

Life Cycle CO2 of Processed Foods of Chicken, which can be Stored for Long Periods at Room Temperature

○伊藤るり[1)]，久保田宙幸[1)]，濱田(佐藤)奈保子[1)]
Ruri Ito, Hiroyuki Kubota, Naoko Hamada-Sato
1) 東京海洋大学大学院
*hsnaoko@kaiyodai.ac.jp

1. はじめに

持続的発展可能な社会の構築のためには，顕在化している地球を取り巻く地球温暖化や酸性雨などの環境問題は早急に解決しなければならない喫緊の課題である．とりわけ地球温暖化の要因であるCO2低減については関心が高く，注目が集まっている．

CO2に関する指標としてカーボンフットプリント（「Carbon Footprint」，以後CFP）がある．CFPは日用品や食品など，製品のライフサイクル全般にわたって排出されるCO2量をLCAの評価手法を用いて評価・算出・表示する仕組みである．事業者にとって，CFPを製品に表示することは，温暖化対策を消費者にアピールするための有効な環境コミュニケーション手法となる．また，環境負荷を参考に商品選択をすることによって，消費者が自身の環境負荷を自覚し，環境負荷の少ない消費行動(持続可能な消費行動)を選択することができる．これは環境意識の高い事業者を選別することにつながり，社会全体として環境負荷低減に向けた誘導効果が期待できる．

東日本大震災以来，常温で長期間貯蔵できる食品に注目が集まっている．本研究では，鶏肉を用いた長期常温貯蔵可能な食品を対象として，主に製造過程におけるCO2排出量および環境負荷を求めた.対象とする食品は，当研究室で開発した通電加熱を用いた無菌充填包装食品と長期常温貯蔵食品の代表格である缶詰食品およびレトルトパウチ食品とを比較，検討した．鶏肉は世界中で需要が高い畜肉である．また食用の鶏は飼育期間が短く，供給過多による飼育期間の延長はコストの増大につながるため，鳥インフルエンザ以来鶏肉の常温貯蔵食品の開発に取り組んでいる農協もある．

長期常温貯蔵可能な食品の LCA 評価に関する研究については，サバ缶詰のライフサイクル CO2（以下 LC-CO2）の試算（安藤，2011)がある．これによると．サバ缶詰の LC-CO2 では，生産段階の CO2 排出割合が 55.5%に達し，最も多い結果となった．工程別では，漁獲工程が 28.2%を占め，その中でも漁船の燃料使用のみで 24.3%に達した．次いで，金属加工工程が 22.6%を占めた．これらの試算結果から，LC-CO2 の削減には，ライフサイクルを通じての省エネルギーの推進，空き缶のリサイクルの推進および低環境負荷の電力導入等の対策が必要であると報告されている．

2. 方法

2.1 評価対象

長期常温貯蔵可能な食品の製造法の現在の主流はレトルト加熱である．レトルト加熱とは，熱水，蒸気を熱媒体として用いた外部加熱である．また，食品の包装形態としては，固形食品では缶詰食品，カレールーなどの液体状の食品ではレトルトパウチ食品が主流である． 最近，当研究室において，常温で長期間貯蔵できる食品の製造・加工技術として，通電加熱と無菌充填包装を組み合わせた新規加工技術が開発された（横山他，2010）．缶詰食品とレトルトパウチ食品はいずれもレトルト加熱処理をされている食品であり，包装後に加熱されている．一方，通電加熱と無菌充填包装を組み合わせた新規加工技術では通電加熱処理後に無菌的に包装した．加熱の熱効率が優れており，温度の上昇が速い通電加熱を用いることにより品質の良い食品を製造できることが魚肉および鶏肉を対象とした場合に実証されている（横山他，2010 &伊藤他，2011）．

本研究では，固形食品である鶏肉を試料として，これらの通電加熱を用いた無菌充填包装食品，レトルトパウチ食品，缶詰食品の鶏肉 1 kg 当たりの CO2 換算量を求めた．

2.2 算定範囲

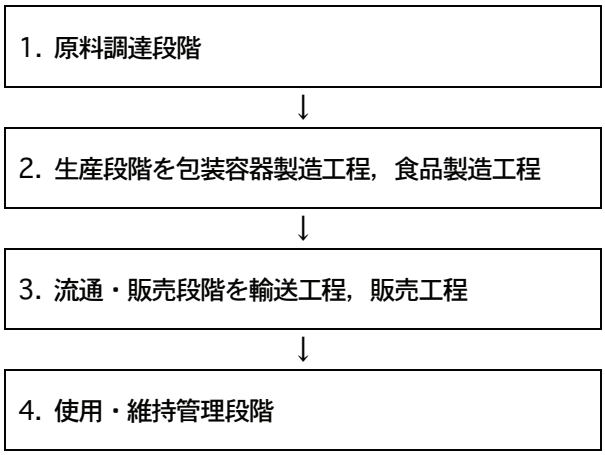


図1 ライフサイクルフロー図

算定範囲は，1. 原料調達段階，2. 生産段階を包装容器

製造工程，食品製造工程，3. 流通・販売段階を輸送工程，販売工程，4. 使用・維持管理段階，とし，全体で4 段階6 工程とした．

なお本研究では，3. 使用・維持管理段階については比較を行っている食品間の差が少ないこと，4. 使用・維持管理段階については，常温での貯蔵を想定していること等の理由から検討していない．

2.3 機能単位

機能単位は，1 kgの鶏肉の無菌充填包装食品，レトルトパウチ食品および缶詰食品とした．容器の重さを含めず，鶏肉が1 kgになるように統一した．また，一包装あたり鶏肉70 gとした．無菌充填包装食品，レトルトパウチ食品は6 gのパウチと70 gの鶏肉，缶詰食品には缶胴の鉄と缶蓋のアルミを合わせて26.95 g の金属と70 g の鶏肉が用いられている．

2.4 評価手法

フォアグランドデータには，主として実際に食品を生産した際の使用した素材の必要量，使用した電力量の実測値の平均を用いた．

バックグラウンドデータの取得には，産業環境管理協会が開発したLCAソフトウェア「MiLCA（みるか）」を用いた．

3. 結果

3.1 原料調達

原料はブロイラーとした．データとしては解体肉を含むブロイラー加工品のデータを用いた．1 kgのブロイラー当り，2.94 kg-CO2eの環境負荷であった．1 kgのブロイラー加工品あたりに1.67 kgのブロイラーが必要であるとした．

3.2 包装容器製造工程

無菌充填包装食品およびレトルトパウチ食品に用いたプラスチック製のパウチは鶏肉 1 kg 当り 0.402 kg-CO2e の環境負荷であった．缶詰食品は 1.15 kg-CO2e であった．

3.3 食品製造工程

無菌充填包装食品の加熱工程においては 1 試料あたりの電気量は 0.012 wh であった．また，製造工程で使用するクリーンベンチの電気料は 1 試料あたり 1.25 wh であった．1 試料 70 g であるため，0.021wh – 1kg であった．この値を含めて算出すると，加熱，食品製造工程における CO2 換算量は，0.108 kg-CO2e であった．なお，缶詰食品の CO2 換算量はMiLCA のサバの缶詰およびマグロの缶詰のデータを参考とした．缶詰食品とレトルトパウチ食品はいずれも 0.46 kg-CO2e であった．

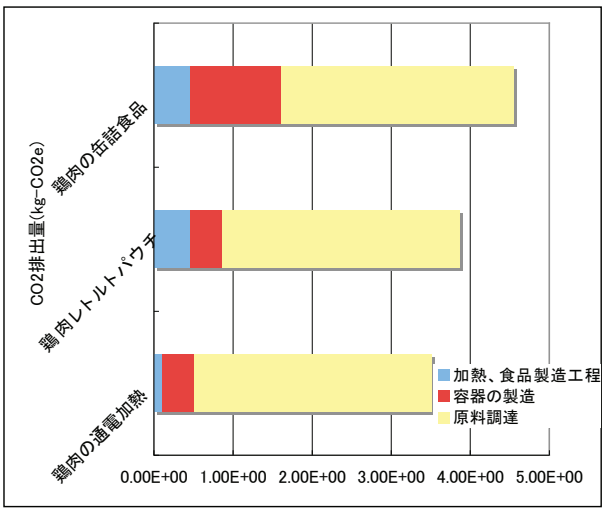


図 2 各段階における CO2 排出量

4. おわりに

本研究で対象とした製造過程の異なるいずれの食品にでも CO2 排出量における原料調達段階の占める割合が最も多かった．すなわち，ブロイラーの生産にかかる CO2 排出量を削減することにより，CO2 排出量の多くの削減が可能であると考えられた．

固形で常温貯蔵できる食品として一般的な缶詰食品では原料調達段階に次いで容器の製造段階での CO2 排出量が大きかった．この CO2 排出量は容器を缶詰からレトルトパウチに代替することにより 35%の CO2 削減が可能であった．

さらに，食品製造工程においては加熱方法をレトルト加熱から通電加熱に変更することにより，CO2 排出量を 2 分の 1 以下に削減できることが明らかとなった．

以上のことから，我々が開発した通電加熱を用いた無菌充填包装食品を従来のレトルト加熱による缶詰食品の代替とすることによって CO2 排出量を削減することが可能であり，環境問題への解決に貢献できることが示唆された．

参考文献

安藤生大： サバ缶詰のライフサイクルCO2（LC-CO2）の試算および環境教育教材への利用可能性－千葉県銚子市（2008）におけるケーススタディー－千葉科学大学紀要, 3, (2010), 15-23

横山大樹他：ジュール加熱を用いたキハダマグロの無菌充填包装食品の開発日本食品工学会年次大会講演要旨集, 11, (2010), 118

伊藤るり他： 通電加熱を用いた鶏肉の無菌充填包装食品の開発，調理科学会年次第会講演要旨集, (2011), 31

食品カーボンフットプリントの簡易自動計算システムの開発

A Simple Automatic Calculation System of Carbon Footprint of Food

三田村正樹，新谷健仁，○永野宏治
Masaki Mitamura, Kenji Shinya, and Koji Nagano
室蘭工業大学
nagano@mmm.muroran-it.ac.jp

1 はじめに

カーボンフットプリント（Carbon Footprint of Products 以下 CFP）とは、製品が生産され廃棄されるまでに排出される温室効果ガスを CO_2 量に換算し製品にラベルする制度である。CFP を製品にラベルすることで以下が期待できる。

- CO_2 排出量の少ない商品を市場で競争
- 高いエネルギー工程の発見
- トレーサビリティの確立

日本では 2012 年 4 月から CFP プログラムとして民間による CFP 制度が運用されている [1)]。このような状況の中、今後の日本社会において CFP 制度が普及するためには企業が取り組みやすい環境が必要である。CFP の計算は煩雑でデータ量も膨大であるため、企業における CFP の計算を支援するシステムが必要である。そのため、企業における CFP の計算を支援するソフトウェアとして産業環境管理協会では MiLCA[2)]、マンチェスター大学では CCaLC[3)] などが開発されている。本研究で開発するソフトウェアも企業における CFP の計算を支援するシステムである。そして、特に国内向けに製造される食品の CFP の計算における企業の負担軽減に重点をおいている。企業の負担を軽減することで CFP 制度参加企業が増加し、CFP の普及が期待できる。

本研究では CFP の計算に必要な項目の検索・値入力作業を可能な限り減らすことで簡単に計算結果が得られるシステムの構築を目指す。既存の CFP の計算を支援するソフトウェアはユーザが CFP の計算に必要な項目一つ一つについて手動で値を入力する必要があり、様々なケースにおける CFP 計算を可能にしている反面 CFP を簡単に計算できるとは言い難い。そこで著者らは企業が CFP の計算結果を簡単に得られるよう、CFP の計算に必要なデータをまとめたデータ収集シートを読み込み、CFP の計算に必要な値を自動で取得し計算結果を出力するシステムを開発した。また本システムは CO_2 原単位データベース及び Google Maps との通信によりデータ収集シートだけでは補いきれないデータを補足している。CFP の計算に必要な値の項目は膨大かつ多様であり、CFP の計算結果を簡単に得られる本システムは CFP 制度の間口を広げる重要な役割を果たせる。本報告ではこのような食品カーボンフットプリントの自動計算を実現する構成と計算の流れについて述べる。

2 システム概要

本システムの情報処理を図 1 に示す。本システムは CFP を導入する食品メーカが CFP の計算を簡単にするために利用することを想定し構成している。そのため使用環境は Microsoft Windows であり Visual C++ でシステムを構成している。以下に各機能の説明を記す。

2.1 XLS 形式のデータ収集シート読み込み

本システムでは食品メーカが作成した XLS 形式のデータ収集シートを読み込む。XLS 形式のデータ収集シートの読み込みは MFC（Microsoft Foundation Class）の Excel 操作メソッド（以下 Excel オートメーション）を利用することで実現している。Excel オートメーションで特定のシート番号及びセル番号から CFP 計算に必要な項目の値を取得している。取得したデータは CFP の計算だけでなくデータベースとの通信及び Google Maps との通信でも使用する。

2.2 CO_2 原単位データベースと通信

本システムでは CO_2 原単位データベースとの通信にデータベース管理ソフトウェア [4)] を利用している。データベース管理ソフトウェアは「味の素グループ版食品関連材料 CO_2 排出計数データベース」と「カーボンフットプリント制度試行事業 CO_2 換算量共通原単位データベース（暫定版）ver.3.0」の二つの公開されている CO_2 原単位データベースを一つのデータベースに統合し、その統合した CO_2 原単位データベースから CO_2 原単位を検索する。これにより CO_2 原単位の取得にかかる手間を省ける。データ収集シートから取得した原材料名を検索ワードとしてデータベース管理ソフトウェアに引き渡すことで原材料の CO_2 原単位を検索し、検索にヒットした原材料の CO_2 原単位を取得できる。

2.3 Google Maps と通信

原材料と製品の輸送距離は Google Maps との通信により得る。Google Maps のサービスである Direction サー

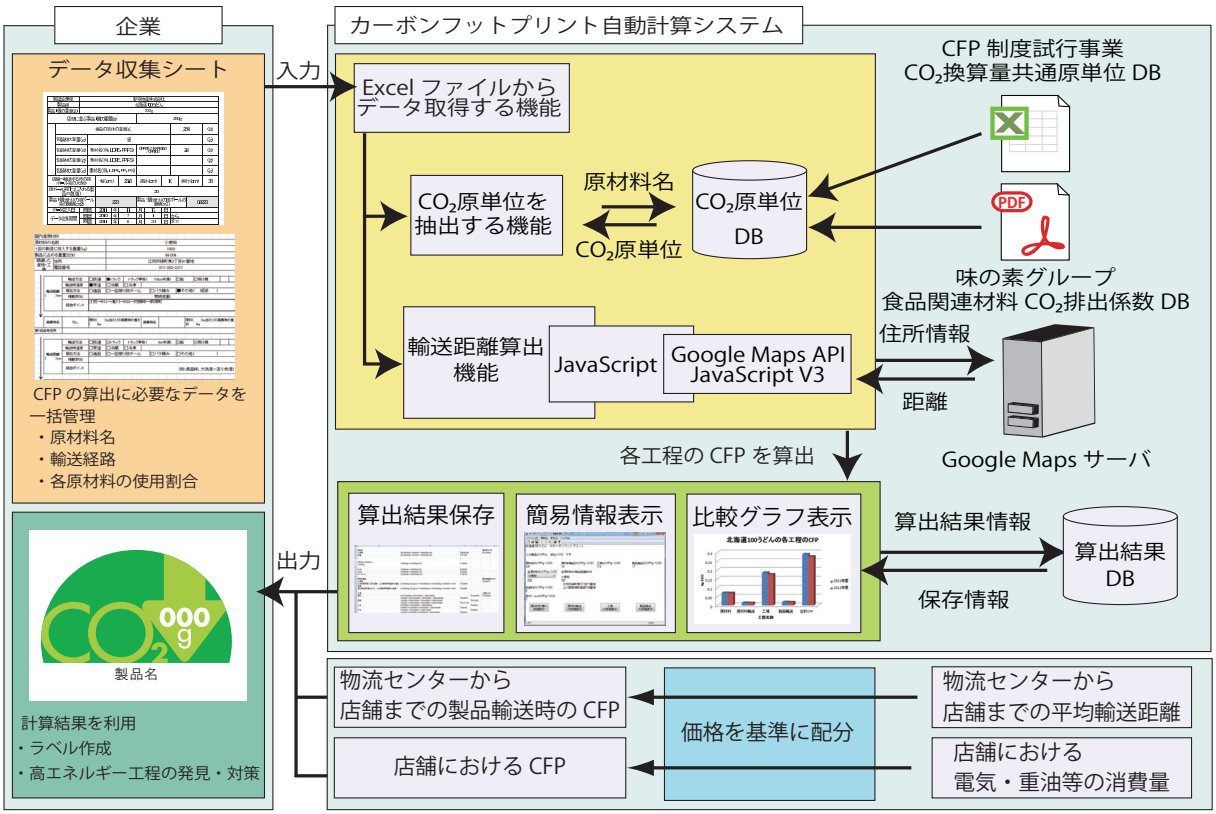


図 1　食品カーボンフットプリントの簡易自動計算システムの概要図

ビスを本システムから利用することで、輸送の出発地点から到着地点までの経路と輸送距離を自動的に取得する。Direction サービスをプログラムで利用する場合、出発地点と到着地点の緯度と経度が必要になる。このため、Google Maps のサービスの一つである Geocording サービスを経由して Direction サービスを本システムでは利用できるよう工夫した。Geocording サービスでは住所情報を与えると緯度と経度を取得できる。

2.4　比較グラフ表示機能

Excel オートメーションを利用して、過去に計算した同一製品の CFP と比較できるようにした。この機能は消費者に対する企業努力の顕示や CFP の高い工程の発見に役立つ。

2.5　CFP の計算結果出力

上記の機能で取得した各項目から計算した CFP はディスプレイ画面上に出力される。本システムでは製品の CFP と原材料、原材料輸送、工場、製品輸送の四つの区分における CFP の計算結果を表示する。詳細な計算式や計算に使用した各項目の数値は詳細表示ページで補完表示できる。詳細表示ページはユーザの指示により開く。表示する情報を分けた理由は、CFP の事前知識がないユーザでも CFP のラベル作成に必要な情報が発見しやすいようにするためである。

3　今後の展望

本システムで得られた CFP の計算結果を企業が利用しやすい形で出力する機能の実装を試みる。そのため本システムを CFP 制度参加企業に使用していただき有用な機能の定義・実装を目指す。

参考文献

1) 産業環境管理協会: “CFP プログラム カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム”, Carbon Footprint of Products,（オンライン）, 入手先 <http://www.cfp-japan.jp/>,（参照 2012-12-21）

2) 産業環境管理協会: “MiLCA(みるか) で見える化”, LCA ソフトウェア「MiLCA （みるか)」,（オンライン）, 入手先 <http://www.milca-milca.net/>,（参照 2012-12-21）

3) The University of Manchester: “Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities”, CCaLC Carbon Footprinting Tool,（online）, <http://www.ccalc.org.uk/>,（2012-12-21）

4) 新谷健仁, 永野宏治: “第 7 回日本 LCA 学会研究発表会”, 野田,（2012）, pp.272-273

アミノ酸系商品８品目のカーボンフットプリント値について

Carbon Footprint of 8 amino acid products

○北林一俊*[1)]、馬場文雄[1)]、高橋英二[1)]、松本慎一[1)]
Kazutoshi Kitabayashi, Fumio Baba, Eiji Takahashi, Shinichi Matsumoto
1) 味の素株式会社イノベーション研究所
*kazutoshi_kitabayash@ajinomoto.com

1.　はじめに

味の素グループでは、あらゆる事業領域から発生する各種の環境負荷の極小化を目指した取組を進めている。

その一環として商品のライフサイクル全体で発生する温室効果ガスを明らかにするために2009年度より2012年度末まで経済産業省が推進する「カーボンフットプリント試行事業」に参画し、PCR「飼料用アミノ酸（中間財）」（PA-BU-01）を作成し、2011年1月に認定を受け、そのPCRを基に「塩酸L-リジン（飼料添加物）」のカーボンフットプリント値（CFP値）を算定し、2011年9月にCFP値の認定を受けた。

今回、飼料用アミノ酸から加工食品の原料として幅広く使用されているうま味調味料、甘味料、強化剤などの食品添加物用途のアミノ酸や医薬用アミノ酸にCFP算定の対象を拡げるためにこれらをカバーするPCR「アミノ酸、ペプチドおよび核酸（中間財）」（PA-BU-02）を作成し、2011年8月に認定を受け、このPCRを基にL－グルタミン酸ナトリウム(MSG)、５‘－イノシン酸二ナトリウム(IN)、アスパルテーム（AP）、L－アルギニン（Arg）、L－グルタミン（Gln）、L－ロイシン(Leu)、L－バリン(Val)、L－イソロイシン（Ile）のCFP値を算定し、2012年7月に認定を受けたのでその結果について報告する。

2.　方法

2-1. PCRの作成及び認証取得

対象商品のCFP値を算定するためのPCRは存在しなかった。そのため商品を用途や製法により、「発酵法によって製造されるアミノ酸」、「アミノ酸を縮合または修飾して製造される　ペプチド及びアミノ酸」、「発酵法、もしくは発酵法と合成法または/酵素法の組み合わせによって製造される核酸」の３つの商品カテゴリーに分類し、これらを包含するPCRを作成し、認証を取得した。

2-2.CFP値の算定

認定されたPCR[1)]に則り、CFP値の算定を以下の手順で実施した。

2-2-1.全段階に共通な項目

①　算定範囲

図１~３に商品カテゴリー毎の算定範囲を示した。算定範囲は「原料調達段階」、「生産段階」、「流通段階」とし、「使用維持段階」、「リサイクル・廃棄段階」は除外した。「使用維持段階」を除外した理由は対象商品が中間品のためにユーザーである加工メーカーが多岐に渡るために商品の使用方法が限定できない事、「リサイクル・廃棄段階」を除外した理由は、除外しても全体のCFP値に対する影響が小さい事が試算の段階で分かったからである。

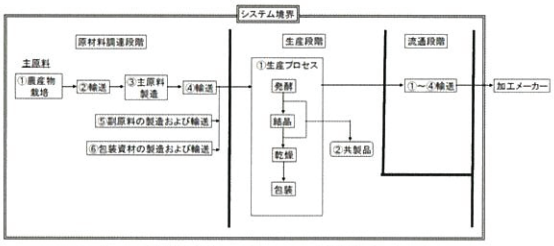


図１　発酵法によって製造される

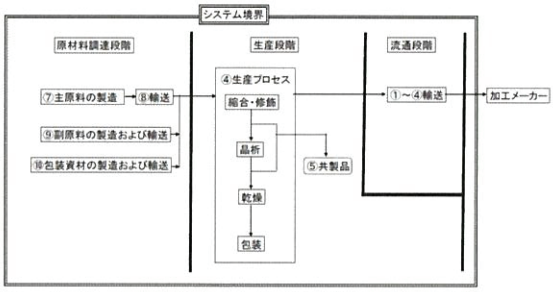


図２　アミノ酸を縮合または修飾して製造されるペプチド及びアミノ酸

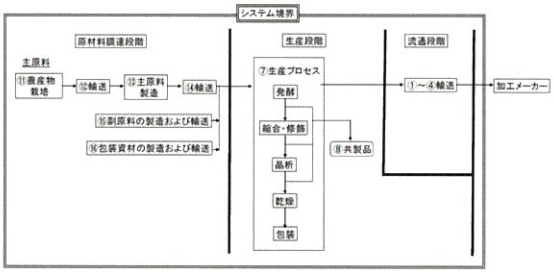


図３　発酵法、もしくは発酵法と合成法/酵素法の組み合わせにより製造される核酸

②　データ収集範囲・収集期間

直接部門だけを対象とし、資本財は対象外とした。

データ収集期間は直近の会計年度１年間とした。

③　カットオフ

カットオフはシステム境界全体のGHG総排出量の5%以内で許されている。従って、微量成分は、MSDS等の情報から適切な物質のCO_2排出係数を当てはめた上で、CO_2排出量を見積もって十分小さいものはカットオフした。

④　配分

製品の生産段階で、主製品の他に液肥などの共製品が発生する場合がある。その場合の GHG 排出量の配分は、作用と用途が同等でないために生産量×販売額で決まる経済的価値で配分を行った。なお、製品のみに帰属する包装資材調達時や流通時に発生する GHG は共製品への配分は行っていない。

⑤　輸送のシナリオ

輸送については一次データを収集するのが困難な場合がある。その場合は以下表１のシナリオを用いた。

表１　輸送のシナリオ

ライフサイクル段階	輸送シナリオ
原材料調達段階	① 原材料調達輸送 ・ 国内輸送は 10 トントラックで 500 km 片道輸送、積載率 62%とする。 ・ 国際輸送は、国内輸送シナリオ（海運輸送前後の陸運共に）にコンテナ船（4,000TEU 以上）での海運輸送を追加して計上する。海運輸送距離は事務局が提供する参考データを用いること。
	② 廃棄物輸送 輸送は 10 トントラックで 50 km 片道輸送、積載率 62 %とする。
生産段階	① 生産段階内でのサイト間輸送 ・ 国内輸送は 10 トントラックで 500 km 片道輸送、積載率 62 %とする。 ・ 国際輸送は、国内輸送シナリオ（海運輸送前後の陸運共に）にコンテナ船（4,000TEU 以上）での海運輸送を追加して計上する。海運輸送距離は事務局が提供する参考データを用いること。
流通段階	① 生産サイトから販売サイトまでの輸送 ・ 国内輸送は 10 トントラックで 500 km 片道輸送、積載率 62 %とする。 ・ 国際輸送は、国内輸送シナリオ（海運輸送前後の陸運共に）にコンテナ船（4,000TEU 以上）での海運輸送を追加して計上する。海運輸送距離は事務局が提供する参考データを用いること。

⑥　二次データ適用項目

「カーボンフットプリント制度試行事業用 CO2 換算量共通原単位データベース」[2]に掲載されているデータを使用し、共通原単位データベースに掲載されていないデータについてはカーボンフットプリント事業事務局が「参考データ」として用意したものを使用した。

2-2-2.ライフサイクル段階ごとの詳細

①　原料調達段階

原料調達段階は「主原料」、「副原料」、「包装資材」の「製造に係るプロセス」、「原料の生産場所から商品の生産サイトまで原料を輸送するプロセス」を含む。データ収集項目として、「主原料、副原料、包装資材の種類毎の調達量」と「輸送距離」があるが、一次データとして収集したのは生産段階に投入される主原料、副原料、包装資材の種類毎の調達量である。

②　生産段階

生産段階は「製品製造に係るプロセス」、「共製品製造に係るプロセス」、「サイト間輸送に係るプロセス」を含む。なお、生産段階から発生する「排水や廃棄物の輸送時や適正処理時に発生する GHG」はライフサイクル全体で発生する GHG 排出量に比べ微小なために算定範囲から除外した。データ収集項目は投入される「エネルギー量」、「水の量」、生産物及び排出物として「製品の量」、「共製品の量」及びサイト間輸送の「輸送手段」、「輸送距離」、「輸送重量」、「積載量」があるが、一次データとして収集したのはこのうち「エネルギー量」、「水の量」、「製品の量」、「共製品の量」およびサイト間輸送時の「輸送重量」である。

③　流通段階

流通段階には「生産サイトから生産国内の港への輸送に係るプロセス」、「生産国の港から日本の港への輸送に係るプロセス」、「日本国の港から販売先（加工メーカー）までの輸送に係るプロセス」、「生産サイトが日本国内で、船や飛行機を使用しない場合の生産サイトから販売先（加工メーカー）までの輸送に係るプロセス」を含む。

一次データとしては輸送量を収集した。なお輸送距離に関しては出荷元と出荷先が分かる場合はナビゲーションソフトで求め、不明な場合はシナリオを用いた。また輸送手段や積載率はシナリオを用いた。

3.　結果

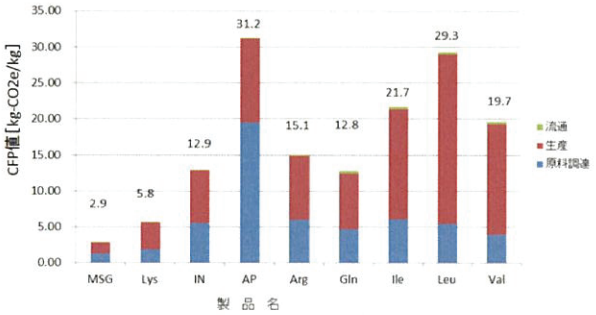


図４　CFP 値の算定結果

図４に示すように CFP 値を算出した。図５に今回取得した AP の CFP 値を活用して AP 1Kg を製造する際に発生する CO2 量と AP 1Kg と同じ甘味強度に相当する砂糖を製造する際に発生する CO2 量を比較した例を示した。これより同じ甘味強度で比較すると AP の CO2 排出量は砂糖の 1/8 となる事が分かった。また今回主要な食品添加物の CFP 値を公表することにより加工食品の CFP 値算定にはずみがつくと思われる。

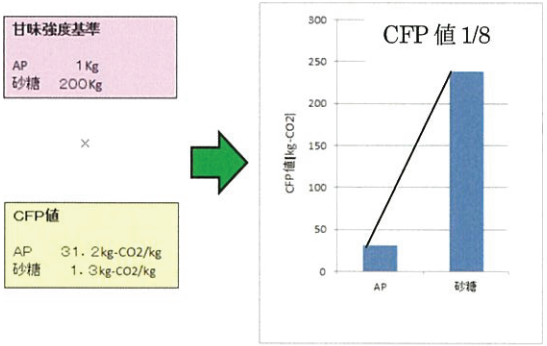


図５　同じ甘味強度での AP と砂糖製造時の CO2 排出量を比較

参考文献

1)　（社）産業管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム認定 CFP・PCR 一覧

2)　経済産業省：カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース（暫定版）ver3. 0 (2011)

飼料用アミノ酸による日本とフランスの豚、鶏のふん尿からの GHG 削減の推算

Estimation of GHG reduction of Swine and Poultry manure using Amino Acids for Feed in Japan and France

○辻本　進[1)]*、高木　智[2)]、長田　隆[3)]、荻野　暁史[3)]

Susumu TSUJIMOTO, Tomo TAKAGI, Takashi OSADA, Atsushi OGINO

1) 味の素㈱イノベーション研究所、2)味の素ｱﾆﾏﾙ・ﾆｭｰﾄﾘｼｮﾝ・ｸﾞﾙｰﾌﾟ㈱、3)（独）畜産草地研究所

*susumu_tsujimoto@ajinomoto.com

1. はじめに

筆者ら[1) 2)]は、2010 年の本学会にて、日本の豚を対象に畜産分野での地球温暖化対策として、飼料用アミノ酸を飼料に添加することが有効であり、2012 年には豚、鶏を対象に国連における日本を含む先進国である ANNEX 1 の６ヶ国で N_2O が計算可能であることを示した。その結果、アミノ酸の添加によって N_2O が約 25%の削減できること、国によって１頭（羽）当りの N_2O の発生量に差異があることを示した。本報告では、その解析を更に進め、その差異の原因の一つが、ふん尿処理方法にあると考え、日本と EU の代表的な畜産国であるフランスの豚、鶏の GHG（N_2O と CH_4 の合算）の発生特性を比較した。その結果、フランスのふん尿処理方法を日本型すると、アミノ酸添加による GHG 削減効果がより大きくなることが推定された。

2. 方法

1） 日本の豚、鶏のふん尿由来の GHG を UNFCCC の National Inventory Report(NIR)[3)] を用いて計算する。

2） フランスの豚、鶏の GHG を UNFCCC の Common Reporting Format(CRF)[4)] を用いて計算する。(フランスでは、NIR に本計算で使用できる詳細なデータが記載されていない)

3） 計算方法は、IPCC Good practice guideline 2000[5)] に示された方法に従う。

4） フランスの豚と鶏のふん尿処理法の各区分への負荷割合を日本の負荷割合に変更して、GHG を計算した。

5） アミノ酸を添加した場合の排せつ窒素削減率は、豚では長田ら[6)] の実験結果 28.7%を用い、鶏では、採卵鶏では、藤崎ら[7)] の実験結果 29.3%を、ブロイラーでは山崎ら[8)]の実験結果 17.0%を用い FAOSTAT[9)] の head 数より加重平均し日本では 23%、フランスでは 20%を用いた。飼料用アミノ酸は排せつする窒素量を削減するが、CH_4 を発生する元となる有機物は削減しないので、N_2O 発生削減となるが、CH_4 発生削減とはならない。

なお、CH_4 及び N_2O の値を CO_2eq とする温暖化係数 GWP は、IPCC の第２次報告書の 21 倍、310 倍をそれぞれ用いた。

3．結果

１）日本の豚、鶏の GHG 発生量の内、N_2O は、日本国 NIR[3)] より、1head 当りの窒素排せつ量と head 数を参照して総窒素排せつ量を求める。データ表より処理方法毎の負荷率で窒素量を配分する。管理過程での N_2O の計算は、豚では、肥育豚と繁殖豚に区分し、ふん尿分離　70%、ふん尿混合　30%　に配分し、それぞれの N_2O 係数を用いて計算した。鶏では、ブロイラーと採卵鶏に分け、採卵鶏では更に雛と親鶏に区分して計算した。各管理区分の割合、各区分の N_2O への変換率は、NIR の表 6-14 と表 6-10 を用いた。また、土壌からの直接発生、間接発生である大気沈降、溶脱・流出は、排せつ窒素量と NIR の変換係数を用いた。CO_2eq での N_2O は、豚では、1.69 m(million)t/yr、鶏では、3.28 mt/yr、合計　4.97 mt/yr　と計算された。

CH_4 の計算では、NIR の表 6-11、表 6-12、表 6-14、表 6-9 より豚、鶏１head 当りのふん尿排せつ量、有機物含有率、処理区分割合、各処理区分での CH_4 発生係数を引用して計算した。N_2O の計算と同様、豚では肥育豚、繁殖豚に区分し、ふん尿分離　70%、ふん尿混合　30%　として計算した。鶏でも採卵鶏とブロイラーに区別して計算した。CO_2eq での CH_4 は、豚では、0.29 mt/yr、鶏では、0.06 mt/yr、合計　0.35 mt/yr　と計算された。N_2O と CH_4 の CO_2eq 量の合計で GHG を算出する。GHG 発生量及び長田、藤崎、山崎らのアミノ酸添加時の GHG 発生量および削減率を Table1 に示す。

Table 1 日本のアミノ酸添加有無での GHG 発生量

単位：mt-CO_2/yr

	アミノ酸添加なし			アミノ酸添加		
	N_2O	CH_4	GHG	N_2O	CH_4	GHG
豚	1.70	0.29	1.99	1.21	0.29	1.500
鶏	3.27	0.062	3.332	2.44	0.062	2.502
豚、鶏の合計	4.97	0.352	5.322	3.65	0.352	4.002
				GHG削減率		24.8%

２）フランスの豚、鶏の GHG 発生量計算の内、N_2O は、

フランスのCRFより、2012年LCA学会報告の手法で計算を行った。まず、UNFCCCの1head当りの窒素排せつ量とFAOSTATのhead数のデータを参照して総窒素排せつ量を求めた。また、UNFCCCのデータ表より処理方法毎の負荷量を求める。管理過程での計算は、各処理区分毎のN_2O発生係数をCRFの表4.B(b)から参照して掛け合わせて求める。土壌からの発生の計算では、表4B(b)には、全家畜から土壌に撒かれたN量が示されているので、豚、鶏の排せつ窒素量と全家畜の排せつ窒素量の比率で、豚、鶏の土壌に撒かれる窒素量を求めた。前報告の方法に従って、大気沈降、溶脱・流出で発生するN_2Oを求める。アミノ酸を添加した時のN_2Oの削減率は、豚では、長田らの実験結果を用いるが、鶏では、藤崎ら、山崎らの削減率を FAOSTAT の日本の採卵鶏とブロイラーの比率より荷重平均した２０%を用いた。一方、CH_4は、CRFに豚、鶏の1head当りのCH_4発生量が示されているので、head 数のデータを掛け合わせCH_4の発生量を求める。結果は、CO_2eqでのCH_4は、豚では、5.11 mt/yr、鶏では、0.64 mt/yr、合計　5.75 mt/yrと計算された。GHG発生量及びアミノ酸添加での削減量をTable1に示す。

Table 2　フランスのアミノ酸添加有無でのGHG発生量

単位：mt-CO_2/yr

	アミノ酸添加なし			アミノ酸添加		
	N_2O	CH_4	GHG	N_2O	CH_4	GHG
豚	1.22	5.11	6.33	0.87	5.11	5.980
鶏	1.18	0.64	1.82	0.942	0.64	1.582
豚、鶏の合計	2.4	5.75	8.15	1.81	5.75	7.562
				GHG削減率		7.2%

日本では、約 24.8%の削減率が得られたが、フランスでは、7.2%の削減に留まった。

この結果より、日本では、N_2O 発生型、フランスは、CH_4発生型といえることが判る。

３）フランスの管理過程での処理区分比を日本型の処理区分比に変更してN_2Oの発生量、CH_4の発生量を計算した。なお、N_2O 発生係数、CH_4発生係数はフランスの値を用いた。その結果、削減率は、34.1%に達しTable3に示す。

Table 3 フランスの管理過程を日本型にした場合のGHG発生量

	CO2(N2O)	CO2(CH4)	GHG	削減率
現状法処理	2.98	5.75	8.73	－
日本型処理	2.24	4	6.24	28.5%
日本型処理+アミノ酸	1.75	4	5.75	34.1%

これらTable 1, 2, 3の結果を、Fig. １にまとめた。

４．考察

Fig.1 より日本とフランスの豚、鶏のふん尿由来のGHGの発生特性を比較すると、日本では、N_2Oが大部分を占めている。これは、日本ではN_2Oの発生が大きい浄化が主に使用されている事によると考えられる。一方、フランスでは、CH_4がGHGの発生の多くを占めている。これは、フランスでは、CH_4が多く発生する貯留が主な処理方法であることによると考えられる。

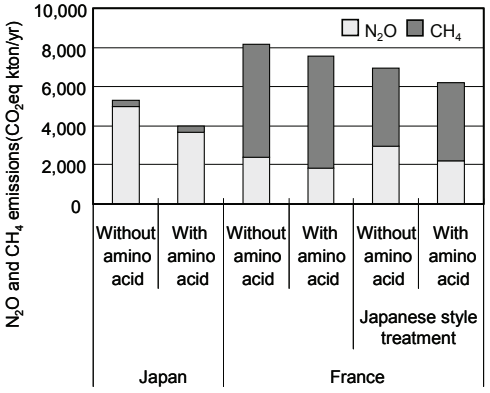


Fig. 1　日本とフランスでのアミノ酸添加及び日本型管理過程のモデルを適応した場合のGHG発生量

フランスの管理過程の処理区分を日本型にするシミュレーションを試みると、現状より 34%という高いGHG削減率が推定された。飼料用アミノ酸を飼料に添加する場合、ふん尿の処理方法と合わせて実施すると大きなGHG削減効果が期待できることが判った。

５．結言

飼料用アミノ酸は豚、鶏の飼料に添加する事により、大きなGHG削減効果が推定され、畜産分野での地球温暖化対策への貢献が期待できることを示した。

参考文献

1) 第５回日本 LCA 学会研究発表会　2010.講演要旨集 A1-05.
2) 第７回日本 LCA 学会研究発表会　2012.講演要旨集 A2-18.
3) UNFCCC National Inventory Reports(NIR). Japan 2010
4) UNFCCC Common Repoting Forms.(CRF) Japan and France 2010-2008
5) IPCC good Practice Guidance and Uncertainty Managemant in Greenhouse Gas Inventories 2000
6) Osada et al.. 2011.*Animal Feed Science and Technology* 166-167, 562-574.
7) 藤崎ら　日本科学飼料協会報告　2003　1-13
8) 山崎ら　日本家禽会誌　1996　33　249-255
9) FAOSTAT 2010

発表キャンセル

脱水シートを用いた生鮮マダラ流通のライフサイクル CO_2 評価

Life Cycle CO_2 Assessment of Fresh Cod Distribution with Contact Dehydration Sheet

○川島康太[1)]，伊藤るり[1)]，濱田（佐藤）奈保子[1)]*
Kota Kawashima, Ruri Ito, Naoko Hamada-Sato
1)　東京海洋大学大学院
*hsnaoko@kaiyodai.ac.jp

1　背景

1.1　脱水シートについて

生鮮食品には多量の水分が含まれており、その中の自由水（食品の成分と結合していない水）を利用して微生物が繁殖し、食品の鮮度低下が起こる。脱水シートは、そのような自由水を含め、生鮮食品中から浸透圧により水分を均一に取り除くことで鮮度保持を可能にした調理シートである。シートの構造は図 S1 の通りである。

1.2　鮮魚のフィレ（切り身）流通について

一般的に鮮魚の流通形態は、魚種や業者等によって様々であるが、歩留りの悪い魚ほど不可食部を一緒に輸送するラウンド（丸）輸送は効率が悪く、環境負荷も大きいと言える。対してフィレ（切り身）輸送では、産地で不可食部を除去後、3 枚におろされて出荷されるので、ラウンド輸送に比べ輸送効率が良くなり、同じ尾数当たりの輸送時環境負荷も小さくなると考えられる。しかし、鮮魚は加工度を上げると鮮度の劣化が起きやすいと言われているので、フィレ輸送においては長時間の輸送に対応したフィレの鮮度を保つ工夫が必要である[1)]。

2　目的

フィレ輸送においては、長時間の輸送に対応した鮮度保持方法が課題である。そこで、フィレ輸送中の鮮度保持方法として脱水シート包装を用いた輸送を提案する。本研究では、脱水シート包装したマダラフィレを流通させた場合のライフサイクル CO_2 排出量を求め、ラウンド流通の場合と比較してどの程度 CO_2 が削減できているかを明らかにすることを目的とする。さらに、脱水シート包装フィレがラウンドよりも CO_2 削減に貢献できる流通形態であるかどうか検証を行う。

3　方法

3.1　ライフサイクルフロー図と調査範囲

本研究では、LCI 分析の積み上げ法を用いて、調査範囲におけるライフサイクル CO_2 排出量を計算した。そこで、分析に先駆けてマダラの流通（フィレ+脱水シート区、ラウンド区）のモデル化を行い、ライフサイクルフロー図（以下 LCF 図）を作成した。以下がその図である（図 1）。

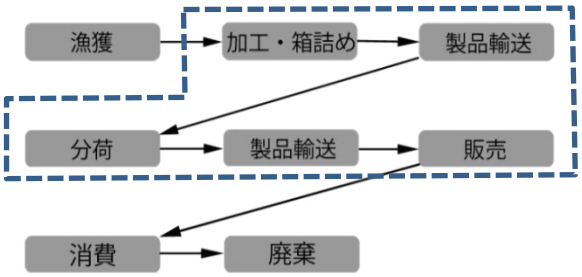


図 1　LCF 図

マダラの流通経路は、オカモト株式会社にヒアリングを行い情報を得た。今回の調査範囲は、脱水シートが使用される加工・包装の段階から小売店での販売を対象とし、ラウンドでの調査範囲も同様に、漁獲後の箱詰めから店舗での販売を対象とした（図 1 の青点線部分）。

3.2　流通のシナリオ設定及び研究対象

漁獲・加工地は釧路とした。ただし漁獲から加工地までの輸送は考慮しない。フィレへの加工はオカモト株式会社へのヒアリングから、手切りにより三枚おろしにした後、フィレ+脱水シート区（以下 F 区）では図 S2 のように箱詰めをすることとした。なお、加工は手切りのため CO_2 排出は考慮しない。発泡箱に氷を敷き、その上に内装袋（LDPE 製）を被せる。その袋の中に、皮目を下にしてフィレを置き、魚肉側に脱水シートを挟む。これでマダラ 5 kg 入りとし 1 箱とする。また、ラウンド区（以下 R 区）に関しては、F 区よりも大きい発泡箱に 5 kg のマダラを 2 尾入れし、マダラ 10 kg と氷で 1 箱とする。

一回目の輸送は釧路～東京都中央卸売市場築地市場までとした。輸送は低温設備付きの 10 トントラック（積載率 75%）で行うと仮定した。築地市場における分荷の過程については、CO_2排出はないものとして扱った。築地市場から小売店への輸送は、市場から 10 km 圏内の小売店で販売するとし、店舗への輸送は 2 トンの保冷トラック（積載率 75%）で行うと仮定した。小売店での販売は、販売用トレイ、ドリップ吸収マット、包装用ラップの CO_2排出を考慮した。施設の電気使用量は考慮していない。

なお、研究対象をマダラにした理由は、産地が大消費地と離れており、且つ鮮度落ちが早い魚種であることから、前述したような輸送中の鮮度保持の必要性が極めて大きいと考えたためである。

3.3　評価単位の定義

本研究では、マダラの単位あたりの CO_2排出量を求めた。単位の定義は以下の通りにした。

$$1\ \mathrm{UNIT} = \begin{cases} 1\ \text{t-マダラ（F 区、加工・箱詰めまで）} \\ 0.4\ \text{t-マダラ（F 区、加工・箱詰め以降）} \\ 1\ \text{t-マダラ（R 区、築地～店舗輸送まで）} \\ 0.4\ \text{t-マダラ（R 区、販売以降）} \end{cases}$$

F 区では加工・箱詰めから、R 区では販売から、単位量が t-マダラから 0.4t-マダラに変わる。このような場合分けをする理由としては、これは、フィレ加工により不可食部を除いた重さが加工前の 0.4 倍になるためである。F 区は釧路からの出荷前、R 区は販売の前に不可食部が除去される。

3.4　データの収集と計算

各流通段階で投入する資源のうち、環境負荷が大きいと予想されるデータ、研究の目的上必要なデータを収集する[2-3]。データの内容は、各資源の使用量、輸送距離、輸送重量、CO_2排出原単位である。計算は資源使用量と排出原単位の積、輸送においては改良トンキロ法を用いて行い、各段階の値を合計する。

4　結果・考察

図 2 に計算結果の総計のグラフ、表 S1 と S2 に投入資源量と CO_2計算結果を一覧で示す。表 1 は、各段階で投入する資源のリストとその量、CO_2排出原単位と CO_2排出量を示している。また、今回投入資源とした「水」であるが、これは製氷用に使用する水のみで、加工中に使用する水は考慮されていない。各区の LC-CO_2排出量の合計は F 区で 380 kg-CO_2/UNIT、R 区で 545 kg-CO_2/UNIT と算出された。CO_2削減率はラウンド流通に対し脱水シート包装フィレ流通が 30%削減となった。この削減に大きく貢献したのはしたのは釧路～築地間の輸送段階であった。削減率は、R 区に対し、F 区が 39%削減となった。これより、長距離輸送の際にラウンドをフィレにすると、CO_2削減に大きく貢献できるということが示唆された。言い換えると、同じ CO_2排出量でより多くのマダラを輸送することができると考察できる。また、フィレで輸送する際に包装（脱水シートと内装袋）を使用するとしても、それらの使用による CO_2排出量は極めて低く、全体の排出量にはほとんど影響がないといえる。

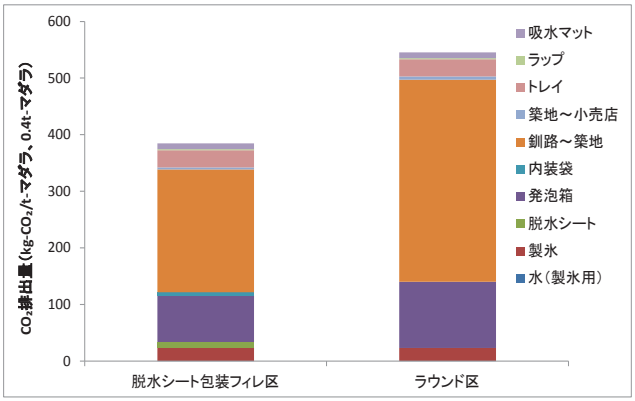


図 2　各区における CO_2排出量総計

5　まとめ

マダラは産地でフィレ加工することで、輸送中の CO_2を削減し、全体で 29%の CO_2を削減できることが示唆された。また、フィレの流通に脱水シートを用いても、排出量の増加に資するところは極めて小さいこともわかった。このことから、脱水シート包装フィレでの流通は、マダラの鮮度低下を抑え、且つ CO_2排出量削減という面で環境にやさしい流通が実現できる可能性が示唆された。

6　参考資料

1) 渡邊悦生, 森光國, 大熊廣一, 後藤良三編, “HACCP 対応 食品危害分析・モニタリングシステム”, サイエンスフォーラム, 東京, (1989), p202

2) 産業技術総合研究所, “カーボンフットプリント制度試行事業 CO_2換算量共通原単位データベース（国内データ）”, Carbon Footprint of Products, <http://www.cms-cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/CO2kansanryo_db_ver4_jp_20120410.xls>, (参照　2012-11-05)

3) 味の素株式会社, “食品関連材料 CO_2排出係数データベース”, 食品関連材料 CO_2排出係数データベース, <http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf>, (参照　2012-11-05)

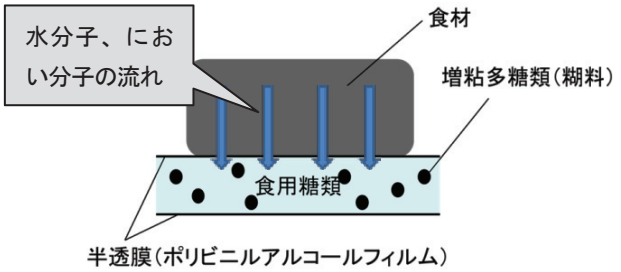


図 S1 脱水シートの構造と原理

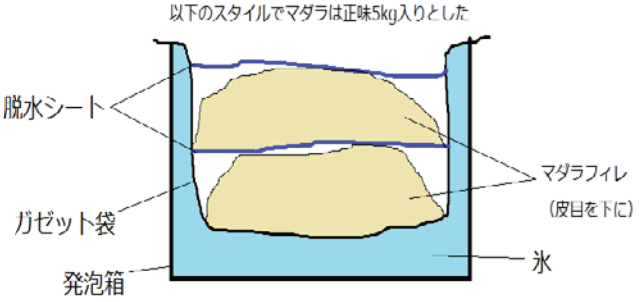


図 S2 脱水シート包装マダラの荷姿

表 S1 脱水シート包装フィレ区における投入資源と CO_2 排出量一覧

脱水シート包装フィレ区				
箱詰め	単位(/t-マダラ)	量	排出原単位	CO_2換算(kg-CO_2/t-マダラ)
水(製氷用)	m^3	0.510	0.348 kg-CO_2/m^3	0.177
製氷	kg	516	0.045 kg-CO_2/kg	23.2
脱水シート	枚	400	0.026 kg-CO_2/枚	10.4
発泡箱	kg	42.0	1.95 kg-CO_2/kg	81.9
内装袋(LDPE)	kg	3.00	2.00 kg-CO_2/kg	6.00
輸送	距離(km)	輸送重量(t)	排出原単位(kg-CO_2/tkm)	CO_2換算(kg-CO_2/0.4t-マダラ)
釧路～築地	1389	0.961	0.128×1.27(*)	217
築地～小売店	10	0.961	0.367	3.53
販売	単位(/0.4t-マダラ)	量	排出原単位(kg-CO_2/kg)	CO_2換算(kg-CO_2/0.4t-マダラ)
トレイ(発泡スチロール)	kg	9.1	3.34	30.4
ラップ(ポリエチレン)	kg	1.3	1.53	1.99
吸水マット(レーヨン)	kg	3.4	2.98	10.1
*低温設備を使用した場合、通常の負荷の1.27倍(経済産業省、2010)				

表 S2 ラウンド区における投入資源と CO_2 排出量一覧

ラウンド区				
箱詰め	単位(/t-マダラ)	量	排出原単位	CO_2換算(kg-CO_2/t-マダラ)
水(製氷用)	L	0.508	0.348 kg-CO_2/m^3	0.177
製氷	kg	515	0.045 kg-CO_2/kg	23.2
脱水シート	枚		0.026 kg-CO_2/枚	
発泡スチロール箱	kg	60.0	1.95 kg-CO_2/kg	117
内装袋	kg		2.00 kg-CO_2/kg	
輸送	距離(km)	輸送重量(t)	排出原単位(kg-CO_2/tkm)	CO_2換算(kg-CO_2/t-マダラ)
釧路～築地	1389	1.58	0.128×1.27(*)	357
築地～小売店	10	1.58	0.367	5.80
販売	単位(/0.4t-マダラ)	量	排出原単位(kg-CO_2/kg)	CO_2換算(kg-CO_2/0.4t-マダラ)
発泡スチレン製トレイ	kg	9.10	3.34	30.4
ポリエチレン製ラップ	kg	1.30	1.53	1.99
吸水マット(レーヨン)	kg	3.40	2.98	10.1
*低温設備を使用した場合、通常の負荷の1.27倍(経済産業省、2010)				

カーボンフットプリント制度(CFP)を利用した 被災地の植物工場におけるトマト栽培に関する研究

Using carbon footprint of products (CFP) A study on tomato cultivation in Tohoku district

○山崎大輔*[1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Daisuke Yamazaki, Kenji Koido Kiyoshi Dowaki
1)東京理科大学
* 7405122.yamazaki@gmail.com

1. はじめに

平成 23 年 3 月、東日本大震災が発生し、がれき問題、放射能問題、被災地を含む風評被害など多くの問題・課題が残っており、現在、復興に取り組んでいる。例えば、農業復興への問題・課題として、放射性物質による風評被害・安全性の問題、津波による農地の塩害被害などが挙げられる。これらの問題を解決し、被災した生産者が震災前よりも進んだ農業が展開できるビジョンを示すことが重要である。そこで、復興方法の 1 つとして高収益が見込める大型化した植物工場の活用が注目されている。植物工場が注目されている理由として、以下の 2 つの理由がある。①がれき処理や塩害対策が不十分の土地でも栽培可能である。②植物工場では、温度や空調など室内環境条件を制御できるため、作物の安全性が見込めるからである[1)]。

一方、植物工場の普及が進む中、植物工場の管理･普及の課題として、室内を暖めるとき(温度管理)に A 重油を燃料としたボイラーを使用しているため、エネルギー消費に関するコスト面、環境面での課題が挙げられる。現在、ヒートポンプ(HP)や太陽光発電の導入により、省エネルギー化を図り、コスト・環境負荷低減と同時に、低炭素商品を生産し、新たな付加価値を商品に付けることが考えられてきている。そこで、商品の一生(原料調達から廃棄・リサイクル)までに排出される CO_2 排出量を商品に表示し、CO_2 排出量の見える化を図る CFP 制度という仕組みがある。事業者にとって、CFP の表示を通し、商品の付加価値、ブランド・ビルディングが期待できるというメリットがある[2)]。評価方法としては、LCA（ライフサイクルアセスメント）手法を活用し、環境負荷を定量的に算定する。CFP 制度により事業者と消費者の間で CO_2 排出量削減行動に関する「気づき」を共有し、「見える化」された情報を用いて、事業者がサプライチェーンを構成する企業間で協力して更なる CO_2 排出量削減を推進すること。「見える化」された情報を用いて、消費者がより低炭素な消費生活へ自ら変革していくことを目指す。

以上のことから、本研究では、福島第一原発が設置されている福島県を対象地域とし、福島県で生産量が多く、年間を通して安定した収量が見込め(25t/10a・year[3)])、かつ各地の植物工場で盛んに栽培されているトマトを対象作物とし、以下の 3 つを本研究の目的とする。①植物工場でのトマト栽培の LCA 分析を行う。②植物工場の課題である、エネルギー消費量を低減できる代替案を示す。③福島県産のトマトに付加価値を付け、福島県の農業復興に繋がる提案を示す。

2. 被災地の農作物に関するアンケート調査

2.1　アンケート内容

東京電力福島第一原子力発電所事故による放射線物質が放出され、生産者、消費者共に風評被害に悩まされている。生産者側は、商品自体がそもそも購入されるのかという心配があり、かつ「売れる商品」を生産したいという想いがある。そこで、震災から約 1 年がたった今、被災地の農作物に対して消費者が購買するのか、しないのかを調べることを目的とし、被災地の食糧品に関するアンケート調査を行った（2012 年 7 月実施）。アンケート内容の詳細は以下の通りである（表 S1 参照）。

・対象者：主婦
・対象年齢：20 代～50 代
・対象地域：全国(関東 38%、中部 24%、その他 38%)
・回収サンプル数：1000s

2.2　アンケート結果及び考察

産地を気にせず購入している人が約 5 割、産地を気にして購入を控えている人が約 4 割という結果となった(図 S1 参照)。また、植物工場での栽培、放射能量検査機関を通した場合、購入を控えるという人の約 4 割が購入すると購買変化が見られる結果となり、植物工場での栽培が放射能の安全性を示すことができる有効な手段であると考えられる。

3. トマトの購買に関するアンケート調査

3.1　アンケート内容

本アンケートは消費者がトマトを購入する際、どのような基準で購入するのか、また低炭素商品に対して追加的支払意志がどのくらいあるのかを調査するために行っ

た。得られたアンケート結果は、選択肢を構成する様々な特徴の相対的な重要性を明らかにするためにコンジョイント分析を行った（図 S2 参照）。

・アンケート調査期間：2012 年 8 月
・対象者；被災地の農作物に関するアンケート調査(表 S1 参照) における設問 6 で「産地をまったく気にせず購入している」と回答した者(506s)
・対象年齢：20 代～50 代
・価格設定：8 月のトマトの平均価格設定は全国の広告と店頭販売価格から設定した(平均価格 90 円/個)。
・対象地域：全国
・回収サンプル数：300s

3.2　アンケート結果及びコンジョイント分析結果

分析の結果から、CO_2 削減率が高いほど、商品の付加価値が付くことが分かる(表 S2 参照)。従来の植物工場でのトマト栽培から CO_2 排出量を削減することで、商品に付加価値が付き、かつ植物工場の問題・課題である環境問題を解決することに繋がる。また、低炭素商品対する平均追加的支払意志額は 30%削減の場合 19.1 円、80%削減の場合で 19.5 円となった。CO_2 削減率で限界支払意志額は変化せず、低炭素商品なら追加的支払意志があることが考えられる。

4. 植物工場におけるトマト栽培のLCA分析

4.1　LCA 分析詳細及びシステム境界

本研究でのLCA分析の対象及びシナリオ設定は以下の通りである（図 S3 参照）。

・栽培場所：福島県いわき市
・栽培期間：5 月初旬～7 月下旬(3 カ月間)
・栽培環境：作域面積 3ha、重油 A を燃料とする重油ボイラーを使用する。照明として白熱球を使用し、1 日 2 時間使用する。中玉トマト(250g)を栽培する。
・出荷先：①JA 福島、②JA いわきを選定した。
・出荷方法：段ボールによる。
・市場：①福島市場(1 カ所)、②東京市場(10 カ所)、③大阪・京都市場(3 カ所)を選定した。
・販売店：市場から 100km 以内と仮定する。
・輸送方法：①生産場所→出荷場所(2～4t 車のトラック)、②出荷→市場(2～10t 車のトラック)、③市場→販売所(2～10t 車のトラック)

積載率 60%、輸送燃料は軽油とした。

4.2　LCA 分析結果及び考察

トマト 1 個当たりの CO_2 排出量は 223.5g-CO_2 となった。栽培段階で約 5 割を占めており、栽培段階の中でも、光熱動力部分で 4 割以上占めている(表 S3)。これは燃料として A 重油を使用しているため、高い割合を占めている。

5. CO_2 排出量削減の代替案

5.1　代替案の内容

次に、LCA 分析の結果から光熱動力部分で約4割の CO_2 排出量を占めていることや、福島県の約 7 割が森林地帯であり、木質バイオマスを原料として利用すること等を考慮し、以下の 4 つの代替案を考えた。①重油ボイラーの代替としてヒートポンプの導入、②重油ボイラーの代替として小規模バイオマスガス化装置のブルータワー(BT)の導入[4]、③白熱球の代替として LED の導入、④輸送燃料の軽油の代替としてバイオ燃料の導入である。

5.2　代替案の LCA 分析結果

従来の植物工場でLCA分析を行ったシステム境界、シナリオ設定のもとで代替案のLCA分析を行った。それぞれの代替案の CO_2 削減率は、HPが19.0%、BTが31.3%～36.1%、LEDが4.1%、バイオ燃料が0.6%～0.8%となった(表 S4、図S4参照)。また、限界費用はHPが75円/kg-CO_2、BT192円/kg-CO_2～198円/kg-CO_2、LEDが158円/kg-CO_2、バイオ燃料が999円/kg-CO_2～1436円/kg-CO_2となった(図1参照)。

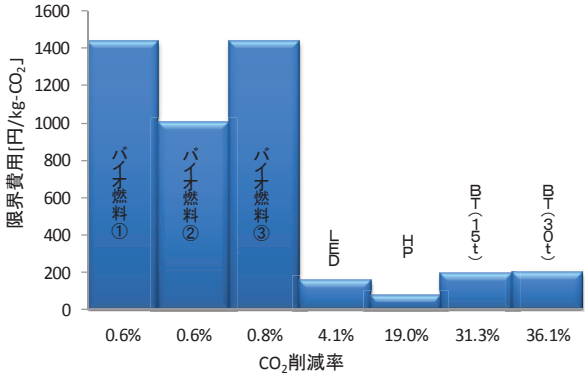


図 1　各代替案の CO_2 削減率及び限界費用の比較

6. 結論

植物工場でのトマト栽培のLCA分析を行った。分析結果をもとに4つの代替案を示し、それぞれについてLCA分析を行った。CO_2 削減率が高く、かつ限界費用が低いHP、BTの導入が有効的な手段と考えられる。アンケート結果から、これらの代替案を導入することで低炭素商品という付加価値が付き、福島県の農業復興に繋がる1つの方法になると考えられる。

引用文献

1) 独立行政法人　農業･食品産業技術総合研究所:“復興を支える農研機構の新技術”, (2011)
2) SHP 関東地域農業研究・普及協議会；“低段・多段組合せ栽培によるトマトの周年多収生産技術マニュアル”, (2010)
3) 経済産業省　産業技術環境局；“「CO2 の見える化」に向けて～カーボンフットプリント制度試行事業の成果と今後の取組～”, (2010)
4)上平田潤，堂脇清志：“第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス”，(2008)，pp.243-246

表 S1　被災地の食糧品に関するアンケート項目内容

設問・説明	設問内容
設問1	貴方の年齢をお知らせください。
設問2	貴方のお住まいをお知らせください。
設問3	貴方の家族構成は以下のうちどれにあたりますか。
設問4	設問3で「夫婦子供」、「夫婦子供親同居」と回答した方にお伺いします。 お子さんの年齢をお知らせください。お子さんが2人以上の場合、最低年齢の方をご記入ください。(例：長男18歳　二男15歳の場合　解答：15歳。)
設問5	貴方は普段、野菜や畜産物、魚などをどれくらいの頻度購入しますか。
設問6	食料品購入時の行動についてお伺いします。東日本大震災による原発事故から約1年がたった現在、野菜や畜産物、魚を購入するにあたって、産地を気にして購入していますか。
設問7	設問6で「産地が気になり、購入しない」もしくは「産地が気になり、なるべく購入しない」と回答した方へお伺いします。実際に購入する際に避けた産地があれば選んでください。(いくつでも)
設問8	問6で「産地が気になり、購入しない」もしくは「産地が気になり、なるべく購入しない」と回答した方へお伺いします。実際に購入する際に避けた品目があれば選んでください。(いくつでも)
説明文1	管理型農業とは上記の写真※1のように温室ハウス内で作物を栽培し、室内温度、空調、配水などを適切な管理下のもとで栽培することである。したがって、上記の写真からも分かるように、露地栽培と比べ外気と触れあう時間が少なく、土壌と触れあわずに栽培する。現在、管理型農業は放射性物質問題を解決する手段の1つとして考えられている。
設問9	問6で「産地が気になり、購入しない」もしくは「産地が気になり、なるべく購入しない」と回答した方へお伺いします。外気と接触がほとんどなく、放射線線量が少ない栽培方法(例　温室ハウス栽培)の元で栽培された作物の場合、購入しますか。
設問10	問6で「産地が気になり、購入しない」もしくは「産地が気になり、なるべく購入しない」と回答した方へお伺いします。パッケージに安全性が示された放射線量の数値(農林水産省の検査値)が示されている商品の場合、購入しますか。
設問11	アンケートに関して、ご意見・ご感想がありましたらご記入ください。

表 S2　推定結果

	係数	t値	p値	
値段	−0.135	−9.326	0.000	***
産地(青森県産)	−4.986	−6.837	0.000	***
産地(福島県産)	−1.056	−8.403	0.000	***
大きさ	0.517	5.061	0.000	***
CO_2削減率	1.927	7.467	0.000	***
N	1173			
対数尤度	−829.7217			

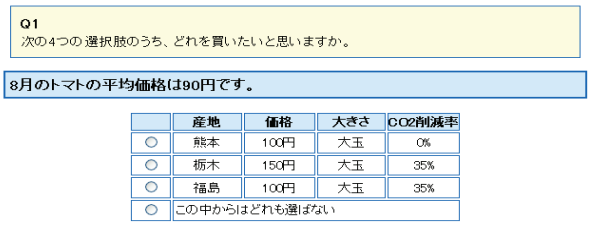


図 S1　アンケート例

表 S3　トマト 1 個当たりの CO_2 排出量

工程	CO_2排出量 [g−CO_2/個]	工程	CO_2排出量 [g−CO_2/個]
燃料(A重油)	86.42	光熱動力	96.54
年間電照消費電力量	10.12		
窒素質肥料	7.53	肥料	11.46
リン酸質肥料	3.35		
カリ質肥料	0.58		
農薬	7.97	農薬	7.97
段ボール箱	67.55	出荷	67.55
いわきランド→JA福島	18.40	輸送工程	40.01
JA福島→築地	16.87		
築地→50km先の販売所	4.73		
合計	223.52		223.52

表 S4　各代替案の CO_2 削減量

	HP	BT(15t)	BT(30t)	LED	バイオ燃料①(300km、10t)	バイオ燃料②(800km、10t)	バイオ燃料③(300km、4t)
CO_2削減量[kg-CO_2/10a・year]	13318.6	21917.9	25290.6	3148.8			
CO_2削減量[g-CO_2/個]	42.5	69.9	80.6	10.0			
CO_2削減率(工程内)[%]	49.1	80.9	93.3	91.0	7.7	7.7	10.7
CO_2削減率(全体)[%]	19.0	31.3	36.1	4.1	0.6	0.6	0.8
設備投資額[円]	1,000,800	126,141,199	150,321,044	498,000		※	
限界費用[円/kg-CO_2]	75	192	198	158	1436	1436	999

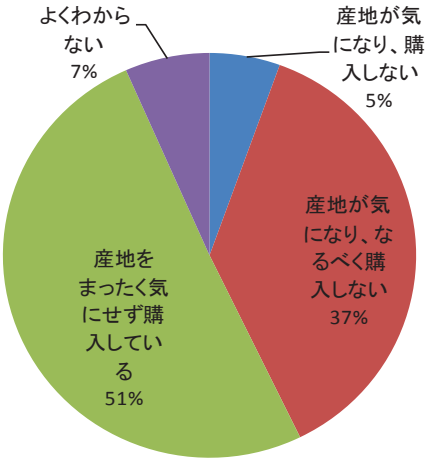


図 S2　設問 6 の回答割合

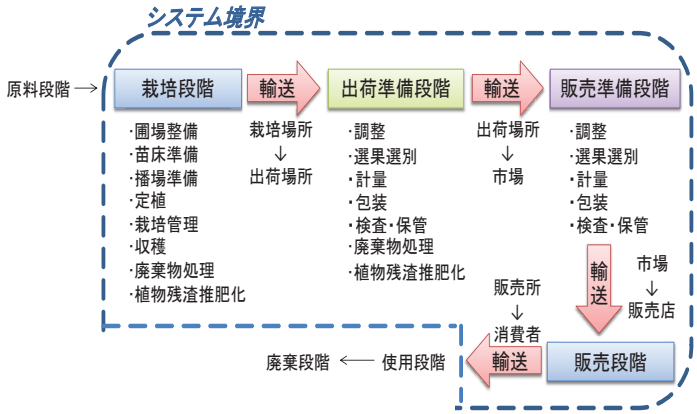


図 S3　システム境界

自然栽培による夏野菜の WF

Water footprint of natural farming summer vegetables

○飯田惣也*[1)]、久保正英[2)]、深谷将世[3)]、伊坪徳宏[1)]
Soya IIDA, Masahide KUBO, Syosei FUKAYA, Norihiro ITSUBO
1) 東京都市大学, 2) エコ食品健究会, 3) 三井化学
*g0931012@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、世界的人口増加から水不足が懸念されている。このような中、ウォーターフットプリント(以下 WF)が提唱され、水に関する環境情報の見える化が注目されている。WF は国際規格化に向けた作業が実施されており、規格の発行に伴いその利用は世界的に広まるものと考えられる。生産に伴う水使用が特に多い農作物に関しては、過去にいくつか算定が行われているが十分でないのが現状である。農作物の生産方法で代表的なものは慣行栽培であるが、近年では無農薬・無肥料で実施する自然栽培が注目され、環境配慮の面でも関心が集まっている。

農作物は栽培方法によって環境負荷は変化するものと考えられるが、これまでに LCA を通じた環境影響の定量的な違いについて議論された例は無い。本研究ではこの自然栽培を対象とした、環境影響評価の実施をするとともに、慣行栽培や有機栽培との比較検討を行う。

2. 研究目的

本研究では我が国の主要な夏野菜を対象に、自然栽培、慣行栽培、有機栽培 3 農法それぞれで畑地に直接、間接投入される水消費量(WF)を算定することを目的とする。また、算定後に各栽培方法の環境影響も評価し、比較を行う。さらに算定方法や配分方法、栽培地域の変化による WF の感度についても合わせて考察をする。これらを算定することにより、自然栽培の環境優位性について検討することが可能となる。

3. 方法

3.1 野菜の WF の算定

神奈川県相模原市緑区澤井沢井鳥獣地区内で自然、慣行、有機の各栽培方法で作られた野菜（トマト、ナス、ホウレンソウ）計 3 種を評価対象とする。各栽培方法、同地点で農作物を栽培している。トマトの栽培状況を表 1 に示す。システム境界（図 1）は各農作物の栽培までとする。水の種類については、現在作成中の ISO14046 の手順に沿うこととした。栽培時に直接畑地へ投入され消費される水（雨水、河川水）と、肥料投入後、環境中に放出される窒素およびリンに対する希釈水。また農作物に間接的に投入される水（肥料や農薬を生産する際に消費する水）を考慮する。機能単位はそれぞれ質量 1kg とする。

表 1　栽培状況の概要

栽培方法	収穫高	栽培面積	栽培期間
自然栽培	14.1t	10a	2012/3/27～2012/10/19（207 日間）
慣行栽培	13.4 t	10a	2012/3/6～2012/10/20（229 日間）
有機栽培	15.9 t	10a	2012/3/9～2012/10/14（220 日間）

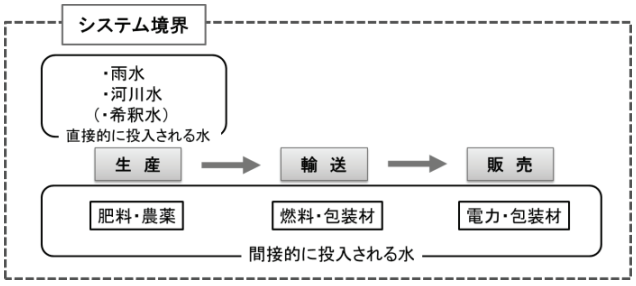


図 1　システム境界

3.2 インベントリ分析

3.2.1 直接および間接の水消費量

直接の水消費量については、畑地で消費される雨水と河川水の合計値は、蒸発散量と等しく、国際連合食糧農業機関(FAO)が算定している作物係数 kc[1)]と農業環境技術研究所が作成したモデル結合型作物気象データベースの基準蒸発散量 ET_0[2)]の値を乗じた値となる。

評価対象地域の1日毎の蒸発散量と雨量を得て、蒸発散量の水を雨水と河川水に分けた。蒸発散量と雨量を比較し、同じ、もしくは雨量の方が多い日は、雨水から蒸発散するものとした。雨量が蒸発散量より少ない、もしくは無い日は、雨水と河川水から蒸発散するものとした。その際の河川水の量は蒸発散量から雨量を差し引いたものとした。

間接の水消費量については、原単位法を用いて算定する。原単位は小野ら[3)]が算出したものを使用した。投入データに関しては、エコ食品健究会所有のデータを使用した。

3.2.2 窒素およびリン

環境中に放出される窒素およびリンに対する希釈水については、畑地に投入されたそれぞれの肥料の中に含まれる窒素とリンの含有率を調べた。窒素の流出率は5%、リンの流出率は5%とした。環境省が出している一律排出基準と収穫量のもと、以下の式を用いて算出をした。

$$希釈水[l/kg] = \frac{投入肥料[kg]\times対象物質含有率[\%]\times対象物質流出率[\%]}{一律排水基準[mg/l]\times収穫量[kg]}$$

3.3 影響評価

3.3.1 Water availability footprint

現状として、WSIをもとにした研究が複数行われている（Pfisterら）が、国際的には未だ合意が得られていない。したがって、本研究ではWFNの示す水源の区分で評価を行うこととした。

3.3.2 Water degradation footprint

畑地へ投入される肥料に含まれる窒素およびリンの総施肥量を、LIMEの富栄養化係数に掛けあわせて算出する。

4. 結果

4.1 インベントリ分析結果

4.1.1 水消費量

トマトの算定結果を示した。（図2）

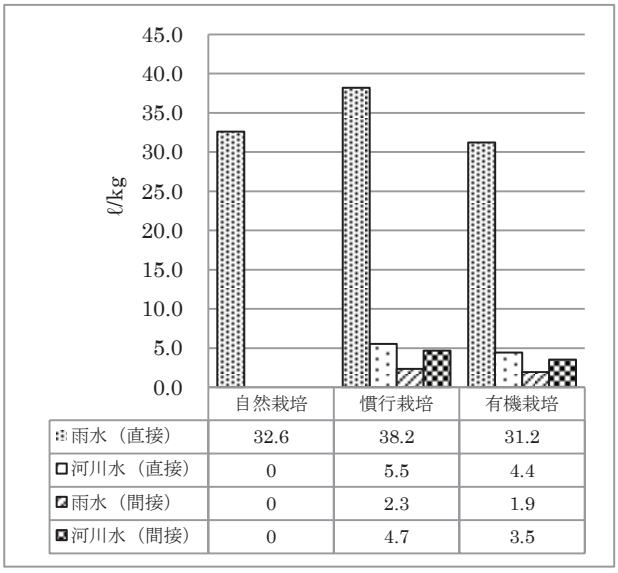


図2 直接および間接水消費量

4.1.2 窒素およびリン

トマト生産における希釈水量を表2に示した。P（リン）で求められた希釈水量で、N（窒素）分も希釈できるものとする。P（リン）の値が大きい理由として、N（窒素）に比べPは1ℓで希釈できる量が少ないためである。自然栽培においては肥料と農薬を使用していないため計算されていない。

表2 トマト生産における窒素およびリンの排出量

kg/10a	N	P
自然栽培	0	0
慣行栽培	24.0	138.1
有機栽培	23.4	19.3

4.2 影響評価結果

4.2.1 Water availability footprint

雨水と河川水の和を示した。（図3）自然栽培は32.6ℓ/kg、慣行栽培は43.6ℓ/kg、有機栽培は35.6ℓ/kg、という結果になった。

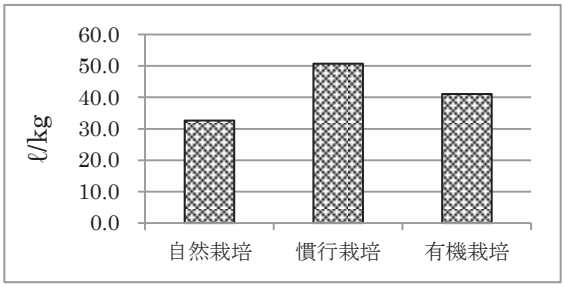


図3 直接および間接水消費量

4.2.2 Water degradation footprint

畑地からの窒素およびリンの排出量とLIMEの特性化係数を掛け合わせた。（表3）

表3 LIME算定結果

	富栄養化寄与物質	総排出量	LIME特性化係数	PO_4^{3-}eq	計 (PO_4^{3-}eq)
慣行栽培	N	24.0kg/10a	0.260	6.24	429.5
	P	138.1kg/10a	3.065	423.3	
有機栽培	N	23.4kg/10a	0.260	6.08	65.3
	P	19.3kg/10a	3.065	59.2	

5. おわりに

本研究では、自然栽培、慣行栽培、有機栽培を対象に3種類の野菜のWFを算出し、環境影響評価を行った。これにより、慣行栽培および有機栽培で生産される同野菜との環境優位性の比較が可能となった。今後の展開として、本研究評価対象以外の野菜の評価と比較が挙げられる。

6. 参考文献

1) 国際連合食糧農業機関：“Chapter 6 - ETc - Single crop coefficient”, 国際連合食糧農業機関ホームページ
2) 農業環境技術研究所：“モデル結合型作物気象データベース(Meteo Crop DB)”, 農業環境技術研究所ホームページ
3) 小野雄也, 堀口健, 伊坪徳宏：“産業連関分析を用いた日本におけるウォーターフットプリント原単位データベースの開発”, 伊坪研究室ホームページ
入手先 http://www.yc.tcu.ac.jp/~itsubo-lab/

食肉における温室効果ガス排出量と環境効率

Greenhouse Gas Emissions and Eco-efficiency on Meat

○兪　洪欽*1)、　上田　翔 1)　八木田　浩史 2)
Hongqin YU , Sho UEDA,　Hiroshi YAGITA
*1）日本工業大学大学院 ，2）日本工業大学
*yukoukinn@yahoo.co.jp

1.　はじめに

発展途上国では急激な経済成長とともに食生活が大きく変化し、穀物を中心とした従来型から食肉を中心とした先進国型に移行しつつある。食肉産業の温室効果ガス排出量は世界の輸送システムの温室効果ガスの排出量を約40%上回るという報告もある[1)]。このような状況を背景として、食肉に関わる環境問題を検討する必要が生じている。

2.　目的

本研究では、食肉の環境問題の検討に際しては日本の食肉における温室効果ガスの排出量と環境効率を着目し、検討する。食肉に関わる温室効果ガス排出量を貨幣価値に換算することにより、食肉の生産システムの経済価値と環境負荷の両側面を合わせて環境効率を評価する。また、食肉生産システム(図1)を三つに分けて、環境効率を比較する。DDGS (Distiller's Dried Grains with Solules) はエタノール生産の副産物である。環境効率を向上するため、飼料 DDGS を着目し、飼料トウモロコシと飼料DDGS の環境効率を比較する。

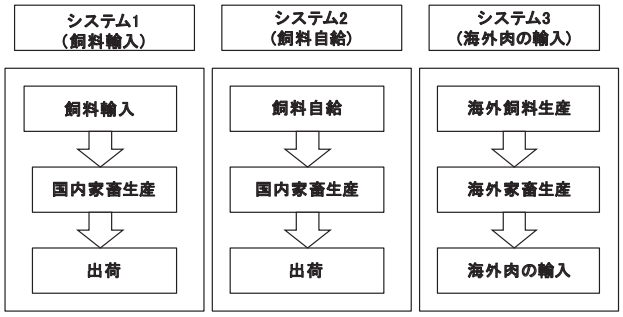


図１　３つの食肉生産システム

3.　方法

3.1　温室効果ガスの排出量計算

食肉における温室効果ガスの排出量計算においては、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第４条[2)]などの算定基準を用いると共に、カーボンフットプリント[3)]、フードマイレージ[4)]「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル畜産編」[5)]を活用する。

図２に本研究の環境負荷評価対象を示す。

日本版被害算型環境影響手法 LIME[6)]を用いて、CO2の排出量を金額に換算する(式1)。

CO2 の排出量の金額

＝CO2 の排出量×6.19E-1 円/ｋｇ　(1)

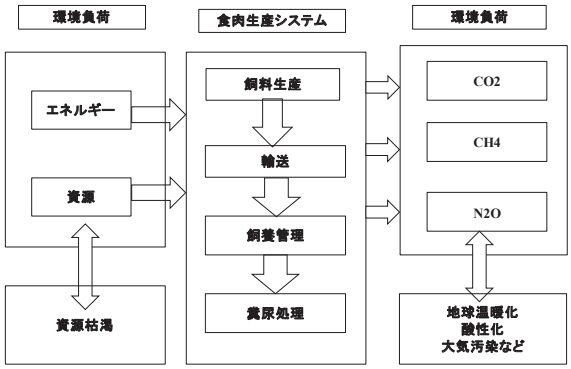


図２　環境負荷の評価対象

3.2　食肉環境効率の求め方

「環境効率」[7)]　は、製品・サービスの価値と環境負荷の両側面を評価する考え方であり、式 2 のように定義される。

製品・サービスの環境効率

＝製品のサービス価値÷環境負荷　　(2)

食肉のサービス価値を価格で示し、式 2 を食肉に適用すると、食肉の環境効率は式 3 のように定義される。

食肉の環境効率

＝１kg の肉の価格÷１kg の肉の環境負荷　(3)

4.　結果と考察

4.1　食肉の価格、LIME のまとめ

表 1 1kg 肉の価格、CO2 排出量とその費用換算

区分	価格(円)	CO_2排出量の費用換算(LIME)		
		システム１	システム２	システム３
	国産	CO2 (kg)	CO2 (kg)	CO2 (kg)
	輸入	LIME (円)	LIME (円)	LIME (円)
牛肉	4,510	17.11	17.37	17.15
	2,020	10.60	10.75	10.62
豚肉	2,430	2.83	3.00	2.90
	1,470	1.75	1.85	1.80
鶏肉	578	1.34	1.41	1.41
	426	0.83	0.87	0.87

食肉の国産価格[8)]、輸入価格[9)]の比較し、システ

ム1、システム2、システム３の温室効果ガスの排出量をLIMEで換算したものを表１に示す。

4.2　食肉の環境効率

牛肉、豚肉、鶏肉について、1kg あたり食肉の温室効果ガスの排出量を図２に示す。食肉の温室効果ガスの排出量を比較した結果として牛肉、豚肉、鶏肉の順で大きい値を示した。

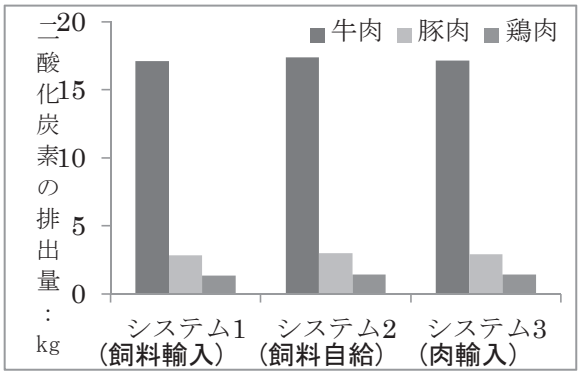


図３　1ｋｇあたり食肉の温室効果ガスの排出量

牛肉、豚肉、鶏肉について、三つの生産システム環境効率を比較した（図3)。食肉の環境効率を比較した結果としてはシステム1(飼料輸入）、システム2(飼料自給)、システム3(肉輸入)の順で高い値を示した。

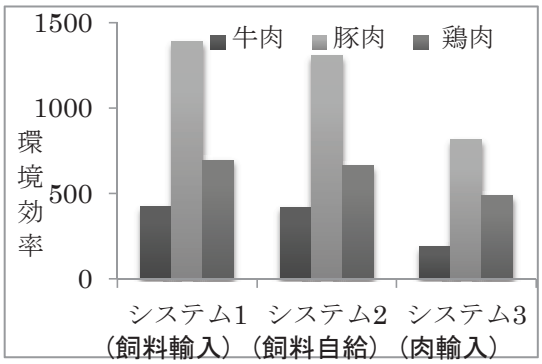


図４　三つの生産システム環境効率の比較

4.3　飼料の在り方の検討

DDGSの環境効率をアロケーションに際しては、飼料のトウモロコシとの比較した結果は以下である。

環境効率1はローアロケーションで、副産物DDGSの環境負荷0に試算する。飼料DDGSの環境効率はトウモロコシの環境効率より高い。

環境効率2はアロケーション1で、経済価値の割合「(26 円(DDGS)/149(DDGS+エタノール) 円貨幣)」[9]に試算する。副産物DDGSの環境負荷は0.17kg-CO2/DDGS-kgである。飼料DDGSの環境効率はトウモロコシの環境効率より高い。

環境効率3はアロケーション2で、副産物DDGSの環境負荷を 0.5kg-CO2/DDGS-kg（エタノールとDDGSの重さの割合）に試算すると、飼料DDGSの環境効率トウモロコシの環境効率より高い結果となった。

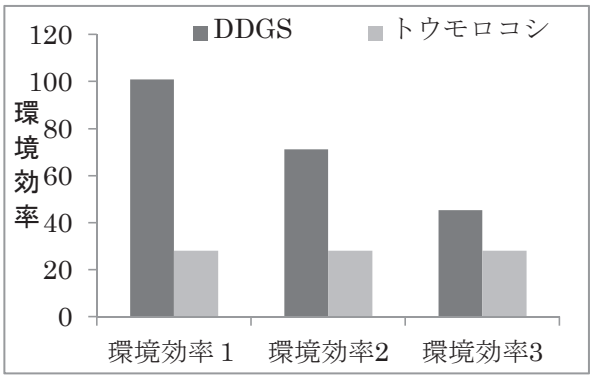


図５　DDGSとトウモロコシの環境効率を比較

5.　まとめ

食肉の生産システムを経済と環境の側面に着目して、環境負荷を貨幣価値で換算することにより評価した。

各システムの食肉の環境効率を比較し、食肉の飼料輸入、国内飼養、出荷の環境効率が一番高いことを確認した。3 種類の肉の環境負荷は牛肉、豚肉、鶏肉の順で大きいことも確認した。

持続可能な社会に向けて、食肉の飼料自給、国内飼養、出荷のシステムの環境効率の向上をすると共に、国内飼料自給率の向上をはかることも必要である。

DDGSの利用により、飼料の環境効率を向上することがわかった。また、食肉の生産システムの環境効率を向上することがわかった。

参考文献

1)　FAO The Breathtaking Effects of Cutting Back on Meat(2009) http://www.fao.org(2011.6)
2)　法令データ提供システム　地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第四条 law.e-gov.go.jp/htmldata/H11/H11SE143.html
3)　カーボンフットプリントと算定方法 www.jri.co.jp
4)　「農林水産政策研究 No.5」農林水産政策研究所、「フード・マイレージ」(株)日本評論社 www.maff.go.jp
5)　農林水産省　温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル畜産編) http:// www.maff.go.jp
6)　産業技術総合研究所　安全科学研究部門 http://www.aist-riss.jp (2011.10)
7)　環境効率 - LCA日本フォーラム http://lca-forum.org/environment
8)　平成24年畜産物の需給関係の諸統計デー lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/nstatis.htm
9)　日本標準飼料成分表ブック2009年版)、 jlia.lin.gr.jp/cali/info/standart/seibun.html

農業生産における社会・経済・環境影響の定量化手法に関する検討

Development of methodology to quantify environmental, economic and social impacts related to agricultural production

○吉川直樹*[1)]、天野耕二[1)]、島田幸司[1)]
Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Koji Shimada
1) 立命館大学
*n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

新しい農業技術や資源作物生産など新規の農業プロセスの展開に関わる意思決定のための指標として、経済性や環境影響のみならず、社会全体への影響を定量化することは重要である。これらを総合的に評価することで、社会・環境・経済への影響を偏りなく判断でき、持続可能な農業に向けた適切な技術選択を行うことが可能になる。さらに、情報提供を通じた商品選択の支援と、それによる優れた技術の普及促進が期待される。

LCAにおいて社会側面を評価するsocial LCAや、環境・社会・経済影響を総合的に評価するlife cycle sustainability assessment（以下SLCAと総称する）に関しては、UNEPのISO14044の枠組みに沿ったガイドライン[1)]や、ERIAのプロジェクト報告書[2)]など、手法研究の展開は進みつつある。

一方、農業においては、農地や生産活動が市場を経由しない多面的な機能を有することが指摘されており、その価値の経済評価が試みられている[3-5)]。農業のSLCAにおいても、多面的機能を取り上げることが望ましいと考えられるが、いまだ十分な議論はなされていない。

そこで本稿では、農業分野の多面的機能の評価について、SLCAに向けた論点を整理し、定量化の手法を検討する。

2. 農業生産に固有の社会影響とSLCAへの適用

2.1 農業の多面的機能と影響範囲

日本学術会議[3)]では、農業の多面的機能として表1に示すような機能を取り上げている。このうち機能1は、食料供給リスクの緩和、機能2-2-2では、景観保全やレクリエーション機能等が含まれる。これらの機能により、社会・経済活動に変化が生じ、その結果経済波及効果が発生することは想定されるものの、市場を経由しない点で社会影響に該当する。

機能2-1および2-2-1に属する多くの項目は、環境影響として評価されるべきものである。ただし、土地利用において、土地の占有による影響のみを評価し、農業生態系の維持については考慮されないなど、現状のLCAでは、負の影響のみを評価されることが多い。

間接的な波及効果を含めれば、ほとんどの多面的機能は社会・経済・環境の各側面へ影響が及ぶと考えられる。複雑に波及する効果を可能な限り網羅したSLCAを行うためには、統計データ等を活用して、多面的機能の社会・経済・環境影響に関する影響評価データの整備を図る必要がある。また、SLCAにおいては、地域性の情報は重要であり、地域別のデータ整備が求められる。

表1 農業の多面的機能の種類[3)]

1　持続的食料供給が国民に与える将来に対する安心			
2　農業的土地利用が物質循環系を補完することによる環境への貢献	2-1　農業による物質循環系の形成	2-1-1	水循環の制御による地域社会への貢献
		2-1-2	環境負荷の除去･緩和
	2-2　二次的自然の形成･維持	2-2-1	新たな生態系としての生物多様性の保全等
		2-2-2	土地空間の保全
3 生産･生活空間の一体性と地域社会の形成･維持	3-1　地域社会･文化の形成･維持	3-1-1	地域社会の振興
		3-1-2	伝統文化の保存
	3-2　都市的緊張の緩和	3-2-1	人間性の回復
		3-2-2	体験学習と教育

2.2 多面的機能の経済評価手法とSLCA

多面的機能の定量評価は、経済評価が一般的である。手法としては、代替法・顕示選好法・表明選好法（仮想評価法(CVM)やコンジョイント分析）が主に用いられ、このうち代替法・表明選好法がより幅広い機能に適用可能である。LIME2においてコンジョイント分析が用いられているように、多面的機能の影響のエンドポイントとして貨幣価値を用いることは可能である。ただし、ライフサイクル評価手法であるSLCAへの各手法の適用においては、次の点に留意する必要があると考えられる。

代替法は、評価対象が有する多面的機能について、その機能を、別の製品・施設などで代替するための費用を便益として評価する。これは、LCAにおけるAvoided impactに近い考え方である。インベントリ分析において、代替法を用いることに一定の妥当性はあるが、評価係数の算定のためには、可能な限り多面的機能がもたらした影響そのものを計測することが望ましい。

CVMは、支払い意志額を利害関係者に対する調査をもとに評価する方法である。適用範囲は広く、他の手法で

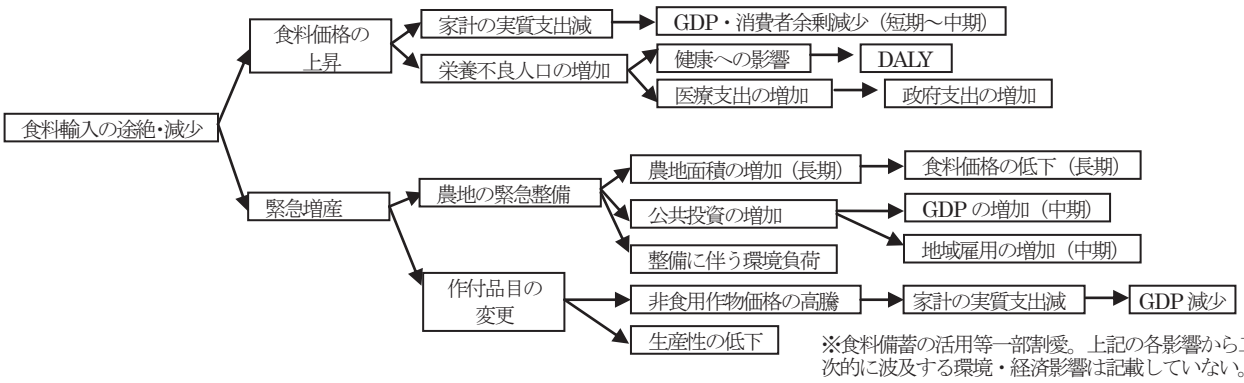


図１ 食料安定供給リスクに関わる影響評価のフレームワーク

定量化困難な非利用価値についても評価できる。しかし、社会・経済・環境の複数側面に影響が及ぶ機能については、各側面の影響に切り分けることが難しい。コンジョイント分析では、支払意志額を要因（影響）別に評価することが可能であることから、社会影響が間接的に経済・環境側面に与える影響の一定部分は評価可能である。

しかし、多面的機能の社会への影響の波及の因果関係がある程度明確で、かつ定量的に扱える場合、その影響を直接計測するほうが、被害算定型評価とは整合的である。したがって、社会影響のインパクト評価においては、それが困難な場合において表明選好法による評価を行うことが望ましいと考えられる。

2.3 多面的機能のミッドポイントとエンドポイント

影響評価の枠組みを、手法の透明性が高い被害算定型とする場合には、社会影響のエンドポイントの設定が論点の一つとなる。湯ら[6]は人間開発指数（HDI）をエンドポイントとした影響評価係数を算定している。HDI のような統合型の指標は、社会影響評価において有用である。

多面的機能のなかには、洪水防止や水質浄化における被害額の軽減や環境負荷の軽減などのように、GDP 等 HDI の構成要素や、環境 LCA のミッドポイントを用いて評価可能な機能も存在する。しかし、自然景観保全等の機能については、HDI では定量化することができないため、多面的機能を網羅した影響評価の枠組みを構築するためには、新たなエンドポイントの設定が必要である。

3. 社会影響の定量化のための分析枠組み：食料安定供給機能のケーススタディ

多面的機能の評価に際し、その影響を可能な限りたどり定量化すべきという観点から、食料安定供給機能に関し、評価の枠組み構築を行った。食料安定供給機能は、ここでは食料の外部からの輸（移）入によらず、内部で生産可能な基盤（農地）を保持する機能と定義する。評価のミッドポイントは、農地（面積）とする。たとえば耕作放棄地における非食用作物の栽培は、食料輸入が途絶した場合の食料増産可能性を担保し、食料需給の逼迫を緩和する機能を有すると想定している。

図１は、食料輸入の途絶・急激な減少が発生した際の、政府の対応[7]を考慮した想定される社会影響である。食料供給の減少とその対応の両面から、社会・経済・環境への影響が予測される。これらはシナリオ分析を用いて、不確実性はあるが評価は可能である。しかし、食料輸（移）入の減少という事象の発生リスクについては、定量化が難しい。専門家・行政担当者や一般住民のリスク認知の調査により推定する必要がある。また、食料供給リスクに対する一般住民の不安といった心理的不安も社会的なコストと考えられるので、それらの定量化も必要である。

4. おわりに

本稿では、農業の多面的機能の社会・経済・環境影響を SLCA により評価する手法の構築のため、経済評価手法との整合性や論点を整理した。また、食料安定供給機能をとりあげ、影響評価のフレームワークについて検討した。今後は、評価手法に関する議論を深めるとともに、モデルケースの定量的な推計を行っていく予定である。

参考文献

1) UNEP： “Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products”, (2009)
2) ERIA: “Sustainability Assessment of Biomass Energy Utilization in Selected East Asian Countries” , (2011)
3) 日本学術会議: “地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について（答申）”, (1999)
4) 寺田憲治，吉田謙太郎：農業土木学会論文集，246，(2006)，pp.57-62
5) 柚山義人，端憲二，長利洋:農業土木学会誌, 71 (12) ，(2003)，pp.27-30
6) 湯龍龍, 伊坪徳宏: 日本 LCA 学会誌, 6 (4) ，(2010)，pp.338-350
7) 農林水産省: “緊急事態食料安全保障指針”, (2012)

有機肥料を用いた農業生産システムのLCAにおける分割モデルと代替モデルの比較 ー高窒素鶏ふん肥料の製造と利用を対象としてー

Comparison between partitioning and substitution models for LCA of agricultural production systems with high nitrogen fertilizers made from poultry manure

○林清忠*[1)]、堂本晶子[2)]、村上圭一[3)]、南雲芳文[4)]、加藤直人[1)]

Kiyotada Hayashi, Akiko Domoto, Keiichi Murakami, Yoshifumi Nagumo, Naoto Kato

1) 農業・食品産業技術総合研究機構, 2) 三重県農業研究所, 3) 三重県農林水産部, 4) 新潟県農業総合研究所

*hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

堆肥をはじめとする有機肥料の製造と利用は、環境保全型農業を実現するための基本的技術であると考えられる。そのため、これまでに様々な製造方法が考案されるとともに、堆肥化プラント等の有機肥料製造施設が各地で建設されてきた。しかしながら、LCAを用いた有機肥料の環境影響の評価結果は、配分を伴う通常のLCAを適用した場合には、必ずしも期待される通りにはならないことを示している[1–5)]。これは、有機肥料を製造しない場合に発生する環境負荷を明示的に考慮しないことには、評価が完結しないことを示唆している。

そこでこの研究では、環境負荷の配分を伴う分割（partitioning）モデルを適用した場合と、システムの拡張を伴う代替（substitution）モデルを適用した場合の結果を比較し、農業生産システムにおける廃棄物・副産物利用の評価方法に検討を加える。対象とする有機肥料は、高窒素鶏ふん肥料および慣行の低窒素鶏ふん堆肥であり、それらを利用する農業生産システムとして水稲作および野菜（キャベツ）作を取り上げる。

これまでのLCAにおいても肥料製造段階での評価[2,3,5)]と農業生産段階での評価[1,4)]があるが、有機肥料を評価する上での両者の違いは十分に検討されていない。本研究では、分割モデルと代替モデルを比較する際に、両段階での差異に留意し、代替的関係を評価する上での課題を明らかにする。

2. 方法

2.1 分割モデルと代替モデル

本研究では、インベントリ分析における２つのモデルを用いる。分割モデルは環境負荷の配分を行うモデルであり、代替モデルは副産物の産出を負の投入とみなし、システムの拡張を行うモデルである[6)]。前者はattributional LCAに、後者はconsequential LCAに相当する。本研究では、完全なconsequential LCAの実施でなく、家畜ふん堆肥の利用に関する意思決定と密接に関わる代替的関係（avoided emissions and resource use）に焦点を当てる。

2.2 肥料製造段階と農業生産段階における代替

図１に示したように、堆肥製造段階の評価では、産業廃棄物処理と堆肥製造の代替的関係、堆肥製造と化学肥料製造の代替的関係をシステム拡張の対象とする。農業生産段階の評価においては、堆肥製造と化学肥料製造の代替的関係はインベントリにおいて施肥設計として考慮されるため、産業廃棄物処理と堆肥製造の代替的関係のみを対象とする。

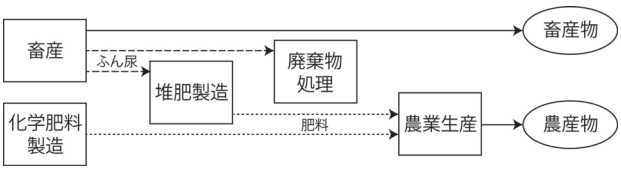


図１　家畜ふん堆肥製造段階と農業生産段階での代替的関係

2.3 対象とする有機肥料と農業生産システム

評価対象である高窒素鶏ふん肥料は、ウィンドウレス鶏舎での鶏卵生産過程から排出される鶏ふんを、副資材を使わずに密閉縦型発酵装置により堆肥化し、さらにペレタイザーを用いて4 mm×8 mmのペレット状に成形したものである。低窒素鶏ふん堆肥は、同様の鶏ふんを副資材を投入せずに乾燥発酵撹拌機により堆肥化し、さらに乾燥撹拌機によって乾燥させ、粒状化したものである。

水稲生産については、新潟県の水稲栽培指針における栽培方法を想定し[7)]、施肥の異なる３つのシナリオ（①高窒素鶏ふん肥料の施用、②低窒素鶏ふん堆肥の施用、③化学肥料の施用）を作成した。いずれのシナリオにおいても、有効窒素は6 kg/10aである。化学肥料の内訳は、硫安、リン安、塩化カリである。水稲の収量は３年間（2010–2012）の圃場試験の平均値を用いた。上記①～③の順に、564、 634、577 kg/10aである。

キャベツ生産に関しては、三重県の標準的体系（水稲露地野菜複合）における作型を想定し、３つの施肥のシナリオを作成した。①高窒素鶏ふん肥料＋硫加、②低窒素鶏ふん堆肥＋硫安＋硫加、③園芸化成＋PK化成である。各シナリオとも、この他に追肥として尿素を施用し、有効窒素の施用量は30 kg/10aに統一してある。また、シナリオ間に収量の差はなく、すべて6800kg/10aとした。

2.4 インベントリデータおよび影響評価手法

本研究におけるシステム境界はCTGである。化学肥料、農薬、農業機械等のインベントリデータについては、JALCA データベース[8]を用いた。堆肥製造過程からの温室効果ガスの直接排出は、製造前後の物質収支から推計した。農業生産過程からの排出量のうち、メタンについては圃場における作付期間発生量（実測値）の３年間（2010–2012）平均値を用いた。一酸化二窒素については、室内試験から得られた肥料ごとの排出係数を用いて暫定的に計算した[9]。

影響領域については地球温暖化のみを暫定的に取り上げ、IPCC 2007 GWP 100 年の値を用いた。計算には、SimaPro 7.3 を用いた。

3. 結果

3.1 堆肥製造段階での比較

図２は、水分 10%の堆肥 1 kg 当たりの温室効果ガス排出量を示している。鶏ふんの廃棄物としての処理（燃焼）時の排出量は、全炭素 28.7%、全窒素 3.2%の鶏ふんを想定した暫定値である。ここでは、発生する CO_2 は、生物由来のものとしている。化学肥料の代替効果の算出は、硫安、リン安、塩化カリの施用を想定している。高窒素鶏ふん肥料の場合には、代替モデルの導入により排出量が大幅に減少することが示された。

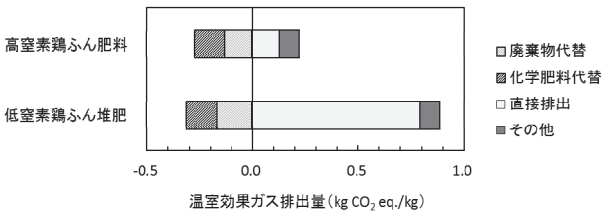


図２　堆肥１ kg 当たり温室効果ガス排出量

3.2 農業生産段階での比較

高窒素鶏ふん肥料を用いた水稲生産システムの温室効果ガス排出量は、廃棄物処理の代替を考慮することにより、化学肥料を用いた水稲生産システムに近づき、廃棄物処理の過程で発生する CO_2 を計算に入れると、化学肥料を用いたシステムを下回ることが示された（図３）。

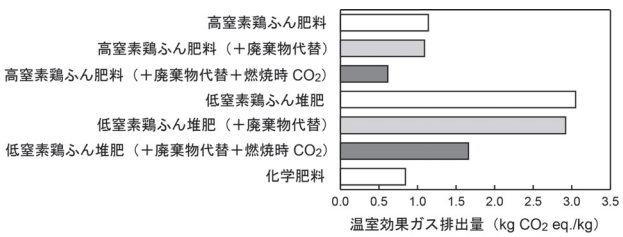


図３　玄米１ kg 当たり温室効果ガス排出量

キャベツの場合には、廃棄物処理の代替を考慮することにより、高窒素鶏ふん肥料を用いた生産システムの排出量が、化学肥料のみを用いたシステムを下回ることが明らかとなった（図４）。低窒素鶏ふん堆肥を用いたシステムの排出量については、いずれの場合も、化学肥料のみを用いたシステムを上回った。

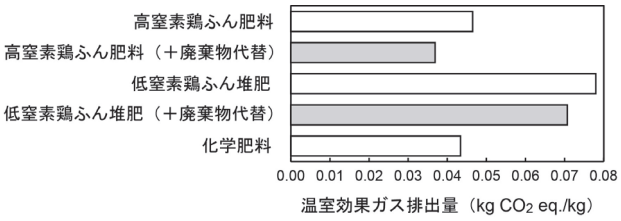


図４　キャベツ１ kg 当たり温室効果ガス排出量

4. おわりに

代替モデルを用いることにより、高窒素鶏ふん肥料を用いた農業生産システムの温室効果ガス排出量は、化学肥料を用いた場合に比べ小さくなることが示された。ただし、代替関係の評価にあたっては、以下の検討課題が残されている。第１は、デフォールトの廃棄物/副産物（鶏ふん）処理シナリオの設定方法、第２は肥料製造を marginal production とみなすことの妥当性、またそれと農業生産段階での施肥設計の関係である。

引用文献

1) Martinez-Blanco J., Munoz P., Anton A., Rieradevall J.: Resour. Conserv. Recy., 53(6), (2009), pp. 340-351
2) Prapaspongsa T., Christensen P., Schmidt J. H., Thrane M.: J. Clean. Prod., 18(14), (2010), pp. 1413-1422
3) Hamelin L., Wesnaes M., Wenzel H., Petersen B. M.: Environ. Sci. Technol., 45(13), (2011), pp. 5869-5877
4) Martinez-Blanco J., Munoz P., Anton A., Rieradevall J.: J. Clean. Prod., 19(9-10), (2011), pp. 985-997
5) De Vries J. W., Groenestein C. M., De Boer I. J. M.: J. Environ. Manage., 102, (2012), pp. 173-183
6) Weidema B. P., Bauer C., Hischier R., Nemecek T., Vadenbo C. O., Wernet G: “Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3 (final draft)”, (2011)
7) 丸山一成, 牛腸奈緒子, 守屋透, 林清忠: 日本 LCA 学会誌, 5(4), (2009), 432-438
8) Hayashi K., Shobatake K., Makino N., Hokazono S.: Proc. 10th Int. Conf. EcoBalance, Yokohama, (2012), pp. 2
9) 駒田充生, 安藤正, 堂本晶子, 加藤直人 : 2012 年度日本土壌肥料学会関東支部大会講演要旨集, つくば市, (2012), p. 20

多様な農業生産システムにおける温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルの推計

Reduction potential of greenhouse gas emissions from various agricultural production systems

○志村もと子*[1)]、高橋英博[1)]、三枝俊哉[2)]、伊藤千春[3)]、辻正樹[4)]、渡邊修一[1)]、林清忠[5)] 松森堅治[1)]
Motoko Shimura, Hidehiro Takahashi, Toshiya Saigusa, Chiharu Ito, Masaki Tsuji, Shuuichi Watanabe, Kiyotada Hayashi, Kenji Matsumori
1) 農研機構近畿中国四国農業研究センター, 2) 根釧農業試験場, 3) 秋田県農業試験場, 4) 愛知県農業総合試験場, 5) 農研機構中央農業総合研究センター
*shimura@affrc.go.jp

1. はじめに

これまで温室効果ガス（GHG）排出量を削減するための多くの農業技術が提案されてきたが、経験的な記述にとどまるか、農業生産のフォアグラウンドプロセスのみに注目する場合が多く、ライフサイクルでの削減ポテンシャルは十分に評価されてこなかった。

そこで新しい農業技術の導入が地球温暖化に与える総合的な影響を明らかにすることを目的として、従来の技術と、有機肥料の使用や疎植、拍動灌水装置などの新技術について比較するため、環境影響評価（LCA）を行った。

2. 方法

2.1 調査地区

対象とした４地区の栽培作物と新技術の概要を表１に示す。４地区の栽培作物はそれぞれ異なり、導入される新技術も異なっている。

2.2 使用ソフト

解析には、農研機構中央農研が開発した「経営指標から環境指標を計算する簡易 LCA プログラム」[1)]を用いた。ただし、肥料、農薬の排出係数については、JALCA データベース[2)]のシステムプロセスの値等を用いた。

2.3 インベントリ分析

各地区の関係機関にインベントリデータの収集と経営指標の入力を依頼し、そのデータをもとに、機械耐用年数・負担率等の条件を統一し、GHG 排出量を算出した。機械耐用年数は法定耐用年数の２倍とした。

GHG 排出量は、地面から・機械作業時・機械製造時・肥料製造時・農薬製造時・資材製造時・その他の項目に区分し、それぞれ、二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）、一酸化二窒素（N_2O）ごとに算出して、CO_2 あたり排出量に換算した。

3. 解析結果

４地区における慣行と新技術導入時の GHG 排出量についての解析結果を表２に示す。

3.1 草地飼料作（北海道）

スラリー利用技術の導入により、慣行で使用している堆肥をすべてスラリーに置き換えたとして解析を行った。

単位面積あたり GHG 排出量は 46%削減された。項目別では、慣行での排出量の約半分を占めていた肥料製造時の CO_2 排出量が 80%減少した影響が大きかった。また、草地面からの N_2O 排出量も 38%減少し、削減効果が高かった。

3.2 水稲作（秋田）

田植え時の苗数を３割減らす疎植技術の導入により、育苗に関わる排出量の減少が期待された。

解析の結果、資材製造時の CO_2 排出量は 24%と大きく削減されていた。ただし、全排出量の約 7 割を占める田面からの N_2O、CH_4 の排出量は新技術導入によってほとんど変化しないため、GHG 排出量の変動は、単位面積あたり 1.4%の微減にとどまった。

3.3 大規模畑作（愛知）

キャベツ（冬作）とスイートコーン（夏作）の年２作体系に、堆肥利用技術を導入したケースを対象として解析を行った。経営規模によって使用する機械や資材の使用量などが異なるため、家族経営と企業経営に分けて解析を行った。

単位面積あたり GHG 排出量は、家族経営で 10%、企業経営で 12%の増加となった。これは、慣行に比べて肥料（化肥＋堆肥）製造時の CO_2 排出量が 55%（家族）・74%（企業）、畑面からの N_2O 排出量が 19%（家族）・33%（企業）増加したためである。ただし、新技術の導入により、キャベツ、スイートコーンともに収量が約１割増加したため、収量1kgあたりのGHG排出量でみると、10%減（家族）、7%減（企業）となった。

3.4　露地野菜作（岡山）

ナス圃場に日射制御型拍動自動灌水装置を導入して解析を行った。この装置は、ソーラー発電で小型ポンプを動かして高所の貯水タンクに貯水し、その水位変動に応じて電磁弁を開閉させて間欠的に点滴灌水を行うものである。慣行の畝間灌水に比べ、収量増加と施肥量削減効果が期待される。

単位面積あたりのGHG排出量は3%の微増となった。これは、畑面からのN_2O排出量は12%減少したものの、灌水設備の設置によって機械・資材製造時のCO_2排出量がそれぞれ10%、15%増加したためである。しかし、収量が1割増加したため、収量あたりのGHG排出量でみると6%の減少となった。

4.　おわりに

新しい農業技術の導入により、単位面積あたりのGHG排出量は、北海道の草地飼料作、秋田の水稲作で減少した。一方、愛知の大規模畑作では化学肥料から堆肥への置換等、岡山の露地野菜作では新たな設備・資材の設置によってGHG排出量は増加した。しかし、この２地区では、新技術導入によって作物の収量が増加したため、収量あたりのGHG発生量は減少した（表２）。

これは、単位面積あたりの結果だけでGHGガス排出の改善効果なしと評価するべきではなく、収量も評価の際に考慮すべきであることを示している[3)]。

今後は、同じ地区にて調査を進め、現地データを用いてさらに詳細な解析を進めていく予定である。

なお、本研究は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実施したものである。

参考文献

1) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター：“経営指標から環境指標を計算する簡易LCAプログラム”,（オンライン）, 入手先 http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2010/narc10-08.html, (参照 2012-12-19)
2) Hayashi K., Shobatake K., Makino N., Hokazono S.: Proc. 10th Int. Conf. EcoBalance, Yokohama, (2012), pp. 2
3) Hayashi K.: Int. J. LCA, Online First, (2012), pp.9

表１　４地区の栽培作物・新技術の概要

地区	作物	新技術	概要
北海道	草地飼料	スラリー利用	堆肥3t/10a（慣行）→スラリー1.5m³/10aに置き換え 収量：増減なし
秋田	水稲	疎植	苗数：3割減･･･苗箱数・苗箱施肥量・農薬等が減少 収量：増減なし
愛知	大規模畑 ｷｬﾍﾞﾂ ｽｲｰﾄｺｰﾝ	堆肥利用	経営面積：〔家族経営〕3ha、〔企業経営〕6ha 堆肥施用（3t/10a）により化学肥料を削減 化学肥料(N/10a)： 〔家族経営〕63kg→43kg、〔企業経営〕55kg→41kgに削減 収量：１割増加･･･出荷用包装資材等が増加
岡山	露地野菜 ナス	日射制御型 拍動自動灌水装置	10a程度の圃場に設置 化学肥料(N/10a)：64kg→55kgに削減 収量：１割増加

表２　４地区における慣行と新技術導入時のGHG排出量

地区		単位面積あたりのGHG排出量 (kg CO_2 eq./10a)		排出量削減効果	収量あたりGHG排出量 (kg CO_2 eq./kg)		排出量削減効果
		慣行	新技術		慣行	新技術	
北海道		583.6	312.0	○	0.152	0.081	○
秋田		662.6	653.5	○	1.142	1.127	○
愛知	家族経営	2618.5	2872.1	×	0.831	0.744	○
	企業経営	2712.1	3025.9	×	0.843	0.783	○
岡山		3012.3	3113.2	×	0.301	0.283	○

点滴灌漑を利用した農作物の環境影響評価

The environmental impact assessment of agricultural products by using drip irrigation

○劉源*[1)]、田川不二夫[2)]、伊坪徳宏
1)東京都市大学,　2) ネタフィム　ジャパン
*g0931239@tcu.ac.jp

1　はじめに

2007 年に公表されたル IPCC 第 4 次評価報告書によれば、地球は地球温暖化の影響を受けているとされており、21 世紀末の世界平均地上気温は、約 1~6℃上昇し、年間平均河川流量と水の利用可能量は、中緯度のいくつかの地域において 10~30%減少すると予測されている。また、発展途上国の病気の 80%は汚水が何らかの形で関わっており、水に関係する病気で 8 秒に 1 人の子どもが死亡している。

BOP(Base of the Pyramid)とは、世界の所得別人口構成の中で最も収入が低い所得層を指す。約 40 億人がこれに該当すると言われる。BOP を対象としたビジネスが注目される中、日本は欧米諸国と比較して、具体的な取り組み事例が少ないのが現状である。

点滴灌漑は水を作物の根に近いところに点滴するように供給する。最も水の効率がよい灌漑法であるとも言われている。点滴灌漑は節水と増収の大きな利点があるため、水問題が深刻な途上国で広がっており、BOP ビジネスの対象として高く注目されている。

2　研究目的

本研究はライフサイクルの視点から日本で行っている点滴栽培と慣行栽培を利用したジャガイモとサトイモの水消費量及び GHG 排出量を算出し、点滴栽培の利点を明らかにする。

3　研究方法

3.1　研究対象

ジャガイモとサトイモそれぞれ２つの栽培方法の CO_2 排出量と WF を算定する。表１はそれぞれの栽培方法を示した。栽培場所は千葉県佐倉、評価対象物質は CO_2、水とする。機能単位は収穫された各農作物 1t を設定した。図１にシステム境界を示した。

表１　評価対象作物と栽培方法

ジャガイモ		サトイモ	
慣行栽培	点滴栽培(少肥料)	スプリンクラー	点滴栽培
	点滴栽培(多肥料)		

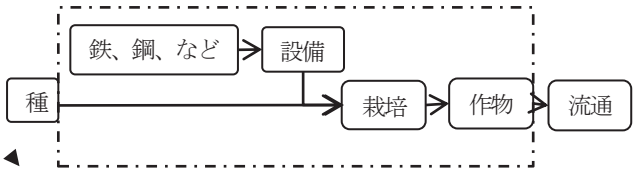


図１　システム境界

3.2　計算方法

GHG 排出量は以下の式で求める。

$$G = \frac{A}{\text{使用年数} \times \text{年間収穫量}} + \frac{B}{\text{収穫量}} + \frac{C}{\text{収穫量}}$$

G：作物 1t 当たりの GHG 排出量
A：設備の製造における GHG 排出量＝活動量×原単位
B：設備運転における GHG 排出量＝活動量×原単位
C：肥料や農薬における GHG 排出量＝活動量×原単位
原単位は物量原単位データベース IDEA を使用した。

直接影響の水消費量 WF は以下の式で求める。

$$WF = ET_c = \text{雨水} + \text{河川水};$$
$$(\text{if}, P > ET_0), \text{雨水} = ET_0 \times kc,$$
$$\text{河川水} = 0,$$
$$(\text{if}, P < ET_0), \text{雨水} = P \times kc,$$
$$\text{河川水} = (ET_0 - GW) \times kc,$$
$$\text{雨水}_R = P - \text{雨水}; \text{河川水}_R = \text{実測灌水} - \text{河川水}$$

ET_c: 作物(crop)の蒸発散量　kc: 作物係数
ET_0: FAO 基準蒸発散量　P: 降水量
$雨水_R$: 雨水 Return　　$河川水_R$: 灌水 Return

設備、農薬、肥料などにおける間接水消費と使用は活動量と原単位を掛け算して、収穫量に割る。原単位データベースは水資源原単位データベースを使用した。

希釈水は以下の式で求める。

$$\text{希釈水(L/kg)} = \frac{(\text{投入肥料(kg)} \times \text{対象物質含有率(\%)} \times \text{対象物質流出率(\%)})}{(\text{一律排出基準(mg/l)} \times \text{収穫量(kg)})};$$

流出率シナリオは WFN の基準を参考し、N:5%P:5%とした。排水基準は環境省"一律排水基準"[2)]に基づいて、N は 120mg/ℓ P は 16mg/ℓ である。

3.3　データ収集

点滴灌漑設備、スプリンクラー設備に関しては、各パーツの製造データを収集した。

栽培のデータは千葉で行った栽培実験の実測灌水、施肥、降水、FAO データを使用した。その一部は表 2 に示した。

表 2　栽培データ一部

	ジャガイモ			サトイモ	
	慣行栽培	点滴栽培(少肥料)	点滴灌漑(多肥料)	点滴灌漑	スプリンクラー
灌水(t/10a)		69.9	69.9	314	650
肥料(N)t	18.5	12	16.9	16	24
肥料(P)t	20	7.1	10.2	7.6	11.9
設備稼働時間(h)		50	50	112	324

4　結果と考察

灌漑設備とスプリンクラー一台当たり GHG 排出量はそれぞれ 235kg-CO_2eq と 143kg-CO_2eq であった。使用年数を 10 年にする、作物 1kg 当たりの負荷は表 3 に示した。

表 3　GHG 排出量

ジャガイモ(kg-CO_2eq)		サトイモ(kg-CO_2eq)	
点滴(少肥)	点滴(多肥)	点滴	スプリンクラー
4.70E-02	4.18E-02	7.95E-02	1.66E-01

設備 1 台当たりの負荷は点滴設備の方が大きいだが、稼働時間が短い為、低い結果になった。

直接用水のインベントリー結果は図 2 で示した。

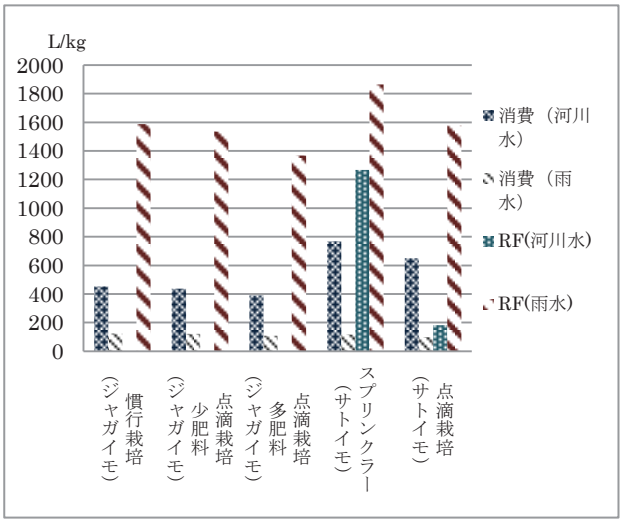


図 2　直接用水インベントリー結果

ジャガイモの慣行栽培では灌水を行っていないだが、収穫量が点滴栽培より低い為、水消費量は小さい結果になった。サトイモの場合は、スプリンクラーを使用する時に作物が必要とする水より遥かに多い水を灌水したので、河川水 R が大きい結果となった。

間接用水の結果は図 3 で示した。

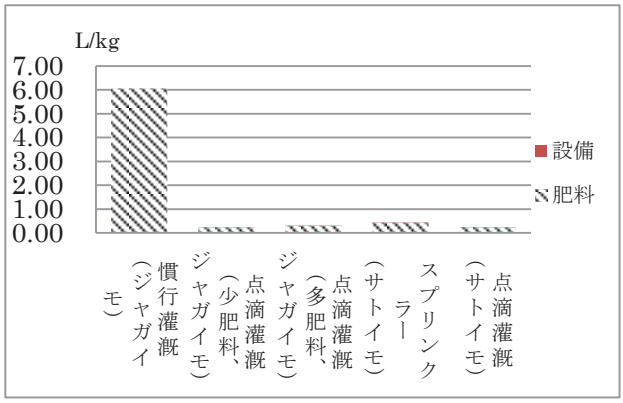


図 3　間接用水

肥料における間接影響は設備における影響より遥かに大きいことが分かった。ジャガイモの慣行栽培は肥料の投入量が大きいため、高い結果になった。

希釈水の結果は表 4 に示した。

表 4：　希釈水結果

	ジャガイモ(l/kg)			サトイモ(l/kg)	
	慣行栽培	点滴栽培(少)	点滴栽培(多)	点滴栽培	スプリンクラー
N	2.8	1.7	2.2	1.8	3.1
P	22.6	7.7	9.9	6.3	11.6

P の排出基準値が N より小さいため、P の希釈水は N より大きい結果になった。

5　まとめ

点滴灌漑設備をスプリンクラーの環境影響評価をした。ジャガイモは灌水しない慣行栽培と点滴栽培における水消費量を算出した、サトイモはスプリンクラー栽培と点滴栽培における水消費量を算出した。肥料と設備における間接影響を明らかにした。希釈水はシナリオを設定し算出した。

6　参考文献

1)　気象庁：過去の気象データ(オンライン)、入手先 <http://www.data.jma.go.jp>

2)　環境省：“一律排水基準”、(オンライン)、入手先 <http://www.env.ho.jp/water/impure/haisui.html>

高齢者の食事における CO_2 排出量の評価

An analysis of CO_2 emissions on the food for elder people

○中野宏美*1)、三上亮 1)、小井土賢二 1) 、大和田勇人 1)、井原智彦 2)、堂脇清志 1)
Hiromi Nakano, Ryo Mikami, Kenji Koido, Hayato Ohwada, Tomohiko Ihara, Kiyoshi Dowaki
1）東京理科大学, 2）東京大学
*j7409088@ed.tus.ac.jp

1.背景・目的

現在、注目されている問題として、地球温暖化と高齢化が挙げられる。東芦谷らは、1日の生活におけるCO_2排出の中で食事が約15%と大きな割合を占めていることを明らかにした[1)]。高齢化率は平成23年で23.3%まで上昇しており、2060年には現役世代(20～64歳)1.2人によって1人の高齢者を支える社会が到来すると推計されている。また、高齢化が進み単身世帯が増えることにより、食事の面においてのエネルギー消費量が大きくなってしまうことは明らかである。さらに、食べきれずに腐らせるといった事が増えるのではないかと予想される。そこで、高齢者が関心を持っていることの1つに健康が挙げられる。自立した生活を送ることは、家族や社会にとっても望ましいことであるが、何よりも高齢者自身の願いでもある。また、他の世代に比べ食に対してこだわりを持つのが特徴であるとも言える。従って、食の部分で、高齢者にとって無理のない方法でCO_2排出量の削減対策が必要と考えた。

そこで本研究では、高齢者に向けたメニューの提案等を行った。バランスの取れた食事を取ることで、より良い生活を送ることが出来るよう手助けを行うために、高齢者の行動パターンを把握し、様々な食事形態におけるCO_2排出量を算出し評価する。

2.高齢者の行動パターンの把握

高齢者の行動パターンを把握するために、平成 16 年全国消費実態調査の匿名データを用いた。65 歳以上の単身世帯と 2 人世帯を比較した結果、野菜、海藻、魚介類への支出が多いことが分かったので、それらを比較的多く含む、さらに、塩分控えめであるメニューを抽出した。また、中食や外食への支出が多かったので、それに関する CO_2 排出量も求めることとした。

3.CO_2 排出量の算出方法

内食における CO_2 排出量[kg-CO_2]は、14 日分のメニュー(42 品目)を調理する際の CO_2 排出量とした。算出方法は、風間らの研究方法によるものとし、食材の生産による CO_2 排出量と調理の CO_2 排出量を合計することにより求めた [2)]。食材の生産の CO_2 排出量は、味の素株式会社が作成した「食品関連材料 CO_2 排出データベース」を用いた [3)]。調理時の CO_2 排出量は、式(1)より推計した。

CO_2 排出量[kg-CO_2]
=エネルギー消費量 EN[J]×CO_2 排出係数[kg-CO_2/J]
=(エネルギー必要量 EN[J]/調理機器熱効率 η[%])
×CO_2 排出量係数　(1)

ここでの調理機器熱効率 η は、グリル、オーブン、ガスコンロを対象とし、ガスコンロの熱効率は、既往研究を基に水の加熱時と沸騰時に分けて考えた [4)](詳細については SI に参照されたい。)。また、式(1)におけるエネルギー必要量 EN は、式(2)～式(5)の要素に分けて評価した。

水(油)の温度上昇　$EN_1=(c\times m\times \Delta T)/\eta_{加熱時}$　(2)
水の蒸発　$EN_2=(e\times v)/\eta_{沸騰時}$　(3)
食材の温度上昇　$EN_3=\Sigma(c\times m\times \Delta T)/\eta_{加熱時}$　(4)
食材からの水の蒸発　$EN_4=(m\times h\times d\times v)/\eta_{加熱時}$　(5)

ここで、c：比熱[J/kg・K]、m：質量[kg]、⊿ T：温度差[K]、e：蒸発量[g] 、v：蒸発熱[J/g]、h：含水率[%]、d：脱水率[%]とした。なお、ここで用いた数値は表 S2~S7 に示した。次に、調理法と各要素の組み合わせを表 1 に示す。

表１　調理法と各要素の組み合わせ

調理法	要素番号	調理機器
茹でる・蒸す	EN_1+EN_2	ガスコンロ
揚げる	EN_1(油)$+EN_3+EN_4$	
炒める	EN_3	
焼く	EN_3	
グリル・オーブン	EN_3	グリル・オーブン

他の食事形態での CO_2 排出係数[kg-CO_2/円]は、中食の場合、食品関連材料 CO_2 排出データベースの惣菜等の項目の平均から算出されることができ、その結果、0.0027kg-CO_2/円であった。また、外食は、社団法人日本フードサービス協会(JF)が行ったアンケート結果を用い、その結果 0.0012kg-CO_2/円となった [5)]。

4.結果

ここでの内食での CO_2 排出量は、1 例として、主食(野菜とあさりのリゾット)、副菜(地鶏野菜の網焼きカルパッチョ)、汁物(えびときのこの豆乳スープ)を調理す

る際の結果について示す(図 1 参照)。なお、CO_2 排出量削減に視点をおきつつ、1 日に必要なカロリーを摂取することであるため、機能単位を摂取 kcal とした。

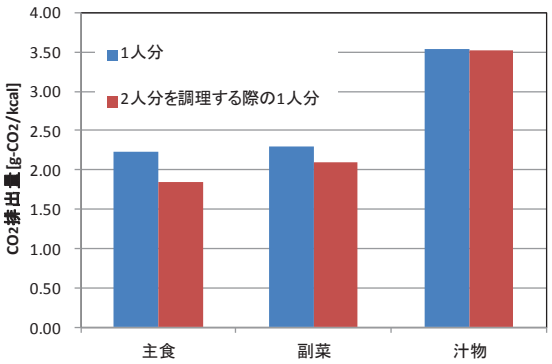


図１　１つのメニューを１人分･2 人分で調理する際の CO_2 排出量の比較

1 人分を調理する際における CO_2 排出量の合計は 8.06g-CO_2/kcal で、2 人分を調理した際の 1 人分における CO_2 排出量の合計は、7.48g-CO_2/kcal であった。すなわち 1 人分の食事を作る際の CO_2 排出量が大きくなる。また、汁物は主食に比べカロリーが大幅に低いため 1kcal 当たりの CO_2 排出量が多くなるという結果が得られた。

次に、内食・中食・外食の比較を行った。しかしながら、中食と外食に関するデータが無かったため、スーパーで弁当等の調査を行ったところ平均 0.73 円/kcal であったので、そのデータを用いることにした。なお、このデータの不確実性については、別途調査サンプル数を増やすこと等の工夫により対処していくこととしたい。次に、外食に関しての中食との違いは、容器包装を行っていないという点であり、それによる CO_2 排出量は少ないと考えられるため、同じ値を用いることとした(図 2 参照)。

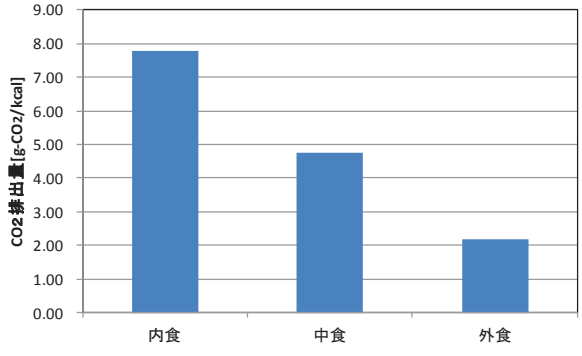


図２　内食・中食・外食における 1kcal あたりの CO_2 排出量の比較

図 2 より、1kcal における CO_2 排出量は内食が最も多くなっていることが分かる。また、内食において、調理段階の CO_2 排出量が全体の 64.61%も占めており、少人数分を調理する際は多くのエネルギーを無駄にしてしまっていることが見て取れる。従って、調理機器の改善が必要であると考えられる。

外食における CO_2 排出量に関しては、高齢者専用のレストランの流行等が起こらない限り、過度な費用負担を強いるため、今後増えるとは考えにくい。中食に関しては、コンビニ等で購入できる手軽さから、今後も利用者が増えると考えられるが、健康を促進するものではなく、且つ、外食と同じようにコストがかかるので、勧めることはできない。

5.おわりに

普段の楽しみは「食事」と挙げる高齢者が増えている中、中食や外食で済ましてしまうことは環境にも体にも良くない。内食は、食事における CO_2 排出量を削減でき、環境に貢献することができる。但し、今回の結果は、内食・中食・外食の特性だけではなく、計算条件の違いにも起因すると考えられるため、今後、さらなる検討が必要だと考えられる。

【謝辞】

解析に際しては、(独)統計センターが一橋大学経済研究所付属社会科学統計情報センターを通じて提供する全国消費実態調査(2004)の匿名データを独自に作成・加工した統計を用いており、総務省が作成・公表している統計とは異なる。関係各位に謝意を表する。

参考文献

1) 玄地裕, 東芦谷智, 井原智彦, 山成素子, 堂脇清志: 第6回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2010), pp.118-119
2) 風間理応, 森本涼子, 稲葉敦 : 第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2011), pp.38-39
3) 味の素株式会社　環境・安全部 : “味の素グループ版「食品関連材料 CO_2 排出データベース」更新のお知らせ”, 味の素株式会社, (オンライン), 入手先＜http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf＞, (2010-10-15)
4) 水野千恵, 四谷美和子, 北山英子, 山田克子, 荻野正子, 山本由美, 内田真理子, 梶田武俊, 安藤 孝雄, 生野世方子, 芥田暁栄, 山下英代, 山野澄子, 川内由美, 奥田 展子 : 日本調理科学会誌, 35(3), (2002), pp.275-280
5) 東京都環境局(社)日本フードサービス協会 : “外食産業の省エネルギー対策”, 社団法人日本フードサービス協会, (オンライン), 入手先＜http://www.tokyo-co2down.jp/documents/gaishoku%20G.pdf＞, (2007-10)

Supporting　Information(SI)

表 S1　調理機器の熱効率(η)

	熱効率[%]	
ガスコンロ	加熱時	沸騰時
弱火	32.6	42.5
中火	36.7	42.4
強火	32.7	40.6
グリル・オーブン	11.8	

但し「焼く」調理法はフライパン等の未使用部分による熱損失を考慮する為、ガスコンロの熱効率に次の補正係数 α を乗じる。

$$\alpha = S_S/S_F \qquad (S1)$$

ここで、S_S：食材の面積[cm^2]、S_F：フライパンの面積[cm^2]とした。ここで、フライパンは直径 28cm のものを使用することとする。

表 S2　食品の比熱(c)

野菜	比熱 [J/kg・K]	水産物	比熱 [J/kg・K]
キャベツ	3726	鮮魚	3595
たまねぎ	3560	えび	3010
にらねぎ	3977	いわし	3010
だいこん	3977	鮭	3470
ほうれん草	3767	**牛乳・乳製品**	
マッシュルーム	3935	牛乳	3860
にんじん	3809	チーズ	3310
じゃがいも	3516	バター	1700
かぼちゃ	4019	**果実**	-
トマト	3929	いちご	3720
食肉	-	柑橘類	3516
ハム	2430	**その他**	-
豚肉	ー	卵	3324
（生）	2850	小麦粉	1797
（燻製）	2510	砂糖	1254
牛肉	ー	水	4200
（赤身）	3220	米	1356
（脂肪）	2510	とうもろこし	1500
ベーコン	2090	油	1960

表 S3　調理法別温度差(⊿t)

調理法	温度差[K]
揚げる	130
炒める	100
焼く	100
グリル	150
オーブン	設定温度

表 S4　火力別の単位時間・単位面積当たりの蒸発量(e)

		単位時間・単位面積あたりの蒸発量[g/min・cm^2]
蓋無し	弱火	0.032
	中火	0.062
	強火	0.109
蓋有り	弱火	0.025
	中火	0.058
	強火	0.102

表 S5　調理法別の単位面積

調理法	水深h [cm]	鍋の面積S [cm^2]
茹でる	h_{Boil}＝4	mw/4
蒸す	h_{Steam}＝6	mw/6

ここで、m_w：水量とする。

トランス脂肪酸のリスク計算と環境影響評価のトレードオフ分析

A risk calculation of the trans-fatty acid and trade-off analysis of the environmental impact assessment

○加藤瞳*[1)]、伊坪徳宏[2)]
Hitomi KATO, Norihiro ISUBO
1) , 2) 東京都市大学
*g0931058@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、トランス脂肪酸の摂取と心疾患のリスクとの関係が明らかにされており、米国においても栄養成分表示の一環としてトランス脂肪酸含有量の表示の義務化が進んできている。日本でも複数の企業がトランス脂肪酸の低い食材を採用するなどの動きが見られているが、トランス脂肪酸の摂取低減が一体どの程度社会に貢献しているのかについて定量的に議論された事例はない。

また、世界保健機構(WHO)はコレステロール、アルコールなどの摂取をたばこや環境問題などと関連付けて、世界における健康状態の定量的評価を実施している。この分析は世界全体の健康状態について評価したものであるが、今後はLCAを拡張することで、製品レベルの分析に展開されることが期待される。

本研究では、日本人の一日あたりの食事における温室効果ガス排出量を算出し、この分析にトランス脂肪酸の摂取による健康評価を包括することで環境側面との比較を行う。これによりトランス脂肪酸の環境側面をより客観的に認識するとともに、企業による環境・社会に配慮した食材開発の指針を得ることを目標とした。

2. 方法

(1) 日本人の一日あたりの食事における温室効果ガス排出量の算定

①厚生労働省の国民栄養調査をもとに日本人の食事においてどの食品をどれだけ消費しているか調査した。
②消費した食品に 3EID[1)]の原単位を乗じて和をとることで食品由来の温室効果ガス(以下、GHG)排出量を求めた。
③LIME2[3)]の被害係数を乗じて損失余命を算定する。

(2) トランス脂肪酸のリスク評価

① トランス脂肪酸を含む食品の抽出
② 単位量あたりのトランス脂肪酸の含有量に対して一日の消費量を乗じる。これを年間あたりで換算する。
③ 摂取量の個人差を考慮して、閾値以上摂取する人数を算定する
④ 摂取量あたりの心疾患のリスクを乗じて、トランス脂肪酸摂取による心疾患患者数の推定を行う。
⑤心疾患一件当たりの損失余命を乗じて一年あたりの損失余命を求める。

(3)二つの結果を比較し、両者の定量的関係について考察した。

3. 結果と考察

(1)GHG 算定結果

GHG では牛肉が最も大きく 11.E+09t となった。これはウシ自身が呼吸や排泄物などで温室効果の高いメタンガスを多く排出するからであると考えられる。同じ原因から牛乳も値が大きくなったものと考えられる。

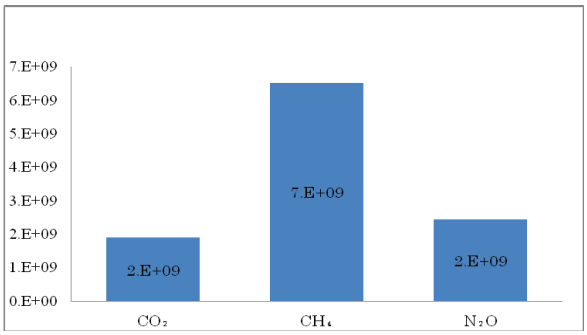


図 1. 日本人が一日に消費する牛肉の GHG 排出量 [t-CO2eq/t] (3ID[1)]による)

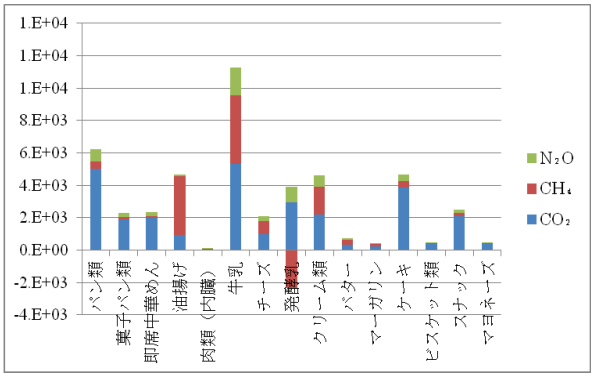


図 2. 日本人が一日に消費する食品の GHG 排出量 [t-CO2eq/t] (3ID[1)]による)

(2)被害評価結果

人間健康でも牛肉が大きくなった。**しかし、内訳は排出量の多い** CH_4 より N_2O のほうが大きな値となった。これ

はN_2O のLIME2[3]の被害評価係数が大きいからであると考えられる。

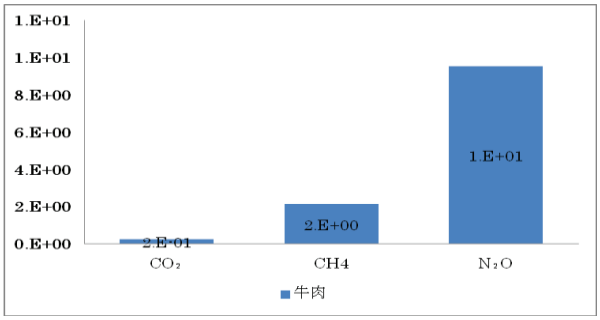


図 3.牛肉の人間健康(DALY/t)

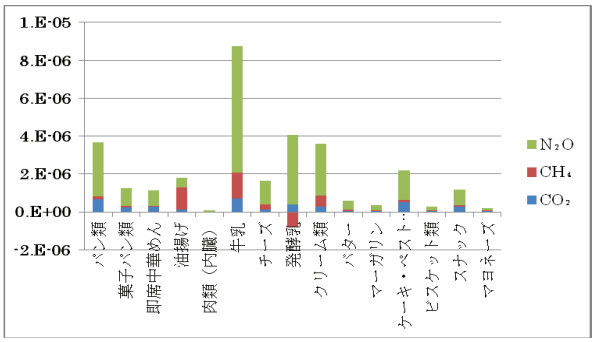


図 4.人間健康(DALY/t)

(3)トランス脂肪酸含有量

図 5 に各食品におけるトランス脂肪酸含有量を示す。
クリーム類が最も多く 0.2g となった。クリーム類にはコーヒー用液状クリーミングや植物油脂クリーミング食品が含まれており、防腐のための工程によりトランス脂肪酸が多く発生すると考えられる。
また、マーガリンは植物由来であるため、バターに比べて温室効果ガス排出量や人間健康への影響は少ない結果となっているが、液体である植物油を硬化するために水素を添加する工程でトランス脂肪酸が多く発生するため、含有量の面では大きな値になったと考えられる。ケーキ・ビスケット類にはマーガリンと同じように水素添加の工程がある、ショートニングが使用されている。
牛肉・牛乳については天然由来のものと考えられる。

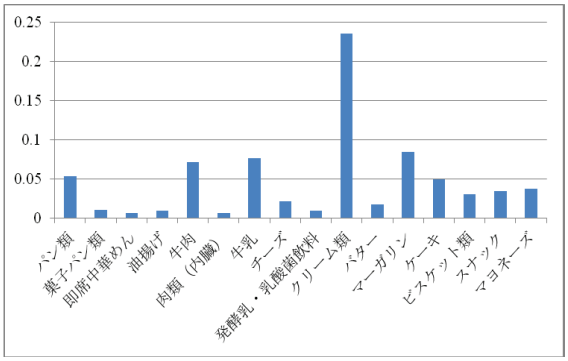


図 5.各食品におけるトランス脂肪酸含有量 (g)

(4)トランス脂肪酸リスク評価結果

日本においてトランス脂肪酸の摂取量が、報告書[4]における閾値の「総エネルギー量の 2%」を上回る人数は人口の約 0.0000165%である、2081 人であり、90%以上が女性であった。これは、女性が好む菓子類にトランス脂肪酸が多く含まれているからであると考えられる。また、トランス脂肪酸による心疾患の DALY は 0.06 となった。トランス脂肪酸は一般的な日本人の摂取量では大きな健康影響はないことが分かった。
しかし、WHO が定める基準値である「総エネルギー量の 1%」を上回る人数は人口の約 16%である、2076 万 293 人(%/人口)であった。食生活の変化により今後は大きな影響が出てくることも考えられる。

4. おわりに

本研究では日本人の一日の食事における環境影響評価を行い、トランス脂肪酸による心疾患へのリスク評価と比較した。本研究は 3ID[1]や総務省の統計値 [6]をもとに推算したものであるため、結果が平均値になっている点が課題である。以後これらのデータをヒヤリング値や実測値に変更することでより精度の高い結果を導くことができると考えられる。

参考文献

1)独立行政法人　国立環境研究所　南斉ら　3EID(2000)
2) Mai Yamada, Estimation of trans fatty acid intake Japanese adults using 16-day diet records based on a food composition database newly developed for Japanese population.(2010)
3) 伊坪徳宏・稲葉敦, “LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”,社団法人　産業環境管理協会,東京,(2010)
4) D Mozaffarian and R Clarke,Quantitative effects on cardiovascular risk factors and coronary heart disease risk of replacing partially hydrogenated vegetable oils with other fats and oils,(2009)
5)食品安全委員会“食品に含まれるトランス脂肪酸の評価基礎資料調査報告書”,(2007)
6)総務省　統計局,“日本の統計 2012”,(2012)

名古屋市における生鮮食品のライフサイクルにおける温室効果ガス排出量の推計

Estimation of the green housegas emission from perishable foods in Nagoya City

○中島寛則*[1)]
Hironori Nakashima
1) 名古屋市環境科学調査センター
*h.nakashima@nagoyakankaken.net

1. はじめに

野菜や果物といった青果物をはじめとした生鮮食品のライフサイクルに伴う温室効果ガスの排出を減少させるため、地産地消、旬産旬消といった買物行動が推奨されており、実際の GHG(Greenhouse Gas) 排出量の算出も行われているが、生産、輸送等各段階で原単位の細かな算出が困難であり、精度を高める必要性が指摘されている。

以前の研究では、名古屋市内の家計部門が購入する青果物 24 品目の GHG 排出量を算出し、削減可能性について検討を行ってきた。その結果、青果物では地産地消や旬産旬消を促すこと、また化石燃料を自然エネルギーへ転換することで、GHG 排出量の大幅な削減が見込まれることが示唆された。

そこで本研究では、青果物だけでなく、魚介類や肉類といった生鮮食品に範囲を広げて、名古屋市中央卸売市場の入荷量から生産・輸送段階の GHG 排出量を算出し、その結果に基づき名古屋市全体での排出量について推計を行ったので、その結果について報告する。

2. 評価方法

2.1 GHG 排出量算出方法

野菜 14 品目、果物 11 品目、水産物 11 品目および生肉類 2 品目について、名古屋市中央卸売市場年報より、平成 21~23 年の月別および年間入荷量を算出した。

このうち野菜 11 品目、果物 4 品目および水産物 11 品目については、輸送段階において、冷蔵または冷凍による輸送を行っていると仮定した。

生産段階における CO_2、CH_4 および N_2O の排出原単位($kgCO_2eq/kg$)については、野菜及び果物については文献値[1)]を用いた。水産物および生肉類は、3EID[2)] の分類にあてはめ、生産者ベースの原単位に、市場での単価を乗じて算出した。なお、水産物及び生肉類は国内産のみのデータを用いたため、輸入については考慮しないものとした。

各項目についての排出原単位を、名古屋市中央卸売市場での入荷量に乗じることで、年間 GHG 排出量を算出した。

また名古屋市中央卸売市場年報では、各青果物の生産都道府県別及び輸入国別の入荷量が示されている。そこで、自動車輸送、鉄道輸送及び海上輸送を合わせた、輸送段階における GHG 排出量を算出した。自動車輸送及び鉄道輸送については、各都道府県の県庁所在地から名古屋市中央卸売市場までの道路距離または鉄道距離を輸送距離と仮定した。海上輸送については各地の港湾から東京港まで輸送し、東京港から名古屋市中央卸売市場まで陸上輸送を行うと仮定した。自動車輸送、鉄道輸送及び海上輸送の比率および輸送過程における GHG 排出原単位は文献値[3)]を参考とした。

また輸送時に冷蔵又は冷凍輸送を行っていると仮定した品目については、その分の輸送時における GHG 排出量を加算した排出原単位を用いて算出した。

以上より算出した GHG 排出量に対し、名古屋市全体での消費量を名古屋市中央卸売市場への入荷量の 75%と仮定して、名古屋市全体での GHG 排出量を推計した。

3. 結果

はじめに、今回推計を行った品目の一覧および年間入荷量を表 1 に示す。この結果、最も入荷量が多かったのは、玉ねぎの約 6 万トン、次いでキャベツの約 4 万 3 千トンであった。果物では露地みかん、りんご、水産品ではぶり類、まぐろ類、肉類では豚肉の入荷量が多い結果となった。

表1　品目別入荷量

野菜	年間入荷量(t)	果物	年間入荷量(t)	水産品	年間入荷量(t)	肉類	年間入荷量(t)
キャベツ	42588	りんご	17581	いわし類	2955	牛肉	7077
ほうれんそう	3883	なし	5913	さけ・ます類	2908	豚肉	17084
レタス	21131	かき	5793	たい類	4490		
はくさい	31179	もも	3891	たら類	1465		
ねぎ	12733	露地みかん	21207	あじ類	3895		
にんじん	26458	その他かんきつ類	16217	ぶり類	12637		
だいこん	25091	すいか	11708	まぐろ類	11082		
たまねぎ	59368	ぶどう	3144	かじき類	1044		
ばれいしょ	33895	ハウスみかん	1817	かつお類	2614		
さといも	343	いちご	6340	さんま	4561		
トマト	14457	メロン	8516	さば類	5601		
なす	5302						
きゅうり	17380						
ピーマン	5994						

次に、野菜14品目および果物10品目の生産段階及び輸送段階におけるGHG排出量について、図1に野菜、図2に果物について示す。この結果、野菜、果物いずれにおいても、加温栽培の品目では生産段階のGHG排出量が大部分をしめており、輸送段階の寄与が10%以下と、相対的に小さくなったのに対し、露地栽培の品目では、生産地に応じて、玉ねぎやばれいしょなど、輸送段階の排出量が一定の割合を占める品目も見受けられた。

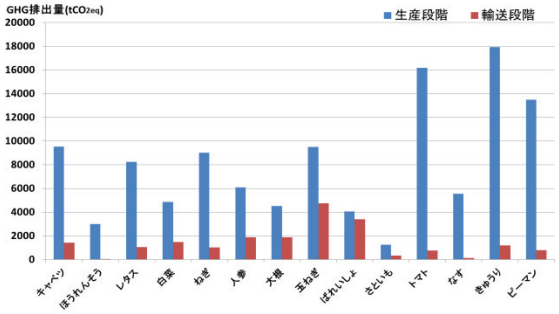


図1　野菜におけるGHG排出量

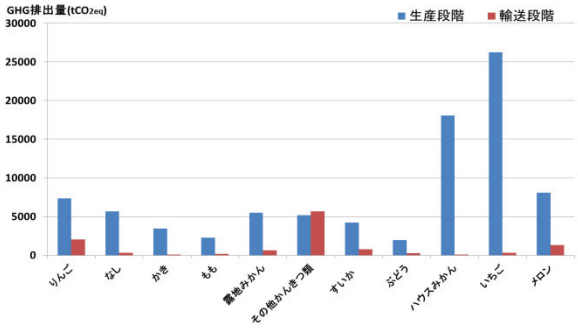


図2　果物におけるGHG排出量

次に、水産物11品目について、GHG排出量を算出した結果を図3に示す。この結果、今回算出した品目の中では、まぐろ類が最もGHG排出量が大きくなった。まぐろ類は原単位、入荷量ともに高かったため、GHG排出量が他の品目より大きくなったと考えられる。また水産物は、輸送段階での寄与がほとんど見られず、GHGはほとんどが生産段階で排出されていることがわかった。

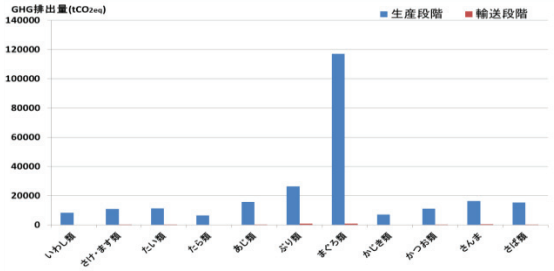


図3　水産物におけるGHG排出量

続いて、生肉類2品目について、GHG排出量を算出した結果を図4に示す。この結果、肉類も水産品同様、輸送段階の寄与はほとんどなく、生産段階でのGHG排出が大部分を占める結果となった。

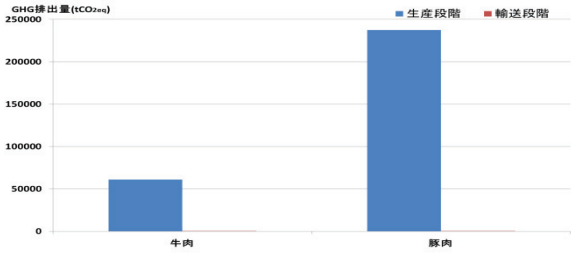


図4　生肉類におけるGHG排出量

以上の結果をもとに、今回推計した品目全体での名古屋市での排出量を推計した結果、下表に示すように、肉類が約40万トンともっともGHG排出量が多く、合計約104万トンとなった。

野菜	果物	水産品	肉類	合計
178000	133000	334000	398000	1043000

4.　参考文献

1)　吉川直樹，天野浩二，島田浩二：環境システム研究論文集，Vol35(2007)，pp0499-509

2)　国立環境研究所，“産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”，<http://www-cger.nies.go.jp>

3)　吉川直樹，天野浩二，島田浩二：環境システム研究論文集，Vol34(2006)，pp245-252

主要国の農作物需給量変化の要因分析

A factor analysis on demand and supply of crops in major countries

○中園雅貴[*1)]、原卓也[2)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]

Masaki Nakazono, Takuya Hara, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki

1)東京理科大学、2)豊田中央研究所

* j7411621@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

世界の食料需要は新興国・発展途上国を中心とする人口増加及び経済成長により、着実に増大していくことが予想される。その一方で、特に近年、本来食料需要を満たすために生産された各種農作物がバイオ燃料の原料として多量に利用されるようになってきており、いわゆる食料との競合が問題視されるようになった。農作物をバイオ燃料の原料として利用することは、間接的土地利用変化（Indirect Land Use Change, ILUC）を引き起こすため、バイオ燃料の本来の目的である温暖化対策としては、むしろ逆効果であるという評価がある[1)]。一方で、アメリカのバイオエタノール増産過程では、ILUCの効果が認められないという実証研究の報告もある[2-3)]。このように、バイオ燃料の増産が世界の食料需給ならびに土地利用変化に及ぼす影響に関しては、コンセンサスが得られていないのが現状である。

農作物であるトウモロコシは、飼料、デンプン、糖、食用油及びエタノールの原料であり、ダイズは飼料、食用油及びバイオディーゼルの原料として用いられている。ここで注意すべきは、これらの生産物は必ずしも競合関係にあるとは限らないことである。例えば、トウモロコシがエタノール生産に利用されるプロセスでは、同時に飼料となる副産物（Distiller's Dried Grains with Solubles, DDGS）が生産されている。このような農作物の利用システムが穀物飼料の消費量減少につながり、バイオエタノールが増産されても大きな土地利用変化が起きなかったとの指摘もある[3)]。

このような背景から、本研究では、アメリカにおける主要農作物のマテリアルフロー分析を行うことを目的とする。特に、飼料作物に着目して、時系列における飼料消費原単位（家畜 1t あたりに必要な飼料の量）の増減及び飼料消費の変化量の要因分析について報告する。

2. バイオ燃料用農産物の使用用途

分析対象にアメリカを選んだ理由として、飼料用に利用されるトウモロコシ、ダイズの生産量が大きいことが挙げられる。例えば、2009 年における、トウモロコシの生産量国別割合では約 40%を占め、ダイズでも約 30%を占めている（いずれも世界 1 位）。ここで、例としてアメリカにおけるトウモロコシの使用用途の状況を図 1 に示す。

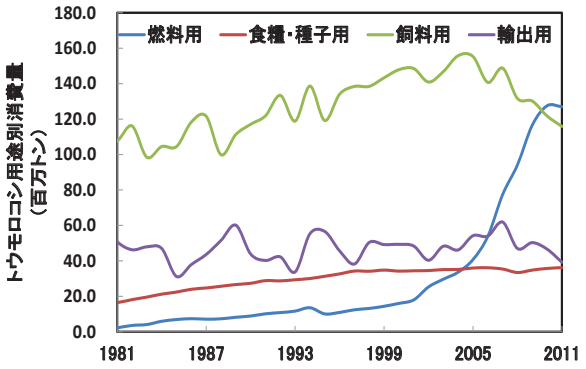


図１　トウモロコシの使用用途

図 1 よりわかることは、①トウモロコシは飼料用への割合が大きい一方で、食糧用への割合は小さい、②エタノールへの利用が 2001 年の 1800 万トンから、2009 年には 1 億 1000 万トンと急速に伸びている、③トウモロコシの正味輸出量は 1980 年から 2000 年まで、2400 万トンから 6000 万トンと大きな変動があるが、2002 年以降は比較的落ち着いている、ということである。また、飼料用途に関して、1980 年から 2002 年までは、増加傾向であったことに対し、2002 年以降は減少傾向に転じるという変化が生じている。

3. タンパク質１単位当たりの飼料消費量の分析

図1に示したように、アメリカにおける飼料消費量が減少傾向にある。その要因について分析する。

１つの要因として、飼料消費原単位（畜産物1kg当たりに必要な飼料の量であり、本研究で扱う畜産物は、牛肉、豚肉、鶏肉、牛乳、鶏卵、その他の6種類である）の減少が考えられる。畜産物別の飼料消費原単位を推定する前に、各畜産物が含有するタンパク質量に着目し、タンパク質1単位当たりの飼料消費量（t-crop / t-protein）を以下の方法で推定した。

$$\sum y_{it} = a_t \times \sum x_{jt} \qquad (1)$$

ここで、y_{it}は年間の飼料消費量（t-crop/year）、x_{jt}は年間

のタンパク質生産量（t-protein / year）、a_tはタンパク質1単位当たりの飼料消費量（t-crop / t-protein）、tは年、iは穀物の種類、jは畜産物の種類である。y_{it}及びx_{jt}にFAOSTATのデータベースから得たデータを代入し、式(1)を解くことにより、タンパク質1単位当たりの飼料消費量a_tを推定し、図2に示した。

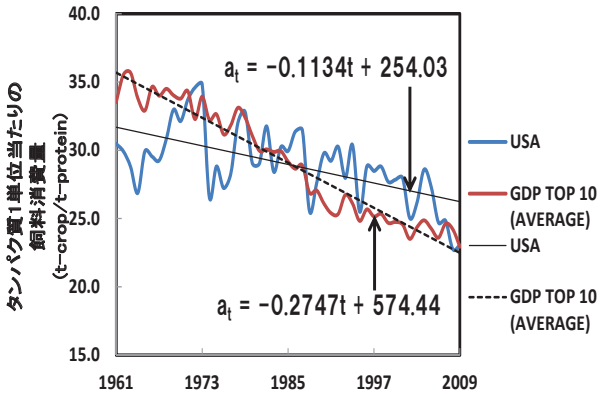


図２　タンパク質１単位当たりの飼料消費量

1961年から2010年の約50年間でタンパク質1単位当たりの飼料消費量はおよそ17%減少している。また、GDP上位10か国についても同様にタンパク質1単位当たりの飼料消費量について検討した。結果は50年間でおよそ37%減少している。以上より、アメリカを含め、経済力がある国々では、タンパク質1単位当たりの飼料消費量が減少傾向である、ということが分かった。

4. 飼料用生産量増減のパス解析による要因分析

タンパク質1単位当たりの飼料消費量を推定した結果をもとに、飼料用穀物生産量の変化要因を分析した。本研究においては、各要因が生産量に影響があるものと考え、パス解析を用いて分析を行った。パス解析とは、重回帰分析の応用手法であるが、変数と変数同士のパス関係を分析することができ、変数間に多重共線性があっても相互関係にある説明変数同士の分析を行うことができる点で重回帰分析と異なる。本研究では、説明変数同士で相関があるためパス解析を用いた。

ここで、目的変数を$\boldsymbol{Z_0}$、説明変数を$\boldsymbol{Z_1}$、$\boldsymbol{Z_2}$,… $\boldsymbol{Z_k}$とおくとき、$\boldsymbol{Z_0}$に向かうパス係数p_{ij}は以下の方程式で求めることができる。

$$r_{01} = p_{01} + p_{02} * r_{21} + \cdots + p_{ok} * r_{k1} \quad (2)$$

$$r_{02} = p_{01} * r_{12} + p_{02} + \cdots + p_{ok} * r_{k2} \quad (3)$$

$$r_{03} = p_{01} * r_{13} + p_{02} * r_{31} + \cdots + p_{ok} * r_{k3} \quad (4)$$

但し、r_{ij}は相関係数とする。

今回の分析では、$\boldsymbol{Z_0}$を飼料用穀物の生産量（t）、$\boldsymbol{Z_1}$を人口（人）、$\boldsymbol{Z_2}$を食肉生産物構成の変化（t / year）、及び$\boldsymbol{Z_3}$をタンパク質1単位当たりの飼料消費量(t-crop / t-protein)として分析を行った（図3参照）。パス係数については、変数同士の関係性を示す。例えば図3の人口から飼料用穀物生産量へ向かうパス係数は0.83としているが、これは人口が1増加した場合、飼料用穀物生産量が0.83増加するということである。ただし、いずれの変数も標準化された値である。$\boldsymbol{Z_2}$については各年度の生産物構成比に典型的な飼料消費原単位（t-crop / t-production）を乗じることによって算出している。パス解析により、①タンパク質1単位当たりの飼料消費量には生産物構成が大きく影響している、②飼料用穀物生産量には、人口が大きく影響している、③タンパク質1単位当たりの飼料消費量が飼料用穀物生産量に大きく影響していること、が分かった。

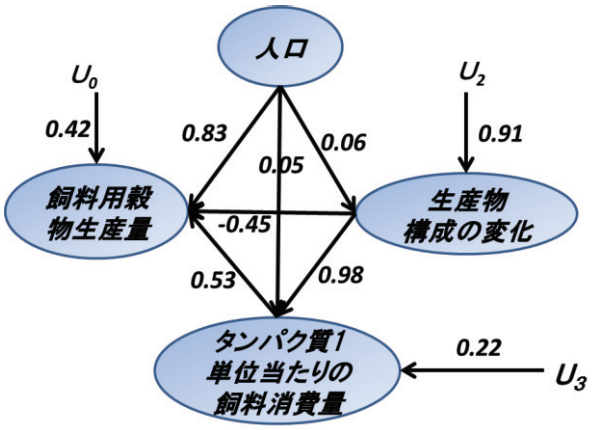


図３　パス解析

5. 結論及び今後の課題

今回の分析により、タンパク質1単位当たりの飼料消費量が減少していること、及びタンパク質1単位当たりの飼料消費量は飼料用穀物生産量に大きく影響していることを確認した。このことから、飼料消費原単位が飼料用穀物生産量に影響している可能性が高いと言えよう。また、タンパク質1単位当たりの飼料消費量は生産物構成の変化に大きく影響している。

今後の課題としては、今回求めたタンパク質1単位当たりの飼料消費量を用い、飼料消費原単位の推定を行い、その推定結果により需給バランスを考慮したバイオエタノールの需給予測を行う予定である。

参考文献

1) T. Searchinger et al.; Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change, Science, 319, 5876, (2008), 1238-1240.

2) S. Kim and B. Dale; Indirect land use change for biofuels: Testing predictions and improving analytical methodologies, Biomass and Bioenergy, 35, (2011), 3235-3240.

3) G. Oladosu et al.; Sources of corn for ethanol production in the United States: a decomposition analysis of the empirical data, Biofuels, Bioproducts and Biorefining, (2011).

食糧生産における農業用塩類のマテリアルフロー分析

Substance Flow Analysis on Agricultural Nutrient for Food Production

○溝口修史*[1)]、高橋麻里恵[1)]、松八重一代[1)]、稲葉陸太[2)]、中島謙一[2)]、南斉規介[2)]、長坂徹也[1)]
Masafumi Mizoguchi, Marie Takahashi, Kazuyo Matsubae, Rokuta Inaba, Kenichi Nakajima,
Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) 国立環境科学研究所
* B2TM5028@s.tohoku.ac.jp

1. 背景

植物は土壌から様々な農業用塩類を吸収し成長するが、肥料の三大元素と呼ばれるリン、カリウム、窒素については、土壌中に不足しがちである。それゆえ、日本のように耕作地の面積が制限される国にとって、農作物生産の量と質の両面を維持するためにはこれらの三大元素を含んでいる肥料は必要不可欠である。

2050年、世界人口は90億人に達すると言われており[1)]、特にBRICsなどの発展途上国では人口が急増していることから、将来の食糧問題については避けることはできない。加えて、多くの国はエネルギー需要の一部をバイオ燃料で補う政策を促進していることから、バイオエタノールの世界総生産量は2010年には86×10^6 klとここ数年で三倍と急増し、それに伴いエネルギー作物の生産量も増加し続けている[2)]。このため、食糧やエネルギー作物の生産拡大に伴う肥料の施肥量は増加すると考えられる。

リン、カリウムに関して、日本は生産する資源をほぼ100%輸入に依存している。さらに、これらの資源は偏在性、資源枯渇、価格高騰によって戦略資源化されつつある[3)]。一方、窒素においては、窒素化合物の代表はアンモニアであるが、ハーバー・ボッシュ法により自国生産可能である。しかし鉄系触媒存在下で高温高圧の反応により非常に大量のエネルギーを消費するため、大量の二酸化炭素が発生する。さらに、日本のアンモニア設備は小規模なプラントが多くコスト面で不利となっている。そして、三元素に共通して、近年は肥料用途のみでなく洗剤や食品添加物を始め多くの化学製品などの他分野においての需要も拡大しており、私たちの生活の様々な面で必要不可欠な元素である。

このような背景から、海外からの輸入への依存度を下げ、そして二酸化炭素排出を削減可能にするような三元素の国内の安定した需給構造の構築が必要である。そこで、国内で使用される三元素の有効利用や循環利用、あるいはそのための技術開発の促進が望まれる。そのためには、国内のどの部門でどれほど使用させているのか、国内のどの部門のどれほどが二次資源として利用可能であるのか、二次資源の回収と循環利用による経済的そして環境的な波及効果がいかほどかといった定量的な考察が必要不可欠である。本研究では、中島や中村によって提案された、マテリアルフロー分析(MFA)と産業連関分析(IOA)を用いたWIO-MFAの手法[4)]を応用して、三元素の総合的な資源循環モデルの開発を行うことを目的とした。

2. 分析方法と結果

2.1 国内のマテリアルフロー分析

図1は、2005年の日本国内におけるリンのマテリアルフロー を示している[5),6)]。日本国内ではリン鉱石が採掘されないため、ほぼ100%のリンが外国からの輸入により流入していた。リン鉱石や黄リン、リン化合物、肥料原料といった形態でリン製品の原料として使用するために輸入されるリンの量は述べ327.3 kg-Pと大きく、そのうちの77% (251.1 kg-P)が肥料製造に用いられていた。

肥料として農地に施肥されるリンの量は280.3 kg-Pと国内の流入フローの中で最も大きな値で、さらに家畜糞尿の堆肥中に含まれるリンの量も193.5 kg-Pと非常に大きい。しかし、272.8 kg-Pものリンが土壌中に蓄積していることが推定できた。つまり、農地/牧場への施肥量を削減することで、リン鉱石や肥料原料となるリン化合物の輸入量を削減できる可能性があると言える。

食糧中のリンの多くは人間に流入し、生活排水として拡散、あるいは直接廃棄物・埋め立てとなっていた。排水中のリンは下水汚泥の一部として各種下水汚泥肥料の原料として再利用されていた(10.2 kg-P)。

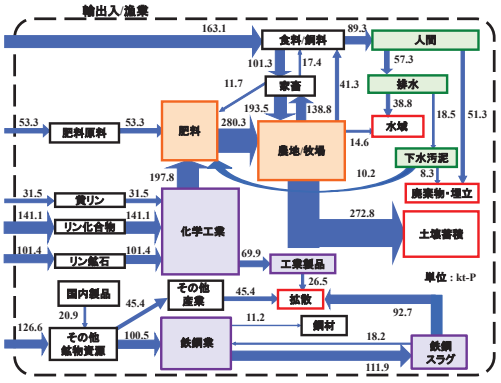


図1　日本国内のリンのマテリアルフロー(2005年)

次に、カリウムについては当研究グループの高橋らにより、図2のような結果となることを示した。本稿ではカリウムのマテリアルフローに関する記述は割愛する。

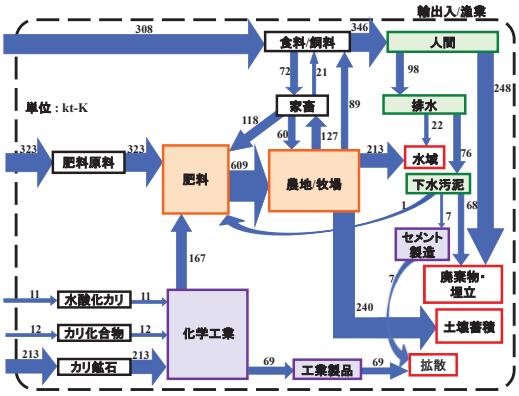


図2 日本国内のカリウムのマテリアルフロー(2005年)

窒素については、肥料として農地や牧場に施肥される窒素のマテリアルフローの結果は図 3 のようになった。約 65%の窒素資源が輸入され、一方で他の肥料と異なり 175.1 kt-N が窒素肥料として輸出されていた。そしてリン、カリウムと比べ、735.1 kt-N ともっとも多くの窒素が農地に施肥されているという結果となった。

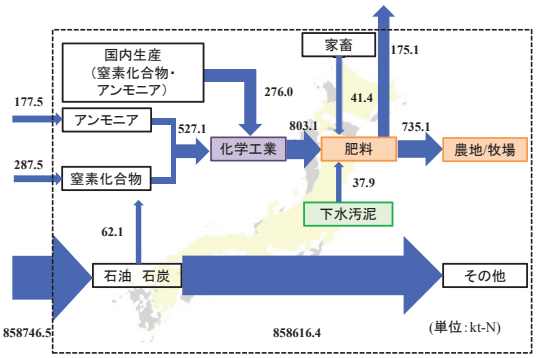


図3 日本国内の肥料として施肥される窒素のマテリアルフロー(2005年)

2.2 IPCIOによるシナリオ分析

リンについては、私たちは国内でリンを循環利用する際の社会への波及効果を分析するリン資源循環モデル(Integrated Phosphorus Cycle Input Output model: IPCIO)を構築した。既存の産業連関表中では、リン鉱石などの多くのリン関連財が独立した部門として存在しないため、既存の産業連関表を用いた分析によりリンの循環利用について議論することは不可能である。IPCIO構築にあたり、まず産業連関表の分類を細分化あるいは部門の新設を行うことで、すべての部門についてリンの国内の産業間における需給構造を行列で表した。これを用いて、食糧生産分野の需給に関する以下の 6 つの例について、リンの需要の変化の分析を行った。

A. 米の生産が100万円増加したとき
B. 牛肉の生産が100万円増加したとき
C. 飲食サービスの生産が100万円増加したとき
D. 豚肉の生産が100万円増加したとき
E. 鶏肉の生産が100万円増加したとき
F. 海面漁業の生産が100万円増加したとき

以上の6つの例によるリンの投入量と、各品目の生産100万円あたりに含まれるリン量を図 4 に示した。この結果を用いることにより、食糧生産に関するリン資源の国内の需要の変化と他の産業部門への波及効果の分析を行うことが可能である。

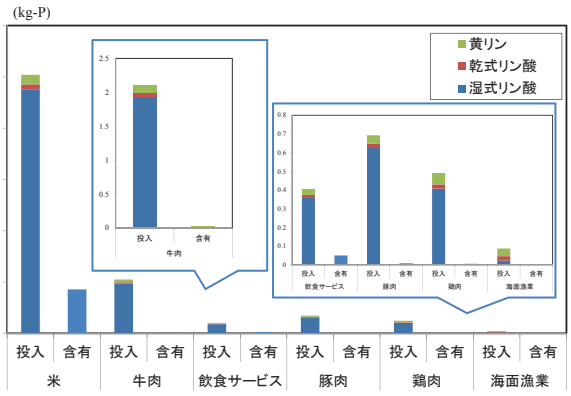


図4 各食糧生産による新規投入リン量と含有リン量

3. 考察

リン資源循環モデル IPCIO の構築により、リン資源の需給や社会への波及効果分析を可能にした。今後は、農業用塩類の三大元素のカリウムと窒素を含めた総合的な循環モデルの提案に向けて、各種カリウム関連財についてもリン同様、産業連関表の拡張（細分化と部門の新設）を行う。窒素においては他分野からの農地への流入、農地からの流出そして農業分野以外の分野などを明らかにし、マテリアルフローを作成していく。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費[K2404]、JST-RISTEX の支援を受けております。

引用文献

1) National Institute of Population and Social Security Research, Population Projections for Japan (January 2012): 2011 to 2060 <http://www.ipss.go.jp/site-ad/index_english/esuikei/ppfj2012.pdf>,(2012-08-10)
2) Licht, F. O, “World Ethanol Markets The Outlook to 2015”, Tunbridge Wells, UK, (2006)
3) Abelson, P. H.: Science, 283 (5410), (1999), pp.2015
4) Nakamura S., Nakajima K., Materials Transactions, 46 (12), (2005), pp. 2550-2553
5) Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T., Nagasaka T.: Chemosphere, 84 (6), (2011), pp. 767-772
6) Matsubae K., Kubo H., Nakajima K., Nagasaka T.: JIE, 13(5), (2009), pp. 687-705

地域特性と品目特性を考慮した最適空間規模導出モデルとその適用
：九州地域を対象としたケーススタディ

Development and Application of Theoretical Model for Optimization of Sound Material-cycle Blocks considering Characteristics of Regional and Recyclable Resources

○藤山　淳史*[1)]、松本　亨[1)]
Atsushi FUJIYAMA, Toru MATSUMOTO
1) 北九州市立大学
*s1dac001@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

望ましい地域循環圏を検討するためには、循環資源の品目特性および地域特性に応じた最適空間スケールを導出するための理論を構築し、それを基礎として政策を検討することが有益である。その考えのもと、著者らは、空間スケール（発生場所から処理拠点までの距離）が、循環資源の発生密度、収集運搬工程の積載効率、中間処理施設のスケールファクター（規模の経済の強度）によって決まるものと想定し、これらを支配パラメータとした循環資源の最適空間規模導出モデルを構築している[1)]。本報告では、構築したモデルを用いて、九州地域を対象としたケーススタディを実施し、構築した最適空間規模導出モデルの妥当性について検証する。

2. 評価モデル

本モデルは、輸送工程と処理工程を基本に構築している（図1）。基本単位を単位量あたりの費用とし、単位量あたりの輸送費用と、単位量あたりの処理費用から、総費用（式1）を定義する。輸送費用は、輸送工程で使用する車輌の車輌トン数と積載率により、式2のように輸送効率を考慮した推計を行う。処理費用は、スケールファクターを用いて、式3から推計する。処理施設へ搬入された循環資源は全てが再生品として搬出されるのではなく、水分は排水として処理され、再生品として使用できないものは残渣として処理されるため、単位量あたりの含水率およびリサイクル残渣率を用いて、排水・リサイクル残渣処理費用を式4から推計する。中間処理を経て抽出された再生品は中間処理施設から再生品利用施設へ輸送する工程が必要である。今回のモデルのように経済性を考慮している場合、再生品利用施設が中間処理施設の近くに立地していると、中間処理後の影響は小さいが、遠方に立地している場合、影響は大きいことが考えられるため、中間処理後の輸送工程で使用する車輌トン数と積載率を用いて、式5から中間処理後の輸送費用を推計する。以上より、輸送・処理費用（式6）を定義し、これらの最適化計算を解くことにより、輸送・処理工程が最小になる際の空間スケールを求めることができる。

本モデルでは、再生品の付加価値（処理後の売却益）とリサイクル料金による収入を加味し、リサイクル事業による収益を定義した。リサイクル料金による収入単価および再生品の付加価値単価を用いて、再生品単位量あたりの付加価値とリサイクル料金を式7のように定義する。このように、処理費と収益を定義することにより、利益

$$COST_{total} = COST_{transport} + COST_{disposal} \quad (1)$$

$COST_{total}$ ：単位量あたりの総費用（円/t-処理量）
$COST_{transport}$ ：単位量あたりの輸送費用（円/t-処理量）
$COST_{disposal}$ ：単位量あたりの処理費用（円/t-処理量）

$$COST_{transport} = \frac{1}{D} \times \sum_{i=1}^{n} \left\{ a \times T \times r \times \left(\left\lceil \frac{d_i}{T \times r} \right\rceil \times l_i \right) + \alpha \times \left(\frac{l_i}{v} \right) \times \frac{d_i}{T \times r} \right\} \quad (2)$$

$$d_i = \theta \times \psi_i$$

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i = \sum_{i=1}^{n} (\theta \times \psi_i)$$

D ：処理施設で処理を行った総量（t/年）　　i ：対象地域
n ：対象地域総数　　a ：輸送単価（円/t･km）
T ：車輌トン数（t）　　r ：積載率（%）
d_i ：対象地域 i の廃棄物排出量（t/年）　　l_i ：対象地域 i と処理施設間の距離（km）
α ：時間価値原単位（円/h）　　v ：輸送速度（km/h）
θ ：１人あたりの廃棄物排出量（t/人･年）　　ψ_i ：対象地域 i の人口（人）

$$COST_{disposal} = \frac{1}{D} \times \left\{ COST_{disposal}^{ref} \times \left(\frac{D}{D^{ref}} \right)^{X} \right\} \quad (3)$$

$$COST_{disposal}^{ref} = COST_{disposal}^{ref_unit} \times D^{ref}$$

$COST_{disposal}^{ref}$ ：基準とした処理施設 ref の処理費（円/年）
X ：スケールファクター
D^{ref} ：基準とした処理施設 ref の設備規模（t-処理量/年）
$D_{disposal}^{ref_unit}$ ：処理施設 ref の処理単価（円/t-処理量）

$$COST^{re} = \frac{1}{D} \times \{ (\varepsilon \times D \times w) + (\beta \times D \times (1-w) \times re) \} = \varepsilon \times w + \beta \times (1-w) \times re \quad (4)$$

$COST^{re}$ ：排水・リサイクル残渣処理費用（円/t-処理量）
ε ：排水処理単価（円/t-排水処理量）
w ：含水率（%）
β ：リサイクル残渣処分単価（円/t-リサイクル残渣量）
re ：リサイクル残渣率（%）

$$COST_{transport'} = \frac{1}{D} \times \sum_{i=1}^{n} \left\{ a' \times T' \times r' \times \left(\left\lceil \frac{D(1-w)(1-re)}{T' \times r'} \right\rceil \times l' \right) + \alpha' \times \left(\frac{l'}{v'} \right) \times \frac{D(1-w)(1-re)}{T' \times r'} \right\} \quad (5)$$

$COST_{transport'}$ ：中間処理後の輸送費用及び時間費用（円/t-処理量）
a' ：中間処理後の輸送単価（円/t･km）
T' ：中間処理後に使用する車輌のトン数（t）
r' ：中間処理後の積載率（%）
l' ：中間処理後の輸送距離（km）
α' ：中間処理後の輸送ご対する時間価値原単位（円/h）
v' ：中間処理後の輸送速度（km/h）

$$\text{Min} \quad COST_{total} = COST_{transport} + COST_{disposal} + COST^{re} + COST_{transport'} \quad (6)$$

$$COST_{added_value} = \frac{1}{D} \times \{ R \times D + \gamma \times D(1-w)(1-re) \} = R + \gamma \times (1-w)(1-re) \quad (7)$$

$COST_{added_value}$ ：再生品単位量あたりの付加価値とリサイクル料金（円/t-処理量）
R ：リサイクル料金による収入単価（円/t-処理量）
γ ：再生品の付加価値単価（円/t-再生品量）

$$\text{Subject to} \quad COST_{added_value} > COST_{total} \text{ のとき、 } COST_{added_value} - COST_{total} > 0 \text{ の範囲内で、}$$

$$\text{Max} \quad (COST_{added_value} - COST_{total}) \times D \quad (8)$$

図１　最適空間規模導出モデルの基本構造

（収益から処理費を引いた額）を推計することが可能となった。収益が処理費を上回っているという制約条件のもと、利益の最大化計算を式８のように定義する。この利益最大化計算を行うことにより、利益が最大となる際の空間スケールを推計することができる。

3. 九州を対象としたケーススタディ

２章で構築したモデルを用いて、九州地域を対象にケーススタディを行った。ケーススタディでは、処理施設の数を初期条件として与えた場合の、各処理施設の総費用が最小になるときの費用、処理施設の立地場所と処理量を求めるプログラムを構築した。施設の立地場所は九州地域内のどこでも立地可能で、施設の処理量もどのような値も取り得ると設定した。なお、プログラムの構築には、最適化計算ソフトNUOPT[2)]を用いた。対象地域の地域区分は表１に示す22地域とし、人口および面積は各地域区分に該当する市区町村の実数を集計した。ケーススタディで設定したパラメータを表２に示す。各地域からの循環資源の排出量は人口に比例するとした。

ケーススタディの結果を図２に、総費用の合計が最小になったときの施設の分布を図３に示す。処理施設数が増えるにつれ、輸送費用は減少するが、処理費用は増加することがわかる。なお、今回設定したパラメータで総費用の合計が最小となるのは、12施設立地したときであった。

4. まとめ

本研究では、循環資源の空間スケールを決める重要な支配パラメータと考えられる積載効率、スケールファクターを変数として導入した最適空間規模導出モデルを構築し、それを九州地域に適用した。構築したモデルとプログラムを用いて、品目固有のパラメータと都市の実データ（人口、都市間距離）を当てはめることにより、対象地域での処理費用が最小になる場合および利益が最大になる場合の、空間スケールとそのときの施設の規模および立地場所を推計することが可能となった。ただし、現時点では経済性しか考慮していないため、ここで導出される空間スケールを最適空間スケールとは断定できないが、費用と利益を指標に空間スケールを検討する際の有益な情報を提供できるといえる。

表１　対象地域

福岡県	北九州地方	福岡地方	筑豊地方	筑後地方
佐賀県	北部	南部		
長崎県	北部	南部		
熊本県	熊本地方	阿蘇地方	天草･芦北地方	球磨地方
大分県	北部	中部	西部	南部
宮崎県	北部山沿い	北部海沿い	南部山沿い	南部平野部
鹿児島県	薩摩地方	大隅地方		

表２　設定パラメータ

発生	排出原単位	0.0916	t/人･年
輸送工程	輸送単価	28.1	円/tkm
	車輌トン数	2	t 車
	積載率	90	%
	時間価値原単位	16.8	円/h
	速度	41.6	km/h
処理工程	基準となる中間処理施設の規模	1	t/年
	基準となる中間処理施設の処理単価	482,341	円/t
	スケールファクター	0.36	
	含水率	75	%
	排水処理単価	300	円/t-排水処理量
	リサイクル残渣率	15	%
	リサイクル残渣処分単価	10,000	円/t-残渣処理量

※中間処理後の輸送工程に関しては、輸送工程と同じパラメータを適用

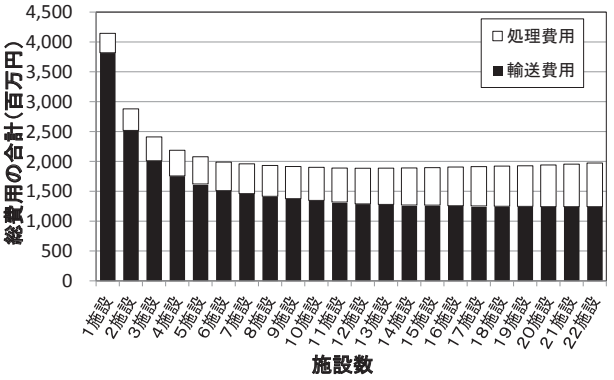


図２　ケーススタディの結果

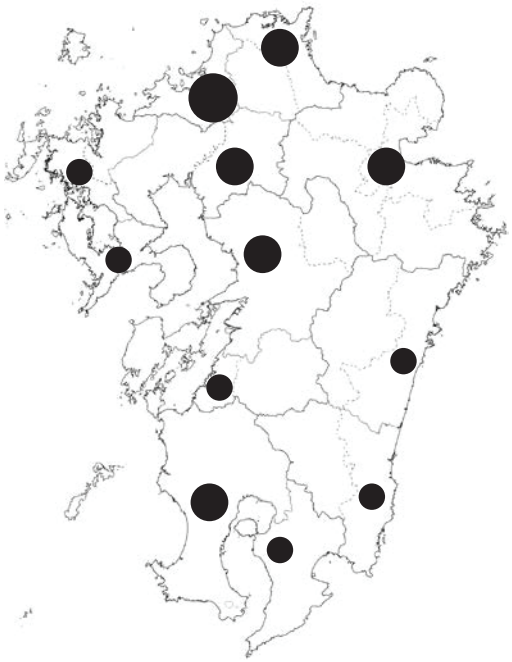


図３　総費用が最小となるときの処理施設分布（12施設）
※丸の大きさは、処理施設の処理量を示す

謝辞　本研究は、平成24年度環境省環境研究総合推進費補助金「K2413：望ましい地域循環圏形成を支援する評価システムの構築とシナリオ分析（代表：松本亨）」の補助を受けて実施した研究成果の一部である。記して謝意を表する。

参考文献

1)　藤山淳史，松本亨：土木学会論文集G（環境），68（6），(2012)，pp. Ⅱ_127-Ⅱ_138

2)　株式会社　数理システム：NUOPT（汎用数理計画法パッケージ）

地域内外の影響を考慮した環境・経済・社会の評価指標と測定手法の開発

Development of Indexes of Environmental, Economic and Social Aspects Considering Effects of the Inner and Outer Region

○中口毅博*[1)]、栗島英明[1)]、田崎智宏[2)]、松橋啓介[2)]、遠藤はる奈[1)]
Takahiro Nakaguchi, Hideaki Kurishima, Tomohiro Tasaki, Keisuke Matsuhashi, Haruna Endo
1) 芝浦工業大学, 2) 国立環境研究所
*nakaguti@sic.shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

持続可能な社会の実現のためには生活実感を反映する地域レベルでの実践が不可欠である一方、我が国では高齢化や人口減少、地域格差の拡大、自治体財政危機などにより地方の疲弊が深刻化している。こうした現状を踏まえるならば、地域における持続可能性の方向性を提示・促し、これを評価する枠組み・指標が必要である。これは、第 4 次環境基本計画における重点分野の文脈でも必要とされていることである。

また、ボーダレス化が進んだ社会では、一地域（国）の活動であってもその正負の影響が地域（国）内のみならず他の地域（国）や地球全体にも及ぶ。したがって、地域の持続可能性を議論するためには、その地域内外への影響を考慮することが必要である。

さらに、東日本大震災においては、従来の経済性・効率性重視の社会経済システムの脆さが明らかとなり、システムの安全性や頑健性、そして人・地域のつながりが社会の基盤であることが認識された。地域の持続可能性に関する評価には、従来の評価に十分反映されてこなかったこうした観点を新たに含む必要がある。

以上を踏まえ、本研究では、地域の持続可能性を評価する指標とその測定手法を開発することを目的とする。

2. 本研究が目指す指標と測定手法

2.1. 指標の特徴

(1)4 つの資本

本研究では、Ekins [1)]などが提唱し、OECD[2)]や World Bank[3)]などで指標や測定方法が検討されている人的資本、社会関係資本、自然資本、人工（経済）資本という 4 つの基盤となる資本に着目して指標の体系化を行う。これは従来の地域の持続可能性指標の多くがフロー指標であり、持続可能性を議論するには、ストック（資本）量の議論が必要不可欠であると考えるためである。

(2)地域間の連関構造

国・地域を超えた連関構造を意識し、評価指標は地域内での直接的な影響だけでなく、地域外・地球全体への間接的な影響（つけ回し）も考慮できるものとする。従来の地域の持続可能性指標の多くは、当該地域のみ評価する指標が多く、そのような指標では、（例えば、東電管内の発展の元となる旺盛なエネルギー需要を支えていたのが東北・北陸地域であったように）他の地域や地球全体への依存やつけ回しが行われたとしてもこれをチェックできず、（例えば、河川上流の森林管理などのような）他の地域や地球全体に貢献する施策を実施したとしてもこれをポジティブに評価することも難しいためである。

(3)東日本大震災を受けて

東日本大震災およびそれに伴う津波、原子力発電所事故は、エネルギーシステムやサプライチェーンシステム、廃棄物処理システムなどの外部依存の危うさを示唆したことから、システムの安全性や頑健性といった従来の指標では評価されてこなかった点も新たに含む必要がある。

また、東日本大震災以降、人や地域における信頼関係や人間関係の重要性が改めて認識されている。その一方で、希薄化しているとされる人々のつながりの再生が求められている。このような人や地域のつながりは、ソーシャル・キャピタル（社会関係資本）と呼ばれ、地域の 4 つの基盤となる資本に位置づけられ、注目されているが、その指標については十分に定まっていない。

2.2. 測定手法

国際、地域間比較を可能にするため、煩雑な方法ではなく、既存統計情報をベースとしつつ、不足するものや統計化しづらいものについては汎用的な調査票のひな形も検討する。

3. 研究方法

以下のようなサブテーマを設定し、研究を進める。

3.1. サブテーマ 1：地域（国）における評価の枠組み・指標の体系化

サブテーマ 1 では、Tasaki etal.[4)]の整理にならい、地域における持続可能性評価に適した「分野－項目－指標」の選定を重点的に行い、基本となる考え方を整理・確立する。

具体的には、国連 DESA の持続可能性指標体系と同様に環境・経済・社会の持続可能性の 3 分野にはとらわれすぎて指標が分節化してしまうことにならないように留意しつつ、人的資本、社会関係資本、自然資本、人工（経済）資本という 4 つの資本に着目した地域の持続可能性指標の整理を新たに行い、関連研究者との議論を行うこ

とで、健全な地域像を評価可能な枠組み・指標の体系化を進める。なお、国・地域を超えた連関構造を考慮して間接影響を評価する指標や、安全性や頑健性、人のつながり等の定量化が困難であった指標については、特に重要と考えて、各サブテーマにおいて詳細な検討を行う計画とした。他に、地域（国）のスケールに応じて目標となる分野ー項目の具体的な内容が異なることが考えられるため、諸外国の例を参考としながら、地域間の相互比較に適した指標体系のあり方を検討・提示することを狙いとしている。

3.2. サブテーマ 2：評価指標の地域（国）内外別算定手法の開発

サブテーマ 2 では、他地域や地球全体へのつけ回しや貢献を評価できるような指標の算定手法を開発することを目指す。

これまでも環境分野では、LCA やエコロジカル・フットプリント、バーチャルウォーターなどの他地域や地球全体へのつけ回しを評価することが可能な指標や手法がすでに提示されており、LCA 学会においても報告がなされている。例えば、栗島ほか[5]をはじめとして経済産業省の第二期 LCA プロジェクトで実施された地域 LCA でも環境負荷の地域内外分別を試みており、地域間産業連関表を用いた温室効果ガスやエコロジカル・フットプリントの地域ごとの評価なども実施されている。また、製品レベルであるが、主に海外を中心にサプライチェーン分析が行われ、児童労働や女性就業、紛争鉱物、フェアトレードなどの社会的側面についての途上国へのつけ回しに関する研究も進められている。

こうした既存研究を踏まえ、いくつかの事例地域を設定し、既存統計資料や現地調査のデータを用いて指標算定を行う。

3.3. サブテーマ 3：既存統計情報では不足するデータの測定手法の開発

サブテーマ 3 では、東日本大震災以降注目されている安全性・頑健性・社会関係資本などの指標開発と、それら既存統計情報では不足する評価項目についての測定手法の開発を行う。

現状では、安全性についてはハザードと生起確率によるリスクマトリックス法が、頑健性については自給率や選択肢の多様性を評価する特化係数などがその分析手法として想定されるが、何を指標とするかやその測定手法を開発する必要がある。また、社会関係資本は、既存統計資料から測定することが難しく、アンケート等による定性的な調査による測定が必要であるが、栗島ほか[6]で指摘するように、内閣府国民生活局[7]のような方法では地域の資本量を測定することは困難である。

3.4. サブテーマ 4：海外における地域レベルの持続可能な発展指標の整備と利用

諸外国や国際機関では多くの持続可能性指標が作成されているが、地域レベルの持続可能性指標は EU の都市やアメリカの諸都市に限られている。しかし、ドイツ、オーストリアなどの Climate Alliance のメンバー都市やローカルアジェンダに取り組む都市においては、地域レベルでも多くの指標活用事例が存在する。

そこでサブテーマ 4 では、ドイツなどの EU の都市を中心に、持続可能性指標づくりのための環境情報の整備状況や、政策への活用事例のレビューを行う。これに基づき、そのノウハウを活用し、本研究における指標の算定方法や国レベル指標との連結方法を検討する。

4. 今年度の成果と今後の展望

国内外の指標のレビューを行ったところ、地域レベルで 4 つの資本に着目した指標や、地域内外の影響や安全性・頑健性に着目した指標はほとんど存在しなかった。そこで 4 つの資本に着目した「分野ー項目ー指標」についての素案を検討した。また、地域内外やサプライチェーン、社会関係資本に関する算定方法をいくつかの自治体をモデルに検討し、既存の統計で作成可能な部分と不可能な部分を明らかにした。また、行政担当者のヒアリングや意見交換会の結果から、このような視点での持続可能性指標のニーズが存在することが明らかになった。

本研究は、2012～2014 年度にかけて実施されるもので、まだ緒に就いたばかりである。来年度は指標項目の構造化や既存統計データでは算出不可能な指標項目の算定方法について、本格的に着手したい。

謝辞

本研究は、環境省 第Ⅱ期 環境経済の政策研究「地域内外の影響を考慮した環境・経済・社会の評価指標と測定手法の開発」の一部として行われています。

参考文献

1) Ekins, P. , In “*Real-Life Economics: Understanding Wealth Creation*”, Routledge, (1992), pp147-155.
2) OECD, “The Well-being of Nations: The Role of Human and Social Capital”, (2001).
3) The World Bank, “Where is the Wealth of Nations?: Measuring Capital for the 21st Century”, (2006).
4) Tasaki T., etal., International Journal of Sustainable Development, 13-4, (2010), p337-361.
5) 栗島英明ほか, 第32回環境システム研究論文発表会講演集, (2004), p215-221.
6) 栗島英明ほか：第８回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2013), in press.
7) 内閣府国民生活局：”ソーシャル・キャピタル：豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて”, (2003).

近畿地方における分散型発電の地域間連系に関する評価

Evaluation on inter-regional connection of distributed generation in Kinki area

○福原大祐*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Daisuke FUKUHARA, Naoki YOSHIKAWA, Koji AMANO
1)立命館大学
*rv006078@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

分散型発電や電力融通による電力供給が注目されつつあり、分散型発電のなかでも自然エネルギーの導入容量は増加傾向にある。しかしながら自然エネルギーによる発電量は地域、季節や時間帯によっても供給可能なエネルギーは変化するため地域、時間帯によって電力の需給バランスが変化することが予想される。今後、自然エネルギーが普及していくうえで、電力供給を安定させるために各地域、季節、時間によって需給バランスの安定性を担保ことが必要となる。本研究では、地域別、時間別に発電電力量および電力需要量から需給バランスを算出し、余剰電力を地域内外の電力融通を行うものとして、電力供給システムの安定性と環境負荷について評価することを目的とした。

2. 方法

本研究では、近畿地方を対象地域とし、アメダスおよび NEDO の各観測地点における気象統計データ[1)]からGIS を用いて空間的補完を行い、各地区における時間帯別の発電ポテンシャルの推計を行った。さらに発電ポテンシャルと土地利用および用途地域、建物面積による各種制約条件を考慮し、分散型発電の設置可能量および各地区での有効な期待発電電力量、電力需要量を推計した。その結果から各地の時間帯別電力需給バランス(図1)と余剰電力量の電力融通による効果の評価を行った。

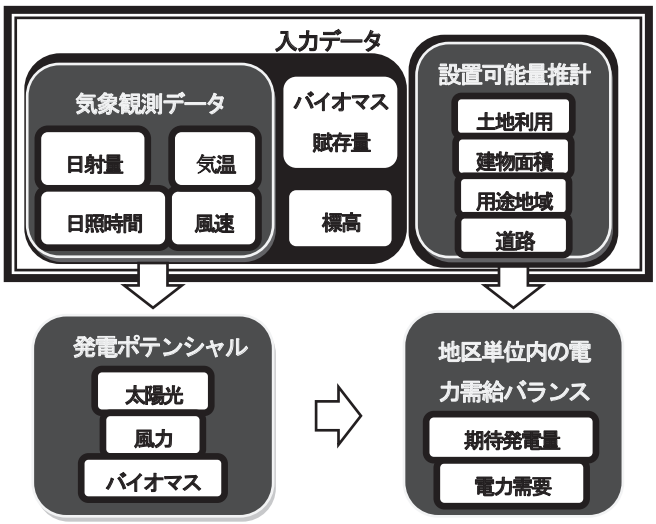


図１　電力需給バランス推計フロー

本稿では、代表的な分散型発電として太陽光発電の算出結果について述べる。NEDO の『太陽光発電ロードマップ（PV2030+）』[2)]より太陽光発電を設置する戸建住宅が全体のおよそ 50%または 30%だと仮定し算出したが、以下では全体の 50%による算出結果を示す。設置する太陽光発電の発電容量は 135W/m^2 として屋根面積のうち設置可能な面積に乗ずることで設置容量とした。また、設置容量の上限は制約条件によって異なるが、今回は、5kW を上限とした算出結果を示す。ここで、太陽光発電量推定式は JIS 規格[3)]を元に式 1 に示す通りとした。

$$PV_h = \alpha \times C_{PC} \times H_L \times PV_{OP} \times I_{rad} \quad (式1)$$

PV_h: 太陽光発電の発電量(Wh/h)
PV_{op}: 太陽光発電出力(kW)
H_L: 温度補正係数
C_{PC}: パワーコンディショナー変換効率
I_{rad}: 日射量(Wh/h)
α: その他損失係数

3. 結果

3.1 太陽光発電の発電量推計結果

図2は、戸建住宅の太陽光発電設置率を 50%と設定し、推計を行った結果である。これより、100m メッシュあたり最大値は 699,054kWh であり、平均値は 26,502kWh となった。

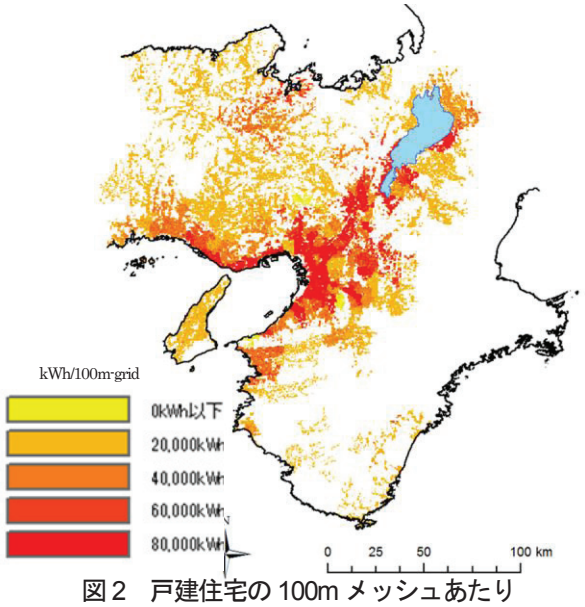


図２　戸建住宅の 100m メッシュあたり
太陽光発電の発電電力量 (8 月・13 時)

中心部の明石、神戸から大阪、琵琶湖の南部にかけて発電電力量が大きくなっている。これは、近畿地方では中心部に比較的戸建住宅が集中しており、中心部の設置可能容量が大きくなったことに起因している。

次に、推計した発電量電力量と各時間帯の電力需要量から余剰電力の推計を行った結果を図3に示す。

3.2　余剰電力量推計結果

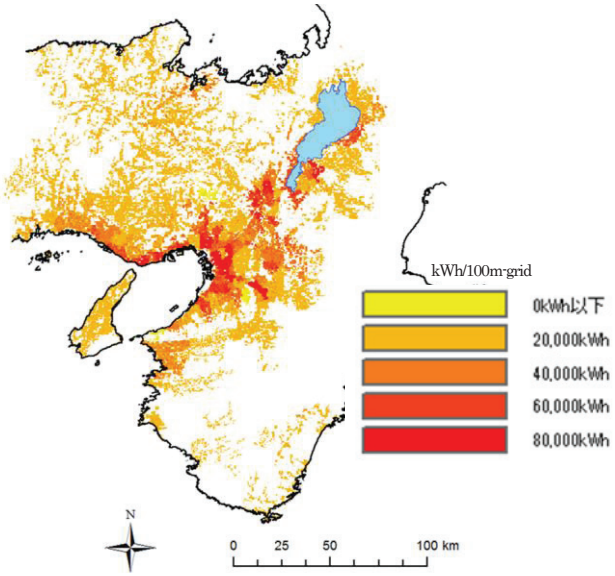


図3　太陽光発電を設置した戸建住宅の
100m メッシュあたり余剰電力量(8 月・13 時)

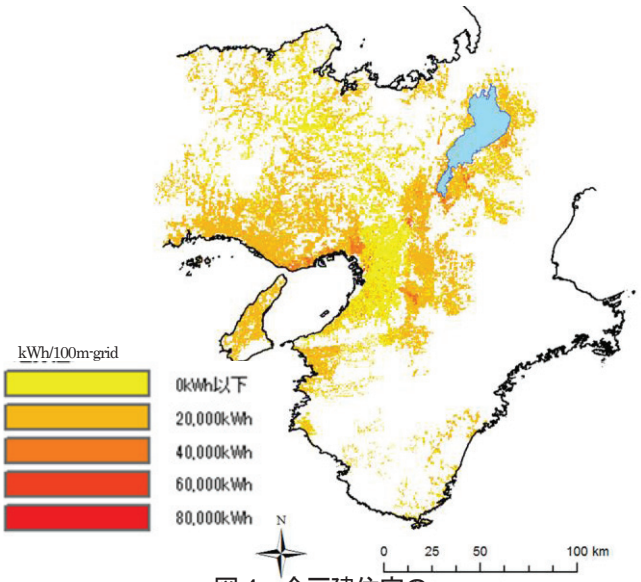


図4　全戸建住宅の
100m メッシュあたり余剰電力量(8 月・13 時)

太陽光発電を設置した戸建住宅の電力供給に関しては、大阪や神戸、京都南部のように戸建住宅が密集している地域では余剰電力が発生している様子がわかる。一方で、図4に示す全戸建住宅を対象とした電力供給より、大阪市内が不足している様子が見てとれるが、周囲は逆に余剰電力が発生していることがわかる。図4における100mメッシュあたり最小値は-68,228kWh であり、最大値は359,896kWh、平均値は15,162kWh であった。このことより、夏場においては、太陽光発電を戸建住宅の 50%まで導入することで、全戸建住宅の電力需要を賄える可能性があると判断できる。

最後に、時間帯別季節別の余剰電力量変化パターンを図5に示す。夏季の正午前後を頂点とした山のように余剰電力量が分布している様子が見てとれ、このことから太陽光発電を戸建住宅に50%程度導入することで日中の戸建住宅における電力需要量を満たすことはできるが、夜間の電力需要がピークとなる時間帯には日中の余剰電力量と同程度の電力量を、その他の発電方法または、余剰電力の蓄電によって補うことが必要になる。また冬期には日中の余剰電力が夜間の電力需要よりも少ないため、余剰電力の蓄電では不足となり、その他の発電方法による電力供給が重要となる。

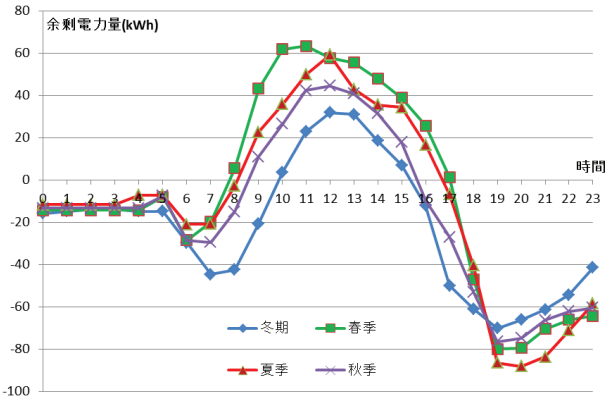


図5　大阪における余剰電力量の
時間別季節別変化

4.　おわりに

本研究では、地域別時間帯別に電力需要量と分散型発電による発電量を推計することで、需給バランスの算出を行い、そのうえで地域間連携に関する評価を行った。しかしながら、蓄電による電力の貯蔵や、太陽光発電が普及するまでの人口の推移を考慮したより現実的なポテンシャルの評価進めることが必要である。

参考文献

1)　NEDO: ”日射量データベース”,NEDO, 入手先 <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html >, (参照 2012-4-30)

2)　NEDO: ”太陽光発電ロードマップ（PV2030+）”, NEDO,入手先　< http://www.nedo.go.jp/library/pv2030_index.html>, (参照　2012-4-30)

3)　独立行政法人　産業技術総合研究所: “太陽光発電システムの発電電力量推定方法”, 日本工業標準調査会(JISC), 入手先< http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=348347>, (参照　2012-6-1)

地域特性を考慮したエネルギー需給マッチングの計画支援システム

Planning support system of energy supply and demand matching considering regional characteristics

○戸川卓哉*[1)],藤田壮[1)],谷口知史[2)],藤井実[1)],大西悟[1)]
Togawa Takuya, Tsuyoshi Fujita, Tomofumi Taniguchi, Minoru Fujii, Satoshi Ohnishi
1) 国立環境研究所, 2) アバンアソシエイツ
*togawa.takuya@nies.go.jp

1. はじめに

世界のエネルギー情勢の変化を反映して，再生可能エネルギー・未利用エネルギーを有効活用したエネルギー効率の改善が必要とされる中，エネルギー政策に対する地域の関与への期待は増大しつつある．具体的には，今後，地方公共団体は再生可能エネルギー，特に再生可能エネルギーの熱利用及び未利用熱利用の推進，まちづくりとエネルギー政策を一体的に検討することによる需要調整の働きかけ等において，積極的な役割を果たしていくことが必要と考えられる．しかしながら，これまでのエネルギー政策は，主として国家レベルにおけるエネルギー安定供給の観点から検討されており，地方公共団体の関与は希薄であった．北九州市など，地区・街区レベルのエネルギー・マネジメントに積極的に取組む事例も見られるものの，こうした取組は，合意形成の困難さ，制度上の制約，エネルギー専門家の不足等の理由から，広く普及しているとは言い難い状況にある．

日本における主要な未利用熱エネルギーの全国の活用可能量は約 500 万 TJ/年と推計されており，この値は全国の民生部門のエネルギー消費量に匹敵する値である[1)]．しかも，民生部門のエネルギー消費の約半分は，熱需要（空調あるいは給湯）であるため，地域に賦存する未利用熱を有効利用（需要とマッチング）し，その分化石燃料を削減することができれば，大幅な CO_2 削減効果を生み出す可能性がある．

特に熱については，より地域の主体的な取組が重要になると考えられる．熱エネルギーは発散しやすく搬送に制約が大きいことから，身近な熱源と熱需要のマッチングは，地域の実情を考慮した検討が必要である．したがって，供給側と需要側のコーディネーションの効果を定量的に評価し，積極的に各種工場廃熱や河川熱・海水熱・地下水熱・地中熱，下水熱（処理水，未処理水）等の利用に促進することが期待される．

本研究では，図-1 に示すように，地域エネルギー源の内，特に火力発電所に着目し，それを有効活用する地域システムのデザインを目的とする．そのために，GIS を活用し，エネルギー需給特性等の地域特性を考慮した，小地区単位の計画支援システムを構築し，ケーススタディを通じてその有効性を検証する．

2. 検討の方法

地域の空間特性を考慮した地域エネルギーシステムの技術・政策の策定支援を目的としたシミュレーションシステムを構築する．空間特性としては，賦存する未利用エネルギー・再生可能エネルギー等の供給側の特性，人口密度等の需要側の特性，および，それらを結ぶ送電網等の既存エネルギーインフラの敷設状況である．また，建物・地区レベルでの高効率機器の導入促進策から地域レベルでのエネルギー供給事業等のマルチスケールの施策を評価対象とする．さらに，商業地・住宅地の配置パターン等のより根本的な都市計画的な対策も評価対象とする．

まず，地区・街区単位で整備された GIS データベースに基づき，さらに，評価対象である都市構造政策の結果を反映した，各ゾーンの人口・従業者数等を推計する．それらの情報に基づきエネルギー需給ポテンシャルを地区・街区単位で推計することで，エネルギー需給ポテンシャルマップを作成する．次に，それらを重ね合わせた

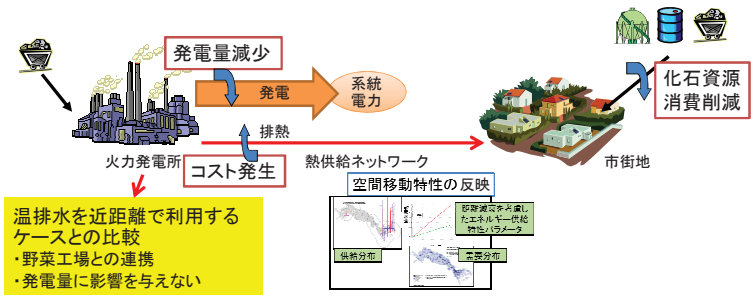


図-1 地域産業ストックを活用する低炭素型エネルギーシステム

結果から，需給ポテンシャルをどのように結びつけるのかというシナリオを設計する．これは，ポテンシャルを顕在化するために，エネルギー計画に関する設定が事前に必要なためである．さらに，ポテンシャルマップと設計されたシナリオに基づき，各地区での供給可能量を推計する．最後に，各地区における需要と供給のマッチングにより，エネルギー需給ギャップを推計する．このことにより，エネルギー不足分を推計し，系統電力やガス・石油などの化石燃料起源の外部エネルギーに依存する必要のある量を推計し，CO_2排出量を計測する．

3. モデル

本研究におけるキーコンポーネントである，民生需要と火力発電所および，それらを結びつける熱供給ネットワークについて，その挙動を考察し，モデル化を行う．熱エネルギーは搬送に伴う，損失が発生することから需給の位置関係や，それらを結びつけるネットワークの構造が重要となる．

(1) 民生エネルギー需要モデル

地理情報が重要となるため，GIS により分析対象都市のデータベースを整備する．地区・街区単位（ここでは500m グリッド）で集計された用途別（業務・商業・住宅）の単位数にエネルギー負荷原単位[2)]を乗じることで，分類（電力・冷房・暖房・給湯）ごとのエネルギー負荷を推計する．さらに，機器の効率を考慮してエネルギー需要ポテンシャルを推計する．なお，エネルギー負荷原単位は地域特性を反映させて推計している．

(2) 火力発電所モデル

本研究では，石炭火力発電所についてその挙動をモデル化する．石炭火力発電所のシステムフローを図-2 に示す．図に示すように，発電プロセスから熱エネルギーを取り出すためには3 つの方法が考えられる．一つ目は，排熱として復水器を通じて海洋等に捨てられている低温の廃熱の活用が考えられる．この廃熱は熱量換算したエネルギー量としては膨大であるが，通常 30～40℃の低温であるため活用可能性や搬送距離が制限される．二つ目はボイラーから発生し，煙突を通じて排出されている排気ガスが考えられる．こちらも最高で 130℃程度の温度に留まり，さらに一部のエネルギーは排煙処理工程に利活用されていることから活用可能性には制限があることが考えられる．三つ目はタービンから蒸気を高温のまま取り出し，熱エネルギーとして活用することが考えられる．この場合，仕事の余力を残したある程度高温の熱をタービンから抜き出すため，発電量が減少する．高温の排熱を取り出すことによる発電量への影響はエクセルギー率の観点から式(1)により評価される．

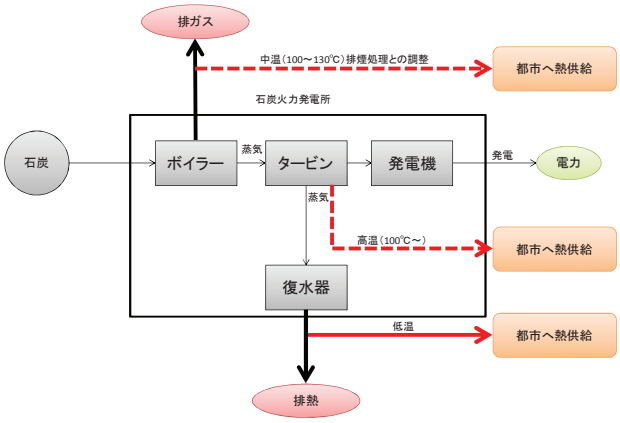


図-2 火力発電所のシステムフロー

$$e = 1 - \frac{T_x \times \ln\left(T / T_x\right)}{T - T_x} \qquad (1)$$

ここで，T は蒸気ボイラーにより生成される蒸気の温度を，T_xは取り出す蒸気の温度を表す．

(3) 熱供給ネットワークモデル

地域熱供給ネットワークは蒸気幹線導管と温水導管および，蒸気から温水に変換するエネルギーセンターから構成される．熱の長距離搬送には，周辺との熱交換による損失が発生するとともに，搬送動力が必要となる．エネルギー損失率は蒸気導管に比べて，温水導管が大きいため，エネルギーセンターを設置して蒸気による搬送を行った方がエネルギーロスが減少し効率が向上する．しかしながら，エネルギーセンターの設置に伴いコストも上昇するため，コスト効率性の観点からも適切なネットワークのデザインが必要である．

4. まとめ

本稿では，地域産業ストックを活用する低炭素型エネルギーシステムを評価するためのフレームワークを示し，そのキーコンポーネントについて考察を行った．今後は実都市を対象とした詳細評価を行う予定である．

謝辞

本研究は，環境省地球環境研究推進費 E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」を受けて実施した．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 経済産業省資源エネルギー庁：未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド，(2007).
2) 柏木孝夫，日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，日本工業出版，(2008).

地域特性を考慮した分散型エネルギーシステムの設計

Design of Distributed Energy Systems Considering Regional Characteristics

○清水輝之*[1)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]
Teruyuki Shimizu, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao
1) 東京大学
*t-shimizu@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

災害耐性や資源の高効率利用を目的として、大規模集中型の火力や原子力発電を多く採用したシステムから中小規模分散型の太陽光や燃料電池を導入したシステムへの転換が検討されている[1)]。地域のエネルギー需要や気候条件などの地域特性によって適した導入技術は異なるはずであり、そもそもシステムを設計する地域のバウンダリのとり方で地域内の需要家の構成が変化するため地域特性自体が変化する。本研究では、地域特性の変化と設計するシステムとの関連を明らかにし、地域特性を考慮した分散型エネルギーシステムの設計を行う。

2. 分散型エネルギーシステムの設計手法

2.1. エネルギー需給シミュレーションモデルの構築

エネルギーの需給シミュレーションを行うモデルにおけるエネルギーフローを図 1 に示す。黒枠の長方形で示したエネルギー変換プロセスについては変換効率を定数とし、それぞれ値を表 S 1 に記す。温水、蒸気、電力の需要が与えられた時、太陽光発電(PV)、太陽熱温水器(SC)、燃料電池(SOFC)といった分散型エネルギー技術の設備容量を変数として値を決めれば、それぞれの技術の出力や燃料使用量が計算され、CO_2 排出量などのシステムの評価に必要な指標を計算することができる。シミュレーションは夏期、冬期、中間期の 3 季節の晴天と雨天の 6 パターンについて電力については 1 時間ごと、蒸気、温水については 1 日での需給シミュレーションを行う。それぞれのパターンについて地域ごとに決まる日数から 1 年間での計算を行う。CO_2 排出量は燃料使用に伴う使用段階と導入技術の製造、廃棄段階でのものを考慮し、それぞれの原単位を表 S 2 に記す。そして、分散型エネルギー技術の設備容量を変化させてシステムを評価し、その影響を検討する。また、設計するシステムのバウンダリに含まれる需要家の構成の違いによる設計への影響についても検討する。

2.2. 分散型エネルギー技術からの出力の計算

PV の電力および SC の温水、SOFC の電力、蒸気、温水の出力 $P_{PV,elec}$, $P_{SC,HW}$, $P_{SOFC,elec}$, $P_{SOFC,steam}$, $P_{SOFC,HW}$、SOFC の燃料消費量 F_{SOFC} は、

$$P_{PV,elec}(t) = I(t) \times \mathbf{A_{PV}} \times k_{PV} \quad \cdots (1)$$

$$P_{SC,HW}(t) = I(t) \times \mathbf{A_{SC}} \times k_{SC} \quad \cdots (2)$$

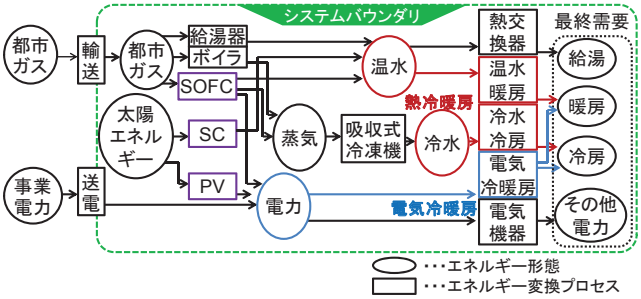


図 1　モデルにおけるエネルギーフロー

$$P_{SOFC,elec}(t) = \mathbf{C_{SOFC}} \times r(t) \quad \cdots (3)$$

$$P_{SOFC,steam}(t) = \mathbf{C_{SOFC}} \times f_{steam}(r) \quad \cdots (4)$$

$$P_{SOFC,HW}(t) = \mathbf{C_{SOFC}} \times f_{HW}(r) \quad \cdots (5)$$

$$F_{SOFC}(t) = \mathbf{C_{SOFC}} \times f_{fuel}(r) \quad \cdots (6)$$

と表すことができる。ここで I は単位面積当たりの日射量、A_{PV}, A_{SC} はそれぞれ PV、SC の設置面積を表し、k_{PV}, k_{SC} はともに補正係数となっている。C_{SOFC} は SOFC の設備容量で、r は SOFC の負荷率、$f_{steam}(r)$, $f_{HW}(r)$, $f_{fuel}(r)$はそれぞれ SOFC の蒸気と温水出力、燃料消費量の部分負荷特性を表す。また t は時間を表し、1 時間ごとの出力を計算する。PV および SC では需要を超えた出力分は全て捨てるものとし、SOFC では電力、蒸気、温水全てについて出力が需要を超えないような負荷率で運転することとする。A_{PV}, A_{SC}, C_{SOFC}は分散型エネルギー技術の設備容量を決める設計変数となる。これ以外の技術ごとに決まる定数については表 S 3 に記す。

2.3. 地域のエネルギー需要の計算

住宅、事務所、病院の 3 種類の需要家について需要家の床面積当たりの給湯、暖房、冷房、その他電力の 4 つの

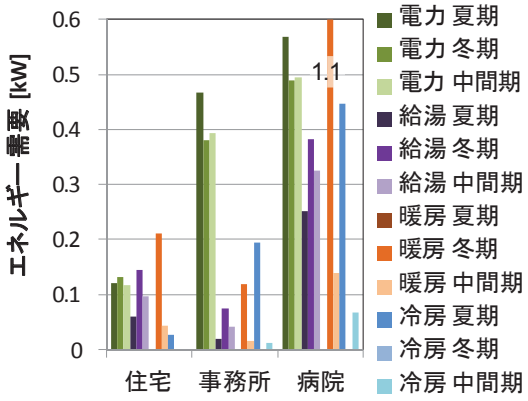


図 2　各需要家の季節ごとの 1 日間の床面積当たりのエネルギー需要

エネルギーの1時間ごとの需要を文献[2,3]をもとに算出する。これらの需要家の1日間での需要を図 2 に示す。システムを設計する地域内の需要家の床面積に応じて地域の給湯、暖房、冷房、その他電力需要を計算する。図 1 に示すように冷房・暖房を供給する方法として、電力によって供給する電気冷暖房ケースと温水・冷水によって供給する熱冷暖房ケースがあり、これらを決めることで分散型エネルギー技術からの出力計算に利用できる温水、蒸気電力の需要を計算する。

3. ケーススタディ

3.1. ケーススタディの概要

表 1 東京と札幌の地域特性

		東京	札幌
夏期日数[4]	[日]	122	92
冬期日数[4]	[日]	121	181
中間期日数[4]	[日]	122	92
電気暖房COP[5]	[−]	3.9	2.1
電気冷房COP[5]	[−]	4.5	5.0
事業電力CO_2原単位[6]	[kg−CO_2/kWh]	0.46	0.49

地域特性の違いの設計システムへの影響を検討するために東京と札幌でのケーススタディを行う。文献[4-6]を参考に設定したそれぞれの地域特性を表 1 に示す。札幌は東京よりも夏期日数が少なく、冬期日数が多く、暖房の効率を表す暖房 COP(Coefficient Of Performance)が低くなっている。このような地域に対して冷房・暖房需要に対して、電力によって供給する電気冷暖房ケースと温水・冷水によって供給する熱冷暖房ケースという 2 つのケースでの PV, SC, SOFC をそれぞれ導入するシナリオのうち分散型エネルギー技術を導入しない場合での電気冷暖房ケースからの CO_2 削減量で最適化を行ったときに最も効果的なシナリオを需要家構成ごとに検討する。

3.2. ケーススタディの結果

図 3 に東京と札幌における需要家の床面積割合と最も CO_2 を削減できるシナリオとの関係を示す。PV および SC は設置可能な面積による制約を受けるため、設置可能面積の違いによる影響についても検討した。

東京では、システムを設計する地域内で事務所の割合が大きいと PV が CO_2 削減に有効であり、住宅、病院の割合が大きいと SC が CO_2 削減に有効となる。PV, SC の設置可能面積が小さい場合、PV の優位性は下がり、SC が多くの需要家構成で有利となる。また、ほとんどの需要家構成で電気冷暖房ケースが CO_2 削減に効果的となっていることから、電気冷暖房の COP の高い東京では熱冷暖房で熱需要を多くすることはあまり有効ではないことが分かる。札幌では SC による CO_2 削減効果が大きいことが分かる。設置可能面積が小さい場合、SOFC の優位性が高くなる。札幌においては電気暖房の COP が低く、熱冷暖房により温水需要を大きくすることで SOFC, SC の導入効果の向上が見られる。

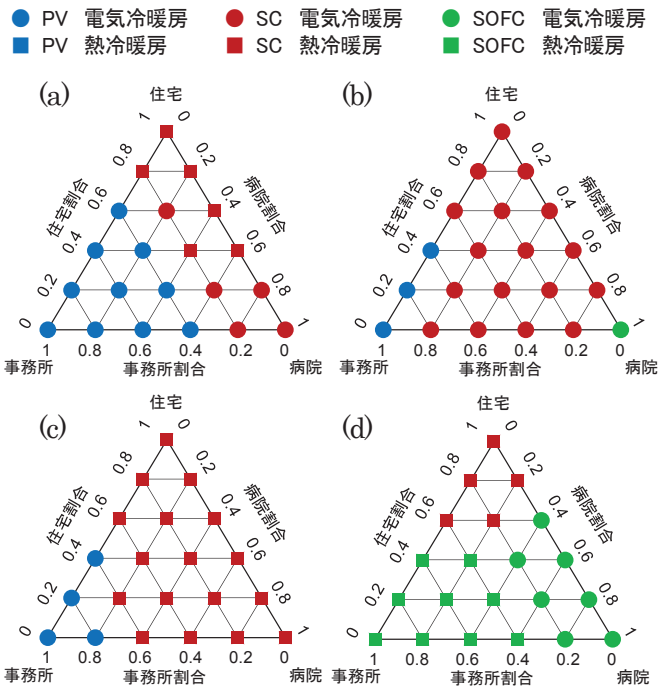


図 3 東京(a, b)および札幌(c, d)における需要家の床面積割合と最も CO_2 を削減できるシナリオの関係 (a, c および b, d は床面積に対する PV, SC の設置可能面積の割合をそれぞれ 1, 0.2 としている)

4. まとめ

異なる地域特性を有する地域においてシステムを設計する地域に含まれる需要家の構成の違いによる適した分散型エネルギー技術の導入シナリオの違いを明らかにした。さらに定量的な議論やその他の指標と合わせた評価を行うことで、地域特性を考慮した分散型エネルギーシステムの設計を行うことができる。

参考文献

1) A. Thornton, C. R. Monroy: Renew. Sust. Energ. Rev., 15, (2011), pp 4809-4817
2) 財団法人 日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター、「エネルギー・経済統計要覧」(2009)
3) 資源エネルギー庁、「夏季最大電力使用日の需要構造推計」(2011)
4) 森俊介, 石田武士, 小池祥元, 大蔵将史: 環境科学会誌, 22(4), (2009), pp 290-300
5) 資源エネルギー庁、「省エネ性能カタログ」(2011)
6) 環境省 報道発表資料、「電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数などの公表について」(2011)

表 S1　各エネルギー変換プロセスにおける変換効率

給湯器	0.85
ボイラ	0.85
熱交換器	0.98
温水暖房	0.98
冷水冷房	0.98
電気機器	1
吸収式冷凍機	1.1

表 S2　分散型エネルギー技術の製造・廃棄段階における CO2 排出量および事業電力、都市ガスの CO2 排出原単位

PV	kg-CO2/(kW-設備容量・year)	194
SC	kg-CO2/(kW-設備容量・year)	7
SOFC	kg-CO2/(kW-設備容量・year)	238
事業電力	kg-CO2/kWh	0.485
都市ガス	kg-CO2/MJ	0.063

表 S 3　分散型エネルギー技術の各種定数値と SOFC の部分負荷特性関数

k_{PV}	0.11
k_{SC}	0.48
$f_{steam}(r)$	$518r^2+326r$
$f_{HW}(r)$	$88r^2+55r$
$f_{fuel}(r)$	$497r^2+1700r$

持続可能性に着目したトライアスロン大会の環境・経済・社会影響評価

The environment, economy, and social impact evaluation of the triathlon convention which paid its attention to sustainability

○永井拓哉*[1)]、大久保拳志[2)]、越川延明[3)]、伊坪徳宏[1)]
Takuya Nagai, Kiyoshi Ohkubo, Nobuaki Koshikawa, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 世界トライアスロンシリーズ横浜大会組織委員会、社団法人日本イベント産業振興協会主任、東京都市大学
g0931153@tcu.ac.jp

1. はじめに

2012 年、イベントに関する国際規格(ISO20121)が発行された。この規格の柱となっているのが持続可能性である。ここでは、環境・経済・社会のトリプルボトムラインを網羅したイベントの計画と実施が求められている。近年イベントにおいても LCA の活用が進み、環境側面の評価が実施されるようになった。一方、イベントの評価は伝統的に経済波及効果について検討されることが多く、LCA による環境側面評価との整合性がとれていないことが問題として挙げられた。さらに、ロンドンオリンピックをはじめ障碍者や雇用など社会性に注目した活動が注目される中、これまでに社会側面に関する分析が行われた事例がない。以上より、環境・経済・社会の三側面を同じアプローチのもとで評価できる手法体型の構築が求められる。本研究では ISO20121 に沿ったイベントの持続可能性の評価をライフサイクルの視点に基づいて評価する。ここでは日本で初めて ISO20121 が認証される予定である「2012 世界トライアスロンシリーズ横浜大会」を評価対象とした。

2. 方法

2-1.環境側面の分析

本研究における環境負荷の算出は、すべて原単位法を用いる。エコプロダクツ展での環境評価において開発、採用された原単位を用いた。評価範囲は大会準備から撤去・片付けまでを含めた。詳細は表 1.と 2.に示す。評価物質は CO_2 のみである。

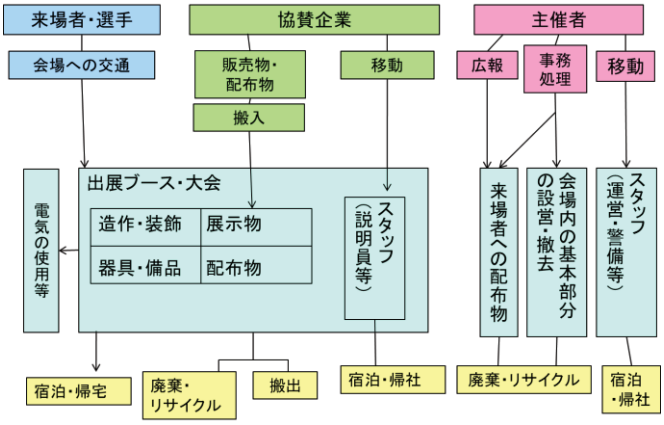
来場者の環境負荷は、当日イベントを観戦していた来場者に対して、無作為抽出でアンケートを行い、その有効回答数 184 を実際の来場者数 147,900 に拡大推計した。宿泊に関しても同アンケート内での回答数を元に算出した。

選手の環境負荷は、主催者公式ホームページから海外選手の出身地・出身国について入手し、各国の首都を出発点として仮定し、成田空港を経由し山下公園までの距離を求め、これに交通手段ごとに原単位を掛け合わせることで算定した。日本国内の場合は、各々の都道府県の県庁所在地を出発点とし、山下公園までの距離に原単位を掛け合わせ算出した。なお、選手の交通手段に関しては、国土交通省のホームページより「旅客流動量」を参考とした。宿泊に関しては、海外選手は全員宿泊、国内選手は同日早稲田大学スポーツビジネスマネジメント研究室が行ったアンケートデータを用いて算出した。

【表 1.】評価対象

評価対象	主な内訳
電力	大会期間に使用した電力
上下水道	大会期間に使用した水
廃棄物処理	大会期間に出た廃棄物
輸送	物品の輸送、スタッフ輸送等
物品	大会にて使われた物品 : 柵やコーン
設営・撤去	大会準備や撤去等
広報	大会宣伝や交通規制告知等
消耗品	主催者が購入した消耗品 : 文具、紙
販売品	大会内の EXPO の販売物
協賛品	協賛企業による物品や消耗品
移動・宿泊	来場者・選手の移動宿泊

【表 2.】システム境界



2-2.経済側面の分析

今回の経済波及の対象となるのが、主催者の支出、来場者の支出であり、来場者の支出は、飲食費、交通費、宿泊費、土産費、雑費の 5 項目であり、これらを用いて

経済波及効果を求める。算出方法は本研究室で用いられている松永らが開発した経済波及効果のデータベースを用いて算出した。

2-3.社会側面の分析

本研究では、同大会の雇用および労働災害の評価を実施した。算出方法は本研究室で用いられている松永らが開発した雇用効果分析データベース、労働災害分析データベースを用いて算出した。

3. 結果

今大会にて排出される環境負荷は CO_2換算 1173t-CO_2 となっており、図 1.にその内訳を示す。また、今回は環境負荷についてのみ議論をする。

【図 1.】全体結果

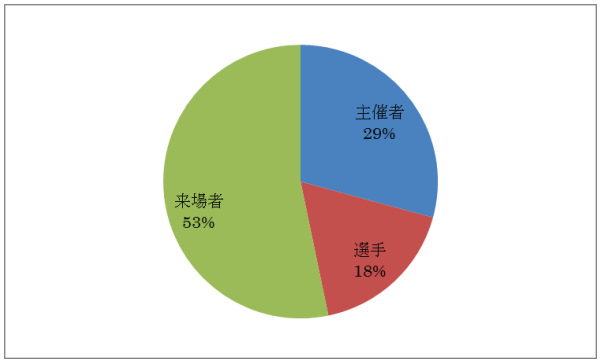
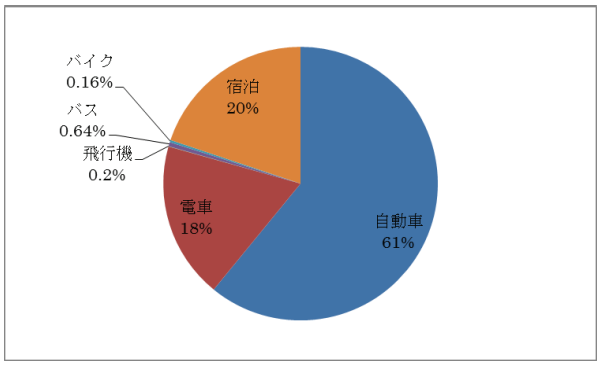


図 1.からわかるように排出総量の半分以上を占めた。以下にはそれぞれ排出量の大きい順に項目ごとに着目したものを示す。

最初に論ずるのは、来場者について。来場者起因の排出量は 625t-CO_2 となっている。以下の図は来場者の排出量を示す図である。

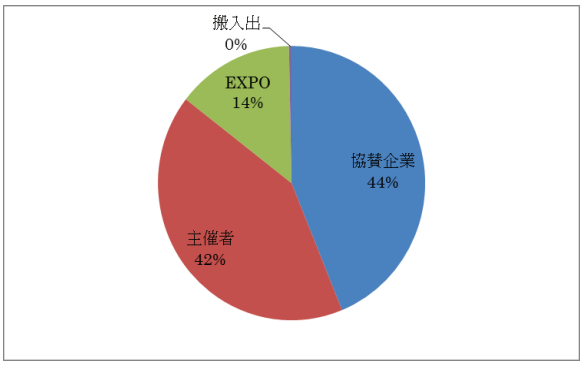
【図 2.】来場者排出量内訳



上図を見てわかるように、排出量の大半を自動車による移動が占めており、遠方からの来場者の交通手段の多くが自動車であり、近郊からの来場者の交通手段が電車という来場者が多かったためである。

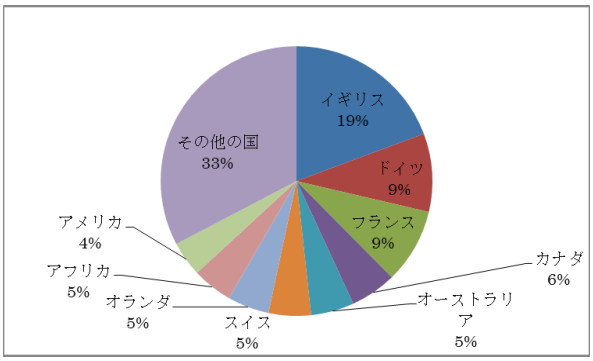
次に主催者について注目したのが図 3.である。主催者起因の排出量は 343t-CO_2 という結果となった。

【図 3.】主催者排出量内訳



最後に選手について。選手起因の排出量は 205t-CO_2 となったが、今回はその中でも総排出量の 9 割を占める海外選手の移動に関して国別に注目したものを以下の図 4.に示す。

【図 4.】海外選手国別排出量の内訳



4.おわりに

本研究では、ISO20121 に沿い環境・経済・社会の三側面からのイベントの持続可能性を評価することを目的とし、実際のスポーツイベントの評価を行った。以下主体ごとに主な評価結果をまとめた。

＜主催者＞物品の数が多いものの、レンタルの利用促進により CO_2排出量は抑えられている。協賛企業や併催イベントなど関係者への周知徹底を推進することが重要な課題である。

＜来場者＞来場者の数が多いのも一因であるが、CO_2排出強度の高い交通手段が大きく起因影響している。来場者に対して公共交通手段の使用を奨励するなどの活動の実施が求められる。

＜選手＞自転車などの機材を持ち込むため、自動車利用する傾向は国内選手に見受けられる。海外選手は交通手段に航空サービスが必須であるため、選手の人数や国によって排出量が大きく異なる。

参考文献

国土交通省～旅客流動量～
http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/download.html
エコプロダクツ２００８における C02 排出量測定調査
http://www.biz.jemai.or.jp/biz.eco-pro/

実測データに基づく稲作のウォーターフットプリント

Water Footprint of Rice Farming based on the Measured Data

○秋本淳一*[1)]、伊坪徳宏[2)]、小野雄也[2)]、吉澤拓也[1)]
Junichi Akimoto,Norihiro Itsubo,Yuya Ono,Takuya Yoshizawa
1) 日本工営株式会社,2) 東京都市大学
*a4253@n-koei.co.jp

1. はじめに

ウォーターフットプリント（WF）は、現在 2014 年を目標に国際規格化（ISO14046）が進められているところであるが、本研究で対象とした稲作に関する WF の算定は水収支モデルから机上検討されることが一般的であり、実測による検証が行われていない状況にある。

2. 研究目的

本研究では、稲作の WF 算定に信頼性の高い基礎データを提供するため、実際に継続して水稲を栽培している水田において代かきから落水までの水収支を実測し、実測値に基づく WF の算定を行う。さらに、既往研究との比較を行い、その妥当性を評価した。

3. 方法

3.1 水田の水収支の考え方

水田の水収支は、図 1 に示すとおりまとめられる[1]。水田には河川等からの灌漑水や降水が供給され、蒸散と蒸発及び地盤浸透と畦畔浸透によって水が消費される。ここで、蒸散は植物表面からの蒸気態での水の損失を、蒸発は水面からの水消費を示し、両者を合わせて蒸発散という。また、水田からの浸透のうち地盤浸透は垂直方向への、畦畔浸透は水平方向への浸透を示し、両者を合わせて水田の排水性の評価が行われる。また、供給された水のうち消費しきれなかった分については、排水路に排水が行われる。本研究では、供給量として灌漑水と降水、消費しきれなかった水量として排水を実測し、下記の関係式により水の消費量の算定を行うこととした。

（[灌漑水]+［降水］）−[排水]=（[蒸発散]+［浸透］）

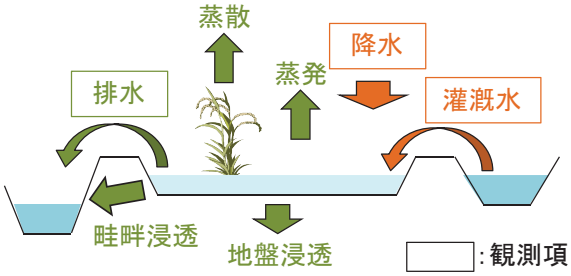


図 1 水田の水収支[1]と観測項目

3.2 研究圃場

研究対象とした圃場は、千葉県北部にある企業用地（図 2）であり、谷津田内の谷底に 4 筆の圃場（2000m^2）がある。周辺は比高 20m 程度の丘陵地となっており、水田への水供給は降雨のほか丘陵地からの湧水 3 箇所に依存している。各圃場は奥側の水田 1 から水田 4 に向かい順番に低くなっており、田越し灌漑（使用した水を直接排水路に落水せず、隣接する下段側の圃場に順に供給する）が実施されており、最下段の水田 4 からは 2 箇所の排水路に排水が行われ、近傍河川に排水されている。



図 2 研究圃場の状況と観測位置

3.3 観測方法

観測は、前出図 1 に示す観測項目を観測できるように、表 1 に示すとおり実施した。観測位置は、前出図 2 に示すとおりである。

表 1 観測項目と観測機材

観測項目		頻度	観測機材
灌漑水	流量	1 回/10 分	三角堰・自記水位計
降水	降水量	1 回/10 分	転倒升式雨量計
排水	流量	1 回/10 分	三角堰・自記水位計

3.4 観測期間

観測期間は、代かきを行った平成 24 年 4 月 18 日から落水を行った平成 24 年 8 月 24 日とした。

4. 結果

4.1 稲作のスケジュール

研究圃場では、近隣農家に稲作を依頼しており、周辺地域と同様のスケジュールで栽培を実施した（図 3）。

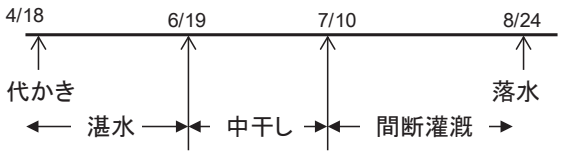


図３　稲作スケジュール（平成 24 年）

4.2 観測結果

観測結果は、図 S1 及び表 2 に示すとおりである。水消費量は、水田への灌漑水量（St.1,St.2,St5 の観測値）に降水量を加えた値から、水田からの排水量（St.3,St.4 の観測値）を差し引いた水量とした。蒸発散量は現地測定の気温から Hamon 式より算定し、水消費量からの差分を浸透量とした。中干し前の湛水時、中干し時、間断湛水時の順に浸透量が低下し、水消費量は減少していた。なお、農業農村整備の用水量計画では、水田からの蒸発散量と地下浸透により低下する水田水位を減水深といい、平均的な減水深を 11～38mm/日 [2] としている。研究圃場における水消費量はこれと同程度からやや少ない結果となった。これは、研究圃場が用水量計画において想定する良質な圃場よりも排水性が悪いためと考えられる。

表２　観測結果(mm/日)

項目	湛水	中干し	間断湛水
	4/18～6/19	6/20～7/10	7/11～8/24
流入量	21.4	14.0	19.7
排水量	2.3	3.5	14.4
水消費量	19.1	10.4	5.3
(浸透量)	(16.4)	(7.5)	(2.8)
(蒸発散量)	(2.7)	(3.2)	(2.5)

注）流入量=灌漑水量+降水量

4.3 稲作の WF

把握された時期別の水消費量から、水稲の栽培全期間（126 日間）を通じて研究圃場全体（2000m^2）で消費された水量を算定した結果、3309.8m^3 と算定された。これを研究圃場における平成 24 年の収量約 420kg（玄米）で除すことにより、玄米 1kg あたりの水消費量（WF）を算定した結果、7880L/kg と算定された。これは、図 4 に示すとおり既往検討の WF と比較して約 9 倍の値となっている。このような乖離が見られた要因として、次に示す 2 つの原因が考えられる。

①本検討では各圃場単位レベルで水消費量を実測したため、既往検討のように地域～国レベルの広域の水消費量を算定する場合と比較して、灌漑水の反復利用による水消費量の低減が反映されない。一般に、灌漑水は平均的には 2～3 回程度は繰り返し利用されることから、広域的に評価する場合、各圃場レベルで評価する場合に比べて水消費量は 1/2～1/3 になると考えられる。

②研究圃場のような谷津田の小区画水田では、畦畔の存在や農機具の稼働範囲の制約などから、平地の大区画水田と比較して収量が低く、結果的に WF が過大に評価される。なお、一般に 1ha あたりの米の収量は 6t 程度であるが、研究圃場では 1ha あたり 2t あまりと、約 1/3 の収量となっている。

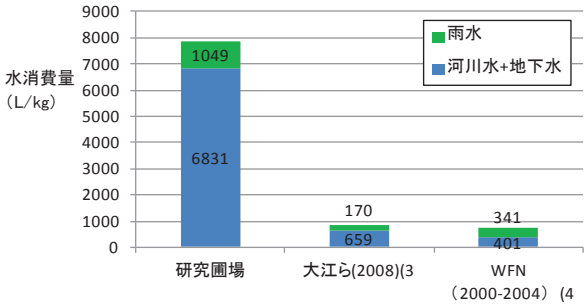


図４　研究圃場の WF と既往検討との比較

5. まとめ

本研究により、実測による圃場レベルでの稲作の WF 原単位として、7880L/kg が算定された。算定値は、既往研究と比較して約 9 倍と大きなかい離があった。これは圃場レベルで検討を行うと灌漑水の反復利用が考慮できないこと、研究圃場の収量が低いことが原因として考えられた。このため、算定結果の解釈にあたっては、広域的な用排水計画の実態や水田の生産力を踏まえた解析を行うことが必要と考えられる。また今後、本研究では検討範囲に含めていない育苗期における水消費量の把握や、蒸発散量などの水消費量の詳細な内訳の把握についても課題であると考えている。

参考文献

1）丸山利輔、五十崎恒、西出勤、村上康蔵、四方田穆、高橋強、三野徹,”新編　灌漑排水　上巻”,㈱養賢堂,東京,（1986）,p60-78

2）社団法人農業土木学会,”農業土木ハンドブック”,丸善出版,東京,（2000）,p167-169

3）大江卓也, 伊坪徳宏：“第 6 回日本 LCA 学会”, 仙台,(2011),pp.62-63

4）A. K. CHAPAGAIN, A. Y. HOEKSTRA：“THE GREEN, BLUE AND GREY WATER FOOTPRINT OF RICE FROM BOTH A PRODUCTION AND CONSUMPTION PERSPECTIVE”,（オンライン）, 入手先 <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>（参照 2012-1-8）

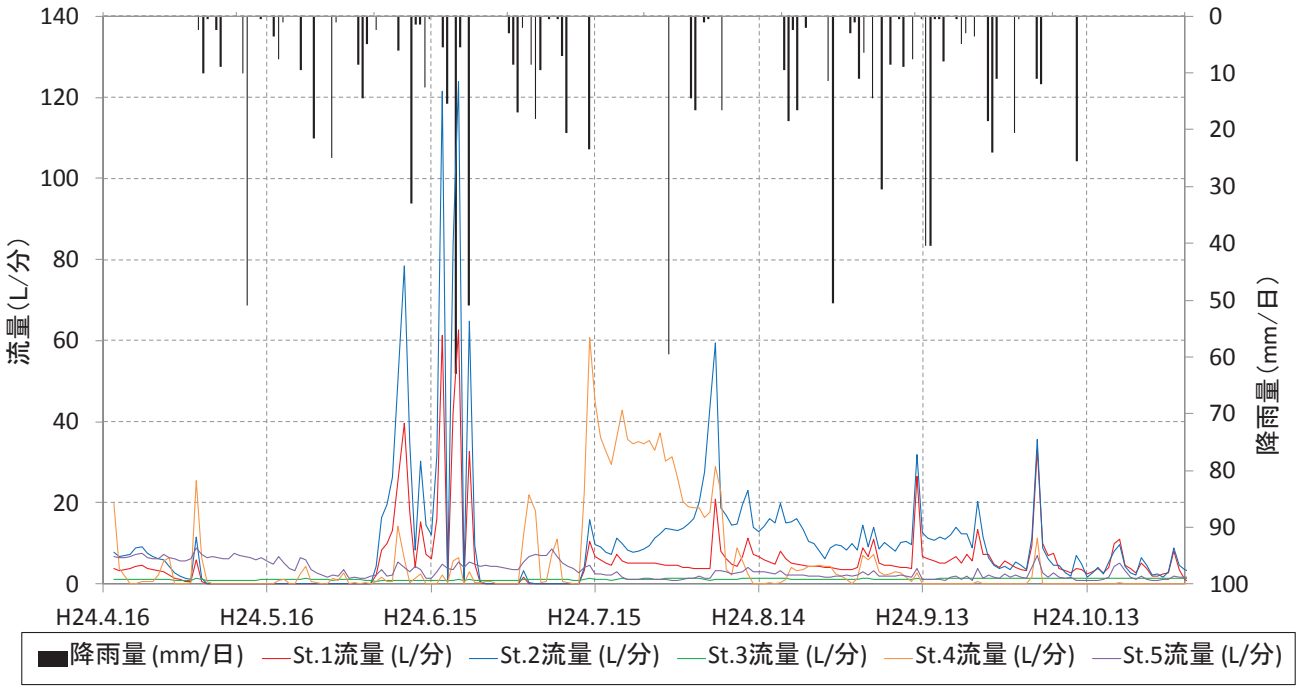


図 S1　流量・降水量観測結果

静岡県富士市で製造された衛生用紙の CFP の再計算

Recalculation of the Carbon Footprint of sanitary paper from the paper mill in Fuji city, Shizuoka prefecture

○安藤生大
Takao ANDO
千葉科学大学　危機管理学部
tando@cis.ac.jp

1.　はじめに

これまでの紙のライフサイクル・アセスメント（LCA）に関する研究は、桂ら[1)]による上質紙のライフサイクルインベントリー分析、中澤ら[2)]による非木材パルプ及び古紙パルプを配合した上質紙のライフサイクルインベントリー分析があり、これらをまとめて桂[3)]が木材、非木材、古紙パルプの総合的な LCA 評価を行った。その後、木材、非木材、古紙パルプについての LCA 評価結果を用いて、上質紙[4)]や、環境報告書用紙[5)]の環境影響に関する研究が行われた。再生紙のカーボンフットプリント（CFP）の試算については、本研究の第１報にて報告した。具体的には、静岡県富士市で生産された再生紙トイレットペーパー6 個パック製品にいて、できるだけカーボンフットプリント制度商品種別算定基準（PCR）「紙・板紙」（PPR-025）に則って試算し、2160.65g-CO_2eq/パックの結果を得た。

本研究では、第 1 報に引き続いて、再生紙トイレットペーパー6 個パック製品について、CFP の再計算を行った。再計算にあたっては、調査した工場で生産しているトイレットペーパー以外の製品の生産割合（全体の 37.5%）を考慮し、可能な限り 1 次データを使用し、それ以外についてはカーボンフットプリント制度商品種別算定基準（PCR）「紙・板紙」（PPR-025）に則って計算した。その結果、現状の PCR の課題が明らかになったので報告する。

2.　CFP 算出方法

2.1　評価対象と算定範囲

調査した家庭紙工場は、模造紙、ケント紙、ラミネート紙（牛乳パック、紙コップ）等の古紙のみを原料として、トイレットペーパー、ちり紙等の生産を行っている。平均月産量は 330t に達する。主要設備は、古紙蒸煮設備（14 尺地球釜）１基と丸網ヤンキー式抄紙機 2 台であり、高性能パルパー、連続式原料調達装置、芯なしトイレットリワインダー、ログカッター、包装装置、地下水揚水設備、排水処理装置、ボイラ装置等の設備を有する。発生した PS （Paper Sludge）は、富士市内の共同スラッジ焼却炉へ輸送し、処理を行っている。

本研究における CFP の算定範囲は、①原料調達段階、②生産段階、③流通・販売段階、④使用・維持管理段階、⑤廃棄・リサイクル段階の 5 段階とした（図 1）。生産段階は、工場でのエネルギー使用、工業用水の使用、製品のプラ包装資材の使用に伴う CO_2 排出量を対象とした。流通・販売段階は、PCR 附属書 J「県間輸送」、附属書 M「店舗販売」に記載のある条件を用いた。使用・維持管理段階は、PCR 4.4 の記載に「紙・板紙が消費するエネルギーなどのユーティリティは無いと考えられる」とあるため、本研究ではこの段階の GHG 排出量を考慮していない。廃棄・リサイクル段階は、プラ包装資材の廃棄処分、排水処理に伴う薬品使用、および PS の処理を対象とした。PS の処理では、PCR 4.5.1 を参考として廃棄焼却処理とした。PS 焼却処理施設までの輸送は附属書 J「市内輸送」の条件を用い、処理施設でのエネルギー使用と管理型最終処分場への埋め立てに伴う GHG 排出量を対象とした。なお、工場設備等の耐久財に関する GHG 排出量は、耐用年数の設定に関する問題が大きいため対象としない。生産段階における地下水の使用については、エネルギー使用のみを対象とした。

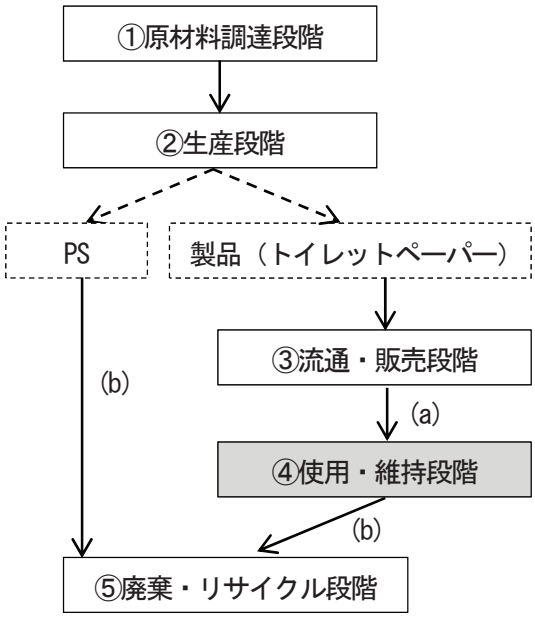


図１　家庭紙のライフサイクルステージと投入されるエネルギーと消耗品の概要。(a)：附属書 J　輸送距離　県間輸送（500㎞）、(b)：附属書 J　輸送距離　市内輸送（50㎞）

2.2　機能単位と算定方法

機能単位は、芯なしタイプのトイレットロール（シングル、130m 巻）6 個を LDPE で包装した製品（以後、パック製品）1 個とした。CO_2 排出量の算定方法は、機能単位あたりの CO_2 排出量＝Σ（活動量 i×CO_2 排出原単位 i）：i は段階（プロセス）として、段階毎に積み上げ法により求めた。

2.3　インベントリデータの収集方法

一次データは、家庭紙工場、および PS 処理施設での聞き取り調査により得た。PS の分析は、水分量、配分量、構成鉱物、主成分、示差熱重量分析、炭素量分析等を行った。

二次データは、CFP 共通原単位[6]、産業連関表から算出された味の素グループ版食品関連材料 CO_2 排出係数データベース[7]の 3 ヶ年度平均から得た。なお、PS の灰化処理に伴うインベントリデータは、安藤ほか[8]を用いた。

3.　結果

調査した家庭紙工場では、20t の古紙から 16t の製品を生産している。全製品の 62.5%をトイレットペーパーが占め、残りをそれ以外（主にちり紙）の製品が占めている。本研究では、この割合で工場内のエネルギーと排水処理に用いる薬品等の配分を行っている。また、一日あたりのトイレットペーパーの生産量は 12.5ｔの古紙から 10t の製品を製造している。一日あたりのトイレットパーパーの生産個数は 33325 個であることから、古紙１ｔから生産されるトイレットペーパーの数は、2666 個とした。

この工場では、生産段階において地下水を一日あたり 3000m^3 使用する。揚水は電動ポンプによるが、その使用電力量は、工場の使用電力に合算されている。本研究では、地下水使用に伴うその他の環境負荷については考慮していない。また、工場における排水処理後の排水は、富士地域の製紙工場向けに設置されている共同排水路（岳南排水路）から海洋放流されている。本研究では、岳南排水路の建設、維持管理に関する環境負荷については、考慮していない。

静岡県産衛生紙の CO_2 排出量の試算結果は、1 パックあたり 2406.90g-CO_2eq/パックとなった。トイレットロール 1 個あたりでは、包装・梱包資材を含めて 401.15g-CO_2eq/個となった。試算結果に基づく CO_2 排出割合を図 2 に示した。CO_2 排出量の段階毎の内訳は、原材料調達段階で 140.63g-CO_2eq/パック（構成比 5.8%）、生産段階で 1824.57g-CO_2eq/パック（75.8%）、流通・販売段階で 329.13g-CO_2eq/パック（13.7%）、廃棄・リサイクル段階で 112.57g-CO_2eq /パック（4.7%）となった。

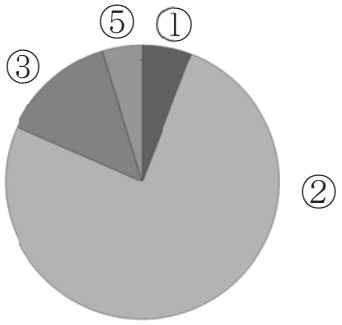


図 2　調査したパック製品の CFP 試算結果に基づいた各段階の排出割合。①：原料調達段階、②：生産段階、③：流通・販売段階、⑤：廃棄・リサイクル段階

4.　まとめ

CFP を削減するには、CO_2 排出割合が高い生産段階において、省エネの推進や原単位の低い再生可能エネルギーの導入など、エネルギー由来の CO_2 排出量の削減対策を行うことが効果的であると考えられる。また、CFP の計算にあたっては、原料古紙のリサイクルを考慮した環境負荷の配分が必要であること、各種排水処理剤の原単位を整備する必要があること、さらには PS の具体的な処理法を想定した PCR を作る必要があること等の課題が明らかとなった。

参照文献

1）桂　徹，庭田博章，中澤克仁，片山恵一，坂村博康，安井至（2000）：紙パ技協誌，54(8)，1108-1115

2）中澤克仁，片山恵一，桂　徹，坂村博康，安井至（2001）：紙パ技協誌，55(6)，838-851

3）桂　徹（2001）：紙パ技協誌，55(7)，960-966

4）中澤克仁，本田智則，桂　徹，片山恵一，山本良一，安井至(2003)：紙パ技協誌，57(8)，1212-1221

5）中澤克仁，山田耕平，桂　徹，庭田博章，片山恵一，安井至（2003）：紙パ技協誌，57(10)，1537-1549

6）カーボンフットプリント制度試行事業 CO_2 換算量共通原単位データベース（暫定版）ver. 3.0，Carbon Footprint of Products ホームページ，入手先＜http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/pdf/kokai-co2kasanryou-db20110331.pdf＞，（参照 2011-4-20）

7）味の素株式会社，味の素グループ版食品関連材料 CO_2 排出係数データベース，味の素株式会社ホームページ、入手先＜http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2007/lcco2.pdf＞，（参照 2009-12-9）

8）安藤生大，日吉公男，嶋田修治，松枝直人，逸見彰男（2010）：紙パ技協誌，64(8)，940-954

地域循環による各主体のGHGアカウンティングへの影響分析

Analysis on GHG accounting of each entity by regional circularization

○大西 悟*[1)]、藤田 壮[1)2)]、藤井 実[1)]、戸川 卓哉[1)]、董亮[1)2)]
Satoshi Ohnishi、 Tsuyoshi Fujita、 Minoru Fujii、 Takuya Togawa、 Dong Liang
1) 国立環境研究所、 2) 名古屋大学
*ohnishi.satoshi@nies.go.jp

1. はじめに

LCAの理念に基づき、商品や企業活動、プロジェクトごとにGHGを算出・評価し、公表・表示するGHGアカウンティングが広まり始めている。企業が情報を開示する利点は、GHGリスク管理、削減機会の同定、情報公開、自主的なGHGプログラムへの参画、必須の情報開示法令、GHG市場への参入などにあるとされる[1, 2)]。これまで一部の企業では、環境・サステイナビリティ報告書を通じて、ステークホルダーに対し、直接的なGHG排出量を算定・開示してきた。近年では、この流れが拡大し、カーボンフットプリント、GHGプロトコルを用いた情報公開が進みつつある。特に、サプライチェーンにまたがる間接的な発生量（Scope 3）の算出方法が提起されており、都市レベル[3)]、事業者レベル[4)]などでの研究が進みつつある。

しかし、サプライチェーン全体にまたがる情報収集の困難さや複数事業者間での排出量の帰属の問題など課題もあり、更なる研究が必要である。特に、リサイクルの取り扱いは、配分・帰属の問題も含め一般的な方法が確立されておらず、LCA研究の蓄積を踏まえた手法の設計が不可欠である。そこで、本稿では、動脈産業を中心とした地域での循環事業を対象に、複数の主体のScope算定を行い、地域循環におけるGHGアカウンティングの取り扱いについて議論する。

2. 方法

まず、LCAの手法を用い、機能単位、システム境界の設定、インベントリデータ整備、シナリオ設計、GHGの算定を行い、地域循環に伴うシステム全体からのGHG排出量の変化を分析する。次に、各事業者のGHG排出量をScope1,2,3ごとに配分し、その変化を分析する。なお、ライフサイクル影響評価については、GHGアカウンティングの性質を踏まえ、除外する。

著者らは、LCAを活用した地域循環に伴うGHG排出量の算定手法を既報において提示してきた[5)]。その特徴は以下の4点に集約される。第一に、動脈産業の生産フローおよび静脈産業の収集・運搬・加工フローの双方を考慮したシステム境界を設定している点、第二に、動脈産業の生産プロセスをモデル化し、循環資源と新規資源の代替性およびそれに伴う製造フローの変化を考慮する点、第三に、複数の主体の合意形成に資するため、地域循環による削減ポテンシャルを算定し、その後に詳細な計画に反映できるプロセスを踏んでいる点、第四に、積み上げ法を用いることで、各主体の排出帰属を特定することが可能になり、GHGアカウンティングの算定に資することが出来る点である。

3. ケーススタディ

ケーススタディとして、A市（人口140万人）の臨海部に鉄鋼産業（年間生産量400万トン）およびセメント産業（年間生産量80万トン）が集積し、それらの産業間の副産物およびA市・B市（人口400万人）から排出する一般・産業廃棄物を活用する循環圏を形成するシステムを想定する。求める機能は、動脈産業での同量生産と循環利用が可能な廃棄物の適正処理・利活用である。

シナリオ1は、ベースラインとして、非循環型を想定し、動脈産業ではすべて新規資源を用いて製造し、A・B市で発生する廃棄物はすべて焼却処理（発電を考慮）をする。

シナリオ2では、鉄鋼産業の循環技術を活用し、A・B市で発生する10万トン／年の一廃系・産廃系廃プラスチックの受入れを想定する。また、セメント産業の循環技術を活用し、鉄鋼産業からの高炉スラグ、A市で発生する汚泥、鉱さい、燃えがら等の産業廃棄物およびA・B市で発生する1万トン／年の一廃系・産廃系廃プラスチックの受入れを想定する。

地域循環のシナリオごとのシステムを図1、2に示す。GHGアカウンティングを算定する場合の評価対象は、プロトコル等で定義され一般化されつつある[1)]が、本稿では、そのうちシナリオ間で変化が生じるプロセスを評価対象としている。具体的には、鉄鋼、セメント産業の新規原料の採掘・輸送（これらの産業にとってのScope3）、製造工程（Scope1）、廃棄物減量の回収・輸送(Scope3)、自治体の一般廃棄物処理(自治体にとってのScope1)、および産業廃棄物の処理(排出事業者にとってのScope3)を評価対象とする。また、他主体からの電力供給(Scope2)については、変化量が少ないことから、本稿では対象外としている。

4. 結果・考察

図3に、シオリオ1、2のGHG発生量の差分を表記する．システム全体の削減量は、480kt-CO_2/年と既報において報告している[6]が、本稿ではGHGアカウンティングの手法に則り、各主体のGHG排出削減を算定・考察する。

動脈産業におけるScope1の削減量は、新規資源と循環入による新規資源の削減に伴うものも含まれる。この際資源の燃料効率の差による削減分に加え、循環資源の受に、投入した循環資源を製造プロセスで利用することで発生するGHGは、物理的には動脈産業から排出されるが、GHG アカウンティングの基盤となる国内の温対法や省エネ法での報告枠組みでは、焼却処理が回避できることを前提にゼロカウントとみなされる。この前提は、動脈産業が循環資源を受け入れることがScope1の排出削減となることを意味し、循環促進のインセンティブとなる。

また、自治体にとってScope1に含まれる一般廃棄物処理プロセスでは、GHG排出源の廃プラスチックなどが削減されることから直接的な削減が見込める。一方で、産業廃棄物を排出する事業者にとっては、自社から排出した廃棄物の処理はScope3とみなされる。GHG削減目標をScope1、2のみに限定している状況では、排出事業者には、リサイクルによるGHG削減効果を経営に反映するインセンティブが働きづらい。

地域循環を対象に、各主体のGHG削減への貢献を考察すると、地域循環システム全体の排出削減のうち、一般廃棄物及び産業廃棄物の処理による削減は、動脈産業における循環資源の燃焼等に伴うGHG排出の相殺分と廃棄物処理の直接排出の削減分のダブルカウントとなっている。しかし、GHGアカウンティングの目的は、企業の排出削減努力を促進することに主眼が置かれていることから、ダブルカウントを許容するべきとの議論もなされている。

今後は、GHGアカウンティングの特性を鑑み、シナリオ間の比較を目的としたLCAや国レベルでの報告義務に基づくGHG算定手法とは異なる枠組みとして、環境改善による便益とコストの配分方法を算定する方法論を確立し、実際の管理手法を検討することが課題である。

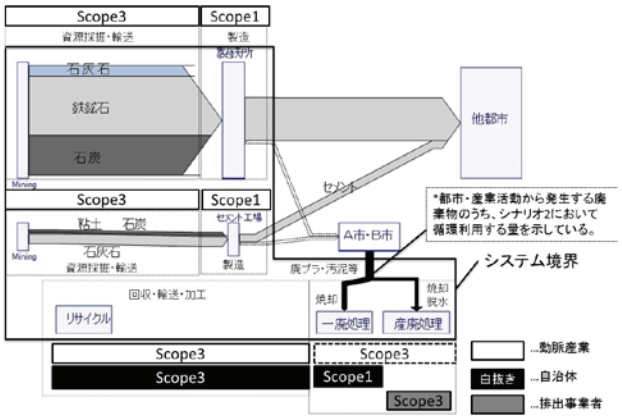


図1：シナリオ１（ベースライン）のシナリオ図

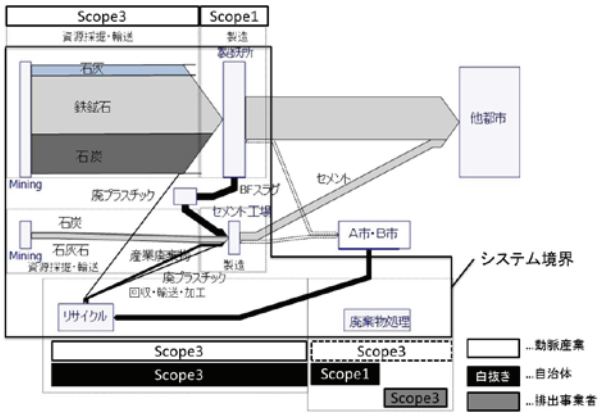


図２：シナリオ２（地域循環）のシナリオ図

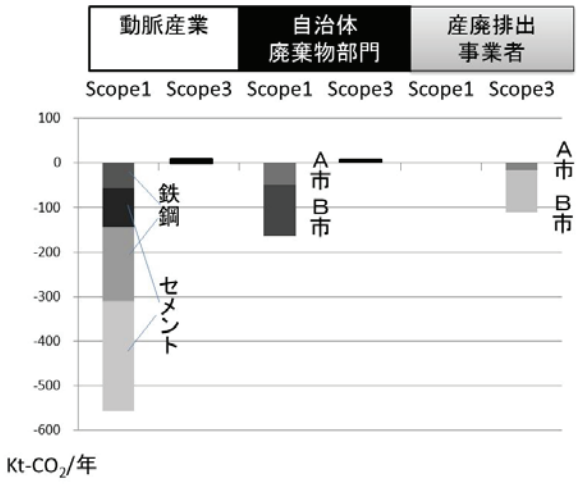


図3：シナリオ２（地域循環）での各主体からのGHG排出削減量

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費（E-1105 および K-113002）により実施された。関係者に謝意を表する。

参考文献

1) WBCSD, WRI: “GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) and Product Life Cycle Standards
2) 工藤拓毅: 産研論集（関西学院大学）39、(2012)、pp35-42
3) Mohareb E., Kennedy C.: J IND ECOL.,16(3), (2012), pp 302-316
4) Huang Y., Weber C., Matherws H.: Environ. Sci. Technol.:43(22),(2009),pp8509-8515
5) 藤田壮，長澤恵美里，大西悟，杉野将太:環境システム研究論文集，35, (2007):pp89-100
6) 大西悟, 藤田壮, 藤井実:土木計画学研究講演集, 45, CD-R，(2012)

Web ブラウザを用いた金融自動照会システム導入による CO_2 排出量削減効果

The Carbon-Dioxide Emissions Reduction Effect by the Financial Automatic Reference System Using a WEB Browser

