

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR-97-2011

循環型社会研究プログラム (終了報告)

Studies on Material Cycles and Waste Management

平成18～22年度

FY 2006～2010

NIES



独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

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

循環型社会研究プログラム

(終了報告)

Studies on Material Cycles and Waste Management

平成18～22年度

FY 2006～2010

重点研究プログラム「循環型社会研究プログラム」(終了報告)

(期 間 平成18～22年度)

プログラム代表者：森口祐一

執 筆 者：森口祐一、寺園 淳、大迫政浩、川本克也、

倉持秀敏、滝上英孝、徐 開欽

編 者：大迫政浩

序

本報告書は、重点研究プログラムとして実施した「循環型社会研究プログラム」の平成18～22年度の成果を取りまとめたものです。

大量生産、大量消費の社会は、負の側面としての大量廃棄をもたらしたと言われていています。問題解決への中心的な解の一つが循環型社会を構築することであり、このことは21世紀を生きる人類に課せられた大きな課題であると考えられます。

国立環境研究所では、この重要な問題に対処するために、平成18年4月に開始した第2期中期計画において、『循環型社会研究プログラム』を地球温暖化、環境リスク、アジア自然共生と並ぶ重点研究プログラムの一つに設定し、研究を開始しました。

本研究プログラムの目指すところは、天然資源の消費と廃棄物の発生を抑制し、循環利用する物質の流れを築くことと、廃棄物の適正な管理を担保することを車の両輪として、循環型社会を実現することにあります。このため、近未来に実現すべき循環型社会の具体的な姿を提示し、それへの移行を支援する研究に取り組んでいるほか、廃棄物の発生から再資源化、処理及び処分に至るまでの様々な局面での問題についての対策技術やシステムの開発に関する研究を進めてまいりました。また、有害物質の管理やリスクを念頭に置いた現象解明から制御に関する研究、さらに、第1期中期計画に引き続き、安全・安心な廃棄物管理を確保するための予防的・長期的な視点に立った調査・研究にも取り組んでまいりました。

この第2期中期計画期間に挙げた研究成果の詳細は本編をご覧くださいととして、いくつかの特徴的な研究事例を紹介いたします。複数の社会シナリオと数量モデルに基づき、物質フローに大きな影響を与える社会変化や効果の高い対策を同定したこと、いくつかの製品群の事例研究をもとに、資源性・有害性の面からの物質の管理方策、再生品の環境安全品質の試験・確認、資源回収・適正処理におけるトレーサビリティの情報などを提示したこと、熱分解ガス化改質及び水素-メタン二段発酵により、バイオマス系廃棄物から高収率で水素ガスを回収できることを示すとともに、地域に適した要素技術を適用した地域循環圏の計画手法を構築したこと、家電・パソコン等の国内・国際フローを明らかにし、付随する環境影響等の問題点や改善の方向性を示す一方、タイで準好気性埋立の性能を評価する実証実験の段階に達したこと、などがあります。

環境問題という現実の社会と深く結びついた研究対象を扱う公的研究機関として、研究成果が環境改善に結びつくよう留意しながら、引き続き努力を積み重ねていく所存です。

最後になりますが、本研究プログラムを進める上で、所外の多くの方々にご協力とご助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表するとともに、今後とも、より一層のご支援をお願いする次第です。

平成23年12月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 大垣 眞一郎

目 次

I. プログラムの概要	1
1 研究の経緯と目的	1
2 研究の概要	1
II. 研究の成果	4
1 中核研究プロジェクト1：近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価	4
1.1 物質フローモデルに基づく資源利用・廃棄物等発生将来予測と近未来ビジョンへの 転換シナリオ評価	4
1.2 近未来の循環型社会における技術システムの設計と評価	11
1.3 政策手法・マネジメント手法の設計・開発と評価	15
2 中核研究プロジェクト2：資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価	20
2.1 プラスチックリサイクル・廃棄過程における化学物質管理方策の検討	20
2.2 資源性・有害性を有する金属類のリサイクル・廃棄過程での管理方策の検討	23
2.3 再生製品の環境安全品質管理手法の確立	26
2.4 物質管理方策の現状及び将来像の検討	28
3 中核研究プロジェクト3：廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発	31
3.1 エネルギー／マテリアル循環利用技術システムの開発と評価	31
3.2 動脈－静脈連携等を導入したバイオマス地域循環圏の設計と構築手法	40
4 中核研究プロジェクト4：国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築	46
4.1 アジア地域における資源循環システム解析と評価手法開発による適正管理ネットワークの 設計・評価	46
4.2 アジア諸国における資源循環過程での環境影響把握	50
4.3 途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価（埋立分野）	53
4.4 途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価（液状廃棄物分野）	56
5 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究	60
5.1 循環型社会に適応した安全・安心な適正処理・処分技術の確立	60
5.2 試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化	63
5.3 液状・有機性廃棄物の適正処理技術の高度化	67
5.4 廃棄物の不適正処理に伴う負の遺産対策	69
6 基盤的な調査・研究	72
6.1 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究	72
6.2 資源循環に係る基盤的技術の開発	75
7 知的研究基盤の整備	81
7.1 資源循環・廃棄物処理に関するデータベース等の作成	81

[資料]

I	研究の組織と研究課題の構成	85
1	研究の組織	85
2	研究課題と担当者	89
II	研究成果発表一覧	91
1	誌上発表	91
(1)	中核研究プロジェクト 1	91
(2)	中核研究プロジェクト 2	93
(3)	中核研究プロジェクト 3	97
(4)	中核研究プロジェクト 4	99
(5)	廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究	105
(6)	基盤的な調査・研究	115
(7)	知的研究基盤の整備	116

I プログラムの概要

1. 研究の経緯と目的

大量生産、大量消費の社会は、負の遺産としての大量廃棄を結果としてもたらしたとよく言われる。その問題への解の一つが循環型社会の形成を進めることである。廃棄物問題に対する警鐘の声が起り始めたのは、そう古いことではなく、1980年前後からである。産業社会と消費社会の構造に起因する廃棄物の発生構造に対する対応策を、日本で公式に制度に盛り込むこととなったのは、1991年の「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）の改正法である。それまでの安定化、減量化、エネルギー利用を基調とした廃棄物政策に、発生回避、リサイクルの視点を追加し、これらに高い優先性を与えた。その後、1993年に制定された環境基本法の下で策定された「環境基本計画」では、循環、共生、参加、国際的取組が基本理念とされ、この中の循環、特に経済社会における物質循環を中心とした国の基本法として、「循環型社会形成推進基本法」（循環基本法）が2000年に成立した。そこでは、発生抑制、再使用、再生利用、熱回収、適正処分を廃棄物・リサイクル対策の基本的な優先順位と考えることが規定されている。循環基本法は、物質循環を基調とした社会の形成を図るための日本の憲法とも言えるが、その健全な展開のためには、技術的、制度的な多くの課題を克服していかなければならない。

こうした背景の中、国立環境研究所の第1期中期計画期間中（2001～2005年度）には、循環基本法の下に「循環型社会形成推進基本計画」が策定され、廃棄物処理法の改正法、各種リサイクル法が施行されるなど、制度面での整備が進んだ。しかし、一般廃棄物、産業廃棄物とともに最終処分量は減少しているものの、排出量はここ数年横ばい傾向にあり、最終処分場の受入可能量は逼迫していることから、廃棄物の発生抑制と適正処分、循環資源の再使用・再生利用を引き続き促進する必要がある。

このため、資源採取、生産、流通、消費、廃棄等の社会経済活動の全段階を通じて、資源やエネルギーの利用の面でより一層の効率化を図り、健全な物質循環をできる限り確保することによって、環境への負荷を少なくし、循環を基調とする社会経済システムを実現することが重要である。さらに、このような循環型社会の実現は、我が国のみにとどまらず、国際的にも重要な課題となって

いる。

そこで、重点研究プログラム：循環型社会研究プログラムにおいては、廃棄物の処理処分や資源の循環的利用が適切な管理手法のもとで国民の安全、安心への要求に応える形で行われることを担保しながら、科学技術立国を支える資源循環技術システムの開発と国際社会と調和した3R（リデュース（発生抑制）、リユース（再使用）、リサイクル（再生利用））推進を支える政策手段の提案によって、循環型社会の近未来の具体的な姿を提示し、そこへの移行を支援することを目的とした。

2. 研究の概要

今後の循環型社会を形成していく上で達成目標を明らかにして取り組む必要のある目的志向型の研究課題として、本研究プログラムのいわば顔となる4つの中核研究プロジェクトを次のとおり編成した。

（1）近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価

近未来における循環型社会の形成を目指し、OECD等の国際的な研究の動向を踏まえながら、社会条件等の変化とそれに伴う物質フローの時空間的な変化を質的・量的に予測・評価し、循環型社会形成に向けた戦略的な目標設定を行う。また、それを達成するための資源循環型の技術システムと社会・経済システムへの転換を図るための政策・マネジメント手法の設計・評価を行い、近未来の循環型社会ビジョンをに向けた転換シナリオを提示する。

（2）資源性・有害性を持つ物質の循環管理方策の立案と評価

資源性・有害性をもつ物質の利用・廃棄・循環過程におけるフローや各プロセスでの挙動、環境への排出、リスクの発生、資源価値を同定・定量化し、代替物利用やリサイクル等の効果を資源性・有害性の両面から評価し、リサイクル促進や製品中有害物質規制、有用資源回収に資する科学的な根拠・知見を得る。特に、個別リサイクル法や国際資源循環で注目される主要な物質群を対象とする。

(3) 廃棄物系バイオマスの Win-Win 型資源循環技術の開発

廃棄物からの高度な資源循環により、脱温暖化や他の環境対策にも寄与する炭素サイクル型エネルギー循環利用技術システム及び潜在資源活用型マテリアル回収利用技術システムを開発し、さらに、動脈-静脈プロセス間での連携的な資源循環システムの構築により、複合的な技術システムを確立する。これらにより、国や地域の施策目標に貢献し得る廃棄物排出量の削減、CO₂ 排出量の削減及び代替エネルギー創出に最大限に寄与する。

(4) 国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築

アジア地域での適正な資源循環の促進に貢献すべく、途上国を中心とする各国での資源循環、廃棄物管理に関する現状把握を通して、アジア地域における資源循環システムの解析を行う。また、技術的側面からの対応として、液状系を含む有機性廃棄物の適正処理と温暖化対策とを両立した、途上国に適合した技術システムの設計開発とその適用による効果の評価を実施する。これらを総合し、該当地域における資源循環システムの適正管理ネットワークシステムの設計および政策の提案を行う。

中核研究プロジェクト以外の研究活動として、廃棄物の適正な管理のための研究を着実に進めるため、「廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究」という区分を本プログラムに設け、“循環型社会に対応した安全・安心な適正処理・処分技術の確立”などの4課題を位置付けているほか、廃棄物管理分野の「基盤型な調査・研究」として、“廃棄アスベストのリスク管理に関する研究”等の研究課題に取り組む。

(5) 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究

① 循環型社会に対応した安全・安心な適正処理・処分技術の確立

廃棄物の適正管理に関し、国・地方自治体等が実施する政策・対策現場に必要な知見や改善案を提供し社会への安全・安心を確保するため、埋立廃棄物識別・選別技術、熱的処理技術及び最終処分技術等の廃棄物処理・処分技術やシステムの開発・評価を行う。

② 試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化 循環資源・廃棄物を対象として、有害物質の挙動把握、

簡易測定技術の最適化、処理プロセスからの事故の未然防止等各種目的に応じた試験分析方法の整理、開発を進め、標準規格化、包括的な適用プログラムとして、試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化を図る。

③ 液状・有機性廃棄物の適正処理技術の高度化

し尿、生活雑排水等の有機性廃棄物を対象として、窒素・リンの除去・回収にも対応した処理技術・システムを構築し、並びに有害物質や感染性微生物リスクからの安全性を確保するため、浄化槽の機能改善、バイオ・エコエンジニアリングを活用した土壌処理システム等の実証等を通じて、液状廃棄物処理の高度化のためのシステム及び技術開発を行う。

④ 廃棄物の不適正管理に伴う負の遺産対策

廃棄物の不適正管理に伴う環境汚染の修復事業を支援するため、廃PCB処理技術、事業のフォローアップ、埋設農薬の適正処理、管理方策の調査を実施するとともに、不適正処分場に対してそれぞれの環境リスクを踏まえた汚染修復対策プログラムを設計する手法を提示する。

(6) 基盤的な調査・研究

① 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究

アスベストを含む建材等の廃棄段階に着目し、将来的な廃棄アスベストによる健康被害の拡大を防止する観点から、溶融等の無害化処理技術の評価方法等に関する研究を実施し、廃棄アスベストの適正処理・管理に資する科学的知見を明らかにする。

② 資源循環に係る基盤的技術の開発

将来の循環型社会を支える可能性を持つ新たなシーズ技術開発として、廃棄物中に含まれる希少性資源等の有用成分を、選択的かつ迅速に分離・回収する技術を始めとするマテリアル回収技術等の要素技術を開発する。

(7) 知的研究基盤の整備

① 資源循環・廃棄物処理に関するデータベース等の作成

資源循環、廃棄物処理処分分野における技術開発情報やニーズ情報を継続的に収集・整備して取りまとめ、今後の研究プロジェクトの企画・実施等のための技術データベースとする他、廃棄物処理・リサイクル部門の物質フロー及びスラグ等の再生製品や有機性循環資源の組成等に関するデータベースを作成し、公開する。

なお、循環型社会研究プログラムの一環として、本プログラムの主な実施主体である循環型社会・廃棄物研究センター以外のユニットの研究者が主に担当する「関連研究プロジェクト」として、次の3課題を実施している。この成果については、競争的資金の報告書等として取りまとめられることから、本報告書には含めていない。

- ① 循環型社会形成のためのライフスタイルに関する研究
- ② 循環型社会実現に資する経済的手法、制度的手法に関する研究
- ③ 特定地域における産業間連携・地域資源活用によるエネルギー・資源の有効利用の実証

II 研究の成果

1 中核研究プロジェクト 1：近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価

1.1 物質フローモデルに基づく資源利用・廃棄物等発生 の将来予測と近未来ビジョンへの転換シナリオ評価

(1) 目的

近未来の物質フロー推計のベースとなる社会条件の変化のシナリオを描き、資源・廃棄物フローとの因果関係に関するモデルを基に、主要な資源・廃棄物についての近未来のフローの推計を行うモデルを作成する。天然資源消費抑制や環境負荷低減に有効な対策を挙げて、その効果等を推計するとともに、一定量の効果を達成するためのビジョンを作成する。

(2) 方法、結果及び考察

本サブテーマでは、1) 近未来の資源・廃棄物フロー及び資源循環・廃棄物管理システムに関するシナリオ・プランニング、2) 専門家ヒアリングを踏まえた近未来シナリオ設定、3) 循環型社会形成のための要因分解と脱物質化の諸対策の検討、4) 脱物質化効果の推定のための物質フローモデルの作成と適用、5) シナリオに基づく消費形態の変化と環境負荷に関する事例分析を行った。以下、これらの課題ごとに、その目的、方法、結果および考察を記す。

1) 近未来の資源・廃棄物フロー及び資源循環・廃棄物管理システムに関するシナリオ・プランニング

① 目的

何らかの意思決定を行う際に、起こりうる未来の変化を見通しておくことは必要不可欠な作業である。近年、起こりうる未来のシナリオを複数想定することで未来に備えるシナリオ・プランニングが盛んになっている。循環型社会のビジョン・政策・事業を検討する上でも、起こりうる未来のシナリオを複数想定しておくことは有益である。そこで、シナリオ・プランニングの手法を援用し、日本の近未来（10～20年後）の資源・廃棄物フロー（以下、物質フロー）及び資源循環・廃棄物管理システム（以下、管理システム）について、大きく異なるいくつかのシナリオの作成を試みた。なお、ここでの目的は、現状の成り行きとしての複数の未来像を描くことにある。

② シナリオ作成の手順

本研究では、既存のシナリオ・プランニングの手順を参考に、以下の手順でシナリオを作成した。まず、参加者40名、進行・調整・記録等16名によるワークショップを2日間開催した。作業はいずれもグループで行い、1グループを5～6名で構成して6グループで行った。なお、各グループとも、学術・研究から3名、行政から1名、企業から1名、非営利団体から1名で構成されるようにした。このワークショップにおいて、近未来に起こりうる物質フローや管理システムの変化とその原因となる外部環境の変化の構造を網羅的に整理した。次に、このうち重要性が高くかつ不確実性の高い変化を同定し、シナリオを作成した。

③ ワークショップの結果

ワークショップ前に主催者側で準備した近未来に起こりうる物質フローの変化（資源・廃棄物のフロー量の変化）、管理システムの変化（資源・廃棄物のフローを管理する、もしくは資源・廃棄物のフローを管理することに関わる様々なシステムの変化）、外部環境の変化（資源循環・廃棄物管理に関わる様々な主体が一般的に容易にはコントロールできない社会や経済の変化）の因果関係表にワークショップで新たに得られた視点を追加し、結果として200弱に上る因果関係の連鎖を同定した。また、外部環境の変化については、グルーピングの結果、22項目の変化が得られた。

得られた22項目の外部環境の変化のうち、重要性が高くかつ不確実性の高いと評価された変化は、物質フロー、管理システムとも、「国際市場・貿易体制の変化」「資源価格の変化」「技術の変化」であった。

④ ワークショップの結果の考察とそれをもとにしたシナリオ・プランニング

重要性が高くかつ不確実性の高い外部環境の変化が、物質フローや管理システムの近未来を大きく変えうる要素、すなわちシナリオの軸になる要素である。

軸の候補となる外部環境の変化のうち、特に「国際市場・貿易体制の変化」と「資源価格の変化」が他の外部環境の変化と多くの因果関係を形成していたことから、この2つを中心として、これらと一体的に取り扱える外部環境の変化について考察し、2軸「貿易体制・地域社会・規制の変化（横軸）」「資源価格・技術の変化（縦軸）」を設定した。なお、IPCCの温室効果ガス排出シナリオ、

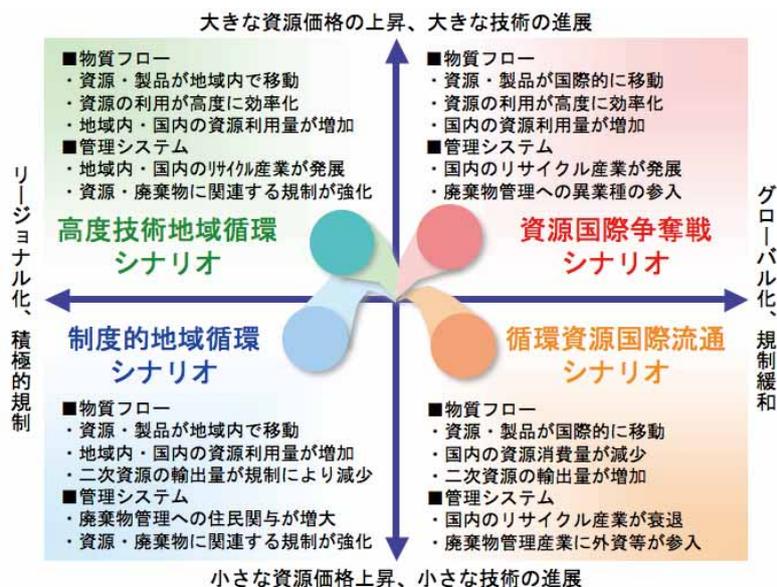


図 1.1 作成したシナリオの概要

Millennium Ecosystem Assessmentの生態系サービスシナリオにおいては、「Global か Regional か」がその1軸として採用されているが、この軸は日本の物質フローや管理システムの未来においても重要と同等されたことになる。

上述の2軸を用いて、4つのシナリオを作成した。その結果の概要が図1.1である。

グローバル化や規制緩和が現状よりさらに進み、資源価格や技術が現状からかけ離れて大きく上昇しない状態が「循環資源国際流通シナリオ」である。このシナリオでは、規制緩和によって廃棄物を自由に取引できるようになる一方で、技術レベルが現状から大きく変化しないことから、国内で資源回収するより人件費の安い国外へ二次資源が輸出されることになる。また、グローバル化や規制緩和に加え、大きな資源価格の上昇と大きな技術の進展が起こった状態が「資源国際争奪戦シナリオ」である。このシナリオでは、資源価格が非常に高いことから技術も高度化し、国内での資源回収が進展するとともに、廃棄物管理に関する活動の収益性が相対的に高くなり、多くの廃棄物管理が民間部門により担われることになる。また、資源価格が高い中で、地域ブロック化が進み様々な規制が強化された状態が「高度技術地域循環シナリオ」である。国内産業の空洞化が避けられ、廃棄物処理や資源回収が現在より身近な空間的スケールで展開され、廃棄物管理に行政が多く関与する。また、「制度的地域循環シナリオ」は、資源価格が大きく上昇せず、技術もあまり進展しない中で、廃棄物管理に対する規制や

制度が積極的に導入されており、廃棄物管理や資源回収が地域ブロック内や国内で規制的制度的に行われる社会である。

2) 専門家ヒアリングを踏まえた近未来シナリオ設定

① 目的

1) では、近未来の社会変化を推定するにあたり、2軸の重要事項を抽出し、それを踏まえた4象限における社会の状態を考察したのち、各々の象限で考えうる4つの近未来の社会シナリオを設定した。

ここで、本中核研究プロジェクトでは、近未来の社会シナリオに基づいて物質フローに関連する指標を設定し、3) で構築した物質フローモデルのパラメータとして入力することで、近未来における物質フローを推定することを目指している。物質フローに関連する指標としては様々なものがあるが、その設定の根拠としてNIESで提案された脱温暖化プロジェクトの社会シナリオを参考にした。同プロジェクトでは、「活力、成長志向」を基調とするシナリオAと「ゆとり、足るを知る」を基調とするシナリオBの2種類が提案されている。

そこで、本中核研究プロジェクトにおいても、前述の4つを踏まえた上で、脱温暖化プロジェクトの社会シナリオに対応する2つの社会シナリオを設定し、各々における環境負荷を低減する対策シナリオも提案することにした。

② 手法

まず、ワークショップで提案した4つの循環型社会シ

ナリオについて本中核研究プロジェクトのメンバーによる議論を重ね、物質フローモデルとの対応も考慮しながら、脱温暖化プロジェクトにおける2つの社会シナリオに対応するものを検討・選定した。さらに、対象物毎に専門家を招へいたヒアリング会を通じて、これらシナリオの現実性を検討・修正し、物質フローモデルの設定の修正に反映することにした。ヒアリング会は、「食料」「容器包装」「耐久財（住宅建築）」「耐久財（土木インフラ）」の4種類の対象物毎に実施して各々のシナリオについて専門家の意見を聴取し、設定したパラメータなどを修正した。

③ 結果と考察

脱温暖化プロジェクトにおける社会シナリオAは「活力、成長志向」を基調とする一方、社会シナリオBは「ゆとり、足るを知る」を基調としている。さらなる詳細はここでは省略する。これを踏まえて、プロジェクトメンバー内で議論した結果、前述の4つの社会シナリオを俯瞰すると、「制度的地域循環シナリオ」が脱温暖化プロジェクトの社会シナリオAとの親和性が高く、「高度資源争奪シナリオ」が同シナリオBとの親和性が高いと判断した。さらに、脱温暖化プロジェクトと同じく、本プロジェクトにおける社会シナリオAの性向を「個人主義、技術志向、社会変化速い」、社会シナリオBの性向を「共生主義、自然志向、社会変化遅い」と設定して、具体的な社会シナリオと対策シナリオの内容を検討・提案した。

次に、上記の社会シナリオと対策シナリオについて、ヒアリング会において専門家の意見を聴取した。

全体シナリオについては、「AとBの違いが小さく、もっと差を出した方が良い」「衰退シナリオも必要か（A

の失敗パターンなど）」「シナリオBはあり得るか（経済的に成立するか）」などの意見を得た。これに対しては、対極的なシナリオをAとBの2種類想定することは維持するが、その内容を可能な限り見直すことにした。

各対象物に共通した事項として、社会の二極化（格差社会）について「所得格差が拡大し、層ごとに消費行動が異なる」「少子化、女性の就業状況にも影響する」という意見を得た。これについては、所得階層別の検討も考えられるが、平均値が二極化を反映した結果となっていればよいと判断した。また、高齢化について「高齢単身者の増加の影響が大きい」「過疎地よりも都心部の影響が大きい」という意見を得た。家庭・家族については「晩婚、生涯未婚を考慮すべき」「離婚による少人数化が想定される」という意見を得た。これに対して、世帯について人口研の予測の条件との差異を確認した。産業については、「ものづくりの空洞化（中国・韓国に追い越される）」「適地生産が必要」「大企業は海外へ出て、中小企業は日本に残る」「日本のサービス業の国際競争力はない」などの意見を得た。

この他、対象物毎に専門家の意見を聴取したが、ここでは省略する。

上記ヒアリング会での意見聴取の内容を踏まえて、前述の社会シナリオと対策シナリオを修正した。その内容をまとめたものを表1.1に示す。

3) 循環型社会形成のための要因分解と脱物質化の諸対策の検討

① 目的

本研究では、上流側の物質フローの蛇口を閉めればい

表 1.1 設定した社会シナリオと対策シナリオ

	シナリオA  個人主義 技術志向 社会変化速い	シナリオB  共生主義 自然志向 社会変化遅い
社会シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> 高収入、長時間労働 家事は機械化や外部サービス化、自由時間はキャリアアップに 高い技術進歩、先進技術に積極的 都市居住志向 消費・買い替えサイクルは短い 規制緩和 貿易量多い、生産拠点海外移転 	<ul style="list-style-type: none"> 労働時間の短縮・均等化 家事は家族や近所住民と協力、自由時間は家族、趣味、社会活動に 低い技術進歩、先進技術に慎重 地方居住志向 消費・買い替えサイクルは長い 適度に規制 貿易量少ない、自給自足型
対策シナリオ	技術的な対策に重点 <ul style="list-style-type: none"> 製品・建築物の長寿命化、製品・容器などの小型化・軽量化・易分解化 バイオマス資源利用、混合収集・機械分別、ケミカルリサイクル・エネルギー回収優先 	ライフスタイル的な対策に重点 <ul style="list-style-type: none"> 無駄な消費の抑制 製品・建築物の長期使用・シェアリング、容器包装の非使用・簡素化 自然素材の利用、ごみ分別の徹底、マテリアルリサイクル優先

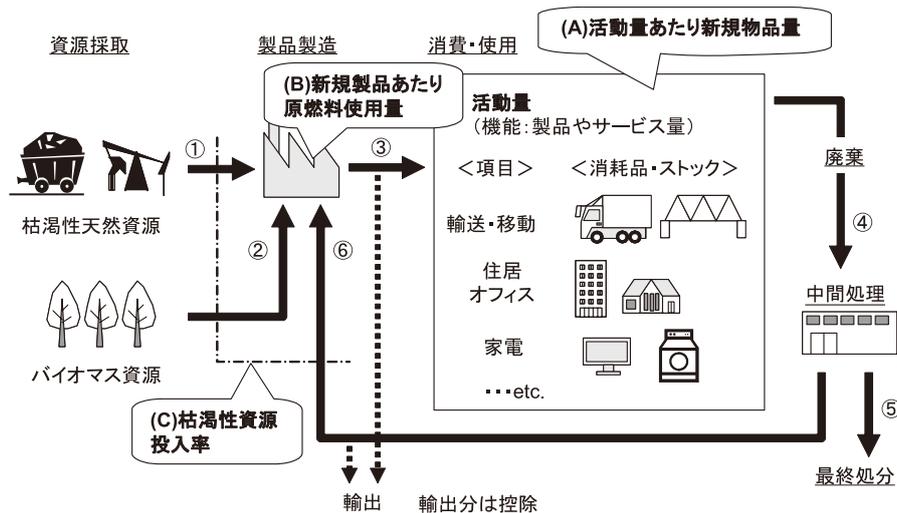


図 1.2 枯渇性資源投入量削減の要因と物質フロー

ずれ下流側の物質フローも減少することや、近年の資源価格の高騰、また、バイオマスの適正な利用拡大が望まれていることなどを踏まえ、枯渇性天然資源の消費量削減を脱物質化に繋がる優先的な指標としながら、循環型社会への移行を効率化する方策を検討する。

② 方法、結果及び考察

前述のように、化石資源や鉱石などの枯渇性資源の消費量削減を最優先のターゲットにするが、循環型社会を構成する各断面の物質フローもそれぞれ検討対象としては重要である。生活レベルを表すものとして、活動量を用いる。活動量は、社会が利用（消費）する製品やサービスなどの量である。ただし、物の所有には必ずしもこだわらないものとし、移動量（人×km/年）や輸送量（ton×km/年）、住宅（m²）、手提げ袋の使用（回/年）などのように、複数の手段によって実現可能な単位量で表現される量とする。活動量と枯渇性天然資源の消費量との関係は、次のような恒等式で整理した。

枯渇性資源投入量

$$= \text{活動量} \times \frac{\text{新規製品量}}{\text{活動量}} \times \frac{\text{原燃料使用量}}{\text{新規製品量}} \times \frac{\text{枯渇性資源投入量}}{\text{原燃料使用量}}$$

右辺の活動量に掛かる3つの要因は、(A) 活動量あたり新規製品量（＝新規製品量／活動量）、(B) 新規製品あたり原燃料使用量（＝原燃料使用量／新規製品量）、(C) 枯渇性資源投入率（＝枯渇性資源投入量／原燃料使用量）を表している。図 1.2 にも示すように、社会の様々な活動のために新たに製品が使用され、その製品を製造するために原料・燃料を使用し、原料・燃料の供給のために枯渇性資源が採取されている、という順で整理している。各要因とその改善に繋がる対策をまとめた結果を表 1.2

表 1.2 枯渇性資源投入量削減の要因と主な改善策

要因	活動量あたり新規製品使用量	新規製品あたり原燃料使用量	枯渇性資源使用率
	新規製品量／活動量	原燃料使用量／新規製品量	枯渇性資源投入量／原燃料使用量
関連の深い分野	ライフスタイル	動脈産業の生産技術	静脈産業の技術 再生可能資源
主な対策	既存ストックの効率的な活用	歩留まり向上	バイオマス利用
	長期使用	小型化	リサイクル率向上
	シェアリング	容器の軽量化	非活用ストック素材の再生利用

に示す。

これまで整理した3つの要因は、式の構造から明らかのように、互いに独立ではない。それぞれに対策を考慮する上では扱いづらい部分もあるが、むしろマテリアルフローの各断面やそれらの組み合わせに対して設定する指標や目標が、全体のフローとどのように係わるのかを把握することの意義が大きいと考えられる。例えば循環資源の使用量を増やそうとしても、廃棄される量が確保されなければ、循環資源使用量の増加には限度がある。このような状態では、むしろ他の要因を改善して、枯渇性資源投入量の抑制を図ることが有効である。一方、A、Bの要因の改善は将来の廃棄物発生量を減少させ、最終処分量の削減に寄与するが、循環資源の需要も下がるため、循環資源の需給がアンバランスとなり、最終処分量が一時的に増大する可能性もあるため、注意が必要である。このとき最終処分量の削減は、問題を先送りすることのない、適切な対策によってなされる必要がある。

4) 脱物質化効果の推定のための物質フローモデルの作成と適用

① 目的

3Rの各対策はマテリアルフローの変化を通して相互に影響し合うため、対策の総合的な効果を算出することが求められる。そこで、現在の物質フロー及び、過去からのストックの蓄積を出発点とし、将来に渡って経年的に物質フローとストックを算出するモデルを作成する。外部環境の変化による物質フローの変化を考慮しながら、諸対策の導入による枯渇性天然資源採取量の変化や、資源循環・廃棄などの各断面における物質フローの変化を算出し、相乗効果の得られる効果的な対策の組み合わせや、今後予想される廃棄物排出量の経年変動に予め対応した廃棄物政策の提案を行うことなどを長期的な目標とする。本プロジェクトでは、ストックの扱いについて簡略化した物質フローモデルを作成し、表1.1で整理した対策や、それらを同時に導入したケースを想定して、マテリアルフローの変化を算出することを目的とする。

② 方法

本プロジェクトで開発した物質フローモデルは、わが国における製品の需要構造と生産体制をベースとし、近未来（2030年）における資源の需要量や環境負荷の排出量を各種シナリオ設定に基づいて推計するものである。

このモデルは、最終製品の需要をベースとして中間製品の需要及び使用済み製品等の発生量を推計する「フロー・ストックモデル」と、中間製品の生産、廃棄物の処理に伴う天然資源の需要量、環境負荷の排出量を推計する「プロセスモデル」から構成されている。

フロー・ストックモデルでは、需要等に影響を与える要因を2つのシナリオに分けて整理した上で、それぞれの条件を設定し、国内の資源需要を推計する。

シナリオの1段階目である社会シナリオについては、主に需要に影響を与える社会的要因を整理した。2段階目の対策シナリオについては、主に資源循環の観点から取りうる対策を整理した。

プロセスモデルでは、中間製品需要を満たすための生産及び廃棄物処理需要を満たすための廃棄物処理の物質フローの収支を推計する。

以上で述べた物質フローモデルの概要を図1.3に示す。

食品については、将来シナリオに応じた食品の需要とそれに必要な生産条件を推計した。食品モデルでは、廃棄処理、リサイクルについてもモデルに組み込み食料生産部分と一体化させてモデルを構築した。

また、消費財、耐久消費財、および耐久財の代表的な製品として、食品廃棄物と容器包装、家電、建築物に注目し、各々の社会シナリオや対策シナリオを詳細に設定した。さらに、上記の物質フローモデルを適用して、資源消費量、廃棄物発生量、最終処分量、および環境負荷排出量などを分析した。

③ 結果及び考察

食品廃棄物と容器包装、家電、建築物について、循環利用の効果を分析した結果を図1.4から図1.7示す。食廃の循環利用に伴うGHG（図1.4）については、飼料化（乾燥の場合）は排出量と代替効果が共に大きい。肥料化は排出量が大きく代替効果は小さい。容器包装の循環利用方法（図1.5）については、現状（2005）より近未来では発生量が減るが、いずれのシナリオでも発生抑制の効果が顕著であり、シナリオAではケミカルリサイクルが増加し、シナリオBではマテリアルリサイクルが増加する。

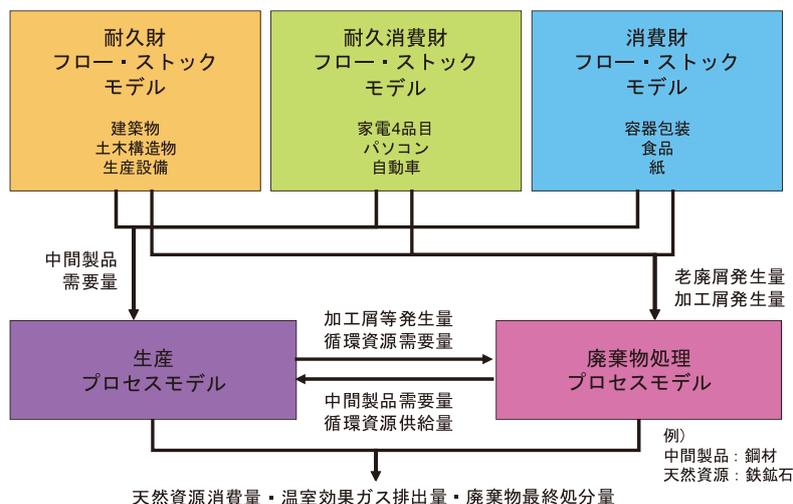


図1.3 物質フローモデルの概要

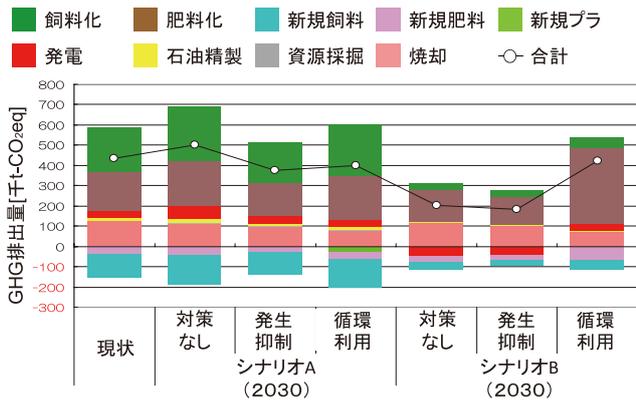


図 1.4 食品廃棄物の循環利用に伴うGHG排出量

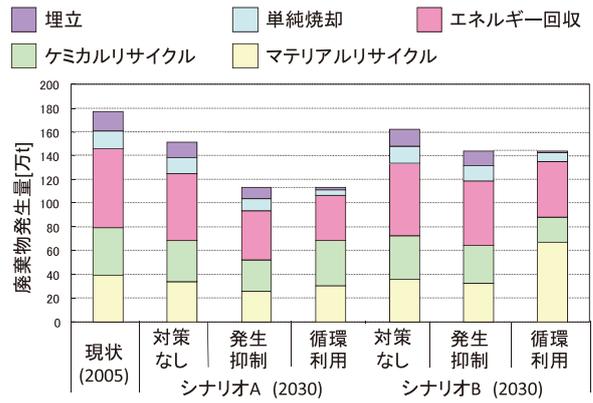


図 1.5 容器包装の循環利用方法

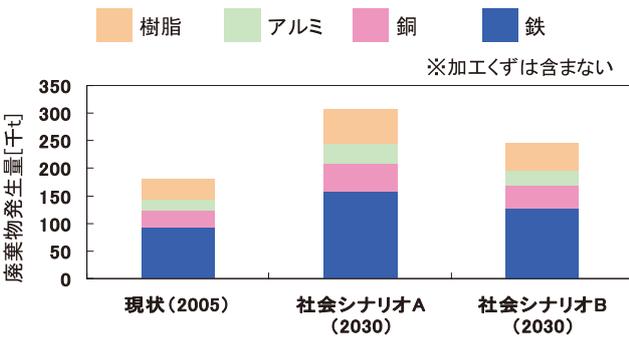


図 1.6 家電（エアコン）の廃棄物発生量

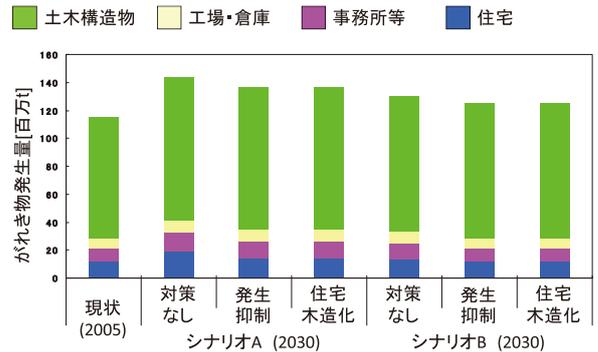


図 1.7 建築物のがれき発生量

家電の廃棄物発生量（図1.6）については、エアコンの場合、近未来のシナリオではいずれも現状より大きくなり、シナリオ A で最大となる。内訳は鉄が最大で、ついで樹脂、銅、アルミとなる。建築物のがれきの発生量（図1.7）については、いずれのシナリオでも増加し、寿命が長いシナリオBで若干小さくなる。

5) シナリオに基づく消費形態の変化と環境負荷に関する事例分析

① 目的

消費形態の変化は、財やサービスの生産量やその生産工程に変化を与える。また、生産量の変化は、家計所得の増減をもたらす、ひいては消費量の拡大縮小につながる。本研究では、上記の消費と生産の連関的構造を記述する分析モデルを作成し、社会シナリオに基づき設定する消費の変化に起因する環境負荷への影響を分析する。そして、影響の回避または緩和に資する対策を消費者側と技術側の両面から検討することを目的とする。本稿では、事例分析として、消費者の「食の安全意識」の高まりによる食品の国産率の増加がもたらす産業廃棄物とCO₂排出量への影響を分析した。

② 方法

Miyazawa 家計内生化モデルに基づく環境産業連関分析モデルを構築した。内生部門を生産部門の 401 部門と家計消費部門の 1 部門で構成し、外生部門は家計消費を除くその他の最終需要部門とした。なお、家計消費部門から生産部門への産出量は、「賃金・俸給」、「社会保険料」および「その他の給与及び手当」の合計額で記述した。産業廃棄物の種類を、「有機性汚泥」、「無機性汚泥」、「廃プラスチック類」、「家畜ふん尿」、「その他」の 5 つに区分し、部門別の排出量（発生量から有価物として処理される量を差し引いた量）を推計した。部門別の CO₂ 排出量は地球環境研究センターで公開している 3 EID から引用した。分析は2000年を基準年とした。

国産率の増加を仮定する食品関連部門を野菜や肉類などの農林水産品（20部門）と調味料やレトルト食品を含む加工食品（33部門）に分け、それぞれの国産率を現状の値（現状の輸入率）から段階的に国産率 100%（輸入率 0%）まで変化させた。国産率の変化に伴う、各生産部門の生産額の増加分に部門別の廃棄物排出量、CO₂ 排出量を乗じて、現状からの廃棄物と CO₂ の追加的な国内排出量を推計した。

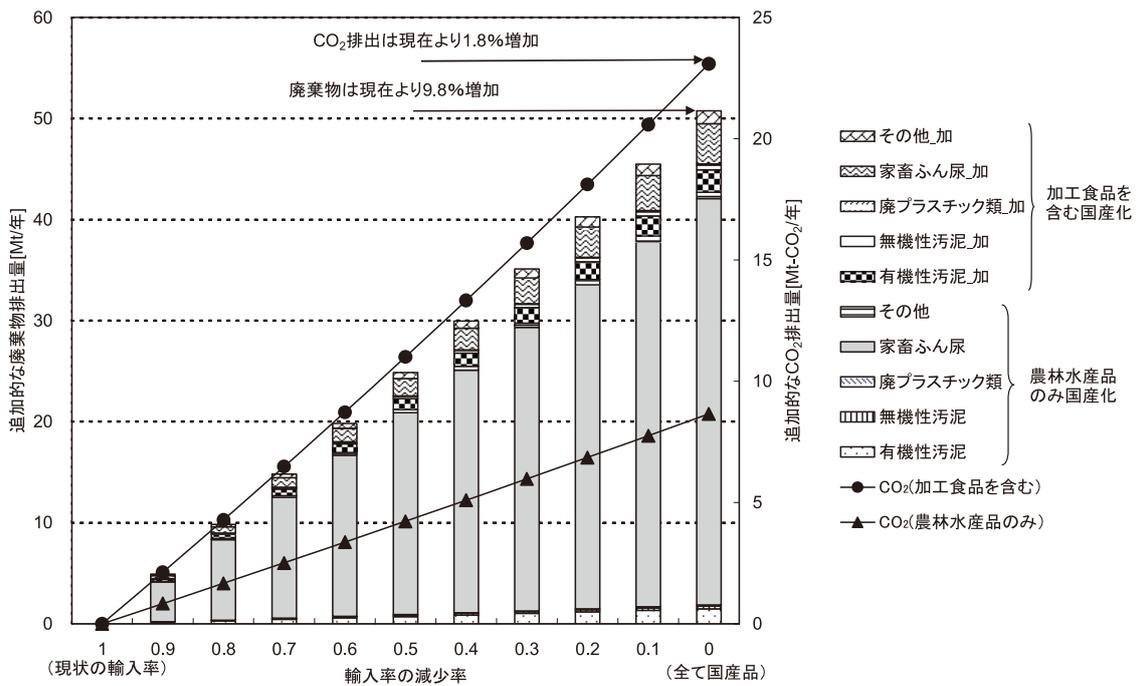


図 1.8 シナリオ（農林水産品と加工食品の国産率増加）に基づく産業廃棄物およびCO₂排出量の変化量

③ 結果と考察

図1.8は横軸に現状の輸入率を1とした1割毎の輸入率の減少を示し、左側の縦軸には追加的な国内の廃棄物排出量（積み上げ棒グラフ）を示す。右側の縦軸は、追加的な国内CO₂排出量（折れ線グラフ）である。

廃棄物に着目すると、農林水産品も加工食品も全て国産化した場合、約50Mt（Mt=10⁶t）の追加的排出が見込まれ、これは現状の総排出量より9.8%の増加となった。この主たる要因は肉類の国産化に伴う家畜ふん尿の増加である。加工食品を含めて国産化した場合、加工食品の原料となる農林水産品は既に国産化されているため、食品加工くずが原因である有機性汚泥の排出増加が確認される。また、国産化により加工食品の原料が追加的に生産されるため、家畜ふん尿も大きく排出増加となる。

一方、CO₂排出量は、農林水産品も加工食品も全て国産化した場合、1.8%に相当する約23 Mt-CO₂の増加が見込まれた。農林水産品のみを全て国産化した場合は、約8.6 Mt-CO₂の増加であるが、加工食品も含めると、更に1.7倍の約14.4 Mt-CO₂の排出が考えられる。この傾向は農林水産品の寄与が大きい廃棄物の場合と異なっており、食品の加工段階において加熱や冷凍で消費するエネルギーが大きいことを示唆する。

消費者の「食の安全意識」の高まりが、食品の国産化という形で表れた場合、食品メーカーや飲食業では消費者のニーズに応える形で、国産品の食材や国内での食品

加工に切り替えることも考えられる。上記の分析結果によれば、食品の国産率の向上に伴い、国内のCO₂排出量は当然ながら増加する。しかし、その一方で、家畜ふん尿の排出が増加するため、適切にバイオガス化、残渣コンポスト化などの家畜ふん尿の有効利用技術を導入することで、CO₂排出の増加を緩和することも期待できる。今後は、想定するシナリオを多様化させ、技術的対策による削減効果を含めた、消費の変化に伴う環境負荷の影響分析へと発展させる。

(3) まとめ

以上、本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) シナリオ・プランニングの手法を援用し、近未来物質フロー及び管理システムについて、大きく異なるいくつかのシナリオを作成することを試みた。その結果、近未来の物質フロー及び管理システムに重要かつ不確実な影響を与える外部環境の変化として、「国際市場・貿易体制の変化」「資源価格の変化」「技術の変化」を同定した。また、これをもとにシナリオ作成のための2軸「貿易体制・地域社会・規制の変化」「資源価格・技術の変化」を設定した。また、この2軸をもとに4つのシナリオ「循環資源国際流通シナリオ」「資源国際競争シナリオ」「高度技術地域循環シナリオ」「制度的地域循環シナリオ」を描いた。
- 2) ワークショップで提案した4つの社会シナリオの中

から、脱温暖化プロジェクトにおける社会シナリオとの親和性を検討し、2つの社会シナリオに絞り込み、物質フローに対する対策シナリオも同時に提案した。さらに、消費財、耐久消費財、および耐久財の専門家を招へいしてヒアリング会を実施し、シナリオの現実性・妥当性について意見を聴取した。それを踏まえて、社会シナリオと対策シナリオを修正し、最終的なシナリオを確定させた。

3) 脱物質化された循環型社会の形成に向けて、枯渇性資源投入量の削減に着目して、(A) 活動量あたり新規製品量(=新規製品量/活動量)、(B) 新規製品あたり原燃料使用量(=原燃料使用量/新規製品量)、(C) 枯渇性資源投入率(=枯渇性資源投入量/原燃料使用量)の三つ要因に分解した。そのうえで、マテリアルフローとの関係を整理しながら主要な物質についての要因別対策をリストアップした。

