

循環型社会研究プログラム

(重点研究プログラム)

Sustainable Material Cycles Research Program

平成 23 ~ 27 年度

FY2011 ~ 2015

NIES



国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<http://www.nies.go.jp/>

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 113 号

NIES Research Project Report, No.113

SR - 113 - 2016

循環型社会研究プログラム

(重点研究プログラム)

Sustainable Material Cycles Research Program

平成 23 ~ 27 年度

FY2011 ~ 2015

国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<http://www.nies.go.jp/>

重点研究プログラム「循環型社会研究プログラム」

(期間：平成 23 ～ 27 年度)

プログラム総括：寺園淳

執 筆 者：石垣智基、稲葉陸太、虻江美孝、大迫政浩、小口正弘、梶原夏子、河井紘輔、
小林拓朗、佐野彰^{*)}、徐開欽、鈴木剛、田崎智宏、寺園淳、中島謙一、南齋規介、
藤森崇^{*)}、松神秀徳、山田正人 (50 音順、*は所外)

編 者：大迫政浩、寺園淳、山田正人、田崎智宏

序

本報告書は、平成 23 ～ 27 年度の 5 年間にわたって実施した第 3 期中期計画期間の循環型社会研究プログラムの研究成果を取りまとめたものです。

循環型社会の概念や、その実現手段としての 3R（リデュース、リユース、リサイクル）が国際的にも広がり、国内の地域レベルから国内外にまたがる越境移動、さらにアジアや世界などさまざまな空間スケールでの地域循環圏の構築が期待されています。また、経済社会の発展段階に応じて、適正処理から資源有効利用、さらに持続可能な社会システムに至るまで、多様な目標レベルが存在します。第 3 期の循環型社会研究プログラムでは、空間スケールと求める目標レベルという 2 つの軸を取り上げ、「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」「アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築」「地域特性を活かした資源循環システムの構築」という 3 つの研究プロジェクトを実施しました。これらの研究成果が、日本やアジア諸国などで循環型社会づくりに取り組む関係者の理解と社会実装に貢献することを望みます。

平成 29 年 1 月

国立研究開発法人 国立環境研究所

理事長 住 明 正

目 次

1 研究プログラムの概要	1
1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等	1
1.2 研究の概要	1
2 研究の成果	3
2.1 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理	3
2.1.1 国際的に流通する資源・材料・製品のフロー把握とシステム分析	3
2.1.2 資源性・有害性を踏まえた製品、物質の循環管理のためのフィールド研究	11
2.1.3 国際的な循環型社会形成に向けた管理方策の提案	23
2.2 アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築	33
2.2.1 準好気性埋立技術のアジア地域に適した設計手法の開発	33
2.2.2 アジア地域に適した有機性廃棄物処理技術の開発	49
2.2.3 アジアの都市に適用可能な廃棄物管理計画支援ツールの開発	58
2.3 地域特性を活かした資源循環システムの構築	62
2.3.1 プロジェクトの目的	62
2.3.2 地域特性を活かした資源循環システム構築の枠組み設計	62
2.3.3 地域特性を活かした資源循環の設計・評価・実装	71
2.3.4 実務者ガイドの作成	88
2.3.5 まとめ	89
[資料]	
1 研究の組織と研究課題の構成	93
1.1 研究の組織	93
1.2 研究課題と担当者	95
2 研究成果発表一覧	96
2.1 誌上発表	96
2.2 口頭発表	104

1 研究プログラムの概要

1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等

循環型社会の概念や、その実現手段としての3R（リデュース、リユース、リサイクル）が国際的にも広がり、さまざまなスケールでの地域循環圏の構築が期待されているが、経済社会の発展段階に応じて、改善、解決を求められる多様な問題が存在する。

そこで、日本とアジアの近隣諸国にまたがる国際的な資源循環、アジアの開発途上国の廃棄物適正管理、国内の地域特性を活かした資源循環という三つの地域区分に着目して、廃棄物の適正管理を資源の有効利用や地球温暖化対策との協調のもとで行うための科学的・技術的知見が求められる課題に取り組み、国内外の循環型社会構築を支援する。

具体的には、国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理の視点から、国内と国際社会（主にアジア）において3Rを促進する適正管理方策について、物質（製品、素材を含む）のフロー把握・解析と製品ライフサイクル挙動調査に基づいた提言を行う。また、アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築の視点から、日本国産の埋立技術や液状廃棄物処理技術等のカスタマイズと廃棄物管理システムの導入支援ツールの開発を行い、アジア地域の都市や地域への実装を目指して適合化する。更に、地域特性を活かした資源循環システムの構築の視点から、様々な地理的規模において、その地域特性を活かしつつ適正な資源循環システムを構築するための枠組みの提示とシステム設計・評価、及び実装についての検討を行う。

以上の調査・研究を推進することにより、以下の方向を目指す。

①資源性・有害性物質の適正管理に資するマテリアルフロー・サプライチェーン及び環境影響にかかる情報の取得、並びにそれらを活かしたESM（環境上適正な管理）の基準の考え方など、国内及び国際的に通用する政策的な見通しを持った提言を行う。

②日本が途上国における環境問題解決と温暖化対策をリードするための廃棄物処理に関するハード及びソフト技術を明示し、適正な廃棄物管理システムを実際の都市や地区へ実装することを目指す。

③地域特性を活かした資源循環システムの構築のためのシステム設計・実装を通じて、地域活性化や地域振興と調和した循環型社会づくりに貢献する。学術面では、資源循環の適正な地理的規模を推定する論理や地域における資源循環利用のための概念設計を目指す。

1.2 研究の概要

1.2.1 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

国内と国際社会（主にアジア）において3Rを促進する適正管理方策について、物質（製品、素材を含む）のフロー把握・解析と製品ライフサイクル挙動調査に基づいた提言を行うことを目的とする。日本を中心に国際的に流通する資源・材料・製品を対象として、国内外のスケールで資源性の観点からリサイクルが期待される要素と有害性の観点から規制が必要な要素について、システム分析とフィールド調査を統合した体系的な成果獲得と考察を行う。これらの成果に基づき、国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質に関する、国内外の適正管理方策のあり方を提言する。

1.2.2 アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築

都市への人口集中が激化しているアジアにおいて、公衆衛生を改善し、低炭素・低環境負荷型であり、地域に適正な廃棄物管理システムを構築するため、東南アジアに研究拠点を形成し、アジアの都市における廃棄物の現状を把握し、国産技術である分散型生活排水処理技術および準好気性埋立技術、またこれらを補完する機械・生物処理技術、人工湿地による浸出水処理技術、小規模バイオガス施設のアジア各地域へのカスタマイズを行う。また、これらを既存の技術と併せて評価することで、各都市域において適正な処理・資源化を実現するための廃棄物管理システム導入に向けた計画支援ツールを開発し、アジア地域に適正な廃棄物管理システムの姿を示すことを目指す。

1.2.3 地域特性を活かした資源循環システムの構築

地域特性を活かした資源循環システムの構築のためのシステム設計・実装を通じて、地域活性化や地域振興と調和した循環型社会づくりに貢献することを目指す。まず、廃棄物等の発生、産業の立地状況、関係主体等の地域特性を活かした資源循環システムを構築するための枠組みを提示する。次に、いくつかの循環資源（廃棄物系バイオマス、金属資源など）を題材にしながら、地域における適正なシステムの設計・評価を行う。最後に、これらの検討で得られた成果を、地域のステークホルダーに還元して社会実装につなげるため、実務者向けのガイド（手引き）を作成する。

2 研究の成果

2.1 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

2.1.1 国際的に流通する資源・材料・製品のフロー把握とシステム分析

本サブテーマでは、『物質フロー・サプライチェーンをはかる』、『リサイクル技術・廃棄物処理技術をはかる』を2本の柱として、主に金属資源の利用に関わるシステム・技術の解析をもとに、持続可能な資源管理に向けた対策の検討を進めた。

前者においては、物質フロー分析 (Material Flow Analysis, MFA) や産業連関分析 (Input-Output Analysis, IOA)、更には、それらの統合手法としての Hybrid IO-MFA 手法を解析手法として、国内外の物質フロー・サプライチェーンの同定¹⁻⁸⁾、経済活動に伴い誘発されるエネルギー消費量や環境負荷^{2,9-11)}、サプライチェーンに内在するリスク要因の解析^{2,12)}を進めた。また、中期計画の後半においては、日本の経済活動に伴い世界で誘発される資源利用や環境負荷の解析を目的として、多地域産業連関分析手法としての GLIO (Global Link Input-Output model) の開発と事例分析を進めた^{5-7,9-11)}。一方、後者においては、化学熱力学解析や実態調査により、各種の乾式製錬プロセスや廃棄物処理プロセスにおける物質や元素の分配挙動¹³⁻¹⁸⁾、さらには、使用済み電気電子製品由来の金属の処理における物質収支の解析、使用済み電池類と小型家電の排出実態の調査、将来シナリオ推計のための耐久消費財保有台数の重回帰モデル作成を進めた。これにより、リサイクルを含めた資源利用あるいは廃棄物処理に伴う潜在的な資源散逸の可能性等を明らかにした。以下では特徴的な事例を取り上げて、解析・調査の概略を示す。なお、解析手法の詳細等については、既報を参照されたい。

(1) 物質フロー・サプライチェーンの解析・評価 (物質フロー・サプライチェーンの同定^{2,4)})

1) 目的と方法

金属資源は有限であり、資源の管理、供給、消費は各国の経済活動において大きな影響を持つ。先進諸国の経済発展に伴い拡大してきた鉱物資源および金属の需要は、近年の新興国の経済発展等に伴い更なる拡大が予測¹⁹⁾されるとともに、先進諸国においても低炭素技術の導入等に伴った金属資源の需要の変化・拡大が予測²⁰⁾されている。本節では、特徴的な事例として、近年、急速な需要な拡大が進むとともに、新興国におけるインフラ整備や低炭素技術とも密接に関わりのあるニッケルを事例として取り上げて、物質フロー・サプライチェーンの構造を明らかにするとともに、内在する課題を論じる。ニッケルおよびニッケルを含む素材は、材料物性・特性等の観点から有用性が高まっている素材であるが、他の資源と同様に急速な需要拡大に伴って、採掘や製錬に伴う地球環境問題が報告されている資源である²⁾。典型的な鉄鋼の合金元素であるニッケルは、クロム、モリブデンとともに、主にステンレスや耐熱鋼等の鉄鋼材料の原料として用いられている。一方で、ステンレスのリサイクルにおいては、ステンレススクラップの炭素鋼スクラップへの混入などにより、多くの資源散逸が起きていることが MFA 研究により指摘されている²¹⁾。

2) 結果と考察

ここでは、廃棄物産業連関に基づくマテリアルフロー分析 (WIO-MFA) モデルを適用した多元素物質フローの解析により得られたニッケル、クロム、モリブデンの物質フローを示すとともに、これらの元素の高度リサイクルに向けた提言⁴⁾を紹介する。図1は、WIO-MFA モデルにより得られたニッケル、クロム、モリブデンの品目別最終需要量の推計結果である。図には、各元素について、最終需要 (国内需要および輸出) に対する上位10部門の結果 (ニッケル:59%、クロム:60%、モリブデン:50%) を抽出して示した。分析の結果、ニッケル、クロム、モリブデンの国内需要の割合は、それぞれ、38%、43%、49%であると得られた。この結果は、既報¹⁶⁾において示している鉄についての分析結果と同様の傾向を示している。各元素について個別の内訳をみると、ニッケルの主な国内最終需要部門は、乗用車 (9%) と非住宅非木造 (9%) が高い割合を占めると得られた。同様に、クロムの主な国内最終需要部門は、乗用車 (15%) と非住宅非木造 (9%) であり、モリブデンの主な国内需要部門は、乗用車 (20%)、トラック・バス (6%) および非住宅非木造 (6%) が高い割合を占めると得られた。ニッケル、クロム、モリブデンのいずれの元素についても国内最終需要としては自動車用途や非住宅建築(非

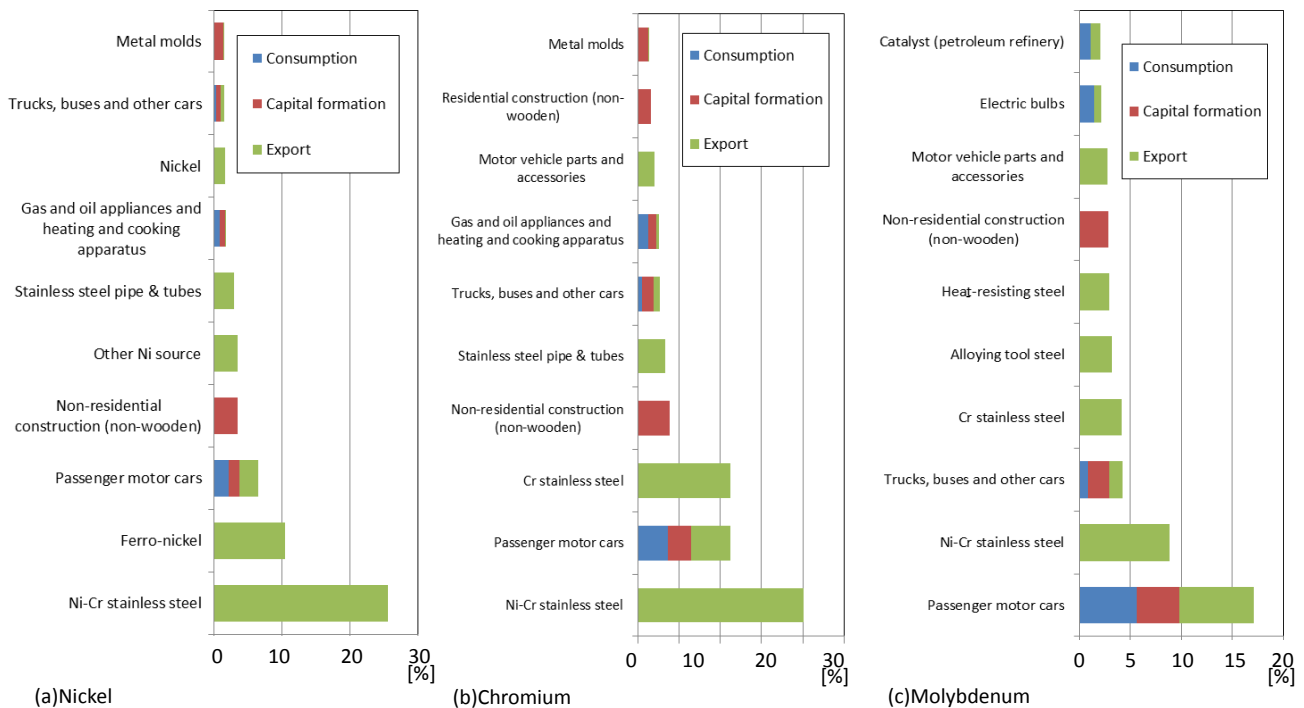


図1 WIO-MFAによる日本におけるニッケル、クロム、モリブデンの最終需要の推計結果(2000年)⁴⁾

木造)が多いという結果が得られた。なお、ニッケルおよびクロムについては、ガス・石油機器及び暖房機器などにも多く含まれることが明らかとなった。ニッケル等の合金成分を含む素材に着目したりサイクルシステムや支える法制度の確立が重要であると考えられる。

上記の結果からも明らかのように、日本はニッケルの加工貿易国であるため、原材料の安定供給および日本の経済活動が資源産出国等で誘発される環境影響の管理の両側面から、サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響の管理の仕組みを構築することが緊要である。一方、国際的な需給構造は、国際貿易を介して複雑な需給構造²⁾を有している。図2は、ニッケルの国際マテリアルフローの概略である。解析は、WIO-MFAモデルによる組成情報⁸⁾が整っている2005年時点を対象として、国際貿易量は、BACI (Base pour l'Analyse du Commerce International, CEPII)²²⁾より、231の国・地域間を対象とした各品目群の輸出・輸入量を金額単位あるいは物量単位で抽出した。品目群については、HS (Harmonized Commodity Description and Coding System) codeに基づいて、6桁分類で掲載されている約6000品目群を、123品目群に集計して抽出した。しかしながら、6桁分類でのHSコードであっても、複数の異なる貿易商品が該当するコードがあり、ニッケルを含む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ニッケルを含む製品割合を考慮するための0から1の範囲を取るカットオフ値を設定し、これを貿易量に乗じることで、ニッケル含有商品の貿易量の推計精度を高めた。また、貿易に伴うニッケルの移動量への換算には、各種の文献やWIO-MFA⁸⁾等から得られる各商品のニッケルの含有率を乗じて推計を行った。

上記の推計により、2005年の国際貿易を介した世界全体の総ニッケル移動量は、 2.7×10^6 t-Ni²⁾であり、資源の流れは、特定の国・地域間の移動に集中していることが明らかとなった。国・地域別には、インドネシア、オーストラリア、ロシア、カナダ等の資源産出国から日本、アメリカ、そして北米への移動量が多く、231の国・地域間のニッケルの移動量のうち上位の10位までの移動量占める割合は約21%に達し、上位の50位までの移動量が占める割合は約47%に達すると得られた。なお、これらの資源の流れは、新興国の経済発展や各国の政策により、大きく変化し続けていることは注意が必要である。例えば、2010年頃には、資源産出国から中国や韓国への資源の流れが大きくなっている。また、2014年には、インドネシアの鉱石輸出規制措置の実施に伴い資源の流れに大きな変化が生じている。このことは、サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響を管理していく上で、時系列での解析が重要な意味を持つことを意味していると考えており、現在、時系列での解析を進めている。

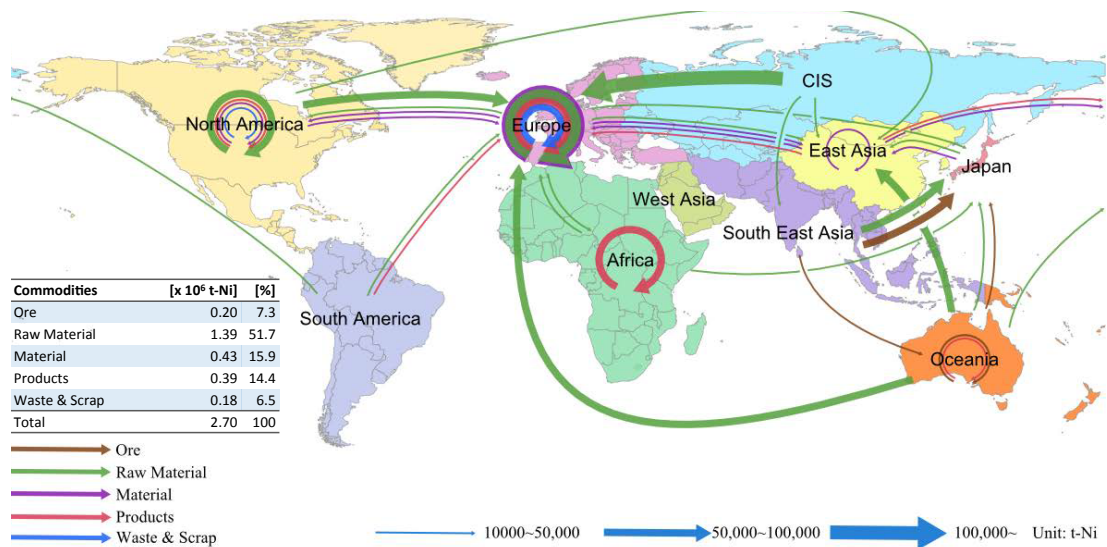


図2 ニッケルのグローバルマテリアルフローの概観 (2005年)²⁾

(2) 物質フロー・サプライチェーンの解析・評価 (GLIO モデルの開発と応用^{5, 12)})

1) 目的と方法

全世界での経済活動に伴う資源の流れ、資源探掘量、あるいは、環境負荷の排出量に対して、日本の経済活動による誘発量の同定を目的として開発した手法が、GLIO (Global Link Input-Output model) である。ここでは、同じく、社会の低炭素化に伴い需要の拡大が予想されるネオジムを取り上げた解析事例を紹介する。

2) 結果と考察

はじめに、ネオジム (Nd) の国際マテリアルフローの概観を示す。上記のニッケルの国際マテリアルフロー分析と同様に、MFA の手法を適用することで、2005 年では 12540t-Nd のネオジムが採掘され、18565t-Nd のネオジムが国際貿易を通じて世界中を移動したことが明らかとなった⁵⁾。ネオジムは製品材料として国に輸入され、その国で製品に組み込まれて別の国へ輸出されているため採掘量の約 1.5 倍の国際フローが存在することがわかった。153 種類の貿易商品別に推計した国際フローを 4 種類の商品分類 (鉱石、材料、製品、スクラップ) に集約すると、15586t-Nd が材料中に含まれ、2968t-Nd が製品中に、そして、11t-Nd がスクラップ中に含有されて移動した。移動量の最も大きい貿易商品の HS コードは、HS-280530 (希土類金属) で 6294t-Nd であり、HS-850511 (永久磁石) が 2693t-Nd、HS-284960 (希土類金属の化合物) が 2219t-Nd と続いた。

次に、上記のマテリアルフローデータに GLIO を適用して日本の最終需要が世界に直接的間接的に及ぼすネオジムの採掘量と国際フロー量を解析した結果⁵⁾ を示す。GLIO モデルを適用した結果、日本の最終需要全体 (最終需要計) では、4036t-Nd の採掘量を誘引し、5835t-Nd の国際フロー量を誘引したと推計された。最終需要全体から輸出を除いた国内最終需要では、1344t-Nd の採掘量と 1670t-Nd の国際フローを誘引していることから、輸出による寄与が非常に大きいことがわかった。すなわち、日本の輸出は国内需要と比較し、極めて高い国外の資源探掘と国際フローに依存していることが明らかとなった。国内最終需要の中では、民間投資による影響が最も大きく、国際フロー量が 981t-Nd、採掘量が 758t-Nd であり、次に家計消費がそれぞれ 483t-Nd、408t-Nd と続いた。

さらに、図 3 は、ネオジムの世界全体のマテリアルフローから日本の最終需要 (国内最終需要 + 輸出) が誘発するフローを検出し、そのうち量の大きい上位 50 のフローを示している。つまり、上述の最終需要による 5835t-Nd の国際フローがどこで起こったかを示す。このフローは、日本経済が直接間接的に依存するネオジムの国際マテリアルフローであり、本手法は、日本の経済活動と国際サプライチェーンの依存構造と理解を助ける。図より、日本への輸入と日本からの輸出で形成された直接的なネオジムのフローが上位 (上位 10 のフローは赤字で表示) を占めることがわかる。中国からの原料輸

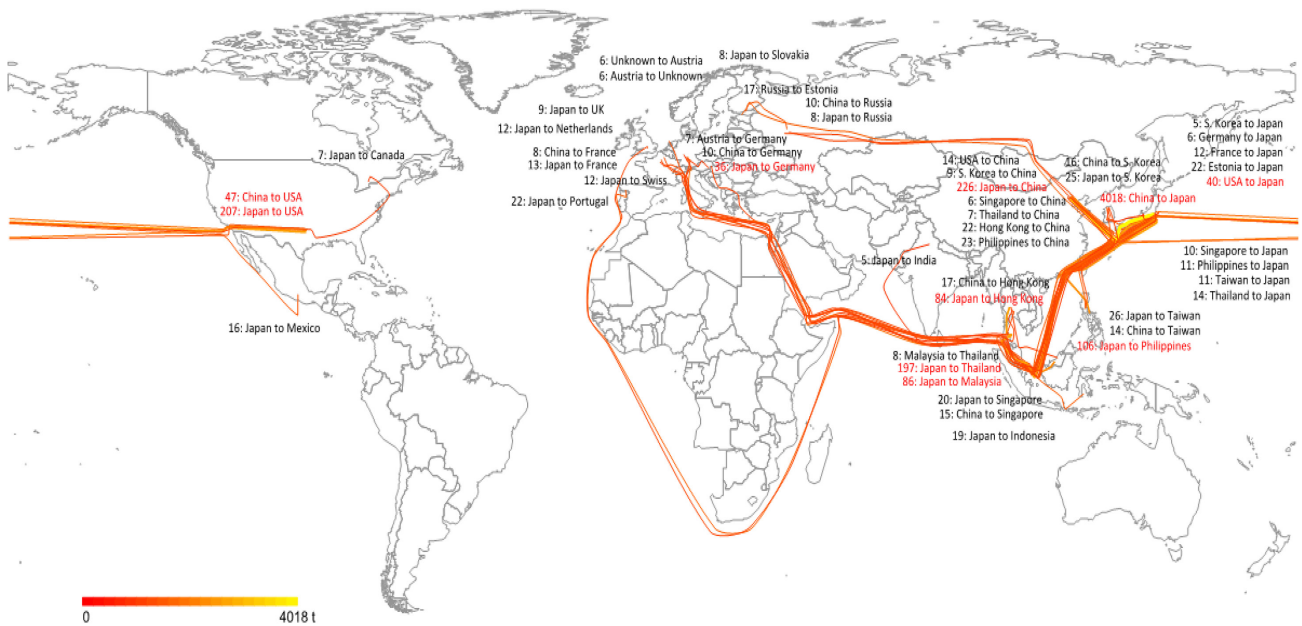


図3 日本の経済活動が誘因するネオジムのグローバルマテリアルフローの概観 (2005年)²³⁾

入に加え、中でもフィリピン、タイ、マレーシア等の東アジア諸国とのフローが顕著であり、製品中に含んだ輸出によるフローがその要因である。しかし、中国から米国、ロシアからエストニアなど日本を含まない間接的なフローも顕著に現われており、日本の資源依存構造を考える上で、輸出入の直接的な関係だけでなく、グローバルなサプライチェーンを通じた間接的な依存を含めて考察すること重要性が視覚的にも確認できた。

(3) リサイクル技術・廃棄物処理技術の解析・評価¹³⁻¹⁸⁾ (化学熱力学解析に基づく製錬・再溶解プロセス等における元素の分配挙動)

1) 目的と方法

既存の製錬システムでは、鉱石等の一定の品位・組成を有した原料を想定して、目的元素を経済的に効率よく抽出できるようにプロセスを組み合わせるシステムとして最適化している。また、その種類は、原料および目的とする金属の種類に応じて、非常に多岐に渡る。鉄鋼・非鉄金属製錬のプロセスにはそれぞれ目的元素を効率よく回収するために技術的な特性があり、人工資源からの資源の回収には化学的な限界が存在する。例えば、乾式製錬による回収の可否は、主に、プロセスの雰囲気（酸素分圧、硫黄分圧等）、注目する元素の酸化還元平衡のポテンシャル、および、蒸気圧によって決まる。これらを利用した代表的な不純物の除去方法には、酸化除去と揮発除去がある。

2) 結果と考察

図4は、鉄鋼製錬（転炉・電気炉）を想定（1873 K、1 mol% 添加）した元素の配挙動の解析結果である。不純物の除去方法としては、上述の酸化除去および揮発除去を想定した。縦軸には金属相とスラグ相への元素の分配傾向を表す指標として、溶媒（鉄）とスラグへの元素の熱力学的な分配率（ $L^{s/m}$ ）を、横軸には金属相とガス相への分配傾向を表す指標として、各元素と溶媒の蒸気圧の比（ $L^{g/m}$ ）を取り上げた。解析の結果、アルミニウム、マグネシウム、マンガンなどは酸化傾向が強くスラグ相への分配傾向が強いことがわかる。また、亜鉛めっき鋼板などに含まれる亜鉛はガス相への分配傾向が強いことがわかる。一方、鉄に対するトランプエレメントとして良く知られている銅や錫などの元素は金属相への分配傾向が強くこの図からも酸化除去・揮発除去による不純物除去が不可能であることがわかる。また、重要な合金元素であるニッケルおよびモリブデンも金属相への分配傾向が強く、鉄リサイクルに伴う希少な資源の散逸（Loss）の可能性を有していることがわかる。なお、本節では、誌面の関係上、鉄鋼製錬プロセスを想定したFe-X系の分配傾向のみを示した。詳細な解析方法および他の系（Al-X系やCu-X系など）の分配傾向については既報論文¹³⁻¹⁸⁾等を参照して頂ければ幸いである。

さらに、図5は、同様の手法を用いて主要製錬・再溶解プロセスにおける元素の分配挙動の解析結果をもとに作図した『エレメントレーダーチャート』である。各プロセスにおいて円周方向は金属相およびガス相への分配傾向を表し、半径方向は金属相およびスラグ相への分配傾向を表し中心方向に向かうほどスラグ相への強い分配傾向を示すことを表している。このような図を用いることにより、合金元素や不純物元素等、各種の元素が金属相、スラグ相、ガス相のいずれかに強く分配される傾向があるかを把握することが可能である。全体的な傾向としては、下図からも明らかのように、後工程に有効な不純物除去プロセス（電解製錬・湿式製錬等）を有する銅、鉛、鉛・亜鉛の製錬システムに対して、鉄鋼、アルミニウム、マグネシウムは不純物の除去が非常に困難なことがわかる。それゆえに、合金成分に着目したスクラップ等の二次資源のリサイクル（Alloy to Alloy リサイクル）が重要であると考えられる。

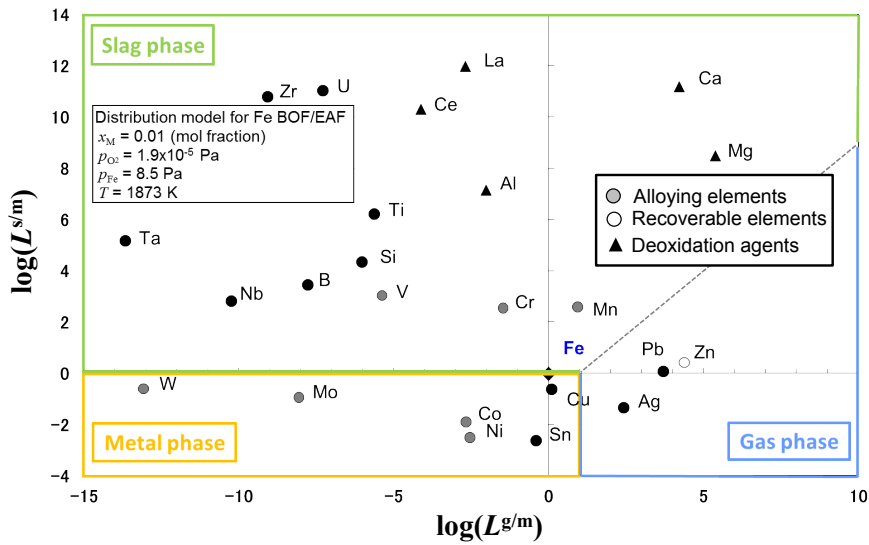


図4 鉄鋼製錬プロセスの雰囲気ariumを想定した元素の分配挙動の推計結果¹³⁾

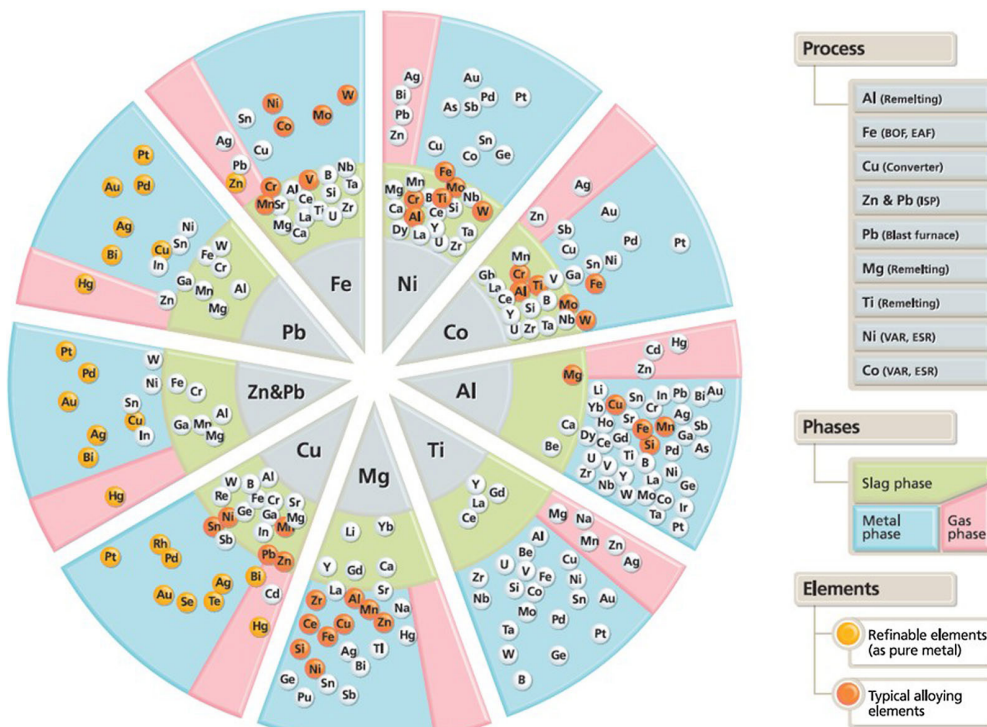


図5 エレメントレーダーチャート：各種の製錬・再溶解プロセスにおける分配挙動の推計結果¹⁸⁾

(4) リサイクル技術・廃棄物処理技術の解析・評価（使用済み電気電子製品由来の金属の処理における物質収支²⁴⁻²⁷⁾

1) 目的と方法

近年、金属の二次資源として使用済み電気電子機器（以下、WEEE とする）が注目されており、2013年4月には「使用済み小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律（小型家電リサイクル法）」が施行され、WEEEの再資源化はさらに加速されていくものと期待される。しかし、しばらくの間は小型家電リサイクル法でも品目が限られることから、今後も自治体における処理処分は行われるものと考えられる。自治体ごみ処理においても一部の金属は回収されているが、その収集・処理における WEEE および含有資源の行方については定量的に明らかになっていない。また、WEEE には電子基板や電池類など有害金属等を含む部品が含まれるものも多いが、それらの部品や含有金属元素の行方についても定量的な把握が求められる。

そこで、茨城県日立市において、実際の粗大ごみ処理施設を用いて WEEE のみの破碎選別実験を行い、ごみ処理における物質収支および WEEE 含有金属の物質フローを調査、推定した。2010年1月に搬入された 12.6 トンの WEEE を対象に、計数・計量を行って同施設に投入した。破碎選別実験終了後に磁選回収物、可燃残渣、不燃残渣、サイクロンダスト、バグフィルタダストの各産物を計量し、破碎選別における物質収支を求めた。また、各産物の採取試料について各種金属元素の含有量を分析し、破碎選別実験のマスバランスから粗大ごみ処理における WEEE 含有金属の物質フローを推定した。

2) 結果と考察

WEEE は破碎選別によって 45% が磁選回収物、18% が可燃残渣、37% が不燃残渣として回収された。ダストは全体の 0.08% 程度であった。含有量分析結果を用いて推定した粗大ごみ処理における WEEE 含有金属のフロー（銅、金の例）を図 6 に示す。銅については、12.6 トンの WEEE に約 850 kg の銅が含まれており、このうち約半分が可燃残渣へ分配すると推定された。これらの銅の 8 割程度は焼却・灰溶融で溶融メタルへ分配しており、同市では溶融メタルを金属原料として銅製錬業へ売却していることから、可燃残渣へ分配する銅の多くは銅製錬を通じて回収されていると考えられる。一方で、残り半分の銅は不燃残渣に分配して最終処分されるか（主に基板や被覆線に由来）、磁選回収物に混入して未回収（主にモーター等の巻線に由来）となっており、未だ回収率向上の余地はあると考えられた。金については、約 80 g のうち約 4 分の 1 が可燃残渣へ分配すると推定された。その多くは溶融メタルへ分配し、銅製錬での回収対象となっていることから、一定の割合は回収されていると考えられる。しかし、残りはほぼ不燃残渣へ分配することから、全体の 4 分の 3 と多くの金がそのまま最終処分されていると推定される。

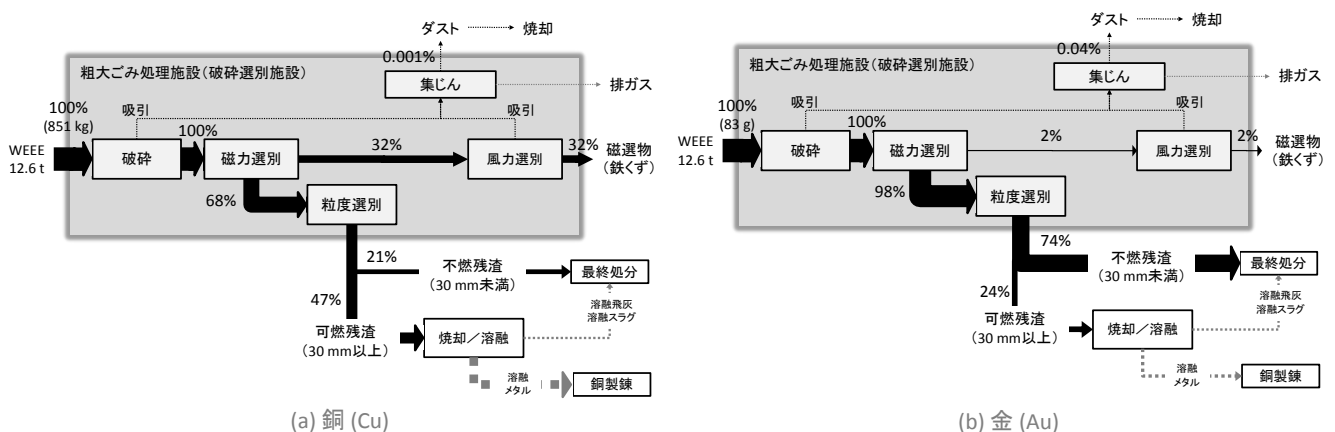


図 6 自治体のごみ処理における使用済み電気・電子製品含有金属のフロー推定結果の例²⁶⁾

(5) リサイクル技術・廃棄物処理技術の解析・評価（有害危険性管理の観点からの使用済み電池類と小型家電の排出実態）²⁸⁾

1) 目的と方法

近年の廃棄物等の収集過程や処理施設における火災について電池類が原因で発生している事例があること、電池類の多様な種類と自治体によって異なる収集方法のために消費者が排出方法を十分に理解できていないことが考えられること、ならびに使用済み電気電子機器の新たな回収システムの拡大に伴って電池類の回収方法改善の可能性が見込めることなどの理由により、電池類の排出実態の把握と回収システムの改善に注目した。電池類はすべての一次電池と二次電池を取り上げた。回収システムの改善に資する基礎情報の取得を目的として、東京都内の自治体の協力を得て、電池の拠点回収、小型家電回収、ならびに不燃ごみと粗大ごみにおける使用済み電池類の排出実態を調査した。

調査対象は2013年末に各排出経路で排出された電池類、および小型家電と装着されていた電池類であり、電池類の調査項目は、排出経路ごとの個数・重量、形状・サイズ、生産国、使用推奨期限、有害物質表示、絶縁状況、物理的な損傷の状況などである。小型家電の調査項目は、機器の種類、装着されていた電池類の有無・種類、電池類の取外し困難度である。小型家電からの電池類の取外し困難度については、1（手で取外し可能）、2（簡単な工具で取外し可能）、3（機器の分解か破壊が必要）の3区分で調査し、1と2は「交換可能電池」、3は「内蔵電池」として表現する。小型家電の回収ボックスについては、ボックス回収を行っているA区、B区、C市において排出された小型家電と電池類を対象とした。本報告では、小型家電回収の経路で排出された結果のみを示す。

2) 結果と考察

小型家電（3区市の全体）については、機器として確認されたもので約2,100個、508kg（平均重量0.24kg/台）、付属品などを含む全体の重量で815kgであった。機器重量に対する電池類の割合は、全体の平均で4.6%（交換可能電池3.8%、内蔵電池0.8%）であり、大きいものでは電気式シェーバーが14.7%（同様に1.6%、13.1%）、携帯電話が13.2%（12.9%、0.3%）を占めた。

小型家電における交換可能電池の使用割合と取外し実施割合を図7に示す。携帯電話、デジタルカメラ、ラジオ、リモコンにおいては9割以上など多くの機器で交換可能電池が使われていたが、小型家電としての排出の際には大半の機器で半数程度の取外し実施割合であった。特に携帯電話の場合は取外し実施割合が22%と低い上に、機器から取り外したとみられる交換可能電池が同じ回収ボックスから見つかる例もあった。分別の実施と排出先については、わかりやすさと協力

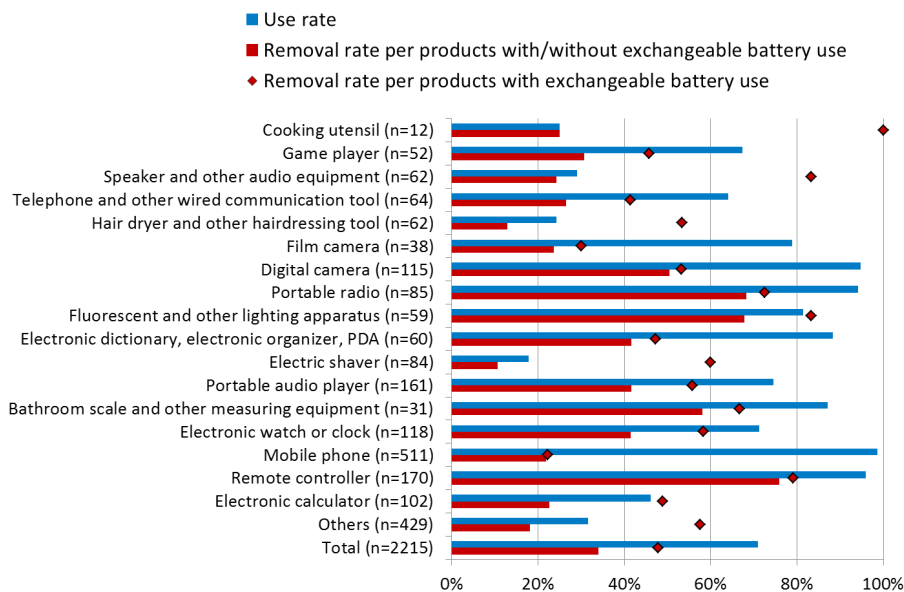


図7 小型家電における交換可能電池の使用割合と取外し割合²⁸⁾

(A区、B区、C市の小型家電回収合計、「その他」はすべての市でnが10個未満の品目を含む)

率を考慮した周知が望ましい。また、最近ではスマートフォンの普及に伴い、取外し困難なリチウムイオン電池も増えつつあるため、それらの排出方法と誰が取外しを行うかの役割分担を決めて周知する必要がある。

また、携帯電話に限らず、電気式シェーバー（ニカド電池など）、デジタルカメラ（リチウム電池など）についても、半分以上の機器で内蔵電池が使用されていた。回収後の前処理段階で、有害物質の除去や火災防止の体制を整えるとともに、破碎段階においても火災防止などの対策を検討する必要がある。

国内での回収経路は、乾電池が自治体、小型二次電池がJBRC、ボタン電池がボタン電池回収推進センターのように欧州と比べて複雑である。小型家電の回収も多くの自治体で始まった現在、回収率の向上とともに、機器に含まれる電池類を誰がどのように回収するか役割分担について、関係者の間で改めて議論するのが望ましい。有害物質管理と火災防止の観点から、消費者にとってわかりやすく回収率の高い分別回収方法を提示する必要があると考えられる。

(6) 将来シナリオ推計のための耐久消費財保有台数の重回帰モデル作成

1) 目的と方法

ポピュレーションバランスモデルを用いて耐久消費財排出台数の将来推計を行うためには、保有台数の将来シナリオを設定する必要がある。既存研究において耐久消費財の保有台数は、しばしば1人あたりGDPとの相関に基づいて外挿されている。耐久消費財の1人あたり保有台数と1人あたりGDPは国ごとに見れば強い相関が見られるが、その傾きや切片は国によって大きく異なっている。また、傾き等は国のGDPレベルによって異なっている。このため、特に途上国について1人あたりGDPのトレンドに従って単純に将来の保有台数を外挿することは適当ではないと考えられる。また、過去の保有台数のトレンドを成長曲線で近似して外挿することも行われているが、途上国においては製品が十分に普及しておらず、成長曲線の変曲点を決定することが難しいケースも多く存在する。そこで本研究では、保有台数の将来シナリオ推計を行うために、重回帰分析を用いた1人あたり保有台数のモデル化を行った。被説明変数は1人あたり保有台数とし、国の経済規模、産業構造、人口、消費支出、収入、インフラ、教育、燃料価格、労働、気候等に関する76の社会経済指標を説明変数の候補とした。まず、1人あたりGDPを最初の説明変数として選定し、変数増減法を用いて赤池の情報量基準AICが最小となる変数の組合せを探索し、その変数セットを用いた重回帰モデル式を作成した。対象品目はルームエアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話、乗用車、商用車とし、26の非OECD国を含む60か国のデータを用いた。保有台数データはユーロモニターおよび国連ミレニアム開発目標指標のデータベースより、説明変数の候補とした社会経済指標データは世界銀行の世界開発指標データベースより取得した。

2) 結果と考察

機械的に探索したAICが最小となる変数セットを用いた重回帰モデル式は、説明変数の数が多く実用的な将来シナリオ推計には不向きであること、保有台数との関係を解釈しにくい変数も存在したことから、機械的に選定された変数セットから保有台数への寄与が大きい以下の主要な説明変数を選定し、これらのみを用いた重回帰モデル式を作成した。

- ・1人あたりGDP
- ・都市化率（都市人口が全人口に占める割合）
- ・（家計）最終消費支出の年成長率
- ・（家計）最終消費支出（GDPに占める割合）
- ・サービス業付加価値（GDPに占める割合）
- ・都市人口の年成長率
- ・製造業付加価値（GDPに占める割合）
- ・工業付加価値（GDPに占める割合）
- ・月間平均気温の年最高値／最低値（ルームエアコンのみ）
- ・普及開始からの経過年数（携帯電話のみ）

作成した重回帰モデル式による1人あたり保有台数の予測結果の例を図8に示す。モデル式は1人あたりGDPとの相

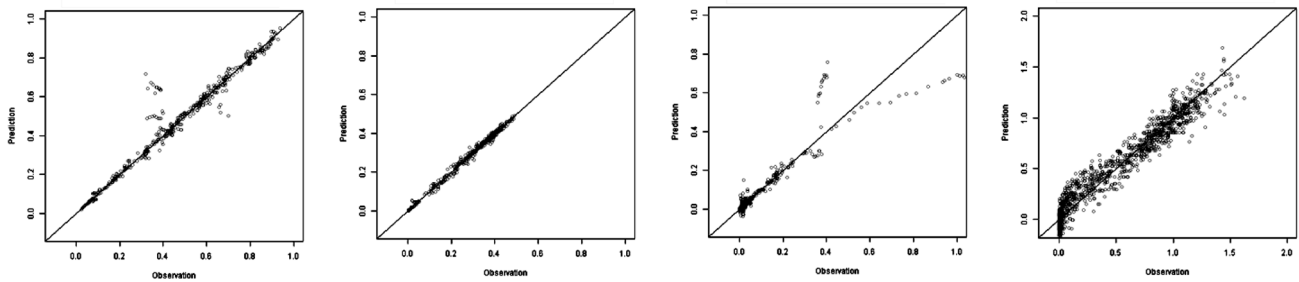


図8 作成した重回帰モデルによる計算値（縦軸）と統計値（横軸）の比較
（左から冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、携帯電話のデータ）

関のみに基づく予測よりも1人あたり保有台数をよく説明していた。なお、保有台数のトレンドは国の経済レベル（GDPレベル）によって異なるため、モデル式は4区分の1人あたりGDPレベルについてそれぞれ作成した（図8に示した結果はこれによる予測結果である）。以上により、おける耐久消費財の保有台数の将来シナリオ推計が可能となった。この成果は、途上国における耐久消費財排出台数の将来推計のための基礎データとして活用が見込まれる。

2.1.2 資源性・有害性を踏まえた製品、物質の循環管理のためのフィールド研究

E-wasteの不適切なリサイクルに伴って排出された製品由来化学物質による健康・環境影響は、アジア途上国等で少なくとも2000年頃から国際問題となっている²⁹⁾。E-wasteリサイクルに起因した化学物質汚染は明るみになっているが、リサイクルと製品由来化学物質汚染の関係性やその制御に資する科学的知見は依然として少ない状況にある。

そこで、e-wasteリサイクルの詳細な状況を把握して、資源性・有害性を踏まえた環境上適正な管理に資する知見を獲得するために、アジア地域においてフィールド研究を行った。現場はインフォーマルのリサイクル施設を含むために、一般に協力を得ることは容易ではないが、ベトナムとフィリピンの2つのグループに分かれて交渉を行ってフィールド研究の機会を得た。ベトナムではインフォーマルのe-wasteリサイクル施設から協力を得て、2012年から2015年にかけて定点観測を実施し、製品由来化学物質として金属類と難燃剤、さらに非意図的に生成するダイオキシン類縁化合物の調査を行った。一方、フィリピンではフォーマルとインフォーマルのリサイクル施設に対して、土壌およびダストに含有される金属を調査して有害性評価を行った。また、金回収プロセスの詳細調査を行って、金属の散逸状況と施設内の汚染状況も調べた。

(1) ベトナムにおけるフィールド研究（製品由来化学物質とダイオキシン類縁化合物の調査）

1) 目的と経緯

本研究では、e-wasteの環境上適正な管理に資する知見を獲得するために、ベトナム北部にあるe-wasteリサイクル地域を対象として、リサイクルを通じた製品由来化学物質の排出実態を把握するフィールド調査を実施した。当該フィールド調査では、2012年1月から2015年1月にかけて、ヒアリングと各種環境媒体試料の製品由来化学物質による汚染状況を調査した。ヒアリングでは、リサイクル施設のオーナーに対して作業内容等の聞き取り調査を行い、調査対象地域で行われているリサイクル内容や収入源としての重要度等を明らかにした。汚染状況調査では、調査対象地域において表層土壌、河川堆積物や食用生物を対象とした製品由来化学物質の分析評価を実施した。

調査対象とする製品由来化学物質には、e-wasteに含まれる化学物質や、野焼きによる製品含有化学物質の熱分解を通じた非意図的な生成物がある。これら製品由来化学物質のうち、本研究では、製品含有化学物質として難燃剤および金属類、e-wasteの野焼きによって非意図的に生成するダイオキシン類縁化合物を主要な評価対象物質とした。難燃剤については、用途に応じて種類が多岐にわたるため、その一部が2009年に残留性有機汚染物質（POPs）条約上の廃絶対象物質となったPBDEsとその代替難燃剤を評価対象とした。金属類は、e-wasteに含まれるPbやCu等の重金属類を主な測定対象とした。ダイオキシン類縁化合物については、PBDE製剤に不純物として含まれることだけでなく、e-wasteの野焼きによる非意的生成を考慮して、臭素化ダイオキシン類（PBDD/Fs）だけでなく塩素化ダイオキシン類（PCDD/Fs、Co-PCBs）を測定対

象とした。また、e-waste の野焼きを通じて塩素と臭素が置換している塩素化臭素化ダイオキシン類 (PXDD/Fs) も生成するといわれているため、臭素化ダイオキシン類、塩素化ダイオキシン類および塩素化臭素化ダイオキシン類を総じて検出可能な CALUX アッセイを導入して、ダイオキシン類緑化合物を包括的に測定評価した。

2) 方法

(ア) 調査対象地域

本研究では、ベトナム北部フンイエン省ミーハオ地区の e-waste リサイクル地域 (BD: Bui Dau) の居住区とその周辺に広がる水田地帯の 3.0 km × 1.2 km を調査対象地域とした。BD では、2015 年 1 月時点で約 3000 人が居住しており、主な産業として 2000 年ごろから e-waste リサイクルが行われている。2013 年 1 月、2014 年 1 月、2015 年 1 月に表層土壌を採取したりリサイクル施設 10 施設のオーナーに対して作業内容についてヒアリング調査を行った。

(イ) 試料採取

試料採取の概要を図 9 に示す。表層土壌と河川堆積物の採取は、2012 年 1 月、2013 年 1 月、2014 年 1 月に実施した。表層土壌は、水田あぜ道 19 地点、リサイクル施設近傍 10 地点、電源ケーブル等の野焼き現場近傍 3 地点において、毎年同一地点から採取した。河川堆積物は、村の中心部を流れる河川で、リサイクル施設上流 1 地点、施設近傍 3 地点、施設下流 4 地点において、毎年同一地点から採取した。河川堆積物コアは、2013 年 11 月にリサイクル施設近傍から採取した。土壌および河川堆積物は、風乾後、ふるいにかけて、2 mm ふるい下を分析供試料とした。本研究では、調査対象地域内に棲息している、或いは飼育されている食用生物も採取した。リサイクル施設 5 地点で飼育されている鶏と卵は、2014 年 1 月に 1 検体ずつ採取して、筋肉、肝臓、皮、卵黄を分取した。魚は、2014 年 1 月に人工池から養殖魚を 5 検体、2014 年 12 月に河川の施設排水流入口付近から川魚 15 検体採取して、筋肉を分取した。各試料は、均質化後に凍結乾燥し粉末化して、分析供試料とした。

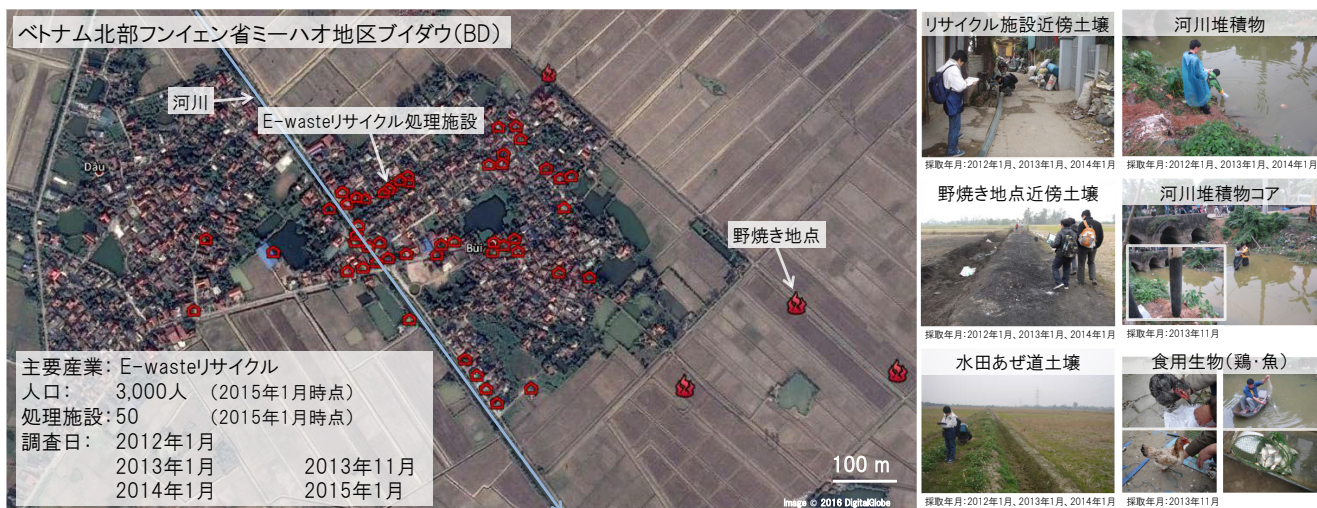


図 9 試料採取の概要

(ウ) 分析評価

本研究では、製品由来化学物質として難燃剤と金属元素、非意図的生成物としてダイオキシン類緑化合物を分析評価した。難燃剤とダイオキシン類緑化合物は、有機分析として抽出液を共有した。

有機分析 難燃剤については、PBDEs と代替難燃剤 (PBDEs 以外の臭素系難燃剤 4 種 (other BFRs)、デクロランプラス 2 種 (DPs)、モノマー型リン系難燃剤 8 種 (m-PFRs) および縮合型リン系難燃剤 3 種 (o-PFRs)) を対象として、表層土壌、河川堆積物および食用生物の含有濃度を明らかにした。ダイオキシン類緑化合物は、塩素化ダイオキシン類、臭素化ダイオ

キシソ類およびダイオキシソ類縁化合物を対象として、表層土壌および河川堆積物の含有濃度を明らかにした。各種試料を分取し、高速加熱流下抽出装置を用いて（SE-100）を用いて50%アセトン／ヘキサンおよびトルエンで抽出した。PBDEsと代替難燃剤については、対象とする全ての抽出液を一部分取して、クリーンアップスパイクとして¹³Cラベル化体と重水素ラベル化体を添加した後、各種精製処理を行い、GC-MSDもしくはLC-MS/MSを用いて定性・定量した。塩素化ダイオキシソ類および臭素化ダイオキシソ類については、2012年1月に採取した対象試料の抽出液を一部分取して、クリーンアップスパイクとして¹³Cラベル化体を添加した後、精製・分画を行い、GC-HRMSを用いて定性・定量した。ダイオキシソ類縁化合物については、対象とする全ての抽出液を一部分取して、銅処理および硫酸シリカゲルカラム処理を行い、組換えラット肝がん細胞H4IIE-lucを用いるDR-CALUXアッセイを用いて、2,3,7,8-TCDD等量（CALUX-TEQ）として定量した。

無機分析 金属元素については、表層土壌、河川堆積物および河川堆積物コアの含有濃度を明らかにした。各種試料を分取して、硝酸：塩酸（1：1）による加熱抽出を行った。各種試料の抽出液中の金属元素（Ag, As, Au, Ca, Cd, Ce, Co, Cu, Fe, Eu, Gd, In, La, Li, Mg, Mn, Mo, Nd, Ni, Pb, Se, Sm, Sn, Zn）は、ICP-OESおよびICP-MSで定量した。

3) 結果と考察

(ア) 調査対象地域におけるe-wasteリサイクル

ヒアリングによると、処理施設（2015年1月時点で50施設確認）は、年間数トンから数十トンのe-wasteおよび解体物を主にベトナム国内周辺地域から購入し、解体・分別等処理後に、国内業者に処理物（金属類を含む電子部品やプラスチック等）を販売していた。販売したものは、国内業者を介して中国に輸出されていた。調査対象地域では、パソコンやテレビの解体・素材分別、パソコン、テレビや携帯電話の基板の解体・パーツ分別、解体物の屋外保管が確認された（図10）。ある施設の例であるが、2015年1月時点における各種パーツの国内業者買取価格は、価格が高い順に、マイクロプロセッサ、銅線、その他銅含有物、マイクロチップ、アルミニウム、パーツ抜取後の基板残渣、鉄、プラスチックの順であった。年間販売量は、マイクロプロセッサが数kg、銅線、その他銅含有物、マイクロチップおよびアルミニウムが数十kg、パーツ抜取後の基板残渣、鉄およびプラスチックが数千kgであった。価格と販売量を考慮すると、いずれの素材も収入源としては同程度の価値であることがわかった。また、一部のe-wasteリサイクル施設による電源ケーブル等のe-wasteの野焼きによる銅回収が散見された（図9）。銅回収を目的とした電源ケーブル等の野焼きについては、中国で銅の需要が高まった時期にあわせて活発化する傾向であり、輸出先の需要によってリサイクル活動が大きく変わることがわかった。リサイクル施設の経営者は、ベトナム人の平均月収を大きく超える収入を得ており（月収10,000,000～100,000,000 VND, n=4）、e-wasteリサイクルの動機付けとなっていることもわかった。作業者についても、作業時間によるが、ベトナム人の平均月収と同程度以上の収入を得るケースもみられた。



E-wasteの野焼き



残渣からの銅回収



解体物の屋外保管



解体・素材分別

・各種パーツの業者買取価格の一例（2015年1月）

 マイクロプロセッサ 150,000 VND/kg	 銅(銅線) 80,000 VND/kg	 銅(その他) 50,000 VND/kg
 マイクロチップ 30,000 VND/kg	 アルミニウム 30,000 VND/kg	 プラスチック 1,000 VND/kg

その他：鉄 3,000 VND/kg、パーツ抜取後残渣 3,000 VND/kg
 * 1,000 VND = 5 JPY

図10 調査対象地域で行われているe-wasteリサイクル内容、解体物及び国内業者買取価格

(イ) 製品由来化学物質の排出実態と e-waste リサイクルとの関連性

表層土壌および河川堆積物の分析評価から、製品由来化学物質の排出実態と e-waste リサイクルの関連性を考察した。

難燃剤 表層土壌および河川堆積物から PBDEs と代替難燃剤を検出した (図 11 および図 12)。PBDEs、other BFRs、DPs、m-PFRs、o-PFRs の最高濃度は、9200、7400、700、4900、16000 ng/g であったが、各作業施設間の濃度幅には一桁以上の開きがあり、採取地点による濃度のばらつきがみられた。リサイクル施設近傍の表層土壌および河川堆積物中の PBDEs および代替難燃剤の濃度は水田あぜ道の表層土壌や河川上流域で採取した堆積物よりも一桁以上高く、これは e-waste のリサイクルに伴いこれらの物質が周辺環境に排出していることを示唆する。リサイクル施設および野焼き地点近傍における PBDEs と代替難燃剤の偏在は、処理施設外での e-waste の解体や分別作業、屋外野積み保管、野焼き作業を反映した結果と考えられた。リサイクル施設近傍の表層土壌中の各種難燃剤のうち、PBDEs の寄与率は 2012 年から 2014 年までの調査期間で有意に減少していた (図 13)。PBDEs の異性体組成をみると、デカ BDE 製剤の主成分である 10 臭素化体の濃度が最も高かったが、この 10 臭素化体の寄与率が最も有意に減少していた。その一方で、代替難燃剤の DPs と o-PFRs の寄与率は 2012 年から 2014 年までの調査期間で有意に増加していた (図 13)。代替難燃剤の成分組成をみる

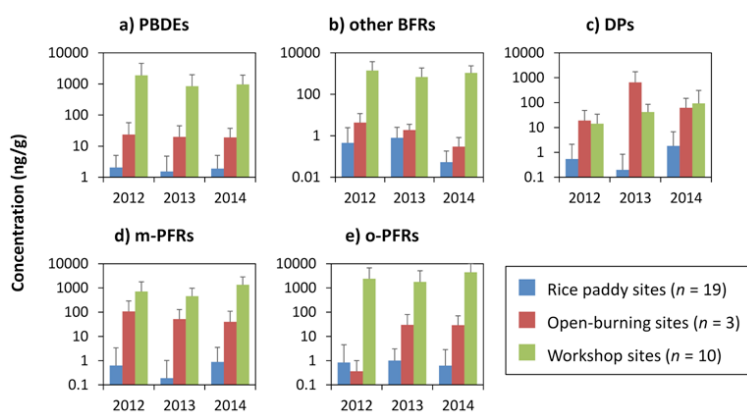


図 11 調査期間中に採取した表層土壌中の PBDEs 及び代替難燃剤の平均濃度

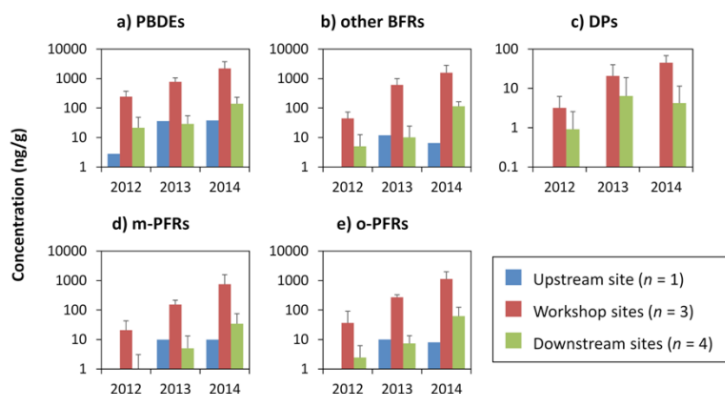


図 12 調査期間中に採取した河川堆積物中の PBDEs 及び代替難燃剤の平均濃度

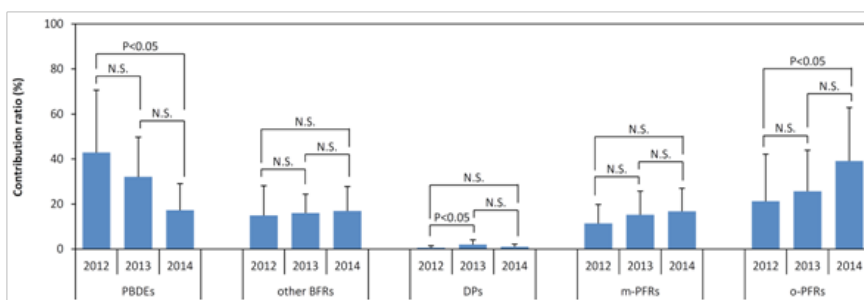


図 13 調査期間中に採取した表層土壌中の PBDEs 及び代替難燃剤の平均寄与率 (n.s.: 有意差なし)

と、デカ BDE 製剤の代替物質であるビスフェノール A ビスジフェニルホスフェートの寄与率が最も有意に増加していた。PBDE 製剤と代替難燃剤の寄与率の変化は、調査期間に処理された e-waste の含有難燃剤の変化を表し、PBDE 製剤に対する国際的な使用規制の強化とこれに付随した物質代替を反映した結果と考えられた。

ダイオキシン類緑化合物. 2012 年に採取した表層土壌中の塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類の WHO-TEQ 範囲は、水田あぜ道 ($n=19$) で $0.29 \sim 15$ pg/g (中央値 1.3 pg/g) と ND ~ 5.4 pg/g (中央値 0.017 pg/g)、野焼き地点近傍 ($n=3$) で $4.3 \sim 140$ pg/g (中央値 83 pg/g) と $0.19 \sim 83$ pg/g (中央値 17 pg/g)、リサイクル施設近傍 ($n=10$) で $0.86 \sim 23$ pg/g (中央値 5.4 pg/g) と $0.83 \sim 290$ pg/g (中央値 20 pg/g) であった。2012 年に採取した河川堆積物中の塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類の WHO-TEQ 範囲は、リサイクル施設上流で 0.9 pg/g と 0.028 pg/g、施設近傍 ($n=3$) で $3.7 \sim 56$ pg/g (中央値 8.2 pg/g) と $2.2 \sim 8.9$ pg/g (中央値 4.3 pg/g)、施設下流 ($n=4$) で $0.43 \sim 6.1$ pg/g (中央値 1.6 pg/g) と $0.66 \sim 1.0$ pg/g (中央値 0.80 pg/g) であった。本研究の結果は、野焼き地点やリサイクル施設近傍で採取した試料で WHO-TEQ が高くなる傾向を示し、既報の e-waste リサイクル地域における塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類の調査結果の結論を支持するものであった。表層土壌では、野焼き地点近傍で塩素化ダイオキシン類が高く、リサイクル施設近傍で臭素化ダイオキシン類が高くなることが特徴的であった。銅線を回収するために実施している電源ケーブルの野焼き地点では、塩素化ダイオキシン類および臭素化ダイオキシン類がともに、銅を触媒として非意図的に生成していると考えられる。また、臭素化ダイオキシン類は、臭素化ダイオキシン類が PBDE 製剤中に不純物として存在すること、テレビの筐体やブラウン管モニター、電子基板等の屋外保管が散見されること、そして表層土壌で検出される PBDEs と臭素化ダイオキシン類に正の相関関係がみられることから (図 14)、製品から周辺環境に排出していると考えられた。これは、河川堆積物で検出された PBDEs と臭素化ダイオキシン類についても同様のことがいえる (図 14)。

調査期間を通じて採取した表層土壌中のダイオキシン類緑化合物 (CALUX-TEQ) は、水田あぜ道 ($n=57$) で ND ~ 180 pg/g (中央値 ND)、野焼き地点近傍 ($n=9$) で ND ~ 4300 pg/g (中央値 1200 pg/g)、リサイクル施設近傍 ($n=30$) で ND ~ 580 pg/g (中央値 62 pg/g) であった。河川堆積物では、リサイクル施設上流 ($n=3$) で ND、施設近傍 ($n=9$) で ND ~ 4000 pg/g (中央値 200 pg/g)、施設下流 ($n=12$) で ND ~ 64 pg/g (中央値 ND) であった。塩素化ダイオキシン類および臭素化ダイオキシン類の WHO-TEQ と同様、ダイオキシン類緑化合物の CALUX-TEQ についても、野焼き地点およびリサイクル施設近傍で高くなる傾向であった。表層土壌および河川堆積物中の塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類の WHO-TEQ と、ダイオキシン類緑化合物の CALUX-TEQ の濃度差を中央値ベースで比較すると、野焼き地点やリサイクル施設近傍といった e-waste リサイクル活動地点近傍で、CALUX-TEQ が高くなる傾向を示した。この差には、GC-HRMS で測定していないダイオキシン類緑化合物が CALUX アッセイによって検出されている可能性を示唆している。表層土壌および河川堆積物中の WHO-TEQ と CALUX-TEQ は正の相関関係を示すことから (図 15)、未同定のダイオキシン類縁