○竹内淑江*1)、藤根祐介 1)、田村賢祐 1)、十村勝 1)、西史郎 1)、立開さやか 2)
Yoshie TAKEUCHI, Yusuke FUJINE, Kensuke TAMURA, Masaru TOMURA, Shiro NISHI, Sayaka RYUGAI
1)エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ株式会社
2)株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
*yoshie.takeuchi@ntt-at.co.jp

1.　はじめに

近年、インターネットの普及に伴い Web ブラウザを用いた様々なサービスが提供されている。ATM や金融機関窓口へ出向くことなく、24 時間いつでもインターネットを介して金融サービスを利用できるインターネットバンキングも、その利便性から 30～40 才代を中心に広く利用されている。(1)

インターネットバンキングの CO_2 排出量削減効果については、人の移動や紙の利用と比較した事例(2)はあるが、従来システムからの移行段階も含めた検討事例は少ない。そこで、本検討では、人の移動や紙の削減の他、電話回線等を利用した従来システムからの移行の効果等を含めて検討を行い、Web ブラウザを利用した金融自動照会システム導入による CO_2 排出量削減効果を評価した。

2.　評価方法

2.1　機能単位・システム境界

機能単位は、「1 年間の資金決済処理」とした。なお、評価対象とする資金決済処理は、入出金明細照会および振込とした。

システム境界は、「個人ユーザおよび法人ユーザが資金決済処理を行う際に生じる活動の、製造・使用・廃棄段階およびシステムの開発段階」とする。ただし、金融自動照会システムが資金決済処理情報を照会する金融機関ホストは評価対象外とした。

2.2　評価モデル

金融自動照会システム導入前後について、個人ユーザ利用、法人ユーザ利用それぞれの場合についてモデル化した。

(1)個人ユーザ利用の場合（図 1）

システム導入前：自宅から最寄りの ATM まで移動し、通帳を利用して資金決済処理を行い、紙の明細票が発行されると想定した。

システム導入後：自宅から PC または携帯電話を用いて照会センタへ接続し、資金決済処理を行うと想定した。

(2)法人ユーザ利用の場合（図 2）

システム導入前：ユーザの 8 割は、オフィスから最寄りの金融機関窓口まで移動して資金決済処理を行い、窓口では、手続きに紙を利用すると想定した。一方、残りの 2 割のユーザは電話等を用いた従来システムを利用して資金決済処理を行うと想定した。

システム導入後：オフィスから PC を用いて照会センタへ接続し、資金決済処理を行うと想定した。

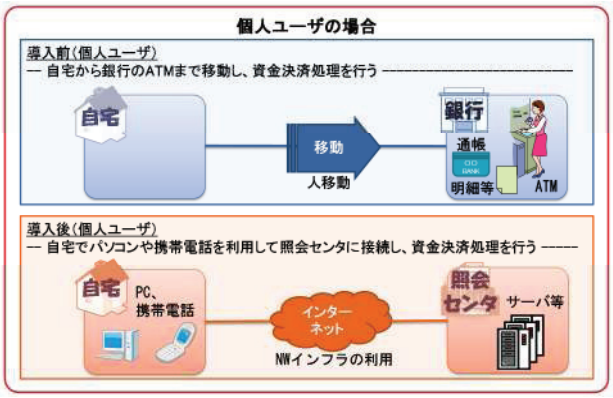


図 1　個人ユーザの評価モデル

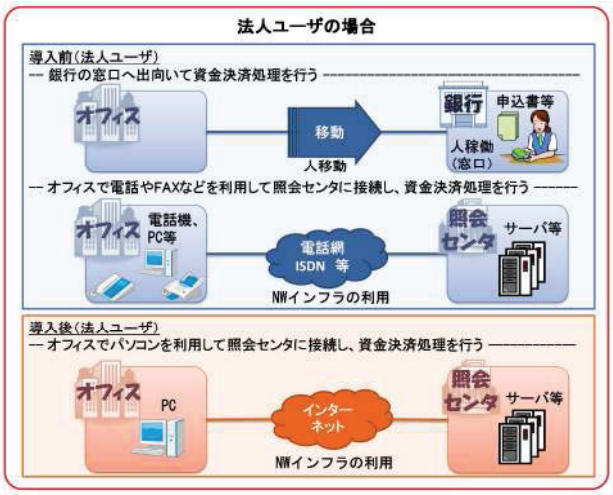


図 2　法人ユーザの評価モデル

2.3　評価条件(標準条件)

各ユーザの年間決済処理件数は、システムのトランザクションデータより推計した。

金融自動照会システム導入後の資金決済処理では、各ユーザは 1 回のアクセスで 1 件の資金決済処理を行うものと想定した。一方、システム導入前の個人ユーザや法

人ユーザがATMや金融機関窓口で行う資金決済処理は、各ユーザとも月2回ATMや金融機関窓口へ出向き、1回の移動で複数件の資金決済処理を行うものと想定した。なお、ATMや金融機関窓口までの移動距離は、郵便局・銀行までの距離[3]の統計情報等より、個人・法人ユーザごとに都道府県別に推計した値を利用した。移動手段は、移動距離が1km未満のユーザは徒歩または自転車を利用し、1kmを超えるユーザは自動車を利用するものと想定した。徒歩または自転車を利用した場合のCO_2排出量は0であるとした。

3. 結果と考察

3.1 評価結果

Webブラウザを用いた金融自動照会システムの導入によるCO_2排出量削減効果は、約6.5万t-CO_2/年であった。図3に活動別の評価結果を示す。システム導入後は、ICT機器およびNWインフラ利用による負荷がわずかに増加しているが、人移動、人執務、紙の利用の負荷が大きく削減された結果、導入前と比較して約90%のCO_2排出量が削減されている。

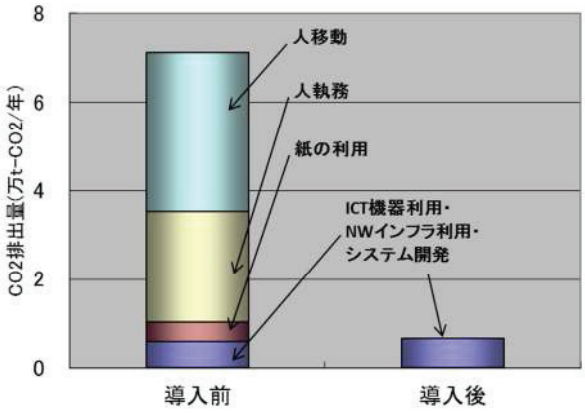


図3 評価結果

システム導入後のICT機器利用・NWインフラ利用・システム開発によるCO_2排出量の内訳をみると、NWインフラ利用からのCO_2排出量は約0.2%程度であり、NWインフラ利用による排出量の占める割合は小さいことがわかった。

また、資金決済処理1件あたりのCO_2排出量は、ATMを利用した場合には約0.38kg-CO_2/年、金融機関窓口を利用した場合には約0.22kg-CO_2/件、Webブラウザを用いたシステムを利用した場合には約0.03kg-CO_2/件であり、ユーザが選択する手段により、1件処理あたりのCO_2排出量にはおよそ8倍以上の差が生じている。

3.2 感度分析・考察

Webブラウザを用いた金融自動照会システムの導入によるCO_2排出量削減効果において、最も大きな削減要因はATMや金融機関窓口までの人移動の削減である。そこで、感度分析として、ATMや金融機関窓口までの移動頻度・移動手段を変化させた場合の評価を行った。その結果、移動頻度を標準条件の1/2（1回/月）にした場合、金融自動照会システムの導入によるCO_2排出量削減効果は4.7万t- CO_2/年となった。また、本検討では移動距離が1kmを超えるユーザの移動手段はすべて自動車であるとして評価しているが、これをすべて鉄道とした場合には、システム導入によるCO_2排出量削減効果は3.2万t- CO_2/年となった。

人移動の負荷は、移動距離が短いほど小さく、金融機関のATMや金融機関窓口の設置密度の高い大都市圏ほど移動距離は短くなるため人移動による負荷も小さくなると考えられる。そこで、大都市圏（東京圏、名古屋圏、大阪圏）とそれ以外での、資金決済処理1件あたりの人移動による負荷を比較したところ、大都市圏での負荷はそれ以外の地域の約1/3であった。

人移動に次いで大きな削減要因は金融機関窓口の人執務の削減である。そこで、人執務について感度分析を行った。本検討の標準条件では、法人は1回の来店で16件の資金決済処理を行っている。金融機関窓口の行員の稼働時間は1件あたりの処理時間に処理件数を乗じて評価したが、同時に複数件を処理する場合には金融機関窓口の稼働も効率化されると考え、稼働時間を標準条件の1/2にした場合を評価した。その結果、システム導入によるCO_2排出量削減効果は、5.2万t- CO_2/年となった。

4. まとめ

Webブラウザを用いた金融自動照会システム導入によるCO_2排出量削減効果は、約6.5万t- CO_2/年であり、人移動および人執務によるCO_2排出量を大きく削減できることがわかった。

参考文献

(1)マイボイスコム(株)：”インターネットバンキングの利用のアンケート調査(13)”，マイボイスコム(株)，入手先 URL<http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/16211/index.html>，（参照2012-12-28）

(2)日本電気(株)：”エコシンボルスター（ソフトウエア・サービス）事例”2005年度登録のエコシンボルスター（インターネットバンキングシステム），日本電気(株)，入手先 URL<http://jpn.nec.com/eco/ja/product/eco/index.html>,(2012-12-28)

(3) 総務省統計局：“平成20年度住宅・土地統計調査” 第92表　郵便局･銀行までの距離(5区分)別住宅数―都道府県,(2010)

LCI データ流通システムの実装：成果と課題

Implementation of LCI data exchange system: Achievements and challenges

○中野勝行*[1)]、小池航[1)]、杉本琢磨[2)]、田原聖隆[3)]
Katsuyuki Nakano, Wataru Koike, Takuma Sugimoto, Kiyotaka Tahara
1) 産業環境管理協会, 2) イージフ, 3) 産業技術総合研究所
*nakano@jemai.or.jp

1.　はじめに

実態に応じたLCAを実施するには、組織を越えLCIデータの円滑な流通が必要である[1)]。そこで、LCAソフトウェアにてインターネットを通じてデータの授受が可能となるシステムを開発した。本システムのユーザは、自由にデータライブラリへのデータ登録ができ、またデータ利用ができる。本報告では、本システム開発に際して実装した成果、および未解決の課題について報告する。

2.　方法

データ流通システムは、LCAシステム「MiLCA」[2)]の付属機能として開発した。本システムはインベントリ分析、影響評価などLCA実施を支援するシステムである。本システムでは、図1に示すようにプロセス検索画面に中央サーバでの検索ボタンを追加し、検索領域を選択できるようにした。以下に、本システムにおける実装方法等について述べる。

①チーム機能

ユーザが作成・公開したデータが、第三者の別のユーザにより非意図的に改変されることを予防しなければならない。そこで、プロセスおよびケーススタディのデータを改変できる権限を定義するため、「チーム」という概念を導入した。ユーザはチームを自由に作成し、加入・招待することができる。特定チームへの加入には当該チーム名、パスワードが必須となる。

同一チーム内では他ユーザであってもデータ改変権限があるため、共同での作業が可能である。一方、他チームのデータは閲覧・利用・コピーのみ可能であるため、不用意な改変を予防することができる。

また、取引先などから入手した他社データを公開してしまわないよう、仮にユーザのローカル環境にデータがあったとしても、他チームのデータはエクスポートおよび中央サーバへの公開ができないように制限を設けた。

②データ流通単位

プロセスデータは、単位プロセスを流通単位とした。また、ケーススタディは1ケーススタディを流通単位とした。

ユーザが作成した単位プロセスが標準搭載のIDEAデータと基本フローのみを連鎖している場合は問題ないが、ユーザ作成データを引用している場合は、本来プロセスのツリー構造を保持したまま流通することが望ましい。しかし、チーム情報の扱い、ツリー構造の複雑さなど、管理すべき項目が多い。ユーザ作成データ間でツリー構造を構築した場合は、先に川下側プロセスをインポートすると、入力中間フローは川上側プロセスのない中間フロー（リマインダフロー）となる。そのため川上側プロセスをインポートした後、川下側プロセスにて入力製品の提供プロセスを選択しなければならない。なお、同時、もしくは先に川上側プロセスをインポートした場合は、このような操作は不要である。

今後、より簡易にツリー構造を維持したままデータ流通可能となる仕組みが必要である。

③データ更新の通知

初期搭載のインベントリデータベース（IDEA）は、年に1回程度の更新としており、明確な版管理をしている。一方、ユーザ作成データはユーザによりいつでも更新できる。そのため、他ユーザが作成したデータを利用する場合、その版管理のあり方が課題となる。データ利用者のLCA結果が非意図的に変化することを回避する必要がある。

そこで、中央サーバのデータはデータ提供者が自由に

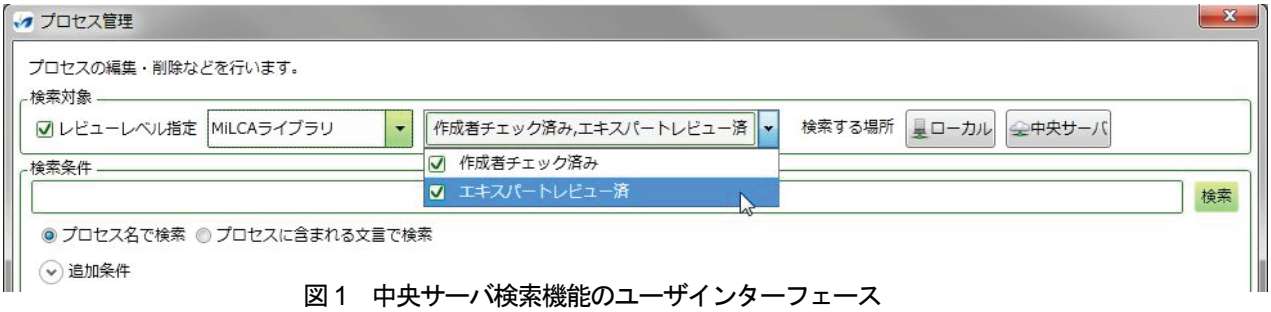


図1　中央サーバ検索機能のユーザインターフェース

改訂できるものの、当該データをダウンロードしたデータ利用者のデータはデータ利用者が明示的に再度ダウンロードしない限りは更新されないものとした。

ただし、更新の有無を簡易に確認することができるよう、中央サーバ検索時には更新の有無を表示するようにした。

③合算型データの更新

本システムでは中間フローを秘匿するために、算定済みデータ（原単位データ）とする機能を搭載している。

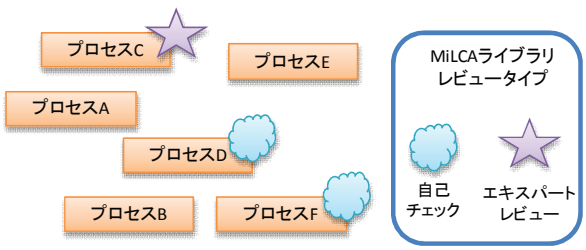
初期搭載データベースのバージョンアップにより、内容が変化すると、ユーザ作成プロセスに変更がなくても計算結果が変化する。原単位化済みのデータには利用した初期データの具体的な名称、量の情報を残せないため、原単位化済みのデータのみ保有するユーザはデータの更新ができない。ユーザは再度データ提供者から新しいデータを入手する必要がある。

しかし、このような企業間データ流通が複数企業を通じて迅速に実施可能か、またそれを支援するシステムのあり方など、検討の余地が多い。

④レビュー

登録されたデータには、様々な品質のものが含まれる。そこで、レビューの有無、レビュー方法を同時に登録することで、検索時にフィルターをかける機能を設けた。ケーススタディに関しては ISO14040/ISO14044 がレビュー基準として利用可能である。また、プロセスデータに関しては経済産業省カーボンフットプリント制度施行事業（平成21～23年度）にて作成された「共通原単位検証基準[3)]」を参考にし、MiLCA ライブラリ基準を作成した。

MiLCA ライブラリ基準への適合度は「未レビュー」「自己チェック済」「エキスパートレビュー済」の3種類が選択可能とした。ただし、「エキスパートレビュー済」はレビュアーキーと呼ばれる特別なキーを持ったレビュアーのみが付与可能とした。現在、LCA エキスパート検定試験合格者の内、希望者へレビュアーキーを配布している。これにより、自己宣言だけでなく、一定の信頼性のあるものだけを簡単にフィルタリングし、検索することが可能となった。例えば、図 1 に示す条件（作成者チェック済み、エキスパートレビュー済が検索対象）であれば、図 2 に示すプロセス群のうち、プロセス C, D, F のみが表示される。



*レビュータイプごとにレビューレベルを設定することで、検索時にフィルタリングを実施

図２　レビューレベルに応じたフィルタリング

⑤管理運営体制の構築

自由にデータをデータベースに追加できるようになると、ある一つの製品・サービスに対して、複数のプロセスデータが存在するようになる。データベースはライブラリとしての機能を果たし、フィルタリング機能を利用することで容易にユーザが目的に応じて適切なデータを選択することが可能となる。

しかし、一方でユーザは適宜品質のチェックと整合性確保をしなければいけない。利便性向上のためには、品質や整合性を明確にしたデータベースが必要になると考えられる。また、データベースは特定の基準で採用するデータを選択する必要があるため、公平性のある基準の設定方法、評価手順等の整備も必要となる。これらデータベース全体の管理運用体制の検討が必要である。

⑥著作権

公開されたデータは、コピーし、それをベースにして改変することが容易に可能となる。データは作成者の権利を尊重しつつも、他のエキスパートによる貢献も尊重することで、より良いデータになることが期待される。

そのため、データの著作権保護範囲、保護方法、貢献の位置づけについて明確にする必要がある。

3.　まとめ

LCA データを簡易に流通可能な LCA システムを開発・実装した。しかし、企業データの流通には、中央サーバを介した公開型では秘匿性の確保など様々な課題がある。当面は工業会データのように公開可能なデータや、積極的に環境主張をする部材・製品、研究目的で作成した公開可能なデータなど、一部に留まるものと予想される。今後は共通のインフラとして利便性が高いようにシステムのインターフェースを改良すると同時に、適切なデータベース管理方法の検討が求められる。

引用文献

1) LCA 日本フォーラム：“サプライチェーン型 LCA インベントリデータ流通制度検討ワーキンググループ報告書”, (2008)

2) 産業環境管理協会：“新 LCA ソフトウェア MiLCA”, （オンライン）, 入手先 <http://milca-milca.net/>, （参照 2012-12-17）

3) 産業環境管理協会：“カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム”, （オンライン）, <http://cfp-japan.jp/>, （参照 2012-12-17）

発表キャンセル

ボトルネック解析法（BA 法）を用いた
リサイクル Mg のパソコン筐体への実用化検討〔その一〕

Bottleneck Analysis Method Study in Industrializing Recycle Mg Alloy for PC housing (1)

○丹下恭一*[1)]、近藤拓也[1)]、胡勝治[2)]、鈴木重治[2)]、山内崇祐[3)]、朽網道徳[3)]、圓山憲一[4)]
Kyoichi Tange,　Takuya Kondo,　Katsuji Ebisu,　Shigeharu Suzuki,
Takahiro Yamauchi,　Michinori Kutami,　Ken-ichi Maruyama
1)トヨタ自動車㈱、2)㈱富士通研究所、3)富士通㈱、4)㈱シミュラティオ
*tange@fp.tec.toyota.co.jp

1. 背景・目的

研究開発テーマが製品として実用化し、社会に普及していくためには数々の課題がある。例えば、単に製品としての機能や品質が優れているだけでなく、製造から廃棄における環境負荷などの社会への対応、製品の価格や安定した供給など顧客への幅広いニーズに適合することが求められる。しかしながら、LCA (Life cycle Assessment) や LCSA（Life Cycle Sustainable Assessment）などの手法でも、研究段階の技術を対象とし普及した段階まで見通した上で課題を見える化する解析法はこれまで提案はなされていない[1)]。筆者らは、このような状況を鑑み、研究開発ステージでの対象技術について、その技術が普及した時点での環境負荷、コストや供給量の概念も評価しうる BA 法（Bottleneck Analysis method ; ボトルネック解析法）を開発しバイオ燃料の活用を事例として提案した[2)]。本報では、将来技術の特性や利用条件などの不確実性を考慮しうる手法の確立を目的とし、新たに感度分析の機能導入を検討した。対象となる適応事例として、Mg の材料研究を行う担当者を想定し、リサイクル Mg をパソコン筐体へ適応した例を示すことで、本 BA 法の活用法ならびに有効性を検証する。

2. 新解析法の概要

2.1 従来 BA 法

新規機能を含む BA 法の概要を図 1　に示す。BA 法は、LCA 法に準じ、製造、流通、使用、廃棄のプロセスに分割しインベントリー解析を行うが、サプライチェーンを、実社会で必要とされる 8 大基本要素　（土地、資源、原料、エネルギー、輸送、設備、労働、使用）の集合として定義する。各基本要素は、工業適応実績をもつ既存技術情報を元に、利用条件や製造条件をパラメータとし工業特性が出力される関数に加工され、DB　(データベース）化されている。

BA 法の主な機能として、①研究者らのラフな実用構想を 8 大基本要素の組合せとして変換する「プロセス具体化」、②研究者の実験、文献情報等の入力を元に「工業特性の見積もり」、③得られた結果を集計し、実用普及の観点から、課題やその原因となるボトルネックを明確化する「構想評価」、を特徴としている。

2.2　新規機能の追加

将来構想には、特性、利用条件や製造条件などに多くの不確実性が存在し、全体最適の理解を困難化している。今回、このような不確実性をもつ因子に対しバラツキを想定し、工業指標への影響を感度分析することにより、課題に対する影響度の大きい因子の抽出を行えるようにした。本機能の追加により、利用場所、生産規模および利用状況に応じ、実用普及へのボトルネックを的確に把握することができ、有効な改善案を導くことが期待される。

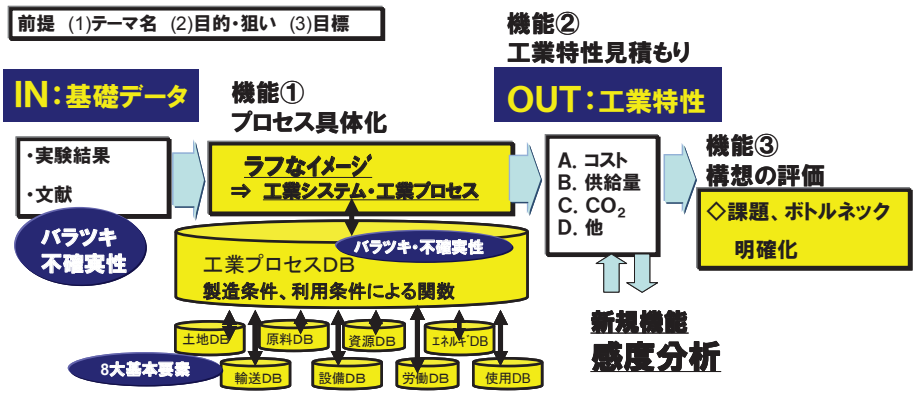


図1　BA法の概要

3. BA 法の適応手順

3.1 設定テーマ

今回、Mg の材料技術に従事する研究者を想定し、リサイクル Mg のパソコン筐体への実用化をテーマとして取り上げた。

3.2 解析手順の具体化

STEP1 目的、工業指標、前提の設定

本ケースにおける解析目的は、リサイクルを行わないケースとの比較により、リサイクル化の課題とその原因となるボトルネックを明確化することにある。工業指標としてコストと CO_2 排出量とした。コストに関しては、現状を 100 とし、競合となる樹脂筐体との比較を行った。前提条件は、処理量として 10（現状）～1000 kg/月、リサイクル材の発生元は、筐体成形時に発生する不要残材および顧客の使用後の回収材を想定した．対象の工程範囲は、資源採掘（中国）・精錬～PC 筐体化（日本）までの全生産･加工工程とした。

STEP2 各工程の 8 大要素への割付け

上記の全工程は、既知のインベントリー情報[3] を活用した。各工程ごと（表面塗装処理なら設備と物流など）、担当者の処理目的に合致するよう８大基本要素へ割付けを行った（図２）。

STEP3 データ入力（IN）および工業特性（OUT）

データ入力として、研究担当者の実験条件、特性、想定した前提条件等の入力により、CO_2 排出量、コストなどの工業特性を出力することで、目標値との比較を行った。

4. 解析結果

(1) リサイクル化による課題の明確化

Mg のリサイクル率を増やすことで､CO_2 排出量は大幅に低減する一方、コストはリサイクルの有無に関わらず、目標からの乖離が大きいこと、この原因として塗装工程にあることを確認した。

(2) ボトルネックの明確化と対策の方向性

塗装工程はメーカ間でも工程が異なるため、コスト低減への妥当な対策法が困難である。このため、労務量、設備能力、および費用など、不確実性を伴う因子を説明変数とし、目的変数である処理コストに対する影響度（標準偏回帰係数）を分析した。この結果より、処理量ならびに労務量の影響が大きいことを明確化した（図３）。労務量の発生の主な原因として、成型後の表面が凹凸のある状態では、熟練者による手直しを必要とすることが理解された。以上により、対策の方向性として、成型後の面粗さの改善につながる材料組成の確立が重要であることを改善指針として明確化した。この結果、リサイクル化により、CO_2 排出量を 1/5

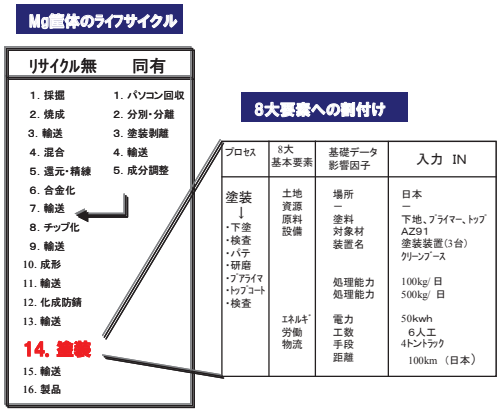


図2 8大基本要素への展開 （一例）

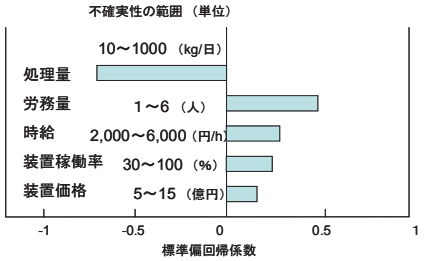


図3 不確実性が塗装コストに及ぼす感度分析の一例

化、樹脂筐体と同等のコストを達成しうることを明確化した（図４）。

5. おわりに

研究開発テーマを、コスト、CO_2 排出量などの尺度で工業普及の観点から課題を「見える化」する従来の BA 法を発展させて、前提や特性などの将来の不確実性やばらつきを考慮しうる手法を確立した。技術改善策を立案し再評価を繰り返すことで、致命的な欠陥を含まない、全体最適の技術開発への支援が期待される。

参考文献

1) 田崎智宏, J. Life Cycle Assessment, Japan, vol. 8, (2012), 272

2) 丹下恭一, 第 20 回エネルギー学会大会, (2011), pp354-355

3) Kimura, FUJITSU, 54(6), (2003), pp458-464

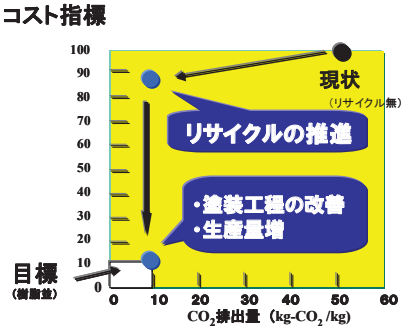


図4 目標達成のシナリオ

ボトルネック解析法（ＢＡ法）を用いた
リサイクルMgのパソコン筐体への実用化検討〔その二〕

Bottleneck Analysis Method Study in Industrializing Recycle Mg Alloy for PC housing (2)

○鈴木重治*[1)]、胡勝治[1)]、山内崇裕[2)]、朽網道徳[2)]、丹下恭一[3)]、近藤拓也[3)]、圓山憲一[4)]
Shigeharu Suzuki、 Katsuji Ebisu、 Takahiro Yamauchi、 Michinori Kutami、
Kyoichi Tange、 Takuya Kondo、 Ken-ichi Maruyama
1) ㈱富士通研究所、2) 富士通㈱、3) トヨタ自動車㈱、4) ㈱シミュラティオ
*shige@labs.fujitsu.com

1. はじめに

現在、進めている研究開発の技術そのものだけでなく、将来、技術の実用普及のために何が重要か？何が障害となるか？予め研究開発の初期段階で予測・検討しておくことは、製品の成立性と費用対効果を高める上で意義が大きい。その際、実用化にあたって必要な視点・多様性を考慮することが重要と考えている。

丹下らは、研究段階の技術を対象に、普及した段階まで見通した上で課題を見える化する解析法として、BA法（Bottleneck Analysis method；ボトルネック解析法）を提案した[1)]。これは研究段階の技術について、その技術が普及した時点での環境負荷やコスト、供給量なども評価しうるという特徴をもつ。

本報では、不確実性を考慮したBA法についてMgの材料研究を行う担当者を想定し、リサイクルMgをパソコン筐体へ適応した事例詳細について報告する。

2. BA法[1)]

BA法では、工業プロセスを８つの基本要素の組合せと考え、基本要素ごとにinput基礎データ、output工業特性に変換することを特徴としている。

評価手順は①目標設定、②基礎データ入力、③工業特性出力の順に行う。工業特性は、例えば、コスト、CO2、供給量、環境負荷（廃棄物）などがあり、必要に応じて項目は追加される。

3. BA法の適応事例

3.1 設定テーマ

Mgの材料技術に従事する研究者を想定し、リサイクルMgのパソコン筐体への実用化をテーマとして、目標を樹脂筐体並みのCO2、コストとした。

3.2 Mg筐体のリサイクルの評価対象範囲[2)]

Mg筐体は、軽量、高強度、高放熱性の特徴をもち、ノートパソコンを中心とした情報機器に広く適用されている。リサイクルは、主に、成形工程時に発生する不要部分のリサイクルと回収した筐体のリサイクルとの２通りからなる。回収されたMg筐体は塗装が施されているため、塗装剥離した後に再溶解、成分調整することにより再生材として使用される。

評価対象範囲は、資源採掘・精錬～チップ化～成形・PC筐体化までの全生産･加工工程とした（図１、図２）。

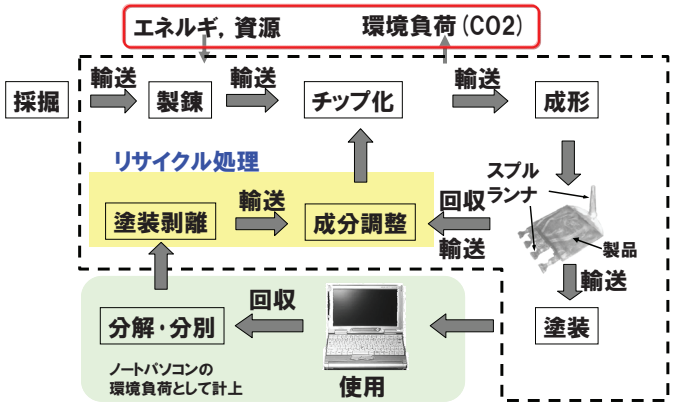


図１ 対象範囲

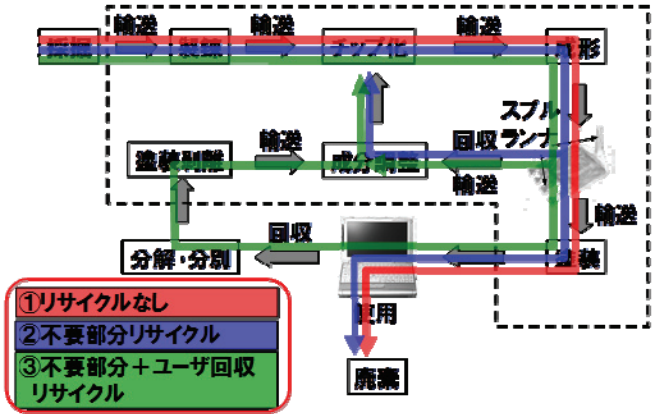


図２ リサイクルのフロー

図３に、主な工程プロセスのフローを示す。

Mg インゴットの製造には焼成、還元、精錬の工程を経て、チップ化する際には分級、切削、溶解の工程がある。その後、筐体に成形し、防錆・塗装の表面処理を施す。

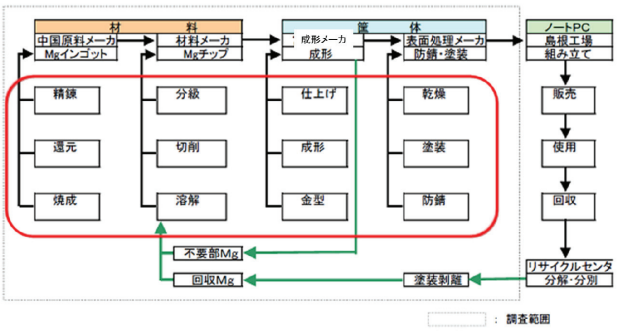


図３ Mg 筐体プロセスフロー

4. 解析結果

4.1 基本要素の展開

表１に、筐体の成形工程について BA 法で基本要素にブレークダウンした結果の一例を示す。

表１ 基本要素の展開例

プロセス	基本要素	パラメータ	対象種・反応 数値（範囲）	単位
成形	土地	場所	横浜市都筑区	
		設備面積		
	資源	■		
	原料	■		
	設備	プレス機	チクソモールド成形機	
		メーカ・機種	日本製鋼所JLM650-MG	
		価格	約3,000万	円
		メンテナンス費		
		処理能力(トン/day)	278	kg/day
		金型 （合金工具鋼）	1500	kg
	エネルギー	消費電力 成形機	90	kWh
		消費電力 金型温度調整	27	kWh
		消費電力 金型製造	6000	kWh
		消費電力 打ち抜き	4	kWh
		消費電力 機械加工	6	kWh
	労働	人工/ 年		
	物流	対象物		
		かさ密度		
		輸送手段 （トラック）	10tトラック	
		距離	500	km

成形工程における基本要素：土地、原料、設備、エネルギーなどについて、処理量、電力などを入力し、金型寿命など制約条件があれば記載した。制約条件は結果の感度分析の際、参考になる。

4.2 ボトルネック

BA 法による解析の結果、Mg 筐体の製造プロセスにおいてボトルネックとなるのは、CO2 では還元・精錬工程であり、コストでは塗装であることが判明した。

還元･精錬における燃料の燃焼が CO2 排出要因であり、各工程のうち塗装がコスト主因を示すことがわかった。

4.3 目標達成へのシナリオ

CO2 については、可能な限り還元・精錬工程を経由せずに、不要部分+ユーザ回収リサイクル（リサイクル率 90%）を進めることで、目標達成の見込みがある。

また、コストについては塗装工程を見直しモールド時の表面粗さを改善し処理量を増やすことで、目標に届く可能性を明らかにした（図４）。

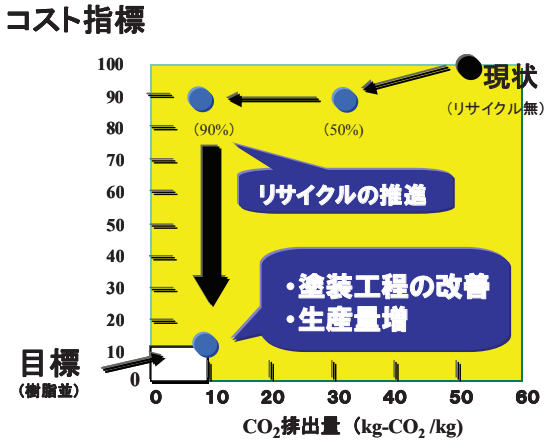


図４ 目標達成のシナリオ

5. おわりに

研究段階において、将来その技術が本格的に普及した際にボトルネックとなる課題を洗い出す手法である BA 法について、事例検証し有効性を確認した。

事例は Mg 筐体のリサイクルについて行い、樹脂並みの CO2、コストについて目標設定を行った結果、リサイクルの推進、モールド表面粗さの改善などにより、目標達成できることを示すことができ、手法の有効性を確認できた。リサイクル Mg の材料技術担当による検証では、大きな乖離はなく整合のとれることが確認された。

今後、実用化に向け、廃棄物処理や事業採算性の検討などが残っており、これらの検討を加えて未知の課題が明らかになると考える。技術の実用普及として、BA 法の有効活用が期待される。

参考文献

1) 丹下恭一ほか, 第 20 回日本エネルギー学会大会, (2011), pp354-355

2) 木村浩一ほか, FUJITSU, 54(6), (2003), pp458-464

持続可能社会シナリオの資源枯渇性評価手法の提案

Proposal of evaluation method for resource depletion of sustainable society scenarios

○井上裕太*[1)]、木下裕介[1)]、福重真一[1)]、小林英樹[1)]、梅田靖[1)]
Yuta Inoue, Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige, Hideki Kobayashi, Yasushi Umeda
1) 大阪大学
*inoue@lce.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. 諸言

気候変動、資源枯渇などの環境諸問題への解決へ向けて様々な政策や企業活動がなされている。そのような活動は長期的な視点でなされることが望ましく、目標状態としての持続可能な将来社会像とそれに至るまでの過程を描いたシナリオ（持続可能社会シナリオ[1)]）がその明示化のため作成されている。既存の持続可能社会シナリオには気候変動を対象としたシナリオが多く、そこでは経済成長や人口などの変化に加えて、電気自動車のような低炭素化技術の普及が想定されている。一方で、持続可能社会シナリオの想定する低炭素技術の普及が、資源制約の観点から分析されていないことが問題として挙げられる。

本研究では資源制約の観点から持続可能社会シナリオの資源枯渇性に対する評価を行う手法を提案する。具体的には、資源の需要を（i）経済発展と（ii）製品（電気自動車等）の普及の2つの要因に基づき推定する。本研究ではそれぞれに対する推定方法として、（i）マクロモデル、（ii）ミクロモデルを提案しそれらを組み合わせた手法により金属需要を想定する。また、リサイクル量をこれらの金属需要に基づき推定しバージン材の金属需要を計算する。資源供給量の限界の目安として埋蔵量ベース（Reserve base）を用い、推定する金属需要のバージン材の金属需要の累積を比較することでシナリオの資源枯渇に対する評価を行う。

2. シナリオに基づく金属資源需要量の推定方法

2.1. マクロモデル

原田ら[2)]の研究ではGDP/capと一人当たりの金属需要の関係を統計から2本の直線で表現しており、GDP/capがある値まではGDP/capと資源の需要量には正の相関関係があるが、それを超えると需要量が減少、または、少なくとも鈍化するということをモデル化している。本研究ではマクロモデルを原田ら[1)]が提案するモデルに基づきGDP/capと一人当たりの金属需要の相関式を作成し、シナリオの想定するGDP、人口に適用することで将来の金属需要を推計する。2本の直線は次のように示される。

$$y = f(x) = \begin{cases} a_1 x & (0 \le x \le c) \quad (1) \\ a_2 x + b_2 & (x > c) \quad (2) \end{cases}$$

ただしxをGDP/cap、yを一人当たり年間資源需要量、cを変化点とする。また係数の求め方の詳細についてはSIを参照のこと。

2.2. ミクロモデル

ある製品の普及による金属需要の変化を推定する。ここでは、電気自動車や太陽光パネル等を製品として想定している。これらの製品pの普及による金属需要量の変化$\Delta Metal$を次式で計算する。

$$\Delta Metal(p,t) = M_p \times {n_p}^t \quad (3)$$

ここで、M_pは1つの製品pに含まれる金属資源の重量、${n_p}^t$は製品pのt年における普及量（販売量）を表す。

2.3. 統合化モデル

マクロモデルとマクロモデルの結果の和をとることで、年ごとの金属総需要量を推定する。また各年の需要量をl年からm年まで時間積分した累積の金属資源需要量を${Cum_m}^l$と定義すると、${Cum_m}^l$は次式で表される。

$${Cum_m}^l = \int_{x^l}^{x^m} f(x)dx + \sum_{t=l}^{m}\sum_{p\in P} \Delta Metal(p,t) \quad (4)$$

なお、x^l、x^mはl年、m年における世界のGDP/capを、Pはミクロモデルで評価対象とする製品の集合をそれぞれ示す。

2.4. リサイクル

End of Lifeを迎えた製品に含まれる金属資源は回収されリサイクルされるが、その割合は資源の利用されている分野（例えば建築、輸送機器など）により異なる。そこで、本研究では利用される分野iごとに、ある年t年における製品の廃棄量${Discard_i}^t$、リサイクル率${Rr_i}^m$を想定しt年のリサイクル可能量をΔRe^tとし、次式で推定する。

$$\Delta Re^t = \sum_i {Discard_i}^t \times {Rr_i}^t \quad (5)$$

また、${Discard_i}^t$の計算方法はSI参照のこと。

3. ケーススタディ

提案する手法を用いたケーススタディとして、Energy Technology Perspectives （ETP）2012[1)]（以下 ETP2012）

に基づいた資源の枯渇性評価を行う。本研究では金属資源として、電気自動車のモーターや送電線（インフラ）に必要不可欠な銅を例に推定を行う。

3.1. ETP2012

ETP2012は主に2050年時点での気温上昇が6℃、4℃、2℃になることを想定した6DS、4DS、2DSの3つのサブシナリオから構成され、本稿では現在提言されている政策を実施する4DS及び、温度上昇が2℃になるようにより大きな排出制限など様々な政策を行う 2DS について分析を行う。すなわち、これら2つのシナリオが想定する、GDP、人口、製品普及に基づき、銅の資源需給を推定する。GDP、人口については2つのシナリオは、環境関連政策の影響で GDP が変化する、という記述があるものの、その変化は考慮していないとしており同一の値を想定している（詳細はTable S1 参照）。また、製品については自動車（乗用車）、太陽光発電装置、風力発電装置についてのシナリオの想定に基づいてシミュレーションを行う。（詳細はTable S1、Figure S2 を参照）

3.2. 各モデルのシミュレーション条件

マクロモデルについて、日本の過去のデータから銅需要とGDP/capに関する相関式を得た（式S3、S4に示す）。この相関式を過去の世界のデータにプロットするとよく合致していることがわかる（Figure S1）。ミクロモデルついて、その普及量はシナリオに記述があるが、各製品の銅使用量に関する記述がないため文献のデータを利用した（詳細はTable S3 を参照）。リサイクルについても記述がないため文献より、需要を6分野（Table S4 を参照）に分類しそれぞれにライフタイム及びリサイクル率を設定した（詳細はTable S4 を参照）。なお、本研究ではそれらの値を2050年まで一定であると仮定している。

4. 結果

Figure 1 は2050年までの4DS（赤線）、2DS（青線）それぞれのバージン材の累積需要量を示す。点線は銅の埋

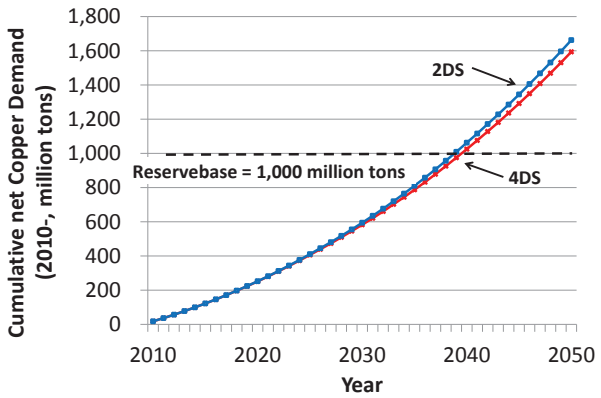


Figure 1 Estimation results of cumulative net copper demand

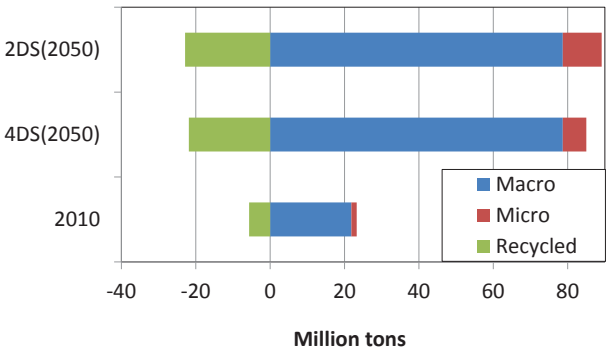


Figure 2 Breakdown of estimation results in 2050

蔵量ベース（Reserve base）を示している。Figure 1 より、4DSは2040年に、2DSは2039年に埋蔵量ベースを超過することが分かる。2050年時点でのバージン材の需要は4DSが159,400万t、2DSが166,300万tとなっておりそれぞれ埋蔵量ベースを56%、66%超過している。ETP2012においては GDP および人口を同一の値で推定しているため、Figure 2 でのバージン材の銅の需要の差は製品の普及の違いが原因である。Figure 2 は2050年時点の各モデルによる推定結果を表示している。2050年でのリサイクル可能量は4DSで2,100万tであり、総需要（統合化モデルによる結果）に対する割合は26%となる。2DSではリサイクル可能量が2,286 万なっており総需要に対する割合は26%となる。また、環境関連製品の需要（ミクロモデルより推定）は、4DSが630万t、2DSが1,045万t となっており新製品の普及により銅の需要が増加するといえるが、総需要に対する割合は4DS、2DSそれぞれ7%、11%と限定的であるといえる。詳細は Figure S3 に示すが、2050年における、本研究で対象とした環境関連製品の中での最大の需要は電気自動車である。

5. 考察および今後の展望

ETP2012において、環境関連製品の普及の違いによる銅資源の需要の差を示すことができた。一方、資源の枯渇の検討に利用した埋蔵量ベースは今後増加する可能性があるため情報収集を続ける必要がある。また、マクロモデルでは日本のモデルのみを利用したこと、ミクロモデルでは対象とした環境関連製品が限定されていたことが問題として挙げられる。それぞれ、国別のモデルを作成する、対象製品を拡大することが今後の課題である。

引用文献

1) International Energy Agency, “Energy Technology Perspectives 2012”, IEA Publications, Paris, (2012), p. 686
2) 原田幸明ほか:日本金属学会誌, 71(10), (2007), pp. 831-839

Supporting Information

- **マクロモデルの係数の算出方法**

相関式の作成手順を次の 3 段階で定義する。

1. 過去の統計データより GDP/cap (x_i) と 1 人当たりの年間金属資源消費量（y_i）のデータを得る。x_iの値の小さい順に並べたデータの(x_i, y_i)($i = 1, 2, 3, \cdots, N$)とする。Nは収集したデータ点列の個数。
2. 任意のi ($i = 1, 2, 3, \cdots N$)に対して、次の $E(i)$ を最小とするような a_1^i、a_2^i、b_2^i をそれぞれ算出する。

$$E(i) = \sum_{k=1}^{N} \{d_k(i)\}^2 \tag{S1}$$

ここで$d_k(i)$ は、変換点を c = x_i としたときの、式 (1) もしくは式 (2) により示される直線状の点とデータ(x_i, y_i)との y 方向の差であり、次式で定義する。

$$d_k(i) = \begin{cases} |y_k - a_1^i x_k| & (0 \le x_k \le x_i) \\ |y_k - (a_2^i x_k - b_2^i)| & (x_{i+1} \le x_k \le x_N) \end{cases} \tag{S2}$$

3. 手順 2 の計算をすべての i ($i = 1, 2, 3, \cdots, N$) に対して繰り返し行い、$E(i)$ を最小とするような i を求める。この時の値が求めるa_1^i、a_2^i、b_2^i及び c である。

- **ケーススタディで利用した値**

上記の手順で日本の銅資源の過去データに基づき計算すると

$$y = f(x) = \begin{cases} 0.000477x & (0 \le x \le 24{,}552) \quad \text{(S3)} \\ -0.000123x + 14.8 & (x > 24{,}552) \quad \text{(S4)} \end{cases}$$

また、この直線を過去の統計データと併せて Figure S1 に示す。

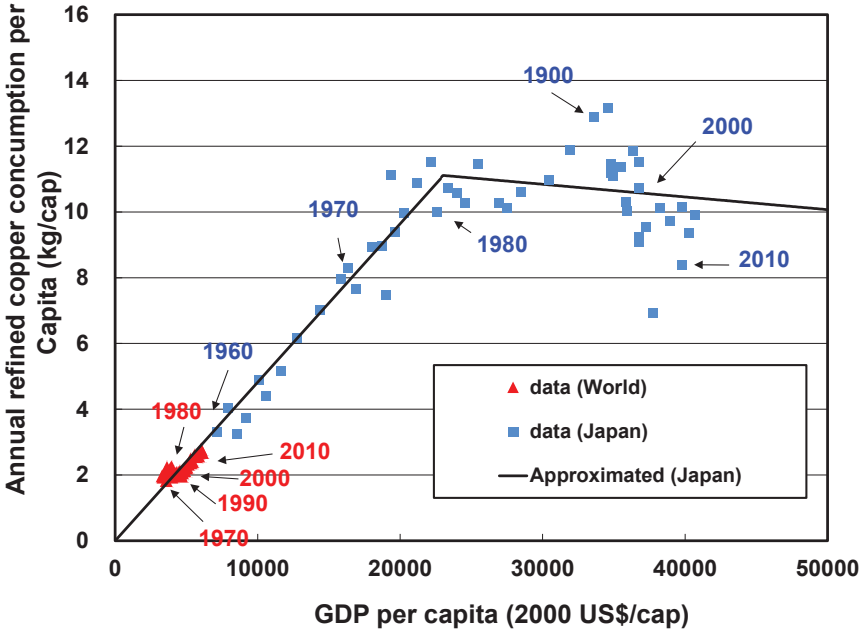


Figure S1 Historical data on annual copper consumption

- **$Discard_i{}^t$の計算方法**

廃棄量$Discard_i{}^t$は次式で定義する。

$$Discard_i{}^t = Mac^{t-RT_i} \times Br_i + Mic_i{}^{t-RT_i}$$

ここで、金属資源のマクロモデルで計算される総使用量のうち分野iに用いられる割合（Branch Rate（%））をBr_iとし、ある年$t - RT_i$のマクロモデルの需要量をMac^{t-RT_i}とする。また、$Mic_i{}^{t-RT_i}$をある年$t - RT_i$において分野iに含まれる製品のみでミクロモデルから推定される需要量である。ここで、RT_iは分野iで主に利用される製品の平均耐用年数である。

- **Table S1-S3**

Table S1 Assumptions on world GDP, population and products sales based on ETP 2012[1)]

Item	*Value in 2010*	*Value in 2050*	
		4DS	2DS
World GDP (billion 2000 USD)	45,827	164,657	
World population (million)	6,948	9,376	
Annual sales of wind power generator (GW/year)	215	1,527	2,322
Annual sales of solar panel (GW/year)	35	917	2,032

Table S2 Amount of copper used in products

	Product	*Copper used*	*Remarks*
Auto-mobile (kg/car)	Gasoline vehicle（GV）	15.0	Data is obtained from Reference*. Assume that a truck & bus uses 4 times copper that is contained in a gasoline vehicle
	Diesel vehicle（DV）	15.0	
	Hybrid electric vehicle（HEV）	28.9	
	Plug-in hybrid vehicle（PHEV）	41.6	
	Electric vehicle（EV）	91.6	
	Hydrogen fuel-cell vehicle (FCV)	15.0	
	Truck_Bus	60	
Wind power generator (t/GW)		578	Data is obtained from Reference**
Solar panel (CIGS) (t/GW)		15.0	

*みずほ情報総研: “定置用燃料電池システム及び燃料電池自 動車のライフサイクル評価に関する調査 平成19年度新エネ ルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書,” (2008)

**矢野経済研究所: “レアメタル2020年展望: 自動車産業、省エネ産業、エレクトロニクス産業分野別需要実態と長期需要予測,” (2010)

***GV：ガソリン自動車、DV：ディーゼル自動車、HEV：ハイブリッド車、PHEV：プラグインハイブリッド車、EV：電気自動車、FCV：燃料電池自動車、Truck_Bus：トラック及びバス

Table S3 Specification of copper recycling

Categories	*Branch Ratios (%)*	*Lifetime (Years)*	*Copper recycling rate (%)*
Building and construction	50%	30	71%
Infrastructure	22%	50	60%
Transportation	5%	15	41%
Consumer durables	5%	10	43%
Business durables	10%	20	43%
Industrial durables	8%	20	76%

***M. Streicher-porte, H. J. Althaus: "Sustainable Development and the Global Copper Supply Chain : International research team report A Life Cycle Assessment Study," (2010)**

- **ETP2012 における自動車の普及予測**

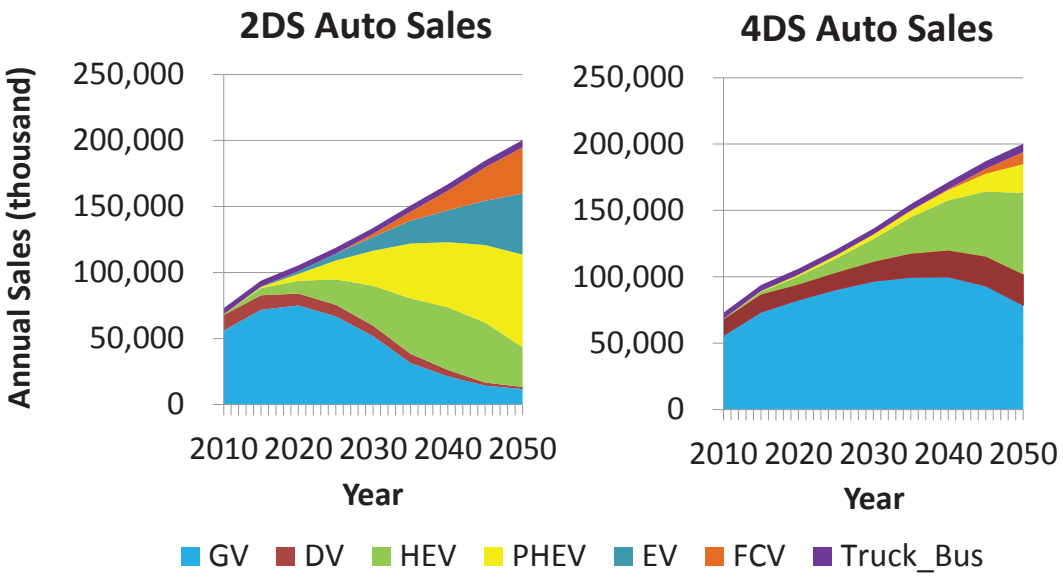


Figure S2 Annual sales of Auto in ETP2012 [1)]

- **ミクロモデルによる需要予測の詳細**

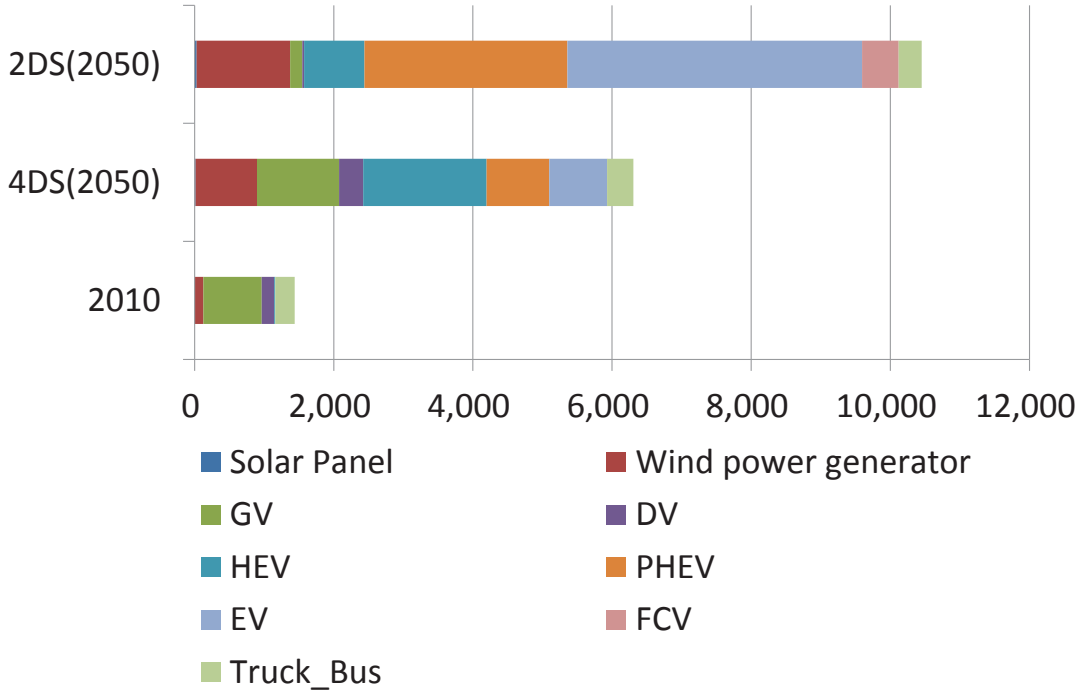


Figure S3 Details of estimation by micro model

財別の資源生産性と産業構造が国の資源生産性に与える影響

Impact of resource productivity by goods and industrial structure on national resource productivity

○伊藤新*[1)]、橋本征二[1)]
Arata Ito, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0001rv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会形成推進基本計画では、物質フローに着目した指標が導入されたが、そのひとつが資源生産性であった。資源生産性は、物質フローの「入口」に関わる指標であり、我々の経済活動がいかに資源を効率的に利用しているかを総合的に表す指標として、以下のように定義される。

資源生産性＝GDP／天然資源等投入量

ここで、天然資源等投入量とは、国産資源・輸入資源及び輸入製品の投入量を指し、直接物質投入量（以下、DMI: Direct Material Input）とも称される。天然資源等は有限であること、採取に伴う環境負荷が生じること、また、それらが最終的に個体・気体・液体の環境負荷物質になることから、より少ない天然資源等投入量で効率的に GDP を生み出すこと、すなわち、資源生産性を向上させることが望まれる。

このようなことから、持続可能な発展の指標の 1 つとして、資源生産性が世界各国で広く採用されてきている。しかしながら、資源生産性の値は様々な要因で決まるため、これを直接比較することは必ずしも適当ではない。特に、その国の生産効率に加え、産業構造が資源生産性の値に大きな影響を与えていると考えられる。そこで、本研究では、資源輸出国・輸入国を含むいくつかの国を対象として、その生産効率（財別の資源生産性）を推計するとともに、財別の資源生産性と産業構造が国の資源生産性にどのような影響を与えているかを分析した。

2. 方法

2.1 財別の資源生産性の推計

財別の資源生産性の逆数（財・サービスの生産によって誘発された天然資源等の利用強度）を下式により推計した。

$$p = q \times [I - (I - M)A]^{-1} \quad \cdots (1)$$

ここで、

p：財・サービスの生産によって誘発された天然資源等の利用強度の行ベクトル（t/円）

q：財・サービスの生産における天然資源等の直接利用強度の行ベクトル（t/円）

I：単位行列

M：輸入係数行列

A：投入係数行列

q は、財・サービスを生産する各部門に投入された国内資源および輸入財の合計をその部門の産出額で除したものである。国内資源の生産量（化石燃料、金属鉱物、農作物、林産物、水産物）および輸入財の貿易量については、国連統計局、FAO、IEA、World Berou of Metal Statistics 等が発行する各種データを用いた（2000 年）。また、A および M には、World Input-Output Database[1)]における各国の産業連関表（35 部門、2000 年）を用いた。

2.2 財別の資源生産性と産業構造の影響度分析

財別の資源生産性と産業構造が国の資源生産性に与える影響を分析するために、下式の構造分解を行った。なお、下式は資源生産性の逆数（天然資源等の利用強度）となっている。

$$\frac{DMI}{GDP} = \sum_i \frac{DMI_i}{F_i} \times \frac{F_i}{GDP_i} \times \frac{GDP_i}{GDP} \quad \cdots (2)$$

ここで、

DMI_i：財・サービス i の最終需要によって誘発された DMI（t/円）

F_i：財・サービス i の最終需要額（円）

GDP：国内総生産（円）

GDP_i：財・サービス i を生産する産業が生み出した付加価値額（円）

DMI_i/F_i は、式(1)のベクトル q の i 成分である。DMI_i/F_i が生産効率、GDP_i/GDP が産業構造を表す。

2 国間の天然資源等の利用強度の差分が上記の 3 つの因子で説明できるとすると、各因子の影響度は下式のように表せる。

$$\delta\left(\frac{DMI}{GDP}\right) = f_1 + f_2 + f_3 \quad \cdots (3)$$

ここで、f_1、f_2、f_3 は、DMI/GDP の差分の要因項である。これらは、全体の差分に対する各因子の影響の大きさを示している。$G_1[i]$を第 1 因子、$G_2[i]$を第 2 因子、$G_3[i]$を第 3 因子とすると、各因子の影響は下式により

計算することができる。f_2、f_3も同様である。

$$f_1 = \sum_i \{\delta G_1[i] \times G_2[i] \times G_3[i] + \delta G_1[i] \times \delta G_2[i] \times G_3[i]/2 + \delta G_1[i] \times G_2[i] \times \delta G_3[i]/2 + \delta G_1[i] \times \delta G_2[i] \times \delta G_3[i]/3\} \quad \cdots (4)$$

3. 結果と考察

3.1 財別の資源生産性の推計結果

資源輸出国・輸入国を含む5カ国（日本、オーストラリア、ドイツ、フィンランド、イタリア）について推計を行った（図１、図２）。なお、図の縦軸は、資源生産性の逆数(天然資源等の利用強度)となっている。

まず、国全体の天然資源等の利用強度（図の左端）は、資源輸入国である日本、ドイツ、イタリアが低く、資源輸出国であるオーストラリア、フィンランドが高くなっている。

次に、部門毎に見ると、c1（農業）、c2（鉱業）、c8（石油・石炭製品製造業）が全体的に大きな値となった。オーストラリアは化石燃料や金属鉱物、ドイツは石炭、フィンランドは林産物を多く生産しており、付加価値の低い一次資源を大量に生産するこれらの部門で、これらの国の天然資源等の利用強度が大きく推計されたと考えられる。c6（木材加工業）、c7（紙・パルプ・印刷・出版業）、c12（金属製錬業）等においてこれらの国の値が高くなっているのも同じ理由と考えられる。以上のことから、資源を多く採掘・生産している国では、資源価格が安いために、天然資源等の利用強度は高くなる傾向にあるものと考えられる。一方、資源を輸入している国では、これらの部門の値は小さくなる傾向にある。この一因として、加工済みの資源を輸入して、付加価値を多く生み出す活動をしていることが考えられる。

3.2 財別の資源生産性と産業構造の影響度分析結果

本要旨執筆時点で影響度分析結果が公表できる段階にないため、詳細な分析結果は学会当日に報告する。

引用文献

1) WIOD.org – Database, WIOD.org, <http://www.wiod.org/database/nat_suts.htm>, (2012/10/19)

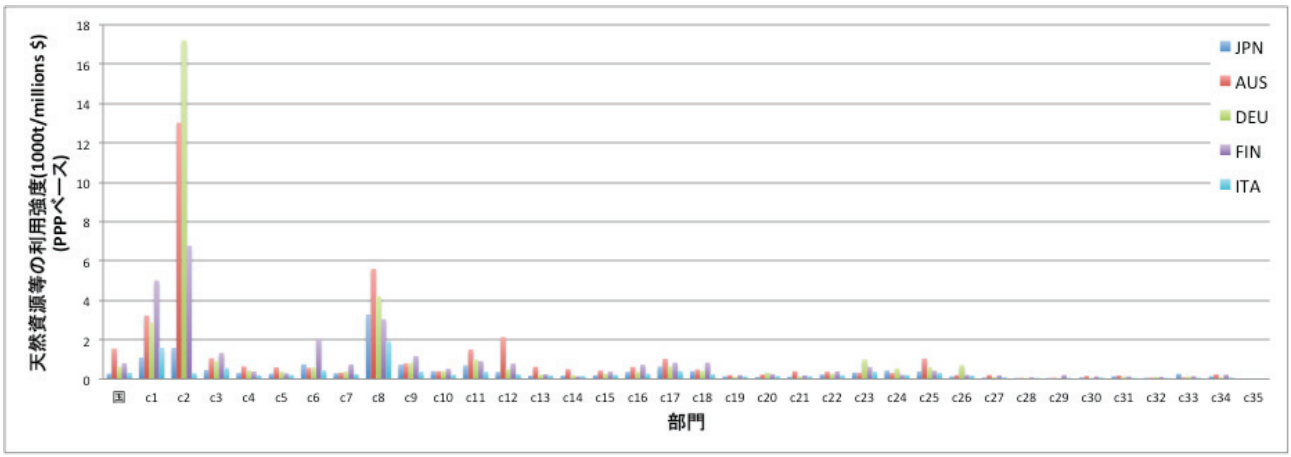


図１　５ヶ国の財別の天然資源等の利用強度の比較（全体図）※c1～c35は部門を表す

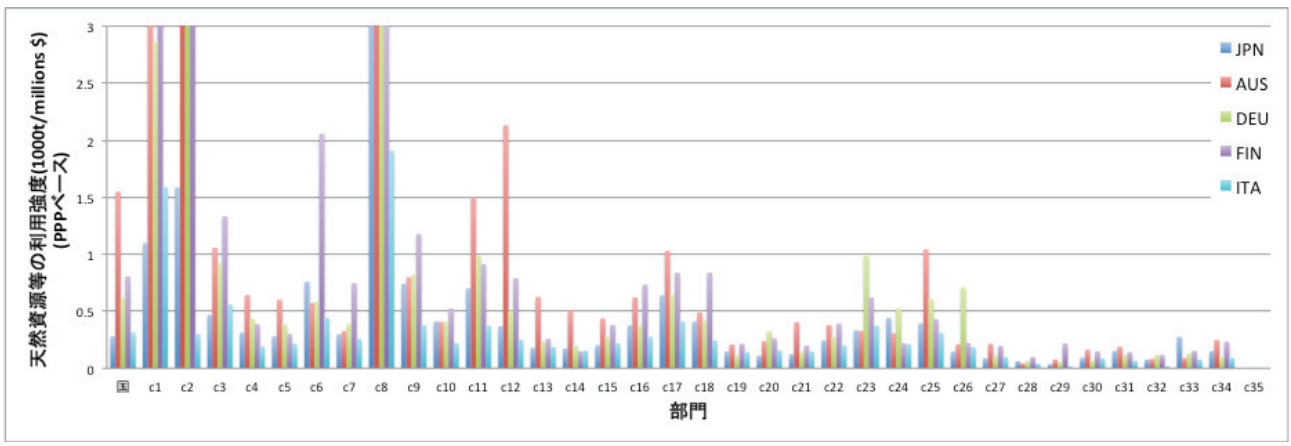


図２　５ヶ国の財別の天然資源等の利用強度の比較（拡大図）※c1～c35は部門を表す

貿易に伴うレアメタルの国際移動と日本経済との関係

Global flow of rare metals with trade and its relationship to Japanese economy

○南斉 規介*[1)]、中島 謙一[1)]、加河 茂美[2)]、近藤 康之[3)]
Keisuke NANSAI, Shigemi KAGAWA, Yasushi KONDO, Kenichi NAKAJIMA
1) 国立環境研究所, 2) 九州大学, 3) 早稲田大学
*nansai.keisuke@nies.go.jp

1. 背景と目的

低炭素化技術の普及は，化石資源の消費を抑制する一方で，鉱物資源の消費を加速させることが懸念される。例えば，低炭素化技術の icon と言えるハイブリッド自動車や電気自動車の大量生産は，鉄や銅などのベースメタルだけでなく，それらのモーターや電池などの基盤技術を支える希少金属，いわゆる“レアメタル”の世界的需要を増大させる可能性がある。

採掘から廃棄に至る資源のライフサイクルに着眼し，グローバルな資源消費の状況を理解するには，物質フロー分析が有効である。これまで，鉄，銅，アルミ，亜鉛，鉛，銀，クロム，ニッケルなどのグローバルな資源利用の構造が定量的に明らかにされ，先進国の一人あたりの資源消費量は世界平均よりも 10 倍以上も高く，全ての国の資源供給が国際貿易に大きく依存していることを例証された[1)]。とりわけ，国際貿易と資源フローとの関係を見る上で，地金や原料としての資源の輸出入だけでなく，製品に含有される資源を含めた資源貿易の考察は，一国の資源依存の実態を明確にする[2-3)]。

一方，低炭素化技術におけるレアメタルの重要性は認識されながらも，ベースメタル以外の資源消費の動態解明は限られている。既往研究として，クロム，ニッケルの物質フローやグローバルなリサイクル率が推計されている。また，タングステンやプラチナ類の物質フローが分析されているが，前者は米国，後者は欧州を中心としており，グローバルな消費動態の解明には至っていない。

そこで，本研究では低炭素技術の中でもハイブリッド，電気，燃料電池自動車等に必要とされるレアメタルであるネオジム（Nd），コバルト（Co），プラチナ（Pt）を対象とし，それらの国際フローを同定すると共に，それと日本経済との構造的関係を解析する。

2. 方法とデータ

2.1 国際貿易に伴うレアメタル移動量の推計

国際貿易に伴うレアメタルの国間移動量の推計を次の手順で行った。まず，国際貿易で取引される商品の中から，推計対象とするレアメタル（Nd, Co, Pt）を含有する商品 k を選定した。国際標準的な貿易分類コードである HS（Harmonized System）コードから，レアメタルを含有していると考えられる商品の HS コード（2 桁または 6 桁）を網羅的に抽出した。具体的には，Nd 含有商品として 153 商品，Co 含有商品は 160 商品，Pt 含有商品は 151 商品を選定した。

次に，選定した各商品の国 i と国 j 間の貿易量 $v_{ij}^{(k)}$を国連の貿易統計である UNComtrade を改良した BACI を用いて金額ベース（FOB 価格）または重量ベースで整備した。231 の国や地域（i, j =1…231）を考慮し，対象年次は 2005 年とした。しかしながら，6 桁分類での HS-code の中には，複数の異なる商品が該当するコードがあり，レアメタルを含有する商品はその一部である場合がある。本研究では，BACI から得た各商品の貿易量にカットオフ値 $r_i^{(k)}$を設定し，これを貿易量に乗じることで，レアメタル含有商品の貿易量の推計精度を高めた。

続いて，選定した各商品のレアメタル含有率 $c_i^{(k)}$を設定した。$c_i^{(k)}$ は輸出先によらず，商品 k と国 i によって一意とした。商品を(1)鉱石，(2)粗原料，(3)部品・最終製品，(4)屑・副産物の区分に大別し，区分毎にレアメタル含有率を定めた。(1)鉱石および(2)粗原料に該当する商品（HS-code）については，精鉱品位や化合物の組成式や ISO や JIS などの工業規格で定められた含有率を参考に，単位重量あたりのレアメタル含有量を設定した。

(3) 部品・最終製品と(4) 屑・副産物に区分された商品ついては，学術論文，技術報告書，LCA 用のインベントリデータを参照し，単位重量あたりまたは単位生産額あたりのレアメタル含有量を推計した。こうしたボトムアップの調査により定められた含有率は信頼性が極めて高いが，その一方で，この種の分解調査には費用が掛かることもあり，データが得られる商品の種類が限られる。そのため，ボトムアップの調査データからだけでは，本研究で選定した全ての商品にレアメタル含有率を設定することができない。本研究では，日本の産業連関表と技術データを利用して WIO-MFA (Waste Input-Output Material Flow Analysis)[4)]により推計された部門別の単位生産額あたりのレアメタル含有量を用いた。ただし，WIO-MFA は 2000 年産業連関表に基づくことから，『1995－2000－2005 年接続産業連関表』におけるデフレーターを用いて基準価格が 2005 年となるよう補正した。WIO-MFA を用いたトップダウン的な金属含有量の推計は，理論的に日本で生産される全ての商品を対象に行うため，本研究で選定した商品は必ず WIO-MFA のいずれ

かの部門と対応する。そのため，HS コードと日本の産業連関表との対応関係に準じて，両者を対応させ，ボトムアップでの含有率が得られない商品に対しては，WIO-MFA により推計された含有率を設定することで，国際貿易の商品に含有されるレアメタルの網羅性を高めた。

各商品の国間貿易量と設定したカットオフ値およびレアメタル含有率を乗じ，商品の貿易により生じる国間のレアメタル移動量 $t_{ij}^{(k)} = v_{ij}^{(k)} \times r_{ij}^{(k)} \times c_{ij}^{(k)}$ を算定した。この推計した移動量の妥当性を検証するため，国 j におけるレアメタルのマテリアルバランスを次のように確認し，不整合が生じた場合には，二次計画法による最適化計算を行ってそれを解消した。

2.2 GLIO モデルを用いた国際レアメタルフローと日本経済との接続

前節によって得られた国間のレアメタルフロー $t_{ij}^{(k)}$ から日本経済と直接的間接的に関係するフローを抽出した。直接的に関係するフローは，レアメタルを含む貿易消費の日本の輸入と輸出である。一方，間接的に関係するフローとは，そうした日本の輸出入と関係して生じる日本以外の国間での貿易に伴うレアメタルのフローである。本研究では，Global link input-output model (GLIO)[5-7] にレアメタルフロー $t_{ij}^{(k)}$ を組み込み，日本の最終需要によって直接的間接的に生じるフローの同定を行った。

GLIO では日本の商品需給均衡と国外地域におけるレアメタルフローのバランスを式(1)により定式化する。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}^{JD} \\ \mathbf{x}^{JI} \\ \tilde{\mathbf{x}}^{G} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{X}^{\mathbf{I}} & 0 & \mathbf{X}^{\mathbf{III}} \\ 0 & 0 & 0 \\ \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{I}(k)} & \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{II}(k)} & \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{III}(k)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{i}^{JD} \\ \mathbf{i}^{JI} \\ \mathbf{i}^{G} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{f}^{JD} \\ \mathbf{f}^{JI} \\ \tilde{\mathbf{f}}^{G} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで，行列 $\mathbf{X}^{\mathrm{I}}$ は日本の国産品部門間の取引を示す中間投入行列であり，行列 $\mathbf{X}^{\mathrm{III}}$ は国産品部門から国外部門への輸出を示す。一方，行列 $\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{I}(k)}$ は国外部門から国産品部門へ，$\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{II}(k)}$ は国外部門から最終需要部門へ，$\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{III}(k)}$ は国外部門間でのレアメタルの移動量を示す。ベクトル $\mathbf{f}^{JD}$ と $\mathbf{f}^{JI}$ とはそれぞれ国産品と最終需要輸入品に対する日本の最終需要量を，$\tilde{\mathbf{f}}^{G}$ は国外部門に追加的に蓄積された（廃棄物として存在する量も含む）レアメタル量を示す。また，ベクトル $\mathbf{x}^{JD}$ と $\mathbf{x}^{JI}$ はそれぞれ日本の国産品の総国内生産量，最終需要輸入品の総供給量を示す。ベクトル $\tilde{\mathbf{x}}^{G}$ は国外部門のレアメタル採掘量である。ベクトル $\mathbf{i}$ は全ての要素が 1 の集計ベクトルを指す。なお，本研究で得たレアメタルフロー $t_{ij}^{(k)}$ を配分し，$\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{I}(k)}$，$\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{II}(k)}$，$\tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{III}(k)}$ を規定し，$\tilde{\mathbf{x}}^{G}$ は統計から $\tilde{\mathbf{f}}^{G}$ は各国のフローのバランスから付与した。

続いて，投入係数行列を $\mathbf{A}^{\mathbf{JD,JD}} = \mathbf{X}^{\mathrm{I}}(\hat{\mathbf{x}}^{JD})^{-1}$，$\tilde{\mathbf{A}}^{\mathbf{G,JD}(k)} = \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{I}(k)}(\hat{\mathbf{x}}^{JD})^{-1}$，$\tilde{\mathbf{A}}^{\mathbf{G,JI}(k)} = \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{II}(k)}(\hat{\mathbf{x}}^{JI})^{-1}$，$\tilde{\mathbf{A}}^{\mathbf{G,G}(k)} = \tilde{\mathbf{Y}}^{\mathbf{III}(k)}\left(\hat{\tilde{\mathbf{x}}}^{G}\right)^{-1}$ と定義し，また式(2)のように行列 A を定義する。同時に，ベクトル $\mathbf{f}^{JP}$，$\mathbf{d}$ を式(3)−(4)のように定義する。

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}^{JD,JD} & 0 & \tilde{\mathbf{A}}^{JD,G} \\ 0 & 0 & 0 \\ \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{A}}^{G,JD(k)} & \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{A}}^{G,JI(k)} & \sum_{k=1}^{l} \tilde{\mathbf{A}}^{G,G(k)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{f}^{JP} = \begin{pmatrix} \mathbf{f}^{JD} & \mathbf{f}^{JI} & 0 \end{pmatrix}^{t} \quad (3)$$

$$\mathbf{d} = \begin{pmatrix} \mathbf{d}^{JD} & 0 & \mathbf{i} \end{pmatrix}^{t} \quad (4)$$

これらの行列とベクトルを用いて，式(5)を解くことでブロック行列 $\mathbf{N}^{G,JD}$，$\mathbf{N}^{G,JI}$，$\mathbf{N}^{G,G}$，$\mathbf{N}^{JD,G}$，$\mathbf{N}^{JD,JD}$ を得る。

$$\hat{\mathbf{d}}\mathbf{A}\left(\widehat{(\mathbf{I}-\mathbf{A})\mathbf{f}^{JP}}\right) = \begin{pmatrix} \mathbf{N}^{JD,JD} & 0 & \mathbf{N}^{JD,G} \\ 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{N}^{G,JD} & \mathbf{N}^{G,JI} & \mathbf{N}^{G,G} \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここで，$\mathbf{N}^{G,JD}$ は日本の最終需要によって誘引された国外部門から国産部門へのレアメタルのフロー，$\mathbf{N}^{G,JI}$ は国外部門から最終需要部門へのフローを示す。$\mathbf{N}^{G,G}$ は日本の最終需要に起因する国外部門間のレアメタルのフローを表す。$\mathbf{N}^{JD,G}$ は日本から国外部門への輸出に伴うフロー，$\mathbf{N}^{JD,JD}$ は国産品部門間でのフローである。$\mathbf{I}$ は 単位行列である。 更に，行列 $\mathbf{N}^{G,JD}$，$\mathbf{N}^{G,JI}$，$\mathbf{N}^{JD,G}$ における国内部門を統合し，国 ij 間のレアメタルフローとしてまとめる。このフローは初期の $t_{ij}^{(k)}$ から抽出された日本の最終需要に起因するレアメタルフローと理解できる。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費補助金（K122024）の支援を受けて実施された。

参考文献

1. Graedel, T. E.; Cao, J. (2010), *P Natl Acad Sci USA*, 107, (49), 20905-20910.
2. Johnson, J.; Graedel, T. E., (2008), *J. Ind. Ecol.*, 12, (5-6), 739-753.
3. Izard, C. F.; Weber, C. L.; Mattews, H. S., (2010), *Environ. Sci. Technol.*, 44 (17), 6563-6569.
4. Nakajima, K. et al. (2011), *Isij Int*, 51 (11), 1934-1939
5. Nansai, K. et al. (2009), *Econ. Syst. Res.*, 21(3), 267-290.
6. Nansai, K. et al. (2012), *Environ. Sci. Technol.*, 46(1), 155-163.
7. Nansai, K. et al. (2012), *Environ. Sci. Technol.*, 46(16), 9146-9154.

製品ライフサイクルで関係する産業促進政策間の協調の検討

Concerting Development Strategies of Nations Linked by a Product Life cycle: An Example in Promotion of Future Vehicle Industries with Focus on Resource Management

Joel Llarenas CUBOL* [1] and Yasuhiro FUKUSHIMA[1]

1) National Cheng Kung University, Taiwan
*joelcubol@gmail.com

1. INTRODUCTION

Electric and hybrid vehicle industry is one of those strategically promoted in Taiwan – expected to provide domestic and international markets with parts and modules contributing to Taiwanese economy in the next decades [1]. Such strategy must be in concert with strategies on the resource mining industries abroad, assuring economic and environmental sustainability of the entire global supply chain.

In this study, Taiwan's lithium (Li) and nickel (Ni) demands for manufacturing the batteries of electric and hybrid vehicles, as well as the amount of disposed metals after the use phase are estimated until 2060. Knowing these estimates, the amount of metal required to mine, the potential metal Recycled Content (*RC*) input to battery industry, and the associated GHG emissions could be calculated. Using this information, it is aimed to propose a roadmap for the establishment of the metals' recycling capacity considering when these metals exit from the market as reusable resource.

Concurrently, roadmaps for the mining countries on how they can strategically manage their reserves; and to establish downstream processing or refining industries are also discussed.

2. METHODOLOGY

The study's overall framework is shown in Fig. 1.

Metal Demand Calculation

The total possessed and new car demand until 2060 in Taiwan are estimated by Population Balance and Weibull Distribution functions, respectively. Out of the total new demand of cars, the number of electric vehicles (EV) is then estimated based on the EV promotion targets of the government. As per automobile industry consensus that is Li-based batteries will become dominant technology for EVs [2]; thus, Battery Electric Vehicle (BEV) and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) will require Li-based battery while Hybrid Electric Vehicles (HEV) will require Ni-based. Each car contains one battery and for one unit, Li- and Ni-based batteries require ~ 3 kg of Li [3] and ~15 kg of Ni [4], respectively. The amount of Li and Ni demands and disposals can then be estimated.

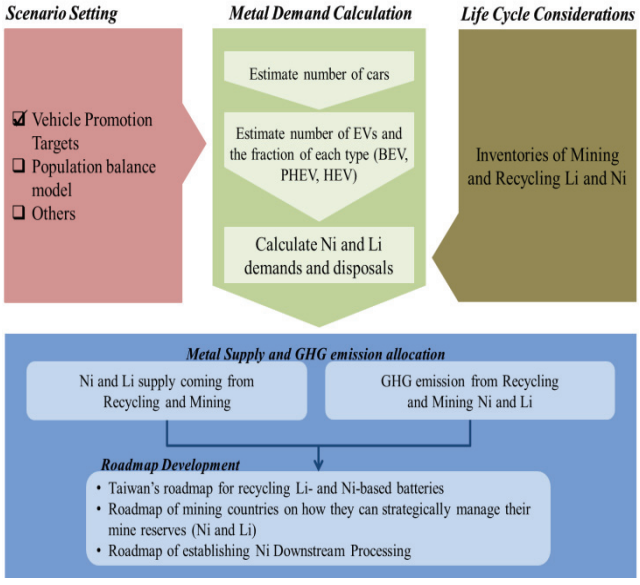


Figure1 Overall framework of the study

Scenario Setting

Three scenarios, shown in Fig. 2, are created in estimating the Li and Ni demands and disposals of Taiwan's EV industries. The reference scenario (*Government Plan*) is partially based on the Taiwan's EV promotion plan [1], in which the unit sales until 2030 for BEV, and until 2020 both for PHEV and HEV are projected. Thus, additional assumptions are made that until 2060, BEV and PHEV will continue to increase in numbers; while HEV will decline after its peak in 2025. These assumptions are in accordance to the EV fleet promotion, i.e., the use of battery and plug-in electric vehicles, driven by zero exhaust or clean zone policy [5]. The *Government Plan* is considered to be the most aggressive one. The succeeding scenarios will be a *Five-year delay* and *Ten-year delay* of the promotion plan.

Life Cycle Considerations

The GHG emission factors of mining and recycling Ni and Li are summarized in Table 1. The emission associated with Ni mining is dependent on ore grade (x).

Table 1 GHG emission inventories of mining and recycling of Li and Ni

	kg CO_2-eq/kg Ni	kg CO_2-eq/kg Li
Mining	[71.6/x] – [1/9] [6]	69.8 [7]
Recycling	5 [4]	35.7 [3]

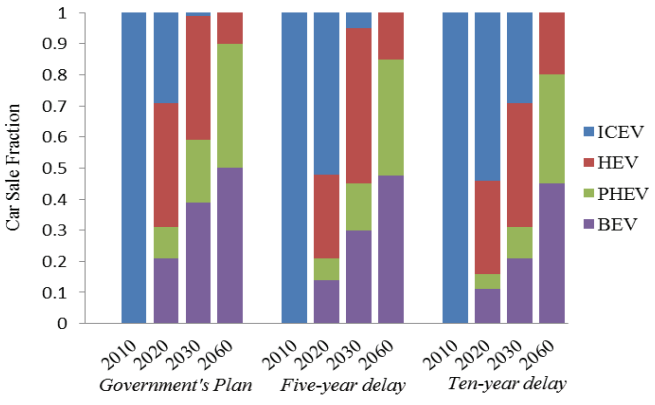


Figure 2 Three Scenarios of car unit sales in Taiwan

It is estimated[6] that x declines 0.049 per year, and the baseline x used in this study is 1.3[8].

Metal Supply and GHG emission Allocation

To allocate metal demand to mining and recycling industries, three parameters are introduced: the metal Recycling Participation (R_{par}), Recycling Efficiency (R_{eff}), which are both set at 90%, and the maximum metal recycled content (RC_{max}) input to battery manufacturing, which is set at 100%. Knowing the amount of Li and Ni to be mined and recycled, the RC and the associated GHG emission over the years from both industries can then be calculated.

Roadmap Development

The metal demands, *RC*s, and GHG emissions are used in proposing a roadmap for recycling industry in Taiwan and resource management and downstream processing industry in the mining countries.

3. RESULTS AND DICUSSION

After applying series of estimations (from car demand/disposals to metal demand/disposals) and supply allocation, the *RC* of metal input to battery industry is achieved. As shown in Fig. 3A, in the most aggressive scenario, there is almost constant slope toward achieving the RC_{max}; while the most conservative scenario gives another plateau aside from the one created by RC_{max}. The plateau indicates that on this period, the metal demand becomes relatively constant, implying a limited supply of disposed metals as input to recycling industry.

Furthermore, results convey two significant information on establishing recycling industry: (1) when to begin and develop metal recycling technologies, and (2) the period in which the disposed metal will be enough resource to attain a certain *RC* target, thus to assure that recycling is indeed a practical technology to implement.

The GHG emission from both industries (Fig. 3B), tells how the trend goes as different *RC* is achieved over the years. Note that using Ni-based will generate higher total GHG emission (mining and recycling) although its recycling emission factor is lower compared to Li-based. This is due to the exponential relationship of nickel ore grade decline and its mining GHG emission.

These information are used as inputs to roadmaps for recycling industry in Taiwan and for resource management and downstream processing industry in mining countries. Shown in Fig. 4 is an example of the proposed roadmap based on *Government Plan.*

4. CONCLUSION

The initial scenario setting is carried out and gives the corresponding inputs to the proposed roadmaps. It is recommended, however, to explore other scenarios and additional inputs to the roadmaps such as cost elements.

REFERENCES

1) Y.-M. Tai. Government document, Department of Investment Services, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, prepared by Industrial Technology Research Institute (ITRI), 2010
2) D.L.Anderson et. al. Masters project in Environmental Management Department, Nicholas School of Environment of Duke University, 2009.
3) K. Ishihara et al. Electrochemical Society 202nd Meeting Abstracts, vol. MA2002-02, 2002
4) J.L. Sullivan et. al. Company report ANL/ESD/10-7, Argonne National Laboratory, 2010
5) J.P.H. Shu. et. al. World Electric Vehicle Journal, vol. 3, 2009
6) T. Nortgate et. al. Journal of Cleaner Production, vol. 18, pp. 266-274, 2009
7) A. Stamp et. al.. Journal of Cleaner Production, vol. 23, pp. 104-112, 2011
8) F.G. Sajona et. al. Mining Philippines 2011 Conference and Exhibition, 2011

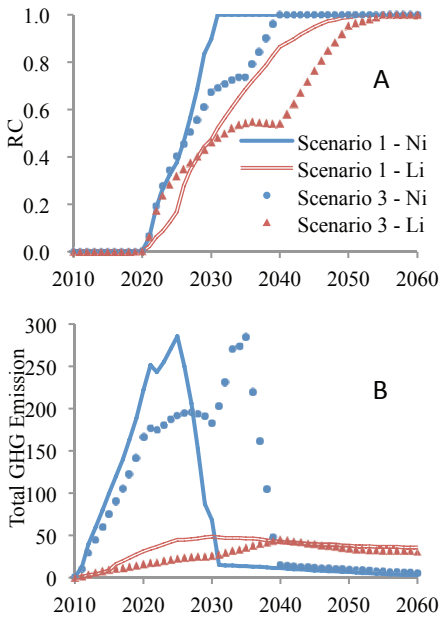


Figure 3 A: Recycled Content (RC=kg recycled/kg recycled + kg mined) over the years. B: GHG Emission (kg CO_2-eq) for *Government Plan* and *10-year delay*

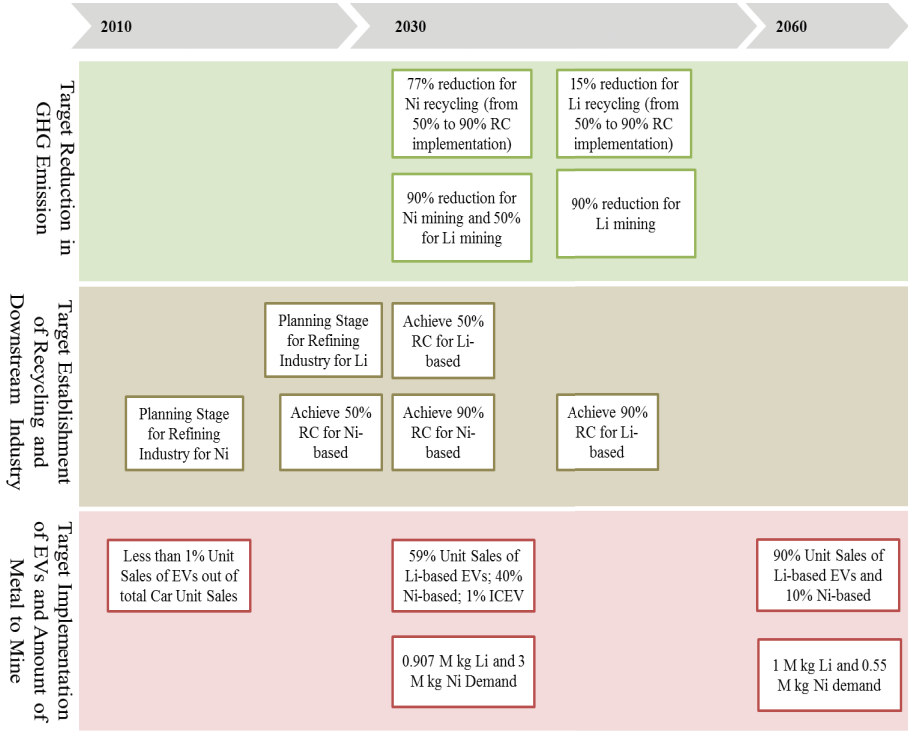


Figure 4 Proposed roadmap based on *Government Plan*

産業から見た都市鉱山の資源供給ポテンシャルの比較検討

Evaluating the Resource Potential of Urban Mines from the Perspective of Industrial Activities

○畑山博樹*[1)]、田原聖隆[1)]
Hiroki Hatayama, Kiyotaka Tahara
1) 産業技術総合研究所
*h-hatayama@aist.go.jp

1. はじめに

これまでの世界の発展においては、大量の鉱物資源が採掘され、金属材料として社会で使用されてきた。結果として、大量の金属が製品の形で社会中に存在しており、これらは都市鉱山として金属資源の供給ポテンシャルを有すると考えられている。都市鉱山中の金属資源をリサイクルあるいはリユースによって活用することは、非再生資源である鉱物資源の消費低減や生産エネルギーの削減に寄与する。加えて、各国の生産活動で必要となる金属を国内で確保できることから、特に日本のような鉱物資源を持たない国においては安定した金属資源供給のリソースとしての期待も大きい[1)]。

都市鉱山の規模は、しばしば蓄積量（In-use stock）の推計によって示される。例えば日本では、年間消費量の5-10倍に相当する蓄積量が存在すると推計されている[2)]。当然蓄積量として計上された金属のすべてが循環利用可能なわけではないが、ポテンシャルの大きさを我が国の資源循環戦略を進める上での論拠とする考え方も多い[1)]。こうして示された再生資源の供給源としてのポテンシャルについて、それらが資源供給源として各国の産業にどの程度寄与するかという比較は、国際資源循環が進む今後において重要な検討課題である。本研究では、主要金属の消費量、蓄積量、廃棄量などを国ごとに整理した上で、各国の都市鉱山の資源供給ポテンシャルについて比較検討した。

2. 資源供給ポテンシャルの評価

2.1 蓄積量の年間消費量に対する比率

蓄積量の推計は様々な国や金属を対象として実施例があり、これらの一部はUNEPの報告書[3)]にまとめられている。これら文献から、様々な国・地域レベルでの主要金属（Fe, Al, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb）の蓄積量を整理した。また、各種統計から当該年におけるそれぞれの国・地域での金属消費量を参照することで、蓄積量の年間消費量に対する比率を算出した。なお、近年の状況をもとに比較検討をおこなうために、1990年以降の時点での蓄積量を推計したものを対象とした。

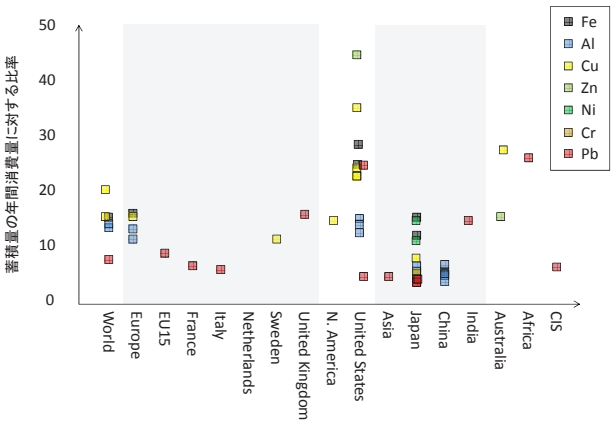


図１　国・地域別の蓄積量の年間消費量に対する比率

算出された比率を図１に示す。蓄積量の推計事例としては、米国、欧州、日本を対象としたものが多く見られた。一方で、中国以外の途上国を対象とした蓄積量の推計事例は非常に少ない。蓄積量の年間消費量に対する比率は、金属間のばらつきは見られるものの、日本は他の先進国と比べると小さい傾向が見られた。この傾向に大きく影響を及ぼす要因として、金属が使用されている製品の輸出入が考えられる。日本の現在の都市鉱山を構成している製品が生産されたここ20〜30年について、日本は生産した製品を海外に輸出する加工貿易をとっている。このような国では、製造産業が消費した量に比べて実際に国内に投入、蓄積される金属の量は小さい。そのため図１に示される比率は、貿易収支の黒字が日本より小さい欧州や大きく赤字な米国と比べて小さく算出されやすいと考えられる。そしてこのような傾向は途上国についても同様と考えられる。その結果、貿易収支がマイナスであるインドのような途上国が、図１に示した値で日本より大きく算出されることもある。

2.2　廃棄量と回収率

前節で示したように、蓄積量と消費量の関係から見た場合、我が国の都市鉱山からの資源供給の産業への寄与は、他国に比べて大きいとは判断されない。しかし、「将来のポテンシャル」と説明される通り、蓄積量で評価された都市鉱山は現時点での再生資源の利用可能性を示すものではない。途上国においては金属消費の増加に伴って蓄積量の増加も著しいが、社会に蓄積された金属のうち廃棄される割合は現段階では小さい。従って、中国などの製造産業の旺盛な素材需要を満たすにおいて、再生資源の供給は現段階では主要な位置を占めていない。

従って、各国の産業にとって都市鉱山が重要な資源供給源とみなされるためには、素材需要に比べて小さくない量の廃棄量が存在していることが前提となる。その上で、使用済み製品からの回収率（あるいはリサイクル率）の高い金属について、現時点で都市鉱山が資源利用において重要な役割を果たしているとみなすことができる。

そこで、先述の 7 金属を対象に、使用済み製品に含まれる金属廃棄量と回収量を整理し、各国における使用済み製品からの回収率を推定した。2000 年における主な国・地域での鉛の回収率を図 2 に示す。蓄電池に主に使用される鉛の回収率は他金属に比べて高い水準にあるが、中国やインドといった途上国においては低い値となっている。廃棄量が小さい時期においては、低い回収率を上昇させることは産業への再生資源供給という面から考えると有効ではない。しかし、今後廃棄量の増大にあわせて回収率を上昇させることが、これら途上国での膨大な再生資源ポテンシャルを活用する上でもとめられる。

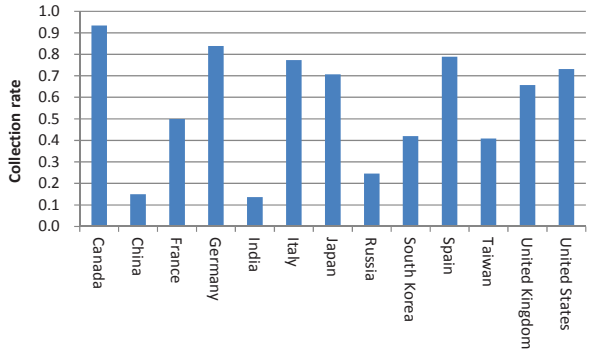


図２　使用済み製品からの鉛回収率（2000 年）

3.　今後の都市鉱山利用技術開発と資源利用戦略

ここまで、「都市鉱山のポテンシャル」を評価する際に着目されてきた蓄積量、廃棄量、回収率といった値について国・地域別の比較を行ってきた。各種リサイクル法や工業協会の目標数値として挙げられるように、従来は回収率、リサイクル率が高い状態にある製品、素材が都市鉱山利用において注目を浴びてきた。しかし裏を返せば、このような金属については今後より多くの再生資源を獲得する余地が残されていない。この場合、リサイクル技術の開発以上に、素材代替等による製品への使用量の低減や、探鉱等による天然資源の利用可能性の向上が国内産業が必要とする金属量を確保する上でもとめられる。一方で、現状でリサイクル率が低く、かつ製造産業での需要量に比べて小さくない廃棄量が存在している金属に対しては、リサイクルなど都市鉱山利用の技術開発が重要である。

金属の持続的な利用に向けて、ここで挙げたそれぞれの方策について世界全体で取り組むことは必要である。一方で、2. で検討したとおり、都市鉱山の資源供給ポテンシャルは国・地域ごとに異なっており、産業が必要とする各金属を確保するための戦略も国ごとに独自性の高いものとなる。我が国においても、クリティカルメタルの議論等に基づいた天然資源の確保戦略[4,5]と、マテリアルフロー分析から推計される再生資源ポテンシャルの見通しを融合させた資源利用の検討がもとめられる。

4.　おわりに

これまでの研究で示されてきたとおり、先進国である日本は多くの金属について大規模な都市鉱山を有していると言える。しかし、製造産業で必要とされる素材需要も大きく、産業にとって十分な再生資源を供給可能なポテンシャルを有しているとは必ずしも言えない。鉱物資源の利用可能性も考慮して、国内の都市鉱山からの回収を進めるべき製品および金属の選定を長期的な見通しに基づいて検討することが重要である。

参考文献

1)　原田幸明，井島清，島田正典，片桐望：日本金属学会誌，73(3), 2009, 151-160.
2)　畑山博樹：金属，82(7), 2012, 581-584.
3)　United Nations Environmental Programme: Metal Stocks in Society, 2010, 38.
4)　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：希少金属代替材料開発に関する最新動向調査報告書, 2009.
5)　一般社団法人日本メタル経済研究所：クリティカルメタル 2011, 2012.

ELV スクラップに随伴する合金元素有効活用に向けたシステム提案

System proposal for efficient utilization of alloying elements associated with ELV scrap

○飯塚陽祐*[1)]、平木岳人[2)]、松八重一代[2)]、三木貴博[2)]、長坂徹也[2)]
Yosuke Iizuka, Takehito Hiraki, Kazuyo Matsubae, Takahiro Miki, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学大学院　環境科学研究科, 2) 東北大学大学院　工学研究科
* fy11037@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年、鉄鋼材料やIT関連製品などの材料および製品の高機能・高品位化に伴う需要環境の変化から、レアメタルに関しては国家規模で備蓄促進や代替技術の開発が志向されるなど、安定供給が重要視されている。国家備蓄対象7鋼種の国内需要のうち、約85%が特殊鋼材の生産に用いられていることから、鉄鋼業におけるレアメタル戦略の位置づけは極めて大きい[1)]。

鉄鋼材の中でも特殊鋼は、鉄鉱石を原料に、様々な特性を加えるため鉄との合金であるフェロアロイを添加させて生産されている。また、加工の際に発生する切り屑や寿命を迎えた鋼材は、スクラップとして電気炉に投入され、再び鋼材として社会に戻ってくる。

しかし、現状ではスクラップに随伴している合金元素に対する配慮が不十分なため、この電気炉プロセスにおける鉄スクラップ利用から、スクラップに随伴する合金元素の散逸、もしくは意図しない混入が懸念されている。したがって、レアメタル資源の持続的な管理やコンタミソースの観点からも、鉄鋼製品に随伴する合金元素の把握や適切な処理を行うことが重要となる。

本研究では、国内における特殊鋼材使用量の約55%を占めている、廃自動車(End of Life Vehicle ; ELV)由来の鉄スクラップを対象とし[2)]、鉄スクラップに随伴する合金元素を定量的に明らかにすることを目的とした。加えて、明らかにした鋼材の組成を基に廃自動車を解体選別し、組成ごとにスクラップの選別を行うことで、再び同程度の鋼材を生産でき、合金元素の有効利用が可能であると考えられる。本研究では、これをスクラップソーティングシステムとして提案することも目的とした。

2. 方法

2-1 ELV スクラップに随伴する合金元素量の測定

ワゴンタイプの軽自動車(1996 年式)をサンプルとして精緻解体を行い、解体した各部品の重量や各部品に随伴する合金元素の測定を行った。本研究では、合金元素の中でも特にCr, Mn, Niに着目し、電気炉プロセスで再資源化される解体ガラ、排気処理装置、足回り部品の鉄スクラップ中合金元素量の推計をした。自動車部品に随伴する合金元素の分析には、エネルギー分散型のハンドヘルド蛍光X線分析計を用いた。本分析計はICP分析と比べると分析精度が劣るため、最終的な組成は本分析計とICPとの相関をとり、X 線装置の値に補正をかけることで、決定した。 また、塗装加工等がなされている部品に関しては、表面のZnめっき等を除去するため、グラインダーを用いて表面の研磨を行った後に測定を行った。

2-2 電気炉溶解実験

ELV スクラップ中のCr, Mn, Niが、再資源化時にメタル、スラグ相へどれだけ分配されるのかを検討するため、電気炉での溶解実験を行った。サンプルは、年代や車種の異なる廃自動車20台分の解体ガラ、足回り部品を、混合しないように個別にシュレッダー処理を行い作成した。溶解実験で用いたサンプルはそこで得られた製品のうち、ボディのみのシュレッダー製品約 5 トンと、足回り部品のみのシュレッダー製品約 5 トンの 2 種類である。実験は通常操業に近い条件で行い、脱酸材としてのドロマイトやアルミナ等の副資材の投入も行った。溶解後、得られたメタル、スラグをサンプルとして回収し、それぞれの組成分析を行った。

2-3 スクラップソーティングシステム

現状では電気炉プロセスによる特殊鋼生産において、前述した 3 部品の一部は再資源化の際にフェロアロイ投入代替分として有効に循環している。しかし、大半はスラグに向かって拡散、一部はコンタミ要因として銑鉄等によって成分調整をなされて同じく鋼材中に拡散している。そこで、ELV 由来の鉄スクラップに随伴する合金元素有効利用のため、スクラップソーティングシステムの提案を行った。

ソーティング部品は2-1で分析を行った結果、随伴合金元素が多い部品をターゲットとした。また、スクラップソーティングの効果を検討するため、解体業者と電気炉メーカーにおいて提案システムを導入する際のコスト試算を行った。

3. 結果

3-1 ELV スクラップに随伴する合金元素量

ELV 部品で電気炉に投入される解体ガラ(ボディ)、排気処理装置、足回り部品に随伴する合金元素量の推計結果を Fig. 1 に示す。これら 3 部品の重量は、車両総重量の約 6 割に当たる 429kg であった。随伴合金元素量を見ると、Crは0.13%、Mnは0.19%、 Niは0.004%しか随伴してい

ないことがわかった。また各合金元素量を見ると、Cr の流入源は排気処理装置において使用されているステンレス鋼、Mn はボディの構造骨格部品や足回り部品であることがわかった。この結果より、本研究で対象とした車種においては合金元素がそれほど随伴していないため、これを原料として不純物の少ない鋼材を生産することができるといえる。

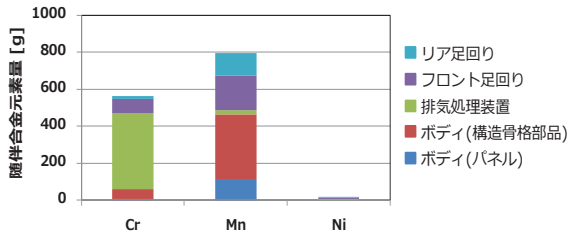


Fig. 1 ELV 由来の鉄スクラップ随伴合金元素量

3-2 メタル/スラグ間の合金元素分配傾向

ボディと足回りに随伴する合金元素組成と、溶解実験結果を Table 1、Fig. 2, 3 に示す。ボディ、足回り共に同様の傾向が得られ、Cr と Mn は酸化されてスラグへ移行するということが確認できた。一方で、Ni に関してはスラグへ移行せず、ほぼ全量がメタル中に残ることが確認できた。この分配傾向の結果は中島らが行った、鉄中の合金元素挙動を熱力学的に解析したものと対応するため、妥当なものであるといえる [3]。

Table 1 サンプルの合金元素組成

	ボディ			足回り		
合金元素	Cr	Mn	Ni	Cr	Mn	Ni
含有率 [%]	0.28	0.33	0.02	0.29	0.43	0.02

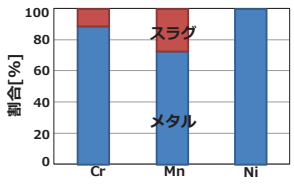


Fig.2 ボディ溶解時の合金元素分配傾向

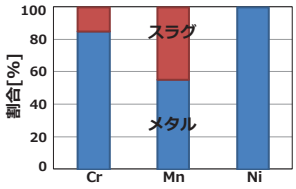


Fig.3 足回り溶解時の合金元素分配傾向

3-3 スクラップソーティング効果

スクラップソーティングシステム導入のためには、追加的に発生する分離・選別コストと、合金元素の有効利用により控除される天然資源投入に係わる便益を解体業者、電炉メーカー双方に利潤が生まれるよう配分するマーケット構造が求められる。本研究では解体業者における利益として、3-1 の結果より Table 2 に示す 5 部品をソーティングターゲットとし、選別後に残る ELV スクラップを合わせて販売することを仮定した。また、その際の販売価格設定は現状の買取価格を基準とし、Fig. 3 に示すようにスクラップ価格が上昇することを想定した際の上昇感度をみることで、どのスクラップ販売価格がシステムにおいて重要であるかの検討を行った [4,5]。結果として、1 台から発生するスクラップ重量の多い選別後 ELV スクラップ部品の販売価格の影響が大きいことがわかった。この ELV スクラップに関しては、現状 3-1 の合金元素組成のまま選別なしの状態で電気炉に向かっている ELV スクラップに比べ、Cr 濃度がさらに低くなっていることが Table 2 からもわかる。したがって、従来よりもさらに不純物の少なくなった良質の鋼材という長所を生かすことで、従来の鉄スクラップ販売価格より高く販売することを提案していく必要があるといえる。

Table 2 ソーティングターゲット部品の重量と組成

部品箇所・部品名称			組成[%]		
		重量[kg/台]	Cr	Mn	Ni
排気処理装置	触媒ケース	1.6	11.14	0.32	0.05
	排気パイプ	2.9	10.90	0.31	0.23
	排気口	0.1	18.23	1.07	8.25
足回り	ドライブシャフト	9.5	0.02	0.54	0.00
	ディスクローター	11.7	0.02	0.70	0.00
選別後ELVスクラップ		402.4	0.01	0.16	0.00

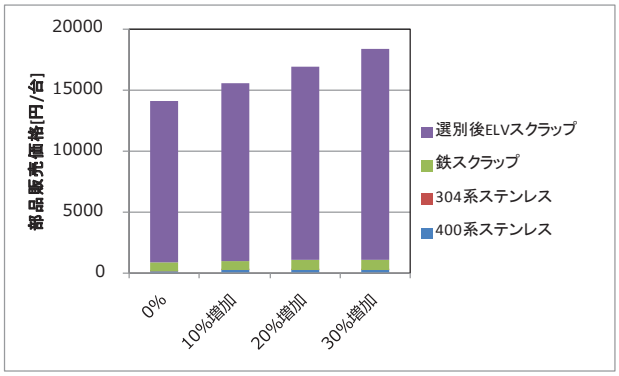


Fig. 4 各部品の販売価格上昇感度

4 おわりに

今後は、電気炉メーカーにおけるスクラップソーティング効果を、ソーティングにより控除できるフェロアロイ価格により検討していく。最終的には、フェロアロイの控除額、ELV 部品の販売額、解体業者の解体費増額を検討し、システムの導入が可能な販売額の提示を行う。

5 謝辞

本研究は環境省平成23年度先進的金属リサイクル技術開発等事業、科研費若手研究 A(23686131)、 JST- RIXTEX の支援を受けております。

6 参考文献

1) 鉱物資源マテリアルフロー2009, JOGMEC(Japan Oil, Gas and Metals National Corporation), 2010
2) 普通鋼地域別用途別受注統計表2008, 日本鉄鋼連盟, 2009
3) K.Nakajima, O.Takeda, T.Miki and T.Nagasaka, Materials Transactions, Vol.50 (3), (2009), pp.453-460
4) 日刊市況通信社, 東京製鉄 鉄スクラップ購入価格推移
5) IRuniverse, マーケットニュース (http://iruniv.net/index.html)

中国における廃電気電子製品の物質フロー分析

Material and substance flow analysis on waste electrical and electronic equipment in China

○哈布爾*[1)]、中谷隼 [1)] 、森口祐一 [1)]
Habuer, Jun NAKATANI, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学
*habuer@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

Given the volumes of waste electrical and electronic equipment (WEEE) and their contents of both harmful and valuable materials, WEEE issue should be regarded not only as an emerging environment problem but also as a resource management. Therefore, it is significant to capture generation amounts of WEEE and their material and substance contents as the basis information for planning strategic WEEE management in China.

In order to obtain the basis information, in this study, first, product-level material flow analysis (MFA) is conducted based on the estimated obsolescence amounts of WEEE by product type in China until 2030. Secondly, the amounts of hazardous and valuable materials contained in waste TV sets are estimated using substance flow analysis (SFA). On the basis of the results of MFA/SFA, the current and future WEEE issues in China are discussed.

2. Possession and obsolete amounts of EEE in China

2.1 Average and total possession amounts of major HAs in China

China, with a population of over 1.3 billion people [1)], has a high environmental loading due to its huge population and rapid industrial development. In addition, the increasing income plus technical innovation of electrical and electronic equipment (EEE), eventually, have accelerated consumption of e-product and generation of e-waste.

Usually, the growth of product consumption can be divided into four phases: primary introduction, rapid growth, saturation and final decline in some cases (e.g., the product is not consumed or replaced by another product) [2)]. The growth curve of average amount of possession of electronic appliance has an 'S' shape if the phase of decline is not being considered [3)]. Thus, average possession of major household appliances (HAs) which are television set (TV), air conditioner, washing machine, refrigerator and personal computer (PC) can be predicted by the logistic function given in equation (1) and (2) [3, 4)]. The total possession amounts can be calculated by equation (3).

$$N_{au-t} = N_{max-u}/[1 - A_u \times \exp\{-B_u(t - t_0)\}] \quad (1)$$

$$N_{ar-t} = N_{max-r}/[1 - A_r \times \exp\{-B_r(t - t_0)\}] \quad (2)$$

$$N_t = N_{au-t} \times H_{ut} + N_{ar-t} \times H_{rt} \quad (3)$$

Where, *Nau-t* and *Nar-t* are prediction amounts of the average possession of major HAs per 100 urban and rural households at year-t respectively. N_{max-u} and N_{max-r} are maximums of the average possession amounts of major HAs per 100 urban and rural households, t_0 is the starting year for calculation, A_u and A_r are equal to $-\exp[B_u(t_{1/2}-t_0)]$ and $-\exp[B_r(t_{1/2}-t_0)]$ respectively, where $t_{1/2}$ is the year when the average possession amount reaches half of the maximum. B_u and B_u are the parameters to indicate the growing speeds of the product possession, which are calculated by regression of collected data of *Nau-t* and *Nar-t* from the year1995-2010 respectively. *Nt* is total possession amount at year-t. H_{ut} and H_{rt} are numbers of urban and rural households at year-t. The numbers of households can be calculated by division method of urban and rural populations and their household size. The future populations and household sizes in urban and rural are calculated by regression of collected data of past populations and household sizes from the year 1995 to 2010. Analysis of trend of average possession amount of major HAs per 100 urban and rural households are shown in Figure S1 and S2. With regard to air conditioner and PC, either in introduction phase or repaid growth phase of growth theory, sensitivity analysis of them is conducted.

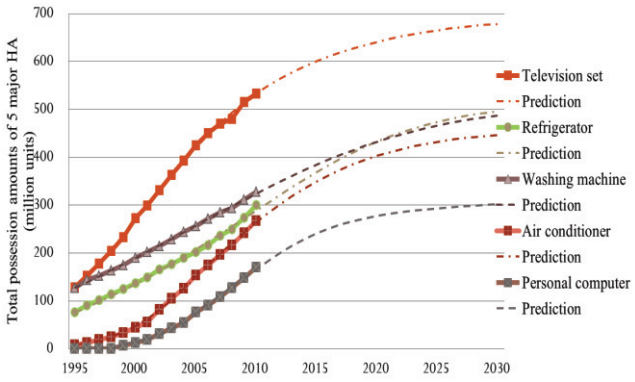


Fig.1. Analysis of trend of total possession amount of major HA in China (million units)

Figure 1 shows the trend of total possession amount of major HAs in China. Here, we applied a baseline numbers of TV and PC as shown in Figure S1 and S2 as the numbers of the average possession amounts of TV and PC.

2.2 Obsolete amounts of EEE in China

'The Market Supply Method' is applied to estimate obsolete amounts of EEE. The procedure of the obsolete amount estimation and prediction is given in Figure S3.

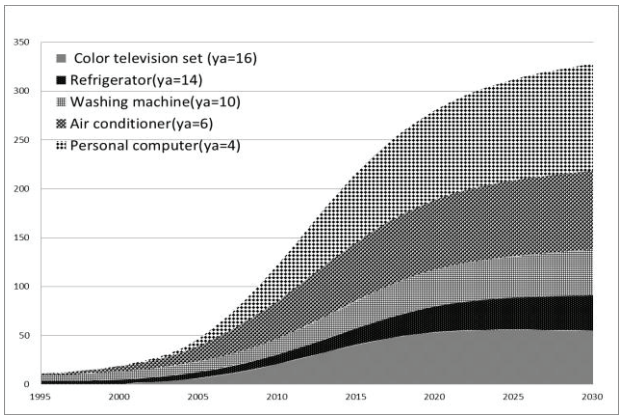


Fig.2.Annual obsolete amount of 5 major HAs in China (million units)

On the basis of estimation shown in Figure S3, the average domestic service lifespans of color TV, refrigerator, washing machine, air conditioner and PC are 16 years, 14 years, 10 years, 6 years and 4 years respectively. Nevertheless, the lifespans of HAs such as PC and TV are thought to become shorter than those of the past. Therefore, we estimated annual obsolete amounts of TV and PC by different types through their market share and dynamic lifespan (see Figures S4 and S5). Due to dynamically decreasing domestic service lifespan of PC and TV, their obsolete amounts will increase compared to that estimated by constant lifespan. The overall trends of obsolete amounts of 5 major household appliances are shown in Figure 2. The total generation of WEEE will be over 328 million units at the year 2030. Here, the average domestic service lifespans of air conditioner, refrigerator and washing machine are assumed to be constant until 2030.

3. Substance contents in WEEE in China

Along with the global scarcity of resources, the valuable materials and substances contained in WEEE gradually became a focus in recent years. In order to understand how much valuable materials contained in WEEE, a time-series substance flow analysis have conducted through special focuses on selected common metals in waste TV sets. The time-series substance content of annual obsoleted waste TV sets can be calculated by equation (4).

The time-series substance content of WEEE= obsolete amount × average weight × module composition × substance content, (4)

Where, the annual obsolete amounts of CRT and FPD TVs by dynamic lifespan presented in Figures S4 are used. The average weight is the average value of different size and type of TVs. The module composition and substance content are the median values of collected data. Based on results of calculation, the main contributor in ferrous, aluminum and copper contents contained is metallic parts in obsolete TVs. Duo to the copper, lead and nickel contents in FPD TV are smaller than CRT TV, gathering CRT TV will be replace in the near future, the total trend of them is going to decline until 2030 compared to others (see Figure 3). The main contributor in tin, nickel and zinc contents contained is printed circuit board (PCBoard) in obsolete TVs. The tin and zinc contained in PCBoard of FPD TVs are larger than that in CRT TVs in the future. The main contributor in lead content contained in obsolete TVs is CRT funnels (see Figure S6).

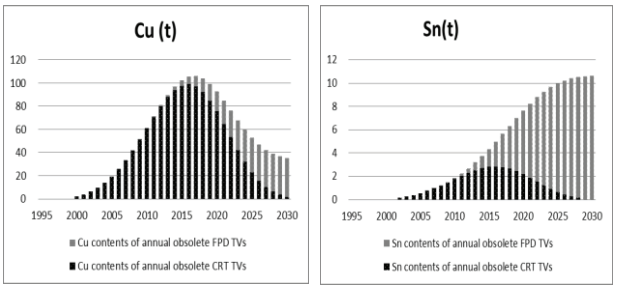


Fig.3. Time-serious copper and tin contents of annual obsolete amounts of TVs

4. Current and future WEEE issue in China

Through estimation results above, the current and future WEEE issues in China are considered as:

[1] The total possession amounts of HAs will keep increasing in next 20 years. Especially, air conditioner and PC do not reach their saturation of ownership by household.

[2] Consumption and replacement of HAs will cause a large number of obsolescence of EEE in the near future.

[3] The annual generation amounts and valuable substances of obsoleted EEE which were predicted until the year 2030 should help policy decision-makers to consider current treatment strategies and future capacity for treatment.

References

1) N. B. of S. of C. NBSC, China Statistic Press, (2011).
2) Harada, M, Tax &Accounting Association, Japan, (1984), p pp. 67–69.
3) X. Liu, M. Tanaka, Y. Matsui, *Waste Manag Res*, vol 24, 5, (2006), p 434–445.
4) O. M., Kameya T, Urano K Tasaki T, *J Jpn Soc Waste Manag Expert*, vol 12, (2), (2001), p 49:58.

Supporting Information

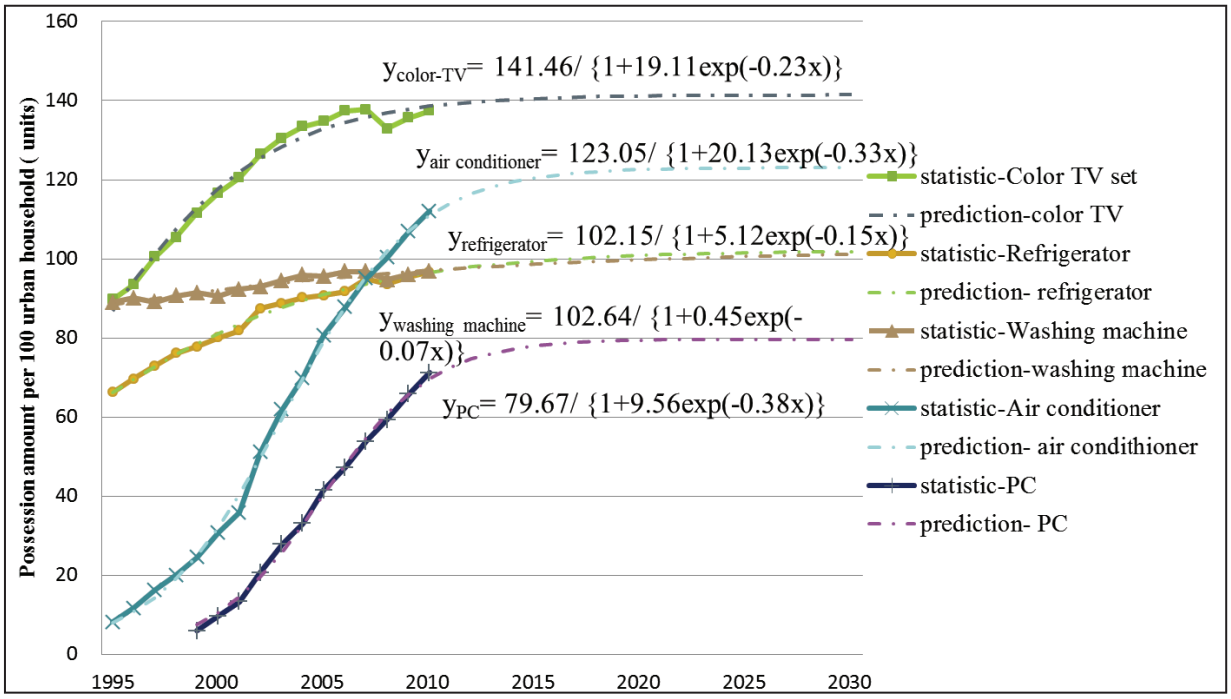


Fig. S1. Analysis of trend of average possession amount of major HAs per 100 urban households

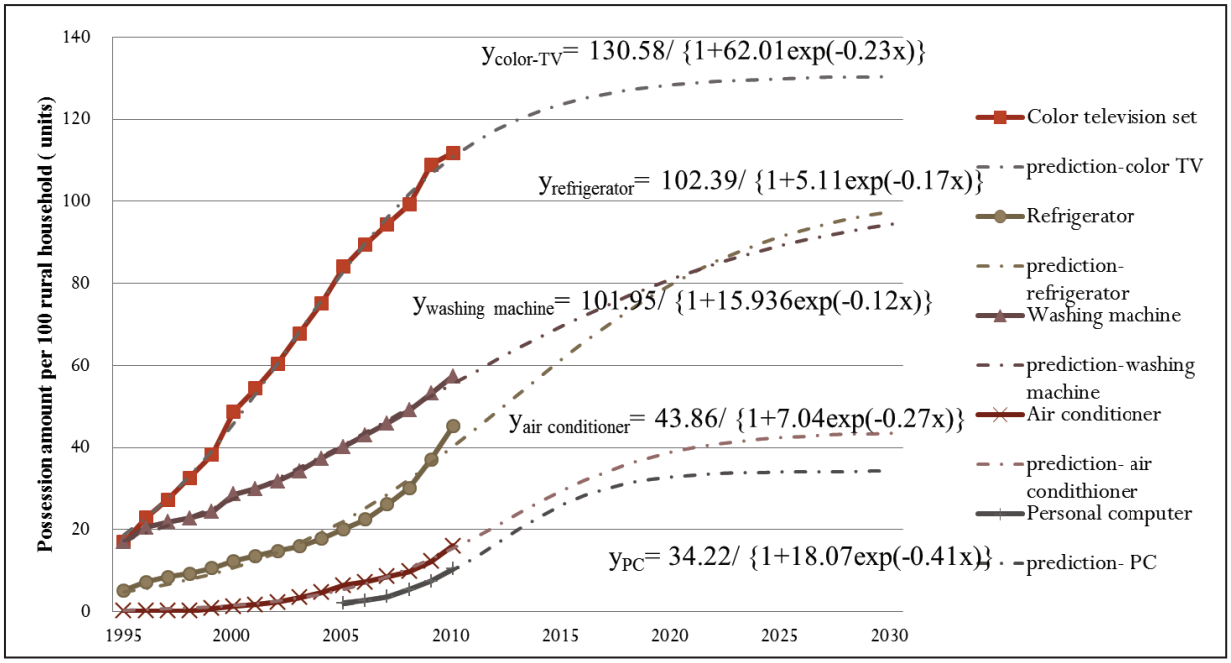


Fig. S2. Analysis of trend of average possession amount of major HAs per 100 rural households

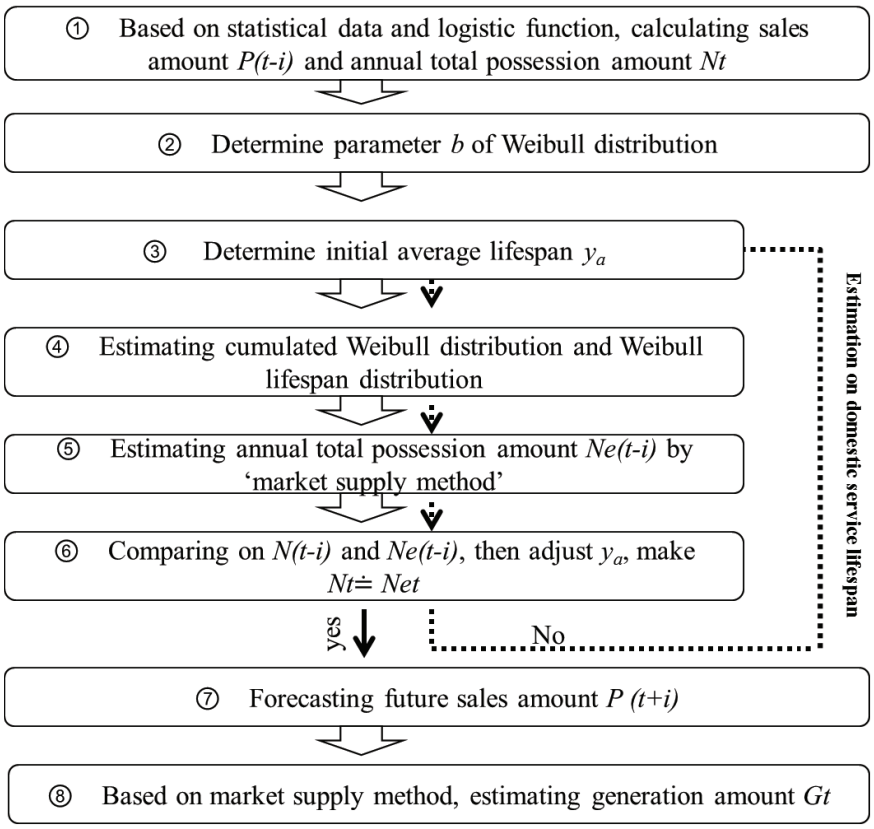


Fig. S3.The procedure of the obsolete amount estimation and prediction

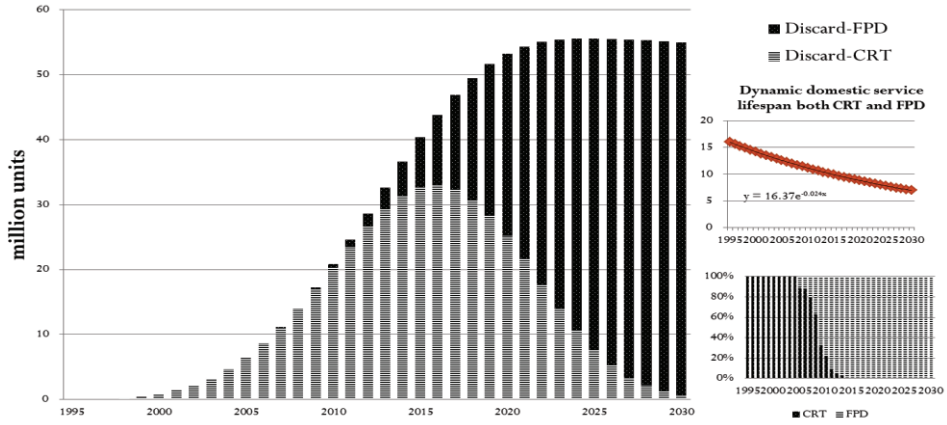


Fig. S4. Annual obsolescence amounts of CRT and FPD TV in China by dynamic lifespan

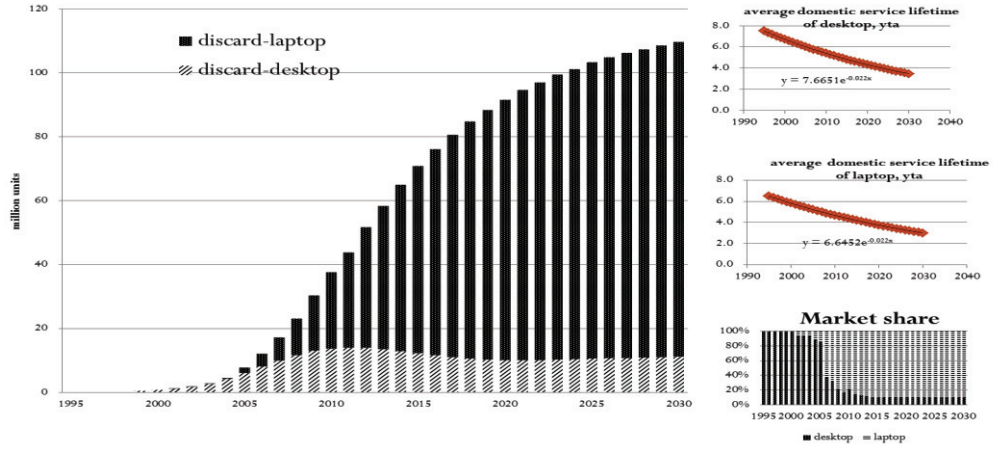


Fig. S5. Annual obsolescence amounts of desktop and laptop computer in China by dynamic lifespan

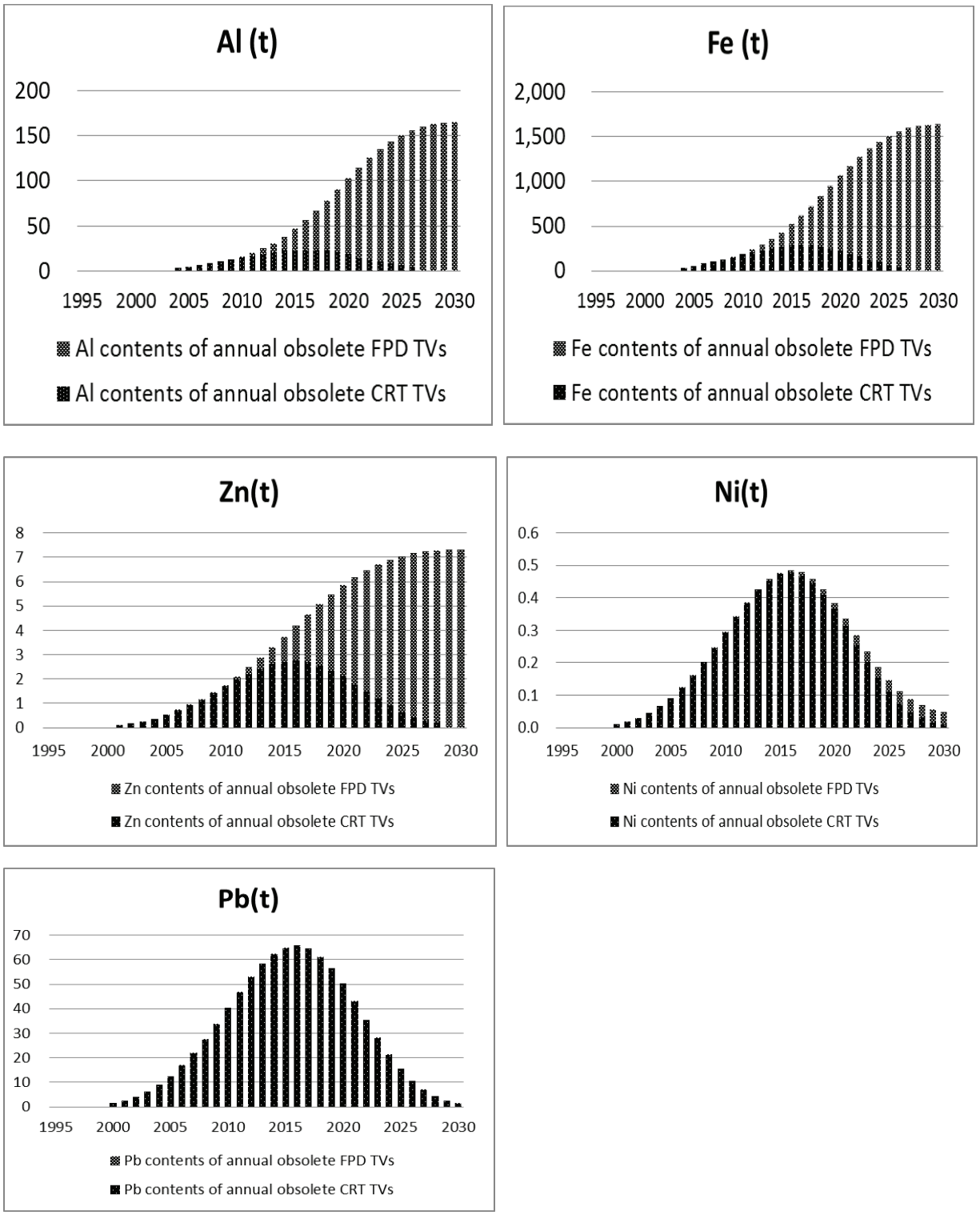


Fig. S6 Time-serious substance contents of annual obsolete amounts of TVs

WIO-MFA モデルによるアルミニウム合金のフロー解析

Material flow analysis of aluminum focusing on its alloying elements based on WIO-MFA model

○中村哲也[*1)]、大野肇[1)]、松八重一代[1)]、平木岳人[1)]、中島謙一[2)]、中村愼一郎[3)]、長坂徹也[1)]
Tetsuya Nakamura, Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Takehito Hiraki
Kenichi Nakajima, Shinichiro Nakamura, and Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) 国立環境研究所, 3) 早稲田大学
*b2gm1418@s.tohoku.ac.jp

1. 諸言

1.1 はじめに

資源の大半を海外に依存する我が国において、国内で発生するスクラップの有効利用は循環型社会の構築のために必須である。その第一段階として、社会に蓄積されている素材の状況を把握することが重要となる。本研究では、鉄に次ぐ社会基盤金属素材であるアルミニウムに注目した。今回は、特に需要量の多い自動車部門におけるアルミニウムの利用状況について、アルミニウム合金のフローと随伴元素フローの両観点から分析を行った。

1.2 自動車におけるアルミニウムのリサイクルの実態

ディーラー、中古車販売会社等で回収された使用済み自動車は解体業者によってエンジン、トランスミッション、カーエアコン、ラジエーター、ホイール等の主要部品が取り除かれた後、シュレッダ処理され、手選別、渦電流選別にてアルミニウムチップとして回収される[1)]。回収されたアルミニウムスクラップは主にアルミニウム二次地金製造業者に納められ、76.7%が鋳物・ダイカスト用アルミニウム二次合金地金に再生されている[2)]。

一方、自動車軽量化を目的として、近年自動車へのアルミニウム材料の使用量は年々増加している。その内訳は、これまで鋳物・ダイカスト部材が主体であった。しかし、近年展伸材の使用量が増加し、今後さらに使用量の増加が予想されている[1)]。現状自動車由来のアルミニウム展伸材の廃材は自動車廃材全体の10~14%と、鋳造材と比較して少ないため、展伸材から展伸材への明確なリサイクルシステムは確立されていない[2)]。したがって，将来廃車から回収されるアルミニウム材料に鋳物・ダイカスト材と展伸材の混在が予想されるため、アルミニウム展伸材と鋳物・ダイカスト材との選別分離が重要となる。

1.3 目的

合金種ごとの適切な選別を行うためには、現状の素材の量および、その品位の評価が必要である。本研究では、アルミニウム合金の資源・廃棄物管理および循環システムの提案のために、WIO-MFA(Waste Input-Output Material Flow Analysis)モデル[3)]をアルミニウムのマテリアルフロー分析に適用することにより、アルミニウム合金が自動車部門において、どこに、どれだけ、どのような形態で存在しているのか定量的な把握を行った。

2. 解析手法

WIO-MFA モデルは、中村らにより開発された廃棄物産業連関に基づく手法である[3)]。投入と産出・排出のマテリアルバランスを原則とした投入産出形式のデータの記述、IO 分析モデルを利用した物量単位でのマテリアルフロー分析（製品の組成分析など）が特徴である。既存研究では、鉄やプラスチックなどを対象に分析が行われてきた。しかし、今回対象とするアルミニウムに関しては展伸材、鋳造材等合金種別に細分化されておらず、合金種ごとの分析をすることができない。

そこで、我が国におけるアルミニウム合金フローに関する情報を整備するため、産業連関表における「アルミニウム圧延材」部門、および「非鉄金属素形材」部門を細分化し、各合金種の物質フローを推計した。表 1 に産業連関表部門分類と合金種別細分化後の分類を示す。推計には2005 年版の産業連関表を使用し、アルミニウム統計年報等を用いて推計を行った。

3. 結果

3.1 自動車部門におけるアルミニウム形態別利用状況

図 1 に我が国の自動車産業におけるアルミニウムの形態別投入量を示す。展伸材の割合は 16.8%と、鋳物、ダイカストと比較すると低い割合となっている。

表 1　産業連関表部門分類と合金種別細分化後の分類

産業連関表分類	細分化後
アルミニウム圧延材	1000 系 (純 Al)
	2000 系 (Al-Cu)
	3000 系 (Al-Mn)
	4000 系 (Al-Si)
	5000 系 (Al-Mg)
	6000 系 (Al-Mg-Si)
	7000 系 (Al-Mg-Zn)
	その他
非鉄金属素形材	Al 鋳物
	Al ダイカスト
	Al その他
	その他

3.2　アルミニウムの自動車部位別利用状況

図 2 に自動車に投入されるアルミニウムの部位別投入量を示す。各種部品（内燃機関を除く）に投入される割合が最も大きい。次いで、一般的にエンジンブロック向けに鋳物・ダイカストが多用されることから、内燃機関への投入量が大きい。車体への投入量は自動車全体と比較すると小さい。

3.3　自動車部位別のアルミニウム形態別利用状況

図 3 から図 5 に自動車の主要部位におけるアルミニウム形態別投入量を示す。どの部位においてもダイカスト、鋳物、展伸材の順で利用比率が大きい。また展伸材各合金種の使用比率の構造は、各部位でほぼ同じであることがわかる。主要部位における展伸材各合金種の利用率平均は、6000 系(34.2%)、5000 系(19.2%)、1000 系(18.2%)、3000 系(17.3%)、その他系(4.8%)、7000 系(3.8%)、2000 系(2.1%)、4000 系(0.5%)となっている。

4.　考察

現状アルミニウム合金および混入不純物の選別技術は、技術的・経済的な問題から確立されていない。しかし、鋳造材と展伸材の分離選別が可能と仮定すると、各部位で展伸材の利用比率がほぼ同じであることから、展伸材のみの混合スクラップの組成はある程度予想が可能と考えられる。そのため、スクラップの利用先もある程度の予測が可能である。

5.　おわりに

今回は自動車の各部位に投入されるアルミニウム資源の現状をおおまかに把握した。自動車における展伸材から展伸材へのリサイクルシステムを構築するためには、より詳細な自動車各部位について取り外しの可否を考慮し、各部の用途先を明確に示す必要がある。今後「自動車部品」という大きな分類を詳細な部品分類に細分化し、取り外しの可能・不可能なものに分類し、各部の用途先を合金元素のサブスタンスフローの観点から分析を行う。

謝辞

本研究は JST-RISTEX の支援を受けたものである。記して謝意を申し上げる。

参考文献

1)　大瀧光弘 : Furukawa-Sky Review, 2, (2006), pp3-10
2)　日本アルミニウム協会 :“3Rシステム化可能性調査業ーアルミニウム展伸材スクラップから展伸材へのリサイクルの可能性調査事業”, (2007)
3)　S.Nakamura, K.Nakajima : Material Transactions, 46 (12), (2005), pp2550-2553

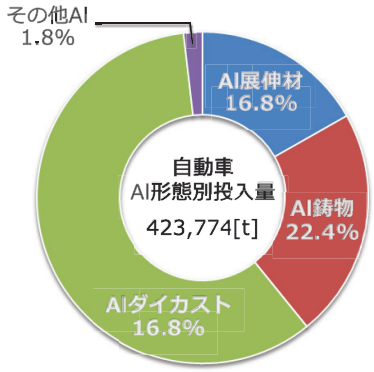


図１　自動車部門におけるアルミニウム形態別投入量

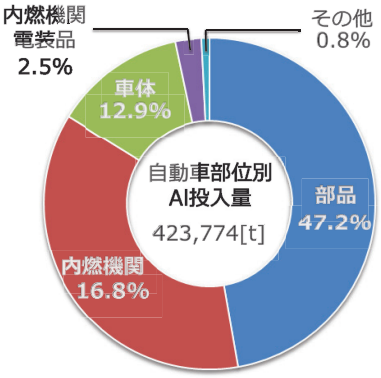


図２　アルミニウムの自動車部門部位別投入量

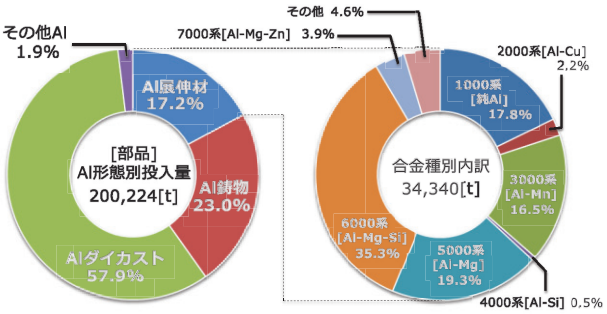


図３　各種部品におけるアルミニウム形態別投入量

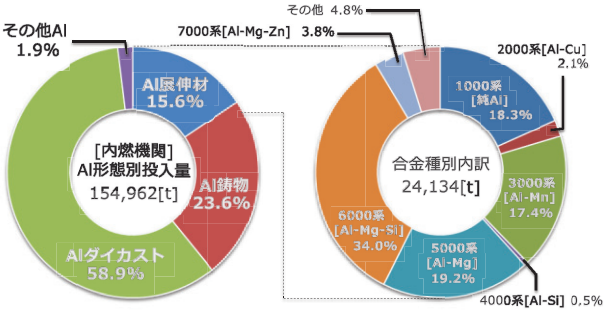


図４　内燃機関におけるアルミニウム形態別投入量

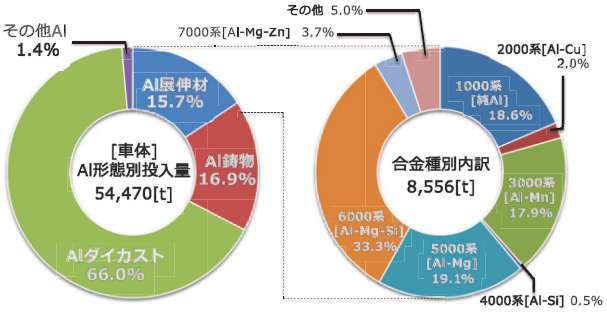


図５　車体におけるアルミニウム形態別投入量

レクリエーション価値を考慮した地熱発電のLCAとCVMの統合評価

Integrated assessment of LCA and CVM for geothermal powerplant considering the recreation value

○田久保竜馬*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Ryoma Takubo, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
*g0931130@tcu.ac.jp

1. はじめに

東日本太平洋沖地震を通じて発生した福島第一原子力発電所事故はエネルギー安定供給ならびに地球環境問題への社会的関心を一層高め、自然エネルギー利用の重要性が再認識された。中でも地熱発電は、太陽光発電や風力発電のように天候や季節変動の影響を受けず、比較的長期間の設備利用と電力供給が可能なクリーン発電である。また火山大国である我が国は世界第3位の地熱資源量があることから、他のクリーン発電より安定供給の面にて優位性がある。一方、1箇所で開発できる発電規模が、火力、原子力発電に比べて小さい点であること、土地が多く必要となる点、また有望な地熱資源のほとんどの地域が、国立・国定公園内にあり、掘削開発が規制されており開発が思うように進まないという点などがデメリットとして挙げられるが、2012年3月に国立公園での地熱発所設置基準が緩和され、福島県福島市の土湯温泉で国立公園特別地域内第一号となる開発が行われるなど注目が集まっている。

地熱発電のLCAについては、本藤ら(2000)が$LC\text{-}CO_2$を、高橋ら(2012)が土地利用の影響評価を行ったが、国立公園内に地熱発電所が建設された際の土地のレクリエーション価値などを考慮した事例はない。

2. 研究目的

以上の背景を踏まえ、環境影響評価手法であるLIME2を用いた地熱発電所の地球温暖化や土地利用による生物多様性と一次生産への環境影響評価と、WEB調査によるアンケートでCVM（Contingent Valuation Method）を行い地熱発電所が建設される国立公園のレクリエーション価値の統合評価を行い、環境影響評価とレクリエーション価値の関係を見ると同時に火力発電所との比較を行い、地熱発電所の優位性の有無を検証する。

3. 方法

3.1. 評価対象

本研究における評価対象は55MW級（敷地面積372,900m2）の新規に建設される地熱発電システム（ダブルフラッシュ方式）とし、評価範囲は、熱源基地（蒸気井、還元井、フラッシャー、汽水分離器）、発電所（タービン、発電機、復水器、変圧器）、冷却塔、配管から構成されるシステムとした。

また地熱発電所を仮想上で建設する土地は国立公園特別区域内で第一号に地熱発電所の建設が行われる磐梯朝日国立公園とした。

3.2 機能単位・システム境界・評価手法

本研究では地熱発電システムを、設備利用率60%で30年間運転した条件とし、システム境界は素材製造から建設・運用・修繕保守・運用時に漏出する蒸気中GHG・廃棄（埋立）の評価までとした。図1に評価範囲を示す。

また地熱発電所の基礎データに関しては本藤らが書いた「ライフサイクルCO_2排出量による発電技術の評価」のデータ[1)]を参考とした。蒸気中GHGのうちCO_2とCH_4の含有量については、地熱発電システムのCDMプロジェクトにおけるデータ[2)]を参考とした。地熱発電所の面積については評価対象と規模が類似している八丁原地熱発電所の面積をヒアリングし、土地利用について評価を行った。

算定には産業環境管理協会発行の計算ソフト「MiLCA」を使用し、環境影響評価手法ツールとしてLIME2を用いて地球温暖化、土地利用による生物多様性と一次生産への評価を行なった。国立公園のレクリエーション価値の変化についてはCVM（Contingent Valuation Method）を用いて評価を行い、WEB調査によるアンケートを実施した。

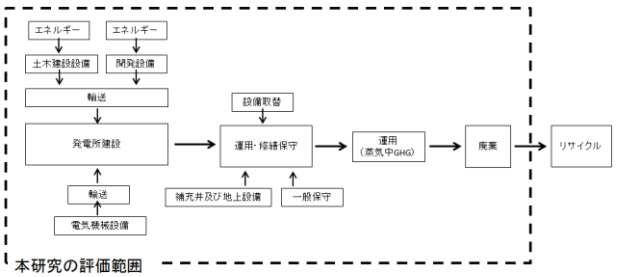


図1. システム境界

3.3 .CVMアンケート

仮想評価法（Contingent Valuation Method）は、価格及び市場が存在しない環境質といった非市場財の水準の変

化や便益を、直接人々に質問することにより求める手法である。アンケート調査を利用してある環境改善プロジェクトを行った場合と、それを行わなかった場合との効用水準の差をプロジェクト実施のために最大限払っても良い額を支払い意思額という形で聞き出すものである。本研究のCVM評価の概要については表1で示す。

表1. CVMアンケート概要

調査資料	レクリエーション（景観・生物多様性）
調査対象地	磐梯朝日国立公園
調査対象者	福島・山形・新潟在住の男女
回収サンプル数	生物多様性:100人、景観:100人
調査方法	Webアンケート
回答方式	二段階二項選択方式
支払手段	税金方式

4. 結果

はじめに地熱発電所1基建設に関するLC-CO_2評価と、特性化である地球温暖化の評価を行った。その結果を図2に示す。結果から漏出GHGの占める割合が大きいことがわかる。これは30年間運用し、生産される蒸気量は約2200万tとなり、その蒸気中に含まれるCO_2やCH_4が1kgあたり7.4g、0.005gと微量であっても大きな割合を占める結果となった。

修繕保守では補充井及び地上設備が約30%を占め、減衰していく蒸気井、還元井を年間0.5本、1本を補充井として掘削する必要があるため、大きな結果となった。

特性化である地球温暖化に関してはCO_2の影響が98.6%を占め、CH_4の影響は1.1%、N_2Oの影響は1%未満であることがわかった。

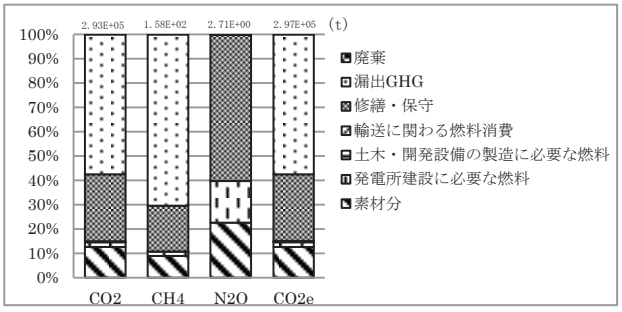


図2. インベントリ・地球温暖化

次に地熱発電所1基建設の際に必要となる敷地面積、資源の採掘に関わる土地、廃棄に関わる土地利用による生物多様性、一次生産への影響の評価を行った。その結果を図3で示す。地熱発電所の敷地面積の生物多様性への影響については、その他の原野が全体の約85%と大きく占めた。これは八丁原地熱発電所では敷地面積の約1割を設備が占め、約9割が造成を行っていない原野であるというヒアリングから得られた結果であり、原野は今後新たな蒸気井の掘削が必要となった場合の予備地である。一次生産への影響については蒸気井基地、その他の原野が全体の約60%を占める結果となった。前述のとおりヒアリングで得られた敷地面積が大きく影響している。

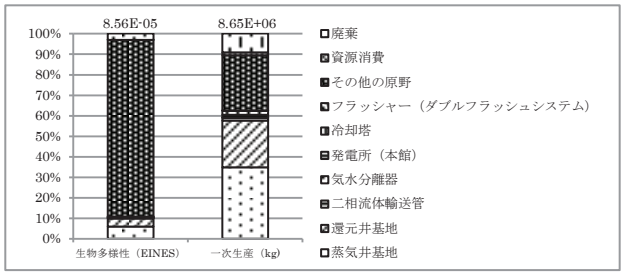


図3. 土地利用による被害評価

最後に地熱発電所1基建設に関する影響領域毎の統合評価を行った。その結果を下の図4で示す。結果から地熱発電所1基建設の被害金額は約34億円と試算された。

地熱発電所には土地を多く必要とするため、土地利用の影響が全体の約45%と最も多くを占め、地球温暖化の2.2倍の影響があることが分かった。また、今回はプラント設備の廃棄をすべて埋立としているため、廃棄の影響も大きな値となった。

ここから得られた結果と、CVM評価によって得られた国立公園のレクリエーション価値の結果をフォーカス的に分析し、火力発電施設と比較を行う。

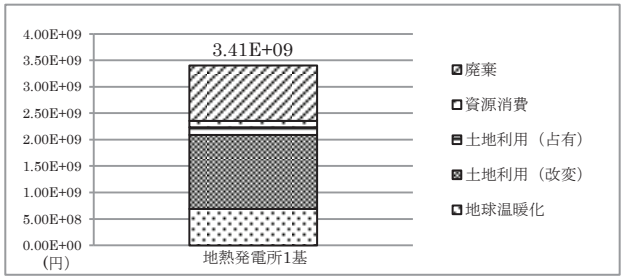


図4. 影響領域毎の統合化結果

5. おわりに

地熱発電の地球温暖化、地熱発電の敷地面積、資源採掘、廃棄（埋立）による土地利用における生物多様性、一次生産への影響、統合化の結果を示した。統合化の結果から被害金額は約34億円と試算された。

参考文献

1) 本藤祐樹, 内山洋司, 森泉吉恵 (2000) : ライフサイクルCO2排出量による発電技術の評価-最新データによる再推計と前提条件の違いによる影響（Y99009）

2) CDM-20MW Nasulo Geothermal Project (http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1157642385.05/view)

生活行動スケジュール分析による世帯の CO_2 排出量推計

Estimation of Household Carbon Dioxide by Living Activity Schedule Analysis

○金岡芳美*[1)]、森田紘圭[1)]、加藤博和[1)]
Yoshimi Kanaoka, Hiroyoshi Morita, Hirokazu Kato
1) 名古屋大学
*ykanaoka@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

気候変動問題に対する国際的な意識の高まりや、東日本大震災を契機としたエネルギー不足への懸念から、スマートシティやエネルギー利用平準化など、民生部門における地区ぐるみでのエネルギーCO_2削減の取り組みが検討されつつある。これらの取り組みを有効に機能させるためには、その地区で消費されるエネルギーの詳細な情報(時間帯別、消費用途別)が不可欠であり、そのデータベース整備が急がれる。

家庭部門に着目すると、個々の世帯が消費するエネルギーやピーク特性は、住まい方、利用交通手段、居住地に左右される生活スタイルによって異なる。また、ICT(Information and Communication Technology)の進展により、シェアハウスやテレワークといった新たな生活スタイルが普及していくことも想定される。データベースを整備する上では、これらの影響も反映される必要がある。

以上を踏まえ、本研究では、世帯を単位として、世帯類型・住宅タイプ・居住地・交通行動に応じた生活行動スケジュールを生成し、それを用いて時間帯別の住宅内エネルギー消費量と CO_2 排出量を算出しデータベースとして整備する。さらに、新たな生活スタイルが CO_2 排出量に与える影響の分析を行う。

2. 家庭起源の CO_2 排出量推計モデルの構築

家庭起源 CO_2 排出量推計のフローを図 1 に示す。モデルは、1)設定した世帯類型に応じて生活行動スケジュールを生成し各種機器使用スケジュールを導出するモデル、2)このスケジュールからエネルギー消費量と CO_2 排出量を時間帯別に推計するモデルから構成される。

2.1. 生活スタイル規定要因の設定

本研究では生活スタイルを規定する要因として、世帯類型、住宅タイプ、居住地、交通行動を考え、それらの組み合わせごとに CO_2 排出量を推計する。

世帯類型の設定には、まず総務省の平成 23 年社会生活基本調査から、性・ライフステージ・就業状態の異なる 11 の世帯構成員を定義し、それらの組み合わせから、7 種の世帯類型を設定した(表 1)。住宅タイプについては、戸建・集合別に世帯人数別平均延床面積[1)]と、誘導居住面積[2)]を設定した(表 2)。さらに、居住地として名古屋都市圏における都心・近郊・郊外(移動距離[3)]が変化)、交通行動として自動車と鉄道を想定した。

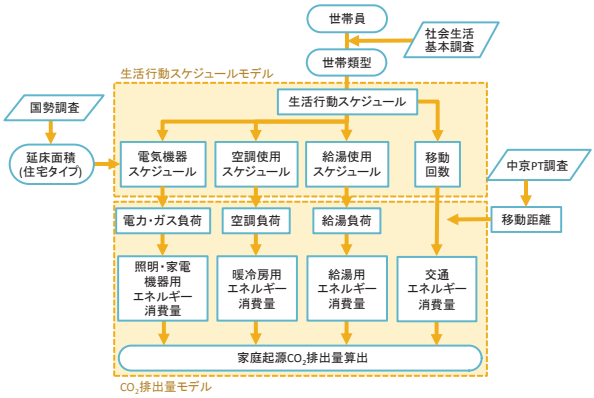


図 1　生活行動スケジュールに基づく家庭起源 CO_2 排出量推計の流れ

表 1　世帯構成員と世帯類型

区分	構成員
1	教育を受けている時期
2	男性-有業者-単身
3	女性-有業者-単身
4	男性-有業者-子供のいない夫
5	女性-有業者-子供のいない妻
6	女性-無業者-子供のいない妻
7	男性-有業者-子育て期の夫
8	女性-有業者-子育て期の妻
9	女性-無業者-子育て期の妻
10	男性-無業者-65歳以上
11	女性-無業者-65歳以上

区分	世帯類型		構成員
A	単身世帯	単身男性	2
B		単身女性	3
C	夫婦世帯	共働き夫婦	4, 5
D		就業する夫と専業主婦	4, 6
E		高齢者夫婦	10, 11
F	ファミリー世帯	共働き夫婦と子供 2人	1, 7, 8
G		就業する夫と専業主婦と子供2人	1, 7, 9
H		高齢者夫婦と単身男性と単身女性	2, 3, 10, 11

表 2　世帯人数と住宅タイプ

世帯人数(人)	平均延床面積 (㎡)		誘導居住面積水準 (㎡)	
	戸建	集合	戸建	集合
1	98.7	32.8	55	40
2	113.9	51.1	75	55
3	119.3	56.5	100	75
4	121.9	62.1	125	95

2.2. 生活行動スケジュールモデル

前述した社会生活基本調査の結果として得られている 20 活動種類別行動者平均時間と時間帯別行動者率から、生活スケジュール自動生成プログラム[4)]ユーザーガイド記載の手法を参考に、15 分毎の世帯構成員別生活行動スケジュールを生成し、それをもとに在室状況や活動区分に対応した電気機器、空調、給湯使用スケジュールを作成する。

2.3. CO_2 排出量モデル

上記スケジュールから、各活動における燃料別エネル

ギー消費量を算出し、さらに CO_2 排出係数を乗じて CO_2 排出量に換算する。電気機器による消費は、機器別の利用時間と時間毎のエネルギー消費原単位から、空調による消費は住宅タイプ毎の在室面積と気温に応じた月別空調負荷と在室運転時間から算出する。また給湯による消費は、各世帯構成員に応じた必要湯量から算出する。

一方、交通からの CO_2 排出量は、各世帯構成員の通勤・買い物・通院回数に、居住地によって異なる移動距離と、利用交通機関別 CO_2 排出原単位を乗じて算出する。以上を合算したものを家庭起源の CO_2 排出量とする。

3. 結果

3.1. 世帯類型別の CO_2 排出量推計結果

世帯類型別の CO_2 排出量を推計した結果、世帯人数が同じ場合でも、構成世帯員により年間 CO_2 排出量に大きく差が生じることが明らかとなった(図 2)。

専業主婦や高齢者夫婦など、在宅時間の長い世帯構成員を含む場合、有業者のみの世帯と比較して電気機器や冷暖房による CO_2 排出量が大きい。一方、時間帯別 CO_2 排出量について、ファミリー世帯を対象に推計したところ世帯類型によって 11 時頃と 18～20 時頃にかけてエネルギー消費量のピークが異なる結果となった。これは移動や炊事、入浴の時間が異なるためであり、生活行動スケジュールによる影響が現れている(図 3)。

3.2. 生活スタイル変化による影響

今後、普及の可能性がある新たな生活スタイルとして、「IT による交通代替」と「シェアハウス利用」を取り上げ、その影響を分析した。

「IT による交通代替」では、外出は一切せず仕事や買い物は在宅で行うと想定し、移動時間を趣味の時間に割り付けた[5]。分析の結果、ファミリー世帯では高齢者夫婦と単身男性・女性から成る世帯の CO_2 排出量削減が最も大きく、導入によって約 2 割減となった (図 4)。これは、在宅時に使用する照明・電気機器や冷暖房機器による排出が大きくなるものの、交通行動により発生する CO_2 排出量の減少が大きく上回っているためと考えられる。さらに、住宅タイプでは戸建より集合の CO_2 排出量の差が大きくなり、床面積の影響が見られる。

「シェアハウス利用」では、複数の単身世帯が同一住宅に住み、個室以外の部屋を共同利用すると設定した。分析の結果、1 つの住宅をシェアする人数が増加するほど 1 人当たりの CO_2 排出量が小さく、約 7 割削減された。

4. まとめ

本研究では、世帯類型や住宅タイプ、交通特性に応じた世帯の CO_2 排出量を推計するモデルを構築した。その結果、世帯人数が同じでも、世帯構成員の違いによりエネルギー利用のピーク時間や総排出量が大きく異なることが明らかとなった。また、生活スタイル変化として、「IT 活用」としたテレワーク・ネットショッピングや、「シェアハウス利用」の影響を分析した結果、ともに大幅な CO_2 排出量削減の可能性が明らかとなった。

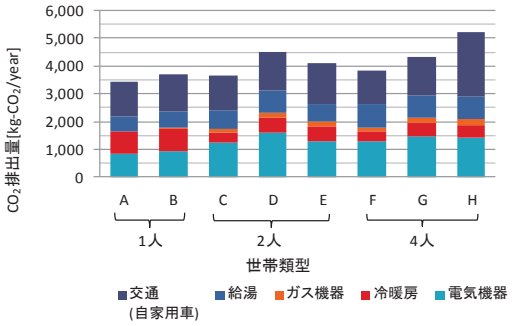


図 2　平均・戸建住宅の世帯類型別年間 CO_2 排出量

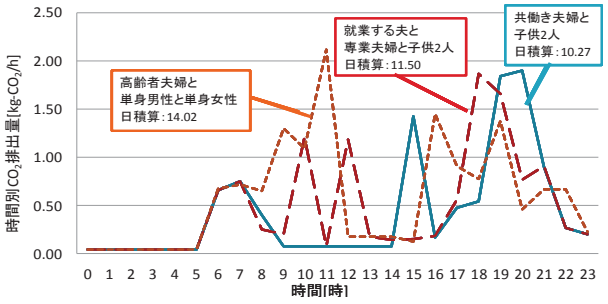


図 3　時間別 CO_2 排出量推移(4 人世帯での比較)

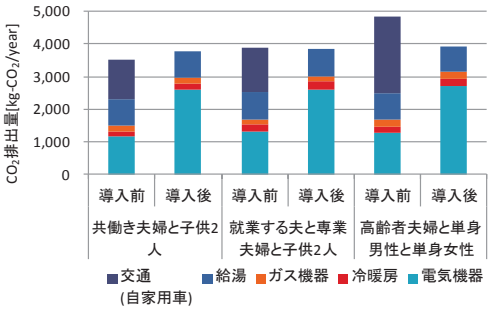


図 4　ファミリー世帯の年間 CO_2 排出量 - IT 導入前後

参考文献

1) 独立行政法人統計センター:平成17年国勢調査, 2005
2) 国土交通省：住生活基本計画(全国計画)，2011
3) 国土交通省：平成 13 年中京都市圏パーソントリップ調査
4) 空気調和衛生工学会　住宅の消費エネルギー計算法小委員会:生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver. 2. 0 ユーザーガイド，2000
5) 大西隆，松原浩子:生活時間の変化からみたテレワークの効果に関する研究，日本テレワーク学会研究発表大会論文集，2009

謝辞

本研究は、環境省地球環境研究推進費 E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

世帯構成変化に着目した家計消費に伴うグローバルGHG排出量の将来推計

Estimate of Japanese global GHG emissions considering the future transition of household composition

○重富 陽介*[1)]、南斉 規介[2)]、東野 達[1)]
Yosuke SHIGETOMI, Keisuke NANSAI, Susumu TOHNO
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所
*shigetomi.yosuke.46w@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

今日では地球温暖化に対する関心の高まりから、各国で温室効果ガス (Greenhouse gas: GHG) の排出量削減について議論されている。これには生産技術の改善だけでなく、消費者のライフスタイル (家計消費) の見直しも同様に重要な要素となる。しかし、家計消費に由来するGHG排出量は、マイカーや厨房における直接排出量だけでなく、消費した財・サービスの生産過程で生じる間接排出量も無視できない。このような直接排出と間接排出の双方を考慮したGHG排出量を同定する方法としては、ライフサイクル思考に基づく解析が有効である。

わが国では、今後少子高齢化の進行による消費形態の変化に伴う環境負荷への影響が予想されるが、国内外の負荷を包括的に考慮した研究はない。本研究では、将来のわが国の人口・年齢階層の推移に伴う家計消費の変化が日本および世界に誘発するエネルギー消費量、GHGおよびNOx排出量に着目する。これらを最新版である2005年の世界連結産業連関モデル (Global Link Input-Output model: GLIO) [1)] を用いて推計し、将来の環境負荷排出構造の変化を明らかにすることを目的とする。

2. 解析方法

2.1 世帯別環境負荷量の同定法

GLIOとは、日本の産業連関表を中心的に利用しつつ、国際サプライチェーンとの接続を体系的に網羅した産業連関モデルである。本研究では、これを用いるにあたり、日本の国産品と最終需要による直接輸入品の数をそれぞれ406部門、国外部門を230の国と地域に定義し、国外の輸出品における商品分類を112に設定した。GLIOでは家計消費は最終需要部門に総需要額のみが計上されているだけである。一方、家計消費の将来変化を考察するためには、世帯属性別の家計消費支出額や人口、世帯数などのデータが必要である。そこで世帯主年齢別の家計消費支出を総務省の全国消費実態調査 (全消) から、人口および世帯数の推移のデータを国立社会保障・人口問題研究所 (社人研) から用いた。

全消には、世帯人員別と世帯主年齢別の世帯ごとに1ヶ月あたりの平均家計支出額が項目別に掲載されており、これを年間値に換算した。ただし、調査対象の世帯数は実際の世帯数と異なるため、比例配分により実際の全世帯数の金額に換算し、世帯別の最終需要額を算出した。この値をもとに、各項目における世帯ごとの最終需要に占める消費割合を計算した。

次に、全消に付帯の収支項目分類表と工業統計コードをもとに、GLIOの各部門を対応する全消の項目に分類し、新たに67項目225部門に統合した。そのうち環境負荷に大きな影響を与えると考えられるGLIOの「石油製品」については、「ガソリン」「軽油」「灯油」「LPG」に分割して取扱い、それぞれの消費額をエネルギーバランス表から独自に計算して計上した。全消から求めた家計消費額とGLIOの最終需要部門の家計消費額は異なるため、分類された項目における消費額は、分類したGLIOの各部門の最終需要の総和とした。この結果をもとに、3EID[2)]およびNansai *et al* (2012)[3)]における国産品を対象とした環境負荷原単位 (百万円あたり) を用いて、家計内で直接消費・排出された量 (直接負荷) と、家計の購入品の生産過程で消費・排出された量 (間接負荷) を同定した。また、これらの値に先に求めた世帯別の消費割合を乗じることで、各世帯の環境負荷量を算出した。

2.2 2030年までの将来予測方法

GLIOの最終需要をもとに同定した環境負荷量をベースに、世帯主年齢別世帯の世帯数変化に伴う消費行動の変移を予測したものを組込むことで、その環境負荷量の推移を解析した。一般世帯人口数と世帯主年齢別の世帯数の推移については、社人研によって2030年まで推計されている。そのため本研究ではこのデータをもとに、2005年から2030年まで5年ごとの将来推計を行なった。具体的には、2005年におけるそれぞれの項目ごとに求めた世帯別の一世帯あたりの環境負荷量に、対応する推計世帯数を乗じることで世帯数変化を反映した将来値を推定した。

3. 結果と考察

3.1 2005年のグローバルGHGおよびエネルギー消費

本要旨ではエネルギー消費とGHG排出における直接・間接負荷量の解析結果について概説する。

直接負荷は、ガソリンや灯油等の石油製品と都市ガス

の消費に由来するとして計算を行なった。2005 年におけるこれらからの直接負荷量は、それぞれ 184 Mt-CO_2eq (石油製品から 137 Mt-CO_2eq、都市ガスから 46.9 Mt-CO_2eq)、2811 PJ (低位発熱量値) (同様に 2093 PJ、718 PJ) となった。一方で、同年の間接負荷量の計算結果は、それぞれ 584 Mt-CO_2eq 、7516 PJ となった。直接負荷量と比較すると、それぞれ 3.2 倍と 2.7 倍大きい値であることから、消費行動による環境負荷の寄与の重大性が示唆される。両者を部門別でみると、ともに「事業用電力」による負荷が最大であり、「ガソリン」「乗用車」といった交通・通信に関する部門が目立つ。しかし、「一般飲食店 (除喫茶店)」「そう菜・寿司・弁当」「遊戯場」といった、食事や娯楽等のより身近なライフスタイルに関連すると思われる部門の影響も大きいことがわかった。

ところで間接負荷量の原単位は、購入する消費財において、それが国内で生産する際に直接的に発生する負荷量 (国内直接)、国内生産に伴って間接的に発生する負荷量 (国内間接)、海外での生産に伴って間接的に発生する負荷量 (海外) の 3 種類別に示されている [3)]。その種類別負荷量を比較すると、GHG は国内間接の負荷量の寄与が、エネルギーは国内直接の負荷量の寄与が最大で、それぞれ 38.2%と 40.5%であった。また、海外の負荷量はそれぞれ 27.5%と 21.4%で、海外サプライチェーンを通じた負荷も決して小さくないと言える。特に「事業用電力」や「ガソリン」、「一般飲食店 (除喫茶店)」等の、部門別で海外由来の比率が高く負荷量が大きい部門は、それらの消費抑制によってグローバルな領域でも環境負荷削減に貢献できる余地があると考えられる。

3.2　2030 年までの変化

世帯主年齢が 30 代未満の世帯から 70 代以上の世帯までの、2005 年から 2030 年にかけての直接・間接 GHG 排出量の推移を図 1 に示す。世帯数自体は 2015 年に最大の 5060 万世帯 (2005 年比で+3.1%) となり、GHG 排出量もその年に 783 Mt-CO_2eq で最大になるが、その増加率は同年比で+2.0%であった。その後排出量は減少していき、2030 年には 749 Mt-CO_2eq となった。図 1 からは、30 代以下の世帯による排出寄与が減少の一途を辿る一方で、50 代以上の世帯による排出寄与が増大していることが伺える。特に 70 代の世帯による排出量の伸びが目立ち、今後高齢世帯のライフスタイルに関連性の強い分野における負荷削減余地を探ることも重要であると考えられる。

また、2030 年の GHG 排出量を部門別で捉えるとき、2005 年から大きく増加あるいは減少する部門を表 1 に示す。「ガソリン」を筆頭に、「一般飲食店 (除喫茶店)」「乗用車」は排出量自体も大きい部門であるが、2010 年からすでに減少していく傾向が見られる。その一方で「灯油」や「事業用電力」は、それぞれ 2020 年と 2015 年をピークに増加幅が小さくなるものの、2030 年でも 2005 年比で増加しており、その排出の 90%以上が国内での排出である。今後、一昨年の福島第一原発事故を受けての発電形態の転換次第では、さらに我々の電力使用による国内環境負荷が増大することも考えられる。また次点の「酪農品」や「宿泊業」は、国外割合が 20%を超えて高い部類に入り、海外のサプライチェーンにおける技術改善も視野に入れた対策が重要となる。

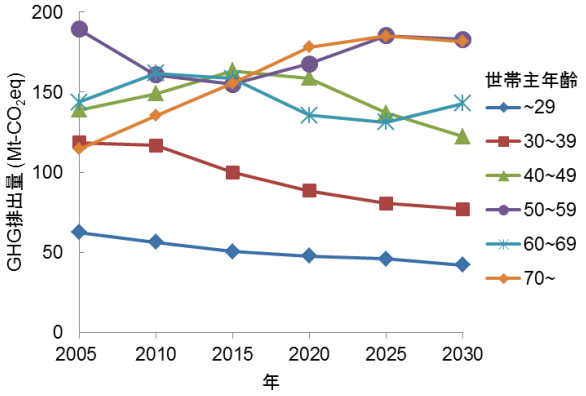


図 1　2005 年から 2030 年までの総 GHG 排出量の世帯別推計結果。

表 1　2030 年において家計消費に由来する GHG 排出量が 2005 年と比較して最も増加 (上表) または減少 (下表) する上位 5 部門とそれらの国内外排出割合。

部門名	変化量 (Mt-CO_2eq)	国内割合 (%)	国外割合 (%)
灯油	3.61	93.6	6.4
事業用電力	0.99	92.1	7.9
酪農品	0.48	78.3	21.7
精穀	0.48	87.8	12.2
宿泊業	0.33	77.5	22.5

部門名	変化量 (Mt-CO_2eq)	国内割合 (%)	国外割合 (%)
ガソリン	-9.96	87.2	12.8
一般飲食店（除喫茶店）	-3.38	71.3	28.7
乗用車	-1.36	75.2	24.8
住宅賃貸料	-1.14	79.5	20.5
道路貨物輸送（除自家輸送）	-0.92	86.3	13.7

4.　引用文献

1) Nansai, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Suh, S., Inaba, R., Nakajima, K.: *Econ. Syst. Res.,* 21(3), 267-290 (2009).
2) 南斉 規介, 森口 祐一: 3EID (2012).
3) Nansai, K., Kondo, Y., Kagawa, S., Suh S., Nakajima, K., Inaba, R., and Tohno, S.: *Environ. Sci. Technol.,* 46 (16), 9146-9154 (2012).

PSP 製食品トレーの環境情報開示による消費者行動の分析

An analysis of consumer by environment information disclosure of food trays made by polystyrene paper

○田口彩*[1)]、柴田真希[2)]、阿部浩司[3)]、井上達弘[4)]、富樫英治[4)]、伊坪徳宏[1)]
Aya Taguchi, Maki Shibata, Kouji Abe, Tatsuhiro Inoue, Eiji Togashi, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) まちこらぼ, 3) 世田谷区, 4) エフピコ
*g0931131@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、循環型社会の形成や廃棄物問題の対策として、容器包装リサイクル法の施行・改正に伴いごみの 3R が推進され、廃棄物の管理・再生率の向上に関する社会的関心が高まっている。容器包装廃棄物は家庭から排出される一般廃棄物の約 6 割（容積比）を占めるため、消費者の廃棄物排出抑制への取組みが一層求められる。なかでも、PSP 製食品トレーの資源回収率は回収システムが構築されてから 20 年以上経過しているが、27%と極めて低い。CFP をはじめとした“環境情報の見える化”に対する注目が高まる中、PSP 製食品トレーの回収に伴う CO_2 削減効果を定量的に開示することによって消費者行動を再生率の向上に繋げることが期待される。

本研究では LCA の考え方を用いて、PSP 製食品トレーのバージントレーとリサイクルによって作られたエコトレーの評価比較を行い、消費者に環境情報を店頭開示することで、回収・再生に向けた行動の変化やごみの発生抑制にどのような影響があるかアンケートにより調査・分析する。

2. 方法

2.1 評価対象・システム境界

本研究は、株式会社エフピコが製造しているバージントレー（FLB－A15-30）とエコトレー（エコ FLB－A15-30）を評価対象とした。基準フローはトレー1 枚（バージントレー：4.1g[1)]、エコトレー：4.5g[2)]）とし、評価対象物質は CO_2 とした。図 1 にシステム境界を示す。バージントレーは製造段階から廃棄段階まで、エコトレーは使用後廃棄処分される場合と使用後も回収し再利用される場合との 2 通りを仮定し算出を行う。なお、両トレーとも使用段階は含まないこととする。

図 1　システム境界

2.2. インベントリ分析

2.2.1. データ収集

製造者へのヒアリングを重視し、株式会社エフピコの協力の下、バージントレー、エコトレーのいずれも 1 次データを収集した。

2.1.2. 計算方法

LCA ソフトウェア MiLCA を使用してインベントリ結果を算出した。

2.3. 開示・アンケート調査方法

2.3.1. 店頭調査方法

算出したトレーの CO_2 排出量と従来のトレーを利用した場合に対して、エコトレーに変えた場合とノートレー（ポリ袋での販売）にした場合による CO_2 排出量の比較結果をポスターやポップ（図 2）にして世田谷区内のスーパー2 店舗にて情報開示を行った。なお、ノートレー商品の数値は 3R 原単位の算出方法[3)]を用いた。

店内のトレーの回収ボックスやトレー商品の売り場にて掲示し、消費者に対して環境情報の開示を行った。約 1 ヶ月間開示した後に消費者に対し無差別にアンケート調査を行い、その結果とアンケート調査の前月、翌月のトレーの回収量の変化について調査を行った。アンケート項目及び結果は図 3 に結果と共に示す。



図 2　店頭掲示 POP

3. 結果

3.1. 評価結果

バージントレーとエコトレーの CO_2 算定結果を図 4 に示す。CO_2 総排出量はバージントレー34g-CO_2、エコトレー27g-CO_2 と算出された。回収し再利用を繰り返すことで、さらに 16 g-CO_2 まで可能である。この結果から、リサイクルにより CO_2 排出量は 2～5 割削減できることがわかった。特に素材製造段階と廃棄段階において削減効果が認

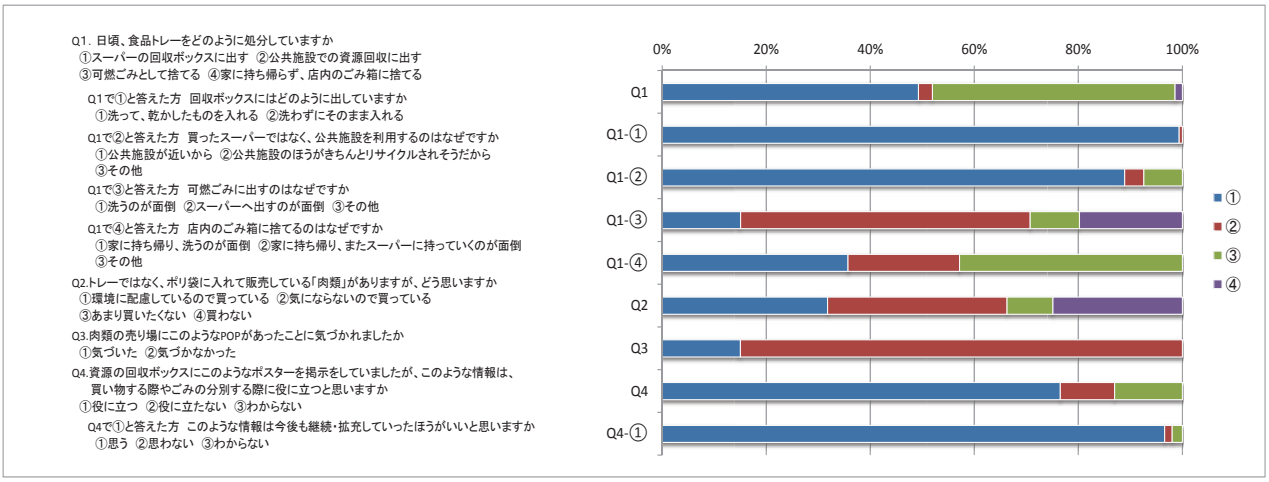


図３　アンケート調査の結果

められた。原材料である PS 樹脂に代わり、再生原料ペレットを使用することによる原材料の使用量と焼却処分量が削減され、CO_2 の削減に大きく寄与する結果が得られた。

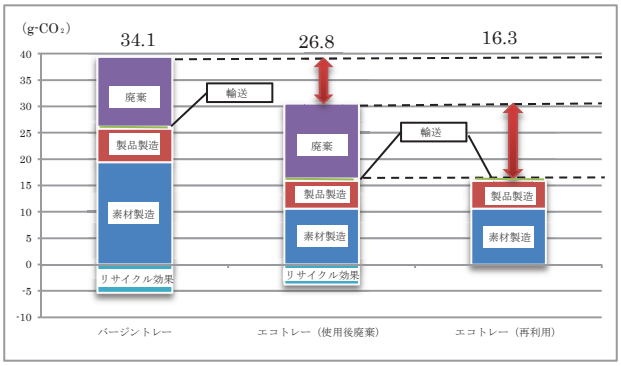


図４　CO_2 算定結果

3.2. アンケート集計結果

図 3 にアンケート調査の単純集計結果を示した。世田谷区内のスーパーで計 4 日間調査を行い、997 サンプル（男性 11%、女性 89%）収集した。そのうち、世田谷区民が 96%であった。集計結果として、トレーのリサイクルを行っている人が約 49%、ごみとして処分している人が 47%という結果が得られ、ほぼ同等の割合となった。環境情報の開示に関する項目では、情報開示が役に立つと考えている人が 77%に達し、かつ今後も情報開示を拡充していくべきだと考える人が 9 割以上という結果が得られた。この結果は、環境情報の開示に消費者の期待と関心が高まっていることを強く示す。

3.3. クロス集計結果

この結果をもとにクロス集計を行った。Q3 と Q 2 の分析結果を表 1 に示す。この結果から、環境配慮のためノートレー商品を購入している人は環境情報の掲示に気が付く割合が大きいことが分かる。同様に Q1、Q4 とのクロス集計を行った結果でも普段からリサイクルをしている人、環境情報の開示に関心を持っている人ほど、環境情報の掲示に敏感であるという結果が得られた。

表１　クロス集計結果（Q3 - Q2）

Q3		回答数	1	2
全体		997	150	847
Q2	1	317	79（53%）	238（28%）
	2	344	41（27%）	303（36%）
	3	88	8（5%）	80（27%）
	4	248	22（15%）	226（27%）

4. おわりに

本研究では、PSP 製のバージントレーとエコトレーの CO_2 排出量の算定を行った。バージントレーをエコトレーにリサイクルすることで CO_2 排出量を 2～5 割削減できることが分かった。その結果を消費者に対し店頭で情報開示を行い、アンケート調査を行った。

アンケート調査により、消費者の環境に対する関心は非常に高いという結果を得ることはできたが、環境情報の認知度は全体の 15%と非常に低いという結果となった。環境情報の開示に関心がある人は掲示物だけで気が付く人が多い一方、関心が低い人の注意を掲示物だけで向かせることは難しい。アンケートの実施により初めて環境情報の存在に気が付いた人が多いことから、調査と合わせて説明を行ったり、リーフレットを配る等の積極的なアプローチが必要である。今後、消費者・店舗・情報発信する我々が連携をとり、環境情報の認知度向上のための取り組みを行っていくことがより一層求められる。また、情報を得てからの消費者の行動変化を調査し、環境情報開示の意義を見出していくことが今後の課題である。

参考文献

1)　（社）産業環境管理協会：エコリーフ　No.CK-08-001
2)　（社）産業環境管理協会：エコリーフ　No.CK-08-004
3)　環境省廃棄物・リサイクル対策部企画課循環型社会推進室：3R 原単位の算出方法（2012）

居住者の家族属性、ライフスタイルがエネルギー消費量へ与える影響の分析

Study on Effect of Family Type and Lifestyle on Energy Consumption in Residence

○浦田麻衣*[1)]、伊香賀俊治[1)]、富越大介[1)]
Mai URATA, Toshiharu IKAGA, Daisuke TOMIKOSHI
1) 慶應義塾大学
*ryu-kin.urata@z5.keio.jp

1. はじめに

近年、気候変動問題の深刻化に伴い、省エネ対策が急務とされている[文1)]。これを受け、家庭ごとにエネルギー消費量等の「見える化」を行うHEMS[注1)]の導入等、居住者による省エネ対策の実施促進が図られている[文2)]。さらに、2011年3月の東日本大震災を受けて、ピークカットやピークシフトの視点を盛り込んだ省エネ対策の強化が推進されている[文3)]。しかし、家族属性[注2)]やライフスタイルによりピーク時刻は異なり、それによりエネルギー消費量にも影響があると考えられる。そこで本研究では、ライフスタイルと関係の強いピーク時刻に着目し、エネルギー消費量へ与える影響の分析を行う[注3)]。本研究を通し、居住者の家族属性やライフスタイルにより異なるエネルギー消費量を明らかにし、居住者の省エネ対策実施を一層促進することを目指す。

2. 研究概要

居住者の家族属性やライフスタイルに関するアンケート調査とエネルギー消費量測定等の生活実態調査を実施した。エネルギー消費量測定に基づき、エネルギー消費量のピーク時刻を算出し、居住者の家族属性やライフスタイルがエネルギー消費量へ及ぼす影響の分析を行った。

3. 居住者の生活実態に関する調査の実施

居住者の家族属性やライフスタイルの把握を目的として、大手住宅メーカーの省エネ・創エネ住宅（表S3）居住者にアンケート調査を行った。さらに、1時間ごとのエネルギー消費量データや住宅の図面、性能データを、同住宅メーカーを通じて入手した（表1）。調査の結果、長子の年齢が低い世帯が多いことがうかがえた（図S1）。

4. 居住者の家族属性やライフスタイルがエネルギー消費量へ与える影響

調査対象者のうち、暖冷房、給湯、照明その他の用途別にエネルギー消費量を測定している居住者を抽出し、それぞれのピーク時刻やエネルギー消費量を比較した。エネルギー消費量は世帯人数の補正を行った（図S2）。

4.1 暖冷房消費に関する分析

図1に暖冷房エネルギー消費量ピーク時刻のヒストグラム[注4)]を示す。暖房に関しては、ピーク時刻が6時～7時の居住者が多かったのに対し、冷房に関しては、ピーク時刻が日中から夜間までばらつきが見られた。ピーク時刻のばらつきが大きい冷房に関して、ピーク時刻とエネルギー消費量[注5)]の関係を図2に示す。ピーク時刻が日中の居住者は夜間の居住者に対して有意にエネルギー消費量が少ない結果となった。対象者の住宅は断熱性能が良いため、日中から冷房を使用することで夜間まで部屋の温度を低く保つことができ、夜間に使用するエネルギーを少なく抑えることが可能であったと考えられる。

表1　生活実態に関する調査概要

調査期間	アンケート：2011年8月中旬～9月下旬 データ：2010年9月1日～2011年8月31日
調査対象	大手住宅メーカーの省エネ・創エネ住宅入居者
サンプル	配布数：205　　回収数（回収率）：132（64.4%）
調査内容	①アンケート調査（表S1） ②エネルギーデータ、住宅データ調査（表S2）

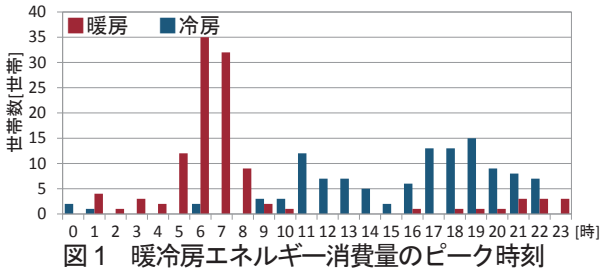


図1　暖冷房エネルギー消費量のピーク時刻

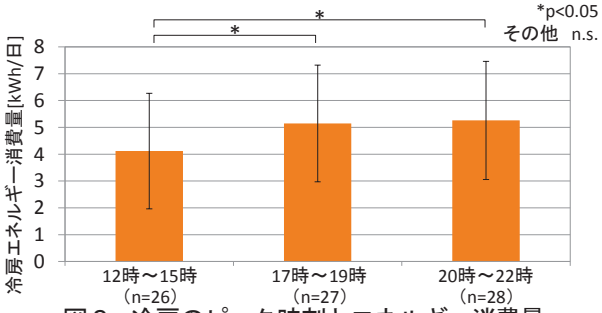


図2　冷房のピーク時刻とエネルギー消費量

4.2 給湯消費に関する分析

図3に給湯エネルギー消費量ピーク時刻のヒストグラム[注4)]を示す。夏期、冬期共に18時から22時にかけてピークを迎える居住者が多いが、冬期は夏期に比べてピーク時刻が遅い方にシフトしている。これは、夏期に湯張りを行わない居住者がいることや、冬期に追い炊き機能を利用して入浴する居住者が多いこと等が原因であると考えられる。図4に夜間におけるピーク時刻と給湯エネルギー消費量の関係を示す。夏期は、エネルギー消費量との関係があまり見られなかった。元々のエネルギー消

費量が少ないために、ライフスタイルの違いが差として表れにくかったと考えられる。一方、冬期は 17、18 時にエネルギー消費量が多い。この要因として、この時間帯に浴槽に湯をためる居住者が多いことが考えられる。また、19 時～21 時にかけてはピーク時刻が遅い程エネルギー消費量が増加した。追い炊き利用の増加、風呂残り湯の熱回収の困難さが原因として考えられる。

4.3　照明その他消費に関する分析

図 5 に照明その他エネルギー消費量ピーク時刻のヒストグラム[注 4)]を示す。ピーク時刻は多くの居住者が夜であったが、朝の居住者も見受けられた。図 6 にピーク時刻と照明その他のエネルギー消費量の関係を示す。ピーク時刻が朝の居住者は、エネルギー消費量が多い傾向がみられ、ピーク時刻が夜の居住者の中では、ピーク時刻が遅い程エネルギー消費量が増加する傾向が見られた。

また、代表として照明その他に関して、図 7 に長子の年齢別のエネルギー消費量を示す。長子の年齢が高い程エネルギー消費量は増加しており、長子の年齢が高い程ピーク時刻が遅くなることでエネルギー消費量が増加する可能性がある。しかし、ピーク時刻と長子の年齢に関してはサンプル数の少なさ等が原因で関係が見られなかったため、今後サンプル数の確保、詳細なライフスタイルの把握が必要である。また、暖冷房、給湯の長子の年齢別エネルギー消費量は図 S3～S5 に示す。

5.　まとめ

①暖房と冷房のピーク時刻は大きく異なり、冷房に関しては、ピーク時刻が日中である居住者は夜間である居住者に対して有意にエネルギー消費量が少なかった。

②給湯に関しては、冬期の方が夏期に比べてピーク時刻が遅い方にシフトしており、冬期は 19 時～21 時にかけてピーク時刻が遅い程エネルギー消費量が増加した。

③照明その他に関しては、ピーク時刻が朝と夜に分かれ、ピーク時刻が遅くなる程、また長子の年齢が高い程、エネルギー消費量が増加する傾向が見られた。

参考文献

1) 環境省, 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ ～環境大臣 小沢鋭仁試案～, 2010.3

2) 経済産業省, スマートハウス標準化検討会 とりまとめ概要, 2012.2

3) 経済産業省, 平成 25 年度 経済産業対策の重点, 2011.9

4) 中野淳太他, 温暖地域にある全電化環境配慮型住宅のエネルギー使用特性に関する研究（第 2 報）年間エネルギー使用特性, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2012.9, pp.473-476

【注釈】1) Home Energy Management System：家庭におけるエネルギー消費状況の表示等を行う管理システム　2) 世帯構成や家族構成に加え、子供の年齢や妻の就業の有無等を考慮する　3) 本研究と同データを用いて中野らが全電化環境配慮型住宅のエネルギー使用特性を明らかにした[文 4)]。本研究では、エネルギーデータに加え、アンケート調査を実施し家族属性等との関係を分析する　4) 居住者毎、1 日毎のピーク時刻を算出し、各居住者で最頻値となった時刻をピーク時刻とした　5)代表として東京で平均外気温が 24 度以上となる 2010/9/1～9/14、2011/6/21～8/31 を冷房期間とし、各居住者に対し図 1 で示したピーク時刻の日のエネルギー消費量を平均した値。また、使用期間の影響を排除するため 1 日あたりの消費量に換算した

【謝辞】本研究の遂行にあたり多大な御協力、御助言を頂きました細井昭宏様、船曳仁様、浦田啓介様、アンケートにご協力いただいた皆様、その他関係者の皆様に感謝の意を表します。

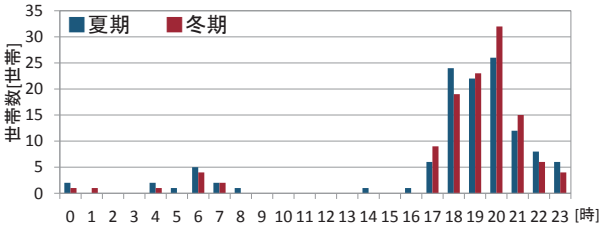


図３　給湯エネルギー消費量のピーク時刻

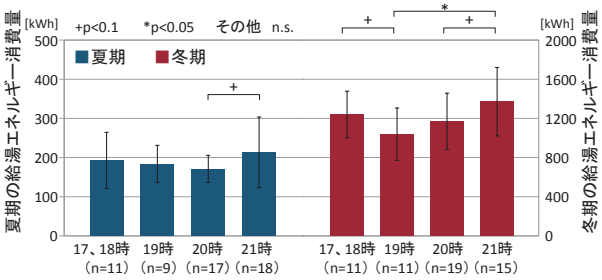


図４　給湯のピーク時刻とエネルギー消費量

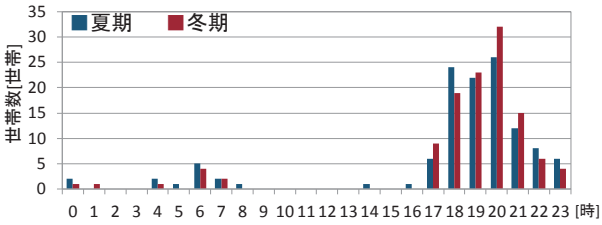


図５　照明その他エネルギー消費量のピーク時刻

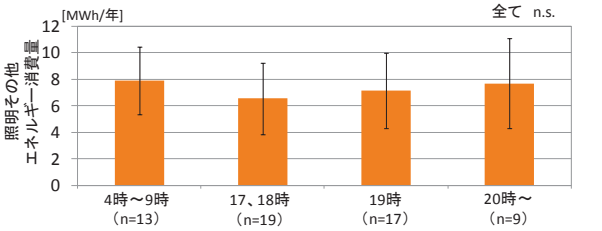


図６　照明その他のピーク時刻とエネルギー消費量

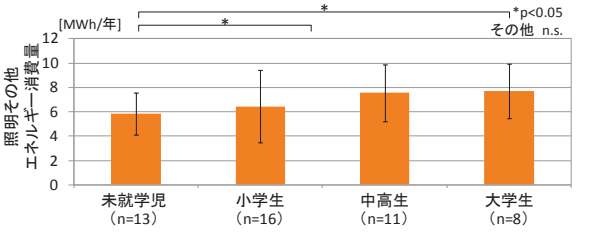


図７　長子の年齢別の照明その他エネルギー消費量

表Ｓ１　アンケート調査内容

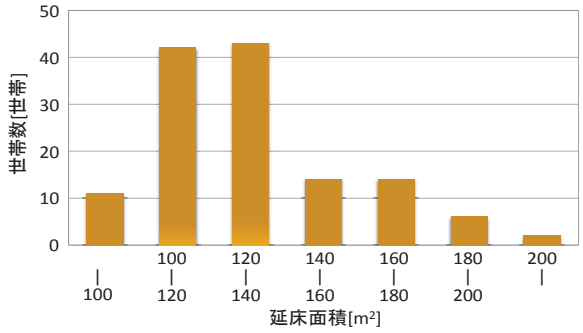
調査内容	1）住まいと家族（2 問） ①家電の所有状況 ②家族構成 2）冬期・夏期の過ごし方の現状（16 問） ①暖冷房使用機器 ②設定温度 ③使用時間 ④使用期間 ⑤加湿器、除湿器の有無 ⑥冬期・夏期に行う工夫 ⑦入浴回数、給湯温度 ⑧調理回数 3）省エネ対策実行度（30 項目） 1.全く実行しない～5.常に実行するの 5 段階評価 4）環境問題・健康に対する意識（4 問） ①地球環境問題への関心 ②地球環境問題に対する努力 ③健康への関心 ④健康に対する努力
所要時間	約 15 分

表Ｓ２　データ調査内容

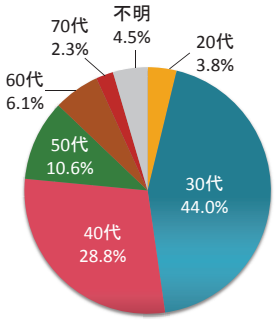
調査内容	1）電力に関するデータ（1 時間毎） ①太陽光発電量 ②売、買電力量 ③エアコンの消費量（一部の居住者のみ） ④冷蔵庫の消費量（一部の居住者のみ） ⑤給湯の消費量（一部の居住者のみ） 2）住宅に関するデータ ①住宅性能 ②建築地 ③延床面積 ④図面

表Ｓ３　対象住宅の概要

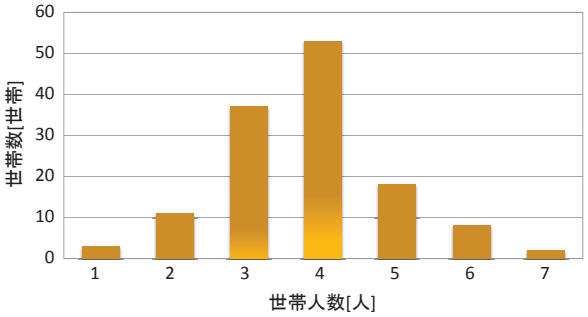
構造	軽量鉄骨造
形態	戸建住宅
省エネ地域区分	Ⅳ地域
断熱性能	2.7W/m^2・K 以上 （H11 年省エネ基準以上）
設置機器	・太陽光発電器 ・太陽熱集熱パネル連携ヒートポンプ給湯機 ・省エネ見える化装置



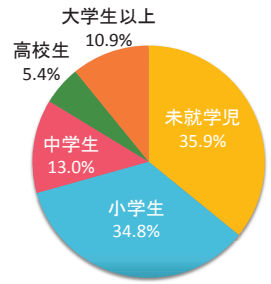
（ｉ）延床面積



（iii）回答者年代

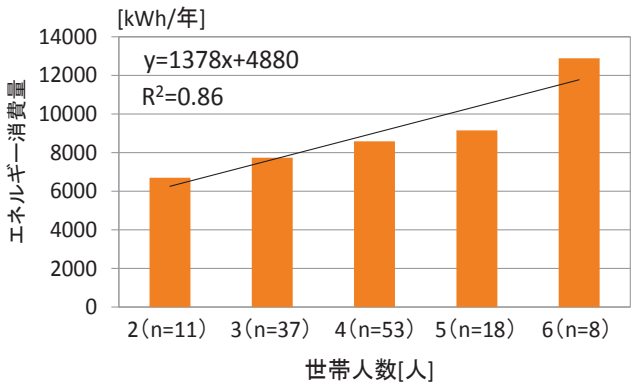


（ii）世帯人数

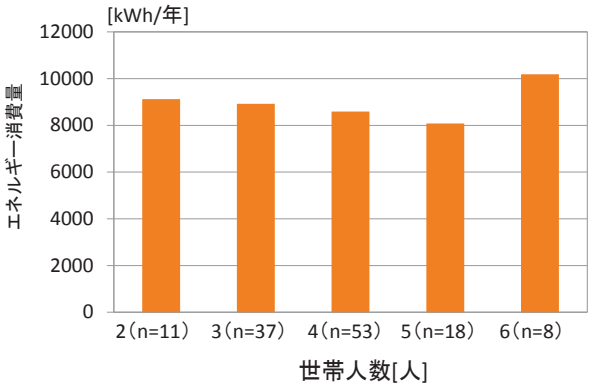


（iv）長子の年齢

図Ｓ１　対象者の属性

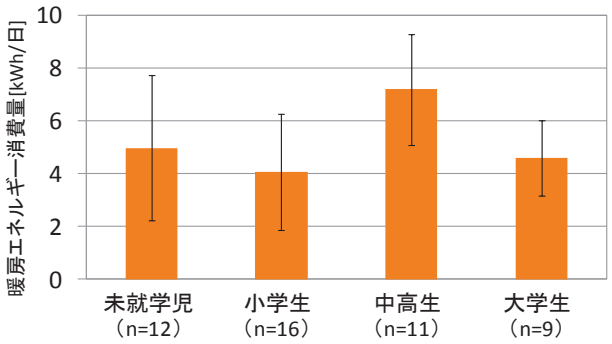


（ｉ）補正前の世帯人数別エネルギー消費量

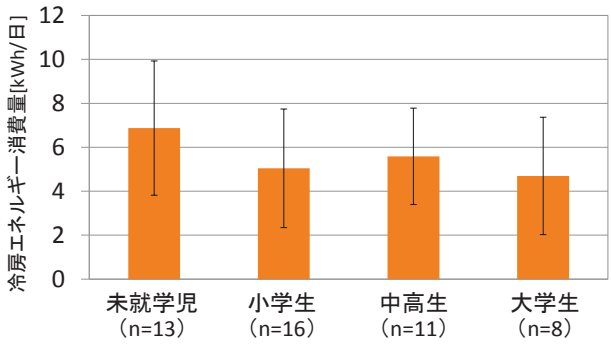


（ii）補正後の世帯人数別エネルギー消費量

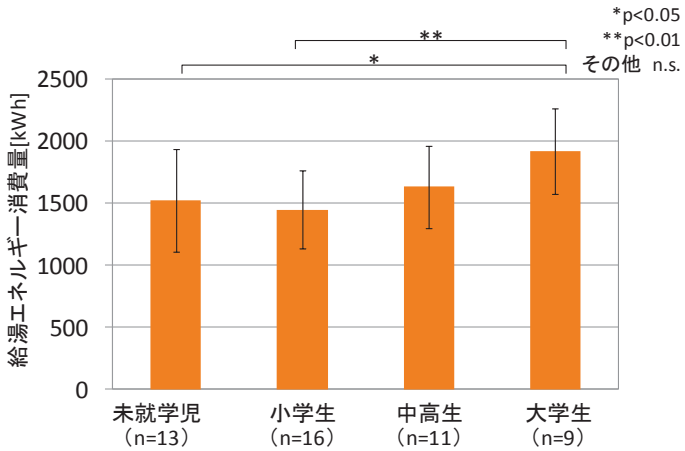
図Ｓ２　世帯人数別エネルギー消費量



図Ｓ３　長子の年齢別の暖房エネルギー消費量



図Ｓ４　長子の年齢別の冷房エネルギー消費量



図Ｓ５　長子の年齢別の給湯エネルギー消費量

高齢者の節電意識の評価

A Case Study on Power Saving Consciousness of Older Household

○木村大樹*[1)]、岡田龍幸[2)]、八木田浩史[1)]
Daiki KIMURA, Tatsuyuki OKADA, Hiroshi YAGITA
1) 日本工業大学, 2) 日本工業大学大学院
*sasu.d25@gmail.com

1.　背景と目的

現在、孤独死や熱中症の増加など様々な高齢医者問題がある。団地では年々居住者が下降減少しており、住民のほとんどが高齢者世帯である。団地の面積の関係上別世帯も含めた大人数で暮らすことは難しく、収入が年金のみの世帯も多い[1)]。

2011 年には東日本大震災が発生し、特に関東地方で節電が重要視された。家庭部門では、電力ピーク時の平日午後には仕事のため不在のケースが多く、ピーク時の節電効果は 3 部門（大口、小口、家庭）中 1 番低い数字となっている[2)]。家庭の中でも高齢者世帯（特に年金暮らし）は、働いている人に比べ在宅時間が長く、電気料金の値上げにより家計が大きく左右される。

本研究では、電力供給不足と高齢者の生活に関係する“節電”に着目し、全体の消費量削減やピークカット、熱中症を代表とした健康面の問題など、節電を構成する様々な要素について評価を行うことを目的とした（図 1）。

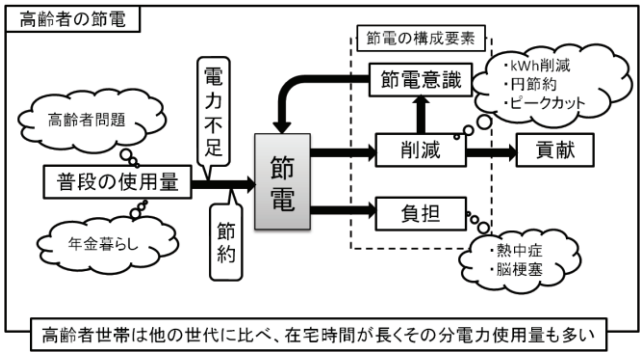


図 1　本研究の全体像

本稿では、節電を構成する要素である節電意識と電力消費量の現状分析を行ったものを報告する。

2.　研究方法

調査対象を、埼玉県上尾市に位置する「尾山台団地」の 60 歳以上の高齢者とする。団地内で 2012 年 8 月 1 日（水）に行われた喫茶会というイベントを活用し、参加者 69 名に主に節電意識を問う内容のアンケート調査をおこなった（表 1）。

併せて東京電力からの「電気ご使用量のお知らせ」を回収して、2010 年からの電力使用量の推移を調査し、節電の意識と電力消費量の現状を明らかにした。

表 1　実施したアンケート

	質問内容	回答項目
質問1	震災以前から節電を意識していましたか	・とても意識した　・意識した ・少し意識した　・意識していない
質問2	昨年発生した震災を受けて 節電を意識しましたか	
質問3	節電を意識する きっかけは何ですか	・震災をきっかけとして ・家計の節約 ・電力不足のニュースを見て ・まわりの影響でなんとなく ・環境問題のニュースを見て ・環境問題に危機感を感じている ・義務感のようなものがある ・埼玉県の取り組みを知って ・その他
質問4	昨年と今年で、節電の意識に 違いはありますか	・去年より高い　・去年と同等 ・去年より少し低い　・低い
質問5	節電のために暑さを我慢してエアコン の使用を控えることはありますか	・よくある　・時々ある ・ない　・あるが苦にならない
質問6	震災後、新たに取り組んだ 節電対策はありますか	・はい ・いいえ

3.　研究結果

3.1.　高齢者の節電意識

震災前後の高齢者の節電意識の変化と、節電のきっかけの回答結果を表 2 に示す。

表 2　アンケートの回答

質問内容		回答数(人)
節電意識の	震災前	
	とても意識した	24
	意識した	20
	少し意識した	21
	意識していない	2
節電意識の	震災後	
	とても意識した	33
	意識した	24
	少し意識した	11
	意識していない	0
節電のきっかけ		
	震災をきっかけとして	36
	家計の節約	23
	電力不足のニュースを見て	30
	まわりの影響でなんとなく	3
	環境問題のニュースを見て	16
	環境問題に危機感を感じている	15
	義務感のようなものがある	7
	埼玉県の取り組みを知って	6
	その他	2

震災後の意識の違いについては、震災後に「とても意識した」と回答した人数が 33 人、「意識した」との回答が 24 人と、この 2 つの質問の回答者が大半を占めており、震災をきっかけに節電意識が高まった人が多いことが分かる。震災前の意識では、震災後の意識程ではないが「とても意識した」と回答した人数が 24 人、「意識した」との回答が 20 人と全体の約 2/3 であった。

節電のきっかけについては、「震災をきっかけとして」との回答が 36 人と最も多く、次いで「電力不足のニュースを見て」、「家計の節約」という結果になった。上位 2 つの質問は震災関連なので、「震災前後の節電意識」の回

答結果と同じく高い傾向が見られた。「家計の節約」と「環境問題のニュースを見て」、「環境問題に危機感を感じて」の質問は震災に直接関係する部分は少ないが、上位の質問には及ばないものの 1/3 程度の人が回答した。前の質問の震災前の節電意識が高いという回答結果も含め、家計的要因や普段の環境問題の関心の高さから節電を実施している世帯が多いという結果となった。今後は電力不足が解消されていくうちに節電意識も今より低くなると予想されるが、それでも無くなるということは考えにくく、引き続き高齢者にとっての最適な節電方法を模索することが必要であると考えられる。

震災後の節電意識とエアコン我慢の頻度の相関を示したものが図2である。

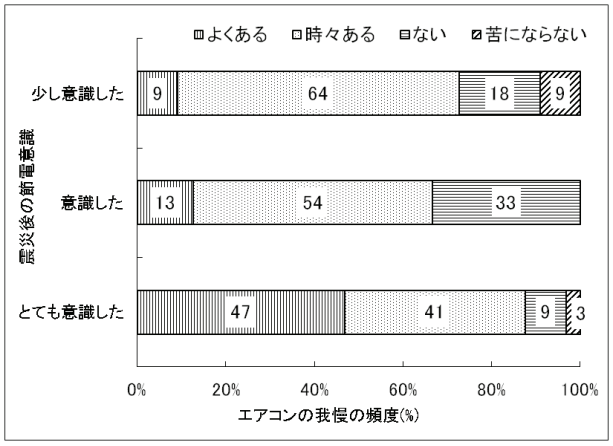


図２　震災後の節電意識とエアコン我慢の頻度の関係

震災後の節電意識とエアコンの我慢の関係を見たところ、節電に対して高い意識を持っている人ほどエアコンをよく我慢するという傾向が見られた。節電のきっかけと震災後の節電意識との関連では、きっかけが震災と電力不足の人ほど節電を「とても意識した」と回答しており、きっかけが家計と環境問題のニュースの人は節電を「意識した」との回答が大半を占めた。

以上より、家計的な問題や環境問題への関心の高さで元々ある程度の節電意識の高さを持っており、震災により一時的に節電意識がとても高くなったと考えられる。また、節電意識の高さとエアコンの我慢で相関が見られたので、震災の影響が薄れても高齢者の夏季節電について注意が必要であると考えられる。

3.2.　電力消費量の推移

2010 年から 2012 年までの 8 月分の夫婦・単身世帯の電力消費量を表 3 に示す。なお、記載したものは 3 年間通じて東京電力からの「電気ご使用量のおしらせ」を回収できた世帯のみである。

各年の平均を見てみると、夫婦世帯の 2010 年 8 月から年ごとに 326.2kWh、224.7kWh、264.0kWh となっており、単身世帯では 2010 年 8 月から年ごとに 199.7kWh、164.9kWh、180.5kWh であることから、全体として 2010 年から 2011 年にかけて大きく減少し、2012 年に若干上昇するという傾向が見られた。

節電率では、2011 年はすべての世帯で削減されており、30%以上削減している世帯も多くみられた。このことから、夏季家庭の電力構成で最も大きいウエイトを占めるとされるエアコンの使用を控えた世帯が多いと考えられる。また、2010 年と 2012 年を比べても、2 つを除いた世帯で削減されていることが分かった。平均の最高気温が約 1℃違うことも考慮すべきであるが、節電意識のアンケート結果にもある通り、震災以外の要因で今後も高齢者の電力消費量の平均水準が低くなると考えられる。

また、協力者の何名かに話を聞いたところ、「思ったより節電できた」との声もあることから、来年以降 2010 年以前の夏の平均的な電力消費量に戻るよりは、家計面での効果を期待し節電をしていく世帯も多くなる可能性がある。

表３　夫婦世帯 8 月の電力消費量

	2010.8 (kWh)	2011.8 (kWh)	2012.8 (kWh)	2010-2011 8月比(%)	2011-2012 8月比(%)	2010-2012 8月比(%)
夫婦1	158	140	169	−11	21	7
夫婦2	305	242	274	−20	13	−10
夫婦3	284	191	241	−32	26	−15
夫婦4	425	271	292	−36	8	−31
夫婦5	289	219	308	−24	41	7
単身1	148	121	145	−18	20	−2
単身2	156	151	133	−26	−12	−15
単身3	326	212	197	−34	−7	−40
単身4	319	190	253	−40	33	−21
平均最高気温(℃)	31.6	30.9	30.7	31.6-30.9	30.9-30.7	31.6-30.7

4.　まとめ

高齢者の節電意識の現状調査を行い、高齢者世帯は震災前後を問わず意識が高く、要因として震災以外にも家計的問題や普段の環境問題も挙げられた。

電力消費量は、世帯ごとにばらつきはあるものの、全体としては 2011 年に最も削減された結果となった。節電率でも、2011 年はすべての世帯でマイナスであり、30%以上削減されている世帯も多かった。

今回の調査で大まかな現状は把握できたが、今後はさらに対象を細かくし、震災後の個人個人の電力消費量の効果と負担の面での分析と、ピーク時に着目した分析をすることが課題として挙げられる。

参考文献

1)　全国公団住宅自治会協議会：“第 9 回団地の生活と住まいアンケート調査集計結果”，全国公団住宅自治会協議会ホームページ，(オンライン)，入手先 <http://www.jichikyo.com/9th-anq/9th-anqtop.html>，(参照 2012-11-16)

2)　東京電力株式会社：“今夏の節電へのご協力に対するお礼と実績のご報告について”，(2011)，pp.3

日常生活におけるライフサイクル思考の普及に向けた課題と可能性

Challenges and Prospects for Disseminating Life Cycle Thinking in Daily Lives

○津田和俊*[1)]、原圭史郎[2)]、上須道徳[2)]
Kazutoshi Tsuda, Keishiro Hara, and Michinori Usasu
1) 大阪大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学環境イノベーションデザインセンター
*tsudakazutoshi@lce.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

持続可能な社会の構築に向けて、日常生活における消費者・生活者の果たす役割は大きく、その意識改革および行動変革が期待されている。行動変革を進めるためには、ライフサイクル思考が基本コンセプトとして認識され、広く普及することが鍵となる[1)]。行動変革の規定要因に関しては、これまで多くの研究が行われているが、本研究では特に、「情報の可視化」から、「認識と学び」がはじまり、そして「行動変革」にいたる各段階に着目し、各々に関連する国内外における実践事例（Supporting Information 表を参照）および研究論文を対象にレビューを行い、簡潔性・信頼性・透明性などの観点からライフサイクル思考の普及に向けた課題と可能性について検討した。

2. レビュー

2.1. 情報の可視化

ライフサイクル思考は、製品やサービス等の対象に関してライフサイクル全体を包括的に考慮するため、その各段階およびそれらの連環からなる全体像で情報が視覚化されるという特徴を有する。その表現形式を分類すると、以下 a～d に示す 4 つが考えられる。

a) 数値情報

カーボンフットプリント制度含め製品ライフサイクルを通じた環境負荷量、食料生産から消費者の食卓までの輸送距離にその重量をかけた値で表すフードマイル、製品のサプライチェーンを通じた環境負荷量を金額換算した環境損益計算書（E P&L）等の数値データや、ライフサイクル段階別内訳の図表等によって情報開示される。製品間での比較検討を可能とするため、例えば国内外のカーボンフットプリント制度では、製品分野ごとに商品別算定基準を定め、評価の対象とそのバウンダリをあらかじめ設定している。また、設計ソフトウェア等では、新製品と旧製品のライフサイクル段階毎のパフォーマンスの差を明示するためのエコデザイン戦略ホイールと呼ばれるレーダチャート表示が使用されている。

b) ライフサイクルフロー図

ライフサイクルフローは、インベントリデータ整理の際に必要となる詳細なフローチャートを基に、一般消費者にも一目で俯瞰して理解できるように省略・修正などを加えて抽象化した概略図によって表現される。また、一次産業では、ライフサイクルの各段階と季節とを関連付けした大まかな年間の作業工程によって示される。

c) サプライチェーンマップ

製品のサプライチェーン全体の流れやマテリアルフロー分析の推計結果が地図上にマッピングして表示されている。製品ライフサイクルの各段階がどこで行われているのかを地理情報と関連付けて示すことで、消費者にとって、対象製品がどこから来て、どこに行くのかを視覚的に知ることができる。

d) 映像・写真記事

ライフサイクルの各段階の流れを解説した写真記事によって表現される。また、製品の生産・流通段階を撮影したドキュメンタリー映像によって表現されている。

2.2. 認識と学び

上述の情報を認識する状況として、製品の購買行動、情報収集（計画購買）、展示会・見学会への参加、環境教育プログラム受講時が挙げられる。

製品の購買行動では、通常、店舗における商品やメニューに直接、カーボンフットプリントなど単一数値を記載した環境ラベルが貼り付けられ、限られた時間内で環境配慮行動を促進するために視認性を高めた情報が提示される。

情報収集（計画購買）では、カタログ、雑誌、ウェブサイト等を活用するため商品に比べて掲載スペースに一定の余裕があり、複数の表現形態での情報提示がおこなわれている。また、ウェブサイトの場合は、アニメーションや映像などの動的な表現や、随時コメントを受け付けることで、より理解を促進する試みがなされている。

展示会・見学会への参加では、製品の部品・素材の実物や生産・解体ライン等に実際に触れたり、担当者と直接コミュニケーションを取ったりすることで、体験的に情報を得ることができる取り組みが行われている。

環境教育プログラム受講については、学校教育の現場や企業の社内研修で採用されている。ここでは、受講生自ら環境影響を簡易試算する等の能動的な学習プログラムを採用することで、直接見ることの難しいライフサイクルの各段階の実情に対して実感を伴って認識することが試行されている。その他には、書籍や短編映像等も教

材として捉えることができる。製品のライフサイクル全体を通じて地球環境問題を含め現在のグローバル資本主義が抱える問題を浮き彫りにする作品では、ある一つの商品に絞ってドキュメンタリーで多面的に追うこと、また手描きのアニメーションによって表現することにより、消費者にとって追体験を伴う学習の契機を提供している。

2.3. 行動変革

ライフサイクル思考に基づいた環境情報を整備する方向性がある一方で、消費者が購入・使用・廃棄の段階で選択行動を行うだけではなく、消費者自らが生産消費者としてニーズに応じて製品・サービスを適量生産・適量消費する動き（パーソナルファブリケーション）が広がっている。そのような状況下では、個人が主体的に設計・評価プロセスなどの生産段階の上流から製品ライフサイクル全体に関与することによって、ライフサイクル思考を涵養する方向性も考えられる。例えば、鉱石の採掘やプラスチックの精製から最終製品をつくることを試みたプロジェクトがあるが、企業活動による大量生産ではなく、そういった個人が適量生産をおこなうことに寄り沿った情報の在り方も考える必要がある。近年、生産段階でのつくりかたや、使用段階での修理の方法など各段階のプロセスに主体的に関わることを支援するオープンソースコミュニティがつくられてきている。また、従来から企業・大学・研究所内のLCA エンジニアに活用されていたソフトウェアに加えて、オンラインで分析できるソフトウェアが新たに開発されたり、3D-CAD 設計ソフトウェアにLCA実施を支援するための分析ツールがアドインされてきたりするなど、徐々にLCA実施者の裾野は広がってきている。

さらに、製品選択や製品設計・製作だけでなく、ライフサイクル思考を生活様式の変革にどのようにつなげていくことができるかということも重要な検討課題のひとつである。単位製品あたりの環境負荷が削減されても、その消費台数が増加すれば、結果として総環境負荷量は増加してしまう可能性がある。そのため、消費者がそれぞれの生活の中で本当に必要なものを吟味して選ぶことが求められる。例えば、最近、小規模ではあるが、ニューヨークで環境負荷をゼロに近づけるよう試行錯誤しながら家族で 1 年間暮らすプロジェクトや、東京でカーボンフットプリント宣言認定製品だけで単身 1 週間暮らすプロジェクトなどの実験エンターテイメントが行われたが、そういった等身大の生活実践から持続可能な暮らしを考えていくことも必要である。

3. 課題と可能性

以上の通り、ライフサイクル思考に基づく情報は、現在、多様な表現形式、状況で消費者・生活者に提供されてきている。しかしながら、消費者・生活者がこれらの情報から自らの生活のガイドラインを得て、実際に環境配慮設計に繋げていくようになるためには多くの検討課題が残されている。

3.1. 分かりやすさ、選択可能性

例えば、カーボンフットプリントを例に挙げると、販売単位における全ライフサイクルの温室効果ガス排出量の絶対値が表示されるため、製品価格における金銭感覚に相当するようなセンスがないと購買行動時に有効ではない。製品間の比較検討を可能とするためには、例えば、同一の商品別算定基準の製品を増やすことや、単位変換を容易にすること、貨幣価値との関連付けを明確にすること等により、消費者の視点にたって情報を活用しやすくする必要がある。

また、ライフサイクルフローやサプライチェーンにおいても、情報の透明性を確保し、視覚的にも簡潔に整理することで、製品を取り巻く状況を正確に認識し、生活者が生活を吟味できるようになることが求められる。さらに、ライフサイクルの各段階における代替プロセスの選択、サプライチェーンの改善に対する提案が複数の選択肢から選ぶことができるようにすることも重要である。

3.2. 信頼性、透明性、コスト

ライフサイクル思考に基づいた情報の視覚化を拡大普及していくにあたっては、その信頼性の担保や、透明性、コスト（現地調査や情報収集、環境負荷の算定、イラスト・写真・映像編集の製作にかかる費用等）が課題となってくる。信頼性の確保について、今回のレビュー対象の中には、第三者による認証評価をうけるものから、自社の算定方法による簡易計算によるもの、オープンソースにより投稿する個人に一任されているものまで様々あった。前者ほど信頼性は高いがコストや労力がかかり、後者ほど信頼性は低いがコストは安く集合知による大幅な普及（スケーラビリティの向上）が期待できる。いずれにしても、根拠や計算過程を公開し、第三者がチェックできる状態に透明性を高めておくことで信頼性を高めることが求められる。また、コストの面では、情報を可視化するノウハウの共有が求められる。例えば、国際ネットワークで情報共有を行い、他国機関との相互認証の実施により審査を省略し、コストの削減をおこなう、などという取り組みも存在する。そういった取り組みを他の情報の可視化の際にも参考にする必要がある。

参考文献

1) 本藤祐樹 ： 日本 LCA 学会誌, 5, (2009), pp.331-337
2) Tsuda, K., Hara, K., Uwasu, M. : Sustainablity, 5, (2013), pp.123-135

Supporting Information

表. 本稿でレビュー対象としたライフサイクル思考に関連する実践事例（Tsuda et al. 2013）

段階	題目	媒体	国名*	開始年
情報の可視化	PAS 2050 カーボンフットプリント規格	ラベル	英国	2007
	エコリーフ環境ラベル	ラベル、ウェブ	日本	2002
	カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム	ラベル、ウェブ	日本	2012
	環境損益計算書（E P&L）	計算書	グローバル	2011
	フットプリント・クロニクル（パタゴニア）	ウェブ	グローバル（米国）	2007
	Sourcemap	ウェブ	グローバル （米国）	2009
	マテリアルフローデータブック 日本を取りまく世界の資源のフロー	データブック	日本	2006
	日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック	データブック	日本	2004
	How It's Made	テレビ番組、ウェブ	カナダ・米国	2001
	『テマヒマ展 〈東北の食と住〉』のための映像	映像作品（オンサイト）	日本	2012
	国立民族学博物館 ビデオテークデータベース	ビデオ（オンサイト）	日本	1977
認識と学び	かばんの中でも温暖化？！	教育プログラム	日本	2008
	テレビくんの一生	絵本、教育プログラム	日本	2004
	あなたのＴシャツはどこから来たのか？	書籍	米国	2005
	The Story of Stuff（アニー・レナード）	映像作品、ウェブ	グローバル （米国）	2007
行動変革（パーソナルファブリケーション、ライフスタイルの変革）	ゼロからトースターを作ってみた（トーマス・トウェイツ）	書籍	英国	2011
	Instructables	ウェブコミュニティ	グローバル （米国）	2005
	クックパッド	ウェブコミュニティ、iPhone/iPad アプリ	日本	1998
	ifixit	ウェブコミュニティ	グローバル （米国）	2003
	Solidworks Sustainability	設計ソフトウェア	グローバル （米国）	2010
	GaBi	LCA ソフトウェア	グローバル （ドイツ）	1993
	SimaPro	LCA ソフトウェア	グローバル （オランダ）	1990
	MiLCA（みるか）	LCA ソフトウェア	グローバル （日本）	2010
	JEMAI-LCA	LCA ソフトウェア	日本	2000
	Sustainable Minds	ウェブベース LCA ソフトウェア	グローバル （米国）	2008
	Greenfly	オンライン LCA ソフトウェア	グローバル （オーストラリア）	2003
	NO IMPACT MAN	映画	米国	2009
	CFPMAN プロジェクト	ライブ映像配信	日本	2012

* （ ）内の国名は企業・著者の所在地を示す。

発表キャンセル

生物多様性に対する採掘影響指標 MiBiD™ の提案

A New Index of Mining Impact on Biodiversity (MiBiD™)

○小林英樹*[1)2)]、渡戸裕子[1)]、柿元満[1)]
Hideki Kobayashi, Hiroko Watando, Mitsuru Kakimoto
1) 東芝　研究開発センター，2) 大阪大学環境イノベーションデザインセンター
*hide.kobayashi@toshiba.co.jp

1. はじめに

近年，CSR の観点から生物多様性に配慮した企業活動が重視されつつある．企業活動と生物多様性の関係性は多岐に渡るが，企業活動を適切な方向性へ導いていく上で定量評価は欠かせない．特にメーカの立場からは，大量生産する工業製品を，生物多様性の観点から評価できる定量指標が望まれている．その際，エコデザインの一環として評価を簡便に実施するには，何らかの形で使用する材料種ごとに原単位データベース化されていることが望ましい．また，生物多様性の問題は，CO_2 排出などグローバルに影響拡散する環境負荷物質とは性質が異なり，地域固有の局所的な問題である．

一方，資源採掘に伴う生物多様性への影響を定量評価する指標は少ない．その中で LCA インパクト評価手法の一つである LIME2 は，保護対象の一つとして EINES を用いて生物多様性の被害係数を定めている[1)]．この被害係数は資源採掘の土地利用モデルを元に，日本国内を想定した単一係数として定められているが，実際は地点や条件によって生態系に対する影響は大きく変わる[2)]．資源採掘に伴う自然改変の大きさに着目した TMR[3)]も LIME2 の被害係数と高い相関があることから，TMR を生物多様性の代替指標とする考えも示唆されている[2)]．しかし，TMR も個々の鉱山周辺の生物多様性を陽に評価していない点で不十分である．

本研究では，生物多様性の本質の一つである局所性を考慮した採掘影響指標 MiBiD™ を（Index of Mining Impact on Biodiversity）を提案する[4)]．

2. 方法

本研究では，工業製品で大量に用いられているベースメタル 5 種（鉄，銅，アルミニウム，亜鉛，鉛）を対象とした．図 1 に MiBiD™ の概念図を示す．MiBiD™ 原単位 MBI_j［MiBiD/kg］を次式で定義して計算した．

$$MBI_j = \frac{RMF_j \times BDV_j}{PR_j}$$

ここで

$$RMF_j = \frac{PR_j}{GR_j / 100}$$

$$BDV_j = \sum_{i=1}^{RD_j \ni i} BDV_i$$

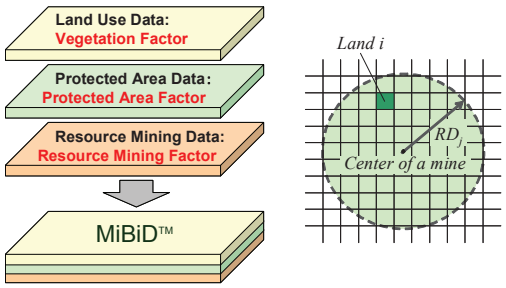


図１　MiBiD™ の概念図

$$BDV_i = VF_i \times PAF_i$$

$$RD_j = A \times RMF_j^{1/3}$$

i : Identify number of land mesh
j : Identify number of mine
$RMFi$ [-] : Resource mining factor of mine j
PRi [kg] : Production of mine j
GRj [%] : Grade of mine j
RDi [km] : Radius of influence area from mine j
A [-] :Constant set to maximum RDj of 10km
$BDVi$ [-] : Biodiversity value of land mesh i
VFi [-] : Vegetation factor of land mash i
(= 1: Bare ground or production resisted area etc., 3: Grass or cropland etc., 9: Forest)
$PAFi$ [-] : Protected area factor of land mash i
(= 1, …, 9)

資源採掘データはスウェーデンの RMD[5)]を用いた．植生係数 VF は人工衛星観測データに基づいて 1km の土地区画メッシュで解析した結果[6)]を用いて 3 段階に，保護区係数 PAF は IUCN の保護区分類[7)]に応じて 9 段階に点数付けを行った．また，鉱山中心から生物多様性への影響半径 RD は，生産量が世界最大規模の鉱山の場合で 10km となるように係数 A によって規格化した．

3. 結果

全世界約 600 鉱山の MiBiD™ 原単位を算出しデータベース化した（表 1）．今回算出した鉱山で全世界の生産量の 70～94%をカバーしている．MiBiD™ 原単位には鉱山

周辺の局所的な生態系の状況が反映されているため，その値には幅があるが，特に銅鉱山の MiBiD^{TM} 原単位の幅が大きかった．

表１　開発した MiBiD 原単位データの数

Metal	Data Number of Mines	Cover Rate per Total Production [%]
Fe	102	86
Cu	253	94
Al (Bauxite)	26	82
Zn	120	82
Pb	96	70

図 2, 3 に生産量で重み付けした世界平均 MiBiD^{TM} 原単位と，LIME2 の生物多様性被害係数（DFBD），TMR との相関を示す．いずれの場合も相関係数 R^2 は高い値である．このことは，ベースメタル 5 種について，生物多様性に対する採掘影響指標として MiBiD^{TM} を利用できる可能性を示している．

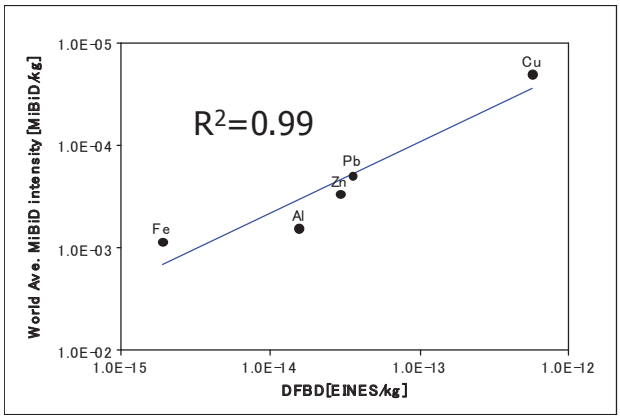


図２　MiBiD^{TM} と LIME2 生物多様性被害係数との相関

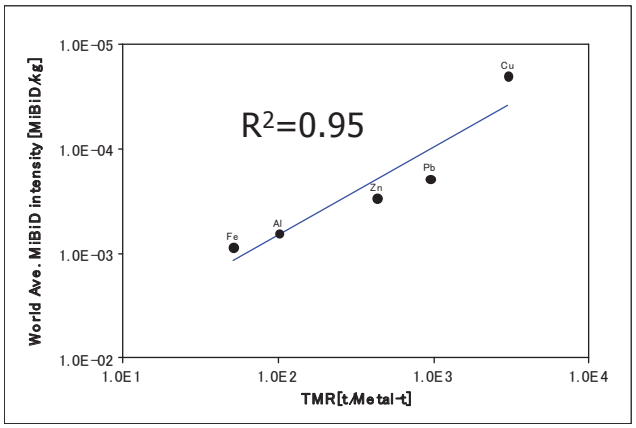


図３　MiBiD^{TM} と TMR の相関

表２に MiBiD^{TM} と LIME2(EINES),TMR の特徴比較を示す．MiBiD^{TM} の最大の特徴はこれまで実現していなかった局所性を反映した生物多様性評価を可能にした点にある．その他に適用可能な地域が限定されない点も利点である．一方，今回開発した原単位は工業製品で影響の大きいベースメタル 5 種が対象であるが，対象金属の拡充は今後の課題である．その他，指標定義で残された課題としては，採掘方法（露天，坑内）の反映，採掘影響範囲の妥当性，水消費・排水の影響の取り扱い，などがある．

表２　MiBiD^{TM} と LIME2(EINES), TMR の特徴比較

	MiBiD^{TM}	LIME2（EINES）	TMR
局所性を反映した生物多様性評価	○（鉱山毎）	×（日本での使用を考慮した被害係数）	×（生物多様性は陽に考慮しない代表値）
適用可能な地域	世界全体	日本	世界全体
原単位の提供数	ベースメタル5種 約600鉱山	300種以上	工業材料62種 燃料6種 発電3種 電力1種

4.　おわりに

金属採掘に伴う生物多様性の影響指標 MiBiD^{TM} を提案し，ベースメタル 5 種について全世界の鉱山ごとに原単位データベースを開発した．これにより，簡便に製品の環境性評価に適用できるようになった．ただし，本指標の特徴を活かすには，金属の産出鉱山を特定する必要があり，サプライチェーン情報の取得が鍵となる．

参考文献

1)　伊坪徳宏，稲葉敦: “LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法”，産業環境協会，東京，(2010).
2)　伊坪徳宏: 日本 LCA 学会誌 8(2), (2012), pp161-169.
3)　原田幸明，井島清，片桐望，大蔵隆彦: 日本金属学会誌，65(7)，(2001)，pp564-570.
4)　Watando H. Kakimoto M., Kobayashi H.: Proc. EcoBalance2012, Yokohama, (2012), D2-09.
5)　RMD，入手先 <http://www.rmg.se/>，（参照 2012-12-12)
6)　Hansen, M., DeFries, R., Townshend, J., Sohlberg, R.: Int. J. Rem. Sensing. 21, (2000), pp1331-1365.
7)　IUCN，入手先<http://www.protectedplanet.net/>，(参照 2012-12-12)

生物多様性保全活動の環境評価と消費者受容性

Environment assessment and consumer acceptability of Biodiversity conservation activities

○新村萌子*[1)]、村上佳世[1)]、伊坪徳宏[1)]、高橋和枝[2)]、根本康恵[2)]、國岡 達也[2)]
Moeko Niimura, Kayo Murakami, Norihiro Itsubo, Kazue Takahashi, Yasue Nemoto, Tatsuya Kunioka
1) 東京都市大学, 2) 日本電信電話
*g0931157@tcu.ac.jp

1. はじめに

2010年に生物多様性条約 第10回締約国会議（COP10）が開催され、新たに名古屋議定書が採用された。さらに世界で生物多様性が注目されるようになり、国だけでなく、企業でも生物多様性に配慮した生産活動が求められている。その対応策として、大手企業などでは、生物多様性保全活動が進められている。しかし、保全効果を定量的に評価することは難しく、保全費用が掛かるのに対して活動が過小評価されやすい。現在、保全活動の評価には、トラベルコスト法や仮想評価法（CVM）などがあるが、国際的に合意された方法はない。そこで、本研究では、近年、環境経済評価手法の一つとして注目されているコンジョイント分析を用いて、企業での生物多様性保全活動の評価手法の検討を行った。

2. 研究目的

コンジョイント分析を用いて、企業における生物多様性保全活動を定量的に環境評価した。また、保全活動の費用を仮定して算出し、保全効果を便益として金銭的に算出した結果と費用便益分析を行い、この評価手法を検討した。

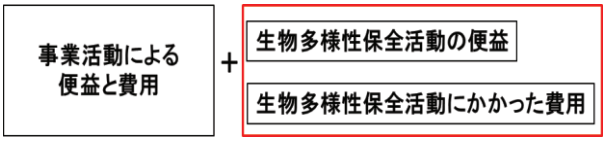


図1　生物多様性活動を含めた事業活動の費用対便益分析の評価範囲

3. 研究方法

3.1 研究対象

3.1.1 大規模太陽光発電施設の生物多様性保全活動

太陽光発電施設（メガソーラー施設）を里山などの自然がある広大な土地に建設する際には、そこの自然が失われるだけでなく、地域の生態系へ影響を与える。それらを配慮して、建設する際に環境保全対策を行う太陽光発電施設を対象とする。主な保全活動として、自然保護区の設定や環境アセスメント実施、生態系調査、アニマルパスウェイの設置、希少生物が好む草木の植栽、環境に配慮した架台の使用などを行われている例がある。

3.1.2 海底ケーブル敷設の生物多様性保全活動

海底ケーブル敷設の際には、サンゴ礁や海洋生物の生態系に影響を与える場合があり、企業では、法に基づいて環境保全対策を行っている。主な保全活動として、海底のゴミ回収作業や船の錨とそれを収めるロッカーの清掃、サンゴ礁を保護のためにケーブル迂回などを行っている。

4. 計算方法

4.1 コンジョイント分析

コンジョイント分析とは、複数の環境変化の状況に対する人々の選好を評価する手法である。環境経済評価手法の中でも社会効果などの定量的に表すことの難しい非利用価値などを含めたあらゆる価値を評価でき、複数の属性を同時に評価することができる。

本研究では、一般消費者の方へWEBアンケート調査を実施し、選択型コンジョイント分析を用いて、企業の生物多様性保全活動への支払意思額（WTP）を明らかにした。支払意思額（WTP）は、アンケート調査の結果から、栗山浩一著「EXCEL でできるコンジョイント」[1)]を用いて算出した。

4.2 生物多様性保全活動の便益

生物多様性保全活動の便益は、支払意思額（WTP）と便益を受ける範囲（保全される生物多様性から便益を受けていると考えられる範囲（人））を乗じた値となる（式）。便益を受ける範囲は、日本に住んでいる人は、間接的に生物多様性から何らかの便益を受けるとして、日本全国とした。支払意思額を求めるため、全国民のうち収入を得ている層（日本就業者数6297万人[2)]）を対象とした。また、一部地域が直接的な便益を受ける場合も考慮して、太陽光発電施設では建設地域における人口、海底ケーブルではサンゴ礁のある沖縄県等の人口を便益の受ける範囲として算出した。

生物多様性保全活動の便益（円）＝
支払意思額（WTP/(人/年)）×　便益を受ける範囲（人/年）
（式）

4.3　情報入手方法

生物多様性保全活動を調べるあたり、実際に里山の自然がある地域に建設された太陽光発電施設へ見学に行き、ヒアリングを行った。現地では、小動物の通り道として、道路下に設置されているアニマルパスウェイの使用や、施設内でも動物の糞が見られた等、保全活動により、施設内外で生物が生息されていることが確認された。また、海底ケーブル敷設における生物多様性保全活動ついても事業者へヒアリングを実施した。これらヒアリングから得た情報を基にアンケートを作成した。

5.　アンケート調査

5.1 調査概要

メガソーラー発電施設建と海底ケーブルの生物多様性保全活動において、調査会社のモニターを対象に、インターネットによってアンケート調査を実施した。海底ケーブル敷設では、サンゴ礁を観光した経験のある人をスクリーニング調査にて400人を抽出し、残り600人はランダムサンプリングを行った。

表１　調査概要

メガソーラー発電施設と海底ケーブルの生物多様性保全活動	
調査対象	全国の男女、10代～60代以上
回収サンプル数	スクリーニング調査で2グループに分類。 1.サンゴ礁観光した経験がある：400人 2.一般　　：600人
調査方法	WEBアンケート調査
調査期間	2013年1月10日～1月12日

5.2 属性と水準

選択型コンジョイント分析は、評価項目の属性と水準を定め、その各属性の各水準の組み合わせによる選択肢となる複数のプロファイルを表示して、その中から最も望ましいプロファイルを選択してもらう質問形式である。[3)] 太陽光発電施設と海底ケーブルの属性と水準を表にまとめた。太陽光発電施設の属性は、①施設内における自然保護区の設定面積、②保全活動によって守られた種数、③生態系の継続性に配慮した取り組みとした。海底ケーブルの属性は、①清掃活動、②サンゴ礁の保全面積とした。

表２　太陽光発電施設の属性と水準

属性	水準			
項目	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4
保全面積(ha)	1ha	4ha	9ha	
保全される種数(推計数)	100種	200種	300種	
生態系の継続性へ配慮した取組み	やる○	やらない×		
寄付額(円)	100円	300円	500円	1000円

表３　海底ケーブルの属性と水準

属性	水準			
項目	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4
清掃作業	やる○	やらない×		
サンゴ礁の保全面積(ha)	100ha	150ha	200ha	
寄付額(円)	100円	300円	500円	1000円

5.3　プロファイルの作成

プロファイルを表2、3から作成した。選択肢数は、太陽光発電施設6問、海底ケーブル4問となった。

表４　選択型コンジョイントの設問例

（例題）	A案	B案	寄付しない
保全面積(ha)	1ha*	4ha	どちらにも寄付しない(A案、B案ともに選ばない)
保全される種数(推計(種))	100種	200種	
生態系の継続性へ配慮した取組み	やる○	やる○	
寄付額(円)	100円	300円	
	↓	↓	↓
いずれかをお選びください⇒			



図２　調査票のHTMLイメージ

6.　まとめ

太陽光発電施設と海底ケーブル敷設における生物多様性保全活動を環境評価手法であるコンジョイント分析で、その保全効果を定量的に算出し、費用便益分析を行った。

参考文献

1) 栗山浩一:“Excel で出来るコンジョイント”(2003)
2) 総務省，労働力調査(2012)
3) 栗山浩一・庄子康, “環境と観光の経済評価　国立公園の維持と管理”，勁草書房，(2005),p67

LIME3 に向けた土地利用による生態系への被害評価手法の検討

Study on methods of damage assessment for ecosystem caused by land use for LIME 3

○山口和子*[1)]、井伊亮太[2)]、伊坪徳宏[3)]
Kazuko Yamaguchi, Ryota Ii, Norihiro Itsubo
1) 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング(株), 2) パシフィックコンサルタンツ(株), 3) 東京都市大学
*kazuko.yamaguchi@murc.jp

1. はじめに

日本版被害算定型影響評価手法（LIME）では、土地利用の影響領域について、生物多様性及び一次生産を保護対象とする被害評価手法が開発された[1)]。本発表では、LIME2 での課題や、被害評価に用いるデータの利用可能状況等を踏まえ、LIME3 に向けて検討を進めている、国内及び世界における土地利用による被害評価手法の改訂について、その評価手法や進捗状況を報告する。

2. 方法

2.1. 生物多様性に関する被害評価手法の検討方法

LIME1/2 では、生物多様性の被害係数は、基本的に日本国内を対象としていた。また、環境影響評価図書のデータを用いて係数を算定したため、係数が同図書の対象事業種類別のものに限られていた。そこで、本検討では、LIME1/2 と同様に維管束植物のレッドデータブック（RDB）[2)]のデータにより計算される絶滅危惧種の平均絶滅時間の逆数の差分（絶滅リスク増加分）を指標としつつ、各国別土地利用区分別の被害係数の算定を検討した。

算定プロセスを図 1 に示す。土地利用区分別被害係数は、RDB 等における絶滅危惧種の生育環境情報に基づき、各種が生育する区分を選択することにより計算した。また、各国別被害係数については、絶滅リスクの計算に用いるデータが世界全体については利用可能ではないため、LIME1 における森林資源の被害係数の算定方法と同様に、日本での計算結果を、IUCN レッドリスト[3)]の絶滅危惧種数データを用いて重み付けすることにより、計算した。

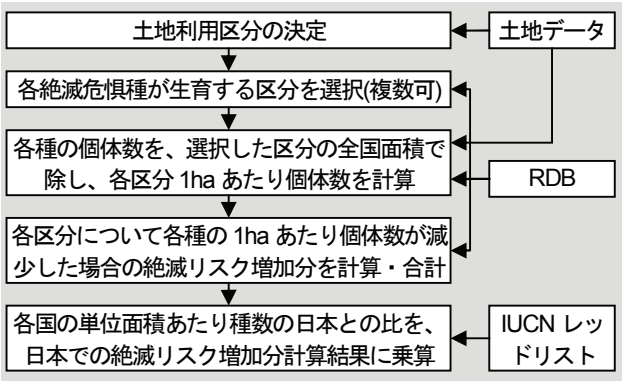


図 1　算定プロセス

2.2. 一次生産に関する被害評価手法の検討方法

LIME1/2 では、一次生産（NPP）の被害係数は、基本的に日本国内を対象としていた。また、土地利用の維持の被害係数は、土地利用のない状態での NPP（潜在 NPP）と土地利用がある状態での NPP（現況 NPP）の差分として定義しており、改変の被害係数もこれに基づくが、潜在 NPP と現況 NPP で NPP の算定に用いる手法が異なる（潜在は気候データを利用する筑後モデル、現況は実測データに基づく原単位）ため、差分である被害係数には一定の誤差があり、このため被害係数が小さい区分では被害係数の代表値に対する誤差の割合が大きくなるという課題があった。

このため、本検討では、世界全体を対象とし、かつ、潜在NPP と現況NPP の両方を同時に推計した事例を調査したところ、Haberl ら[4)]が HANPP（Human Appropriation of NPP）評価のためにこのような NPP 推計を実施していることが分かった。Haberl らは、潜在 NPP は DGVM（動的全球植生モデル）により推計し、現況 NPP は（土地利用区分別に異なるが）農業統計等の利用やパラメータを変更した DGVM の結果を用いて推計しており、全球規模で空間的に両者を提示している事例として利用価値の高いものと考えられたため、この結果を用いることとした。

Haberl らの NPP 評価は全球 5 分角のグリッドで行われているため、この結果を同じグリッドサイズの土地利用データセット[5)]及び国境データと重ねあわせ、国別土地利用区分別に現況 NPP 及び潜在 NPP を推計し、この差分として維持の被害係数を算出した。ただし、現況 NPP の推計においては、Forestry/Wilderness については Haberl らに基づき潜在 NPP と同一の値とし、Infrastructure については Haberl らに示された全球平均の比率（現況 NPP÷潜在 NPP）を適用し、残りの現況 NPP を Cropland と Grazingland について面積の比率で割り振って推計した。

3. 結果

3.1. 生物多様性に関する被害評価手法の検討結果

土地利用区分は、植物の生育環境の特性と、利用可能な土地データにおける区分を考慮した結果、気候変動枠組条約下で日本国が提出しているインベントリ報告書[6)]の土地データをベースとし、一部サブカテゴリを調整した 6 区分（田、その他農用地、森林、草地、湿地、その他）とした。面積データは 2000 年のデータを用いた。

維管束植物の絶滅危惧種のうち計算が可能な約 1,150

種を対象として、各土地利用区分 1ha あたりの個体数が減少した場合の絶滅リスク増加分を計算した結果を図 2 に示す。各区分の絶滅リスク増加分の合計値は「湿地」と「草地」が相対的に高い結果となった。「森林」は種数は多いものの絶滅リスク増加分は相対的に低く、全国面積の大きさが影響していると考えられた。「その他」は比較的高かったが、蛇紋岩地や高山等を生育環境とする絶滅危惧種の存在が反映されていると考えられた。

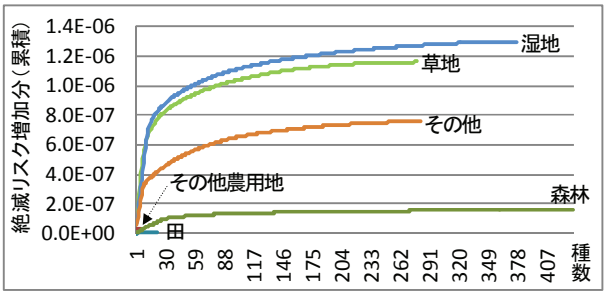
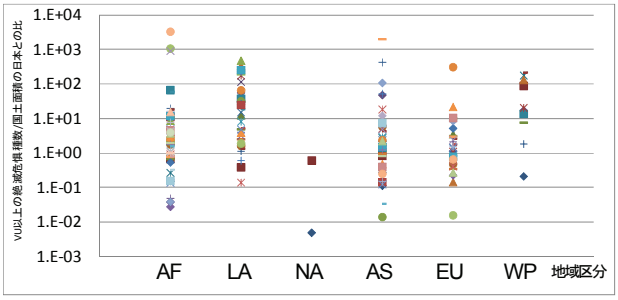


図２　土地利用区分別の絶滅リスク増加分の計算結果

上記の日本国内を対象とした計算結果を、各国別被害係数算定のために重み付けする際の係数の計算結果を図 3 に示す。国により 6 桁の大きな差が生じる結果となった。



地域区分）AF: Africa, LA: Latin America and the Caribbean, NA: Northern America, AS: Asia, EU: Europe, WP: Western Pacific

図３　各国国土面積あたり絶滅危惧種数の日本との比

3.2.　一次生産に関する被害評価手法の検討結果

世界全体の土地利用区分別 NPP 集計結果を表 1 に示す。Haberl らの結果に比べ、Cropland については本検討では 1 割程度大きく（被害としては、その分小さく）、Grazingland については、本検討がやや小さい結果となり、土地区分別現況 NPP 推計には若干の誤差を含むと考えられた。

表１　世界全体の土地利用区分別集計結果（tNPP/ha）

土地区分	I	C	W	F	G
潜在 NPP	11.7	12.2	4.6	14.4	9.7
現況 NPP	4.4	8.9	4.6	14.4	8.3
ΔNPP	7.3	3.3	0.0	0.0	1.4
ΔNPP%	62.3%	26.8%	0.0%	0.0%	14.4%

土地区分）I: Infrastructure, C: Cropland, W: Wilderness, F: Forestry, G: Grazing land

国別土地利用区分別に求めた維持の被害係数を、Infrastructure の被害係数の順に整列して、図 4 に示す。国別の潜在 NPP の違いを反映して、Infrastructure の被害係数は国により大きく異なる結果となった。Cropland などの被害係数は Infrastructure と相関がみられるが比例しない。マイナスの被害係数もあるのは、灌漑や施肥により潜在 NPP よりも大きな現況 NPP が生じている国（北アフリカ・中東の砂漠を有する国で値が大きいほか、値としてはそれほど大きくないが西欧諸国など）である。

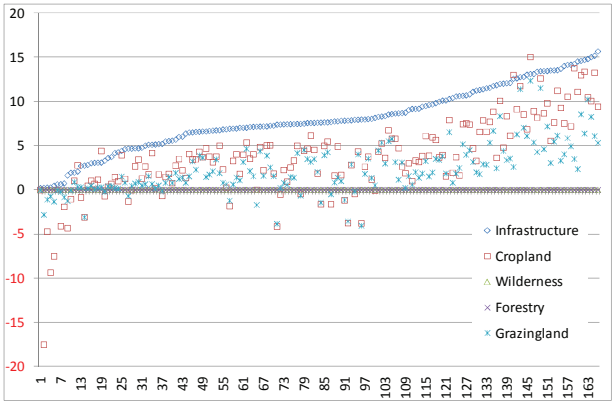


図４　一次生産（維持）の計算結果(tNPP/ha)

4.　おわりに

LIME3 に向けて、土地利用による生態系への被害を評価する手法を検討した。生物多様性については、従来よりも汎用性が高い土地利用別の被害係数を得ることができたが、国別係数については種数面積関係や絶滅危惧カテゴリの考慮等のさらなる検討が期待される。一次生産については、Infrastructure の現況 NPP の推計に実態データの反映が望まれるほか、算出済の NPP データセットから土地区分別現況 NPP の推計を行う都合上、推計結果には若干の誤差があるため、空間的 NPP 推計結果が土地区分別にも整理されて提示されることが期待される。

参考文献

1) 伊坪徳宏, 稲葉敦編著, “LIME 2－意思決定を支援する環境影響評価手法”, 社団法人産業環境管理協会, 東京, (2010), pp. 412-453.

2) 環境庁自然保護局野生生物課編, “改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－8 植物 I (維管束植物)”, 財団法人自然環境研究センター, 東京, (2000), pp. 65-623.

3) IUCN: ”IUCN Red List version 2012.1: Table 6b: Red List Category summary country totals (Plants)”, The IUCN Red List of Threatened Species, (オンライン), 入手先<http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics>, (参照 2012-9-4).

4) Haberl H, Erb K-H, Krausmann F, Gaube V, Bondeau A, Plutzar C, Gingrich S, Lucht W, Fischer-Kowalski M.: PNAS, 104, (2007), pp.12942-12947.

5) Erb, K.-H., Gaube, V., Krausmann, F., Plutzar, C., Bondeau, A., Haberl H.: J. of Land Use Science, 2(3), (2007), pp.191-224.

6) 国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)編, “日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2012 年 4 月”, 独立行政法人国立環境研究所, 茨城, (2012), pp. 7-1 - 7-66.