4) わが国における製品の需要構造と生産体制をベースとし、近未来(2030年)における資源の需要量や環境負荷の排出量を各種シナリオ設定に基づいて推計する物質フローモデルを開発した。このモデルは、最終製品の需要をベースとして中間製品の需要及び使用済み製品等の発生量を推計する「フロー・ストックモデル」と、中間製品の生産、廃棄物の処理に伴う天然資源の需要量、環境負荷の排出量を推計する「プロセスモデル」から構成されている。また、消費財、耐久消費財、および耐久財の代表的な製品として、食品廃棄物と容器包装、家電、建築物に注目し、各々の社会シナリオや対策シナリオを詳細に設定した。さらに、上記の物質フローモデルを適用して、廃棄物発生量および環境負荷排出量などを分析した。食廃については、飼料化(乾燥)に伴う排出量と代替効果が共に大きい。容器包装については、現状より近未来では発生量が減るが、いずれのシナリオでも発生抑制の効果が顕著である。家電(エアコン)については、近未来のシナリオではいずれも現状より廃棄物発生量が大きくなり、内訳としては鉄が最大である。建築物については、いずれのシナリオでもがれき発生量が増加する。

5) 消費形態の変化についてシナリオを設定し、廃棄物排出量やCO₂排出量の変化を試算する分析モデルの開発と事例分析を行った。消費者の食の安全意識の高まりが食品の国産率を高めると仮定し、農林水産品と加工食品の国産率が向上した場合に発生する追加的な産業

廃棄物とCO₂排出量を求めた。国内CO₂排出量の増加と廃棄物では家畜ふん尿の排出増加が確認され、家畜ふん尿のバイオガス化、残渣コンポスト化などの有効性を示唆した。消費形態の変化がもたらす環境負荷の将来的な変化を勘案し、近未来の対策技術を検討することの重要性を確認した。

1.2 近未来の循環型社会における技術システムの設計と評価

(1) 目的

様々な廃棄物について技術的観点から対策シナリオを提案するとともに、それを実現する循環技術システムを設計し、その効果を分析する。

また、収集データを用いて1.1の物質フローモデルを改良し、近未来における廃棄物管理のビジョンとそれに向けたシナリオの妥当性を向上させる。

(2) 方法、結果及び考察

含炭素循環資源(バイオマス系及びプラスチック系)や鉱物系循環資源についてインベントリーデータの情報基盤整備を行い、その中で食品廃棄物等を対象としたバイオマスエネルギーシステム、廃プラスチックのリサイクルシステム、鉄鋼、非鉄、セメントの三大素材産業を中核とした動脈・静脈連携による産業システム形成の効果を評価する。また、収集データを用いて1.1で構築したモデルを改良し、近未来における廃棄物管理のビジョンとそれに向けたシナリオの妥当性を向上させる。

1) 持続的炭素含有資源循環技術システムの提案

① 目的

本研究では、化石資源と生物資源を併せて「炭素含有資源」と捉え、それらの混合利用・代替利用・再生利用も視野に入れた、包括的かつ持続的な炭素資源循環技術システムを提案することを目的とする。

② 手法

本研究で適用する手法とその手順を以下で示す。

a) 炭素含有資源循環技術の情報整備

炭素含有資源の採掘から最終処分までを含めた循環技術システムを考え、各工程の技術・経済・社会面の情報を収集・整理し、データベース化する。

b) 炭素含有資源循環技術システムの検討・設計

炭素含有資源循環の具体的方策として、各種工程(生産、輸送、再生等)の効率向上、生物資源による化石資

源代替、廃棄物系炭素含有資源の再生利用などが挙げられる。これらについて単独および複合の循環技術システムを検討・設計する。

c) 炭素含有資源循環技術システムの評価・提案

整備したデータベースを活用して、設計した循環技術システムを環境・経済・社会の面から評価する。環境面では、対象システムの構築・運用に伴う環境負荷の排出量について、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: LCA) 等を実施する。経済面では、対象システムのライフサイクルコスト (Life Cycle Cost: LCC) や、工程ごとの経済収支を評価する。社会面では、労働環境や住民合意などの要素を評価する。以上の評価に基づいて、持続的な炭素含有資源循環技術システムを提案する。

③ 成果

a) 炭素含有資源循環技術の情報整備

新規化石資源 (石油・石炭・天然ガス等) からの燃料・プラスチック生産、新規生物資源 (資源作物等) からの燃料生産、再生生物資源 (生ごみ・下水汚泥・家畜ふん尿・廃食用油・木屑等) からの燃料生産の技術データベースを作成した。

b) 炭素含有資源循環技術システムの検討・設計

これまで、廃棄物系生物資源の再生利用等による新規化石資源の代替、およびエネルギー効率向上を図るシステムを検討・設計した。具体的には、都市ごみの焼却発電あるいはバイオガス化 (生ごみのみ) システムで、火力を含む通常発電を代替し、さらに焼却発電の発電端効率も向上させるものである。

c) 炭素含有資源循環技術システムの評価・提案

これまでに整備したデータベースや文献値等に基づ

き、設計した技術システムの運用に伴うCO₂排出量についてハイブリッドLCAを実施した。その結果、ごみ焼却発電の効率10%の場合、1tの生ごみを含む都市ごみ2.83tの処理あたりのCO₂排出量は約1tで、生ごみをバイオガス化する場合 (Bio) とそうでない場合 (Ref) を比較すると前者がわずかに小さくなった (図1.9)。将来の発電効率向上を想定すると、発電効率25%でBioとResのCO₂排出量の大きさが逆転した。

2) 廃プラスチックの循環技術システムの設計と評価

① 目的

プラスチックの製造には多くのエネルギーを消費するため (図1.10)、単一種類で異物の混入もなく、劣化のない良質な廃プラスチックについては、マテリアルリサイクルを行って、素材の特性を活かした再利用を行うことが望ましい。

一方、建築解体現場から排出されるプラスチックや、容器包装に用いられるプラスチックなどについては、一般に複数種類の樹脂や異物が混在するケースが多く、マテリアルリサイクルが容易ではない。このような雑多な廃プラスチックのリサイクルについては、一概には優れた方法を決められない。一方、プラスチックは大きな発熱量を持っているため、バイオマスと組み合わせて発熱量を高めてエネルギー利用されるケースもある。これらの状況を踏まえて、バイオマスとの相互補完も含めた廃プラスチックの望ましい循環技術システムを提示することを目標とする。

② システムの設計方針

環境負荷、資源消費、費用のいずれの削減についても、廃プラスチックのリサイクルの効果を最大化するのは、

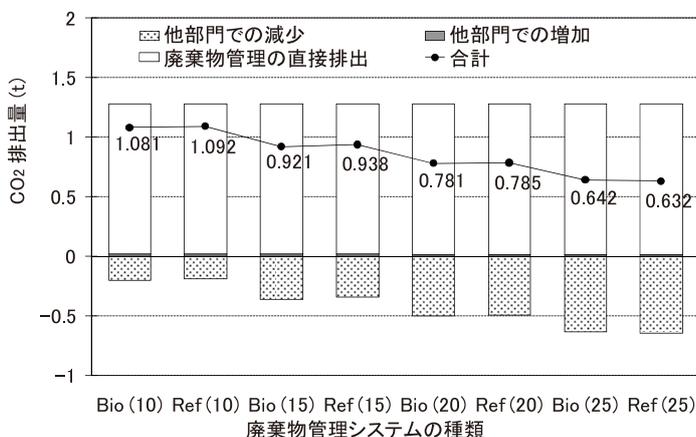
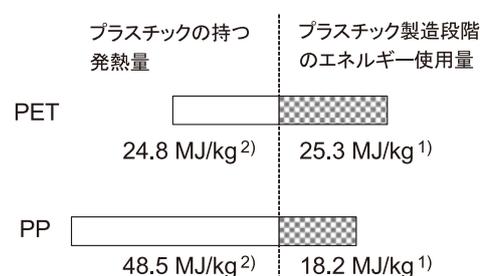


図 1.9 炭素含有資源循環技術システムの比較



1) JLCA-LCAデータベース, 2) プラスチック処理促進協会
図 1.10 プラスチックの発熱量の製造エネルギー

同種の新規樹脂を 1 対 1 で代替するマテリアルリサイクルである（リサイクルの理論最大効率）。これが優先的なリサイクル方法となるが、このような条件を満たせる再生製品の需要量、廃プラスチックの供給量とも限られている。これまで新規樹脂が利用されているが、高い品質を必要としないような製品については、順次廃プラスチックで置き換えていくことが有効である。一方、プラスチックの持つ高分子構造や、その構成モノマーの構造を直接的には利用しない、一部のケミカルリサイクルやエネルギー回収については、類似の原子組成を持つバイオマスと、理屈上は代替的な利用が可能である。どちらも供給量には制限があり、また季節的な変動も存在することから、これらを安定的に効率よく利用できるシステムを構築することが重要である。動脈産業においては、発生する廃プラスチックの持つ発熱量をはるかに上回る量の化石資源をエネルギーや原料として消費しており、これらとともに大規模に利用することが、規模の効果による高効率化、異物の希釈効果、供給量変動の緩和などの観点から、望ましいと考えられる。

廃プラスチックのマテリアルリサイクルとエネルギー回収による CO₂ 削減効果をライフサイクル分析の観点から比較した結果を図 1.11 に示す。縦軸、横軸は各リサイクル方法において、置き換えられる元のプロセスと比較した歩留まりの比や性能の比の違いを示したものであり、数値が 1 の場合が樹脂や燃料を 1 対 1 で代替した場合、0 の場合が、全く代替効果が無かった場合を表す。図中の太い実線が、マテリアルリサイクルとエネルギー回収の効果が逆転する分岐線で、これより上の領域がマテリアルリサイクルの有利な領域である。廃プラスチック

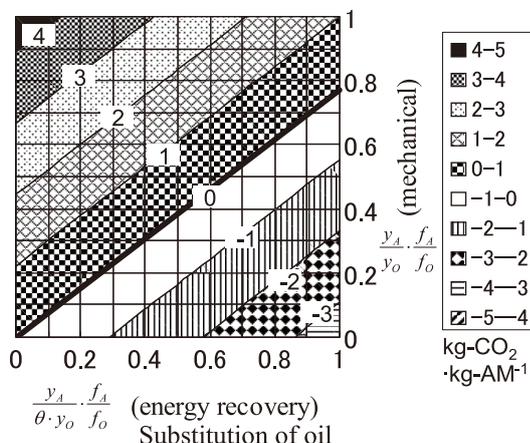


図 1.11 廃プラスチックのマテリアルリサイクルとエネルギー回収の比較 (CO₂削減効果)

クの性状に応じて、リサイクル方法を適切に使い分けることが重要である。

ただし、図の評価では元のプロセスとの相対的な効率に変数であって、エネルギー利用施設などでの絶対的な効率を評価に反映させていない。低効率施設の淘汰・更新も含めたビジョンを描くことも今後重要な視点になると考えられる。

3) 非鉄製錬と廃棄物溶融プロセスの連結による動脈静脈連携システムの設計・評価

① 目的

溶融飛灰の非鉄製錬への山元還元を組み込んだ溶融技術を中核とする新たな資源循環システムについて、従来型の焼却+埋立処分や溶融飛灰の山元還元の有無などを比較対照シナリオとしたライフサイクルアセスメント (LCA) による分析を行う。

② 方法

a) 機能及び機能単位

評価対象システムの機能として、都市ごみ（可燃系ごみ）の適正な処理、対象システム内の各プロセスでの発電あるいは代替する通常の電力系統から供給される電力、溶融スラグあるいは代替する天然系資材の土木資材生産、溶融飛灰の山元還元による回収金属資源あるいはそれが代替する天然鉱石からの金属資源生産、を取り上げる。また、シナリオ間の比較を行う際の機能単位は、可燃系ごみ 1 トンの処理とし、そのごみ組成及び熱量は、松藤による廃棄物処理対象の LCA ソフトウェア (H-IWM) に基づき設定した。

b) 比較シナリオ

以下の 5 つのシナリオを比較分析した。

シナリオ 1 (S1) : 焼却/埋立のベースシナリオ、単純なストーカー炉による焼却と焼却残渣埋立

シナリオ 2 (S2) : 焼却/灰溶融、溶融スラグの資材利用による天然系資材生産の回避、溶融飛灰埋立処分

シナリオ 3 (S3) : 焼却/灰溶融、溶融スラグの資材利用による天然系資材生産の回避、溶融飛灰山元還元による天然鉱石からの金属資源生産回避 (Zn, Pb, Cu)

シナリオ 4 (S4) : ガス化溶融、溶融スラグの資材利用による天然系資材生産の回避、溶融飛灰埋立処分

シナリオ 5 (S5) : ガス化溶融、溶融スラグの資材利用による天然系資材生産の回避、溶融飛灰山元還元による天然鉱石からの金属資源生産回避 (Zn, Pb, Cu)

c) データ収集及び適用モデル

ごみ処理としての焼却、埋立、溶融プロセスに関するインベントリー分析にはH-IWMのモデルを適用した。また、山元還元に関わる各種プロセスや天然系土木資材生産、天然鉱石からの金属資源生産など、H-IWMに存在しないデータについては実施保有企業へのヒアリング調査や関連の既存文献から収集した。

③ 結果と考察

まず、各シナリオにおける最終処分量の結果については、従来の焼却/埋立 (S1) に対して溶融技術を用いたシステム (S2~5) は格段に最終処分量を削減可能である。溶融飛灰の山元還元の有無で比較すると、灰溶融の両ケース (S2と3) では大きな違いはないが、溶融飛灰発生量の多いガス化溶融の両ケース (S4と5) では、溶融飛灰の山元還元による最終処分量の削減効果は無視できない。

つぎにCO₂の排出量についての結果を図1.12に示す。ベースS1と比較して、溶融技術を導入したS2~5で

は1~2割程度排出量が増加している。内訳をみると、ごみの燃焼・分解に由来する非エネルギー起源のCO₂排出量(バイオマス由来は計上せず)が、各シナリオ共に同等に寄与している。先の1~2割程度排出量が増加するというシナリオ間の違いには、システム内で利用する燃料や電力に由来して間接的に誘発されるCO₂排出量、システム内発電による発電所でのCO₂排出回避分の影響が反映している。なお、溶融飛灰の山元還元のために付加プロセスの寄与はわずかである。

以上のように、溶融技術を活用したシステムと従来型の焼却/埋立システムでは、最終処分量と二酸化炭素排出量の間に関連の関係が存在しており、総合的な評価の際に考慮する必要がある。

4) 循環利用による日本全体での環境負荷の分析

① 目的

循環利用による日本全体での環境負荷削減効果を分析する。まず、資源全体での効果を把握し、つづいて、消

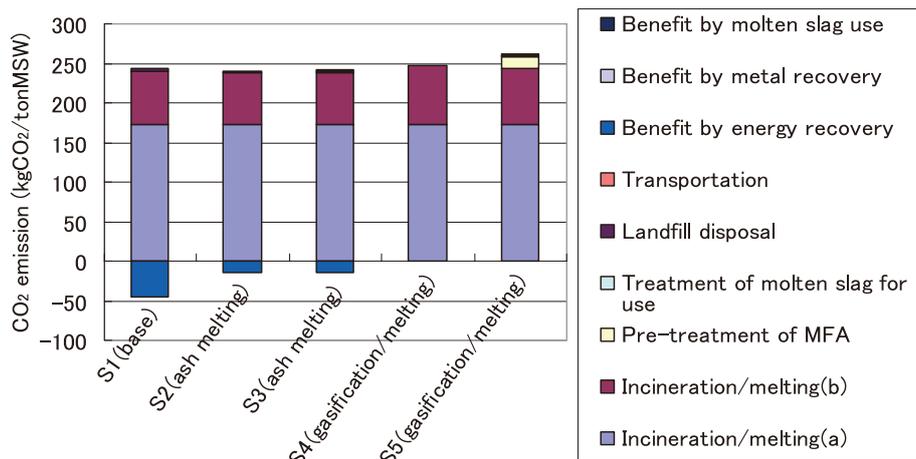


図 1.12 各シナリオにおける温室効果ガス排出量の試算結果。凡例中の焼却/溶融(a)及び(b)は、それぞれ廃棄物の燃焼由来による直接およびエネルギー消費等に伴う間接的なCO₂排出量を表す。

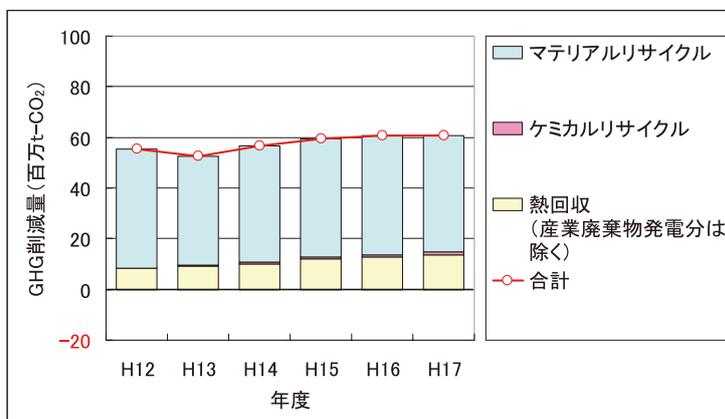


図 1.13 循環利用による資源全体でのGHG削減量 (※単純焼却との比較)

費財、耐久消費財、および耐久財として代表的な資源について詳細な分析を行い、近未来における循環利用の理想的な状態とそこに至る道筋を検討する。

② 方法

1.1で構築した物質フローモデルを用いて、まず、資源全体の循環利用による環境負荷削減効果を把握した。ここでの循環利用には再生利用と熱回収が含まれる。

③ 結果と考察

循環利用による資源全体での環境負荷削減効果を図1.13に示す。

GHG削減量全体は約6千万t/年で循環利用率の向上とともに漸増し、マテリアルリサイクル(MR)の削減量は大きい傾向で、一方、ケミカル(CR)・サーマル(TR)は増加傾向であった。この他、天然資源削減量は1億6千万t/年から1億8千万t/年に増加し、内訳は岩石・砂利が最大で、次いで原木・木材チップ等であった。埋立処分削減量も1億t/年から1億2千万t/年に増加し、8割はセメント・土木・建材利用であった。

(3) まとめ

- 1) 化石資源と生物資源を併せた「炭素含有資源」由来の循環技術のデータベースを作成した。また、炭素含有資源の再生利用等による新規資源代替およびエネルギー効率向上を図るシステムを設計・評価した。具体的には都市ごみの焼却発電あるいはバイオガス化システムで、ハイブリッドLCAを実施した結果、いずれのシステムもCO₂削減効果がみられ、バイオガス化の効果がより大きかった。今後は、炭素含有資源の全体像を把握し、対策に優先順位を付けて評価していく。
- 2) 廃プラスチックのマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギー回収における合理的なシステム設計における考え方を示し、マテリアルリサイクルとエネルギー回収の温室効果ガス削減効果をライフサイクル分析により比較し、歩留まりや性能の違いによって両者の優位性が異なってくることを示した。
- 3) 溶融飛灰中に濃集されている有用な金属資源の山元還元システムを組み込んだ、溶融技術を中核とする資源循環システム形成の新たな展開を紹介し、LCAを適用してシステム評価を試みた。その結果、新たなシステムが最終処分量削減には寄与するが、若干の二酸化炭素排出量の増加が生じ、異なる影響要素間でのトレードオフの関係が存在することがわかった。

4) 循環利用による効果は、資源全体ではGHGが約6千万t/年削減され、循環利用率の向上とともに漸増し、マテリアルリサイクル(MR)は全体の削減量は大きい傾向で、一方、ケミカル(CR)・サーマル(TR)は増加傾向であった。この他、天然資源消費量と埋立処分量はともに削減され、いずれも経年で削減量は増加した。

1.3 政策手法・マネジメント手法の設計・開発と評価

(1) 目的

循環型社会の形成に向けて今後の政策・マネジメントを的確に行っていくためには、個別の手法を開発するとともに、既存の手法をより洗練させていくことが必要である。我が国においては、2001年以降、個別リサイクル法をはじめとした新たなリサイクルシステムが運用されてきており、これまでの経験を的確に評価することが求められる。また、リサイクル法見直しの議論のなかでも、資源循環・廃棄物処理のコストの明確化など、新たな手法に対するニーズが生じている。

そこで、現存する資源循環に関わる政策の実態調査ならびに評価を行うとともに、新たに求められている政策手法・マネジメント手法の開発を行うこととした。

(2) 方法、結果及び考察

まず、現行のリサイクル制度の実態を調査するとともにその評価を行った。具体的には個別リサイクルにおける費用情報収集や「見えないフロー」を含めた物質フローの把握、建設リサイクルにおける問題視的検証型の実態評価による政策課題明確化等の検討を行うとともに、EUの拡大生産者責任の下での責任・役割分担の形態や諸外国のデポジット制度の状況を明らかにした。

次に、自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計表の開発を行った。これまでに環境省等が開発してきた環境会計のガイドラインは基本的に企業、工場等を対象としたものであるが、その考え方は公共部門の活動にも適用することができる。容器包装リサイクル法の見直しにおいて自治体の廃棄物処理コストに対する説明が強く求められたことをふまえ、自治体の廃棄物処理事業を対象として、その費用効果や効率性を検討できる環境会計の枠組みを設計し、報告のフォーマットを開発した。

さらに、自治体間のパフォーマンスを比較可能にし、各自治体が自らのマネジメントを改善していくための手

法としてベンチマーキング手法の開発を行った。

最後に、1.1で提案した社会シナリオにおける対策の概念整理を行った。

1) リサイクル制度研究

まず、容器包装リサイクルについては、法の見直しにおいて費用の問題が大きかったことから、第一期中期計画後半から実施していた容器包装リサイクルに関わる費用情報の収集作業を継続し、それらを体系的に表示する資源循環会計表への入力を行った。容器包装廃棄物のリサイクルなどの費用については既に調査がされているが、資源循環システム全体の費用を包括的に把握するためには、自治体の処理費用を収集、中間処理、最終処分といった活動ごとに推計しておく必要がある。また、分別されずに処分される容器包装廃棄物（以下、未分別品）の量の把握も必要である。これらの調査・推計を実施した。活動別の一般廃棄物処理費用は平成16年度において収集：中間処理：最終処分が約4：5：1であり、このうち、中間処理と最終処分のランニングコストの処理量あたりの費用単価が平成8年度以降増加の一途をたどっていることが示された。特に新規の最終処分場については、イニシャルコストの増加も著しく、今後の処分費用が高騰することを示唆しているものと考えられた。また、未分別品のフロー推計結果によれば、未分別の容器包装プラスチックはPETボトルや白トレイを含めその1/4～1/3が埋立処分されており、残りは焼却処理されていると推計された。未分別率は、PETボトルで2割、白トレイと容リプラで7.5～8割と推計された。

「見えないフロー」が問題となった家電・パソコンリサイクルについては、中核研究プロジェクト4の国際資源循環研究との連携を図り、法施行前後での使用済み製品のフロー変化の推計と解析を行い、輸出が増加している状況などを定量的に明らかにした。家電リサイクル法のシステムにおいては小売業者を経由して輸出されるケースが一定割合存在しており、この適正化を図ることが法見直しの審議会で求められることとなったことから、小売業者による中古品リユースの特徴等を整理し、リユースを行ううえでの必要な条件を検討した。

さらに、EUの政策実態を調査して、使用済み電気電子製品のリサイクルはEPR（拡大生産者責任）に基づいて実施されているものの、家庭等からの排出品回収における責任・役割分担はEU内でも様々な責任分担の形態があ

ることが確認できたことから、回収システムの検討に着手することとした。まず、回収インセンティブを付与する施策として、諸外国のデポジット制度を調査することとした。デポジット制度に係る既存の報告書ならびにホームページの情報をもとに、各国のデポジット制度の存在状況を確認した。表1.3に示すように、飲料容器に係る制度が多かったが、その他にも、電池、タイヤ、車、有害物容器、電気電子製品、フロン類、ガラス、廃油、蛍光灯などといった対象物についてもデポジット制度が適用されており、デポジット制度を既成概念で捉えてしまうことはデポジット制度の可能性を見過ごすことになると考えられた。そこで、デポジット制度の対象を「廃棄物」、「有用物」、「有価物」、「有害物」に区分し、その概念・特徴を整理・考察した。例えば、有害物デポジットについては、「保管・退蔵中に有害物が漏洩することを防ぐためには、単に分別保管されているだけでは不十分で、速やかに回収されることが望ましい。」といった特徴付けを行った。このような概念・特徴を整理した結果に基づいて、具体的な制度設計を行うことは、残りの研究期間における課題である。

表1.3 各国のデポジット制度の対象物

対象物	制度数
飲料容器	42 (28)
電池	17 (5)
タイヤ	5 (1)
車	4 (2)
有害物容器	2 (4)
電気電子製品	2 (1)
フロン類	1 (4)
ガラス	1 (3)
廃油	1 (3)
蛍光灯	1 (0)
包装材	0 (5)
プラスチック	0 (2)
紙	0 (1)
金属類	0 (1)
その他	2 (8)

()内は存在が確認できなかったが文献には情報があつた制度の数

また、デポジット制度の欠点として制度運営上の負担があることがしばしば指摘されることから、制度運営上の負担軽減方策や有効性を高める方策を整理した。7つの海外のデポジット制度からは、品目の絞り込み（一定数量以上を扱う場合の除外、大型容器の除外）、手続きの省略、重量計測の利用、回収強化（一定数量未満であれば手数料等の無料化）、選別強化、処理強化、業界反対へ

の対応といった視点で工夫がされていることが分かった。

建設リサイクルについては問題指摘検証型の実態評価を行った。これは関係者のヒアリングを通じて、問題の発見・構造化を行い、それに対する対策を検討するものである。建設リサイクル法の問題点として、特に、対象工事規模の引き下げ、有害物質対策、届出・通知制度の有効化、費用徴収の4点が重要であると考えられた。このうち、対象工事引き下げについては、対象規模未満において無分別解体が認められることで、無分別解体の習慣が残ってしまっていることと、アスベストなどの有害物質が含まれているという問題点を指摘できた。有害物質対策については、解体工事が始まってから有害物質が見つかったとしても、新たな費用を解体業者が施主に請求することは難しいという問題点があった。これを回避するには、有害物質やそれらを含む資材を分別解体前に把握することが重要となる。その方法として、例えば、発注者に有害物質等に係る事前調査の義務を課し、調査後でなければ解体にとりかかれられない仕組みとすることなどが考えられた。届出・通知については、例えば、届出書類、届出内容と完了報告の内容・整合を気にする発注者は少ない、完了報告の内容を理解できる発注者は少ない、工事完了結果を自治体が把握できないなどの問題が残されていた。

2) 自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計表の開発

開発した環境会計は表1.4に示すように、ストック、フロー、財務の3つの計算書から構成される。

まず、この枠組みはストック計算書を持っている。環境省の環境会計ガイドラインの枠組みにおける課題の1

表 1.4 自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計の枠組み

計算書	構成要素	環境会計		廃棄物会計 拡張型
		拡張型	統合型	
環境 ストック 計算書	環境資産 (自然・人工)	○		○
	環境負債 (固定・累積)			
環境フロー 計算書	環境資産 変動計算書	○		○
	環境負債 変動計算書	○	○	○
環境財務 計算書	投資・費用 収益・費用節減	○	○	○

つはストック情報の取り扱いである。環境省の枠組みは基本的にフロー情報を記述するものだが、フロー情報のみに基づく環境会計では、投資した環境対策資産や環境負荷の蓄積が評価されず、誤った解釈や意思決定を導きかねない。本研究では、環境価値ストックを積極的に評価する環境会計の枠組みとして提案されている「創造型環境会計」の枠組みを援用した。

次に、この枠組みでは自治体ごとの実施可能性の違いを考慮し、3種類の相互に整合的な報告フォーマットを用意している。すなわち、環境省の環境会計をベースとした環境会計拡張型、廃棄物会計をベースとした廃棄物会計拡張型、これらの統合型を用意した。

最後に、この枠組みでは、廃棄物処理という環境保全活動（以下、廃棄物処理活動）と、廃棄物処理に伴って発生する環境負荷を低減するための環境保全活動（以下、その他の環境保全活動）を区別している。企業、工場等を対象とした環境会計では、基本的に後者の環境保全活動を取り扱うが、廃棄物処理はその活動そのものが環境保全活動であり、これらを区別する考え方が必要となる。

3) ベンチマーキング手法の開発

一般廃棄物処理事業を対象として、自治体間のパフォーマンスを比較可能にするベンチマーキング手法に基づくマネジメントの枠組み及び評価指標を提案した。

まず、事業へのインプットとしての予算・人員等、アウトプットとしての各種施策の取組およびその水準、事業がもたらす社会への効果としてのアウトカムからなる階層的なベンチマーキング指標のフレームを図1.14のように提示した。

アウトカムを構成する要素として、新公共経営(NMP)の概念に基づき、有効性(環境安全性、利便性など)、効率性(経済効率)、公平性(排出者負担など)、公正性(情報透明化、弱者配慮など)の四つを提示した。

つぎに、一般廃棄物処理事業に対する実際の住民の意識構造について、事業をどのような観点(評価軸)で評価しているか、個別の取組との関係を含めて明らかにするための検討を試みた。地域特性や処理事業形態の異なる12の市町村を対象に、約3千名のインターネットモニターにアンケートを配布し、半分の約千五百名の有効回答を得た。ごみの有料化、分別収集、処理施設の整備、発生抑制への意識啓発事業等、の大きく四つの施策群に分類し、各施策の在り方に対する質問を行った。回答デー

ベンチマーキング指標のフレーム提示

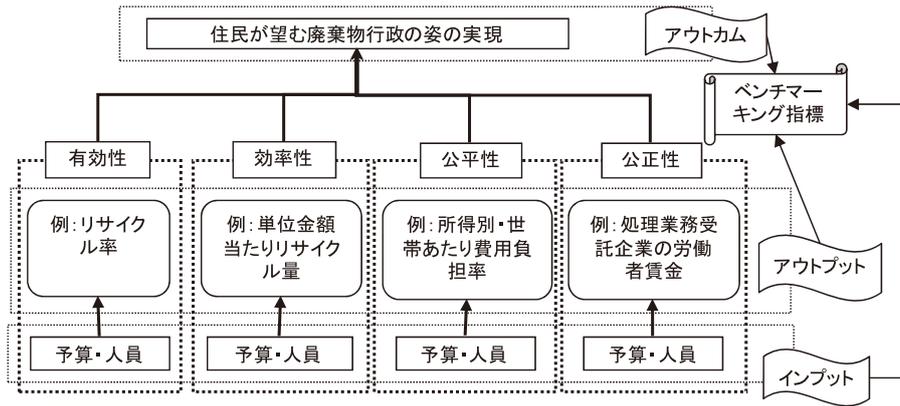


図 1.14 ベンチマーキング指標のフレームの提示

タをもとに探索的因子分析及び検証的因子分析により因子を抽出したのちに共分散構造分析を行った。結果の一例として、有料化施策に対する評価における意識構造の結果を図1.15に示す。

先に設定した有効性、効率性、公平性、公正性の4軸が住民からみた評価の判断軸として妥当であることが明らかとなった。有料化以外の施策群についても、同様に四つの要素を評価軸として重視していることがわかったが、それらへのウェイトは施策群ごとに大きく異なっていることも明確になった。以上の成果に基づいて、住民の評価についてどのような観点でモニタリングすべきか、また、住民が満足する事業に向けて、どのような評価軸を重視し効果的に施策を設計・改善していくべきかの示唆が得られると考えられる。

この成果の一部については、環境省の「市町村におけ

る循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針（平成19年6月策定）」作成に貢献した。

また、これと関係して、廃棄物の処理施設・リサイクル施設のライフサイクルコスト（LCC）のデータを収集した。従来あまり調査されていなかった廃棄物処理施設の建設以前にかかる各種費用や解体費用の調査を行い、施設の全ライフサイクルにわたるデータを得ることができ、ベンチマーキングにも利用できる基礎情報とすることができた。さらに、この情報を活用して、廃棄物処理施設の最適更新年数を検討する研究を行った。いくつかの施設のデータを用い、異なるコスト上昇傾向の前提条件で経済的耐用年数を求めたところ、表 1.5 に示すように多くの場合は20～28年となった。また、そのいずれの場合も経済的耐用年数に対して±5年程度の範囲でLCC/LCW（LCW：Life Cycle Waste、ここでは廃棄物の総処理量）は同程度であり、施設更新を行う経済的な最適期間は幅があると理解してよいと考えられた。

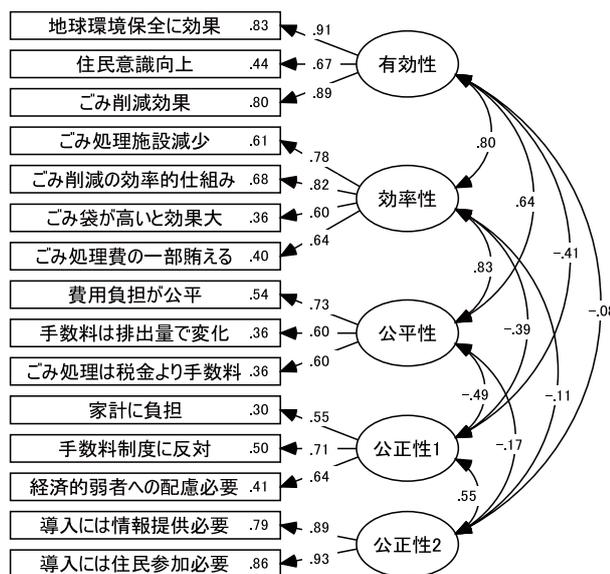


図 1.15 一般廃棄物処理事業に対する評価の意識構造についての共分散構造分析の結果（有料化施策の例）

表 1.5 経済的耐用年数の算出結果

	トレンド①	トレンド②	トレンド③
焼却施設A	21	23	22
焼却施設B	37	20	20
破碎施設A	25	*	*
破碎施設B	21	28	26

* 運営・維持管理費が減少という結果となったため、経済的耐用年数を算出できなかったもの。

4) 社会シナリオにおける対策の概念整理

1.1 で提案した対策シナリオは、複数の対策の集合（パッケージ）として示される。ここで、対策パッケージには 1.2 で述べた物質フローに直接関わる定量的な要素だけでなく、制度や意識に関わる定性的な要素も含まれ

表 1.6 社会シナリオにおける対策の概念整理

	シナリオA: 効率性重視	シナリオB: 地域重視・市民親和
素材利用	素材機能の利用(高強度化・高機能化)、省資源化(軽量・小型化、ペーパーレス)	自然素材の積極的利用(素材の温かみ)、素材機能の適正化(複合素材回避)
生活	時間効率性、技術と利便性、拡大・競争志向、お得、ネット版の利用拡大	健康・安全、こだわるところにこだわるがほどほど、もったいない(使い捨て回避)
産業	効率性重視、国際化(海外進出・海外参入)、新技術導入、輸入依存	安定性重視、地場産業育成、地域協働、既存技術・ストック活用
個別	二次産業の国外移転→国内循環困難、公共工事マネジメント・ソフト面強化	高品質品に特化、地域環境保全型公共事業
ごみ処理	マネジメント強化、効率性、技術に頼る	関係者の協働(人に頼る)、域内優先
収集・リサイクル	分別品目少(有価物抜き取り型)+マスの高効率リサイクル優先(広域化・大規模業者)	素材分別の徹底+高品質リサイクル優先、戸別回収(高齢者対応)
適正処理	適因物のEPR強化(回収・処理義務、課金等)、隔離型埋立	情報提供+市民による適因物の自発的回避、跡地利用型埋立
マネジメント	効率性・合理性: 高性能施設への更新、施設の長期包括契約、LCC	関係者の協働: 地域のコーディネーター、施設のストックマネジメント

る。この対策パッケージ作成のために、各分野での対策や自治体の施策を1) 各シナリオに向かうための対策と2) 各シナリオにおいて講じなければならない対策などに区別しながら、その背後にある基本的考え方をふまえて、概念等を整理した(表1.6)。

(3) まとめ

- 1) 制度の実態調査として、リサイクルや廃棄物処理に係る費用やリサイクル法の対象から漏れている未分別品の廃棄量、電気電子製品の「見えないフロー」などを明らかにするとともに、リサイクル法の実態評価を実施し、制度の問題点を把握した。また、国外の制度の調査を行い、欧州におけるEPRの実態や日本では限られた地域でしか導入されていないデポジット制度の特徴が明らかとなった。
- 2) 自治体の廃棄物処理事業を対象として、環境会計の枠組みを設計し、報告のフォーマットを開発した。開発した環境会計は、環境ストック計算書、環境フロー計算書、環境財務計算書の3つの計算書から構成され、①ストック計算書を持っている、②3種類の相互に整合的な報告フォーマットを用意している、③廃棄物処理という環境保全活動と、廃棄物処理に伴って発生する環境負荷を低減するための環境保全活動を区別している、という特徴を持っている。
- 3) 一般廃棄物処理事業の評価におけるベンチマーキング指標のフレームを提示し、事業の評価軸として有効性、効率性、公平性、公正性を新自治体経営の概念として提案した。また、住民意識をアンケート調査し、左記の4つ事業の評価軸が関係していることや、施策

ごとに評価軸のウェイトが異なることが明らかとなった。

- 4) 対策パッケージ作成のために、各分野での対策や自治体の施策を1) 各シナリオに向かうための対策と2) 各シナリオにおいて講じなければならない対策などに区別しながら、その背後にある基本的考え方をふまえて、概念等を整理した。

2 中核研究プロジェクト 2：資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価

2.1 プラスチックリサイクル・廃棄過程における化学物質管理方策の検討

(1) 目的

プラスチックに含まれる有用性、有害性をもつ物質群について、リサイクル、廃棄物処理過程におけるプロセス挙動、環境排出、排出低減対策について調査、考察を行う。さらに、プラスチック中難燃剤（及び代替物質）の製品ライフサイクルにおけるリスク評価と制御対策について考察する。

(2) 方法、結果及び考察

プラスチック添加剤の中でもその環境残留性や毒性が指摘されている臭素系難燃剤に着目し、1) プラスチック繊維製品に添加された臭素系難燃剤の使用時挙動、2) 室内ダスト中臭素含有成分の検索同定による臭素系難燃剤の起源推定について取り組んだ。また、臭素系難燃剤の代替難燃剤として使用されている縮合リン酸エステル類難燃剤について使用過程における分解に関する検討を行い、その挙動、ハザードに関する知見を得ようとした。

以下、これらの課題ごとに、その方法、結果及び考察を記す。

1) プラスチック繊維製品に添加された臭素系難燃剤の使用時挙動

繊維製品は室内利用品の中でも特に室内面積および比表面積が大きいので、製品に付与された難燃剤など添加型化学物質の気中放散量が大きいことが予想される。また、繊維製品の中でもとくにカーテンは太陽光に暴露さ

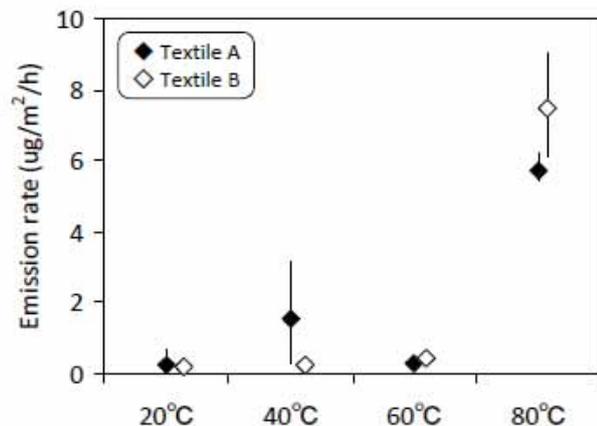


図 2.1 HBCDの繊維からの温度別放散速度

れた状態で使用されるため、製品に添加された化学物質が光分解する可能性も考えられる。防災カーテン中の難燃剤であるヘキサブロモシクロドデカン（HBCD）異性体の放散挙動および光分解ポテンシャルを調査し、臭素化ジフェニルエーテル（PBDEs）で難燃化された製品と比較した。

試料としては、臭素系難燃剤が添加された3種類の防災カーテン生地（textile A、B、C）を使用し、放散試験および太陽光暴露試験を実施した。textile AとBは、HBCD製剤で難燃加工されたもので、約4 wt%のHBCDが添加されている。textile CはPBDEsのうちDecaBDE製剤で難燃加工されたもので、約11 wt%のBDE209を含む。

放散試験では、ポリウレタンフォーム（PUF）を充填したステンレス製容器（φ7 cm）に試験片を入れ、20°C、40°C、60°C、80°Cの温度における難燃繊維からの臭素系難燃剤の放散速度を調べた。太陽光暴露試験では、2007年11月～2008年11月までの一年間、3種類の防災カーテンを太陽光に暴露させた。カーテン生地をガラス張りの温室に吊り下げ、試験開始直後と終了時以外は4週間ごとに試料を回収し、textile AとBについてはHBCDsを、textile CについてはPBDEsおよび臭素化ダイオキシン類（PBDD/Fs）を定性・定量した。

図2.1にtextile AとBの放散試験結果を示す。放散試験終了後のPUFを化学分析に供試した結果、室温（20°C）を含む全ての試験温度においてHBCDsの放散が認められた。60°Cと80°Cの試験の間でHBCDs放散速度が約20倍増加し、高温になるほどHBCDs放散量が増加することがわかった。HBCD異性体組成を比較すると、20°Cと40°Cの試験温度では、カーテン製品に含まれていた異性体組成と類似していたが、高温試験区においてα-HBCDの

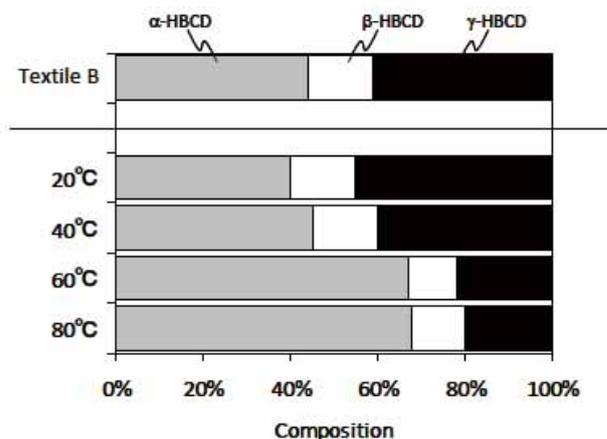


図 2.2 繊維中の、また、放散試験において PUF に吸着された HBCD の異性体組成

割合が増加し、総濃度に占める割合は約70%に達した(図2.2)。HBCD異性体別の蒸気圧は、 $\gamma < \beta < \alpha$ の順で大きく、とくに α -HBCDの蒸気圧は γ -HBCDよりも一桁以上大きいことが報告されていることから、本研究結果は異性体ごとの蒸気圧の差によるものと考えられた。PBDEs含有製品についても温度依存的なPBDEs放散速度の増加が認められた。蒸気圧の低いBDE 209についても、室温で放散が認められた。繊維製品からの放散速度はHBCDsの方がPBDEsより二桁大きかったことから、HBCDsは室内環境へより容易に放散することが示された。

太陽光に暴露させた防災カーテンを経時的に化学分析に供試したところ、1年間の光暴露ではHBCDsの濃度および組成に明らかな変化は認められず、脱臭素化体の生成を確認することはできなかった。一方、PBDEsで難燃加工されたtextile Cについては、太陽光照射に伴うPBDFsの生成が認められた。光照射前のカーテン製品から検出されたPBDFs濃度が2,400 ng/gであったのに対し、光暴露試験終了時の濃度は17,000 ng/gに達し、初期濃度の約7倍増加した。全試験期間を通じてocta-BDFの濃度が最も高く、総PBDFs濃度の50~80%を占めていた。Mono~penta-BDFsについては経時的生成が顕著に認められた。以上のことより、カーテン製品中のBDE 209は光分解し、PBDFsを生成することが明らかとなり、高濃度にBDE 209を含む難燃化製品は長期継続的にPBDFsを生成し、室内空気やダスト中PBDFsの主要な汚染源となることが示唆された。

2) 室内ダスト中臭素含有成分の検索同定による臭素系難燃剤の起源推定

室内ダストから臭素化ジフェニルエーテル(PBDEs)やヘキサブロモシクロドデカン(HBCD)などの臭素系難燃剤が高い濃度で検出され、その取り込みが人への曝露ルートになっていることが指摘されている。室内で使用されるようなBFRs含有製品(電気電子製品や繊維製品)との関連性が考えられるが、含有製品を起源とするBFRsがダストを構成する成分のどの画分に存在するかについて調査した研究は、これまで実施されていない。ダスト中のBFRsの存在形態を調査することは、室内におけるBFRsの主要な発生源を同定するため、また、効果的な曝露防止対策を提案するためにも重要と思われる。そこで、一般家庭や大学、防災機能が強化されているよう

な施設(ビジネスホテルなど)から採取したダストを対象に、臭素を指標としてBFRsの存在画分の推定を試みた。

室内ダストは、2005年5月から2007年3月にかけて、一般家庭、大学・研究機関、ビジネスホテル、事業所、飲食店、家電量販店、クリーニング店、病院、保育園・幼稚園、老人介護施設などから収集した。各種室内ダストは、基本的に掃除機のクリーナーパックの捕集物を試料とした。一般家庭および大学・研究機関のダストは、ふるいを通して1.0 mm以下を分析試料とした。それ以外のダストについては、夾雑物を目視で出来るだけ取り除いて分析試料とした。これらの室内ダストは、ピンセットで1 mg程度採取し、市販の透明テープ上に薄く分散塗布したものを試料として微小領域蛍光X線分析装置を用いて分析を実施した。

室内ダストの臭素マッピングを実施した結果、全48試料のうち27試料で臭素含有成分の存在が確認された。臭素濃度が既知の製品を測定した結果から推定すると、家電量販店ダストの臭素含有成分(高濃度に臭素を含むダスト片)の臭素濃度は、臭素を1%程度含有する防災カーテンより高濃度であることがわかった。また、保育園ダストでは0.1%程度含有するPC筐体と同程度以上のダスト片が検出された。これらの結果はBFRs等の臭素化合物を高濃度に含む製品が微細化してダストに偏在する可能性を示している。

また、本研究ではテレビ内部ダストを対象とした検討も行った。1,000秒の積算時間をかけて高感度分析を行った結果、臭素がダスト試料から一様に検出された(図2.3)。同時に鉛も測定したが、臭素と同様の傾向はみられなかった(図2.3)。これらの結果は、BFRs等の臭素化合物を含有するプラスチック等が微細物として物理的に移行する以外の経路(揮発移行など)を示唆している。

3) 縮合リン酸エステル類難燃剤の使用過程における分解に関する検討

臭素系難燃剤の代替難燃剤としてPC/ABSアロイ、軟質ウレタンフォーム等の難燃化に用いられる縮合リン酸エステル類難燃剤は、旧来の有機リン系難燃剤であるリン酸トリエステル類と比較して、揮発性が低く、可塑性を有さないため樹脂素材の機械特性を損ないにくいという特徴があり、リン酸とエステル類ではカバー出来なかった分野の代替難燃剤として使用が始まっている。しかし