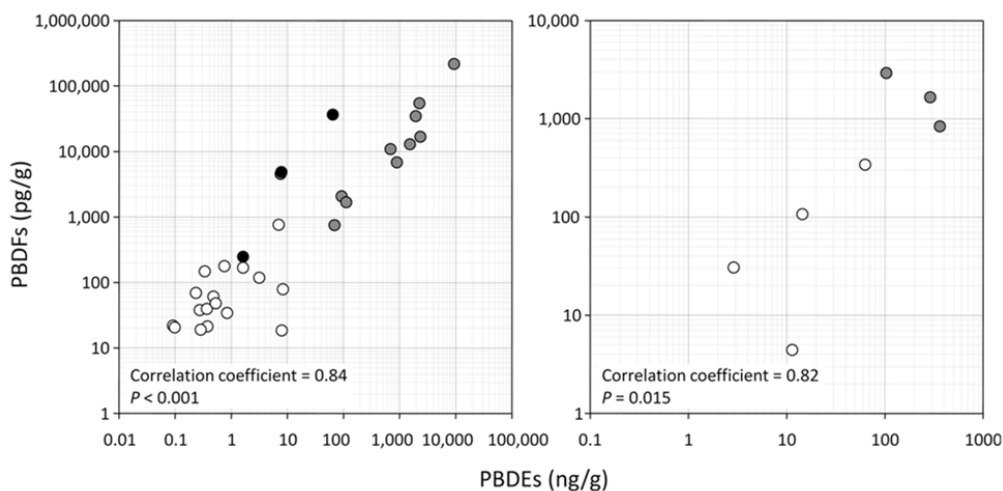


図 14 2012 年に採取した表層土壌 ($n=31$) 及び河川堆積物 ($n=7$) で検出された PBDEs と臭素化ダイオキシン類 (PBDFs) の関係. 表層土壌: 水田あぜ道 (○)、野焼き地点近傍 (●)、リサイクル施設近傍 (●). 河川堆積物: 処理施設近傍 (●)、処理施設下流 (○)

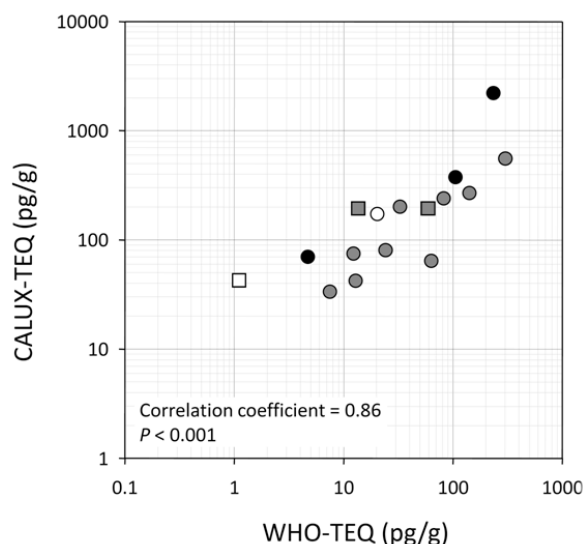


図 15 2012 年に採取した表層土壌 (n=13) 及び河川堆積物 (n=3) の WHO-TEQ と CALUX-TEQ の関係. 表層土壌: 水田あぜ道(○)、野焼き地点近傍(●)、リサイクル施設近傍(●). 河川堆積物: リサイクル施設近傍(■)、処理施設下流(□)

化合物は、GC-HRMS で測定対象となっていない塩素化ダイオキシン類や臭素化ダイオキシン類、塩素と臭素が置換している塩素化臭素化ダイオキシン類の関与が考えられた。調査期間においてダイオキシン類緑化合物は、経年的に増加していなかったが、野焼き地点から周囲に拡散している傾向であった。人健康影響を想定して WHO-TEQ ベースで設定されている表層土壌と河川堆積物の基準値はそれぞれ 1000 pg/g³⁰⁾ と 150 pg/g³¹⁾ あるいは 1000 pg/g³²⁾ であり、本研究で得られた WHO-TEQ はこれらを超えていなかった。一方で、CALUX-TEQ については、野焼き地点近傍で採取した表層土壌や、リサイクル施設近傍で採取した河川堆積物で、WHO-TEQ ベースの基準を数倍から十数倍超過するケースがみられた。これらの結果は、CALUX アッセイを用いてダイオキシン類緑化合物を包括的に検出することが、e-waste リサイクル地域におけるダイオキシン類化合物の排出実態の適切な評価に繋がることを示唆する。

金属元素 リサイクル施設および野焼き地点近傍から採取した表層土壌では、Cu、Pb、Zn の濃度が高い地点が多くみられ、ベトナムにおける土壤汚染対策基準 (QCVN03 : 2008 / BTNMT、As 12 mg/kg、Cd 2 ~ 10 mg/kg、Cu 50 ~ 100 mg/kg、Pb 70 ~ 300 mg/kg、Zn 200 ~ 300 mg/kg) を大幅に超過している地点が3年間を通じて散見された。リサイクル施設近傍の Pb (29 ~ 2900 mg/kg、n=30) や野焼き現場近傍の Cu (22 ~ 3000 mg/kg、n=11) は、e-waste リサイクルによる重金属類汚染が報告されている中国の Guiyu や Taizhou の事例に匹敵するレベル³³⁾ であった。As は 3.8 ~ 17 mg/kg であり、採取地点を問わず若干の基準超過が見られた。環境基準が設定されていない元素について、Sn はリサイクル施設近傍で 2.2 ~ 190 mg/kg、野焼き地点近傍で 0.8 ~ 170 mg/kg であり、水田あぜ道 (0.86 ~ 5.8 mg/kg) の 30 倍以上の値を示した。高濃度ではないが、Ag や In についても、水田あぜ道と比較して、リサイクル施設や野焼き地点近傍で高い傾向であった。表層土壌中の金属類を対象としてクラスター分析を実施した結果、金属元素は土壌 (地殻) に由来する元素から構成される Gr.1 とそれ以外の Gr.2 に分類され、Gr.2 はさらに2つのグループに分類された (図 16)。Gr.2a (Ca、Cu、Mo、Ni、Pb、Sn、Zn) にはリサイクル施設や野焼き地点近傍で高値を示す金属元素が分類されていることから、リサイクルを通じて環境排出した製品由来金属元素が分類されていると考えられた。Gr.2 に分類され高い濃度で検出された金属元素は、基板に使用されているはんだ (Pb、Sn)³⁴⁾、銅線 (Cu)³⁵⁾、ヒートシンク (Mo)³⁶⁾、プラスチックに添加されている無機系添加剤 (Ca 系、Zn 系安定剤)³⁷⁾、金属部品のめっき材 (Zn)³⁸⁾、CRT ディスプレイの電子銃 (Ni)³⁹⁾ 等に含まれており、これらは階層的クラスター分析の結果と矛盾しない。野焼き地点近傍では、銅線に由来する Cu、PVC の安定剤に由来する Pb、Zn が高濃度になったと考えられる。Gr.2a に分類された製品由来7元素の採取地点別の土壌中濃度分布を比較すると (図 17)、いずれもリサイクル施設と野焼き地点近傍で有意に高い結果となった。いずれの金属元素についても、水田あぜ道と比較してリサイクル施設および野焼き地点近傍で検出濃度の幅が大きく、リサイクルを通じた金属類のスポット汚染が生じていることを示唆している。

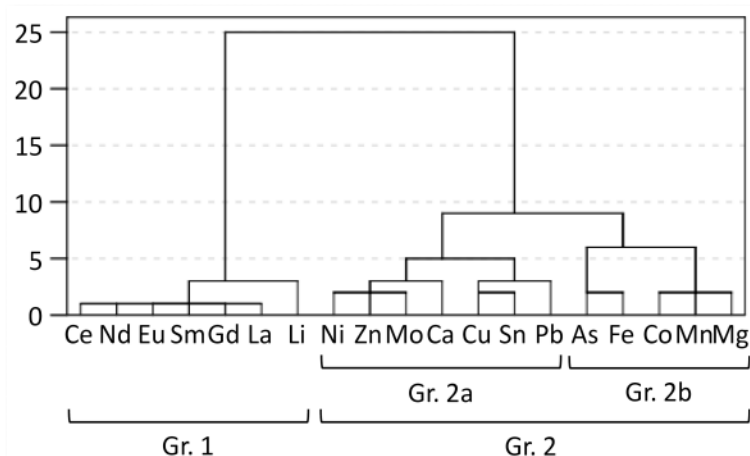


図 16 表層土壌で検出された 21 元素の階層的クラスター分析結果 (デンドログラム)

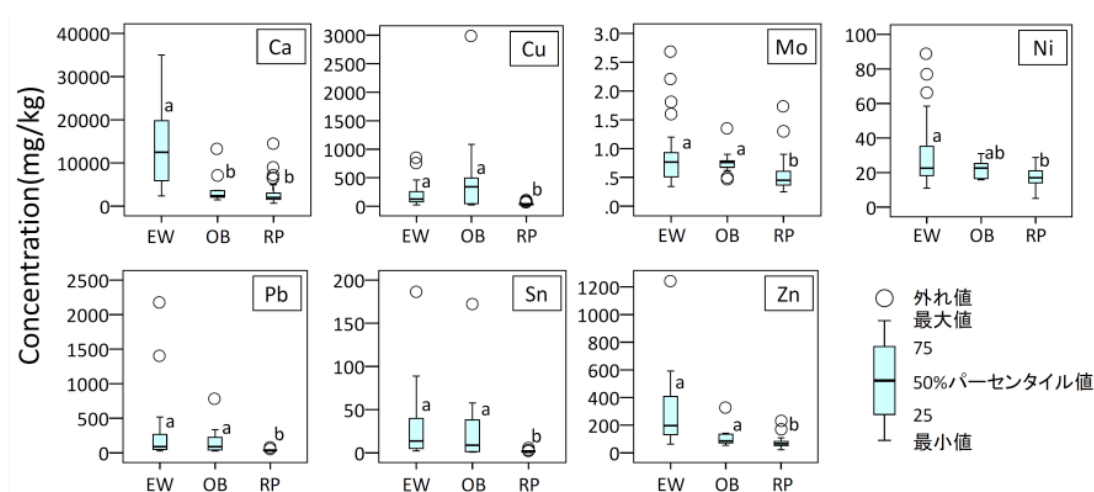


図 17 調査期間中に採取した全ての表層土壌中の製品由来金属元素 (Ca、Cu、Mo、Ni、Pb、Sn、Zn) の採取地点別の濃度分布。
EW: E-waste processing workshop site, OB: Open-burning site, RP: Rice paddy site

河川堆積物では、リサイクル施設近傍で高濃度の Cu (75 ~ 9900 mg/kg)、Pb (45 ~ 1500 mg/kg)、Sn (3.1 ~ 300 mg/kg)、Zn (62 ~ 350 mg/kg) が検出された。河川堆積物についてもリサイクル施設近傍で製品由来金属元素が高濃度となり、処理施設の上流および下流で低濃度となる傾向であった。リサイクル施設の排水の流入が確認された地点で、表層土壌の結果から製品由来と推察される Cu、Pb、Sn が特に高値を示した。当該地点で採取した堆積物コアを用いてこれら金属元素の排出実態を評価したところ、表層で高い濃度で検出され、下層にいくに従って低い濃度になっていた。これは、当該地域における e-waste リサイクル作業によって、これら金属元素の環境排出が継続していることを示している。

(ウ) 調査対象地域で採取した食用生物中難燃剤の分析評価

リサイクルを通じて環境排出した製品由来化学物質のうち、生物蓄積性を示す PBDEs を含む難燃剤を対象として食用生物の分析評価を実施して、生物蓄積性化学物質の評価重要度について考察した。

2014 年 1 月および 12 月に採取した鶏試料および魚試料から検出された PBDEs の最高濃度は、脂肪重量当たりで 14000 ng/g であった。各試料の PBDEs の異性体組成は、デカ BDE 製剤の主成分である 10 臭素化体の濃度が最も高かった。代替難燃剤のうち比較的高い濃度が確認されたものは、デカブロモジフェニルエタン (DBDPE)、DPs、リン酸トリフェニル (TPHP) であった。DBDPE、DPs、TPHP の最高濃度は、脂肪重量当たりで 2800、25000、3600 ng/g であった。高蓄積性を有する PBDEs の低臭素化体のみならず、PBDEs の高臭素化体、代替難燃剤の DBDPE、DPs、TPHP についても、生育環

境における曝露を通じて体内に吸収されて、各組織に蓄積して、卵まで移行することが示された。PBDEs および代替難燃剤ともに、各個体間の濃度幅に一桁以上の差がみられ、生育環境の汚染レベルに起因すると推察された。鶏試料および魚試料から検出された各種難燃剤の組成は、処理施設の周辺環境でみられた組成と異なった。特に o-PFRs については、処理施設近傍の表層土壌および河川堆積物中の最高濃度が乾燥重量当たりで 16000 および 2100 ng/g であり、PBDEs と同等の濃度レベル (9200 および 3800 ng/g) であったにもかかわらず、鶏試料および魚類の各組織中の最高濃度は、PBDEs の濃度 (14000 および 2300 ng/g) より 2 桁以上低く、脂肪重量当たりで 18 ng/g であった。これらの結果は、各種難燃剤の物理化学的性質や生物体内でのバイオアクセシビリティやバイオアベイラビリティを反映した結果と考えられた。処理施設の周辺環境で生育する生物や地域住民への各種難燃剤による曝露実態を把握するためには、処理施設の周辺環境中の各種難燃剤の存在形態と生体内動態に関する知見の獲得が重要と考えられた。

(2) フィリピンにおけるフィールド研究 (フォーマルとインフォーマルの比較、有害性評価)⁴⁰⁾

1) 目的と経緯

e-waste リサイクル施設は、フォーマルとインフォーマルの 2 種類に分かれている⁴¹⁾。フォーマルでは通常、当該国内での登録・許可がなされて運営され、事業所などからの e-waste を引き取っている。一般にはマスクなどの保護具を含めて環境規制を遵守し、解体・リサイクルなどの取扱いが比較的大規模になされている。一方で、インフォーマルは通常、少人数の作業員によって運営され、家庭や国外を含めてあらゆる手段で有価物となる e-waste を回収し、零細規模で解体・リサイクルが行われている。一般には環境配慮がなされず、酸抽出や野焼き、残渣の投棄などが行われている。途上国においては e-waste に関する法規制が未整備または不十分な運用のために違法性は問いにくいだが、例えばフィリピンの場合には有害廃棄物リサイクルの処理・貯蔵・処分施設 (TSD) に関する許可・登録制度に基づいて、フォーマルとインフォーマルの区分が可能である。

本研究では、フィリピンをフィールドとしてフォーマルとインフォーマルの施設を対比して、表層サンプル (土壌およびダスト) を対象として調査し、環境への影響、ヒトの健康リスクを評価する。

2) 方法

2010 年 2 月と 8 月に Caloocan 市を含むマニラ首都圏と、Cavite 州、Laguna 州で表層サンプルを採取した。フォーマルリサイクル施設は Cavite、Laguna の各 1 カ所、インフォーマルの現場は Caloocan と Cavite の計 3 カ所である。フォーマル施設は 2001 年に設立され、インフォーマルは近年運営されているという。表層の土壌はシャベルを用いて、深さ数 cm、直径 30 cm 程度をサンプリングした。表層のダストは、清浄な箒で静かに掃いてサンプリングし、各々のサンプリング区画は各建物内や屋外のコンクリート床面上で選定された。土壌とダストはボールミルと凍結ミルで粉碎され、元素分析のために 150 サン未満になるようふるいにかけて。

以上のようにサンプリングした粉状の土壌とダストのサンプルに対して、11 元素 (Ag, As, Cd, Co, Cu, Fe, In, Mn, Ni, Pb, Zn) の分析を行った。サンプルは HNO₃ と HCl を用いて加熱分解した後、8 元素 (Ag, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) に対しては ICP-AES を用いて、3 元素 (As, Cd, In) に対しては ICP-MS を用いて分析した。濃縮係数として、Mn をベースメタルに用いた平均の地殻存在量⁴²⁾ に対する濃度レベルによって、土壌とダストの金属元素の濃度を評価した。さらに、平均日摂取量 (ADD, U.S.EPA, 1997)、ハザード比 (hazard quotient; HQ)、ハザードインデックス (hazard index; HI) を次式のように求めて健康リスクの評価を行った。

$$ADD = \frac{C \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (2)$$

$$HI = \sum_i HQ_i \quad (i, \text{element}) \quad (3)$$

ここで、経口参照量 (RfD⁴³) はリスクに至らないヒトの日曝露レベルを表している。HQ の数値が 1 以下の時は、負の健康影響が生じるとは考えにくい。ここでは、他のベンチマークに基づき HQ が有害リスクを表しているとして、例えば ≤ 1 (極小)、 $> 1-5$ (低)、 $> 5-10$ (中程度)、 > 10 (高) となる。本研究では、HI の数値が式 (3) で HQ 値の合計であることから、総合的な健康リスク評価のベンチマークにこの HI 値を適用することとした。

3) 結果と考察

(ア) 土壌・ダストの金属濃度

フォーマルとインフォーマルの e-waste リサイクル現場において、表層の土壌とダストの 11 元素の含有濃度と濃縮係数の結果を図 18 に示す。フォーマル土壌については最も低い金属濃度であり、濃縮係数の幾何平均もほぼ 1 であって濃縮はないことが示唆された。インフォーマルの土壌については、先行研究の結果と比較した結果、次の結果が観察された。i) As、Co、Mn、Ni、Fe はインフォーマルの土壌内で近くと同様の組成であった。ii) Ag の濃縮と Cd、Cu、Pb、Zn による汚染が特定された。iii) フィリピン、中国、インド、香港でのインフォーマルの土壌においては、特定の金属 (Cd、Co、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn) の濃度にアジア域内の類似性がみられた。次に、フォーマルダストから得られた知見は以下のとおりである。すなわち、i) 深刻な金属汚染 (Ni、Cu、Pb、Zn) と中程度の汚染 (Cd) があること、ii) 極めて高い金属濃縮があること (Ag、In)、そして iii) 地殻由来の元素 (As、Co、Fe、Mn) があることである。最後に、インフォーマルのダストについては、フォーマルのダストと統計的に同程度の金属濃度 (In、Ni、Cu を除く) であった。Pb と Zn はインフォーマルダストに最もよくみられる汚染物質であり、最大の濃度で存在していた。先行研究と比較した結果、中国のインフォーマル現場の Ag、As、Cd、Pb を除いて、インフォーマルダスト (土壌汚染がない場合) の金属濃度がフィリピン、中国、インド間のアジア域内類似性を有していることを示している。

以上をまとめると、e-waste リサイクル現場のダストの方が、土壌と比較して金属元素濃度が高いことがわかった。加えて、フォーマルとインフォーマルの現場では、金属汚染の状況が異なっていた。フィリピン、中国、インド、香港における e-waste リサイクル現場を比較した結果、地理的には離れていても表層の土壌・ダストは類似の濃度であることがわかった。

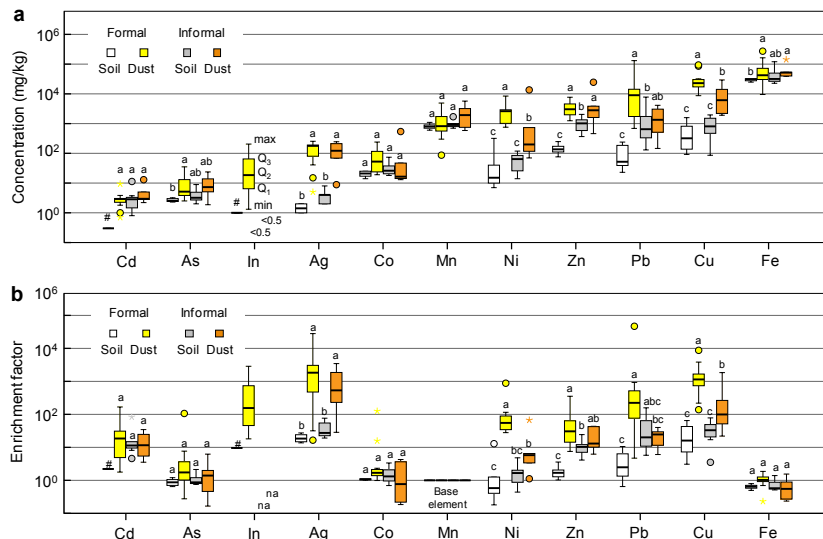


図 18 フィリピンの e-waste リサイクル現場のダストおよび土壌における 11 元素の含有濃度 (a) と濃縮係数 (b)⁴⁰⁾

(イ) 土壌およびダストの金属の有害性評価

有害性に関する指標 (HQ, HI) を計算したプロセスを通じて、表層の土壌・ダストの「潜在的な」有害リスクを議論する。成人と子供に対する HI と HI に対する HQ の元素比をパイチャートで示したものを図 19 に示す。

Cu で若干汚染されたフォーマルの土壌は、HI 値が最低であった (中央値と最大値 < 1.0) ことから、成人と子供に対するリスクは小さかったものと考えられた。成人と子供に対するフォーマルダストの HI 中央値は、それぞれ 4.6 (中程度)、37 (「高」リスクの 3.7 倍) と計算された。フォーマルダストの HI 最大値は、図 19a から成人に対して 61、子供に対して

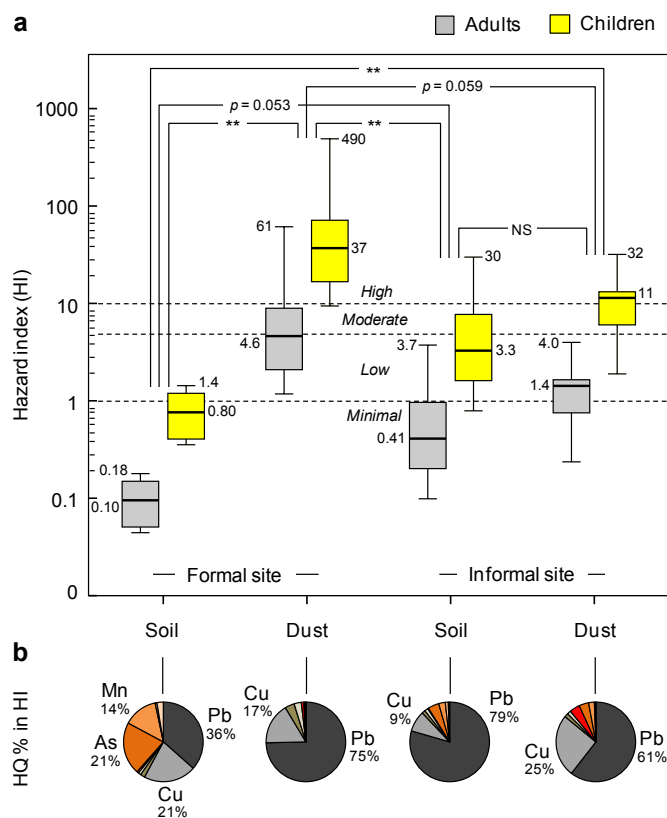


図 19 a 成人と子供に対するハザードインデックス (HI)

b HI に対する HQ の元素比をパイチャートで示したもの⁴⁰⁾

9 元素 (Ag, As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) のハザード比 (HQ) は、経口参照量 (RfD) を含めて U.S.EPA の曝露係数ハンドブック⁴⁴⁾ における摂取シナリオ^{43, 45)} に基づいて合計したもの。** は $p < 0.005$ での有意差を示す。記載の数値は HI の中央値と最大値。NS は非有意。

490 であり、極めてリスクが高いと指摘された。図 19b からは、Pb と Cu がそれぞれ 75%、17% と HI 値に対して主たる寄与元素であることが示されている。

インフォーマルのダストと土壌の HI 値については、図 19b にあるように Pb の HQ 値が主たる寄与であったが、両者に相違はみられなかった。しかしながら、インフォーマルのダストとフォーマルの土壌の間には有意差 ($p < 0.005$) がみられた。フォーマルの土壌と比較すると、インフォーマルの土壌の HI 値はほぼ有意な差 ($p = 0.053$) がみられた。すべての表層サンプルの中で、Cu の HQ の HI 値への寄与はインフォーマルダストで最も大きく、25% となっていた。インフォーマルリサイクル現場のダスト (HI 中央値 > 10 、最大値 32) や土壌 (HI 中央値 = 3.3、最大値 30) の摂取によって子供に対して潜在的な健康リスクが認められる。

(3) フィリピンにおけるフィールド研究 (Au 回収プロセスの詳細調査)⁴⁶⁾

1) 目的と経緯

e-waste リサイクルによる有害性に関しては (1) (2) を含めて多数の文献が発表されている。しかし、インフォーマルリサイクルによる資源性の評価に関しては文献が非常に少ない。そこで、e-waste リサイクルの資源回収をよりよく理解し、可能な改善点を見出すために、フィリピンで Au 回収プロセスの詳細調査を行うとともに、模擬原料を用いて Au 回収の物質収支を調べた。同時に、施設内における土壌試料の金属濃度を調べることで、金属の散逸状況と施設内の汚染状況も把握した。

2) 方法

(ア) Au 回収プロセスの把握と物質収支

フィリピンの Bulacan 州 Meycauyan 市では、インフォーマルの e-waste リサイクル業者による Au、Ag などの貴金属回収

が盛んに行われている。2012年1月に、協力を得たりサイクル施設の Au 回収プロセスを視察するとともに、工場副産物である Au メッキの Cu 製導電材料のターミナル (Ni、Sn も一部被覆) を模擬原料として用いて、Au 回収の歩留まりの把握を試みた。本施設では主として工場副産物である e-waste を購入し、解体している。解体した部品は通常、材料を利用するジャンクショップに売却される。また、貴金属、特に Au と Ag の回収のための製錬プロセスを行っている。

(イ) 施設内土壌試料の金属濃度

同施設内の 31 のグリッドの土壌を採取し、63 種の金属元素 (Ag、Al、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Ca、Cd、Ce、Co、Cr、Cs、Cu、Dy、Er、Eu、Fe、Ga、Gd、Ge、Hf、Ho、In、Ir、K、La、Li、Lu、Mg、Mn、Mo、Na、Nb、Nd、Ni、Pb、Pd、Pr、Pt、Rb、Rh、Ru、Sb、Sc、Se、Si、Sm、Sn、Sr、Ta、Tb、Te、Ti、Tl、Tm、V、W、Y、Yb、Zn、Zr) の含有量濃度を分析した。土壌試料は室温で乾燥させ、2 mm メッシュのふるいにかけて、約 1 g を取って王水分解させた。金属濃度は ICP-OES と ICP-MS によって分析した。また、土壌の金属元素を分類するために、Ward 法を用いて階層型クラスター分析を行った。

3) 結果と考察

(ア) Au 回収プロセスの把握と物質収支

訪問した施設で用いられていた Au 回収プロセスについて、酸処理法 (現地では chemical process) と称する。訪問時に用いられていた方法を図 20 のように示す。この方法を用いる対象は、ターミナル、基板や宝飾品である。

予め水 1 L に対して、シアン化ナトリウム粉 50 g と剥離剤 75 g でシアン化ナトリウム溶液を作成し、これに原料を漬ける。シアン化ナトリウムは Au を溶解し、剥離剤はベースメタルから Niなどを剥がすのに用いられる。Au は Ni 塗膜の上にメッキされていたため、Ni とともに Au もベースメタルから剥離した。その後、原料とシアン化物の混合物は、Au の除去が促進されるよう、加熱と攪拌が行われた (式 (1))。固体の Cu は溶液から分離され、シアン化物のすべての微量元素が除去されるよう水で洗浄する。一方、洗浄液はシアン化 Au 溶液と混ぜる。



次いで、シアン化 Au 溶液を加熱して揮発させ、最終的な溶液濃度が非常に濃くなった後で、ホウ砂を添加して混合する。でき上がったペーストは、陶器の鉢かろつばに移し、加熱・溶融する。金属 Au を得るために Pb (棒状の釣り具) を溶融物

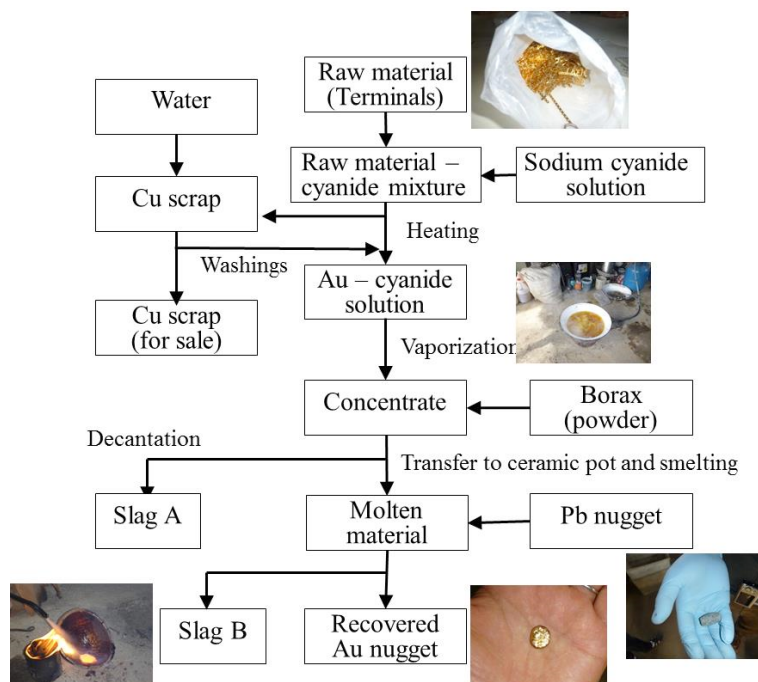
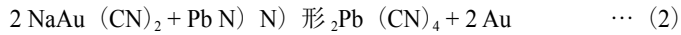


図 20 調査したリサイクル施設における Au 回収プロセス ⁴⁶⁾

に添加する（式（2））。Au 以外の材料は上澄みとして廃棄され、回収された Au は別の容器で冷却・固形化する。



物質収支に関して、用いる試薬や得られる産物（Au 塊）の量は、原料の質と量に大きく影響することに注意すべきである。今回の訪問時には、Au メッキの Cu 製導電材料のターミナル（Ni、Sn も一部被覆）を模擬原料として試行したが、以下のように物質収支を把握した。すなわち、原料 989 g に対して、0.25 L のシアン化溶液、1.75 L の水とともに、274 g のホウ砂と 228 g の Pb（棒状の釣り具）が必要であった。

今回の原料のターミナルにおいては、Au、Cu でそれぞれ 0.92%、89.1%、産物においては Au が 85.2% であった。添加剤の Pb の含有量は分析していないが、スラグ B において Pb が 51.4% も含有しているとともに、産物の Au 塊においても 2.9% の Pb が分析された。投入した Pb がスラグや Au 塊に移行しただけでなく、Pb を含むダストが Au 回収エリア周辺に拡散し、後述の土壤試料にも影響を与えたと考えられる。

産物の分析結果をもとにすると、5.5 g の Au が産物の Au として回収され、処理を終えたターミナルから 1.5 g の Au が残存していたことから、今回の模擬原料を用いた Au 回収の試行実験からは Au 回収率は 80% 程度（ $5.5 / (5.5 + 1.5) = 78.6\%$ ）であった。2012 年にターミナルを原料とした試行実験からはこのように比較的高い Au 回収率が得られたが、2015 年に電子基板を原料として実施した試行実験では 30% 程度またはそれ以下の Au 回収率しか得られず、前処理としての IC チップからの Au 回収が適切に行えるかどうか重要であることが示唆された。

（イ）施設内土壤試料の金属濃度

調査したリサイクル施設における土壤試料の金属濃度を図 21 に示す。図には金属濃度の代表としての Au と Pb の例を位置とともに示す。Au の最大濃度は、Au 回収（smelting）エリアに近い土壤での 21 mg/kg-dry であり、一般の Au 鉱石の 5 mg/kg を超えるものであった。

Pb の濃度は 28 ~ 9,000 mg/kg-dry、幾何平均 299 mg/kg-dry であった。日本の土壤汚染対策法で規定している直接摂取を考慮した土壤中 Pb の基準は 150 mg/kg-dry であり、31 地点中 18 地点（58%）で超過していた。最大濃度（>1000 mg/kg-dry）は Au 回収エリアとストックヤードの近傍で確認された。Au のような貴金属と Pb のような有害金属がともにインフォーマルのリサイクル施設内で拡散されていたことは興味深い。Pb は e-waste のはんだなどに含まれているが、添加剤として用いられている Au 回収プロセスの近傍の土壤試料で高濃度を示していることから、Au 回収プロセスに多く由来すると思われる。

クラスター分析の結果を表す dendrogram を図 22 に示す。これによれば、Ag、Au、Pb、Sb は同一カテゴリーに分類され、Cu や Al のようなベースメタルは別のカテゴリーに分類されていた。前者について、Au と Pb は Au 回収プロセスが由来と考えられるが、Ag については Au 回収目的の基板に含まれていた可能性があるほか、同じエリアで Ag 回収も行

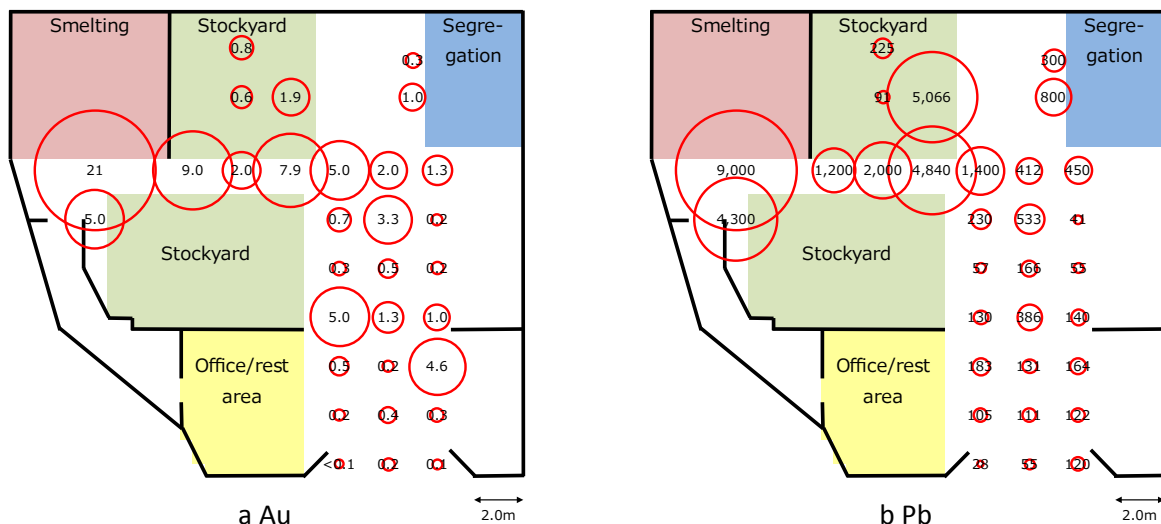


図 21 調査したリサイクル施設内土壤試料の金属濃度の例⁴⁶⁾

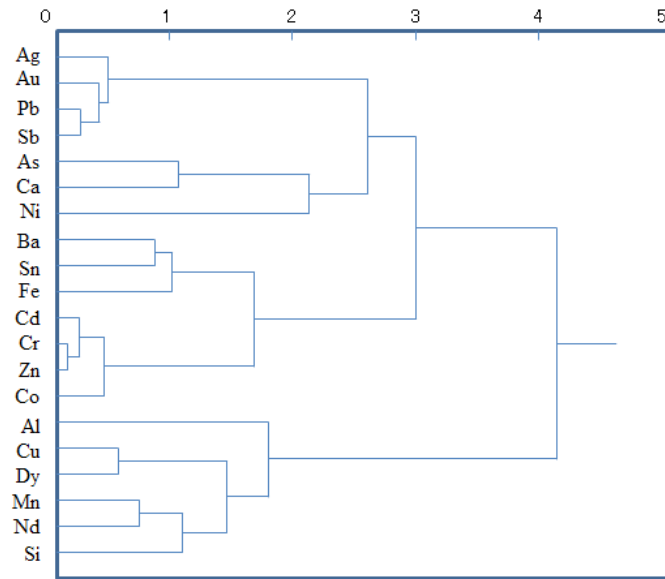


図 22 土壌試料の金属濃度を用いた金属元素の階層的クラスター分析結果（デンドログラム）⁴⁶⁾

われていた可能性がある。また、Sb は基板の難燃剤として用いられることがあるため、Au 回収プロセスで放出されていた可能性も考えられる。

2.1.3 国際的な循環型社会形成に向けた管理方策の提案

電気電子機器については、基板など多くの電子部品に資源性や有害性を有する金属が含まれている。先進国から途上国に対して輸出された電気電子機器廃棄物（e-waste）の不適正なリサイクルによって発生する環境汚染の問題が指摘されてきた。日本国内においては、雑品やミックスメタルともいわれる金属スクラップに e-waste が多く混入し、中国などに輸出されてきた。金属スクラップはバーゼル法などによる輸出管理が容易でなく、保管などの際に火災も発生させている。日本の循環資源の輸出入に関しては、バーゼル法、廃棄物処理法、貿易統計などによってそれぞれの品目の輸出入量は報告されているものの、互いの関係がわかりにくいために全体の把握が困難という課題もある。

また、使用済み電気電子機器の発生は世界中で増加しているため、今後は輸出入の管理のみでなく、すべての国におけるリサイクル現場における環境影響の把握や適正管理が求められる。バーゼル条約などでは環境上適正な管理（ESM）という概念を用いて様々な廃棄物の管理に普及させようとしているが、海外では同様の指針が多く、資源性・有害性の管理の考え方も多様である。さらに、実際に途上国などに適用しようとした場合に、リサイクル施設の処理能力や運用上の課題などから容易でないことも考えられる。

以上より本サブテーマにおいては、日本国内における金属スクラップの管理方法の検討、日本の循環資源の越境移動量の分析、環境上適正な管理（ESM）に関する指針の検討、ならびに国際的な循環型社会形成のためのシナリオ検討とワークショップ開催を行った。

(1) 日本国内における金属スクラップの管理方法の検討

1) 目的と方法

(ア) 品目組成調査とサンプリング方法の検討

金属スクラップは有害物質や使用済み家電製品などが混入しているケースも見られ、有害物質管理の観点から問題が指摘されている⁴⁷⁾。今後、使用済み電気電子機器等の輸出入管理に関連して金属スクラップの国際循環における有害物質管理の必要性はより高まるものと考えられ、そのための基礎知見を得るため、金属スクラップの品目組成調査を行うとともに、複

数の方法を用いた有害特性分析のためのサンプリングを試行した。

関東管内の金属スクラップ販売・輸出業者のヤードにおいて輸出目的でストックされていた実際の金属スクラップから2014年2月上旬に約10トンを調達し、調査試料とした(図23)。この全量を重機および手作業によって品目別に仕分けし、品目ごとに計量を行ってその組成を調査した。また、3つの方法を用いてスクラップ10トンからのサンプリングを試行した。方法別に採取試料の品目組成を調査し、スクラップ10トン全体の品目組成と比較したときの採取試料の代表性を考察した。最初に有害物質の含有にあまり寄与しないと考えられた大型の金属類(鉄、アルミニウム、ステンレス)を重機および手作業で除去した後、重機でスクラップをよく混合した。その後、目視で確認できた基板、液晶、モーター、ケーブル類(被覆電線)をピックアップした(①目視・ピックアップ)。次に、スクラップを重機および手作業で四分法的に3回縮分し、全体の8分の1量にあたるスクラップを2セット作成した。このうち1セットの試料について、全量(全体の8分の1量)を手作業で品目別に仕分けした後、重量割合が大きい品目や有害物質含有が疑われる品目を中心に試料採取した(②仕分け採取)。もう一方の1セットの試料については、手作業で四分法的に2回縮分した後(全体の32分の1量)、インクリメント縮分法によるストックパイルサンプリングで15～20kgを3試料採取した(③縮分採取)。



図23 調査対象とした金属スクラップ(10トン)

(イ) 金属スクラップ火災の調査

港湾・船舶(沖合を含む)における金属スクラップの火災については、海上保安庁のデータを参考にすると、2010年まで年間5～6件程度発生してきた。しかし、2012年以降は年間10件程度の火災発生件数が増加しているとみられる。ただし、港湾においては海上保安庁と消防との間で協力や分担が行われることがあり、港湾における火災発生件数は一般の認識と異なる場合もある。また、港湾以外の陸上については消防庁による集計がなく、正確な件数が把握できないが、港湾・船舶における件数と同程度に発生しているのではないかと考えられる。本研究では、海上保安庁を含む関係機関からの聞き取り調査、現地調査、報道などを総合させて、港湾・船舶と港湾以外の陸上における火災発生件数を独自に集計させた。また、火災発生場所、仕向け地、内容物、作業状態、火災原因についても、可能な範囲で情報収集を図った。さらに、2014年11月に名古屋港で発生した金属スクラップ火災においては、発火元とみられるスクラップを採取し、その内容物の確認を行った。

2) 結果と考察

(ア) 品目組成調査とサンプリング方法の検討

調達した金属スクラップ試料10トンの品目組成調査の結果、金属類(鉄およびその他金属類)が重量で4割弱を占めた一方で、機器類(家庭用電気電子機器、OA機器、産業用機器)が34%、プラスチックが17%、基板やケーブル等を含む電気電子部品が7%を占めた。プラスチックや電気電子部品はその多くがストックヤードにおける重機作業等で解砕、破砕された機器類に由来するものと見られる。したがって、調査した金属スクラップ試料はその大部分を機器類が占めており、それらに由来する有害物質の混入も疑われた。なお、組成は10cm程度以下残渣の組成も算入したものであり、残渣の有害特性把握も重要と考えられた。

スクラップ業者へのヒアリングによれば、現行の分析ではケーブル類、モーター、配電盤などを対象とし、目についたものをピックアップして鉛の分析を行うことが多い。方法①はこれを模擬したものである。このような現行の分析では、鉛の含有、溶出ともにバーゼル法の基準値を超過する結果が報告されることは稀であり、有害物質を含む品目を十分にカバーできていない可能性が示唆された。方法②では、スクラップを8分の1量(1トン強)まで縮分しているが、その品目組成は縮分前のスクラップ全体と比較してほぼ同様であった(図24)。これより、少なくとも1トン強までであれば品目組成の代表性を保ったまま四分法的に縮分を行うことができる可能性が示された。方法②のようにスクラップの組成を把握

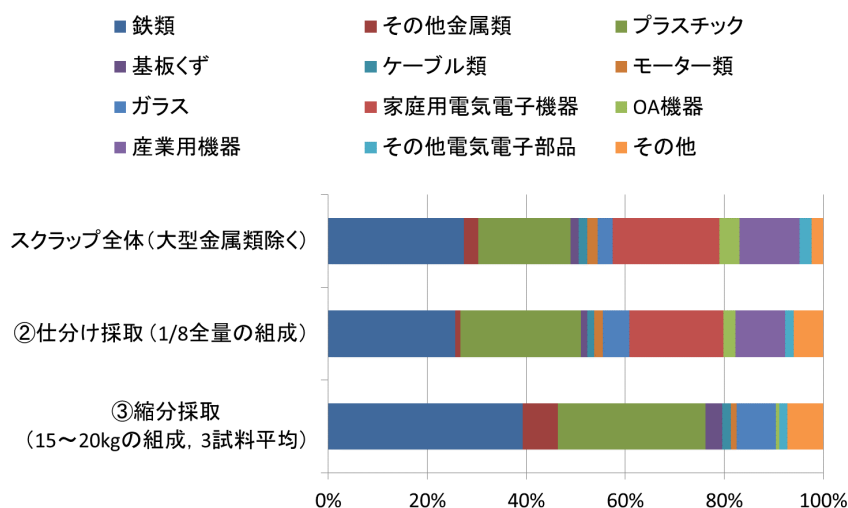


図 24 サンプルング方法による試料組成の違い

した上で試料採取を行うことで、有害物質を含有する可能性の高い品目を漏れなく採取することが可能と考えられる。また、可搬型 XRF 測定による有害物質含有のスクリーニングも試料採取には有効であった。方法③で採取した試料は、金属類やプラスチックの割合が大きく機器類がほとんど含まれないなど、縮分前スクラップ全体の組成との違いが大きい（図 24）。

金属スクラップの有害物質分析において現行分析されている品目以外にも、各種機器類やプラスチックくず、残渣などの有害特性の把握も必要であると考えられた。こういった有害物質を含有する可能性の高い品目を漏れなく採取するためには、方法②のように金属スクラップの組成を把握した上で必要な品目を採取することが理想的ではある。しかし、時間と人員を要することが実際に適用する上では大きな課題である。一方、方法③のような縮分によるサンプリングは現場で可能な作業ではあるものの、採取試料の代表性の点で課題が残る。現場でわかりやすく実効性のあるサンプリング方法を引き続き検討していくとともに、より上流側の排出から輸出までの各段階において適正化を図っていくことも必要であると考えられる。

(イ) 金属スクラップ火災の調査

金属スクラップの火災発生件数は図 25 に示すように、2011 年までは港湾・船舶において年間 6 件以下であったものの、2012 年以降は同年の 16 件をはじめ年間 10 件程度で推移している。陸上については、確認されたものだけで年間 4～5 件程度であるが、2013 年 4 月の北九州や 2015 年 12 月の船橋の火災を含めて、煙害などで周辺に甚大な影響を与えた事例もある。

2013 年までの港湾・船舶における火災の状況をまとめた結果、作業状況については 59% が作業中であり、積込みや圧縮などの作業による影響が考えられるが、保管中（18%）や航行中（18%）も 4 割近くあり、物理的な作業をしていない状態での火災も多く発生している。火災原因については 60% が不明であり、バッテリーの疑いと衝撃・摩擦による発火と推定されるものがともに 13% である。

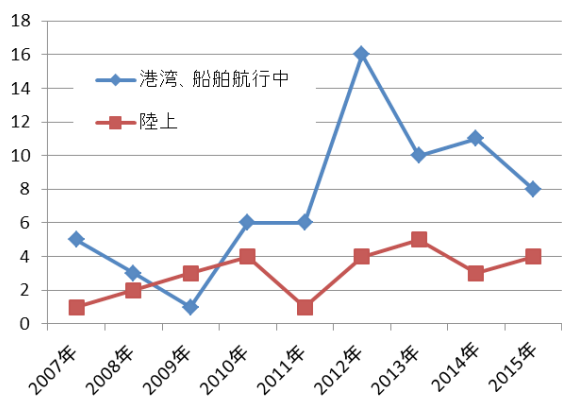


図 25 金属スクラップ火災の発生件数



図 26 金属スクラップ火災（2014 年 11 月、名古屋）の推定原因物

2014年11月に名古屋港で発生した金属スクラップ火災については、小規模だったために発火元と推定される電池様物質が確認できた(図26)。この中で損傷の少ない部分を取り、放電処理をした上で解体した。その後、蛍光X線分析による部品(正極活物質、負極)の確認と、電解液のGC/MS定性分析によって主成分の炭酸ジメチルの確認を行い、電池様物質はリチウムイオン電池と評価された。このリチウムイオン電池は配電盤に取り付けられていたことから、バックアップ電源などに用いられる産業用のリチウムイオン電池と考えられる。配電盤や電池類を含む金属スクラップに対しては、火災防止のために物理的衝撃をできるだけ与えないことが必要と思われる。

(2) 日本の循環資源の越境移動量の分析

1) 目的と方法

日本における循環資源の輸出入に関して、環境省がバーゼル法および廃棄物処理法に基づいて報告している輸出入量を電池スクラップ、電子部品スクラップ、貴金属含有スクラップなどに分類して整理する。各スクラップの種類について、貿易統計で用いられている輸出入統計品目(HSコード)との関係を整理して、バーゼル法および廃棄物処理法による報告量と貿易統計による越境移動量とを比較する。対象年は2000年から2014年とする。

2) 結果と考察

例として、電池スクラップと貴金属含有スクラップの輸入量のみを図27、図28にそれぞれ示し、越境移動量の報告値の課題を考察する。電池スクラップの輸入量について、貿易統計では「一次電池又は蓄電池のくず並びに使用済みの一次電池及び蓄電池(8548.10)」が該当し、2005年以降に2,000トン以上の電池スクラップが輸入されていることがわかる。(参考のために「鉛のくず(7802.00)」も示しており、輸入はほとんどないが、鉛バッテリーの輸出量と一部整合する。)バーゼル法の報告値では2005～2007年にニカド電池などの輸入、廃棄物処理法の報告値では2008年以降に台湾からの廃乾電池の輸入がそれぞれあり、これらの合計とほぼ対応している。ただし、バーゼル法の報告値では「ニカド電池スクラップ」「電

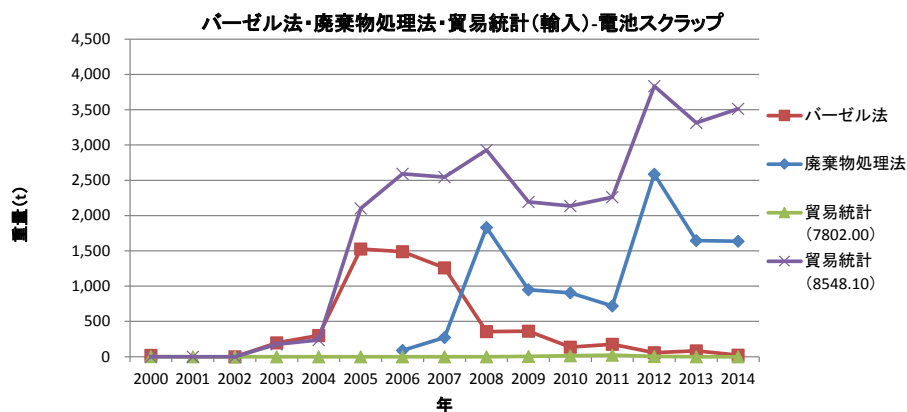


図27 日本の電池スクラップの輸入量の推移

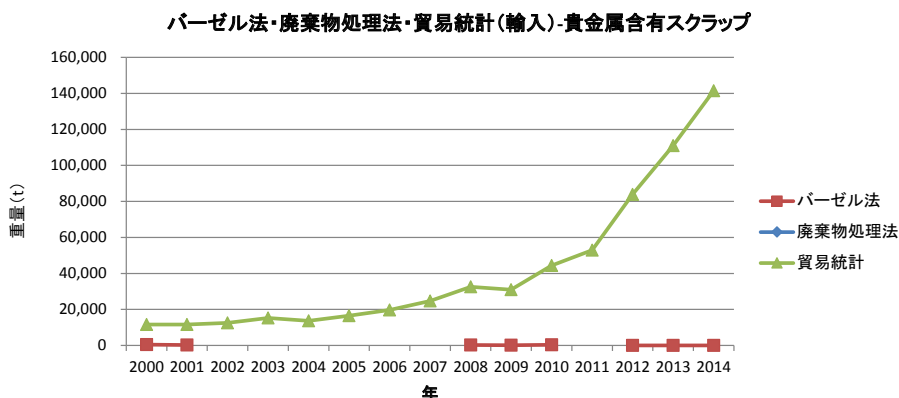


図28 日本の貴金属含有スクラップの輸入量の推移

池スクラップ（ニカド、ニッケル水素、リチウムイオン）」などの名称が混在しており、本研究では用語の「ゆらぎ」を精査して分析したが、今後は集計の際の用語の統一が望まれる。なお、電池の種類が混在した名称がほとんどであるために種類別の輸入量を把握することはできない。

また、貴金属含有スクラップの輸入量について、貿易統計では「貴金属又は貴金属を張った金属のくず、以下略（7112）」が該当し、近年輸入量が増加して2014年は14万トンを超えている。一方、バーゼル法の報告値でこれに相当するスクラップはわずかであり、バーゼル法の手続きをとって輸入されているものは非常に少ないことがわかる。

(3) 環境上適正な管理（ESM）に関する指針の検討

1) 目的と方法

バーゼル条約（有害廃棄物の国境を超える移動およびその処分の規制に関するバーゼル条約）は1980年代に有害廃棄物が先進国から発展途上国に輸出され、現地で環境汚染を引き起こす事件が多発したことをきっかけに、1992年に発効した。バーゼル条約では1994年という早い段階から「バーゼル条約対象廃棄物の環境上適正な管理に関する技術ガイドラインに関する指針文書（Guidance Document on the Preparation of Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Subject to the Basel Convention）」の中で「環境上適正な管理（ESM）」という用語を用い、バーゼル条約の中ではESMは「有害廃棄物等に起因しうる負の影響から、人の健康や環境を守るような方法で有害廃棄物が管理されることを確保するすべての実用的な段階を踏むこと」と定義している。そしてこれを評価する基準としては、法的要件、施設の技術・汚染制御、活動の記録、緊急時対応、および作業員の訓練を挙げている。

それ以降、ESMの用語はあまり用いられていなかったが、2007年頃以降、バーゼル条約、OECD、民間で各種の指針や考え方が発表されてきた。ただし、ESMの概念や内容が明確でなかったり、有害性に重点が置かれて資源性のような要素については不明であったりという課題がある。そこで、海外におけるESMに関する既存の指針などをレビューし、その構成要素を比較検討した。この際、第2期中核プロジェクト2で提案された物質管理方策との比較も行って、今後のアジア諸国で必要なESMの考え方を検討した。

2) 結果と考察

海外におけるESMに関する既存の指針や考え方をレビューした結果、近年はe-wasteを対象にしたものが多くみられた。そこで、有害廃棄物等一般とe-wasteを対象とするものの2つから指針などを集めた。前者には、前述のバーゼル条約（ESM技術ガイドラインガイダンス、1994）とOECD（ESM理事会提言、2007）の他、2013年のバーゼル条約第11回締約国会合で採択された有害廃棄物等のESMフレームワークがあった。同条約では第11回締約国会合以降、専門家作業グループを設けてESM実施マニュアルを策定中である。一方、後者は年代順に、BCRC-SEA（電子機器3Rの技術ガイドライン、2007）、バーゼル条約のコンピュータ機器に対する取組みであるPACE（コンピュータのESMガイダンス、2011）、EUのWEEE指令に対応した民間団体WEEE Forumの規格であるWEEELABEX（WEEE処理基準、2011）、バーゼル条約の携帯電話に対する取組みであるMPPI（携帯電話ESMガイダンス、2012）、および米国のEPAも認めている民間のリサイクル基準を運用しているSERI（R2リサイクル基準、2013）があった。

これらの指針などにおいて、ESMの構成要素として法的要件の順守、環境管理システムの導入、有害性管理（あるいは環境保護）、資源性管理、労働安全衛生への配慮、作業員の意識・能力、モニタリング・記録・報告、緊急時対応、資金手段の確保、適正利用／処理の証明といった項目がみられた。このうち、環境管理システムの導入は第2期で提案した物質管理方策の管理体制整備に、有害性管理は同じく曝露・被害防止に、モニタリング・記録・報告は同じくトレーサビリティにそれぞれ対応していると考えられた。また、適正利用／処理の証明とは、処理残渣の二次以降の下流側の処理の確認まで求めるものであり、前述の物質管理方策のチェックゲートとも対応していると思われる。

このような指針などに対する構成要素を星取表の形で整理したものが表1である。年代別にみると、初期には法的要件の順守、モニタリング、緊急時対応などの要素に限られていたが、労働安全衛生や適正処理証明のほかに資金手段の確保なども加わるようになった。このようにESMの構成要素の拡大は認められたが、資源性への配慮は乏しく、有害性に重

点が置かれていることを確認した。

表2には、e-wasteに関する既存のESM指針における有害性管理と資源性管理の内容を整理した。有害性管理の対象として、電池、基板やCRTなどが多くの指針で指摘されており、これらが事前除去の対象となっていた。e-wasteを処理対象に考えた場合、有害性管理としての野焼きの禁止や排ガス・排水処理などの環境対策、安全衛生としての個人曝露防護は途上国においても最優先に求められるが、さらに適正処理証明としての残渣の管理なども必要となる。BCRC-SEAとWEEELABEXではフロン類も事前除去の対象として指摘されていたが、途上国においては除去後の処理が課題となる。また、資源性管理に関する要素は既存のESM指針ではほとんどみられず、WEEELABEXがWEEE指令の回収率基準に準拠することを記し

表1 海外における環境上適正な管理（ESM）に関する既存の指針

第2期循環PG PJ2で提案された物質管理方策		管理体制 整備	クロー ズド化	曝露・被 害防止	情報伝達	トレーサ ビリティ	チェック ゲート	その他				
ESMの 構成要素	法的要 件の遵 守	環境管理 システム の導入	有害性 管理	資源性 管理	労働安全 衛生への 配慮	作業員 の意識、 能力	モニタリ ング、記 録、報告	緊急時 対応	資金手 段の確 保	適正利 用/処理 の証明	備考	
バーゼル条約 (ESM 技術GLガイダンス, 1994)	一 般	X		(X)			X	X	X			
OECD (ESM理事会 提言, 2007)	一 般	(X)	X	(X)	(X)	X	X	X				
バーゼル条約(ESMフ レームワーク, 2013)	一 般	X	X	X	(資源 とプロ セスの 効率)	X	(X)	X	X	X	透明性・研 究開発も 記載	
BCRC-SEA (電子機器3Rの技術 GL, 2007)	E- w	X		X		X	X	X	X	X		
バーゼル条約PACE (コンピュータのESM ガイダンス, 2011)	E- w	X	X	X		X	X	(X)		X	基板・電池 も記載	
WEEELABEX (WEEE処理基準, 2011)=民間	E- w	X	X	X	(指令 に準拠)	X	(指令で 規定)	(X)	(指令 で規定)	X	技術を詳 述, 有害物 質は指令 に準拠	
バーゼル条約MPPI (携帯電話ESMガイダ ンス, 2012)	E- w	X	X	X	(回収 ロス防 止)	X	X	X	X	(製錬な どを例 示)	基板・電池 も記載	
SERI (R2リサイクル 基準, 2013)=民間	E- w	X	X	X		X	X		(保険 に言 及)	X		

表2 e-wasteに関する既存のESM指針における有害性管理と資源性管理

ESMの 構成要素	有害性管理	資源性管理
BCRC-SEA (電子機器3Rの技術GL, 2007)	E-w 重点管理物質はバーゼル条約に準拠して規定。電池 (Li電池を含め火災防止など), PCB, フロン類などは事 前除去。	
バーゼル条約PACE (コン ピュータのESMガイダンス, 2011)	E-w 有害物質はバーゼル条約準拠	
WEEELABEX (WEEE処 理基準, 2011)=民間	E-w 重点管理物質は指令に準拠して以下を規定。PCB, Hg, 電池, 基板(携帯用および10cm2超, BFR含有ブ ラ), アスベスト, CRT, フロン類(CFC, HCFC, HFC, HC), 高圧放電ランプ, 100cm2超のLCDとバックライト, 外部電源ケーブル, その他	WEEE指令の回収 率基準に準拠
バーゼル条約MPPI (携帯 電話ESMガイダンス, 2010)	E-w 有害物質はバーゼル条約準拠。 焼却等による有害物質を記載。 電池の破砕前除去(火災防止)を規定	回収ロス防止を記載
SERI (R2リサイクル基準, 2013)=民間	E-w 重点管理物質として以下を規定。PCB, Hg, CRTガラ ス, 電池, 基板(Pbハンダ)。破砕の前にこれらの除去 が必要。	

ていたほか、バーゼル条約の MPPI が回収ロス防止を記載している程度であった。アジア諸国においては e-waste 管理レベル、インフォーマル業者の存在および処理施設の現状を考慮すれば、まず法的要件の順守、労働安全衛生配慮および有害性管理を重点的に進めるのが妥当と考えられる。その後、下流管理を含む適正処理の確保を進め、フロン回収や資源性管理のための回収率増加などは将来の課題として、越境移動や先進国の協力とともに進めるのが現実的と考えられる。

(4) 国際的な循環型社会形成のためのシナリオ検討とワークショップ開催

1) 目的と方法

(ア) シナリオ検討

近年は日本、韓国、台湾、中国以外にも、使用済み電気電子機器のリサイクル制度を整備または検討する国がアジア諸国においても増加している。これらの国々では、不適正なりサイクルによる環境汚染を防止するために、適正なりサイクル施設に運搬する回収システムが必要であり、費用や責任などについても議論されている。また、使用済み電気電子機器の解体が適正に行われても、基板や電子部品のスクラップから金属を回収したり、フロン類を回収・破壊したりする施設も必要となる。そこで、使用済み電気電子機器から発生する基板や電子部品のスクラップと、エアコンや冷蔵庫から発生するフロン類を例として、処理能力に関する情報や発生量に関する試算をもとに、回収システムの効果測定に向けたシナリオを検討した。

(イ) ワークショップ開催

E-waste リサイクルの実態と健康・環境影響および社会・制度側面を理解し、アジア地域において将来の ESM に向けて利害関係者の中でどのような情報を共有して具体的な啓発・支援に活用すべきかを議論するために、2012年1月24日にフィリピンのマニラ首都圏（ケソン市）において「フィリピンにおける E-waste 問題啓発ワークショップ（第8回国立環境研究所 E-waste ワークショップ）」を開催した。ワークショップには、リサイクル業者・NGO・専門家・自治体等のフィリピン現地関係者、国際機関、国立環境研究所を含む日本の研究者等を招いて、互いの発表と議論を行った。

また、e-waste の ESM に関する知見と経験を共有し、アジア地域において ESM 促進のための今後の研究ニーズを理解するために、2013年1月31日～2月1日にタイのバンコクにおいて、キングモンクット工科大トンプリ校、チュラロンコン大学とともに「第9回国立環境研究所 E-waste ワークショップ」を開催した。ワークショップには、タイと周辺国および日本から研究者、中央・地方政府関係者、民間機関、NGO を招いて、研究者などの発表を経て議論を行った。

2) 結果と考察

(ア) シナリオ検討

基板や電子部品のスクラップについては、貴金属や銅を回収するために製錬施設が必要となる。乾式の銅製錬施設は大規模であるため、日本、韓国、中国など既存施設がある国に越境移動して金属回収を行わねばならない。湿式の製錬施設は比較的小規模であるため、シンガポールやマレーシアをはじめアジア諸国でも受入れ可能な国がある。一方、使用済み電気電子機器のリサイクル制度が整備または検討されているベトナム、タイやフィリピンのような国では乾式または湿式の製錬施設も十分には整っていないために、i) 自国内で環境上適正な管理（ESM）が可能な製錬施設を整備する、または ii) ESM が可能な施設のある国に越境移動させてリサイクルを行うこと、の2つの方向性が考えられる。

i) については各国内での施設や建設計画の情報収集が必要である。ii) について日本の輸入可能性を検討する。本節（2）でみたように日本の貴金属含有スクラップ輸入量は増加しており、日本鉱業協会によれば受入れ余力はあるとされている。一方、バーゼル法の報告値が少ないため、バーゼル法に基づく手続きが課題となっていることが考えられ、ESM が可能な施設への輸入手続きの簡素化が改善策としてありえる。

次に、タイにおけるエアコンや冷蔵庫から発生するフロン類を例として検討する⁴⁸⁾。タイの使用済みエアコンと冷蔵庫から発生するフロン類はそれぞれ年間1,700トン、100トン規模で推移すると考えられ、ODP 換算量や GWP 換算量を勘案してもエアコンに対する対策の優先順位が高い。エアコンの冷媒フロンは使用時や保守の際の漏出も大きいため、保守と

取外しの際の適正なフロン回収という設置場所における対策が必要である。また、回収したフロン類の破壊処理については、前述の基板や電子部品スクラップと同様に、i) 自国内で適正処理する、または ii) 越境移動させて適正処理する、という2つの方向性がありえるが、ii) は費用の関係で容易ではなく、現状では i) が妥当と考えられる。エアコンと冷蔵庫からのフロン類の発生量は合計1,800トン程度と推定されるが、既存施設以外の許認可がスムーズに進んだ場合でもタイ国内での処理能力は300～350トン/年程度であり、1,000トン以上のギャップがある。したがってタイにおいては、適正な処理が行える施設の許認可を進めることと施設整備の両方が必要であると考えられる。

(イ) ワークショップ開催

2012年の「フィリピンにおけるE-waste問題啓発ワークショップ」では、フィリピンと他のアジア地域におけるE-wasteリサイクルの状況、E-wasteリサイクルの健康・環境影響、インフォーマルリサイクルの社会・制度側面に焦点を当てた。健康・環境影響に関しては、データ収集が困難なこと、労働者の健康影響に関する情報不足、およびサイトアセスメントの重要性といった認識について共有できた。社会・制度側面に関しては、フォーマルとインフォーマルの業者間の取引関係、収集システムとリサイクル政策の必要性、およびインフォーマルリサイクルの状況について、理解を共有した。以上の2つの課題について、特にインフォーマルリサイクル業者の生計に深く配慮する必要性が指摘された。

2013年のタイにおける「第9回国立環境研究所E-wasteワークショップ」では、タイと周辺国のe-wasteリサイクルの状況とESMの国際動向に関する情報共有、ESMの観点からのe-wasteリサイクルの技術上および環境上の課題の確認、アジア地域のESMに向けたプロセス改善とその他の可能な対策、および今後の研究課題について焦点を当てた。ESMに関しては、WEEE Forumの取り組みやバーゼル条約での議論を共有した。一方でアジア地域においては、インフォーマルリサイクル業者の活動が活発であり、リサイクル制度やESMの概念が十分でないことを確認した。E-wasteから発生する基板などのリサイクルは銅製錬施設に依存することになるが、東南アジアにおいては銅製錬施設はマレーシアのフルリカバリー施設など一部に限られており、特に大規模の乾式銅製錬施設はインドネシアなどに一部あるもののe-wasteの受入れはされていない。そのため、密輸に近い形で中国に輸出される事例もみられるようであった。アジアのESMに向けては、欧州の事例を参考にしながらESM概念の統一や低コスト化の研究を進めることが求められ、ESMに必要な構成要素としてほぼ表1で挙げられたものが指摘された。また、アジアでESMが可能な施設能力が十分でないことや多くの国でe-wasteがバーゼル条約で輸出入規制の対象となっていることを念頭にしながら、ESMと越境移動を適切に組み合わせて進めていく必要性が指摘された。

引用文献

- 1) Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Nagasaka T. (2014) Material Flow of Iron in Global Supply Chain. ISIJ International, 54 (11), 2657-2662
- 2) Nakajima K., Otsuka Y., Iwatsuki Y., Nansai K., Yamano H., Matsubae K., Murakami S., Nagasaka T. (2014) Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics. Metallurgical Research and Technology, 111, 339-346
- 3) Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Kondo Y., Kagawa S., Inaba R., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Identifying the Substance Flow of Metals Embedded in Japanese International Trade by Use of Waste Input-Output Material Flow Analysis (WIO-MFA) Model. ISIJ International, 51 (11), 1934-1939
- 4) Nakajima K., Ohno H., Kondo Y., Matsubae K., Takeda O., Miki T., Nakamura S., Nagasaka T. (2013) Simultaneous Material Flow Analysis of Nickel, Chromium, and Molybdenum Used in Alloy Steel by Means of Input-Output Analysis. Environmental Science & Technology, 47, 4653-4660
- 5) Nansai K., Nakajima K., Kagawa S., Kondo Y., Suh S., Shigetomi Y., Ohita Y. (2014) Global Flows of Critical Metals Necessary for Low-Carbon Technologies: The Case of Neodymium, Cobalt, and Platinum. Environmental Science & Technology, 48, 1391-1400
- 6) Shigetomi Y., Nansai K., Kagawa S., Tohno S. (2015) Trends in Japanese households' critical-metals material footprints. Ecological Economics, 119, 118-126
- 7) Nansai K., Kagawa S., Kondo Y., Suh S., Nakajima K., Inaba R., Oshita Y., Morimoto T., Kawashima K., Terakawa et al. (2012)