植物油インキを用いた印刷物の環境影響評価

Life cycle assessment of printed matter by plant oils ink

○荒井翔平*[1)]、高橋和枝[2)]、根本康恵[2)]、杉山泰之[2)]、國岡達也[2)]、伊坪徳宏[1)]
Syohei Arai, Kazue Takahashi, Yasue Nemoto, Yasuyuki Sugiyama, Tatsuya Kunioka, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 日本電信電話株式会社
* g0931009@tcu.ac.jp

1. はじめに

日本においてオフセット（平版）印刷に用られるインキは、大豆油を主原料に用いた「大豆インキ」がこれまで多く使われてきた。植物油をインキ原料に用いるのは、石油系溶剤の使用を最小限にすることでCO_2の排出や揮発性有機化合物(VOC)の発生を抑え、印刷における環境影響を小さくすることを目指したからである。しかし、作物を使用することで、生態系への影響や栽培に要する土地の改変などが想定されるが、これらを含めた場合の環境影響に関する議論はほとんどない。また、大豆油インキはアメリカ大豆協会が定めた基準値が存在するが、実用性を重視するあまり、従来インキと比較して環境負荷の削減が十分でないとも言われていた[1)]。つまり、大豆インキを利用しても実用性の担保から VOC の放出は避けられなかったことがいえる。このことから、鉱物油成分をインキ構成全体の 1%未満に抑えた“ノン VOC インキ”が開発された。これまで、大豆インキ以外の植物油インキやノン VOC インキを対象に統合化を含めた環境影響評価事例はまだ少ない。植物油インキの生産には作物を主原料にすることで土地利用が発生すること、また石油系溶剤の使用によりより VOC の放散がある。これらの問題に対して、作物を利用したときと石油系溶剤を利用した時でトレードオフが発生する。この関係を定量的な分析を通じて評価を行う。

2. 研究目的

本研究では、大豆インキ、ノン VOC インキであるライスインキ、石油系溶剤インキとそれらのインキを用いて印刷を行った印刷物を対象に環境影響評価を行った。

3. 方法

3.1. 本研究の考え方

印刷物に関する研究は数多く報告されているが、植物油インキ同士を比較した例はまだ少ない状態である。石塚ら[2012][2)]は電話帳を評価対象に設定し、大豆油インキの評価を実施している。本研究では、大豆インキ及び従来インキを用いた印刷物について LC-CO_2 評価を実施し比較する。また、大豆インキに代わる植物油インキの一例として、ライス（米ぬか油）インキを評価し、原材料の違いによる環境影響を定量的に算出、比較を行う。なお、評価は主に CO_2、VOC、土地利用に着目して行った。

3.2. 算定対象と評価範囲の設定

本研究では、ヒアリングの結果から油脂の原材料が異なるインキと印刷物のモデルを作成、印刷インキの評価を行った。図 1 にシステム境界を、図 S1 にインキ製造工程の詳細プロセスを示す。

表 1 機能単位とシナリオ設定

機 能 単 位	インキを生産し、A4 再生紙 1000 枚に印刷すること
基 準 フ ロ ー	インキ量 : 0.047g、A4 判再生紙 1 枚 : 5g
輸　　送	インキ原材料である大豆、石油系溶剤、再生大豆油、米ぬか油を製造工程まで

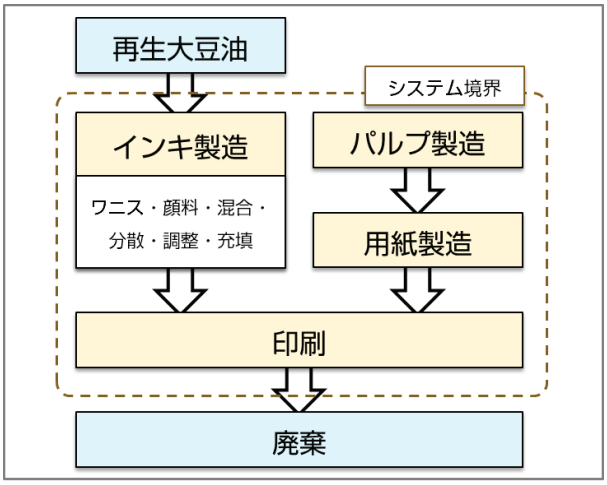


図 1 システム境界

3.3. モデルの設定

本研究で評価を実施するために、ヒアリング調査結果をベースに 4 種類のモデルを設定した。

表 2 インキ中に含まれる油の主原料

従 来 イ ン キ	石油系溶剤
大豆インキＡ	大豆インキＢに含まれる大豆油、再生植物油をすべてバージン油と仮定したもの
大豆インキＢ	大豆油、再生植物油
ライスインキ	米ぬか油、再生植物油

ヒアリングの結果、どのインキについても、製造工程に差は発生しないことが判明した。印刷では藍・紅・黄・黒の 4 色のインキを用いるが、評価ではすべて黒で印刷した場合を想定した。

3.4. 計算方法

企業へのヒアリング調査を実施し、インキ製造の投入量に関して一次データの収集を行った。ただし、パルプ・用紙製造に関するデータについては、LCA 日本フォーラムデータベースより、日本製紙連合会公表のインベントリデータを使用した。算定には、MiLCA 及び IDEA[3]を使用し、統合化と影響評価の計算は環境影響評価手法である LIME2[4]を用いて地球温暖化、生態系などさまざまなアプローチで評価を行った。

4. 結果

はじめに、4 種類のモデルで LC-CO_2 評価を行った。その結果を図 2 に示す。どのモデルも印刷工程がほとんどを占めている。印刷に使用する、ガスや電力などのユーティリティが大きく寄与していることから、すべてのモデルがほぼ同じ値となった。

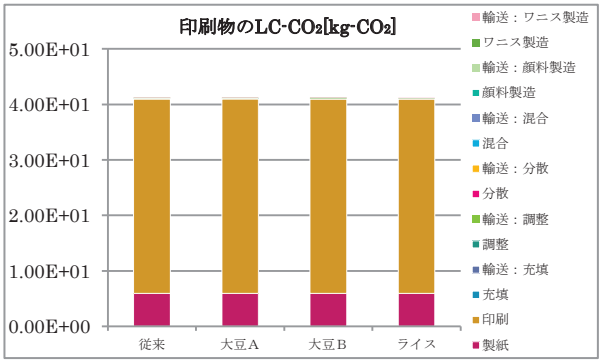


図 2 再生紙及びインキの LC-CO_2 評価結果

インキの生産に注目して、一次生産評価を行った結果を図 3 に示す。分析の結果、大きく寄与している工程はワニス製造、顔料製造であることがわかった。その理由として、化石燃料のエネルギー利用が大半を占めた。

その中で、ワニス製造がライスインキで削減されていることがわかる。インキは基本的に同じ工程で製造されている。よって、これらの影響で値に差が発生するのは、原材料の違いということになる。また、ライスインキでは米ぬか油以外にワニス製造の工程で店舗や家庭から発生する廃油を再生植物油として使用している。この影響も大きいことが分かった。

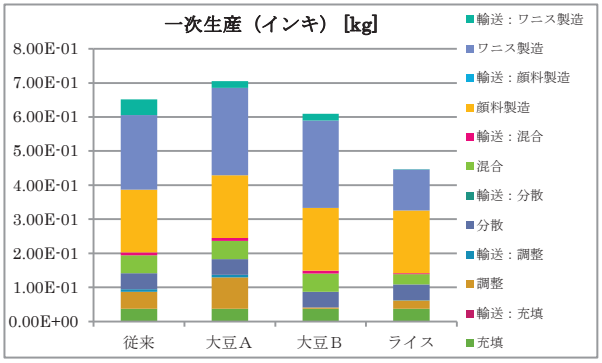


図 3 インキ生産における一次生産影響評価結果

モデルの統合化評価を行った結果を図 4 に、インクの生産に着目した統合化結果を図 S2 に示す。印刷の影響が大きいことから、それぞれについて大きな差を見出すことはできなかった。どのモデルも人間健康が多数を占めているが、その中でもワニス製造が大半を占めている。

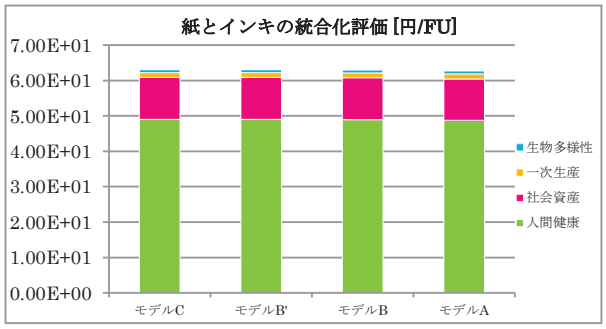


図 4 印刷物の統合化評価

5. 限界と課題

今回のデータのうち、大豆インキ・ライスインキの一部に再生植物油（廃天ぷら油）を使用しているが、使用済み油の上流プロセスについては評価対象外とした。そのため、再生植物油の天ぷら油としての生産・使用に関する部分は考慮していない。

6. おわりに

インキの原材料を変えたモデルを設定し影響評価を行った。その中で、ライスインキの影響が最も小さいという結果となった。また、大豆油インキについてはすべてバージン油を用いて生産を行ったシナリオ（大豆油インキA）も比較対象とした。その結果、従来インキよりも環境負荷が大きくなることが判明した。もしも、大豆油インキに含まれる大豆油をすべてバージン材で製造した場合は、これまでいわれていた「環境負荷削減」ができていなかった可能性がある。今後、ノン VOC インキ、とりわけ再生植物油を利用したインキを使用していくことで、さらなる環境負荷の削減につながると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、東洋インキ SC ホールディングスの太田様、細井様、内田様、朝井様にデータ提供等のご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 福田幸一、石井秀夫：日本印刷学会誌, 37 (5), (2000), pp.255-256
2) 石塚徹、高橋和枝、染村庸、國岡達也、伊坪徳宏：“日本LCA学会”，野田, (2012), pp.204-205
3) 社団法人 産業環境管理協会，LCA ソフトウェア MiLCA・IDEA
4) 伊坪徳宏、稲葉敦, “LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”，丸善，東京, (2010)

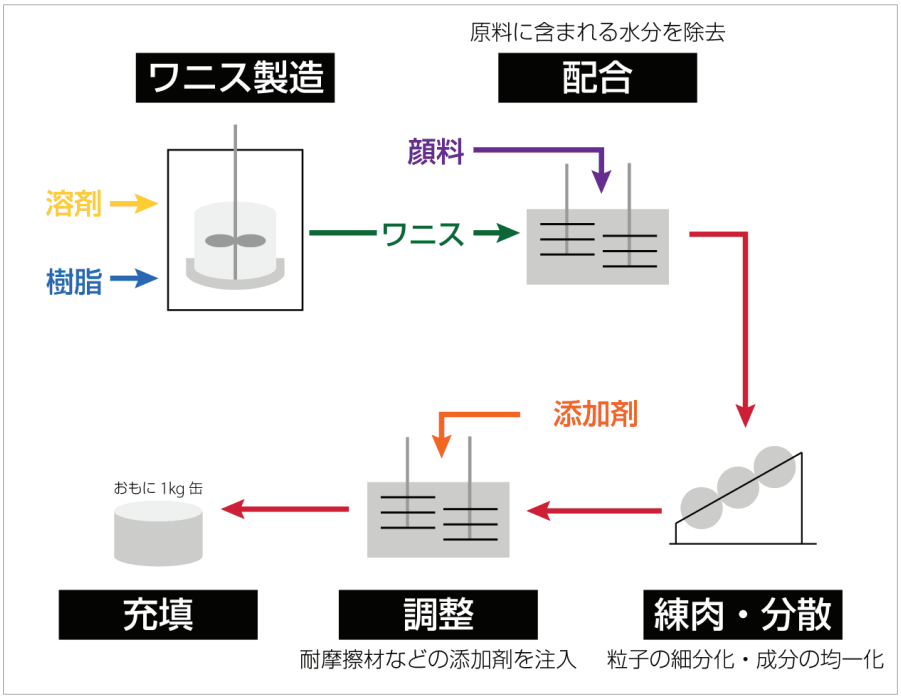


図 S1 インキの生産工程

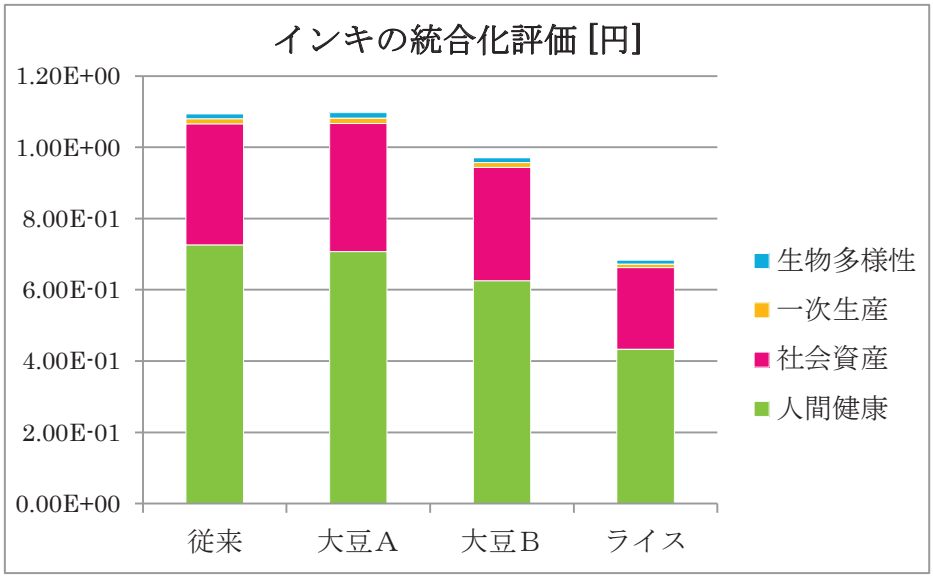


図 S2 インキ生産の統合化評価

効率的リサイクル・廃棄物処理のための統合型処理拠点の検討

Study on a combined recycling system for efficient recycling and waste treatment

○藤井　実*[1)]、藤田　壮[1)]、大西　悟[1)]、戸川卓哉[1)]、Dong, Liang[2)]
Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Takuya Togawa, Liang Dong
1) 国立環境研究所, 2) 名古屋大学
*m-fujii@nies.go.jp

1. はじめに

資源の有効利用と低炭素化の推進の観点からは、廃棄物の一層の有効利用が求められる。本研究では、主として家庭から排出される有機系の廃棄物を対象として、その効率的リサイクルについて検討する。廃棄物の利用効率の向上には、質の異なる廃棄物毎に分別を行い、特性に合わせた利用を行うことが重要である。一方で処理施設の側から見た効率化には、統合的な処理により、規模の効果を得ることや、熱や副産物を融通することが重要である。分別と統合という一見相反する課題を適切に扱うシステムについて検討することが重要であると考えられる。

2. 効率的なリサイクルに向けて

上述のように、効率的なリサイクルには、廃棄物の素材別（あるいは特性別）の分別が不可欠となる。リサイクルの理論的な最大効率は、1kg の循環資源が、それ自身と同じ種類の素材で、天然資源から新たに製造される 新規素材 1kg を代替するリサイクル（閉ループリサイクル）が、プロセスのためのエネルギー投入なしに達成される場合であると考えることができる[1)]。材料リサイクルをこのような理想値に近づけるには、発生源において分別を行い、リサイクル工程を簡略化することも重要である。一方、材料リサイクル以外の方法でも、理想値からそれほど遜色のないリサイクルが行える場合もある。特に、廃棄物となった素材自体に保持されているエネルギー・資源的価値が、その製造段階に投じられたエネルギー・資源に比較して相対的に十分大きい場合には、ケミカルリサイクルやエネルギー回収の手法を用いても、大きな損失を生じない。一般廃棄物には複合素材や混合状態にある廃棄物も多く、これらについては、材料リサイクル以外の方法が効率的となる場合もある。その際、可能な限り動脈産業（素材産業等）の既存炉を活用したリサイクル（準閉ループリサイクル）を行うことで、大規模利用による効率化がなされ、同時に費用面でも有利となる場合がある[2)]。

これらを勘案して、一般廃棄物を特性毎に分類し、その有効利用の促進を図る上で適切と思われるリサイクル方法を対応させたものを、図 1 に示す。材料リサイクルに必要な素材の単一性、ケミカルリサイクルやエネルギー回収に重要な発熱量や塩素濃度に従って、質の高い廃棄物から順に分別回収して、特性に相応しいリサイクルを行うことを想定し、廃棄物の利用効率を高め、結果的に新規資源の代替を最大化することによって、低炭素化を進める。しかしこのような方法では、質の高い廃棄物を引き抜いた後に、相当量の低品質な廃棄物の画分が残されることになる。このリサイクル効率を向上させるシステムを検討すると同時に、総合的な効率改善には、どの程度の分別を行うシステムが適切であるかを把握しておく必要もある。

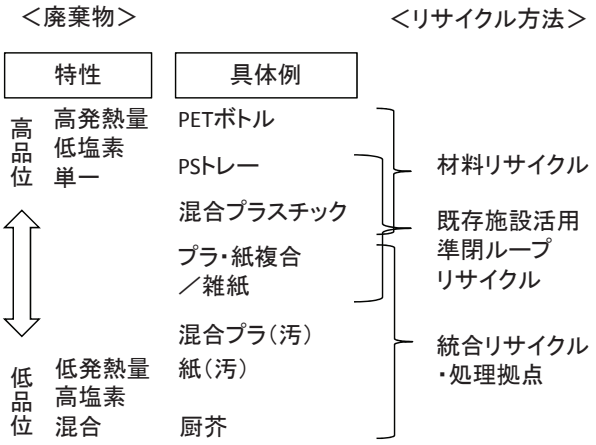


図１　廃棄物の特性別リサイクル・処理方法

3. 統合処理拠点

上述の質の低い廃棄物は、材料リサイクルや動脈産業での活用が困難な廃棄物であり、従って、専用のプラントを建設して廃棄物処理・リサイクルを行うべき対象となる。低品質廃棄物の中にも、異物の付着・混合したプラスチックやゴム、紙類のように、発熱量の高い廃棄物と、厨芥のように含水率が高く発熱量の低い廃棄物が混在する。また、異なる発生源から生じる下水汚泥の処理も、並行して行うニーズがある。低品質の中でも、更にある程度特性別に分けたリサイクルによって利用効率の向上を図りながら、施設が個別細分化することの弊害を防ぐ観点からは、処理を統合化した拠点を設置することが考えられる。統合拠点化の利点は図 2 にまとめるように、エネルギー効率の向上、素材の利用効率の向上、イ

ンフラや労務費の低減などである。

1. **エネルギー効率の向上**
- 施設規模の拡大によるエネルギー効率の向上
- 質の異なるエネルギーの組み合わせによる効率の向上

2. **素材利用率の向上**
- 一方の残渣を他方で利用できる機会の増加
- 適正処理が必要な廃棄物量の削減

3. **インフラ投資の抑制**

(1)設備の共通利用
- 熱供給施設、発電施設、排水施設等の共同利用

(2)既存施設の活用
- プロセスの一部に既存施設を活用する複合システム（地理的に近接しない場合もあり得る）

4. **労働力の削減**
- 規模拡大による単位処理量当たりの運転要員や管理部門の削減

図２　廃棄物処理・リサイクルの統合拠点化の利点

4.　統合処理拠点のシステム構成例

海外では、一般廃棄物が直接埋め立て処理されるケースが多く、その改善が急務となっている。例えば中国では焼却施設の建設や食品廃棄物のリサイクルなどが計画され、実行されつつある。また国内においては、低品質な一般廃棄物は焼却処理（発電・熱回収）が主要なリサイクル・処理方法であるが、今後の人口減少への対応や、更なる効率改善の観点から、多様な選択肢を勘案した上で適切な計画を行う必要があると考えられる。このような計画に資するものとして、統合拠点の 1 つの構成例を図 3 に示す。

まず、一般廃棄物の焼却炉ボイラーは、排ガスに含まれる塩素による配管の腐食を防ぐために、腐食の程度が緩やかな温度域（300～400℃）で運転されている。これは、例えば最新の石炭火力発電所の温度域（600℃程度）に比べて低温であり、焼却炉における発電効率が低いことの一因である。一般廃棄物を混合状態のまま焼却した際には、この点が解決困難な課題となる。そこで、水分の多い厨芥を分別してメタン発酵し、得られるメタンガスを利用して、焼却炉ボイラーの蒸気をスーパーヒートして昇温し、発電効率を高めるシステムを想定する。立地条件によっては下水汚泥を乾燥焼却、またはメタン発酵することも想定される。発電廃熱をメタン発酵のための加温に用いるなど、図 2 で述べた統合化の利点が得られるシステム例である。予備的検討では、従来型と比較して発電量が 1 割程度増加することが試算されており、今後詳細な評価を行う予定である。

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費補助金（K113002）の助成を受けて行われました。

参考文献

1) 藤井実, 藤田壮, 陳旭東, 大西悟, 大迫政浩, 森口祐一, 山口直久：長期的視点からのプラスチック及び雑紙のリサイクルシステムの検討, 環境システム研究論文集, 39 , (2011), pp. II_439-447

2) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi, Naohisa Yamaguchi: Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society, Resources, Conservation and Recycling, 63, (2012), pp. 1-8

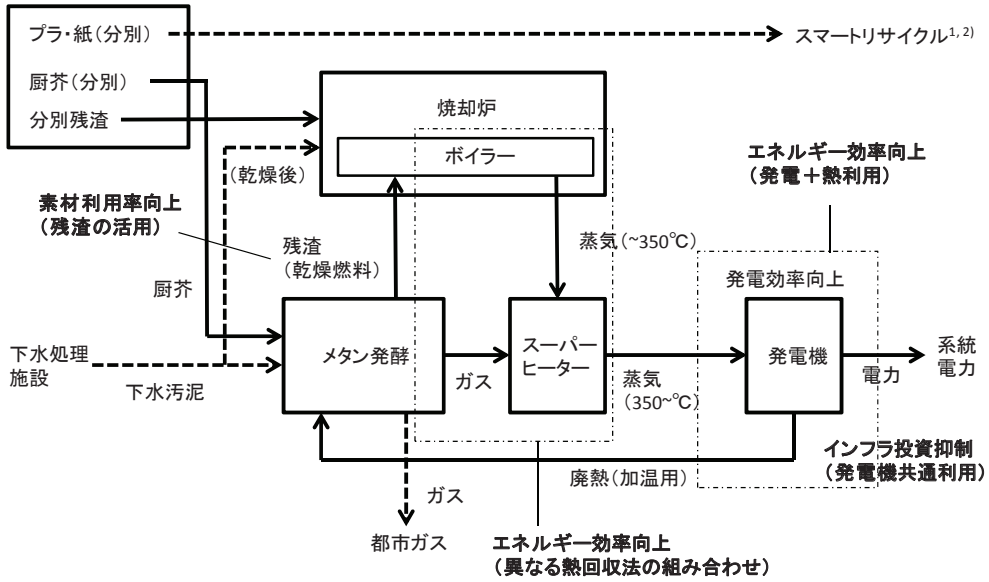


図３　統合処理拠点のシステム構成例

PET ボトルリサイクルの帰結的 LC-CO_2 分析

Consequential LC-CO2 Analysis of PET Bottle Recycling

○北原瑞暉*[1)]、湯龍龍 [1)]、佐藤達夫 [2)]、大橋憲司 [2)] 、伊坪徳宏 [1)]
Mizuki KITAHARA, Longlong TANG, Tatsuo SATO, Kenji OHASHI, Norihiro ITSUBO
1) 東京都市大学, 2) 資生堂リサーチセンター
* g0931072@tcu.ac.jp

1. はじめに

アジアを中心とした国際的な経済成長と人口増加に伴い、世界的に資源需要が増加しており、資源の安定供給に対する懸念が強まっている。資源の乏しいわが国は、3R の推進などの循環型社会に向けた先進的な取り組みをさらに推進することは、喫緊の課題といえる。

このような状況のなか、使用済み PET ボトルを再生ボトルへとリサイクルする取り組みが注目されている。本研究では、ある特定のリサイクル製品への割合が増加することによる他製品への影響を考慮して包括的に分析する Consequential LCA(CLCA)の手法を用いて、BtoB の再生率や繊維、フィルムといった再生製品のシェアなど複数のシナリオを想定した LCA の評価を実施し、シナリオ間の比較分析を行った。

2. 方法

2.1. 既存研究及び本研究の考え方

PET ボトルリサイクルに関する研究は多数報告されている。その多くがボトル to ボトル(BtoB)やボトル to 繊維（BtoF）等のリサイクル製品単位での評価や廃棄段階での最適化について行われたものであった。今後、BtoB 需要が高まることで、他製品へのリサイクル材供給量が変動することが予想される。このような複数製品への再利用における影響を包括的に評価した研究例は、現状ではまだ少ない状態であるが、Li Shen ら[2011][1)]は世界平均をもとに PET 樹脂需要が変更されることによる他製品への影響を考慮し、包括的に評価を行った先駆的な研究例を提出している。

本研究では、これに習い、複数製品への再利用における影響を包括的に評価する CLCA によるシステム拡張を適用した、リサイクルシステムと基準システムの 2 種類のシステムを設定し、日本における評価を行った。

2.2.機能単位とシステム境界の設定

本研究では、2010 年度における PET 樹脂の国内生産量・輸入量・再生量の実績値 [2)]を元に、PET 樹脂流通量を 1000kg と仮定して機能単位を設定した。その内訳は、ボトル 350kg、繊維 420kg、フィルム 230kg となる。また、バージン材(V-PET)とリサイクル材(R-PET)の機能は同等のもとして評価を行った。システム境界は、ボトル、繊維、フィルム製造に使用される PET 樹脂製造から、リサイクル、廃棄までを評価範囲とし、特定製品への加工工程や内容物、販売段階は評価対象外とした。

2.3.LCI モデル

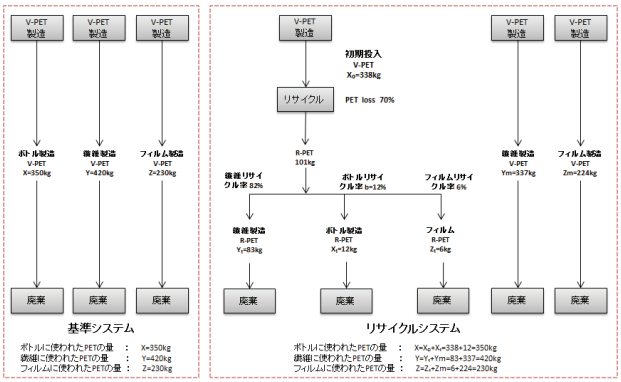


図 1　製品システム

図 1 に基準システムとリサイクルシステムのフローチャートを示す。基準システムでは、ボトル、繊維、フィルムの 3 製品は V-PET から生産され、一部が熱回収される。リサイクルシステムでは、V-PET からボトルが製造され、回収及びリサイクルが行われる。この時の初期投入ボトル（X_0）は、以下の式から求めることができる。X_0とリサイクルシステム内で生産されるボトルの合計をボトルの機能単位としている。2010 年度の実績に基づき、回収率 83.7%と再生率 34.7%からロス率（η）は 70%と設定した。また、リサイクル率は、ボトルは 12%（a）、繊維は 82%（b）、フィルムは 6%（c）と設定した。

$$X = Xr + Xm \qquad Y = Yr + Ym \qquad Z = Zr + Zm$$

$$X_r = \sum_{i=0}^{n} Xi = X_0 \times \sum_{i=0}^{n} (\eta a)^i$$

$$Y_r = \sum_{i=0}^{n} Y_{i+1} = \sum_{i=0}^{n} \eta\{1-(a+c)\} \times X_i = \eta\{1-(a+c)\}X_0 \times \sum_{i=o}^{n} (\eta b)^i$$

$$Z_r = \sum_{i=0}^{n} Z_{i+1} = \sum_{i=0}^{n} \eta\{1-(a+b)\} \times X_i = \eta\{1-(a+b)\}X_0 \times \sum_{i=o}^{n} (\eta c)^i$$

X/Y/Z	：機能単位内 のボトル /繊維/フィルム の総量
Xr/Yr/ Zr	：リサイクルシステム内　で生産されるボトル /繊維/フィルム の総量
Xm/Ym/Zm	：機能単位 を満たすために追加生産されるボトル /繊維/フィルム の量
n	：リサイクル を行う回数

2.4.シナリオ設定

リサイクル回数及び R-PET 供給率、PET 再生率変化による環境負荷を把握するために、表 1 のようにシナリオ

を設定した。シナリオ①、②では、複数製品へのリサイクル回数の増加及び、今後のBtoB推進取り組みを考えて、R-PET供給率の変化を設定した。シナリオ③ではBtoB供給率増加に伴い国内再生率が増加すると仮定し、ロス率減少の設定を行った。シナリオ④では過去4年間のPET樹脂市場の変化を評価した。

表１　シナリオ設定

		ベースライン	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③	シナリオ④
リサイクル回数(n)		1	>1	>1	>1	1
BtoB率(a)		12	12	0~100	12	a
ロス率(η)		70	70	70	41	η
機能単位(kg)	ボトル	350	350	350	350	X
	繊維	420	420	420	420	Y
	フィルム	230	230	230	230	Z
対象年度		2010	2010	2010	2010	2008~11

2.5.データ収集

図1の製品システムに示した通り、本研究では、ボトル用PET樹脂製造、繊維用PET樹脂製造、フィルム用PET樹脂製造、リサイクル工程、焼却・埋立、エネルギー回収におけるデータが必要となる。そこで、各報告書による調査データを参考に、バックグラウンドデータとしてIDEA（Version1.1.2.5）を用いて地球温暖化及びエネルギー消費における原単位を作成した。

3.　結果と考察

リサイクルを実施しない基準システムと、リサイクルを1回行った場合のベースラインリサイクルシステムの評価結果を図2に示す。リサイクルを行わない基準システムに比べ、ケミカルリサイクルは10%、メカニカルリサイクルは16%低い結果となった。これは、V-PETボトルリサイクルから再生されたR-PETにより、繊維やフィルム製造に必要なV-PETの量を削減できたためである。

次に、BtoB供給率変化に伴う地球温暖化の評価結果を図3に示した。単回リサイクルのシナリオでは、R-PETをすべてボトルリサイクルに流す場合（a=100%）が最も負荷が大きい結果となり、BtoBを行わない場合（a=0%）が最も負荷が小さい結果となった。この理由として、BtoB供給率が高くなることで多くのボトルをR-PETから製造可能になり、ボトル製造に必要なV-PETの量が削減される一方で、繊維やフィルムに流れるR-PETの量が減少し、それを補うためV-PET投入量及びその廃棄量が増加したことが要因と考えられる。このシナリオに基づくと、BtoBよりもBtoFを行う方が環境面では良いという結論になるが、複数回（3回以上）のリサイクルを行う場合には、BtoBの割合による環境負荷の差は解消する。

最後に、BtoB普及により国内再生率が増加した場合の評価結果を検討した。このシナリオでの再生率を、2010年度の2倍となる70%と仮定し、ロス率を41%と設定した。2010年度の実績値であるBtoBリサイクル率12%のシナリオでの比較を図4に示した。システム全体での環境負荷が縮小する結果となり、現在の70%も発生しているロスをいかに減らしていくかは大きな課題と言える。

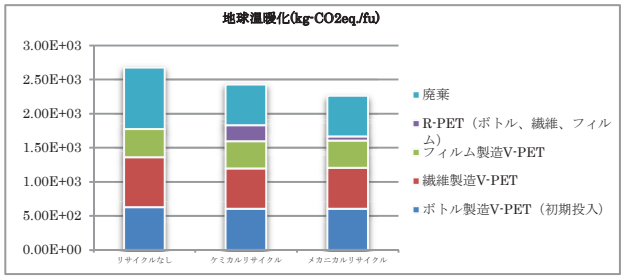


図２　ベースライン

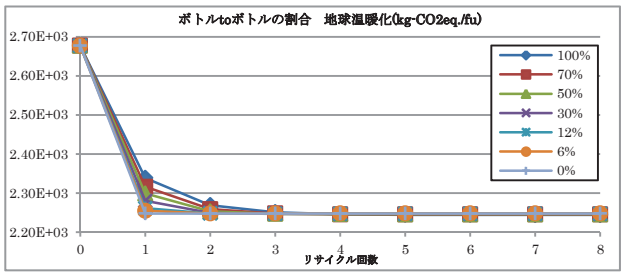


図３　シナリオ①、②

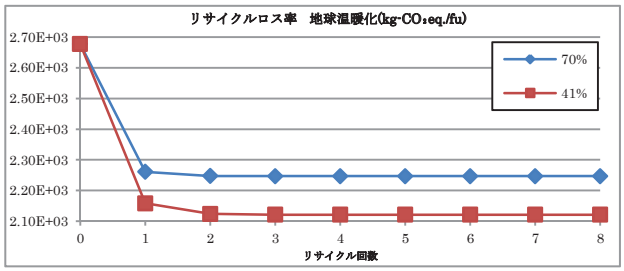


図４　シナリオ③

4.　おわりに

日本におけるPET樹脂フロー及び再生率をベースに、BtoB供給率変化による影響評価を行った。ボトル以外の製品への利用を考慮しない場合はBtoBを推進すると環境負荷削減に寄与するが、ボトル以外の製品も考慮した分析を行うと、ボトルの需要量が再生による効果を見出す上で重要な役割を果たしていることが分かった。今後、環境面を考慮したBtoBを推進していくには、海外流出等のロスの減少とともにボトルの需要も高めることが必要となる。

参考文献

1)　Li Shen, Evert Nieuwlaar, Ernst Worrell,　Martin K. Patel：Int. J.LCA (2011) 16:pp.522–536
2)　社団法人PETボトルリサイクル推進協議会：“PETボトルリサイクル年次報告書”,(2008-2011)

紙おむつの配布・回収とマテリアルリサイクルを組み合わせた高齢者見守り事業の総合評価

Comprehensive Evaluation of Watching-over-elderly Project with Combination of Distribution, Collection and Material Recycle of Disposal Diapers

○岩根早紀 *[1)]、藤山淳史[1)]、松本 亨[1)]
Saki Iwane, Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto
1) 北九州市立大学
*q9551002@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

地域循環圏には、資源代替による経済効果、産業の活性化、雇用の創出、地域全体の環境負荷の削減等、多岐に渡って地域経済等を活性化させる効果があるとされ、地域活性化への効果も重要視されている。平成24年7月に公表された「地域循環圏形成推進ガイドライン」[1)]では、地域循環圏形成効果を示す評価指標として、最終処分量、天然資源投入量、CO2排出量、コストの他、地域循環活力が提示されている。地域循環活力については、民間企業における環境経営活力、地域環境活動、住民満足度等に対する効果を算定する手法として、21の指標体系とその集約化による時系列変化の計測が例示されている。しかし、現実の地域循環圏の形成事例に対して、地域循環活力あるいは地域活性化等の社会的効果が明示的に計測された事例はほとんどない。

福岡県大木町では、平成23年10月から家庭系使用済み紙おむつの分別回収が開始され、また平成24年8月から、ごみ出しが困難である高齢者のみ世帯を対象とした「高齢者等ごみ出しサポート事業」が試行されている。これらは、環境と高齢者福祉の融合政策といえ、環境側面のみならず福祉への貢献という社会側面に対する効果が見込まれる。地域循環圏形成の地域活性化への貢献度を評価するには好事例と考えられるため、本研究において評価対象としてとりあげる。なお、使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルによる環境面への効果は、CO2排出量についてライフサイクルインベントリ分析を用いてすでに評価している[2)]。そこで、本研究では、アンケート調査を行い、大木町の使用済み紙おむつの分別・リサイクルを環境、経済側面とともに、福祉と地域活力への影響を社会側面の指標として追加し、住民の意識を取り込んだ地域循環圏の総合評価を試行する。

2. 評価対象の概要

福岡県大木町で取り組まれている、紙おむつのリサイクル事業は、家庭から排出される使用済紙おむつを町内に設置された回収BOXで回収し、回収された使用済紙おむつを、トータル・ケアシステム株式会社で水溶化処理し建築資材などにリサイクルするという取り組みである。また、平成24年8月から試行されている、「高齢者等ごみ出しサポート事業」とは、家庭ごみの分別や排出が困難な高齢者や心身障害者などの負担軽減と安否確認を行うため開始された。現在、大木町には75歳以上高齢者のみ世帯は300世帯あり、そのうち民生委員の選出により20世帯への訪問が行われている。訪問は、大木町シルバー人材センターの会員がしており、週一度の訪問時にごみ出しだけでなく電球の取換えなど困りごとへの対応も含めサポートしている。

3. 分析手法

多数の基準から評価対象の比較を行うために、多基準分析手法の一つであるコンコーダンス分析法を用いる[3)]。本研究で用いたコンコーダンス分析法の流れを、図1に示す。

任意の一対の代替案iとi'(i,i'=1,2…n:i≠i')に対して、コンコーダンス集合$C_{ii'}$およびディスコーダンス集合$D_{ii'}$を以下のように定義する。ただし、P_{ij}を代替案iの基準jに関する評価値とする。

$$C_{ii'} = \{j | P_{ij} > P_{i'j}\}$$

$$D_{ii'} = \{j | P_{ij} < P_{i'j}\}$$

次に、合計が1に基準化された評価基準の重みをW_jとして、コンコーダンス指標$C_{ii'}$を次式によって定義する。

$$C_{ii'} = \sum_{j \in C_{ii'}} W_j$$

すなわち、基準となる代替案iと比較対象となる代替案i'に対して各評価指標を比較し、評価指標jに関してiがi'より優れている（あるいは同じ）場合に、その重みを加算することによって作成される。

一方、ディスコーダンス指標$d_{ii'}$は、代替案iについて、比較対象の代替案i'に対して劣っている度合いを計算することによって作成される。各評価基準の評価値の最大値と最小値との差をd_{jmax}とし、代替案iが代替案i'よりも劣っている指標について$(P_{ij} - P_{i'j})W_j / d_{jmax}$を計算し、その値が最大のものをディスコーダンス指標とする。

以上のコンコーダンス指標とディスコーダンス指標を用いて、次式によってコンコーダンス優先指標 c_i、ディ

スコーダンス優先指標 d_i、総合指標 e_i を計算する。

$$c_i = \sum_{i'=1}^{n} c_{ii'} - \sum_{i'=1}^{n} c_{i'i}$$
$$d_i = \sum_{i'=1}^{n} d_{ii'} - \sum_{i'=1}^{n} d_{i'i}$$
$$e_i = c_i - d_i$$

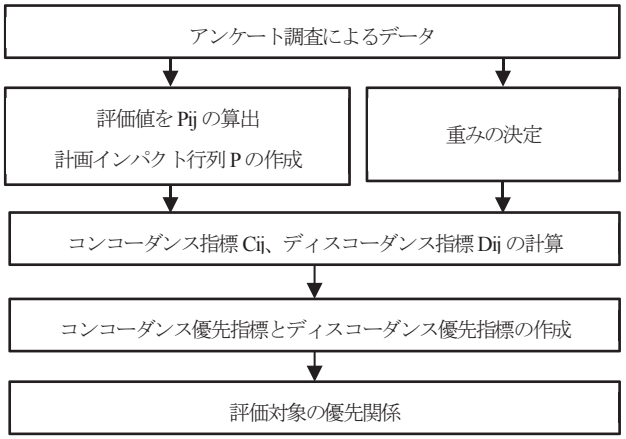


図１　コンコーダンス分析の分析フロー

4.　総合評価の枠組み

4.1. 評価基準

本研究では、使用済み紙おむつの分別・リサイクルの総合評価の評価基準を 2 段階に分けた。評価指標の全体像を図 2 に示す。まず、基準 1 に、社会側面として A ごみ出しの利便性・快適性と D 地域活力・福祉力、経済側面として B 経済面、環境側面として C 環境面、以上の４つを設定した。基準 2 には、基準 1 の下にそれぞれ、A1 衛生面、A2 分別の手間、A3 ごみの出しやすさ、B1 家計、B2 行政の費用、B3 地域経済への影響、C1 地球温暖化、C2 天然資源への影響、C3 埋立量、D1 意識啓発、D2 高齢者にとっての暮らしやすさ、D3 地域の活力の計 12 項目を設定した。

A の項目は、住民がごみの分別や回収場所に出す際に感じる、衛生問題や負担といった観点からの評価、B の項目は、ごみ処理システムの家庭・行政の費用負担や地域経済波及効果という観点からの評価、C の項目は、ごみ処理システムが、地域や地球の環境に与える影響という観点からの評価、D の項目はごみ処理システムが地域や福祉に与える影響（住民同士のつながり、高齢者の暮らしやすさ、分別を通しての学び）という観点からの評価とした。

4.2. 重みの決定と代替案の評価

重みづけは、紙おむつの分別・リサイクルに関してどのような観点（評価基準）を重要視するか、アンケートで問い、基準 1、基準 2 それぞれの基準間で行い、決定した。また、評価対象を、①紙おむつの分別回収なし、②紙おむつの分別回収ありの２つとし（図 2 最下部）、基準 2 の 12 項目において比較した。なお、重みづけと比較については、数値分配法で問うことで算出した。

4.3. アンケート調査の実施概要

アンケート調査の実施概要は以下の通りである。

- 調査対象：大木町の住民（シルバー人材センター、公営保育園・子育て支援センターの利用者）
- 配布数：約 50 件
- 配布回収方法：直接配布、郵送回収方式
- 実施時期：2013 年 1 月

5. まとめ

紙おむつの配布・分別回収とマテリアルリサイクルを組み合わせた高齢者見守り事業を対象に、環境側面のみならず、経済、社会側面を評価する総合評価の枠組みを検討した。また、評価基準間の重み付け係数、ならびに評価基準に対する代替案の評価を取得するために、住民を対象としたアンケート調査を実施した。

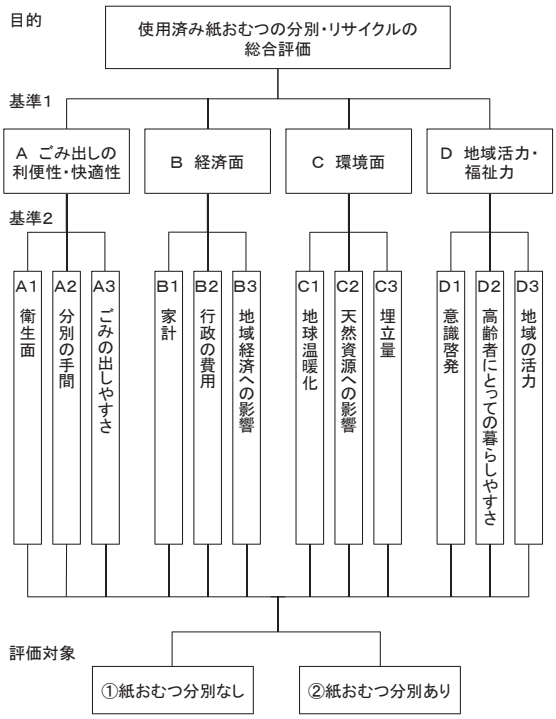


図２　評価指標

参考文献

1) 環境省：地域循環圏形成推進ガイドライン，(2012)
2) 藤山淳史，櫻井利彦，松本亨，長武志：日本 LCA 学会誌，8 (1)，(2012)，pp. 37–44
3) P. ネイカンプ, ヴァン・デルフト, P. リートヴェルト, “多基準分析と地域的意思決定”, 勁草書房, 東京, (1989 年)，pp. 28–56

ジャケットのカーボンフットプリント

Carbon Footprint of Jackets

○薛 文宝[1)]、成田 暢彦*[1)]、菅井 径世[1)]
Wenbao Xue, Nobuhiko Narita and Michiyo Sugai
1) 名古屋産業大学大学院
*narita@nagoya-su.ac.jp

1. はじめに

「見える化」の一つとして製品のライフサイクル全体で排出される温室効果ガスを CO_2 排出量に換算し、表示するカーボンフットプリント（以下、「CFP」という）制度が実施されている。現在までに数多くの製品を対象にしたCFPが公表されている[1)]。

本研究では、複雑、多様化してきた洋服の構成に着目し、その生産、廃棄、リサイクルの観点から、典型的な洋服であるジャケットのCFPを試算することを目的とする。

2. 研究対象および研究範囲

日本国内では、約140～200万トン/年の使用済繊維品が排出されているが、そのうち約11～20%のみがリサイクルされている。残りの廃棄衣料品は燃焼されているが、繊維リサイクルによるCFPの削減効果を試算すると共に、中国での生産を想定する。

研究対象は、日本で販売されるポリエステル製ジャケットを選定した。システム境界は、図1に示すように「原料の調達から、縫製などの加工を含む生産、廃棄まで」と設定した。なお、本研究では「使用維持管理段階」に相当するクリーニング等の工程は除外した。

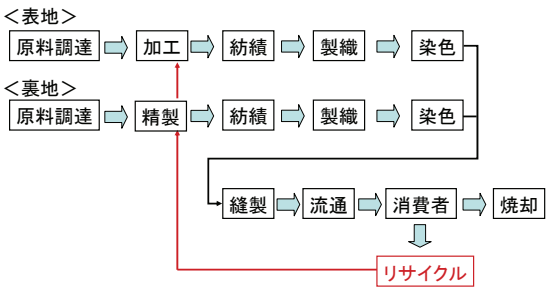


図１　ジャケット製造フローとリサイクルの位置づけ

3. 研究方法

本研究で対象としたジャケットは、リサイクルを考慮して、ポリエステル 100%で製造されている。本研究では、過去に詳細に分析されているジャケット（羊毛/ポリエステル=50%/50%；質量673g）のLCA報告書[2)]の分析結果を基に、ポリエステル100%に換算する。

4. 分析結果

4.1 既存文献のフォロー

LCA 報告書[2)]の分析を基に、羊毛/ポリエステル=50%/50%のジャケットの生産までの CO_2 排出量を試算した。その結果、日本国内の生産までには19.6kgの CO_2 が排出される。素材に加え、製織などで約19kWh/着の電力が消費されており、大きな影響を及ぼしている。そこで、中国の電力原単位を用いて、中国での生産時の CO_2 排出量を試算した。それらの結果を図2にまとめて示す。図2から、中国で生産した場合には、加工工程での電力消費のため、CO_2 排出量が増大すると推測される。

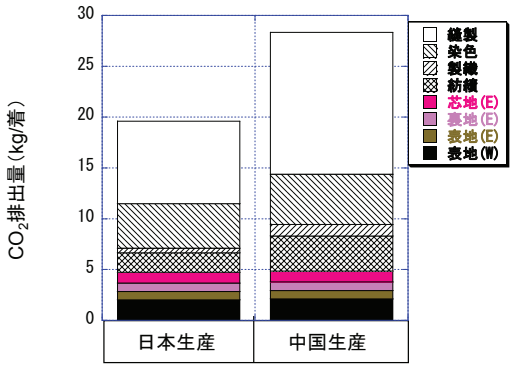


図２　ジャケット（W/E=50/50）生産までの CO_2 排出量の内訳ー日本と中国での生産による差異ー

4.2 ポリエステル100%のジャケットの CO_2 排出量

4.1で得られた分析結果から、ポリエステル100%のジャケットの CO_2 排出量を推測した。その結果、図3に示すように羊毛は洗毛工程などで CO_2 排出量が多いので、ポリエステル100%のジャケットの CO_2 排出量は減少することが判った。

4.3 繊維リサイクルによる CO_2 排出量削減効果

ここでは、ポリエステル 100%ジャケットのリサイクルによる CO_2 排出量削減効果を試算する。試算の前提に当たっては、繊維企業が提唱している「繊維 to 繊維」の

リサイクル効果[3]を採用する。すなわち、使用済みポリエステル繊維からDMT（テレフタル酸ジメチル）を経て、ポリエステル繊維としてリサイクルされると仮定した。

分析の結果、図4に示すように、本研究対象のジャケット1着当たりで0.74kgのCO_2削減効果があると推測された。

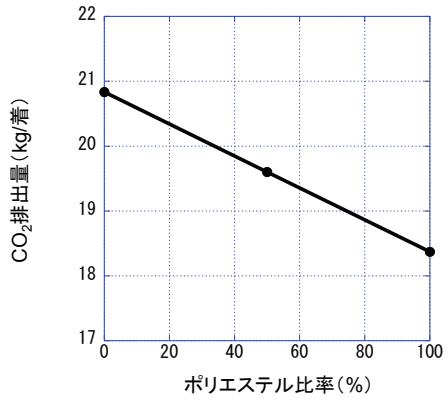


図3　ジャケット素材とCO_2排出量の関係

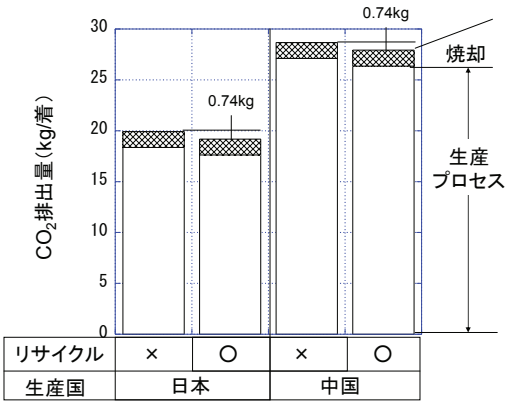


図4　ポリエステル100%ジャケットの繊維リサイクルによるCO_2排出削減効果（日中生産の差異）

5.　過去の研究との比較

類似製品に関するCFPは、広く衣類メーカーから公開されている。そこで、過去のCFP事例[4]とリサイクル効果を本研究のシステム境界と同等に設定し、比較した結果を図5に示す。本研究では、モノマー化によるリサイクル効果を検討したのに対し、比較事例では自動車内装材の原料綿代替材へのリサイクルを対象としている。製品の質量が異なるため、直接の比較は困難であるが、素材へのリサイクルによる削減効果は、リサイクル手法により異なることが推察される。

日本での年間繊維消費量は、1人当たり22.0kgと報告されており[5]、これら使用済み衣類のリサイクル量が増大すれば、大きなCO_2排出量の削減が見込まれる。今後、衣類のリサイクルについても、どのようなリサイクルシステムが適しているかを、一般廃棄物の焼却システムも含めて検討する必要があろう。

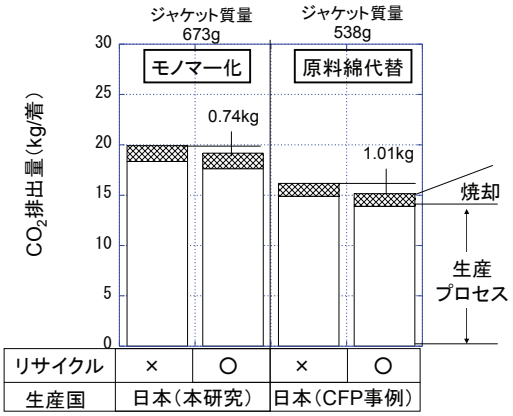


図5　リサイクルによるCO_2排出量削減効果の比較

6.　まとめ

本研究ではジャケットを対象に、日中での生産によるCFPの相違、リサイクルによるCO_2排出量削減の効果について、既存文献のデータ等に基づいて分析した。

その結果、以下のことが判明した。

(1) 生産には、多くの電力が消費されるので、環境効率が日中で等しいならば、中国で生産した場合にCO_2排出量が増大する。

(2) 羊毛/ポリエステル製ジャケットは、ポリエステル比率の増大に伴い、CO_2排出量は減少する。

(3) 使用済みポリエステル繊維のケミカルリサイクルなどにより、そのCO_2排出量は削減することが期待できる。

今後、種々のリサイクル手法の開発が期待されるので、その評価と共に、衣類の生産プロセスの効率化の検討が必要である。

参考文献

1）CFPホームページ：http://www.cfp-japan.jp/
（2013.1.5参照）

2) 経済産業省製造産業局繊維課：繊維製品のLCA調査報告書および資料編（2003）

3) 鈴岡：ポリエステル繊維の完全物質循環型リサイクル（2004）グリーン購入世界会議、仙台

4) CFPホームページ：http://www.cfp-japan.jp/
セロリー(株)：女子事務服ジャケットのCFP
（2013.1.5参照）

5) 日本化学繊維協会ホームページ：
http://www.jcfa.gr.jp/data/japan/3_1.html
（2013.1.5参照）

手術用リネン類のライフサイクル評価

Life cycle evaluation of surgical linen products

○北西伸光*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Nobumitsu Kitanishi, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
*rv002073@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

従来、我が国における手術用リネン類は綿素材の再使用可能リネンが使用されてきたが、医療現場において感染防止など安全性の観点から使い捨てリネン（以下、ディスポ）の使用が現在、大半を占めており、使用量も年々増加傾向にある。しかし、ディスポの使用量増加により、医療用廃棄物の増加や、廃棄コストの増大が懸念されている。一方で近年、感染防止の観点からディスポと同程度の性能を持つ、化学繊維素材の再使用可能リネン（以下、リユース）が開発されたことにより、再びリユースリネンが注目されている。

本研究はリユース、ディスポ、それぞれの手術用リネン類のライフサイクル環境負荷を定量的に評価することを目的とする。さらに医療機関に対するリユースへの転換意思に関するアンケート調査を実施し、その結果をもとに、病院における手術用リネンのリユースへの転換による環境負荷削減ポテンシャルを推計する。

2. 研究手法

研究対象は手術用ガウン（以下、ガウン）とする。ガウンのライフサイクル評価では、バリア性（衛生面）の液体防御性能基準（AAMI 基準）が 2 以上であるガウン 1 回の使用を機能単位とする。表 1 に対象となるガウンについての仕様を示す。これらの製品における素材製造、製品製造、洗濯、乾燥、輸送、廃棄を対象に環境負荷（温室効果ガス（GHG）排出量）を算出する。（図 1）

リユースの洗濯、乾燥についてはフォアグラウンドデータをヒアリングにより収集した。素材、製品の製造工程については、文献データ[1)]を用いた。ディスポの素材、製品製造ではPonder[2)]をもとに算出した。廃棄については両者ともに焼却後、埋立処理を行うものとした。またバックグラウンドデータはCFP プログラム基本データベース[3)]を用いた。

表 1. 各手術用ガウンの仕様

項目	リユース	ディスポ
使用素材	ポリエステル 100%	ポリプロピレン 100%
バリア性（衛生面）	3-2（AAMI 基準）	3（AAMI 基準）
使用回数	50 回	1 回
重量	0.460kg	0.115kg
滅菌方法	高圧蒸気滅菌	E.O ガス滅菌

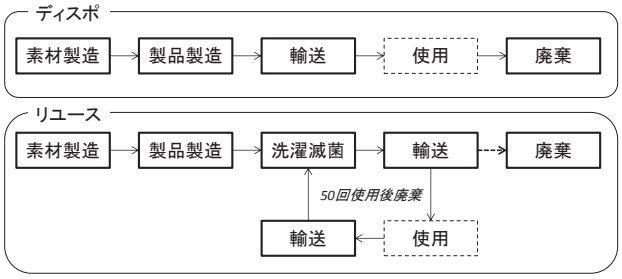


図 1. システム境界

環境負荷削減ポテンシャルについては、現状シナリオに加え、アンケート調査の結果をもとに、2 通りの環境負荷削減シナリオを設定し比較評価を行う。実現可能性の高いシナリオをシナリオ 1、積極的にリユースへの転換を行うシナリオをシナリオ 2 とする。表 2 にアンケート調査の概要を示す。

表 2. アンケート調査の概要

調査対象	全国の診療科目に外科を有する病院
調査期間	2012/11/30～2012/12/17
調査方法	郵送配布、郵送回収
配布数	994 病院
有効回答数	91 病院（9.15%）
設問 1	リユースへの転換を検討しているか
設問 2	リユースのどのような性能・特徴が担保されれば転換を検討するか

現状シナリオは、手術件数とアンケート結果から病院の年間ガウン使用に伴う GHG 排出量を算出した。統計データ[4)]における全国の年間手術名別手術件数を用いて、年間手術件数および年間ガウン使用手術件数を算出した。ここで、手術 1 件あたりのガウン使用枚数を外科手術は 5 枚、眼科手術は 2 枚と仮定し、手術時における年間ガウン使用枚数を算出した。またアンケート結果から、種類別ガウン使用割合を設定し、その値から全国の手術時における種類別ガウン使用枚数を推計し、その推計値から GHG 排出量を算出した。

シナリオ 1 では、アンケート調査における設問 1 の結果から、リユースへの転換を行った場合の病院の年間ガウン使用に伴う GHG 排出量を算出した。アンケート結果の手術件数およびリユースへの転換割合からリユースへ転換を検討している病院のリユース転換枚数を推計し、その推計値から GHG 排出量を算出した。

シナリオ2では、シナリオ1に加え、転換を検討していない病院のうち、比較的導入可能性が高いと思われる病院でリユースへの転換を行った場合を設定した。設問2において、既にリユースにおいて担保されていると考えられる性能・特徴（感染防止・コスト面など）のみを条件として挙げた病院の割合から、転換可能枚数を推計した。転換可能枚数のうち実際に転換される割合を25%、50%、100%と仮定し、それぞれのケースでGHG排出量を算出した。

3. 結果

各ガウン1回使用あたりのGHG排出量の算出結果を図2に示す。リユース 0.65kg-CO_2eq/回、ディスポ 0.99 kg-CO_2eq/回となり、リユースはディスポに比べ、GHG排出量を約35%削減されると算出された。リユースは、素材製造、製品製造でのGHG排出量が抑えられている反面、洗濯、乾燥、輸送での負荷が大きいことが示された。一方、ディスポでは素材、製品製造、廃棄ともに大きく、特に廃棄による負荷が非常に大きいことが示された。

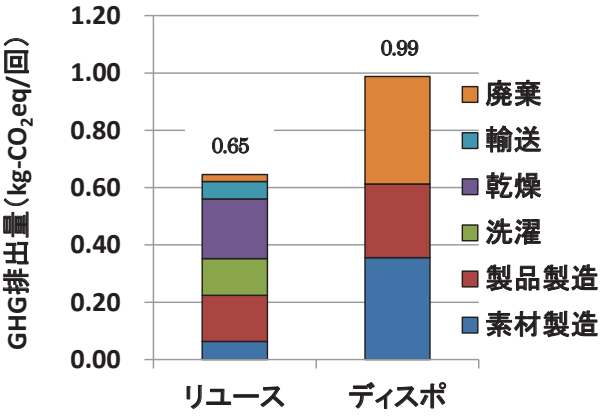


図2. ガウン1回使用あたりのGHG排出量

各シナリオにおけるGHG排出削減量およびリユース使用割合を図3に示す。現状シナリオのGHG排出量は14,710 t-CO_2eqと算出された。実現可能性が高いシナリオ1はリユース使用割合が21%に増加し、GHG排出削減量は176t-CO_2eqとなった。またシナリオ2（100%）ではリユース使用割合が36%となり、GHG排出削減量は692t-CO_2eqとなった。

アンケート結果からシナリオ1の対象となった病院割合はアンケート結果全体で約7%であったが、シナリオ1におけるGHG排出削減割合は約1.2%となった。この理由としては、今回のアンケートにおいて、リユースへ転換を検討していると回答した病院は手術件数が少ないことが影響したと考えられる。

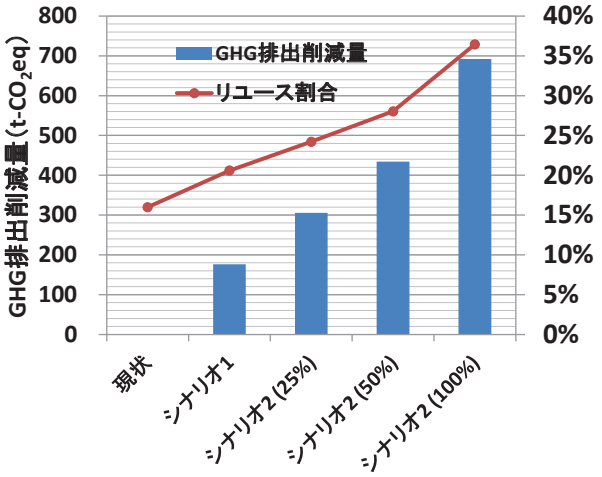


図3. GHG排出削減量およびリユース割合

4. まとめ

手術用ガウンにおけるリユースおよびディスポ製品の1回使用あたりのGHG排出量を算出し、比較検討を行った。温暖化の影響領域においてリユースはディスポに比べ優位性があることが示された。

アンケート結果からリユースへの転換によるGHG排出量削減ポテンシャルを推計した。シナリオ2（100%）ではリユース使用割合が36%となり、GHG排出削減割合は約5%と算出された。

また、ガウン以外の手術時における使用頻度が高い製品における環境負荷算出が今後の課題である。

参考文献

1) 経済産業省製造産業局繊維課：繊維製品（衣料品）のＬＣＡ調査報告書 資料編, 経済産業省, (オンライン), 入手先<http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/fiber/downloadfiles/LCA-shiryo.pdf>, (参照日2011-08-17)

2) Ponder, C.S.: Life Cycle Inventory Analysis of Medical Textiles and Their Role in Prevention of Nosocomial Infections, PhD thesis, North Carolina State University, 2009, 87-106

3) 産業環境管理協会：CFPプログラム基本データベース ver.1.01(国内データ), CFPプログラム, (オンライン), 入手先<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/CO2basic_data_ver101_20120711.xls>, (参照日2012-12-20)

4) 大臣官房統計情報部人口動態・保健社会統計課保健統計室：患者調査, 厚生労働省（オンライン), 入手先<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001103075> (参照日2012-12-20)

ICT 企業活動に適した生態系への影響評価手法の開発

Development of Biodiversity Impact Assessment Method for Evaluating ICT Companies' Activities

○高橋和枝*[1)]、根本康恵*[1)]、杉山泰之*[1)]、伊坪徳宏[2)]、村上佳代[2)]、本下晶晴[3)]
Kazue I. Takahashi Yasue Nemoto, Yasuyuki Sugiyama, Norihiro Itsubo, Kayo Murakami, Masaharu Motoshita
1) 日本電信電話株式会社　NTT 環境エネルギー研究所, 2) 東京都市大学、3)産業技術総合研究所
* takahashi.kazue@lab.ntt.co.jp

1. はじめに

生態多様性を保全するための世界目標である愛知目標は、2010 年名古屋で開催された生物多様性条約第 10 回締約会議(COP10)で採択され、生物多様性保全は、世界的に取り組むべき課題となった。それに従って、生物多様性保全の取組みは日本の企業にとっても重要な課題となりつつあり、森林保全、水質保全、野生生物のモニタリング等、様々な取り組みがなされている。その一方で、事業活動のために企業は土地を利用し、大量の資源を消費、廃棄するため、生態系へ影響は避けられない。

ICT サービスを提供する情報通信産業においても生物多様性保全は重要な課題である。例えばNTT グループは、森林保全活動への参加や設備工事のノウハウを活かしたアニマルパスウェイの設置、生態系情報の可視化サービスや環境情報の発信等を行っている。一方で、全国に通信設備を有するため、多くの土地を利用している。また、電話帳作成等のために1.7万トンの純正パルプを消費し、通信設備に大量の資源を消費しており、生物多様性保全を環境経営上、重要な課題としている。

ところで、企業が継続的に生態系保全活動を行うためには、経済原則に従った適切な目標の設定と実効性の検証が必須である。しかしながら、既存の指標には、企業の多様な活動が生物多様性に与える影響を定量的かつ簡便に評価できる指標はなかった。そこで、本研究では、ICT 企業の環境保護活動の企画、運営に資する知見を得るために生物多様性影響評価方法を開発することを目標としている。

まず既存の評価手法の検討し、事業活動のライフサイクルを評価する LCA、土地利用を評価する「土地占有による生態系サービス損失評価指標」(Ecosystem Service Loss Indicator, ESLI)[1)]を用いて主に負の影響（損失）を評価し、ICT を通じての貢献等による正の影響（社会的効果）を「環境経済指標」により評価することが適当であると考えた。さらに、これらの結果を統合することで経営の企画、運営に資する指標となることが期待できる。評価結果は、企業内の環境経営のみならず、ユーザーへの情報開示にも利用することも目指している。本報告では、評価の枠組みを提案し、試算した結果を報告する。

2. 方法

2.1 評価の枠組み

本研究で提案する評価の枠組みを図 1 に示す。すなわち、通信設備のライフサイクルに亘る影響と土地利用の影響は、LCA および ESLI により評価される。一方、社会貢献活動、ICT サービス、再生可能エネルギー使用等による影響は環境経済指標により評価される。ここで、LCA、ESLI、環境経済評価の全てを行うことは必須ではなく、対象に応じて、評価手法の選択が可能である。さらにこれらの評価結果を全て、貨幣価値で表すことにより、評価結果を統合化することが可能となる。尚、評価の対象は、森林保全や野生生物モニタリングサービスといった個々の環境保全活動あるいはサービス、または企業活動全体である。

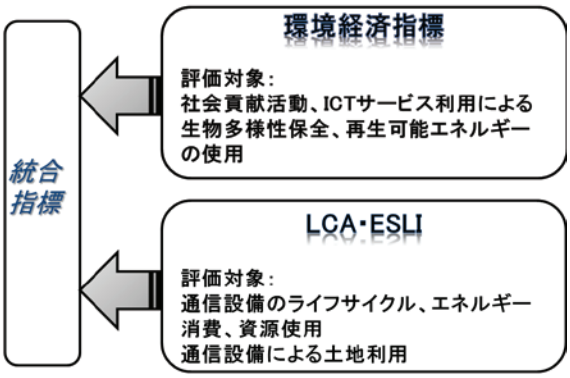


図 1　評価の枠組み

2.2 評価対象

評価対象は、1 年あたりの NTT グループの事業活動全体とし、紙資源、水資源、エネルギー（電力・軽油・重油）の消費による負荷を LCA で、また土地利用に関しては、管理する土地面積よりその影響を ESLI で求めた。さらに、社会的効果として森林保全活動、環境情報発信、アニマルパスウェイ設置、JBIB 加盟による便益を環境経済指標により試算した。

2.3 LCA

LCA 評価には、インベントリに、実データを使用し、さ

らにバックグラウンドデータとしてMiLCA搭載のIDEAによって評価を行った。生物多様性への被害評価はLIME2[2)]を用いて試算した。

2.4 ESLI

ESLIは、実データと公開されている建物用地の指標[1)]を用いて評価した。評価した生態系サービス損失は、炭素貯留損失、洪水調節機能損失、地下水涵養機能損失、一次生産損失である。これらの結果は、物量で算出されるため、さらに貨幣価値への換算を検討中である。

2.5 環境経済評価

本研究における環境経済評価は、2012年1月に行ったインターネットアンケートの結果を用いたコンジョイント分析の結果を用いて行った[3)]。アンケートの有効回答数は590であった。さらに算出した支払意志額に便益を享受する関係者数を掛け合わせることにより社会的効果が試算できる。

3. 結果

LIME２による評価結果を図２に示す。図より事業活動による生物多様性への影響は12億円/年と試算された。他の被害評価結果と比較すると、人間健康、社会資産、への被害よりも小さく、一次生産への影響よりも大きいことが明らかとなった。但し、今回、紙、エネルギー、水消費といった限られた対象しか評価できていないことから、この試算は過少評価であると考えている。

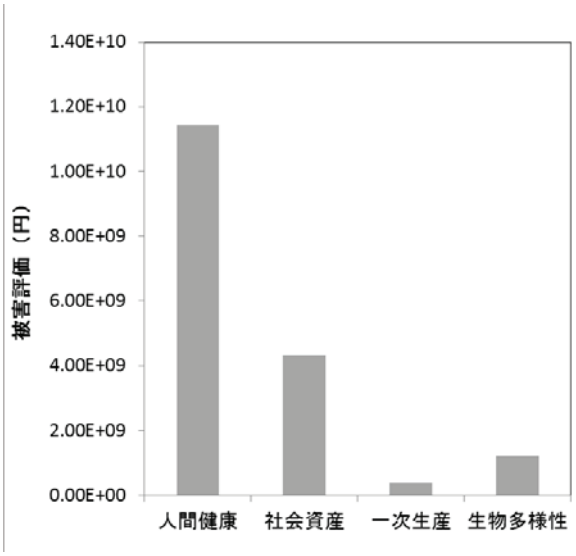


図２　事業活動のインパクト評価結果

次にESLIの試算により、建物による土地占有が及ぼす生態系サービス損失は、炭素貯留損失　2.8億kg-C/年、洪水調節機能損失　1140　万㎥/年、地下水涵養機能損失1000 ㎥/年、一次生産損失21800ton/年となった。

さらに環境経済評価により、一人あたりの支払意志額は、最低がアニマルパスウェイの420円、最大が情報発信の935円と試算された（図3）。さらに各活動に関わる関係者数を仮定、掛け合わせることにより社会的効果を試算し、現在、結果を精査中である。

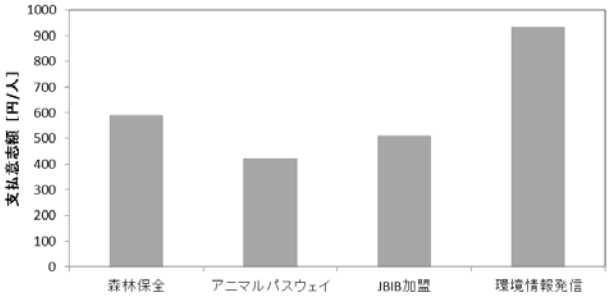


図３　支払意志額

4. おわりに

企業活動が関与する環境への影響の一つとして、生物多様性に特化した評価手法を開発している。本報ではLCA、ESLI、環境経済指標を統合する評価方法を提案し、ICT企業活動に対する試算方法を示した。現在、評価範囲の拡大、通信設備に特化したESLIの係数作成および各評価結果の貨幣価値換算法を検討している。

ここまでの検討より、手法論として、個々の評価手法における課題、例えばLCAにおける温暖化による影響や対象生物種の範囲拡大等の他に、異なる評価手法を統合化するために、手法間の齟齬をどう解決するかという課題があることがわかった。特に環境経済指標による評価がLCA、ESLIとどこまで統合できるかが、今後、評価手法確立の鍵になると考えている。また、利用上の課題として、不確実性分析の実施や評価用データベースの構築、さらに評価手法のツール化等があり、さらに検討を継続する予定である。

参考文献

1)　本下晶晴、内藤航、加茂将史、本田智則、第7回日本LCA学会、（千葉）（2011）、 pp. 188-189.
2)　伊坪徳宏、稲葉敦、“LIME2　意思決定を支援する環境影響評価手法”、（社）産業環境管理協会、東京、（2010）
3)　村上佳世、高橋和枝、國岡達也、染村庸、伊坪徳宏、第7回日本LCA学会、（千葉）（2011）、 pp. 326-327.

鮮度保持効果を有する食品用包装フィルムの環境影響評価

Life cycle impact assessment of food wrapping film with freshness keeping function.

○深谷 将世*[1)]、飯田 惣也[2)]、久保 正英[3)]、伊坪 宏徳[2)]
Shosei Fukaya, Souya Iida, Masahide Kubo, Hironori Itsubo
1) 三井化学, 2) 東京都市大学, 3) エコ食品健究会
*shosei.fukaya@ mitsui-chem. co.jp

1. はじめに

地球環境との調和の中で材料・物質の革新と創出を通して、高品質の製品とサービスを顧客に提供し、もって広く社会に貢献する。当社は当該企業理念を反映させた化学物質総合管理を実践している。具体的には、従来の化学品安全が生産・販売する製品の主として使用時の安全性やリスクを対象として管理してきたのに対して、「ライフサイクルを通したリスク評価・管理―即ち、製品のみならず原料、成分や副生物なども含めてライフサイクル全段階での安全性やリスクに対象を拡大して管理すること－」への発展的移行である。

そのための手段として、環境影響評価技術・基準の確立を進めており、製品ライフサイクルにおける各種の影響を統合的に評価する「日本版被害評価型環境影響評価手法第2版（LIME2）」を導入し、当社グループ製品群よりモデル製品を選択し環境性能の評価を進めている。

今回、三井化学東セロ株式会社が製造する食品用包装フィルム「スパッシュ®」と野菜の栽培に係るインベントリデータの１次データを収集しLIME2統合化手法により算定・評価したので報告する。

2. 評価対象と算定方法

2.1 評価対象

本研究は、3 種栽培方法（慣行・有機・自然）で生産された野菜 3 種（ほうれんそう・茄子・トマト）とそれぞれを包装する食品用包装フィルム（以下フィルムと略す）を評価対象とした。

【フィルムの鮮度保持効果係るアンケート結果】

野菜購入者にアンケートを実施し、3 種栽培方法の野菜 3 種についてそれぞれ延べ 300 名について鮮度保持効果について半定量的な調査をした。その結果、全ての野菜種の慣行栽培農法並びに有機栽培農法において約 70%の被験者が汎用フィルムと比較して鮮度保持効果が高いと回答した。表 2.1 に、ほうれんそうの結果を示す。

表 2.1 フィルムのほうれんそうの鮮度保持効果に係るアンケート結果

	大変あった（5日間以上）	かなりあった（3-4日間）	あった（1-2日間）	効果なし 変わらない等
慣行栽培	45.5%	12.2%	14.9%	27.5%
有機栽培	53.3%	8.1%	10.8%	27.8%
自然栽培	4.7%	7.5%	5.5%	82.3%

2.2 システム境界

システム境界を図 2.2 に示す。野菜の栽培については農薬と肥料の使用量の１次データを評価範囲とした。フィルムについては成形加工工程は１次データ、当該主原料のポリプロピレンは2 次データを使用した。

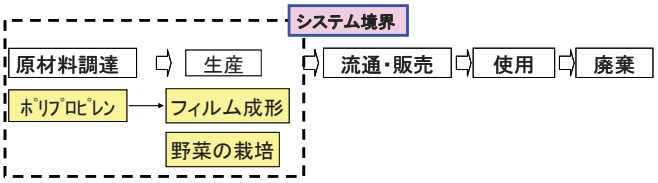


図　2.2　システム境界

2.2 データの収集方法

野菜の生産に係る農薬と肥料の１次データ並びにフィルムに係るフィルム成形工程の１次データはそれぞれ野菜生産者並びにフィルム成形製造者よりヒアリングを実施した。インベントリ分析・影響評価に必要な原単位等はLCA 支援ソフト MiLCA（産業環境管理協会）の IDEA データベースを用いた。

2.3 影響評価（統合化）の算定

影響評価（統合化）はLIME2 で算定した。なお、計算にはLCA 支援ソフト MiLCA（産業環境管理協会）を使用した。

2.4 野菜栽培とフィルム包装のシナリオ設定

野菜の栽培に係る環境負荷は全て栽培方法について農薬及び肥料由来のみとした。フィルムの 1 袋体のサイズは230(mm)×340(mm)×25（μm）×2（表と裏）で重量 2.8g を使用した。

包装される野菜の重量は、ほうれんそう、茄子、トマトにおいてそれぞれ、200g、1100g、1400g とした。本条件において、野菜 1kg 当りのフィルム重量換算値はそれぞれ、14.0g、2.5g、2.0g である。

3.結果

3.1 フィルムと汎用フィルムの比較

今回用いたフィルムと汎用フィルムを想定した「IDEA データベース（MiLCA）の 2 次データから作成されるポリプロピレンを原料とした 2 軸延伸フィルム」の統合化結果を図 3.1 に示す。統合化値（支払意思額）全体量は同一オーダーであることが分かる。

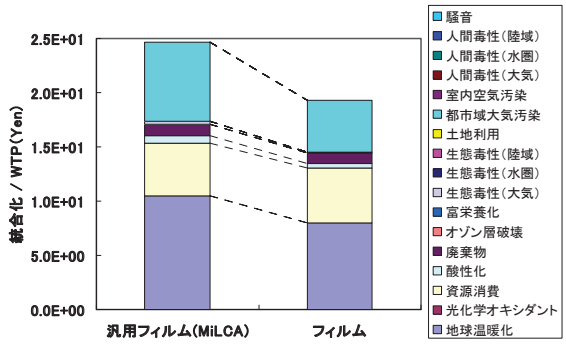


図 3.1　汎用フィルムとフィルムの比較

3.2　野菜栽培とフィルムの比較

3.2.1　ほうれんそう栽培とフィルムの比較

フィルムの統合化値全体量は、ほうれんそうの慣行栽培及び有機栽培のそれの 1/10（１桁低い）のオーダーである。

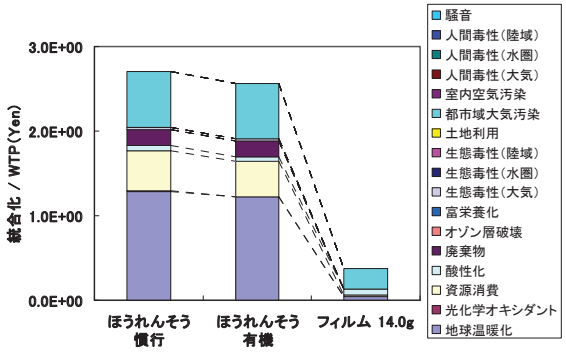


図 3.2.1　ほうれんそう栽培とフィルムの比較

また、茄子栽培についてもほうれそう栽培と同様の結果であった。

3.2.2　　トマト栽培とフィルムの比較

フィルムの統合化値全体は、トマトの慣行栽培は及び有機栽培のそれの同一のオーダーである。これは、ほうれんそう並びに茄子と比較してトマトの栽培時の肥料添加量がより少ないことに起因している。

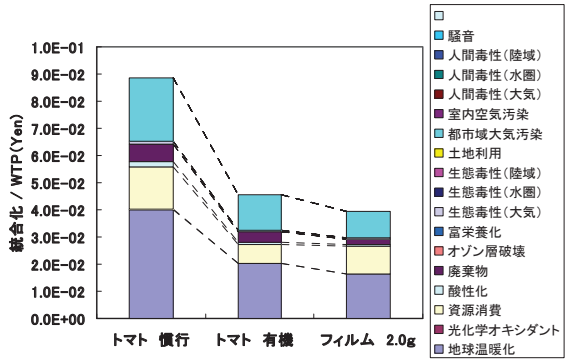


図 3.2.2　トマト栽培とフィルムの比較

3.2.3　自然栽培による環境負荷

2.4 のシナリオ設定により、自然栽培においては農薬及び肥料が使用されていないので、統合化値は０である。

3.3　農薬と肥料を除いた野菜栽培とフィルムの比較

フィルムと IDEA データベース（MiLCA）の 2 次データから作成される野菜栽培において農薬と肥料を除いた生産に係る燃料・諸材料等由来の環境負荷の統合化結果を図 3.3 に示す。前者は後者の 1/100（2 桁低い）のオーダーである。

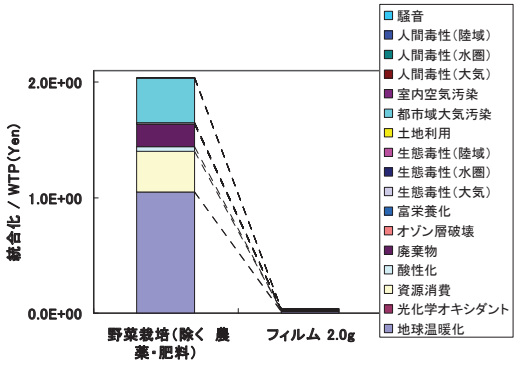


図 3.3 農薬と肥料を除いた野菜栽培とフィルムの比較

4. おわりに

野菜の生産に係る農薬と肥料の使用量の１次データ並びにフィルムに係るフィルム成形工程は１次データを使用し LIME2 統合化手法により算定・評価をした。その結果、3.2.1 よりほうれんそうと茄子においては、フィルムの統合化値合計は、慣行栽培は及び有機栽培のそれの 1/10（１桁低い）のオーダーであった。したがって、野菜の流通・使用等の場においての当該食物廃棄率が当該オーダーと見積もれる時は、鮮度保持効果は環境負荷に対して有効である。一方、3.2.2 よりトマト栽培においては、フィルムの統合化値合計は、慣行栽培あるいは有機栽培のそれと同のオーダーであった。これは 2.4 のシナリオ設定において野菜の栽培に係る環境負荷は全て栽培方法について農薬及び肥料由来のみとしたためである。慣行栽培等において燃料・諸材料等が使用される時はそれらの由来の環境負荷が加算されることが想定される。この場合を想定した 3.3 の検討より、フィルム自身の統合化値が野菜栽培のそれよりもオーダーが低いので食物廃棄率による環境負荷の低減に鮮度保持効果は環境貢献できるといえよう。

化学物質への職業曝露を考慮した
製造プロセスのリスク評価とライフサイクル評価

Risk and Life Cycle Assessments of Production Process Considering Occupational Exposure to Chemical

○菊池康紀*[1)]、上原恵美[1)]、平尾雅彦[1)]
Yasunori Kikuchi, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
*kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1　はじめに

Social LCA の評価項目ともなっている作業者への影響[1)]の中でも、職業曝露は化学物質を用いるプロセスにおいて重要な課題となっており、PRTR における揮発性有機化合物（VOC）の排出量が上位となっている洗浄、印刷、接着、塗装の４工程については排出削減と同時に作業環境への影響を考慮したマニュアル等が公開されている[2)]。これらの工程のうち洗浄と印刷について、これまでに職業曝露をリスクアセスメント（RA）によって解析しながら LCA の結果を解釈するケーススタディ[3,4)]やリスクトレードオフの解析[5)]、フレームワークの提案[6,7)]等を行ってきた。本講演では職業曝露に関する国際的な手法開発の事例を整理しつつ、これまでの取組に基づいた LCA と職業曝露の関係について議論する。

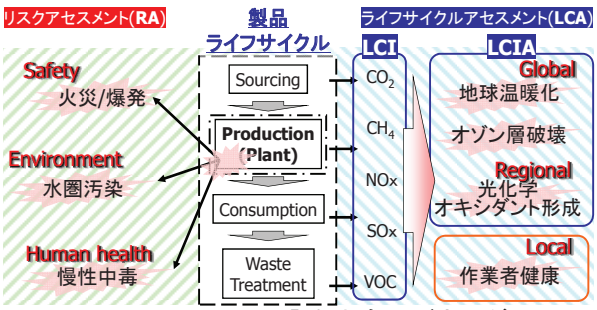


図 1　LCA・RA の評価対象とバウンダリ

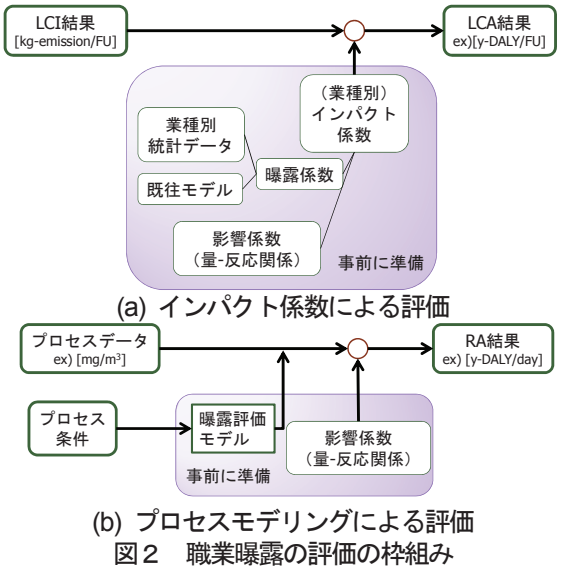


図２　職業曝露の評価の枠組み

2　職業曝露の評価に対するこれまでの取組

LCA と RA における評価項目とバウンダリ、対象を図１に示す。RA は化学物質を利用しているプロセス内部でおきる環境・健康・安全へのリスクを評価するもの[8)]であり、ライフサイクル全体から排出されるインベントリの総計からインパクトを評価する LCA とは異なる枠組みといえる。このとき、評価結果となるハザードやリスクに関しては意思決定における解釈が異なってくる。

図２(a)に LCIA における室内空気質による健康被害を算定するための枠組みを示す。既往のモデルの中から業種別に適切なものを選択しながら、従来のインベントリデータに乗ずることで健康被害を算定できるインパクト係数を用意することが提案されている[10)]。従来の LCA の枠組みの中で職業曝露による健康被害を算定するには、従来の LCI 結果から算定できるためのインパクト係数に職業曝露の特性を集約することが必須である。

一方、LCA の枠組みにとらわれずにプロセスモデルを構築して室内空気質の評価を実施できる場合、図 2(b)に示すように、プロセス条件から曝露量を評価できるモデルを構築することで職業曝露によるリスクや被害を算定できるようになる[11)]。なお影響係数は化学物質に固有のものであり、LCIA と同等のものを適用することができる。

3　職業曝露評価に必要な枠組み

職業曝露においては実際に化学物質へ曝露する作業環境の状態を考慮することが必要である。図３に既往の研究[12)]において調査した産業プロセスにおけるジクロロメタン(DCM)とトリクロロエチレン(TCE)の排出量と室内濃度の平均値・最大値の関係を示す。濃度測定結果のうち特に平均値は有機溶剤中毒予防規則が定める管理濃度と比較すると、管理濃度以上になっているサイトは存在しない。これは作業環境の濃度がそれ以上にならないように現場において換気等の工夫を行っているためである。ただし、図４の作業環境における物質の流れに示すように、換気を増やすことで開放系装置からの溶剤排出が増大する可能性がある[13)]。一方で作業環境における最大濃度は化学物質の排出源となっている装置の形状や導入さ

れている周辺設備、溶剤種類、製品特徴によって変化しうるものである。そのため、作業者の曝露量は一概に溶剤排出量だけで議論することが難しく、これらプロセス条件が強い相関を示すことが分かっている [12]。他にも作業環境の壁材による化学物質の吸着・吸収が室内空気質に与える影響も確認されており [14]、こういった作業環境の条件を考慮することが職業曝露量を正確に分析する上で必要といえる。

作業環境の情報を入力とせず、従来の LCI を前提としたLCA の枠組みの中で職業曝露を分析した場合、上述のように実際の作業環境の状況と一致しない評価となってしまう可能性がある。LCI の情報の中に業種情報や装置情報、作業環境情報を付加し、それに合わせてインパクト係数が選択される仕組みを持つことで改善することなどが検討されるべきである。

室内空気を経由した化学物質への曝露経路は作業環境の条件が強く影響して変化するといえるが、図２に示す影響係数については、量-反応関係として汎用的に利用できる可能性がある。LCIA 手法の構築において多種の化学物質に関する係数を求めるため、モデリングやシミュレーションを行って係数を算定している。これらの係数はLCA の中だけでなく、RA に対しても貢献しうるものといえる。

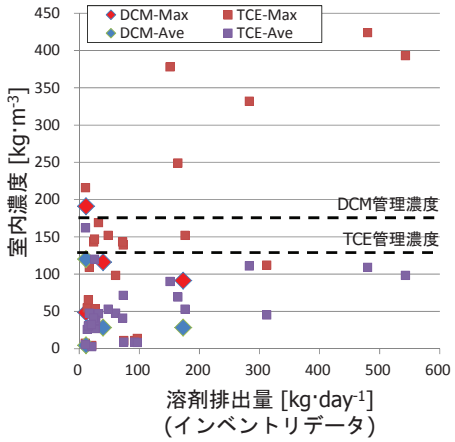


図 ３　溶剤排出量と作業環境濃度
ただし、管理濃度については 2007 年当時のもの

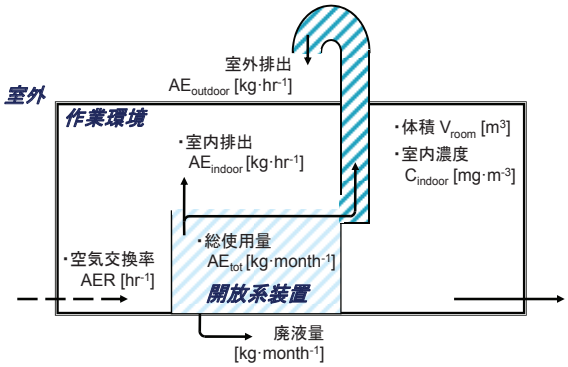


図 ４　作業環境における化学物質の流れ

4　まとめ

職業曝露は局所的な条件に大きく影響を受ける。そのため、従来のバックグラウンドデータ等を用いる LCI のみを利用して正確に評価することは容易ではない。フォアグラウンドデータとして作業環境の条件を付加することで不確実性を低減できるといえるが、十分な精度で議論するためには、作業環境濃度を求め曝露量を評価するモデルの構築が有効といえる。LCIA におけるインパクト係数を算出するにあたって利用されている曝露係数や影響係数を他のモデルや評価手法と組み合わせて用いるフレームワークを構築することで、適材適所にモデルを利用し、職業曝露を考慮することができるようになりえる。

参考文献

1) UNEP: “Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products”, (2009) （オンライン），入手先 <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf >
2) 東京都環境局: “VOC 対策ガイド”, 東京都環境局（オンライン），入手先 <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/voc/guide/index.html#gyousyu>（参照 2013-1-7）
3) Kikuchi, Y. and M. Hirao: Environ. Sci. Technol., 42 (12), (2008), pp. 4527-4533
4) 三木暁子　他:”第６回日本LCA 学会 研究発表会 講演要旨集”, 仙台, (2011), pp. 168-167
5) Kikuchi, E. et al.: J. Clean. Prod., 19, 414-423 (2011a)
6) Kikuchi, Y. and M. Hirao: J. Ind. Ecol., 13 (6), 945-964 (2009)
7) 上原恵美 他: “第８回日本LCA 学会 研究発表会講演要旨集”, 草津, (2013), A1-03
8) Kolluru, R. V. et al.: “Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professionals”, McGraw-Hill, New York, USA, (1996)
9) 菊池康紀: “第８回日本LCA 学会 研究発表会 講演要旨集”, 草津, (2013), B3-17
10) Hellweg, S. et al.: Environ. Sci. Technol., 43 (6), (2009), pp. 1670–1679
11) Kikuchi E.: Annal Occupational Hygiene, 56(7), (2012), pp. 829-842 (2012)
12) Kikuchi, Y. and M. Hirao: Int. J. Life Cycle Assess., 15 (1), 17-31 (2010)
13) 平尾雅彦(監), 日本産業洗浄協議会(編): “中小企業の洗浄工程における VOC 排出抑制対策マニュアル”, 日刊工業新聞社, (2008), pp. 35-74
14) Wenger Y. et al.: Int. J. Life Cycle Assess., 17, (2012), pp. 919-931

都市域における気温上昇の環境影響評価

Life Cycle Impact Assessment of Air Temperature Rise in Urban Areas

○井原智彦*[1,2)]、玄地裕[1)]、近藤裕昭[1)]
Tomohiko Ihara, Yutaka Genchi, Hiroaki Kondo
1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所
*ihara-t@k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

温室効果ガスの排出によって世界の気温は上昇しつつあるが、都市域ではヒートアイランド現象によって気温上昇はさらに加速されている。日本の気温上昇は過去100年間で1.4℃であるが、東京は3.0℃にも達する[1)]。

著しい気温上昇は人間社会に不利益をもたらすだけではなく、冬季には暖房需要や寒冷ストレスを減少させる便益があると考えられる。また、昼間には熱中症を引き起こす一方、夜間は睡眠障害につながるだろう。気温上昇と環境影響の関係は複雑であるため、対策を導入するためには季節別・昼夜別に環境影響評価を実施する必要があるが、著者らが実施した一例[2)]があるに過ぎず、睡眠障害[3)]を含めて定量化した事例はこれまでに存在しない。

本稿では、都市域の気温上昇の影響評価の枠組みを整理するとともに、影響評価を実施する。

2. 都市域の気温上昇によって引き起こされる環境影響

環境省[4,5)]やShimoda *et al* [6)]はヒートアイランド現象の環境影響を整理している。一方、地球温暖化はLIME 2[7)]やEco-indicator 99[8)]など多くの被害算定型影響評価手法で扱われている。環境省、Shimoda *et al* および日本の影響評価手法であるLIME 2よりカテゴリエンドポイントを抽出し、整理すると表S1に示される通りとなった。

本稿では、影響領域との関係が明確な項目（表S1内で*や**のない項目）に限定して、影響評価フローを作成する。ただし、「睡眠困難」は「熱中症」より影響が大きいことが示唆される[9)]ため、評価対象とする。LIME 2で定義されている保護対象との関係も含めると、図1となった。破線は関係が定量化されていないことを示す。

3. 東京都区部の40年間の気温上昇の影響評価

保護対象までの関係が定量化されている「熱中症」「熱・寒冷ストレス」「睡眠困難」「エネルギー消費」の5項目をLIME 2に則って評価する。東京都区部の40年間（1967~2007年）の気温上昇を対象とする。約11年周期の気温変動を考慮し、結果には11年間（1962~1972年、2002~2012年）にわたる影響の平均を採用する。

気温は気象庁による東京の観測データ[1)]を参照した。

熱中症は、小野[10)]が厚生労働省の人口動態統計を解析し、日最高気温と死亡率との関係を明らかにしている。指数関数で近似でき、xを日最高気温[℃]とすると、日死亡率y [-]は下式となった。

$$y = 3.84 \times 10^{-16} \exp(0.536x)$$

2005年の東京都区部の人口を乗算すると日最高気温と

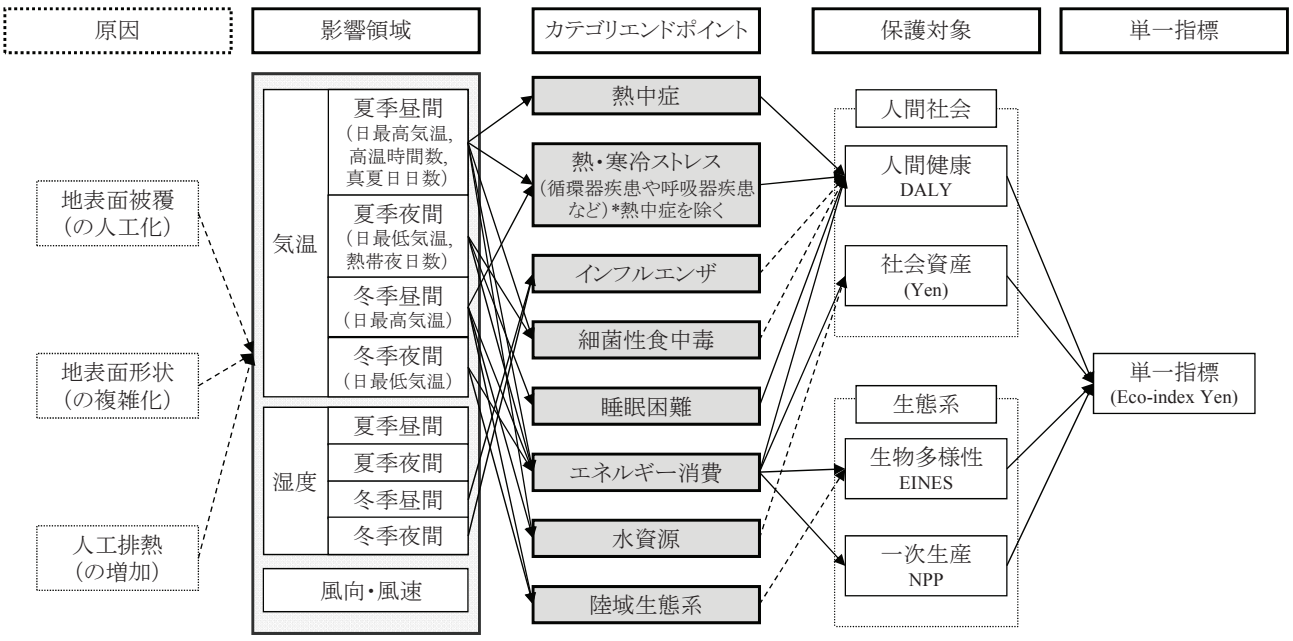


図1 都市気温上昇の影響評価フロー

熱中症死亡数の関係が得られた（図S1）。熱中症による死亡者の生命損失年数(years of lost life, YLL)は死亡時年齢の平均余命とすると、全国の熱中症死亡者の平均年齢[12]と東京都の生命表[13]が東京都区部に適用できるとした場合、YLLは32.6年となる。これから損失DALYを計算した。死亡以外の影響は桁違いに小さいため無視できる[2]。

暑熱・寒冷気候は、熱中症のように直接の死亡原因となるだけではなく、持病を悪化させるなどして人間を早死にさせる（熱・寒冷ストレス）。Chung *et al* [14]は東京における日最高気温と死亡数変化率の関係を解析し、暦年・季節の調整後も、熱・寒冷ストレスともに存在することを明らかにした。Honda and Ono[15]は季節調整した場合、寒冷ストレスが小さくなると指摘しているが、解析手法により結果が変化すると考えられるため（たとえばKunst *et al* [16]）、本稿では採用しなかった。観測された超過死亡のうち、真に熱・寒冷ストレスに相当するのは呼吸器疾患など一部ではないか、という指摘[16]があるが、議論が成熟していないと考え、本稿では死亡率の変化から熱中症死亡を引き算したものをすべて熱・寒冷ストレスとみなした。2005年の東京都区部の死亡数[17]を乗算すると、日最高気温と死亡数の関係が得られた（図S2）。Hofstetter[18]は呼吸器疾患による急性死亡のYLLを0.75年としている。呼吸器疾患は熱・寒冷ストレスの代表例であるため、すべての超過死亡のYLLは0.75年とした。

岡野ほか[3]は東京都区部における睡眠困難罹患率と0時気温の関係を整理した。これに人口[11]を乗算して影響人口を計算した（図S3）。Fukuda *et al* [19]の調査より環境性睡眠困難の重篤度は0.11と考えられ、罹患期間を1日とすると、損失DALYが評価できた。

エネルギー消費は、過去の手法・データ[2]を踏襲し、影響評価のみLIME 1からLIME 2に変更した。

統合化すると、40年間の気温上昇による影響は、熱中症2,149百万円（以下同じ、負値は便益）、熱ストレス1,035、寒冷ストレス–2,865、温暖エネルギー消費53.8、寒冷エネルギー消費–87.8、睡眠障害60,001となった（図S4）。

4. おわりに

都市域の気温上昇の影響を整理し、東京の過去40年間の気温上昇による影響を評価した。その結果、夜間気温上昇に伴う睡眠障害の影響が大きいことが示唆された。

謝辞

本研究は文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」の1研究課題「フィードバックパラメタリゼーションを用いた詳細なダウンスケールモデルの開発と都市暑熱環境・集中豪雨適応策への応用」（研究代表者：飯塚悟）の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 気象庁: 気象統計情報, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, (参照 2013-1-12)
2) 井原智彦, 玄地裕: 日本建築学会環境系論文集, 73 (634), (2008), pp.1407-1415
3) 岡野泰久, 井原智彦, 玄地裕: 日本ヒートアイランド学会論文集, 3, (2008), pp.22-33
4) 環境情報科学センター: 平成15年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, 平成15年度環境省請負業務報告書, (2004)
5) 環境情報科学センター: 平成16年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, 平成16年度環境省請負業務報告書, (2005)
6) Shimoda Y, Narumi D, Mizuno M: Journal of Life Cycle Assessment, Japan, 1 (2), (2005), pp.144-148
7) 伊坪徳宏, 稲葉敦: LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法, (2010)
8) Goedkoop M, Spriensma R: The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Second edition, (2000)
9) 井原智彦, 日下博幸, 原政之, 松橋隆治, 吉田好邦: 日本建築学会環境系論文集, 76 (662), (2011), pp.459-467.
10) 小野雅司: IGES-WHO 国際シンポジウム“気候変動, 環境と健康”, (2009)
11) 総務省: 平成17年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm> (参照 2013-1-12)
12) 小野雅司: 熱中症の予防に関するシンポジウム, (2008)
13) 東京都: 東京都生命表, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, (参照 2013-1-12)
14) Chung JY, Honda Y, Hong YC, Pan XC, Guo YL, Ho Kim: Science of the Total Environment, 408, (2009), pp.390-396.
15) Honda Y, Ono M: Global Health Action, (2009)
16) Kunst AE, Looman CWN, Mackenbach JP: American Journal of Epidemiology, 137 (3), (1993), pp.331-341.
17) 厚生労働省: 平成17年人口動態調査, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei05/>, (参照 2013-1-12)
18) Hofstetter P: Perspectives in Life Cycle Impact Assessment; A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere, (1998)
19) Fukuda S, Ihara T, Genchi Y, Narumi D: International Journal of Life Cycle Assessment, (in press)

Supporting Information

表 S1 都市気温上昇による影響

保護対象	カテゴリエンドポイント	ダメージ関数の算定対象		文献
人間健康	すべての疾患（熱ストレス・寒冷ストレス）	日死亡数	日最高気温	6),7)
	循環器疾患（虚血性心疾患、脳血管疾患など）	65 歳以上の日死亡数	日最高気温	4)
	消化器疾患、感染症、不慮の事故	65 歳以上の日死亡数	日最高気温	4)
	熱中症	日死亡数	日最高気温, 日高温時間数, 日最高 WBGT	4),5)
		年間死亡数	年間真夏日日数, 年間熱帯夜日数	4)
		発生数	発生時 WBGT, 発生時ヒートインデックス, 発生時 NO_2 濃度	4)
		日救急搬送数	日最高気温	4)
	マラリア、デング熱（熱帯熱マラリアなど）*	月患者発生数	月平均気温	4),7)
	黄熱病、住血吸虫症など**			7)
	インフルエンザ	週感染者数	週平均絶対湿度（水蒸気圧）	4)
	細菌性食中毒	日発生数	日平均気温	4)
	疲労	疲労感申告*		4)
	睡眠困難	体動数*		4)
		睡眠申告*		4)
	災害被害*			7)
	栄養不足・飢餓*			7)
	大気汚染**			6),7)
	快適性**			6)
社会資産	エネルギー消費	月消費量	月平均気温	4),5),6),7)
	水資源	日給水量	日最高気温	4),6)
	土地損失*			7)
	農業生産	収量*		4),7)
	木材生産**			7)
	漁業生産**			7)
	移住**			7)
	資産損失（集中豪雨など）**			4),6),7)
	保険業（集中豪雨など）**			4),6),7)
一次生産	陸域生態系	開花日、紅葉・落葉日	年平均気温, 開花日、紅葉・落葉日までの 1~3 か月平均気温	4),5),7)
	水域生態系**			7)
	土地損失**			7)
生物多様性	陸域生態系**			6),7)
	水域生態系**			6),7)

* 社会全体あるいは日本での影響の定量化に至っていない項目

** 定量的な情報がない項目

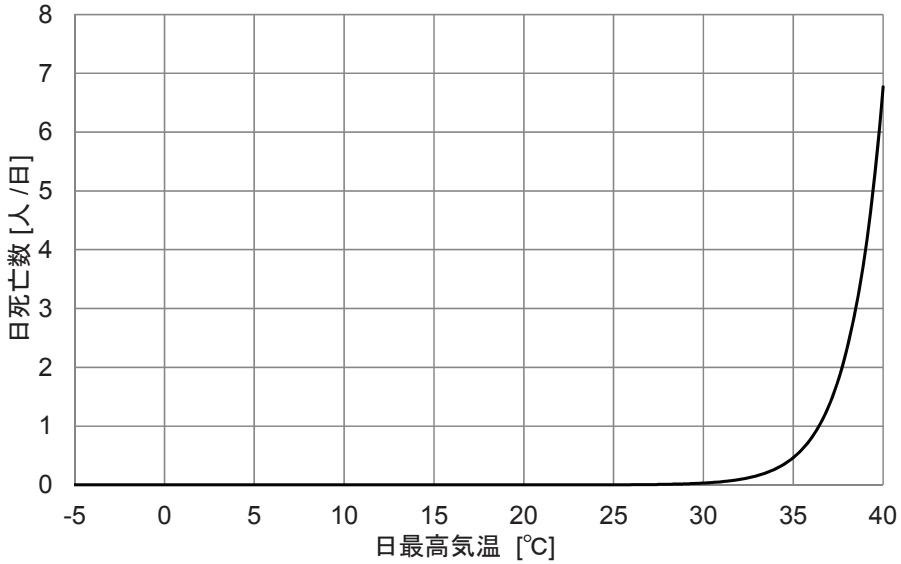


図 S1 東京都区部における日最高気温と熱中症による日死亡数の関係

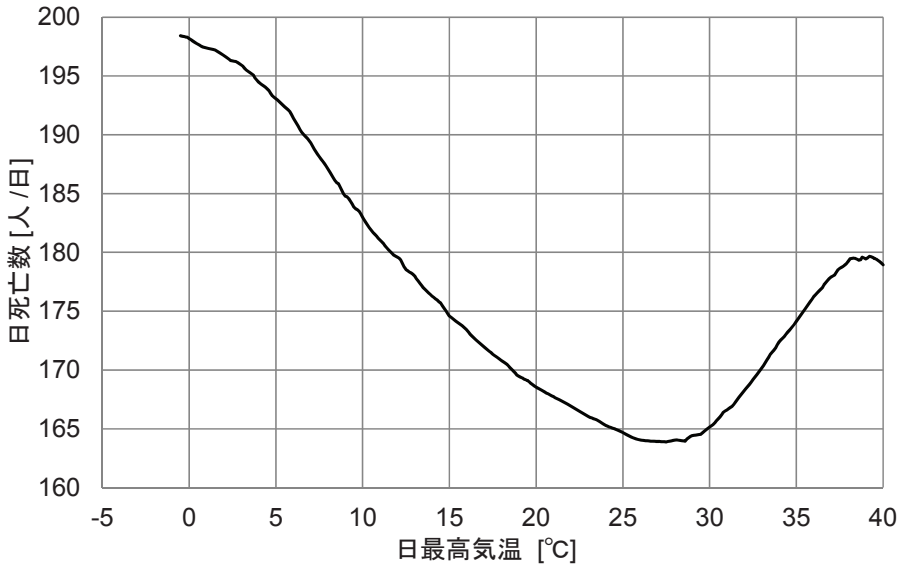


図 S2 東京都区部における日最高気温と熱中症以外を死因とする日死亡数の関係

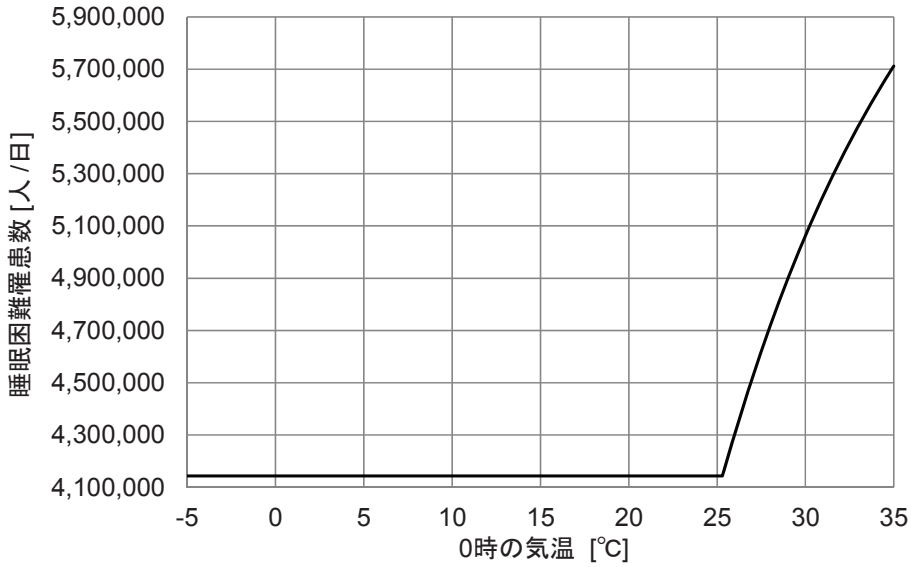


図 S3 東京都区部における 0 時の気温と睡眠困難罹患数の関係

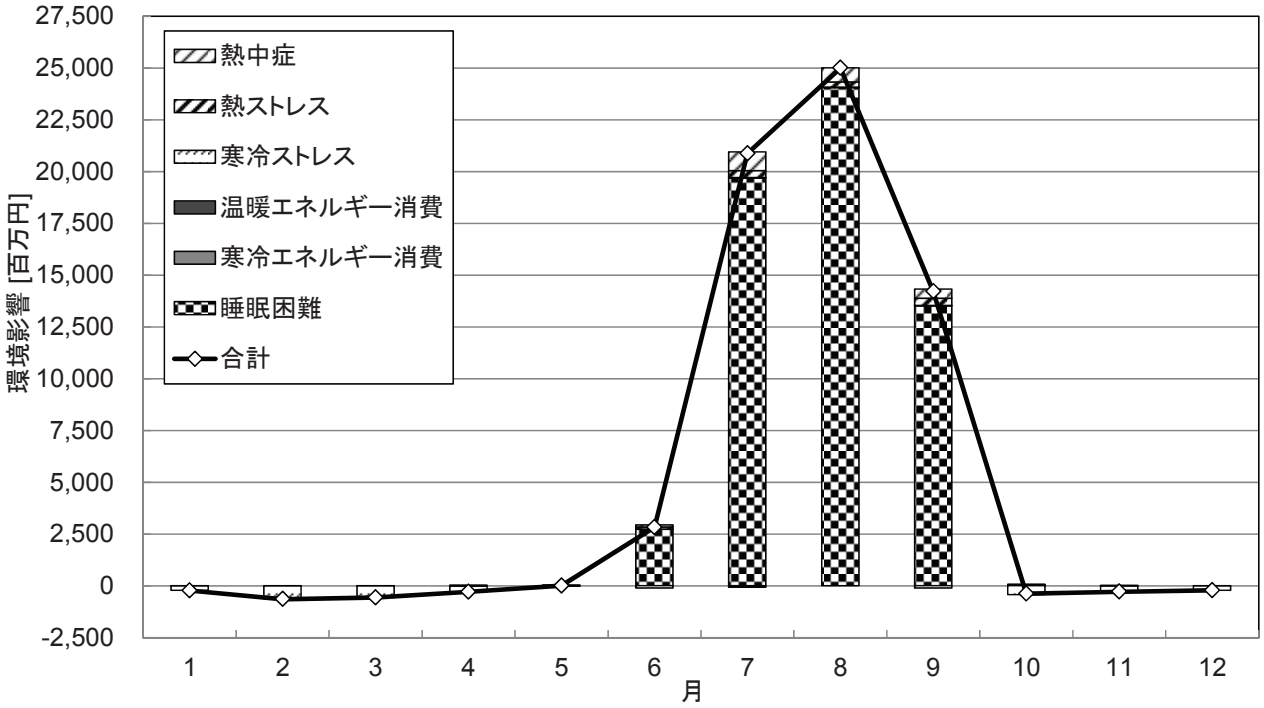


図 S4 東京都区部の過去 40 年間（1967 年から 2007 年）の気温上昇による月別の環境影響

放射線に関わる被害評価係数の開発

Development of Damage Factor due to Radiation

○郷原大希*[1)]、久保利晃[2)]、伊坪徳宏[1)]
Daiki Gohara, Toshiaki Kubo, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) みずほ情報総研
* g0931092@tcu.ac.jp

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災により、福島第一原子力発電所にて大量の放射性物質が漏出し、放射線に対する社会的関心が高まった。世界保健機関（WHO）では、自然中に存在するラドン（^{222}Rn）を喫煙に次ぐ肺がんのリスク要因であると警告している。一方で、LCA においては放射線による影響を考慮した例は少なく、これに対応した評価手法の開発が求められている。

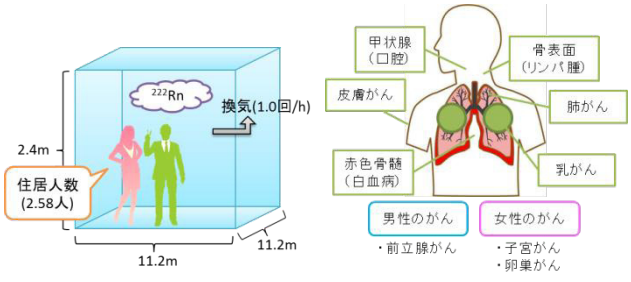
本研究では、自然中の身近に存在するラドンを対象物質として、日本の環境条件を想定した部位別・男女別・被曝年齢別のデータをライフサイクル影響評価手法の枠組みに適用し、放射線被曝による健康影響を評価する被害評価係数を提案する。

2. ラドンの被害評価に関する研究事例

Arjen Meijer は建材から放出されるラドンの被害評価係数を開発した[1)]。係数を導き出す算出式が示されているため、本研究では Arjen Meijer の算出式をベースとして使用する。ただし、部位や性別に分けて発がん率が評価されていない点などが課題として見受けられた。そのため本手法では、部位や性別による被害量の違いを評価できるようにする。

3. 評価方法

本研究では、日本の環境条件を想定した被害評価係数を開発する。曝露空間モデルや部位別・男女別・被曝年齢別の発がん率といった入力数値（図 1）を収集し、算定プロセス（図 2）に則り、算出式（式 1）に適応させる。空間内の人数は平成 23 年度国勢調査の平均世帯人数、曝露空間モデルは戸建モデル「建築学会標準問題の木造戸建住居」から設定した。



＜曝露空間モデル＞　　＜評価部位の種類＞

図 1　評価対象設定

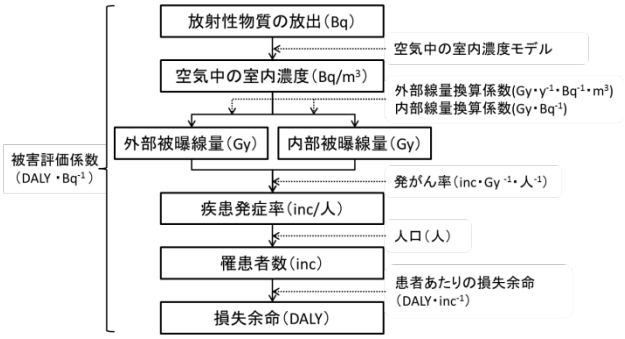


図 2　被害評価係数の算定プロセス

$$Q_{o,s,a} = \sum \left(F_{t,o} \cdot E_{o,s,a} \cdot D_{o,s,a} \right) \qquad \text{(式 1)}$$

$Q_{o,s,a}$: 性別 s が年齢 a における部位 o の被害評価係数(Gy･Bq^{-1}･人･inc･Gy^{-1}･人$^{-1}$･DALY･inc^{-1})

$F_{t,o}$: 摂取時間 t あたり部位 o の運命・曝露係数(Gy･Bq^{-1}･人)

$E_{o,s,a}$: 性別 s が年齢 a における部位 o の影響係数(inc･Gy^{-1}･人$^{-1}$)

$D_{o,s,a}$: 性別 s が年齢 a における部位 o の被害換算係数(DALY･inc^{-1})

算出式（式 1）を基に、運命・曝露分析を（式 2）、影響分析を（式 3）、被害分析を（式 4）で示した。

3.1. 運命分析・曝露分析（Fate factor）

放射性物質の曝露分析を行う際は、評価する核種の崩壊ステップで発生するエネルギーを理解する必要がある。評価対象のラドンはウラン系列として知られ、複雑な崩壊ステップをするため、社団法人日本アイソトープ協会が公表しているアイソトープ手帳の情報を参考にした。^{214}Po である程度安定するため、^{222}Rn→^{218}Po→^{214}Pb→^{214}Bi→^{214}Po の 5 核種を評価範囲とする。^{222}Rn は半減期が 3.82 日のため、ほとんど娘核種を曝露することになる。

放出された放射性物質は、内部被曝と外部被曝を引き起こすため、内部と外部の線量換算係数の双方を用いる。外部被曝による被害評価は USEPA[2)]の外部被曝換算係数を使用し、内部被曝による被害評価は「UNSCEAR 2006 REPORT」の情報から部位ごとの内部被曝換算係数を使用して評価を行う。

$$F_{t,o} = \frac{CF_{t,o}}{f} \cdot N \qquad \text{(式 2)}$$

$CF_{t,o}$: 摂取時間$_t$あたり部位$_o$の内部被曝または外部被曝の線量換算係数(Gy・y^{-1}・Bq^{-1}・m^3)

f: 空気中の換気量(m^3・y^{-1})

N: 空間モデル内で曝露する人数(人)

3.2. 影響分析（Effect factor）

子宮、卵巣、前立腺、乳房、肺、赤色骨髄（白血病）、骨表面（リンパ腺）、甲状腺（口腔）、皮膚の 9 部位を対象として、がんの発症率を男女別・被曝年齢別に推定した。がんの発症率の男女別・被曝年齢別の推定式は、独立行政法人原子力安全基盤機構が整理した報告書 [3]の推定式を用い、単位被曝量（1Gy）あたりの発がん率の増分を評価した。報告書からは 1 歳単位ごとに発症年齢×被曝年齢のデータを得ることができる。

$$E_{o,s,a} = \sum_a c_{o,s} \qquad \text{(式 3)}$$

$c_{o,s,a}$: 1 人あたり生涯累積の発がん率(inc・Gy^{-1}・人$^{-1}$)

3.3. 被害分析（Damage factor）

部位別・男女別・被曝年齢別に推定したがんの罹患者数に応じた DALY の評価を行う。Global Burden of Disease の国別 DALY に、国立がん研究センターがん対策情報センターが公開している全国年齢階級別推定罹患者数を除算することで 1 件あたりの損失余命を算定する。Global Burden of Disease は 0~14、15~29、60+の 3 階級の DALY に分けて、国立がん研究センターがん対策情報センターは 5 歳間隔でデータが公表されている。

$$D_{o,s,a} = \frac{DALY_{o,s,a}}{incidence_{o,s,a}} \qquad \text{(式 4)}$$

$DALY_{o,s,a}$: 性別$_s$が年齢$_a$における部位$_o$のがん損失余命(DALY)

$incidence_{o,s,a}$: 性別$_s$が年齢$_a$における部位$_o$の国内罹患者数(inc)

4. 結果と考察

戸建住居あたりの被害評価係数を内部被曝および外部被曝・部位・性別・被曝年齢に分けて分析した結果を図 3 に示す。被曝年齢別について感度分析を行うため、日本国民の平均年齢である 45 歳と 0 歳を比較した。

結果の妥当性を確かめるため、R.Frischknecht [4]との既存研究比較の結果を表 1 に示した。本研究の値は、部位別・男女別・被曝年齢別の結果を統合的に示した。国や曝露環境によって結果に違いが出る。屋外では換気能力が高いため、戸建住居の値に比べて小さい値を示した。

表 1　既存研究との被害評価係数の比較

[DALY·Bq^{-1}]	係数結果	曝露環境
本研究	3.15E-11	戸建住居
R.Frischknecht [4]	2.40E-14	屋外

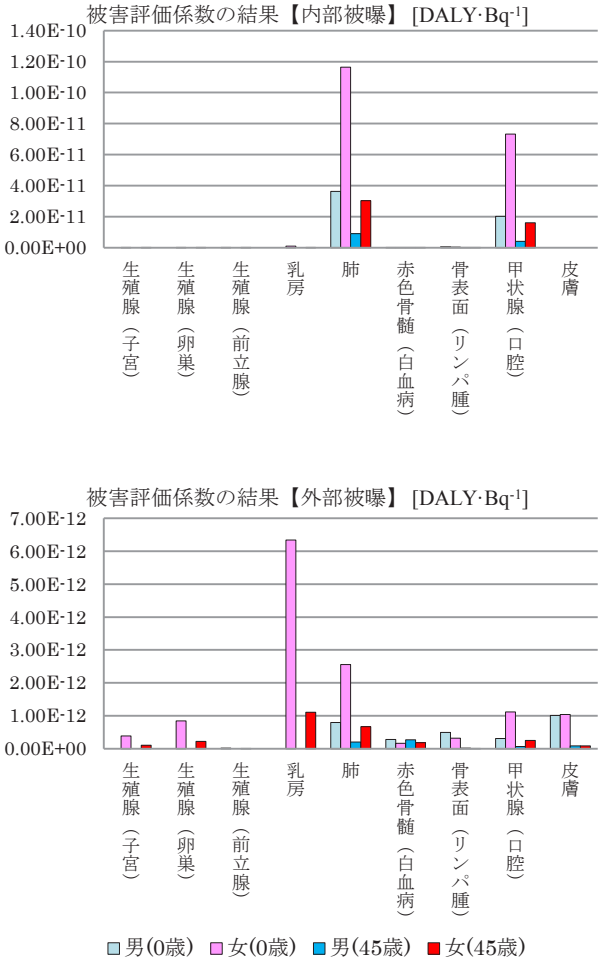


図 3　被曝年齢別の評価結果

5. まとめ

日本の環境条件を想定し、部位別・男女別・被曝年齢別を網羅した被害評価係数を試算した。部位別・男女別・被曝年齢別の各データを本手法に適用して、一人あたりの被害評価係数は 3.15E-11 [DALY·Bq^{-1}]と算定された。曝露分析で用いる線量換算係数は、粒径分布の割合によって線量が異なるため、値の不確実性が生じる点が課題として挙げられる。今後は、妥当性の高い線量換算係数を使用することが求められる。

6. 参考文献

1) Arjen Meijer : “HUMAN HEALTH DAMAGES DUE TO INDOOR SOURCES OF RADON IN LIFE CYCLE ASSESSMENT OF DWELLINGS”, (2007)

2) Keith F. Eckerman : “EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER, AND SOIL”, (1993)

3) 独立行政法人原子力安全基盤機構 : “確率論的環境影響評価のための生涯がんリスク解析に関する報告書”, (2010)

4) R. Frischknecht : “Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment”, (2000)

重篤度と生起確率を考慮した原子力発電所の環境リスク評価

Environmental risk assessment of nuclear power plant considering severity and probability of accident

伊坪徳宏、久保利晃
Norihiro ITSUBO, Toshiaki KUBO
東京都市大学、みずほ情報総研
Itsubo-n@tcu.ac.jp

risk assessment, nuclear power plant, severity, probability, accident

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災による津波は東北地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害を与えた。福島第一原発は高さ20メートルに及ぶ津波を受け、制御不能になった結果、大量の放射性物質を放出した。大気中に大量に放出された放射性物質は風で移流したり、土壌、水域、植生に沈着する。外部被曝線量は放射線場にいた時間に比例して増加する。内部被曝線量は、放射性の微粒子や気体を吸い込んだり、放射性物質が付着した飲食物を摂取することで増加する。被曝線量の増加は発癌リスクの増加を招く。癌は日本人の健康損失の最大の要因であり、最も重要な疾患のひとつであるだけに、発癌リスクの増加につながり得る今回の事故に対する人々の関心は極めて高い。

LCAは一般に温暖化や大気汚染といった日常的な活動において発生する環境影響量を評価することが多く、短期間で大量の汚染物質が排出されるような事故を評価に含めた例は少ない。短時間に発生する環境負荷に対応した影響評価を行うためには、その地点や時点における条件を反映することが必要不可欠の要件であるといえる。

また、これまでの原子力発電を対象としたLCAにおいて事故の確率を対象とした分析は極めて少ない。今後のエネルギー政策について議論する際は、事故の発生確率を考慮した、より包括的な視点に基づく検討が求められる。

2. 目的

本研究では、福島第一原発事故を通じて放散された放射性物質による被害量を推計するためのモデルを開発し、これらを駆使して健康被害量を推計することとした。なお、本研究ではLNTモデルのほか、ホルミシス効果についても考慮した多角的な観点から評価を行うことにより、健康被害量がどの程度変動しうるのかについて併せて検証を行った。さらに、事故の発生確率を考慮した影響評価を実施する。

3. 評価対象および調査範囲

図1に本研究おける影響評価のフローを示した。基的な構成は Frischknecht et al (2000)と同じプロセスを採用した。

(1)運命分析：排出量から大気中濃度と沈着量を算定する。排出量(時間当たりの排出速度)のデータは、最新の値としてChinoら(2011)が公開したものを採用した。運命分析では、Morinoら(2011)による分析を用いた。放射性物質の拡散は三次元化学輸送モデルであるCommunity Multiscale Air Quality (CMAQ) v.4.6 (Byun and Schere (2006))を用いた。

(2) 曝露分析：運命分析の結果から被曝線量を算定する。曝露分析では、外部被曝と内部被曝についてそれぞれ算定した。外部被曝については、Keithら(1993)が公開している外部被曝線量換算係数を用いて、日単位で放射性物質の大気中濃度（Bq/m3）と累積沈着量（Bq/m2）から線量（Sv/s）に換算した。

(3) 影響分析：曝露分析の結果から発癌リスクの増分を算定する影響分析では、原子力安全基盤機構が公開している確率論的環境影響評価のための生涯がんリスク解析に関する報告書を利用して、年齢、性別、部位ごとに被曝による発癌リスク(Excess Absolute Risk :EAR)の増分について算定した。100mSv以上の高線量の曝露により発癌リスクが増加することに関しては国際的合意があるものの、低線量の曝露による健康影響が高線量の被曝の時と同じ割合で影響が発生するかどうかは議論がまだ収束していない。そこで、本研究では以下の三種類の考え方に沿ってそれぞれ分析することとした。

(シナリオ1) 防護上の観点から採用される高線量の曝露による発癌リスク(単位量の被曝による発癌リスク増分)を低線量の被曝に対しても同様に適用する。【DDREF（線量・線量率有効係数）を考慮せず】

(シナリオ2) 高線量の曝露による発癌リスクを低線量にもそのまま適用するのは過大評価であるとの指摘から補正係数を適用することが提案されていることから、ここでは代表的な値として2を採用した時すなわち、(1)の場合のD－R関係の1/2を適用して評価する。

【DDREF=2 を適用】

(シナリオ 3) 10mSv 以下の曝露の場合は影響が出るかどうか合意が得られていないことから、10mSv の被曝を閾値として、これよりも低い曝露の場合は影響が発生しないものと想定する。【10mSv の閾値を適用】

(4) 被害分析 : 影響分析の結果から被害量を算定する。性別、年齢構成ごとの生涯発がんリスクから、YLL と YLD を算定し、その和をとることで損失余命(DALY)を算定した。メッシュごとに集計する際には、各メッシュにおける性別・年齢構成別の人口に、性別・年齢構成別の DALY を乗じて合計した。

5. 計算結果

メッシュごとに見た I131 の平均発がん率の増分を被曝の種類別（外部被曝、内部吸入被曝、内部経口被曝）に求めた。図 1 にこれらのリスクの合計をメッシュごとに算定し地図化した結果を示した。

大きな地域差があり、10^{-6} から 10^{-3} の範囲で分布した。発がんリスクは WHO の水質ガイドラインは 10^{-5}（10 万人に 1 人）を目安としており、日本の水道水質基準はこれに準じて設定されている。福島、茨城、栃木を始め、千葉、埼玉、東京、群馬、神奈川の関東全域と宮城のほぼ全域が 10^{-5} を超える結果となった。福島県は同一県であるが東部(10^{-3})と西部(10^{-5})で大きく異なった。これは、阿武隈高地を境に西向きの風が吹く機会が少なかったことによる。一方、茨城県は発生源から一定の直線距離はあるものの、3/15 と 3/22 にあった北風が吹いた日の沈着が要因となり、発癌リスクは全域で 10^{-4} を超える地域が多くみられた。

図 2 に被害評価（人間健康）の算定結果を示した。ここでは経路別（外部被曝、内部吸入被曝、内部経口被曝）にメッシュレベルで評価した結果の合計を示した。外部被曝による影響が最も大きく、内部被曝は経口、吸入いずれも相対的に小さかった。被害量は東北中南部から関東全域に及び、特に発生源近傍と人口の多い都心部が大きい傾向を示した。I131 の被曝による損失余命の合計は最小で約 5,000 年、中央値で約 1.4 万年、最大で約 2.8 万年と算定された。ただし、最小値をとるシナリオ 3 において 1 人あたりの被曝線量が 10mSv を超えるのは発生源周辺の約 10km 四方であるため、実際には計画避難が実施されたことを考慮すると、被害者数はほぼゼロと考えられ、DALY の最小値は 0 に近くなるものと考えられる。複数ある被曝経路の中で、外部被曝による影響が最大であったのは、屋外のみでなく遮蔽効果を考慮しつつも屋内での被曝を算定に含めたことによる。

今回の評価結果に事故の生起確率を乗じたリスク評価へと展開する。

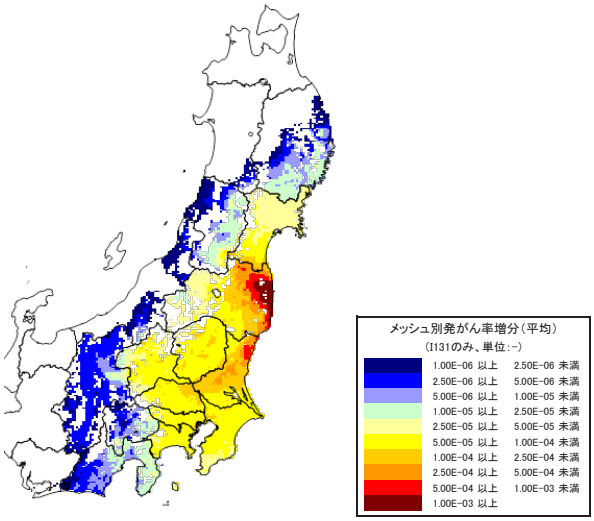


図 1 I131 の発がんリスク算定結果

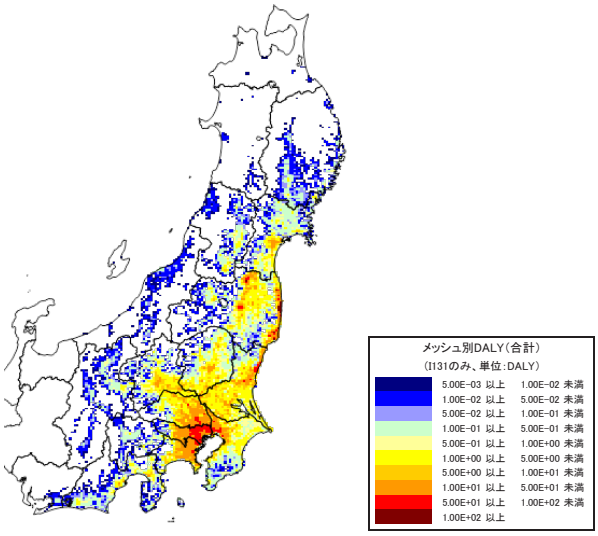


図 2 被害評価(健康影響)結果(単位は DALY)

6. まとめ

本研究では、LCA における被害評価手法とリスクアセスメントを融合して、重篤度と生起確率を考慮した健康影響評価を行った。

放射線の低照射による影響は被曝直後ではなく長期間に渡るため、直ちに検証することは困難である。特に低照射被曝による用量反応関係は未だ合意になく、評価結果の値は幅広い。しかし、日本の環境条件と排出時期における気象条件を反映した本研究の結果は、精度と信頼性の向上に寄与するものと考える。また、得られる結果の不確実性と事故の生起確率を考慮することで、より包括的な観点のもとでエネルギー政策を検討することができるものと考える。

参考文献

1) R. Frischknecht et al (2000): Environmental Impact Assessment Review
2) Chino, M et al (2011): J Nucl Sci Technol
3) Morino, Y et al (2011): Geophys. Res. Lett.

東日本大震災による国内地域と産業への間接影響

Study on Secondary Damages Caused by the Tohoku Earthquake by Analyzing Industrial Supply Chains in Japan

○玄地裕*[1)]、楊翠芬[2)]、本瀬良子[1)]、山崎雅人[3)]
Yutaka Genchi, Cuifen Yang, Ryoko Motose, Masato Yamazaki
1）産業技術総合研究所，2）科学技術振興機構低炭素社会戦略センター，3）名古屋大学減災連携研究センター
*y.genchi@aist.go.jp

1. はじめに

311 東日本大震災による産業への被害は、直接的な設備や建物への被害ばかりでなく、地震被害のない地域でもサプライチェーン寸断による物資の供給の断絶による被害も発生した。これは、東日本大震災の時だけではなく、阪神大震災、新潟中越地震、中越沖地震の際にも発生しており、その影響は、国内だけではなく海外までにも及んだ。このような度重なる地震災害によるサプライチェーン寸断の影響が生じることは、日本の産業全体の信用を落とすことにつながるため、企業、産業レベルでの対応策の立案が急がれている。一方、地震災害の被害予想や対策立案は国の中央防災会議や地方自治体の防災会議で検討されているが、民生分野の検討が主である。経済被害の算定はおこなわれているものの、産業レベルでの被害や対策立案については検討されていない。また、企業レベルでは、BCP の立案が行われているが、産業全体やサプライチェーンへの影響まで考慮した地震対策は取られていないのが実情である。

産総研では、2011 年より地震による災害などを念頭におき、低頻度大規模災害のリスク評価手法の検討プロジェクトを開始した。プロジェクトでは、揺れと産業被害の関係を記述するフラジリティカーブの作成、産業、民生の直接間接被害の大きさを定量化するハザード解析、各種被害定量的に評価する総合リスク評価手法開発をおこなっている。本研究は、プロジェクトの中の産業レベルの地震対策を担当している。具体的にはサプライチェーン寸断の影響も考慮した被害解析手法の開発を行っている。今回の発表では、地震の揺れから産業へのリスクを推定するフレームワークと東日本大震災の被害の再現結果を紹介する。

2. 地震によるリスク評価フレームワーク

地震の揺れを確率論的地震動予測として表現することでリスク評価を行うフレームワークには、世界的なアライアンスにより検討が進んでいるものがいくつかある。それらは、トルコ、欧州、カリフォルニアなどの地震に対するリスク評価を可能にするものであるが、被害をもとに包括的リスク評価を実施する、あるいは産業の被害想定をサプライチェーンまで考慮して評価する枠組みとはなっていない。

本研究は、直接的な被害だけではなく、サプライチェーン寸断による産業への間接的な影響までを評価範囲にしているため、フレームワークの構造を以下のように設定した。

地震による直接被害として企業などで発生する施設破壊、建物倒壊を考慮する。そしてその直接被害により生産がストップし、生産額が通常時よりも減少する。その減少率はその地域の鉱工業生産指数減少率であると考え、鉱工業生産指数減少率が下流に及ぼす影響を地域別に定量化して間接影響を定量的に示す。

生産指数減少の原因は、生産額の減少、道路・交通網の寸断や停電、労働者不足などの原因を考慮する必要がある。これらについては、交通網の寸断については土木交通分野で検討例を参考に、また、産業毎の揺れにより発生する産業施設、建物破壊の確率についてはフラジリティカーブ作成のための調査が必要である。交通網寸断、フラジリティカーブによる被害推定は別のグループが開発中であるため、ここでは取り扱わず、第一段階として統計などの実データからの各地域の生産指数減少率推定とその減少率のモデルによる再現を試みた。

表１　モデルの地域分類と含まれる都道府県

地域分類	含まれる都道府県
北海道	北海道
東北	青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島
関東	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、新潟、山梨、長野、静岡
中部	富山、石川、岐阜、愛知、三重
近畿	福井、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
中国	鳥取、島根、岡山、広島、山口
四国	徳島、香川、愛媛、高知
九州・沖縄	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、沖縄

2.1　生産指数減少の他地域への影響評価モデル

サプライチェーン寸断の経済的影響評価には、多地域多部門を取り扱う静的応用一般均衡（CGE）モデルを用いた。応用一般均衡モデルとは、経済を連立方程式として表現する一般均衡理論と、現実の産業間取引等を記載した産業連関表から構築されるモデルである。本研究のモデルは2010 年に経済産業省が公表した「平成17 年地域間産業連関表」を利用した8 地域40 部門の国内多地域モデルである。各地域には代表的家計、地方行政部門、40 の産業部門が存在する。産業部門では、その地域内および地域間での製品のやりとりが考慮されている。また中間投入材を地域外から移入し、自社製品を地域外に移出、あるいは輸出することもできる。最終消費は、代表的家計と地方自治体が行う。すべての市場は完全競争的で、価格調整により需要と供給が等しくなると仮定している。

各産業の生産関数は入れ子型のCES（Constant Elasticity of Substitution）型関数によってモデル化されている。CES型関数において、投入物の相対価格が 1%上昇した場合、相対的な投入量が何%減少するかを表す代替の弾力性パラメータσが考慮されている。

産業部門の生産物は、中間財、エネルギー合成財、付加価値をレオンチェフ型関数で結合したものとしてモデル化されている。エネルギー合成財とは、化石燃料と石油・石炭製品、電力といったエネルギー財をCES 型関数で結合したものである。また、付加価値とは、労働と資本をコブ=ダグラス型関数で結合したものである。各生産部門の災害被害は、資本と労働力の減少として入力される。その際、東北・関東地域での各産業部門の実際の生産減少率を再現するように、同地域の資本と労働の減少率および弾性力パラメータσを調整した。そのため、モデルの解は、サプライチェーン寸断による高次の生産途絶だけではなく、部品代替などによる経済復元力も反映されたものである。

3. 東日本大震災の際の東北地域の鉱工業生産指数減少が他地域に与えた影響

3.1　統計による震災被害の実態

鉱工業指数、商業動態統計調査、農業産出量、農業被災面積などのデータを元にCGS モデルで対象とする40 産業について、震災前後での日本国内8 地域の生産指数の増減の割合を算出した。特に東北地域で震災被害の大きい産業は、乗用車関連、建設、通信機器、医薬品などであった。

3.2　モデルによる震災被害の再現検討

鉱工業生産指数の増減は、被災の直接的影響とサプライチェーン寸断の影響が足された値であると考えられるが、今回のシミュレーションでは、東北地方の鉱工業生産指数に示された減少率をすべて「被災の直接影響」による減少率として考え、モデルのインプットとして与えた。また、東北だけではなく、関東も被災の影響が大きかったことから、特に川上産業で被災の大きい産業（基礎化学、石油製品、プラスチック、鉄鋼、電子部品、自動車部品、精密機器）については、鉱工業生産指数からおよその減少率を推定して関東地域のモデルのインプットとして与えた。東日本地域についてはシミュレーションでは考慮されない停電や上下水道などの破損の影響が、鉱工業生産指数の変化に影響を与えていると考えられるため、震災の影響少ない九州、四国、近畿などのシミュレーション結果と各地域の鉱工業生産指数の増減を比較した。

結果を図 1 に示す。鉱工業生産指数の増減について、西日本地域では定性的な傾向は再現されたが、定量的には大きな差があった。この原因として、インプット側の要因として停電、道路網寸断などの影響、金額的には大きくないが重要な部品供給が止まった影響が考慮されていないなどの理由が考えられる。

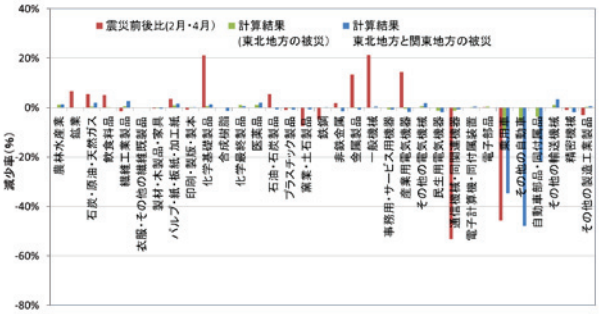


図 1　鉱工業生産指数減少率の統計値とモデル計算の比較（九州地区）

4.　まとめ

地震の揺れから産業へのリスクを推定するフレームワークを開発し、CGEモデルによる東日本大震災の被害の再現を試みた。シミュレーション結果と統計値を比較することでモデルの再現性について検討した結果、定量性に課題が残った。今後、モデルパラメータの検討と共に、サプライチェーンとして重要な部品の抽出も行い、個別の検討を行う予定である。

参考文献

1)　<http://www.globalquakemodel.org>, (アクセス日 2012.8.27).

東日本大震災の経済復興シナリオ分析

Economic Recovery Analysis of the Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

○宮里円*[1)]、藤井秀道[2)]、長谷川良二[3)]、馬奈木俊介[2)]、加河茂美[1)]
Madoka MIYAZATO, Hidemichi FUJII, Ryoli HASEGAWA, Shunsuke MANAGI, Shigemi KAGAWA
1) 九州大学、2)東北大学、3) 大阪国際大学
*madoka.miyazato@gmail.com

1. はじめに

2011年3月11日に発生し、東北地方を中心に日本経済全体に甚大な被害を与えた東日本大震災から約2年が経過した。復興庁の報告(2012)によれば、主要ライフラインや公共サービスはほぼ復旧、広域で見た被災地域全体の鉱工業生産も現在ではほぼ震災前の水準まで回復と、目覚ましい回復を遂げている。しかし一方で、津波浸水地域の本格的な産業復興や原子力災害の被害地域における避難者への支援など、課題となる部分も多く残っている。東日本大震災においては、被害を受けた工場の操業停止という供給制約によって日本経済全体に影響が及んだ。

東日本大震災による経済被害を分析する研究に関して、下田・藤川(2012)は、需要主導型の産業連関分析、供給主導型の産業連関分析、需要主導型と供給主導型が併存したハイブリット型の産業連関分析を用いて、東日本大震災による地域別産業別の生産減少効果を包括的に推計しているだけでなく、分析フレームワークの長所と短所を明らかにした。

下田・藤川(2012)によって検討されたフレームワークは静学的なものであり、震災後の経時的な復興シナリオの下での経済波及効果を評価することができない。これに対して、Steenge and Bockarjova (2007)によって提案された供給制約型の産業連関モデルでは、災害による生産力の低下（工場の操業停止、労働力の低下など）と消費の低下の不均衡を解消するための経済復興分析が可能となる（洪水被害に関する応用分析についてはLi et al. (2012)を参照）。

本研究では、Steenge and Bockarjova (2007)によって開発された供給制約型産業連関モデルを多地域産業連関フレームワークへ拡張するだけでなく、避難住民の人口移動、避難住民の消費活動、避難住民への所得フローを内生化した供給制約型多地域産業連関モデルの開発を行う。供給制約型多地域産業連関モデルを用いて、2011年3月11日に起こった東日本大震災が東北地方に与えた経済被害を求め、経済シナリオを設定し、東日本のみならず日本全体の経済復興のシナリオ分析を行う。

2. 方法

本節では、Steenge and Bockarjova (2007)による供給制約型のモデルを説明した後で、2地域モデルへ拡張する。

Steenge and Bockarjova (2007)の1地域2部門モデルの基本となる式は以下で表わされる。

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & h_1 \\ a_{21} & a_{22} & h_2 \\ l_1 & l_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\gamma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\gamma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\gamma_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ L \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、$a_{ij}\left(i,j=1,2\right)$は$j$産業が1単位の製品を生産するのに要した$i$産業からの中間投入、$l_j$は$j$産業が1単位の製品を生産するのに要した労働投入、$h_i$は最終消費者一人あたりの$i$産業で生産された製品の最終消費、$x_i$は$i$産業の総供給、$L$は総労働投入、$\gamma_i$は震災によって震災前の$i$産業の総供給に対して震災後の$i$産業の総供給の減少分の比率を表したダメージ係数を示している。

このSteenge and Bockarjova (2007)のモデルは、次のようにしてオープン型の2地域2部門モデルに拡張できる。

$$\begin{bmatrix} a_{11}^{11} & a_{12}^{11} & h_1^{11} & a_{11}^{12} & a_{12}^{12} & h_1^{12} \\ a_{21}^{11} & a_{22}^{11} & h_2^{11} & a_{21}^{12} & a_{22}^{12} & h_2^{12} \\ l_1^1 & l_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{11}^{21} & a_{12}^{21} & h_1^{21} & a_{11}^{22} & a_{12}^{22} & h_1^{22} \\ a_{21}^{21} & a_{22}^{21} & h_2^{21} & a_{21}^{22} & a_{22}^{22} & h_2^{22} \\ 0 & 0 & 0 & l_2^2 & l_2^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\gamma_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\gamma_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\gamma_3^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-\gamma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\gamma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\gamma_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1^1 \\ g_2^1 \\ 0 \\ g_1^2 \\ g_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1^1 \\ f_2^1 \\ 0 \\ f_1^2 \\ f_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1^1 \\ e_2^1 \\ 0 \\ e_1^2 \\ e_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

この上付き数字の1、2はそれぞれ地域1、地域2を表し、上付き数字の12は地域1で生産された製品の地域2への移出を、上付き数字の11(22)は地域1(2)で生産された製品がそこで消費されることを表す。災害がこの2地域ともに起こった場合、地域1、地域2のすべてのダメージ係数γ_iは$0<\gamma_i<1$の範囲で値をとる。災害の影響を全く受けていない場合にはγ_iは0となる。g_i^r、f_i^r、e_i^rはそれぞれ地域rのi産業によって生産された製品の政府消費、地域rのi産業によって生産された製品に関する固定資本形成、地域rからのi産業によって生産された製品の海外輸出を表す。

ここで、地域2における産業1と2のダメージ係数が0、すなわち地域2は被災していない場合を考えると、下式(3)が得られる。

$$\begin{bmatrix} a_{11}^{11} & a_{12}^{11} & h_1^{11} & a_{11}^{12} & a_{12}^{12} & h_1^{12} \\ a_{21}^{11} & a_{22}^{11} & h_2^{11} & a_{21}^{12} & a_{22}^{12} & h_2^{12} \\ l_1^1 & l_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{11}^{21} & a_{12}^{21} & h_1^{21} & a_{11}^{22} & a_{12}^{22} & h_1^{22} \\ a_{21}^{21} & a_{22}^{21} & h_2^{21} & a_{21}^{22} & a_{22}^{22} & h_2^{22} \\ 0 & 0 & 0 & l_1^2 & l_2^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\gamma_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\gamma_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\gamma_3^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$+\begin{bmatrix} g_1^1 \\ g_2^1 \\ 0 \\ g_1^2 \\ g_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1^1 \\ f_2^1 \\ 0 \\ f_1^2 \\ f_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1^1 \\ e_2^1 \\ 0 \\ e_1^2 \\ e_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^2 \end{bmatrix}$$

ここでダメージ係数 γ_3^1 の意味を理解することが大変重要となる。これに関しては 3 つのケースが考えられる。1 つ目は、被災地域 1 の労働者が震災により大変不幸なことにお亡くなりになり労働力が減少する場合、2 つ目は、地域 2 から被災地域 1 に働きに来ていた労働者が地域 1 の被災により来なくなる場合、3 つ目は、被災地域 1 の労働者が地域 2 に避難する場合が考えられる。そこで、(3)式は正確には次のように書き直せる。

$$\begin{bmatrix} a_{11}^{11} & a_{12}^{11} & h_1^{11} & a_{11}^{12} & a_{12}^{12} & h_1^{12} \\ a_{21}^{11} & a_{22}^{11} & h_2^{11} & a_{21}^{12} & a_{22}^{12} & h_2^{12} \\ l_1^1 & l_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{11}^{21} & a_{12}^{21} & h_1^{21} & a_{11}^{22} & a_{12}^{22} & h_1^{22} \\ a_{21}^{21} & a_{22}^{21} & h_2^{21} & a_{21}^{22} & a_{22}^{22} & h_2^{22} \\ 0 & 0 & 0 & l_1^2 & l_2^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\gamma_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\gamma_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\gamma_3^1-\lambda_3^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^2+\lambda_3^1 L^1 \end{bmatrix}$$

$$+\begin{bmatrix} g_1^1 \\ g_2^1 \\ 0 \\ g_1^2 \\ g_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1^1 \\ f_2^1 \\ 0 \\ f_1^2 \\ f_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1^1 \\ e_2^1 \\ 0 \\ e_1^2 \\ e_2^2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ L^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ L^{2*} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで λ_3^1 は被災地域 1 から地域 2 への総労働者に占める避難労働者の割合を表す。λ_3^1 が 0 の場合、被災地域 1 からの地域 2 へ避難した労働者はいない。この場合、(4)式は(3)式と等しくなる。$\lambda_3^1 L^1$ は災害後すぐに生じるが、時がたち被災地域の復興が進むにつれて、避難した人々は被災地域 1 に戻りそこで働きたいと思うだろう。その結果、λ_3^1 の値は徐々に低下する。

3. 結果と考察

図 1 と図 2 はそれぞれ 2011 年 2 月を 100 とした福島県と宮城県の東日本大震災前後の鉱工業生産指数の動きを示している。これらの図より、震災直後の大きな生産の落ち込みが確認できる。福島県では非鉄金属工業、食料品・たばこ工業、宮城県では鉄鋼業、そして両県でパルプ・紙・紙加工品工業、化学工業の生産が大きく落ち込んでいる。生産の落ち込みはどの部門も 3 月から 5 月にピークを迎え、その後は徐々に震災前の水準に近付き、福島県のパルプ・紙・紙加工品工業など、早いところでは 2011 年の 7 月頃には東日本大震災直前の水準まで回復している部門もある。

図3 では、岩手、宮城、福島の3県について震災直後(2011 年 3 月)の鉱工業生産指数を比較し、落ち込みが激しかった上位 10 部門を示している。値が小さいほど被害が大きいのだが、半数以上が宮城県の部門であり、鉱工業生産における今回の東日本大震災での宮城県の被害の大きさがうかがえる。研究発表会では、図 1 から図 3 に示される震災によるダメージの割合を(4)式に示される供給制約型の多地域モデルに適用した復興シナリオ分析の結果を発表する予定である。

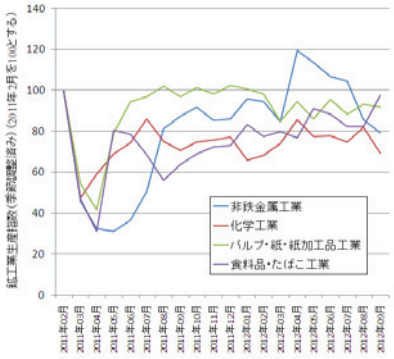


図 1. 東日本大震災前後の福島県の鉱工業指数の動き

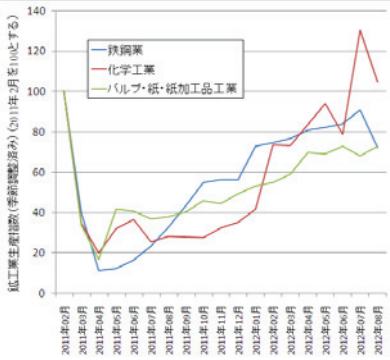


図 2. 東日本大震災前後の宮城県の鉱工業指数の動き

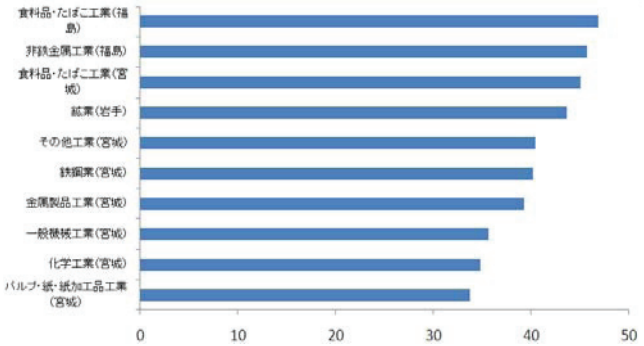


図 3. 震災直後(2011 年 3 月)の鉱工業生産指数の落ち込みが激しい上位 10 部門

参考文献

1) 復興庁(2012)「東日本大震災からの復興の状況に関する報告（概要）」。http://www.reconstruction.go.jp/topics/20121122_kokkaihoukoku-gaiyoh.pdf（2013 年 1 月 9 日閲覧）
2) 下田充・藤川清史(2012)「産業連関モデルと東日本大震災による供給制約」、『産業連関イノベーション&I-O テクニーク』、第 20 巻、第 2 号、pp.133-146。
3) Albert E. Steenge and Marija Bockarjova (2007) "Thinking about Imbalances in Post-catastrophe Economies: An Input-Output based Proposition," *Economic Systems Research*, Vol.19, pp.205-223.
4) Jun Li, Douglas Crawford-Brown, Mark Syddall and Dabo Guan (2012) "Modelling Imbalanced Economy Recovery in Post-disaster using Input-Output Analysis," Working Paper.

サプライチェーン寸断リスク分析用データの作成

Development of database for supply chain cut-offs risk analysis

○田原聖隆*[1)]，畑山博樹[1)]，村松良二[1)]，松林芳輝[1)]，高田亜佐子[1)]，藤井千陽[1)]，横田真輝[1)]，玄地裕[1)]
Kiyotaka Tahara, Hiroki Hatayama, Ryoji Muramatsu, Yoshiteru Matsubayashi, Asako Takada, Chiharu Fujii, Maki Yokota,Yutaka Genchi
1) 産業技術総合研究所
* k.tahara@aist.go.jp

1. はじめに

東日本大震災では、多くの産業プロセスや物流網に被害が及び、サプライチェーンが寸断され、様々な製品の供給が滞ることで国内のあらゆる地域に影響を及ぼした。また、タイの洪水により部品の供給が滞り、自動車関連を中心とした製品供給の滞りが起こり、世界の自動車産業に大きな影響を及ぼした。

震災や洪水がサプライチェーンに潜在する様々なリスクを顕在化させる形となったが、その背景には、効率性を重視するあまり一部の産業プロセスが特定地域に偏在するという、サプライチェーン寸断リスクを高めていた。特に、ある素材の供給力低下が思わぬ形で波及的に様々な製品やサービスの供給に及ぼす事例があり、リスク要因を認識するためには、地理的情報も含めてサプライチェーンを可視化する必要があると言える。

LCA は、主原料やエネルギー消費に加え、あらゆる副原料や中間廃棄物も含んだ膨大なインベントリデータが必要である。そのインベントリデータは、製造プロセスデータの積み重ねであるため、サプライチェーンの可視化が可能である。

そこで、我々が構築している IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）を活用し、統計データやヒアリング調査により収集したデータに生産量や輸出入量などの量的情報と生産地などの地理的情報を加えることにより、約 2000 品目分類の製品・サービス間の物質連関を示した、サプライチェーン寸断リスク分析用データの作成を行うことを目的とした。

2. サプライチェーンマトリックス

2.1 IDEA の概要

既往のインベントリデータベースはケーススタディの結果の蓄積に基づいていたので、すべての製品の環境負荷データを得ることができなかった。そこで、我々は、図 1 に示すように階層構造を有し、日本標準産業分類に基づいた約 3000 分類のデータを格納し、網羅性が担保されたインベントリデータベース IDEA を開発し、2010 年 11 月に公開した。データは統計データなどを活用して作成しており、日本の平均的な生産プロセスを整備するようにしている。

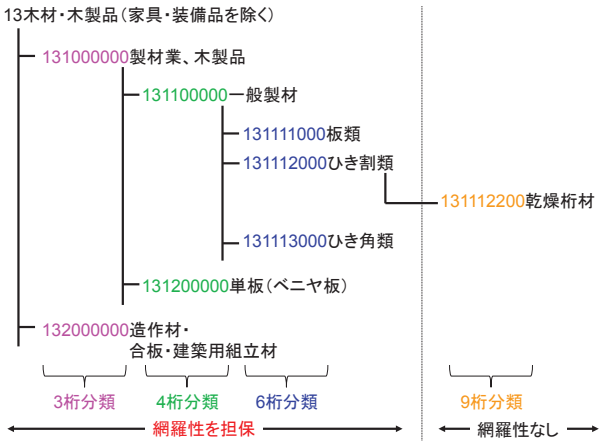


図 1 IDEA の階層構造

2.2 マトリックスの概要

インベントリデータのユニットプロセスデータは、単位重量やエネルギーあたりの入出力が記述されている。IDEA は図 1 の主に 6 桁分類で網羅性（すべての製品が網羅している製品に分類される）を確保している。その網羅性を確保しているデータは約 2000 データとなっている。

まず、2000 データを農業から順に、約 2000×2000 の行列を作成し、それぞれのユニットプロセスデータを入れていくと、産業連関表で言う投入係数表が作成できる。ここではユニットプロセスで作成された表を、端的に投入係数表と呼び、その行列を A で示した。具体的には、図 2 に示したように ABS 樹脂の製造プロセスデータを、行列にデータを入力していくことである。行列を列で見ると（縦に見ていくと）ABS 樹脂のユニットプロセスデータが記述されていて、行を見ると（横に見ていくと）、例えばナフサが、どの製品の製造に使用されているのかが分かる。これにより何かの製造プロセスが震災などにより製品供給不足や供給不可になった場合に影響のある製品が一目できる。また、以下の式で、逆行列を取ることで、その製品の波及的な影響まで把握可能な係数表を作成することができる。

$$A' = (I - A)^{-1} \cdots (1)$$

A’: 逆行列係数　I: 単位行列、A: 投入係数

図2の投入計数表に図3に示すように、文献[1-6]を参考にそれぞれの製品の生産量を乗じ、加えて輸出入の情報[7]を加えることで物量連関表が完成する。式2に従い、マテリアルバランスを取ることで目的としているマトリックスの完成となる。

中間投入量

＝生産量＋輸入量－輸出量＋最終消費量 ･･･ (2)

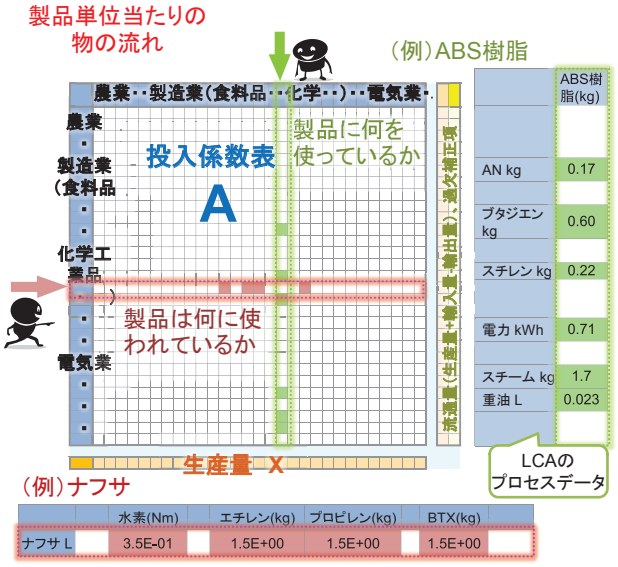


図2 IDEAマトリクス（投入係数表）

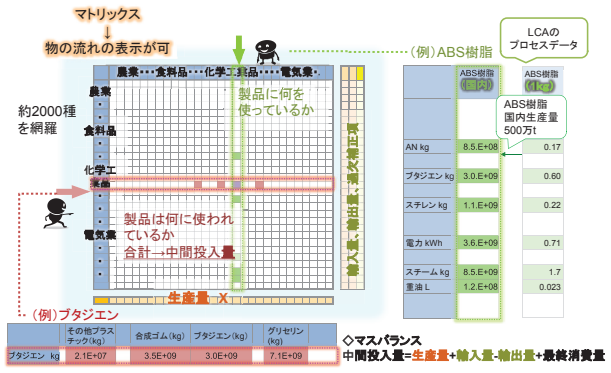


図3 IDEAマトリックス（物量連関表）

3. 課題

マトリクス作成時に上がった問題点を以下に記す。

○インベントリデータ作成時の問題

- 輸送用機械器具では、入力に部品を入れるべき所を、鉄鋼等の素材を入力している。また、化学製品では、入力に中間体を入れるべき所それをしていない。
- 基本的に2000年の生産活動を反映させたインベントリデータを作成しているが、使用量と流通量を比較検討しているのは2010年である。そのため、2000年と2010年とでインベントリデータが異なる場合には、インベントリデータを2010年版に更新する必要がある。例えば、配合飼料の入力であるひえ、あわ、きびの原単位は、2010年は2000年の約半分に減らした。
- 製品の生産方法が複数あるにもかかわらず、ひとつの生産方法のみを反映したインベントリデータがある。例えば、普通合板は、丸太（原木）を原材料にする場合と、単板を原材料にする場合があるが、IDEAは前者のデータしか整備していない。

○データ整備上の問題

- 国内生産量と輸出入量の数量単位を統一する必要がある。そば（農作物）は、国内生産量は子実の重量だが、輸出入量は子実と殻の重量であるため、IDEAでは国内生産量に数量単位を統一した。
- 貿易統計の分類と、IDEAで参考にした日本標準産業分類等の分類との整合がとれない。

4. おわりに

IDEAを用いてサプライチェーン寸断リスク分析用データを作成している。上記にあげた問題点から、各データのマスバランスが取れておらず、データは限定的な利用に留まっている。今後、データの整備を進めて、分析の精度に耐えうるデータ構築を実施していく予定である。

参考文献

1) 経済産業省：“平成22年工業統計”，経済産業省，（オンライン），<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html>，（参照2013-01-10）

2) 農林水産省：“平成22年産作物統計”，農林水産省，（オンライン），<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>，（参照2013-01-10）など

3) 経済産業省：“平成22年生産動態統計　資源・エネルギー統計”，経済産業省，（オンライン），http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/07_shigen.html>，（参照2013-01-10）

4) 経済産業省：“平成22年生産動態統計　紙・印刷・プラスチック・ゴム製品統計”，経済産業省，（オンライン），<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/06_kami.html>，（参照2013-01-10）など

5) 経済産業省：“平成22年生産動態統計　化学工業統計”，経済産業省，（オンライン），<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/02_kagaku.html>，（参照2013-01-10）

6) 経済産業省：“2010年機械統計”，経済産業省，（オンライン），＜http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/03_kikai.html＞，（参照2013-01-10）

7) 財務省：“貿易統計”，財務省，（オンライン），<http://www.customs.go.jp/toukei/info/tsdl.htm>，（参照2013-01-10）

東日本大震災によるサプライチェーンへの経済影響分析

Analysis of Economic Impacts on Japanese Supply Chains Caused by the Tohoku Earthquake

○尾下優子*[1)]、加河茂美[1)]、長谷川良二[2)]
Yuko OSHITA, Shigemi KAGAWA, Ryoji HASEGAWA
1) 九州大学、2) 大阪国際大学
*oshita-yuko@live.jp

1. はじめに

2011年3月11日に起こった東日本大震災は東北地方に甚大な被害を与えただけでなく、被害を受けた工場の操業停止や道路の寸断によって、東北地方の産業・工場から原材料などを得ていた他の地方の産業にも影響を与えた。この事態は、サプライチェーンの分断による日本経済全体への影響を浮き彫りにし、災害等のリスクを考慮したサプライチェーンマネージメントの重要性を明らかにした。しかしながら、地域レベルの情報を保持しつつ、日本全体のサプライチェーンを評価する手法は確立されていないのが現状である。

本研究の目的は、災害等のリスクに対するサプライチェーンの強靭性を評価する手法を開発するために、構造経路分解分析(Structural Path Decomposition: SPD) (Wood and Lenzen, 2009; Oshita, 2012)を応用し、47都道府県間産業連関表を用いた分析を行うことにより、震災エリアの生産や需要の停滞に伴って大きな影響を受けるサプライチェーンを抽出し、今後の災害リスクを考慮した産業構造の在り方を提案することである。

2. 方法

まず、本研究で使用する 47 都道府県間産業連関表(Hasegawa *et al*., 2011)について説明する。この地域間産業連関表は、47都道府県、80産業部門、6最終需要項目（家計外消費支出、家計消費、政府支出、公共投資、民間投資、在庫純増）からなっており、各県各産業製品間の中間投入・産出額、最終需要額が表されている (図1参照)。この47都道府県間産業連関表と産業連関モデルを用いて、各県各産業の国内生産額を表すと以下の(1)式になる。

$$\mathbf{x} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{y} \tag{1}$$

ここで、$\mathbf{x} = \left(x_{if}^{rq}\right)$は$q$県の最終需要項目$f$から誘発される$r$県の$i$産業の年間の国内生産額を表すベクトル(3760×282)、$\mathbf{I}$は単位行列(3760×3760)、$\mathbf{A} = \left(a_{ij}^{rs}\right)$は$r$県の$j$産業が1単位の製品を生産するのに直接需要した$s$県の$i$産業からの投入量の比率を示す投入係数行列(3760×3760)、$\mathbf{y} = \left(y_{if}^{rq}\right)$は$r$県$i$産業製品に対する$q$県の最終需要項目$f$の年間の最終需要額を表すベクトル(3760×282)である。$\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列($\mathbf{L} = \left(l_{ij}^{rs}\right)$)と呼ばれ、$r$県の$j$産業の製品1単位の生産に必要な$s$県$i$産業の直接・間接の需要量を表す。つまり(1)式は、各県の最終需要額$\mathbf{y}$から誘発される各県各産業の最終波及的な生産額$\mathbf{x}$を表している。

この式の時間的変化を考え、構造分解分析(Dietzenbacher and Los, 1998)の手法に従って変化の要因に分解すると、以下の(2)式のように各県各産業の生産額の変化量$\Delta\mathbf{x}$は、各県各産業の投入構造の変化による影響$\Delta\mathbf{x}_{\mathbf{L}}$と、各県各産業の最終需要の変化による影響$\Delta\mathbf{x}_{\mathbf{y}}$に分解することができる。

$$\underbrace{\mathrm{d}\mathbf{x}}_{\Delta\mathbf{x}} = \underbrace{\left(\mathrm{d}\mathbf{L}\right)\mathbf{y}}_{\Delta\mathbf{x}_{\mathbf{L}}} + \underbrace{\mathbf{L}\left(\mathrm{d}\mathbf{y}\right)}_{\Delta\mathbf{x}_{\mathbf{y}}} \tag{2}$$

このとき、レオンチェフ逆行列$\mathbf{L}$は以下の(3)式のように級数展開できる。

$$\mathbf{L} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1} = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots \tag{3}$$

$\mathbf{I}$は第1次波及効果と呼ばれ、ある県のある産業製品の直接的な最終需要量を示し、$\mathbf{A}$は第2次波及効果と呼ばれ、第1次波及効果で最終需要された製品の生産に必要なある県のある産業製品の量を示す。

このとき、以下の(4)、(5)式に従い、震災エリア（岩手、宮城、福島の東北3県）の供給側（図1の行方向）の中間投入額と最終需要額を0としたものをそれぞれ$\tilde{\mathbf{A}}_S$と$\tilde{\mathbf{y}}_S$とし、需要側（図1の列方向）の中間投入額と最終需要額を0としたものをそれぞれ$\tilde{\mathbf{A}}_D$と$\tilde{\mathbf{y}}_D$とする。

$$\tilde{\mathbf{A}}_S = \begin{cases} \tilde{a}_{S_{ij}}^{rs} = 0 & \left(r \in \mathrm{T}\right) \\ \tilde{a}_{S_{ij}}^{rs} = a_{ij}^{rs} & \left(r \notin \mathrm{T}\right) \end{cases}, \quad \tilde{\mathbf{A}}_D = \begin{cases} \tilde{a}_{D_{ij}}^{rs} = 0 & \left(s \in \mathrm{T}\right) \\ \tilde{a}_{D_{ij}}^{rs} = a_{ij}^{rs} & \left(s \notin \mathrm{T}\right) \end{cases} \tag{4}$$

$$\tilde{\mathbf{y}}_S = \begin{cases} \tilde{y}_{S_{ij}}^{rs} = 0 & \left(r \in \mathrm{T}\right) \\ \tilde{y}_{S_{ij}}^{rs} = y_{if}^{rs} & \left(r \notin \mathrm{T}\right) \end{cases}, \quad \tilde{\mathbf{y}}_D = \begin{cases} \tilde{y}_{D_{ij}}^{rs} = 0 & \left(s \in \mathrm{T}\right) \\ \tilde{y}_{D_{ij}}^{rs} = y_{if}^{rs} & \left(s \notin \mathrm{T}\right) \end{cases} \tag{5}$$

Tは震災による直接的な影響を受けた都道府県コードの

集合を示す。さらに、震災前と震災後の変化分$\mathbf{dA}$と$\mathbf{dy}$を(6)、(7)式のように供給側の変化と需要側の変化で表す。

$$\mathbf{dA} = \mathbf{dA}_S + \mathbf{dA}_D = \left(\mathbf{A} - \tilde{\mathbf{A}}_S\right) + \left(\mathbf{A} - \tilde{\mathbf{A}}_D\right) \quad (6)$$

$$\mathbf{dy} = \mathbf{dy}_S + \mathbf{dy}_D = \left(\mathbf{y} - \tilde{\mathbf{y}}_S\right) + \left(\mathbf{y} - \tilde{\mathbf{y}}_D\right) \quad (7)$$

この(3)、(6)、(7)式を(2)式に代入すると、以下(8)式となる。

$$\begin{aligned}\mathbf{dx} = {} & \mathbf{dy}_S + \mathbf{dy}_D + \mathbf{dA}_S\mathbf{y} + \mathbf{dA}_D\mathbf{y} + \mathbf{A}\mathbf{dy}_S + \mathbf{A}\mathbf{dy}_D \\ & + \mathbf{dA}_S\mathbf{Ay} + \mathbf{dA}_D\mathbf{Ay} + \mathbf{AdA}_S\mathbf{y} + \mathbf{AdA}_D\mathbf{y} \\ & + \mathbf{AAdy}_S + \mathbf{AAdy}_D + \cdots\end{aligned} \quad (8)$$

(8)式の右辺第1項は各県の最終需要製品の震災エリアからの供給停止による影響を、第2項は震災エリアの最終需要の停止による影響を示している。第3項から第6項は、最終需要された製品の生産に必要な製品生産への影響を示しており、第3項は震災エリアの中間製品の供給が停止したことによる影響、第4項は震災エリアの中間製品の需要が停止したことによる影響、第5項は震災エリアからの最終需要製品の供給が停止したことによる影響、第6項は震災エリアの最終需要が停止したことによる影響を示している。（図2参照）。

(8)式のそれぞれの項は、各県の製品ごとに表すことができ、最終需要も各県の最終需要項目ごとに表すことができる。つまり、震災エリアの生産額または最終需要額が0になることによって、各県で生産されている各製品の生産額に生じる影響（低下率）を特定することが可能である。また、その影響の経路も各県各製品レベルで特定することができ、震災の影響がサプライチェーンのどの段階で作用するのかという情報も得ることができる。この生産額の低下率が大きい製品、サプライチェーンを検出することにより、東日本大震災で特に影響を受けた製品・サプライチェーンを抽出し、その原因を明らかにすることができる。

3. 結果と考察

(8)式と47都道府県間産業連関表を用いた分析結果の詳細と考察については研究発表会で述べる。

4. まとめ

東日本大震災の経験から重要性が再認識された震災等のリスクを考慮したサプライチェーンマネージントであるが、本研究で開発された手法やフレームワーク、分析結果は、強靭なサプライチェーンを構築するために重要な情報を与えるものである。本研究では、手法の妥当性を判断するために東日本大震災の分析を行ったが、今後は南海トラフ地震など、将来の発生確率が高く、甚大な被害を及ぼす危険性のある災害等の分析も行い、サプライチェーンの地理的集積度、強靭性を評価しながら、持続発展可能な産業配置の在り方を提案していく。

参考文献

1) Dietzenbacher, E. and Los, B.: Economic Systems Research, 10 (4), (1998), pp.307–323.
2) Hasegawa, R. Kagawa, S., Tsukui, M.: 19th International Input-Output Conference, (2011), pp.156-160.
3) Oshita, Y.: Energy Economics, 34 (4), (2012), pp.1041–1050.
4) Wood, R. and Lenzen, M.: Energy Economics, 31 (3), (2009), pp.335–341.

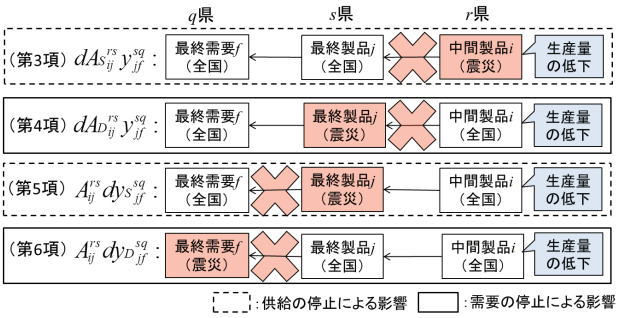


図2. (8)式の第3項～第6項のイメージ図

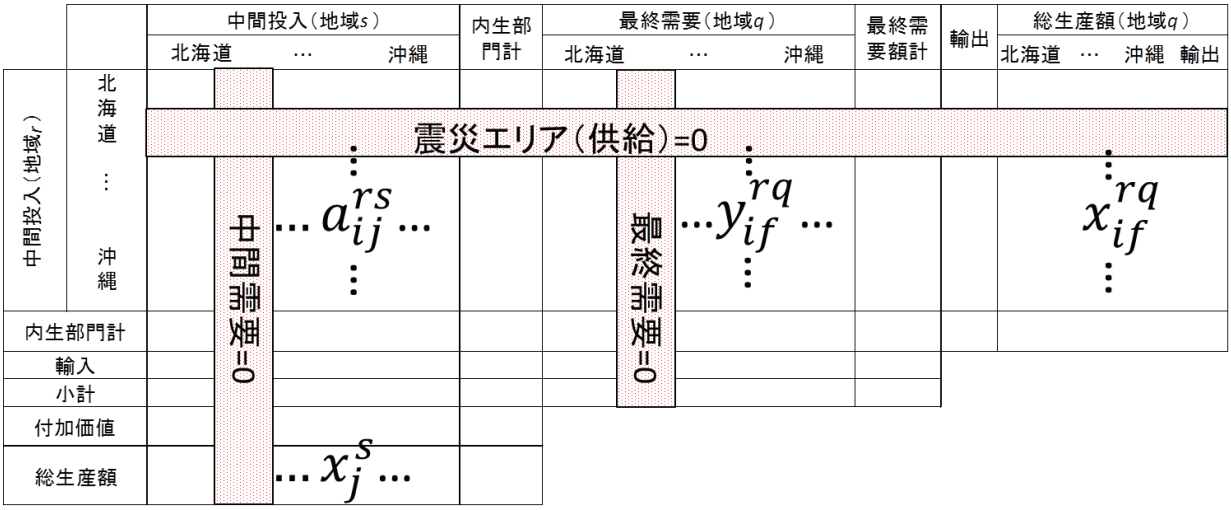


図1. 47都道府県間産業連関表のフレームワーク

地球規模に拡張したライフサイクル影響評価手法(LIME3)の開発

Development of LIME3 –LCIA method at global scale-

伊坪徳宏 [1)]、湯龍龍 [1)]、村上佳世 [1)]、本下晶晴 [2)]、栗山浩一 [3)]、吉田謙太郎 [4)]、時松宏治 [5)]
Norihiro ITSUBO, Longlong Tang, Kayo Murakami, Masaharu Motoshita,
Koichi Kuriyama, Kentaro Yoshida, Koji Tokimatsu
東京都市大学 [1)]、産業技術総合研究所 [2)]、京都大学 [3)]、長崎大学 [4)]、エネルギー総合工学研究所 [5)]
Itsubo-n@tcu.ac.jp

keywords: global scale, damage assessment, normalization, weighting, impact assessment, LIME3

1. はじめに

現在のLCIA研究は日・欧・米が独自の評価手法を提案しているが、いずれも評価対象地域が限られているため、日本のエコプロダクツを世界に広めるためのツールとして定着していない。

環境イノベーションを日本が牽引するためには、世界各地の環境条件を反映し、かつ、一つの評価体系のもとで多様な地球規模の環境問題を評価することができる世界標準の環境経済評価手法の開発が焦眉の急である。

上記課題に応えるため、著者らは日本版被害算定型影響評価手法LIMEを世界規模に拡張した評価体系の構築に向けた検討を行っている。本稿では当該研究の研究意義と内容、その進捗状況について報告する。

2. LIME3の開発目的

本研究では、わが国の企業が汎用的に利用する環境影響評価手法LIMEを「世界化」に向けて発展・拡張させるための研究を行う。以下に本提案研究で達成すべき目標を示す。

第一に、地球規模の環境問題を対象として、環境負荷の発生から人間健康や生態系への被害量までを関係づける評価モデルを開発する。ここでは地球温暖化、水資源、生物多様性を地球の持続可能性を保持するうえで重要な問題を取り上げ、世界各国で発生する環境影響を評価できるようにする。

第二に、人間健康と生態系それぞれの環境影響を被害指標で表現する。人間健康への影響は損失余命で表し、生態系に対する影響は生物種の絶滅リスクで示す。エンドポイントに注目した潜在的な被害量で表示することにより、環境影響の経済指標化を行う際の透明性を向上する。

第三に、環境影響の経済価値化を行う。コンジョイント分析を用いて世界１０地域の支払意思額を求める。これにより、経済・社会・文化的な違いを考慮した環境経済評価手法を構築することができる。

第四に、本研究で開発した新手法を簡便に利用できるソフトウェアを開発する。これにより、誰でもあらゆる製品を対象に環境負荷量（例えばCO2排出量、水の消費量、原油の消費量など）が得られていることを条件に、環境影響（例えば、健康被害量、絶滅リスク増分、経済影響など）の評価を実施できる。

第五に、地球規模で事業を展開している企業と連携して事例研究を実施するとともに、本研究の成果を検証すると共に、その公開を進めて新手法のデファクトスタンダード化を目指す。

3 研究の進捗

① 被害評価手法の開発

地球規模問題の影響領域として、地球温暖化、大気汚染、酸性化、光化学オキシダント、水資源、土地利用、森林資源、鉱物資源、化石燃料を取り上げた。表１に本研究で開発している被害係数の開発状況について、ステージを四段階に分けつつ示した。LIME2では評価に含めていない温暖化の生物多様性、水資源を新たに追加したことが特徴である。

表１LIME3における被害係数の開発状況の一覧

Stage 1: Develop framework, Stage 2: Develop model, Stage 3: Calculation, Stage 4:Validation

	Human health	Social assets	Biodiversity	Primary productivity
Global warming	Stage 4	Stage 2	Stage 3	-
Air pollution	Stage 3	-	-	-
Photochemical ozone	Stage 3	-	-	Stage 2
Acidification	-	Stage 2	-	Stage 2
Water resource	Stage 4	Stage 3	-	Stage 3
Biotic resource	-	-	Stage 4	Stage 4
Mineral resource	-	Stage 4	Stage 4	Stage 4
Fossil fuels	-	Stage 4	Stage 4	Stage 4
Land use	-	-	Stage 4	Stage 4

図１に例として、資源消費の被害係数を示した。ここでは生物多様性の被害係数を例として示した。被害係数の大きい金属から順に左から並べている。資源の種類によって、最大７桁の違いがある。また、同じ資源であっても、鉱石の品位や採掘地点における生態系の状況が異なっているため、国ごとにみた被害係数の間は二桁程度異なる。LIME2では、日本が消費する資源の相手国に注目した分析を行った。LIME3では、

資源の採掘国における被害係数を開発した。これにより、資源の主要産出国を対象とした分析が可能となる。

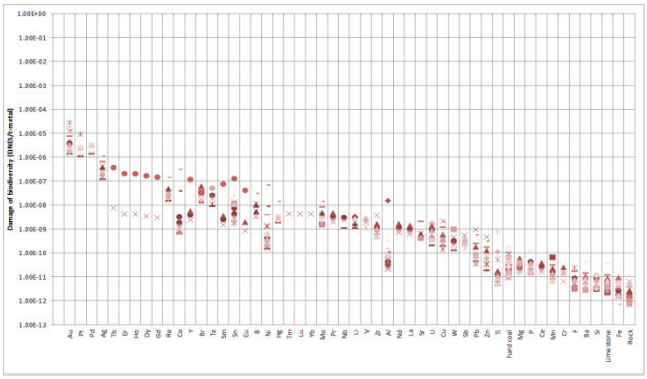


図１　資源消費の生物多様性を対象とした被害係数

②　規格値の算出

規格化は LCIA の一ステップとして位置づけられるが、それ以外にも年間の環境影響量を表す指針値として活用することもできる。

LIME3 では、全世界における一年間の経済活動に伴う環境影響料をエンドポイントごとに算定した。表１にその暫定ではあるが、社会資産の規格値の算定結果を示した。

ここでは、約 200 カ国のうち上位 20 カ国の結果を示した。中国、アメリカ、インド、ロシアなど大国における規格値が相対的に大きいことがわかる。また、内訳では、サウジアラビア、イランなどの中東各国は化石燃料消費が大きく、チリ、ペルー、南アなどの鉱物資源消費が大きいのが特徴的である。

③　統合化係数の開発

G20 各国を対象にエンドポイントの被害量(損失余命や絶滅種数)を経済指標に換算するための統合化係数を開発する。

経済・社会・文化的条件によって、支払意思額は異なる。そこで、世界１０地域(西欧、東欧、中国、東アジア、北米、中南米、オセアニア、サブサハラ、アフリカ、中東)を対象にしてコンジョイント分析を実施する。はじめに無作為抽出法によるサンプリングの後、面接調査(先進国はインターネット調査)を実施する。解析ではランダムパラメータロジットモデルを利用し、環境思想の個人差を反映させる。これまでに、プレテストを実施した結果、先進国と新興国それぞれについて調査票を理解した上で統計的に有意な結果が得られたことを確認した。また、先進国においてはインターネット調査においても有意な結果が結果が得られた。これらの結果を受けて、今後は G20 全ての国を対象としたプレテストと本調査を実施する予定である。

④　　結果の公開と社会的普及

エコバランス国際会議の同時期に、LCIA の世界化に向けたシンポジウムを UNEP/SETAC Life cycle initiative の後援を受けつつ実施した。Impact world+, Recipe, LCImpact といった世界を牽引すると同時に影響評価の世界化に向けた研究事例との連携のあり方について議論を開始することで合意した。

謝辞

本研究は、内閣府先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム、研究課題名：地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発）を通じて実施されました。

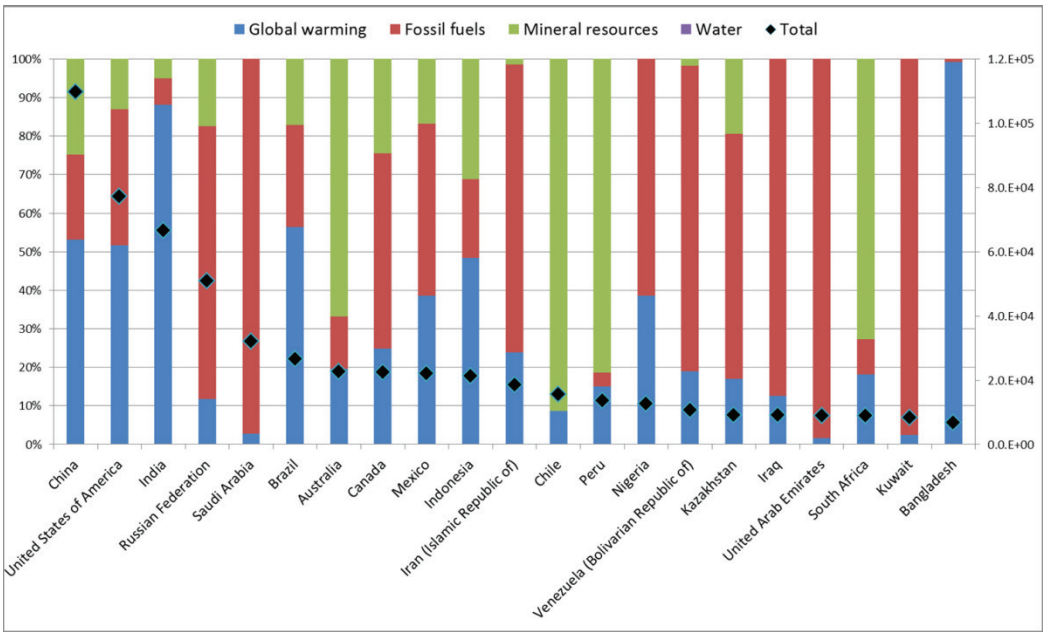


図 2 規格値の算定結果(社会資産)：200 カ国のうち、上位 20 カ国を表示

LIME3 における温暖化影響評価手法の開発

Development of Impact Assessment Method for Global Warming in LIME3

○湯龍龍*[1)]、井伊亮太[2)]、小倉真紀[2)]、時松宏治[3)]、西尾匡弘[3)]、伊坪徳宏[1)]
Longlong Tang, Ryouta Ii, Maki Ogura, Koji Tokimatsu, Masahiro Nishio, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) パシフィックコンサルタンツ株式会社, 3) 産業技術総合研究所
* tang@tcu.ac.jp

1. はじめに

LIME3 (Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint level)プロジェクトでは、世界レベルにおける被害評価手法の開発を行うと共に、被害に対する経済価値額の推定も世界範囲で行う。本稿は、LIME3 における地球温暖化の被害評価の進捗と成果を報告する。

LIME2 における温暖化の被害評価の課題を以下に示す。

- アベレージタイプの評価手法を採用している。
- 被害発生国別には被害量を算出していない。
- IPCC 第 4 次報告書以前の気候モデルや影響評価研究の知見を使用している。
- 人間健康は、被害項目の網羅性が不十分である。
- 社会資産は、エネルギー消費量の推計方法や土地価額設定などの更新が必要である。
- 生物多様性への影響が含まれていない。

本研究は、生物多様性の被害評価手法の新規開発と、最新の気候モデル及びマージナルタイプ手法への切り替えによって、人間健康と社会資産の評価手法の更新を目的とする。

2. 評価方法

2.1 人間健康

本研究における CO_2 の健康被害係数の算定枠組みを図 1 に示す。被害係数の算定式は式 1 のように定義した。

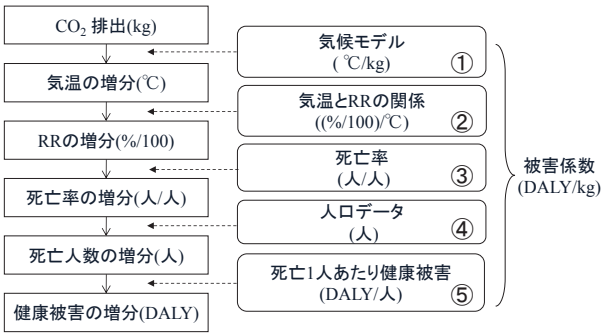


図 1　健康被害係数の算定枠組み

$$DF_s = \sum_d \sum_r \sum_t \left(\Delta TEMP_{s,t} \times \Delta RR_{d,r} \times INC_{s,d,r,t} \times CAP_{s,r,t} \times HD_{s,d,r,t} \right)$$

DF_s: CO_2 のシナリオ別の健康被害係数 (DALY/kg)

$\Delta TEMP_{s,t}$: 2000 年から 2100 年まで、シナリオ別の 1kg-CO_2 の追加排出あたりの気温増分 (℃/kg)

$\Delta RR_{d,r}$: 疾病別、地域別の気温 1℃上昇あたり相対リスクの増分(%/℃)

$INC_{s,d,r,t}$: シナリオ別、疾病別、地域別、年度別のベースライン死亡率(%)

$CAP_{s,r,t}$: シナリオ別、地域別、年度別の将来人口 (person)

$HD_{s,d,r,t}$:シナリオ別、疾病別、地域別、年度別の 1 死亡あたり DALY (DALYs/person)

各プロセスの更新点を以下に整理する。

① CO_2 の単位量追加による気温上昇量は IPCC 第 4 次報告書の結果を反映する簡易型気候モデル(MAGICC/SCENGEN v5.3)を採用した。

② 気温 1℃上昇あたりの相対リスク(RR: Relative Risk)の増分は WHO (2004)報告書の値を採用した。更に、温暖化による下痢の影響を新規に追加した。

③ ベースライン死亡率は、WHO (2004)報告書の死亡率と GDP/人の関係を基に、SRES シナリオ別に推計した。

④ SRES シナリオ別の人口データは文献値を採用した。

⑤ WHO sub-region (14 regions) の DALY/人と GDP/人の関係を基に、SRES シナリオ別に DALY/人を推計した。

2.2 社会資産

LIME2 における温暖化による社会資産の被害評価では、気温増加による冷暖房のエネルギー消費量変化、海面上昇による土地損失と、温暖化による穀物生産量変化を考慮している。本研究は評価範囲は LIME2 を踏襲し、評価方法の更新をそれぞれ行った。

① 温暖化による冷暖房のエネルギー消費量変化については、推計式で算出される現状消費量と現状の統計データとの比率を用いて、推計式の補正を試みた。

② 海面上昇による土地損失については、主に文献整理を行ったうえで、土地区分別の価格設定を再検討した。

③ 温暖化による穀物生産量変化について、LIME2 で使われる農作物潜在生産性算定結果の更新を検討した。

2.3 生物多様性

地球温暖化による生物多様性への影響は、まだ十分に解明されていない部分が多いため、LCA における評価手法の開発が遅れている。IPCC (2007)によれば、近年温暖化による生物種の分布変化の予測研究が、気候モデル出力結果の精緻化と種分布データの整備が進められたため、大きく前進した。これら研究を基に、温暖化由来の種の

分布面積変化に基づく絶滅リスクの推計(Thomas et al., 2004; Thuiller et al., 2005)に関する研究が増えてきた。本研究は、植物の分布データが比較的整備されていることを考え、維管束植物種を対象とした、温暖化による種の分布面積変化経由の生物多様性被害係数を開発した。指標は LIME2 が開発した種の絶滅リスク指標である EINES (Expected Increase Number of Extinction Species)を用いた。被害係数(EINES/kg-CO_2)の算定フローを図 2 に示す。

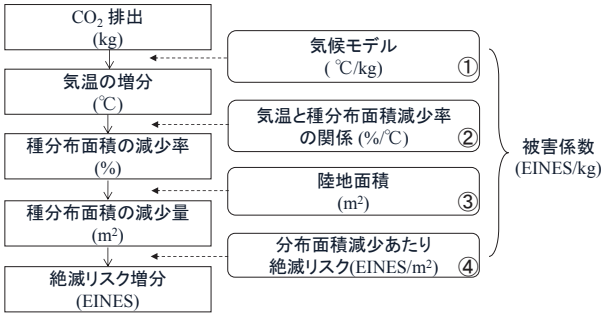


図 2　生物多様性被害係数の算定枠組み

① CO_2 の単位量追加による世界平均の気温上昇量は MAGICC/SCENGEN v5.3 を用いて算出した。

② 気温上昇 1℃あたりの地域別の種分布面積変化率を国別に設定した。日本と EU 諸国はそれぞれ Tang et al. (2012)と Thomas et al. (2004)の結果を使用し、他の国は上記両研究の平均値を使用した。

③ 種の気候的適域の減少は、土地面積減少と同様とみなし(Thomas et al., 2004)、種の分布面積減少率を国別の陸域面積に乗じて、国別の分布面積減少量を算出した。

④ 分布面積減少あたりの絶滅リスクは、LIME3 が算定した国別の土地改変の絶滅リスクの被害係数を用いた。更に、改変面積の拡大によって、絶滅確率がさらに高まっていくことを表現するための補正係数を適用した。

3.　結果と考察

本稿では、生物多様性被害係数と社会資産被害係数の算定が進捗中のため、健康被害係数の算定結果のみを紹介する。図 3 に本研究が算定した SRES シナリオ別の健康被害係数を示す。

被害項目間の違いについて、いずれのシナリオでも、栄養失調が最も大きく、次いで下痢、マラリア、洪水、と心血管疾患の順となった。栄養失調による影響は、PEM (protein energy malnutrition)だけではなく、栄養失調に伴って他の感染症リスクの増加による影響も含まれるため、最大となった。下痢は温暖化による疾病の相対リスクが小さいものの、ベースとなる死亡率が大きかった。マラリア、洪水と心血管疾患は同程度の影響を持つと推定された。被害項目間の関係は IPCC (2007)の結果と概ね整合するが、自然災害による影響は洪水のみ考慮したため、小さかった。今後評価範囲を広げる必要がある。

シナリオ間の違いについて、A2 が最も大きく、B2 が次、B1、A1(A1B, A1FI, A1T)が最小と推計された。A2 シナリオは GDP/cap が低いため、ベースとなる死亡率が最も高く推計されるため、被害係数が最大となった。このことから、死亡率の違いがシナリオ間の差異に大きく影響したと言える。一方、CO_2 単位量排出あたりの気温上昇量は、シナリオ間の差異が非常に小さかった。

LIME2（図 3）との比較について、まずは、LIME2 の被害係数が小さいことである。これは、本研究において、下痢が新規追加したことと、栄養失調は WHO (2004)を参考に PEM だけではなく、栄養失調に伴って他の感染症リスクの増加も考慮したことが考えられる。次に、LIME2 は SRES シナリオの中央値である単一の排出シナリオを採用したのに対して、本研究は SRES シナリオ別に算定し、将来経済社会（特に GDP/人）の違いが被害係数に大きく影響している点を明らかにした。さらに、LIME2 は CO_2 濃度 2 倍時の両排出シナリオにおける CO_2 排出量差分と被害量の差分で算定するアベレージ型手法を用いるため、被害量が必ずしも同期間に排出される CO_2 と対応していない。本研究は単位量 CO_2 排出による追加的な被害を算定するマージナル型手法を用いた。

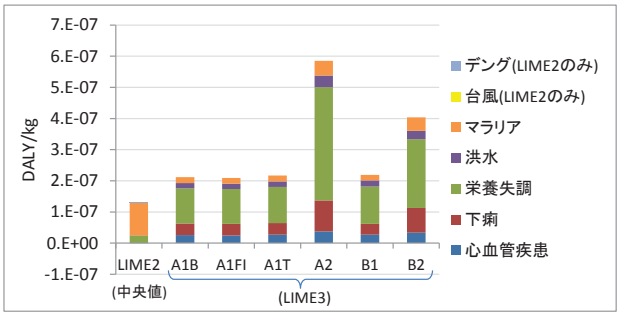


図 3　LIME2 と LIME3 の健康被害係数の比較

4.　おわりに

本研究は、LIME3 における温暖化被害係数について、健康被害係数と社会資産被害係数の更新方法及び、生物多様性被害係数の評価手法を示した。さらに、健康被害係数の算定結果を示し、LIME2 結果と比較しながら、本研究の特徴を明らかにした。今後は、社会資産被害係数の更新と新規に生物多様性被害係数を算出して、既存研究と比較検証を行う予定である。

参考文献

1) 伊坪徳宏, 稲葉敦: “LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法”, 丸善株式会社, (2010), pp. 666
2) Thomas C. D. et al.: Nature Vol 427, (2004), pp. 145-148
3) Tang et al.: The 10th International Conference on EcoBalance, (2012), p116

大気汚染物質を対象とした健康被害係数の世界化

Estimation of Human Health Damage Factors due to Air Pollution for 10 World Regions

○湯龍龍*[1)]、永島達也[2)]、長谷川晃一[3)]、杉山彩[1)]、大原利眞[2)]、須藤健悟[4)]、伊坪徳宏[1)]
Longlong Tang, Tatsuya Nagashima, Kouichi Hasegawa, Aya Sugiyama, Toshimasa Ohara, Kengo Sudo, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 国立環境研究所,3) (株)中電シーティーアイ, 4) 名古屋大学大学院
* tang@tcu.ac.jp

1. はじめに

国連の「Hemispheric Transport of Air Pollution 2010」報告書によれば、硫酸塩エアロゾルやO_3などを含めた二次的大気汚染物質は半球スケールまで移動している。しかし、既存のLCAにおける大気汚染物質の健康被害係数は、大気汚染物質の排出による影響を日本或はEUに限定して算定するため、健康被害を過小評価する可能性がある。また、サプライチェンのグローバル化が進む製品のLCAは、日本やEUなど特定の地域の排出のみを考慮した被害係数では不十分であり、中東、インド、東南アジアなど他の地域での排出に対応する被害係数の算定が求められる。

一方、全球大気化学輸送モデルは、大気化学反応と大陸間のエアロゾルの移動が表現可能のため、ある地域の大気汚染物質排出による世界範囲での濃度上昇が計算可能である。本研究では全球大気化学輸送モデルを用いた、地域別、大気汚染物質別の健康被害係数の算定枠組みを構築した。更に、全世界を10地域に分けて、本手法を用いて地域ごとの健康被害係数を試算した。

2. 方法とデータ

2.1 評価の枠組み

本研究では、大気汚染物質である$PM_{2.5}$ (BC, OC)、SO_2、NO_x、NMVOCsの追加排出によって、二次汚染物質であるエアロゾル$PM_{2.5}$、$PM_{2.5}$ (SO_4^{2-})、$PM_{2.5}$ (NO_3^-)とO_3の濃度が増加し、それによる健康影響を被害係数とする。健康影響の指標はLCA研究で一般に用いられるDALY (disability adjusted life year)を採用した。大気汚染物質の排出地域は世界10地域に分けた（表2)。

被害係数の算定枠組みを図1に示す。まず、ある地域より単位量大気汚染物質の排出による世界における二次汚染物質の濃度増加を、全球大気化学輸送モデルを用いて推計した。次に、国別に濃度増分と濃度反応関係(CRF: Concentration response function)の積で、死亡率と罹患率の増分を算定した。最後に、死亡率と罹患率の増分に人口データと1件当たりDALYを乗じて、DALYの増分を算定した。被害係数は式1のように表現することができる。

$$DF_{r,p} = \sum_c \left(\Delta Conc_{r,a,c} \times \Delta deR_a \times M_c \times Pop_c \times deD_c\right) + \sum_c \sum_d \left(\Delta Conc_{r,a,c} \times \Delta diR_{a,d} \times Pop_{d,c} \times diD_{d,c}\right) \quad \text{...(式 1)}$$

$DF_{r,p}$: 大気汚染物質pが地域rでの健康被害係数 (DALY/kg)。

$\Delta Conc_{r,a,c}$: 地域rで大気汚染物質p単位量排出により、c国で生じる二次汚染物質aの平均濃度増分 ((μg/m^3)/kg)。

ΔdeR_a: 二次汚染物質 a の単位量濃度増加あたり死亡率の増加率 ((100/%)/(μg/m^3))。

M_c: c国の死亡率 (case/cap)。Pop_c: c国の人口(cap)。

deD_c: c国における死亡1件あたりDALY (DALY/case)。

ΔdiR_a: 二次汚染物質 a の単位量濃度増加あたり罹患率の増加量 ((case/cap)/(μg/m^3))。

$Pop_{d,c}$: c国における d 疾病を罹患する対象人口(cap)。

$diD_{d,c}$: c国における d 疾病1件あたりDALY (DALY/case)。

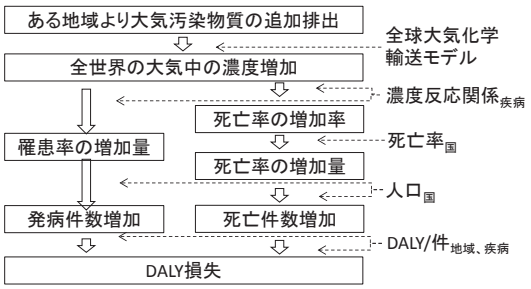


図1　地域別、大気汚染物質別の健康被害係数の算定枠組

2.2 単位量排出による濃度増分の算定

エアロゾルとO_3の濃度予測には、MIROC-ESM 2010モデル(Watanabe et al., 2011)[1)]を用いた。このモデルは、気候モデルMIROCを土台に、対流圏の大気化学過程をシミュレートすることが可能な全球化学・気候モデルCHASER及び、全球エアロゾル・気候モデルSPRINTARSを結合したものである。水平解像度は約2.8°×2.8°であり、全世界は8,192グリッドに分けられる。人為起源エアロゾルの粒径は、全粒子を$PM_{2.5}$と仮定している。

単位量の追加排出による濃度増分の算出方法は、まず、MIROC-ESM 2010モデルに2000年相当の大気汚染物質排出量データ(RCP過去再現計算用データ)を与えて、エアロゾルの年平均濃度を推計した。次に、ある地域におけるある大気汚染物質の排出量のみ20%増加させて、エアロゾルの年平均濃度を算出した。最後に、両濃度の差分を排出増加量で除して算出した。

2.3 濃度増加からDALYまでの算定

疾病別のCRFは地域間で異なる傾向はみられるが、地

域別に評価できる十分な情報が得られなかったため、ExternE (2005)が整理した値を各国に適用した（表 1）。死亡率と人口データは WHO (2004)の国別データを使用した。発病或は死亡 1 件あたりの DALY は、WHO (2004)の地域別 DALY と発病件数を基に、地域別に設定した。

表 1　$PM_{2.5}$ と O_3 の疾病別濃度反応関係（CRF）

	$PM_{2.5}$		O_3		単位
	CRF	対象人口	CRF	対象人口	
死亡(全要因)	0.0045	大人	0.0003	全人口	(100/%)/(μg/m^3)
気管支拡張剤の使用	0.091	大人(喘息)	0.073	大人	(case/cap)/(μg/m^3)
	0.018	子供(喘息)	–	–	
ぜん鳴	0.130	大人(喘息)	–	–	
	0.186	子供(喘息)	0.016	子供	
行動制限日	0.047	大人	0.012	大人	
慢性気管支炎	2.7E−05	大人	–	–	
呼吸器系入院	7.0E−06	全人口	1.3E−05	老人(65+)	
咳	–	–	0.093	子供	

3.　結果と考察

本稿では、SO_2 のみを取り上げて、上記手法を用いて世界 10 地域別の被害係数(DALY/kg-SO_2)を算出した。中国地域の算定結果（図 2、図 3）を示した後、全 10 地域別の被害係数及び既存研究との比較を表 2 に整理した。

図 2 は中国地域における 1kg-SO_2 あたりの硫酸塩濃度の増分を示す。SO_2 排出量の多い中国東部は濃度増分が最も高く、次いで東の朝鮮半島と日本、南のインドシナ半島とインドの一部を含む広い範囲での濃度増分が算定された。

図 3 に中国地域における SO_2 の被害係数とその国別内訳を示す。被害係数は 1.28×10^{-4} DALY/kg と算定された。中国地域内の健康被害は被害係数の 91%を占め、中国、北朝鮮とベトナムが大きかった。中国地域外では、日本が濃度と人口密度が高いため、中国に次いで 2 番目に大きかった。一方、インドは濃度増分が低いものの、人口密度が高いため、影響はベトナムと同程度であった。また、被害係数の疾病間内訳では、既存研究と同様に、慢性死亡が 73%を占め、最も大きい要因であった。

表 2 に本研究が算定した 10 地域別の被害係数を示した。排出地域内の健康被害(A)では、濃度増分と人口密度の双方が高いインド地域、中国地域と EU が大きかった。一方、排出地域外の影響も含めた被害係数(B)では、EU と中東地域は排出地域外のインドやアジアにも影響を与えるため、被害係数がそれぞれ 1.4 と 2.6 倍増加した。これら地域は排出地域を限って被害を算定する場合、過小評価になることが明らかになった。

本研究が算定した日本の被害係数は LIME2 (2010) [2]に比べて、濃度が近いものの、被害係数が約半分となった。これは、本研究が日本の平均濃度で被害係数を算出したのに対して、LIME2 (2010) [2]の被害係数は被害を 6 地域別に算定した上で、人口密度を考慮して算定したことが考えられる。Recipe (2008) [3]は濃度結果を示しておらず、被害係数が本研究(A)の約半分であった。被害係数の算定に用いられる濃度以外のデータである CRF と死亡率データは両方合わせて本研究より約半分小さいため、濃度増分の予測結果が近いと考えられる。

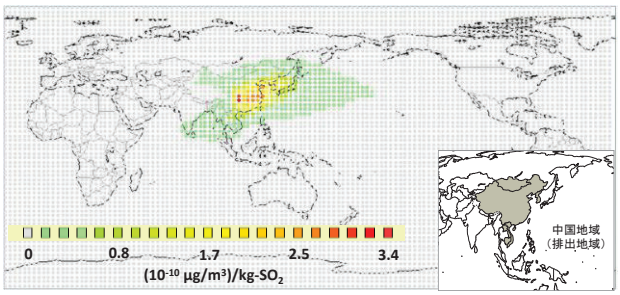


図 2　中国地域の 1kg-SO_2 排出による硫酸塩濃度の増分

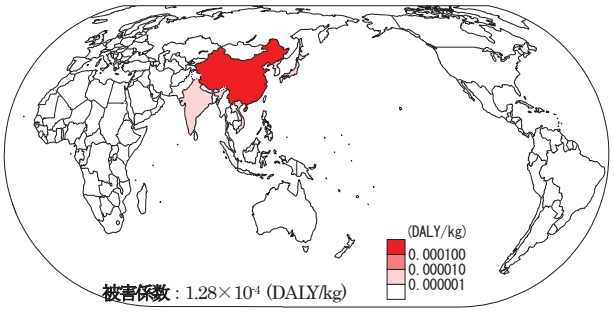


図 3 中国地域における SO_2 の被害係数と国別内訳

表 2　10 地域別の被害係数と既存研究の比較

	排出地域	排出地域の硫酸塩濃度増分_平均(min, max)_(μg/m^3)/kg	(A)$DF_{排出地域}$ DALY/kg	(B)$DF_{世界}$ DALY/kg	(A)/(B)
本研究	R1(北米)	0.5×10^{-10} ($0.1\text{-}0.8\times10^{-10}$)	0.20×10^{-4}	0.25×10^{-4}	79%
	R2(南米)	0.3×10^{-10} ($0.004\text{-}1.8\times10^{-10}$)	0.19×10^{-4}	0.23×10^{-4}	83%
	R3(EU)	2.4×10^{-10} ($0.4\text{-}4.2\times10^{-10}$)	1.04×10^{-4}	1.45×10^{-4}	72%
	R4(FSU)	1.2×10^{-10} ($0.2\text{-}2.2\times10^{-10}$)	0.45×10^{-4}	0.82×10^{-4}	55%
	R5(中東)	1.3×10^{-10} ($0.2\text{-}3.0\times10^{-10}$)	0.48×10^{-4}	1.26×10^{-4}	38%
	R6(アフリカ)	0.8×10^{-10} ($0.4\text{-}8.3\times10^{-10}$)	0.36×10^{-4}	0.41×10^{-4}	89%
	R7(インド地域)	1.4×10^{-10} ($0.002\text{-}3.6\times10^{-10}$)	1.79×10^{-4}	2.01×10^{-4}	89%
	R8(中国地域)	0.9×10^{-10} ($0.1\text{-}2.2\times10^{-10}$)	1.16×10^{-4}	1.28×10^{-4}	91%
	R9(オセアニア)	0.2×10^{-10} ($0.003\text{-}1.4\times10^{-10}$)	0.28×10^{-4}	0.35×10^{-4}	81%
	R10(日本)	7.9×10^{-10} ($5.9\text{-}10.2\times10^{-10}$)	0.73×10^{-4}	0.79×10^{-4}	93%
Recipe (EU)		—	0.51×10^{-4}	—	—
LIME2 (日本)		6.8×10^{-10} ($2.9\text{-}10.6\times10^{-10}$)	1.49×10^{-4}	—	—

4.　おわりに

本研究は全球大気化学輸送モデルを用いることによって、はじめて地域別、大気汚染物質別の健康被害係数の算定枠組みを構築した。本手法を用いて、SO_2 を対象とした 10 地域別の被害係数を算定した。今後は、他の大気汚染物質の被害係数を算定して、既存研究と比較検証を行う予定である。

参考文献

1) Watanabe S. et al.: Geoscientific Model Development 4 (2011), pp. 845-872
2) 伊坪徳宏, 稲葉敦: “LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法”, 丸善株式会社, (2010), pp. 666
3) Van Zelm R. et al.: Atmospheric Environment 42 (2008) , pp. 441-453

PRTR 対象物質を網羅したアジア版環境影響評価手法の開発

Development of Impact Assessment for Chemical Substances Covering PRTR Substances

○荒井　駿*[1)]、久保　利晃[2)]、伊坪徳宏[1)]
Shun ARAI, Toshiaki KUBO, Norihiro ITSUBO
1) 東京都市大学 2)みずほ情報総研株式会社
*g1183102@tcu.ac.jp

1.はじめに

欧州連合（以下「EU」）の ROHS 指令や REACH 規制の施行や中国で2007年に中国版ROHS指令が施行されたことで、化学物質管理の重要性が高まっている。さらに化学物質の自主管理や CSR（企業の社会的責任）の観点から、企業は製品含有化学物質の管理と共に、消費者などの利害関係者に対して多種多様な化学物質の情報を伝えていく事が必要である。このような企業の環境配慮活動を支援する手法として、製品を構成するライフサイクルからの環境負荷や環境影響を定量的に評価するLCAが注目されている。この手法の一部に、発生する環境負荷からの影響領域における潜在的な影響を評価するライフサイクル影響評価手法（LCIA）がある。化学物質については、「人間毒性」や「生態毒性」といった影響領域への寄与度を求める「特性化」と、さらにそれらの影響領域における人間健康や生物多様性への被害量を算定する「被害評価」、さらにその被害量を同一指標で表す「特性化」を行うことが LCIA の分野では一般的である（図 1）

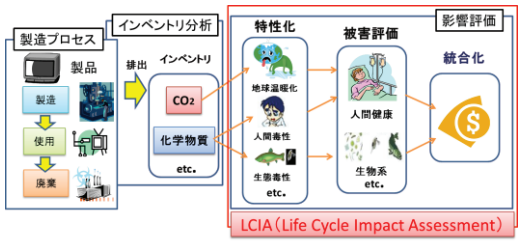


図1　LCAの枠組み

2.目的

既存のLCIA評価手法の内、化学物質を対象とした「人間毒性」と「生態毒性」の影響領域への寄与度を求める特性化を行うためには、多種多様な化学物質に対応したそれぞれの生じる環境問題のカテゴリを示す影響領域への寄与度を様々な指標で表す特性化係数が必要であり、様々な手法が開発されている（表1）。

表１　化学物資における既存のLCIA評価手法[1)]

手法名（公表年度）	RECIPE(2008)				Impact2002(2002)		LIME2(2008)	
評価対象国	ヨーロッパ						日本	
影響領域（係数の単位）	生態毒性（kg1,4-DB eq）	人間毒性（kg1,4-DB eq）	生態系（species.yr）	人間健康（DALY）	生態毒性（Kg TEGwater /kg TEG soil）	人間毒性（kg C2H3Cl eq/kg）	生態毒性（AETP/TETP）	人間毒性（HTP）
係数の数（化学物質の種類）	443	371	443	371	443	557	76	123

研究課題として、本研究は既存のLCIA評価手法における下記の3点に注目した。

①アジア諸国に対応した特性化係数の網羅性の欠如
②評価モデルの差異による特性化係数の不確実性
③日本以外のアジア諸国の国々に対応した特性化係数の欠如

本研究ではそれぞれの課題に対して下記のアプローチを行い、上記の課題を改善した化学物質におけるLCIA評価手法の開発を目的とする。

①国内の化管法で定義されるPRTR対象物質（第一種指定化学物質）を対象とし、それらの網羅を目指して利用できる情報を収集し、アジア諸国に対応した新たな化学物質における特性化係数の開発を行う。

②専門家やモデル開発者が既存の評価モデルの差異を調査し、比較検証から得られた知見に基づいて開発された科学的なコンセンサスモデルである USEtox[2)] を利用し、特性化係数の開発を行う。

③日本以外にもWHOのアジア地域分類を網羅できるように、中国、インド、マレーシア、タイ、韓国を対象とした国内以外のアジア諸国での評価に対応した特性化係数を開発する。

3.方法

3.1 対象物質

PRTR法で定義される第一種指定化学物質　462物質

3.2 対象とする特性化係数

基準物質（ベンゼン）と同量環境中（大気、水域、土壌）へ排出した時と比較して、何倍各影響領域へ影響を及ぼすかを示す。

①生態毒性特性化係数
AETP（Aquatic ecotoxicity potential：水域生態毒性係数）
TETP（Terrestrial ecotoxicity potential：陸域生態毒性係数）
②人間毒性特性化係数
HTP（Human toxicity potential：人間毒性係数）
（発ガン性および慢性疾患）

3.3 対象とする国

日本、中国、インド、マレーシア、タイ、韓国
（WHO のアジア地域区分を網羅）

3.4 開発方法

生態毒性および人毒性特性化係数の特性化係数は図 2、

図3の手順で算定していく。

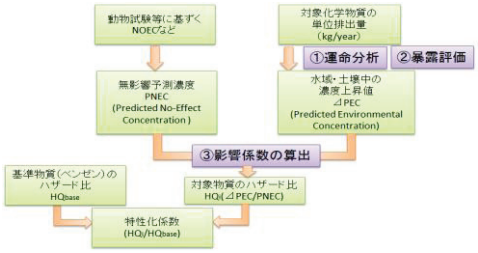


図２生態毒性特性化係数の算定手順

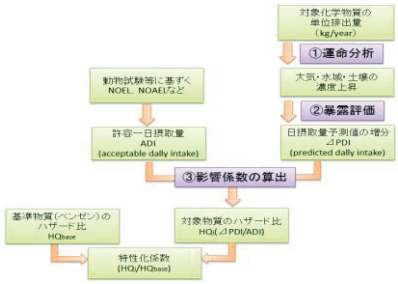


図３人毒性特性化係数の算定手順

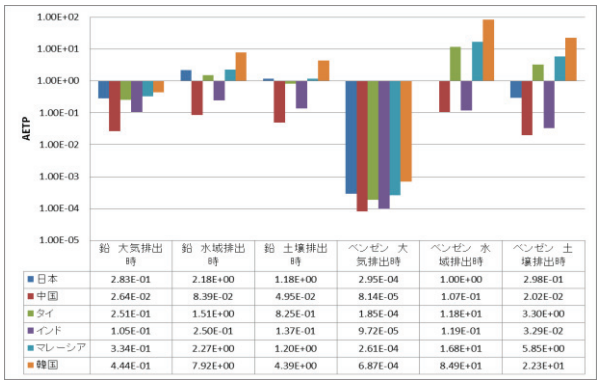
①運命分析：USEtoxを用いることで、化学物質の環境中の動態を分析した。運命分析を行うにあたっては地理情報（土地面積（km^2）、海洋面積（ km^2）、森林土壌、自然土壌、農業土壌の割合（%）、淡水域の深さ（m）、温度（℃）、風速（m/s）、降水量（mm/年）、摂取率量（kg/（日/人当たり））などを各種情報源[3]から収集し、適用することで、それぞれの国の環境条件を考慮した。入力する化学物質の物性値（分子量（g/mol）、オクタノール/水分配係数(kow)、ヘンリー定数(Pa m3/mol at 25℃)、蒸気圧（Pa at 25℃ ）、溶解度（mg/L at 25℃ ）各媒体中の分解速度定数（/s））などは米国環境保護庁（USEPA）が提供する物性情報推計ソフトウェア EPI Suite [4]から適用した。生態毒性特性化係数の場合、化学物質は年間1000kg、人間毒性特性化係数は年間1kg排出と想定した。

②暴露評価：生態毒性特性化係数はある物質をあるコンパートメント（大気、水域、土壌）に排出した際の水域中および土壌中の濃度上値（以下「⊿PEC」）（kg/m3）を、人間毒性特性化係数は排出した際の吸入および経口摂取量を算出し、この結果から日摂取量予測値の増分（以下「⊿PDI」）（mg/kg/day）をそれぞれの国ごとに求めた。

③影響係数の算出：各種データベース[5]から藻類、甲殻類、魚類、細菌類の毒性値（NOEC、EC50、LC50）や最大無毒性量（NOAEL）、発がんリスクからそれぞれ無影響予測濃度（PNEC）（kg/m3）や許容一日摂取量（ADI）（mg/kg/day）を求める。それらを②で求めた⊿PECおよび⊿PDIに除して、ハザード比を算出する。さらに、その値に同様の方法で求めた基準物質であるベンゼンが日本国内で大気、水域、土壌排出された際のハザード比を除することで、生態毒性特性化係数と人間毒性特性化係数を算定する。

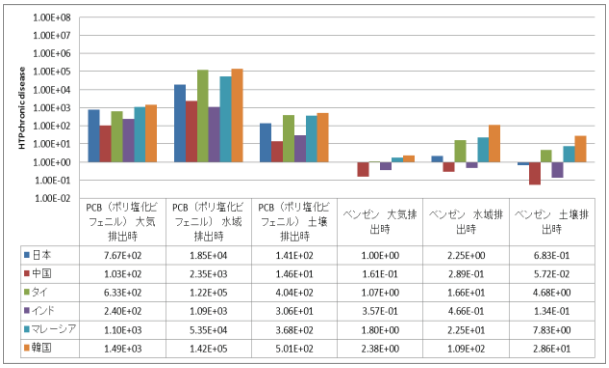
4.結果・考察

本稿では水域生態毒性および人間毒性（慢性疾患）におけるアジア各国の特性化係数を算定した結果の一部を図4と図5に示す（その他の係数の算定結果はSIに記載）。特性化係数の多寡は⊿PECと⊿PDIの値に依存しており、それぞれの値が高く算定される国ほど係数は高くなる。⊿PECは各国の淡水域面積が狭い国ほど、相対的に高くなる傾向にある。よって水域面積が狭い韓国は水域生態毒性特性化係数が高い値を示している。一方、⊿PDIは吸入および経口暴露経路である大気圏の面積や水域面積が狭い韓国、タイ、マレーシアは人への暴露効率が高くなるため、相対的に高くなる。よってそれらの国の人間毒性（慢性疾患）特性化係数は高く算定された。



	鉛 大気排出時	鉛 水域排出時	鉛 土壌排出時	ベンゼン 大気排出時	ベンゼン 水域排出時	ベンゼン 土壌排出時
日本	2.83E-01	2.18E+00	1.18E+00	2.95E-04	1.00E+00	2.98E-01
中国	2.64E-02	8.39E-02	4.95E-02	8.14E-05	1.07E-01	2.02E-02
タイ	2.51E-01	1.51E+00	8.25E-01	1.85E-04	1.18E+01	3.30E+00
インド	1.05E-01	2.50E-01	1.37E-01	9.72E-05	1.19E-01	3.29E-02
マレーシア	3.34E-01	2.27E+00	1.20E+00	2.61E-04	1.68E+01	5.85E+00
韓国	4.44E-01	7.92E+00	4.39E+00	6.87E-04	8.49E+01	2.23E+01

図４　水域生態毒性によるベンゼンと鉛の特性化係数



	PCB（ポリ塩化ビフェニル）大気排出時	PCB（ポリ塩化ビフェニル）水域排出時	PCB（ポリ塩化ビフェニル）土壌排出時	ベンゼン 大気排出時	ベンゼン 水域排出時	ベンゼン 土壌排出時
日本	7.67E+02	1.85E+04	1.41E+02	1.00E+00	2.25E+00	6.83E-01
中国	1.03E+02	2.35E+03	1.46E+01	1.61E-01	2.89E-01	5.72E-02
タイ	6.33E+02	1.22E+05	4.04E+02	1.07E+00	1.66E+01	4.68E+00
インド	2.40E+02	1.09E+03	3.06E+01	3.57E-01	4.66E-01	1.34E-01
マレーシア	1.10E+03	5.35E+04	3.68E+02	1.80E+00	2.25E+01	7.83E+00
韓国	1.49E+03	1.42E+05	5.01E+02	2.38E+00	1.09E+02	2.86E+01

図５　人間毒性（慢性疾患）によるベンゼンとポリ塩化ビフェニル（PCB）の特性化係数

5.今後の課題

各国の特性化係数の比較や差の要因についてはケーススタディを行い、今後より詳細に実施していく必要がある。また、中国のような地域ごとに環境条件の差異が大きい国については国全体ではなく、地域別に特性化係数を整備するなど影響を詳細に反映するための方法を検討していく必要がある。

6.引用文献・・・SIに記載

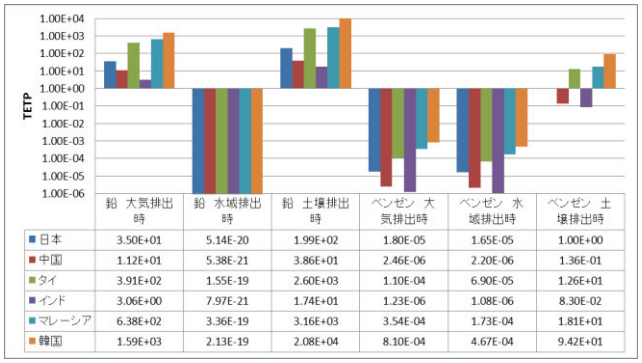
Supporting Information

4.結果・考察②

陸域生態毒性および人間毒性（発ガン性）におけるアジア各国の特性化係数の算定結果を図 5 および図 6 に示す。特性化係数の多寡は同様に⊿PEC と⊿PDI の値に依存しており、⊿PEC は各国の自然土壌面積が狭い国ほど、相対的に高くなる傾向にある。

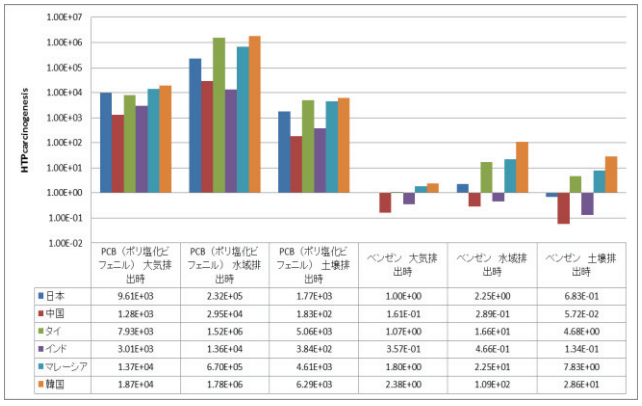
その結果、土壌面積が狭い韓国やマレーシア、タイは陸域生態毒性特性化係数が高い値を示している。なお、水域排出時における鉛の影響が小さいのは、鉛は水域中でほとんど分解されず土壌中へと移流しないため、⊿PEC の値が小さくなるためである。

一方、慢性疾患における人毒性特性化係数と同様、発がん性についても⊿PDI は吸入および経口暴露経路である大気圏の面積や水域中の面積が狭い韓国、タイ、マレーシアは人への暴露効率が高くなるため、相対的に高くなる。ゆえにそれらの国の人間毒性（発ガン性）特性化係数は高く算定された。



	鉛 大気排出時	鉛 水域排出時	鉛 土壌排出時	ベンゼン 大気排出時	ベンゼン 水域排出時	ベンゼン 土壌排出時
日本	3.50E+01	5.14E-20	1.99E+02	1.80E-05	1.65E-05	1.00E+00
中国	1.12E+01	5.38E-21	3.86E+01	2.46E-06	2.20E-06	1.36E-01
タイ	3.91E+02	1.55E-19	2.60E+03	1.10E-04	6.90E-05	1.26E+01
インド	3.06E+00	7.97E-21	1.74E+01	1.23E-06	1.08E-06	8.30E-02
マレーシア	6.38E+02	3.36E-19	3.16E+03	3.54E-04	1.73E-04	1.81E+01
韓国	1.59E+03	2.13E-19	2.08E+04	8.10E-04	4.67E-04	9.42E+01

図 6　陸域生態毒性によるベンゼンと鉛の特性化係数



	PCB（ポリ塩化ビフェニル）大気排出時	PCB（ポリ塩化ビフェニル）水域排出時	PCB（ポリ塩化ビフェニル）土壌排出時	ベンゼン 大気排出時	ベンゼン 水域排出時	ベンゼン 土壌排出時
日本	9.61E+03	2.32E+05	1.77E+03	1.00E+00	2.25E+00	6.83E-01
中国	1.28E+03	2.95E+04	1.83E+02	1.61E-01	2.89E-01	5.72E-02
タイ	7.93E+03	1.52E+06	5.06E+03	1.07E+00	1.66E+01	4.68E+00
インド	3.01E+03	1.36E+04	3.84E+02	3.57E-01	4.66E-01	1.34E-01
マレーシア	1.37E+04	6.70E+05	4.61E+03	1.80E+00	2.25E+01	7.83E+00
韓国	1.87E+04	1.78E+06	6.29E+03	2.38E+00	1.09E+02	2.86E+01

図 7　人間毒性（発ガン性）によるベンゼンとポリ塩化ビフェニル（PCB）の特性化係数

6.引用文献

1）Recipe,<http://www.lcia-recipe.net/> (2011-12-22)
伊坪　徳宏,稲葉　敦：“LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”,丸善,東京（2010）
Impact2002,<http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.ht m> (2011-12-22)

2）USEtox, <http://www.usetox.org/>（参照 2012-11-24）

3）TheUnitedStatesCentralIntelligenceAgency, "TheCIAWorldFactbook", <http://geography.about.com/library/cia/blcindex.htm> CantyandAssociatesLLC,"Wheatherbase",http://www.weatherbase.com/?refer= InternationalLakeEnvironmentCommitteeFoundation, "WorldLakeDatabase", <http://wldb.ilec.or.jp/LakeCountrySearch.asp> FoodandAgricultureOrganizationoftheUnitedNations,"FAO STAT",http://faostat.fao.org/site/339/default.aspFoodandAgricultureOrganizationoftheUnitedNations,"FishstatPlus",<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en Demographia World Urban Areas(World Agglomerations) 8th Annual Edition: Version 2 <http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>（参照 2012-11-24）

4）EPI-suite, <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm>（参照 2012-11-20）

5）OECD Existing Chemicals Database, <http://webnet.oecd.org/hpv/ui/Search.aspx> ECOSAR, <http://www.epa.gov/oppt/newchems/tools/21ecosar.htm> IUCLID（International Substances Information System）<http://esis.jrc.ec.europa.eu/> IRIS(Integrated Risk Information System) <,http://www.epa.gov/iris/> CERI 有害性評価書（2006）<http://www.cerij.or.jp/evaluation_document/hazard_assessment_report_03.html> PHYSPROP DB (2005) <http://www.srcinc.com/what-we-do/databaseforms.aspx?id=386>（参照 2012-10-20）

LCIA 手法における酸性化の特性化：地域的・方法論的な比較検討

Characterisation for Acidification of LCIA Methods: A Regional and Methodological Comparative Study

○中谷隼*[1)]、Reinout HEIJUNGS [2)]、Jeroen GUINÉE [2)]、森口祐一 [1)]
Jun NAKATANI, Reinout HEIJUNGS, Jeroen GUINÉE, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学、2) Leiden University
* nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

In this study, midpoint characterisations for acidification of European and Japanese LCIA methods are compared from the viewpoints of both region-dependencies and modeling frameworks, and commonalities and differences among methods are systematically studied. Methods that disclose midpoint characterisation factors for acidification, i.e., CML 2002 [1)], EDIP 2003 [2, 3)], ReCiPe 2008 [4)] and LIME 2 [5)], are investigated in depth. To clarify those differences, atmospheric fate factors, i.e., transfer coefficients (often referred to as "source-receptor relationships: SRR"), in Europe and East Asia are exchanged between CML 2002 and LIME Asia, and region-specific factors of acidifying substances including sulfur dioxide (SO_2), nitrogen oxides (NOx) and ammonia (NH_3) for 44 European and 16 East Asian emission source regions are evaluated based on their characterisation models. Besides, average factors for the whole Europe based on the LIME 2 model are calculated using atmospheric fate factors of ReCiPe 2008. Figure 1 illustrates a schematic diagram of regional, methodological and parametric comparisons of acidification characterisation.

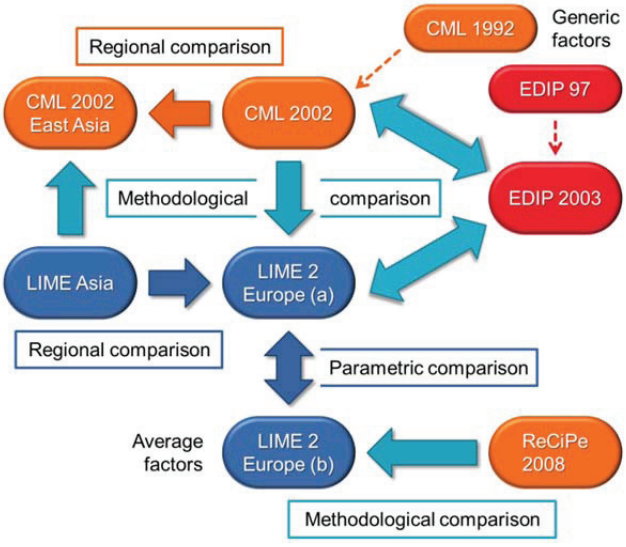


Figure 1 Schematic diagram of comparisons of acidification characterisation among LCIA methods.

2. Methods

2.1 Characterisation models for Acidification

Acidification Potential (AP) of substance x is defined as $AP(x) = AF(x)/AF(SO_2)$ [kg SO_2 eq/kg], where $AF(x)$ stands for Acidification Factor of substance x. Differences among methods lie in the definition of AFs.

Figure 2 illustrates the structures of characterisation models of respective methods including other endpoint methods. Parameters that compose AFs are classified into five elements presented in the first row. The number of H^+ ion potentially produced per kg substance x, hereinafter denoted as $\eta(x)$ [eq/kg], is adopted as AF in CML 1992 and EDIP 97. APs solely depending on $\eta(x)$ are sometimes called as "Generic APs". Fate of acidifying substances after air emission is divided into two parts, i.e., the atmospheric part that covers air emission, transportation, transformation and deposition, and the soil part that is defined as an indicator to express changes in soil conditions such as acidity due to deposition of acidifying substances.

Method	H^+ ion	Atm. fate	Area	Soil fate	Ecosystem
CML 1992 EDIP 97	$\eta(x)$ ⟷				
EPS 2000	⟷	*	**		
Eco-indicator 99 IMPACT 2002+		***		⟷	
EDIP 2003	$t_{r\to j}(x)$ ⟷		A_j^E ⟷	$\Delta\theta(D_j - CL_j)$ ⟷	
CML 2002	$t_{r\to j}(x)$ ⟷		A_j^E ⟷	$1/CL_j^{max}(x)$ ⟷	
ReCiPe 2008	$FF_j^{atm}(x)$ ⟷		A_j^F ⟷	FF_j^{soil} ⟷	$EF_j = \frac{dPDF_j}{dBS_j}$ ⟷
LIME 2	$\eta(x)$ ⟷	$\frac{SRR_{r_i\to j}(x)\cdot NNR(x)\cdot A_j^L}{A_j^L}$ ⟷		$EF^{plant} = -\frac{\sum_j dNPP_j}{dDEP}$ ⟷	

* As much of the SO_2 sources are located near the sea, a part of the emissions is deposited in the oceans and in inland water, and it is assumed that 50% of the S is deposited at land.
** On a global scale, critical load for soil acidification is exceeded on approximately 10% of the land area.
*** It is assumed that every substance emitted in Europe is deposited there and that 60% of the emission is deposited on natural soil, since the surface area of Europe consists of natural soil.

Figure 2 Comparison of the structures of characterisation models for acidification among LCIA methods. Solid arrows indicate midpoint characterisation and dotted arrows indicate mid-to-end characterisation.

2.2 Region-specific Characterisation for Acidification

Region-specific factors for 44 European and 16 East Asian emission source regions are evaluated based on the characterisation models of CML 2002 and LIME 2.

For evaluating East Asian factors based on the CML 2002 model, SRRs among 18 East Asian counties and regions estimated by Lin *et al.* [6] are used. Among those 18 regions, India and Russia are excluded from the calculation in this study as well as in LIME Asia. Critical load values of sulfur (S) and nitrogen (N) in East Asia by the 1° × 1° resolution are provided by Yamashita & Ito [7]. Because the "region-to-grid" SRRs are not readily available, the critical loads of 1° × 1° grids are aggregated into the average values of respective regions following the approach adopted in CML 2002 where the successive known percentile values are used for approximation of the true critical load functions [1].

3. Results

3.1 Region-specific Acidification Factors

AFs based on the characterisation model of the three methods (hereinafter referred to as "AF (LIME)," "AF (EDIP)" and "AF (CML)," respectively) for 44 European and 16 East Asian emission source regions are presented in Figure S1.

Correlation analysis of 44 European factors among methods revealed that the coefficients of determination, R^2, are especially low between the LIME 2 model and the other models because of a large variance of the critical loads of S and N (see Figures S2 and S3). On the other hand, R^2 is comparably higher for 16 East Asian factors between the LIME 2 and CML 2002 models (see Figure S4). AFs (CML) for some Southeast Asian countries such as Laos, Cambodia and Thailand are relatively larger in comparison to their AFs (LIME) because of low critical load values around those countries.

3.2 Methodological Comparison of Acidification Factors

As presented in Figure 3, the ratio of region-specific AFs (LIME) between SO_2 and NO_2 are close to the generic AP. On the other hand, the ratio of those between SO_2 and NH_3 is higher than the generic AP. Indeed, 47%, 45% and 71% of the SO_2, NOx and NH_3 emissions from the 44 regions in Europe deposit inside the system domain (i.e., Europe), which clearly explains the reason for higher region-specific AFs of NH_3.

For regional and parametric comparisons, average AFs in Europe and East Asia based on the LIME 2 model are presented in Figure 4. For reference, AFs in Japan are also presented. This figure shows AFs for the whole Europe (a) and (b) are not largely different, whereas those for the whole East Asia are lower than those for the whole Europe, especially for NOx.

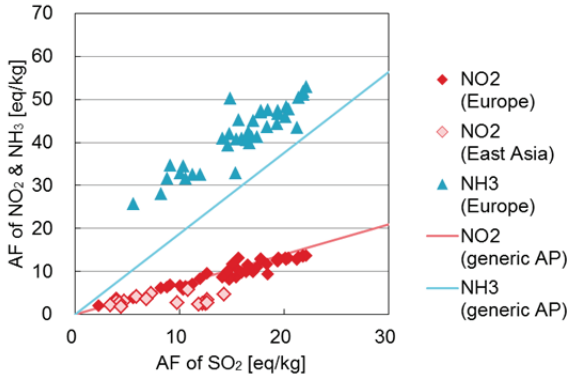


Figure 3 Relationships of region-specific AFs between SO_2, NOx and NH_3 based on the LIME 2 model.

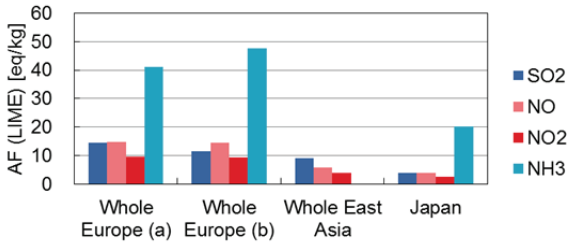


Figure 4 Average AFs for the whole Europe and the whole East Asia based on the LIME 2 model.
Europe (a) and (b) indicate that the atmospheric fate factors (transfer coefficients) of CML 2002 and ReCiPe 2008 are applied, respectively.
East Asian factors of NH_3 have not been evaluated.

4. Conclusion

In this study, comparison among European and East Asian factors showed the region-dependencies of acidification impacts. Correlation analysis of European factors among methods revealed that correlations were especially low for SO_2 because of a large variance of the maximum critical loads of S, and that a choice of methods should influence relative importance among substances depending on emission source regions.

Acknowledgements The authors are grateful to Dr. Mark A.J. Huijbregts (Radboud University Nijmegen), Dr. Ken Yamashita (Niigata Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences) and Mr. Yasutake Hama (Pacific Consultants, Co., Ltd.) for providing valuable information.

References

1) Huijbregts, M.A.J. *et al.*: *Journal of Industrial Ecology* 4 (3), pp. 75-92 (2001)
2) Potting, J. *et al.*: *Journal of Industrial Ecology* 2 (2), pp. 63-87 (1998)
3) Potting, J. *et al.*: *Journal of Hazardous Materials* 61, pp. 155-162 (1998)
4) Van Zelm, R. *et al.*: *Environmental Science & Technology* 41 (3), pp. 922-927 (2007)
5) Hayashi, K. *et al.*: *International Journal of LCA* 9 (1), pp. 13-22 (2004)
6) Lin, M. *et al.*: *Atmospheric Environment* 42 (24), pp. 5956-5967 (2008)
7) Yamashita, K. and Ito, F.: *Theory and Applications of GIS* 17 (1), pp. 43-52 (2009) [in Japanese]

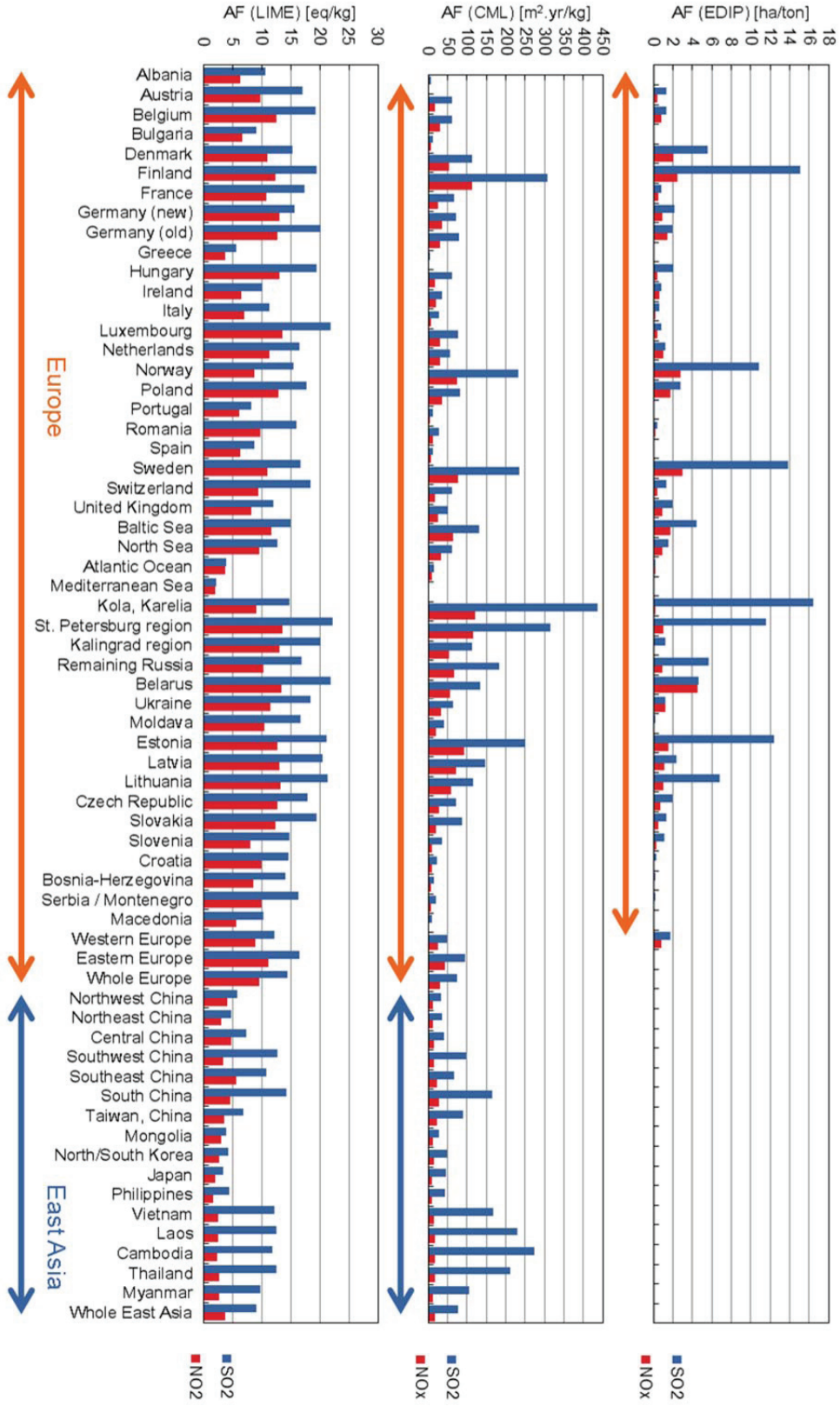


Figure S1 Region-specific AFs of SO_2 and NOx (as NO_2) for 44 European and 16 East Asian emission source regions based on the characterisation models of LIME 2 (left), CML 2002 (center) and EDIP 2003 (right).
East Asian factors based on the EDIP 2003 model have not been evaluated.

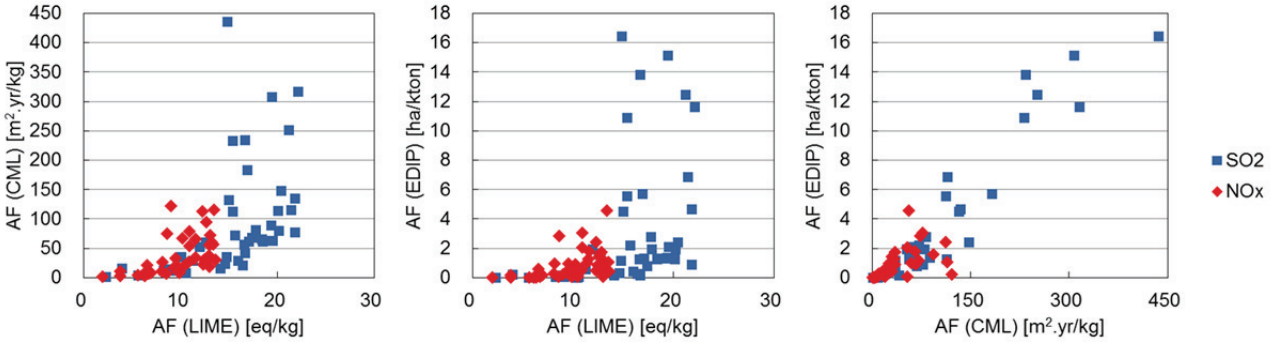


Figure S2 Relationships of region-specific AFs of SO_2 and NOx (as NO_2) for 44 European regions between the LIME 2 and CML 2002 models (left), between the LIME 2 and EDIP 2003 models (center), and between the CML 2002 and EDIP 2003 models (right).
The coefficients of determination, R^2, for [SO_2, NOx] are [0.226, 0.293], [0.139, 0.215] and [0.904, 0.335], respectively.

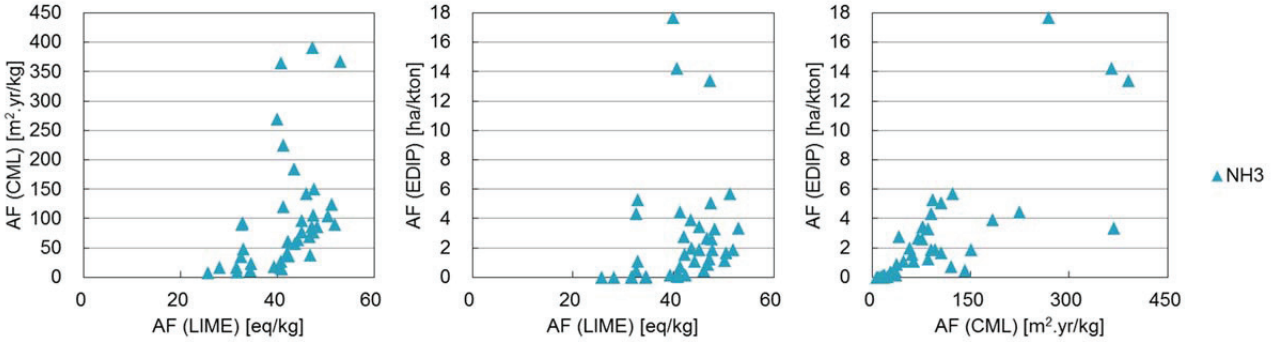


Figure S3 Relationships of region-specific AFs of NH_3 for 44 European regions between the LIME 2 and CML 2002 models (left), between the LIME 2 and EDIP 2003 models (center), and between the CML 2002 and EDIP 2003 models (right).
The coefficients of determination, R^2, are 0.199, 0.028 and 0.318, respectively.

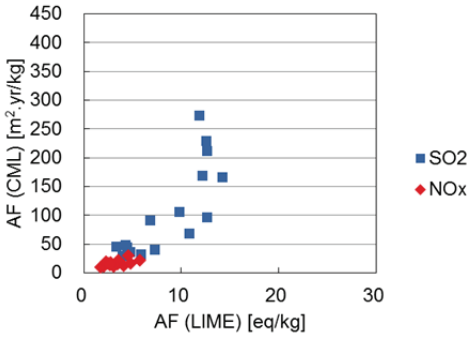


Figure S4 Relationships of region-specific AFs of SO_2 and NOx (as NO_2) for 16 East Asian regions between the LIME 2 and CML 2002 models.
The coefficients of determination, R^2, for [SO_2, NOx] are [0.635, 0.306].

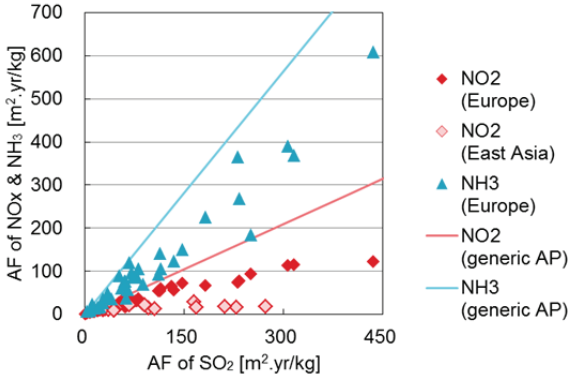


Figure S5 Relationships of region-specific AFs between SO_2, NOx and NH_3 based on the CML 2002 model.

世界におけるライフサイクル影響評価手法のレビュー：手法の枠組みと統合化に関する比較検討

A Critical Review of Life Cycle Impact Assessment Methods around the World: Comparison of Frameworks and Weighting Methods

○中谷隼*[1)]、本下晶晴[2)]
Jun NAKATANI, Masaharu MOTOSHITA
1) 東京大学、2) 産業技術総合研究所
*nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

1990年代の前半から、欧州を中心とした世界各国において、様々なライフサイクル影響評価（LCIA）の手法の開発が進められてきた。こうした手法の中からどれを選択するべきかは、LCA実施者にとって常に問題となる。各手法の特徴については、例えば伊坪他[1)]など既往の文献にも網羅的に整理されているが、特に統合化（重み付け）を含む手法において、それぞれのアプローチに長所と短所があることをLCA実施者が十分に理解した上で手法を選択するためには、体系的かつ批判的な視点からのレビューも必要というのが、筆者の問題意識である。

本稿では、LCIAの任意要素とされ、主観的価値判断を含む重み付けの段階に焦点を当て、世界における様々なLCIA手法のレビューおよび比較検討を通して、それぞれの特徴と長所・短所を明らかにすることで、LCA実施者の手法の選択にとって有用な情報として整理する。

2. LCIA手法の統合化の方法と原理

2.1 統合化の観点からのLCIA手法の分類

様々なLCIA手法を、影響評価の枠組み（**表1**）と統合化の有無の観点から以下のように分類した。

① 統合化しない手法
・ TRACI 2.0、CML 2002
② 統合化できる手法
・ インベントリを重み付け：
Ecological Scarcity、EPS 2000（非生物資源）
・ ミッドポイントを重み付け：
Eco-indicator 95、EDIP 97 / 2003
・ エンドポイントを重み付け：
ExternE、EPS 2000、Eco-indicator 99、LIME 2
IMPACT 2002+、ReCiPe 2008
③ 代替指標を用いる手法
・ MIPS、CED、Ecological Footprint

ただし、「統合化できる手法」のうちインベントリを重み付けする手法、および「代替指標を用いる手法」については、分類化や特性化といったLCIAの必須要素を含まないことから、レビューの対象に含めなかった。

表1　LCIA手法の影響評価の枠組み

LCIA手法	特性化		正規化	重み付け
	ミッドポイント	エンドポイント		
TRACI 2.0	+	-	-	-
CML 2002	+	-	+	-
IMPACT 2002+	+	+	++	*
Ecological Scarcity	-	-	-	+
EDIP 97	+	-	+	#
EDIP 2003	+	-	+	*
ExternE 2005	>	>	-	+
EPS 2000	>	+	-	+
Eco-indicator 99	>	+	-	+
ReCiPe 2008	+	+	++	*
LIME 2	+	+	(+)	+

> 後段階の評価の経路として
++ ミッドポイントおよびエンドポイントに対して　(+) 重み付けの基準として
* 係数の提示なし（自ら評価 or 他手法を参照）# 影響領域のグループごと

➢ 伊坪・稲葉[2)] 表S.5 をもとに 著者追記・一部修正

IMPACT 2002+[3)]は重み付け係数は提示していないが、評価者（LCA実施者）が自ら影響領間の重み付けすることは否定していない。ReCiPe 2008[4)]においては正規化係数や重み付け係数については検討されておらず、それらについてはEco-indicator 99に従うものとされている。そのため、ReCiPe 2008においても文化的態度別の正規化係数および重み付け係数が利用可能であり、ミッドポイントおよびエンドポイントの特性化係数も、Eco-indicator 99と同様に文化的態度別に設定されている。

2.2 統合化の原理と重み付けの主体

各手法の統合化の方法を、その「原理」と重み付けの「主体」に焦点を当てて再整理することによって、それぞれの特徴や差異を明確にすることを試みる（**表2**）。

EPS 2000[5)]における重み付けの方法は、「保護対象へのWTPに基づく」という原理が明快であり、重み付け係数の算定が対象間で独立であることから、フレーミング効果の影響も受けないという利点を持つ。その反面、実際

表２　LCIA 手法の重み付けの主体と原理

LCIA手法	主体	原理
IMPACT 2002+	評価者の意思	被害領域を別々に解釈することが勧められるが，集約が必要なら，自ら決定した重み付け係数を用いても可
EDIP 97	為政者の目標	科学的・規範的状況，社会的優先度を反映し，企業に対して，将来の当局による影響領域の順位付けへの最大限可能な保証を付与
EPS 2000	被害者の選好	今日の OECD加盟国の住民 or 将来世代 の保護対象への影響の修復に対する WTP
Eco-indicator 99	専門家の判断	パネル法 による重み付け係数のデフォルト値（社会の統計的な代表性は目的としていない）
	評価者の意思	三角図 を用いて 重み付けの透明性を高め 利害関係者の議論を促進
LIME 2	自国民の思想	日本国民 の環境思想を代表する重み付け

の WTP の推計方法が対象ごとに様々であるため、結果的に上記のような異なる種類の費用の寄せ集めになっていることや、対象間の相対的な重みが（感覚的に）矛盾するといった、現実的な問題が避けられない。これらの問題は、EPS 2000 において「余命」よりも「重大疾病」の方が 1 年当たりの重みが大きいことや、「非生物資源」に含まれる石油、石炭および天然ガスの重みが、それらの代替品として想定する資源の種類のみに依存するといった点に顕著に表れている。

Eco-indicator 99 [6] ではパネル法が用いられており、「人間健康」「生態系の質」「資源」をエンドポイントとして設定し、パネルはこれら３つを重み付けすることとされている。対象者はスイスの LCA 研究会の 82 人（調査票の回収率 22%）であり、無効回答を除いた 46 人の回答が用いられている。その結果は、重み付け係数のデフォルト値として用いられるが、平均的な欧州の人々を代表しているとは考えてはならないと述べられている。

重み付け係数のデフォルト値を用いることを望まない場合、評価結果の提示方法として triangle concept（三角図）を用いることが勧められている。この提示方法によって、３つのエンドポイントの重み付け係数について、あらゆる組み合わせを図示することができる。三角図は重み付けのプロセスの透明性を高めるツールとして有効であり、単一の評価結果のみを提示するよりも、利害関係者との議論を促進することができるとされる。

3.　LCIA 手法の統合化の課題

ここでは、ExternE と EPS 2000 を除く LCIA 手法の重み付けに共通する課題として、それらが前段階である正規化による「フレーミング効果」の影響を免れないことを指摘したい。フレーミング効果は、プロスペクト理論によって説明される。効用理論では結果は常に“原点”からの乖離量として定義されるのに対して、プロスペクト理論では“参照点”からの乖離量で定義される。これを LCIA 手法の統合化に当てはめて考えた場合、重み付けの前段階で、対象となる影響領域や保護対象の正規化に用いられる参照値（規格値）が、フレーミング効果における参照点となっていると言うことができる。

パネル法の場合に、与えられる対象間の重みの幅が大きくならないことは、すでに指摘されているが、同様の問題は、DtT 法を用いた EDIP 97（政策的な目標値が参照点となる）やコンジョイント分析を用いた LIME 2 においても無視できないと考えられる。

4.　まとめ

以上で述べてきたように、LCIA 手法における統合化の方法は一長一短となることが避けられない。同様の指摘を Goedkoop *et al.* [4] は、「これまでの LCA の方法の開発によって、どんな状況にも適用可能な“gold standard”な単一の手法は存在しないことが明らかになった」と述べている。特に、程度の差はあれ、いずれの手法でも主観的価値判断に依存している重み付け係数に“真理”を追究することは、必ずしも賢明な方向性とは言えない。重み付けを含む統合化の方法は、いかに利害関係者に対して“説得力”を持たせるかが議論されるべきである。

このことを前提として筆者は，影響領域や保護対象などの最終的な重み付けは，LCA の評価結果を用いる意思決定者が自らの判断によって，もしくは利害関係者との対話・議論を通して，責任を持って行うことが望ましいと考えている。重み付けの際に，自らの判断や利害関係者との議論の土台として，Eco-indicator 99 の三角図は有用であると考えられる。さらに，EPS 2000 や LIME 2 で示された WTP や，EDIP 97 の重み付け係数のような政策的な目標値との相対的な関係は，重み付けの“参考情報”としての役割において重要な位置を占めるものと言える。

謝辞　本稿の内容は、日本 LCA 学会「インパクト評価研究会」の活動の一環としてまとめられた。本稿を執筆するに当たり多くの有意義なご意見をいただいた、インパクト評価研究会のメンバーの方々に謝意を表する。

引用文献

1)　伊坪徳宏 他：LCA シリーズ LCA 概論、産業環境管理協会（2007）
2)　伊坪徳宏・稲葉敦 編著：LCA シリーズ LIME 2－意思決定を支援する環境影響評価手法、産業環境管理協会（2010）
3)　Jolliet, O. *et al.*: *International Journal of LCA* 8 (6), pp. 324-330 (2003)
4)　Goedkoop, M. *et al.*: ReCiPe 2008, A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level, First Edition (2009)
5)　Steen, B.: A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000, CPM Report (1999)
6)　Goedkoop, M. and Spriensma, R.: The Eco-Indicator 99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment, Third Edition (2001)

LIME の世界化 -統合化手法の開発-

Development of global scale weighting factors in LIME3

○村上佳世*[1)]、伊坪徳宏[1)]、栗山浩一[2)]、吉田謙太郎[3)]、時松昇[4)]
Kayo Murakami, Norihiro Itsubo, Koichi Kuriyama, Kentaro Yoshida, Noboru Tokimatsu
1) 東京都市大学、2) 京都大学、3) 長崎大学、4) 産業総合研究所
*murakami@tcu.ac.jp

1. はじめに

LIME（被害算定型影響評価手法）は、LCIA の一手法である。既に開発された LIME2 では、日本の環境条件を反映しつつ、特性化から統合化までを一貫して分析することができる。LIME2 の係数リストは LCA 日本フォーラムホームページにおいて公開されており、既にその利用実績は 300 件を超えている。また、UNEP によって世界の LCA 研究を牽引する手法の一つとしても紹介されている。しかしながら、LIME2 は日本の環境条件と日本国民の環境思想を反映しているため、他国で利用されることは少ない。LIME3 の目的は、わが国の企業が汎用的に利用する環境影響評価手法 LIME の「世界化」に向けた発展と拡張である。

LIME の特長は、「特性化」・「被害評価」・「統合化」の 3 ステップを踏むことによって、環境条件や環境思想を反映した LCIA を実施できることである。「統合化」の結果を貨幣単位でも表示できるため、LCA のみならず、費用便益分析にも利用することができる[1]。本稿では、世界化に向けた統合化係数の推計を目的として、現在 19 カ国（G20）で進めている事前調査の進捗を報告する。

2. 手法の概要

2.1 統合化の目的

「統合化」のステップにおいては、被害評価の結果として得られたエンドポイントの被害量（損失余命や絶滅種数）を、コンジョイント分析を用いて経済指標に換算する。経済・社会・文化的条件によって支払意思額は異なることが予測される。そこで、世界 19 カ国の国民を対象に各国でコンジョイント分析を実施し、国別の支払意思額を推計する。これにより、経済・社会・文化的な違いを考慮した環境経済評価手法を構築することができる。

19 カ国での大規模調査を実施するに先立って、2012 年 1～2 月に 5 カ国（日本、中国、南アフリカ、ケニア、ベトナム[2]）で、2012 年 12 月～2013 年 1 月に 4 カ国（日本、アメリカ、中国、インド）で事前調査を行った。

2.2 調査の設計

調査の主なプロセスは、①サンプルセレクション、②調査票の作成、③インタビュー、④推計の４つである（詳細は Itsubo et al. (2012)に詳しい）。無作為抽出によるサンプリングの後、面接調査を実施する。調査票の内容は、4 つのエンドポイント（人間健康、社会資産、生物多様性、植物の一次生長）の被害量と要因についての説明、それらを評価するためのコンジョイント分析の設問（表 1 は例）、および回答者の個人属性について尋ねる設問で構成されている。面接調査から得られたデータを統計解析して、各エンドポイントについて 1 単位の被害量を回避するための支払意思額を推計する。解析ではランダムパラメータロジットモデルを利用し、環境思想の個人差を反映させる。解析結果を地球規模問題の被害評価手法のモデルと統合することで、単位量の環境負荷に対する環境影響の経済指標を物質ごと、各国で算定できるモデルが完成する。

表１　設問例

V1 問 14		対策A	対策B	対策をしない
損失	1人あたり健康の損失	毎年1日縮まる	寿命を失わない	毎年1日縮まる
	1人あたり資源の損失	毎年5000円分を失う	資源の損失なし	毎年2万円分を失う
	生物種の損失	毎年0.2種絶滅	毎年0.1種絶滅	毎年0.2種絶滅
	森林の損失	毎年4000トン失う	毎年8000トン失う	毎年8000トン失う
税金	税金の追加額（1世帯あたり、1年）	年間1万円の追加	年間2万円の追加	追加支出なし

2.3 推計モデル（ランダムパラメータロジットモデル）

ランダムパラメータロジットモデルは、ランダム効用理論に基づいた推計手法であり、個人の効用関数は以下のように誤差項を含んだ形で定義される。

$$U_i = V_i(x_i,\ m_i) + \varepsilon_i, \qquad (1)$$

---

1 被害評価をベースとする統合化手法には、LIME の他に、Eco-indicator 99 (Goedkoop and Spriensma 1999)、EPS (Steen 1999)、ExternE (EC 1998, 2005)などがある。統合化手法に関する詳しい議論は Ahlroth et al. (2011)を参照のこと。

2 ケニアとベトナムは、最終的な調査対象国（G20）ではない。

ここで x_i は選択肢 i の属性ベクトル、m_i は選択肢 i の貨幣属性である。本稿で推計するのは、以下の効用関数である。

$$V_{in} = \beta_{n1}x_{i1} + \beta_{n2}x_{i2} + \beta_{n3}x_{i3} + \beta_{n4}x_{i4} + \beta_m m_i, \quad (2)$$

サブスクリプト 1～4 は、LIME における 4 つのエンドポイント（人間健康、社会資産、生物多様性、植物の一次生長）を示す。nは各回答者を表し、回答者ごとに異なる選好パラメータ $\beta_{n1}, \beta_{n2}, \beta_{n3}, \beta_{n4}$ を想定したモデルとなっている。

各選好パラメータが任意の確率密度で分布すると仮定すると、回答者 n がシチュエーション t で選択肢 i を選択する確率は次のように表せる。

$$P_{nit} = \int L_{nit}(\beta_n) f(\beta_n) d\beta_n. \quad (3)$$

この選択確率に基づいて最尤法を適用することにより、(2)式の各パラメータを推計することができる（詳細は Train, 2003 を参照のこと）。

推計されたパラメータから、以下の 2 種類の統合化係数（weighting factors）を得る。WF1 が貨幣換算した係数、WF2 は WF1 と被害量の規格値（*NV*, normalization value）を用いて合計 1 となるポイントで表される係数である。

$$WF1(MWTP) = \frac{dm}{dx_i} = -\frac{\beta_i}{\beta_m} \quad (4)$$

$$WF2 = \frac{WF1\,(Safe) \times NV\,(Safe)}{\sum_{Safe}\left(WF1(Safe) \times NV(Safe)\right)}. \quad (5)$$

※*Safe* は 4 つの各エンドポイントを示す。

3. 推計結果

各国の統合化係数の算定結果を表 2 と図 1 に示した（事前調査のためサンプル数は少ない）。ベトナム、南アフリカ、ケニアでは人間健康が最も重要視されているのに対して、日本では植物の一次生長が、中国では社会資産がそれぞれ最も重要視されている。図 1 をみると、国ごとに統合化係数の傾向が大きく異なっていることがわかる。

このように経済・社会・文化的条件によって統合化係数は異なる。さらに、国の地理条件や人口などによっても温暖化等の環境変化から受ける被害量も異なるであろう。そこで、2012 年 12 月～2013 年 1 月に実施する 4 カ国での事前調査では、被害量の規格値を国別に算定し、それぞれの国で異なる被害量に基づいて調査票を作成し、同様の手順で統合化係数を推計する。その結果も合わせて、進捗の報告を行う。

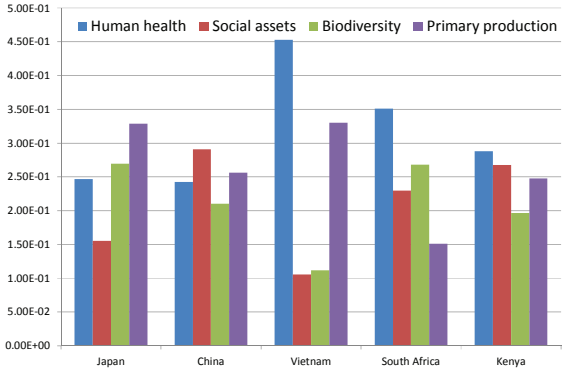


図 1 WF2: the relative importance for five countries

参考文献

Ahlroth S., M. Nilsson, G. Finnveden, O. Hjelm, E. Hochschorner, Weighting and valuation in selected environmental systems, analysis tools - suggestions for further developments, J. Clean Prod., Vol. 19, 2011, pp. 145-156.

Goedkoop M., R. Spriensma, The eco-indicator 99, a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, 1999.

Itsubo N., M. Sakagami, K. Kuriyama, A. Inaba, Statistical analysis for the development of national average weighting factors — visualization of the variability between each individual's environmental thoughts, Int. J. Life Cycle Assess., Vol. 17, 2012, pp.488-498.

Train, Kenneth E., (2003), Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press

表2 The results of calculating weighting factors: WF1 is the economic value of the damage suffered per unit of the safeguard subject and WF2 is the relative importance of each safeguard subject (based on the amount equivalent to the annual damage)

保護対象	単位量	統合化係数1 (WF1) 貨幣換算 (JY/unit)	統合化係数2 (WF2)					
		日本	日本(LIME2)+	日本	中国	ベトナム	南アフリカ	ケニア
	(Sample size →)	55	952	55	50	50	50	50
人間健康	1DALY (year)	2.07.E+06	0.26	0.25	0.24	0.45	0.35	0.29
社会資産	1 JY	3.77.E-01	0.14	0.16	0.29	0.11	0.23	0.27
生物多様性	1 species	1.04.E+02	0.37	0.27	0.21	0.11	0.27	0.20
植物の一次生長	100 million tons	6.74.E+02	0.24	0.33	0.26	0.33	0.15	0.25

**1 CNY=12.81 JY, 1 Dong=0.0039 JY, 1 Rand=10.57 JY, 1 K.shilling=0.9781 JY.

***Since the parameters of monetary attribute "tax" are not statistically significant in 4 countries, we described only WF2 of 4 countries.