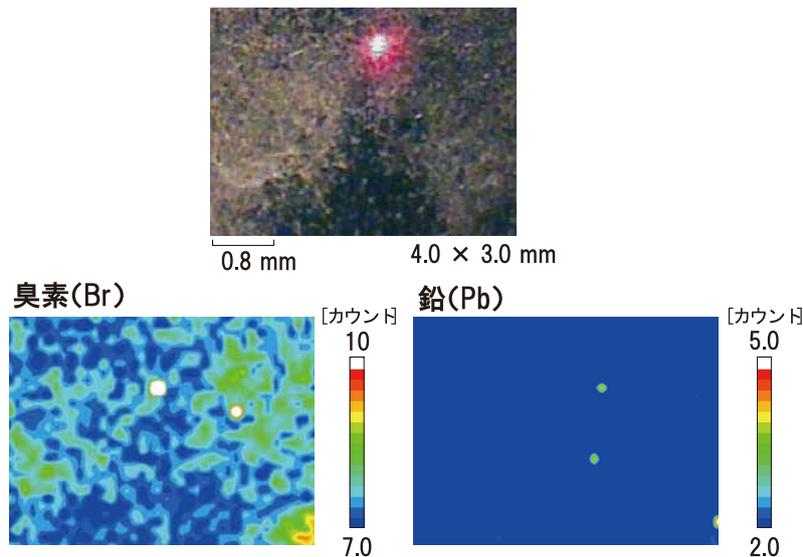


図 2.3 テレビの内部ダストの写真画像（上）と対応する試料中の臭素と鉛の分布を蛍光 X 線分析によって調べたデータ画像（下）

ながら縮合リン酸エステル類難燃剤はリン酸エステル結合によるオリゴマー構造を有するため、加水分解をはじめとする分解性が高い可能性があり、使用過程において揮発性の高い分解生成物を生じる可能性がある。

そこで、エステル末端基および架橋基の異なる 4 種の縮合リン酸エステル類難燃剤（CPFR）を用いて、難燃化製品の使用条件下を想定した難燃剤製剤単独での分解試験および加水分解試験を行った。CPFR 製剤のジクロロメタン溶液を石英板に塗布して乾燥し、石英板を石英ガラス製の三角フラスコに入れ、太陽光下で 28 日間分解試験に供した。フラスコ内に純水を入れ加湿する系としない系を設定し、湿度の影響を評価した。また、三角フラスコ内に純水と CPFR 製剤を入れて 72 時間振とうし、製剤の加水分解性を評価した。Resorcinol diphenyl phosphate (RDP) 製剤については、白色のアクリル繊維および無色 HIPS 樹脂に添加した試料を作成し、前述の分解試験と同条件で水分、太陽光の存在下において末端エステル基および RDP 製剤の分解率を検討し、繊維、樹脂製品中における CPFR 製剤の分解性を評価した。試験後の試料はジクロロメタンによって抽出し、Sep-Pak plus C18 によって精製後、LC-MS/MS によって CPFR 製剤の分析を行った。同様に Sep-Pak plus Silica によって精製、BSTFA による誘導体化後、HRGC-LRMS によってエステル末端基および架橋基の分解生成物の分析を行った。また未精製の抽出液をスキャン分析し、未知の分解生成物の検索を行った。

4 種の CPFR のいずれの分解試験においても水分の存在下においてはエステル末端基および架橋基化合物、リン酸ジエステル体の生成が確認された。各製剤の水分存在下における 28 日後のエステル末端基の分解率を図 2.4 に示す。なお加水分解率は製剤が純粋な二量体であると仮定して算出した値である。エステル末端基の分解率は RDP が最も高く、次いで PDCP、BDP の順で RDXP の分解率が最も低かった。太陽光は PDCP を除く 3 種の CPFR において分解率を上昇させた。また太陽光下においては遮光した系においては見られなかったピークが未精製試料の GC-MS スキャン分析時のクロマトグラム上に複数現れており、光分解反応の発生が示唆された。製剤の加水分解試験時におけるエステル末端基の分解性は、製剤分解試験時と同様の傾向を示した。分解生成物についても加水分解試験時にはエステル末端基および架橋基化合物、リン酸ジエステル体の生成が確認され、これらの分

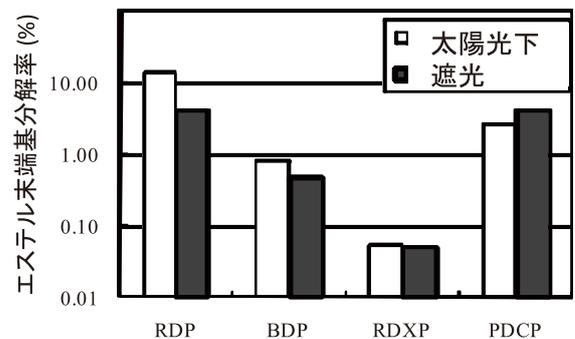


図 2.4 難燃剤製剤単独での分解試験時のエステル末端基の分解率

解生成物は加水分解反応によって生じることが裏付けられた。

図2.5に繊維及び樹脂製品中におけるRDP製剤の分解性を検討した結果を示す。RDP製剤の分解率はRDP二量体の減少率を示している。エステル末端基の分解率およびRDP製剤分解率のいずれにおいても、繊維、樹脂中においては分解率が低下した。分解率の低下は樹脂内においてより顕著であった。これは製剤が繊維や樹脂に添加されることによって太陽光や水分に接触しにくくなるためと考えられた。

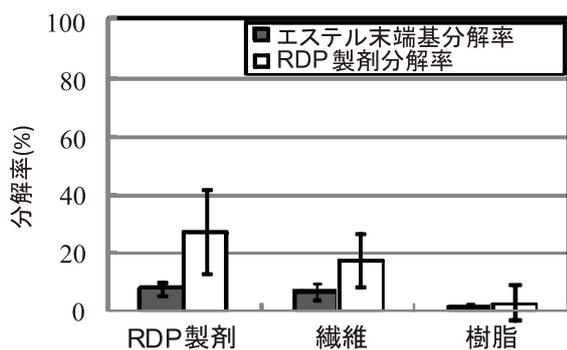


図2.5 繊維及び樹脂製品中におけるRDP製剤の分解性

(3) まとめ

電気・電子製品の筐体や基板で用いられるプラスチック中の臭素系難燃剤に関して、製品中の含有量、使用時の室内放散量、室内空気やダストといった室内媒体濃度、ヒトへの曝露媒体としてのダスト中の存在形態についての情報が統合的に得られ、製品のライフサイクルを通じてヒト曝露を考える際に製品使用過程の寄与が高いことを、曝露解析の結果から明らかにした。また、代替難燃剤としての縮合型リン酸エステル類の使用時挙動についても光分解、加水分解、熱分解時のデータを網羅的に蓄積することができ、代替難燃剤のハザード、リスク評価に資する基礎資料が得られた。

2.2 資源性・有害性を有する金属類のリサイクル・廃棄過程での管理方策の検討

(1) 目的

資源性あるいは有害性を有する金属類全般について、循環および適正管理を行うべき金属の条件・優先性について検討する。そのために廃製品中の金属量把握に必要な分析方法を確立し、金属存在量と共に製品の最終形態に応じた環境影響の推定を含めた包括的な試験法を提示

する。この手法に基づき廃製品中の金属含有量情報を集積するとともに、リサイクル・廃棄過程における各種金属のサブスタンスフローを把握するとともに、注目すべき金属種や製品種、改善すべきプロセスの考察を行う。

(2) 方法、結果及び考察

これまでに確立した廃電気・電子製品中の金属含有量の分析方法を活用しつつ、注目すべき金属資源や廃製品、プロセスを考察するため、1) 金属の含有量と総量からみた各種廃電気・電子製品の類型化、2) 廃電気・電子製品の破碎選別における含有金属の挙動とフロー分析を行った。以下、各課題について方法と結果及び考察を記述する。

1) 金属の含有量と総量からみた各種廃電気・電子製品の類型化

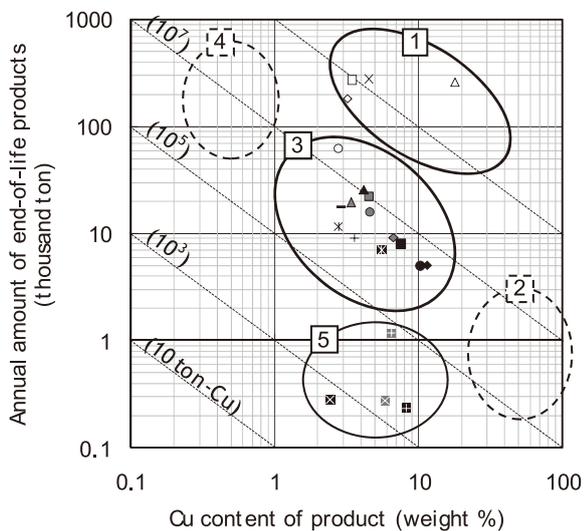
昨今、携帯電話をはじめとするいわゆる小型家電からの金属回収に注目が集まっており、廃製品の収集モデル事業や金属回収技術開発の検討が行われている。しかし、小型家電以外の製品も含めた数ある製品の中における金属二次資源としての位置づけは整理されていない。そこで、各製品の性格を俯瞰的に把握した上で、製品に応じた必要な収集、再資源化方法を検討するため、天然資源と二次資源の評価軸を対比させつつ個別の電気・電子製品の二次資源としての性格を考察し、その類型化を試みた。

二次資源を天然資源と対比しつつ評価する上では品位と鉱床の規模の2つの視点が重要である。製品中金属含有量は品位に、使用済み製品に含まれる金属の総量は鉱床の規模に対応する。この対比をふまえ、個別の使用済み電気・電子製品の二次資源としての性格を品位と鉱床の規模の視点から考察した。図2.6は、製品中金属含有量と年間の使用済み製品の総重量の2軸で個別の製品をマッピングした例を示したものである。したがって、図の右上ほど含有される金属の総量が多いことを示す(金属総量が等しい位置を破線で示した)。このマッピングにおいてクラスター分析を行い、各製品は金属種ごとに表2.1に示す5つのグループに類型化した。なお、製品の金属含有量は、これまでに確立した詳細分析手法による実測および文献レビューによる。これらのデータは限られたサンプルの分析に基づくデータであるが、各グループ同士は桁レベルで異なっており、グループ間に一

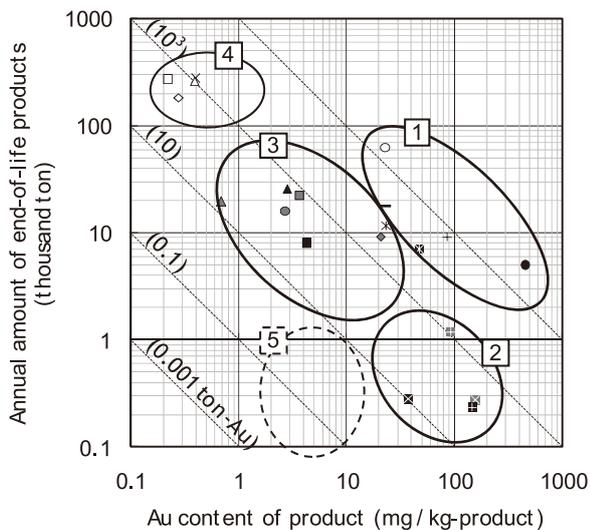
定の差異をもった類型となっていると考えられた。

小型家電の象徴的な製品である携帯電話は、Au、Ga、Taなどの金属ではグループ1（高品位・金属総量中程度～多い）、Ag、Pdではグループ2（高品位・金属総量中程度）に属した。携帯電話以外の小型家電は、貴金属やTaについてはグループ2に属した。この結果より、貴金

属、Taについては品位と総量の面からこれらの小型家電に注目が集まっていることは妥当ではある。しかしながら、その他のレアメタルやベースメタルでは、携帯電話を除く小型家電のほとんどがグループ5（中品位・金属総量少ない）に属した。一方で、中型のオーディオ機器や情報通信機器は、レアメタルも含めて多くの金属でグループ3（中品位・金属総量中程度）に属した。貴金属やレアメタルも含め、金属総量としては携帯電話を除く小型家電と同等かそれ以上であり、金属総量としてはむしろ大きい。現実には品位等に応じた収集、再資源化方法は検討されるべきではあるが、金属総量としては小型家電と同等にこれらの中型製品にも注視すべきであると考えられた。



(a) 銅



(b) 金

図 2.6 金属の含有量と総量からみた各種廃電気・電子製品のマッピング

表 2.1 金属の含有量と総量からみた廃電気・電子製品の類型化パターン

グループ	金属含有量	使用済み製品量	金属総量
1	中～高	中～多	中～多
2	高	少	中
3	中	中	中
4	低	多	中
5	中	少	少

2) 廃電気・電子製品の破碎選別における含有金属の挙動とフロー分析

家電製品や電子機器などの廃電気・電子製品は有用な金属資源を含むものもあることから、二次資源として注目を集めている。リサイクル法対象品目以外の廃電気・電子製品は主に粗大ごみ等として自治体で処理されているが、その含有金属の一般廃棄物処理における行方は明らかでない。そこで、ケーススタディとして、茨城県日立市において一般廃棄物として排出される廃電気・電子製品の種類や内訳の実態調査、実破碎選別施設を用いた廃電気・電子製品の破碎選別実験による金属55元素の一般廃棄物処理プロセス内の分配挙動および物質フロー推定を行った。

まず、2010年1月4日から15日の間に日立市でごみとして排出された全ての廃電気・電子製品（電気、電池を使用する製品と定義）を収集し、品目別に計数、計量を行ってその内訳を調査した。日立市では、調査期間において合計で約8200台、12トン強の廃電気・電子製品が排出され、重量で同期間の全ごみの約0.5%、粗大ごみ全体の約30%を占めていた。排出された廃電気・電子製品の内訳を図 2.7 に示す。詳細品目数は約240と多岐にわたっており、台数（個数）ではACアダプタ（9.0%）、電動玩具（6.5%）、リモコン（4.5%）、置時計（4.2%）、照明器具（4.1%）などが多く、重量ではファンヒータ（10.2%）、オーディオデッキ（8.0%）、電子レンジ（7.4%）、掃除機（6.7%）などが多く排出されていた。希少金属を比較的高濃度で含むとされ、環境省モデル事業のもと日立市で分別収集の試行が行われている携帯電話などの小

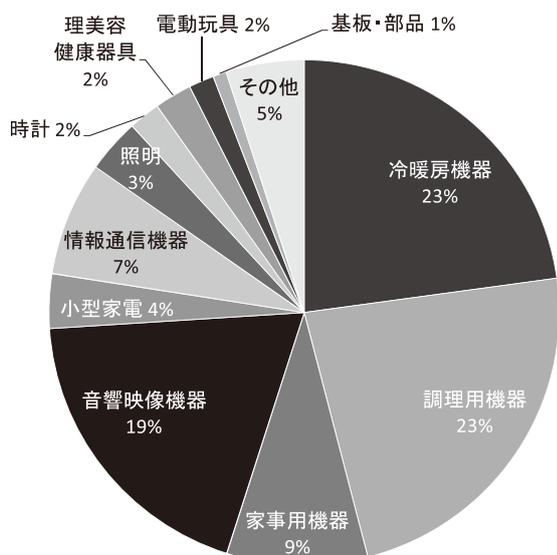


図 2.7 日立市における廃電気・電子製品の排出内訳 (重量ベース)

型家電は、合計で全数の16%、全重量の4.0%を占めていた。

次に、上記の排出実態調査で収集した廃電気・電子製品を試料とした破碎選別実験を行い、廃電気・電子製品の含有する金属 55 元素の破碎選別プロセスにおける物質挙動を調査した。実験は日立市清掃センター粗大ごみ処理施設において行った。同施設の処理能力は40トン/5h であり、横型回転衝撃せん断併用式破碎機による破碎の後、磁力選別で磁性物が回収され、さらに粒度選別(30mmふるい)でふるい上が可燃残渣、ふるい下が不燃残渣として回収される。なお、同市の通常の粗大ごみ処理においては、可燃残渣は焼却、不燃残渣は最終処分されている。装置内空気は吸引後、サイクロン、バグフィルタで集じんされ、排ガスとして排出される。

同施設に収集した廃電気・電子製品を投入し、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。その後、各産物を試料採取し、素材別に分類して物理組成を求めるとともに、各採取試料について金属含有量を分析した。採取試料から金属類、被覆線を除いたものを破碎、縮分、凍結粉碎により粒径0.25mm以下に調製し、分析試料とした。ダストは均一化したものを分析試料とした。各試料について、王水分解、アルカリ融解、6M塩酸分解等の前処理を行い、ICP-OES、ICP-MS、原子吸光等で金属等55元素を定量した。

投入した廃電気・電子製品は、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(乾燥重量ベース)。ダストは全体の0.08%程度であった。物理組成を調べると、磁選回収物は90%以上が鉄類であったが、モーター等の解砕物である銅線が鉄くずに絡まりやすいことから、銅類を5%程度含むなど、鉄以外の素材が混入していた。可燃残渣は40%強がプラスチック、ゴム、木などの可燃分であったが、金属類も可燃分と同程度含んでいた。これは、破碎困難なアルミや銅を含む金属部品(釜、トランス等)は30mm以上の可燃残渣に残留するためであった。この結果より、非鉄金属選別装置を持たない施設においては、アルミ釜、トランス、モーター等の事前分別などがアルミ、銅の回収率向上に必須と考えられた。一方、不燃残渣は約60%がプラスチック、木などの可燃分、約10%が金属類、約20%が粒径5mm未満の小粒径物であった。一般廃棄物として排出されるWEEEは、平均して約45%が鉄類、約25%がプラスチック、約5%が銅類で構成されていると推定された。希少金属等を主に含む基板の割合は全体で見れば約3%と推定された。

図 2.8 に破碎選別における各種金属元素の分配率の推定結果を示す。Fe、Al、Cu、Agを除く多くの金属について70%からほぼ100%が不燃残渣へ分配、Agについても約半分が不燃残渣へ分配しており、現在の粗大ごみ処理においてはそのまま最終処分されているものが多いと考えられた。また、Alは約4分の3が可燃残渣へ分配しているが、Alは焼却、灰熔融を経てほぼ熔融スラグへ分配することから、不燃残渣へ分配する2割強とあわせてほぼ全てが最終処分されていると考えられた。Cuについては、全体の約半分が可燃残渣へ分配すると推定された。それらのCuの8割程度は焼却、灰熔融で熔融メタルへ分配し、日立市では熔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Cuの多くは銅製錬を通じて回収されていると考えられた。一方で、残りの半分は不燃残渣に分配して最終処分されるか、磁選回収物に混入して未回収となっていると推定された。以上より、現在の粗大ごみ処理においては、一部回収されている金属もあるものの、WEEE含有金属の多くが未回収であり、未だ回収率向上の余地があるものと考えられた。

また、小型家電の製品別金属含有量データを用い、日立市で分別収集が試行されている小型家電が含有する金属総量の全体に対する寄与率を試算してみると、多くの

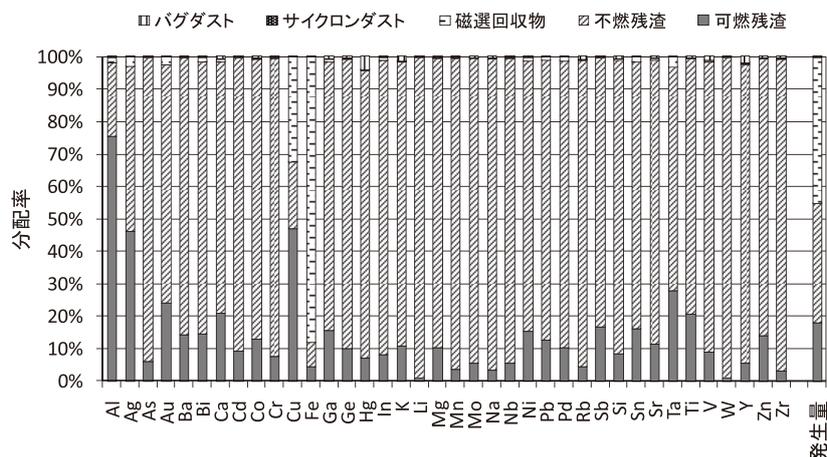


図 2.8 粗大ごみ処理における廃電気・電子製品含有金属の分配挙動

金属で数%から20%程度となった。各種金属を比較的高濃度で含んでいる小型家電の分別収集は金属回収のために効果的であると考えられる一方で、この試算は金属の総量から見れば、中型のオーディオ機器や情報通信機器など、他の品目に含まれる金属の寄与も大きい可能性を示している。

(3) まとめ

廃電気・電子製品中の金属含有量の分析方法を活用しつつ、各種廃電気・電子製品の金属二次資源としての類型化、破碎選別プロセスにおける含有金属の挙動とフロー分析を行った。その結果、金属の種類や含有総量を考慮すれば、昨今注目されている携帯電話などの小型家電のみならず、中型のオーディオ機器や情報通信機器からの金属回収の重要性も相対的に高いと考えられることを示した。また、現在の一般廃棄物処理における廃電気・電子製品の処理においては、希少金属だけではなく、アルミニウムや銅などの汎用金属の回収についても改善の余地が残されていることを示し、特定の元素だけではなく金属全般について統合的な資源回収に向けた検討が必要であると考えられた。

2.3 再生製品の環境安全品質管理手法の確立

(1) 目的

再生製品の利用を円滑に進めるには、環境安全性の評価と管理は必須でなければならない。特に、地盤材料やコンクリート骨材等、建設事業への利用が可能な廃棄物や副産物は発生量が莫大であり、その再生製品の性状や再生利用される環境も多様である。そこで、建設系再生製品（以下、単に再生製品と言う）の環境安全品質を管理するための体系的な評価試験システムを構築する。

(2) 方法、結果及び考察

再生製品の環境安全評価試験システムを構築するために、これまで、各種環境安全評価試験の開発し、アカデミックスタンダードとしての規格化ならびに銅スラグ等を用いたケーススタディを行い、手法の有効性が確認できたことから、これらの社会実装に向け、1) 欧州における環境安全品質評価の実態調査を行い、2) 環境安全品質管理のための基本的考え方を構築した。さらに、3) 鉄鋼・非鉄・熔融スラグ（以下、スラグ類という）をコンクリート用または道路用材料として利用するための品質規格について検討を行った。

1) 欧州における環境安全品質管理手法の実態調査

建設材料利用される副産物や廃棄物の環境安全管理方策は欧州各国において法制度レベルで示されている。そこでEU建設製品指令、オランダ土壌質政令、ドイツ土石系副産物・廃棄物利用政令案、および、デンマーク再生材・掘削土利用に関する法定命令について、資料調査および関係者への聞き取り調査を実施しその内容をとりまとめ、環境安全性を担保するための要点を整理した。

EU 建設製品指令（Council Directive 89/106/EEC）は、各建設製品の仕様を CE マーキングに明記することを求めたもので、環境安全性は CEN 第 351 技術委員会にて策定作業中である。建設工事では CE マーキングの仕様を参照しながら材料・製品を選定するので自動的に用途制限がなされることになり、新材、副産物・廃棄物の区別無く適用される。自由流通を前提とした方策であり、環境安全性に懸念のある材料は試験の頻度を増やすなどして出荷品の管理をより綿密に行うスキームが提案されている。

オランダ土壌質政令 (SQD) は、建材政令 (BMD) から2008年に置き換えられたもので、建材 (副産物・廃棄物を含む全て)、土壌および浚渫土砂の扱い方を定めている。建材の基準値は、直下の土壌と地下水 (地下水水位 1 m) がそれぞれ環境基準を100年間超過しないように設定されている。試験方法は、無機物質については成形体は NEN 7375 拡散溶出試験、粒状物は NEN 7373 カラム通水試験が適用され、有機物質の場合は含有量が適用される。溶出基準を超える建材は「隔離、制御、監視」の対策と一定以上 (5000m³) の連続施工の条件の下で使用できる。土壌および浚渫土砂は、国内一律の要措置基準 (intervention value) を越えない場合は、農業用、居住用、工業用に設定した基準値の範囲内で利用できる。基準値は各自治体の実態調査に基づいて設定する。

その他、ドイツとデンマークの方策も調査し、管理方策として重要なものは (1) 方策の実効力のレベル、(2) 対象範囲、(3) 利用制限や所在管理の方法、(4) 試験評価方法の4点であることを整理した。

2) 環境安全品質管理の基本的考え方の整理

図 2.9 に環境安全品質管理方策の素案であり、再生製品の環境安全品質レベルに応じてチェックゲートとトレーサビリティを組合せて管理をなすことを提案したものである。トレーサビリティ確保は材料出荷段階で厳しい品質基準に合格できれば必要ないと考えられるが、そのための要求品質は、再生製品の使用・撤去・リサイクル等のあらゆるライフステージの中で環境影響が最も大きいと思われるリスクイベントを想定しなければならない。一方、利用箇所を制限して管理者が状態や所在を管理できる場合は、その利用形態に限った品質基準に合格できれば良いことになる。

この素案をベースに、次の5項目からなる「基本的考え方」を提案した。①最も配慮すべき利用形態・曝露環境を想定した評価: 循環資材の環境安全品質の評価は、循環資材の利用時だけでなく、利用後の撤去から再利用や処分までのライフサイクルの中で、最も危険性が高く、配慮すべき曝露環境を想定して行う。②有害物質の放出経路に対応した試験項目: 試験項目 (溶出量や含有量など) は、①で想定した曝露環境における放出経路としての可能性 (溶出、粉じん飛散など) に対応させて設定する。③循環資材の状態を模擬した試験方法: ②で設定した試験項目の試験方法は、①で想定した曝露環境における循環資材の状態を模擬した方法とする (後述⑤の環境安全形式検査が対象)。④環境基準等を遵守できる品質基準: 環境安全品質基準項目と基準値は、循環資材から放出される化学物質が、周辺の土壌や地下水など環境媒体の環境基準等を満足できるように設定する。⑤環境安全品質保証のための合理的な検査体系: 試料採取から結果判定までの一連の検査は、①で想定した評価を行うための「環境安全形式検査」と、製造ロットごとに保証を与えるための「環境安全受渡検査」で構成し、信頼できる主体が実施する。

3) スラグ類への基本的考え方の適用

スラグ類の品質規格としてコンクリート用と道路用を想定し、さらに、コンクリート用はそのライフサイクルの違いから「一般用途」と再利用の無いことを条件とした「港湾用途」に分けることとした。それぞれの最も配慮すべき利用形態とその曝露環境について実態調査を行い、その結果から、例えばコンクリートの一般用途は構造物解体後の「路盤への再利用」とし、港湾用途は再利用のない前提から「コンクリート構造物」とした。次

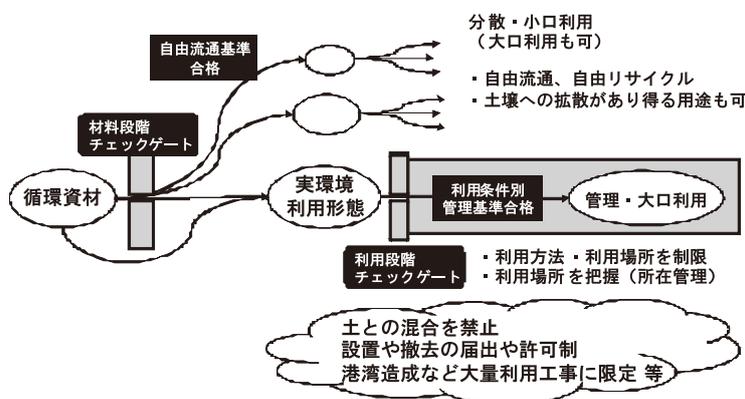


図 2.9 環境安全品質管理方策 (案)

表 2.2 コンクリート用スラグの環境安全品質検査法（案）

		コンクリート用スラグ骨材	
		一般用途	港湾用途
最も配慮すべき利用形態・曝露環境		路盤への再利用	コンクリート構造物
放出経路		溶出、直接摂取	溶出のみ
形式検査 (利用状態を模擬)	採取試料	各材料として使用するために、環境安全品質以外の品質要求事項を満足するように調製されたもの。	
	試料調製	成形体作製後、破砕し粒度調製。スラグ骨材のみも可。	成形体を作製。スラグ骨材のみも可。
	溶出量試験	JIS K0058-1の5.	
	含有量試験	JIS K0058-2	なし
受渡検査	採取試料	形式検査に合格したものと同一条件で製造・調製されたもの。	
	試料調製	スラグ（スラグ骨材）を用いる。	
	溶出量試験 ^{注2}	JIS K0058-1の5.	
	含有量試験 ^{注2}	JIS K0058-2	なし

に化学物質の放出経路は、一般用途の場合は未舗装路盤からの粉じん飛散を想定した直接摂取、ならびに溶出とし、港湾用途は溶出のみとした。これらを受けて、採取対象とする試料、試料の調製方法、および溶出量試験や含有量試験についても表 2.2 のように設定した。

利用状態を模擬した形式検査は、一般用途では路盤への再利用の想定を受けて、成形体を作製後、破砕し粒度調製を行うこととし、港湾用途では成形体をそのまま用いることとした。次に溶出量試験はJIS K0058-1の5.（利用有姿による試験）とし、含有量試験はJIS K0058-2とした。環境安全受渡検査は、スラグの場合は製造工場から出荷されるスラグそのものについて、直接、JIS K0058を適用することとした。

この他、検査の実施者、検査の頻度、検査記録や報告等について規定した。検査の実施者（責任者）は、形式検査、受渡検査ともにスラグ製造業者とし、試験そのものの実施者は形式検査ではスラグ製造業者から委託を受けた試験機関とすることにより試験結果の中立性を確保するとともに、受渡検査ではスラグ製造業者も試験実施可能とすることによりコスト等の低減が可能とした。検査の頻度は、形式検査は配合条件を大きく変更した都度とし、受渡検査は製造ロットごとに実施することを基本とした。

（3）まとめ

環境安全品質管理手法について既往のスキームの調査を踏まえて基本的な考え方を構築し、スラグ類への適用について検討を進めた。この案は日本工業標準調査会に

よる「コンクリート用スラグ骨材に環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」の原案として採用されることとなった。今後は、詳細評価のための試験法の開発や、基本的考え方の他の再生製品や利用用途への適用を進める予定である。

2.4 物質管理方策の現状及び将来像の検討

（1）目的

近年、化学物質管理の強化と併行して、リサイクル製品の安全性管理など、資源循環における物質管理の必要性が高まっている。物質は一方で資源としての側面を有し、他方で一定の有害性を有するものを含んでおり、その両面をふまえた包括的な物質管理方策が求められつつある。そこで、既存の物質管理に関連する法制度等の変遷を確認するとともに、物質管理における基本管理方策の類型やそれらの定義や構成要素や要件などの特徴を明らかにする。その上で、上記サブテーマで対象とした物質について将来求められる物質管理の対策パッケージを提示する。

（2）方法、結果及び考察

「どのような対象物」の「どのライフステージに」、「どのような管理方策」を適用し、「どのように管理方策の有効性を高めるか」という、考えられる4つの検討項目のうち、「どのような管理方策」があるかに主に着目して、国内法を中心に、化学物質管理、製品管理、資源・廃棄物管理などの様々な物質管理法制度等をレビューした。物質管理の変遷を明らかにするために、既存の物質管理に関連する151の法制度等をレビューした。1900年代前半から2000年代の変遷から、管理対象物の拡大（ハイリスク→ミドルリスク、直接曝露→間接曝露、急性→慢性→継世代、既知→不確実、フロー→ストック）、保護の対象の拡大（公正な取引・産業育成→消費者保護、人間→生物・生態系）、対象ライフステージの拡大と全ライフサイクルを考慮した物質管理への展開などといった物質管理の変遷を確認できた。循環型社会においては、ミドルリスク物質への対応や、チェックゲートと情報管理にさらなる取り組みが必要と考えられた。

次に、国内法制度を中心に44制度の829の物質管理規定をレビューし、物質管理における基本管理方策を抽出した。その結果、図 2.10に示す6種類（小分類では7種類）の基本方策が存在することを確認した。その上で、

各物質管理方策の有効性や適用性の知見を考察した。まず、現状の適用状況は図 2.11 に示すとおりとなった。その他、各基本管理方策の基本要件等からそれぞれの方策の適用性等を考察した。その結果、主な知見として以下の知見を得た。まず、チェックゲートはチェック項目の種類として、物質、取扱者、情報伝達という 3 種の基準適合があること、動脈側と静脈側では物質等の同定可能性に違いがあり、チェックゲート管理と情報伝達の適用性が静脈側で低くなると考えられること、クローズド化は排出のライフステージに多いこと、曝露・被害防止とクローズド化は消費者使用のライフステージで特に少なく結果として情報伝達の比重が増していること、消費者使用の段階を除けば曝露・被害防止と管理体制の整備は全てのライフステージにわたって適用がされていた。情報伝達による物質管理は、促進行動の実施者に判断の自由度を与えてよい、もしくは自由度がある方が好ましい場合に適用されるべきと考えられ、ハイリスク物質等には適用されるべきではないと考えられ、ミドルリスク物質等を社会的な判断に委ねながら管理していく場合に適用するのがよいと考えられた。トレーサビリティはその

目的により、価値付加型トレーサビリティと損失回避型トレーサビリティの 2 種類に大別でき、トレーサビリティを確保する負担・費用等を考慮してもなお当該物質を利用する便益がある場合に適用性があり、ライフステージの階層数や関係者の数が多いと適用性は低下すると考えられた。資源に関する物質管理規定は、その他の基本管理方策に位置付けられるものも多いが、資源確保・利用に特徴的な物質管理としては資源の権利確定、資源の探索および確保、資源採取量の制限（情報伝達を除く）、リサイクルの促進（回収を除く）、資源備蓄量の確保、物質使用の合理化の 6 つがあった。また、循環フローの最終基準としてリサイクル製品の安全確認のチェックゲートは必要であり、そのチェックゲートの有効性を高めるためにはサプライチェーンからポストコンシューマまでの物質フロー情報を活用して、チェックの負荷を低減するのが現実的であると考えられた。

最後に、サブテーマで対象とした物質について将来求められる物質管理の対策パッケージを検討し、図 2.12 の結果を得た。

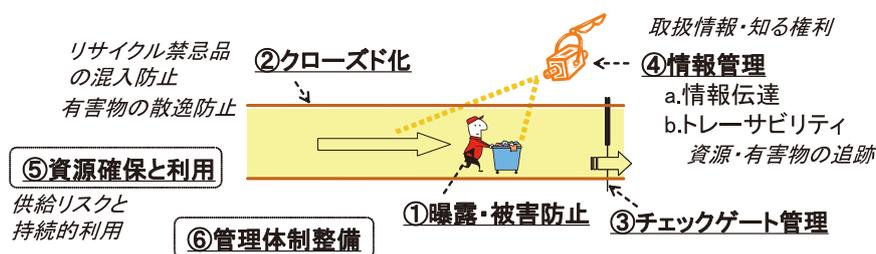


図 2.10 物質管理における 6 種類の基本方策

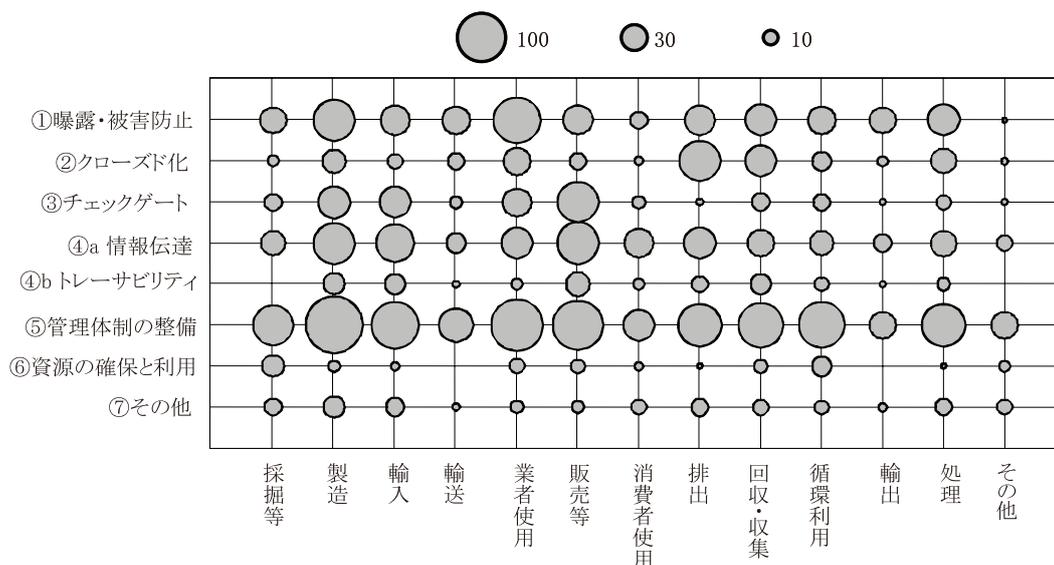


図 2.11 物質管理における基本管理方策の適用状況（円の大きさは適用数）

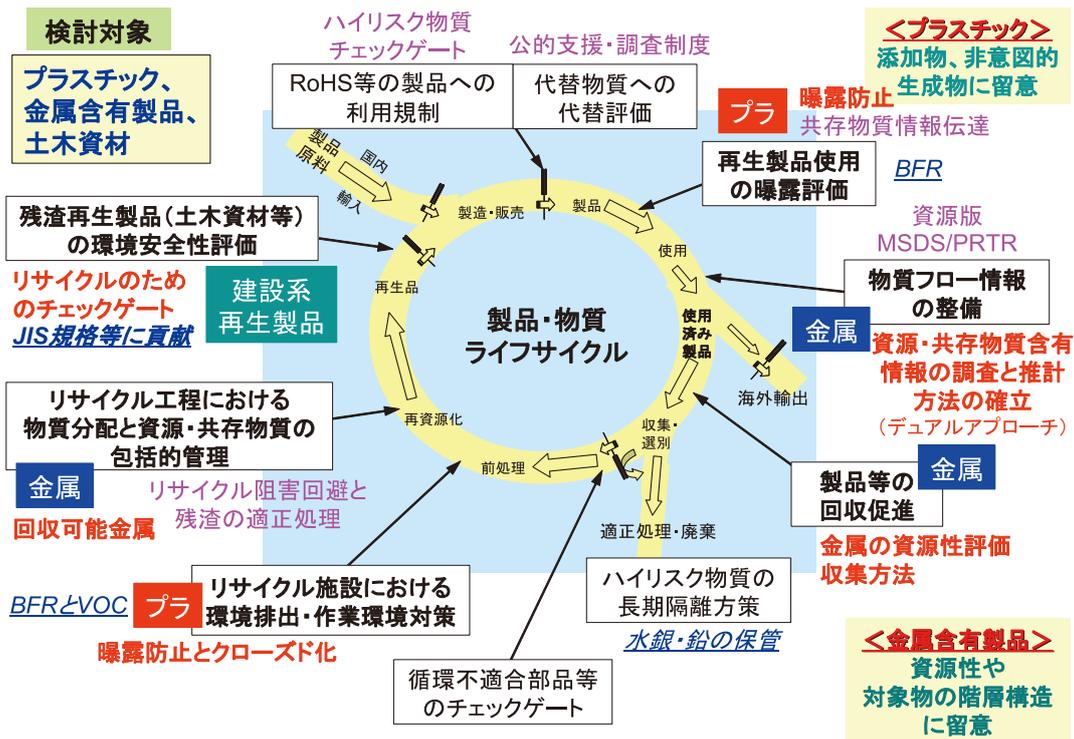


図 2.12 将来求められる物質管理の対策パッケージ

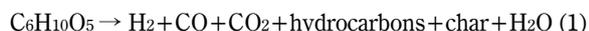
3 中核研究プロジェクト3：廃棄物系バイオマスの

Win-Win型資源循環技術の開発

3.1 エネルギー/マテリアル循環利用技術システムの開発と評価

3.1.1 目的

廃棄物系バイオマスが内包するエネルギーの有効活用を促進することで、化石燃料消費およびCO₂排出抑制に資するエネルギー転換システムの確立を目的とし、とくに低含水率廃棄物に対し比較的低温で熱化学的ガス化・改質を適用する技術および技術システムの開発を行った。ガスの利用方法として、将来の水素社会に必要な水素ガスの供給源、現時点で適用可能なガスエンジン発電燃料およびメタノールなどの液体原・燃料源を想定した。木質(C₆H₁₀O₅)の場合、次のようにH₂、COなどの可燃性ガスが得られる。



低温でガス化・改質を行うことで、放熱損失などによるエネルギー変換効率の低下を回避することが可能となるが、その一方でガスタービンや燃料電池など後段の発電プロセスに対して悪影響を及ぼすタール類の排出量が増加するという課題が存在する。そこで、この課題を解決し、高エネルギー変換効率を達成するために、触媒を用いた最適操作条件および安定した連続運転を図る上で必要なプロセスの開発などについて実験的検討を行いつつ、研究室規模の実験プロセスからパイロットプラント規模の装置へのスケールアップに必要なデータの蓄積およびプロセスシミュレーションによる検討を行った。

一方、高含水率のバイオマス資源・廃棄物に関して、地域レベルでのエネルギー循環利用システムに組み入れることが可能な要素技術として、水素発酵およびメタン発酵複合プロセスに関し、実験および実証研究を通して開発を行った。なお、メタン発酵においては、分解過程で3,000mg/Lを超える高濃度アンモニアを蓄積することがある。この場合バイオガス化が阻害され、残渣液の脱窒素処理のために大量のエネルギーを消費し、負の影響要因となりやすい。そこで、熱処理MAPのアンモニア吸収機能を用いて高濃度のアンモニアを物理化学的に除去・回収した後、ANAMMOX脱窒を行うことで、アンモニア除去の高速・低コスト化を検討した。また、液状廃棄物からの有用マテリアル回収の視点から、生活排水に含まれるリンを回収する技術開発を行った。

最後に、廃油脂類を対象とする循環利用技術として、バイオディーゼル燃料(BDF油)に着目し、その新規製造技術の開発を目標に、反応速度と収率において従来法をはるかに凌ぐ技術を検討した。

以上の各要素技術開発をもとに、エネルギーおよびマテリアル循環利用システムとして展開し、経済性等の評価を加えて、脱温暖化対策等とのWin-Win型適用が可能となる炭素循環型システムとして実用化を視野に入れた研究開発を行った。

3.1.2 方法、結果及び考察

(1) 触媒を利用したガス化・改質に関する検討

図3.1に示すガス化装置を用いて、表3.1に示す性状

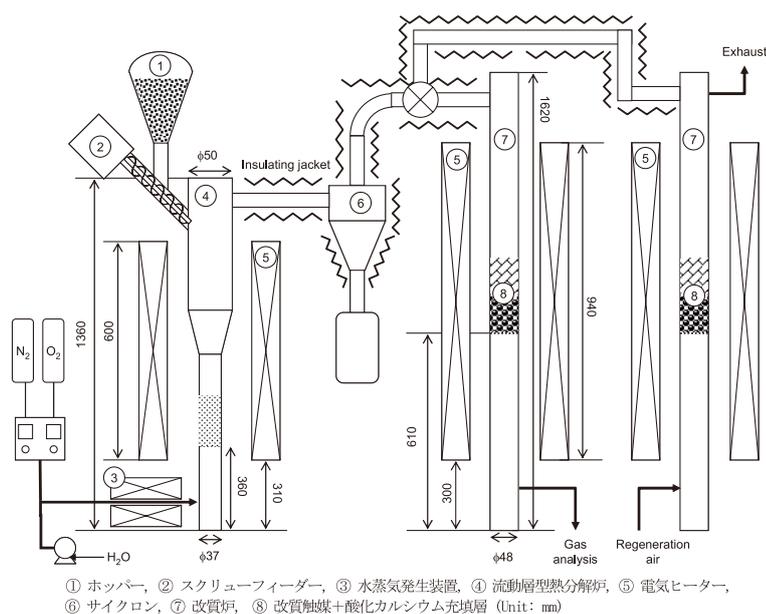


図3.1 小規模ガス化・改質実験装置の構成

表3.1 用いた試料の性状値の測定例

	Waste wood	RDF	RPF
Volatile (wt% dry)	80.0	74.7	83.6
Fixed carbon (wt% dry)	18.0	12.9	8.4
Ash (wt% dry)	2.0	12.4	8.0
Moisture (w%)	9.0	2.0	3.9
HHV (MJ/kg dry)	20.5	18.6	24.0
LHV (MJ/kg dry)	17.2	16.7	21.2
H (wt% dry)	5.9	6.4	8.1
C (wt% dry)	51.4	45.4	50.6
O (wt% dry)	40.7	34.3	33.0
N (wt% dry)	0.06	1.1	0.3
Cl (wt% dry)	<0.01	0.4	0.04
S (wt% dry)	<0.02	0.1	0.05
Al (wt% dry)	3.1	6.01	22.0
Pb (mg/kg dry)	58	72	79
As (mg/kg dry)	21	<5	<5
Cr ⁶⁺ (mg/kg dry)	16	2	<2
Cu (mg/kg dry)	200	260	220
Zn (mg/kg dry)	360	1600	1300

の建築廃木材、都市ごみおよびRPFを対象としたガス化・改質試験を実施した。

この装置は、流動層型熱分解ガス化炉に触媒や補助材料を充填した固定層型改質炉を組み合わせた構造となっており、この2炉を接続する配管の間に未反応チャーおよびフライアッシュを分離するためのサイクロンが設置されている。実験条件として、ガス化・改質温度 650～950℃、空気比 (ER) 0～0.35、水蒸気/炭素モル比 (S/C) 0～7 の範囲でそれぞれ変化させ、各条件が生成ガス組成やガス化率に及ぼす影響について検討した。そして、タールの分解促進を目的として、水蒸気改質触媒および酸化カルシウム (CaO) や多孔質シリカといった補助材料を選定した。さらに、触媒の耐久性および活性低下した触媒の再生方法について検討した。

まず、無触媒条件における試験の結果、ガス化・改質温度の上昇に伴い炭素分のガス化率が増加し H₂ 生成量もあわせて増加する傾向が認められた。また、ガス化・改質温度およびER一定の条件においてS/C比を変化させた場合、同比の増加に伴いH₂およびCO₂生成量が増加すること、ERが低い場合にこの傾向が顕著であることが明らかとなった。これらの結果をまとめると、ガス化・改質温度750℃以上、ER=0.1以上およびS/C=2以上の条件において90%以上の炭素ガス化率を得られることが明らかとなった。

改質触媒の選定については、構成の異なるニッケル系水蒸気改質触媒数種類、CaOを担体とする白金触媒などの効果に基づき行われた。白金触媒は、低温におけ

るタール分解特性に大変優れているが、コストの面で実用性が劣るため本研究では用いていない。一方、ニッケル系水蒸気改質触媒については、CaO・Al₂O₃を担体とする触媒が優れた改質反応特性を示すことを明らかにした。また、当該触媒にCaOを併用することで図3.2に示すような炭化水素類の分解促進を図ることが可能となり、タール濃度も200mg/m³N以下に低減できることが明らかとなった。さらに、改質反応温度を750℃以下に設定することでCaOの炭酸化反応によるCO₂除去が可能であることが明らかとなった。なお、改質ガスの発熱量は改質温度が低くERおよびS/Cが小さいほど大きくなる傾向を示したが、概ね8MJ/m³N以上であった。

反応平衡計算ソフトウェアを用いて実際の試験条件におけるガス化ガス組成を求めたところ、ガス化・改質温度850℃以上の条件では概ね平衡値と実験値が一致することが明らかとなり、比較的高温で操作することで十分な反応速度が得られることが示された。

当該改質触媒の耐久性については、改質反応管を2系列並行に設置し、前段のCaOと後段の触媒からなる充てん層を設けた改質工程と、高温下に空気を流通させる再生工程を繰り返すことで試験を行った。この結果は、図3.3に示すようであり、H₂生成能は窒素を含まない条件で50～60% (V/V) の範囲に安定して保たれ、またその生成量は50mol/kg-原料の水準、高位発熱量は6～10MJ/m³Nとなった。なお、XRD観察の結果、再生後も有効成分Niの存在が確認された。