- Characterization of economic requirements for a “carbon-debt-free country”. *Environmental Science and Technology*, 46 (1), 155-163
- 8) Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., and Nagasaka T. (2014) Unintentional Flow of Alloying Elements in Steel during Recycling of End-of-Life Vehicles, *Journal of Industrial Ecology*, 18, 242-253
 - 9) Nansai K., Oguchi M., Suzuki N., Kida A., Nataami T., Tanaka C., Haga M. (2012) High-Resolution Inventory of Japanese Anthropogenic Mercury Emissions. *Environmental Science and Technology*, 46 (9), 4933-4940
 - 10) Nansai K., Kondo Y., Kagawa S., Suh S., Nakajima K., Inaba R., Tohno S. (2012) Estimates of Embodied Global Energy and Air-Emission Intensities of Japanese Products for Building a Japanese Input-Output Life Cycle Assessment Database with a Global System Boundary. *Environmental Science & Technology*, 46 (12), 9146-9454
 - 11) Shigetomi Y., Nansai K., Kagawa S., Tohono S. (2014) Changes in the Carbon Footprint of Japanese Households in an Aging Society. *Environmental Science & Technology*, 48 (11), 6069-6080
 - 12) Nansai K., Nakajima K., Kagawa S., Kondo Y., Shigetomi Y., Suh S. (2015) Global Mining Risk Footprint of Critical Metals Necessary for Low- Carbon Technologies: The Case of Neodymium, Cobalt, and Platinum in Japan. *Environmental Science & Technology*, 49 (4), 2022-2031
 - 13) Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nagasaka T. (2011) Thermodynamic Analysis for the Controllability of Elements in the Recycling Process of Metals. *Environmental Science and Technology*, 45 (11), 4929-4936
 - 14) Hiraki T., Takeda O., Nakajima K., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Thermodynamic criteria for the removal of impurities from end-of-life magnesium alloys by evaporation and flux treatment. *Science and Technology of Advanced Materials*, 12 (3)
 - 15) Hiraki T., Miki T., Nakajima K., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2014) Thermodynamic Analysis for the Refining Ability of Salt Flux for Aluminum Recycling. *Materials*, 7 (8), 5543-5553
 - 16) Lu X., Hiraki T., Nakajima K., Takeda O., Matsubae K., Zhu H.M., Nakamura S., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic analysis of separation of alloying elements in recycling of end-of-life titanium products. *Separation and Purification Technology*, 89, 135-141
 - 17) Lu X., Nakajima K., Sakanakura H., Matsubae K., Bai H., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic estimation of minor element distribution between immiscible liquids in Fe-Cu-based metal phase generated in melting treatment of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32, 1148-1155
 - 18) Lu X., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2016) Thermodynamic Considerations of Contamination by Alloying Elements of Remelted End-of-Life Nickel- and Cobalt-Based Superalloys, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47, 1785-1795
 - 19) van Vuuren D.P., Strengers B.J., De Vries H.J.M. (1999) Long-term perspectives on world metal use—a system-dynamics model, *Resource Policy*, 25, 239-255
 - 20) Kleijn R., van der Voet E., Kramer G.J, van Oers L., van der Giesen C. (2011) Metal requirements of low-carbon power generation, *Energy*, 36, 5640-5648
 - 21) Reck B.K., Chambon M., Hashimoto S., Graedel T.E. (2010) Global Stainless Steel Cycle Exemplifies China’ s Rise to Metal Dominance, *Environ. Sci. Technol.*, 44, 3940-3946
 - 22) CEPII: Base pour l’ Analyse du Commerce International <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/baci.htm>
 - 23) 平成 24 年度環境研究総合推進費補助金 研究報告書「国際的な資源依存構造に着目したレアメタルに関する 3R 効果評価手法の開発 (K122024)」
 - 24) Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A., Takigami H. (2012) Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. *Waste Management*, 32 (1), 96-103
 - 25) Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A. (2013) Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1124-1132
 - 26) 小口正弘, 肴倉宏史, 寺園淳 (2011) 使用済み電気・電子製品の排出実態と破碎選別における物質収支の調査. *都市清掃*, 64 (301), 248-252

- 27) 小口正弘 (2012) 使用済み電気・電子製品の組成情報と金属二次資源としての類型化. 金属, 82 (7), 31-35
- 28) Terazono A., Oguchi M., Iino S., Mogi S. (2015) Battery Collection in Municipal Waste Management in Japan: Challenges for Hazardous Substance Control and Safety. *Waste Management*, 39, 246-257
- 29) Zhang, K., Schnoor, J.L., Zeng, E.Y. (2012) E-waste recycling: where does it go from here? *Environ Sci Technol*, 46(20), 10861-10867
- 30) Paustenbach, D.J., Fehling, K., Scott, P., Harris, M., Kerger, B.D. (2006) Identifying soil cleanup criteria for dioxins in urban residential soils: how have 20 years of research and risk assessment experience affected the analysis? *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, 9(2), 87-145
- 31) Government of Japan, Dioxins, 2012
- 32) Stronkhorst, J., Leonards, P., Murk, A.J. (2002) Using the dioxin receptor-CALUX in vitro bioassay to screen marine harbor sediments for compounds with a dioxin-like mode of action. *Environ Toxicol Chem*, (12), 2552-2561
- 33) Zhang, W.H., Wu, Y.X., Simonnot, M.O. (2012) Soil Contamination due to E-waste disposal and recycling activities: a review with special focus on China. *Pedosphere*, 22(4), 434-455
- 34) Brigden, K., Labunska, I., Santillo, D., Allsopp, M. (2005) Recycling of electronic waste in China and India: workplace and environmental contamination, Greenpeace International
- 35) Hino, T., Agawa, R., Moriya, Y., Nishida, M., Tsugita, Y., Araki, T.J. (2009) Techniques to separate metal from waste printed circuit boards from discarded personal computers. *Mater. Cycles Manag*, 11, 42-54
- 36) International Molybdenum Association (2013) Applications of Molybdenum Metal Its Alloys, International Molybdenum Association, London, UK
- 37) Van Oers, L., Van der Voet, E., Grundmann, V. (2012) Additives in the Plastics Industry, in: *The handbook of environmental chemistry 18: Global Risk-Based Management of Chemical Additives I: Production, Usage and Environmental Occurrence*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 133-149
- 38) Lundstedt, S. (2011) Recycling and disposal of electric waste: Health Hazards & Environmental Impacts. The Swedish Environmental Protection Agency, Report 6417, Stockholm, Sweden
- 39) Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology. Hazardous Substances in e-waste, <http://ewasteguide.info/hazardous-substances>
- 40) Fujimori T., Takigami H., Agusa T., Eguchi A., Bekki K., Yoshida A., Terazono A., Ballesteros Jr.F.C. (2012) Impact of metals in surface matrices from formal and informal electronic-waste recycling around Metro Manila, the Philippines, and intra-Asian comparison. *Journal of Hazardous Materials*, 221-222, 139-146
- 41) Chi, X., Streicher-Porte, M., Wang, M.Y.L., Reuter, M.A. (2011) Informal electronic waste recycling: A sector review with special focus on China. *Waste Manage.* 31, 731-742
- 42) Wedepohl, K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 1217-1232
- 43) U.S. EPA. (2011) Integrated Risk Information System (IRIS); <http://www.epa.gov/iris/>
- 44) U.S. EPA. (1997) Exposure Factors Handbook; Office of Research and Development: Washington, DC,
- 45) JECFA. (1993) Evaluation of certain food additives and contaminants: 41st report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives; Technical Reports Series No. 837, World Health Organization, Geneva
- 46) Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Medina R.P., Ballesteros Jr.F.C. (2017) Material Recovery and Environmental Impact by Informal E-Waste Recycling Site in the Philippines. In: *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*, 197-213
- 47) 寺園淳, 林誠一, 吉田綾, 村上進亮 (2011) 有害物質管理と資源回収の観点からの金属スクラップ(雑品)発生・輸出の実態解明. *廃棄物資源循環学会論文誌*, 22 (2), 127-140
- 48) 平成 27 年度環境研究総合推進費補助金 研究報告書「アジア諸国における使用済み電気電子機器・自動車の排出量推計と金属・フロン類の回収システムの効果測定 (3K143010)」

2.2 アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築

2.2.1 準好気性埋立技術のアジア地域に適した設計手法の開発

(1) 目的と経緯

アジア都市においては廃棄物投棄地・埋立地の改善を目的として様々な構造・管理技術が導入されている。こうした埋立技術には一長一短があるが、環境へのエミッションという観点で、もっとも排出機構の理論的裏付けが少なく、不確実性が高いのは準好気型埋立である。準好気性埋立管理とは、浸出水集排水（水平）管とガス抜き（鉛直）管を連結して埋立地内に設置し、表層からの降水浸透により廃棄物の洗浄・安定化を図るとともに、集排水管を通じて速やかに埋立地外へ排出すること、およびガス抜き管と集排水管の接続により、集排水管出口からガス抜き管出口までの経路でのガス交換の促進を目的とした技術である。埋立地内外の温度差を利用して無動力で大気を送り込み、有機物の好気性分解を促すことが利点としてあげられるが、その理論上の効果が発揮されるためには、埋立地内の水位を常に低く制御することが求められるほか、ガスの発生量に応じて大気への浸入の程度が影響を受けることや、浸出水処理に一定の水量負荷がかかること等に注意する必要がある。好気性分解の促進は、浸出水の汚濁を低減し、温室効果ガス（CH₄）の発生期間と量を削減するコベネフィットな技術であるといえる。一方で、準好気性埋立のアジアへの適用に際しては、現地条件における機能特性と廃棄物分解挙動を明らかにし、現地の特性に応じた管理手法の導入ならびに設計指針が求められる。本研究では、人口集中が激化しているアジア都市において、公衆衛生を改善し、低炭素・低環境負荷型であり、地域に適正な廃棄物管理システムを構築するため、廃棄物の現状を把握したうえで、国産技術である準好気性埋立のアジア各地域へのカスタマイズを行う。また、準好気性埋立管理における浸出水の性状に応じた、現地適合型の浸出水管理手法として、既存の貯留池・酸化池に追加的に設置可能な人工湿地処理の適用性に関する検討を行った。さらに、より上流側での廃棄物管理を志向し、工学的に管理された埋立地の前処理手法として、処分量の削減と資源化率の向上に寄与可能な混合ごみの処理方法である、機械的・生物的処理（MBT）のアジア都市への適用性についても検討を行った。

(2) 方法

1) 準好気性埋立管理のアジア適合性評価に関するテストセル実験

タイ国東部の Chonburi 県 Leam Chabang 市の都市ごみ埋立地（図 29）の一面にテストセルを設置した。45 m × 42 m × 高さ 4 m、容積約 7,000 m³ のセルを 2 基設置し、一方を碎石・枝管有りの底部集排水管とそれに連結したガス抜き管 2 本を敷設した準好気性セル、もう一方をタイ国の埋立地で標準的な構造である、碎石無しの底部集排水管のみを敷設した対照（嫌気性）セルとした（図 30、図 31、図 32）。両セルからの集排水管はそれぞれ集水桁に接続し、マンホールより流量計測と採水ができるようにした。なお、両セルとも、底部遮水は元々埋立地に敷設されていたものを利用した。

埋立量は準好気性セルと対照セルで、それぞれ 3,942 トンと 4,098 トンである。セル内部には温度センサーと水分センサーを設置し、ロガーに接続して自動連続計測を試みた。埋立終了後に現地発生土を用いて、最上部および法面に約



図 29 Leam Chabang 市都市ごみ埋立地

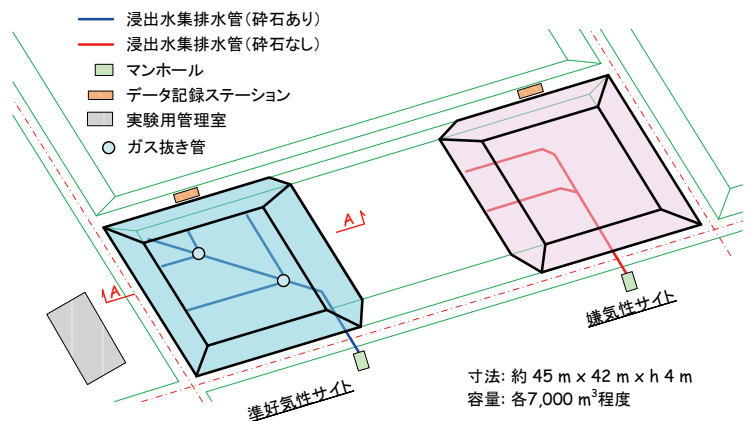


図 30 テストセルの平面図

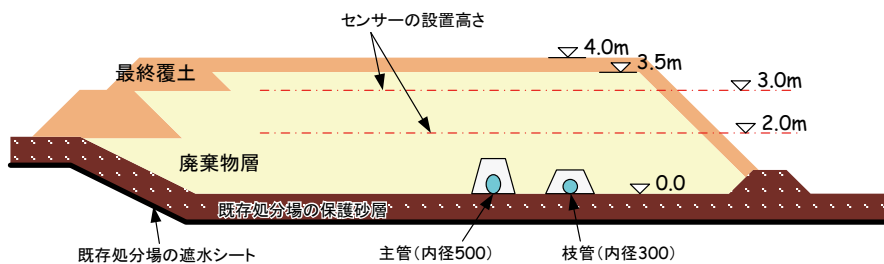


図 31 準好気性テストセルの断面図

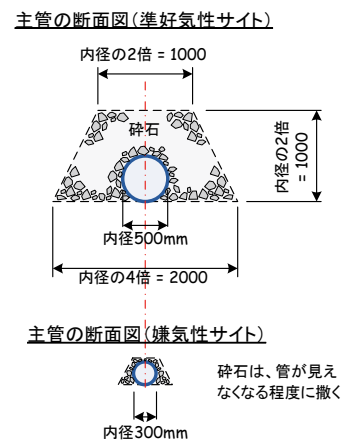


図 32 集排水管

0.5 m の覆土を施した。また、各セル内に沈下板を約 30 cm 深さに 5 枚設置し、沈下量を測定できるようにした。地表面でのガスフラックスは、セル上部表面および法面の 5 m グリッド地点にて、レーザーメタン検出器（アンリツ（株））と SenseAirCO₂（SenseAir AB.）を用いた静置式チャンバー法で、ガス抜き管からの放出量は、多成分ガス濃度測定器 GA2000Plus（Geotech. Instruments, Ltd.）を用いた閉鎖型チャンバー法で測定した。また、地表面フラックスの測点をボーリングバーにより約 0.8 m 穿孔してガス採取管を設置し、ガス濃度を測定した。ライシメータパンから採取した保有水およびマンホールより採取した浸出水について水質を測定した。また、テストセル内部の比抵抗断面を 48 電極、電極間隔 1 m のダイポール - ダイポール法にて計測した。

2) 準好気性埋立管理手法のアジア適用に関するライシメータ実験

埋立管理手法の詳細な比較を目的として実験を行った（表 3）。直径 0.9 m、高さ 2.7 m 鉄管のライシメータの底部に、礫を高さ 0.4 m 敷いて排水管を設置した。廃棄物はその上に 1.8 m 充填し、上部 0.3 m を砂で覆土した。うち 2 基については底部に設けた排水口を解放し、湛水させない準好気性管理下におき、1 基を廃棄物の充填時に強く転圧したもの、もう 1 基を弱く転圧したものとした。残りの 2 基は内部水位を高さの 50% および 100% に維持して嫌気性条件下におき、廃棄物の充填時に中程度に転圧した。充填廃棄物にはバンコク市の都市廃棄物を用いた。物理組成（湿重基準）は厨芥 20%、紙 19%、スポンジ 3%、木 6%、プラスチック 16%、PVC 17%、ガラス 19% であり、化学組成（乾重基準）は熱しゃく減量が 79%、炭素が 44%、窒素が 2% であった。雨水をライシメータ面積 70% の容器に受けた後に上部より与えた。ライシメータの設置後、沈下量、内部の温度と水分、浸出水水量と水質、内部のガス組成、上部からのガスフラックスをモニタリングした。

表 3 ライシメータの設定条件

	SmI	SmII	AnI	AnII
運転条件	準好気性	準好気性	嫌気性	嫌気性
廃棄物の転圧	弱	強	中	中
廃棄物の密度 (kg/m ³)	638	770	728	716
内部の湛水	無し	無し	高さの 50%	高さの 100%

3) 嫌気・好気混在環境下における温室効果ガス排出モデルの構築

廃棄物埋立地からの温室効果ガス排出に関する現行の算定モデルは、廃棄物の嫌氣的分解速度が一次反応式に従って減衰することを根拠とした上で、分解性有機物のガス転換率や構造・管理方法に依存する補正係数などが与えられている。準好気性埋立は従来の埋立技術と比較して、温室効果ガス（メタン：CH₄）の排出量削減に寄与すると考えられており、現行モデルにおいても補正係数として 0.5（CH₄ 排出が最大となる場合の半分の排出量）という係数が与えられている¹⁾。その一方で、準好気性埋立においては微好気領域と嫌気領域が混在していることから、実際の廃棄物の分解機作はより複雑

であると考えられる。すなわち、嫌気性埋立にもとづく現行の算定方法では、準好気性埋立由来の温室効果ガス排出挙動を正しく表現していない可能性が高く、独特の廃棄物分解およびガス化を表現する新たなモデルの開発が求められる。ここでは、現行モデルをできるだけ活かしながら、準好気性埋立における排出モデルを策定することを指向して、以下のような観点でフレームを構築したうえで、既往研究を参考としてモデルの詳細を検討した。

- ・嫌気性と好気性の分解はそれぞれ一次分解反応と仮定するが反応速度は個別に設定する。
 - ・微少酸素の存在下において、嫌気性分解は酸素による非拮抗阻害、好気性分解は低濃度阻害を受けるものとし、それぞれの阻害定数を設定する。
 - ・低水位管理およびガス交換に伴う乾燥を考慮した阻害定数を分解速度に対して与える
- 得られたモデルに必要なパラメータについては実験的に数値を取得した上でモデルに投入し妥当性について検証した。

4) 廃棄物最終処分場集排水管の大気開放状況調査

廃棄物最終処分場から埋立地ガスを排除し受動的に大気を導入する準好気性埋立工法においては、底部の集排水管の開口部からガス抜き管までの管渠が大気開放されていることが肝要である。しかし、高い降雨強度の発生時ならびに保護材の目詰まり等により、集排水管が水没した場合には期待されている大気導入の効果が得られない。廃棄物最終処分場集排水管の開放・水没状態を評価することを目的として、埋立層最深处での水圧モニタリングを実施し、準好気的な機能を担保する排水管の開放に関する管理実態を評価した。実処分場埋立層内の排水管最深处（保護土・砕石層下）付近において水圧センサーを設置するとともに計測を行い、準好気の状態の管理実態について評価した

5) 亜酸化窒素（N₂O）ガスの排出挙動解明

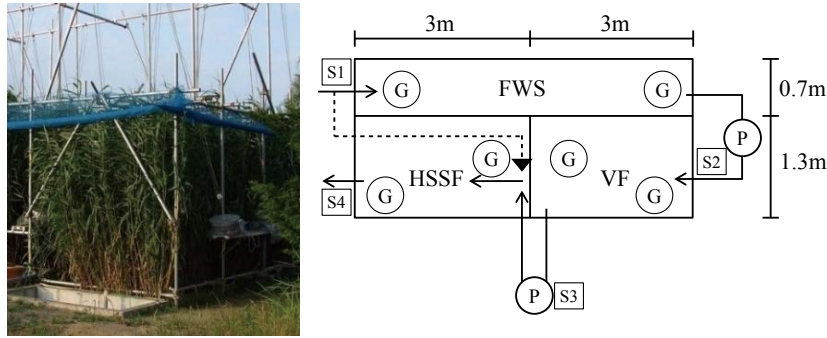
埋立地の管理方法が温室効果ガスの排出挙動に与える影響を明らかにするため、CH₄およびN₂Oの排出挙動について以下の現場で評価した。ガス排出量評価は閉鎖型チャンバー法により行った。1) AM サイト：2002年に埋立を終了した産業廃棄物処分場の管理型区画。内容物は一般廃棄物焼却灰、産業廃棄物・災害廃棄物、陸上残土、浚渫土砂。2) AN サイト：埋立期間1979-2004年、山間型の一般廃棄物最終処分場。内容物は一般廃棄物のうち混合ごみ、可燃ごみ、不燃ごみ、直接搬入ごみ、破碎ごみ、中間処理残渣、焼却残渣。3) SK サイト：2000年に閉鎖された産業廃棄物の管理型処分場。河川敷から住宅地付近まで拡大した平地型（積み上げ式）。内容物は汚泥、鉍さい、廃プラスチック、建設廃材、ガラス、陶磁器、燃え殻。4) FS サイト：産業廃棄物の管理型処分場。主な内容物は、有機汚泥、無機汚泥、燃え殻、鉍さい、ばいじん。5) PB サイト：マレーシア中部に位置する生活廃棄物の埋立地。埋立期間は2001-2007年。積み上げ式の嫌気性埋立構造で、浸出水の集水・処理は不十分。6) IO サイト：2002年に埋立を終了した産業廃棄物処分場の管理型区画。内容物は一般廃棄物、産業廃棄物、陸上残土、浚渫土砂。7) NH サイト：亜熱帯に位置する混合ごみ・焼却残さを含む一般廃棄物処分場の旧区画（1969-2003）と新区画（1993-2006）。8) LC サイト：タイ南部に位置する都市ごみの衛生埋立地。

6) パイロットスケール人工湿地における水収支解析

雨水流入時の流出量への影響や蒸発量への影響を検討するために、基礎的実験として処理水流出量の検討を行った。湿地面積は12 m²、礫を含めた土壌層の深さは0.6 mとした。植栽植物としてはヨシ（*Phragmites australis*）を用い、流入量は600 L・日⁻¹（50 L・m²・日⁻¹）とした。人工湿地における水の収支は処理特性の評価において重要であることから、処理水の流出パターンの調査を夏季と冬季で行い、その変化を比較した。原水流入は原則として13時-翌3時の毎時1回（1日に15回）の間欠流入とした。

7) パイロットスケール人工湿地におけるステップ流入による高度処理化

人工湿地による有機性排水の安価な処理方法を確立するため、ヨシを植栽した12 m²の人工湿地パイロットプラントを用いた試験を実施した（図33）。これは、3つの典型的な流下方法（FWS：自由表面流、VF：垂直流、HSSF：水平浸透流）を組合せたハイブリッドシステムで、1段目のFWSは嫌氣的、2段目のVFは好氣的、3段目のHSSFは通性嫌氣的な微生物



実線矢印:汚水フロー、点線矢印:ステップ流入フロー、P:ポンプ、S1:原水採取、S2:FWS 処理水採取、S3:VF 処理水採取、S4:HSSF 処理水採取、G:ガス採取

図 33 ハイブリッド型人工湿地システム

物反応を期待したシステム構成となっている。窒素除去のための生物学的硝化脱窒反応を促進させるためには、電子供与体（有機物）存在下においてアンモニア酸化反応の生成物である硝酸を嫌気的環境下におく必要がある。これには、2 段目もしくは 3 段目の処理水をポンプによって 1 段目の FWS へ循環する方法が考えられるが、循環ポンプにエネルギーが必要となる。そこで、原水流入経路を 1 段目の FWS に入る直前で分岐させ、3 段目の HSSF に原水の一部をバイパス流入させることで電子供与体としての有機物を供給し、2 段目の VF でのアンモニア酸化によって生成した硝酸の還元・ガス化を志向した。ステップ流入割合の検討事項として水処理性能に併せて N_2O 排出量についても評価を行った。試験には我が国の排水原単位（BOD 200 mg/L、T-N 45 mg/L）に調整した排水を用いた。原水流入は 13 時～翌 3 時の毎時 1 回（1 日に 15 回）の間欠流入とし、流入量は $500 L \cdot 日^{-1}$ ($42 L \cdot m^{-2} \cdot 日^{-1}$)、HRT は 6 日とした。

8) タイにおける埋立地浸出水の人工湿地による処理試験

国内での検討をふまえ、東南アジアの埋立地浸出水に対する人工湿地の適用性について実験的検討を行った。対象埋立地は、タイ王国ノンタブリ埋立地とした。ここでは、主として生ゴミ、プラスチック、紙類、木くずなどが埋立てられている。発生した浸出水は、貯留池に集められ自然状態での管理がなされている。凝集沈殿、膜処理などの浸出水処理施設は設置されているが、恒常的な稼働は行われていない。パイロットスケール（横 1 m、縦 2 m、深さ 1 m）の人工湿地内のろ材は砂を使用し、植栽植物は、埋立地内で自生していたガマ (*Typha* sp.) を用いた。処理対象水は貯留池で採水された浸出水とし、代表的な水質（平均値 [範囲]）は、pH 9.5 [9.3-10.0]、EC 15.8 [10.1-21.0] (mS/cm)、TS 14,538 [10984-16811] (mg/L)、COD 1,592 [963-1,980] (mg/L)、TOC 538 [339-674] (mg/L)、TP 7.5 [6.0-11.1] (mg/L)、TN 66.5 [51.0-80.5] (mg/L) であった。運転条件は、流入量を $40 L m^{-2} 日^{-1}$ とし表 4 に示す条件で試験を実施した。

表 4 試験条件

	希釈率 (%)	流入頻度 (回/日)	流入方式	期間
A	25	1	伏流	2014 1/30-4/9 [乾季]
B	50	1	伏流	2014 4/10-4/30 [乾季]
C	50	2	伏流	2014 5/1-5/17 [雨季]
D	50	5	伏流	2014 5/20-6/3 [雨季]
E	100	5	表面流	2014 6/5-6/12 [雨季]

9) アジア都市における埋立前処理としての機械的・生物的処理（MBT）の適用性に関する検討

アジア都市における廃棄物埋立地の重要な課題として、埋立地容量の不足に伴う埋立量の削減と、埋立地由来の地域環境負荷と地球規模の気候変動影響の削減が挙げられる。埋立地側での技術開発と同時に、より上位（上流）での対策についても検討が必要であるが、社会的・経済的な面から、排出源分別や熱処理などの適用可能性は低いと言わざるを得ない。本課題では、より地域適合性が高い埋立前処理技術としてMBTの適用に関して検討を行った。タイ国内で稼働中の複数のMBT施設における物質収支と生産される固形燃料（SRF）の品質および利用状況について調査を行うとともに、結果を踏まえて費用便益解析を行い、MBTの適用可能性について考察した。また現地においてパイロットスケール実験を行い、バイオドライ過程における酸素濃度及び温度変化をモニタリングした。

(3) 結果と考察

1) テストセルにおける準好気性埋立管理の安定化挙動評価

内部における平均温度は埋立初期には対照セルで80℃以上、準好気性セルで50℃程度まで温度が上昇したが、その後漸減し、約一年後には両セル共に38℃前後で推移した。両セルから排出されるガス量は時期的な変動はあるが、観測初期から比べると徐々に減少する傾向が示された（図34）。後半の排出量は少なく、廃棄物の分解・ガス化としては収束に向かっている安定化フェーズであると推測された。埋立セルでは浸透量が増加する時期にCH₄発生量も増加して大きなピークを示すが、2年目を以降は降水量の増加する雨期であってもCH₄発生量の増加は確認されなかった。両セルから排出されるガス排出については降雨に伴って同様の季節変動パターンを示していた。準好気性セルからのガス排出量は対照セルと比較して有意な差は認められず、ガス転換の促進効果は確認されなかった。準好気性の状態を表す埋立地ガス中のCH₄モル比（図35）からは、雨期に準好気セルのCH₄比の方が低下する傾向が認められ、両セルの浸透水の排除能力の差が示された。期間全体を通しては変動が大きく、両セルの差の有意な差は確認されなかった。

テストセルから排出される浸出水BOD濃度は両セルとも10,000-20,000 mg/l前後で推移し、有意な差はみられなかった（図36）。しかし内部保有水のBODについては、準好気セルは対照セルに比べて1/3から1/5程度と低いことが示された。対照セルでは浸透から排水までの滞留時間が長く、内部に湛水している保有水質のまま排水されるが、準好気セルでは可溶化した有機成分のガス化が活発であり、水質形成がより複雑であるといえる。特に、準好気セルの全有機性炭素濃

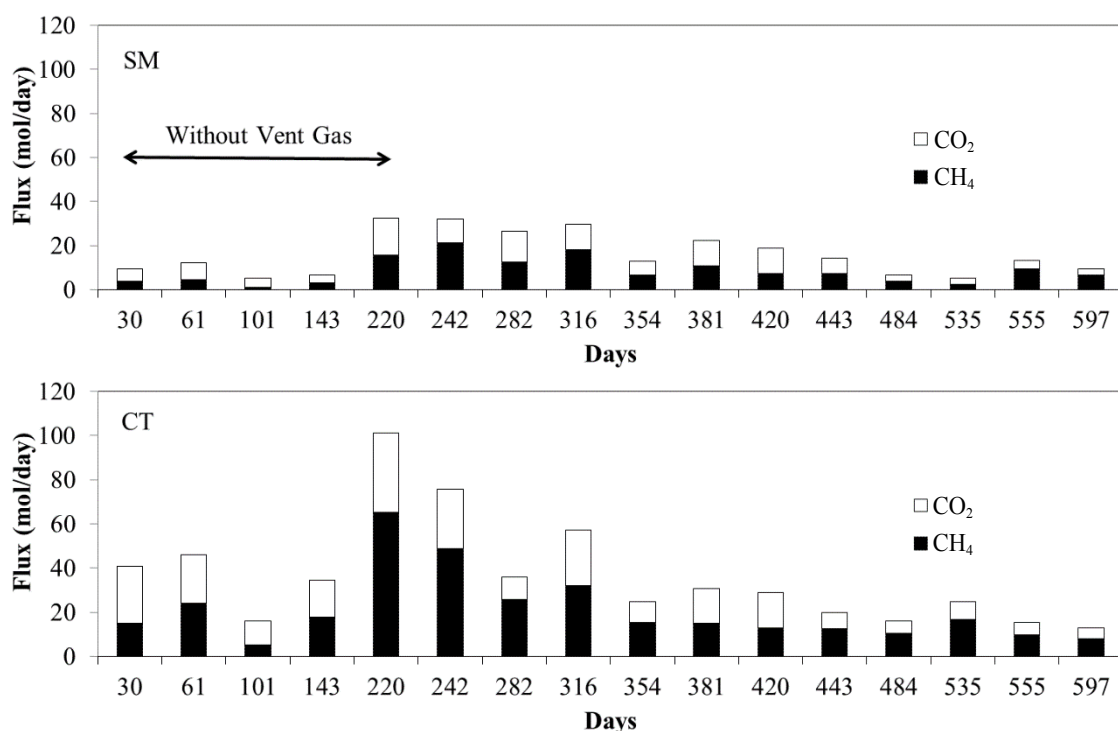


図34 タイに設置したテストセルからの埋立地ガス排出量の経時変化（SM: 準好気セル，CT: 対照セル）

度が対照セルの倍程度であること（データ不掲載）からも、浸出水中に含有される有機性の水質構成成分に特徴があることを示している。また、窒素濃度（TKN）については、内部保有水、浸出水ともに準好気セルの方が低い傾向が認められ（図 37）、好気的な生物反応によるケルダール性窒素の転換がすすんでいることが推測された。

累積の温室効果ガス排出量を比較した結果を図 38 に示す。対照セルからの CH₄ 排出量は、準好気セルと比較して 3 倍程度であった。一方で、埋地地ガス全体の排出量についても対照セルの方が多く、準好気セルの 2 倍程度であった。すなわち、CH₄ 発生だけでなくガス化反応自体が対照セルの方が活発であったことが示唆された。準好気セルでは雨水浸透に

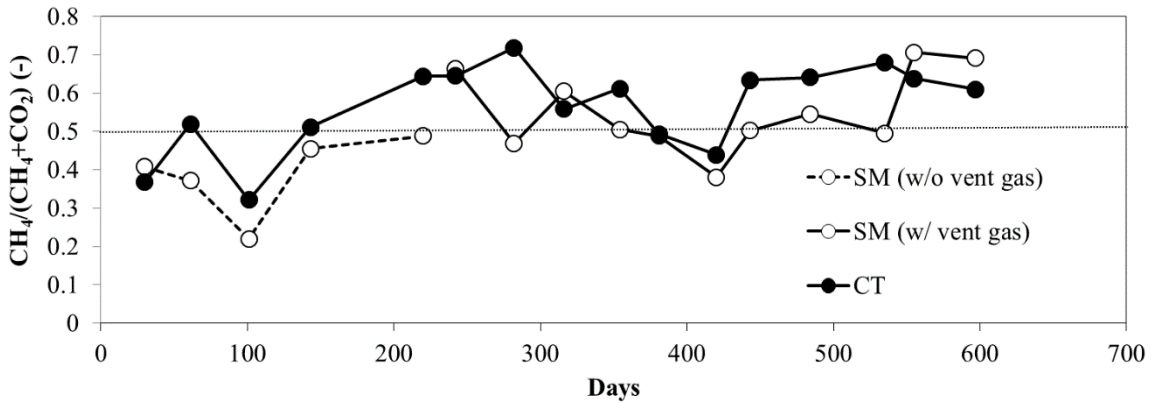


図 35 タイに設置したテストセルからの埋地地ガス中の CH₄ モル比の経時変化（SM: 準好気セル，CT: 対照セル）

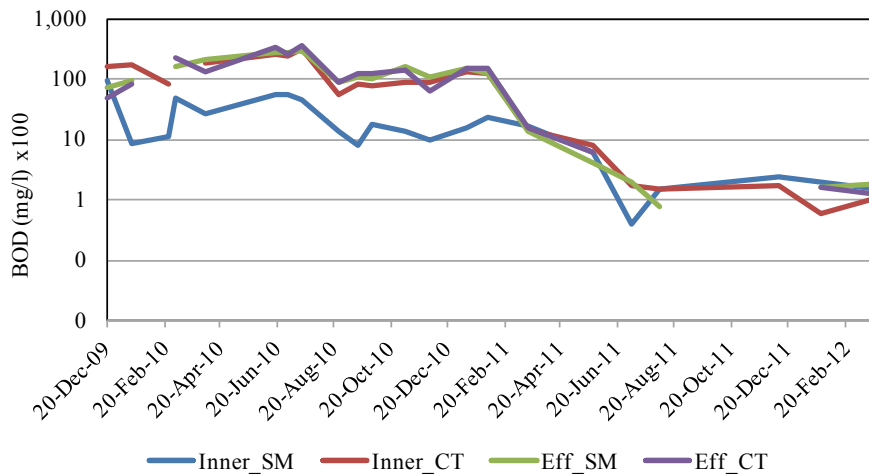


図 36 テストセルにおける浸出水 BOD 濃度の変化（SA: 準好気性セル，CT: 対照セル）

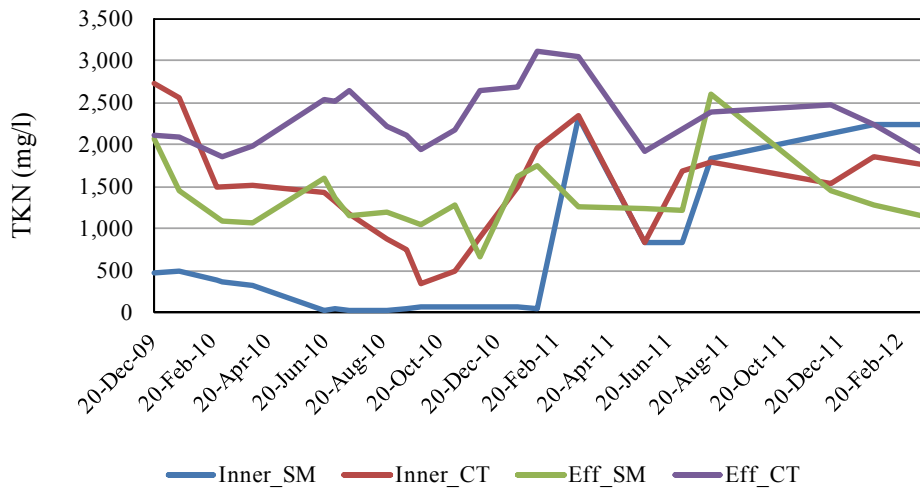


図 37 テストセルにおける浸出水 TKN 濃度の変化（SA: 準好気性セル，CT: 対照セル）

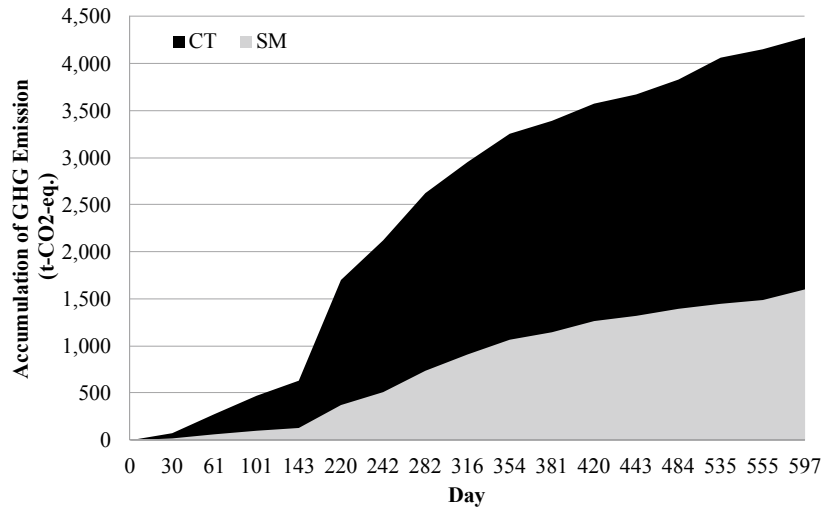


図 38 テストセルにおける温室効果ガス (CH₄) の累積排出量 (SM: 準好気性セル, CT: 対照セル)

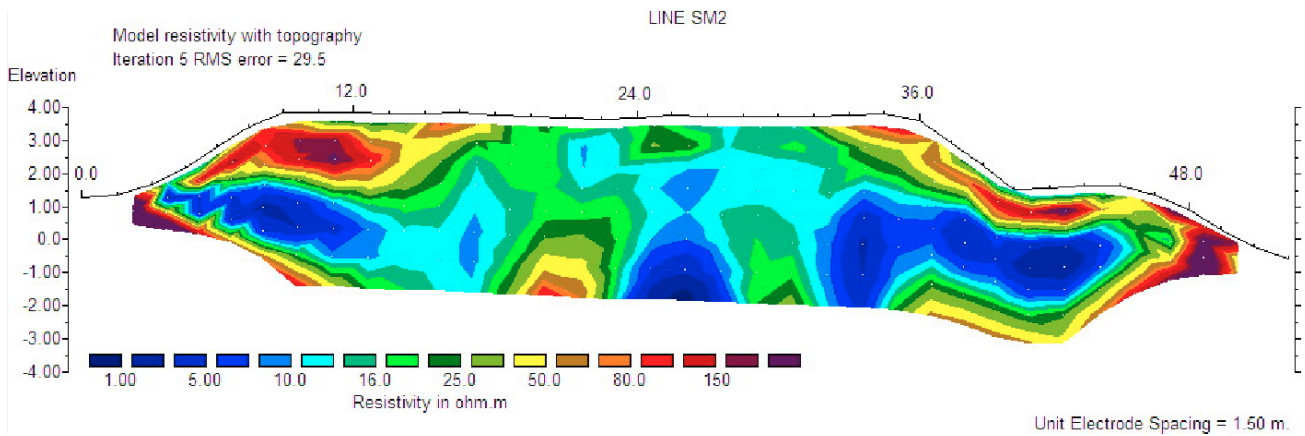


図 39 準好気性セルにおける比抵抗分布

よる分解性炭素の系外排除の影響が大きいこと、および気温が高いために埋立層内との温度差が小さく、熱対流を起動力とする埋立層内への受動的な空気導入量が少ないことなどが要因としてあげられる。また、対照セルでは湛水により水分が豊富に存在したが、排水を実施する準好気セルでは生物分解に必要な水分の供給が充分でなかったことなども要因として考えられる。準好気性セルにおける比抵抗分布の解析断面図 (図 39) の低比抵抗領域を含水率が高い領域と仮定すると、準好気性セルでは集排水管を通じた排水により、端部を除いて湛水がほとんど見られない。大気交換が進む一方で、埋立地内部の乾燥により生物分解活性が低下した可能性もあり、熱帯地域では埋立地内部の含水率の適正制御が準好気性埋立を機能させるために重要であることが示された。可溶性炭素の系外排除は水系への汚濁負荷が懸念される事項であり、温室効果ガス排出削減のみならず地域の環境負荷と埋立地内の生物分解の促進を考慮した上で、処分場への降雨浸透、内部の水分、浸出水などを総合的に管理する必要があることが示された。

2) ライシメータ実験による準好気性埋立の設計・管理因子の検討

ライシメータ実験での累積降水量は 1,010 mm であり、うち約 3 割が浸出水として排水された。低密度充填の SmI では 55 日目以降より pH 8 付近で推移した (図 40)。高密度充填の SmII ならびに嫌気性の AnI、AnII では 139 日目までは pH 6 付近で推移していたが、153 日目から上昇し 167 日目以降 SmII で pH 8、AnI と AnII で pH 7.5 付近で推移した。pH の上昇に呼応して BOD 濃度が低下した時期に有機物分解が酸発酵期から CH₄ 発酵期に移行したと考えられる。

AnI では 82 日目から、SmI と SmII では 196 日目から CH₄ 濃度の上昇がみられた (図 41)。なお AnII は最上部まで湛水

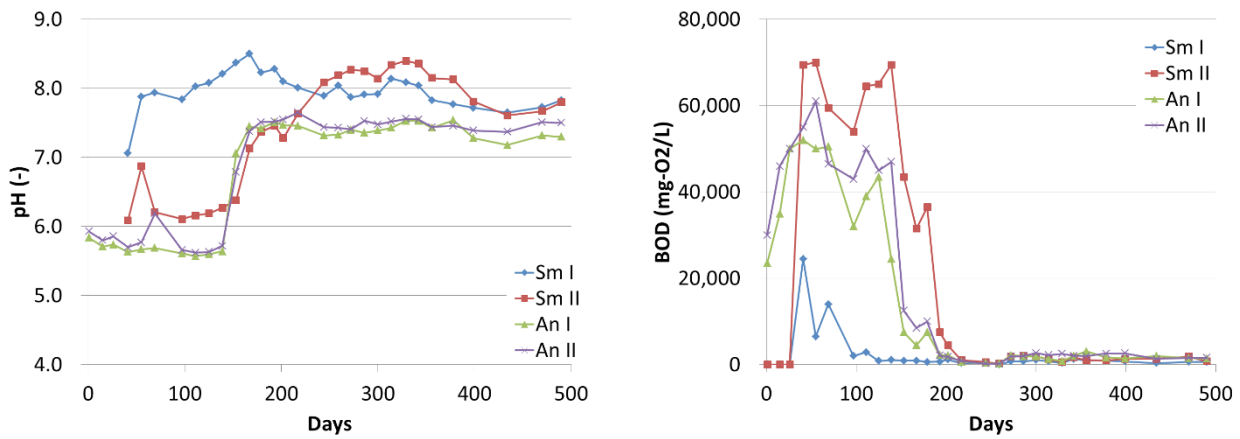


図 40 ライシメータにおける浸出水水質の変化

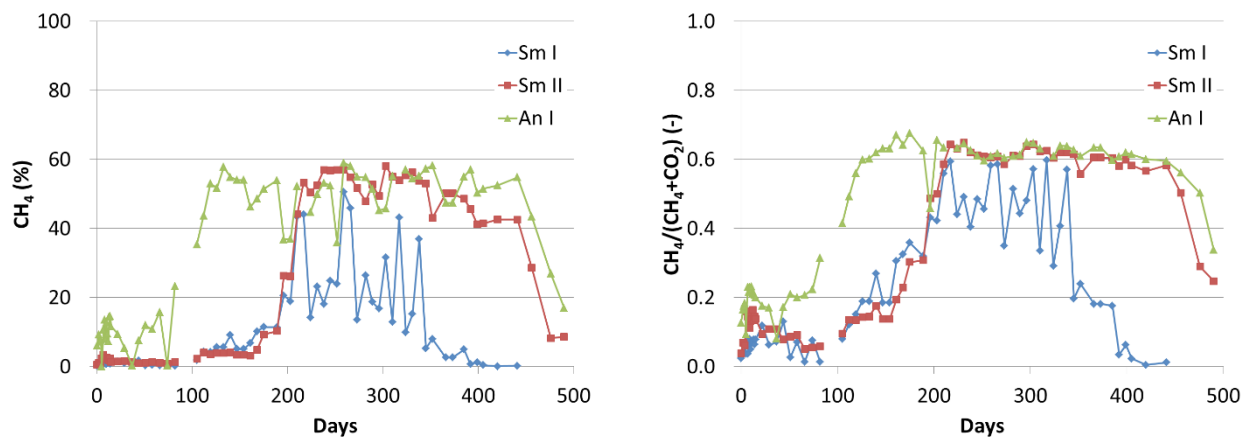


図 41 ライシメータ底部から 1.55 m 高さにおける CH₄ 濃度と CH₄ 比の変化

していたため測定していない。AnI では 126 日目以降に CH₄ 比が嫌気性分解による代表的組成である 0.6 付近で推移した。SmI と SmII ではそれまで 0.1 程度で推移した CH₄ 比が、126 日目から上昇を始め、SmII では 203 日目に約 0.6 に達した。SmI では 203 日目から 338 日目まで変動したがその後漸減した。SmII と AnI では 441 日目以降に CH₄ 比が漸減した。以上より SmI では 203 日目から 338 日目まで、SmII では 203 日目から 441 日まで、AnI では 126 日目から 441 日目までが活発に埋立地ガスが発生した時期であると考えられた。この期間の SmI、SmII および AnI の CH₄ 比の平均はそれぞれ 0.48、0.60、0.62 であった。0.62 を CH₄ 比の上限とした場合の IPCC ガイドラインにおける嫌気性分解係数(MCF)はそれぞれ 0.77、0.98、1.0 となり、高密度充填 SmII は準好気性埋立としてほとんど機能していないといえる。すなわち、埋立地内の廃棄物の密度を制御が、準好気性埋立を機能させるために重要であることが示された。

3) 埋立層における水分・ガス・空気流動に関する数値解析

準好気性埋立管理において、埋立層と気温の温度差が酸素浸入量に与える影響は、埋立開始直後にはあまり大きくないが、年数が経過し埋立物の分解が進行することで差が拡大した(図 42)。一方で、降雨浸透による空隙の減少が酸素浸入量に与える影響は認められなかった。これは、みず道の存在により一定の空気導入経路は確保されていることや、内部水の排除能力の高さが前提になっている結果である。埋立開始後 3 年目における平均酸素フラックスの解析から、埋立層への空気導入は集排水管経由が支配的であることが示された(図 43)。覆土およびガス抜き管経由での空気導入は温度差にかかわらず一定であり、濃度拡散による流動現象であることが示された。一方、覆土からの空気導入は降雨浸透量の影響を受けることが確認され、表層の飽和に応じた被覆効果が生じることが示唆された。

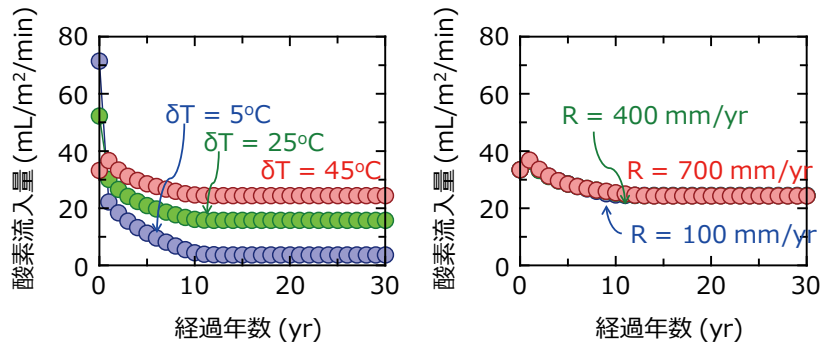


図 42 準好気性埋立管理における埋立層への酸素流入フラックスの解析

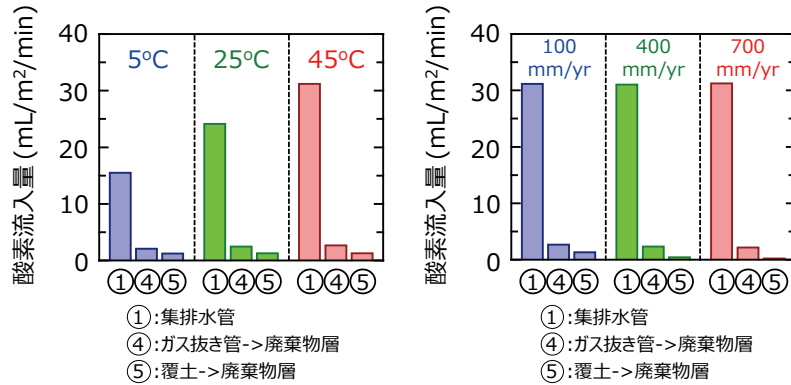


図 43 準好気性埋立管理の 3 年目における経路ごとの酸素流入フラックスの解析

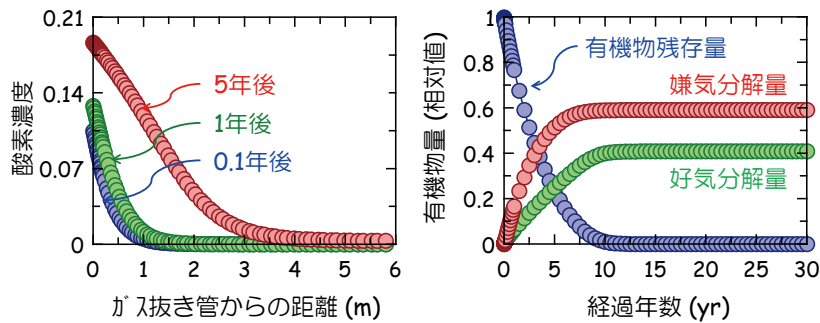


図 44 準好気性埋立管理における酸素浸透挙動の解析

準好気性埋立における酸素浸透挙動について数値解析による評価を行った一例を図 44 に示す。この解析には、埋立物中の生物分解性有機物量の他、不均質な間隙構造などの物理的性質、降雨浸透量および大気温度などの気象条件なども入力値として解析可能であり、アジア地域を中心とした多様な埋立地の状況を再現可能である。本解析により、安定化の進行に伴う埋立物中の生物分解性有機物の残存量の減少に応じて、酸素浸透深さは徐々に増加し、好氣的または通性嫌氣的な雰囲気範囲が拡大することが示された。有機物埋立量が少なく、大気温度が低い日本の埋立地とは異なる酸素浸透挙動を示すことが示唆され、現況にあった工法や維持管理手法の適用が肝要であると考えられた。具体的には、ガス抜き管の間隔、排水管の管径、被覆の状態などのパラメータを現地化した上で、中小規模の埋立地への適用可能性を検討することが望ましいと考えられる。

4) 嫌気・好気混在環境下における温室効果ガス排出モデルの構築

埋立地内において T 年度に生分解性有機物 i の嫌気的および好氣的な分解が同時に起こる条件下での廃棄物分解モデルについて下式のように得られた。ただし、 k_i : 嫌気性分解速度定数、 K_i : 酸素による嫌気分解阻害定数、 S_{O_2} : 埋立層内酸素

濃度、 k_i^* : 好気性分解定数、 K_I^* : 酸素不足による好気分解阻害定数、 η : 乾燥による阻害定数である。

$$A_{i,T} = W_{i,T} \cdot \left[(1 - e^{-k_i \cdot f_{O_2}}) + (1 - e^{-k_i^* \cdot f_{AN} \cdot \eta}) \right]$$

$$f_{O_2} = \left(1 - \frac{S_{O_2}}{K_I + S_{O_2}}\right) \quad f_{AN} = \left(\frac{S_{O_2}}{K_I^* + S_{O_2}}\right)$$

また、T年度に溶存態として埋立地外に排出される生分解性有機物 i の挙動について、下式のように得られた。

$$L_{i,T} = W_{i,T} \cdot \left[(1 - e^{-k^{dis}}) \cdot (1 - e^{-k^{hyd}}) \right] \cdot \theta$$

$$C_{i,T} = C_{i,T-1} + L_{i,T} - F_{i,T}$$

$$F_{i,T} = (L_{i,T} + C_{i,T-1}) \cdot \left(\frac{\theta}{\theta + I} \right) \cdot I$$

ただし $L_{i,T}$: T年度に固形物から溶出される分解性成分 i、 k_{dis} : 高分子混合体の嫌氣的な解合速度定数、 k_{hyd} : 嫌氣的加水分解速度定数、 $C_{i,T}$: T年度に間隙水中に存在する成分 i、 $F_{i,T}$: T年度に埋立地外へ排出される成分 i、 θ : 有効間隙率、 I : 埋立層への浸透強度、である。このうち、特に情報が不足しているパラメータである K_I について培養試験を経て実験的に算出した結果、 $K_I=143,000$ ppmv が得られた。h については、上記テストセル実験を踏まえて 0.85 (乾燥により 15% 速度低下) を与えた。以上のパラメータを元に、仮想条件 (埋立量 70,000 トンからの CH_4 発生経年累積) での CH_4 排出量を算定した結果を図 45 に示す。既存の IPCC による算定法に比較して、本研究で示されたモデル (A1001 モデル) では、埋立層内の酸素浸入状況によって CH_4 発生量が大きく変動するのが特徴である。本算定法では、埋立層酸素濃度が 5% の場合で 20 年間の累積排出量は既存の方法に比べて 37% 減、10% の場合で 60% 減となることが示された。また、既存の方法と 20 年間の CH_4 排出量が同程度となるのは埋立層酸素濃度が 2.2% 程度の場合であり、それ以下の濃度では現行の算定法 (嫌気性埋立の半分) による排出量よりも多く算定されることが示された。

アジア多雨地域における各種埋立工法・管理手法における累積 CH_4 排出量を図 46 に示す。維持管理期間は 20 年とし、排出量は二酸化炭素当量 (CO_2eq) で表現した。表層を被覆した乾燥墓場 (DT) 型埋立地は、本研究で比較対象とした埋立地管理手法の中で最も高い排出量を示した。これは、有機成分の溶出による浸出水としての系外放出がないため、炭素の損失が少なく、結果的に嫌氣的な生物反応によって

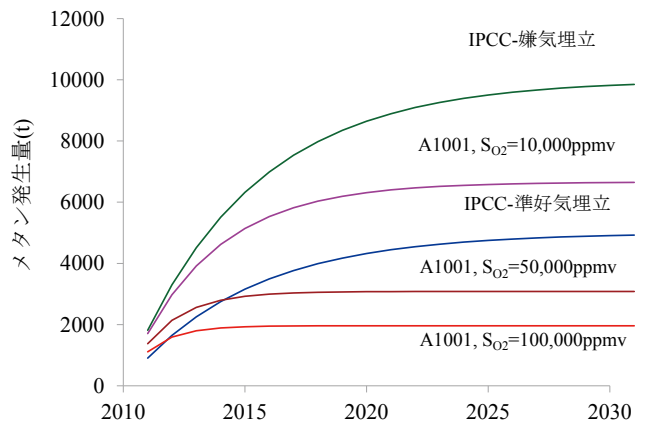


図 45 新規埋立地ガス排出量算定モデルを用いた排出挙動の比較

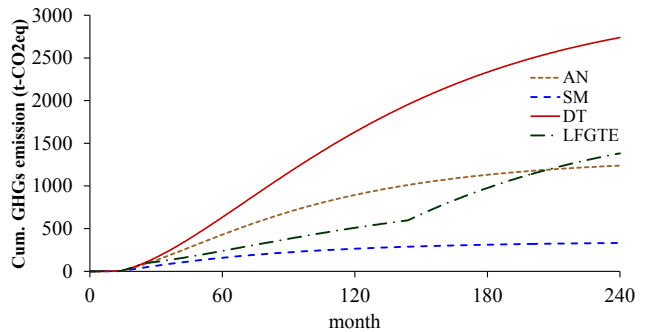


図 46 各埋立工法からの CH_4 排出推定量の比較 (二酸化炭素当量換算)

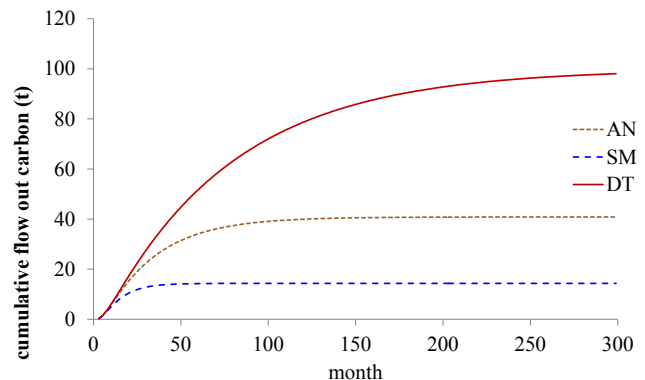


図 47 埋立地から浸出水中として排出される溶存態炭素の累積量

ガス化される炭素量が埋立地内に多く残存することに起因する。また、アジア多雨地域においては欧米と異なり、表層の被覆による浸透水排除が充分でなく、降雨強度に応じて埋立層への一定量の水浸透が想定されることも一因として挙げられる。このことが欧米における不活性の乾燥墓場型埋立とは異なるガス排出挙動を示す要因であると考えられる。伝統的な衛生埋立（AN）工法においては、埋立層内は嫌気的な環境下にあると一般的には考えられてきたが、本研究での調査により、不十分な表層覆土の施工や降雨流出によって、大気浸透の影響を受けることが確認されている。すなわち生物分解性炭素の一定量が好気的な転換によりガス化されることが想定される。また、図 47 にも示したように、浸出水中に溶存する形態で埋立地外に放出される炭素が多く、ガス化される炭素量が少ないため、CH₄ 排出量は DT 方式に比較して半分以下に留まった。DT 方式に埋立地ガス発電を 10 年間（30 ヶ月から 150 ヶ月目）実施する方式（LFGTE）においては、ガス回収分だけ大気放出量は削減されるが、プロジェクト終了後の排出により既存の嫌気的な埋立地管理（AN）よりも排出量が上回ることが示された。ただしこの評価には回収されたガスのエネルギー利用による、化石燃料由来の CO₂ 放出の代替・緩和効果等は含まれていない。現実の埋立地管理が 20 年で終了することは考えられず、より長期的な影響を考慮すると、特に DT および LFGTE 方式の埋立地が気候変動に与える影響はさらに大きいと推測される。準好気的管理（SM）の CH₄ 排出量は AN に比べて 20 年間の累計で 75% 程度削減できることが示された。

5) 埋立地底部集排水管の大気開放状況調査

実処分場埋立層内の排水管最深部（保護土・砕石層下）付近において設置した水圧計による計測を行い、準好気的状態の管理実態について評価した（図 48）。埋立開始時からの継続的なモニタリングの結果より、降雨時の雨水浸透に伴う水圧の一時的な上昇に対する低下および回復までに要する時間は、埋立層厚の増加によって延びることが示された。水圧が上がった状態を水位が上がっている状態として、管末端が水没していると仮定すると、モニタリング期間のうち 40% 程度が水没していることが推測された。これは連続して襲来した台風による豪雨被害を受けたことも影響しているが、降雨後の排水管末端の水没状態の再開放までに一定の時間を要することは明らかであり、準好気性埋立地における、実際の大気導入効果について管理実態が及ぼす影響についての検討が必要であることが示された。

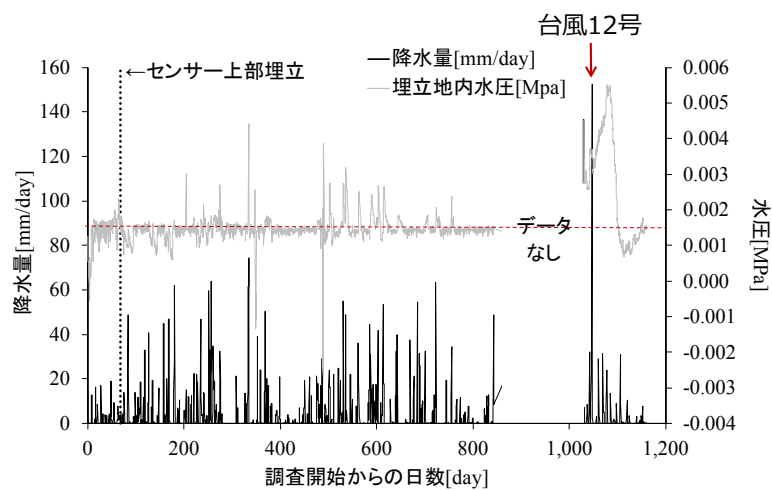


図 48 埋立地内水圧と降水量の経時変化

6) 亜酸化窒素（N₂O）ガスの排出挙動解明

廃棄物埋立地において N₂O 排出が検出される地点数はきわめて少なく、調査地点全体（626 地点）の 6.7% であり、CH₄ 排出地点数の 3 割程度であった（表 5）。日本国内の埋立地ごとの平均 N₂O フラックスは、既往研究の報告例と同程度であった。一方で、熱帯・亜熱帯に位置する埋立地や海面処分場においては、比較的高い N₂O 放出挙動が見られた。アジアの埋立地において高い N₂O 放出量を示した要因としては、生ごみを含む高い窒素含有量の生活ごみを受け入れていることが考えられるが、同様に生活ごみが直接埋め立てられた A2 サイトでは必ずしも排出量は高くない。また、海面処分場（A1・

表 5 廃棄物埋立地における N₂O 排出量調査結果の概要

Climate zone	Landfill		Sampling	CH ₄ detection	N ₂ O detection	Mean N ₂ O flux
			points			(ml/m ² /min)
temperate	A1	2008	87	10	0	ND
		2009	34	8	4	0.0045
		2010	23	7	2	0.001
		2011	13	3	1	0.000025
		2012	6	3	3	0.00021
	A2	2009	39	26	6	0.0068
		2010	17	13	3	0.0023
		2011	12	6	1	0.000048
	B	2008	26	5	0	ND
		2009	13	3	3	0.0046
		2010	14	3	1	0.000015
	C	2008	37	5	0	ND
		2009	22	3	2	0.000076
		2010	7	3	2	0.000055
	E	2008	54	7	0	ND
		2009	7	2	2	0.0013
		2010	13	4	0	ND
	tropical	D	2009	88	41	1
G		2010	48	25	0	ND
F old		2008	38	6	2	0.024
F new		2008	14	4	1	0.027
H		2012	8	5	4	0.070
I		2012	6	4	4	0.022

E サイト) においても高い N₂O 排出量が示されたことから、埋立層内の高い水分含有量が、亜酸化窒素への転換を促進している可能性が示唆された。このことから、飽和条件下での嫌氣的な N₂O 生成および溶存態 N₂O からのガス転換などによる放出量増加が推測された。A2 サイトでは、安定化促進工事の実施以降、好酸化に伴って N₂O の排出量が漸減する傾向が確認された。測定地点ごとの N₂O と CH₄ フラックスの関係を図 49 に示す。正の CH₄ フラックスの範囲では、CH₄ フラックスの増加に伴って N₂O フラックスも増加する傾向が確認された。一方、負のフラックスを示した地点では、その他の低い CH₄ フラックスを示した地点に比べるとやや高い N₂O フラックスを示した。活発な CH₄ 酸化が確認された地点で N₂O の排出が確認されたことは、CH₄ 酸化細菌によるアンモニウム塩を代理基質とした N₂O 生成であることを示唆している。正の CH₄ フラックスを示した地点では、CH₄ と N₂O のフラックスの間には有意な相関 (r = 0.89, P < 0.0001) が確認され

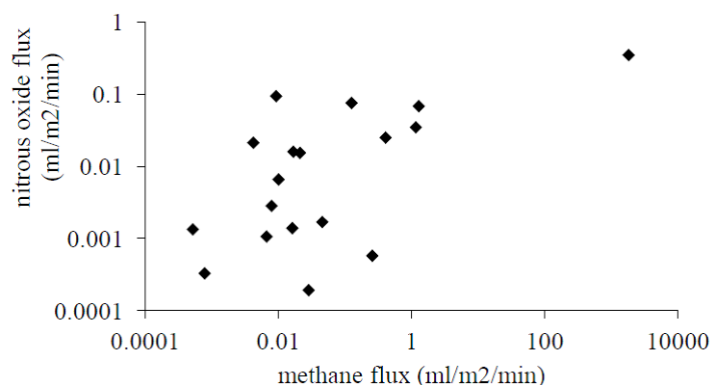


図 49 各排出地点における CH₄ および N₂O フラックスの関係

た。N₂O の排出源は埋立層内での CH₄ 排出源と一定の関係性を有しており、N₂O の生成は CH₄ と同様に嫌気的な雰囲気下での生成プロセスに依存していることが示唆された。埋立地ごとの平均 CH₄ フラックスと平均 N₂O のフラックスの間にも有意な相関 (r = 0.66, P < 0.001) が確認され、平均 N₂O フラックスは平均 CH₄ フラックスの 1% 以下にあることが示された。この関係を元にとると、埋立地から排出される N₂O の温室効果は、CH₄ のおよそ 15% 程度であると評価される。ただし、ここで示した相関には N₂O が検出されなかった地点などを含んでいないため、N₂O 排出量は過大に評価されていると考えられる。単純に検出地点率で換算すると、N₂O は CH₄ の 5% 以下のインパクトと見積もられた。いずれにせよ、埋立地からの N₂O の排出は嫌気的な CH₄ 生成と強く関連しており、特に多雨地域における排出について留意が必要である。嫌気的な N₂O 生成においては、低い pH での亜硝酸還元酵素の阻害により N₂O の排出に繋がることが報告されており、有機性廃棄物を多く含む途上国の埋立地での嫌気的な脂肪酸生成に伴う pH の低下が高い N₂O の排出を導いたことが推測される。既往研究においては、埋立層への強制的な空気の導入、掘削切断面、および覆土層から排出されるガスについて、CH₄ と N₂O が排出量や濃度で逆相関を示すことが報告されているが、本研究では埋立層内に部分的に酸素を導入する準好気性埋立工法において、好気的な N₂O 生成は明確にはされなかった。ただし準好気性埋立工法に限らず、不十分な覆土施工による表面からの酸素の浸透など、部分的な好気環境への転換により生成される亜硝酸が、従属栄養的な脱窒反応の基質として使われることで、嫌気的な N₂O の排出源となっている可能性は充分考えられる。

7) パイロットスケール人工湿地における水収支の基礎的研究

人工湿地における水収支を把握するため、垂直流人工湿地における処理水の流出パターンを調べた (図 50 左)。流入開始後、数時間のラグタイムを経て排出量が増加していき、単位時間あたりの排水量が安定し、流入停止後は徐々に減少する様子が確認された。夏季と冬季で比較した結果、冬季のほうが流出量の安定に要する時間は長く、また一時間あたりの流出量も少なかった。また、流入停止後の流出量の減少も夏季より時間を要した。このことから、冬季は水分透過速度が低下していると考えられた。1日当たりの蒸発散量は夏季で 25% (12.5 mm)、冬季で 33% (16.5 mm) と、夏季よりも冬季に蒸発散の割合が大きい結果となった (図 50 右)。夏季においては植物の活性が高く、蒸散量が多い一方で、微生物活性が高く、枯死体・落葉が無いことから、水分保持能は低くなり、蒸発機会は減少すると考えられた。これに対し、冬季においては植物活性が低く、蒸散量が少ない一方で、微生物活性が低くなり、枯死体・落葉も多いため水分保持能が高くなり、蒸発機会が増加するものと考えられた。このように、人工湿地では異なる温度条件での水収支には複数の因子が関与しており、アジア地域に適用する際にも気候や季節変動に留意し、水収支の解析をもとに、気候条件に基づく流入パターン、流入負荷量、植栽条件を検討していくことが重要になると考えられた。なお、降雨量と人工湿地からの流出水量の関係解析を行ったところ、降雨の影響は翌日の流出水量に影響を及ぼし、雨の日の翌日は流出量が増大する傾向にあった。アジアの多雨地域への適用に当たっては充分考慮が必要である。

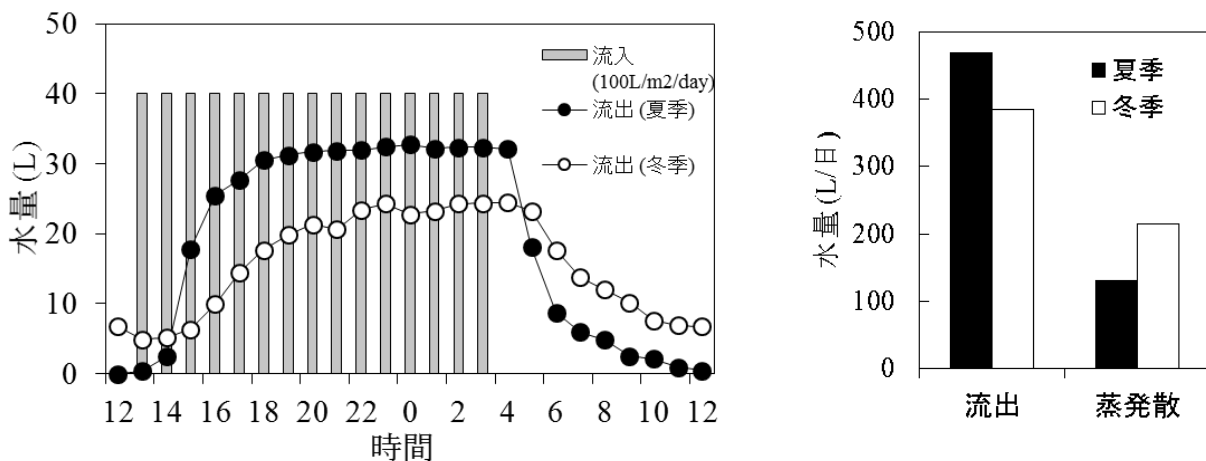


図 50 垂直流人工湿地における夏季と冬季の流出パターン (左) と蒸発散量 (右)