意思決定のためのハザード・リスク・インパクト評価

Hazard, Risk, and Impact Assessment for Decision Making

○菊池康紀*[1)]
Yasunori Kikuchi
1) 東京大学
*kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1　はじめに

LCA をはじめとする評価手法が社会基盤として定着していくためには意思決定における役割を明確化し、実践可能な状態になることが必要とされている[1)]。特に環境影響や化学物質リスクの評価指標は大きくハザード、リスク、インパクトといったカテゴリで表現され、それぞれの定量化方法や技術・製品・プロセスの比較評価の研究が蓄積されてきている。本講演ではこれら評価に関わる研究のレビューを通しながら、意思決定における役割と今後の課題を議論する。

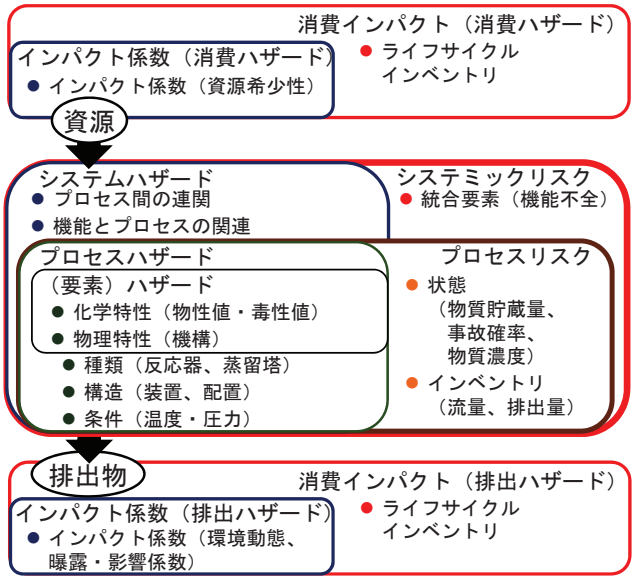


図　1　ハザード、リスク、インパクトの概念

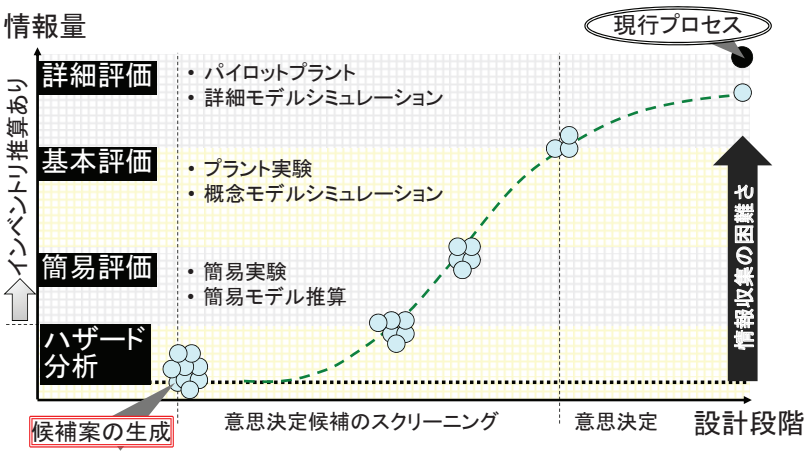


図　2　設計の進捗に伴う意思決定候補に関する情報量の変化

2　評価手法研究レビュー

評価におけるハザード、リスク、インパクトを概念的に図１にまとめる。一般にハザードと表現されるのは毒性のように物質が持つ化学特性や、回転や切削といった機械が持つ物理特性を示すことが多い[2)]が、ここに温度や圧力といったプロセスの設計条件を加えたプロセスハザードの定量化に関する研究が成され[3)]、その特徴の違いが議論されている[4)]。ここでは設計段階の進捗による情報量の違いを考慮しながら適切な指標を選択することを目的としている。図２に設計の進捗に合わせた意思決定候補に関する情報量の変化を概念的に示す。意思決定候補は最初のうちは多数存在しうるが、その一つ一つに対して詳細なプロセスインベントリを推算することは非現実的である。そのため、出来る限り簡易な評価を実施することにより候補案をスクリーニングすることが有効となる。このとき、徐々に評価の詳細さを増させていくに従って候補案を減らしながら情報を収集するため、実験やモデル推算、シミュレーション、パイロットプラントといった時間と労力を要する手段を用いた評価は少数の対象に対して実施されることになる。この中でハザード分析はインベントリの推算を必要としない簡易な方法であり、多数の候補案にも適用できるものである。化学プロセスの設計においてはこの情報量を考慮してプロセスハザードの評価を行い設計段階ごとに適切な指標の選択が必要であることが明らかになり[5)]、設計フレームワークとして提案されている[6)]。

一方、RA は濃度や事故確率などの詳細な情報を必要とするものであり、候補案に対しては高度な推算を行う必要がある[2)]。RA は実プロセスの運転管理には不可欠であり[7)]、局所的な実リスクを定量化する方法として LCA と対比され[8)]、法規制の分析[9)]やプロセス設計[10)]において共用されている。

LCA においてはポテンシャルインパクトを評価し[11)]、プロセス設計における評価指標の一つとしての適用が検討されてきた[12)]。ここでインベントリデータに乗じるインパクト係数はいわば消費と排出におけるハザード

と捉え、当該資源を用いるもしくは物質を排出しうるライフサイクルのハザードとみることも可能といえる。

3　評価の役割

意思決定の流れの中で評価手法が持つべき役割を図 3 に示すリスクに基づく意思決定のフレームワークを基に議論する。まず、現行のプロセスがある場合、徹底した現状分析を行って代替案を生成するための評価が必要となる。このとき、図２に示すように現行プロセスは多くの情報を用いて評価を実施できるため、RA をはじめとした詳細評価を実施できる。次に、生成された候補案の中から許容不可能な特徴を有しているものがないかを解析しスクリーニングを行うための評価が必要となる。例えば職業曝露において許容できないリスクが発生しうる場合にはこの段階で対策案から除去されるべきである [13]。スクリーニングの結果、残った候補案に対しては最終的な意思決定を行うために詳細な評価を実施する必要がある。この段階では既に少数の候補案となっているため、実験やシミュレーションといった手段を用いることも可能といえる。LCIA における統合化評価はこの段階まで残った候補案に対し、環境影響に基づく最終的な優劣を提示するための方法論として特に有効といえる。

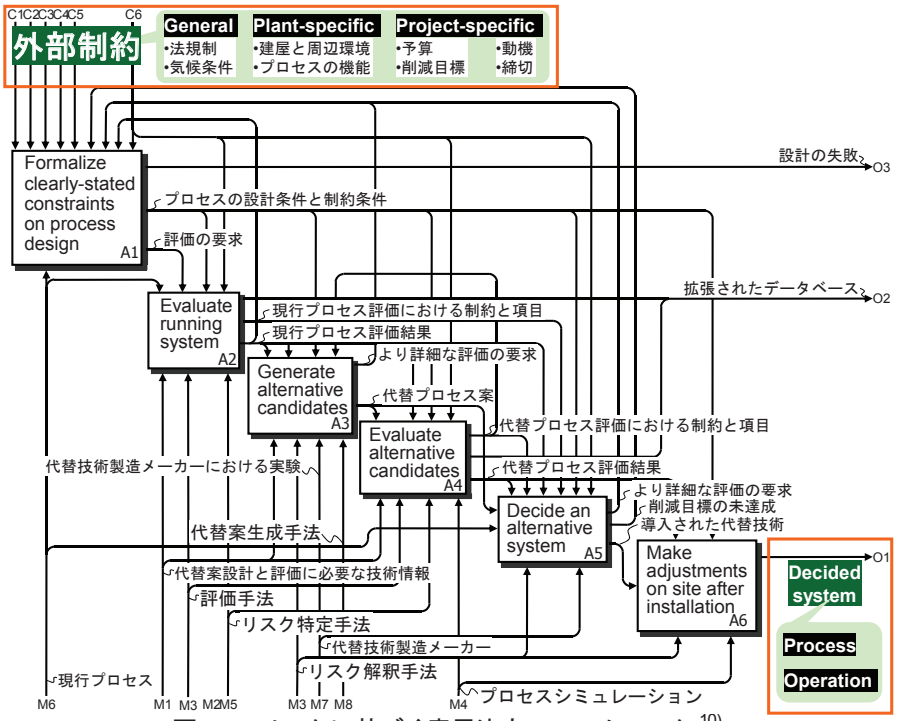


図 3　リスクに基づく意思決定フレームワーク [10]

4　まとめ：評価研究の今後の課題

評価手法は意思決定の段階の中で様々な役割を持って適用される必要がある。候補案を検討するための現行プロセスシステムの評価であれば、指標と変更可能な設計変数がどのような関係になっているかを把握した上で評価を実施しなければ、具体的な対策案を導出することができず、システムの改善につながらない恐れがある。さらに意思決定においては指標の選定だけでなく、評価を実施するために必要となる情報を収集する手段とそれを実施できる段階、さらには評価すべき候補案の数と評価に利用できる時間や予算など、様々な制約を受けながら実行可能な手法を選択・実践できる必要がある。

評価研究には手法研究と事例研究があるといえる。従来多くの研究では開発した手法を事例研究の中で適用させる順をとるが、今後は実際の意思決定に関する事例研究を体系化しつつ、そこでの問題を手法研究側への要求として抽出し、手法研究の計画を立てていくことが有効といえる。このとき、単なる評価の事例研究だけではなく、評価結果を受けた決定につながり、さらにその後の変更管理にまで波及させる事例研究を増やすことが重要とである。

参考文献

1) 平尾雅彦: “第 13 回日本 LCA 学会・LCA 日本フォーラム共催　講演会 講演資料”, 東京, (2012)
2) Kolluru, R. V.,et al.: “Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professionals”, McGraw-Hill, New York, USA, (1996)
3) Koller G.: Ind. Eng. Chem. Res. 39 (4), (2000), pp.960-972.
4) Adu, I. K.: Trans. IChemE: PartB Proc. Saf. Environ. Protec., 86(B2), 77-93 (2008)
5) Sugiyama H.: AIChE Journal, 54(4), (2008) pp.1037-1053
6) Sugiyama, H.: J. Chem. Eng. Jpn., 41 (9), 884-897 (2008a)
7) Center for Chemical Process Safety (CCPS); “Guidelines for Risk Based Process Safety”, WILEY, New Jersey, USA, (2007)
8) Tukker, A.: Risk Anal., 22 (5), 821-832 (2002)
9) Cowell, J.: Risk Anal., 22(5), 879-894 (2002)
10) Kikuchi, Y. and M. Hirao: J. Ind. Ecol., 13 (6), 945-964 (2009)
11) Bare, J. and T. Gloria: Environ. Sci. Technol., 40(4), 1104-1113 (2006)
12) Azapagic, A.: Chem. Eng. J., 73, 1-21, (1999)
13) 菊池康紀 他: “第 8 回日本 LCA 学会 研究発表会 講演要旨”, 草津, (2013), B2-17

新潟県産木材のライフサイクルアセスメント調査
その１ 木造住宅に使用される越後スギのカーボンバランス

Research of Life Cycle Assessment of Niigata's Local Wood
Part1 Carbon balance of Echigo Sugi used for wooden house

○櫻庭瞳*[1)]、高村秀紀[2)]、浅野良晴[2)]、井戸結貴[1)]、渡辺公太[1)]
Hitomi SAKURABA, Hideki TAKAMURA, Yoshiharu ASANO, Yuiki IDO, Kota WATANABE
1) 信州大学工学部, 2) 信州大学工学部、信州大学山岳科学総合研究所
*12tm710a@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

今日、地球温暖化は早急に対策に取り組むべき課題となっている。木材は京都議定書の第2約束期間においてCO_2削減量に森林及び木材製品の炭素固定量が計上される[1)]など、炭素固定機能が認められている。一方、CO_2削減対策の一つとして製品のCO_2の見える化を行うカーボンフットプリント(以下CFPとする)プログラムの推進が挙げられる。しかし、CFP対象製品[2)]のうち木材製品は合板と集成材のみであり、製材についてはデータが整備されていない。既往研究[3)~4)]では、長野県産材や高知県産材のLCA調査が行われており、地場産材の炭素固定量やCO_2排出量は樹種や地域、生産工程によって異なることが明らかにされている。しかし、我が国における実測調査に基づく事例は不足している。そのため、地場産材製造時のCO_2排出量のデータを増やすことを目的として新潟県産材の流通経路や乾燥方法の異なる3つのルートについてLCA調査を行った。また、端材の利用用途を把握するため、新潟県内の製材工場を対象に端材の利活用状況についてアンケート調査を行った。その調査結果を基に、製材の生産工程におけるCO_2排出量と焼却処分される端材によるCO_2放出量を他産業と建築分野で配分し、木材のCO_2固定量と建築分野が負担すべきCO_2排出量を差引きして算出したカーボンバランスで評価した。

2. 調査概要

樹種は新潟県の樹種別素材生産割合86%を占める[5)]越後スギとした。調査範囲は商品種別算定基準[6)]の素材調達段階と生産段階とし、新潟県の主要森林計画区[7)]である下越地域、中越地域、上越地域においてそれぞれ実際の流通経路に沿って評価した。3つのルートにおける調査対象の概要を表1に示す。それぞれの位置関係は図S1を参照。

3. 林地における調査

各林地において玉切りされた 2 本の原木の重量、末口と元口の直径、長さを計測し、伐採時の歩留まりを算出した。結果を表 2 に示す。上越地域は豪雪地帯であり、曲りのある木や二股の木が多いため、歩留まりが低くなった。また年間の出荷材積量と燃料消費量について聞き取り調査を行った。そして、林地における出荷材積量当りの燃料消費量を算出した。いずれの林地でもチェンソーの燃料にガソリンが使用されていた。またスイングヤーダ等の林業機械の燃料に軽油が使用されていた。結果を表 3 に示す。また、原木の切り口から採取した厚さ 3 ㎝程度の試料を 105℃で 30 時間以上乾燥させ、乾燥前後の重量、直径、高さを計測し、原木の全乾比重及び炭素固定量[注1)]を算出した。結果を表 4 に示す。

4. 原木市場における調査

新潟県における素材流通量のうち、約 17%が林地から原木市場を経由して製材工場へ出荷されている[5)]。本研究では、ルート③において市場を経由する流通経路とした。年間の取扱い材積量及び燃料消費量について聞き取り調査を行い、原木市場における取扱い材積量当りの燃料消費量を算出した。結果を表 5 に示す。事務所の照明や OA 機器に電気が使用されていた。またフォークリフトの燃料に軽油が使用されていた。

表１　調査対象概要

ルート	地域	林地		原木市場	製材工場		
		名称	樹齢	名称	名称	乾燥方法	燃料
①	下越	S森林組合	24，42年	市場を経由しない	M製材工場	燻煙乾燥	木材チップ
②	中越	T森林組合	45，52年	市場を経由しない	T森林組合	天然乾燥の後，蒸気式乾燥	灯油
③	上越	Y森林組合	49，79年	J木材市場	F製材工場	柱材：蒸気式乾燥，板材：天然乾燥	灯油

表２　林地における歩留まり

調査対象	地域	項目	枝払い	造材
S森林組合	下越	重量歩留まり	0.91	0.87
		材積量歩留まり	-	0.89
T森林組合	中越	重量歩留まり	0.81	0.85
		材積量歩留まり	-	0.85
Y森林組合	上越	重量歩留まり	0.95	0.55
		材積量歩留まり	-	0.59

注）枝葉の材積量を計測していないため、枝払い時の材積量歩留まりは算出できなかった。

表３　林地における出荷材積量当りの燃料消費量

調査対象	地域	軽油消費量 L/㎥	ガソリン消費量 L/㎥
S森林組合	下越	8.3	0.8
T森林組合	中越	9.2	0.7
Y森林組合	上越	8.3	1.1

表４　全乾比重と炭素固定量

調査対象	地域	全乾比重 t/㎥	炭素固定量 kg-C/㎥
S森林組合	下越	0.33	165
T森林組合	中越	0.37	185
Y森林組合	上越	0.30	150

表５　原木市場における燃料消費量

調査対象	地域	電気使用量 kWh/㎥	軽油消費量 L/㎥
J木材市場	上越	0.93	0.97

表６　製材工場における歩留まり

名称	地域	項目	製材	乾燥	仕上げ
M製材工場	下越	重量歩留まり	0.39	0.66	0.79
		材積量歩留まり	0.47	0.96	0.76
T森林組合	中越	重量歩留まり	0.53	0.62	0.97
		材積量歩留まり	0.57	0.85	0.97
F製材工場	上越	重量歩留まり	0.63	0.68	0.80
		材積量歩留まり	0.66	0.96	0.80

5. 製材工場における調査

各製材工場において、丸太 5 本分の直径、長さ及び製材後、乾燥後の木材の重量、厚、巾、長さを計測し、歩留まりを算出した。結果を表 6 に示す。M 製材工場では端材からチップを生産しており、歩留まりが低くなった。年間の出荷材積量と燃料消費量について聞き取り調査を行い、製材工場における出荷材積量当りの燃料消費量を算出した。結果を表 7 に示す。製材機及び事務所の照明や OA 機器に電気が使用されていた。またフォークリフトの燃料に軽油が使用されていた。乾燥機の燃料に灯油が使用されていた。M 製材工場では乾燥方法が燻煙乾燥であるため、灯油消費量が少なくなった。

6. 製材 1 m³当りの CO_2 排出量の算出

伐採工程から仕上げ工程までの材積量・重量及び炭素固定量の変化を表 8 に示す。燃料ごとの CO_2 排出量原単位[8]を用いて各工程における CO_2 排出量を算出した。ルート①では 245.9 kg-CO_2/m³、ルート②では 274.4 kg-CO_2/m³、ルート③では 157.7 kg-CO_2/m³となった。運搬工程においてはウッドマイルズ関連指標算出マニュアル[9]のトンキロ法で CO_2 排出量を算出した。結果を図 1 に示す。

7. 製材工場における端材の利活用状況

越後スギの端材の利用用途を把握するため、新潟県内の越後スギブランド認定工場93 社を対象に製材工場等における端材の発生量及び利活用状況についてアンケート調査を行った。回答の得られた下越地域 4 社、中越地域 3 社、上越地域 5 社、地域不明 4 社の計 16 社について集計した。結果、端材の 98%が他産業で利用され、2%は焼却処分されていた。端材の利活用状況の詳細を図 2 に示す。

8. カーボンバランスの算出

木材の CO_2 固定量[注2)]をプラス、CO_2 排出量をマイナスとして差引するカーボンバランスを算出した。結果を表 9 に示す。その際、7 章の結果を用いて他産業と配分することで、建築用材が負担すべき燃料による CO_2 排出量と端材による CO_2 放出量を算出した。算出方法の詳細は SI を参照。結果、カーボンバランスはルート①では 397kg-CO_2/m³、ルート②では 461kg-CO_2/m³、ルート③では 271kg-CO_2/m³となり、カーボンポジティブとなった。

9. まとめ

ルート別の製材 1 m³の生産工程における CO_2 排出量の最大値と最小値の差は 116.7 kg-CO_2/m³となった。またカーボンバランスの最大値と最小値の差は 189.2 kg-CO_2/m³となった。よって、製材の生産工程における CO_2 排出量を評価するためには、差が生じることを考慮しなければならない。

表 7　製材工場における燃料消費量

調査対象	地域	電気使用量 kWh/m³	軽油消費量 L/m³	灯油消費量 L/m³
M製材工場	下越	260.4	0.9	6.3
T森林組合	中越	328.7	2.8	20.8
F製材工場	上越	78.3	7.7	17.9

表 8　材積量・重量及び炭素固定量の変化

ルート	地域	項目		伐採	造材	保管	製材	乾燥	仕上げ
①	下越	材積量	m³	4.0	3.3	2.9	1.4	1.3	1.0
		重量	t	2.6	2.4	2.0	0.9	0.6	0.5
		含水率	%	118.0	118.0	91.8	91.8	14.2	14.2
		炭素固定量	t-C	0.7	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合		1.4	1.1	1.0	0.5	0.5	0.3
②	中越	材積量	m³	3.1	2.5	2.1	1.2	1.0	1.0
		重量	t	2.6	2.1	1.7	0.9	0.6	0.6
		含水率	%	143.1	143.1	86.6	86.6	38.8	38.8
		炭素固定量	t-C	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合		1.4	1.2	1.0	0.6	0.5	0.5
③	上越	材積量	m³	4.1	3.3	2.0	1.3	1.3	1.0
		重量	t	2.6	2.4	1.3	0.9	0.6	0.5
		含水率	%			92.1	92.1	40.9	40.9
		炭素固定量	t-C	0.8	0.7	0.4	0.3	0.3	0.2
		炭素固定割合		2.1	1.7	1.0	0.7	0.6	0.5

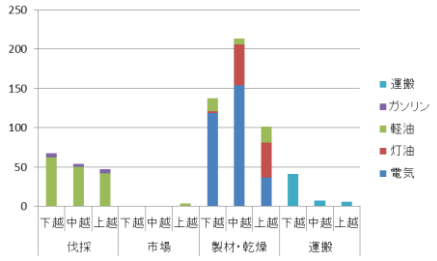


図 1　各工程における CO_2 排出量

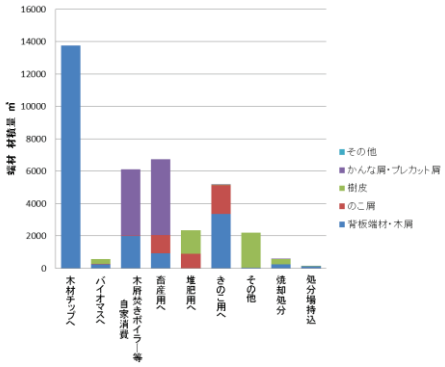


図 2　端材の利活用状況

表 9　カーボンバランス

	① 下越	② 中越	③ 上越
	CO_2固定量(kg-CO_2/m³)		
	605	678	550
	燃料消費によるCO_2排出量(kg-CO_2/m³)		
林地	−29	−22	−14
運搬	−17	−3	−1
原木市場	-	-	−1
運搬	-	-	−1
製材工場	−58	−86	−31
	端材によるCO_2放出量(kg-CO_2/m³)		
林地	−94	−101	−228
製材工場	−10	−6	−3
	カーボンバランス(kg-CO_2/m³)		
	397	460	271

注釈
注 1)　炭素固定量(kg-C)＝全乾比重(kg/m³)×0.5×材積量(m³)
注 2)　CO_2 固定量(kg-CO_2)＝炭素固定量(kg-C)×(44/12)

謝辞
調査を実施するにあたり、㈱重川材木店、株式会社緑の森、新潟県庁、津南町森林組合、布施材木店、関川村森林組合、ゆきぐに森林組合をはじめとする新潟県の森林組合及び製材工場関係者各位に多大なる協力を得た。ここに深く感謝の意を記す。

参考文献
1) 林政部企画課:“2013 年以降の国際的な気候変動対策の枠組み(2)”,林野庁,(オンライン),<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/23hakusyo_h/all/a24.html>,(参照 2013-1-10)
2) 社団法人産業環境管理協会:“CFP 対象製品”,CFP プログラム,(オンライン) <http://www.cfp-japan.jp/info/index.php>,(参照 2013-1-10)
3) 井戸ら:“日本建築学会北陸支部”,福井,(2011),pp.307-310
4) 津田ら:“日本建築学会関東支部”,(2005),pp.549-552
5) 新潟県農林水産部林政課:“新潟県の木材統計と木材更新対策”,(2010), pp.14-15
6) カーボンフットプリント算定・表示試行事業:“カーボンフットプリント算定・表示試行事業,商品種別算定基準（PCR）対象製品：木材・木質材料”（2011）
7) 新潟県庁治山課森林計画係:“地域森林計画について”,新潟県,(オンライン),入手先<http://www.pref.niigata.lg.jp/chisan/1294952436788.html>,(参照 2013-1-7)
8) 環境省:“算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧”,環境省,(PDF) <http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf>,(参照 2013-1-7)
9) ウッドマイルズ研究会:“ウッドマイルズ関連指標算出マニュアル Ver.2008-01” (2008), pp. 1-8

Supporting Information

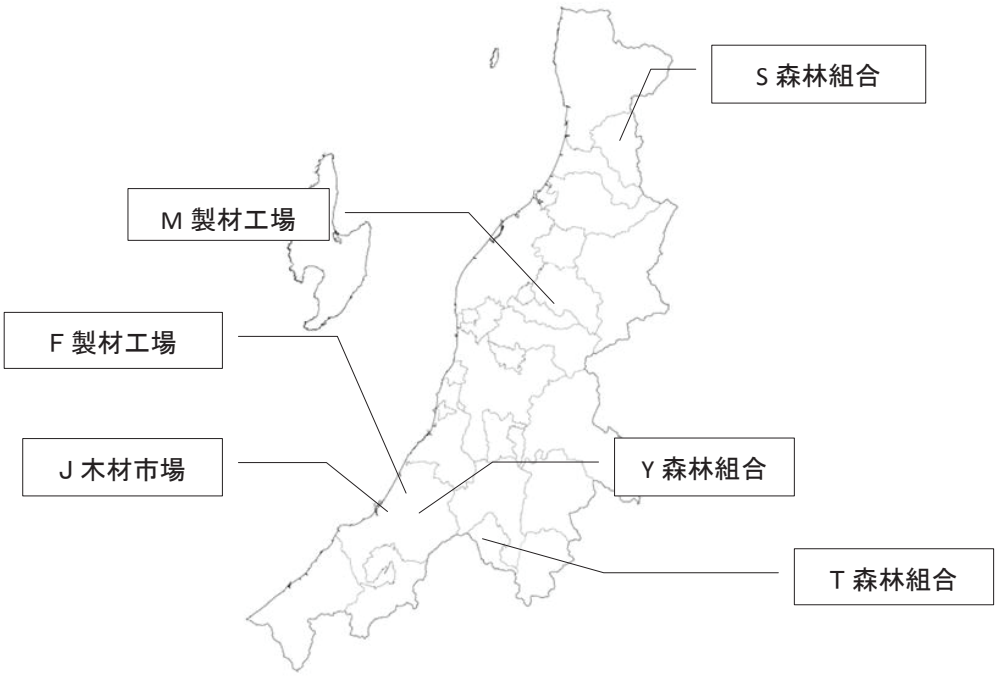


図 S1　調査対象の位置

カーボンバランスの算出式

ⅰ）建築用材が負担する燃料や電気消費による各工程の CO_2 排出量

$E_{e1}=e_1\times\{r_1+r_b+(r_1+r_b)\times r_d\}$

$E_{e2}=e_2\times(r_2+r_2\times r_d)$

$E_{e3}=e_3\times(r_3+r_3\times r_d)$

ただし、

E_{e1}：ルート①における建築用材が負担する燃料や電気消費による各工程の CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

E_{e2}：ルート②における建築用木材が負担する燃料や電気消費による各工程の CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

E_{e3}：ルート③における建築用木材が負担する燃料や電気消費による各工程の CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

e_1：ルート①の各工程における CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

e_2：ルート②の各工程における CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

e_3：ルート③の各工程における CO_2 排出量［kg-CO_2/m^3］

r_1：ルート①において原木が建築用木材として利用される割合　31［%］

r_b：原木が木屑焚きボイラ等自家自家消費されている割合　11［%］

r_d：原木が焼却処分される割合　1［%］

r_2：ルート②において原木が建築用木材として利用される割合　40［%］

r_3：ルート③において原木が建築用木材として利用される割合　30［%］

ⅱ）林地残材または製材工場で焼却処分された端材による CO_2 放出量

$E_{w1}=V_1\times\{r_1+r_b+(r_1+r_b)\times r_d\}\times D_1\times C\times\sigma\times1000$

$E_{w2}=V_2\times(r_2+r_2\times r_d)\times D_2\times C\times\sigma\times1000$

$E_{w3}=V_3\times(r_3+r_3\times r_d)\times D_3\times C\times\sigma\times1000$

ただし、

E_{w1}：ルート①において林地残材または製材工場で焼却処分された端材による CO_2 放出量[kg-CO_2/m^3]

E_{w2}：ルート②において林地残材または製材工場で焼却処分された端材による CO_2 排出量[kg-CO_2/m^3]

E_{w3}：ルート③において林地残材または製材工場で焼却処分された端材による CO_2 排出量[kg-CO_2/m^3]

V_1：ルート①の各工程で生じる端材の材積量[m^3]

V_2：ルート②の各工程で生じる端材の材積量[m^3]

V_3：ルート③の各工程で生じる端材の材積量[m^3]

D_1：下越地域における原木の絶乾比重　0.33［t/m^3］

D_2：中越地域における原木の絶乾比重　0.37［t/m^3］

D_3：上越地域における原木の絶乾比重　0.30［t/m^3］

C：炭素含有率　0.50［t-C/t］

σ：CO_2 換算係数　44/12［t-CO_2/t-C］

木造住宅建設時の環境負荷に関する研究
その 3.3 階建木造住宅と 2 階建木造住宅と高床式住宅の搬入資材と搬出資材の重量比較

A Study on the Environmental Impact of Constructing Wooden Houses
Part3. A comparison between a three-story wooden house's weight in construction materials and construction waste and a two-story wooden house's weight in construction materials and construction waste and high-foundation wooden house's weight in construction materials and construction waste

○高村秀紀*[1)]、浅野良晴[1)]
Hideki Takamura, Yoshiharu Asano
1) 信州大学工学部、信州大学山岳科学総合研究所
*takam@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

本論文は、搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種と重量に関する実態データを増やすことを目的に、新たに在来木造軸組構法 3 階建の戸建住宅と 2 階建て住宅の搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種と重量の実測調査を行った。そして、搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の重量について延床面積あたりと部位面積あたりの原単位を算出し、既報[1)~2)]において実測調査を行った住宅 A と住宅 G と比較を行った。

2. 対象住宅概要

実測対象住宅は住宅 I と住宅 J である。住宅 I は在来木造軸組構法 2 階建ての戸建住宅である。延床面積は 127.3 m^2 である。図 1 に 1 階平面図、図 2 に 2 階平面図を示す。住宅 J は在来木造軸組構法 3 階建ての戸建住宅である。延床面積は 236.0 m^2 である。図 3 に 1 階平面図、図 4 に 2 階平面図、図 5 に 3 階平面図を示す。また、住宅 I と住宅 J の概要を表 1 に示す。比較対象である住宅 A は延床面積 162.0m^2 で高床式の基礎を有し、2、3 階部分を在来木造軸組構法とする 3 階建の住宅である（RC 造部の床面積 : 54.0m^2）。住宅 G は既報[1)~2)]において延床面積が最大である住宅である。延床面積は 190.2m^2 で在来木造軸組構法 2 階建である。住宅 A と住宅 G の平面図を図 S1～図 S4 に示し、住宅概要を表 S1 に示す。

3. 搬入資材重量[注1)]と搬出資材重量[注2)]の実測結果

既報[1)~2)]と同様に搬入資材[注1)]と搬出資材[注1)]の材種と重量について実測調査を行った。住宅 I の搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種別重量と割合を表 2 に示す。搬入資材[注1)]の総重量は 90.0×10^3kg となった。重量が多い上位 3 材種は土石類、木材、金属類であった。すなわち、土石類が 77.9%、木材が 15.9%、金属類が 2.5%であった。搬出資材[注2)]の総重量は 3.2×10^3kg となった。住宅 J の搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種別重量と割合を表 3 に示す。搬入資材の総重量は 171.0×10^3kg となった。重量が多い上位 3 材種は土石類、木材、金属類であった。すなわち、土石

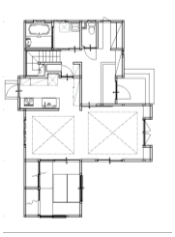


図 1　1 階平面図（住宅 I）

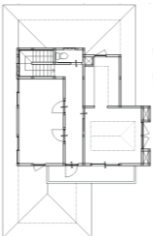


図 2　2 階平面図（住宅 I）

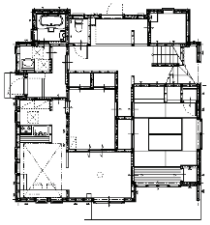


図 3　1 階平面図（住宅 J）

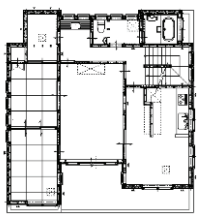


図 4　2 階平面図（住宅 J）

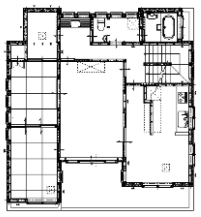


図 5　3 階平面図（住宅 J）

表 1　住宅概要

	住宅I	住宅J
構造	在来木造軸組工法	在来木造軸組工法
階数	2階	3階
床面積(㎡)	1階：77.0m^2	1階：96.6m^2
	2階：50.3m^2	2階：89.1m^2
	延床：127.3m^2	3階：50.3m^2
		延床：236.0m^2
断熱仕様	屋根、壁、基礎：押出法ポリスチレンフォーム保温板	屋根、壁、基礎：押出法ポリスチレンフォーム保温板
換気方法	第1種換気設備	第3種機械換気
給湯設備	家庭用燃料電池コージェネレーションシステム	潜熱回収型ガス給湯器 家庭用ガスコージェネレーションシステム
屋根	平板瓦(太陽電池一体型)	瓦
外壁	窯業系サイディング、一部タイル	窯業系サイディング
内装(壁)	ビニルクロス、塗壁	ビニルクロス
内装(床)	複合フローリング	複合フローリング
開口部	PVCサッシ、ペアガラス(Low-E)	PVCサッシ、ペアガラス(Low-E)

表 2　搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種別重量と割合（I 住宅）

I住宅	搬入資材		搬出資材			
			端材		端材以外の副産物	
	重量(kg)	割合(%)	重量(kg)	割合(%)	重量(kg)	割合(%)
木材	14,349.4	15.9	626.7	23.9	-	-
金属類	2,296.0	2.5	18.1	0.7	10.4	1.9
プラスチック類	1,418.3	1.6	117.1	4.5	51.2	9.3
紙類	4.2	0.0	1.6	0.1	194.9	35.4
ガラス類	1.9	0.0	0.0	0.0	-	-
化学製品	532.6	0.6	41.6	1.6	-	-
ゴム	222.7	0.2	1.1	0.0	-	-
布・糸	3.0	0.0	-	-	-	-
複合材	888.1	1.0	8.1	0.3	19.6	3.6
土石類	70,149.9	77.9	1,803.6	68.9	274.4	49.8
配線	182.118	0.2	0.9	0.0	-	-
合計	90,048.4	100.0	2,618.8	100.0	550.5	100.0

表 3　搬入資材[注1)]と搬出資材[注2)]の材種別重量と割合（J 住宅）

J住宅	搬入資材		搬出資材			
			端材		端材以外の副産物	
	重量(kg)	割合(%)	重量(kg)	割合(%)	重量(kg)	割合(%)
木材	31,799.1	18.6	1,445.8	29.4	177.8	22.0
金属類	7,191.2	4.2	51.4	1.0	44.6	5.5
プラスチック類	1,503.3	0.9	142.8	2.9	67.8	8.4
紙類	78.6	0.0	4.3	0.1	464.6	57.4
ガラス類	22.5	0.0	-	-	-	-
化学製品	551.3	0.3	0.5	0.0	-	-
ゴム	210.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
布・糸	2.2	0.0	-	-	-	-
複合材	1,832.7	1.1	-	-	54.8	6.8
土石類	127,672.1	74.6	3,279.9	66.6	-	-
配線	199.3	0.1	0.2	0.0	-	-
合計	171,062.7	100.0	4,925.0	100.0	809.7	100.0

類が 74.6%、木材が 18.6%、金属類が 4.2%であった。搬出資材[注2)]の総重量は 5.7×10^3kg となった。

4. 搬入資材[注1)]重量と搬出資材[注2)]重量の比較

4.1 原単位の算出方法

搬入資材[注1)]重量と搬出資材[注2)]重量のそれぞれについて延床面積で除した原単位と部位面積で除した原単位を算出し、4 棟の住宅について比較を行った。各工事の対応部位面積を表 4 に示す。

4.2 搬入資材[注1)]の比較

工事別の搬入資材[注1)]重量を比較した結果を図 6～図 8 に示す。延床面積あたりの総重量が最大となったのは A 住宅であった。A 住宅は 1 階部分が RC 造のため、延床面積あたりの総重量が最大となった。基礎工事では、A 住宅が単位面積あたりの重量が最大となった。A 住宅の 1 階部分に使われたコンクリートの重量が基礎工事に含まれているためである。木工事では、延床面積あたりの重量は J 住宅が最大となった。これは J 住宅が 3 階建てのため、構造用金物を多用していることと、構造材の材積量が多いためである。屋根工事では、延床面積あたりの重量は G 住宅の値が最大となったが、部位面積あたりの重量は J 住宅と G 住宅で大きな差は見られなかった。これは、延床面積は J 住宅のほうが大きいが、屋根面積は G 住宅のほうが大きいためである。また A 住宅では単位面積あたりの重量が最小となった。これは A 住宅の屋根材がガルバリウム鋼板を使用しているのに対し、他の 3 住宅の屋根材は瓦を使用しているためである。内装工事では、単位面積あたりの重量は、4 棟の住宅に大きな差は見られなかった。断熱・防湿工事では、延床面積あたりの重量は I 住宅が最大となった。これは I 住宅の断熱仕様が他の住宅よりも高いためである。

4. 3 搬出資材[注2)]の比較

単位面積あたりの搬出資材[注2)]重量を比較した結果を図 9 に示す。延床面積あたりの端材重量は I 住宅が 20.6kg/ m^2、J 住宅が 20.9kg/ m^2、A 住宅が 10.6kg/ m^2、G 住宅が 13.1kg/ m^2 となった。また、延床面積あたりの端材以外の副産物重量は I 住宅が 4.3kg/ m^2、J 住宅が 3.4kg/ m^2、A 住宅が 2.1kg/ m^2、G 住宅が 1.7kg/ m^2 となった。I 住宅と J 住宅の延床面積あたりの搬出資材[注2)]重量はそれぞれ 24.9kg/ m^2 と 24.3kg/ m^2 となり、両者の差が小さくなった。

5. まとめ

本論文では新たに 2 階建である I 住宅と 3 階建である J 住宅の実測調査を行い、既報[1)~2)]において 1 階が RC 造である 3 階建て住宅の A 住宅と延床面積が最大である G 住宅と搬入資材重量[注1)]と搬出資材重量[注2)]の比較を行った。結果、以下のことが明らかとなった。

1) 延床面積あたりの搬入資材重量[注1)]は A 住宅が最大となり、次いで G 住宅、J 住宅となった。
2) 搬入資材[注1)]重量の工事別の延床面積あたりの原単位と部位面積あたりの原単位で 4 棟の住宅の大小関係が変化したのは屋根工事と外装工事であった。

表 4 各工事の対応部位面積

工事	対応部位	I住宅(㎡)	J住宅(㎡)	A住宅(㎡)	G住宅(㎡)
基礎工事	1階床	77.0	96.6	117.3	54.0
木工事、断熱・防湿工事、建具工事、設備工事、左官・タイル・石工事、防腐・防蟻工事、雑工事、外構工事	延床	127.3	236.0	190.2	162.0
屋根工事	屋根	121.0	82.1	179.6	219.7
外装工事	外壁	258.7	897.1	249.6	242.1
内装工事	内壁と床と天井	280.6	485.4	859.0	276.6

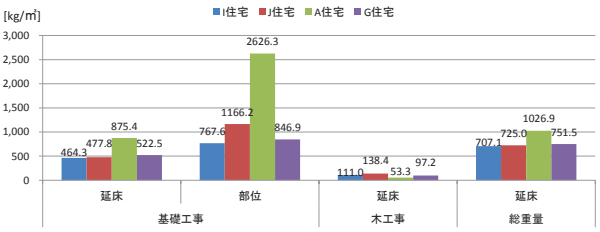


図 6 搬入資材[注1)]重量の比較(100kg/m^2 以上)

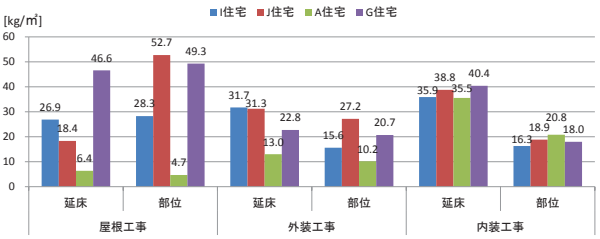


図 7 搬入資材[注1)]重量の比較(10～100kg/m^2 以上)

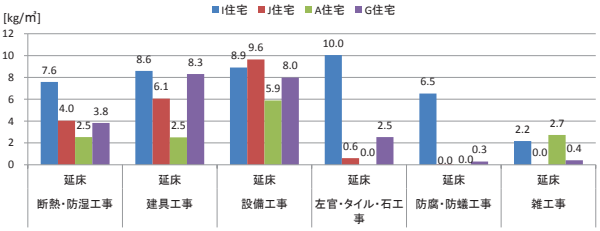


図 8 搬入資材[注1)]重量の比較(10kg/m^2 以下)

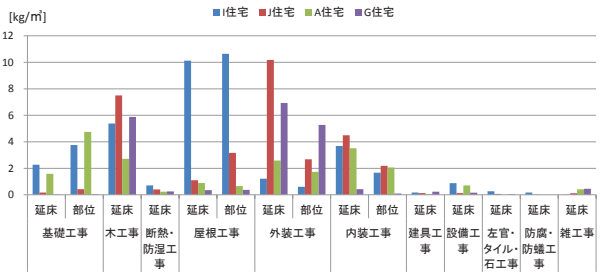


図 9 搬出資材[注2)]重量の比較

注

注 1) 住宅建設に要し、住宅に蓄積される全ての資材を搬入資材とする。
注 2) 住宅建設時に発生する端材と端材以外の副産物を搬出資材とする。

謝辞

実測調査を行うにあたり、株式会社ナガノ建築サービスをはじめ関係者各位に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

1) 高村秀紀、浅野良晴：地場産材を使用した住宅におけるライフサイクルアセスメントに関する基礎調査 その 2 資材重量と副産物重量の実測調査結果と気実測物件との比較、第 5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、横浜、(2010)、pp.66-67
2) 高村秀紀、浅野良晴：木造住宅建設時の環境負荷に関する研究 その 1.木造住宅へのカーボンフットプリント導入の検討、第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、仙台、(2011)、pp.244-245

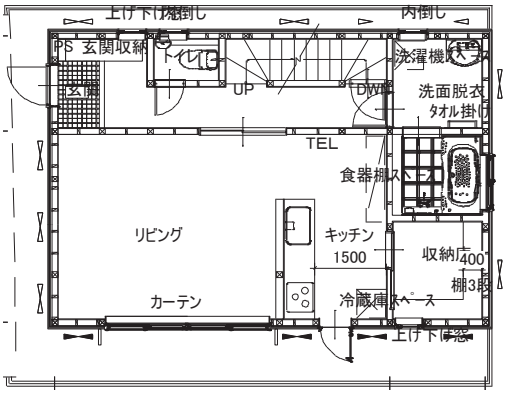


図 S1　2 階平面図(住宅 A)

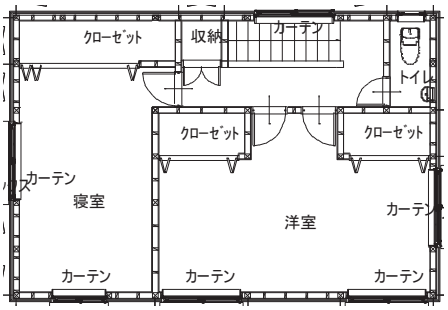


図 S2　3 階平面図(住宅 A)

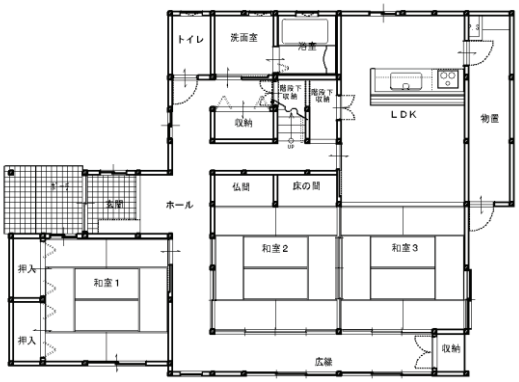


図 S3　1 階平面図(住宅 G)

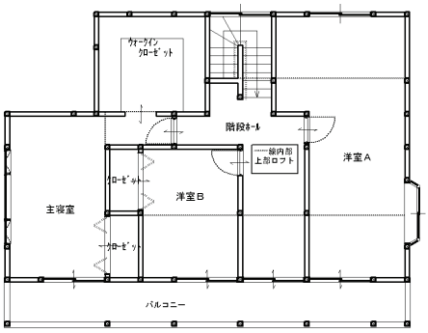


図 S4　2 階平面図(住宅 G)

表 S1　住宅概要

	住宅A	住宅G
構造	在来木造軸組工法	在来木造軸組工法
階数	3階（1階RC造）	2階
床面積（㎡）	1階：54.0㎡	1階：117.3㎡
	2階：54.0㎡	2階：72.9㎡
	3階：54.0㎡	延床：190.2㎡
	延床：162.0㎡	
断熱仕様	屋根、壁、床：グラスウール	屋根、壁：グラスウール、 床：押出法ポリスチレンフォーム保温板
換気方法	第3種換気設備	第3種換気設備
給湯設備	自然冷媒ヒートポンプ給湯機	自然冷媒ヒートポンプ給湯機
屋根	ガルバリウム鋼板	瓦
外壁	窯業系サイディング	窯業系サイディング
内装（壁）	ビニルクロス	ビニルクロス
内装（床）	複合フローリング	複合フローリング
開口部	プラスチック金属複合サッシ、複層ガラス	アルミ樹脂複合サッシ、複合ガラス

木材・木質材料の CFP の現状について

Present state of CFP for wood and a wood-based material

○雪本陽子*[1)]、辻本広樹[1)]、赤堀周平[1)]、大和田拓馬[1)]、原島仁[1)]、服部順昭[1)]
Yoko Yukimoto,Hiroki Tsujimoto,Shuhei Akahori, Takuma Owada,Hitosi Harashima,Nobuaki Hattori
1) 東京農工大学
*50011535013@st.tuat.ac.jp

1. はじめに

森林・林業再生プランの「10 年後の木材自給率 50 %以上」という目標を達成し、木材利用拡大による森林の適切な整備や地球温暖化防止への貢献のためには、公共建築物等への地域材の積極的な利用促進や木質バイオマスの利用拡大が重要である。それに向かって、林野庁は平成21年度から今年度まで地域材供給倍増事業において環境貢献度表示の見える化とカーボンフットプリント(CFP)算定支援を行ってきた。環境貢献度の評価・表示制度は、平成 21 年度から昨年度まで経済産業省によって実施された「カーボンフットプリント(CFP)制度試行事業」によって確立され、今年度から(社)産業環境管理協会によって「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム」として本格的に実施され始めたものである。ここでは、林野庁の本事業において作成された CFP 算定ルールである PCR(商品種別算定基準)とそれに基づき算定された木製製品の CFP の現状を報告する。

2. 支援事業について

2.1 PCR の改定・追加

木材関連の PCR は平成 22 年度末に CFP 試行事業において作成した「木材・木質材料」PCR(PCR 番号:PA-CC-01)が認定された。平成23年度にはその改定作業を支援した。平成24年度にはCFPプログラムが本格実施されたことにより、既存の PCR の対象製品の変更希望や新規追加が事業者から出された。その結果、コンサルタントの協力を得て「木製製品」PCR(PCR 番号:PA-CD-01)の改定と「木製容器包装」、「吹き込み用木質繊維断熱材」と「木製パレット」の PCR の作成支援を行った。

2.2 CFP 算定用二次データベースへの登録

CFP 計算に使える原単位は原則として CFP ウェブサイトで開示の CO_2 換算量原単位データベースを用いることとなっている。このデータベースには、原単位作成用データベース検証基準に基づき、原単位データ検証委員会の審査を経て、原単位を格納・公開することが可能である。そこで事業者からの要望により、平成 23 年度には加圧式保存処理木材の原単位の格納支援を行った。

2.3 木材製品に係る CFP 検証申請

「木材・木質材料【第 2 版】」PCR(PCR 番号:PA-CC-02)、「木製製品」PCR(PCR 番号:PA-CD-01)、「木材・プラスチック複合材」PCR(PCR 番号:PA-CB-01)が対象とする木材製品に係る CFP 検証申請支援を行った。なお、平成 23 年度に行った CFP 検証申請支援については、「木材・木質材料【第 2 版】」PCR(PCR 番号:PA-CC-02)が認定されていなかったため、改定前の「木材・木質材料」PCR(PCR 番号:PA-CC-01)を適用した。

3. 支援事業の結果

3.1 PCR の改定・追加

平成 23 年度には「木材・木質材料」PCR(PCR 番号:PA-CC-01)について、その後の CFP 試行により見出された不具合を修正することと対象製品に熱処理木材を加える改定作業を初版作成時の委員会で行った。レビューと PCR 認定委員会での厳格な審査を経て、平成 23 年 10 月 3 日付で改定版が認定され、CFP 制度のウェブサイトで公表された。その後はこの改訂版を使うこととなり、CFP 事務局の支援で英語版も作成され、木材輸出国であるマレーシアやインドネシアに情報を提供した。

平成24年度にはCFPプログラムが本格実施されたことにより、以下の PCR 修正や追加希望が事業者から寄せられた。

① 木製製品(PCR 番号:PA-CD-01)から木箱を削除し、新たに木製容器包装を策定。
② 吹き込み用木質繊維断熱材(日本工業規格外品)の策定。
③ 木製パレットの策定。

現在これらの改定作業を「CFP-PCR 認定規定」に沿って進めているところである。今後は原案完成→認定申請→意見公募→レビュー→審査が行われ、CFP-PCR が認定されれば、それに従って CFP 算定・検証支援を行う。

3.2 CFP 算定用二次データベースへの登録

平成 23 年度に日本木材防腐工業組合の要望により、CO_2 換算量原単位データベースに加圧式保存処理木材の原単位格納作業の支援を行った。レビューと原単位データ検証委員会での厳格な審査を経て、平成 24 年 3 月 30 日付でデータが格納され、「CO_2 換算量共通原単位データ

ベース ver.4」としてウェブサイトで公表された。現在はCFP プログラムの本格実施に伴い、試行事業の「CO_2 換算量共通原単位データベース」を引き継いだ「基本データベース ver.1.01」に格納されている。表 1 に「基本データベース ver.1.01」における公開用整理番号、名称、GHG 排出量(kg-CO_2e/m^3)を示した。

表 1　加圧式保存処理木材原単位 [1)]

公開用整理番号	名称	GHG排出量 [kg-CO2e/m^3]
BJP308022	加圧式保存処理木材（建築部材(未乾燥土台)）	1.25E+02
BJP308023	加圧式保存処理木材（建築部材(乾燥土台)）	1.69E+02
BJP308024	加圧式保存処理木材（外溝・土木用部材(木柵)）	7.98E+01

3.3　木材製品に係る CFP 検証申請

事業者からの依頼により、インベントリデータからの GHG 排出量等の算定作業や CFP 検証申請の支援を行った。平成 23 年度の試行事業においては 13 製品の検証申請の支援を行ったが、CFP 事務局に予想を超える申請が殺到し、期日よりかなり早く受付が締め切られ、2 製品のみ受け付けられた。事前レビューと現地調査を経て、平成 23 年 11 月 9 日開催の第 11 回検証パネルで審査され、同年 11 月 24 日付で CFP マークが使えることとなった。締切前倒しにより受け付けられなかった 11 製品については、可能なものから CFP 計算を行い、次年度の申請受付に備えた。このうち 2 製品については今年度に優先審査され、使用が許諾された。今年度の支援事業では 13 製品の検証申請の支援を行っているが、現在 6 製品が CFP マーク使用許諾を取得することが出来、エコプロ 2012 でその成果を発表した。その他の 7 製品については、検証準備中が 5 製品、CFP 算定は行うもののマーク使用の予定が無いことから検証支援は行わないものが 2 製品である。これまでに本事業で支援して CFP マーク使用許諾が取得できた製品は、今年度合格した 6 製品、今年度の優先審査で合格した 2 製品、昨年度合格した 2 製品と合わせて 10 製品となる。以下に昨年度と今年度に CFP 算定支援を行った 20 製品を適応 CFP-PCR ごとに表に示した。

表 2　「木材・木質材料」RCR(PCR 番号:PA-CC-01)

製品名	製品数	現状
MDF(中密度繊維板)	2	平成23年11月24日にCFP宣言登録・公開およびCFPマーク使用許諾。
保存処理木材	2	平成23年度に申請するも、申請件数の殺到で受け付けられなかった。 平成24年度に優先審査され、CFP宣言登録・公開およびCFPマーク使用許諾。
保存処理木材	3	平成23年度に申請するも、申請件数の殺到で受け付けられなかった。
保存処理木材	3	平成23年度には、申請件数殺到で、締切が前倒しになったため、申請が間に合わなかった。

表 3　「木材・木質材料」RCR(PCR 番号:PA-CC-02)

製品名	製品数	現状
保存処理木材	1	平成23年度までに算定は終了していたが、受付が締め切られていたため申請できなかった。 平成24年度に改めて申請し、平成24年12月13日にCFP宣言登録・公開およびCFPマーク使用許諾。
保存処理木材	2	平成24年12月13日にCFPCFP宣言登録・公開およびCFPマーク使用許諾。
木質繊維断熱材（成型板）	1	平成24年12月12日にCFPCFP宣言登録・公開およびCFPマーク使用許諾。
乾燥製材	1	検証準備中。
乾燥・未乾燥製材	1	検証準備中。
パーティクルボード	1	検証準備中。
熱処理木材	1	検証準備中。
MDF(中密度繊維板)	2	CFP計算は行うもののマーク使用の予定が無いことから検証申請は行わない。

表 4　PCR 策定後に CFP 検証予定の製品

製品名	製品数	現状
吹き込み用木質繊維断熱材	1	PCR策定中
木製パレット	1	PCR策定中

4.　まとめ

木材分野の PCR の改定、追加を行うことにより、算定可能な木材分野の製品が増えるとともにより正確な CFP 算定が行えるようになった。また、加圧式保存処理木材原単位の格納や製品の CFP 検証申請支援を行うことにより、木材分野での CFP 普及が進み、林野庁の補助事業により、森林・林業再生プラン達成に向けた環境貢献度表示に寄与できた。

5.　謝辞

本事業は林野庁から受託した認定 NPO 法人才の木の下で、東京農工大学農学研究院服部研究室の昨年度生である御手洗佳枝、水谷百合香、新井麻有と今年度学生が卒業論文と修士論文の一部として実施したものである。データ取得にご協力頂いた各社の担当の方々、CFP 検証申請にご協力いただいた(社)産業環境管理協会の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 産業環境管理協会：“基本データベース”，CFP プログラム，(エクセルファイル)，入手先＜http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/CO2basic_data_ver101_20120711.xls＞，(参照 2012-12-26)

在来工法木造住宅の炭素固定効果に関する研究

Study on carbon fixation effect of the traditional method of wooden construction house

○土屋健太*[1)]、浅野良晴[1)]、高村秀紀[1)]
Kenta Tsuchiya, Yoshiharu Asano, Hideki Takamura
1) 信州大学
*12tm712g@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

京都議定書の第1約束期間が終了し、我が国は第2約束期間への不参加が決定されている。また京都議定書でCO_2排出抑制を課した国が先進国のみであった為、近年の新興国の大発展とアメリカの離脱によりこの枠組みの包括するCO_2シェアが3割を下回っている。

このことからアメリカと新興国を含めた新たな枠組みが検討されており、CO_2排出量のカウント方法の見直しが進められている。その中の1つに伐採木材製品(HWP)の取り扱いがある。これは京都議定書では立木伐採時に固定されていたCO_2を即排出するものとされていた木材の扱いを、廃棄するまで炭素を固定するものとして変更するものである。そこで木造住宅による炭素固定量の推移を算出し、今後のCO_2排出量の行く末をとらえ検討していく。

2. 研究目的

木造住宅の木材部分における炭素固定効果はこれまでにも算出されているが、木材が建設現場に搬入されるまでの炭素収支を加味した算出例は無い。また、産地・樹種毎の炭素収支のデータベースも現在整備されていない。そこで山形等による既往の研究にて明らかにされた長野県産木材の炭素収支原単位（S1を参照）と一戸住宅当たりに使用される各樹種の割合の調査データを基に既往の算出例より精査な炭素固定量の算出方法の試算を行う。

3. 算出方法と結果

本研究では、3.2章で木造住宅に使用される国産材の使用率、部位別の各樹種使用割合に長野県内の調査によって得られた値を用いた現状維持ケースを算出し、3.3章で林野庁の掲げる国産材利用率目標[1)]まで国産材の利用率を上げた利用促進ケースを算出した後にそれぞれ算出結果を比較し考察を行う。

3.1 将来住戸数の算出(現状維持ケース)

将来累積住戸数Ha(t)を1式によって算出した結果を図1に示す。新設住戸数Bn(t)をトレンド推計である2式により算出し、残存戸数を及川らによって明らかにされた住宅の残存率関数[2)]である3式を用いて算出を行った。2式と3式から得られた値から、4式で長野県内の建築時期n年の西暦t年時の住戸数Hn(t)を推算した。

$$\mathrm{Ha}(t)=\sum_{t=1950}^{2038} Hn(t) \quad \cdots(1)$$

$$\mathrm{Bn}(t)=\mathrm{Bn}(\mathrm{t}-1)\times\frac{\sum_{k=1}^{5}P(5-k)}{5}$$

ただしP(k)は新設住戸数の前年比 $\cdots(2)$

$$\mathrm{R}(t)=\exp\left\{-\left(\frac{t-n}{45.8}\right)^{3.027}\right\} \quad \cdots(3)$$

$$\mathrm{Hn}(t+1)=\mathrm{Bn}(t)\times\mathrm{R}(t+1) \quad \cdots(4)$$

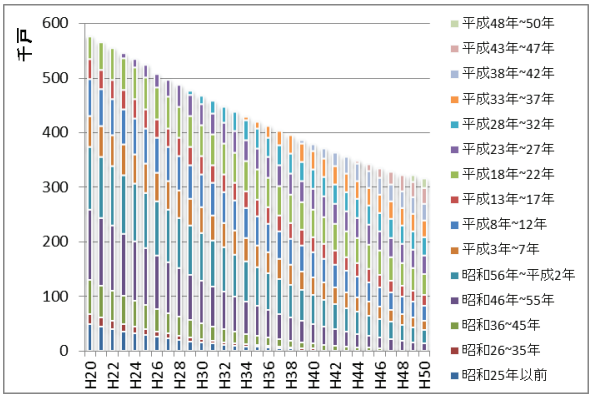


図1　長野県内の木造住戸数の推算結果

3.2 炭素固定量の算出(現状維持ケース)

炭素定量の算出結果を図2、図3に示す。2.1で算出した住戸数に対して延床面積あたりの木材使用量[3)]を乗じ、さらに部材別使用割合[3)]、使用樹種割合[4)]を乗じることで全体の樹種別ストック量を算出した。樹種別ストック量に、長野県内の樹種別の林地から現場までの炭素収支原単位を乗じることで炭素固定量の算出を行った。

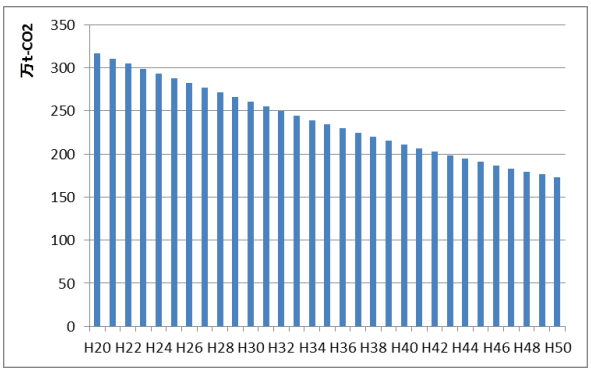


図2　長野県の木造住宅炭素固定量の推移(現状維持)

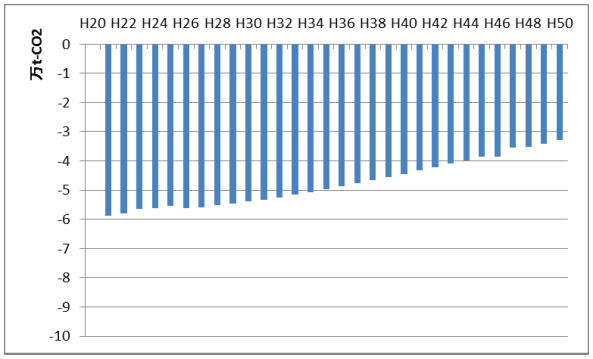


図３　長野県の木造住宅炭素固定量の変化量（現状維持）

3.3　将来住戸数の算出(利用促進ケース)

算出結果を図3、図４に示す。この章の算出では林野庁の掲げている国産材の利用率の目標に合わせて、23 年度以降の新築木造住宅に使用される国産材の利用率を 6 割まで上げて推算した。国産材利用率以外の値や算出方法は 3.2 の方法と同じ方法とした。固定量変化量が増加に転じることはなかったが、現状維持ケースと比較して変化量が半減されるという結果となった。

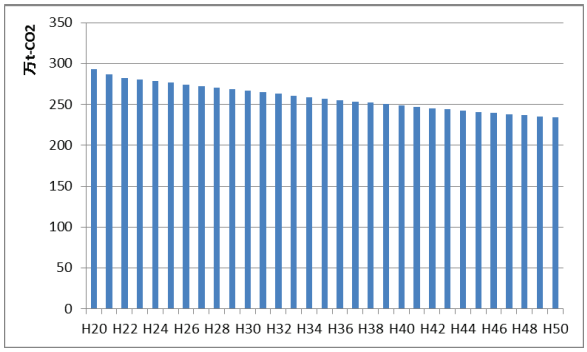


図４　長野県の木造住宅炭素固定量の推移（利用促進）

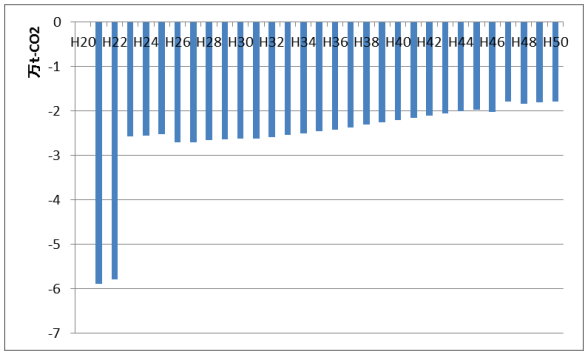


図３　長野県の木造住宅炭素固定量の変化量（利用促進）

4.　考察

林野庁の掲げる目標である、国産材の利用率を６割まで上げた結果、県内全体の国産材利用量の変化量が増加側に転じることは無かった。また現状推移ケースと利用促進ケースとの変化量の差、つまり CO_2排出量抑制効果の算出結果を図５に示す。年間約３万 t-CO_2ずつ削減量が増加し、平成50年には約67万t-CO_2の抑制が予測される。

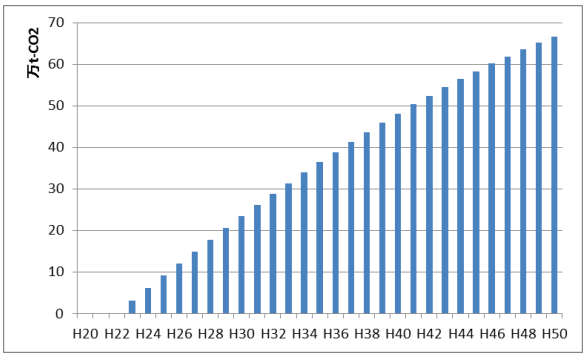


図５　国産材利用率増加による CO_2排出削減量

5.　おわりに

本研究では、長野県内の木造住宅数をトレンド推計と木造住宅の残存率を表すワイブル累積分布関数を用いて推算した後、木造住宅として固定される炭素量の、国産材の利用率が現状のまま推移していく場合と林野庁の目標に合わせた 6 割まで上げた場合との比較を行った。結果、利用率を上げても増加側に転じることは無く排出側のままであったが、変化量が半減され抑制効果は年 3 万 tCO_2ずつ増加となり、この蓄積は平成 50 年までに約 67 万 CO_2になることが予測された。

6.　今後の課題

今回の算出ではすべての住宅の内木造住宅の占める割合の変化は考慮していないが、林野庁や各自治体で進められている木造住宅率増加の推進が進めば、木造住宅の新築数が今回の算出に上積みされるため、炭素固定量の増加が予想される。また他構造に比べ木造住宅は建設時にかかる CO_2排出量が少ないため、住宅としてのライフサイクルの観点から LCCO_2を抑えられる。そのため今後は木造住宅率の増加も含めた木材利用促進効果についても算出する必要がある。

また今回、長野県外産の木材については 0.5[kg-CO2]とした。各県ごとの木材の炭素収支を明らかにすることで算出の精度が高くなり、また一戸毎の炭素固定量の算出も可能となるため HWP としての炭素固定量の定量的な評価が可能になる。

引用文献

1)「木造住宅における県産材利用の実態調査報告書」(平成 22 年度；長野県木材協同組合連合会)
2) 及川　智“建設廃棄物の発生抑制に関する研究(その3)ー発生抑制方策の効果の定量的把握と検討”(2003)
3)「木材産業の体制整備及び国産材の利用拡大に向けた基本方針」(平成 19 年 2 月；林野庁)
4)「在来工法住宅の木材使用量調査」((財)日本住宅・木材技術センター)
5)「平成 20 年住宅・土地統計調査」(総務省　統計局)

スギ	排出量・固定量 ($kg-CO_2/m^3$)	カラマツ(A工場)	排出量・固定量 ($kg-CO_2/m^3$)	カラマツ(B工場)	排出量・固定量 ($kg-CO_2/m^3$)
製材品の炭素固定量		製材品の炭素固定量		製材品の炭素固定量	
スギの炭素固定量	642	スギの炭素固定量	917	スギの炭素固定量	917
燃料によるCO_2排出		燃料によるCO_2排出		燃料によるCO_2排出	
林地	−16	林地	−16	林地	−10
輸送	−7	輸送	−10	輸送	−4
原木市場	−1	原木市場	−2	原木市場	−1
輸送	−6	輸送	−5	輸送	−3
製材工場	−67	製材工場	−36	製材工場	−43
端材によるCO_2排出量		端材によるCO_2排出量		端材によるCO_2排出量	
林地	−46	林地	−97	林地	−68
製材工場	−3	製材工場	0	製材工場	0
カーボンバランス	495	カーボンバランス	750	カーボンバランス	788

アカマツ	排出量・固定量 ($kg-CO_2/m^3$)	ヒノキ	排出量・固定量 ($kg-CO_2/m^3$)
製材品の炭素固定量		製材品の炭素固定量	
スギの炭素固定量	660	スギの炭素固定量	697
燃料によるCO_2排出		燃料によるCO_2排出	
林地	−7	林地	−14
輸送	−2	輸送	−3
原木市場	−1	原木市場	−1
輸送	−4	輸送	−5
製材工場	−65	製材工場	−56
端材によるCO_2排出量		端材によるCO_2排出量	
林地	−73	林地	−97
製材工場	−20	製材工場	0
カーボンバランス	488	カーボンバランス	520

表 S1　長野県産材の樹種毎の炭素収支データ

街区群の低炭素化が居住者・執務者に与えるマルチベネフィットの評価

Multi-Benefits Evaluation for Residents and Office Workers Delivered by Low Carbonization of Building Blocks

○藤崎浩太*[1)]、伊香賀俊治[1)]、加藤博和[2)]、川久保俊[1)]、富越大介[1)]
Kota FUJISAKI, Toshiharu IKAGA, Hirokazu KATO, Shun KAWAKUBO, Daisuke TOMIKOSHI
1) 慶應義塾大学, 2) 名古屋大学大学院
*poppu@a6.keio.jp

1. 背景と目的

人間活動を構成する産業、運輸、民生といった各部門における低炭素化が求められている中、民生部門は、ライフスタイル、ワークスタイルが多様化する一方で、生活水準、経済活動を阻害しないことが求められる等の理由から低炭素化が進まず、対応が急務である[1)]。民生部門における低炭素化に向けた既往研究の多くは、評価対象のスケールを建築物単体、もしくは都道府県や市区町村規模とするものが主であった。しかし、建築物単体スケールでは建築物間や街区等の面的な取り組みが評価できず、都市スケールでは全体的な評価に留まり、実装する際に具体的な取り組みの検討が困難といった課題がある。

そこで本研究では、建築物単体と都市の中間に位置する街区群[注1)]のスケールに着目し、街区群内の建築物の性能を向上させた場合の、街区群における CO_2 排出量の変化量を推計する。さらに、建築物の性能を向上させた時に、街区群内の居住者や執務者に享受される便益として、一般的に認知されている光熱費削減に加え、健康維持増進、知的生産性向上、非常時における生活業務継続効果といったマルチベネフィットを金額に換算し、費用便益を評価する。これにより、街区群内の建築物の性能を向上させる意義が明確となり、民生部門における低炭素化の実現の一助になると考える。

2. 研究概要

本研究の概念図を図 S1 に示す。はじめに、建築物の用途や規模、断熱性能等の各種条件における住宅、業務用建築物の CO_2 排出原単位のデータを整理した。また、建築物の性能向上に伴う追加費用と、建築物の性能向上により享受されるマルチベネフィットを金額に換算した値を、住宅、業務用建築物それぞれについて設定した。

次に、整理したデータを用いて、ケーススタディを実施した。対象の街区群として選定した名古屋市の A 地区[注2)]における、住宅用建築物の世帯数と業務用建築物の延床面積の現状値(2010 年)、将来の推計値(2050 年)を、国勢調査、先行研究を参考に調査した。そして、調査結果をもとに設定した、将来における街区群の更新シナリオと整理したデータを用いて、現状と将来の街区群における各シナリオの CO_2 排出量の推計、費用便益の評価を行った。

3. 街区群における CO_2 排出量の推計

3.1 CO_2 排出原単位のデータの整理

図 S2 に住宅用建築物の CO_2 排出原単位の推計フローを示す。先行研究[2)]を参考に、各種条件(住戸形態、世帯構成、地域、断熱性能、ライフスタイル[3)])における、世帯当たり用途別燃料別年間負荷を推計した。さらに、機器効率[4)]、CO_2 排出原単位[5,6)]を反映し、各種条件における世帯当たり用途別年間 CO_2 排出量を算出しデータを整理した。本推計で設定した、ライフスタイル、機器効率、CO_2 排出原単位を表 S1, S2, S3 に示す。

続いて、図 S3 に業務用建築物の CO_2 排出原単位の推計フローを示す。DECC データ[7), 注3)]を用いて、先行研究[8)]を参考に、各種条件(業務形態、建築物規模、地域、躯体・窓の断熱化の有無)における、単位面積当たり用途別燃料別年間負荷を推計した。さらに、住宅用建築物と同様の手順で、各種条件における、単位面積当たり用途別年間 CO_2 排出量を算出しデータを整理した。本推計で設定した、機器効率[8)]を表 S4 に示す。なお、CO_2 排出原単位は、住宅用建築物と同値を用いた。また躯体・窓の断熱化が「あり」の場合は、暖房負荷を 52%削減するとした[8)]。

整理した各種条件における年間 CO_2 排出原単位に、想定する街区群内の住宅用建築物の世帯数、業務用建築物の延床面積を掛け合わせて積算することで、街区群における年間 CO_2 排出量の推計が可能となる。

3.2 ケーススタディによる CO_2 排出量の推計

表 S5 にケーススタディの街区群として選定した名古屋市の A 地区における住宅用建築物の世帯数と業務用建築物の延床面積の現状値(2010 年)、将来の推計値(2050 年)を、国勢調査[9)]、先行研究[10)]を参考に調査した結果を示す。また、将来における街区群の更新シナリオとして、①現存する建築物を維持する「現状趨勢型」、建築物の性能を向上させた上で、②中層建築物で構成する「中層中庭型」、③高層建築物で構成する「高層タワー型」の 3 つを設定した。本推計では各シナリオに関し、調査結果をもとに表 S6 のように条件を設定した。なお、より精緻な推計を行うため、調査結果の商業施設は、先行研究[11)]を参考に延床面積を 87:13 の割合で卸・小売業と飲食店の延床面積に分割した。

以上の設定した条件を用いて、CO_2 排出量を推計した

結果を図 1 に示す。なお、本推計では、機器効率、CO_2 排出原単位は、将来にわたって一定と仮定し計算した。結果をみると、現状に対し、将来における現状趨勢型は 36.3%増加している。これは、将来における世帯数、延床面積が、現状より増加したためである。一方、現状趨勢型に対し、中層中庭型は 11.0%、高層タワー型は 4.3%削減しており、街区群内の建築物の性能を向上させることで、CO_2 排出量を削減できることがわかった。

4. 低炭素街区群におけるマルチベネフィットの評価

4.1 街区群内の建築物の性能向上に伴う追加費用およびマルチベネフィットの設定

建築物の性能を向上させた場合の追加費用は、「住宅：100 万円/世帯、業務：3 万円/m^2」として設定した [12]。

続いて、建築物の性能の向上により、居住者や執務者に享受されるマルチベネフィットは、住宅用建築物は光熱費削減、健康維持増進 [13]、非常時の生活継続 [14]、業務用建築物は、光熱費削減、知的生産性向上 [15]、非常時の業務継続 [14]を想定した。光熱費削減分は、CO_2 排出量を推計する際に算出している用途別燃料別年間エネルギー使用量の削減分に、燃料別価格 [16]を掛け合わせて積算することで算出した。本推計で設定した、燃料別価格を表 S7 に示す。光熱費削減以外のマルチベネフィットは、既往研究を参考に表 S8 に示す値を設定した。

設定した追加費用とマルチベネフィットを金額換算した値に、想定する街区群内において性能が向上した住宅用建築物の世帯数、業務用建築物の延床面積を掛け合わせて積算することで、街区群内の建築物の性能が向上した場合の費用便益の評価が可能となる。

4.2 ケーススタディによる費用便益の評価

ケーススタディにおいて、建築物の性能を向上させた、中層中庭型、高層タワー型において算出された投資回収年数を図 2 に示す。両シナリオとも、光熱費削減のみの場合、それぞれ 6.7 年、6.3 年の投資回収年数となっている。しかし、建築物の性能向上による健康維持増進、知的生産性向上、非常時の生活業務継続を考慮すると、投資回収年数が短縮され、それぞれ 3.7 年、3.6 年となった。

5. まとめ

本研究は、各種条件における住宅、業務用建築物の年間 CO_2 排出原単位と建築物の性能向上に伴う追加費用とマルチベネフィットを金額に換算した値を整理した。さらに、ケーススタディの街区群として選定した名古屋市の A 地区において、年間 CO_2 排出量の推計と費用便益の評価を実施した。建築物の性能を向上させた中層中庭型、高層タワー型は、現状趨勢型に対し、それぞれ 11.0%、4.3%の CO_2 排出量の削減となった。また費用便益の評価により、投資回収年数はそれぞれ 3.7 年、3.6 年となった。

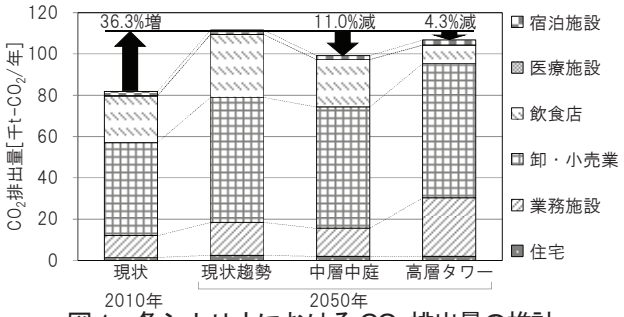


図１　各シナリオにおける CO_2 排出量の推計

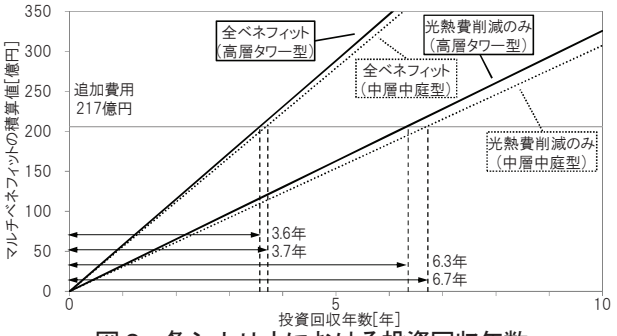


図２　各シナリオにおける投資回収年数

参考文献

1) 経済産業省, 国土交通省, 環境省：“「低炭素社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策について 中間とりまとめ”, 経済産業省, (オンライン), 入手先<http://www.meti.go.jp/press/2012/07/20120710002/20120710002-2.pdf >, (参照　2012-12-13)
2) 伊香賀俊治, 三浦秀一, 外岡豊, 下田吉之, 小池万里, 深澤大樹, 水石仁：日本建築学会技術報告集, (22), (2005), pp.263-268
3) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 富越大介：“空気調和・衛生工学会大会”, 北海道, (2012), pp.433-436
4) 西尾健一郎, 浅野浩志：“電力中央研究所 研究報告書”, (2006), p.14
5) 財団法人日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット, “EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2012 年版)”, 財団法人省エネルギーセンター, 東京, (2012), p.378
6) 環境省：“平成 22 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について（お知らせ）”, 経済産業省, (オンライン), 入手先 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702 >, (参照　2012-12-16)
7) 一般社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)：“DECC(非住宅建築物の環境関連データベース)”, 一般社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)(オンライン), 入手先 <http://www.jsbc.or.jp/decc_download/index.html>, (参照　2012-12-13)
8) 奥村公美, 伊香賀俊治, 村上周三, 川久保俊：“日本建築学会大会”, 富山, (2010), pp.1005-1006
9) 総務省：“平成 22 年国勢調査”,総務省, (オンライン), 入手先 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001035011&cycode=0>, (参照　2013-1-7)
10) 杉本賢二, 谷川寛樹, 森田紘圭, 加藤博和：“土木計画学研究発表会”, 埼玉, (2012), CD-ROM(7)
11) 奥村公美, 伊香賀俊治, 川久保俊：日本建築学会技術報告集, 18(38), (2012), pp.275-280
12) 経済産業省：“住宅・建築物の低炭素化に向けた現状と今後の方向性”, 経済産業省, (オンライン), 入手先 <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004688/doc/doc01_06.pdf >, (参照 2012-12-17)
13) 伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二, 水石仁, 川久保俊, 奥村公美：日本建築学会環境系論文集, 76(666), (2011), pp.735-740
14) 松田幸恵, 伊香賀俊治, 工月良太, 出口満, 割田智裕：“日本建築学会関東支部研究発表会”, 東京, (2012), pp.217-220
15) 割田智裕, 伊香賀俊治, 林立也, 佐藤智明：“日本建築学会大会”, 東京, (2011), pp.97-100
16) 財団法人日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット, “EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2012 年版)”, 財団法人省エネルギーセンター, 東京, (2012), pp.54-57
【注釈】1) 複数の街区(街路に囲まれた一区画)をまとめたスケール 2) 約 400m×400m の基盤目状の街区群 3) Data-base for Energy Consumption of Commercial Building：非住宅建築物の環境関連データベース
【謝辞】本研究は、環境省地球環境研究推進費 E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス（研究代表者：加藤博和）」の研究成果の一部であり、関係者の方々に多大なるご助言を頂いた。ここに記して謝意を表する。

Supporting Information

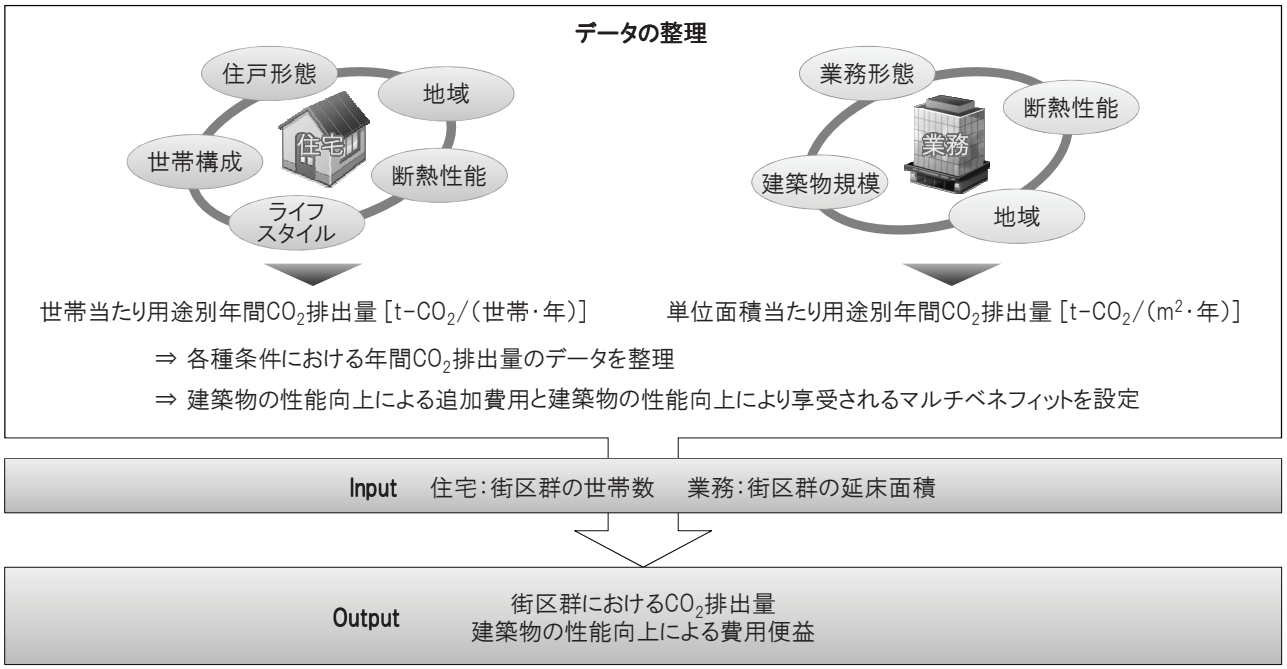


図 S1 本研究の概念図

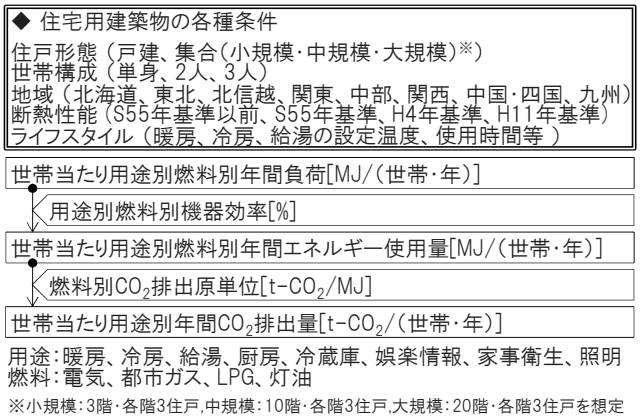


図 S2 住宅用建築物の CO_2 排出原単位の推計フロー

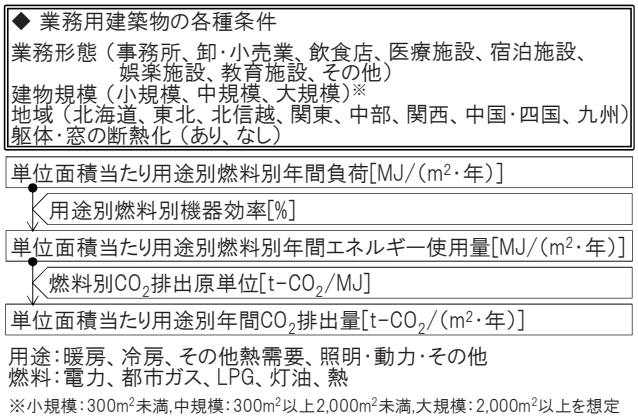


図 S3 業務用建築物の CO_2 排出原単位の推計フロー

表 S1 ライフスタイルに係る諸条件の設定

		給湯				空調※2			
		シャワー		浴槽		冷房		暖房	
		使用頻度[日/週]	設定温度[℃]※1	使用頻度[日/週]	設定温度[℃]※1	使用時間[時間/(日・台)]	設定温度[℃]	使用時間[時間/(日・台)]	設定温度[℃]
断熱性能:低	夏	3.04	41.8	4.54	44.9	5.91	25.2	6.64	23.6
(H11年基準以外)	冬	0.810	42.5	6.59	46.5				
断熱性能:高	夏	3.35	40.7	4.27	43.4	5.90	26.5	6.44	22.6
(H11年基準)	冬	0.781	41.6	6.56	45.0				

※1 配管からの熱損失考慮した設定温度
※2 空調は2台ある場合を想定し計算

表 S2 住宅用建築物の機器効率[-]

	暖房	冷房	給湯	その他
電力	3.00	3.00	0.800	1.00
都市ガス	0.800	–	0.800	–
LPG	0.800	–	0.800	–
灯油	0.800	–	0.800	–

表 S3 CO_2 排出原単位[g-CO_2/MJ]

電力(中部電力)	131
都市ガス	50.1
LPG	59.1
灯油	67.9
熱	57.0

表 S4 業務用建築物の機器効率[-]

	暖房	冷房	熱需要	その他
電力	2.52	3.77	0.900	1.00
都市ガス	0.800	1.20	0.800	–
LPG	0.800	1.20	0.800	–
灯油	1.20	1.20	0.800	–
熱	1.00	1.00	1.00	–

表 S5 住宅用建築物の世帯数と業務用建築物の延床面積

	住宅用建築物 世帯構成別世帯数[世帯]			業務用建築物 業務形態別延床面積[m²]			
	集合住宅			事務所	商業施設	医療施設	宿泊施設
	単身	2人	3人				
2010年（現状）	182	126	0	182,254	283,893	1,429	13,872
2050年（将来）	108	250	133	274,421	381,539	648	14,054

表 S6 各シナリオの設定条件

住宅用建築物	住戸形態	規模	断熱性能	世帯数[世帯]		
				単身	2人	3人
現状(2010年)	集合住宅	小	S55年基準以前	182	126	0
現状趨勢型(2050年)	集合住宅	小	S55年基準以前	108	250	133
中層中庭型(2050年)	集合住宅	中	H11年基準	108	250	133
高層タワー型(2050年)	集合住宅	大	H11年基準	108	250	133

業務用建築物	規模	断熱	延床面積[m²]				
			事務所	商業施設		医療施設	宿泊施設
				卸・小売業	飲食店		
現状(2010年)	小※	なし	182,254	248,196	35,697	1,429	13,872
現状趨勢型(2050年)	小※	なし	274,421	333,564	47,975	648	14,054
中層中庭型(2050年)	中	あり	274,421	333,564	47,975	648	14,054
高層タワー型(2050年)	大	あり	274,421	333,564	47,975	648	14,054

※ 卸・小売業の小規模はコンビニのサンプルがほとんどであるため、卸・小売業のみ中規模とした
なお、コンビニは24時間365日営業している場合が多く、
エネルギー消費の特性が卸・小売業の中で異質であるため除外した

表 S7 各燃料の価格[円/MJ]

	住宅	業務
電力	5.94	3.98
都市ガス	3.47	1.33
LPG	6.77	3.97
灯油	2.36	1.86
熱	-	6.45

※ 集合住宅(大規模)は
業務用の価格、
業務(小規模)は
住宅用の価格で計算

表 S8 光熱費削減を除くマルチベネフィットの設定条件

住宅	健康維持増進	戸建・集合：10,266円/(人・年)
住宅	非常時の生活継続	戸建・集合：10,460円/(世帯・年)
業務	知的生産性向上	業務形態共通：3,597円/(m²・年) (A地区の賃料より設定)
業務	非常時の業務継続	事務所：110.3円/(m²・年) 卸・小売業：128.2円/(m²・年) 飲食店：185.2円/(m²・年) 医療施設：236.7円/(m²・年) 宿泊施設：165.1円/(m²・年)

「社会的寿命」を考慮した建物に係る資源消費量の推計

Estimating Material Consumption by Buildings Considering the Social Lifetime

○森田紘圭*[1)]、杉本賢二[1)]、加藤博和[1)]、柴原尚希[1)]
Hiroyoshi MORITA, Kenji SUGIMOTO, Hirokazu KATO and Naoki SHIBAHARA
1) 名古屋大学
*hmorita@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1.　はじめに

都市の低炭素化や省資源化を進める方策の1つとして，建物の長寿命化による資源投入量の減少が挙げられる．そのため，日本では長期優良住宅やリフォームの促進など，長寿命化に関する多様な施策を実施しているが，いまだ住宅の実寿命は 50 年程度(2005 年)[1)]であり，物理的に対応できる寿命に比べて短いと考えられる[2)]．建物の寿命は物的な要素だけでなく，周辺環境に大きく影響される．しかし，これまでの長寿命化に関する研究は物理的観点の検討が多く，まちづくりの観点から建物や地区の長寿命化を論じているものはほとんどない．

一方，社会資本を対象としたLCAにおいては，評価対象物の寿命設定が 1 つの課題となっている．資源投入量が大きく，長期将来に影響を及ぼす社会資本において，寿命は結果に大きく影響を与えるにも関わらず，法定耐用年数を適用している場合が多いために，実際のライフサイクルとかい離した評価となることが懸念される．

以上を踏まえ，本稿では周辺環境や建物性能に起因した「社会的寿命」を考慮した建物更新シミュレーションを構築し，推計された寿命を用いた資源消費量の評価方法を構築する．また，名古屋市都心地区におけるケーススタディを実施し，地区の計画的な更新が社会的寿命や資源消費量に及ぼす影響とその効果について検討する．

2.　建物寿命への影響要因の考察

田村[3)]は建物の存在価値を，物的存在，機能的存在，環境的存在，経済的存在の 4 つに分類している．また，建物は「周辺の状況の総体としての環境に支配され」，周辺環境が建物に大きく影響することを指摘している．

平成 20 年度住生活総合調査では，建て替えや住み替えの意向を示している居住者は住宅環境の満足度がリフォームや居住継続意向の世帯よりも低い．同様に住宅周辺の環境における安全安心性や快適性についても，建て替えや住み替えを希望する世帯の満足度が低く，住宅のみならず周辺環境の性能が建て替えや住み替えの要因となっている．また，飯田ら[4)]の調査によれば，住宅以外の建物の取り壊し要因として，「老朽化陳腐化」に次いで「建物の存在自体」や「社会環境の変化」が挙げられており，周辺環境や社会環境の変化が建物の寿命に大きく影響をもたらしていることが明らかとなっている．

3.　社会的寿命を考慮した更新予測・評価モデル

3.1 予測評価モデルの全体構成

更新予測･評価モデルの計算フローを図 1 に示す．t 年における周辺環境や建物性能から，各建物の期待寿命と残存率関数を推定したのち，その確率関数に従って，モンテカルロ法により行われる．地区内のどれかの建物の建て替えが起こるたびに，周辺環境の状況は少しずつ変化するため，これを 1 年単位で繰り返すことで，周辺環境の変化と個々の建物の更新を動的に予測し，最後に実際に予測された建物寿命を用いて年あたりの資源消費量を評価するモデルとした．

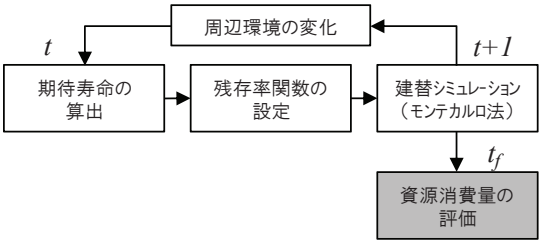


図 1　更新予測・評価モデルの概要

3.2 期待寿命の算出

期待寿命の算出においては，H. Kato et al の提案するストック化度指標[5)]を参考に，式(1)～(3)として定義した．

$$L_s^{i,t} = L_f^i \cdot \left((k_a^i + k_b^t)/2 \right) \quad (1)$$

$$k_a^i = \sum \alpha_j \cdot x_j^i \quad (2)$$

$$k_b^t = \sum \beta_j \cdot y_j^t \quad (3)$$

ここで，$L_s^{i,t}$ は t 年における建物 i の期待寿命，L_f^i は物理的寿命(=80 年)であり，k_a^i，k_b^t (ともに 0~1)は建物，周辺環境の建物寿命に対する社会的影響係数である．社会的影響係数は，表 1 に示す項目について，寿命に対する影響度 α_j，β_j と指標 x_j^i，y_j^t の積和とした．影響度は，ハウスメーカーや行政など，建築行政に関わる専門家に対するアンケート結果から，AHP を用いて算出した．

3.3 残存率関数の設定

各建物の築年数 a_i に応じた残存率関数 $f^{i,t}(t, a_i)$ は，小松ら[1)]による残存率調査データを参考に，平均寿命として推計した期待寿命 $L_s^{i,t}$ を用い，式(4)のとおり設定した．

$$f^{i,t}(t, a_i) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t-a_i}^{t} \exp\left\{ -\frac{(x - L_s^{i,t})}{\sigma_s^{\,2}} \right\} dx \quad (4)$$

表１　建物寿命に対する社会的影響要因

影響要因		定量指標	影響度
建物	利用柔軟性	容積率消化率	0.065
		用途転換構造	0.103
	居住快適性	日照時間	0.100
	安全安心性	耐震性能	0.209
	環境調和性	省エネ性能	0.195
	バリアフリー性	バリアフリー設計	0.083
	維持管理水準	適正維持管理年数	0.245
周辺環境	利用柔軟性	容積率消化率	0.125
	居住快適性	オープンスペース率	0.101
		景観調和性	0.156
	安全安心性	隣棟間隔	0.336
	環境調和性	地区エネ技術導入	0.197
	バリアフリー性	街路バリアフリー設計	0.085

3.4 建設に係る資源消費量の推計

建物のライフステージ p ごとの資源消費量の推計には，延床面積あたりの資材投入量 [6]と延床面積を乗じる原単位法を用いた．また，本稿では 1 年ごとの資源消費量を評価するため，減価償却の考え方を援用し，建物のライフステージごとの資源消費量をその建物が存在する期間に均等配分した．

$$C_t = \sum_i \sum_p \frac{A_i \cdot I_{i,p}}{L^i} \qquad (5)$$

ここで，C_t は t 年における地区全体の資源消費量，L^i はシミュレーションによる実寿命，A_i ，$I_{i,p}$ は各建物 i の延床面積と，ライフステージ p ごとの投入原単位である．

4.　ケーススタディ

4.1 ケーススタディの概要

構築したモデルを用いて，名古屋市都心部の長者町地区（中区錦二丁目）を対象に，ケーススタディを実施した．長者町地区は，小さな敷地に建物がひしめき合っていることから，街区全体での計画的な更新が難しい一方，集約型都市構造を目指すうえで，都心居住地区として集約先となるための整備が求められている．

分析は，個々の建物を自由に更新する「なりゆき」シナリオと，街区ごとに共同で更新する「計画更新」シナリオについて，2010 年から 2050 年までの予測評価を実施した．なお，将来フレームとして地区の世帯数変化を 2010 年比で 1.8 倍，就業者人口を 1.4 倍とし，新築建物はともに最新の省エネ・耐震性能を持つものと想定した．

4.2 予測・評価結果と考察

建物更新に伴う建物寿命への影響度の推移を図 2，床面積あたりの資源消費量の推移を図 3 に示す．

建物に起因する寿命への影響度はともに上昇する一方，周辺環境に起因する影響度は，「計画更新」シナリオのみで上昇する．その結果，2050 年の寿命への影響度は「なりゆき」で 0.63(期待寿命 50 年)，「計画更新」で 0.97(同 77 年)となり，同様の建物性能を持つ建物であっても，周辺環境により寿命が変化することが示唆された．

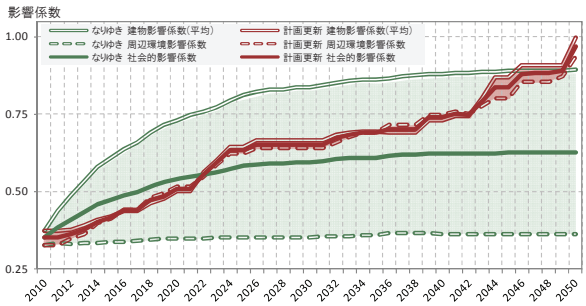


図２　社会的影響係数の推移

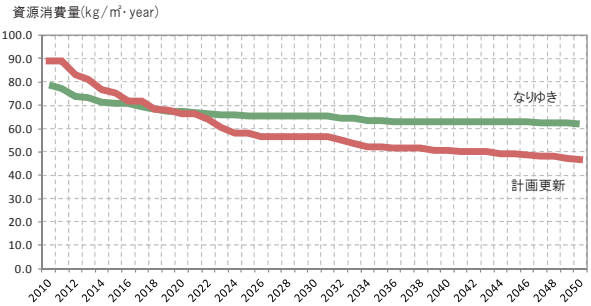


図３　延床面積あたり資源消費量の推移

資源消費量の推移では計画的に更新される場合には既存建築物の寿命がやや短くなり，初期には「なりゆき」に対して「計画更新」の資源消費量が上回る．しかし，更新が進むにつれ「計画更新」での更新建物の寿命が長くなり，資源消費量が小さくなる．計画的なまちづくりが街区の個々の建物全体の寿命向上，さらには資源消費量の低減に寄与することが明らかとなった．

5.　おわりに

本研究では，社会的寿命を考慮した建物更新モデルを構築し，建物ライフサイクルに係る資源消費量の評価を行った．その結果，躯体の長寿命化のみならず，計画的なまちづくりによる質の高い街区形成が，建物の長寿命化や資源消費量の低減に寄与することが示唆された．

今後は CO_2 や費用，居住者が享受する生活の質など，より多面的な観点から地区の持続可能性を評価するシステムを構築する必要がある．

6.　謝辞

本研究は，環境省・環境研究総合推進費(E-1105)「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」の支援により実施された．ここに記して謝意を表する．

引用文献

1)　小松幸夫 他：日本建築学会計画系論文集，73(632)，(2008)，pp.2197-2205
2)　小松幸夫 他：総合論文誌，9，(2011)，pp.23-26
3)　田村明：建築雑誌，84(1016)，(1969)，pp.737-743
4)　飯田恭一 他：日本都市計画学会計画系論文集，75(652)，(2010)，pp.1573-1579
5)　Hirokazu KATO，et al.：Built Environment，29(1)，(2003)，pp.25-35
6)　後藤直紀 他：地球環境シンポジウム講演集，16，(2008)，pp.97-102

現地調査に基づく地場産木材を活用した震災復興住宅の $LCCO_2$ 推計

Estimate for $LCCO_2$ Related to Restoration Housing Utilizing Local Wood Based on Field Survey

○宇城拓平*[1)]、伊香賀俊治[1)]、目黒康介[1)]
Takuhei Ushiro, Toshiharu Ikaga, Kosuke Meguro
1) 慶應義塾大学
*takuhei-u@z8.keio.jp

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災からの復興計画として、被災地では復興住宅の建設計画が進められている。復興住宅の多くは同時期に建設され、その後長期間にわたり利用されていくことから、1 棟あたりの $LCCO_2$(Life Cycle CO_2)の排出削減による地域全体での排出削減効果に期待が高まっている。そこで本研究では、復興住宅の $LCCO_2$ を現地・文献調査に基づき推計することで、地場産材の活用や住宅性能の向上による CO_2 排出削減効果を明示することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 研究概要

本研究で震災復興住宅の $LCCO_2$ は、著者らが中心となって開発している LCCM(Life Cycle Carbon Minus)住宅評価ツール[1)2)]に、得られた仕様書を基に建築資材・設備の投入量を入力して推計した。そして、その復興住宅では地場産木材を用いることから、現地調査を基に推計した木材の CO_2 排出原単位を LCCM 住宅評価ツールに反映することで、実状に即した $LCCO_2$ の推計を試みた。

2.2 木材生産における CO_2 排出原単位の推計

2.2.1 木材生産における CO_2 排出原単位の推計方法

図 1 に示す木材生産における各段階の CO_2 排出原単位を(1)式より推計した。エネルギー消費原単位は、森林施業～プレカット工場までの各事業体でのヒアリングを通じて推計した値を用い、エネルギー種別の排出係数は表 1 に示す参考文献 1～3 の値を用いた。各段階におけるエネルギー消費原単位の推計方法を(1)～(5)に示すが、詳しくは SI1～SI5 を参照されたい。

$$C_s = E_c \times E_f \quad (1)$$

Cs　：CO_2 排出原単位 [kg-CO_2/m^3]
Ec　：エネルギー消費原単位 [L_r(kWh)/m^3]
Ef　：エネルギー種別の排出係数 [kg-CO_2/L, kg, kWh]

表 1　エネルギー種別の排出係数[3)]

	灯油	軽油	木屑[4)]	ガソリン	電力[5)]
	kg /L	kg /L	kg /kg	kg /L	kg /kWh
CO_2	2.645	3.004	0.000	2.883	0.546

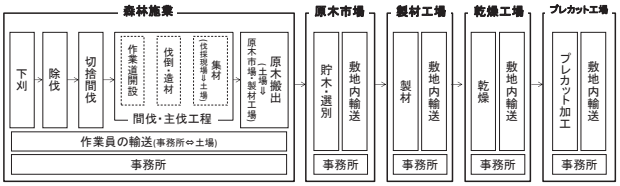


図 1　木材生産フロー

(1) 森林施業

図 1 に示す各工程におけるエネルギー消費量(SI 表 1)を各工程の取扱量(SI 表 2)で除すことで、エネルギー消費原単位を推計した(表 2)。また、下刈、除伐、切捨間伐工程は伐採されるまでに数年かけて実施される工程であることから、施業期間を乗じることで CO_2 排出原単位を推計している。そして、各工程の推計結果を積み上げたものを森林施業段階の CO_2 排出原単位とした。

(2) 原木市場

調査の際に、工程別ではなく事業体全体のデータのみを得られたことから、SI 表 5 に示すエネルギー消費量を年間取扱量で除すことで、エネルギー消費原単位を推計した(表 3)。

(3) 製材工場

図 1 に示す各工程における年間エネルギー消費量(SI 表 7)を各工程の年間製造量(SI 表 8)で除すことで、エネルギー消費原単位を推計した(表 4)。また、本事業体では副産物として発生する端材等も販売等で利用していることから、副産物にもエネルギー消費量を按分した。

(4) 乾燥工場

乾燥工程における材種別のエネルギー消費原単位は、SI 表 12 に示す現地調査で得られた材種別の乾燥スケジュールに基づいて推計した(表 5)。材種毎のエネルギーの按分方法は(SI1) 式に従い、乾燥スケジュールにおける材積、乾燥時間、温度を考慮して按分した。

(5) プレカット工場

製材工場と同じく、副産物を含む製品にエネルギー消費量を按分し、各工程におけるエネルギー消費量(SI 表 14)を各工程の製造量(SI 表 15)で除すことで、エネルギー消費原単位を推計した(表 6)。

2.2.2 木材生産における CO_2 排出原単位の推計結果

表 7 に、現地調査に基づき推計した CO_2 排出原単位の推計結果と、ツールに引用されている国産材の値を示す。

CO_2 排出原単位を比較すると、森林施業では地場産材の方が小さく、これは調査した事業体が高性能林業機械を導入しており、効率良く施業していることに起因すると考えられる。次に、製造(加工)は原木市場、製材工場、プレカット工場の合計であり、地場産材の方が値は大きいことが示された。これは、製材工場が比較的小規模であり、生産効率が一般的な国産材に比べて劣っている可能性が示唆される。そして製材(乾燥)では、地場産材の方が値は小さく、これは木質バイオマス燃料利用率が一般的な国産材に比べて高いことに起因する。また陸上輸送では地場産材の方が値は小さく、これは各工場が一か所に集中しており、工場間の輸送距離が短いことに起因する。最後に、間接分は両材共に同値とした。

3. 地場産材を活用した復興住宅の $LCCO_2$ 推計

表8に復興住宅1棟あたりの $LCCO_2$ 推計に関するケース設定を示す。ケース①～③の住まい方は同じとし、ケース①②では使用木材を表7の国産材、地場産材で変更し、ケース③では②に加えて、復興住宅のオプションとして再エネ機器(PV パネル(6kW)、太陽熱給湯器($6m^2$)、ペレットストーブ)を導入すると想定して推計した。図2に各ケースの $LCCO_2$ を比較した結果を示す。推計範囲は国内消費支出[注1)]までとし、電力の CO_2 排出係数は東北電力の値を用いている。ケース①②の比較より、地場産木材利用による CO_2 排出削減量を PV パネルの設置量に換算した場合、0.79[kW]分(約38万円)に相当することが示された。詳細な推計方法は SI6 を参照されたい。次にケース②③を比較すると、運用段階の CO_2 排出量の占める割合が大きく、再エネ機器導入により $LCCO_2$ がマイナス[注2)]になることが示された。また、SI7 には運用段階の用途別エネルギー、CO_2 消費量の内訳を示す。

4.まとめ

復興住宅に使用される木材の CO_2 排出原単位を現地・文献調査に基づき推計し、LCCM 住宅評価ツールを用いて $LCCO_2$ を推計した。木材の CO_2 排出原単位を国産材と比較すると、輸送距離や乾燥工程で地場産材の方が有利となることが示された。また運用時の CO_2 排出量も $LCCO_2$ に大きく起因することから、初期段階での再エネ機器導入や、住宅性能向上の有効性が示唆された。

参考文献

1) LCCM 住宅研究・開発委員会，”LCCM 住宅の設計手法 デモンストレーション棟を事例として”，株式会社建築技術，東京，(2012)
2) 一般社団法人日本サステナブル建築協会：”LCCM 住宅”，(オンライン)，入手先<http://www.jsbc.or.jp/lccm/index.html>，(参照 2013-1-9)
3) ㈳日本建築学会，“建築の LCA 指針”，丸善，(2006)
4) 大城賢，伊香賀俊治，本藤祐樹：日本建築学会技術報告集，第16巻 第33号，pp.609-614，(2010.6)
5) 環境省：平成23年度電気事業者別実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)，(オンライン) 入手先<https://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15912>，(参照 2012-12-21)

表２　森林施業段階におけるエネルギー消費原単位

工程	灯油	軽油	ガソリン	電力
	L/m³	L/m³	L/m³	kWh/m³
下刈	-	-	0.216	-
除伐	-	-	0.074	-
切捨間伐	-	-	0.098	-
収入間伐	-	6.968	0.119	-
主伐	-	7.779	0.119	-
人員輸送	-	-	0.273	-
原木搬出	-	2.976	-	-
事務所	0.084	-	-	0.051

表３　原木市場におけるエネルギー消費原単位

工程	灯油	軽油	電力
	L/m³	L/m³	kWh/m³
貯木・選別、敷地内輸送	0.048	0.519	1.661

表４　製材工場におけるエネルギー消費原単位

製品	断面積	灯油	軽油	電力
		L/m³	L/m³	kWh/m³
主製品	大・中・小	0.50	0.54	27.39
副産物		0.50	0.54	27.39

表５　乾燥工場におけるエネルギー消費原単位

乾燥材の内訳		樹種	軽油	A重油	木屑	電力
材種	断面積		L/m³	L/m³	kg/m³	kWh/m³
ひき角	大	スギ	0.527	57.122	390.391	105.104
ひき割	中	スギ	0.527	30.941	211.462	56.931
板・ラミナ	小	スギ	0.527	23.801	162.663	43.793
		カラマツ	0.527	26.881	183.714	49.461

表６ プレカット工場におけるエネルギー消費原単位

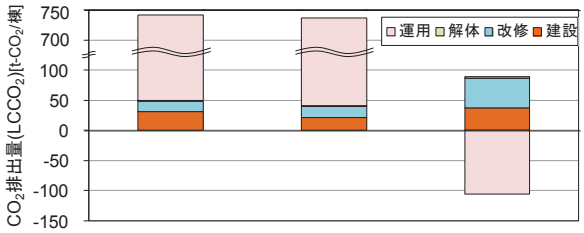
製品	断面積	軽油	電力
		L/m³	kWh/m³
主製品	大・中	0.744	43.751
副産物		0.744	43.751

表７　各段階における CO_2 排出原単位

	森林施業	製造(加工)	製造(乾燥)	陸上輸送(日本国内)	間接分
	t-CO_2/m³	t-CO_2/m³	t-CO_2/m³	t-CO_2/m³	t-CO_2/m³
国産材	0.142	0.039	0.386	0.059	0.07
地場産材	0.062	0.047	0.090	0.016	0.07

表８　ケース設定

ケース①	国産材利用住宅 1棟
ケース②	地場産材利用住宅 1棟
ケース③	地場産材利用 + 省エネ機器導入 住宅1棟



	ケース①	ケース②	ケース③
運用	691.6	691.6	-105.9
解体	1.9	1.9	2.0
改修	17.7	17.7	49.2
建設	28.6	21.8	37.5
$LCCO_2$	739.9	733.0	-17.3

図２　復興住宅の $LCCO_2$ 推計結果

注釈

1) 国内の固定資本形成分、海外分(消費支出、固定資本形成)は含まない。
2) 消費電力より生産した電力の方が多くなることに起因する。

謝辞

米田雅子特任教授(慶應義塾大学)、上閉伊地域復興住宅協議会をはじめ、現地調査に協力して下さった皆様に心より謝意を表する。

Supporting Information

SI-1　森林施業段階における CO_2 排出原単位の推計方法

SI 表 1　森林施業段階における年間エネルギー消費量

工程	灯油	軽油	ガソリン	電力
	L	L	L	kWh
下刈			16,280	
除伐			3,000	
切捨間伐			6,800	
収入間伐		37,208	635	
主伐		23,556	360	
人員輸送			2,288	
原木搬出				
事務所	702			430
合計	702	60,764	29,363	430

SI 表 2　森林施業段階における年間取扱量

工程	取扱量
	m^3/年
下刈	75,295
除伐	40,700
切捨間伐	69,190
収入間伐	5,340
主伐	3,028
人員輸送	―
原木搬出	8,368
事務所	―

SI1.1　各工程の年間取扱量推計方法

下刈、除伐、切捨間伐は施業面積に、面積あたりの幹材積を乗じることで各工程の年間施業材積量を推計した(SI 表 3)。面積あたりの幹材積の値は、フォレストック認定森林の CO_2 吸収量算定の際に使用していた [SI1)]宮城地方スギ林林分収穫表 [SI2)]において、主伐の伐期を参考に林齢 45 年における値を使用した。各工程の施業面積の林齢における幹材積を使用しないのは、施業時の材積ではなく、搬出されるときの材積(売却される材積)を評価するためである。また、人員輸送、事務所の取扱量は、売却される製品に対する作業に関わる工程であることから原木搬出量を用いた。

SI 表 3　施業面積に対する材積量

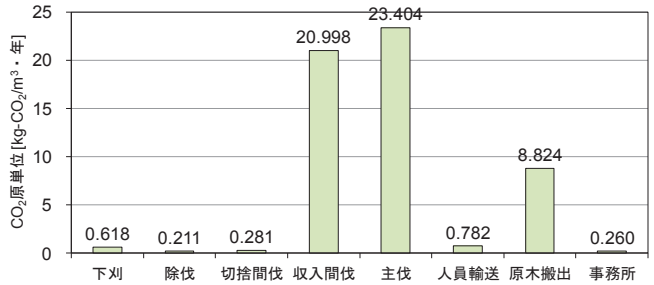
	施業する面積の林齢	施業面積	面積あたりの幹材積	各工程の施業材積量
	年	ha	m^3/ha	m^3
下刈	1～5	185	407	75,295
除伐	11～15	100	407	40,700
切捨間伐	16～30	170	407	69,190

SI1.2　CO_2 排出原単位の推計

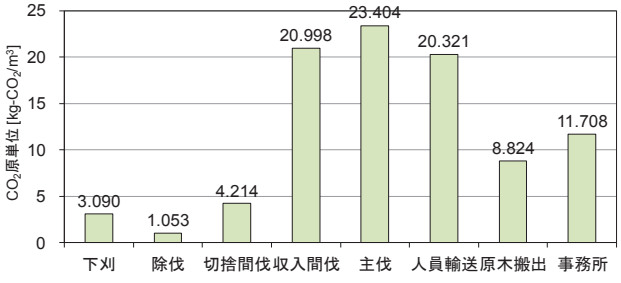
表 1、表 2 を用いて、(1)式に従い CO_2 排出原単位を推計した(SI 図 1)。SI 図 1 において、下刈、除伐、切捨間伐、人員輸送、事務所の工程はそれぞれ伐採されるまでに数年かけて実施される工程であることから、SI 表 4 に示すそれぞれの施業期間を乗じることで樹木を新植し、伐採搬出されるまでの CO_2 排出原単位を、期間を考慮して推計した(SI 図 2)。下刈、除伐、切捨間伐は現地調査で得られた値を用い、人員輸送は下刈、除伐、切捨間伐、収入間伐もしくは主伐が実施される施業期間の合計とし、事務所は新植から伐採までの運用に関わることから、伐採されるまでの期間とした。また、各工程の CO_2 排出原単位を積み上げる際、収入間伐と主伐は 1 つの材に対してどちらかのみの施業であることから、両工程の取扱材積で加重平均した値を用いた。

SI 表 4　各工程の施業期間

	施業期間	
下刈	5	年
除伐	5	年
切捨間伐	15	年
収入間伐	1	年
主伐	1	年
人員輸送	26	年
原木搬出	1	年
事務所	45	年



SI 図 1　森林施業段階の各工程における CO_2 排出原単位



SI 図 2　森林施業段階の新植から伐採搬出されるまでの期間を考慮した CO_2 排出原単位

SI2　原木市場における CO_2 排出原単位の推計方法

SI2.1　CO_2 排出原単位の推計

表 1、表 3 を用いて、(1)式に従い CO_2 排出原単位を推計した(SI 表 6)。

SI 表 5　原木市場における取扱量とエネルギー消費量

年間取扱量	13,127	m^3/年
軽油	6,809	L/年
灯油	630	L/年
電力	21,800	kWh/年

SI 表 6　原木市場における燃料別 CO_2 排出原単位の推計結果

工程	灯油	軽油	電力	合計
	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3
原木市場	0.133	1.538	0.907	2.577

SI3　製材工場における CO_2 排出原単位の推計方法

SI3.1　エネルギー消費原単位の推計方法

エネルギーの按分方法は材積、価値(販売価格)等があるが、本推計では前者で、廃棄されない(価値のある)製品に、その材積でエネルギーを按分することとした。本調査では、主製品は建築物に、副産物はエネルギー利用されるとして、材積で各製品にエネルギーを按分した。ここでエネルギー消費原単位が主製品と副産物で同値なのは、前述したエネルギーの按分方法に起因する。

SI 表 7　製材工場における年間エネルギー消費量

	灯油	軽油	電力
	L/年	L/年	kWh/年
製材	4,164	-	227,341
敷地内輸送	-	4,447	-
合計	4,164	4,447	227,341

SI 表 8　製材工場における年間製造量

製品	材種	断面積	製造量
			m^3/年
主製品	ひき角	大	103
	ひき割	中	2,482
	板	小	1,173
副産物			4,542
合計			8,300

SI3.2　CO_2 排出原単位の推計

表 1、表 4 を用いて、(1)式に従い CO_2 排出原単位を推計した(SI 表 9)。

SI 表 9　製材工場における CO_2 排出原単位の推計結果

工程	製材(灯油、電力)	敷地内輸送(軽油)	合計
	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3
製材工場	16.343	1.588	17.931

SI4　乾燥工場における CO_2 排出原単位の推計方法

SI4.1　エネルギー消費原単位の推計方法

各工程において、SI 表 10 の年間エネルギー消費量を SI 表 11 の年間製造量で除することで、エネルギー消費原単位を推計した(表 5)。材種毎のエネルギーの按分方法に関して、乾燥工程に係るエネルギーは(SI1) 式に従っており、本式では SI 表 12 に示す乾燥スケジュールにおける材積、乾燥時間、温度を考慮して按分している。このとき、ひき角、ひき割の乾燥時間は平均値を用いた。また、敷地内輸送工程に係るエネルギー(軽油)は材積に従って按分した。このため、表 5 の各材種において軽油のエネルギー消費原単位は同値となっている。

SI 表 10　乾燥工場における年間エネルギー消費量

	軽油	A 重油	木屑	電力
	L	L	kg	kWh
乾燥	-	18,341	542,646	146,095
敷地内輸送	1,452	-	-	-
合計	1,452	18,341	542,646	146,095

SI 表 11　乾燥工場における年間製造量

製品	材種	断面積	製造量
			m^3/年
主製品	ひき角	大	238.5
	ひき割	中	127.5
	板	小	2387

SI 表 12　乾燥スケジュール

乾燥材の内訳		樹種	乾燥時間	乾燥温度	燃料の種類	乾燥後含水率
材種	断面積					
ひき角	大	スギ	5-12 日	120℃	木屑&A 重油	11%±3%
ひき割	中	スギ	5-12 日	65℃	木屑&A 重油	
板・ラミナ	小	スギ	120 時間	85℃	木屑&A 重油	
		カラマツ	144 時間	80℃	木屑&A 重油	

$$\text{単位物量あたりのエネルギー消費量}\left[\frac{\text{L, kg, kWh}}{\text{m}^3}\right] = \text{エネルギー投入量[L, kg, kWh]} \times \frac{\text{乾燥時間[h]} \times \text{温度[℃]}}{\sum(\text{乾燥時間[h]} \times \text{温度[℃]} \times \text{材積[m}^3\text{]})} \quad \text{.....(SI1)}$$

SI4.2　CO_2 排出原単位の推計

表 1、表 5 を用いて、(1)式に従い CO_2 排出原単位を推計した(SI 表 13)。

SI 表 13　乾燥工場における CO_2 排出原単位の推計結果

乾燥材の内訳		樹種	CO_2 排出原単位
材種	断面積		kg-CO_2/m^3
ひき角	大	スギ	97.133
ひき割	中	スギ	53.331
板・ラミナ	小	スギ	41.384
		カラマツ	46.538

SI5　プレカット工場における CO_2 排出原単位の推計方法

SI5.1　エネルギー消費原単位の推計方法

エネルギーの按分方法は材積、価値(販売価格)等があるが、本推計では前者で、廃棄されない(価値のある)製品に、その材積でエネルギーを按分することとした。本調査では、主製品は建築物に、副産物はエネルギー利用されるとして、材積で各製品にエネルギーを按分した。ここでエネルギー消費原単位が主製品と副産物で同値なのは、前述したエネルギーの按分方法に起因する。

SI 表 14　プレカット工場における年間エネルギー消費量

	軽油	電力
	L/年	kWh/年
プレカット＋事務所	-	271,431
敷地内輸送	4,615	-

SI 表 15　プレカット工場における年間製造量

製品	材種	断面積	製造量
			m^3/年
主製品	ひき角	大	4,580
	ひき割	中	849
副産物			776
合計			6,204

SI5.2　CO_2 排出原単位

表 1、表 6 を用いて、(1)式に従い CO_2 排出原単位を推計した(SI 表 16)。

SI 表 16　プレカット工場における CO_2 排出原単位の推計結果

工程	軽油(敷地内輸送)	電力(プレカット、事務所)	合計
	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3	kg-CO_2/m^3
プレカット工場	2.205	23.888	26.093

SI6　CO_2 削減ポテンシャルの PV パネル換算方法 [SI3)]

本研究で推計した地場産材利用による CO_2 排出削減ポテンシャルより、PV パネル設置削減効果を推計した。推計にあたり使用した式は以下の(SI2)式～(SI5)式であり、使用した値を SI 表 17 に示す。

SI 表 17　PV パネル換算に利用した各値

項目	値	単位
PV パネル単価	483,000[SI4)]	円/kW
地場産材利用による CO_2 削減ポテンシャル 建設（ケース①）－　建設（ケース②）	6.8	t-CO_2
PV パネル製造時の CO_2 排出量	3.1 [SI 注 1)]	t-CO_2/kW
年・kW あたりの CO_2 削減量	0.58[SI5)]	t-CO_2/(年*kW)
耐用年数	20	年

PV パネルによる CO_2 削減量 [t-CO_2/kW] =
年・kW あたりの CO_2 削減量[t-CO_2/(年*kW)] × 耐用年数 [年]
(SI2)

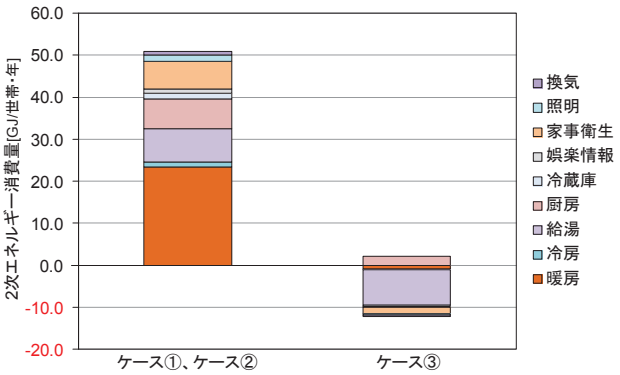
PV パネルによる正味の CO_2 削減量[t-CO_2/kW] =
PV パネルによる CO_2 削減量[t-CO_2/kW] – PV パネル製造時の CO_2 排出量[t-CO_2/kW]
(SI3)

地場産木材利用により賄われる PV 容量[kW]=
地場産木材利用による CO_2 削減量[t-CO_2] ÷ PV パネルによる正味の CO_2 削減量[t-CO_2/kW]
(SI4)

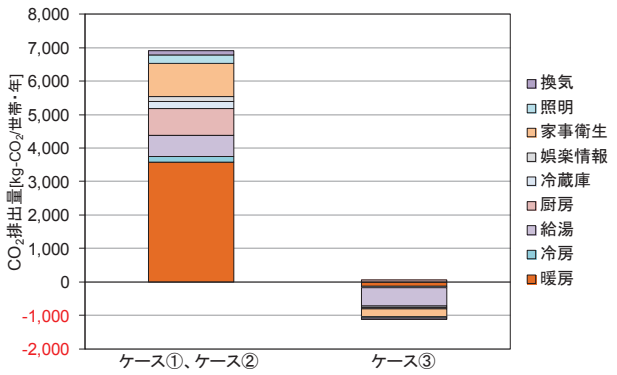
地場産木材利用により賄われた PV パネルコスト[円]=
地場産木材利用により賄われる PV 容量[kW] × PV パネル単価[円/kW]
(SI5)

SI7　LCCO_2 の運用段階における用途別エネルギー消費量、CO_2 排出量内訳

SI 図 3、SI 図 4 に LCCO_2 の運用段階における用途別エネルギー消費量、CO_2 排出量の内訳を示す。SI 図 3、SI 図 4 より、暖房によるエネルギー消費量、CO_2 排出量が大きいことが示された。これは建設想定値が寒冷地である岩手としていることに起因すると考えられる。またケース③では厨房におけるエネルギー消費量、CO_2 排出量がプラスであったが、全体を通してマイナスに転じることが示された。以上より、建設段階における再エネ機器導入の省エネ、省 CO_2 効果が大きいことが示された。



SI 図 3　運用段階における用途別エネルギー消費量



SI 図 4　運用段階における用途別 CO_2 排出量

Supporting Information の参考文献

SI1) 一般社団法人 フォレストック協会 : 釜石地方森林組合の管理森林, 一般社団法人 フォレストック HP, http://www.forestock.or.jp/forests/kamaishi/, (参照 : 2012-12-24)

SI2) 南部佑輔(慶應義塾大学), 伊香賀俊治 : 現地調査と産業連関分析に基づく建材の LCA データベース, 修士論文, PP.197, (2012)

SI3) 宮城県林政課, "宮城県民有林材積表および林分収穫表", 一般社団法人日本能率協会地球温暖化対策センターHP, http://www.jma.or.jp/jmacc/data/222_r001_pj4.pdf, (参照日 : 2012-12-24)

SI4) **HONDA.** ホンダ太陽光発電システム. (オンライン) <http://www.honda.co.jp/soltec/product/module/index.html> , (参照: 2012-2-4)

SI5) 伊香賀俊治、他 : 住宅のエネルギー消費量と CO_2 排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, (2005),

SI6) 資源エネルルギー庁石炭新エネルギー部. コール・ノート(1998 年版), (1998)

Supporting Information の注釈

SI 注 1)　PV パネルの重量あたりの環境負荷原単位に PV パネル kW あたりの重量(15.7[SI6] kg/kW)を乗じて算定している。

設計段階環境評価における付属施設の設置に伴う二酸化炭素排出量の扱いの検討

Study on Life Cycle CO_2 Emissions for Construction of Accessory Structures in Designing Step LCA

○菅林恵太*[1)]、角湯克典[1)]、鶴巻峰夫[2)]
Keita Sugabayashi, Katsunori Kadoyu, Mineo Tsurumaki
1) 国土交通省国土技術政策総合研究所
2) 和歌山工業高等専門学校
* do-kan@nilim.go.jp

1. はじめに

現在、我が国では産業の各分野において様々な低炭素化の取り組みがなされている。建設分野では、建設機械等による二酸化炭素の直接排出量は限定的であるものの多量の鉄・コンクリート等の資材を使用することから、原材料の採取・資材の製造等を含めたライフサイクルを通した低炭素化対策が効果的かつ効率的である。そのためにはライフサイクルを通した二酸化炭素排出量（以下、「$LCCO_2$」という）を計算・評価する手法が必要であり、国総研では主に社会資本整備に伴う $LCCO_2$ を計算・評価する「社会資本LCA」[1)]を開発した。

社会資本整備は、図-1 に示すように構想・設計・施工の流れに沿って検討がなされる。各段階で $LCCO_2$ を計算し検討の一部に活用することによって、社会資本整備の低炭素化が期待できる。本稿における「設計段階」とは概略設計・予備設計の段階を指すが、概略設計・予備設計では一部の付属施設が検討の対象外となっている。そのため、これまでの設計段階の $LCCO_2$ 計算ではこれら付属施設を計算に含めていなかった。

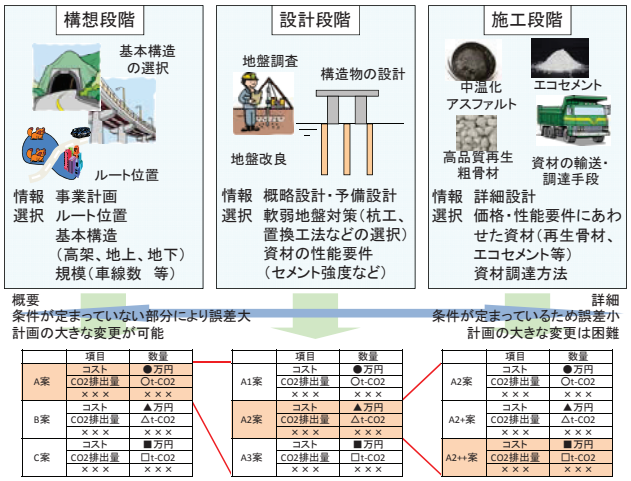


図-1　社会資本整備の検討フローと $LCCO_2$ の活用イメージ

本研究では、設計段階の $LCCO_2$ 計算の妥当性の確認を目的として、道路事業を例に構想段階で検討対象外の付属施設を整理し、それらの $LCCO_2$ が工事全体にどの程度寄与するか分析した。また、今後の実際の活用に当たっての付属施設の $LCCO_2$ の取り扱いについても考察を行った。

2. 道路事業の設計段階における検討対象外の付属施設

概略設計・予備設計・詳細設計における検討対象施設は、国交省地方整備局の設計業務共通仕様書等で定義されている。概略設計・予備設計では検討対象外であるが実際には設置される付属施設として、次が挙げられる。

・遮音壁、照明、標識、植樹、交通安全施設 等

このうち、単位道路長さ当たりに設置される箇所・範囲が大きいこと、資材使用量が多いこと等の観点から「遮音壁」「照明」を取り出し、次章でそれら付属施設を対象に $LCCO_2$ 計算を行った。

3. 付属施設の設置に伴う $LCCO_2$ の計算例

3.1 「遮音壁」の設置に伴う $LCCO_2$

既設の一般国道の片側約 100m に金属製遮音壁を設置する工事を対象に $LCCO_2$ の計算を行った。計算対象とするシステム境界は付属施設の設置完了までであり、原単位は社会資本LCA用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表[2)]を用いた。工事の概要を表-1 に示す。

表-1　工事概要（遮音壁の設置）

施工対象	一般国道片側の遮音壁の設置
施工内容	遮音壁(3.0m)：30m　　遮音壁(すりつけ)：8m 遮音壁(4.0m)：64m
代表工種	工場製作工、土工、付属施設工、構造物撤去工、雑工

計算結果は図-2 のとおりであり、工事全体の $LCCO_2$ は約 59t-CO_2 となった。資材 93%、運搬 2%、機械稼働 4%、機械減耗 1%、廃棄物処理 1%、仮設材 0%であり、遮音壁の支柱や遮音板等の資材の $LCCO_2$ が大部分を占めていた。

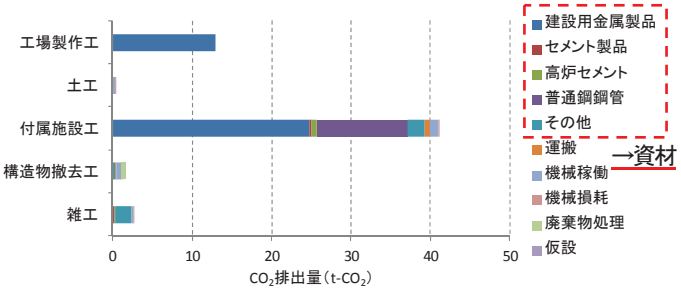


図-2　$LCCO_2$ の計算結果（遮音壁の設置）

3.2 「照明」の設置に伴う $LCCO_2$

既設の一般国道に 104 基の照明灯（うち 3 基は移設）を設置する工事を対象に $LCCO_2$ の計算を行った。工事の概要を表-2 に示す。

表-2 工事概要（照明の設置）

施工対象	一般国道沿道の照明施設の設置・移設
施工内容	新規照明灯：101 基　照明灯(移設)：3 基 ブリンカーライト：3 基　野外分電盤：5 面 新規引込柱：5 本　引込柱(移設)：1 本
代表工種	道路照明施設設置工、視線誘導灯設置工、分電盤設置工、配管・配線工、照明施設撤去工 等

計算結果は図-3 のとおりであり、工事全体の $LCCO_2$ は約 386t-CO_2 となった。照明機器等の資材が全体の排出量の 99%を占めていた。

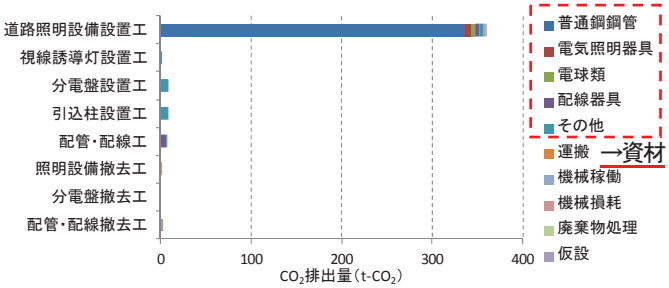


図-3 $LCCO_2$ の計算結果（照明の設置）

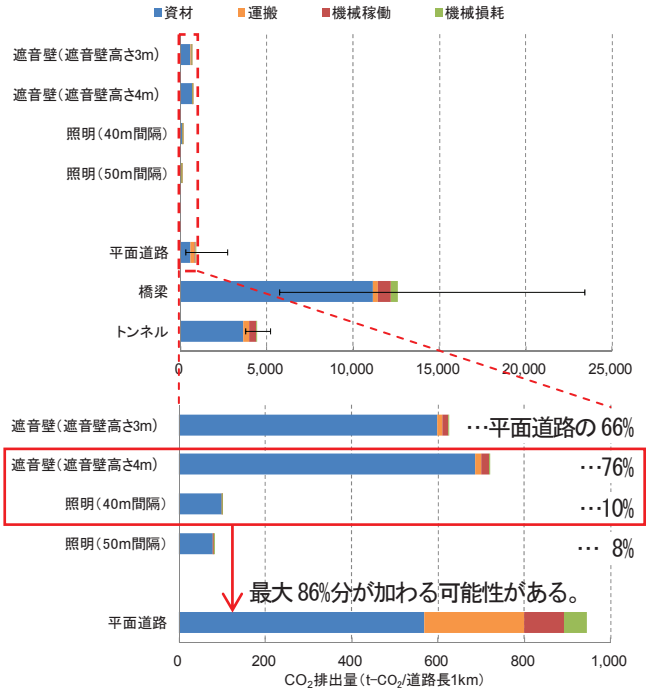


図-4 道路工事と遮音壁・照明の $LCCO_2$ の比較

今回の比較では遮音壁と照明を考慮することによって平面道路工事全体の $LCCO_2$ が最大約 1.9 倍となることを示唆しており、付属施設の $LCCO_2$ が道路工事全体の $LCCO_2$ に大きく寄与する可能性のあることが明らかとなった。

4. 道路工事全体と付属施設の $LCCO_2$ の比較

遮音壁、照明の $LCCO_2$ が道路工事全体の $LCCO_2$ にどの程度寄与する分析するため、3.の計算に対して以下の操作を行い道路 1km 分の設置に伴う $LCCO_2$ を試算した。

遮音壁

- 新設道路の場合には含まれない「構造物撤去工」を計算対象から除外。
- 遮音壁本体工以外の作業は遮音壁高さに寄らないと仮定して道路 1km で割戻し。遮音壁本体工は遮音壁高さ 3m、4m に分けて、それぞれ 1km 延長した場合で計算。

照明

- 照明の標準的な配置として、40m 毎若しくは 50m 毎に 1 基、道路片側 1km に設置した場合で計算。

試算の結果、遮音壁は道路 1km 当たり 627～722 t-CO_2、照明は道路 1km 当たり 80～99 t-CO_2 となった。なお、この値は特定の工事条件によるものであり、一般的な遮音壁・照明の $LCCO_2$ を表すものではない。

岸田ら（2012）[1)]が行った道路工事全体（付属施設を含まない）の $LCCO_2$ 計算結果と付属施設の $LCCO_2$ 試算結果の比較を図-4 に示す。道路の種類の中では、平面道路（橋梁・トンネル以外の道路）の $LCCO_2$ が最も少ない。平面道路と付属施設を比較すると、遮音壁で平面道路の $LCCO_2$ の 66～76%、照明で 8～10%となった。

5. 活用における付属施設の $LCCO_2$ の取り扱いの考察

設計段階における $LCCO_2$ の主な活用法として、複数設計案の比較選定項目に用いることが考えられる。複数案で付属施設の諸条件が同じであれば評価結果は変わらないが、付属施設の諸条件が変わる場合には評価結果も変わる可能性があることに十分留意することが必要となる。

設計段階の $LCCO_2$ 計算結果の妥当性を向上させるためには、これら付属施設の影響を計算の中でどのように見込むかが課題であり、今後以下の検討が必要と考える。

i. $LCCO_2$ の寄与が大きい付属施設の網羅的な抽出
ii. 設計段階において付属施設の計画がどの程度確定しているかの整理
iii. 既往実績に基づく条件別の付属施設の配備状況の整理
iv. ii.iii.を踏まえた対応の検討（付属施設の原単位作成 等）

参考文献

1) 岸田弘之ら：“ 国総研プロジェクト研究報告第 36 号 社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発”， 国土技術政策総合研究所，茨城，(2012)，p.436
2) 国総研道路環境研究室：“ライフサイクルアセスメント”，社会資本のライフサイクルアセスメント，（オンライン），入手先<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/lca/database.htm>，（参照 2012-10-19）

空調に係るエネルギー消費削減において 技術開発、政策、消費者による利用方法の果たす役割

Understanding roles of technology, policy and consumer behaviors in reducing energy consumption by air conditioners in Taiwan

劉怡廷* [1)]、福島康裕 [1)]

Yi-Ting LIU[*1)], and Yasuhiro FUKUSHIMA[1)]

1) 國立成功大学

*sion6549@gmail.com

1. Introduction

In tropical regions such as Taiwan, large amount of energy is consumed for air conditioning, in fact 41% of the CO_2 emission induced by the commercial and domestic sectors are the ones associated with the energy consumption of air conditioners (AC)[1)]. This emission can be reduced, by 1) improvement in efficiency of heat pump technology, 2) managing user behavior of AC, and 3) replacement of old machines with the newer ones.

This study aims to develop a model that allows investigating contributions of the three items mentioned above in the future greenhouse gas (GHG) emissions. In the model, first the number of future AC in use is projected. From the past data of AC sales, lifetime, and number of discarded AC, population balance model[2)] is constructed for the period -2050. Different parameters (namely performance improvements, management of user pattern, and performance decline over time) were tested with the model to design scenarios. The influences of respective parameters were discussed in the context of Taiwan's national target - to reduce nationwide CO_2 emission and to make the total CO_2 emission return to its 2005 level in 2020, and further return to 2000 level in 2025. For long term, the total CO_2 emission reduction should be brought back to 50% of 2000 level in 2050[3)]. Because the target for home appliances is not specified in abovementioned target, a reference reduction target at the same level with the government's target is set.

2. Methodology

2.1 Calculation of GHG emission of AC

The GHG emission associated with use of AC is calculated based on the following equations[4)]：

$$EC=CC/COP\times T \quad (1)$$

$$E_{CO2}=EC\times EF_{CO2} \quad (2)$$

here EC is the energy consumption while using AC in one year (kWh/year); CC is the cooling capacity of AC which is the measure of a cooling system's ability to remove heat per hour (kW); COP is the energy utilization efficiency of AC; T is the utilization time of AC (hr/year), EF_{CO2} is the CO_2 emission factor, and E_{CO2} is the CO_2 emission. In this study, only CO_2 is considered as the GHG associated with use of one AC in one year.

As shown in Fig. 1, logistics function and Weibull distribution are used to simulate the life time distribution of AC and estimate the total number of AC until to 2050, and then to calculate GHG emission.

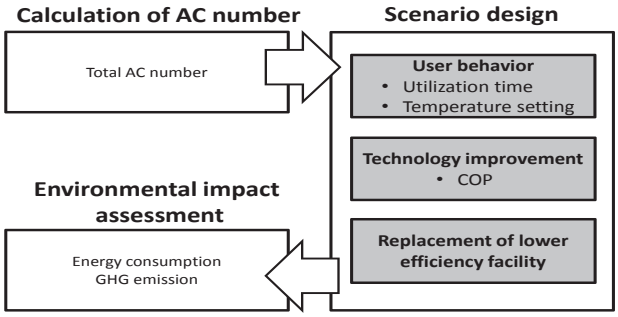


Figure 1 Framework of the study

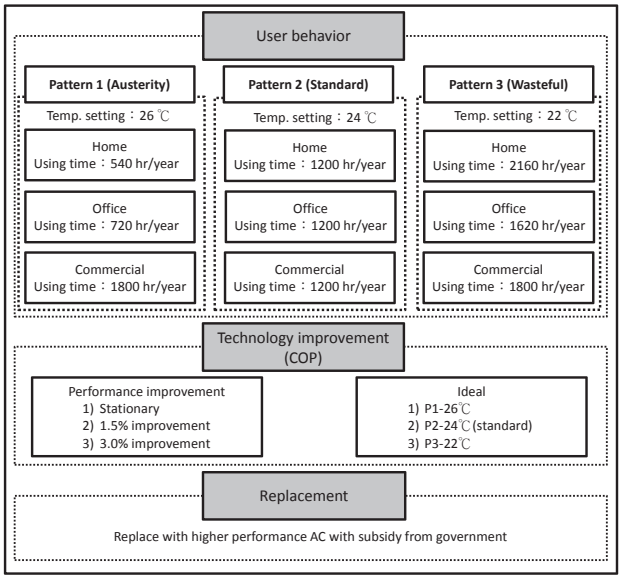


Figure 2 Scenario design of the study

Table 1 AC user behavior (30 day/month, 6 month/year) used in this study

Pattern 1 (Austerity), Temperature =26℃			
	Time period	hr/day	hr/year
Home	21:00-00:00	3	540
Office	10:00-14:00	4	720
Commercial	11:00-21:00	10	1,800
Pattern 2 (Standard), Temperature = 24℃			
Home	-	-	1,200
Office	-	-	
Commercial	-	-	
Pattern 3 (Wasteful), Temperature =22℃			
Home	18:00-06:00	12	2,160
Office	08:00-17:00	9	1,620
Commercial	08:00-22:00	12	2,160

2.2 Scenario design

The scenario design of this study is shown as Fig. 2.

1) User behavior

The scenarios of user behavior are assumed as three kinds of patterns based on different using time and temperature setting, which are austerity, standard and wasteful, for different locations - at home, office and commercial establishments (Table 1). For pattern 2, a total of 1,200 hours/year (6.7 hr/day) [4] is assumed. The temperature settings of AC for austerity, standard and wasteful are assumed 26□, 24□ and 22□, respectively.

2) Technology improvement

Coefficient of performance (COP) is an indicator to calculate the AC's energy consumption. Through improving performance of AC, the energy consumption and CO_2 emission can be reduced. Three rates of improvement were assumed as standard (2010 level), 1.5% and 3.0% after 2010.

The difference between indoor and outdoor temperature can calculate ideal COP. The equation is shown as eq. 3. The assumption of indoor temperature setting is based on each user behavior and the outdoor temperature is assumed at 32□.

$$COP_{ideal} = T_{in}/(T_{out}-T_{in}) \qquad (3)$$

3) Replacement of old machines

If the government provides subsidy to replace lower efficiency machines with the higher ones, the potential reduction of CO_2 emission will be also calculated.

3. Preliminary result and discussion

At this point, only Scenarios 1 and 2 are investigated. Furthermore, only the potential of CO_2 emission by energy consumption of AC for different user behavior were calculated under three kinds of different pattern (austerity, standard and wasteful), different utilization places (home, office and commercial) has not been considered yet. The usage time is assumed 720 hour/year (4hr/day) and 1800 hour/year (10hr/day) for austerity and wasteful, respectively.

Fig. 3 shows the preliminary result of potential CO_2 emission associated with use of AC. Fig. 3A is the scenario in different user behavior by changing usage time. When there is no performance improvement, only changing the utilization time, the CO_2 emission was 4.78×10^{10} kg CO_2 equivalent in 2020, or 1.9% CO_2 emission can be reduced compared with in 2005 for austerity pattern. However, when people are using AC in a wasteful way, the CO_2 emission was 145.3% higher than in 2005.

Fig. 3B shows the potential CO_2 emission when technology (i.e., COP) is improved. When the performance of AC is the same as current level, the CO_2 emission was 63.5% higher than 2005 in 2020. Moreover, when performance is improved at rates of 1.5% and 3.0%, CO_2 emission in 2020 was 60.8% and 58.7% higher than in 2005, respectively.

Based on the temperature setting for each pattern and assumed T_{out}, the ideal COP can also be calculated using eq. 3. Therefore, the energy consumption and CO_2 emission of AC can be calculated as well. From Fig. 3C, the CO_2 emission in 2020 was 21.8% while setting AC's temperature at 26□ (the way of austerity) and for setting at 22□ (the way of wasteful) was 105.8% compare with in 2005, respectively.

4. Conclusion

From the preliminary result, it shows that usage time of AC contribute the biggest in GHG emission reduction. Decreasing the usage time of AC could reduce the GHG emission even lower than the target of government. Moreover, setting AC temperature in an austere way can mitigate the GHG emission as well. However, for the technology improvement, GHG emission reductions are not significant.

The GHG emission reduction potential would be further assessed by using AC in different places to make the scenario more realistic.

Reference

1) 空調系統管理與節能手冊, company report, Taiwan green productivity foundation, 2008
2) Yokota et al., Int.J.LCA, Vol.8(3), pp.129-136, 2003
3) Sustainable energy policy program of Taiwan
4) Energy laws of Taiwan for energy consumption of air conditioner

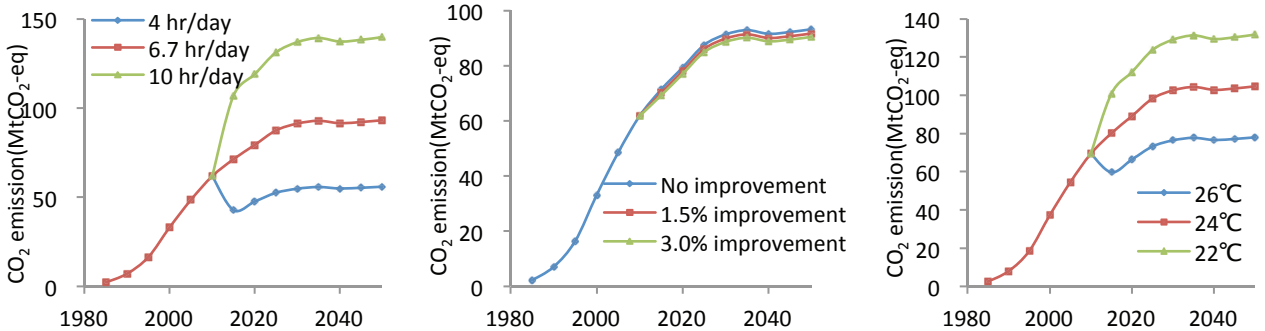


Figure 3 The total CO_2 emission for different scenario: Changing (A) the usage time; (B) AC's performance; (C) temperature setting

ゼロエネルギーハウスの実証実験

－神奈川県茅ケ崎市のケーススタディー

Case study of zeroenergyhouse design in Chigasaki,Kanagawa,Japan

○九里 徳泰*[1)]
Noriyasu Kunori
1) 富山県立大学工学部環境工学科
*kunori@pu-topyama.ac.jp

1. はじめに

日本において低炭素社会を達成するためには、産業、運輸、家庭の全ての部門での低炭素化を実現しなくてはならないが、日本の家庭部門においては1990年比で2009年では26.9%も上昇している[1)]。低炭素社会実現における家庭部門の低炭素化が求められる背景である。日本においては2000年から本格的に住宅建設大手メーカーが太陽光発電システムを取り入れた光熱費ゼロ住宅の販売を始めたが、家庭部門での最大の CO_2 の発生源である自動車利用を含めたエネルギー利用削減の対応ができておらず、また、家電製品の大型化、高機能化により家庭から排出される CO_2 は減少していない。

ゼロエネルギー住宅の学術研究は、日本では住宅建設メーカーの研究所から多くの先行研究がなされている。太田勇：ゼロ・エネルギー住宅,冷凍,75(869),(2000),pp. 200-204 が本研究に関する初出の論文の1つであるが、その後10数年の間に多くの論文が出されてきた。2001年の太田らのゼロエネルギー住宅の実態調査では、家屋の気密性向上、光と熱を選択透過するガラス窓、太陽光発電を用いたゼロエネルギー住宅の実証データが提示されている[2)]。最近の研究では、宇田川光弘：環境持続型太陽エネルギー利用住宅の研究,環境持続建築受託研究,(2010)は包括的にまとまった報告書であり、ゼロエネルギー住宅の「断熱性能、気密性能の向上」、「高効率な住宅設備（省エネルギー）」、「創エネ設備」及びこれらの経済性に言及している[3)]。また、ゼロエネルギー住宅は英国では Zero Energy Houses とされ一般的に使われている。Liping Wang et al:Case study of zeroenergyhouse design in UK, Energy and Buildings, 41(11) ,(2009),pp.1215-1222 では、再生可能な電気発電、ソーラー給湯システム、省エネ、窓の大きさによる断熱などの最適設計戦略が提案されている。

本研究では、ゼロエネルギー住宅での1年間のエネルギー収支、コスト収支を調査し、ゼロエネルギー住宅の実現可能性と、家庭部門での低炭素化に注目し、電気自動車を導入した、新たなるライフサイクル・スマートライフを実現するためのスマートハウス＋スマートモビリティにより、日本におけるライフスタイル・カーボンフリーを検討するものである。また、家庭部門で世帯での3番目となる CO_2 排出源の暖房に着目し[4)]、森林の間伐から作られる木質ペレットを用いたペレットストーブを導入し、バイオマス利活用及びカーボンフリーを検討した。

2. 住宅の概要

木造2階建住宅の断熱仕様を表1、各設備仕様を表2に示す。屋根にシャープ製ND-160AB×28（4.480kW）太陽光発電装置、集熱ユニット 2.06m^2×2 を設置し、太陽熱利用自然冷媒ヒートポンプ給湯機 HSE-3757GPXHTE2 を1階に設置。冷暖房は夏のエアコンはなく各部屋のシーリングファンを用い、オール電化住宅であるが冬はペレットストーブを用いる。床面積は 103m^2 で大人2人子供2人の家族構成。建物は神奈川県茅ケ崎市に立地する。

表 1　断熱仕様

部位	断熱仕様
外壁	モルタル16mm＋A種硬質ウレタンフォーム保温板1種/D(吹付)85mm
床	A種硬質ウレタンフォーム保温板1種/D(吹付)80mm
天井	A種硬質ウレタンフォーム保温板1種/D(吹付)160mm
窓	アルミ樹脂複合サッシペアガラス(12mm)

表 2　設備仕様

用途	設備仕様
空調	夏:シーリングファン、冬:ペレットストーブ
給湯	太陽熱利用貯湯式ヒートポンプ給湯機
厨房	IHクッキングヒーター
照明	LED

3. 調査結果

調査の対象期間は、2011年10月～2012年9月の1年間で、電気自動車の導入は2012年2月～9月の8ヶ月間である。図1に月別エネルギー収支(式1)、図2に月別コスト収支(式 2)を示す。ペレット燃料の電力換算は CEN/TC 335 biomass standards の発熱量≧16.9MJ/kg に準拠。

$$E_{all} = (PV_{gen} + E_{co}) - (E_{demand} + E_{co})$$
$$E_{demand} \subset EV_{demand} \qquad \text{(式1)}$$

E_{all}：エネルギー収支（kWh）
PV_{gen}：太陽光発電量（kWh）
E_{co}：太陽光温水熱利用（kWh）
E_{demand}：電力需要量（kWh）
EV_{demand}：電気自動車電力需要量（kWh）

C_{all}= $C\text{-}PV_{gen}$－（$C\text{-}E_{pur}$＋$C\text{-}B_{pur}$）　　（式 2）

C_{all}：コスト収支（円）
$C\text{-}PV_{gen}$：太陽光発電売電量（円）
$C\text{-}E_{pur}$：系統電力からの買電（円）
$C\text{-}B_{pur}$：ペレット購入／バイオマス利用（円）

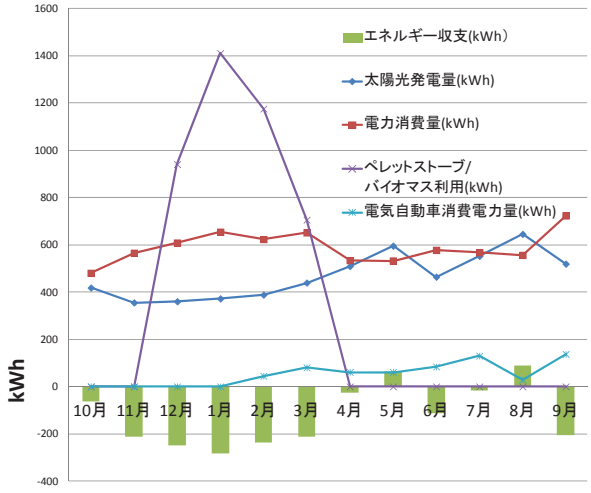


図 1 月別エネルギー収支

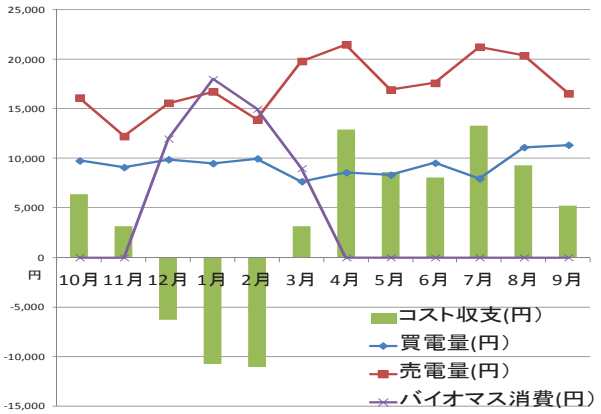


図 2　月別コスト収支

エネルギー収支（バイオマス利用除く）がゼロに近いまたは上回った月は4、5、7、8 月で、11 月～3 月までの冬場は発電量の低さ給湯の負荷から収支は悪く、6 月の梅雨期も悪い。年間のエネルギー量を表 3 に示す。5 月～11 月において太陽熱利用自然冷媒の効果は大きくオール電化住宅における給湯用のエネルギー削減に大きくつながる。電力使用量 7,070kWh は電気自動車を含むことを勘案しても一般的な家庭並み消費だ。年間収支はバイオマス利用除く 1,454kWh のエネルギーマイナス収支である。

表 3　年間エネルギー量（kWh）

太陽光発電量	5,616
太陽熱集熱量	1,000
電力消費量	7,070
ペレットストーブ/バイオマス利用	4,230

月別コスト収支は、ペレットストーブを使う 12 月～2 月にマイナスであるが、それ以外の月はプラスである。木質ペレットは 1kg＝60 円(送料込)。年間のコスト収支は、売電 255,420 円（1kWh=48 円）、買電 127,596 円、ペレット 54,000 円(900kg)で、63,924 円/年のプラスとなった。

年間の家庭からの年間の総排出 CO_2 量は自動車利用を含み 674kg-CO_2 であり、2010 年度の世帯からの CO_2 排出量 4758kg-CO_2[4]を大きく下回っている。電気自動車は 8 カ月で 628kWh を消費し 4919km を走行、月平均 615km 走行している。木質ペレット燃焼はカーボンニュートラルとして加算していない。CO_2 換算の係数は、環境省電気事業者別の CO_2 排出係数（2011 年度実績、東京電力実排出係数 0.000464t-CO_2/kWh）に準拠した。

4.　まとめと展望

年間のエネルギー収支をゼロにすることを目指したゼロエネルギー住宅の実証実験を行った。4.480kW の太陽光発電装置と太陽熱集熱ユニットで 6616kWh を得た。電気自動車を用いた生活でもエネルギー収支がプラスになる月があることが判明し、年 79%のエネルギー自給率であった。ゼロエネルギー収支、カーボンフリーにするには、BAU を仮定した場合①5.7kW 以上の太陽光発電装置を設置、②木質バイオマスを利用した給湯システムの導入が考えられる。②を採用した場合、年間コスト収支が赤字になるが現状の発電容量でゼロエネルギー収支、カーボンフリーになる可能性がある。コストを黒字にするには、①の容量を 8kWh に上げバイオマス利用を止め、冷暖房すべて電化することが考えられる。これは FIT 制度による恩恵が大きく、社会制度の変化でシステム自体の変更も必要となる。長期の環境持続可能性を考えた場合、ゼロエネルギー収支達成を中心に検討すべきである。今後の研究として電気自動車のバッテリーを活用した EV パワーシステムの導入、HEMS（Home Energy Management System）のモニタリングと生活における効用を発展研究としたい。本研究では、建築や機器のライフサイクルインベントリ、導入コストと金利、通勤、通学、レジャーや水道や廃棄物等の家庭生活からの負荷は勘案していない。今後、これらも取り入れ日本の家庭生活における低炭素ライフスタイルモデルを提案したい。

参考文献

1)環境省：平成 23 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書,(オンライン),入手先< http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/html/hj11020101.html>,(参照 2012-10-31)
2)太田治,井田浩文,坂井 則和:日本建築学会学術講演梗概集,2001,(2001),pp.253-254
3)宇田川光弘：環境持続型太陽エネルギー利用住宅の研究,(オンライン),入手先<http://www.sead.jp/pdf/archive/046.pdf>,(参照 2012-10-31)
4) 全国地球温暖化防止活動推進センター：家庭からの二酸化炭素排出量（2010 年度）,(オンライン),入手先<http://www.jccca.org/chart/chart04_06.html>,(参照 2012-10-31)

PV付帯集合住宅におけるEV・FCVカーシェアリング導入の評価とその災害対応能力に関する研究

A feasibility study on car-sharing scheme in the apartment house with PV system

○荒木勇人*[1)]、小井土賢二[1)]　堂脇清志[1)]
Yuto Araki, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
*j7408009@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化対策や交通渋滞緩和などの理由から都市部を中心にカーシェアリング(CS)の利用が増加している[1)]。近年では新築集合住宅に設置し住民向けにCSサービスを提供する物件も見られるようになってきた。こうした事例は集合住宅自体の付加価値向上だけでなく、電気自動車(EV)を導入することで、停電時に非常用電源として活用することも想定されている。またCSと合わせて、非常用電源としてや環境対応として、太陽光発電(PV)を導入している物件も多くなっている[2)]。再生可能エネルギー固定価格買取制度が始まったことにより、PVの余剰電力を電力会社に売電し運営管理会社にとって新たな収益に繋げる動きもみられる。しかし、実際にこれらの設備を導入しても住民の利便性や環境負荷軽減、さらに、運用上の収支がどの程度のものなのか、災害が起きた際にどの程度の効果があるのかがわかっていない。

そこで本研究では、CSの利用実態やPV発電量、集合住宅規模を考慮したシミュレーションを行うことで平常時の運用効果を明らかにし、また、災害による停電が発生した場合、これらの設備が非常用電源としてどの程度の効果を発揮するかについて評価を行う。

2. システム概要

2.1 本研究での電力の流れ

まず、本研究では集合住宅にPVを導入し、発電で得られた電力を集合住宅共用部で使用することを仮定する。その際、余剰電力を再生可能エネルギー固定価格買取制度に基づいて電力会社に売電する。またCSでは、利用実態を考慮し、EVを導入した際の充電を集合住宅から賄うことにする。

次に、停電を想定した災害時(電力会社からの送電停止時)には、PVから集合住宅の集会室に設けた災害対策室と共用部照明に電力を供給する。なお夜間はCS車両から電力供給を行うものと想定している。

また、集合住宅共用部消費電力、CS車両使用電力及びPV発電量については、以下の通りに設定した。

2.2 集合住宅供用部消費電力

本研究での集合住宅の対象は、都市近郊に存在するファミリータイプの中高層新築分譲マンションを想定した。

年間の集合住宅消費電力は、青らの住戸数と建築延床面積を用いる式より算出した[3)]。一般に、集合住宅共用部電力は、電灯系の従量電灯(100V)と動力系の低圧電力(200V)に分けられる。本研究においても、従量電灯と低圧電力を分けて考え、その割合は合計共用部消費電力の2：1になるように配分した[4)]。なお、共用部消費電力は年間を通して常に一定である[5)]。また、電気料金は2012年12月時点での東京電力の電気使用料金を基に算出した。

2.3 カーシェアリング

本研究でのCS利用者と会員構成は、交通エコロジー・モビリティ財団を参考に設定した[6)]。利用者は、住民からの公募会員のみ(クローズ型)を想定し、車両は集合住宅敷地内の専用駐車場を設け、貸し借りを同一場所とするラウンドトリップ型を採用した。会員は全世帯(1世帯最大1名)の15%とし、会員のうち1日の平均利用者数は平日4.5%、土日15%とした。また、CS会員構成は、平均年齢38歳、世帯人数3.4人、車利用については居住後にマイカーを手放す人が約38%、保持する人(セカンドカー利用)が約12%、居住前からマイカー非所持の人が50%と設定した[6)]。さらに、利用者は、CSを24時間利用できるものとし、1日の時間帯別需要は中尾を参考に設定した[7)]。なお、需要変動についてはポアソン乱数により考慮することとした。また1回当たりの利用時間と利用距離は交通エコモ財団報告書の結果を基に推測した[6)]。なお、今回の利用時間は、最低15分最大360分、利用距離は最低1km最高60kmとし、利用距離は利用時間によって決まるものとする。使用料金は15分毎に200円、1km走行毎に15円とした。

次に、CSに使用する車両はEVが日産リーフ、FCVがトヨタのFCHV-advとし、EVの充電は100V電源の普通充電のみを用い、電池残量がある一定量下回った時点で行う。一方FCVの水素充填は走行距離が150㎞に達した時点で行うこととした。なおCS導入費用は管理会社が負担し、月々の利用者収入によってコスト回収を目指すことを想定した。

また、本研究では利用者の利用実態も考慮しているため、満足度評価を行っている。SIに示すように、同時間帯に複数の需要が発生したと仮定した時、車両に空きが

あれば、利用したい時間のうち、少しでも利用できる場合利用するとしている。利用者満足度は、全利用需要時間のうち利用された時間で算出している。(利用者満足度評価の詳細についてSIに示す。)

2.4 太陽光発電

次に、本研究でのPVデータは、千葉県松戸市立高木第二小学校に設置されている発電装置の実測データを2011年1月1日から1年分使用した。パネル面積は96㎡、システム容量は10kW、傾斜角10°及び方位角26°の実測発電量値を用いた。シミュレーションを行う際は、各集合住宅で同様の条件とし、発電量はパネル面積に比例するものとした。なお、本研究でのパネル面積は建築面積の50%と想定した。また、PV設置にかかる費用は住宅購入代金に含むとし、管理会社負担はないものとした。

2.5 災害時

本研究での災害は、様々な要因で発生した停電を想定している。その際建物や設備に被害はなく、電力会社からの電力供給のみができなくなったものとする。災害時対応では、最悪の状況に対しての効果を見る必要があると考え、本研究ではPV発電量が最も少なくなる11月かつ発電が行われなくなる17時に停電が発生したケースを考えることとした。

3. シミュレーション結果

利用者満足度、運営会社の収益面(CSとPV売電)及び災害時の設備効果についてシミュレーションの結果を図2、図3及び図4にそれぞれ示す。

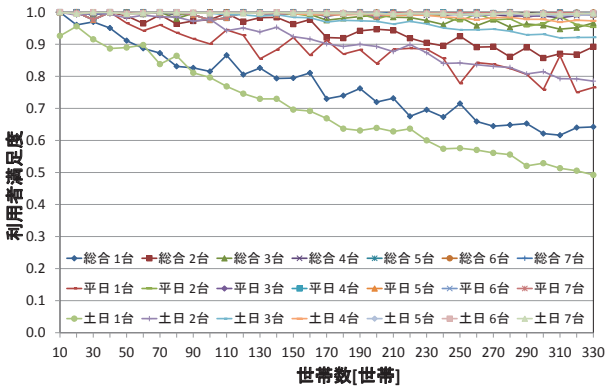


図1 CS利用者満足度(EV)

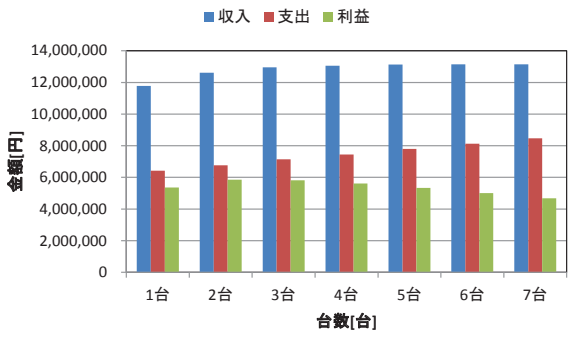


図2 CS台数による年間収益変化(EV・王子)

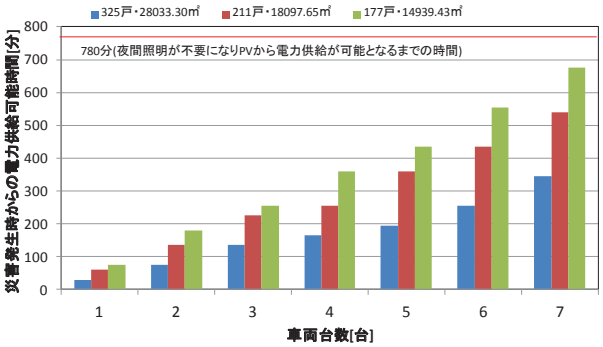


図3 車両台数による災害時からの電力供給時間

まず、CS利用者の満足度をEV・FCVそれぞれについて、平日、土日、平日土日合計の3つに分けて、10世帯から330世帯まで10世帯ごとに行った。利用者満足度の基準に関しては、明確な基準は存在しないが、仮に、90%を超える場合導入するという基準にすると、320世帯であれば平日では2台、土日では3台、合計では3台導入することになる。多くの台数導入が期待される土日基準のほうが利用者は良い。しかし、収益性では土日に合わせて導入すると、平日遊休が増えることになりコスト回収が遅くなると言えよう。

また、災害対応能力を見てみると EV を導入した場合は、車両導入台数による影響が大きいことが分かる。

4. おわりに

本研究では、CS利用実態、集合住宅共用部消費電力及びPV発電量を考慮したシミュレーションを行った。

PV付帯集合住宅においてCSを導入する際は、車両台数を利用者の需要に合わせて導入することで、収益を確保しつつ、災害時においても一定の対応ができるといえるだろう。つまりCS利用者の利用実態を明確にすることが大事だと言えよう。

参考文献

1) カーシェアリングと環境(エコ),カーシェアリング.biz<http://www.car-sharing.biz/carshare_06.html>,(2012-1-5)
2) 一般社団法人太陽光発電協:JPEA PV OUTLOOK 2030,(2012)改訂
3) 青勇志,永井久也,岩田剛,櫃田直人,山羽基,祝京子:日本建築学会環境系論文集,第76巻 第669号,(2011),pp.1017-1023
4) 青勇志,山羽基,永井久也,祝京子,岩田剛:日本建築学会大会学術講演梗概集,東北,(2009),pp.1275-1276
5) 岩田剛,永井久也,青,勇志,山羽基,祝京子:日本建築学会大会学術講演梗概集,北陸,(2010),pp.1397-1398
6) 交通エコロジー・モビリティ財団:自動車共同利用(カーシェアリング)社会実験報告書,(2002)
7) 中尾謙二: Core Ethics Vol. 7（2011）pp.199-210

Supporting Information (SI)

・CS 利用者満足度算出方法について

本研究での CS 利用者満足度は、独自の考え方をしているため、その詳細を、説明することにする。

要旨では、同時間帯に複数の需要が発生したと仮定した時、車両に空きがあれば、利用したい時間のうち、少しでも利用できる場合利用するとしている。また、利用者満足度は、全利用需要時間のうち利用された時間で算出している。

これについて、例を挙げて説明したい。

まず、10：00 に A、B という 2 人の需要が発生(利用希望者が出現)し、それぞれが 30 分と 60 分利用したいとする。さらに、15 分後の 10：15 に C が 60 分利用したいという状況があるとする。なお、10：00 時点ですべての車両が貸出可能状態である。また、車両返却後 15 分間は車両の貸出を行わない。ここで車両台数を 3 台、2 台、1 台と変えて利用者満足度を算出する。

まず、3 台の場合、合計 150 分の需要をすべて満たすことができるため、満足度は 150 分/150 分(実際利用時間/利用者需要)、すなわち 100%となる。

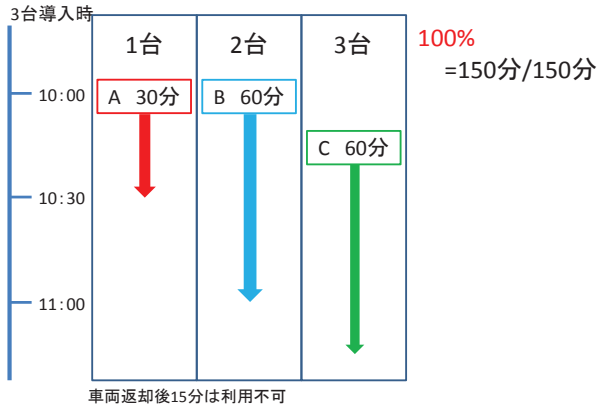


図 S1　利用者満足度の例(3 台導入)

次に、2 台の場合、10:00 に需要発生した A、B は利用できる。一方で、C は 10:15 時点では車両に空きがないため利用できない。しかし、C は 10:15 から 11:15 まで少しでも利用できる時間があれば利用するので、1 台目の車両が貸出可能となる 10:45 から利用することになる。その結果、図 S1 のようになり、満足度は 120 分/150 分、すなわち 80%となる。

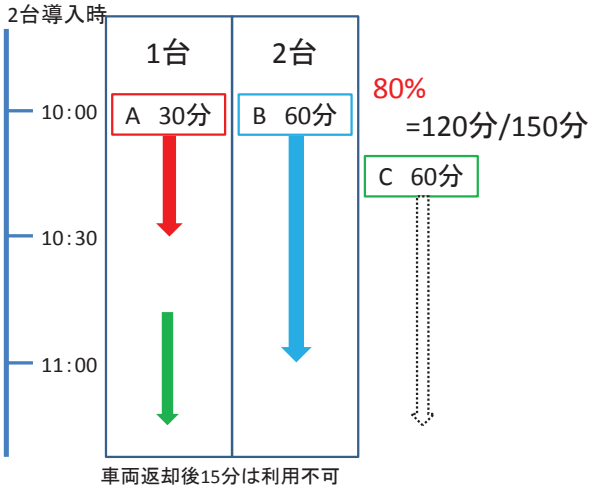


図 S2　利用者満足度の例(2 台導入)

次に、1 台の場合を考える。10:00 時点で A、B が同時に需要発生するため、どちらか一方のみ利用可能となる。本研究では、需要が発生した際、乱数により利用時間を決め、先に利用時間が決まった方が利用するとした。すなわち、ここでは A が利用できるとする。しかし、B は A が車両返却後 15 分間利用できるので、10:45 から利用する。その結果、図 S2 のようになり、満足度は 45 分/150 分、つまり 30%となる。

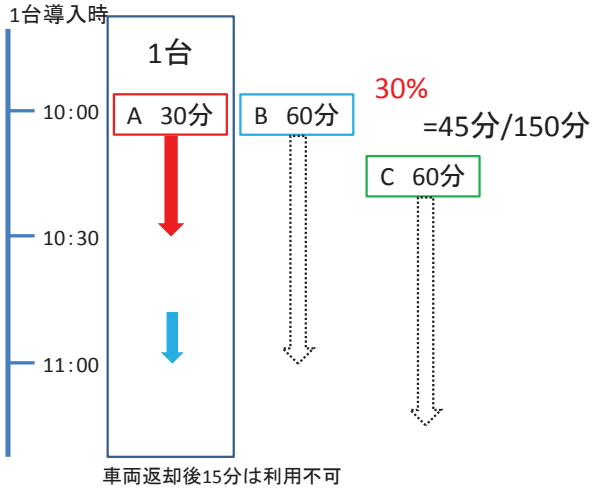


図 S3　利用者満足度の例(1 台導入)

多様化する住宅への要求機能の解析

Analysis of Diversified Functions Required for a House

○菊池康紀*[1)]、森純一郎[1)]、大久保達也[1)]
Yasunori Kikuchi, Junichiro Mori, Tatsuya Okubo
1) 東京大学
*kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1　はじめに

住宅は生活の基盤の一つとして常に分析と改良、技術導入の対象となってきた。同時に、世帯構造の変化や高齢社会の進展に伴い、住宅への要求の種類も多岐に渡ってきている。一方で、例えば創エネルギー技術や蓄エネルギー技術、エネルギーマネジメントシステムの導入により、住宅が持つ機能は大きく変化しうる。住宅の建設や運用中のエネルギー消費などに起因する環境負荷をライフサイクルアセスメント（LCA）によって定量化するとき、機能単位を合わせた比較評価が必要であるが、住宅への要求ならびに設備によって持ちうる機能が多種多様に変化しうる中で、完全に機能単位を合わせた比較を行うことは困難といえる。

本研究では、将来社会における住宅が持つべき役割を考慮した住宅や設備の選択を支援することを目標とし、既往の評価や比較、設計に関する研究を整理しながら、住宅が持つ要求機能を解析し、体系化する。

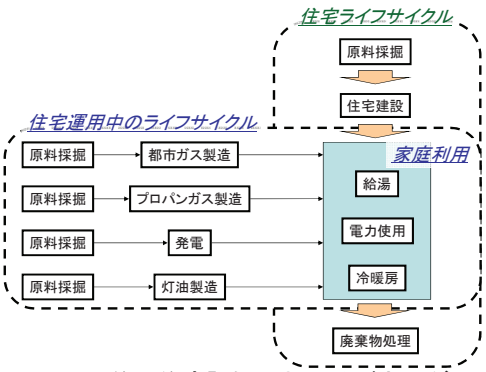


図　1　既往の住宅評価におけるバウンダリ

表　1　住宅建て替え条件とデータ収集方法

	建替え前	建替え後
利用エネルギー	都市ガス 電力 灯油	電力 （オール電化）
給湯器	ガス給湯器	CO_2ヒートポンプ
フォアグラウンドデータ	7年分 各種購入伝票	3年分 電力購入伝票
バックグラウンドデータ	JLCA-LCA database JEMAI LCA Pro	

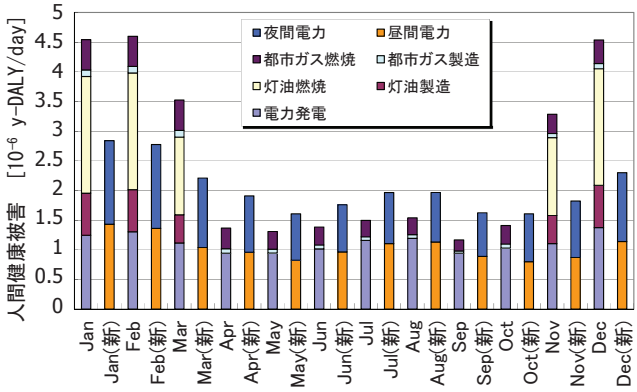


図　2　運用中のライフサイクル健康被害評価結果

2　既往の住宅における環境影響の定量化

図１に既往の住宅評価におけるバウンダリを示す。住宅建設における評価としては木造住宅のインベントリ分析[1)]や木材サプライチェーンの分析[2)]、断熱・気密性能の効果の評価[3)]、給湯や暖房等の機器導入効果の評価[6,7)]などが、運用中の評価としてはライフスタイルの変更による影響の評価[6)]などが行われている。また、既存住宅の改修による省エネや環境負荷への影響についても解析が成されている[11,12)]。

これらの評価は、実際の建設に使用する素材やエネルギー、さらには運用中のエネルギー消費量を調査することで実施可能なものといえる。例として実際に、寒冷地において木造住宅を高気密性住宅に建て替えを行ったときの、運用中の環境影響の違いを評価するケーススタディを実施する。表１に住宅の建て替え条件とデータ収集方法をまとめる。フォアグラウンドデータは全て建て替え前後のエネルギー購入伝票から収集し、バックグラウンドデータは既存の LCA データベース[9,10)]を用いる。評価結果を図２に示す。建て替え前後で冬季は建て替え後の方が低い環境影響となっているのに対し、夏季は逆に建て替え後の方が高い環境影響となっている。これは高気密性住宅において24時間換気システムが稼働していることと、夏季は換気システムにおいて除湿機能が稼働するために全体として電力消費量が増大していることが原因である。

このように、購入伝票という消費者にとって入手しやすいデータソースを用いるだけでも、季節変動も含めた環境影響の評価を実施することができる。

3　住宅における機能を考慮した比較

既往の研究や前章におけるケーススタディでは、評価の機能単位を「居住する」として評価したものであり、図２の評価指標における単位[y-DALY·day^{-1}]は一日の居

住あたりに換算したものになっている。このとき、夏季においては前章の説明の通り除湿等の原因で環境影響が増大しているが、除湿により生活の快適性が向上していることを考慮できていない。そもそも、CO_2 ヒートポンプの導入により電気料金契約が夜間電力単価の低い契約に変化しており、それに伴ってライフスタイルが変化しているが、評価結果には反映されていない。住宅において新たな設備を導入することは居住の質を変化させうる。そのため、異なる設備を導入した住宅の比較評価を実施する場合、機能を完全にそろえることは難しいといえる。

建材メーカーや住宅向けの製品開発を行っている企業の研究者を集め、ワークショップ形式で住宅が持つ要求機能を整理した。図３に整理した住宅の要求機能と他の要素との関係を統一モデリング言語（UML）のクラス図法[11]によってまとめた結果を示す。住宅はエネルギー、環境、セキュリティ、高齢社会といった観点からの要求/制約を特に強く受けて設計されていることが分かった。例えば高齢社会からの要求として、車いすへの配慮や手すりの設置といった補助機能[12]、ならびに介護が必要な作業を支援する機能[13]などの要求が存在する。また、住宅はそれを構成する要素を介して、エネルギーシステムや素材製造システム、地域社会システムなどとも関連があり、一つの住宅の建設による波及効果は大きな規模で広がることが確認できた。

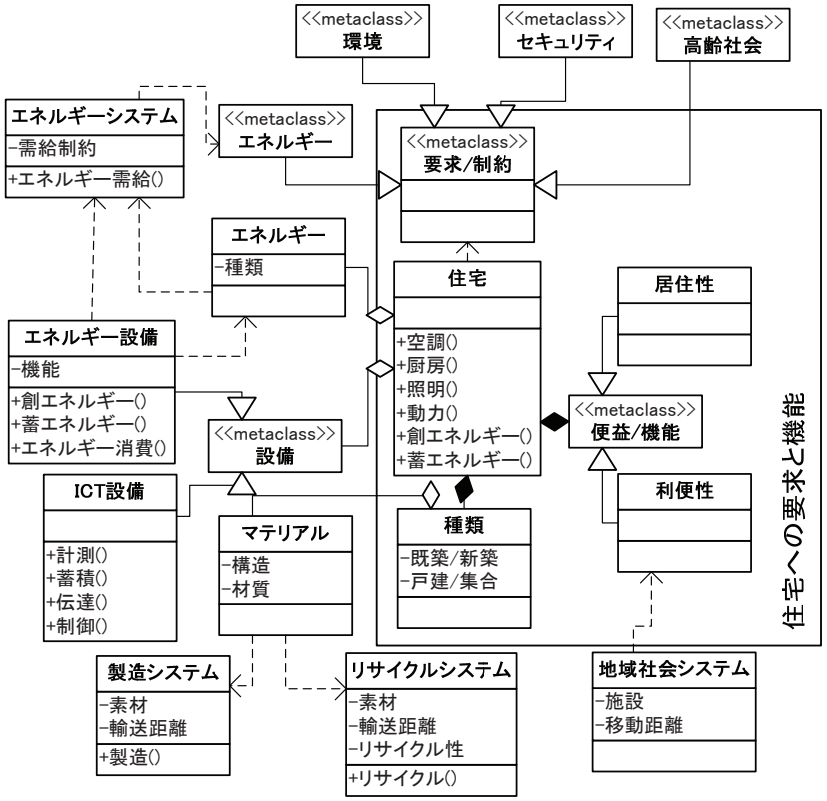


図 ３　住宅を中心としたクラスモデル

4　まとめ

多様化する住宅の機能を整理することは一つの住宅を設計することによる他のシステムへの波及効果を解析する上で必須の作業といえる。既に木材製造システムやエネルギーシステム、地域社会システムの設計において住宅の在り方が外部制約条件として存在しうることが整理できた。従来の機能単位に基づいた LCA だけではなく、今後は住宅の形によって引き起こす波及効果を考慮したコンシークエンシャル LCA を実施し、住宅の在り方を議論可能としていく必要がある。

謝辞

住宅機能の特定と体系化のために、(株) 地球快適化インスティテュート、日本電信電話（株)、富士フイルムホールディングス（株)、三井不動産（株)、(株) LIXIL の研究者・技術者から協力を受けた。本研究の一部で平成24年度 東京大学 AGS 研究会研究助成の補助を受けた。

参考文献

1) 柿田秀人 他: J. Life Cycle Assess. Jpn., 4(1), (2008), pp. 51-58
2) 早川慶朗 他: J. Archit. Plann. AIJ, 73(632), (2008), pp. 2173-2179.
3) 菊田弘輝 他: J. Environ. Eng., AIJ, 76(659), (2011), pp. 17-24
4) 小澤明也 他: J. Environ. Eng., AIJ, 76(668), (2011), pp. 919-926
5) 岩岡重樹 他: J. Environ. Eng., AIJ, 73(625), (2008), pp. 401-408
6) 源城かほり 他: AIJ J. Technol. Des., 14(27), (2008), 209-212
7) 広瀬拓哉、高口 洋人: J. Environ. Eng., AIJ, 76(664), (2011), pp. 581-586
8) 細木翼 他: J. Environ. Eng., AIJ, 73(625), (2008), pp. 409-414
9) JLCA: JLCA-LCA database 2006 1st version, (2006)
10) JEMAI: JEMAI LCA Pro. (2007)
11) Object Management Group :“UML 2.0” , Object Management Group , （オンライン）, 入手先 < http://www.omg.org/spec/UML/2.0/>, （参照 2012-01-12)
12) 長谷川雅浩: AIJ J. Technol. Des., 15(29), (2009), pp. 183-187
13) 横塚美恵子 他: 理学療法科学, 25(6), (2010), 855-859

海外インベントリデータの簡易推計手法の構築

-アジア数か国の推計データベースの構築と妥当性検証-

Development of simplified inventory-data estimation method

Development and validation of estimation database on several countries

○小林謙介*[1)2)]、田原聖隆[2)]、韦保仁[3)]

Kensuke KOABAYASHI, Kiyotaka TAHARA and Baoren WEI

1)　東京理科大学, 2) 産業技術総合研究所, 3) 苏州科技学院

*kensuke@rs.noda.tus.ac.jp

1.　はじめに

LCA の実施においては、すべてのデータを評価者が収集することが原則だが、データ収集の作業負荷を軽減するために、影響の小さい部分はバックグラウンドデータベースを用いて効率化を図るのが一般的である。このため、バックグラウンドデータベースは欠かせない。わが国のインベントリデータベースは IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis)[1)]などが構築されている。従って国内の製品・サービス等については評価が可能である。一方、我が国で使用される製品等は、輸入されているものが非常に多い。そのため輸入品に関する評価は必要不可欠である。また、例えば、中国の電力原単位は CO_2 で日本の約 2.3 倍、SO_2 では約 340 倍であることが指摘されており[2)]、本来こうした海外での製品製造に伴う環境影響は適切に評価されるべきである。しかし現状では海外のデータベースが十分に整備されていない。

インベントリデータベースは世界各国で徐々に整備されつつあるが、先進国が中心でそれ以外の国では整備までには時間がかかると思われる[3)]。そこで、当面は、現状で整備されている日本の原単位などから、簡易的かつ可能な限り高い精度で海外の原単位を推計し、評価に用いることが方法として考えられる。

筆者らは、日本のデータから海外のインベントリデータの推計手法を構築することを試みてきた[4)]。本報では、昨年度までの中国だけではなく、他のアジアの国も含めてデータベースを構築しその妥当性検証を行った結果を報告する。

2.　推計手法の概要

本推計手法は、図 1 のように、日本のプロセスデータの化石燃料消費における燃焼種構成比を対象国の構成比に変更する方法（推計レベル 1（E-Level 1））、加えて、熱源別の熱効率も変更する方法（推計レベル 2（E-Level 2））を考えた。また、燃料消費量などのデータは、国によって得られる分類（統計等に記載されているデータ分類の細かさ）に差があるため、3 種類の分類レベル（C-Level）を設定した。以上を基に、日本の IDEA を用いて中国のデータを推計し、現地実態調査で収集したデータとの比較をすることで精度の検証を行った。なお、推計結果の精度（Cv）検証は、以下の方法で行った。

$$Cv = E / S \qquad \cdots式(1)$$

E：IDEA をもとに推計した原単位 [kg-CO_2/物量]

S：対象国で収集した原単位 [kg-CO_2/物量]

3.　中国以外も含めた推計データの妥当性検証

3.1　中国を例とした各推計レベルでの妥当性検証

エネルギー消費原単位、CO2 排出原単位の Cv の平均値およびそのばらつきを示す。Cv は 1 に近いほど精度が高い。なお、検証の対象としたデータは、中国の現地調査、統計資料、既往研究論文などからデータを抽出し、食品、木材、セメント、鉄・非鉄、化学工業製品など、幅広い分野から 42 データを収集した。

(1) エネルギー消費原単位　図 2 のように、エネルギー消費原単位の推計では、E-Level 2 のみ消費エネルギー量を変化させているが、E-Level 0 や 1 の Cv が 0.66 であったのに対し、E-Level 2 では 0.77 程度まで向上した。

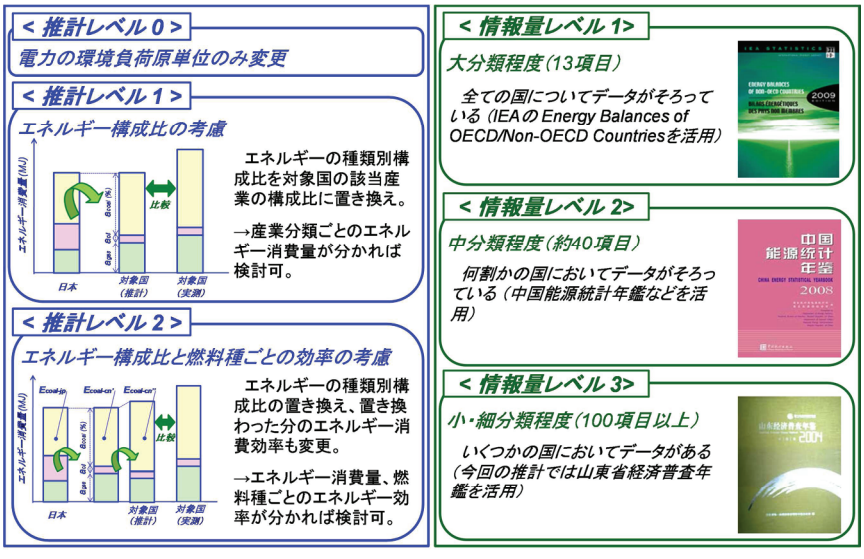


図1　情報量レベルごとの推計の考え方

(2) CO2 排出原単位 CO2 排出原単位についての結果を図 3 に示す。日本の値をそのまま用いた E-Level Japanese は、Cv の平均値は 0.45 と非常に小さな値となった。これに対し、電力の原単位のみを中国の原単位に変更するだけ（E-Level 0）で Cv は 0.73 に向上した。更に、E-Level 1、2 ではさらに精度が向上する結果となった。一方、それぞれのレベルにおける最大値・最小値をみると、分類レベルが C-Level1、2 となる程、ばらつきが大きくなった。

3.1 アジア数か国のデータを用いた妥当性検証結果

前節までは、中国を対象に推計データベースの妥当性検証を行ってきたが、中国以外においても推計データの妥当性を検証する必要がある。そこで、インドネシア（収集データ数：1）、韓国（5）、マレーシア（7）、タイ（2）、台湾（1）の 5 か国において 16 データを収集した。またこれらの国の推計データベースを構築し、推計データの妥当性を検証した。なお、これらの国では、推計に用いる統計資料が十分に収集できない国があるため、分類レベルは C-Level 1 のみで検討を行った。

図 4 にはエネルギー消費量、図 5 には CO2 排出量の妥当性検証結果を示す。エネルギー消費量は中国、その他の 5 か国ともに、E-Level 2 において、精度が向上していることが分かる。また、中国以外の 5 か国は、Cv 値のばらつきが大きくなった。次に、CO2 排出量でみると、E-Level 2、3 ともに精度が向上した。また、Cv の平均値でみると、中国は E-Level Japanese の 0.45 から E-Level 3 の 0.78 に、他の 5 か国は 0.67 から 0.87 へと向上する結果となり、中国と同様以上の精度の向上となった。ただし、推計されたデータごとの精度ばらつきは大きかった。従って、推計された誤差も小さくないと考えられ、高い精度を要求される検討にはこれらの推計データを用いる際には結果の解釈に十分留意する必要がある。

4. まとめ

筆者らの提案した日本のインベントリデータベース（IDEA）から海外のインベントリデータを推計する手法を用い、IDEA からアジア数か国の推計データベースを構築した。推計されたデータベースの妥当性を検証し、これまでの中国のデータによる検証だけではなく、その他の国についても、より詳細なレベルで推計することで、より高い精度の推計データベースの構築が可能であることを示した。本推計手法により構築された海外のデータベースは、高い精度が求められる検討に用いるのは向かないが、大勢を捉えるための検討には活用できる。

5. 参考文献

1) 田原ら：網羅性を考慮したインベントリデータベース（IDEA: Inventory Database for Environmental Analysis）の開発状況、第 5 回日本 LCA 学会研究発表会、2010.3　2) Kensuke Kobayashi et. al.: Issues on Development of Chinese Inventory Database、The 8th International Conference on EcoBalance Confirmation、2008.12　3) 製品ＬＣＡデータベースに関する実態調査事業成果報告書、(社) 産業環境管理協会、平成 21 年 3 月　4) 小林ら：海外インベントリデータの簡易推計手法の構築　-中国の推計データベースの構築と妥当性検証-、第 7 回日本 LCA 学会研究発表会、2011.3

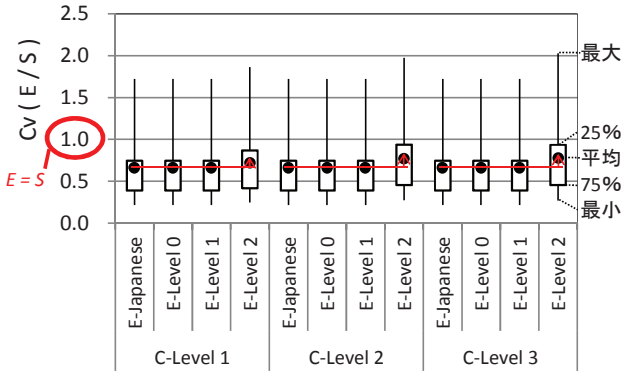


図2　中国のデータを用いた
エネルギー消費量の精度検証結果

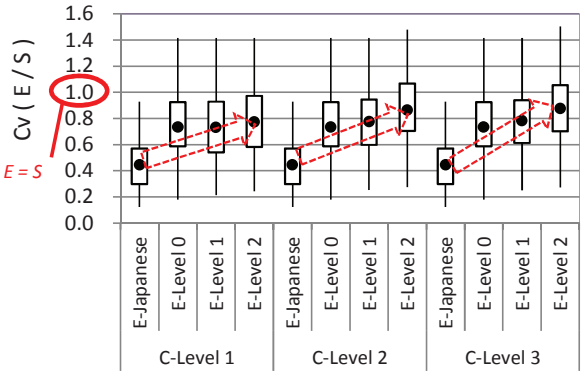


図3　中国のデータを用いた
CO2排出量の精度検証結果

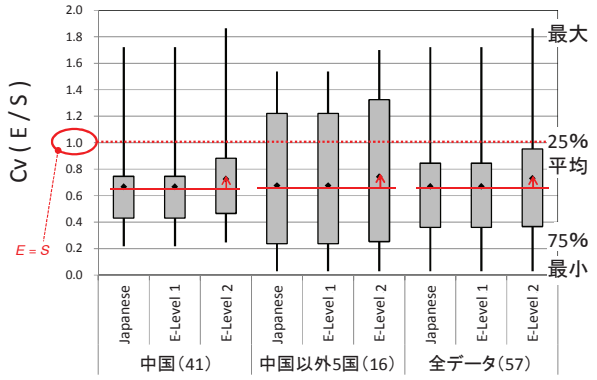


図4　アジアのデータをもとにした
エネルギー消費原単位の精度検証結果

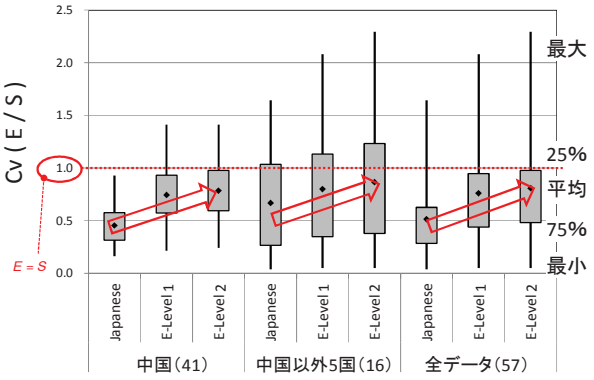


図5　アジアのデータをもとにした
CO2排出原単位の精度検証結果

中国の GHG 6 ガスの IO データベースの開発

Development of Input-Output Data Base for GHG 6 Gases in China

○山口博司*[1)]、堀口健[1)]、井伊亮太[2)]、相川瑠璃子[2)]、伊坪徳宏[1)]
Hiroshi YAMAGUCHI, Ken HORIGUCHI, Ryota II, Ruriko AIKAWA, Norihiro ITSUBO
1)東京都市大学、2)パシフィックコンサルタンツ
*hirosy@tcu.ac.jp

1. はじめに

急激な成長を続けるアジア各国は相互に密接に結び合っている。このため、地球全体の温暖化問題をはじめ環境諸問題に対応するアジア各国のサプライチェーンを可視化していくことが重要である。環境負荷の定量的な可視化のためのLCAの実施に不可欠なインベントリーデータベースは先進国を中心に開発が進んできているが発展途上国では不十分である。このためアジア各国について汎用性のある産業連関法（IO 法 : Input-Output Method）による環境影響物質のインベントリーデータベースの開発に着手した。環境負荷物質は温室効果ガス、大気汚染物質、水等を取り上げ、各国の環境負荷物質の統計データを収集し、これをもとにIO 法による原単位データベースを作成する。

2. 研究対象・方法

2.1　研究対象

対象国は中国、韓国、台湾、フィリピン、マレーシア、シンガポール、インドネシア、さらに日本、米国を加え、アジア国際産業連関表（AIIO）[1]の対象 10 か国とする。対象となる環境負荷物質はGHG（CO_2、CH_4、N_2O など）、大気汚染物質（NO x 、SO x 、PM）、および近年LCA 研究が進展しつつある水とする。

2.2　これまでのアジア諸国の環境負荷データベースの作成

これまでの研究でアジアのデータベースの作成には以下の 2 手法を検討した。

Ⅰ．各国の詳細な IO と各国の各種統計資料より DB を作成する。

中国については中国のエネルギー由来の CO_2 データベースにつき中国エネルギー統計と中国の IO から作成した [2] 。

この方法では各国の統計資料を入手し、言語を解読する必要がある。現地情報、時間、予算、人手など困難が多い。一方その国の様々な情報に直接触れるため詳しい分析が可能となる。

Ⅱ．76 分類のアジア国際産業連関表（AIIO）と国際機関の統計データによりアジア 10 か国のデータベースを作成する。AIIO はJETRO アジア経済研究所がアジア各国の機関と共同研究により各国の詳細なIOに基づき作成しているものである。2.1 に述べたアジアの 9 か国と米国を内生国とする非競争輸入型の IO であり、内生国間の輸出入とその影響を詳しく見ることができる。

アジア 10 か国のエネルギー由来の CO_2 につきアジア国際産業連関表と OECD/IEA エネルギー統計を用いて算定した[3]。

この方法は同一の手法で10か国のデータベースができるだけでなく、10 か国間の貿易とそれによる影響を見ることができるという特徴があることが分かった。

一方で、アジア国際産業連関表の対象部門分類は 10 か国の分類の最大公約数として各国 76 分類、合計 760 分類となっており、粗い分類であるためこの分類により IO データベースを作成した場合データベースの用途が限られてくる。たとえばPC の部品からその環境負荷を算出する場合、アジア国際産業連関表では、

050　Electronic computing equipment
051　Semiconductors and integrated circuits
054　Lighting fixtures, batteries, wiring and others

の 3 分類が PC およびその部品に対応しているがこのような粗い分類では部品ごとの調達国別の環境負荷分析などを行うことは困難である。

2.3　詳細版アジア国際産業連関表によるアジア諸国のの詳細データベースの作成

アジア 10 か国の各国表IOによる詳細なデータベースで各国間の貿易も見ることのできる環境負荷データベースの作成が望まれる。このためには

（1）各国の IO 分類に基づいた詳細版アジア国際産業連関表を作成する（図 1）。部門分類数は表 1 の各国の IO 部門数の合計より 2482 部門となる。

（2）ここではさらに．国間の貿易の部分を扱う必要がある。これについては貿易統計で各国の IO を相手国に分配する手法を別途開発中である。

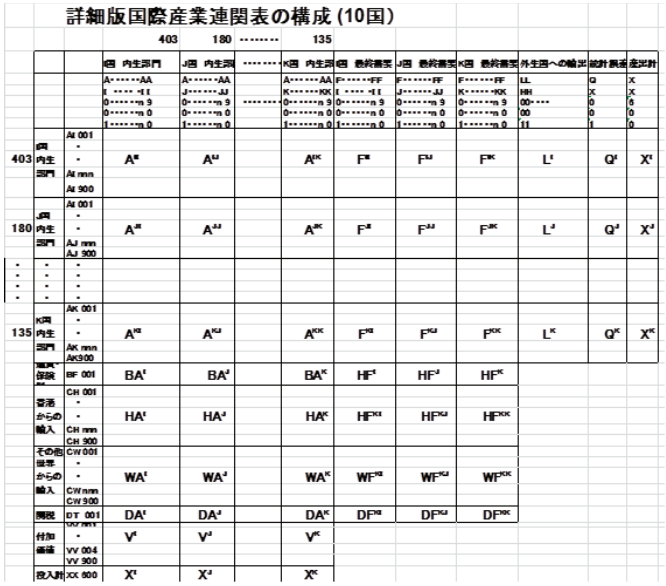
（1）と（2）を組み合せることにより詳細版アジア国際産業連関表が完成する。

（3）この詳細版アジア国際産業連関表と環境負荷物質の国際統計とからアジア諸国のデータベースを作成する。

表１　対象各国の IO 表の部門数（合計 2482 部門）

国名	部門数	国名	部門数
アメリカ	498	インドネシア	175
日本	403	シンガポール	173
韓国	402	台湾	166
フィリピン	230	中国	135
タイ	180	マレーシア	120

図１　詳細版国際産業連関表構成



3.　アジアの GHG データベースの開発状況

現在までにアジア国際産業連関表を用いて上記 10 か国の GHG データベースを作成した。ここでは OECD/IEA エネルギー統計[4] [5]からエネルギー起源の CO_2 を抽出し、EC の EDGAR[1]の GHG 統計（EDGAR）から非エネルギーCO_2、CH_4、N_2O、HFC、PFC、SF_6 を抽出し以下のように作成する。

1）GHG6 ガスの EDGAR と 3EID の排出区分の対応、及び日本と各国の IO の対応づけを行う。
2）3EID[2]の部門別排出区分別の直接排出量を、各国 IO 表部門別・EDGAR 対応の排出区分別の直接排出原単位へと組み替える。
3）各国 IO 表部門別に組み替えた排出区分別直接排出原単位と各国 IO 表の部門別生産額の積を按分指標として、各排出区分ごとに EDGAR による各国の GHG 排出量を分配する。
4）これより各国の直接 GHG 排出量のデータベースを作成し、さらに原単位データベースを作成する。

このようにして詳細版アジア国際 IO を用い、各国間の貿易を考慮した環境負荷物質の DB の作成が可能である。これより各部品の製造国を考慮したアジア国間の分析が可能である。

現在各国の IO を収集しタイ、韓国、台湾、日本の 1 国表による GHG データベースを作成中である。

本報告では中国につき上記の方法で GHG 6 ガスの単位直接排出量と原単位を作成した結果を報告する。またこの結果を中国のエネルギー統計から作成した GHG データベース[2]と比較検証する。さらに今後の課題を述べる。

4. まとめ

アジアのIOデータベースの作成方法につき整理し、詳細版アジア国際産業連関表を用いた手法を開発中である。

中国につきOECD－IEAエネルギー統計とEDGARのGHG統計を用いGHG6ガスのデータを中国IO表の各部門にその生産額により配分し、これよりGHG_2単位直接排出量と原単位データベースを作成した。

5. 今後の課題

76分類のアジア国際産業連関表とIAEのエネルギー統計を用いたIOデータベースの開発を進めており[6]、その結果との比較検証を進める。

さらにアジア諸国大気汚染物質、水など他の物質のデータベースを作成する。

上記をアジアのサプライチェーンの分析に適用する。

謝辞

本研究は環境省研究総合推進費「アジア諸国のインベントリーデータベースと環境負荷測定手法の開発」によるものであり、関係各位のご支援を感謝いたします。

JETROアジア経済研究所桑本 啓氏にはアジア国際産業連関表について貴重なご意見や情報をご教示いただいきましたことを感謝します。

当研究室の小野雄也、松永典子、麻木啓人の３氏にはデータベースの開発につきご協力いただいき感謝します。

参考文献

[1] JETRO アジア経済研究所：Asia International Input-output Table 2000
[2]山口他、第7回日本LCA学会研究発表会､D2-02（千葉、2012）
[3] 堀口他：第 7 回日本 LCA 学会研究発表会, D2-03（千葉、2012）
[4]OECD/IEA: Energy Statistics of OECD Countries 2004-2005.
[5] OECD/IEA: Energy Statistics of non-OECD　Countries
[6]European Commission Joint Research Center：Emissions Database for Global Atmospheric Research
[7]国立環境研究所：産業連関表による環境負原単位データブック 2005 年版

CDM ホスト国における大気環境の経済価値調査

Economic Valuation of Environmental Impact on Human Health in a CDM Host Country

野村 昇*[1)]
Name, Name
1) 産業技術総合研究所
*n.nomura@aist.go.jp

1. はじめに

地球温暖化枠組み条約の京都議定書で定められたCDM(Clean Development Mechanism)は、温室効果ガス排出量の抑制義務を負っていない国における排出量を削減するプロジェクトの実施により削減された排出をCER(Certified Emission Reductions)として削減義務を負っている国での排出権として移転する制度である。この制度は、排出量の削減義務を負っていない発展途上国の温室効果ガス排出量の増加が急増している状況において、適切に運用されれば世界全体の排出量を削減するために有効であると考えられる。

しかしながら、排出義務を負っていない国においては、CER に対応した経済的なメリットがあるものの、地球温暖化防止のために CDM を実施するインセンティブは必ずしも強いとは言えない。一方で、CDM プロジェクトを実施することにより地域的な大気汚染が改善される等の便益が副次的に発生することがある。CDM の実施を推進するためには副次的な便益(co-benefit)を積極的に評価することにより、その実施することの促進を図るという考え方が提案されている。このためには、副次的便益を含めた CDM の総合的評価を行う必要がある。環境研究総合推進費によるプロジェクト「アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究」では、CDM の総合的評価に向けた研究を進めており、その一環として大気汚染による健康被害の経済価値を評価するための仮想評価法(CVM; Contingent Valuation Method) による調査を実施した。本報告では、多くの CDM プロジェクト実施地点となっている中華人民共和国(以下中国と記す)においての CVM による健康被害回避に対する支払意志額(WTP; Willingness To Pay) 推定のための調査について報告する。

2. 調査の概要

2.1 調査の枠組み

調査は、都市部と農村部の双方について行った。都市部としては、中国を代表する都市として首都である北京市を選択し、その中心部を対象とした。農村部としては、大気汚染が比較的問題となっているとされている山西省を調査地点として選択した。

調査方法としては、訪問面接法を用いた。この方法では、調査員が回答候補者の自宅を訪問し、協力を依頼する。回答者候補者は、特定の集団に属する人からでなく、調査対象地域の居住者から多段抽出法により選出した。

行政区域としての北京市は、14 の直轄区と 2 つの県から構成されており広大であるが、今回の調査においては都市部とされている東城区、西城区、朝陽区、海淀区、豊台区、石景山区を対象とした。なお、中心地区の崇文区及び宣武区は2010 年 7 月にそれぞれ東城区、西城区に合併され、合併前の中心部4 区は2 区に再編されている。」査は再編直後に、再編後の区域分けで行っている。都市部の調査であるため、行政地域として街道が設置されている地点を対象として、居民委員会をランダムに決定した後に開始地点から一定間隔で住居を訪問する方法で回答候補者を選んでいる。

山西省は、11 の地級市から構成されている。省はとしては、炭田が多数開発されていることと、これを利用した工業が著名であるが、炭田等は北部に多く分布しており、所得も北部の方が高めとされている。今回の調査では、発電所の所在地点と所得を考慮し、太原市、運城市、普城市の 3 つの地級市を対象とした。それぞれの地級市は、県、県級市、区から構成されているが、農村部を対象としていることから県部を対象として、県を選択した後に村をランダムに抽出し、各村内で住居を訪問して回答を依頼した。

2.2 質問票の概要

調査実施時には、調査票により調査員が質問を行い、回答を記録する方法をとっている。質問票は、健康被害回避のための WTP を推定するための設問を中心に構成し、その前後に関連する設問を配置した。WTP は、二肢選択法により CVM により質問を行っている。大気汚染により誘発される健康被害として喘息等の呼吸器系疾患の増加が指摘されているが、限られた質問時間のなかで多様な病状があり得る疾患に対して回答を得ることは困難であるため、健康被害回避に対する経済的価値を、死亡率の減少として評価することとし、回答者には 10 年後の生存率の変化として提示した。生存率は、性別、年齢別に算出した10 年後に生存している比率を回答者に提示している。提示しているのは中国の生命表から算出した値(A)、大気汚染が深刻なことに起因して値(A)より年間の

死亡率が1パーミル増加したとして計算した値(B)、死亡率低減のための費用を負担したとして値(B)より年間死亡率が0.5パーミル減少した値(C)の3つである。また、想定しているものは大気汚染の軽減であるが、コストをかけてこれを改善するという場合、コストを負担の有無に関係なく汚染されていない空気に接することができるために、ただ乗りをすることが可能である。このため、質問では大気汚染の改善に対してではなく、吸入器と薬剤への支払として提示した。回答者には、吸入器を購入しない場合の10年後生存率は(B)であるものの､購入したときの生存率が値(B)から値(C)に増加するという条件のもとで、提示した価格で購入する意志があるか否かを尋ねた。したがって、年間死亡率が10年間継続して0.5パーミル減少することに対する支払意志の有無を尋ねていることになる。CVMで二肢選択法を用いるときには、最初の回答に基づき提示額を変化させて再度質問を行うことがよく行われる。今回の調査では、３回質問を行う方法をとった。

CVMのための二肢選択法による設問の前では、環境問題等に対する一般的な質問を行い、後では世帯所得や学歴等の回答者の属性、及び関連する質問を配した。二肢選択法による設問より前に配した質問には、分析を行うためのデータを得るという目的の他に、回答者に回答の前提となる条件を思い浮かべさせる目的もある。北京における調査は2010年11月から翌年1月にかけて、山西省農村部における調査は2011年11月から翌年1月にかけて実施した。それぞれ予備調査を行い、調査票の妥当性を確認した後に本調査を実施した。

3. 回答の分析

WTPについての設問に対する回答は、二肢選択で与えられているため、各回答者の支払意志額の値自体は各回答からは得られず、回答による支払意志額の上限と下限の両方又は何れかが得られることになる。3回の回答に全て購入すると回答した場合は、有限な上限は与えられず、提示額の最大値以上のWTPがあることが分かり、全ての質問に購入しないと回答した場合にはWTPは一番小さな提示額より小さい。その他の場合には、上下限が与えられる。WTPが累積分布関数

$$F(x)=\frac{1}{1+e^{a+\sum_i c_i z_i + b\log x}}$$

となる対数ロジスティック分布に従っていると仮定し、パラメータを最尤法により推定した。ここで、z_i は説明変数である。a, b, c_i の値が大きくなると、吸入器を購入すると回答する人の比率が小さくなることから支払意志は弱くなり、その中央値は減少する。

説明変数を用いないモデルをデータに当てはめると、北京のデータではWTPの中央値は1,300元程度となった。一方、山西省農村部においては1,150元程度と推定され北京市に対する推定値より小さくなった。両地点での回答者の世帯年収は、北京市においては大部分が4万元以上に分布しているのに対し、山西省農村部では多くの世帯が40,000元以下に分布している。これから、所得の差の割には支払意志額の差は小さいことになる。

支払意志額に影響を与えている因子を分析するために、説明変数をダミー変数として導入し、モデルの当てはめを行った。各所得階層にダミー変数を対応させ、その内ひとつを同定可能とするために0に固定した推定を行った。北京の世帯所得については、回答で提示した選択肢を4階級に、山西省農村部では5階級に再編した後に、モデルの推定を行った。北京においては、世帯所得が増加するに従い、係数が減少し支払意志が強くなる傾向が検出され、統計的にも有意であった。山西省農村部においては、中間層までは所得が増加するに従い支払意志が強くなる傾向があったが、高所得層になると逆に係数が大きくなり支払意志が弱くなる傾向が見られた。

回答者の最終学歴は、北京市においては高等学校卒業相当までと大学卒業以上がほぼ半数ずつの比率であり、大学卒業以上の学歴を持つ回答者の方が、有意に支払意志が強かった。一方、山西省農村部においては中学校相当の人が多いものの、高等学校相当、大学相当卒業者もある程度の比率を占めていた。係数の符号からは、高等学校卒相当の人は中学校相当の人より支払意志強い傾向が見られたが、有意性については微妙な値であった。まだ大学卒の人の支払意志が強いという傾向は検出されなかった。

喫煙習慣については、北京市、山西省農村部共に統計的に有意な支払意志への影響は検出されていない。運動習慣については、習慣的な運動習慣の頻度を質問しているが、北京市、山西省農村部共に運動習慣がないと、係数は有意に支払意志が弱いことを示していた。

4. まとめ

中国における大気環境の経済価値の評価を行うことを目的として、北京市中心部と山西省農村部を調査地点とて、仮想評価法による環境意識の調査を実施し、大気汚染による健康被害回避に対する支払意志額とこれへの影響要因を分析した。今後、係数の推定値の再確認と支払意志に影響を与えている要因の総合的な分析を進めて行きたいと考えている。

謝辞

本報告における調査・分析は、環境省による環境研究総合推進費(E-1001)の研究の一環として実施されました。研究の機会を与えられたことに謝意を表します。

越境問題を考慮した酸性化の影響評価係数の開発

Development of Impact Assessment Factors for Acidification Considering Trans-boundary Effects

○杉山彩*[1)]、湯龍龍[1)]、永島達也[2)]、長谷川晃一[3)]、大原利眞[2)]、須藤健悟[4)]、伊坪徳宏[1)]
Aya Sugiyama, Tang Longlong, Tatsuya Nagashima, Koichi Hasegawa, Toshimasa Ohara, Kengo Sudo, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 国立環境研究所, 3) 中電シーティーアイ, 4) 名古屋大学
*g0931114@tcu.ac.jp

1. はじめに

昨今ではグローバル化が進み、製品と共にその資源や副産物が同時に輸送されている。また、製品を作る過程で発生した大気汚染物質は大気中を輸送し、発生領域とは別のところで影響を与えているという問題もある。この移動領域は汚染物質により異なるが、半球規模まで移動するものもある。従来のLCIA手法では、欧州はRAINSモデルを利用するなど大陸規模の分析が行われるなど、地域性を考慮した評価が行われてきた。LIME-asiaにおいてはアジア10カ国間の汚染物質の収支を考慮した分析が行われた。しかし、それ以外の領域では国境を越える大気汚染を分析した例は少ない。特に全球規模で同一のモデルで分析された研究例は極めて少ないことから、世界規模で流通される製品のサプライチェーンを地域の環境特性を反映した分析を行うのはできないのが現状である。

本研究では、酸性化を対象として世界規模の評価モデルの開発と被害係数の構築を目指す。評価指標には、LIME において採用されている一次生産力(Net Primary Productivity)を取り上げる。

2. 係数算出過程

本研究における算定汚染物質はSO_2およびNO_xの追加的排出による二次汚染物質SO_4^{2-}、NO_3であり、係数算定領域は全世界に及ぶ。最終的な係数算出のプロセスは、図１の流れに従って算出する。①のプロセスでは、本研究で使用しているモデルMIROC-ESM2010(watanabe et al., 2011)[1)]から追加的な排出を含む沈着量を求めた。このモデルは大気・海洋および陸域の３部分から構成を成しており、とりわけ大気部分においては気候モデルとして利用されている MIROC をベースに、対流圏・成層圏の大気化学過程とエアロゾル過程をシミュレーションすることが可能な全球化学・気候モデルCHASER及び、全球エアロゾル・気候モデル SPRINTARS を結合した、地球システム統合モデルである。ここに WHO に基づいた世界区分（10地域）で分けられたそれぞれの地域から、2000年の世界の大気汚染物質排出量データ(EDGAR4.2)を基準として与えた上で、SO_2およびNO_xを個々の実験で20%ずつ増加させ、この差分を取って濃度上昇を求め、乾性および湿性での沈着量を本研究における酸性物質の追加的排出とした。②では従来より用いられている

$$ADF(j) = SRR(j) \times MW(j)^{-1} \times VA(j) \times LA^{-1} \times NNR \times 10^3 \quad (式1)$$

ADF：大気沈着係数
SRR：運命分析結果
j：各酸性化原因物質
MW：jの分子量
VA：jの酸としての価数
LA：陸域面積
NNR：非中和率

を用いる。③で

$$[H+] = (H_{dep} \div Q \times 10^{-3}) \times 10^{-9} \quad (式2)$$

[H+] ：土壌浸透水中の水素イオン濃度の増加量 [mol/L]
H_{dep} ：H+沈着量の増加[eq/km2]
Q ：年間の降水量 [mm]

の式を用いてH+濃度の増加量を算定し、④は既存の文献より得られた褐色森林土、ポドゾル土、赤黄色土、黒ボク土、結晶性粘土鉱物それぞれの土壌に式を与えてAl3+濃度の増加量を算定する。⑤ではアカマツ・スギ・ヒノキのAl3+による成長率の低下を式で表したものを既存文献から用いり、⑥では

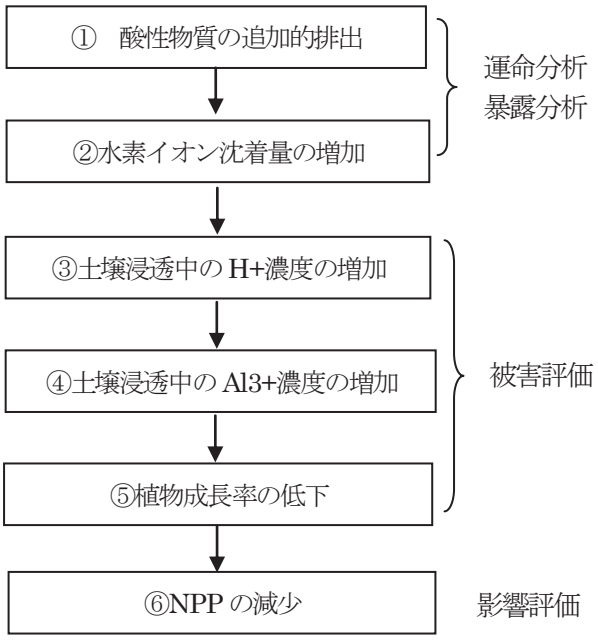


図１．算定プロセス

$NPP_{loss}=NPP_{act}(GR_0-GR)\div GR$　（式3）

NPP_{loss} ：現存 NPP のダメージ [t/ha]

NPP_{act} ：現存 NPP [t/ha]

GR_0 ：Al3+濃度増加前の植物生長率 [%]

GR ：Al3+濃度増加後の植物生長率 [%]

を用い、酸性化物質の追加的排出によって得られたダメージ量から現状の NPP による成長率を差し引くことで、追加的な排出による被害量を定量化した。

3. 結果と考察

本稿では SO_2 を 20%増加させた際に発生された SO_4^{2-} における、中国地域からの追加的排出による①の結果をとりあげる。図２では１月および４月時点での乾性沈着排出量基準データを示し、図３では乾性沈着における 20%増分データー基準データの差分データを示した。また、図４では１月および４月時点での湿性沈着排出量基準データを示し、図５では湿性沈着における 20%増分データー基準データの差分データを示した。尚、図２・図３は SO_4^{2-} μｇ／秒の表示であり、図４・図５は SO_4^{2-}μｇ／m^2／秒の表示であり。１月時点では中国の排出がやや太平洋の南側へと広がりを見せ、４月時点では東側へ濃度変化の広がりを示している。この理由に、１月には日本上空付近に強いシベリア高気圧がかかることから、東側への大気がブロックされ、南に向かって噴出していくと言うが考えられる。また、４月には南からの高気圧によって大気がブロックされるため、１月とは反対に南側に向けて流れる大気が押し出され、東へと流れていったことが考えられる。しかしながら、湿性沈着によるデータのみをみると、どちらの月も東側に流れている。

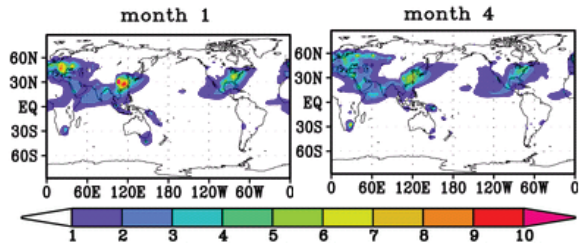


図２．乾性沈着排出量データマップ（左１月、右４月）

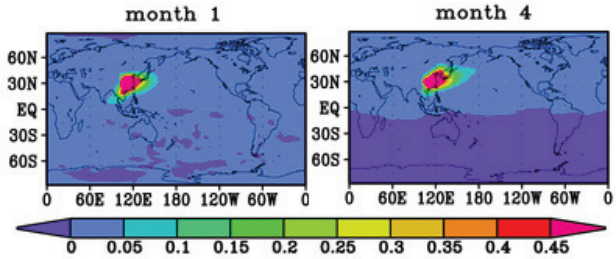


図３．乾性沈着差分データマップ（左１月、右４月）

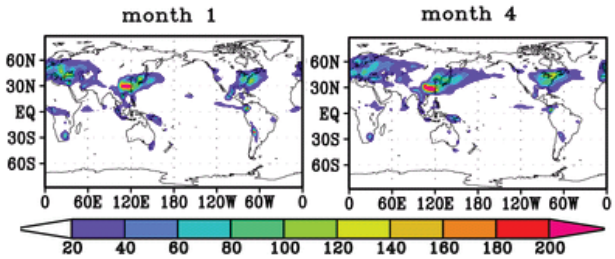


図４．湿性沈着排出量データマップ（左１月、右４月）

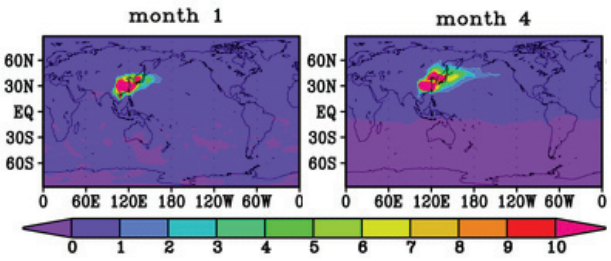


図５．湿性沈着差分データマップ（左１月、右４月）

4. 今後と現状の課題

本研究では全世界を対象としたモデルを使用して影響評価係数を算定することに重きを置いたため、既存のモデル及び文献によるデータ精度によって、評価係数の精度も変化する可能性がある。また、対象物質を NOx や SOx のみに限定しているが、NPP に大きな影響を与える物質は NH3 や HCL 等、その他にも考慮すべき物質を今回対象外としていることも限界の一つであることが現状からも分かる。

5. まとめと今後の方針

越境問題を考慮した酸性化の影響評価係数の開発に向け、利用する全球規模モデルの特徴を理解し、まずは算定プロセス上における①部分を試みた。現状ではこの図による図示のみであるが、今後は定量化表現で各地域・各国における変化の違い及び NPP の減少量を示し、より詳細化を行った上で係数を開発していく方針である。また、本研究による濃度及び沈着量結果や、最終的な係数（NPP の減少）を既存文献と比較することも重要である。また、季節変化による NPP の減少も定量化していくことで、影響を受けやすい時期と受けにくい時期を表現する考えである。

参考文献

1) Watanabe S. et al.: Geoscientific Model Development 4 (2011), pp. 845-872
2) 伊坪徳宏, 稲葉敦: “LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法”, 丸善株式会社, (2010), pp. 666
3) アジア版のライフサイクル環境影響評価手法開発のためのパラメータ収集調査報告書, パシフィックコンサルタンツ株式会社

太陽光発電システムへの愛着は省エネ行動を促進する?

Does attachment to solar photovoltaic systems encourage energy saving behavior?

○本藤祐樹*[1)]
Hiroki Hondo
1) 横浜国立大学
*hondo@ynu.ac.jp

1. はじめに

太陽光・風力発電やバイオ燃料など再生可能エネルギー技術の特徴のひとつは小規模分散型の設置が可能という点にある。これらの技術は、日常生活の目に見える場に常に存在することによって、人々のエネルギーや環境に関する意識、さらには行動を変化させる可能性がある。

この可能性に着目して、住宅用太陽光発電 (PV) システムの設置がエネルギー・環境に関する人々の意識や行動に与える影響を分析した先駆的な研究[1-4]がある。例えば著者ら[4]は、住宅用 PV システムの設置後に、その世帯の環境行動が高まっている可能性を示した。その上で、住宅用 PV システムの設置が、その世帯のもったいない価値観とエネルギーコスト意識の向上をもたらし、行動変化を促した可能性を指摘した。

本研究では、PV システムの身近な存在が、人々のもったいない価値観の向上を通して省エネ行動を促すメカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. リサーチクエスチョン

本研究のリサーチクエスチョン(RQ)を以下に示す。

(1) PV システムの存在を常日頃、身近に感じる状態は人々の省エネ行動を高めるのではないか。

(2) もしそうだとすれば、PV システムの存在がどのようなメカニズムで省エネ行動を導くのか。もったいない価値観に着目してそのメカニズムを探索する。

3. 方法

3.1 対象

上記の RQ に取り組むため、長野県飯田市における PV システムが設置された保育園・幼稚園（以下、保育園）の年長組に子供を通わせる世帯に着目した。保護者は子供を保育園に自動車もしくは徒歩で送迎していた。

3.2 質問紙調査

表 1 に示す要領で質問紙調査を実施しデータを収集した。質問紙調査は、PV システム設置園と非設置園に子供を通わせている両方の世帯（以下では、それぞれ、PV 世帯、非 PV 世帯と呼ぶ）を対象に実施した。

質問紙では、PV システムに対する認知や感情、家庭での省エネ行動など幅広い設問を用意した。質問紙は、既往研究の幅広い文献調査と、PV 設置園の園長、保育士、および園児の保護者に対する事前面談調査の結果に基づき設計された。また調査実施前に 10 世帯に対してプレ調査を実施し、設問や回答方法などの確認と改善を行った。

3.3 測定項目

質問紙調査で測定した項目のうち、今回の分析で利用しているものを以下に示す。

(1) PV 視認行動 (PV 世帯のみ測定)： 保護者が保育園の PV パネルや発電量計などを日常的に見ている頻度。

(2) PV 愛着 (PV 世帯のみ測定)： 保護者が保育園の PV システムに愛着を持っている程度。

(3) 環境教育： 保育園の環境教育に対する熱心さの程度。

(4) もったいない価値観：「お店などで暖房や冷房が強めに効いているとエネルギーを無駄に使っていると思う」など保護者が持つもったいない価値観の程度。

(5) 省エネ情報探索： 保護者が家庭で出来る省エネや節電の方法を自ら探し求める程度。

(6) 省エネ家庭コミ： 省エネ行動について家庭内で話したり注意し合ったりする頻度。

(7) 省エネ行動：「人のいない部屋の照明はこまめに消す」など世帯における 13 種の省エネ行動の頻度。

各項目を測定する質問は多肢選択法（4〜6 段階）によって回答を求めた。もったいない価値観の得点は 4 問の回答から主成分分析により求めた。省エネ行動の得点は 13 問の回答の平均値とした。それ他の項目については、設問はひとつであったので、回答をそのまま得点化した。

3.4 統計解析

質問紙調査で得られたデータに基づき、t 検定を用いて RQ (1) を検証した。また、RQ (2) に関しては共分散構造分析を使って、合理的なメカニズムを探索した。

表 1 質問紙調査の概要

実施期間	2007年2月16日〜2月22日
調査対象	長野県飯田市の全保育園・幼稚園（年長組）に子供を通わせている1105世帯 市内すべての保育園・幼稚園のうち、PVシステムを設置しているのは16園(550世帯)、設置していないのは24園(555世帯)
実施方法	保育園・幼稚園経由での配布/回収
回答方法	記名方式
回収票(率)	819 (74.1%)

4. 結果と考察

4.1 PV 世帯と非 PV 世帯の省エネ行動の差異

表 2 は、PV 世帯群と非 PV 世帯群の省エネ行動の平均値の差異を示している。上述の省エネ行動得点に関して、PV 世帯群と非 PV 世帯群の平均値を比較すると、前者は後者に比べて 10%水準で有意に高いことが認められた。

行動別に見てみると、13 種の省エネ行動のうち 11 種の行動に関しては、PV 世帯群の平均値が非 PV 世帯群のそれよりも高かった。また 3 種の行動に関しては、PV 世帯群の平均値が 10%水準で有意に高いことが認められた。

以上より、PV 世帯は、非 PV 世帯に比べて家庭内における省エネ行動の実施率が高い可能性がある。

4.2 PV 世帯の省エネ行動に関する構造モデル

図 1 は、保育園における PV システムの存在と PV 世帯の省エネ行動との関係を表す構造モデルを示している。図中の値は標準化パス係数と分散であり、パス係数の*印は 1%水準で有意であることを意味している。

この構造モデルに対する適合性指標の各値は一般的に妥当とされる水準を満たしていることから、PV パネルなどをよく見ている保護者は、PV システムに対する愛着を持ち、もったいない価値観を高め、省エネ行動を向上させるという可能性がある。

4.3 PV システムの存在が行動変化を促す可能性

ここでの興味は、保育園の PV システムが（一部の）PV 世帯の省エネ行動を促すとしたら、それは何故なのか、また如何なる条件が必要なのかという点である。

第一に、PV 世帯の省エネ行動が高まったのは、保育園に設置された PV システムが保護者のもったいない価値観を向上させた結果であると解釈できる。住宅への PV システムの設置に伴う省エネ行動の向上に関しては、エネルギーコスト意識という経済的な動機も考えられる[4]。しかし、今回の分析結果は、PV システムの存在がもったいない価値観という経済性とは異なる動機を高める／生み出すことを示唆している。

第二に、PV システムは、存在するだけでは省エネ行動を促進させるという機能を発揮しないようである。PV 世帯群と非 PV 世帯群の省エネ行動の平均値に顕著な差がなかったのは（表 2）、PV 世帯の一部は PV システムの存在を知らなかったり関心がなかったりするためと考えられる。省エネ行動促進という機能の発現には、PV システムへの愛着が強く影響している。愛着を持つことが、もったいない価値観の向上や省エネ情報を自ら探し求める意欲の向上を導くようである（図 1）。そして愛着の形成には、PV パネルや発電量計が常に見えるという物理的な条件とともに、環境教育などを通して PV システムの存在を知らしめ、その意義を認知させることが必要と考えられる（図 1）。

表２ PV 設置園と非 PV 設置園に子供を通わせる世帯における省エネ行動の違い

	平均値	標準偏差	世帯数	統計量
PV世帯	3.18	0.78	407	t=1.70
非PV世帯	3.09	0.69	385	p=.090

5. おわりに

本研究では、PV システムの身近な存在が、もったいない価値観の向上を通して、省エネ行動を高める可能性を示した。ただし、PV システムが存在するだけでは、そのようなメカニズムは発現せず、PV システムへの愛着が鍵となることが認められた。そして、愛着形成のためには、PV パネルなどが見える状態にあることに加え、PV システムの意義を認知させることが必要であると考えられる。

PV システムの存在は、人々に省エネ（もしくは環境配慮）行動を促す態度や価値観を「一時的では無く」かつ「自然に」定着させることに寄与し得ると考えているが、その検討は今後の課題である。

最後に、調査にご協力戴いた皆様に感謝の意を表する。

参考文献

1) 本藤祐樹, 馬場健司: 土木学会第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, 東京, (2004), 349-358
2) Dobbyn J, Thomas G: “Seeing the light: the impact of micro-generation on our use of energy”, Technical Report, Sustainable Development Commission, London (2005)
3) Keirstead J: Energy Policy 35(8), (2007), 4128 -4141
4) 本藤祐樹, 馬場健司: エネルギー・資源学会論文誌, 29(1), (2008), 15-21

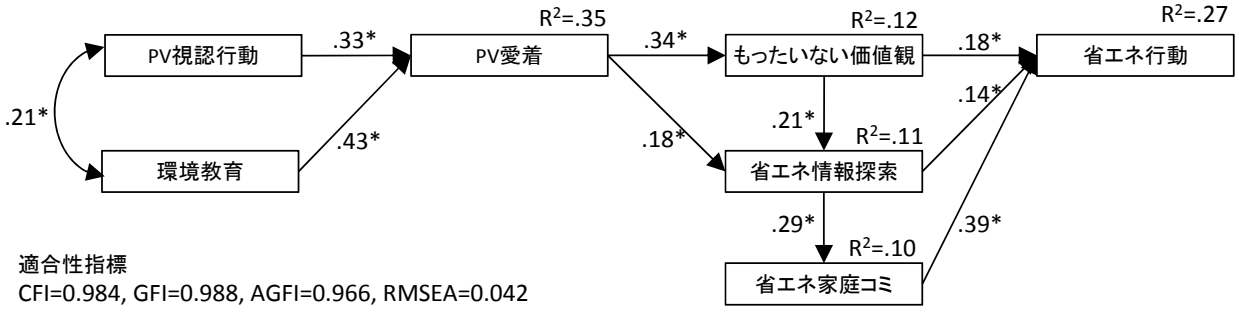


図１ 保育園における PV システムの存在と PV 世帯の省エネ行動を結びつける構造モデル

PV ふれあい活動が小学生の節電行動に影響を与えるメカニズムの分析

Mechanism Analysis of the Effect of PV-Familiarizing Activities on Electricity-Saving Behavior of Primary School Children

○溝口由華*[1)]、本藤祐樹[1)]
Yuka MIZOGUCHI, Hiroki HONDO
1) 横浜国立大学
*mizoguchi-yuka-gk@ynu.ac.jp

1. はじめに

再生可能エネルギー技術は従来の大規模集中型のエネルギー技術に比べ身近に存在することから、人々の環境・エネルギーに対する意識や環境行動に影響を与える可能性がある[1,2)]。その一例として、野田ら[2)]は中学生を対象として、太陽光発電（以下、PV）システム設置校の生徒の環境行動が入学後に高まったことを示している。さらに、PV システム設置校の中でも生徒に与える影響は学校によって異なり、PV システムの存在を認識する機会が多い学校の生徒の方が環境行動変容も大きくなる可能性を明らかにしている。そのため、PV システムの存在を認識する機会を意図的に増やすことで、環境意識・行動が向上する可能性が考えられる。

本研究では、学校にある PV システムとふれあう活動（以下、PV ふれあい活動）の実施が児童に及ぼす心理的影響を明らかにすることを目的としている。横浜市の小学校を対象として PV ふれあい活動を実践し、活動前後に質問紙調査を行うことでその影響を明らかにする。PV ふれあい活動は現在継続中であり、本稿ではその途中経過について報告する。

2. 方法

2.1 PV ふれあい活動

PV ふれあい活動を、横浜市内の A 小学校の小学 6 年生 1 クラスを対象として、平成 24 年 10 月 24 日に開始した（継続中）。PV ふれあい活動は次の 2 種で構成される。

PV パネルの観察：授業時間内に、全員で屋上にある PV パネルを観察した。パワーコンディショナに表示されている発電量を見ながら、ブルーシートでパネルの表面を覆うと発電量が落ちることを確認した。数日後、全員で PV パネルの表面を拭き掃除した。

PV パネルの清掃と発電量の記録：PV パネル観察実施後、週に 1 度 4 人ずつ、掃除の時間に PV パネルを清掃した。また週に 1 度 2 人ずつ、職員室にある PV データ収集装置を使って、1 週間分の発電量を示す画面を撮影した。撮影画像は担任の先生が A3 サイズに印刷して教室の見やすい位置に掲示した。後述する質問紙調査（2 回目）を実施した 12 月 20 日時点では、PV パネルの清掃については 20 人、発電量の記録については 17 人が取り組んだ。

表 1　質問紙調査の概要

PV意識／環境意識・行動に関わる調査	
実施日程	(前)平成24年10月24日 （後)平成24年12月20日 （B群はこの日より1週間以内に実施）
対象	A群（活動実施クラス）　31人 B群（非活動実施クラス）　32人
回答方法	記名式、多肢選択方式
質問項目	節電行動の実施状況、もったいない価値観、 節電規範、環境問題に対する関心、エコ自認、 電気大切さ認知、学校のPVに対する意識、 家のPV設置の有無　　等　35項目
PVふれあい活動の感想に関する調査	
実施日程	平成24年12月20日
対象	A群（活動実施クラス）のみ　31人
質問項目	活動の楽しさ、意義認識等 （多肢選択法） 活動の感想等 （自由記述）
回答方法	記名式、多肢選択方式と自由記述

2.2 質問紙調査

PV ふれあい活動に伴う影響を測るために、表 1 に示す 2 種の質問紙調査を実施した。PV 意識／環境意識・行動に関わる調査（以下、意識行動調査）は、活動開始直前と開始 2 か月後に計 2 回実施した。PV ふれあい活動の感想に関する調査（以下、感想調査）は開始 2 ヶ月後に実施した。なお、意識行動調査に関しては、活動実施クラス（A 群）に加えて、同学校同学年の非活動実施クラス（B 群）においても実施した。

2.2.1 意識行動調査の測定項目

本稿の分析で用いている 5 種の測定項目とその測定に用いた質問を以下に示す。各質問においては「1. 全くそう思わない　2. あまりそう思わない　3. 少しそう思う　4. まあそう思う　5. とてもそう思う」の 5 段階で回答を求めた。

- シンボル意識：屋上にある太陽光発電は A 小学校のシンボルだ
- PV 愛着：屋上にある太陽光発電が大好きだ
- もったいない価値観：トイレに行くなど、5 分間テレビがつけっぱなしなのは、もったいない／階段があるのにエレベーターを使うことは、もったいない（2 項目の合計点を指標とした）
- 節電規範：部屋を離れるのが 5 分くらいでも、テレビの電気を消すべきだ／エレベーターがあっても階段を使うべきだ（2 項目の合計点を指標とした）
- 電気大切さ認知：電気は、たくさん使っても大丈夫だ（電気①）／電気を作るのは、簡単なことだ（電気②）

2.2.2 感想調査の質問項目

本稿の分析で用いている自由記述に関しては、以下の3つのテーマについて各80字程度の記述を求めた。

・活動を通じて、PVシステムについて分かったこと
・活動を通じて生じた環境意識・行動の変化
・活動に取り組んでみた感想

3. 結果

3.1 PVふれあい活動がPV・環境意識に与える影響

上述した5種の測定項目に関して、A群の2回の平均値とA群とB群の変化量の平均値を表2に示す。変化量は、事前の得点から事後の得点を引くことで求めた。A群の事前と事後の平均値に対してt検定（対応有り）を行ったところ、シンボル意識が5%水準で有意に高まっていることが分かった。その他の項目についても、有意差はないものの事後の平均値の方が高い傾向にある。また、A群とB群の変化量に対するt検定（対応なし）を行ったところ、シンボル意識、PV愛着、節電規範が5%水準、もったいない価値観が10%水準でA群の変化量の方が有意に高いことが分かった。

3.2 活動により節電規範が高まるメカニズム

意識行動調査（後）で得られたA群のデータを用いて共分散構造分析を行い、2.2.1項で示した5種の測定項目間の関係について検討した。因果の強さを示すパス係数とその有意確率および各種適合度指標の改善の度合いをもとに、図1に示すモデル（誤差変数は省略）を導いた。シンボル意識がPV愛着を高め、間接的にもったいない価値観を向上させ、節電規範につながる可能性が示唆された。また、電気大切さ認知も、もったいない価値観に大きく影響していることが示された。

シンボル意識が高まったことは、これまでほとんど意識されてこなかった自校の屋上にあるPVシステムの存在が、子どもたちの心の中ではっきりと認識されたとして解釈することができる。その上で、自校のPVシステムに対する感情的な結びつき（PV愛着）を持つことで、もったいない価値観や節電規範が向上した可能性がある。

表２　A群の平均値と両群の変化量の平均値

項目		A群の活動前後の平均値 実施日程（N）	平均値	標準偏差	有意確率	A群とB群の変化量の平均値 群（N）	平均値	標準偏差	有意確率
シンボル意識		前 (30)	2.30	1.21	**0.03**	A(30)	0.43	1.07	**0.00**
		後	2.73	1.28		B(27)	−0.37	0.49	
PV愛着		前 (30)	3.10	1.24	0.34	A(30)	0.17	0.95	**0.02**
		後	3.27	1.20		B(27)	−0.48	1.05	
もったいない価値観		前 (30)	6.10	2.63	0.50	A(30)	0.30	2.39	**0.07**
		後	6.40	2.14		B(28)	−0.71	1.76	
節電規範		前 (30)	6.23	2.70	0.25	A(30)	0.53	2.50	**0.04**
		後	6.77	1.89		B(28)	−0.68	1.74	
電気大切さ認知	電気①※	前 (29)	4.38	1.12	0.57	A(29)	0.07	0.65	0.86
		後	4.45	1.09		B(27)	0.04	0.65	
	電気②※	前 (30)	4.03	1.16	0.62	A(30)	0.10	1.09	0.32
		後	4.13	1.14		B(27)	−0.19	1.04	

※電気①②の点数は、方向を揃えるため逆転している。

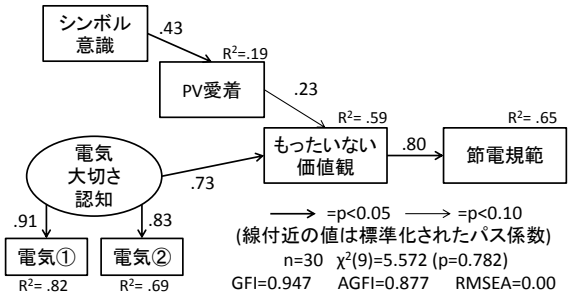


図１　活動により節電規範が高まるメカニズム

例えばシンボル意識が事後で1点高まったある児童は、PV愛着自体に変化はなかったものの、もったいない価値観と節電規範がそれぞれ3点、2点ずつ高まっていた。この児童は、自由記述の中で「パネルについて、しれたりしたので、まだしらない人などに教えて、せつ電をしたい」と述べており、活動を通じてPVシステムの存在を認識したこと、「しらない人に知らせたい」というようにPVシステムに対して感情変化が生じたこと、「せつ電をしたい」という意識が生まれたことが見て取れる。

3.3 感想調査から得られたこと

自由記述で多かったのは、「A小学校の太陽光発電の発電量などは、取り組む前は気にしてなかったけど、くわしく調べてみて、発電量のちがいなどが分かった」や「一週間で、かなりよごれることがわかったので、発電量を少しでも多くするために、太陽光発電のパネルをそうじすることは大切だと思った。」という記述で、PVふれあい活動を通じて発電量やPVパネルの汚れ、掃除の必要性に関する気づきを得たことが分かった。また、少数だが、「ニュースの環境問題をみるようになった」のような記述もあり、活動によって環境問題に対する関心が向上する可能性が確認された。さらに、「A小に太陽光発電があることによってこれから大人になるまで地球環境を守って行こう！という気持ちになれた。」という記述もあり、自分は環境に良い学校の一員であるから、もっと環境に良いことをしていこうという意識（エコ自認[2)]）が高まり得ることも示唆された。

4. おわりに

今後は、自由記述からの示唆にとどまった「環境問題に対する関心」や「エコ自認」の変容を含め、PVふれあい活動の心理的影響のメカニズムをより詳しく明らかにしていく予定である。また、現在PVふれあい活動を実践中である別の2校のデータも収集し、分析していく。

最後に、本研究の実施にご協力頂きました横浜市の小学校の先生方と児童の皆様に厚く御礼を申し上げます。

5. 参考文献

1) 本藤祐樹，馬場健司（2008）：エネルギー・資源, 29(1), 15-21
2) 野田肇，本藤祐樹（2011）：エネルギー・資源, 32(1), 1-7

家庭における環境配慮型エネルギー消費行動の支援

Support for environmentally-conscious behavior in household energy consumption

○上原恵美*[1)]、湯浅壮太[1)]、平尾雅彦[1)]、高岡由紀子[2)]

Emi Kikuchi-Uehara, Sota Yuasa, Masahiko Hirao, Yukiko Takaoka

1) 東京大学, 2) グリーン購入ネットワーク

*e-uehara@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1.　諸言

家庭部門のエネルギー消費量は日本のエネルギー消費全体の 14.2%を占めており、エネルギー消費の削減が求められている。家庭におけるエネルギー消費とそれに伴う環境影響を削減するためには、消費者に適切な情報を提供し、環境に配慮したエネルギー消費行動設計の支援を行う事が必要である。

既往の研究において、レジ袋とマイバッグの選択を例として、消費者の環境配慮型行動設計の支援を目的とした情報共有ツールが提案されている[1)]。一方、エネルギー消費行動は行動の変化に伴う生活の利便性・快適性への影響が大きく、消費者によって実行可能な行動には差がある。そのため、消費者固有の条件を考慮して環境配慮型行動を設計する必要がある。また、消費者固有の条件を考慮して支援を行うことで消費者の関与が深まり、理解力や教育効果の向上も期待できる[2)]。

本研究は、知識提供やエネルギー消費行動の評価結果の提示を通して、消費者自身による環境配慮行動の設計・実行を支援することを目的とする。

2.　環境配慮型行動の意思決定支援

2.1　手法

図 1 に消費者の環境に配慮したエネルギー消費行動の意思決定プロセスに対する支援の役割を示す。知識・関心を高めることで、消費者自身の環境配慮行動に対する問題認識を促す試みが既往の研究で行われている[3)]。しかし、環境配慮行動を実践するには問題認識に加え、消費者の固有条件を考慮した実現可能な代替案を設計、評価する能力が必要となる。

本研究では、消費者に対し情報提供を行うことで環境配慮行動の設計能力を高めるための支援を行い、行動設計能力や行動意図の向上効果を測定することで支援の有効性の検証を行った。さらに、情報提供により行動設計能力を向上させ、消費者固有条件を考慮した行動改善案の設計・評価が可能になることで行動意図が副次的に向上するかを検証した。

情報提供においては、エネルギー消費行動において環境配慮した際の CO_2 削減効果及び経済的効果を示した。

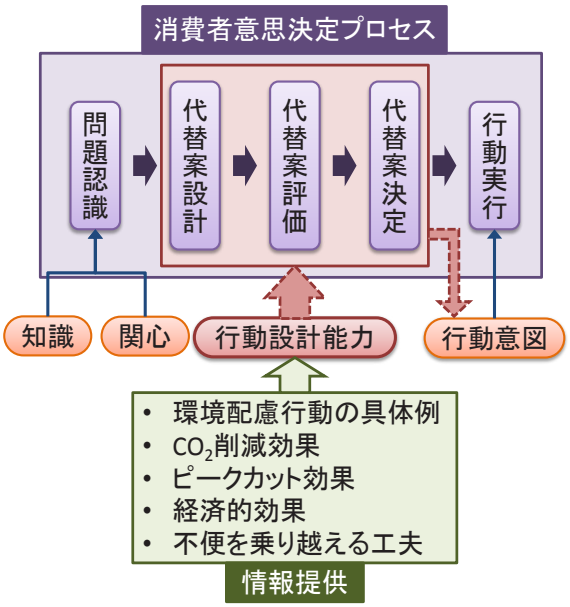


図 1 環境配慮型行動の支援

また、環境配慮型行動に変更することで生活の利便性が損なわれる場合、不便を乗り越えて環境配慮行動が実行できるような工夫を提示した。具体的には、家庭におけるエネルギー消費行動のうち暖房を例として情報提供を行った。

2.2　検証

支援効果の検証では、行動支援で提供する情報を仮説として提案し、設計能力を上昇させるために必要な情報を調査した。行動設計能力の向上効果を評価するために情報提供の前後でアンケートを実施し、回答内容の変化を分析した。また、設計した環境配慮型行動が実行に至ったかについてフォローアップ調査を行うことで行動意図に関する調査も実施した。

消費者の環境に対する関心度や知識の違いを考慮して情報提供を行いその効果を検証するために、中学生、成人、一般消費者を対象とした。表 1 に各対象への情報提供の目的と効果の具体的な検証方法を示す。

中学生に対しては授業形式で情報提供を行った。授業は参加者の環境への関心度に関係なく、時間をかけて教育することが可能である。中学生は環境に関する一般的知識が不足していると考えられるので、行動設計の情報提供だけでなく、知識の提供にも時間を割く必要がある。

表 1 情報提供の対象と効果の検証方法

対象	人数	情報提供の目的	情報提供方法	情報提供効果の検証
中学生	17名	設計能力の向上	家庭における暖房器具の使い方（図S 1）に対し、環境及び節電に配慮した改善案をグループワーク形式で議論	事前と事後に設計能力の向上を測るためのアンケート
成人	20名	消費者固有条件を考慮した行動設計の行動実行への影響の検証	自身の家庭における昨年の暖房の使い方を振り返り、環境及び節電に配慮した使い方にするための工夫をワークシート（図S 2）に記入	事前と事後に設計能力及び環境意識に関するアンケート 情報提供から約 1 か月後に行動実行に関するフォローアップ調査
一般消費者①	70名	環境配慮行動に関する必要な情報の整理	暖房を例として環境に配慮したエネルギーの使い方をクイズ形式で提示	事後に環境問題やエネルギーに関して知りたい情報に関するアンケート
一般消費者②	1500名	行動設計に必要な情報の整理 設計能力と行動意図との相関の検証	インターネットアンケートを利用し、消費者を6つのグループに分け、各グループに異なる情報を提供	事前と事後に環境問題への関心度及び知識、設計能力、行動意図に関するアンケート

川崎市立宮内中学校での総合学習の授業を利用して、全体で約2時間の授業を計画、実施した。

成人及び一般消費者を対象とした検証では、学生のような長時間の授業実施は困難である。一方で、成人は家庭でのエネルギー消費行動の中心であり、環境に配慮した意思決定に直接関わる機会が多い。行動の変化に伴うCO_2削減効果や光熱費の削減効果といった、提供する情報の違いによる行動設計能力や行動意図の向上効果への影響を検証した。

3. 結果

ここでは、中学生を対象とした検証について結果を示す。授業で提供した情報を表 2 に示したA)～E)の5項目に分け、環境及び節電に関する正誤問題を回答させることによって、項目ごとに知識の定着度を評価した。実施した授業による行動支援効果を図 2 に示す。情報提供の結果C)とD)に関する知識の正誤問題の正答率が有意に上昇し、環境への影響を考えながら具体的な使い方を設計する能力の向上に効果があったといえる。これは、固有条件を考慮した具体的な情報提供を行ったこと、また、グループワークにより学生が能動的に工夫を提案する場を設けたことなどが要因として考えられる。一方、A)やB)に関する問題の正答率の上昇は有意ではなく、エネルギーのライフサイクルや節電効果といった抽象的な概念の定着には効果が低かったといえる。これはエネルギーのライフサイクルに関する説明が十分でなく、理解が難しかったことや、節電行動と環境配慮行動との間の複雑な関係を示したことにより中学生の理解に混乱を招いたことが考えられる。

表 2 学生への情報提供における評価項目

評価項目
A）エネルギーライフサイクルとCO_2排出の関係
B）季節と時間帯を意識した節電効果の必要性
C）節電行動とCO_2削減行動の関係
D）製品の使い方・組み合わせ方が消費電力、CO_2排出量に与える影響
E）生活の利便性・コストを考慮した節電・CO_2削減行動設計の必要性

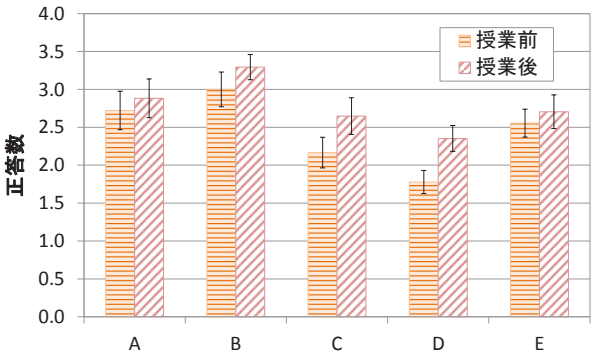


図 2 学生への情報提供効果と評価項目

4. 結言

消費者が家庭における環境に配慮したエネルギー消費行動を設計するために、必要な情報を整理した。属性の異なる消費者に対して実際に情報提供を行い設計能力や行動意図の向上効果の検証を行った。

参考文献

1) 畠中智史 他：第7回LCA学会研究発表会講演要旨集，(2011)，pp.130-131
2) Petty R. E., Cacioppo J. T. : Advances in Experimental Social Psychology .CA, Academic Press. San Diego, (1986), vol. 19, pp.123-205
3) 井村秀文，奥野幹夫，二渡了： 環境システム研究，21，(1993)，pp.170-179

節約行動はCO2を削減するか？

節約行動に伴うリバウンド効果の環境影響評価

Does Saving Money Save CO2?: Environmental Impact of Rebound Effect by Saving Behavior

○河尻耕太郎*[1,2)]、田畑智博[3)]、井原智彦[4)]
Kotaro Kawajiri, Tomohiro Tabata, Tomohiko Ihara
1)マサチューセッツ工科大学, 2)産業技術総合研究所, 3)神戸大学, 4)東京大学
*kotaro-kawajiri@aist.go.jp

1. はじめに

日本において、産業等のセクターのCO2排出量が減少する中で、家計由来のCO2排出量は全体の約20%を占め、近年増加しつつある。さらに、本来、産業等の他のセクターの活動は、最終消費者の消費活動によって間接的に起因するものと考えると、日本全体のCO2およびその他の環境負荷は、間接的にはすべて最終消費者の消費活動に由来するものと考えることができる。したがって、日本全体のCO2排出量を削減するにあたって、最終消費者の意思決定が及ぼす影響は大きい。

近年、長引く不況の影響や、将来の不確実な経済状況により、消費者の節約志向が高まりつつある。環境問題の観点からいうと、一見節約によって環境負荷が削減されるように思われるが、節約された金銭は銀行などに蓄積され、将来において別の財・サービスを購入するために費やされる。したがって、何を節約し、何を購入するか、節約行動によってもたらされる消費行動の連鎖（ライフサイクル）を明らかにしない限り、節約活動の正味のCO2削減効果は明らかにならない。本研究では、この金銭の節約と、それにともなう支出を、広義のリバウンド効果と解釈し、分析を行う。

過去の環境分野の研究において、消費者のリバウンド効果についての研究は少ない。Dowakiらは、エコカー補助金のリバウンド効果について、Thiesenらは、安いチーズを購入することで生じる余剰消費の影響を明らかにしている[1-2)]。しかしながら、リバウンド効果は、本来は物価の差異などに起因する現象として定義づけられており、本研究のような、物価の差異に起因しないようなリバウンド効果は、本来のリバウンド効果の定義からはやや外れており、その効果について明らかにした研究は存在せず、分析するための方法論も存在しない。

そこで、本研究では、消費者の節約に伴う消費のリバウンド効果について、CO2排出量の観点から明らかにする。また、節約のリバウンド効果を分析するための新たな方法論について提案する。最後に、得られた結果に基づいて、何を節約し、何を購入すればよいのかについて、CO2排出量の観点から、持続可能な消費の在り方について提案を行う。

2. 方法

2.1. ウェブアンケート

本研究では、ウェブアンケートを用いて、消費者行動の分析を行う。アンケートでは、全国消費実態調査[3)]によって用いられた項目に基づいて、21項目（1. 食料、2. 住居、3. 電気代、4. 都市ガス、5. プロパンガス、6. 灯油、7. その他の光熱費、8. 上下水道料、9. 家具・家事用品、10. 被服及び履物、11. 保険医療、12. 通信、13. 自動車等関係費、14. ガソリン・軽油、15. 電車・バス、16. 航空、17. 教育、18. 教養娯楽、19. 諸雑費、20. 預貯金・投資、21. 借入金返済）の消費項目を作成し、各項目について①年間支出金額、②年間支出金額中の節約可能金額、③節約可能金額の再支出額（リバウンド支出）について回答を得た。各項目のCO2原単位は、Iharaらの研究[4)]と、国立環境研究所の3EID[5)]に基づいて作成された。貯金のCO2原単位は、Thiesenらの手法に基づき、全支出項目のCO2原単位を年間支出額で重みづけした加重平均で得た[2)]。また、ローンについては、住居、自動車、教育、その他に分けて回答を得て、住居、自動車、教育についてはそれぞれのCO2原単位を用いて、その他については貯金同様全支出項目の加重平均を用いた。

アンケートは、NIKKEI RESEARCHによって2010年1月20〜25日まで行われ、約12000の回答を得た。得られた回答を、①年間支出金額の合計が収入以下である、②節約可能金額とリバウンド支出の合計値が一致する、③各項目の節約可能金額が年間支出金額よりも小さい、の3つの条件でスクリーニングを行い、最終的に2074の有効回答を得た。

得られた回答については、2004年の全国消費実態調査の結果と比較を行い、食費等のいくつかの項目については小さいものの、全体の分布としては統計的に類似した分布を有していることを確認した。

2.2. リバウンドマトリクス

本研究では、節約行動のリバウンド効果を分析するために、各項目の節約M_Sとリバウンド支出M_Rを分析するために、以下のようなリバウンドマトリクスRを提案する。

$$M_R = RM_S \qquad (1)$$

上記マトリクスは、１．推計された各個人のリバウンド支出と、実際のリバウンド支出の誤差が最小になる、２．各列の合計が 1 になる、ような制約条件を満たす行列式を最小二乗法で求める。

$$\text{s.t.} \quad \min \sum_{j=1}^{n} \left(M_{Ri} - M_{Ai}\right)^2 \qquad (2)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} R_{ij} = 1 \qquad (3)$$

最後に、(1)によって得られたマトリクスと、各項目の CO2 原単位より、各項目を節約したときの正味の CO2 削減原単位を、以下の式によって得る。

$$c_N^t = c^t (I - R) \qquad (4)$$

3. 結果

アンケートにより、年間の平均支出額は、約 340 万円であり、貯蓄と投資 18%、食料 14%、住居 11%、ローン 10%などへの支出が大きかった。

一方で、年間の平均 CO2 排出量は 12 トンであり、貯蓄と投資、ガソリンが 19%、電気が 17%、都市ガス 7%、軽油、食料が 6%と、貯蓄を除くと主にユーティリティーからの CO2 排出量が大きかった。

また、回答者は、年間 21 万円が節約可能で、その 40%が食費の節約によるものであり、他に貯蓄と投資、自動車、趣味と娯楽、教育などが大きな割合を占めた。

図 1 に、節約可能 CO2 とリバウンド CO2 の内訳を示す。節約可能な CO2 排出量は、0.7 トンであり、電気やガソリン、貯蓄と投資などが大きな割合を占めた。一方で、ユーティリティーへのリバウンド支出は極めて小さく、リバウンド CO2 の約 80%が貯蓄と投資によるものであった。

(1)の式により、リバウンドマトリクスが得られた。リバウンドマトリクスにより、たとえば、食費を 1000 円節約した場合、100 円が食費に、100 円が教養・娯楽に、720 円が貯蓄と投資に、80 円がローンに支出されることが明らかになった。本マトリクスにより、各項目で節約された金額が、どのように各項目にリバウンド支出として配分されるかを体系的に理解し、分析することが可能になった。

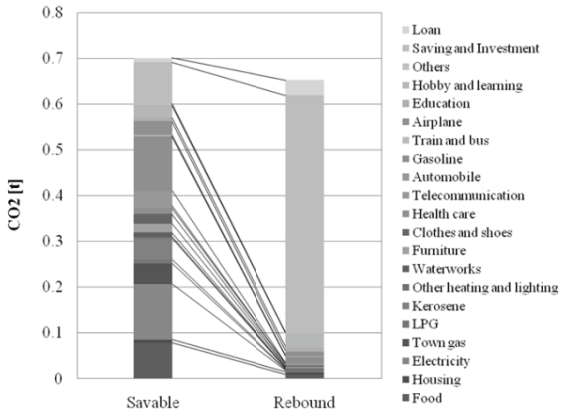


図 1. 節約可能 CO2 とリバウンド CO2

図 2 に、(4)で得られた各項目の正味の CO2 削減原単位を示す。図より、電気、都市ガス、軽油、その他の光熱費、ガソリンなどは、CO2 原単位が大きいうえに、リバウンドによる支出が小さいため、CO2 削減量が大きい。逆に、住居や被服及び履物、通信教育などは、節約して他の財・サービスを購入することで逆に CO2 が増加する。したがって、前述の正味の CO2 削減原単位の大きな項目を節約し、正味で CO2 が増加するような項目を購入することで、効率的に CO2 排出量を削減できる可能性が示唆された。

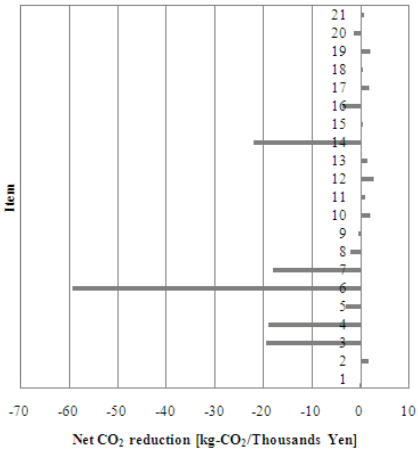


図 2. 正味 CO2 削減原単位

4. おわりに

本研究によって、消費者の節約行動に伴うリバウンド効果について明らかにした。本研究において提案されたリバウンドマトリクスは、節約行動に伴うリバウンド効果を分析する上で有効であった。最後に、本研究で得られた結果に基づいて、CO2 排出量を効果的に削減するためのリバウンドの在り方について提案した。

参考文献

[1] K. Dowaki, S. Okado, T. Ihara, and M. Yamanari,*J. Japan Soc. Energy and Resources*, Vol. 31, No. 6, 2010, pp.16-23.

[2] J. Thiesen, T. S. Christensen, T. G. Kristensen, R. D. Andersen, B. Brunoe,T. K. Gregersen, M. Thrane, and B. P. Weidema, *Int. J. LCA*, Vol. 13, No. 2, 2008, pp. 104-114

[3] The Statistics Bureau and the Director-General for Policy Planning of Japan, http://www.stat.go.jp/data/zensho/2009/index.htm

[4] T. Ihara, R. Motose , H. Kurishima, Y. Kudoh,Proc. 4th Int. Conf. Life Cycle Management, Capetown, 2009, in USB.