次いで、補助材料としてCaOの他に多孔質シリカにつ

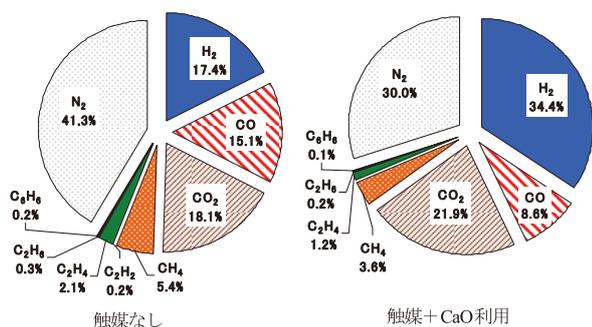


図3.2 改質触媒およびCaO適用の効果 (ガス化・改質温度：750℃)

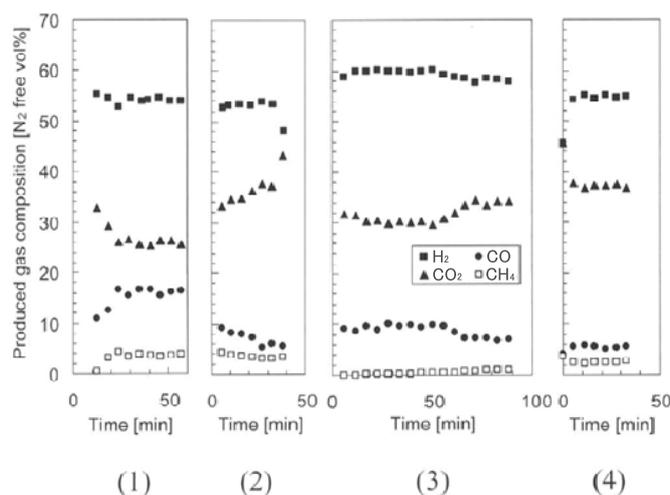


図3.3 改質触媒の耐久性試験結果例 (()内は触媒再生適用の回数。原料廃木材試料供給速度：0.18 kg/h、温度：850℃、S/C：2.1、ER：0.12、触媒充てん量：100 g、CaO 充てん量：107 g、SV：7800 h⁻¹)

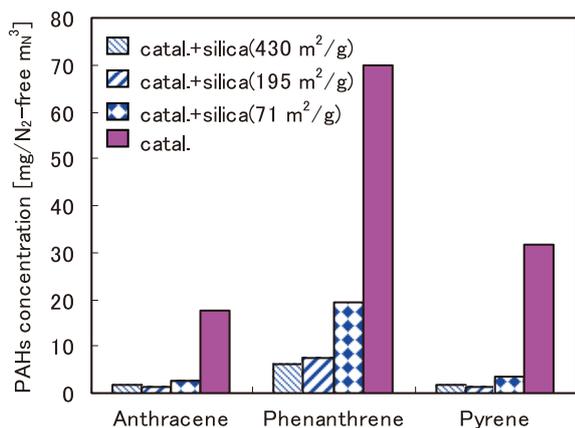


図 3.4 触媒/多孔質シリカ層の適用によるガス中の主なPAHの除去性能

いて検討した。適用したシリカの物性としての比表面積は71~430m²/gである。図 3.4 に示すように、多孔質シリカの適用および比表面積増加にともない、ガス中PAHのうちフェナントレンなどが効果的に減少した。一方、試験後のシリカ表面に炭素の析出が認められ、その量は比表面積との間において、約200m²/gで極大になる関係を得た。したがってこの材料においては、適正な比表面積の選択が必要と考えられた。ガス化対象試料として、木質に加えてRPFを適用した実験結果においても、多孔質シリカのPAH低減に対する効果が認められた。CaOは適当な条件でCO₂吸収能を示すことから、H₂の回収能向上や酸性ガス排出抑制などに効果的であり、多孔質シリカは親和性のある成分の吸着などに効果があると評価される。

水蒸気を含む対象ガスに、Niは有効な触媒成分として機能する。これに関し、さらに本研究では従来のステンレス鋼管(SUS304)を用い、さらにNi-Al₂O₃でコーティングすることにより調製した改質触媒を適用した。時間の経過に応じてガスの採取対象を変更したが、図 3.5 に結果の例を示すように、125~225分の範囲が改質工程後

段のガスであり、初期にはH₂生成濃度が高く良好であった反面、失活も生じ、またタール生成率の低下も生じた。除去されたタールの大部分は、フェノール性タールであった。これまでのところ、既存の工業用触媒に比較して触媒能の失活が比較的早く生じることから、次の段階の開発においては、ステンレス鋼管に対しNiなど有効な金属種を適当に添加するといった方向性が必要と思われた。

(2) バイオマス廃棄物からのクリーンエネルギー回収型物質循環技術システムの開発

有機性廃棄物のエネルギー化・適正処理システムの開発として水素・メタン発酵に着目し、高収率・高速度の水素・メタン発酵を行うため、消化液循環を導入した新規プロセス構築および各種有機性廃棄物種の栄養成分に基づくプロセスへの適用性の評価を行った。

① 効率的な循環式水素・メタン発酵プロセスの構築

これまで、前段に水素発酵槽、後段にメタン発酵槽を設置し、水素発酵槽の適性pH維持のためにメタン発酵消化液を返送する循環式水素・メタン発酵プロセスを構築した。プロセス全体としての基質ベースの許容有機物負荷は約6kg-COD/m³/dを記録したが、これは標準的メタン発酵技術におけるそれと同程度であり、開発プロセスは処理効率の点で課題を残していた。生ごみを対象とした高温メタン発酵の連続実験を行い、発酵槽内ではメタン生成菌に必須である栄養塩Ni、Coの溶存態としての濃度が不足する環境にあり、それがメタン発酵槽の処理速度を制限していることを突き止めた(図 3.6)。処理原料への微量の栄養塩添加により、水素・メタン発酵プロセスは有機物負荷2.9~11.6kg-COD/m³/dでの安定した連続運転を実現し、負荷上昇に伴う性能低下も認められなかった。以上の結果から、栄養塩添加により装置規模を

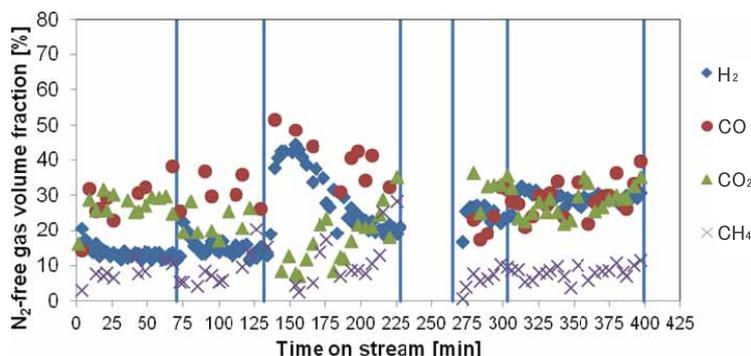


図 3.5 ステンレス鋼管(SUS304)触媒を用いたガス化および改質性能

少なくとも既存のプロセスの約半分まで縮小できることが明らかとなった。

② 循環式水素・メタン発酵プロセスにおける消化液循環が水素発酵に及ぼす効果の解明

構築したプロセスの特徴である消化液循環が水素発酵に及ぼす効果を明らかにすることを目的として、様々な異なる循環条件で生ごみ処理の連続運転を行った。表 3.2 には条件ごとの水素発酵槽内の物質変換を示す。メタン発酵消化液中に存在する水素消費微生物を熱処理して不活化してから循環を行ったところ、不活化なしでの運転と比較して明らかな水素生成速度および収率の向上が確認された。また、従来は返送消化液と NaOH の併用で pH 維持を行っていたが、返送消化液量を増大させ、そのみによる pH 維持を行い運転したところ、顕著な水素生成収率の減少がみられた。一方バッチ実験においても、返送液は水素消費能を有し、それは熱処理により失われることを確認した。水素生成収率を減少させる主要な要因として次の 2 つが挙げられる：(1) 乳酸発酵等の非水素生成代謝へのシフト、(2) 水素消費微生物（メタン

生成菌やホモ酢酸生成菌）による水素消費。表からわかるように、全ての循環条件で水素生成を伴う酢酸と酪酸生成が主要な代謝であり、(1) が生じている可能性は低い。上で述べた結果を総括すると、返送消化液内の微生物が水素発酵槽における水素消費を促進し、水素収率を減少させるリスクがあると考えられる。従って、水素収率向上のためには、消化液内微生物の活性を抑制する工夫が必要である。また、消化液循環無しでの運転を行ったところ、水素発酵槽において窒素源枯渇による水素発酵性能の低下が確認され、消化液循環が持つ窒素源供給効果が明らかとなった。

③ 各種液状廃棄物の水素メタン発酵に対する適性評価

水素発酵におけるエネルギー回収率は、処理原料とするバイオマスの栄養成分組成によって大きく影響を受ける。そのため、開発した循環式水素・メタン発酵に適した廃棄物種を選別する必要がある。異なる組成の各種生ごみ・食品廃棄物のガス生成ポテンシャル検証実験から、水素生成ポテンシャルは処理原料の炭水化物含有率（g-

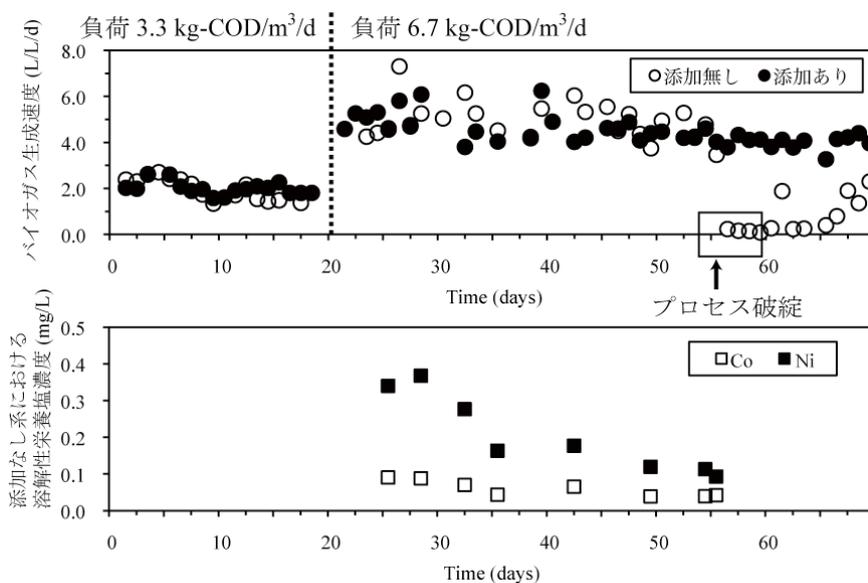


図 3.6 微量栄養塩無添加の生ごみの高温メタン発酵槽におけるCo、Ni枯渇とプロセスの破綻

表 3.2 異なる消化液循環条件における物質変換の比較

循環条件	水素発酵槽におけるCOD成分の水素及び有機酸変換量(mmol/g-COD added)				水素収率 (mol/mol-hexose removed)	pH
	水素	乳酸	酢酸	酪酸		
返送比1.0	2.88±1.08	-0.96±0.17	1.23±0.16	1.56±0.62	2.1±0.6	5.58±0.14
返送比2.9	0.29±0.19	-0.72±0.13	2.84±1.06	1.51±0.59	0.21±0.21	5.52±0.04
返送比1.0 消化液不活化	4.42±0.40	-0.84±0.09	1.74±0.38	1.61±0.28	2.6±0.3	5.49±0.07
返送比2.9 消化液不活化	5.51±0.72	-0.66±0.20	1.62±0.18	1.12±0.08	2.4±0.3	5.47±0.06
消化液循環無し	2.06±0.26	-0.19±0.11	0.04±0.10	1.10±0.15	1.9±0.6	5.49±0.07

炭水化物(g-VS)に依存していることを明らかにした。食品標準成分とガス生成ポテンシャルおよび水素発酵適性の定式化を行い、水素発酵適性 A_H と処理原料の炭水化物含有率 R_F との関係を $A_H = 4.7 R_F - 2.8$ という式で表現し、 $A_H > 0$ となる炭水化物含有率の廃棄物が本水素・メタン発酵プロセスでの処理に適した原料であることを示した。

(3) バイオディーゼル燃料 (BDF) 製造技術の開発

廃食用油のフローとそれ以外の廃油脂類、例えば、トラップグリース（厨房排水と下水排水の間に位置する排水槽に浮かぶ廃油脂類）の賦存量を調査した。その結果、廃食用油については、事業系の廃食用油はすでに家畜飼料などへリサイクルされており、事業系廃食用油をBDF原料として利用することが比較的難しいこと、また、家庭系の廃食用油は十分利用されていないことが明らかとなった。他の廃油脂類に関する賦存量の推計では、トラップグリースが最も賦存量が多い原料（約31万トン/年と推定）と予想された。しかし、品質としては最も悪く、水および食品くずなどの固形物が原料の数十パーセント以上を占めることがわかった。

BDFは、第一世代と第二世代に分類され、前者の化学形態は脂肪酸メチルエステル (FAME) であり、後者は軽油類似の炭化水素である。本研究では、両世代の製造技術開発を行った。まず、第一世代BDFでは、特に、合成技術の開発を行った。BDF合成は物質移動律速であり、従来の二相合成系を均一相とすれば高速に合成反応が進むことが予想されるため、我々は均一相剤として液化ジメチルエーテル (DME) の適用を試みた。DME-メタノール-トリオレイン (植物油脂の代表成分) の相平衡を推算して均一相になる条件を予想し、均一相条件下でBDF合成を開始させ、反応時間と反応収率の関係を調べた。図 3.7 のように、反応系を均一相にすると反応時間10秒で収率が約60%に達し、非常に高速に反応が進むことが明らかとなった。しかし、反応時間10秒を過ぎてしまうと、副生成物であるグリセリンが相分離し、反応系が二相になり、反応速度が低下した。そこで、相分離したグリセリン相を系外へ分離し、新たにメタノール溶液を添加し、すなわち、二段反応法を適用して高収率化を目指した。その結果、収率は98%以上となり、さらに、この方法を適用することにより、BDF製造の際のエネルギー投入量も従来法に比較して約35%削減できること

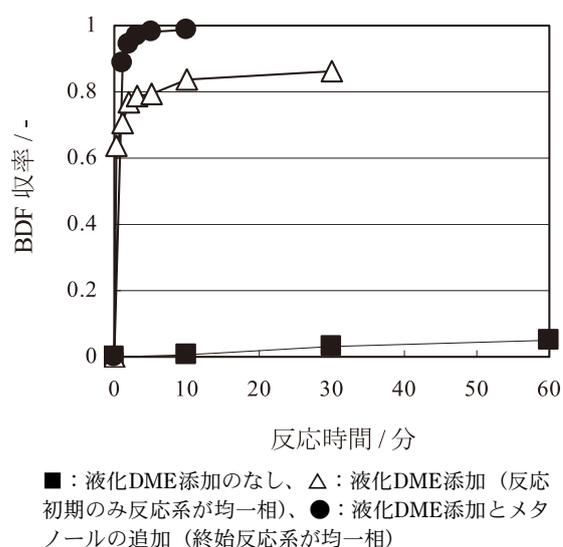


図 3.7 液化DMEの添加がトリオレインからのBDF合成へ与える影響

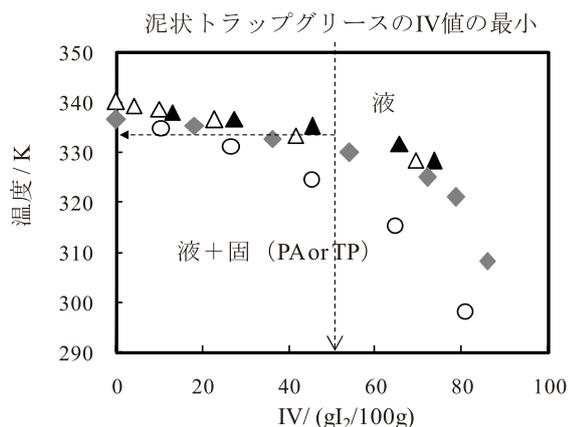
もプロセスシミュレーションによって示唆された。また、この均一相化法は、酵素触媒合成系において高速化および相分離特性の向上に対して有用であることを示した。酵素触媒の実験では、特に、酵素の凝集形態と反応性、凝集防止策、グリセリン相の組成や粘性への溶媒効果については、新しい知見が得られた。

第二世代BDFの製造技術の開発では、主にトラップグリースの更なる性状把握と前処理技術の開発に焦点を絞った。まず、様々な店舗からグリースを回収し、原料成分である油分の質（酸価、ヨウ素価、脂肪酸組成など）に加えて、燃料変換技術で使われる触媒への影響因子（アルカリ金属など）の含有量を調べた。その結果、グリースは油状と泥状に大きく種別でき、油状のグリースは廃食用油とほぼ同等であり、品質が高いことがわかった。しかし、泥状のグリースは、夾雑物が多く、燃料となる原料成分が平均で6割程度であった。原料成分は油状と異なり、遊離脂肪酸へ分解しているケースが多く、また、脂肪酸組成としても融点の高い飽和脂肪酸 (SFA) が多いことも明らかとなった。SFAの固形化がグリースの泥状化の原因ではないかと推察される。さらに、泥状のグリースには数百ppmものアルカリ金属などの触媒影響因子が含まれることもわかった。

泥状のグリースを直接原料として用いることが困難であることから、前処理技術の開発を行った。モデル系を用いて液化する温度を調べた。その結果を図 3.8 に示す。泥状のヨウ素価の最小値が50であることを踏まえると、液化の最高温度は60℃であった。つまり、60℃以上であ

ればどんなグリースも液化できる可能性が示唆された。そこで、実サンプルを30℃から10℃刻みで加温した。その結果、50℃以上に加温すると、グリースが液化し、油相を形成して相分離することが確認された。したがって、加温することによって、原料成分を分離することができた。加温処理することによって、原料成分は80～100%回収でき、水分は96%以上、触媒影響因子も60～90%低減できることを示した。前処理に必要な温度は低いことから、処理施設などの低位な廃熱を前処理として有効に利用できることも示唆された。

さらに、前処理したグリースを0.1N HCl水溶液で洗浄することにより、触媒影響因子も5 ppm以下（＝第一世代の軽油混合のための規格値）まで低減できることがわかった。このレベルまで低減できれば、今まで未利用であったトラップグリースも原料として利用できるものと考えられる。また、これらのグリースでも市販の脱硫触媒ベースで水素化脱酸素することにより、軽油類似の炭化水素が得られることも確認した。



○：PA（パルミチン酸）-OA（オレイン酸）、◆：PA-TO（トリオレイン）、△：TP（トリパルミチン）-OA、▲：TP-TO

図 3.8 泥状のトラップグリースモデルの液相線（凝固点：液化温度）

(4) 乳酸発酵プロセスを用いた食品廃棄物からのバイオプラスチック生産・飼料化システムの構築

弁当、惣菜等の賞味期限超過物や大型店舗から排出される野菜くずと学校給食残さ（米飯）を対象食品残さとして発酵プロセス物質収支や発酵副産物の性状を検討し、L-乳酸の生産・品質評価及び発酵残渣の肉用鶏への飼養特性を実験的に検討した。

一方、食品廃棄物の持続的地域循環事業計画・設計・評価においては、茨城県を対象地域として、食品廃棄物

の関連主体による研究会を創設し、技術的・経済的・社会的情報を収集・整理するとともに、食品廃棄物の持続的地域循環システムを構築するための事業計画・設計・評価から事業化・普及に至る手法を確立し、さらに、茨城県での評価・実践で得られた理論を一般化して、他地域でも普及するための手法論の提案を目指した。

① 乳酸発酵、バイオプラスチック生産、飼料化の要素技術・技術システムの開発

L-乳酸発酵質変換プロセスを用い、食品残さ（Case 1：厨芥系、Case 2：野菜くず）について発酵実験を行い、発酵～固液分離・L-乳酸濃縮までの物質収支特性を明らかにした（図 3.9、a、b）。その結果、質変換プロセスの性能として、含水率がゼロエミッション機能の実現性判定の重要なパラメータ（80%以下であれば可能）となり、厨芥残さでは可能であるが、野菜ごみ（含水率90%以上）では困難になることが示された。また、透析脱塩液の繰り返し利用が可能なること、L-乳酸菌のオンサイト噴霧処理+過熱蒸気殺菌で高品質のL-乳酸が製造可能なることが明らかにされた。

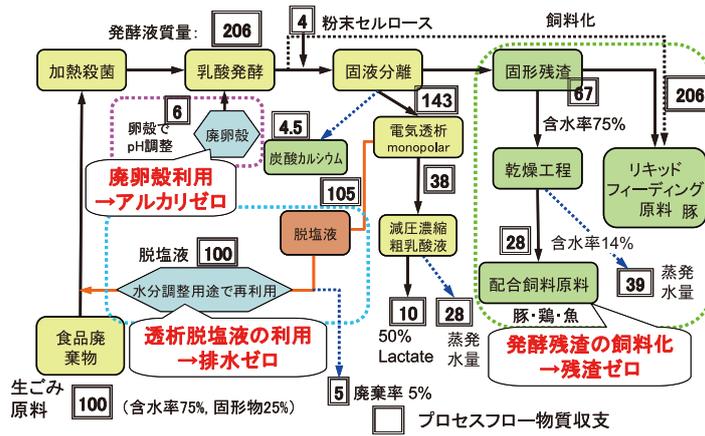
生産されたL-乳酸の光学純度は98%以上に達し、バイオプラスチックの原料として高品質を確保することが明らかになった。しかし、本研究では乳酸生成までであり、ポリ乳酸製造までは行わなかった。

肉用鶏への飼養実験は2回に分けて行われ、飼養特性が調査された。その結果、乳酸発酵残渣を鶏肉用飼料として利用する場合、飼料価値の高い溶解性糖質を全てL-乳酸に変換し、発酵固形物残渣と脱水分離することから栄養価が低下し、他の飼料との適切な配合が必要となるが、グルタミン酸等のうまみ成分の増加やカルノシンやアンセリン等の機能性ペプチドの優位な増加や、コレス

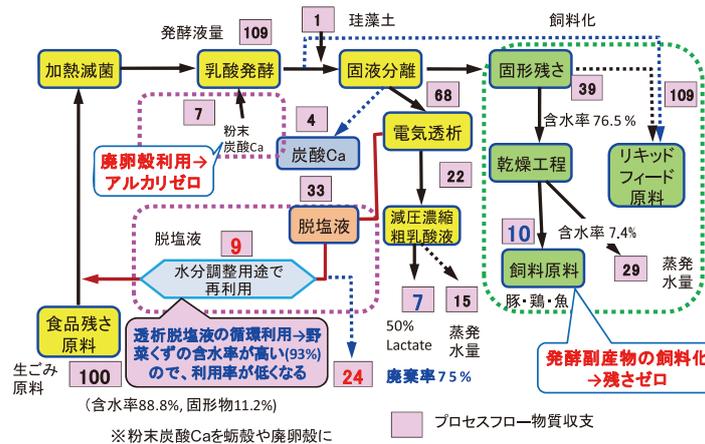
テロールの低下など、肉質の向上に繋がる効果も一部見られた。またTh1系サイトカインのIFN- γ は若干上昇するような傾向が見られ、細胞免疫性の向上の可能性も見られた。しかし、2回の飼養実験で発酵飼料が同じ原料から作成しなかったことも原因となるが、同一の結果・傾向が明確に見られなかった。さらに、盲腸残留物や糞の有機酸やアンモニア濃度から、本発酵残渣飼料の難消化性の影響が示された。

② 食品廃棄物の持続的地域循環事業の計画・設計・評価

茨城県における食品廃棄物の循環システム事業化に関する研究会として、関連主体と協力して、任意団体「い



(a) Case 1: 厨芥系食品残さ



(b) Case 2: 野菜くず等食品残さ

図 3.9 食品残渣の乳酸発酵特性

ばらき食品リサイクル研究会」を創設した（平成19年8月）。同研究会での議論やヒアリングおよび施設見学会を通じて、技術的・経済的・社会的情報を収集・整理した。

また、事業化・普及の実践としては、同研究会の会員である耕種農家・畜産農家らと共に、再生製品利用者側からの課題についても議論を積み重ね、多彩な事業提案を行ってきた。一事例を挙げると、干しいも生産が盛んなひたちなか地区で大量に排出されている干しいも残さに着目し、そのエコフィード事業（肥育養豚）を平成20年度からのモデル事業として計画・設計した。また、同研究会では他の食品廃棄物についても循環システム事業化を計画しており、さらに、いくつかの循環システム事業を連携させた循環ネットワーク事業も検討した。

さらに、上記の情報収集・整理や事業化の実践を踏まえ、食品廃棄物の持続的地域循環システムを構築するための事業計画・設計・評価から事業化・普及に至る手法を検討し、手引書「食品廃棄物の地域分散型リサイクルシステム設計のためのマニュアル」を作成した。

(5) 液状廃棄物からのリン除去・回収資源化技術システムの開発

近年、リン価格の上昇傾向が顕著になってきており、リン資源の輸入価格高騰は肥料価格等に反映されるなど、農業・産業への影響も出てきている。このような背景から、将来のリン資源の枯渇化に対応したリン回収技術の開発と循環利用の社会システムのあり方がクローズアップされてきており、排水処理プロセスの高度化（窒素・リン削減対策）の推進と同時に、排水からのリンの回収・循環利用の技術の実現・普及に寄せられる期待は大きい。

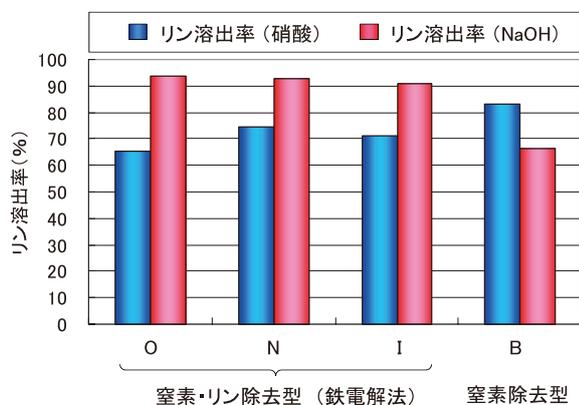
本研究では、液状廃棄物処理システムにおける長期的なリン除去のための適正な維持管理技術を検討すると同時に、枯渇性リン資源の回収技術として、分散・集中のスケールに応じた吸着法、鉄電解法および汚泥減容化とのハイブリッド化等のプロセス開発を進めた。

① 鉄電解脱リン法によるリン除去と汚泥からのリン資源回収技術の開発

鉄電解脱リン法は、鉄電極を使って溶出した鉄と排水中のリンを結合させてリンをリン酸鉄の形態で沈殿・除去する方法である。本研究では、小規模分散型の高度処理浄化槽におけるリン除去回収資源化技術の適用化を目指す上で、処理特性、汚泥生成能、リン含有率、リン回収特性等について適正条件を明らかにすることを目的として実家庭に設置した複数の高度処理浄化槽を対象に長期モニタリングを行った。

鉄電解脱リン法によるリン除去性能は高く、ほとんどの浄化槽でT-P1mg/L以下を達成した。また、嫌気槽貯留汚泥のリン含有率は鉄電解脱リン非導入系に比べて高濃度であり、かつ、不溶性となっていること、溶出した鉄のほとんどが汚泥中にリン酸鉄、酸化鉄等の形態で存在していることなどが明らかとなった。

リン回収のための嫌気槽貯留汚泥の酸性・アルカリ性条件下でのリン溶出試験を行った結果、鉄電解脱リン汚泥はアルカリ溶出による効率が大きく、短時間かつ高効率に溶出可能であることを明らかにした(図 3.10)。溶出したリンは、カルシウム添加により、効率的に回収可能であった。物質収支解析の結果、現場試験におけるリン除去率は93%であり、貯留汚泥からのリン溶出率は92%、溶出リンの回収率は96%となり、小規模排水処理においても対汚泥で88%、対流入水で82%と効率的なリン除去・回収が見込まれることが明らかとなった。回収リン酸塩は、く溶性リン酸を23%程度含有し、有害成分も副産リン酸肥料としての許容量以下であり、肥料登録の基準を満足していた。また、植害・肥効試験において植物の生育に異常は見られず、発芽率および収量も対照肥料と同等以上であった。



リン溶出率	鉄電解型	硝酸: 70.5%、NaOH: 92.5%
	窒素除去型	硝酸: 83.1%、NaOH: 66.2%

図 3.10 鉄電解汚泥の酸・アルカリ溶出特性

② 吸着脱リン法によるリン除去・回収資源化技術の開発

吸着脱リン法は、リン吸着担体に排水中のリンを吸着させ、吸着飽和に達したリンはアルカリ条件下で脱離・濃縮し、吸着剤は再生・再利用することにより、リンの資源回収と吸着担体の再利用を高効率に行うものである。従来より推進してきた個別分散型の小規模対応システムとは別に、集中処理システムに対応したオンサイト型メリーゴーランドシステムにおいては、吸着剤充填槽を3基設置し、リンの吸着・脱離および吸着剤の再生の各工程を順次切り替えることにより、連続・効率的なプロセスの検討を行った。

日量数トンの処理スケールでのパイロット試験の結果、懸濁物質(SS)の影響は、1日1回の逆洗操作において対応可能であり、また、通水する排水のSS成分を事前に除去することにより、懸濁物質による目詰まりや吸着部位の閉塞等を排除でき、所期の性能を十分に発揮できることが明らかとなった。高濃度排水対応としては、2槽を直列に連結し、順次、脱離・再生プロセスに移行することにより、吸着剤のリン吸着容量を有効に活用することが可能であり、幅広いリン濃度の排水に対して連続的・効率的な処理性能を得ることが可能であることがわかった。

また、回収・資源化工程での脱離液リン濃度、濃縮率を変化させることによる低温真空濃縮法におけるリン回収率の適正化について検討した結果、脱離液リン濃度が1,000mg/L以上においては、理論的なNaOH濃縮倍率(脱離液7%→20%)である3倍程度において回収率が85%以上、濃縮率4倍では回収率が90%以上となることを確認した。本システムでは、2段階脱離法を活用しており、脱離液リン濃度が約2,500mg/Lとなることから、濃縮率は3.0~4.0倍が最適であることが確認できた。しかしながら、安定性については共存イオン等による影響が考えられ、また、共存イオンの結晶化は回収対象であるリン酸ナトリウムの純度にも影響することから、共存イオンとの関係性を含めた最適化について、リンの活用方法に照らした回収形態の検討を踏まえた研究推進を図ることとしている。

③ 汚泥減容化導入ハイブリッド吸着脱リン回収・資源化プロセス

本研究は、汚泥処理と高度・安定的なリン資源回収を可能とした汚泥減容化リン除去回収ハイブリッドプロセ

ス技術の確立を目指したものであり、脱窒性リン蓄積細菌を活用したAOA（嫌気/好気/無酸素）プロセスに着目し、活性汚泥法とマイクロバブル化オゾンとの組み合わせにより、高度処理・汚泥発生抑制と同時に、リン資源回収を図るものである。

本プロセスでは、同一細菌が窒素除去とリン除去を担うため、汚泥発生量が減少することが期待されている。本研究ではさらにマイクロバブル化オゾンを導入し、汚泥減容化と同時に、吸着脱リン法によるリン資源回収を目指し、ベンチスケールモデルによる実験的検討を行った。その結果、本法では、基質（汚濁物質）が分解される過程で一部バイオマス（細菌）に変換されるが、これをオゾン処理により再基質化することで汚泥の減容化が進行すると同時に、汚泥中の約65～70%のリンがリン酸態として溶出し、吸着剤により効率的に回収可能となることなどが明らかとなった。オゾン処理により増殖速度の遅い硝化細菌が影響を受け、一時、処理性能への悪影響が認められたが、生物反応槽における汚泥濃度を高めることにより、窒素除去性能の効率化が可能であることが明らかとなり、本法を導入した汚泥減容化・リン資源回収型の処理プロセスの基盤を構築できた。

(6) MAP-ANAMMOX ハイブリッド処理法による高濃度アンモニア除去技術開発

処理フローを図 3.11 に示す。

① MAPによるバイオガス化槽脱離液中の高濃度アンモニアの超高速除去技術

アンモニア除去過程での炭酸塩、CaイオンによるMAPの劣化はpH調整により防止できること、またアンモニアガス脱離過程における1水塩形成機構を明らかにし、結晶劣化防止技術を提示した。さらに、MAPによるメタン発酵消化液中アンモニア除去コストを試算し、本プロセスで380円/m³消化液と極めて低コストになることを示した。また、後段プロセスのガス溶解、部分亜硝酸化、ANAMMOX 脱窒プロセスを考慮しても維持管理コストを大幅に低減できる可能性を示した。

② 部分亜硝酸化処理

BFリアクタ（バイオフィリンジ：NET社製）を用いて、目標としていた超高速部分亜硝酸化リアクタをラボスケールで開発した。その性能は、亜硝酸生成速度とSS濃度で確認され、NO₂-N/NH₄-N比1.0、沈殿池無：1.0kgNO₂-N/(m³・d)、沈殿池有：1.7kgNO₂-N/(m³・d)、を1ヶ月以

上継続できることおよびANAMMOX リアクタへのSS負荷も14mg/L以下となった。

③ ANAMMOX処理技術とスケールアップ技術

ANAMMOX リアクタの開発目標も窒素除去速度 1kg-N/(m³・d) に達し、またDOの影響も少ないことを明らかにした。一方、ANNAMOXリアクタ（容積：200L）を用いて合成基質による馴養培養を行い、窒素負荷 1kg-N/(m³・d) を達成し、実用化に向けてスケールアップが可能であることを明らかにした。

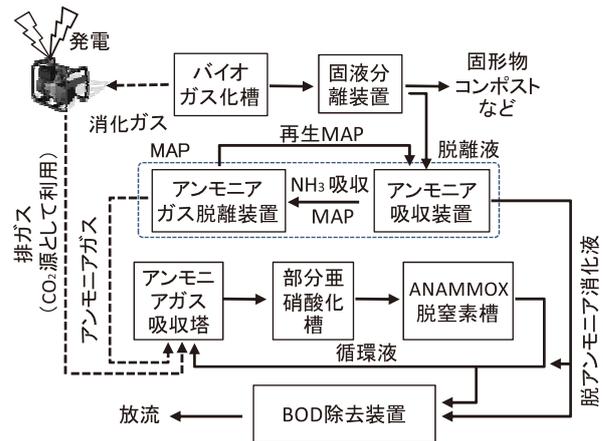


図 3.11 MAP・ANAMMOXハイブリッド処理フロー

(7) まとめ

ガス化・改質技術の開発においては、適当なニッケル系改質触媒および補助材料の適用により、木質およびRPF原料から、750℃程度の温度条件において50～60% (V/V) の組成でH₂ガスを得ることができ、90%以上の炭素ガス化率と6～10MJ/m³Nの高位発熱量をもつ合成ガスが回収可能であることを明らかにした。また、補助材料にCaOまたは多孔質シリカを用いることで、ガス中のタールおよび各種PAH濃度が低減しH₂生成能が向上することを見いだした。より安価で実用性の期待されるステンレス鋼管が触媒として示すH₂回収とタール改質効果を見だし、次段階の展開に向けた方向性を得た。

水素・メタン二段発酵プロセスによるエネルギー回収技術の開発については、生ごみ等の基質特性を解析した結果、炭水化物、蛋白質、脂質等の割合に応じて水素・メタン二段発酵システムにおける分解率、ガス発生量、水素収率等が異なること、炭水化物分解細菌の多様性は超高温の方が低く、炭水化物を中心とする廃棄物からの水素回収においては超高温の効果は小さいことなどが示唆された。また、国立環境研究所の食堂生ごみを対象と

したミニパイロットプラントの連続試験による発酵特性解析を行った結果、水素発酵槽のpHを5.5に制御する等の適正条件の確立により、水素ガス回収効率の向上と脱離液処理プロセスを含めたシステム化の基盤が構築できた。このシステムによる水素生成量は11m³/t-生ごみwetであり、一般にグルコースを基質として得られる水素収率と比較して高い値を得ることができた。水素・メタン回収率を踏まえた最適負荷条件を解析した結果、水素生成速度は比例的に増加し、高温水素発酵槽に菌体を高濃度で維持することで、さらに高い水素収率を得ることが可能であると考えられた。また、COD 負荷 4.7g-COD_C/ (L・d) で理論収率の約91%となる比較的高いメタン収率 (0.31L-CH₄/g-COD) が得られた。今後はさらに、回収エネルギーの利用形態との連携を踏まえたガス化効率の向上を図ると同時に、モデル地域における発生バイオマスの特性に対応した水素発酵特性解析および適用性評価を行い、脱離液処理における栄養塩類除去技術の効率化、システム化技術の確立を図る。

MAP-ANAMMOX ハイブリッド処理法による高濃度アンモニア除去技術開発に関しては、ラボ実験、スケールアップ実験を通じてこの脱窒システムの実排水への適用可能性が高いことを明らかにし、同システムの処理フロー設計を行った。本処理フローに沿って鹿児島県垂水市大隅養豚生産組合内に設置されたバイオガスプラントにベンチスケールの実証装置を作成し実証実験を行った。

BDF製造技術では、廃棄物系バイオマス循環における動脈静脈連携に関して連携を「自家消費」、「直接供給」、「間接連携」、「遠隔連携」、「近接連携」および「処理連携」の6形態に分類した。続いて、下水汚泥のエネルギー回収を事例として、CO₂を含むGHGのLCAを実施して、動脈静脈連携の効果を分析した。分析対象のシステム代替案は、「自家消費」、「直接供給」、「間接連携」および「近接連携」といった動脈静脈連携の要素が含まれており、いずれもGHG削減効果に寄与していた。今後、他の連携分類についてもその効果を分析することが必要である。また、BDF製造技術の開発については、廃食用油を含む廃油脂類のフローを調査するとともにBDF原料としての賦存量を推計し、未利用かつ存在量の多いトラップグリースの性状も明らかにできた。第一世代BDFの製造技術開発では、反応系を均一相化する新規BDF高速合成法を開発し、従来法に比べて省エネルギーである

可能性を示した。また、第二世代BDFの製造技術開発では、加温処理と酸洗浄により、今まで未利用であったトラップグリースも高品位な原料としてアップグレードでき、有効利用できる可能性を示した。

液状廃棄物中リンに対する吸着・鉄電解法等の分散・集中処理に対応した要素技術開発について検討を行った。生活排水を対象とした鉄電解脱リン法においては、流入リン量の82% (対汚泥で88%) を回収可能であることが明らかとなった。吸着脱リンシステムにおいては、集中処理対応としてのオンサイト型メリーゴーランドシステムおよびリン回収資源化工程の最適化のための基盤を確立することができた。汚泥減容化導入リン除去・回収システムにおいては、汚泥発生抑制型リン回収を進めると同時に、汚泥濃度制御等による処理性能の安定化を図ることができた。今後は、集中・分散の処理スケールに応じた技術開発を継続するとともに、回収資源の利用者視点に立った地域資源循環システムの基盤の構築を図り、地域・排水種等に応じた高度処理を達成しつつ、地域における資源循環利活用特性、需用リン資源形態、流通・市場性、費用対効果等の解析に基づく環境低負荷・資源循環型のシステム設計を行う。

3.2 動脈 - 静脈連携等を導入したバイオマス地域循環圏の設計と構築手法

3.2.1 目的

効率的な廃棄物系バイオマスの循環技術システムの形成を目指し、システムの設計・構築方法について議論した。次に、同手法を用いた事例研究として、特定地域における適切規模の廃棄物系バイオマスの循環技術システム (地域循環圏) の設計・構築に関する定量的モデル分析を実施した。分析項目は資源消費量、環境負荷排出量および事業収支等とした。また、地域循環圏の効率向上策として、「動脈静脈連携」や本プロジェクトで開発中の技術を組み合わせた効率的システムを提案・設計した。

一方、実際にバイオマスの利活用技術を推進するために、地域特性に応じた資源循環システムの構築を目指し、システム統合評価手法の確立が重要であることから、3.1で取り組んだ3種類の開発要素技術において、実験で取得したデータ等を基盤としたプロセス設計を行い、プロセスシミュレーションにより解析した。3つの単独システムおよびそれらを統合したシステムにおける物質・エネルギーフローを明らかにし、規模、地域特性、システ

ム統合のシナリオに関して比較・評価した。

3.2.2 方法、結果及び考察

(1) バイオマス地域循環圏の設計と構築手法

1) 地域循環圏の設計・構築手法

① 方法

廃棄物系バイオマスの特性に応じた地域規模の循環技術システム（地域循環圏）の設計・構築手法について本プロジェクト内で議論し、その大枠を決定した(図3.12)。

事例研究では、都道府県等の地域規模を想定し、技術や地域の特徴を考慮した定量的なモデル分析および社会経済的要素を考慮した定性的な考察を並行して進めてきた。システムの運用段階だけでなく構築段階についても時系列で考慮している。定量的検討の項目はシステム全

体での資源消費量、環境負荷排出量および事業収支等である。具体的には、湿潤系バイオマスの事例として、茨城県における食品廃棄物（食廃）の地域循環圏を検討した。その中で、様々な循環利用技術の連携を提案した(図3.13)。同時に、乾燥系バイオマスの事例として、関東圏における廃材・残材の地域循環圏を検討し、食廃と同様に循環利用技術の連携も提案した(図3.14)。

② 結果及び考察

食廃に関しては、茨城県における食品廃棄物の発生量と飼料の受入可能量とのバランスを分析し、各市町村がどの循環技術に適しているかを分類することができた(図3.15)。木材に関しては、関東圏における廃材・残材の排出量と施設の処理可能量とのバランスを分析し、各都県での実現可能性を示すことができた(図3.16)。

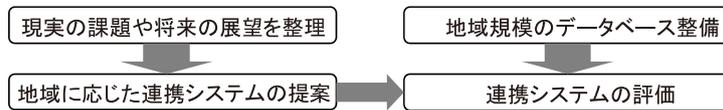


図 3.12 連携等を導入した地域循環圏の構築手法

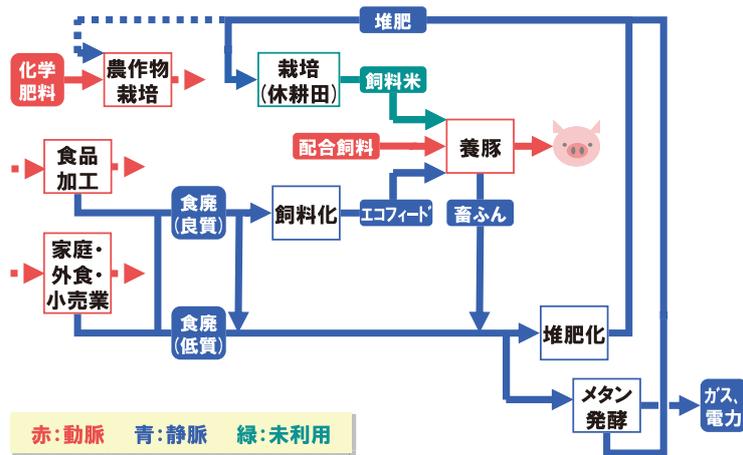


図 3.13 連携を導入した地域循環圏（食廃の例）

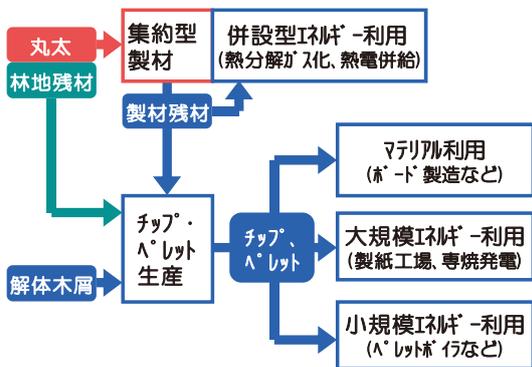


図 3.14 連携を導入した地域循環圏（木材の例）

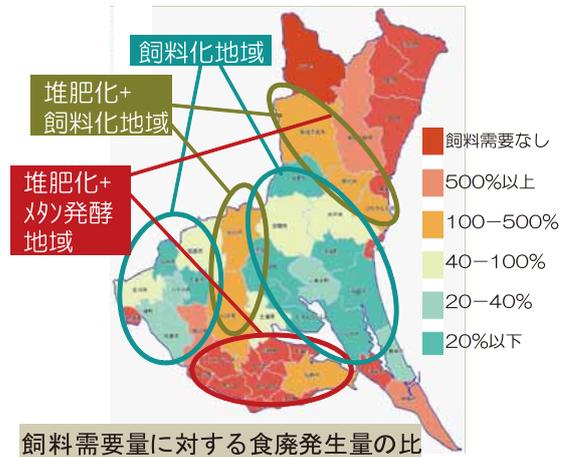


図 3.15 地域循環圏の評価（食廃の例）

近未来の林産系木質バイオマス量分布イメージ

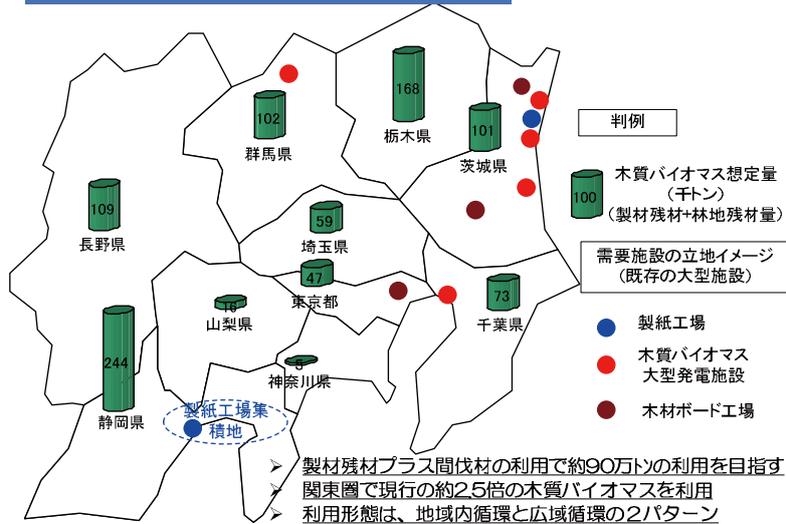


図 3.16 地域循環圏の評価（木材の例）

2) 動脈-静脈連携システム構築システム評価

① 方法

廃棄物系バイオマスの循環利用に関する具体的な事例について、文献およびヒアリング調査を実施し、動脈プロセスと静脈プロセスの両者間の物質・エネルギーのフローや空間的配置、両者間に介在する物質・エネルギーの輸送工程等の観点から、図 3.17 に示すように、a) 直接連携、b) 間接連携、c) 処理連携に類型化した。

動脈静脈連携の事例として下水汚泥エネルギー回収システムを対象とし、その GHG 削減効果を LCA で分析する。対象システムは技術選択によっていくつかの代替案が考えられるため、それらの GHG 排出量を比較分析する。留意した技術選択要素は「汚泥消化の有無」、「(隣接施設からの) 余剰熱供給の有無」、「消化ガス利用の方式(熱回収、コージェネレーションシステム (CGS)、およびガス精製)、および「脱水汚泥処理の方式(炭化、焼却、および直接埋立)である。なお、代替案には「自家消費(消化ガスの熱回収・CGS)」、「直接供給(脱水汚泥の炭化=石炭代替)」、「直接連携(隣接施設からの余剰熱

供給)」および「間接連携(消化ガス精製=都市ガス代替)」等の動脈静脈連携の要素が含まれている。対象システムにおけるフローを図 3.18 に示す。

分析の範囲は下水汚泥の処理、消化ガス利用、脱水汚泥処理、埋立、代替されるエネルギー生産とした。消化ガスから生産されるエネルギー(燃料)は熱、電力およびメタンガスであり、脱水汚泥から生産される燃料は炭である。代替されるエネルギーは、熱に対しては石炭・重油、メタンガスに対しては天然ガス、および炭に対しては石炭である。比較分析で統一するシステム代替案の機能単位は流入下水1000[m³]とした。