8) パイロットスケール人工湿地におけるステップ流入による高度処理化

約5ヶ月間の試験期間中、最終処理水のBOD、リンはステップ流入割合によらず低濃度であり、良好な処理性能が得られた(図51)。窒素に着目すると、ステップ流入無しの場合は、NH₄-Nの酸化反応は進んだものの、脱窒反応は進行せず高濃度のNO₃-Nが排出されていた。これに対し、ステップ流入割合を20%まで増加させるとHSSFにおける窒素除去率が大きく向上し、窒素除去量の66%はHSSFが担うこととなった。処理水中の窒素を形態別に見ると、処理水のNO₃-Nは24.3 mg/L(ステップ流入無し)から3.4 mg/L(ステップ流入20%)まで減少しており、想定通りHSSFへの原水のバイパスにより電子供与体が供給され、生物学的脱窒反応を促進したものと推察された。この処理性能は、我が国の高度処理浄化槽に匹敵するものであり、さらに、人工湿地ではほとんど電気エネルギーを使用しないことから、途上国に適合型といえ、エネルギー起源の温室効果ガス排出量の抑制にも効果的であると考えられた。一方、ステップ流入割合を増加によるBODやNH₄-N濃度の増加傾向が認められた。HSSFは通性嫌気的な特性を有しており、BODやアンモニアの酸化、硝酸の還元反応も期待できるが、ステップ流入により直接流入する原水の量が多くなるとHSSFへの負荷が増加し、処理能力を超えてしまう。過度なステップ流入は処理性能を悪化させることから、流入原水の濃度やBOD/N比等の特性を踏まえた設定・操作が重要であると考えられた。

ステップ流入無しでのN₂O排出量は1.47 mgN₂O/m²/hであり、その90%はVF系から排出されていた(図52)。N₂Oはアンモニアの逐次的な酸化反応(硝化反応)およびNO_x-Nの逐次的な還元反応(脱窒反応)の過程で生成されるが、硝化脱窒反応がスムーズに連携することによりその発生量は抑制される。前述の通り、2段目のVF系は好气的であるため硝化反応は進行するが、ステップ流入無しの条件では、3段目のHSSFにおいて電子供与体の不足により脱窒反応がスムーズに進行せず、NO_x-Nが蓄積している状態であった。このことが、N₂Oが生成・排出された主要因であると考えられた。これに対し、ステップ流入を導入した人工湿地では、N₂O排出量が削減される結果となった。特に、ステップ流入20%の条件ではN₂O排出量が0.08 mgN₂O/m²/hとなり、脱窒反応の効率化とともに、N₂O排出量も削減できることが明らかとなった。

9) アジア埋立地浸出水の人工湿地による処理試験

試験系A-Cにおける水量削減量(ET_{cw})は、有意な差が確認されなかったことから(p>0.01)、伏流式において、浸出水の流入水希釈率及び乾季・雨季の条件は、ET_{cw}に影響を及ぼさないことが示された(図53, 54)。一方、試験系Dは、試験系Bと比べて1.7倍のET_{cw}(p<0.01)を示したことから、伏流式において、流入頻度が高い方がET_{cw}を増加することが示された。これは、流入頻度を高めることで、ろ材表面からの蒸発作用や、1日当たりの土壌中の有効水分量の増加による、植物の通水・蒸散量が増加したことが関与したと推測される。流入方式を表面流とした試験系EとDには有意な差

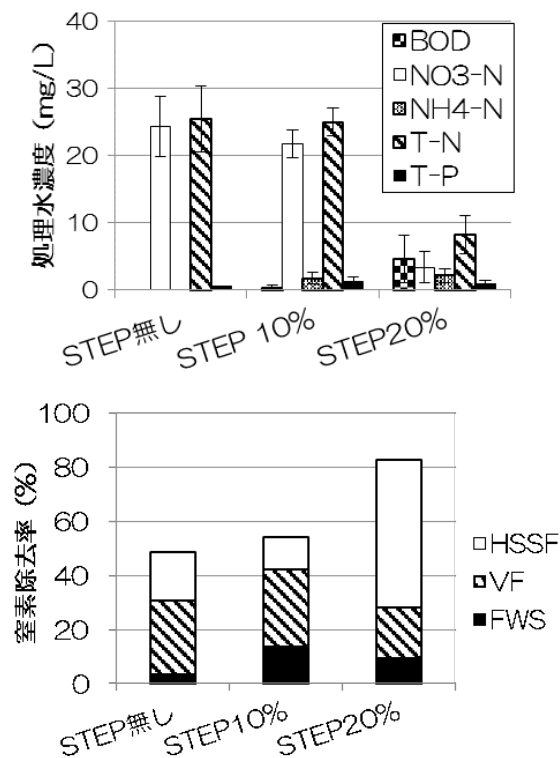


図51 流入方式およびステップ流入割合が処理水質に及ぼす影響

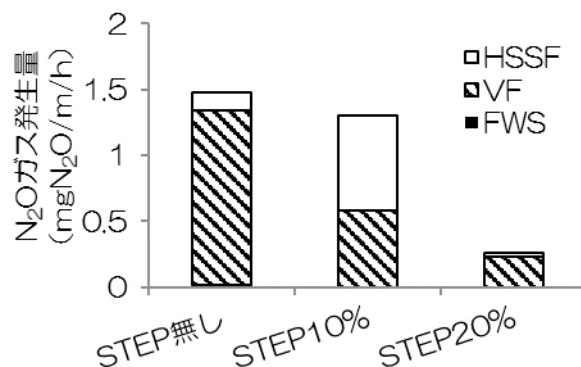


図52 ステップ流入割合がN₂O排出特性に及ぼす影響



図 53 試験期間中における人工湿地の様子

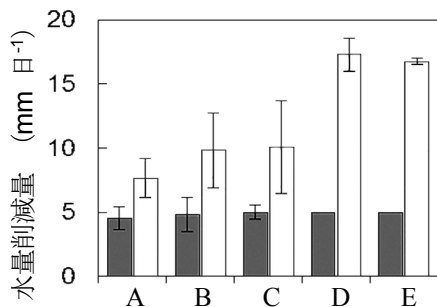


図 54 人工湿地による水量削減量 (□) および水面蒸発量 (■)

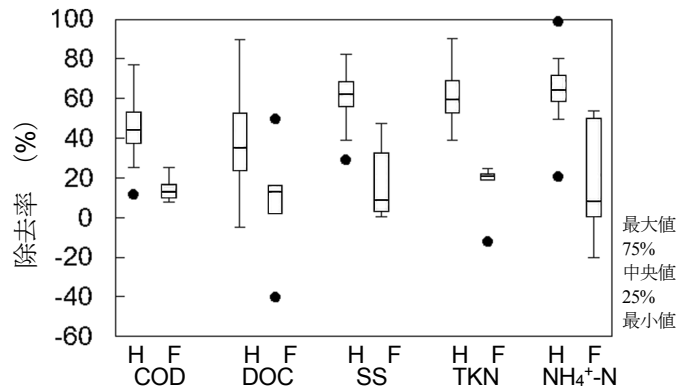


図 55 伏流式 (H) および表面流式 (F) の人工湿地による COD, DOC, SS, TKN および NH₄⁺-N の除去率

がなかった ($p > 0.05$)。以上のことから、伏流式において流入頻度を高めることによって、表面流と同程度の ET_{cw} を得られることが示された。また、全ての試験において、 ET_{cw} の方が水面蒸発量 (E_{pan}) よりも高いことから、人工湿地を導入することで従来の浸出水貯留池における水面蒸発量よりも高い浸出水量 (3 倍) を削減できることが示された。また全ての水質項目において、伏流の方が表面流よりも高い除去率が得られた (平均除去率: 42-65%、図 55)。これらの除去には、浸出水の希釈率、流入頻度、季節に影響を受けなかった (データ不掲載)。以上の結果をもとに、年間を通じて、発生した浸出水を漏出させないための必要処理面積は、人工湿地を導入することで貯留池のみの場合よりも 55% 削減可能であると算出され、人工湿地は熱帯アジアの埋立地浸出水量・水質管理に有効であることが示された。

10) アジア都市における埋立前処理としての機械的・生物的処理 (MBT) の適用性に関する検討

東南アジアの埋立処分の状況を踏まえて中間処理の必要性について検討した。タイやインドネシア等東南アジアの中進国では、都市ごみ量の増大に伴う生活環境への影響が顕在化しており、特に埋立処分の容量増強が求められている。その反面、地価の上昇や市民の忌避感の強さから、埋立地の立地選定がますます困難になっている状況がある。すなわち、最終処分量の削減の観点から資源化や中間処理の導入が推進されており、MBT についてもこうした背景から適用が検討されている。固形燃料 (SRF) の燃料利用への期待度も高いが、実際にはエネルギー収支やその収益で事業を牽引する程の効果を挙げるのは困難な状況である。その原因として、原料の分別が不十分で SRF 熱量に 6,600-15,000 kJ/kg とばらつきがあり、安定熱量・品質が確保できないこと、コストや出荷時の運搬・取扱性が挙げられる。加えて、東南アジアにおいては SRF を投入可能な産業炉の数も容量も充分ではなく、利用先という点で制限を受けていることも、活用が限定的となっている要因である。従って、あくまでも処分量の削減を主目的とした MBT 運転・維持管理を進めることが妥当な状況であるといえる。タイの MBT 実プラントにおいて物質収支を試算したところ、生物処理 (乾燥) 工程における重量減少は 64% に

達し、SRF分を除いた残さ処分量は当初の廃棄物量の7.5%にまで削減されていた(図56)。重量減少のうち1/3が乾燥、残りが有機物分解分と推計された。東南アジアでは元来の廃棄物含水率が高いため、SRF製造前に選別効率を高めるための乾燥工程が必須となる。一方で生物的乾燥工程は、乾燥効果に加えて有機物量の削減効果も高く、最終処分に与える負荷の低減にも大きく貢献可能であることが示された(図57)。現行では生活ごみがほぼ未処理で直接埋設されている現状を鑑みると、MBT導入により質・量両面での処分負荷の削減が期待される。同施設において、乾燥工程の最適化に関する実証試験を行い、酸素濃度の低下と温度上昇が同時に進行することが確認された。温度は3か月経過後に最も高温となり、その後、層内温度は低下していく傾向が見られた。アジアにおける生活ごみのMBTの適用性について実施設を対象にした費用便益的な評価を行い、土地の余剰状況、生産されるSRFの受け入れ状況、ならびに残さ量の削減、SRFの燃料価値向上が実用上不可欠であることが示された(図58)。追加的な生物処理プロセス導入は、処分コストを削減し、費用便益比が改善されるためより持続的なシステムが構築可能である。SRFの安定品質を確保するためには、技術導入が不可欠であり、投資額が増加することから費用便益比は改善しないが、費用の最大化を図る上では検討すべき事項であることも示された。

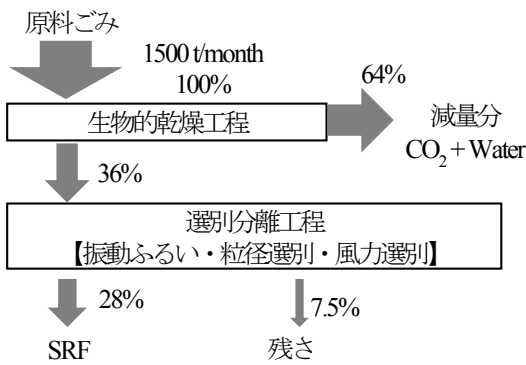


図56 MBTプラントでの物質収支(タイ)

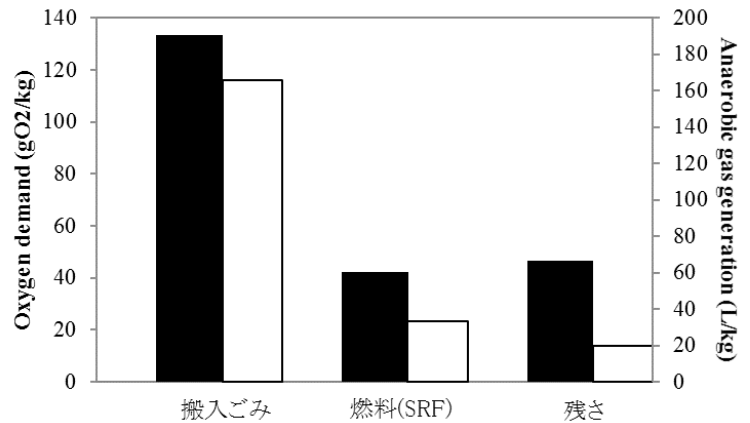


図57 MBT搬入ごみおよび搬出SRF、残さの有機物負荷

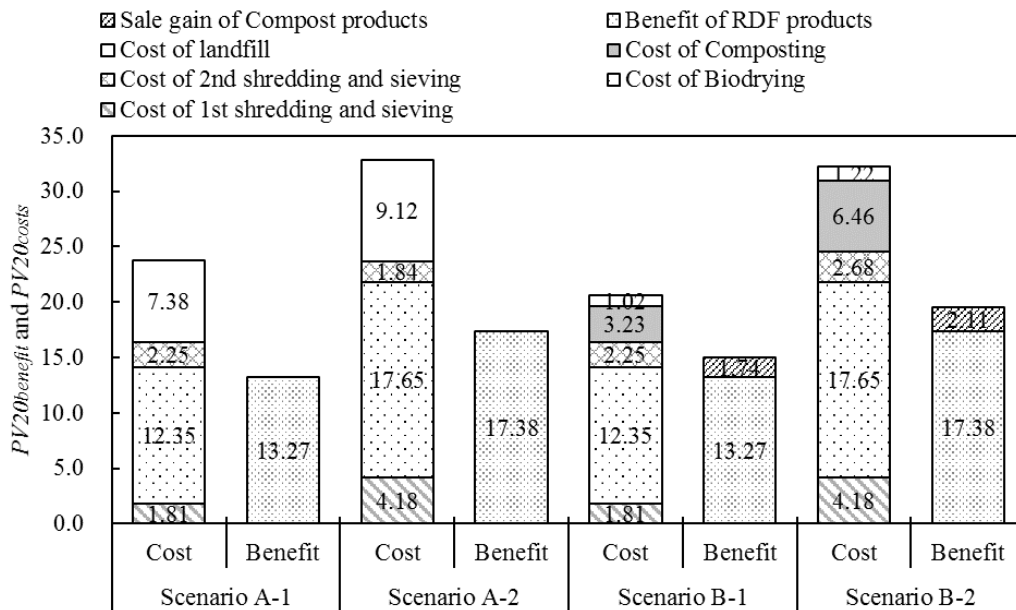


図58 アジアにおけるMBT適用可能性に係る費用便益分析

11) アジア多雨地域における適正な準好気性埋立管理にあたっての技術的な提言について

不均質な間隙構造をもつ埋立地では、地表面からの浸透した雨水はある限られた間隙経路のみ（みず道）を移動するため、浸出水水質や埋立地ガスの濃度とその時間変化はみず道の影響を強く受ける。アジアで想定される生ごみ主体の廃棄物層では、全間隙率46%のうち、透水に寄与する間隙（みず道）はそのうち6割程度であることが示された。みず道の影響により汚濁物質は浸出水に早く移行し、また浸透水と廃棄物の接触がみず道のみで限定されることから浸出水の濃度は廃棄物等の溶出試験などで想定される値よりも小さくなることが示唆された。このように限定されたみず道のみを水分が通過するため、準好気性埋立において排水を促進した場合には、既存の衛生埋立よりも堪水する期間が短く、特に乾季を中心に埋立層内が好気化しやすい反面、乾燥による生物反応阻害が生じていることも示唆された。

大気温の高いアジア地域においては、埋立層との温度差が小さいことから、埋立層への酸素導入挙動が日本での場合と異なることが想定されたが、温度差の影響は、埋立開始直後にはあまり大きくなく、年数が経過し埋立物の分解が進行することで影響が大きくなることが示された。また、埋立層への空気導入は集排水管経由が支配的であることが示され、覆土およびガス抜き管経由での空気導入は温度差にかかわらず一定であり、濃度拡散による流動現象であることが示された。覆土からの空気導入は降雨浸透量の影響を受けることが確認され、表層の飽和に応じた被覆効果が生じることが示唆された。一方で、いったん施工された覆土が、高い降雨強度の下にさらされることで流出し、廃棄物の露出や表面排除能力の低減などの問題も認められた。こうした状況は大気表面浸透を増加させるが、ごみの飛散や浸出水量の増加など地域の環境というコベネフィット性を考慮すると改善が必要である。

以上のように、準好気性管理手法の導入にあたっては、有機物埋立量が多く、大気温度が高いアジア多雨地域の埋立地の現況に適応した維持管理手法の適用が肝要であると考えられた。具体的には、(i) 集排水管の水没防止と末端の開放状態を確保可能な排水管の管径と管きょ設計、(ii) 過剰排水による乾期等における乾燥防止（浸出水循環など）、(iii) 排水量の増加を見越した貯留池の設計・増強と水環境負荷の対策、(iv) 表層・法面からの空気・水分浸透と表面被覆の流出防止対策、(v) 拡散でしか大気導入が期待されないガス抜き管の間隔、などについて現場パラメータを得たうえで設計を現地化することが必要であると考えられた。

2.2.2 アジア地域に適した有機性廃棄物処理技術の開発

家庭用バイオガス施設の現状調査、無動力攪拌技術を用いた技術改善、無動力攪拌バイオガス施設の実装スケールにおける流体力学シミュレーションと連続実験を通じて、許容有機物負荷の上昇、原料中の有機物成分の沈殿蓄積の回避、メタン化率上昇の3つで優れた性能が得られる、アジア地域に適した有機性廃棄物処理を開発した。

また、アジア途上国地域における生活排水処理の社会実装に向けて、様々な制度を含めたソフト的な支援について検討し、特に処理技術の適切な性能評価の仕組みについて、個別具体的な検討事項について議論を深め、制度化・社会実装に向けて大きく前進させることができた。

(1) 中国農村地域における家庭用バイオガス施設の現状調査

戸別に小規模なメタン発酵槽を設置し、家庭から排出される有機性廃棄物を原料として、回収したバイオガスを家庭で使用するシステム（家庭用バイオガス施設）は、世界中で広く使用されている。特に中国ではその歴史が長く、中国式システムとして広く認知されている。また、世界で最も多くの施設が中国に存在し、2010年にはそれは4000万基に達したという。もちろん中国では共同利用型の小～中～大規模バイオガスプラントの建設も推進されており、その施設数は合計5万基を上回り（2009年末）²⁾、こちらも世界最多である。家庭用施設の場合は、ほとんどが農村に建設されており、特に内陸の貧困な地域に対して重点的に普及が行われてきた。これは、バイオガス施設が「新農村建設政策」を背景とした、農村の生産力向上、環境改善、収入増加を目的とした農村振興策としての役割を持つからである。一方で2000年代以降、中国は急速な経済発展の中でエネルギー不足の問題に直面したことから、再生可能エネルギーの利用を重要な課題として位置づけており、その中で家庭用バイオガス施設の普及は、具体的数値目標を示して重点的に推進する項目となっている。そうした政策的背景のもとで、研究開発および基準化、政府の財政援助・技術者育成、バイオガス施設を核とした農業を

行う地域づくりを通して、家庭用バイオガス施設の普及が行われてきた。このような家庭用バイオガス施設のシステムおよび技術は、日本がこれまで見本としてきた欧米のそれらとは異質であり、我が国のバイオガス政策に示唆を与えることがあるかもしれない。

中国においては、2000年代以降に農村家庭用バイオガス施設の建設数は急激な伸びを見せている。図59に示すように、全国の家家庭用バイオガス施設数は、90年代までは500万基程度であったが、2000年代には毎年100万基以上の増加率で増大し、2009年末時点で3507万基に達した。ただし、威らが報告しているように³⁾原料不足や維持費用負担の問題で、一度建設した施設の使用を停止している場合がある。統計資料によれば²⁾、現在も利用中の施設は存在する全施設数の92%に相当する3230万基である(2009年末)。

次に、各地区の家家庭用バイオガス施設数、年間バイオガス生成量および戸別バイオガス生成量を図60にまとめた。施設数に注目すると、目立って多数の施設を有するのは河北省が北限であり、冬期に寒冷となる東北部や西北部では相対的な施設数は明らかに少なく、多い地区でも80万基程度である。家庭用バイオガス発酵槽は、基本的には無加温で運転されるため、寒冷地域での低い反応効率は従来問題点として指摘されていた。コストをかけない発酵槽加温の仕組みも開発されてきたが、施設数は大きく伸びていないようである。一方で、温暖な地域では発酵槽の運転が効率的に行われると考えられるが、施設数は温暖な地域で必ずしも多いわけではなく、内陸部に集中しているようである。沿岸部にあり、農民の所得が全国平均の倍程度である上海市、江蘇省、浙江省では施設数が明らかに小さい。300万基を超える施設を有する地区は、河南省、四川省、広西自治区の3つである。家庭用バイオガス施設由来の年間ガス発生量は、全国で1241億 m^3 であり、上記3地区では年間115～168億 m^3 のバイオガスが発生している。一戸あたり年間バイオガス生成量は、242～720 m^3 の範囲で分布しており、上海以南の温暖な地域におけるその値は、それ以外の地域におけるそれと比較して明らかに高い。バイオガス1 m^3 あたりの熱量は6000kcalであるため、全国での発生バイオガスのエネルギーは744Tcalに達し、中国固有石炭換算係数(7000kcal/kg)を用いて換算すると、これは1億600万トンの標準石炭のエネルギーに相当する。

施設普及のポテンシャルと現在の普及率を把握するため、2009年版の農村人口統計データを利用し、図61に農村家庭数(1家4人と仮定して農村人口から算出)と農村家庭数に占める家庭用バイオガス施設数の割合(普及率)をまとめた。いずれも50%以下の普及率であるが、特に広西自治区、四川省、重慶市、雲南省等南方内陸部において30%～50%程度の高い普及率を示している。全国平均では19.4%の普及率であり、これからも施設の導入可能な世帯数はまだ1億4000万あると想定される。図からみて安徽省、河南省、山東省、広東省などは、まだ大きな普及ポテンシャルを有していると考えられる。政府の目標では2020年までに家庭用バイオガス施設の普及率を70%まで引き上げるとしており、今後も活発な建設推進が継続されていくことが予想される。

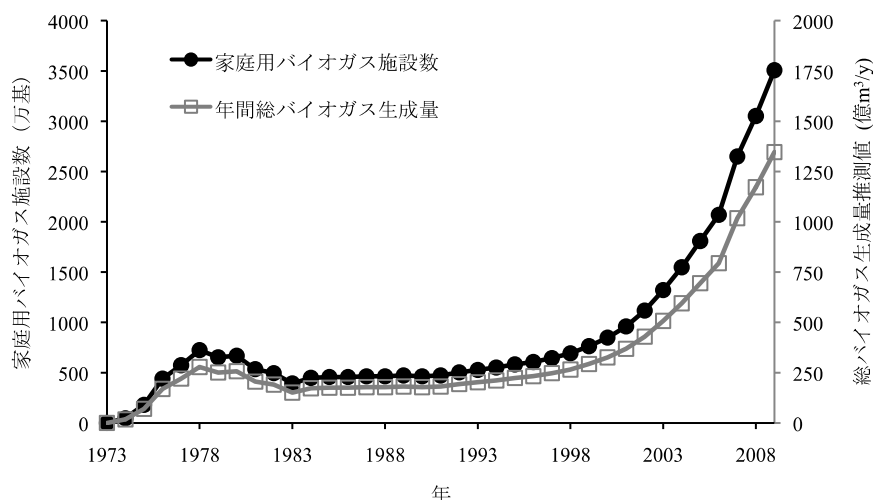


図59 中国全土に存在する家庭用バイオガス施設数の推移^{2,4,5)}と年間総バイオガス生成量。
バイオガス生成量は、年間の戸別バイオガス生成量を2009年の平均値380 m^3/y と仮定したときの推測値。

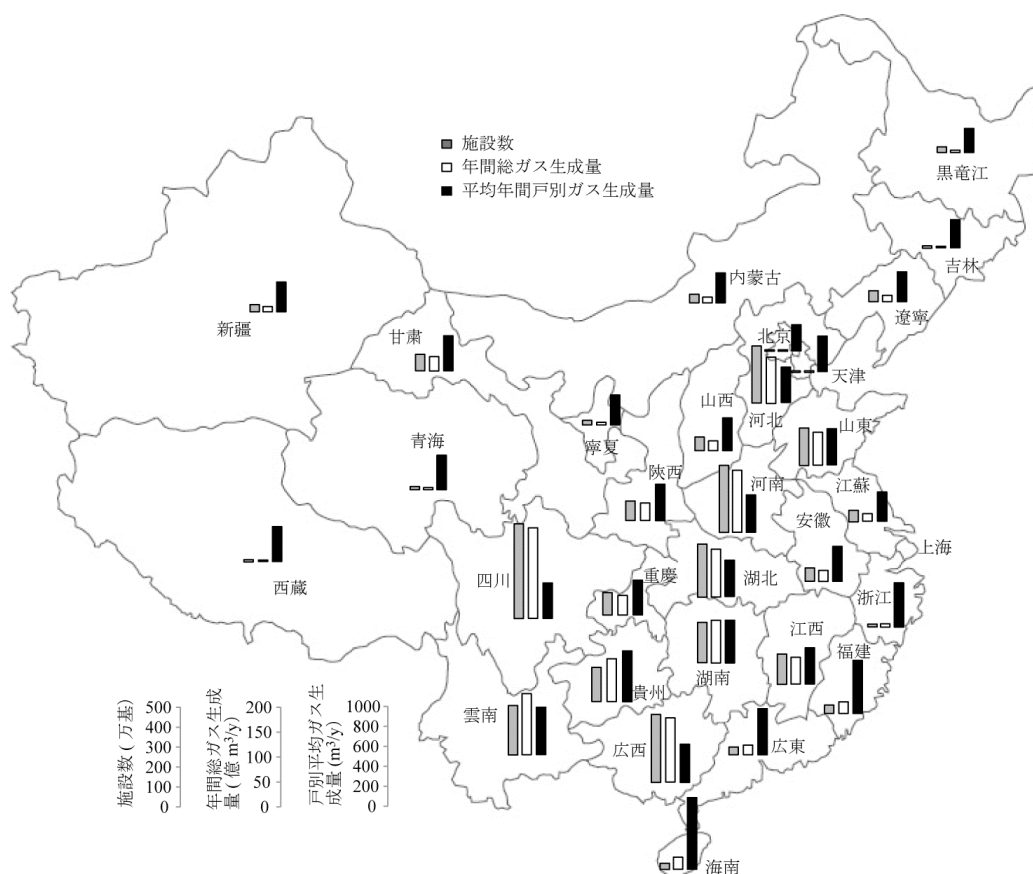


図60 各地区の家庭用バイオガス施設数、年間総バイオガス生成量および平均年間戸別バイオガス生成量²⁾。

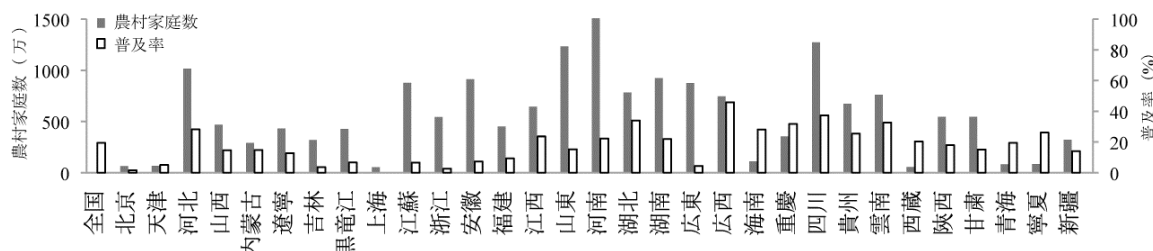


図61 各地区の農村家庭数と家庭用バイオガス施設普及率の試算結果^{2,6)}

(2) 無動力攪拌技術を用いた家庭用バイオガス施設の技術改善

1) 研究の目的

アジア地域、特に中国における汚水および有機性廃棄物の分散型処理技術の動向について調査を行い、地域によって採用される技術は多様であるものの、(1) 維持管理容易、(2) 無動力で処理可能、(3) 省スペースの3要素を重視した技術の開発・普及が実施されていることを確認した。とりわけ近年は、無動力・小規模のバイオガス施設の建設の伸びが顕著であり、その施設数は全国で4千万基を上回るまで増加した²⁾。このような普及の拡大は中国だけではなく、ネパールやベトナム等アジアの他地域でも報告されている³⁾。当バイオガス化装置に係る技術的な調査の結果、無動力で自動攪拌機構を持たないために固形物沈殿が生じることと、投入原料の分散が不十分であることから投入口付近で負荷増大による酸性化が生じる場合があることを発見した。本研究では、無動力であるという従来の特徴を損なわずに発生ガスを利用した自動的攪拌機能を備えたバイオガスリアクターを開発し、その攪拌の効果を明らかにするため、攪拌無しの装置との比較実験を実施した。

2) 実験方法

基質は、食堂残飯に重量比で 1.4 倍の水道水を添加し、カッターポンプで破碎したものをを用いた。基質は 4℃ の完全混合フイードタンクに貯留され、タイマー制御のポンプによって各反応装置へ毎日規定量が投入された。基質の平均 COD 濃度は $104.8 \pm 18.6 \text{ g/L}$ で TS および VS の平均濃度はそれぞれ $100.3 \pm 10.4 \text{ g/L}$ 、 $95.1 \pm 10.0 \text{ g/L}$ であった。開発した無動力攪拌装置の動作機構は図 62 に示す通りである。図 62 の R1 の装置左側の仕切り内部は気相部が密閉されガスが蓄積する構造である。また仕切りには U 字管が埋め込まれており、液及びガスが仕切りの反対側へ出入りできるようになっている。左側の仕切り内部ではバイオガスの発生によって液面が徐々に下降し、ガスが一定量蓄積して U 字管下部まで達したときに、蓄積されたガスはサイフォン現象により一気に反対側へ移動する。それと同時にガス蓄積により押し出されていた液体は引き戻される。このときに生じる液体の流動によって攪拌が行われる。有効容積 10 L の無動力攪拌装置 (R1) と同容積で U 字管と密閉チャンバーを持たない対照無攪拌装置 (R2) を実験に使用した。また、R1 と R2 の内部に分布する汚泥の性状を把握するため、各リアクターには流入口付近から P1 ~ P9 まで合計 9 箇所のサンプリングポートが取り付けられている (図 63)。R1 と R2 の温度は温水循環で 35℃ に保持した。

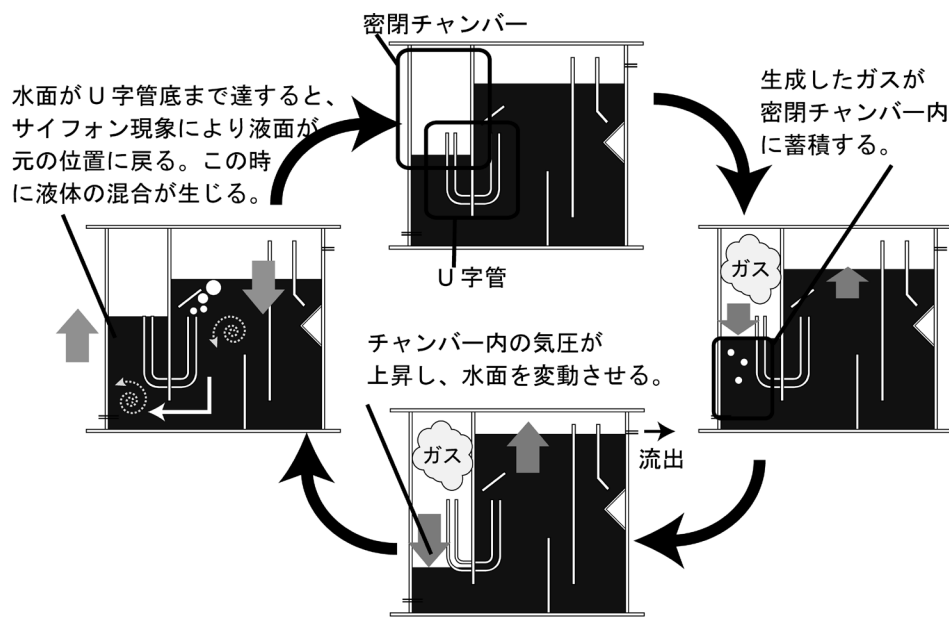


図 62 開発装置の攪拌機構 (R1)

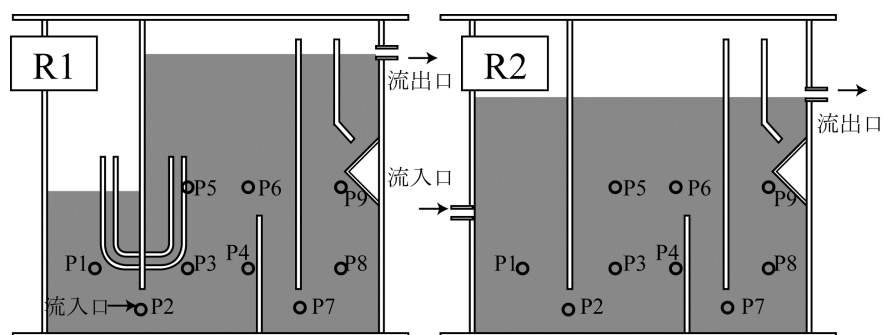


図 63 実験装置の概要図

3) 実験結果と考察

図 64 は R1 と R2 における原料の滞留時間 (HRT)、COD 容積負荷および槽容積あたりのガス生成速度の経日変化を示している。最初は HRT60 日からスタートしたが、グラフには HRT30 日の期間からのデータを記載している。HRT は 30 日、15 日、10 日、7.5 日の順に次第に短縮しながら運転を行った。COD 容積負荷は、それぞれの期間 2.9 ~ 3.8 $\text{kg/m}^3/\text{d}$ (HRT30

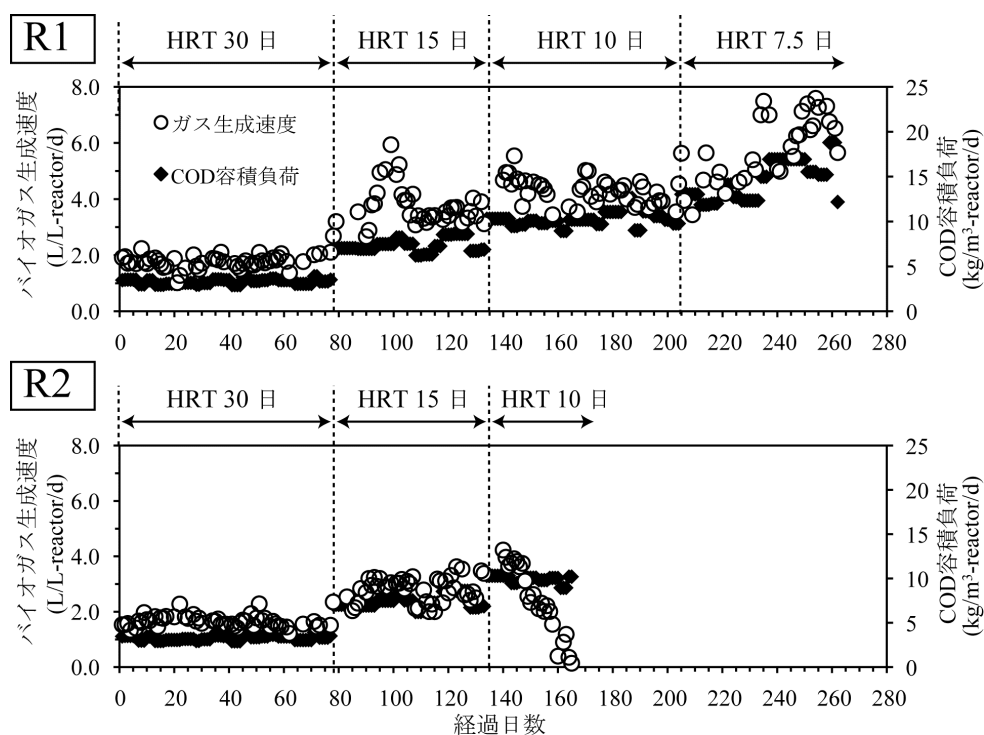


図 64 実験期間中の COD 容積負荷とバイオガス生成速度の推移⁷⁾

日)、 $6.9 \sim 8.7 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ (HRT15 日)、 $8.9 \sim 12.6 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ (HRT10 日)、 $11.9 \sim 18.2 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ (HRT7.5 日) の範囲で推移した。R1 では HRT30 日から HRT7.5 日まで、負荷とガス生成速度が同時に増加しながら、各条件で一定水準の安定したガス生成速度が得られた。R2 では、HRT30 日と 15 日の期間には安定したガス生成が継続されたが、HRT10 日に切り替えてからすぐにガス生成速度が減少する傾向を見せた。槽内の pH は、ガス生成速度の減少に伴い、最低で 3.4 まで低下した。以上の結果は、サイフォン式無動力攪拌の導入によって、許容可能な負荷の水準が明らかに拡大されたことを実証している。

各 HRT 条件において、運転日数が HRT と同じ時間だけ経過した後を詳細データ取得期間と定めて、その期間のそれぞれの系列のデータの平均値をまとめた。流出液中の COD 濃度は、HRT 短縮に伴って全体的に増大する傾向が確認された。流入と流出の濃度から算出した COD 減量化率は、2 系とも HRT 短縮に応じて減少する傾向があった。R1 は HRT30 日の期間は平均 93.2%、HRT15 日の期間は平均 82.6% であったのに対し、R2 はそれぞれ 89.8%、81.3% であり顕著な差は認められなかったが、減量化された COD 分のメタン化率には大きな違いが現れた。HRT30 日、15 日において R1 は流入 COD のメタン化率は 92.1%、83.4% であったのに対し、R2 は、それよりも 10 ~ 20% 低かった。上で述べた R1 と R2 間で COD 減量化率に違いが生じなかったのは、流入した COD の一部が槽内に沈殿、蓄積されて排出されなかったためであると考えるのが適当である。実際に、HRT15 日の期間に P1 から P9 までのポートからサンプリングを行い、槽内の汚泥を分析すると、同時期において R1 では槽全体に渡ってほぼ均一な低い濃度 (約 20 g/L) で VS が分布しているのに対し、R2 では、R1 と比較して明らかに高い VS 濃度であり、かつ槽上部よりも下部の方が高い濃度であった。R2 槽上部における VS 濃度は 17 ~ 27 g/L、下部におけるそれは 89 ~ 112 g/L であった。これらのことから、サイフォン式無動力攪拌の導入は、有機物成分の沈殿蓄積を防ぐと共にメタン化率を上昇させることが明らかとなった。

4) まとめ

サイフォンを利用した無動力攪拌機構を有するバイオガスリアクターを作成し、連続実験を行ったところ、この攪拌機構を有する装置は、それが無い装置と比較して許容有機物負荷の約倍程度の上昇、原料中の有機物成分の沈殿蓄積の回避、10 ~ 20% のメタン化率上昇の 3 つ点で優れた性能が得られることが明らかとなった。

(3) 無動力攪拌バイオガス施設の実装スケールにおける流体力学シミュレーション

1) 研究の目的

前節においてサイフォンを利用した発酵ガスによる無動力の攪拌機構を利用したバイオガスリアクターを開発し、室内実験による性能評価を実施した。室内実験装置は容量 10 リットルであるが、アジア諸国で実際に導入されている装置は数 m^3 の容積を有している⁸⁾ ことから、そのスケール差は考慮する必要がある。本節では、無動力攪拌リアクターの実装を想定したデザインの確立を目的として、流体力学シミュレーションを用いた室内装置と実装装置との流体挙動の比較と、攪拌強度を決定すると考えられるサイフォン U 字管の長さによる影響を検討した。

2) 分析条件

本研究では、サイフォン式攪拌による槽内沈殿物の巻き上げをシミュレーションして比較することにした。室内実験装置は前節と同じスケール、実装装置のスケールは図 65 のようになっている。容積は $2 m^3$ を想定している。リアクターの内部には前節の実験結果を元にして粘度 $30 mPa \cdot s$ の均一な汚泥で満たされているとした。分析ソフトとして FLUENT 6.3 を用いて、Qi らの方法⁹⁾ に従い乱流モデルを解析した。

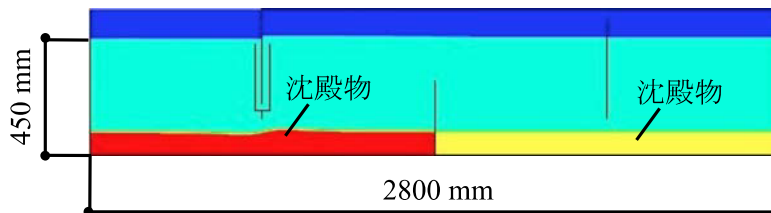


図 65 検討した実装スケールリアクターのモデル（濃青は気相部）

3) 実験結果と考察

サイフォン攪拌サイクルを通した室内用リアクター（A）と実装スケールリアクター（B）との攪拌状況を比較した結果が図 66 である。リアクターは仕切り板によって 4 つのチャンバーに分けられており、図の一番左のチャンバーから原料

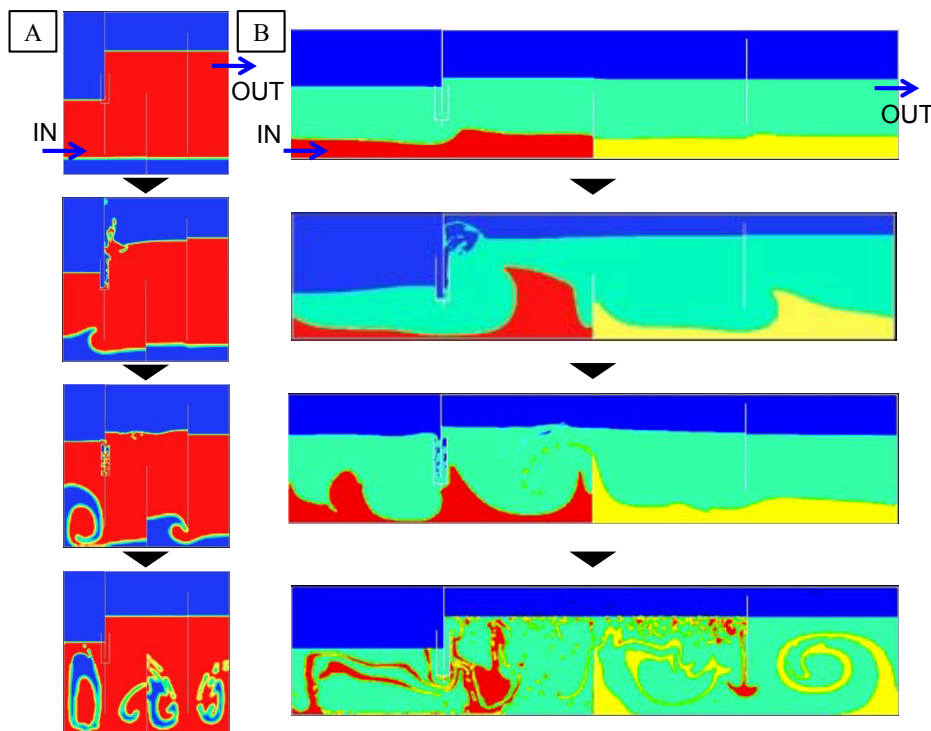


図 66 室内用リアクターと実装スケールリアクターとの攪拌状況の比較

が流入し、一番右のチャンバーから流出する。図の槽内汚泥が完全に沈殿したと仮定して、サイフォン式攪拌が生じた後の沈殿物の挙動を追跡した。結果から、サイフォン式攪拌によって沈殿物が巻き上げられること、異なる区間に存在する沈殿物同士が互いに混合されることが、AとBの両方において確認された。スケールアップにあたって、室内用と比較して横幅を広くとることになったが、図66(B)からわかるように、左側チャンバーの沈殿物と右側チャンバーのそれが互いに前後に移入して混合されることが示された。このことは、室内用リアクターで観察されたような槽内の均質化による負荷の分散と同様のことが実装スケールリアクターでも起こることを示唆している。以上のことから、室内用リアクターで確認された攪拌の効果と同様の効果が、実装スケールの装置においても期待できる事が示唆された。

次に、実装スケールリアクターにおけるU字管デザインが攪拌に及ぼす影響を調べるため、U字管の鉛直方向の高さを150 mm、210 mm、270 mmの3段階に設定してそれぞれシミュレーションした。図67は図66とどのような攪拌サイクル終了時における沈殿物の分布を示している。図から明らかなように、U字管高さの増大に従って、沈殿物の分散が促進されることがわかった。本リアクターでは、U字管の位置から横方向の距離が大きくなるに従い沈殿物巻き上げおよび分散の程度が小さくなる傾向がある。図67の3つの結果からは、沈殿物巻き上げの点から判断して、U字管長さが210 mm以上が望ましいと考えられる。

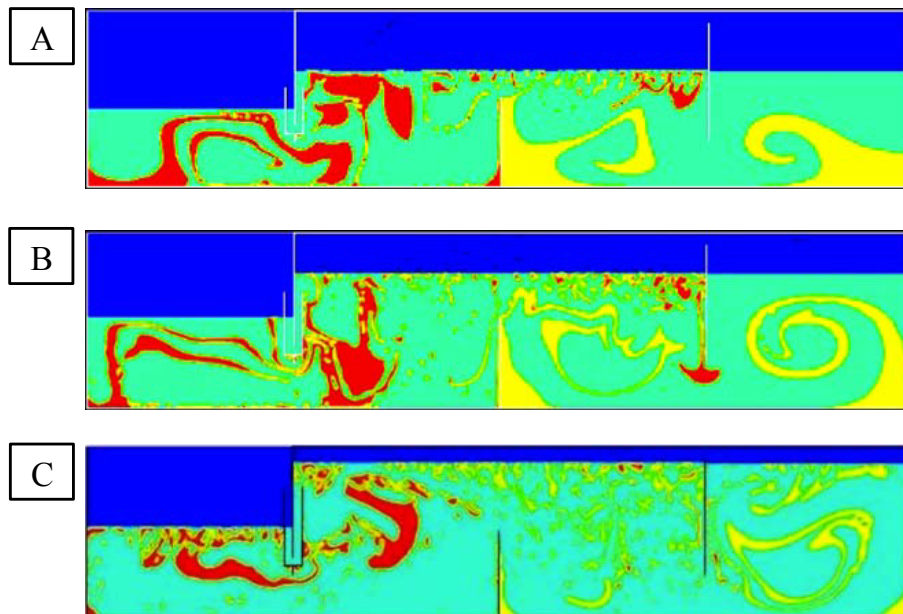


図 67 実装スケールリアクターにおける U 字管の長さが攪拌に及ぼす影響
(A は U 字管高さ 150 mm、B は 210 mm、C は 270 mm)

4) まとめ

無動力攪拌リアクターの実装を想定したデザインの確立を目的として、流体力学シミュレーションを用いた室内装置と実装装置との流体挙動の比較と、攪拌強度を決定すると考えられるサイフォンU字管の長さによる影響を検討した結果、実装スケールの装置においても、サイフォンによる十分な攪拌が期待できる事が示唆され、またデザインに際しては、攪拌強度を決定づけるU字管の長さが重要であることが明らかとなった。これを踏まえて実規模の装置を作成し、上記の実験室規模実験と同様の処理特性を実証できた。

(4) アジア地域における分散型排水処理システムの社会実装に関する研究

1) 研究の目的

アジア途上国地域では、衛生改善・液状廃棄物管理にかかる国際的取組は数多く存在するが、先進諸国とは異なる地域特有の制約条件によって必ずしも適切な技術選択がなされず、失敗事例も多いのが現状である。そこで、多くの制約条件を反映可能で、ユーザーにとって使いやすく、近未来のニーズを考慮した選択方法について検討を行った。

また、それらの地域においては、生活排水処理技術の性能評価方法が確立されていないため、価格のみが選択基準となっ

てしまい、仮に排水基準が存在しても適切な生活排水処理施設が整備される基盤がないのが現状である。さらに、日本国内では当然の前提条件となっている処理性能の担保や維持管理、汚泥の処理等も十分に整備されていない。浄化槽自体は散発的に海外での設置が進んでいるものの、上記のような理由から、社会実装というところまでは至っていないのが現状である。すなわち、生活排水処理の普及に向けては、様々な制度を含めたソフト的な支援を強化し、社会に浸透させていく必要がある¹⁰⁾。そこで、我が国の浄化槽システムに関する積極的な情報発信ができるよう情報を整理するとともに、技術を適切に評価するための仕組みについて検討を行った。

2) 研究の方法

技術選択システムについては、各種論文、報告書、ETVなどを参考に技術情報を収集・整理し、現地固有の技術や新規技術を加えることで、データベースをカスタマイズ・更新可能な状態で整備した。すなわち、種々の衛生改善・排水処理技術が有する適用条件のデータベース化を図るとともに、地域の制約条件を明らかにする質問集を検討し、プログラム処理により適切な技術を選択できるようなシステムの基本設計を行った（図 68）。

浄化槽システムのアジア地域での社会実装については、環境省の事業と連携し、浄化槽法や建築基準法などの国内法制度、浄化槽メーカー団体の自主規格、補助金の要件などの情報を集約・整理した。特に技術評価については、浄化槽の性能評価方法をベースとして、欧州や米国、豪州等の規格も参考にしつつ、アジア版の性能評価試験方法を検討するとともに、具体的事例として、インドネシア国において行政、メーカー、学識経験者等を集めたステークホルダー会合を開催し、試験方法および認証の仕組みについて議論を行った。

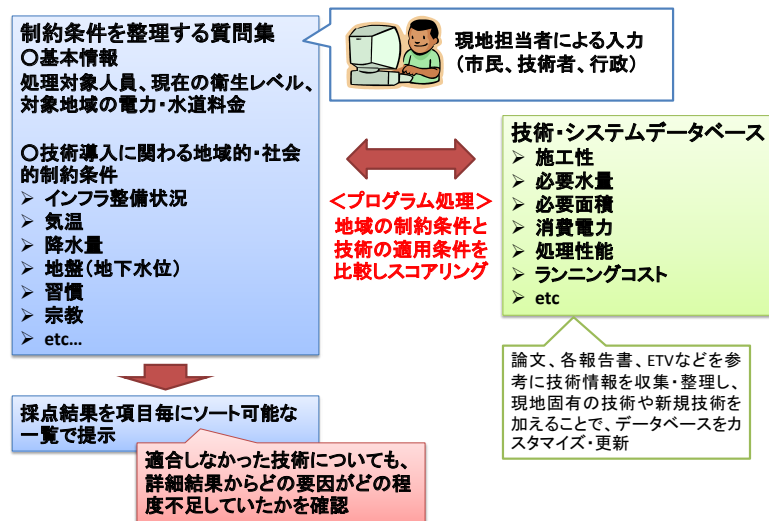


図 68 技術選択システムの基本設計

3) 結果と考察

技術選択システムの具体的なインターフェースは、技術を上部構造、処理・貯蔵方式、排出先の3つに分け、最適組み合わせの候補を一覧表示できるようにし、カウンターパートである水処理専門家に試行してもらった結果（図 69）、コンセプトおよび実際の結果について、途上国のカウンターパートより一定の評価が得られた。今後、様々な地域において試行・改良を行い、データを追加していくことにより、実用的な技術選択の方法になり得るものと考えられた。

排水処理技術の適切な性能評価については、我が国の浄化槽の性能評価方法をベースとして検討を行った。浄化槽は、主として浄化槽法および建築基準法により規定されているが、製品や方法がJIS規格になっているわけではなく、詳細な部分については、業界の自主規格や慣例に従っていることも多い。浄化槽の処理性能を明らかにする試験方法についても、（一財）日本建築センターの業務方法書およびその附属書として記載されている。そこで、性能評価実施機関等の協力を得て、これらの情報を集約・整理するとともに、インドネシアにおいて3回のステークホルダー会合（図 70）と主要関係者

の日本招聘を実施し、アジア地域で性能評価試験を実施する場合の要検討項目を以下のように抽出した。

- ・気候（気温・水温の年間トレンドの違い）
- ・生活排水原単位（トイレトーパーの不使用、風呂釜の不使用などの違い）
- ・原水流入パターン（生活様式の違い）
- ・排水基準や分析方法（水質項目の違い）
- ・その他

最も大きな要因としては、気候が挙げられるが、例えば、ジャカルタの気温は一年を通して約 30℃であり、現地調査の結果では、生活排水の水温も同程度であったことから、汚泥の貯留期間等について、現地の大学・研究機関とともに科学的な調査を進めることとした。また、これまでの議論によって、性能評価の考え方や試験内容、制度化プロセス、制度の運用など個別具体的な検討事項についてインドネシア関係者と議論を重ねることで、制度化・社会実装に向けて大きく前進させることができた。

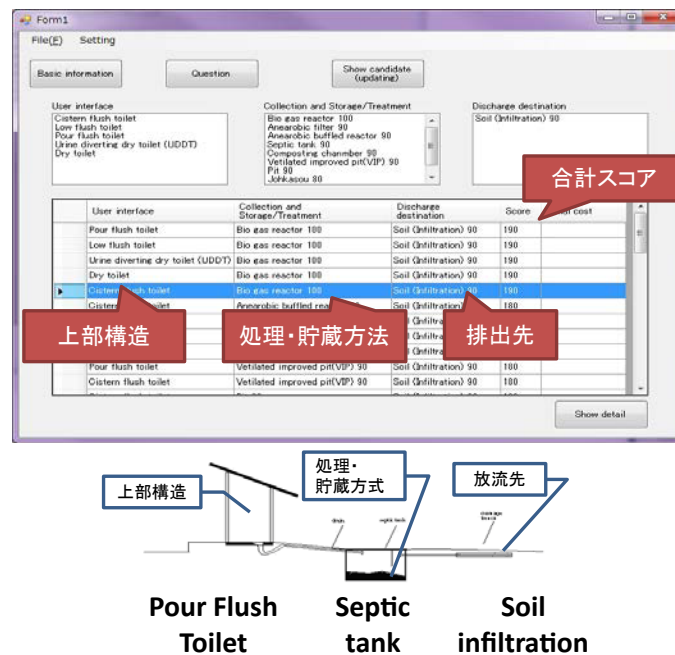


図 69 途上国のカウンターパートでの試行例



図 70 インドネシア国におけるステークホルダー会合の様子

4) まとめ

アジア途上国地域における生活排水処理の社会実装に向けて、様々な制度を含めたソフト的な支援について検討し、特に処理技術の適切な性能評価の仕組みについて、インドネシア国を具体例として民間企業、行政を含めたステークホルダー会合を実施した。これにより、性能評価の考え方や試験内容、制度化プロセス、制度の運用など個別具体的な検討事項について議論を深め、制度化・社会実装に向けて大きく前進させることができた。

2.2.3 アジアの都市に適用可能な廃棄物管理計画支援ツールの開発

(1) Municipal solid waste (MSW) の発生原単位に関する文献レビュー

Municipal solid waste (MSW) の発生原単位（一人当たりの発生量）は重要かつ基本的な環境影響評価指標のひとつであるが、廃棄物発生量の度合いを経年的に評価したり、他地域のものと比較したりする上で有用な指標である。国レベル及び自治体レベルの MSW 発生原単位に関して概観し、特に途上国における MSW 発生量データの信頼性に関する課題及び解決策を提示した。建設廃棄物を含むか否か、容器包装廃棄物を含むか否か、有害廃棄物を含むか否か等、MSW の法的な定義は国ごとに異なるが、文献レビューの結果、MSW とは「自治体によって公共サービスとして管理される廃棄物」と概念化することができる（図 71）。一人当たり GDP と MSW 発生量との正の相関を論じている既往文献が散見されるが、論じるべきなのは相関ではなく、一人当たり GDP が低い（特に 20,000 米ドル以下）の国では MSW 発生量が分散していて、MSW 発生量データの信頼性を問うべきである（図 72）。途上国で MSW 発生量データの信頼性が低い理由としては、トラックスケール（台貫）が整備されていないか、MSW 収集人口が正確でなかったり、農村から都市への移住人口が不明だったりなどが挙げられる。トラックスケールが存在しないのであれば、MSW 運搬車両ごとのデータをできるだけ正確に把握して MSW 発生量を推計することが MSW 発生量データの信頼性向上につながる。また、MSW 発生原単位を推計する場合には統計人口を用いるのではなく、MSW 収集地域と移住人口を勘案して MSW 収集人口を推計する必要がある。特に移住者は都市の周辺部へ流入して都市が肥大化する傾向があり廃棄物の収集量も急増傾向であるが、そのような肥大化地域における収集人口に留意するべきである（図 73）。

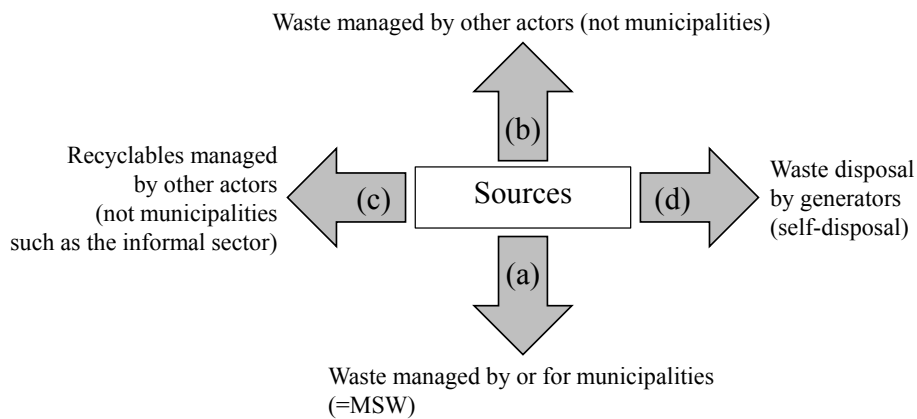


図 71 MSW とそれ以外の物質フローの概念

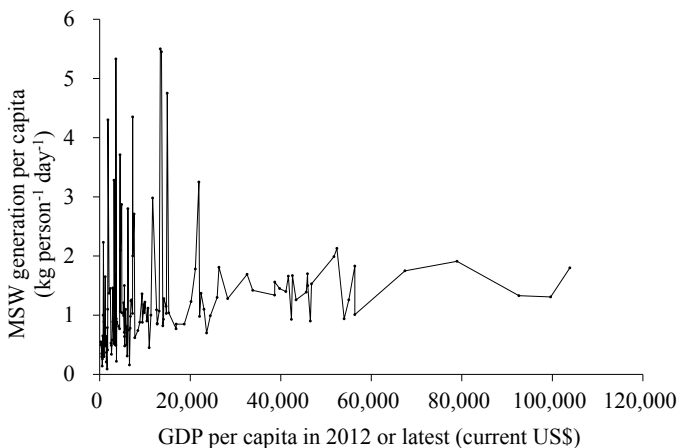


図 72 156 カ国における MSW 発生原単位及び一人当たり GDP

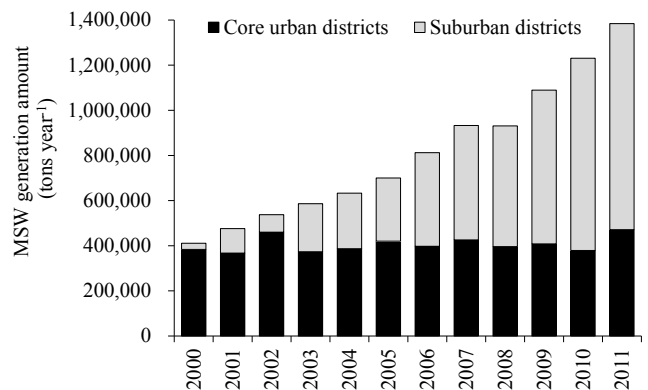


図 73 ベトナム国ハノイ市における廃棄物収集量の推移

(2) 三成分（水分、可燃分、灰分）に着目した排出源分別と適用可能な廃棄物処理技術

アジア地域（特に途上国）では都市廃棄物のほとんどは中間処理を施さずに直接埋立処分されている。その結果、首都などの人口増加が著しい大都市においては近隣の埋立処分場の確保が極めて困難になりつつある。また、都市廃棄物には生ごみが大部分を占めていて、埋立処分場で生ごみに起因する様々な環境影響を低減することが喫緊の課題となっている。生ごみに水分が多く含まれている影響で、アジア地域における都市廃棄物の発熱量は欧米と比較しても低く、焼却処理が適用できない場合が多い。そこで、住民による生ごみの排出源分別を導入した場合のごみ質の変化を三成分（水分、可燃分、灰分）を用いて可視化し、堆肥化、RDF化、焼却処理の廃棄物中間処理技術を適用するための分別度合を明らかにした。図74および図75に自然可能な焼却処理の適用範囲、発電可能な焼却処理の適用範囲を示す。ケーススタディとしてベトナム国ハノイ市の家庭系廃棄物を調査対象とし、物理組成及び三成分を測定した。分別シナリオとして、シナリオⅠ：可燃性及び不燃性、シナリオⅡ：生分解性及び難分解性、シナリオⅢ：可燃性、不燃性及び生分解性の3種を設定した（図76、図77、図78）。その結果、生ごみを分別し、その他ごみを焼却処理するとした場合、シナリオⅢを選択するのが最も効果的であることが分かった。一方で、生ごみを再資源化する際、堆肥化処理する場合には夾雑物の混入を限りなくゼロにすることが需要側（農業）から求められており、家庭系廃棄物中の生ごみを完璧に分別することは現実的に非常に難しい。

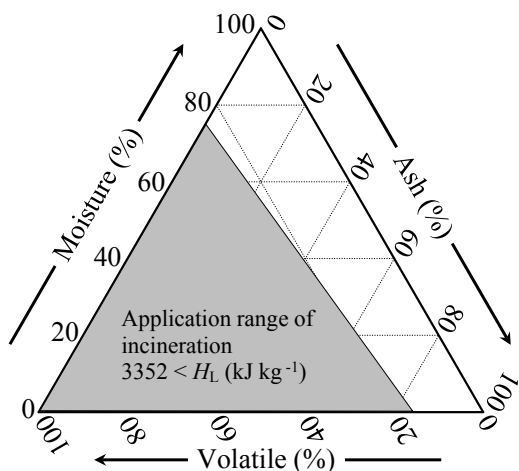


図74 自然可能な焼却処理の適用範囲

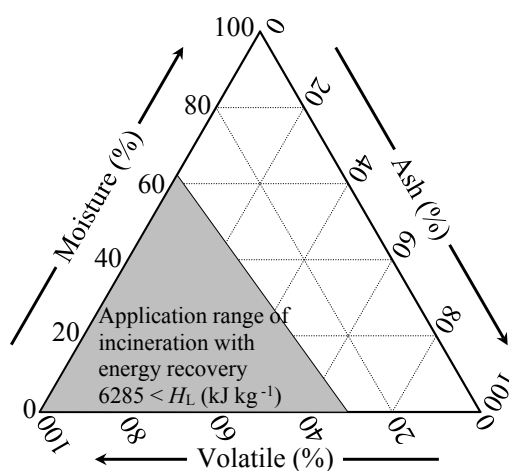


図75 発電可能な焼却処理の適用範囲

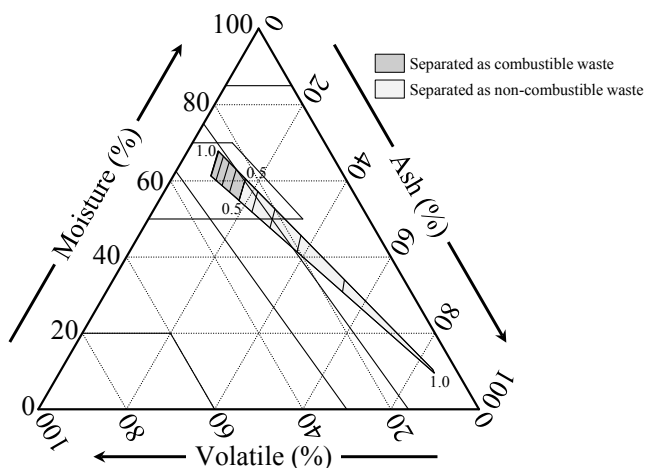


図76 シナリオⅠにおける分別度合と三成分の変化

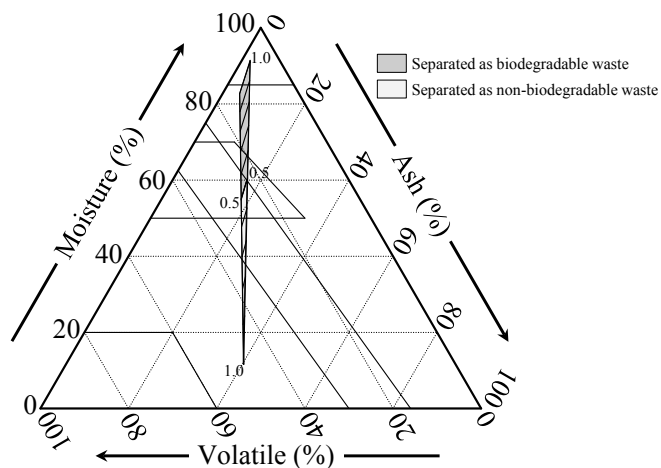


図77 シナリオⅡにおける分別度合と三成分の変化

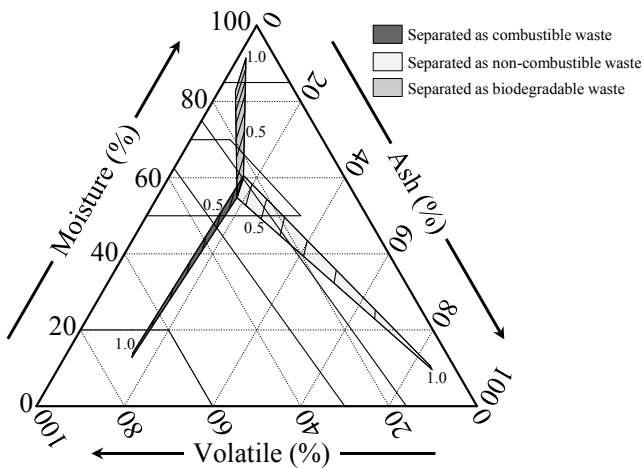


図 78 シナリオ III における分別度合と三成分の変化

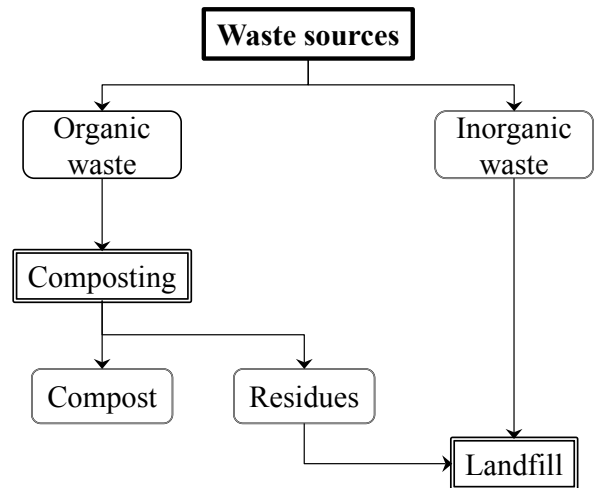


図 79 ベトナム国ハノイ市の分別収集システム

(3) 住民の分別行動に関する主要変数と対策シナリオ

アジア新興国では都市廃棄物の主要構成要素である生ごみ（厨芥類：食べ残しや調理くず等）の適切な管理が求められているが、実際には多くの自治体で未処理のまま埋立処分されているのが実情である。住民による分別は生ごみの適正処理に貢献し得る手段のひとつと考えられる。2007年よりベトナム国ハノイ市ではモデル地域において生ごみの分別収集が実施されている（図 79）。住民の分別行動に関する3つの主要な変数（分別参加率、適正分別率、適正廃棄率）を提示し、モデル地域における分別収集の現状を把握するため、モデル地域内の558世帯から廃棄される家庭ごみを収集し、物理組成を調査した。分別参加率とは、分別対象世帯のうち実際に分別収集に参加している割合、適正分別率とは分別世帯が適正に分別するごみの割合、適正廃棄率とは非分別世帯が適正に廃棄する割合と定義した。調査の結果、分別参加率は0.138、適正分別率は0.661、適正廃棄率は0.667であった（図 80）。次に分別収集に関する6つの仮想的な対策シナリオを提示した。図 81 は生ごみとして分別収集されたごみの質を縦軸に、量を横軸に取った図で、住民の分別行動により質と量は縦軸と

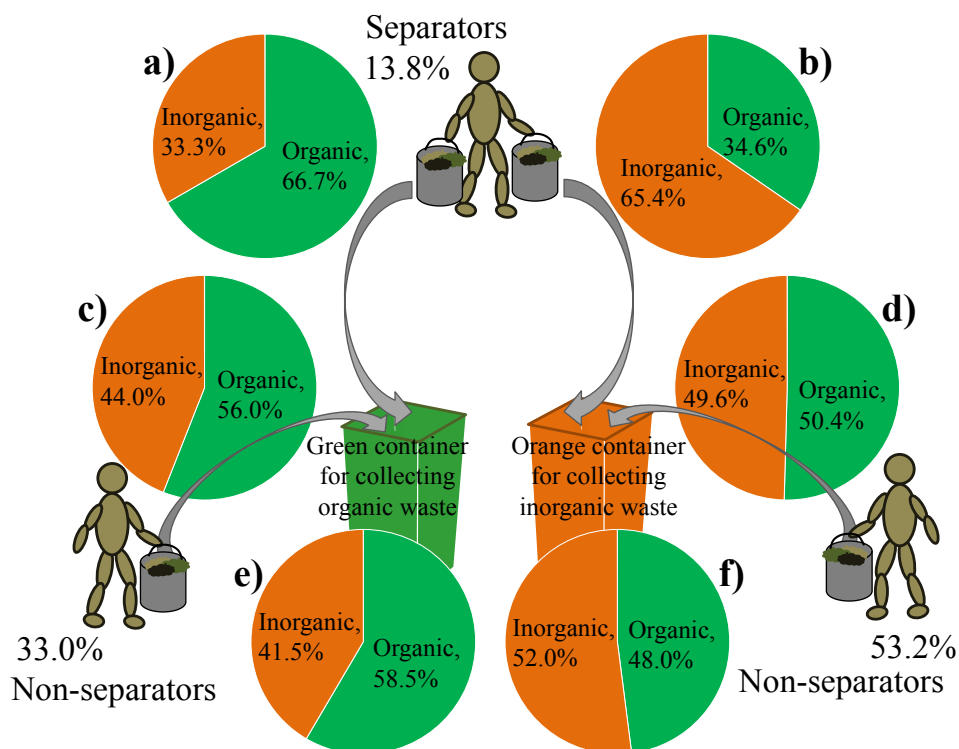


図 80 ベトナム国ハノイ市の住民による分別行動の実態

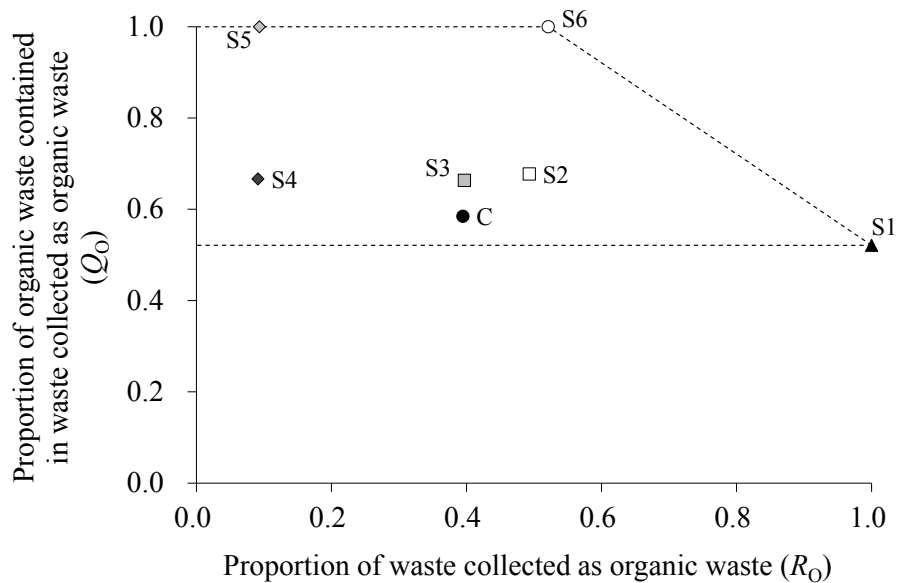


図 81 生ごみ分別収集に関する対策シナリオ

点線に囲まれる領域を移動する。目標とする分別収集ごみの質と量は自治体が有する、あるいは計画する処理施設の能力に依存するが、どのレベルの量と質を確保すべきなのかといった達成目標を自治体は計画段階で設定すべきで、本研究で提示した枠組みは自治体の意思決定に貢献し得ると考えられる。

引用文献

- 1) IPCC (2016) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan
- 2) 中国農業部 (2010) 中国農業統計資料 2009, 中国農業出版社, 北京.
- 3) 戚智勇, 劉瑜, 劉木求 (2009) メタンガスの活用による農山村振興の実態と課題 - 中国湖北省恩施市を事例として -, 農村計画学会誌, 27, 203-208.
- 4) 中国農業部 (2008) 中国農業統計資料 2006, 中国農業出版社, 北京.
- 5) Chen, Y., Yang, G., Sweeney, S., Feng, Y. (2010) Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 545-549.
- 6) 中国国家统计局 (2009) 中国統計年鑑 2009 年版, http://www.spj.gov.cn/statistics/yb09_index.html (2011.7 参照)
- 7) Kobayashi T., Wu Y., Xu K-Q., Li Y-Y. (2013) Effect of Mixing Driven by Siphon Flow: Parallel Experiments Using the Anaerobic Reactors with Different Mixing Modes. *Energies*, 6 (8), 4207-4222.
- 8) 小林拓朗, 徐開欽, 李玉友 (2011) 中国農村地域における家庭用バイオガス施設の現況, 用水と廃水, 53 (9), 707-717.
- 9) Qi, W.K., Hojo, T., Li, Y.Y. (2013) Hydraulic characteristics simulation of an innovative self-agitation anaerobic baffled reactor (SA-ABR), *Bioresour. Technol.*, 136, 94-101.
- 10) 蛭江美孝 (2014) 浄化槽技術・システムのパッケージでの海外展開, 用水と廃水, 56 (10), 741-745.