[5] Natinal Institute for Environmental Studies, 3EID database, http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/eng/index_e.htm

雨水活用を通じてLCTの重要性を伝える市民向け環境講演会の評価

Evaluation of an Environmental Lecture Meeting for Citizens Aiming at Telling the Importance of LCT through Rainwater Harvesting

○前川翔太*[1)]、笠井利浩[1)]
Shota Maegawa, Toshihiro Kasai
1）福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1.　はじめに

近年、地球温暖化による気候変動により、ゲリラ豪雨や異常渇水の発生頻度が増加している。本講演活動は、これらの対策として有効である雨水活用の普及と環境活動におけるライフサイクル思考（以下、LCT）の重要性を広く一般に伝える事を目的としたものである[1)]。講演内容は大きく分けて、①雨水の水資源としての可能性 ②環境活動におけるLCTの重要性　③環境負荷削減を目的とした雨水活用方法　に分類される。①では、一般に汚いイメージがある雨水の清浄性や豊富な水量を説明し、雨水が水資源として十分な価値を持つことを紹介する。②では、筆者らが行ってきた雨水活用による環境負荷削減効果に関する研究成果[2,3)]を基に、雨水活用による環境負荷削減効果と装置設置時の環境負荷量を示し、環境活動におけるLCTの重要性を説明する。③では、経済面や環境負荷削減面から有効な雨水活用を行うためのノウハウを紹介し、初めての人でも無理なく雨水活用が始められるよう配慮している[1)]。また、本講演活動では内容の約 1/3 を雨水に関連する音楽や映像で構成し、聴講者が楽しみつつ内容を理解できるようにしている。これにより講演内容を無理なく一般市民に伝え、実践行動に繋がる講演を目指している。

本研究は、これまでに行ってきた上記環境講演の評価を行い、よりよい講演とするための基礎データを得るためのものである。

2.　環境講演会の概要

2.1　受講対象者および実施状況

本講演活動の対象者は中学生以上の一般市民であり、平成23年度より山口県宇部市、福井県福井市、京都府木津川市および東京都墨田区等で実施している。講演開催は、NPO団体や公民館等からの要請を受けて行われており、受講者数は会場によって30名～120名程度である。

2.2　講演内容と特徴

講演時に用いるスライドとバイオリンの演奏風景を、図1に示す。講演では、この他にもレインスティックと呼ばれる雨音がする民族楽器等を取り入れたり、スライドにはイメージに合った美しい画像を用いるよう配慮している（図1左）。これまでの聴講者へのアンケート結果では、映像と音楽を取り入れた講演に対して、珍しいと同時に楽しみながら学習できると評価されている[1)]。



図1　講演スライドの例(左)と音楽演奏風景(右)

本講演活動の目的は、雨水活用の普及と環境活動におけるLCTの重要性を広く一般市民に伝え、実践に繋げることである。従って、講演の中ではただ単に言葉で説明するだけではなく、様々な体験を通じて説明するように工夫している。図1右のペットボトルは、雨水と水道水の水質を比較するためのものであり、聴講者が手にとって透明度の比較や洗剤の泡立ちの違いについて確認するためのものである。また、図2左のスライドは身近な容器である20Lポリタンク一杯分の水を新たな水の単位として定義し、水の“量”を捉え易くするためのものである。この新単位の提案後、聴講者には実際に水が入ったポリタンクを持ってもらい、体感的に水量を確認することで、1年間に屋根上に降る雨量等を理解し易いよう工夫している（図2右）。



図2　新たな水量を表す単位の提案(左)と1年間に屋根上に降る雨の量を示すスライド(右)

環境活動におけるLCTの重要性については、LCTに基づく環境教育用教材として実際に福井市内の小学校に設置している雨水活用装置を例に計算を行って説明してい

る（図 3）。簡単ではあるが、装置構成部材ごとにCO_2排出量として設置時の環境負荷量を算出する。また一方で、装置稼働による環境負荷削減効果を示すことで本質的な環境活動の難しさを説明する。この際に注意すべき点は、このような計算（インベントリ分析）が“ダメ出し”を行うためのものではなく、どの部分においてどの程度の環境負荷が発生することを明らかにすることで、全体として環境負荷削減を達成するための改善策を模索するための情報が得られることを強調することである。本講演では、雨水活用による環境負荷削減の方策として、雨水タンクに中古品を用いたり、シンプルな装置構成とする等の方法を提案している（図 4）。



図 3　雨水活用装置設置時の環境負荷量計算



図 4　初期投資を少なく抑えた雨水活用装置設置例

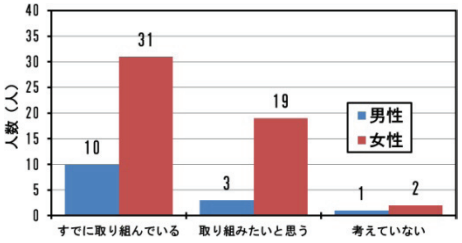
2.3　環境講演会の評価方法

本講演活動の評価は、講演会実施後のアンケート調査により実施している。理想的には、講演前後のアンケート調査結果の比較等を行って評価を行いたいと考えているが、事前申込等も必要としない講演会であるため不可能である。よって、雨水活用に関する質問や感想の受け付け専用の E-Mail アドレスを紹介し、講演会終了後も聴講者からの意見を収集する工夫を行っている。

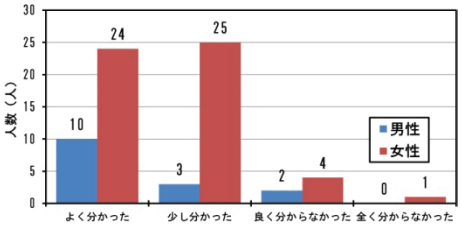
3.　環境講演会の評価結果

講演終了後のアンケートの質問は、選択・記述 11 項目と感想等の自由記述欄で構成されている。その中から、雨水活用への取り組みに対する質問、環境負荷定量化の重要性に関する質問および講演中で印象に残った内容に関する質問の結果を、図 5 に示す。このアンケートの回答者数は、77 名（男性 15 名、女性 62 名）であり、男性より女性の比率が大きい。

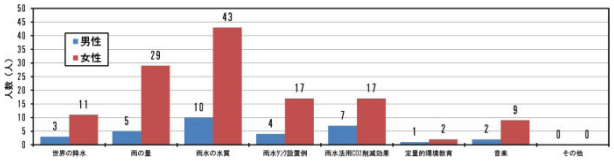
今後の雨水活用への取り組みについては、男女共に殆どが取り組むとの回答が得られている。しかしながら、既に雨水活用に取り組んでいる方の数が多く、この講演会に参加しようと考える時点で雨水活用に対する意識の高い方々が聴講していることが分かる。環境負荷定量化の重要性については、少しまたは良く分かったとの回答が殆どである。しかしながら、これらの回答を得た男女間の差をみると、男性の方が良く分かったとの回答比率が高い事が分かる。次に、講演の中で印象に残った項目に関する集計結果では、雨水の水質に次いで雨の量との回答が目立ち、本講演の目的の一つである雨水の水質に対する汚いイメージの払拭が行えている。また、次いで雨水タンク設置例や雨水活用によるCO_2削減効果との回答が多く、これらの内容についても本講演活動の目的が一定量達成できていることがうかがえる。



雨水活用に取り組もうと思いますか？



環境負荷をCO_2等の量として捉える事の重要性が分かりましたか？



講演で印象に残ったことは何ですか？（複数回答可）

図 5　アンケート集計結果（一部）

参考文献

1) 前川翔太, 笠井利浩(2012): 雨水活用を通じて真の環境行動を考える講演活動の評価, 日本環境教育学会第 23 回大会(東京)研究発表要旨集, 71

2) 笠井利浩(2012): 地域特性からみた一戸建て住宅における雨水活用装置の環境負荷削減効果, 日本雨水資源化システム学会誌, 18 (1), 27-33

3) Kasai T. (2012): Rainwater Harvesting for Environmental Load Reduction, The 10th International Conference on EcoBalance, CD-ROM

ライフサイクル思考に基づいたエネルギー環境教育用ソフトウェアの開発

Development of Software for Energy and Environmental Education Program based on Life Cycle Thinking

○平山世志衣[1)]*、　天野雄太[2)]、　本藤祐樹[3)]
Yoshie Hirayama, Yuta Amano,　Hiroki Hondo
1）特定非営利活動法人横浜 LCA 環境教育研究会、2）千代田化工建設株式会社、3）横浜国立大学
*hirayama@xx.em-net.ne.jp

1.　はじめに

著者らは、地球温暖化を題材とした教育プログラムならびにこのプログラムに用いる環境教育用LCAソフトウェアを開発してきた。この教育プログラムの特徴はライフサイクル思考（LCT）を応用し、日常生活で使用するモノを通して日常生活と地球温暖化との関係を学習者に実感させることにある[1)]。

この教育プログラムの過去の実践例では、LCTによる「個人の消費生活」と「温室効果ガスの原因となる社会活動」とのつながり感を高めることで、低炭素型行動の有効性、実効可能性、環境影響への責任感が誘導され、行動意図が向上する可能性が示唆された[2,3)]。また、ソフトウェアに組み込まれたモノのライフサイクルフローの可視化が、学習者の関心を引くことが示唆されており[4)]、LCTの応用による学習効果が期待される。

東日本大震災に伴う原発事故以降、エネルギー消費、発電技術等のエネルギーに関する市民の関心が非常に高まっている。しかし、家庭の消費生活におけるライフサイクルエネルギー（以下LCエネルギー）のうち、半分近くを占めていると考えられている間接的なエネルギー消費については、そのコンセプトが広く知られていない。

以上を踏まえ、本研究では間接的なエネルギー消費を含めた日常生活におけるLCエネルギーの係わりを学習するためのエネルギー環境教育用LCAソフトウェアを開発した。

2.　LCA ソフトウェアの機能

LCAソフトウェア「カバンの中のエネルギー消費」（以下、LCAソフト）は、主な学習者と想定している中高生が所持使用するノートなどの文具類、ラケットなどの運動用具、ハンカチなどの日用品の計55品目について、その所持数、使用期間、処分方法といった使用条件を入力することで、1年あたりのLCエネルギーを「素材」「輸送」「製造」「販売」「使用」「廃棄」「リサイクル」のステージに分解して、表示するものである（図1）。この機能を利用し、学習者が自分のカバンの中の所持品すべてを使用方法とともに入力することで、‘カバンの中’すなわち‘日常生活に伴う消費行動’のLCエネルギーを把握することができる。

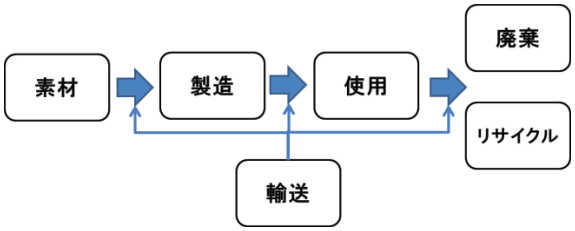


図1. LCAソフト搭載DB用ライフサイクルステージ

入力操作は、55 品目のイラストをカバンイラストの中にドラッグし、ドロップ時に開くウィンドウに使用方法を入力すればよい（図 2）。カバンイラストは、2 種用意されており、2 つのデータセットが作成できるようになっている。この 2 種のデータセットによる LC エネルギーの比較が可能である（図 3）。また、算出結果のライフサイクルステージや品目ごとに分解したグラフでの確認、各品目のライフサイクルフローの画像による確認ができる（図 4）。これらの機能により、LCA ソフトを利用した学習では、「学習者自身の消費行動による LC エネルギーの把握」、「消費行動の改善による LC エネルギーの削減効果」、「モノのライフサイクルを通した環境影響の把握」といった内容を盛り込むことができる。



図 2.　LCA ソフトウェア入力画面

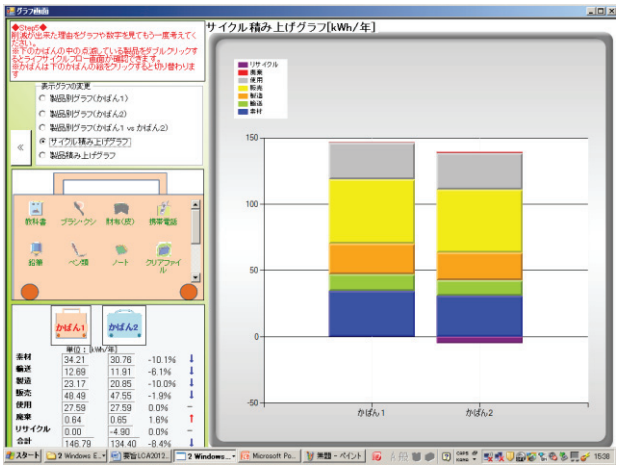


図 3. 2 種のデータセットによる LC エネルギー比較画面

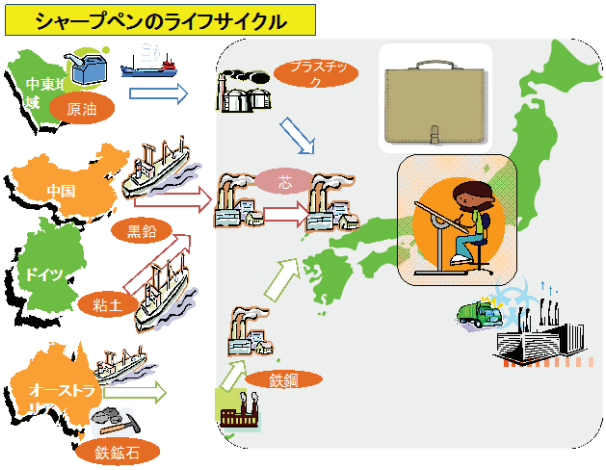


図4. LCAソフト搭載製品ライフサイクルフロー例

3. LC エネルギーデータ・ライフサイクルフロー作成

本LCAソフトのLCエネルギー算出用データは、55品目それぞれのLCインベントリ分析により作成している。

3.1 製品選択

対象となる製品は、中高生が所持することを想定した仕様、価格を設定したモデル製品である（表SI1）。これらのモデル製品のLCエネルギーを下記の手順に従って算出した。ただし、モデル製品と同等の市販製品があり、そのLCIデータが公開されている場合は、それを採用した。

3.2 ライフサイクルシナリオ

モデル製品のライフサイクルシナリオを製品の種類に適応したカーボンフットプリント試行事業における商品種別算定基準に準拠して設定した（表SI1）。海外より調達される原料は、貿易統計により輸入先を調査し、輸入量が最多である国から輸入されると想定して輸送距離を設定している。

3.3 LCエネルギー算出

設定した仕様、ライフサイクルシナリオに基づきLCA計算ソフトウェアMiLCA[5]により、各製品のLCエネルギーを算出した。この際、モデル製品の仕様（重量、素材）に合わせて、MiLCAに搭載されているプロセスデータの投入量や投入プロセスの種類を変更した（表SI1）。算出したLCエネルギーをLCAソフトの算出形式に対応するように図1のライフサイクルステージに配分した。

3.4 ライフサイクルフロー図の作成

設定したライフサイクルシナリオに従い、ライフサイクルフロー図（図4）の作成を行った。

4. 環境行動イベント来場者による試行

2012年9月と10月に横浜市で開催された環境行動促進を促すイベントにおいて、本LCA ソフトの体験ブースを設け、来場者に所持品の LC エネルギー算出と所持品の使い方により LC エネルギーを削減するシミュレーションを体験してもらった。体験者には、1人ずつ使用法を説明するインストラクターを付けた。体験者は10代から40代であった。イベント終了後のインストラクターのリポートによれば、体験者は概ねLCAソフトの使用法とLCエネルギーの存在を理解できたと考えられる。しかし、体験後の感想に、本ソフトで使用しているエネルギー単位であるMJになじみがないため、その大きさを想像するのは困難であり、電力消費量の単位として日常的に使用されるkWhの方がわかりやすいとの意見があった。また、本ソフト体験後の質問紙調査では、同時に実施した$LCCO_2$算出用ソフトウェア体験の参加者ほど、「ライフサイクル思考」、「エネルギー消費への責任感」といった意識や、「環境行動意図」の改善が見られない可能性が示唆された。日常生活と間接的エネルギー消費の関係を理解させるには、さらに何らかの方策が必要と思われる。

5. まとめ

エネルギー環境教育への利用を目指したLCエネルギー算出用ソフトウェアを開発した。LCTを取り入れ、学習者の消費生活の環境影響を定量的に示すことで、日常生活と消費によるLCエネルギーとの関連性に関する効果的な学習が期待できる。一方、このソフト使用体験者の調査結果から、エネルギー消費量を理解させるには何らかの方策が必要であり、電力に関してはより身近なエネルギー単位であるkWhを使用するのが、この方策の1つであることが示唆された。

参考文献

1) 本藤祐樹(2009)：日本LCA学会誌, 5(3),331-337
2) 平山世志衣ほか(2009)：日本LCA学会誌, 5(3),367-381
3) 中島光太ほか (2011)：日本LCA学会誌, 7(1), 84-39
4) 天野雄太ほか(2012)：日本LCA学会誌, 8(1), 55-65
5) 社団法人産業環境管理協会：MiLCA ver.1.1.2.5 http://www.milca-milca.net/

表SI1. LCAソフトウェア「カバンの中のエネルギー消費」 LCエネルギーデータ作成法

No.	製品	重量(kg)	価格(円)	MiLCA プロセス	MILCA プロセス投入量	ライフサイクルシナリオ作成用PCR
1	プリント	0.00046	2	洋紙・機械すき和紙、カーボンブラック	①	PA-AZ-02(日学用・事務用紙製品)
2	鉛筆	0.02	50	鉛筆	50円	PA-AS-01(筆記具類)
3	シャープペン	0.0113	100	ボールペン・マーキングペン	100円	PA-AS-01(筆記具類)
4	消しゴム	0.011	100	その他のゴム製品	0.011kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
5	ペン類	0.02	100	ボールペン・マーキングペン	100円	PA-AS-01(筆記具類)
6	修正テープ	0.035	250	その他の事務用品	250円	PA-BO-02(文具・事務用品)
7	ホチキス	0.05	300	その他のプラスチック異形形押製品、表面処理鉄鋼	0.05kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
8	ペンケース	0.03	300	その他のかばん類製造	100円	PA-BO-02(文具・事務用品)
9	クリアファイル	0.025	20	PP,プラ成形	0.025kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
10	ファイル	0.025	300	PP,プラ成形	0.25kg	PA-AR-01(ファイルバインダー)
11	ノート	0.3	100	ノート類	100円	PA-AZ-02(日学用・事務用紙製品)
12	書籍	0.2	200	平版印刷物(オフセット印刷物)	0.2kg	PA-AD-02(出版・商業印刷物)
13	雑誌	0.3	300	平版印刷物(オフセット印刷物)	0.3kg	PA-AD-02(出版・商業印刷物)
14	教科書	0.3	300	平版印刷物(オフセット印刷物)	0.3kg	PA-AD-02(出版・商業印刷物)
15	ティッシュ	0.01	10	衛生用紙	0.01kg	PA-BB-02(紙製容器包装(中間材))
16	ハンカチ	0.03	300	ハンカチーフ	300円	PA-BL-03(タオル製品)
17	タオル	0.1	300	タオル(ハンカチーフを除く)	300円	PA-BL-03(タオル製品)
18	ブラシ・くし	0.04	100	他に分類されないプラスチック製品(医療、衛生製品を除く)	0.04kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
19	鏡	0.03	100	鏡	0.0055m2	PA-BO-02(文具・事務用品)
20	油取り紙	0.005	300	衛生用紙	0.005kg	PA-BB-02(紙製容器包装(中間材))
21	手帳	0.14	700	帳簿類	700円	PA-AZ-02(日学用・事務用紙製品)
22	傘	0.26	2,500	傘・同部分品	700円	PA-BO-02(文具・事務用品)
23	小銭入れ(ビニール)	0.03	1,000	合成皮革製ケース	0.1kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
24	小銭入れ(皮)	0.04	3,000	袋物(材料の如何を問わない)	300円	PA-BO-02(文具・事務用品)
25	財布(ビニー	0.06	1,000	その他のかばん類	1000円	PA-BO-02(文具・事務用品)
26	財布(皮)	0.11	5,000	その他のなめし革製品	600円	PA-BO-02(文具・事務用品)
27	定期いれ	0.03	1,000	その他のなめし革製品(服装用ベルトを除く)	500円	PA-BO-02(文具事務用品)
28	鍵	0.025	500	錠かぎ	50円	PA-BO-02(文具・事務用品)
29	めがね	0.015	10,000	眼鏡、眼鏡レンズ	75円	PA-BO-02(文具・事務用品)
30	帽子	0.075	1,500	帽子・帽体	1500円	PA-AO-02(ユニフォーム)
31	スポーツシューズ	0.6	5,000	プラスチック製靴	0.6kg	PA-AO-02(ユニフォーム)
32	スポーツウェア	0.952	10,000	事務用・作業用・衛星用・スポーツ用衣服	0.952kg	PA-AO-02(ユニフォーム)
33	ラケット(テニス)	0.3	20,000	運動用具	0.3kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
34	ラケット(バトミントン)	0.085	20,000	運動用具	0.085kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
35	電池	0.0114	50	筒型マンガン乾電池	1個	PA-AU-01(小型二次電池)
36	電卓	0.1	2,000	計算機械	0.1kg	PA-BO-02(文具・事務用品)
37	携帯電話		26,991	②		②
38	電子辞書	0.1	20,000	③		③
39	ゲーム類	0.3	15,000	電子応用がん具	0.2個	PA-BO-02(文具・事務用品)
40	オーディオ機器	0.043	20,000	デジタルオーディオディスクプレーヤー	0.2個	PA-BO-02(文具・事務用品)
41	カメラ	0.115	14,500	④		④
42	食品包装(パン等)	0.004	100	包装用軟質プラスチックフィルム、再生プラスチック成形材料、プラスチック成形材料	0.004kg	PA-BC-01(プラスチック製容器包装)
43	パック飲料	0.01043	100	⑤		⑤
44	アルミ缶飲料	0.0159	120	⑥		⑥
45	ペットボトル飲料	0.03386	150	⑦		⑦
46	弁当箱	0.25	1,500	プラスチック製日用品・台所用品・食卓用品	0.25kg	PA-AQ-02(食器(陶磁器・合成樹脂))
47	水筒	0.2	1,200	台所用・食卓用ほうろう鉄器	0.2kg	PA-AQ-02(食器(陶磁器・合成樹脂))
48	日焼け止め	0.01	1,400	クリーム(化粧品)	0.005(容器0.005)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
49	ファンデーション	0.05	3,000	ファンデーション	0.005(容器0.045)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
50	マスカラ	0.015	1,450	口紅ほお紅アイシャドー	0.0015(容器0.0135)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
51	アイライナー	0.01	1,170	口紅ほお紅アイシャドー	0.001(容器0.009)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
52	アイシャドウ	0.01	1,500	口紅ほお紅アイシャドー	0.001(容器0.009)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
53	チーク	0.025	1,340	口紅ほお紅アイシャドー	0.0025(容器0.00475)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
54	まゆペン	0.01	1,050	口紅ほお紅アイシャドー	0.001(容器0.009)kg	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)
55	ビューラー	0.03	1,000	その他の金属製品	20円	PA-BR-01(広範囲エネルギー非使用型)

参照資料

① リコー 「コピー用紙のLCA」 1997 (HP)http://www.ricoh.co.jp/ecology/history/presen/pdf/lca.pdf(2011.3)
② P社 携帯電話製品
③ 即効的・革新的エネルギー環境技術開発に関するLCA調査(2003年3月、NEDO) P207
④ エコリーフ AP-09-061
⑤ H16容器包装ライフサイクルアセスメントに係る調査事業報告書 H17.3 (財)政策科学研究所 P109
⑥ H16容器包装ライフサイクルアセスメントに係る調査事業報告書 H17.3 (財)政策科学研究所 P96
⑦ H16容器包装ライフサイクルアセスメントに係る調査事業報告書 H17.3 (財)政策科学研究所 P83

ライフサイクル思考を取り入れた初等教育用環境教育プログラムの開発

Development of an Environmental Education Program Based on Life Cycle Thinking for Elementary Education

○笠井利浩*[1)]、本多真吾[2)]
Toshihiro Kasai, Shingo Honda
1）福井工業大学、2）福井市立東安居小学校
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1.　はじめに

筆者らは、平成22年度から雨水活用装置（図1）を用いた、初等教育におけるライフサイクル思考（以下、LCT）に基づいた環境教育を提案・実践してきた[1,2]。この環境教育プログラムは、“水”という最も人間にとって身近な物質を教材に用いることによる関心の高まりと、定量的に捉え易い点に特徴を持つ。これに対し、今年度から新たに緑のカーテンを教材に加え、小学校全学年を対象とした、継続的な環境プログラム（長時間体験型環境教育プログラム）に発展させた。

本報は、今年度から新たに実施しているLCTに基づく環境教育プログラムの紹介と評価を行うものである[3)]。

2.　方法

2.1　環境教育用雨水活用装置の概要

福井県福井市内の小学校に設置した環境教育用雨水活用装置を、図1に示す。この装置は、花壇等がある中庭に面した体育館側壁横に設置されており、春～秋の期間中は花壇等の水やりに利用されている。また、雨水送水管の一部は校舎内に引き込まれ、年間を通じて清掃時の雑巾洗浄用水として利用されている。本装置には、説明用パネル（図1左）が設置され、現在の雨水利用の可否および設置時から現在までの積算雨水活用量とそれに伴う環境負荷削減量が記載できるようになっている（これらの数値は、貯水タンク横に設置されている積算水量計の値を基に、環境委員会の児童が記載している。）。



図1　小学校に設置した雨水活用装置（タンク容量：2m^3）

2.2　環境教育用緑のカーテンの概要

今年度より、前述の雨水活用装置に追加設置した環境教育用の緑のカーテンを、図2に示す。この緑のカーテン用プランターには、土中水分量を常に最適に保つ装置が設置されており、植栽された植物（ゴーヤ、ヘチマおよびアサガオ）は水ストレスが少ない環境下で成長できる。従って、植物の成長速度は非常に早くなり、同様のシステムが設置された緑のカーテンでは最大約30mにまで達したとの報告もある[4)]。また、この装置によってプランター底面の水抜き穴が不必要になり、結果的に散水した水の全量が植物に吸い上げられている事になる。なお、今夏の緑のカーテンによる最大水消費量は、1日当たり600ℓであった。来年度は、今年度得られた水消費量に関するデータを基にしてシステムの再構築を行い、緑のカーテンで消費される水を雨水で補えるようにする予定である。この「緑のカーテン－雨水活用装置連携システム」の効果については、雨水用途の違いによる環境負荷削減効果の差として新たに教材に活用する。



図2　小学校に設置した緑のカーテン（幅18m、高さ10m）

2.3　環境教育プログラムの概要

本環境教育プログラムは、小学生全学年を対象にしたものであるが、LCTに基づく環境教育内容を取り扱うのは4～6年生を対象とした授業が中心となる（図3）。1～3年生には一般的な環境教育と同様、中庭花壇への雨水散水や緑のカーテンの成長観察を行わせることにより、自然や設備に対する関心を持たせるための準備期間とす

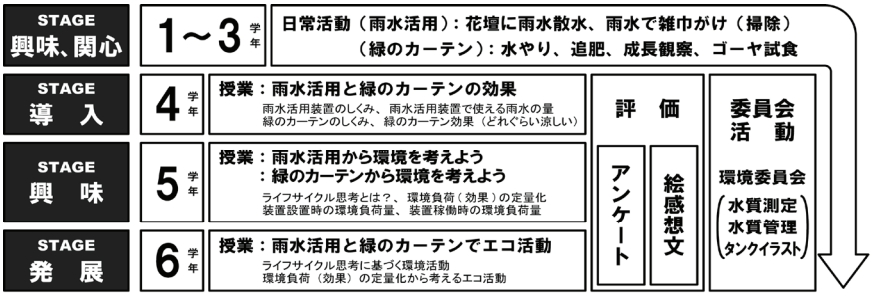
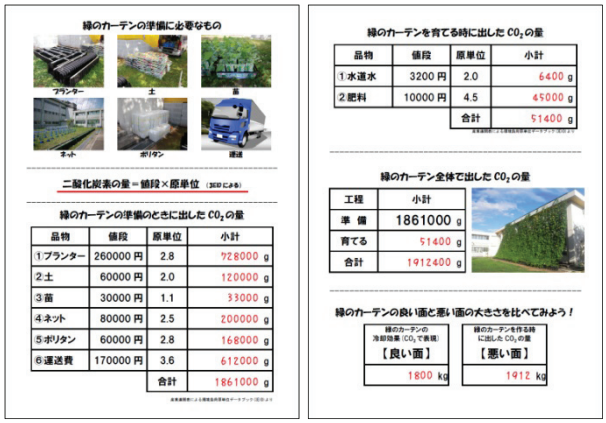


図３　小学校各学年における本環境教育プログラムの流れ

る。4年生は環境教育へのLCT導入の準備期間とし、授業では図1および図2の各装置による効果部分についてのみ採り上げ、定量的に効果を評価することの重要性を説明する。5年生には、“エコ”な取り組みの裏側にも環境に対して良くない一面があることを説明すると共に、授業の中で各装置に対する設置時の環境負荷量と、装置稼働による環境負荷削減効果の計算をワークシートを用いて体験させる（図4）。なお、この説明の際の注意点として、LCTに基づくこのような計算の目的が挙げられる。環境活動に対するこのような評価は、“ダメ出し”を行うためのものだけではない。従って、本環境プログラムでは、このような評価が全体としての環境負荷削減を達成する方策を考えるための情報を得るためのものであることを強調している。6年生には、5年生で学んだLCTの考え方を身の回りのエコ活動（例えば、古紙回収等）に適用し、これらの活動について同様の計算を行い、全体としての環境負荷削減に向けた方策を考えさせる。



緑のカーテンの準備に必要なもの

二酸化炭素の量＝値段×原単位

緑のカーテンの準備のときに出した CO_2 の量

品物	値段	原単位	小計
①プランター	260000 円	2.8	728000 g
②土	60000 円	2.0	120000 g
③苗	30000 円	1.1	33000 g
④ネット	80000 円	2.5	200000 g
⑤ポリタン	60000 円	2.8	168000 g
⑥運送費	170000 円	3.6	612000 g
		合計	1861000 g

緑のカーテンを育てる時に出した CO_2 の量

品物	値段	原単位	小計
1 水道水	3200 円	2.0	6400 g
2 肥料	10000 円	4.5	45000 g
		合計	51400 g

緑のカーテン全体で出した CO_2 の量

工程	小計
準　備	1861000 g
育てる	51400 g
合計	1912400 g

緑のカーテンの良い面と悪い面の大きさを比べてみよう！

緑のカーテンの冷却効果（CO_2 で表現）	緑のカーテンを作る時に出した CO_2 の量
【良い面】	【悪い面】
1800 kg	1912 kg

図４　緑のカーテン設置時の環境負荷量と効果計算用ワークシートの例

教育効果の測定には、アンケートと絵感想文（絵日記風の自由記述式用紙）を用いている。アンケート調査は、年度初め（4月）と年末（12月）に実施し、絵感想文は各学年向けの授業の前後に実施している。アンケート調査は、回答に要する時間が比較的短く、また集計する者にとっても容易な方法である。しかしながら、回答時にアンケートの文章による誘導の影響も否定できず、必ずしも正しい結果が得られるとは限らない。一方、絵感想文は、自由記述式であるので児童によって異なる意識の差が表れると考えられるが、集計方法や児童の文章力等の差による影響が考えられる。

3.　結果および考察

図5に、KH Coderの共起ネットワーク表示機能を使った分析例を示す。この分析例は、環境負荷に関する内容を含まない雨水活用に関する環境教育授業を前年度に行った児童の絵感想文の分析結果である。各単語間の結びつきや線の太さから1年前に行った雨水貯留に関する実験の印象が強かったことが分かる。

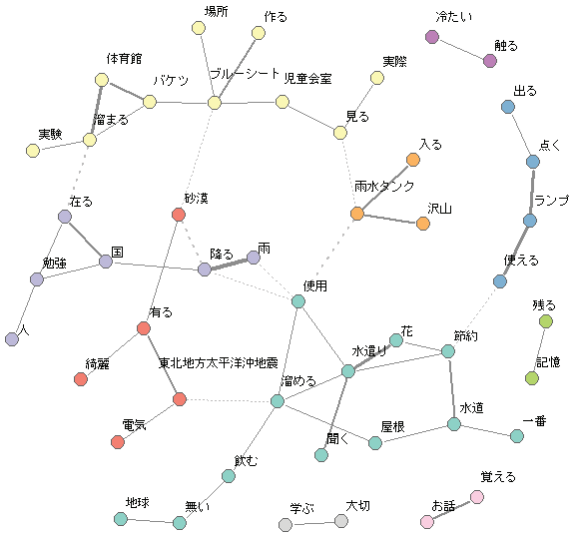


図５　絵感想文の分析例

参考文献

1) 笠井利浩，玉村正人(2011)：雨水利用装置を用いた環境教育用教材の提案，福井工業大学研究紀要，41,345-353
2) 笠井利浩，玉村正人(2011)：初等教育における雨水利用装置を用いた定量的環境教育プログラムの提案，第6回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，386-387
3) 笠井利浩，本多真吾(2012)：定量的要素を取り入れた新しい環境教育プログラムの開発，日本環境教育学会第23回大会（東京）研究発表要旨集，70
4) 次世代型造園法「マップ式」：http://www.map-corp.com/index.htm (2012/12/31)

【謝辞】本報告は、学術研究助成基金助成金「定量的要素を取り入れた新しい環境教育プログラムの開発（課題番号：24650542）」の研究成果報告の一部である。

継続的な環境教育カリキュラムの開発及び実践

～ライフサイクル思考を導入した環境教育の実践報告～

Development and practice for continuous environmental education curriculum - Practice report of environmental education on life cycle thinking -

○北村祐介*[1)]、郷なおこ*[1)]、○堀口 健[2)]、水野建樹[3)]、伊坪徳宏[2)]
Yusuke KITAMURA, Naoko GO, Ken HORIGUCHI, Tateki MIZUNO and Norihiro ITSUBO
1) LCT・LCA を用いた環境教育促進団体-elsa-,　2) 東京都市大学,　3) 未踏科学技術協会
*elsa.lca2010@gmail.com

1. はじめに

「LCT・LCA を用いた環境教育促進団体-elsa-」（以下、本プロジェクト）は、東京都市大学等々力中学校・高等学校のカリキュラムにおいて2010年より中学生全学年を対象に実施されている土曜理数系プログラムの一環として環境教育プログラムを継続的に実施しており、今年で3年目を迎えた。同校の協力の下、プログラムで用いている環境教育の教材の開発をはじめ、それを用いた授業を実施している。本プロジェクトの教材の特徴は、ライフサイクル思考を導入していることであり、全国的に実践例が少ないと考えられる。本稿では、初期のプログラムから現在に至るまでの経緯を含め、プログラム構成とその内容について、実際の授業内容の一部を紹介する。

2. 社会的背景

我が国における環境教育は、1960 年代の公害問題に対する市民の環境への関心の高まりに端を発している [1)]。市民による公害を通じた環境問題への関心は、やがて自然そのものへ移り、自然を愛する心を育む機会としての役割も果たすようになった。そして、近年では消費者の視点による環境配慮行動を促すための教育の事例が見られるようになった。一方、環境情報の開示だけでは、環境配慮行動を促すことが難しいことも指摘されている [5)]。

本藤ら [5)] は、環境配慮行動が十分にいきわたらない理由の一つに認知的な意味での「ミッシング・リンク」が存在するとともに、日常生活の消費行動が地球温暖化と結びついていることを認知そして実感するためには「ライフサイクル思考」が有効であるという仮説を提示している。世界規模の環境問題が進行している現在、身近な環境の変化だけではなく、自分の行動が促す間接的な環境への影響にも考えを巡らせることを求めるライフサイクル思考を環境教育に導入する意義は大きい。

日本環境教育学会においても、環境教育の主たる要素に「関係性学習」と「統合的学習」の 2 つを挙げ、複数の問題を複合的に考える力とそれらを統合的に捉える力を育成することを求めている [6)]。

ライフサイクル思考はこのような社会的な要請に対する非常に重要な思考ツールだと考えられる。しかし、ライフサイクル思考によって環境問題を理解するためには、それを支える基礎知識として、幅広い環境問題に関する知見が必要であり、そうした基礎知識の育成からその発展としてのライフサイクル思考による環境配慮行動の選択に至る総合的な環境教育プログラムが求められる。

3. 既往研究の整理

ライフサイクル思考（LCT: life cycle thinking）やライフサイクルアセスメント（LCA: life cycle assessment）を用いた環境教育の事例は、これまでにも多く報告されている。

郷ら [7)] や中村ら [8)] は「ライフサイクル思考」の概念を中学生に説明することで理解を促し、その効果を検証した。一方、山口ら [9)] はそうした既往研究の経年変化を検証し、ただ概念的にライフサイクル思考の考え方を教えるだけでは知識として定着しないことを明らかにした。

これらの試みは、座学による講師が受講生にライフサイクル思考の概念を説明する形式のものであったが、田原ら [10)] や水野ら [11)] は教材に着目し、受講生が興味を持って学ぶための仕掛けづくりや受講生に対して教えるべき内容について提案している。

この他、大学の学園祭のカーボンオフセットにおける CO_2 排出量を LCA で求め、来場者に掲示した例 [12)] がある。

4. 環境教育プログラムの概要

本プロジェクトが実施した環境教育プログラムでは、ライフサイクル思考を導入すると同時に、これを理解する上で必要と考えられる基礎知識を養うことをカリキュラムに盛り込んだ。これは、ライフサイクル思考を基にした環境教育プログラムとして、多様な環境問題を複眼的に評価できる LCA の特徴を反映し、幅広い視点を受講生に教育することを目指したためである。また、環境教育が注目を集めている一方で、環境問題を包括的に扱ったテキストがまだ少ないのが現状であり、プログラムで用いている教材は、「環境社会検定試験（eco 検定）」の公式テキスト [13)] を始めとする既往の環境教育のテキストや新聞記事を参考に独自に制作している。

プログラムは、中学 1 年生の秋学期に開講し、中学 3 年生の春学期までの 2 年間に渡って実施する。カリキュラムは大きく 2 つに分かれ、これらが順に実施される。

前半では、約 1 年半をかけ、一般的に環境問題を学ぶ意義を説明し、表 SI1 に示す「地球温暖化・気候変動」や「生物多様性」、「食料問題とごみ問題」、「貧困問題と幸福感」といった全 4 項目に渡る主要なトピックスについて事例を交えながら解説していく。これにより、現在、社会で問題になっている環境問題の概要を整理し、環境問題の解決に向けた意思決定を行うための基礎を築く。

後半では、前半で学んだ環境教育の基礎知識を基に、ライフサイクル思考を導入して具体的な製品カテゴリを例に、身近な製品と環境問題の関わりについて解説する。最終課題として、ライフサイクル思考に基づいて環境負荷を削減するための提案を受講生に考えてもらう。

これらの講義は、座学を中心に月に 1 回 2 時限のペースで進めていくが、一方的な知識の伝授にならないよう、様々な授業形態を組み入れている。例えば、カリキュラムの初めに興味を引き出すためのクイズ大会を実施する他、意見交換を通じて知識や考えを深めるためにグループでのディスカッションや調査実習を設けている。様々な視点を養うとともに、グループ討議のような他の人の意見を聞く機会やレポートの作成、PowerPoint を用いたプレゼンテーションといった知識をアウトプットする過程を経て、自分の意見を批判的に捉え、さらに考えを深めていくことを目指している。

この他、2 回の校外学習も設けており、江戸東京博物館を見学し、江戸時代と現在の暮らしぶりを比較し、当時と現在で環境負荷の大きさを考察する課題を課している。

総じて本プログラムが目指すところは、環境問題への「気付き」を与える教育から「知識」や「態度」を育成する時期になる中学生や高校生に対して、環境とそれに関する基本的な理解を身に付け、自ら環境の改善に参加する意欲を持つきっかけを与え、実践的な取り組みにつなげるトレーニングを行う場を提供することである。

5. 受講生からのフィードバック

受講生にアンケートを実施し、環境問題への関心や環境教育の受講経験、プログラムを通じた授業の理解度に関する受講生からのフィードバックを得ている。

受講生の当初の環境問題への関心は、地球温暖化や生物多様性といったメディアで盛んに取り上げられる問題への関心が高い傾向が見られる。一方で受講をきっかけに生物多様性・食料問題・貧困問題といったカテゴリへの興味もやや高まっていることが分かった（図 SI2）。

6. 今後の展開

本プログラムを既に受講を終えた生徒もいるため、彼らからのフィードバックを得ながら、教材やカリキュラムの更新を図っていきたい。環境問題への関心は世界的にも高まる一方であり、議論の進展が速いことも事実である。一般教養の一環として環境問題に関する知識や関心を養っておくことは、将来的に大いに役に立つと考える。そうしたことから、教材に最新の時事的な話題を盛り込むなどの工夫を重ねていきたい。

7. 結言

本稿では、「LCT･LCA を用いた環境教育促進団体-elsa-」が主宰し実施している環境教育プログラムの概要と実践の模様を報告した。本プログラムは、LCT に基づいた教育に主眼を置き、LCT を理解するために必要な環境問題の基礎知識の習得と LCT の実践的な活用を盛り込んだ点が大きな特徴として挙げられる。今後は、受講生からのフィードバックを基に、さらなる教材の改良を進める。

謝辞

本教育プログラムは、東京都市大学等々力中学校・高等学校の厚意と甚大な支援により実施されている。ここに謝意を示す。

参考文献

1) 郷 なおこ, 北村祐介, 水野建樹, 伊坪徳宏：第 7 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, D1-26 及び P2-96.
2) 北村祐介, 郷 なおこ, 水野建樹, 伊坪徳宏：日本環境教育学会第 23 回大会, (2012), 11D08
3) 郷 なおこ, 北村祐介, 水野建樹, 伊坪徳宏：日本環境教育学会第 23 回大会, (2012), 11D09
4) 御代川貴久夫, 関 啓子：環境教育を学ぶ人のために. 世界思想社, (2009)
5) 本藤祐樹, 平山世志衣, 中島光太, 山田俊介, 福原一朗：日本 LCA 学会誌, 4 (3), 279-291, (2008)
6) 日本環境教育学会編：環境教育. 教育出版, (2012)
7) 郷 なおこ, 水野 建樹, 津田 祥子, 伊坪 徳宏：第 2 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, P2-06.
8) 中村 あゆみ, 水野 建樹, 津田 祥子, 伊坪 徳宏：第 3 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, P2-40.
9) 山口 佳恵, 水野 達樹, 伊坪 徳宏：第 4 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, C1-07.
10) 田原 聖隆, 藤井 千陽, 津田 祥子, 水野 建樹：第 5 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, B2-10.
11) 水野建樹, 津田 祥子, 伊坪 徳宏：第 5 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, B2-09.
12) 堀口 健, 加藤 宏一朗, 近藤 裕壮, 中原 秀樹, 伊坪徳宏：第 4 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, D2-08.
13) 東京商工会議所：環境社会検定試験 eco 検定公式テキスト. 日本能率協会マネジメントセンター, (2006)

表 SI1　環境教育プログラムのカリキュラム

講	講義の主題	内容
1	クイズ大会	環境問題に関するクイズを出題し、興味・関心を喚起する。
2	気候変動と地球温暖化	気候変動の仕組みと地球温暖化による影響を解説する。
3	生物多様性	生物多様性や生態系の重要性を説明し、現状の状況を解説する。
4	食料問題とごみ問題	食料の需給の現状と廃棄物の増加とその施策について解説する。
5	貧困問題と幸福感	貧困問題ならびに所得の増加と幸福感の関係について解説する。
6	ライフサイクル思考で考える～携帯電話～	携帯電話のライフサイクルを事例に「ライフサイクル思考」の概念とそれによる利点を説明する。
7	ライフサイクル思考で考える～給食～	第 6 講と同様に、給食を対象に環境負荷を概観する。
8	ライフサイクル思考で考える～ペットボトル～	第 6 講と同様に、ペットボトルを対象に環境負荷を概観する。
9	2 年間のまとめ	第 8 講までに説明したことを復習する。
10	調査学習：動物園	近隣の動物園を訪ね生物多様性や生態系について理解を深める。
11	発表課題：準備①	PowerPoint を使った発表スライドの作成方法の講義と実習を行う。
12	調査学習：江戸東京博物館	江戸東京博物館を見学し、暮らしと環境負荷を考察する。
13	発表課題：準備②	第 11 講に続き、発表スライドの作成のための情報収集と整理を行う。
14	発表課題：準備③	第 13 講に続き、発表スライドの作成のための情報収集と整理を行う。
15	発表課題：発表会	第 14 講までに作成した PowerPoint のスライドを使って、いくつかの業種の企業に対する環境配慮の提言を行う。

受講生アンケートの回答からの抜粋

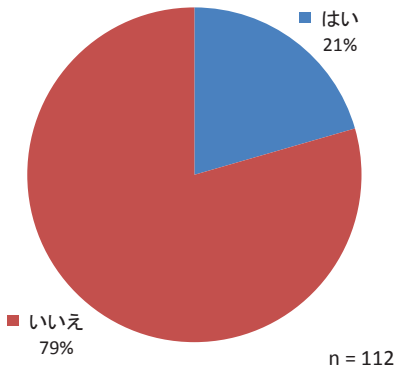


図 SI1　環境教育の受講経験の有無

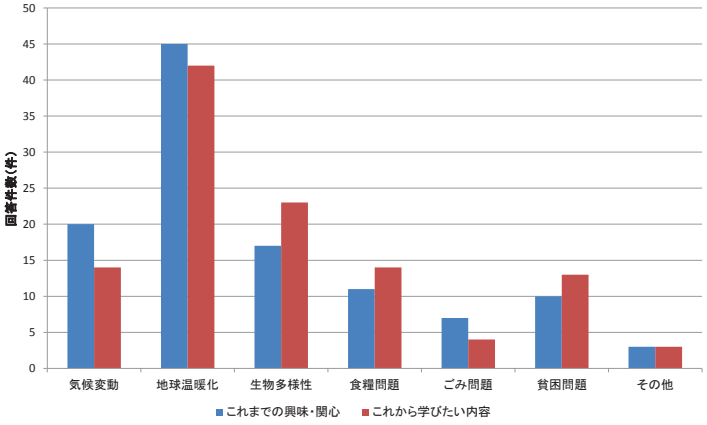


図 SI2　関心のある環境問題

環境教育におけるカーボン・オフセットのモデル事例
～東京都市大学等々力中学校・高等学校の取組～

Model case of carbon offset on environmental education
- Practice of Tokyo City University Todoroki Junior and Senior High School -

○北村祐介*[1)]、郷なおこ*[1)]、山崎芳彦[2)]、○堀口 健[3)]、伊坪徳宏[3)]
Yusuke KITAMURA, Naoko GO, Ken HORIGUCHI, Tateki MIZUNO and Norihiro ITSUBO
1) LCT・LCA を用いた環境教育促進団体-elsa-,　2) 東京都市大学等々力中学校・高等学校,　3) 東京都市大学
*elsa.lca2010@gmail.com

1.　はじめに

著者らは、東京都市大学等々力中学校・高等学校における土曜理数系プログラム「環境」において環境教育プログラムを継続的に実施しており、今年で 3 年目を迎えた。2012 年には授業の実施によって排出される CO_2 を排出枠（排出権、クレジット）の購入し、国が指定する口座への移転・無効化手続きによってカーボン・オフセットを実施した。教育機関としては初めてのカーボン・オフセット認証を受けた実施事例であり、学校としての取り組みをきっかけに学校の構成員の一人である生徒にも周知し意識を広めるなどの努力を進めている[1)]。

本稿では、このカーボン・オフセットの実施の概要について報告する。

2.　オフセット実施の背景

前報[1)]でも示している通り、著者らはライフサイクル思考（LCT: life cycle thinking）を導入した環境教育プログラムを展開している。本プログラムの目標は、広く環境問題に関する知識を身に付け、LCT によって環境配慮のためにできることを主体的に考え、実践することができるようにすることである。プロクラムの中でも、知識を蓄えるだけではなく、自ら関連する情報を収集し、議論やレポートの作成を通じて考えを深め、自分の考えを PowerPoint のようなプレゼンテーションツールを駆使して発表することを盛り込んでいる。

本稿で報告するカーボン・オフセットプロジェクトは、この環境教育プログラムの一環として取り組んでいる。環境問題を学んだ生徒たちに、実際に環境問題を解決するための試みの一つとして身近な生活からの環境負荷、すなわち授業の実施によって温室効果ガスが排出されていることを実感してもらう。さらにこれをカーボン・オフセットによって相殺することで、「環境負荷削減」の方法が多様にあり、工夫次第でいろいろな方法で削減することができることを実感してもらうとともに、自分たちでもできる環境負荷削減に向けた試みを考えてもらうきっかけを作ることを目的としたものである。

3.　カーボン・オフセットの概要

3.1.　CO_2 排出削減努力の実施

環境省による指針[2)]によれば、カーボン・オフセットを実施する際に、CO_2 排出を抑制するための対策を講じることが望ましいとされている。同校においては、「廃棄物など、ゴミの分別を徹底」、「備品、消耗品等はグリーン調達を推奨」、「制服リユースの検討」などが実施されており、カーボン・オフセットのための CO_2 排出量の算定範囲内においては、「校舎内では無駄な電気を消すことを習慣づけ、新校舎においては人感センターで消し忘れの防止を徹底」、「クールビズやウォームビズを推進して空調温度を調整」、「トイレや手洗い場での節水の徹底」といった対策が挙げられる[3)]。

3.2.　CO_2 排出量の算定方法と算定結果

算定範囲は、「校舎利用に伴うエネルギー利用」を対象とした。これは、実態に即したデータの入手が容易な箇所を優先したためである。また、算定対象とする温室効果ガスは、CO_2 のみとした。

算定方法は、電力使用量やガス使用量といった活動量とそれぞれの活動量に対応する CO_2 排出量原単位の積を取り算定した。活動量は 2011 年 4 月から 2012 年 3 月における電力、都市ガス、水道の利用実績を用いた。また、CO_2 排出量原単位は環境省による数値[4)]を用いた。当該期間における活動量の総計を授業日数で除すことで、1 日当たりの平均活動量を算出し、これに土曜理数系プログラム「環境」の授業日数である 15 日から校舎を使っていない校外学習日と授業時間数がクラスによって異なるクラス別授業日を除いた 13 日で乗じることで、授業の実施による CO_2 排出量を求めた。

以上の通り、CO_2 排出量を算定した結果、22.10t-CO_2 となった。この算定結果に基づき、23t-CO_2 のクレジットを購入し、カーボン・オフセットすることとした。

3.3.　利用した排出枠（排出権、クレジット）

今回のカーボン・オフセットでは、「京都クレジット」（CER: Certificated Emission Reduction）と「オフセット・

クレジット（J-VER）」を導入した。インドのバイオマス発電所を建設し野焼きされていた農業残差を燃料として発電したことによる京都クレジット（CER・ゴールドスタンダード）、ならびに北海道広尾町における「北海道広尾町有林における森林吸収プロジェクト～サンタの森づくりプロジェクト～」と岩手県における「岩手県県有林における森林吸収量取引プロジェクト」によるオフセット・クレジット（J-VER）を購入し、国が指定する口座へ移転・無効化することによってカーボン・オフセットを実施した。環境教育プログラムが海外の問題も取り扱っていることから、国内と海外のクレジットを用いた。

3.4. 環境教育プログラムへの活用

先述の通り、ライフサイクル思考に基づいた環境教育プログラムでは、環境問題を学んだ生徒たちに、環境負荷を直接的に削減しようとしても限界があることは明らかではあるが、諦めるより削減しきれていない環境負荷を相殺することにより総量を軽減していくことが可能であることを、カーボン・オフセットを一例として知ってもらうことを目的としている。授業の中でカーボン・オフセットの仕組みを説明し、本取り組みが環境負荷削減の一助となることを実証した。

4. 今後の展開

CO_2 排出量の推計の点においては、推計対象とする活動をライフサイクル思考に基づいてより幅広く設定することが望ましいと考えられる。例えば、過去に系列大学の学園祭の開催によって排出される CO_2 をカーボン・オフセットした事例においては、キャンパス内で使用される電力やガス、水道だけでなく、学生や教職員、来場者のキャンパスまでの移動や開催に伴って購入された各種の物品の製造や運搬による CO_2 排出も含んだ CO_2 排出量の算定を行っており、電力やガス、水道の使用以外からの排出も充分に大きいことが示されている [2]。また、SCOPE3 によって組織の温室効果ガス排出量の算定方針が示されており、こうした国際的なガイドラインに基づいた算定も視野に入れることが望ましい。

実施対象となっている同校としては、本取り組みが環境への行動を起こす一歩として位置付けている。今後は、授業を受講した生徒自身が率先して環境活動に取り組む環境を校内に整備していくことを検討している。生徒だけでなく、教員も環境の講座を受けることが新鮮であると評価されていることからも、各教科と相互に補完できるよう、さらに工夫を重ねていく。生徒への理解を促し、生徒から家庭へ、家庭から地域へとつながることが期待される。今回のカーボン・オフセットの事例を学んだことを次の事例へ活かすことが教育の中でカーボン・オフセットを行う大きな意義であると考えている。今後、この取り組みをきっかけとして低炭素社会を実現する人材を育てることを目指す。

また、各教育機関がこの取り組みを様々な活動に適用して応用例が増えることで、CO_2 排出量の傾向を明確化し、CO_2 排出のホットスポットが特定できれば、大きな潜在的カットオフを防ぐことができるようになると考えられる。

5. 結言

本稿では、著者らが主宰している環境教育プログラムにおいて、東京都市大学等々力中学校・高等学校と共に実施した授業の実施による CO_2 排出を対象としたカーボン・オフセットの概要を報告した。今回の取り組みは、教育機関である同中学校・高等学校がカーボン・オフセットを実施するだけでなく、生徒をはじめとする学校の構成員に対してカーボン・オフセットの周知を行い、広くその意義の浸透に理解に努めた。

最後に、本稿で紹介したカーボン・オフセットの詳細は著者らのウェブサイト [5] も参照されたい。

謝辞

今回のカーボン・オフセットにあたって、環境省のカーボン・オフセット制度による「カーボン・オフセット第三者認証プログラム」の認証を受けた。この認証手続に際し、環境省「被災地産 J-VER 等を活用したカーボン・オフセット及びカーボン・ニュートラル認証取得支援に係る事業者支援」における「カーボン・オフセット認証取得支援事業」の支援を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

1) 北村祐介, 郷なおこ, 堀口 健, 水野建樹, 伊坪徳宏 : 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, (2012)
2) 環境省：我が国におけるカーボン・オフセットのあり方について（指針）.（2008）
3) 環境省 :“カーボン・オフセット認証取得取組一覧”, カーボン・オフセット制度,（オンライン）, 入手先 <www.jcs.go.jp/pdf/companylist/tokyo-todoroki.pdf>,（参照 2013-01-04）
4) 環境省：カーボン・オフセットの対象活動から生じる温室効果ガス排出量の算定方法ガイドライン（Ver.2.0）,（2011）, 付録 pp.1
5) 堀口 健, 加藤 宏一朗, 近藤 裕壮, 中原 秀樹, 伊坪徳宏 : 第 4 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, D2-08.
6) 東京都市大学等々力中学校・高等学校 :“環境省カーボン・オフセット支援事業に採択されました”, 東京都市大学等々力中学校・高等学校,（オンライン）, 入手先 <www.tcu-todoroki.ed.jp/co2/>,（参照 2013-01-04）

技術者を対象にしたライフサイクル思考に基づく環境教育の指導者養成の実践

An implementation of a training course to teach life-cycle-thinking-based Environmental Education for engineers

○田髙初奈*[1)]、松本真哉[1)]、都丸礼子[2)]、深澤知明[2)]
Hatsuna Tadaka, Shinya Matsumoto, Reiko Tomaru, Chiake Fukasawa
1) 横浜国立大学, 2) サンデン環境みらい財団
*tadaka-hatsuna-dj@ynu.ac.jp

1. 緒言

私たちを取り巻く地球環境は、温暖化や資源の枯渇など、様々な問題を抱えている。一方、私たちの日常生活は、高度な科学技術に支えられ、大量の資源やエネルギーを利用する事で成り立っている。しかし自身の日常における消費行動が前述の環境問題と密接に関係しているという意識や感覚は希薄である。持続可能な社会を構築していくためには、私たち一人一人が日常生活と環境との繋がりに気づき、これまでの大量消費型の生活スタイルを見直す必要がある。そのためには私たちの日常における消費行動が環境に与える影響を、ライフサイクルの観点から俯瞰的に認識することが必要である。

これまでにライフサイクルの考え方を取り入れた様々な環境教育用教材が開発されてきた[1-5)]。市民のライフスタイルの転換を促進し持続可能な社会の実現を目指すためには、これらの教材を社会へ普及させる必要がある。教材の普及には、教材を実践する機会の拡充と、それに伴う教材を実践する指導者が必要となる。そこで本発表では、ライフサイクル思考型環境教育の指導者養成に取り組んだ。教材は松本らが開発した携帯電話を題材とした環境教育プログラム[4)]を使用し、製造業で働く技術者を指導者養成の対象とした。

2. 教材の特徴と養成対象について

当該教材は、産業や科学技術と環境の関係に焦点を当てており、大量消費社会における日常生活と環境とのつながりの認識と産業や科学技術に関する基礎知識の獲得を教育目標として掲げている[5)]。プログラムの主題材を日常生活に欠かせない工業製品である携帯電話とし、その構成材料であり私たちの生活を支える重要な技術要素であるプラスチック、半導体及び電池を教育単元としている。各単元では教材を用いた講義の後、グループワークを実施する。受講者は、各技術要素の基礎知識を獲得し、これらのライフサイクルにおける環境への負荷を考える事で、自らの日常生活と環境とのつながりを認識する。

本研究では、製造業で働く技術者を指導者の対象とした。当該教材の教育内容は技術者の日常業務と密接に関係している。今後の地球環境問題の深刻化が危惧される中、日本の多くの製造業は、激しい国際競争と直面しながら厳しい環境規制を守る事を義務付けられている。そのため最近では若手技術者であっても環境問題を考慮した技術や製品の提案が課題として求められるようになっている。このような技術や製品の展開を考える上で、環境に係る利害関係者間での対話や情報共有は大きな意味を持つ。企業と社会の持続可能性を考える上では、一方的な情報伝達だけではなく、様々な関係者とのコミュニケーションを通した問題意識の共有と企業活動への反映が必要と考えられるからである。例えば製造業では、技術者自らが自身の業務と接点のある環境教育を学校や市民に対して行う事が、この点を目的とした人材育成の手段の一つと考えることができる。受講者にとっても、ものづくりの現場に携わる技術者が行う環境教育は大きな説得力を持つ。学校現場であれば、環境を軸に自身の将来像の一つを体験する機会になる。これらの点を踏まえ、今回の検討では指導者養成の対象を技術者とした。

3. 指導者養成の内容

3.1 指導者養成用教材

養成用の教材は、授業で利用する記入シートなどの教材に、各小テーマにおける教育目標や、授業の進行方法と教示の仕方等の具体的指示、さらに進行に関する諸注意などの教育上の要点を付加し作成した。当該教材とその指導要領を作成する際に考慮した点を改めて洗い出し、さらに過去に実施した出前授業の様子を収めた映像資料等を参考に、明記すべき要点を検討した。そして、①ねらいやポイント、②標準的な進行、③注意点の 3 つの項目別に分け、これらをふき出しの形で当該教材へ付加したものを指導者養成用教材とした。

まず①には、各テーマにおける教育目標を明記した。ここでは、指導者が各テーマにおける目標を明確に判断できるよう受講者の気づきや学びを簡潔に示した。②には、授業の進行方法や板書内容、そして受講者への問いかけを詳しく記述した。ここでは指導者の恣意的判断により教材のねらいや方向性にずれが生じる事を避けるため、授業の進行順序や、教示の際に強調する点を詳細に指示した。一方で指導者の判断にゆだねる箇所も明確にした。当該教材に設けられている、自由記述欄への受講者の記入を促す効果的な問いかけも具体的に記している。

最後に③では、サンプルを取り扱う際の諸注意といった簡単な注意の他に、教材には記されていないが指導をする上で重要な参考情報を明記した。図 1 に指導者養成用教材の例を示す。

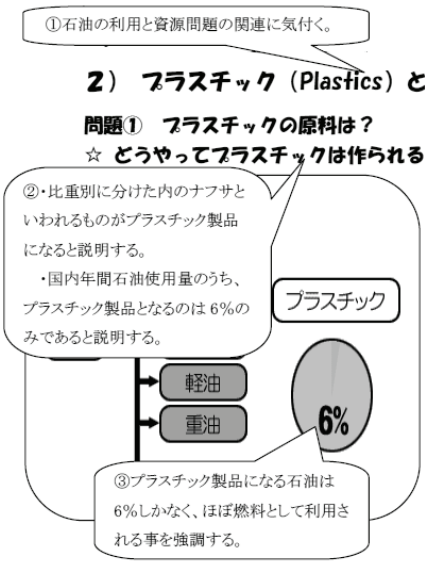


図 1 指導者養成用教材の例

3.2 指導者養成プログラム

養成用教材の作成と並行して養成プログラムの検討を行った。プログラムは、講義の体験と解説、実践練習、教育現場での実践の 3 段階で構成した。本取組みでは指導者候補生(以下候補生)が社会人であったため、平日の時間帯を避け土日の 2 日間を利用して実行できるプログラム構成を検討した。プログラム概要を図 2 に示す。



図 2 プログラム概要

まず(1)の前半では、候補生は通常の教材を用いた環境教育の講義を受講する。そして(1)の後半では作成した養成用教材に沿った具体的な教材の解説と実践指導を受ける。ここでは養成用教材に含めなかった細かな指導上の注意点や、実際の生徒の反応例なども紹介する。(2)の前半では候補生が実際に教壇に立ち模擬講義を行う。指導者は生徒役として講義に参加する。この段階では候補生は養成用教材をテキスト代わりに使用しながら講義を進める。(2)の後半では前半の模擬講義の結果を基に、指導者が実践に関する論評と説明の仕方や動作などに関する具体的な実践指導を行う。各単元の講義体験と解説が終了したところで、受講者が講義で獲得した知識を定着・発展させるためのグループワークを体験する。候補生は生徒役として参加し、実際にグループワークでのディスカッションに取組み、発表を行う。最後に(3)では候補生が実際に教育現場等で実践を行う。実践を終えた後に反省点や課題を洗い出し次回以降の講義内容に反映する。

3.3 プログラムの実施

2012 年 6 月の土曜及び日曜の 2 日間を利用し指導者養成プログラムを実施した。候補生は、低環境負荷の自動販売機やカーエアコンシステムなどの製品を開発しているサンデン株式会社の若手技術者 3 名である。彼らはサンデンが設立したサンデン環境みらい財団が支援する、環境ネットワークキャンパスを介し本取組みに携わる事となった。候補者は、こちらから提示した各技術要素の科学的基礎知識に関する参考書を事前に学習し、プログラムに臨んだ。今回の実践では 1 日目に(1)を行い、2 日目に(2)を行った。2 日間の時間割を図 3 に示す。また 2012 年 10 月に東京都立高校で授業を実践した。対象は、選択授業を履修している高校 1 年生 16 名ずつの 3 クラス、合計 48 名である。本実践では、1 つのクラスあたり導入部 50 分及びどれか 1 つの単元 50 分から成る 100 分の講義を行った。また実践後に、質問紙を用いたアンケート調査を行った。各実践の終了後には講義内容とアンケート結果を踏まえた課題を抽出し改善指導を行った。

1限	90分	前半	導入講義体験
		後半	講義のポイント説明
2限	90分	前半	プラスチック講義体験
		後半	講義のポイント説明
3限	90分	前半	電池講義体験
		後半	講義のポイント説明
4限	90分	前半	半導体講義体験
		後半	講義のポイント説明
5限	90分		GW(体験+How To)

1限	90分	前半	導入講義実践
		後半	論評と実践指導
2限	90分	前半	プラスチック講義実践
		後半	論評と実践指導
3限	90分	前半	電池講義実践
		後半	論評と実践指導
4限	90分	前半	半導体講義実践
		後半	論評と実践指導

図 3 プログラムの時間割（左から 1 日目・2 日目）

4. 今後の予定

今後は、環境ネットワークキャンパスとの取組みを継続すると同時に、本検討の結果を基に指導資料や指導プログラムの改善を検討する。さらに、自治体やその関係団体と提携し、一般市民を対象とした指導者養成についても検討する予定である。

5. 参考文献

1) 水野建樹: 日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.324-330
2) 本藤祐樹, 平山世志衣, 中島光太, 山田俊介, 福原一朗: 日本 LCA 学会誌, 4(3), (2008), pp.279-291
3) 安藤生大: 日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.382-392
4) 松本真哉: 日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.338-343
5) 成田明沙美, 井上弘毅, 松本真哉, 中村栄子: 日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.393-402

企業環境教育の企業組織への適用

－環境教育と HRD（人的資源開発）プロセスの展開－

Application of Corporate Environment Education to Business Organization -Process of Environmental Education and Human Resource Development-

○九里 徳泰*[1)]
Noriyasu Kunori
1) 富山県立大学工学部環境工学科
*kunori@pu-topyama.ac.jp

1. はじめに

企業での環境教育実施率は15年間で飛躍的に伸び、その教育は重要性を持っている。九里ら：企業内環境教育の研究―歴史、現状、課題―(2011)において、企業内環境教育の研究の系譜、実施内容、日経225企業の2010年度の環境教育実施率を明らかにした。九里ら：企業内環境教育の実態調査―2004年と2010年企業52社比較から―(2012)で、52社の比較研究を行った。本研究は、これらの研究を総括し、企業環境教育の企業組織への適用をHRD（人的資源開発）の視点から教育プロセスの展開を提示するものである。

2. 企業環境教育の定義

企業における環境教育は「企業環境教育」、英文ではCorporate Environmental Educationといわれ、「企業組織が主体となり行う環境教育」（九里ら 2012）である。また、2012年に改正された「環境教育等による環境保全の取組の促進に関する法律」において、「環境教育とは、持続可能な社会の構築を目指して、家庭、学校、職場、地域その他のあらゆる場において、環境と社会、経済及び文化とのつながりその他環境の保全についての理解を深めるために行われる環境の保全に関する教育及び学習。」と定義されている。基本方針において環境教育に求められる要素に「生産・流通・消費・廃棄の社会経済システムにおいて、ライフサイクルの視点で環境負荷をとらえること」とした。

3. 企業環境教育の実態

2010年の日経225企業における環境教育の実施率は表1に示す。全企業の64%が実施しており、非製造業の実施率が低いことが分かる。環境省の調査(表 2)によると、2010 年における定期的な環境教育実施率は上場企業60.3%、非上場企業44.2%という結果が出ている。

表 1 2010年日経225企業の環境教育の実施率(%)

	実施率	非実施率
製造業での環境教育実施率	69	31
非製造業での環境教育実施率	55	45
全企業での環境教育実施率	64	36

表 2 環境省環境にやさしい企業行動調査
従業員への環境教育実施率(%)

	上場		非上場	
	定期的	非定期	定期的	非定期
2010年	60.3	25.8	44.2	26
2008年	56.7	26.1	44.3	28.5

大企業においてはおおよそ 6 割が定期的に従業員向けの環境教育を行っていることがわかる。またその教育実施率はほぼ横ばいが続いている。

4. 企業環境教育と企業価値

企業における教育(教育訓練と能力開発)は企業活動には極めて重要で、労務管理論においては企業における教育は企業活動の成果の良しあしを決めるほどの重要性を持っている(小松 1984)。1990年代半ばから企業が環境経営に取り組み出すと、企業における環境教育も同時に取り組まれてきた。中丸(1995a,b,c)において、①全社員の環境意識、②社員の関心向上、③環境教育の徹底、④取り組みが世代間格差、⑤経営陣への教育が指摘されている。また、個人の業績評価に環境活動評価を入れること、グループでの環境保全業務評価、個人における期ごとの環境目標達成が重要であると指摘した(1995a)。環境経営を支えるのは新しいビジョンと行動原則で、それを実現しようとする一人ひとりの意思が重要で、それを開発し、企業文化にまで育んでいくことがこれからの企業における環境教育の中心的課題となる。しかし、そのような活動が優先されることが重要だと指摘した (1995b)。最大の利益を生み出した会社は生産管理者と環境管理者を含めた強力な企業リーダーシップ、従業員参加プログラム、フルコスト・アカウンティングシステムという 3 つの特徴を持っていた(1995c)。

企業環境教育においての目標・目的の明確化、組織的な評価(業績評価を含む)、経済評価、つまり、ビジョンとミッション、アセスメントの三位一体の実施スキームが企業価値(Corporate Value)を高めるという企業における教育－経営システムの必要性の指摘である。

5. 人的資源開発と企業ビジョン

企業環境教育を人的資源開発のフレームで捉えなおす

ことにより個別に行われてきた環境教育が企業組織における人材育成の一環として扱うことが可能となり、効果が高く持続的な企業活動となる。ドイツ発祥のグローバル企業ボッシュ社の人材育成手法を例に、人的資源開発としての企業環境教育の展開を考察する。

欧米型の企業経営における人材育成は、採用、評価、報酬、配置、昇進という伝統的な人的資源管理と、行動科学の個人の感情・モチベーションからなる行動、組織におけるリーダーシップ、チームワークなど両面からのアプローチをあわせて人的資源開発としている。ボッシュ社は長らく教育に注力しており、独自の国際共通教育システムである Bosch Human resource System (BHS)を持っている(SI に詳細)。その中でも同社においては、積極的な従業員の能力開発、コンピテンス・マネジメント（CptM）の確立、リーダーシップ能力の強化、グローバルに活躍できる人材の育成、女性従業員の育成サポート[1]といったオーソドックスではあるが、グローバル企業を取り巻く環境にコンティンジェントに対応した人的資源開発が展開されている。本研究は特にボッシュ社の CptM に注目し、人材開発のプロセスを検討した。

まず最初に重要な要素が、ビジョンとミッション、アセスメントの「ビジョン」であるが、ボッシュ社の最上位の行動指針は、The Bosch Values で、7 つの項目から構成されている。2.章の「責任」で「私たちの企業活動は、社会の利益に合致しなければならないと、私たちは明確に認識しています。何にもまして、私たちの製品およびサービスは、人々の安全、資源の効率的な利用、持続可能な環境に役立つものでなければならないと位置付けています。」とする。さらに、社会的責任に関する基本原則の 10 章の「 環境」で、「私たちは、環境保存・保護への取り組みを永年行うとともに、各事業の拠点において、その地域の生活環境の改善に貢献をしています。私たちの環境保護に関する基本原則は、環境に対する私たちの義務が明記されており、会社として行う環境に関する施策は全てこの原則に基づいています。」としている。労働安全・環境保全原則でも持続可能性、責任、製品でも上記が再度確認されている。このような企業ビジョンを従業員個々のミッションとし人的資源開発が行われる。

6. コンピテンス・マネジメントと環境教育

ボッシュ社は、企業ビジョン達成のために個人および組織としての専門的力量（知識・技術・技能）を強化する「コンピテンス・マネジメント（CptM）」と「グローバル人材の育成」を中心とした人材育成システムを展開し、階層別リーダー教育とスキル教育を体系的に進めている[2]。コンピテンスとは、技能としてのアビリティー（ability）とは異なり、組織においてビジョンをミッションとして達成できる能力のことをいう。ボッシュ社の CptM は各部門・機能分野で必要とされるコンピテンスを獲得することを目的として 2007 年から始まった。この活動には、環境保全、省資源、安全性への貢献も含まれている[1]。環境教育は、ISO14001 における年間計画に基づく環境教育を行っている。環境基礎教育、内部環境監査員養成、環境テーマ研修会等であり、ボッシュ森林ふれあいクラブでは、育林、森林整備活動を通じた従業員の環境教育やボランティア活動を行っている[3]。

7. HRD プロセスへの環境教育の適用

ビジョンをバリューに昇華できるコンピテンス形成プログラムの策定において、企業価値(Corporate Value)を高めるという企業における教育ー経営システムへの環境要素と目的の明確化、組織浸透のための教育の組み込みが必要である。環境コンピテンス形成プログラムを図 1 に示した。短期、中期、長期でのコンピテンス形成を計画し、第一段階は組織横断型プログラムとして行う。これは従業員の環境意識向上を目指すもので、企業ビジョンをブレークダウンした部門ごとのミッションを立案して行う。次のステップでは各部門の専門分野での環境に関係する知識、技能、技術を習得する垂直的なプログラム構成を行う[1]。

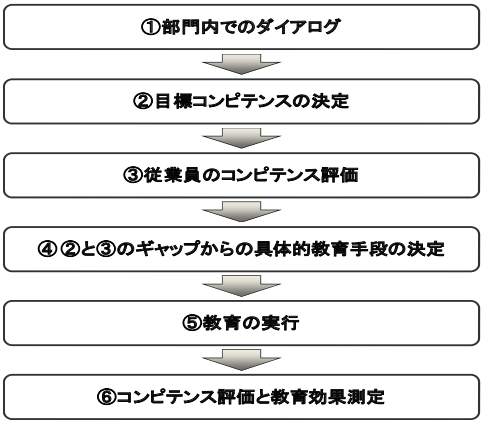


図 1 環境コンピテンス形成プログラムのフロー

コンピテンス分野別の教育は、①専門的業務（ISO14001 運営・内部監査、化学物質管理、LCA、MFCA、エネルギー管理、生態系管理等の教育）、②リーダーシップ（環境リーダーシップ研修等）、③コミュニケーション（プレゼンテーション、ファシリテーション、合意形成、ダイバーシティ教育）である。(SI に参考文献を追記)

引用文献

1)金子高広,:品質,42(2), (2012),pp.6-12
2)Bosch Group：Der gemeinsame Weg zum beruflichen Erfolg, (オンライン),入手<http://www.bosch-career.de/media/de/documents/wachsen_bosch/aufstiegsmoeglichkeiten/mitarbeiterentwicklung/Working_Together_Toward_Professional_Success.pdf>,(参照 2012-10-31)
3)株式会社ボッシュオートモーティブシステム:社会環境報告書 2004, (オンライン), 入手<http://www.ecosearch.jp/pdfdata/2004_00000928.pdf>,(参照 2012-10-31)

Supporting Information

Bosch Human resource System (BHS)

・Performance Review Discussion (PRED/MAG)

目標や評価に関する部下と上司による対話プログラムで1年に1度個人目標を期末で測り対話をする。

・Individual Development Discussion (MEG)

2～3 年に 1 回行われるもので従業員、上司、人事部の 3 者により任意に行われるものである。従業員の 3～5 年の中期目標を従業員自身による評価をもって対話するものである。MEG の修正は PRED/MAG で行われる

・Management Potential Review (MED)

従業員の配属されている組織におけるその従業員のポテンシャル評価を上司と人事部が 1 年に一度行う。

・Manager Development Plan(MDP)

MED で選抜された昇格対象者への 4 年間の研修計画・プログラム。

・Management Evaluation and Development Seminar (MES)

MED で選抜された昇格対象者への半年間の社会貢献活動を含む研修計画・プログラム。

・Career Advancement Discussion

MED で選抜された昇格対象者へのゴールと戦略の合意。

参考文献

九里徳泰, 松岡志温(2012)企業内環境教育の実態調査―2004 年と 2010 年企業 52 社比較から―, 第 7 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集,pp.128-129

九里 徳泰, 松岡 志温, 高田 有(2011)「企業内環境教育の研究 歴史、現状と課題」第 6 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集,pp.86-87

小松隆二(1984)「教育訓練と能力開発」『労務管理論』中央経済社

中丸寛信(1995a)「環境問題と経営教育の課題」甲南経営研究,第 35 巻第 1・2 号

中丸寛信(1995b)「 企業環境対策のフレームワークについての一考察」甲南経営研究,第 36 巻第 1 号

中丸寛信(1995c)「企業の環境に対する事前的取り組みについて」甲南経営研究,第 36 巻第 3 号

地域環境へのライフサイクル思考の導入 その２

－環境教育とジオパーク－

Adoption of life cycle thinking to regional environment Vol.2
-Environmental Education and Geopark -

○安藤生大
Takao ANDO
千葉科学大学　危機管理学部
tando@cis.ac.jp

1.　はじめに

平成 24 年 9 月 24 日、千葉県銚子市は日本ジオパークネットワーク（JGN）の正会員に認定された。

千葉科学大学と銚子市は、これまで、銚子半島の貴重な自然的、文化的価値を有する自然環境を積極的に活用すると同時に、後世への遺産として確実に保全する枠組みとして、日本ジオパークネットワーク（JGN）の正会員への認定実現を目指して活動してきた。筆者らは、この活動の一環として、未来を担う地元の児童・生徒に対して、地元の地質を利用した体験的な理科学習プログラムの開発を行ってきた[1)]。これらの活動では、地元の児童・生徒に、確かな地質情報を提供しながら、地元の“生の”地質にふれて、その自然環境の特徴を知り、自然と人間の関わりに気づく機会を提供し、地元に対する誇りや愛着を育むことを目的として活動してきた。

本研究では、JGN 正会員の認定を受けた銚子ジオパークの本格的な教育活用として、屏風ヶ浦ジオサイトを利用した体験的な理科学習プログラムを開発し、地元の中学 1 年生に対して実施した。具体的には、平成 24 年度から改訂された新学習指導要領の中学校理科における「地層」の単元の学習内容に正確に則りつつ、大学と中学校が連携した授業（以下、中大連携授業）を行う理科学習プログラムを開発した。この中では、今まで実施が難しかった地層の野外観察や、教室における火山灰等の標本観察など、体験型の学習を取り入れた内容とした。本研究では、開発した理科学習プログラムの内容を紹介し、授業の実施前後の質問紙調査と実施後の自由記述文の分析から明らかとなった効果と課題について報告する。

2.　環境教育と銚子ジオパーク

本研究では、銚子半島、特に屏風ヶ浦の分かりやすい地層と、そこで行われている土地利用法を整理し、地域に「ライフサイクル思考[2)]」と「持続発展教育（ESD）[3)]」の視点を取り入れた、理科学習プログラムを開発した。ここで、ここで、「ライフサイクル思考」とは、「製品や技術の利用に伴う目の前の直接的な環境負荷だけでなく、それらのライフサイクルに沿って奥に隠れた間接的な環境負荷をも追跡し、システム全体の環境負荷を考えること」と定義されている。つまり、目の前の「つかう」段階の環境負荷だけでなく、「つくる」段階や「すてる」段階での環境影響も追跡し、システム全体の環境負荷をも考慮する思考法である。また、「持続発展教育（ESD）」とは、「持続可能な社会を実現するための担い手をつくるために環境、経済、社会の各側面から総合的に問題を把握し、他人や、社会や、自然環境との関係性を認識し、「かかわり」や「つながり」を尊重できる個人を育む教育」と考えられている。

ライフサイクル思考を地域に導入する場合、「つくる（過去）」段階を「地質学的な土地の成り立ち」ととらえ、「つかう（現在）」段階を「特産物の生産などの土地利用」と考え、さらに「すてる（未来）」段階を「地域環境の持続的な保全」と解釈する。特に、「つかう（現在）」段階では、地域の自然環境と関係の深い特産物（キャベツ[4)]、メロン[5)]、サバ缶詰[6)]、米[7)]、風力発電[8)]）を例として、それらをライフサイクルアセスメント（LCA）の手法に基づいて「つくる」、「つかう」、「すてる」各段階の温室効果ガス（GHG）の排出量を定量的に評価し、その成果を用いて環境教育プログラム作成し、実践した[9)]。このプログラムでは、自然環境（環境側面）だけでな、持続可能な消費（経済側面）や低炭素社会の実現（社会側面）についても理解を促すことができる。

このように、銚子ジオパークでは、ライフサイクル思考と ESD の考え方に基づく環境教育内容を包含した新しい理科学習プログラムを実践し、一定の成果を上げている。

3.　環境教育プログラムの実施方法

3.1　受講者と時間構成

授業の実践は、銚子市立第三中学校（千葉県銚子市東小川町 2348 番地）の 1 年生（31 名）に対して、2012 年 6 月 14 日、19 日、21 日、22 日、29 日に行った。現地見学では、引率として中学校教諭 2 名が加わり、補

助支援者として大学生３名、銚子ジオパーク推進市民の会の会員が５名参加した。

3.2　講義の概要

講義は、パワーポイントスライドを準備し、アニメーション機能を用いて実施した。また、生徒にはあらかじめ書き込み式のワークシート（図１）を配布し、講義を受けながら説明内容が確認できるようにした。

講義内容は、銚子市内の中学校で使用されている理科教科書（大日本図書　理科の世界）の単元４「大地の変化」の３章「地層」分野の教授内容に則って、５時限構成とした。

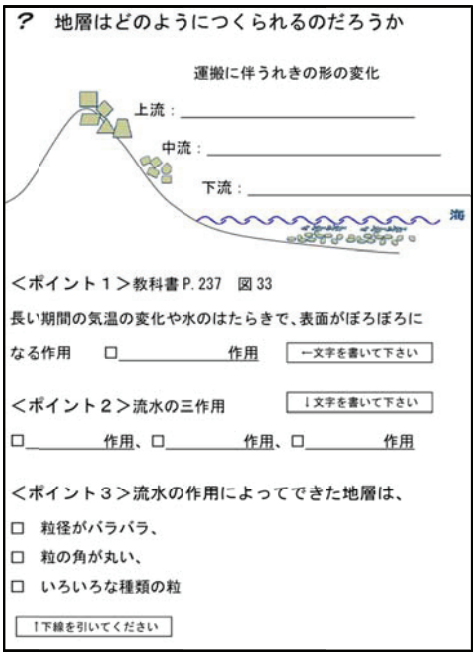


図１　生徒配布資料の例

3.3　質問紙調査と感想文

授業に対する生徒の評価を求めるため、受講した 30 名の生徒に対して、授業に関する事前の期待や印象を質問する事前調査と、授業終了後の印象や感想を質問する事後調査の二回の調査を実施した。事前調査・事後調査のいずれにおいても、安藤・粕川(2012)[10]と同様に、学習意欲を「注意(A)、関連性(R)、自信(C)、満足感(S)の４つの側面からとらえる「ARCS モデル」[11]に基づく質問紙を用い、これの一部を変更して質問項目を作成した。

4.　主な結果

（１）学習意欲に関する「ARCS モデル」を参考とした質問紙調査の事前調査結果からは、授業に対する満足感は比較的高いことが示された。しかし、大学との連携授業ということで内容に対して難しいのではないかという不安を抱いていた生徒が多く、連携授業を受ける目的やその意義についての評価が比較的低いことが示唆された。

（２）事前と事後で、同一の内容で質問した 12 項目の集計結果からは、授業内容が事前の期待と比較して、授業における生徒の好奇心の刺激が十分に行えなかったことが示された。このため、今後の授業設計においては、生徒の好奇心を喚起するための具体的な工夫を行うべきであることが明らかとなった。また、生徒自身の実感として、授業中に生徒が行う各種の活動や課題において、教員が、その活動の成果に関する賞賛などをより積極的に行い、生徒の活動に関して適切なフィードバックを与えることなどが必要であることが明らかとなった。

（３）授業の理解に関する自由記述文のキーワード分析からは、本教育プログラムの学習内容について、80.7%の生徒が「良かった、分かった、おもしろかった」のいずれか１つ以上の印象を持ったことから、授業に対する満足感は比較的高かったことが示された。

（４）しかし、外部講師が授業を行う場合には、授業の進行速度に注意を払い、見学や観察に十分な時間を確保する必要があることが明らかとなった。

（５）感想や意見に関する自由記述文のキーワード分析の結果からは、10%を超える生徒の学ぶ意欲を向上させることができたと判断できた。

参照文献

1）安藤生大，粕川正光（2011）：千葉科学大学紀要，第４号，1-10
2）本藤祐樹，平山世志衣，中島光太，山田俊介，福原一朗（2008）：日本 LCA 学会誌，4(3)，279-291
3）阿部治，野田研一，鳥飼玖美子（2005）：ユネスコ持続可能な未来のための学習，立教大学出版会，東京，57-73
4）安藤生大（2010）：日本 LCA 学会誌，6(3)，234-241
5）安藤生大（2008）：千葉科学大学紀要（4），21-30
6）安藤生大，長谷川勝男（2011）：水産技術，3(2)，99-105
7）安藤生大，吉川直樹(2011)：日本LCA学会誌，7(4)，387-395
8）安藤生大，長井浩，久保典男，武藤厚俊，小林謙介，田原聖隆，稲葉敦(2009)：日本 LCA 学会誌，5(2)，237-243
9）安藤生大（2010）：日本 LCA 学会誌，5(3)，382-392
10）安藤生大・粕川正光（2012）：千葉科学大学紀要，5，1-14
11）Keller，J. M.（2009）：Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach. Springer.（ケラー J.M.，鈴木克明（訳）（2010）：学習意欲をデザインする　北大路書房）

イスカンダル開発地域における低炭素教育プログラム開発の検討

Title Study on the Development of Low Carbon Education Program at Iskandar Malaysia

○須田真依子*[1)]、藤野純一[2)]
Maiko Suda, Junichi Fujino
1) (独)国立環境研究所 社会環境システム研究センター, 2) (独)国立環境研究所 社会環境システム研究センター
*suda.maiko@nies.go.jp, fuji@nies.go.jp

1. 背景

マレーシアのジョホール州南部に位置する経済開発特区 Iskandar Malaysia（以下、イスカンダル開発地域）では、2012 年 11 月、「イスカンダル地域における 2025 年に向けた低炭素社会ブループリント」（以下、LCS BP）の SPM を策定し、重要な施策の一つとして、低炭素教育プログラムの開発と実施を掲げている。

現在、イスカンダル開発地域の低炭素教育に関わる状況は、法整備、プログラム実施のための予算、教育現場の教材・教師に関して、現状の分析、ニーズの発掘などが始められたばかりである。そのため、日本の環境教育の中で開発されつつある低炭素教育の先進事例を応用し、当該地域における低炭素教育プログラムの発展を後押しすることの意義は大きい。そこで本検討では、環境教育政策の変遷と持続可能な低炭素教育の発展について、専門家へのインタビュー調査および、多摩市、新宿区、京都市等の取組の視察を行い、LCS BP の低炭素教育プログラムの開発と実施について、より具体的な施策づくりのための情報を整理した。

2. 検討方法

2012 年 9 月に「『アジア地域の低炭素社会シナリオの開発』（SATREPS）環境教育に関する視察」を実施するにあたり、事前調査として、2012 年 5 月～6 月、「持続可能な低炭素社会に向けた環境教育の役割に関する調査」がみずほ情報総合研究所、博報堂、国立環境研究所の協力によって実施された。本事前調査では、日本における環境教育政策の変遷と持続可能な低炭素教育の発展、環境（特に低炭素・3R）教育に関する学校での活動、環境（特に低炭素）教育に関する社会での活動、「評価」への助走について分析および提言を行い、2012 年 9 月に最終報告書（案）が発行されている。

本事前調査の結果をもとに、2012 年 9 月 9 日～15 日にかけて、文部科学省や環境省などの関係省庁や学校・社会教育での環境教育現場を訪問すると共に、日本の専門家との意見交換を行った。主な訪問先は、環境省、JST、多摩市立南鶴牧小学校、多摩市役所、エコギャラリー新宿、京エコロジーセンター、大宅保育園、京都大学、京都市立朱雀第八小学校で、訪問団はイスカンダル地域からの研究者（マレーシア工科大学）、地方自治体関係者（ジョホール州政府、イスカンダル地域開発庁）、国立環境研究所、みずほ情報総合研究所他によって構成された。

本視察の目的は、1. 日本では、学校やコミュニティに対して、低炭素社会や 3R をテーマとした意識啓発や教育プログラムをどのように実施してきたかを理解する、2. 学校やコミュニティに対する、低炭素社会や 3R をテーマとした意識啓発や教育プログラムの効果や要素を抽出する、3. 日本とマレーシアにおける学校と社会の低炭素社会や 3R の実施について、プログラム、設備、政策、課題を比較する、の 3 点とした。

視察目的を達成し、有効な結果を導くため、視察実施前に、「持続可能な低炭素社会に向けた環境教育の役割に関する調査」中間報告書および最終報告書を、マレーシア訪問団と訪問先機関と十分に共有した上で、イスカンダル開発地域の環境教育の現状のとりまとめ、資料や教材の英訳（研究目的に限る）を行った。

3. 結果

本検討では、視察プログラムを政策、学校教育、社会教育、評価の幅広い視点から構成し、中央政府、地方自治体、専門家/研究者、研究/開発援助団体との情報交換および初等教育現場、保育現場、NPO などの現場で実際の教育プログラムを観察した。そのプロセスの中で、次の観点から情報が整理され、各課題が抽出された。

3.1. マレーシアにおける環境教育の現状

① マレーシアでは、1970 年代初め頃から環境意識が高まり、Environmental Quality Act (1974)、National Policy on Biodiversity(1998 ）、 National Policy on the Environment (2002), National Integrity Plan (2004)、9th Malaysia Plan 等の政策で、環境教育や意識啓発について方針が定められている。国レベルでは、環境局が環境教育を含めた環境全般を担当し、マレーシア各州に支部を設置している。一方、国レベルの教育戦略やカリキュラム開発に関しては、教育省が重要な役割を果たしている。

② マレーシアの環境教育と意識啓発は、水質汚濁、大気汚染、生物多様性などをテーマにしたものが多く、各州の環境局支部によってプログラムが実施されている。

③ 国家教育政策では、環境教育をカリキュラムに横断したテーマとして扱い、1998 年から小中学校で導入している。2005 年頃から、環境教育はひとつの科目ではなく、科学、地理、地域研究、宗教等の科目の中に取り入れられ、教師用ガイドブックも作成されている。教師用ガイドブックは授業を行うための具体的な活動が示されているわけではなく、校長や一部教師のみでの活用に留まっている。よって、実施の程度は校長や教師の熱意に左右されていることが問題となっている。
④ 学校における授業以外の取組では、環境クラブがほぼ全ての学校に置かれ、生徒によって運営されている。
⑤ 学校教育外では、マレーシア全州において、様々な政府機関や NGO によって環境教育が取り組まれている。具体的には、セミナー/ワークショップ、展示会、ラジオ番組、絵画コンテスト、清掃キャンペーン、植林、人材育成等の多様なプログラムと活動である。毎年、環境週間、アースデー、世界環境デー、湿地デー、水の日でキャンペーン活動も行われる。

3.2. イスカンダル開発地域における学校教育と 3R と低炭素に関する取り組み

① イスカンダル開発地域の学校、生徒数、教師数はそれぞれ、小学校 198 校、約 18 万人、約 9,400 人、中学校 89 校、約 11 万人、約 7,000 人である。
② 3R と低炭素に関連して、ゴトンヨロン（相互扶助）、リサイクルなどをテーマにした対話、植林活動、コンテスト等の、定期的なプログラムが学校で実施されている。
③ イスカンダル開発地域にある 7 つの中学校の 466 人の児童を対象にしたアンケート調査（2012）では、意識と知識が低いものの、積極的な態度は見られ、活動への参加は高いという結果が示された。
④ 2011 年 12 月、イスカンダル開発地域の 33 の学校教師を対象にしたワークショップがマレーシア工科大学にとって開催され、学校で実施し得る低炭素活動を 17 項目合意した。

3.3. 日本の低炭素教育の先進事例をイスカンダル開発地域に応用するための視点

① 環境と教育を管轄する中央省庁の統合的なイニシアティブと、ボトムアップの取組と教育関係者のモチベーションの向上
② 地域と低炭素教育の場をつなぐリーダー/コミュニケーターやボランティアの育成
③ ESD の考え方やユネスコスクールの認証と活動を活用した低炭素教育の普及
④ 太陽光発電等の設備やプロモーションに関わる予算の確保
⑤ エコライフチャレンジの仕組みづくりを応用した、学校と NGO との連携方法や普及
⑥ 環境に配慮した行動変容を促す仕掛け
⑦ 低炭素教育の評価項目と達成目標の設定
⑧ 官民連携で低炭素教育の取組を促進するための地方自治体によるリーダーシップとサポート

3.4. LCS BP 低炭素教育プログラムの具体的な施策策定のための今後の課題

① イスカンダル開発地域において実施している「アジア地域の低炭素社会シナリオの開発」研究プロジェクトにおいては、低炭素社会の考え方や情報を、多様な主体（学生、一般社会、政府、ビジネス）に普及すること、および教育することを目的とする。
② 研究機関（マレーシア工科大学）は LCS BP のプログラムの詳細化、地方自治体（ジョホール州政府、イスカンダル地域開発庁）は学校のコーディネーションやステークホルダー（コミュニティやビジネスセクター）との連携を担っていく。

4. 考察

「持続可能な低炭素社会に向けた環境教育の役割に関する調査」および「『アジア地域の低炭素社会シナリオの開発』(SATREPS) 環境教育に関する視察」を通して、「イスカンダル地域における 2025 年に向けた低炭素社会ブループリント（SPM）」作成のための先進事例を学び、将来に向けた必要なリソースと課題を抽出したことは、当該地域で低炭素教育プログラムを開発・導入する観点からその意義は大きいと言える。今後、低炭素教育プログラムを実装していくにあたり、各現場の現状分析、政策、人材育成、コンテンツについての更なる検討はもちろんのこと、企業や高等教育機関における先進事例についても調査・応用の検討が必要である。

参考文献

藤野純一、須田真依子、藤原和也、小山田和代、日比野剛、水口哲：“「持続可能な低炭素社会に向けた環境教育の役割に関する調査」最終報告書（draft）”, (2012)
マレーシア工科大学、イスカンダル地域開発庁、京都大学、岡山大学、国立環境研究所：”Low Carbon Society Blueprint for Iskandar Malaysia 2025 Summary for Policymakers” 入手先 <http://2050.nies.go.jp/cop/cop18/SPM_LCS%20Blueprint_Iskandar%20Malaysia.pdf>, （参照 2013-12-03）

環境教育研究会の活動と目標

Objective and activities of the environmental education working group

○水野建樹*1)、○森智和 2)
Tateki Mizuno, Tomokazu Mori
1) 一般社団法人未踏科学技術協会, 2) 山梨県環境科学研究所
*mizuno@sntt.or.jp

1. はじめに

当学会の環境教育研究会は、持続可能な社会に変えてゆくためには“資源採掘から廃棄までを考えるライフサイクル”の視点すなわちLCAの手法を活用したライフサイクル思考（LCT）による環境教育が極めて有効な手段と考え、2008年4月から5年にわたって活動してきた[1)]。

CO_2などの温室効果ガスの排出削減を促進する上で、また、水資源や金属資源を持続的に使う上で単に経済性を優先するというような一方的な判断を下さないために、環境や資源の問題をライフスタイルや消費との関係で鳥瞰的に眺める視点が重要である。特に将来、社会を担う人たちである小学校～大学の生徒･学生には、そのような大局的視点を醸成する必要がある。あるいは、人間の消費行動が全ての環境問題の根源にあることを理解させる必要があるといってもよい。日常の消費行動と生産活動や自然環境とのつながりが十分認識されていないことを、本藤等[2)]はミッシング・リンクと表現しているが、認識の欠如をうめるのは、特に、自らのライフスタイルや日常生活で使っている総合的に分析するLCAを活用した環境教育、すなわちLCTが有効であると考えている。そこで、本研究会では、一般の消費者、中でも中高生に対してLCTの教育を行う人材への教材のあり方と教育方法、その人材が実際に現場で生徒達に教育するための教材と教育方法について、現状の調査、教材開発、および普及・実践活動をしてきた。今回、実施してきた活動を中間的であるか報告書としてまとめることとした。

2. 報告書について

研究会で議論し検討してきた課題や各自が開発した教育用教材・プログラムについて、これまで研究会で議論し検討してきた課題や、参加者各自が開発してきた教育用教材・プログラムをまとめた報告書を作成することとした。報告書には、主にライフサイクル思考の環境教育に関して開発した教材、それらを用いた実施事例、各教材の使い方・アクセス方法などを記載している。この報告書は、研究会参加者およびLCA学会員で環境教育に関心のある希望者に配布するとともに内容を精査した後ライフサイクル思考（LCT）の環境教育普及のためにLCA学会員以外でも環境教育に関心のある人、今後この分野に参画希望者に対しても配布することにしている。

3. エコプロダクツ2012への参加について

環境教育研究会の成果を普及させることを目的として会員からの発案により、2012年12月13日から15日まで東京ビッグサイトにて開催された、わが国で最大規模の環境展エコプロダクツ2012にブースを設け、LCA学会のPRとともに研究会活動の一環として様々な内容の教材類を展示した。

3.1 展示の概要

本研究会の展示はNPO・NGOコーナー内N-54ブースにて、ポスター掲示により日本LCA学会の紹介や環境教育研究会の紹介、LCAの概念図や評価事例紹介、研究会会員による教育事例や教材の紹介などを行い、自由に操作できるPCによりCO_2チェッカーや「かばんの中でも温暖化」などのソフトウェアの紹介を行った。また、研究会で収集した環境教育プログラム集やパンフレット等の配布とLCA・LCTに関するアンケートを行った。



図1 環境教育研究会展示ブースの様子

展示ブースへの来訪者は3日間合計150人程度であった。1,2日目は平日ということもあってNPO・NGOや企業、官公庁に属する来訪者が多く、企業内や自治体での環境教育に関する話題が主となった。特に、具体的なLCAやCO_2排出量の評価結果をどのようにわかりやすく伝えるかという方法論に関する議論や、評価結果の妥当性に関する質問などが多く、一般市民へ向けての環境教育の現場にLCA・LCTをどのように取り入れるかという具体的な目的を持った来訪者が多かったように感じられた。

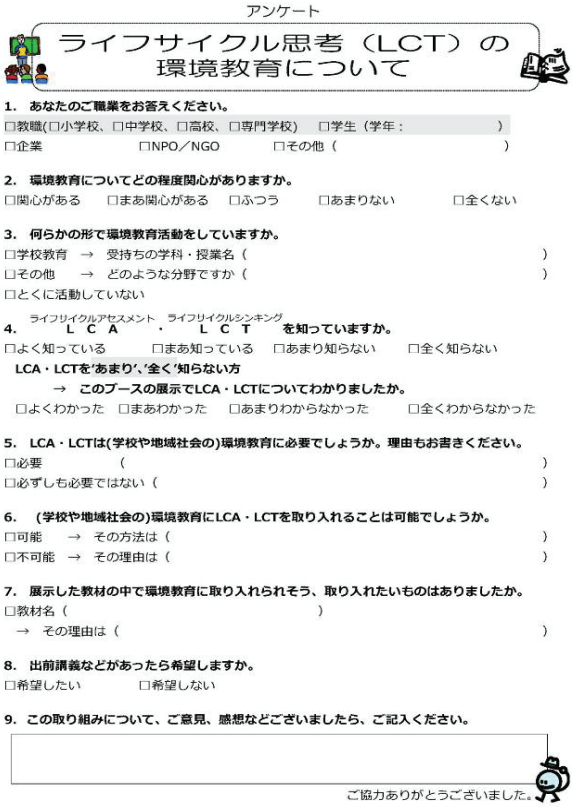
3日目は土曜日で休日であったため、大学の学部生を中

心とした学生の来訪者が主であった。特に、サークルや学生団体、ゼミなどで環境に関わっている方々が多く、活動の中にLCA・LCTをどのように取り入れればよいかなどの議論が活発であった。また、小中学生を対象にボランティアや出前講座などをしている学生に「温暖化カード」や「かばんの中でも温暖化」などの教材の評判が高かった。身近なものを題材にしており、ゲーム性を取り入れていることが低年齢の学習者に受け入れられやすいという意見が多かった。

当初、休日である3日目は教職に属する来訪者が多くなるのではと予想していたが、教職に属する来訪者はそれほど多くなく、アンケート回答者に限れば全体の5%程度であった。しかし、実際の教育現場に関わっている教職者の方々とのディスカッションは、小学生向けには数字の桁数の多さや計算の複雑さなどから具体的な数値の提示は難しいのではという意見や、身近なものを題材にした教材の中でも、PCを使用した「かばんの中でも温暖化」や「CO_2チェッカー」より手軽にできる「温暖化カード」のほうが使いやすそうだなど参考になる意見が多々あり、とても有意義なものとなった。

3.2 LCA・LCTに関するアンケート調査について

環境教育に関わる人々がLCAやLCTに対してどのように考えているかを調査するため、「ライフサイクル思考の環境教育について」というアンケートを本展示に興味を持った人を対象に行った。実際に配布したアンケート用紙を図2に示す。


アンケート

ライフサイクル思考（LCT）の環境教育について

1. あなたのご職業をお答えください。
□教職(□小学校、□中学校、□高校、□専門学校)　□学生（学年：　　）
□企業　　□NPO／NGO　　□その他（　　）

2. 環境教育についてどの程度関心がありますか。
□関心がある　□まあ関心がある　□ふつう　□あまりない　□全くない

3. 何らかの形で環境教育活動をしていますか。
□学校教育　→　受持ちの学科・授業名（　　）
□その他　→　どのような分野ですか（　　）
□とくに活動していない

4. ライフサイクルアセスメント　ライフサイクルシンキング
ＬＣＡ　・　ＬＣＴ　を知っていますか。
□よく知っている　□まあ知っている　□あまり知らない　□全く知らない
LCA・LCTを'あまり'、'全く'知らない方
→　このブースの展示でLCA・LCTについてわかりましたか。
□よくわかった　□まあわかった　□あまりわからなかった　□全くわからなかった

5. LCA・LCTは(学校や地域社会の)環境教育に必要でしょうか。理由もお書きください。
□必要　（　　）
□必ずしも必要ではない（　　）

6. （学校や地域社会の)環境教育にLCA・LCTを取り入れることは可能でしょうか。
□可能　→　その方法は（　　）
□不可能　→　その理由は（　　）

7. 展示した教材の中で環境教育に取り入れられそう、取り入れたいものはありましたか。
□教材名（　　）
→　その理由は（　　）

8. 出前講義などがあったら希望しますか。
□希望したい　□希望しない

9. この取り組みについて、ご意見、感想などございましたら、ご記入ください。

ご協力ありがとうございました。

図2 調査に使用したアンケート用紙

回収したアンケートは1日目7件、2日目12件、3日目42件の総計61件であり、来訪者の4割から5割程度から回答を得ることができた。

アンケートに回答した人のほぼ100%が環境教育に興味を持っていると回答したが、LCA・LCTをあまり知らない、全く知らないと回答した人は3割程度であった。しかし、それらのLCA・LCTを知らない人のうち、ブース内の展示物と教材説明などによって52%が「よくわかった」48%が「まあわかった」と回答しており、今回の展示物によってLCA・LCTへの理解を十分促すことができたと考えられる。さらに、「よくわかった」「まあわかった」と回答した人のうち86%が出張講師の派遣を希望しており、より詳しくLCA・LCTについて理解したいと考えていることがわかった。

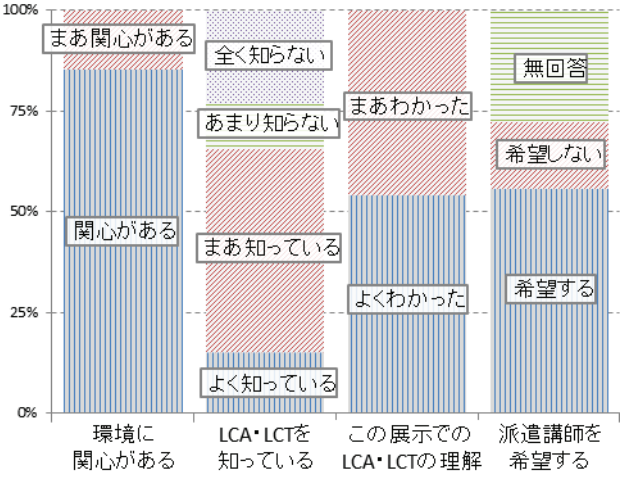


図3 アンケート調査の主要な回答

4. 今後に向けて

平成23年6月閣議決定された改正環境教育等促進法に基づく「環境保全活動、環境保全の意欲の増進及び環境教育並びに協働取組の推進に関する基本的な方針」改正案）には、新たに「ライフサイクル思考の重要性」が文言として初めて取り入れられた。また、教育実施事例やエコプロダクツ2012での来場者からはこの手法の重要性について概ね理解が得られている。しかし、LCTによる環境教育の普及は決して十分に浸透しているとは言えず、今後とも研究会活動はLCA学会内に留まらず外部への発信が重要と認識している。

参考文献

1)水野建樹：日本LCA学会誌5、2009,　pp.324-330
2)本藤祐樹等：日本LCA学会誌4、2008,　pp150-156

工業排熱利用型熱電発電システムの物質およびエネルギー収支

Materials and Energy Balance of Thermoelectric Generation System Using Exhausted Industrial Heat

○菊地麻美*[1)]、沖中憲之[2)]、梶原健[3)]、八馬弘邦[3)]、秋山友宏[2)]
Asami Kikuchi, Noriyuki Okinaka, Takeshi Kajihara, Hirokuni Hachiume, Tomohiro Akiyama
1) 北海道大学工学院, 2) 北海道大学工学研究院, 3) 株式会社 KELK
*asami-k@eng.hokudai.ac.jp

1. はじめに

熱から直接発電する熱電発電は発電時の CO_2 排出がなく，工業排熱の回収が可能であることから省エネルギーデバイスとして注目を集めている．しかし，商用化されている熱電素子には銅精錬から副産するビスマスやテルルが多量に用いられ，素材製造段階で多量の投入エネルギーや CO_2 排出が予測されるが，これまでにライフサイクル全体を通して環境負荷を定量的に整理，評価した事例は少ない[1)]．そこで本研究では，工業排熱利用型熱電発電システムのライフサイクルにおける物質およびエネルギー収支を分析した．

2. 方法

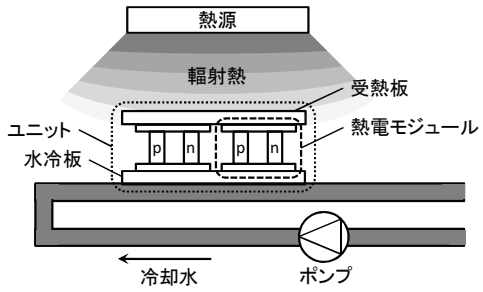


図１　排熱（輻射熱）利用型熱電発電システム概念図

本研究では，工業排熱を熱媒体無し（輻射熱）で回収するシステムを検討した．図1，2はそれぞれシステム概念図，システムのライフサイクルフローを示す．材料となる資源の採掘段階，熱電発電システム（ユニット）を構成する部品（モジュール，受熱板，水冷板）および素材の製造段階，システムの使用（発電）段階，資源，素材，部品の各輸送段階までをシステム境界とした．製造や輸送に関する設備の製造や建設は省略し，ユニットの組立，システムの廃棄・リサイクルに関しては詳細な報告がないため評価対象に含めなかった．熱電素子には商用化しているビスマス－テルル系の材料を採用した．報告されている文献やデータベースに基づき，システムを構成する部品および素材について「積み上げ法」によるライフサイクルインベントリ分析を実施した．熱電素子の製造プロセスはヒアリングにより作成した．

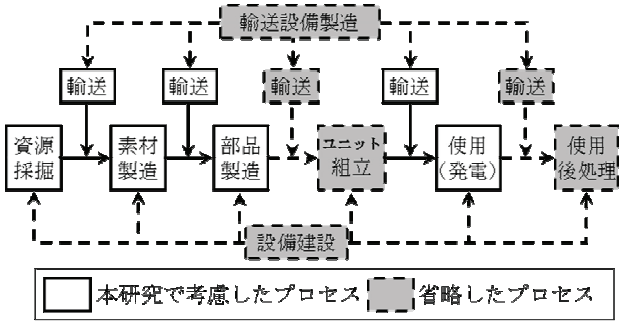


図２　熱電発電システムのライフサイクルフロー

3. 結果

単位ユニット（総重量27.75kg）製造当たりの投入エネルギー，CO_2 排出量はそれぞれ 2.06×10^4 MJ と 1.44×10^3 kg-CO_2 であった．ユニット総重量のうち，モジュールが占める重量割合は2.7 mass%だが，投入エネルギー量，CO_2 排出量では約 93%がモジュール製造に起因する結果となった．これは熱電素子の構成元素であるビスマス，テルル，セレンが銅の精錬過程で副産される現状に基づいて計算したためであり，その分素材製造時の負荷が多大であったことによる．ユニットの発電性能を 0.3 W/cm^2，単位ユニット占有面積を 1093 cm^2，システムの稼働率が80%，システムの寿命を10年間とし，発電電力の15%に当たる 49.2 J を冷却水用動力として購入電力で賄うと仮定すると，寿命期間中の発電電力量（発電端）は 8.27×10^4 MJ であり，エネルギー収支比（産出エネルギー/投入エネルギー）は2.29となった．また，エネルギー回収年（EPT）は2.49年となり，この値は報告されている太陽光発電（寿命30年，稼働率約15%[3)]）のEPTである1.4～2.6 年[2)]と同程度の結果となった．CO_2 排出原単位は132.2 g-CO_2/kWh となり，これは風力発電（寿命20年，稼働率約20%[4)]）の25～34 g-CO_2/kWh[2)]や，太陽光発電17～48 g-CO_2/kWh[2)]を大きく上回る値となった．これは風力発電の寿命20年や，太陽光発電の寿命30年と比べると，熱電発電システムの寿命10年が1/2～1/3と短いことに起因した結果である．今後は部品の修繕等により熱電発電システムの寿命が30年と増えることで，CO_2 排出原単位が1/3の44.1 g-CO_2/kWh となり，風力発電や太陽光発電に匹敵する低環境負荷発電システムに成り得る可能性が示された．

4. おわりに

工業施設からの排熱回収を想定した熱電発電システムのライフサイクルにおける物質およびエネルギー収支分析を行い，システム建設段階での投入エネルギーおよび CO_2 排出量を定量化し，寿命期間中の発電電力量を算出した．本研究により，熱電発電システムにおける潜在的な問題点を明らかにし今後の指針を得た．

引用文献

1) 堀康彦，伊藤哲夫，山本淳，太田敏隆，電気学会新エネルギー・環境研究会資料, FTE-99 (2), (1995), pp. 55
2) “再生可能エネルギー源の性能”，産総研太陽光発電工学研究センター，（オンライン），入手先 <http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/e_source/RE-energypayback.html>，（参照 2012-1-9）
3) みずほ情報総研 : “太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究”，(2008)，pp.3
4) 天野耕二，海老原美里，第 29 回環境システム研究論文発表会資料，(2001)

Life Cycle Thinking for Industrial Symbiosis: Case Study in China's Iron/Steel Industrial Park Using SFA and Value Chain Analysis

○董 亮*[1)2)]、张 辉[3)]、藤田 壮[1)2)]、藤井 実[1)]、戸川 卓哉[1)]、大西 悟[1)]、董 会娟[1)]

Liang Dong、 Hui Zhang、Tsuyoshi Fujita、 Minoru Fujii、 Takuya Togawa、 Ohnishi Satoshi、Huijuan Dong

1) 国立環境研究所、 2) 名古屋大学、3) 中国科学院过程工程研究所

*dong.liang@nies.go.jp

1. Introduction

Industrial symbiosis (IS) provided specific opportunities for industrial parks to enhance the eco-efficiency through the co-operation between co-located firms, with the exchange of materials, energy and/or by-products in a mutually beneficial way (Chertow, 1998, 2000, 2007). Especially from the perspective of life cycle, the IS could contribute to the mitigation of environmental pollutants in the up-stream, manufacturing process and down -stream.

Iron and steel industry could be a hub for the local industrial network, given its manufacturing features (Li et al., 2010). As an energy intensive industry, it particularly related to the carbon mitigation strategy. A mitigation strategy for the iron and steel industry can be promoted in two geographical levels: inside companies and in industrial parks. Industrial parks are a new urban system with high intensity of industries and populations that have remarkably influenced regional economic growth, technological innovation, and environmental quality. It is one form of the realization of the concept of IS.

A useful way to investigate the carbon mitigation effects in an industrial park was to trace the carbon flows from up-stream to the down-stream. Based on this, in this study, we aimed to conduct a substance flow analysis and assisted with value chain analysis to investigate the carbon mitigation effects of IS in a life cycle perspective, in a typical iron/steel industrial park (ISIP) in China. We particular focused on the carbon mitigation from power purchase, waste heat utilization and waste management.

2. Methodology

We applied SFA to study and simulate the carbon flows in the industrial parks before and after the implication of industrial symbiosis technologies.

Shown as Figure 1, the geographical scale of the system was an iron/steel-centered industrial area with materials and energy flow features. The iron/steel plant was connected with other plants in the form of waste/by-product exchange. The core of the system was the manufacturing process of iron and steel industry.

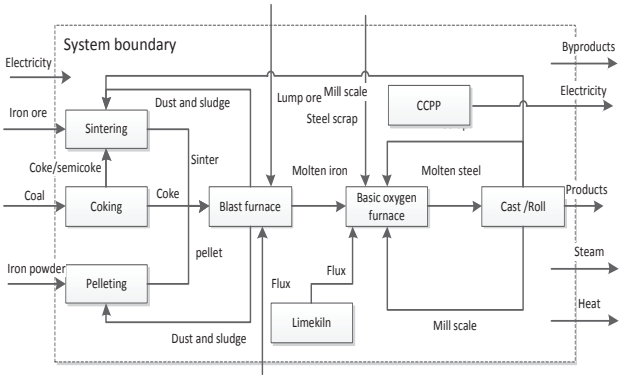


Figure 1 System boundary of SFA

Based on the methodology proposed by the World Resource Institute (WRI)(WRI, 2010) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (WBCSD, 2005), in this study, we calculated the carbon emissions in terms of direct and indirect ones accord to the features of iron/steel manufacturing.

$$C_0 = C_1 + C_2 - C_3 \quad (1)$$

$$C_1 = (\Sigma C_{Di}^{O} + \Sigma C_{Fi}^{O}) \times 44/12 \quad (2)$$

$$C_2 = \Sigma P_{Pi}^{I} \times F_{Pi} \quad (3)$$

$$C_3 = \Sigma P_{Pi}^{O} \times F_{Pi} \quad (4)$$

Where, C_0 was the net carbon dioxide emissions; C_1 was the direct emissions, C_2 was the input of indirect carbon flows; C_3 was the carbon deduction by products and/or by-products utilization. In equation (1) to (4), where the capital letter C refers to the amount of carbon. The capital letter P refers to the by-products. F_{pi} is the equivalence carbon dioxide emission factor. The superscripts I and O are using to distinguish the input flow and output flow. The subscript i refers to different flows. The subscript letters D, F, FC and P refer to direct carbon emission, fugitive emission, fix carbon in products and carbon free products (indirect carbon flow) respectively.

3. Case study

The case study is in a typical ISIP in northern China. The production of crude is 10 million tons annually.

As to the scenarios design, we designed two scenarios:

- Business as usual (BAU scenario): there is no waste heat utilization and IS;

- IS scenario: the technology of CO_2 capture by slag carbonization (CCSC) was applied. It would utilize the waste heat and slag to produce construction material.

4. Results and discussion

The SFA simulation results were showed in Figure 2 and Figure 3. It was noted that compared with BAU scenario, the net carbon emissions reduced from 1928.92 to 1706.03 kgCO_2/t steel. The carbon mitigation embodied into the power purchase was not reduced, but the carbon embodied into the waste heat was greatly reduced. Also more carbon was embodied into the products, thus the net emission was reduced (Figure 4).

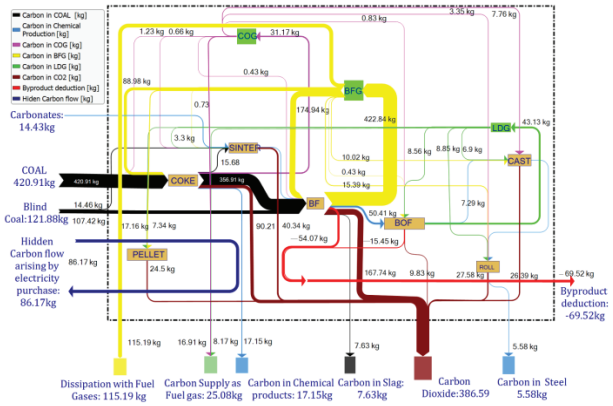


Figure 2 The Carbon flow chart of BAU scenario

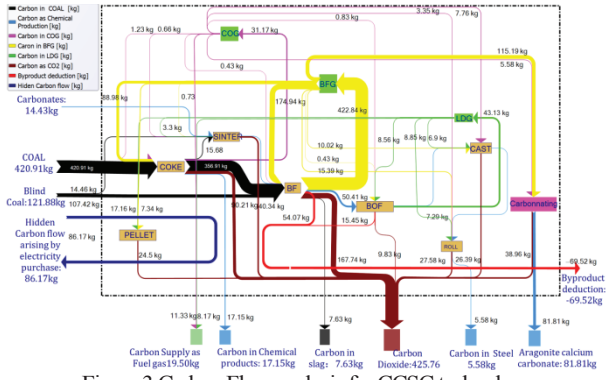


Figure 3 Carbon Flow analysis for CCSC technology

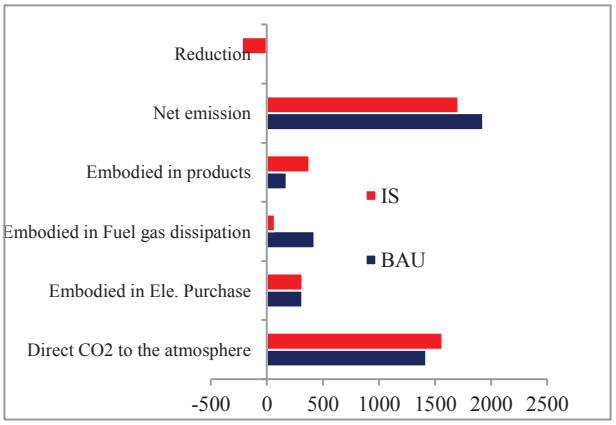


Figure 4 Comparison of carbon emissions

Unit: kg CO_2/t steel

Furthermore, from the perspective of value chain analysis, as the IS could embody the carbon elements which was in the waste before into the products, thus the added value of the industrial chain was increased, which contribute to the decrease of the cost of carbon mitigation.

5. Conclusion

The results of SFA noted that IS could help to reduce the carbon emissions inside the industrial parks, in terms of direct and indirect one. A further analysis based on the VCA showed that IS could also help to reduce the reduction cost, as it could increase the added value of industrial chains.

Our results highlighted that apart from energy efficiency measures, industrial symbiosis provided extra reduction opportunities through the secondary energy utilization, exchange of waste and or by-products. A life cycle thinking of IS contributes to a better path of fight to climate change.

Acknowledgement

This research is financially supported by: The research project of —Planning and evaluation system for resource circulation in Asia cities based on the Japanese environmental technologies and policies (K113002), the Ministry of the Environment, Japan; and the grant from the National Key Technology R&D Program of the China Ministry of Science and Technology (No. 2011BAC06B13 and 2012BAC03B02).

References

Chertow, M.R., 1998. The Eco-industrial Park Model Reconsidered. Journal of Industrial Ecology 2, 8-10.

Chertow, M.R., 2000. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. Annual Review of Energy and the Environment 25, 313-337

Chertow, M.R., 2007. “Uncovering” Industrial Symbiosis. Journal of Industrial Ecology 11, 11-30.

Li, H., Bao, W., Xiu, C., Zhang, Y., Xu, H., 2010. Energy conservation and circular economy in China's process industries. Energy 35, 4273-4281.

WBCSD, 2005. CO2 Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. World Business Council for Sustainable Development

WRI, 2010. World Resources Institute Carbon Dioxide (CO2) Inventory Report For Calendar Year 2008. World Resources Institute.

震災復興都市の過去・現在・未来の総合環境性能評価

A time-series assessment of disaster reconstruction cities based on environmental efficiency

○瀧上柾*[1)]、伊香賀俊治[1)]、川久保俊[1)]、目黒康介[1)]、宇城拓平[1)]
Masaki Takigami, Toshiharu Ikaga, Shun Kawakubo, Kosuke Meguro, Takuhei Ushiro
1) 慶應義塾大学
*shuffle@z7.keio.jp

1. はじめに

2011 年の東日本大震災により、東北地方を始めとする広域において生活継続が危ぶまれる事態に陥った。被災地域での復興活動を円滑に推進していくために、各々の自治体において、震災発生時を含む過去から現在に至るまでの実態把握をすることは重要であると考えられる。

本研究では、阪神淡路大震災の被災を経て既に復興を終えた A 市において、2012 年 7 月末に最新版が公開されている都市の総合環境性能評価ツールである「CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) 都市」[1)]による評価を試行した。さらに、2011 年の東日本大震災の被害を受け、復興途上にある B 市の評価を試みることで、過去・現在・未来の評価を行う上での課題を明らかにすることを本研究の目的とする。

2. 研究方法

2.1 研究方法の概要

両都市の職員と過去に実施されてきた具体的な施策や未来のビジョン等について協議した。そこで、評価に必要なデータを収集して・加工した後 CASBEE 都市に入力することにより、両都市において時系列的に評価を行なった。CASBEE 都市は表 SI. 1 に示す評価項目で構成されており、入力データは、国の統計データベースや市が WEB サイト等で公表している報告書や将来計画書などから収集した。両都市の職員との協議により、確定した各種評価指標を表 SI. 2 および表 SI. 3 に示す。

2.2 評価対象年次

評価対象年次を表 SI. 4 に示す。統計データの収集可能性が最も高い国勢調査年を評価対象年とした。また、震災発生前後を含む都市の実態把握を行うことから、B 市は国勢調査年ではない 2011 年のデータを収集することで、東日本大震災直後の評価対象年として加えた。

また、B 市は平成の大合併により誕生している市であるため、合併前の 1990 年から 2000 年の間はそれぞれの市町村における各種評価指標を統合しながら評価した。

未来の評価年は、特段の対策を施さない BAU (Business as usual) ケースおよび十分な対策を施す目標ケースを評価した。

3. 結果

3.1 CASBEE 都市による総合環境性能評価

表 SI. 2 および表 SI. 3 に示す時系列データを CASBEE 都市に入力し、両都市の総合環境性能評価を実施した結果を図 1 に示す。表 SI. 1 に示す環境品質・活動度 Q を縦軸に、環境負荷 L を横軸にとり、それぞれ 0 から 100 点で評価する。Q は 100 に近づくほど、L は 0 に近づくほど評価が高くなる。また、環境効率 BEE(=Q/L)の値を表 1 に示す。BEE は大きくなるほど良い評価となる。

A 市では、住民参加型の復興計画等により震災を乗り越え、現在では阪神淡路大震災前を上回るほど BEE 値が向上した。B 市では、合併以前は Q および L 共に大きな変化は見られないが、合併後の 2005 年、2010 年になると、社会・経済面の充実により BEE 値が向上した。また、震災が発生した途端に、Q が大幅に落ち込み、同時に産業活動の停滞に伴う L の低減も見られた。

また、両都市の職員との協議の結果、未来のスコアに関しては、今後行われる予定の施策を全て実現すれば、Q および L 共に過去最高値となることが示唆された。

表 1　両都市の環境効率の推移

年度	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2025 (BAU)	2025 (目標)
A 市	1.5	1.3	1.5	1.4	2.0	―	1.7	2.6
B 市	2.0	1.8	1.6	1.7	2.1	1.9	1.8	3.6

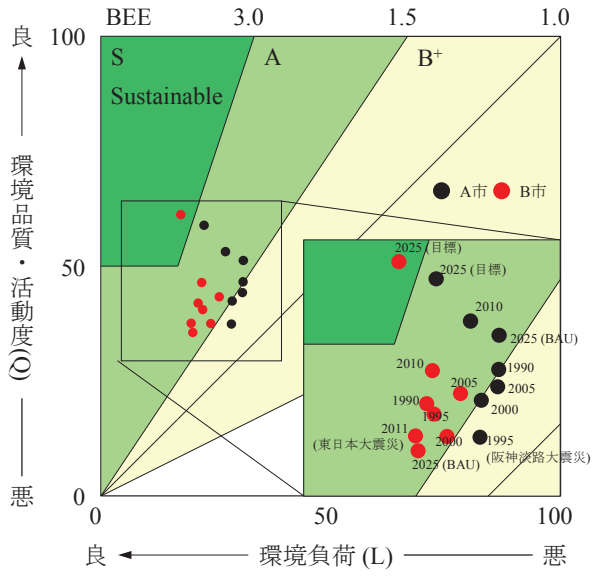


図 1　CASBEE 都市による両都市の時系列的評価

3.2　両都市の震災被害の特徴

両都市の評価において特筆すべきは、震災による被害の特徴である。東日本大震災では、阪神淡路大震災とは異なり、津波による被害の影響が明らかとなった。図 2、図 3 に、表 SI. 1 における両都市の小項目の変化を示す。

Q1 の環境面では、一般廃棄物のリサイクル率に大きな違いが見られ、B 市では震災瓦礫の資源化を行なっていることから、その結果としてスコアが大幅に向上した。B 市の特徴として、僅かではあるが津波の影響による森林の消失に伴い、自然的土地比率の評価が下落している。

Q2 の社会面では、B 市において津波による住居水準充実度の低下が顕著であり、津波によって延べ面積の大きい戸建て住宅が多数流出したことが大きく影響している。また、震災による施設の崩壊数が多く、高齢者サービス充実度や保育サービス充実度が低下した。さらに、人口自然増減率および人口社会増減率の減少も顕著であり、阪神淡路大震災よりも死亡者が多いことや、人口の流出が多いことなどが起因していると考えられ、早急な人口流出の食い止めが課題として浮き彫りとなった。

Q3 の経済面では、両都市共に下落している。しかし、地震に加えて津波の被害を受けた B 市の方が市町村民税や固定資産税等の減収の影響により、地方税収入額の評価の下落幅が大きい。1 人あたり GRP 相当額および地方債残高のスコアは両都市とも下落しており、産業活動の停滞や、多額の地方債発行などが原因として考えられる。

阪神淡路大震災では、A 市の南部に大きな被害が及んだ一方で、東日本大震災では、地震に加えて津波の被害が B 市の広域にわたって及んでおり、Q1 から Q3 のいずれを見ても、東日本大震災による被害の甚大さが明らかとなった。

さらに、図 4 に両都市の被災前後の CO_2 排出量の変化率を示す。B 市では、家庭・運輸部門の CO_2 排出量の減少率が大きいが、これは家屋や自動車の流出によるものだと考えられる。その一方で、A 市では、民生家庭部門、業務部門の CO_2 排出量が減るどころか逆にわずかに増加している。電力やガス、水道などのライフラインの迅速な復旧により、震災の影響があまり見られなかった可能性が考えられる。このように、本研究より都市の規模や産業構造等によっても震災被害の特徴が異なることが示唆された。

以上より、震災被害を明確化することで、Q および L の両面から喫緊に解決すべき課題を浮き彫りにした。

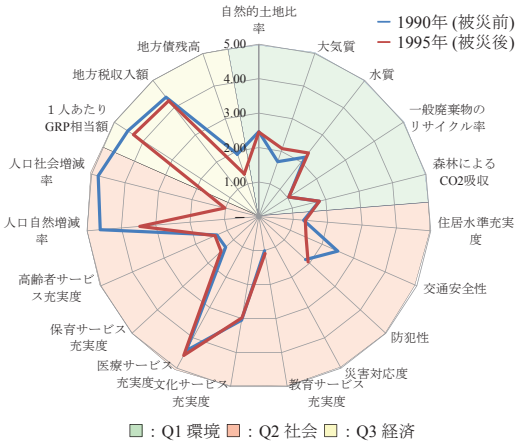


図 2　A 市における震災前後の各指標のスコア

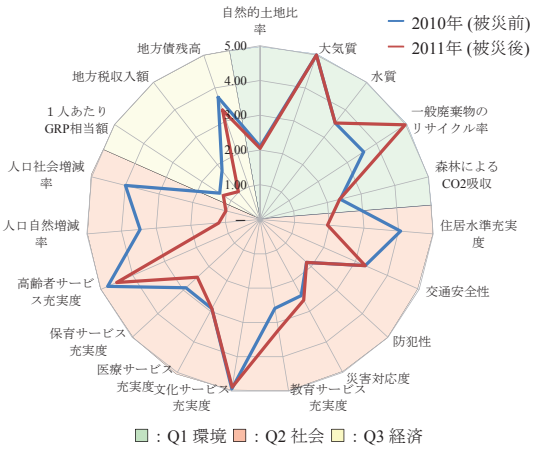


図 3　B 市における震災前後の各指標のスコア

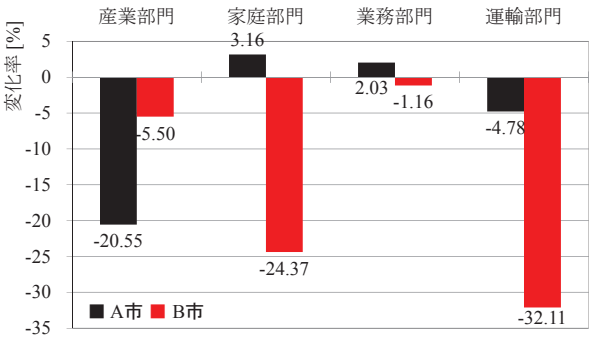


図 4　両都市における被災前後の CO_2 排出量の変化率

4.　まとめ

都市の環境性能評価ツール「CASBEE 都市」を用いて、過去から現在、そして未来にわたり都市環境を評価した。各都市の現状を把握することで、未来へ向けた適切な復興プロセスを経ることが可能になると期待される。

謝辞

本研究を進めるに際して、A 市、B 市、CASBEE 都市研究開発委員会 (村上周三委員長)、WBCSD/UII、三井物産戦略研究所、エナジーファームの関係者各位に貴重なご助言を頂いた。ここに記して深甚の謝意を表する。

参考文献

1) 川久保俊, 伊香賀俊治, 村上周三, 浅見泰司: 日本建築学会環境系論文集, 78(683), (2013), pp.63-72

Supporting Information

表 SI. 1 CASBEE 都市の評価項目一覧

	大項目	中項目	小項目	指標	データ出典
環境品質・活動度 Q	Q1. 環境	Q1.1 自然保全	Q1.1.1 自然的 土地比率	(林野面積+主要湖沼面積)／総面積	国土交通省国土地理院 「全国都道府県市区町村別面積調」
		Q1.2 環境質	Q1.2.1 大気質	光化学オキシダント(平均値)の昼間 1 時間値が 0.12ppm 以上の日数	国立環境研究所「環境 GIS」
			Q1.2.2 水質	河川 BOD の日間平均値の 75%値	国立環境研究所「環境 GIS」
		Q1.3 資源循環	Q1.3.1 一般廃棄物の リサイクル率	ごみのリサイクル率	環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 「一般廃棄物処理実態調査」
		Q1.4 CO_2吸収源 対策	Q1.4.1 森林による CO_2吸収源対策	森林面積(ha)×吸収原単位 ((2.92t-CO_2/ha))／補正人口	農林水産省センサス統計室 「世界農林業センサス」 国立環境研究所 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」
	Q2. 社会	Q2.1 生活環境	Q2.1.1 住居水準充実度	1 住宅あたり延べ床面積	総務省統計局「住宅・土地統計調査報告」
			Q2.1.2 交通安全性	交通事故発生件数／補正人口	警察庁交通局「交通統計」
			Q2.1.3 防犯性	刑法犯認知件数／補正人口	警察庁刑事局「犯罪統計書」
			Q2.1.4 災害対応度	二次医療圏内の災害拠点病院数／ 二次医療圏域人口	防災科学研究所 「災害拠点病院等データベース WEB 版」
		Q2.2 社会サービス	Q2.2.1 教育サービス 充実度	小中学校生徒数／ 小中学校教員数	文部科学省生涯学習政策局 「学校基本調査報告書」
			Q2.2.2 文化サービス 充実度	(公民館数+図書館数)／総面積	文部科学省生涯学習政策局 「学校基本調査報告書」
			Q2.2.3 医療サービス 充実度	医師数／補正人口	文部科学省生涯学習政策局 「社会教育調査報告書」
			Q2.2.4 保育サービス 充実度	保育所数／5 歳未満人口	厚生労働省大臣官房統計情報部 「医師・歯科医師・薬剤師調査」
			Q2.2.5 高齢者サービス 充実度	介護老人福祉施設数／ 65 歳以上人口	厚生労働省大臣官房統計情報部 「社会福祉施設等調査報告」
		Q2.3 社会活力	Q2.3.1 人口自然増減率	(出生数－死亡者数)／総人口	厚生労働省大臣官房統計情報部 「人口動態統計」
			Q2.3.2 人口社会増減率	(転入者数－転出者数)／総人口	総務省統計局 「住民基本台帳人口移動報告年報」
	Q3. 経済	Q3.1 産業力	Q3.1.1 1 人当たり GRP 相当額	(農業産出額+製造品出荷額等+ 商業年間商品販売額)／補正人口	農林水産省大臣官房統計情報部 「生産農業所得統計」 経済産業省経済産業政策局 「工業統計表」、「商業統計表」
		Q3.2 財政基盤力	Q3.2.1 地方税収入額	地方税／補正人口	総務省自治財政局 「市町村別決算状況調」
			Q3.2.2 地方債残高	公債費比率	総務省自治財政局 「市町村別決算状況調」
		Q3.3 CO_2取引力	Q3.3.1 他地域での CO_2 排出抑制支援	CO_2取引の有無(有 or 無)	
環境負荷 L	L1. エネルギー 起源 CO_2 排出量	L1.1 産業部門	-	産業部門起因の温室効果ガス排出量／補正人口	環境省 「地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策）策定支援サイト:部門別 CO_2排出量の現況推計」
		L1.2 民生家庭部門	-	民生家庭部門起因の温室効果ガス排出量／補正人口	
		L1.3 民生業務部門	-	民生業務部門起因の温室効果ガス排出量／補正人口	
		L1.4 運輸部門	-	運輸部門起因の温室効果ガス排出量／補正人口	
	L2. 非エネルギー 起源 CO_2 排出量	L2.1 廃棄物分野	-	廃棄物部門起因の温室効果ガス排出量／補正人口	

表 SI. 2 A 市入力データ *点線を挟んで上段は指標値、下段はスコアを表わす

大項目・中項目・小項目および対応指標	重み係数*	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	2025年（BAU）	2025年（目標）
Q環境品質・活動度の総合スコア (100点スケール)		46.6	37.4	42.4	44.2	53.1	51.2	58.9
Q環境品質・活動度のスコア (5点スケール)		2.9	2.5	2.7	2.8	3.1	3.0	3.4
Q1環境	1/3	1.81	1.88	1.95	2.26	2.56	2.57	3.25
Q1. 1自然保全	1/4	2.46	2.45	2.40	2.39	2.39	2.39	2.41
Q1. 1. 1自然的土地比率 (%)	1	44.4	44.1	42.4	42.2	42.1	42.1	42.1
		2.46	2.45	2.40	2.39	2.39	2.39	2.41
Q1. 2環境質	1/4	1.93	2.21	2.24	2.40	2.40	2.40	3.98
Q1. 2. 1大気質 (日)	1/2	3	1	4	2	2	2	2
		1.68	2.08	1.53	1.83	1.83	1.83	5.00
Q1. 2. 2水質 (mg/L)	1/2	2.9	2.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
		2.18	2.34	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96
Q1. 3資源循環	1/4	1.04	1.04	1.38	2.46	3.69	3.69	4.81
Q1. 3. 1一般廃棄物のﾘｻｲｸﾙ率 (%)	1	3	3	10	17	24	24	35
		1.04	1.04	1.38	2.46	3.69	3.69	4.81
Q1. 4CO2吸収減対策	1/4	1.80	1.81	1.79	1.79	1.78	1.79	1.79
Q1. 4. 1森林によるCO_2吸収源対策 (t-CO_2/人)	1	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		1.80	1.81	1.79	1.79	1.78	1.79	1.79
Q2社会	1/3	2.94	2.05	2.74	2.75	2.82	2.50	2.55
Q2. 1生活環境	1/3	1.88	1.60	1.38	1.47	1.69	1.63	1.71
Q2. 1. 1住居水準充実度 (m^2)	1/4	69	72	73	76	77	77	77
		1.30	1.35	1.39	1.48	1.51	1.51	1.51
Q2. 1. 2交通安全性 (件/千人)	1/4	5.35	7.53	6.75	6.95	6.23	6.56	6.56
		2.50	1.49	1.76	1.68	2.01	1.83	2.12
Q2. 1. 3防犯性 (件/千人)	1/4	14.0	13.3	20.6	23.3	15.6	16.5	16.5
		1.84	1.94	1.17	1.09	1.63	1.53	1.60
Q2. 1. 4災害対応度 (箇所/10万人)	1/4	N.A	N.A	0.13	0.26	0.26	0.27	0.27
		N.A	N.A	1.21	1.63	1.62	1.65	1.63
Q2. 2社会サービス	1/3	2.22	2.30	2.27	2.43	2.65	2.68	2.74
Q2. 2. 1教育ｻｰﾋﾞｽ充実度 (人/人)	1/5	21.8	20.1	19.2	18.3	17.5	17.5	17.5
		1.01	1.09	1.22	1.45	1.67	1.68	1.68
Q2. 2. 2文化ｻｰﾋﾞｽ充実度 (数/10km^2)	1/5	0.59	0.55	0.31	0.31	0.33	0.33	0.33
		3.05	2.98	2.31	2.30	2.35	2.35	2.35
Q2. 2. 3医療ｻｰﾋﾞｽ充実度 (人/千人)	1/5	2.20	2.44	2.52	2.74	2.96	3.11	3.11
		4.42	4.58	4.62	4.69	4.72	4.76	4.76
Q2. 2. 4保育ｻｰﾋﾞｽ充実度 (箇所/百人)	1/5	0.21	0.24	0.23	0.27	0.31	0.46	0.46
		1.31	1.49	1.44	1.60	1.87	2.65	2.65
Q2. 2. 5高齢者ｻｰﾋﾞｽ充実度 (箇所/千人)	1/5	0.17	0.20	0.30	0.36	0.43	0.34	0.37
		1.33	1.39	1.77	2.14	2.65	1.96	2.26
Q2. 3社会活力	1/3	4.71	2.24	4.57	4.35	4.12	3.20	3.20
Q2. 3. 1人口自然増減率 (%)	1/2	0.3	-0.2	0.2	0.0	-0.1	-0.8	-0.8
		4.61	3.46	4.37	3.97	3.66	1.68	1.68
Q2. 3. 2人口社会増減率 (%)	1/2	0.5	-3.1	0.4	0.3	0.1	0.3	0.3
		4.80	1.02	4.78	4.74	4.58	4.72	4.72
Q3経済	1/3	3.84	3.56	3.39	3.30	3.99	4.08	4.27
Q3. 1産業力	1/2	4.54	4.34	4.00	3.96	4.06	4.15	4.40
Q3. 1. 1一人あたりGRP相当額 (百万円/人)	1	7.92	6.84	5.53	5.39	5.69	5.99	5.99
		4.54	4.34	4.00	3.96	4.06	4.15	4.40
Q3. 2財政基盤力	1/2	3.15	2.78	2.78	2.63	3.92	4.00	4.14
Q3. 2. 1地方税収入額 (万円/人)	1/2	17.5	16.7	18.2	16.7	17.2	18.1	18.1
		4.39	4.25	4.53	4.26	4.35	4.51	4.79
Q3. 2. 2地方債残高 (%)	1/2	17.5	20.6	26.3	27.6	12.9	12.9	12.9
		1.91	1.31	1.02	1.01	3.49	3.49	3.49
Q3. 3CO_2取引力	0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Q3. 3. 1他地域でのCO_2排出抑制支援 (-)	1	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
L環境負荷の総合スコア (100点スケール)		30.8	28.3	28.5	30.7	27.0	30.9	22.4
L環境負荷の実数 (t-CO_2/人)		6.7	6.2	6.2	6.6	5.9	6.7	4.9
L1エネルギー起源温室効果ガス排出量	-							
L1. 1産業部門 (t-CO_2/人)	-	3.2	2.6	2.5	2.6	2.4	2.8	2.6
L1. 2家庭部門 (t-CO_2/人)	-	0.9	0.9	1.0	1.2	1.0	1.1	0.7
L1. 3業務部門 (t-CO_2/人)	-	0.9	0.9	1.0	1.4	1.2	1.4	0.8
L1. 4運輸部門 (t-CO_2/人)	-	1.6	1.6	1.5	1.3	1.2	1.3	0.9
L2エネルギー起源以外の温室効果ガス排出量	-							
L2. 1廃棄物分野その他 (t-CO_2/人)	-	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

*データが得られない小項目については重み係数を 0 とし、その重みを同一中項目内の他の小項目へ均等に割り振る。
同様に、中項目内の 全ての小項目のデータが得られない場合は当該中項目の重み係数を 0 とし、その重みを同一大項目内の他の中項目へ均等に割り振る。

表 SI. 3 B 市入力データ *点線を挟んで上段は指標値、下段はスコアを表わす

大項目・中項目・小項目および対応指標	重み係数*	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	2011年	2025年（BAU）	2025年（目標）
Q環境品質・活動度の総合スコア (100点スケール)		41.9	40.5	37.5	43.3	46.4	37.6	35.5	61.2
Q環境品質・活動度のスコア (5点スケール)		2.7	2.6	2.5	2.7	2.9	2.5	2.4	3.4
Q1環境	1/3	2.58	2.50	2.65	2.97	3.08	3.41	3.06	3.59
Q1.1自然保全	1/4	2.12	2.12	2.10	2.10	2.10	2.05	2.05	2.19
Q1.1.1自然的土地比率（%）	1	32.1 2.12	32.1 2.12	31.6 2.10	31.6 2.10	31.6 2.10	28.7 2.05	28.7 2.05	35.5 2.19
Q1.2環境質	1/4	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	5.00
Q1.2.1大気質（日）	1/2	0 5.00	0 5.00	0 5.00	0 5.00	0 5.00	0 5.00	0 5.00	0 5.00
Q1.2.2水質（mg/L）	1/2	1.2 3.52	1.2 3.52	1.2 3.52	1.2 3.52	1.2 3.52	1.2 3.52	1.2 3.52	0.5 5.00
Q1.3資源循環	1/4	1.51	1.22	1.86	3.14	3.56	4.98	3.56	4.68
Q1.3.1一般廃棄物のﾘｻｲｸﾙ率（%）	1	11.3※1 1.51	7.5※1 1.22	13.9 1.86	20.3 3.14	23.1 3.56	90 4.98	23.1 3.56	40 4.68
Q1.4CO2吸収減対策	1/4	2.41	2.39	2.38	2.38	2.38	2.36	2.38	2.48
Q1.4.1森林によるCO_2吸収源対策（t-CO_2/人）	1	0.26 2.41	0.24 2.39	0.24 2.38	0.24 2.38	0.24 2.38	0.23 2.36	0.24 2.38	0.29 2.48
Q2社会	1/3	3.27	3.51	3.02	3.12	3.42	2.38	2.48	3.47
Q2.1生活環境	1/3	3.26	3.29	2.74	2.44	2.92	2.43	2.78	2.86
Q2.1.1住居水準充実度（m^2）	1/4	109 3.56	113 3.74	118 3.95	116 3.92	119 4.06	87 1.95	107 3.39	104 3.11
Q2.1.2交通安全性（件/千人）	1/4	3.92 3.44	4.15 3.32	4.26 3.23	7.16 1.61	4.17 3.30	4.17 3.30	4.27 3.23	3.87 3.47
Q2.1.3防犯性（件/千人）	1/4	9.2 2.79	9.2 2.80	16.4 1.53	14.2 1.80	14.2 1.82	14.2 1.82	15.5 1.65	12.9 2.00
Q2.1.4災害対応度（箇所/10万人）	1/4	N.A N.A	N.A N.A	0.41 2.25	0.45 2.43	0.46 2.49	0.50 2.64	0.56 2.86	0.56 2.86
Q2.2社会サービス	1/3	1.95	2.53	2.34	2.89	3.62	3.59	3.56	3.85
Q2.2.1教育ｻｰﾋﾞｽ充実度（人/人）	1/5	20.3 1.06	18.4 1.40	16.9 1.87	15.7 2.26	14.5 2.59	12.2 3.22	12.2 3.22	14.5 2.59
Q2.2.2文化ｻｰﾋﾞｽ充実度（数/10km^2）	1/5	3.73 4.77	6.58 4.92	0.88 3.56	7.46 4.94	7.36 4.93	5.79 4.89	5.79 4.89	5.89 4.89
Q2.2.3医療ｻｰﾋﾞｽ充実度（人/千人）	1/5	0.46 1.42	0.70 1.90	0.76 2.05	0.99 2.52	1.19 2.91	1.19 2.91	1.22 2.97	1.96 4.21
Q2.2.4保育ｻｰﾋﾞｽ充実度（箇所/百人）	1/5	0.04 1.12	0.44 2.57	0.46 2.66	0.49 2.77	0.52 2.90	0.42 2.45	0.49 2.78	0.49 2.78
Q2.2.5高齢者ｻｰﾋﾞｽ充実度（箇所/千人）	1/5	0.20 1.39	0.31 1.87	0.26 1.57	0.34 1.99	1.12 4.79	0.86 4.51	0.65 3.93	1.15 4.79
Q2.3社会活力	1/3	4.60	4.71	3.99	4.03	3.73	1.11	1.11	3.69
Q2.3.1人口自然増減率（%）	1/2	0.3 4.70	0.3 4.60	0.2 4.40	-0.1 3.76	-0.2 3.46	-1.2 1.20	-1.2 1.20	-0.2 3.43
Q2.3.2人口社会増減率（%）	1/2	0.1 4.51	0.5 4.81	-0.4 3.58	-0.1 4.29	-0.2 4.00	-3.2 1.02	-3.2 1.02	-0.3 3.94
Q3経済	1/3	2.18	1.86	1.82	2.11	2.07	1.72	1.72	3.29
Q3.1産業力	1/2	1.73	1.68	1.57	1.67	1.39	1.26	1.27	1.96
Q3.1.1一人あたりGRP相当額（百万円/人）	1	1.75 1.73	1.71 1.68	1.57 1.57	1.69 1.67	1.36 1.39	1.16 1.26	1.19 1.27	2.00 1.96
Q3.2財政基盤力	1/2	2.63	2.03	2.08	2.55	2.75	2.17	2.17	2.90
Q3.2.1地方税収入額（万円/人）	1/2	6.3 1.11	7.5 1.37	7.7 1.44	8.0 1.54	8.7 1.78	5.0 1.02	5.1 1.02	9.5 2.08
Q3.2.2地方債残高（%）	1/2	10.5 4.16	15.1 2.69	15.0 2.71	12.7 3.55	12.2 3.72	13.4 3.33	13.4 3.33	12.2 3.72
Q3.3CO_2取引力	0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	5.00
Q3.3.1他地域でのCO_2排出抑制支援（-）	1	N.A N.A	N.A N.A	N.A N.A	N.A N.A	N.A N.A	N.A N.A	N.A N.A	有り 5.00
L環境負荷の総合スコア (100点スケール)		21.0	21.9	23.7	25.5	21.7	19.4	19.8	17.2
L環境負荷の実数 (t-CO_2/人)		4.5	4.8	5.2	5.6	4.7	4.1	4.2	3.5
L1エネルギー起源温室効果ガス排出量	-								
L1.1産業部門 (t-CO_2/人)	-	0.7	0.8	0.8	0.9	1.3	1.3	1.3	0.6
L1.2家庭部門 (t-CO_2/人)	-	1.0	1.1	1.3	1.4	1.0	0.8	0.8	0.6
L1.3業務部門 (t-CO_2/人)	-	1.0	1.0	1.1	1.1	0.8	0.9	0.9	0.4
L1.4運輸部門 (t-CO_2/人)	-	1.7	1.8	1.9	2.0	1.7	1.2	1.2	1.8
L2エネルギー起源以外の温室効果ガス排出量	-								
L2.1廃棄物分野その他 (t-CO_2/人)	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

※1 一般廃棄物のリサイクル率の 1990 年値および 1995 年値は暫定値

表 SI. 4 **評価対象年次**

年度	出来事	A 市	B 市
1990		○	○
1995	阪神淡路大震災	○	○
2000		○	○
2005	B 市誕生※1	○	○
2010		○	○
2011	東日本大震災	－	○
2025	A 市および B 市の目標年	○	○

*B 市誕生以前のデータは、合併以前に存在していた 2 都市のものを利用している

カーボンニュートラルな消費のための指標の検討

A new indicator for carbon-neutral consumption: An enhancement to CFP with cost for emission compensation by renewable energy technologies

◯Siou-Syuan You*[1)], Yasuhiro Fukushima[1)]
1)國立成功大學
*lucy910719@yahoo.com.tw

1 INTRODUCTION

Carbon footprint (CFP) has developed for decades. However, it has not been successful in leading consumers to alternative purchase practices via improved understanding of environmental aspects of products [1]. Here, a novel indicator called carbon compensation (CC) is constructed to guide the public to purchase products with lower CFP and has a longer lifetime. This is realized by revealing cost for compensating CFP of a product. Effectiveness of CC in guiding people to alternative purchase behavior will be gauged by questionnaire with demonstrative examples.

2 METHODOLOGY

As shown in the framework (Fig.1), the study comprise of four parts: design, computation, demonstration and evaluation of the CC indicator.

2.1 Design

To better associate carbon emissions to purchase decisions, monetary term is chosen as the unit of the indicator. This is realized by assuming technologies that can compensate carbon emissions by additional investment on technologies. Currently, CC technologies (CCTs) assumed for computing CC are photovoltaic (PV) and wind power (WP). CCTs related data is collected in prior to construct CC model, as shown in Table 1.

2.2 Computation

– Estimation of CC media *(CCM_i)*

First, CC media of type *i* CCTs *(CCM_i, i=PV, WP)* is estimated. In this study, kWh is the unit, which means electric power generated by the CCTs is compared to the current power generation. CFP of evaluated product *(CFP_{EP})*, emission factor *(EF=536 gCO_2-e/kWh[2])* and CFP of type *i* CCTs *(CFP_i)* are used, as in equation 1. *CFP* of PV and WP used for study are 45 and 8.4 gCO_2-e/kWh, respectively.

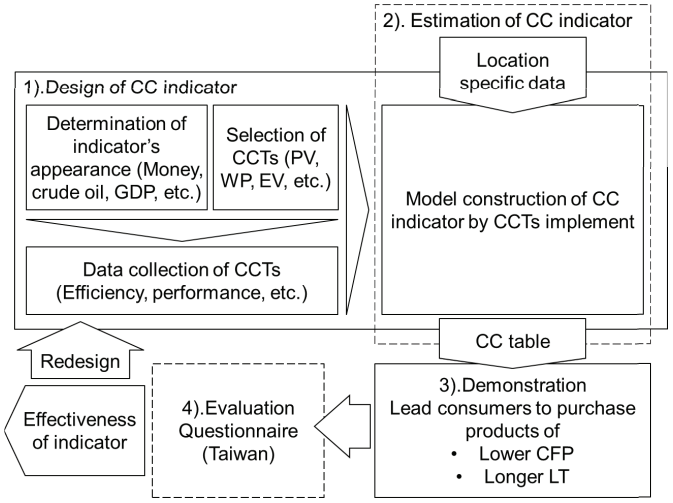


Figure1. Framework of constructing a CC indicator

$$CCM_i = \frac{CFP_{EP}}{EF - CFP_i} \quad (1)$$

– Estimation of installation quantity *(N_i)*

Dividing CCM_i by CC media generated per CCTs facility *($CCMPF_i$)* in evaluated product's lifetime *(LT_{EP})*, quantity of installation *(N_i)* is estimated (equation 2). Both of PV and WP, $CCMPF_{PV}$ represents the total electricity (kWh) generated per installation in LT_{EP}, shown in equation 3 and 4 respectively.

$$N_i = \frac{CCM_i}{CCMPF_i} \quad (2)$$

$$CCMPF_{PV} = NP \times E_m \times PR \times CP \times ST \times LT_{EP} \times 365 \quad (3)$$

where ST：Sunshine time

$$CCMPF_{WP} = \frac{1}{2} \times \rho \times \pi \times r_{blade}^2 \times U^3 \times \eta_{trans} \quad (4)$$

where ρ : *Density of blade*

r_{blade} : *Radius of turbine*

U : *Wind speed, location specific data*

Table1. Cost of Carbon Compensating Technologies used in this study

Lifetime (*LT*)		Nominal power (*NP*)		Module efficiency	
PV [year]	WP [year]	PV [kW/module]	WP [kW/turbine]	PV (E_m) [-]	WP (η_{trans}) [-]
25	15	0.315	300	0.16	0.3

Performance ratio (*PR*)	Area needed(*A*)		Cost		Capacity (*CP*)
PV [-]	PV(A_{PV}) [m^2/module]	WP (A_{WP}) [m^2/turbine]	PV (C_{pkW}) [NTD/kW]	WP(*CPT*) [NTD/turbine]	PV [-]
0.95	1.95	10	18,766	20000	0.5

– Estimation of CC with CCTs implement

Cost of CCTs implementation is separated in installation and land occupation (Eq.5, which means total cost for evaluated product's CC by *i* type CCTs *($CC_{EP,i}$)*.

$$CC_{EP,i} = C_{i,Equip} + C_{i,Land} \quad (5)$$

First, cost of CCTs installation is calculated with equation 6. For equipment installation, cost ratio (*CR*) is relied on LT_{EP} since installation might not long as LT_{PV}, shown in table 2. For PV, $UC_{PV,\,Equip}$ equal to NP_{PV} times cost per kW *(C_{pkW}=18,766NTD[3])*, shown in equation 7. For WP, $UC_{WP,\,Equip}$ shown in equation 8, which is the cost per turbine *(CPT, assumed 50,000NTD)*.

$$C_{i,Equip} = N_i \times CR \times UC_{i,Equip} \quad (6)$$

$$UC_{PV,Equip} = NP_{PV} \times C_{pkW} \quad (7)$$

$$UC_{WP,Equip} = CPT \quad (8)$$

Table2. Cost ratio table for installation ($X = LT_{EP}$)

$0 < X \leqq 5$	$5 < X \leqq 10$	$10 < X \leqq 15$	$15 < X \leqq 20$	$20 < X \leqq 25$
0.2	0.4	0.6	0.8	1

Secondary, cost for land use shown in equation 9, $UC_{i,Land}$ is the cost for unit area occupation in Taiwan.

$$C_{i,Land} = N_i \times A_i \times UC_{i,Land} \quad (9)$$

2.3 Demonstration and evaluation

Demonstrating by using the constructed CC table (Table3 and 4) guides consumers to the products with lower CFP_{EP} and longer LT_{EP}. The demonstration part is summarized in questionnaire.

In preliminary survey, 50 objects are investigated. Each questionnaire is designed in two sections, products with same 1)LT_{EP} and 2)CFP_{EP}. Subsection of section1), 1)without CFP_{EP} and CC, 2)with CFP_{EP} and 3)with CFP_{EP} and CC. Subsection of section2), 1) with LT_{EP} and 2)with LT_{EP} and CC. The effectiveness between CFP and CC indicator with the population from different sex, ages and career can be known.

3 RESULT AND DISCUSSION

CC tables of PV and WP are constructed as shown in table 3 and 4 respectively. Forming of CC table, the idea to lead consumers purchasing lower CFP_{EP} and longer LT_{EP} is discussed below.

3.1 Guide to lower CFP_{EP} product

For purchasing the same LT_{EP} (1yr) products, A and B, CFP_{EP} are 0.1 and 0.2 $kgCO_2$-e respectively. Corresponding to Table 3, $CC_{A,PV}$ is 100 NTD, $CC_{B,PV}$ is 200 NTD. Via the CC, the lower CFP_{EP} the less should be paid for compensation. Therefore, guides consumers toward the lower CFP products indirectly.

3.2 Guide to longer LT_{EP} product

For purchasing the same CFP_{EP} (0.1$kgCO_2$-e) of products, C and D, LT_{EP} are 1 and 2 years respectively. Relying on Table 4, $CC_{C,WP}$ is 12 NTD, $CC_{D,WP}$ is 6 NTD. As the result expresses, longer LT_{EP} have less cost for compensation. Hence, by estimating of CC can guide consumers toward products with longer LT_{EP}.

Table3. CC table by PV implement (Unit: 100NTD)

LT_{EP}(y) \ CFP_{EP} ($kgCO_2$-e)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1	1	2	3	4	5
2	0.5	1	1.5	2	2.5

Table4. CC table by WP implement (Unit: NTD)

LT_{EP}(y) \ CFP_{EP} ($kgCO_2$-e)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1	12	25	37	49	60
2	6	12	18	25	30

3.3 Effectiveness of CC indicator

Section1) with same LT_{EP} is help to choose the lower CFP_{EP}. Subsection1), price is the main factor for purchasing, 75%. Occupation of price and CFP_{EP} in subsection2) to 3) are from 41% to 34% and 39% to 25% respectively. Occupation of CC in subsection3) is 21%, which means the effectiveness of CC will share out from price and CFP_{EP}.

Section2) with same CFP_{EP} is guiding to longer LT_{EP}. Portion of price and LT_{EP} from subsection1) to 2) are 41% to 30% and 32% to 23% respectively, portion of CC is 27% in subsection2), which means effectiveness is divided from price and LT_{EP}.

4 CONCLUSION

Situation without CFP_{EP} and LT_{EP}, price is the main factor for purchasing, it helps to confirm the appearance used for CC will affect the purchasing habit. Situation between with and CFP_{EP} with CFP_{EP} and CC reveals the effectiveness of CFP_{EP} is shared out for CC. However, the effectiveness of CFP_{EP} is still higher than CC since the unclear definition and display. The survey should be redesign for evaluation the effectiveness.

Most of the parameters in CCTs calculation are assumed. Sensitivity analysis is needed to establish a solid CC model to be widely used for communication of environmental impacts associated with products.

REFERENCES

1. 蔡明峰, *環保標章資訊對消費者行為影響之研究*, 2011, 國立中央大學資訊管理學系碩士論文.
2. *電力排放係數*, 2011: Taipower company.
3. *Company annual report*, 2011, Tynsolar.

環境情報とコスト情報の提供による耐久消費財購入の意思決定支援

Provision of Environmental and Cost Information for Decision Support of Purchasing Consumer Durables

○福西佑紀[1)]、中谷隼*[1)]、森口祐一[1)]
Yuki FUKUNISHI, Jun NAKATANI, Yuichi MORIGUCHI
1)東京大学
*nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

家庭における機器別電力消費量は冷蔵庫、照明器具、テレビ、エアコンの順に大きく、これら4機器で全体の46%を占める[1)]。これらの機器を購入する際、統一省エネルギーラベルに代表されるような既存の多くの情報提供では使用者による使用実態に応じた効果的な情報提供が行われているとは言いがたい。

本研究では、家電製品のLCA事例を元に製品の種類、消費者による使用時間、使用年数の違いに応じて環境負荷と支払いコストにどのような違いが生じるか把握し、その情報を元に消費者が適切な製品を購入するために、消費者に合わせて効果的な情報を提供する媒体、量、難しさなどをアンケート調査によって検討する。上に挙げた4機器のうち、冷蔵庫は1日の使用時間の変動がなく、一方でエアコンは稼働時間や消費電力の変動要因が複雑であるため、照明とテレビを対象に調査を行った。本稿では、照明について紹介する。

2. 予備アンケート調査

2012年1月23日-25日にWebアンケート調査を行い、846名から有効回答を得た。

家電製品を購入する際に参考にされる情報源は、「参考にする」とした回答者が多いものから、販売員による説明、価格比較サイト、店舗の製品説明表示の順となった(図S1)。情報提供を行うにあたって、影響力が大きいと考えられるこれらの媒体を想定する。

家電製品を購入する際に重視する項目は「価格」が全ての製品について最も多かった(図S2)。照明は「機能」よりも「消費電力」を重視する人が他の家電製品と比較して多かった。一般的にCO_2排出量などの環境負荷が表示されていたら「考慮すると思う」という回答者は18%いたが、各製品について聞いた場合に「環境負荷」を3番目までに重視するとした回答者は比較的多い製品でも8%程度であり、単純に環境負荷の情報を提供したとしても影響力は小さいと考えられる。

3. LCAおよびLCCに基づく電球の種類の比較

ドイツの半導体メーカーであるOSRAMの資料[2)]では比較の容易な3種類の電球(白熱電球、電球型蛍光灯、LED電球)についてLCA比較を行っている。それによれば電球のライフサイクル一次エネルギー消費の

表１　日本の電球の仕様例(60W相当)

	白熱電球	電球型蛍光灯	LED電球
消費電力	54W	13W	9W
電球代	180円	900円	2,500円
寿命	2,000時間	8,000時間	40,000時間

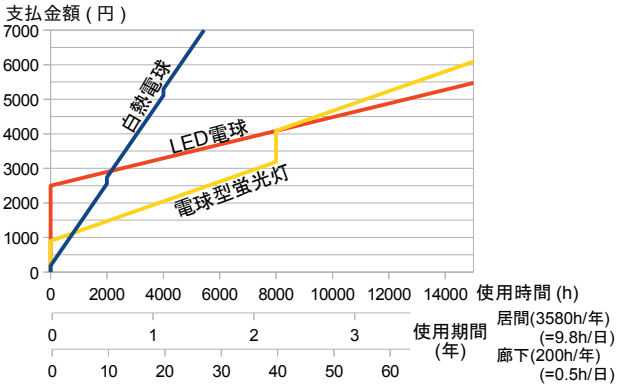


図１　電球による累積支払金額の推移

うちの98.5～99.5%、その他のほとんどの環境負荷についても97%以上は使用時に発生している。使用時の負荷の大きさは消費電力に比例し、白熱電球は他の2つに比べて消費電力が数倍以上大きいため、同じ使用時間で比較した場合、白熱電球の負荷量は大きくなる。

コストについても同様に、表1のような仕様の電球についてライフサイクル中の段階別割合を計算すると、白熱電球で93%、電球型蛍光灯で72%、LED電球で76%が使用時の電気代となる。電球代と電気代を合わせた累積支払金額の時系列変化を表すと図1のようになる。約700時間以内の短時間使用する場合は白熱電球が得であるが、長く使えば使うほど電球型蛍光灯、LED電球が得になる。このときの境界となる時間は使用(点灯)時間ベースでは一定だが、1日あたりの使用時間によってその時間に達するまでの期間が異なる。

1日あたりの使用時間、使用期間と得になる電球の関係を1つのグラフで示したものを図S3に示す。1日あたり1時間使用する場合、使用期間が2年までは白熱電球、21年までは電球型蛍光灯、21年以上でLED電球が得になる。1日あたりの使用時間が8時間の場合、境界となる使用期間はそれぞれ8分の1となり、2.7年以上使用すればLED電球が得になる。またCO_2排出量について同様の考え方をした場合、境界となる使用期間はコストの場合の10分の1以下になる。

表２　グループ名と分類方法

前提とする1日あたり使用時間			1時間		8時間	
最大情報量提供方法(Q5)			(T)表	(G)グラフ	表	グラフ
環境情報の提示	A	なし	A1T	A1G	A8T	A8G
	B	定性的(☆マーク)	B1T	B1G	B8T	B8G
	C	定量的(CO_2排出量)	C1T	C1G	C8T	C8G

表３　設問・グループと提示した情報

設問	出題グループ		販売価格	消費電力	電気代	寿命(時間)	寿命(年)	環境情報
Q1	A	BC	種類名のみ					
Q2	A		○		○			
Q2e		BC	○		○			○
Q3	A	BC	○	○		○		
Q3e		BC	○	○		○		○
Q4	A		○	○	○	○		
Q5	A		○		○	○	○	
Q5e		BC	○		○	○	○	○

4. 消費者アンケート

このように消費者の使い方、考え方によって購入すべき最適な製品が変化するような状況において、情報の量や示し方によって消費者の選択がどのように変化するか把握するために Web アンケート調査を実施した。あらかじめ振り分けたグループごとに 1 日あたり使用時間を固定し、3 つの電球を想定した情報を設問ごとに変化させて提示し、どの電球を購入しようと思うか、あるいは判断できないかを選択する設問形式とした。グループの名前と分類方法を表 2、各グループで設問ごとに提供した情報を表 3、提示した情報の内容を表 S1 に示す。調査は 2012 年 9 月 11 日-13 日に行い、1584 名から有効回答を得た。

78%の回答者は電気代を考慮する期間を 3 年未満とした(「わからない」を除く)。これらの人にとって、1 日 1 時間使用の場合は白熱電球、8 時間使用の場合は電球型蛍光灯が経済合理的な選択となる。

「白熱電球」といった種類名のみを示した Q1 では LED 電球を選択する人が過半数となり、1 時間と 8 時間のグループ間でも差が生じた。LED 電球の省エネや環境イメージによるものだと考えられる。

販売価格と年間電気代の情報を示した Q2 では最も経済合理的に判断できると考えられ、結果として電球型蛍光灯の選択者がかなり多くなった。これに寿命や消費電力の情報を加えていくと前提条件にとらわれず、より自身の状況に応じて判断できるようになると考えられるが、使用時間が 1 時間のグループよりも 8 時間のグループのほうが全体的に大きく変化した(表 S2)。多くの情報を示す Q5 で図 1 のようなグラフを用いた場合、1 時間のグループで有意に LED 電球の選択者が多かった。また、判断できない回答者も多かった。

環境情報を付加したとき、全体的に白熱電球が減少し電球型蛍光灯や LED 電球の選択率が高くなる傾向があったが、あまり統計的に有意にならなかった(表 S3)。また、定性的な環境情報と定量的な環境情報の提供において、有意な差は観測されなかった。

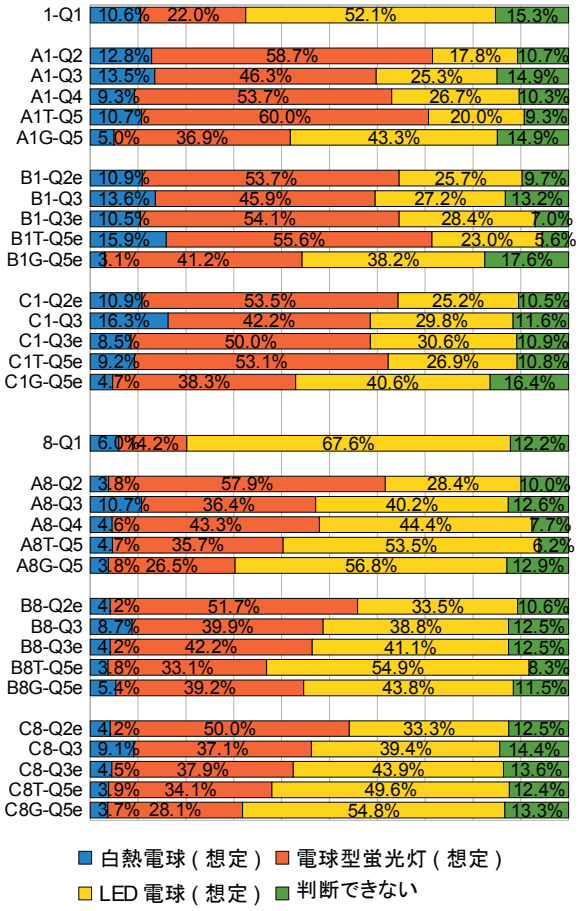


図２　情報量と示し方による違い

5. まとめ

本研究で使用時間や使用期間に応じた製品別の環境負荷およびコストの大きさを調べることにより、ライフサイクル中で特に使用時のコストや環境負荷の割合が大きい耐久消費財について、コスト・環境面でそれぞれ優位な製品が変化することが明らかになった。また、消費者は価格を重要視していても必ずしも経済合理的な判断を一貫せず、情報の示し方によって選択を変化させることが分かった。合理的な購入を支援するためには、与える情報をむやみに増やさず、消費者が必要としている情報に絞って提供することが望ましい。

謝辞　本研究は、環境研究総合推進費補助金「消費者の環境配慮行動支援のための情報提供システムの構築に関する研究」の一環として行われた。

引用文献

1) 資源エネルギー庁「家庭におけるエネルギー消費実態について」(調査概要)、http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/save03/h22_bunsekityosa.pdf (参照 2013-01-07)
2) OSRAM: Life Cycle Assessment of Illuminants,(2009)

Supporting Information

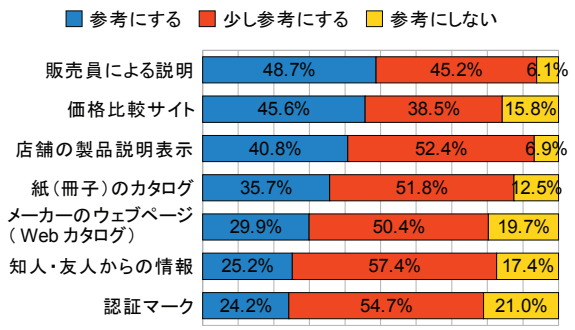


図 S1　家電製品購入時の各情報源の参考度合い

表 S1　実際に示した情報の内容

		白熱電球	電球型蛍光灯	LED電球
	販売価格	180円	900円	2500円
	消費電力	54W	13W	9W
	寿命(点灯時間)	2000時間	8000時間	40000時間
	エコ度	☆	☆☆☆	☆☆☆☆☆
1日1時間使用の場合	年間電気代	454円	109円	76円
	寿命(使用期間)	5.5年	21.9年	109.5年
	年間CO_2排出量	8.4kg	2.1kg	1.4kg
1日8時間使用の場合	年間電気代	3629円	874円	605円
	寿命(使用期間)	0.7年	2.7年	13.7年
	年間CO_2排出量	67.4kg	16.5kg	11.4kg

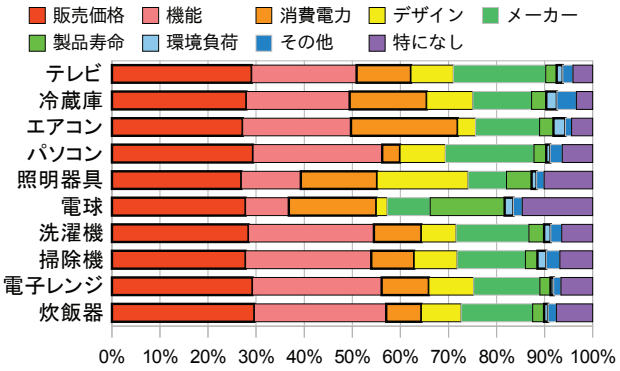


図 S2　購入時に重視する項目
(製品別 1 番目-3 番目を合計)

表 S2　情報の量と示し方による分布の差の
χ^2 検定の有意確率 p
(上:1 時間グループ、下:8 時間グループ)

	A1−Q3	A1−Q4	A1T−Q5
A1−Q2	0.020	0.064	0.852
A1−Q3	−	0.097	0.059
A1−Q4	−	−	0.445
A1G−Q5	−	−	0.000

	A8−Q3	A8−Q4	A8T−Q5
A8−Q2	0.000	0.001	0.000
A8−Q3	−	0.009	0.015
A8−Q4	−	−	0.395
A8G−Q5	−	−	0.169

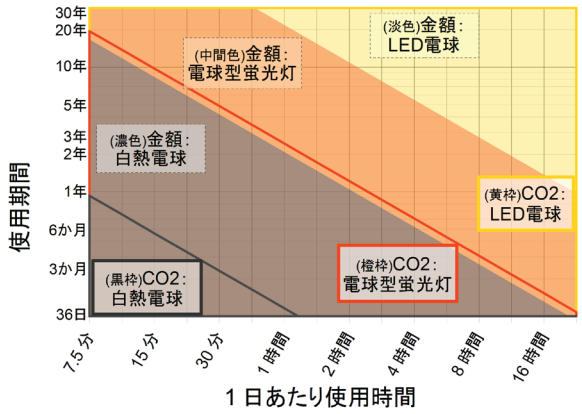


図 S3　使用時間・期間に応じて支払金額および
CO_2 排出量が最も小さくなる電球の種類

表 S3　環境情報による分布の差の
χ^2 検定の有意確率 p
(上:1 時間グループ、下:8 時間グループ)

比較対象	環境情報付加	A−B	A−C	B−C
A1−Q2	BC1−Q2e	0.171	0.208	0.994
A1−Q3	BC1−Q3e	0.013	0.089	0.349
A1T−Q5	BC1T−Q5e	0.380	0.522	0.184
A1G−Q5	BC1G−Q5e	0.643	0.968	0.864

比較対象	環境情報付加	A−B	A−C	B−C
A8−Q2	BC8−Q2e	0.550	0.341	0.926
A8−Q3	BC8−Q3e	0.034	0.066	0.794
A8T−Q5	BC8T−Q5e	0.882	0.393	0.692
A8G−Q5	BC8G−Q5e	0.118	0.989	0.202

企業の生態系保全活動を対象とした経済価値評価手法開発の検討

Development of economic valuation method focused on the ecosystem conservation by companies

○麻喜皓人*[1)]、那須守[2)]、村上佳世[1)]、伊坪徳宏[1)]
A.Asaki, M.Nasu, K.Murakami, N.Itsubo
1) 東京都市大学大学院, 2) 清水建設株式会社
*g1283101@tcu.ac.jp

1. 社会背景

2008 年にスターン・レビューの生物多様性版である「The economics of ecosystems and biodiversity」の中間報告が公表され、生態系や生物多様性の損失が経済的・社会的にどの程度の損失を与え、また影響を受ける対象が生態系サービスの最大の受益者である貧困層であることを示した。最終報告では各国の政策決定者や事業者に対してこの危機を脱するための具体的な対処を示し、その点においてスターン・レビューより踏み込んだ内容となった。しかし COP10 では遺伝子資源の利用に関する枠組みが取りまとめられただけで、2010 年目標は達成されることはなく、2020 年までに実質的な行動を起こすとした「愛知目標」の採択に留まった。

報告書ではいずれも経済的活動による解決のシナリオが用意されており、生態系を対象とした経済評価が注目され評価事例も増加している。一方、企業活動の効果を定量的に評価する手法はなく、生態系保全活動は一部の大企業による CSR にとどまっている。また明確な意義や目的設定は定められていないことが多く、その取り組みが消費者に認知されていることは少ない。（図 1）

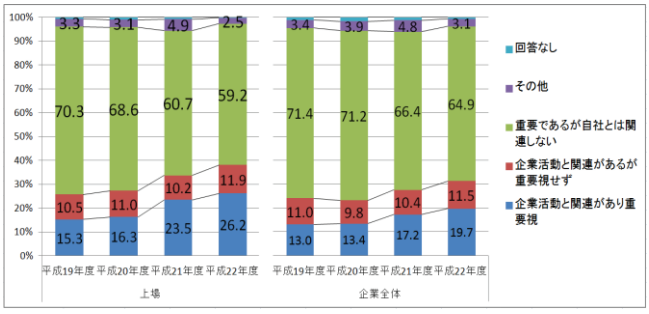


図 1　環境にやさしい企業行動調査結果（環境省）

2. 研究背景

先行研究として米国の R.Costanza らが市場では取引されない環境財・地球環境から提供されるサービスを経済的評価した多くの先行研究多を元に、生態圏 16 部門から提供される様々なサービスの平均的評価額を地球規模で 1997 年に算出している[1)]（表 1）。しかしこれらは便益移転（Benefit Transfer 以下 BT）と呼ばれる手法を用いてまとめたもので、評価年度も対象地も異なる研究を引用しているため精度にはばらつきがある。

表 1　環境・社会的機能別価値（R.costanza ら, 1997）

	総面積 (10^6ha)	環境・社会的機能別価値（US$/ha/年、1994年）				1haあたりの価値
		水供給	生息地保護	心身保養	文化	
森林全体	4855	3		66	2	969
寒帯林	2955			36	2	302
湿地全体	330	3800	304	574	881	14785
ー干潟	165		169	658		9990
ー沼沢地	165	7600	439	491	1761	19580
ー湖・河川	200	2117		230		8498

BT は主に米国で盛んで、一般に公共事業の費用便益分析や環境破壊などの損害賠償額算定の手法として利用される。仮想評価法（以下 CVM）は、多額の費用と歳月が掛かるため、公共事業や訴訟などの費用便益分析の際に、新たな評価を実施せずに過去の研究において類似する評価事例があれば、消費者物価指数などの補正を行うことで一定の精度を担保し、予算の削減することを目的に開発されたとしている[2)]。

しかし、D. Nortone らは BT に関する最新の報告[3)]では「研究対象間の文化の相対的な違いが大きいことが予想される際は、特に集団の所得水準や人口統計学的特徴といった文化的な要因の多様性を考慮することで一定の精度向上が見込める」とした上で、基本的には国境を跨いだ BT には大きな誤差が発生すると論じた。

3. 目的

本研究では生物多様性保全のために可能な限り企業活動を利用し、また共通の指標・方法で評価することで異なる企業間の活動を比較、関係性を分析することで企業価値の向上のための意思決定ツールの開発を目指す。

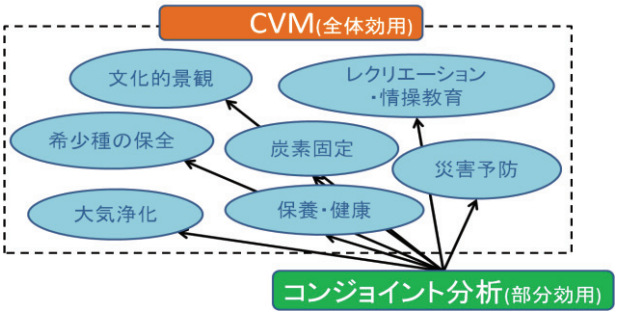


図 2　CVM とコンジョイント分析の違い

生態系サービスの機能として、木材の燃料利用や食物の採集といった直接的な利用以外にも、コミュニティの

形成や子どもへの情操教育といった「潜在的価値」が存在し、これら潜在的価値を算定するために表明選好法と呼ばれる、CVM とコンジョイント分析を用いる。（図 2）

4. 評価対象

本研究は共同研究者である清水建設様の研究所内にある大型ビオトープ「再生の杜」を評価対象とする。このビオトープは総面積約 2000 ㎡(0.2ha)、うち水辺域 650 ㎡で水辺から草地エリア・樹木エリアにかけて徐々に環境が変えることで、多様な生物の生息空間を創出している。19 種の鳥類と、約 300 種の昆虫類が確認されている。

このビオトープから提供されるサービスを、表 1 の R.Costanza が定義付けた機能に割り当て、樹木であれば面積、生息地の保護であれば生物種数など、提供されるサービスとその指標を特定した。

5. 方法

5.1 先行研究の収集

過去の評価事例を収集するにあたって、選好依存型の経済評価研究のデータベースの一つである「Envalue[4]」を利用した。「Envalue」は BT での利用を目的に整備されたデータベースで、既存研究を評価対象・地域・属性・評価年度・手法毎に細かく分類しており、これを Excel に落とし込むことで評価事例の全体観を掴み易くした。ただ、国内の事例はわずかしか無く、事例の大半は 70 年代後半から 90 年代後半のものとなっており、サイトの更新は 2004 年で止まっている。

5.2 便益移転の手法

5.2.1 原単位移転

森林などを対象に CVM などで算出された WTP の集計額を森林の総面積で割ることで単位面積あたりの WTP を求め、移転先の総面積を乗じる方法。集計額を用いるため対象となる世帯数に影響を受ける

5.2.2 個人評価額移転

ある森林に対する 1 世帯あたりの WTP を、移転先の森林に関連する世帯数に乗じる方法。元々の森林と、便益の移転先となる森林の規模が近似する必要がある。

5.2.3 機能分解型移転

本研究で汎用的な算定ツールとして想定しているもの。例えば表明選好法によって求められたある森林の WTP を、その森林から受けるサービスの要素（土壌侵食の防止、地下水涵養、防潮、生物種生息、景観、レクリエーションによる情操教育効果、心身のリラックス…etc）に分解し、森林面積や一日あたりの利用者数などサービスの効果に影響を与える要素と関連付けを行う。それによって移転先の植栽面積や利用者数によって、相対的に質の比較を行う事が可能になると考えられる。

6. 試算

ここでは清水建設研究所内のビオトープの経済的価値を求めるにあたり、国内事例を用いた簡易的な BT と表 1 を用いた評価を行った。

表 2　原単位移転[6)]

タイトル	維持管理費からみた集合住宅内植栽地の経済的価値評価について
著者, 年	内藤志帆、高橋新平、近藤三雄,2003
評価手法	CVM
評価対象地	埼玉県和光市の大規模分譲集合住宅:シーアハイツ和光 敷地内面積8112㎡うち2000㎡が建築面積、総戸数1616
サービス	「植栽の維持管理費としていくら支払いますか？」 ー都市緑地、86種の植栽、日常的な通行など生活の一部
評価額	敷地1㎡あたり1783円/年

2000(㎡)×1783(円/年)＝3.56E+07(円/年)

国内事例（表 2）は、集合住宅地内の植栽域の移転で、現在の植栽を維持管理する際の WTP を求めている。実際の維持管理費は年間 1325（円/㎡）で、大半の世帯が持ち家として住んでいる事で高額に算定されたと考えられる。

71(US$/ha/年)×1350(㎡)＋5559(US$/ha/年)×650(㎡)
＝3.71+04(円/年)　　※$1＝¥100(1994 年平均値)

R.costanza（表 1)による森林全体の効用と湿地全体の効用を面積で分解して求めた。水供給・生息地保護・心身保養・文化の 4 つのみの項目で求めたのは、複数の企業活動を、最小公倍数的に分類分けしたためである。海外事例からの移転になるので規模感にはかなりの違いがあり、また今回は植栽域を森林、水域を湿地として扱ったが提供されるサービスに関しては重複や過大・過小評価がある。今後実際に国内でアンケートを行うことで数値間の比較・分析を行う予定である。

7. 今後の課題

国家間の BT では土地に対する規模感の違いが最も大きな影響を及ぼしていると考えられる。また、教育効果や心身の保養効果に着目するのであれば実際に利用されることが重要になるので、公共交通機関でのアクセスや評価対象地周辺の人口密度などを考慮する必要がある。

参考文献

1) R. Costanza et al, The value of the world’s ecosystem services and natural capital, 2 April 1997
2) 柘植隆宏ら，環境評価の最新テクニック，20 Nov 2011
3) D. Norton et al, “Accounting for Cultural Dimensions in Estimating the Value of Coastal Zone Ecosystem Services Using International Benefit Transfer”
4) NSW ホームページ, Envalue, http://www.environment.nsw.gov.au/envalueapp/, 10 Jan 2013 現在
5) 栗山浩一，環境評価の新たな展開－便益移転とコンジョイント分析－, 9 Oct 1999
6) 内藤志帆ら，維持管理費からみた集合住宅内植栽地の経済的価値評価について, LRJ 66 (5), 2003

社会的責任投資の投資決定メカニズム分析

Decision-making Process in Socially Responsible Investment: A Latent Class Approach

○中井美和*[1)]、本田智則[2)]、西野成昭[3)]、竹内憲司[1)]
Miwa Nakai, Tomonori Honda, Nariaki Nishino, Kenji Takeuchi
1) 神戸大学, 2) 産業技術総合研究所，3)東京大学
*miwa.elisabetta@hotmail.com

1. はじめに

企業の経済的パフォーマンスだけでなく，CSR（企業の社会的責任）の評価を考慮して行う投資過程である，社会的責任投資（SRI）の規模は拡大を続けており，欧米では投資市場の 13%を占めるまでとなった。これを受けて, SRI 投資家の投資行動に関する研究も進められてきた。先行研究によると，SRI 投資家は，これまで想定されてきた合理的な投資家とは異なる選好や属性を持っていることが報告されている。例えば， SRI 投資家は一般的な投資家と比較し，学歴，所得，所有金融資産などが高いことが指摘されている[1)]。また，投資決定要因としてリターンを強く意識しないという結果[2,3)]や，利他性の高さ[4)]が報告され，経済的合理性を追求する姿勢が弱いともいえる。これらの結果より，既存の経済学研究が対象としてきた合理的意思決定を行う投資家と SRI 投資家は異なった意思決定過程に基づいて行動していることが示唆されているが，こうした違いがどのような要因によって引き起こされているのかはどの研究でも解明されていない。

本研究では，CSR 活動に投資を行う個人投資家，つまり SRI 投資家の意思決定過程を明らかにし， SRI 投資家行動に関する研究の知見を深めることを目的とする。CSR 活動が活発な企業への投資は，投資家が CSR 活動そのものから効用を得ることを目的とした行動であると言えるが，これ以外にも CSR 活動をおこなっているという要素が投資家の期待に与える影響を考慮する必要がある。本研究では， 1）利他性， 2）危険回避度， 3）時間選好率を投資の意思決定過程にとって重要な要因として着目し，分析を進める。日本企業による CSR 活動は当初から環境活動が多く観察されており，国内の消費者・投資家には CSR 活動といえば環境活動が最もイメージしやすいと思われるため，本研究では CSR 活動を環境活動と置き換え，分析を進める。

2. 方法

本研究では，調査対象を株式もしくは投資信託保有者とし，ウェブアンケート調査を行った。有効回答数は 2,518 名である。推計の手順は大きく分けて以下の通りである。

- サンプルの効用関数を推計し，どの回答者が SRI 投資家であるのかを識別する。本研究では，CSR 活動＝環境活動であるので，環境活動から強い効用を得たサンプルを SRI 投資家と定義する。
- SRI 投資家とその他のタイプの投資家（例：リターンから強い効用を得る従来型の投資家や，極端にリスクを嫌う投資家など）を比較し，彼らの選好パラメータがどのように異なるかを，潜在クラスモデルを用いて推計する。

・効用関数の推計

表 1 に示したコンジョイント形式の設問を 12 問答えさせることによって，企業の環境活動から効用を得るサンプルを抽出する。まず，100 万円の投資資金があると想定してもらい，回答者は「株 A」，「株 B」，「どちらも選ばない」から 1 つを選択する。株の属性は，「起こりうるリターン」，「リスク」，「環境活動への寄付」である。「起こりうるリターン」とは，５年後に期待できる収益を意味する。「起こりうるリターン」に２つの値が表示されている場合，それらは 50%ずつの確率で発生し，また，４つ値が表示されている場合は 25%ずつの確率で発生することを意味する。「環境団体への寄付」は，投資先の企業から環境団体へ寄付を行っているかどうか，そして寄付を行っている企業ならばその寄付額を示している。つまり，環境団体への寄付額が大きければ大きい程，企業の環境活動は活発であることを意味する。寄付金有りの企業の株に投資を行ったとしても，回答者が投資から得られる収益は減少することはないものとする。

表１：コンジョイント分析　選択セットの例

	株A	株B	
起こりうるリターン	±0 円 ＋20 万円	−10 万円 ±0 円 ＋20 万円 ＋30 万円	どちらも選ばない
環境団体への寄付	10 万円	0 円	
最も望ましい選択肢をチェックして下さい	□	□	□

・ 選好パラメータの推計

本研究では，環境保全活動が活発な企業へ投資を行う要因として，「利他性」，「危険回避度」，「時間選好率」に着目する。回答者がこれらの要因についてどのような特徴を持っているかについては，アンケートにおける他の設問の結果から推計を試みる。利他性は独裁者ゲーム[5]，危険回避度と時間選好率はくじの選択[6,7]によって推計する。

・ 潜在クラスモデル

潜在クラスモデルとは，回答者が異なる効用関数をもつ複数の集団（クラス）によって構成されていると想定し，その効用関数の違いをメンバーシップ関数（本研究では，利他性，危険回避度，時間割引率）によって説明を行うモデルである。本研究では，コンジョイント形式の設問で，回答者の効用関数を推計し，潜在クラスモデルを適用することによって，効用関数の似た回答者同士を同じグループと設定する。例えば，環境活動団体への寄付から高い効用を得ているグループ，起こりうるリターンから高い効用を得ているグループ等である。それらのグループを選好パラメータで説明することによって，効用関数を構成する原因を特定することができる。

・ 仮説

仮説１

利他性が高い個人ほど，環境団体への寄付から効用を得る（＝環境活動が活発な企業へ投資する）

背景：SRI 投資家は一般的な投資家と比較して，利他性が高いという実証分析の結果[8]より。

仮説２

危険回避度が高い個人ほど，環境団体への寄付から効用を得る（＝環境活動が活発な企業へ投資する）

背景：CSR 活動は企業のリスク，ひいては株価低下のリスクを減少させると言われている[9]。リスクの低さが投資決定要因である個人にとっては，環境活動は投資決定の重要なシグナルとなりうる。特に，SRI 投資家は一般的な投資家より投資期間が長いことが明らかとなっているため[3]，リスクの低さは重要な投資要因となる[10]。本研究ではこの概念を「高い危険回避度」によって定量化し分析を進める。実際，SRI 投資家は一般的な投資家より危険回避度は高いという研究も存在する[11]。

仮説３

時間選好率が低い個人ほど，環境団体への寄付から効用を得る（＝環境活動が活発な企業へ投資する）

背景：環境保全活動に熱心な企業は，その活動により財・サービスの差別化を行うことができ，よって中長期的な利益を増加させることができると投資家が判断し，投資決定を行うという仮説である（経営学で言われる Good Management Theory の概念）。本研究ではこの仮説を「低い時間選好率」として定量化した。割引率が低いほどより長期的な利益を高く評価し、SRI の長期的な利益を期待して投資をおこなうことが予想できる。

3. 結果

推定結果は当日に発表する。

4. おわりに

最後に，本研究の貢献について述べる。学術的貢献として，既に述べたように，本研究は SRI 投資家の投資決定過程の解明に有用である。また，SRI 投資家は非合理的投資決定を行う代表的な投資家であることから，行動ファイナンスへの新たな知見を与えることも可能であると考えられる。また，実務的な貢献として，本研究の結果は投資会社にとって，SRI に関する効果的なマーケティング情報になりうるという点が挙げられる。環境問題を含めた CSR 活動は投資家の間で認知度が高いにも関わらず，SRI は日本の投資市場において 1%にも満たないと言われている。個人投資家における投資信託の保有率は非常に低く[10]，新規顧客獲得の手段として SRI ファンドを利用したい投資信託会社は多いはずである。従って，具体的な投資決定要因が特定できる本研究の結果は，投資会社にとって非常に有益な情報になりうるだろう。

参考文献

1) Bauer, R., Smeets, P.: *Discussion Paper,* (2010)
2) Bollen, N.P.B.: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, (2007), pp.683-708
3) Benson, K.L., Humphrey, J.E.: *Journal of Banking and Finance*, 32, (2008), pp.1850-1859
4) Nilsson, 2009
5) Forsythe, R., Horowitz, J.L., Savin, N.E.: *Games and Economic Behavior*, 6, (1994), pp.347-369
6) Halt, C.A., Laury, S.K.: *The American Economic Review,* 92(5), (2002), pp.1644-1655.
7) Coller, M., Williams, M.B.: *Experimental Economics*, 2, (1999), pp.107-127.
8) McLachlan, J., Gardner, J.: 2004. *Journal of Business Ethics,* 52, (2004), pp.11-25
9) Heal, G.: *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 30(3), (2005), pp.387-409
10) 投資信託協会：“投資信託に関するアンケート調査報告書”，(2011)
11) Rosen, B.N., Sandler, D.M., Shani D.: *The Journal of Consumer Affairs,* 25(2), pp.221-234.

投資市場における環境価値の役割

The role of environmental value in the financial market

○本田智則*[1)]、中井美和*[2)]、竹内孝曜[3)]、西野成昭[4)]、稲葉敦[3)]

Tomonori Honda, Miwa Nakai, Takaaki Takeuchi, Nariaki Nishino, Atsushi Inaba
1) 産業技術総合研究所, 2) 神戸大学, 2) 工学院大学, 2) 東京大学
*tomonori-honda@aist.go.jp

1. はじめに

地球温暖化の例に見られるように経済成長と環境負荷削減の両立は困難な問題である。しかし、持続可能な社会を実現するためには、これらを両立させることが必要である。

環境負荷を削減するために多くの環境関連法整備が行われてきた。しかし、法規制や税制による環境負荷削減は経済にとってマイナスの側面が大きい。そこで、企業による自主的な環境取り組みによって、持続可能な社会を実現することが期待される。しかし、企業による自主的な環境取り組みを促進するためには、取り組みによる経済的インセンティブが必要である。そこで、本研究では経済基盤を支えている金融業、特に投資市場に着目し、環境負荷削減を効率的に行える企業に対して投資を誘導することで、環境負荷削減、企業の経済的インセンティブ、投資家利益を同時に満たす新たな環境投資指標を開発し、この指標を活用して環境負荷削減に資する制度の提案を行うことを最終的な目的とし、本研究では投資市場において環境情報がどのような役割を果たしているのかについて概観する。

2. 方法

投資市場を活用して持続可能な社会実現に寄与する手法として企業の環境面を考慮に入れて行う投資、SRI (Social responsible investment, 社会的責任投資)ファンド（投資信託）が注目されている。SRIファンドは投資資金を環境・社会に良い企業に誘導することで持続可能な社会を実現することが期待されている。日本国内で7000億円、世界で400兆円のSRIファンドが運用されており、世界市場の約13%を占めている。SRIファンドは、従来ファンドとの利回りの差など、経済学の分野で研究の対象となってきた。一方、SRIファンドは投資先の選定をアンケートや環境報告書といった定性情報に基づいて行っており、真に環境負荷を削減できているかは不明である。それにもかかわらず、SRIファンドの環境負荷を定量的に評価した研究は国際的にも存在せず、SRIファンドが環境負荷削減に寄与できているのかは不明なまま普及している。そこで、従来の経済学的なアプローチに対して、研究代表者がこれまで研究を進めてきた工学的手法であるLCA(Life cycle assessment)手法を応用し、SRIファンドの環境負荷削減効果を定量的に評価する。これによって、既存環境情報が投資市場でどのような役割を果たしているのかについて評価する。

次に、国内の投資市場の状態は、ファンドが所有する株式17.5%に対して、個人による直接株式所有18.2%、法人所有21.3%である。このことから、SRIファンドだけではなく、一般の株式投資についても企業の環境パフォーマンスを考慮した投資を促すことができれば、投資資金の誘導による環境負荷削減を効率化させることが期待できる。しかし、株価・企業財務形成に対して企業の環境パフォーマンスがどのようなメカニズムで影響を与えるのかについては明らかではない。そこで、企業の環境パフォーマンスを含んだ投資市場のメカニズムを明らかにするために、実験室内に仮想市場を作り、被験者が実際に仮想市場で株取引を行うことで企業の環境パフォーマンスが株価・財務形成に与える影響とその影響メカニズムを分析し、投資市場における環境価値の役割を明らかにすると同時に、環境負荷削減に資する投資市場の形成に資する。

3. 結果

2007年度末時点で上場されている全ファンドについて株価、及びファンド構成銘柄の合計温室効果ガス排出量について2003年度末時点の値と2007年度末時点値の比をとり、その分布を示した図を図1に示す。大きな円が既存の9銘柄のSRIファンドのを示し、小さな円が環境、社会性を考慮していない一般ファンドを示している。

この結果から、既存SRIファンドは温室効果ガス排出削減に関しては、環境等を考慮せずに投資している一般ファンドと比較して優位に温室効果ガス排出削減に寄与している傾向は見られなかった。よって、SRIファンドの環境負荷削減効果が限定的であることが示唆された。

そこで、ファンドではなくファンドを構成する個々の構成銘柄について温室効果ガス排出削減を促す投資手法を検討することを目的として、仮想的投資家が投資先企業の温室効果ガス排出情報に対してどのような反応を示すかについて経済実験の手法を用いて分析を行った。

本経済実験では、実験室内の被験者に対して異なる温室効果ガス排出情報と株式売買価格を提示し、実験室内で実際に株式の売買を行わせた。これによって、投資家を仮定した被験者がどのような意思決定を行うかについて分析を行うこととした。得られた結果を図２に示す。

この結果から、投資市場における環境情報の提示は株価下落局面においてバブルの崩壊に類似した急激な株価の低下を招く可能性が示唆された。

4. おわりに

本研究では、環境価値（情報）が投資市場に対して与える影響の分析を行った。その結果、現在の投資市場においては SRI ファンドの例のように環境情報の活用は見られるが、環境負荷削減に対する寄与は限定的であることが示唆された。また、経済実験の結果から、単純な環境情報活用は結果的に投資市場を混乱させる可能性が示唆された。

【謝辞】本研究は「持続可能な社会実現に向けた金融業のあり方」研究会の中で検討されたものである。また、本研究は科研費（21241013）の助成を受けたものである。

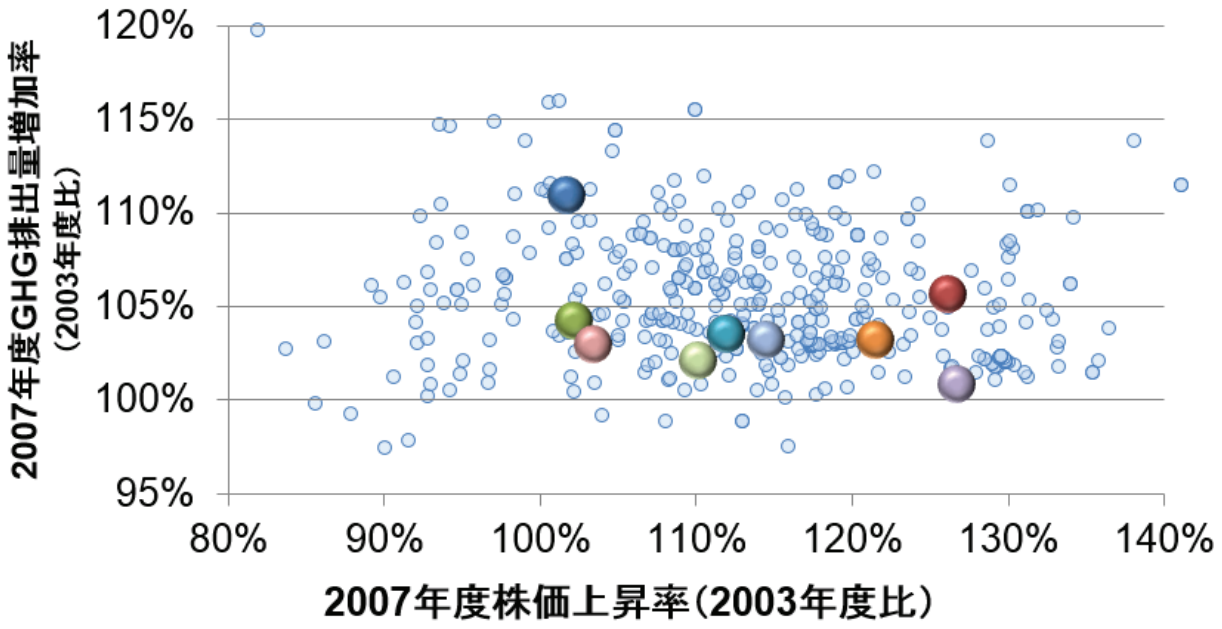
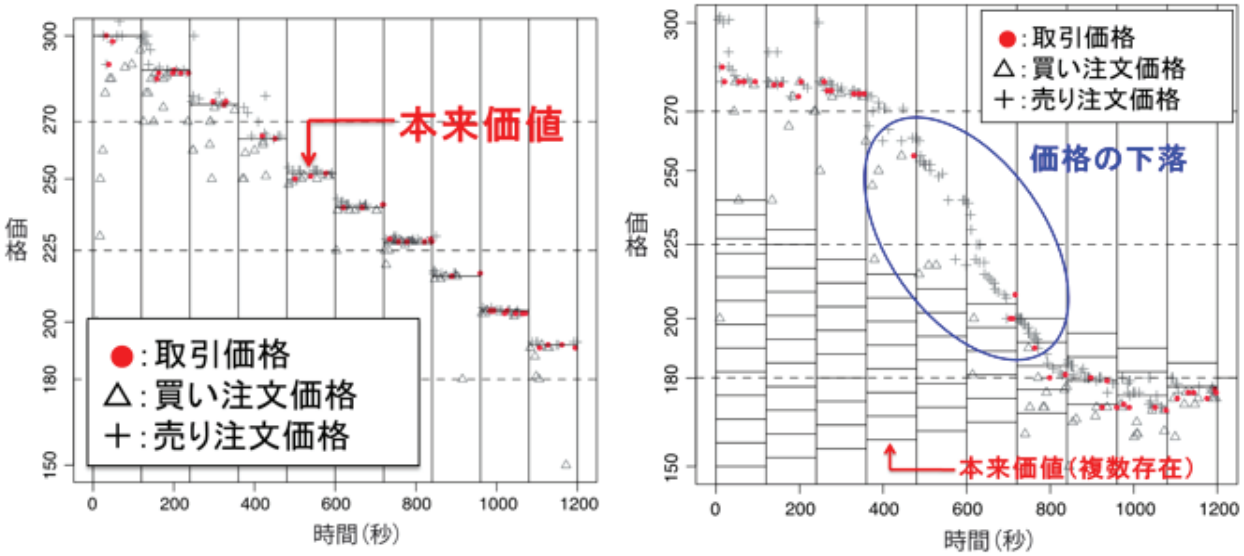


図１　全上場ファンドの価格とファンド構成企業の温室効果ガス排出量変化率



投資先企業の温室効果ガス排出情報を提示しなかったケース

投資先企業の温室効果ガス排出情報を提示したケース

図２　被験者実験における、温室効果ガス排出情報比提示時の株式売買と温室効果ガス排出情報を併記したケースの株式売買における株価の変化

マトリックス法を用いた電力・熱供給システムのエネルギー・環境・経済分析

Energy, environmental and economic analysis of power and heat supply system by a matrix method

○提 達朗*[1)]、内山 洋司[2)]、岡島 敬一[2)]
Tatsurou Sage, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima
1) 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻, 2) 筑波大学 システム情報系
*s1220598@u.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

国内の原子力発電停止に伴い天然ガスや再生可能エネルギーを利用したエネルギー供給システムの導入が重要となっている。本研究では国内の最終エネルギー消費の約 2 割を占める業務部門を対象に分散型のコジェネレーションシステム(CGS)と集中型の LNG 複合発電(LNGCC)にヒートポンプ(HP)を組み合わせ電力と熱を供給するシステムについてエネルギー効率と CO_2 排出量、ならびにコストの分析をした。さらに太陽光発電(PV)より得られる電力をヒートポンプの動力として用いて熱を供給するケースも同様に分析した。

2. 分析手法

本研究ではライフサイクル分析手法の一つであるマトリックス法を用いて分析を行った。マトリックス法はシステム内における各プロセスのマテリアルの入出力を全て行列表現し、その逆行列を解くことによりシステム全体の環境負荷を算出する手法である。対象とする製品システムのプロセス数を n とすると、マテリアル i は式(1)で表わされる物量バランスの式を満たす。

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} s_j = f_i \qquad (1)$$

システムのマテリアルフローを表わすマテリアルフロー行列（係数行列）A を式(2)のように定義する。

$$A = \left(a_1 \cdots a_n\right) \qquad (2)$$

システム全体から排出される CO_2 排出量 g_{matrix} は式(3)で表される。

$$g_{matrix} = Bs = BA^{-1} f \qquad (3)$$

ここで B は各環境負荷を行列表現したもので、f はシステムの境界条件を表すベクトルである。

本研究では昼間のピーク時間の負荷量を減らすため、夜間に生産した熱を蓄えるシステムを想定した。夜間のオフピーク時にはマテリアルフロー行列 A に新たに蓄熱のプロセスを加え計算した。ピーク時とオフピーク時で別々の異なるマテリアルフロー行列 A と最終需要ベクトル f を与え計算した。また、ピーク時においてはオフピーク時に生産した蓄熱分をシステムの最終需要ベクトル f から差し引くことで求めた。

3. 分析システム

3.1 対象とするシステム

図 1 に本研究で対象とした CGS を用いたエネルギー供給システム、図 2 に LNGCC を用いた供給システム、図 3 に PV を用いた供給システムの概略図をそれぞれ示す。下記の 3 つのシステムを日本の業務部門の建物に適用し、一年間のそれぞれのエネルギー需要に対して、システムのエネルギー効率、CO_2 排出量、システム導入を含めたコストをそれぞれ分析した。

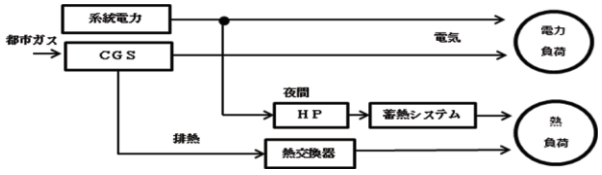


図 1　CGS による供給システム

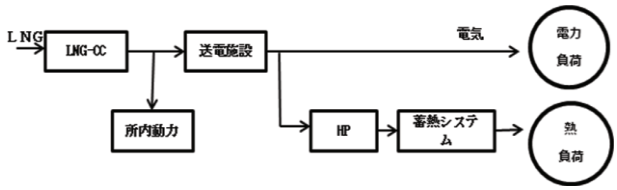


図 2　LNGCC による供給システム

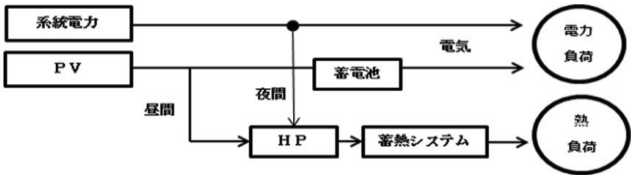


図 3　PV による供給システム

3.2 データ設定

分析する上で用いたプラントならびに各構成機器の効率を表 1 にまとめる。また、表 2 にコスト分析を行うために必要な系統電力の料金、HP の料金設定を示す。系統電力の値は東京電力の料金[1)]を引用し、業務用 HP の価格はカタログ値を参考とした[2,3)]。

表 1　各プラント・構成機器の効率

CGS 発電効率[%]	33
CGS 排熱利用率[%]	48
LNGCC 発電端効率[%]	53
PV エネルギー変換効率[%]	14
HP 成績係数	
暖房	4
冷房	3.5
給湯	3

表 2　コスト分析の設定値

系統電力料金 [円/kWh]	
ピーク　(9-18 時)	33.60
オフピーク　(19-8 時)	12.06
燃料単価 [円/MJ]	
都市ガス	1.97
LNG	0.514
CGS 設備コスト(200kW) [円/kWh]	8.46
PV 設備コスト[万円/kW]	66
HP 設備コスト[万円/台]	
冷暖房用(50kW)	450
給湯用(30kW)	400

4.　分析結果

上記のプラントおよび構成機器の効率データを用いてホテルの一年間のエネルギー需要を対象にマトリックス法を適用し、エネルギー効率・CO_2 排出量の分析をした。

図 4 に各システムの総合エネルギー効率を示す。LNGCC システムの効率が最も高く 85%であった。これは LNGCC の発電効率が高いことに加え、効率に優れる HP を用いて全ての熱の負荷を供給したためである。PV システムではエネルギー効率を計算する際に、投入エネルギーとして日射エネルギーを考慮しなかった場合、破線で示すように効率はおよそ 200%となった。図 5 に年間 CO_2 排出量を示す。最も多く約 2100 万トン、PV システムが最も少なく 0.9 万トンであった。CGS システムや LNGCC システムでは燃料の燃焼による発電時での排出が全体の半分以上を占める。

上記のマトリックス法により得られた結果からコストの分析をした。各システムの年間でのコストを図 6 に示す。CGS システムが最もコストが低く約 1 兆円、PV システムが最も高く約 2.5 兆円であった。他のシステムと比較し、CGS システムでは導入コストが大きい HP だけで熱負荷に対応するのではなく、CGS の排熱を回収し利用するため HP の導入コストを抑え全体でのコスト低減につながった。

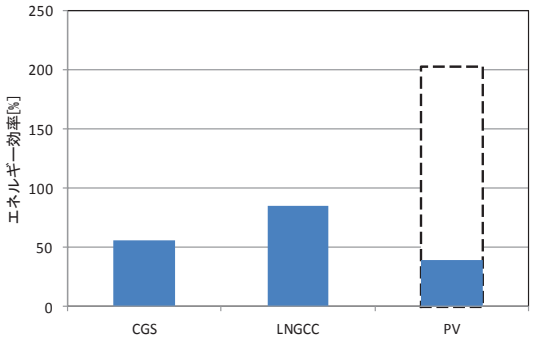


図 4　各システムのエネルギー効率

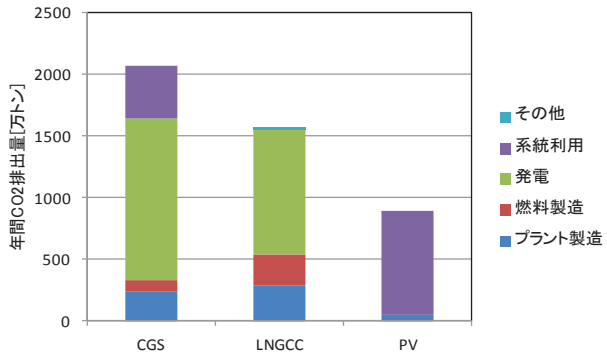


図 5　各システムの年間 CO_2 排出量

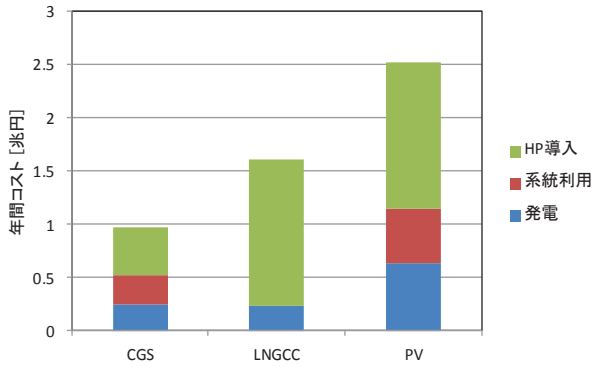


図 6　各システムの年間コスト

参考文献

1)　東京電力: “東京電力電気料金メニュー” 東京電力ホームページ, (オンライン), <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/home03-j.html>, (参照 2013-1-9)

2)　iTomic: “電気給湯機総合カタログ 2012” (オンライン), <http://www.itomic.co.jp/catalog/pdf/pdf/04_ecocute201206.pdf>, (参照 2013-1-9)

3)　DAIKIN: “ガスヒートポンプエアコンビル用マルチ G-up” DAIKIN ホームページ, (オンライン), <http://ec.daikinaircon.com/ecatalog/index.html>, (参照参照 2013-1-9)

拡張産業連関モデルを用いた電源構成変化による社会経済影響分析

Analysis of socio-economic impacts of changes in power generation mix using an extended input-output model

○稗貫峻一*[1)]、本藤祐樹[1)]、工藤祐揮[1)2)]
Shunichi HIENUKI, Hiroki HONDO, Yuki KUDOH
1) 横浜国立大学, 2) 産業技術総合研究所
*hienuki-shunichi-sh@ynu.ac.jp

1. はじめに

現在、東日本大震災を発端としたエネルギー問題、化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素問題などを背景に、日本のエネルギー需給システムは転換期を迎えている。中でも、電力は生活や産業に不可欠なエネルギーであり、将来の技術選択が社会全体に与える影響を定量的に分析する必要がある。技術選択が環境・社会経済に与える影響を分析する手法として産業連関分析があり、その分析に用いる産業連関表（以下：既存表）は、約 400 部門に分類した日本の産業部門間の財・サービスの流れを金額で表したものである。しかし、電力生産部門の分類は「事業用電力」「自家発電」の 2 つしかなく、発電技術別の分析が困難であるため、松本ら[1)]、稗貫ら[2)]は再生可能電力をはじめとした各種エネルギーを分析可能な拡張産業連関表（以下：拡張表）を作成してきた。

本研究では、これまでに作成してきたこの拡張表を応用し、電源構成を外生的に入力反映可能な産業連関モデルを構築することを目的とする。これにより、様々な電源構成下での環境・社会経済影響を分析する事が可能となる。また、応用事例の一つとして、電源構成シナリオを設定し、生産額、雇用量に与える影響を分析する。

2. 方法

2.1 電源構成変化反映モデルの構築

本研究は、電源構成の変化を反映させるために、既報[1),2)]の拡張表を以下に記す点を中心に変更した。第一に、電力 12 社の 2005 年度有価証券報告書を用いて「事業用電力」部門から新たに送電・配給業部門を新設拡張し、他の発電 7 部門を発電のみのアクティビティとした。これは、「事業用電力」部門には送電・配給業が含まれており、例えば、1GWh の発電を原子力から風力発電に変更した場合に整合性を取るためである。なお、詳しい拡張部門については表-S1 に記載した。

第二に、電力部門の産出（行）部門の金額を変化させることで、外生的に電源構成を反映することを可能にした。式(1)は電力部門の産出部門の行列を示している。ここでのp_mは前述した各技術の発電費用、x_{mn}各産業部門に投入される電力量を示している。これは、同じ 1kWh の電力を生産するにも技術により発電費用が異なる点を反映させるためである。また、電源構成の変化により内生部門の取引額が変化するが、営業余剰や雇用者所得などの付加価値部門で調整する構造とした。なお、今回の推計では各部門に投入される電源比率は全て同じと仮定している。

各技術の発電費用p_mは、新設拡張した投入構造式（列）を用いて式(2)に従い、原子力：5.4 円/kWh、石炭火力：7.2 円/kWh、石油火力：9.4 円/kWh、LNG 火力：7.7 円/kWh、水力：5.2 円/kWh、地熱：12.8 円/kWh、風力：7.2 円/kWh、太陽光：34.0 円/kWh、小水力：11.0 円/kWh、バイオマス：28.1 円/kWh とした。なお、推計された投入構造および発電費用p_mは、2005 年度の発電事業者の取引額であり、産業連関表の定義に基づいて推計した値である。それゆえに一般的に用いられる 1kWh あたりの発電単価とは異なる点に留意されたい。

$$\text{事業用電力・自家発電} = \begin{pmatrix} p_1x_{11} & \cdots & p_1x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_mx_{m1} & \cdots & p_mx_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$p_m = \text{生産額}[\text{円}] \div \text{発電量}[\text{kWh}] \quad (2)$$

2.2 社会経済影響の推計方法

本研究では社会経済影響として、2005 年の最終需要を用いて、式(3)、式(4)により社会全体の生産額（$\boldsymbol{X}$）および雇用量（$\boldsymbol{L}$）を推計する。また、電源構成の変化による影響を分析する際には、各電力部門の最終需要のみ変更する。ここで、$\boldsymbol{I}$：単位行列、$\boldsymbol{A'}$：電源構成を反映した投入係数行列、$\boldsymbol{f}$：最終需要ベクトル、$\hat{\boldsymbol{l}}$：雇用係数である。

$$\boldsymbol{X} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A'})^{-1}\ \boldsymbol{f} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{L} = \hat{\boldsymbol{l}}\ \cdot \boldsymbol{X} \quad (4)$$

2.3 電源シナリオの設定

本研究では、電源構成の変化として、文献[4)]を参考に原子力発電が 24%（シナリオ 1、S1）、15%（シナリオ 2、S2）、0%（シナリオ 3、S3）の電源構成を想定した。年間発電量はすべてのシナリオで、2005 年の事業用電力と自家発電の合計である 1,157GWh とした。シナリオの詳細は、SI を参照されたい。

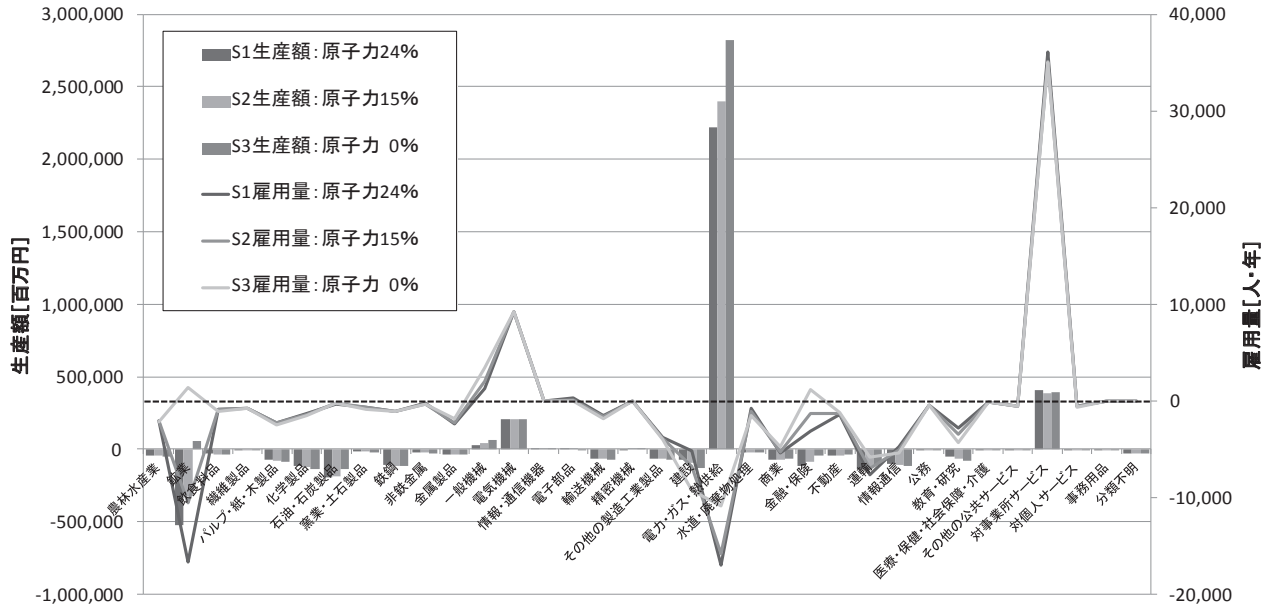


図-1　生産額・雇用量の変化

3.　結果

各シナリオにより推計された生産額、雇用量の変化を図-1 に示す。

S1、S2、S3 の社会全体の発電費用はそれぞれ、+2.3、+2.5、+2.9 円/kWh と推計された。また、S1、S2、S3 の生産額はそれぞれ、+880,000、+1,221,000、+2,074,000 百万円、雇用量はそれぞれ-37,000、-31,000、-13,000 人・年と推計された。これらは、発電費用と同様の傾向を示しており、電源構成の変化が大きいほど増加する傾向がある。ただし、雇用量については基準となる 2005 年の電源構成と比較すると、社会全体では減少している。以下に特徴的な結果を示す。

［1］発電費用の増加に伴い、電力・ガス・熱供給部門で生産額が大きく増加している。一方で、雇用量は他部門に比べ大きく減少している。これは原子力発電が運用で多くの雇用を発生させるのに対して、風力、太陽光は、設備製造による雇用効果が大きいことに起因している[1)]。

［2］風力、太陽光をはじめとした再生可能エネルギー発電による生産額、雇用量への影響は、電気機械、対事業所サービス部門で確認することができる。電気機械部門は、主に太陽光発電のメンテナンスに必要な機器類の影響であり、また対事業所サービスは、地熱、風力、太陽光など再生可能エネルギー発電の設備修繕や維持管理に伴う影響である[1)2)]。

［3］鉱業部門は、電源構成により生産額、雇用量共に変動が最も大きい部門である。これは、火力発電に必要な石炭、原油、天然ガス等の化石燃料によるものである。

［4］農林水産業、飲食料品、化学製品、石油・石炭製品部門でも生産額、雇用量が減少している。これは、発電技術により波及効果が大きく異なるため、直接的な関係性の薄い部門であっても、電源構成の変化による影響を受けることを示唆している。

［5］商業、金融・保険、運輸などのサービス業は、各種再生可能エネルギー発電による波及効果が大きい部門である[1)2)]。しかし、生産額、雇用量共に減少傾向にあることから、原子力発電減少による影響の方が大きいと言える。ただし、金融・保険部門では、風力発電の運用時に必要な損害保険の増加[1)2)]により相殺されるため、他の部門よりその減少量が小さい。

4.　まとめ

本研究では、電源構成の変化に対応した拡張産業連関モデルを構築した。その結果、様々な電源構成下で環境・社会経済影響を分析することが可能となった。またシナリオ分析では、技術選択の差異が各産業部門の生産額、雇用量に与える影響を分析した。以下に本研究の今後の展開を示す。

- 本研究で新設拡張を行った送電・配給業に用いた有価証券報告書と産業連関表の各部門の整合性の検討。
- 小水力、バイオマス発電の拡張に用いたデータの代表性の向上。
- 電源構成の変化に伴う新規設備製造による社会経済影響の分析（再生可能エネルギー導入に伴い、設備機器部門で多くの生産額や雇用量が発生する[1)2)]）。

参考文献

1）松本直也，本藤祐樹：日本エネルギー学会誌，Vol. 90, No. 3，pp258-267，（2011）
2）稗貫峻一，本藤祐樹：日本エネルギー学会誌，Vol. 92, No. 1，掲載予定，（2013）
3）資源エネルギー庁：第 26 回基本問題委員会，配布資料 1，エネルギーミックスの選択肢の原案について

Supporting Information

表-S1　新設拡張部門

既存表		拡張産業連関モデル
事業用電力	p1	原子力発電
	p2	石炭火力発電
	p3	石油火力発電
	p4	LNG火力発電
	p5	水力発電
	p6	地熱発電
	p7	太陽光発電
	-	送電・配給業

既存表		拡張産業連関モデル
自家発電	p8	風力発電
	p9	小水力発電
	p10	バイオマス発電
	-	その他の自家発電

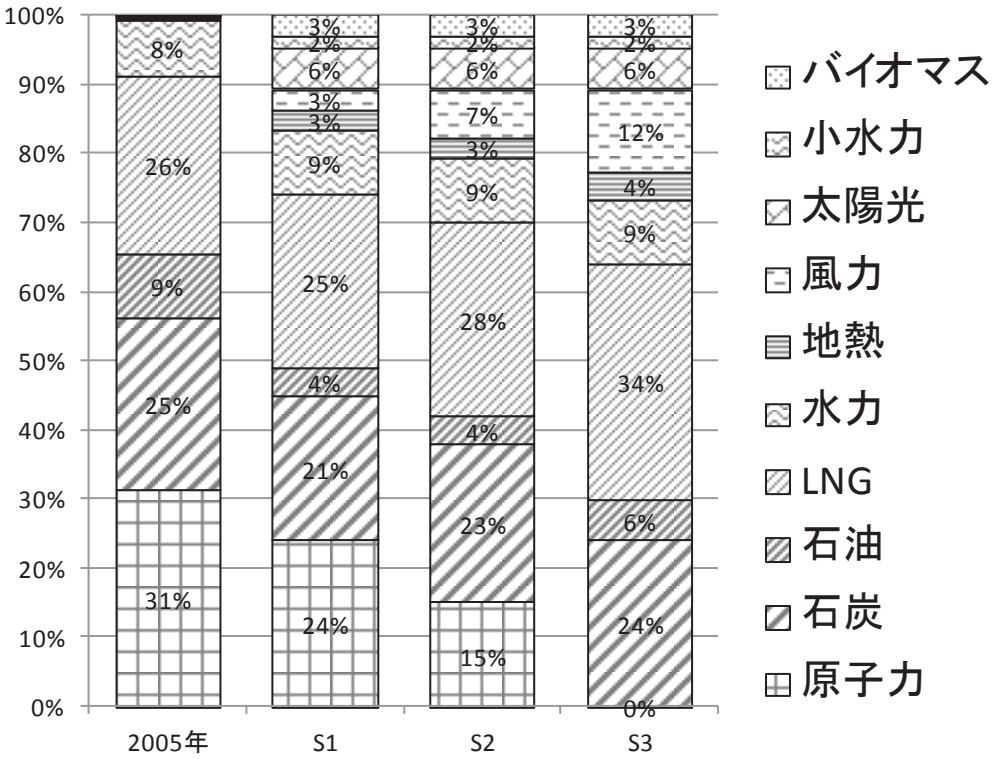


図-S1 想定したシナリオの電源構成

文献[3]の設定値から以下の変更を加えた。

①コジェネレーションはLNG火力発電として扱っている

②既存水力発電を大規模水力、増加する水力発電を小水力と仮定している

業務部門を対象とした地域電力需要シナリオの作成

Describing Scenarios of Regional Power Demand Focusing on the Commercial Sector

○岩生直己*1),倉橋直人 1),木下裕介 1)，山口容平 1)，福重真一 1)，梅田靖 1)
Naoki Iwai, Naoto Kurahashi, Yusuke Kishita, Yohei Yamaguchi,
Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda
1）大阪大学
*iwai@lce.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

地球環境問題の解決に向けて，太陽光発電パネル（PV）などの様々なエネルギー機器が普及している．しかし，エネルギー政策の導入など将来の社会状況の変化によって機器の普及がどのように進み，結果として系統電力網にどのような影響を与えるかは明確でない．本研究では，エネルギー機器の普及が系統電力網に与える影響を分析するために，地域の電力システムに関する将来シナリオを作成する．特にここでは，電力需要が増加傾向にある民生部門(家庭・業務)に着目する．

これまで我々は，家庭部門において PV，クリーンエネルギー自動車(CEV)の普及が将来の系統電力網に与える影響を分析するために，家庭用次世代エネルギーモデルを構築した [1]．さらに，このモデルを用いて家庭部門を対象とした大阪府豊中市エネルギー需給シナリオを作成した．

本稿では，業務部門に着目した地域電力システムの将来シナリオを作成する．

2. 地域エネルギー需要シナリオの作成

2.1. アプローチ

本稿では業務部門を対象として，エネルギー機器の普及が系統電力網に与える影響を分析するために，シナリオを作成する．特に本稿では，業務部門において今後の普及が期待されるエネルギー機器として PV，CEV，定置用蓄電池を取り上げる．このシナリオの作成では，(Ⅰ)機器の普及が電力需要に与える影響を分析し，(Ⅱ)CEV および定置用の蓄電池を用いた電力マネジメントの効果を評価する．

エネルギー機器がどの程度普及するかを定量的に推計するために製品選択予測モデル [2]を用いる．また，普及した機器の使用が電力需要に与える影響を定量的に分析するために，民生業務部門エネルギー需要モデル [3]を用いる．製品選択予測モデルはマーケティング分野でよく用いられる Bass モデル [4]に消費者選好モデルを統合したモデルであり，製品の価格，生産コストの学習効果，補助金の効果などに基づいて製品普及量を評価する．民生業務部門エネルギー需要モデルは対象とする地域の業務建築延床面積や業務建築の形式，労働者の行動などから地域レベルの業務部門のエネルギー需要を定量化するモデルであるが [3]，PV，CEV，定置用蓄電の利用の影響を反映することはできない．このため，民生業務部門エネルギー需要モデルを拡張することにより，地域業務部門次世代エネルギー需要モデルを開発し，PV，CEV，定置用蓄電池の普及による系統電力網への影響と電力マネジメントの効果を評価可能にする．

2.2. 地域業務部門次世代エネルギー需要モデルの開発

地域業務部門次世代エネルギー需要モデルでは，CEV，定置用蓄電池の利用を反映させた電力需要を算出するとともに，CEV および定置用の蓄電池を用いた電力マネジメントの効果を評価する．本稿では，普及する CEV および定置用の蓄電池を，電力系統負荷のピークカットを目的として運用することを想定する．すなわち，電力マネジメントの方法として，1 日の系統負荷のピーク値を最小にするために，系統負荷の小さい時間帯に CEV および定置用の蓄電池を充電し，充電した電力を電力需要の大きい時間帯に放電する．CEV の蓄電池を用いた電力マネジメントを行うにあたり，トリップデータを用いて系統電力網と接続可能な CEV の台数を推計する．

3. 豊中市業務部門電力需要シナリオの作成

3.1. 豊中市業務部門の将来シナリオ

本研究では対象期間を2011年から2030年，対象地域を大阪府豊中市として，業務部門を対象としたシナリオを作成する．また，民生部門全体での電力需要の評価も行う．ここで大阪府，大阪府豊中市における業務建築の延床面積はそれぞれ 77,476m², 2,306 m² である．第４回京阪神都市圏パーソントリップ調査 [5]をもとに豊中市トリップデータベースを作成する．

家庭部門では，エネルギー政策の導入を軸としてシナリオ A，B を描き，さらにシナリオ B の中で，消費者の車に対するニーズの違いを軸としてサブシナリオ B-1，B-2 を作成した．電力マネジメントの有無を軸として，シナリオ B-1，B-2 に対して電力マネジメントを実行するシナリオ B-1M，B-2M を作成した(表１参照)[1]．

表1　ストーリーライン概要 [1)]

シナリオ		ストーリーライン
A		新たなエネルギー政策は導入されず，CEV，PV，定置用蓄電池などのエネルギー機器はあまり普及しない.
B		補助金などの新たなエネルギー政策の導入により，CEV，PV，定置用蓄電池の普及が進み，各種技術（発電効率や蓄電池容量など）は進歩する.
	B-1	車の使い方は2011年とあまり変わらず，ガソリン自動車からCEVへの乗り換えが進む.
	B-1M	B-1で電力ピークカットが行われる.
	B-2	消費者の車へのニーズがものを持たない志向へと変化し，多くの人々が車を手放す.
	B-2M	B-2で電力ピークカットが行われる.

本稿では民生部門全体で分析するために，すでに作成した家庭部門のシナリオ [1)]を利用する．このうち，エネルギー政策の導入と電力マネジメントの有無が業務部門の電力需要に大きな影響を与える要因である.本稿ではシナリオ A, B-1, B-1M を対象とする.

定置用蓄電池はPVの発電に伴う余剰電力の削減のために，シナリオA，Bでそれぞれ PV の発電電力の 5%，20%を充電可能な分だけ普及すると想定した.

3.2. シミュレーション結果

3.1 節で作成したシナリオをもとにした機器普及のシミュレーション結果を表 2 に記す．この結果をもとに業務部門で夏のある 1 日(8 月 7 日・平日)において電力需要シミュレーションを実行した(表 3 参照)．シナリオ A に対してシナリオ B-1 では PV の発電により業務部門の電力需要ピーク値は 113MW から 111MW に減少し，1 日の系統負荷は1,491MWhから1,266MWhに減少している．次に，シナリオ B-1 に対してシナリオ B-1M では，普及した蓄電池への充放電により電力需要ピーク値は 111MW から 109MW に 1.8%減少し，1 日の系統負荷は 1,266MWh から 1,544MWh に増加している.

次に家庭部門も併せた民生部門においても同様に電力需要シミュレーションを実行した(表 3 参照)．シナリオ A に対してシナリオ B-1 では PV の発電により 1 日の系統負荷は 3,349MWh から 3,128MWh に減少しているが，19 時において PV は発電していないため電力需要ピーク値は同じである．次に，シナリオ B-1 に対してシナリオ B-1M では，普及した蓄電池への充放電により電力需要ピーク値は 222MW から 152MW に 21%減少し，1 日の系統負荷は3,128MWhから3,556MWhに増加している.

4. 考察

本稿では地域業務部門次世代エネルギー需要モデルの開発により PV，CEV，定置用蓄電池の普及が系統電力網に与える影響の分析と，CEV および定置用の蓄電池を用いた電力マネジメントの影響評価が可能になった.

また，業務部門を対象として電力マネジメントを行った場合，シナリオ B-1 から B-1M へのピーク値の減少は 1.8%であり，大幅な系統電力のピークカットはできない．一方，業務部門と家庭部門をあわせた民生部門全体で電力マネジメントを行った場合，ピーク値の減少は 21%であり，大幅なピークカットが可能である．また，電力マネジメントによる充放電損失やピーク時間以降の充電により 1 日の電力需要量は大きくなることが分かった.

表2　普及モデルシミュレーション結果

シナリオ	部門	普及量			
		CEV[台]		PV [kW]	定置用蓄電池[kWh]
		PHV	EV		
A	業務部門	25	5	8,058	3,102
	家庭部門	15,271	9,326	11,463	-
B	業務部門	5,504	2,609	3,201	-
	家庭部門	120	49	22,165	34,596

表3　電力需要モデルシミュレーション結果

シナリオ		A	B	
			B-1	B-1M
業務部門	電力需要ピーク値[MW]	113	111	109
	ピークを迎える時間	14 時		
	1 日系統負荷[MWh]	1,491	1,266	1,544
民生(家庭・業務)部門	電力需要ピーク値[MW]	222	222	152
	ピークを迎える時間	19 時		
	1 日系統負荷[MWh]	3,349	3,128	3,556

5. まとめ

本稿では PV，CEV などの機器が普及した場合の将来の系統電力網への影響を分析した．今後の課題として，業務建築における照明，空調，断熱壁などの代替普及により，それらの効率が向上した場合の電力需要の将来シナリオを描くことが挙げられる.

参考文献

1) 倉橋直人，木下裕介，小林和博，山口容平，福重真一，梅田靖：第 31 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，(2012)，pp. 917-918.
2) 松本光崇，近藤伸亮，藤本敦，梅田靖，槌谷治紀，増井慶次郎，李賢映：エネルギー・資源，Vol.29.No.3，(2008)，pp.49-55
3) 山口容平，下田吉之，水野稔：日本建築学会環境系論文集，第 641 号，(2009)，pp.853-862
4) F. M. Bass; Management Science,15-1, (1969), pp.215-227
5) 京阪神都市圏交通計画協議会：平成 12 年度第 4 回パーソントリップ調査，(2000)

中国における燃料輸送を考慮した先進火力発電の導入評価

Evaluation of Advanced Thermal Power Generation Technology Considering Fuel Transportation in China

○川瀬雅士*[1)]、岡島敬一[2)]、内山洋司[2)]
Masashi KAWASE, Keiichi OKAJIMA, Yohji UCHIYAMA
1) 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻, 2) 筑波大学 システム情報系
*s1220592@u.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

中国では近年の経済成長に伴い、CO_2 排出量が急増している。2007 年における中国の CO_2 排出量は 5,973 百万 t-CO_2 に達し、世界の CO_2 排出量の 20.7%を占める最大の排出国となった。大部分を石炭に依存した発電部門の電源構成が大規模な CO_2 排出の要因となっている。そのため今後導入される発電技術の環境性・経済性評価が必要となる。また、中国ではエネルギー資源産出地および消費地が偏在しているため、評価において燃料輸送を考慮する必要がある。本研究では中国全土を対象に石炭輸送を考慮した先進石炭火力発電の導入評価を行った。

2. 評価手法と前提条件

中国の各行政区を対象に統計データ[1-5)]から作成した 434 か所の石炭供給地、228 か所の需要地データより、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いて火力発電向けの石炭需給地分布を作成した。作成した石炭需給地の分布図を図 1 に示す。中国煤炭工業年鑑の県級別地方炭鉱のデータ[1)]を基に、年間産出量 30 万トン以上の地方炭鉱のデータが無い新疆ウイグル自治区、青海省、浙江省においては炭鉱情報[2)]を基に供給地分布を作成した。供給量はエネルギーバランス表[3)]の省級別の石炭総産出量を地方炭鉱年間産出量に応じて按分して求めた。供給ポイントは各県級行政区の重心とした。発電向け石炭需要地分布は、中国電力年鑑[4)]の設備容量 100 万 kW 以上の火力発電所情報を用いて作成した。需要量はエネルギーバランス表[3)]の火力発電向け省級別石炭総需要量を発電所の年間発電電力量[5)]に応じて按分することで求めた。

石炭輸送は鉄道輸送、トラックによる道路輸送、船舶による沿岸輸送を想定し、GIS を用いて輸送ネットワークを構築した。各需給地間の輸送における費用または CO_2 排出量が最小となるルートを求めた後、輸送方法別の輸送単価および CO_2 排出原単位を考慮して各ルートにおける単位輸送量当たりの費用および CO_2 排出量を求めた。各ルートにおける石炭輸送フローの最適化計算は GAMS を用いた線形計画法により行った。目的関数は、石炭輸送量と求めた単位輸送量当たりの費用または CO_2 排出量を乗じたものの合計が最小となるように設定した。制約条件は石炭供給地の供給量を超えず、需要地の需要量を満たすように設定した。最適化計算により中国全土の総輸送費用または総 CO_2 排出量が最小となるような各ルートの輸送量を求めた。高効率の先進火力発電を導入した場合、効率上昇に伴う石炭需要量の減少が見込まれる。そこで既存火力発電における石炭需要量に加え、既存火力発電の全てを先進石炭火力発電の USC（効率 45%）で代替した場合における石炭輸送最適化も行った。また、輸送最適化および先進火力発電導入における石炭輸送最適化結果の比較対象として統計データ[3, 6-8)]から石炭輸送実績における輸送費用、CO_2 排出量も評価した。

輸送以外における環境性・経済性評価も進めた。環境性では、石炭消費量に石炭の CO_2 排出原単位を乗ずることで燃料転換時の CO_2 排出量を求めた。経済性では、文献[9)]を基に年間発電電力量に応じた運用費、建設費、燃料費を求めた。

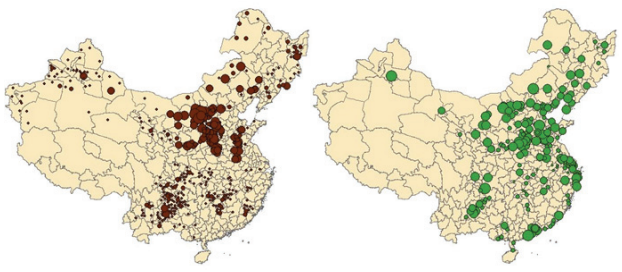


図 1 石炭供給地（左）および需要地（右）の分布

3. 評価結果

輸送費用最小化の最適化計算結果として、図 2 に各石炭消費地別における石炭輸送からの CO_2 排出量を示す。地域毎に異なる石炭需要量や利用可能な輸送方法、石炭供給地からの距離により、石炭輸送からの CO_2 排出量に大きな地域差がみられた。沿岸地域の浙江省および福建省において沿岸輸送からの CO_2 排出量が大きな割合を占める。さらに浙江省、広東省、江蘇省および福建省は石炭供給地から遠いため、石炭輸送からの CO_2 排出量が他の地域に比べ約 2 倍以上となった。道路輸送の費用や CO_2 排出量は高いため、最適化により必要不可欠な場合にのみ利用されるようになる。

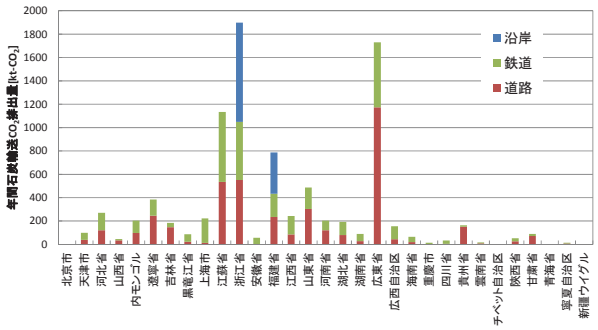


図２　輸送費用最小化における消費地別石炭輸送からの CO_2 排出量

石炭輸送からの CO_2 排出量最小化における CO_2 排出量は、輸送費用最小化と比べて約 1,000 kt-CO_2 小さくなる。これは CO_2 排出量最小化において、CO_2 排出原単位が鉄道輸送より高いという理由で、沿岸輸送が鉄道輸送に代替されるためである。浙江省および福建省へ沿岸輸送されていた東北地域産出の石炭は山東省に輸送されるようになる。一方、近隣地域から浙江省および福建省へ鉄道輸送または道路輸送される量が増えるため、上海市、広東省では遠方から輸送されるようになる。このように、沿岸輸送が選択されなくなり、近隣地域の石炭を奪い合う関係になったことで地域によっては輸送からの CO_2 排出量が高くなる結果となった。

図 3 には、石炭輸送からの CO_2 排出量に関して、輸送実績から算出したもの、輸送実績に対して輸送費用最小化を行い算出したもの、加えて USC 導入後に輸送費用最小化を行い算出したものを示す。輸送実績における輸送からの CO_2 排出量に比べ、輸送最適化を行うことで CO_2 排出量は 47.8%の 8.2 Mt-CO_2 減少し、輸送最適化による CO_2 排出削減が大きく見込めることが示された。特に道路輸送の CO_2 排出量削減が大きい。一方、鉄道輸送からの CO_2 排出量は輸送実績の方が小さいため、輸送最適化によって道路輸送の多くが鉄道輸送で代替されたことが排出削減の要因と考えられる。先進火力発電導入によって石炭需要が減少することにより、輸送量が減少し、より近い供給地から輸送できるため輸送距離も減少する。その結果、USC 導入後では CO_2 排出量がさらに 17.2%減少した。USC 導入による発電効率の向上に伴い石炭消費量が減少することで、燃料転換時の CO_2 排出量は 571.5 Mt-CO_2 削減できる。それに加え、輸送からの CO_2 排出量は 9.7 Mt-CO_2 の削減効果が生じることが示された。

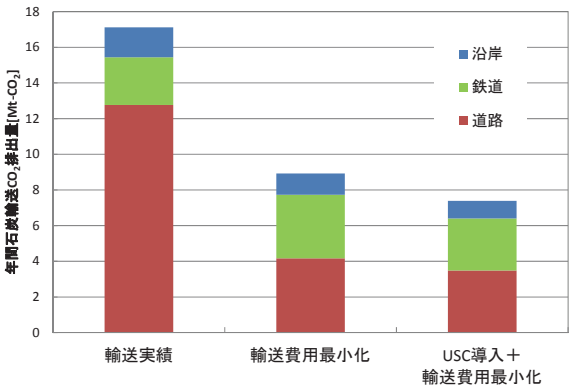


図 3 輸送実績、輸送費用最小化、USC 導入（輸送費用最小化）における輸送総 CO_2 排出量

総輸送費用においても輸送最適化および USC 導入により顕著な減少がみられた。輸送実績に比べ USC 導入後の輸送最適化における年間の輸送費用は 45.0%の 175.4 億元減少する結果となった。輸送方法別では鉄道輸送費用が 10.9 億元増加したものの、沿岸輸送費用、特に道路輸送費用が 175.5 億元減少したことが総輸送費用減少の要因となった。USC 導入により年間の運用費や資本費は増加するが、年間の燃料費は 1508.5 億元減少するため、輸送費用以外の減少分は 1305.5 億元となった。これに対し USC 導入による総輸送費用減少分は 13.4%に相当することから、無視できない減少となる。

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費 E-1001「アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究」の一部として実施した。

参考文献

1) 国家煤鉱安全監察局, “中国煤炭工業年鑑 2008”, 中国煤炭工業出版社, (2009), pp. 266-282
2) 中華人民共和国国家発展和改革委員会: “取得新版煤炭生产许可证煤矿（井）名单（第一批）”, 中華人民共和国国家発展和改革委員会広告, （オンライン）, 入手先<http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbgg/2008gonggao/t20080314_197636.htm>, （参照 2013-1-5）
3) 国家統計局能源統計司, “中国能源統計年鑑 2011”,中国統計出版社, (2011), pp. 123-307
4) 中国電力年鑑編輯委員会, “中国電力年鑑 2009”, 中国電力出版社, (2009), pp. 698-704
5) 中国電力年鑑編輯委員会, “中国電力年鑑 2011”, 中国電力出版社, (2011), pp. 725
6) 中国交通年鑑編輯委員会, “中国交通年鑑 2011”, 中国交通年鑑社, (2011), pp. 504-505
7) 中華人民共和国交通運輸部, “全国公路水路運輸量専項調査資料匯編”, 中国経済出版社, (2010), pp. 190-191, 196
8) 中国港口年鑑(2009 年版)編纂委員会, “中国港口年鑑 2009 版”, 中国港口雑誌社, (2009), pp. 32-235
9) Jeffrey N. Phillips, John M. Wheeldon,: Proc. 6th. Int. Conf. Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, Santa Fe, New Mexico, USA (2010), pp. 53-63

再生可能エネルギーを利用した発電技術を導入した電力供給システムのシナリオ分析

A scenario analysis of electricity system implementing Renewable Energy technologies

○高山慎史*[1)]、玄地裕[1,2)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]
Yoshifumi Takayama, Yutaka Genchi, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao
1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所
*takayama@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

電力供給システムは各発電技術等の要素から構成されている。また、供給対象の需要側は家庭、業務、産業、運輸などの要素から構成される。これらは独立に存在している訳ではなく複雑に関連している。そのため、将来の電力供給システムのあるべき姿を議論するためには、各要素を特徴づけるパラメータの変動が電力システム全体に及ぼす影響を解析する必要がある。

既往の研究[1)]において、発電技術の特性、特に再生可能エネルギーの変動性を考慮した電力需給解析モデルを構築し、太陽光発電を電力システムに大量に導入したシナリオを分析した結果、太陽光発電と蓄電池を含んだ電力供給システムを設計する際、太陽光発電が電力需要を超えて発電した余剰電力を全て蓄電するよりも一部を蓄電する方がコストが安いだけでなく CO_2 排出削減にも寄与することが示唆されている。しかし、この分析では、太陽光発電の構成比や導入する蓄電池容量の決定に関する検討が不十分であった。そこで本研究では、複数の太陽光発電の構成比において蓄電池の有無によるコスト、CO_2 排出量の違いを分析した。また、そこから得られた情報を基に今後構築すべきモデルへの要件を検討した。

2. 電力需給解析モデル

図 1 に本研究で構築した電力需給解析モデルを示す。

評価指標とは電力需給構造のあるべき姿の議論に必要となる指標と定義した。入力情報の目標構成比とは、2050年時における各発電技術の発電電力量のうち消費された電力量の、全消費電力量に対する割合である。

本モデルの需要側では、人口やGDPなどの将来予測値を基に目標年の電力・電力量需要の予測を行う。供給側では、従来型の発電技術である原子力発電、水力発電、火力発電の出力の設定と、気候条件に影響を受ける太陽光発電・風力発電の出力を決定する。従来型発電技術は、原子力・水力・地熱・火力発電の一部（ベース発電）は一定出力とし、残りの火力発電（ピーク発電）は需給調整によって変動させ、太陽光発電は日射量に応じた出力、風力発電は風況に応じて安定した出力を得られると設定した。最後に、需給バランスの分析を行い、算出された発電技術の構成比が入力の目標構成比と一致しているかを判定し、太陽光発電の年間発電力量の調整や、余剰電力に対する必要蓄電容量の算定などの作業を行う。

以上の手順により、年毎の設備容量、年間設備導入量、年間燃料消費量、各発電技術の時間帯別出力と年間発電力量を出力した。また、各評価視点から議論するうえで必要な数値であるコストや GHG 排出量はこれらの出力情報を用いて算出した。コストに関しては、外部モデルに出力情報を入力し値を得ている。

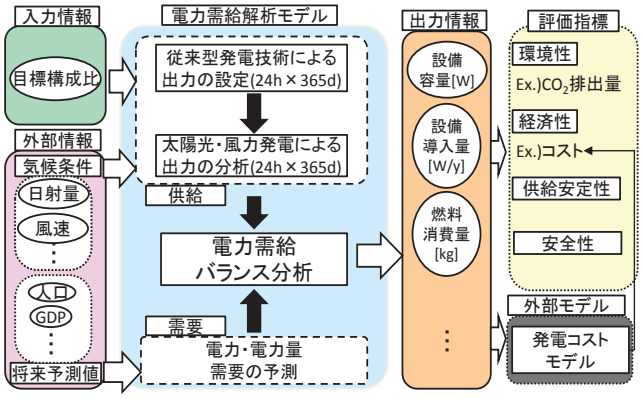


図 1　電力需給解析モデルの概要

3. 分析シナリオ

表 1 に今回の分析シナリオを示す。2050 年の年間消費電力量における太陽光発電の構成比が 5%、10%、20%を占めるように太陽光発電を導入するケースそれぞれに蓄電池を導入するかしないかの 2 つのシナリオを設け、計 6 つのシナリオを検討した。

蓄電池の導入方法は、「1 日の余剰電力のうち、その日 1 日で使い切れない余剰電力は捨て、1 年の中で最も余剰電力を活用できる日に合わせた蓄電容量を導入する」とした。

表 1　分析シナリオ

シナリオ名	太陽光発電構成比	蓄電池の導入
蓄電池あり5%	5%（□マーカor点線）	あり(青)
蓄電池なし5%		なし(緑)
蓄電池あり10%	10%(△マーカor実線)	あり(青)
蓄電池なし10%		なし(緑)
蓄電池あり20%	20%（○マーカor破線）	あり(青)
蓄電池なし20%		なし(緑)

4. 結果・考察

図 2 に各シナリオにおけるコストと CO_2 排出量の評価結果を示す。図 2 では、相対値の基準を 2010 年の値とした。矢印の向きは時間の流れを表している。

全体的な傾向として、コストに関しては、蓄電池導入なしのシナリオの方が蓄電池導入ありのシナリオよりも総じて低くなった。また、CO_2 排出量に関しては、太陽光発電の構成比が 10 %の場合は蓄電池導入ありとなしのシナリオ間に差異は見られず、5 %の場合は、蓄電池導入なしのシナリオの方が排出量が少なかった。

また、蓄電池なしの場合において、太陽光発電の構成比 5%と 10%のシナリオの 2010 年比コストが 2030 年以降、逆転している。これは、2030 時点の太陽光発電のコストがすでにシステム全体の値段よりも安い値となっている[3]ため、構成比 10%の方が低いコストとなるが、2040 年以降、電力需要が低下していく中で、太陽光発電が導入されるために、使用されない電力が発生し、太陽光発電の年間設備稼働率が低下する影響で、2040 年以降、構成比 10 %のコストが高くなったためである。

次に、図 2 において、蓄電池導入なし 20%のシナリオを掲載していない理由について説明する。これは、太陽光発電の出力時間帯が 8 時～16 時に限定されているために、電力需要と一定出力発電技術（ベース発電）の構成比との兼ね合いで太陽光発電が占めることできる構成比の限界が存在するためである。図 3 に蓄電池がない場合の太陽光発電の導入限界構成比とベース発電の構成比との関係を示す。この時 2050 年の電力需要量を想定した。今回の各分析シナリオではベース発電設備は2010年の設備容量から変化させない想定であるため、電力需要量が減少している2050年にはベース発電の構成比が約50%となる。そのため、太陽光発電が最大約 18%しか導入されず、太陽光発電の構成比が 20%には到達しなかった。

以上のことから、需要変動への対応が可能であれば、コストと CO_2 排出量の面からは蓄電池の導入量は小さい方が良いことが示唆された。

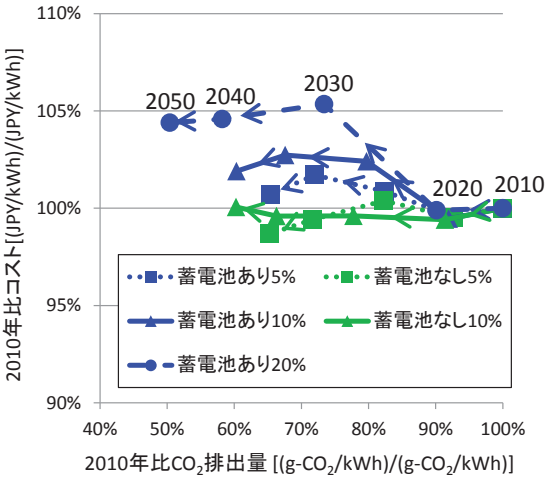


図 3 コストと CO_2 排出量の評価結果

5. モデルへの要件の検討

今回、蓄電池は、電力需要を超えた電力を貯蔵する技術として評価した。一方、蓄電池は電力系統を安定化させるために再生可能エネルギーの変動を吸収する技術としても導入される。また、現在のモデルでは、火力発電の変動追従性は考慮されていない。風力発電等の太陽光発電とは異なる出力変動をする発電技術が電力システムの及ぼす影響の解析も重要である。実際に蓄電池を導入するか否かの意思決定に際には、電力系統を安定化させる等の本モデルで考慮することのできない蓄電池の機能を十分に考慮に入れる必要がある。将来の電力供給システムのあるべき姿を議論するためには、変動への対応を考慮したモデルの構築が課題の一つである。

6. まとめ

今回、複数の太陽光発電の構成比において蓄電池を導入した場合としない場合を想定したシナリオを分析した。その結果、システム構成として蓄電池の導入を避けることができるのであれば、コストと CO_2 排出量の観点から、蓄電池の導入は少ない方がよいことが示唆された。

また、そこから得られた情報を基に今後構築すべきモデルへの要件を検討した。今後、検討したモデルの要件を満たしたモデルを構築する事により、電力システム設計にさらなる知見を与えることが期待される。

参考文献

1) 高山慎史, 菊池康紀, 平尾雅彦：第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2012), pp.350-351
2) 荻本和彦, 大関崇, 植田譲：電気学会論文誌.B,130(6) , (2010), pp.575-583
3) 国家戦略室：”コスト等検証委員会報告書”(2011)
4) 東京電力：“過去の電力使用実績データ” <http://www.tepco.co.jp/forecast/html/download-j.html>(参照 2011-6-26)

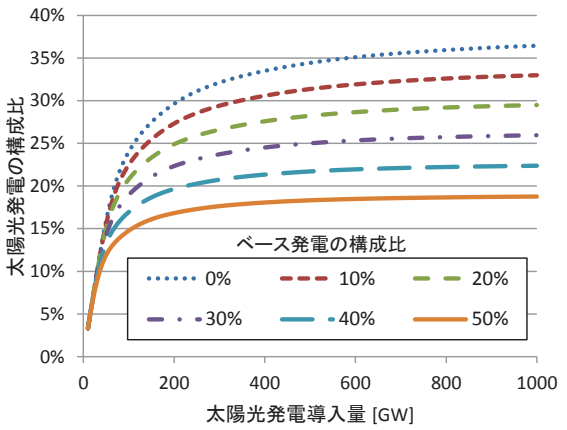


図 2 太陽光発電（蓄電導入なし）の導入限界構成比とベース発電の構成比との関係
（2050 年の電力需要量の想定した結果）

季節別・時刻別の需給構造から見た地域の再生可能エネルギーシステムの検討

Study on local renewable energy systems from viewpoint of the supply and demand structure of seasonal and time change

○小澤健史*[1)]、栗島英明[1)]、菊池康紀[2)]
Takeshi Ozawa, Hideaki Kurishima, Yasunori Kikuchi
1) 芝浦工業大学,2)東京大学
*take414414@gmail.com

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故以降，再生可能エネルギーに注目が集まっている。再生可能エネルギーは、利用時にCO_2などのGHGをほとんど排出せず、またエネルギー源が無限に存在することから、次世代のエネルギーとして注目されている。

しかしながら、再生可能エネルギーはその特性上、地産地消の分散型システムとなるため、地域レベルでそのポテンシャルや導入可能性、システムについて検討する必要がある。

また、再生可能エネルギーは地域・季節・時刻等によって供給量が変動する。需要側も同様に変動するため、従来検討されてきた熱電の総需要やピーク需要と再生可能エネルギーの供給ポテンシャルを比較して、導入可能性を検討するだけでは不十分である。

さらに、再生可能エネルギーのポテンシャルが高い地域はそもそも電熱需要が少ない人口過疎地域の場合が多く、再生可能エネルギーシステムを導入したとしても、何年後にはその地域に人が住まなくなり、需要が途絶えるといった状況も考えられる。

以上を踏まえ本研究では、再生可能エネルギー供給と電熱需要の時間・季節的変化等を考慮して、現在から2030年の間の再生可能エネルギーの導入を検討する。

2. 研究方法

2-1 対象地域の選定

調査対象地域を埼玉県比企郡ときがわ町とした。ときがわ町は面積の約7割が山林という、豊かな自然に囲まれた地域である。そのため、再生可能エネルギーのポテンシャルが高いと推測し、選定した。

2-2 供給ポテンシャル推定

推定対象とする再生可能エネルギーは、太陽光、太陽熱、水力、バイオマス、地中熱利用である。ときがわ町の実データと再生可能エネルギーの発電量や利用可能熱量の推計モデルを用いて、各再生可能エネルギーの季節別・時刻別の供給ポテンシャルの推定を2012年、2020年、2030年それぞれについて行う。

2-3 需要量推定

需要量の推計については、ライフスタイルシナリオから季節別・時刻別の家庭のエネルギー需要を推計するモデルを利用する[(1)]。その際、家族構成や人口の変化なども考慮に入れる。

2-4 エネルギー構成の検討

需給量の推定結果から対象地域に適したエネルギー構成の検討を行う。

3. 結果

3-1 供給ポテンシャル推計結果

推計の結果、供給ポテンシャルが高いのは太陽エネルギー、廃棄物利用、マイクロ水力発電ということがわかった。特に、戸建住宅への太陽エネルギーの普及率が再生可能エネルギー供給量に与える影響は大きく、2012年時現在の戸建住宅の太陽エネルギー機器の普及率を3.5%[(2)]とし、2030年には現在の15倍[(3)]の導入件数になると仮定してエネルギー供給量を推計した結果、電力は6.8倍、熱は5.2倍の供給量になる結果となった。

3-2 需要量推計結果

エネルギー需要量を推計した結果、電力需要においては、どの季節においても18時から20時までの電力需要量が著しく高くなった。これは夕食の支度をするために、炊飯器の使用や電子レンジの使用が集中するためである。また、夏季は空調を使用するため、他の季節よりも需要量が全体的に高くなっている。

熱の需要については、給湯と暖房の需要について推計した。こちらについても、夕食の準備や風呂の湯張りが集中するため、18時から21時までの熱需要が著しく高くなった。また、冬季は暖房を使用するため、熱需要量が高くなる。

人口の変動[(4)]における世帯数の変化[(5)]も考慮に入れ、2030年までのときがわ町の需要量を推計した結果、2030年には現在の電熱需要の70%前後になる結果となった。

3-3 エネルギー構成検討

供給ポテンシャル推計の結果からエネルギー構成を検討した。まず、電力構成として、ベース電源に、比較的に出力が安定しているマイクロ水力発電、ゴミ発電、食品バイオマス発電を置いた。次にミドル電源として時間変動の大きい太陽光発電を置き、出力の増減が可能なピーク電源に地中熱利用、農産バイオマス、畜産バイオマスを置いた。

次に熱の構成として、ベースに木質バイオマスを置き、

その上に太陽熱利用を置いた。

これらのエネルギー構成と需要量推定の結果から、時間毎の電気と熱に対する需給バランスについて検討したグラフを、図2～図5に示す。その結果、2012年現在においては、再生エネルギーのみで地域の電熱需要を満たすことは難しく、電力と熱それぞれで需要量の約21%、約31%を供給できると推定された。

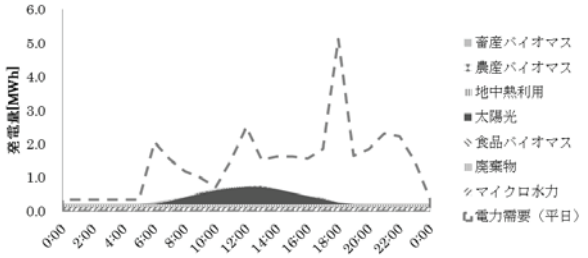


図2　電力需給グラフ（夏季）

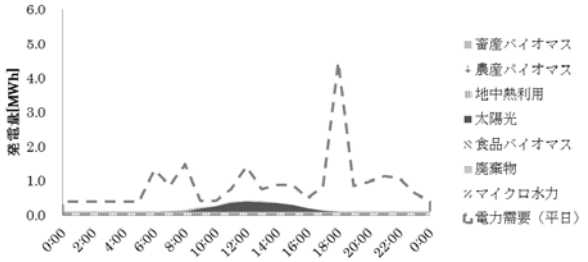


図3　電力需給グラフ（冬季）

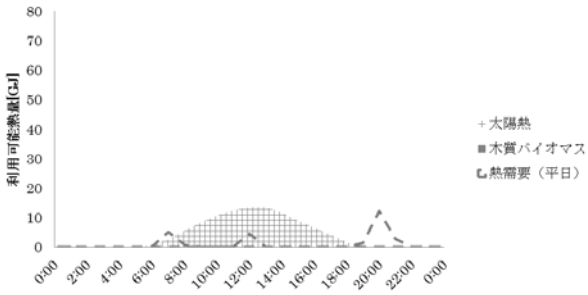


図4　熱需給グラフ（夏季）

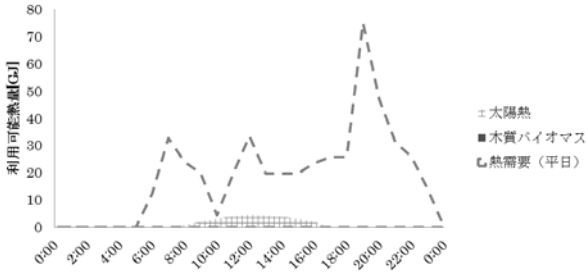


図5　熱需給グラフ（冬季）

現時点では再生可能エネルギーのみで需要を満たすことは難しかったが、戸建住宅の太陽エネルギー機器の設置件数が2012年の15倍になったと仮定した2030年では、電力は需要量の約2倍、熱は約2.2倍の供給量となった。ただし、季節によって割合は多少変動するほか、昼間は供給量が大きく余る一方で、夕方には需要量が供給量を大きく上回っていた（図6、図7）生み出したエネルギーを無駄なく利用するためにも、今後の蓄電・蓄熱技術の発展が望まれる。

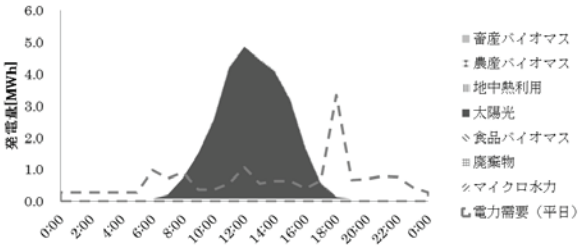


図6　2030年電力需給グラフ（冬季）

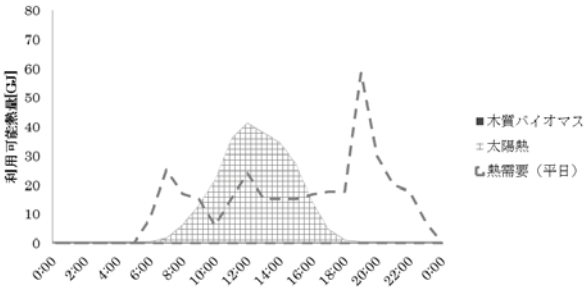


図7　2030年熱需給グラフ（冬季）

4.　おわりに

再生可能エネルギーの需給バランスについて着目した本研究では、時間帯によって供給量に過不足が出るなど、今後の蓄電・蓄熱技術の発展が必要不可欠であるという結果になった。

参考文献

(1)　日本 LCA 学会震災対応ワーキンググループ，“　節電とライフスタイル”　（閲覧日 1/7），http://ilcaj.sntt.or.jp/reconstruct/index.html
(2)　経済産業省　中国経済産業局，“都道府県別・住宅用太陽光発電システム普及率”（閲覧日 1/7），http://www.chugoku.meti.go.jp/energy/sun2/info/pdf/download/fukyuritsu.pdf
(3)　経済産業省，“太陽光発電導入量の年度展開”（閲覧日 1/7），http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81125a03j.pdf
(4)　国立社会保障・人口問題研究所　人口構造研究部，“日本の市町村別将来推計人口（平成 20 年 12 月推計）　について”（閲覧日 1/7），http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson08/yoshi.pdf
(5)　国立社会保障・人口問題研究所　人口構造研究部，“日本の世帯数の将来推計（都道府県別推計）”（2009），pp.32-33

可視化手法を利用したエネルギーシステム評価

Evaluation of energy system by a graphical representation method

○陳怡靜*[1)]、菊池康紀[1)]、福島康裕[2)]、平尾雅彦[1)]
I-Ching CHEN, Yasunori KIKUCHI, Yasuhiro FUKUSHIMA, Masahiko HIRAO
1) 東京大学 2) 国立成功大学
*chen@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

In energy system design, several methods have been implemented. For example, market mechanism and cost-effective optimization method [1] are often used in terms of economical aspect. Technology road mapping [2] and wedges analysis [3] provide ways for discussing technology convergence among different sectors. They are helpful for promoting effective energy policy.

However, the interactions among technologies are paid less attention in those studies. Figure 1 depicts a situation of energy system that contains several technologies of production and utilization. For example, the increase of electricity demand due to the introduction of electric vehicles (EVs) will directly results in the decrease of fuel demand, and indirectly affects on the other heat and chemical systems. (i.e. increase of the fossil fuel consumption to generate electricity may lead to generate more biomass-derived chemicals.)

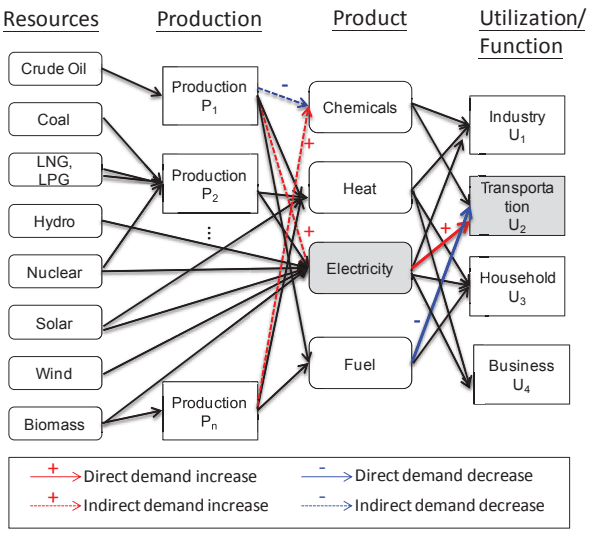


Figure 1 Scope of energy system with corresponding resrouces and technologies

In this study, a novel graphical representation method [4] from life cycle perspective is developed to evaluate technologies and their corresponding technologies, several potential consequences of technology implementation in Japanese electricity system is proposed to support future energy system design.

2. Methodology

A visualization method, which considers the interaction among corresponding technologies, is applied in this study. As shown in Fig. 2, Production (P_1~P_4) and Utilization (U_1~U_4) segments represent different technologies. The vertical axis shows the environmental impact calculated from LCA study of respective technology, while the horizontal axis depicts the availability of the technology. In Fig. 2, the segments are put in order by their gradients (P_4, …, P_1 and U_4, …, U_1) to construct the maximum environmental impact (P_{max}) and minimum environmental impact reduction (U_{min}) curves, respectively. Maximum impact (I_{max}) curve is synthesized from P_{max} and U_{min} curves. Similarly, the segments are connected into curves but in the reverse order (P_1, .., P_4 and U_1, .., U_4). The resulting minimum environmental impact (P_{min}) and maximum environmental impact reduction (U_{max}) curves are used to synthesize minimum environmental impact (I_{min}) curve.

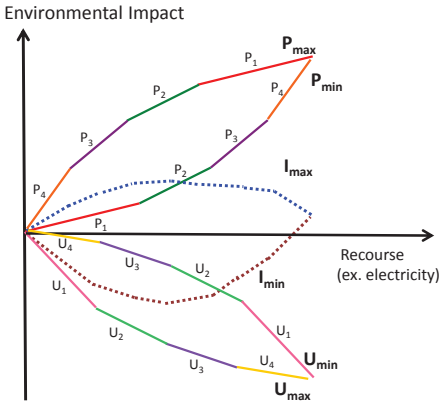


Figure 2 Graphical representations in the context of technologies

3. Visualization of energy technologies implementation

3.1 Visualization of power production technologies

The minimum and maximum possible environmental impacts generated from Japanese energy system (i.e. reference scenario) are visualized in Fig. 3. Note that possible nuclear power generation is included. The horizontal axis represents the amount of electricity generation [GWh] over a year in Japan, which is up to 1.8 million GWh in maximum. The vertical axis is the GHG emission related to the power generation that could totally emit 800×10^9 kg CO_2e in maximum. In actual situation,

the operation rate of each power generation plant might be varied due to technical, economical constraints.

In a post-Fukushima Japanese society, the operation of nuclear power plant is in the face of technological and political uncertainty. For assessing the situation of power system without nuclear, the visualization method is applied also as shown in Fig. 3, showing that the society may be sufficient to the power demand if operation rates are high in other types of power plants. However, it also indicates that they have to run by near full capacity and may not have enough maintenance periods, which increases the risk of operation. Scenarios 1 to 3 in Table 1 with different operation conditions of fossil fuel-fired power plants are evaluated as shown in Fig. 4. It indicates that power supply is insufficient to demand under the 50% operation rate of fossil fuel- fired plant, which is the average of the current situation.

Table 1 Settings in evaluated scenarios

Reference	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
100% operation of all plants	No nuclear	No nuclear + fossil fuel-fired with 50% operation	No nuclear + fossil fuel-fired with 80% operation

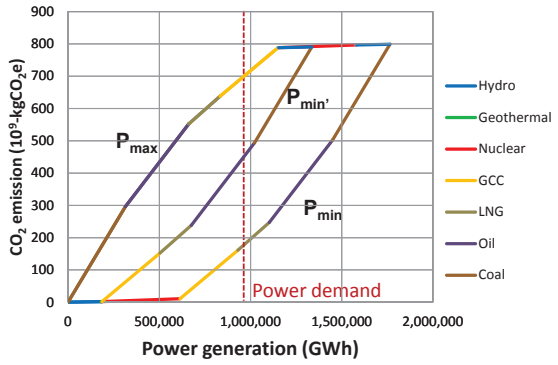


Figure 3 Comparison of reference scenario (Pmin) and 0% nuclear (Pmin') scenario

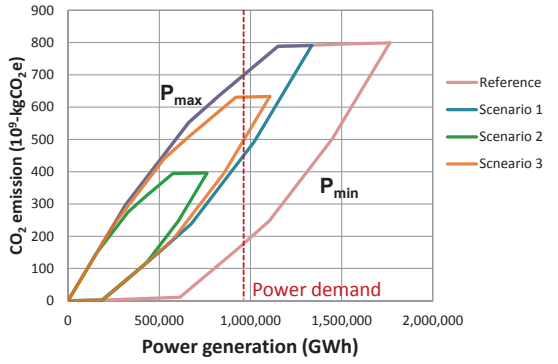


Figure 4 Comparison of scenarios with defined operation conditions

3.2 Visualization of power utilization technologies

Energy system contains several production and utilization technologies. As section 3.1 demonstrated the consequences of several production technologies under different operation conditions, utilization technology is discussed in this section. Fig. 5 shows the result of introducing EVs into Japanese society. Business-as-usual (BAU) scenario represents the current demand of power. Because there is no direct emission from using electricity, gradient is zero. Supposing 100% of gasoline-fueled passenger cars are replaced by EV [5], additional 90 TWh of electricity is required, which can reduce almost 60 million kg of CO_2 emission. The balance between demand and supply of power should be considered simultaneously (ex. Fig.6) for designing a more sustainable future energy system.

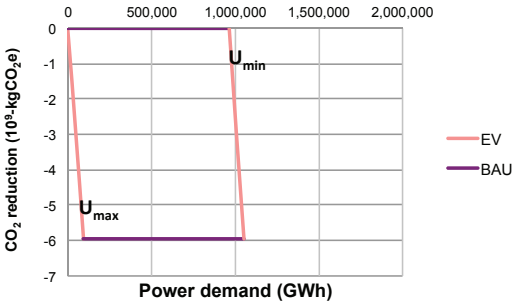


Figure 5 Visualization of introducing Electric vehicles (EV)

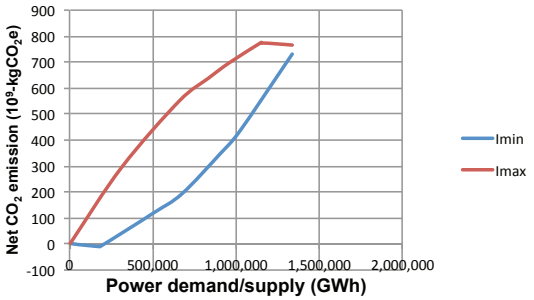


Figure 6 Visualization of total impact curve (I curve)

4. Discussion and future work

The proposed method visualizes information in a systemic way, which is particularly helpful for stakeholders in the system. An integrated energy system includes electricity, heat, fuel allocation will be analzed to provide information for resource and cost-effective policy making or research and development.

Reference

[1] Balachandra P., Chandru V. Supply Demand Matching in Resource Constrained. Electricity Systems, *Energy Conversion and Management,* Vol. 44, 2003, pp. 411-437

[2] Yuko Yasunaga, Masayosi Watanabe, Motoki Korenaga, Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 76, Issue 1, 2009, pp. 61-79

[3] James H. Williams et al., The technology path to deep greenhouse gas emission cuts by 2050: The pivotal role of electricity, *Science*, Vol. 335, Issue 6, 2012, pp. 53-59

[4] I-Ching Chen, Yasuhiro Fukushima, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao, A graphical representaiton for consequencial life cycle assessment of future technologies. Part 1: methodology framework, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 17, Issue 2, 2012, pp. 119-125.

[5] http://www.airia.or.jp/number/index.html

NICEモデルを用いた長期エネルギー需給の検討

Examination of long-term energy demand and supply by using NICE model

○岡田龍幸*[1)]、甲斐正也[1)]、八木田浩史[2)]

Tatsuyuki OKADA, Masaya KAI, Hiroshi YAGITA

1) 日本工業大学大学院, 2) 日本工業大学

*okt-61pt-12540642-dolaibu-a@hotmail.co.jp

1. はじめに

我々の国民生活や経済活動は、エネルギーという基盤の上で初めて成り立つものであり、エネルギー政策は国の最重要政策の一つである。エネルギー政策を進めるためには、我が国を取り巻く状況や課題の変化、エネルギー消費に伴い発生するCO_2排出量を考慮し、今後のエネルギー需給を試算する必要性がある[1)]。

2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響で、原子力発電所の設備利用率が低下した。それによって、現在では火力発電が中心となっている。そのため、電力分野でのCO_2排出量が増加すると考えてられている。その中で、2012年のCOP18では、日本のCO2排出量を2020年までに「1990年比25%削減」するとしている。また、燃料費や設備の維持費増加による、電力料金の値上げが電力の大口需要家である産業部門と民生部門において深刻な問題となっている[2)]。これらのことを考慮し、現在では再生可能エネルギーの普及や産業市場の省エネルギー化を進めている[3)]。

2. 目的

本研究では、エネルギー政策会議や今後の検討時に使用できる簡単な試算ツールとして「NICEモデル」(National Integration of CO2 Emission)の改良を行う。そして、2010年度まで統計データを導入し将来のエネルギー需要とCO_2排出量について2050年まで試算を行い、今後のエネルギー需給について検討する。また、エネルギー需要の試算をするにあたって、電力料金値上げの影響が具体的にどの産業の負担になり、どの程度影響を及ぼすのか試算する。

3. 研究方法

2050年までの日本のエネルギー需給とCO_2排出量を解析するためのWindows用ソフトウェア『NICEモデル』(National Integration of CO_2 Emission Model)のデータを最新のものに更新し、日本のエネルギー需給とCO_2排出量の将来推移を高位(経済重視)、中位(経済と省エネを両立)、低位(省エネ促進)の３つのシナリオを想定して分析を行う[4)]。

3-1. NICEモデルの概要

NICEモデルは、人口と一人当たりGDPの推移を元に産業部門、民生業務部門、民生家庭部門、運輸部門の各部門の活動量(生産量)やエネルギー利用技術(生産技術)などのエネルギー需要側のシナリオを設定しエネルギー需要を求めている。そして、エネルギー供給量を求めることにより、エネルギー需要に対応する、将来のエネルギー需給およびCO_2排出量を算出している(図1)[4)]。NICEモデルでは、エネルギー需要、発電方法といった部分を各種部門別にシナリオ設定が可能であり、より細かい部分での解析が可能となっている(図2)。

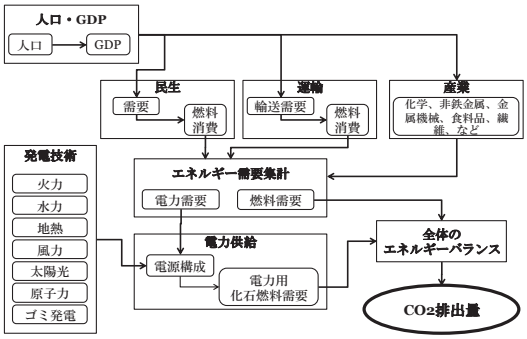


図1　NICEモデルの構成



図2　NICEモデル　シナリオ設定シート一覧

3-2. NICEモデルで用いられる式について

3-2-1. CO_2排出量について

NICEモデルでのCO_2排出量は、以下の①～③の手順で計算される。また、CO_2排出量は茅の式を用いて算出する(式1)。

① 部門別エネルギー需要シナリオを基に、エネルギー需要量を総計する。

② エネルギー需要量に見合うエネルギー供給構造を決定する。

③ 決定されたエネルギー供給を基に、将来の CO_2 排出量を算出する。

CO_2 排出量
＝（CO_2 ÷エネルギー）×（エネルギー÷GDP）
×（GDP÷人口）×人口　　（式 1）

3-2-2.　一人当たり GDP の将来推移について

一人当たり GDP の将来推移は 2050 年までの成長を試算する。試算方法は、前年度の GDP/cap に各シナリオの成長率をかけて求めている（式 2～4）。

GDP/人口（当該年）
＝GDP/cap（前年度）×1.01（高位）　　（式 2）
GDP/人口（当該年）
＝GDP/cap（前年度）×1.005（中位）　　（式 3）
GDP/人口（当該年）
＝GDP/cap（前年度）×1.002（低位）　　（式 4）

3-2-3.　シナリオ推移の計算について

過去の統計データと一人当たり GDP で散布図を作成し、累乗近似（$y = a x^b$）から定数である b を求める。散布図は、長い期間での成長率と近年の成長率を算出する必要があり、1970 年から最新のデータまでと 2000 年から最新のデータまでの二種類の散布図、および定数 b を求める。例として 1970 年から最新のデータまでを求めたものを示す（図 3）。求めた定数 b を成長率とし、数字の大きい方を高位、小さい方を低位とし、その中間を中位としてシナリオを決定する。そして、基準となる年度の統計データと一人当たり GDP を用いて 2050 年まで試算を行う。今回は一人当たり貨物輸送量を求めた式を示す（式 5）。

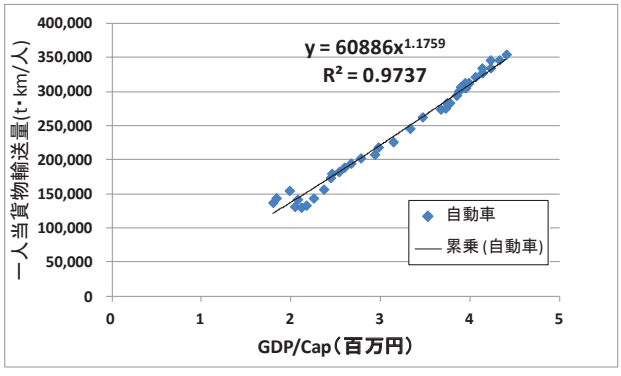


図 3　累乗近似を求めた散布図（貨物輸送量）

一人当たり貨物量（当該年）
＝一人当たり貨物量（基準年）
÷｛GDP/cap（基準年）｝^{b}×｛GDP/cap（当該年）｝^{b}
（式 5）

4.　電力料金の試算について

電力料金の試算では、産業部門の電力料金が 13 円/kWh から 15 円/kWh と値上がりしたことに基づいて試算を行った。今回の試算結果では、産業部門の中で特に電力消費量が大きい「金属機械」「鉄鋼」「化学」に経済的影響が出る可能性があることが分かった。値上がりした年と前年とを比較すると、現在最も電力消費が大きい「金属機械」が、2193 億円値上がりし、最も電力消費が少ない「建築」では、16 億円値上がりするという結果となった（図 4）。この差から電力料金の値上げは、今後日本国内での製造業において、国内需要だけではなく、経済的面からも負担が大きくなる可能性があることが分かった。

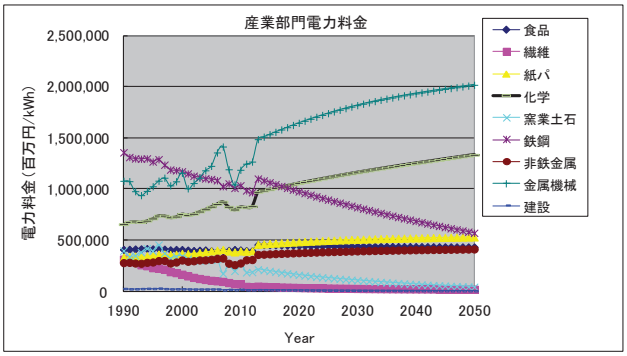


図 4　産業部門電力料金の推移

5.　まとめ

今回の研究では、NICE モデルを 2011 年度以降のエネルギー推移を試算することができるツールとして改良を行った。試算結果では、一人当たり GDP の推移を毎年 1.0%上昇させ、エネルギー消費の削減と温室効果ガス削減を同時に行う為には、省エネを促進させた上で現行よりエネルギー消費量を約 5%削減させる必要がある。また、電力料金値上げは、大量に電力を消費する製造業の経済成長の妨げとなり、国内の製造業の空洞化が進む原因になる可能性を示すことができた。

参考文献

1）長期エネルギー需給見通し
平成 20 年 5 月総合資源エネルギー調査需給部会
2）電力料金上昇の影響分析と対策
日本総合研究所
3）エネルギー政策の選択肢に係る調査報告書
平成 23 年 9 月 22 日　日本学術会議
東日本大震災対策委員会
エネルギー政策の選択肢分科会
4）NICE モデルを用いた我が国の CO_2 排出対策オプションの相対比較
資源環境技術総合研究所

ドイツにおけるバイオディーゼル生産の課題

Issues and Challenges on German Biodiesel Production

○小野　洋*[1)]、金井　源太[1)]、野中　章久[1)]、松田　裕子[2)]
Hiroshi ONO, Genta KANAI, Akihisa NONAKA, Yuko MATSUDA
1) 農業・食品産業技術総合研究機構　2)農林水産省
*senna@affrc.go.jp

1. はじめに

EU におけるバイオ燃料生産政策は指令(Directive)に基づいて実施される。2009 年の指令では、輸送部門におけるバイオ燃料割合を 2020 年 10%、2010 年 5.75%以上とすることが定められたが、2010 年にこの基準をクリアした国はドイツのみであった。

EU27 か国の 1/5 のエネルギーを消費すると同時に、環境意識の高さでも知られるドイツは、再生可能エネルギー優先に関する法律(EEG 法)を 2000 年に成立させ、環境保護や資源保全を目的としたバイオ燃料生産を進めてきた。2007 年制定のバイオ燃料割当法では、2020 年の温室効果ガス排出量40%削減を目標としてバイオ燃料混合(ガソリン 2.8%、ディーゼル 4.4%)を義務化した。ただ、以下にみるように生産現場では様々な問題が生じており、施策の進捗は決して順調ではない。

我々はバイオディーゼル[註1)]生産の中心地であり、かつドイツ国内のナタネ搾油所の半数が存在するバイエルン州を 2012 年 10 月に訪問し、農業省・生産者団体・研究所・普及センター等でヒアリング調査を実施した。以下はその報告である。第 2 節ではドイツにおけるバイオ燃料生産を概観し、第 3 節では間接的土地利用を巡る議論等を紹介する。第 4 節では、生産現場に与える政策の影響を整理し、バイオ燃料生産の最大のリスクが政策であることを指摘する。

2. ドイツにおけるバイオ燃料生産の概要

近年、再生可能エネルギーへのドライブが強まっているとされるドイツだが、実際には2007 年をピークに輸送用バイオ燃料の生産量は減少傾向にある(図 1)。

図 1 から 2 点指摘できる。1 点目はバイオディーゼルの急増と急減である。休耕地におけるエネルギー作物栽培助成及びエネルギー税法における免税措置を背景に、バイオディーゼル生産量は 2004 年以降急増した。しかし 2007～2008 年の食糧危機の後、エネルギー作物(そのほとんどナタネ)生産への批判が高まり、一転して生産量は減少に転じた。

2 点目はナタネ油の急減である。ナタネ油は、搾油後に未変換で SVO(Straight Vegetable Oil)利用するものであり、農機具での自給的利用が主である。最大生産量は 2006 年の 70 万 t であった。ナタネ油は変換プラントが不要、かつ自家利用のため輸送プロセスが省略可能であり、GHG 削減効果が大きいとされる。但し、図にみるように助成削減にともないバイオディーゼルと同様に生産量は減少している。

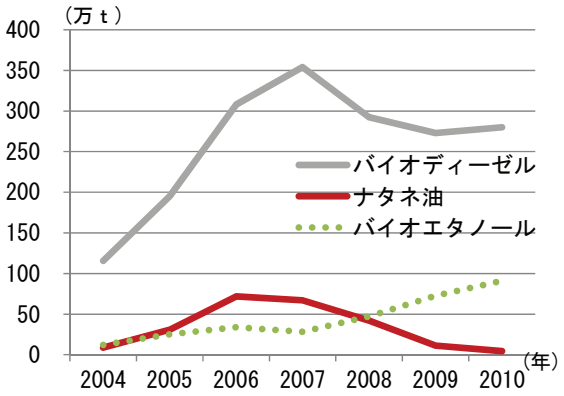


図１　ドイツにおける輸送用バイオ燃料生産

資料：連邦環境・自然保護・原子炉安全省[1)]

3. エネルギー作物としてのナタネ生産

ドイツでは皿とタンクの競合問題(Konkrenzzwischen Teller und Tank)として、食料生産とエネルギー生産のトレードオフが議論されてきた。エネルギー作物に対する社会的批判の高まりを受け、2009 年には休耕地助成の廃止と免税措置の廃止が決定した。なお、燃料用ナタネ生産は小麦・大麦との輪作体系に組み込まれているため、生産は現在でも継続しているが、農業省担当者は数年内にその大半は他作物に代替されるとの見解を示している。

LCA に関連するトピックとして、間接的土地利用(ILUC: Indirect Land Use Change)に関心が集まっている。エネルギー作物生産は他国での食料生産を誘発し、ひいては森林破壊・生物多様性劣化、GHG 大量排出をもたらすとの指摘である。この点、IFPRI による EU 報告書[2)]のインパクトは大きく、ドイツでも 2012 年に入りバイオ燃料用作物生産への批判が一段と高まっている。このため、生産・研究の重点は、食料と競合しない第 2 世代燃料や飼料作物を利用したバイオガスにシフトしつつある[註2)]。

但し、ILUC に関する議論は二分されている。農業政策の立案に深く関わる農民連盟は全面的に賛同し、バイオ

燃料用の作物生産を批判するが、農業省及び普及機関は「ドイツの畑をブラジルの熱帯雨林と結びつけることはナンセンスである」と ILUC そのものに否定的である。

持続可能性基準の影響も大きい。2009 年の再生可能エネルギー導入指令において、バイオ燃料の GHG 排出量に関し化石燃料比で 2010 年 35%以上、2016 年以降 50%以上、2017 年以降 60%以上の削減が義務づけられた(図 2)。

ナタネ油を原料とするバイオディーゼルの GHG 削減率(デフォルト値)は 38%であり、現時点ではバイオディーゼル向けナタネ生産は可能であるが、2015 年以降の 50%以上を満たさない。なお、デフォルト値を適用しない場合は生産者側に LCA の実施義務が生じるが、生産者に LCA を実施する余力はなく、今後はナタネ生産のさらなる減少が予想されている。

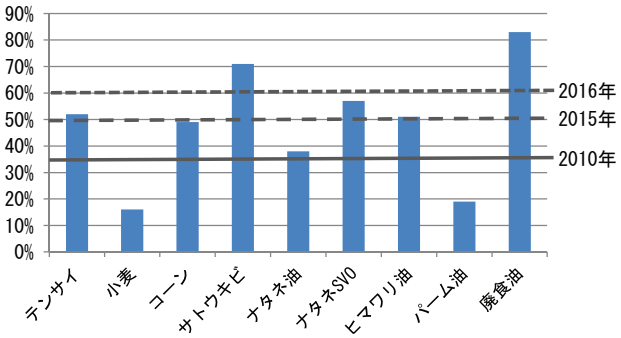


図２　バイオ燃料生産の GHG 削減率及び年次別削減基準

資料：欧州委員会バイオ燃料環境持続可能性基準[3)]

以上に関し 2 点問題が指摘されている。1 点目は燃料認証の信頼性である。ドイツでは、輸入燃料も含め GHG 削減燃料であることの認証が条件とされるが、途上国におけるバイオ燃料生産は生産プロセス等に関し未知の部分が多く、認証自体に対する信頼性が低い。もう 1 点は LCA の信頼性である。例えば、燃料製造時の排水処理が不十分な途上国では設備投資・設備稼働が不要となり、GHG 削減率は必然的に高くなるが、これを排水処理プロセスで多くの資材投入が必要となる先進国の数値と比較することに実質的意味はない、という批判である。

4.　おわりに－政策変動の影響－

ドイツにおいて、ナタネを原料としたバイオ燃料生産は減少傾向にある。燃料用ナタネ生産は 2004 年以降急増し、搾油所数も最大 600 箇所に達したが[4)]、その後の助成廃止により、搾油所数は 2012 年には約 300 箇所まで減少した。地域振興策の一環として実施されたナタネ燃料生産のための新規投資は、その半数が数年のうちに(多くは中経営において)デットストック化している。農業生産の現場が政策に振り回され、政府への不信が高まっている点はドイツもわが国と同様である。

生産収支がマイナスとなるバイオ燃料生産は、政策変更の影響を受ける代表格であり[註3)]、バイオ燃料の先進地とされるドイツも例外ではない。

関連して、太陽光発電も問題とされている。EEG 法により全量固定価格(Feed-In Tariff)での 20 年間買取が保証されたため、全国各地の優良農地(道路沿いの農地は、最も効率よく送電網にアクセス可能である)に太陽光パネルが敷き詰められている。2012 年以降政府は農地での太陽光パネル設置を禁止したが、既設パネルの撤去は不可能であるため、景観上の問題は少なくとも今後 20 年は解消されないことになる[註4)]。この他バイオガス生産でも問題が生じている。小規模バイオガス施設への助成強化にともないバイオガスプラント数は急増しているが、農地の奪い合いは農村部での農地価格・借地料の高騰を引き起こし、農業生産に悪影響を及ぼしている。

バイオ燃料生産施策と LCA は密接に関連しており、政策の実施にも強い影響を与えるが、現段階では、LCA の不確実性や間接的土地利用の評価方法に対する疑念・批判が大きい。このため、生産者・行政の双方から LCA の信頼性向上に対する強い要望が寄せられている。

註 1)ドイツではディーゼル車の割合が高く、バイオ燃料の中心はバイオディーゼルである。

註 2)2012 年 10 月に欧州委員会は、バイオ燃料生産への土地転換を制限するとともに、バイオ燃料の温暖化抑止効果の向上を目的に、食品由来のバイオ燃料の使用を 5%に制限した。

註 3)クロスコンプライアンスが定着しているドイツでは、environmentally friendly な生産は経営にプラスの時のみ実施するという態度、言い換えればカネの切れ目が縁の切れ目という姿勢が貫徹されている。

註 4)再生可能電力の急増により、現在の一般家庭の電気料金負担は 2000 年比で約 2 倍となっている。負担増の主要因である太陽光発電に対する社会からの批判は極めて厳しい。

5.　参考文献

1) Bundesministerium fuer Umwelt Naturschutz und Reaktorisicherheit: Erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2010, (2011).

2) Laborde D.,(IFPRI): Assessing the Land Use Change Consequence of European Biofuel Policies, (2011).

3) European Commission: directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council of 23 April 2009, (2009).

4) Uhl,A., Remmele.E.,: Small-scaled oilseed processing in Germany,16th European Biomass Conference & Exhibition., (2008), pp.2038-2041.