また、地域循環圏の効率向上策として、本プロジェクトで開発中の要素技術を導入した統合システムを提案した。要素技術とは、主に乾燥系バイオマス(木材、紙)を対象とした「熱分解ガス化」、湿潤系バイオマス(食廃)を対象とした「水素-メタン二段発酵」、及び廃食用油を対象とした「BDF製造」である。これらの単独では余剰となる排熱や副産物を、可能な限り相互利用する統合的なシステムを検討・提案した(図 3.19)。また、この統合システムを実際の地域で導入することを想定し、関東圏での発生量やその内訳を調査した。

② 結果及び考察

下水汚泥エネルギー回収システム代替案の GHG 排出量を LCA で比較分析した結果を図 3.20 に示す。図に示すように、「汚泥消化有り、余剰熱利用有り、消化ガス精製(都市ガス代替)・脱水汚泥炭化(石炭代替)」という代替案で GHG 削減効果が最大になった。一方、「汚泥消化無

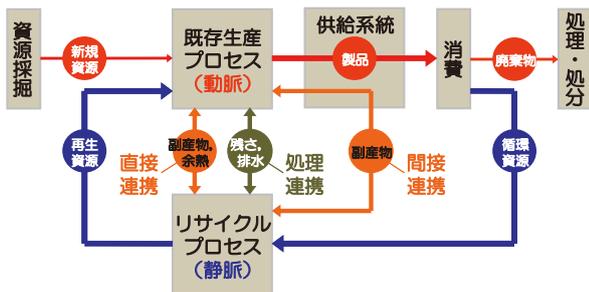


図 3.17 動脈静脈連携の模式図

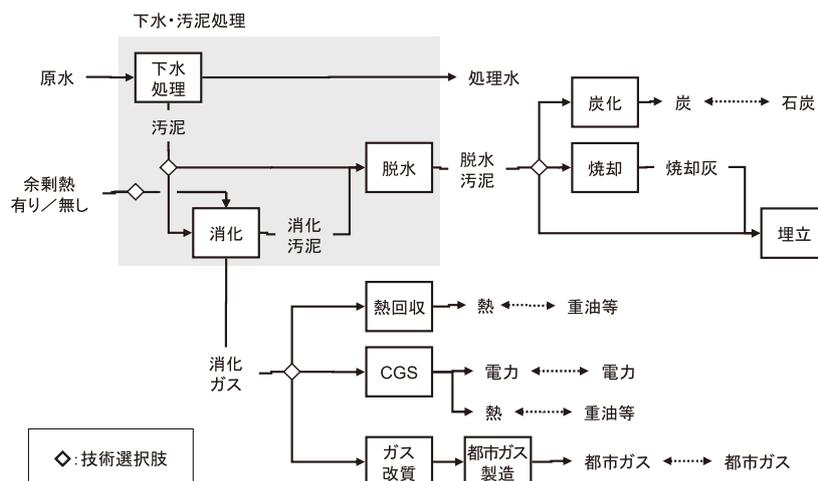


図 3.18 下水汚泥エネルギー回収システムにおける物質・エネルギーフロー

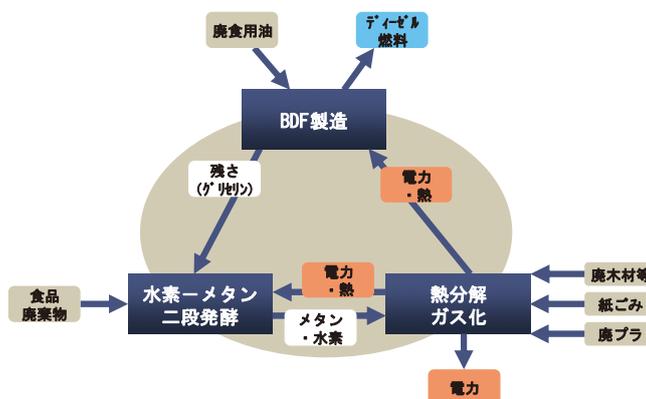


図 3.19 バイオマス資源化技術の複合システム

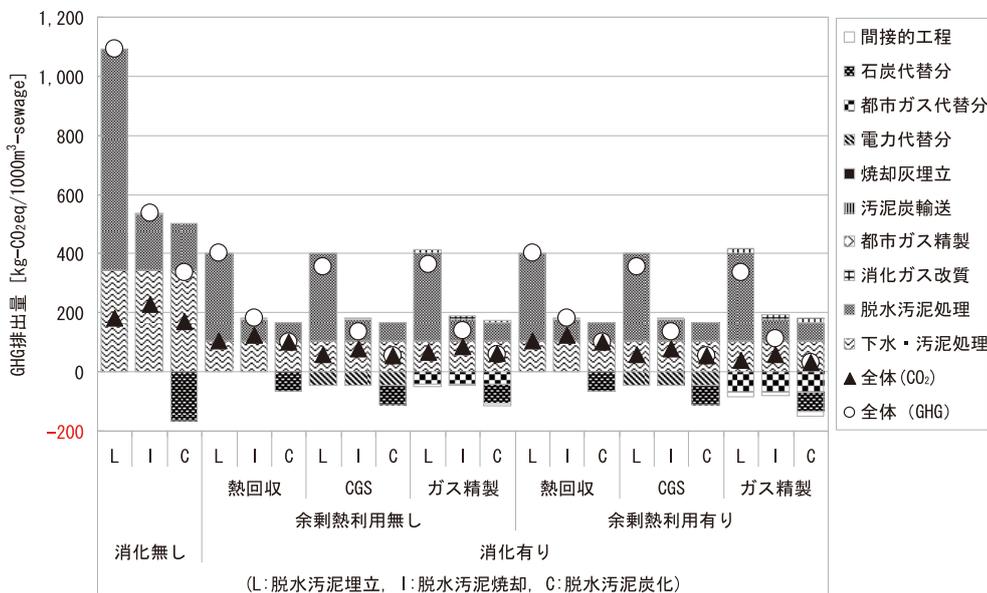


図 3.20 下水汚泥エネルギー回収システムにおけるGHG排出量の比較 (工程種別内訳表示)

し、脱水汚泥埋立」でGHG削減効果が最小になった。代替案のまとめり別にみると、「汚泥消化有り」の方が「無し」よりもGHG削減効果が大きかった。余剰熱の利用に関しては、「消化ガス精製（都市ガス代替）」においてわずかにGHG削減効果の増大がみられた。工程種別内訳で

は、「脱水汚泥処理」「下水・汚泥処理」の順にGHG排出量が大きくなった。GHG削減に寄与する工程としては「石炭代替」「都市ガス代替」「電力代替」の順となった。

統合システムの導入に向けた関東地方でのバイオマス発生状況の結果を図 3.21 に示す。図に示すように、各都

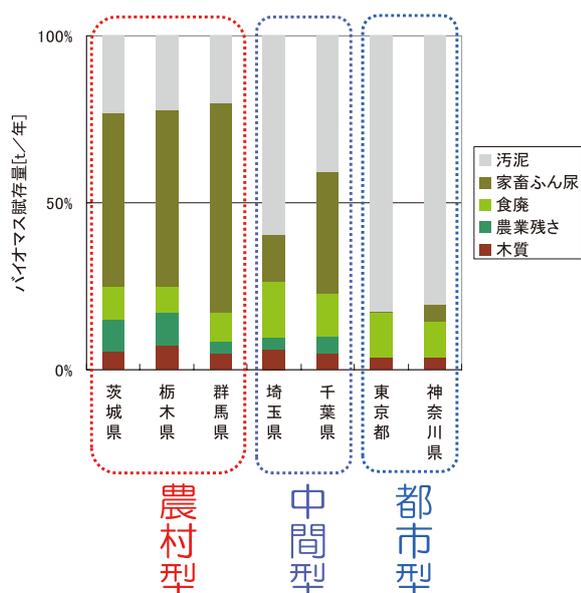


図 3.21 関東地方におけるバイオマス賦存量

県でバイオマス賦存量の内訳は異なる。農業・畜産が盛んな地域では家畜ふん尿の発生割合が大きく、人口が集中する地域では、生活排水に由来する下水汚泥の発生割合が大きい。この結果を踏まえて、多様なバイオマスを受け入れる統合システムを設計するには、導入地域におけるバイオマスの割合に留意しなければならない。

(2) 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

1) 解析方法

① 解析プログラム

ASPEN plus を用いて、プロセスシミュレーションを行った。我々の開発技術であるガス化、水素・メタン二段発酵、BDF製造技術プロセスの設計を行い、各技術における単位操作ブロックを作成した。内蔵されていないバイオマスや廃棄物組成等は実測値を入力し、実験条件に合わせたパラメータを設定した。各反応の化学平衡計算は、ExcelのマクロやFORTRANサブルーチンによる計算ロジックをASPEN plus上に組み込む等して、モデル化した。ただし、ガス化システムにおける排水処理、発酵プロセスにおける汚泥脱水やガスエンジン等については、実験範囲外であったので、ヒヤリング調査や文献値を参照し、パラメータ設定した。

② システム統合の定義

- 発電プロセスおよび改質プロセスで発生する排熱を、100℃まで熱交換を介し、利用可能とする。
- 排水処理プロセスおよび発電プロセスを統合する。

- 発酵プロセスで発生する汚泥は、廃熱により乾燥し、ガス化プロセスに投入する。
- BDFプロセスで排出される廃グリセリンは、発酵プロセスに投入する。
- ガス化および BDF プロセスで発生する排水は発酵プロセスに希釈水として供給する。

既往の各種データを参照し、都市、都市近郊、農村における廃棄バイオマス種の割合を表 3.3 に示すように設定した。全バイオマス投入量は中規模および大規模を想定し、それぞれ 10t/d および 100t/d の 2 パターンとしてケーススタディを行った。

表 3.3 異なる地域分類における廃棄バイオマスの重量割合

分類	廃木材	紙ごみ	廃プラ	廃食油	生ゴミ
都市	1	8	3	1	8
都市近郊	1	0	0	1	8
農村	2	0	0	0	8

2) 結果および考察

単独プロセスのシミュレーションについて、転換率に及ぼす地域性の影響を検討した結果、以下の知見を得た。

- ガス化プロセスにおいては廃プラの利用が有効で都市部に適しており、廃木材の多い農村部においても適用可能性が示唆された。
- 発酵プロセスにおいてはスケールメリットが大きく、廃水処理の低コスト化が重要であることが把握できた。BDF製造プロセスにおいて、小規模でも導入可能であることがわかった。

図 3.22 に、単独および統合システムの結果の比較を示す。これは都市部の廃棄物を 100t/d とした結果の例である。これによると、バイオマス投入量は同じであるが、単独システムよりも統合システムの方がガス生産量は大きい。これは、単独システムではグリセリンや汚泥を廃棄するが、統合システムでは原料として投入したためである。また、汚泥処理を含まないシステム内の消費熱量は、発電プロセスの統合等により 39% 削減できることがわかる。システム内の消費電力についても、排水処理プロセスの統合等により 28% 削減できる。

汚泥処理について、単独システムではシステム外において焼却処理し、統合システムではシステム内において乾燥することを定義している。焼却処理および乾燥処理に対して処理熱量の差は見られないが、統合システムの

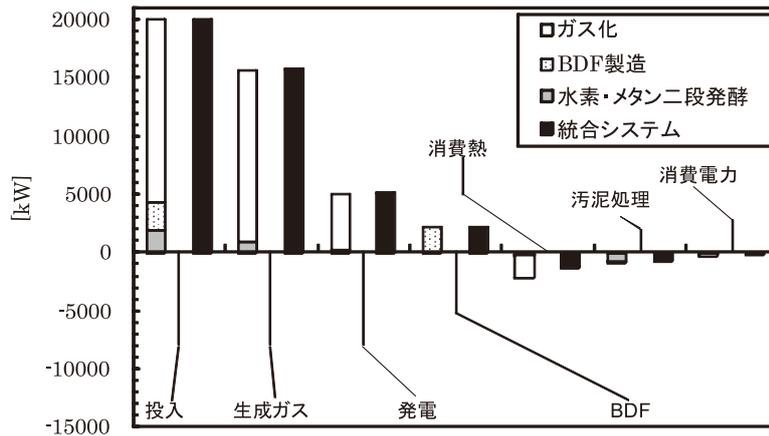


図 3.22 単独システムおよび統合システムにおけるシミュレーション結果の比較

場合、乾燥熱量を廃熱で賄うことができるので、総合効率を改善させる効果が得られた。

統合システムの方が単独システムよりも収益率が高く、統合システムにおける投資回収年数は10年と算出され、これは多少長いものの、実用可能性が示唆された。

(3) まとめ

廃棄物系バイオマスの特性に応じた地域規模の循環技術システム（地域循環圏）の設計・構築手法について本プロジェクト内で議論し、その大枠を決定した。また、茨城県の食品廃棄物を対象として、情報基盤を整備するとともに、関係者による研究会に参加して課題を抽出した。さらに、前述の手法を用いた事例研究を、湿潤系と乾燥系のバイオマス各々について実施した。前者に関しては、茨城県における食品廃棄物の発生量と飼料の受入可能量とのバランスを分析し、各市町村がどの循環技術に適しているかを分類することができた。後者に関しては、関東圏における廃材・残材の排出量と施設の処理可能量とのバランスを分析し、各都県での実現可能性を示すことができた。また、地域循環圏の効率向上策として、本プロジェクトで開発中の要素技術を導入した統合システムを提案し、企業への聞き取り調査等を通じて技術やコストのデータを収集・整理したほか、関東内都県を各種バイオマス発生比率で類型化した。一方、既存生産技術と循環技術の連携を「動脈-静脈連携」と定義し、その形態を整理・分類し、システム効率向上策としての定式的な議論を可能にした。その効果を検証するため、下水汚泥処理システムの事例研究を実施した結果、「間接連携」による二酸化炭素削減効果が大きいことが示された。

プロセスシミュレーションに関しては、これによるシ

ステム統合評価の手法を確立し、開発技術の実用性を評価することができた。次の段階では、技術実用化への課題を解決するポイントを明らかにするほか、例えば炭化やバイオエタノール製造等、多面的にシステムを組み合わせた場合の評価等を進めることで、地域適性に応じた統合システム設計の指針としての展開が期待できる。

4 中核研究プロジェクト 4：国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築

(1) 目的

本プロジェクトは、アジア地域における資源循環及び廃棄物管理システムの現状を把握・解析し、その適正管理ネットワークを構築すること、技術的側面からの対応として、途上国における適正処理及び温暖化対策の両立に資する技術システムを提供することを目的としている。すなわち、アジア地域での資源循環の適正な促進に貢献するために、途上国を中心とする各国での資源循環及び廃棄物管理システムの現状を把握・解析し、その適正管理ネットワークを構築することを目的としている。

また、中核研究プロジェクト 4 全体の特徴として、循環型社会研究プログラムの中でも国際的な展開と貢献を目指したものとなっている。グローバル化する経済活動と、実態として既に日本等の廃棄物が中国等へ大量に輸出され資源として活用されている現状を鑑みれば、アジア地域、ひいてはより大きな規模での適正な資源循環の構築は、本プログラムが総合的に目指す日本の循環型社会の将来ビジョンを描く上で不可欠な要素である。

(2) 研究成果の概要

家電・パソコン等の国内・国際フローの分析から、家電 4 品目の推定中古輸出台数が 470 万台程度（2007 年度）あることや、中古ブラウン管テレビの輸出先が規制の緩い国へ変化していること、パソコンについては中古輸出が 200 万台程度まで伸びていることを明らかにした。家電等が金属スクラップに混入して輸出されている現状を明らかにして、有害物質管理や資源回収のために、国内取引や輸出規制強化の必要性を指摘した。アジア諸国での E-waste リサイクルの特徴を把握し、途上国で参照しうる E-waste 管理制度を提示した。

このようなアジア諸国での E-waste の不適正リサイクルについて、土壌やダストなどを通じた環境影響を調査し、重金属とともに希少金属による汚染実態を明らかにした。あわせて土壌汚染の代表性や局在性の把握のための、表層土壌の重金属濃度の平面分布を得た。このほか、国内実験として、基板や E-waste の筐体の燃焼実験を行い、非制御燃焼条件下では PBDEs 等の排出が制御燃焼に比べ大幅に増加することや、臭素系難燃剤（BFR）およびダイオキシン類の排出挙動を定量的に把握した。

東南アジアの埋立地における、各種技術導入に伴う温

室効果排出削減の効果を評価するため、IPCC モデルの地域特異的なパラメータを取得した。準好気性埋立のアジア適応化を評価するため、タイにおいてテストセルとライシメータを用いた実験を行い、水分や空隙の制御が重要であることを示した。また、世界の廃棄物ストリームを三角図上で比較検討し、直接埋立から生物処理や焼却へ移行する都市廃棄物ストリーム形成の一般的な傾向を示した。さらに、準好気性埋立は現状最も優勢な CDM 事業であるメタン回収嫌気性埋立と比較して、温室効果ガス削減において競合可能な技術であることが示された。

液状廃棄物については、中国の農村地域における汚水性状を把握し、中国における生活排水の水量・水質の特性は日本の原単位とは大きく異なっており、地域特性に応じた運転条件の適正化が重要であることが明らかとなった。これに対して、人工湿地によって高度処理と温室効果ガス削減を両立可能な条件を明らかにした。また、生活雑排水の簡易かつ高度な処理システムとして、傾斜土槽法が有望であることが示された。省コスト、高効率な排水処理システムの途上国への普及を推進する上では、地域特性に応じた処理システムが重要であり、その基盤を構築した。

4.1 アジア地域における資源循環システム解析と評価手法開発による適正管理ネットワークの設計・評価

(1) 目的

日本では廃棄物として扱われてきた使用済み製品や材料などが、他のアジア地域では資源として有用に扱われることが近年多くなっており、国際規模で取引される循環資源の量が増加している。一方、経済成長に伴い、アジア各国での廃棄物発生量も増加している。

本サブテーマは、有害性と資源性の観点から注目される電気電子機器廃棄物（E-waste）などに焦点を当てて、アジア地域での資源循環の適正な促進に貢献するために、途上国を中心とする各国での資源循環の現状を把握・解析し、その適正管理ネットワークを構築することを目的としている。

(2) 方法、結果及び考察

本研究では、1) 家電・パソコン等の電気電子機器廃棄物（E-watse）や廃プラスチックに関する国内・国際資源循環の現状把握、2) 金属スクラップの発生・輸出実態把握と適正管理方策検討、3) アジア地域における E-

wasteの処理実態と管理制度の分析、4) 適正管理ネットワークの活用・設計、の4つの課題に取り組んだ。以下、これらの課題ごとに、その方法、結果および考察を記す。

1) 家電・パソコン等の電気電子機器廃棄物 (E-waste) に関する国内・国際資源循環の現状把握

① 家電製品 (国内を中心とした物質フロー)

電気電子機器廃棄物 (E-waste) の中でも家電 4 品目 (ブラウン管式テレビ (以下、特記ない限りテレビ)、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機) について、経産省・環境省の推定を修正しながら、「見えないフロー」を含む国内フローの推定を行った。また、リユース目的の中古輸出台数について、国内フローから得られた推定量と、貿易統計を用いた推定量とを比較しながら考察した。

2007年度における4品目の排出台数を2,184万台と推定したが、その半数程度が家電リサイクル法に基づくメーカーのリサイクルプラントに入らずに量の把握が困難な「見えないフロー」となっていると考えられた。国内フローの推定結果では、リユース目的の中古輸出台数は480万台であり、そのうちテレビが半数程度の204万台と大きく、エアコン137万台、冷蔵庫74万台、洗濯機65万台と推定した。

一方、貿易統計の単価区分を用いて行った推定からは、4品目のリユース目的の中古輸出台数は2007年で259万台となり、テレビ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機はそれぞれ217万台、24万台、153万台、2.6万台となった。前述の推定と比較して、最も多いテレビでほぼ同数であるものの、他の3品目で差が大きい結果、4品目全体では貿易統計による推定が過小となっている。この原因として、

少額貨物として貿易統計計上除外の製品があることや、エアコンなどの金属スクラップへの混入があることが考えられた。

また、2008年からは財務省の輸出品目分類において、家電4品目から中古品目新設も行われたが、これにも貢献した。

② 家電製品 (アジア規模での物質フロー)

日本・中国・香港の貿易統計を利用して、2001年以降のテレビの貿易量を分析した。図4.1に2006年と2008年における日本からの中古ブラウン管テレビの輸出フローを示す。なお日本においては、ブラウン管テレビから液晶・プラズマの薄型テレビへの転換が進み、2009年5月の家電エコポイント制度導入や2011年7月のアナログ放送終了を控え、2009年より使用済みブラウン管テレビの排出が増加することとなった。

中古ブラウン管テレビの輸出台数は2000年以降、ほぼ年間220~230万台レベルで推移しており、特に輸出量の多い香港向けも150万台とほぼ変化がなかった。しかしながら、2006年4月における香港の輸入規制強化が日本国内で2007年6月に通知されてからは、香港向けの輸出量が減少して、結果的に輸出先は規制が緩い他国へ変化していた。相手国の環境保全と輸入規制にも十分配慮したアジア規模での中古品貿易の管理が必要である。

また、日本からの中古電気電子製品の輸出が多いフィリピンに対して、梱包・積載・輸送状況を把握するために、日本からフィリピンへ輸入された中古電気電子製品のコンテナ積載率、輸送による破損率、修理可能率、残渣率などを調査した。日本の輸出業者の協力のもと、中古テレビを積載した40フィートコンテナ1本分を追跡

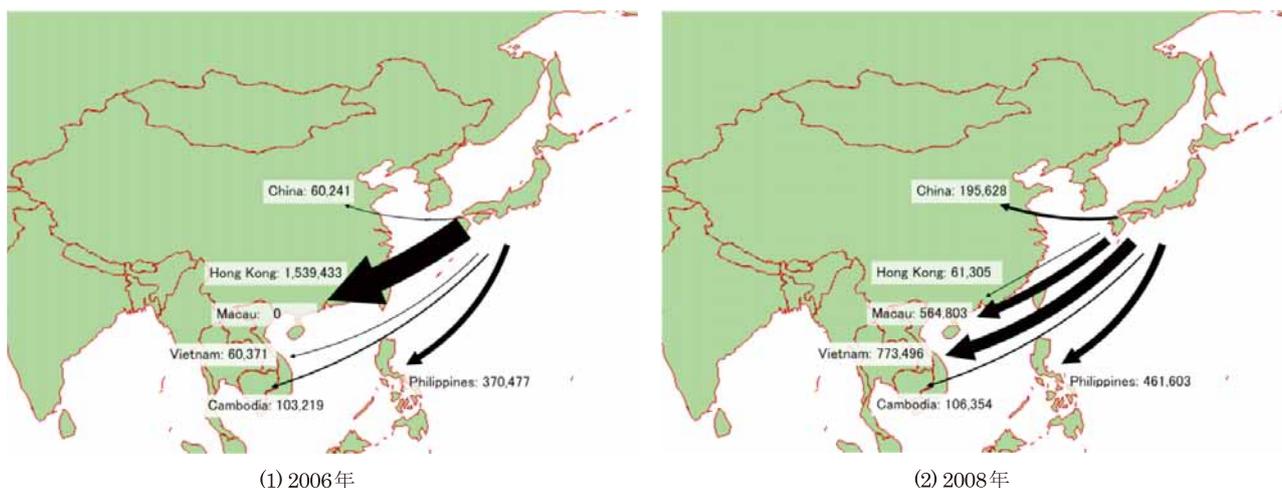


図4.1 2006年と2008年における日本からの中古ブラウン管テレビの輸出フロー (単位: 台)

調査した結果、フィリピン到着時の外装の破損率は3%程度と考えられた。すべての輸入中古テレビは、変圧器の取り付けとチューナーの改造・交換といった調整が必要になる。そのうち故障・破損しているテレビについては、追加の修理・修繕が行われるものの、その後は中古品として販売された。今回の調査結果からは、残渣として埋め立てられるものは非常に少ないと考えられた。ただし、処分場の近郊では、ブラウン管チューブをハンマーで破壊して金属部品等を取り出す様子や、細い電線を焼いて金属を回収する様子も見られ、有害物質の人体に与える影響および環境中への飛散が懸念された。輸出入の管理とともに、現地での使用済み製品の解体処理と廃棄に伴う環境保全を考慮する必要がある。

さらに、アジアでの電気電子機器の解体と部品・素材の流通状況を把握する一例として、ベトナムのハイフォン市のある廃家電解体工場で、実際に解体される家電製品などの回収部品・素材の種類・重量・価格などの情報を詳細に調査した。対象としては、現地で実際に解体されているものを考慮して、テレビ、ラジカセ、ビデオデッキ、パソコン、固定電話の5種類とした。CRTを含めて全て売却され、逆有償の残渣は出ないという回答が得られたが、これは残渣も基板か鉄に混入させて売却しているためと考えられた。売却先について、鉄、銅、アルミ、プラスチック等はベトナム国内のリサイクル村に運ばれる場合と中国に輸出される場合があり、基板は直接、中

国に輸出されていることが明らかになった。基板以外にも、ベトナムと中国の国境地域では中古のテレビとモニタが中国へ向けて多数流入していることが確認された。

③ パソコン

使用済みパソコンについては、物質フロー分析の誤差最小化法を用いて、2000、2001と2004年度のデスクトップ（本体）およびノートパソコンのフローをそれぞれ推計し、リサイクル制度の施行前後の変化を把握した。

その結果、2000年度は、排出台数392万台のうち67.4%が国内処理・リサイクルされ、24.4%が国内でリユース、8.2%が海外へ輸出されたと推計された。家庭系パソコンのリサイクルが開始された後の2004年度は747万台が排出され、国内処理・リサイクル、国内リユースおよび海外輸出の割合は37.1%（277万台）、36.5%（273万台）、26.4%（197万台）と推計された（図4.2）。事業所から販売店への引渡し台数の増加が国内リユースの増加に、リース・レンタル業者から中古品取扱業者（古物商）への引渡し台数の増加が海外輸出の増加にそれぞれつながったと考えられた。また、中古品取扱業者関連団体等の中古パソコン国内販売台数や貿易統計に基づいた中古輸出台数の推計値と、本研究の推計結果を比較し、妥当性について確認した。

④ 廃プラスチック

PETボトルを中心とした廃プラスチックについて、国内における排出・フローを各種統計を用いて調査した。

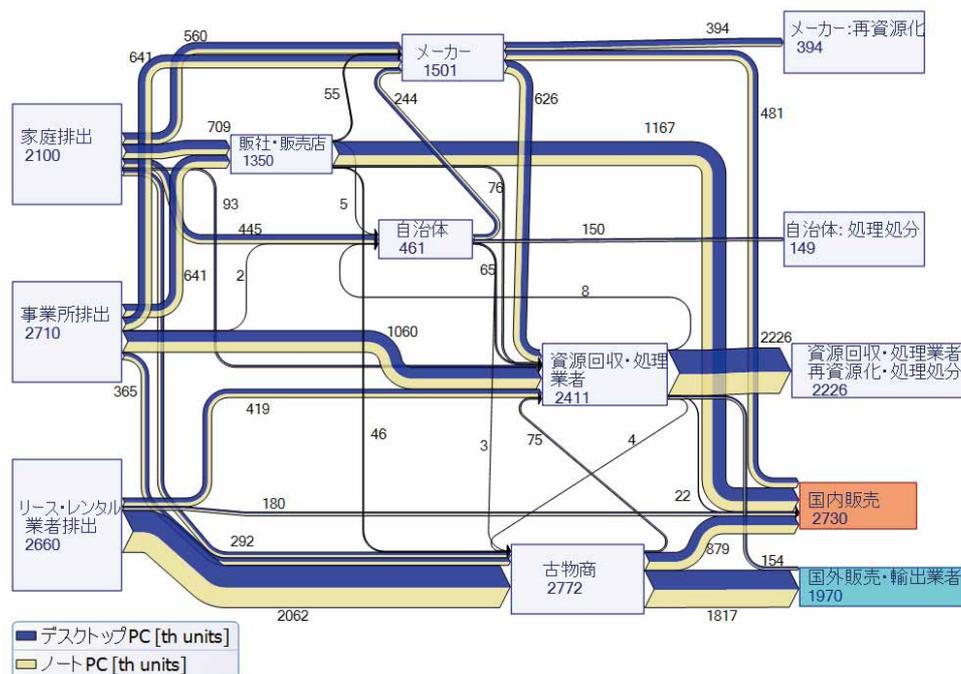


図 4.2 2004年度の使用済みパソコンの国内フロー推定結果

また、貿易統計を用いて、廃プラスチックの貿易量を明らかにするとともに、現地調査などで中国のリサイクル状況を調査した。

容器包装リサイクル法に基づくPETボトルの再商品化事業者の落札単価は年々低下してきた。2006年度の入札で「買い取り」（有償入札）が初めて認められて以降、使用済みPETボトルの市場価格は大きく変化している。関係主体の取引に注意しながら国内における使用済みPETボトルのマテリアルフローを検討したが、廃PET輸出量40万トン（2009年度）はその半分程度しか由来を説明できなかった。このため、未把握のPETや国内回収向けとされているものの混入の可能性を含めて、国内フローの全体を再検討し、安定的で持続可能なリサイクルを構築する必要性を指摘した。

日本・中国・香港の間の廃プラスチックの貿易量を分析した。2008年秋の経済危機の後、中国におけるPET需要は再び大きくなっている。「輸出入量整合指数」を用いて輸出国と輸入国の貿易量の違いを調べた結果、日本と中国の間はほぼ整合がとれている一方、中国と香港の間や、廃PETの場合は日本と香港の間で整合がとれていないことがわかった。

中国における廃プラスチックリサイクルについて、現地調査を実施した結果、廃PET、廃PET以外の廃プラスチックともに、工場ロスよりも使用済み品の使用比率が高いとみられた。再生処理の流れは、原形から破砕・洗浄によってフレーク化、ペレット化された後、短繊維といった順に加工される。輸入された廃PETは、フレーク化やペレット化までを実施する施設が多い。製品製造は別施設で実施されていた。洗浄排水の処理は大規模の企業に限られ、残渣の処分とともに、環境配慮面の課題として挙げられる。

2) 金属スクラップの発生・輸出実態把握と適正管理方策検討

有害物質管理・資源回収の観点から、金属スクラップの発生・輸出の実態を解明し、適正管理方策に資する知見を提示することを目的として、発生・流通状況を概観し、品目・組成調査と有害物質などの調査分析を行った。

金属スクラップは産業系と家電・OA機器系が別の形態で流通しており、中国の輸入規制に対応して、原形をわからないように破壊する事業者も出現していた。金属スクラップはほとんどが鉄スクラップのうち「その他のもの



図 4.3 品目調査を実施した金属スクラップの例

」として中国へ輸出され、年間輸出量は130～200万トン程度と推定できると考えられた。

約10トンを合計3回実施した品目調査（図4.3に例を示す）の結果、概して産業系が70%以上と多い一方、回収業者からの集荷が多い場合は家庭系が半分以上と多いこともあった。産業系では各種機械類が多く、家庭系では家電リサイクル法対象または対象外の家電類が多数を占めていた。家電類はリサイクル費用や粗大ごみ処理費の支出を敬遠され、回収業者を通じて集荷されていると考えられる。石油器具・バイクやプラスチック分の多い家電類などについては、安全で効果的な資源回収を国内で検討すべきであろう。

金属スクラップに含まれる電気電子機器から、ハンダ・メッキや電子部品に含有されている鉛が検出され、バーゼル法で規制されている基準を超過するケースがあった。フロン類については、エアコン内にCFC12が残留していた例を確認したが、フロン回収・破壊法や家電リサイクル法に基づくフロン回収の徹底が求められる。

組成調査の結果によれば、国内の機械破砕・選別を用いることで、品目によって80%から90%程度の原料を回収できることがわかった。手選別で回収している中国に及ばないものの、国内でも機械によって効率的な資源回収ができる可能性を示すと同時に、ダスト発生量の削減が課題と考えられる。家電4品目は全排出重量に対して1.5%～23%程度に相当し、資源回収の点からも無視できない可能性が示唆された。有害物質管理や資源回収のために、国内取引や輸出規制強化の必要性を指摘した。

3) アジア地域における E-waste の処理実態と管理制度の分析

ベトナム、フィリピン、インドネシア、中国のFormal

とInformalセクタにおけるE-wasteのリサイクル状況を調査し、作業プロセスおよび物質フローを把握した。また、フィリピンおよびインドネシアの貴金属回収現場において、金・銀回収の詳細なプロセスを調査した。

現地調査の結果、E-wasteは自転車やバイクで回収者によって家庭などから回収され、修理店や一般家庭の解体者などのInformalセクタによって解体されていた。分別された素材は大きな業者、ジャンクショップや輸出業者などに売却され、残渣や砕かれたブラウン管ガラスは一般ごみとして埋立処分されていた。貴金属回収プロセスはいずれの国でも湿式処理が多く行われているが、溶液として酸またはシアン、及び融点降下のための添加剤としてPbやSnの使用など、対象国や地域でそれぞれの特徴が把握された。

東南アジア諸国ではE-wasteは有害廃棄物の一部に分類され、ライセンスを持つ企業（Formalセクタ）の処理も行われている。しかし、多くは大企業の工場から排出されるものであり、作業コストも高く、有価で家庭系E-wasteを買い取って適正処理できる状況にはない。E-wasteを扱うジャンクショップや市中回収業者に対して、野焼きの禁止、ブラウン管ガラスや残渣の適正処分に関する知識を普及させることが望まれる。

また、このようなアジア地域の途上国においてE-waste管理制度設計の参照とすべく、先進国と途上国で導入または検討されている管理制度の比較分析を行った。すなわち、既存の制度を「生産者が物理的責任をもつ制度」と、「生産者が金銭的責任をもち政府が運営する制度」に分類した上で、管理制度と背景、回収・リサイクルに携わるアクターの役割、E-wasteを制度内に入れるためのインセンティブ、制度施行を確実にするための監視機能等に焦点をあてて検証した。そして、途上国の制度設計で考慮すべき点として、技術的に適正な資源回収が可能である品目を管理対象とすること、関連アクターに対しインセンティブと併せて適正管理を確保するための監視機能を設定すること、そして資源回収すべき量の目標値に加え、回収すべきE-waste量の目標値を設定すること等を提示した。

4) 適正管理ネットワークの活用・設計

以上のE-wasteに関する成果は、2006年から2010年までに計5回主催した国立環境研究所E-wasteワークショップにおいても情報交換がなされ、各国専門家と有益な議

論を行うことができた。このほか、アジアにおける廃棄物の不法輸出入防止ネットワークや、日中の廃棄物輸出入に関する関係省庁連絡会議など、行政の各種ネットワークにも参加して、アジア地域の資源循環の適正管理のあり方に関して議論した。

(3) まとめ

国際資源循環の物質フロー分析として、家電・パソコン、廃プラスチックについて、物質フローの分析を行った。家電は4品目の推定中古輸出台数が480万台程度（2007年度）あること、中古ブラウン管テレビの輸出先が香港から他の地域へ変化していること、中古品輸入国としてのフィリピンでの残渣発生率、ベトナムでの解体調査から廃基板が中国へ集中していること、などを示した。パソコンについては国内フローを精査の上、中古輸出が200万台程度まで伸びていることを明らかにした。廃PETの輸出実態と中国でのリサイクルの現状を整理し、貿易統計や国内リサイクルの課題を示した。家電などが金属スクラップに混入して輸出されている現状を明らかにして、安全で効果的な資源回収やフロン回収の徹底の必要性を示した。アジア地域のE-wasteリサイクルについては、作業プロセスを現地調査し、その特徴を把握した。また、途上国で参照しうるE-waste管理制度を提示した。

以上の成果は、国立環境研究所E-wasteワークショップでも各国専門家と共有するなど、研究者ネットワークの構築にも寄与した。

4.2 アジア諸国における資源循環過程での環境影響把握

(1) 目的

アジア諸国におけるE-wasteの資源循環過程に伴う環境汚染について、その概要を把握するとともに、資源循環過程との関係性の解釈を試みることを目的とする。これによって、資源循環過程における作業環境曝露や環境排出を低減するための対応策の検討につなげる。

(2) 方法、結果及び考察

海外において、フィリピン、ベトナム、インドネシアのE-wasteリサイクルサイトにおける環境影響把握などに取り組んだ。以下では、そのうちの主要な成果として、2.4.1でも紹介したフィリピンのE-wasteリサイクルサイトにおいて、重金属および希少金属の濃度レベルを評価

した結果を報告する。また、アジア諸国での類似調査において測定した土壌濃度の代表性を検証するために、E-waste リサイクルサイト敷地内の表層土壌における重金属濃度の平面分布を調査した。

1) 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

① 方法

人の健康影響に与える媒体の一つとして、E-wasteの解体・破碎等の工程で発生する重金属を高濃度に含んだダストが挙げられる。E-waste中には重金属以外に希少金属も使用されているが、希少金属の濃度レベル評価は新規性の高い課題として残されている。本研究では、フィリピンの E-waste リサイクルサイトの土壌およびダストの重金属11種 (As, Cd, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, Zn) および希少金属2種 (Ag, In) の濃度レベルを評価した。E-wasteリサイクルサイトとして、正規企業の工場 (Formal) および非正規・小規模なジャンクショップ (Informal) に着目した。

2010年2月および8月の2回にわたりマニラ (フィリピン) 周辺地帯複数のE-wasteリサイクルサイトから敷地内土壌 (formal, $n=6$; Informal, $n=7$)、作業環境ダスト (Formal, $n=11$; Informal, $n=6$)、および対照土壌 (Control, $n=1$) を採取した。1 mm 篩下の試料を風乾し、均一に整えたものを硝酸・塩酸 (1:1 混合) 分解に供し、溶解性分を ICP-AES および ICP-MS で分析し元素濃度を求めた。本法は通常の王水分解にくらべ塩酸量が少ない分解方法であったため、マトリックスの異なる6種類の環境標準試料による回収率確認を行い測定可能な元素を特定した。SPSS ver.19を用い、常用対数化データに分散分析 (ANOVA) を適用し、等分散性を示した場合Tukey-Kramer

法により多重比較を行った。不等分散を示した Se, As, Mn, Feに関しては、ノンパラメトリックな中央値検定を行った。

② 結果と考察

精度管理: 認証値等の示された異なるマトリックス (褐色森林土、火山灰土壌、池底質、海底質、工業汚泥、室内ダスト、計6種) の標準物質のうち、回収率について80%以上と60-80%が過半数以上示したのは、In, Se, Pb, Co, As, Zn, Ag, Mn, Cd, Fe, Cu, Niの12元素であった。回収率の高い元素のうち、Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Znの9元素が $\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:3$ (通常の王水) による酸分解を用いた先行研究と共通した。As, In, Seの3元素は測定していないため、文献比較による妥当性評価はできていない。先行研究で80%以上の回収率を示し、かつ本研究で62%の回収率 (海底質) を示したSnも分析対象に含めた。

Formal サイト: 図 4.4 に元素の濃度レベルを示す。Controlに比べ、敷地内土壌中では8元素 (Cd, As, Co, Mn, Ni, Zn, Pb, Fe) で同程度、4元素 (In, Ag, Sn, Cu) でそれ以上の濃度だった。作業環境ダスト中のAs, Ag, Ni, Zn, Pb, Sn, Cu, Fe濃度は工場敷地内土壌に比べて有意に高く、Se, Co, Mnで有意差はなかった。Cdは敷地内土壌の全6点中5点で検出下限値以下であったことから、作業環境ダスト中Cdが土壌よりも高値であるといえる。InはFormalサイトの土壌およびダストのみで検出された。

Informal サイト: Controlに比べ敷地内土壌のAs, Co, Mn, Ni, Feは同程度の、Ag, Cd, Zn, Pb, Sn, Cuは高い濃度を示した。敷地内土壌に比べ作業環境ダスト中のAg, Ni, Zn, Sn, Cuは有意に濃度が高く、Cd, As, Co, Mn, Pb, Feは有意差のない濃度であった。

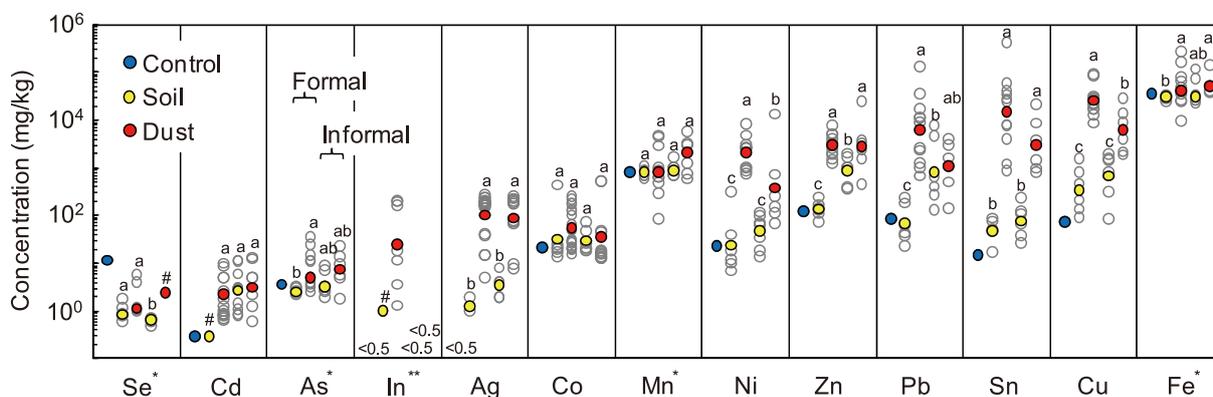


図 4.4 土壌およびダスト中元素の濃度レベル

表 4.1 有意な相関を示した元素対

		Soil&Dust	
Soil	Dust	Soil	Dust
Cu-Ni	Ni-Pb	Fe-Mn	Fe-Mn
Fe-Pb	Cu-Sn	Co-Ni	Co-Ni
Fe-Se	<i>Fe-Sn</i>	Ag-Pb	Ag-Pb
Ag-Sn	<i>Mn-Sn</i>	Cu-Pb	Cu-Pb
Ag-Zn	Pb-Sn	Cd-Zn	Cd-Zn
Cu-Zn	Co-Zn	Ni-Zn	Ni-Zn
Pb-Zn			
Fe-As			
Pb-As			
Sn-As			

$p < 0.05$, in bold, $p < 0.01$

Italic, negative

土壌とダスト：有意な相関を示す元素対を解析した結果、土壌で10対、ダストで6対、土壌・ダスト共通で6対存在した（表 4.1）。ダストおよび土壌の元素組成の違いを反映した結果と考えられる。

考察：敷地内土壌のAg、Sn、CuはFormal/Informal共通で、InはFormalのみで、Cd、Zn、PbはInformalのみでControlよりも高い濃度であり、土壌汚染が示唆された。ダスト中のAg、Ni、Zn、Sn、CuはFormal/Informal共通で、As、Pb、FeはFormalのみで敷地内土壌よりも有意に高い濃度であり、3種類のマトリックスのなかで最大の汚染レベルであった。敷地内土壌のZn、PbはInformalがFormalよりも有意に高い濃度を示し、Seはその逆に有意差を示した。ダスト中のNi、CuはFormalがInformalよりも有意に高い濃度を示した。ダスト中のPbおよびCuは中国のE-wasteリサイクルサイトのダスト濃度レベルより、それぞれやや低値および高値を示した。Agはナノ粒子としての毒性が懸念されており、Ag高濃度ダストによる健康影響の可能性が示唆される。Formalのみで検出されたInは薄型フラットパネルや太陽光パネル中に使用され、肺毒性の懸念されるIn化合物由来であると思われる。

従来型の重金属汚染以外に、流通するE-wasteのハイテク化等により、リサイクルサイトの汚染元素群が将来的に変化する可能性がある。

2) E-waste リサイクルサイト敷地内の表層土壌における重金属濃度の平面分布

① 方法

フィールド調査の際に得られる環境試料は、その採取

数に限りがあり、必ずしもフィールドの汚染実態を適切に反映しているとはいえない可能性がある。本研究では、フィリピンのジャンクショップ敷地内を対象として、3種の重金属（Pb、Zn、Cu）の表層土壌濃度をその場で（on-site）測定し、濃度の平面分布を調べるとともに、汚染の局在性についても検討を行った。

2010年8月にマニラ（フィリピン）にあるジャンクショップの敷地内において実施した。敷地面積は10m×14m以下と小規模であった。パソコン、ブラウン管テレビ、基盤、冷蔵庫など多量のE-waste以外にも、プラスチックボトル、塗料缶がバイクなどで搬入され、リサイクルされていた。可搬型の蛍光X線分析装置により、敷地内の表層土壌の重金属濃度を測定した。測定点の間隔は歩幅間隔（約70cm）程度とし、測定時間は約30秒とした。

② 結果と考察

敷地内の汚染状況：E-wasteリサイクルサイト内部および外部の表層土壌の測定値を比較評価した結果、Pb、Cu、Znの3種全てにおいて敷地内の方が高濃度に汚染されていることが分かった。敷地内の濃度の中央値は、いずれの重金属も居住区域における土壌清掃基準（米国、ニュージャージー州）を超えた値であった。敷地外部に関しても通常の汚染されていない土壌に比べて高い濃度レベルであった。

平面分布：Pb、Cu、Znの汚染が認められたE-wasteリサイクルサイト敷地内の表層土壌に対して、平面的な濃度のばらつきを調査した。結果の一例（Pb）を図 4.5 に示す。敷地内全体が均一に汚染されておらず、かつ重金属の種類によって高濃度の汚染ポイント（ホットスポット）が異なることが明らかになった。必ずしもE-wasteが積み上げられている山の近くの表層土壌が汚染されている訳ではなかった。このことは、サイト内での解体等の作業、搬入・搬出の活発な場所、過去のE-wasteの集積状況などが複合的に影響した結果であろうと考えられる。

測定値の代表性：一般的に限られた試料数の分析であるフィールド調査では、試料採取点により測定結果が変化する可能性がある。そのため、同一のサイトにおいても複数箇所から試料を採取し代表値を決めることが重要であるとされるが、本研究で対象とした規模の非常に小さいサイトにおいても、歩幅間隔で測定値が大きく異なる可能性を示唆している。本研究により、フィールドでのサンプリングは試料代表性に留意することの重要性が

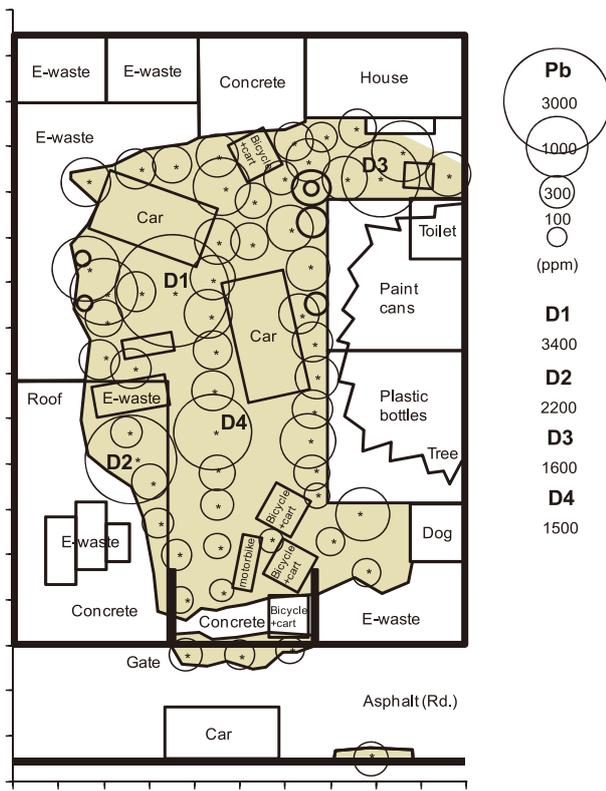


図 4.5 E-waste敷地の濃度ばらつき (Pbの例)