2.3 地域特性を生かした資源循環システムの構築

2.3.1 プロジェクトの目的

2008年に策定された第二次循環型社会形成推進基本計画では、第5章第2節の「国内における取組」のなかで「地域循環圏を踏まえた循環型社会づくり」が掲げられた。ここでは、「地域の特性を活かし、かつ、循環資源の性質に応じて最適な規模の「地域循環圏」の形成を推進し、地域活性化につなげてい（く）」ことへの言及がされ、「温暖化対策や生物多様性の保全などの環境面や希少性や有用性などの資源面、さらに輸送効率や処理コストなどの経済面の各観点から、循環資源ごとに地域の特性を踏まえて最適な循環の範囲の検討を進めてい（く）」ことが述べられている。2000年の循環基本法の成立や個別のリサイクル法などの整備によって、国全体では循環型社会の取組が進んでいるが、各地域での取組は必ずしも十分に進んでいない状況に対して、何らかの対応や取組の進展が求められており、基本計画のなかで指摘するに至ったといえる。

そこで、プロジェクト3では、地域特性を活かした資源循環システムの構築のためのシステム設計・実装を通じて、地域活性化や地域振興と調和した循環型社会づくりに貢献することを目的とした。

プロジェクト3は、「地域特性を活かした資源循環システム構築の枠組み設計」と「地域特性を活かした資源循環の設計・評価・実装」という2つのサブテーマから構成される。サブテーマ1では、循環型社会づくりにおいては多様な地理的規模で適正な資源循環システムを構築していくことが必要であることから、廃棄物等の発生の状況、産業の立地状況、様々な主体の関係性等の地域特性を活かした資源循環システムを構築するための枠組みについて検討する。地域特性を活かした地域づくりの動向を文献調査したうえで、地域において資源循環システムを設計・形成するための枠組みとして、地域資源循環システムの目指す5つの方向性とそのシステムを社会実装するためのアプローチに資する視点を提示する。サブテーマ2では、いくつかの循環資源（廃棄物系バイオマス、金属資源など）を題材にしながら、地域における適正な資源循環システムの設計・評価を行う。この際、循環資源の発生量・存在量や品位等の違い、地域の産業・プロセスの立地状況の違い、再生物の地域における需給の違い等を考慮するため、必要なデータの収集・整備も行う。また、地域において資源循環システムを実装するために実際のヒストリー分析も行う。最後に、これらの検討で得られた成果を、地域のステークホルダーに還元して社会実装につなげるため、実務者向けのガイド（手引き）を作成する。

2.3.2 地域特性を活かした資源循環システム構築の枠組み設計

(1) 地域特性の活用に関する動向レビュー

地域特性を活かした資源循環システム構築の枠組み設計のために、まず、地域特性の活用に関するレビューを行い、それに基づいて、本プロジェクトで検討する地域循環システムの方向性を提示した。

まず、環境分野から動向を述べる。2006年に策定された第三次環境基本計画においては、重点分野政策プログラムの8つめに「環境保全の人づくり・地域づくりの推進」が挙げられ、そのなかで、「『地域環境力』を持つことにより、地域の特色をいかした、独自性を持った豊かな地域を創っていくことを目指す」とされている。この地域の「地域環境力」については、検討委員会での調査検討が実施され、「地域環境力」の概念整理と、それを把握する方法が整理されている。まず、「地域環境力」とは、当該地域の独自性を持った豊かな地域（環境・経済・社会の3観点で統合的に向上する持続可能な地域）づくりのための環境保全に資する活動・行動を、[1] 住民、市民団体、企業・事業者、行政など多様な主体が、[2] その地域の特性を的確に把握・活用しながら、[3] 互いに連携・協力して、進めやすい状況・潜在力が、当該地域にどの程度整っているかを表す概念とするとされている。また、把握する方法としては、「自主評価チェックシート」が提示されている。この動向は2012年に策定された第四次環境基本計画でも踏襲されており、今後の環境政策の展開の方向の1つに、「地域をはじめ様々な場における多様な主体による行動と参画・協働の推進」が提示されている。地域における人的資源やそのネットワークで社会関係資本の活用を重視しているといえる。

前述した2008年の第二次循環型社会形成推進基本計画では、地域循環圏の中長期的なイメージが第2章第2節で述べられており「経済社会の物質循環は画一的なものばかりでなく、地域の特性や循環資源の性質に応じて、最適な規模の循環を形成することも重要」とし、「地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては

循環の環を広域化させていくといった考え方に基づく『地域循環圏』が、廃棄物の適正処理と不法投棄防止を大前提に幾重にも構築され、地域間での連携を図りつつ、低炭素社会や自然共生社会とも統合された持続可能な地域づくりが進みます。」とされている。また、この計画の後継である2013年の第三次循環型社会形成推進基本計画では、「地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては循環の環を広域化させていくという考え方に基づく『地域循環圏』が重層的に形成されるようになる。」と述べられている。地域の特性を考慮することと、いわゆる補完原則をふまえることに加え、地域の重層性が指摘されており、さらに、地域の資源をいかに活用するかと地域での適正な物質循環に注目がある。

国土形成という観点から、全国総合開発計画と国土形成計画における記述も確認する。第三次全国総合開発計画では、「地域特性・歴史的伝統的文化を尊重する」という視点が盛り込まれた。その後、2005年の国土総合開発法が国土形成計画法へと改正され、現在では、全国総合開発計画の代わりに国土形成計画が策定されている。計画策定にあたっては、量的拡大から成熟社会型の計画への移行、ならびに国主導から二層の計画体系への移行などが掲げられている。後者の計画体系は、全国計画と8つの圏域の広域地方計画で構成されるものである。広域地方計画の策定により、自律的かつ特色ある地域の発展が推進されることが望まれている。全国計画においては、5つの戦略的目標が提示され、その一つが「持続可能な社会の形成」である。そこでは、「暮らしやすい都市圏の形成」や「地域資源を活かした産業の活性化」などのサブテーマが示されている。また、他の戦略的目標として「美しい国土の管理と継承」が提示され、サブテーマの一つに「循環と共生を重視し適切に管理された国土の形成」が挙げられている。ここでは、「自然界の物質循環だけでなく、経済社会活動を通じた物質循環、既存の国土のストックの有効な活用等、人間活動と自然のプロセスとが調和した物質循環の構築を図ることや、危機的な状況にある生物多様性の維持・回復等、人と自然の共生を図ることが重要な課題」であることが指摘されている。こちらでも地域の資源の活用と物質循環に着目があり、加えて、インフラや施設などのストックの有効活用という視点も加わっている。

産業の観点からも文献レビューを実施した。地域産業の取組状況を調査した結果（例えば、関¹⁻³⁾がある。）をふまえると、付加価値を付与するタイプのビジネスモデルが地域づくり・まちづくりに大きな役割を果たしているといえた。これは、付加価値により地域の相対的優位性を高める戦略と理解することもできる。

続いて、資源循環分野の動向として、バイオマスタウン構想書に着目した。計237のバイオマスタウン構想に記載されている定性的項目を類型化・集計したところ、バイオマスタウン構想書には、①基幹産業、②バイオマス利活用方法-製品、③取組段階、④利活用目標、⑤期待される効果、⑥構想策定前の検討状況、⑦これまでの取り組み状況、⑧これまでの推進体制、⑨これまでの関連事業・計画、⑩既存施設、という10の項目が含まれていた。このうち、⑤期待される効果を類型化した集計結果を図82に示す。同図に示すように、社会経済面では、産業の活性化や雇用創出が多く期待されている

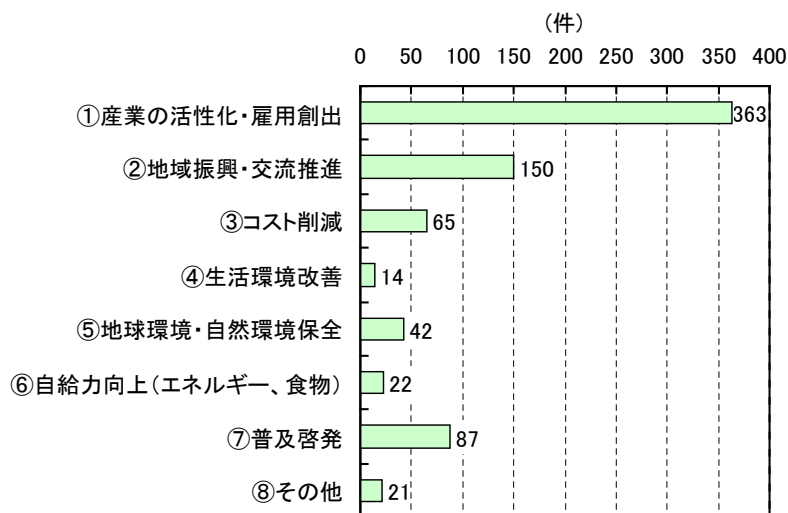


図82 バイオマスタウン構想で示された期待される効果（社会経済）の件数

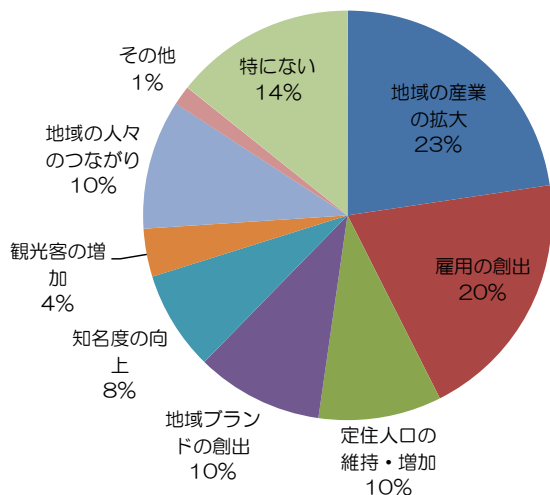


図 83 バイオマス利用に期待すること

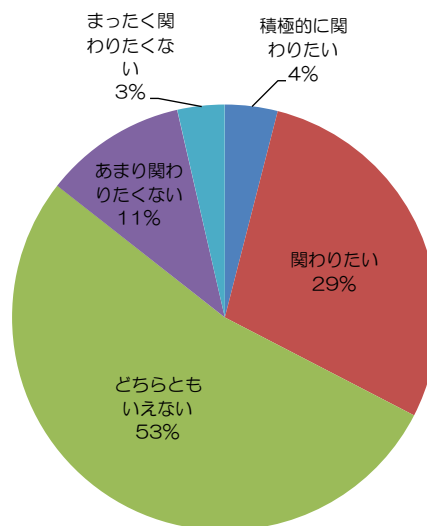


図 84 バイオマス利用に関わりたい程度

ことが分かった。次いで地域振興や交流促進となっており、この結果からも自治体の地域活性化への期待が分かる。また、参考として、バイオマス利用に対する住民の認知度について、インターネットを通じたウェブ調査を行った。アンケート調査会社のモニターを利用し、茨城県民 500 人を対象とした。まず、「地域でバイオマス利用を聞いたことがある」と答えたのは全体の 16% であり、一般市民へのバイオマス利用の認知度はあまり高くはないことがうかがえた。より詳細な質問への回答の集計結果の一部を図 83 および図 84 に示す。図 83 の「バイオマス利用に期待すること」では「地域の産業の拡大」や「雇用の創出」で半分近くを占め、地域経済への効果が期待されているが、図 84 の「バイオマス利用に関わりたい程度」では「どちらともいえない」が半数以上を占め、バイオマス利用の認知不足がうかがえる。

文献レビューを進めるなかで、「地域活性化」といった耳に聞こえのよい言葉に引っ張られ、十分な概念化や実効性のある取組としての検討がされないケースも少なくなかった。次項では、文献レビューで得られた視点をふまつつ、目指すべき地域循環システムのコンセプトや方向性を検討した結果を述べる。

(2) 地域循環システムの方向性

今後の地域循環システムの方向性を表 6 に示す。①は合理的思考に基づいて、既存のシステムや産業・技術を駆使し、地域における資源利用効率を高めていくものである。生ごみや使用済み携帯電話など、個別の循環資源をどのようにリサイクルしていくかという論点も含まれるが、それぞれに回収・リサイクルシステムを構築しては非効率になりがちであり、性状が類似しているものは一括して処理するという検討やストックである地域に既存する産業や技術の活用も含まれる。ただし、これは経済成長を志向してきた効率性重視の考え方を転換したものとはいえない。効率性に加えて、持続可能性の視点を組み込むことも必要と考えられた。これが②の方向性であり、地域の資源を持続的に有効活用するという方向性である。物質的な地域資源には、地域で産出される木材などの林産物や水産物、農産物のような天然資源も含まれるが、廃棄物も循環資源として含まれるものとする。循環資源の需給をマッチングさせる取組はこの方向性に含まれる。

このようなシステム的な視点だけでなく、地域の人的資源にも着目する、すなわち、人々を活かす、人と人とのつながり・連携を活かすという③の視点も重要であろう。これまでの地域づくりではこの点は重視されており、システムを担う人々への着目は欠かせない。また、地方創生の議論や 2015 年 12 月に提示された欧州の循環経済 (circular economy) の議論でも雇用という視点も大きな位置づけが与えられている。地域雇用効果を最大化するという視点も大切になる。さらに、日本では人口が高齢化・減少していくという課題にも着目すれば、社会変化に適合していく時間的最適化の④の視点も大切と考えられる。また、モノには資源という側面と有害性という側面の両方の性質を有するモノがあり、そのようなモノの扱いにも注意が必要で、汚染・被害防止の観点からクリーンな資源循環という⑤の方向性も重要と考えられた。プロジェ

表6 今後の地域資源循環システムの方向性

キーワードと目標	システムの方向性
①統合化 資源利用効率の最大化	産業・技術連携
	既存システム活用
	循環資源の一括処理
②地域資源 持続可能な範囲での利用効率最大化	地域資源の持続的有効活用
③地域活性 人的資源・社会関係資本の最大活用	地域雇用効果最大化
	地域のヒューマンネットワーク・ソーシャルキャピタル活用
④時間最適化 人口減少への対応	社会変化に適合するシステムの戦略的遷移
⑤クリーン・サイクル 汚染・被害防止の確保	有用物・有害物の統合的管理

クト3ではこれら全てに留意して議論を進めつつも、実際の検討や分析は、循環資源分野に関連が深く、かつ有害性という大きく異なる視点での検討を含まない①③④に主に着目することとした。

併せて、地域特性の概念面についても具体的な内容を検討した。図85に示すとおり、地域特性には、資源循環に関係が深い地域特性と一般的な地域特性があり、それらを示すデータが存在する。このデータのことをここでは「地域プロフィール」と呼ぶこととする。前者の地域プロフィールには、地域における循環資源の排出量（排出プロフィール）や地域天然資源の量（地域資源プロフィール）、それら資源の需要量（需要プロフィール）といった物質フローに係る地域プロフィールが含まれる。また、資源化施設やその技術的内容、循環資源の収集システムといった産業や技術に係る産業・技術プロフィールがある。後者の地域プロフィールは一般地域プロフィールというべきもので、人口・人口密度、地域区分として都市や農村、地域に存在している産業や当該地域が依存している産業、地域の所得水準や消費性向、商圈、さらに地域の文化などが含まれる。他方、地域特性が絶対値で特性の強度が決まるものと、他地域との相対値で決まるものもあると考えられる。これらをふまえて、2.3.2(1)では地域プロフィールデータの収集と分析を実施した。

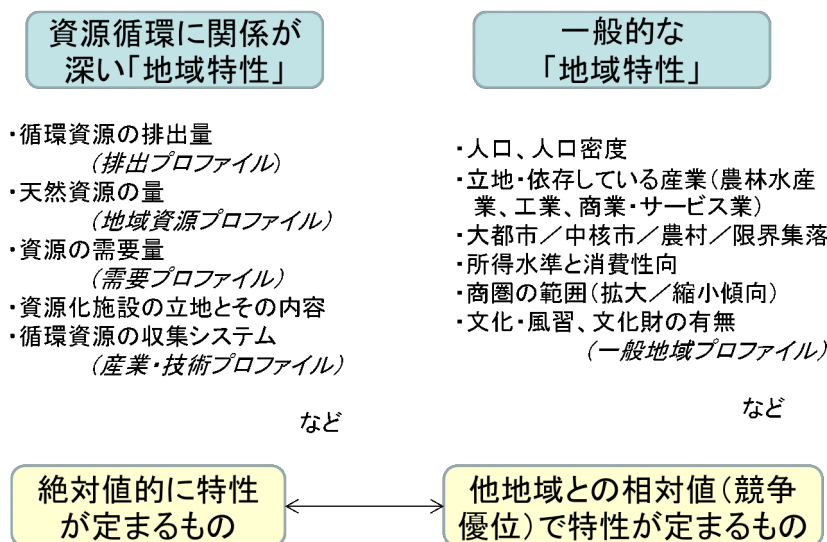


図85 地域特性の種類

(3) バイオマスの循環利用と地域活性化に関する分析

資源の中でも地域での循環と親和性の高いバイオマスに注目し、バイオマス利用と地域活性化の関係について分析した。まず、KJ法を参考にしたワークショップを実施し、関連する要素を自由発想で網羅的に列挙した。ワークショップの参加者は本研究事業の代表者・分担者・協力者で、従来のバイオマス関連研究の経験と知識を反映させた。自由発想の後、要素をグループ化し、見出しを付けて関係性を検討し、因果関係の図式（図 86 参照）を得た。図 84 を分析すると、3箇所では因果関係の循環構造が形成されていることが分かる。これは、要素間で効果が促進されることを意味する。例えば、地域経済が拡大すると、雇用が拡大し、定住人口が確保され、再び地域経済の拡大が促進される。また、2つ以上の循環に関わる要素もあり、同図では「地域経済」「定住人口確保」「住民満足度向上」である。これらは地域活性化を考える上で特に重要な評価軸として捉えることができる。また、循環を構成する「雇用拡大」「コミュニティ強化」「行財政健全化」「住環境改善」が同時に促進されることが重要である。

また、バイオマス利活用による地域活性化の評価軸として、社会的な側面に注目した。特にソーシャル・キャピタル (SC) の概念に着目し、千葉県香取市、岩手県紫波町、北海道標茶町、北海道稚内市、福岡県大木町の5市町において、バイオマス利活用と SC、地域活性化の関係について、調査を行った。SC の測定については、従来の Putnam 型の測定方法に対する批判的な検討を踏まえ、地域住民の SC を Resource generator method (RGM) を用いて測定した。さらに、各地で行われているバイオマス利活用事業の認知度や関与度、バイオマス利活用事業を通じての人間関係・信頼関係の変化、地域への愛着、地域への満足度、地域への今後の定住意思についても併せて調査した。結果は以下のとおりである。

まず、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、新たな地域の信頼関係・人間関係（ネットワーク）の構築機会となっていた。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、事業関係者が極めて少なかったため、バイオマス利活用と SC との関係を経験的に証明することはできなかったが、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や稚内市では、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、回答者の約1割が事業を通じて知り合いが増え、知り合いとの付き合いが深くなったと回答した。また、稚内市の調査では、約14%が事業を通じて知り合いとの付き合いが深くなったと回答した。つまり、生ごみ利活用事業のようにバイオマス利活用事業に住民の多くが関与している場合、地域のネットワークの量・質に変化をもたらすことが示唆された。次に、質・量ともに向上したネットワークは、地域住民のソーシャル・キャピタル (SC) を強化し、SC が強化されることで、地域活性化の重要な要素である地域への

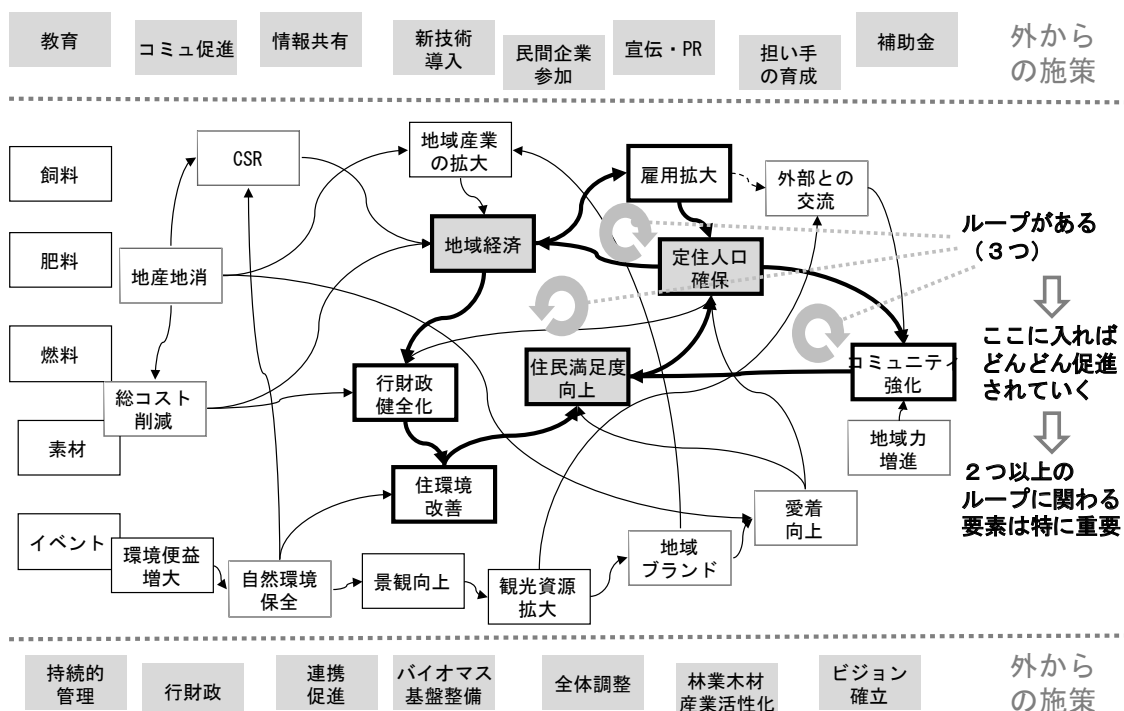


図 86 因果関係の図式におけるループと重要な要素

愛着や満足度、定住意志が高められていた。香取市、紫波町、標茶町の調査では、地域住民の 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。大木町の調査では、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 87 参照）。稚内市の調査では、バイオマス利活用に伴う地域内のつながり強化が個人の SC を増やし、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。以上の結果から、住民の SC が高まることで、地域の社会的な活性化につながるということが示唆された。

以上の結果から、バイオマス利用技術戦略を立案する際には、可能な限り地域住民を巻き込み、関与者を増やすことが重要であるといえる。多くの住民がバイオマスの利活用事業に関与することで、地域内でのネットワークが量・質ともに向上し、最終的に地域への愛着や満足度、定住意思につながる。確かに性質上、住民の多くを関与者とするのは難しいバイオマス資源も存在するが、利活用事業によって生じた有機肥料の配布や、利活用移設を中心とした住民の交流の場の提供、生ごみとの共同処理などは農業系・木質系・下水汚泥についても可能な方策であり、地域住民の事業への関心や関与度を高めていくことが期待される。

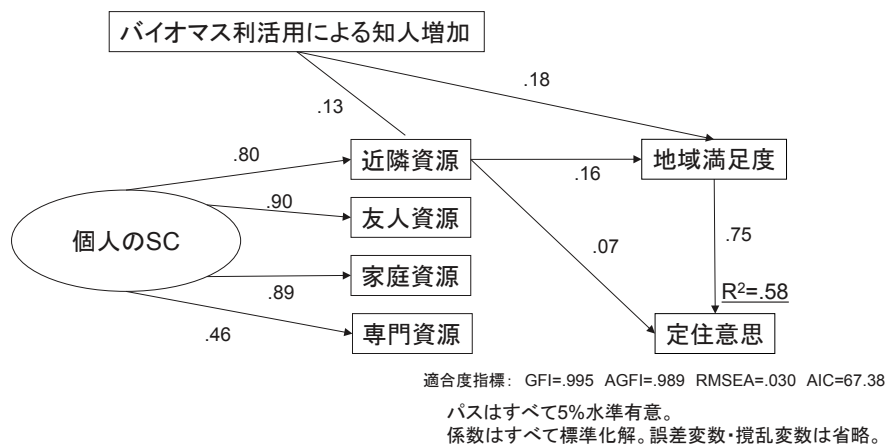


図 87 バイオマス利活用と地域活性化との関連モデル（大木町）

(4) 事例調査とナレッジデータベースの作成

1) 背景と目的

地域の資源循環システムの方向性等が示されたとしても、実際にシステムを構築するうえでは、システム構築のプロセスのなかで発生する課題に対して解決策を講じていかなければならない。そのためには、これまでにどのような課題が生じ、どのような解決策が講じられてきたかの実践知を理解しておくことは有意義と考えられる。科学分野においても「社会実装」が重視されていること⁴⁾は、このような実践知に対する学術的貢献が不十分であるということもできる。そこで、資源利用・リサイクル分野における実践知を蓄積して広く利活用できるようにすることを最終目標として、バイオマスリサイクルの事例を対象にした知見・ノウハウのデータベースの構築を試みた。

2) 方法

データベースの基本情報である知見やノウハウは、文献調査ならびにヒアリングによって取得した。文献調査は内容が比較的詳しかった3つの取組をとりあげ、ヒアリングは8つの取組を選定して複数の関係者にヒアリングをすることで重層的に知見等を取得した。ヒアリングは2013年7月から2015年6月の期間に実施し、計33名の方から取組の経緯やその中で生じた課題ならびにその解決策について、課題の発生順やプロセスの順に質問を行った。

データベースには、表7に示す内容を格納した。大別すれば、取組を進めるうえで発生した課題の情報（表中段）、当該課題が発生した取組等に関する情報（上段）、課題に対してどのような解決策が実施・想定されたかの情報（下段）である。なお、一つの課題IDに対して複数の課題が記入されないようにした。

表7 データベースのデータ項目と記入上の注意

項目	記載内容例あるいは記入上の注意
課題 ID	0014
地域名、地域類型	〇〇村、中山間地域
地域全体の課題	農業の衰退
取組の中心的対象物	生ごみ、林地残材など
課題発生のプロセス	発生、分別、収集、選別、前処理、変換、利用など
関連物質	投入側：生ごみ、出力側：堆肥、消化液、電気など
関連技術	堆肥化、メタン発酵など
時期	〇〇年〇月、春など
取組ステージ	計画時、実証時、運用時など
情報源、その属性	「・・・、文献」「〇〇氏、ヒアリング」
課題・事象の 取得情報	文献・ヒアリング調査で取得した具体的内容。一次情報に近いが、当該事例のことを知らなくても理解できるように固有名詞等を一般的な表現にして記載
課題の概要	上記取得情報を課題に着目して簡潔にまとめたもの。一つの ID には一つの課題のみが含まれるように抽出・記載
課題区分	○：発生した課題、△：顕在化しなかった課題（・・・しなければこういう課題が発生したであろうという仮想的な課題）
課題区分 2	当該課題が「モノ」「カネ」「人」「情報」のいずれに関わるかを記載
結果	課題概要のうち、帰結として生じている問題（結果）を記載。
原因	課題を発生させた原因の内容。A → B → C という因果関係の場合、課題概要で中心的に記述されている方を記載。
影響を受ける 主体（影響者）	固有名詞ではなく、一般的な表現で記載（例えば、「〇〇会社」ではなく「リサイクル業者」と記載）。複数の場合は複数を記載
原因を起こす 主体（原因者）	同上。ただし、「不景気」などといった外的要因が原因で、特定の原因者が存在しない場合は「-」と記載
解決策の取得情報	実施あるいは検討中の解決策を具体的に記載。解決策がない場合は「-」を記入した
解決策の見出し	上記解決策の情報を簡潔に記載
解決策の類型	上記解決策の戦略面からの類型。計画、交渉、組織、実践のいずれかを記入。必要に応じて、細分類を設定
解決主体	解決策を決定・実行する主体を一般的な表現で記載。解決主体が複数の場合は複数を記載
解決策の適用 の結果	解決策を実施したことによる直接的な結果を記載。場合によっては副次的な影響も記載。解決策が実施されていない場合は「-」と記載

さらに、ある取組において発生した課題について、それらの原因を起こす主体と影響を受ける主体を問題構造図として、描画した。

3) 結果

11 地域の取組活動から、全部で 521 の課題をデータ化した（1 課題は他のヒアリング結果と不整合のためにデータから除外）。このうち、仮想的な課題データ数は 153（29%）であり、また 385 のデータ（74%）については解決策のデータを付加できた。

取組 A（平地農業地帯における家庭系生ごみリサイクルの事例、メタン発酵を採用）について、問題構造図を作成した結果が図 88 である。矢印の起点が原因を起こす主体で、終点が影響を受ける主体である。また、矢印上の数が問題の数を示す。多くの問題（太線）は自治体、住民、事業者（リサイクル施設の運用主体）、農家の間で生じていることがわかる。また、原因者と影響者が同一のループ状の矢印は、当該主体の意思決定等により後々に自らが困ったり、取組が進展しなくなったりするものである。例えば、「高コストのリサイクルシステムを選定してしまう」「担当部署がなく、縦割りのな

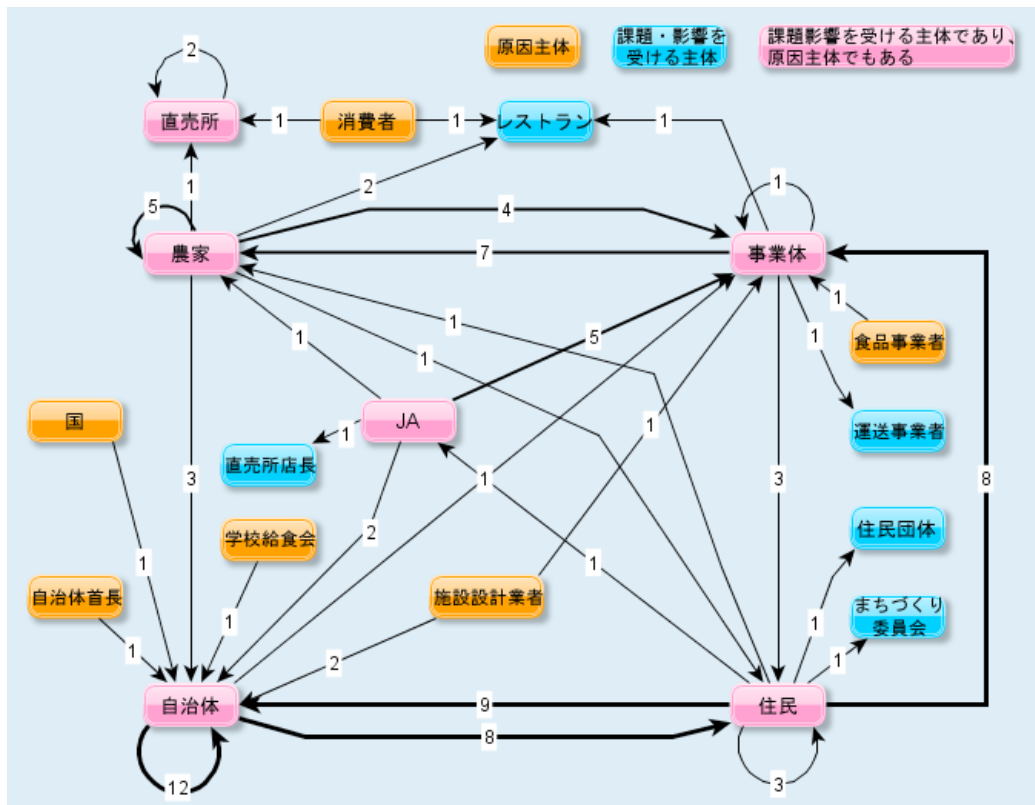


図 88 事例 A におけるリサイクルに関わる問題の構造図
(家庭系生ごみリサイクルの事例)

かで必要な取組が実施されない」といった内容がある。

課題の生じているプロセスをみると、全 521 データのうち、37% が堆肥などのリサイクル品の利用段階、17% が再資源化の段階における課題であり、続いて、14% が特定のプロセスではなく取組や事業全体に関わる課題であった。例えば、リサイクル品の利用段階では、堆肥の利用に手間がかかる、臭気の問題が発生する、慣れないものは使ってもらえないなどといった課題が、再資源化の段階では、コストが高い、近隣住民からの苦情や反対が出る、リサイクル施設の立地ができないなどといった課題が抽出された。事業については、担当部署がない、適切な人材が確保・配置されない、トップの交代による方針変更などといった事態によって取組が停滞することが指摘されていた。資源化を行うだけでなく、リサイクル品の利用をきちんと確保し、体制整備をすることが重要であるといえるだろう。

解決策については、例えばリサイクル品の利用については表 8 に示す解決策が講じられていた。データ数が 10 未満の地域を除く 8 地域のデータ (n=370) に着目して解決策類型をみると、各類型の 8 地域平均と標準偏差は、計画 29.3 ± 6.8%、実践 30.3 ± 7.3%、交渉 24.1 ± 6.2%、組織 16.3 ± 5.8% となった。いずれの標準偏差も 8% 未満であり、8 つの事例で多少の違いはあるものの解決のアプローチとしては大きな違いがないことが分かる。交渉と組織の面の解決策の割

表 8 リサイクル品利用に係る解決策の例

課題	原因	解決策の見出し
液肥の利用量が増加しない。	これまで行ってきた施肥方法がある。	学校給食での液肥栽培米の利用
ピーク時に液肥が不足する。	液肥が認知され、利用者が増える。	事業系廃棄物の受け入れ
液肥を利用する農家が減る。	液肥散布の作業負荷が大きい。	散布代行サービスによる作業軽減
臭気が発生して、周辺住民から苦情が発生する。	液肥を適切に使わない。	液肥散布後のすきこみによる臭気防止
堆肥利用が進まない。	化学肥料を使うことが当然となっている。	堆肥利用の実績作り

合はやや少ないが、これをもって重要性が低いとはいえず、これらのアプローチを適用する場面が比較的少なかったためとも理解できる。計画と実践、すなわち合理的に道筋をつけること、経験知を蓄積しそれを取組につなげていくことで8地域での課題解決が図られてきた（あるいは図られそうである）ということは、計画的に取組を進めるだけでは不十分であり、実践的な取組の進め方を十分に取り入れる必要があると考えられる。

(5) 戦略的な取組実施

(3) の検討が個々の戦術レベルの知見を集積だとすれば、戦略レベルの知見の集積も重要である。そこで、ビジネス戦略における先行研究をふまえて、資源循環システム構築のための戦略についての概念整理を行った。なお、この概念整理に基づいて、実際の取組について分析を行った結果は、2.3.3 (5) で述べる。

まず、ミンツバークら⁵⁾の10の戦略学派をふまえて集約した4つの戦略側面に着目することとした(図89, 表9)。戦略の側面を集約したのは、事例分析をするうえでの扱いやすさを改善するとともに、実践時においてステークホルダーに説明をしやすくなることを想定したためである。

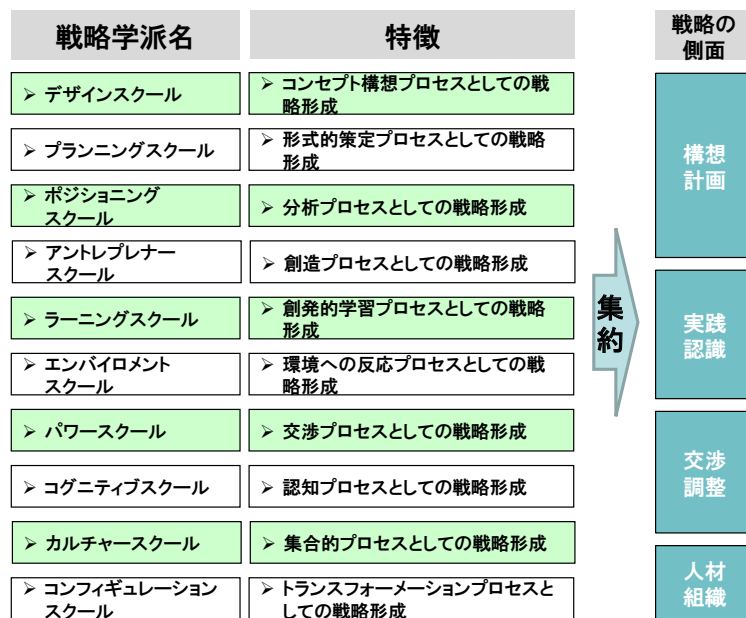


図89 ミンツバークら(2013)⁵⁾による10の戦略学派の集約:4つの戦略側面

表9 4つの戦略側面の具体的内容

戦略側面	概要説明
構想計画	明確な目的・ビジョン、取り組みの期間に合致した具体的な達成目標(マイルストーン)を設定して、その共有を図ることと達成目標の計画的な実現を重要視するアプローチ。文献調査や視察による情報収集で道筋をつけることも含む。
人材組織	中心メンバーを編成して必要な予算を割り当てたり、中心メンバー内の役割を定めるなど、組織の編成を重要視するアプローチ。中心メンバー内の信頼を醸成することも重視する。
実践認識	現場での取り組みの実践から成功パターンや新たな気づき、必要な協力者を見つけ出すことを重要視するアプローチ。成功的な結果を創出することや、それによって達成感やモチベーションを醸成させることで、次の取り組みへとステップアップすることも重視する。
交渉調整	取り組みの目標達成に反対する人や組織を説得したり、態度を軟化させて、敵対者を減らすとともに、関係者を取り組みに巻き込んで支持者を増やすというように、取り組みを取り巻く人々を重要視するアプローチ。

2.3.3 地域特性を活かした資源循環の設計・評価・実装

2.3.2で検討した枠組みをふまえつつ、地域の資源循環システムの設計・評価・実装のためのデータ収集や分析を行った。検討した内容を以下で述べる。

(1) 地域プロフィール（技術情報・フロー情報）データの収集と解析

まず、2.3.2(2)で述べた地域プロフィールについて、金属資源と生物資源（バイオマス）を対象としてデータの収集を行い、地理情報システム（GIS）等を活用して、技術情報および物質フロー情報の可視化を実施した。この検討は、地域特性の定量的な把握をねらいとしている。

対象とした金属資源は、i) 汎用金属である銅（Cu）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn）、および、随伴元素である金（Au）、銀（Ag）、白金（Pt）、ii) 主用途が鉄鋼合金元素であるニッケル（Ni）、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、更に近年、iii) 希少金属としてその動向が注目されているインジウム（In）、コバルト（Co）、リチウム（Li）、ネオジム（Nd）であり、バイオマスは、食品廃棄物、下水汚泥、家畜ふん尿、および木質バイオマスである。対象地域としては、日本を対象として、金属資源については都道府県区分および地方区分の、バイオマスについては都道府県（および市区町村）区分のデータ整備を実施した。対象年次は、いずれの調査においても、2010年もしくはデータの収集が可能な直近の年次として、可能な限り過去の年次（2000年、1990年、1980年）についてもデータの収集を実施した。

結果の概略を示す。金属のフロー各断面の地域特性の分析結果から、代表的なケースを図化して示すとともに、特徴を整理した上で、データの解析・解釈を行った。主要な非鉄金属の製錬工場は、図90に示すとおり、各資源について、全国に1から10箇所程度であり、ある程度集約化がすすんでいる状況である。また、複数の金属の精錬を行っている場合もあり、各金属で見た場合以上に集約度の高いことが分かる。この傾向はフェロアロイでも同様であった。これに対して、

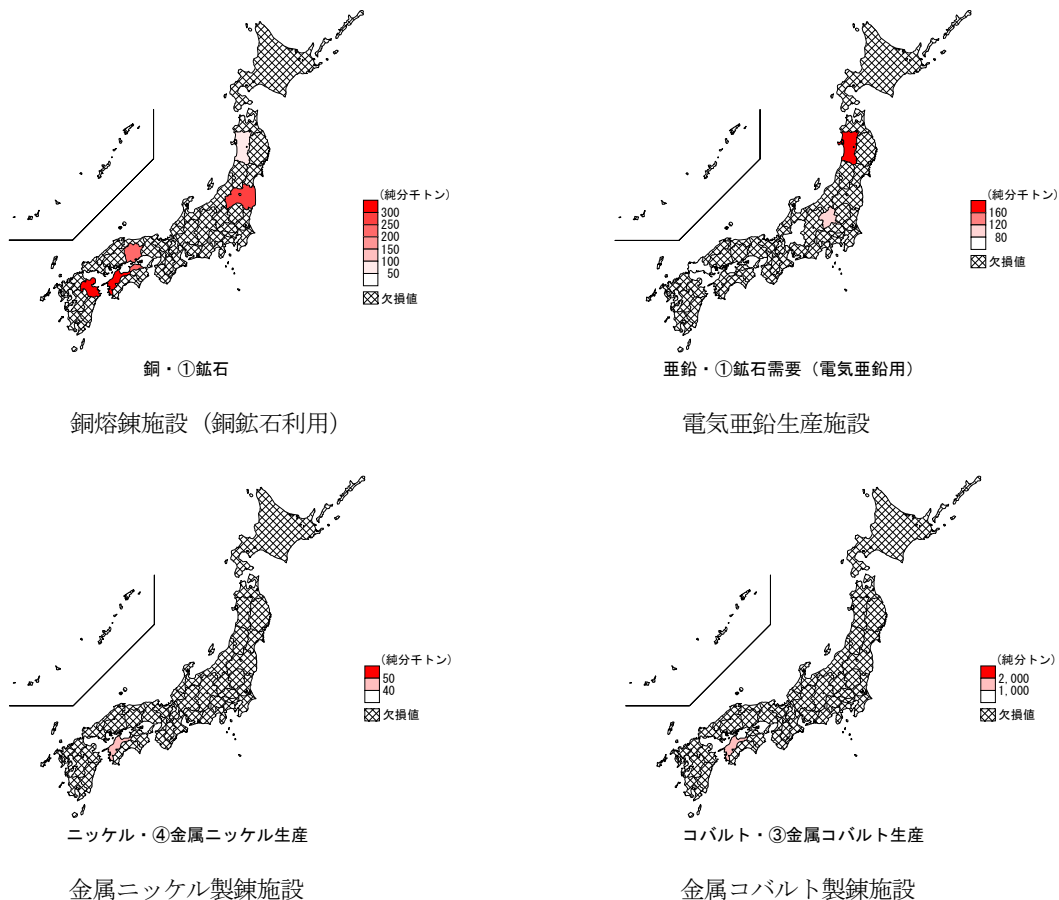


図90 金属製錬施設の立地および生産状況

地金や中間生成物等を原料とする加工製品の製造工場については、図91に示すとおり、製品による違いは有るが比較的多くの事業所で製造がなされている状況にある。特に、金属の用途としての加工製品になると、中小企業を含めて様々な形で利用されており、これを広範囲に見ると、ほぼ全国で利用されている状況となる。製錬業においては、生産施設の集約化により効率的な生産体制の確立が進んでいると思われるが、日本全国に広く市中に分散された都市鉱山からの静脈資源の回収とリサイクルを進める上では、都市鉱山と製錬業を繋ぐための集荷や中間加工・中間処理のための拠点形成を検討する余地がある事が示唆された。

ニッケルを例に挙げてより詳細に述べると、Reck and Graedel⁶⁾は、世界全体では、採掘されたニッケルの約48%に相当するニッケルが、1回のライフサイクルを通じて採掘・製錬工程や埋立処理工程あるいはリサイクルにより散逸している可能性を示唆している。日本においては、国内のニッケル製錬事業者は、上記の金属ニッケルの製錬事業者およびフェロニッケルの製錬事業者を含めて数社であり、製錬原料のほぼ全量を海外からの輸入により賅っている。リサイクルについては、鉄鋼業により、ニッケルの主用途であるNi系ステンレスのリサイクルが確立されている⁷⁾ものの、ニッケルのクローズドループ化は実現されておらず、ニッケルめっき廃液・スラッジ等を含めた劣質・低品位な静脈資源のリサイクルには未だ多くの課題を有していた。この課題については、排出事業者や製錬事業者等へのヒアリング調査等により、背景には、1つの拠点から発生する静脈資源が少ないという量的な問題、更には、ニッケル含有率やりん等の不純物の含有率を含めた静脈資源の質的な問題が浮かび上がる。更なる物質循環の促進のためには、量的な安定供給および質的な安定供給のために、再生原料化のための収集及び処理の拠点形成や技術の浮揚を促す仕組みが必要であると考えられた。

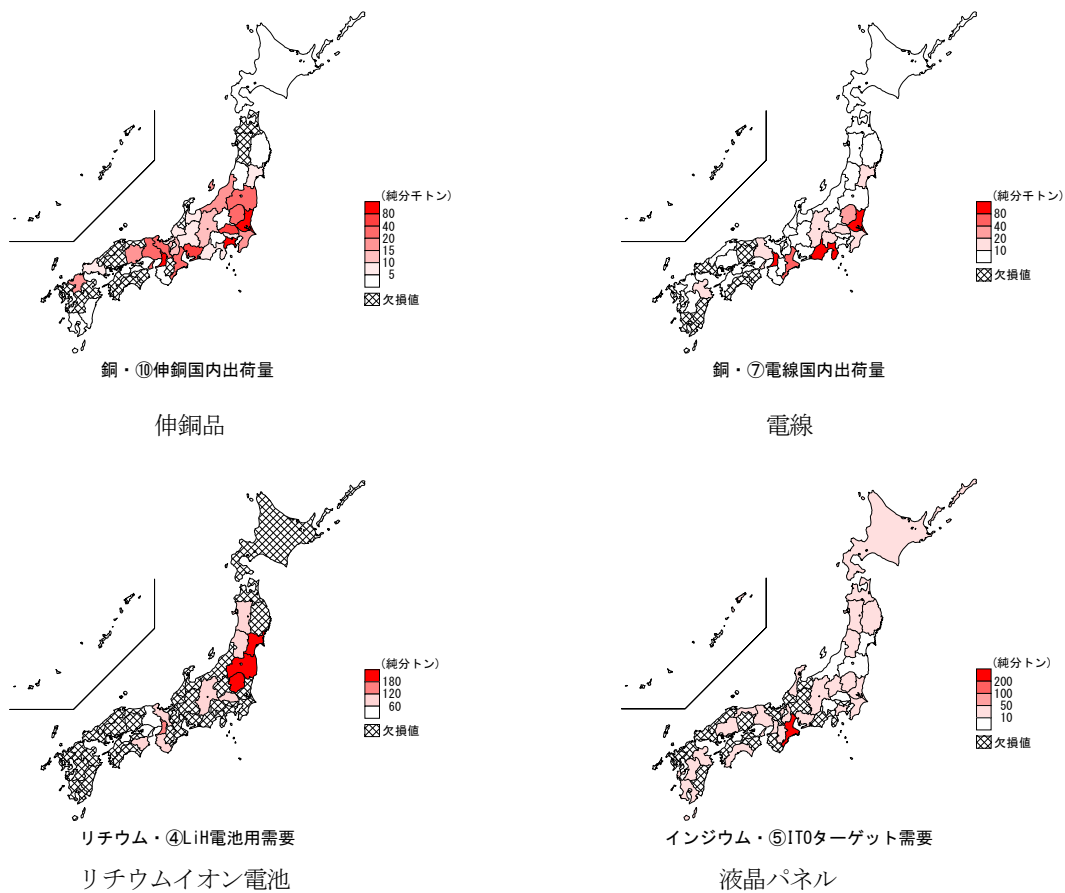


図91 各種製品の製造工場の立地状況

(2) 高知県におけるバイオマス物量投入産出表の作成

続いて、地域におけるバイオマス物量投入産出表の作成を行った。2.3.3 (1) で検討したように、地域資源システムは地域の産業や需要と親和していることが求められる。しかしながら、特にバイオマス系廃棄物は、農業や林業、漁業、製造業、商業、家庭といった多数のセクターから排出され、食物や飼料、肥料、工業原料、燃料などの多様な需要があり、供給と需要を結ぶバイオマス系廃棄物フローは極めて複雑となるため、2.3.3 (1) で検討したような個別の地域資源の需要・供給だけではなく、地域全体を視野に入れて、地域の物質循環の状態やそれに伴う地域環境あるいは地球環境への保全効果を記述・評価する総合的なフレームワークが必要となる。そこで、そのようなフレームワーク開発のため、高知県を事例に、統計等の物量データの積み上げにより、地域における複雑なバイオマスフローとその利用や廃棄等から生ずる環境負荷を記述する「物量投入産出表 (Physical Input-Output Table)、以下「バイオマス PIOT」という。)」を構築することとした。

バイオマス PIOT の構成は国民経済計算における産業連関表をベースに、地域におけるバイオマス資源や廃棄物のフロー、気体や液体の環境への排出を表現できるように改変した。中間需要にはバイオマスを生産、加工、利用、再生および廃棄するセクターのみ設定した。家庭は循環資源と廃棄物、排出物 (排水、排ガス) を排出するため最終需要から中間需要に移動した。埋立処分も同様に排出物を排出するため最終需要から中間需要に移動させた。環境への排出および堆積と蓄積は最終需要に設定し、天然資源の投入は付加価値に設定した。天然資源には自然水 (雨水、表面水、地下水) とバイオマス生産 (植物の成長、野生生物の採取) が含まれる。表 10 にバイオマス PIOT に計上した産業セクターと投入・産出される物質を示した。

このバイオマス PIOT に、2007 年度の高知県におけるバイオマスフロー・データを格納した。バイオマスフローのデータは農業、工業、商業、家計、廃棄物処理、廃水処理に関する統計や行政報告より収集した。水はバイオマスを構成する基本的な成分であり、生産や処理のためにバイオマスに加わり、また、一部が蒸気や水として環境へ放出されることで、フローを流れる過程でバイオマスの重量を変化させる。また、バイオマスを構成する炭素および窒素成分は、水質汚濁負荷や温室効果ガスとして環境に放出される。各バイオマス種の含水率、炭素含有率、窒素含有率を現地調査・試料分析、文献調査によって把握し、水については統計等より把握した各セクターの用水量や排水量を設定することで、水、炭素および窒素のサブスタンスフローをバイオマス PIOT で表現できるようにした。各セクターにおける天然資源、バイオマス、廃棄物およびエミッションの投入と産出の収支を現地調査、アンケート調査、文献調査によって把握した。各セクターの投入と産出の最終的なマスバランスをセクターの特性に応じて調整した。

各セクターで投入産出される各バイオマス種について、生産から加工、利用、再生または処分に至るリンクを設定した。あるバイオマス種がリンク (フロー) を流れる量・組成と、各ノード (セクター) における天然資源投入とエミッション産出を関連付け、セクター間のやり取りをネットワークとして統合し、バイオマス PIOT に計上した。

その結果を述べる。用水と排水を含む湿重量フローでは、高知県において1年間にやりとりされるバイオマス・用水として3億8千万トンが計上され、うち用水等としての自然水の供給が3億千万トンであった。用水・排水と水分を除いた乾重量フローは74万トンであった。バイオマスに含まれる炭素フローは総計30万トン、窒素フローは総計1万2千トンであった。例として湿重量に関するバイオマス PIOT を表 11 に示す。表において、耕種農業、林業、畜産農業、漁業・養殖漁業は「農林水産業」、食品加工業、製材・木製品製造業、製紙業、化学肥料製造業は「製造業」、養殖飼料製造と有機肥料製造は「肥料・飼料製造業」にまとめて計上した。また、各セクターの上段に計上されている値は重複を除去する前のセクター間での物質のやり取りを表す。各セクターに投入されたバイオマスは全て最終需要 (環境へのエミッションおよび堆積と蓄積) に達するか製品として移出するので、PIOT は下段の値で表される (中間需要の値は全てゼロとなる)。バイオマスに起因する1年間の水質汚濁負荷は炭素が1万3千トン、窒素が2千百トン、温室効果ガス排出量はメタンが炭素量で2千5百トン、亜酸化窒素が窒素量で110トンであった。

表 10 バイオマス物量投入産出表 (PIOT) に計上した産業セクターと投入・産出される物質

産業セクター	投入	産出 製品	副産物・廃棄物	堆積と蓄積	エミッション	移出
生産と利用 耕種農業	化学肥料, 有機肥料, 雨水, バイオマス生産*, 籾米(移入)	農作物, 白米, ゆず	規格外作物, 藁, もみ殻, 糠, 菌床	規格外作物, 藁, もみ殻, その他作物残渣	排水, ガス(農地より)	農作物, 白米
林業	バイオマス生産	丸太		林地残材		丸太
畜産農業	牧草, 水道水, 飼料(糠), 敷料(藁, もみ殻, おがくず), バイオマス生産*, 飼料(移入), 家畜(移入)	枝肉(牛, 豚, 鶏), 牛乳, 鶏卵	糞尿, 廃敷料, 解体残渣, 廃水処理汚泥	糞尿(農地散布含む)	排水, 廃水, ガス(堆積糞尿, 糞尿処理, 農地散布, 家畜呼吸, 廃水処理より)	枝肉, 牛乳, 鶏卵, 解体残渣
漁業・養殖漁業	飼料(再生魚粉), バイオマス生産*	水産物			魚糞	水産物
食品加工業	白米, 魚介類, 農作物, 食肉, 牛乳, ゆず, 酒米, 水道水, ぬか, 自然水, 農作物(移入)	農作物, 水産物, 食肉, 乳製品, その他食料品, 日本酒, ゆず果汁, そのた飲料	動植物性残さ, 食品加工汚泥		排水*, ガス(廃水処理より)	農作物, 水産物, 乳製品, その他食料品, 日本酒, 動植物性残さ
製材・木製品製造業	丸太, 丸太(移入)	板材, 木製品	樹皮, おがくず, 木くず*		ガス(乾燥工程より)*	板材
製紙業	パルプチップ, 木くず, 水道水, 自然水	紙	製紙汚泥		排水*, ガス(廃水処理より)	紙
化学肥料製造業	化学肥料(移入)	化学肥料				
建設業	建設資材(木・紙), セメント(下水汚泥・一廃焼却灰より製造), 溶融スラグ(一廃焼却灰より製造), 建設資材(移入)		木くず, 紙くず*	建築物*		木くず, 紙くず
水道業	自然水	水道水				
家庭, 飲食業, 商業, その他の消費セクター	生鮮食料品, 加工食品, 飲料, 紙, 木製品, 水道水, 動物園飼料, 自然水, 生鮮食料品(移入), 加工食品(移入), 紙(移入), 木製品(移入)		食品くず, 紙くず, 木くず, 廃水(下水道へ), 浄化槽・農集汚泥, し尿	し尿, 木製家具	排水, 廃水*, ガス(浄化槽・農集, 呼吸より)	
処理と再生						
下水道	廃水, 汚泥(し尿処理汚泥, 浄化槽汚泥), 雨水		下水汚泥		排水*, ガス(廃水処理より)	
養殖飼料製造	動植物性残さ(魚加工残さ)	飼料(魚粉), 魚油			排水*, ガス(廃水処理, 魚油の自家使用より)	
有機肥料製造	家畜糞尿(生および脱水), 廃敷料, 樹皮, おがくず, 木くず, もみ殻, ゆず皮, 菌床, 動植物性残さ, 脱水下水汚泥, し尿処理汚泥	堆肥			ガス*(堆肥化工程より)	
セメント製造業・建設資材製造	脱水下水汚泥, 脱水製紙汚泥, 一廃焼却灰	セメント			ガス*(セメント製造工程より)	
し尿処理	し尿, 浄化槽汚泥, 自然水		し尿処理汚泥(生および脱水)	し尿(農地散布)	排水*, ガス(し尿処理工程より)	
脱水・乾燥	家畜糞尿, 下水汚泥, 製紙汚泥		乾燥動物糞尿, 脱水下水汚泥, 脱水製紙汚泥		排水*, ガス(乾燥工程より)	
破碎・選別	wood waste; paper waste	wood chip; litter	wood waste; processing residues*			
焼却	脱水し尿処理汚泥, 家畜糞尿, 解体残さ, 木くず, 紙くず, 食品くず	溶融スラグ	焼却灰	焼却灰(農地散布)	ガス*(焼却工程より)	
埋立	脱水下水汚泥, 焼却灰, 脱水製紙汚泥, 食品加工汚泥, 木くず, 食品くず, 紙くず, 加工残さ, 雨水			埋立廃棄物	排水*, ガス(埋立地、浸出水処理より)	

* セクター内での投入と産出の収支調整に使用

表 11 高知県におけるバイオマス物量投入産出表 PIOT (湿重量表 2007 年度)

(1000tons/year)	中間需要										最終需要				移入	計		
	生産と利用					再生と処理					堆積と蓄積	エミッション	移出	小計				
	農林水産業	製造業	建設業	水道業	家庭と商業	新技術	下水道業	飼料・肥料製造業	建設資材製造業	焼却処理							埋立処分	
中間投入	34	288	0	0	87	0	0	136	48	6	0	599	401	246855	265	247521	112	247408
農林水産業																		
製造業	52	41	40	0	177	0	0	40	68	0	7	424	0	24614	75	24689	118	24571
建設業	0	0	0	0	0	0	0	0	19	2	3	24	41	0	0	41	11	30
水道業	826	599	0	0	92230	0	0	0	0	0	0	93656	0	0	0	0	0	0
家庭と商業	0	0	0	0	0	0	0	6	595	218	0	34131	69	62876	0	62945	337	62608
新技術	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
再生と処理	0	0	0	0	0	0	0	0	164	0	0	164	0	37701	0	37701	177	37524
下水道業	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	0	71	0	71	7	64
肥料・飼料製造業	25	1	6	0	0	0	0	9	17	12	22	91	0	3093	21	3115	9	3106
建設資材製造業	1	0	16	0	0	0	0	0	2	0	8	27	0	212	0	212	2	210
焼却処理	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	198	0	231	2	230
埋立処分	1060	928	62	0	92495	0	33312	190	913	239	39	129238	545	375619	362	37625	775	375750
小計																		
天然資源	247137	24457	21	0	62298	0	37371	58	3098	208	228	374875						
バイオマス生産	271	114	9	0	310	0	153	6	8	1	2	875						
小計	247408	24571	30	0	62608	0	37524	64	3106	210	230	375750						
(移入(再掲))	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1						
計	247408	24571	30	0	62608	0	37524	64	3106	210	230	375750						

上段、各セクター間でやりとりされた物量(重複あり)
 下段、各セクターで投入算出された物量(重複なし)

(3) バイオマスの地域別需給比とそのアンバランス改善のための分析

1) 方法

続いて、(1) で収集したバイオマスに関する地域プロフィールを用いて、バイオマス資源の日本全国の需給バランス解析を行った結果を述べる⁸⁾。バイオマスの有効利用の技術には、近年着目されているメタン発酵を取り上げ、メタン発酵残渣を有効利用する場合の地域別の需給バランスを検討した。この検討は、表6でいう②の方向性のためという位置づけである。

まず、バイオマス利用のシナリオとして、乳牛ふん尿のみで行う「畜産系単独シナリオ」、乳牛ふん尿に加えて豚ふん尿も対象とした「畜産系混合シナリオ」、し尿・浄化槽汚泥や農業集落排水汚泥、家庭厨芥類を対象とした「生活系混合シナリオ」、最後にこれら全てを対象とした「畜産系・生活系混合シナリオ」を設定した。

次に、これらのシナリオにおける投入バイオマス種 m に応じて、市町村 i におけるバイオマス投入量 $M_{i,m}$ を集計した。乳牛・豚ふん尿の投入量は、三島ら⁹⁾ が推定した方法と同様に、平成19年度畜産統計調査の飼養頭数に家畜種別ふん尿排出原単位を乗じて推定した。家畜種別ふん尿排出原単位については、環境省の産業廃棄物排出・処理状況調査で設定されている畜産統計から算出した家畜種別の設定値を適用した。農業集落排水汚泥およびし尿・浄化槽汚泥（汲み取りも含む）の投入量には、それぞれ新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によるバイオマス賦存量・有効利用可能量の推計¹⁰⁾ で公開されている集落排水汚泥のデータおよび環境省による平成22年度一般廃棄物処理事業実態調査で公開されているし尿処理量（し尿+浄化槽汚泥+自家処理量）を適用した。また、家庭厨芥類の投入量には前述したNEDOの推計値¹⁰⁾ を適用した。

市町村 i における液肥成分 l の需給比 $B_{i,l}$ は、需要量 $D_{i,l}$ に対する供給量 $G_{i,l}$ の比と定義して、(1) 式で算出した。液肥成分は窒素に着目した。

$$B_{i,N} = \frac{G_{i,N}}{D_{i,N}} \quad \dots (1)$$

また、需給比は4段階に区分して評価を行った。需給比が0.75以上1.25未満であれば良好な状態であると考え、これを区分Bとした。それに対し、需給比が0.75未満で液肥が不足する範囲を区分Aとした。一方、液肥が過剰となる位置づけにあたる区分Cは需給比が1.25以上で液肥が過剰となる範囲のうち5未満を区分C、それよりさらに過剰となる5以上を区分Dとした。

さらに、隣接市町村間での広域連携を行うことによる液肥利用の需給比の改善効果も推計した。広域連携が有効となる隣接市町村を同定するにあたっては、隣接行列を用い、吉本らの算定手法¹¹⁾ を応用して次のとおり行った。まず、各市町村は自区域内で発生した液肥をできるだけ自区域内で利用するものとする。この場合、市町村 i における液肥の過不足量 S_i は、供給量 G_i と需要量 D_i により (2) 式で表される。

$$S_i = G_i - D_i \quad \dots (2)$$

液肥の余剰がある市町村 i は、隣接する市町村 j において供給不足の地域があれば、液肥を移動させて利用の連携を行うものとする。つまり、市町村どうしの隣接関係を表現する $n \times n$ の正方行列を A (n は対象とする市町村の総数) とすると、(3) 式の条件の場合に液肥の移動が行われることになる。

$$S_i > 0 \quad \text{かつ} \quad S_j < 0 \quad \text{かつ} \quad a_{i,j} = 1 \quad \dots (3)$$

ここで、 $a_{i,j}$ は隣接行列 A の i 行 j 列の成分であり、(4) 式で与えられる。なお、本研究では、市町村の境界線を共有することを隣接と定義し、都道府県を越えた液肥利用は制度的な制約から成立しにくいと考え、他の都道府県の市町村と境界線を共有していても隣接自治体とは見なさないこととした。

$$a_{i,j} = a_{j,i} = 1 \quad \begin{array}{l} (i \text{ と } j \text{ が隣接している場合}) \\ (i \text{ と } j \text{ が隣接していない場合}) \\ (i=j \text{ の場合}) \end{array} \quad \dots (4)$$

このときの市町村 i から市町村 j への液肥の広域移動量 $T_{i,j}$ は、余剰量と不足量の値が小さい方の量となるた、(5) 式で与えられる。

$$T_{i,j} = \min(S_i' - S_j) \quad \dots (5)$$

ところで、液肥が不足している市町村は、複数の市町村から液肥を調達することが可能であるため、広域連携の組み合わせは理論的には複数存在する。ここでは、組み合わせの解が一意に得られ、かつ、なるべく現実を反映するような制約条件を設定した。具体的には、交渉などの負担軽減のため市町村はできるだけ少数の市町村と連携して液肥の調達を図るものとし、また、過不足量が大きい市町村ほど連携に積極的であるものと仮定した。

広域連携による需給比改善の効果として、まず、完全に液肥需給量が合致する需給比 1 を含む区分 B の農地を増加に着目した。また、液肥過剰である区分 C および D の農地が減少し、液肥需給のバランスがとれた区分 B の農地に移行することも広域連携の効果とみなすことができる。そこでこれらの効果をそれぞれ (6) 式と (7) 式で評価した。

$$\eta_{\text{区分 B}} = \frac{A'_{\text{区分 B}} - A_{\text{区分 B}}}{A_t} \quad \dots (6)$$

$$\mu_{\text{区分 C+D}} = \frac{A_{\text{区分 C+D}} - A'_{\text{区分 C+D}}}{A_t} \quad \dots (7)$$

ここで、 $A_{\text{区分}}$ は A ~ D の各区分の農地面積であり、 $A'_{\text{区分}}$ は広域連携した場合の各区分の農地面積を表す。

2) 結果

市町村毎の液肥需給比の算出結果で 4 区分の農地面積を全国で集計し、農地割合を算出した結果、畜産系単独シナリオにおける農地面積割合は、区分 A が 19%、区分 B が 6%、区分 C が 26%、および区分 D が 49% 区分であり、液肥が過剰となる農地が 75% を占め、液肥が不足する農地は 19% であった。一方、生活系混合シナリオにおける区分 B の農地割合は 9% であった。このことから、全国集計では畜産系バイオマスよりも生活系バイオマスの方が市町村毎での液肥需給比は若干良好であった。