途上国農業の持続可能性に関する一考察
ータイのキャッサバ生産を事例に

A Study of sustainability of agriculture in developing countries
- A case of cassava production in Thailand

○森泉由恵*[1)2)]、スクッスィー・ピヤワン[3)]、本藤祐樹[2)]、和気洋子[1)]
Yue Moriizumi、 Piyawan Suksri、 Hiroki Hondo、 Yoko Wake
1) 慶應義塾大学、 2) 横浜国立大学、 3) Chulalongkorn University
* yue_moriizumi@yahoo。co。jp

1. 研究の背景

途上国における貧困層は大多数が農村地域に住んでおり、その生活を大きく農業に依存している。そのため、農業の発展は、途上国の貧困削減に極めて重要な役割を果たすと考えられている。また、農業は農民の生計改善のみならず、農村地域全体の発展に寄与することも期待されている。例えば、農産物を原料とするバイオ燃料を生産することにより、農業部門と工業部門、輸送部門、エネルギー供給部門がリンクし、農村地域に新たな産業構造が構築される可能性がある。

しかし、これまでのところ、農業は農民の生計改善や農村地域の発展に大きく貢献しているとは言えず、多くの途上国では都市部と農村部の所得格差が深刻な社会問題となっている。農業の発展を阻害する主因は、不完全な市場や不適切な制度・政策、物的なインフラの未整備など社会の構造的問題にある。したがって、問題を解決するためには、表面的な政策ではなく、根本的な要因の改善に取り組む必要がある。

先進国経済が行き詰まりを見せる中、今後ますます世界の資金が途上国・新興国に向くことが予想される。資金の流入を上手く活かすためには、農業におけるガバナンス改善が不可欠であるため、これを強化するための努力も求められる。

一方、農業は環境に制約されるとともに、環境に対して大きな影響を与える。途上国においても、化学肥料や農薬の不適切な使用、連作や単一作物の栽培が続けられてきたことにより、土壌侵食や塩類集積など土壌の劣化が進行している。さらにそれが農業生産性の低下につながるという悪循環を引き起こしており、環境面からも農業のあり方が厳しく問われている。

持続可能な農業実現の必要性は世界的に強く認識されており、その進捗度や成果を可視化し「持続可能な発展」という観点から評価する研究も多数行われている。しかし、農業を取り巻く課題は多岐にわたり、かつ複雑に絡み合っていること、そして何をもって「発展」と考えるかについても統一的な見解がないことから、標準的な評価手法は確立されていない。

2. 研究の目的と対象

そこで本研究は、途上国の持続可能な発展に資する農業のあり方を評価するための枠組みを構築し、実際に政策の評価を行うことを目的とする。分析では、タイ東北部におけるキャッサバ栽培を対象とする。

タイを対象とする理由は、以下の点にある。タイはこれまで目覚ましい経済発展を遂げ、急速に近代化を進めてきたが、その一方で、生態系と調和した伝統的な農林業システムや相互扶助や協力といった伝統的社会システムなど、「残しておくべき」と考えられるものが、まだ残っている面がある。こうした面を分析に加味することは、新たな発展モデルを検討する上で意味を持つと考える。

次に、東北部におけるキャッサバ栽培を対象とする理由は以下の通りである。東北部は、人口の 8 割が農村部に住んでおり主要産業は農業であるが、以下の理由により農業生産性は低く、タイの中で最も所得が低い地域となっている[1)]。東北部の土壌は一般に砂質かつ酸性で有機物が不足しており、養分、水分保持力が弱い。また、人間活動の拡大に伴い急速に広がった森林伐採により、土壌塩類化も進行している[2), 3)]。したがって、資金力のない小規模零細農家は、こうした厳しい自然条件の下でも生育することが可能なキャッサバを栽培しているが、これらの作物は米や果物、野菜よりも単価が安いため、農家の所得は極めて低い。

これに対してタイ政府は、キャッサバ農家の所得向上、農村地域の発展を目的とした政策を実施し、同時に、土壌の質を改善するための栽培方法の普及に力を注いでいる。以上の背景をもつ東北部のキャッサバ栽培を考察の対象とすることは、本研究の目的に合致するものと考える。

3. 分析の方法

分析は、以下の方法で行う。

1) 分析の対象となる地域の文脈に即した過去の発展理論に基づき、持続可能な発展をどのようにとらえるかを明確にする。その上で、発展における重要な要件を抽出し、評価の枠組みを設定する。

2) 現地調査によるステークホルダーへのヒアリングで得られた情報に基づき、キャッサバ栽培をめぐる諸問題およびその原因、対策、解決の原動力となる要素を特定する。問題が複雑であるため、要素間の関係を整理し、問題を構造化する。同時に、それぞれの問題の間の関係についても考察する。
3) アンケート調査の結果をもとに、統計的手法を用いて問題の構造に関する仮説を検証する。この分析により、評価指標とするべき要素を定量的に選定する。
4) 3)の結果に基づき、現在実行されている政策の有効性を評価する。

3.1 評価の枠組みの設定

本研究では、持続可能な発展をとらえる基礎を、タイ国王が提唱する「Sufficiency economy」哲学、および、「Sufficiency economy」哲学と根本的思想が同一な「内発的発展論」に置く。「Sufficiency economy」哲学は、タイに広く浸透している概念であり、国の 5 か年計画にも反映されている。節度や合理性、適応力、自立を重視し、急速なグローバリゼーションに対応しつつも、予期せぬ変化や行き過ぎに翻弄されない柔軟かつ堅固で賢明な発展を達成することを目指すものである。政策的には、継続的な学習による人間の発展、コミュニティの強化、自然との共生などを推進する[4]。一方、「内発的発展論」は、衣食住の基本的要求の充足や人間としての可能性の獲得を目的とし、自然と共生しながら自力更生的に社会経済構造を変化させるプロセスを発展とする[5),6)]。

以上より、本研究では持続可能な発展を「変化のプロセス」としてとらえ、動態的なプロセスを重視した評価手法を構築することを試みた。また、「変化」の重要な要素として、(i) 個人の能力の獲得とそれを支える制度・組織の確立、(ii) 協働, (iii) 社会のレジリアンスの 3 つを抽出した。

3.2 ヒアリングに基づく問題の構造化

筆者らは、2007 年から継続的にタイにおける現地調査を実施し、ヒアリングを行ってきた。ヒアリングの対象は、Khon Kaen 県と Nakhon Ratchasima 県におけるキャッサバ農家、コミュニティ・リーダー、クォータと呼ばれるキャッサバ仲買人、肥料会社、キャッサバチップ・スターチ工場、エタノールプラント、郡の農業局職員、Thai Tapioca Development Institute (TTDI) や各県における Agricultural Research and Development Center の研究者および技術普及員、Land Development Department (LDD) 職員、Field Crops Research Center、Kasetsart 大学、Khon Kaen 大学、Thammasat 大学の研究者などである。

東北部では、2009/10 年度にキャッサバの害虫（コナカイガラムシ）が大量発生し、キャッサバ生産に甚大な被害をもたらした。タイでは初めての害虫発生だったため、すぐには対応できず、その年の生産量は前年度比 26．9% 減となった。しかし、翌年から現在に至るまで官民総力をあげた取組みがなされている。分析では、害虫発生時の農民およびコミュニティ、農業局の取組みを具体的事例として、適応力や対処能力について検討する。

3.3 アンケート調査による仮説の検証

問題の構造化に関する仮説を検証するため、アンケート調査を実施した。アンケート調査の概要を表1 に示す。アンケートでは、3.2 で整理された各要因に基づき設問項目を設定した。

表 1 アンケート調査概要

調査期間	2012 年 7 月 2 日～7 月 6 日
調査場所	Nakhon Ratchasima 県 Khon Buri 郡・Soeng Sang 郡・Pak Chong 郡・Dan Khun Thot 郡
調査対象者	キャッサバ農家
調査方法	村の集会所、村長自宅、農業局事務所において、アンケート用紙を配布した上での聞き取り調査を実施した
サンプル	配布数：131、有効回答数：127

4. 今後の課題

現在、栽培技術に関しては、研究所と政府機関、エタノールプラントやキャッサバスターチ工場の協力による新たなトップダウン型の対策（Sikhio model）と、伝統的なボトムアップ型の対策が並行して行われている。また、農家の所得向上に関しては、エタノールの導入やキャッサバ買い取り制度が実施されている。今後は、本研究で構築した評価手法を用いて、これらの対策・政策の有効性や短所長所について分析を行う予定である。

参考文献

1) NESDB (National Economic and Social Development Board), Gross Regional and Provincial Product 2011, (2011).
2) Mitsuchi M., Wichaidit P., Jeungnijnirund S., Outline of soils of the Northeast Plateau Thailand, their characteristics and constraints, ADRC technical papers No. 1, Kohn Kaen, Thailand, (1986).
3) Wada, H., Managing sandy soils in Northeast Thailand, “Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture” (2005), Khon Kaen, Thailand, pp.82-92.
4) NESDB (National Economic and Social Development Board), An Introduction Note Sufficiency Economy, (no date).
5) 鶴見和子・川田侃編, “内発的発展論”, 東京大学出版会, (1989).
6) The Dag Hammarskjöld Foundation, Report on Development and International Cooperation, Uppsala, Sweden, (1975).

日本におけるカリウムのマテリアルフロー分析

Material Flow Analysis of Potassium in Japan

○高橋麻理恵*[1)]、溝口修史[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、南斉規介[2)]、長坂徹也[1)]
Marie Takahashi, Masafumi Mizoguchi, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka
1）東北大学, 2）国立環境研究所
* a9tb4074@s.tohoku.ac.jp

1. はじめに

農業分野においては、カリウム、リン、窒素は、肥料三大要素と呼ばれ、農作物の成長には欠かすことのできない要素である。これらは肥料として農業土壌に投与され、作物に吸収される。人間は作物そのものや家畜、近年ではバイオエタノールを介して、これらの元素を消費している。人間の体内では、カリウムはイオンとして主に細胞の正常な活動をサポートする働きがあり、リンはリン酸カルシウムとして骨を構成する主成分としての役割を担っているため、これらの元素の摂取は人間にとっても重要であることがわかる。さらにカリウムは、医薬品や、半導体の部品に施される金めっき、食品添加物としても利用されているため、我々の生活には欠かすことのできない元素の一つである。

ここ数年、農作物・食糧需要の将来的な需要増大を鑑み、リン資源は戦略資源物質として注目されるようになってきている[1)]。同じく主要な農業用塩類であるカリウム資源に目を向けると、近年の輸入価格の高騰（図1）や鉱石産出国の偏在（図2）、日本では資源が産出しない、といったリン資源との共通点は多い。

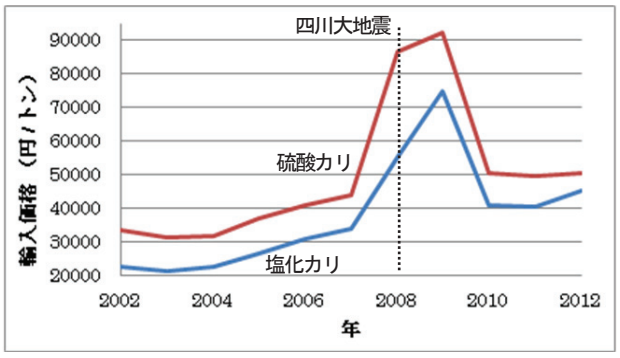


図1　カリウム鉱石輸入価格の推移[2)]

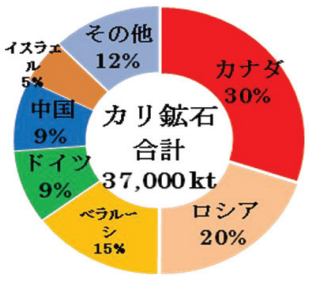


図2　カリウム鉱石産出国[3)]

したがって、カリウム資源もリン資源同様、安定供給をはかり、国内未利用資源の有効利用を促すため、カリウム資源がサプライチェーンを通じてどのように流れているのかを把握し、再利用や有効利用のための検討を行う必要があると考えられる。そこで本研究では、マテリアルフロー分析（MFA）の手法を用いて国内で循環するカリウムの流れと量を明らかにした。マテリアルフローを作成することで、カリウムがどの分野でどれだけ使用されているのかを把握することができ、同時にカリウムの回収ポテンシャルに関する情報を得ることができるため、今後の資源政策を議論する上で有益な情報を得ることができる。

2. データ源

本研究では、主なデータ源として、以下の統計や論文を用いた。尚、それぞれの統計では2005年のものを用いて計算を行なった。

表1　主なデータ源一覧

	生産量（輸入量）	原単位
肥料分野（276分類）	財）農林統計協会，ポケット肥料要覧，（2011）	塩崎尚郎，肥料便覧，（2008）
食糧分野（143分類）	農林水産省，食料需給表	文部科学省，食品成分データベース
飼料分野（26分類）	財）農林統計協会，流通飼料便覧，（2005）	
加化合物（13分類）	財務省，貿易統計	各カリ化合物化学式に準拠
水圏流出（108分類）	社）日本河川協会，流量年表，（2005）	水産庁等，森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書，（2004）

3. 結果と考察

3.1 食糧分野

肥料原料やカリウム鉱石、カリウム化合物として輸入されたカリウム資源は、約70%が肥料として農業土壌に投与されることから、カリウム資源の多くは肥料として利用されているということが明らかになった。また、肥料として農業土壌に投入される、あるいは家畜の糞尿と

して排出されるカリウム資源（合計669kt-K）のうち、家畜や食料を介して人間生活に届けられているカリウム資源は全体の約32%（合計216kt-K）で、残りは約32%（213kt-K）が水圏へ流出、約36%（240kt-K）が土壌に蓄積していることがわかった。さらに、カリウム資源は、農業土壌中では作物に吸収されやすい可溶性カリウムとして存在しているため[4]、農業土壌への過剰施肥を止めることでカリウム資源の有効利用が可能になると考えられる。

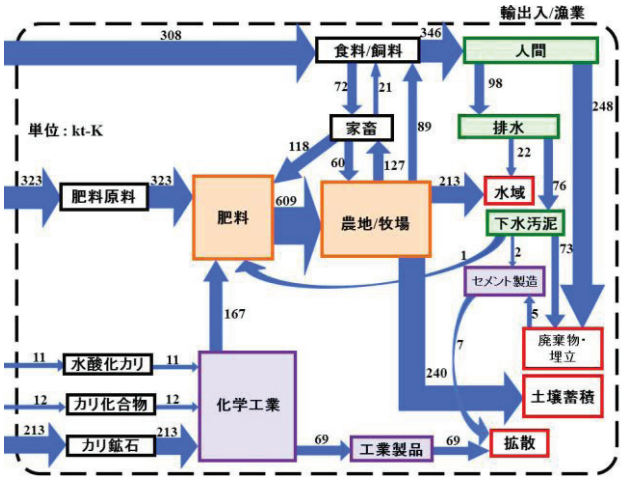


図３　日本におけるカリウムのマテリアルフロー分析（2005年）

3.2　水圏への流出

国内で利用されたカリウムは、最終的に水域や廃棄物埋立地、土壌などの環境中に排出される（合計791kt-K）。リンのマテリアルフロー図[5]と比較すると、カリウムは水域への流出が合計235kt-Kと多い。これは、リンが環境負荷物質であるのに対し、カリウムは環境にほとんど負荷を与えない物質であるため、回収に関する技術開発がこれまで十分に行われてこなかったことに起因すると考えらえる。

3.3　セメント製造

セメントは、下水汚泥焼却灰や廃棄物焼却灰を混合して製造される。2005年には、合わせて7kt-Kがセメント製造に利用されている。これらの廃棄物の中にはカリウムが含まれているが、カリウムはセメント製造キルンの中で積層し、操業に支障をきたすため、セメント製造業ではカリウム塩の分離技術が成熟している[6,7]。反応性の高いカリウムの分離技術が確立されていることは特筆すべきことであり、この分離技術を他の分野に応用することで、カリウム資源の有効利用の可能性が今後さらに広がると考えられる。

3.4　工業分野

化学工業に入ってきたカリウム資源（合計236kt-K）のうち、69kt-Kは工業製品に利用されている。これらの具体的な用途としては、金メッキの前処理、産業用洗剤、医薬品、食品添加物などが考えられる[8]。今後は、どの製品の生産でどれだけのカリウム資源が消費され、また再利用されることなく廃棄されているのかに関する定量的なデータを作成することで、カリウム資源の有効利用に向けたさらなる提案ができると考えている。

4.　おわりに

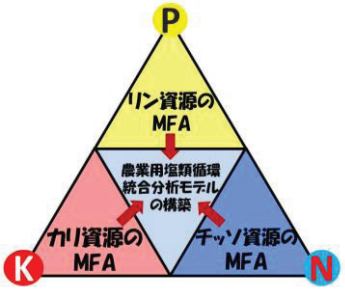


図４　統合分析モデルイメージ図

本研究では、カリウムのマテリアルフロー分析、およびカリウム資源の有効利用の提案を行うだけではなく、最終的には農業用塩類循環統合分析モデルの構築（図4）を目指しており、このモデルを用いて分析することで、肥料三大要素全てを網羅したバランスの良い提案が可能になると考えている。統合分析モデルの作成にあたり、カリウム、リン、窒素、肥料三大要素全てのマテリアルフロー分析を行い、それぞれの元素フローと産業連関モデルとを連結することで、サプライチェーンを通じた資源フロー解析を行う予定である。本研究グループでは、既にリン資源のマテリアルフロー分析は完了[5]しており、カリウム同様、窒素に関しても現在、研究を進めている。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費[K2404]、JST-RISTEX の支援を受けております。

参考文献

1）　Abelson, P.H：Science , 283（5410）,（1999）, pp.2015-2015

2）財務省：“財務省貿易統計”, <http://www.customs.go.jp/toukei/info/>,（2013-1-9）

3) USGS：”Mineral Commodity Summaries 2012 Available Online”, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>,（2013-1-9）

4）藤冨慎一，黒柳直彦：福岡県農業総合試験場研究報告,（28）,（2009）, pp.23-28

5）　Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T., Nagasaka T. : Chemosphere , 84（6）,（2011）, pp.767-772

6）（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構：“未利用資源からのリン、カリウムの省エネルギー型回収技術開発の先導調査”,（2009）

7）中村朋道，田村典敏，前川修一，鈴木貴彦：太平洋セメント研究報告，（153），（2007）, pp.49-56

8）大木道則ほか，”化学大辞典”, 東京化学同人，東京，（1989）

農作物消費に伴うリン資源の国際フロー解析

International material flow analysis of phosphorus related to agricultural product consumption

○森村武史*[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、稲葉陸太[2)]、南斉規介[2)]、長坂徹也[1)]
Takeshi Morimura, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Rokuta Inaba, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) 国立環境研究所
*fy11039@kankyo.tohoku.ac.jp

1. はじめに

我々は日々の生活でほぼ毎日何らかの食料を消費しているが、その食料の生産に深くかかわっている資源がリンである。リンは植物の生長に必須の元素であり、窒素、カリウムとともに肥料の三大要素に数えられている。植物、もしくは食物連鎖により動物の体内に吸収されたリンは、遺伝情報を司るDNAやRNA、もしくはエネルギーの保存や利用に関与するATPの構成要素として、また、動物の体内では骨の構成要素として存在している。

現在世界中のほとんどの農地では、食料の増産を図るためにリンを肥料として土壌中に投入している。そのため、全世界でのリンの需要の約90%は農業用途となっている[1)]。近年世界の人口は急激な増加傾向にあり、それに伴う食料の増産に対応するためリンの需要も2050年までに50~100%増加するといわれている[2)]。

しかしながら、リンの安定的な供給にはいくつかの問題点が存在する。その一つが、リン鉱石の偏在性により生じるものである。リン鉱石の鉱床を持つ国は、中国、アメリカ、モロッコなど限られており、リンの供給についてはこれらの国に依存する部分が大きい。例えば、中国やアメリカではリン資源の確保のためにそれら商品のあからさまな輸出制限が見受けられ、その影響によりリン資源の値段は近年上昇傾向にある。これは各国のリンの供給量がその国の経済力に大きく依存することを意味し、現に世界一のリン鉱石輸出国であるモロッコが位置するアフリカ大陸が世界一食糧の不足する大陸となっているという状況が生じている[2)]。

このような背景から、持続的なリン資源の安定供給のためには、世界規模でのリン資源の消費構造を明らかにし、その消費に関する責任の所在、そしてリン資源の消費に影響を与える要素について考察を行うことが求められる。本研究ではこれらについてバーチャルリンという指標を用い分析を行った。

2. 方法

2.1 バーチャルリンについて

バーチャルリンは、食料を輸入している国において、仮にその輸入食料の生産工程をすべて自国内で行うとしたらどの程度の水が必要かを推定したバーチャルウォーターの概念から着想を得ており[3)]、この推定の対象を水からリンに切り替えたものである。リンは食料の製造段階において歩留り落ちが大きい物質であるため、各商品のリンの実質消費量であるバーチャルリンを分析に用いることにより、各国のリンの実質消費量、そして各商品がリン消費に与える影響の度合いなどを明らかにすることができる。

2.2 設定条件

本研究において、対象国は国際貿易統計BACI[4)]に準拠した231ヶ国、対象年は2005年とした。また、対象商品についてはHSコード（世界的に統一された国際貿易商品の名称及び分類を示すコード番号）の分類から農作物を中心に抽出した。大まかな商品群を表1に示した。

表１　対象とする大まかな商品群

バイオマス系（256商品）	①食料系（穀類、肉・酪農品、水産物等）②飼料系③木材系（木材、木炭、木製品等）④その他の食用作物系⑤非食用作物系（タバコ等）⑥畜産系（家畜）⑦バイオマス含有商品（皮革製品等）
非バイオマス系（30商品）	①リン鉱石②黄リン③肥料系④工業系（五酸化二リン、リン酸等）

2.3 推計方法

まず①式を用い、各商品に随伴し貿易されるリン量を推計した。

$$P_{i,j} = T_{i,j}(1-W_i)C_i \qquad ①$$

この式で、P_{ij}は商品iについてj国への（からの）リンの移動量、T_{ij}はj国の商品iの移動量（j国への輸入量またはj国からの輸出量、国際貿易統計BACIより算出）、W_i、C_iは商品iの含水率とリン含有率（ともに日本食品標準成分表[5)]等より算出）を示している。その後、②式を用いることでバーチャルリンの移動量を推計した。

$$V_{i,j} = \prod_k P_{i,j} / Y_{i,k} \qquad ②$$

この式で、V_{ij}は商品iについてj国への（からの）バーチャルリン移動量、$Y_{i,k}$は商品iの製造工程kでのリンの歩留まり率を示している（各商品に関する統計などから算出）。

また、各国のリン消費量を式③のように定義した。

$$GPC = GPP + GPI - GPE \qquad ③$$

この式で、GPCは各国のリン消費量、GPPは国内生産量、

GPI は輸入量、GPE は輸出量を示しており、すべての項はリン量で表されている。GPP は各国の一次生産品（農作物や木材、鉱石など）の生産量にリン含有率を乗じることで推計した。GPI、GPE に①式もしくは②式で得られた値を用いることで、各国のリンの直接消費量（各商品中に含まれ直接消費されるリン量）とバーチャルリン消費量を推計した。

3. 結果

3.1 各商品のリンの歩留まり

まず、各商品のリンの歩留まりがどの程度の規模なのかを図 1 に示した。ここで、リンの歩留まりは各商品の単位量あたりリン含有量をバーチャルリン量で除することにより算出した。図から、どの商品もリンの歩留まり落ちがかなり大きいことがわかる。各商品を比較すると、食肉やビール、たばこなどの嗜好品の歩留まりは穀物の五割程度となっている。これはつまり、食糧の生産量のみではなく、人々の食品の選択もリンの消費量を変化させる重要な要素であることを示している。

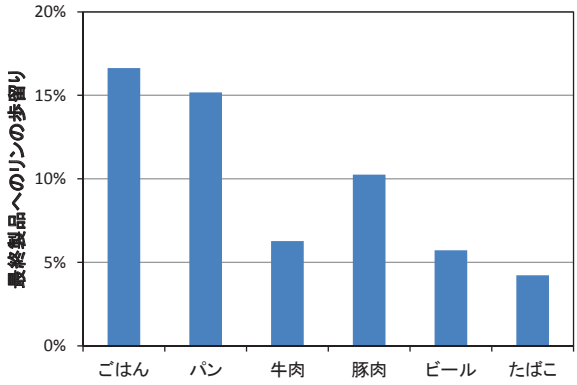


図 1　各商品のリンの歩留まり

3.2 各国のリン消費量の比較

図 2、図 3 に各国のリンの一人あたりの直接消費量、バーチャルリン消費量を示した。直接消費量ではオーストラリアや北米、南米の一部の国が大きい値を示していることがわかる。一方バーチャルリン消費量を見てみると、日本やヨーロッパの国々の値が大きい値を示しており、逆にブラジルやアルゼンチンなどでは消費量は小さくなっている。また、アフリカ大陸の多くの国はとても小さい値を示している。モロッコやチュニジアといったリン鉱石の産出がある一部の国では、どちらの図でも大きい値を示している。

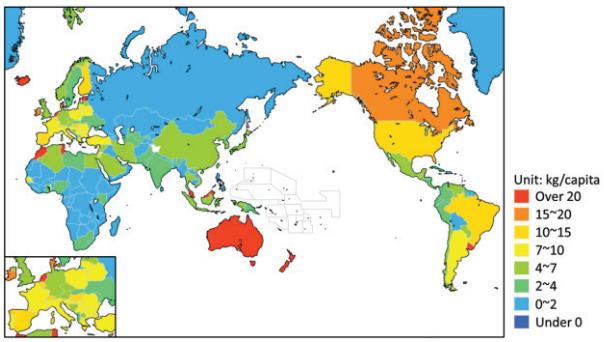


図 2　各国のリンの直接消費量

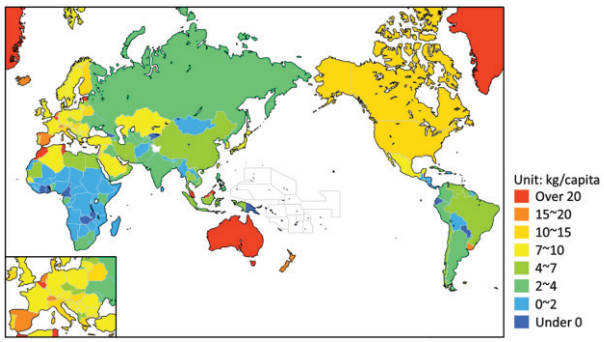


図 3　各国のバーチャルリン消費量

4. おわりに

各国のバーチャルリン消費量を比較することにより、やはりリン消費に関しては先進国の責任が大きいことがわかった。しかしながら、リンの施肥量の削減の余地やリサイクルのポテンシャルが大きいのは、直接消費量が大きい国であるといえる。

また、中国やインドなど人口が多く経済発展の著しい国が先進国と同じような消費構造に近づくと、リンの消費量はさらに増大するものと予想され、世界全体での持続的なリン資源保全が求められる。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費[K2404]、科研費挑戦的萌芽(24651035)、JST-RISTEX の支援を受けております。

参考文献

1) Smil V.: Annu. Rev. Energy Eviron., 25, (2000), pp.53-88
2) Cordell D., Drangert J. O., White S.: Global Environmental Change, 19, (2009), pp. 292-305
3) Hoekstra A. Y., Hung P. Q.: Global Environmental Change, 15, (2005), pp. 45-56
4) CEPII:"BACI(Base pour l'Analyse du Commerce International)", （オンライン）, 入手先<http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/baci.htm>, (参照 2012-1-3)
5) 文科省: "五訂増補日本食品標準成分表", （オンライン）, 入手先 <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm>, (参照 2012-1-3)

宮代町バイオマス発電可能性の評価

Evaluation of Miyashiro-cho biomass electric power possibility

○小島直之※1)、林継 2) 、甲斐正也 1)、八木田浩史 2)
Naoyuki Kojima, Rin Kei, Masaya Kai, Hiroshi Yagita
1) 日本工業大学大学院, 2) 日本工業大学
※kojikoji600402@yahoo.co.jp

1. はじめに

埼玉県においては盛んな生産活動や消費活動から多量に排出される食品残さや、畜産、農林業から発生する、家畜排せつ物、稲わら、林地残材など種々のバイオマス資源が存在している 1) 。平成 21 年「埼玉県農山村バイオマスの利活用推進計画」を策定し、農山村バイオマス利活用の総合的なかつ効果的な推進を行われている。

久喜宮代衛生組合の調べでは管内から排出されるごみの多くは家庭系ごみであり家庭系ごみの燃やせるごみの中で「生ゴミ」は高い比率を占めている。

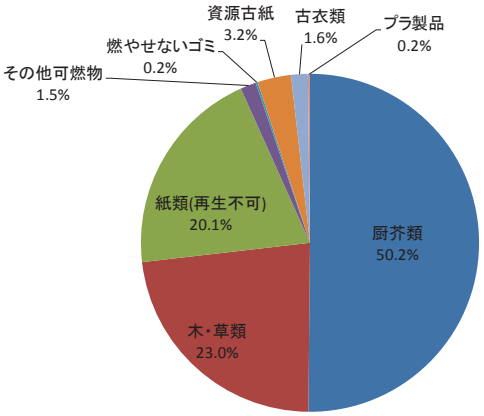


図 1. 燃やせるゴミの組成

2. 研究目的

本研究では埼玉県宮代町の家庭や学校、飲食店などから出る生ごみを収集し、メタン発行処理により得られたバイオガスをガス発電に利用した場合の導入効果について検討を行う。

3. 研究方法

シナリオとしてメタン発酵処理温度を常温、中温高温の 3 つを想定した時のコスト、エネルギー回収量について検討を行う。

今回のシナリオ設定では、バイオガス発生装置を仮定し、売り電、処理料金などによる収入、初期投資額、年間経費など経済性から導入可能かを検討する。また二酸化炭素削減量効果、原油換算での削減量効果の検討も行う。

4. 研究結果

4. 1. 生ごみの存在量と発電所のシステムの仮定

久喜宮代衛生組合のゴミ処理状況によると平成 22 年の宮代町では生ごみの量は 3,084t であり、バイオマス技術ハンドブック(以下、ガイドブックとする)より表 1 のような仮想のバイオマス発電所を設定した 2)。バイオガスはおおむね 100-200m3/t-wet 程度発生するといわれており、ここではガス発生量を 150m3/t-wet とする。生ゴミ投入量は 3,084t/年より年間バイオガス発生量は 462,600m3/年となる。ガイドブックにより発熱量を 20MJ/m3 とすると、バイオガス発生量は 9,252,000MJ/年となる。この結果から投入量に対して 20～30%の電力と 40～60%程度の熱回収が可能である。ここでは発電率 25%、熱回収率 50%として推計する。今回はメタン発酵システムへ発電電力 80%、回収した熱の 50%を使用すると設定する。余剰分の電力と熱は外部に販売する。

表 1. 仮想のバイオマス発電所のシステム

年間稼働日数	300	日
ゴミ処理量	3,000	t/年
ガス生成量	450,000	m^3/年
バイオガス組成（CH_4, CO_2）	65, 35	%
発電機効率	25	%

4. 2. 年間販売可能な電力と外部供給可能熱量

式 1、式 2 により推計した年間の発電量と年間の熱回収量を示す。

年間発電量＝年間バイオマス投入量×発電率/換算係数

=9,252,000MJ/年×25%÷3.6MJ/kWh=642,500 kWh/年 (式 1)

年間熱回収量

=年間熱回収量×50%=462,600MJ/年×50%=231,300MJ/年 (式 2)

式 3、式 4 により外部に販売可能な電力と熱の外部供給可能量を示す。

販売可能な電力＝年間発電量×(1～80%)

=642,500kWh/年×(1-80%)=128,500kWh/年 (式 3)

熱の外部供給可能量＝年間熱回収量×50%

=462,600MJ/年×50%=231,300MJ/年 (式 4)

一世帯の電力使用量を 3,650 kWh/年とすると 35 世帯

分に相当する。固定価格買取制度よりバイオマス発電の販売価格は 40.95 円/kWh なので[3]、電力会社への販売金額は 527 万円となる。余剰熱は灯油店頭価格を参考に 1.7 円/MJ とし[4]、全量販売で約 40 万円の収入がある。

4.3. 初期投資額と年間経費

初期投資額はバイオマス化システムの種類や仕様によって大きく異なるため、一概なデータを示すことはできない。

本研究ではバイオマス導入ガイドブックより

初期投資費（万円）

＝2,583.3 ×10(t/日)+29,502＝55,335 万円 （式 5）

年間経費として、バイオマスエネルギー導入ガイドブックよって収入(売電収入、熱販売収入、厨芥処理収入)と支出(ユーティリティ費、メンテナンス費、人件費など）が想定される。

厨芥処理収入：ガイドブックを参考にし、3 万円/ｔとした。

収入(万円)＝売り電+熱販売+厨芥処理収入

＝526+40+9000＝9,566 万円 （式 6）

支出の場合としては

ユーティリティ費：5,000 円/ｔより 1,500 万円/年となる。

メンテナンス費：初期投資額の 2%を見込むと 1,107 万円となる。

人件費：人数は 3 名を想定し、一人あたりの経費を 500 万円/人とすると、1,500 万円となるが、シルバー人材等の活用により、人件費削減は可能である。

一般管理費：人件費の 10%を想定すると、150 万円となる。

支払金利：補助金以外の建設費で金利 2%借り入れるものと仮定した時の返金額は 1,106.7 万円となる。

支出(万円)＝ユーティリティ費+メンテナンス費+人件費+一般管理費+支払金利

＝1500+1,106.7+1,500+150+1,106.7=5,363.4（式 7）

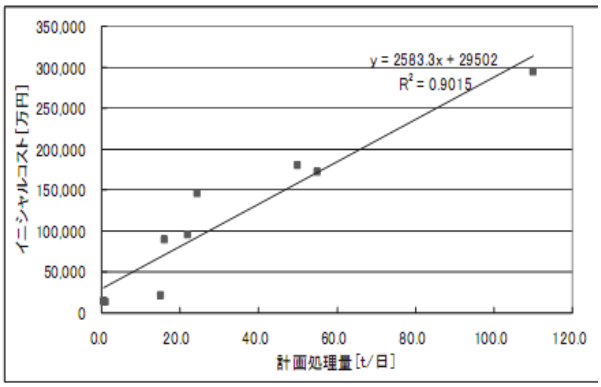


図 1. 処理量と建設費の関係[4]

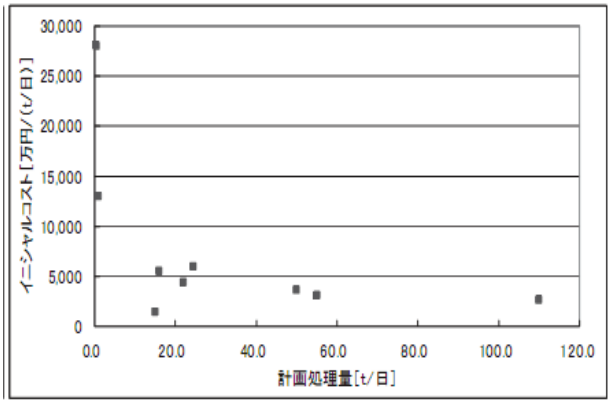


図 2. 処理量と建設費の関係[4]

4.4. CO2 削減量効果と原油の削減量

発電に拠る二酸化炭素排出量は 1kWh あたり 704g 二酸化炭素[4]、原油換算表よって 1000kWh あたり 0.257kl 原油。バイオガスを燃料に発電して利用する分を温室効果ガス削減効果としてみた場合の二酸化炭素削減を算出した。

CO2 削減量効果

＝642,500 kWh/年×704g/ kWh＝452.32t- CO2/年

（式 8）

原油の削減量

＝0.257Kl/千 kWh×642.5 千 kWh/年＝165Kl/年

（式 9）

5. まとめ

(1)補助率 50%の場合は初期投資額を回収するまでに 7 年かかる、補助率 0%の場合初期投資額を回収するまでに 15 年かかることが分かる。中小発電所の構造物全体としての法定耐用年数は 15～20 年を想定して、十分な採算性がある。

(2)法定耐用年間の発電量により約 6780～9040t の二酸化炭素排出を削減したことになる。

(3) 施設の設置にあたっては、事業実施の効果、周辺環境などを評価し、地域とのコミュニケーションを十分に行う必要がある。

参考文献

１）埼玉県農山村バイオマス利活用推進計画

２）竹生修己：バイオマス技術ハンドブック　オーム社　平成 20 年　10 月 25 日　pp.438-448

３）固定価格買取制度(2012-7-26)

４）バイオマスエネルギー導入カイトブック第３版（2012-6-25）

紫波町における地域活性化をめざしたバイオマス利用の事例研究

A Case Study of Biomass Utilization for the Local Revitalization in Shiwa Town

○稲葉陸太*[1)]、伊藤幸男[2)]、栗島英明[3)]、松橋啓介[1)]
Rokuta INABA, Sachio ITO, Hideaki KURISHIMA, Keisuke MATSUHASHI
1) 国立環境研究所, 2) 岩手大学, 3)芝浦工業大学
*inaba.rokuta@nies.go.jp

1. はじめに

紫波町は、岩手県の中央西寄りに位置し（図 1 参照）、人口は約 34,000 人である。東西に長く東は北上高地、西は奥羽山脈であり、中央には北上川が南北に流れている。東北自動車道、国道 4 号などの幹線道路のほか、JR 東北新幹線および東北本線などの幹線鉄道が縦断しており、交通は非常に発達している。同町は、盛岡市に隣接したベッドタウンの性格と同時に、北上川流域における農村地域の性格も兼ね備えている。同町の土地利用[1)]では、山林が占める割合が 35%と大きく、次いで田と畑が各々19%と 6%、宅地と原野が各々4%と 2%、その他が 34%となっている。一方、産業別就業人口[2)]では、農業が卸売・小売業、飲食店と共に上位を占めるが、林業は極めて少ない（図 2 参照、0%となっているが就業者数は 13 人）。

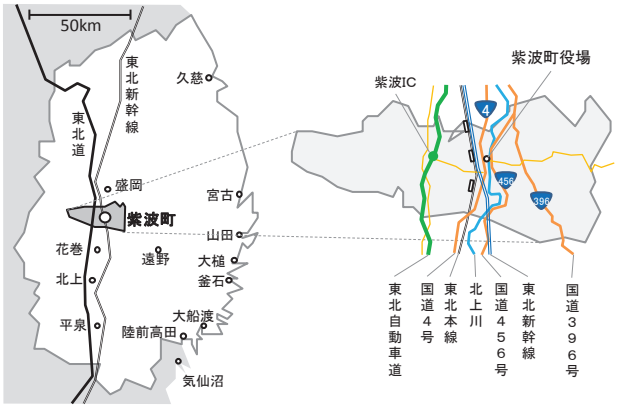


図 1 紫波町の位置と交通

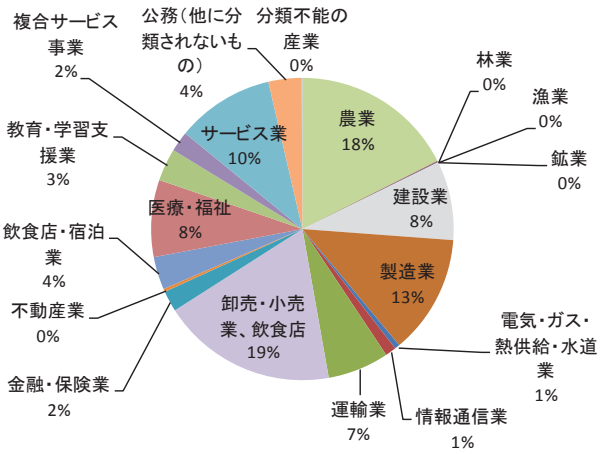


図 2 紫波町の産業別就業人口（15 歳以上）

同町では、2000 年から「循環型まちづくり」として、廃棄物の削減と再生利用、バイオマス等の地域資源の活用、環境教育などを推進してきた[3,4)]。その一環として、町産材のマテリアル利用（公共施設での建材利用）、製材残材や林地残材のエネルギー利用（チップ化・ペレット化とボイラー・ストーブでの利用）などの木質バイオマス利用にも取り組んでいる。同取り組みは、先に言及した林業の再興も視野に入れている。

本研究では、同町を事例として、現状のバイオマス利用の物質フローを把握し、木質バイオマス利用と地域活性化の関係を考察する。さらに、地域活性をより向上させうる木質バイオマス利用のフローを検討する。

2. 方法

まず、紫波町でのバイオマス利用や新エネルギー開発に関する各種計画[3,4)]の情報を収集し、同町内での各種バイオマスの利用に関連する物質フローを整理する。つぎに、それらのデータを踏まえ、著者らがこれまで検討してきたバイオマス利用と地域活性化の関係性[5)]も考慮しながら、同町をより活性化させるようなバイオマスの利用形態を検討する。

3. 結果

紫波町が策定した「紫波町バイオマス活用推進計画」[4)]に示された各種バイオマスの賦存量や仕向量などの情報を整理した結果を図 3 と図 4 に示す。

図 3 は同町における各種バイオマスの賦存量を重量の割合で示した結果である（合計 14,727t／年、平成 22 年実績）。内訳は稲わらが 33%と最大で、次が牛ふんの 31%である。豚や鶏と合わせると家畜ふん尿が約半分を占める。

ここで、図 4 に示す各種バイオマスの利用率では、家畜ふん尿はいずれも 100%で、町の施設や自家で堆肥化され、農地還元されている。下水汚泥の利用率も 100%で、コンポスト化の後園芸肥料として利用されている。一方、賦存量が最大の稲わらは利用率では 30%程度（平成 22 年度実績）とさらなる利用の余地がある。

図 4 に示した平成 22 年実績（青）の利用率では、林地残材が最も低くて 10%に満たず、各種食品廃棄物や稲わらも 30%前後と低くなっており、さらなる利用の余地が

ある。前述のバイオマス活用推進計画での平成33年目標（赤）においても、H22 年実績で利用率が低かったバイオマスについてより高い目標値が示されている。
木質バイオマスについては、製材残材はH22年実績でも100%近い高水準であり H33 年目標では 80%となっている。一方、林地残材はH22年実績が極めて低く、H33年目標では約 50%と飛躍的な水準が計画されている。これを実現するためには、経済と社会の両面において持続的な仕組みを構築することが必要である。

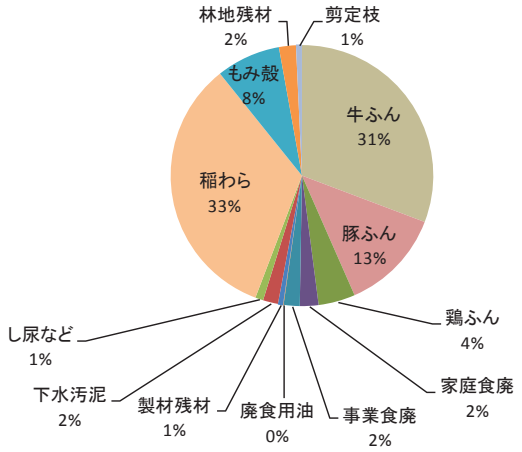


図3 紫波町での各種バイオマスの賦存量

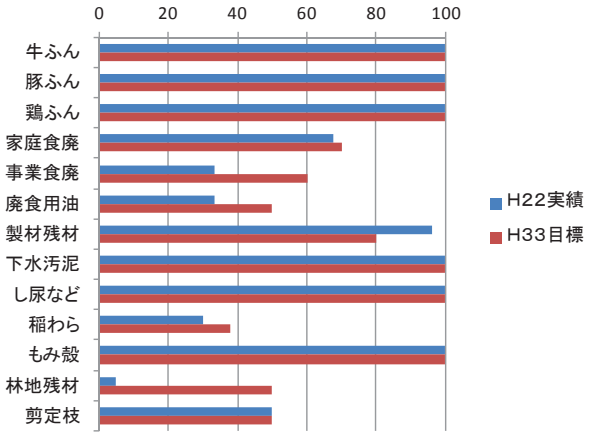


図4 バイオマス種類別の利用率

ここで、特に木質バイオマスに着目して、まず、利用フローの現状を把握した（図5）。課題としては、木質ペレットの供給能力や需要量の小ささ、チップボイラー導入の必要性、設備費の高さ、資金的仕組み作りの方法、原料の安定供給、などがある。これらの課題に対し、施設人員の交代制による稼働率および供給能力の向上、林地残材の回収による原料供給量の安定化、新施設でのチップボイラー設置などによる需要量の向上などの施策を検討した。また、ボイラー施設の導入を負担し、リースや熱を販売する公社の設立も検討した。紫波町では「環境エネルギー普及（株）」が該当する。以上の各種対策をまとめた全体像を図6に示す。

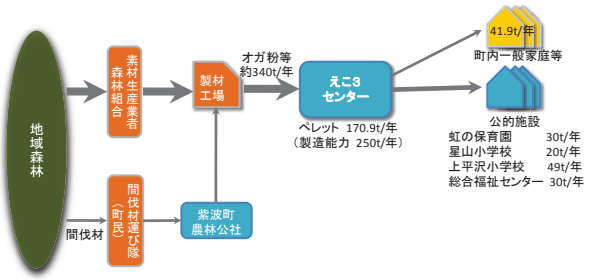


図5 紫波町の木質バイオマス利用フロー（現状）

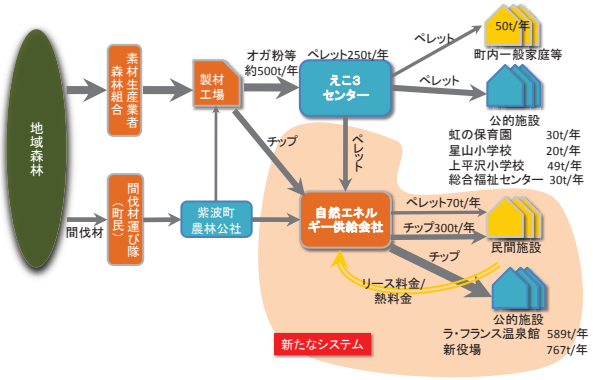


図6 紫波町の木質バイオマス利用フロー（将来）

4. おわりに

紫波町におけるバイオマスの状況は、賦存量では家畜ふん尿と稲わらが多く、各々全体の約1/2と約1/3を占めている。利用率では家畜ふん尿や下水汚泥は100%、食品廃棄物や稲わらは約30%前後、林地残材は10%に満たない。木質バイオマス利用の持続性を検討した結果、ペレットの需給規模と設備費用が課題と分かり、それらの対策を検討し、全体像を提示した。なお、本研究は環境省の環境研究総合推進費補助金「地域活性化をめざしたバイオマス利用技術戦略の立案手法の構築(課題番号K2370)」の一環として実施した。ここに謝意を述べる。

参考文献

1) 岩手県: 平成22年度 岩手県統計年鑑, (2010)
2) 総務省統計局: 平成17年度 国勢調査, (2005)
3) 紫波町: 平成22年度 地域新エネルギー・省エネルギー策定等事業 紫波町地域新エネルギー重点ビジョン報告書, (2011)
4) 紫波町: 紫波町バイオマス活用推進計画, (2012)
5) 稲葉陸太, 松橋啓介, 柚山義人, 岡本誠一郎, 内田勉, 伊藤幸男, 栗島英明: 平成23年度環境研究総合推進費補助金 研究事業 研究報告書 地域活性化をめざしたバイオマス利用技術戦略の立案手法の構築, (2011), pp.43-51

バイオマス利活用による地域の社会的活性化に関する研究(その 2):
バイオマス利活用、ソーシャル・キャピタル、地域活性化の関連分析

A Study of Social Revitalization for a Region by Biomass Utilization (Part 2): The Analysis of Relationship Between Biomass Utilization and Social Capital and Regional Revitalization

○栗島英明*[1)]、稲葉陸太[2)]、松橋啓介[2)]、柚山義人[3)]、内田 勉[4)]、伊藤幸男[5)]
Hideaki Kurishima, Rokuta Inaba, Keisuke Matsuhashi, Yoshito Yuyama, Tsutomu Uchida, Sachio Ito
1)芝浦工業大学, 2)国立環境研究所, 3)農業・食品産業技術総合研究機構, 4)土木研究所, 5)岩手大学
*kurikuri@sic.shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

「バイオマス・ニッポン総合戦略」では、農林漁業・農山漁村の活性化が期待されている一方で、総務省による「バイオマスの利活用に関する政策評価書」においては、政策効果の定量的な把握が十分でないとされ、とりわけ地域活性化の側面の定量的な分析が不足していることが指摘されている。

こうした流れを受け、報告者らは、従来明確にされていないバイオマス利活用による地域活性化の効果を調査・研究してきた。

本報告では、前報[1)]に引き続き、バイオマス利活用による地域活性化のうち、社会的側面の活性化を取り上げる。具体的には前回提案した指標と測定方法に基づいて調査したソーシャル・キャピタル(SC)とバイオマス利活用、地域活性化の関連分析を報告する。

2. 研究方法

2.1. SC と地域活性化、バイオマス利活用について

SC は「人々の協調行動を活発にすることによって、社会の効率性を高めることができる『信頼』『規範』『ネットワーク』といった社会的仕組みの特徴」[2)]とされており、端的に言えば、社会における人々の信頼関係や人間関係と言える。従来研究では、社会における効率性を高め、地域の失業率や医療費の低下、安全の向上などに影響し、人々の幸福度や地域の活性化につながるとされてきた[3)]。

一方、地域資源であるバイオマスの利活用は様々なステークホルダーが関与するために、地域の信頼関係や人間関係に影響され、その一方で新たな信頼関係や人間関係の構築にもたらすことが考えられる。つまり、SC を測定し、地域活性化やバイオマス利活用との関連を明示することが、バイオマス利活用による地域の社会的活性化への寄与度を見る指標となりうる。

2.2. SC の指標

SC の測定は、基本的にアンケートなどの社会調査を通じて行われている。しかし、こうした個人に対する調査から地域全体の SC の状態を示すことは難しい。例えば内閣府[4)]の調査では、「近所とのつきあいの程度」「近所でつきあっている人の数」「一般的な人への信頼」「地縁的な活動への参加状況」などを調査し、その単純平均値を算出して地域の指標にしているが、これでは地域の SC の測定をしているとはいえない。Lin[5)]などは、集団レベルの SC を評価するためにはネットワークの全体構造を把握する必要があると説く。しかし、それには集団を構成する個人への全数調査が必要で、かつ調査は面接法となるため、大人数の調査にはなじまない。

そこで、本研究では SC を地域の指標として定量化することは断念し、個人レベルの特性として測定した。つまり、個人データを地域レベルで集計したり、平均値を取るのではなく、バイオマス利活用が個人の SC にどう影響し、個人の SC が地域活性化にどう影響するのか、という因果構造を見ることとした。

個人の SC を測る手法として、従来の指標に加えて、Resource generator method(RGM)[6)]も同時に用いた。これは、チェックリストを用いて回答者がアクセスできる資源の種類を測定するものである。具体的には、30 程度の他者に協力を依頼するような項目を用意し、その協力を得られる知り合いの存在や関係性について質問を行う。表 1 に今回使用した項目の一部を示した。

表１　RGM の調査項目（一部抜粋）

	有無		ご関係					
そのようなお知り合いがいる場合は「はい」に○、いない場合は「いいえ」に○を付けてください	いいえ	はい	家族	親族	友人（交際相手含む）	地域の知人	職場の同僚	地域以外の知人
ア．故障した自転車や自動車の修理してもらう								
イ．自宅の電気工事や配管工事をしてもらう								
ウ．外国語の通訳や翻訳をしてもらう								
エ．パソコントラブルの解決をしてもらう								
オ．園芸に関する相談にのってもらう								
カ．様々な法律や規制、制度に関する相談にのってもらう								
キ．行政に対する依頼の仲介をしてもらう								
ク．地元のメディア(テレビ局・ラジオ局、新聞社、出版社など)への仲介をしてもらう								
ケ．自分や家族の就職先のあっせんをしてもらう								
コ．自分や家族を臨時に雇ってもらう								
サ．健康についての相談にのってもらう								
シ．お金に関するトラブルについての相談にのってもらう								
ス．職場でのトラブルについての相談にのってもらう								
セ．大きな荷物を車やトラックなどで運んでもらう								
ソ．障子や壁紙の張替え、畳の交換などをしてもらう								
タ．2～3 千円程度のお金を貸してもらう								
チ．20～30 万円程度のお金を貸してもらう								

「はい」に○をつけた方は、そのかたの「関係」に該当するものに○を付けてください

2.3. 分析手法

以上に加え、バイオマス利活用への関与度、バイオマス事業に関するSCの変動、地域への愛着や定住意思などについての設問も調査票に加えた。測定したこれらのデータから仮説的な因果構造モデルを作成し、共分散構造分析を用いて、モデルの適合度と因果の度合いを評価した。

調査は、千葉県香取市(農業系)、岩手県紫波町(木質系)、北海道標茶町(下水汚泥)、福岡県大木町(廃棄物系)を対象地域として、2012年1～2月にかけて実施した。

3. 分析結果

3.1. バイオマス利活用と個人のSC

香取市、紫波町、標茶町の調査では、扱うバイオマスの性質上、事業関与者が極めて少なく、調査サンプルにほとんど含まれなかった。そのため、バイオマス利活用とSCとの関係を統計的に証明することはできなかった。ただし、事業関係者への面接調査では、事業を通じて新たなネットワークが築かれていることは確認された。

一方、生ごみのバイオガス化を行う大木町では、生ごみ分別という形で全ての住民が事業に関与しており、約17%が事業を通じて知り合いが増えたと回答しており、RGMでもアクセスできる資源が増えたと回答された。

3.2. 個人のSCと地域活性化

図1に紫波町の個人のSCと地域活性化の指標との関連モデルを示した。共分散構造分析によるモデル適合度は高く、個人のSCが地域への愛着を高め、地域への定住意思や満足度を高めることが示された。また、個人のSCは同時に個人の幸福度も高める結果となった。香取市や標茶町についてもほぼ同様の結果となった。

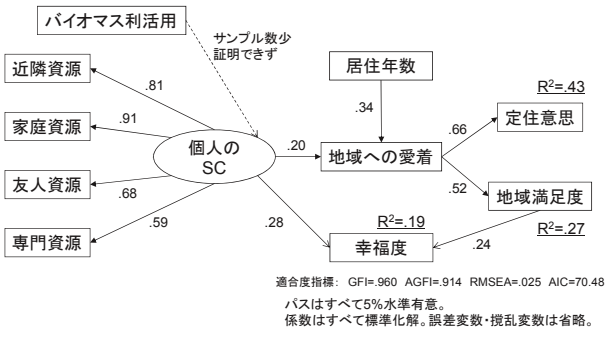


図1 個人のSCと地域活性化との関連モデル（紫波町）

なお、大木町については、他の3市町と異なる指標や方法で調査をしているため、次項でその詳細を示す。

3.3. バイオマス利活用は地域の社会的活性化に寄与するか？（大木町の事例）

図2に大木町の、バイオマス利活用による地域内の知り合いの増加数、個人のSC、地域の満足度や定住意思との関連モデルを示した。共分散構造分析によるモデル適合度は高いため、妥当なモデルといえる。調査指標が他の3市町と異なるため、因果モデルはやや異なっているが、バイオマス利活用に伴う地域内の知り合い増加が個人のSC、とりわけ地域内における資源アクセスを増やし、それが地域の満足度に影響すること、知り合い増加は直接的に地域への満足度を向上させるということが示唆された。

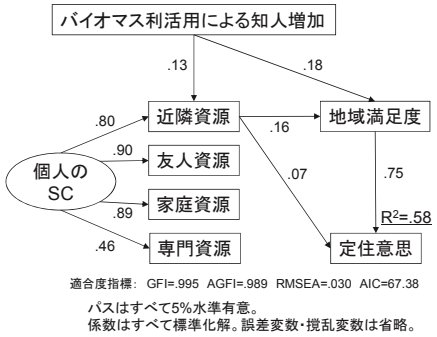


図2 バイオマス利活用と地域活性化との関連モデル（大木町）

4. おわりに

本研究では、バイオマス利活用と地域活性化との関係をSCという視点から分析した。香取市、紫波町、標茶町の分析結果からは、通常のバイオマス利活用では、関与者が少ないために直ちに個人のSCの向上にはつながらないものの、個人のSCの向上が地域の活性化につながることが示された。また、大木町の結果からは、事業に住民を巻き込み、関与者を増やすことで、地域の社会的活性化をもたらすことが示唆された。以上より、バイオマス利活用が地域の社会的活性化につながるか否かは、いかに地域住民など多くの人を巻き込むことができるかが重要であるといえる。

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費(K2370)「地域活性化をめざしたバイオマス利用技術戦略の立案手法の構築」の一部として行われています。

5. 参考文献

1)栗島英明ほか:第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2012), pp.302-303.

2) Putnam, R. D. "*Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*", Princeton University Press, (1993).

3)稲葉陽二ほか編："ソーシャル・キャピタルのフロンティアーその到達点と可能性", ミネルヴァ書房, (2011)

4)内閣府国民生活局："ソーシャル・キャピタル：豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて", (2003).

5)Lin, N., "*Social Capital: A Theory of Social Structure and Action*", Cambridge University Press, (2001).

6)Webber, M. P. & Huxley, P.J., Social Science & Medicine, 65-3, (2007), pp481-492.

サブスタンスフロー解析による紙ごみ中の $^{14}C/^{12}C$ 比率推定

Estimation of $^{14}C/^{12}C$ Ratio in Waste Paper by Substance Flow Analysis

○平井康宏*[1)]、瀬田寿一郎[1)]、藤本祐希[1)]、酒井伸一[1)]
Yasuhiro Hirai, Juichiro Seta; Yuki Fujimoto; Shinichi Sakai
1) 京都大学
*hirai@eprc.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

低炭素社会と循環型社会の実現のために、プラスチックごみの分別リサイクルなど廃棄物分野で温室効果ガス削減の取り組みがなされている。これらの効果を定量的に把握するためには、ごみ焼却炉から排出される化石由来 CO_2 と生物由来 CO_2 の割合を算出する必要がある。その方法として、化石由来炭素は ^{14}C を含まず、生物由来炭素は成長した時期の大気中 ^{14}C を吸収していることを利用して、炭素中の ^{14}C 比率からバイオマス炭素比率を推定する方法が米国および欧州で規格化されている[1,2)]。これらの規格では生物由来炭素中の ^{14}C を現代の大気中 ^{14}C に等しいとしており、1950 年代に始まった大気核実験による一時的な ^{14}C 濃度の上昇（図 1）を考慮していない。資源作物であるトウモロコシ・サトウキビなど短寿命バイオマスへの適用には問題ないが、木材などの長寿命バイオマスへ適用する際には補正が必要である[3)]。筆者らは、これまでに、大気核実験中に成長した樹木を使用していると考えられる建築廃木材を対象に ^{14}C 比率を推定してきた[4)]。本稿では、古紙リサイクルによる資源循環ループを持つ紙・板紙を対象として ^{14}C 比率を推定した。

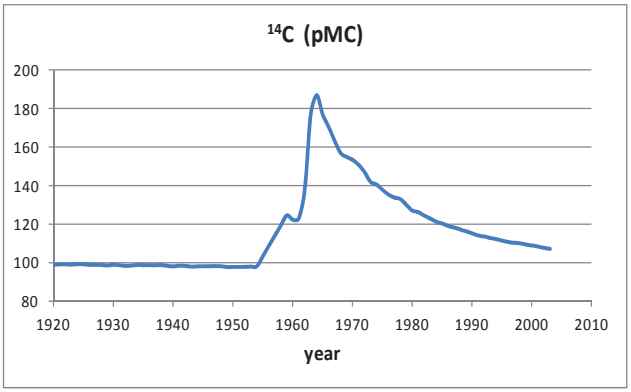


図１：大気中の ^{14}C 比率(pMC)の経年変化[5)]

2. 方法

2.1. バイオマス炭素比率

^{14}C 比率の表示には、pMC（percent Modern Carbon）が用いられることが多い。これは、標準試料(standard)に対する検体試料(sample)の $^{14}C/^{12}C$ の相対比率で表され、式(1)で定義される。

$$pMC_{sample} = \frac{{}^{14}C_{sample}/{}^{12}C_{sample}}{{}^{14}C_{standard}/{}^{12}C_{standard}} \times 100 \qquad (1)$$

排ガスの ^{14}C 比率 pMC(検体物質)と、燃やされた廃棄物中に含まれる生物由来廃棄物の ^{14}C 比率 pMC(バイオマス)を用いて、バイオマス炭素比率は、式(2)により求められる。これにより、排出される CO_2 の中には化石由来と生物由来がどの程度の割合で存在しているのかを把握することができる。

$$\text{バイオマス炭素比率} = pMC_{sample} / pMC_{biomass} \qquad (2)$$

2.2. 樹木伐採時の pMC 推定

パルプ原料木材中の ^{14}C 比率を算出する際には、樹木の成長の経年変化と樹木の種類、伐採時樹齢、伐採年を把握しなければならない。そこで、植林後 t 年経過時点での単位面積あたり材積 V(t) [m^3/ha] を求めるために、式(3)で示される Chapman-Richards の樹木成長関数[6)] を用いた。成長関数のパラメータ(A, τ, t_0, m)は、木材の成長の経年変化をする下収穫表[7)] のデータを用いて推定した。輸入材については、代表的な樹種を対象に推定した。

$$V(t) = A\left(1 - \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau}\right)\right)^m \qquad (3)$$

生育開始年をt_1、伐採年をt_2とすると樹木の生育期間は$(t_1 \sim t_2)$であり、t 年における樹木の年間の成長率 $dV(t-t_1)/dt$ と、大気中の ^{14}C 比率 $pMC_A(t)$ の値から、式(4)により、樹木伐採時の ^{14}C 比率 pMC_{bio} が求まる。

$$pMC_{bio}(t_1, t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} pMC_A(t)\frac{dV(t-t_1)}{dt}dt}{V(t_2 - t_1)} \qquad (4)$$

2.3. パルプ中 pMC 推移の設定

パルプ原料木材の伐採時樹齢は 10 年から 50 年の範囲で一様分布すると仮定し、前節で求めた伐採時 pMC の値から、パルプ中 pMC 推移を推定した。推定対象期間は、大気核実験の影響が生じる 1955 年を始点とし、2010 年までとした。パルプ原料木材の輸入についても考慮し、輸入相手国別に求めた pMC を輸入割合で加重平均した。

2.4.　紙・板紙のフローモデル

山田ら [8] が木材パルプの平均使用回数解析で用いたモデルを参考に、紙・板紙中の ^{14}C のサブスタンスフローモデルを作成した。紙・板紙の原料は、国産木材、輸入木材、古紙（紙由来）、古紙（板紙由来）の４種類とし、これらから紙および板紙の２種類の製品が作られるとした。投入原料の比率は、古紙再生促進センターの推計値に基づき、紙および板紙のそれぞれについて各年別に設定した。ただし、推定値の得られなかった 1970 年以前については 1970 年の値を代用した。また、紙および板紙が生産されてから、古紙として原料利用されるまでのタイムラグは一律に１年間とした。紙および板紙中の pMC 値は、それぞれの原料の pMC 値を炭素量基準で加重平均した値とした。

3.　結果

3.1.　樹木伐採時 pMC

図２は、伐採年・伐採時樹齢別の樹木伐採時 ^{14}C 比率の算出結果である。この図から、核実験前に伐採された樹木の ^{14}C 比率は、樹齢に関係なく一定の値となっている。一方核実験後、特に核実験期に成長率が高い時期を迎えていた樹木の ^{14}C 比率はかなり高くなっている。

3.2.　パルプ・紙・板紙の pMC 推移

図３にパルプ・紙・板紙中の pMC 推移を示した。2010 年においては、紙の pMC は 110.2、板紙の pMC は 113.1 と推定された。パルプと紙の pMC 推移はほぼ同じであった。板紙は、パルプや紙に比べると、pMC の変化よりも応答が遅く、1955 年から 1975 年にかけての pMC 上昇フェーズではパルプ・紙よりも板紙の pMC が低く、1975 年以降の pMC 下降フェーズでは、パルプ・板紙よりも pMC が高い。これらの振る舞いは、紙の古紙利用割合は板紙に比べて低く、利用する古紙も紙由来の古紙がほとんどであるのに対し、板紙の古紙利用割合は高いことを反映していると解釈できる。

4.　おわりに

本研究では、紙・板紙の資源循環過程をモデル化することにより、14C のサブスタンスフローを推定し、パルプと紙の pMC は値が近く、現時点においては板紙の pMC が紙の pMC よりも高いと推測されるとの知見を得た。今後は、廃材のパルプ原料投入の考慮や紙・板紙種類の細分化などによるモデルの精緻化や、パルプ用木材の樹齢分布の設定等に関する感度解析を実施する予定である。

謝辞

本研究は、環境研究総合研究推進費「K123016 炭素同位体分析による化石由来二酸化炭素排出量の高精度推定手法の開発と適用」の支援を受けました。

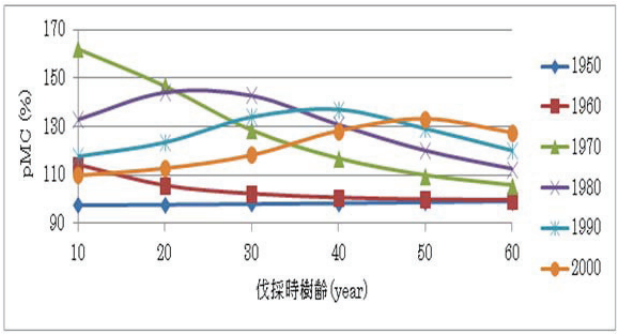


図２：伐採年・伐採時樹齢別の樹木伐採時 ^{14}C 比率（pMC）

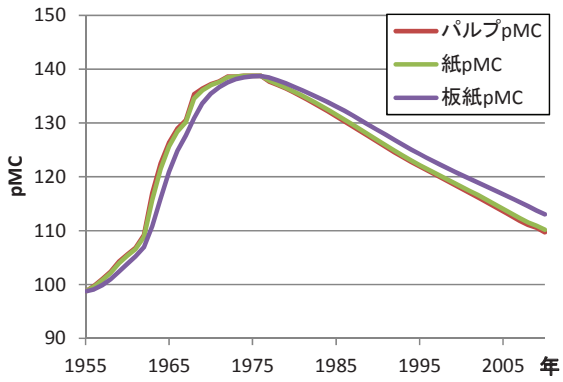


図３：パルプ・紙・板紙中の pMC 推移。パルプと紙の数値は近くグラフがほぼ重なっている。

参考文献

1) ASTM D6866:2012 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis.
2) EN 15440:2011 Solid recovered fuels – Methods for the determination of biomass content.
3) Fellner J, Rechberger H.: Waste Management, 29(5), (2009), pp.1495-1503.
4) 瀬田 寿一郎; 平井 康宏: 酒井 伸一: 第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, (2012) pp.101-102
5) Levin I, Kromer B.: Radiocarbon, 46(3), (2004), pp.1261-1272
6) Pienaar LV, Turnbull KJ.: Forest Science. 19(1), (1973), pp.2-22.
7) 林野庁 森林・林業白書. 2009
8) 山田 宏之, 松野 泰也, 醍醐 市朗, 足立 芳寛: 廃棄物学会論文誌, 17(5), (2006), pp. 313-321

LCA を通じた壁紙業界の CO_2 継続的削減活動

CO_2 continuous reduction activity of wall coverings industry through LCA

○松井隆博*1)、齋藤英史2)、二川原淳志3)、中村昇一4)、森 保5)、坂井広志6)、鳥海臣吾7)
山下洋一1)、山口博司8)、伊坪徳宏8)
T.Matsui, H.Saito, A.Nigawara, S.Nakamura, T.Mori, H.Sakai, S.Toriumi, Y.Yamashita , H.Yamaguchi and N.Itsubo
1) 日本壁装協会、2) ウェーブロックインテリア、3) 竹野、4)富双合成、5)サンゲツ、6)池袋松屋
7)トッパン・コスモ、8)東京都市大学
*ta-matsui@wacoa.jp

1.はじめに

日本壁装協会では塩化ビニル樹脂系壁紙のライフサイクル CO_2 排出量について、2007 年 11 月から大学と連携し LCA 研究会を設立、壁紙の LCA に取り組んでいる。会員企業からデータ収集を行い、各社の CO_2 排出量を算定すると共に、業界平均値を算出し、その結果を会員企業へ報告し CO_2 の見える化を行い問題点の把握と改善を促した。2009 年からはこのように壁紙業界の CO_2 排出量継続的改善を行うシステムを構築して、CO_2 排出量 6%の削減を実現した。

2.方法

2.1 評価対象と機能単位

本研究は標準的な塩化ビニル樹脂系壁紙評価対象とする。機能単位は壁を装飾する 1 ㎡の壁紙とする。



製造方法
コーティング法：塩ビペーストを裏打紙に塗工し熱風乾燥させゲル化させ、グラビア印刷、発泡エンボス加工を施す。

図１　標準的な塩化ビニル樹脂系壁紙

2.2 システム境界

システム境界は図 2 に示す。素材から焼却までを評価範囲とした。また使用段階における CO_2 の発生はないものとした。焼却は焼却時に素材由来から発生する CO_2 を計上し、リサイクルは評価に含めていない。

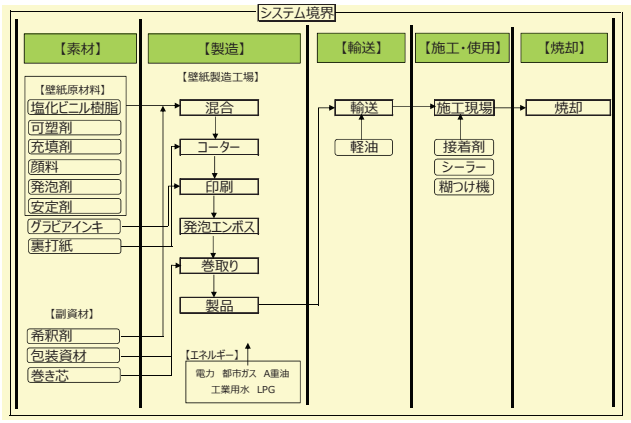


図２　システム境界

3.データの収集方法

日本壁装協会会員の塩化ビニル樹脂系壁紙製造企業 6 社から 1 次データを収集した。これを 2009 年からの 3 年間、各社のライフサイクル CO_2 排出量を算定し、これより業界平均値を求めた。尚、計算に用いた原単位は「7. 参考文献」記載の文献に基づき LCA 研究会で選定、作成した。

4.CO_2 排出量の報告と CO_2 削減の促進

各社の CO_2 排出量結果については企業個別に報告書を作成し結果を返すことで、CO_2 の見える化を行った。すなわち業界平均値との比較、工程・原材料別の CO_2 排出量、前年度排出量との比較等を示すことにより、問題点を明らかにし企業の CO_2 削減努力を促した。報告書は 2010 年、2011 年と継続して作成している。尚、図 3 は報告書の一部抜粋、結果は例を示す。

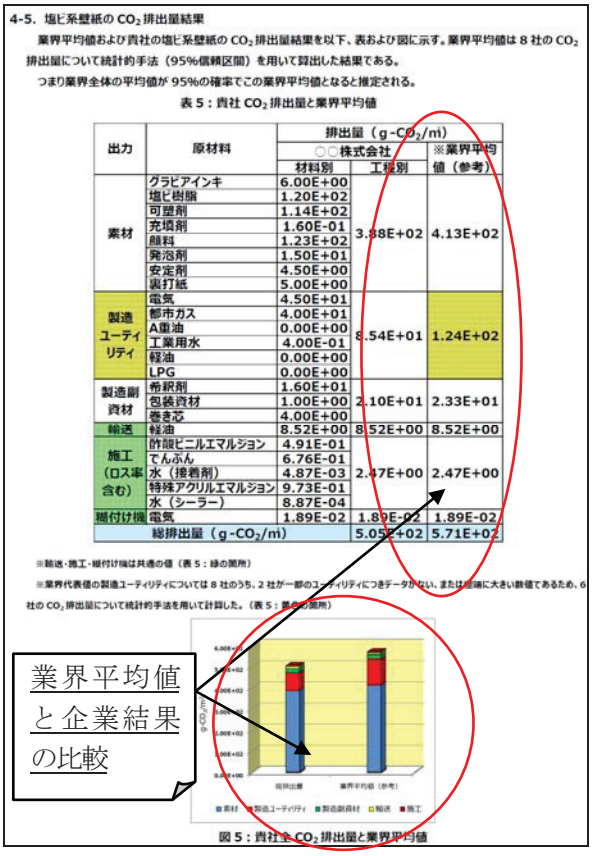


図３　企業への CO_2 排出量結果報告書

5.結果

5.1　3年間の CO_2 業界平均値

CO_2 の業界平均値は2009年で930g-CO_2/m²の排出量であったが、継続的改善システムの運用と企業の削減努力によって2011年では876g-CO_2/m²まで削減され、2009年からの3年間で約6%の CO_2 排出削減に成功した。

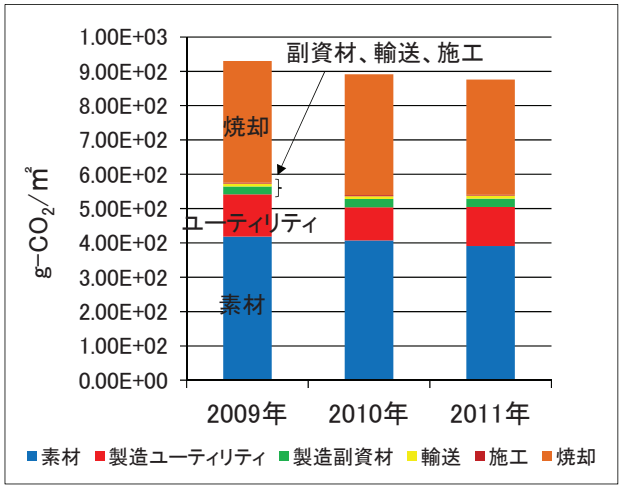


図４　3年間の CO_2 業界平均値

5.2 企業における CO_2 削減活動

CO_2 排出量削減について素材の配合量を変更した事例を紹介する。図5より CO_2 排出量の多いものは、「塩ビ樹脂」、「可塑剤」、「顔料」であることがわかった。

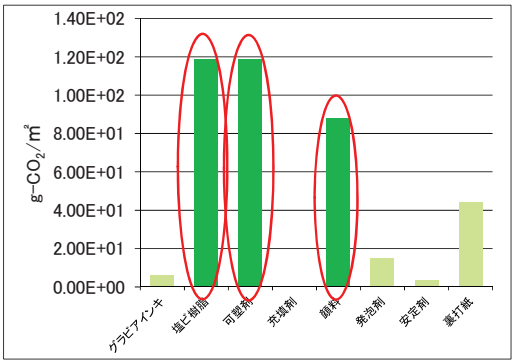


図５　素材別の CO_2 排出量（2011年業界平均）

これに注目し、壁紙製造時に「塩ビ樹脂」、「可塑剤」、「顔料」の配合量を減らし、CO_2 排出の寄与度が少ない充填剤の量を増やした。これを図6に示す。尚、数値は一例である。

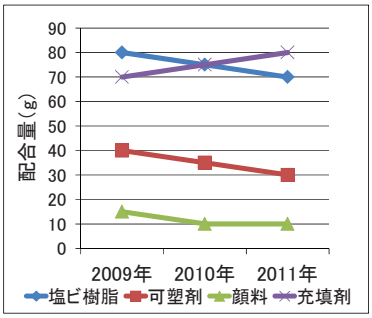


図６　壁紙製造時の素材配合量変更

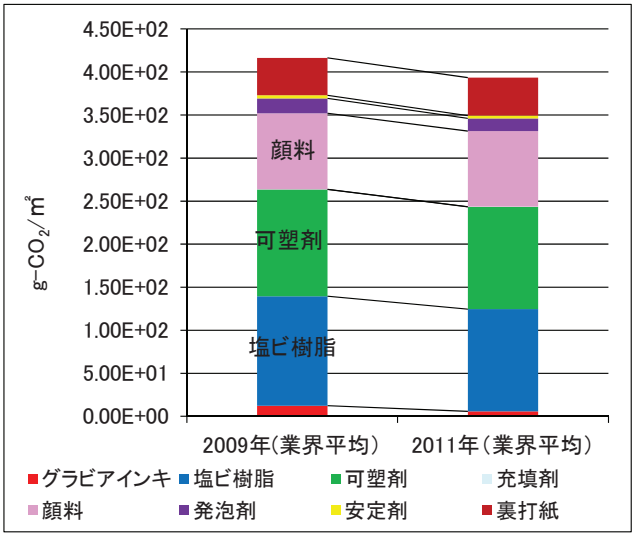


図７　素材配合量変更による CO_2 排出量の変化

素材の配合量変更によって、2009年に416g-CO_2/m²排出量が2011年には393g-CO_2/m²まで削減することができた。

そのほか、各企業において工程改善や新設備導入等により CO_2 排出削減を継続して実施している。

6.まとめ

日本壁装協会では会員企業からのデータ収集とLCA評価を行い、その結果を会員企業にフィードバックして問題点の継続的改善を図るシステムを運用中である。これにより、素材の配合量変更、工程改善等をおこなった結果、塩化ビニル樹脂系壁紙1m²のライフサイクルにおける CO_2 排出量について、2009年からの3年間で、CO_2 業界平均値を約6%排出削減に成功した。

工程別で素材および焼却の CO_2 排出量が多い点は、今後の削減のポイントと思われる。

今後は壁紙業界でリサイクルに向けた取り組みに努め、更なるライフサイクル CO_2 低減を目指す。これらの研究成果は会員企業、建築業界、社会等へ発信していくことを目標に今後も継続して研究活動を行っていく。

7.参考文献

1) LCA 日本フォーラム: “JLCA-LCA データベース 2008年度2版”

2) JEMAI-LCA Pro:社団法人産業環境管理協会

3) 南齋規介,森口祐一：“産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）”,独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター,(2000)

竣工から 26～50 年経過したコンクリート造建築物の二酸化炭素固定に関する示差熱重量分析

Thermogravimetry of Carbon Dioxide Absorption in Concrete Buildings Aged 26-50 Years

○神田太朗*[1)]、角湯克典[1)]

Taro Kanda, Katsunori Kadoyu

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所

*do-kan@nilim.go.jp

1. はじめに

コンクリートは、炭酸化と呼ばれる以下の反応により構造物の供用期間をとおして大気中の二酸化炭素(CO_2)を固定する[1)]。

$$Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O \cdots\cdots(1)$$

$$(CaO)_3(SiO_2)_2(H_2O)_3+3CO_2 \rightarrow 3CaCO_3+2SiO_2+3H_2O \cdots\cdots(2)$$

健全なコンクリート構造物で現に生じている炭酸化をCO_2の吸収作用と捉え、その効果をコンクリート構造物のCO_2排出量の評価において見込むことは適切であると思われる。ただし、鉄筋コンクリート構造物の炭酸化は主要な劣化機構の一つであり、その促進は決して推奨されるものではないことに留意が必要である。炭酸化をCO_2の吸収作用として捉えた知見はこれまで少なく、コンクリート構造物の供用中のCO_2固定量は明らかでない。本調査は、供用中のCO_2固定量の推計に向けた基礎的な知見を得るため、実建築物から採取したコンクリート試験体について、炭酸化の進行状況を調査したものである。

2. 調査方法

2.1 調査の着眼と仮説

表-1 に示す諸条件が炭酸化の進行に影響を及ぼすと言われている。実構造物は、千差万別のこれら諸条件が複合的に作用しているため、各条件がCO_2固定量に及ぼす影響を分析的に紐解くには膨大な調査が必要となり、現実的でない。また、炭酸化に関する既往の調査研究は耐久性の観点からなされたものがほとんどである。これらは鉄筋腐食の主要因である pH の低下に着目することから、CO_2固定量を直接測定した事例は少ない。

とはいえ、pH が一定以上低下した範囲を表す中性化深さ等の耐久性の指標は、CO_2固定量と密接な関係を示すものと予想される。なぜなら、通常のコンクリートの初期の pH はほぼ一定であり、また、pH を低下させる主要因は式(1)、(2)に示した炭酸化であるためである。

中性化深さの試験方法は JIS で規格化され、コンクリート構造物の調査研究で広く活用されている。その蓄積は豊富で、コンクリート構造物に関する諸条件をパラメータとする中性化深さの予測式[2)]が 1960～80 年代までに複数提案されるほどにある。

本調査では、上述の認識、着眼より、「中性化深さとCO_2固定量には一定程度の関係性がある」、「この関係性を前提に、中性化深さ試験の蓄積を活用することで、コンクリート構造物のCO_2固定量を諸条件に基づき推計する手法を作成できる」との仮説を立て、中性化深さや pH についても測定し、CO_2固定量との関係を整理した。

2.2 試験体の採取及び実験の概要

試験体は、解体直前の東京都内のコンクリート構造物 4 棟の計 20 箇所からコアドリルにより採取した(試験体の諸元は**表 S1** を参照)。試験体は、ラッピングフィルムとビニール袋で密封し、試験直前まで大気と非接触の状態で保管した。実験項目及び方法を**表-2** に示す。CO_2固定量は、示差熱重量分析により、加熱時の脱炭酸量として直接測定した。

3. 結果

3.1 諸条件による二酸化炭素固定量の分類

炭酸化に及ぼす影響が大きい条件のうち、仕上げ材の有無及び種類、大まかな環境条件が本調査を元に設定可

表-1　炭酸化に影響する諸条件　参考文献1, 2)を元に作成

区分	条件　※**太字**は影響大とされるもの
材料	セメント、骨材、混和材料等の種類
配合	**水セメント比**、細骨材率、スランプ、空気量、単位セメント量
品質	**施工程度**(打込み、ひびわれ、コールドジョイント、締固め不足、等)
設計	**仕上げ材の有無**及び**種類**
環境	**環境条件**(気温、湿度、CO_2濃度、等)

表-2　実験項目及び方法

項目	方法
配合(単位容積質量、不溶残分、CaO、結合水量)	セメント協会 F-18[3)]
中性化深さ	JIS A 1152
示差熱重量分析[4)]	窒素雰囲気、 450-500°C：$Ca(OH)_2$ の脱水、 600-1000°C：$CaCO_3$ の脱炭酸
pH	JIS Z 8802

能であった。温度、湿度、CO_2 濃度の詳細な環境条件は不明であるものの、屋内壁や屋外壁といった部材の概略的な区分は、これらの環境条件を総合的に反映していると思われる。壁部材(12 検体)の CO_2 固定量についてこれらによる分類を試みた結果が**図-1** であり、仕上げと環境条件による分類が有効である可能性が示唆された。また、きわめておおざっぱには壁部材の CO_2 固定量は 5kg-CO_2/m^2 前後と考えてよさそうである。**図-1** の結果は仕上げモルタルによる固定量を含めていない。仕上げモルタルの試験数は少ない(5 検体)ものの、15～35mm のモルタル層の固定量は、1.0～3.3kg-CO_2/m^2 で、両面に仕上げを施されたコンクリート部と同程度であった。また、厚いモルタル層ほど CO_2 固定量も大きい傾向がみられた。

3.2 炭酸化の関連指標と二酸化炭素固定量の関係

CO_2固定のコア表面からの深さ分布の典型例を**図-2**に、中性化深さと CO_2 固定量の関係を**図-3** に、それぞれ示す。**図-2** の左図は発色領域の境界がはっきりしている場合、右図は鮮明な赤紫色に発色した部分より浅い部分にうす赤紫色の部分が現れ、境界があいまいな場合である。うす赤紫色の領域は無色の領域と赤紫色の領域の中程度の CO_2 を固定している。中性化深さは赤紫色の部分までの距離として測定されるものであることから、CO_2 固定量と中性化深さの関係はうす赤紫色の領域の広がりによって変わることが予想される。**図-3** より、発色の境界が明確な場合は中性化深さと CO_2 固定量はおおむね比例し、発色の境界があいまいな場合はうす赤紫色の領域が広いほど比例式からの乖離が大きい傾向がうかがえる。うす赤紫色の領域の影響を考慮することで、中性化深さから CO_2 固定量を換算することが可能であると考えられる。

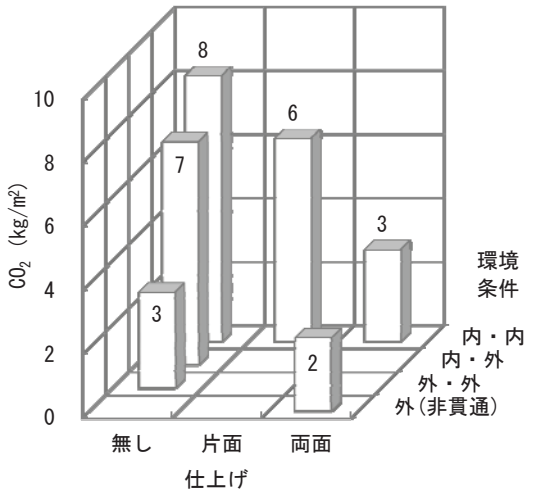


図-1　諸条件に応じたCO_2固定量の分類例(壁部材)

*条件区分は以下のとおり。　【仕上げ】無し：両面がプレーン、又はクロス・吹付け等の軽い仕上げ、片面：片面がモルタル・タイル等の重い仕上げでもう片面が軽い仕上げ、両面：両面が重い仕上げ(非貫通の面は重い仕上げに分類)、【環境条件】内：屋内、外：屋外

4.　おわりに

本調査より、壁部材の CO_2 固定量は仕上げと環境条件により分類できる可能性が示唆されるとともに、中性化深さと CO_2 固定量の間にある程度の関係性が見いだされた。これらの結果は本調査の仮説を支持しているといえる。今後は、中性化深さと CO_2 固定量の関係について考察を深めるとともに、既往の経験式や数値計算による最新の知見も援用しつつ、過去の中性化深さ試験の結果及びその際の画像データを元に、コンクリート構造物の諸条件と中性化深さの関係の明確化を検討し、これをとおして CO_2 固定量の推計手法の作成を目指す方針である。

参考文献

1) セメント協会：”C＆C エンサイクロペディア”、セメント協会、東京、(1996)、p.195-197
2) 喜多達夫:”コンクリート構造物の耐久性シリーズ　中性化”、技報堂出版、東京、(1986)、p.21, 34-39
3) セメント協会:”コンクリート専門委員会報告 F-18　硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告”、セメント協会、東京、(1967)、p.1-24
4) 小林一輔:”コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法”、森北出版、東京、(1998)、p.95-103

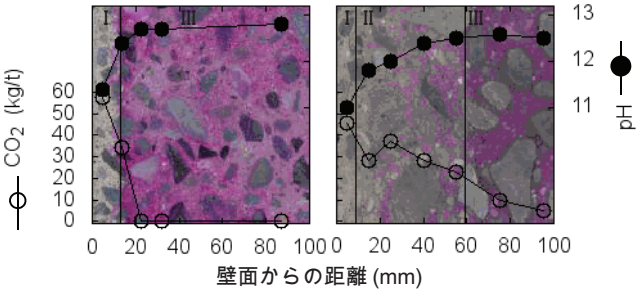


図-2　CO_2固定の深さ分布の典型例

*左図：発色領域の境界がはっきりしている場合、右図：赤紫色に発色した部分より浅い部分にうす赤紫色の部分が現れる場合

**I～IIIは指示薬の発色状況による領域で区分は以下のとおり。 I：無色、II：うす赤紫色、III：赤紫色

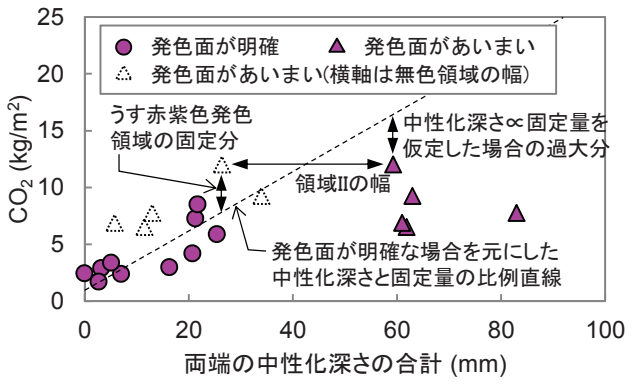


図-3　中性化深さと CO_2 固定量の関係

参考情報(Supporting Information)

表 S1　試験体の諸元

建物番号	用途	構造	供用年数	部材番号	部材	寸法 (cm)	抜取り状況	端部接触	空間用途	仕上げ
1	ホテル	SRC 造 12 階	26 年	A	スラブ	φ10×18	貫通	屋内	客室	クロス
								屋内	客室	プレーン
				B	壁	φ10×14	貫通	屋内	客室	プレーン
								屋外	廊下	吹付け
				C	壁	φ10×12	貫通	屋内	客室	壁紙
								屋内	客室	壁紙
				D	梁	φ10×23	非貫通	屋内	客室	プレーン
								(鉄板)	-	-
				E	スラブ	φ10×20	貫通	屋外	階段	プレーン
								屋外	基礎	プレーン
2	集合住宅	RC 造 5 階	33 年	A	スラブ	φ10×13	貫通	屋内	洋室	プレーン
								屋外	基礎	プレーン
				B	壁	φ10×16	貫通	屋外	廊下	吹付け
								屋外	廊下	吹付け
				C	壁	φ10×20	貫通	屋内	和室	プレーン
								屋外	宅地	吹付け
				D	梁	φ10×32	貫通	屋内	和室	プレーン
								屋内	台所	モルタル
				E	壁	φ10×10	貫通	屋内	台所	プレーン
								屋内	押入	プレーン
3	集合住宅	SRC 造 10 階	42 年	A	壁	φ10×25	貫通	屋内	廊下	モルタル、壁紙
								屋内	階段	モルタル、吹付け
				B	梁	φ10×24	非貫通	屋外	ﾍﾞﾗﾝﾀﾞ	プレーン
								-	-	-
				C	スラブ	φ10×19	貫通	屋内	居間	コーティング塗布
								屋内	居間	プレーン
				D	壁	φ10×16	貫通	屋内	洋室	プレーン
								屋内	台所	モルタル、タイル
				E	壁	φ10×12	貫通	屋内	浴室	プレーン
								屋内	配管室	プレーン
4	集合住宅	RC 造 9 階	50 年	A	壁	φ10×18	貫通	屋外	廊下	モルタル(二重)、吹付け
								屋外	廊下	モルタル、吹付け
				B	壁	φ10×24	貫通	屋内	浴室	防水シート、モルタル、タイル
								屋外	廊下	モルタル(二重)、吹付け
				C	スラブ	φ10×21	貫通	屋内	洋室	その他、モルタル
								屋内	洋室	モルタル
				D	壁	φ10×9	貫通	屋内	洋室	プレーン
								屋内	洋室	プレーン
				E	壁	φ10×22	非貫通	屋外	ﾍﾞﾗﾝﾀﾞ	モルタル、吹付け
								-	-	-

*寸法は仕上げを含む長さで示す。　**仕上げは試験体採取時に現地で確認できたものであり、供用中の条件は異なる場合がある。

工法選定を目的とした建設コストと CO_2 排出量と施工条件による複合評価

橋梁の杭基礎工事を事例として

Study on Combined Evaluation of Construction Cost, Carbon Dioxide Emission and Process Conditions for Selection of Efficient Construction Method
A Case Study on Pile Foundation Work of Bridge Construction

○大野剛*[1)]、鈴木伸[1)]、藤原靖[1)]
Go OHNO, Shin SUZUKI and Yasushi FUJIWARA
1) 大成建設株式会社
*oongu-00@pub.taisei.co.jp

1. はじめに

建設産業では、資材調達、運搬、施工、廃棄処理で排出される CO_2 排出量が全産業の CO_2 排出量の約18%を占めており[1)]、CO_2 排出量を評価する重要性が認識されている。建築分野では、標準的な評価手法が普及しており、CO_2 排出量を重視した施工事例が存在する。土木分野では、社会資本LCAに関する報告書[2)]から標準的なID（インベントリデータ）は入手できるが、評価手法が整備段階であることや、CO_2 排出量を入札時に反映する仕組みや制度が整っていないことなどから、CO_2 排出量よりも建設コストを優先に工事が行われる傾向がある。

また、施工時の CO_2 排出量の算出に関する留意点として、同一の構造物の施工であっても施工条件により算出値が異なることが挙げられる。特に土木工事では、地盤の硬さ、騒音・振動などへの制約の有無などの施工条件に応じて工法や数量などが決定される。一方、製造時の条件が安定している工場などは、製造時の条件に留意して CO_2 排出量を算出する必要性は少ない。施工時の CO_2 排出量の算出・評価を行っている既往研究[3), 4)]はあるが、施工条件との関係について触れているものは少ない。

本研究は、橋梁の杭基礎工事を事例として、建設コストと CO_2 排出量の関係を施工日数、工事中の騒音・振動の大きさ、杭構築時に発生する排泥量を踏まえて最適な工法を選定する複合評価を実施し、その有効性を示すことを目的とした。

2. 杭基礎工事の建設コストと CO_2 排出量

2.1 評価対象と施工条件

本研究では、橋梁の橋脚構築における杭基礎工事を事例とした（**図１**）。橋脚の規模は、高さが約11.3m、橋の延長方向（橋軸方向）の幅が約3.7m、橋の延長方向と直角の方向（橋軸直角方向）の幅が約11.8mである。杭基礎工事は、専用重機により杭を地盤中に構築し、杭頭部を巻込み鉄筋コンクリート基礎を構築するものである。

施工条件として、環境条件（騒音・振動制限）、周辺条件（空頭制限、施工ヤードの制限、埋設物）、地盤条件を設定した。このうち、環境条件と周辺条件への制約は無いものとした。地盤条件では、杭基礎工事の範囲内の地盤中に礫層が無いものとした。

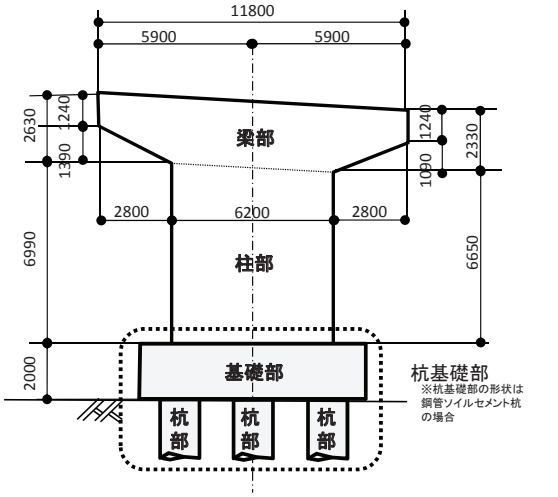


図１　標準側面図

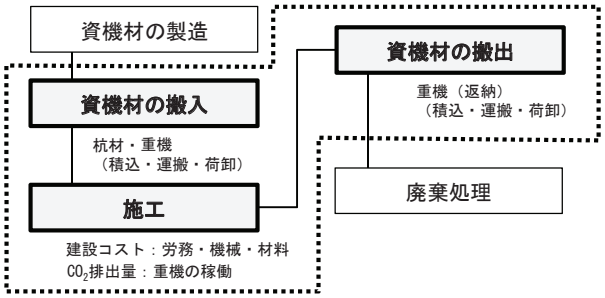


図２　境界条件（杭基礎工）

表１　杭基礎５工法

機種	主な使用重機	杭本数（本）	施工日数（日）	発生する騒音・振動（－）	排泥量（m3）
鋼管ソイルセメント杭工法	鋼管ソイルセメント杭打機（120tクラス，110kw） クローラークレーン（60～65t吊） 他	6	4.2	小	103
回転杭工法	全回転型オールケーシング掘削機（φ2000級） クローラークレーン（100t吊） 他	9	15.3	小	0
中堀杭工法（PHC杭・SC杭）	アースオーガ中堀機（90kw） クローラークレーン（80t吊） 他	12	8.3	小	117
場所打杭工法	揺動式オールケーシング掘削機（φ2000級） クローラークレーン（50～55t吊） 他	12	19.9	小	505
打込み杭工法（鋼管杭）	杭打機（油圧ハンマ）（ラム10.0～12.5t， リーダ21.0～33.0m，45～50t吊） 他	12	4.4	大	0

事例として、杭基礎工法 5 工法を採用した。各工法の杭の仕様、施工日数、騒音・振動の大きさ、排泥量を**表１**に示す。表中の値は、施工条件を踏まえて、標準歩掛[5]や各工法に関する専門資料[6]を参考に決定した。

2.2　境界条件と建設コスト・CO_2排出量の算出方法

本研究では、建設コストと CO_2 排出量の境界条件を**図２**の破線内とした。建設コストのうち、資機材の搬入のコストは、使用する杭材・重機の積込、運搬、荷卸に要するコスト、施工のコストは、杭基礎工事の労務、機械および材料のコスト、資機材の搬出のコストは、重機の返納に要するコストとした。CO_2 排出量は、いずれも、重機の稼働により発生する CO_2 排出量とした。

コストは、標準歩掛り[5]に施工数量と施工単価[7]を乗じて求めた。CO_2 排出量は、重機の燃料消費量[5]に施工数量と燃料の原単位を乗じて求めた。燃料の種類は各重機とも軽油であり、原単位は 2.65kg-CO_2/L[2]とした。

2.3　建設コストおよびCO_2排出量の算出結果

各工法を用いて杭基礎を構築した時の建設コストと CO_2 排出量との関係を**図３**に示す。**図３**は、鋼管ソイルセメント杭工法に対する各工法の建設コストと CO_2 排出量の比率を示している。結果から、5 つの工法を 2 つのグループ（**図３**のＡとＢ）に分類できることを確認した。鋼管ソイルセメント杭工法に比べて、Ａは建設コスト、CO_2 排出量ともに同等であり、Ｂは、建設コストが約 2 倍、CO_2 排出量が約 4 倍である。Ｂの工法は、構築する杭の本数が多く、使用する重機の燃料消費量も多いため、コストおよびCO_2排出量が大きくなっている。

3.　規格化による建設コスト、CO_2 排出量、排泥量、施工日数、および騒音・振動の複合評価

さらに各項目の関係を詳しく評価するため、建設コスト、CO_2 排出量、施工日数、騒音・振動の大きさ、排泥量の各項目を 0～1 に規格化して評価することを試みた。

まず、**表１**の騒音・振動の大きさについて、「大」を 3、「小」を 1 に置換した。次に各項目を[個別の値－最小値] / [最大値－最小値]により 0～1 の範囲でランク付けした。最後にランクをレーダーチャートにプロットした。

結果を**図４**に示す。鋼管ソイルセメント杭工法と中堀杭工法（PHC・SC 杭）は、建設コストと CO_2 排出量だけでなく、他の評価項目の値も比較的小さい工法であることや、打込み杭工法（鋼管杭）は、騒音・振動が大きいがそれ以外の値は小さい工法であること、場所打ち杭工法は、建設コストと CO_2 排出量以外の項目も大きな値であることなどを容易に読み取ることができる。

本研究では、建設コストと CO_2 排出量以外の評価項目が 3 項目であるが、他の評価項目の追加も可能である。本手法は、建設コストと CO_2 排出量の関係を様々な施工条件を踏まえて把握できる有効な手法と考えられる。

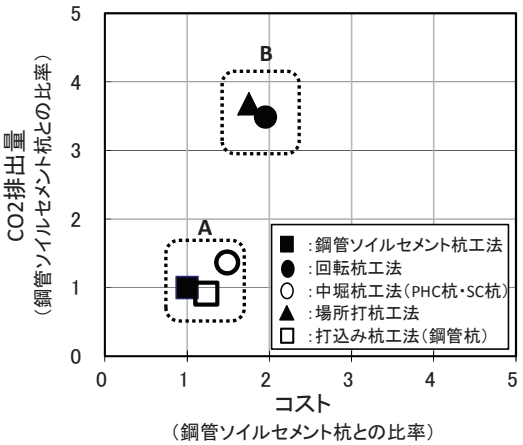


図３　建設コストおよびCO_2排出量（鋼管ソイルセメント杭工法との比率）

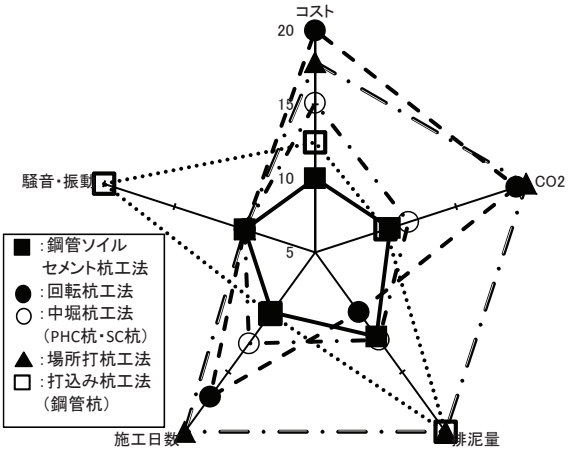


図４　規格化による建設コストおよびCO_2排出量と施工日数、騒音・振動および排泥量の評価

4.　おわりに

橋梁の杭基礎工事を事例に、建設コストと CO_2 排出量の関係について、施工日数、騒音・振動の大きさ、排泥量を踏まえてレーダーチャートで複合評価した。その結果、各項目の関係を容易に把握することができた。

本手法は、工事の設計段階や施工段階において、建設コストのみならず、環境条件や周辺条件などの施工条件を考慮しながら CO_2 排出量の少ない工法を選定するツールとして活用できる可能性がある。

引用文献

1)　建設副産物リサイクル広報推進会議，“低炭素社会実現に向けた LCA の建設産業への導入”，建設リサイクル 2010 秋号，大成出版社，東京都，(2010)，pp4-7
2)　国土交通省国土技術政策総合研究所：“社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発に関する報告”，(2012)
3)　奈良松範：“土木学会第 65 回年次学術講演会”，北海道大学，(2010)，pp167-168
4)　瀧本真理：“第 6 回日本 LCA 学会研究発表会”，東京理科大学，(2011)，pp58-59
5)　日本建設情報総合センター：“平成 23 年度国土交通省土木工事標準積算基準書（共通編）”，(2011)
6)　鹿島建設土木設計本部，“基礎構造物/地中構造物”，鹿島出版社，東京，(1993)，pp2-156
7)　建設物価調査会：“建設物価 2011 年 3 月”，(2011)

建設分野の新技術等による二酸化炭素削減量の供用年数に対する感度分析

Sensitivity Analysis of Carbon Dioxide Emissions Reductions with New Technologies in Construction Field with respect to Service Time

○角湯克典*[1)]、菅林恵太[1)]、神田太朗[1)]、藤田 壮[2)]
Katsunori Kadoyu, Keita Sugabayashi, Taro Kanda, Tsuyoshi Fujita
1) 国土交通省国土技術政策総合研究所
2) 独立行政法人国立環境研究所
* do-kan@nilim.go.jp

1. はじめに

我が国の社会資本は高度経済成長期に建設されたものが多く、高齢化が進んでいる。「社会資本整備重点計画（H24-28）（平成24年8月閣議決定）」では、重点目標の1つに「社会資本の的確な維持管理・更新を行う」ことが記されている。社会資本の効率的な維持管理・更新には長寿命化が有効であり、使用期間全体のコスト（以下、「LCC」という）の削減が期待される。一方、長寿命化によって構造物の解体・更新の頻度も減ることから使用期間全体の二酸化炭素排出量（以下、「$LCCO_2$」という）の削減も推測されるが、これを定量的に評価するためには様々な検討が必要となる。

本研究では、特に土木構造物（道路、ダム、港湾 等）を長寿命化する技術（以下、「長寿命化技術」という）を$LCCO_2$で定量評価する際の課題を抽出した。また、社会資本 LCA[1)]の手法を用いて個別の長寿命化技術に対して$LCCO_2$の計算を実施し、感度分析を行った。

2. 長寿命化技術の概念

本研究で対象とする土木構造物の長寿命化技術は、i) 新設時に施工される構造物の劣化抑制技術、ii) 維持管理時に施工される劣化抑制技術に大別できる（図-1 参照）。

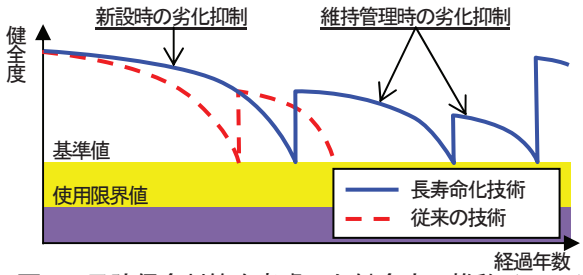


図-1 予防保全対策を考慮した健全度の推移イメージ

新技術情報提供システム（NETIS）では、平成24年10月現在 i)で 107（コンクリート混和剤 等）、ii)で 37（コンクリート改質剤 等）の長寿命化技術が登録されている。

3. $LCCO_2$の評価の考え方

建築保全センター（2005）[2)]では、使用年数の異なる2案をLCCで比較する際には、年等価格（年平均コスト）を用いることとしており、算出式は式(1)のとおりである。

$$C_r = \frac{i\cdot(1+i)^T}{i\cdot(1+i)^T-1}\sum\frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

ここで、C_r：年等価格（年平均コスト） C_t：t年後に発生する費用 i：資本利子 T：検討期間である。

資本利子iとは現在と将来のコストの価値の違いを意味し、現在と将来の価値が同じであると仮定すると、年等価格は式(2)のとおり費用の和を検討期間で除した値となる。

$$\lim_{i\to 0} C_r = \frac{\sum C_t}{T} \quad (2)$$

式(2)のコストを二酸化炭素排出量に置き換え、現在の二酸化炭素排出量と将来の二酸化炭素排出量の価値が同じであると仮定すれば、式(3)が得られる。

$$E_r = \frac{\sum E_t}{T} \quad (3)$$

ここで、E_r：年平均二酸化炭素排出量（以下、「年平均$LCCO_2$」という） E_t：t年後の二酸化炭素排出量である。

年平均$LCCO_2$を用いることで、従来技術と長寿命化技術の定量的な比較評価が可能となる。一方で、土木構造物の年平均$LCCO_2$の算出や技術の比較評価に当たっては、検討期間をどのように設定するかが重要となる。

4. 土木構造物の寿命・使用年数と検討期間の設定

式(3)で年平均$LCCO_2$を算出する際には検討期間Tを設定する必要があり、以下2つの設定方法が考えられる。

①構造物の機能の使用期間
②構造物の物理的寿命（耐用年数）

T としては①を用いる場合、使用期間を設定する必要があるが、$LCCO_2$を検討する段階で将来の使用期間を設定することは困難である。一方で、土木構造物は社会的要請によって建設され、要請がある限り半永久的に使用されるとも考えられる。また、構造物が物理的寿命を迎えた後は同様の構造物が新たに建設されることから、構造物の機能の使用期間が半永久的であり、構造物を耐用年数まで使用すると考えれば、T を②として設定することが可能である。この場合、長寿命化技術が有効となる。

一方、例えば玉越ら（2008）[3]では、橋梁が社会的要因によって耐用年数の前に更新される事例があることを報告している。この場合は①<②となり、構造物の耐用年数が最大限活かされず、長寿命化技術を採用することによって$LCCO_2$が増加することも考えられる。

ここで、土木構造物に関連する新しい施工技術を中心にデータベース化されているNETISに登録されている長寿命化技術について耐用年数を調査した。結果として、LED照明等の一部技術を除いて、大部分はNETISに耐用年数を記載していなかった。これは以下の土木構造物の特徴から、同じ長寿命化技術であっても採用する構造物によって耐用年数が大きく異なるためと推察される。

- 土木構造物は一品生産であり、同じ種類の土木構造物であっても設計・施工条件が異なる。
- 同じ種類の土木構造物であっても供用時の自然条件・使用条件（交通量 等）等が異なる。

5. 長寿命化技術の$LCCO_2$の比較算定例

5.1 アスファルト舗装補修材を対象とした年平均$LCCO_2$

維持更新時に長寿命化技術である補修材を用いたアスファルト舗装の補修（A 案）と従来工法のアスファルト舗装の補修（B 案）を対象に$LCCO_2$の計算を行った。アスファルト舗装の新設・供用・解体廃棄は対象外とした。工事の概要を表-1 に示す。

表-1 工事概要（アスファルト舗装補修）

構造物	アスファルト舗装（補修）
構造物の規模	延長 2,000m　幅員 8.5m　クラック処理 1,000m 補修1回当たりの再生アスファルト混合物1,634t
対象工種	路面切削工、アスファルト舗装補修工、オーバーレイ工、路面補修工、区画線工

計算の結果、補修 1 回当たり A 案は 131t-CO_2、B 案は 115t-CO_2となった。A 案、B 案の年平均$LCCO_2$の計算結果は表-2 のとおり。対象道路は半永久的に社会的需要があるものと仮定し（検討期間=耐用年数）、A 案によって補修の間隔（アスファルト舗装の耐用年数）が 10 年から 12 年に延長されるとした場合、年平均$LCCO_2$はA案の方が少なくなる。ただし、補修間隔が変わらない若しくは11年しか延長されない場合、結果が逆転して年平均$LCCO_2$は長寿命化技術を採用しないB案の方が少なくなる。

表-2 分析結果（A 案の補修間隔の違いによる差異）

A 案の補修間隔 (A 案の検討期間)		12 年	10 年	11 年
年平均 $LCCO_2$	A 案	10.9 t-CO_2/年	13.1 t-CO_2/年	11.9 t-CO_2/年
	B 案	11.5 t-CO_2/年	11.5 t-CO_2/年	11.5 t-CO_2/年

注) B 案の検討期間は全て 10 年。

5.2 コンクリート改質剤を対象とした年平均$LCCO_2$

新設時に長寿命化技術であるコンクリート改質剤を用いた橋台（C 案）と従来工法の橋台（D 案）を対象に$LCCO_2$の計算を行った。供用・解体廃棄は対象外とし、維持管理は実施しないと仮定した。工事の概要を表-3 に示す。

表-3 工事概要（コンクリート橋橋台）

構造物	コンクリート橋の橋台（2 基）
構造物の規模	高さ 6.9m、7.6m　　掘削土量 685m^3 コンクリート 320m^3　　鉄筋 10t
対象工種	橋台工、仮設工、塗装工

計算の結果、C 案は 459t-CO_2、D 案は 387t-CO_2となった。C 案、D 案の年平均$LCCO_2$の計算結果は表-4 のとおり。今回のコンクリート改質剤によって寿命が 50 年から 60 年に延長し、寿命まで使用し続けるとした場合、年平均$LCCO_2$は C 案の方が少なくなる。ただし、橋梁自体が社会的要因によって求められる機能を満足しなくなり、20、40 年しか使用されない場合、結果が逆転して年平均$LCCO_2$は長寿命化技術を採用しないD案の方が少なくなる。

表-4 分析結果（検討期間の違いによる差異）

検討期間		50 or 60 年	20 年	40 年
年平均 $LCCO_2$	C 案	7.6 t-CO_2/年 (検討期間 60 年)	22.9 t-CO_2/年	11.5 t-CO_2/年
	D 案	7.9 t-CO_2/年 (検討期間 50 年)	19.9 t-CO_2/年	9.9 t-CO_2/年

6. まとめ

5.1、5.2 に示したとおり、技術の耐用年数や検討期間が変わることによって、年平均$LCCO_2$が変化することが確認できた。長寿命化技術による$LCCO_2$の削減効果を適切に評価するためには、妥当性が確保できる技術の耐用年数や検討期間の設定方法を定めることが必要となる。

また、以下の課題についても、今後検討を進めることが望まれる。

- 技術進歩の速度を評価にどのように反映するか。
- 将来の不確実性を踏まえて現在及び t 年後の二酸化炭素排出量の価値の違いを評価にどのように反映するか。

参考文献

1) 岸田弘之ら：“ 国総研プロジェクト研究報告第 36 号 社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発”， 国土技術政策総合研究所, 茨城, (2012)，p.436
2) 財団法人建築保全センター：“平成 17 年度 建築物のライフサイクルコスト”，(2005)，pp.4-75
3) 玉越隆史ら：“国総研資料第 444 号 橋梁の架替に関する調査結果（Ⅳ）”， 国土技術政策総合研究所, 茨城, (2005)，p.280

インベントリ分析における評価誤差の算出手法の開発

住宅の資材製造段階を例とした試算

Development of evaluation method for estimation error on inventory analysis

○石田昌平*[1)]、久保村赳夫[1)]、小林謙介[1)]、田原聖隆[2)]、井上隆[1)]
Shohei ISHIDA, Takeo KUBOMURA, Kensuke KOBAYASHI, Kiyotaka TAHARA, Takashi INOUE
1) 東京理科大学, 2) 産業技術総合研究所
*j7112607@ed.tus.ac.jp

1.　研究背景と目的

Scope3や環境フットプリントなど、LCAは以前にも増して社会の様々な場面で広く活用されるようになっている。LCAの更なる普及により、評価ニーズの多様化が予想され、大勢を捉える評価だけではなく、緻密な評価が求められるケースも増えると考えられる。

LCA実施においては、評価者が評価に必要なデータを自ら収集することが原則だが、評価の効率化を図るために、影響の小さい部分はバックグラウンドデータ（原単位）を用いることが一般的である。しかしこの方法では、評価したい投入原材料と原単位の対象範囲が適合しないために誤差を生じさせる可能性があり、緻密な評価を行う際には留意する必要がある。

本検討ではインベントリデータベース IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）[1)] を用いて、投入資材と対象範囲の異なる原単位の利用によって生じる評価結果の誤差の算出手法を構築した。さらに、実住宅に投入される資材の製造段階を例に誤差の定量化を試みた。また、その結果を踏まえ評価結果の解釈における留意点を明らかにした。

2.　適合性による誤差データベースの作成

2.1.　適合性の定義

筆者らはインベントリ分析において、投入原材料と、それに連鎖させる原単位の対象範囲が合致するかどうかを判断する、「適合性」という評価指標を提案してきた[2)]。適合性判断において、適合しているとは、投入原材料と連鎖させる原単位の対象範囲が同一とみなせる場合を指す。なお、コンクリート型枠用パネル（原単位：普通合板）のように投入物の用途や素材により、投入原材料のほうがより細かく限定される場合もあるが、その限定要素が原単位に与える影響が小さいと思われる場合も同一とみなした。一方、不適合とは原単位の投入物のバウンダリが異なっているものや原単位が特定の製品ではなく集合体となっているものの場合である。適合性判断の例を表１に示す。

2.2.　IDEAの構成

IDEAデータベースは、図１のように階層構造状に構築されており、網羅性が担保された約1700の分類に整備されている。また原単位は積み上げ法によって作成されている。本検討では、IDEAで網羅的にデータが整備されているなかで、もっとも分類が細かい詳細分類（分類数約1700項目）の原単位を利用した場合の誤差の分析を行った。

表１　適合性評価例

評価したい投入資材	原単位	適合性
生コンクリート	生コンクリート	○
コンクリート型枠用パネル	普通合板	○
便器・タンク	衛生陶器	×
内装タイル	その他のタイル	×

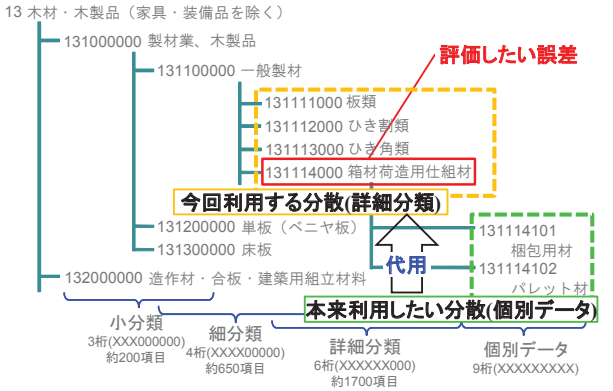


図１　IDEAデータベースの構成

2.3.　IDEAを用いた誤差データベースの作成

詳細分類を利用した場合の誤差データベースの作成においては、本来は詳細分類に内包される個別データの分散をとるべきである。しかし、個別データは現状では網羅的でなくデータ数も十分でないため算出できないものが多い。そこで本検討では、細分類に内包される詳細分類の原単位の分散を算出し、これを詳細分類の原単位の誤差と仮定した。また、この誤差がとれない場合は小分類に内包される詳細分類の原単位の分散を算出し、誤差とした。なお、誤差の算出においては生産額で重みづけし、正規分布を仮定した。また、本検討では環境負荷のうちCO2のみについて試算を行った。

3.　建築物の評価結果に生じる誤差

3.1.　評価対象

本検討では表２に示す実住宅の、投入資材の製造時のCO2排出量評価を例に誤差の算出を行った。木造住宅・S造住宅は戸建、RC造住宅は集合住宅である。また、検討

には実施設計段階を想定したデータを用いており、木造住宅は約 300～400 データ／戸、S 造住宅は約 800 データ／戸、RC 造集合住宅は約 1600 データ／戸となっている。

3.2.　分析結果

3.2.1.　適合性評価結果

住宅全体に対して適合する資材の割合を適合率として CO2 排出量ベースで評価した結果、図２のようになった。適合率は５割程度と低いため、不適合データの利用による誤差が生じる可能性があると考えられる。

3.2.2.　分散の分析結果

住宅全体を評価した場合の誤差と変動係数（Cv＝σ/μ）（σ：標準偏差，μ：平均値）を図３に示す。Cv は 0.15～0.30 程度となった。木造②と⑤では 68%信頼区間（μ－σ, μ＋σ）で誤差の範囲がかなり重なっている。似通ったプラン同士では評価結果が逆転する可能性もあり、結果の解釈においてはこうした可能性も十分に考慮すべきである。

部位別で誤差を算出した結果を図４に示す。この結果から、内外装の Cv が 0.2～0.4 程度と全体に比べて大きくなっていることがわかる。また設備においても、全体に占める CO2 排出量は大きくないが、Cv が大きくなる傾向にあることがわかる。

影響の大きい資材について抽出した結果を図５に示す。内外装に用いられるモエンサイディング・モルタルなどの窯業建材、「その他の～」など複数製品がまとめられている原単位、設備に用いられるケーブル・スイッチなどの誤差が大きくなることがわかる。また、モルタルや金属製サッシ・ドアなどは全体に占める CO2 排出量も大きく、評価の際には特に留意すべきであると考えられる。

4.　まとめ

本検討では、筆者らが提案してきた適合性判断に基づいて住宅を例に評価を行った。次に不適合となる原単位を用いた場合に生じ得る誤差のデータベースを作成し、住宅の例を用いて定量的に誤差を算出した。その結果、適合率は５割程度と低い結果となり、建築物全体では変動係数 Cv が 0.15～0.30 程度となった。また部位別で分析した結果、内外装や設備部位での Cv が大きいことがわかった。内外装は排出量も大きく、全体に与える影響が大きくなるため特に留意すべきであるといえる。資材別では窯業建材や、複数製品がまとめられている原単位を用いる資材において誤差が大きくなった。評価の際には、これらのデータについてだけでも適合したデータを収集することで評価精度の向上が期待できると考えらえる。

5.　参考文献

１）田原聖隆ら：網羅性を考慮したインベントリデータベース（IDEA: Inventory Database for Environmental Analysis）の開発状況、第５回日本 LCA 学会研究発表会、2010.3　２）小林謙介ら：建築物の LCA に関する評価精度の検討，日本建築学会環境系論文集 2012 年９月　第 77 巻　第 679 号

表２　評価対象

		住宅①	住宅②	住宅③	住宅④	住宅⑤	S造住宅	RC集合住宅
床面積（㎡）		164.0	141.6	184.4	165.4	175.6	119.0	25622.0
主要構造		在来軸組					S造	RC造
屋根		陶器瓦	陶器瓦	陶器瓦	ステンレス瓦	カラーベスト	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング
外装		モエンサイディング	モルタル	モエンサイディング	モルタル 珪藻土	モエンサイディング	木	ALCパネル
内装	床	フロア合板 畳	フローリング 畳	フローリング 畳	フローリング 畳 大谷石	フローリング	パーティクルボード 合板	フローリング
	壁	紙（壁紙）		ビニルクロス 漆喰塗	ビニルクロス 大谷石	ビニルクロス 漆喰塗 珪藻土塗	モエンサイディング ダイライト	紙（壁紙）
		石こうボード・木						ダイライト
	天井	ビニルクロス						紙（壁紙）
		石こうボード・木						ダイライト
	断熱材	グラスウール						
設備		塩ビ管、銅管、ユニットバス、ケーブル、システムキッチン						
								エレベータ

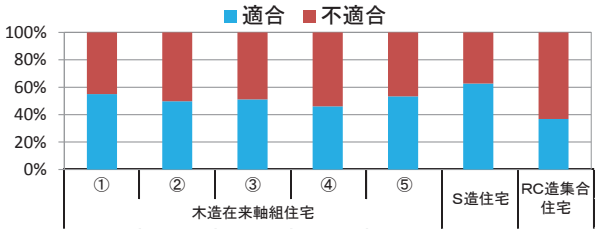


図２　適合性評価結果

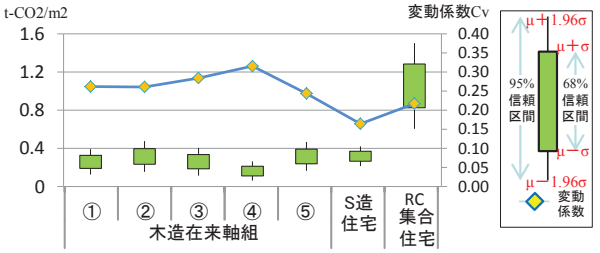


図３　分散と変動係数

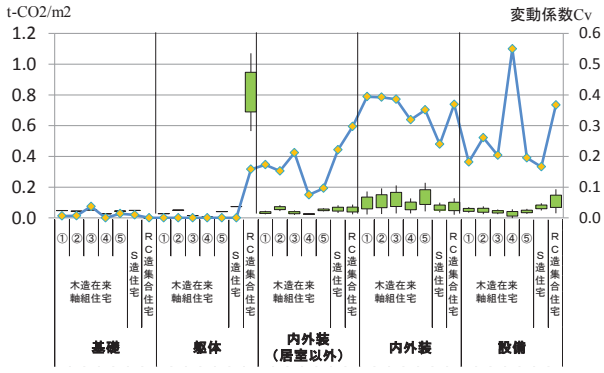


図４　部位別の分散と変動係数

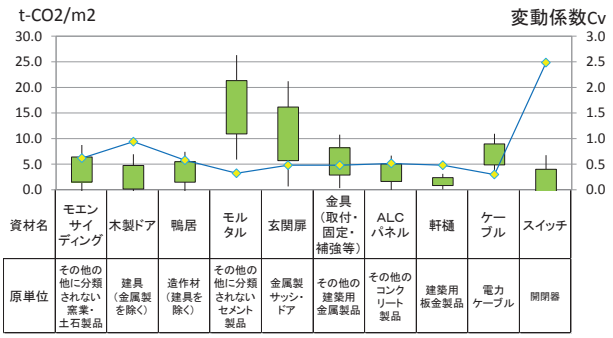


図５　資材別の分散と変動係数例

産業連関表を用いたGHG排出量の合理的な推計方法
—バイオマス事業のプラント建設を事例に—

Reasonable GHG Estimation Method Using an Input-Output Table
-A Case Study of Biomass Plant Construction-

○兵法彩*[1)]、本藤祐樹[1)]、工藤祐揮[1),2)]
Aya HEIHO, Hiroki HONDO and Yuki KUDOH
1) 横浜国立大学, 2) 産業技術総合研究所
* heiho-aya-gm@ynu.ac.jp

1. はじめに

バイオマス事業は多様な技術の組み合わせにより成り立っているため、その事業実施の影響を適切に評価するには、原料調達、変換工程、利用段階の各プロセスでライフサイクル思考に基づく総合的な評価を実施することが重要である。

本研究では、国内のような小規模バイオマス事業ではその影響が無視できない、変換工程のプラント建設の温室効果ガス（GHG）排出量の推計方法に着目する。プラント建設のインベントリ分析は、その複雑さから産業連関（IO）法の活用が提案されている[1)]。IO法はこれまでも積み上げ法の補完的手法として広く活用されているが、推計に要する作業負荷やデータ入手可能性も考慮して、得られる結果の合理性を示した例はない。

そこで本研究は、実際のバイオマス事業のプラント建設を対象（図1）とし、プラント建設に伴うGHG排出量の合理的な推計方法を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

後述する対象事例の事業者から、プラント建設のデータを入手しGHG排出量を複数の方法で推計して、バイオマス事業実施前後のGHG削減効果の違いと、一連の作業に要する負荷を定量的に示す。

2.1. GHG排出量と削減効果

GHG排出量（E）は、積み上げ法と複数のIO法で推計する。またGHG削減効果は、同一機能をもつ2つのシステムを設定し、両システムの差分から算出する。本研究では、プラントの耐用年数を15年とし、各推計方法から得られる推計値を、事業実施後のシステムに対応させることで、GHG削減効果の違いを示す。

2.1.1. 積み上げ法

資材量[t, m^2, m^{3}など]、エネルギー使用量[L]や設備・製品重量[t]などの物量データを用いて式（1）より推計する。MiLCA[2)]原単位は、MiLCAインベントリ分析のCO_2（化石資源由来、生物由来）、N_2O、CH_4の各排出原単位を、GWP_{100}を用いてCO_2換算した値の合計値である。

$$E = \sum_{k=1}^{n} M_k \times MF_k \quad (1)$$

M_k[unit]：項目kの物量
MF_k[t-CO_2eq./unit]：MiLCA原単位
unit：t, m^2, m^3, Lなど

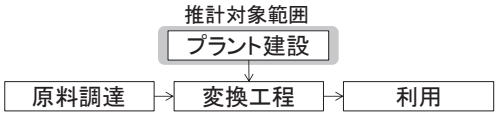


図1　推計対象範囲

2.1.2. 産業連関法

建設費内訳データに、3EID[3)]から得られる原単位を乗じて推計する。本稿では、式（2）を用いて3通りのIO法を実施しているが、その詳細は3.に示す。

$$E = \sum_{i=1}^{n} X_i \times EF_i \quad (2)$$

X_i[百万円]：項目iの金額
EF_i[t-CO_2eq./百万円]
：3EID原単位$(I-A)^{-1}$型を使用

2.2. 作業負荷量

データ入手と推計に要した作業負荷量[人・日]を、ヒアリングと実際の作業から推定する。

3. 対象事例と推計対象プラント

対象事例は、沖縄県宮古島市の廃糖蜜からのバイオエタノール製造事業と、神奈川県三浦市のし尿・浄化槽汚泥および農業・漁業残渣等を原料としたバイオガスの生成および肥料化事業である。本稿では紙面の関係上、沖縄県宮古島市の内容および結果について記述する。

この事業では、自動車用燃料としてE3燃料の全島利用を計画している。そこで、ガソリンを利用するベースシステムとE3利用システムの2つのシステムを設定した。これは文献1）に従っており、プラント建設以外のプロセスの推計値は、文献1）の値を用いた。

推計対象としたプラントは、無水エタノールの生産能力が4kL/日の製造設備、貯蔵設備、用役設備、排水処理設備、中央監視コンピュータ設備を有し、製造設備を内包する鉄骨構造の建屋から成る。

物量データは、事業者が管理している資料から、該当項目を抽出したものを使用したが、これらの資料から得られなかった電気資材や計装品のデータについては、各設備の施工業者に問い合わせた。金額データは工事積算書に示されている項目とIO表の部門との対応の詳細さに基づいて、3通りの推計（IO-土木・設備費、IO-7分類、IO-明細）を行った（図2）。土木費にはIO表のその他の土木建設部門を対応させ、設備費にはバイオマス事業の

主たる設備が化学機械であることから、化学機械部門を対応させている。IO-7分類では、各種工事・設備がIO表で主に該当する部門を対応させており、使用した原単位は、その他の土木建設、非住宅建設（非木造）、化学機械、金属製容器及び製缶板金製品、冷凍機・温室調整装置、情報サービスの6部門である。IO-明細は各項目をそれぞれ該当する部門に対応させている。

4. 結果

推計結果を表1に、結果の妥当性と作業負荷量の比較を図3に示した。推計値は、IO-明細が6,167t-CO_2eq.で最大となり、積み上げ法が3,203t-CO_2eq.で最小であった。GHG削減効果は、全ての推計方法で同様の結果であり、510～707 t-CO_2eq./年の削減効果となった。プラント建設がGHG増加量に占める割合は、14%～24%であった。推計方法が異なることによって、推計値に差はみられるが、GHG削減効果の結果に大きく影響しないと言える。

一方で作業負荷量は、積み上げ法が20人・日で最も大きく、次いで項目数の多いIO-明細が15人・日であるに対し、項目数の少ないIO-土木・設備費やIO-7分類は、2人・日となっており、推計方法によって大きく差が生じている。積み上げ法では、物量に該当する1,016項目を資料から抽出する際に、またIO-明細は、3,086項目の原単位を選択する際に、IO表の該当する部門に対応させることに時間を要した。

また積み上げ法の場合、資料から入手できない物量データは、製造者や施工業者に問い合わせる必要があり、特に設備機器や製品の組立・加工、各種輸送、施工・設置工事、サービス関連等の物量データを事業者の資料のみから入手することは難しい。これらのデータを製造者や施工業者に問い合わせたところ、電気資材や計装品など164項目のデータ入手に2週間～1ヶ月を要したが、得られた推計値は65t-CO_2eq.であった。つまり、積み上げ法で詳細なデータを入手するために要する時間は増加する一方で、得られる推計値の影響はそれほど大きくないことが示唆された。

以上のことから、プラント建設に伴うGHG排出量の合理的な推計方法は、作業負荷量と得られる結果を考慮した作業効率の良さから、IO-土木・設備費やIO-7分類のように項目数の少ないIO法であると言える。

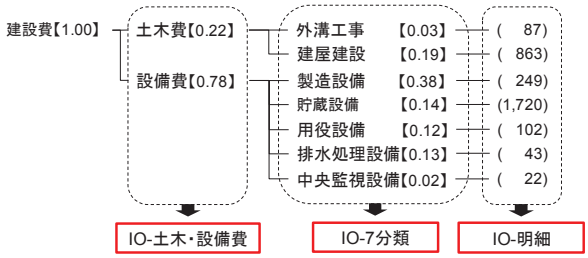
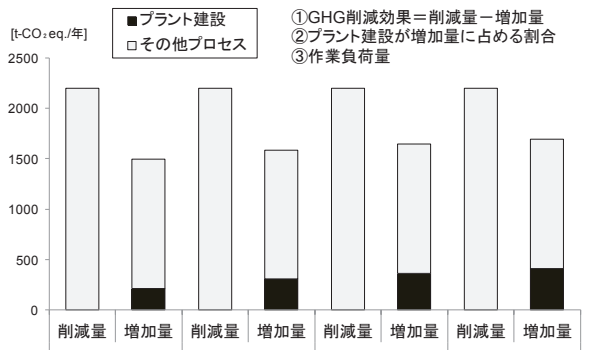


図２　金額の内訳と推計方法の対応

表１　推計結果

		データ 項目数	原単位 項目/部門数	推計値 [t-CO_2eq.]	作業負荷量 [人・日]
積み上げ法	管理資料	1,016	49	3,138	20
	追加分	164		65	2週間-1ヶ月
IO-土木・設備費		2	2	4,599	2
IO-7分類		7	6	5,481	2
IO-明細		3,086	64	6,167	15



	積み上げ法	IO-土木・設備費	IO-7分類	IO-明細
①	707t-CO_2eq./年 削減効果あり	614t-CO_2eq./年 削減効果あり	556t-CO_2eq./年 削減効果あり	510t-CO_2eq./年 削減効果あり
②	14%	19%	22%	24%
③	20人・日	2人・日	2人・日	15人・日

図３　結果の妥当性と作業負荷量の比較

5. おわりに

本研究は、プラント建設に伴うGHG排出量を複数の手法で推計し、手法による結果および作業負荷量の違いについて検討を行った。その結果、プラント建設に伴うGHG排出量の推計方法は、GHG削減効果の有無に大きく影響しないことが明らかとなり、作業負荷量の小さいIO-土木・設備費やIO-7分類が、作業効率の良い合理的な推計方法であることが示された。なお、もうひとつの対象事例である神奈川県三浦市のバイオマス事業でも、同様の結果が得られている。本研究の結果から、プラント建設のように推計に必要なデータ入手の負担が大きいプロセスに対してIO法を適用することにより、バイオマス事業GHG排出量を効率的かつ合理的に評価できることが示唆される。

謝辞

データ提供、ヒアリングにご協力いただいている（株）りゅうせきバイオエタノールプロジェクト推進室の皆様ならびに、三浦地域資源ユーズ（株）、三井造船環境エンジニアリング（株）、三浦市役所の皆様に謝意を表する。

参考文献

1) 菊地克行, 本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 90(7), (2011), pp.643-653
2) (社)産業環境管理協会：”新 LCA ソフトウェア MiLCA”, http://www.milca-milca.net/
3) 南斉規介, 森口祐一：”産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”, http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html

バイオマスプラント設置場所選定のためのLCA評価

LCA evaluation for selection of the setting position of a biomass plant

○甲斐穂高[*1)]、大田政史[2)]、上田和音[2)]、中道隆広[3)]、石橋康弘[2)]
Hotaka Kai, Masashi Ohta, Kazune Ueda, Takahiro Nakamichi, Yasuhiro Ishibashi
1）鈴鹿工業高等専門学校、2）熊本県立大学、3)長崎総合科学大学
*kai@chem.suzuka-ct.ac.jp

1. はじめに

大量生産、大量消費、大量廃棄の社会システムは、地球温暖化、廃棄物及び有害物質問題等の様々な環境問題を引き起こした。特に、地球温暖化は早急な対策が求められており、1995年の京都議定書の批准、2005 年の京都議定書の発効を受け、我が国は1990年比で二酸化炭素などの温室効果ガスの排出を６%削減が求められ、鳩山政権下においては、2020年までに25%の温室効果ガスの削減目標が立てられた。また、「地球温暖化対策の推進に関する法律」が制定され、法第８条において「京都議定書目標達成計画」の策定が規定され、同計画中の重要課題として、「地球温暖化対策の推進」及び「バイオマスの積極的な利活用」が主要な課題とされている。

バイオマスとは、平成18年３月に閣議決定された新しい「バイオマス・ニッポン総合戦略」のなかで、生物資源（bio）の量（mass）を表す概念として示されており、「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」とされている。バイオマスは、太陽のエネルギーを使って、水と二酸化炭素（CO_2）から、生物が光合成によって生成した有機物であり、持続的に再生可能な資源である。バイオマスを燃焼すること等により放出されるCO_2は、生物の成長過程で光合成により大気中から吸収したCO_2であることから、バイオマスは、私たちのライフサイクルの中では大気中のCO_2を増加させないという「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性を有している。このため、化石資源由来のエネルギーや製品をバイオマスに代替させることにより、地球温暖化を引き起こす温室効果ガスのひとつであるCO_2の排出削減に大きく貢献することができる。さらに、バイオマスは、化石資源のようにエネルギーとしても利活用でき、生活の幅広い場面での利活用が可能である。

しかし、バイオマスタウン構想を立案する上で、バイオマスの利活用方法や施設建設場所の選択は、バイオマスの賦存量、環境への影響や地域特性が考慮させるはずであるが、必ずしもそのようなことにはなっていないのが現状である。

そこで、バイオマスの利活用方法として用いられる技術であるメタン発酵施設を対象とし、施設規模による環境への影響をライフサイクルアセスメント（LCA）により評価することを目的とした。

2. 方法

2.1 調査対象及び調査範囲

熊本県を調査対象とし、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に掲載されているバイオマスの賦存量データをまとめ、県内における賦存量の分布を知るため、フリーソフト「地図ぬりぬり」を使用して、分布図をバイオマス種類別に作成した。

バイオマスの利活用施設は、メタン発酵施設を対象とし、肉用牛、乳用牛及び豚のふん尿を処理するものとした。用いるバイオマス利活用施設のプラント規模は、1,300ｔ／日、100ｔ／日及び 30ｔ／日の３ケースとし、対象とする自治体で建設して、20 年稼働した場合の環境負荷の比較を行うものとした。LCI 分析を行うにあたり、表１に示した菊池市における畜ふんの年間発生量を３つのケースのプラントで処理することとし、畜ふん濃度５%、プラントは 20%の余裕をみて設置することとし、プラントへの畜ふんの搬入は、４トントラックを使用することとした。また、施設の建設においては、規模による環境負荷の相違が考えられるため、実際に設置されている施設へのヒヤリング調査により、図１に示したような計画処理量による建設費単価の分布が得られたので、大規模施設（1300ｔ／日）の建設費単価を１として、建設費単価の比率を既報[1)]の環境負荷に乗じて算出した。

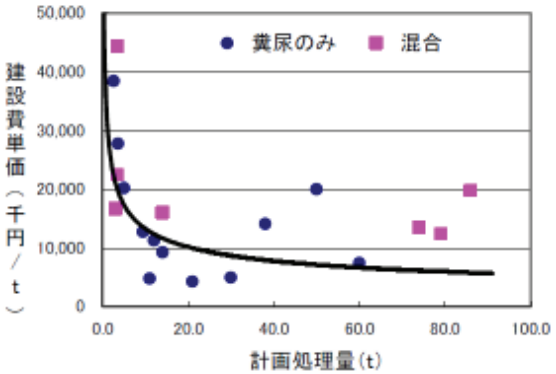


図１　計画処理量による建設費単価の分布

2.2 評価方法

３ケースに基づき(株)産業環境管理協会 JMAIL-LCA Pro を使用し LCI 分析を行った。LCI 分析後、同ソフトウェアを利用して、日本版被害算定型環境影響評価手法（LIME：Life - cycle Impact assessment Method base

on End point modeling）によるライフサイクルインパクトアセスメント（LCIA：Life Cycle Impact Assessment）を行った。LCIA では、LCI 分析によって算出されたアウトプットが「人間の健康」、「社会資産」、「生物多様性」、及び「一次生産」に与える被害量を算出した（被害評価）。

なお、それぞれの被害評価における影響領域は、日本において特に重視される影響領域 11 項目（地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、都市域大気汚染、有害化学物質、生態毒性、光化学オキシダント、富栄養化、土地利用、資源消費、廃棄物）とした。そして、LCA 評価の単一指標である「統合化」を算出し、両メタン発酵処理の総合評価を実施した。

3. 結果

図２に熊本県内における肉用牛、乳用牛及び豚のふん尿の賦存量を示した。

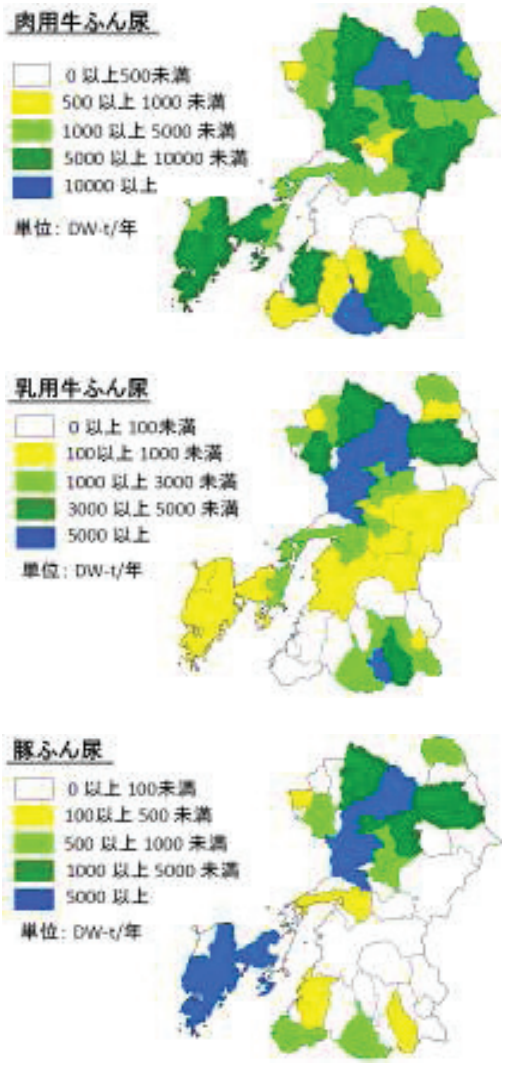


図２　肉用牛、乳用牛及び豚ふん尿の賦存量

賦存量調査の結果から、廃棄物系バイオマスの中でも、家畜排せつ物は県北に多く存在しており、特に、菊池市に集中して発生していることが判明した。

そこで、菊池市を対象として、肉用牛、乳用牛及び豚のふん尿を用いたバイオマス利活用施設のプラント規模を 1,300 t／日、100 t／日及び 30 t／日の３ケースについて LCI 分析を行った。

表１　菊池市における畜産農家数と畜ふん発生量

家畜種類	畜産農家数（戸）	畜糞発生量（t/年）
肉用牛	217	218207
乳用牛	167	108900
豚	54	55405
合計	438	382512

表２に施設規模による設置施設数と平均輸送距離、図３に 20 年間の輸送における評価結果を示した。

３ケースの LCIA 分析の結果、図４に示したように大規模施設の輸送に関わる環境負荷が大きいことが示された。大規模施設は、中規模と比較すると約 3.5 倍、小規模との比較では約 6.2 倍環境負荷が高いことが示された。

表２　施設規模による設置施設数と平均輸送距離

規模	施設数	平均輸送距離（km）
小規模（30 t／日）	190	0.68
中規模（100 t／日）	57	1.2
大規模（1300 t／日）	5	4.2

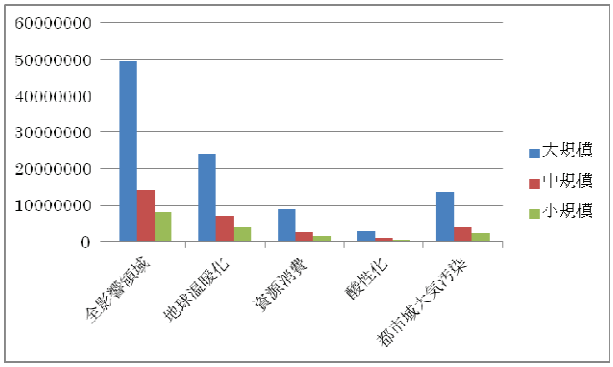


図３　20 年間の輸送における評価結果

4. おわりに

賦存量調査の結果から、家畜排せつ物は県北に多く存在しており、特に、菊池市に集中して発生していることが判明した。菊池市を対象として、バイオマスの利活用施設の規模による LCA 評価を行った結果、30 t／日の小規模なプラントの環境負荷が小さいことが示された。

参考文献

１）甲斐穂高他、日本LCA学会誌8(4)、370-383 (2012)．

Blue Tower バイオガス直接供給による固体酸化物燃料電池のシステム設計及びエクセルギー分析

A system design and exergy analysis of the combined Solid Oxide Fuel Cell(SOFC) and Blue Tower system

○福本一彦*[1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Kazuhiko Fukumoto, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
*j7411625@ed.tus.ac.jp

1. 背景と目的

現在、地球は地球温暖化という大きな問題に直面しており、地球規模での温室効果ガスの排出を抑制するなどの温暖化緩和策が重要となってきている。

加えて、日本では2011年3月11日の東日本大震災の影響で、脱原子力発電の世論が高まっている。そこで、日本政府は、分散ネットワーク型システムを確立し、グリーンエネルギーを拡大しつつ低廉で安定的な電力供給の実現を目指している[1)]。

以上のような背景から、小規模分散型電源としては、固体酸化物形燃料電池(SOFC)が注目されている。SOFCは、高温で作動するため様々な燃料が改質を行うことなく利用可能であり、発電効率も高く、排熱も利用可能というメリットがある。しかし、メタンリッチのバイオガスを使用する場合は、SOFC投入前に改質を行わないと炭素析出が起こり、電極劣化を引き起こすという課題がある。そのため、炭化水素燃料に多量の水蒸気を添加し炭素析出を抑制しているが、水蒸気の添加は燃料電池の開放起電力及び効率を低下させ、さらにシステムの熱収支上も不利となっている。

筆者らは、近年の消費者のエコ意識を加味したBT(BlueTower)プロセスによる分散型発電のビジネスモデルを提案し、その事業性を評価した[2)]。この結果から、BTプロセスとSOFCを組み合わせたコージェネレーションにおいて、事業性があることが明らかとなった。しかし、この研究におけるシステム設計は、実験データを基にプロセス設計を行っていなかった。このため、実際にBTプロセスから得られる合成ガスを利用した際のSOFCの性能は、明らかではなかった。

以上のことを踏まえ、本研究では、BTプロセスとSOFCを組み合わせたバイオマス発電システム(BT-SOFC)を提案した。そして、BTプロセスから得られる合成ガスを想定した標準ガスを用いて、SOFCの発電特性・排ガスを調査することで、プロセス設計における基礎データの採取を行った。次に、そこで得られた結果から、BT-SOFC発電システムの設計及びエクセルギー分析を行った。

2. BTプロセスとBT-SOFCシステムの概要

本研究で扱うBTプロセスの主な特徴は、ヒートキャリア(HC)と呼ばれるアルミナボール(Al_2O_3)を熱媒体として用いること、熱分解炉と改質炉が独立に運転していること、酸素を使わずにガス化・改質を行うことである。本研究のBT-SOFC発電システムは、BTプロセスにおいて生成された合成ガスを直接SOFCに投入することを想定している。BT-SOFC発電システムの概要を図1に示す。

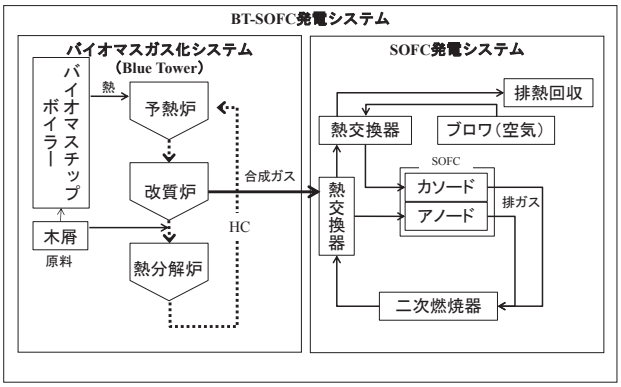


図1　BT-SOFC発電システムの概要

SOFCセルで想定される発電反応は、式(1)、(2)に示す通りである。

$$H_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow H_2O \quad (1)$$

$$CO + 1/2\,O \rightarrow CO_2 \quad (2)$$

3. 実験概要

BTプロセスから生成される合成ガスの組成を想定した標準ガスを用いてSOFC単セル発電実験を行った。標準ガスの組成については、表1に示す通りである。

運転温度を700～950℃(50℃刻み)の間で変化させ、I-V特性を測定し、その際に、排出されるアノード側からの排ガスは、ガスクロマトグラフ(GC-8A)にて組成の分析を行う。流量速度については、予備実験において出力が飽和となるときの速度で実験を行うこととした。実験は、すべて大気圧の条件のもと行った。また、単セルの有効面積は、1.77 cm^2でアノード支持形のコインセルである。本研究で使用した実験装置の概要を図2に示す。

表１　標準ガス組成

標準ガス組成	
ガス種	濃度[Vol.%]
H_2	53.9%
CO	27.1%
CH_4	0.5%
CO_2	18.0%
N_2	0.3%
C_2H_4	0.1%
C_2H_6	0.1%
Total	100.0%

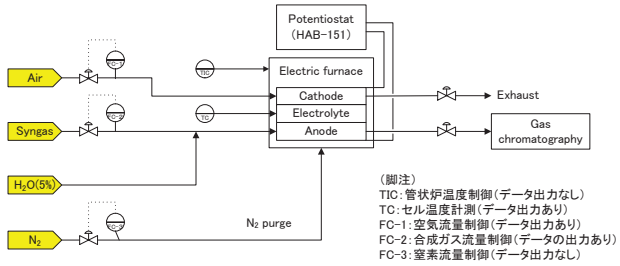


図２　SOFC 発電実験装置概要

4.　結果

測定された電圧・電流は、式(3)のような電圧-電流密度曲線相関式によって近似的に評価した[3]。

$$V = V_0 - R \times J - b \times \log(J) - m \times \exp(n \times J) \quad (3)$$

それぞれのパラメータは、V：推定電圧 [mV]、V_0：開回路電圧 [mV]、R：セル抵抗 [mV/(mA/cm^2)]、J：電流密度 [mA/cm^2]、b：Tafel 勾配 [mV/(mA/cm^2)]とし、係数 m、n は、m：係数[mV]、n：係数 [cm^2/mA]の単位を持つ。

実験データのサンプリングが間に合わなかったため、SOFC セルのサンプルデータ(I-V 特性：運転温度 800℃)を用いて、本研究における条件で実験を行った場合の I-V 特性の推定を図 3 に示す。

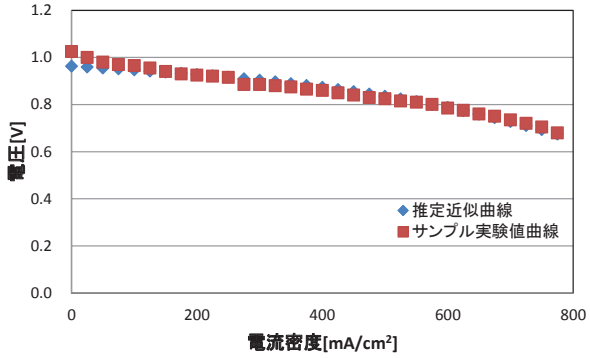


図３　運転温度 800℃における I-V 特性

運転温度 800℃における最大出力点は、約 0.66V となった。そこで、システムの設計では、単セル運転電圧を 0.66V とした。

5.　システム設計及びエクセルギー分析

BT-SOFC のシステム設計における基本プロセスデータを表 2 に示す。

表２　プロセスデータ

Item	Data	Item	Data
BTプラント規模[t/day]	15	開回路電圧[mV]	1025
BTプラント冷ガス効率[%]	87.3	電流密度[mV/cm^2]	800
SOFC発電規模[kW]	600	燃料利用率[%]	66.7
SOFC運転温度[deg.C]	800	空気利用率[%]	31.8
SOFC運転圧力[atm]	1	DC/ACコンバータ効率	95

BT プロセスの設計については、実証プラントの結果を用いて作成された BT シミュレータで行った[4]。また、SOFC の I-V 特性、排ガス組成より各反応(式(1)、(2)参照)における平衡定数を求め、その結果をもとに物質収支、熱収支を求めることで、SOFC 側のプロセス設計を行った。

以上のデータを基に、システム設計を行った。システム設計により明らかとなった BT-SOFC システムの性能について表 3、図 4 に示す。ただし、エクセルギーの算出過程については、SI に記す。

表３　BT-SOFC システム性能

Item	Data	Item	Data
BT投入原料[kg/h]	764.5	原料の発熱量に対する正味発電効率[%-LHV]	22.9
冷ガス効率[%]	87.3		
補助電源[kW]	113.9	原料の発熱量に対する正味排熱回収効率[%-LHV]	14.8
正味発電規模[kW]	643		

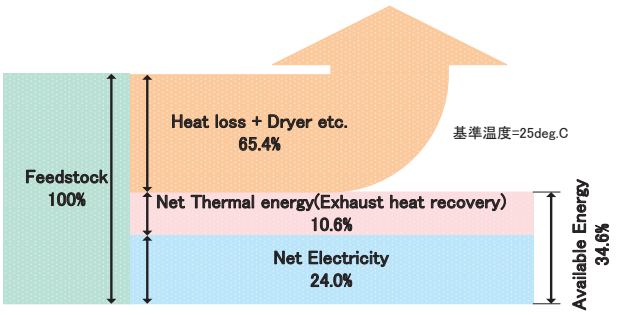


図４　エクセルギーフロー図

6.　まとめ

本研究では、SOFC 発電実験データを基に BT-SOFC のシステム設計を行った。その結果、BT-SOFC の性能について、より精度の高いシミュレーションを行うことが可能となった。今後としては、細部までのエクセルギーの把握により、システムの改善を行うとともに、BT-SOFC を導入する施設の検討を行っていきたい。

また、発表当日には実験データを反映させたシステム設計の結果を報告する予定である。

参考文献

1)　国家戦略室:　“革新的エネルギー・環境戦略”, (2012)
2)　Kazuhiko Fukumoto et al.: ECODESIGN2011, Kyoto, (2011), pp. 971-976
3)　堂脇清志, 保元香奈子: 日本 LCA 学会誌, 8 (1), (2012), pp.14-25
4)　亀山光男, 小倉伸介, 上内恒, 堂脇清志: エネルギー・資源学会誌, 31(2), (2010), pp.43-50

Supporting Information

エクセルギーとは、周囲と非平衡にある系が平衡状態に達するまでになす理論最大仕事のことである。ここで、熱のエクセルギーを E_Q[kJ]とすると、熱のエクセルギーは以下の式により求められる[S1)]。

$$E_Q = Q_H(1 - T_0/T_H) \quad \text{(S1)}$$

各種パラメータは、Q_H：熱量[kJ]、T_H：熱源温度[℃]、T_0：環境温度[℃]である。Q_H にバイオマス原料の発熱量 13233kJ-LHV/kg、T_H に熱分解炉の温度 550℃、T_0 に基準温度である 25℃を代入することで、バイオマス原料のエクセルギーを算出した。また、本システムでの SOFC の正味の発電量を L_{elec}[kJ]とすると、発電におけるエクセルギー効率 ε_{elec} は、以下の式となる。

$$\varepsilon_{elec} = L_{elec}/E_Q \quad \text{(S2)}$$

同様に、式(S1)を用いて、排熱回収によるエクセルギー L_{TH} を算出し、排熱回収によるエクセルギー効率を算出した。ただし、温水による回収温度は 80℃とした。

参考文献

S1) 星朗, 赤澤拓也, 若島振一郎, 藤本勲, 菊岡泰平: 日本機械学会論文集(B 編), 77(774), (2011), pp.140-149

Bio-H_2 を燃料とする FC-Iphone のインベントリ分析

A Life Cycle Inventory Analysis on FC-Iphone fueled by Bio-H_2

○堂脇　清志*[1)]、早瀬　仁則[1)]、片山　昇[1)]
Kiyoshi Dowaki, Masanori Hayase, Noboru Katayama
1) 東京理科大学
*dowaki@rs.noda.tus.ac.jp

1. はじめに

これまで筆者らは、Bio-H_2 を燃料とする固体高分子形燃料電池（PEFC）について、多機能携帯機器であるスマートフォンへの導入を勘案したときのインベントリ分析を実施してきた[1)2)]。本稿においては、さらに、実際の燃料電池へのシステムの導入を具体化させるために、①バイオマス原料からのH_2燃料を合成し、②その燃料対して、当該燃料電池の機能性評価を実施することとした。なお、今回は燃料電池の性能についての研究報告であるため、スマートフォンの需要等については、これまでの報告したデータをそのまま用いることとした[2)]。

携帯機器等の小型の装置に燃料電池を搭載するためには、燃料電池自体の小型化の推進や燃料貯蔵の必要十分なスペースを確保することが求められる。また、本稿のように、純 H_2 燃料ではなく、バイオマス原料からの H_2 燃料の利用については、LCA 視点からの燃料合成の最適化が必要であり、例えば、バイオマスガス化から得られる合成ガスから、さらに 4N クラスの H_2 を合成するためには、その精製の動力（主に加圧動力）がエネルギー収支に与える影響が大きく、その他の不純物の除去についても同様な影響が勘案されるため、若干の不純物質に耐性があるような燃料電池側の対策（Pt 触媒の劣化防止策）も必要となろう。一方、需要面からの対策においては、これまで、携帯機器の機能である待ち受け、通話、音楽視聴、ゲーム操作、インターネット閲覧、メール操作の一定時間における需要総量については検討してきてはいるが、瞬時における需要変動については考察していない。しかしながら、実際の需要を観察した場合、その需要の波形は 0.10～2.06W の間でランダムに頻繁に振動しており、燃料電池の負荷追随が困難にさせる要因となっている。従って、実際の導入にあたっては、このような負荷追随の対策も必要となろう（図 S1 参照）。

以上のような状況を鑑み、本研究においては、スマートフォン用の PEFC の具体化のための第 1 ステップとして、以下の点に焦点を絞り検討することした。

2. 評価方法

本研究は、本学の特定研究助成金「汎用性を目途とした超小型燃料電池を利用した携帯情報端末用電力供給装置」のテーマの一環で実施されており、バイオマス原料からの H_2 燃料の精製、当該燃料による PEFC の性能試験、負荷追随性をアシストする電源コンディショナの開発、及び以上のような開発を考慮した LCI 評価を目的とする。

2.1 H_2 燃料の精製試験

まず、Bio-H_2 の精製を図 1 に示すガス精製装置を用いて行った。この試験装置は、加湿器、改質管、水分除去管、CO_2除去管、及びH_2S＋CO 除去管から構成されている。1 段目に市販の低温改質触媒（銅系触媒, KATALCO-83, Alfa Aesar, 還元方法は SI 参照）を用い、改質反応にて H_2 を濃縮し、2 段目及び 3 段目でハスクレイ（粘土鉱物）により H_2O 及び CO_2 を吸着させ、最終段でモレキュラシーブ及び ZnO で硫黄と CO の吸着を行う特徴を持つ。なお、ここで想定している Bio-H_2 は Blue Tower プロセスと呼ばれる還元ガス化炉によるシステムで得られるものであり、最初に、当該ガス化炉出口で想定される合成ガスの標準ガス（S フリー）を用いて試験を行った。

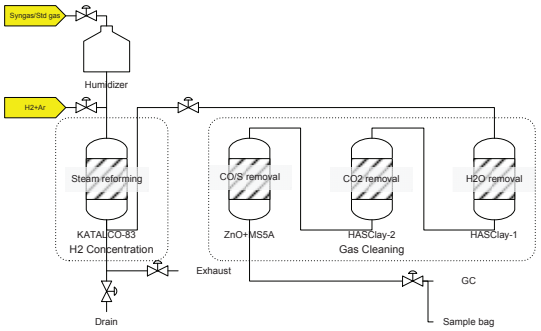


図 1 H_2 精製試験装置

1 段目の反応管を 200℃で制御し、2～4 段目はすべて 40℃で制御して、標準ガス流量 300mL/min の条件で精製試験を行った。なお、このときの反応管全体の圧力 +0.012MPaG、S/C は 0.88 となった。このときの GC で分析したガス濃度は表 1 に示される通りであり、CO の大幅な低減が確認された。

表 1 H_2 濃縮実験結果

	In (Conc.Vol%)	Out (Conc.Vol%)
H_2	53.85%	88.83%
CO	27.10%	0.31%
CO_2	18.05%	10.53%
CH_4	0.50%	0.34%
C_2H_4	0.10%	ND
C_2H_6	0.10%	ND
N_2	0.30%	ND

次に、当該ガス精製試験で得られたガスをサンプルバックにてサンプリングし、そのガスによる燃料電池の試

験を行った。なお、当該試験でサンプリングしたガスでは、キャリアガスである Ar（7 割弱）が含まれており、燃料電池側での安定的な試験を実施するために、今後の試験では Ar ガスの濃度を低減することが必要となる。

2.2　μPEFC による性能試験

PEFC の燃料電池の性能については、図 2 に示される通り、2009 年時点で 480mW/cm^2 に達しており、本研究で想定するμPEFC についても、これまでの試験から 520 mW/cm^2 に達している。一方で、先行研究で報告した燃料電池の性能は、130 mW/cm^2（セル面積：16.4 cm^2）として評価していたが[2]、仮に、現状の性能に合わせるような性能の開発を行うものとすれば、セル面積は約 4 cm^2 程度となる。従って、まずは 3mm×3mm のμPEFC を用いて、その性能を把握し、その後、スケールアップを行うことを想定した。なお、このような超小型の燃料電池を用いることにより、ガス精製側で要求される量等の制約が大幅に緩和され、各種条件での評価を十分に行える等のメリットもある。

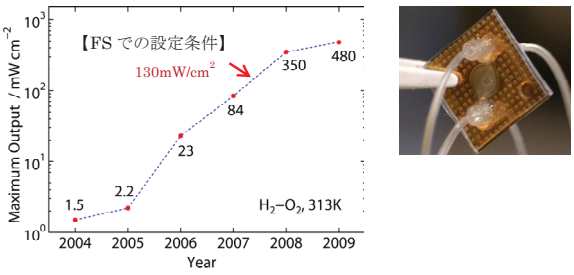


図 2　μPEFC の概要

次に、前述したμPEFC（Anode:Pt 触媒，Cathode:Pt 触媒）に対して、2.1 でサンプリングした燃料（実質 H_2 濃度：27.8Vol.%，CO 濃度：0.09Vol.%）及び純酸素をそれぞれ 2mL/min 供給し、10mV/s で走査したときの I-V 特性を把握した（図 S2 参照）。

この結果から、OCV が 0.98V となり、また、多少の CO による Pt 被毒も懸念されるが、純 H_2 燃料の約 45%程度の出力が得られた。なお、当該試験では、まだ燃料精製の安定性が確保していないため、精製燃料中に含まれる H_2 ガス濃度の向上を図った後、再度、供給ガスの性状も含め、燃料電池の性能について検討する予定である。

2.3　電源コンディショナの開発

前述したように、燃料電池への搭載を考える場合、負荷追随をアシストするためのシステムが必要となる（図 4 参照）。

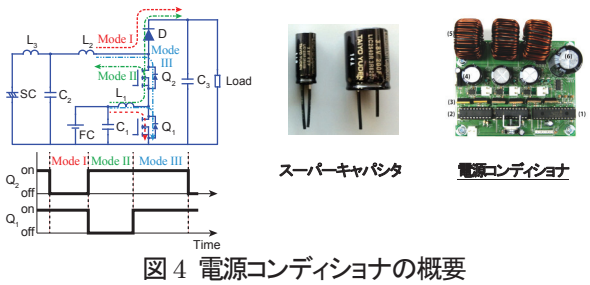


図 4　電源コンディショナの概要

電源コンディショナを導入することにより、負荷追随だけでなく、燃料電池が一定の負荷で運転されるため高寿命も期待できる。このことを踏まえ、燃料電池（OCV：1.21V，動作温度：50℃と仮定）として、電池の充放電及びキャパシタの充放電を考慮したエネルギー効率の評価を行い、燃料電池の効率を 39.8～80.9%，電源コンディショナの効率を 33.8～75.1%となる結果を得た。これから各機能に対する燃料消費量を評価した[3]。

3.　スマートフォンの LCI

2.3 の結果を考慮し、先に報告した条件でのスマートフォンにおける間接 CO_2 を含めた従来型の Li-ion バッテリーのスマートフォンと Bio-H_2 を燃料とする PEFC スマートフォンとの結果を比較した。なお、図中は、各年代において、筐体のリユースを仮定した場合の結果である。ここで、各需要の測定、システムバウンダリ及び各エネルギーの CO_2 原単位等は SI を参照されたい[2]。

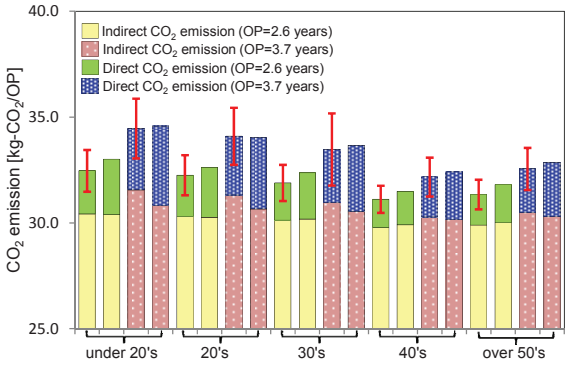


図 3　各世代における LCI 比較

この図から、従来の Li-ion バッテリーによるスマートフォンに比して、間接 CO_2 排出量を含めた CO_2 削減率は、最大 6.4%となり、今後の普及状況を勘案すれば、そのメリットは大きいと言えよう。

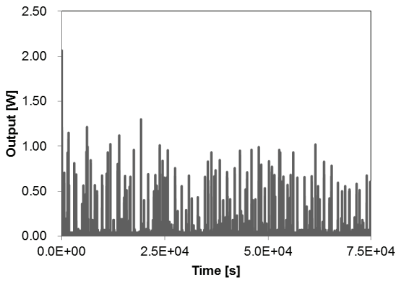
4.　おわりに

本評価の確度を上げるために、まずは、標準ガスによる H_2 燃料の最適条件の把握、バイオマス原料による実運転評価、電源コンディショナとのアセンブリ、及び燃料貯蔵方法についても検討していく予定である。

参考文献

1）堂脇清志，伊澤智也，坂本和之:日本 LCA 学会，6(3)，(2010), pp. 259-269
2）堂脇清志，保元香奈子，Ivan Prasetya Tanimukti: 日本 LCA 学会，8(1), (2012), pp. 14-25
3）Noboru KATAYAMA, Kazuya TAKIZAWA, Kenji KOIDO, Kiyoshi DOWAKI and Sumio KOGOSHI: The 10th International conference on Eco balance (2012,11), B2-08 (4 pages) CD-ROM

○Supporting Information



※5 秒間隔，24 時間測定を行った（結果は一部を表示した。）。

図 S1 待ち受け時の電力変動

・KATALCO-83 の還元方法

触媒層の空間速度 $300h^{-1}$ 以上を確保するようにし（触媒のかさ比重： $1380kg/m^3$）、Ar と H_2 の混合ガスにより実験開始前に 6 時間の触媒の還元操作を行って使用した。なお、温度及び H_2 のプロファイルは、当該触媒の還元のための H_2 必要量（$185Nm^3/m^3$-触媒）を満たすようにし、0.5NmL/min×60 min（120℃）、1.0NmL/min × 60min （180 ℃）、 1.5NmL/min × 60min （200℃）、5.0NmL/min×60min （200℃） 及び 20NmL/min×120min（200℃）で実施した。なお、還元反応は、

$$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O \quad \Delta H = -81\ kJ/mol$$

となり、発熱反応となるため、反応管が 230℃以上にならないように注意する必要がある。また、この操作の後、系全体を陰圧にし、標準ガスにより置換した後、各実験を行った。

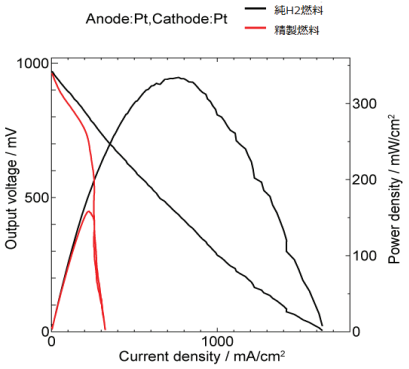


図 S2 μPEFC の I-V 特性

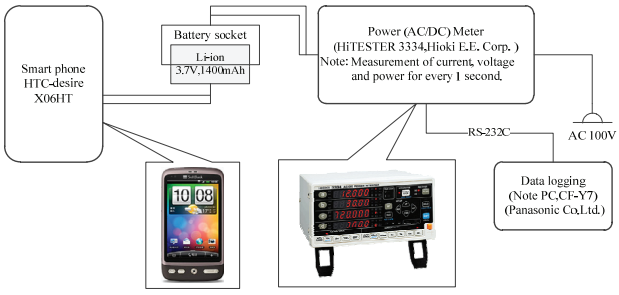
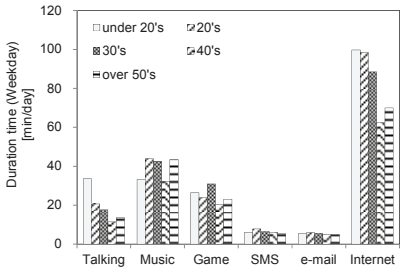
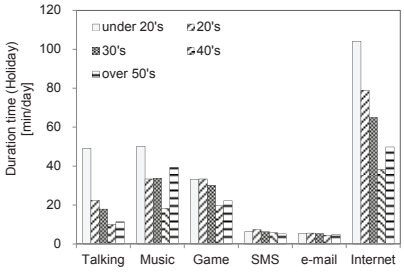


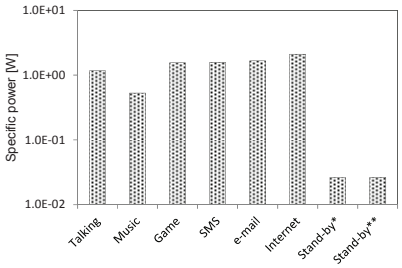
図 S3 スマートフォンの需要測定概要





※上図：平日時，下図：休日時

図 S4 スマートフォンの各機能継続時間



*平日の待ち受け時の消費量，**休日の待ち受け時の消費量

図 S5 各機能のエネルギー消費量

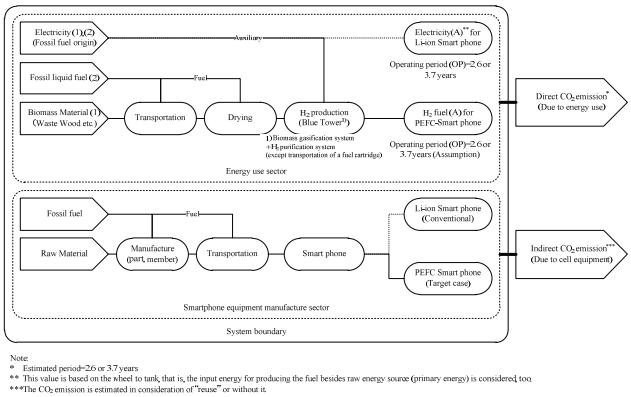


図 S6 システムバウンダリ

表 S1 各エネルギーの 1 次エネルギー及び CO_2 原単位

Fuel	Energy [MJ/unit#]	CO_2 [g-CO_2/MJ]	Note
Biomass (Japanese Cedar)	13.23	0.0	at 20 wt.% (moisture content) #Unit: kg
Diesel Oil	35.50	79.82	#Unit: L
Electricity	2.87* (0.26**)	123.1* (104.2**)	*:direct intensity **:indirect intensity Net power eff.=34.8% #Unit: MJ
Bio-H_2	2.57* (0.87-1.57**)	0.0* (34.7-90.4**)	*:direct intensity ():indirect intensity Lower heating value:10.8MJ/Nm^3 #Unit: MJ

バイオ燃料導入の帰結的 LCA

Consequential LCA Study of the Introduction of Bio-Fuel

○劉南佐*[1)]、莊沛晨[2)]、福島康裕[2)]、Nguyen Thi Hong Thuy[1)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]

Nan-Tsou Liu, Pei-Chen Chuang, Yasuhiro Fukushima, Nguyen Thi Hong Thuy, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao

1)東京大学, 2)国立成功大学(台湾)

* ntliu@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

Demands of fossil fuels keep growing but petroleum sources are thought to be exhausted soon. Besides, Introduction of bio-fuels to our society has a significant influence not only on the environmental loads but also on the conventional fuel industry. The existing studies[1)] have shown the potential of bio-fuels made of syn-gas and proposed new technologies. However, most previous studies on bio-fuels are independent of the cooperative supply of fossil fuels. Therefore, in order to provide an insight into the influence of introducing bio-fuel on usage of fossil fuel, we propose fuel usage redistribution model for analyzing the consequences in petroleum and bio-refineries and calculating the GHG emission. The introduction of bio-dimethyl ether and bio-methanol was analyzed as a case study.

Equation 1 (*EF*: emission factor.) is usually used to estimate CO_2 emission with an assumption that all processes are changed linearly.

$$Emission = EF \times Amount \qquad (1)$$

A previous study[2)] proposed that there are some flows called adjusting flow as shown in Figure 1. These flows are changed nonlinearly to make the whole process in mass balance when any change occurs. Thus, the conventional attributional method might result in an error when CO_2 emission estimation is carried out. In order to assess the influence caused by the changes of each process included petroleum refinery when the products are changed, Consequence-Oriented Model[2)] (COM) has been developed. COM is used to construct the inventory of petroleum refinery process by Linear Progressive. It takes the demand of various petroleumical products into consideration.

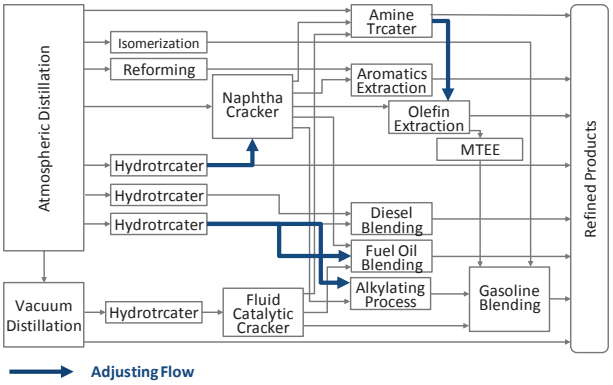


Fig. 1. The Adjusting Flows in a Petroleum Refinery.

2. Methodology

The system consists of the production and usage of both fossil fuel and bio-fuel, as shown in Figure 2. The function unit is present fossil fuel demand.



Fig. 2 The System Boundary of Evaluation.

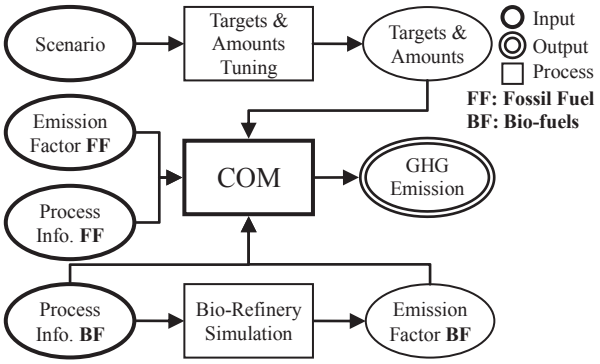


Fig. 3. Structure of COM Applied in this study.

As shown in Figure 3, this study applies COM for CO_2 emission for the fuel system with bio-fuel.

2.1. Bio-Refinery

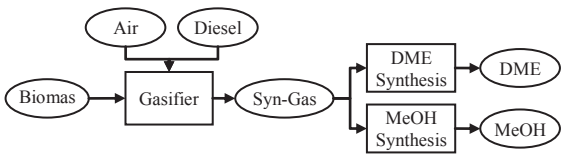


Fig. 4. The Process Flow Diagram for Bio-Fuel.

Bio-refinery consists of gasification and bio-fuel synthesis as shown in Figure 4.

2.1.1. Gasification[3)]

The entrained flow type gasifier whose outputs are assumed to be tar free is used. The oxidant gas is set to air. The extra energy for heating the gasifier is supplied by the combustion of diesel. Material balance and energy balance are applied to solve the simulation.

2.1.2. Bio-Fuel Synthesis[4)5)]

Dimethyl ether (DME) and Methanol (MeOH) are chosen as the target products in this study. The raw material used for producing the products is syn-gas from biomass. The production process is designed by using process simulators, Aspen Plus and Aspen Hysys.

2.2. Fuel Usage Redistribution (FUR)

The purpose of this model is to obtain the optimal fuel usage condition with minimum GHG emission by analyzing the conditions of fuel usage when new technologies are introduced.

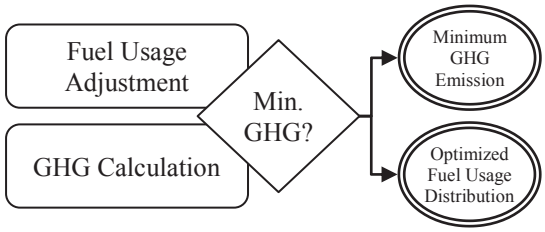


Fig. 5. The Concept of FUR model.

As shown in Figure 5, this model consists of three functions which are GHG calculation, fuel usage adjustment and GHG judgment. The first two functions belong to COM. GHG judgment is implanted to enable the model to find out the optimal condition.

3. Results and Discussion

The case study focuses on replacing gasoline and diesel by DME and MeOH.

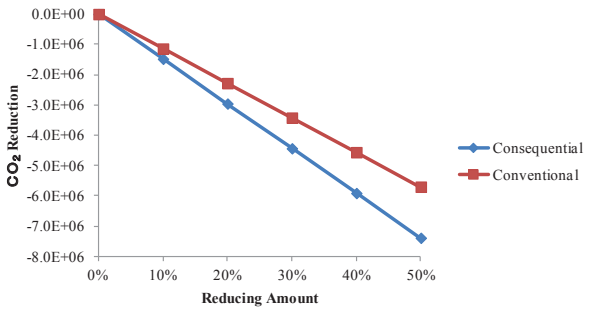


Fig. 6. Reduction of Diesel and Gasoline

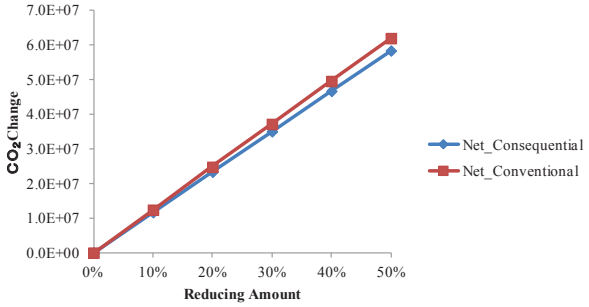


Fig. 7. Evaluation Result of Diesel replaced by MeOH & Gasoline replaced by DME

In Figure 6, the GHG reduction by consequential method is much lower than that by conventional method with the increase of reducing amount. This result shows that the change of the material flows and GHG flows is not proportional to all flows involved in the process of petroleum refinery, especially the adjusting flows. The results of sensitivity analysis shown in supporting information shows that the change of the flows are disproportional to reducing amount.

In Figure 7, the simulated emission factors of bio-DME and bio-MeOH are 5.428 and 4.096 kg-CO_2/kg-bio-fuel respectively. However, compare with the emission factor of fossil fuel, that of bio-fuel are much larger. It results in that the difference cased by different method is eliminated by large amount CO_2 emission from bio-fuels.

4. Conclusion

In this study, the difference between consequential and conventional results has been pointed out. Besides, the model used to analyze the usage is also developed. However, the problem caused by the emission factors of bio-fuel eliminated the results we are expecting. Thus, the future work is to improve the simulation of bio-refinery and introduce bio-H_2 to increase the diversity of the assessment.

Reference

1) Maedeh M. et al., RENEW SUST ENERG REV, 15, (2011) 4255 – 4273
2) ChuangPei-Chen, 福島康裕, 第７回日本 LCA 学会研究発表会 (2012)
3) S. Jarunagthammachote, A. Dutta, *Energy*, 32, (2007) 1660-1669
4) 眞弓 和也, 東京大学工学系研究科化学システム工学専攻修士論文, (2009)
5) Takashi Ogawa, Norio Inoue, al. et, J. Natural Gas Chemistry, 12,219-227, (2003)

Supporting Information

Modeling of Gasification

x =HM_C/CM_H; y = OM_C/CM_O; z = NM_C/CM_N; M_i: molecular weight; C, H, O, N: The mass fraction in the biomass.

w: the moisture content(mol.% of biomass) ; m: inputted oxygen amount (mol. % of biomass)

p: the hydrogen content in tar; q: the oxygen content in tar.

All input situations are set to 25°C and atmospheric pressure (1 atm).

$$n_{total} = n_{H_2} + n_{CO} + n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{CH_4} + n_{N_2}$$

The global gasification reaction:

$$CH_xO_yN_z + wH_2O + m(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow n_{H_2}H_2 + n_{CO}CO + n_{CH_4}CH_4 + n_{CO_2}CO_2 + n_{H_2O}H_2O + (z/2 + 3.76m)N_2$$

Mass Balance

Carbon Balance	$f_1 = n_{CO} + n_{CO_2} + n_{CH_4} - 1 = 0$	(M1)
Hydrogen Balance	$f_2 = 2n_{H_2} + 2n_{H_2O} + 4n_{CH_4} - x - 2w = 0$	(M2)
Oxygen Balance	$f_3 = n_{CO} + 2n_{CO_2} + n_{H_4O} - w - 2m = 0$	(M3)
Water-Gas Shift	$f_4 = K_1 n_{CO} n_{H_2O} - n_{CO_2} n_{H_2} = 0$	(M4)
Methane Reaction	$f_5 = K_2 n_{H_2}^2 - n_{CH_4} n_{Total} = 0$	(M5)

$\ln K = -\frac{\Delta G_T^0}{R}$; $\Delta G_T^0 = \sum_i \nu_i \Delta \bar{g}_{f,T,i}^0$; where G: standard free energy; n: stoichiometric number;

ΔG_T^0: Standard Gibbs function of reaction ν: Stoichiometric number

$\Delta \bar{g}_f^0$: Standard Gibbs function of formation R : Universal gas constant (8.314 kJ/kmol·K)

Heat Balance

$$H_{\text{Reactant}} + Q_{in} = H_{\text{Product}} + Q_{out} \quad \text{(H1)}$$

$$H_{\text{Reactant}} = h_{f\text{biomass}}^0 + w \cdot h_{f\text{moisture}}^0 \quad \text{(H2)}$$

$$H_{\text{Product}} = \sum_{\text{Product}} n_i \left[h_{fi}^0 + \int_{298}^{T_i} C_{\text{Pi}} dT_i \right] \quad \text{(H3)}$$

$$C_{\text{P}} = a + b \cdot T_i + c \cdot T_i^2 + d \cdot T_i^3 \quad \text{(H4)}$$

$$\int_{298}^{T_i} C_{\text{Pi}} dT_i = aT + \frac{b}{2}T^2 + \frac{c}{3}T^3 + \frac{d}{4}T^4 \quad \text{(H5)}$$

The system of the gasification is set to be adiabatic, Q is zero. Rearrange the equations H1 to H4 then

$$h_{f\text{biomass}}^0 + w \cdot h_{f\text{moisture}}^0 = \sum_{\text{Product}} n_i \left[h_{fi}^0 + a_i T + \frac{b_i}{2}T^2 + \frac{c_i}{3}T^3 + \frac{d}{4}T^4 \right] \quad \text{(H6)}$$

The ΔH of the global reaction can be calculated by the enthalpies of formation

$$\Delta H = \underbrace{h_{f\text{biomass}}^0 + w \cdot h_{f\text{moisture}}^0}_{\text{Reactant}} - \sum_{\text{Product}} n_i h_{fi}^0 \quad \text{(H7)}$$

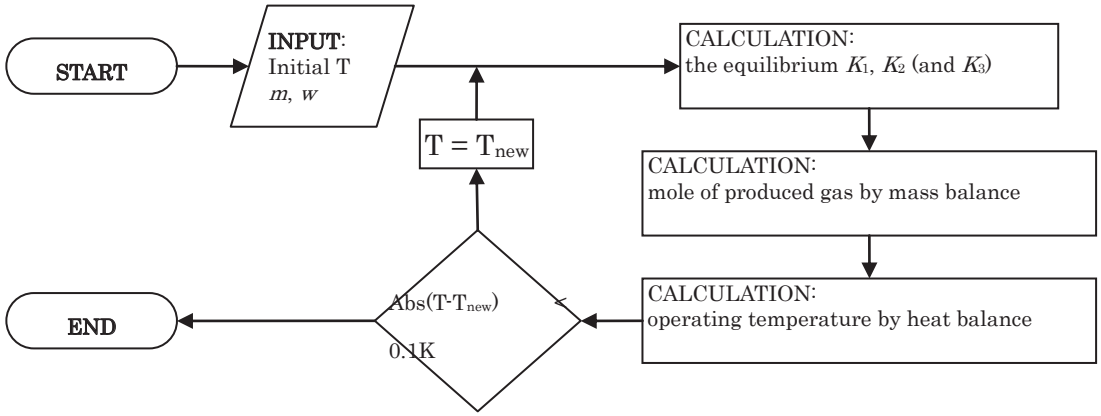


Fig S1. The procedure of simulation.

Enthalpy of Formation of Biomass (Tar) (kJ/mol)

$$h^0_{f,biomass} = \mathrm{LHV} + \sum_k n_k h^0_{f,k} \qquad \text{(E1)}$$

Where

h^0_f : Enthalpy of formation LHV: Lower heating value

k : Products of complete combustion HHV: Higher heating value

By considering De Souza-Santos' book, the complete combustion of biomass can be written as:

$CH_xO_yN_zS_m + (1 + x/4 - y/2 + z/2 + m)O_2 \rightarrow CO_2 + x/2H_2O + \underline{z}NO + mSO_2$

Besides, the representative molecular mass of biomass is simply given by the coefficient of components in its formula. (S usually is negligible)

$Mbiomass = x \times M_H + y \times M_O + z \times M_N + m \times M_S$

HHV can be calculated from empirical equation.

HHV(Mj/kg) = 0.3491C + 1.322H + 0.686005S – 0.12O – 0.12N – 0.0153 Ash (E2)

All element labels mean the mass fraction in %.

In this case,

HHV = 0.3491×50.6 + 1.322×6.5 + 0.686005×0 – 0.12×42 – 0.12×0.2 – 0.0153×0.7 = 20.773 (MJ/kg)

The relationship between HHV and LHV is

$$\mathrm{LHV} = \mathrm{HHV} - 9 m_H h_{var} \qquad \text{(E3)}$$

where m_H: mass fraction of hydrogen in biomass; h_{var}: enthalpy of vaporization of water.

LHV = 20.773 – 9×0.065×2.58 = 19.452 (MJ/kg)

With the same procedure, the enthalpy of formation of tar can be calculated.

Emission Factor

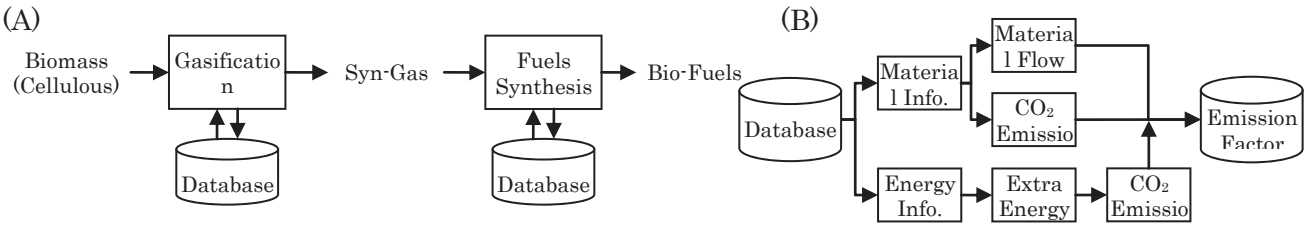


Fig. S2. Procedure of EF Model

Gasification (The Procedures are listed in Appendix)

Ultimate Analysis of biomass sample. The Moisture Content (*w*) is 16 wt.%

Element	C	H	O	N	S	Ash
wt. %	50.6	6.7	42	0.2	0	0.7

The formula of biomass molecule: $\mathbf{CH_{1.4348}O_{0.6225}N_{0.0034}}$

1. DME Case

The mole of inputted air (*m*) is 0.3344

Label	H_2	CO	CO_2	H_2O	CH_4	N_2
Mole	0.6989	0.6989	0.2807	0	0.0204	1.259
Composition(dry base %)	23.63	23.63	9.49	0	0.69	42.56

ΔH = 68.201 kJ/mol·biomass

The extra inputted fuel is set to Diesel

CO_2 Emission = 0.01710 kg/mol·biomass

2. MeOH Case

The mole of inputted air (*m*) is 0.4322

Label	H_2	CO	CO_2	H_2O	CH_4	N_2
Mole	0.5582	0.7219	0.2772	0	0.0010	1.627
Composition(dry base %)	17.53	22.67	8.70	0	0.03	51.08

ΔH = 111.338 kJ/mol·biomass

The extra inputted fuel is set to Diesel

CO_2 Emission = 0.01994 kg/mol·biomass

DME Synthesis

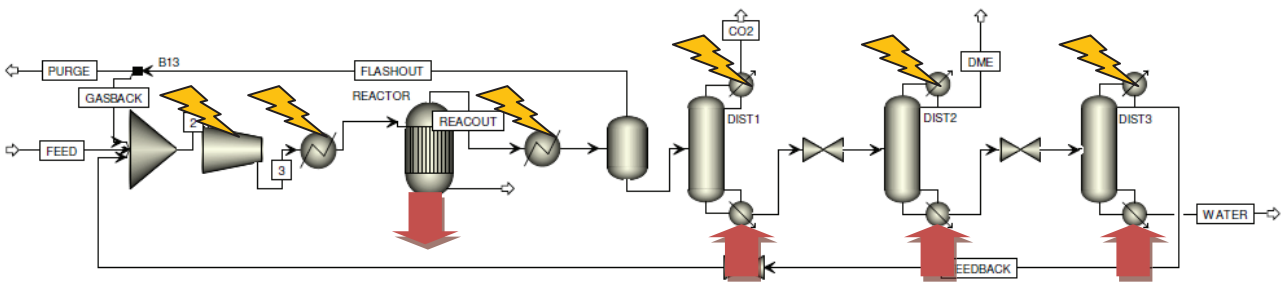


Fig.S3. The Process of DME Synthesis.

Table S1. The chemical reaction involved in DME synthesis.

Reaction Equation		Enthalpy (kJ/mol)	Remark
$3CO + 3H_2 \rightarrow CH_3OCH_3 + CO_2$		-246	
$2CO + 4H_2 \rightarrow 2CH_3OH$	(a)	-182	Methanol Synthesis
$2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O$	(b)	-23	Dehydrogenation
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	(c)	-41	Water-Gas Shift

Table S2. The Main Stream (Feed and Product) of DME Synthesis (Mass Fraction)

	Temperature [°C]	Pressure [bar]	Mass Flow [kg/hr]	DME	CO	H_2	CO_2	H_2O	MeOH
FEED	100	1.52	3600	0	0.92	0.066	0.014	0	0
DME	34	7.7	1780	0.999	0	0	0.001	0	0
CO_2	13.8	50	1765	0.004	0.032	0.002	0.964	0	0

Table S3. The Heat Duty of each Unit Operation. B: boiler C: condenser

	COMPRE(kW)	COOLER1	COLLER2	REACTER	DIST1C
Heat Duty [kJ/hr]	6696316.07	-5066019.9	-3094796.8	-9987475.1	-59400.72
	DIST1B	DIST2C	DIST2B	DIST3C	DIST3B
Heat Duty [kJ/hr]	1610256.7	-281343.58	177898.11	-101229	93347.762

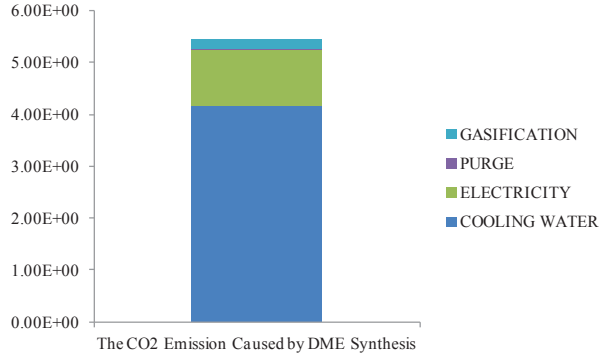
Table S4. The CO_2 Emission Information of DME Synthesis.

Inventory			
Input			
	BIOMASS	4.30E-01	kg/kg-product
	AIR	0.977	kg/kg-product
Utility			
	Diesel	2.98E-08	kg/kg-product
Output			
	SYNGAS	1.00E+00	kg/kg-product
	H_2	22%	
	CO	22%	
	CO_2	9%	
	CH_4	1%	
	H_2O	6%	
	N_2	40%	
Environmental load			
(emission originating from the combustion of fuel)			
CO_2	0.089	kg/kg-product	

Inventory			
Input			
	SYNGAS FROM BIOMASS	2.02E+00	kg/kg-product
Utility			
	COOLING WATER	1.68E+01	kg/kg-product
Utility			
	ELECTRICITY	2.39	kWh/kg-product
Output			
	DME	1.00E+00	kg/kg-product
	WATER	7.63.E-03	kg/kg-product
	PURGE	2.28.E-02	kg/kg-product
Environmental load			
(emission originating from the combustion of fuel)			
CO2	5.428	kg/kg-product	
NOx	0.005	kg/kg-product	
SOx	0.003	kg/kg-product	

The CO_2 Emission Factor of DME Synthesis (Gasification included) is 5.428 kg/kg-DME (31.815 kg/kg-DME)

Fig. S4. The Composition of CO_2 Emission involved in DME Synthesis



MeOH Synthesis[3][4]

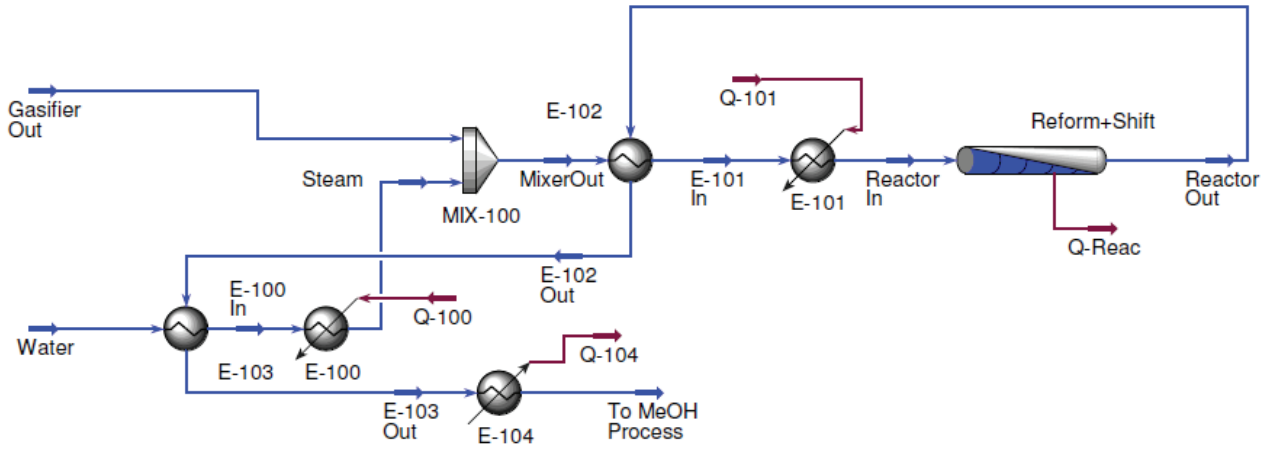


Fig. S5. The PFD of Reforming Syn-Gas

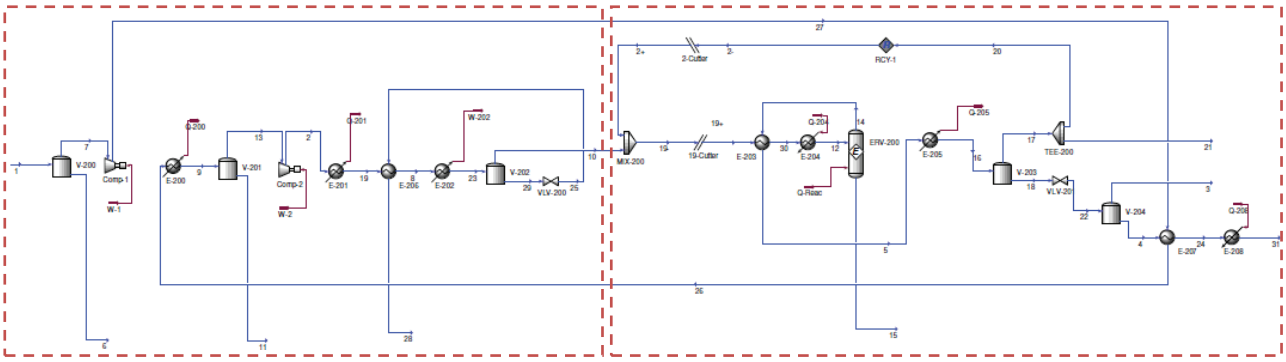


Fig. S6. The PFD of Dehydro-Decarbon of Reformed Syn-Gas and MeOH Synthesis

Table S5. The chemical reaction of Water-Gas Shift and Reforming of Methane.

Reaction Equation	Enthalpy (kJ/mol)	Remark
$CH_4 + H2O \rightarrow CO + 3H_2$	206	Methane Reforming
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	-41	Water-Gas Shift

Table S6. The chemical reaction of MeOH Synthesis.

Reaction Equation	Enthalpy (kJ/mol)	Remark
$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$	-91	Methanol Synthesis

Table S7. The Main Stream (Feed and Product) of MeOH Synthesis (Mass Fraction)

	Temperature [°C]	Pressure [bar]	Mass Flow [kg/hr]	CH_4	CO	H_2	CO_2	H_2O	MeOH
Gasifier Out	40	1.013	40.23	0.0004	0.5025	0.0280	0.3032	0.1660	0
To MeOH	30	1.013	62.76	0.999	0.1901	0.0276	0.4025	0.3798	0
To Synthesis	-120	1.013	13.71	0	0.3320	0.6670	0.0010	0	0
MeOH	300	1.519	13.44	0	0.001	0	0.0038	0	0.9952

Table S8. The Heat duty Information after Heat Exchange

Syn-Gas Reforming	unit	Q-Reac	Q-101	Q-100	Q-104	0
	MJ/h,kW	10	19	-22	Useless	0
	°C	850	694.5→850	121	80→30	0
Dehydro-Decarbon oxide Process	unit	Q-200	Q-201	W-1	W-2	W-202
	MJ/h,kW	Useless	-109	6	5	3
	°C	84→30	171→30	0	0	0
MeOH Sythesis	unit	Q-204	Q-Reac	Q-205	Q-208	
	MJ/h,kW	—	—	Useless	126	
	°C	—	—	131→30	203→300	

Table S10. The CO_2 Emission Information of MeOH Synthesis.

Inventory			
Input			
	BIOMASS	3.74E-01	kg/kg-product
	AIR	1.097	kg/kg-product
Utility			
	Diesel	2.59E-08	kg/kg-product
Output			
	SYNGAS	1.00E+00	kg/kg-product
	H_2	16%	
	CO	20%	
	CO_2	8%	
	CH_4	0%	
	H_2O	10%	
	N_2	46%	
Environmental load			
(emission originating from the combustion of fuel)			
CO_2	0.078	kg/kg-product	

Inventory			
Input			
	SYNGAS FROM BIOMASS	2.99E+00	kg/kg-product
	IONED WATER	0.277	kg/kg-product
	IONED WATER (RECYCLE)	1.767	kg/kg-product
Utility			
	FUEL	1.23E+01	MJ/kg-product
Utility			
	STEAM	9.85	MJ/kg-product
Utility			
	ELECTRICITY	1.05	kWh/kg-product
Output			
	MeOH	1.00E+00	kg/kg-product
	H2 PURGE	0.02	kg/kg-product
Environmental load			
(emission originating from the combustion of fuel)			
CO_2	4.096	kg/kg-product	
NOx	1.809	g/kg-product	
SOx	3.098	g/kg-product	

The CO_2 Emission Factor of MeOH Synthesis (Gasification included) is 4.096 kg/kg-MeOH

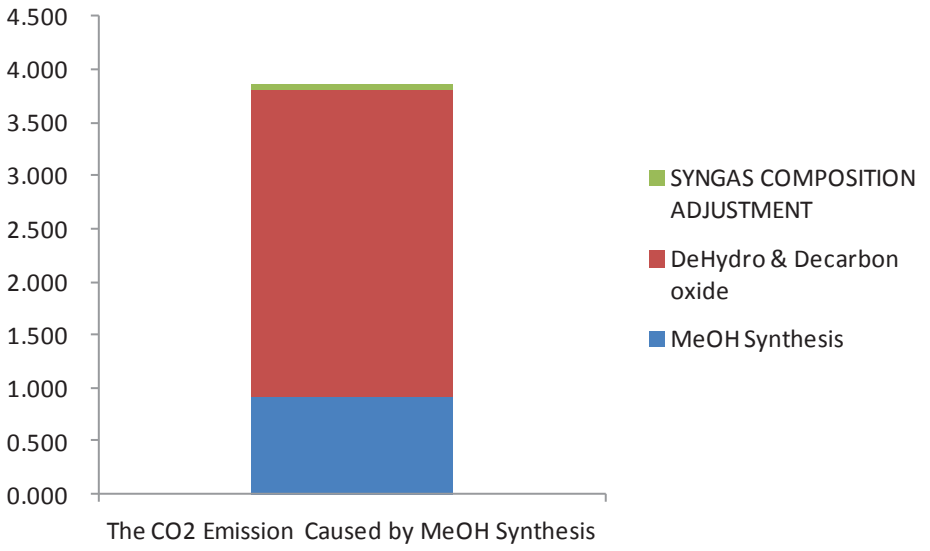


Fig. S8. The Composition of CO_2 Emission involved in MeOH Synthesis

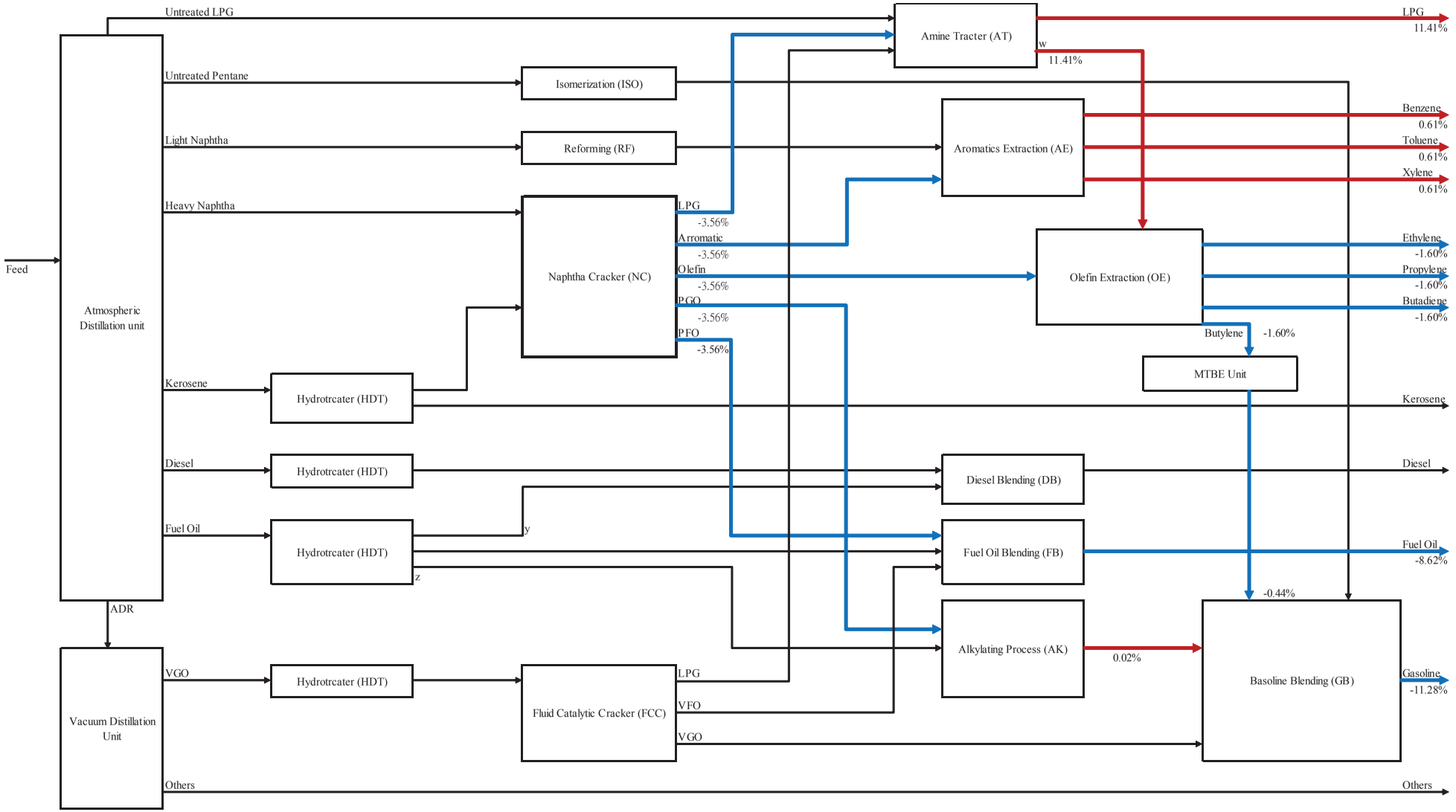


Fig. S9. The Influence on Emission Factor of Each Flow by 50% Reduction of Gasoline and Diesel.

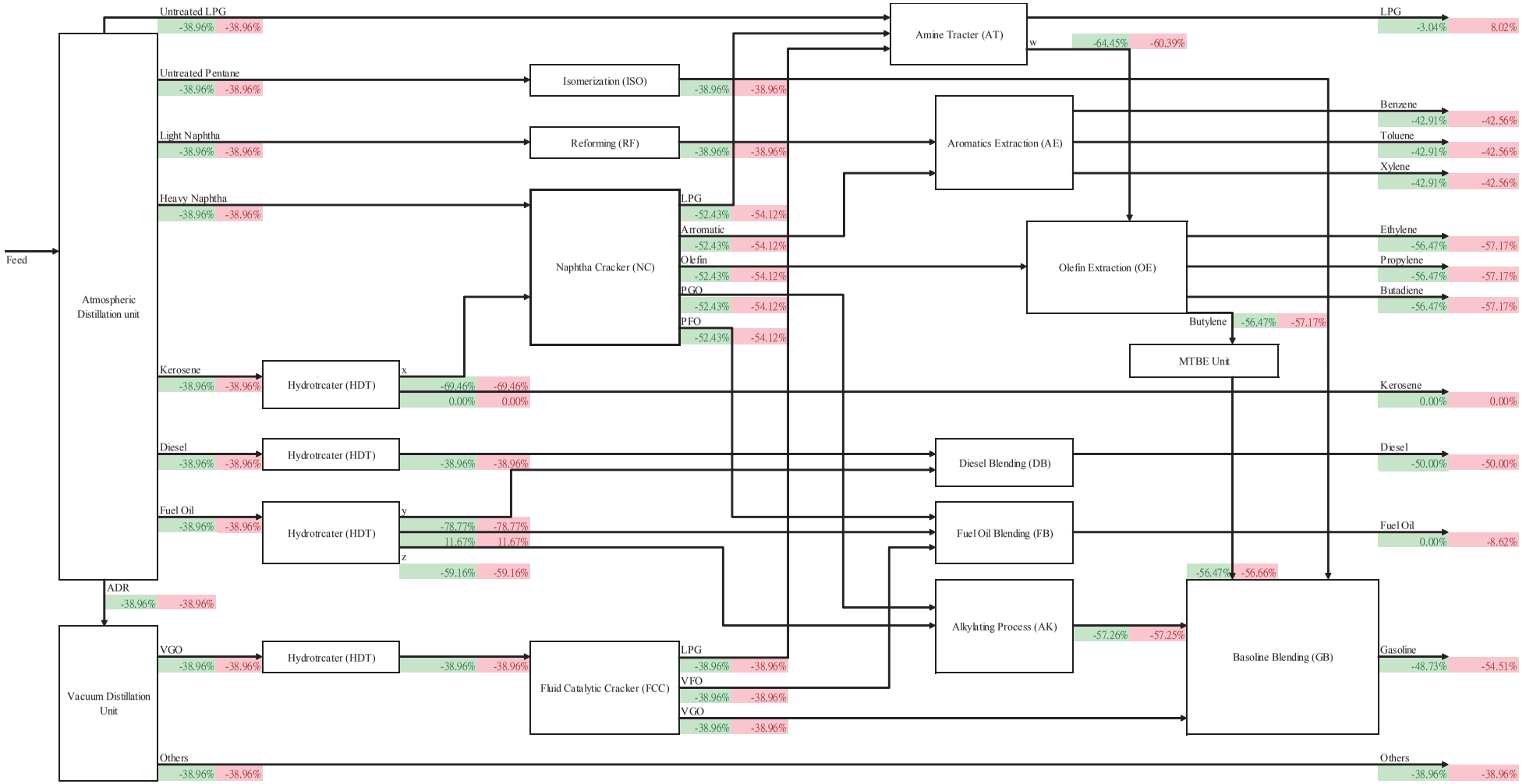


Fig. S10. The Changes of Each Flow caused by 50% Reduction of Gasoline and Diesel.

Table S11. The Sensitivity Analysis of Reduction of Gasoline and Diesel

		0%			10%				20%				30%				40%				50%			
Unit	Stream	Material	GHG	Factor	Material	GHG	Factor		Material	GHG	Factor		Material	GHG	Factor		Material	GHG	Factor		Material	GHG	Factor	
AD	AD_ULPG	122144.446	7328.667	0.060	117031.232	7021.874	0.060	0.00%	111918.017	6715.081	0.060	0.00%	106804.8019	6408.2881	0.0600	0.00%	101691.587	6101.495	0.060	0.00%	96578.372	5794.702	0.060	0.00%
	AD_UPENTANE	1597649.358	95858.962	0.060	1530768.508	91846.111	0.060	0.00%	1463887.658	87833.260	0.060	0.00%	1397006.8085	83820.4085	0.0600	0.00%	1330125.959	79807.558	0.060	0.00%	1263245.109	75794.707	0.060	0.00%
	AD_LN	2838636.933	170318.216	0.060	2719805.821	163188.349	0.060	0.00%	2600974.708	156058.482	0.060	0.00%	2482143.5955	148928.6157	0.0600	0.00%	2363312.483	141798.749	0.060	0.00%	2244481.370	134668.882	0.060	0.00%
	AD_HN	5701702.756	342102.165	0.060	5463017.888	327781.073	0.060	0.00%	5224333.020	313459.981	0.060	0.00%	4985648.1514	299138.8891	0.0600	0.00%	4746963.283	284817.797	0.060	0.00%	4508278.415	270496.705	0.060	0.00%
	AD_K	7309123.670	438547.420	0.060	7003148.895	420188.934	0.060	0.00%	6697174.119	401830.447	0.060	0.00%	6391199.3440	383471.9606	0.0600	0.00%	6085224.569	365113.474	0.060	0.00%	5779249.793	346754.988	0.060	0.00%
	AD_D	8364451.687	501867.101	0.060	8014298.735	480857.924	0.060	0.00%	7664145.784	459848.747	0.060	0.00%	7313992.8322	438839.5699	0.0600	0.00%	6963839.881	417830.393	0.060	0.00%	6613686.929	396821.216	0.060	0.00%
	AD_FO	13435889.099	806153.346	0.060	12873435.468	772406.128	0.060	0.00%	12310981.837	738658.910	0.060	0.00%	11748528.2059	704911.6924	0.0600	0.00%	11186074.575	671164.474	0.060	0.00%	10623620.944	637417.257	0.060	0.00%
	AD_ADR	9488180.593	569290.836	0.060	9090986.065	545459.164	0.060	0.00%	8693791.537	521627.492	0.060	0.00%	8296597.0094	497795.8206	0.0600	0.00%	7899402.482	473964.149	0.060	0.00%	7502207.954	450132.477	0.060	0.00%
VD	To HDT_V	8099556.899	870920.097	0.108	7760492.982	854940.448	0.110	2.45%	7421429.064	840357.054	0.113	5.31%	7082365.1473	825773.6595	0.1166	8.43%	6743301.230	811190.265	0.120	11.88%	6404237.313	796606.871	0.124	15.68%
	Others	724451.053	77897.963	0.108	694124.059	76468.690	0.110	2.45%	663797.065	75164.303	0.113	5.31%	633470.0715	73859.9166	0.1166	8.43%	603143.078	72555.530	0.120	11.88%	572816.084	71251.143	0.124	15.68%
HDT_K	Kerosene	3529902.000	352990.200	0.100	3529902.000	352990.200	0.100	0.00%	3529902.000	352990.200	0.100	0.00%	3529902.0000	352990.2000	0.1000	0.00%	3529902.000	352990.200	0.100	0.00%	3529902.000	352990.200	0.100	0.00%
HDT_D	To DB	9200896.855	920089.686	0.100	8815728.609	881572.861	0.100	0.00%	8430560.362	843056.036	0.100	0.00%	8045392.1154	804539.2115	0.1000	0.00%	7660223.869	766022.387	0.100	0.00%	7275055.622	727505.562	0.100	0.00%
HDT_FO	To FB	5191599.839	519159.984	0.100	5256711.575	525671.158	0.100	0.00%	5321823.311	532182.331	0.100	0.00%	5386935.0474	538693.5047	0.1000	0.00%	5452046.784	545204.678	0.100	0.00%	5517158.520	551715.852	0.100	0.00%
HDT_V	To FCC	8909512.589	1275897.942	0.143	8536542.280	1242965.097	0.146	1.68%	8163571.971	1211428.507	0.148	3.62%	7790601.6620	1179891.9168	0.1515	5.76%	7417631.353	1148355.327	0.155	8.11%	7044661.044	1116818.737	0.159	10.70%
ISO	To GB_ISO	1485813.903	255623.897	0.172	1423614.713	244922.961	0.172	0.00%	1361415.522	234222.025	0.172	0.00%	1299216.3319	223521.0894	0.1720	0.00%	1237017.141	212820.153	0.172	0.00%	1174817.951	202119.217	0.172	0.00%
RF	To AE	2838636.933	624500.125	0.220	2719805.821	598357.281	0.220	0.00%	2600974.708	572214.436	0.220	0.00%	2482143.5955	546071.5910	0.2200	0.00%	2363312.483	519928.746	0.220	0.00%	2244481.370	493785.901	0.220	0.00%
NC	NC_LPG	1888826.265	311909.232	0.165	1782424.177	293771.275	0.165	-0.19%	1676022.089	275633.319	0.164	-0.41%	1569620.0006	257495.3623	0.1640	-0.66%	1463217.912	239357.406	0.164	-0.94%	1356815.824	221219.449	0.163	-1.27%
	NC_AR	1175709.194	194149.435	0.165	1109478.691	182859.374	0.165	-0.19%	1043248.188	171569.314	0.164	-0.41%	977017.6851	160279.2540	0.1640	-0.66%	910787.182	148989.194	0.164	-0.94%	844556.679	137699.134	0.163	-1.27%
	NC_OL	4961053.280	819238.034	0.165	4681585.317	771598.201	0.165	-0.19%	4402117.354	723958.368	0.164	-0.41%	4122649.3907	676318.5345	0.1640	-0.66%	3843181.428	628678.701	0.164	-0.94%	3563713.465	581038.868	0.163	-1.27%
	NC_PGO	2381085.816	393197.967	0.165	2246953.573	370332.957	0.165	-0.19%	2112821.330	347467.948	0.164	-0.41%	1978689.0874	324602.9378	0.1640	-0.66%	1844556.845	301737.928	0.164	-0.94%	1710424.602	278872.918	0.163	-1.27%
	NC_PFO	580163.041	95804.581	0.165	547481.074	90233.411	0.165	-0.19%	514799.106	84662.241	0.164	-0.41%	482117.1380	79091.0712	0.1640	-0.66%	449435.170	73519.901	0.164	-0.94%	416753.203	67948.731	0.163	-1.27%
FCC	FCC_LPG	2058676.526	540900.300	0.263	1972496.142	523369.149	0.265	0.99%	1886315.757	506186.538	0.268	2.13%	1800135.3730	489003.9276	0.2716	3.39%	1713954.989	471821.317	0.275	4.77%	1627774.604	454638.706	0.279	6.30%
	FCC_VFO	774682.120	203541.346	0.263	742252.351	196944.356	0.265	0.99%	709822.583	190478.521	0.268	2.13%	677392.8145	184012.6869	0.2716	3.39%	644963.046	177546.853	0.275	4.77%	612533.278	171081.018	0.279	6.30%
	FCC_VGO	5413709.408	1422407.554	0.263	5187080.527	1376305.821	0.265	0.99%	4960451.646	1331120.645	0.268	2.13%	4733822.7644	1285935.4685	0.2716	3.39%	4507193.883	1240750.292	0.275	4.77%	4280565.002	1195565.116	0.279	6.30%
AT	LPG	1147238.865	169422.778	0.148	1037723.958	155853.851	0.150	1.70%	928209.051	142083.774	0.153	3.65%	818694.1442	127950.4363	0.1563	5.83%	709179.237	113388.130	0.160	8.27%	599664.330	98314.284	0.164	11.02%
AE	AE_BZ	1480089.417	301866.279	0.204	1411857.199	288063.387	0.204	0.04%	1343624.982	274260.495	0.204	0.08%	1275392.7641	260457.6023	0.2042	0.13%	1207160.547	246654.710	0.204	0.18%	1138928.329	232851.818	0.204	0.24%
	AE_TL	149333.676	30456.809	0.204	142449.384	29064.166	0.204	0.04%	135565.092	27671.523	0.204	0.08%	128680.7996	26278.8793	0.2042	0.13%	121796.508	24886.236	0.204	0.18%	114912.215	23493.593	0.204	0.24%
	AE_XY	2384521.599	486326.471	0.204	2274595.000	464089.102	0.204	0.04%	2164668.400	441851.733	0.204	0.08%	2054741.8007	419614.3634	0.2042	0.13%	1944815.201	397376.994	0.204	0.18%	1834888.601	375139.625	0.204	0.24%
OE	OE_E	3374516.889	383484.758	0.114	3217501.623	370030.900	0.115	1.20%	3060486.358	356852.712	0.117	2.60%	2903471.0922	343856.6992	0.1184	4.21%	2746455.827	331075.814	0.121	6.08%	2589440.561	318551.466	0.123	8.25%
	OE_P	2604063.880	295929.414	0.114	2482897.564	285547.275	0.115	1.20%	2361731.247	275377.865	0.117	2.60%	2240564.9306	265349.0381	0.1184	4.21%	2119398.614	255486.222	0.121	6.08%	1998232.297	245821.371	0.123	8.25%
	OE_B	484477.001	55056.635	0.114	461934.430	53125.074	0.115	1.20%	439391.860	51233.091	0.117	2.60%	416849.2894	49367.2629	0.1184	4.21%	394306.719	47532.320	0.121	6.08%	371764.148	45734.208	0.123	8.25%
	OE_BU	265789.466	30204.682	0.114	253422.361	29145.006	0.115	1.20%	241055.256	28107.043	0.117	2.60%	228688.1518	27083.4290	0.1184	4.21%	216321.047	26076.759	0.121	6.08%	203953.942	25090.295	0.123	8.25%
MTBE	To GB_MTBE	239210.519	109941.522	0.460	228080.125	105171.714	0.461	0.33%	216949.731	100423.620	0.463	0.72%	205819.3366	95689.8745	0.4649	1.16%	194688.942	90973.073	0.467	1.67%	183558.548	86276.478	0.470	2.27%
DB	Diesel	12730191.000	1273019.100	0.100	12730191.000	1273019.100	0.100	0.00%	12730191.000	1273019.100	0.100	0.00%	12730191.0000	1273019.1000	0.1000	0.00%	12730191.000	1273019.100	0.100	0.00%	12730191.000	1273019.100	0.100	0.00%
FB	Fuel Oil	6546445.000	818505.911	0.125	6546445.000	812848.924	0.124	-0.69%	6546445.000	807323.093	0.123	-1.37%	6546445.0000	801797.2628	0.1225	-2.04%	6546445.000	796271.432	0.122	-2.72%	6546445.000	790745.602	0.121	-3.39%
AK	To Gasoline	7680099.555	9438726.210	1.229	6585268.345	8105852.083	1.231	0.16%	5490437.135	6772977.956	1.234	0.38%	4395605.9255	5440103.8292	1.2376	0.70%	3300774.716	4107229.702	1.244	1.25%	2205943.506	2774355.575	1.258	2.33%
GB	Gasoline	14818833.386	11226699.184	0.758	13424043.710	9832252.580	0.732	-3.32%	12029254.034	8438744.246	0.702	-7.40%	10634464.3584	7045250.2616	0.6625	-12.55%	9239674.683	5651773.221	0.612	-19.26%	7844885.007	4258316.387	0.543	-28.35%
Adjusting	w	2515443.649	371477.522	0.148	2447032.437	367515.298	0.150	1.70%	2378621.226	364102.764	0.153	3.65%	2310210.0137	361053.4913	0.1563	5.83%	2241798.802	358433.187	0.160	8.27%	2173387.590	356324.422	0.164	11.02%
	x	4510134.037	451013.404	0.100	4173561.784	417356.178	0.100	0.00%	3836989.531	383698.953	0.100	0.00%	3500417.2784	350041.7278	0.1000	0.00%	3163845.026	316384.503	0.100	0.00%	2827272.773	282727.277	0.100	0.00%
	y	3529294.145	352929.414	0.100	3914462.391	391446.239	0.100	0.00%	4299630.638	429963.064	0.100	0.00%	4684798.8846	468479.8885	0.1000	0.00%	5069967.131	506996.713	0.100	0.00%	5455135.378	545513.538	0.100	0.00%
	z	6058584.025	605858.403	0.100	4989605.048	498960.505	0.100	0.00%	3920626.071	392062.607	0.100	0.00%	2851647.0945	285164.7094	0.1000	0.00%	1782668.118	178266.812	0.100	0.00%	713689.141	71368.914	0.100	0.00%

太陽光パネル廃棄量の将来推計と再資源化のための最適輸送計画

Future Estimation of Discarded Solar Panel and the Optimal Transportation Plan for Recycling

○佐藤太平*[1)]、松本 亨[1)]、藤山淳史[1)]、吉村英俊[1)]、内田裕之[2)]
Taihei SATO, Toru MATSUMOTO, Atsushi HUJIYAMA, Hidetosi YOSHIMURA, Hiroyuki UTHIDA
1) 北九州市立大学, 2) みずほ情報総研
*q9551016@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

低炭素対策、再生可能エネルギーの普及促進策の結果、PV システムが近年急速に普及しつつある。2012 年 7 月の再生可能エネルギー固定価格買取制度の導入を機に、この傾向がさらに加速する可能性がある。これにより、将来的に PV システムが大量に廃棄される可能性が予想されるため、今のうちから回収・再資源化の体制を検討・整備しておくことが必要であるといえる。

本研究では、PV システム廃棄量の将来推計を行い、それを市町村別に按分することで、廃棄量の地域別将来推計を行う。次いで、輸送・処理に要するコスト、拠点までの距離を用いて、最適輸送計画を算出し、ストックヤード（SY）の最適配置を求めることを目的とする。

2. PV システム廃棄量の地域別将来推計

2.1 全国の PV システム廃棄量の将来推計

本稿では、設置時ロス、生産時ロス、製品寿命による廃棄を考慮して、PV システム廃棄量の将来推計を行った。まず設置時ロスによる廃棄は、初期不良を考慮して、年間導入量の 5%が故障し廃棄されると仮定し、生産時ロスによる廃棄は、年間導入量の 1%が廃棄されると仮定した年間導入量は、新規導入量とリプレース導入量の和とする。寿命による廃棄は、ワイブル分布関数を用いた。ワイブル関数の形状パラメータ β 値は、日本の 22 品目の電気・電子製品の平均ワイブル分布の形状パラメータである 2.4[1)]を使用し、平均使用年数 20 年でその年の出荷量の半分が故障すると仮定した。また出荷された年の寿命による廃棄量は 0 とした。使用したワイブル関数を以下の Figure 1 に示す。

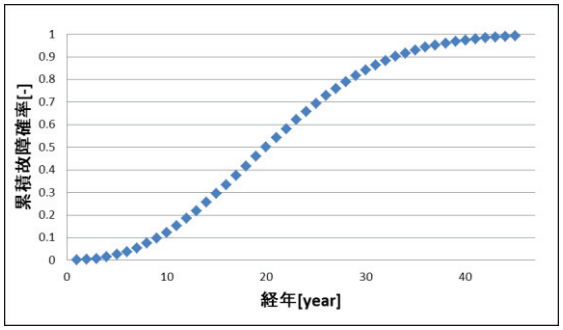


Figure 1. 使用したワイブル関数

次に、以下の（1）、（2）、（3）式を用いて、出荷後の使用年数別の PV システムの故障率を求めた。

$$R(i) = 1 - e^{-\alpha t^{\beta}} \quad (1)$$

$$f(i) = R(i) - R(i-1) \quad (2)$$

$$D(i) = \sum_{i=t} P(i) \times f(i) + P(i) \times 0.06 \quad (3)$$

$R(i)$は使用年数 i年までの累積故障確率、α、βは関数の形状パラメータ、$f(i)$は使用年数 i年度中の故障確率である。$D(i)$は使用年数 i年後の廃棄量、$P(i)$は i年度の年間導入量である。

2.2 市区町村別廃棄量への按分

次に 2.1 節で推計した廃棄量を市区町村別に按分した。まず住宅用PV システムの廃棄量の都道府県への按分については、都道府県年度別の導入実績[2) 3)]を参照し、按分率を算出し推計した。市区町村への按分については、都道府県別の廃棄量と市町村別の住宅数（データがないところは人口）より求めた按分率を用いた。産業用の PV システム廃棄量については、エネルギーマップ[4)]より補助事業・共同研究事業のまとめを参照し、按分を行った。

2.3 PV システム廃棄量の地域別将来推計

地方別の PV システム廃棄量の 2012 年の推計結果を、Figure2 に示す。

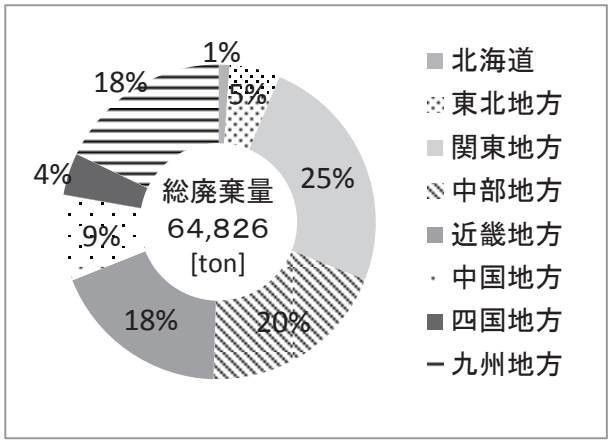


Figure 2. 地方別PV システム廃棄量の推計（2012 年）

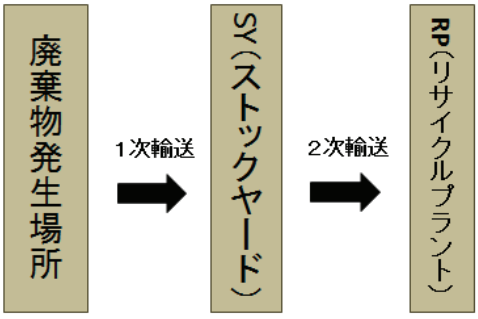
地方別の PV システムの廃棄量を見ると、人口が集中し、

建物数の多い関東地方、中部地方、近畿地方から大量に排出されると考えられる。一方で、人口の少ない東北地方、四国地方は相対的に少ないことがわかる。

3. 再資源化処理施設までの最適輸送計画

3.1 最適輸送計画導出手法の概要

最適輸出計画導出手法の概要を、Figure 3に示す。



SY設置数	1次輸送距離	2次輸送距離	収集個数	SY管理・運営費
設置数少	↗	→	↗	↘
設置数多	↘	→	↘	↗

Figure 3. 最適輸送計画導出手法の概要

廃棄PVシステムの発生場所からSYまでを１次輸送、SYからリサイクルプラント(RP)までを２次輸送とした。各地方別にSYの数が5，10，15，20，25か所というケースについて計算を行った。SYの最適配置は、輸送エネルギーを廃棄PVシステムの発生場所からSYまでの輸送距離と発生した廃棄量の積と定義し、輸送エネルギーが最小となる配置を最適モデルとしてSYの位置を定めた。

3.2 計算方法

各市町村の廃棄PVシステムの集積場所を役場と仮定し、各役場の緯度・経度のデータからクラスター分析によりグループ分けを行った。そのグループの市区町村別廃棄量と緯度・経度のデータを用い、重心法を採用して、式(4)からSYの最適配置を定めた。

$$X_G = \frac{m_1x_1+m_2x_2+\cdots\cdot m_nx_n}{m_1+m_2+\cdots\cdot m_n} \qquad (4)$$

ここで、m_nは、発生した廃棄物の重さ、x_nは緯度または経度のデータである。

3.3 SYの最適配置

SYを九州地方に10ヶ所設置するケースの最適配置図と、その場合の輸送エネルギーの推計結果をFigure 4、Table 1に示す。

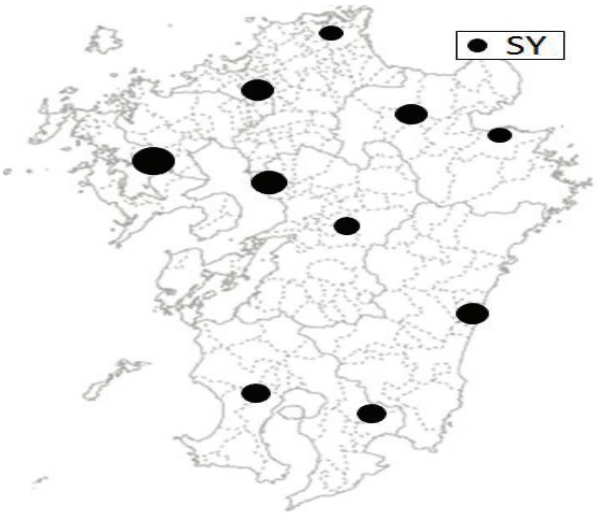


Figure 4. SYの最適配置（九州に10ヶ所）

Table 1. 最適配置の場合の輸送エネルギー結果

クラスター	カバー率[%]	輸送エネルギー[ton・km]
1	6.19%	8,047
2	10.18%	30,355
3	8.41%	26,546
4	15.04%	25,580
5	11.50%	42,814
6	7.52%	22,385
7	5.31%	11,841
8	7.96%	19,921
9	14.16%	16,055
10	13.72%	24,852

Table 1のクラスターとは、地域割りを指す。なお、今回は離島についてはサンプルから外して計算を行っている。

4. おわりに

本研究では、設置時ロス、生産時ロス、寿命による廃棄を考慮し、PVシステム廃棄量の市町村別将来推計を行い、その結果から、輸送・処理に要するコストを用いてSYの最適配置の計算を行った。今後は、データの精緻化とともに、全国規模での推計を行うことが課題である。

参考文献

1） 小口正弘、亀屋隆志、田崎智宏、玉井伸明、谷川昇 廃棄物学会論文誌, Vol. 17, No1, (2006), pp. 50-60
2） ‘太陽光発電:’新エネルギー財団　都道府県別販売実績　<http://www.solar.nef.or.jp/index1.htm>
3） ‘太陽光普及拡大センター’J-PEC　都道府県別申請件数集計データ <http://www.j-pec.or.jp/information/data.html>
4） NEDO：新エネルギーマップ2009　資料編 <http://www.nedo.go.jp/library/pamphlets/kankobutsu_pamphlets_01_10donyu.html>

広域的処理を想定した太陽電池モジュール汎用リサイクル処理手法に関するライフサイクル評価

Life cycle assessment for the versatile recycling methods of photovoltaic modules to use for treatment over wide area

○内田裕之*[1)]、河本桂一[1)]、古島康[1)]、矢次洋平[1)]、松本亨[2)]、野田松平[3)]、斎藤寛[4)]
Hiroyuki Uchida, Keiichi Komoto, Yasushi Furushima, Yohei Yatsugi, Matsuhei Noda, Toru Matsumoto, Hiroshi Saito
1) みずほ情報総研株式会社, 2) 北九州市立大学, 3) 北九州産業学術推進機構, 4) 株式会社新菱
*hiroyuki.uchida@mizuho-ir.co.jp

1. はじめに

太陽光発電システムは、発電時に化石燃料などを使用しないことから、地球環境問題とエネルギーセキュリティ問題の解決に貢献する技術として消費者にも広く認知されている。

国内の太陽光発電は、初期の導入拡大期（1990年代）から20年が経過している。太陽光発電システムの中心部材である太陽電池モジュールの寿命は20～30年と言われていることから、今後、住宅から大量の廃棄処理が発生することが想定される。太陽光発電の環境問題に対する貢献を損なわないためには、材料のリサイクルなど、使用後処理への適正な対応が必要となる。

ヨーロッパでは、太陽電池モジュール製造企業等がPV CYCLEという機関によるモジュールの回収・処理の仕組みを構築、改正WEEE指令でモジュールの回収・リサイクルが義務付けられるなど、太陽光発電の廃棄処理への対応を進めている。日本においても、2000年代後半より、太陽光発電メーカーなどが、システムを分解し、構成材料のリサイクル率を高めるための技術開発を行ってきた[1)]。2010年度からは、新エネルギー産業技術総合開発機構の委託のもと、北九州産業学術推進機構を中心としたコンソーシアムにより、「広域対象のPVシステム汎用リサイクル手法に関する研究開発」で、モジュールの汎用リサイクル処理技術の開発とリサイクル促進のための社会システム整備検討が実施されている。

技術開発が進められる一方、リサイクルによる環境負荷削減効果の評価も進められている。2008年度までに行われた評価[2)]では、構成材料のリサイクルを促進した場合、システムのライフサイクルでのCO_2が20～40%近く削減されるという結果が示されている。しかし、この評価では、使用後処理について仮想の将来シナリオを用いており、一部実態に即していない面があるのではないかという課題が示唆された。

北九州産業学術推進機構を中心としたコンソーシアムでは、この課題を解決するため、技術開発と合わせて実現可能なリサイクルのシナリオを検討し、使用後処理段階の評価を実施した。また、分離回収方法や主要材料の廃棄処理方法の違いを分析し、今後の技術開発に向けた課題を整理した。

本発表は、新エネルギー産業技術総合開発機構の委託のもと北九州産業学術推進機構を中心としたコンソーシアムが実施している研究開発における評価の成果を示すものである。

2. 方法

2.1 評価対象製品

本発表では、技術開発の対象であるモジュール部分を評価対象とした。既存の評価[2)]では、多結晶Si、単結晶Si、CISなど複数種類のモジュールを評価しており、種類によって結果は異なっている。ここでは、このうち国内で最も多く使用されている多結晶Siのモジュールを例として評価結果を示す。

2.2 評価範囲

本発表では、技術開発による効果、技術開発の課題を抽出することを目的とするため、モジュールのライフサイクル全体ではなく、システムの回収・解体後、使用済みモジュールが発生した点から、分離された各種材料がリサイクルされ新たな材料となるまでを評価範囲とした。

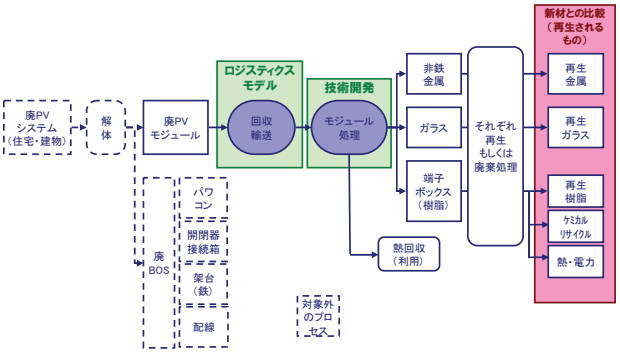


図1 評価範囲

なお、リサイクル促進による環境負荷削減効果を検討するため、リサイクルされた材料の分、新規に製造する材料の製造時の環境負荷量を差引いた。

2.3　使用後処理のシナリオ

太陽電池モジュールは、ガラス、金属材料、樹脂材料など複数材料が強固に加工処理されており、単一材料への分解・回収は困難とされている。本研究開発では、この太陽電池モジュールを分解し、有価物の回収を促進する技術を検討している。しかしながら、重量でモジュールの大部分を占める板ガラスは、技術的な問題などから、カレットへのリサイクル率は高くない[3]。また、製造段階のCO_2排出量が大きい多結晶 Si は経済的な問題から、現時点ではリサイクル困難と考えられる。そのため、分解後のガラス及び多結晶 Si のリサイクルはオプションケースとし、リサイクルが実施された場合の効果を見積った。

表１ 評価シナリオ

ベースケース（BC）	ガラス・充填材の熱分離後（熱回収せず）、フレーム他を回収リサイクル（ガラス、Si 以外）
熱回収（TR）	BC＋ガラス・充填材の熱分離時の熱回収
TR＋ガラス再生（GR）	TR＋ガラスの再生（カレット化）を実施
GR＋金属 Si 再生	GR＋Si の回収・金属 Si への再生を実施
GR＋多結晶 Si 再生	GR＋Si の回収・多結晶 Si への再生を実施

2.4　回収輸送のシナリオ

モジュールの回収輸送は、家電リサイクルのルートを参考とし、住宅でシステムを解体後、回収拠点を経由してモジュールの解体を行うリサイクルセンターまで輸送するものとした。リサイクルセンターは北九州市に設置、回収拠点は、九州各県に存在する実際の家電リサイクルの回収拠点を想定して、輸送距離を設定した。

3.　結果

3.1　CO_2排出量に関する評価結果

評価の結果、熱分離時の熱を回収することで 18kg、ガラスを再生することでさらに 25kg のCO_2排出量削減につながる（太陽電池モジュール 1kW あたり）ことが示された。多結晶 Si については、多結晶 Si へ再生される場合、更に 130kg 程度の削減となる。

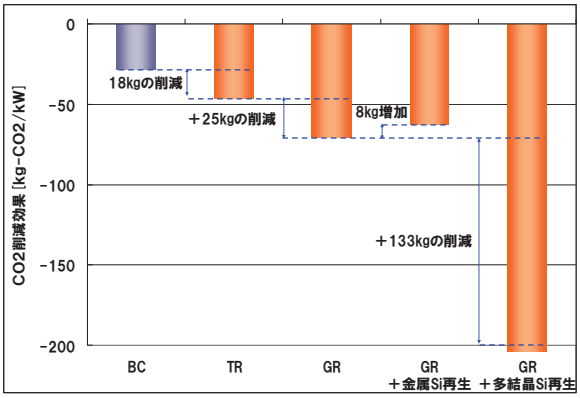


図２　CO_2排出量の算定結果

3.2　廃棄物の埋立量に関する評価結果

廃棄物の埋立量に関しては、ガラスの回収リサイクルが可能であれば大きな削減につながる。Si に関してはモジュール内に使用されている量が少ないため埋立量では大きな影響は無い。

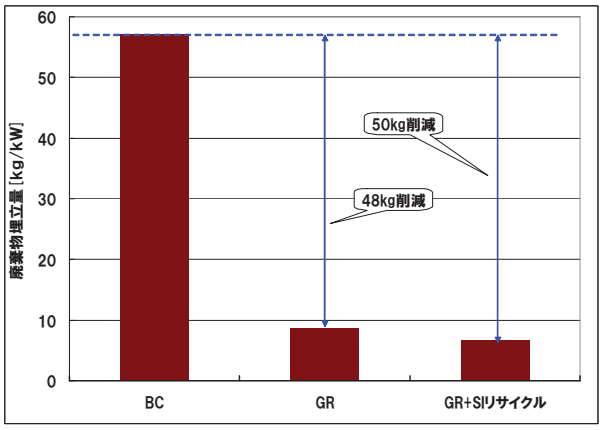


図３　廃棄物の埋立量の算定結果

4.　まとめ

評価結果から、熱回収、ガラスリサイクル、多結晶 Si の再生（多結晶 Si への）が環境負荷の低減に有効であることがわかった。

熱回収については、経済性の向上にもつながるため、プラントにおける熱回収・熱利用効率の向上が検討されている。ガラスリサイクルは、現時点でカレットへの利用は難しいが、廃棄物の埋立量削減や経済性向上に関しては、路盤材への利用や海外への輸出などを促進することが有効である。CO_2 の削減に向けては、今後、板ガラス業界との連携や経済性を考慮した技術開発の検討が必要である。多結晶 Si のリサイクルは、経済的に困難かつ多結晶 Si まで再生する技術が求められることから、当面は難しいものと考えられる。しかしながら、既存の報告[1]では、多結晶 Si としての再利用が可能であることも示されており、大幅な CO_2 排出量削減の実現に向けて、今後の技術開発の検討が必要と考えられる。

参考文献

1) 太陽光発電技術研究組合、シャープ株式会社、昭和シェル石油株式会社、旭硝子株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所：“太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等の研究開発”, (2006)

2) みずほ情報総研株式会社：“太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究”, (2009)

3)工藤透：“板ガラスのリサイクルの現状と課題”, リデュース・リユース・リサイクル推進協議会情報交換会,（オンライン）, 入手先 <http://www.3r-suishinkyogikai.jp/conference/data/H32aS22.pdf>,（参照 2013-1-7）

太陽光発電を利用した独立系直流 LED 照明システムに関する総合的評価

Comprehensive evaluation related to DC LED lighting system utilizing photovoltaic system

○土居義浩*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Yoshihiro DOI, Koji AMANO, Naoki YOSHIKAWA
1) 立命館大学
*rv004079@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

我が国の家庭部門におけるエネルギー消費実態として、2009 年度における消費量全体の 14.2%を占め、基準年からみて約 26.9%の増加となっている[1)]。また、家庭内のエネルギー消費の内訳をみれば、エアコン・照明器具・冷蔵庫は特に高い割合を占め、順に 25.2%、16.1%、16.1%となっており、家庭部門におけるエネルギー消費量を削減するためには、これらの機器に対して優先して対策することが合理的であると考えられる。これらの背景のもと、照明に関して対策を講じることには意義があると考え、本研究では、照明システムを新たな利用形態へ転換することが可能である「独立系直流 LED 照明システム」に着目することとした。

独立系直流 LED 照明システムとは、太陽光発電システム(PV)により発電された直流電力を蓄電池に蓄電し、交直変換を行わず夜間照明(LED 照明)に利用するシステムである。特徴として、交直変換の際のエネルギーロスがない、PV の余剰電力により夜間の照明負荷を賄うことが可能、停電時に安定供給が可能、等が挙げられ、特性上、PV と蓄電池の導入は必須である。

本研究では、前述システムによる、環境負荷削減効果及び経済的効果、更には、停電時の安定供給面を総合的に評価する。

2. 方法

2.1 各種設定

評価範囲に関しては、製造段階及び運用段階、廃棄段階を対象とし、LCA による環境負荷削減効果の評価、売電制度等を考慮に入れた経済性の評価、供給安定性の評価を行う。運用段階の CO_2 排出量には建築物内の電力消費による排出を含む。

導入条件に関しては、対象都市を札幌、仙台、東京、名古屋、大坂、広島、高松、福岡の全 8 都市に設定し、それぞれ一般戸建住宅及び集合住宅を想定した。照明システムに関しては、設定した建築物間取における各部屋全てに対して利用用途を設定し、それらの用途に対する必要照度を満たすよう照明設計を行う。導入する蓄電池に関しては、照明分のみを賄う蓄電池容量にすることが経済的な面から一般的とされるが、本研究では、災害時における有用性を考慮に入れ、照明分以外の夜間電力消費を賄うことが可能である様々な容量の蓄電池を導入する場合に関しても考察する。

ⅰ.夜間照明分と同等容量のケース
ⅱ.一般的 PV 規模での余剰電力を全て蓄電可能な容量とするケース
ⅲ.全負荷を賄うことの出来る PV 規模での余剰電力を全て蓄電可能な容量とするケース

また、蓄電池を導入することで余剰電力の利用方法も多種多様となるが、本研究では以下のシナリオを考えることとする。

a.余剰電力を全負荷に対して利用するケース
b.余剰電力は夜間照明にのみ利用するケース
c.発電時間帯の余剰電力を全て売電するケース

なお、評価するシステムに関しては逆潮流が可能であることを前提とする。

2.2 評価手法

METPV-11 の日射量データ[2)]より、都市別月別時刻別の PV の発電電力量を分析し、前述の各シナリオ設定に応じて年間の電力消費量及び売電量を算出する。以上の結果と、管轄電力会社の電力 CO_2 排出原単位及び電力価格等のデータから年間の CO_2 排出削減量[kg-CO_2]及び年間コスト削減額[円]を算出する。供給安定性に関しては、各都市の地震発生リスク及び停電リスク、災害時のライフライン復旧率と日数の関係から、停電発生時において電力復旧までに賄う電力量期待値を算出する。また、蓄電池の耐用年数は放電深度に依存しており、利用方法によって非常に大きな差異を生じるため、本研究では、各シナリオ別の電池の限界サイクル数を考慮することとした。

製造段階及び廃棄段階、イニシャルコスト等の詳細に関しては要旨では割愛することとする。

2.3 統合化

評価対象の環境負荷面及び供給安定面を汎用システムと比較した際の経済的便益として統合化する。環境負荷面に関しては、既存の手法(LIME2)[3)]を用いることとし、CO_2 排出削減が社会資産及び人間の健康(損失余命)に与える影響を経済的便益として統合する。供給安定面の統合化では、2.2 に示した電力量期待値及び停電回避に対する支払意思額[円/kWh]から経済的便益の期待値を算出す

る。停電回避に対する支払意思額に関しては既存の研究[4]を参照する。最後に費用便益分析を行うこととし、汎用システムと比較した際のイニシャルコスト増加額で経済的便益を除すことにより費用対効果を分析する。

3. 結果

設定した評価範囲における $LCCO_2$、経済的便益への統合化、費用便益分析の結果を以下に示す。 i～iii、a~b の記号は 2.1 で示したケースに対応している。

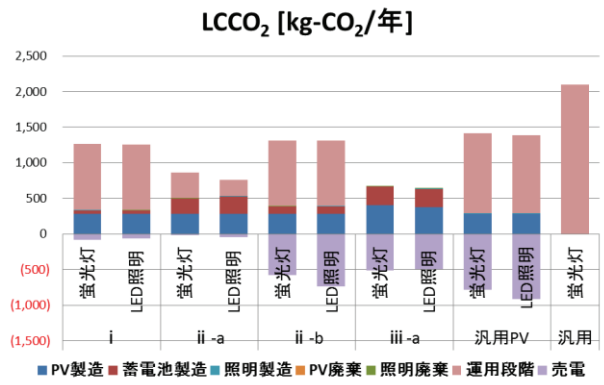


図１$LCCO_2$算定結果(東京 戸建)

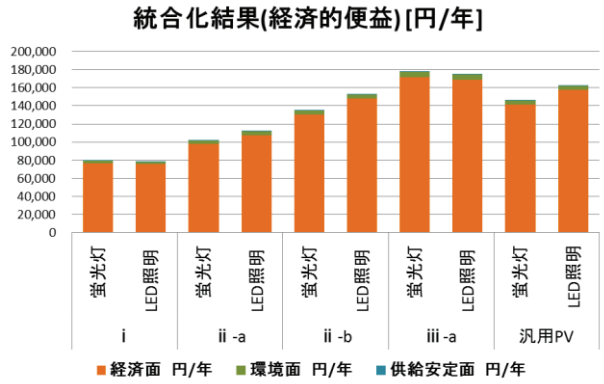


図２ 経済的便益への統合化結果(東京 戸建)

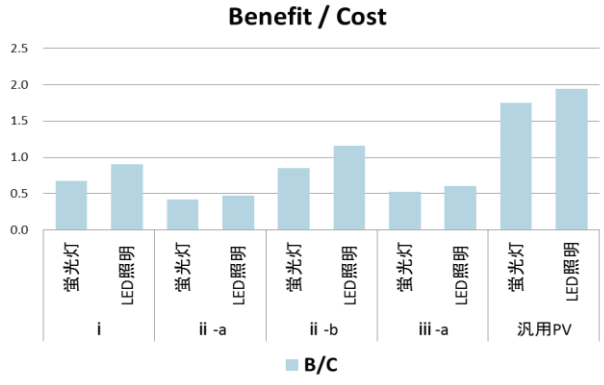


図３ 費用便益分析(東京 戸建)

図 1 より、CO_2 排出量に関しては、汎用システムと比較し、いずれのケースでも削減効果が期待できる。逆潮流を行った際の電力が損失なく全て利用されたと仮定すれば、売電分の電力も削減効果に繋がることとなり、その場合では、最も排出量の少ないケースはiii-a システム(蛍光灯:121.6kg-CO_2/年 LED照明:114.5kg-CO_2/年)となり、次いで、汎用 PV システムとなる。

統合化結果を図 2 に示す。電気料金の削減や逆潮流による経済的便益が大部分を占めており、環境面の占める割合は5%未満となった。同様に、安定供給面に関しても、各ケースにより差異はあるが全体に占める割合は 1%未満となった。

費用便益分析の結果を図 3 に示す。汎用システムが最も費用対効果に優れている結果となり、次いでii-b が優れている結果となった。ii-a、iii-a ケースでは、蓄電池を深放電で利用する必要があるため機器の寿命が極端に短くなり、買い替えが多くなるため費用対効果は小さい結果となった。

4. おわりに

本研究では、独立系直流 LED 照明システムに関する環境性・経済性・供給安定面を総合的に評価した。利用方法によるパフォーマンスの変化は顕著であったが、費用対効果として汎用 PV システムが最も優れている結果となった。これは、一つの建築物に対する電力安定供給による便益が機器のコストよりも大幅に低いことが理由として考えられる。今後の蓄電池の技術発展、新たな補助制度の導入が望まれる。また、逆潮流を行った際は全ての電力が損失なく全て利用されるとの仮定で評価を行ったが、対象建築物の周辺の需要によっては損失を生じる場合があるため、売電分の全てが環境負荷削減に繋がるとは一概には言えないことから、これを今後の課題とする。

参考文献

1) 資源エネルギー庁：“エネルギー白書（2010 年度版）”，入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/index.html>，（参照日 2013-1-7）
2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：“METPV-11”，入手先 <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>，（参照日 2013-1-8）
3) 伊坪徳宏：“LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”，社団法人産業環境管理協会 ，(2010)
4) 金婷，松橋隆治 ， 吉田好邦：“第 28 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス”，東京都，(2012)，PP.463-466

コストと CO_2 を最小化する太陽電池のサプライチェーンとその政策への示唆

Optimization of Global Photovoltaic Supply Chain to Reduce the Cost and CO_2 emission and Implication for the Policy

○河尻耕太郎*[1,2]、野々山洸[3]、Timothy G. Gutowski[1]
Kotaro Kawajiri, Ko Nonoyama, Timothy G. Gutowski
1) Massachusetts Institute of Technology, 2)産業技術総合研究所, 3) 早稲田大学
*kotaro-kawajiri@aist.go.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化、エネルギー資源の枯渇、原子力発電所のリスクなどにより、再生可能エネルギーに注目が集まりつつある。太陽電池は、現時点では他の発電技術よりもコストが高いが、近年のエネルギー変換効率の向上や、製造技術の革新により、他の発電技術よりも早いスピードでコスト低下が進んでいる。したがって、近い将来、より技術開発が進めば、既存の発電技術よりもコスト面でも優位性が生じ、将来の電力システムの一端を担うことが期待されている。

一方で、太陽電池は、その製造段階において環境負荷が生じることは知られている[1]。特に近年では、サプライチェーンのグローバル化が進みつつあり、新興国による市場のシェアが拡大化しつつある。通常、水力が豊富な一部の国を除き、新興国では電力コストの安い石炭火力などの発電技術が使われることが多く、そういった国において製造がおこなわれた場合、製造段階において生じる温室効果ガスが増加する。一方で、近年、フィードインタリフなどにより、先進国において急速に太陽電池の普及が進みつつある[2]。先進国では、日射量などが比較的小さく、また効率的な発電技術を使用している国が多いため、そういった国に太陽電池を導入した場合、温室効果ガスの削減効果は相対的に小さくなる。したがって、現在のグローバル化の状況下では、太陽電池による温室効果の削減量が小さく方向に向かっている可能性がある。

そこで本研究では、最適な太陽電池のグローバルなサプライチェーンの在り方について、コストとCO2の両方の側面から検討を行う。最後に、太陽電池のライフサイクルCO2、ライフサイクルコストを同時最小化するための施策について、提案を行う。

2. 方法

2.1. 機能単位とシステム境界

本研究では、多結晶 Si（mc-Si）太陽電池 1kW を機能単位とする。

本研究においては、金属 Si 製造（Stage 1）、poly-Si 製造（Stage 2）、Si ウェハー製造（Stage 3）、太陽電池セル製造（Stage 4）、太陽電池モジュール製造（Stage 5）、使用（Stage 6）をシステム境界とする。

各ステージにおける国の構成は、統計データを利用する[3]。輸送と廃棄については、製造におけるエネルギー使用量と比して小さいために、今回は考慮しない。また、リサイクルについても考慮しないものとする。

インベントリデータについては、文献値を引用する[4]。

世界の各地点における太陽電池の発電量は、過去の我々の研究結果に基づいて算出する[5]。

各国の電力あたりのCO2排出量は、IEAのデータに基づいて、AIST-LCAで計算して得られた値を利用する[6]。

ライフサイクルコストを算出するための、各素材の価格については、Alibaba、VWR等のホームページを参考にする。各国人件費、土地代、電力料金等については、JETRO等のデータベースを利用して算出した[7]。また、使用段階のコストペイバックの算出においては、各国の補助金などの影響は考慮しないものとする。

ライフサイクル CO2 算出にあたっては、Ecoinvent2.0のデータベースを利用した[8]。なお、土地利用と労働についてのCO2排出量は考慮しない。

3. 方法

3.1. ライフサイクルCO2

図 1 に、日本で全てのステージを行った場合の太陽電池のモジュール製造段階におけるCO2排出量を示す。トータルでの CO2 排出量は 2040kg であり、インバーター等の他の設備の CO2 排出量を 280kg すると、合計で 2320kg の CO2 排出量が生じる。モジュール製造による CO2 排出量の約 80%が、Stage2 と Stage3 で生じている。また、材料由来のCO2排出量は全体の約29%、エネルギー由来は25%、設備・建設由来は46%を占める。本研究では、立地による電力あたりのCO2排出量の変化のみを考慮するため、サプライチェーン変化による影響は、システム全体の22%程度である。

日本に太陽電池を設置した場合、使用段階でのCO2削減量は年間約 570kg であるため、システム全体の CO2 payback time は約4年となり、20年間の使用で約9トンの CO2 が削減されると推計され、ライフサイクルの観点では、使用段階でのCO2削減量の影響が大きい。

我々の過去の研究により、太陽電池の発電電力量と、各国の電力あたりCO2排出量は、きわめて変動が大きい

ことが明らかにされている。現在太陽電池を導入している主な国の中でも、年間のCO2削減ポテンシャルは1.6－1600 kg程度の変動がある[6]。したがって、使用段階をどこで行うかが、ライフサイクル全体のCO2排出量を削減するための最も重要な意思決定といえる。

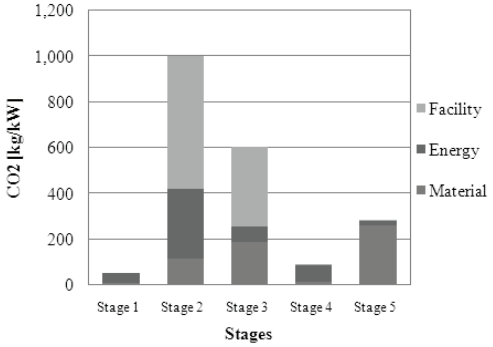


図1. 日本のケースにおける製造段階のCO2排出量

3.2. ライフサイクルコスト

図2に、日本で全てのステージを行った場合の太陽電池のモジュール製造段階におけるコストを示す。図より、モジュール製造のコスト合計は1200 $程度であり、Stage1を除き、ステージごとのコストの差異は小さい。インバーターや導入費等のコストを2800 $/kWと考えると、モジュール製造における企業の利益や税金等の影響を考慮しない場合、システムコスト合計は、約4000 $程度である。モジュール製造コストにおける各コストの割合は、41%が素材、12%がエネルギー、32%が設備・建築、13%が人件費、2%が土地代である。本研究では、立地によって電気代、人件費、建築、土地代が変化し、立地によって変動するコストが占める割合はモジュール製造コストの30%程度である。

一方、使用段階の日本の平均的な年間コストペイバックは、補助金の影響などを考慮しない場合、約225 $程度であり、ペイバックタイムは約17年、20年間の使用で500 $のコストペイバックとなる。

家庭用電力料金も、各国で大きく異なり、現在の太陽電池の導入国の中でも、コストペイバックは51－381 $程度の変動がある。しかしながら、CO2の場合と比較して、

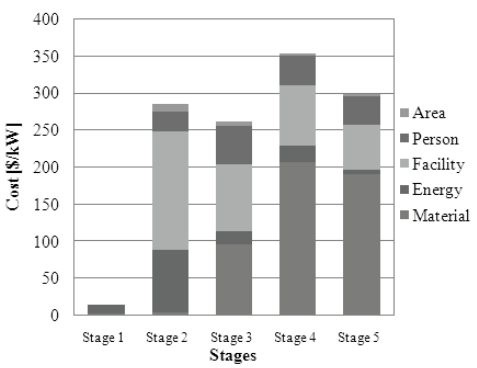


図2. 日本のケースにおける製造段階のコスト

その変動の幅は小さい。最終消費者にとっては、導入時のコスト負担の影響は大きいため、コストの観点から考えると、製造段階のサプライチェーンを最適化し、コストを低下させる意義は大きい。

4. 議論とまとめ

製造段階のCO2排出量の影響は、使用段階のCO2削減量に比して小さく、またその制御可能な割合も小さい。したがって、ライフサイクル全体のCO2を削減するためには、太陽電池をどこに設置するかが最も重要な意思決定となる。過去の我々の研究により、チベットやモンゴルなどに導入することで、きわめて効率的にCO2排出量を削減できることが明らかにされている[6]。

一方、コストの観点で考えると、製造段階のコストの削減の影響は大きい。例えば、既存のサプライチェーン構成国の中では、Stage 2では電気料金の安いアメリカ、Stage 3からStage 5では人件費の小さいマレーシア、マレーシア、インドなどに工場を移転することで、モジュール製造コストを980 $程度まで削減できる。また、設置場所については、チリやイタリアのコストペイバックが大きく、300$程度であり、最適なサプライチェーンによりペイバックタイムは13年程まで低減できる[9]。

CO2とコストを同時に最小化するための課題としては、使用段階において、CO2削減効果の大きな土地と、コストペイバックの大きな土地が、地理的に大きく乖離していることが挙げられる。この課題を解消するための比較的簡易な施策としては、既存の電力料金に、太陽電池設置によるCO2削減量に比したプレミアムを上乗せすることで、CO2削減量の大きな土地に設置することによるコストメリットを増加させることが可能である[9]。しかしながら、現在の地理的な乖離を解消するには、少なくても0.1 $/kg-CO2程度のプレミアムが必要なため、現状のCO2の価格は小さすぎる。

参考文献

[1] V. M. Fthenakis et al, *Environmental Science and Technology* , Vol. 42, 2008, pp.2168-2174.

[2] IEA-PVPS, Trends Report 2009, 2010.

[3] Yole Development, PV Fab 2012, 2012.

[4] V. M. Fthenakis et al, IEA PVPS Task 12, Report T12-02:2011.

[5] K. Kawajiri et al, *Environmental Science and Technology*, Vol. 45, No. 20, 2011, pp.9030-9035.

[6] K. Kawajiri et al, *Environmental Science and Technology*, Vol. 46, No. 13, pp 7415–7421

[7] JETRO, http://www.jetro.go.jp/world/search/compare/

[8] Ecoinvent, http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software

[9] K. Kawajiri et al. Proc. LCAXII, 2011.