あらためて示された。

(3) まとめ

フィリピンの E-waste リサイクルサイトについて、Formal および Informal それぞれに対して土壌およびダストを汚染している特有の元素の存在、また、どちらにも共通する汚染元素の存在が示された。従来から報告のある重金属 (Pb, Cu, Zn など) 以外に希少金属 (Ag, In) による汚染実態が明らかになった。

E-waste リサイクルサイト敷地内の表層土壌の重金属濃度の平面分布を得ることができた。その結果、重金属の元素 (Pb, Cu, Zn) 間で平面分布が異なっていることが明らかになった。試料採取においてはその代表性に留意することの重要性が示された。

以上のほかにも、国内で廃パソコンの詳細解体・化学分析を行い、基板などに含有される Ag, Au, Cu, Pb などの金属量を求めるとともに、年間の国内資源化量を Au について最大 0.21t などと推定した。また、途上国での E-waste の不適正リサイクルを想定して、国内での模擬実験として、基板や E-waste の筐体の燃焼実験を行い、非制御燃焼条件下では PBDEs 等の排出が制御燃焼に比べ大幅に増加することや、臭素系難燃剤 (BFR) およびダイオキシン類の排出挙動を定量的に把握した。

4.3 途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価 (埋立分野)

(1) 目的

アジア都市域の適正な廃棄物管理拠点として重要な役割を果たしている埋立地について、都市の発展、持続可能性、資源循環の推進などを含めた管理手法の構築を図る。適用技術の効果を適切に評価するための手法を構築する。廃棄物の適正管理と温暖化対策の両立を視野に入れ、有機性廃棄物の埋立回避および準好気性埋立管理などの具体的な方策の技術的な評価を行う。環境低負荷型技術システムや CDM 事業を包括的に評価し、知見のネットワーク化を図る。

(2) 方法、結果及び考察

本サブテーマでは、1) 埋立地からの温室効果ガス排出量算定・観測手法の高度化、2) 準好気性埋立のアジア適応化に向けた検討、3) アジア都市域における廃棄物管理の発展過程と CDM・環境負荷低減対策の評価を行った。以下これらの課題ごとに、その研究手法、結果および考察を記す。

1) 埋立地からの温室効果ガス排出量算定・観測手法の高度化

① 手法

東南アジアにおいて IPCC Waste Model (埋立地からのメタン放出量推計モデル) を用いたメタン放出量の推計精度を向上させ、導入技術の効果を現地で評価するため、同モデルのパラメータの現場測定手法の開発とそれを用いた現地観測をタイ、マレーシア、日本の埋立地において行った。フラックスチャンパー法を応用し、廃棄物分解速度定数 (k)、嫌気性分解率 (MCF)、覆土におけるメタン酸化率 (OX) を、タイ、マレーシア、日本の埋立地において評価した。また、覆土の穿孔前後におけるフラックス差を用いて覆土の透気係数を推定する方法を、数値的な移流分散解析により検証した。傾度法・渦相関法を用いた全放出量計測手法の開発に着手した。また、埋立地からの N₂O 排出挙動の調査を併せて実施した。埋立地内における保有水の挙動把握のため、水みちを亀裂性岩盤モデル適用による、水の流れや溶出、有効間隙率についてパラメトリックスタディーを行った。

② 結果及び考察

タイにおいて複数の埋立地で測定したメタン放出量を

廃棄物量で標準化し、埋立構造やごみ質が類似する複数の処分場のメタン放出量を時系列で並べることにより、0.33/年と算出した。覆土穿孔前後の地表面ガスフラックスをChamber法で測定し、メタンおよび二酸化炭素の比を用いて、MCFおよびOXを現地で評価する手法を提案した。熱帯の埋立地のMCFは、0.5を下回る領域もあったが、総体としては約1.0であり嫌気性埋立であることを示し、準好気性埋立のパフォーマンスを評価できることを示した。また、日本および東南アジアの埋立地において、OXはIPCCガイドラインのデフォルト値よりも大きいこと、メタン酸化率は一定比率ではなく、埋立経過年数や覆土厚等の関数として単位面積あたりの酸化速度として与えるべきことを示した。複数の埋立地からN₂Oの排出が確認されたが、調査地点数に対する検出地点数の割合は極めて小さく、排出量はCO₂換算でCH₄の10分の1から100分の1程度であることが確認された。このN₂Oの発生過程は嫌気的な脱窒過程と好気的な硝化反応過程の双方であった。埋立層の環境に対応したN₂O排出挙動の長期的な変動について注目する必要性が示唆された。立地における准連続的な全放出量観測のため周波数を調整したレーザーメタン検出器を超音波3次元風向風速計と同期させる手法を示した。埋立地内における水みちを亀裂性岩盤モデルによって表現し、保有水の流れや、廃棄物成分の溶出に対する有効間隙率の影響の程度を考察した。

2) 準好気性埋立のアジア適応化に向けた検討

① 手法

熱帯地域での廃棄物分解挙動と準好気性管理の効果を評価するため、タイ王国、ラムチャバン市の廃棄物埋立地内に建設し、地元自治体の都市ごみを埋め立てた容量

7,000 m³ (45m×42m× 4 m) 埋立実験施設 (テストセル) 2 基について、それぞれ準好気性埋立としての管理 (大口径の集排水管とガス抜き管を敷設) および一般的なタイの埋立地としての管理 (ここでは便宜上それぞれ準好気セルおよび嫌気セルと呼ぶ) を行って、浸出水の水質とガス発生量を観測した。また、熱帯の気候条件下で埋立層内の水位や密度が有機物分解に与える影響を評価するため、直径90cm、高さ270cmの4基の円筒状ライシメータを用いた実験を行った。実験条件は、バンコク市内の都市ごみを充填し、準好気I (低密度)、準好気II (高密度)、嫌気I (中水位)、嫌気II (高水位) とし、上部より降水を与えた。

② 結果及び考察

2 基のテストセルにおけるガス排出量を比較した結果、観測開始からおよそ一年のあいだ一貫して、嫌気セルの表面からの排出量に比較して準好気セルの表面およびガス抜き管からの排出量は総じて少なく、ガス中のメタン・二酸化炭素比にも大きな差は見られなかった。浸出水質については、COD濃度は嫌気性セルが好気性セルより高かったが、両セルのBOD濃度にはほとんど差がなかった。準好気性セルは嫌気性セルに比べて有機物の分解の程度が小さいことが推測された。この原因として、埋め立てられた廃棄物の性状が両セルで大きく異なる、あるいは準好気性セルでは生物分解制限されているの二つが考えられた。比抵抗断面図 (図4.6) において示された低比抵抗領域を含水率が高い領域であるとする、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ことが推測された。すなわち、埋立地内部の乾燥により生物分解活性低下した可能性が挙げられた。また、準好気性管理下においたライ

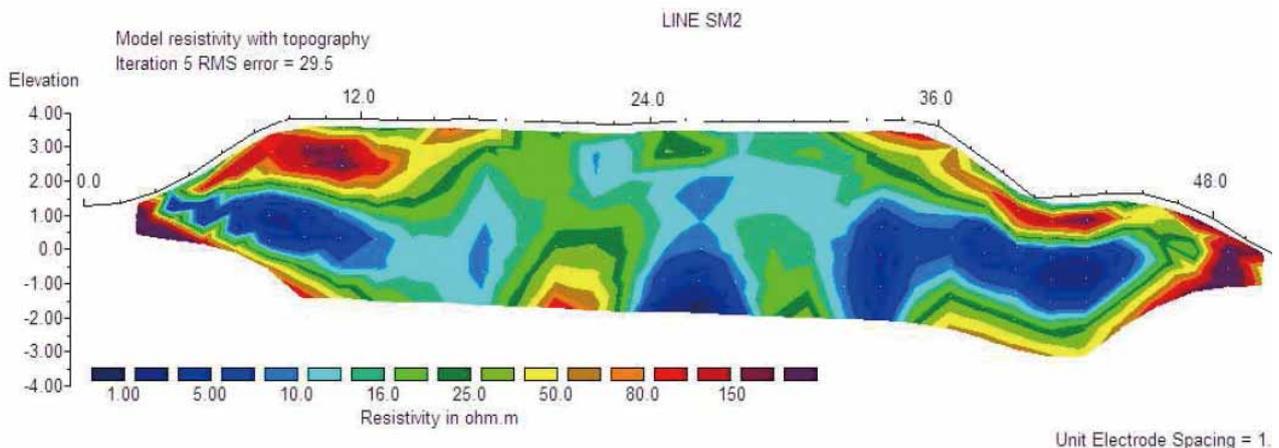


図 4.6 準好気性セルにおける比抵抗分布

シメータにおいて評価した MCF は廃棄物を低密度充填したもので0.77、高密度充填で0.98であり、後者は準好気性埋立としてほとんど機能していなかった。熱帯地域で準好気性埋立を緩和技術として十分に機能させるためには、廃棄物層内の乾燥を防ぎつつ、大気が浸透する空隙を確保するため、廃棄物層への降水の浸透量と廃棄物層からの排水量を調節することがクリティカルであることが示された。

3) アジア都市域における廃棄物管理の発展過程と CDM事業・環境負荷低減対策の評価

① 手法

東アジア地域の廃棄物管理の行政および学術関係の専門家を招聘し、アジアにおける廃棄物管理の改善と温室効果ガス削減に関してワークショップ (SWG) を全 5 回開催し、地域における廃棄物管理、温暖化対策、政策動向に関する現状の情報収集および知見の共有、研究成果の検証と発信を行った。またバンコクにおいて成果の発信を目的としたシンポジウムを開催した。SWG および文献調査より、世界の国または都市における廃棄物ストリームと廃棄物フローを把握・整理し、直接埋立、焼却処理、生物処理の割合を三角図上に示した。また、東南アジア 8 カ国の中央政府及び主要都市 (主に首都) において、都市廃棄物の収集・処理フロー、物理組成等の都市廃棄物管理データを収集した。ベトナム国の90の都市環境公社に対して都市廃棄物管理に関する調査票を配

布した。さらにハノイ近郊の 15 社の工場を有する企業 (製造業) に対して、廃棄物の排出量、品目、ならびに排出先 (処理技術) についてアンケート調査を実施した。その上で、ハノイ市を対象に現状シナリオとごみ処理を改善する 4 つの代替シナリオを設定し、IPCCガイドライン、化学量論計算およびIWMモデルを用いて、環境影響と温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、埋立処分量、認証排出削減量ポテンシャルを評価した。また、ベトナム国において人口統計等を用いて 2010 年から 2025 年までの都市廃棄物排出量を推計し、現状維持と国家戦略の再資源化目標利率を達成する 3 つの代替シナリオについて温室効果ガス排出量の推移を予測した。

② 結果及び考察

世界の廃棄物ストリームを三角図上で比較検討し、直接埋立の割合が大きい初期の段階では生物処理が主要な埋立前処理の一つとなっているが、より多くの直接埋立の削減のために主に焼却処理が導入されるという都市廃棄物ストリーム形成の一般的な傾向を示した (図 4.7)。また、GDPと比較することにより埋立前処理の導入は経済成長と関係することを示した。アンケート調査により東南アジアの主要都市とベトナムの都市における都市廃棄物、ハノイ市周辺の製造業廃棄物の組成とストリームを示した。都市廃棄物中の厨芥割合はIPCCによるデフォルト値よりも大きかった。排出量の変動には季節変動、世帯人数、調理用熱源などの地域特性が反映されており、結果の代表性や原単位調査に向けた現地での継続的な調

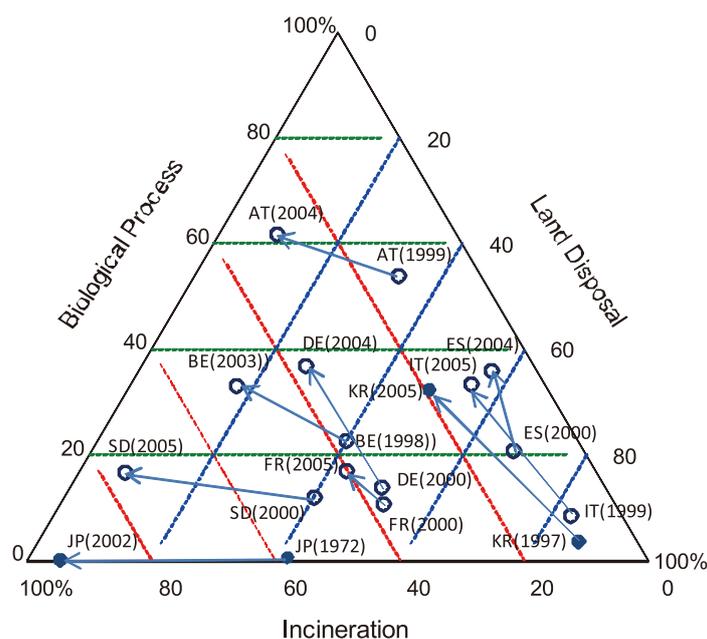


図 4.7 欧州とアジアにおける都市ごみストリームの変遷 (国名はISO 3166-1 alpha-2で表記)

査の必要性が示された。2008年実績でベトナム国の都市廃棄物の収集原単位は636 g/人/日で、収集された都市廃棄物の4%はコンポスト処理され、96%は嫌気性埋立されていた。製造業から発生する有機性廃棄物は炭素換算で90%以上は再生利用されており、埋立処分へと向かうフローは5%に過ぎなかった。非公式部門での有価物の取引市場規模は都市によって異なるが、ベトナム国内で最も活発なホーチミン市では、ジャンクバイヤー（家庭等から有価物を購入して回収する人）の収入は一般市民の平均と同程度に達していた。社会経済の発展・成熟の過程で同市場は大きく変化すると考えられ、将来的な都市廃棄物管理上の対策が必要であることが示唆された。事業者（レストラン、ホテル等）による廃棄物分別の動機付けには有価物（飼料化目的に回収される生ごみを含む）売却収入だけでなく収集手数料削減が働いていることが示された。ハノイ市の廃棄物処理システム改善のためのシナリオの中では、中間処理として嫌気性発酵とコンポスト化を併用するシナリオが、多くの側面において環境影響が少なく、望ましい代替シナリオであった。ベトナム国の国家戦略で設定された都市廃棄物に関する将来の管理目標値を達成するため、コンポスト処理型、メタン回収嫌気性埋立型、準好気性埋立型の代替シナリオを導入した際の温室効果ガス排出量を評価した。2010年から2025年までの積算でベースラインシナリオのそれぞれ51.3%、77.1%、79.4%であり、準好気性埋立がCDM事業として一般的なメタン回収嫌気性埋立と温室効果ガス削減において競合可能な技術であることを示した。

（3） まとめ

以上、本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 東南アジアの埋立地における、各種技術導入に伴う温室効果ガス削減の効果を評価するため、IPCCモデルの地域特異的なパラメータを取得した。廃棄物分解速度定数および覆土におけるメタン酸化率が得られたほか、嫌気分解率の現地調査手法の確立し、準好気性埋立の導入効果が評価可能であることを示した。埋立地からの N_2O の排出量は少ないが、長期的な埋立地安定化や技術導入による環境条件の変化による影響に留意する必要性が示された。渦相関法による埋立地ガス全発生量評価の適用可能性が示され、算定手法の検証やCDM事業効果の現地評価などへの適用が期待される。
- 2) 準好気性埋立のアジア適応化を評価するため、タイ

において実施したテストセル実験の初期挙動として、準好気性セルでは、嫌気性セルに比べて廃棄物分解の速度が遅いことが示された。その要因としては両セルの水分の分布状況の差が考えられた。また、ライシメータ実験においては、高密度での廃棄物充填が準好気的管理を困難にすることが示された。熱帯地域で準好気性埋立を緩和技術として十分に機能させるためには、廃棄物層内の乾燥を防ぎつつ、大気が浸透する空隙を確保するため、廃棄物層への降水の浸透量と廃棄物層からの排水量を調節することがクリティカルであることが示された。

- 3) 世界の廃棄物ストリームを三角図上で比較検討し、直接埋立の割合が大きい初期の段階では生物処理が主要な埋立前処理の一つとなっているが、より多くの直接埋立の削減のために主に焼却処理が導入されるという都市廃棄物ストリーム形成の一般的な傾向を示した。東南アジア主要都市における、都市廃棄物の管理実態を調査し、排出量、収集・処理フロー、物理組成等の基本情報を取得するとともに、排出実態の多様性を明らかにした。ハノイ市を対象に現状シナリオとごみ処理を改善する4つの代替シナリオを設定し、中間処理として嫌気性発酵とコンポスト化を併用するシナリオが、多くの側面において環境影響が少ないことが示された。また、準好気性埋立は現状最も優勢なCDM事業であるメタン回収嫌気性埋立と比較して、温室効果ガス削減において競合可能な技術であることが示された。これらの知見を東アジア地域の廃棄物管理の行政および学術関係の専門家と共有する目的でSWGAワークショップを全5回開催し、研究成果の検証と発信を行った。

4.4 途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価（液状廃棄物分野）

（1） 目的

アジア地域での廃棄物対策・資源循環の適正化に貢献することを目指し、途上国を中心とする各国での資源循環、廃棄物処理に関する現状把握および技術的側面からの対応として、適正処理および温暖化対策を両立する途上国に適合した技術システムの設計開発と適用による評価研究を推進する。

液状廃棄物分野においては、アジア太平洋地域を重点として環境低負荷資源循環技術開発研究を推進してきて

おり、国立環境研究所の共同研究契約に基づくプロジェクト、TEMM 日中韓三ヶ国環境大臣合意プロジェクト、JICAプロジェクト技術協力（太湖水環境修復モデルプロジェクト）、JICA-KOICA 共同研修プログラム、日中環境保護協定に基づく共同研究等による国際共同研究を実施しているところである。これらの実績を基盤とし、バイオ・エコエンジニアリング研究施設を中核としてカウンターパートとの有機的な連携を図り、効果的に研究を推進することとしている。

(2) 方法、結果及び考察

本研究では、バイオ・エコシステムを適用した技術導入に関して、汚水性状、バイオマス性状、汚濁負荷の質・量特性の調査に基づく地域特性評価を実施するとともに、処理機能解析による処理の高度化を行う。また、廃棄物性状・発生特性に応じた機能解析によるこれらの技術の効率化と地域特性に応じた技術導入に関する検討を行うこととしている。さらに、地球温暖化問題等の環境問題も考慮し、環境低負荷型で低温室効果ガス排出型のシステム開発を行うとともに、農村地域を対象とした省エネルギー、省コスト、省メンテナンスの実用汎用化技術ガイドライン構築を目指す。以下、これらの課題ごとに、その方法、結果および考察を記す。

1) 汚水性状調査

中国環境科学研究院において、アジア地域における研究拠点としての分散型排水処理システム性能評価施設を活用し、中国における生活排水原単位調査を行った。すなわち、集合住宅を対象として、生活排水の水質および排水量の時間変化、季節変動等の調査を行った。

その結果、水量については、日本と同様に1日の間で朝晩の水量ピーク（日間水量変動）が認められた。また、季節による変化も認められ、継続的な調査が必要であるが、中国の生活排水組成は日本国内とは大きく異なることが明らかとなっており、BOD/N比が低く、高濃度・低水量という特性を有することが示唆され（表 4.2）、アジア地域に適合した液状廃棄物対策技術開発の重要な基礎的知見を得ることができた。さらに、今後の継続調査解析について、中国農村汚水処理技術北方センターとの連携強化を図った。また、様々な処理技術の制約条件の調査を進め、管理主体、対象排水、地理的制限、文化・宗教的制限等の観点から、中国農村地域を中心とした液

表 4.2 我が国および中国での生活排水の特性比較

	SS	BOD	T-N	T-P	水量(L)	BOD/N
日本の原単位濃度(mg/L)	160	200	45	5	200	4.4
環科院データ(mg/L)	230	206	88.3	12.2	145	2.3
日本の原単位(g/人・日)	32.0	40.0	9.0	1.0	200	4.4
環科院データ(g/人・日)	33.2	29.8	12.8	1.8	145	2.3

状廃棄物処理技術の最新情報の整理を行い、適応地域の地域的・社会的制約条件に見合う適切な処理技術を選択するための基盤を構築した。

2) 汚水性状の違いを踏まえた低コストな汚水処理技術としての人工湿地システムの開発

途上国対応型適正処理システムとして、ミニマムコスト、ミニマムメンテナンス型の処理システムである人工湿地を用いた。人工湿地を含む湿地帯は、温室効果ガス（Greenhouse Gas：GHG）の発生源の一つと言われており、人工湿地を排水処理として用いる場合、水質浄化特性と同時に温室効果ガスの発生特性を把握する必要がある。実際に、実験中の人工湿地からは、CH₄ および N₂O ガスの発生が確認されており、地球温暖化の観点からみても、人工湿地のGHG削減対策は重要な課題となっている。

中国の生活排水事例についての調査の結果、我が国の生活排水原単位と比較して、BOD/N比が低いこと、濃度が高く、水量が小さいことなどの特性が明らかとなったことから、実生活排水を実験装置に供給可能な設備を備えたバイオ・エコエンジニアリング研究施設において、低コストな汚水処理技術としての人工湿地システムでの処理性能解析を行った。人工湿地（CW）は3種類の流下方式（FWS：表面流方式、SF：浸透流方式、VF：垂直流方式）に加え、これら3種の組み合わせ方式（Combined）についても検討を行った。なお、人工湿地から発生する温室効果ガス（CH₄、N₂O）についても測定し、温暖化対策と廃棄物対策の両立を目指した人工湿地システムの最適化のための実験的検討を行った。

人工湿地における汚濁負荷の除去率は比較的高く、特に垂直流人工湿地ではBOD、NH₄-N除去率は90%以上、T-P除去率は80%以上となっている。また、硝化反応は高効率に進むものの、脱窒反応は効率的には進まず、高濃度のNO₃-Nが排出されているのが確認された。この問

題の解決のため、人工湿地における脱窒反応の効率化を目指し、改造を試みた。人工湿地の汚濁負荷処理効率を上げるためには、人工湿地を多段式に組み合わせたハイブリッド型人工湿地が用いられるが、同様に3つの流下方式を組み合わせたハイブリッド型人工湿地（自由表面流→垂直流→水平浸透流）を作成し、更なる高度処理を目指した。このシステムでは、自由表面流および垂直流で有機物除去を、垂直流で硝化反応を、水平浸透流で脱窒反応を行うことを想定した。このシステムでは、流下に重力を用いて無電力で処理水を流下させることができるため、開発途上国でも適用が可能である。このシステム導入の結果、排出されるNO₃-N濃度はわずかに減少したものの、大きな変化はなく、依然として高濃度のNO₃-Nが排出されていた。流下途中の水質を調べてみたところ、脱窒反応を想定していた水平浸透流の系の前段の垂直流の系にて、脱窒反応に必要な有機物がほぼ完全に除去され、脱窒反応に必要な有機物が不足していることを突き止めた。そこで、不足分の有機物を補うために、原水の一部を水平浸透流の系に流入させるステップ流入（Step Feed）システムを導入して引き続き実験を行った。その結果、排出されるNO₃-N濃度が大幅に減少し、脱窒反応の効率化が進んだと考えられた。また、ステップ流入由来のNH₄-NやT-Pの濃度上昇が考えられたが、ステップ流入システム導入前の水質と比較しても、わずか数mg/L程度上昇しただけであった。なお、この時の処理水質は、中国排水基準の中でも一番厳しい、一級基準（A基準）の排出基準をクリアできる水質であった。

一方、人工湿地からのGHG排出量は、ステップ流入導入による脱窒反応の効率化によりN₂O排出量が大幅に減少した。特にN₂Oは温暖化係数が二酸化炭素の310倍もあ

り、環境への負荷も大きいことから、処理システムからの排出N₂O削減には、脱窒反応の効率化が重要であることを明らかにした。さらに、人工湿地から排出されるGHG量を、合併浄化槽等の既存の排水処理システムから直接排出されるGHG量を比較検討したところ、人工湿地はGHG排出量の少ない、環境低負荷型の排水処理システムであることが明らかとなった（図4.8）。

3) 傾斜土槽法による低コスト生活雑排水処理システムの開発

途上国におけるし尿と生活雑排水の分離処理（コンポストトイレ等）のケースを想定し、アジア地域に適応可能な省エネ・省コスト・省メンテナンス型の液状・有機性廃棄物対策技術の開発を進めた。すなわち、微生物の最も機能する土壌表層を活用したシステムである傾斜土槽法について、国内での現場試験を実施し、処理性能のモニタリングを行った。現場が戸別の実家庭（人員は2名）であるため、流入する原水の濃度変動は大きいものの、傾斜土槽の段数を経るに従って各段からの流出水の水質は高度化・安定化する結果が得られた。実際、本試験現場における通年試験の結果を見ると、本処理システムのBOD除去率は非常に高く、処理水の平均BODは10mg・l⁻¹以下であった。SS除去率も同様に高く、実現場において、通年での効率的な処理が可能であることが明らかとなった。

また、栄養塩類の除去機能の強化を図るため、バイオ・エコエンジニアリング研究施設内において、運転操作条件と原水流入パターンおよび有機物、窒素、リンの比率と酸化還元プロセスを踏まえた各段へのステップ流入等の改変による窒素除去の高度化・効率化を図った。傾斜

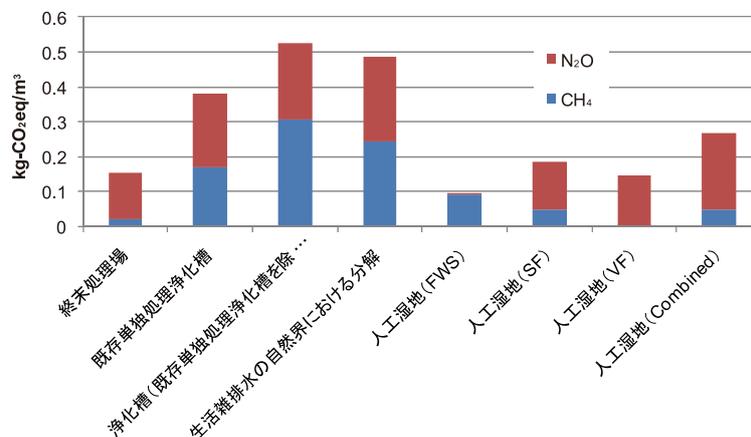


図 4.8 人工湿地システムによる温室効果ガス排出特性

土槽への流入負荷量は同じ ($72L \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) とし、連続流入系と間欠流入系 (8 時間に 1 回流入) における処理性能の比較を行った結果、特に生物学的硝化反応 (アンモニアの酸化) に大きな違いが見られ、定常状態において、安定的な窒素除去率の向上が可能ながことが明らかとなった。

本研究ではエコエンジニアリングとしての傾斜土槽法を用いた生活雑排水処理システムの確立を図り、バイオトイレとの組み合わせによる新しいサニテーションシステムの基盤を構築することができた。本法では、排水分離によって尿の混入がないため、処理水の再利用が容易であるなどの利点を有しており、また本法は、汚濁物質の酸化分解にばっ気 (電力) が不要であり、ランニングコストが安価で、かつ、簡易・コンパクトであることから、適正な運転管理技術を確立することにより、途上国においても高度な処理が可能である。今後、本システムの更なる低コスト化、アジア地域の地域特性に応じた技術適応・普及を推進・展開することにより、大きな波及効果が期待できる。

(3) まとめ

本研究では、アジア地域における低コストで温室効果ガスの発生を抑制した液状廃棄物の適正処理技術システムの構築を目指して検討を行った。中国における生活排水の水量・水質の特性は日本の原単位とは大きく異なっており、有機物、窒素、リンのバランスが異なることから、地域特性に応じた運転条件の適正化が重要であることが明らかとなった。

このような排水組成をベースとして、低コストで維持管理の容易な生態工学技法について実験的検討を行った結果、人工湿地システムにおいては、高い処理性能を有していると同時に、流下方法等の運転条件の最適化により、温室効果ガス、特に N_2O の発生量を大幅に削減することができた。

し尿分離型のサニテーションシステムにおいては、国内事例において生活雑排水の簡易かつ高度な処理システムとして、傾斜土槽法が有望であることが示された。運転操作条件の最適化については、ラボスケールでの試験により、間欠的な流入方法により、その処理性能の向上および安定化が図られることが示された。

また、省コスト、高効率な排水処理システムの途上国への普及を推進する上では、地域特性に応じた処理シス

テムの構築が重要となる。中国等のアジア地域においては、排水濃度が日本のものとは異なるケースも示唆されており、排水組成、経済状況、気候条件、社会条件等の地域的・社会的制約条件が異なることから、人工湿地の植栽植物や傾斜土槽法の充填土壌の変更等、対象とする地域の実情に併せたカスタマイズが重要な位置づけにある。特に、気候、BOD・窒素・リンの濃度および比率等については十分に考慮し、TEMM等のネットワークによる有機的連携を活用しつつ、地域特性に応じたカスタマイズを図ることにより、効果的な対策を提案することが可能となる。

5 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究

5.1 循環型社会に適応した安全・安心な適正処理・処分技術の確立

(1) 目的

各種廃棄物等における埋立的確性の把握と生態毒性や生分解性の評価手法の開発を進め、現行制度では把握が不十分な有害物質等を含む廃棄物や副産物をいち早く特定し、適正な中間処理・資源回収技術へ導く管理手法を示す。さらには、処分場の類型化を進め、埋立処分方法が安定化進行に及ぼす物理的要因を明らかにして管理期間を短縮できる最終処分システムを構築する。処分場ライフサイクルに対応した水処理最適化の室内実験に着手する。また、廃棄物中間処理技術の基本となっている焼却等の熱的処理技術を対象に、循環型社会を支え、低炭素型社会を創造しかつ安全と安心に基づく管理を適切に進めることのできる技術システムの構築を目的とした。

(2) 方法、結果及び考察

排出事業者ならびに産業廃棄物処理業者に対するアンケート調査を行い、実際に取引されている廃棄物・循環資源の特性を明らかにした。また、2種類のトビムシとシマミミズについて、直接暴露毒性試験による生態毒性特性を検討した。

発生源・品目毎に産業廃棄物の発生から資源化・処分までを追跡し、建設混合廃棄物を破碎・選別することによりプラスチック類、木くず、金属類、残さ等が分離される物量(収支)を表現した。また、分離物の組成データを用い、建設混合廃棄物に由来する重金属類等の最終処分量を評価した。

廃棄物最終処分場の安定化促進対策として、埋立物の品質(入れる物)の選定と層内の安定化反応を活性化させる埋立工法(入れ物、入れ方)の改善に関する実験および埋立層反応モデルの数値解析を行い、廃棄物品質と透気性などが早期安定化に及ぼす影響を評価した。さらに、準好気性埋立の構造的要件を検討するため、流体・物質・熱連成解析モデルを構築して、準好気性埋立の構造について理論的アプローチを行った。

廃棄物海面最終処分場の安定化傾向を評価するための洗い出しモデルの構築を行い、溶出試験結果と数値モデルの融合を試みた。また、廃石膏ボードの有効利用促進に向け、硫化水素ガス発生抑制効果についての検討も実施した。

環境安全の面から、排ガス中ダイオキシン類の存在を迅速に把握し、必要な維持管理対応をとることに役立つ指標として有機性ハロゲン濃度に着目し、これを簡易かつ迅速にサンプリングが可能な装置を製作し、これを用いて方式の異なる一般廃棄物、産業廃棄物焼却施設で排ガス中濃度の半連続測定を行い、またダイオキシン類濃度との同時測定を行って両者の関係性等を解析した。

1) 埋立廃棄物識別・技術選択システム

実際に取引されている廃棄物・循環資源の多様性を示し、廃プラスチックと木くずについて材料品質により詳細品目を整理した。また、化学物質含有固体廃棄物に対応した生態毒性評価手法を開発するため、トビムシとシマミミズへの試験試料(埋立対象廃棄物)の直接暴露毒性試験を実施し、トビムシに対する致死毒性は主に高塩濃度が、シマミミズに対する忌避性には高塩、有機化合物及び重金属が関与していることを示した。

2) 持続埋立対応型中間処理技術システム

重金属類は、ほとんどが分離され資源として回収されるが、未だ埋立処分される残さに残存しており、資源循環と埋立廃棄物の質の制御に破碎・選別技術が重要であることを示した(図5.1)。

建設系廃棄物の物流の形成要因を明らかにするため、廃棄物/循環資源の到達点である資源引き取り価格と最終処分料金を把握すると共に、物流の分岐点である破碎選別処理の技術コストを評価した。

建設混合廃棄物処理施設の処理プロセスを調査し、重量と除去対象成分のフローを把握すると共に、残渣において石膏が存在する比重範囲を明らかにした。また、溶出TOCは木を除去することによって低減できる可能性があるが、木と廃石膏ボードは粒径で偏在していないため、ふるい分けによる除去は非効率であることを示した。

新たな破碎選別技術の開発を進めた。電気パルス粉碎では異相境界面で選択的に破壊が起こり、破碎物の単体分離性の高いことが検証された。湿式破碎法として水中爆破粉碎を試み、機械的破碎が困難である密度の異なる複合材料や繊維パネルを良好に粉碎できることを示した。

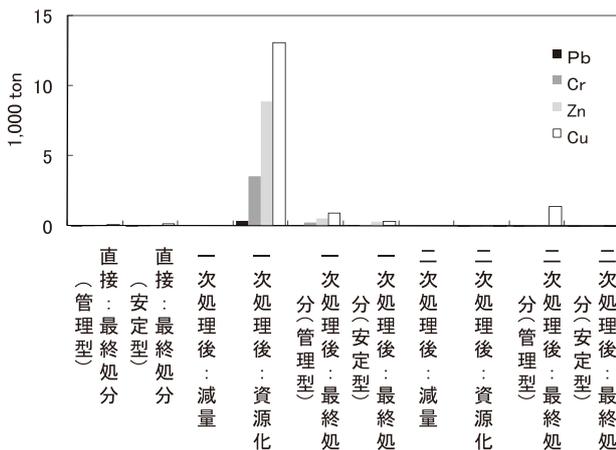
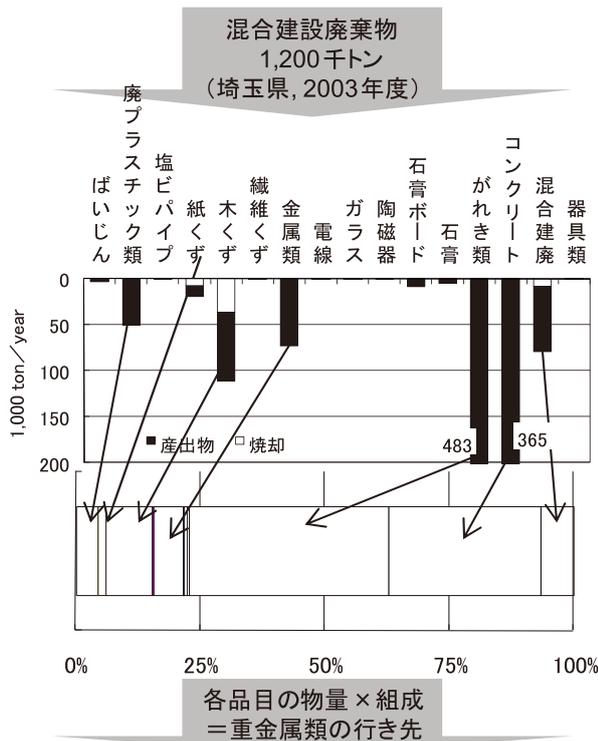
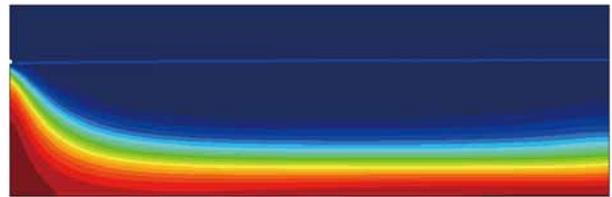


図 5.1 建設混合廃棄物の破碎選別処理を経由するマテリアル/サブスタンスフロー

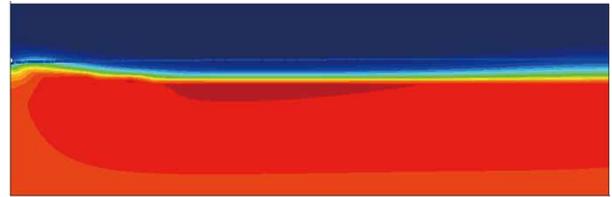
3) 持続可能型最終処分技術システム

廃棄物最終処分場に埋め立てられた廃棄物の安定化傾向を評価するため、汎用型数値計算ソフトである COMSOL を用いて、水、ガス、物質、熱移動を連成させた数値埋立モデルを構築した。未だ有機物分解等の項目が入っていないが、無機物質の平衡状態を考慮した物質移動モデルまで開発した。本モデルを用いて、準好気性埋立におけるガスならびに酸素の移動計算を実施し、縦型のガス抜き管や浸出水集排水管周辺に設置される砕石層の重要性を明らかにした。

建設廃棄物の破碎選別残渣を充填したライシメーターにおいて、装置の縦横比が物質挙動に与える影響を調べ



(a) 洗い出しのみを考慮したケース (10年後)



(b) 廃棄物層からの溶出を考慮したケース (10年後)

図 5.2 断面二次元解析による安定化傾向の評価 (初期条件は同一条件で移流分散解析によって排水暗渠が敷設された海面処分場を想定)

た。ライシメーターの幅や長さが短くなるほど、短絡流や壁面流れなどが生じやすくなり、浸出水中の無機イオン濃度に影響が現れることが示唆された。

海面最終処分場の安定化傾向と廃止までの年数を推定するモデルを構築するため、低回転型の攪拌シリアルバッチ溶出試験結果を移流分散解析の濃度境界条件とすることを試みた。海面最終処分場では、埋め立てられた廃棄物層の殆どが水没しており、陸上に比較して保有水の動きが遅いことから、固相である廃棄物層からの溶出速度も遅くなることで、長期にわたって汚濁物質を放出することが明らかとなった。図 5.2 に、洗い出しのみのケースと改良型濃度境界条件を用いたケースの解析結果を示す。

4) 熱的処理プロセス管理手法

a) 有機性ハロゲン濃度測定システムの基礎特性(ガス成分吸着剤の捕集特性等)、b) ダイオキシン類の濃度・挙動解析および物質収支特性等を含む施設の排ガス処理特性を明らかにした。一例として、図 5.3 は産業廃棄物焼却施設において、5 日間、4 時間単位で有機性ハロゲンを測定し、1 日に 1 回ダイオキシン類濃度を測定した結果である。有機塩素・臭素が低沸点および高沸点成分別にかかなり変動しながら測定され、合計濃度で最大 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度に達した。低沸点成分が支配的で、この濃度が高いとダイオキシン類の濃度も高い傾向が読み取れ、有機性ハロゲンのモニタリングが有効である。

図 5.4 は、一般廃棄物焼却施設において、バグフィルターを用いた集じん装置前後でダイオキシン類の物質収

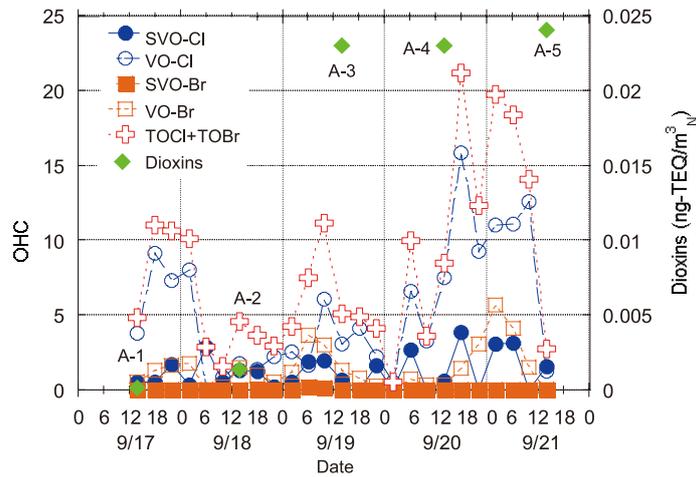


図 5.3 産業廃棄物焼却施設における排ガス中有機ハロゲン (OHC) 各成分濃度の変化とダイオキシン類測定値 (VO-: 低沸点、SVO-高沸点)

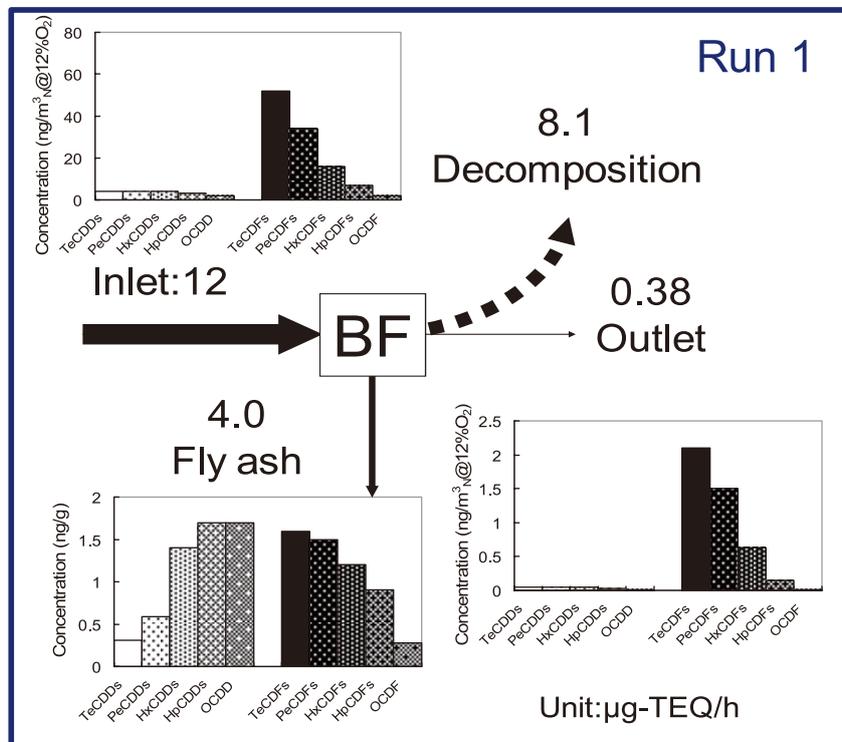


図 5.4 バグフィルター (BF) プロセスでのダイオキシン類の物質収支と同族体組成の変化

支と同族体組成の変化を解析した例である。同フィルターにはチタン系の触媒が含まれたため、バグフィルターでのダスト除去とともに、触媒分解による消失が総合された除去特性を知ることができる。

廃棄物中間処理の環境安全上の課題として、廃プラスチックリサイクルのための圧縮工程等からの化学物質の排出がある。比較的新しい施設で、光触媒法および活性炭吸着法処理の適用例がある。測定より、発生源からの濃度が比較的高かったのはアセトン、トルエンおよびア

ルデヒド類となった。これらを除いて、各物質の濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。図 5.5 は、排気処理工程での揮発性有機化合物 (VOC) の測定例である。多くの VOC は光触媒工程での濃度低下が明瞭には生じず、活性炭吸着後においてほぼ同濃度か一部は濃度が低下して屋外へ排出された。また、アルデヒド類およびフェノール等については光触媒後に濃度が高くなった。これは、同工程において共存する各種物質の酸化反応等が生じるためと考えられた。一方、多環芳香族化合物に関しては、処理に伴ってかなり濃度が低下した。

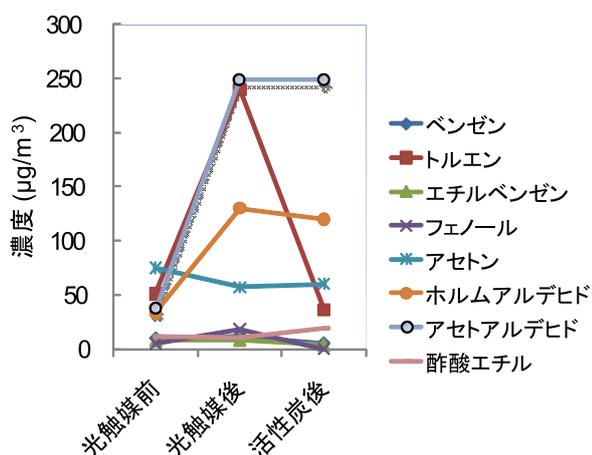


図 5.5 廃プラスチック圧縮施設排気処理工程でのVOC濃度の変化例

(3) まとめ

物流の分岐点である中間処理施設のフロー調査から産業廃棄物物流の形成要因を明らかにした。また、廃プラスチックと木くずを材料品質に応じて整理した。

トビムシとシマミズによる埋立対象廃棄物の直接曝露毒性試験法の有効性を明らかにした。埋立ごみ層の安定化に初期埋立ごみの有機物量や覆土の透水係数が大きな影響を与えることが示された。また、準好気性埋立のメカニズムを知るための数値埋立モデルを構築し、ガス、水、熱連成モデルを開発した。縦横比の異なる大型カラム試験を実施し、浸出水中の有機物および無機物の溶出挙動に及ぼす影響を明らかにした。海面最終処分場の安定化を評価するための数値モデルを開発して計算した結果、廃止基準においてpHが問題になる可能性が示唆された。

熱的プロセスの適正管理においては、迅速な対応に結びつける知見を更に蓄積する一方で、施設の有する資源化特性等を適正に評価する指標及び方法の開発を今後進める必要がある。

5.2 試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化

(1) 目的

循環資源・廃棄物を対象として、有害物質の挙動把握、簡易測定技術の最適化、処理プロセスからの事故の未然防止等の各種目的に応じた試験分析方法の整理、開発を進め、標準規格化、包括的な適用プログラムとして、試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化を図ることを目的とする。

ここでは、1年間にわたり産業廃棄物焼却施設及び一

般廃棄物焼却施設、各1施設において採取した焼却排ガス、燃え殻、ばいじんについて塩素化ダイオキシン類を公定分析法（高分解能GC/MS）とバイオアッセイにより分析を行い、比較を行った結果について記述する。

また、REACH規則でも着目されている生殖毒性などに関連する内分泌かく乱作用を検出する各種 in vitro バイオアッセイを室内ダストに適用し、室内での製品使用に伴いダストに蓄積する化学物質のハザードの存在実態や特性を明らかにすることを試みたので記載する。

(2) 方法

1) バイオアッセイを用いた廃棄物焼却施設におけるダイオキシン類の通年モニタリング

産業廃棄物焼却施設（産廃炉A）及び一般廃棄物焼却施設（一廃炉B）の各1施設を対象として、平成19年9月から平成20年9月までの1年間、焼却排ガスは各々4回、ばいじん及び燃え殻については各々12回の試料採取を行った。産廃炉Aは、固定床炉式再燃室付焼却炉（焼却能力1,800kg/h）であり、一廃炉Bは、全連式ストーカ炉（焼却能力80t/24h）であった。採取試料量は概ね、以下の通りであった。燃焼排ガス（産廃炉Aと一廃炉Bとも燃焼室後段の冷却塔出口で採取）：1.5m³N、最終排ガス（産廃焼却炉においてはバグフィルター後段で採取、一廃焼却炉においては煙突部分で採取）：6 m³N、ばいじん：1 kg、燃え殻：5 kg