次に、4 区分の農地面積を都道府県ごとに集計した。畜産系単独シナリオおよび生活系混合シナリオにおける都道府県レベルの農地面積割合を図 92 に示す。畜産系単独シナリオでは、区分 B の市町村が存在する都道府県数は 20 にとどまった。酪農が盛んな北海道、北関東、東北、中国、九州地方の中でも上位 4 県である佐賀県、秋田県、福井県、山口県のように畜産業と農業のバランスがとれる県があった一方で、区分 B の農地がなく、区分 C や D の農地が大半を占めるような液肥の供給が過剰になる県も見られた。また、佐賀県と秋田県は区分 B の農地割合が 40% を超えており、酪農業と農業が協働することで液肥利用の実現が期待できる県と考えられた。一方、生活系混合シナリオにおいて、区分 B の市町村が存在する都道府県数は 24 であった。また、上位 8 県は九州・東北地方に集中しており、畜産系単独シナリオよりも地理的な偏在性が見られた。このことから、九州地方と東北地方が汚泥類や家庭厨芥類の液肥利用に有利な地域であると考えられる。

液肥が不足する区分 A の市町村の地理的分布を 4 つのバイオマス利用シナリオの間で比較をすると、畜産系単独シナリオでは全国的に点在した。これは、酪農業より耕種農業の方が盛んで、かつ、液肥需要量が液肥供給量を上回る市町村が全国的に存在するためと考えられる。他方、生活系混合シナリオでは区分 A の市町村が北海道に偏在し、その他の地域にはほとんど存在しなかった。同様に、液肥が最も過剰となる区分 D の地理的分布についてもシナリオ間で比較すると、畜産系単独シナリオでは、北海道の中でも生乳生産量が大きい道東・道北に偏在した。一方、生活系混合シナリオでは、工業地域かつ人口密集地域である太平洋沿岸に偏在した。これは、これらの地域では人口に比例して生活系バイオマスの発生量が多く、それに対して農地面積が十分ではないために液肥供給が過剰になると考えられる。

続いて、隣接市町村の広域連携による液肥利用の需給比改善効果を分析した結果について述べる。図 93 に示すように、畜産系単独シナリオおよび畜産系混合シナリオにおいては、液肥利用における区分 B の農地割合が広域連携により大きくなっている。

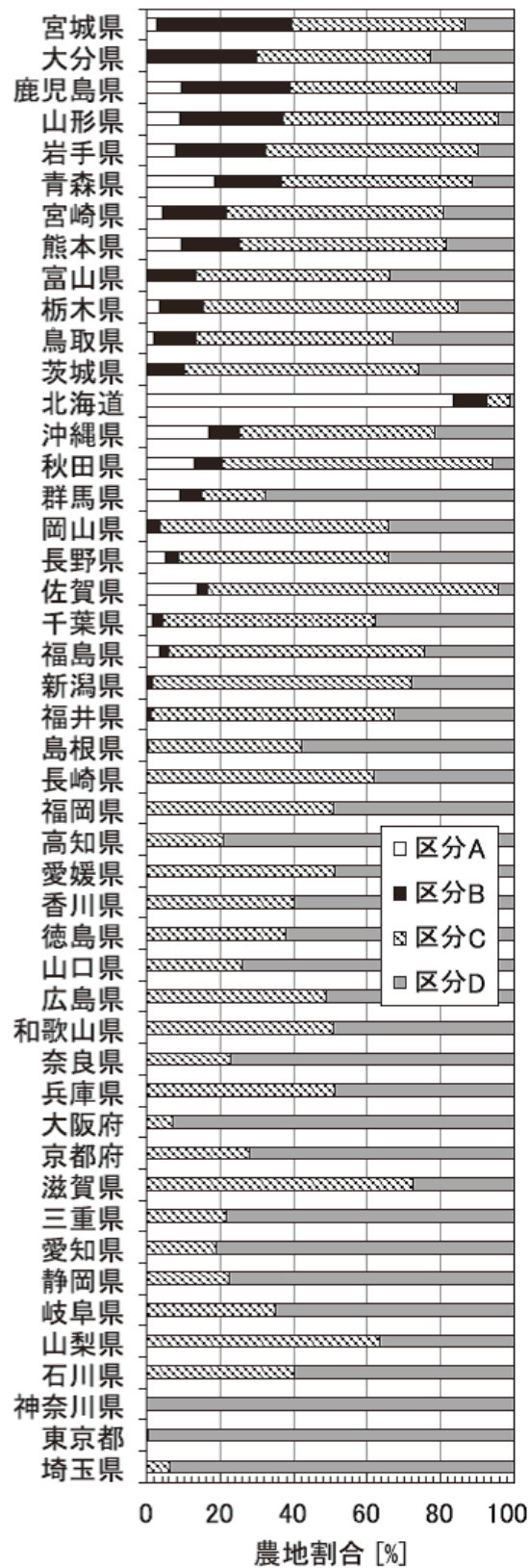
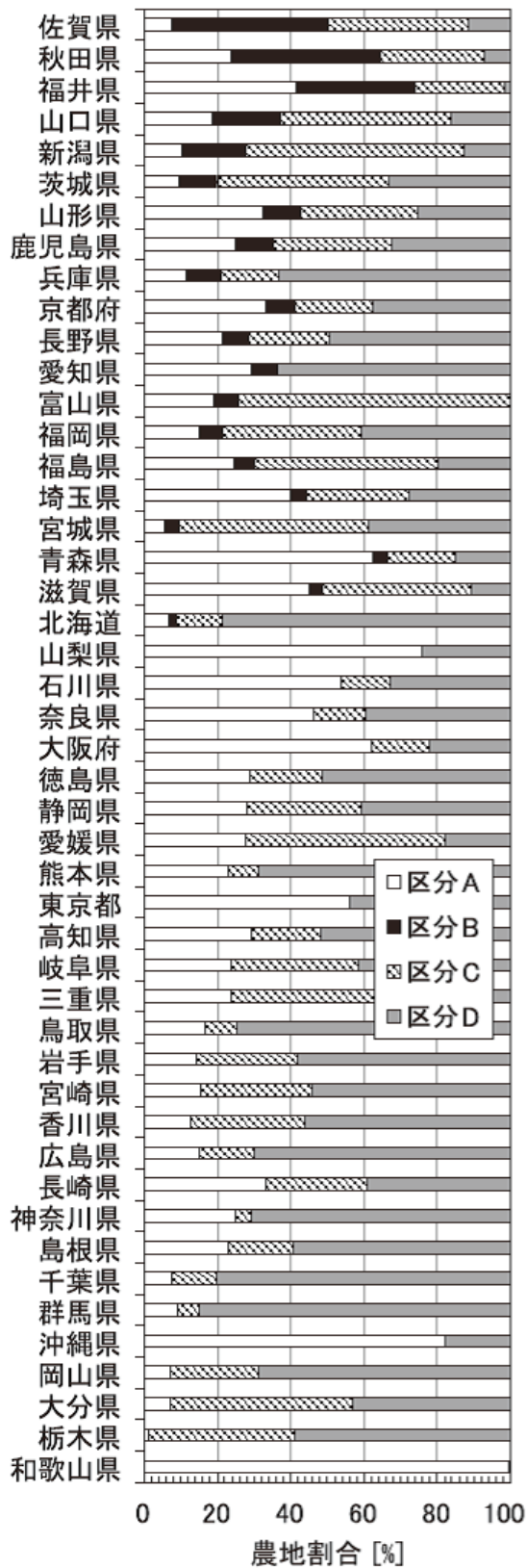


図 92 都道府県別の各液肥需給区分の農地面積割合⁸⁾

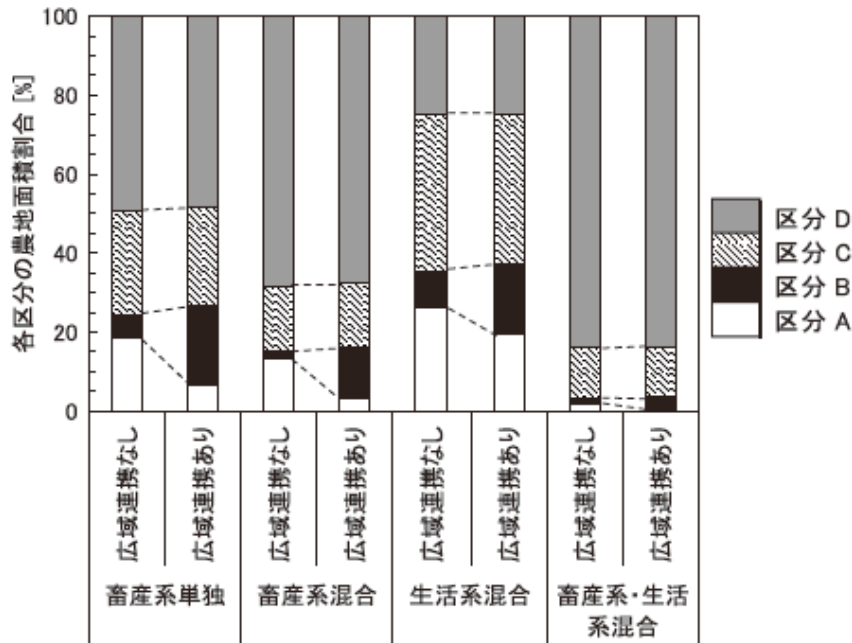


図 93 隣接市町村の広域連携による液肥利用の需給比改善効果⁸⁾

畜産系単独、畜産系混合および生活系混合シナリオにおいて広域連携による改善効果が顕著に見られた九州地方、東北地方および北海道地方の液肥需給比区分の地理的分布を図 94 に示す。広域連携により区分 B に移行する市町村には、市町村毎の需給において液肥が不足する区分 A の市町村との位置関係が大きく影響を及ぼすことが示されている。

地域資源に対する需給のアンバランスを解消してより効率的で持続的なシステムへの移行は、当該地域における新規需要開発や廃棄物の発生抑制により対応できる部分もあるが、それらの需要・供給を前提とすれば、空間的範囲を変えていくという対応がされなければならない。廃棄物行政は基礎自治体が担い、各地域の状況と必要性に応じて広域化がされてきたが、地域資源の種類によって空間的範囲が異なることを鑑みれば、個々の地域資源に応じて柔軟に対応ができる仕組みを組織的・制度的な面からも検討しておくことが重要になると考えられる。

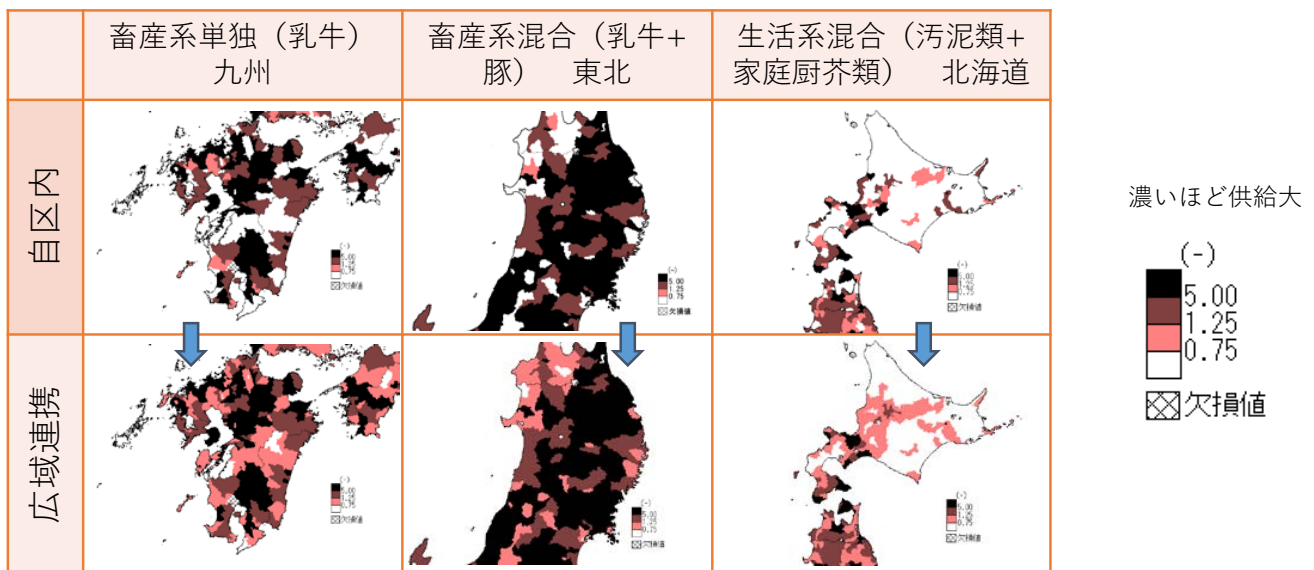


図 94 都道府県別の各液肥需給区分の農地面積割合

(4) 施設統合効果の分析

1) 方法

続いて、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、焼却施設の統合効果を分析した。この検討の主眼は、表6でいう①の方向性の統合化による資源利用効率の向上という位置づけである。また、人口減少が進むなか、各自治体の財政状況が厳しくなっており、施設統合の社会的ニーズがでてきていることを考えてみると、④の時間的最適化の方向性も含まれる。

方法にはライフサイクル評価（LCA）を採用し、2つの市町村で焼却施設の統合を図りつつリサイクルを進める場合の評価を積み上げ法によって実施した。評価範囲には、i) 焼却・埋立からなる廃棄物処理システム、ii) そのための収集システム、iii) リサイクルシステム（分別収集と選別、再資源化からなる。）を想定すべきであるが、これら3つのシステムが2つの市町村にそれぞれ存在している状況で、かつ、いくつかのシナリオを想定するとすると、評価するケースが多数となり評価の負担が大きいだけでなく、地域での施設整備の方向性が分かりにくくなってしまう。そこで新たに考案した「システム境界の分断設定アプローチ」を採用した。このアプローチは図95に示す手順をとり、評価する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、まず、確定的なサブシステム側の評価を行い、次にその結果を用いて、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。具体的には、i) と ii) の廃棄物の収集・処理システムのいくつかのケースについて評価を行って環境負荷や費用の削減量を算出し、その削減量を新たに整備する iii) のリサイクルシステムのための費用支出および環境負荷発生の上限として、システム転換の検討に活かそうとするものである。このときのリサイクルシステムの目標設計水準は（8）式を用いて算出した。

$$\text{目標水準} = \frac{\text{収集+廃棄物処理のサブシステムの改善量}}{\text{進展させるリサイクル量}} \quad \dots (8)$$

なお、この分断設定アプローチが有用となる条件には、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。

対象廃棄物は一般廃棄物のうち生ごみ、プラスチック、紙を想定し、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。一人あたりのごみ排出量は1 kg/人/日で、ごみ組成は平成22年の7都市平均ごみ組成を用いて、生ごみ35%、プラ10%、紙35%と設定した。対象地域は地方都市と農村地域の2類型とし、将来の人口が現在より、前者は8割に減少、後者は6割に減少する場合を想定した。施設統合は、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）で共同して実施するケースを想定し、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、これらに加えて*) 高効率発電が導入される場合（発電効率13%→25%）を設定した。

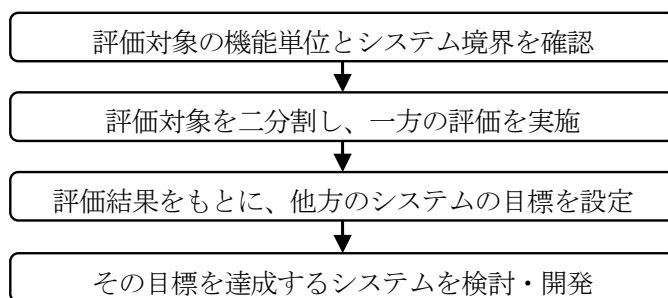


図95 システム境界の分断設定アプローチ

計算には表 12 に示すデータを用い、評価項目は CO₂ 排出量と総費用の年換算値とした。CO₂ 排出量の計算には、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 0.943 kg/kWh および排出係数の代替値 0.550 kg/kWh を使用した。本稿では後者の排出係数を用いた結果を示す。）が含まれ、総費用には、ごみ収集、焼却施設の建設と運転（薬剤、維持管理、売電等）が含まれている（売電単価は 10 円/kWh と設定）。市町村内におけるごみ収集距離と運搬距離はグリッドシティモデル¹²⁾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運搬距離を加算した。これらの算出の考え方を図 96 に示す。図 96（右）に示す施設のある市町村 M₁ における運搬距離は L₁ で表され、施設がない市町村 M₂ から施設までの運搬距離 L₂ は、2つのグリッドシティ（正方形市町村）が接する一通りの場合を想定してそれらの平均値とし、(9) 式で算出した。

$$T_2 = \frac{3}{4}(L_1 + L_2) + \frac{1}{4} \frac{L_1^2}{L_1 + L_2} \quad \dots (9)$$

表 12 計算に用いたパラメータ

全般	人口
	面積
ごみ	ごみ排出原単位
	ごみ組成、ごみ発熱量
	焼却率、資源化処理率
焼却施設	施設容量
	日平均処理量
	発電効率
	施設内電力消費量
	施設建設費
	維持管理・補修費
	売電単価
	施設稼働年数
収集運搬	ステーションあたり人口
	ステーション収集頻度
	収集車の積載量、燃費
	作業時間
	ごみ量あたり収集運搬費
他	CO ₂ 排出係数

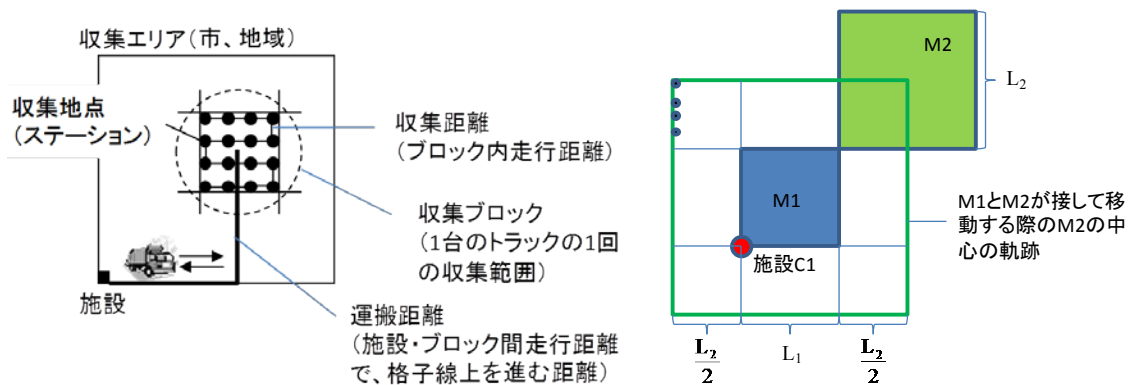


図 96 市町村内におけるごみ収集距離の算出（左）と市町村間の運搬距離の算出（右）の考え方

2) 結果

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 97 に示す(いずれもケース A)。まず、高効率発電がない場合を見ると、施設統合によって CO₂ 排出量の削減はそれほど得られない(ただし、プラスチックのリサイクルを行うと 5,100 トンの削減を達成することができる)。一方、費用については、施設統合によって年間 1.3 ～ 3.4 億円の廃棄物処理費用を削減することができる。この金額には焼却施設の建設費用を稼働年数で年間費用に計算した分が含まれているが、建設費用のみでみると、施設統合により焼却施設の建設費が 164 億円から 135 億円へと低減している。リサイクルが進展して施設容量をさらに小さくできると、さらなる費用削減ができるが、最低でも bI) ケースの 125 億円とその効果は施設統合ほどは大きくない。一方、施設統合によって施設の大規模化が可能となり、高効率発電を導入することができると、1.6 ～ 2.0 万トンの CO₂ 排出量の削減が可能となる。売電による収入も見込めるので、費用も年間あたり 4.2 ～ 6.1 億円の削減が可能となる。

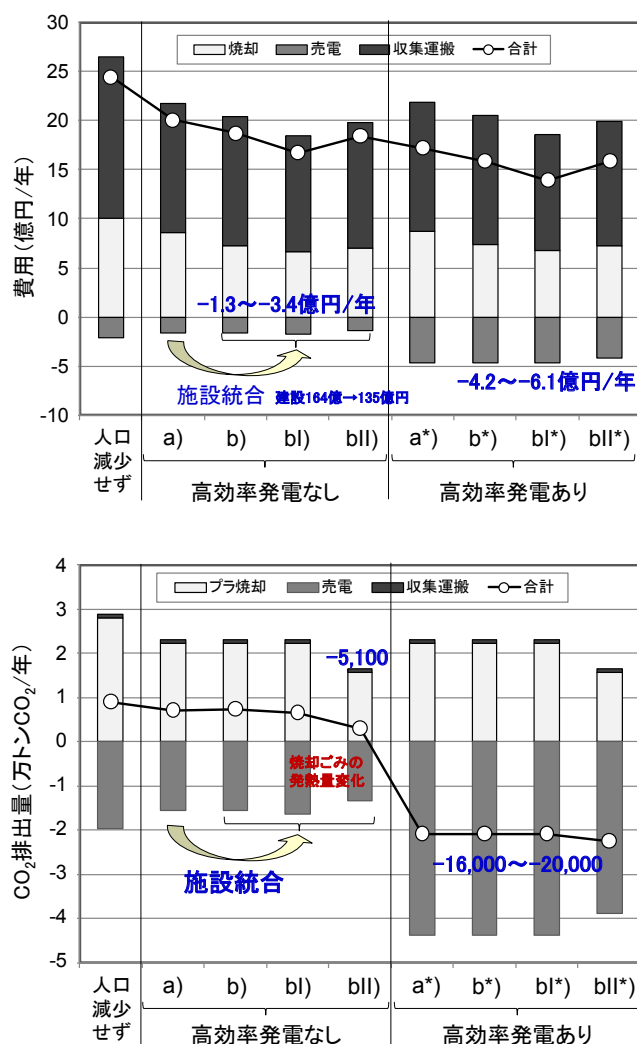


図 97 ケース A の評価結果 (a: 人口減少に対応した施設容量で施設統合せず (2 施設)、
 b: 1 施設に統合、bl: 1 施設に統合+生ごみリサイクル推進、bli: 1 施設に統合+プラリサイクル推進、
 * は高効率発電導入)

表 13 ケース A の評価結果のまとめ (* 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

次に、これらの結果を用いてリサイクルシステムの目標設計水準を算出した結果を表 13 に示す。これより、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（リサイクルのための分別収集を含む）のコストパフォーマンスをそれぞれ 3.7 万円/トン、6.2 万円/トン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/トンと多少悪くとも構わないことなどが示された。

(5) ヒストリー分析

次に、バイオマス資源循環のシステム実装のために、取組のヒストリー分析を実施した。そのねらいは、企図・計画した資源循環システムを実現させていくための知見を明らかにするというものである。表6で示した5つの方向性のいずれにも関係する内容であるが、実装のためは関わる人々が重要という視点では③のアプローチに関係が深い。

ここでは、主体が異なる3つの事例を取り上げ、ヒアリング調査により時系列的に取組の経緯を記述した。ヒアリングは、行政が主体の取組G（2013年7、9月；対象者8名、行政担当者、施設担当者、農業関係者、住民、有識者など）、民間事業者が主体の取組B（同11月；対象者5名、事業者全体統括、自社圃場担当者、販売担当者、行政担当者など）、その他組織が主体の取組O（2014年7月；対象者15名、大学関係者、学生、農業団体、協力事業者（スイーツ店、ホテル等のスイーツ販売店、食品加工業者）、市民、小学校教員など）のそれぞれに関わった複数の異なるステークホルダーに対して行った。その結果をヒストリー分析表にとりまとめたうえで、2015年5～6月に取組全体をもっとも把握する主要人物に再度ヒアリング調査を行い、内容の確認と追加を行って、ヒストリー分析表を完成させた。ヒストリー分析においては、2.3.1（4）で述べた構想・計画、人材・組織、実践・認識、交渉・調整の4つの戦略側面を用いた。

取組Gにおけるヒストリー分析表を図98に示す。取組の実施事項をボックスとして表示し、それらを矢印でつなぐことで取組の経緯や順序を示してある。また、ある実施内容や出来事が取組全体に好影響を与えたのか、悪影響を与えたのかをボックス中の大きな矢印にてそれぞれ上方、下方の向きで表現した。また、次のステージや長期的な影響・効果があった点や、著者らの解釈において重要と考えた点は星印を付した。本事例では、メタン発酵施設が設置されるまでの期間をステージ1と扱った。ステージ1の期間は6年余りで、この期間の目的は「生ごみを燃やさない仕組みの構築」といえる。

この事例では首長の決断を契機に取組が開始した。背景には、農業が衰退するなか、地域としてのビジョンが必要であったことに加えて、焼却処理の費用負担が重くなってきていたことがある。しかしながら、このようなビジョンがすぐに行政部局に浸透したわけではなく、ごみ行政が積極的にならない時期も存在した。組織改変と担当職員の任命により、首長の意向に合わせた取組が動き出すことになる。その後は、首長と担当職員とで直結して物事を進めることができた。この担当者は、過去に堆肥化の事業に関わっており、堆肥化について知見があったことに加え、農業というものについての理解もあったことが、その後、リサイクル肥料を農家に利用いただく際の布石になったといえる。当時の日本各地の堆肥化の取組においては堆肥化施設をつくればうまくいくという発想があったことは否めないが、その問題点を早期に理解して、

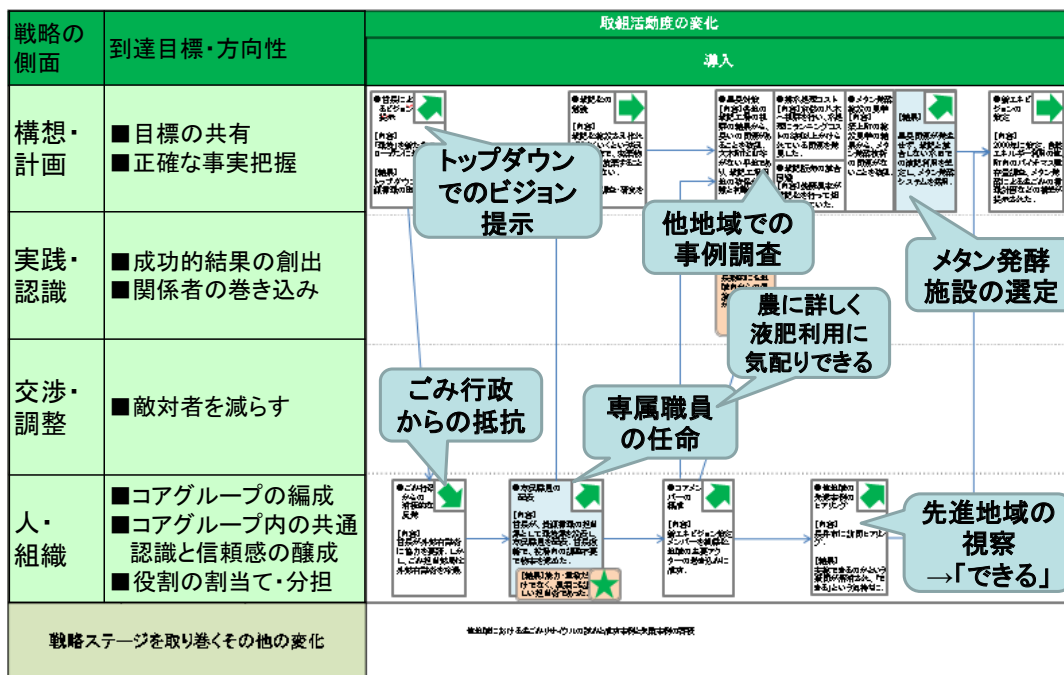


図98 地域のバイオマス資源循環に係る戦略ヒストリー分析表の例（取組G）

循環事業により製造された堆肥がどのように利用されるかに着目するようになっていた。また、他地域の工場視察により、堆肥化施設には臭いのあることを理解して、平地で臭いが拡散しやすいこの町では施設用地の確保が困難であると判断するに至っている。

地域の主要アクターを巻き込んだコアメンバーを地域エネルギーのビジョン策定に向けて組織化できたことは先々に好影響をもたらしている。また、コア組織運営の予算化に成功したことが他地域での事例調査を進めることを可能にし、的確なリサイクル技術（ここではメタン発酵技術）の選定や液肥利用する農家の協力を得るための説得材料を増やすことにつながった。他地域への施設では、メタン発酵施設で生成される液体を排水処理していて、ランニングコストの大半がかけられていることを把握していて、その液体は肥料として用いることを見定めている。また、リサイクル肥料の利用に課題があることについては、散布装置を用いて液体肥料をうまく利用する事例を確認し、農家に利用されるための工夫を把握することができている。

このような検討のなかから、地域での再生エネルギー利用の構想や、そのために用いることのできるバイオマスの賦存量の把握がされるに至った。

ステージ1の後半は、さらに取組の検討が進んで構想が具体化されていく。まず、産官学の行動研究事業を立ち上げることで活動予算を確保しつつ、生ごみの分別収集方法、リサイクル施設、リサイクル肥料の利用などの研究を行い、この地域で構築するリサイクルシステムの詳細を固めていく。大学が共同研究をしているということは、一つのネームバリューであり、取組の価値や成果を意義づけることに役立った。

分別については、モデル地区を設定して住民が参加した実証実験が行われる。この際、分別の方式は複数がテストされ、住民がよいと考える方式が検討された。住民選んだ仕組みということが分別への理解・協力を高めたと評することができる。また、順民側の分別の手間については、アンケートを行うことで、その負担感などが調査された。多くの住民が賛同した結果となり、そのアンケート結果を用いることでさらに住民の理解・協力を得ていくことにつながった。このような理解・支持は、シンポジウムを開催することでさらに広められていく。加えて、シンポジウムは、生ごみをリサイクルするというビジョンを周知させることにも寄与した。参加者が200人近いことや、首長も参加することで、町を取組の姿勢が伝わるとともに、外部有識者の講演により意義のある取組であることを再認識することができた。このようなシンポジウムは定期的に繰り返されていった。地域の新聞での取り上げもあり、広報効果とともに、そのことが関係者のモチベーションの維持や向上につながっていった。

他方、リサイクル肥料である液体肥料の利用については、液体肥料を利用する農家はこの町には存在していなかったことから、先進的に利用してもらえる農家を確保する必要があった。これが失敗すると、液肥を排水処理しなければならず、高コストになってしまうことは免れない。そこで、地域において新しいことに取り組んでいる農家を巻き込んで、試験的な利用を行った。最初は、メタン発酵施設からの液体肥料が使えるわけではなかったため、豚尿等の液体を用いて試験的な利用を行った。まずは液状の肥料の散布を実験してもらおうというものである。結果としては、肥料成分がばらつく、散布方法に課題があるといったことが判明した。その結果、農家、JA、行政等が液肥利用協議会を設置して、そこでさらなる検討を進めることになった。この協議会には、事務的能力がある行政担当者が関わることで、協議会の運営を着実に進めることにつながった。

この間、行政の担当職員が、首長交替に伴う人事異動で他部局に異動となった。これにより取組が停滞することになる。しかしながら、これまでの取組について、省庁や他の自治体から評価されたことで、首長が生ごみリサイクルの取組を継続させることを判断した。そのために、担当職員を呼び戻すことになった。

これらの検討から、リサイクル施設の整備のために必要な情報が蓄積され、バイオマスタウン構想が策定・公表された。バイオマス循環の取組としては、分別収集はバケツ・コンテナ方式、リサイクルはメタン発酵技術を採用して、メタンガスと液肥を回収し、液肥は水田で利用することとなった。その後、施設着工が始まり、施設の稼働に向けて、住民説明会が開催され、施設運営段階における役割分担が明確にされた。

このような事例分析の結果から、取組の立ち上げ段階では図99に示すようなステップで取組が進むことが多いと考えられた。各ステップでの目標やアクションを的確に実施していくことが取組の進展に貢献すると考えられる。

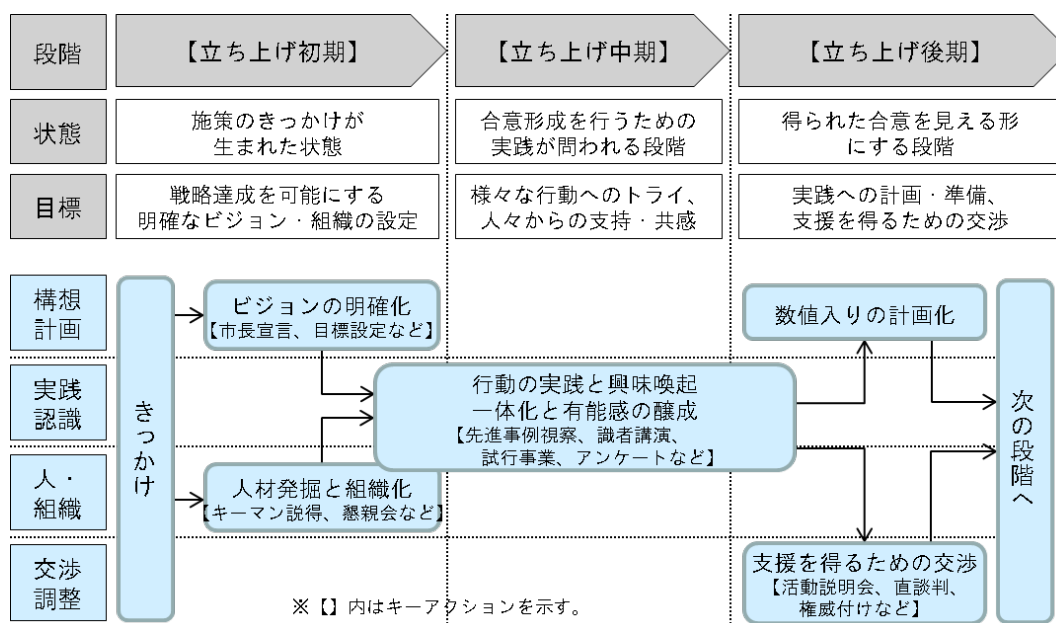


図 99 地域リサイクル・システムの立ち上げ段階における戦略実施項目

次に、バイオマス地域循環における実践的な取組上の留意点を考察した。バイオマス地域循環の3つのいずれの事例においても、次の3点がボトルネックであり、これらをいかに克服するかが重要であることが確認できた。

- 1) 分別収集の適切な実施
- 2) リサイクル肥料の利用促進
- 3) リサイクル肥料を用いて栽培した農作物の差別化と販売・利用の促進

1) については、協力いただく地域住民をどのように確保していくかという論点である。地域を限定した取組 B や協力意向のある住民に限定した取組 O というオプションはありえるが、一定の規模でリサイクル活動を行うことを考えると、住民が納得した分別方式・分別収集システムを提供すること、周知徹底のための住民説明を怠らないという、特に取組 G で観察された点が重要になるだろう。前者のために、分別収集の実証実験を行うことも有益であろう。

2) については、現在の農家が化学肥料に慣れているため、その認識から変えていく必要があり、単にリサイクル肥料を提示すればバイオマス・リサイクルが進まないことを物語っている。遅効性の肥料であるにもかかわらず、速効性を望むのはリサイクル肥料（堆肥や液肥）に対する正確な理解がされていないことを示すものである。化学肥料を代替するものというよりは、補完するものと捉えて、地道な説明が求められるだろう。また、協力的な農家を巻き込み、少しずつ協力農家を増やしていく段階的アプローチも大切である。一度、批判的な意見が農家の間に広まると、取り返しがつかないことになる可能性もある。また、散布の支援を考えることも有益だろう。

3) については、給食や公共施設での利用・販売、認証制度を利用したブランド化・付加価値化が主要な取組といえるだろう。都道府県の認証制度や第三者の認証制度を使うことや、自ら表示方法を工夫するなどの方法があるだろう。

続いて、4つの戦略上の側面から重要となる具体的な取組活動（以下「アクション」という。）について検討を行った。ヒストリー分析表の「構想・計画」の行に類型されたアクションをみると、将来ビジョンを構想・計画目標として明示したり、それをシンポジウムなどを共有するというアクションがある。また、他地域の施設や文献調査などによる正確な事実把握というアクションがあった。同様に抽出された主なアクション類型を表 14 に示す。小さくても成功的な結果を創出させて、スパイラル的に取組みを進展させることやモチベーションの醸成、敵対者を未然に減らしておく（増やさない）工夫など、計画的アプローチにはない方向性が抽出することができた。

さらに、取組みを効果的に進めるための行動（キーアクション）を抽出した。以下に抽出された18のキーアクションを説明する。

表 14 4つの戦略側面に対するアクション類型

	アクション類型
① 構想・計画	ビジョンの明示化と共有 正確な事実把握
② 実践・認識	現場での学習 成功的結果の創出 達成感・やる気の醸成
③ 交渉・調整	関係者の巻き込み 敵対者を減らす
④ 人材・組織	コアグループの編成・予算化 役割の割当て・分担 グループ内の信頼醸成

(ア) 計画策定

事業構想を明文化したり、事業計画として具体的に表現するアクション。事業の中心メンバーの間で目的意識やゴールを共有することや、なぜ生ごみ循環に取り組む必要があるのかを関係者に示すこと、事業の最終目標のために達成すべき事項（マイルストーン）を整理して適切に事業のリソースを割り当てることに役立てる。また、多くの関係者を巻き込むための「旗印」として機能する。

(イ) キーマン説得

影響力が強い関係者に対して協力を呼びかけ、活動への賛同者の拡大や中心メンバーの強化を図るアクション。説得の対象となるのは自治体の長や中心的立場の住民・農家などだが、多くの場合とりわけ自治体の長をいかに説得するかが重要である。また、自治体内で事業の位置付けを明確化するには、加えて担当部署の長（課長・部長）の了解も大切である。

(ウ) 組織への勧誘

組織に新しい人材を継続的に勧誘するアクション。メンバー獲得のため、同時に②「キーマン説得」や④「他組織連携」が実施されることがある。「仕組みを動かすステージ」で生ごみ循環の仕組みが確立して以降は、活動自体がマンネリ化し、組織が弱体化に向かうケースがある。確立された生ごみ循環の仕組みを維持するため、あるいは次なるステージの目標達成に向け、常に人材確保を視野に入れておくことが望まれる。

(エ) 他組織連携

同分野で活動している組織や他分野を専門とする組織との連携・協力を構築するアクション。生ごみ分別のルールを周知するために自治会連合会や婦人会などと連携したり、堆肥・液肥の販売のために農業団体と連携したりする事例がよく見受けられる。大学等の専門機関と連携し、堆肥・液肥の効果について科学的・客観的に示せるようにすることが重要となることもある。課題となっている分野で影響力を持つ組織と協力関係を結ぶことができれば、その他の【交渉】の際にも説得力や発言力が増し、効果的である。

(オ) 担当の設置

対象の取り組みに従事する担当を配置し【組織】力を高めるアクション。行政内部で担当部局や担当者を決定したり、中心メンバーのなかで事務局としての役割を果たす人を確定させる。活動の核となる組織ができることで、行動力や実践力が向上する、計画策定力や交渉力が上がるといったことにもつながる。

(カ) 情報収集

地域内部の関係者、あるいは外部の専門機関・専門家や先進事例地域などから情報を得て、あるいは自ら実験や技術検討を行って、知見やノウハウを増やすアクション。適切なシステムや方法の情報を得て【計画】に反映・フィードバックさせたり、【組織】メンバーの能力強化につながるほか、【交渉】を進める際の説得材料を獲得する。情報収集のため中央省庁を回り、有力人材との人脈形成や支援獲得を行うこともある。

(キ) 先進事例視察

先進事例等を視察し、知識・ノウハウを得たり、視察先の組織とのネットワークを構築するアクション。主に類似の先

進事例から成功要因や失敗の原因を学び、自地域の取り組みに反映するためのものである。中心メンバーが行動を共にして視察を行うことで結束力やモチベーションが強化される【組織】面や【実践】面の効果も期待できる。視察先の組織と良好な関係を築くことができれば、何かの際に相談に応じてもらえるようになる可能性もある。

(ク) 試行事業

いわゆる「モデル事業」「実証事業」を実施するアクション。バイオマス循環事業を構成する要素（生ごみ分別、収集・運搬、堆肥化・液肥化、施肥・栽培実験等）やその一部について、小規模なグループあるいはモデル地域において新たな手法を試し、その効果を検証したり、問題点を把握する。試行事業の【実践】を積み重ねることで、論拠をもって事業の内容を固め、【交渉】の際の説得材料にすることができる。トライ＆エラーの繰り返しにより新たな気づきが生まれ、【組織】のモチベーションや有能感の強化につながることもある。

(ケ) 活動説明会

地域の多くの関係者を集めて活動の内容を事前説明したり、活動報告を行うアクション。事前説明は、活動のビジョンや計画を普及させ、実践の第一歩になる。説明会で活動の意義を理解してもらい、取り組みの成果や進捗を報告することで賛同者が増えるという【交渉】面の効果もある。さらに、説明会が成功した場合は中心メンバーの意欲が高まるという【組織】面の効果が副次的に得られる場合もある。

(コ) 広報

活動内容や成果を広く発表するアクション。自治体の広報誌での紹介、チラシの配布、イベントの開催など様々な手法がある。テレビやラジオ等で取り上げられる効果は大きく、第三者であるメディアの権威を活用し、取り組みに賛同する雰囲気醸成する効果を持つ。同じ情報でも、複数のメディアから情報が入ってくると、人々の認知度は高まりやすい。

(カ) 非公式な広報

取り組みを取り巻く人々や関係者に私的に情報を伝えるアクション。⑩「広報」では、行政の広報誌や報道などで公的に広く情報を発信するが、「非公式な広報」ではより具体的な情報を、限定的なターゲットに伝える。「〇〇さんが言うことなら信頼できる」といった個人的なつながりを活かすことで、賛同者を増やしたり、理解を得たりする効果が強まる。生ごみ分別の協力者や堆肥・液肥の利用者を増やすうえでも、身近な仲間から伝え聞く評判の方が、広く浅い情報発信と比べて、より多くの住民を巻き込む効果がある。

(キ) 非公式な交流

中心メンバー内部や中心メンバーの候補の方と非公式に本音を語り合うアクション。中心となる組織では定期的に会議が開催されるのが一般的だが、こうした公式の場では発言しにくいこともある。懇親会や軽い立ち話など、公式の場以外でのコミュニケーションをとることで組織の一体化を高めたり、表面化しにくい課題の発見につなげることができる。

(ク) 識者講演・助言

特定分野の有識者を招聘して講演をしてもらうことや助言をしてもらうことにより、知識を増加させるアクション。講演には、例えば、ごみ問題や循環型社会、環境保全型農業、食と地域活性化などというテーマが設定される。中心メンバーの知識を増やすという点では【組織】の能力が強化される。また、地域住民や農家などを対象に講演会を開いて取り組みへの理解と賛同を広めることもあり、【交渉】面への効果もある。

(ケ) アンケート実施

関係者の認識や意向を調査するためのアクション。試行事業の結果を評価したり、事業に対する関係者の協力意向を把握したりすることができる。また、情報の取得だけでなく、アンケートの実施自体が事業のPRにもなりえる。そのためには、アンケート結果の見せ方にも工夫が必要である。さらに、試行事業への肯定的な結果を示すことで、他の住民も賛成の意向を高める【交渉】への効果もある。また、アンケートの結果を踏まえて構想や計画を練り直すことから【計画】面への効果もある。

(コ) 競合回避

リサイクル製品の販売先や引渡先の競合を避けるために、製品やユーザー、製品の用途などを工夫・調整するアクション。生ごみから堆肥を製造しても、その地域内で畜産農家が堆肥を製造している場合には、その製品との競合が生じる。品質

や価格で差別化して競争に勝つ戦略をとることも考えられるが、過度な競争は地域内に軋轢を生み、場合によっては活動の反対者になってしまうこともある。堆肥化でなく液肥化を選択する、堆肥が使用されていない米農家にターゲットを絞るなどの【計画】的な調整・工夫も大切である。

(タ) ブランド化

活動そのものや活動で産出する製品に、わかりやすいネーミングやキャッチコピー、ロゴ、キャラクターなどを付けて認知を高めたり、それらの価値をアピールするアクション。活動や製品への理解・認知をよくし、【交渉】をスムーズにする効果もある。PR の状況によっては、活動に参加するメンバーを獲得しやすくなるという副次的な効果もたらされることもある。有力な相手（自治体や有力企業など）との取引実績をアピールすることも同様の効果がある。

(チ) 権威付け・保証

活動から産出される製品や活動そのものを科学的あるいは第三者的に保証するアクション。例えば、堆肥や液肥の成分を分析してある基準を満たすことを保証することやその基準を策定すること、堆肥等を使用した農産物の認証制度を創設することなどが該当する。関係者の安心感や信頼感を高める【交渉】面の効果がある。国や都道府県、専門機関等による既存の認証制度を利用するだけでなく、独自の認証制度を新たに構築することもある。独自の制度を構築する場合には、その仕組みや実施体制を確立させる必要があるため、【計画】や【組織】面の検討も必要である。

(ツ) 評価

活動に協力的な関係者を表彰したり、活動の成果を評価して、その協力や活動を継続させることにつながるアクション。例えば、生ごみ分別に協力する住民や地区、リサイクル品の利用に協力的な農家を表彰することや、リサイクル率や廃棄物処理コストの改善効果を評価することが該当する。地域独自で表彰を行うだけでなく、国や都道府県、民間企業等による外部の表彰制度に応募することも有効である。外部からの評価により、首長や行政担当者、地域の人々の活動への認識や態度が変わることもある。結果として、中心メンバーや関係者の達成感を高めて【組織】の強化につながることも期待できる。

2.3.4 実務者ガイドの作成

以上の知見を、5年間のプロジェクトの研究成果として地域還元するため、地域循環システムを構築するにあたっての実務的な留意点を解説した自治体担当者や地域の担い手向けのガイドを作成した。策定の経緯を表15に示す。アドバイザー会合に参加いただいた有識者は、いずれもバイオマス活用アドバイザーの方々であり、阿部慎一郎氏（株式会社あうら・取締役）、清水夏樹氏（京都大学 学際融合教育研究推進センター・特定准教授）、菅原良氏（一般社団法人日本有機

表 15 実践者向けのガイドの策定経緯

年月	実施事項	検討内容
平成 26 年度	船井総合研究所ならびにみずほ情報総研株式会社の協力を得て国立環境研究所で調査研究を行い、ガイドの骨子案を作成	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス地域循環システムに関わる戦略の概念整理 ・事例分析のための訪問調査 ・戦略ガイドの骨子案の作成
平成 27 年 4 月	第 1 回アドバイザー会合	<ul style="list-style-type: none"> ・アドバイザー会合メンバー紹介 ・戦略ガイドの基本的事項について ・戦略ガイドの構成について ・モデルケースの戦略ルートについて ・キーアクションの具体例について
平成 27 年 7 月	第 2 回アドバイザー会合	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイドの構成について ・ガイドを読み進めるための基本事項について ・実践編モデルケースについて
平成 27 年 10 月 ～ 11 月	自治体ヒアリング (4 自治体対象)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイド案の紹介 ・ガイド案の内容に対する意見聴取
平成 27 年 11 月	第 3 回アドバイザー会合	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイド案に対する自治体コメントへの対応方針について
平成 28 年 1 月	第 4 回アドバイザー会合	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイド最終案の確認について
平成 28 年 3 月	ガイドの完成と公表	

資源協会・主幹)、中坪秀彰氏 (NTC コンサルタンツ株式会社・開発事業部長)、永利智子氏 (株式会社アトレア・コンサルティング・代表取締役) の5名である。また、ガイドの作成は、NPO 法人環境自治体会議 環境政策研究所理事長の小澤 (遠藤) はる奈氏と共同して実施した。

ガイドの内容としては、議論の結果、基礎的事項を説明する概論編と具体的な内容を説明する実践編に分けることとした。概論編では、まず、バイオマス循環を進める際に理解しておきたい世の中の大きな潮流として、バイオマス活用の動向とその意義、社会情勢、廃棄物に関わる動向、農業に関わる動向、エネルギーに関わる動向を述べることにした。バイオマス循環においては、複数の分野・行政担当をまたぐ場合は多く、その全体的な動向を意識しておくことが必要と考えられたためである。また、バイオマス循環を検討する際の留意点として、将来の廃棄物発生量、現在のごみ処理体系の変更の有無、リサイクル品の受入先、経済的に成立する事業、循環の「環」をつなぐ関係者、取り組みの進め方についての解説をすることとした。さらに、2.3.1 (4) で概念整理した戦略に関する視点を平易に説明した。これらは取組を進めるなかで、常に意識しておくべき点であると考えたためである。

実践編では、事例調査をもとに、3つのモデル地域を設定して、それらの地域においてバイオマス・リサイクルがどのように進むかを物語形式で説明することとした。内容理解を深めるうえで、教科書的あるいは通常のガイドラインのような解説をするよりも、物語が進行するなかで説明される方が有効との判断がある。また、地域の資源循環システムを構築するのは必ずしも行政だけではなく、市民や事業者が主体となるケースもある。そのため、多くのステークホルダーが読みやすい内容とすることも望ましいと考えた結果でもある。3つの物語いずれも6～14年にわたる取り組みの進展を描き、中長期的な視点で何をしていくべきかが理解できるようにも努めた。また取り組みは、仕組みを考えるステージ、仕組みを動かすステージ、仕組みを発展させるステージの3つに分けて説明をして、これからリサイクルを進めようとしている自治体にとっても、また、取り組みをすでに進めている自治体にとっても参考にしやすい構成とした。物語のページにおける実際の内容とその特徴を図100に示す。

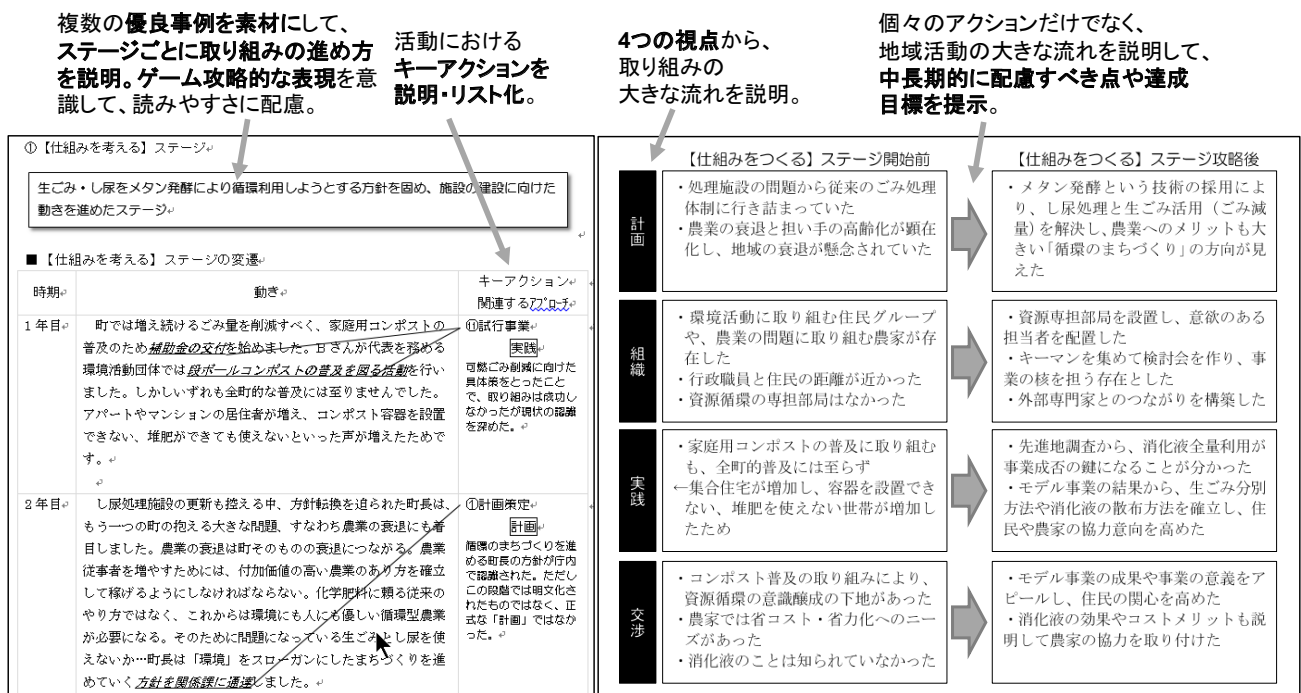


図 100 地域資源循環システムの構築に関する実務者向けのガイドの内容

2.3.5 まとめ

プロジェクト3では、地域資源循環システムの構築に係る研究を実施した。サブテーマ1のシステム構築の枠組み構築においては、地域におけるシステムづくりに関する動向や既往研究をレビューして、地域資源循環システムの方向性として、①統合化：資源利用効率の最大化、②地域活性：人的資源・社会関係資本の最大活用、③地域資源：持続可能な範囲

での利用効率の最大化、④人口減少：時間的最適化、⑤クリーン・サイクル：汚染・被害防止を確保した資源循環の5つを提示するとともに、システムの実装のための枠組みとして、既存の戦略研究の知見をふまえて、構想・計画、人材・組織、実践・認識、交渉・調整の4つの戦略側面を示した。また、資源利用・リサイクル分野における実践知を蓄積するナレッジ・データベースの構築を試みて、バイオマスリサイクルの事例から得られた521の問題と・385の解決策のデータを収集・整備することができた。

サブテーマ2のシステム評価・実装のための検討においては、廃棄物発生量や循環資源の品質、技術や施設性能情報などの地域特性を地域プロフィールとして収集し、バイオマス資源のN成分に着目した日本全国の需給バランス解析などを行い、需給のアンバランスが多い地方や特定するとともに、広域連携により需給バランスの改善効果を示した。さらに、焼却施設の統合化の検討では、リサイクルによるごみ減量、施設による統合効果などを費用削減とCO₂排出削減の面からモデルにより推計し、施設統合することで高効率発電を導入できるようになる場合に特にCO₂排出削減効果が大きいことを明らかにした。システム実装のために、事例のヒストリー分析を行って、有効に機能した、あるいは機能しなかった事象を整理し、取組実施上の要素として重要な事項を抽出した。例えば、明確な目標の設定、数値的根拠の把握、シングルループ学習、ダブルループ学習、関係者の関心喚起といった要素が抽出され、最終的には18の取組を効果的に進めるキーアクションを示した。

最後に、以上の5年間のプロジェクトの研究成果を地域還元するために、地域循環システムを構築するにあたっての実務的な留意点を解説した自治体担当者や地域の担い手向けのガイドを作成して、2016年3月にその公表を行った。

引用文献

- 1) 関満博 (2008) 地域産業の「現場」を行く, 第1集 地域の片隅から, 新評論社, 248p.
- 2) 関満博 (2009) 地域産業の「現場」を行く, 第2集 新たな価値の創造, 新評論社, 280p.
- 3) 関満博 (2010) 地域産業の「現場」を行く, 第3集 地域に広がる新たな力, 新評論社, 280p.
- 4) 茅明子, 奥和田久美 (2015) 研究成果の類型化による「社会実装」の道筋の検討, 社会技術研究論文集, 12, pp.12-22.
- 5) ヘンリー ミンツバーグ, ブルース アルストランド, ジョセフ ランペル (2013) 戦略サファリ第2版, 東洋経済新報社, 488p.
- 6) Reck B.K., Graedel T.E. (2012) Challenges in Metal Recycling, *Science*, 337, 690-695.
- 7) Daigo I., Matsuno Y., Adachi Y. (2010) Substance Flow Analysis of Chromium and Nickel in the Material flow of Stainless Steel in Japan, *Resources Conservation and Recycling*, 54, 851-863.
- 8) 佐野彰, 稲葉陸太, 田崎智宏 (2015) メタン発酵残渣の液肥利用における需給比改善に向けた隣接市町村連携の検討. 廃棄物資源循環学会論文誌, 26, 89-103
- 9) 三島慎一郎, 遠藤明, 白戸康人, 木村園子ドロテア (2009) 国・都道府県に存在する有機性廃棄物資源量と農耕地の有機物受け入れ量の推計, *日本土壤肥科学雑誌*, 80 (3), 226-232.
- 10) NEDO (2011) バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計.
- 11) 吉本敦, 木島真志, 柳原宏和 (2010) 隣接空間制約による林分団地化最適パターンの探求, *統計数理*, 58 (1), 113-126.
- 12) Ishikawa M. (1996) A logistic model for post-consumer waste recycling, *J. of Packaging Science & Technology*, 5 (2), 119-130.

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成

1.1 研究の組織

[A 研究担当者]

資源循環・廃棄物研究センター

センター長

大迫政浩

副センター長

寺園淳

循環型社会システム研究室

田崎智宏

稲葉陸太

河井紘輔

小島英子

加用千裕^{*)}

朱文率^{*)}

国際資源循環研究室

南齋規介

中島謙一

吉田綾

横尾英史

湯龍龍^{*)}

ライフサイクル物質管理研究室

梶原夏子

鈴木剛

小口正弘

滝上英孝^{*)}

藤森崇^{*)}

小栗朋子^{*)}

循環資源基盤技術研究室

肴倉宏史

松神秀徳

廃棄物適正処理処分研究室

山田正人

遠藤和人

石垣智基

尾形有香

落合知

金喜鍾^{*)}

石森洋行^{*)}

佐藤昌宏^{*)}

環境修復再生技術研究室

徐開欽

蛭江美孝

小林拓朗

神保有亮^{*)}

佐野彰^{*)}

呉亜鵬^{*)}

(注) 所属・役職は年度終了時点のもの。また、*印は過去に所属していた職員等を示す。

[B 客員研究員]

Awassada Phongphat	(キングモンクット工科大学)	(平成 27 年度)
Komsilp Wangyao	(キングモンクット工科大学)	(平成 24 ～ 27 年度)
阿部啓美	(福岡大学)	(平成 25 年度)
阿部誠	(秋田県立大学)	(平成 24 ～ 27 年度)
石森洋行	(立命館大学)	(平成 25 ～ 27 年度)
磯部友護	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 24 ～ 27 年度)
稲森悠平	((公財) 国際科学振興財団)	(平成 24 ～ 27 年度)
遠藤はる奈	(NPO 法人環境自治体会議環境政策研究所)	(平成 24 ～ 26 年度)
形見武男	((株) S・T 分析研究所)	(平成 24 ～ 26 年度)
葛原俊介	(仙台高等専門学校)	(平成 25 ～ 27 年度)
佐野彰	(京都大学)	(平成 26 年度)
神保有亮		(平成 25 ～ 27 年度)
須藤隆一	(特定非営利活動法人環境生態工学研究所)	(平成 24 ～ 27 年度)
高橋真	(愛媛大学)	(平成 24 ～ 26 年度)
高畑恒志	(特定非営利活動法人 KDF)	(平成 24 ～ 27 年度)
橘治國	(特定非営利活動法人水圏環境科学研究所)	(平成 27 年度)
田中宏和	(福井県衛生環境研究センター)	(平成 24 ～ 27 年度)
東條安匡	(北海道大学)	(平成 24 ～ 27 年度)
長森正尚	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 24 ～ 27 年度)
野馬幸生	(福岡女子大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
橋本征二	(立命館大学)	(平成 24 年度)
早川和一	(金沢大学)	(平成 24 ～ 26 年度)
藤森崇	(京都大学)	(平成 24 ～ 26 年度)
山末英嗣	(京都大学)	(平成 24 ～ 26 年度)
李玉友	(東北大学)	(平成 25 ～ 27 年度)

[C MOU (外国研究機関との覚書) の締結]

タイ・King's Mongkut University of Technology	(平成 25 ～ 27 年度)
タイ・Kasetsart University	(平成 23 ～ 27 年度)
タイ・Laemchabang Municipality	(平成 23 ～ 27 年度)
中国・住宅・都市農村建設部	(平成 23 ～ 27 年度)
インドネシア・Institut Teknologi Bandung	(平成 26 ～ 27 年度)
タイ・The Joint Graduate School of Energy and Environment Kasetsart University	(平成 24 ～ 27 年度)
中国・Basel Convention Regional Center for Asia and the Pacific	(平成 26 ～ 27 年度)
韓国・Korea Basel Forum	(平成 26 ～ 27 年度)

インドネシア・Institut Teknologi Bandung	(平成 26 ～ 27 年度)
フィリピン・University of the Philippines Foundation, Inc.	(平成 27 年度)
ベトナム・Hue University Of Sciences	(平成 26 ～ 27 年度)

1.2 研究課題と担当者

サブテーマ 1 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

寺園淳・中島謙一・南齋規介・吉田綾・横尾英史・梶原夏子・鈴木剛・小口正弘・松神秀徳・田崎智宏・肴倉宏史・滝上英孝^{*)}・藤森崇^{*)}・湯龍龍^{*)}・小栗朋子^{*)}

サブテーマ 2 アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築

山田正人・石垣智基・遠藤和人・尾形有香・落合知・徐開欽・虻江美孝・小林拓朗・大迫政浩・河井紘輔・石森洋行^{**) **)}・神保有亮^{**) **)}・呉亜鵬^{*)}・Awassada Phongphiphat^{**) **)}・Komsilp Wangyao^{**) **)}・阿部啓美^{**) **)}・阿部誠^{**) **)}・磯部友護^{**) **)}・高畑恒志^{**) **)}・橘治國^{**) **)}・田中宏和^{**) **)}・東條安匡^{**) **)}・長森正尚^{**) **)}

サブテーマ 3 地域特性を活かした資源循環システムの構築

田崎智宏・稲葉陸太・河井紘輔・小島英子・中島謙一・山田正人・石垣智基・小口正弘・南齋規介・大迫政浩・藤井実・平野勇二郎・佐野彰^{**) **)}・加用千裕^{*)}・朱文率^{*)}・遠藤はる奈^{**) **)}

(注) ^{*)} 過去に所属していた職員等、^{**)} 客員研究員

2 研究成果発表一覧

2.1 誌上発表

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

(1) 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

Daigo I., Nakajima K., Fuse M., Yamasue E., Yagi K. (2014) Sustainable materials management on the basis of the relationship between materials' properties and human needs. *Materiaux & Techniques*, 102 (5), 506

Fujimori T., Takigami H., Agusa T., Eguchi A., Bekki K., Yoshida A., Terazono A., Ballesteros Jr.F.C. (2012) Impact of metals in surface matrices from formal and informal electronic-waste recycling around Metro Manila, the Philippines, and intra-Asian comparison. *Journal of Hazardous Materials*, 221-222, 139-146

藤森崇, 横尾英史, 中島謙一 (2012) インジウムの資源価値と有害性の統合評価に向けて. *金属*, 82 (7), 620-624

Fujimori T., Takigami H., Takaoka M. (2013) Organochlorines in surface soil at electronic-waste wire burning sites and metal contribution evaluated using quantitative X-ray speciation. *Journal of Physics*, 430, 012094-1-012094-4

Fujimori T., Takigami H. (2014) Pollution distribution of heavy metals in surface soil at an informal electronic-waste recycling site. *Environmental Geochemistry and Health*, 36, 159-168

藤墳新菜, 中島謙一, 松野 (2013) 世界における建築用鋼材の動的マテリアルフロー分析. *鉄と鋼*, 99 (12), 716-721

藤墳新菜, 中島謙一, 松野泰也 (2014) 世界における産業機械用鋼材の動的マテリアルフロー分析. *鉄と鋼*, 100 (8), 1036-1042

Hiraki T., Takeda O., Nakajima K., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Thermodynamic criteria for the removal of impurities from end-of-life magnesium alloys by evaporation and flux treatment. *Science and Technology of Advanced Materials*, 12 (3)

Hiraki T., Miki T., Nakajima K., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2014) Thermodynamic Analysis for the Refining Ability of Salt Flux for Aluminum Recycling. *Materials*, 7 (8), 5543-5553

飯野成憲, 辰市祐久, 茂木敏, 吉田慎太郎, 寺園淳, 小口正弘, 荒井康裕 (2014) 法施行後のボックス回収等による小型家電製品の回収実態. *東京都環境科学研究所年報 2014*, 110-111

Kajiwaru N., Noma Y., Takigami H. (2011) Brominated and organophosphate flame retardants in selected consumer products on the Japanese market in 2008. *Journal of Hazardous Materials*, 192 (3), 1250-1259

Kajiwaru N., Desborough J., Harrad S., Takigami H. (2013) Photolysis of brominated flame retardants in textiles exposed to natural sunlight. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15, 653-660

Kajiwaru N., Takigami H. (2013) Emission behavior of hexabromocyclododecanes and polybrominated diphenyl ethers from flame-retardant-treated textiles. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15, 1957-1963

Kajiwaru N., Hirata O., Takigami H., Noma Y., Tachifuji A., Matsufuji Y. (2014) Leaching of brominated flame retardants from mixed wastes in lysimeters under conditions simulating landfills in developing countries. *Chemosphere*, 116, 46-53

梶原夏子 (2015) 製品に含まれる臭素系難燃剤の使用時および廃棄後の挙動. *化学物質と環境*, 129, 10-12

Kim S., Oguchi M., Yoshida A., Terazono A. (2013) Estimating the amount of WEEE generated in South Korea by using the population balance model. *Waste Management*, 33 (2), 474-483

Kojima M., Yoshida A., Sasaki S., Chung S. (2013) Lessons Learned from illegal transboundary movement of hazardous waste in Asia. In: Kojima M., Michida E.eds., *International Trade In Recyclable And Hazardous Waste In Asia*, Edward Elgar, 149-173

古積博, 岩田雄策, 山崎ゆきみ, 寺園淳 (2013) 金属スクラップ堆積物の火災事例と問題点. *安全工学*, 52 (2), 113-120

古積博, 山崎ゆきみ, 寺園淳 (2013) 金属スクラップ堆積物の火災事例. *都市清掃*, 66 (314), 75-79

Law R.J., Covaci A., Harrad S., Herzke D., Abdallah M.A.-E., Fernie K., Toms L-M. L., Takigami H. (2014) Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: Status at the end of 2012. *Environment International*, 65, 147-158

Lonas A.C., Gomez A.B., Uchida N., Suzuki G., Kajiwaru N., Takata K., Takigami H., Leonards P.E., Covaci A. (2015) Comprehensive characterisation of flame retardants in textile furnishings by ambient high resolution mass spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry and environmental forensic microscopy. *Environmental Research*, 142, 712-719

Lu X., Hiraki T., Nakajima K., Takeda O., Matsubae K., Zhu H.M., Nakamura S., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic analysis of separation of alloying elements in recycling of end-of-life titanium products. *Separation and Purification Technology*, 89, 135-141

- Lu X., Nakajima K., Sakanakura H., Matsubae K., Bai H., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic estimation of minor element distribution between immiscible liquids in Fe-Cu-based metal phase generated in melting treatment of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32, 1148-1155
- Ma H., Matsubae K., Nakajima K., Tsai M., Shao K., Chen P., Lee C., Nagasaka T. (2011) Substance flow analysis of zinc cycle and current status of electric arc furnace dust management for zinc recovery in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 56 (1), 134-140
- 松八重一代, 中島謙一, 長坂徹也 (2012) 電炉ダスト処理の重要性と問題点. *金属*, 82 (11), 991-996
- 松八重一代, 大野肇, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2013) 自動車リサイクルにおける鉄鋼合金元素のフロー解析. *ふえらむ*, 18 (12), 743-747
- 松八重一代, 飯塚陽祐, 大野肇, 平木岳人, 三木貴博, 中島謙一, 長坂徹也 (2014) 自動車由来鉄鋼スクラップ再資源化における鉄鋼合金元素分配傾向. *鉄と鋼*, 100 (6), 788-793
- 松八重一代, 飯塚陽祐, 長村弘樹, 大野肇, 中島謙一, 長坂徹也 (2014) 廃自動車由来の鉄鋼スクラップソーティングのコストベネフィット解析. *鉄と鋼*, 100 (6), 794-798
- Matsubae K., Webeck E., Nansai K., Nakajima K., Tanaka M., Nagasaka T. (2015) Hidden phosphorus flows related with non-agriculture industrial activities: A focus on steelmaking and metal surface treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 360-367
- 松神秀徳, 戸館侑孝, Sicco H. Brandsma, Pim E. G. Leonards, 滝上英孝 (2014) リン酸エステル系難燃剤の定量分析法の開発と国際相互検定研究による検証. *環境化学*, 24 (2), 41-49
- Matsukami H., Kose T., Watanabe M., Takigami H. (2014) Pilot-scale incineration of wastes with high content of chlorinated and non-halogenated organophosphorus flame retardants used as alternatives for PBDEs. *Science of the Total Environment*, 493, 672-681
- Matsukami H., Tue N.M., Suzuki G., Someya M., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2015) Flame retardant emission from e-waste recycling operation in northern Vietnam: Environmental occurrence of emerging organophosphorus esters used as alternatives for PBDEs. *Science of the Total Environment*, 514, 492-499
- Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nagasaka T. (2011) Thermodynamic Analysis for the Controllability of Elements in the Recycling Process of Metals. *Environmental Science and Technology*, 45 (11), 4929-4936
- Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Kondo Y., Kagawa S., Inaba R., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Identifying the Substance Flow of Metals Embedded in Japanese International Trade by Use of Waste Input-Output Material Flow Analysis (WIO-MFA) Model. *ISIJ International*, 51 (11), 1934-1939
- 中島謙一, 橋本征二, 醍醐市朗 (2012) 都市鉱山の有効利用と産業エコロジー研究. *金属*, 82 (7), 563-566
- 中島謙一 (2012) 日本の物質フローとレアメタル. *電気学会誌*, 132 (11), 750-753
- 中島謙一 (2013) 金属の資源循環と産業エコロジー研究:鉄鋼材料と合金元素の循環利用への挑戦. *環境資源工学*, 60 (4), 186-191
- 中島謙一, 三田村修一, 松八重一代, 田中幹也 (2014) ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクルに向けた技術動向. *環境管理*, 50 (9), 41-45
- Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Nagasaka T. (2014) Material Flow of Iron in Global Supply Chain. *ISIJ International*, 54 (11), 2657-2662
- Nakajima K., Otsuka Y., Iwatsuki Y., Nansai K., Yamano H., Matsubae K., Murakami S., Nagasaka T. (2014) Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics. *Metallurgical Research and Technology*, 111, 339-346
- 中島謙一, 松八重一代, 南齋規介, 高柳航 (2015) サプライチェーンに内在する多面的リスク:ニッケルの資源利用と環境影響. *エネルギー・資源*, 38 (6), 314-318
- Nakamura S., Kondo Y., Matsubae K., Nakajima K., Tasaki T., Nagasaka T. (2012) Quality- and Dilution Losses in the Recycling of Ferrous Materials from End-of-Life Passenger Cars: Input-Output Analysis under Explicit Consideration of Scrap Quality. *Environmental Science and Technology*, 46 (17), 9266-9273
- Nakamura S., Kondo Y., Kagawa S., Matsubae K., Nakajima K., Nagasaka T. (2014) MaTrace: Tracing the Fate of Materials over Time and Across Products in Open-Loop Recycling. *Environmental Science and Technology*, 48 (13), 7207-7214