地中熱ヒートポンプシステムの環境影響と経済性の評価

Evaluation of Environmental Impacts and Economic Feasibilities of Ground-Source Heat Pump Systems

○葛田浩輔*[1)]、本藤祐樹[1)]
Kosuke KUZUTA, Hiroki HONDO
1) 横浜国立大学
*kuzuta-kosuke-gp@ynu.ac.jp

1. はじめに

オフィスビルや商業施設、ホテルなど業務部門に属する建物のエネルギー消費は増加傾向にある。また、それらの建物で消費されるエネルギーの約 40%以上が空調や給湯などの熱需要に起因している。これを受けて、近年、地中熱ヒートポンプ（GSHP）システムを採用する動きが活発化している。GSHP とは、地中にある熱を地上まで汲み上げ、その熱をヒートポンプによって適切な温度に調節し、空調や給湯に活用する技術である。

これまでに、地中への環境影響に関する研究[1)]やGSHP システムを設置した住宅の温室効果ガス（GHG）削減効果に関する研究[2)]が報告されている。しかし、GSHP システムの業務部門への導入に伴うグローバルな環境影響の評価は、未だ十分ではない。本研究の目的は、GSHP システムの導入効果を確かめるべく、オフィスビルを対象として、GSHP システム設置の環境影響と経済性についてライフサイクルの観点から分析・評価することである。

2. 方法

2.1 対象事例

関東地域のオフィスビルを対象に、空調設備の更新を想定し、従来システムである空気熱ヒートポンプシステム（従来システム）と GSHP システムとの比較を行った。

図 1 に従来システム、図 2 に GSHP システムの評価範囲を示す。GSHP システムは、建設プロセスの掘削工事で必要な資材の製造と掘削工事後の廃棄の 2 プロセスを加えた評価範囲である。機能単位はオフィスビルにおける 1 年間の空調利用とし、評価指標は GHG 排出量とエネルギー消費量および追加費用回収期間とした。

2.2 環境影響の分析方法と前提条件

環境影響の分析にはハイブリッド法を採用し、建設プロセスの掘削工事と運用プロセスには積み上げ法を、その他のプロセスには産業連関法を適用した。

積み上げ法を適用したプロセスの環境影響は、物量データ（エネルギー消費量など）に各種係数を乗じることで推計した。産業連関法を適用したプロセスの環境影響は、式(1)より推計した。なお、本研究では 2005 年の産業連関表を用いた。

設備製造、建設および廃棄プロセスに関する物量および金額データは、ヒアリング調査によって収集した。収集できなかったデータは統計資料や報告書を参考にした。

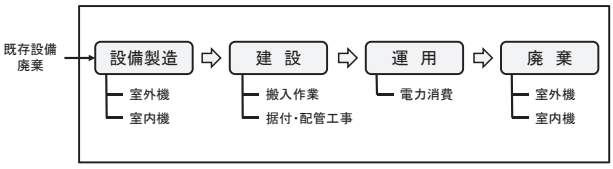


図１　従来システムの評価範囲

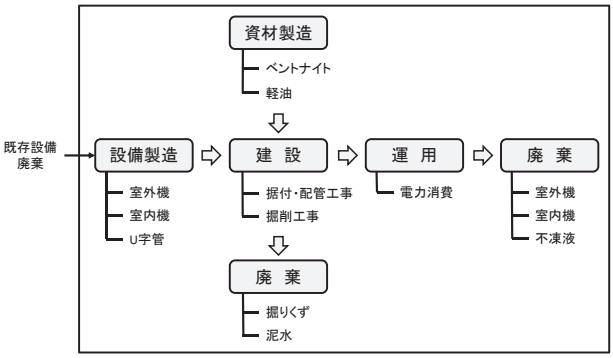


図２　GSHP システムの評価範囲

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{e}^T(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f} \quad (1)$$

$\boldsymbol{E}$:各種影響、$\boldsymbol{e}$:各種係数ベクトル、$\boldsymbol{I}$:単位行列、$\boldsymbol{A}$:投入係数行列、$\boldsymbol{f}$:最終需要ベクトル（金額データ）、T:転置。

運用プロセスの電力消費量は式(2)と(3)を用いて簡易的に推計した。式(2)より月別空調負荷を、式(3)よりヒートポンプシステム利用による年間の電力消費量を求めた。

$$E_i = K \cdot S \cdot D \cdot M \cdot P \times \frac{T_i}{T_a} \quad (2)$$

$$E' = \sum_{i=1}^{12} \frac{E_i}{C_s} \quad (3)$$

E: 空調負荷[kWh]、i: 各月、K: 年間平均の月別エネルギー消費原単位[MJ/㎡・日]、S: 延床面積[㎡]、D: 年間稼働日数[日/年]、M: 変換係数、P: 年間の空調利用割合[%]、T_i: 月別冷暖房度日、T_a: 年間冷暖房度日、E': ヒートポンプシステム利用による年間電力消費量[kWh/年]、C: COP、s: 冷房または暖房。

式(2)のKはJSBC の DECC データベースから引用した。Sは 369 ㎡、Dは 288 日/年、Mは 0.2778、Pは 43.1%とした。Tは国土交通省の冷暖房度日の定義に従い、気象庁が公表している東京都の外気温データを用いて設定した。

電力のGHG排出係数とエネルギー消費係数は、東京電力が公表している直近5ヵ年の平均値を用いた。軽油のGHG排出係数と発熱量は、国立環境研究所の報告書に記載されている直近5ヵ年の平均値を用いて推計した。

地中に埋設する設備の耐用年数は50年、その他の設備は15年として各影響を耐用年数に一律に配分した。

2.3 経済性の分析方法と前提条件

追加費用回収期間は式(4)を用いて算出した。追加費用とは、GSHP システム導入において従来システムに対し追加的に発生する初期費用を意味する。また、割引率は0～5%の範囲で考慮し、算出に用いた金額データは 2011年価格へと変換した。なお本研究では、現行の補助金制度を反映して、GSHP システムの初期費用の1/3を補助金で賄うとした。

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{CM}{(1+r)^t} \geqq I \qquad (4)$$

I:追加費用、CM:コストメリット、r:割引率、n:追加費用回収期間。

3. 結果

3.1 環境影響

図3に各システムのエネルギー消費量の内訳を示す。GSHP システムのエネルギー消費量は従来システムのそれと比べ、合計で約0.6 GJ/年小さい。運用プロセスのみに着目すると、GSHP システムの方が従来システムと比較して、約25.5 GJ/年小さくなる。他方、設備製造や建設、廃棄プロセスでは、GSHP システムの方が従来システムよりも大きい値を示している。従来システムの設備製造と建設プロセスにおけるエネルギー消費の割合が全体の約13%であるのに対し、GSHP システムでは全体の約35%を占めていることがわかる。

GHG排出量は、GSHP システムの方が従来システムよりも合計で約0.9 t-CO_2 eq./年大きい。運用プロセスのみでは、GSHP システムの方が従来システムと比べ、約 1.6 t-CO_2 eq./年小さいが、設備製造と建設、廃棄プロセスでは、従来システムよりもGHG排出量は大きくなる。

ただし、GSHP システム設置による環境負荷削減の効果は、比較対象となる従来システムのCOPに大きく依存する。図4に従来システムの平均冷暖房COPとエネルギー消費削減量について示す。従来システムのCOPが3.6よりも小さいとき、GSHP システム設置によるエネルギー消費の削減効果が得られる。

3.2 経済性

GSHP システム設置による追加費用回収期間は、割引率0%で約107年となった。割引率が1%以上では、さらに長い回収期間となる。回収期間の短縮には、補助金制度の充実に加え、GSHP設備の費用低減が期待される。

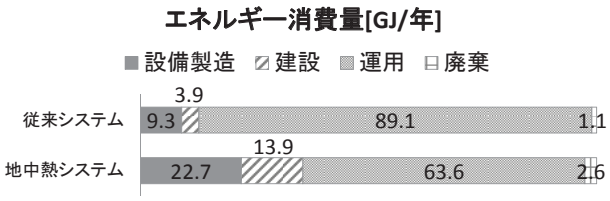


図3 各システムのエネルギー消費量の内訳

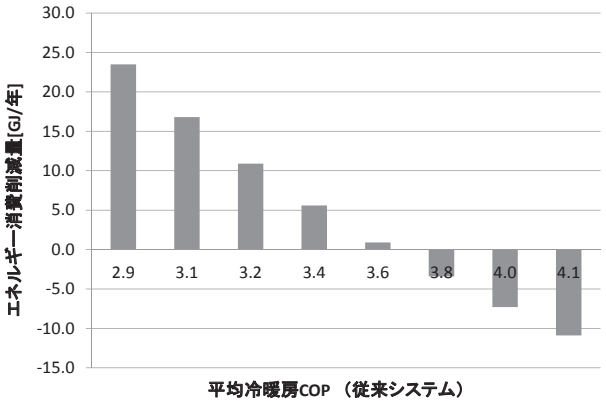


図4 従来システムのCOPとエネルギー消費削減量

3.3 灯油ボイラーシステムとの代替

寒冷地域で使用されている灯油ボイラーシステムからGSHP システムへの代替を想定し、環境影響と経済性の分析を行った。システムの代替によって、エネルギー消費量とGHG排出量はそれぞれ約122.5 GJ/年、約7.0 t-CO_2 eq./年削減できる。追加費用回収期間は割引率0%で約48年であり、割引率1%以上では、回収期間が50年を超える期間となった。

灯油ボイラーシステムからGSHP システムへの代替は、環境負荷の低減に有効である。また、化石燃料を熱源とするシステムとの代替は、資源枯渇や燃料価格の高騰などエネルギーセキュリティの観点からも効果的である。

4. おわりに

本研究では、オフィスビルへのGSHP システム設置による環境影響と経済性について、ライフサイクルの観点から定量的に明らかにした。今後は、オフィスビル以外も対象として、業務部門へのGSHP システム導入がもたらす効果を分析および評価していくことが望まれる。

5. 謝辞

最後に、本研究を進めるにあたってご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝の意を表する。

6. 参考文献

1) 天満則夫ほか: 日本地熱学会誌, 第29巻, 第1号, 13~23頁, (2007)

2) 岩岡重樹ほか : 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第625号, 401-408, (2008)

水資源消費に伴う人間健康および生態系への影響評価モデルの開発

Development of human health and ecosystem damage assessment model due to freshwater consumption

○本下晶晴*[1)]、伊坪徳宏[2)]、田原聖隆[1)]、稲葉敦[3)]
Masaharu Motoshita, Norihiro Itsubo, Kiyotaka Tahara, Atsushi Inaba
1)（独）産業技術総合研究所, 2) 東京都市大学, 3) 工学院大学
*m-motoshita@aist.go.jp

1. はじめに

人口増加や経済発展に伴う水需要の増加により世界的な水需給バランスの不均衡が懸念されている。水資源は遍在しており、水不足に対する適応力も社会・経済的な条件によって異なるため、水を消費することで起こる影響は地域の特性に依存する。近年は、サプライチェーンのグローバル化により、製品やサービスに関わる水消費は様々な地域に広がっている。そのため、製品やサービスのライフサイクルを通じた水消費の影響を評価し低減策を考える上で、地域の特性を考慮した水消費に伴う影響評価の手法の開発が不可欠となる。

本研究では、水資源賦存量だけでなく気候・社会・経済的条件に関する各国の状況を反映した水資源消費による影響評価モデルの開発を行ってきた。開発した影響評価モデルと各国における水資源消費に対する脆弱性および影響評価モデルの妥当性について検討する。

2. 影響評価モデルの開発

2.1 影響評価モデルの評価対象

本研究では淡水が人為的な取水の後に消費（取水元の水源に同じ水質で戻されることがない）されることで、下流で淡水を利用する生物が水不足によって受ける影響を評価の対象としている。水利用の用途が人間社会と生態系では異なるため、それぞれ分けて影響を整理した。人間社会では淡水の用途は主に、生活用水、農業用水、工業用水に分類でき、それらが不足することで健康被害や資産の損失が起こる。一方、淡水の不足による生態系への影響は、淡水の摂取量の減少による植物の成長阻害や動物の個体数減少、および水生生物に関しては生息域減少による個体数の減少が考えられる。本研究ではこれらのうち、生活用水、農業用水の不足に関わる人間健康と農産物生産への影響、生態系において基盤となる陸上植物の一次生産（成長阻害）を評価対象として選定した。

2.2 人間健康（感染症、栄養失調）

水不足に伴う人間健康への影響は、生活用水と農業用水の不足に起因すると考えられる。生活用水の不足では低質な水を飲用することで感染症が広がり、農業用水の不足では食糧生産量が減少することで栄養失調被害が拡大する。感染症被害については、水資源量と安全な水へのアクセス率の関係、さらに安全な水へのアクセス率と感染症被害量との関係について、国レベルでの経済条件（一人当たりGDP、固定資本形成支出額）、気候・社会条件（平均気温、栄養状態、医療機会）に関するパラメータを考慮した非線形重回帰分析によりモデル化した[1)]。

栄養失調被害については、各国における投入水量あたりの食糧生産量を算定し、食糧消費量と栄養失調人口割合の関係について国レベルの社会条件（栄養状態、医療機会）を考慮した非線形重回帰モデルを作成した。ただし、食糧生産量の低下に伴う食糧貿易を通じた波及影響を考慮するため、各国における正味の食糧輸入量に応じて生産減少量の分担率を算定し、各国に波及する食糧消費減少量を求め、前述のモデルから得られる国別の食糧消費量変化に対する栄養失調人口割合の変化率に乗じて栄養失調人口割合の変化率を求めた。栄養失調人口割合の変化率に各国における栄養失調 1 ケースあたりの健康被害量を乗じて水消費に伴う栄養失調被害を算定した[2)]。

各国における生活用水、農業用水の利用割合に加えて、水資源量が豊富な国における水不足に対する適応能力を考慮するためWater Stress Index[3)]を上記の生活用水・農業用水 $1m^3$ の不足に対する健康被害量に乗じることで、水 $1m^3$ の消費に伴う健康被害算定モデルを構築した。

2.3 社会資産（農作物）

水不足に伴う資産への影響の 1 つとして、農作物の生産量低下による起こる機会損失を評価した。農業用水 $1m^3$ の不足による食糧生産の減少は健康被害と同様に算出し、得られた食糧生産の低下量に農作物の単価を乗じることで生産量低下による機会損失を算定した。

2.4 生態系（一次生産）

取水した水の消費によって下流域での地下水位の低下が起こり、それによる陸上植物の一次生産量の減少を被害として評価した。植物の一次生産量は水制約の条件化における以下のMiamiモデルを用いて算定した。

$$NPP = 3000*(1-\exp(0.000664*P))$$

ここで、NPP：純一次生産量[kg]、P：供給水量[mm]である。灌漑農地においては水が降水、灌漑用水（表層水、地下水）、地下水から供給されるため、各国における各供

給水量の総和を基に潜在一次生産量を算定した。その他の農地では灌漑用水が用いられないため、降水と地下水から水が供給されるものとした。取水した水の消費による一次生産への影響として、供給水量の一部である灌漑用水および地下水の供給量が減少するものとして、同様に一次生産量を Miami モデルで算定した。灌漑用水、地下水の減少量は各国における灌漑用水利用率、地下水取水率および表層水と地下水の重複割合から求めた。

3. 水消費による影響評価結果

3.1 各国における水消費に対する脆弱性

得られた影響評価モデルを基に、各国における水 $1m^3$ の消費による健康被害量、一次生産被害量を算定した結果をそれぞれ図1、図2に示す。図1より健康被害は水資源量の乏しい北アフリカ地域だけでなく、一人当たりの水資源量は多いアフリカ中南部やアジア地域においても水消費に対する感度が高い。水資源量だけでなく、水供給インフラの整備に関わる経済条件や栄養状態、医療機会など社会的な条件によって水消費に対する脆弱性が異なることを反映した結果となっている。また、一次生産の被害では健康被害とは異なり、社会的条件としての灌漑用水、地下水利用に対する依存度や供給水源の違いが各国の感度を左右している（図2）。

3.2 影響評価モデルの妥当性

影響評価モデルの妥当性を検証するため、各国における現状の水消費に伴う健康被害量を算定し、WHO による報告値 [4]との比較を行った。各国における水消費量は Water Footprint Network による推計値[5]を採用し、農業用水不足が起こる閾値としての農業用水量[3]を 1350（m^3/人/年）、生活用水不足に関わる閾値[6]としての生活用水量を 0.05（m^3/人/年）と設定し、水消費量のうち閾値をオーバーしている消費量を各国の被害係数に乗じて現状での水消費による健康被害量を推定した。また、水消費による栄養失調被害および感染症被害について先行研究[3,6]で開発された影響評価係数を用いた推計結果とも合わせて比較を行うことで本モデルによる精度向上を検証した。

水消費に伴う栄養失調被害量の推定結果を表1に示す。Pfister ら、Boulay らによる栄養失調被害評価のモデルでは、食糧貿易を考慮せず水消費の影響は水を消費した国内で起こることとなっており、WHO の報告値との大きな乖離が見られる。一方、本研究では食糧貿易の簡易モデルを適用しており、各地域における栄養失調被害量の推定値は WHO の報告値に近い結果が得られた。本モデルにおける社会的条件の反映により従来のモデルに比べて精度の高い影響予測が可能となったといえる。

4. おわりに

水資源の消費による影響には地域性があり、特に資源の偏在性だけでなく、経済・社会的な条件によってその影響の程度は異なる。本研究では、水消費による健康被害、資産の損失、一次生産被害を国レベルで評価するモデルを構築し、一部のモデルの妥当性も確認できた。今後は貿易モデルなど重要なモジュールの精緻化に加え、評価対象の拡張による評価精度の向上が必要である。

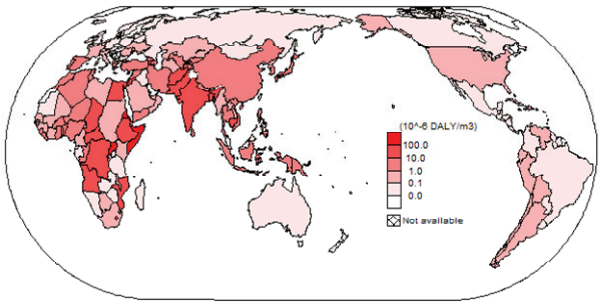


図1　水消費による健康被害の国別の感度分布

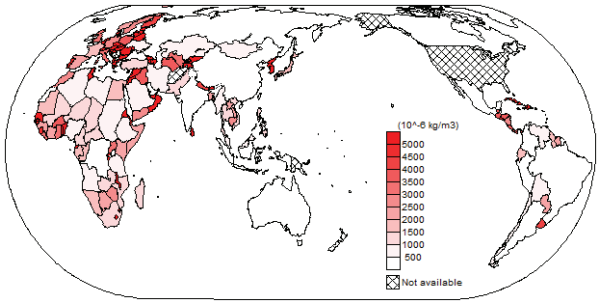


図2　水消費による一次生産被害の国別の感度分布

表1　現状の水消費に伴う栄養失調被害量推定結果（地域別）

栄養失調被害	被害量推定値 [DALY]			WHO 推定 [DALY]
	Pfister et al. (2009)	Boulay et al. (2011)	Motoshita et al. (2009, 2011)	
Africa	6,328	295,959	1,039,282	3,041,189
Americas	46	0	506,124	478,857
Eastern Mediterranean	87,568	2,877,698	406,442	880,859
Europe	265	0	14,305	98,429
South-East Asia	0	0	2,109,670	2,069,186
Western Pacific	0	0	705,726	663,301
World total	94,207	3,173,657	4,781,550	7,231,822

参考文献

1）Motoshita et al.: Int. J. LCA, 16(1), (2011), pp 65-73
2）Motoshita et al.: Proc. 9th Conf. EcoBalance, (2010), pp D1-1410
3）Pfister et al.: Environ. Sci. Tech., 43(11), (2009), pp 4098-4104
4）World Health Organization, Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks, World Health Organization, Geneva, (2009), pp 50-51
5）Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. , Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, (2004), pp Appendix XX-1-Appendix XX4
6）Boulay et al. (2011): Environ. Sci. Tech, 45(20), 8948-8957

水資源消費に伴う教育機会、雇用等に着目した社会影響評価手法の開発

Developments of social impact assessment method for water consumption considering educational opportunities and employment

○小野雄也*[1)]、本下晶晴[2)]、伊坪徳宏[1)]
Yuya Ono, Masaharu Motoshita, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 産業技術総合研究所
*g1293101@tcu.ac.jp

1. はじめに

温暖化による水資源偏在性の拡大や人口増加、新興国の生活水準向上によってウォーターフットプリント(以下、WF)が注目され、それに伴いWFの研究やISO化の規格文書作成が進められている。水のインベントリでは近年、水の総量だけでなく水の種類や使用形態を考慮したDBが作成されるなど開発が進められ、[1)2)]企業の製品評価やケーススタディ、環境教育等にも利用されている。

水の影響評価では生態系、資源、人間健康に注目した評価手法が開発されている[3)]。例えば、生態系では国または地域レベルでの評価手法開発をPfister[4)]やvan Zelm, [5)]Maendly and Humbert[6)], Verones[7)]らが行った。資源ではMotoshita[8)]らとPfister[4)]らがそれぞれ水消費起因による資源の評価手法を開発している。人間健康でも同じくMotoshita[8-10)]らとPfister[4)]らが手法を開発しており、特にMotoshitaらは複数の評価手法を発表した。水は衛生や収入、治安やインフラだけでなく教育等、さまざまな領域に社会影響を及ぼすと考えられ、UNDPやUNICEFなどの国際機関では適切な衛生的な施設や改善された水源の利用割合等の統計値が毎年、報告されている。しかし、こういった背景があるにも関わらず、水起因の社会影響評価に注目した手法開発は少ない。

前述したとおり、水は教育やインフラに深い関係があると考えられる。本研究では水消費を基に社会影響評価手法開発を試みた。

2. 方法

2.1 水起因の社会影響評価係数の算定

本研究では水起因の社会影響と一人当たりのGDP起因の社会影響を評価対象とし、社会影響はHuman Development Index(HDI)を用いて算定した。本節では水起因の社会影響について述べる。水消費により消費地域の水賦存量が低下し、安全な水資源へのアクセス率が減少する。これにより貧困国あるいは発展途上国では遠くにある水源まで水を汲みに行くため、学校への出席率が低下し、識字率及びHDIが低下すると考えられる。以上のフローから図1のような因果モデルを設定した。それぞれの因果モデル化については以下に詳細を記述する。

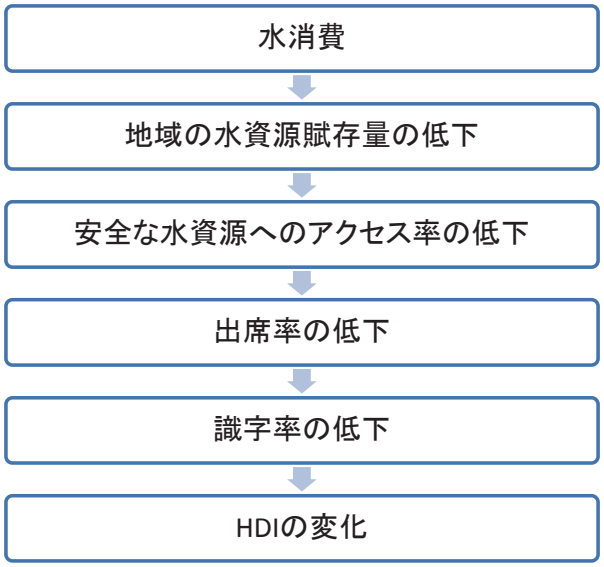


図1　水消費によるHDIの変化までの因果関係

2.2 社会影響評価指標の選択

社会指標は国連CSD指標を代表する分類型指標と国連開発計画(UNEP)が採用するHDIを代表とする統合型指標に分かれる。分類指標は複雑な社会側面を網羅的に捉えることを重視するが、分類の数だけ結果が得られるため、結果の解釈が困難になる恐れがある。より少数の指標に集約することは解釈の容易化に有効である。HDIは国際機関が提唱しているため、比較的合意性が高い統合型指標と考えられる。社会の豊かさや進歩を経済側面だけでなく、教育側面や健康側面の3つを基軸にHDIが算定される[11)]。本研究では水の欠如が男女に当たる影響は差異があると考え、教育側面において男女を分けた分析を行った。

2.3 水消費に伴うHDIの変化

Motoshita et al.[9)]は水が消費されることでその地域での水資源が低下し、安全な水へのアクセス率も低下する。その結果、感染症被害が起きると考え水不足と健康被害との関連付けを行った。本研究でも水消費から水消費から地域の水資源低下、安全な水へのアクセス率低下まで

は同じであるため、Motoshita et al.[9]の研究結果を引用した。次に安全な水資源へのアクセス率と男女別の学校出席率、男女別識字率、HDI を関連付けた。結果のアウトプットはそれぞれ男女別に算出した。男女別の学校出席率は UNICEF の世界子供白書、男女別識字率は UNDP の人間開発報告書を用いた。

3. 各国における水消費起因に伴う社会影響評価係数の算定結果

以上の方法により得られた結果を示した。図 2 は水消費に伴う HDI 変化率(男性)の分布、図 3 は水消費に伴う HDI 変化率(女性)の分布を示した。

男女ともに単位当たりの影響が大きい国はコンゴや中央アフリカ共和国、ルワンダ、アンゴラ、ベナンなどのアフリカに位置する国であった。他の地域に着目すると南アメリカではボリビアやペルー、コロンビアが高く、アジアではモンゴルやフィリピン、インドネシアの値が高いことが分かった。これらの国々は低所得国または下位中所得国である。国間の係数差は識字率や出席率の影響もあるものの、その地域の水賦存量の影響が大きいため、片方のみ著しく係数が大きくなることはないことが分かった。

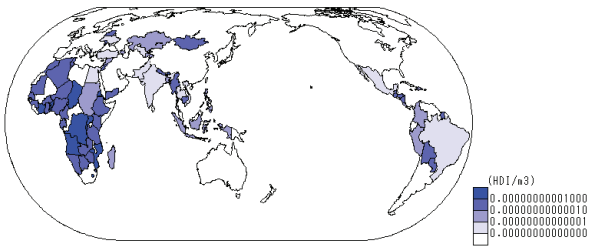


図 2　水消費に伴う HDI 変化率（男性）

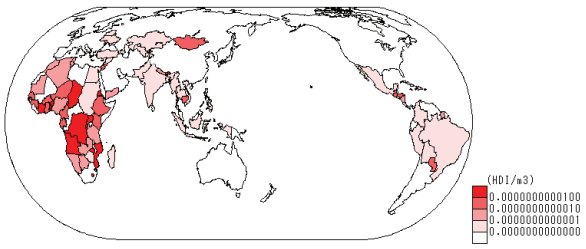


図 3　水消費に伴う HDI 変化率（女性）

4. まとめ

本研究は教育等に着目し、水資源消費に伴う社会影響評価手法を開発した。識字率や出席率等で男女を分けた統計値を用いることにより、男女間の教育による差異を示した。

5. 課題

同じ国であっても発展途上国や新興国では都市部と農村部において学校の数や水道などのインフラ状況が大きく異なる。その為、必ずしもその国の実態を把握できるとは限らない。今後は農村部と都市部の実態を把握できるよう一国の平均値だけでなく、都市部と農村部のデータを分けるなど詳細な統計値を用いるとともにより多くの国を網羅した精度の高いデータの収集が必要であると考える。

また水は教育だけでなく、雇用や幸福度とも関係が深いと考えられる。そこで教育だけでなく、雇用や幸福度などの指標についても検討する必要がある。

6. 参考文献

1）小野雄也，本下晶晴，李一石，伊坪徳宏(2010):日本 LCA 学会概要集，240-241

2）小野雄也，堀口健，伊坪徳宏(2012):日本 LCA 学会概要集, 66-67

3）本下晶晴(2011):日本 LCA 学会誌, 6(3), 234-241

4）Pfister S., Koehler A., Hellweg S.(2009): Environmenal Science and Technology, 43 (11), 4098-4104, doi:10.1021/es802423e

5）van Zelm R., Schipper A. M., Rombouts M., Snepvangers J., Huijbregts M. A. J.(2011): Environmenal Science and Technology, 45 (2), 629-635, doi:10.1021/es102383v

6）Maendly R., Humbert S. : International Journal of Life Cycle Assessment

7）Verones F., Hanafiah M. M., Pfister S., Huijbbregts M. A. J.,Pelletier G. J.,Koehler A.(2010): Environmenal Science and Technology, 44 (24), 9364-9369, doi:10.1021/es102260c

8）Motoshita M., Itsubo N., Inaba A.(2010):Proc.9th Int. Conf. EcoBalance, Tokyo, D1-1410

9）Motoshita M., Itsubo N., Inaba A.(2010):International Journal of Life Cycle Assessment, 16(1),65-73, doi: 10.1007/s11367-010-0236-8

10）本下晶晴，伊坪徳宏，稲葉敦(2010):日本 LCA 学会誌, 6 (3), 242-250

11）湯龍龍，伊坪徳宏: (2011):日本 LCA 学会誌, 6(3), 242-255

猶予期間を考慮した水資源消費の指標によるエネルギー作物生産の評価

Evaluation of Energy Crop Production by Indices of Water Resource Use with the Concept of Extension Period

○内田晋*[1)]、林清忠[2)]
Susumu Uchida, Kiyotada Hayashi
1) 茨城大学, 2) 農業・食品産業技術総合研究機構
*uchida@mx.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

水資源は、供給速度をコントロールできない、輸送に適さない、蒸発・降水サイクルによる再生速度が速いといった特徴から、資源としての本質が供給速度（フロー）にあると考えられる。水資源消費の指標としてはこれまでウォーターフットプリント（WF）やヴァーチャルウォーターなどが広く用いられ、それらを基に希少性の地域性や季節変動を考慮したさまざまな評価方法が提案されている。しかし、LCA の環境影響領域としての活用などを考えた場合には、ストックである個々の対象物の水資源消費をフローである水資源に対応させなくてはならない。一般的に行われている年単位あるいは月単位での評価はストックを対象となる期間で形式的にフローに換算したものであり、希少性を反映したより本質的なフローの定義が必要である。

そこで本研究では水利用の猶予期間という概念により水ストレスを定義し、それを用いて拡張された WF 指標を提案する。また、ケーススタディとして徳之島のサトウキビ栽培を取り上げ、従来の方法による水資源消費の指標との比較を行うことにより、本研究で提案する指標の環境影響評価指標としての適用可能性を示す。

2. 方法

2.1 水資源消費の指標

猶予期間は個々の水利用に対して、時間的な猶予がどれだけあるかという融通性を表わしたものである。水利用の速度は実際の速度ではなく、猶予期間全体にわたって平均的に消費されると考えた場合の速度で定義する。

例えば畑に $10m^3$ の水を灌漑するケースを考える。灌漑はその日でなくてもいいが、もし行わなかった場合、実際に行った日から数えて10日間放置されたら作物に影響が出始めたと仮定する。この場合、1日あたり $1m^3$ の灌漑を10日間行ったと考える。次に水ストレスは、供給可能な水フローとの比により求められる。仮にこの農地を含む $10km^2$ のエリアに対して1日1000 m^3 の農業用水が供給可能であるとすれば、水ストレスは 10^{-3} となる。さらに対象エリアの面積を乗じた $10^{-2}km^2$ を本研究では拡張ウォーターフットプリント（EWF）と定義する。水資源が地表への降水によってもたらされることから、その消費を面積に換算することにより、エコロジカルフットプリントと同様に全体の利用可能量との比較が容易になる。面積による水資源消費の指標はこれまでにも提案されている[1)]が、本研究では猶予期間の導入によりそれらを改良しより本質的な定義を与えたものである。グリーンウォーターを評価するような場合には流域全体を対象とした水バランスにより供給可能量を評価することになる。

EWF は水資源消費をフローで評価したものであるが、これに猶予期間を乗じて 0.1 km^2・日としたものは1回の灌漑というストックに対応した指標になる。本研究ではこれを占有ウォーターフットプリント（OWF）と定義する。EWF と OWF は LCA の環境影響領域である Land use と Occupation にそれぞれ対応するものでもある。

2.2 徳之島のサトウキビ栽培におけるケーススタディ

ケーススタディとして、製糖原料であるとともにバイオ燃料作物としても期待されているサトウキビの栽培について EWF と OWF を算出し、水資源消費についての評価を行うとともに、従来の方法で算出した WF との比較を行い、EWF と OWF の指標としての有用性を評価した。

評価は LCA に準じ、EWF と TWF を環境影響領域と考えたミッドポイント分析により行った。機能単位は農地 1ha とし、またシステム境界はサトウキビの定植から収穫までのフォアグラウンドとした。使用したデータは、徳之島の農業生産[2]や降雨量などの地域的なデータを用いた。水利用は降水をグリーンウォーター（GW）として、灌漑水をブルーウォーター（BW）として算出した。

水利用の前提として TRAM を 20mm と 40mm の間で1日単位で管理すると仮定し、有効降水量のうち TRAM≦40 の部分を GW として、また TRAM≦20 になった場合に 40mm になるまで灌漑を行うとした。GW、BW ともに対象領域を徳之島全体として評価し、降水量は 2010 年の徳之島のデータを用いた。灌漑水は徳之島にあるダム（建設中の徳之島ダムを含む）のデータに基づき 1 日の利用可能量を推計した。比較対象としての従来の WF による算出は、同じく 1 日単位で降水量と利用量から猶予期間を考慮せず行った。

3. 結果

本研究によるEWFの日変動の結果を図1に示す。気温が高く降水量の少なかった9月ごろにBWの負荷が高くなっていることがわかる。また、従来のWFにより評価した図2と比較すると、降水量や水利用量の日ごとの変動が吸収され、1日という細かい時間単位での評価でありながら全体の傾向もある程度把握できるようなグラフとなっている。また、数値が1を超えている部分では、1haの生産における水利用が面積換算で1haを超えていることを表わし、局所的かつ瞬間的には持続可能性が得られていないことを示している。今回得られたEWFの結果からOWFを計算すると、1年間の1haでのサトウキビ生産に対して、GWが0.228ha年、BWが0.541ha年、合計0.769ha年という結果になった。年間で数値が1未満になっていることは、サトウキビ栽培に限定すれば、貯水などの適切な水管理により水資源の持続可能性は満たされることを示している。

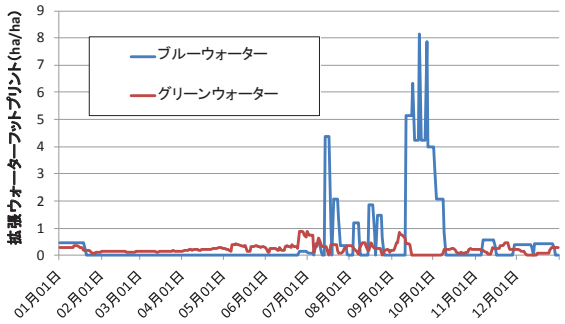


図1　徳之島のサトウキビ栽培の水資源消費（2010年）

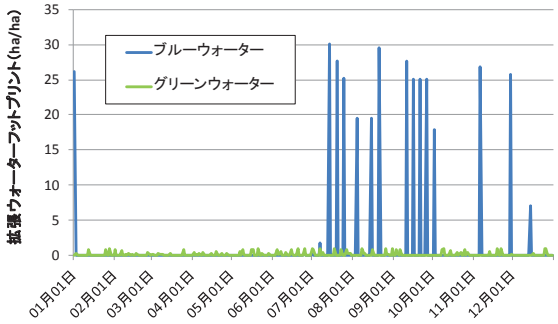


図2　従来のウォーターフットプリントによるサトウキビ栽培の水資源消費（2010年）

4. おわりに

本研究でEWFとOWFの新しい指標としての可能性は示されたと考えられる。今後はバックグラウンドデータを始めとするシステムの拡張によりLCAの環境影響領域としての可能性・有用性をさらに高めていくことが必要である。その過程で、入手可能なデータなど、データベース側の課題も明らかにされることが期待される。

水資源の問題はますます瞬間的・局所的になりつつある。本研究の2つの指標が、そうした問題の解決に寄与するものになることを期待したい。

謝辞

本稿は、農林水産省「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（モデル化）」の研究成果の一部を含む。

参考文献

[1] Stoeglehner, G., Edwards, P.,Daniels, P., Narodoslawsky, M.：J. Cleaner Production, 19, (2011), pp.1677-1686

[2] Uchida, S., Hayashi, K., Gau, M., Kajiyama, T., Shirasawa, S., Takahashi, H., Terajima, Y., Matsuoka, M., Yoshinaga, M.: Int. J. Foresight and Innovation Policy, 8 (2/3), (2012), pp.143-172

バイオマス素材の環境効率

A novel environmental factor of biomass materials

○大橋 憲司
Kenji Ohashi
資生堂リサーチセンター
kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

1. はじめに

米国の the Sustainability Consortium が進める商品の持続可能性評価手法の開発、欧州委員会による環境フットプリントガイド、Carbon Disclosure Project の環境情報の開示要請など、経済活動に伴って発生する環境負荷を定量的に評価し、その結果を適切に開示するための国際的な枠組みが、急速に整備されつつある。これらの取り組みは、温室効果ガス（以下、CO_2 と記載）排出以外に、水資源、鉱物／化石資源、生態系影響、地域社会、人権など、複数の環境あるいは社会的な影響を評価の対象としている点が特徴として挙げられ、持続可能性に配慮した経済活動を行う事は、企業の存続にとって、もはや必須の要件となっている。

このような社会からの要請を背景として、また、気候変動に伴う災害リスクや投機マネーの流入による原油高騰リスクなどの様々な事業リスクのヘッジを目的として、バイオマス素材の利活用が積極的に進められている。殊に近年では、サトウキビを原料とするポリエチレンテレフタレート（以下、PET）やポリエチレン（以下、PE）といった汎用樹脂の植物化が大きなトレンドとなっている。これらは、CO_2 排出の削減が期待できるだけではなく、石油由来の樹脂と基本的な性質が同等であるため、製造設備の更新が不要な点や、リサイクルの社会システムを阻害しない点も、大きな特長として挙げられる。

我々は、サトウキビ由来 PE を容器素材として採用したスーパーマイルドシャンプーシリーズを、2011 年秋季に上市したが、これについてライフサイクル CO_2 排出量および水消費量の算定を試み、両フットプリントのバランスについて考察を加えた。

2. サトウキビ由来 PE を採用したシャンプーの CO_2 排出削減量と水消費量の評価

2-1. 調査対象製品

スーパーマイルドシャンプー（内容量：600mL）を調査の対象とした。機能単位は同商品 1 本とした。

2-2. 算定範囲および算定対象

原材料の調達から廃棄・リサイクル段階まで、製品ライフサイクルを通じた CO_2 排出量および水消費量を算定対象とした。

2-3. 原料の CO_2 排出量および水消費量

シャンプーの主原料の一つである、陰イオン界面活性剤の CO_2 排出量と水消費量を Fig1 に示す。CO_2 排出量は搾油～加水分解および界面活性剤合成のプロセスにおける負荷が大きいのに対し、水消費では、親油基（脂肪酸）の原料となるパームの栽培による寄与が突出して大きく、そのプロファイルは全く異なる。この結果は、製品の水消費の評価においては、植物油のような直接的な植物原料だけではなく、合成原料に隠れている植物素材を漏れなく評価する事が極めて重要である点を示唆している。

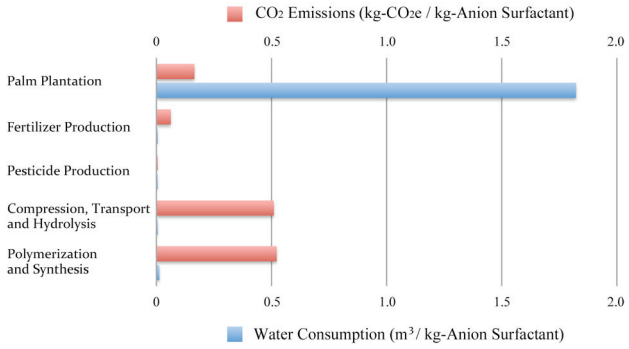


Fig.1 陰イオン界面活性剤の CO_2 排出量と水消費量

2-4. 容器（サトウキビ由来 PE）の水消費量

サトウキビの産地であるブラジルのサンパウロ州における降雨、単収、ショ糖生産量、エタノール生産量などの統計データから、容器素材であるサトウキビ由来 PE の水消費量について検討した結果、PE1kg あたり約 2.9m^3 の水を消費していると推計された。容器全体では、1 製品あたり 0.13m^3 の水消費であった。

2-5. 製品の CO_2 排出量および水消費量

シャンプーの製品ライフサイクルを通じた CO_2 排出量および水消費量を Fig.2 に示す。

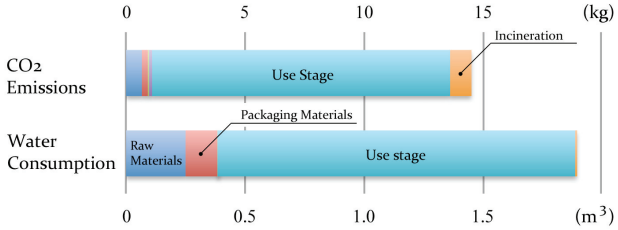


Fig.2 シャンプーの CO_2 排出量と水消費量

サトウキビ由来 PE を採用する事により、石油由来の PE を容器素材に使用していた従来品に比べて約 130g の CO_2 排出を削減したが、水消費量は 0.13m^3 増加した。

3. バイオマス素材の CO_2 排出量と水消費量のバランス

製品の CO_2 排出を抑制するためにバイオマス素材を利用すると、トレードオフとして水の消費量が増加する。そこで、代表的なバイオマス樹脂であるポリ乳酸（米国／トウモロコシ／*植物度 100%）、バイオ PET-1（インド／サトウキビ／植物度 20%）、バイオ PET-2（ブラジル／サトウキビ／植物度 20%）、バイオ PE（ブラジル／サトウキビ／植物度 100%）を対象として、1kg の CO_2 排出削減に必要な水消費増加量を算定した（*植物度：分子中の全炭素に占める植物由来炭素の割合と定義した）。

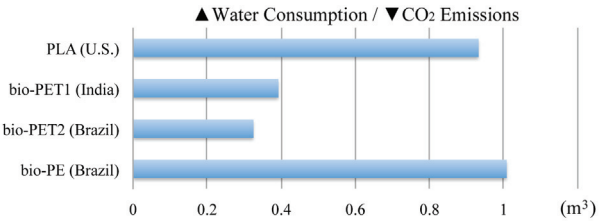


Fig.3 バイオマス素材の水消費増加量／CO_2 排出削減量

一方、水資源は地域的な偏在性が高いという特徴を持つ事から、単純な水量による比較には大きな意味はなく、各地域における水の希少性を考慮に入れる必要があると考えられる。そこで、前述の、1kg の CO_2 排出を削減するために必要となる水消費増加量に Water Stress Index（以下、WSI）を乗じたものを“Water Efficiency”として定義し、比較検討を行った。

Water Efficiency =
水消費増加量×WSI／CO_2 排出削減量

その結果、水資源の豊富なブラジルや米国アイオワ州で栽培される作物を原料とするバイオマス素材と水ストレスの高い地域で産出される素材との間には、大きな差異が認められた。

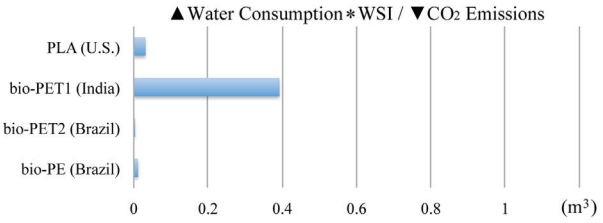


Fig.4 バイオマス素材の Water Efficiency

4. まとめ

サトウキビ由来 PE を容器素材に採用したシャンプーの CO_2 排出量と水消費量の評価を行い、約 130g の CO_2 排出削減の代償として、水消費量が 0.13m^3 増加するという結果を得た。CO_2 排出削減のトレードオフとして発生する水消費の増加は、サトウキビ由来 PE だけの問題ではなく、バイオマス素材全般に共通するものであるが、それらは無制限に許容されるものではなく、バランスのとれた環境負荷の最適化を目指すべきであると考えられる。

そこで、1kg の CO_2 排出を削減するために必要となる水消費増加量に WSI を乗じた指標を Water Efficiency として定義し、バイオマス樹脂の評価を試みた。この指標は、バイオマス樹脂だけでなく、バイオディーゼルなどのバイオ燃料や、その他の植物素材に対しても応用が可能であると思われるが、評価にあたっては、地域による水の希少性を考慮に入れたデータの収集が不可欠となる。Fig.5 は、スーパーマイルドシャンプーの地域別の水消費を模式的に表したものであるが、製品の安心・安全の担保や、倫理的な現材料調達といった観点からも、このような地理的要因までを含めた製品のトレーサビリティ管理が、今後ますます重要性を増していく事は疑いない。



Fig.5 スーパーマイルドシャンプーの地域別水消費量

さてその一方で、CO_2 排出削減のトレードオフとして増加する環境負荷は水消費に限ったことではない。水消費以外の別の項目を指標として活用するか、あるいは、さらに複数の項目を加えて評価を実施するかについては、評価の目的に応じて検討されるべきであろう。

5. 参考文献

1) 小野 *et al.*: 水の消費と汚染に着目した WF 用データベースの開発, 第 7 回 LCA 学会研究発表会 (2012)
2) 八木橋 *et al.*: バイオマス由来ポリエチレンテレフタレートの LCA, 第 7 回 LCA 学会研究発表会 (2012)
3) 麻喜 *et al.*: インドにおけるサトウキビ栽培の環境影響評価, 第 7 回 LCA 学会研究発表会 (2012)
4) 菊池 *et al.*: バイオマス由来ポリエチレンのライフサイクル評価, 第 6 回 LCA 学会研究発表会 (2011)
5) F. Bulsink *et al.*: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 119–128 (2010)
6) Erwin T. H. Vink *et al.*: *Polymer Degradation and Stability*, 80, 403-419 (2003)
7) S. Pfister *et al.*: *Environ Sci. Tech.*, 43(11), 4098-104 (2009)

水資源の効率的使用のため各国比較

Comparison among the Countries for the Efficient Use of Water Resources

○李　瑞雲*[1)]、上田　翔[1)]、八木田　浩史[2)]

Ruiyun LI, Sho UEDA, Hiroshi YAGITA

1)日本工業大学大学院, 2)日本工業大学

*ruiyun@hotmail.co.jp

1.　はじめに

中国の淡水資源総量はブラジル、ロシア、カナダ、アメリカと続き世界五位だが、中国における国民１人当たりの水資源保有量は世界平均の 3 分の 1 であると報告されている[1)]。

図１と図２にみると人口の増加と経済の発展に伴って、水資源量の需要量が大きく増加し、中国の水資源が非常に不足していることがわかる[2)]。

水資源の利用量は人口の急増と経済規模の拡大に伴って大きく増加しており、水不足の状況はさらに深刻になっている。水不足に関して、国連開発計画（UNDP）が定められた指標に基づく「水ストレスの状態」によると中国 31 省の中に 15 省の地域は水ストレスの下にある状態であるとされている[3)]。

水環境問題に関して、中国を代表とする黄河に重い負担が懸かり、1972 年から黄河の断流（瀬切れ）が発生し始めた。90 年代になってから断流は毎年発生し、断流の期間が年々増加した。1997 年には、山東省利津で１年に 13 回、合計 226 日断流を記録した[4)](表 1)。黄河が断流すると、河口地域付近の生態環境のバランスが崩れた。

中国政府は、1999 年以降、黄河断流の対策に乗り出し、「水量の統一的管理」を行った結果、2000 年から 2012 年の 12 年間、黄河の断流現象が発生しなかった。しかし、水不足の問題自体は解消しておらず、地下水のくみ上げによる地盤沈下や水質汚染などの問題が存在している。

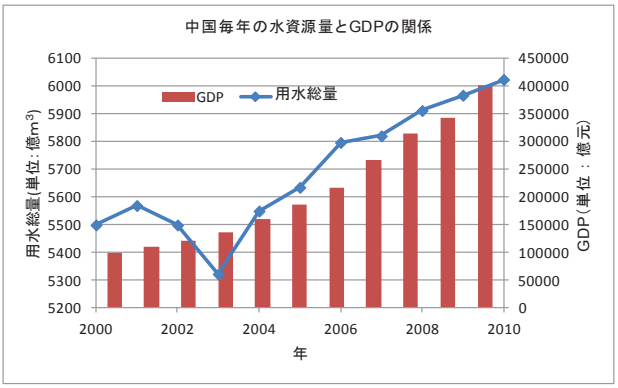


図１　中国の水資源量と人口

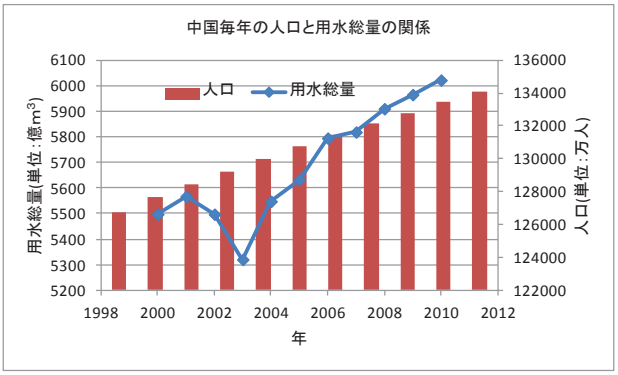


図２　中国の水資源量と GDP

表１　黄河 90 年代以来の断流状況

年	地名	断流時期（月. 日）		断流	断流日数（日）			断流長さ
		初期	最終	回数	終日	断続的	合計	(km)
1991	lijin	5.15	6.1	2	13	3	16	131
1992	lijin	3.16	8.1	5	73	10	83	303
	luokou	6.3	7.18	4	29	2	31	
1993	lijin	2.13	10.12	5	49	11	60	278
	luokou	6.14	6.14	1	1		1	
1994	lijin	4.3	10.16	4	66	8	74	308
	luokou	5.3	10.8	2	27	2	29	
1995	lijin	3.4	7.23	3	117	5	122	683
	luokou	3.25	7.22	2	74	3	77	
	aishan	5.18	7.21	2	59	3	62	
	sunkou	5.22	7.2	3	46	6	52	
	gaocun	7.7	7.17	1	7	1	8	
	jiahetan	7.14	7.17	1	4		4	
1996	lijin	2.14	12.18	6	123	13	136	579
	luokou	2.14	6.29	4	63	8	71	
	aishan	5.23	6.27	2	21	4	25	
	sunkou	5.29	6.1	1	11	2	13	
	gaocun	5.31	6.6	1	5	2	7	
1997	lijin	2.7	12.31	13	200	26	226	700
	luokou	2.7	12.31	7	118	14	132	
	aishan	6.5	12.31	4	66	8	74	
	sunkou	6.6	12.31	3	60	5	65	
	gaocun	6.23	12.31	1	23	2	25	
	jiahetan	6.25	12.31	2	14	4	18	
1998	lijin	1.1	12.1	16	28	114	142	449
	luokou	2.13	12.6	7	14	28	42	
	aishan	2.14	7.11	2	4	10	14	
	sunkou	2.13	7.11	2	4	6	10	
1999	lijin	2.6	8.11	4	6	36	42	278
	luokou	2.5	5.2	4	7	9	16	

2. 目的

水資源の効率的使用のため各国比較を行い、適切な対処方法を提案することを検討する。図３に比較を行う水資源の関係図を示す。本研究では、中国の黄河流域を対象地域とし、灰色理論を分析手法として用い、黄河の水資源の効率的に利用する方法を用い、各国比較を行うための途中経過を報告する。

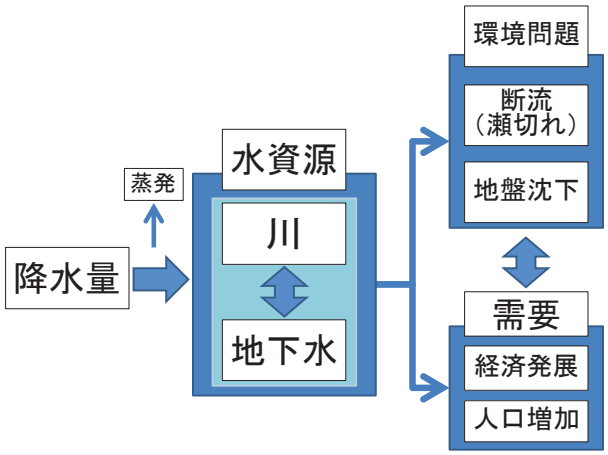


図３　本研究で扱う水資源の関係図

3. 灰色分析

灰色理論は、灰色集合という基本概念の導入によって誕生した新しい数理分野の一つである。正確なデータを入手することが容易ではない悪条件下でのデータ処理環境において、灰色理論は有効な分析方法の一つであるとされている。灰色理論はまた、グレー理論（Grey Theory）と呼ばれており、与えられた既知データ数列の値から、その中に存在する予測可能な数値データを計算し、各パラメータ予測値の動き（動態）を把握することができる[5]。

4. 研究方法

灰色分析方法を用いて、黄河の毎年の降水量及び水資源量、消費量、流出量を因数として、黄河流域の今後の水資源量の変化を予測する。モデルを構築する。黄河断流の有無を用いて、水資源量の有効的な使い方を判断する要因を検討する。黄河の断流と水の消費量から有効利用に必要な要因である条件、量、時期を、灰色分析から算出する。

5. 結果・考察

中国の工業用水の実際値と予測値を図 4 に示す。経済発展による需要の増加に伴って使用量が増加していく傾向となった。

北京の工業用水の実際値と予測値を図 5 に示す。水不足のため、工業用水から生活用水に水を供給していることにより使用量が減少していく傾向となった。

得られた結果から、用水量の実際のデータと予測値の誤差は小さく、灰色分析方法は極めて精度の高い予測手法であると考えられるが、他の方法と比較して検証する必要がある。

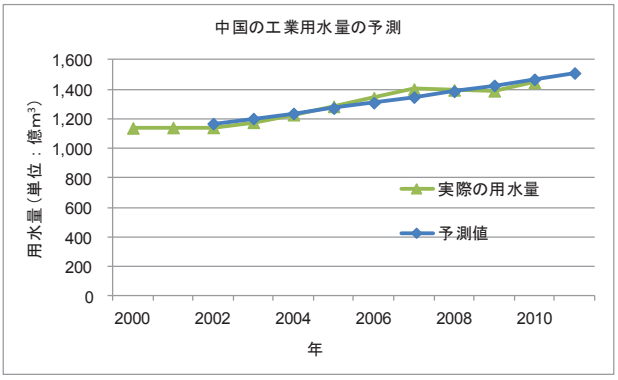


図４　中国の工業用水の実際値と予測値

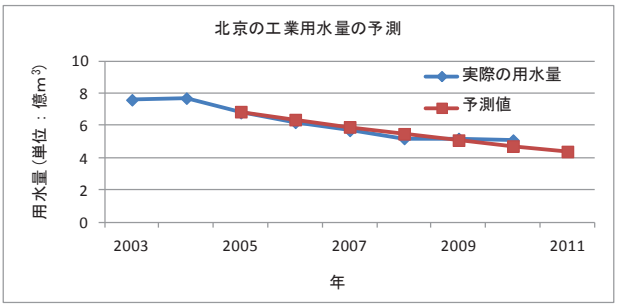


図５　北京の工業用水の実際値と予測値

6. おわりに

灰色分析方法を用いてある一定の結果が得られた。今後、他の地域においても、同様分析を行って、水資源の効率的に利用できる方法を提案していくと共に、他の方法と比較を行い、悪条件下でのデータ処理環境においても妥当な分析結果を算出できるように研究を進める。

参考文献

1) The World Bank：http://databank.worldbank.org/ddp/home.do
2) UNDP：http://www.undp.org/content/undp/en/home.html
3) 中華人民共和国統計局：http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/
4) 中華人民共和国水利部：99 年水情報
5) わかる灰色理論と工学応用方法：永井　正武、山口　大輔　著

地域スケールを考慮した厨芥類バイオガス化システムの温室効果ガス削減効果

Anaerobic Digestion of Food Waste Considering Regional Scale for Greenhouse Gas Mitigation

○矢野順也*[1)]、中村亜友美[1)]、坪田潤[2)]、平井康宏[1)]、酒井伸一[1)]
Junya Yano, Ayumi Nakamura, Jun Tsubota, Yasuhiro Hirai, Shin-ichi Sakai
1) 京都大学環境科学センター, 2) 大阪ガス（株）
*yano@eprc.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

食品リサイクル法の対象外となっている発生量 100 t/年未満の小規模の事業系厨芥類（外食産業や食品小売業等）の再生利用等実施率は他の食品廃棄物と比較して低く、また、家庭系厨芥類も利活用が進んでいない。厨芥類の再資源化方法の 1 つとしてバイオガス化が挙げられるが、こうした小規模の厨芥類発生源にも適用可能な利活用システムを検討することは、厨芥類の再生利用等実施率の向上を図るためにも意義があることと考えられる。本研究では、京都市を事例としてオンサイト型の小規模分散処理システムと大規模集中型の処理システムについて、温室効果ガス（GHG）排出量を指標として評価を行った。

2. 方法

2.1. 厨芥類発生量の設定

市の施設で利用されず焼却処理されている家庭系及び事業系厨芥類年間発生量の処理を対象とした。機能単位は「表 1 に示した家庭系及び事業系厨芥類の処理」とし、厨芥類発生量は京都市の家庭系、事業系一般廃棄物中の収集量（2010 年度実績）と厨芥類の割合[1)]から算出した。家庭系厨芥類と事業系厨芥類では、含水率や調理屑、食べ残し等の割合が異なるものと考えられる。しかし、事業系厨芥類については詳細なデータが不足しているため、本研究では事業系厨芥類の組成は家庭系厨芥類と同じと仮定した。

表 1　京都市の厨芥類年間発生量（t/年）

家庭系	市収集	88,184
	業者収集（マンション）	13,684
	（小計）	101,868
事業系		73,388
合計		**175,256**

2.2. システム境界と処理方法

システム境界は厨芥類の収集から、処理・利活用、残渣の最終処分までとした。処理方法に関して、他の可燃ごみとの混合収集、焼却処理をベースの処理方法とし、バイオガス化システムとしてオンサイト型の小規模分散、大規模集中型の処理システムを対象とした。なお、ベースの焼却処理は発電なしの単純焼却、発電効率 15%の蒸気発電の 2 ケースを検討した。小規模分散型処理システムでは発生源で処理を行うため収集は不要とし、大規模集中型処理システムは混合収集の後機械選別を行いバイオガス化するケース、排出元から分別収集するケースの 2 ケースを検討した。発酵方式はオンサイト型の小規模バイオガス装置（処理能力 1 t/日以下）は 55 度高温湿式メタン発酵とし[2)]、大規模集中型のバイオガス化施設（処理能力 60 t/日）は 55 度高温乾式メタン発酵とした。得られたバイオガスはそれぞれ発電効率 32.0%、37.3%のガスエンジン発電に利用することとした。得られた電力は売電されるとし、全電平均を用いて GHG 削減効果を算出した。機械選別では 99.8%の厨芥類が分別されるとした[3)]。なお、各プロセスで使用したパラメータはヒアリング及び既往研究、メーカーカタログ値等から採用した。

なお、発生する厨芥類全量をオンサイト型の小規模分散処理システムで処理することは現実的ではないため、小型バイオガス化装置の導入可能性については 3.2 節で検討することとした。

2.3. 評価指標

地球温暖化を評価項目とし、化石資源由来の GHG として CO_2、CH_4、N_2O を計上した。但し、バイオマス由来の CO_2 はカーボンニュートラルとして計上していない。

3. 結果と考察

3.1. 処理方法比較

厨芥類 1 t の処理当たりに換算した GHG 排出量結果を図 1 に示した。バイオガス化はいずれも GHG 排出量がマイナスとなり、GHG 削減効果が期待された。GHG 削減効果は大きい順に、大規模集中型（分別収集）、大規模集中型（機械選別）、小規模分散型（オンサイト）となった。但し、図 1 で示した大規模集中型（分別収集）の GHG 削減効果は分別収集率 100%の時の最大値である。家庭系、事業系合わせた厨芥類の大規模集中型（分別収集）バイオガス化の GHG 削減ポテンシャルを、焼却（蒸気発電）

からの削減効果とし、全量分別収集された場合の最大値として推定すると 9,800 t-CO_2eq/yr と試算された。小規模分散型（オンサイト）は収集に係る GHG 排出はゼロであり、大規模集中型施設と比べバイオガス化装置の消費電力原単位が小さい一方、バイオガス発生量は少なく発電による削減効果も小さくなった。

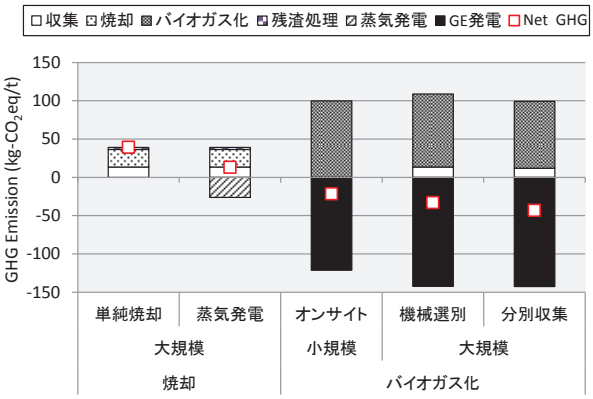


図１　厨芥類処理の GHG 排出量算出結果

※分別収集：収集率 100%時の最大値

3.2.　小規模バイオガス化装置の導入可能性に関する考察

前節では小規模分散型（オンサイト）と大規模収集型のバイオガス化利用システムを横並びに比較したが、実際には両者は必ずしも競合する関係にはなく、寧ろ補完し合う関係性が望ましいと考えられる。表 2 は本研究で検討した小規模分散型、大規模集中型の処理システムの適用可能性を厨芥類の排出源別に整理した表である。オンサイト型のバイオガス化装置の導入が可能と考えられるのは、家庭系厨芥類についてはマンションや集合住宅等のように一定の収集が見込める住居形態である。事業系については、百貨店・スーパーや食品卸売業、商業系テナントビル等から排出される厨芥類（表 3）であり、事業系厨芥類発生量全体の 38.8%（28,475 t/年）に相当すると見込まれる。

表２　厨芥類の排出源と処理システム適用可能性の対応表

厨芥類排出源		処理規模と適用可能性		
		小規模	大規模	
		オンサイト	分別収集	機械選別
家庭系	マンション・集合住宅	○	○	○
	戸別建	×	○	○
事業系	百貨店・スーパー等 ※発生量の38.8%相当の事業所	○	○	○
	上記以外の事業所	×	○	○

小規模バイオガス化装置導入可能性のある事業所由来の厨芥類発生量 28,475 t/年に対して、大規模集中型（分別収集）処理ケースの分別収集率と GHG 排出量の関係と、小規模分散型バイオガス化の GHG 排出量を図 2 に示した。ここで、「分別収集率」は、発生量に対する分別収集及び大規模バイオガス化利用量の割合と定義した。未分別の厨芥類は蒸気発電を伴う焼却処理されるとした。

図 2 から、小規模バイオガス化装置の導入による効果は数百 t-CO_2eq/yr 程度とやや低いものの、分別収集率が 60%以下の範囲では効果が確認された。未分別の厨芥類は他の可燃ごみと一緒に混合収集、焼却処理されてしまうことから、オンサイトでの小規模バイオガス化処理を大規模集中型と組み合わせることで、市域の厨芥類の利用量を増加させることが期待される。

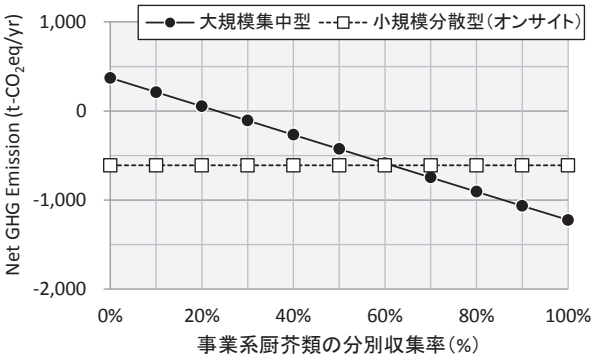


図２ 事業系厨芥類の分別収集率と GHG 排出量

4.　おわりに

本研究では、家庭系及び事業系厨芥類を対象に、小規模分散型（オンサイト）、大規模集中型のバイオガス化処理システムについて GHG 排出量を算出した。

今回の解析では地域スケールを表す要素として厨芥類の発生量と処理施設規模に限定した解析に留まった。オンサイトの小規模バイオガス化装置の導入可能性については、より具体性のある効果試算が求められる。また、大規模集中型のバイオガス化施設に対しては、都市ガス管への導入や天然ガス自動車への利用等も考えられる。その他、留意すべき点として混合収集、機械選別プロセスにおいては紙ごみも選別、バイオガス化が可能なため、大規模集中型（機械選別）は厨芥類以外の一般廃棄物の処理システムにも影響を及ぼす。以上から、今後はよりきめ細かい処理システムを含めた解析についても検討が必要である。

参考文献

1)　京都市環境政策局：業者収集ごみ組成実態調査報告書（2012）
2)　坪田潤、中西裕士、大森大輔、門屋尚紀：第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会公演論文集，仙台，(2012), 375-376
3)　株式会社タクマ：平成 17 年度　次世代廃棄物処理技術基盤整備事業補助金　技術開発報告書　乾式メタン発酵法による高効率原燃料回収技術の開発（2006）

廃プラ油化と生ごみ堆肥化を用いた外食産業の資源有効利用システムの環境負荷削減評価

Evaluation of Environmental Road Reduction Resource Recovery System of Food Service Industry Introducing Oil Recovery from Waste Plastic and Composting from Kitchen Waste

○竇　応瑛*[1)]、松本　亨[1)]、松尾　康志[2)]
Yingying Dou, Toru Matsumoto, Yasushi Matsuo
1) 北九州市立大学, 2) 楽しい株式会社
*r0dac001@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

循環型社会形成に向けて、食品廃棄物や食品用容器包装材の発生源として、外食産業の廃棄物排出抑制や循環的利用などは長期的課題として注目されている。事業活動に伴う廃棄物の処理は、廃棄物処理法に基づき排出事業者自らの責任において適正に処理することになっている。また、容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律（容リ法）において、事業者は利用した容器包装の量に応じて再商品化の義務を負う。また、外食産業に排出された食品廃棄物の再生利用率は平成22年の時点[1)]で17%であるが、食品リサイクル法の2007年改正に伴い、年間100t以上の排出事業者に再資源化が義務づけられたため、今後対策が進むものと予想される。

本研究では、特定の8軒の飲食店の廃プラ・廃食油と生ごみの分別・再資源化に焦点を当て、LCAを用いて、油化処理機と生ごみ処理機を利用することによる資源有効利用システムの現状分析を把握し、外食産業の廃棄物再資源化の可能性と環境負荷削減効果を評価した。

2. 研究の方法

2.1 評価対象

本研究では、特定の8軒の飲食店から5ヶ月に排出された廃プラ・廃油の油化と、生ごみの堆肥化処理の評価を行う。

2.2 システム境界

評価対象のシステム境界を、図1に示す。現状処理システムと資源有効利用システムの2つのシステム図を示す。比較対照としての現状処理システムは、外食産業から排出された廃プラスチックと廃油及び生ごみが発生し、別々に委託収集運搬業者に収集運搬を委託し、焼却場で焼却され、焼却灰は埋立場で処分されるという想定である。

資源有効利用システムは、本研究で対象とする資源循環システムである。つまり、油化処理機と生ごみ処理機を使うケースである。定期的に8軒の飲食店から廃プラスチック、廃油、生ごみを回収し、指定の場所に運ばれ、廃プラスチックと廃油が油化処理機で油化処理され、生成油を製造する。生成油はA重油代替としてボイラーで使われる。生ごみは、生ごみ処理機で一次発酵を行い、発酵分解床は専門リサイクルセンターで脱塩分・脱油脂工程後、二次・三次発酵させ、硝酸塩低減化技術を施して高付加価値の堆肥（土壌改良材）を製造する。堆肥は、有機肥料代替として有機野菜等の栽培に使われる。また、油化処理機と生ごみ処理機の導入により、従来の産業廃棄物及び事業系一般廃棄物処理に関わる、輸送・焼却・埋立に要する資源・エネルギー消費量の減少、CO_2排出量の削減が予想される。

以上のような外食産業から排出された廃棄物の処理システムによって、環境負荷をライフサイクルアセスメント（LCA）の手法を用いて評価する。評価指標は$LCCO_2$とするが、廃棄物焼却と二次・三次発酵の際のN_2O及びCH_4発生量を、GWP（地球温暖化係数）を用いてCO_2に等価換算して統合化する。

3. ケーススタディ

3.1 実験対象の概要

今回評価対象とする外食産業は、北九州市若松北海岸の8軒の飲食店に対して、2011年の9月から2012年の1

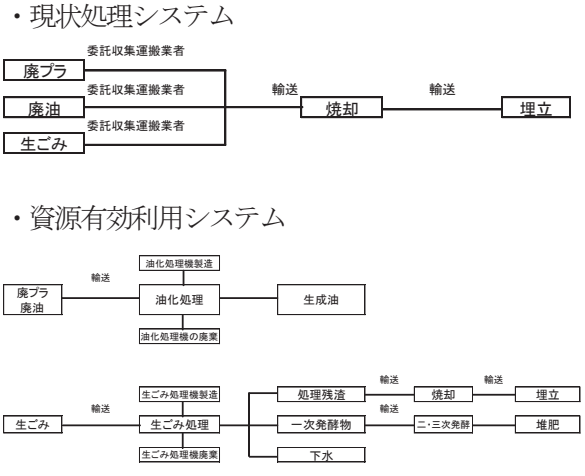


図１　評価対象システムの範囲と物質フロー図

月までの 5 ヶ月で、生ごみ、廃プラと廃食油をワンボックス車で回収し、生ごみは堆肥化処理され、廃プラと廃食油は油化処理された。実証期間に 23,487 kgの生ごみ、2,064 kgの廃プラ及び 691 kgの廃食油が回収された。

3.2 基本状況の設定

現状処理システムについて、外食産業から排出された廃プラスチック、廃食油、生ごみの一般的処理・処分に関してLCAを実施する。ただし、廃棄物の種類によって、事業者から排出される廃プラと廃食油は産業廃棄物に属し、生ごみは事業系一般廃棄物に属する。そのため、現状処理システムの輸送段階については、産業廃棄物と事業系一般廃棄物の輸送を別々に輸送することを想定する。どちらも皇后崎清掃工場まで運ばれることを設定する。

収集回数及び収集車の設定については、廃プラは 4t パッカー車により運搬されるとし、改良トンキロ法のエネルギー消費原単位 [2] により、ほかの箇所も回収するとして、ほぼ満車の状態（積載率 80%）の原単位を想定し、毎週 2 回運搬する。廃食油は 7t 平ボディー車とし、平均積載率 62%の原単位を設定し、毎月 2 回運搬する。生ごみは 2t パッカー車とし、積載率 100%の原単位を設定し、毎週 3 回焼却工場まで運ばれ、焼却されると想定する。焼却灰は、10t トラックで北九州市の日明積出基地まで運ばれ、埋め立てられる。焼却場までの輸送距離と埋め立て場までの輸送距離の測定は、キョリ測 [3] によって算定した。

資源有効利用システムについて、回収の頻度は、現状処理システムと同じ設定にし、運搬には一台のワンボックス車で 3 品目（廃プラ、廃油、生ごみ）をまとめて回収するとした。すなわち、生ごみの回収日と廃プラ・廃食油の回収日が重なっていた時、同時にまとめて 1 つの車で回収する。回収平均距離の測定は実際走行距離 24 km/回を用いて設定した。

3.3 LCA の結果

表 1 に、北九州市若松北海岸の 8 軒の飲食店における実験データに基いた、生ごみ・廃プラ・廃食油を含む可燃ごみ処理・再資源化システムの LCA の結果を示す。現状処理システムの温室効果ガスの排出が 484kg-CO_2/月、資源有効利用システムの場合、生ごみの堆肥化処理と廃プラ・廃食油の油化処理の合計で 68kg-CO_2/月である。現状システムと資源有効利用システムと比較すると、後者のほうが 416kg/月の CO_2 の排出量が削減されることを明らかになった。資源有効利用システムを見ると、堆肥による代替効果は-49 kgなのに対し、生成油による代替効果は-1,208kg であり、資源有効利用システムの $LCCO_2$ の結果に大きく寄与していることがわかる。

表 1　LCA の結果

単位：kg-CO_2/月

			現状処理システム	資源有効利用システム
現状ケース		焼却場まで輸送	100	−
		焼却プロセス	288	−
		埋立場まで運送	2	−
		最終処分	95	−
資源有効利用システム	生ごみのみ	資源物の回収輸送(廃プラ・廃油を含む)	−	195
		一次発酵	−	261
		焼却場への輸送	−	0
		焼却	−	29
		埋立場へ輸送	−	0
		最終処分	−	1
		二・三次発酵	−	77
		堆肥によるCH4の排出	−	10
		堆肥によるN2Oの排出	−	9
		堆肥による代替効果（有機質肥料）	−	−49
		生ごみ処理機の製造	−	13
		生ごみ処理機の輸送	−	2
		生ごみ処理機の廃棄	−	−6
	廃プラなど	油化処理機の製造	−	11
		油化処理機の廃棄	−	−6
		油化による電気使用	−	50
		油化による灯油使用	−	679
		生成油による代替効果（A重油）	−	−1,208
合計			484	68
現状との差				−416

4. おわりに

本研究では、北九州市のエコタウン内に生ごみ処理機と油化処理機を設置し、特定の 8 軒の外食産業の 5 ヶ月間に排出された廃プラスチック・廃食油・生ごみを対象とした資源有効利用システムの $LCCO_2$ を評価した。その結果、資源有効利用システムは現状ケースにより 416 kg-CO_2/月ほど削減される結果となった。これは堆肥と生成油による代替効果の寄与が大きい。一方、輸送段階については、資源化ケースの方が原単位も大きく、実測距離も遠いため、まとめて回収しても CO_2 は大幅に増加する結果となった。さらに、生ごみの一次発酵の段階については、生ごみ処理機の処理能力に対する処理率が低い水準でとどまっており、処理機の 100%稼働による単位処理量あたり CO_2 が多いため、結果が悪くなった。

データの精緻化、施設規模の変動への対応、全市域への拡大推計などが今後の課題である。

参考文献

1）農林省水産省：「食品リサイクル法に基づく基本方針の見直しに係る論点整理」平成 18 年
<http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/sousyoku_recycle/06/pdf/siryoul.pdf>,（参照 2012-12-20）
2）経済産業省・国土交通省：「ロジスティクス分野における CO_2 排出量算定方法　共同ガイドライン Ver.3.0」
<http://www.greenpartnership.jp/pdf/CO_2/guidelinev3.0.pdf>,（参照 2012-12-20）
3）キョリ側（ベータ）<http://www.mapion.co.jp/route/>,（参照 2012-12-1）

変動に対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計

Design of recycling system considering robustness and flexibility against variations

○　石川晴菜*[1)]、中谷隼[1)]、菊池康紀[1)]、平尾雅彦[1)]
Haruna Ishikawa, Jun Nakatani, Yasunori Kikuchi and Masahiko Hirao
1) 東京大学
*h-ishikawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1　はじめに

プラスチックのリサイクルシステムは、図 1 のように廃プラスチックの排出状況や再生製品需要など様々な制約条件下で設計されるが、その制約条件はそれぞれ大きな変動性を持つ。このような外的要因の変動に効率的に対処するには、変動に対する頑健性・柔軟性を考慮したシステム設計が必要である。

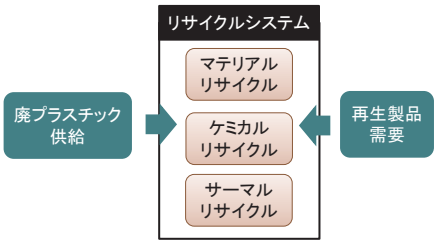


図 1　リサイクルシステム設計と変動

変動に対する柔軟性に関しては、化学プロセスやサプライチェーン等動脈系システムを対象とした議論が行われてきた[1]。一方でリサイクル等の静脈系システムを対象とする議論はその必要性は示唆されている[2]ものの、定量的な設計・評価の例は存在しない。

本研究ではプラスチックリサイクルを対象に、変動に対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計手法構築を目的とする。リサイクル技術のバランスがシステムの許容可能な変動幅に与える影響の解析や、頑健性・柔軟性の評価指標の開発を行い、政策決定を支援する。

2　頑健性・柔軟性の定義

サプライチェーン管理を対象とした既往研究[3]に準じて、頑健性・柔軟性を定義した。頑健および柔軟なシステムの概念を図 2 に示す。実線で囲まれた範囲が、それぞれのシステムの許容可能な変動幅を表す。頑健性とは、システムが変動に対して操作変更を行うことなく望ましいパフォーマンスを保つ能力を指す。一方柔軟性は、システムの変動に対して操作変更を行うことで適応し、望ましいパフォーマンスを保つ能力を表す。

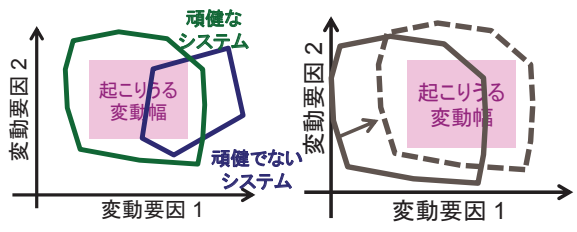


図 2　頑健なシステム(左)と柔軟なシステム(右)

3　設計フレームワーク

システムの制御変数と設計変数、変動要因を表 1 に示す。変動要因が変動した場合でも、制御変数の値が悪化しないような設計変数値を決定することが本研究の目的である。

表 1 システム設計に用いる変数

制御変数	CO2排出量
	コスト
	廃プラスチック保管日数
	再生原料在庫量
	供給達成率
	代替された新規製品の価値（価格）
設計変数	各リサイクル技術の施設能力
	各用途における再生原料のシェア
	廃プラスチック輸出量上限
	入札の頻度
	リサイクル技術間の入札優先順位
変動要因	廃プラスチック排出量
	廃プラスチック組成
	廃プラスチック輸出量
	再生製品需要量
	再生製品価格

設計の流れを図 3 に示す。まず、制御変数の値を大きく悪化させないための物質フロー・金銭フローの条件を、式 S1-S11 のように不等式の形で整理した。これらの不等式に基づいて、設計変数値の変更がシステムの許容可能な変動幅に与える影響の感度解析を行う。その解析結果を基に、各変動リスクに対する対策案の有効性を評価する。

対策案の評価結果はシステム改善の方向性は示すものの、定量的な代替案設計には不十分である。頑健性・柔軟性が不十分か、逆に冗長かといった判断を行うために、許容可能な変動幅と実際に起こりうる変動幅との比較に基づいた、頑健性・柔軟性の定量的な評価指標を開発した。不等式 Sn によって定義される許容可能な変動幅に対する評価指標F_nは、以下の式で表される。

$$F_n = \int f(\vec{v},t)d\vec{v}\,dt$$

$$\text{s.t.}\quad \vec{v} \in V_n \qquad (n = 1,2,\cdots,11)$$

ただし、$f(\vec{v},t)$は時刻 t に変動要因ベクトルが$\vec{v}$となる確率、V_nは不等式 Sn を満たす$\vec{v}$の集合である。

対策案の有効性評価結果と、現状システムの頑健性・柔軟性を基に代替案を生成し、再び頑健性・柔軟性の評価を行う。また評価結果の解釈の段階では、特定の変動パターンに対する現状／代替システムの制御変数の応答を評価する。

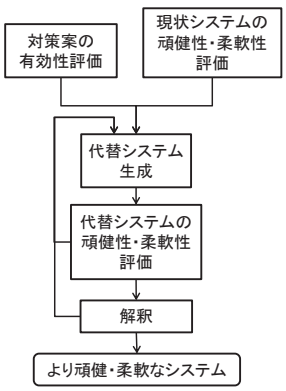


図 3 システム設計の流れ

4　PETボトルを対象としたケーススタディ

4.1　対策案の有効性評価

設計変数値の変更が、許容可能な変動幅に与える影響を解析した結果を図4に示す。塗り潰された領域が、許容可能なボトル排出量の幅である。例えば現状システムが不等式S1を満たすためにはボトル排出量が755 kt/y以下であればよく、全不等式を満たす範囲は約600~750 kt/yである。図4からは、マテリアルリサイクル(MR)からケミカルリサイクル(CR)への転換という対策案が、リスクS2を満たす変動幅を狭めてしまうことなどがわかる。

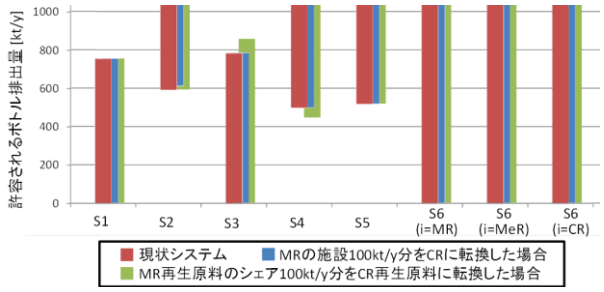


図4　許容可能な変動幅についての感度解析

上記解析結果を基に、様々な設計変更(対策案)の、各リスクに対する有効性を評価した。結果の抜粋を表2に示す。リスクS1（例えば、輸出量の減少などによって不等式S1が満たせなくなるリスク）に対する頑健性・柔軟性を増強するには、CRからMRへの転換や輸出量制限の強化が有効である。また、リスク間にトレードオフが存在することもわかる。

表 2 対策案評価結果

			S1	S2	S3	S4	S5	S6 i=MR	S6 i=MeR	S6 i=CR
施設能力	増設	MR	+	−				−		
		MeR	+	−					−	
		CR	+	−						−
	転換	MR→MeR		−				+	−	
		MR→CR		−				+		−
		MeR→CR		−					+	−
各用途における再生樹脂のシェア	転換	MR→MeR			+	+		−	+	
		MR→CR			+	+		−		+
		MeR→CR							−	+
		新規樹脂→MR			+	−	−	+		
輸出上限		強化する	−	+	−	+	+			
		緩和する	+	−	+	−	−			

※MR: マテリアルリサイクル　MeR: メカニカルリサイクル（超洗浄法）　CR: ケミカルリサイクル
※＋: 頑健性を向上させる　　－: 頑健性を低下させる

4.2　現状システムの頑健性・柔軟性評価

現状システムの頑健性評価結果を図5に示す。リスクS2やS6に対する頑健性が低いことがわかる。$f(\vec{v}, t)$の推定には複数の方法が考えられるが、本稿では各変動要因の前月からの変動幅が対数正規分布に従うとして、過去の統計データを基に今後3年間の変動幅を推定した。

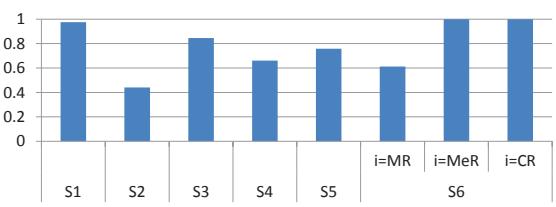


図5　現状システムの頑健性評価結果

4.3　代替案生成

現状システムの頑健性・柔軟性と対策案評価結果を基に、代替システムを生成した。表3に、現状システムと代替システムの設計変数値を示す。

表 3 設計変数値

			現状	代替
施設能力 [kt/y]		MR	370	180
		MeR	27.5	97.5
		CR	27.5	27.5
各用途における再生樹脂のシェア[%]	繊維・シート原料	MR	40	30
		MeR	0	15
		CR	0	0
	ボトル原料	MeR	1.5	10
		CR	1.5	5
輸出量上限 [kt/y]			−	400

4.4　代替システムの頑健性・柔軟性評価

代替システムの評価結果を、現状システムと併せて図6に示す。リスクS1やS6に対する頑健性は減少しているが、多くのリスクに対して頑健性が向上している。

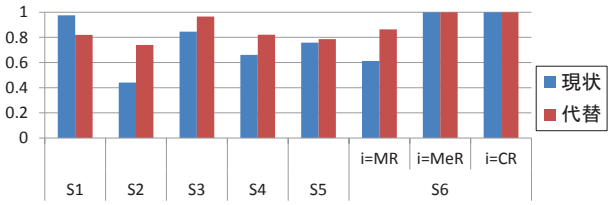


図6　代替システムの頑健性評価結果

4.5　解釈

「国内繊維需要が今後3年間で300 kt/yまで減少する」という変動が起きた場合について、CO_2排出量と再生製品在庫量の応答を評価した結果を示す。現状システムでは再生樹脂の需要不足により余剰の廃プラスチック焼却によるCO_2排出量増加が見られるが、代替システムではそれらのリスクが回避されている。

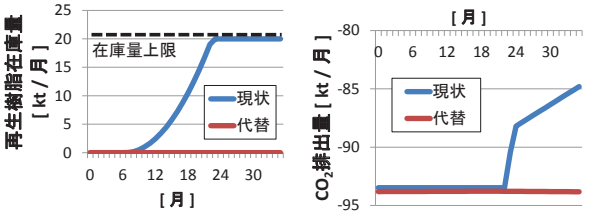


図7　制御変数の応答評価結果

5　まとめ

変動リスクに対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計手法を構築した。構築したフレームワークをPETボトルのリサイクルシステムに適用し、その有効性を実証した。

参考文献

[1] M. Stevenson and M. Spring： Int. J. Oper. Prod. Man., 27(7), (2007), pp.685-713

[2] 藤井実ほか, “第7回日本LCA学会研究発表会”, 野田, (2012), pp.294-295

[3] Sethi K. A. and Sethi P. S.: Flexibility in Manufacturing: A Survey, The Int. J. Flex. Manuf. Sys., 2(4), (1990), pp.289-328

[4] 財務省：“貿易統計”, （オンライン）, <http://www.customs.go.jp/toukei/info/>

Supporting Information

青字は設計変数、赤字は変動要因を表す。また、右カラムに各不等式が満たされなかった場合に生じるリスクを解説する。

$$\mathrm{emit} - \mathrm{expo} + \mathrm{sto} - \mathrm{sto_{lim}} < \sum_i \mathbf{C_i} \qquad \text{(S1)}$$

(S1) 排出量増加や輸出量減少により、処理・保管しきれない余剰の廃プラスチックが焼却される。

$$\mathrm{emit} - \mathrm{expo} + \mathrm{sto} > \sum_i \mathbf{C_i}\, \mathrm{r_i} \qquad \text{(S2)}$$

(S2) 排出量減少や輸出量増加により、リサイクル施設が最低稼働率を満たせなくなる。

$$\mathrm{emit} - \mathrm{expo} < \sum_i \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{op_{ijk}^{max}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S3)}$$

(S3) 排出量増加や再生原料の需要縮小により、再生原料の在庫が発生する。

$$\mathrm{emit} - \mathrm{expo} > \sum_i \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{op_{ijk}^{min}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S4)}$$

(S4) 排出量減少や再生原料の需要拡大により、再生原料の供給が果たせなくなる。

$$\mathrm{emit} - \mathrm{expo} > \sum_i \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{pro_{ijk}^{min}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S5)}$$

(S5) 排出量減少や再生原料の需要拡大により、再生原料の供給が果たせなくなる。

$$\mathrm{C_i r_i} < \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{op_{ijk}^{max}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S6)}$$

(S6) 再生原料の需要縮小により、リサイクル施設を最低稼働率で稼働しても再生原料の在庫が発生する。

$$\mathbf{C_i} > \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{op_{ijk}^{min}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S7)}$$

(S7) 再生原料の需要拡大により、リサイクル施設を最大限稼働しても再生原料の供給を果たせなくなる。

$$\mathbf{C_i} > \sum_j \sum_k \mathrm{D_j}\ \mathbf{s_{ijk}}\ \mathrm{pro_{ijk}^{min}}/\mathrm{y_i} \qquad \text{(S8)}$$

(S8) 再生原料の需要拡大により、リサイクル施設を最大限稼働しても再生原料の供給を果たせなくなる。

$$\sum_i \sum_j \mathrm{f_{ij}}\left(\mathrm{cost_i} - \mathrm{p_j^{rec}}\right) < \mathrm{T_{max}} \qquad \text{(S9)}$$

(S9) 再生原料価格の下落により、リサイクルが大幅に赤字となり、社会コストが増大する。

$$\sum_i \sum_j \mathrm{f_{ij}}\ (\mathrm{p_i^{bid}} - \mathrm{p_j^{rec}}) < \mathrm{dp_{max}} \qquad \text{(S10)}$$

(S10) 再生原料価格の急落により、各リサイクル事業者が利益を保てなくなり、社会コストが増大する。

$$\sum_i \sum_j \mathrm{p_j^{vir}} \mathrm{f_{ij}} > \alpha\, \mathrm{V_{max}} \qquad \text{(S11)}$$

(S11) 代替される新規原料の価格バランス変動により、再生原料が高付加価値の製品に流れなくなる。

emit : ボトル排出量
expo : ボトル輸出量
sto : 前月までの廃プラスチック保管量
$\mathrm{sto_{lim}}$ 廃プラスチック保管可能量上限
$\mathrm{C_i}$: リサイクル技術 i の施設能力
$\mathrm{r_i}$: リサイクル技術 i の最低施設稼働率
$\mathrm{y_i}$: リサイクル技術 i の歩留
$\mathrm{D_j}$: 製品 j の需要ポテンシャル
$\mathrm{s_{ijk}}$: 製品 j において、リサイクル技術 i 由来の再生原料（以下再生原料 i ）を k %混合させて使用している製品のシェア
$\mathrm{op_{ijk}^{max}}$: 製品 j の生産者（再生原料 i の利用事業者）が工場のオペレーション変更なしで受入可能な、再生原料 i の新規原料に対する混合割合の上限
$\mathrm{op_{ijk}^{min}}$: 製品 j の生産者が工場のオペレーション変更なしで生産を継続するために必要な、再生原料 i の新規原料に対する混合割合の下限
$\mathrm{pro_{ijk}^{min}}$: 製品 j の生産者が新規原料の調達可能量上必要とする、再生原料 i の混合割合の下限調達可能な新規原料 i の上限
$\mathrm{f_{ij}}$: リサイクル技術 i による、製品 j 向けの廃プラスチック処理量
$\mathrm{cost_i}$: リサイクル技術 i の処理コスト
$\mathrm{p_j^{rec}}$: 製品 j 向けの再生原料の価格
$\mathrm{p_j^{vir}}$: 製品 j 向けの新規原料の価格
$\mathrm{p_j^{bid}}$: 入札価格決定時の再生原料の価格
$\mathrm{T_{max}}$: リサイクルに投入する資金の上限値
$\mathrm{dp_{max}}$: 入札価格決定時と、時刻 t の再生原料価格差の上限値
$\mathrm{V_{max}}$: 生産可能な再生製品の価格の総和
α : 0~1 の定数

システム設計のためのシステム境界の分断設定アプローチの検討

～人口減少下における廃棄物処理システムの遷移を例に～

An Approach of Segmented Setting of System Boundary for Systems Design: A Case Study of Transition of a Waste Treatment System in an Area with Decreasing Population

○田崎智宏*[1)]、藤井実[1)]、佐野彰[1)]
Tomohiro Tasaki, Minoru Fujii, Akira Sano
1) 国立環境研究所
* tasaki.tomohiro@nies.go.jp

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント（LCA）は、製品等の全てのライフサイクルから引き起こされる環境負荷をまとめ、評価する手法であり、多大な環境負荷が生じている箇所やライフステージ（ホットスポット）を特定したり、同一機能を有する製品等を比較評価することで、製品システムの改善を行うことに利用できる手法である。製品だけでなく、サービスやインフラ、システムなども評価対象とすることができ、それらをより環境負荷の小さいものへと改善することに利用できる。

LCA の実施手順は、通常、評価対象となる機能単位とシステム境界を設定したうえで、その範囲内の環境負荷を計上・評価していく。システム設計を行う場合には、複数のシナリオを設定して、同一の機能単位およびシステム境界で評価を実施し、環境負荷の小さいシステムを選定するという手順がとられる。しかし、評価対象とするシステムが大きかったり、複雑であったりして、システム改善を図る要素・パラメータが増えてくると、設定するシナリオの数が増えてしまう。その結果、評価実施のリソースが十分でない場合には、このようなアプローチでシステム設計をすることに限界が生じてしまう。

そこで本研究では、システムの設計・改善を行う LCA の利用を研究対象に、よりアクティブにシステム設計を行えるアプローチとして、システム境界をあえて分断して小規模に設定することで評価対象外となったシステムの設計要件を明らかにするアプローチを検討することとした。2 節ではその方法論について論じ、3 節ではケーススタディとして、人口減少下においてリサイクル施設を整備する一方で焼却施設を統合していく事例を検討して、そのアプローチの実行可能性等を確認した。

2. 方法論

提案するアプローチを、図 1 に示す。本アプローチは、システム境界を意図的に分断し、より確定的なサブシステムとシステム設計の余地が大きいサブシステムに分割したうえで、確定的なサブシステム側の評価を行うものである。そして、その結果を用いて、もう一方のサブシステムが達成すべき条件を定量的に提示し、システム設計や開発を進めるというものである。

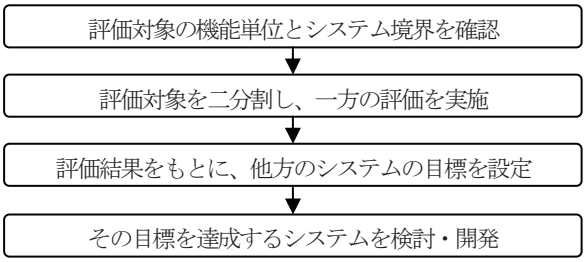


図１　システム境界の分断設定アプローチ

このようなシステム境界の分断設定アプローチが有用となる条件について考察すると、1)システムが複数のサブシステムから（複雑に）構成されていることを前提に、2)開発中のサブシステムが含まれる、もしくは、3)評価者が評価データをあまり有していないサブシステムが含まれる、という場合を想定できる。2)の場合は、現存する要素技術等の確定的なサブシステムの評価結果をもとに、今後開発されるサブシステムの開発目標を設定するものである。LCA をよりアクティブにシステムの設計・開発につなげることが指向される。一方、3)の場合は、その時点で評価可能なサブシステムについての評価結果をもとに、未評価のサブシステムが満たすべき要件を明らかにすることで、サブシステムとして採用されうる要素技術等の絞り込みにつなげ、残されたデータ収集の負担を減らすものである。LCA の実施を効率化させたり、段階的な実施によって組織マネジメントの目標ターゲッティングを明確化・具体化したりすることが指向される。3 節では、2)の事例を具体的に検討する。

3. ケーススタディ

事例として、人口減少下におけるリサイクル・廃棄物処理システムの設計をとりあげた。今後の人口減少に伴うごみ量の減少により、廃棄物処理施設の容量を適切に減少させることが求められる一方で、さらなるリサイクルの進展のなか、どのようにリサイクル施設を整備していくかが課題となっている。リサイクルの進展は処理し

なければならないごみ量の減少をもたらすため、上記は複雑に関係しあっており、システムの設計や評価は単純ではない。また、人口減少により、複数の処理施設を統合して、施設稼働率の低下を抑えて効率的に処理を行うことも想定されうるため、単一の市町村だけでなく、複数の市町村が共同してごみ処理とリサイクルを実施することを想定した。前述の1)への適合性が高いと判断した。

サブシステムとしては、焼却・埋立からなる廃棄物処理システム、そのための収集システム、リサイクルシステム（分別収集と選別、再資源化からなる。）を想定した。このうち、廃棄物の収集・処理システムは比較的技術システムが確立している一方で、リサイクルシステムは新たな技術開発の余地が大きいことから、システム境界はこれらの間で分断設定し、リサイクルシステムの要件を求めることとした。

対象廃棄物は、一般廃棄物（人口あたりのごみ排出量が1kg/人/日）のうち生ごみ（平成22年の7都市平均ごみ組成：35%）、プラスチック（10%）、紙（35%）を想定し、それらが焼却処理もしくはリサイクルされるものとした。対象地域は地方都市（現在の人口より8割に減少）と農村地域（人口が6割に減少）の2類型とし、A)地方都市どうし（人口20万人と10万人）、B)農村地域どうし（2.5万人ずつ）、C)地方都市と農村地域（20万人と3万人）が共同するケースを想定した。このとき、焼却施設がa)統合されずに施設更新された場合、b)施設統合して更新された場合、それからI)生ごみ、II)廃プラの資源化が現状よりも推進されてそれぞれのごみ処理量が30%減少した場合、さらに*)高効率発電が導入される場合（発電効率13%→25%）を想定した。評価項目はCO2排出量と総費用の年換算値とし、前者としてごみ収集、プラスチックの焼却、売電による発電回避（石炭火力の排出係数0.943kg/kWhおよび排出係数の代替値0.550kg/kWhを使用。以下では後者の排出係数を用いた結果を示す。なお、いずれの係数でも結果の符号は同じである。）、後者として、ごみ収集、焼却施設の建設と運転（薬剤、維持管理、売電等）を積み上げ法にて計上した（売電単価は10円/kWhと設定）。ここで、各市町村におけるごみ収集距離はグリッドシティモデル[1)]に基づいて算出し、施設統合された場合には、さらに市町村間の輸送距離を加算した。

システム境界を分断して、廃棄物収集・処理のサブシステムのみを評価した結果を図2と表1（いずれもケースA）に示す。人口減少下において施設統合しない場合であるケースa)と比べると、施設を統合してリサイクルを進展させることによって、収集＋廃棄物処理システムのCO2排出量と年間費用を低減できることが分かる。特に、施設統合によって焼却施設に高効率発電が導入できる規模となると、CO2削減効果が大きいことが分かる。

次に、これらの結果を用いてリサイクルシステムの目

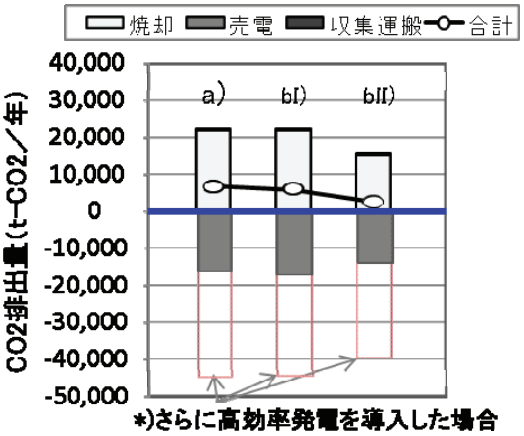


図２　評価結果（a：人口減少に対応した施設容量で施設統合せず（2施設）、bI：1施設に統合＋生ごみリサイクル推進、bII：1施設に統合＋プラリサイクル推進）

表１　評価結果のまとめ（*は高効率発電導入）

ケース	a)	bI)	bI*)	bII)	bII*)
CO2排出量[t-CO2/年]	13,741	13,463	-2,511	8,627	-6,264
年間費用[百万円/年]	2,005	1,669	1,391	1,841	1,584
リサイクル進展によるごみ焼却量の削減量[t]	0	9,198		2,628	
リサイクルシステムの目標単位費用[万円/t]		3.7	6.7	6.2	16.0
リサイクルシステムの目標温室効果ガス排出量[t-CO2/t]		3.0	177	195	761

標設計水準を次式より求めた（表1）。ここでいう改善量とは対策をとらないケースa)と比較した環境負荷や費用の削減量のことで、この目標水準より有効なリサイクルシステムを構築すれば、基準ケースa)よりもシステム全体での環境負荷や費用を低減できることを示す。

$$\text{目標水準} = \frac{\text{収集＋廃棄物処理のサブシステムの改善量}}{\text{進展させるリサイクル量}}$$

表1の結果から、生ごみと廃プラスチックのリサイクルを推進する場合には、新たに構築するリサイクルシステム（分別収集含む）のコストパフォーマンスをそれぞれ3.7万円/t、6.2万円/t以下にすることが求められること、高効率発電を導入できる場合には売電利益を期待できるため、同じリサイクル率を達成しようとするならばリサイクルシステムのコストパフォーマンスが前者の場合6.7万円/tと多少悪くともよいことなどが分かる。このような情報は開発・改善するシステムの方向性やシステムの設計における具体的な水準を提示する有用な情報で、提案するアプローチの有用性を示唆するものといえる。

なお、本ケーススタディは、㈱エックス都市研究所の山口直久氏、千葉俊彦氏との共同で実施したものである。詳細は別の機会に報告する予定である。

4.　参考文献

1) Ishikawa M.: J. of Packaging Science & Technology, 5 (2), (1996) pp. 119-130

住宅建設時に発生する副産物のゼロエミッション化に関する研究

その 1. 副産物の実態把握と発生量予測方法の検討

A Study on Zero-Emission of By-Product Generated in Constructing a House Part1.Measuring Result about the Kind and Weight of By-Products Generated and Research of the Estimation about Amount of By-Products

○生駒翔也*[1)]、高村秀紀[2)]、浅野良晴[2)]、石井紀大[1)]、土屋健太[1)]

Shoya Ikoma, Hideki Takamura, Yoshiharu Asano, Norihiro Ishii, Kenta Tuchiya

1)　信州大学工学部, 2) 信州大学工学部、信州大学山岳科学総合研究所

*12tm703h@shinshu-u.ac.jp

1.　はじめに

建設リサイクル法[1)]の施行によって一部の品目ではリサイクル率が上昇しているのに対し、分別されていない副産物は 50%以上が埋め立てられるなど、副産物の種類によってリサイクル率は大きく異なっている[2)]。建設副産物の埋め立て処分量を減少させるために、住宅建設時に発生する副産物のゼロエミッション[注1)]化を推進する必要がある。こうした背景に対して工務店ではゼロエミッション[注1)]化への取り組みが遅れている。この理由として現場での分別が徹底されていないことが挙げられる。また発生量が少ない副産物は経済的な理由から現状ではリサイクルされていない。現場での副産物の保管場所には制限があることから、回収量の増加や効率的な回収についての検討を行う必要がある。

本研究では、工務店が施行する 7 棟の住宅について副産物の発生時期と発生量の調査を行った。また計測の結果より、運搬効率の評価指標と副産物発生量の予測方法の検討を行った。

2.　調査対象住宅の概要

対象住宅の概要を表 1 に示す。平面図は図 S1 から図 S15 を参照。対象住宅の 7 棟はいずれも在来木造軸組工法である。7 棟のうち 6 棟は長野県長野市にて施工された住宅であり、1 棟は長野県千曲市にて施工された住宅である。また D 邸のみ施工工務店が異なる。

3.　調査方法

住宅建設現場にて発生した副産物を 34 種類に分別し、重量を計測した。分類は既往研究における調査を踏まえ決定した。T 邸、M 邸、R 邸の住宅建設現場においては、搬入資材[注2)]及び搬出される副産物重量の計測を行った。

表 1　調査対象住宅の概要

邸名		T邸	K邸	W邸	M邸	H邸	D邸	R邸
所在地		長野県長野市	長野県千曲市	長野県長野市	長野県長野市	長野県長野市	長野県長野市	長野県長野市
階数		2階	2階	2階	3階	2階	1階	3階
延床面積(㎡)		127.3	102.9	175.5	236.0	99.0	137.3	177.9
工期	着工	2010年10月中旬	2010年11月上旬	2010年11月上旬	2011年6月中旬	2011年8月上旬	2011年7月下旬	2012年4月下旬
	竣工	2011年4月下旬	2011年3月上旬	2011年3月上旬	2011年12月上旬	2011年11月中旬	2011年11月上旬	2012年8月下旬
	工事期間	28週	15週	15週	25週	12週	17週	17週
断熱材		押出法ポリスチレンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板 グラスウール	押出法ポリスチレンフォーム保温板 発泡ウレタン	押出法ポリスチレンフォーム保温板
屋根材		瓦	ガルバリウム鋼板	瓦	瓦	瓦	瓦 ガルバリウム鋼板	アスファルトシングル
外壁材		窯業用サイディング	窯業用サイディング	窯業用サイディング	窯業用サイディング	窯業用サイディング	モルタル塗	窯業用サイディング
内壁材		塗装ビニルクロス	ビニルクロス	ビニルクロス	ビニルクロス	ビニルクロス	ビニルクロス、珪藻土(和室)	ビニルクロス
床材		複合フローリング畳	複合フローリング	複合フローリング畳	複合フローリング畳	複合フローリング	複合フローリング畳	複合フローリング
施工工務店		工務店A	工務店A	工務店A	工務店A	工務店A	工務店B	工務店A
建蔽率		27%	20%	15%	56%	31%	31%	43%

表 2　副産物発生重量の内訳

		T邸	K邸	W邸	M邸	H邸	D邸	R邸
1	製材	416.9	225.2	550.6	686.3	135.2	413.7	605.4
2	合板・集成材・複合造作材	145.0	169.8	199.9	588.2	40.8	141.4	225.2
3	複合フローリング	43.4	53.6	51.1	100.0	36.5	67.1	93.9
4	石膏ボード	354.8	311.0	312.7	703.9	240.0	344.4	662.2
5	その他石膏ボード	–	–	–	15.5	–	–	–
6	グラスウール	–	–	–	–	–	0.2	–
7	ロックウール	–	–	–	–	–	–	–
8	ケイカル板	52.1	–	–	24.6	97.0	185.9	75.1
9	外壁材	1113.5	1310.0	1180.1	2464.5	465.2	–	1754.6
10	瓦	40.8	–	–	–	–	127.1	–
11	タイル	25.1	1.2	–	19.8	8.5	–	67.5
12	ダイライト	–	–	–	–	–	–	–
13	木毛板	–	–	–	–	3.1	30.2	0.3
14	その他がれき類	274.5	19.8	13.6	6.9	18.0	15.1	17.0
15	鉄筋	–	–	–	2.4	–	1.9	–
16	ガルバリウム鋼板	–	2.7	–	31.2	–	–	2.0
17	ケーブル類	7.3	1.1	–	–	0.5	–	15.7
18	その他金属類	9.0	0.3	8.6	9.5	7.8	16.2	4.7
19	塩ビ管	1.4	1.9	–	6.9	–	15.0	11.6
20	塩ビ	2.8	–	–	–	–	–	–
21	土台パッキン	0.0	1.2	–	1.1	0.5	0.8	–
22	タイベックシート	2.2	0.2	–	3.6	0.9	2.6	–
23	クロス	25.7	–	21.4	52.9	18.3	2.2	39.6
24	押出法ポリスチレンフォーム	67.1	28.1	72.4	99.6	8.2	85.4	68.6
25	PPバンド	4.8	2.3	5.4	6.1	2.0	3.2	4.0
26	ビニール類	32.2	33.6	24.8	60.2	35.8	10.2	26.7
27	発泡スチロール	0.7	–	2.7	0.2	1.0	2.0	0.0
28	ルーフィング材	1.1	0.6	–	3.9	–	–	1.2
29	その他プラスチック	56.9	16.2	43.1	29.0	14.6	50.1	29.0
30	ふすま紙・養成紙・セメント袋等	28.4	26.1	48.7	57.6	19.6	24.8	40.6
31	ダンボール	188.0	141.8	202.2	311.4	115.7	188.8	234.8
32	その他紙くず	63.5	32.5	63.6	21.0	5.0	40.4	15.6
33	複合材	48.3	39.8	34.3	219.2	5.1	198.2	437.3
34	液状残材	24.9	8.8	14.7	68.7	13.8	9.7	52.7
計		3030.3	2427.6	2849.7	5594.0	1293.2	1976.6	4527.1

K 邸、W 邸、H 邸、D 邸の住宅建設現場においては、副産物の重量の調査のみを行った。重量の計測には秤量 100kg のはかりと秤量 3000g のはかりを資材の形態に応じて使用した。

4.　実測調査結果

4.1.　副産物発生量の内訳

実測調査により、副産物発生量について把握した。調査結果を表 2 に示す。各住宅の副産物発生量の時系列変

化は図 S16 から図 S22 を参照。D 邸を除く 6 棟においてはがれき類が最も多く発生した。D 邸では製材が最も多く発生した。金属類は、7 棟ともに発生量が最少となった。プラスチック類と混合廃棄物については各邸で発生量にばらつきがあった。分別の精度によって発生量に差があるため、分別への取り組みに差があったと考えられる。

4.2. リサイクル率[注3)]の算出

リサイクル率[注3)]を算出した。表 3 に各副産物のリサイクルの実態を分類番号で示す。表 4 に各住宅のリサイクル率[注3)]を示す。現状のリサイクル率は 7 棟とも高くないことが分かる。リサイクルルートが確立された場合、複合フローリングや外壁材等についてリサイクルが可能になるため、D 邸以外の住宅でリサイクル率[注3)]が大幅な上昇が見込める。回収量が増加した場合、リサイクル率[注3)]の上昇はほとんど見込めない。これは対象となる副産物の発生量が少ないことが原因である。

5. 運搬効率の評価指標

回収の効率化を検討するためにウェイトマイレージ[注4)]とかさマイレージ[注5)]を算出した。図 1 に M 邸、H 邸におけるウェイトマイレージ[注4)]とかさマイレージ[注5)]を示す。なお M 邸と H 邸では回収の効率化をめざし、回収を 1 台のトラックで行った。ウェイトマイレージ[注4)]、かさマイレージ[注5)]共に副産物をトラックに満載した場合に比べ非常に低い値となった。M 邸と H 邸は副産物の保管場所が狭かったため回収の回数が増えた。これによりトラックに満載していない状態で回収したためと考えられる。

6. 副産物発生量の予測方法の検討

延床面積あたりの端材発生量、使用部位面積あたりの端材発生量を、R 邸を除く 6 棟の結果より算出した。また搬入資材重量の計測を行った T 邸、M 邸の結果を用いて端材率[注6)]を算出した。端材率を表 S1 に示す。端材以外の副産物については、延床面積あたりの副産物発生量を算出した。算出した値を用いて R 邸における副産物発生量の予測を行い、実測値との比較を行った。

34 種類の副産物の内 R 邸では 24 種類発生した。分類番号 1、2、8、9、13、16、24、28 に該当する副産物は延床面積あたりの発生量を用いた方法が最も実測値に近かった。分類番号 3、4、11、19、23 に該当する副産物は端材率[注6)]を用いた方法が最も実測値に近かった。また端材以外の副産物については実測値に対する実測値と予測値の差の割合が 50%を超えるものが 11 種類中 7 種類あった。

7. まとめ

7 棟の住宅建設現場にて実測調査を行い、副産物の発生時期と発生量を把握した。これらの結果より、副産物の発生量の予測方法を検討した。端材発生量については、材種によって方法を変えることで精度の高い予測が行えることが分かった。端材以外の副産物の発生量予測については予測の精度が低いものが多くあるため、今後予測の精度向上を試みる必要がある。

表 3　段階ごとの副産物の小分類番号の内訳

リサイクル段階	副産物の種類(小分類番号)
現状でリサイクル可能な副産物(kg)	1,2,4,15,16,17,18,32
リサイクルルートの確立によりリサイクル可能となる副産物(kg)	3,9,10,11,24,25,26,27,30,34
回収量の増加によりリサイクル可能となる副産物(kg)	6,7,19,20
現状でリサイクル不可能な副産物	5,8,12,13,14,21,22,23,28,29,32,33

表 4　各住宅のリサイクル率

	T邸	K邸	W邸	M邸	H邸	D邸	R邸
現状でリサイクル可能な副産物(kg)	1121.1	851.8	1274.0	2332.9	540.0	1106.6	1750.0
現状のリサイクル率	37%	35%	45%	42%	42%	56%	39%
リサイクルルートの確立により リサイクル可能となる副産物(kg)	2501.9	2315.4	2673.7	5209.5	1130.7	1435.9	2108.6
リサイクルルートが確立された 場合のリサイクル率	83%	95%	94%	93%	87%	73%	85%
回収量の増加により リサイクル可能となる副産物(kg)	2506.0	2317.3	2673.7	5216.4	1130.7	1451.2	2120.2
回収量が増加した 場合のリサイクル率	83%	95%	94%	93%	87%	73%	85%
現状でリサイクル不可能な副産物(kg)	524.3	110.3	176.0	377.6	162.4	525.4	656.9
リサイクル不可能な副産物の割合	17%	5%	6%	7%	13%	27%	15%

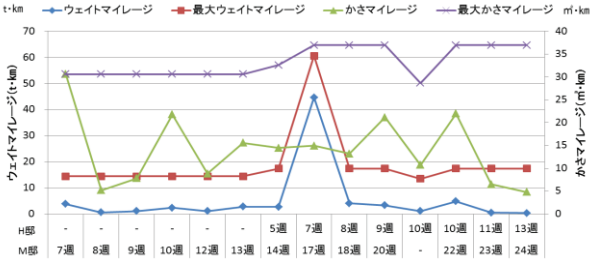


図 1　ウェイトマイレージ及びかさマイレージ(M,H 邸)

表 5　副産物発生量の予測結果（端材）

		延床面積あたりの発生量より算出		使用部位面積あたりの発生量より算出		端材率より算出		実測値(kg)
		予測重量(kg)	実測値に対する実測値と予測値の差の割合(%)	予測重量(kg)	実測値に対する実測値と予測値の差の割合(%)	予測重量(kg)	実測値に対する実測値と予測値の差の割合(%)	
1	製材	468.8	−23%	−	−	1008.3	67%	605.4
2	合板・集成材・複合造作材	310.1	38%	−	−	3113.8	1283%	225.2
3	複合フローリング	70.1	−25%	74.1	−21%	74.7	−21%	93.9
4	石膏ボード	470.8	−29%	175.5	−74%	559.9	−15%	662.2
8	ケイカル板	75.1	0%	−	−	52.2	−30%	75.1
9	外壁材	1660.2	−5%	1088.7	−38%	954.8	−46%	1754.6
11	タイル	16.2	−76%	−	−	21.9	−68%	67.5
13	木毛板	14.7	4984%	−	−	−	−	0.3
16	ガルバリウム鋼板	14.1	614%	−	−	20.9	962%	2.0
17	ケーブル類	4.33	−73%	−	−	−	−	15.7
19	塩ビ管	5.5	−53%	−	−	6.4	−45%	11.6
23	クロス	31.5	−21%	16.5	−58%	33.1	−16%	39.6
24	押出法ポリスチレンフォーム	67.4	−2%	45.2	−34%	44.4	−35%	68.6
28	ルーフィング材	2.1	68%	4.7	281%	8.5	586%	1.2

予測値と実測値の差が最も少ないもの

表 6　副産物発生量の予測結果(端材以外の副産物)

		予測重量(kg)	実測値に対する実測値と予測値の差の割合(%)	実測値(kg)
14	その他がれき類	50.1	195%	17.0
18	その他金属類	8.4	78%	4.7
25	PPバンド	4.5	14%	4.0
26	ビニール類	42.7	60%	26.7
27	発泡スチロール	1.0	13711%	0.0
29	その他プラスチック	32.6	13%	29.0
30	養成紙等	40.6	0%	40.6
31	ダンボール	224.4	−4%	234.8
32	その他紙くず	33.0	112%	15.6
33	複合材	116.4	−73%	437.3
34	液状残材	9.7	−82%	52.7

注釈

注 1) 本研究におけるゼロエミッションの定義は、熱回収を行わない焼却処分や埋め立て処分をする副産物をなくすこととする

注 2) 本研究では、建設現場に搬入された資材から、未使用等の理由により搬出された資材を除いたものを搬入資材と定義する

注 3) リサイクル可能な副産物が総重量に占める割合をリサイクル率とする。なお、本研究ではマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルどちらかが可能な副産物をリサイクル可能な副産物とする。

注 4) (回収時の積載重量) × (輸送距離)

注 5) (回収時の積載かさ) × (輸送距離)

注 6) (各搬入資材の端材重量) ÷ (各搬入資材の重量)

謝辞

実測調査やヒアリング調査にご協力頂いた株式会社ナガノ建築サービス様、株式会社鹿熊組様、直富商事株式会社様に、感謝の意を表する。

参考文献

1) 国土交通省，“国土交通省のリサイクルホームページ”，国土交通省総合政策局，(オンライン)，入手先<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/recyclehou/hourei_kokuji/index.htm>，(参照 2013-1-10)

2) 国土交通省，“国土交通省のリサイクルホームページ”，国土交通省総合政策局，(オンライン)，入手先<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/jittaichousa/index.htm>，(参照 2013-1-10)

Supporting Information

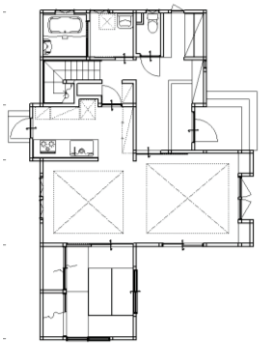


図 S1　1 階平面図(T 邸)

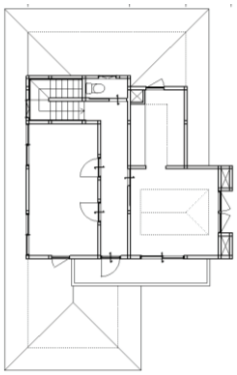


図 S2　2 階平面図(T 邸)

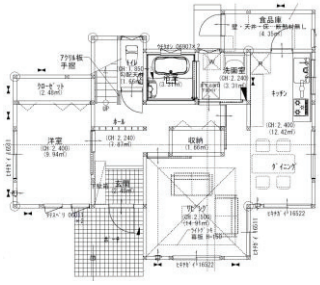


図 S3　1 階平面図(K 邸)

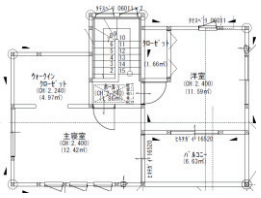


図 S4　2 階平面図(K 邸)

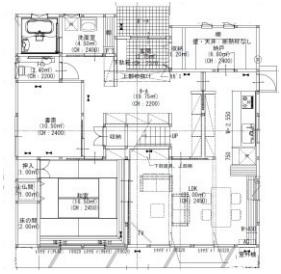


図 S5　1 階平面図(W 邸)

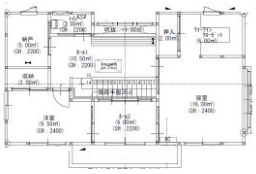


図 S6　2 階平面図(W 邸)

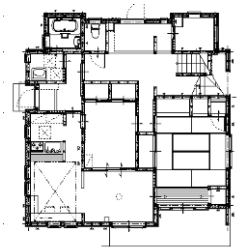


図 S7　1 階平面図(M 邸)

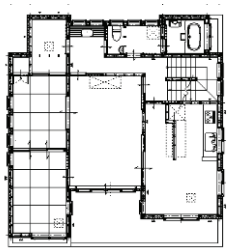


図 S8　2 階平面図(M 邸)

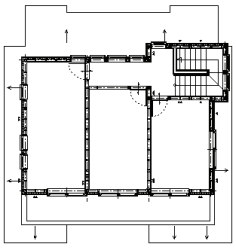


図 S9　3 階平面図(M 邸)

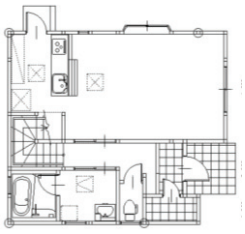


図 S10　1 階平面図(H 邸)

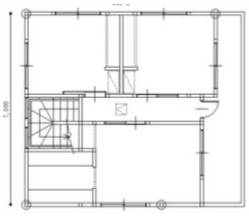


図 S11　2 階平面図(H 邸)

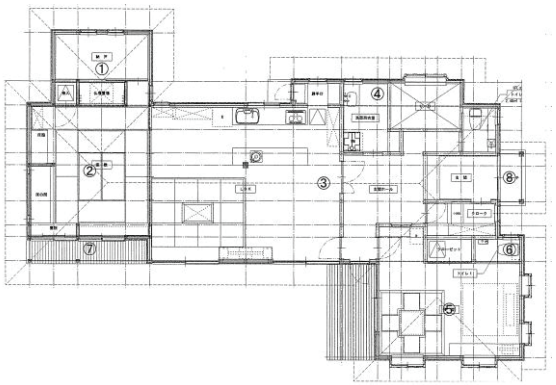


図 S12　平面図(D 邸)

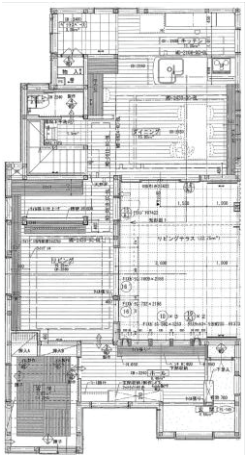


図 S13　1 階平面図(R 邸)

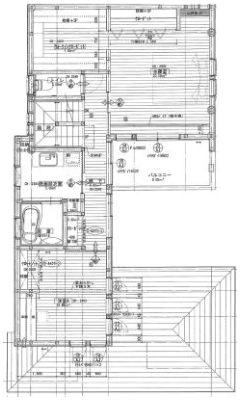


図 S14　2 階平面図(R 邸)

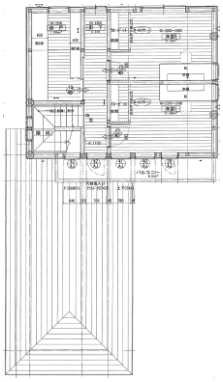
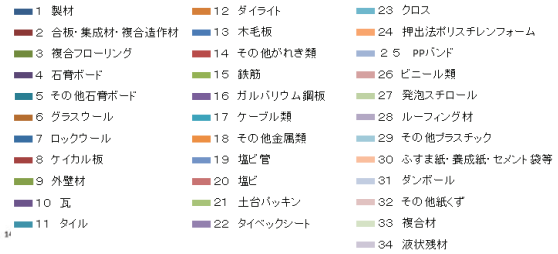


図 S15　3 階平面図(R 邸)



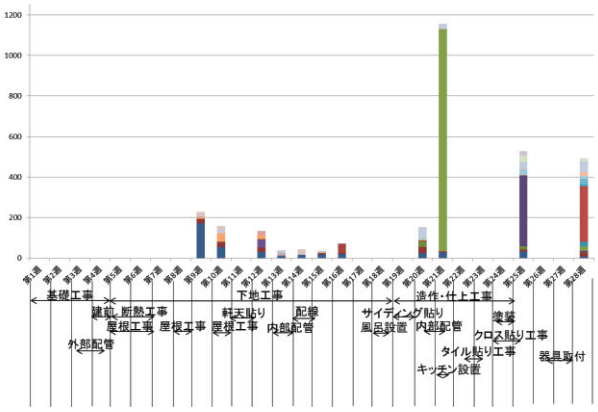


図 S16　副産物発生量の時系列変化(T 邸)

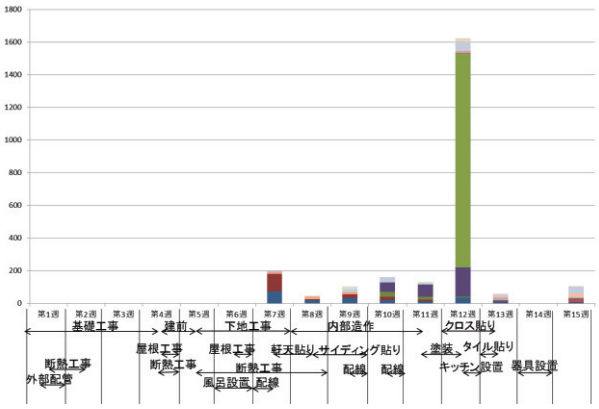


図 S17　副産物発生量の時系列変化(K 邸)

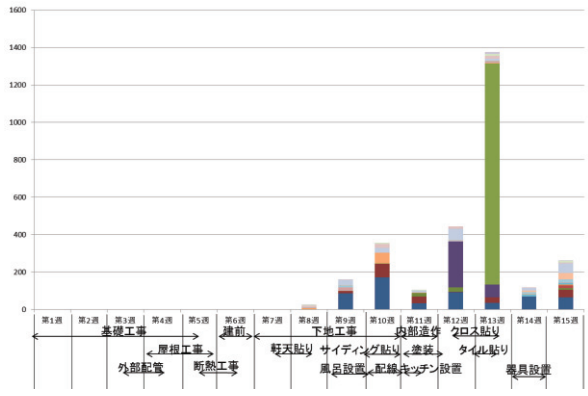


図 S18　副産物発生量の時系列変化(W 邸)

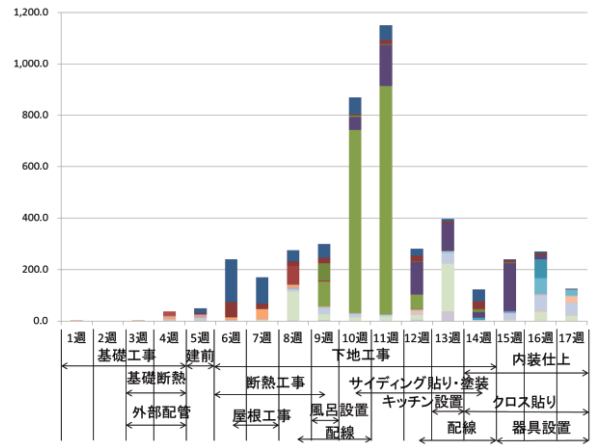


図 S19　副産物発生量の時系列変化(M 邸)

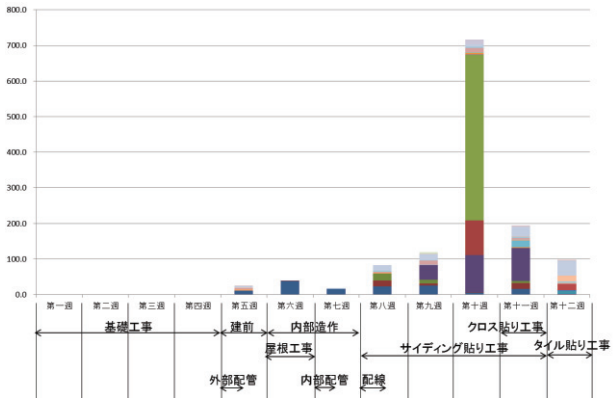


図 S20　副産物発生量の時系列変化(H 邸)

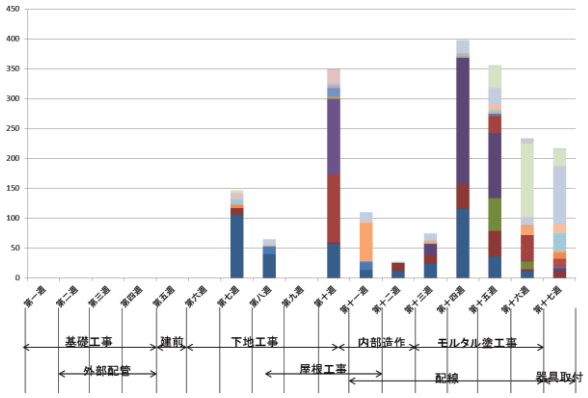


図 S21　副産物発生量の時系列変化(D 邸)

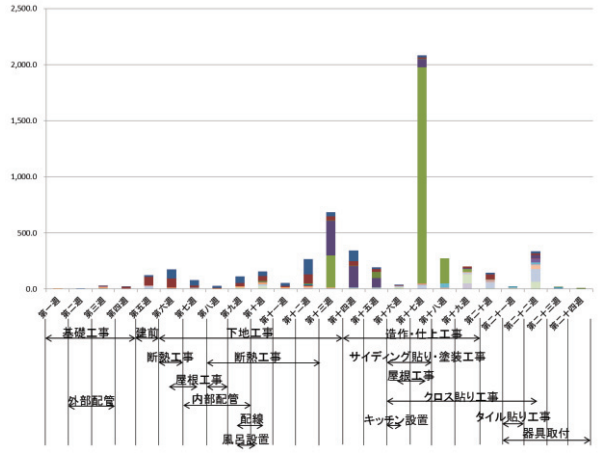


図 S22　副産物発生量の時系列変化(R 邸)

表 S1　端材率(T 邸,M 邸)

		T邸	M邸	平均
1	製材	0.04	0.09	0.06
2	合板	0.87	0.13	0.50
3	複合フローリング	0.06	0.07	0.06
4	石膏ボード	0.10	0.09	0.09
8	ケイカル板	0.24	0.04	0.14
9	外壁材	0.02	0.27	0.14
11	タイル	–	0.09	0.09
16	ガルバリウム鋼板	0.06	0.21	0.14
19	塩ビ管	0.03	0.04	0.03
23	クロス	0.22	0.10	0.16
24	押出法ポリスチレンフォーム	0.07	0.08	0.08
28	ルーフィング材	0.01	0.08	0.04

ICT の社会的価値の評価方法の検討

An evaluation method of the social value on ICT

○渡邉敏行[1)]、嵐紀夫[1)]、稲葉敦*[1)]
Toshiyuki Watanabe, Norio Arashi, Atsushi Inaba
1) 工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

現在、情報通信技術（ICT）の活用による CO2 排出削減の取り組みが注目されている。既存の研究では ICT の活用による「エネルギー利用効率の向上」や「人や物の移動の削減」、「物の生産・消費の効率化」がもたらす「CO_2 削減」と「コスト削減」については研究が進められているが、ICT が社会に与える価値については研究がほとんど行われていない。本研究では消費者の意識調査を行い、ICT の普及による「CO_2 削減」と「コスト削減」並びに「社会的価値」の評価を総合的に行うことを検討する。

2. アンケートの作成

ICT 製品として急速に普及し、身近で汎用性のあるスマートフォンと、類似性の高いタブレット端末を選択し、両者の所持率と所持形態の関係、購入目的と実際の使用方法の調査を行う。また普及後に社会にもたらされる効果について①スマートフォン，タブレット端末共有のもの、②スマートフォン固有のもの、③タブレット端末固有のものを抽出しアンケート調査することで、スマートフォンとタブレット端末による社会の変化について考察した。

3. 結果

3.1 アンケート調査

12 月 13~15 日に東京ビックサイトで開催されたエコプロダクツ展2012 でスマートフォンとタブレット端末の普及による影響についてアンケート調査を行った。回答者の総数は 125 名で男性が 52%、女性が 48%である。年齢の分布を図 1 に示す。また学生は 42%、就労者が 58%であった。学生の 53%は大学生であり、その他は高校生 20%、専門学校生 15%、大学院生 10%、その他 2%である。就労者の職種を図 2 に示す。これは製造業と小売業が多いエコプロダクツ展の特徴であると思われる。

3.2 アンケート結果

3.2.1 年代別の所持機器

図 3 に年代別の所持機器の割合を示す。スマートフォンの 10 代から 30 代までの所持率は約 70%であり、スマートフォンから携帯電話への持ちかえも考えにくいことから、今後はスマートフォンが普及するものと考えることができる。

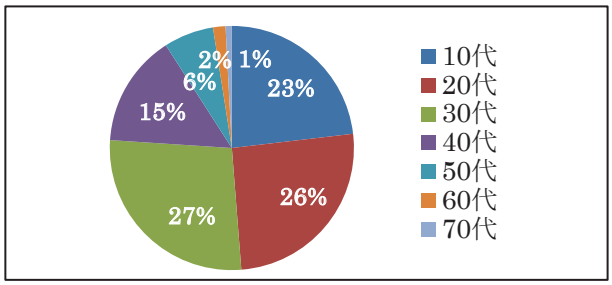


図 1　回答者の年齢

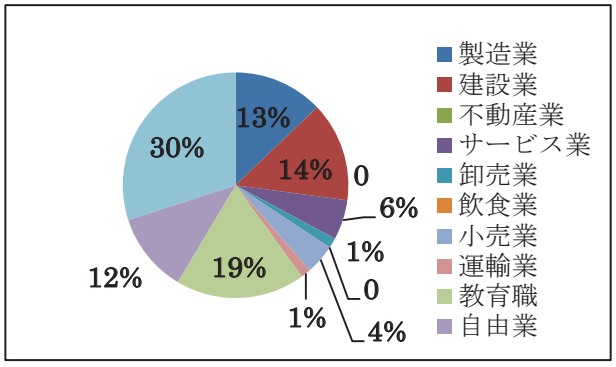


図 2　就労者の職種

タブレット端末の所持率は全体の約 25%であり、総務省の平成23 年における通信利用動向調査[1)]での約8.5%と比較し 3 倍の値になっている。IDC Japan[2)]によると、タブレット端末の 2012 年 7~9 月の出荷台数は前年同期比 106.8%増の 101 万台だったことからタブレット端末も今後普及すると考えられる。ノートパソコンの所持率は 20 代から 40 代で 60%以上、就労者に取ると 80%以上であった。ノートパソコンはビジネスの必需品になっていることが確認できた。

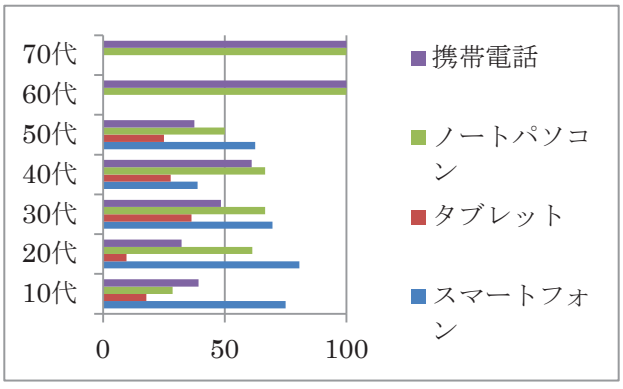


図 3　年代別の所持機器の割合

3.2.2 スマートフォン・タブレット端末の普及による社会の変化

図 4 に、スマートフォンとタブレット端末の普及による社会の変化に関する、スマートフォンまたはタブレット端末の所有者の意識を示す。Q2～Q9 はスマートフォンとタブレット端末共有のものとして聞き、Q10～Q17 は、スマートフォン固有のもの、Q18～Q23 はタブレットに固有のものとして聞いた結果である。特徴的にわかる結果は、紙媒体の減少と CD,DVD 媒体の減少についての賛同が多いことと、外部でのビジネスの増加やオフィスの削減についての賛同が多いことである。特に、外部でのビジネス増加やオフィス削減については、就労者の約 75%がとても思う、そう思うと答えている。また、タブレット端末所持者の 70%以上が、とても思う、そう思うと答えていることから、タブレット端末はビジネス用に普及する可能性が高い。

一方、タブレット端末の教育への導入については、賛同者が 35%以下と低かった。教育への効果についての具体的なイメージが不足しているものと思われる。

4. ICT の普及の評価

著者らは既に、ICT の普及による CO_2 の排出量の削減とコストの削減については、紙媒体の削減やテレワークによるオフィス専有面積の減少としての評価方法を前報で示した。上述した調査結果を基に、今後さらに CD,DVD 媒体の減少などによる CO_2 排出量の削減並びにコストの削減を評価したい。

また、CD,DVD 媒体の減少は、地方の市町村でも従来の大都市の大型店舗と同様の購入ができるようになることを意味している。すなわち、地方における情報と物品入手の容易性を促進していると考えられる、このような社会的価値をさらに明確にし、その評価方法を検討する必要がある。今後の課題としたい。

参考文献

1) 総務省；平成 23 年通信利用動向調査（2011）
2) 浅野 浩寿, 木村 融人；国内モバイル／クライアントコンピューティング市場 2012 年第 1 四半期の実績と 2012 年～2016 年の予測（2012）
http://www.idcjapan.co.jp/Report/Pc/j12150155.html
3) 上村豪,嵐紀夫,稲葉敦,小泉亨,前川均,並河治;ICT の普及による CO_2 排出削減効果の推定方法の検討,第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集,pp.396-397(2012)

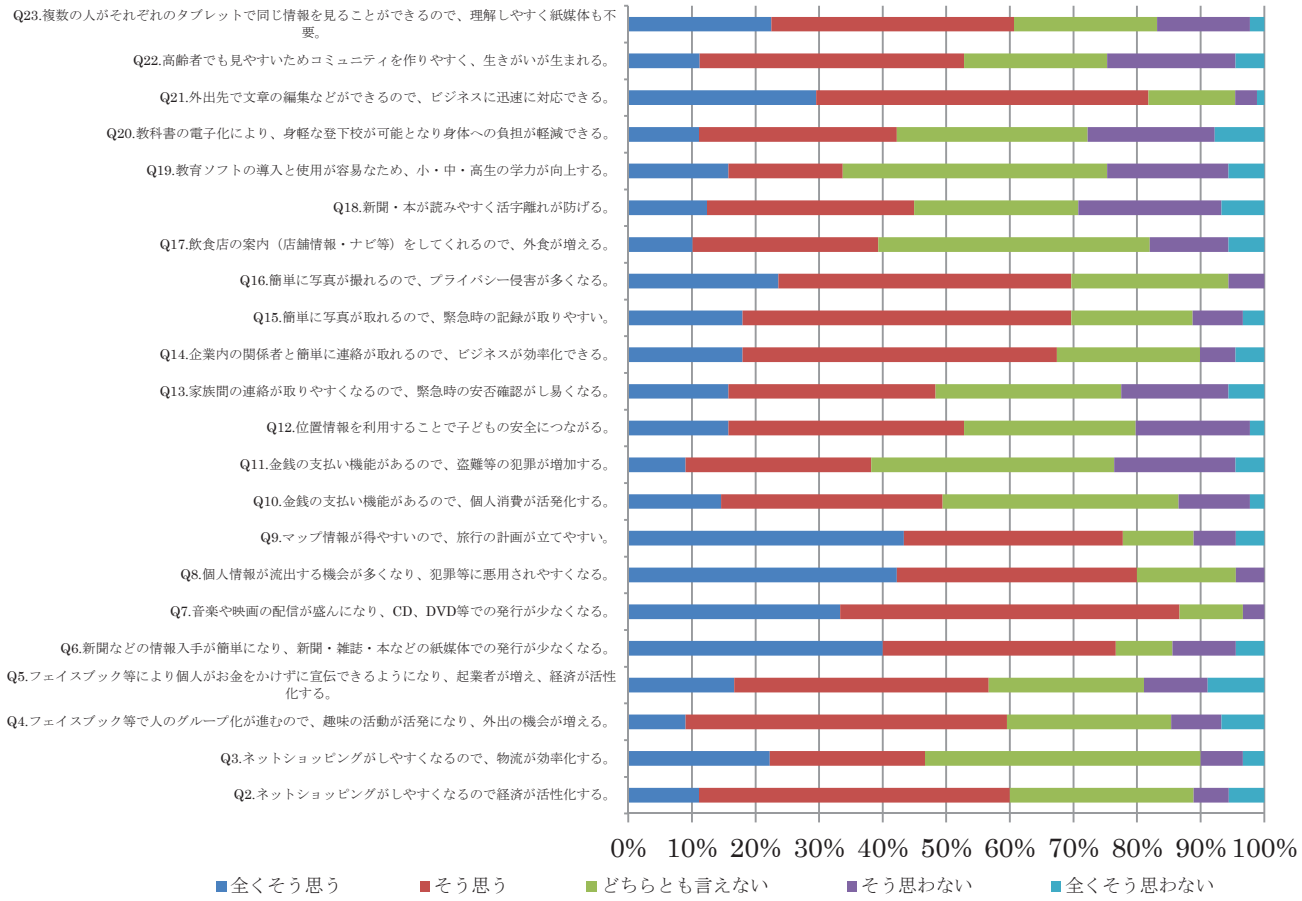


図 4　スマートフォンとタブレット端末の普及による社会の変化に関するスマートフォンまたはタブレットの所有者の意識

家族構成・ライフスタイルを考慮した
太陽光発電システム搭載住宅の環境影響評価

Evaluation of environmental load of houses introducing PV system considering family structure and lifestyle

○岡本悠那*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Yuna Okamoto, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)立命館大学
rv0001rr@ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

近年、地球温暖化が問題視されている中、戸建住宅における太陽光発電システムの普及が進んでいる。これは、継続的な補助金の支援策や電力会社による余剰電力の買い取り制度などにより、居住者の関心が高まったものと考えられており、結果的にCO_2の排出削減や昼間の電力ピークカットにも貢献し、居住者の環境意識や節電意識の向上といったメリットも生まれたと言われている。

また、家庭内エネルギー消費量は、地域特性や各家庭の省エネ行動、家族構成などに影響を受けており、これらを考慮した太陽光発電システム搭載住宅(以下、PV搭載住宅)のエネルギー消費に関する既往の研究例は少ない現状である。

そこで本研究では、PV搭載住宅を対象としてアンケート調査を行い、PV搭載住宅の電力量や居住者の環境意識に関する実態を調査すると共に、家族構成やライフスタイル等を考慮したPV搭載住宅のエネルギー消費量や、GHG排出量・コストに及ぼす影響を把握し、今後の省エネルギー行動のあり方を検討する。

2.　方法

表1に調査概要を示す。

表1.　調査概要

	第1回調査	第2回調査
調査配布方法	直接投函配布 訪問配布	直接投函配布
調査時期	2012年10月末～11月末	2012年12月上旬
調査対象	PV搭載住宅の居住者	
調査地域	大阪府・兵庫県・京都府・滋賀県	
配布数	500件	300件
回収数	79件	
回収率	9.9%	
有効回答数	77件	

調査は、アンケート調査用紙を、郵便ポストに直接投函もしくは直接配布し、郵送回収する方法で行った。

アンケートの設問内容は以下の通りである。

- 居住者及び住宅の基本データ
- 保有する太陽光発電システムの概要
- 11月の平日における家電使用状況
- 各家庭の省エネ行動
- 最近1年間の月別電力発電量・料金のデータ
- 節電意識
- 太陽光発電システム以外に保有する省エネルギー機器・設備

3.　結果

3.1　集計結果

3.1.1　回答世帯属性

調査における回答世帯属性を以下に示す。

- 平均世帯人数　3.46人
- 世帯主平均年齢　47.7歳
- 収入金額　799万円以下で半数を占めている。
- 延床面積　全体の約6割が80～139㎡である。
- 調査地域　図1に示す。

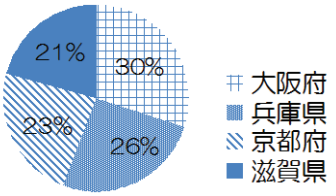


図1. 地域別回収割合

3.1.2　太陽光発電システムのデータ

- 太陽光発電システムの出力　2～5kwが全体の7割を占める。
- 太陽光発電システムの取り付け時期　新築時が52%、後付が45%である。
- 設置コスト　100万円台と200万円台はほぼ同じ割合であり、合わせて全体の8割を占める。
- 設置方向　全体の約7割が南側近くに設置している。
- エネルギー表示モニタ　77件中71件にモニタが設置されており、表示内容に関する回答割合を図2に示す。

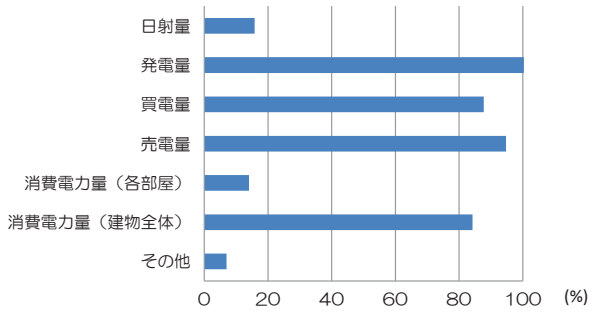


図 2.　エネルギー表示モニタの表示内容

エネルギー表示モニタが設置されている家庭全件で発電量の表示があることが示された。続いて、売電量、買電量、建物全体の消費電力量もおおむね表示されているが、日射量と各部屋の消費電力量は、表示されていない家庭が多いことが読み取れる。

3.2　省エネ行動の比較

省エネ行動の質問項目において「している」3 点、「たまにしている」2 点、「あまりしていない」1 点、「していない」0 点とそれぞれ点数化し、32 項目の設問ごとに省エネ行動ポイントを算出する。そして 2011 年度の滋賀県草津市で行われた一般住宅におけるアンケートと、本調査の PV 搭載住宅におけるアンケートの省エネ行動ポイントの比較分析を行う。32 項目の省エネ行動ポイントに対して t 検定を行い、有意差の出た項目を図 3 に示す。

	省エネ行動ポイント		P値
	一般住宅（滋賀県）	PV搭載住宅（滋賀県）	
就寝時に電化製品のプラグをコンセントから抜く	1.04	0.50	0.01356
外出時に電化製品のプラグをコンセントから抜く	1.12	0.75	0.03742
風呂の種火を消す（温水器の電源を消す）	1.95	1.00	0.00041
冷暖房をこまめに消す	2.33	2.06	0.04833
冷暖房の設定温度をゆるめに設定する	2.59	2.13	0.00105

	省エネ行動ポイント		P値
	一般住宅（滋賀県）	PV搭載住宅（全府県）	
照明器具を定期的に清掃している	1.80	1.39	0.00011
水・お湯をこまめに止める	2.62	2.42	0.03088
風呂の種火を消す（温水器の電源を消す）	1.95	1.12	9.23E-08
冷蔵庫に物を入れすぎないようにする	1.99	1.57	0.00153
冷暖房をこまめに消す	2.33	2.04	0.01007

図 3. 一般住宅と PV 搭載住宅の省エネ行動ポイント

図 3 より、有意差が見られた項目全てにおいて、PV 搭載住宅よりも一般住宅の省エネ行動ポイントの方が高い値を示した。よって一般住宅の居住者の方が節電意識は高いことが明らかとなった。理由として、PV 搭載住宅では、自ら節電をしなくても光熱費を削減でき、電力自給が出来るシステムであることが大きく影響しているとみられる。

とくに有意差が見られたのが、「風呂の種火を消す」の項目である。理由として PV 搭載住宅では、ヒートポンプ給湯器などの省エネルギー機器を設置している家庭が多いため、追加的な節電行動をしなくても省エネできることが考えられる。しかし、給湯器の待機電力削減への認識は、一般住宅においてよりも高いのではないかと考えられる。

次に図 4 に世帯人数別の比較で、特に差の現れた項目を示す。

	省エネ行動ポイント		
	4人家族	3人家族	2人家族
長期間使用しない場合に電化製品のコンセントを断つ	2.433	1.900	1.467
電化製品は主電源から電源を消すようにしている	1.800	1.400	1.067
冷蔵庫に物を入れすぎないようにする	1.467	1.900	1.533
風呂のお湯を数日間使用する	0.233	0.300	1.067
洗濯を数日分まとめて行なう	0.567	0.350	1.667
平均	1.674	1.669	1.679

図 4. 世帯人数別の省エネ行動ポイント

「長期間使用しない場合に電化製品のコンセントを断つ」「電化製品は主電源から電源を消すようにしている」の項目では人数の多い世帯が極めて高い値を示しており、「風呂のお湯を数日間使用する」「洗濯を数日分まとめて行う」の項目では人数の少ない世帯が極めて高い値を示している。これは人数の多い世帯では、こまめな省エネ行動を積極的に行っていることが読み取れ、人数の少ない世帯ではもったいない意識から、同じことを何度も繰り返し使用する意識が高いことが読みとれる。

3.　結論

本研究では、アンケートを用いて PV 搭載住宅における実態調査を行い、今後の省エネルギー行動のあり方についての検討を行った。結論は以下のとおりである。

・全体的にみて、PV 搭載住宅よりも一般住宅の方が節電意識は高い。PV 搭載住宅は省エネ機器を多く取り入れており、追加的な節電行動を行わなくても省エネができるため、節電意識は低いが省エネ意識は高いことが考えられる。よって、省エネ機器を取り入れさらに節電意識を向上できれば、更なる省エネルギーが見込まれる。

・人数の多い世帯ではこまめな省エネ行動を積極的に行う傾向にあり、家族全員で行おうという姿勢が見られる。また人数の少ない世帯ではもったいない意識が高いことから、同じことを何度も繰り返し取り組むような省エネ行動が多くとられていることが明らかとなった。

5.　参考文献

1）“統計（太陽光発電総出荷量推移）”，JPEA 太陽光発電協会，（オンライン），入手先〈http://www.jpea.gr.jp/04doc01.html〉，（参照 2012-10-24）

2）杉山雄亮：“LCA 学会”，立命館大学，(2013)，P2-085「東日本大震災の影響を考慮した家庭の省エネルギー行動に関する研究」

外壁の遮熱対策におけるライフサイクル環境負荷削減効果の比較

Comparison of the life cycle environmental load reduction effect between measures on thermal barrier of outer walls

○岡本茉莉乃*[1)]　、吉川直樹[1)]　、天野耕二[1)]
Marino Okamoto, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)　立命館大学
*rv0001rh@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

近年、一定規模以上の建築物における、省エネルギー法の改正[1)]などの政策により、オフィスビルのCO_2削減・省エネ対策が注目されており、普及率も向上しつつある。またそれに伴い、外壁の利用も注目されており、様々な場で工夫されている。本研究では、外壁を利用した省エネルギー対策である庇(ひさし)、ブラインド、壁面緑化について、それぞれオフィスビルに設置した際の製造時、使用時のCO_2削減効果、ライフサイクルコストを比較評価する。

2.　方法

2.1　研究対象

オフィスビルのモデルとして日本建築学会環境工学委員会[2)]の標準モデルをもとに設定する。その概要は表 1 の通りである。

各研究対象設備の設定は表 2 の通りとする。また、組合せとしては、以下の7組とする。

①　庇（軒先 24 ㎝）
②ブラインド
③フェンス型壁面緑化
④フレーム型壁面緑化
⑤庇＋ブラインド
⑥庇＋フレーム型壁面緑化
⑦ブラインド＋フレーム型壁面緑化

地域設定として建築環境・省エネルギー機構の気候区分をもとに、北海道（札幌）・岩手（盛岡）・宮城（仙台）・東京・大阪・鹿児島・沖縄（那覇）の 7 地域を対象とする。

これらの設定に基づいて、外壁を利用した省エネルギー対策である庇、ブラインド、壁面緑化の製造時および使用時のCO_2削減効果とコストを算出、費用対効果（kg-CO_2eq/円）での比較を行う。

2.2　評価範囲

本研究では、製造時・冷暖房を含めた使用時を評価範囲とする。また今回、壁面緑化のメンテナンス時の環境負荷は評価範囲に含めないものとする。

また、各研究対象設備の導入規模については、基準階(2～8 階)の 1 方角のＥＶホールを除く壁面に設置するとする。庇・ブラインドについては窓のみ、フェンス型については対象となる壁面全体に、そしてフレーム型については窓を除く壁面にそれぞれ設置する。

表 1. 標準モデル概要

主用途：事務所
階数：地下 1 階、地上 8 階、塔屋 1 階
軒高：30. 2m（最高高：35. 7m）
基準階床面積：826. 56 ㎡（事務室床面積：605. 16 ㎡）
基準階有効比：73. 2%
延床面積：7583. 44 ㎡（駐車場含む）
構造：RC 構造

表 2. 研究対象の種類・特徴

	種類	特徴	耐用年数[3)]
庇	アルミ形材製軽量庇	窓用、軽量、低価格、一般的	15
ブラインド	よこ型ブラインド	オフィス、公共施設等に使用	8
壁面緑化[4)]	フェンス型	施工が容易、低価格	10
	フレーム型	広面積の壁面に対応可能、高価格	10

2.3　CO_2削減効果の算出

製造時においては、各研究対象の原料および重量から、資源別排出量原単位表[5)]、カーボンフットプリント[6)]および 3EID[7)] を用いて算出する。

使用時においては、熱負荷計算ソフト LESCOM[8)] を用いて、外壁を利用した省エネルギー対策である庇、ブラインド、壁面緑化それぞれを、オフィスビルに設置した際の冷暖房負荷を算出する。それをもとにCO_2排出量を算出する。

2.4　ライフサイクルコストの算出

製造時においては、庇およびブラインドについては、

各施工業者のホームページに掲載されている価格計算表をもとに、また、壁面緑化については、各設置費等の情報収集し、算出する。

使用時においては、各施工業者に維持費・メンテナンス頻度等についてヒアリングを行い、算出する。

3. 結果

3.1 CO_2削減効果

西側の壁面に各研究対象設備を設置した際の CO_2 排出量を図1に示す。これより、壁面緑化のフレーム型の CO_2 排出量が最も高く、次いで壁面緑化フェンス型、ブラインド、庇という結果となった。この要因として、壁面緑化のフレーム型は比重の大きい原料（亜鉛）が存在し、かつその原料の占める全体に対する体積の割合が大きいことが考えられる。

次に、図1の結果を1㎡あたりに換算した結果を図2に示す。これより、図1の結果と同様、壁面緑化のフレーム型の CO_2 排出量が最も高く、次いでブラインド、庇、壁面緑化フェンス型という結果となり、ブラインドと壁面緑化フェンス型の数値の大きさの順位が前後する結果となった。この要因として、壁面緑化のフェンス型を設置している面積が大きかったことが考えられる。

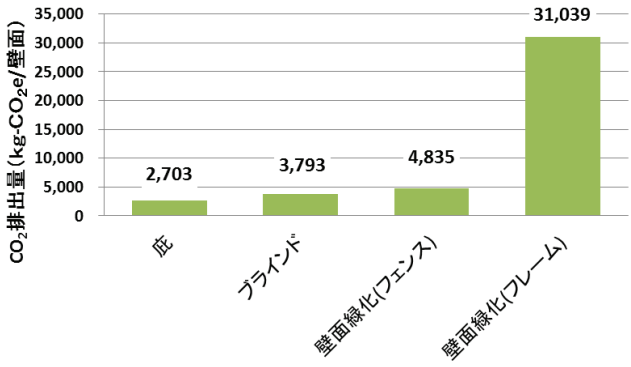


図1. 製造時の CO_2 排出量算出結果

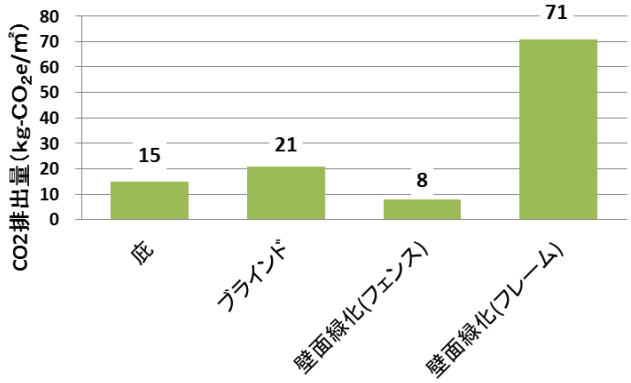


図2. 製造時の CO_2 排出量算出結果（１㎡あたり）

3.2 ライフサイクルコスト

西側の壁面に各研究対象設備を設置した際のコストの算出結果を表3に示す。これにより、フレーム型、フェンス型、庇、ブラインドの順にコストがかかることが分かった。

表3. ライフサイクルコスト算出結果

	製造時（万円）	使用時（万円）
庇	1575	0
ブラインド	1424	0
壁面緑化（フェンス型）	12400	620
壁面緑化（フレーム型）	43850	2630

4. おわりに

本稿では、外壁を利用したいくつかの省エネルギー対策について、製造時の CO_2 排出量とコストの推計結果のみを示した。オフィスビルの冷暖房を含めた使用時の結果については、学会当日に報告する。また、本研究では、製造時と使用時でしか評価していないが、さらに輸送時・廃棄時なども考慮することで、より厳密な比較評価が可能となるであろう。

参考文献

1） 三菱電機：“改正省エネ法とは”，三菱電機,（オンライン）,入手先<http://www.mitsubishielectric.co.jp/shoene/index.html>,（参照 2012-12-11）

2） 滝沢博：“日本建築学会環境工学委員会”熱分科会第15回シンポジウム,「標準問題の提案（オフィス用標準問題）」, pp. 35-42

3） 国税庁：“耐用年数表”,国税庁,（オンライン）,入手先<https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/30930/faq/30975/faq_31004.php>,（参照 2012-12-22）

4） 東京都：“壁面緑化ガイドライン”,環境局,（オンライン）,入手先<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/index.html>,（参照 2012-7-31）

5） 環境情報科学センター：“CO_2 排出原単位表（2007年版）”

6） 産業環境管理協会：”CFP 算定用二次データ”，産業環境管理協会,入手先<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>,（参照 2012-11-30）

7） 国立環境研究所：“データファイル”，国立環境研究所,入手先<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/datafile/embodied/2005/403.htm>,（参照 2012-11-30）

8） 武田仁・稲沼實・吉澤望・磯崎恭一郎，“標準気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM”，井上書院,東京，（2005）

建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究

～炭素固定期間を考慮した評価手法の提案と活用策の試算～

Analytic study on woody material flows in view of carbon reduction discussing utilization of building
～Evaluation of carbon balance in consideration of a carbon fixed period～

○木皿自然*1)、野田潤 1)、柿澤奈々子 1)、坂本泰行 1)、加藤祐太 1)、小林謙介 1)、井上隆 1)、田原聖隆 2)
Jinen KISARA, Jun NODA, Nanako KAKIZAWA, Yasuyuki SAKAMOTO, Yuta KATO,
Kensuke KOBAYASHI, Takashi INOUE, Kiyotaka TAHARA
1) 東京理科大学, 2) 産業技術総合研究所
*j7112624@ed.tus.ac.jp

1.　はじめに

環境負荷削減が叫ばれている現在、低炭素社会に大きく貢献し得る材として、森林資源の活用が注目を集めてきている。木材は、適正な管理を行って利用すれば、永続的に生産可能な資源である。更には、建築物等として長期にわたって木材を利用すれば、炭素を地上に固定しているという見方もできる。

木材の主要な供給先は“建築”である。国内で消費される素材(製材・合板等)のうち、約 7～8 割が建築物に利用されている。また、農林水産省の統計（木材需給表）によると、近年、素材供給量が大幅に減少しており、木材利用の実態が急激に変化している可能性が伺える。このような背景がある一方で、建築分野を中心とした木材の利活用可能性が議論され始め、筆者らも建築にかかわる木材のマテリアルフローの構築などを行ってきた 1)。また、固定効果の定量的な評価方法は十分には確立されていない。木材を循環的に利用するためには、森林の成長速度を考慮した評価も必要であると考えられる。

本検討では、既報 1)の内容を踏まえ、建築分野における低環境負荷な木材利活用方法を検討することを目的として、木材ライフサイクルにおける、CO2 排出量評価、環境影響評価、炭素の固定に関する評価の 3 つの側面からの環境負荷低減策を検討した。

2. プロセス負荷の分析

2.1 評価の概要

2000、2005、2010 年で、各年において 1 年間に建築用材として使用・解体等により処理された木材の製造・処理等に伴うプロセス負荷を検討した。本検討では、インベントリデータベース IDEA を用いて CO2 排出量、全環境影響を評価した。環境影響は、日本版被害算定型環境影響評価手法（LIME2）2)を用いて評価した。評価範囲は木材の製造、処理による負荷、マテリアルリサイクル(MR)、サーマルリサイクル(TR)による代替効果とした。

図 1 に建築での木材利用量と処理量を示す。いずれの年も処理量に対し利用量が多く、製材の利用量が圧倒的に多かった。処理に関しては、内訳を見ると再資源化量

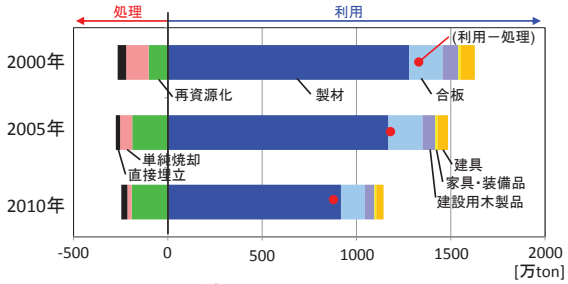


図1　建築での木材利用量と処理量

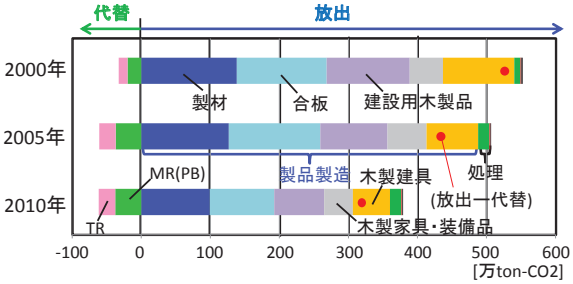


図2　木材利活用に伴うCO2排出量

は 2000 年に対し 2010 年では約 2 倍に増えており再資源化が促進されている。利用量は年次による内訳の変化はなく 2000 年に対し 2010 年で 3 割減少した。

2.2 CO2 排出量評価結果

図 2 に木材利活用に伴う CO2 排出量を示す。どの年もリサイクル等による代替に対し放出が大きかった。代替量は年を追うごとに増加しており、特にパーティクルボード（以降 PB）としてのマテリアルリサイクル、MR(PB と設定)による効果が大きかった。また放出に関しては、製品製造による負荷が多く、利用量の多い製材のみでなく、合板や木質建具、木質家具・装備品、建設用木製品といった製品の負荷も無視できるものでなかった。

2.3 環境影響評価

図 3 に木材利用に関する環境影響を統合化した結果を示す。影響別に見ると、どの年次においても CO2 排出量が大きい割合を占めた。ついで原油の資源消費が大きかった。CO2 も原油資源消費も化石燃料利用に起因するもので、本評価範囲においては、製材・合板・建設用木製品・木製建具などの製造プロセスにおける化石燃料消費量の削減が不可欠であることが確認できた。

2.4 負荷削減に向けた考察

既報[3]により、製材・合板・チップ等の製造過程では、いずれも伐採木材の乾燥工程に大きな負荷がかかることが明らかになっている。乾燥においてバイオマス燃料を利用することや、天然乾燥（または伐採時に葉枯し乾燥）などによって負荷削減が期待できる。このほか輸送方法の再検討なども重要な視点と考えられる。

3. 木材の炭素固定に関する評価

3.1 評価の概念

図 4 に評価概念を示す。本評価では、植林木の成長、建材として利用、解体・再資源化などの木材のライフサイクルにおける固定量の推移を年次ごとに示したものである。本検討では 2000、2005、2010 年の各年に伐採されて建築として使われた木材について、成長期間に固定した蓄積（山側）と、建築として 30～35 年利用され解体されるまで、および再資源化品利用(建材の半分を再資源化し 20 年間利用した場合)に伴う固定分の蓄積（建築側）を想定し、それぞれ年ごとに積上げ、固定量を増やすための方策を考察した。

3.2 評価結果

図 5 に構造別、図 6 に材種別の、各年における炭素固定の評価結果を示す。建築側は構造別、材種別いずれも年次による内訳の大きな変化はなかった。構造別では木造住宅、材種別では製材の固定効果が大きく、これらの長寿命化や使用量の増加策を講ずることが効果的だと考えられる。また再資源化の効果も大きく、建築側固定の約 2 割を占めた。特に木造住宅や製材の再資源化による効果が大きかった。将来的に解体量が増大していくと予想されるため、再資源化がより重要になると考えられる。

山側は、持続的な森林資源の生産管理による固定量の維持・増加が重要と考えられる。また、森林資源の生産速度には限界があるため、闇雲に伐採され、建築として短期間の固定となり、結果として固定より大気放出量が多くなることを避けるよう、山側の成長速度と建築側の利用時間の関係性についても十分な議論が必要である。

4. まとめ

建築分野に焦点を当て、木材ライフサイクルにおける CO2 排出量および環境影響の統合化評価を実施した。統合化結果から、最も影響が大きいのは CO2 で、ついで化石資源の消費だった。CO2、統合化どちらで見ても、製材・合板・建設用木製品・木製建具などの製造プロセス負荷の削減が重要であることが確認できた。

時間的な枠組みを考慮した炭素の固定量を評価した。固定の効果が大きいのは住宅種別では木造住宅、材種別では製材で、これらの長寿命化や使用量増加が効果的と考えられる。また再資源化の効果も小さくなく、今後解体量が増加してくると考えるとより重要になる。

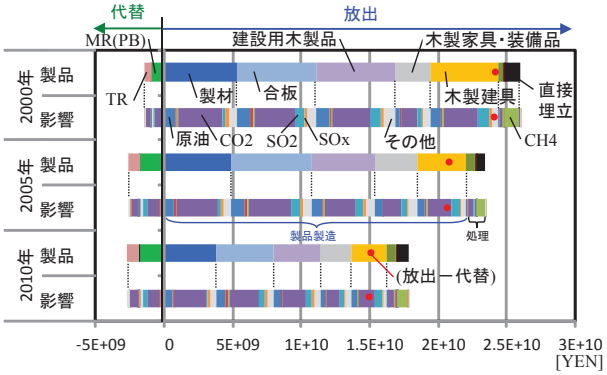


図 3 木材利用に関するインパクト評価結果

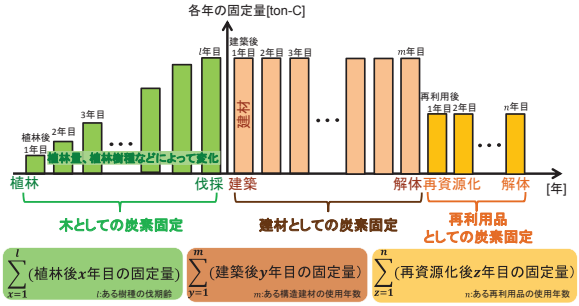


図 4 炭素の固定に関する評価概念

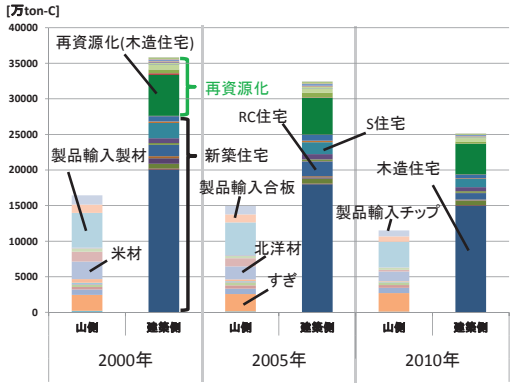


図 5 現状における炭素固定の評価結果(構造別)

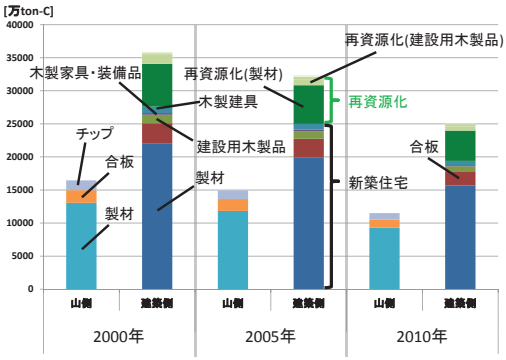


図 6 現状における炭素固定の評価結果(材種別)

参考文献 1) 小林、中島、恒次、伊香賀：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究、日本建築学会環境系論文集 No.659、pp.91-96、2011.1 2) 伊坪、稲葉：LIME2-意思決定を支援する環境影響評価手法、社団法人産業環境管理協会、2010.11 3) 柿澤、野田、木皿、小林、田原、井上：建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究 その２ 環境負荷削減策の検討のための実態調査、日本建築学会学術講演概要集 A pp.1085-1086、2012.9

◆マテリアルフロー分析

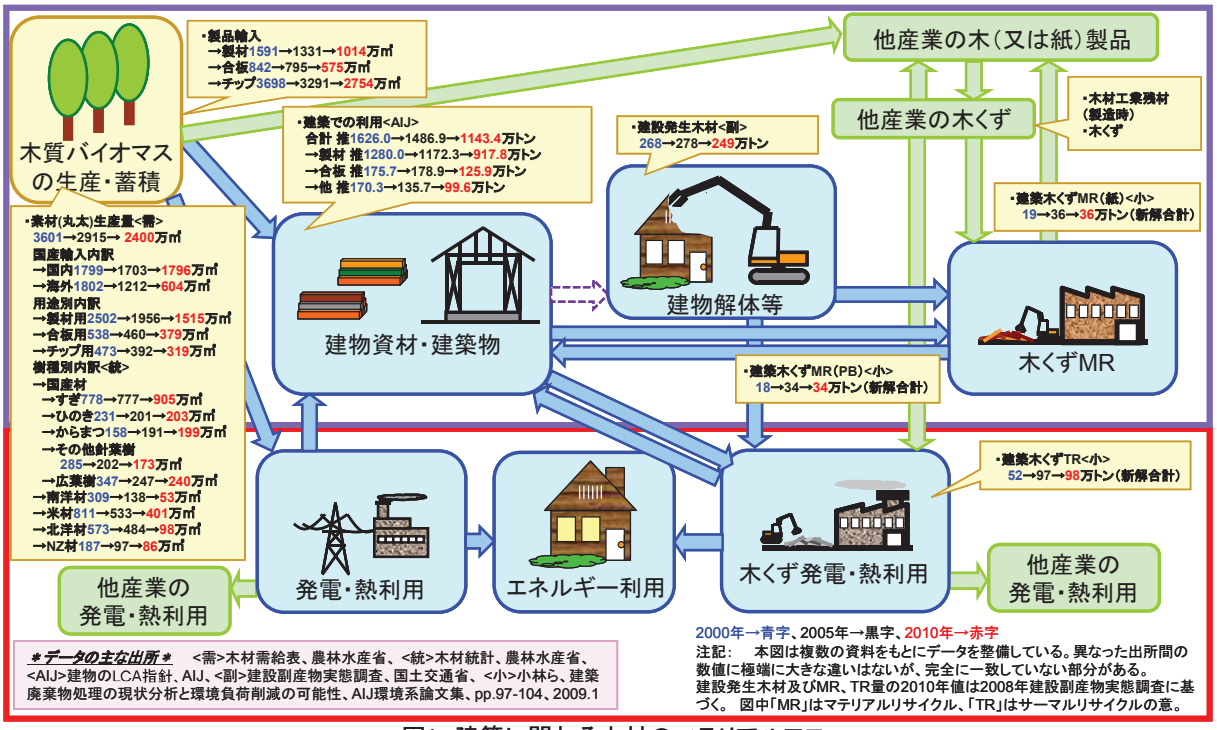


図1 建築に関わる木材のマテリアルフロー

走行実態と地域特性を考慮したガソリン車とハイブリッドカーの環境･経済評価

Evaluation on environmental and economic efficiency of gasoline vehicle and hybrid vehicle considering running scenario and regional characteristics

○野口淳史*[1)]、 吉川直樹[1)]、 天野耕二[1)]
Atsushi Noguchi, Naoki Yoshikawa , Koji Amano
1) 立命館大学
*rv0005ek@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、自動車業界において、低炭素社会に貢献するためにハイブリッドカーの開発が進められている。しかし、カタログ燃費とユーザーの報告に基づく実燃費には現状において差があり、特にハイブリッドカーでその傾向は顕著であるといわれている。そのため、ハイブリッドカーの普及による環境負荷の削減効果やその費用効果が過大に評価されている可能性がある。

そこで、走行地域や道路種類ごとの実燃費を考慮し、走行実態に関するシナリオを用いて、ガソリン車とハイブリッドカーの環境負荷とガソリン価格を考慮した経済性比較を行う。

2. 研究手法

研究対象はガソリン車を 1300cc の CVT 車(GV)、ハイブリッドカーを 1500cc ハイブリッド(HV)とする。評価範囲を原料調達・生産段階・使用段階・廃棄段階の 4 つに分類する。このうち使用段階はシナリオを設定し、シナリオによる環境負荷量とコストを算出する。

使用段階における燃費は走行エネルギーと燃費の関係から算出する[1,2]。走行エネルギーは下式により算出する。

$$W=\sum_{t=o}^{T} P(t)dt$$

ただし、P(t)＜0 のとき P(t)=0

$$P=(R_r+R_i+R_a)\cdot V$$

$$R_r=\mu_r \cdot m \cdot g$$

$$R_i=\mu_a \cdot A \cdot V^2$$

$$R_a=(m+\Delta m)\cdot \alpha$$

1 秒毎に記録された車速データ V(m/sec)と車両の諸元から、1 秒毎の走行抵抗 R(N)及び仕事率 P(W)を算出した。正の仕事率のみの走行時間 T(sec)で積分し、1 走行あたりに必要な走行エネルギーを W(J)とした。

走行条件として無風、平坦、大気の標準状態を仮定し、作用する力として転がり抵抗 R_r(N)、空気抵抗 R_i(N)、加速抵抗 R_a(N)とする。

車重 m(kg)は、一人当たりの体重を 55kg とし、車両重量は GV を 1055kg、HV を 1335kg とし、前面投影面積 A(m^2)は、GV が 2.17、HV が 2.18 とする。回転部分相当質量Δm(kg)は GV が 36.9、HV が 46.725 とする。転がり抵抗係数μ_rと空気抵抗係数μ_aは、それぞれ 0.013,0.211 と仮定した。

ある時間 t での加速度 α (t)(m/s^2)は、車速から(V(t+1)-V(t-1))/2 として算出した。

経済性ついてはそれぞれの本体価格とガソリン価格のシナリオを考慮し評価する。

3. シナリオ概要

本研究では、走行距離のシナリオと地域特性のシナリオを設定した。

走行距離においては、平日 6 通りと休日 3 通りの組み合わせにより 18 通りのシナリオを作成した(図 1)。このうち年間走行距離が 3,000km~20,000km の範囲外のものについては除外した。

地域特性のシナリオとして三段階の道路混雑度(高・中・低)を設定する。道路混雑度の指標として信号間隔を考慮する。信号間隔はモデル地域内の幹線道路における信号間距離の平均値をもとにそれぞれ道路混雑率(大)が 300m、道路混雑率(中)を 650m、道路混雑率(小)を 850m と設定した。モデル地域として道路混雑率(高)を大阪市、道路混雑率(中)を滋賀県南部及び中部、道路混雑率(低)を岐阜県中部と想定した。信号間の速度は道路混雑率(高・中・低)共に時速 60km とし、加速してから一定速度で走行、停車までの距離を 280m と設定した。信号での停車率は道路混雑率に関係なくすべて 3 回に 1 回停車とする。

4. 結果

平日におけるガソリン車とハイブリッドカーの燃費推計を行ったところ、道路混雑率(小)のとき、平日往復 2km の場合はガソリン車が 149cc、ハイブリッドカーが 112cc であった。1 年間を通して推計した結果、往復 2km のときのガソリン消費量はガソリン車が 35,960cc、ハイブリ

シナリオ	平日(km)
シナリオ1	1×2
シナリオ2	5×2
シナリオ3	10×2
シナリオ4	15×2
シナリオ5	25×2
シナリオ6	35×2

休日(km)
20×2①
40×2②※
60×2③

年間走行距離①(km)	年間走行距離②(km)	年間走行距離③(km)
2400	4320	6240
4320	6240	8160
6720	8640	10560
9120	11040	12960
13920	15840	17760
18720	20640	22560

図１ 走行距離のシナリオ設定概要

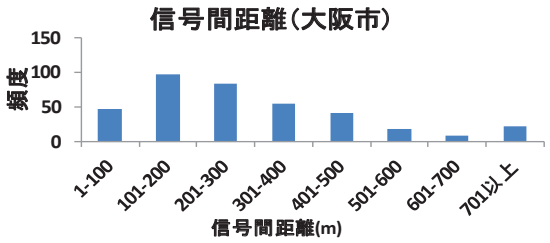


図 2-1　大阪市の信号間隔頻度分析

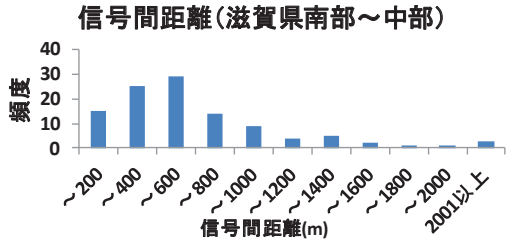


図 2-2　滋賀県南部~中部の信号間隔頻度分析

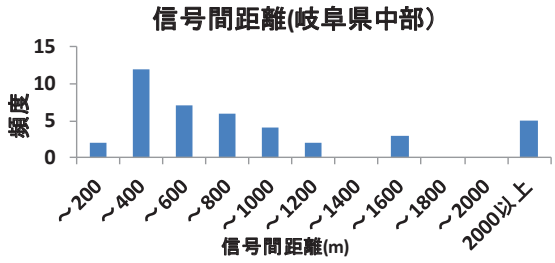


図 2-3　岐阜県中部の信号間隔頻度分析

ッドカーは 26,876cc となった。これが往復 70km の場合はガソリン車が 1,217,077cc、ハイブリッドカーは 871,991cc となりガソリン消費量の差は約 340L となった。このとき、ガソリン価格を 145 円と仮定し 10 年間を通してガソリン車とハイブリッドカーのガソリン価格を比較したとき、往復 2km の場合はハイブリッドカーが 13,172 円安くなり往復 70km のときは、500,375 円と大きくガソリン代の変化がみられた。GV と HV の平日 1 日の走行距離とガソリン費用の差を図 3 に示す。

ここで、地域差によるガソリン消費量の変化を分析したところ、ガソリン車の場合、往復 70km を走行したときは道路混雑率(小)が 5,071cc、道路混雑率(中)が 5,104cc、道路混雑率(大)が 5,277cc となり一回の走行では大きな変化はみられなかった。次にガソリン車と同じ条件でハイブリッドカーを分析した場合、道路混雑率(小)が 3633cc、道路混雑率(中)が 3687cc、道路混雑率(大)が 3974cc とガソリン車と同じく大きな変化はなかった。

5.　考察

使用段階におけるガソリン車とハイブリッドカーの燃料消費量を比較してみると、ハイブリッドカーの方が燃料消費量は低かった。地域差によるガソリン消費量の変化については停車する頻度が少ないほどガソリン消費量は抑えられるが、その差は小さかった。

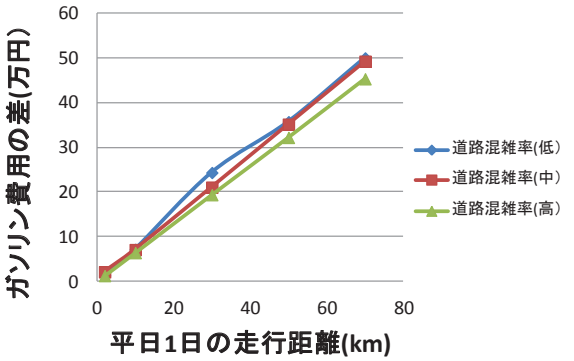


図３　GV と HV の平日１日の走行距離とガソリン費用の差

10 年間のガソリン費用を考えたとき、走行距離が大きくなれば大きくなるほどガソリン車とハイブリッドカーのガソリン価格の差が大きくなり、片道 35km の道程を乗った場合、10 年後には約 500,000 円の差となることが推計された。さらに走行距離が延びればこれ以上の差ができることが言える。

6.　おわりに

本研究ではガソリン車とハイブリッドカーの比較により、使用段階における地域ごとのガソリン消費量の変化とガソリン費用の差を評価した。

これに原料調達、生産段階、廃棄段階の評価を加えてライフサイクル CO_2 を算出し評価をする必要がある。

より現実的な数値を出すためには、シナリオをさらに詳細に設定する必要がある。エコドライブなどの運転方法やエアコンの使用頻度なども考慮しなければならない。さらには、将来的な自動車市場の変化なども検討する必要がある。

7.　参考文献

1)　加藤秀樹，小林伸治，近藤美則，松橋啓介：社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.127-07 (2007) pp.27-32

2)　加藤秀樹，小林伸治，近藤美則，松橋啓介：社団法人 自動車技 術会 学術講演会前刷集 (2008) No.66-08

環境負荷量に基づく二輪車・四輪車混合交通の空間的分離施策の評価

Environmental Impact Assessment of Spatial Motorcycle Segregation for Mixed Traffic

○塩見康博*[1)]、西内裕晶[2)]
Yasuhiro Shiomi, Hiroaki Nishiuchi
1) 立命館大学, 2) 日本大学
*shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

東南アジアの多くの都市では，都市交通手段として二輪車が広く用いられており，道路上では四輪車と二輪車や自転車が混在して走行する状態にある．このような都市では，二輪車の存在を適切に考慮した交差点設計・信号制御がなされておらず，結果として極めて不効率な交通状況にあることが多い．効率性の低下は経済的な損失のみならず，エネルギー効率の悪化や環境負荷の増大にもつながり，社会的に負のインパクトを与える．

二輪車と四輪車による混合交通流の制御方策は大きく時間的分離策と空間的分離策に分類される．前者は交差点などで二輪車専用の信号現示を用意することにより，そして後者は二輪車専用の走行空間を確保することにより二輪車と四輪車を分離し，円滑な交通状況の実現を図るものである．これら施策による交差点の交通容量への影響については，吉井ら[1)]，および Shiomi and Nishiuchi[2)] によって評価されており，二輪車混入率やインフラ整備水準によって最適な施策が異なることが示されている．本稿では，Shiomi and Nishiuchi[2)]で提案された交通容量評価値に基づき，二輪車の空間的分離策と環境負荷量との関係を明らかとする．さらに，経済発展に伴う二輪車から四輪車への転換を視野にいれ，環境負荷の観点から今後の交差点運用形態のあり方について考察を行う．

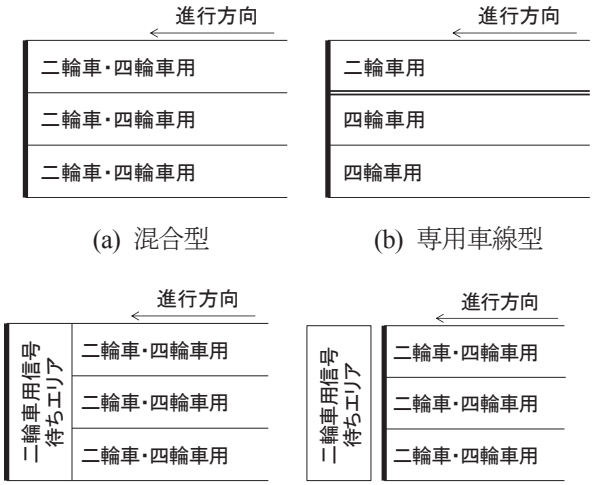
2. 二輪車の空間的分離策の概要

信号交差点における二輪車の空間的分離形態として，**図 1** に示す 4 種類を対象とする．

図中(a)は混合型であり，対象アプローチの全車線を二輪車・四輪車が混在して利用する形態である．多くの二輪車と四輪車が混在して走行する交通状態となる．

図中(b)は二輪車専用の車線が設置されているものである．二輪車と四輪車が完全に分離されるため高い円滑性が期待されるものの，各車両の走行スペースが固定化される．そのため，二輪車混入率の程度によっては各車線で不効率な状況が出現することがある．

図中(c)は停止線の上流側に二輪車用の信号待ちエリアが設置されている．赤信号時間中に二輪車が四輪車の車列をすり抜けて当該スペースで待機できるため，青信号開始時には二輪車と四輪車の停止線通過タイミングを分



(a) 混合型　(b) 専用車線型

(c) 信号待ちエリア (d) 二段階右折用信号待ちエリア

図 1　二輪車の空間的分離策の分類

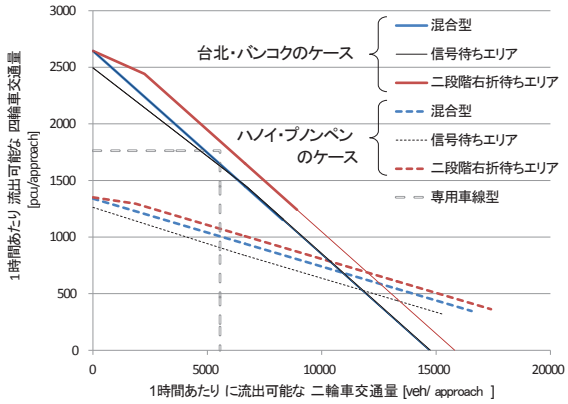


図 2　空間分離策別の交通容量曲線[2)]

離されることにより，円滑性の改善が図れる．一方で，四輪車の発進損失時間を増大させるため，交通容量上のロスが生じることになる．

図中(d)は二段階右/左折用に二輪車信号待ちエリアが停止線下流側に設置されたものである．台北市では混雑時に警察官の誘導によって当該スペースを直進二輪車に対しても開放し，二輪車・四輪車の発進を時間的に分離すると共に，(c)に示した信号待ちエリアのもつ四輪車の発進損失時間の増大の抑制を図った運用形態である．

本研究では，Shiomi and Nishiuchi[2)]によるこれら運用形態別の交通容量曲線（**図 2** 参照）を用いた環境負荷量の評価を行う．ここで交通容量とは，「9m 幅員のアプロー

チにおいて 1 時間あたりに停止線を通過可能な二輪車・四輪車台数」と定義し，各パラメータ値は Shiomi and Nishiuchi[2]の Table 2 に基づく．台北・バンコクのケースでは車線区分線などが明示されており，四輪車は整然と車線に従って走行するため，四輪車の通行可能な交通量が高いのに対し，ハノイ・プノンペンのケースでは車線区分線が明示されておらず，各車両は車線に沿わずに雑然と走行するため，四輪車の通行可能な交通量が極めて低くなっている．また，二輪車専用車線を導入する場合は，車線区分線も明示するように整備されることが期待されることから，台北・バンコクのケース，およびハノイ・プノンペンのケース共に同程度の交通容量になることを想定している．ただし，二輪車専用車線を設定した場合，その幅員をフレキシブルに変更することは難しく，実際のオートバイ混入率に対し過剰な幅員の二輪車専用車線幅員を設定した場合には，四輪車の交通流を圧迫し不効率な状況が出現する．そのため，**図 2** に示されているような形状となる．

3. 交差点運用形態別の環境負荷量比較

交差点の交通容量の低下は遅れ時間を増加させ，それにより二輪車・四輪車から排出される環境負荷物質の量も多くなると考えられる．

そこで，本研究では，一定の交通需要を与えた場合に，それぞれの交差点運用形態で発生する総遅れ時間にアイドリング時の車種別NOx 排出量原単位を乗じた値として交差点運用形態別の環境負荷量を定義する．ただし，二輪車と四輪車では 1 台あたりの乗車人員が異なるため，交通需要は人員ベースで与える．すなわち，二輪車混入率ρと二輪車平均乗車人員 p_m [person]，四輪車平均乗車人員 p_c [person]，及び人員ベースの交通需要量 D [person]の関係で二輪車交通量 n_m [veh], 四輪車交通量 n_c [veh]が式(1), 式(2)の通り決定される．

$$n_m = \frac{D}{\left(p_c \frac{1-\rho}{\rho} + p_m \right)} \tag{1}$$

$$n_c = \frac{1-\rho}{\rho} n_m \tag{2}$$

その上で，交差点運用形態別の二輪車交通流率 f_m [veh/hour]，四輪車交通流率 f_c [veh/hour]に基づき，二輪車混入率ρに対する NOx 排出量 $E(\rho)$を式(3)により算定する．

$$E(\rho) = \frac{1}{2}\frac{{n_c}^2}{f_c} k_c + \frac{1}{2}\frac{{n_m}^2}{f_m} k_m \tag{3}$$

ただし，k_m ，k_c は二輪車，四輪車の NOx 排出量原単位 [g/hour/veh]を表す．

NOx 排出量算出にあたり，D を 1000 人とし，吉井ら[1]に基づき台北・バンコクにおける二輪車・四輪車平均乗車人数を 1.2 人，1.5 人，ハノイ・プノンペンにおいては

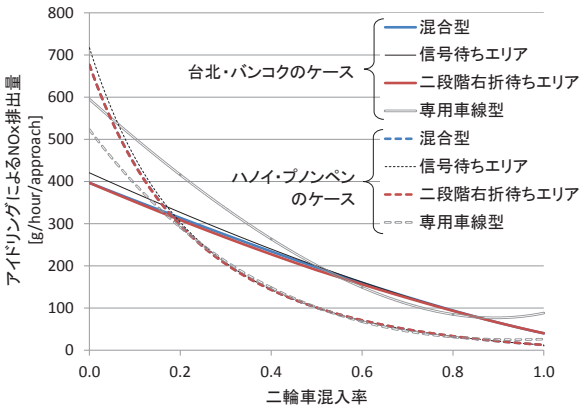


図 3　二輪車混入率と NOx 排出量関係の比較

1.6 人，2.2 人と設定した．また，アイドリング時の NOx 排出量原単位[3]は四輪車で 4.72 [g/hour]，1.69 [g/hour]を用いた．交差点信号形態別の二輪車混入率と NOx 排出量の関係を**図 3** に示す．

これより，全体的に二輪車混入率が低下するほど NOx 排出量が増加する傾向にあることがわかる．現時点での二輪車混入率が 0.8 程度のハノイ・プノンペンでは，今後の四輪車への転換が加速するにつれ，環境負荷の観点からも深刻な負のインパクトが生じることが予想される．次に，交差点運用形態別の排出量に着目すると，台北・バンコクのケースでは二輪車専用車線を設置することにより二輪車混入率が 0.5 以下の状況では他との比較で NOx 排出量は高くなり，環境負荷への影響という観点では専用車線の導入効果は限定的である．一方，ハノイ・プノンペンでは二輪車混入率 0.2 以下で二輪車専用車線の設置効果が顕著となる．これらの都市では，二輪車のフローレートは高く，さらに二輪車一台あたりの乗車人員も多いため，空間分離をしなくても NOx 排出量の点では高い効率性が保たれていることが伺える．

4. おわりに

本稿では，二輪車・四輪車の空間的分離方針に基づく交差点運用形態の違いによる二輪車混入率-NOx 排出量関係を算出・比較する手法を構築し，二輪車混入率の低下に伴い，環境負荷量が増加する可能性を示した．今後は車両の整備水準なども考慮したより詳細な分析を進める必要がある．

参考文献

1) 吉井稔雄，塩見康博，北村隆一： IATSS Review (2004) Vol.29 No.3，pp.178-187.
2) Shiomi Y and Nishiuchi H.: Journal of the EASTS (2011) Vol. 9, pp.1644-1659.
3) United States Environmental Protection Agency: “Emission Facts”, (1998)

農工横断型粗糖・エタノール複合生産プロセスモデルの構築

Combined Sugar and Ethanol Production Model Integrating Agricultural and Industrial Processes

○大内田弘太朗*[1)]、菊池康紀[1)]、福島康裕[2)]、小原聡[3)]、平尾雅彦[1)]
Kotaro Ouchida, Yasunori Kikuchi, Yasuhiro Fukushima, Satoshi Ohara, Masahiko Hirao
1) 東京大学, 2) 國立成功大學, 3) アサヒグループホールディングス
*ouchida@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

サトウキビ由来エタノール生産プロセスの概要を図１に示す。搾り粕であるバガスを燃焼エネルギーとして利用できるため、エネルギー消費や CO_2 排出に関して、他の原料よりも有利とされている[1)]。しかし、粗糖とエタノールの同時高収量化を実現するためには、複合生産ゆえに生じる両生産物の生産競合を考慮したプロセス改善が求められ、例えば農業側では、これまでに単位面積当たりの収穫量が多い高バイオマス量品種の開発[2)]が行われてきたが、ショ糖の晶析を阻害する還元糖を多く含むため、採用されなかった。一方、工業側では選択的発酵プロセスが開発されている[3)]。これは、インベルターゼ欠損酵母を用いて、晶析の前に還元糖のみを発酵することで、晶析効率を上げる技術であり、農業側の品種開発との融合によって問題は解消される。このように、農業プロセスと工業プロセスは、生産効率や環境負荷などを統合的に解析し、設計しなければならない。これまでに、粗糖・エタノール複合生産プロセスの製品生産量及び温室効果ガス排出量との関係を農工横断的に記述するモデルの一部を構築してきた[4)]。

本研究では、モデルの入力となる農工両プロセスの操作変数や条件と、出力となる製品生産量、温室効果ガス排出量の関係について、統計データからの回帰モデルや現象を記述する物理モデルを構築し、これらを統合して農工横断型プロセスをモデル化することを目的とする。

2. プロセスモデルの構築

構築したモデルの概要を図Ｓ１に示した。農業側の操作変数は、品種選択や施肥・かん水といった営農操作や、設備・制約条件として農業機械能力や栽培環境条件などがある。製造側の操作変数は、晶析回数や選択的発酵の有無といった各工程における操作や、設備条件として圧搾機数・ボイラー効率などがある。出力変数は、製品・残渣生産量及びエネルギー消費量とし、プロセス全体の温室効果ガス(GHG)排出量の評価を可能とした。

サトウキビはショ糖、還元糖、ミネラル、繊維、水分を主成分とするが、これらは品種および栽培条件の影響を受け、製造プロセス内の各プロセスの効率に影響を与える。したがって、農業側プロセスの結果である収穫物の茎重量・組成を工業側プロセスにおける入力とし、両プロセスでそれぞれ入力変数と出力変数との関係を解析することで、農工を横断したモデルとした。

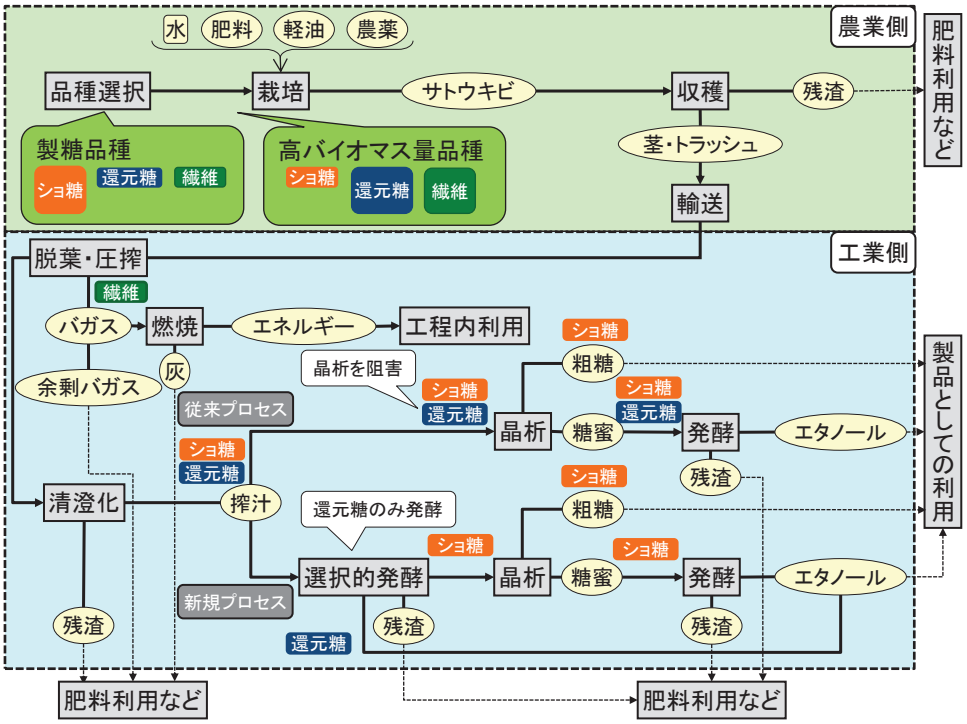


図 1　モデリング対象プロセス

モデル化においては、農業側プロセスでは表Ｓ１に示すように、栽培の統計データ[5)]を利用し、栽培場所・作型・品種の組み合わせから、栽培指針に従って栽培した場合における単位面積当たりのサトウキビ茎重・成分組成が出力される形とした。作型とは植付け時期による区別であり、慣習的に春植え、夏植え、株出しの３種類である。株出しとは、収穫後の株から発芽させる方法である。操作変数や環境条件の変更に伴う出力変数の変化

については、栽培の統計データや関係者へのヒアリングを通して相関関係を考察し、回帰モデル化した。製造プロセスにおいては、パイロットプラントによる実験データの統計解析や、既存の理論式及び経験式[6]を適用した。

3. ケーススタディ

3.1 設定したケース

構築したプロセスモデルから出力されるプロセスインベントリを用いて、表 1 に示す条件で粗糖・エタノールの収量及びプロセス全体の GHG 排出量をそれぞれ比較した。営農操作は全てのケースについて沖縄県のさとうきび栽培指針[7]に従うものとした。図 1 に示すように製品の消費や残渣の利用はプロセスモデルのバウンダリ外としているため、これらに固定された炭素は全て栽培時に吸収された CO_2 由来と見なし、負の GHG 排出とした。ただし、バガスは、その一部或いは全部が燃料として燃焼されるため、燃焼した分は製造時の GHG 排出に含め、バガスが不足する場合は A 重油で補うものとして計算した。

表 1　各ケースの設定条件

※機能単位：圃場10a

Case	1	2	3	4	5	6
栽培地域	種子島	種子島	種子島	種子島	種子島	種子島
作型	春植え	春植え	春植え	春植え	春植え	春植え
営農操作	栽培指針	栽培指針	栽培指針	栽培指針	栽培指針	栽培指針
品種	製糖品種(NiF8)			高バイオマス量品種(KY01-2044)		
晶析回数	3	1	1	3	1	1
選択的発酵	なし	なし	あり	なし	なし	あり

3.2 結果と考察

図 2 に各ケースでの粗糖・エタノール収量を、図 3 に GHG]排出量とその内訳を、表 S 2 に結果の詳細を示す。図 2 において Case 1～3 を比較すると、製糖品種を用いる場合において、工業側の操作の変更だけでは、粗糖とエタノールの同時増産は見込めないことが分かる。これは、原料となるショ糖・還元糖の総和がサトウキビを収穫した時点で制限されており、粗糖・エタノール間のトレードオフを解消できないためである。しかし、農業側で高バイオマス量品種の選択も考慮に入れれば、Case 4 や Case 6 のように、Case 1 の粗糖生産量を下回ることなくエタノールの増収が可能となる。これは、例えば農家が高糖性志向により製糖品種を栽培し、製糖工場では粗糖高収のために晶析を繰り返し行っているような地域において、需要の拡大によってエタノールの増産が求められた場合、農工それぞれで操作を変更することで、問題が解決されることを意味する。

一方、図 3 でプロセス全体の GHG 排出量を比較すると、工業側における操作の変更による影響よりも、農業側における品種の変更による影響の方が大きいことが分かる。これは、茎重量の大きい品種を原料として用いたことで、原料処理量の増大に伴い製造プロセスにおける GHG 排出量が増加するものの、粗糖や残渣による固定量増加分の方が上回っていることを意味する。しかし、今回のケーススタディではサトウキビ一作分を対象としており、これらの固定分は粗糖の消費や残渣の微生物による分解によって将来的に大気に放出される可能性もあるため、より正確に評価するためには各生成物について時間軸を考慮した分析をする必要がある。

4. まとめ

農業及び工業プロセス間の相互作用を考慮した横断型プロセスモデルを構築した。構築したプロセスモデルを用いることで、製品の高収量化や環境負荷低減といった様々なシナリオに応じたシミュレーションを行うことができ、農業側及び工業側に対して、戦略的な意思決定の支援が可能となった。

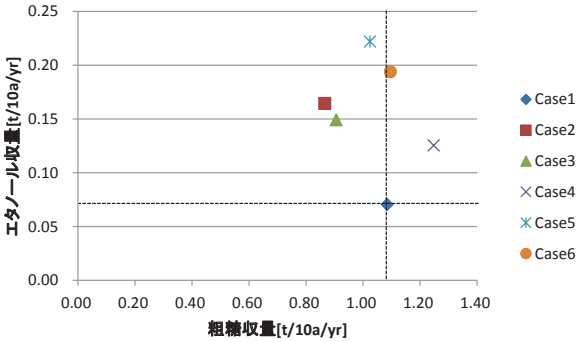


図 2　各ケースの粗糖・エタノール収量

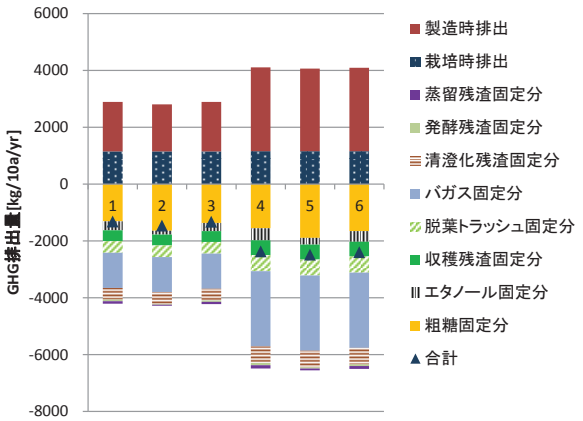
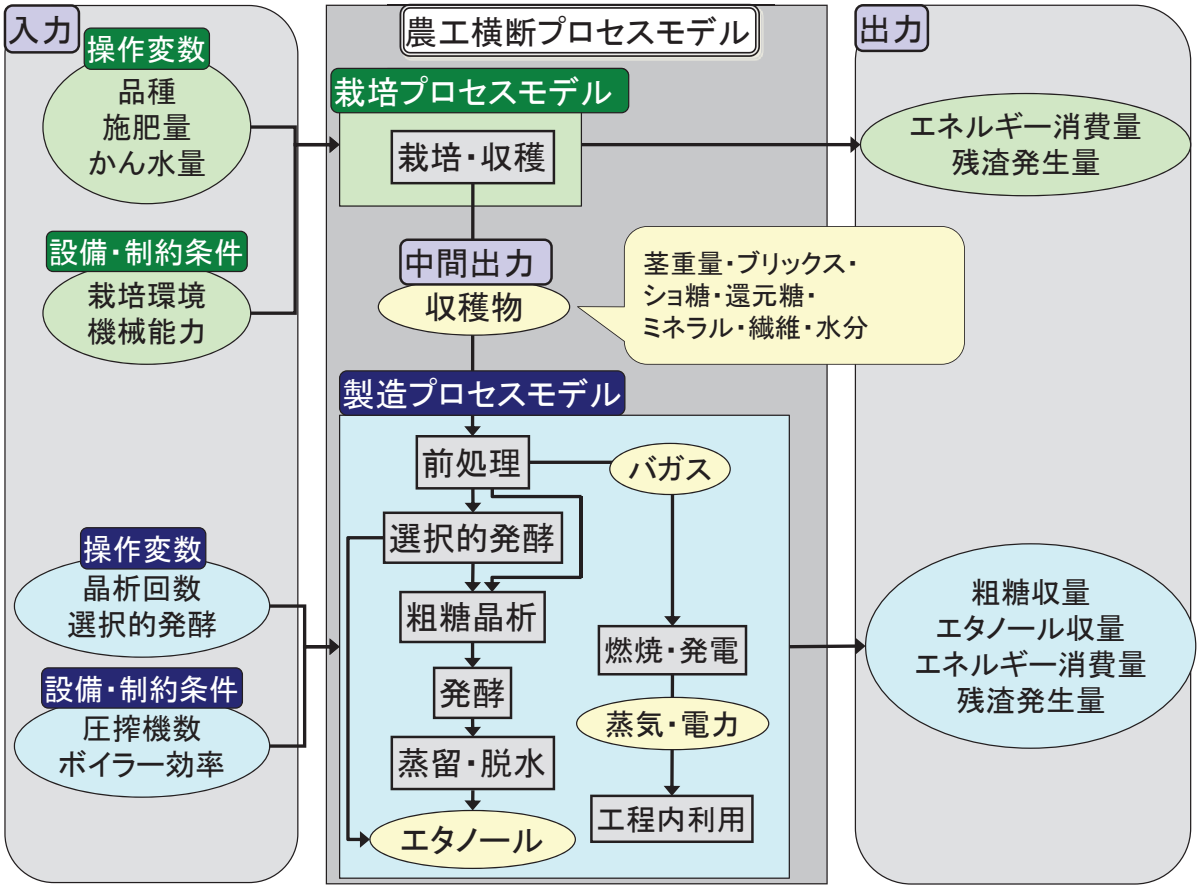


図 3　各ケースの温室効果ガス排出量と内訳

参考文献

1) C. C, Lisboa, et al.： Bioenergy, 3, (2011), pp 277-292
2) 小原聡, 他：日本 LCA 学会誌, 5(4), (2009), pp 439-445
3) S. Ohara, et al.： Biomass and Bioenergy, 42, (2012), pp 78-85
4) 杉辺瑠美子、他： 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会, 東京理科大, (2012)
5) 農林水産省九州農業試験場： “新品種決定に関する参考成績書”,(2010)
6) Peter Rein, “Cane Sugar Engineering”, Bartens, (2007)
7) 沖縄県農林水産部： “さとうきび栽培指針”, (2006)



図Ｓ１　粗糖・エタノール複合生産プロセスモデルの概要

表Ｓ１　サトウキビの収量・組成

栽培場所		種子島	
作型		春植え	
品種		NiF8	KY01-2044
原料茎重	[kg／a]	781	1070
ショ糖度	[%]	16.39	14.64
還元糖度	[%]	0.34	0.44
ブリックス	[%]	18.37	17.20
Obx	[%]	1.64	2.12
繊維	[%]	9.30	15.00
水分	[%]	72.33	67.80
純糖率	[%]	89.20	85.10

表Ｓ２　ケーススタディの結果の詳細

Case	1	2	3	4	5	6
品種	製糖品種			高バイオマス品種		
晶析回数	3	1	1	3	1	1
選択的発酵	なし	なし	あり	なし	なし	あり
粗糖収量[t/10a/yr]	1.08	0.87	0.91	1.25	1.02	1.10
エタノール収量[t/10a/yr]	0.07	0.16	0.15	0.13	0.22	0.19
バガス生産量[t/10a/yr]	1.59	1.59	1.59	3.36	3.36	3.36
GHG排出量[kg/10a/yr]	−1468	−1321	−1327	−2485	−2375	−2405

林地未利用材を用いたコ・ジェネレーション発電の環境影響とエネルギー収支に関する一考察

Discussion of environmental impact and energy profit ratio for combined heat and power generated by forest residues

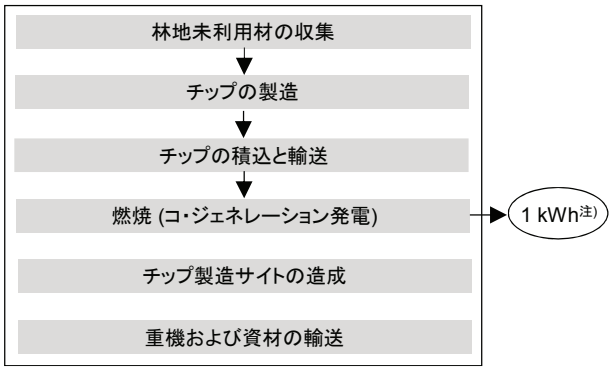
○古俣寛隆*[1)]、酒井明香[2)]、石川佳生*[1)]
Hirotaka Komata, Sayaka Sakai, Yoshio Ishikawa
1) 北海道立総合研究機構　林産試験場, 2) 北海道立総合研究機構　林業試験場
*komata-hirotaka@hro.or.jp

1. はじめに

2012 年 7 月に我が国でも FIT が開始された。林地未利用材（以下、未利用材という）を用いたバイオマス発電が発電事業としての採算性に一定の目途がついたことから注目されている。一方環境性については、未利用材の収集や輸送には化石資源が投入されるため、従来の化石資源を由来とするエネルギー製造システムと比較してどの程度環境に優しいのかを LCA によって評価する必要がある。

本研究では、未利用材の収集からチップ化までの燃料消費量等のデータを用いて、コ・ジェネレーション発電により製造されるエネルギーの環境影響を、未利用材の種類やエネルギー効率別に LIME2 によって評価した。同時に、エネルギー収支の観点からも検討を加え、未利用材をエネルギー利用する際の環境面における有効性と適切な利用法について考察した。

2. 方法



注): 電力＋蒸気

図１　システム境界

システム境界を**図 1** に示した。機能単位は、電力および蒸気を合計した製造エネルギー1 kWh とした。本研究では、切捨て間伐に伴う未利用材（ケース 1）と主伐に伴う未利用材（ケース 2）の 2 種類の燃料を評価の対象とした。これらに関する収集からチップ化、輸送までの燃料消費量は、2008～2009 年度に北海道で実施した実証試験より得た。なお、チップの輸送距離は往復 100 km とした。林地未利用材の収集から輸送にかかる燃料消費量を表 1 に示した。

表１　発熱量[注]1 kWh あたりの燃料消費量

プロセス	ケース1		ケース2	
	軽油 (L)	割合 (%)	軽油 (L)	割合 (%)
林地未利用材の収集	8.25E-03	39.9	8.93E-04	11.3
チップの製造	5.20E-03	25.1	3.89E-03	49.1
チップの積込と輸送	3.63E-03	17.5	2.28E-03	28.8
チップ製造サイトの造成	5.65E-04	2.7	3.45E-04	4.4
重機および資材の輸送	3.05E-03	14.8	5.05E-04	6.4
合計	2.07E-02	100.0	7.91E-03	100.0

注）チップの含水率50%時の保有発熱量（低位）

設定条件を**表 2** に示した。コ・ジェネレーション設備の規模は、発電出力で 1,000 kW と 5,000 kW の 2 種類とし、発電のみのケースと発電とともに熱（蒸気）を製造するケース（CHP：combined heat and power）を設定した。製造する電気および蒸気のエネルギー効率は文献[1-3)]を参考に設定した。年間のエネルギー製造量は稼働日数から算出し、さらにエネルギー効率から必要な林地未利用材の量（必要エネルギー量）を求めた。これに表 1 の燃料消費量を乗じ、さらに設備の製造エネルギー量で除して製造エネルギー1 kWh あたりの燃料消費量を算出した。燃焼灰の発生量は燃焼質量の 1%とし、全量燃え殻として埋立て処分するものとした。インベントリ分析および LIME2 による統合化には MiLCA（データベースバージョン 1.2.0）を用いた。

表２　設定条件

発電機出力 (kW)		1000		5000		単位
設備タイプ		発電のみ	CHP	発電のみ	CHP	
エネルギー効率	総合	13	50	20	50	%
	うち電気	13	5	20	20	%
	うち蒸気	0	45	0	30	%
年間稼働日数		330	330	330	330	d/y
製造エネルギー量	総合	7,920,000	79,200,000	39,600,000	99,000,000	kWh
	うち電気	7,920,000	7,920,000	39,600,000	39,600,000	kWh
	うち蒸気	0	71,280,000	0	59,400,000	kWh
必要エネルギー量		60,923,077	158,400,000	198,000,000	198,000,000	kWh
	木材換算	18,921	49,194	61,492	61,492	t[注1)]
		36,039	93,703	117,128	117,128	m^3
燃焼灰発生量		126	328	410	410	t

注1）含水率50%（絶乾基準）

エネルギー収支は、設備で製造する出力エネルギーを入力エネルギーで除して求めた。なお、入力エネルギーは、発電中の燃料消費と燃料製造のためのエネルギー投入のみを考慮した（設備建設に係るエネルギー消費は含めない）。後者はMiLCAに搭載のIDEAにおいて、資源入力フローの各エネルギーに発熱量を乗じて算出した。

3. 結果

LIME2による統合化の結果、製造エネルギー1 kWhあたりの外部コストは0.3～2.2円と算出された。外部コストが最も高かったのは、発電出力1,000kWで切捨て間伐に伴う未利用材を用いて発電のみを行うケースであり、最も低かったのは発電出力5,000kWで皆伐に伴う未利用材を用いてCHPを行うケースであった。前者と後者における外部コストの内訳を**図2**に示した。

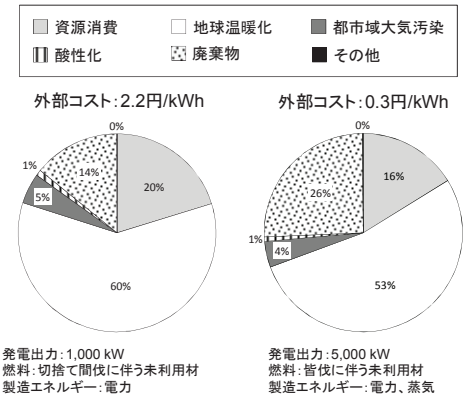


図2　未利用材を用いた発電の外部コストの内訳

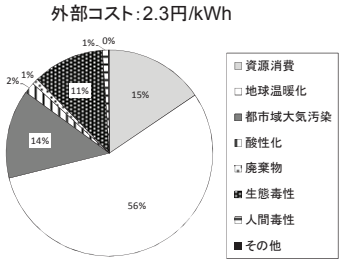


図3　商業電力（北海道電力地域）の外部コスト内訳

外部コストに占める影響領域では、両者ともに地球温暖化が過半を占めていた。地球温暖化には化石資源由来のCO_2の影響が大きく、その割合は前者が86%、後者が76%であった。次いでCH_4の影響が大きく（前者：12%、後者：22%）、この大部分は木材の燃焼に伴うものであった。外部コストに占める影響領域の第2位は、前者は資源消費、後者は廃棄物であった。第2位と第3位の順位は前者と後者で逆転した。廃棄物の負荷のほとんどは、未利用材の燃焼に伴う燃え殻の埋立てである。今回は灰分を1%として評価を行ったが、燃料の品質によって灰分は増える可能性があり、この場合廃棄物の影響はさらに大きくなる。富栄養化、光化学オキシダント、生態毒性、人間毒性の影響領域の寄与度はほとんどなかった。

送電ロスを4.8%として、商業電力（北海道電力地域）における発電端電力1 kWhあたりの外部コストを求めた（**図3**）。未利用材を用いたバイオマス電力ならびにCHPの外部コストは商業電力よりも低くなることが示された。

バイオマスエネルギーのメリットの一つとして温室効果ガスの削減効果が期待されている。そこで、地球温暖化の外部コストについて商業電力と比較したところ、発電出力1,000kWで切捨て間伐に伴う林地未利用材を用いて発電のみを行うケースのみ、商業電力を上回ることが分かった。

表3　製造エネルギー1 kWhあたりの入力エネルギー量とエネルギー収支

発電機出力（kW）		1000				5000				商業電力
設備タイプ		発電のみ		CHP		発電のみ		CHP		
ケース		1	2	1	2	1	2	1	2	
再生可能エネルギー	水力	3.50E−06	1.34E−06	9.10E−07	3.48E−07	2.27E−06	8.70E−07	9.10E−07	3.48E−07	1.45E−01
	太陽光	2.55E−09	9.75E−10	6.63E−10	2.54E−10	1.66E−09	6.34E−10	6.63E−10	2.54E−10	7.67E−06
	地熱	1.17E−06	4.49E−07	3.05E−07	1.17E−07	7.63E−07	2.92E−07	3.05E−07	1.17E−07	2.68E−02
	木材	7.69E+00	7.69E+00	2.00E+00	2.00E+00	5.00E+00	5.00E+00	2.00E+00	2.00E+00	0.00E+00
	小計	7.69E+00	7.69E+00	2.00E+00	2.00E+00	5.00E+00	5.00E+00	2.00E+00	2.00E+00	1.72E−01
非再生可能エネルギー	一般炭	1.66E−05	6.36E−06	4.32E−06	1.65E−06	1.08E−05	4.13E−06	4.32E−06	1.65E−06	1.14E+00
	原油	1.74E+00	6.64E−01	4.51E−01	1.73E−01	1.13E+00	4.31E−01	4.51E−01	1.73E−01	5.79E−01
	原料炭	6.86E−08	2.62E−08	1.78E−08	6.82E−09	4.46E−08	1.71E−08	1.78E−08	6.82E−09	1.40E−03
	天然ガス	3.26E−02	1.25E−02	8.47E−03	3.24E−03	2.12E−02	8.10E−03	8.47E−03	3.24E−03	1.55E−02
	液化天然ガス	1.12E−15	4.27E−16	2.90E−16	1.11E−16	7.25E−16	2.77E−16	2.90E−16	1.11E−16	5.75E−11
	軽油	1.67E+00	6.37E−01	4.33E−01	1.66E−01	1.08E+00	4.14E−01	4.33E−01	1.66E−01	0.00E+00
	小計（A）	3.44E+00	1.31E+00	8.93E−01	3.42E−01	2.23E+00	8.54E−01	8.93E−01	3.42E−01	1.74E+00
合計（B）		1.28E+01	9.64E+00	3.33E+00	2.51E+00	8.32E+00	6.27E+00	3.33E+00	2.51E+00	1.91E+00
エネルギー収支	I/A	0.29	0.76	1.12	2.93	0.45	1.17	1.12	2.93	0.58
	I/B	0.08	0.10	0.30	0.40	0.12	0.16	0.30	0.40	0.52

エネルギーの単位（kWh）

エネルギー収支を**表3**に示した。入力エネルギーに再生可能エネルギーを含めない場合（1/A）、商業電力のエネルギー収支0.58に対して、未利用材を用いた発電による電力及び蒸気のエネルギー収支は、ケース1の発電のみの場合以外は大きくなった。ただし、入力エネルギーに再生可能エネルギーを含める場合（1/B）には、エネルギー収支が大きく低下するため、未利用材資源の再生および持続可能性を担保することが必要不可欠となる。

4. まとめ

未利用材を用いた発電、CHPの環境影響を明らかにするとともに発電における熱利用の重要性を示した。今後さらに調査事例を積み重ねて評価シナリオを精査し、未利用材の利用方法やバイオマス発電の在り方を提言したい。

参考文献

1)久保山裕史：山林 **1486**, 25-33 (2008).

2)永野正朗ら：多様な主体の参画による、持続可能な公共交通のエネルギー地産地消システムの構築，p.23 (2011).

3)堀川保幸：中国木材のバイオマスエネルギー活用，国産材製材協会シンポジウム 再生可能エネルギーと森林資源の利活用 配布資料 (2012.4.26).

気候変動対策に向けた豊川バイオマスパーク構想における物質・エネルギー収支の試算

Preliminary Assessment of Material and Energy Balance on Toyogawa Biomass Park Vision toward Climate Change Adaption

○蒲原弘継[*1)]、熱田洋一[1)]、佐合悠貴[1)]、岡山朋子[1)]、大門裕之[1)]
Hirotsugu KAMAHARA, Yoichi ATSUTA, Yuki SAGO, Tomoko OKAYAMA, Hiroyuki DAIMON

1)　豊橋技術科学大学
*Kamahara@water.ens.tut.ac.jp

1.　はじめに

近年、下水道ビジョン2100をはじめ、バイオマス活用推進基本法およびバイオマス事業化戦略などにより、下水処理場は地域のバイオマス活用および再生可能エネルギーの生産拠点として見直されてきている。これらの取り組みは単に下水汚泥の嫌気性消化等のエネルギー利用技術の導入のみならず、生ごみ等との混合消化をも想定しており、これまでの廃棄物処理計画の変更も必要となる大きな変化となりうる。このような変化は果たしてどれだけエネルギー問題や気候変動の対策として効果があるであろうか?

本研究では、まず、これまでの下水汚泥処理におけるメタン発酵技術に関するライフサイクルアセスメント（以下、LCA）研究をレビューし、今後の研究課題について整理した。さらに、豊橋技術科学大学と愛知県が進めている豊川バイオマスパーク構想を例として、物質・エネルギー収支の試算を行い、評価において必要な情報を整理した。

2.　下水汚泥を原料にした嫌気性消化技術のLCA研究レビュー

本稿では下水汚泥を原料にした嫌気性消化技術の8つのLCA研究をレビューした。具体的には、生ごみと下水汚泥の混合嫌気性消化システムを評価している研究[1-3)]、ディスポーザーの導入効果を評価している研究[4)]、下水汚泥の嫌気性消化システムの前処理技術の導入効果を評価している研究[5)]、下水汚泥および嫌気性メタン発酵消化液の処理技術の比較を行っている研究[6-8)]である。表1にそれらの研究が対象にしているバイオマスおよび、技術、機能単位、環境影響領域について示す。

生ごみと下水汚泥の混合嫌気性消化システムはいずれの研究においても、既存の焼却処理よりも温室効果ガスを削減できる結果を示していた。ただし、その効果は、生ごみの混合率に依存する結果となっていた。一般的に嫌気性消化処理は消化液の処理が課題となっている。それぞれの研究において消化液の処理方法は異なっており、その物質収支を把握することは困難であった。これまでに、生ごみの嫌気性消化処理への受け入れは消化液脱水後のろ液のNH_4-N濃度上昇につながり、この除去には大きな電力が必要となることが指摘されている[9)]。また、下水汚泥単独での嫌気性消化のエネルギー消費量を評価している研究[10)]や生ごみのディスポーザー導入を評価している研究[2)]においても、下水処理場におけるエネルギー消費量の増大の可能性は指摘されている。嫌気性消化処理により炭素はバイオガスとしてある程度分解するが、それ以外の窒素やリンは分解せず、消化液に含まれる。したがって、評価の際に、その物質収支を定量的に把握することは必要不可欠であろう。一方、下水汚泥および消化液の焼却や堆肥化には亜酸化窒素が発生することや重金属が含まれることから高温での焼却（ガス化溶融）が優位になる結果が示唆されていた[7,8)]。

これらの研究以外に、環境省から「バイオガス関連事業のLCAに関する補足ガイドライン」が提示されている。この中で、機能単位は、「1MJ相当のエネルギー供給とそれに必要な原料の処理」と設定されている。また、廃棄物を原料とすることにより回避される温室効果ガス排出量は、システム境界の拡張を行うことが求められている。上述したLCAの研究では、システム境界の拡張が行われていない場合もあることから、この対応が求められる。

3.　豊川バイオマスパーク構想

3.1　概要

本研究で対象とする豊川浄化センターは豊橋市の北西に位置し、愛知県が管理する豊川流域下水道（豊川市の全域、豊橋市、蒲郡市、新城市の一部）の終末処理場である。現在、下水汚泥は焼却処理なされているが、今後、既設の嫌気性消化槽を再稼働させ、バイオガスをエネルギー利用する計画が検討されている[11)]。一方、豊橋技術科学大学では、図1に示す豊川バイオマスパーク構想を掲げ、平成27年度までに実証施設を建設、実証することで、事業の有効性を検証することを計画している[12,13)]。具体的には、水熱前処理した下水汚泥（脱水汚泥）を嫌気性消化処理し、消化液の肥料化、バイオガスの気体溶解装置を用いた精製、メタンガスによる発電を行う。バイ

オガスの精製時およびメタンガスによる発電時に発生した二酸化炭素（以下、CO_2とする）は、それぞれ、海藻工場および植物工場（環境制御装置を備えたグリーンハウス）に供給する計画である。現在は、嫌気性消化設備（2 m^2×2 基）の運転を下水汚泥単独で行っている。

3.2 物質・エネルギー収支

豊川バイオマスパーク構想全体の炭素・窒素収支を試算した結果を図 1 に示す。本実証設備においては、中温と高温の二つの嫌気性消化槽を有している。一方、豊川浄化センターから排出される脱水ケーキ（22%-Total Sludge、37.8%-C-dry、5.9%-N-dry）は、初沈汚泥と余剰汚泥を混合した後、脱水された汚泥である。本事業では水熱処理を加え、嫌気性消化槽での高濃度汚泥（20%-TS 前後）の取り扱いを目指している。したがって、この取り扱える汚泥濃度によって、環境負荷は異なると考えられる。なお、水熱処理に関しては180℃前後の処理を検討しているが、図1の条件下では、汚泥濃度約6%において得られるメタンのエネルギーと水熱処理に必要となるエネルギーが等しくなると試算している[14)]。

4. まとめ

本研究では、まず、下水汚泥や生ごみ等の他のバイオマスを用いた嫌気性消化処理に関するLCAのレビューを行い、1）消化液の処理を含めた下水処理全体の物質・エネルギー収支の明確化、2）システム境界の拡張が必要であることを示した。次に、豊橋技術科学大学が豊川バイオマスパーク構想の物質・エネルギー収支について検討した結果を示し、取り扱う汚泥濃度により環境負荷が異なることを示した。今後、実証試験を通じて、生ごみ等との混合消化を含めた事業の評価を実施する予定である。

謝辞

本研究は、平成23年度文部科学省科学技術戦略推進費「バイオマス・CO2・熱有効利用拠点の構築」の一環として行われている。記して感謝いたします。

参考文献

1） 渡辺ら：環境工学研究論文集, 40, (2003), 311-320
2） 松本ら：環境システム研究論文集, 31, (2003), 125-132
3） 安井ら：環境工学研究論文集, 42, (2005), 171-182
4） 石井・花木：環境システム研究論文集, 34, (2006), 443-453
5） 木室ら：日本エネルギー学会誌, 90, (2011), 247-257
6） Hospido et al : *Int. J. LCA*, 10(5), (2005), 336-345
7） Hong et al : *Waste Manage.*, 29(2), (2009), 696-703
8） Nakakubo et al : *J. Clean. Product.*, 32, (2012), 157-172
9） 清水洽：NPO 21 世紀水クラブ, 32(25), (2011), 5pp.
10） Tachibana et al : *J. Chem. Eng. Japan.*, 44(10), (2011), 798-802
11） 青山知弘：下水道協会誌, 46(601), (2012), 18-20
12） 蒲原ら：再生と利用, 36(136), (2012), 6-10
13） 蒲原ら：廃棄物資源循環学会論文誌, 印刷中
14） 蒲原ら：環境科学会 2012 年会要旨集, (2012), 97

表１　下水汚泥を対象にしたメタン発酵技術の LCA

文献	生ごみ	混合消化	前処理技術	消化液の利用/処理 肥料化	消化液の利用/処理 焼却	機能単位	環境影響領域
渡辺ら	○	○		○	○	可燃ゴミ1トンの処理	E, G, A, L, D, H
松本ら	○		ディスポーザー			北九州市の年間の処理	E, G
安井ら			オゾン処理		○	脱水汚泥1トンの処理	E, G
石井・花木	○	○				川崎市の年間の処理	E, G
木室ら					○	脱水汚泥1トンの処理	E, G, C
Hospido et al				○		脱水汚泥1トンの処理	P, O, G, A, F, R, H
Hong et al				○	○	脱水汚泥1トンの処理	G, A, H, U
Nakakubo et al	○	○		○	○	10,000人の年間の処理	G, RP, H

E:エネルギー消費量、G:温室効果ガス排出量、A:酸性化、L:埋立地消費、D:ダイオキシン類、H:重金属・人体毒性、P:富栄養化、O:光学オキシダント、R:資源枯渇、U:土地利用、RP:リン回収量

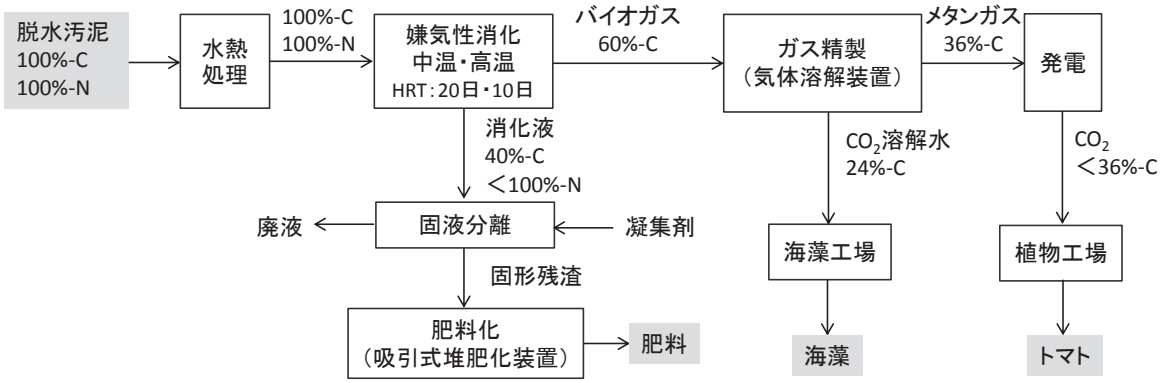


図１　豊川バイオマスパーク構想における物質フローの試算

資源分布を考慮した淡路地域の再生可能エネルギー供給可能量の推計

Estimation of Renewable Energy Supply Potential in Awaji Area Taking into Account Resources Distribution

○坂口卓司*[1)]、田畑智博[1)]
Takushi Sakaguchi, Tomohiro Tabata
1) 神戸大学
*tsakaguchi@stu.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

エネルギーの地産地消という観点から考えると、地域に賦存する再生可能エネルギーは、地域内で消費されるのが望ましい。再生可能エネルギーは環境的・経済的に生産・消費されることが求められるが、そのためには、地域内の再生可能エネルギーの資源分布、人口やエネルギー需要などを加味し、その地域に応じたエネルギーの利用方法を検討することが重要である。

本研究では、兵庫県の淡路島を事例として、本地域の再生可能エネルギーの環境的・経済的に最適な利用方法の検討を行う。本稿では、先ず、本地域の地理状況を加味し、バイオマス資源を中心に、風力、太陽光のポテンシャルや有効利用量の分布の推計を行う。

淡路島は、淡路市、洲本市、南あわじ市の 3 市で構成される。人口は約 15 万人、面積は 595m^3 である。本島は、たまねぎや肉牛、乳牛に代表されるように農業が盛んである。また、淡路島では、エネルギーの持続・農と食の持続・暮らしの持続を掲げた「あわじ環境未来島構想」を推進している。この構想は、平成 23 年度に国の総合特区（地域活性化総合特区）に指定された。

2. 研究方法

2.1 バイオマス資源分布状況の把握

バイオマス資源は、地理情報システム(GIS)を用いて行う。ここでは、NEDO[1)]のバイオマスエネルギーのポテンシャル及び有効利用量のデータベースに、国土交通省[2)]の土地利用 3 次メッシュデータを組み合わせて、バイオマス資源の分布状況をメッシュ図に可視化する。メッシュ図は、3 次メッシュ（1 マス 1km^2、計 708 メッシュ）に分割した。GIS ソフトウェアは、MapInfo を用いた。

バイオマス資源のマッピングは、資源を土地利用種別に区分して、メッシュ内の土地面積に応じてポテンシャル及び有効利用量を配分することで行った。具体的には、稲わら・もみ殻は水田面積、農業残渣は農地面積、林地残材・間伐材・タケは森林面積、建築廃材・新増築廃材は建物用地面積で、それぞれ配分した。エネルギーポテンシャルの推計式を式(1)に、1 メッシュ当たりのエネルギーポテンシャルの推計式を式(2)に示す。家畜ふん尿は、島内における堆肥化施設の位置情報を割り出し、これを用いて該当メッシュに配分した。

$$EP = \sum_i MEP_i \tag{1}$$

$$MEP_i = \sum_j (CEP_j \times LR_{i,k}) \tag{2}$$

但し、EP：エネルギーポテンシャル、MEP：1 メッシュ当たりエネルギーポテンシャル、CEP：バイオマス種別エネルギーポテンシャル、LR：メッシュ内土地利用の割合、i：メッシュ ID、j：バイオマス種別（林地残材、間伐材、稲わらなど）、k：土地利用種別（水田、農地、森林、建物）。

バイオマス資源は全量発電利用すると仮定し、エネルギー供給可能量を推計する。発電量の推計では、木質系にボイラー発電、家畜糞尿系にガス化発電の利用を想定考慮する。どちらの各発電方式とも、発電効率は文献値[3)]より発電効率 0.3 と仮定し算出した。

2.2 風力発電量の推計

風力発電によるエネルギー供給可能量は、島内で稼働中の設備から推計した。現在、島内には 5 か所、計 19 基の風車が稼働している。表 1 に風力発電所一覧を示す。発電量は、平均的な風力発電の設備利用率である 0.2 を乗じて推計した。

表 1　風力発電所一覧

稼動年	設置場所	定格出力 (kW/基)	基数
2002	洲本市	1,500	1
2002	淡路市	600	1
2003	南あわじ市	1,500	1
2004	南あわじ市	2,000	1
2006	南あわじ市	2,500	15

2.3 太陽光発電量の推計

太陽光発電によるエネルギー供給可能量は、島内で稼

働中のメガソーラー発電所から推計した。表 2 に太陽光発電所一覧を示す。発電量は、平均的な太陽光発電の設備利用率である 0.12 を乗じて推計した。

表２　太陽光発電所一覧

稼動年	設置場所	総出力(kW)
2010	淡路市	1,000

3. 結果

資源分布の可視化の一例として、図 1 に木質バイオマスの資源分布を示す。本図より、島南部（南淡地域）に森林が多く存在することがわかる。

図 2 に、島内 3 市におけるバイオマス種別の有効利用熱量を示す。市別でみると、淡路市は有効利用熱量が 63,310GJ/年(木質系：27%、農業残渣系：25%、廃棄物：48%)、洲本市は 60,546GJ/年(木質系：18%、農業残渣系：25%、廃棄物系：57%)、南あわじ市は 118,685GJ/年(木質系：10%、農業残渣系：57%、廃棄物系：33%)である。特に南あわじ市では、農業残渣が大きなウエイトを占めていることがわかった。

以上の結果を踏まえ、図 3 にバイオマス、風力、太陽光の供給可能量の割合を示す。供給可能量の合計は、348,387GJ/年である。その内訳は、バイオマス 21%、風力 78%、太陽光 1%であった。2010 年度における島内の電力需要量は 1,913,609GJ であり、計算上、需要量の約 18%を再生可能エネルギーで賄うことができる。

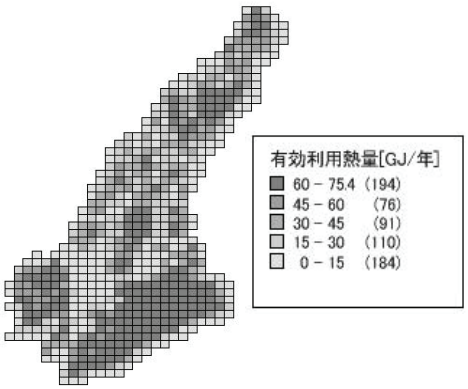


図１　森林由来の資源分布図

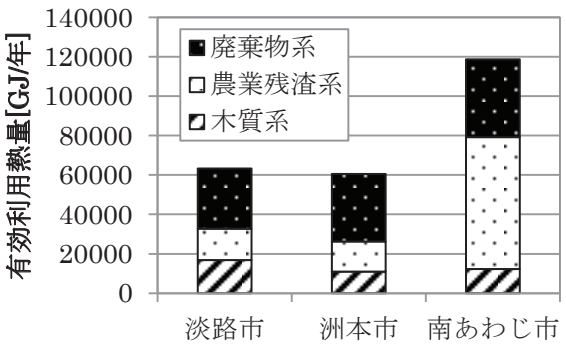


図２　バイオマス種別の有効利用熱量

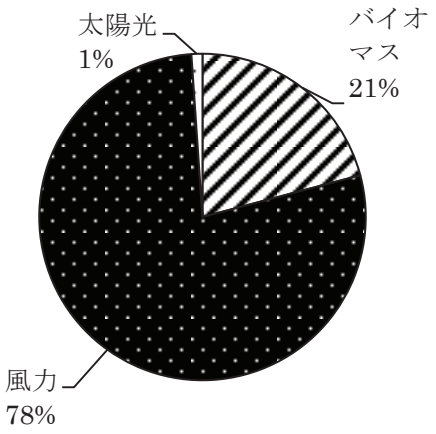


図３　供給利用可能量の内訳

4. まとめ

淡路島は、山地が少ないため、木質系バイオマスのストックは低い。一方で、農業、畜産業が盛んであり、農業残渣系のバイオマスが大きな割合を占めることが示された。特に、農業残渣として、廃たまねぎの割合が大きいので、これを利活用することを検討する必要がある。

5. 今後の予定

以下に、今後の予定を示す。

① バイオマス資源の電力利用には、ボイラー発電を行うプラントが必要である。このプラントの設置場所を道路事情や輸送距離の面で有利となる位置に設置することを検討する。

② 上記①を踏まえて、LCA とコスト分析を実施し、現状との比較評価を行う。

③ バイオマス資源の利活用では、コスト以外に雇用に関する課題が導入の障壁となっている。バイオマス利活用に関する研究事例は多く行われているが、雇用に着目した考察事例は少ない。本研究では、今後、雇用の観点を含めてバイオマス産業のあり方を考察する。

参考文献

1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, “バイオマス賦存量・利用可能量の推計”, <http://www.nedo.go.jp/>, (参照 2012-12-13)

2) 国土交通省国土政策局, “国土数値情報ダウンロードサービス”, < http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, (参照 2012-12-13)

3) 新エネルギー財団編, “バイオマス技術ハンドブック”, オーム社, (2008), pp.296-299

バイオマス利活用トータルプロセスの持続可能性評価に関する研究

Toward evaluation of total process of biomass utilization - from a point of view of life cycle sustainability assessment –

○渕上智子*[1)]、美濃輪智朗[2)]、大谷繁[1)]
Tomoko FUCHIGAMI, Tomoaki MINOWA, Shigeru OHTANI
1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所
*tomoko_fuchigami@biol.s.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、再生可能資源の一つとしてバイオマスは大きな脚光を浴び、特に新エネルギーとしての用途に多大な期待が寄せられている。バイオエタノールについては化石資源に替わる低炭素燃料への期待から、大規模かつ低コスト生産に関わる研究開発が進んでいる。しかしながらサトウキビやとうもろこしなど元々食料であったものを資源にするプロセスによって、食品市場を混乱させてしまったことは記憶に新しい。ここ数年はセルロースなど非可食部や資源作物等を原料とした変換技術の研究開発が進んでいるが、製造コスト低減の課題もさることながらこのような資源を大量に生産することによる圃場環境や生態系への影響、さらには地域農業や食料市場など社会的な影響も無視できない。

一方で、バイオマス資源は液体燃料のみに留まらず、石油系プラスチックや、ナノファイバー等の工業材料への応用もあり、その機能や性質等に多様な可能性を含んでいる。外部不経済性の高い化石資源由来の製品等を代替することに加え、従来の製品より付加価値の高い工業原料としての利活用が見込まれ、将来市場で拡大する可能性は大きい。

このようにバイオマス資源の大規模利活用は、長短様々な課題を含んでいる。古来よりバイオマス資源の人為的な大量生産と市場形成は、食料、飼料、木材利用といった分野で行われてきたが、「持続性」という点では配慮が欠けていた部分もあったのではないかと思われる。メソポタミア文明の森林破壊から始まって、アラル海の消滅、オーストラリアの塩害などの前例から学ばなければいけない。

2005 年のグレンイーグルズサミットの際に設立された GBEP (Global Bioenergy Partnership)では、バイオ燃料に対する持続可能性の指標を公表している（以下、GBEP 指標）[1)]。単なる温室効果ガスの削減や「再生可能性」だけでなく、環境、社会、経済のそれぞれの側面から評価した「持続可能性」が求められている。バイオマスを工業材料として利活用するバイオリファイナリーに対しても同様の持続可能性基準が必要だが、具体的な議論はまだ行われていない。

NC-CARP[2)]では、利活用に適したバイオマス種の開発から素材への変換まで、一貫したシステムの構築を目指している。その方向付けにあたり、想定される大規模なバイオマスプランテーションでの生産から、収穫、輸送を経て、コンビナートで工業製品に変換されるまでを含めた一貫プロセスに対して、前述の社会的な要素も含めた多様な影響因子を考慮した評価が必要となる。

本研究では、まず大規模なバイオマス栽培と物質生産の事例として挙げられる、紙・パルプ生産を目的とした産業植林をバイオリファイナリーの一形態と捉え、GBEP 指標を産業植林に応用することを試みることで、バイオリファイナリーに対する持続可能性基準（以下、バイオリファイナリー指標）、および持続可能性の評価手法に関する議論を行う。

2. バイオリファイナリーの評価範囲

NC-CARP で対象とするバイオマスは、草本系のソルガム、および木本系のユーカリまたはポプラである。想定される評価範囲を図 1 に示す。

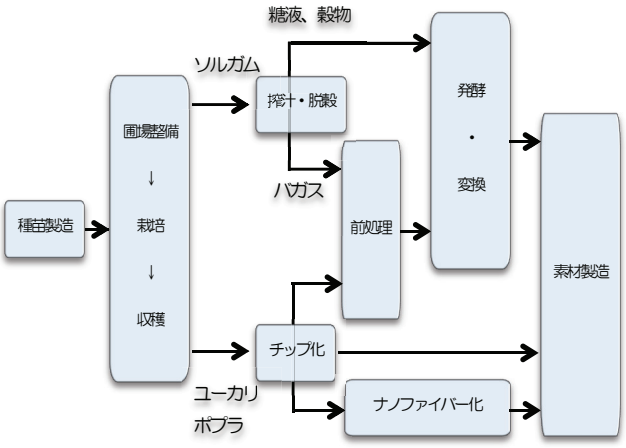


図 1 バイオリファイナリーの評価範囲

ライフサイクルのうち、バイオマスの栽培段階（種苗製造、圃場整備、栽培、収穫）と素材への変換段階（搾汁・脱穀、前処理、発酵・変換、あるいはチップ化、前処理、発酵・変換またはナノファイバー化）が対象となる。リファイナリーによって得られる「素材」は、その後各種製品の材料として使用されるものを想定しており、

その製品化の過程は既存の工業製品と同等と考え、評価範囲からは除くこととした。また、ライフサイクルの最終（廃棄）段階で発生する可能性のある、素材由来のCO_2に関しては、カーボンニュートラルあるいは固定量と見なせるため、別途評価することとした。この評価範囲は、大枠としてはバイオマスエネルギーと同様となる。

3. GBEP 指標のバイオリファイナリー評価への適用

バイオリファイナリーの持続可能性評価を行うにあたって収集が必要となるデータについて、GBEP 指標を基に検討した。結果を表 1 に示す。

従来のライフサイクルアセスメント（LCA）で収集されるインベントリ（物質およびエネルギーの投入量と排出量）で評価できる項目は、指標 1. のライフサイクル温室効果ガス排出量など 5 つに留まり、その他多くの項目は、新たなデータ収集が必要となることが示唆された。

表 1 バイオリファイナリー評価における収集データ

GBEP 指標	バイオリファイナリー評価における収集データ
＜環境分野＞	
1.ライフサイクル温室効果ガス排出量	インベントリ（CO_2）
2.土壌質	土壌中の炭素含有量
3.木質資源の採取水準	木質資源の年間収穫量（体積）と使用割合 純生長量の割合、持続的生産量
4.大気有害物質を含む非温室効果ガスの排出量	インベントリ（大気排出ガス）
5.水利用と効率性	水源別取水量
6.水質	施肥量、農薬使用量、その他薬品使用量 （インベントリ（COD, BOD））
7.景観における生物多様性	特定地域における使用土地面積 外来種の場合のリスクと栽培面積
8.バイオ燃料の原料生産に伴う土地利用と土地利用変化	使用土地面積と使用前の土地利用形態
＜社会分野＞	
9.新たなバイオエネルギー生産のための土地分配と土地所有権	所有権を得た（得る予定の）土地面積と使用前の土地利用形態
10.国内の食料価格と食料供給	食料価格
11.所得の変化	労働者賃金あるいは所得
12.バイオエネルギー部門の雇用	実雇用数（熟練／非熟練、終身雇用／一時雇用ごとに） 国の労働基準に適合している割合
13.バイオマス収集のための女性・児童の不払い労働時間	不払い労働時間
14.近代的エネルギーサービスへのアクセス拡大のためのバイオエネルギー	対応不要
15.屋内煤煙による死亡・疾病の変化	対応不要
16.労働災害、死傷事故件数	労働災害、死傷事故の発生率
＜経済・エネルギー保障分野＞	
17.生産性	原料ごと、農場ごとの生産性、後行程の処理効率 最終製品の生産量（/ha. /Year）、生産コスト
18.純エネルギー収支	インベントリ（エネルギー）
19.粗付加価値	最終製品の粗付加価値とGDP （末端価格、中間投入額）
20.化石燃料消費および伝統的バイオマス利用の変化	化石資源代替量 従来バイオマス利用からの置換量
21.職業訓練および再資格取得	職業訓練の有無（割合） 再雇用の有無（割合）
22.エネルギー多様性	対応不要
23.バイオエネルギー供給のための社会資本および物流	インベントリ（物流ルートと量）
24.バイオエネルギー利用の容量と自由度	対応不要

インベントリ以外の収集データには、評価に際してその量が重要となるものと、量の大きさではなくある基準を満たすか否かが重要となるものが存在した。例えば指標 7. の生物多様性保全の特定地域における土地の使用や、指標 13. の不払い労働は、“無い”ことが持続可能である条件となるであろうし、指標 2. の土壌中の炭素含有量や指標 10. の食料価格、指標 3. の木質資源の採取バランス、および指標 18. のエネルギー収支は、“マイナスでない”ことが重要となる。一方で、指標 11. の労働者所得や指標 12. の雇用数は、数値が大きいほどプラスの影響が大きい（価値の創出）と捉えることができる。つまり、持続可能性の評価にあたっては、従来の LCA に沿った定量評価が有効な項目と、基準を満たしていることを示すことが必要な項目、さらにプラスの影響を示すことが有効となる項目とに分けて評価することが必要となる。

これらのデータを実際の産業植林の現場から収集し、バイオリファイナリーの持続可能性評価を行ううえで必要となるデータの収集方法および条件と評価方法についてさらに考察する。

4. おわりに

持続可能性を評価するための基準は、GBEP 指標以外にも様々なものがある。今後はそれらもふまえ、バイオリファイナリー指標について検討していく。さらに、バイオリファイナリーの持続可能性をLCAで評価することの意義や、プラスの評価も含めた結果の見せ方なども、あわせて検討していきたい。

参考文献

1) GBEP, The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy First Edition, GBEP ホームページ, 入手先 <http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/Indicators/The_GBEP_Sustainability_Indicators_for_Bioenergy_FINAL.pdf>, (参照 2013-1-9)
2) NC-CARP, Network of Centers of Carbon Dioxide Resource Studies in Plants, NC-CARP ホームページ, 入手先< http://nc-carp.org>, (参照 2013-1-9)

太陽光パネルの温度上昇による発電損失のモデル式の検討

Study on the model of energy loss caused by the temperature increase of solar panel

○茶谷祐樹*[1)]、橋本征二[1)]
Yuki Chatani, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0004fp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

太陽光発電は、そのパネル表面温度の上昇に伴い発電効率が低下することが知られている。この温度上昇を考慮して発電量を推計するモデル式は存在するが、そのモデル式は「平均気温」を基に算出するものであり、直射日光による表面温度の上昇を直接扱っているわけではない。本研究では、発電量の実測値と日射量等の気象条件との関係を調べ、特に夏場に焦点をあてて、温度上昇による損失のモデル式を検討した。

2. 方法

2.1 モデル式と仮説

太陽光発電による発電量を推定するにあたって、パネル表面温度の上昇による損失 KPT は、現在では、以下に示す JIS 規格のモデル式により算出されている[1)]。

KPT= 1 + α Pmax（TCR-25）/100

TCR=TAV+⊿T

ここで、

α Pmax：最大出力温度係数
（JIS 推奨値：結晶系-0.40~-0.50%/℃）

TCR：加重平均太陽光パネル温度

TAV：月平均温度

⊿T：加重平均太陽光パネル温度上昇
（設置形態により異なる）

本研究ではこの KPT のモデルについて検討する。上記のモデルでは KPT は平均気温と設置形態による太陽光パネル温度上昇を用いて算出されるが、夏場のように直射日光が強い場合は、これによる温度上昇が主な要因になると考えられる。そこで、夏場に関しては、「パネル表面温度との相関は、気温より日射量の方が強い」と仮説を立て検討することにした。

2.2 使用するデータとその処理

本研究では立命館大学ローム記念館「PV-panel」の観測値を使用した。使用した観測値の項目は「日射量」「気温」「パネル表面温度」「発電量」「発電効率」の 5 種類である。原データは、1 分ごとの記録値となっているが、気象庁の観測値と照合するため、10 分ごとの値に換算した。「気温」「パネル表面温度」「発電効率」は 10 分間の値の中央値、「日射量」「発電量」は中央値に 10 を乗じた値とした。

3. 結果と考察

3.1 モデル式で算出される発電効率と実測値との比較

2.1 のモデル式を用いて JIS 規格で算出される発電効率と、実測値から算出される発電効率を月別に比較した。その結果、図 1 に示すように、JIS 規格で算出される発電効率と実測値から算出される発電効率とでは大きく異なることが確認された。

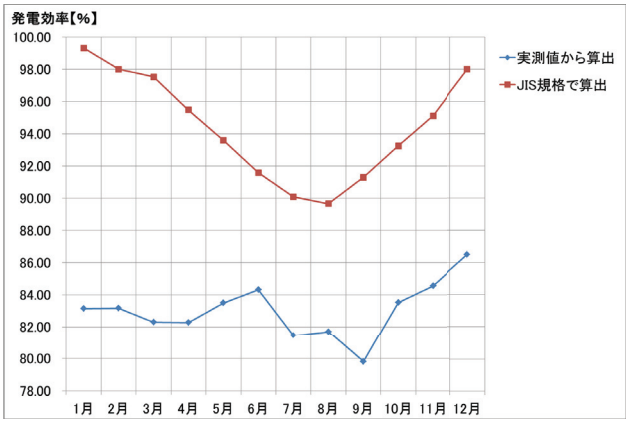


図 1　1 年間の発電効率の推移の比較

3.2　7 月から 9 月のパネル表面温度の上昇の要因

仮説では「夏場におけるパネル表面温度の上昇は日射量による影響を考慮する必要がある」としている。以下ではこれについて検討する。具体的には、7 月から 9 月における「日射量」と「パネル表面温度」、「気温」と「パネル表面温度」の相関を検討した。

図 2、図 3 に示すように、7 月から 9 月の間では「パネル表面温度」との相関は「気温」では決定係数 0.60、「日射量」では決定係数 0.74 となり、日射量による影響が強いことが確認できた。

このことから、特に 7 月から 9 月といった夏場に関しては、パネル表面温度の上昇は日射量を考慮する必要があると考えられる。

3.3 パネル表面温度 40℃以上での発電効率低下の要因

次に「パネル表面温度」と「発電効率」についての相関を検討した。図 4 に示すように、「パネル表面温度」と「発電効率」との相関は決定係数 0.00 と相関は無いことが確認されたが、パネル表面温度が 40℃以上では

点が収束している。そこで、パネル表面温度が 40℃以上になった場合の発電効率について検討するため、「気温」と「発電効率」、「パネル表面温度」と「発電効率」の相関について検討した。

図 5、図 6 に示すように、パネル表面温度が 40℃以上の場合では「発電効率」との相関は「気温」では決定係数 0.12、「パネル表面温度」では決定係数 0.17 となり、パネル表面温度による影響が強いことが確認できた。

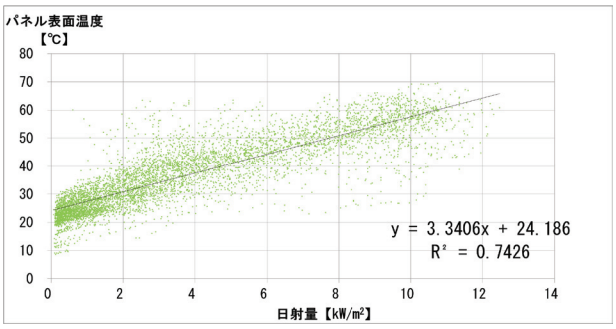


図 2 日射量とパネル表面温度(7 月～9 月)

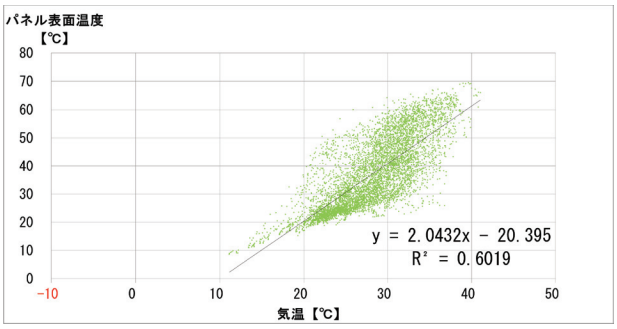


図 3　気温とパネル表面温度(7 月～9 月)

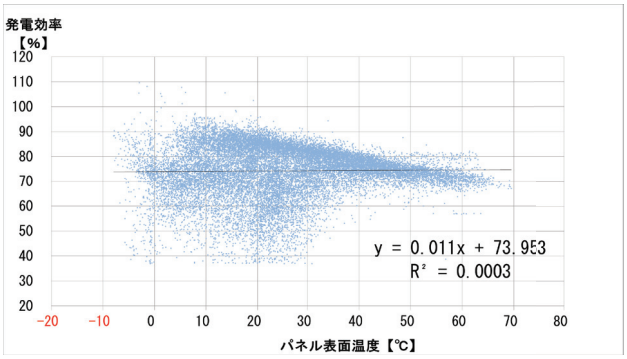


図 4 パネル表面温度と発電効率

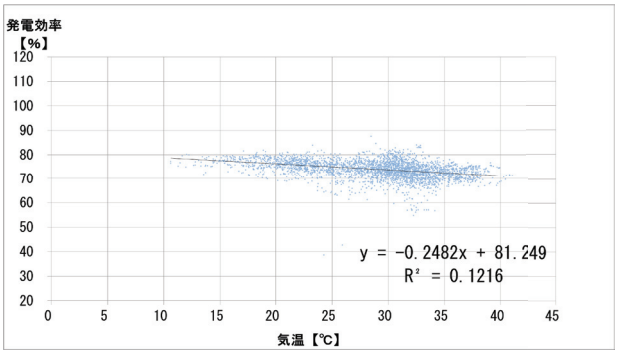


図 5 気温と発電効率（パネル表面温度 40℃以上）

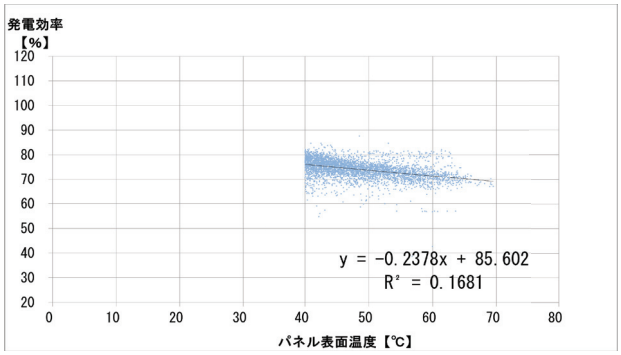


図 6 パネル表面温度と発電効率
（パネル表面温度 40℃以上）

4. おわりに

本研究では、発電効率の実測値と推定値に大きな差があることが確認された。また、パネル表面温度の上昇は気温と日射量双方が要因であるが、7 月から 9 月のような夏場では日射量による影響が強いと考えられた。さらに、パネル表面温度が 40℃以上であれば発電効率はパネル表面温度の上昇に従い低下することも確認できた。本研究では、パネル表面温度の温度上昇による損失のモデルを新たに提案するには至っていないが、実測値と推定値の乖離を小さくするためには、パネル表面温度の上昇の影響をうまくモデルに組み込む必要がある。

なお、降雪量、積雪量なども発電量に影響を与えていると考えられるが、十分に検討できていない。今後はこれらの気象データとの関係を検討する必要がある。また、パネル表面温度が 40℃以上の場合に相関があることは確認できたが、40℃以上で分かれる原因を考察する必要がある。

参照文献

1) JIS：JIS C 8907：2005「太陽光発電システムの発電電力量推定方法

外食の CO_2 排出量の推定方法の提案

A proposal to estimate CO_2 eission of the menus in the restaurant

○森真之[1)]、嵐紀夫[1)]、稲葉敦*[1)]
Masayuki Mori , Norio Arashi , Atushi Inaba
1) 工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

現在、製品のライフサイクルでの温室効果ガス排出量を CO_2 排出量に換算して示すカーボンフットプリントが「CO_2 の見える化」として着目されている。 CO_2 排出量を削減するためには、生活で使用する製品の CO_2 排出量だけでなく、生活の様々な場面での CO_2 排出量を知ることが重要である。そこで著者らは前報[1)]で、具体的な献立（メニュー）を想定し、家庭や外食での食事で発生する CO_2 発生量を定量化する方法を提案した。

まず、家庭での食事の CO_2 発生量は、献立に使われる食材の生産に係わる CO_2 排出量と、それを調理する時の CO_2 排出量の二つから成ると考える。食材からの CO_2 排出量は、食材の使用量に産業連関表を基に分析された CO_2 排出係数[2)]を乗じて算出する。調理による CO_2 排出量は、食材への伝熱係数と調理器具の熱効率を考慮して、「煮る」,「蒸す」,「焼く」などの調理法ごとに調理時間を加味した推算式を提案した。

外食での CO_2 発生量は、メニューごとの調理方法の実態を把握することは困難なので、外食企業の CSR 報告書に記載された年間の電気消費量、ガス使用量、水道使用量にそれぞれの CO_2 排出係数を乗じて CO_2 排出量を求め、これを年間の売り上げ金額で割ることで「売り上げ１円あたりの CO_2 排出量」とし、これに店舗でのそれぞれのメニューの価格を乗じることで CO_2 排出量とした。食材の CO_2 排出量は家庭の食事と同様に、食材の使用量に産業連関表を基に分析された CO_2 排出係数を乗じて算出した。

本研究では、この外食のメニューの CO_2 排出量の推算方法をさらに詳細に検討する。

2. 外食企業の１円当たりの CO_2 排出量

図１に例として外食企業の１円あたりの CO_2 排出量の経年変化を示す。また、表１に CSR 報告書を発行している外食企業の 2010 年または 2011 年の１円あたりの CO_2 排出量を示す。ファーストフード、ファミリーレストランなどの外食の形態により１円あたりの CO_2 排出量が異なることがわかる。

3. 家庭での調理の CO_2 排出量との相関

ここでは、外食企業のメニューの価格を１円あたりの CO_2 排出量に乗じて求めた外食メニューの調理時の CO_2 排出量と、同じメニューを家庭で調理することを想定した場合の CO_2 排出量を比較する。表 2 にファーストフード A 店のメニューの結果を示す。ここではこの企業の 2006 年から 2011 年までの平均をとり、１円あたりの CO_2 排出量を 0.72g-CO_2/円とした。

図 2 に、ここで算出した外食の調理の CO_2 排出量と家庭の調理の CO_2 排出量の関係を示す。また、外食の調理の CO2 排出量を家庭の調理の CO_2 排出量で除した値を「換算係数」と定義し、家庭での調理の CO_2 排出量との関係として図.3 に示す。家庭での調理の CO_2 排出量を算出し、それを基に外食での調理の CO_2 排出量を推定することを試みるためである。

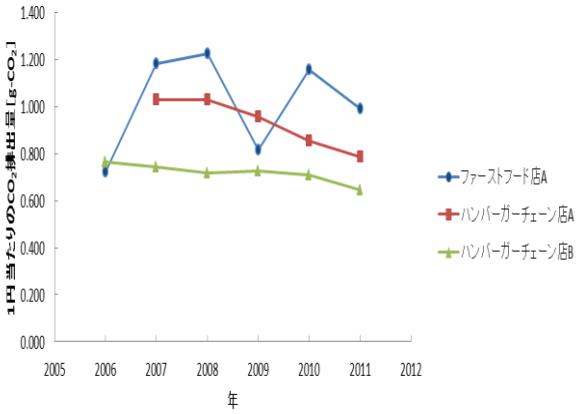


図 1 外食企業の 1 円当たりの CO_2 発生量の経年変化

表 1. 各種外食産業における 1 円当たりの CO_2 発生量

店舗	2010 年	2011 年
ファーストフード店 A	1.15	0.99
ハンバーガーチェーン店 B	0.86	0.79
ハンバーガーチェーン店 C	0.71	0.65
牛丼屋 A	1.34	1.29
牛丼屋 B	0.96	0.87
ファミリーレストラン A	0.59	-
ファミリーレストラン B	1.18	1.11
ラーメンチェーン店 A	0.92	0.83
居酒屋 A	1.15	1.19

表２に示すようにメニューによって換算係数は 1.0 から 8.6 と大きく変化する。また図2 には、外食の調理の CO_2 排出量と家庭の調理の CO_2 排出量の間の相関を見いだすことが困難であることが示されている。

表 2　ファーストフード A 店のメニューの調理の CO_2 排出量と家庭での調理の CO_2 排出量の比較

メニュー	家庭 [g-CO_2]	価格	外食 [g-CO_2]	変換係数
ナゲット（5 ピース）	31.7	380	274	8.6
和風チキンカツサンド	39.3	380	274	7.0
ツイスター（ペッパーマヨ）	26.3	250	180	6.9
ツイスター（てりやき）	26.3	250	180	6.9
ビスケット	21.6	170	122	5.7
コーンサラダ	31.5	220	158	5.0
フライドポテト	31.9	200	144	4.5
カーネルクリスピー (1 ピース)	44.4	170	122	2.8
チキンフィレオサンド	99.6	380	274	2.7
生姜スープ	85.2	290	209	2.5
コーンポタージュ	87.9	290	209	2.4
オリジナルチキン（1 ピース）	85.8	240	173	2.0
たまごのタルト	132.2	180	130	1.0

ここで示した外食の調理の CO_2 排出量の計算は、店舗でのエネルギー使用量をそれぞれのメニューの価格を基準に配分する方法である。一方、家庭の調理の CO2 排出量の算定は、それぞれのメニューの調理方法に従いエネルギー消費量を求める積み上げ法になっている。図2は、この両者の間に相関を見いだすことは困難であることを示していると考えられる。

図 3 を一見すると、家庭の調理での CO_2 排出量が小さいメニューほど換算係数が大きいように見える。たとえば、たまごのタルトは家庭での調理ではオーブンを長時間使用しており CO_2 排出量が多いので換算係数が小さく、ナゲットは調理時間が短く CO_2 排出量が小さいので換算係数が小さく見える。これは、家庭での調理の CO_2 排出量の変動幅（約 7 倍）に比べ、価格の変動幅（約 2 倍)が小さいことに起因している。

4.　まとめ

店舗での年間のエネルギー使用量を年間の売り上げ高で除して１円あたりの CO_2 排出量を求め、それにそれぞれメニューの価格を乗じて外食のメニューの調理の CO2 排出量を算定した。これは、店舗でのエネルギー使用量をそれぞれのメニューの価格を基準に配分する方法である。一方、家庭で調理の CO_2 排出量はそれぞれのメニューの調理方法に従いエネルギー消費量を計算して求めたものである。これら両者の相関を得ることは困難であることがわかった。今後はこの両者をそれぞれ独立に扱うことにしたい。

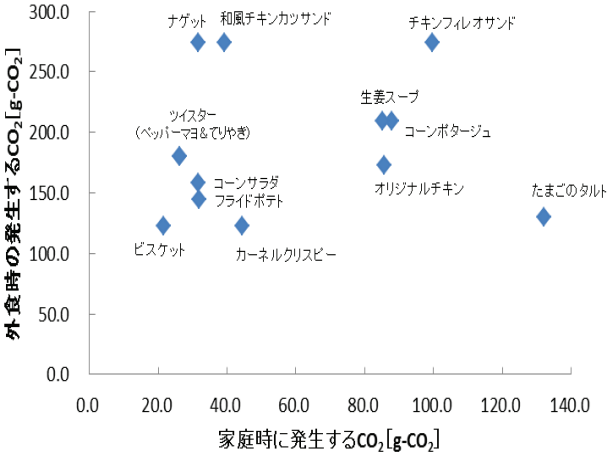


図 2　家庭の調理の CO_2 排出量と外食の調理の CO_2 排出量の関係

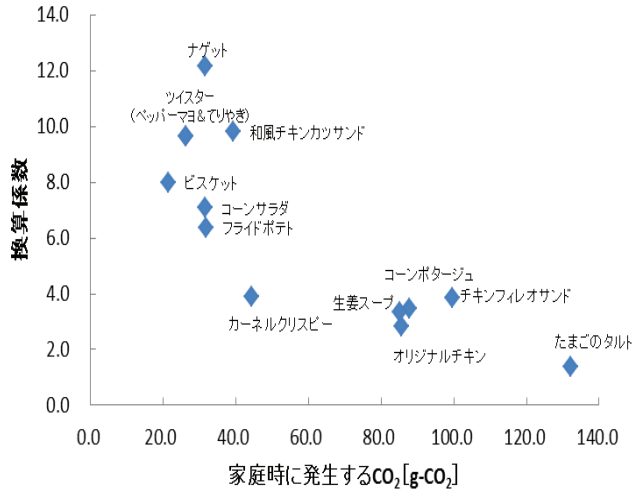


図 3　家庭の調理の CO_2 排出量と換算係数の関係

5.　参考文献

1)風間理応,森本涼子,稲葉敦;ツーリズムにおける食事の CO_2 排出量推計方法の提案,第６回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集,pp.38-39(2010)

2) 味の素株式会社　味の素グループ版「食材関連材料 CO_2 排出係数データベース」<http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf>

露地ナス栽培に対する点滴灌水導入のライフサイクルアセスメント

Life cycle assessment of open field eggplant production with drip irrigation

○渡邊修一[*1)]、志村もと子[1)]、高橋英博[1)]、松森堅治[1)]、林清忠[2)]
*Shuichi Watanabe, Motoko Shimura, Hidehiro Takahashi, Kenji Matsumori, Kiyotada Hayashi
1) 農研機構　近畿中国四国農業研究センター, 2) 農研機構　中央農業総合研究センター
*nabeshu@affrc.go.jp

1. はじめに

点滴灌水は、肥料成分を点滴灌水チューブで作物に供給することにより、適切な養水分管理ができるため、肥料利用率の向上や収量増加などを可能とする技術である。施設栽培への普及は進んでいるが、点滴灌水設備の初期導入費用が高額であることや、システムを稼働させるために商用電源や水量と水圧を確保できる灌漑施設が必要であることから露地栽培での普及は進んでいない。

近年、10a 程度の小規模な露地栽培圃場に導入しやすい安価な灌水装置（日射制御型拍動自動灌水装置；以下拍動灌水装置と略記する、図１）が開発された[1)]。拍動灌水装置は、ソーラーパネルのエネルギーのみで稼働し、使用するポンプも小型であるため、小さな水源でも利用できる。こうした性質から前述した点滴灌水導入に対する制約を取り除くことができるため、露地野菜の生産現場での導入が増えている。

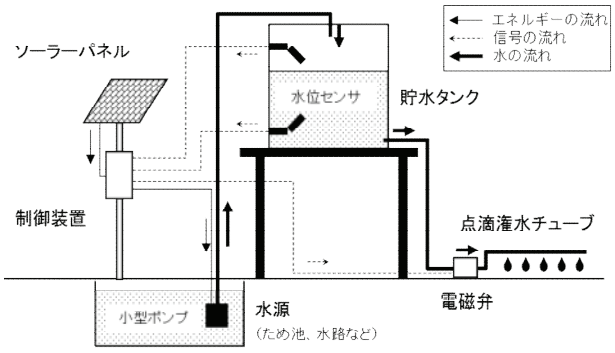


図１　日射制御型拍動自動灌水装置の概略図

ソーラー発電で小型ポンプを駆動し、高所の貯水タンクに揚水。水位の変動に応じて電磁弁を開閉させ灌水を行う。

露地ナス栽培のような窒素施肥量が多く、硝酸態窒素溶脱による地下水汚染が懸念される作目においては、点滴灌水の導入は水環境への負荷低減に効果が期待されている。一方で、点滴灌水では慣行栽培に比べて灌水装置に掛かる資材の投入量が増えることから、地球温暖化の側面からは環境負荷増大が懸念される。そこで、点滴潅漑を導入したナス栽培のライフサイクルでの温室効果ガス（GHG）排出量等を慣行栽培の場合と比較した。

2. 方法

2.1 調査の範囲

本研究で対象とするのは、岡山県での夏秋露地ナス栽培である。栽培体系としては、畝間灌水による栽培（以下「慣行栽培」）と、拍動灌水装置による点滴灌水を導入した栽培（以下「点滴灌水栽培」）について比較した。

評価を行う２つの栽培体系のシステム境界には、育苗から収穫までのナス果実の生産プロセス及び使用する機械や資材の製造を含み、使用する施設・建物の製造、圃場の基盤整備、使用資材等の廃棄、収穫後の流通・消費過程は除外した。

2.2 栽培の概要

慣行栽培での施肥量(kg $10a^{-1}$)は、窒素 64、リン酸 42、カリ 50、点滴灌水栽培では窒素 55、リン酸 46、カリ 49 とした。点滴灌水栽培での追肥では貯水タンクに緩効性肥料を投入し肥料成分を徐々に溶出させることにより灌水同時施肥を行ったため、窒素施肥量を 14%削減した施肥設計とした。いずれの栽培においても牛ふん堆肥の施用量は 3,000kg $10a^{-1}$（水分率 41%、窒素 1.2%、リン酸 2.2%、カリ 2%）とした。

慣行栽培における畝間灌水は、圃場横の農業用水から導水し、動力ポンプなどの機械は用いなかった。点滴灌水栽培においては、図１の拍動灌水装置を使用し、水源は圃場横の農業用水を用いた。

2.3 インベントリ分析

インベントリ分析では、農業機械、種苗、資材等の使用量については、岡山県農業経営指標[2)]の作目別標準指導指標に記載された露地ナス栽培の情報を用いた。また、肥料、農薬、収量については岡山県内の夏秋ナス栽培農家について当該地域の普及指導担当者からの聞き取りデータを用いた。

農業機械や圃場資材の耐用年数は農業経営指標に記載されたものを用いた。拍動灌水装置の導入に必要な資材の耐用年数については、ソーラーパネルは７年、電磁弁は５年、制御装置は７年、点滴灌水チューブは２年、塩ビ管、PE 管などの配管資材は５年とした。

GHG 排出量の算出は簡易 LCA プログラム「産業連関表の排出係数等を用いた簡易型 LCA（SimpleAgriLCA-Veg）」[3)]を用いた。ただし、肥料、農薬の排出係数については、JALCA データベース[4)]のシステムプロセスの値

等を用いた。農作業・ハウス管理からの排出量（化石燃料の燃焼）及び機械・肥料等製造時の排出量を二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）、一酸化二窒素（N_2O）ごとに算出し、CO_2 あたりに換算した。温暖化係数(GWP)は、IPCC 第4 次評価報告書に記載された100 年GWP を用いた。排出量は慣行栽培、点滴灌水栽培の両者について、単位面積当たりと収穫物の単位重量当たりで算出した。

圃場試験での N_2O 発生量のモニタリングにより、点滴灌水栽培では N_2O 発生量が減少するという結果が得られたので、同プログラムにおける施肥由来 N_2O 排出量に関しては、2012 年の圃場試験において実測された排出係数を用いて試算した。

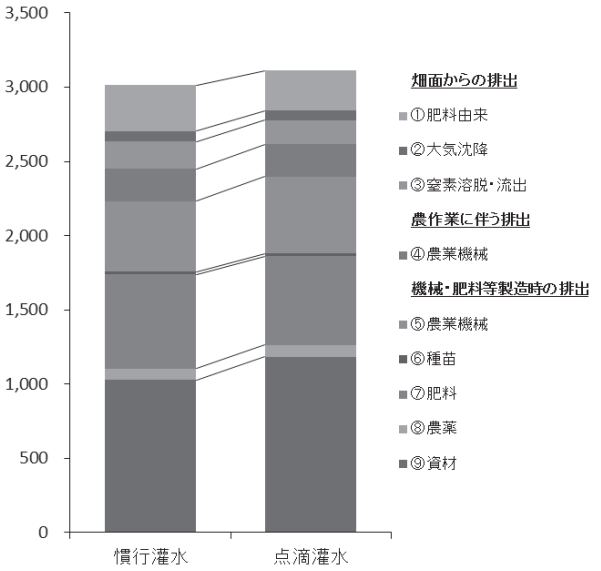


図２　露地ナス栽培における 10a あたりの温室効果ガス排出量 (kg CO_2 eq. $10a^{-1}$)

3.　結果

点滴灌水栽培では、窒素を減肥した効果から、肥料製造時の CO_2 排出量と肥料由来、大気沈降、窒素溶脱・流出に基づく畑面からの N_2O ガス発生量は減少した。しかし、拍動灌水装置と配管に必要な資材が増加した分、資材製造時の CO_2 排出量が増加した。この結果、拍動灌水装置を用いた点滴灌水を露地ナス栽培に導入した際のGHG 排出量は、10a あたりで比較すると、慣行灌水に比べ増加した（図２）。ただし、点滴灌水栽培でナス収量が１割増収したため、ナス収穫物 1kg あたりの GHG 排出量は減少した。

ここで、施肥由来 N_2O 排出係数(kg N_2O-N/kg N) ; 0.0062 の代わりに、圃場試験で実測した N_2O ガス発生量から点滴灌水の排出係数（慣行 ; 0.0032、拍動 ; 0.0012）を用いて試算したところ、点滴灌水栽培では合成肥料由来の N_2O 排出量が低下した。また、溶脱・流出する窒素量については、1996 年改訂 IPCC ガイドライン[5]に示されたデフォルトの溶脱・流出割合は 0.3 であるが、点滴灌水による肥料利用効率は非常に高いため、追肥窒素の利用効率を 100%とした場合には、溶脱・流出に基づく N_2O ガス発生量は、慣行の 0.8 倍となり、畑面からの GHG 排出量は、４割程度低下する結果となった（図３）。

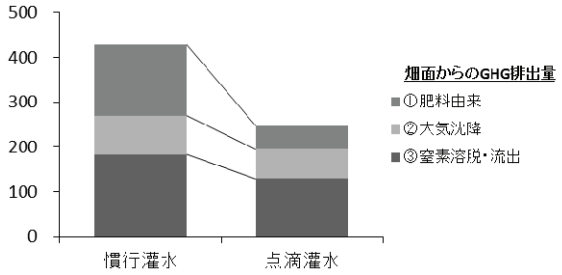


図３　実測値等に基づく畑面からの温室効果ガス排出量 (kg CO_2 eq. $10a^{-1}$)

4.　おわりに

露地栽培において、夏季の高温や水管理の失敗による収量減や品質低下を回避するために、点滴灌水技術は、有効な手段であるが、畝間灌水や手灌水あるいは従来型の散水チューブをもちいた灌水などが行われているのが現状である。

点滴灌水導入のライフサイクルアセスメントから環境面での優位性や改善点を抽出することで、技術の導入促進に貢献できればと考えている。また、本研究では、GHG 排出量についての評価を行ったが、今後、富栄養化への影響や、ウォーターフットプリントなどの側面からの評価にも取り組みたい。

5.　謝辞

本研究は農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実施した。また、岡山県東備農業普及指導センター山砥健氏と桐野菜美子氏に生産者の栽培データの提供等ご協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1)　吉川弘恭・中尾誠司：近中四農研センター研究資料, 7, (2010), pp.21-31
2)　岡山県農林水産部：農業経営指導指標 平成 22 年度, (2011), pp150-151
3)　独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター：“経営指標から環境指標を計算する簡易 LCA プログラム”，（オンライン），入手先 http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2010/narc10-08.html, (参照 2012-12-19)
4)　Hayashi K., Shobatake K., Makino N., Hokazono S.: Proc. 10th Int. Conf. EcoBalance, Yokohama, (2012), pp. 2
5)　IPCC「1996 年改訂 IPCC ガイドライン」（1997 年）

堆肥施用により無機肥料を削減したキャベツースイートコーン生産体系におけるLC-GHG排出量の推計

Estimation of life cycle greenhouse gas emissions from cabbage-sweet corn rotation systems with reduced chemical fertilizers

○辻正樹*[1)]、池田彰弘[1)]、糟谷真宏[1)]、志村もと子[2)]、林清忠[3)]
*Masaki Tsuji, Akihiro Ikeda, Masahiro Kasuya, Motoko Shimura, Kiyotada Hayashi
1) 愛知県農業総合試験場,2) 農研機構　近畿中国四国農業研究センター,3) 農研機構　中央農業総合研究センター
*masaki_tsuji@pref.aichi.lg.jp