バイオアッセイに関しては、遺伝子組み換え細胞を用いた Ah 受容体結合/レポーター遺伝子アッセイである DR-CALUX と結合平衡除外法に基づくフロー式免疫測定法であるイムノセンサーを適用した。試料前処理としては、採取試料の粗抽出液（トルエン）をヘキサンに転溶し、自動前処理装置を用いて精製した。本装置では、最終的に濃縮カラムからダイオキシン類をトルエンで溶出し、トルエンを冷却遠心濃縮により、より少量のDMSOに置換し、バイオアッセイ用試料とした。

また、バイオアッセイの比較参照データとして高分解能GC-MS（公定法及び毒性等価係数を有する異性体のみを測定する迅速法）によるダイオキシン類の分析を全採取試料について実施した。ダイオキシン類の毒性等量については2006年に改定された毒性等価係数（TEF-2006）を用いて算出した。

2) 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

- ① 試料収集および前処理：本研究では、2005年～2009年にかけて、日本 ($n=8$)、アメリカ ($n=21$)、ベトナム ($n=10$)、フィリピン ($n=17$) 及びインドネシア ($n=10$) の一般家庭或いは事業所から採取した室内ダストを対象として、小石、木片、髪の毛などの夾雑物を目視で出来るだけ取り除いたものを分析試料とした。
- ② プール粗抽出液の調製方法：日本で採取した一般家庭ダスト（ハウスダスト）及び事業所ダスト（オフィスダスト）は、ソックスレー法によりアセトンで6時間、トルエンで16時間抽出した。その他のハウスダストは、高速加熱流下抽出装置（SE-100）を用いて、ヘキサン/アセトン（1/1=v/v）（35℃、1時間、6 ml/min）、トルエン（80℃、1時間、6 ml/min）で抽出した。いずれの試料についても、2種類の抽出液を併せて濃縮しDMSOに転溶した。各抽出液は、採取地域別に4～6試料を等量ずつ混合し、プール粗抽出液とした：日本・ハウスダスト（JPN HD、 $n=4$ ）、日本・オフィスダスト（JPN OD、 $n=4$ ）、アメリカ・ハウスダスト1～3（US HD1～3、 $n=5$ ）及び4（US HD4、 $n=6$ ）、ベトナム・ハウスダスト1及び2（VN HD1及び2、 $n=4$ ）及び6）、フィリピン・ハウスダスト1（PHL HD1、 $n=5$ ）及び2～3（PHL HD2～3、 $n=6$ ）、インドネシア・ハウスダスト1～2（PHL HD1～2、 $n=5$ ）。
- ③ CALUXアッセイによるハザード評価：室内ダストから調製した粗抽出液の内分泌かく乱作用は、アンドロゲン受容体（AR）、エストロゲン受容体アルファ（ER α ）、グルココルチコイド受容体（GR）、プロゲステロン受容体（PR）、甲状腺ホルモン受容体ベータ（TR β ）及びペルオキシソーム増殖活性化受容体ガンマ2（PPAR γ 2）のアゴニスト及びアンタゴニスト活性を検出する各種CALUXアッセイを用いて評価した。
- ④ ハザード特性による類型化：得られたデータは、活性の強さに応じて順位付けした。アゴニスト活性は、各種アゴニスト標準物質のEC₅（5%効果濃度）に相当する活性を示したダスト曝露量について、100 μ g以上/wellの場合（もしくは活性が示されなかった場合）を「1」、10～100 μ g/wellの場合を「2」、10 μ g以下/wellの場合を「3」とした。アンタゴニスト活性については、各種アンタゴニスト標準物質のIC₅₀（20%阻

害濃度）に相当する活性を示したダスト曝露量について、アゴニスト同様に順位付けした。順位付けデータについては、採取地域及びエンドポイント別に階層的クラスター解析（距離の測定方法：平方ユークリッド距離、クラスター化の方法：Ward法）を実施して類型化した。

(3) 結果及び考察

1) バイオアッセイを用いた廃棄物焼却施設におけるダイオキシン類の通年モニタリング

DR-CALUXの場合、本自動前処理装置を用いたモニタリングは初めてであるため、本研究で得られたデータを用いて排ガス、燃え殻、ばいじん毎にCALUX-TEQ（DR-CALUXにより得られた2,3,7,8-TCDD等量）と毒性等量値との相関を取り、一次回帰を行った。一次回帰の結果、各媒体ともに決定係数が0.9以上の高相関が得られ、その傾きの値により、CALUX-TEQを除すことによって毒性等量相当値を求めた。一方、イムノセンサーの場合は本自動前処理装置を用いて排ガス、燃え殻、ばいじん毎のデータ（本研究とは別に多施設で取得されたもの）が蓄積されており、いずれも毒性等量値との間で線形相関が得られており、その相関式を用いて、得られたデータから毒性等量相当値を求めた。

焼却排ガスについては、産廃炉Aでは、毒性等量値が5 ng/m³Nを超える試料が4検体あった。産廃炉Aの場合、焼却能力が2 t/hの小型焼却炉に該当し、排ガス規制値は5 ng/m³Nであるが、今回のサンプリングは全て、最終的に排出される煙突よりも前段のプロセスで採取を行っている。バイオアッセイ2方法の毒性等量相当値は、高分解能GC/MSにより求められた毒性等量値とよく一致していた。一廃炉Bでは、最終煙突で採取した排ガス2検体は、いずれも規制基準値である0.1ng/m³Nを十分に下回っており、比較的毒性等量濃度の高い燃焼排ガス4検体について、バイオアッセイ2方法の毒性等量相当値は、高分解能GC/MSにより求められた毒性等量値とよく一致していた。

ばいじんのバイオアッセイの結果（毒性等量相当値）と高分解能GC/MSによる毒性等量値を図5.6に示す。産廃炉Aにおいては、特別管理産業廃棄物の検定基準値である3 ng/g（毒性等量）を超過する試料が6検体ほどあったが、バイオアッセイ2法ともに毒性等量相当量は、3 ng/gを超えており、偽陰性判定を下すことはなかった。

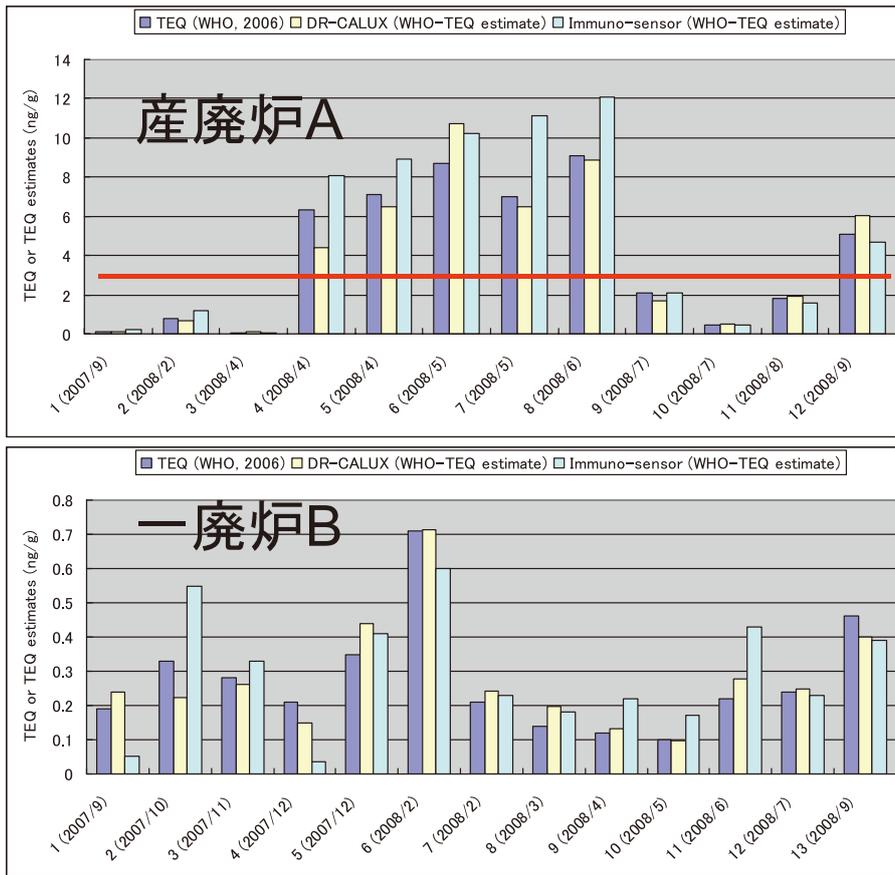


図 5.6 バイオアッセイを用いたばいじんモニタリング結果とGC/MSによる毒性等量値との比較

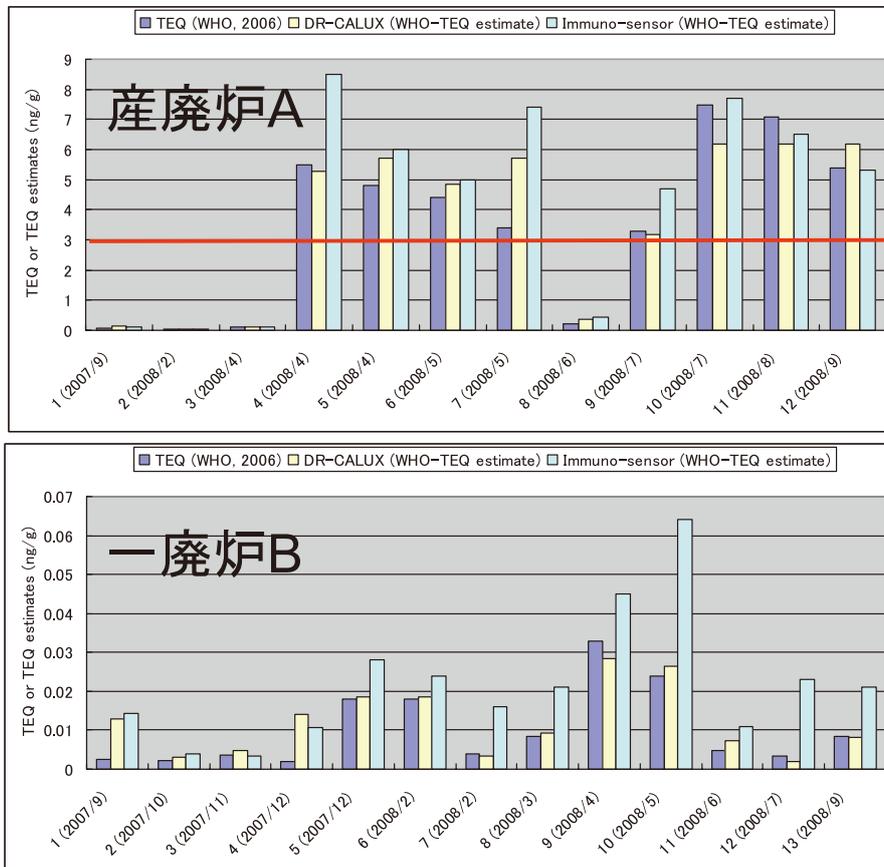


図 5.7 バイオアッセイを用いた燃え殻モニタリング結果とGC/MSによる毒性等量値との比較

バイオアッセイの毒性等量相当値は、高分解能GC/MSにより求められた毒性等量値とよく一致した。一廃炉Bにおいては、毒性等量値は最高でも、0.7ng/gであり、規制値を超過する試料はみられなかった。この場合も、バイオアッセイの毒性等量相当値に関して、偽陽性判定の試料（3 ng/gを超えると判定するもの）は見られず、高分解能GC/MSにより求めた毒性等量値とよく一致していた。

燃え殻の結果を図5.7に示す。産廃炉Aにおいては、ばいじん同様に、特別管理産業廃棄物の検定基準値である3 ng/g（毒性等量）を超過する試料が多く、8検体ほどあったが、バイオアッセイ2法ともに毒性等量相当量は、3 ng/gを超えており、偽陰性判定を下すことはなかった。バイオアッセイの毒性等量相当値は、高分解能GC/MSにより求められた毒性等量値とよく一致していた。一廃炉Bにおいては、毒性等量値は最高でも、0.03ng/gと低い濃度レベルであり、規制値を超過する試料はみられなかった。この場合も、バイオアッセイの毒性等量相当値は、偽陽性判定の試料（3 ng/gを超えると判定するもの）は見られず、高分解能GC/MSにより求めた毒性等量値とよく一致していた。

2) 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

各種CALUXアッセイによる室内ダストのハザード評価結果を活性の強さに応じて順位付けし、採取地域及びエンドポイント別に類型化したものを図5.8に示す。

採取地域による類型化は、評価した室内ダストを大きく3つのグループに分けた。第1グループは、US HD 1～4及びPHL HD 1～3から構成され、PPAR γ 2アンタゴニスト、PRアンタゴニスト、ARアンタゴニスト及びER α アゴニスト活性が比較的強く検出されている。US HDに関しては、GRアゴニスト活性が特徴的に検出される傾向を示した。第2グループは、VN HD 1～2及びIND HD 1～2から構成され、PPAR γ 2アンタゴニスト、PRアンタゴニスト、ARアンタゴニスト及びER α アゴニスト活性が比較的弱く検出される傾向を示した。第3グループは、JPN HD及びODから構成され、PPAR γ 2アンタゴニスト、PRアンタゴニスト、ARアンタゴニスト及びER α アゴニスト活性が強く検出されるのに加えて、TR β アンタゴニスト及びGRアンタゴニスト活性が特徴的に検出された。活性パターンが概ね国別に類型化された点は興味深く、室内設置製品の使用実態の違いを表している可能性がある。

エンドポイントによる類型化について、一定の地域差が見られるものの、PPAR γ 2アンタゴニスト、PRアンタゴニスト、ARアンタゴニスト及びER α アゴニスト活性は、全ての採取地域のダストで共通に検出される傾向が

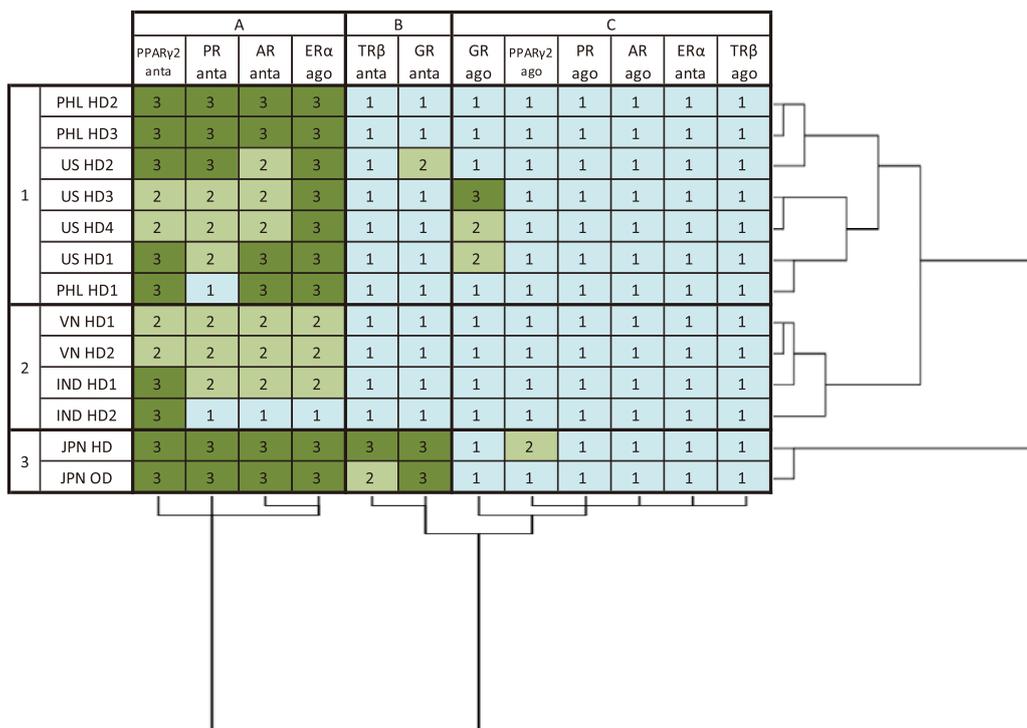


図 5.8 バイオアッセイを用いた室内ダストのハザード類型化の結果

みられた。一方、JPN HD及びODで検出されたTRβアンタゴニスト及びGRアンタゴニスト活性や、US HDで検出されたGRアゴニスト及びGRアンタゴニスト活性は、地域特異的に検出されるエンドポイントであった。

(4) まとめ

試験評価・モニタリング手法として特にバイオアッセイを取り上げて、2つの研究成果を示した。初めの成果では、通年にわたる廃棄物焼却施設におけるダイオキシン類のモニタリングを高分解能GC/MSとバイオアッセイを用いて行った。その結果、概ね高分解能GC/MSによる毒性等量値と整合する値がバイオアッセイで得られた。試料調製や定量の方法論を詰めることで、さらに精度向上が図れる見通しであることが明らかとなった。二つ目の成果では、CALUXアッセイによる各エンドポイントの評価結果を組み合わせることにより、室内ダストの内分泌かく乱作用に関するハザード特性を整理できた。本手法をハザード寄与物質の同定評価にあわせて用いることで、優先的に取り組む物質を抽出することが可能である見通しを得ることができた。

5.3 液状・有機性廃棄物の適正処理技術の高度化

(1) 目的

有機性廃棄物としてのし尿、生活雑排水、生ごみ、汚泥等の適正処理技術、技術システムを確立するため、液状廃棄物処理の高度化のためのシステムおよび技術開発を行い、地域特性に応じた環境低負荷・資源循環技術システムによる液状廃棄物の安全安心・適正管理手法を構築することを目指して着実な研究を推進する。

(2) 方法、結果及び考察

本研究では、生活・事業場排水等の汚水、生ごみおよびこれらの処理過程で発生する汚泥等の液状・有機性廃棄物に対し、浄化槽の機能改善・強化、汚泥量・発生負荷量等に基づく適正処理・再資源化物のリサイクル技術等の有機性廃棄物対策による地域特性に応じた環境低負荷・資源循環技術システムの開発・評価を行った。すなわち、浄化槽等について、ラボスケールや実際の処理装置を用いて、除去機構や処理水の解析評価を実施し、分子生物学的解析等を踏まえた適正評価手法、浄化槽ビジョンの実現を目指した維持管理特性等についての検討等を行った。また、液状廃棄物分野での温室効果ガス排

出量の解析、バイオマスの地域リサイクル化の適正処理技術システムについて検討を行った。

以下、これらの課題について、その方法、結果および考察を記す。

1) 浄化槽の運転条件最適化・維持管理適正化による適正処理技術の高度化

① 生活排水対策としての浄化槽における家庭生ごみの導入の影響解析

浄化槽技術の高度化および生ごみディスポーザ排水等を導入した総合排水処理システムの解析を行った。浄化槽技術の解析を実施する上では、浄化槽に流入する生活排水およびディスポーザ排水の負荷制御が重要となることから、実生活排水を供給可能なバイオ・エコエンジニアリング研究施設において、ベンチスケールの浄化槽システムを構築し、流入負荷条件、温度条件等の制御環境下において実験的検討を行った。

ディスポーザ排水は有機物を多く含有することから、ディスポーザ排水の導入によりBOD/N比が上昇した。また、個別分散型の処理では生ごみを貯留するため、破碎粒度にかかわらず1～2ヶ月で可溶化が進行すること、生ごみ破碎物の導入により有機物負荷が上昇するため、処理水BOD 10mg・L⁻¹以下を確保する上では、循環比を考慮し、好気槽での適切な滞留時間を確保する必要があること、BOD/N比が高くなり効率的な脱窒反応が促進され、循環比を調整することで処理水T-N 10mg・L⁻¹以下を達成可能であること等が明らかとなった。

さらに、LCCO₂解析による基礎的な検討により、生ごみを可燃ごみとして排出し、生活排水を浄化槽で処理するケースと、生ごみをディスポーザで破碎し、生活排水と合わせてディスポーザ対応浄化槽で処理するケースの比較解析を行った。その結果、後者のケースでは、排水処理過程でCO₂排出量が増加するのに対し、廃棄物処理過程でCO₂排出量が減少し、全体としてCO₂排出量を削減できる可能性が示唆された(図5.9)。

このように、生ごみディスポーザ排水導入ケースでの高度処理化のための運転条件を見いだすとともに、温室効果ガス排出量をライフサイクルで捉えることにより、家庭生ごみを生活排水と併せて処理するシステムは、生ごみを可燃ごみとして排出する場合に比べ、社会全体としての温室効果ガス削減対策として有効である可能性が示唆された。

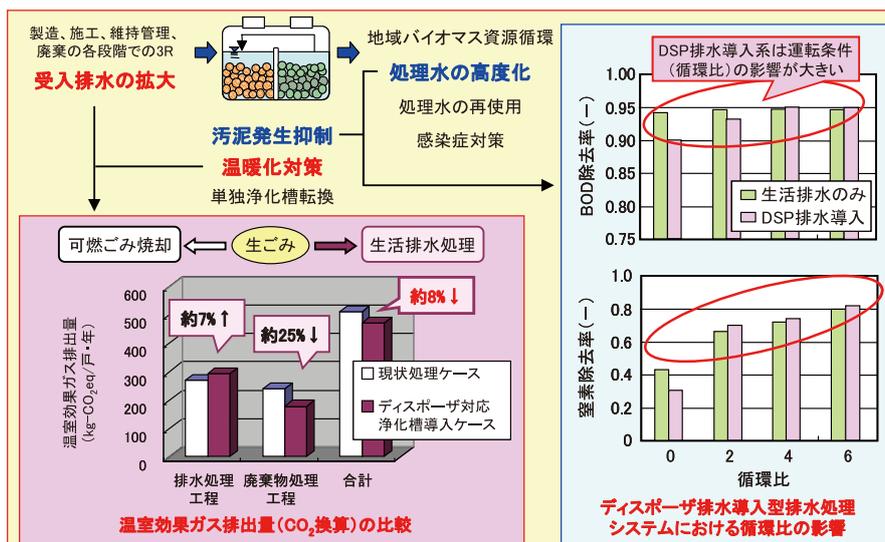


図 5.9 ディスポーザの導入が浄化槽の処理性能および温室効果ガス排出量に及ぼす影響解析

② ディスポーザ対応浄化槽における汚泥性状解析

小規模なディスポーザ対応浄化槽における汚泥の性状を実験的に解析・評価するため、実際の生活排水と生ごみを用いた通年のベンチスケール試験を実施した。生ごみの可溶化・資化特性、汚泥発存量および有機炭素成分の貯留期間に応じた変化を解析した結果、運転開始後3ヶ月程度では有機炭素成分およびSSで示される汚泥性状は生活排水のみを処理する浄化槽汚泥とは異なるものの、1年間の汚泥貯留によって有機炭素成分およびSSの比率は通常の浄化槽汚泥と同程度となること明らかにした。すなわち、1年後の汚泥量はディスポーザ排水の導入により1.2倍程度に上昇するが、現行法で定められた年1回の汚泥清掃頻度においては通常の浄化槽と質的な差が見られず、同等に扱うことが可能であると考えられる。

③ 浄化槽における温室効果ガス排出特性と削減技術開発

低炭素社会におけるインフラ構築を進めるため、実規模の浄化槽を生活排水を供給可能な恒温実験施設において稼働し、温室効果ガス排出量の算定および削減のためのメカニズム解明を図った。特に、分散型の生活排水処理施設である浄化槽は流入水量の変動が大きいことから、温室効果ガス排出量も1日のうちに大きな変動を有していると考えられる。本研究では、浄化槽からの温室効果ガス排出量の精緻化および削減対策の確立を目指し、原水の流入に伴う温室効果ガス排出量の変化を明らかにするとともに、嫌気・好気循環運転が温室効果ガス排出特性に及ぼす影響を解析した。その結果、浄化槽は生活排水の流入パターンに伴うCH₄、N₂O排出量の変動が

大きいことから、正確な排出量の評価には、1日の変化全体を捉えることが必要であると考えられた。また、嫌気・好気循環運転を適切に実施することで、循環しない場合と比べてCH₄、N₂Oをそれぞれ72%、54%程度削減できることが示唆された。すなわち、嫌気・好気循環運転は、窒素除去を可能とするのみならず、温室効果ガス排出量の削減にも寄与することが示唆された。さらに、ライフサイクルにおける温室効果ガス排出量の精緻化を進めるとともに、実現場の浄化槽、みなし浄化槽、汲み取り便槽における温室効果ガス排出量の調査を進めた。

(3) まとめ

本研究では、生活排水および生ごみ等の液状廃棄物処理プロセスの高度化のための基質特性等を評価し、排水中の生ごみ可溶化特性および生物資化特性解析、有機物、窒素、リン等のパラメーター解析を行い、循環型社会構築のための「浄化槽ビジョン」における今後の課題としての発生汚泥量の抑制や異なる排水負荷特性に対する浄化槽処理性能等、高度化・低炭素化技術の基盤を明らかにした。

特に、生ごみを生活排水と合わせて処理する場合、運転操作条件の適正化（循環比の増加等）により有機物・窒素除去率を向上可能であり、汚泥発生抑制効果も期待できることが明らかとなった。また、汚泥および家庭ごみの輸送距離等の地域特性に応じてCO₂排出量を削減できる可能性が示された。ディスポーザ対応小規模浄化槽における汚泥清掃においては、通常の浄化槽と変わらずに処理可能であること、中・大規模浄化槽においては、

メタン発酵ポテンシャルの向上が期待できること、条件によっては、社会全体としての温室効果ガス排出量を削減可能なケースがあること等を示すことができた。さらに、浄化槽における温室効果ガスの排出特性解析を実施し、生活排水の流入に伴う温室効果ガス排出量の変化や嫌気好気循環運転による大幅な削減技術の確立がなされた。

5.4 廃棄物の不適正処理に伴う負の遺産対策

5.4.1 堆積廃棄物火災の調査

(1) 目的

不法投棄や仮置きと称して残置されて堆積した廃棄物は、その種類や堆積された形状、気象条件（主には風速と風向）によって火災が発生する危険性がある。これらの火災は表層火災と深層火災という燃焼位置のみの分類ではなく、有炎か無炎かという燃焼状態の違いによっても分類される。表層火災は目視によって観察することができるが、深層火災では、発熱の原因が燃焼であるのか、発酵や化学反応に起因しているのかを見極めることが難しく、深さ方向の温度プロファイルや経時変化、気象条件や地形との関係を知るための詳細調査が要求される。そこで、深層火災として無炎燃焼が疑われる堆積廃棄物現場を対象とした調査を実施し、調査方法についてのフローをとりまとめた。

(2) 方法、結果及び考察

1) 現地踏査による地形把握：廃棄物火災は空気（酸素）の影響が大きいので、空気の流入口や法肩、法尻の位置、片斜面の地形では基盤層の位置を知ることが必要である。2) メッシュ作成による調査基準線の確保：調査対象領域やホットスポット検索、次回調査時の作業の効率化のため、基準となる線を決めた。3) 赤外線サーモグラフィを用いたホットスポットの探索：地表面温度を迅速かつ網羅的に測定できる道具として赤外線サーモグラフィを用いた踏査を実施した。4) 地温分布測定：2) において作成したメッシュの交点と格子の中心点、3) で検出されたホットスポットを対象にして地表面から深度10cm、45cmの地温を測定した。図 5.10 に深度45cmの調査結果を示す。5) 地表面ガスフラックス分布測定：閉鎖型チャンバーを用いてメッシュ交点とホットスポットを対象にして地表面から放出されるメタンと二酸化炭素のガスフラックスを測定した。6) 簡易ボー

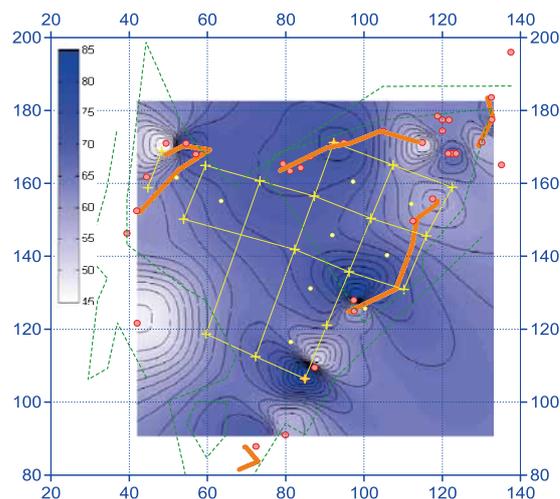


図 5.10 深度45cmの温度モニタリング結果

リングバー法による孔内ガス濃度測定：フラックスを測定した地点と同地点で、簡易ボーリングバーを用いて、その孔内ガスをテドラバックに採取し、メタン、二酸化炭素、酸素、窒素、一酸化炭素、水素の測定を行った。7) その他：これまで述べてきた 6 調査に加えて、植生調査、電磁波探査、沈下探査を実施した。

(3) まとめ

燃焼が疑われるか、無炎燃焼が発生している堆積廃棄物現場において、燃焼領域を特定するための調査フローとして図 5.11 を提案する。これは、詳細調査として実施する温度ならびにガスの深さ方向のプロファイル調査の事前調査に相当する調査フローである。日本では、堆積物の燃焼に関する知見が少ないことから、危機管理体制の一つとして、堆積廃棄物火災に備えた対策や消火方法、観測方法などの知見を集積し、とりまとめておくことが必要である。

5.4.2 残留性有機汚染物質 (POPs) 適正処理方法の確立

(1) 目的

残留性有機汚染物質 (POPs) は、一般に毒性や生物蓄積性が高く、難分解性で環境中に長期間残留することから、排出の抑制や適正処理が求められている。本研究においては、化審法第一種特定化学物質 (特化物) でありテトラクロロ無水フタル酸やこれを原料とする顔料に非意図的に混入している事例が判明したヘキサクロロベンゼン (HCB)、紫外線吸収剤として樹脂等に使用された 2-(2H-1,2,3-ベンゾトリアゾール-2-イル)-4,6-ジ-tert-ブチルフェノール (DBHPBT)、また特化物ではないが撥水

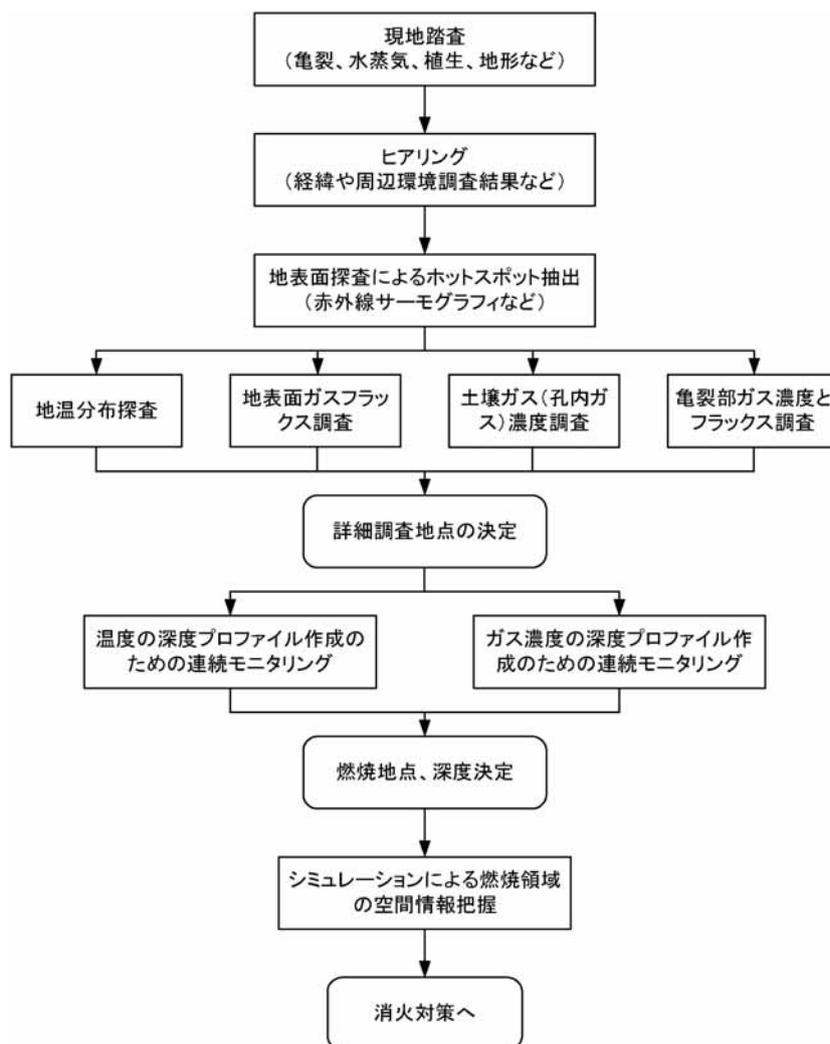


図 5.11 火災が疑われる堆積廃棄物の調査フロー案

剤原料等として使用されたペルフルオロオクタン酸 (PFOA) 等の化学物質に関して、将来これらを含む製品が廃棄された場合に必要となる適正処理方法の確立を目的として、HCB、DBHPBT及びPFOA含有廃棄物の燃焼過程における化学物質挙動を明らかにし、含有廃棄物の焼却処理の特性を確認する。また、過去に無許可輸入され、適正処理が求められているポリ塩化ナフタレン (PCN) に関して、POPsの分解処理方法の一つであるメカノケミカル法による処理可能性について検討する。

(2) 方法、結果及び考察

HCB や DBHPBT、PFOA を添加した廃棄物固形燃料 (RDF) をパイロットスケールの実験炉でダイオキシン類排出削減対策の基準に適合した条件で燃焼し、無添加の RDF 燃焼時と比較することで、HCB や DBHPBT、PFOA の挙動を明らかにし、ダイオキシン類などの物質挙動への影響を把握した。また、PCN 原体 (3、4 塩化物を主成

分とする) を遊星型ボールミルを用いてメカノケミカル法によって処理し、処理残渣中の PCN を測定し、分解挙動を確認した。

① HCB 含有廃棄物の燃焼時における化学物質挙動

HCB はダイオキシン類と同様に燃焼時に非意図的に生成されるため、HCB 無添加の RDF 燃焼時においても HCB は一次燃焼で生成され投入量の数十倍になった。しかし、HCB を添加した RDF 燃焼時は投入量より 2 桁減少し、無添加 RDF 燃焼時とほぼ同じレベルになった (図 5.12)。二次燃焼や集塵処理、活性炭吸着等により、一次燃焼後のガス中に残存した HCB のほとんどが分解・除去された。焼却灰や飛灰中の HCB 量は、HCB 添加時と無添加時でほぼ同じレベルであった。HCB 添加 RDF 燃焼時における HCB の分解率は 99.9985% であった。ダイオキシン類など HCB 以外の物質挙動は、HCB 添加時と無添加時でほとんど差はなかった (図 5.12)。

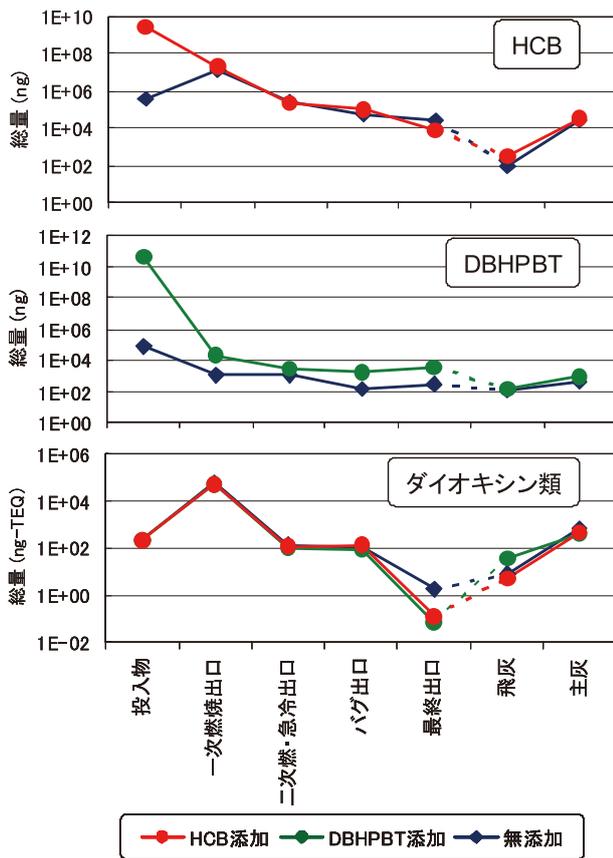


図 5.12 HCB 及び DBHPBT 含有廃棄物の燃焼時における化学物質の挙動

② DBHPBT 含有廃棄物の燃焼時における化学物質挙動

DBHPBTは一次燃焼で生成されず、投入量の大部分が分解した(図 5.12)。二次燃焼など排ガス処理により、一次燃焼後のガス中に残存したDBHPBTの分解・除去が確認された。焼却灰や飛灰中のDBHPBT量は、DBHPBTを添加したRDF燃焼時と無添加時でほぼ同じレベルで、投入量を大きく下回った。DBHPBT添加RDF燃焼時におけるDBHPBTの分解率は99.9999%以上であった。ダイオキ

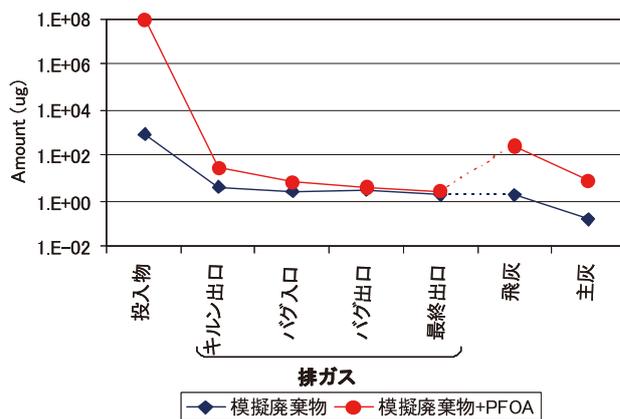


図 5.13 PFOA含有廃棄物の燃焼時におけるPFOAの挙動

シン類などDBHPBT以外の物質挙動は、DBHPBT添加時と無添加時でほとんど差はなかった(図 5.12)。

③ PFOA含有廃棄物の燃焼時における化学物質挙動

PFOAは一次燃焼では生成せず、投入量の大部分が分解した(図 5.13)。二次燃焼などのガス処理により、一次燃焼後のガス中に残存したPFOAの分解・除去が確認された。焼却灰や飛灰中のPFOA量は無添加時よりも高く、特に飛灰で残存量が多かったことから飛灰の適切な管理が重要であることが示唆された。有機フッ素化合物の燃焼ではフッ化水素(HF)の生成が問題となるが、最終排ガス中のHF濃度は1 mg/m³Nと、PFOS含有廃棄物処理時に求められる5 mg/m³Nを下回った。また、ダイオキシン類の排出量は無添加時に比べて変化はなく、排出基準未満であった。

以上のことから、ダイオキシン類の排出削減対策を実施した廃棄物焼却施設において、HCB、DBHPBT及びPFOS含有廃棄物を適正に処理できることを明らかにした。

④ PCNのメカノケミカル法による処理可能性の検討

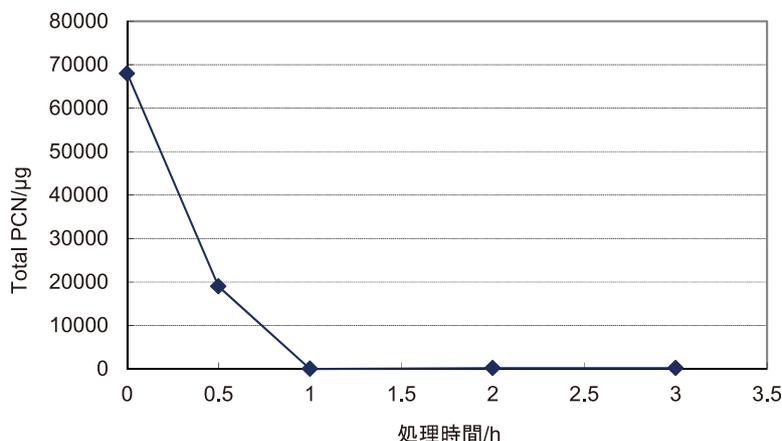


図 5.14 メカノケミカル法によるPCN原体の処理におけるPCNの挙動

メカノケミカル法による処理時間とPCN濃度との関係を図 5.14に示す。PCN残存量は30分の処理で初期量の約23%に低下した。1時間以上処理した試料のPCN分解率は99.69～99.95%であり、実処理に向けては処理効率の向上や分解生成物の挙動、分解機構等をより詳細に解明する必要はあるものの、PCN原体をメカノケミカル法により処理できる可能性を示した。

(3) まとめ

HCBやDBHPBT、PFOA含有廃棄物の適正処理方法の確立のため、燃焼過程における化学物質挙動と焼却処理特性を確認した。HCBやDBHPBT、PFOAの分解率は高く、またダイオキシン類など他の化学物質の挙動への影響はほとんどみられず、ダイオキシン類の排出削減対策を実施した廃棄物焼却施設において、HCB、DBHPBT、PFOA含有廃棄物を適正に処理できることを実証した。PCNの処理に関しては、メカノケミカル法による処理可能性について検討し、PCN原体をメカノケミカル法により処理することが可能であることを示した。

6 基盤的な調査・研究

6.1 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究

(1) 目的

石綿含有製品の製造や使用が原則禁止されたことから、今後は石綿含有建材を含む建築物の解体・除去やそれにより発生する廃棄アスベストの処理等、静脈過程での健康被害の拡大を防止するためのリスク管理が重要となる。本研究では、廃棄アスベストの適正処理や曝露対策において重要であるアスベストの分析に関し、無害化処理の確認試験法の開発や分析精度管理に関する検討を行う。また、土壌や底質等一般環境試料中のアスベスト濃度の把握や、アスベストの代表的な処理技術である熱処理における鉱物組成や繊維数の変化の実験的検討を通じて、廃棄アスベストの無害化処理レベル検討のための知見を得る。さらに、建設廃棄物や一般廃棄物処理施設においてアスベスト飛散実態把握のための調査を実施し、処理過程における曝露リスクとその制御に関する知見を得る。以上を通じ、廃棄アスベストの適正処理や曝露対策の円滑な推進・支援のための知見を整備・提供することを目的とする。

(2) 方法、結果及び考察

本研究では、1) 石綿含有廃棄物の無害化処理の確認試験法及び分析精度管理に関する検討、2) 一般環境試料中アスベスト濃度の把握、3) 熱処理によるアスベストの鉱物組成及び繊維数の変化、4) 廃棄物処理施設におけるアスベストの飛散実態把握の4つの課題に取り組んだ。

1) 石綿含有廃棄物の無害化処理の確認試験法及び分析精度管理に関する検討

石綿含有廃棄物の無害化が達成されたこと、即ち処理物中にアスベストが存在しないことを確認する試験法の要件として、毒性に関わる繊維数濃度が微細繊維を見落とさずに測定でき、かつ処理効率に関わる重量濃度が定量できることが求められる。建材分析法であるX線回折法(XRD法)では繊維数濃度が測定できず、また分散染色法では重量濃度を求められない。上記2つの濃度が測定可能であり、石綿の同定の確度が高い透過型電子顕微鏡法(TEM法)は、試験法として適当である。本研究では、前処理法として無害化処理物の風化により内部の繊維が露出・飛散する可能性を水分散によって代替し、繊

繊維の同定・計数をTEM法によって行う試験法を開発・提案した。提案した試験法を図 6.1 に示す。

この試験法を無害化処理物（溶融スラグ）の試験に適用したところ、非アスベスト繊維は検出されたものの（47～170 Mf/g（Mf=10⁶本））、アスベスト繊維はいずれの試料からも検出されなかった（検出下限値：1.5～4.4 Mf/g）。これら試料は建材分析法（JIS A 1481）でも分析しており、いずれも不検出であった。

アスベストの分析結果は分析者の習熟度や分析装置の性能等に影響されるため、適切な分析精度管理がなされることが重要である。電子顕微鏡法での分析精度管理手法の検討としてクロスチェックを実施し、誤差要因の推定を行った。共通試料として①アスベスト標準観察試料、②集じんダスト観察試料、③集じんダスト懸濁液試料を用意した。TEM法では4機関、走査型電子顕微鏡法（SEM法）では3機関が参加し、予め繊維の計数、同定基準を

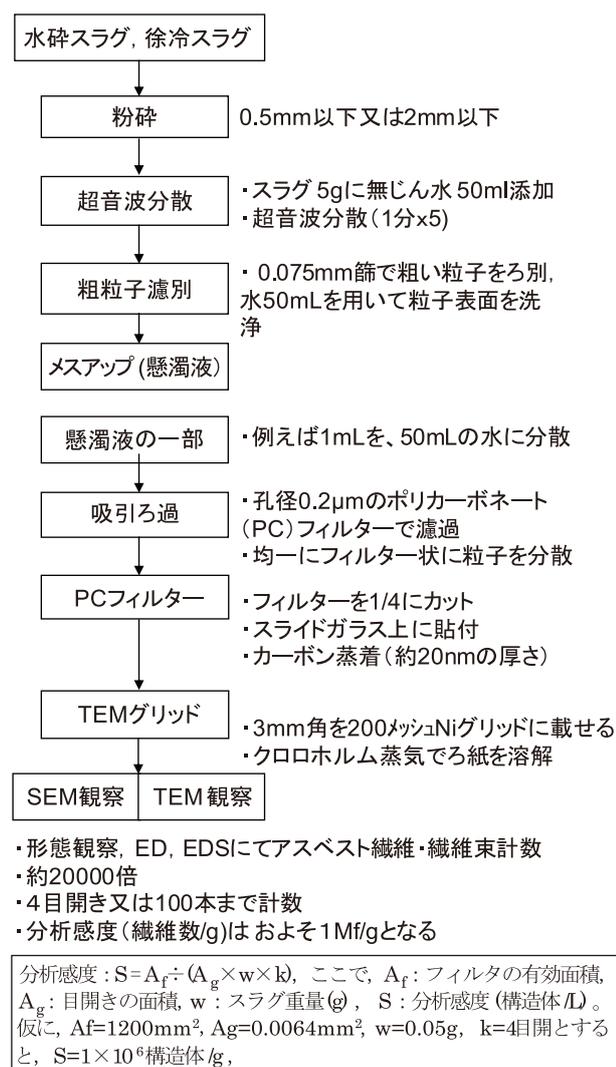


図 6.1 TEM法による無害化処理の確認試験法

取り決め、①と②は指定した目開きを計数し、③は各機関で観察試料を作製して任意の目開きを計数することとした。クロスチェックの結果であるが、①アスベスト標準観察試料のばらつき（相対標準偏差（RSD））は、TEM法では47.8%、SEM法では16.1%であった。但し、TEM法で計数基準を満たさない繊維を計数した1機関を除くとRSDは10%未満であった。このことから、計数すべき目開きを示した観察試料を回覧することで、観察段階に起因する分析誤差を評価でき、明確な計数基準を示すことで誤差の小さい計数ができることが分かった。②集じんダスト観察試料では、夾雑物による妨害や繊維の同定が必要となることから、ばらつきが大きくなることが予想される。総繊維数濃度のRSDは、TEM法では15.8%、SEM法では37.9%、アスベスト繊維数濃度のRSDは、TEM法では35.0%、SEM法では75.9%となった。このことは、繊維計数のばらつきは小さいが同定のばらつきは大きいことを意味しており、分析誤差要因として、繊維同定基準が機関間で異なることが示唆された。また、③集じんダスト懸濁液試料の結果を②と比較すると、繊維数濃度は総繊維、アスベスト繊維共に若干低くなりばらつきも大きくなる傾向があった。以上より、分析誤差要因として繊維同定基準の機関間の違いが挙げられ、繊維同定基準を明確に示すことが分析精度確保の上で重要であると考えられた。