- Nansai K., Kondo Y., Kagawa S., Suh S., Nakajima K., Inaba R., Tohno S. (2012) Estimates of Embodied Global Energy and Air-Emission Intensities of Japanese Products for Building a Japanese Input-Output Life Cycle Assessment Database with a Global System Boundary. *Environmental Science & Technology*, 46 (12), 9146-9454
- Nansai K., Kagawa S., Kondo Y., Tohno S., Suh S. (2013) Chapter 19: Estimating global environmental impacts of goods and services produced in Japan using a global link input-output model (GLIO). In: Murray J, and Lenzen M.ed., *The Sustainability Practitioner*, Common Ground Publishing, 180-189
- Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A., Takigami H. (2012) Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. *Waste Management*, 32 (1), 96-103
- 小口正弘 (2012) 使用済み電気・電子製品の組成情報と金属二次資源としての類型化. *金属*, 82 (7), 31-35
- 小口正弘 (2013) 有害金属のPRTR データと環境排出量. *廃棄物資源循環学会誌*, 24 (2), 135-143
- Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A. (2013) Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1124-1132
- 小口正弘 (2014) 第 23 章 回収水銀の保管・処分形態の熱力学的探索. 高岡昌輝監修, 水銀に関する水俣条約と最新対策・技術, シーエムシー出版, 222-229
- Oguchi M., Fuse M. (2015) Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for automobiles and a simplified estimation method. *Environmental Science and Technology*, 49, 1738-1743
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2014) Unintentional Flow of Alloying Elements in Steel during Recycling of End-of-Life Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 18 (2), 242-253
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Kondo Y., Nakamura S., Nagasaka T. (2015) Toward the efficient recycling of alloying elements from end of life vehicle steel scrap. *Resources, Conservation and Recycling*, 100, 11-20
- Rauert C., Harrad S., Suzuki G., Takigami H., Uchida N., Takata K. (2014) Test chamber and forensic microscopy investigation of the transfer of brominated flame retardants into indoor dust via abrasion of source materials. *Science of the Total Environment*, 493, 639-648
- Sakai S., Yoshida H., Hirai Y., Asari M., Takigami H., Takahashi S., Tomoda K., Peeler M.V., Wejchert J., Schmid-Untersch T.et al. (2011) International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13 (2), 86-102
- Stubbings W.A., Kajiwarra N., Takigami H., Harrad S. (2016) Leaching behaviour of hexabromocyclododecane from treated curtains. *Chemosphere*, 144, 2091-2096
- Suzuki G., Tue N.M., van der Linden S.C., Brouwer A., van der Burg B., Velzen M.V., Lamoree M., SOMEYA M., Takahashi S., Isobe T., Tajima Y., Yamada T., Takigami H., Tanabe S. (2011) Identification of major dioxin-like compounds and androgen receptor antagonist in acid-treated tissue extracts of high trophic-level animals. *Environmental Science and technology*, 45 (23), 10203-10211
- Suzuki G., Tue N.M., Malarvannan G., Sudaryanto A., Takahashi S., Tanabe S., Sakai S.-I., Brouwer A., Uramaru N., Kitamura S., Takigami H. (2013) Similarities in the Endocrine-Disrupting Potencies of Indoor Dust and Flame Retardants by Using Human Osteosarcoma (U2OS) Cell-Based Reporter Gene Assays. *Environmental Science and Technology*, 47, 2898-2908
- 鈴木剛, 滝上英孝, 渡部真文, 酒井伸一 (2013) 臭素系難燃剤に含まれる不純物としての2,4,6-トリプロモフェノールの同定. *環境化学*, 23 (3), 123-127
- 鈴木剛 (2013) 臭素化ダイオキシン類のリスク評価: 規制管理へ向けたアプローチ. *ぶんせき*, 11, 692-693
- Suzuki G., Tue N.M., Takahashi S., Tanabe S., Sakai S., Takigami H. (2014) Effect-based Hazard Identification of House Dust by In Vitro Assays Detecting Dioxin-like Compounds, Thyroid and Reproductive Toxicants. *Current Organic Chemistry*, 18, 2231-2239
- 竹田修, 中島謙一, 三木貴博 (2012) 金属資源有効利用のための熱力学からのアプローチ -鉄鋼、銅、鉛の乾式製錬プロセス-. *金属*, 82 (7), 616-619
- 滝上英孝, 渡部真文, 高菅卓三, 久谷和也 (2011) 廃プラスチック圧縮過程を模擬した実験における化学物質の放散. *土木学会論文集 G (環境)*, 67 (7), III_773-III_781
- 滝上英孝 (2014) 自動車のリサイクルと化学物質. *化学物質と環境*, 124, 8-10
- Takigami H., Watanabe M., Kajiwarra N. (2014) Destruction behavior of hexabromocyclododecanes during incineration of solid waste containing expanded and extruded polystyrene insulation foams. *Chemosphere*, 116, 24-33

- Tao F., Matsukami H., Suzuki G., Tue N.M., Viet P.H., Takigami H., Harrad S. (2016) Emerging halogenated flame retardants and hexabromocyclododecanes in food samples from an e-waste processing area in Vietnam. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18, 361-370
- 田崎智宏, 石塚隆記, 滝上英孝 (2012) 物質管理の基本方策の類型化とその特徴把握 (その1) ~物質管理の変遷と管理方策の類型化、曝露防止・クローズド化・管理体制の整備の特徴~. *環境科学会誌*, 25 (4), 259-279
- 田崎智宏, 石塚隆記, 滝上英孝 (2012) 物質管理の基本方策の類型化とその特徴把握 (その2) ~チェックゲート管理・情報管理・資源確保の特徴~. *環境科学会誌*, 25 (4), 280-295
- 寺園淳, 吉田綾, 滝上英孝 (2011) 国際資源循環における有害性・資源性を持つ物質の管理. *環境研究*, (162), 28-36
- 寺園淳 (2011) 循環資源貿易の考え方と金属スクラップ (雑品) の事例. *化学物質と環境*, (109), 7-10
- 寺園淳, 吉田綾 (2012) 使用済家電製品の国内フローに関する考察と中古品輸出量の推定. *廃棄物資源循環学会誌*, 23 (4), 280-294
- 寺園淳 (2014) 不用品回収業者について. *生活と環境*, 59 (12), 1
- 寺園淳 (2014) 研究紹介「国際資源循環に対応した製成品中資源性・有害性物質の適正管理」. 九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター ニュースレター, (12)
- 寺園淳, 小口正弘, 飯野成憲, 茂木敏 (2015) 東京都における使用済みの電池類と小型家電の分別排出状況. *東京都環境科学研究所年報 2015*, 60-61
- Terazono A., Oguchi M., Iino S., Mogi S. (2015) Battery Collection in Municipal Waste Management in Japan: Challenges for Hazardous Substance Control and Safety. *Waste Management*, 39, 246-257
- Thomas Kinnaman, Yokoo H. (2011) The Environmental Consequences of Global Reuse. *American Economic Review*, 101 (3), 71-76
- Tue N.M., Takahashi S., Suzuki G., Isobe T., Viet P.H., Kobara Y., Seike N., Zhang G., Sudaryanto A., Tanabe S. (2013) Contamination of indoor dust and air by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants and relevance of non-dietary exposure in Vietnamese informal e-waste recycling sites. *Environment International*, 51, 160-167
- Tue N.M., Suzuki G., Takahashi S., Kannan K., Takigami H., Tanabe S. (2013) Dioxin-related compounds in house dust from New York State: Occurrence, in vitro toxic evaluation and implications for indoor exposure. *Environmental Pollution*, 181, 75-80
- Tue N.M., Katsura K., Suzuki G., Tuyen L.H., Takasuga T., Takahashi S., Viet P.H., Tanabe S. (2014) Dioxin-related compounds in breast milk of women from Vietnamese e-waste recycling sites: Levels, toxic equivalents and relevance of non-dietary exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 220-225
- Tuyen L.H., Tue N.M., Suzuki G., Misaki K., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S. (2014) Aryl hydrocarbon receptor mediated activities in road dust from a metropolitan area, Hanoi-Vietnam: Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and human risk assessment. *Science of the Total Environment*, 491-492, 246-254
- Tuyen L.H., Tue N.M., Takahashi S., Suzuki G., Viet P.H., Subramanian A., Bulbule K.A., Parthasarathy P., Ramanathan A., Tanabe S. (2014) Methylated and unsubstituted polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from Vietnam and India: Occurrence, distribution and in vitro toxicity evaluation. *Environmental Pollution*, 194, 272-280
- Webeck E., Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2014) Analysis of Phosphorus Dependency In Asia. *SOCIOTECHNICA*, 11, 119-126
- Webeck E., Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2015) Phosphorus Flows in the Asian Region. *Global Environmental Research*, 19, 9-17
- Yamasue E., Matsubae K., Nakajima K., Hashimoto S., Nagasaka T. (2013) Using Total Material Requirement to Evaluate the Potential for Recyclability of Phosphorous in Steelmaking Dephosphorization Slag. *Journal of Industrial Ecology*, 17 (5), 722-730
- 山末英嗣, 松八重一代, 中島謙一, 醍醐市朗, 石原慶一 (2014) 使用済み自動車から得られる鉄スクラップの関与物質総量. *鉄と鋼*, 100 (6), 778-787
- 吉田綾 (2011) 4. 以旧換新と中国の家電リサイクル. 中国環境問題研究会編, 中国環境ハンドブック 2011-2012年版, 蒼蒼社, 66-75
-

(2) アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築

Chu C-F., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2012) Hydrogen and methane potential based on the nature of food waste materials in a two-stage thermophilic fermentation process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (14), 10611-10618

蛭江美孝, 酒谷孝宏, 楊新泌 (2013) 欧州における小規模排水処理施設の現状と認証制度. *月刊浄化槽*, 446 (6), 13-21

蛭江美孝 (2014) 浄化槽技術・システムのパッケージでの海外展開. *用水と廃水*, 56 (10), 77-81

稲森悠平, 徐開欽, 井上廣輝, 稲森隆平, 須藤隆一 (2012) 生活排水対策の要としての浄化槽の性能評価における日本型システム国際標準化の必然性. *用水と廃水*, 54 (11), 14-26

Ishigaki T. (2011) Greenhouse Gas Emission from Solid Waste Disposal Sites in Asia. In: Sunil Kumared., *Intergrated Waste Management volumeII, INTECH*, 461-472

Ishigaki T., Sawamura H., Ikeda K., Yamada M. (2012) Community Shift of Methane-oxidizing Bacteria in Cover Soil of Waste Landfills Due to Methane Emission. *Environment and Pollution*, 1 (1), 75-84

Ishigaki T. (2012) NIES Support for Appropriate Management of Waste Generated in 2011 Thailand Floods. *Newsletter of Japan Society of Material Cycle and Waste Management*, 80, 1-3

神保有亮, 蛭江美孝, 桂萍, 稲森悠平, 徐開欽 (2011) 生活排水を処理するハイブリッド型人工湿地における STEP 流入による窒素除去性能の向上と N2O 排出量の削減. *用水と廃水*, 53 (12), 63-70

神保有亮 (2012) し尿処理技術選択アルゴリズムの例. *月刊浄化槽*, (438), 23-27

河井紘輔, 大迫政浩 (2011) ベトナム国ハノイ市における有価物フロー推計. *環境衛生工学研究*, 25 (2), 21-29

Kawai K., Osako M., Matsui S., Dong N.T. (2012) Identification of junk buyers' contribution to recycling of household waste in Hanoi, Vietnam, through a physical composition analysis. *Waste Management & Research*, 30 (7), 681-688

Kawai K., Huong L.T.M., Osako M. (2012) Accumulation and Reliability of Data on Municipal Solid Waste Management in Urban Areas of Vietnam. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, 68 (6), II_465-II_471

Kawai K., Osako M. (2013) Advantages and disadvantages of a municipal solid waste collection service for citizens of Hanoi City, Vietnam. *Waste Management & Research*, 31 (3), 327-332

Kawai K., Tasaki T. (2016) Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18 (1), 1-13

Kimochi Y., Sugawara M., Tabata Y., Tezuka K., Xu K-Q., Inamori R., Inamori Y. (2012) Seasonal characteristics of N2O and CH4 emission from a domestic wastewater treatment process with biofilm under energy-saving operation. *Journal of Bioindustrial Science*, 1 (1), 32-38

小林拓朗, 徐開欽, 李玉友 (2011) 中国農村地域における家庭用バイオガス施設の現況. *用水と廃水*, 53 (9), 707-717

小林拓朗, 呉亜鵬, 徐開欽, 李玉友, 稲森悠平 (2011) 循環式水素・メタン二段発酵プロセスにおける消化液返送方法が水素発酵に及ぼす影響. *水環境学会誌*, 34 (11), 161-171 <平成 23 年年間優秀論文賞 (メタウォーター賞) 受賞>

小林拓朗, 徐開欽, 李玉友, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2011) バイオガス循環曝気式新規生物脱硫プロセスの連続実験による性能評価. *土木学会論文集 G (環境)*, 67 (7), III_651-III_660

Kobayashi T., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2012) Effect of sludge recirculation on characteristics of hydrogen production in a two-stage hydrogenmethane fermentation process treating food wastes. *International journal of hydrogen energy*, 37 (7), 5602-5611

Kobayashi T., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2012) Performance evaluation and effect of biogas circulation rate of a bubble column for biological desulfurization. *Water Science and Technology*, 66 (9), 1914-1922

Kobayashi T., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2012) Evaluation of hydrogen and methane production from municipal solid wastes with different compositions of fat, protein, cellulosic materials and the other carbohydrates. *International journal of hydrogen energy*, 37, 15711-15718

小林拓朗, 金澤拓大, 安井英斉, 李玉友 (2012) 余剰活性汚泥の好気性および嫌気性条件における自己分解特性の比較. *下水道協会誌*, 49 (600), 107-114

Kobayashi T., Wu Y., Xu K-Q., Li Y-Y. (2013) Effect of Mixing Driven by Siphon Flow: Parallel Experiments Using the Anaerobic Reactors with Different Mixing Modes. *Energies*, 6 (8), 4207-4222

- 小林拓朗, 日高平, 小野寺崇 (2013) 嫌気性微生物処理分野における最近の研究動向. 水環境学会誌, 36 (12), 422-429
- 小林拓朗, 李玉友 (2014) 嫌気性消化に関する IWA 第 13 回国際会議 (13 th World Congress on Anaerobic Digestion) 参加報告. 再生と利用, 37 (142), 77-84
- 小林拓朗 (2014) 嫌気性技術による排水・廃棄物処理と未利用バイオマスからのエネルギー生産. 水環境学会誌, 37 (1), 9
- Kobayashi T., Wu Y.P., Lu Z.J., Xu K-Q. (2015) Characterization of Anaerobic Degradability and Kinetics of Harvested Submerged Aquatic Weeds Used for Nutrient Phytoremediation. *Energies*, 8, 304-318
- 小林拓朗 (2016) 嫌気性微生物を用いた環境浄化および資源・エネルギー生産の研究開発と応用. 水環境学会誌, 39 (1), 9
- Kumar G., Sivagurunathan P., Kobayashi T., Xu K-Q., Kim S.H. (2015) Simultaneous removal of 5-hydroxy methyl furfural (5-HMF) and hydrogen production from acid H₂SO₄ pretreated red-algal hydrolysate via hybrid immobilized cells. *Algal Research* 11, 11, 326-333
- Kumar G., Bakonyi P., Kobayashi T., Xu K-Q., Periyasamy S., Kim S.H., Buitron G., Nemestothy N., Belafi-Bako K. (2016) Enhancement of biofuel production via microbial augmentation: The case of dark fermentative hydrogen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 879-891
- Lee D.Y., Xu K-Q., Kobayashi T., Li Y.Y., Inamori Y. (2014) Effect of organic loading rate on continuous hydrogen production from food waste in submerged anaerobic membrane bioreactor. *International journal of hydrogen energy*, 39 (30), 16863-16871
- 李玉友, 小林拓朗, 劉予宇 (2012) 生物系(バイオ)材料の処理技術. 生物処理のための科学. リサイクル・廃棄物事典編集委員会編, 真の環境保全・資源確保を考慮した 3R の促進のためのリサイクル・廃棄物事典, 産業調査会, 99-105 224-248
- 李玉友, 小林拓朗 (2015) メタン発酵と消化液農地還元利用を核としたバイオマス循環システム. 中井裕編, コンポスト科学 - 環境の時代の研究最前線, 東北大学出版会, 195-214
- Li Y.Y., Kobayashi T., Wakahara S. (2015) Development and Applications of Anaerobic Membrane Bioreactor in Japan. In: Fang HHP and Zhang T. 編, *Anaerobic Biotechnology: Environmental Protection and Resource Recovery*, Imperial College Press, 191-209
- Ling Z-W., Tong X-N., Li Y-H., Wang X-Z., Xu K-Q., Kong H-N. (2013) Study on Nitrogen Removal Process of Treatments for Slightly Contaminated Water on Hybrid Constructed Wetlands. *Research of Environmental Sciences*, 26 (3), 320-325 <In Chinese>
- Mander U., Dotro G., Ebie Y., Towprayoon S., Chiemchaisri C., Nogueira S.F., Jamsranjav B., Kasak K., Truu J., Tournebize J., Mitsch W.J. (2014) Greenhouse gas emission in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Ecological Engineering*, 66, 19-35
- 長森正尚, 山田正人, 石垣智基 (2016) 埋立地ガス調査による廃棄物最終処分場の安全確認について. 廃棄物資源循環学会誌, 27 (1), 39-48
- Niu Q., Kobayashi T., Takemura Y., Kubota K., Li Y.Y. (2015) Evaluation of functional microbial community's difference in full-scale and lab-scale anaerobic digesters feeding with different organic solid waste: Effects of substrate and operation factors. *Bioresource Technology*, 193, 110-118
- 尾形有香, 合田昌平, 遠山忠, 清和成, 池道彦 (2015) *Sphingobium fuliginis* OMI 株によるビスフェノール S の分解経路および活性汚泥による分解生成物の除去特性. 水環境学会誌, 38 (5), 139-147
- Periyasamy S., Kumar G., Baconyi P., Kim S.H., Kobayashi T., Xu K-Q., Lakner G., Tosh G., Nemestothy N., Belafi-Bako K. (2016) A critical review on issues and overcoming strategies for the enhancement of dark fermentative hydrogen production in continuous systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (6), 3820-3836
- Soda S., Arai T., Inoue D., Ishigaki T., Ike M., Yamada M. (2013) Statistical Analysis of Global Warming Potential, Eutrophication Potential, and Sludge Production of Wastewater Treatment Plants in Japan. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 4, 33-40
- Toyama T., Nishimura Y., Ogata Y., Sei K., Mori K., Ike M. (2016) Effects of planting *Phragmites australis* on nitrogen removal, microbial nitrogen cycling, and abundance of ammonia-oxidizing and denitrifying microorganisms in sediments. *Environmental Technology*, 37 (4), 478-485
- WU Yapeng, 小林拓朗, 徐開欽, 李玉友 (2013) サイフォン式無動力攪拌のメタン発酵に及ぼす効果—異なる攪拌方式の比較実験—. 環境技術, 42 (5), 291-299
- 徐開欽 (2011) 海外での MBR システムによる排水再利用の動向—アメリカにおける事例を中心に. 環境浄化技術, 10 (3), 30-37
- 徐開欽, 加藤善盛, 稲森悠平 (2011) 中国における水環境保全対策の動向と水ビジネスへの展開. 配管技術, 53 (15), 8-19
- 徐開欽, 小林拓朗 (2011) 中国における水環境の現状とその保全対策の動向. 産業と環境, 40 (11), 73-82

- 徐開欽, 楊新泌 (2012) 中国における水環境の現状と分散型排水処理システムの動向. 月刊浄化槽, (433), 33-39
- 徐開欽, 稲森隆平, 陶村貴, 稲森悠平 (2015) 活性汚泥生物の必要酸素量自動制御 AOSD システムを用いた高度処理技術の開発. 用水と廃水, 57 (4), 297-304
- 徐開欽, 稲森悠平 (2015) 省エネルギー・低炭素型の排水処理技術の高度化. 用水と廃水, 57 (11), 805-813
- 徐開欽, 孔海南, 王欣澤 (2016) 中国における湖沼環境問題とその再生対策. 用水と廃水, 58 (1), 73-81
- Zhen G., Lu X., Kobayashi T., Li Y.Y., Xu K-Q., Zhao Y. (2015) Mesophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and *Egeria densa*: Performance assessment and kinetic analysis. *Applied Energy*, 148, 78-86
- Zhen G., Lu X., Kobayashi T., Kumar G., Xu K-Q. (2016) Anaerobic co-digestion on improving methane production from mixed microalgae (*Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp.) and food waste: Kinetic modeling and synergistic impact evaluation. *Chemical engineering journal*, 299, 332-341
- (3) 地域特性を活かした資源循環システムの構築**
- 藤井実, 藤田壮, 陳旭東, 大西悟, 大迫政浩, 森口祐一, 山口直久 (2011) 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, II_439-II_447
- Fujii M., Fujita T., Chen X., Ohnishi S., Yamaguchi N. (2012) Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 1-8
- 藤井実 (2013) 廃プラスチック類の効率的・安定的なリサイクルと処理に向けて. 日廃振センター情報, 2013 (夏), 12-15
- Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Yamaguchi N., Yong G., Park H. (2014) Regional and temporal simulation of a smart recycling system for municipal organic solid wastes. *Journal of Cleaner Production*, 78, 208-215
- Fujii M., Fujita T., Dong L., Lu C., Geng Y., Behera S.K., Park H.S., Chiu A.S.F. (2016) Possibility of developing low-carbon industries through urban symbiosis in Asian cities. *Journal of Cleaner Production*, 114, 376-386
- 平野勇二郎, 稲葉陸太, 酒井広平, 早瀬百合子, 大迫政浩 (2013) 民生業務部門における業種別エネルギー消費量の詳細推計. 環境科学会誌, 26, 430-439
- 稲葉陸太, 橋本征二 (2012) 廃棄物系バイオマスの利用に関する LCA の論点. 日本 LCA 学会誌, 8 (4), 321-327
- Ishigaki T. (2011) Bioleaching of Metals from Solid Waste Incineration Ash. In: Satoshi Soda, Michihiko Ike, Mitsuo Yamashita eds., *Handbook of Metal Biotechnology: Application for Environmental Conservation and Sustainability*, Pan Stanford Publishing, 101-108
- Ju M., Osako M., Harashina S. (2012) Impact of Food Consumption Styles on Food Waste Generation (Case Study of Japan). *Journal of Korean Society of Waste Management*, 29 (6), 505-511 <In Korean>
- Ma H., Matsubae K., Nakajima K., Tsai M., Shao K., Chen P., Lee C., Nagasaka T. (2011) Substance flow analysis of zinc cycle and current status of electric arc furnace dust management for zinc recovery in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 56 (1), 134-140
- 松八重一代, 飯塚陽祐, 大野肇, 平木岳人, 三木貴博, 中島謙一, 長坂徹也 (2014) 自動車由来鉄鋼スクラップ再資源化における鉄鋼合金元素分配傾向. 鉄と鋼, 100 (6), 788-793
- 松八重一代, 飯塚陽祐, 長村弘樹, 大野肇, 中島謙一, 長坂徹也 (2014) 廃自動車由来の鉄鋼スクラップソーティングのコストベネフィット解析. 鉄と鋼, 100 (6), 794-798
- Matsuoka M., Masuda T., Hase T., Yamada M., Fujiwara T. (2016) Site selection for catch crop processing facilities. *Letters in Spatial and Resource Sciences*,
- 中島謙一, 橋本征二, 醍醐市朗 (2012) 都市鉱山の有効利用と産業エコロジー研究. 金属, 82 (7), 563-566
- 中島謙一, 三田村修一, 松八重一代, 田中幹也 (2014) ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクルに向けた技術動向. 環境管理, 50 (9), 41-45
- Ohnishi S., Fujita T., Chen X., Fujii M. (2012) Econometric analysis of the performance of recycling projects in Japanese Eco-Towns. *Journal of Cleaner Production*, 33, 217-225
- 大西悟, 藤田壮, 藤井実, 戸川卓哉, Dong Liang (2014) 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. 日本 LCA 学会誌, 10 (3), 299-306

- 大西悟, 藤田壮, Dong Liang, 藤井実 (2014) 産業共生と都市共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開. 環境共生, 25 (9月号), 33-44
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2014) Unintentional Flow of Alloying Elements in Steel during Recycling of End-of-Life Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 18 (2), 242-253
- 大迫政浩 (2012) 将来シナリオと産業廃棄物および処理業界への影響に関する論考. *INDUST*, 27 (10), 5-9
- 大迫政浩 (2013) 原発災害後の環境再生と資源循環システム - バイオマスのエネルギー利用を含めて -. 環境施設, (132), 16-23
- 佐野彰, 稲葉陸太, 田崎智宏 (2015) メタン発酵残渣の液肥利用における需給比改善に向けた隣接市町村連携の検討. 廃棄物資源循環学会論文誌, 26, 89-103
- 田崎智宏, 稲葉陸太, 河井紘輔, 小島英子, 小澤(遠藤)はる奈 (2016) -. 田崎智宏, 稲葉陸太, 河井紘輔, 小島英子, 小澤(遠藤)はる奈著, 物語で理解するバイオマス活用の進め方～分別・リサイクルから利用まで～, , 87p
- 袖山義人, 稲葉陸太, 松橋啓介, 栗島英明, 中村真人 (2012) 豚ふん尿を原料とするメタン発酵システム導入による地域活性化戦略. 農業農村工学会資源循環研究部会論文集, 8, 45-54
-

2.2 口頭発表

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

(1) 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

阿草哲郎, 滝上英孝, 江口哲史, 藤森崇, 戸次加奈江, 吉田綾, 寺園淳, Florencio C. Ballesteros Jr., 高橋真 他 (2011) フィリピンの e-waste リサイクル労働者における微量元素汚染. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 860-861

Agusa T., Takigami H., Eguchi A., Fujimori T., Bekki K., Yoshida A., Terazono A., Ballesteros Jr.F.C., Takahashi S., Iwata H., Tanabe S. (2011) Human Exposure to Trace Elements from e-waste Recycling Sites in the Philippines. The Life Cycle of Metals: Improving Health, Environment and Human Security, Abstracts of The Life Cycle of Metals: Improving Health, Environment and Human Security, 8

阿草哲郎, 滝上英孝, 江口哲史, 藤森崇, 戸次加奈江, 吉田綾, 寺園淳, Florencio C. Ballesteros Jr., 高橋真, 岩田久人, 田辺信介 (2011) フィリピンの e-waste リサイクル労働者における微量元素曝露の実態. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, 539-540

Agusa T., Takigami H., Eguchi A., Fujimori T., Bekki K., Yoshida A., Terazono A., Ballesteros F.C.J., Takahashi S., Iwata H., Tanabe S. (2012) Contamination by trace elements in e-waste recycling workers in the Philippines. Workshop for Knowledge Sharing on E-waste in the Philippines (The 8th NIES Workshop on E-waste), Abstracts of Workshop for Knowledge Sharing on E-waste in the Philippines (The 8th NIES Workshop on E-waste)

阿草哲郎, 滝上英孝, 藤森崇, 江口哲史, 戸次加奈江, 吉田綾, 寺園淳, Florencio C. Ballesteros Jr., Keshav A. Bulbule, Peethmbaram Parthasarathy (2012) インドおよびフィリピンの e-waste リサイクル労働者における微量元素曝露の実態. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 545-546

秋元裕太, 葛原俊介, 寺園淳, 小口正弘 (2015) リチウムイオン二次電池に使用される金属量の評価. 平成 27 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 資源・素材講演集, 2(2), PY-41

秋元裕太, 葛原俊介, 寺園淳, 小口正弘 (2016) ノート PC 用バッテリーパックに含有する有害金属の定量評価. 第 21 回高専シンポジウム, 同講演要旨集

安藤成美, 葛原俊介, 寺園淳, 小口正弘 (2015) 高品位電子基板類の加熱処理時における貴金属の分配挙動. 第 20 回高専シンポジウム, 同講演要旨集

安藤成美, 葛原俊介, 小口正弘, 寺園淳 (2015) 廃電気電子基板中の貴金属類の定量分析に関する検討. 平成 27 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 資源・素材講演集, 2(2), PY-39

安藤成美, 葛原俊介, 小口正弘, 寺園淳 (2016) 前処理条件が電子基板の Au 定量に及ぼす影響. 第 21 回高専シンポジウム, 同講演要旨集

浅川亨, 市場正良, 井上興一, 染谷孝, 滝上英孝, 上野大介 (2012) 小学生を対象とした手を介した有機リン系難燃可塑性剤 (PFRPs) の経口摂取量の推定. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 326-327

Daigo I., Iwata K., Oguchi M., Goto Y. (2014) Characteristics of observation year based distributions - time-series change of building lifespan in Japan -. The Joint 11th International Society For Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Abstracts of The Joint 11th International Society For Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference

Daigo I., Iwata K., Oguchi M., Goto Y. (2015) Changing average lifetime of buildings over time analysed on the basis of D-based distribution. Product Lifetimes And The Environment (PLATE) Conference 2015, Proceedings, 89-93

Devanathan G., Isobe T., Subramanian A., Kajiwara N., Asante K.A., Suzuki G., Takahashi S., Tanabe S. (2011) Current pollution status of organohalogen compounds in India: with special focus on human exposure. 20h Symposium on Environmental Chemistry, Abstracts, 392-393

藤川直人, 小栗朋子, 松神秀徳, 鎌迫典久, 滝上英孝 (2015) 液晶ディスプレイ中金属含有量とその溶出. 第 24 回環境化学討論会, 同予稿集, 106

藤森崇, 滝上英孝, 阿草哲郎, 江口哲史, 戸次加奈江, 吉田綾, 寺園淳, F.C. Ballesteros Jr. (2011) フィリピンの E-waste リサイクルサイトにおける重金属および希少金属の濃度レベル評価. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 342-343

藤森崇, 滝上英孝 (2012) E-waste リサイクル敷地内における表層土壌の重金属汚染スケール. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 388-389

- 藤森崇, 鈴木剛, 滝上英孝 (2012) 蛍光 X 線多元素マッピングによる工場ダスト中フラグメントの視認同定. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 496-497
- Fujimori T., Suzuki G., Takigami H. (2012) Identification of fragments with rich specific elements in factory dust by multi-elemental μ -XRF mapping. EU INTERFLAME Project Kick-Off Workshop, -
- 藤森崇, 江口哲史, 阿草哲郎, 鈴木剛, Nguyen Minh Tue, Pham Hung Viet, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) 使用済み鉛バッテリーリサイクルによる表層土壌の鉛汚染: 時間、距離、汚染経路、起源. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 178-179
- 藤森崇, 宇智田奈津代, 阿草哲郎, 鈴木剛, Nguyen Minh Tue, Pham Hung Viet, 田辺信介, 滝上英孝 (2014) ベトナムの使用済み鉛バッテリーリサイクルサイト周辺における鉛化学形態の深度分布. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 100-101
- 藤森崇, 松井大, 谷口雅哉, 高岡昌輝, 塩田憲司, 小栗朋子 (2015) 模擬体液中での可給態率を用いた幼児用玩具中重金属の経口摂取によるリスク評価. 第 85 回日本衛生学会学術総会, 同講演集, 70, S193
- Hashimoto S., Oshio M., Oguchi M. (2012) Estimation of local stocks and discards of small-size electric and electronic equipment and their content metals to establish an efficient collection system in Japan. MFA-ConAccount section Conference 2012
- Hashimoto S., Oshio M., Oguchi M. (2012) Estimation of local stocks and discards of small-size electric and electronic equipment and their content metals to establish efficient collection systems in Japan. EcoBalance2012 (The 10th International Conference on EcoBalance), Proceedings
- 飯野成憲, 辰市祐久, 茂木敏, 吉田慎太郎, 寺園淳, 小口正弘, 荒井康裕 (2014) 小型家電リサイクル法に基づくボックス回収等の実態. 廃棄物資源循環学会第 25 回研究発表会, 講演原稿集, 131-132
- Ishimori H., Sakanakura H., Endo K., Ishigaki T., Yamada M. (2013) Compatibility between Batch Leaching Test and Colum Leaching Test for Environmental Safety Evaluation of By-product/Recycled Materials. 30th Anniversary Conference of Korea Society of Waste Management, Abstracts
- 岩月泰典, 山野博哉, 中島謙一, 村上進亮 (2014) 衛星画像解析による露天掘鉱山開発に伴う土地利用変化の把握. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 30-31
- Iwatsuki Y., Yamano H., Nakajima K., Murakami S. (2014) Mining impact on the changes in land use measured by satellite images analysis. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Ecobalance 2014 Abstract Book
- Kajiwara N., Takigami H. (2012) Hazardous substances in automobiles and their behavior during usage. International Workshop on 3R Strategy and ELV Recycling 2012, -
- Kajiwara N., Takigami H., Noma Y., Hirata O., Tachifuji A., Matsufuji Y. (2013) Leaching Behavior of Brominated Flame Retardants from the Landfill Lysimeters Simulated as in the Developing Countries. 6th International Symposium On Flame Retardants, Abstracts
- 梶原夏子, 滝上英孝, 小瀬知洋, 鈴木剛, 酒井伸一 (2013) 使用済み自動車部材および車内ダスト中の難燃剤等の調査 (第 3 報). 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 208-209
- 梶原夏子, 滝上英孝 (2013) ハウスダスト粒径別の臭素系難燃剤の蓄積特性. 室内環境学会学術大会, 平成 25 年室内環境学会学術大会講演要旨集, 212-213 <平成 25 年室内環境学会学術大会大会長奨励賞 (口頭発表) 受賞 >
- Kajiwara N., Takigami H., Kose T., Suzuki G., Sakai S. (2014) BROMINATED FLAME RETARDANTS AND RELATED SUBSTANCES IN THE INTERIOR MATERIALS AND CABIN DUSTS OF END-OF-LIFE VEHICLES COLLECTED IN JAPAN. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- Kajiwara N., Takigami H., Kose T., Suzuki G., Sakai S. (2015) Flame Retardants and Related Substances in the Interior Parts and Cabin Dusts of End-of-life Vehicles (4th Report). 24th Symposium on Environmental Chemistry, 24th Symposium on Environmental Chemistry Program and Abstracts
- 梶原夏子, 松神秀徳, 滝上英孝 (2016) PBDEs の室内発生源および化学変換ポテンシャルに関する研究. 第 25 回環境化学討論会, 同予稿集
- 桂加奈, Nguyen Minh Tue, 鈴木剛, 染矢雅之, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介 (2011) ベトナムの廃棄物処理地域におけるダイオキシン様物質のバイオアッセイモニタリング. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 450-451
-

- 桂加奈, NguyenMinhTue, 鈴木剛, 高菅卓三, PhamHungViet, 高橋真, 田辺信介 (2012) ベトナム e-waste 処理地域におけるヒト母乳中からの臭素化ダイオキシン類の検出と未知活性物質を含むリスク評価の重要性. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 254-255
- 桂加奈, Tue Nguyen M., Tuyen Le H., 鈴木剛, 高橋真, Viet Pham H., 田辺信介 (2013) ベトナム廃プラスチック処理地域で採取したヒト母乳の in vitro 内分泌攪乱活性スクリーニングと乳幼児のリスク評価. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集
- 北島爽一郎, 吉永淳, 小栗朋子, 成川知弘 (2014) 日本人の足爪中ヒ素の化学形態. 第 20 回ヒ素シンポジウム, 同講演要旨集, 30-31
- 小瀬知洋, 戸舘侑孝, 川田邦明, 滝上英孝 (2013) 古紙廃プラ固形燃料製造工程における樹脂添加剤の分解挙動. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 210-211
- 黒瀬航, 小瀬知洋, 滝上英孝, 川田邦明 (2011) マイクロチャンバー法を用いた縮合リン酸エステル類難燃剤の分解生成物の室内放散挙動とリスク評価. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 214-215
- 黒瀬航, 小瀬知洋, 滝上英孝, 川田邦明 (2012) 縮合リン酸エステル類難燃剤による難燃化製品から生じる分解生成物の使用時および廃棄時における排出評価. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 322-323
- Kuribara I., Kataoka T., Wada T., Kajiwaru N., Suzuki G., Takigami H. (2014) DIRECT MIGRATION OF HEXABROMOCYCLODODECANE FROM TREATED FABRIC INTO DUST. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- 松八重一代, 中島謙一, 林誠一, 長坂徹也 (2012) 東日本大震災に伴う東北三県で発生する鉄スクラップ量推計とその資源化インフラキャパシティ. 日本 LCA 学会第 7 回研究発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 4-5
- 松八重一代, 大野肇, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2012) 鉄系合金元素管理のための自動車スクラップソーティングの重要性. 日本鉄鋼協会第 163 回春季大会, 材料とプロセス, 85-87
- Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2012) Development of Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model and Its Applications. 10th international conference on ecobalance, Proceedings
- Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2013) Phosphorus Flow Analysis for Food Production and Consumption. REWAS2013, Abstracts, 423-424
- Matsubae K., Nansai K., Nakajima K., Nagasaka T. (2014) Resource logistics for sustainable management of agricultural nutrients. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), EcoBalance 2014 Abstract book
- 松神秀徳, Tue Nguyen M., 鈴木剛, 染矢雅之, 宇智田(野田)奈津代, 藤森崇, Tuyen Le H., 阿草哲郎, Viet Pham H., 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) ベトナム北部における E-waste リサイクルに伴う難燃剤の環境排出実態調査 (第一報). 環境化学討論会第 22 回, 第 22 回環境化学討論会要旨集, 202-203
- 松神秀徳, 戸舘侑孝, 滝上英孝, Sicco H. Brandsma, Pim E. G. Leonards (2013) リン系難燃剤および可塑剤分析に関する国際比較. 環境化学討論会第 22 回, 第 22 回環境化学討論会要旨集, 570-571
- Matsukami H., Tue N.M., Suzuki G., Someya M., Noda N., Fujimori T., Tuyen L.H., Agusa T., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2013) EMISSIONS OF PBDE AND NON-PBDE FLAME RETARDANTS FROM PRIMITIVE E-WASTE RECYCLING ACTIVITIES IN THE NORTHERN PART OF VIETNAM. 33rd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants and POPs (Dioxin 2013), -
- Matsukami H., Tue N.M., Suzuki G., Someya M., Uchida-Noda N., Fujimori T., Tuyen L.H., Agusa T., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2014) Cumulative Health Risk Assessment of Flame Retardants and Plasticizers in Soils from Vietnamese Informal E-Waste Recycling Site. 1st Southeast Asian Workshop on the Integrated Exposure and Effects Analysis, Abstracts
- 松神秀徳, Nguyen Minh Tue, 鈴木剛, 染矢雅之, 宇智田(野田)奈津代, 藤森崇, Le Huu Tuyen, 阿草哲郎, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2014) ベトナム北部の E-waste リサイクル施設における難燃剤の環境排出実態調査 (第二報). 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 246-247
- 松神秀徳, 鈴木剛, 梶原夏子, 滝上英孝 (2014) E-waste のインフォーマルリサイクルに伴う環境汚染物質のターゲットおよびノンターゲットスクリーニング. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 365-366
- Matsukami H., Tue N.M., Suzuki G., Someya M., Noda N., Fujimori T., Tuyen L.H., Agusa T., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2014) Emissions of PBDEs and alternative aryl phosphates around e-waste recycling area in the northern part of Vietnam. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts

- 松神秀徳, 鈴木剛, Tue N.M, Tuyen L.M, 染矢雅之, 阿草哲郎, Viet P.H, 高橋真, 田辺信介, 鎌迫典久, 滝上英孝 (2015) ベトナム北部における E-waste のリサイクル作業に伴う難燃剤の環境排出実態調査 (第三報), 第 24 回環境化学討論会, 同予稿集, 89 < 第 24 回環境化学討論会 優秀学生賞 (博士課程) 受賞 >
- 三崎健太郎, 鈴木剛, Nguyen Minh Tue, 染矢雅之, 滝上英孝, 田島木綿子, 山田格, 天野雅男, 磯部友彦, 高橋真, 田辺信介 (2011) 野生高等動物組織抽出物中の抗アンドロゲン活性と有機塩素系農薬. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 478-479
- 三崎健太郎, 鈴木剛, グエン・ミン・トゥエ, 染矢雅之, 滝上英孝, 田嶋木綿子, 山田格, 天野雅男, 磯部友彦, 高橋真, 田辺信介 (2012) 野生高等動物組織抽出物の抗アンドロゲン活性に対する毒性定量評価. 京都大学環境衛生工学会第 34 回シンポジウム, 環境衛生工学研究, 26(3), 140-143
- 溝口修史, 松八重一代, 南齋規介, 中島謙一, 稲葉陸太, 長坂徹也 (2014) 窒素・リンに着目した農業用栄養塩類のサプライチェーン分析. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 102-103
- 森村武史, 松八重一代, 中島謙一, 稲葉陸太, 長坂徹也 (2012) アジア各国間での農作物輸出入に伴うリン資源の国際フロー解析. 日本 LCA 学会研究第 7 回発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 240-241
- 村上 (鈴木) 理映, 寺園淳, 吉田綾 (2011) E-waste 管理制度の比較分析 - 先進国の経験と途上国へのインプリケーション. 環境経済・政策学会 2011 年大会, 環境経済・政策学会 2011 年大会プログラム
- 中島謙一, 中村慎一郎, 近藤康之, 竹田修, 三木貴博, 松八重一代, 長坂徹也 (2011) 鉄鋼合金元素の物質フロー分析. 第 162 回日本鉄鋼協会秋期大会, 鉄と鋼 (CAMP-ISIJ), 24, 884
- Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Thermodynamic consideration on accompanying elements during cyclic use of metals. ISIE 2011 Conference, Abstracts of ISIE 2011 Conference
- 中島謙一, 中村慎一郎, 近藤康之, 大野肇, 竹田修, 三木貴博, 松八重一代, 長坂徹也 (2012) WIO-MFA によるニッケル, クロム, モリブデンの物質フロー分析. 日本鉄鋼協会第 163 回春季大会, 材料とプロセス, 103-106
- Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Kondo Y. (2012) Global flow of metals and phosphorus: Identifying its network structure and implication for sustainable resource management. MFA-ConAccount Section Conference 2012, -
- Nakajima K., Ohno H., Kondo Y., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2012) Combined Application of MFA with Thermodynamic Analysis for Sustainable Resource Use. 10th international conference on ecobalance, Proceedings
- Nakajima K., Matsubae K., Kondo Y., Nakamura S., Nagasaka T. (2013) IO-MFA and Thermodynamic Approach for Metal Recycling. REWAS2013, Abstracts, 412-413
- 中島謙一 (2013) 金属およびリンの国際サプライチェーン分析. 日本鉄鋼協会第 165 回春季公園大会, 材料とプロセス, 26, 234
- 中島謙一 (2013) 金属の資源循環と産業エコロジー研究: 鉄鋼材料と合金元素の循環利用への挑戦. 環境資源工学会第 131 回例会, なし
- Nakajima K., Nansai K., Matsubae K., Yamasue E., Kondo Y. (2013) Global flow of metals and phosphorus: Supply chain analysis towards to resource logistics. ISIE2013, ISIE, 7th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, -
- Nakajima K., Nansai K., Daigo I., Murakami S., Matsubae K. (2015) Linking the local consumption of nickel to global supply Chain. The 7th International Conference on Life Cycle Management, -
- 中島謙一 (2014) サプライチェーンを通じた資源利用の高度化・高効率化に向けて. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集
- 中島謙一 (2014) サプライチェーンを通じたニッケルの資源利用と環境影響 - 資源利用の高度化・高効率化の役割と期待 -. 一般社団法人表面技術協会 将来めっき技術検討部会 第 18 回例会, なし
- Nakajima K., Nansai K., Yamano H., Matsubae K., Murakami S. (2014) Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility to control the resource logistics. 8th International Conference on Society & Materials, -
- Nakajima K., Nansai K., Yamano H., Matsubae K., Murakami S., Otsuka Y., Iwatsuki Y., Nagasaka T. (2014) Global flow of nickel: Identifying its supply chain and implication for sustainable resource management. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Ecobalance 2014 Abstract Book
- 中村昌文, Nguyen Minh Tue, 中田俊芳, 半田洋士, 鈴木剛 (2014) 生物検定法による臭素系ダイオキシン類の検出特性評価. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 359-360

- Nakamura S., Kondo Y., Matsubae K., Nakajima K., Nagasaka T. (2011) UPIOM: A new hybrid tool of MFA and its application to primary and secondary Metals associated with construction and car manufacturing. ISIE 2011 conference, Abstracts of ISIE 2011 conference
- Nakamura S., Kondo Y., Matsubae K., Nakajima K., Tasaki T., Nagasaka T. (2012) Input-output analysis of the quality and dilution losses associated with recycling of ferrous materials embedded in passenger vehicles. MFA-ConAccount Section Conference 2012, -
- 中村哲也, 大野肇, 松八重一代, 平木岳人, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2014) 動的 WIO-MFA (MaTrace) を用いたアルミニウム新地金消費量の削減ポテンシャルの評価. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 24-25
- Nishijima D., Hasegawa R., Nakajima K., Kagawa S. (2014) Combining product lifetime distribution analysis with multi-regional waste input-output analysis: A case study of automobiles in Japanese prefectures. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Ecobalance 2014 Abstract Book
- Nishimura C., Fujimori T., Suzuki G., Agusa T., Takaoka M., Takahashi S., Tue N.M., Viet P.H., Tanabe S., Takigami H. (2014) Percentage contributions of chlorinated aromatic compounds in electronic waste open burning soils. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- 西村智椰, 藤森崇, 鈴木剛, 阿草哲郎, 大下和徹, 高岡昌輝, 高橋真, Nguyen Minh Tue, Pham Hung Viet, 田辺信介, 滝上英孝 (2014) 廃電気・電子製品の野焼き土壌における有機塩素化合物の存在割合. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 242-243
- Oguchi M. (2011) Characterization and flow analysis of substances contained in e-waste in Japan for better management in future. 4th International Contaminated Site Remediation Conference (CleanUp 2011), Program and Proceedings of 4th International Contaminated Site Remediation Conference (CleanUp 2011), 27-28
- 小口正弘 (2012) 余剰回収水銀の長期保管形態の熱力学的探索. 水銀含有製品および廃棄物を対象とした最新の研究セミナー. 水銀含有製品および廃棄物を対象とした最新の研究セミナープログラム, 16-27
- 小口正弘, 肴倉宏史, 藤崎芳利 (2012) 市区町村における使用済み電気・電子製品の処理・資源回収実態のアンケート調査. 全国都市清掃研究・事例発表会第 33 回, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 97-99
- 小口正弘, 布施正暁 (2012) 耐久財の使用年数分布の国際比較分析. 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 106-107
- 小口正弘, 寺園淳, 肴倉宏史 (2012) 自治体の廃棄物処理における廃電気電子機器と含有金属のフロー. 国際協力シンポジウム眠る都市鉱山, なし
- Oguchi M. (2012) Metal composition of WEEE: A review of empirical data and use in material flow analysis. MFA-ConAccount section Conference 2012,
- Oguchi M., Terazono A., Sakanakura H. (2012) Flows of WEEE and contained metals in municipal solid waste treatment: A regional-level estimation in Japan. MFA-ConAccount section Conference 2012,
- Oguchi M., Tasaki T. (2013) Function-based material stocks of consumer durables in modern society: Did multifunctional products reduce material use?. 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference (ISIE2013), Proceedings
- 小口正弘, 田崎智宏 (2013) 製品機能ベースの耐久消費財ストック推計 ～多機能製品の普及は省資源化に寄与したか～. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 同講演論文集, 37-38
- 小口正弘, 守富寛, 大川祥弘, 笹原圭, 早乙女拓海 (2013) 有害金属の PRTR 届出排出量算出方法の実態とマテリアルフロー・環境排出量の推計. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 同講演論文集, 41-42
- Oguchi M., Tasaki T. (2014) Do Multifunctional Products Contribute to Dematerialization?: A Function-based Stock Estimation of Consumer Durables. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstract book
- 小口正弘, 田崎智宏 (2014) 多機能製品の普及による省資源化効果の推計. エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム 2014, 同予稿集, 99-102
- 小口正弘, 寺園淳, 長谷川亮 (2014) 金属スクラップの品目組成調査と有害特性分析のためのサンプリング方法の試行. 廃棄物資源循環学会第 25 回研究発表会, 同講演原稿集, 537-538

- Oguchi M., Terazono A., Tasaki T., Kobayashi G., Takagi S. (2014) Modeling in-use stocks and lifespan distribution of consumer durables to forecast generation of end-of-life products in various countries. The Joint 11th International Society For Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Abstracts of The Joint 11th International Society For Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference
- Oguchi M., Terazono A., Santo A. (2015) Future WEEE generation and management of WEEE focusing on metals and fluorocarbons in Asian countries. 3W Expo 2015 Conference session 2: Electronic waste management, -
- Oguchi M., Terazono A., Hanaoka T., Tasaki T. (2015) Modeling in-use stocks of consumer durables for estimating future generation of end-of-life products in Asian countries. The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Scientific Program, 340-343
- Oguchi M. (2015) Methodologies for estimating actual lifetime distribution of products. Product Lifetimes And The Environment (PLATE) Conference 2015, Proceedings, 261-265
- 小口正弘 (2015) PRTR 届出移動量データを用いた廃棄物処理への化学物質移行フローの特徴整理. 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 講演集, 543-544
- 小栗朋子, 鈴木剛, 松神秀徳, 宇智田(野田)奈津代, Nguyen Minh Tue, Le Huu Tuyen, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝(2014)マーケットバスケット調査に基づくベトナム・ハノイ住民の一日微量元素摂取量. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 709-710
- 大井悦雅, 渡邊清彦, 本田守, 高菅卓三, 滝上英孝, 梶原夏子 (2012) 製品に含まれる PFOS 類緑物質等の分解性試験による挙動について. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 200-201
- 大川祥弘, 守富寛, 小口正弘 (2014) 有害微量金属のマテリアルフローツールキットの開発. 化学工学会第 79 年会, 同講演要旨集, 388
- 大木亨祐, 宇智田奈津代, 鈴木剛, 松神秀徳, Nguyen Minh Tue, Le Huu Tuyen, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2015) 柱状堆積物を用いた E-waste リサイクル活動地域における河川環境への金属類排出の実態把握. 第 24 回環境化学討論会, 同講演要旨集, 1D-20
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2012) Consideration of End of Life Vehicle derived scrap recycling system based on WIO-MFA model. MFA-ConAccount Section Conference 2012, -
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2013) Development of Efficient Recycling System for Steel Alloying Elements in End of Life Vehicles. REEWAS2013, Abstracts, 414-422
- 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2014) WIO-MFA モデルによる鉄鋼合金元素有効利用に向けた鉄スクラップリサイクルシステムの構築. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 26-27
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Kondo Y., Nakamura S., Nagasaka T. (2014) Quality-oriented end-of-life vehicle scrap recycling aimed at efficient utilization of steel alloying elements. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Abstracts
- 大野肇, 松八重一代, 長坂徹也, 中島謙一, 中村慎一郎 (2011) WIO-MFA による国際貿易随伴鉄鋼合金元素フロー解析. 第 162 回日本鉄鋼協会秋期大会, 鉄と鋼 (CAMP - ISIJ), 24, 886
- Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T. (2011) Substance Flow Analysis on The Tramp Elements Associated with Iron And Steel Scraps Based on WIO-MFA Model. ISIE 2011 conference, Abstracts of ISIE
- 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2012) WIO-MFA による鉄鋼製品の国際貿易に随伴する Cr, Ni, Mo フロー解析. 日本 LCA 学会第 7 回研究発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 282-283
- 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2012) WIO-MFA による国際貿易随伴鉄鋼合金元素フロー解析. 日本鉄鋼協会第 163 回春季大会, 材料とプロセス, 107-110
- 大塚祐登, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 長坂徹也 (2014) ニッケルの持続可能な資源利用に向けた国際サプライチェーン分析. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 28-29
- Otsuka Y., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2014) Global supply chain analysis for sustainable utilization of nickel. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Ecobalance 2014 Abstract book
- 酒井伸一, 滝上英孝 (2012) 臭素系難燃剤 PBDE と臭素系ダイオキシン類. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 362-363
-

- 肴倉宏史 (2011) 家電製品に含まれる金属のゆくえ. 平成 23 年度室蘭工業大学公開講座, なし
- 佐々木翔, 松八重一代, 中島謙一, 長坂徹也 (2016) ニッケルの国際サプライチェーンの背後にあるリスク要因抽出. 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 236-237
- 佐藤直樹, 葛原俊介, 小口正弘, 寺園淳 (2016) 廃基板類の加熱処理時における臭素系有機化合物の発生挙動. 第 21 回高専シンポジウム, 同講演要旨集
- 柴田和, 葛原俊介, 寺園淳, 小口正弘 (2016) リチウムイオン二次電池の金属資源価値と電池容量の関係. 第 21 回高専シンポジウム, 同講演要旨集
- 染矢雅之, 鈴木剛, 渡部真文, Annamalai Subramanian, 高橋真, 滝上英孝, 田辺信介 (2011) In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による未同定ダイオキシン類緑化合物の探索と毒性同定評価-二枚貝を用いたアジア沿岸域の汚染モニタリング. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 90-91
- 染矢雅之, 鈴木剛, 戸館侑孝, 松神秀徳, 野田奈津代, 藤森崇, Nguyen Minh Tue, Le Huu Tuyen, 桂加奈, 阿草哲郎, Pham Hung Viet, 高橋真, 滝上英孝, 田辺信介 (2013) ベトナム北部における E-waste リサイクルに伴う塩素化及び臭素化ダイオキシン類の環境排出実態調査 (第一報). 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 558-559
- Someya M., Suzuki G., Todate Y., Uchida-Noda N., Tue N.M., Fujimori T., Tuyen L.H., Agusa T., Viet P.H., Takahashi S., Takigami H., Tanabe S. (2013) EMISSIONS OF CHLORINATED/BROMINATED DIBENZO-P-DIOXINS, FURANS AND DIOXIN-LIKE PCBs FROM PRIMITIVE E-WASTE RECYCLING ACTIVITIES IN THE NORTHERN PART OF VIETNAM. 33rd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- Stubbings W.A., Kajiwaru N., Takigami H., Harrad S. (2014) LEACHING BEHAVIOUR OF HEXABROMOCYCLODODECANE FROM TREATED CURTAINS. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- 鈴木剛, Nguyen Minh Tue, Govindan Malarvannan, Agus Sudaryanto, 高橋真, 田辺信介, 酒井伸一, 滝上英孝 (2011) 日本及び諸外国で採取した室内ダストのハザード特性による類型化. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 276-277
- 鈴木剛, 滝上英孝, Nguyen Minh Tue, 染矢雅之, 高橋真, 磯部友彦, 田辺信介, Sander van der Linden, Bart van der Burg, Abraham Brouwer 他 (2011) レポーター遺伝子アッセイ/化学分析による毒性同定評価アプローチ 高次野生生物への適用と評価. 第 17 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会, 第 17 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会講演要旨集, 53
- 鈴木剛, 滝上英孝, 酒井伸一 (2011) 室内での製品使用を通じた化学物質リスクの検索同定と評価. 第 14 回日本水環境学会シンポジウム, 第 14 回日本水環境学会シンポジウム講演要旨集, 17-18
- Suzuki G., Brouwer A., Uramaru N., Kitamura S., Takigami H. (2011) In vitro Endocrine-Disrupting Potencies of Brominated and Phosphate Compounds Used as Flame Retardants on Human U2OS Cell-based Reporter Gene Assays. 環境ホルモン学会第 14 回研究発表会, 環境ホルモン学会第 14 回研究発表会要旨集, 41
- Suzuki G., Brouwer A., Takigami H. (2012) In vitro Endocrine-Disrupting Potencies of Phosphate Compounds Used as Flame Retardants and Plasticizers and Anti-foaming Agents on Human Osteosarcoma (U2OS) Cell-based Reporter Gene Assays. Society of Toxicology 51st Annual Meeting, Abstracts of Society of Toxicology 51st Annual Meeting, 2232
- Suzuki G., Takigami H. (2012) The past, present, and future research topics with CALUX assays in Japan. 6th BioDetectors 2012, -
- 鈴木剛, NguyenMihnTue, 高橋真, 田辺信介, 酒井伸一, 浦丸直人, 北村繁幸 (2012) 室内ダストと主要難燃剤のハザード特性比較. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 330-331
- 鈴木剛, 滝上英孝, 渡部真文, 高橋真, 能勢和聡, 浅利美鈴, 酒井伸一 (2012) 臭素系難燃剤中不純物としての 2,4,6-トリプロモフェノールの同定. 環境化学討論会第 21 回, 同要旨集, 360-361
- Suzuki G., Tue N.M., Takahashi S., Tanabe S., Sakai S., Malarvannan G., Sudaryanto A., Brouwer A., Uramaru N., Kitamura S. (2012) In Vitro Toxicological Similarities between Flame Retardants and Indoor Dust Collected from Japan, US, Vietnam, the Philippines, and Indonesia. The 32nd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts, A6(107)
- Suzuki G., Takigami H., Sakai S. (2012) Chemical risk identification and evaluation in indoor dust using in vitro bioassay combined with chemical analysis. The National Research Centre for Environmental Toxicology Seminar, Abstract
- 鈴木剛 (2012) 化学物質リスクの検索同定と評価の試み ~バイオアッセイ/化学分析によるアプローチ~. 環境科学会シンポジウム 2012 年会 シンポジウム -7「未規制化学物質の測定・評価・管理に関する最新研究課題~若手研究者からの発信~」, 同プログラム集, 159

- Suzuki G., Someya M., Takigami H. (2012) Bioassay-directed chemical analysis for indoor dust: Beyond target BFRs with chemical analysis. A Marie Curie International Research Staff Exchange Scheme (IRSES) Project INTERFLAME kickoff workshop, -
- Suzuki G., Kida A., Sakai S., Takigami H. (2012) Case study for the utility of microscopy to investigate migration of brominated FRs from materials. A Marie Curie International Research Staff Exchange Scheme (IRSES) Project INTERFLAME kickoff workshop, -
- Suzuki G. (2012) Integration of effect and exposure analysis by in vitro bioassay combined with chemical analysis. The 1st International Workshop on Effects directed and Mode-of-Action based analysis: A tool for integrated exposure and effects analysis and risk management, Handout, 10
- Suzuki G., Someya M., Matsukami H., Noda N., Tue N.M., Tuyen H.T., Fujimori T., Takahashi S., Tanabae S., Viet P.H., Takigami H. (2013) Emissions of Organic Contaminants and Heavy Metals from Primitive E-waste Recycling Activities: Preliminary Results for Soil and Sediment Collected in the Northern Part of Vietnam in January 2012. Japan-Vietnam Joint Workshop on Current Challenges for Managing Environmental Issues and Waste Recycling in Northern Vietnam, Abstracts, 11
- 鈴木剛, 酒井伸一, Tue Nguyen N., 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) 室内ダスト中の AR/PR アンタゴニスト及び ER α アゴニストプロファイリング. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集
- 鈴木剛, 染矢雅之, 松神秀徳, 宇智田(野田) 奈津代, Tue Nguyen M., 藤森崇, Tuyen Le H., 阿草哲郎, Viet Pham H., 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) ベトナム北部における E-waste リサイクルに伴うダイオキシン類縁化合物の環境排出実態調査 (第一報). 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集
- Suzuki G., Someya M., Matsukami H., Uchida-Noda N., Tue NM., Fujimori T., Tuyen LH., Agusa T., Viet PH., Takahashi S., Takigami H. (2013) EMISSIONS OF DIOXIN-LIKE COMPOUNDS FROM PRIMITIVE E-WASTE RECYCLING ACTIVITIES IN THE NORTHERN PART OF VIETNAM -1st report-. 33rd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants and POPs, Abstracts, (OS30006)
- Suzuki G., Someya M., Matsukami H., Uchida-Noda N., Tue NM., Fujimori T., Tuyen LH., Agusa T., Viet PH., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2014) Effect and Exposure Analysis of Dioxin-like Compounds in Soil and River Sediment Collected from E-waste Recycling Village in the Northern Part of Vietnam. 1st Southeast Asian Workshop on the Integrated Exposure and Effects Analysis, Abstract
- 鈴木剛, 染矢雅之, 松神秀徳, 宇智田奈津代, Nguyen Minh Tue, 藤森崇, Le Huu Thuyen, 阿草哲郎, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2014) ベトナム北部の E-waste リサイクル施設における ダイオキシン類縁化合物の環境排出実態調査 (第二報). 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 395-396
- Suzuki G., Someya M., Matsukami H., Uchida-Noda N., Tue N.M., Fujimori T., Tuyen L.H., Agusa T., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S., Takigami H. (2014) Application of 384 well high-throughput DR-CALUX assay for detection of dioxin-like compounds from E-waste recycling activities in the northern part of Vietnam. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- Suzuki G., Suzuki Y., Takigami H., Yoshinaga J., Takagi M., Nakayama S. (2014) Flame retardants and other additives in house dust from Japan. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts
- 鈴木剛, 鈴木弥生, 滝上英孝, 吉永淳, 高木麻衣, 中山祥嗣 (2014) エコチル調査パイロット調査におけるハウスダスト中樹脂添加剤等の測定. 環境科学会 2014 年会, 講演要旨集, 216-217
- Suzuki G., Suzuki Y., Takigami H., Yoshinaga J., Takagi M., Nakayama S.F. (2014) Flame retardants and other additives in house dust collected from Japan. SETAC North America 35th Annual Meeting, Abstracts, 259
- 鈴木剛 (2015) ダイオキシン類を測定する生物検定法と臭素化ダイオキシン類の測定評価への応用. 生物化学的測定研究会第 20 回学術集会, 同講演要旨集, 13
- 鈴木剛, 滝上英孝, 佐野一広, 前川文彦, 中山祥嗣, 磯部友彦, Tin-Tin-Win-Shwe, 野原恵子, 橋本俊次, 川嶋貴治 (2015) ハウスダスト中難燃剤の影響評価指向分析の試み～ in vitro バイオアッセイ/化学分析/ in vivo 毒性試験統合手法の適用～. 第 21 回日本環境毒性学会研究発表会, 同講演要旨集, 10-11
- Suzuki G. (2015) In vitro bioassay for the detection of dioxins as a method approved by Japanese, Ministry of the Environment (MOE). Seminar on Bioassay for the Management of Persistent Organic Pollutants (POPs), Abstracts
- 鈴木剛, 中村昌文, 中田俊芳, 半田洋士, Nguyen Minh Tue, 滝上英孝 (2015) 生物検定法による塩素化/臭素化ダイオキシン類の分別測定評価法の確立. 第 24 回環境化学討論会, 同講演要旨集, 3A-05

Takahashi S., Takayanagi C., Tue N.M., Tuyen L.H., Suzuki G., Viet P.H., Sakai S., Tanabe S. (2014) PCBs, PBDEs and dioxin-related compounds in floor and house dust from end of life vehicle recycling sites in northern Vietnam: Comparison with electronic waste recycling sites. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts

高柳知佳, Nguyen Minh Tue, Le Huu Thuyen, 鈴木剛, 松神秀徳, Pham Hung Viet, 酒井伸一, 松田宗明, 河野公栄, 高橋真 (2014) ベトナムの使用済み自動車解体処理地域における化学物質汚染 (第一報). 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 244-245

高柳達, 中島謙一, 村上進亮, 橋本征二 (2015) 太陽電池パネルのリサイクルシステム構築に向けた関連資源の需給バランスの検討. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 同予稿集, 252-253

高柳達, 中島謙一, 村上進亮, 橋本征二 (2016) 太陽電池に用いられる元素の 2050 年までのグローバルな需給バランス. 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 34-35

滝上英孝 (2011) ダイオキシン類、PCB を検出するバイオアッセイへの取り組み. 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 80-81

滝上英孝, 梶原夏子, 小瀬知洋, 鈴木剛, 藤森崇, 大野正貴, 黒瀬航, 戸舘侑孝 (2011) 使用済み自動車部材及び車内ダスト中の難燃剤等の調査 (第 1 報). 環境化学討論会第 20 回, 第 20 回環境化学討論会講演要旨集, 216-217

Takigami H., Fujimori T., Agusa T., Eguchi A., Bekki K., Yoshida A., Terazono A., Ballesteros Jr. F.C. (*1Ehime University, *2the University of the Philippines Diliman (2011) Survey of metallic contamination at formal and informal E-waste recycling sites in the Philippines. 3R and Waste Management Workshop 2011, Abstracts of 3R and Waste Management Workshop 2011

滝上英孝 (2011) バイオアッセイの環境分野での適用戦略: 化学分析代替法と毒性影響分析. フォーラム 2011 衛生薬学・環境トキシコロジー, フォーラム 2011 衛生薬学・環境トキシコロジー講演要旨集, 101

滝上英孝 (2011) BFR のライフサイクルを通じた環境影響とその管理について (研究サイドから). 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会プログラム

滝上英孝, 渡部真文, 高菅卓三, 久谷和也 (2011) 廃プラスチック圧縮過程を模擬した実験における化学物質の放散. 第 48 回環境工学研究フォーラム, 土木学会論文集 G (環境), 67(7), III_773-III_781

滝上英孝 (2011) 化学物質のリスク (企画セッション リスク解析学の環境リスク評価への適用). 第 48 回環境工学研究フォーラム, なし

滝上英孝 (2012) 製品ライフサイクルにおける化学物質リスクの評価と管理について. 化学物質の安全管理に関するシンポジウム-新しい化学物質等のリスク問題へのアプローチ-, 化学物質の安全管理に関するシンポジウム-新しい化学物質等のリスク問題へのアプローチ-予稿集, 5

滝上英孝, 梶原夏子, 鈴木剛, 染矢雅之, 酒井伸一 (2012) 製品ライフサイクルにおける臭素化ダイオキシン類の挙動と制御. 臭素系ダイオキシンに係る調査等総括ワークショップ, 臭素系ダイオキシンに係る調査等総括ワークショップ資料集

滝上英孝, 渡部真文, 梶原夏子 (2012) HBCD 含有発泡樹脂の燃焼試験. 日本難燃剤協会第 11 回難燃剤セミナー, 同予稿集

Takigami H., Suzuki G., Kajiwara N., Someya M. (2012) Surveys of hazardous chemicals (BFRs) at life-cycle stages of articles/products. EU INTERFLAME Project Kick-Off Workshop, -

滝上英孝, 梶原夏子, 鈴木剛, 松神秀徳, 染矢雅之, 小瀬知洋, 酒井伸一 (2013) 製品ライフサイクルにおける難燃剤の排出挙動とその制御方策について. 横浜国立大学「難燃剤とその代替物質のリスク」に関するワークショップ, なし

滝上英孝 (2013) 自動車リサイクルにおける化学物質管理. 京都大学環境安全保健機構・一般財団法人化学物質評価研究機構 2013 年度リサイクルシステム論 環境と資源の保全に向けた科学・技術・政策 公開講座, なし

滝上英孝, 渡部真文, 梶原夏子 (2013) ポリスチレンフォーム廃棄物に含有される難燃剤ヘキサブプロモシクロドデカン の燃焼分解挙動について. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 348-349