1. はじめに

農業生産現場において、近年、肥料価格高騰への対応や環境負荷軽減のため、化学肥料の使用量削減が求められている。一方、露地野菜の生産圃場では、地力の減退を招きやすく、有機物補給のため家畜ふん堆肥の施用が推奨されている。しかし、堆肥投入圃場に化学肥料が通常量施用されると窒素成分量の過多となり、水質悪化の原因となる硝酸態窒素の溶脱量が増加してしまう。また、投入窒素量の増加は、畑面からの一酸化二窒素（N_2O）の排出量を増大させるため、地球温暖化の面からも環境への負荷が懸念される。そこで、愛知県農業総合試験場では、露地野菜畑において家畜ふん堆肥を連用しながら養分収支に基づいて化学肥料を削減できる肥培管理技術の開発を進めてきた。その結果、野菜の収量を維持しながら化学肥料の施肥量を低減できることを明らかにした[1)]。

本報告では、露地野菜栽培において家畜ふん堆肥を利用した施肥削減技術が、地球温暖化の側面から環境に与える影響を明らかにするため、ライフサイクルでの温室効果ガス(GHG)排出量の推計を試みた。

2. 方法

2.1 調査の範囲

本研究では、冬作にキャベツを夏作にスイートコーンを作付する栽培体系において、化学肥料のみを使用して栽培する体系（以後「化学肥料体系」）と、堆肥を施用して化学肥料の使用量を削減する体系（以後「堆肥減肥体系」）を比較した。

評価を行う２栽培体系のシステム境界には、播種から収穫・出荷までのキャベツ及びスイートコーンの全生産プロセス及び使用する機械や資材の製造、施設・建物の製造を含み、圃場の基盤整備、使用資材等の廃棄、市場出荷後の流通・消費過程は除外した。

2.2 栽培体系

２つの栽培体系の化学肥料使用量について、化学肥料体系は豊橋農業協同組合の栽培暦の施肥量を使用し、堆肥減肥体系は、愛知県農業総合試験場東三河農業研究所において2005年から継続して試験を行っている堆肥連用試験の結果[1)]をもとに、窒素減肥量を設定した。この堆肥連用試験では、毎年冬作のキャベツ作付け前に牛ふん堆肥を30t/ha（水分率50%）施用し、養分収支に基づいて化学肥料を削減したところ、冬作のキャベツでは窒素肥料を1割、夏作のスイートコーンでは5割削減しても、作物収量はむしろ増加することがわかった。そのため、堆肥減肥体系は、冬作キャベツで窒素肥料を1割、夏作スイートコーンで5割削減する栽培体系とし、作物収量は1割増収するとした。

2.3 インベントリ分析

本研究では、愛知県東三河農林水産事務所農業改良普及課が作成した経営体育成モデルをもとに、農業機械、種苗、肥料、農薬、資材等の使用量を試算して、インベントリ分析を行った。経営体育成モデルでは、耕地面積3haの家族経営体と耕地面積5haの企業的経営体の2種類の経営体がある。インベントリ分析も2種類の経営体について行った。

農業機械や育苗ハウスの耐用年数は、農家の実情を考慮して法定耐用年数の2倍とした。育苗ハウスの被覆フィルムは5年間使用するものとして、1年分を計上した。企業的経営体の基肥は施肥効率の高いうね立て同時部分施肥技術を利用するとして化学肥料体系、堆肥減肥体系どちらも3割減肥とした。堆肥減肥体系では、堆肥投入のための運搬・耕うんによる燃料消費量を加算した。

温室効果ガス排出量の算出は簡易LCAプログラム「産業連関表の排出係数等を用いた簡易型LCA（SimpleAgriLCA-Veg）」[2)]を用いた。ただし、肥料、農薬の排出係数については、JALCAデータベース[3)]のシステムプロセスの値等を用いた。農作業・ハウス管理からの排出量（化石燃料の燃焼）及び機械・肥料等製造時の排出量を二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）、一酸化二窒素（N_2O）ごとに算出し、CO_2あたりに換算した。排出量は家族経営体と企業的経営体それぞれに、単位面積当たりと収穫物の単位収量当たりで算出した。

3. 結果

露地野菜では大型トラクタや移植機等の機械が必要であり、単位面積当たりのGHG排出量は機械製造時の排出量の割合が多くなった（図１）。また、育苗ハウスの被覆

フィルム及び出荷用段ボールの資材製造時の排出量が多い傾向であった。

栽培体系での比較では、堆肥減肥体系は、化学肥料の使用量が減少して肥料製造時の排出量が低減した反面、堆肥投入に伴う畑面からの N_2O 排出量が増加したことと、堆肥製造時の排出量が増加したため、単位面積当たりの GHG 排出量は増加した。また、企業的経営体は家族的経営体に比べて作付面積が大きいため育苗ハウスの面積も大きく、ハウス壁面に使用する被覆フィルムの使用量が多いため排出量が多くなった。しかし、単位収量当たりの排出量は、堆肥減肥体系では作物収量が 1 割増加したことから化学肥料体系に比べて減少した（図２）。

作物毎の GHG 排出量は、キャベツよりスイートコーンの方が多くなった（図３，図４）。これは、キャベツの収量がスイートコーンより約 3 倍多いためである。また、キャベツよりスイートコーンの方が栽培体系の違いによる排出量の差異が大きくなった。これはスイートコーンの施肥削減率が大きかったため、畑面からの N_2O 排出量と肥料製造時の CO_2 排出量に差が生じたためである。

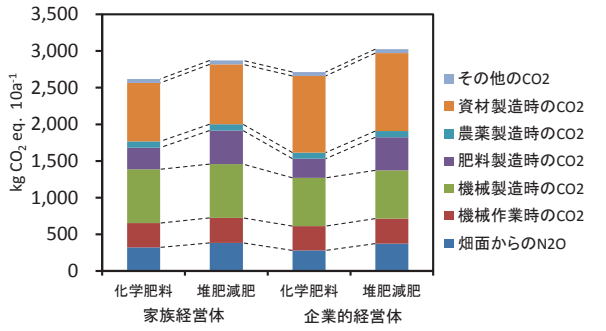


図１　単位面積当たりの GHG 排出量

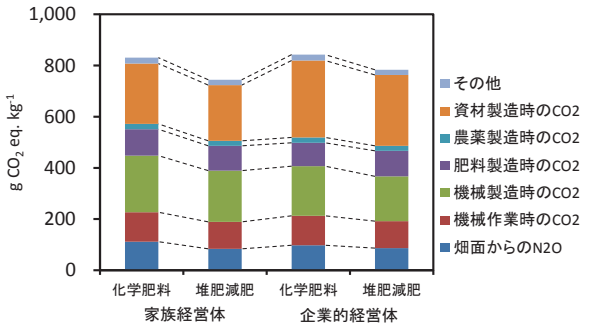


図２　単位収量当たりの GHG 排出量

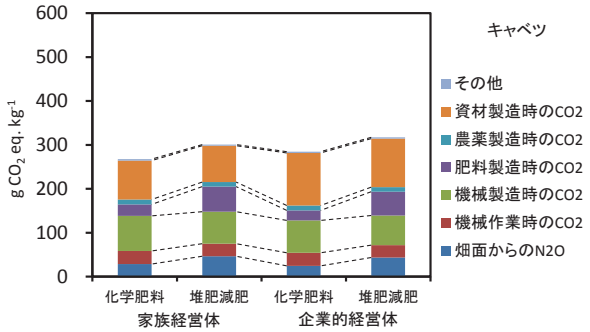


図３　キャベツ作における収量当たり GHG 排出量

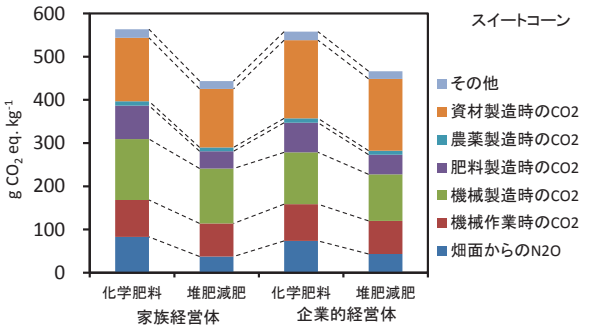


図４ スイートコーン作における収量当たり GHG 排出量

4.　おわりに

本研究では、キャベツースイートコーン生産体系において堆肥を施用して化学肥料の使用量を削減することによる GHG 排出量の増減を明らかにした。化学肥料の削減による GHG 排出量の低減効果が大きいことがわかったが、堆肥投入に伴う N_2O 排出量や堆肥製造時の排出量の増加等、GHG 排出量の増大が懸念される要因も明らかとなった。しかし、堆肥減肥体系では作物収量の増加が見込めるため、単位収量当たりで比較すると GHG 排出量は大幅に低減されると評価できる。

また、堆肥施用に伴う畑面からの N_2O 排出量を算出するうえで、土壌面からの排出係数は化学肥料と同値が用いられている[4]が、牛ふん堆肥施用時の排出係数は化学肥料より低い傾向があるとの報告[5]もある。さらに、堆肥施用により土壌中の炭素含量は増える傾向にあり[1]、CO_2 のシンクとしての効果も考慮する必要がある。そのため、今後これらの要因について検討を進め、家畜ふん堆肥を利用した施肥削減技術の LC-GHG を精査していく必要がある。

なお、本研究は農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実施した。

参考文献

1) 糟谷真宏, 荻野和明, 廣戸誠一郎, 石川博司, 鈴木良地：愛知農総試研報，43，(2011)，pp.137-149
2) 林清忠：“経営指標から環境指標を計算する簡易 LCA プログラム” 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構，（オンライン），入手先 http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2010/narc10-08.html,(参照 2012-12-19)
3) Hayashi K., Shobatake K., Makino N., Hokazono S.: Proc. 10th Int. Conf. EcoBalance, Yokohama, (2012), pp. 2
4) 温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）：“日本国温室効果ガスインベントリ報告書”，(2012)
5) 佐野智人ほか：日本土壌肥料学会，鳥取市，(2012)，pp.187

植物工場の CO_2 排出量の推定と経済的評価

The Estimation of CO_2 emission for Biofactory

○渡井涼祐、嵐紀夫[1)]、稲葉敦*[1)]
Ryosuke Watai, Norio Arashi,Atsushi Inaba
1) 工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

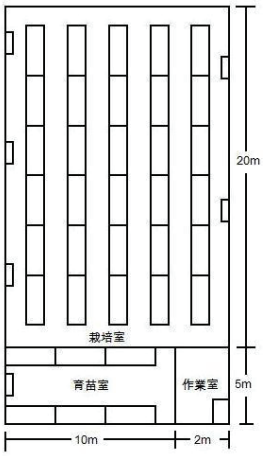
現在、人工光を用いて栽培する植物工場が普及し始めている。植物工場は季節や天候に関係なく野菜を栽培する事が出来るので注目を浴びている。植物工場は、閉鎖環境で人工光を利用する完全人工光型と温室等の半閉鎖環境で太陽光を利用する太陽光利用型の2つに分類され、完全人工光型は人工光を多く使用するために CO_2 排出量が多くなってしまう。本研究では CO_2 排出量が多い完全人工光型植物工場に着目する。

現状では人工光の多量使用などにより工場の設置や運営などのコストが高く、経済産業省や農林水産省等から補助金を受けている所が多い。そこで植物工場が経済的に自立するかどうか検証するためにモデル化を行い、CO_2 排出量並びにコストを調べ、DCF 法で投資による収益を評価し、今後の植物工場のあり方を検討する。

2. 植物工場のモデル化によるコストの推定と DCF 法

2.1 植物工場のモデル化

CO_2 排出量とコストを調べるにあたって、植物工場建築から 10 年後までを想定しモデル化する。工場は面積 300m^2 の中型でリーフレタスを栽培するものとする。人工光は蛍光灯を使い、栽培方法は水耕栽培とする。生産量の計算式は2.2(2)に示す。図1にモデル化した工場の平面図を示す。



設置面積：300m^2
栽培面積：583.2m^2
栽培棚：30 台
育苗棚：6 台
エアーシャワー：1 台
エアコン：6 台
従業員：5 名
生産量：303,264 株

図１　植物工場モデル図

2.2 植物工場のコスト計算

植物工場を東京都に建てると想定し、建屋の工事費、内装設備コスト、運営コストを計算する。

(1)設置コスト

植物工場は発泡ウレタンの壁で造られたものとし、m^2 当たりの工事費を求める。

42,042 円/m^2×300m^2＝12,612,600 円

となる。

(2)設備コスト

工場の設備としてエアーシャワー、エアコン、栽培棚、運送用の軽トラックを用意する。栽培棚は鋼板を購入して制作し、その他の設備については市販のものを用いる。内装工事は電工、配管工、設備機械工を手配し、工賃については積算資料 [2)]に掲載されている公共工事設計労務単価と材料費から計算する。

栽培棚は 2.7m×2.2m×1.26m（横×高さ×奥行き）の多段式（5 段）を 36 台造る。その内の 6 台は育苗用に使い、残りの 30 台は栽培用に使う。栽培用の棚は、一段につき苗を 24 本定植出来る栽培パネル（60cm×90cm）を 6 枚置けるので

6 枚×5 段×30 台×24 本＝21,600 本定植出来る。

さらに、リーフレタスの収穫日数（苗から収穫まで）を 20 日とすると一年間の定植可能数は

20 日/312 日×21,600 本＝336,960 本となる。

312 日は土日を除いた勤務日数とする。また、歩留まり率 90%としたときの生産量は 303,264 株となる。

この栽培棚を鋼板 SM400A で造ると材料費として 1 台当たりのコストは 225,307 円となる。別途、工賃として総額 2,066,400 円。さらに、蛍光灯 432,000 円、エアーポンプ 264,600 円の設備も取り付け、棚 36 台分のトータルコストとしては 10,874,052 円となる。

建屋の設置コストと設備コストを合わせたトータルコストは 28,383,682 円となる。

(3)運営コスト

運営コストはエネルギーコストとその他のコストに分類する。

(3-1)エネルギー消費量とコスト

各エネルギーのコストを表 1 に示す。

エアーシャワーは 1 回当たり 1 分間稼働し、1 日に 6 回使用するものとする。

0.8kw×6 回×1h/60×+0.02kw×24h= 0.56kWh/日

0.56kWh/日×365 日＝2.04×10^{2}kWh/年

エアコンは一日中稼働させ、全部で 6 台使用する。

2.92kWh/日×6台×24h×365日＝1.53×10^{5}kWh/年

人工光には蛍光灯を用い、1日に16時間稼働させる。

40×10^{-3}kW×2160本×16h/日×365日＝5.05×10^{5}kWh/年

エアーポンプは一日中フル稼働させる。

40W×1/1000×24h×365日×6台=2102.4kWh

水の使用量は、同規模の既設の工場の単位面積当たりの必要使用量を基に計算する。

2.565m^3/年・m^2×300m^2=769.5m^3/年

ガソリンの使用量は往復 10km の出荷先に軽トラック（燃費 17.2km/L）で毎日出荷すると仮定して計算する。

10km×312日/17.2km/L×143.1円/L=25,958円/年

表１　各エネルギーのコスト

エネルギー	消費量	コスト	CO_2排出量
電気	660, 154kWh	10, 892, 534円	294, 429kg-CO_2
水道	770m^3	153, 900円	539kg-CO_2
ガソリン	181L	25, 958円	421kg-CO_2

(3-2)その他運営コスト

材料費、肥料費、包材費は生産株一本あたりの必要量を基にコストから計算する。人件費は月給20万で5人雇うものとする。種苗費は種一個あたり0.1円で計算する。消耗品費は2年で寿命の切れる蛍光灯の交換費用。廃棄物処理費は廃蛍光灯の処理費用で1本あたり40～45円かかる。維持費は軽トラックの車検で2年に1回50,890円かかる。物流費は出荷に伴うガソリンの使用量から計算する。表2にその他の運営コストを示す。

表２　その他運営コスト

材料費	353,808円
肥料費	201.182円
包材費	3,097,895円
人件費	12,000,000円
種苗費	33,696円
消耗品費	216,000円
廃棄物処理費	9,180円
維持費	25,445円
物流費	25,958円

エネルギーとその他の運営コストを合わせたトータルコストは27,009,598円となる。

2.3　ディスカウントキャッシュフロー法（DCF法）

設備投資をする上で、その投資による収益を考えるために DCF 法を用いる。見積もったコストと売上から 10 年後に投資額を回収できる販売単価を推定する。

表２　DCF法による評価

	0	1	2	…	10
販売量		288,684	303,264		303,264
販売単価		130	130		130
変動費		26,983,640	26,983,640		26,983,640
販売管理費		25,958	25,958		25,958
売上		37,528,920	39,424,320		39,424,320
利益		10,519,322	12,414,722		12,414,722
法人税		5,259,661	6,207,361	…	6,207,361
税引後利益		5,259,661	6,207,361		6,207,361
金利		1,419,184	1,419,184		1,419,184
設備投資費	28,383,682				
CF	-28,383,682	3,840,477	4,788,177		4,788,177
割引率		10	10		10
現在価値	-28,383,682	3,491,343	3,957,171		1,846,050
累積現在価値	-28,383,682	-24,892,339	-20,935,168		176,048

法人税は利益の 50%、割引率は 10%、金利は 5%と仮定する。

DCF 法の結果、表 2 のように 1 株当たりの価格を 130 円にすると 10 年後には投資額を回収できる事が分かる。

投資額回収の年数を 5 年後とするならば、価格を 150 円/株にすると可能である。

さらに、DCF 法の結果で設備コストの増減より収穫量や運営コストの増減の方が生産コストに大きく影響することがわかる。

2.4　植物工場の CO_2 排出量の推定

植物工場から発生する CO_2 排出量を表 1 に示した。CO_2 排出量合計は 295,388 kg-CO_2、生産株数で割ると、リーフレタス 1 株当たりの CO_2 排出量は 12 kg-CO_2 となる。

3.　まとめ

本研究での植物工場のモデル化では、リーフレタス 1 株栽培するのに生産コスト 96 円、CO_2 排出量 12 kg-CO_2 という結果になる。CO_2 排出量は、やはり電気消費量に大きく起因することもわかる。

このモデル化植物工場は、栽培に蛍光灯を使い、特に野菜の付加価値等は考慮していない。しかし、栽培数全部を売り切ったという仮定での計算なので、今後は植物工場産野菜ならではの、付加価値を付けた売れる野菜を販売する等の工夫も考えるべきである。

また、DCF 法の結果から、野菜の生産量を増やしたり高効率照明で照射時間を減らして電気代を抑えたりすると生産コスト低減の効果が期待出来ると考えられる。さらに照射方法も工夫すれば、栄養価を高くするなど野菜の高付加価値も期待が出来る。すると結果的に CO_2 排出量も抑えられて植物工場産野菜の価値も高くなるのではないかと考えられる。

参考文献

1) 建築着工統計調査 2011 年度
http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001088653&requestSender=search

2) 「月刊積算資料」,一般財団法人　経済調査団,第 1254 号,p.896（2012）

3) 東京電力の CO_2 排出量および CO_2 排出原単位の実績、および CO_2 排出原単位の自主目標と達成状況について
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120731j0201.pdf

4) CO_2 排出係数
http://www.eco.pref.nara.jp/sengen/pdf/co2.pdf

5) 二酸化炭素（CO_2）排出量算定係数表
http://www.jt-sys.co.jp/business/keisuu.html

謝辞
植物工場のコスト計算にあたって、(株)GNH 工房の大山氏に助言を頂きました。感謝します。

植物工場生産野菜におけるライフサイクル温室効果ガスとウォーターフットプリントの評価

Comprarative evaluation of LC-GHG emissions and Water footprint of vegetables produced in plant factories

○辻岡醇*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Atsushi Tsujioka, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
*rv0004hf@ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、異常気象による野菜価格の変動や食材の安全性への関心、光源などの技術革新により植物工場に参入する企業が増加している。植物工場は、気象条件の影響を受けず安定生産、無農薬化が可能であり、露地栽培に比べ水資源消費が少ないという利点がある。その反面、野菜生産におけるエネルギー消費が大きいとされる。

そこで本研究では、完全制御型植物工場で生産される2種類の野菜を対象とし露地栽培と2種類の光源の植物工場のそれぞれで生産される際のライフサイクル温室効果ガス（以下 LC-GHG）とウォーターフットプリント（以下 WF）を比較評価することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 LC-GHG の算定

本研究の対象作物を「レタス、ほうれんそう」の2種類とする。システム境界（図1）は生産段階のみとする。露地栽培における対象作物の生産に使用した資材は広島県、長野県の農業経営指標[1-2)]のデータを使用する。

計算方法は、燃料・肥料・農薬に分類し、カーボンフットプリント制度試行事業用 CO_2 換算量データベース[3)]の原単位（表1）を使用し、農業機械は環境負荷原単位データブック（3EID）を使用し行った。

植物工場における研究対象は、光源が LED、蛍光灯の2種類とする。計算方法は露地栽培と同様の方法で行う。

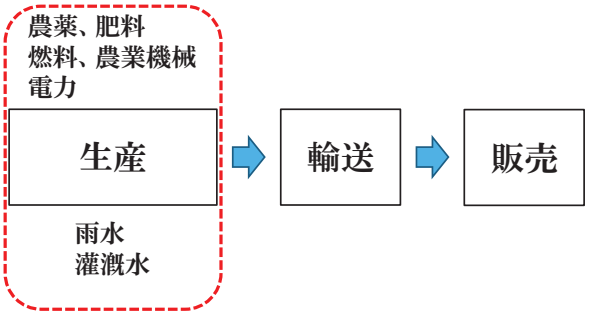


図1　システム境界

表1　GHG 排出原単位表

カテゴリ	原単位名	単位(kg-CO_2eq/kg)
燃料	ガソリン	2.66E+00
	軽油	2.74E+00
肥料	複合肥料(N成分)	1.12E+01
	複合肥料(P成分)	7.17E-01
	複合肥料(K成分)	2.95E-01
	硫酸マグネシウム	1.02E+00
	過リン酸石灰	2.52E-01
農薬	殺菌剤	7.27E+00
	殺虫剤(液)	4.14E+00
	殺虫剤(粉)	2.55E+00
		単位(kg-CO_2eq/万円)
農業用機械	農業用機械	3.13E+01

2.2 WF の算定

WF は雨水（green water）、灌漑水（blue water）、希釈水（gray water）の合計値とする。green water と blue water の直接投入量は、国際連合食糧農業機関（FAO）の作物係数[4)]（表2）と農業環境技術研究所の基準蒸発散量[5)]の値を使用した。計算方法は以下の式[6)]である。

蒸発散量≦雨量のとき
green water＝蒸発散量
蒸発散量≧雨量のとき
blue water＝蒸発散量 － 雨量、green water＝雨量
雨量と蒸発散量は日ごとのデータを用いる。

希釈水とは、農地から流出した窒素・リン負荷を環境省が定めている一律排出基準値（表3）まで希釈するための水量である。窒素・リン負荷は、農地へのインプットと農地からのアウトプットの差で表される。インプットとしては、施肥窒素量と施肥リン量、西尾[7)]の雨・灌漑水中の窒素・リン量・土壌の固定窒素量[7)]とし、アウトプットは作物への吸収と脱窒とする。窒素の負荷量の 20%、リンの負荷量の 5%が富栄養化に影響を与えるものとする(外園ら)[8)]。それらで表された希釈水のうち大きい値を WF の gray water とする。

表2　作物係数

作物	作物係数(初期)	作物係数(中期)	作物係数(終期)
レタス	0.7	1	0.95
ほうれんそう	0.7	1	0.95

表３　一律排出基準

生活環境項目	許容限度
窒素含有量	120mg/L(日間平均60mg/L)
リン含有量	16mg/L(日間平均16mg/L)

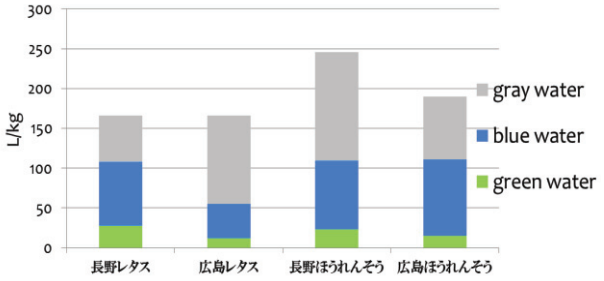


図３　WF 算定結果

3.　結果

3.1 LC-GHG の結果

露地栽培の各地域、各作物の LC-GHG 量を図２に示す。長野県レタスが 0.19kg-CO_2eq/kg、広島県レタスが 0.22kg-CO_2eq/kg となった。広島レタスの値が大きくなったのは単収の差が関係していると思われる。ほうれんそうについては長野県が 0.48kg-CO_2eq/kg、広島県が 0.40kg-CO_2eq/kg となり合計値にはほとんど差がみられないが、その内訳は異なっている。これは使用する機械の種類数と農家の栽培規模の大きさに関係していると思われる。作物の差については、ほうれんそうの値が長野県、広島県とともに大きくなっている。これは、ほうれんそうが酸性に弱い作物のためレタスと比べ石灰質肥料が多く使用されていることと、土壌の消毒のための農薬の使用量が大きくなっていることが関係している。燃料に関しては、ほうれんそうの方が作業時間は長いためガソリンと軽油の使用量が大きくなり LC-GHG の値が大きくなっている。

3.2 WF の結果

WF の算定結果を図３に示す。長野県レタスは 166L/kg、広島県レタスは 166L/kg、長野県ホウレンソウは 245L/kg、広島県ホウレンソウは 190L/kg となった。green water と blue water は栽培日数や単収の違いによる影響による差が関係していると考えられる。またどの作物でも gray water が約 40%~70%を占めており、露地栽培で施肥の影響が大きい。また gray water では、長野県ほうれんそうと広島県レタスの全体との割合が大きくなっている。その理由としては、窒素施肥の値が大きくなっているためである。

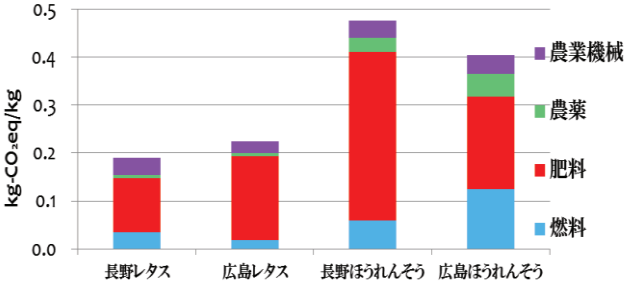


図２　LC-GHG 算定結果

4.　おわりに

本研究では、露地栽培における LC-GHG と WF の分析・評価を行った。植物工場に関する分析・評価、露地栽培との比較は学会当日に報告する。

今後の課題としては、環境負荷項目を増やし、影響領域を広げるとともに、インパクト評価も実施する必要がある。

参考文献

1)　広島県：“農業経営指標”, 広島県 HP
<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/life/16/28/119/>
(2012-6-12)
2)　長野県：“農業経営指標”
<http://www.alps.pref.nagano.lg.jp/keiei/index.htm>
(2012-6-12)
3)　カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムプログラム：CFP 算定用二次データ
< http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>
(2012-7-10)
4)　Richard.Gallen:“FAO Irrigation and drainage paper 56”, (1998)
5)　農業環境技術研究所：モデル結合型作物気象データベース　<http://meteocrop.dc.affrc.go.jp/>
(2012-7-11)
6)　砂川直也：“日本 LCA 学会”, 2012,東京理科大学野田キャンパス,pp376-377
7)　西尾道徳：日本農業の展開と土壌の変化、農業および園芸、73(1),pp83-95(1998-01)
8)　外園信吾・林清忠: 日本 LCA 学会誌,8(1),(2012),pp2-13

食に関するサプライチェーンの環境負荷分析

Environmental Load Analysis of Food Supply Chain

○丸山多聞[1)]、中谷隼*[1)]、森口祐一[1)]
Tamon MARUYAMA, Jun NAKATANI, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学
*nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

食料品の消費に伴う間接的な CO_2 排出量は、単位金額あたりでみればそれほど大きくないが、需要額が大きいため、家計消費が誘発する CO_2 排出量のうち少なくない割合を占めている。また、内食・中食・外食といった食生活の違い、食品の売り方の違い、食材の調理方法の違い、食材の加工度の違いなどによって環境負荷の発生量と発生場所は異なってくる。

そこで、本稿では食料品にかかわる産業に焦点を当て、食品の生産から流通、販売といったサプライチェーンの中のどの部門から環境負荷が発生するのかを産業連関表を用いたIO-LCAによって分析及び可視化した。

2. 方法

2.1 3EIDを応用した環境負荷の構造の可視化

2005年版3EIDの輸入品国産仮定型の内包型環境負荷原単位（生産者価格基準）[1)]を用いて特定の部門 k に1単位の需要が発生した時の環境負荷の排出源を分析した。以下、上記の原単位を単に「環境負荷原単位」と記す。

まず、環境負荷原単位の誘発部門別内訳の403×403の行列の列を、対応する部門の内包型環境負荷原単位で割り、それぞれの列和を1にする（この行列を G とする）。次に、環境負荷原単位の投入部門別内訳から分析対象とする部門 k の列を取り出し、この列の要素を k 行 k 列の対角成分、その他は0とした403×403の対角行列 H を作る。$G \times H$ が部門 k における環境負荷の排出経路を表した403×403の行列となる。

この行列 $G \times H$ の各要素（i , j）に着目すると、その要素が含まれている行の部門 i がサプライチェーンの上流側の産業であり、その要素が含まれている列の部門 j に誘発されて、要素（i , j）の値に等しい環境負荷を排出して生産を行い、さらにその部門 j が分析対象とする部門 k に対して生産を行っていることを意味する。また、行列 $G \times H$ のすべての要素の和に部門 k の単位直接 CO_2 排出量を加えると部門 k の内包型環境負荷原単位となり、行列 $G \times H$ の行和は誘発部門別内訳、列和は投入部門別内訳に一致する。

403×403の行列のままでは排出構造の理解が困難なため、可視化にあたっては2005年度版産業連関表[2)]の統合大分類に従って34×34の行列に統合した。さらに、この34部門（大分類）の中で、本稿で対象とした4部門への温室効果ガス排出量の寄与が少ない12部門を1つの部門に統合し、最終的に23×23の行列を作成した。統合された部門の番号は、表1の対応表に示した通りである。部門を統合して作成した35番を除き、2005年度版産業連関表の統合大分類における部門番号と一致させた。

表1　部門の番号対応表

01	農林水産業	19	建設
02	鉱業	20	電力・ガス・熱供給
03	飲食料品	21	水道・廃棄物処理
05	パルプ・紙・木製品	22	商業
06	化学製品	24	不動産
07	石油・石炭製品	25	運輸
08	窯業・土石製品	26	情報通信
09	鉄鋼	28	教育・研究
10	非鉄金属	31	対事業所サービス
11	金属製品	32	対個人サービス
18	その他の製造工業製品	34	分類不明
35	繊維製品、一般機械、電子機械、情報・通信機器 電子部品、輸送機械、精密機械、金融・保険、公務 医療・保険・社会保障・介護、その他の公共サービス 事務用品		

2.2 環境負荷の詳細な経路分析の準備

2005年度版産業連関表の投入係数表Aをもとに、これをn回乗じたもの（$A, A^2, A^3 \cdots A^n$）を作成した。これらに部門 i の最終需要 f_i を乗じてサプライチェーンのn次の波及先の生産額を計算した。

2.3 分析対象とした部門および環境負荷の種類

3EIDで分類されている403部門のうち、本稿では「レトルト食品」、「そう菜・すし・弁当」、「清涼飲料」、「一般飲食店（除喫茶店）」の4つの部門を例にとって分析を行った。環境負荷の種類として、エネルギー起源の CO_2、エネルギー起源以外の CO_2、CH_4、N_2O の4種類とした。

3. 結果

3.1 CO_2 排出量の分析結果

図1および図S1～図S3は「レトルト食品」、「そう菜・すし・弁当」、「清涼飲料」、「一般飲食店（除喫茶店）」の4つの部門における CO_2 排出経路を表したものである。

各行列の要素、内包型環境負荷原単位の投入物別内訳、誘発部門別内訳のそれぞれについて、セルの値の大きい方から5%ごとに20%まで、濃い灰色→灰色→薄い灰色→より薄い灰色とセルの色を変化させ、残りを白色にした。

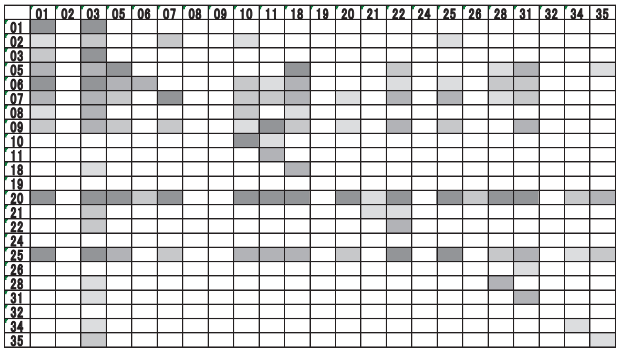


図１　レトルト食品部門の CO_2 排出経路分析

対象とした部門内の行列の要素（*m* , *n*）（ただし *m*、*n* は部門番号）のうち値が大きいもの（図 1 の中で色が濃いセル）について 2.2 の計算結果を用いて詳細な経路分析を行った。以下の分析結果中の「～部門」は 403×403 の行列内の部門を表し、「→」は部門間の投入を表す。

レトルト食品部門の分析を行うと、(1,3) については海面漁業部門→冷凍魚介類部門での環境負荷が大きかった。海面漁業に使用される燃料が負荷源であると考えられる。

(5,5) と (20,5) では段ボール箱部門とその他の紙製容器部門から誘発された環境負荷、(10,10) ではアルミニウム（含再生）部門→アルミ圧延製品部門での環境負荷、(9,11) では銑鉄部門→粗鋼（転炉）部門→熱間圧延鋼材部門→冷間仕上鋼材部門→めっき鋼材部門→金属製容器及び製缶板金製品部門での環境負荷が大きな割合を占めており、容器包装による環境負荷が無視できないことが読み取れる。

(5,18) と (20,18) では印刷・製版・製本部門から誘発された環境負荷、(20,31) では事業用電力部門→広告部門での環境負荷が大きく、容器包装だけでなく印刷部門や広告部門による環境負荷も少なくないことがわかる。

そう菜・すし・弁当部門の分析を行うと、(1,3)、(6,3)、(20,3)、(25,3) のそれぞれでは米、化学肥料、事業用電力、自家輸送（貨物自動車）部門→精穀部門での環境負荷が大きく、レトルト食品とは異なりそう菜・すし・弁当部門は米が中身の多くを占めていることがわかる。また、化学肥料→米→精穀という環境負荷の流れも見える。

(20,18) では事業用電力部門→プラスチック製品部門での環境負荷が大きく、ここでも容器包装による環境負荷が無視できないことがわかる。また、金属製容器や紙製容器が中心であったレトルト食品部門との違いも明らかになった。

清涼飲料部門の分析を行うと、(20,6) では事業用電力部門→圧縮ガス・液化ガス、その他の有機化学工業製品部門での環境負荷が大きく、製造過程での環境負荷が大きいことが分かった。

(8,8) ではその他のガラス製品部門、(9,11) と (11,11) では金属製容器及び製缶板金製品部門とその他の金属製品部門、(6,18) と (7,18) ではプラスチック製品部門から誘発された環境負荷が大きく、びん・缶・ペットボトルといった容器包装による環境負荷が表れている。

一般飲食店（除喫茶店）の分析を行うと、(1,3) では海面漁業部門→冷凍魚介類、その他の水産食品部門での環境負荷が大きく、水産物の環境負荷源はサプライチェーンの上流にあることが分かった。

(3,3) では冷凍調理食品、その他の食料品、ビール部門からの環境負荷が大きく、一般飲食店は加工度の高い食品を仕入れていること、そしてその食品が環境負荷の原因になっていることが分かった。

(20,3) では事業用電力部門→と畜（含肉鶏処理）、冷凍魚介類、調味料、冷凍調理食品、ビール、清涼飲料部門での環境負荷が大きく、冷凍や冷蔵を必要とする食品は環境負荷が高くなることが読み取れる。

(20,21) と (21,21) では下水道、廃棄物処理（産業）部門での環境負荷が大きくなった。一般飲食店の汚水や廃棄物の処理による環境負荷は無視できないといえる。

3.2　CH_4 と N_2O の排出量の分析結果

非 CO_2 の温室効果ガスとして CH_4 と N_2O を取り上げ、CO_2 の時と同様の方法で分析を行った結果、4 つの部門すべてにおいて環境負荷の大部分が (1,3) に集中していた。詳しく中身をみると、酪農、肉鶏、豚、肉用牛部門→と畜（含肉鶏処理）部門と米部門→精穀部門の値が大きかった。つまり、非 CO_2 の温室効果ガス発生源は稲作と畜産が大部分を占めているといえる。

4.　おわりに

本研究によりサプライチェーン全体での環境負荷のうち生産段階での環境負荷を計算し可視化した。これにより、事業者が自分の仕入れている製品の上流での環境負荷を把握することができる。

販売形態の違いや食品の消費後の廃棄物の発生などについては産業連関表を用いた研究では十分考慮できておらず、実態を反映した積み上げ法によるインベントリデータとの併用を行うことで、より精緻かつ包括的な分析に発展させることが課題である。

謝辞　本研究は、科学研究費補助金（基盤研究 A）「リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発」（代表：森口祐一）の一環として行われた。

参考文献

1)　南齋規介，　森口祐一：「産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）2005 年度版（β+版）」，(2010)

2)　総務省：「2005 年産業連関表」，(2009)

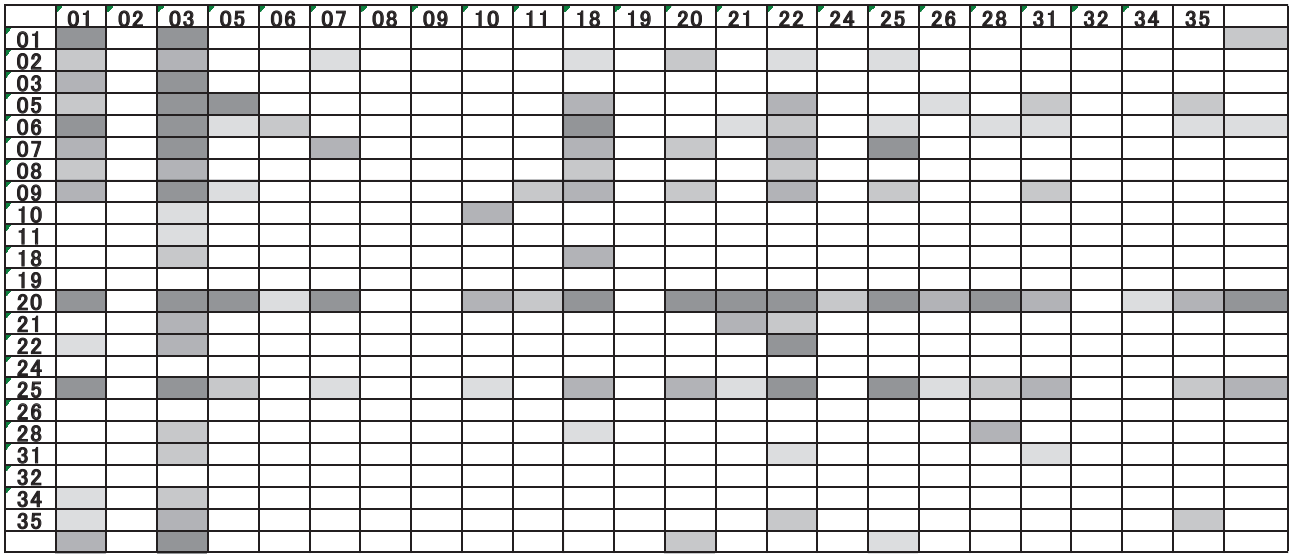


図 S1　そう菜・すし・弁当部門の CO_2 排出経路分析

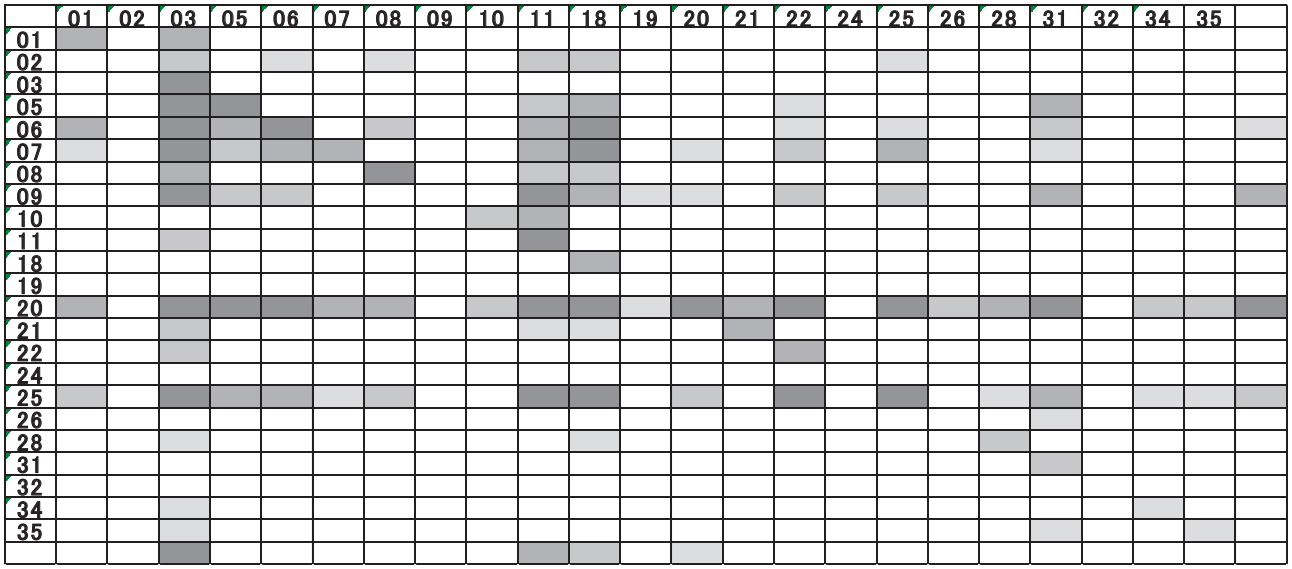


図 S2　清涼飲料部門の CO_2 排出経路分析

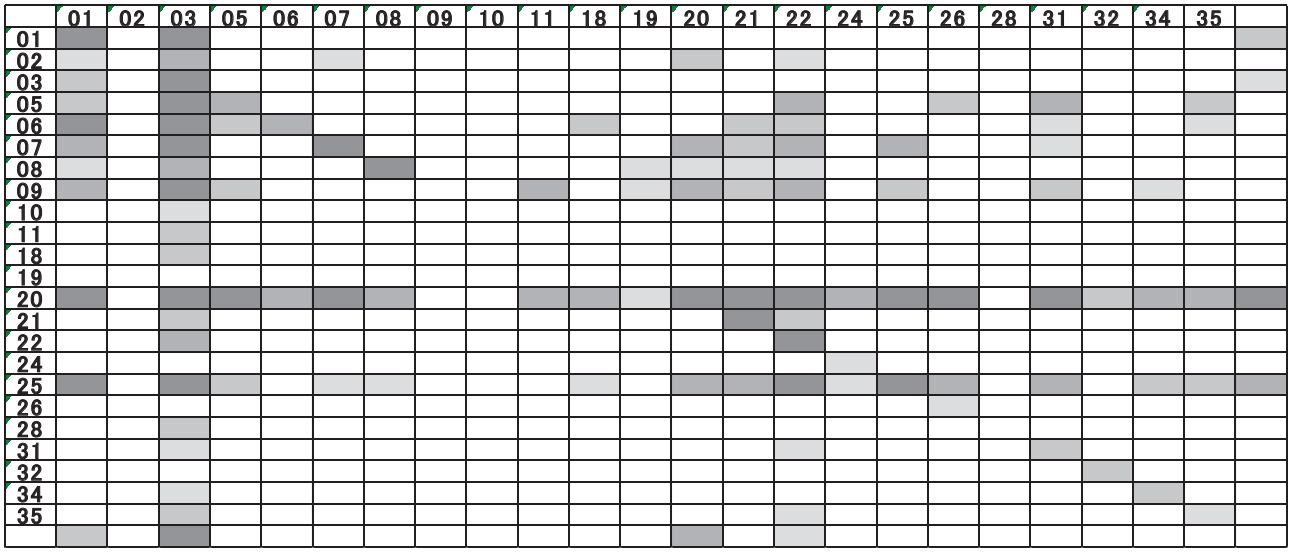


図 S3　一般飲食店（除喫茶店）部門の CO_2 排出経路分析

ストーンペーパーの環境影響評価

Environmental Influence assessment of the stone paper

○川嶋琢幹[1)]、嵐紀夫[1)]、稲葉敦*[1)]、本下正晴[2)]
Takumi Kawashima,Norio Arashi ,Atushi Inaba, Masaharu Motoshita
1) 工学院大学工学部、 2)産業技術総合研究所安全科学研究部門
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

パルプ紙の製造には森林資源と大量の水資源が必要である。そこで、石灰石の粉末に高密度ポリエチレンを加えた「ストーンペーパー」をこれらの資源に乏しい地域で利用することが考えられている[1)]。

ストーンペーパーは樹脂と炭酸カルシウムの粉末がシート状に結合しているので、耐久性と耐水性に優れている[1)]。しかし、そのライフサイクルでの環境影響についての検討はまだ少ない。そこで本研究では、ストーンペーパーと上級印刷紙（パルプ紙）の環境影響を比較し、ストーンペーパーの環境改善効果を検討する。

2. 分析方法

2.1 評価対象

厚さ200μmのストーンペーパー（重量：240g/m²）と上級印刷紙（重量：155g/m²）を評価対象とし、機能単位をそれぞれ1m²の大きさに設定した。

2.2 評価範囲

原材料の調達、輸送、製造、印刷、廃棄までを評価範囲にし、使用段階は想定される使用方法が多岐に渡るため、本研究では評価範囲外とした。（図1、図2）。

ここで、ストーンペーパーは原料となる原油は海外から輸入、石灰石は国内から調達し、日本国内でストーンペーパーを製造、印刷、廃棄するものとした。上級印刷紙については、海外で伐採・チップ化された原料を輸入し、日本国内で製造、印刷、廃棄されるものとした。

2.3 調査方法

ストーンペーパーの製造に関わる原料投入量、ユーティリティなどのプロセスデータは製造会社からヒアリングで入手した。上級印刷紙の原料、製造、輸送については日本製紙連合会[2)]を利用した。ストーンペーパー1m²あたり、高密度ポリエチレン 0.048kg、炭酸カルシウム 0.192kg が必要とされる。また上級印刷紙1 m²あたり、木材チップ 0.246 kg が必要とされる。

印刷については、ストーンペーパーも上級印刷紙と同じように印刷が可能なものとし、内田ら[3)]を使用した。廃棄については、ストーンペーパーは焼却処理、埋め立て処理の２つを仮定し、上級印刷紙は焼却処理するものとした。それぞれの焼却処理には効率15%のごみ発電を仮定した。また、インベントリ分析には「JEMAI-LCA Pro」[4)]を使用し、インパクト評価は「LIME Sheet」[5)]を使用して、分析を行った。

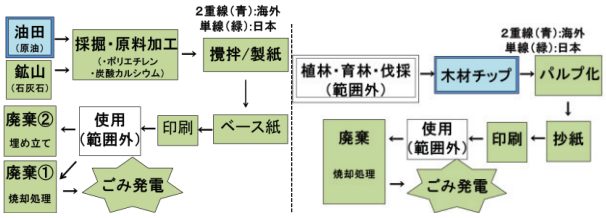


図1（左図）　ストーンペーパーのシステム境界
図2（右図）　上級印刷紙のシステム境界

3. 結果（インパクト評価）

3.1 統合化：製造までの場合

ストーンペーパーと上級印刷紙の各被害評価結果(人間健康,社会資産,一次生産,生物多様性,水資源消費)を統合化した結果を図3に示し、また物質毎に図4に示す。

図3からは、統合化の結果は人間健康と社会資産への被害評価でほとんど決定されていることがわかる。人間健康はCO_2の排出量の相違に、社会資産は全リンの排出量の相違に起因した被害評価の結果が反映されている。一次生産の被害評価は、石灰石の採掘に起因してストーンペーパーの方が上級印刷紙より大きいが、統合評価の結果にはほとんど表れない。

統合評価の結果を図4から物質ごとに見ると、SOx、CO_2、PM10の相違に起因して、上級印刷紙の方がストーンペーパーより大きくなっていることがわかる。

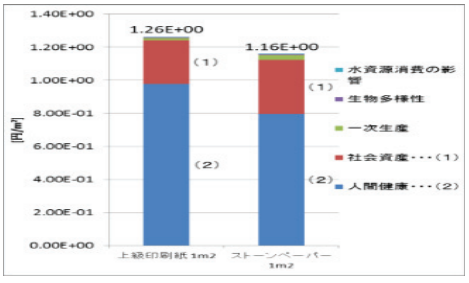


図3　統合化（被害評価別）[円/㎡]

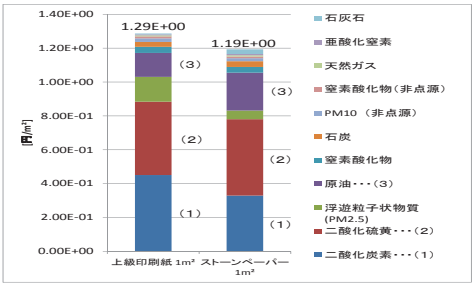


図4　統合化（物質別）[円/㎡]

3.2 水資源消費の環境影響評価

ストーンペーパーと上級印刷紙の生産拠点を海外にした場合の水資源消費の人間健康への影響(DALY/m^2）を統合化係数を用いて（円/m^2）に換算して、図5に示す。ここでの水資源消費は製造工程での水の消費量を基に分析した。同じ水の消費量であっても、使用する国によりその希少性が異なり、健康への影響も大きく異なる。ここでの評価は本下ら[6)7)]に従った。

図5の結果より、上級印刷紙を日本で生産する場合は水資源消費の健康への影響が小さいが、海外での生産（中国、エジプト、インドネシア、タイ）ではその環境影響が大きいことがわかる。水消費以外の環境影響がタイと日本で同じであることを仮定すれば、図3の上級印刷紙の統合化結果と図5で示したタイでの健康影響への被害を比較することができるが、タイでの水資源消費の人間の健康への影響2.19×10^{-1}円/m^{2}は、その他の環境影響も含め図3に示した被害量12.6×10^{-1}円/m^{2}の約17%となっている。水源消費の影響が大きい国でストーンペーパーを製造する意義は大きい。

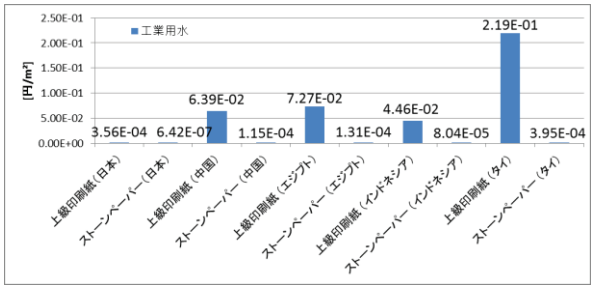


図5　被害評価（水資源消費の健康被害[円/m^2]）

3.3 統合化：ライフサイクル全体の場合

ストーンペーパーと上級印刷紙の被害評価結果を統合化した結果を、被害評価（物質毎の寄与）を図6に示す。

図6で示すように、ストーンペーパーの埋め立て処理では焼却によるCO_2排出に起因する人間健康被害が低減するが、埋め立て処分にかかわる社会資産の被害が大きく、統合化の結果は焼却処理より約10%大きい。

したがって、ストーンペーパーを廃棄する場合、リサイクルが可能になれば、埋め立てによる社会資産への被害を回避できる大きな利点があると考えられる。ストーンペーパーの焼却灰が再利用される場合の統合化の結果を図7に示す。

4 まとめ

複数の環境問題をLIME2により統合評価した結果、ストーンペーパーを焼却処理は上級印刷紙より環境影響が大きいことがわかった。これはカーボンニュートラルである上級印刷紙がストーンペーパーの焼却より優位であり、また、ストーンペーパーを埋め立て処理では埋め立て処分場を使用することによる社会資産への影響が大きいことに起因する。したがって、ストーンペーパーの焼却灰を再利用することができれば、ストーンペーパーのライフサイクル全体での環境への影響は大きく減少し、パルプ紙とほぼ同様になる。

また、水資源消費の健康被害への影響に関しては生産拠点を水資源が少ない国にする場合にはストーンペーパーの水資源の保護効果が大きいことが示された。

総合的に考えるとストーンペーパーの製造による水資源消費保護と廃棄物の増大による環境影響がトレードオフの関係にある。これらの環境影響評価のさらなる研究が必要である。

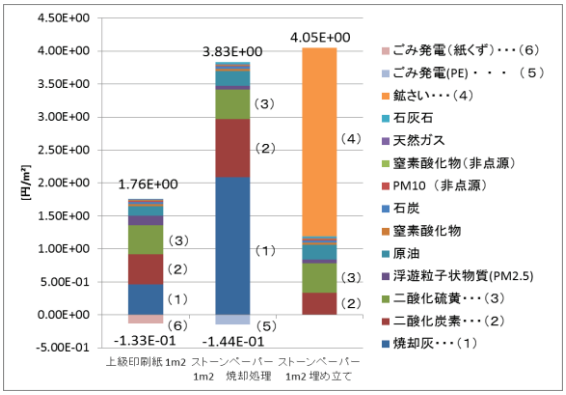


図6　ライフサイクル全体での統合化（日本:物質別）[円/m^2]

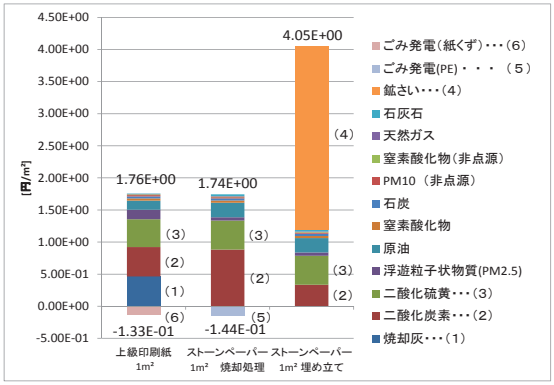


図7　統合化（日本:物質別）[円/m^2]
ストーンペーパーの焼却灰の再利用

参考文献

1) 株式会社 TBM(Times Bridge Management)：<http://www.tb-m.com/company/ >,(2011-4-11)

2) 日本製紙連合会：“紙のLCI データ算定概要”，LCA 日本フォーラム,<http://lcadb.jemai.or.jp/lca/servlet/Default >,(2011-5-12)

3) 内田弘美：“グラビア印刷による包装材料のLCA 評価”，日本包装学会誌, 16(2007)6, p.397-404

4) 社団法人 産業環境管理協会 LCAソフト：“JEMAI-LCAPro(ver.1.2.2)”

5) 独立行政法人 産業技術総合研究所：“LIME Sheet(ver.1)”

6) 本下晶晴, 伊坪徳宏, 稲葉敦：“生活用水の不足に起因する感染症被害評価手法の開発”

7) 本下晶晴, 伊坪徳宏, 稲葉敦：“農業用水不足に起因する栄養失調被害推定モデルの開発”

ライフサイクルを考慮した容器包装の素材選択支援

Support of environmental conscious material selection for container and packaging

○西村　知*[1)]、上原　恵美[1)]、平尾　雅彦[1)]
Akira Nishimura, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
*a-nishimura@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

容器包装に対する多様化する機能を満たすため、素材としてプラスチックや金属、紙が複合的に用いられることが増えてきている。しかし、複合素材を用いた容器包装においては廃棄・リサイクル上の問題が生じる場合がある。例えば、プラスチック製容器包装のマテリアルリサイクル（MR）において、複合素材中の紙や金属が不純物となり、選別の手間・コストの増加や再生品の質の低下を招く可能性がある。複合素材を使用したプラスチック製容器包装に対しては、MR だけでなく、ケミカルリサイクル（CR）やサーマルリサイクル（TR）の適用を検討すると共に、容器包装設計におけるリサイクル段階への影響を考慮した素材選別の支援を行う必要がある。

本研究は、複合素材を利用した容器包装に対して廃棄・リサイクル段階への影響を考慮した環境影響評価を行うことで、容器包装設計において環境影響を考慮した素材選択の支援を行うことを目的とする。

2. 対象および研究方法

2.1 対象

紙やプラスチック、金属を含む複合素材が利用されている容器包装として、お湯入れ耐性容器とレトルトパウチ容器を評価対象とした。加えて、比較対象として単一素材で構成される容器包装を仮定し評価を行った。

評価対象容器の仕様を表１に示した。お湯入れ耐性容器については、プラスチック単一素材の容器(容器１)と紙とプラスチックを複層的に使用した容器(容器2)を想定した。レトルトパウチ容器については、プラスチック単一素材の容器(容器3)とプラスチックとアルミニウムを複層的に使用した容器(容器4)を想定した。容器の重量や組成は実際の製品を参考にし、組成割合は文献調査によって得られた情報をもとに決定した。また、対象容器の処理方法も、表１に示した。

単一素材、複合素材で構成される容器包装は必ずしも機能が同一であるとは限らないが、素材の複合化に伴う環境影響の変化を分析するために両者の比較を行った。

表１：対象容器の仕様

製品	お湯入れ耐性容器		レトルトパウチ容器	
名前	容器1	容器2	容器3	容器4
素材	プラ単一	紙、プラ複合	プラ単一	プラ･アルミ複合
容量	300ml		180g	
組成(割合)	PS	板紙(65) PE(35)	PP	PE(65)/ONY(20) PET(10)/Al(5)
容器重量	10g	10g	40g	10g
処理方法	MR	焼却処分および エネルギー回収	MR	焼却処分および エネルギー回収
機能	断熱性、耐熱性 密封性		ガスバリア性、遮光性 密封性	

2.2 システム境界

容器包装設計においては、肉薄化や軽量化といった製造段階や商品の輸送段階の環境負荷の低減を目的とした環境配慮が行われるケースが多い。本研究では、容器包装の製造、及び、商品の輸送段階だけでなく廃棄・リサイクル段階を考慮したLCAを行うことで、素材選択支援を行うことを目指している。廃棄・リサイクル段階に関しては、容器包装リサイクルの現状を考慮したシナリオを想定し評価を行う。

2.3 廃棄・リサイクル過程のLCA

商品使用後に廃棄された容器包装のフローを図１に示した。リサイクルのために回収されたプラスチック製容器包装のうち、単一素材で構成される容器包装はMRやCRにより処理可能である。一方、アルミを含む複合素材で構成される容器包装については、MR に向かない素材として選別され残渣に回り、焼却処分、あるいは、埋立処分される可能性がある。一方、複合素材中に紙が 50%以上使用されている容器包装については、紙製容器包装に分類される。古紙として回収された場合には、紙成分は衛生紙として再利用され、プラスチック成分は残渣として処理される可能性がある。

容器1、3はMRされて重量分の再生樹脂になり、容器2は燃えるごみとして回収後、焼却処分およびエネルギー回収、容器４は容器包装プラスチックとして回収後、マテリアルリサイクルに適さないため残渣に回り、焼却処分およびエネルギー回収されると仮定する。

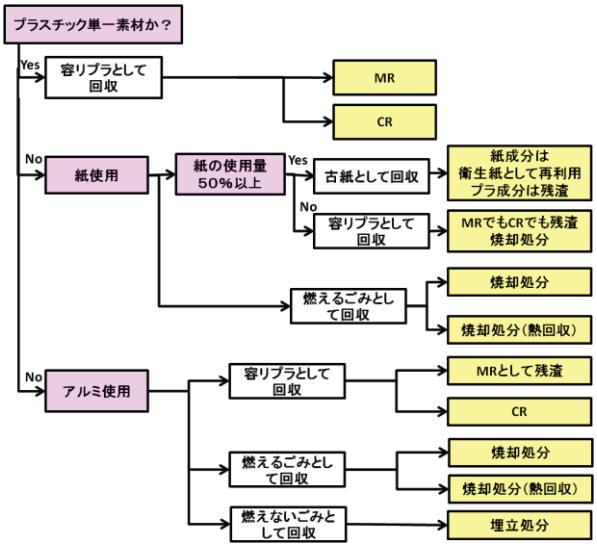


図１：容器の使用後のフロー

これは容器1､3の材料であるPSとPPがマテリアルリサイクルに適しており、現行法においてもマテリアルリサイクルが優先されていること、容器2は紙製容器包装紙製容器包装の回収を行なっている自治体がほとんどないため、燃えるごみとして回収される場合が多いと考えられること、容器4はマテリアルリサイクルの残渣の処分方法のうち、アルミが付着しているプラスチックの最も一般的なルートが焼却処分およびエネルギー回収であることから仮定した。

再生樹脂は加工や破砕など多くの工程を経ているため実際の品質は新規樹脂に劣るが、新規樹脂を代替するものと仮定をして、新規樹脂製造に必要な化石資源消費量および環境負荷を削減した効果があるとしてリサイクル段階の評価を行った。焼却処分およびエネルギー回収されたものは、電力として回収されたエネルギーを一次エネルギー換算したものを差し引いて計算を行った。

3. 結果

対象容器に関しての樹脂製造段階の計算結果を図2に示す。データはJLCA-LCAデータベースを用いた[1,2]。

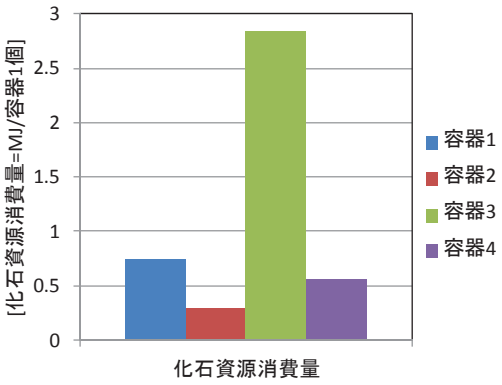


図2-a　化石資源消費量

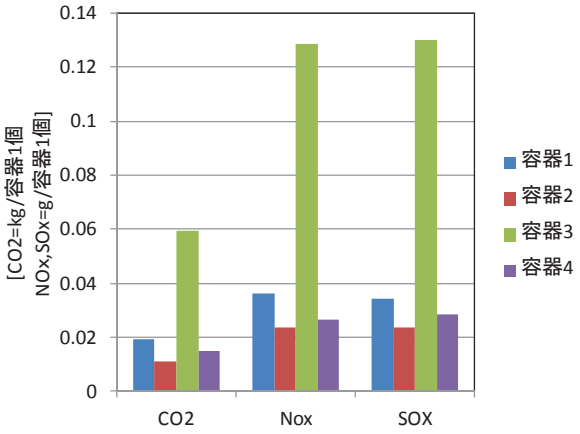


図2-b　環境負荷

図２：対象容器のLCA結果

4. 考察

素材製造段階の計算結果によると複合素材製品が単一素材製品に比べて環境影響が小さいということが。とくにレトルトパウチ食品は単一素材製製品の重量を複合素材製品の4倍であると想定しているため、環境影響が大きくなっていると考えられる。この結果より、単一素材製品は機能実現が可能な厚さにもよるが、環境影響を考えるとより軽量化をした複合素材の使用が環境負荷低減のためには有効であると言える。

5. おわりに

容器包装設計において環境影響を考慮した素材選択の支援を行うために、複合素材を利用した容器包装に対して、廃棄・リサイクル段階への影響を考慮した環境影響評価を行った。

参考文献

[1] JLCA-LCA データベース (2004)

[2] 社団法人プラスチック処理促進協会: “石油化学製品のLCIデータ調査報告書”, (2009)

持続可能な資源利用のシナリオ分析：国内森林資源のケーススタディー

Scenario analysis for sustainable resource use: a case study on domestic forest resource

○山中慎太郎*[1)]、橋本征二[1)]
Shintaro Yamanaka, Seiji Hashimoto
1）立命館大学
* rv0007hf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

ハーマンデイリーの法則の１つに「再生可能な資源の消費の速度は、その再生の速度を上回ってはならない」がある[1)]。森林資源について考えると、その消費速度がその成長の速度を上回ってはならない、ということである。

本研究では、国内の森林資源を対象として、100%の自給率でこれを持続的に（完全に循環的に）利用する状態を仮定した場合に、どのような条件を満たす必要があるかについてシナリオ分析を行った。この時、素材としての森林資源の持続的利用だけでなく、エネルギー源としての森林資源にも着目し、素材利用に必要となるエネルギーも含めて森林資源だけで完全に循環的な利用がなされるには、どのような条件が必要となるかについて検討を行った。

2. 方法

2.1 評価システムとシナリオ分析の方法

本研究では、日本国内で伐採された丸太が、国内で木製品や紙製品として使用され、廃棄に至るまでを対象とした。近年、日本の木材自給率は25%程度であるが、これを全て自給する状態を仮定した。

また、シナリオ分析は以下の手順で行った。

2.2 森林資源のフローと森林資源の利用に必要なエネルギー需要量の推計

橋本ら[2)]が推計した 2000 年の伐採木材のマテリアルフローをもとに、2000 年の木製品や紙製品の需要を国内の生産で賄うと仮定した場合の森林資源のフローを推計し、その状態推移表を作成した。この表は、主産物・副産物・廃棄物 41 部門から成り（表 1）、各行が示す状態から各列に示す状態へ推移した量を示す表である。

また、作成した状態推移表における主要部門計 14（表 1 の 4、5、6、9、11、14、15、16、17、18、19、20、22、23）について、南斉ら[3)]が推計した2000 年の各部門のエネルギー消費量を用いて、森林資源の利用（木材の乾燥・加工や紙パルプの生産等）に必要なエネルギー需要量を推計した。さらに、これを丸太量に換算した。

表 1 状態推移表の部門（主産物・副産物・廃棄物）

1	丸太	15	家具・建具	29	その他の製品
2	堆肥・家畜敷料	16	パルプ	30	再資源化チップ
3	薪炭材	17	紙	31	古紙
4	椎茸原木	18	板紙	32	エネルギー
5	素材	19	段ボール	33	林地残材
6	製材	20	段ボール箱	34	工場残材
7	集成材	21	その他の容器包装紙	35	黒液
8	単板	22	衛生用紙	36	汚泥
9	合板	23	その他の紙製品	37	加工紙くず
10	単板積層材	24	新聞紙	38	使用済み木製品
11	チップ	25	印刷物	39	使用済み紙製品
12	削片板・繊維板	26	出版物	40	焼却ごみ
13	梱包材・パレット	27	建築物	41	埋立ごみ・コンポスト
14	その他の木製品	28	土木構造物		

2.3 森林資源の需要量と成長量の関係の検討

2.2 で推計した木材資源の材としての需要量、エネルギーとしての需要量を、日本の森林資源の成長量と比較し考察した。森林資源の粗成長量は、国内の伐採量[4)]に森林の純成長量[5)]を加えることで求めた。

2.4 森林資源の平均使用回数・使用年数の推計

醍醐ら[6,7,8)]の手法により、マルコフ連鎖モデルを用いて算出した。

まず、2.2 で作成した状態推移表から状態推移確率行列 **A** を求めた。ここで、状態推移確率は時間に依らず一定と仮定すると、k 回の推移を経て状態 i から状態 j に推移する確率は式(1)となる。

$$P_{ij}(k)=\left[A^k\right]_{ij} \quad (1)$$

ここで、右辺は行列 $\mathbf{A}^k$ の ij 成分を表す。

また、ある初期状態 s から無限回の状態推移により、最終状態となるまでに、状態 u として存在した平均回数を N_{su} とすると、N_{su} は式(2)で表される。

$$N_{su}=\lim_{n\to\infty}\sum_{k=0}^{n}P_{su}(k)=\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{k=0}^{n}A^k\right]_{su}=\left[(I-A)^{-1}\right]_{su} \quad (2)$$

ここで、**I** は単位行列である。

素材の平均使用回数を木製品計12種類（表1の2、3、4、13、14、15、17、18、27、28、32、35）として使用された回数とすると、最終的に廃棄されるまでの使用回数は式(3)で表される。

$$t_s = \sum_{u \in U} N_{su} \qquad (3)$$

ここで、Uは上記の製品としての状態である。

さらに、各使用状態 u における平均使用年数 t_u を用いることで、初期状態 s から無限回の状態推移により、最終的に廃棄されるまでの平均使用年数が式(4)で算出できる。

$$T_s = \sum_{u \in U} t_u N_{su} \qquad (4)$$

ここで、平均使用年数 t_u には橋本ら[2]のデータを用いた。

2.5 シナリオ分析

上記の平均使用回数や平均使用年数の結果を基に国内森林資源の持続的な利用について検討を行った。検討にあたり、副産物および使用済み製品のリサイクル率、製品寿命（ひいては製品需要量）、林地残材量等のパラメータをそれぞれ変化させ、森林資源だけで完全に循環的な利用がなされる条件について検討した。

3. 結果と考察

3.1 森林資源のフローと森林資源の利用に必要なエネルギー需要量

2000年の伐採木材のマテリアルフローをもとに、現在輸入している木製品・紙製品をすべて国内で加工し生産したと仮定した場合の森林資源のフローを推計した結果、丸太の需要量は約 3600 万ｔ（比重0.5とすると約7200万㎥）と推計された。この量は、林野庁が推計している木材需給表における量（7,188万㎥）[4]とほぼ同じ量であった。また、森林資源の利用に必要なエネルギー需要量は約 46,000 万 GJ と推計された。これを丸太量に換算すると約 5,800 万㎥である。これら2つの需要量を合わせると、計約 13,000 万㎥が必要になると推計された。

3.2 森林資源の需要量と成長量の関係

国内森林資源の粗成長量は約 11,800 万㎥と推計された。従って、森林資源の粗成長量が森林資源の需要量を下回ることとなり、今の森林資源の利用状態では、森林セクターを完全循環型に成り立たせることは難しい。

3.3 森林資源の平均使用回数・使用年数

森林資源の平均使用回数は1.72回、平均使用年数は18.6年と推計された。森林資源の成長の速度を考えれば、この平均使用年数からも、現状の使用形態では木材資源の循環的な利用が難しいことが分かる。

3.4 既存の研究との比較

本研究で推計した平均使用回数と平均使用年数の値を Takeuchi ら[8]による研究と比較した。Takeuchi ら[8]は木材資源の平均使用回数を 1.42 回、平均使用年数を 8.80 年と報告している。

平均使用回数については、その内訳を見ると、紙・板紙としての利用回数は本研究が 0.69 回に対し既存研究が 0.54 回、建築物としての利用回数が 0.35 に対し 0.27 などの違いがある。既存研究では輸出により系外に出ていくものがあるが、本研究ではすべて国内に留まるため、大きな使用回数になっているものと考えられる。

また、平均使用年数については、設定している製品の平均寿命が大きな要因であり、特に建築物の寿命が本研究では 45 年に対して、既存研究では 25 年と大きな差があるためと考えられる。

3.5 森林資源の持続的利用に関するシナリオ分析

本要旨執筆時点でシナリオ分析結果が公表できる段階にないため、詳細な分析結果は学会当日に報告する。

引用文献

1) デニス・メドウズ：“成長の限界−人類の選択”、ダイヤモンド社、(2005)
2) 橋本征二、森口祐一：“日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック”、(2004)
3) 南斉規介、森口祐一、東野達：“産業連関表による環境負荷原単位（3EID）” <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/datafile/index.htm>（参照 2013-1-7）
4) 林野庁：“森林・林業統計要覧 2012”、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_mokuzi.html>、（参照 2012-12-12）
5) 林野庁：“平成 21 年度 森林・林業白書”、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/21hakusho/zenbun.html>（参照 2012-12-12）
6) 醍醐市朗、松野泰也、石原慶一、足立芳寛：日本鐵鋼協會々誌、91（1）、（2005）pp159-166
7) 山田宏之、松野泰也、醍醐市朗、足立芳寛：廃棄物学会誌論文誌、17 (5) 、(2006) 、pp 313-321
8) Takeuchi N., Daigo S., Matsuno Y., Adatchi Y.: EcoBalance 2004 Proceedings, p57

木製治山ダムのライフサイクル評価

Life cycle assessment of wooden erosion-control dam

○細川大地[*1)]、高奥信也[2)]、橋本征二[1)]

Taichi Hosokawa, Shinya Takaoku, Seiji Hashimoto

1)立命館大学、2)京都府

*rv0006xp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、製造段階でのエネルギー消費が少なく、炭素をストックできる利点を持つ木材の環境価値が高まっている。いくつかの木製品のLCAは報告されてきているが、木製土木構造物のLCAについてはほとんど報告例がない。このようなことから、本研究では、京都府に設置された木製ダムを対象として、LCAを実施し、通常のコンクリート製ダムとの比較を行った。

2. 研究方法

2.1　対象ダムの概要

対象とするダムは木製ダムとコンクリート製ダムである。

① 木製ダム：京都府が、平成24年に福知山市雲原に建設したダム。間伐材を利用して環境に配慮し、自然に優しい治山事業の一環として建設された。このダムは、海外の木製構造物の設置基準を参考に設けられた京都府の木製治山ダム設置基準[1)]を満たしている。この基準は、①腐朽による耐久性の低下、②材質不均一による部材の強度計算の困難さ、③乾湿の繰り返しによる割れなどの劣化の発生、を考慮して設けられた。

② コンクリート製ダム：京都府が、平成23年に福知山市雲原に建設したダム。もっとも一般的なダムだが、対象とするダムはコンクリートを流し込む型枠に間伐材を使用しており、工事が終了した後も型枠を残すことで、間伐材の有効利用を行っている[2)]。

2.2　評価対象システムとシナリオ分析

木製ダムの評価対象システムは、図1に示すとおりであり、資源採取から廃棄までの7工程を対象とした。ダムのライフサイクルの各段階におけるCO_2排出量は積み上げ法によって算出した。なお、副産物として生成された木製製品に関しては考慮していない。また、木製ダムの環境性能の判断材料を増やすために、いくつかの異なるシナリオについても検討を行った(図1)。

2.3　各工程のCO_2排出量の算出

2.3.1　資源採取および部品製造

工事に使用された木材は、京都府から認定を受けた原木市場からの京都府産材であり、京都府綾部市の木材加工会社で加工された木材である。また、石材は、京都府福知山市の採石場において生産された材料を使用した。木材、石材等の使用量のデータは、京都府中丹広域振興局の森づくり推進室で発行された施工計画書を基にしている。また、資源採取、部品製造に係るCO_2排出量の算定には既存研究を参考にした[1)]。

2.3.2　資源輸送および部品輸送

輸送手段ごとのCO_2排出量は24年度版治山林道必携[3)]を用いて車種ごとの機関出力、燃料消費率、時間当たり工量を求め、その値に燃料のCO_2排出源単位を乗じることで作業単位あたりのCO_2排出量を求めた(表1)。燃料の排出源単位は、事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドラインの値を用いた(表2)。

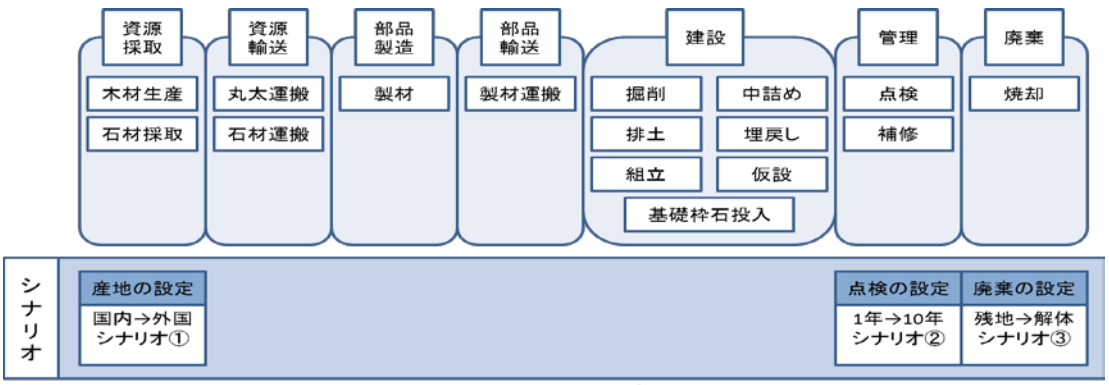


図1 システム境界

表 1 車種ごとの CO_2 排出量源単位

規格	機関出力 (kw)	燃料消費率 (ﾘｯﾄﾙ/kw･h)	時間当たり燃料消費率 (ﾘｯﾄﾙ/h)	時間当たり CO_2 排出量 (kg-co2/h)	時間当たり工量 (m^3/h)	1 m^3当たり CO_2 排出量 (kg-co2/m^3)
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ 4t	135	0.05	6.75	17.7	6.7	1.0
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ 2t	88	0.05	4.4	11.5	5.1	0.9
不整地運搬車	8	0.05	1.28	3.4	37.3	0.0

表 2 燃料ごとの CO_2 排出量原単位

燃料	排出係数 (kg-co2/MJ)	体積当たり平均高位発熱量 (MJ/ﾘｯﾄﾙ)	CO_2 排出量 (kg-co2/ﾘｯﾄﾙ)
ガソリン	0.0671	34.6	2.322
軽油	0.0687	38.2	2.634

2.3.3 建設

使用した機械ごとの CO_2 排出量は先述の輸送手段と同様にして 1m^3 ごとの CO_2 排出量を求め、その値に施工計画書の代価表から作業量を乗じて建設時の CO_2 排出量を求めた。

2.3.4 管理

京都府の管理基準に基づいて、年 1 回の点検を行うこととした。木製ダムの点検時の補修木材量は、建設時の木材量の 5%としている。また、維持管理に使用する木材は設計図書に示された規格を使用するものとし、府内産材を使用することとし、それぞれのダムの寿命は 50 年と仮定する。

2.3.5 廃棄

木製ダムに関しては、樹木が固定していた炭素が廃棄、燃焼される過程において、全て大気中に排出されるものとして算出した。

3. 結果と考察

3.1 結果

各ダムのシナリオごとの CO_2 排出量を図 2 に示す。

木製ダムの総 CO_2 排出量(木材に固定されていた炭素の排出を含む)は約 18,000kg となり、コンクリート製ダムの約 38,000kg の 47%となった。なお、木材に固定されていた炭素は、育林段階で大気から吸収したものと考えれば、木製ダムの純排出量は約 18,000kg となる。

ここで、木材の産地が北米になった場合（シナリオ①)、1 m^3の輸入に 131kg の CO_2 を排出するため[3]、木製ダムは原材料の輸入の段階で約 11,000kg の CO_2 を排出することになり、この分が図 2 の排出量に上乗せされることになる。

また、点検の周期を 10 年に変更すると（シナリオ②)、利用される木材量は 78 m^3減少し、ダムをそのまま残地すると（シナリオ③)、木材に炭素が固定されたままになり、CO_2 排出量は少なくなった。

3.2 考察

今回の研究では木製ダムの方がコンクリートダムに比べて CO_2 排出量が少なく、自然環境に優しいことが分かった。また、材料費が安く、作業日数も少ないため人件費がかからず、費用面に関しても優位であった。

木製ダムの資源、部品の輸送にかかる CO_2 排出量は府内産材であっても 40%と多くを占めているため、この輸送効率を改善することが重要である。また、コンクリート製ダムでは、コンクリートの製造に係る CO_2 が全体の 72%を占めており、セメントの製造工程における CO_2 の排出削減が重要となる。

今後の課題として、増厚補強などの部材交換方法の違いや現場条件の違いなど、管理段階における CO_2 排出量の算出が難しいことから、この段階におけるより正確な環境影響評価を行うことや、今回は CO_2 排出量に限って環境影響評価を行っているが、木材の腐敗時に発生するメタンの排出量など、CO_2 以外の環境負荷についても比較する必要があること。そして、温度や湿度といった環境の違いによる木製ダムの耐久性や、生態系への影響を考慮して環境への影響を考えなくてはならない。

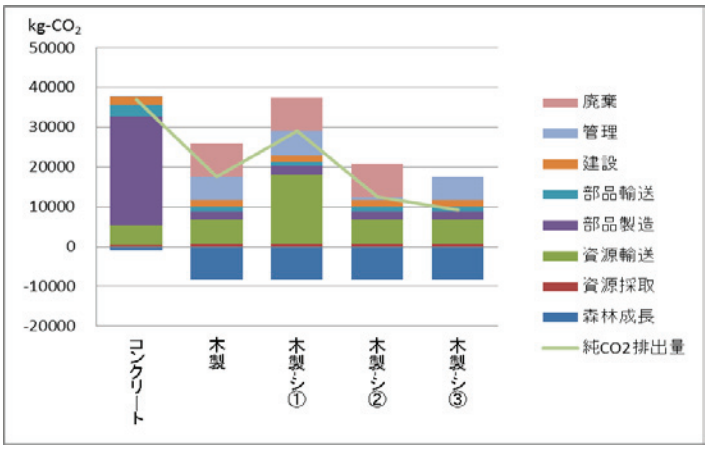


図 2 各シナリオの CO_2 排出量(kg-CO_2)

4. 参考文献

1) 高奥信也：砂防学会誌, 62(6), (2010), pp.59-62
2) 京都府： “京都府木製治山ダム” http://www.pref.kyoto.jp/forest/mokudamu/damu_index.html
3) ウッドマイルズ研究会： “日本のウッドマイルズ-木材の輸送エネルギー” http://woodmiles.net/023-yunyuzai-yusou.htm

京都ペレットのライフサイクル評価

Life cycle assessment of wood pellet produced in Kyoto

○川勝康右*1)、橋本征二 1)
Kousuke Kawakatsu, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0001pp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

化石燃料の消費による CO_2 排出の削減、エネルギーセキュリティーの強化、国内の森林の持続可能な経営の促進を目指すという観点から、森林バイオマスのエネルギーとしての活用が注目されてきている。森林バイオマスのエネルギー利用の方法には、薪・炭・ペレットなど様々な種類があるが、中でもペレットは、比較的取り扱いが容易であり、今後の普及が期待されている利用の方法である。しかしながら、ペレットの種類や製造方法は地域によって異なっており、その利用による環境負荷の削減効果は、必ずしも十分に明らかにされているわけではない。

本研究では、京都で生産されている木質ペレット（京都ペレット）のライフサイクル評価（LCA）を行い、京都ペレットの利用による現状の環境負荷削減効果を明らかにするとともに、木質ペレットを対象とした既存の LCA[1)2)3)]との比較を行うことにより、今後の更なる環境負荷削減の可能性について検討することを目的とする。

2. 方法

2.1 評価対象

本研究では、森の力京都株式会社（京都府京都市右京区京北周山町）で生産されている全木ペレット（低位発熱量 17.8 MJ/kg）を評価対象とした。全木ペレットとは、丸太全てを原料として使用した茶色のペレットである。他にも皮のみを使用しているバークペレット、幹のみを使用しているホワイトペレットがある。

2.2 評価対象システムと機能単位

評価対象となる京都ペレットのライフサイクルを図 1 に示す。京都ペレットの製造では、ペレット用チップを乾燥させるのに燃料用チップを使用している。機能単位は、ペレット 1MJ とし、ペレットの燃焼については、カーボンニュートラルを仮定した。

2.3 インベントリ分析の方法

森の力京都株式会社における製造データを収集するとともに（表 1 参照）、MiLCA[4)]を用いて積み上げ法によりインベントリ分析を行った。

表１　収集したデータ

原木輸送	原木輸送量(t/年)	1,094.78
	原木平均輸送距離(km)	13.44
チップ製造	チップ生産量(t/実験)	98.59
	軽油使用量(l/実験)	640
チップ輸送	チップ輸送量(t/年)	834
	チップ平均輸送距離(km)	1.00
ペレット製造	ペレット用チップ使用量(t/年)	327.978
	燃料用チップ使用量(t/年)	420.358
	電力使用量(kWh/年)	154,563
	ペレット生産量(t/年)	355.36
	ペレット出荷量(t/年)	312.55
ペレット輸送	ペレット輸送量(t/年)	312.55

図 1 の育林、伐採に関しては、MiLCA のデータを用いた。チップ製造（燃料用およびペレット用）については、ハーベスターとクラッシャーを一定期間動かし、その間のチップ生産量と軽油消費量を計測した。ペレット製造に関しては、ヒアリングにより製造データを収集した（2011 年 9 月から 2012 年 8 月までの 1 年間）。さらに、灰廃棄に関しては、灰を一般廃棄物として処理することを想定し、MiLCA のデータを用いた。これらのプロセスに必要となる燃料、電気等についても、MiLCA のデータを用いた。

原木輸送、チップ輸送については、原木の伐採地、チップの生産地、ペレットの生産地のデータを収集して平均的な輸送距離を計算するとともに、ペレット輸送については 50km、灰輸送については 10km を仮定した。そして、これらの平均輸送距離をもとに、【輸送距離(t)×輸送重量(km)】を計算し、改良トンキロ法[5)]を用いて CO_2 排出量を算出した。

収集したデータを表 1 に示す。

育林→伐採→原木輸送→チップ製造→チップ輸送→ペレット製造→ペレット輸送→燃焼→灰輸送→灰廃棄

図1本研究のシステム境界

3. 結果と考察

3.1 京都ペレットのインベントリ分析結果

京都ペレットのインベントリ分析の結果を工程ごとに示したものが図 2 である。丸太の生産とペレットの製造が大きな割合を占めている。また、灯油の CO_2 排出量を 67.87kg/MJ とすると、京都ペレットの CO_2 排出量は約 4 分の 1 となり、大きな環境負荷削減効果が見込まれる。

3.2 既存研究との比較

本研究で行った京都ペレットのインベントリ分析結果を、既存研究で報告されている値と比較したものが図 3 である。古俣ら [2]は北海道で生産されたペレットのインベントリ分析結果を報告している。また、森のエネルギー研究所 [3]は、長野、福井、岡山で生産されたペレットについて分析を行い、各地域の製造者が生産するペレットの熱量によって加重平均した値を報告している。

京都ペレットと長野・福井・岡山ペレット（重量配分）を比較すると、京都ペレットの方が原材料調達において、CO_2 排出量が少ない。これは、福井、岡山ペレットの原材料が丸太ではなく、プレーナー屑を使用しており、主製品である製材や集成材の製造に関わる CO_2 排出量が重量配分されていることが一因と考えられる。また、京都ペレットの方が長野・福井・岡山ペレットより製造工程の CO_2 排出量が多いのは、京都ペレットの製造工程がチップの製造、輸送、乾燥、ペレット成形であるのに対し、長野・岡山・福井ペレットでは、ペレットの製造工程が粉砕、成形、袋詰めであり、チップの乾燥工程が原材料調達の方に含まれているためと考えられる。

また価値配分（原材料の価値で CO_2 排出量を配分）したペレットと比較すると、副産物であるプレーナー屑の価値が、主産物である製材や集成材の価値よりも低いため、重量配分よりも低い結果になっている。

京都ペレットと北海道ペレットを比較すると、原材料調達において、京都の方が CO_2 排出量が多いことがわかる。これは、京都のシステム境界が育林からに対して、北海道が原材料輸送からであることが原因である。北海道に京都で用いた育林のデータを加えるとほぼ同等の結果となる。なお、電源構成により電力の CO_2 排出量が異なる点に留意する必要がある。

3.3 京都ペレットの CO_2 排出削減の可能性

京都ペレットの CO_2 排出量は製造プロセスが 66.3%(10.54/15.89)を占め、そのうち約 90%が電力に起因するものであった。夏場の生産量が少なく、この間の生産効率が落ちるため、ストックのスペースを活用して夏場も一定以上の生産量を維持することによって、電力に起因する CO_2 排出量や費用を下げることも可能と考えられる。

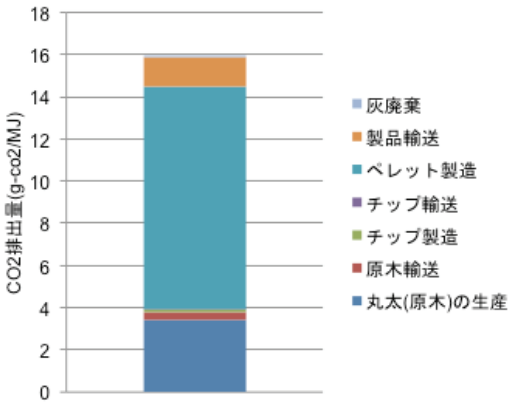


図 2 京都ペレットのインベントリ分析結果

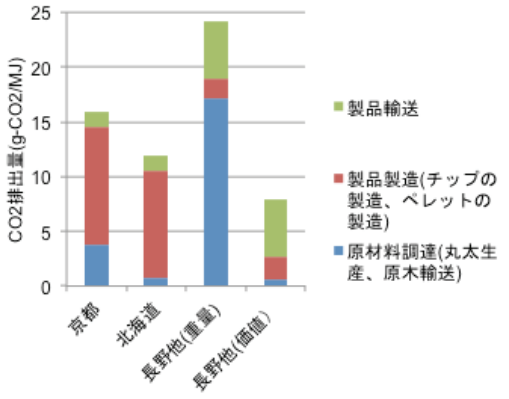


図 3 既存研究との比較

謝辞：データの収集に際して、お忙しい中様々なご協力をしていただいた森の力京都株式会社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 石坂和明・村山克己・伊坪徳宏：ペレットストーブのライフサイクル環境影響評価、Journal of Life Cycle Assessment, Japan Vol3 No.1、45-51、2007

2) 古俣寛隆・折橋健・石川桂生・一重喬一郎・服部順昭：北海道産木質ペレットのライフサイクルアセスメントによる環境影響評価、木材学会誌 Vol56 No.3、139-148、2010

3) 株式会社森のエネルギー研究所：木質バイオマス LCA 評価事業報告書（平成 24 年 3 月）、入手先 http://www.mori-energy.jp/pdf/lca_hokokusho.pdf （参照 2012-11-13)

4) 社団法人産業環境管理協会：http://www.milca-milca.net/ (参照 2012-12-3)

5) 経済産業省・国土交通省：物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドライン、入手先 http://www.enecho.meti.go.jp/policy/images/060518pamph.pdf(参照 2012-11-13)

機能性防寒肌着の普及に伴う CO_2 排出削減効果の評価

Evaluation of the CO_2 emission reduction by spreading functional winter innerwear

○細野義憲*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Yoshinori Hosono, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
*rv005086@ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、アクリル×レーヨン使いを主体とした化合繊の薄くて軽い保温・発熱インナーである機能性防寒肌着が普及してきている[1)]。2007年では2000万枚の売り上げを記録し、2011年冬季の売り上げは1億2000万枚と、現在でも市場は拡大している。また機能性防寒肌着は保温・発熱の効果とあわせて、室内で暖房負荷を抑えることができるという点でも期待されている。しかし、実際にどの程度の効果があるのかは未だ明らかにされていない。したがって、企業の自社における環境負荷削減努力と、その製品での使用段階での削減を全体的に評価することが低炭素社会の実現のひとつの指標となる[2)]。そこで本研究では、様々な使用条件でのシナリオを検討し、機能性防寒肌着の普及に伴う環境負荷削減貢献量評価をすることを目的としている。

2. 研究概要

2.1 CO_2削減効果の算定

本研究では、機能性防寒肌着の原材料調達、製造、流通、使用、廃棄段階でのLCA（ライフサイクルアセスメント）に基づいてCO_2の排出量を算出する。従来の肌着を綿と設定し、機能性防寒肌着と比較する（図1）。それにともない、製造した製品によって、家庭での使用段階での削減される電力消費の発電に伴うCO_2の排出量を環境負荷貢献量として、削減シナリオ算定式で算出する。

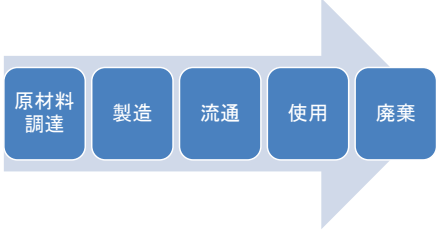


図1　ライフサイクルフロー

CO_2削減量	=	設定温度の変更による削減電力（kW）
	×	エアコン（暖房）年間運転期間（日/年）
	×	エアコン（暖房）1日運転時間（時間/日）
	÷	平均在室人数（人）
	÷	機能性防寒肌着着用頻度
	×	電力のCO_2排出係数（kg-CO_2/kWh）
	×	機能性防寒肌着の寿命（年）

図2　仮想的な削減シナリオ算定式

2.2 消費者による着用実験

消費者による着用実験は機能性防寒肌着を実際に着用し、設定温度の変更について検証することを目的としている。綿素材の肌着と機能性防寒肌着を着比べて暖房の温度設定の変化を調査する。期間は一週間、綿素材の肌着を着用してもらい、さらに一週間、機能性防寒肌着を着用し、合計二週間の間実験を行う。10人程度の人数で実験を行う予定である。実験期間は気温、湿度、エアコンの運転時間と設定温度を記録してもらう。

3. シナリオ構築

図2に示した仮想的な削減シナリオ算定式を用いて機能性防寒肌着を着用したときのCO_2削減量を算出するため、シナリオを検討する。

3.1 設定温度変更による削減電力

設定温度変更による削減電力は、資源エネエルギー庁[3)4)]の統計データからエアコン運転時の平均電力推計値を引用する。家庭用エアコンの暖房能力2.2kW（6 ～ 9畳、一人暮らしのワンルームマンション向けのエアコン）とエアコンの暖房能力2.8kW（8 ～ 12畳、ファミリータイプのエアコン）でシナリオを分けて算出する。ここではエアコンの機能でシナリオ分けをしていくのであるが、その際部屋の大きさによってエアコンの機能は決まるので、その時の部屋の平均人数なども考慮する必要がある。

3.2 エアコン（暖房）年間（1日）運転期間

エアコン（暖房）年間運転期間や1日運転時間に関する国内規格として、日本冷凍空調工業会規格（JRA4046-2004）とJIS規格がある。日本冷凍空調工業会規格では、暖房期間は、10月28日から4月14日の5.5ヶ月とし、使用時間は、6：00～24：00の18時間となっている。エアコンの標準運転時間の合計は、暖房は2970時間である。また、JIS規格[5)]暖房期間は、10月28日から4月14日の5.5ヶ月とし、この期間内に16℃を下回る2889時間を対象としている。1日当たりの運転時間が両者とも課題設定となっていると考えられる。

さらに、地域によっても大きく暖房の運転時間は異なってくる。北海道のような気温の低い地域ではエアコン（暖房）年間運転期間と1日運転時間は長くなり、また、

沖縄のような気温の高い地域ではエアコン(暖房)年間運転期間、と１日運転時間は短くなるので、地域差を考慮したシナリオ設定を考慮していく必要がある。すなわちシナリオ設定を検証するにあたって、通常の家庭用エアコンについては、どちらの規格でも過大な時間設定になっている可能性があり、それぞれの条件に合う時間を設定する必要がある。

3.3 部屋の想定人数

部屋の想定人数は国勢調査のデータを用いて、１人暮らし（32.38%）、２人暮らし（27.25%）、３人暮らし（18.17%）、４人暮らし（14.39%）、５人暮らし（4.96%）で加重平均値をとると 2.4 人となる。この数値を用いると、部屋にいる人の最大値になってしまうので、実際のCO_2排出量はさらに大きくなると考えられる。したがって、より実際に近い値にするため、ここでもライフスタイルに関するアンケートを行っていく予定である。

3.4 機能性防寒肌着着用頻度

機能性防寒肌着１着あたりのCO_2排出量で算出しているため、所持しいている枚数が多いと、１着あたりの着用頻度は下がってしまう可能性があるので、気温以外のファクターも考慮していく必要がある。機能性防寒肌着の着用頻度に関しては、実際にどの程度使用するのかについてアンケート調査を実施して、ライフスタイルを明らかにし算出する予定である。また、着用頻度については、寒い地域の方が防寒肌着を必要とする機会が多いことから、気温が最も大きな要因となることを、シナリオで考慮する必要がある。

3.5 電力のCO_2排出係数

電力のCO_2排出係数は環境省のデータを用いることとする。これにより、電気事業者ごとの実排出係数を用いる[6)]。

3.6 機能性防寒肌着の寿命

機能性防寒肌着の寿命は一般的に3～5年とされていることから、５年と評価して算出すると推計排出量が過小評価される可能性があるので、機能・性能の差もあることを考慮して、最小値の 3 年を用いる。最小値の 3 年を用いることとする。また、機能性防寒肌着ではストレッチ性機能としてポリウレタンが混紡されているが、素材としてのポリウレタンの寿命は短く、製造してから３年～５年程度だと言われている。そのため、ポリウレタン混のアンダーウェアは着る、着ないに関わらず、数年経つとその特徴が損なわれるという懸念も考慮していくべきである。

4. おわりに

削減シナリオ算定式については、より現実的な数値を算出するためにファクターを詳細に考察していく必要がある。

また、機能性防寒肌着の着用頻度に関しては、早急にアンケート調査を行ってライフスタイルを分析する必要がある。同様に消費者による着用実験も行っていかなければならない。

参考文献

1) 繊維ニュース : “12 秋冬メンズインナー、防寒肌着は多様化の時代へ”、繊維ニュース、（オンライン）、入手先＜http://202.214.18.226/seninews/viewArticle.do?data.articleId=256311&data.newskey=85e794627057dc057a54035cf2f72537＞、（参照 2013-01-10）

2) 貢献量評価手法検討会 : “滋賀県”、貢献量評価手法検討会、（オンライン）、入手先＜http://www.pref.shiga.jp/d/new-energy/koukennhyouka.html＞、（参照 2013-01-10）

3) 資源エネエルギー庁 : “統計情報、電力調査統計”、資源エネエルギー庁、（オンライン）、入手先＜http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/denryoku/result-2.htm＞（参照 2013-01-10）

4) 省エネルギーセンター : “家庭の省エネ大辞典”、省エネルギーセンター、（オンライン）、入手先＜http://www.eccj.or.jp/dict/index.html＞（参照 2013-01-10）

5) 日本工業標準調査会 : “データベース-JIS 詳細表示”、日本工業標準調査会、（オンライン）、入手先＜http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=384215＞（参照 2013-01-10）

6) 環境省　報道発表資料 : “平成２２年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について（お知らせ）”、環境省、（オンライン）、入手先＜http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702＞、（参照 2013-01-10）

濃縮洗剤の使用に伴う環境負荷削減効果に関する評価手法の検討

Development of evaluation method related to environmental load reduction by using concentrated detergent

○三谷友里佳*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Yurika Mitani , Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)立命館大学
*rv0007ih@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

家電製品は、製造段階において発生する環境負荷物質よりも、使用段階における負荷の方が相対的に大きいといわれている。特に洗濯機については、使用段階における洗剤、および水の消費が大きい。また、家庭における洗濯行動は、家族形態やライフスタイルの変化、環境問題や省エネルギー対策などにより大きく変化している 。家庭洗濯の場合、生活者の視点に立って、使用段階を見直すことが環境負荷削減には重要な要素と考えられる。

従来の液体洗剤に比べて洗浄および洗剤落ち機能の高い濃縮液体洗剤を使用することで、すすぎ1回分の電力・水の削減、時間短縮が期待されている。しかし、濃縮液体洗剤の普及に伴う電力・水の削減効果は十分には検討されていない。

本研究では、洗剤の使用における評価シナリオを設定し、濃縮液体洗剤及び従来の液体洗剤のライフサイクルGHG 排出量の比較を行い、濃縮液体洗剤の使用によるGHG 排出量の削減効果を明らかにすることを目的とする。ここでいう評価シナリオは、洗濯機の保有実態や洗濯行動とその変化に関するシナリオである。例えば粉末洗剤・液体洗剤を使用し洗濯していた人のうち、濃縮液体洗剤の購入により、すすぎ 1 回で洗濯するようになる人がどの程度か等であり、シナリオに基づき濃縮液体洗剤の導入による行動変化(すすぎ回数の短縮)の割合と電力消費量の削減効果を推計する。シナリオ設定にあたり、滋賀県内2,000 世帯を対象にアンケート調査を行い、洗濯行動の実態を把握する。

2. 方法

本研究対象は従来の液体洗剤と、最新の濃縮液体洗剤である。これらの洗剤について、原材料・生産・輸送・使用・廃棄(リサイクル)のライフステージを設定し、各ライフステージのGHG 排出量の算定を行う。原単位についてはCFPプログラムの“基本データベース[1)]を用いた。

使用段階については洗濯行動の実態を把握するため、滋賀県 9 市(22 地区)においてアンケート調査を行った。調査地域は滋賀県草津市、野洲市、守山市、大津市、湖南市、甲賀市、高島市、長浜市、近江八幡市の 9 市を対象とし、70～130 世帯の地域を無作為抽出し、配達地域指定郵便物を使用し配布、郵送回収を行った。アンケート調査の概要については表 1 に示す。調査項目は、洗濯行動・洗濯機・洗剤・すすぎ 1 回の設定に関する認知の 4 項目である。

家庭での洗濯を行う際の電力消費に関しては、積算電力計を用い、測定を行う。すすぎ 1 回に設定できる洗濯機を使用し、すすぎ 1 回とすすぎ 2 回に設定したときの電力消費量を、それぞれ 3 回ずつ測定し、すすぎ 1 回とすすぎ 2 回の場合の洗濯時電力消費量の比較を行う。

表１　アンケート調査の概要

調査地域	滋賀県9市(22地区)
調査期間	2012年11月
調査方法	配達地域指定郵便+郵送回収
配布世帯数	2,000件
回収数	689件(34.5%)
有効サンプル数	684件(34.2%)

3. 結果・考察

3.1 洗濯頻度

1 週間の洗濯回数を図 1 に示す。季節に関係なく、1 週間に 7 回以上洗濯をしている家庭が多い。

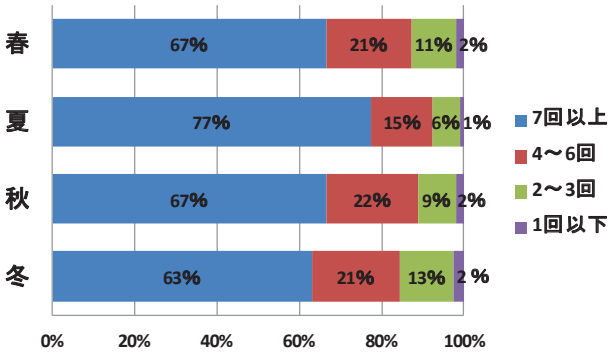


図１　洗濯頻度

3.2 洗濯機の種類

現在、使用している洗濯機の種類についての集計結果を図 2 に示す。全自動洗濯機が最も使用されており、684 人中 503 人（73.5%）という結果が得られた。また、用途別に洗濯機を変えて洗濯している家庭があり、2 台から 3 台所持している家庭があった。

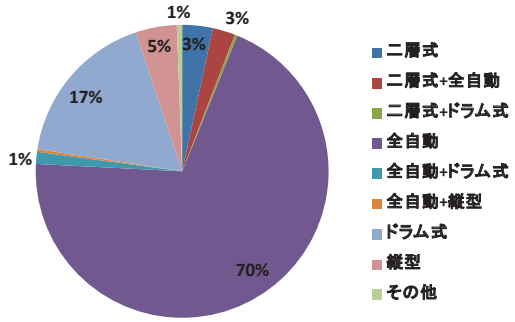


図２　使用している洗濯機

3.3 洗剤の種類

「現在使用している洗剤」の集計結果を図 3 に示す。家庭では、数種類の洗剤を使用していると思われるため、複数回答を可とした。夏は粉末洗剤、冬は液体洗剤など季節や用途によって洗剤を変えているという回答が多かった。

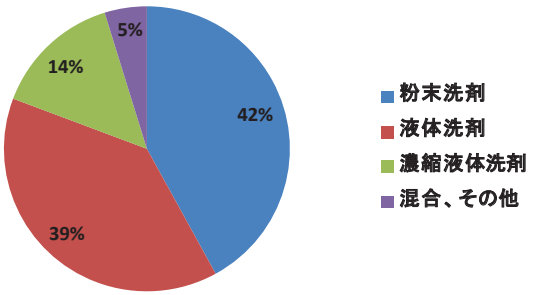


図３　現在使用している洗剤

また粉末洗剤、液体洗剤、濃縮液体洗剤ごとの洗剤を購入する際に重視する点を図 4 に示す。どの洗剤においても洗浄力が最も重視され、濃縮液体洗剤においては 88 人中 47 人(53%)と半数以上が洗浄力を重視して購入していることが分かった。

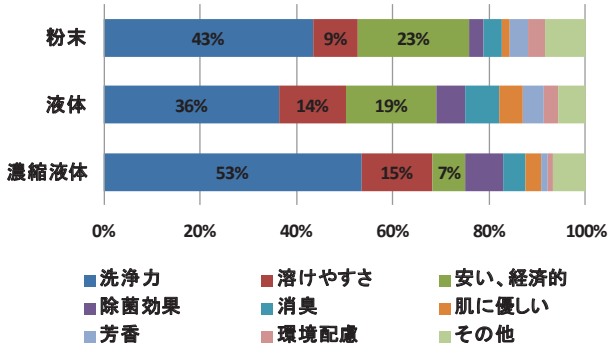


図４　洗剤ごとの重視点

3.4 すすぎ１回の設定

洗濯機ですすぎ 1 回に設定する方法の認知を図 5 に示す。設定方法が分からない又は設定できないという回答が多いのは、洗濯機の容量が小さいと設定できない可能性が高いことや少し古い洗濯機だと設定できないものが多いからではないかと考えられる。

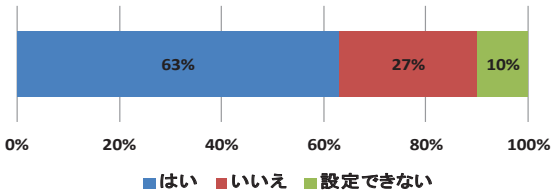


図５　すすぎ１回の設定方法の認知

また、すすぎ 1 回の設定方法を知っている人のうち、すすぎ 1 回に設定し、洗濯をしたことがある人は 353 人中 175 人(49.6%)、ない人は 167 人(47.3%)と、知っている人でも設定していない人が多いことが分かった。(図 6)匂いや洗剤の残留を指摘する回答が多く、洗剤を購入する際の重視する点の結果からも、匂いを重視する人は濃縮液体洗剤を使用していない人が多いことが分かる。

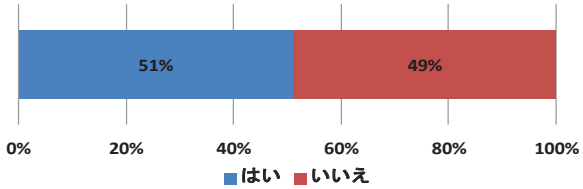


図６　すすぎ１回の設定を使用しているか

4. おわりに

本研究では濃縮液体洗剤の使用に伴うライフサイクル GHG 排出量の削減効果の評価手法の検討を行った。濃縮液体洗剤の洗濯行動に関するアンケート調査では、全自動洗濯機を使用している家庭が全体の 73.5%という結果が得られた。すすぎ 1 回での洗濯が可能な洗濯機を保有し、濃縮洗剤を使用する家庭のうち、実際にすすぎ 1 回に設定し洗濯をしたことがあるのは 34%であることがわかった。なお、電力消費量の予備的な測定結果では、濃縮液体洗剤を使用しすすぎ 1 回に設定すると、消費電力量は 20～30%の削減となった。今後は複数機種の電力消費量測定を実施し、原材料・生産・輸送・使用・廃棄(リサイクル)データまで含めて本稿で検討した評価シナリオを用いて GHG 排出量の削減効果を算定する予定である。

参考文献

1) カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム：“基本データベース ver1.01(国内データ)”CFP プログラム，入手先<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>,(参照日 2012-12-12)

LCA を組み込んだ CAD/CAM 教材の開発

Development of a teaching tool for a subject of CAD and CAM with LCA

○石川紘*1)、佐藤茂夫 1)、小島直之 1)
Hiroshi Ishikawa, Sigeo Sato, Naoyuki Kojima
1) 日本工業大学
*m1071118@mstu.nit.ac.jp

1. はじめに

ものづくりの現場で活躍できる人材の教育には、CAD や CAM による製品設計について知る必要があり、その授業は必須である。また、2009 年には ErP 指令が新たに発効され、ものづくりと環境との関係が密接になってきている。これからものづくりに携わる技術者は環境配慮も同時に行う必要性があり、その教育も今後力を入れる必要がある。本研究では、設計、加工、LCA を組み合わせた教材を開発することを目的とした。

ここで、CAD ソフトの SolidWorks に着目した。このソフトには簡易 LCA ツールである、SolidWorks Sustainability[1)]が含まれており、製品のライフサイクルにおける環境負荷が分かるが、加工段階について考慮されておらず、不完全なものとなっている。そこで、実際に加工を行い、その値と LCA ツールを組み合わせることで加工段階を補完する。さらに、本学ものづくり環境学科で行われている、CAD を用いたからくり人形の組立の実験に組み入れることで、今後必要とされる環境配慮と設計について同時に学ぶことができる。

2. 方法

図１に本研究のワークフローを示す。図面を作成し、2 種類のファイル形式で保存する。図面データは簡易 LCA ツールの実行、ベクトルデータはツールパス作成[2)]と加工時間の算出[3)]と加工および計測に用いる。

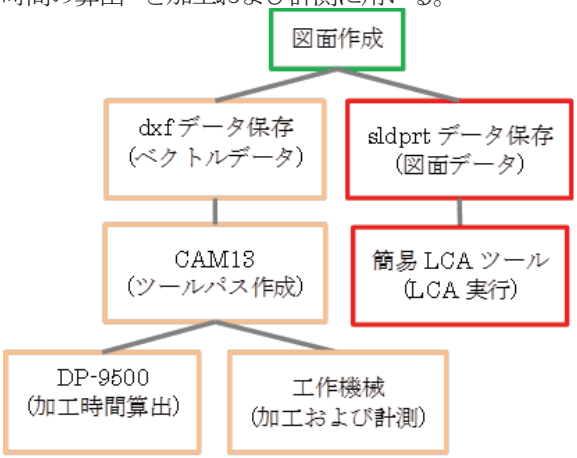


図１　ワークフロー

加工段階での消費電力の測定を行うにあたり、表１に加工段階の実験条件、図２に加工前の形状、図３に加工後の形状を示す。図３は実際にからくり人形の実験に使用されているものである。加工には切削油を使用せず、突入電流は考慮しないものとする。また、センサ取り付け位置は分電盤とし、工作機械に含まれる全ての電動機の消費電力を一つとして考慮するものとする。

表１　加工条件

使用測定機器	ｸﾗﾝﾌﾟ ｵﾝﾊﾟ ﾜｰﾊｲﾃｽﾀ 3168 ｸﾗﾝﾌﾟ ｵﾝｾﾝｻ 9298
使用工作機械	小型マシニングセンタ:MDX-500
使用工具	4 枚刃超硬エンドミル
工具径(mm)	5
被削材	アルミ合金 5052
板厚(mm)	5
回転数(rpm)	8500
送り速度(mm/min)	720
切込み量(mm)	0.1

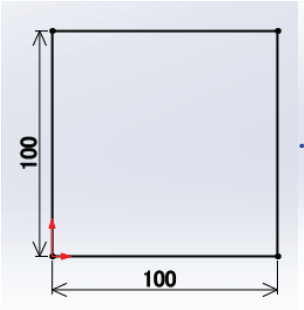


図２　切削前の被削材

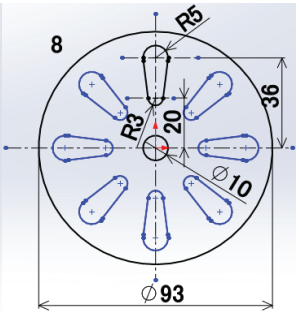


図３　からくり人形車輪

次に、切削前の被削材を SolidWorks で製図し、簡易 LCA ツールにて評価を行う。表２に LCA ツールの設定項目、を示す。ここでは、材料、製造プロセス、製造地、使用地、輸送方法、廃棄方法があるが、今回は製造地と使用地を共に日本とし、輸送については考慮していない。また、環境負荷は CO_2 排出量のみを対象とする。

表２　設定項目

材料	アルミ合金 5052-H32
製造プロセス	押し出し
製造地、使用地	日本
再利用	90%
焼却処分	1%
埋め立て	9%

3. 結果

ベクトルデータを基にツールパスを作成し、加工および計測を行った。小型MC での消費電力の依存要素として、装置維持と主軸の回転のみが大きく影響した。消費電力の割合を図 4 に示す。これにより、加工時間を算出することでおおよその消費電力を設計段階で求めることができる。

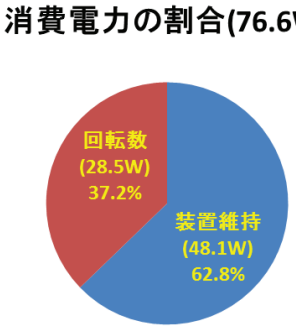


図 4　切削時の消費電力の割合

簡易 LCA ツールでの解析結果を図 5 に示す。加工時間は 537 秒、加工時の消費電力は約 43kW となった。簡易 LCA ツールでの環境負荷の解析結果と加工時の環境負荷を合わせたものを表 3 に示す。消費電力を環境負荷に換算するため、環境省より東京電力排出係数[4]として CO_2 排出係数 0.000375(kg-CO_2/kwh)とあわせた結果、合計 CO_2 排出量は 6.466[kg-CO_2]となった。



図 5 簡易 LCA ツールでの解析結果

表 3　総合環境負荷

	材料	製造	加工	廃棄	合計
CO_2 排出量 [kg-CO_2]	1.9	0.075	**4.475**	0.016	6.466

加工における環境負荷が最も大きい値となった。理由として、切込み量を小さくしたことによる加工時間の増大が要因として挙げられる。次に大きい材料の値では、アルミ一次地金と二次地金の選択を行うことができれば、3～5%の消費電力に抑えることができる。[5]また、リサイクル率を 90%に設定したことから[6]廃棄における CO2 排出量は、小さくなっている。

これらのデータをからくり人形の組立の実験に組み入れ、図 1 のワークフローと同様の手順で図 6 のからくり人形部品の環境負荷を測定する。これにより、設計と加工と LCA を同時に学ぶことができると考えられる。

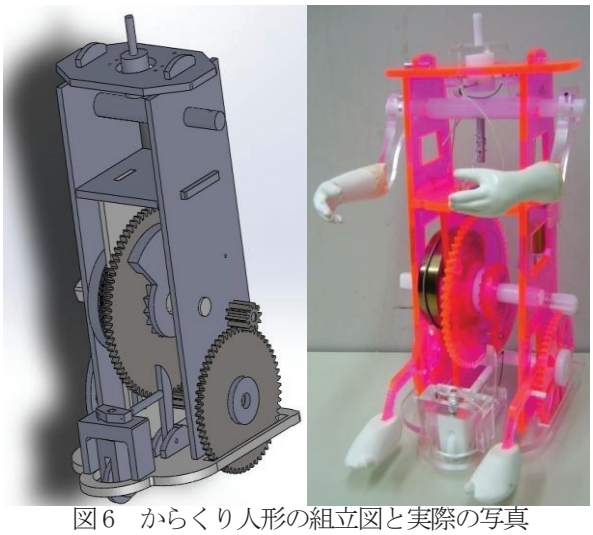


図 6　からくり人形の組立図と実際の写真

4. おわりに

突入電流を含む場合や、電動機に負荷がかかる切削条件の場合、消費電力が変化してくる。また、工作機械単位ではなく、電動機単位で出力との比較を行いつつ消費電力の測定を行う事で、他の工作機械に応用できる汎用性のある数値を得られると考えられる。これらをからくり人形の組立の実験に組み入れるにあたり、部品によってはマシニングセンタで加工できない部品がある。また、2 次元図面のみの加工と限定されるため、その克服が今後の課題である。

参考文献

1)　SolidWorks:SolidWorks　Sustainability, http://www.solidworks.co.jp/sustainability/（参照 2012/10/5)

2)協立システムマシン:NC 関連製品, http://www.kyoritsu-s.co.jp/ncn/index.html(参照 2011/11/22)

3)　一見 大輔：NC プログラム作成支援ソフト, http://www.aquarius.zaq.jp/ichimi/index.html（参照 2012/8/13)

4)環境省:報道発表資料, 環境省ホームページ, http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702 (参照 2012/4/10)

5)社団法人日本アルミニウム協会LCA 調査委員会:スクラップ溶解のインベントリ調査報告書, 日本アルミニウム協会ホームページ, http://www.aluminum.or.jp/environment/index.html

6)大久保 正男:アルミニウムのリサイクル, 季刊誌「アルミニウム」2002 年 1/2 月号掲載, http://www.aluminum.or.jp/environment/pdf/03_5.pdf#search='%E3%82%A2%E3%83%AB%E3%83%9F%E3%83%8B%E3%82%A6%E3%83%A0%E3%81%AE%E3%83%AA%E3%82%B5%E3%82%A4%E3%82%AF%E3%83%AB'　(参照 2010/6/10)

サプライチェーンの寸断リスクの構造分析

Structural Analysis of Disruption Risk of Supply Chains

○中谷隼*[1)]、醍醐市朗[1)]、福島康裕[2)]、菊池康紀[1)]、栗島英明[3)]
Jun NAKATANI, Ichiro DAIGO, Yasuhiro FUKUSHIMA, Yasunori KIKUCHI, Hideaki KURISHIMA
1) 東京大学、2) 国立成功大学、3) 芝浦工業大学
* nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. 研究の背景と目的

今般の東日本大震災では多くの産業プロセスや物流網が被災し、サプライチェーンが寸断され、様々な製品の供給が滞ることで国内のあらゆる地域における日常生活にも影響を及ぼした。特に、ある素材の供給力低下が思わぬ形で波及的に様々な製品やサービスの供給に及ぼす事例が見られたが、こうした潜在的なリスク要因を事前に認識するためには、地理的遍在性などのリスク要因も含めた国家レベルでのサプライチェーン全体の構造分析が欠かせない。

こうした背景から、本発表の著者を含む研究グループは、国家レベルでの様々なリスク要因に対する頑健性・柔軟性と環境調和性を兼ね備えたサプライチェーン構築のための分析・設計手法の開発を目指して、研究を開始している（**図1**）。このうち本発表では、サプライチェーンリスクの要因分析および評価方法の構築に関する進捗状況を報告する。サプライチェーンデータの整備に関しては、本研究発表会における田原他[1)]を参照されたい。

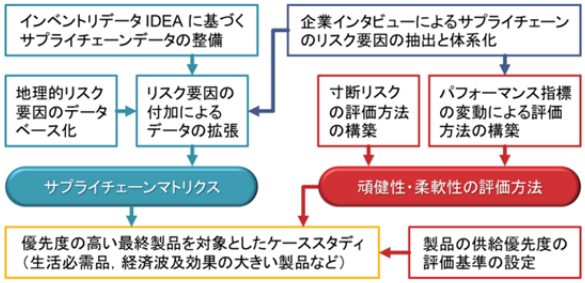


図1　リスクに対する頑健性・柔軟性を備えたサプライチェーンの分析・設計手法の開発

サプライチェーンのリスク要因に対する“強さ”は、その「頑健性」および「柔軟性」によって定義する（**表1**）。

表1　本研究における用語の定義

用語	本研究における定義
頑健性	外的要因によってシステムの状態が変化したときに、予めシステムが備えていた制御機構によって、最終的な出力が変化しないようにシステム内部の変動をかき消すことができる性質。例：材料供給が滞ったとき、在庫により製品の出荷を続けられること。
柔軟性	外的要因によってシステムの状態が変化したときに、システム内部の操作を変更することで変動を吸収し、同等な出力を出すことができる性質。例：材料供給が滞ったとき、他の材料で同等の製品を製造できること。

2. サプライチェーンリスクの要因分析

2.1 インタビュー調査によるリスク要因の抽出

まず、企業を対象として、サプライチェーン管理に従事する担当者へのインタビュー調査を実施した（**表2**）。現状の企業レベルでのサプライチェーンに存在するリスクを、それらの原因と帰結（対象・時期・問題）という観点から聞き出し、同時にサプライチェーンリスクの管理方法についても質問した。

表2　企業インタビューの概要

日時	社名	業種	分類
2012年6月15日	A社	製造業（電子機器）	Tier 0
2012年6月26日	B社	製造業（計測機器）	Tier 0
2012年7月30日	C社	製造業（自動車）	Tier 0
2012年10月17日	D社	製造業（自動車部品）	C社のTier 1

また、特定製品（容器）のリサイクル促進を目的とした団体へのインタビュー調査を実施し(2012年8月9日)、過去に経験したリサイクルシステムのリスク要因と対処方法、帰結について質問した。

2.2 リスク要因の体系化

次に、上記の企業インタビューによって抽出されたリスク要因と、それらを分散・回避・軽減しえた有効な対策をもとに、影響を受けにくいサプライチェーンの要件を定義し、リスク要因に対する頑健性・柔軟性の指標化につなげる。ここではサプライチェーンリスクを、要因の「変動速度」と影響の「持続時間」という観点から特徴付けた（**図2**）。

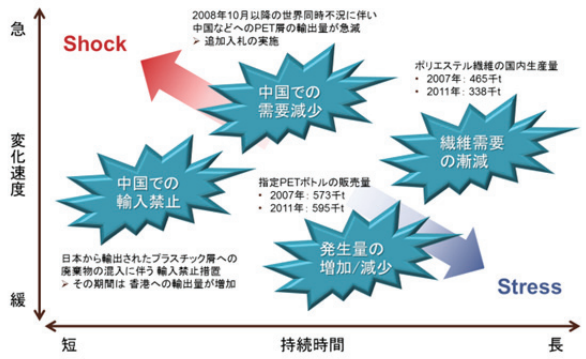


図2　リスク要因の変動速度および持続時間による特徴付け（ペットボトルリサイクルの例）

2.3　地理的リスク要因のデータベース化

生産プロセスの立地や物流など、サプライチェーンの構成要素の地理的分布に依存するリスク要因については、国土数値情報や各種の企業統計をもとに、GIS（地理情報システム）上でデータベース化・可視化する（**図3**）。

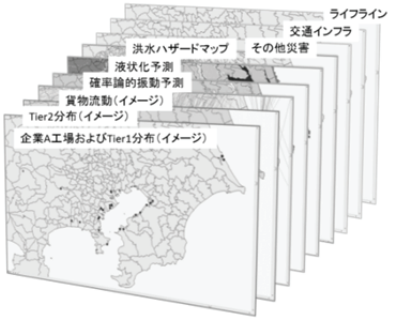


図3　サプライチェーンの地理的リスク要因のGISデータベース（イメージ）

3.　サプライチェーンリスクの評価方法

3.1　サプライチェーンの寸断リスクの評価

次に、サプライチェーンの寸断リスクに対する“頑健性”を評価する枠組みを提案する。ここでは、サプライチェーン構造と“生産し続けられない”リスク（寸断リスク）の関係をモデル化する。まず、**図4**に例示するように、サプライチェーン構造を製品・部品・素材の生産プロセスをノードとする有向グラフによって表現する。この有向グラフは、エッジ（矢印）が存在する場合に要素が $d_{i,j}=1$ となる「隣接行列」と同義である。

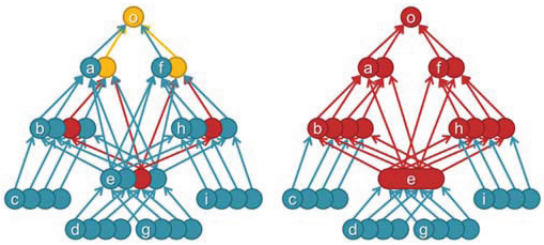


図4　グラフ理論の応用によるサプライチェーン構造のモデル化（例）

隣接行列 $\boldsymbol{A}$ および単位行列 $\boldsymbol{I}$ を用いて求めた可達行列 $\boldsymbol{R}=(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{I})^n$ の i 行目の要素の総和（行和）は、ノード i が破綻したときに生産に影響を受けるノードの数（ノード i 自身を含む）を表し、j 行目の要素の総和（列和）は、破綻したときにノード j の生産に影響を与えるノードの数（ノード j 自身を含む）を表す（**表3**）。

ノード間の代替可能性（OR節点）を考慮する場合、代替可能なエッジが存在する場合に要素が $s_{i,j}=1$ となる「代替可能性行列」を定義する。代替可能性行列 $\boldsymbol{S}$ を用いて、$\boldsymbol{S}\cdot(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{I})^{n+1}=\boldsymbol{S}\cdot(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{I})^n$ となるまでブール演算を繰り返すことで求められる行列を、可達行列 $\boldsymbol{R}$ から差し引いたものを「脆弱性行列」とする。脆弱性行列 $\boldsymbol{V}$ の i 行目の要素の総和（行和）は、ノード i が破綻したときに完全に生産が続けられなくなるノードの数（ノード i 自身を含む）を表し、j 行目の要素の総和（列和）は、破綻したときに完全にノード j の生産が続けられなくなるノードの数（ノード j 自身を含む）を表す（**表3**）。

表3　サプライチェーン構造の可達行列と脆弱性行列の行和および積和（例）

	ノード	o	a	b	c	D	e	f	g	h	i
左グラフ：	行和	1	2	3	4	7	6	2	7	3	4
可達行列	列和	33	11	5	1	1	3	11	1	5	1
左グラフ：	行和	1	1	1	2	4	3	1	4	1	2
脆弱性行列	列和	1	1	5	1	1	3	1	1	5	1
右グラフ：	行和	1	2	3	4	15	14	2	15	3	4
可達行列	列和	30	14	11	1	1	9	14	1	11	1
右グラフ：	行和	1	1	1	2	1	14	1	1	1	2
脆弱性行列	列和	2	2	3	1	1	1	2	1	3	1

3.2　パフォーマンス指標の変動による評価

また、環境調和性や経済性といった平常時におけるサプライチェーンの評価指標を「パフォーマンス指標」と呼び、そのリスク要因の発生に伴う変動に基づいた評価方法を提案する（**図5**）。この評価方法の評価事例については、本研究発表会における石川他[3]も参照されたい。

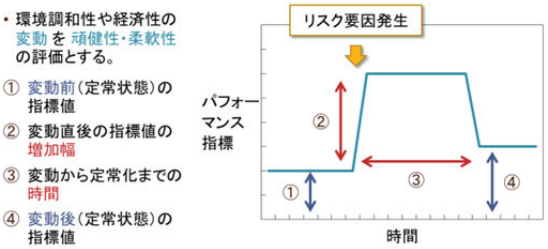


図5　パフォーマンス指標の変動に基づくサプライチェーンの評価方法

4.　今後の課題と展開

サプライチェーンマトリクス（**図1**参照）の整備を受けて、構築された評価方法を特定の製品のサプライチェーンの評価に適用する。供給優先度の評価基準は、過去の家計支出統計・産業統計を解析することによって得られる消費者の最終製品に対する必需性を想定している。

謝辞　インタビュー調査にご協力いただいた企業・団体の担当者の方々に謝意を表する。本研究は、科学研究費補助金（基盤研究A）「リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発」（代表：森口祐一）の一環として実施された。

引用文献

1)　田原聖隆 他：サプライチェーン寸断リスク分析用データの作成，第8回 日本LCA学会研究発表会，B3-03（2013）
2)　石川晴菜 他：変動に対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計，第8回 日本LCA学会研究発表会，D3-09（2013）

全国消費実態調査を用いた家庭部門のエネルギー消費形態分析

Household energy consumption analysis by using National Survey of Family Income and Expenditure

○松田健士*[1)]、井伊亮太[1)]、国府田諭[2)]、外岡豊[2)]
Takeshi Matsuda, Ryota Ii, Satoshi Kouda, Yutaka Tonoka
1) パシフィックコンサルタンツ株式会社, 2) 埼玉大学
*takeshi.matsuda@ss.pacific.co.jp

1. はじめに

ＨＬＣＥ（Human Life Cycle Emission）計算体系データベースの整備について、その手法は基本的に確立されているが、最近の統計データ事情の下で最善の推計手法を工夫することが求められる。HLCE 計算体系においては、家庭のエネルギー消費が重要な要素である。一方、近年、統計法の改正等により、統計データの二次的利用の可能性が拡大してきている。

このため、本調査では、これまでの推計では十分に使用されてこなかった家計データとして全国消費実態調査を使用して、家庭のエネルギー消費を目的変数とし、整体特性や地域特性を目的変数とした回帰分析を行った。また、年間のエネルギー消費を推計し、家計調査からの推計値との比較を行い、両者の推計値の特徴を把握した。

2. 全国消費実態調査の概要

全国消費実態調査では国民生活の実態について，家計の収支及び貯蓄・負債，耐久消費財，住宅・宅地などの家計資産を総合的に調査している。

同種の調査である家計調査は調査規模が約 9,000 世帯であるが、全国消費実態調査では，標本数は約 57,000 世帯（うち単身世帯約 4,400 世帯）である。

昭和 34 年より 5 年に 1 回実施されており、調査期間は二人以上の世帯は9-11月、単身世帯は10-11月である。

本研究では平成21年度に実施された第11回調査の個票データ（調査期間の１ヶ月あたり平均収支および各世帯属性）を用いた。

3. エネルギー消費量の重回帰分析

3.1 方法

エネルギー消費量との相関が高く、特に有用と考えられた属性を説明変数として、エネルギー消費量を目的変数とした重回帰分析を実施した。なお、質的変数については、ダミー変数化して用いた。単身世帯は対象月が異なるため、対象外とした。

ここで、全国消費実態調査のデータは各エネルギー種類別の支出額であるため、家計調査等の単価情報を用いて、全国消費実態調査の 9-11 月平均の支出額データを消費量（kWh、L など）に換算して目的変数とした。電力、プロパンガス、灯油、ガソリンについては都道府県別の単価を用いた。灯油、ガソリンはさらに調査対象月の単価を利用し、その他は対象年の平均単価を用いて換算した。

変数選択は基本的に AIC（赤池情報量基準）に基づくステップワイズ変数減少法を適用した。ただし、説明変数間の相関が高く多重共線性が疑われる場合には、特にエネルギー消費量への影響を確認したい変数１つを選択した。

3.2 結果

電力についての重回帰分析結果を示す。ステップワイズ法に基づく変数選択の結果、全ての変数が採用された。北海道を基準とする都道府県のダミー変数は地域によって大きく異なったが、北陸や四国で大きな値を示した。

住宅の建て方は木造戸建て住宅を基準としている。鉄筋鉄骨造の戸建て住宅の消費電力が大きい点は解釈が難しいが、延べ床面積やその他の消費行動を反映している可能性が考えられる。3 階建て以上の共同住宅は一般的に熱効率が高く、その点が反映されて消費電力が 5%ほど小さくなったと考えられる。

世帯主の年齢が高いほど世帯人員それぞれで電気機器を使用する傾向が強まるため、消費電力が大きくなったと考えられる。また、建築時期が新しいほど消費電力が小さくなることは住宅の省エネ化の進展を反映していると考えられる。電気機器の保有台数が 1 台増えるごとに平均で 85kWh/世帯/年の電力消費量が増加することが示された。

表 1. 電力の分析結果（目的変数の単位：kWh/世帯/年）

説明変数	β		単位
切片	4,647	**	
都道府県	-290 ～+1,900	※	各都道府県ダミー変数
世帯人員	547	***	人
要介護認定者	284	***	有無ダミー変数
戸建.鉄筋鉄骨他	263	***	有無ダミー変数
共同２階以下.木造	409		有無ダミー変数
共同２階以下.鉄筋鉄骨他	425		有無ダミー変数
共同３階以上	-233	***	有無ダミー変数
世帯主の年齢	20	***	歳
住居の建築時期	-3	**	西暦年
現住居の延べ床面積	4	***	m2
自動車保有台数	192	***	台
世帯の年間収入	1	***	万円
電気製品合計	85	***	台

：有意水準 99%、*：有意水準 99.9%
※都道府県ダミーの有意水準は都道府県による

都市ガス、プロパンガスは全く利用しない世帯も含めて分析したため世帯属性よりも地域特性に左右される結果となった。灯油は北海道、青森、秋田の都道府県ダミーが突出した正の効果を示す一方で、共同住宅や鉄筋鉄骨造のダミー変数が負の効果を示した。ガソリン消費量は首都圏や近畿圏の都道府県ダミー変数が負の効果を示した。

4. 年間エネルギー消費原単位の拡大推計

4.1 方法

(1) エネルギー消費量の年間値への換算

単身世帯は 10,11 月、二人以上世帯は 9,10,11 月の消費量を年間値に換算した。月別の消費傾向は気候等で異なるため電力調査統計等から地域別または都道府県別に消費パターンを作成した。

購入数量の熱量への換算は独立行政法人 経済産業研究所「総合エネルギー統計の解説」に記載の値を用いる。ここで、電力は二次エネルギー換算である。

(2) 世帯構成の調整

全国消費実態調査の結果を全国平均に換算する際に用いられる集計用乗率を用いて、実際により近い国勢調査の地域別世帯構成と同様になるよう重み付けした平均値を求めた。

4.2 結果

地域別エネルギー種別の年間エネルギー消費原単位（GJ/世帯/年）を推定した。結果の詳細は参考情報（SI）に示した。

ガソリンや灯油の消費量が少ないため、東京、神奈川、大阪の消費量が少ない結果となった。逆に、北海道、東北では灯油消費量やガソリン消費量が大きく、エネルギー消費原単位も大きくなった。

次に、この結果を田中ら [1)]の家計調査による推定結果と比較した。ここで、田中らの報告値に合わせて、「夫婦と未婚子世帯」のエネルギー消費原単位を散布図にプロットした。下図では、一つの点が 1 つの都道府県の平均値を表している。本調査の結果は田中らの結果と比べて 1 割ほど小さく、これは田中ら [1)]でも指摘されているように 9-11 月のデータである全国消費実態調査のデータを年間値に換算する際の誤差であると考えられる。

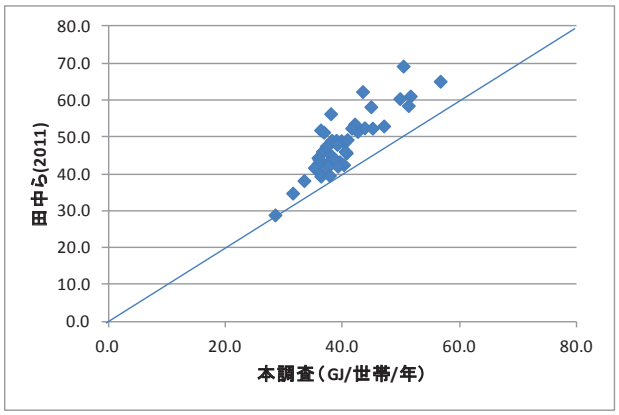


図 1 エネルギー消費原単位の比較

5. おわりに

本研究では、まず全国消費実態調査の個票データを用いて家庭のエネルギー消費原単位への影響要因の考察を行った。結果、世帯属性のうち在住都道府県や住居の構造、住居の建て方などが世帯のエネルギー消費量に大きく影響することが示された。つまり、ある個人の HLCE 評価やある地域の家庭部門のエネルギー消費量推定においては、これらの世帯属性情報に基づいた推計が必要であることが示唆された。

次に家計調査に基づく既存研究事例と比較して、推定値の違いを考察した。結果、全国消費実態調査に基づく結果は家計調査の値より小さくなる傾向が確認された。全国消費実態調査をもとにしたモデルであればかなり細かい属性別の推定値に基づいて HLCE 推定に使えることがメリットである一方、各月の消費数量データがないことがデメリットであるといえる。

参考文献

1) 田中昭雄、外岡豊、エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、27th、(2011)、ROMBUNNO.23-1

Supporting Information

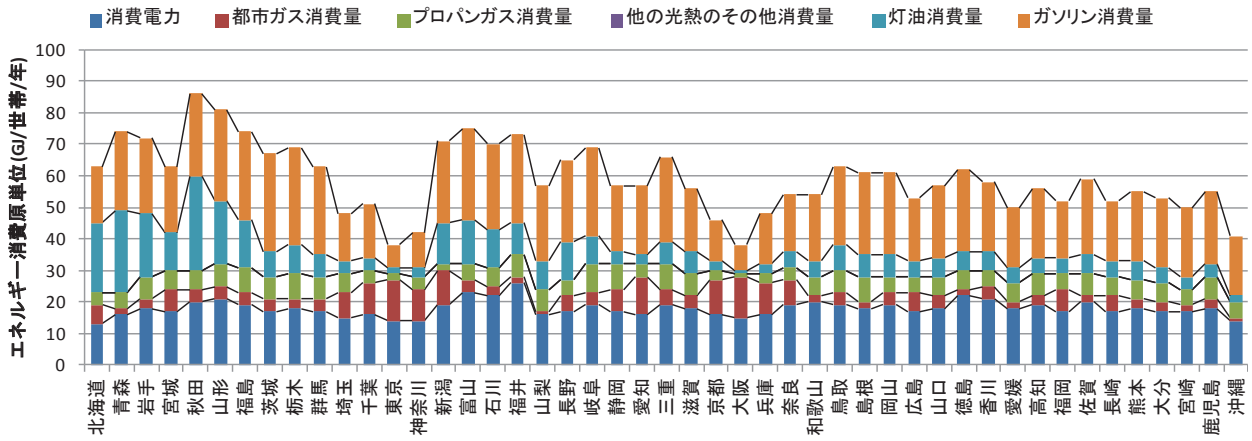


図 SI-1 エネルギー種別エネルギー消費原単位（全世帯 平均）

表 SI-1 拡大推計の都道府県の推定結果の数値表（ガソリン除く）

	全世帯	夫婦と未婚子			全世帯	夫婦と未婚子	
	本調査	本調査	田中ら (2011)		本調査	本調査	田中ら (2011)
北海道	45.0	51.6	61.1	滋賀	36.0	39.1	48.0
青森	49.0	50.4	69.2	京都	33.0	37.3	47.5
岩手	48.0	49.8	60.4	大阪	30.0	37.2	47.5
宮城	42.0	42.6	51.5	兵庫	32.0	36.0	43.9
秋田	60.0	56.7	65.1	奈良	36.0	40.8	49.3
山形	52.0	51.2	58.5	和歌山	33.0	35.8	42.8
福島	46.0	43.8	52.5	鳥取	38.0	40.7	45.7
茨城	36.0	36.6	46.1	島根	35.0	38.8	43.3
栃木	38.0	39.8	49.0	岡山	35.0	37.6	43.2
群馬	35.0	38.1	44.9	広島	33.0	37.3	42.4
埼玉	33.0	38.0	56.3	山口	34.0	38.6	44.0
千葉	34.0	38.1	49.1	徳島	36.0	40.5	46.1
東京	31.0	36.3	51.9	香川	36.0	40.2	42.5
神奈川	31.0	36.8	51.3	愛媛	31.0	35.2	41.7
新潟	45.0	43.4	62.3	高知	34.0	37.6	42.4
富山	46.0	44.8	58.2	福岡	34.0	39.2	42.1
石川	43.0	45.1	52.4	佐賀	35.0	37.5	42.0
福井	45.0	47.0	53.0	長崎	33.0	36.1	40.3
山梨	33.0	35.8	44.4	熊本	33.0	36.3	39.4
長野	39.0	42.1	53.5	大分	31.0	33.4	38.2
岐阜	41.0	41.6	52.4	宮崎	28.0	31.5	34.8
静岡	36.0	39.5	43.3	鹿児島	32.0	37.8	39.6
愛知	35.0	38.9	49.1	沖縄	22.0	28.5	28.9
三重	39.0	40.3	48.6				

表 SI-2　都道府県別世帯属性別エネルギー消費原単位（単位：GJ/世帯/年）

	若中年単身	高齢単身	ほか夫婦のみ	高齢夫婦のみ	夫婦と未婚の子のみ	片親と未婚の子のみ	その他の世帯
北海道	26.1	36.0	45.1	49.6	51.6	44.1	60.5
青森	28.0	36.8	47.3	56.9	50.4	36.2	60.0
岩手	20.8	36.0	38.9	47.7	49.8	33.9	61.4
宮城	22.1	25.6	33.5	43.0	42.6	30.6	62.1
秋田	32.7	44.1	50.3	58.0	56.7	38.7	74.8
山形	24.1	25.3	42.6	44.8	51.2	53.0	67.6
福島	24.3	32.1	40.7	44.6	43.8	28.5	60.5
茨城	17.8	23.0	32.6	36.4	36.6	29.0	49.9
栃木	23.5	21.8	35.1	38.2	39.8	21.2	51.9
群馬	19.0	22.8	34.8	35.5	38.1	26.1	47.4
埼玉	17.3	22.9	31.7	32.7	38.0	27.4	42.1
千葉	18.7	23.6	31.4	33.0	38.1	25.1	46.5
東京	16.9	22.8	27.9	33.2	36.3	25.6	36.5
神奈川	17.8	21.8	30.4	32.0	36.8	26.5	42.0
新潟	19.1	37.5	43.6	42.1	43.4	31.0	58.5
富山	30.7	34.6	42.7	43.3	44.8	34.1	53.8
石川	26.7	24.6	37.8	42.3	45.1	34.4	55.7
福井	20.6	40.6	40.2	42.3	47.0	29.9	55.3
山梨	13.7	22.2	35.9	33.2	35.8	27.4	41.7
長野	17.0	28.0	37.7	39.8	42.1	24.7	48.7
岐阜	19.6	21.5	38.1	37.4	41.6	29.0	54.8
静岡	20.6	24.9	34.2	34.3	39.5	31.1	44.7
愛知	20.9	24.0	33.2	35.4	38.9	29.2	45.8
三重	23.5	25.1	37.1	35.9	40.3	33.3	52.1
滋賀	15.4	27.8	33.4	33.6	39.1	35.5	54.1
京都	14.7	21.1	32.2	32.9	37.3	19.6	44.1
大阪	17.4	19.7	27.8	30.4	37.2	32.3	37.8
兵庫	17.1	23.2	29.6	31.9	36.0	24.8	40.2
奈良	16.0	20.5	35.8	35.2	40.8	26.7	44.2
和歌山	19.4	19.8	33.1	33.4	35.8	25.1	43.3
鳥取	25.7	24.1	32.8	37.4	40.7	22.9	44.8
島根	25.6	21.7	34.5	35.5	38.8	28.7	45.5
岡山	19.6	25.5	32.3	39.0	37.6	28.4	48.4
広島	17.7	26.6	30.6	34.1	37.3	31.7	42.5
山口	16.9	24.1	32.4	34.1	38.6	26.9	43.0
徳島	14.1	21.1	37.0	36.5	40.5	32.0	50.2
香川	22.7	21.8	34.8	36.2	40.2	26.3	46.2
愛媛	19.3	22.8	32.5	33.9	35.2	23.1	39.1
高知	21.3	24.5	32.7	33.7	37.6	27.1	45.3
福岡	20.8	26.6	32.9	34.3	39.2	33.8	39.8
佐賀	19.9	24.6	33.2	33.7	37.5	26.4	40.6
長崎	17.7	27.3	35.1	33.3	36.1	25.7	38.7
熊本	20.9	21.4	30.4	34.5	36.3	31.2	41.4
大分	17.9	21.2	31.4	32.2	33.4	22.5	38.8
宮崎	18.1	21.8	28.8	28.7	31.5	24.5	32.7
鹿児島	19.9	22.3	31.3	32.3	37.8	28.6	40.9
沖縄	11.6	13.3	21.5	28.2	28.5	23.9	27.0

東日本大震災の影響を考慮した家庭の省エネルギー行動に関する研究

Study on energy conservation behavior in household considering effect of the Great East Japan Earthquake

○杉山雄亮*1)、吉川直樹 1)、天野耕二 1)
Yusuke Sugiyama,Naoki Yoshikawa,Koji Amano
1) 立命館大学
* rv002086@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災とその後に起きた福島第一原子力発電所の事故の影響による国内すべての原子力発電所の停止で、国民は家庭での節電行動を要請されることとなった。それにより、家庭でのライフスタイルに変化が見られてきている。また、大震災が発生する以前において、家庭用エネルギー消費は、生活の利便性・快適性を追求する国民のライフスタイルの変化、世帯数の増加等の社会構造変化の影響を受け、個人消費の伸びとともに、著しく増加してきている状況にあった。以上のことから、現在、家庭部門における省エネの推進は喫緊の課題となっているといえる。

そこで本研究では、震災が発生したことによって、家庭における居住者の省エネ行動・省エネに対する意識がどのように変化したのかを明らかにすることを研究目的としている。震災前および震災後に行った同内容のアンケート調査結果を比較することにより、震災前後の省エネ行動および省エネに対する意識の変化について評価する。また、関西地域と被災地により近い関東地域で、居住者の省エネ行動および省エネに対する意識に変化があるのかという点と震災後、居住者の省エネ行動・省エネに対する意識がどのように変化していくかという点についても検討する。

2. 方法

2.1 アンケート調査結果

研究に用いるデータは、アンケート手法によって得られたデータを主としている。本研究で行った調査概要について、表1に示す。一般戸建住宅を対象に調査を行っており、調査方法としてはアンケートを直接ポストに投函する直接投函配布に加えて、回収率を上げるため、アンケート内容の趣旨を説明した上で手渡しする訪問配布も実施している。

2.2 調査票の設計

調査票は、「省エネ行動の実施状況」、「省エネに対する意識」、「震災後の意識変化」、という3つの内容で構成されており、表2にその調査票の構成を示す。「省エネ行動の実施状況」は、「している」から「していない」の4段階尺度、「省エネに対する意識」および「震災後の意識変化」は「そう思う」から「思わない」の4段階尺度にて実施している。また、2011月11月に実施した調査に関しては、2001年に実施された調査結果[1)]と震災前、震災後の3時期の比較を行うことを想定していたため、省エネ行動の実施状況のみ震災前の状況を思い出させて回答してもらう形で調査票を設計した。また、同様に2012年9月に千葉県で実施した調査も震災前の状況を思い出させて回答してもらう形で調査票を設計した。

表 1　家庭の省エネルギーに関する調査概要

対象地域	滋賀県草津市	千葉県4市	滋賀県草津市
調査対象	一般戸建住宅	一般戸建住宅	一般戸建住宅
調査時期	2011年11月	2012年9月	2012年11月
調査方法	直接投函配布+郵送回収 訪問配布+郵送回収	直接投函配布+郵送回収 訪問配布+郵送回収	直接投函配布+郵送回収 訪問配布+郵送回収
配布数	700件	700件	700件
回収数	364件 (52.0%)	197件 (28.1%)	292件 (41.7%)

表 2　調査票構成

内容	項目数
個人属性および世帯属性	11項目
住宅属性	7項目
省エネ行動の実施状況	32項目
震災前の省エネ行動の実施状況	32項目
省エネに対する意識	24項目
震災後の意識変化	12項目

3. 結果と考察

3.1 分類別省エネ行動ポイントの比較

2001年および2011年のアンケート調査結果である省エネ行動の実施状況の質問項目において、「している」3

点、「たまにしている」2 点、「あまりしていない」1 点、「していない」0 点と点数化し、これを省エネ行動ポイントとした。全 32 項目を使用機器別に分類した上で、震災前後での省エネ行動ポイントの比較評価を行った。照明、コンセント、電化製品、冷暖房、冷蔵庫、電気ポット、風呂、その他に関する全 8 項目の省エネ行動別の省エネ行動ポイントの比較を行ったものを表 3 に示す。t 検定の結果、省エネ行動ポイントの差が 5%の有意水準で有意であったものを網掛けで示している。

表 3　分類別省エネ行動ポイント　比較評価

＜震災後と震災前の比較＞

	照明	コンセント	電化製品	冷暖房	冷蔵庫	電気ポット	風呂	その他
震災後(2011年調査)	1.96	1.49	2.01	2.37	1.68	2.16	1.44	1.19
震災前(2011年調査)	1.82	1.44	1.86	2.19	1.48	1.95	1.37	1.14
p値	$1.3\cdot10^{-9}$	0.062	$2.8\cdot10^{-6}$	$4.8\cdot10^{-17}$	$4.8\cdot10^{-17}$	$2.1\cdot10^{-6}$	$6.7\cdot10^{-5}$	0.0053
平均値の差	0.14	0.05	0.15	0.18	0.20	0.21	0.07	0.05

＜震災後と12年前の比較＞

	照明	コンセント	電化製品	冷暖房	冷蔵庫	電気ポット	風呂	その他
震災後(2011年調査)	1.96	1.49	2.01	2.37	1.68	2.16	1.44	1.19
12年前(2001年調査)	1.90	1.40	1.81	2.29	1.48	1.69	1.38	1.05
p値	0.34	0.26	0.00	0.05	0.01	$1.6\cdot10^{-5}$	0.26	0.00
平均値の差	0.06	0.09	0.20	0.08	0.20	0.47	0.06	0.14

＜震災前と12年前の比較＞

	照明	コンセント	電化製品	冷暖房	冷蔵庫	電気ポット	風呂	その他
震災前(2011年調査)	1.82	1.44	1.86	2.19	1.48	1.95	1.37	1.14
12年前(2001年調査)	1.90	1.40	1.81	2.29	1.48	1.69	1.38	1.05
p値	0.15	0.61	0.43	0.04	1.00	0.02	0.91	0.08
平均値の差	−0.08	0.04	0.05	−0.10	0.00	0.26	−0.01	0.09

東日本大震災の影響で、震災後、居住者が積極的に省エネ行動に取り組むようになったことが明らかになった。また、居住者の省エネ行動の実施状況は 12 年前から震災前の期間において、顕著な変化がなかったことが明らかにされた。全 8 項目の中で震災前から震災後にかけて、省エネ行動ポイントがより高くなったものとして、「冷暖房」「電気ポット」「冷蔵庫」があげられる。これは、比較的取り組みやすい省エネ行動であることから、省エネ行動ポイントが、高くなっているといえる。また、「電化製品」の省エネ行動ポイントが高くなっている原因としては、家電エコポイント制度などの政府の施策により、居住者が省エネ家電を購入しやすくなったことで、省エネ家電への関心が高まり、積極的に省エネ行動に取り組むようになったものと考えられる。

3.2　省エネ行動規定因連関モデルに基づく解析の比較

省エネルギー行動に関する居住者の環境意識構造を明らかにするために、広瀬[2)]による環境配慮行動と規定因との要因連関の一般モデルを参考に、省エネ行動規定因連関モデルを設定した。そのモデルに基づいてパス解析を行った結果を図 1 に示す。2001 年および 2011 年に実施したアンケート調査結果の比較を行っている。

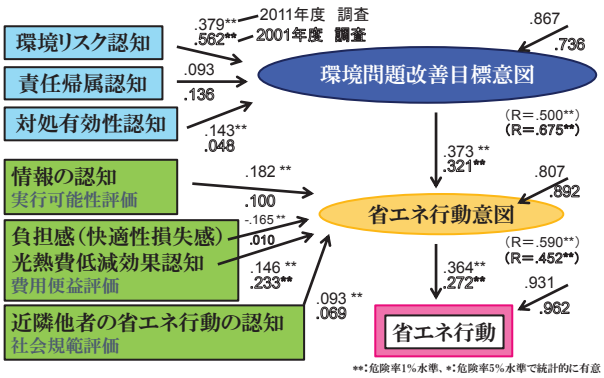


図 1　省エネ行動規定因連関モデルに基づく解析結果

震災前と震災後で、顕著な変化が見られたのは、「環境リスク認知」「情報の認知」「負担感（快適性損失感）」である。「環境リスク認知」に関して、居住者が家庭での節電行動を余儀なくされたことにより、地球温暖化やエネルギー枯渇問題への危機感が薄れたと考えられる。「情報の認知」に関して、震災後、家庭の居住者に対して、節電行動を促進させる情報提供がテレビなどのメディアを通して、活発に行われてきたことにより、変化が見られたと考えられる。「負担感（快適性損失感）」に関して、原子力発電所が停止したことにより、節電を行わなければならない状況に立たされた居住者にとって、節電を行うことはあたりまえになっていることが変化の原因として考えられる。このように、震災がもたらした電力不足という状況により、家庭の居住者の省エネに対する意識に変化が見られたといえる。

4.　おわりに

居住者の省エネ行動の実施状況および省エネに対する意識は、12 年前から有意に変化していることが明らかになった。省エネ行動を積極的に行う居住者が増え、居住者の省エネに対する意識は高まっている。その要因として、東日本大震災の影響がもっとも強いと考えられる。しかしながら、居住者の省エネ行動の実施状況が 12 年前から震災前の期間において、顕著な変化が見られなかったことから、現在の省エネ行動の実施状況および省エネに対する意識は、震災による一時的なものである可能性が充分に考えられるため、今後継続した調査を行っていくことが必要である。

参考文献

1)　寺田幸司, “住民意識を考慮した一般戸建住宅のエネルギー消費特性に関する研究”,立命館大学大学院理工学研究科修士論文, (2001)

2)　広瀬幸雄, “環境と消費の社会心理学 - 共益と私益のジレンマ - ”,名古屋大学出版会, (1995)

雨水活用装置総合評価 Web アプリケーション“AkaNavi”の開発

Development of Rainwater Harvesting System Comprehensive Evaluation Web application "AkaNavi"

○笠井利浩*[1)]、前川翔太[1)]
Toshihiro Kasai, Shota Maegawa
1）福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1.　はじめに

近年、日本国内においても一般家庭等への小規模雨水活用装置の設置事例が増加してきている。これらの雨水活用装置の設置目的は、①水資源の確保　②防災対策　③水道水節水による経費削減　④環境負荷削減[1)]　に分類される。これらの目的の中でも、特に③や④の目的を達成するためには、設置前に実施するシミュレーション結果等を活かした装置設計が重要となる。しかしながら、一般家庭用程度の小規模装置の場合には、評価されないまま設置されている場合が多い。筆者らはこれまで、誰もが簡単にWeb上で雨水活用装置の稼働シミュレーションを行えることを目的としたWebアプリケーションの開発を行ってきた[2,3)]。本報では、これまでのアプリケーションをベースに、より詳しいシミュレーションが行える新たな雨水活用装置総合シミュレーションソフトを開発したので報告する。

2.　方法

2.1　データ調整

本研究で開発した雨水活用装置総合シミュレーションソフトで用いた降水データは、2000～2009年のAMeDAS 10分値データである。国内には降水量を観測する観測所は約1300箇所あるが、観測所によっては長期欠測している場所ある。従って、これらの観測所の中から10年間のデータが全て揃っている観測所のデータを用いた。なお、実際の計算に用いる降水データは、計算速度の向上とサーバへの負担軽減を目的として 10 分値データを基に 1 時間値データに計算し直したものを用いた。

2.2　シミュレーションの流れ

シミュレーションにおける雨水活用量等の計算フローを、図1に示す。雨水活用において、大気中の有害成分や屋根面に沈着した土埃等を含む初期雨水の排除は非常に重要である。今回開発を行ったアプリケーションでは、簡易的な初期雨水の排除装置として最も一般的な、初期雨水カットタンク方式を用いた場合のシミュレーションが行える（図 2）。初期雨水カットタンク容量や、次回の降雨に向けて自動的に初期雨水カットタンクをリセットするためのドレイン孔の口径等の設定も可能である。これまでの研究から、降水パターンの違いによって雨水タンクに貯留されることなく初期雨水カット装置のドレイン孔から排出される雨水の量が大きく異なることが分かっている[4)]。一般的な初期雨水カットタンク容量とドレイン孔の口径（1～3mm程度）に設定した場合でも、頻繁に降水が発生する山形県等では、年間集水量の70%以上がドレイン孔から排水されるというシミュレーション結果も得られており、降水パターンに応じた条件の設定が重要であることが分かる。

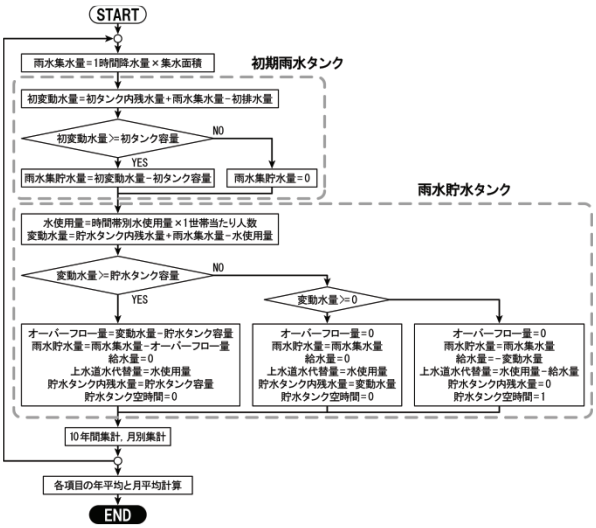


図1　シミュレーションにおける雨水の流れ図

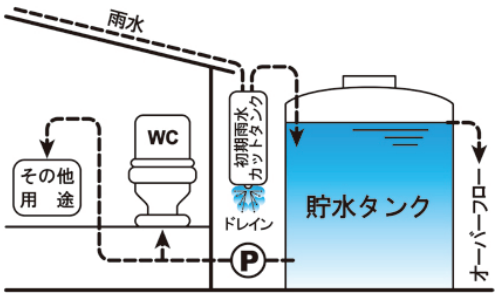


図2　シミュレーション用雨水活用装置の概念図
（初期雨水カット装置付、地上タンクの場合）

2.3　シミュレーション条件設定画面

雨水活用装置総合シミュレーションソフトを実行する

と、以下の流れに沿ってシミュレーション条件を設定する画面が現れる。

1. 都道府県、市区町村設定(雨水活用装置設置場所)
2. 観測データの選択(近隣3観測所)
3. 雨水活用装置の構成設定
4. 稼働条件設定①（タンク容量、屋根面積他)
5. 稼働条件設定②（時間帯別水使用量)
6. シミュレーション結果表示画面(グラフ選択可)

雨水活用装置を設置する市区町村を設定すると(1.)、その市区町村役場から近距離にある観測所が3つ表示される(2.)。次に、雨水活用装置の装置構成(初期雨水カット装置の有無、雨水タンク設置場所等)の設定を行う(3.)。稼働条件設定画面では、各項目ごとにイラスト付きの簡単な説明が表示され、その説明に従って条件入力することで初心者にも分かり良いよう配慮している(4.、5.、図3および図4)。



図3　ナビゲーション付シミュレーション条件設定画面

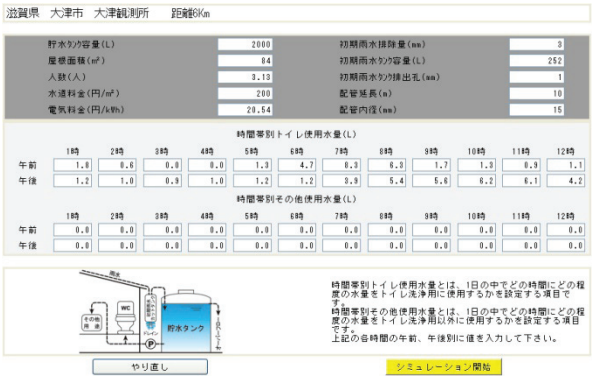


図4　時間帯別の水使用量設定画面

3.　結果および考察

雨水活用装置総合評価 Web アプリケーションのシミュレーション結果表示画面を、図5に示す。結果表示画面では、条件設定を行った各項目の値とシミュレーション結果が数値(年間)とグラフ(月平均)で表示される。グラフについては、プルダウン形式で項目(降水量他14項目)が選択でき、目的に応じてグラフの表示内容を変化させることができる。

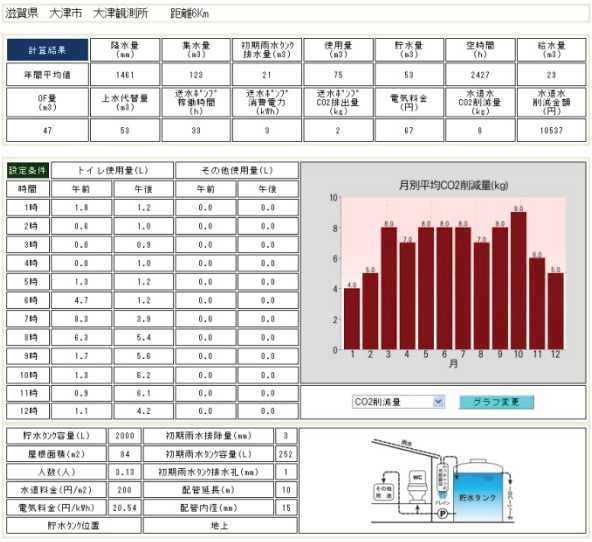


図5　雨水活用装置総合評価 Web アプリケーションのシミュレーション結果表示画面

4.　まとめ

本研究で開発した雨水活用装置総合評価シミュレーションソフトは、Web上で利用可能なものであり広く一般に利用可能なものである。これまでのシミュレーションソフトと比較して、雨水活用装置の構成や稼働条件のより詳細な設定ができると共に、各項目の値を入力する際の説明を詳しいものとしたことで、雨水活用初心者でも手軽により詳しいシミュレーションが行えるようになっている。特にCO_2削減効果については、年間の水道水使用量削減によるCO_2削減量から、装置設置時の環境負荷量の目標値(年間CO_2削減量×償却年数)が計算でき、CO_2削減を目的とした雨水活用装置の設計における目標値が得られる点において有意義なものである。

参考文献

1)　笠井利浩(2012)：地域特性からみた一戸建て住宅における雨水活用装置の環境負荷削減効果，日本雨水資源化システム学会誌，18(1)，pp.27-33
2)　市橋　健，笠井利浩(2011)：雨水活用装置による環境負荷削減量の推定等を目的としたWebアプリケーションの開発，日本雨水資源化システム学会第19回研究発表会講演要旨集，pp.73-76
3)　笠井利浩，千葉充浩，市橋　健(2012)：雨水活用装置の総合評価を目的としたWebアプリケーションの開発，第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp.362-363
4)　笠井利浩，今井康友(2012)：環境負荷削減を目的とした雨水活用装置の評価，第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp.364-365

発表キャンセル

LCA 手法を用いた下水汚泥溶融スラグのリサイクル効果の評価

LCA of Slag on Sewage Sludge Melting Process

○田畑智博*[1)]、山崎竜治[2)]
Tomohiro TABATA, Ryuji YAMASAKI
1) 神戸大学, 2) 放送大学
*tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

下水汚泥は、全国で年間約 76,200 千 t(2011 年度、濃縮汚泥)排出されている[1)]。排出分の大部分である 96.6%は減量化され、残りの 2.9%(約 2,200 千 t)がリサイクル、0.5%(約 350 千 t)が最終処分されている。リサイクルは、焼却灰の資材利用が約 66%と最も多く、続いて堆肥化が約 16%、溶融スラグは約 12%と並んでいる[2)]。このうち溶融スラグに着目すると、近畿地方では、全国の下水汚泥溶融スラグ生産量の約 79%が生産されており、本地方でのスラグ生産のウェイトは非常に高くなっている[3)]。

溶融スラグの利点は、重金属を溶融固化してリサイクルしやすい形状にすることで、最終処分量の削減を促進できることである。その一方で、溶融処理は 1,200~1,500℃の高温で行うため、多くのエネルギーを必要とする。廃棄物処理分野では、最終処分量の削減と気候変動への対応が急務となっており、最終処分量削減と温室効果ガス削減というトレードオフを如何に解決するかが重要な課題である。

そこで本研究では、環境面からみた下水汚泥溶融スラグのリサイクル効果を、LCA 手法により評価するとともに、最終処分量削減と温室効果ガス削減の観点から、溶融スラグが有利となる条件を検討した。

2. 方法

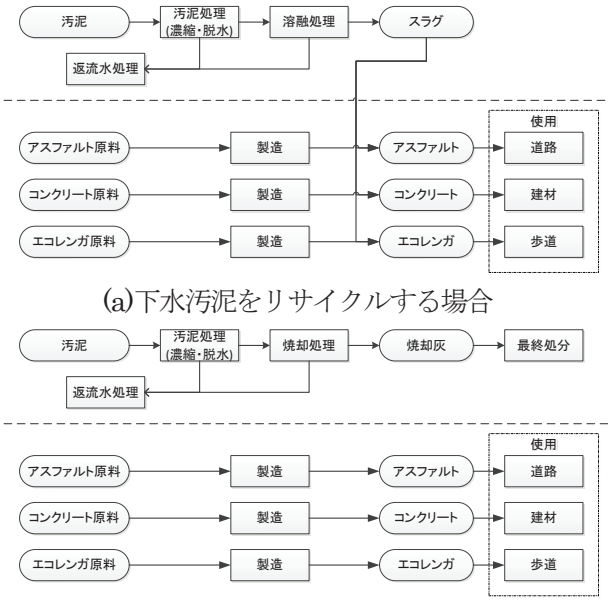
2.1 ケーススタディ

本研究では、H 県 A 下水汚泥処理場(以下、A 処理場)を取り上げ、本処理場をモデルケースとしたケーススタディを実施する。A 処理場では、年間約 21 千 t-DS(2011 年度実績)の下水汚泥をコークスベッド式溶融炉及び旋回溶融炉によりスラグ化している。スラグは、主にアスファルト、コンクリート、エコレンガの骨材にリサイクルされている。本処理場でのスラグ生産量は、全国の下水汚泥溶融スラグ生産量の約16%(2010年度)を占めている。

ここでは、A 処理場に対して 2011 年度の稼働実績に関するデータ提供を依頼し、LCA 実施に必要なデータを収集した。

2.1 目的と調査範囲

LCA の実施目的は、(1)下水汚泥をスラグ化してリサイクルする場合と(2)焼却して焼却灰を最終処分する場合の



(a)下水汚泥をリサイクルする場合

(b)下水汚泥をリサイクルしない場合

図１　システム境界

2 ケースについて環境影響を算出し、環境面からみたスラグのリサイクル効果を評価することである。機能単位は下水汚泥 1t-DS(乾燥重量)の処理とし、これに伴う CO_2、SO_x、NO_x、最終処分量を評価対象の環境負荷とする。

図 1 にシステム境界を示す。ここでは、製品バスケット法を用いてスラグのリサイクル効果を算出する。そのため、下水汚泥をリサイクルする場合としない場合の 2 ケースに分け、それぞれについてLCAを実施する。なお、処理場の建設段階での環境負荷は、計算の対象外とする。また、下水汚泥の焼却は流動床炉を用い、生産したスラグは図1に示す用途に全量リサイクルされると仮定する。

2.2 インベントリ分析と影響評価

下水汚泥の溶融に係る直接的な環境負荷は、A 処理場でのユーティリティ(電力、燃料、水)の年間使用量に、関西電力の 2011 年度排出係数、MiLCA 掲載の原単位を乗じて算出する。また、間接的な環境負荷は、A 処理場での燃料・薬剤等の年間使用量に MiLCA 掲載の原単位を乗じて算出する。

下水汚泥の焼却及び最終処分に伴う環境負荷原単位は、文献値[4),5)]を用いる。これに下水汚泥処理量及び最終処分量を乗じることで環境負荷量を算出する。

アスファルト、コンクリート、エコレンガの骨材の環境負荷原単位は、MiLCA 掲載の数値を用いる。

影響評価は、Distance to Target(DtT)法を用いる。DtT 法に関する説明及び現状値と目標値を SI に示す。対象とする影響領域は地球温暖化と最終処分場の消費とし、各影響領域の現状値と目標値は、文献[5]を参考にして設定した。

3. 結果

3.1 インベントリ分析の結果

図 2 に CO_2 排出量の場合の結果を示す。SO_x 排出量、NO_x 排出量の結果は、SI に掲載する。

ここでは、下水汚泥をスラグ化しリサイクルした場合を「リサイクルあり」、焼却し焼却灰を最終処分した場合を「リサイクルなし」と分類する。結果として、CO_2 排出量は、リサイクルありの場合は 1t-DS 当たり約 1,100kg-CO_2、リサイクルなしの場合は約 360kg-CO_2 で、前者の方が排出量は多くなった。この原因は、リサイクルありの場合は溶融処理での寄与が非常に大きいためである。特にコークスベッド式溶融炉からの排出が多く、本溶融炉は下水汚泥の 2 割しか処理していないにも関わらず、残り 8 割を処理している旋回溶融炉と CO_2 排出量は殆ど変わらなかった。

以上の結果として、スラグをリサイクルしたとしても、CO_2 からみたリサイクル効果はみられなかった。SO_x、NO_x に関しても同様の傾向であった。最終処分量は前述の仮定より、リサイクルありの場合は 1t-DS 当たり 0 kg であり、リサイクルなしの場合は約 170kg であった。

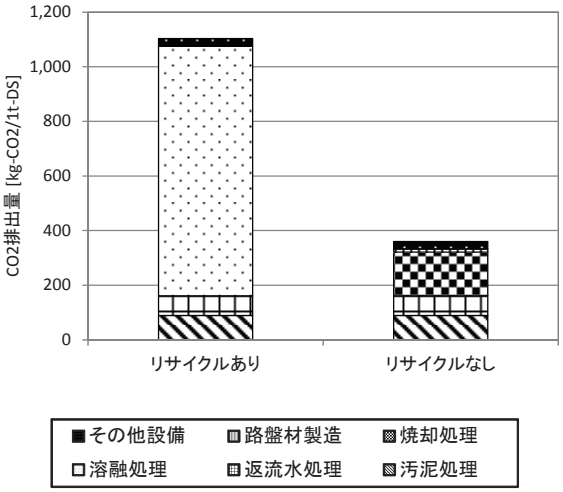


図２　インベントリ分析の結果(CO_2)

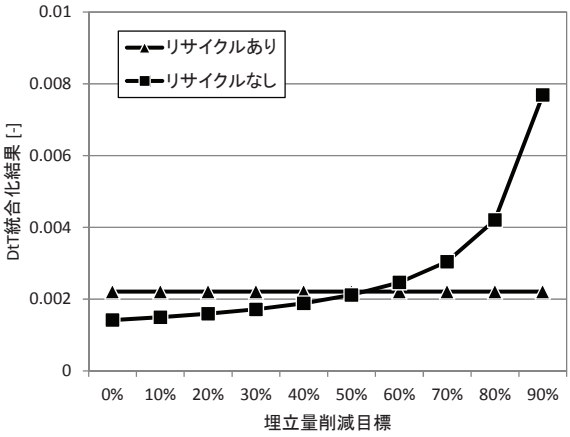


図３　埋立量削減目標の変化による結果の変化

3.2 埋立量削減目標からみた影響評価結果の変化

インベントリ分析の結果では、下水汚泥をスラグ化する方法は不利である結果となった。但し、前述のように、廃棄物処理分野では最終処分量削減と温室効果ガス削減のトレードオフの解決が課題である。また、自治体によって保有する最終処分場の残余年数に差があり、自治体ごとに結果の判断基準が変化することが予想される。そのため、DtT 法による影響評価を実施した。ここでは、最終処分場の消費に関する指標である埋立量削減目標が変化した場合の、統合化結果の変化度合いを算出した。

図 3 に、埋立量削減目標を変化させた場合の統合化結果の変化を示す。埋立量削減目標の数値は、現状に対して2030年までの埋立削減量を意味している。結果として、50%を超える削減目標を設定している自治体では、リサイクルありの場合がリサイクルなしの場合よりも有利となり、スラグ化のリサイクル効果が期待できるといえる。

4. おわりに

本研究の結果として、下水汚泥を溶融スラグ化しリサイクルする方法は、CO_2、SO_x、NO_x の観点からみて、下水汚泥を焼却・最終処分する方法よりも不利となった。但し、地球温暖化と最終処分場の消費の両面からみた場合、最終処分場の残余年数に余裕がなく、埋立量削減目標を高く設定している自治体ほど、スラグ化は有利に働くことがわかった。

参考文献

1) 環境省, 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書(平成21年度実績), 東京, (2012), 84pp, 入手先<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html >, (参照 2012-12-17)
2) 日本環境衛生センター, 汚泥処理の悩みに答える, 東京, (2007), 212pp
3) エコスラグ利用普及委員会, エコスラグ有効利用の現状とデータ集 2011 年度版, 東京, (2012), 221pp
4) 田畑智博ほか, 都市清掃, 64(303), (2011), pp.509-519
5) 田畑智博ほか, 日本 LCA 学会誌, 5(1), (2009), pp.54-67

謝辞

本研究を実施するに当たり、H 県 A 下水道処理場よりデータを提供頂いた。ここに記して、謝意を表します。

Supporting information

S1. DtT 法の計算式

DtT 法とは、影響領域ごとに目標値と現状値との比から重み付け係数を算出し、これを用いて統合評価を行う手法である。

$$I = \sum_i \left(\sum_s \left(Inv_{i,s} \times CF_{i,s} \right) \times \frac{1}{NV_i} \times \frac{NV_i}{T_i} \right)$$

但し、I: 単一指標、$Inv_{i,s}$: 影響領域 i の環境負荷物質 s の排出量、$CF_{i,s}$: 影響領域 i の特性化係数、NV_i: 影響領域 i の現状値、T_i: 影響領域 i の目標値、i: 影響領域、s: 環境負荷物質。

<参考文献>

・伊坪徳宏ほか, LCA 概論, 産業環境管理協会, 東京, (2007), 305pp

S2. 現状値と削減目標

表 S1　現状値

対象項目	排出量	備考
GHG	27,726[千 t-CO_2]	2011 年度における廃棄物処理部門の CO_2 排出量(GIO)
最終処分量	4,991[千 t]	2009 年度における汚泥の最終処分量(環境省)

表 S2　削減目標(最終処分場の消費は参考値である)

影響領域	対象項目	2030 年度の削減目標 (2005 年度を基準)	備考
地球温暖化	GHG	63%	IPCC の 2030 年時の世界経済の緩和ポテンシャルに対して、SRES B2 シナリオと比較した削減率
最終処分場の消費	最終処分量	80%	神奈川県、徳島市、名古屋市における廃棄物処理計画の最終処分量削減目標から勘案

<参考文献>

・GIO (Greenhouse Gas Inventory Office of Japan), 温室効果ガスインベントリ, 東京, (2012), 入手先< http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>, (参照 2012-12-17)
・環境省, 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書(平成 21 年度実績), 東京, (2012), 84pp, 入手先<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html >, (参照 2012-12-17)
・IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2007 Mitigation of climate change, Cambridge, (2007), 851pp
・OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development): NOx/SOx Emissions and Carbon Abatement, Paris, (1994), 26pp, 入手先< http://www.oecd.org/economy/productivityandlongtermgrowth/1862694.pdf >, (参照 2012-12-17)
・神奈川県, 神奈川県廃棄物処理計画, 横浜, (2008), 151pp, 入手先< http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f7178/p26348.html>, (参照 2012-12-17)
・徳島市, 徳島市一般廃棄物処理基本計画, 徳島, (2008), 92pp, 入手先<http://www.city.tokushima.tokushima.jp/siminkankyo_seisaku/pdf/siminkankyo_seisaku28.pdf>, (参照 2012-12-17)
・名古屋市, 名古屋市第 4 次一般廃棄物処理基本計画, 名古屋, (2008), 26pp, 入手先<http://www.city.nagoya.jp/kankyo/page/0000015513.html>, (参照 2012-12-17)

S3. インベントリ分析の結果(SO_x、NO_x)

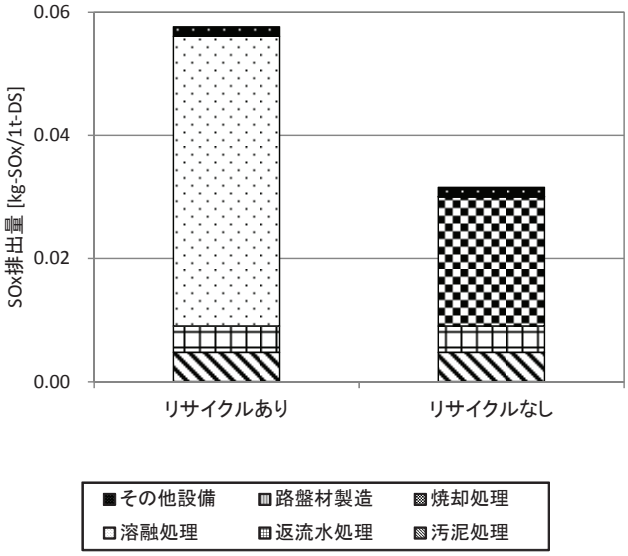


図 S1　インベントリ分析の結果(SO_x)

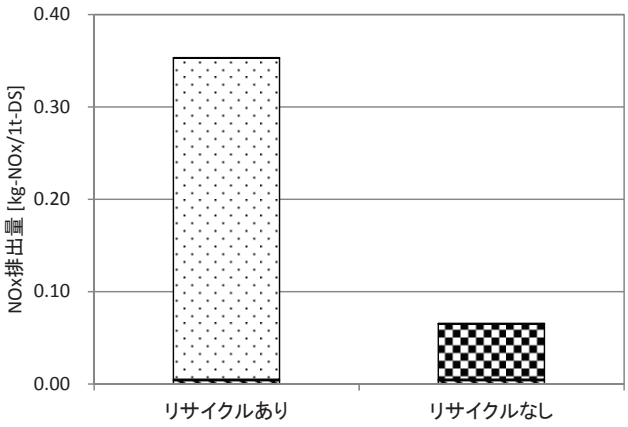


図 S2　インベントリ分析の結果(NO_x)

ディスポーザの消費者受容性と CO_2 排出削減効果

Consumer's acceptance and CO_2 reduction of disposer

○保坂　直登*[1)]、嵐　紀夫[1)]、稲葉　敦[1)]
Naoto Hosaka,Norio Arashi,Atsushi Inaba
1) 工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

わが国の一般廃棄物中に含まれる家庭ごみはほぼ全量焼却処理されている。家庭ごみに含まれる生ごみはカロリーが低く可燃ごみの発熱量低下の原因である。したがって生ごみを分別すればごみ発電の効率を向上させることができると考えられる。さらに分別された生ごみを嫌気発酵させ、バイオガスとしエネルギーを得てこれを発電に利用にする事によって CO_2 排出量を削減することができると考えられる。

本研究では生ごみを家庭ごみから分別する道具としてディスポーザに着目する。ディスポーザの設置、使用に関しては下水処理場の水質負荷増大の懸念から全国自治体の大多数がディスポーザ対応浄化槽の設置を義務づけているので戸建住宅での設置は現状では厳しい。ディスポーザの普及は対応浄化槽設置ができる大都市圏の大規模集合住宅に限定されている現状がある。

そこで本研究では対応浄化槽で水質負荷を軽減させ下水処理場で処理するのではなく集合住宅内でのメタン発酵によるバイオマス化によって生ごみをリサイクルする仕組みを提案する。ディスポーザを設置した集合住宅における小規模メタン発酵施設導入による CO_2 排出削減を評価し、ディスポーザの利便性を消費者が理解しているかを知るために、ディスポーザが完備されている集合住宅の住民と使ったことのない消費者の意識調査を行った。

2. ディスポーザ使用者、未使用者における利便性の調査

2.1 調査方法

ディスポーザ付の集合住宅の住民に
①環境問題、節電節水、リサイクルなどの意識調査
②1 日当りの使用回数や故障回数などのディスポーザの使用状況の調査
③使い方や使用時の音などの利便性の調査
④集合住宅の選定時の影響の調査
を行った。
未使用者の集合住宅には③についての印象について調査した。

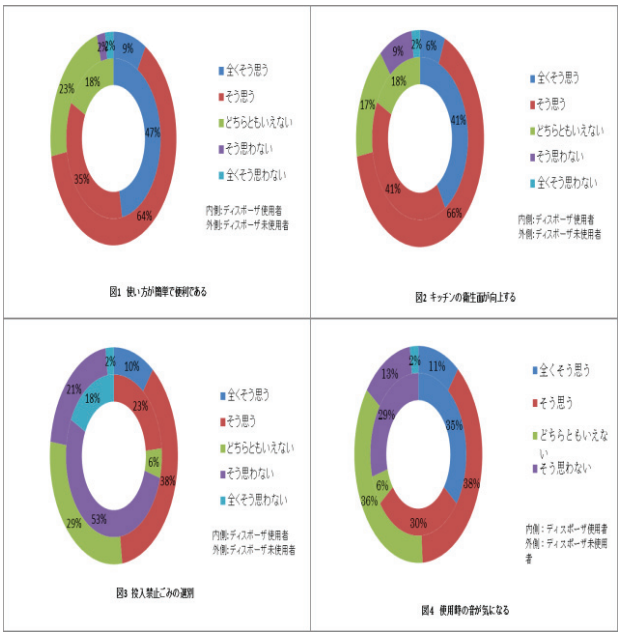
2.2 調査結果

①環境問題、節電節水、リサイクルの意識調査では 90%以上の使用者が環境問題に関心を持っていること、日々の生活で節電や節水に取り組んでいることがわかった。

②1 日当りの使用回数や故障回数などの使用状況の調査では 1 日当りの平均回数は 1～3 回が 70%で 4～6 回が 30%となった。平均使用時間では、1 分～2 分が 50%、1 分以下が 40%、2～3 分が 10%と処理量により変化がみられ、本体の故障回数は 0 回が大多数ではあったが、枝豆の殻でつまるなど少人数であるものの故障が見られた。

③ディスポーザの利便性に関しては図 1.2.3.4 に結果を記した。使い方が簡単で便利であるに対し使用者は 80%、未使用者は 70%の人がそう思っている事がわかった。生ごみがなくなる事によりキッチンが快適になるかの問いに対しても使用者は約 80%、未使用者は 70%の人が快適になるだろうと回答した。入れてはいけない生ごみ（繊維質な物、魚の骨など）の選別が面倒ではないかの問いに対し使用者はそう思わないが 50%、未使用者は 20%がそう思うと回答した。ディスポーザの使用時の音が気になるのではの問いに対して使用者は 65%、未使用者が 50%がそう思うという回答であった。

④今後の住み替え時のディスポーザの有無にはディスポーザ付きの集合住宅か戸建住宅で 70%、有無にこだわらないが 30%でディスポーザなしの住宅は 0%であった。
以上の結果は全体として、使用者、未使用者共に利便性の高さを感じ、ディスポーザを支持する割合が大きい事がわかった。



3.メタン発酵を導入した集合住宅における CO_2 排出量削減効果

3.1 評価対象

本研究では以下のケース①、ケース②、ケース③で評価した。

ケース①ディスポーザを導入しないインフラ

ケース②ディスポーザ＋対応浄化槽を導入したインフラ

ケース③ディスポーザ＋メタン発酵施設を導入したインフラ

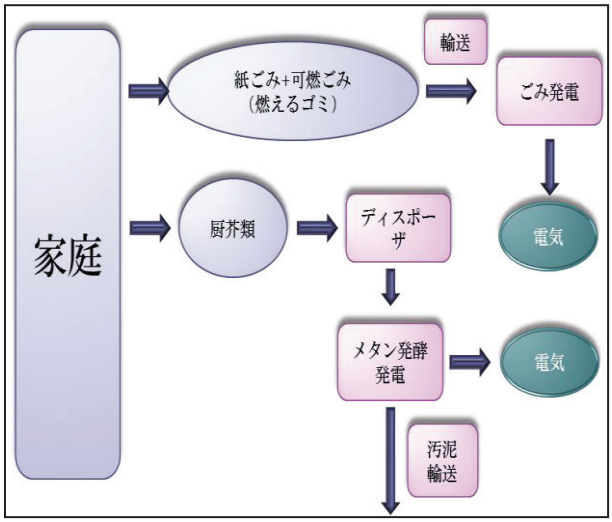


図5 ケース③におけるプロセス図

3.2 評価の前提

現在ディスポーザが最も普及している集合住宅 1 棟（150戸規模）で1世帯の平均構成人数は2.4人とした[1)]。各ケースごとの集合住宅 1 棟から排出される可燃ごみ、生ごみ、風呂・し尿などの生活排水を輸送工程・清掃工場・下水処理場の3工程の消費電力から計算した。

ケース②では浄化槽及びディスポーザの消費電力を考慮し、ケース③ではメタン発酵施設の消費電力とディスポーザの消費電力を考慮した。

ごみ収集車には2tonトラックを使用するものとし、燃費 3km/L、積載率は 100%とした。可燃ごみ、厨芥類(燃えるごみ)の輸送距離の往復は30kmとした。

ディスポーザに関する消費電力はI社をモデルとし、生ごみの量は200（g/人･日）[1)]とした。

メタン発酵施設の発酵槽の消費電力は247（kWh/ton）、メタン発酵発電量は207(kWh/ton)とした[2)]。

清掃工場の助燃剤消費量や所内消費電力量などのデータは東京23区内の清掃工場を使用した[3)]。

下水処理場のデータは森ヶ崎水処理センターを使用した[4)]。

CO_2 排出量原単位は「JEMAIL-LCA　pro」のデータを使用した[5)]。

3.3 結果

各ケースにおける CO_2 排出量を図6に示した。ケース②ではケース①に比べ清掃工場の CO_2 排出量は減少したものディスポーザの消費電力や対応浄化槽の消費電力や下水処理場の消費電力が大幅に増加した結果合計の CO_2 排出量は増加した。ケース③では清掃工場の CO_2 排出量は減少し、浄化槽よりもメタン発酵槽の消費電力の方が減少し、発電量も増加したため合計は各プロセスの中で1番優位性のある結果となった。

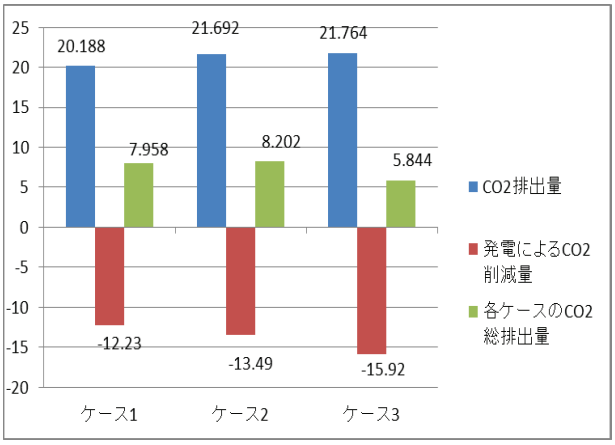


図6　各プロセスにおける CO_2 排出量[t-CO_2/年]

4.まとめ

ディスポーザ使用者、未使用者における利便性の調査では未使用者よりも使用者のが利便性の高さを感じている事がわかった。

メタン発酵を導入した集合住宅におけるCO2排出量削減効果では CO_2 排出量はディスポーザを導入し尚かつ小規模メタン発酵施設を導入した場合の CO_2 削減に効果がある事がわかった。またメタン発酵による発電効率などの技術の向上ができればさらなる CO_2 削減に効果があることがわかった。

参考文献

1）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策 課廃棄物対応課　日本の廃棄物処理　平成22年度版3月

2）谷川昇・古市徹・石井一英・西上耕平　生ごみバイオガス化施設におけるメタン回収量，環境保全性，経済性の検討　廃棄物学会論文誌，19,(3),pp.182-190(2008)

3）東京二十三区清掃一部事務組合　平成22年度清掃工場等作業年報

4）国土交通省 http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/sigen1st/04.pdf

5）JEMAI-LCA pro(LCA計算ソフト) CO_2 排出原単位

自動車リサイクルにおける鉄スクラップの品質改善

Improvement of properties of the automobile iron scrap

○柳瀬敏宏*[1)]、嵐紀夫[1)]、稲葉敦[1)]
Toshihiro Yanase, Norio Arashi,Atushi Inaba
1) 工学院大学
*b509113@ns.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

自動車は金属が多く使用されており資源として価値が高く、リサイクルすることは有用なことである。

しかし自動車の鉄スクラップ中に含まれるトランプエレメント（難除去性不純物）は熱間加工性を劣化させるなどの品質に問題を起こす。その成分の一つであるCuは精錬しても除去が困難なため、含有率を低下させることは重要である。

そこで本研究はトランプエレメントを多く含んだ部品の分別を行うことで鉄スクラップの品質向上を図る。

2. 研究方法

2.1 自動車部品・素材構成表

本研究を進める上で、(財）日本自動車研究所より自動車部品・素材構成表（以下構成表）を入手した。この構成表は、各自動車会社の4ドアセダン1500cc，ガソリンエンジンのAT（Automatic Transmission）モデルの自動車データになっている。 自動車を部位ごとに部品分類し、部品素材と各社から得た素材の平均重量が分かるものである。そこで、各々の部品素材に金属材料の成分組成を適応させ、1台あたりのトランプエレメント量を求める。

2.2 特定の車種の決定

構成表は各自動車会社の平均重量データであるため本来、樹脂系材料または鉄鋼系材料のいずれかが使われているはずであるにも関わらず、その平均値が与えられている部品があった。そこで一般大衆車であるカローラを想定して、部品の素材構成を補正した。

また銅を多く含むモーターに関しても決定した自動車のスペックデータを参照し、補正した。

3. 結果

3.1 自動車1台あたりの部品重量とトランプエレメント量

データを表 1 にまとめた。カローラの車両重量は1060kg であるが、ここでの補正後の値は1053.72kg となっている

表1　1台あたりの部品重量とトランプエレメント量

	各部品合計[kg]	各トランプエレメント量[kg]						
		Cu	Ni	Cr	Mo	Zn	Pb	Sn
10kg以上部品	647.89	9.296	2.328	2.657	0.292	7.515	0.19	0.078
10kg未満部品	381.72	3.163	0.646	2.78	0.09	0.46	7.548	0.036
1kg未満部品	36.849	0.795	0.126	0.165	0.032	0.348	0.004	0.008
モーター	3.871	0.0681	-	-	-	-	-	-
総合計	1070.330	13.322	3.100	5.602	0.414	8.323	7.742	0.122
車両重量	1053.719	-	-	-	-	-	-	-

3.2 サイコロ状プレスのトランプエレメント量

実際の解体作業で取り外されている部品を表2に示す。表 1 から表 2 の数値を除外したものがサイコロ状プレス（A プレス）のトランプエレメント量となる。これを表3に示す。

表2　解体作業での取り外し部品

分類	部品	合計[kg]	各トランプエレメント量 [kg]						
			Cu	Ni	Cr	Mo	Zn	Pb	Sn
取り外し部品	エンジン系（エンジンマウント類以外）	129.841	2.367	2.099	4.687	0.214	–	–	–
	トランスミッション	67.663	1.125	0.208	0.097	0.022	0.204	0.039	0.082
	タイヤ	33.300	0.009324	–	–	–	–	–	–
	ディスクホイール	45.552	0.000016	–	–	–	0.0000016	0.15984	0.000012
	バッテリー	9.300	0.401	0.000	0.000	0.000	0.000	7.493	0.001
	カーエアコン	13.937	0.4737786	0.0856824	0.07288	0.01424	0.0249045	0.00292595	0.0024832
	ワイヤーハーネス	7.313	3.962	–	–	–	–	0.000198	–
	エアバック	5.589	0.0190189	0.0195	0.023726	0.00221	0.0000025	0.00000095	–
	ガラス	30.193	–	–	–	–	–	–	–
	付属品	16.611	–	–	–	–	–	–	–
	液類	59.178	–	–	–	–	–	–	–
	総合計	418.477	8.358	2.413	4.881	0.252	0.229	7.694	0.085

表3　Aプレス中のトランプエレメント量

		各トランプエレメント量[kg]						
分類	総重量[kg]	Cu	Ni	Cr	Mo	Zn	Pb	Sn
廃車ガラ	662.9251	4.959	0.621	0.597	0.074	7.840	0.002	0.005
Aプレス中のトランプエレメント割合		0.748%	0.094%	0.090%	0.011%	1.183%	0.0003%	0.001%

3.3 破砕後のトランプエレメント量

破砕はシュレッダー機により行われ、鉄鋼、ミックスメタル(非鉄)、シュレッダーダスト（Automobile Shredder Residue,ASR）に分けられる。非鉄には銅やアルミなどが混在しているため、さらに非鉄選別機により分別が行われる。

金属の回収率は、製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書[4)]より、99.6%（鉄鋼）、74.4%（アルミ）、61.7%（銅）を使用した。分別された鉄鋼、アルミ、銅の重量および各トランプエレメント量をそれぞれ表4、表5、表6に示す。また樹脂系やその他の非鉄系は回収率0%と仮定しASRに加え、重量と組成率を表7に示す。

なお、分別される鉄鋼の中にはハーネス（銅）の一部が混入する。自動車シュレッダーおよびダスト中のトランプエレメント濃度の測定と重量バランス分析[5)]より、ASR中のCu成分平均値が0.665%であった。本研究では、ASR中のCu成分を0.655%とし、銅回収量とASR中の銅重量を除いた1.019kgを鉄鋼に混入する銅とした。

表4　破砕後のトランプエレメント量（鉄鋼）

		各トランプエレメント量						
分類	鉄鋼(kg)	*Cu (kg)	Ni (kg)	Cr (kg)	Mo (kg)	Zn (kg)	Pb (kg)	Sn(kg)
回収材料**	536.720	1.2854	0.542	0.59	0.0697	7.311	–	–
各トランプエレメント割合	-	0.239%	0.101%	0.110%	0.013%	1.362%	–	–
合計	538.871	1.2863	0.544	0.592	0.074	7.34	–	–
*ハーネス1.019kg含む					**回収率：99.6%			

表5　破砕後のトランプエレメント量（アルミ）

分　類	鉄　鋼(kg)	各トランプエレメント量 *Cu（kg）	Ni（kg）	Cr（kg）	Mo（kg）	Zn（kg）	Pb（kg）	Sn(kg)
回収材料**	536.720	1.2854	0.542	0.59	0.0697	7.311	–	–
各トランプエレメント割合	-	0.239%	0.101%	0.110%	0.013%	1.362%	–	–
合　計	538.871	1.2863	0.544	0.592	0.074	7.34	–	–
*ハーネス1.019kg含む				**回収率：99.6%				

表6　破砕後のトランプエレメント量（銅）

分　類	アルミ(kg)	各トランプエレメント量 *Cu（kg）	Ni（kg）	Cr（kg）	Mo（kg）	Zn（kg）	Pb（kg）	Sn(kg)
回収材料**	3.553	0.08110	0.0082	0.004	–	0.014	0.001	0.004
各トランプエレメント割合	–	2.283%	0.231%	0.113%	–	0.394%	0.028%	0.113%
合　計	4.775	0.1335	0.011	0.005	–	0.019	0.002	0.005
**回収率：74.4%								

表7　ASR 量と組成率

	合計	鉄	非鉄	*銅	樹脂	他
ASR量	119.728	2.151	2.348	0.796	82.662	31.770
ASR の組成比率	100.0%	1.797%	1.961%	0.665%	69.042%	26.535%
*1.019kg除外						

3.4　トランプエレメントの多い部品

本研究で推算したトランプエレメント量が多く含まれている部品を表 8 に示す。スクラップ中のトランプエレメント量を削減するため、これらの部品を新たに取り外し部品とすることを考える。

表8　トランプエレメントの多い部品

分　類	部品	合　計 [kg]	各トランプエレメント量 [kg] Cu	Ni	Cr	Mo	Zn	Pb	Sn
トランプエレメントの多い部品	パワーステアリング	8.179	0.042345	0.037469	0.028967	0.002954	0.00091	-	0.00273
	フロントブレーキ	8.545	0.003379	0.058636	0.071201	0.006752	-	0.0000001	-
	ABS	2.27	0.187616	0.012753	0.011125	0.00129	0.002575	0.000008	-
	ワイパー	2.18	0.10936	0.00124	0.00072	-	0.00292	0.000605	0.000512
	スピーカーユニット	2.88	0.150998	0.209664	0.154224	0.012096	-	0.0000072	-
	ヒューズボックス	0.74	0.279888	-	-	-	-	0.000014	-
	フロント・ロア・アーム	10.058	0.004372	0.045081	0.035018	0.003582	-	-	-
	リンク	10.116	0.01728	0.06552	0.096435	0.00378	-	-	-
	総合計	44.968	0.795	0.430	0.398	0.030	0.006	0.001	0.003

3.5　改善後のＡプレスのトランプエレメント量

表2に表8のパワーステアリング、フロントブレーキ、ABS、ワイパー、スピーカーユニット、ヒューズボックス、フロント・ロア・アーム、リンクを新たな取り外し部品とした。

またハーネスは、量の多いフェンダー、インストルメントパネル、フロアー、ドアの部分だけ重点的に取り除くこととした。それらを表1から除外し表9に示す。

表9 改善後のＡプレスのトランプエレメント量

分類	総重量[kg]	各トランプエレメント量[kg] Cu	Ni	Cr	Mo	Zn	Pb	Sn
取り除くハーネス	11.008	5.9636136	-	-	-	-	0.0002983	-
廃車ガラ	603.4131	2.161	0.123	0.113	0.011	7.834	0.0015	0.00241
Aプレス中の トランプエレメント割合		0.358%	0.020%	0.019%	0.002%	1.298%	0.0002%	0.00040%

3.6　改善後の破砕後のトランプエレメント量

回収率は3.3と同様として、シュレッダー機により破砕し分別された鉄鋼、アルミ、銅の重量およびトランプエレメント量をそれぞれ表10、表11、表12に示す。またASRの重量と組成率を表13に示す。鉄鋼中に混ざるハーネス（銅）についても3.3と同様に求め0.019kg加えた。

表10　破砕後のトランプエレメント量（鉄鋼）

分　類	鉄　鋼(kg)	各トランプエレメント量 *Cu（kg）	Ni（kg）	Cr（kg）	Mo（kg）	Zn（kg）	Pb（kg）	Sn(kg)
回収材料**	485.123	0.0790	0.117	0.109	0.0108	7.311	-	-
各トランプエレメント割合	-	0.016%	0.024%	0.022%	0.002%	1.507%	-	-
合　計	487.0517	0.0793	0.118	0.109	0.011	7.34	-	-
*ハーネス0.019kg含む				**回収率：99.6%				

表11　破砕後のトランプエレメント量（アルミ）

分　類	アルミ(kg)	各トランプエレメント量 *Cu（kg）	Ni（kg）	Cr（kg）	Mo（kg）	Zn（kg）	Pb（kg）	Sn(kg)
回収材料**	1.8116	0.0368	0.00307	0.0023	-	0.0092099	0.00156	0.00135
各トランプエレメント割合	–	2.033%	0.169%	0.127%	-	0.508%	0.086%	0.074%
合　計	2.435	0.0495	0.0041273	0.0030914	-	0.0123789	0.0020905	0.0018104
**回収率：74.4%								

表12　破砕後のトランプエレメント量（銅）

分　類	銅(kg)	各トランプエレメント量 *Cu（kg）	Ni（kg）	Cr（kg）	Mo（kg）	Zn（kg）	Pb（kg）	Sn(kg)
回収材料**	1.247	1.2467	-	-	-	-	0.00001	-
各トランプエレメント割合	–	99.966%	-	-	-	-	0.000%	-
合　計	2.033	2.032	-	-	-	-	0.00001	-
*ハーネス0.019kg除外				**回収率：61.7%				

表13　ASR 量と組成率

	合計	鉄	非鉄	*銅	樹脂	他
ASR量	115.357	1.948	1.749	0.767	81.674	29.616
ASR の組成比率	100.0%	1.689%	1.516%	0.665%	70.801%	25.673%
*0.019kg除外						

4.　まとめ

自動車1台あたりおよびＡプレス、破砕・分別後のトランプエレメント量を求めた。またトランプエレメント量の多い部品をあげ、改善後の数値を求めた。

表3と表9を比べるとほとんどのトランプエレメントの割合が大きく下がった。環境問題対策調査等に関する委託事業報告書[6]にはＡプレス中の銅含有率の目標値を0.3%としたいとあり、提案策で0.3%台にまで低下することが出来た。また同報告書[6]にスクラップ中のトランプエレメント平均濃度があり、その数値を下回るものまで低下した。Znだけ数値が高いが、この元素は加熱時に優先蒸発するため精錬時に含有率が低下すると考えられる。

また表4と表10に関しても、大きく数値下がった。(社)日本鉄源協会の品質規格委員会が1996年に発表した旧鉄スクラップ検収統一規格ではシュレッダースクラップAS（自動車ボディー等をシュレッダー処理し、不純物の混入が少ないもの、ASは等級を表す：現在の規格では無くなっている）のCu%が0.15%以下とある[6]。今回のものは0.016%であるので、その数値を大きく下回る数値になり良い解体方法を提案したと考えられる。

参考文献

1) 横山 一代: トランプエレメントの混入を考慮した再資源化原材料循環の環境評価と経済影響分析モデルの構築, ふぇらむ,日本鉄鋼協会会報,12(7), p.493, (2007)

2) 経済産業省　東北経済産業局:3Rシステム化可能性事業報告書,p.1~5,2009

3) 経済産業省中国経済産業局:廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査報告書,pp.11~17,(2010)（

4)（社）産業環境管理協会：製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書,p90,(2004)

5) 松野　泰也,五十嵐　佑馬,林　誠一,鶴岡　正顯,小田部和美,長坂　徹也：自動車シュレッダーおよびダスト中のトランプエレメント濃度の測定と重量バランス分析,鉄と鋼,Vol.93　No.4,pp.69~70,(2007)

6) 金属系材料研究開発センター: 環境問題対策調査等に関する委託事業報告書, (2004)

小型家電と含有金属の地域別蓄積量・廃棄量の推計

Estimate of local stocks and discards of small electric and electronic equipment and their contained metals

○山本春菜*[1)]、橋本征二[1)]
Haruna Yamamoto, Seiji Hashimoto
1）立命館大学
* rv0007ps@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

現在、様々な電気・電子機器の製造にレアメタルが必要不可欠となっており、その消費が世界中で拡大している。日本が今後、レアメタルを安定的に供給していくための戦略には、海外での資源確保、リサイクル、代替材料開発、備蓄などがあり、レアメタルを含む使用済小型家電のリサイクルシステムの構築が課題の1つとなっている。

レアメタルを含む使用済小型家電の回収を効率的に行うためには、小型家電がどのような密度で発生するのかを検討しておく必要がある。このような観点から、小塩・橋本[1)]は8種類の小型家電について、その地域別蓄積量・廃棄量、及びこれらの小型家電に含まれるレアメタルの地域別蓄積量・廃棄量の推計を行い、その結果を報告している。

本研究では、新たに6種類の小型家電とその含有金属について、その地域別蓄積量・廃棄量の推計を行うとともに、小塩・橋本の結果と合わせて、効率的・効果的な小型家電の回収方法の検討を行った。

2. 方法

2.1 対象とする小型家電と地域

本研究では、据え置き型ゲーム機、携帯型ゲーム機、電子辞書、オーディオプレーヤー、カーDVD、カーナビゲーションシステムを対象とした。これらの品目は、京都市が使用済み小型家電リサイクルのモデル事業で回収対象としている38品目のうち、出荷量に関するデータが入手できた品目である。また、対象地域を47都道府県とした。

2.2 小型家電の蓄積量と廃棄量の推計方法

本研究では、小型家電の地域別の出荷量とその寿命分布を用いて蓄積量及び廃棄量を推計した[2)]。

$$S(t)=\Sigma\{ P_i \cdot R(t-i) \}$$

$$G(t)=\Sigma\{ P_i \cdot f(t-i) \}$$

$$R(y) = exp[-\{y/Y\}^b.\{\Gamma(1+1/b)\}^b]$$

$$f(y)=R(y-1)-R(y)$$

ここで、S(t)はt年における蓄積量(台)、G(t)はt年における廃棄量(台/年)、P_iはi年における出荷量(台/年)、R(y)は使用年数y年の製品の残存率(–)でワイブル関数、Yは小型家電の平均使用年数(年)、bは分布の幅の狭さを示すパラメータ、Γはガンマ関数、f(y)は使用年数y年の製品の廃棄率(–)である。R(y)に必要となる製品寿命は中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会の資料[3)]、パラメータbは小口らが報告している電気・電子製品22品目の平均値[2)]を用いた。

地域別の出荷量Piは、全国の出荷量を地域別に配分することで求めた。全国出荷量については、できるだけ時系列のデータを収集したが、データの欠落している年については、回帰分析による外挿や線形補完等によって補足した。また、これらの全国出荷量のデータを、ゲーム機や電子辞書については年代別の保有率、カーDVDやカーナビゲーションシステムについては自動車の保有台数等のデータを利用して各都道府県に配分した。なお、小塩・橋本[1)]は、全国消費実態調査において報告されている小型家電の都道府県ごとの購入金額をもとに、全国出荷量をその購入金額の比率に応じて各都道府県に配分している。本研究は、購入金額のデータがない小型家電を対象に、上記の配分を試みた。

2.3 レアメタルの蓄積量と廃棄量の推計方法

2.2で求めた地域別の小型家電の蓄積量と廃棄量に各対象小型家電の重量[3)]及び対象とするレアメタルの金属含有率[3)]をかけることでレアメタルの蓄積量と廃棄量を推計した。対象としたレアメタルは、環境省・経済産業省による「リサイクル検討優先鉱種」[4)]からLi、Co、Ga、In、Ta、W、Y、La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Dyとした。

2.4 回収方法の検討

2.2、2.3で求めた使用済み小型家電及びレアメタルの各都道府県における蓄積量と廃棄量の推計結果を、人口あたり、世帯あたり、可住地面積あたりで比較検討し、各地域における効率的・効果的な回収方法についての検討を行った。

3. 結果と考察

以下では携帯型ゲーム機の結果について述べる。

3.1 小型家電の蓄積量と廃棄量の推計結果

図1は2010年における携帯型ゲーム機の都道府県

別蓄積量の推計結果である。携帯型ゲーム機の年代別の保有率と各都道府県の年代別人口で配分したことから、若年層の多い地域では人口に比較して大きめの推計結果となっている。しかしながら、蓄積量・廃棄量共に、やはり東京、神奈川、大阪などの人口の多い都道府県で多く蓄積されているとの推計結果となった。

3.2 レアメタルの蓄積量と廃棄量の推計結果

携帯型ゲーム機に含まれるレアメタルの都道府県別の蓄積量・廃棄量については、ゲーム機1台あたりに含まれるレアメタルの量をゲーム機の蓄積量・廃棄量に乗じて算出したことから、3.1の結果と同じ傾向となった。

3.3 効率的・効果的な回収方法

図2は都道府県別の可住地面積あたりの廃棄量の推計結果である。図1と図2を比較すると、都道府県別の蓄積量（ひいては廃棄量）と可住地面積あたりの廃棄量には異なる傾向があることが分かる。可住地面積あたりの廃棄量が多い東京、神奈川、大阪などは、狭い範囲で効率的に回収することが可能となるため、ステーション回収も検討に値するが、可住地面積あたりの廃棄量が少ない地域は、ボックス回収などが適していると考えられる。

4. おわりに

本報告では、携帯型ゲーム機についての結果と考察を例として示した。その他の小型家電も含めた総合的な検討結果については、学会当日に報告する。

参考文献

1） 小塩真史，橋本征二：日本LCA学会研究発表会講演要旨集，（2012），pp.340-341

2） 小口正弘，亀谷隆志，田崎智宏，玉井伸明，谷川昇：廃棄物学会論文誌，17（1），（2006），pp.50-60

3） 環境省 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済み製品中の有用金属の再生に関する小委員会：第5回資料2，参考資料別紙，(2011)

4） 環境省・経済産業省：“使用済み小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会、とりまとめ”，（2011）

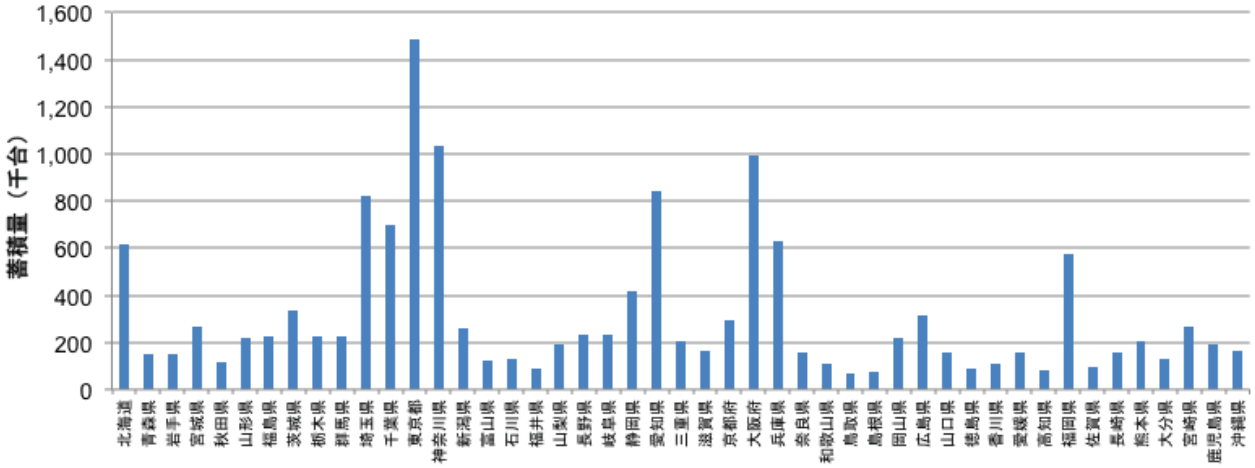


図１　携帯型ゲーム機の都道府県別蓄積量の推計結果

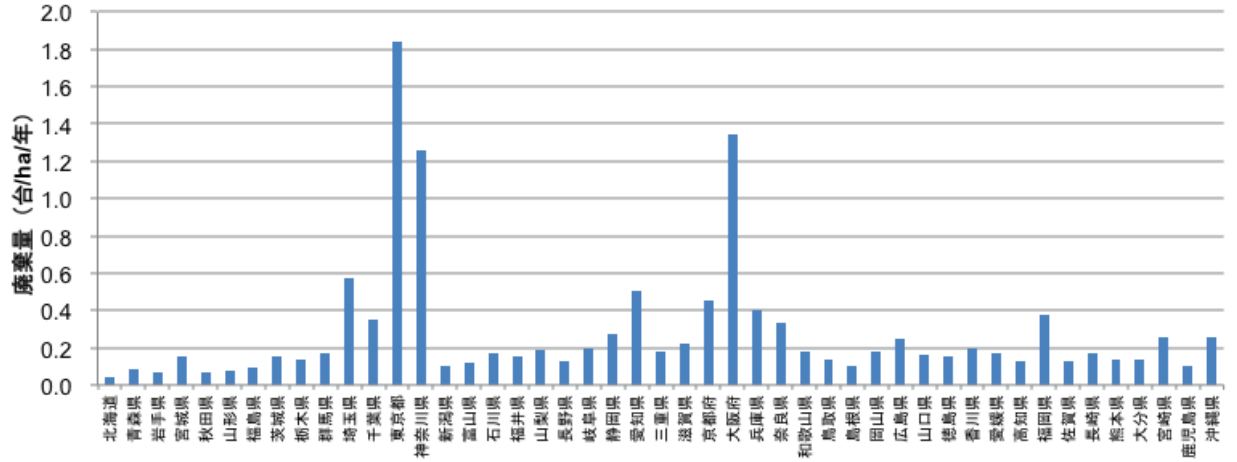


図２　携帯型ゲーム機の都道府県別可住地面積あたりの廃棄量の推計結果

物質フロー・ストック分析を用いた災害廃棄物発生量の推計

Quantitative Estimate of Disaster Wastes using Material Flow and Stock Analysis

○中西翔太郎[1)]、中谷隼*[1)]、森口祐一[1)]
Shotaro NAKANISHI, Jun NAKATANI, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学
*nakatani@env.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

災害廃棄物発生量の推計は、適切な処理によって資源回収率を高め、また速やかに復旧を進める災害廃棄物管理法を考えるうえで基礎的な情報として有用である。本稿では、2005年度版産業連関表[1)]から、我が国の経済活動によって生じる物質ストックを部材ごとに計上するフレームワークを作成し、平時における社会への資源別物質蓄積量を求めた。また建築物について、平時、災害時の既往研究による廃棄物発生量・資源蓄積量との比較を行った。

2. 方法

産業部門別の物質蓄積量(減少を考慮しない蓄積増加量)を2005年版産業連関表[1)]を用いて推計した。まず2005年版産業連関表を401×401部門に正方化した。今、部門jの物質蓄積量をS_jとおく。S_jは、(1)式で表される。

$$S_j = \sum_i s_{IN\ x,j} - \sum_k s_{OUT\ y,j} \quad (1)$$

但し、

$s_{IN\ x,j}$: 部門jの部材x投入量

$s_{OUT\ y,j}$: 部門jの投入物由来の廃棄物y発生量

である。以下2.1で$s_{IN\ x,j}$、2.2で$s_{OUT\ y,j}$の算出法を示す。

2.1 部材投入量の推計

部材投入量は産業連関表の付表、物量表を用いて求めた。

$$s_{IN\ x,j} = \sum_i m_{x,i} \times b_{i,j} \times f_j \quad (2)$$

但し、

$m_{x,i}$: 部門iに100万円需要が発生した時の素材x投入量(ton/100万円)

$b_{i,j}$: レオンチェフ逆行列$\mathrm{B} = (\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1}$の要素

f_j : 部門jの最終需要(家計消費支出/固定資本形成(公的)/ 固定資本形成(民間)のいずれか)

である。また、3EID[2)]でエネルギーとして扱っている石炭、原油、天然ガス、ガソリン、ジェット燃料油、灯油、軽油、Ａ重油、Ｂ重油・Ｃ重油、ナフサ、液化石油ガス、コークスと電力供給、熱供給は、化学製品部門に原料として投入されるナフサ、液化天然ガスを除き、エネルギーとして利用されると考え、蓄積の計算からは除いた。また、木材の比重0.7,生コンクリートの比重2.3として物量の単位を重量(ton)に統一した。

2.2 廃棄物発生量の推計

廃棄物発生量は、WIO2000[3)]を用いて求めた。

$$s_{OUT\ y,j} = \sum_j w_{y,i} \times b_{i,j} \times f_j \quad (3)$$

但し、

$w_{y,i}$: WIO2000より、部門iに100万円需要が発生した時の廃棄物y発生量(ton/100万円)

である。WIO2000は、103×103部門表を基に作成されているので、各部門iで同じ統合中分類に対応する部門は同じ$w_{y,i}$を用いて計算を行った。

$s_{IN\ x,j}$には、物量表で扱われている145種の素材の投入が含まれている。その145種の中には水が含まれていないため、WIOで計上されている廃棄物の中で含水率の高いものは、(1)式右辺の物質収支を崩してしまう。そこでWIOの廃棄物のうち、厨芥、動物のふん尿など生物性廃棄物と廃油、廃酸など液状の廃棄物の排出量を0とした。

3. 結果

(2),(3)式のf_jとして、固定資本形成(公的)と固定資本形成(民間)をそれぞれ代入し、和を求めた。得られたS_jのうち、jが工業製品を算出する部門(列コードでは151101から413209)のみを、145の部材を、重複を避け、鉄、非鉄金属、セメント、非金属鉱物、木材、その他に分類し、xの内訳を図に示した。廃棄物についても同様に示した(図1)。さらに表 1には部材別の合計値を示した。

図 1より、全ての部材で建設部門が最も大きな割合を占めた。特に全部材の85%以上を占めるセメントと非金属鉱物では99%以上を占め、これにより合計で建設が97%を占める結果となっている。一方、鉄・非鉄金属では4割以上、その他の部材では約2割を建設以外の部門が占め、それら再資源化の可能性が高い部材の分析については、建設部門のみの推計では蓄積量の推計として十分ではないことが示唆された。また平成20年度版環境白書[4)]によると2005年度の我が国の物質フローでは、8.2億tonが蓄積され、1.6億tonが輸出されている。表 1より、合計6.3億tであり、一部の部門だけを取り出したもので単純比較はできないが、環境白書の蓄積純増値の6割程度にとどまる。原因としては物量表で計上されていない部材、完成した状態で輸入される製品の存在が挙げられる。

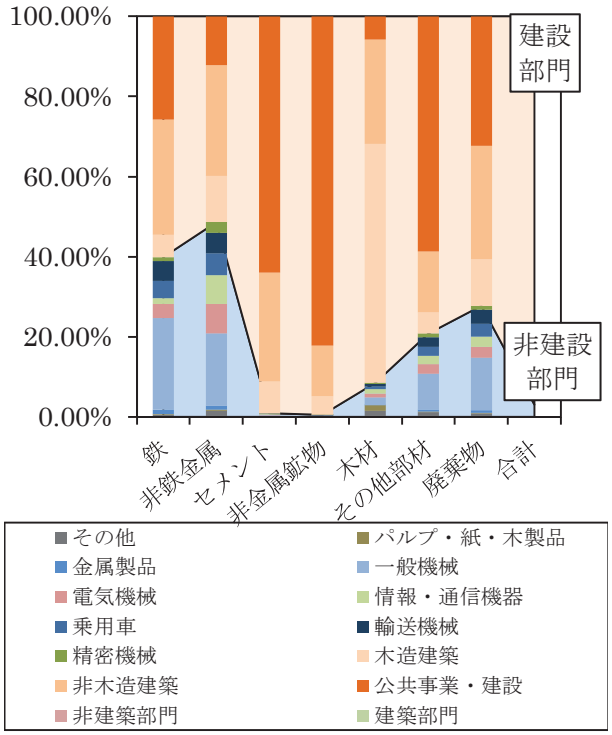


図 1　国内資本形成のストック量部門別内訳

表 1　国内資本形成の部材別合計値(百万 ton)

鉄	48
非鉄金属	5
セメント	58
非金属鉱物	495
木材	24
その他部材	124
廃棄物	−119
合計	634

図 2 は、これまでの計算のうち建築部門だけを取り出し、部門別品目別国内生産額表より求めたそれぞれの建築の床面積で除した単位面積当たりの質量と、既往研究の値とを比較したものである。既往研究のうち、東京湾臨海平均、和歌山市中心部平均、全国/北海道/東京都区部可住地平均は、可住地面積当たりの値であり、その他の値は床面積当たりの値である。

図 2 からは、産業連関表を用いて計算した値が実測値よりも小さくなる傾向が分かる。特に非木造(文献)と住宅・非住宅建築(非木造)の比較で顕著である。これは、物量表ではすべての部材を網羅していないことが主な理由と考えられるが、生産段階で投入部材から発生する廃棄物量の推計についても精査が必要である。また、産業連関表の部門として住宅/非住宅と木造/非木造の4項目しかなく、非木造の中での構造別部材量を見ることができず値が平均化されたことも原因として挙げられる。本研究では、建築物の部材別原単位作成のフレームワークを示すことができたが、さらに他の実測値と比較する、住宅の区分を増やすなどして信頼度の向上が必要である。

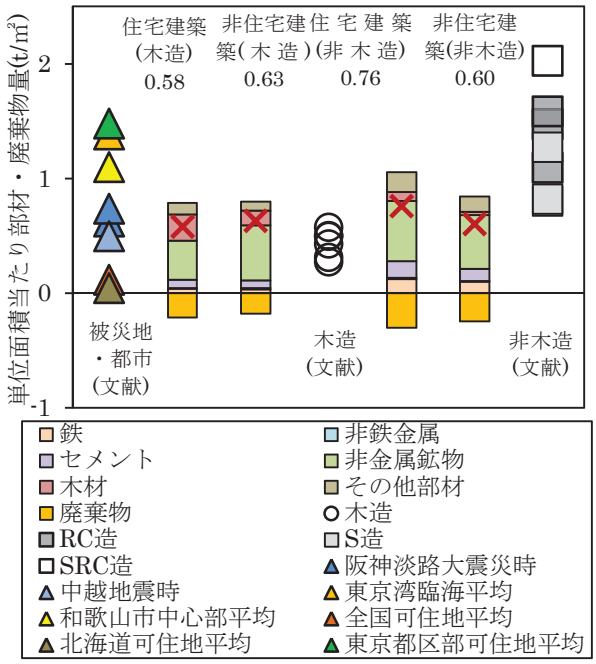


図 2　部材別 建築単位面積当たり質量と既往研究との比較 [5)6)7)8)9)10)11)]

4.　おわりに

本稿では、産業連関表を用いて物質ストックを部材ごとに推計する計算法を示した。また固定資本形成による物質ストックの部材別の部門内訳を示し、どの部材でも建設が重要な要素であるが、金属類に関しては建設部門とほぼ同量が他の部門から社会への蓄積へと流れていることを明らかにした。最後に、建築物について平時、災害時の既往研究による廃棄物発生量・資源蓄積量との比較を行った。本稿の計算は他の文献値と比較し全体として3割以上過小に推計される場合があった。投入部材の網羅性を高めること等により、精度を高めていきたい。

現状では、物質ストックの蓄積増加量を求めているが、今後は、年間減少量（ストックの寿命）の推計によって蓄積量・減耗量の動的なモデルを作成し、より実用性のある物質ストック推計へと発展させていきたい。

参考文献

1)　総務省　：2005年版産業連関表,(2009)
2)　南斉規介, 森口祐一　：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID):2005年表(β+版),　(2010)
3)　中村愼一郎　：平成12年廃棄物産業連関表 WIO2000 version0.06b
4)　環境省　：平成20年度版環境白書,(2008)
5)　谷川寛樹 他　：環境システム研究論文集, 38, (2010), pp.413-419
6)　東岸芳浩 他　：環境情報科学論文集, 21, (2007), pp.37-42
7)　平山修久 他　：廃棄物資源循環学会誌, 23(1), (2012), PP3-9
8)　国立環境研究所 : 災害廃棄物の発生原単位について(第一報), (2011)
9)　橋本征二, 寺島泰　：廃棄物学会論文誌, 10(1), (1999), pp. 35-44
10)　吉津翔平　：東京大学都市工学科卒業論文, (2012)
11)　長岡耕平 他 : 環境情報科学論文集, 23, (2009), pp.83-88

自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計の改善

Improvement of environmental accounting for waste management of local government

木下三加*[1)]、橋本征二[1)]
Mika Kinoshita, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
*rv0002kr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

自治体の廃棄物処理事業の目的は、単なる廃棄物の処理から循環型社会の形成を目指すものとなってきており、そのための費用増加が指摘されている。また、廃棄物の処理や循環型社会の形成に係る費用とその効果を、より明確にしていくことが求められるようになってきている。これらの課題に対応するためには、廃棄物処理事業に係る費用とその環境保全効果を一体的に分析して事業の効率化を検討するとともに、これを分かりやすく公開していくことが必要であり、そのために廃棄物会計の開発や環境会計の適用が試みられてきた[1)2)]。また、廃棄物会計といわゆる環境会計を統合した環境会計の枠組みも提案されている[3)]。本研究では、この統合された環境会計の枠組みを仮想的な自治体に対して適用し、提案されているフォーマットを実際に利用する際の問題点を明らかにして、それをもとにフォーマットの改善を行った。

2. 方法

2.1 提案されている環境会計の概要

橋本らは、廃棄物会計といわゆる環境会計の枠組みを統合して表１に示すような環境会計の枠組みを試案として提示している[3)]。この枠組みの作成にあたっては、①ストック情報も記述できる枠組みであること、②廃棄物処理という環境保全活動に関わるコストやその環境保全効果、経済効果と廃棄物処理に伴って発生する環境負荷を低減するためのそれらが分けられていること、③コストと環境保全効果、経済効果を対応させること、が重視されており、表１に示す３つの計算書により構成される。

環境ストック計算書では、環境保全活動によって創造・維持・再生された環境価値を資産として、事業活動によって生じた環境負荷の蓄積を環境負債として記載する。環境フロー計算書では、環境ストック計算書に記載された環境資産や環境負債の変動が記載され、環境資産変動計算書と環境負債変動計算書で構成される。環境財務計算書では、環境保全活動にどれだけのコストを要し、それに対してどれだけの経済効果があったのかを記載する。記載項目の要素としては、環境資産、環境負債、投資・費用、収益・費用節減がある。

表１　提案されている環境会計の枠組み[3)]

環境ストック計算書	環境資産(自然・人工)
	環境負債(固定・累積)
環境フロー計算書	環境資産変動計算書
	環境負債変動計算書
環境財務計算書	環境保全コスト(投資・費用)
	環境保全活動に伴う経済効果(収益・費用節減)

表２　仮想自治体の設定

人口	150 万人
分別方法	可燃、不燃+粗大、資源
処理方法	燃焼、破砕、選別

2.2 仮想自治体の設定と仮想自治体における記載項目の計算方法

本研究では、仮想自治体として表２に示すような自治体を想定した。この仮想自治体における環境資産、環境負債、投資・費用、収益・費用節減の計算を行うにあたっては、H-IWM(北大–総合廃棄物処理評価プログラム)[4)]を用いた。本プログラムにおいて計算を実行すると、処理施設ごとの規模、コスト、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量等が出力される。多くのパラメーターはプログラム内のデフォルト値を採用した。

2.3 フォーマットへの入力と問題点、改善案の検討

H-IWM による出力を、表１に示す各計算書のフォーマットに対応させ、単位等をそろえて入力することを試みた。また、提案されているフォーマットの各項目への記載の容易さ(困難さ)、不都合な点や矛盾点等を検討し、必要に応じて項目の修正、削除、追加等を行った。これにより、より適用しやすいフォーマットへの改善案を検討した。

3. 結果と考察

3.1 環境資産

環境保全活動によって創造・維持・再生された環境価値を資産とするが、これには自然資産と人工資産がある。前者は廃棄物処理施設跡地において再生された自然などが該当し、最終処分地跡地の自然再生面積などで表す。後者は建設された廃棄物処理施設などが該

当し、施設数や容量、貨幣単位で表す。人工資産は、さらに廃棄物処理活動に関わる資産とその他の保全活動に関わる資産に分けて記載する。検討の結果、以下のような問題点が明らかとなった。

① 最終処分施設跡地の再生された自然というものの計測方法があいまいである。

② 廃棄物処理活動とその他の環境保全活動を分けて記載することが難しい。例えば、最終処分施設とその埋立排水処理施設の資産価値を分離して記載することが難しい。

上記のような問題点に対しては、以下のような改善案が考えられる。

① 再生された自然の面積のみを記載する。

② 廃棄物処理活動とその他の環境保全活動に関わる資産を合算して記載する。

3.2 環境負債

事業活動によって発生した環境負荷の累積を環境負債として記載するが、これには固定環境負債と累積環境負債がある。前者は事業活動を行うために建設された施設、設備等の固定資産が土地や生物に与えている環境損傷であり、施設用地面積や環境損傷費用で表す。後者は事業活動を行うことによって環境負荷物質を排出し続けていることに伴う累積的な環境損傷であり、消費された資源や排出された物質の量で表す。検討の結果、以下のような問題点が明らかとなった。

③ 焼却排ガス処理や埋立排水処理において、どれだけの環境負荷が削減できたかわからない。

④ 累積的な環境負債(過去から現在までの環境負荷排出量の累積総量)が記載しにくい。

⑤ 複数の環境負荷物質が発生する場合、全てを記載すると表が複雑になる。

⑥ 上・下流域対策や社会活動など、範囲が広く LCA 的な計算が必要な項目が記載しにくい。

⑦ 廃棄物処理施設を所有していない自治体が処理を委託した場合、施設を所有する自治体が処理を委託された場合の記載が難しい。

上記のような問題点に対しては、以下のような改善案が考えられる。

③ 焼却排ガス処理や埋立排水処理による環境負荷の削減量は記載せず、処理後の排出量のみ記載する。

④ 基準年を暫定的に 2000 年等に定め、そこからの累積的な環境負債を記載する。

⑤ 発生した環境負荷物質ごとに表を作成することで複雑さを回避する。

⑥ 範囲が広く記載しにくい項目は削除する。委託先で発生する環境負荷を記載する欄を追加する。

3.3 投資・費用

環境保全活動のために要した投資・費用を廃棄物の収集区分ごと、環境保全活動ごとに記載する。廃棄物処理という環境保全活動に関わるコストと廃棄物処理に伴って発生する環境負荷を低減するための活動に関わるコストが分けられており、前者では収集運搬や焼却に要する投資・費用、後者では、焼却排ガス処理施設や廃棄物発電に要する投資・費用が貨幣単位で表される。検討の結果、以下のような問題点が明らかとなった。

⑧ 廃棄物処理活動とその他の環境保全活動を分けて記載することが難しい。

⑨ 上・下流域対策や社会活動などが記載しにくい。

上記のような問題点に対しては、以下のような改善案が考えられる。

⑧ 廃棄物処理活動とその他の環境保全活動に関わる投資・費用を合算して記載する。

⑨ 記載しにくい項目は削除する。

3.4 収益・費用節減

環境保全活動により得られた収益と環境保全活動による費用の節減分を記載する。廃棄物処理という環境保全活動に関わる収益・費用節減と廃棄物処理に伴って発生する環境負荷を低減するための活動に関わる収益・費用節減が分けられており、前者では再資源化物の売却収益等を、後者では汚染修復費用の節減等を貨幣単位で表す。検討の結果、以下のような問題点が明らかとなった。

⑩ 費用節減については、実質的な節減量(例：最終処分費用の節減)と推定的な節減量(例：汚染修復費用の節減)があり、特に後者の推計が難しい。

上記のような問題点に対しては、以下のような改善案が考えられる。

⑩ 費用節減については、明確に計算できるもののみ記載する。

引用文献

1) 容器包装リサイクル法の改正を求めるごみ研究会：育てよう！廃棄物会計、日報、(2003)

2) 京都市:京都市の環境会計−平成 16 年度における費用と効果、(2006)

3) 橋本征二、田畑智博、松本亨、田崎智宏、森口祐一、井村秀文：自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計の枠組み試案、都市清掃、(2006)、Vol.59、No.271、pp.19-26、

4) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価〜マテリアルフロー・LCA 評価プログラム〜、技報堂出版、(2005)

家庭から排出される発泡トレイの店頭回収促進策の検討

～環境配慮行動モデルに基づいて～

Examination of methods to promote the collection of foamed trays discharged from households by using collection boxes at shops ～ Based on a pro-environmental behavior model～

○高倉利佳*[1)]、橋本征二[1)]
Rika Takakura, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0003rs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

容器包装廃棄物の回収量が増大する中、その品質に応じて適切なリサイクルを推進すべきとの提案があるが、良質な容器包装廃棄物を回収できる方法の１つとして店頭回収がある。本研究では、発泡トレイに着目して、スーパーなどに設置されている回収ボックス利用者の意識構造を明らかにし、店頭回収を促進する方法について検討した。具体的には、ヒヤリング調査により現状を把握し、これをもとにアンケート調査を実施して利用者の意識構造を明らかにした上で、容器包装材の店頭回収を促進する方法について検討した。

2. 環境配慮行動モデル

店頭回収ボックス利用者の意識構造を明らかにする手段として、広瀬が提案する環境配慮行動モデル[1)]を用いた。このモデルは、図１に示すように、環境を良くするための人々の行動を、認識的な２つの段階に分けて考えたものである。態度である目標意図が形成される段階と、実行するにあたっての行動意図が形成される段階を区別して考え、目標意図が形成されても次の段階の行動意図の形成に失敗すると行動に至らないとするものである。また、目標意図、行動意図が、さらにいくつかの要因により形成されるとするモデルである。

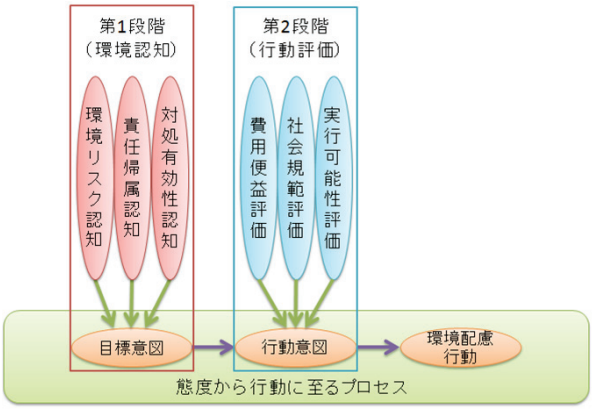


図１　広瀬の環境配慮行動の２段階モデル[1)]

3. ヒヤリング調査

3.1 方法

滋賀県大津市青山にあるスーパーに協力を得て、店頭回収ボックス利用者へのヒヤリング調査を行った。平成 24 年 11 月 1 日の午前中に店頭回収ボックスを利用された約 20 名に声をかけ、その中から 15 名の方にお話を伺った。ヒヤリング調査の内容は広瀬の環境配慮行動モデルに基づき、「どうして回収ボックスを利用しているのか」「回収ボックスを利用することで環境のためになっていると思うか」「回収ボックスは利用しやすいか」等の質問を雑談方式で 1 人につき 3～5 分程度行った。

3.2 結果

ヒヤリング調査の結果を広瀬の環境配慮行動モデルの各因子に分類した。特徴的なものを挙げると、「ごみ袋が有料なのでごみの量を減らしたい」「自分のタイミングで出せる」「散歩の目的になる」といった費用便益評価に関わる意見、「有効性はあると思うが結局燃やされてしまっているのではないか」といった対処有効性認知に関わる意見等を得ることができた。

4. アンケート調査

4.1 調査の内容

アンケート調査の内容は、上記のヒヤリング調査や広瀬の環境配慮行動モデルに基づき作成した（表 1）。

質問項目 1 では、認識的な目標意図を形成する要因について聞いている。「ごみの処分は重要な問題だ」「ごみを分別したところで何も変わらない」といった、人々が持っている環境に関する認知について 5 段階評価で聞く質問である。質問項目 2 では、行動意図を形成する要因について聞いている。「店頭回収はスーパーを利用するついでにできるので取り組みやすい」「身近な人が利用していると自分も利用しようと思う」といった、行動意図が形成されるための各種条件の評価について 5 段階評価で聞く質問である。質問項目 3 では、「生活の便利さよりも資源の保全を大切にしたい」「ごみを出

さないようにしたい」といった、目標意図や行動意図そのものを 5 段階評価で聞いている。質問項目 4 では、「週に何回程度、店頭回収を利用するか」「店頭回収を利用するときの交通手段は何か」といった、環境配慮行動とその周辺条件について聞いている。また、質問項目 5 では、回答者の属性について聞いている。

アンケートは、Web アンケート調査会社を通じて行った。家庭で主にごみを取り扱っている全国の男女を対象に、店頭回収の利用率を 3 段階（発泡トレイをほとんど持って行く、半分くらい持って行く、ほとんど持って行かない）に分けてそれぞれ 200 名（20 代～60 代以上のそれぞれ 40 名）、計 600 名の回答を得た。調査は、平成 24 年 12 月に実施した。

表１　質問項目

	質問項目	質問内容
1	環境リスク認知 責任帰属認知 対処有効性認知	環境に対してどのような認識を持っているか、どのくらいの意識があるかについて、12 項目。(例)「ごみを分別すれば資源の節約になる」を 5 段階評価。
2	費用便益評価 社会規範評価 実行可能性評価	環境配慮行動を行うにはどのような条件が必要か、どれだけ実行可能なのかについて、14 項目。(例)「発泡トレイは可燃ごみで出した方が楽だ」を 5 段階評価。
3	目標意図 行動意図	目標意図と行動意図について、6 項目。(例)「ごみを出さないようにしたい」を 5 段階評価。
4	環境配慮行動	回収ボックスの利用頻度等について。(例)「週に何回程度、店頭回収ボックスを利用しますか」
5	回答者の属性	年齢、性別、家族構成、住居、ごみの有料化の実施等について。(例)「現在、何人で暮らしていますか」

4.2 分析方法

共分散構造分析を行い、発泡トレイの店頭回収の利用に関わる主要な因子を同定するとともに、因子間の因果関係の強度を分析した。

目標意図に関する主要な因子、行動意図に関する主要な因子を同定し店頭回収利用者、未利用者の意識構造と行動を促進する要因について分析した。

4.3 分析結果

本要旨執筆時点でアンケートの分析結果が公表できる段階にないため、ここではいくつかの単純集計結果のみ報告し、詳細な分析結果は学会当日に報告する。

例えば、図 2 はよく利用するスーパーでの回収ボックス設置の認知を聞いた結果である。「ほとんど持って行かない」回答者のグループでは、よく利用するスーパーに回収ボックスが設置されていないとの回答が増えるとともに、そもそも分からない（有無を認知していない）との回答も増えることが分かる。また、図 3 は行動意図の形成に関わる意見の評価を聞いた結果のごく一部である。これらの意見では「ほとんど持って行く」回答者のグループと「ほとんど持って行かない」回答者のグループで評価結果が分かれているが、環境に関する認知については、3 つのグループでほとんど差がないとの結果も得ており、これらについての詳細は学会で報告する。

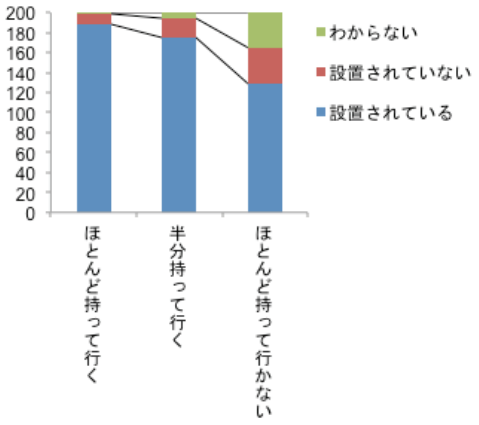


図２　よく利用するスーパーでの回収ボックス設置の認知

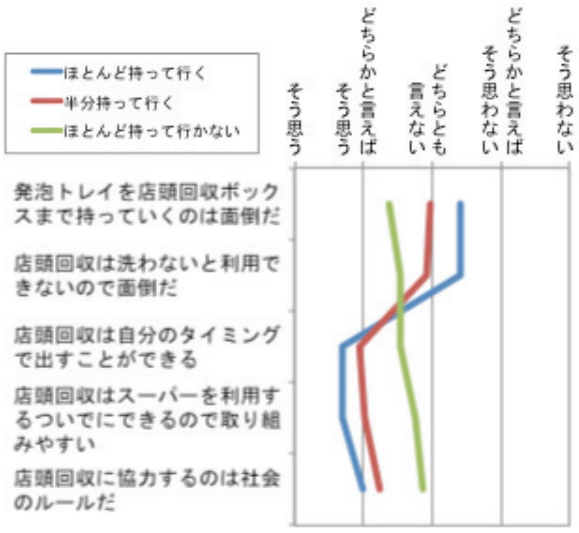


図３　行動意図の形成に関わる意見の評価

謝辞：本研究のヒヤリング調査では「フレンドマートグリーンヒル青山店」に協力して戴き、有益なデータ収集をさせて戴いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

1) 広瀬幸雄：環境配慮的行動の規定因について．社会心理学研究 10，（1994），44-55.
2) 広瀬幸雄：環境と消費の社会心理学－共益と私益のジレンマー，名古屋大学出版会，(1995)

ごみ収集車の望ましい色彩

Preferable colors of waste collection vehicles

小谷舞奈*[1)]、橋本征二[1)]
Maina Kotani, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0003vv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

赤い自動車を見たとき、人はそれが「赤い」車であると分かるだけでなく、「近くに」迫ってくるように感じたり、「華やか」であると感じたり、人によれば少し「派手だ」という印象を持ったりする。このように色彩には心理的な働きがある。また、普段私たちが見ている色の世界は、一つの色だけで構成されていることはほとんどなく、色が隣接したり、ある色を背景として別の色を見ている。そのような場合、色どうしは影響を与え合うことがある[1)]。

このようなことから、一般的に不快と認識されているごみ収集車も、色彩によってその印象をより良いものにできると考えられる。また、風景とごみ収集車の色彩の組み合わせによっても、ごみ収集車の印象は変化するであろう。本研究では、望ましいごみ収集車の色彩、また、景観を重視している地域において騒色とならないごみ収集車の色彩について検討を行った。具体的には、SD 法(Semantic Differential Method)に基づくアンケート調査を実施し、ごみ収集車の色彩として一般的に望ましい色彩、また、景観を重視した地域を背景としたときに望ましい色彩とその背景要因を明らかにするとともに、実際用いられている色彩との比較検討を行った。

2. 方法

2.1 アンケート調査の概要

アンケートは、①7 色のごみ収集車のそれぞれの印象を問う質問と、②7 色のごみ収集車と 3 つの景観の組み合わせに対する印象を問う質問の 2 問から構成される。印象の調査では、図 1 のようなごみ収集車の写真などを提示した上で、表 1 に示すような反対語の対からなる評価尺度を複数用いて対象の評価を行う SD 法を用いた。

アンケートは、Web アンケート調査会社を通じて行い、男女、年代（20 代、30 代～60 代以上）別にそれぞれ 50 名、計 500 名の回答を得た。調査は 2012 年 12 月に行った。

2.2 一般的に望ましい色彩に関する質問

問 1 では、赤（図 1 参照）・橙・黄・緑・青・紫・白の 7 色のごみ収集車の写真をそれぞれ見せ、表 1 に示す 14 の形容詞対を用いてごみ収集車の印象を聞いた。さらに、それぞれのごみ収集車が好ましいか好ましくないかを聞いた。なお、7 つの色彩は、PCCS(日本色研配色体系)[1)]の中から最も一般的なトーンである v トーン(ビビッドトーン)の中から、赤(v2)、橙(v5)、黄(v8)、緑(v12)、青(v18)、紫(v22)の 6 色を選択したうえで、実際にごみ収集車の色として多く使われている白(w)を追加することで選定した。



図１　アンケート対象者に提示した写真の例

表１　印象の調査に用いた形容詞対

1	暖かい⇔冷たい	8	特徴のある⇔特徴のない
2	明るい⇔暗い	9	動的な⇔静的な
3	快適な⇔不快な	10	派手な⇔地味な
4	落ち着いた⇔浮ついた	11	陽気な⇔陰気な
5	清らかな⇔不潔な	12	穏やかな⇔激しい
6	上品な⇔下品な	13	軽い⇔軽い
7	新鮮な⇔古臭い		

2.3 景観を重視した地域において望ましい色彩に関する質問

問 2 では、①車通りの少ない地域の歴史的景観、②車通りの多い地域の歴史的景観（図 1 参照）、③古い家屋のまち並みの 3 種類の景観について、それぞれの印象を同じく 13 の形容詞対を用いて聞いた。また、問 1 の 7 色のごみ収集車について、①②③の景観を背景として合成した写真を作成し、それらが好ましいか好ましくないかを聞いた。なお、3 つの景観を選択した理由であるが、①については、好ましいごみ収集車の色彩が、歴史的景観の特徴的な色彩の影響を受ける可能性があるため、②については、ごみ収集車以外の様々な車が通るため、ごみ収集車の色彩に注意が払われないと考えられるため、③については、閑散としたまち並みでは、少しの車通りであっても気になるため、ご

み収集車の色彩が重要視されると考えられるため、である。景観の写真は、いずれも京都市内で撮影したものを用いた。

2.4 分析の手順

まず、一般的に望ましいごみ収集車の色彩を明らかにするため、7色のごみ収集車の印象に関する回答をもとに因子分析を行って、ごみ収集車の印象に影響を与える因子を同定するとともに、重回帰分析によりどのような因子が好ましい色彩の選択に強い影響を与えるかを分析した。次に、3種類の景観の印象に関する回答をもとに因子分析を行って、景観の印象に影響を与える因子を同定した。さらに、ごみ収集車の印象に影響を与える因子、景観の印象に影響を与える因子のうちどのような因子が、景観を重視した地域において望ましいごみ収集車の色彩の選択に強い影響を与えているかを分析した。

3. 結果と考察

本要旨執筆時点でアンケートの分析結果が公表できる段階にないため、ここでは単純集計結果のみ報告し、詳細な分析結果は、学会当日に報告する。

3.1 一般的に望ましい色彩について

結果を図2に示す。赤・橙・黄と緑・青・白のグループで似た傾向の評価がなされており、中間色である紫は、形容詞対によって結果にばらつきが出た。特に、「明るい」「動的な」「派手な」「陽気な」といった形容詞に関しては、暖色である赤・橙・黄の評価が高く、「落ち着いた」「清らかな」「上品な」では緑・青・白の評価が高い。全体として、ごみ収集車の色彩としては、白･緑･青が好ましく、赤や紫が好ましくないとの結果であった。

3.2 景観を重視した地域において望ましい色彩について

結果を図3、4に示す。①車通りの少ない地域の歴史的景観においては、「落ち着いた」「清らかな」「上品な」「穏やかな」といった清潔感や穏やかさに関する形容詞で評価が高かった（図3）。このため、同じ形容詞で評価の高い緑・青・白が比較的好ましいという結果になったと考えられる（図4）。一方、②車通りの多い地域の歴史的景観においては、「古臭い」「静的な」「重い」といった形容詞でやや評価が高かった（図3）。このような評価を打ち消す色として、赤・橙・白が比較的好ましい結果となったと考えられる（図4）。また、③古い家屋の街並みにおいては、「落ち着いた」「穏やかな」「暗い」「古臭い」「地味な」といった項目の評価が高った（図3）。いずれの色彩でも好ましさの程度は「どちらともいえない」の周辺にまとまったが、その中では白が好ましいとの結果であった（図4）。

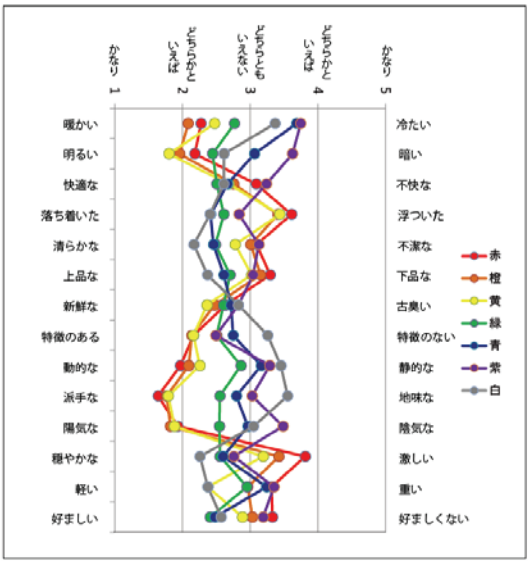


図２　各色彩における形容詞対と好ましさの評価結果

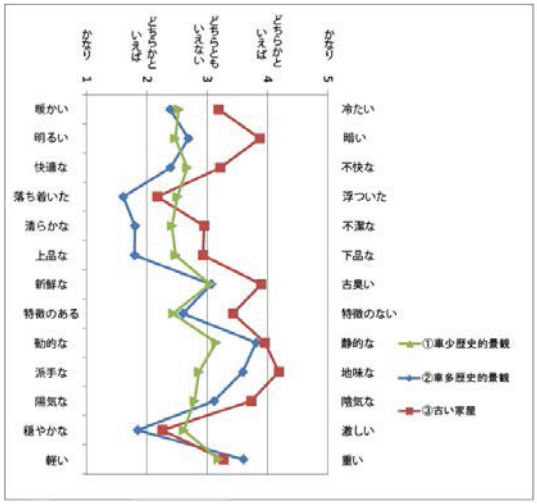


図３　各景観における形容詞対の評価結果

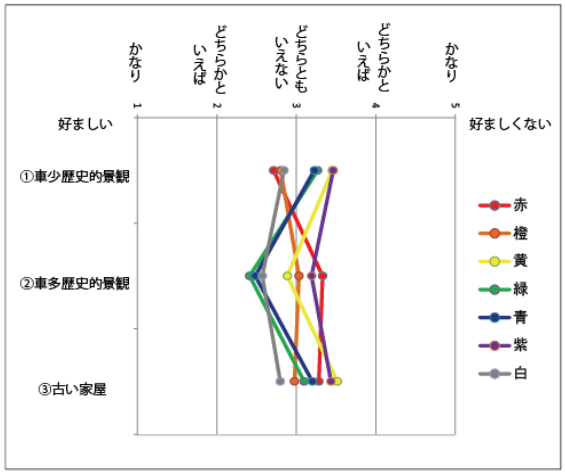


図４　各景観・各色彩における好ましさの評価結果

参考文献

1）社団法人全国服飾教育者連合会：“色彩検定３級公式テキスト”，株式会社Ａ・Ｆ・Ｔ企画，p.42，p.48

生態系への影響の評価のための土地改変面積のインベントリ原単位の推計

Estimation of Transformed Land Area Inventory for Assessment of Impacts on Ecosystem

○堀口　健*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Ken HORIGUCHI and Norihiro ITSUBO
1) 東京都市大学
*itsubo-lab@tcu.ac.jp

1.　はじめに

LCA では多岐に渡る環境負荷の影響領域を評価範囲に含め、それぞれの影響領域についてインベントリ分析のバックグラウンドデータの作成と影響評価手法の開発が進められている。その中でも「人為的な土地利用」(artificial land use) は、近年、社会の重大な関心事の一つである生物多様性の保全や生態系の持続的な利用に大きく寄与する原因の一つである。Lindeijer ら [1)] は、人為的な土地利用が生物多様性にもたらす影響をライフサイクル影響評価（LCIA: life cycle impact assessment）の枠組みで評価するための定義を示した。その後、いくつかの実践的な LCIA のための被害係数が示された 。これに対応するインベントリ分析のためのバックグラウンドデータの整備も進められており、例えば ecoinvent でも土地利用に関連するインベントリ項目が存在する。

本研究では、土地利用による生物多様性への影響を評価することを主眼に置き、土地改変に関するインベントリのバックグラウンドデータの作成について検討した。

尚、土地利用インベントリのうち、改変においては、自然状態から人為的な土地利用への改変行為による環境影響を負わせるべきプロセスの範囲について議論が残されている。すなわち、当初、改変した土地を、後で別の用途に用いた場合、後者の用途においても当初の土地改変による影響を配分するべきであるかについては、議論が収束を見ていない。この点について、本研究で対象とするところは先述の例で言う「当初の土地改変」に相当するところのみであり、その後の土地利用を要するプロセスへの配分については考慮しないこととした。

本稿は、主に次のような点について報告する。日本における「土地改変」のマクロ的な考察として、国内の各種統計資料から日本の土地利用の変化の概況をまとめた。その上で、海外のインベントリデータベースが包含しているような土地利用に関するインベントリのバックグラウンドデータの一つとして土地改変に関するインベントリデータを作成するとしたとき、考えうる算出方法を検討し、その中で最も簡便に計算が可能である方法について算出を試みた。

2.　日本における土地利用の概況

各年の「土地白書」（国土交通省）によれば、土地の用途別利用面積の内訳は森林が最も多く、8 割を占める。人為的な土地利用の中では農地が最も大きいが、国土全体から見れば 1 割に過ぎず、工業プロセスで用いられている工業用地は 1%にも満たない（図 1）。用途別利用面積の内訳の推移を見ると、少なくとも 1980 年代から大きな変化は見られず一定であるといえる（図 2）。

また、「土地白書」によれば、農地から他の用途への改変面積は 2010 年に 12,200ha であったが、459,000ha ある農地全体から見れば 3%に過ぎない。また、毎年の改変面積の推移を見ても減少傾向にある。これは林地においても同様の傾向が見られる。

しかし、転換面積が全体から見て小さいとは言え、農地や林地といった一次生産力が高い土地から工業用地への転換は依然として行われており、これが生態系サービスの質を捉える一つの指標である一次生産力に与える影響は検証する必要があると考えられる。

以上のことから、本研究は生態系や生物多様性への影響を評価するためのインベントリ分析に用いるバックグラウンドデータを試算した。

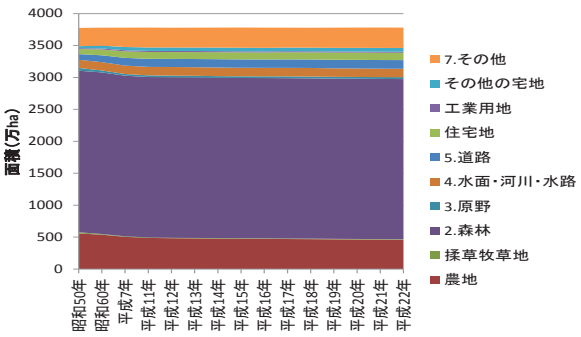


図１　日本の国土利用用途別内訳の推移

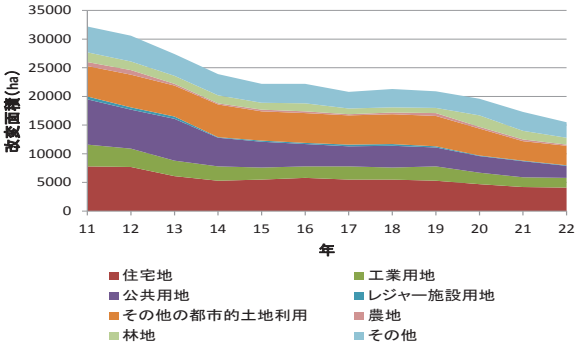


図２　農地からの土地利用改変面積の推移

3. 方法

本研究では、前報 [1)4)] に引き続き、産業連関分析法によって土地利用改変面積を推計した。産業連関表の産業部門別による土地改変面積は次のようにして求めた。

複数年次の「工業統計表（用地・用水編）」[5)] に記載されている各産業部門の土地利用面積の差分を基に、土地白書によって得られる農地と林地から工業用地へ改変された面積を各産業部門へ配分することとした。

まず、2004 年と 2005 年の「工業統計表」から各産業部門の事業所面積を引用し、2005 年と 2004 年の事業所面積の差分を得た。

次に、各産業部門における事業所面積の変化分を分子に、工業部門全体での事業所面積の変化分を分母とし、工業用地の事業所面積変化分に占める各産業部門の事業所面積の割合を求めた。

最後に、「土地白書」から得た 2005 年に林地と農地から工業用地へ転換された面積に、各産業部門の事業所面積変化率を乗じた。こうして得られた土地面積を、2005 年の 1 年間に林地と農地から各産業部門の工業用地に改変された面積とした。これを各部門の国内生産額で除したものを改変面積係数とした。

温室効果ガス排出などと同様に、LCA によって土地利用による生態系や生物多様性への影響を評価したいという需要は、サプライチェーン全体における見えない影響を見ようとするところにある。本研究では、レオンチェフ逆行列によって得られる間接的な生産波及による土地改変の波及面積の推計を試みた。

推計には、総務省による 2005 年産業連関表を用い、行列を 403 部門に統合し、競争輸入型によるレオンチェフ逆行列を作成した。先述の各産業部門の改変面積係数を基に作成した改変面積係数ベクトルを逆行列の左から乗じることで、直接間接の「改変面積」を求めた。

4. 結果

直接改変面積の推移を図 3 に示す。2005 年の 1 年間で事業所面積が減少した産業部門が見られ、これらの部門は改変面積係数が負値で示されている。後にも述べるように、インベントリが負値であることは、影響評価において影響がマイナス計上されることにつながる。しかし、このインベントリが負値を取ったからといって生態系や生物多様性への影響が軽減されることを意味するわけではないため、ライフサイクル影響評価への適用の際に注意を要する。

次に、間接的な土地改変面積を積算した「土地改変面積原単位」を図 4 に示す。負値が得られた産業部門がいくつか見られる。

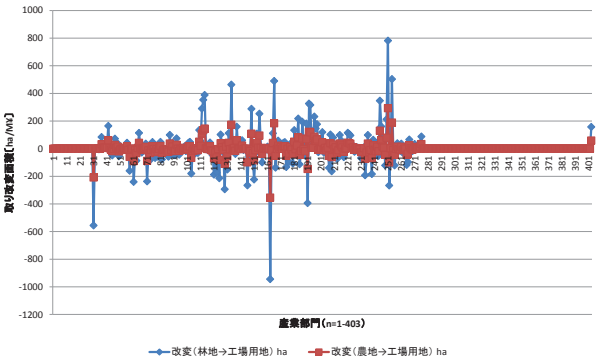


図 3　各産業部門における直接改変面積係数

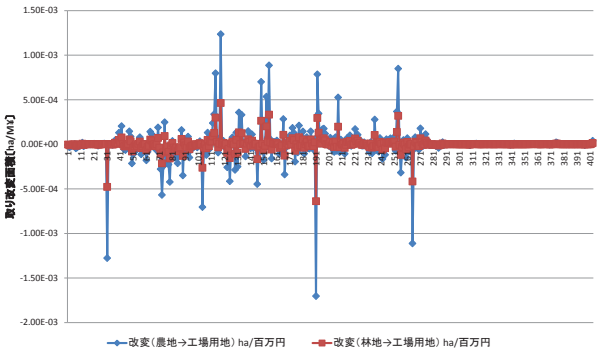


図 4　各産業部門における直接改変面積原単位

5. 限界

本検討では、実際の統計データを用いて土地改変面積のインベントリ原単位の試算を試みた。これによって得られた原単位は、次のような点に留意する必要がある。

- この原単位では、負値のインベントリが存在するが、その解釈には注意が必要である。先述の通り、インベントリの値が負値になったからといって生態系や生物多様性への影響が軽減されることを示唆するものではない。
- 本検討で用いている工業統計表は、あくまで事業所面積の増減を示したものであり、改変の前後の土地利用形態は把握できない。本検討は、工業用地が林地と農地の間でのみ転換されるとの暗黙の仮定の下での試算である。
- 工業部門における土地改変のみを考慮している。

参考文献

1) Lindeijer, E., Miller-Wenk, R., Steen, B.: "Life-cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice", SETAC Press, Brussels, Belgium, (2002), pp.11-64,
2) 伊坪徳宏・稲葉 敦（編著）: LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法, 社団法人産業環境管理協会, 東京, (2010)
3) 堀口 健・伊坪徳宏 : 環境情報科学論文集, 25, p.15-21. (2011)
4) 堀口 健, 伊坪徳宏 : 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会. (2012) D1-14andP2-13.
5) 経済産業省 : 工業統計表用地・用水編.

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク　2012 年度活動報告

ILCAJ-Student Communication Network Activity Report 2012

大野肇*[1)]、尾下優子[2)]、堀口健[3)]、○稗貫峻一[4)]、岡本隼輔[2)]
Hajime Ohno, Yuko Oshita, Ken Horiguchi, Shunichi Hienuki and Shunsuke Okamoto
1) 東北大学, 2) 九州大学, 3) 東京都市大学, 4) 横浜国立大学
*fy11041@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

1.　学生交流ネットワーク　設立の背景と経緯

環境問題が人間活動の中で一つの大きな問題となった現代において、ライフサイクルアセスメント（LCA: Life Cycle Assessment）を基盤として、地球持続可能性のための科学的かつ定量的な評価方法とそれに基づく意思決定方法を検討する日本LCA学会が果たすべき役割は拡大している。そして、同学会に所属する学生会員は、研究発表会をはじめとする各種活動に参加することで、様々な知識や経験を得ている。このように同じ学会に所属し、同じ問題を考える学生同士で、意見や考えを交換することは、各学生にとって、また学会にとっても非常に有意義と考えられる。そこで、学生会員の間で研究活動をはじめとする様々な問題に対処するための知識や人脈のネットワークを形成することを目的として、2008 年 12 月、日本LCA学会の研究会の一つとして学生交流ネットワーク（SCN: Student Communication Network）が設立された。

SCN では、学生会員の LCA への理解を深める契機として、様々なイベントを企画、開催している。その活動内容の概要を以下に説明するとともに、2012 年度におこなった実際の活動の様子について報告する。なお、SCN 設立から現在までの流れを図１に示す。

2008年夏　学生組織設立に向けて始動
2008年10月 学生部会設立趣意書を理事会に提出
（提案者2名、賛同者9名）
2008年12月 学生部会（仮称）設立が理事会に承認される
設立集会（第8回エコバランス国際会議会期中）
約20名が参加
2009年3月　第1回学生総会(第4回日本LCA学会研究発表会会期中)
約50名が参加
2009年9月　第1回工場見学会及びワークショップ2009開催
約25名が参加
2010年1月　第1回工場見学会及びワークショップ2009の様子を学会誌で報告
2010年3月　第2回学生総会(第5回日本LCA学会研究発表会会期中)
約20名が参加
2009年度の活動を第5回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表
第1回セミナー開催（第5回日本LCA学会研究発表会会期中）
約15名が参加
2010年8月　第2回工場見学会及びワークショップ2010開催
約15名が参加
2011年3月　第3回学生総会(第6回日本LCA学会研究発表会会期中)
約40名が参加
2010年度の活動を第6回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表
第2回セミナー開催（第6回日本LCA学会研究発表会会期中）
約40名が参加
2011年4月　第2回工場見学会及びワークショップ2010の様子を学会誌で報告
2011年9月　第3回工場見学会及びワークショップ2011開催
約23名が参加
2012年3月　第4回学生総会(第7回日本LCA学会研究発表会会期中)
約40名が参加
2011年度の活動を第7回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表
第3回セミナー開催(第7回日本LCA学会研究発表会会期中)
約40名が参加
2012年9月　第4回工場見学会及びワークショップ2012開催
約20名が参加

SCNへの参加状況(2013年1月現在) 10大学12研究グループ

図１ SCN 設立から現在までの流れ

2.　主な活動内容

工場見学会

年 1～2 回開催。実際に工場施設を見学することで、プロセスの仕組みや現場での LCA の利用法を理解し、企業の環境への取り組みなどについて議論を行う。

ワークショップ

年 1～2 回開催。研究成果を発表形式で報告する。研究手法やアイデア、研究予定など研究成果に至らないものも発表を行う、学生同士で議論を行う。

セミナー

年 1～2 回開催。環境に関する研究に取り組む学生会員の現在の研究活動を将来にどう活かしていくのか、企業やアカデミアに所属する正会員による講演などを通して意見交換を行う。

学生総会

年 1 回開催。毎年開催される日本 LCA 学会研究発表会の会期中に開催する。活動報告や、翌年度の活動内容の検討、役員の決定などを行う。

懇親会

随時開催。研究活動や進路選択、普段の生活まで様々なことについて学生同士で話し合い、情報交換を行う。

3.　2012 年度活動報告

第 4 回学生総会（2012 年 3 月 7 日）

第 7 回日本 LCA 学会研究発表会の会期中に、第 4 回学生総会が開催され、約 40 名の学生が参加した。学生総会では、設立の経緯に加え、2011 年度の活動報告、予算の執行状況、2012 年度の運営体制と活動予定が発表された。

第 3 回セミナー（2012 年 3 月 7 日）

第 7 回日本 LCA 学会研究発表会の初日に、第 3 回セミナーが開催され、学部生、大学院生含め約 40 名の学生が参加した。本セミナーでは、サッポロビール株式会社より門奈哲也氏、みずほ情報総研株式会社より加地靖氏、株式会社資生堂より大橋憲司氏を講師として招き、企業の環境に対する活動の紹介及び CFP(Carbon Foot Print)算定及び表示に関する現状と課題についての講演を頂いた。



図２　第 4 回工場見学会資生堂鎌倉工場前にて



図３　ワークショップ 2012 の様子

LCA を行う側である学生にとって LCA が社会に貢献する形の一つである CFP に関して、実際に実施する企業の状況を知ることは非常に有意義であり、今後の研究に対するモチベーションを上げる機会となった。

第 4 回工場見学会（2012 年 9 月 6 日）

ワークショップ 2012 の会期中に、第 4 回工場見学会を株式会社 資生堂（以下、資生堂）鎌倉工場（神奈川県鎌倉市）にて開催した（図２）。見学会は、口紅、化粧水等の製造ラインの見学、及びスキンケア商品の使用法に関する実験を交えた体験学習で構成され、その後当会の学生向けのディスカッションが行われた。

製造ラインの見学では、厳重な品質管理体制の中で、化粧品がパッケージングされていく様子を見ることができた。

ディスカッションでは、第 7 回研究発表会にて講演頂いた大橋氏から、資生堂における環境に対する取り組みについて、特にエコとデザイン性・高級感を両立させたレフィルタイプの化粧品の紹介などを頂いた。学生は身の回りで使用している製品に取り入れられている環境配慮に感心すると共に、実際の効率や企業努力・競争の現状に対して盛んな質問及び議論が行われた。

ワークショップ 2012（2012 年 9 月 6～8 日）

神奈川県藤沢市においてワークショップ 2012 が 2 泊 3 日で開催され、8 大学 9 研究グループから 18 名が参加した。初日は工場見学の反省会を行い、見学で得た知見及び感想が議論された。2 日目、3 日目は勉強会と研究発表会が開催された。

勉強会は、各研究グループが研究で用いる手法や研究事例についてそれぞれ発表し、互いに基礎的な知識を共有することを目的としており、発表 25 分、質疑 15 分で行われた。4 つの研究グループより、各グループが専門とする産業連関分析、LCA、環境影響評価などのテーマについて解説がおこなわれた。質疑には学部 4 年から博士 3 年までの学生が参加しており、初歩的なものから自らの研究と関連付けたものまで様々な質問が出て、時間が足りなくなるほど活発なものとなった。

研究発表会では、個人の研究について 12 件の口頭発表がおこなわれ、発表 20 分、質疑 10 分で行われた。研究の対象は、カーボンフットプリント、金属や化学物質のマテリアルフロー、環境負荷原単位の作成、堆肥化の LCA 計算、家庭における環境負荷低減、バイオマス、ウォーターフットプリント、産業連関分析、二酸化炭素、食料、医療系廃棄物など多岐にわたるものであった。質疑では、勉強会での理解をふまえて、自分の専門でない分野の研究発表にも積極的に質問する学生が多く、的確な指摘に発表者も驚く場面もあった。用いた手法やデータに関する質問の他、研究成果の製品やプロセス、社会システムの設計への利用方法、また自身の研究との関連などの議論が交わされた。

なお、2 日目の夜には懇親会が開催され、研究以外にも普段の研究室生活や就職、各地域の話題など情報を交換しつつ親睦を深めた。

ワークショップの参加者アンケートでは、同じ研究対象への異なる視点や問題解決へのアプローチを学べたことや、逆に同じ研究ツールや問題意識を持つ仲間と深い議論ができ大変有意義だった、研究に対するモチベーションが上がったといった感想が得られた。

4.　今後の活動

2009 年春より活動を開始した SCN は、この 4 年間の活動で、北海道から九州まで多くの学生の参加を得て、SCN の目指す「知識と人のネットワークを広げる」ための地盤を固めつつある。SCN では、これまでの経験と反省を活かしつつ、今後も学生会員同士、また学生と企業、大学の間のネットワークを広げる活動を続けていく予定である。これまでおこなった活動以外にも、学生が LCA を理解しそれに貢献するためのイベントは常時模索している。正会員や賛助会員の皆様には、SCN の活動にご理解いただくとともに、工場見学会や招待講演などでのご協力をいただければ幸いである。また、学生会員の皆様には、是非 SCN の活動に積極的に参加していただきたい。

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク　ホームページ：
http://www.sntt.or.jp/~lca-stg/