滝上英孝, 渡部真文, 形見武男 (2013) 廃プラスチックリサイクル施設作業環境におけるトータル VOC の連続測定. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 764-765

Takigami H. (2013) Collaborative studies exploring the utility of microscopy to investigate migration of brominated FRs from materials to dust. INTERFLAME Project Mid-Term Workshop, -

滝上英孝 (2013) 適正処理に向けた排出業者と処理業者の連携. 環境セミナー化学企業の産業廃棄物対策と最新事例, 同予稿集

Takigami H. (2013) Brominated Flame Retardants as Novel POPs and Their Management. 24th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, Proceedings of the 24th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, International Symposium on PCB and POPs Management, 48

Takigami H. (2013) Brominated Flame Retardants and Their Management. ITM seminar in Stockholm University, -

滝上英孝, 酒井伸一 (2013) 臭素系ダイオキシン類の発生と制御に関する現状と展望について. 日本環境化学会講演会第 56 回, 同予稿集, 93-101

TANGLONGLONG, 中島謙一, 村上進亮, 伊坪徳宏 (2015) IUCN レッドリストデータを活用した鉱山採掘時の生物多様性への影響の推計. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 4-5

TANGLONGLONG, 中島謙一, 村上進亮, 松田健士, 伊坪徳宏 (2015) 鉱床種類と採掘方法を考慮したニッケル資源採掘時の土地改変面積の推計. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 274-275

Tao F., Matsukami H., Suzuki G., Takigami H., Harrad S. (2014) Halogenated flame retardants in chickens' eggs from E-waste processing areas in Vietnam. 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Abstracts

Tasaki T., Oguchi M., Yoshida A., Terazono A. (2015) OPTIMIZED PATHS OF PENETRATION AND REPLACEMENT OF CONSUMER DURABLES IN LINE WITH GAINS IN ENERGY EFFICIENCY. 8th Biennial Conference of the International Society for Industrial Ecology, Book of abstracts, 480-481

Terazono A., Yoshida A. (2011) Management Of Scrap Mixed Metal In Japan. 6th International Conference on Industrial Ecology (ISIE 2011 Conference), Abstracts of 6th International Conference on Industrial Ecology (ISIE 2011 Conference)

Terazono A. (2011) Collection and Recycling of E-waste in Japan and Other Asia. Regional Workshop on the Public Private Partnership for E-Waste Collection, Agenda of Regional Workshop on the Public Private Partnership for E-Waste Collection

Terazono A. (2011) Transboundary Movement of Wastes between China and Japan. The 4th China-Japan Inter-Ministerial Working Group on Import and Export of Waste, Agenda of The 4th China-Japan Inter-Ministerial Working Group on Import and Export of Waste

寺園淳, 吉田綾 (2011) 国内における金属スクラップ(雑品)の回収・取引状況に関する調査. 環境経済・政策学会 2011 年大会, 環境経済・政策学会 2011 年大会プログラム

寺園淳 (2011) 諸外国におけるリサイクル資源の活用. 消費者大学講座第 175 期「国際化の中の日本の位置 - 環境・エネルギー」第 12 回学習会, なし

Terazono A., Yoshida A., Takigami H. (2011) Material flow, environmental effect and management measures of E-waste in Asia. ISWA World Congress 2011 World Congress of International Solid Waste Association, Proceedings of ISWA World Congress 2011 World Congress of International Solid Waste Association, 129-136

寺園淳, 吉田綾 (2011) 金属スクラップ(雑品)の回収・取扱状況に関する調査. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, (A9-2)

Terazono A., Yoshida A. (2011) Transboundary movement, recycling and management measures of E-waste in Asia. The Life Cycle of Metals: Improving Health, Environment and Human Security, Abstracts of The Life Cycle of Metals: Improving Health, Environment and Human Security, 7-8

Terazono A., Yoshida A., Takigami H. (2011) Classification and environmental effect of E-waste recycling in Asia. The Sixth International Conference on Waste Management and Technology, Program of The Sixth International Conference on Waste Management and Technology

寺園淳 (2011) 日本とアジア地域における E-waste, 金属スクラップなどの資源循環. エコ・リサイクル型ものづくりシンポジウム, なし

Terazono A. (2011) Good Practices on ESM. Workshop 2011 of the Asian Network for Prevention of Illegal Transboundary Movement of Hazardous Wastes in China, Agenda of Workshop 2011 of the Asian Network for Prevention of Illegal Transboundary Movement of Hazardous Wastes in China

Terazono A., Yoshida A., Takigami H., Oguchi M., Fujimori T., Yokoo H. (2012) E-waste research at NIES. Workshop for Knowledge Sharing on E-waste in the Philippines (The 8th NIES Workshop on E-waste), Abstracts of Workshop for Knowledge Sharing on E-waste in the Philippines (The 8th NIES Workshop on E-waste)

- Terazono A. (2012) Session 1: E-waste management in Asia – Challenges and opportunities / Environmental Perspectives. Greater Mekong Sub-region (GMS) sub- regional training workshop on building capacity to deal with the illegal shipments of e-waste and near-end-of-life electronics, Abstracts
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Takigami H., Agusa T., Fujimori T. (2012) E-waste recycling and environmental impact in Asia. EcoBalance2012 (The 10th International Conference on EcoBalance), Proceedings
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Takigami H., Agusa T., Ballesteros F.C.J., Fujimori T. (2012) E-waste recycling in Asia: process classification, environmental effect and knowledge sharing. Electronics Goes Green 2012+, Proceedings
- Terazono A., Yoshida A. (2013) E-waste recycling in Japan and other Eastern Asia - Focusing on Material Flow and Responsibility. 30th Anniversary of Korean Society of Waste Management, Proceedings (Special Session II, III), 253-270
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Export Management of Mixed Metal Scrap. The 12th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands, Abstracts
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Fire Prevention and Export Control of Mixed Metal Scrap. 17th Korea-Japan Joint International Session (2013 Annual Conference of KSWM), Abstracts, 141-143
- Terazono A., Yoshida A., Oguchi M. (2013) E-waste recycling in Japan and Eastern Asia. International Conference and Expo on E-Waste & Used Battery Management (EWM India - 2013), Abstracts
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Control of hazardous substances and fire accident on mixed metal scrap exported from Japan. 7th International Society for industrial Ecology Biennial Conference, Proceeding
- 寺園淳 (2013) 日本の廃棄物輸出入管理 各論. 中日廃棄物越境移動管理研究討論会, 同予稿集
- 寺園淳 (2013) 日本における汚染土壌の管理. 中日廃棄物越境移動管理研究討論会, 同予稿集
- Terazono A. (2013) Material Flow, Hazardous Substances Control and Safety Issues of Batteries in Japan. 18th International Congress for Battery Recycling 2013 (ICBR 2013), Abstracts
- 寺園淳 (2013) 家電リサイクルに係る金属スクラップ・中古品の回収・輸出に関する問題. 環境省家電リサイクル制度評価検討小委員会, 経産省電気・電子機器リサイクル WG 第 22 回合同会合, 同資料
- Terazono A. (2013) Current Status and Action Plan for Transboundary Movement of Wastes in Japan. 8th International Conference on Waste Management and Technology, Abstracts
- 寺園淳, 小口正弘, 中島謙一, 吉田綾 (2013) 事業者による使用済電気電子機器等の排出実態. 廃棄物資源循環学会研究発表会第 24 回大会, 同講演論文集 2013, 15-16
- 寺園淳 (2014) 電気電子機器と電池のリサイクルと課題. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, なし
- Terazono A., Oguchi M. (2014) Battery recycling in Municipal Solid Waste Management in Japan - Collection Rules and Safety Challenges. 1st 3R Internaional Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts
- 寺園淳, 小口正弘 (2014) 有害危険性管理の観点からの使用済み電池類と小型家電の排出実態調査結果. 東京都環境科学研究所 資源循環分野研究報告・情報交換会 ~小型電子機器の安全な回収システムと金属資源の循環利用のために~, なし
- Terazono A. (2014) E-waste Management in Japan and other Asia: Toward the Appropriate Management of Hazardous and Resource Potential. 15th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014), Program
- Terazono A. (2014) The legal system on transboundary movement management of e-waste at national level, and the information on illegal traffic status and cases. The 9th International Conference on Waste Management and Technology, -
- 寺園淳 (2014) ミックスメタルスクラップ (雑品) の火災等の課題と対策. 平成 26 年度バーゼル法等説明会, なし
- 寺園淳 (2015) 国際資源循環と化学物質リスク. 化学物質の安全管理に関するシンポジウム, なし
- Terazono A., Oguchi M., Kuzuhara S., Yoshida A., Medina R.P., Ballesteros F.C.J. (2015) Material Recovery by Informal E-waste Processing in the Philippines. The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Scientific Program, 254-256
- Terazono A., Oguchi M., Hanaoka T., Santo A. (2015) Modeling in-use stocks of consumer durables to forecast generation of end-of-life products and fluorocarbons potential in Asian countries. 8th Biennial Conference of the International Society for Industry Ecology (ISIE Conference 2015), Book of Abstracts, 208

- 寺園淳, 小口正弘, 葛原俊介, 秋元裕太 (2015) 使用済みリチウムイオン電池の有害特性に関する検討. 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 同予稿集, 175-176
- Terazono A. (2015) E-waste recycling and transboundary movement of waste in Japan. Basel Forum 2015, Abstracts, 129-140
- 寺園淳, 小口正弘 (2015) 廃電池の有害特性と輸出入管理. 環境経済・政策学会 2015 年大会, 報告要旨集
- 寺園淳 (2015) 電気製品と電池のリサイクル. 九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター平成 27 年度公開講座, なし
- Terazono A., Oguchi M. (2015) Appropriate management of e-waste in Japan and other Asian countries. World Engineering Conference and Conention 2015 (WECC2015), Proceedings
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Medina R.P., Ballesteros Jr.F.C. (2015) Material recovery and environmental impact by informal e-waste recycling site in the Philippines. EcoDesign 2015 (9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing), USB Proceedings, 529-536
- Thomas C. Kinnaman, Yokoo H. (2011) The Environmental Consequences of Global Reuse. 2011 EEPSEA-EAAERE Joint Conference, Program of 2011 EEPSEA-EAAERE Joint Conference
- 戸舘侑孝, 小瀬知洋, 川田邦明, 梶原夏子, 鈴木剛, 滝上英孝, 酒井伸一 (2013) 使用済み自動車部材および車内ダスト中の難燃剤等の調査 (第 2 報). 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集, 206-207
- Tue NM, Suzuki G., Isobe T., Viet PH., Zhang G., Takahashi S., Tanabe S. (2011) Evaluation of endocrine-disrupting activities in dust and air from e-waste recycling sites in Vietnam using in vitro bioassays. 20th Symposium on Environmental Chemistry, Abstracts, 402-403
- Tuyen L.H., Tue N.M., Suzuki G., Misaki K., Viet P.H., Takahashi S., Tanabe S. (2012) Effect-directed and chemical analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in road dust from a sub-tropical Asian metropolitan area, Hanoi, Vietnam.. 21st Symposium on Environmental Chemistry, Abstracts, 150-151
- Tuyen L.H., Tue N.M., Takahashi S., Suzuki G., Viet P.H., Subramanian A., Bulbule A.K., Tanabe S. (2014) METHYLATED POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND THEIR CONTRIBUTION TO AHR-MEDIATED ACTIVITIES IN STREET DUST FROM VIETNAM AND INDIA. 23rd Symposium on Environmental Chemistry, Abstracts, 78-79
- 宇智田 (野田) 奈津代, 鈴木剛, 染矢雅之, 松神秀徳, Tue Nguyen M., 藤森崇, Tuyen Le H., 阿草哲郎, Viet Pham H., 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) ベトナム北部における E-waste リサイクルに伴う有害金属類の環境排出実態調査 (第一報). 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集
- 宇智田 (野田) 奈津代, 藤森崇, 阿草哲郎, Tue Nguyen M., Tuyen Le H., Viet Pham H., 鈴木剛, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2013) ベトナムの鉛バッテリーリサイクル地域周辺における米の有害金属汚染. 環境化学討論会第 22 回, 同要旨集
- 宇智田奈津代, 鈴木剛, 染矢雅之, 松神秀徳, Nguyen Minh Tue, 藤森崇, Le Huu Thuyen, 阿草哲郎, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2014) ベトナム北部の E-waste リサイクル施設における有害金属類の環境排出実態調査 (第二報). 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 102-103
- 宇智田奈津代, 鈴木剛, Cassandra Rauert, 滝上英孝 (2014) 顕微 FT-IR によるハウスダスト中臭素系難燃剤含有粒子の起源推定. 環境化学討論会第 23 回, 同予稿集, 367-368
- 宇智田奈津代, 鈴木剛, Cassandra Rauert, 滝上英孝 (2014) 顕微 FT-IR を用いたハウスダスト中臭素系難燃剤含有粒子分析手法の検討. FT-IR・ラマンユーザーズフォーラム 2014, なし
- 宇智田奈津代, 鈴木剛, 松神秀徳, 染矢雅之, Nguyen Minh Tue, 藤森崇, Le Huu Tuyen, 阿草哲郎, Pham Hung Viet, 高橋真, 田辺信介, 滝上英孝 (2015) ベトナム北部の E-waste リサイクル施設における有害金属類の環境排出実態調査 (第三報). 第 24 回環境化学討論会, 同講演要旨集, 1D-19
- 渡部真文, 形見武男, 滝上英孝 (2013) プラスチックリサイクル施設における化学物質の揮散挙動. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 215-216
- Yamamoto T., Mizoguchi M., Matsubae K., Nakajima K., Nansai K., Nagasaka T. (2014) Substance flow analysis on agricultural nutrients focusing nitrogen and phosphorus. The 11th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), Ecobalance 2014 Abstract Book
- 山末英嗣, 中島謙一, 醍醐市朗, 松八重一代, 石原慶一 (2013) 自動車から得られる鉄スクラップの関与物質総量. 日本鉄鋼協会第 166 回春季講演大会, 材料とプロセス, 26, 838

- 山末英嗣, 中島謙一, 松八重一代, 村上進亮, 石原慶一 (2014) 日本におけるニッケルおよびステンレス鋼生産の資源端重量. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 168-169
- Yamasue E., Duc Huy T., Duc Quang N., Oguchi M., Okumura H., Ishihara K.N. (2015) Lifetime of electronic devices in Vietnam and comparison with Japan. Product Lifetimes And The Environment (PLATE) Conference 2015, Proceedings, 411-413
- Yokoo H., Thomas C. Kinnaman (2011) GLOBAL REUSE AND OPTIMAL WASTE POLICY. 18th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Program of EAERE 2011 ROME
- Yoshida A. (2011) E-waste collection: small EEE collection in Japan and current E-waste collection in South East Asia. Open Session on WEEE/E-waste Take-back System, -
- Yoshida A. (2012) Some findings from field survey in the Philippines. Multi-stakeholder policy dialogue on E-waste management, -
- Yoshida A. (2012) The Comparison of E-waste Recycling Systems -Japan, South Korea and Taiwan. 2012 International Workshop on Management of Waste Electrical and Electronic Equipment, Abstracts
- Yoshida A. (2012) Waste Management and Recycling Policy in Asia. The 3rd Solid Waste Management with Community Participation, -
- 吉田綾 (2012) 国際リユースの現状と中古品輸出基準. 第 9 回廃棄物資源循環学会リサイクル研究部会講演会 - リユースの現状と将来を考える -, 同予稿集, 42-54
- Yoshida A., Atienza V., Kojima M., Murakami-Suzuki R., Matsushita K., Nakajima K., Sakata S., Terazono A. (2013) E-waste Recycling Process and Technology in Asian Developing Countries: an investigation of measures for improving the current condition. The 12th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands (SWAPI), Abstracts, 241-244
- Yoshida A. (2013) Waste Management and International Material Cycles. H25 JICA training course Waste Management Technique(A), -
- 吉田綾 (2013) 日本の循環資源のアジア諸国への輸出状況. 大阪弁護士会 公害環境・対策保全委員会 廃棄物部会,
- 吉田綾 (2013) 使用済み電子・電気機器の海外輸出の現状. NPO エコデザイン推進機構特別講演会,
- 吉田綾 (2013) 使用済家電製品等不用品回収業者の問題構造. 環境経済・政策学会 2013 年大会, なし
- Yoshida A. (2015) Comparing the performance of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) recycling systems in East Asia. The 26th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 580-581
- Yoshida A., Terazono A. (2015) A Comparative Study of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Recycling Systems in East Asia. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology, Abstracts, 145

(2) アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築

- BADISS M., Suemura T., Inamori R., Satake T., Xu K-Q., Inamori Y. (2013) Comparison of AOSD and fix ON/OFF intermittent aeration in wastewater treatment Performances. 日本水処理生物学会第 50 回大会, Abstracts, 64
- 陳小強, 藤原拓, 深堀秀史, 石垣智基 (2014) Factors affecting the adsorptive removal of bisphenol A by high silica zeolite HSZ-385. 日本水環境学会第 48 回年会, 同予稿集, 297
- 陳小強, 藤原拓, 深堀秀史, 石垣智基 (2014) 高シリカ型ゼオライト HSZ-385 による処分場浸出水中のビスフェノール A の吸着除去. 日本水環境学会第 48 回年会, 同予稿集, 294
- Chiemchaisri C., Chiemchaisri W., Wangyao K., Endo K., Ishigaki T., Yamada M. (2012) Semi-aerobic landfill for reducing greenhouse gas emission from solid wastes (A test cell experiment). 1st International Conference on Environmental Science, Engineering and Management, Abstracts
- Ebie Y. (2013) Effective Japanese Domestic Wastewater Treatment Technology. Thai Water 2013: Water for the Future, -
- Ebie Y. (2013) Standardization of On-site Treatment in Japan. Workshop on On-site Domestic Wastewater Treatment in Asia, -
- Fujii Y., Oka M., Soda S., Ike M., Ishigaki T. (2014) Removal of Heavy Metals from Artificial Landfill Leachate Using Lab-Scale Vertical Flow Constructed Wetlands. 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts
- 蜂谷祥之, 土倉嵩一郎, Angela QUACH, 尾形有香, 黒田真史, 遠山忠, 森川正章, 池道彦 (2013) 環境水における *Acinetobacter calcoaceticus* P23 によるコウキクサの生長促進効果の持続性に関する検討. 日本水処理生物学会第 50 回大会, 同予稿集, 別 (33), 68

- 蜂谷祥之, Angela QUACH, 土倉嵩一郎, 尾形有香, 黒田真史, 遠山忠, 森川正章, 池道彦 (2013) 環境水における *Acinetobacter calcoaceticus* P23 によるコウキクサの生長促進効果の持続性に関する検討. 日本生物工学会第 65 回大会, 同予稿集, 225
- HACHIYA Y., TOKURA K., QUACH A., Ogata Y., KURODA M., TOYAMA T., MORIKAWA M., IKE M. (2013) Sustainable growth promotion of *Lemna minor* by *Acinetobacter calcoaceticus* P23 in environmental water. 6th Advanced Engineering Technology for Environment and Energy -Environment, Energy and Sustainable Development-, Abstracts
- 東川拓司, 占部武生, 石垣智基 (2011) 廃棄物埋立地からの温室効果ガス算出に用いられるガス化率の地域性に関する実験的検討. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011
- 東川拓司, 占部武生, 石垣智基, 山田正人 (2012) 酸素共存下における埋立地内での廃棄物分解挙動の評価. 全国都市清掃研究・事例発表会第 33 回, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 232-234
- 稲森隆平, 陶村貴, 稲森悠平, 徐開欽, 桑原享史, 木持謙 (2014) AOSD 制御システムのアジア地域への適用. 日本水処理生物学会第 51 回大会, 日本水処理生物学会第 51 回大会予稿集, 57
- 稲森隆平, 陶村貴, 稲森悠平, 桑原享史, 徐開欽 (2015) ベトナムにおける省エネ低コスト高度処理方式 AOSD システムの展開方策. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 461
- 稲森隆平, 陶村貴, 神蔵雄生, 賀数邦彦, 桑原享史, 鈴木理恵, 徐開欽, 稲森悠平 (2015) ベトナムの排水処理における AOSD システム導入による高度・省コスト化方策. 日本水処理生物学会第 52 回大会, 同予稿集, 20
- 稲森隆平, 陶村貴, 桑原享史, 鈴木理恵, 徐開欽, 竹中節, 西村秀士, 荒井修一, 稲森悠平 (2016) アジア地域ベトナムを拠点とした AOSD 導入排水処理システム普及展開のための技術評価. 第 50 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 222
- 稲森悠平, 稲森隆平, 鈴木理恵, 陶村貴, 徐開欽 (2013) バイオエコシステムを活用した環境低負荷資源循環型省エネ高度処理. 日本水環境学会シンポジウム第 16 回, 同予稿集, 63-64
- 稲森悠平, 稲森隆平, 神蔵雄生, 賀数邦彦, 陶村貴, 鈴木理恵, 徐開欽 (2015) アジア太平洋地域の環境保全再生戦略. 第 18 回日本水環境学会シンポジウム, 同予稿集, 236-237
- Ishigaki T., Furuta Y., Iga Y., Yamada M. (2011) Nitrous oxide emission from waste landfills in Japan. 2011 Spring conference of the Korea Society of Waste Management, Abstracts of 2011 Spring conference of the Korea Society of Waste Management, 105-106 <Award for Excelent Poster Presentationawarded>
- Ishigaki T., Yamada M., TNaruoka T. (2011) Anaerobic generation of nitrous oxide in waste landfills. ISWA World Congress 2011 World Congress of International Solid Waste Association, Proceedings of ISWA World Congress 2011 World Congress of International Solid Waste Association
- Ishigaki T. (2011) LANDFILL GAS AND LEACHATE IN ASIA: CO-BENEFICIAL APPROACH ON MANAGEMENT OF WASTE LANDFILL. Sardinia 2011 Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Proceedings of the Sardinia 2011
- Ishigaki T. (2012) Things to do in the usual time and pre-flood. Workshop on flood waste management and the role of local practitioners,
- Ishigaki T. (2012) Local Solid Waste Management is decided by your geographic/historical/economic situations. Special Lecture in University of Peradeniya: Appropriate Solid Waste Management,
- Ishigaki T. (2012) Local Solid Waste Management is decided by your own situations. Special Lecture in University of Rufuna on Solid Waste Management,
- 石垣智基, 東川拓司, 石森洋行, 山田正人 (2012) 埋立地ガス放出緩和技術の温室効果ガス排出抑制機能評価モデルの開発. 廃棄物資源循環学会第 23 回研究発表会, 同予稿集
- Ishigaki T. (2012) Report and Proposal for Appropriate Management of Flood Waste —Cooperative Relationship among Pluvial Asian Region. 23rd Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, Proceedings of the 23rd Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management
- 石垣智基 (2012) 2011 年タイ大水害における廃棄物管理の実態と水害廃棄物対策ガイドラインの提案. 環境研究シンポジウム第 10 回, なし
- Ishigaki T., Nakagawa M., Yamada M. (2013) Anaerobic Generation of Nitrous Oxide in Waste Landfills. 1st IWWG-ARB Symposium, Abstracts

- Ishigaki T., Hirata O., Tachifuji A., Matsufuji Y., Yamada M. (2013) Development of leachate/gas emission model regarding with carbon and nitrogen balance. 14th International Waste Management and Landfill Symposium, Abstracts
- Ishigaki T. (2013) Operation of anaerobic digestion plants in Japan. 30th Anniversary Conference of Korea Society of Waste Management, Abstracts
- Ishigaki T., Sato M., Ishimori H., Endo K., Yamada M. (2013) Potential of Anaerobic Biological Gas Generation of Waste in the Landfill under Post Closure Care. 30th Anniversary Conference of Korea Society of Waste Management, Abstracts, 281-282 <Award for Excellent Poster Presentation awarded>
- Ishigaki T. (2013) Assessment of feasibility of semiaerobic landfill technology in tropical regions. 3rd Seminar Workshop: Capacity Building on Landfill Gas Utilization in ASEAN, -
- 石垣智基, 佐藤昌宏, 遠藤和人, 山田正人, 吉田英樹, 鎌田昭範 (2014) 旭川市中園廃棄物最終処分場の廃止に向けたガス排出挙動の経年的評価. 全国都市清掃研究・事例発表会第35回大会, 同講演論文集, 230-232
- Ishigaki T., Wangyao K., Yamaguchi N., Yamada M. (2014) Assessment of Management of Waste Landfills coupled with Leachate Treatment in South East Asia. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts
- 石垣智基, 落合知, 山田正人, 東條安匡 (2015) 埋立廃棄物の生物学的安定性の判定について. 第36回全国都市清掃研究・事例発表会, 講演論文集, 261-263
- Ishigaki T., Kawai K., Kubota R., Wang-Yao K., Lieu, P.K., Towprayoon S., Chiemchaisri C., Yamada M. (2015) Management of Flood Waste in Small and Medium Scale Asian Cities in Tropical Region. The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts
- Ishigaki T., Tajima R., Kawai K., Kubota R., Lieu, P.K., Yamada M., Wangyao K., Towprayoon S., Chiemchaisri C. (2015) Capacity Development for Flood Waste Management in Vulnerable Asian Cities. 第26回廃棄物資源循環学会研究発表会, Abstracts, 564-565
- Ishigaki T. (2015) RESILIENT WASTE MANAGEMENT AGAINST FREQUENT FLOOD IN MIDDLE SCALE CITIES IN SOUTHEAST ASIA. 15th International Waste Management and Landfill Symposium, Abstracts
- Ishigaki T. (2016) Benefit of Centralized Waste Treatment and Recycle. Seminar on Effective Waste Treatment and Recycle by Integration of Various Function, -
- 石垣智基, 落合知, 山田正人, Lee, Dong-Hoon, Komsilp Wangyao (2016) 機械選別・生物処理による都市ごみ処理の適用可能性に関する欧州・東南アジア・東アジアの比較検討. 第37回全国都市清掃研究・事例発表会, 同講演論文集, 267-269
- 岩崎真, 木持謙, 徐開欽, 佐竹隆顕, 稲森隆平, 稲森悠平 (2015) 高水温期における間欠ばっ気方式を導入した高度処理浄化槽の省エネ特性の解析. 日本水処理生物学会第52回大会, 同予稿集, 51
- 岩崎真, 木持謙, 稲森隆平, 徐開欽, 佐竹隆顕, 稲森悠平 (2016) 生活排水を用いた水温変動条件下の高度処理浄化槽の省エネ運転操作技法の開発. 第50回日本水環境学会年会, 同予稿集, 66
- 神保有亮 (2011) ハイブリッド型人工湿地におけるSTEP流入による脱窒反応効率化とN₂Oガス排出量の削減. 第6回人工湿地ワークショップ in 千歳・札幌, 第6回人工湿地ワークショップ in 千歳・札幌予稿集
- Jimbo Y., Ebie Y., Inamori Y, Xu K. (2011) GHG Emission Reduction with Improvement of Denitrification by Step Feed in Constructed Wetlands. The 4th IWA-ASPIRE Conference&Exhibition, Abstracts, 527-528
- 神保有亮 (2012) 垂直流人工湿地における水収支の基礎的研究. 水環境学会東北支部人工湿地ワークショップ, なし
- 神保有亮, 蛭江美孝, 稲森悠平, 徐開欽 (2012) ステップ流入を用いた人工湿地におけるBOD/N比と脱窒反応の関係解析. 日本水環境学会第46回年会, 第46回日本水環境学会年会講演集, 360
- 神保有亮, 蛭江美孝, 稲森悠平, 徐開欽 (2013) 垂直流人工湿地における原水流入負荷量と蒸発散量の関係解析. 日本水環境学会第47回年会, 同予稿集, 305
- 河井紘輔, 大迫政浩, 山田正人 (2011) ベトナム国ハノイ市における有価物の分別排出の傾向と要因に関する調査. 廃棄物資源循環学会第22回研究発表会, 第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, 21-22
- 河井紘輔, 大迫政浩, 山田正人 (2012) 発展途上国における廃棄物の分別シナリオと代替処理技術. 廃棄物資源循環学会第23回研究発表会, 同予稿集, 83-84
- 河井紘輔, Luong Thi Mai Huong, 大迫政浩 (2012) ベトナム国ハノイ市における都市ごみ収集量の推移. 京都大学環境衛生工学会第34回シンポジウム, 環境衛生工学研究, 26(3), 108-111

河井紘輔, 横尾英史 (2013) ベトナム国のインフォーマルセクターにおける有価物回収業に従事する動機. 京都大学環境衛生工学研究会第 35 回シンポジウム, 同講演論文集, 95-98

河井紘輔, 大迫政浩, 山田正人 (2013) ベトナム国ハノイ市における家庭による有機系廃棄物の分別行動の規定因. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 同講演論文集, 27-28

Kawai K. (2014) Reliable data collection and compilation of municipal solid waste generation: Challenges and possible improvements at local level in developing countries. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts

Kawai K., Huong L.T.M., Yamada M., Osako M. (2014) Proximate composition of household waste and applicability of waste management technologies by source separation in Hanoi, Vietnam. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts

Kawai K., Tasaki T. (2014) Definitions of municipal solid waste and waste generation revisited. The 25th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 560-561

河井紘輔 (2014) ベトナム国ホーチミン市における家庭系生ごみの分別と適用可能な代替処理技術. 第 36 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 環境衛生工学研究, 28(3), 47-50

Kawai K., Huong L.T.M. (2015) Monitoring source separation of household organic waste in Hanoi, Vietnam. The 26th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 566-567

河井紘輔 (2015) ベトナム国ハノイ市における家庭系有機ごみ分別のモニタリング調査. 京都大学環境衛生工学研究会第 37 回シンポジウム, 講演論文集, 71-74

河井紘輔 (2015) 発展途上国におけるごみ処理の課題と解決策 - 分別収集の導入可能性 -. 第 13 回環境研究シンポジウム, 講演集, 70

河井紘輔, 佐野翔一, 高木重定 (2016) ベトナム国ホーチミン市における一般廃棄物処理システム改善に伴う温室効果ガス排出量削減効果. 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 講演要旨集, 370-371

Kawai K., Huong L.T.M. (2016) Monitoring source separation of household organic waste in Hanoi, Vietnam. The 3rd International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management (3RINCs), Abstracts, 131-134

Kobayashi T., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2011) Performance evaluation and effect of circulation rate in a bio-desulfurization process aerated by biogas circulation. The 7th International conference on environmental anaerobic technologies and bioenergy, Proceedings of the 7th International conference on environmental anaerobic technologies and bioenergy, 198-214

小林拓朗, 徐開欽, 李玉友, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2011) バイオガス循環曝気式新規生物脱硫プロセスの連続実験による性能評価. 第 48 回環境工学研究フォーラム, 土木学会論文集 G (環境) (環境工学研究論文第 48 巻), 67(7), III_651-III_660

Kobayashi T., Xu K-Q., Wu Y-P., Li Y-Y. (2012) Effect of self-agitation: a performance comparison between a reactor with self-agitation system and a completely stirred reactor and an unstirred reactor under increasing organic load. International Workshop on Kitchen Waste-Based Bioenergy, Abstract, 77

小林拓朗, 倉持秀敏, 蛭江美孝, 大迫政浩 (2012) トラップグリースからの Dual fuel 生成のための油脂抽出と残渣の嫌気性処理. 環境技術学会第 12 回年次大会, 同予稿集, 146-147

小林拓朗, 倉持秀敏, 徐開欽 (2012) トラップグリースからのデュアルフューエル生産に向けた油脂抽出と残渣の嫌気性処理. 日本水環境学会第 15 回シンポジウム, 同予稿集, 73-74

Kobayashi T., Wu Y., Xu K-Q., Li Y.Y. (2013) Effect of automatic mixing by a siphon on anaerobic digestion - comparative experiments using reactors with different mixing mode. 13th world congress on anaerobic digestion, Proceedings of 13th world congress on anaerobic digestion

小林拓朗, 徐開欽 (2013) 微細藻類のグラニュール化とそれを利用したバイオガスアップグレード方法の開発. 日本水環境学会シンポジウム第 16 回, 同講演集, 276-277

小林拓朗, 徐開欽, 柳田大地, 佐竹隆顕, 稲森悠平 (2013) 嫌気・微好気条件下における膜分離リアクターの水質浄化・膜ろ過・ガス生成特性の比較. 日本水環境学会シンポジウム第 16 回, 同講演集, 51-52

小林拓朗, 徐開欽, 知久治之 (2015) 嫌気性工場排水処理における還元性イオウ成分がグラニュール汚泥微細化に及ぼす影響. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 57

小林拓朗, 徐開欽, 知久治之 (2015) 嫌気性工場排水処理におけるイオウ成分共存が引き起こす EPS 溶出とその抑制対策. 第 18 回日本水環境学会シンポジウム, 同講演集, 185-186

- Kumar G., Kobayashi T., Kim S.H. (2014) Biohydrogen production in a sequencing batch reactor fed with algal hydrolysate. Asia Pacific conference on life science and engineering, Abstracts, 15
- Kuroda M., Hachiya Y., Tokura K., Quach A., Ogata Y., Toyama T., Morikawa M., Ike M. (2014) Promotion of biomass production of duckweed, *Lemna minor*, by plant growth promoting bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* P23. Grand Renewable Energy 2014 international conference, Abstracts
- 呂志江, 杉浦則夫, 小林拓朗, 徐開欽, 稲森隆平, 稲森悠平 (2012) 沈水植物刈り取り残渣のメタン発酵エネルギー発生ポテンシャル評価. 日本水処理生物学会第 49 回大会, 日本水処理生物学会誌, 別巻, 59
- 長森正尚, 渡辺洋一, 山田正人, 石垣智基 (2011) 廃棄物埋立地における亜酸化窒素ガス調査. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011
- Nagamori M., Koide T., Wijewardane N.K., Watanabe Y., Isobe Y., Mowjood M.I.M., Ishigaki T., Kawamoto K. (2012) Flux measurements of greenhouse gases from an abandoned open dumping site in Sri Lanka. International Conference on Sustainable Built Environment,
- 新田健斗, 佐竹隆顯, 野口寛, 佐野彰, 徐開欽, 稲森隆平, 稲森悠平, 陶村貴 (2014) セラミック平膜を用いた膜分離活性泥法におけるファウリング抑制手法の開発. 日本水環境学会第 48 回年会, 同予稿集, 280
- Ochiai S., Ishigaki T., Wangyao K., Yamada M. (2014) Adaptability of Mechanical Biological Treatment in Tropical Asia: A case study in Thailand. 25th Annual Conference of Japan Society of Material Cycle and Waste Management, Abstracts, 625-626
- Ochiai S., Ishigaki T., Yamada M., Kaneko H. (2014) Effect of return compost inoculation on initial phase of composting. 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, AGRO' 2014 Proceedings, 2, 309-315
- 落合知, 石垣智基, 山田正人 (2014) アジア地域における廃棄物機械生物処理 (MBT) 最適化のための評価要素の抽出. 第 51 回環境工学研究フォーラム, 第 51 回環境工学研究フォーラム講演集, 174-176
- 落合知, 石垣智基, 山田正人 (2015) アジア地域および日本における廃棄物機械生物処理 (MBT) 適用可能性評価システム開発のための基礎的検討. 第 36 回全国都市清掃研究・事例発表会, 同予稿集, 118-120
- Ochiai S., Ishigaki T., Yamada M. (2015) Comparison of Mechanical Biological Treatment Operations based on Cost and Benefit in Asia. The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 210-213
- 落合知, 石垣智基, Wangyao K, 山田正人 (2015) タイ王国の MBT 施設における廃棄物マテリアルフロー調査. 平成 27 年度廃棄物資源循環学会春の研究発表会, なし
- Ochiai S., Ishigaki T., Wangyao K., Yamada M. (2015) Measurement of the Potential Heat and Ash Content of the Residue from Mechanical Biological Treatment in Thailand. 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, Abstracts, 555-556
- 落合知, 石垣智基, Komsilp Wangyao, 山田正人 (2016) タイ王国の廃棄物 MBT における発生残渣の保有熱量及び灰含有量の測定. 廃棄物資源循環学会関東支部研究発表会, なし
- 尾形有香, 石垣智基, 山田正人, 遠山忠, 清和成, 森川正章池道彦 (2013) ウキクサ科植物の埋立地浸出水処理への適用性に関する実験的検討. 全国都市清掃研究・事例発表会第 35 回大会, 同予稿集, 221-223
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, 神保有亮, Nopparit Sutthasil, Chart Chiemchaisri, 山田正人 (2013) タイ王国ノンタブリ処分場における人工湿地を用いた浸出水処理の開発. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2013, 537-538
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, 神保有亮, NopparitSutthasil, ChartChiemchaisri, 山田正人 (2013) タイ王国ノンタブリ廃棄物埋立地の浸出水を対象とした人工湿地処理の適用性に関する実験的検討. 日本水処理生物学会第 50 回大会, 同予稿集, 33, 62
- Ogata Y., Ishigaki T., Ebie Y., Jimbo Y., Sutthasil N., Chiemchaisri C., Yamada M. (2014) Construction and Operation of a Pilot-scale Constructed Wetland Treating Landfill Leachate in Thailand. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts <Excellent Research Award for Oral Presentationawarded>
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, 神保有亮, Sutthasil Nopparit, Chiemchaisri Chart, 山田正人 (2014) 熱帯地域の廃棄物埋立地浸出水を対象としたパイロットスケール人工湿地の導入. 日本水環境学会第 48 回年会, 同講演集, 322
- Ogata Y., Ishigaki T., Kim H., Nakagawa M., Yamada M. (2014) Feasibility of leachate recirculation on waste landfill in Southeast Asia. 18th Korea-Japan International Symposium, Abstracts, 160-161

- 尾形有香, 石垣智基, 遠山忠, 清和成, 池道彦, 山田正人 (2014) タイの埋立地浸出水におけるウキクサ科植物の生育に及ぼす根圏微生物の影響. 廃棄物資源循環学会平成 26 年度春の研究発表会, なし
- 尾形有香, 中川美加子, 石垣智基, 山田正人 (2014) 浸出水循環による塩類蓄積が嫌氣的ガス発生挙動に及ぼす影響. 第 25 回 廃棄物資源循環学会, 同予稿集, 419-420
- Ogata Y., Ishigaki T., Ebie Y., Sutthasil N., Chiemchaisri C., Yamada M. (2014) Effect of Feed Pattern of Landfill Leachate on Water Reduction in Constructed Wetland in Southeast Asia. 14th IWA International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control, Abstracts, 815-820
- Ogata Y., Ishigaki T., Ebie Y., Sutthasil N., Chiemchaisri C., Yamada M. (2014) Evaluation of Treatment Performance of a Pilot-scale Constructed Wetland treating Waste Landfill Leachate in Thailand. 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, Abstracts, I, 407-413 <Presentation Award for Young Researchersawarded>
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, NopparitSutthasil, ChartChiemchaisri, 山田正人 (2014) 人工湿地における水量削減に影響を及ぼす運転条件の検討. 日本水処理生物学会第 51 回大会, 同予稿集, 34, 70
- 尾形有香, 石垣智基, 山田正人 (2015) 水生植物の根圏浄化を活用した埋立地浸出水中の高度処理に関する基礎的検討. 第 36 回全国都市清掃研究・事例発表会, 同予稿集, 288-290
- 尾形有香, 石垣智基, 山田正人 (2015) 廃棄物埋立地の機能評価において対象とするバイオマーカーの選定. 廃棄物資源循環学会 春の研究発表会, なし (発表したポスターが HP 上に掲載される予定)
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, Sutthasil N., Witthayaphirom C., Chiemchaisri C., 山田正人 (2015) 熱帯地域での人工湿地による廃棄物埋立地浸出水中の窒素除去の特性. 第 26 回 廃棄物資源循環学会 研究発表会, 同予稿集, 459-460
- 尾形有香 (2015) 女子高校生のためのオープンキャンパス. OPEN CAMPUS 2015 女子高校生のためのオープンキャンパス, なし
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, 神保有亮, 山田正人 (2016) 安定化後期における廃棄物最終処分場浸出水処理への人工湿地の導入可能性に関する検討. 第 37 回全国都市清掃研究・事例発表会, 同予稿集, 303-305
- 尾形有香, 石垣智基, 蛭江美孝, NopparitSutthasil, ChayanidWitthayaphirom, ChartChiemchaisri, 山田正人 (2016) 東南アジアにおける廃棄物埋立地浸出水を対象とした人工湿地による有機態窒素の除去特性. 第 50 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 392
- 岡正雄, 藤井雄太, 惣田訓, 池道彦, 石垣智基 (2013) ラボスケールの人工湿地による廃棄物埋立地浸出水中の重金属除去性能の評価. 第 50 回環境工学研究フォーラム, 同予稿集
- 岡正雄, 藤井雄太, 惣田訓, 池道彦, 石垣智基 (2013) ラボスケールの人工湿地による廃棄物埋立地浸出水中の重金属の処理. 日本水処理生物学会第 50 回大会, 同予稿集
- Payomthip P., Wangyao K., Chiemchaisri C., Ishigaki T., Lee D. H., Towprayoon S. (2016) Biodry of Municipal Solid Waste to Utilize as Solid Recovered Fuel. The 3rd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 114-117
- Qi W.K., Kobayashi T., Liu Y.Y., Li Y.Y. (2014) Characteristics simulation of self-agitation anaerobic digestion reactor. 日本水環境学会第 48 回年会, 同講演集, 291
- 佐藤優輝, 稲森隆平, 張健, 陶村貴, 徐開欽, 稲森悠平 (2014) AOSD 酸素供給自動制御システムを導入した生活排水の省エネ／高度処理技術の開発. 日本水環境学会第 48 回年会, 同予稿集, 649
- 佐藤優輝, 張健, 稲森隆平, 陶村貴, 稲森悠平, 内海真生, 徐開欽 (2016) MAM-AOSD システムを導入した生活排水処理における水温の影響解析. 第 50 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 233
- Sutthasil N., Suethep C., Chiemchaisri C., Wangyao K., Endo K., Ishigaki T., Yamada M. (2013) Effect of waste compaction and convective aeration on pollutant reduction from semi-aerobic landfill operated in the tropics. 14th International Waste Management and Landfill Symposium, Abstracts
- Sutthasil N., Chiemchaisri C., Chiemchaisri W., Wangyao K., Endo K., Ishigaki T., Yamada M. (2015) Methane Emission from Semi-aerobic Landfill Test Cell Operated in Tropical Climate: Case Study of Thailand. The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycle and Waste Management, Abstracts
- 田中宏和, 松井亮, 大家清紀, 石垣智基, 遠藤和人, 山田正人, 香村一夫 (2014) 砂質土を使用した最終覆土の浸透水移動性評価. 第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 同予稿集, 453-454

- 田中宏和, 松井亮, 大家清紀, 石垣智基, 遠藤和人, 山田正人, 小野雄策, 香村一夫 (2015) 砂質最終覆土の水分量変化挙動. 第 36 回全国都市清掃研究・事例発表会, 講演論文集, 291-293
- 和田英樹, 山田正人, 石垣智基, 大迫政浩, 河井紘輔, 高畑恒志, 山口直久, 倉澤壮児, 高野友理 (2014) 東南アジア諸国における廃棄物政策の段階的発展モデル. 全国都市清掃研究・事例発表会第 35 回大会, 同講演論文集, 37-39
- Wangyao K., Towprayoon S., Yamada M., Endo K., Ishigaki T. (2011) Methane Oxidation in Landfill Cover Soil: Case Study in Thailand. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Abstracts, 6, 269-273
- Wangyao K., Ishigaki T., Takahata K., Chiemchaisri C., Towprayoon S., Yamada M. (2013) FLOOD WASTE MANAGEMENT IN BANGKOK: DURING AND AFTER THE THAILAND MEGA FLOOD CRISIS 2011. The 12th Expert Meeting on Solid Waste management in Asia and Pacific Islands, Abstracts
- Wangyao K., Endo K., Ishigaki T., Chiemchaisri C., Sutthasil N., Towprayoon S., Yamada M. (2013) Behavior of Methane Emissions from Passive Aeration and Conventional Landfilling Methods in Tropical Environment. 1st IWWG-ARB SYMPOSIUM, Abstracts
- Wangyao K., Ishigaki T., Endo K., Sutthasil N., Chiemchaisri C., Yamada M. (2013) Technical guidance for semiaerobic management of landfills in tropical region. 14th International Waste Management and Landfill Symposium, Abstracts
- Wangyao K., Sutthasil N., Payomthip P., Sutthiprapa S., Chiemchaisri C., Ishigaki T., Ochiai S. (2016) Methane Emission from MBT Technology at Phitsanulok Landfill. The 3rd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 31-34 <Excellent Research Award in Third 3RINCSawarded>
- Wu L., Li Y., Kobayashi T., Kuramochi H., Xu K-Q. (2015) Recovery strategies of inhibition for anaerobic sludge treating the de-oiled grease trap waste. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 496
- 呉亜鵬, 小林拓朗, 李玉友, 徐開欽 (2012) サイフォン式無動力攪拌リアクターによる嫌気性処理特性の完全混合、無攪拌各リアクターとの比較評価. 日本水環境学会第 15 回シンポジウム, 同予稿集, 71-72
- WU Yapeng, 李玉友, 小林拓朗, 徐開欽 (2014) 水質浄化沈水植物刈取り残さのメタン発酵特性. 日本水環境学会第 48 回年会, 同講演集, 76
- Xu K-Q. (2011) "Sustainable Watershed Management and Water Environmental Restoration by Bio-eco Engineering". The 8th Japan-China Workshop on "Technology for Water Pollution Prevention", Abstract of The 8th Japan-China Workshop on "Technology for Water Pollution Prevention", 24-26
- 徐開欽 (2012) 中国における水環境の現状を踏まえた分散型排水処理技術の課題と提言. 土木学会平成 24 年度環境工学委員会研究ワークショップ, 同予稿集, 1-26
- 徐開欽, 小林拓朗, 稲森悠平 (2013) アジア地域の環境修復と再生のためのバイオエコ技術の展開. 日本水環境学会シンポジウム第 16 回, 同予稿集, 45-46
- 徐開欽, 小林拓朗, 王欣澤, 呉海露, 孔海南, 稲森悠平 (2015) 中国における流域環境保全と湖沼再生対策. 第 18 回日本水環境学会シンポジウム, 同予稿集, 231-232
- Xu K-Q. (2015) 湖沼・ダムの非特定汚染源対策 - 霞ヶ浦の経験と実例. 「湖沼・ダムの非特定汚染源対策」学術シンポジウム, 同予稿集, 134-179 <In Chinese>
- 山田正人, 石垣智基, 遠藤和人, チェムチャイスリチャート, スッタシルノッパリット, ワンヤオコムシン (2011) 熱帯地域における準好気性埋立の機能向上に関する研究. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011
- Yamada M. (2012) Co-benefit approach on waste management and GHG reduction. International Workshop on a Co-Benefits Approach, Abstracts of International Workshop on a Co-Benefits Approach
- Yamada M., Ishigaki T., Endo K., Kim H., Ishimori H. (2013) Desirable Structure and Operation of Semi-Aerobic Landfill under Several Climate Conditions. 1st IWWG-ARB Symposium, Proceedings
- Yamada M., Ishigaki T., Wangyao K., Sutthasil N., Chiemchaisri C., Endo K., Kim H., Ishimori H. (2013) Design of semi-aerobic landfill for tropical region. 17th Korea-Japan Joint International Session, 2013 KSWM Spring Conference, Abstracts, 133-135
- Yamada M., Ishigaki T., Endo K., Ishimori H., Wangyao K., Sutthasil N., Chiemchaisri C. (2013) NUMERICAL ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SEMI-AEROBIC MANAGEMENT OF LANDFILL. Sardinia 2013, 14th International Waste Management and Landfill Symposium, Symposium Proceedings

Yamada M., Ishigaki T., Endo K., Wangyao K., Chiemchaisri C., Sutthasil N., Towprayoon S. (2014) A Semi-Aerobic Test Cell Experiment under Tropical Climate Conditions. 1st 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts

山田正人, 石垣智基, 大迫政浩, 河井紘輔, 高畑恒志, 山口直久, 倉澤壮児, 高野友理, 和田英樹 (2014) 東南アジア都市への静脈産業移転戦略について. 全国都市清掃研究・事例発表会第 35 回大会, 同講演論文集, 40-42

山田正人, 石垣智基, 大迫政浩, 河井紘輔, 久保田利恵子, 高畑恒志, 山口直久, 倉澤壮児, 高野友理, 和田英樹, 羽山和行 (2014) 東南アジア都市への静脈産業移転戦略. 廃棄物資源循環学会第 25 回研究発表会, 講演原稿集, 91-92

山田正人 (2015) 産業廃棄物処理と海外展開・海外事情. 第 14 回産業廃棄物と環境を考える全国大会, 講演資料

山田正人, 久保田利恵子, Phongphiphat A. (2016) アジアおよび世界における都市ごみの流れ. 第 37 回全国都市清掃研究・事例発表会, 講演論文集, 7-9

山口直久, 和田英樹, 山田正人, 倉澤壮児, 高野友理 (2012) ベトナム北部へのわが国の静脈産業の移転戦略について. 廃棄物資源循環学会第 23 回研究発表会, 講演論文集, 151-152

柳田大地, 佐竹隆顕, 野口寛, 小林拓朗, 徐開欽, 稲森悠平 (2014) 嫌気性 MBR に対する脱硫を目的としたマイクロエアレーションの適用と高効率化. 日本水環境学会第 48 回年会, 同講演集, 73

柳田大地, 佐竹隆顕, 野口寛, 小林拓朗, 徐開欽, 稲森隆平, 稲森悠平 (2014) 嫌気性 MBR に対する脱硫を目的としたマイクロエアレーションの適用と高効率化. 日本水処理生物学会第 51 回大会, 日本水処理生物学会第 51 回大会予稿集, 47

柳田大地, 佐竹隆顕, 小林拓朗, 徐開欽, 稲森悠平, 稲森隆平, 野口寛 (2015) 有毒硫化水素含有ガスの微生物反応循環気泡塔式脱硫法による連続除去とイオン成分変換特性の解析. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 473

横尾英史, 河井紘輔, 樋口裕城 (2015) Altruism behind recycling: A substitute for an environmental policy?. 環境経済・政策学会 2015 年大会, なし

Yokoo H., Kawai K., Higuchi Y. (2015) Altruism behind Recycling: A Substitute for an Environmental Policy?. Hayami Conference 2015, -

Yokoo H., Kawai K., Higuchi Y. (2015) Altruism behind recycling: A substitute for an environmental policy?. Rokko Environmental Economics and Policy Seminar, -

Yokoo H., Kawai K., Higuchi Y. (2016) Altruism behind recycling: A substitute for an environmental policy?. IDEC Seminar, -

横尾英史, 河井紘輔, 樋口裕城 (2016) Altruism behind recycling: A substitute for an environmental policy?. フューチャー・デザイン研究センター 公開ワークショップ, なし

張健, BADISS Mahmoud, 陶村貴, 稲森隆平, 佐竹隆顕, 徐開欽, 稲森悠平 (2013) AOSD 制御による活性汚泥システムの処理特性と生物相等の解析. 日本水処理生物学会第 50 回大会, 同予稿集, 63

張健, 佐藤優輝, 稲森隆平, 陶村貴, 大井洋, 徐開欽, 稲森悠平 (2015) 有機性排水の AOSD システム導入活性汚泥法とセラミック平膜を組み合わせた高度省エネ処理技法開発と機能解析. 日本水処理生物学会第 52 回大会, 同予稿集, 27

張健, 佐藤優輝, 稲森隆平, 陶村貴, 新井喜明, 徐開欽, 大井洋, 稲森悠平 (2016) AOSD システム導入セラミック平膜浸漬型 MBR の処理能と膜ファウリングの関係解析. 第 50 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 228

Zhen G., Kobayashi T., Xu K-Q., Lu X.Q. (2015) Insight into extracellular electron transfer for methane production from carbon dioxide in a two-chamber microbial electrolysis cells (MECs) containing a graphite biocathode. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 343

(3) 地域特性を活かした資源循環システムの構築

藤井実 (2011) 未来のエネルギー利用ーバイオガス導管注入, バイオコークス等ー. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, なし

Fujii M., Fujita T., Chen X., Ohnishi S. (2011) Cost effective recycling system utilizing unused local resources and facilities. 6th International Conference on Industrial Ecology (ISIE 2011 Conference), Abstracts of 6th International Conference on Industrial Ecology (ISIE 2011 Conference)

- 藤井実, 藤田壮, 陳旭東, 大西悟 (2012) 外部要因の変化に対して頑強なりサイクルシステムの検討. 日本 LCA 学会第 7 回研究発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 294-295
- Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L. (2012) Study on a Robust and Cost Effective Recycling System of Organic Municipal Solid Wastes. 3rd ISIE Asia-Pacific Meeting, Abstracts
- 藤井実, 藤田壮, 大西悟, 戸川卓哉, Dong Liang (2013) 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. 日本 LCA 学会第 8 回研究発表会, 同予稿集, 166-167
- 藤井実, 藤田壮, 大西悟, DONG Huijuan, Dong Liang (2013) 空間的・時間的に効率的なりサイクル・廃棄物処理システムの計画と評価. 環境システム研究論文発表会第 41 回, 同予稿集, 453-458
- Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L., Togawa T. (2013) Study on an energy-efficient recycling system of household organic wastes for building sustainable recycling system. 7th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, Abstracts
- Hashimoto S., Oshio M., Oguchi M. (2012) Estimation of local stocks and discards of small-size electric and electronic equipment and their content metals to establish an efficient collection system in Japan. MFA-ConAccount section Conference 2012,
- Hashimoto S., Oshio M., Oguchi M. (2012) Estimation of local stocks and discards of small-size electric and electronic equipment and their content metals to establish efficient collection systems in Japan. EcoBalance2012 (The 10th International Conference on EcoBalance), Proceedings
- 平野勇二郎, 稲葉陸太, 酒井広平, 早瀬百合子, 大迫政浩 (2012) 日本におけるサービス産業のエネルギー消費構造分析. エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス第 28 回, 第 28 回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, 5-8
- 平野勇二郎, 藤田壮, 戸川卓哉, 孫穎 (2013) 民生業務門における業種別エネルギー消費量のマクロ推計. 平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会 (長野), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 193-196
- 平野勇二郎, 戸川卓哉, 藤田壮 (2013) 地域条件を考慮した家庭部門の CO2 排出量の構造解析. 日本環境共生学会第 16 回学術大会, 日本環境共生学会第 16 回 (2013 年度) 学術大会講演要旨集, 323-328
- 平野勇二郎, 藤田壮, 稲葉陸太, 酒井広平, 早瀬百合子, 大迫政浩 (2013) 民生業務部門における業種別エネルギー消費量の構造分析. 第 21 回地球環境シンポジウム, 同講演集, 157-162 < 地球環境優秀講演賞受賞 >
- 平野勇二郎, 藤井実, 戸川卓哉, 藤田壮, 柴原尚希, 渡邊聡 (2013) 低炭素型ライフスタイルを実現する都市環境の計画・評価方策の提案. 環境科学会 2013 年会, 同講演要旨集, 172
- 平野勇二郎, 吉田友紀子, 戸川卓哉 (2014) 低炭素型ライフスタイル実現する都市の環境創生に向けた検討. 日本環境共生学会第 17 回 (2014 年) 地域シンポジウム, なし < 日本環境共生学会第 17 回 (2014 年) 地域シンポジウム・ポスター優秀発表賞受賞 >
- 平野勇二郎, 吉田友紀子, 戸川卓哉 (2014) ライフサイクル CO2 を削減する都市環境構築に向けた方策の提案. 環境情報科学センター第 11 回環境情報科学ポスターセッション, 環境情報科学, 44(1), 112 < 理事長賞受賞 >
- 平野勇二郎, 吉田友紀子, 戸川卓哉, 高橋敬子 (2014) 低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その 1 生活に伴う直接・間接 CO2 排出量の推計. 2014 年度日本建築学会大会 (近畿), 同学術講演梗概集, 809-810
- 平野勇二郎, 井原智彦, 高橋敬子, 吉田友紀子, 藤田壮 (2014) 都市における低炭素型ライフスタイルに関する事例研究. 第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会, 同講演論文集, 237-238
- 平野勇二郎, 井原智彦, 吉田友紀子, 高橋敬子 (2015) ライフサイクル CO2 を削減する都市の消費行動パターンに関する基礎的検討. 第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 同講演論文集, 493-494
- 平野勇二郎, 戸川卓哉, 孫穎 (2015) 生活・行動様式-空間配置の相互関係モデルに基づく商業施設立地の分析. 2015 年日本地理学会春季学術大会, 日本地理学会発表要旨集, (87), 327
- 稲葉陸太, 松橋啓介, 柚山義人, 岡本誠一郎, 伊藤幸男, 栗島英明 (2011) バイオマス利用事例における地域活性化要因の抽出と因果関係の図式化. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 79-80
- 稲葉陸太, 荻野暁史, 岡本誠一郎, 大迫政浩 (2012) 廃棄物系バイオマスの近未来シナリオの検討に基づく集約的リサイクルの提案. 日本 LCA 学会第 7 回研究発表会, 同講演要旨集, 298-299
- Inaba R. (2012) Scenario Planning of Waste Biomass Management in the Near Future. 10th International Conference on EcoBalance, Proceedings of the 10th International Conference on EcoBalance

- 稲葉陸太, 伊藤幸男, 栗島英明, 松橋啓介 (2013) 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. 日本 LCA 学会研究発表会第 8 回, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 124-125
- 稲葉陸太, 栗島英明, 松橋啓介, 柚山義人, 内田勉, 伊藤幸男 (2013) 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. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集
- 稲葉陸太, 田崎智宏, 小島英子, 河井紘輔, 多島良, 朽尾圭亮 (2015) 4 つの戦略的側面に注目した地域的資源循環システムの実装に関する検討. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 210-211
- 稲葉陸太, 田崎智宏, 河井紘輔, 小島英子, 櫛田和秀, 高木重定 (2015) 地域的資源循環事業の諸活動に関する戦略的類型の整理とヒストリー分析. 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿 2015, 73-74
- 稲葉陸太, 田崎智宏, 小島英子, 河井紘輔 (2016) 地域的資源循環システム形成のヒストリー分析. 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 173-174
- 石垣智基, 横井加奈美, 前田光太郎, 山田正人, 立尾浩一 (2012) 有機性廃棄物の地域循環利用における品質および資源性の評価. 全国都市清掃研究・事例発表会第 33 回, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 119-121
- Ishigaki T., Nakagawa M., Tanaka H., Yamada M. (2012) Bioleaching of metals from landfilled waste by electrochemical bioleaching. The 2012 Spring Conference of the Korea Society of Waste Management, Proceedings of the 2012 Spring Conference of the Korea Society of Waste Management, 84-86
- Ishigaki T., Yokoi K., Tachio K., Fujiwara T., Yamada M. (2013) Potential for Pollution and Recyclability of Organic Waste from the viewpoint of Local Sustainability. 2013 Spring Conference of the Korea Society of Waste Management, Proceedings, 114-116
- Ishigaki T. (2013) Operation of anaerobic digestion plants in Japan. 30th Anniversary Conference of Korea Society of Waste Management, Abstracts
- Ishigaki T., Nakagawa M., Ito M., Tachio K., Fujiwara T., Yamada M. (2014) Chemical Analysis of Organic Waste as Potential Resource for Local Sustainable Management. 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, AGRO' 2014 Proceedings, 2, 475-480
- Ju M., Osako M., Harashina S. (2012) Impact on the food waste generation rate by food consumption styles. Korea-Japan Interantional Symposium, The 16th Korea-Japan Joint International Session, 121-123
- 朱文率, 大迫政浩, 原科幸彦 (2012) 食消費スタイルの変化による食品廃棄物発生への影響. 廃棄物資源循環学会平成 24 年度研究討論会, 同予稿集, 77-77
- Ju M., Osako M., Harashina S. (2012) Impact Assessment of food waste generation by food consumption style. EcoBalance 2012, EcoBalance 2012
- 栗島英明, 稲葉陸太, 松橋啓介, 柚山義人, 岡本誠一郎, 伊藤幸男 (2012) 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. 日本 LCA 学会研究発表会第 7 回, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 302-303
- 栗島英明, 稲葉陸太, 松橋啓介, 柚山義人, 内田勉, 伊藤幸男 (2012) 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. 日本 LCA 学会研究発表会第 8 回, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 126-127
- 栗島英明, 稲葉陸太, 松橋啓介 (2013) バイオマス利活用は地域の社会的活性化につながるか: Resource generator による住民のソーシャル・キャピタルの測定を中心に. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集
- 増田貴則, 山田正人, 石垣智基, 松岡真如, 藤原拓, 長谷隆仁 (2013) 面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価. 京都大学環境衛生工学研究会第 35 回シンポジウム, 環境衛生工学研究, 27(3), 44-47
- 松八重一代, 中島謙一, 林誠一, 長坂徹也 (2012) 東日本大震災に伴う東北三県で発生する鉄スクラップ量推計とその資源化インフラキャパシティ. 日本 LCA 学会第 7 回研究発表会, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 4-5
- 中川美加子, 石垣智基, 山田正人, 田中宏和 (2012) 鉄酸化細菌による廃棄物バイオリーチングにおける電気培養条件の検討. 全国都市清掃研究・事例発表会第 33 回, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 229-231
- 中口毅博, 栗島英明, 田崎智宏, 松橋啓介, 遠藤はる奈 (2013) 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. 日本 LCA 学会研究発表会第 8 回, 同講演要旨集, 248-249

- 中口毅博, 栗島英明, 遠藤はる奈, 松橋啓介, 田崎智宏, 村山麻衣, 竹内恒夫, 松野正太郎, 倉阪秀史 (2013) 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. 環境経済・政策学会 2013 年大会, 要旨
- 中村哲也, 大野肇, 松八重一代, 平木岳人, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2014) 動的 WIO-MFA (MaTrace) を用いたアルミニウム新地金消費量の削減ポテンシャルの評価. 日本 LCA 学会第 9 回研究発表会, 同講演予稿集, 24-25
- 西嶋大輔, 加河茂美, 中島謙一 (2015) 都道府県における自動車買い替えに伴って発生する鉄スクラップ需給バランスの分析. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 74-75
- 小口正弘, 肴倉宏史, 藤崎芳利, 寺園淳 (2011) 自治体ごみ処理における使用済み電気・電子製品の収集・処理実態と含有金属のフロー推計. 廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, 171-172
- 小口正弘, 肴倉宏史, 藤崎芳利 (2012) 市区町村における使用済み電気・電子製品の処理・資源回収実態のアンケート調査. 全国都市清掃研究・事例発表会第 33 回, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 97-99
- Oguchi M., Terazono A., Sakanakura H. (2012) Flows of WEEE and contained metals in municipal solid waste treatment: A regional-level estimation in Japan. MFA-ConAccount section Conference 2012,
- 大石修, 立尾浩一, 山田正人, 遠藤和人, 石垣智基 (2015) 関東圏における産業廃棄物フローに関する研究 (千葉県調査). 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 同予稿集, 29-30
- 大森雅史, 奥野愛実, 片岡咲恵, 田中宏和, 石垣智基, 香村一夫 (2012) 最終処分場埋立層におけるメタル類の賦存状況とその資源的価値. 廃棄物資源循環学会平成 24 年度研究討論会, 平成 24 年度廃棄物資源循環学会研究討論会講演集, 93
- Ohnishi S., Fujita T., Fujii M. (2012) Evaluation System for Regional Circulation Centered Around Energy Intensive Industry. The 3rd International Society of Industrial Ecology Asia-Pacific Meeting, -
- 大迫政浩 (2013) 原発災害後の環境再生と資源循環システム - バイオマスのエネルギー利用を含めて -. 環境 - エネルギーフォーラム 2013 in 八王子, 同予稿集, 1-32
- 佐野彰, 稲葉陸太, 倉持秀敏, 小林潤, 川本克也 (2011) 地域特性に応じた廃棄物系バイオマス処理のシステム統合評価. 化学工学会第 47 回秋季大会, 化学工学会第 47 回秋季大会予稿集, 956
- 佐野彰, 稲葉陸太, 田崎智宏 (2013) バイオマスメタン発酵液肥の隣接自治体間での需給調整による広域連携の効果. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 同講演論文集
- 多島良, 田崎智宏 (2012) 自治体における循環型社会形推進に係る計画の現状と課題. 日本計画行政学会第 35 回全国大会, 同予稿集, 215-218
- 田崎智宏, 藤井実, 佐野彰 (2013) 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～. 日本 LCA 学会研究発表会第 8 回, 同講演要旨集, 330-331
- Tasaki T. (2013) Approaches for Active Decision Making and Designing with Life Cycle Assessment: Simplifying/Streamlining, Diagramming, and Segmented Setting of System Boundary. 6th International Conference on Life Cycle Management, Proceedings, 730-733
- 田崎智宏, 藤井実, 佐野彰, 稲葉陸太, 山口直久, 千葉俊彦 (2013) 人口減少下における廃棄物処理システムの戦略的転換. 廃棄物資源循環学会第 24 回研究発表会, 同講演論文集, 61-62
- Tasaki T., Inaba R., Kojima E., Kawai K., Tajima R., Tochio K., Yoshida H., Ozawa H.E. (2015) AN EMPRICAL ANALYSIS OF STRATEGIC MANAGEMENT FOR ESTABLISHING A LOCAL CIRCULAR SOCIETY: HISTORICAL ANALYSIS BASED ON RATIONAL, PRACTICAL, NEGOTIATORY, AND INSTITUTIONAL ASPECTS. 8th Biennial Conference of the International Society for Industrial Ecology, Book of abstracts, 611-612
- 田崎智宏, 稲葉陸太, 河井紘輔, 小島英子, 多島良, 櫛田和秀, 高木重定 (2015) バイオマス地域循環システムの形成・運用過程の分析. 環境経済・政策学会 2015 年大会, 同報告要旨集, 246-247
- Tasaki T., Inaba R., Kojima E., Kawai K., Tajima R., Tochio K., Yoshida H., Ozawa H.E. (2015) Design and Formulation of a Local Circular Society: Cases of Biomass Recycling and its Strategic Aspects. EcoDesign 2015 International Symposium, Proceedings, 91-94
- 田崎智宏, 稲葉陸太, 藤井実, 山口直久 (2016) 人口減少とごみ排出量の減少を見据えた一般廃棄物焼却施設の統合による環境・経済面の効果推計. 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 同講演要旨集, 128-129
- 徐開欽, 佐野彰, 城野晃志, 杉浦則夫, 山崎宏史, 稲森隆平, 稲森悠平 (2011) 省エネルギー方式曝気時間制御汚水処理システムの生物機能・浄化特性評価. 第 14 回日本水環境学会シンポジウム, 第 14 回日本水環境学会シンポジウム予稿集, 5-6

Yamada M., Tachio K., Fujiwara T. (2011) Design of Physical Input-Output Table for Describing Regional Waste Biomass Flow. 2011 World Congress of International Solid Waste. Association (ISWA), Proceedings of 2011 World Congress of International Solid Waste. Association (ISWA), 971-979

山田正人, 立尾浩一, 石垣智基, 藤原拓 (2012) 高知県におけるバイオマス系廃棄物フローを表現する投入産出表の構築. 廃棄物資源循環学会第 23 回研究発表会, 講演論文集, 29-30

Yamada M., Ishigaki T., Tachio K., Fujiwara T. (2013) Compilation of Physical Input-output Table for Describing Regional Biomass Flow. KSWM' s 30th Anniversary Celebration Conference, Preceedings, 284-285

Yamada M., Ishigaki T., Tachio K., Fujiwara T. (2014) Compilation of physical input-output table for regional biomass flows in Kochi prefecture, Japan. 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, Proceedings, 2, 704-707

Yamada M., Masuda T., Matsuoka M., Hase T., Ishigaki T., Fujiwara T. (2014) Integrated Evaluation of the Innovative Water and Waste Management System for Agricultural Areas. 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, Proceedings, 1, 191-198

山田正人, 石垣智基, 立尾浩一, 藤原拓 (2015) 投入産出表を用いた地域バイオマスフローの評価. 第 36 回全国都市清掃研究・事例発表会, 講演論文集, 22-24

山田正人, 立尾浩一, 石垣智基, 藤原拓 (2015) 高知県における投入産出表を用いた地域バイオマスフローの評価. 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 講演原稿 2015, 25-26

山下裕也, 南齋規介, 加河茂美, 東野達 (2015) 47 都道府県間産業連関モデルを用いた東北三県における産業構造と GHG 排出構造の分析. 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 同講演要旨集, 158-159

吉田友紀子, 平野勇二郎 (2014) 低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その 2 全国市町村別、町丁・大字別における地域特性の把握. 2014 年度日本建築学会大会 (近畿), 同学術講演梗概集, 811-812

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 113 号
NIES Research Project Report, No.113

(SR - 113 - 2016)

循環型社会研究プログラム
(重点研究プログラム)

平成 23 ~ 27 年度

Sustainable Material Cycles Research Program

FY2011 ~ 2015

平成 29 年 1 月 31 日発行

編 集 国立環境研究所 編集分科会

発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒 305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2

E-mail : pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

January 2017

組 版 朝日印刷株式会社

〒 308-0005 茨城県筑西市巾着館 185-6

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/index.html>