2) 一般環境試料中アスベスト濃度の把握

廃棄アスベストの無害化処理レベルを検討する上で、土壌等一般環境試料中のアスベスト濃度は指標となり得る。人為的汚染がないと考えられる蛇紋岩地域6カ所（熊本県、長崎県、埼玉県、北海道3カ所）及び非蛇紋岩地域1カ所（千葉県）において土壌試料を採取し、偏光顕微鏡法（PLM法）と1)の方法に準じてTEM法により濃度を測定した。蛇紋岩地域土壌からは微量のクリソタイルが検出された他、一部試料からはトレモライトが検出された。トレモライトが検出された地点では、濃度が表層土壌では0.042%に対して、90～150cm深さの土壌では6.2%であり、土壌表面での風化・飛散の可能性も考えられた。また、北海道の蛇紋岩地域においては、蛇紋岩露頭土壌や旧石綿鉱山から流出する沢の堆積物等、濃度がパーセントオーダーに達する試料もあった。大気中のアスベスト濃度も同時に測定したが、概ね環境省の大気濃度調査と同程度であり、顕著な飛散があるとは認められ

なかった。

また、石綿製品工場跡地周辺で土壌等の環境試料を採取し、TEM法によりアスベスト濃度を測定した。繊維数濃度（重量濃度）の結果は、土壌 2 試料で 44 ~ 62Mf/g (0.56~1.5 μ g/g)、河川底質4試料では17~25Mf/g (0.51~9.6 μ g/g)であった。海域底質は 2 地点について柱状コア試料を採取した。柱状コア試料の繊維数濃度（重量濃度）の結果は、表層で25~68Mf/g (2.3~15 μ g/g)、深さ40cm付近で42~61Mf/g (14~25 μ g/g)、深さ60cm付近で、陸に近いコアで42Mf/g (25 μ g/g)、遠いコアで定量下限未満であった。鉛 210 により柱状コア試料の年代測定を行った結果、1 地点についてはアスベストの使用量の多かった1970年代にアスベスト濃度が高いという結果を得た。

3) 熱処理によるアスベストの鉱物組成及び繊維数の変化

熱処理によるアスベストの鉱物組成や繊維数の変化を把握するため、クリソタイル、クロシドライト、アモサイト、トレモライト、アンソフィライトの各標準物質の熱処理物（400 $^{\circ}$ C~1500 $^{\circ}$ C）を作成し、XRD法により鉱物組成変化を、また1)の方法に準じてTEM法により繊維数濃度を評価した。XRD法による評価では、クリソタイルは500 $^{\circ}$ C、クロシドライトは800 $^{\circ}$ C、アモサイト、トレモライト、アンソフィライトはいずれも900 $^{\circ}$ C以上で回折パターンが消失し、それ以上の温度で他の鉱物由来の回折ピークが出現することを確認した。TEM法により求めたアスベスト熱処理物中の繊維数濃度を図 6.2 に示す。クリソタイルとクロシドライトでは低温で繊維数濃度の減少が始まるのに対し、アモサイト等角閃石族アスベストでは高温まで繊維数濃度が減少しないことを確認した。また、2)で調査した石綿製品工場跡地周辺の土

壌や底質等のアスベスト繊維数濃度（17~62Mf/g）まで繊維数濃度を低減するには、クリソタイルやクロシドライトでは1000 $^{\circ}$ C以上、アモサイト等角閃石族アスベストでは1400 $^{\circ}$ C以上での処理が必要であることが分かった。熱処理により石綿含有廃棄物の無害化を試みる場合、使用量の多いクリソタイルを含む建材を用いた実験結果のみで評価する例がしばしば見られるが、それでは不十分であり、角閃石族アスベストについても評価すべきであることが、この結果から示唆された。

4) 廃棄物処理施設におけるアスベストの飛散実態把握

廃棄物処理過程に石綿含有廃棄物が混入した場合、適切な対策がなされないとなら新たなアスベスト曝露の場となる可能性がある。本研究では、廃棄物処理施設でのアスベストの飛散実態把握のための調査を実施した。

一般廃棄物及び産業廃棄物処理施設 5 施設から破碎残渣 3 試料、集じんダスト 6 試料を採取した。試料は低温灰化、ギ酸処理後に1)の方法に準じてTEM法により濃度を測定した。繊維数濃度（重量濃度）は、破碎残渣では260~720Mf/g (0.54~39 μ g/g)であり、集じんダストでは270~3900Mf/g (11~610 μ g/g)であった。検出された繊維のほとんどがクリソタイルであり、PCM法では検出されないサイズであったが、アモサイトが検出された試料もあった（図 6.3）。一部の集じんダストは石綿含有基準である0.1%（=1000 μ g/g）に近い濃度であり、曝露防止のためには集じんダストの適切な処理が必要であることを示した。建設廃棄物及び一般廃棄物処理施設において、処理対象物や破碎処理後物、破碎排ガス等の試料を採取し、固体試料はJIS A 1481、排ガスと作業環境空気はPCM法によりアスベストを測定した。一部はTEM法によってもアスベストを測定した。建設廃棄物処理施設で

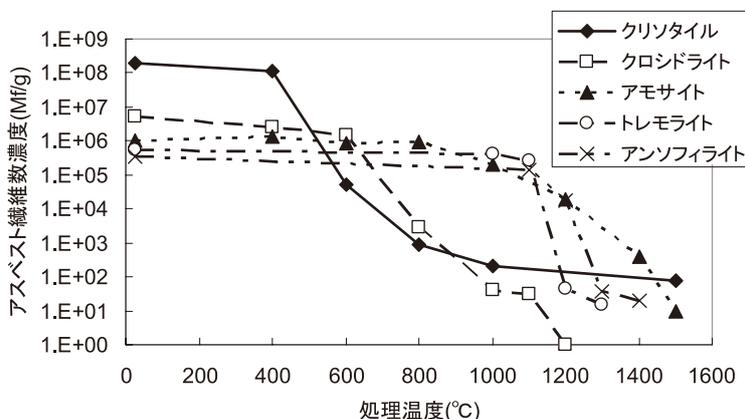


図 6.2 処理温度と繊維数濃度との関係

は、処理対象物や破碎処理後物からはアスベストは検出されなかったが、排ガスや集じんダストからTEM法によりアスベストを検出した。バグフィルター前後では、総繊維数濃度、アスベスト繊維数濃度ともに一桁程度濃度が低下し、バグフィルターはアスベスト繊維の除去に有効であることが確認された。また、一般廃棄物処理施設では、回収された廃家電に石綿含有製品が混入していることを確認したが、量的には少なく、破碎処理物や排ガス等、集じんダストからはアスベストは検出されなかった。

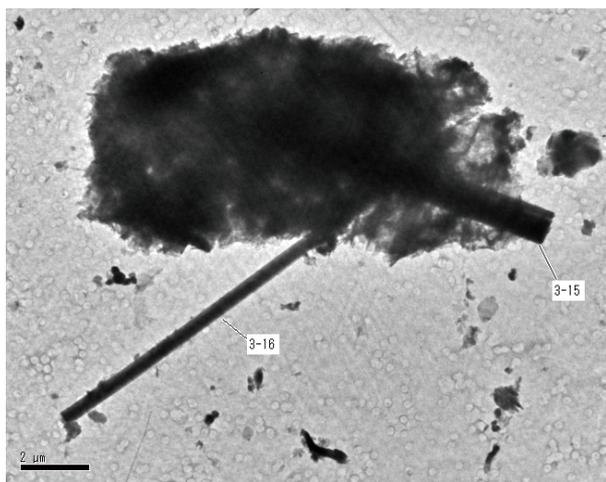


図 6.3 集じんダスト中のアモサイト繊維

(3) まとめ

石綿含有廃棄物の無害化処理の確認試験法として、水分散法による前処理とTEM法による繊維の計数・同定を組み合わせた試験法を開発した。分析精度管理に関する検討では、電子顕微鏡法についてクロスチェックを実施し、結果の解析から繊維同定基準の機関間の違いが分析誤差要因の一つであることを示した。繊維同定基準を明示することが今後の課題である。無害化処理レベルを検討するための基礎情報として、土壌等一般環境試料の石綿濃度を把握した。石綿含有廃棄物の代表的な処理技術である熱処理について、5種アスベスト標準試料の熱処理物の鉱物組成変化とアスベスト繊維数濃度を調べ、土壌や底質相当まで繊維数濃度を低減するのにクリソタイトとクロシドライトでは1000℃以上、それ以外の角閃石族アスベストでは1400℃以上の温度での処理が必要であることを示した。廃棄物処理施設におけるアスベスト飛散状況把握においては、採取した破碎残渣や集じんダストからTEM法による測定でアスベスト繊維を検出した。建設廃棄物処理施設調査では、排ガス及び集じんダ

スト中にアスベストを検出し、バグフィルター前後で一桁程度繊維数濃度が低下することを確認した。また、一般廃棄物処理施設調査では、回収された廃家電に石綿含有製品がある程度混入していることを確認した。

6.2 資源循環に係る基盤的技術の開発

(1) 目的

本研究は、環境低負荷であり循環型社会形成の要素技術として将来的に中核となり得る廃棄物の資源化技術、環境保全技術等に関する調査および研究開発を行うものであり、新規の原理等に立脚し、従来に比較し総合的に効率が高く、エネルギーおよび物質の回収が可能な有効性の高い資源循環技術に関する情報基盤構築を目指す。

上記目的のため、高温/高压流体の応用、炭化、合成ガスのメタン変換といった資源循環技術への応用に関し実験検討を行った。また、新規性に富みかつ有効性の高い資源循環技術等に関する動向の調査および動向を踏まえたシーズ的研究開発を行ってきた。これにより、循環型社会の形成に寄与し得る技術基盤を確立すること、さらに将来的な研究テーマの立案および研究実施等に反映可能な個別および総合的知見を提供することを目的とした。

(2) 方法、結果および考察

1) 高温/高压流体を応用した資源化技術

豆腐製造工程から排出される有機性廃棄物の「おから」を対象とし、有価物と思われるビタミンEを超臨界二酸化炭素（以下、SFE-CO₂と記す。）を用いて選択的かつ効率的に抽出する技術的条件を明らかにすることとした。

実験では、おから試料は浸漬、洗浄、粉碎、加熱および分離後凍結乾燥し、さらに粉碎処理によって調製した。装置は、図 6.4 に示すように、液体CO₂の送液ポンプ、抽出容器（SUS316製、容積：10ml）、加熱オープン、背圧弁等で構成される。

検討項目は、抽出特性に対する a) 温度、圧力の影響、 b) エントレーナー（エタノール）の影響、 c) SFE-CO₂

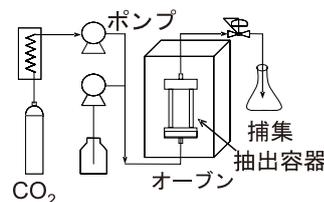


図 6.4 SFE-CO₂実験装置

流量の影響、d) 試料粒子径の影響、e) 前処理（粉碎）の影響等である。結果の例を図 6.5 に示す。これより、粗脂肪とビタミンEとの被抽出時間の違いから、抽出物中に含まれるビタミンEの比率を向上させることが可能であり、選択的な抽出ができると考えられた。ただし、両者の抽出特性は一部競合するため、選択性の向上に際しては注意を要した。また、試料の水分について、乾燥試料より若干の水分存在がビタミンEの抽出率向上をもたらす結果が得られたが、これについてさらに詳細な検討が必要と考えられた。なお、ビタミンEの抽出率を高くするSFE-CO₂の物性は、粘度：0.070 mPa・s前後、密度：0.79g/cm³前後であることがわかった。これらの実験検討のほか、高压流体を適用した技術の動向調査を行い、それより高温/高压流体応用技術と他の資源化技術とのシステム化について提案した。

2) 炭化技術の基礎特性

廃木材チップ（Woody Biomass Chip:WBC）、RDFおよびRPFの3試料を用いた。RDF、RPFはバイオマスとプラスチックの割合がそれぞれ9:1と7:3である。試料は2mm以下に粉碎して用いた。熱分解およびガス化の方法は、アルミナ製試料ポートに約7gの試料を入れ、試

料挿入装置に乗せた後、窒素ガスを1L/minの流速で流しながら、反応器内が設定した温度（500~900℃）に達した後、同装置を押し、試料を反応器の中心部に移動させた。熱分解試験（N2と表記）では窒素ガスを注入し、ガス化試験の場合は窒素ガスとともに一定量の水蒸気を発生させ、試料挿入と同時に反応器に注入した。水蒸気注入量は、試料重量と同量（ST1と表記）および2倍量（ST2と表記）の2条件とした。反応時間は、熱分解試験60分、ガス化実験30分とした。発生ガスは、タールと水分を除去後テドラーバックに全量採取した。採取したガス中のN₂、H₂、CO、CO₂、CH₄および炭化水素濃度をマイクロGC（Agilent 3000 Micro GC）を用いて半連続的に測定した。反応器温度が常温になった後、炭化物を取り出して重量を測定し、粉碎した炭化物を用いて工業分析（揮発分、固定炭素、灰分：以下VM、FC、Ash）と元素分析（C、H、N、S）を行い、さらにボンベ熱量計により発熱量を測定した。

3 試料からの炭化物の収率と組成に関する結果を図 6.6 に示す。500℃では、キャリアガスの種類に関わらず炭化物の収率はほぼ一定であるが、700および900℃の場合、水蒸気の注入によってガス化反応が進行し炭化物の収率が急激に低下した。

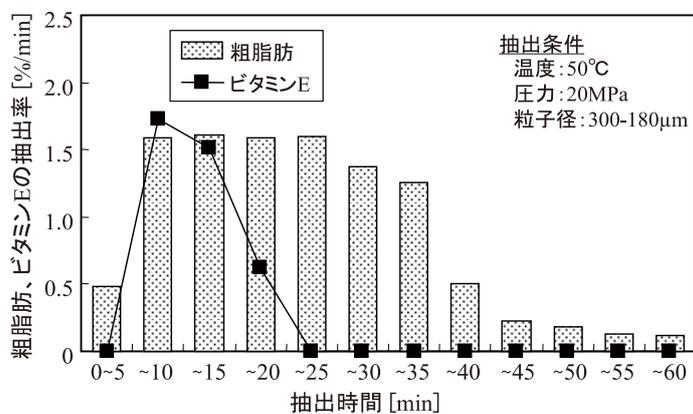


図 6.5 ビタミンEおよび粗脂肪の抽出時間特性

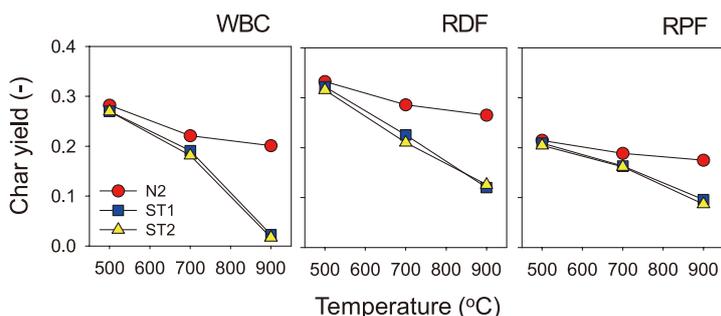


図 6.6 温度・水蒸気条件と炭化物の収率

図 6.7 は、固定炭素分 (FC)、揮発分 (VM) および個別元素の構成割合を質量比で示したものである。N2 では、原料中のFCと灰分がほぼ炭化物として残り、VMの分解の程度によって炭化物の収率が決まるが、ガス化条

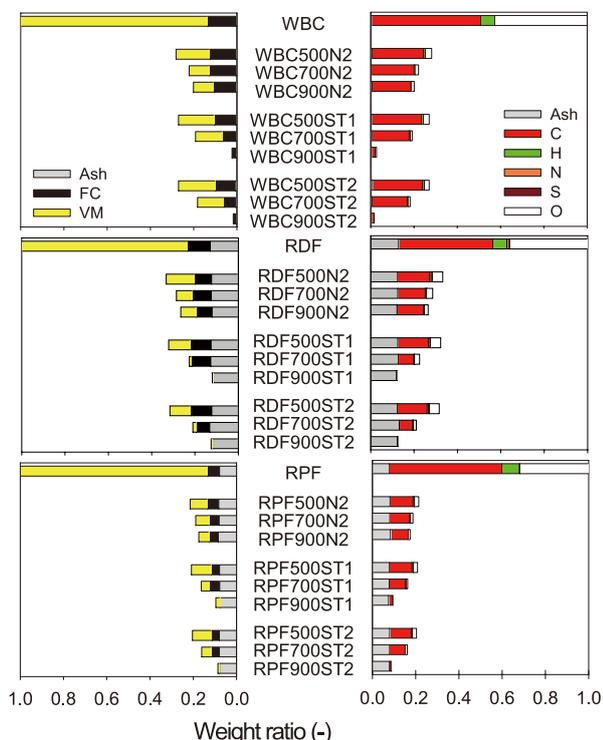


図 6.7 各条件における炭化物の組成

件では、700 °C以上になると固定炭素も多く分解されることがわかった。

次に図 6.8 は、試料 1 kg 当りに発生したガス量と組成である。N2では、基本的にガス発生量が少ないが、高温になると有機物の分解が進み、H₂、CO、CH₄量が多少増加していく現象がみられる。ガス化条件では、反応温度の上昇によりガス量が増加し、とくに water-shift 反応などによってH₂、CO、CO₂ガスの発生が多くなると思われた。なお、注入する水蒸気量を増すことによって、H₂ガスの発生量がさらに増加した。一方、原料中の炭素、水素量がほぼ同じである WBC と RPF から得られたガス組成を比較すると、プラスチック成分が多いほどCH₄や炭化水素ガスの濃度が高くなることがわかった。

図 6.9 に、原料中炭素量を 1 とした場合の炭化物またはガスとして回収された炭素量の比を示す。WBCは、他の試料に比べると、500~700°C条件下でキャリアガスの種類に関わらず炭化物としての炭素回収率が最も高い。700~900°Cでは、水蒸気注入によって炭化物のガス化反応が進み、原料中炭素の約 8 割以上がガス側に移行することがわかった。WBCの炭化物とガスとしての炭素回収率は、0.59~0.83であった。しかし、RPFの場合には、全体的にこの炭素回収率が低く、0.31~0.70であった。と

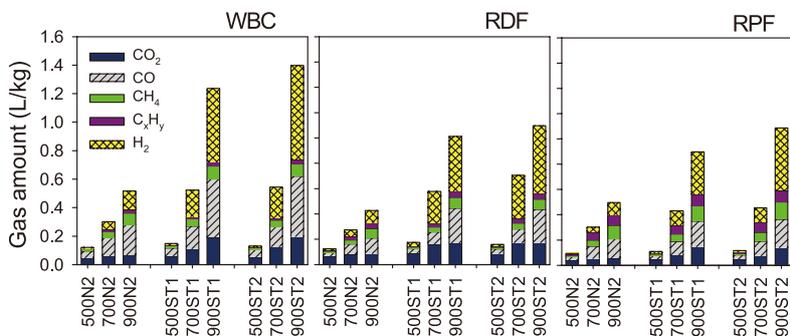


図 6.8 試料 1 kg 当りの発生ガス量と組成

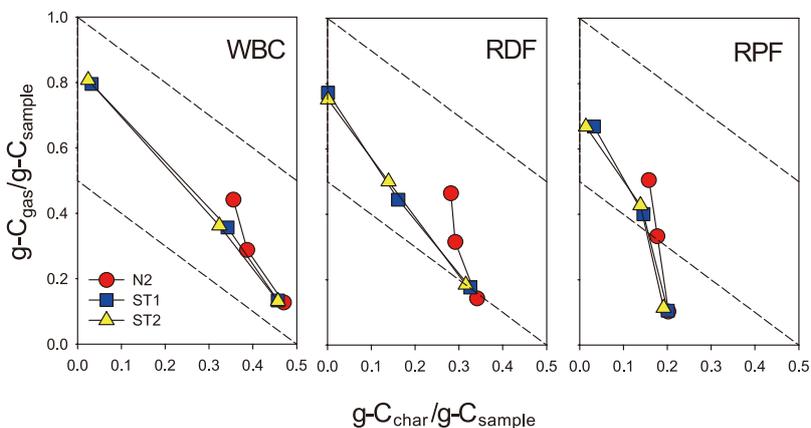


図 6.9 炭化物またはガスとしての炭素回収率

くに低温で回収率が低いのは、揮発分の多くが分解せずにタールとして残ることが原因である。反応温度が700℃と高温の場合タールが分解し、ガス側の炭素回収率が増す。炭化物の分解によるガス側への炭素回収率の増加は、WBCと同様に水蒸気を用いた700~900℃条件でみられる。一方、キャリアガスである水蒸気量を試料と同量(ST1)から2倍量(ST2)に増すことによってガス側への炭素回収率が増すことを期待したが、あまり効果はなかった。原料の発熱量を1とした場合の炭化物とガスの発熱量を比較してみると、いずれの試料も900℃、ST2の条件でガスとしての発熱量が最も高くなる。これは、水蒸気注入によりガスへの炭素転換率が増加し、水蒸気量を増すことによってさらにH₂の発生量が大きくなったためと考えられる。

3) 新規触媒を用いた廃棄物ガス化ガスの高効率メタン変換技術の開発

廃棄物系バイオマスのガス化は、それが持つエネルギーの再生資源化に適う技術であり、熱分解により効率よくCO、CO₂、H₂などのガスを生み出すことができる。しかし、ガス化で生成したガスの利用価値はそのままでは必ずしも高くなく、改質・変換によってH₂やCH₄などをより多く得ることが望ましい。そこで、CH₄を得ることを目的として、われわれは加熱法と伝統的な溶媒含浸方法で高比表面積と規則的構造を持つSBA-15触媒の細孔にNiOを高密度に担持する触媒開発を目指した。この触媒を用いCOおよびCO₂のCH₄化反応特性を明らかにし、高転換率でCH₄に変換されることを見出した。

加熱法においては、NiO量が10wt%のとき、SBA-15に比較して窒素吸着で求めた比表面積と細孔容積に変化はみられず、NiO粒子がSBA-15外表面に分散されると考えられた。NiO量が20wt%以上においては、比表面積と細

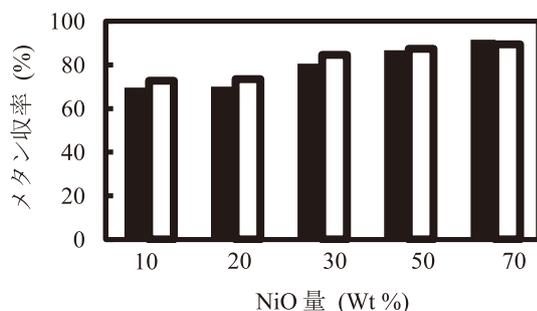


図 6.10 両方法で調製した異なる担持量のNiO/SBA-15によるメタン化時の最大CH₄収率。加熱法(□)、溶媒法(■)。

孔容積が減少したので、NiO粒子がSBA-15細孔内に入り込んだと見積もられた。一方、溶媒法の場合には、NiO量に関係なく、SBA-15に比べ、比表面積と細孔容積が減少したことから、NiO粒子がSBA-15細孔内に入り込むと考えられた。

NiO/SBA-15によるメタン化の最大CH₄収率を図6.10に示す。調製方法に関係なく、触媒量の増加につれてCH₄収率が増加し、両方法で得た触媒のメタン化性能には大きな差がなかった。70wt% NiO/SBA-15を用いた場合には、メタン収率は91.6%となった。COの最大転換率は99.9%ではほぼすべてがCH₄に転換したが、CO₂の最大転換率は82.9%であった。

4) マイクロ波による樹脂からの脱ハロゲン・金属分離技術の予備的検討

電磁波による加熱特性には、被加熱対象物に直接作用すること、選択性があること、均一な加熱が可能であることなどが挙げられる。本検討においては、金属部品や難燃性ハロゲン等から複合的になる樹脂系廃棄物に対して、分離対象となる金属およびハロゲンに電磁波を直接作用させることでこれを選択的に加熱し、複合樹脂から効率的に分離・回収するための技術開発を目的とし、当該廃棄物の現状調査および基礎的検討を実施した(図6.11)。

マイクロ波加熱による有機ハロゲン化合物からの脱ハロゲン技術については、いくつかの具体的検討例が存在し、特にポリ塩化ビニル樹脂へのマイクロ波照射による脱塩素特性においては、従来の脱塩素技術と比較して低温で操作可能であることが明らかとなっており、熱分解抑制による回収樹脂のエネルギー利用の優位性が示唆されている。また、脱ハロゲン反応に対して優れた選択性を有することが、調査結果より明らかとなった。

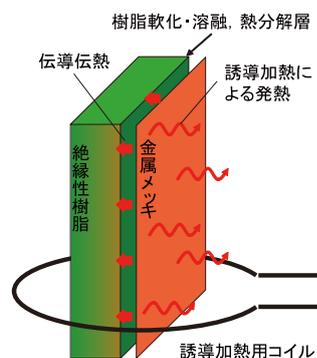


図 6.11 高周波誘導加熱による金属分離技術の概念

5) 資源化技術等に関する調査

本調査は、循環型社会が現実形成されるには技術の存在が不可欠であり、技術はまた効率の向上や問題点の解消等のため常に向上させ、更新されることが必要であるとの観点から、新規原理または従来技術の改良に基づく優れた技術の発掘と発展を目的として実施した。民間の環境プラントメーカー数社と研究会組織を設けて連携し、廃棄物処理・資源化および環境保全技術に関する調査を文献や施設調査等に基づいて行った。各社保有技術の紹介と従来技術に関する課題の抽出と討議、先端的な環境施設の調査及びシーズ技術の探索等を行い、各種情報を収集・集約した。バイオマス系廃棄物を幅広く対象とし、熱化学的または生物学的原理等に基づくガス化利用技術を中心に調査を進めた。

先端的な事例として、従来の単純な焼却処理技術等に替わる廃棄物処理技術・資源循環技術に関し調査を行った。見学・調査した施設は、a) 産業廃棄物を対象とし発電効率の高い設備を備えたガス化溶解方式エネルギー回収プラント、b) 一般廃棄物中の厨芥、食品廃棄物、紙類に関しメタン発酵によるバイオガス化を行い、かつ残さを焼却して両者からのエネルギー利用を図るシステム、c) 木質バイオマスのガス化と発電に関する実証試験設備、d) 廃塩化ビニル樹脂を対象に溶剤溶解法を用いた再資源化プラント、などである。図 6.12 および図 6.13 は上記b)、c) の構成図である。バイオガス化は、高温嫌気性発酵法を採用し、紙類も対象として発酵が行われる。また、ガス化・発電設備の試験では、750℃で行われるガス化は順調である一方発電のためのガスエンジンの維

持管理に費用を要するといった課題が聞かれた。さらに、一般廃棄物を対象とした炭化施設に関し、主なプロセス構成と回収炭化物および金属の利用実態等に関し調査を行った。

以上の新規技術等の調査のほか、現行の技術のもつ課題を抽出、整理した。また、廃棄物資源化に関する技術シーズを内容に応じて分類したほか、ガス精製に有用な高機能触媒に関する材料開発情報について、タール分解触媒やベンゼン/トルエン/キシレン分解触媒等に関し収集し、実験研究に反映させた。

さらに図 6.14 は、韓国ソウル市において一般廃棄物中の厨芥類を対象として建設し、2010年12月から稼働開始したメタン発酵からのバイオガス回収施設の構成である。いわゆる乾式メタン発酵プロセスを採用し、また大都市内に設けられた比較的規模の大きい民間投資事業の先駆的な事例として注目される。

図 6.15 は、各種文献をはじめインターネット上のホームページ等を通じて集積した数百に及ぶ技術情報の内容に関する分類である。メタン発酵、燃料化、ガス化に分類される技術開発等の情報が非常に多いことが明らかになった。

最後に、技術の動向に基づく方向性をともに議論する場として、公開のシンポジウムを平成21および22年度において2回開催した。「低炭素社会の実現に向けた環境技術」および「低炭素社会に向けた資源エネルギー再生・環境技術」である。持続的な自然エネルギー開発とその社会的導入への必要性がとくに高まった現在、同シンポジウムは貴重な情報を提供した。

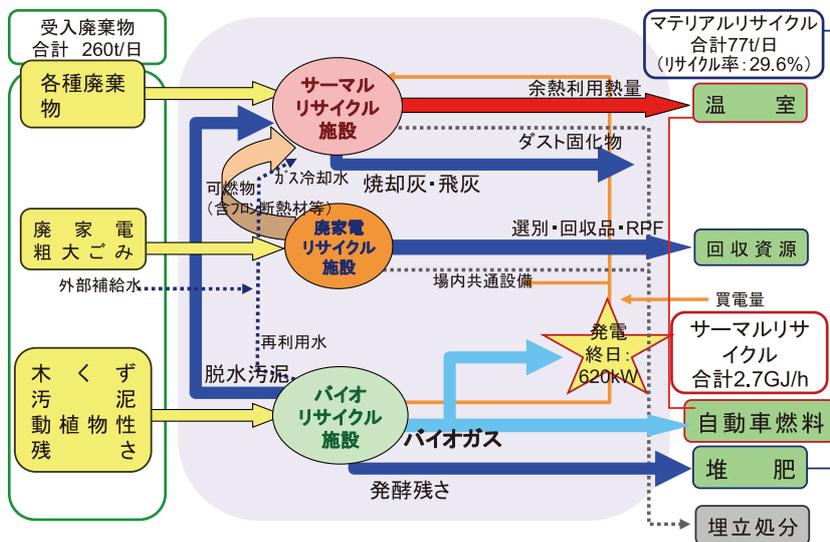


図 6.12 バイオガス化と焼却を組合わせたプラント例

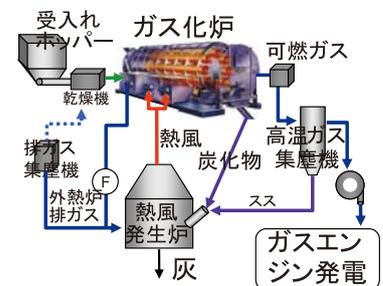


図 6.13 バイオマスガス化発電実証プラント例

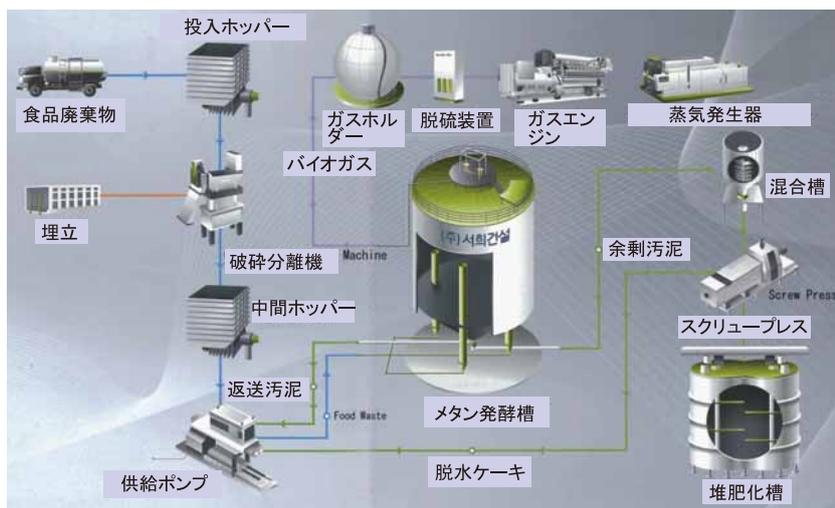
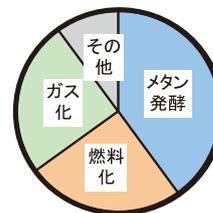


図 6.14 ソウル市内東大門環境資源センター民間投資事業（生ごみ等 98t/d 乾式メタン発酵システム）の調査例

2. 処理方法



[特徴]
 ・メタン発酵技術が多い。
 ・次に、燃料化・ガス化が多い。

図 6.15 技術情報データベース内容の例

(3) まとめ

本研究では、資源循環に係る基盤的技術の開発を通じて知的研究基盤整備を図ることとしている。この意味で、とくに高含水バイオマスへの適用が望ましい高圧流体応用技術、低含水バイオマスへの適用が望ましい各種ガス化・炭化技術およびガス転換等の要素技術の動向を探り、実験に基づく要素技術データを集積した。将来的に一層の技術的展開を図る上で基礎的な知見になったと考える。

一方、社会的に大きな視点から、廃棄物からのエネルギー回収および資源化に関する技術動向を実地にに基づき探索した。実際にプラント設備を見ることによって、技術の現実的な特徴や課題を把握し、的確に将来の環境技術を見据える視点を提供できたと考える

7 知的研究基盤の整備

7.1 資源循環・廃棄物処理に関するデータベースの作成

(1) 目的

循環型社会の形成や適正な廃棄物管理に関する研究を進める上で、技術・システムの設計・評価、安全性の担保等を合理的に行うためには、知的研究基盤としての統合的な情報基盤整備が必須である。

そこで、資源循環・廃棄物分野における知的研究基盤として、ビジョン策定、システム設計・評価、環境安全・適正処理の確保等を目的に関連データの収集を継続的に実施して、データベース（以下、DB という）の整備を行った。これらは、①物質フローDB、②廃棄物・再生材化学特性DB、③資源循環・廃棄物処理技術DBに大別することができ、①については、明治以降の日本の資源投入時系列DB、平成17年産業連関表に対応させた環境負荷・廃棄物DB、製品・ストックの使用年数DB、一般廃棄物実態調査アーカイブDB、石油製品・石油化学製品のフローに関するデータの収集・整備を行った。また、平成20年度からは、アジアの廃棄物フロー等のデータ収集にも着手した。②については、産業廃棄物の性状データならびに熔融スラグ、焼却残渣、鉍滓等の再生製品溶出試験データを収集して、建設系再生製品の環境安全性DB

として整備を行った。また、食品残渣の性状等を食品廃棄物DB化を進めた。③については、循環技術プロセスの投入・産出DBの整備を進めた。さらに、政策DBとして、国外のデポジット・リファンド制度の情報源情報DBを整備・公開した。

以下では、主要な結果を述べる。

(2) 明治以降の日本の資源投入時系列DB

循環型社会に向けた中長期のビジョン策定等に向けては、過去の物質利用のトレンドを把握し、社会経済的現象を物質利用の視点から理解することが重要である。これまでに整備されている我が国全体の物質フローデータ（1980年以降）を100年以上拡張し、明治以降（1868年以降）のデータの収集・整備を行った。データは、我が国の生産統計や貿易統計などより入手し、一次資源、基礎素材、製品の計109区分についてデータ収集を進めた。なお、欠損年が残るとともに、統計データ項目の名称等が変更されているなど、データの連続性を確認できておらず、データの精査が今後の課題として残された。

(3) 平成17年産業連関表に基づく環境負荷・廃棄物DB

2009年に公表された平成17年産業連関表の部門分類

CPC中分類	
CPC小分類	中分類が選択されると小分類の選択ができるようになる。
CPC細分類	小分類が選択されると細分類の選択ができるようになる。
製品名	
使用年数等の定義	
算出された使用年数等の分布の種類	<input type="checkbox"/> 全て選択 <input type="checkbox"/> 使用済み年基準 / 数量ベース = 総使用済み数を分母とする割合ベースの分布 (タイプ a=b) <input type="checkbox"/> 使用済み年基準 / 出荷数を分母とする割合ベースの分布 (タイプ c) <input type="checkbox"/> 出荷年基準 / 数量ベース = 割合ベースの分布 (タイプ d=e) <input type="checkbox"/> 使用済み年基準 = 出荷年基準 / 出荷数を分母とする割合ベースの分布 (タイプ c=e) <input type="checkbox"/> 使用済み年基準の分布 (分布の縦軸は不明) (タイプ a, b, cのいずれか) <input type="checkbox"/> 不明
代表値の種類	<input type="checkbox"/> 全て選択 <input type="checkbox"/> 平均値 <input type="checkbox"/> 中央値 <input type="checkbox"/> 不明
対象地域	
対象国	対象地域を選択すると対象国を選択することができます。
開始年/終了年	<input type="text"/> ~ <input type="text"/> <input type="checkbox"/> 全ての年度

図 7.1 製品・ストックの使用年数DBの画面
(<http://www.nies.go.jp/lifespan/index.html>から閲覧可能)。

に基づき、部門別エネルギー消費量および温室効果ガス排出量を推計し、生産者価格基準と購入者価格基準の部門別内包型原単位を算定した。その成果は、「産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）」のWeb版からより公開した。

(<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html>から閲覧可能)。

(4) 製品・ストックの使用年数DB

我が国全体の物質フローをみると、ストックへのフローが大きな割合を占めるため、その状況把握が重要である。そこで、ストックの推計に欠かせない情報として、国等の統計調査、研究論文、業界団体等の調査報告書等において報告されている各種製品の使用年数・寿命情報をレビューし、日本をはじめとする16の国において調査・推定された約1,400の使用年数・寿命分布データをデータベース化して公開した(図7.1)。製品名などいくつかのキーワードからデータの検索を行うことができる。

(5) 一般廃棄物実態調査アーカイブDB

環境省の一般廃棄物処理実態調査のアーカイブデータを電子化・整備した。昭和46年以降の都道府県レベルのデータ、ならびに昭和63年度以降の市町村レベルのデー

タを整理・一元化した。(2)と同様、統計データ項目の名称等が変更されているなど、データの連続性を確認できていないなど、データの精査が今後の課題として残された。

(6) 東南アジアにおける廃棄物DB

発展途上国では廃棄物に関するデータが不足しており、信頼性も低い。東南アジアの主要都市を対象に廃棄物管理に関する実態調査を実施し、データの整備状況を確認した。調査対象とした都市の全てにおいて廃棄物の処理量を把握できた。ただし、トラックスケールを利用していない都市における処理量データの信頼性はやや劣ることが示唆された。また、ベトナム・ハノイ市においてはインフォーマルセクターによって回収されている有価物のフローについても推計した。DBの構築に向けてはデータの精査が今後の課題として挙げられる。

(7) 建設系再生製品の環境安全性DB

燃え殻、鉱滓、汚泥等190サンプルの排出業種、熱灼減量、公定溶出試験等のデータを収集・整備し、パソコン上で検索を実施できるプログラムを作成した(図7.2)。表示されている試料が試料母集団中でどの濃度レベルにあるかを色で示すカラーチャート、元素別の濃度ヒストグラム表示、対象試料のデータシート(試料種類、

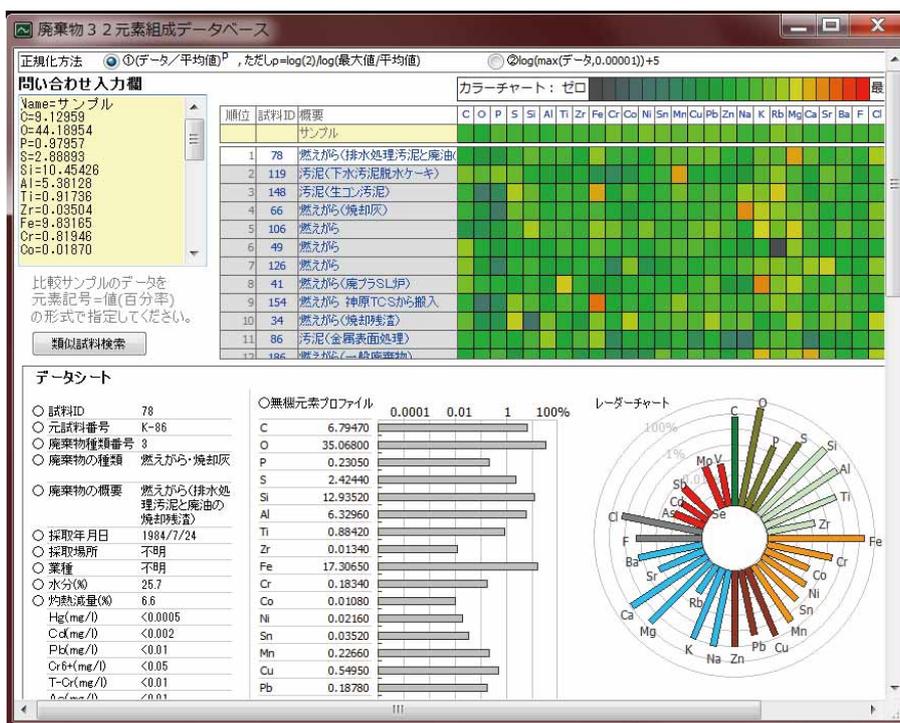


図7.2 建設系再生製品の環境安全性DBの画面

採取日、溶出試験結果、各種無機元素濃度プロファイル、色相など）を閲覧できるとともに、類似試料の検索が可能である。

(8) 食品廃棄物DB

以下の2項目（発生量原単位データと組成データ）で構成される食品廃棄物DBを整備した。

- ① 業種別発生量原単位：日本標準産業分類にしたがって食品産業を分類し、食品産業の細分類ベースで発生量原単位を調査した。このデータは次の組成データベースに対応する原単位とした。
- ② 業種別組成データベース：原単位発生量を調査した事業所にサンプルの提供を求め、主要な廃棄物組成データを収集した。

データベース整備は、まず、埼玉県を対象とし、埼玉県やさいたま市の関連部局の協力を得て上記の調査を行い、不足している業種については、宮崎県、東京都、千葉県の事業所の調査で補充した。つづいて、茨城県の食品廃棄物の実態調査結果と上記のデータベースから得られる茨城県の食品廃棄物発生量の推計値を照合し、その妥当性を検証した。

(9) 循環技術プロセスの投入・産出DB

廃棄物の循環技術を構成するプロセスごとに、物質およびエネルギーの投入および産出について、文献調査やヒアリング調査を実施し、フォアグラウンドデータを収集・整理するとともに、バックグラウンドデータとして、投入および産出(廃棄物等)に関するインベントリーデータを合わせて収集整理することとした。循環利用によって回避される従来プロセスについても投入・産出データを収集・整備した。

これまでに、炭素含有資源に着目し、廃棄化石資源（プラスチック）や廃棄生物資源（バイオマス）の循環技術プロセスについてデータベースを整備できた。同データベースはいくつかの技術システムの評価に適用された。

(10) デポジット・リファンド制度の情報源情報DB

海外におけるデポジット・リファンド制度の存在・適用状況を調査・整理し、2010年時点の情報を公開した。
(<http://www-cycle.nies.go.jp/deposit-refund/index.html>から閲覧可能)

[資 料]

I 研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織

[A 研究担当者]

循環型社会・廃棄物研究センター

センター長

森口祐一

副センター長

井上雄三^{*)}

野馬幸生^{*)}

循環型社会システム研究室

森口祐一

橋本征二

南齋規介

加用千裕

横尾英史

阿部直也^{*)}

国際資源循環研究室

寺園 淳

吉田 綾

中島謙一

村上（鈴木）理映

村上進亮^{*)}

循環技術システム研究室

大迫政浩

田崎智宏

稲葉陸太

河井紘輔

藤井 実^{*)}

鄭 昌煥^{*)}

崔 基仁^{*)}

李 淑熙^{*)}

資源化・処理処分技術研究室

川本克也

山田正人

遠藤和人

石垣智基

小林 潤^{*)}

安田憲二^{*)}

朝倉 宏^{*)}

成岡朋弘

黄 仁姫^{*)}

Komsilp Wang-Yao^{*)}

佐伯 孝^{*)}

阿部 誠^{*)}

呉 畏^{*)}

山田亜矢^{*)}

坂内 修^{*)}

	井上研一郎*)
	石森洋行
	金 喜鍾
	魯 保旺
	Aljbour Salah Hamdan Matrouk
廃棄物試験評価研究室	貴田晶子*)
	野馬幸生*)
	倉持秀敏
	山本貴士
	川口光夫
	高橋史武*)
物質管理研究室	野馬幸生
	滝上英孝
	肴倉宏史
	渡部真文
	梶原夏子
	鈴木 剛
	小口正弘
	石川 紫*)
	小瀬知洋*)
	白波瀬朋子*)
	本田 守*)
バイオエコ技術研究室	森口祐一
	蛭江美孝
	徐 開欽
	近藤貴志*)
	劉 超翔*)
	李 東列*)
	稲森悠平*)
	褚 春鳳*)
	桂 萍*)

注：*) は、過去（平成22年度以前）に所属していた研究者を示す。

[B 特別客員研究員]

酒井伸一	(京都大学)	平成18～19年度
井上雄三		平成21～22年度
貴田晶子		平成21～22年度

[C 客員研究員]

阿部直也	(東京工業大学)	平成20年度～21年度
雨宮 隆	(横浜国立大学)	平成18年度～21年度
石垣智基	(龍谷大学)	平成18年、20～21年度

磯部友護	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
稲葉陸太	(北海道大学)	平成18年度
稲森悠平	(福島大学)	平成20年度～22年度
今岡 務	(広島工業大学)	平成18年度～20年度
岩見徳雄	(明星大学)	平成18年度～21年度
戎野棟一	(東邦大学)	平成18年度～21年度
碓井健寛	(創価大学)	平成22年度
大石 修	(千葉県環境研究センター)	平成20年度～22年度
大河内由美子	(京都大学)	平成18年度
岡田光正	(広島大学)	平成18年度
岡本 拓	(広島県保健環境センター)	平成18年度～21年度
小野雄策	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～20年度、22年度
香川智紀	(社) 全国産業廃棄物連合会	平成22年度
加河茂美	(九州大学)	平成19年度～20年度
形見武男	(岐阜県産業技術センター)	平成21年度～22年度
香村一夫	(早稲田大学)	平成19年度～22年度
川寄幹生	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
川端善一郎	(人間文化研究機構総合地球環境学研究所)	平成18年度～21年度
木田建次	(熊本大学)	平成20年度
金 主鉉	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度
木村賢史	(東海大学)	平成18年度～19年度
木持 謙	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
倉田泰人	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
孔 海南	(上海交通大学)	平成18年度～22年度
小林 潤	(工学院大学)	平成22年度
小柳秀明	((財) 地球環境戦略研究機関北京事務所)	平成18年度
酒井伸一	(京都大学)	平成20年度～22年度
清水康利	(東陶機器 (株))	平成18年度
杉浦則夫	(筑波大学)	平成18年度～22年度
鈴木和将	(埼玉県環境科学国際センター)	平成22年度
須藤隆一	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
関戸友雄	(宮崎大学)	平成20年度
高橋 真	(愛媛大学)	平成18年度～22年度
高橋通正	(神奈川県環境科学センター)	平成22年度
田中綾子	(福岡大学)	平成18年度～21年度
田中修三	(明星大学)	平成18年度
田中秀夫	(筑波大学)	平成18年度
田中宏和	(福井県衛生環境研究センター)	平成19年度～22年度
谷口初美	(産業医科大学)	平成18年度～平成19年度
常田 聡	(早稲田大学)	平成19年度
東條安匡	(北海道大学)	平成19年度～22年度
土手 裕	(宮崎大学)	平成18年度～20年度

長坂實上	(茨城大学退官者)	平成18年度～19年度
中里広幸	((株) クライス)	平成18年度
長森正尚	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
西村 修	(東北大学)	平成18年度～22年度
野馬幸生	(国立環境研究所退職者(当時))	平成22年度
長谷隆仁	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度
早川和一	(金沢大学)	平成19年度～22年度
林 紀男	(千葉県立中央博物館)	平成18年度～22年度
半野勝正	(千葉県環境研究センター)	平成19年度～22年度
原 雄	(千葉県環境科学センター)	平成18年度～19年度
平井康宏	(京都大学)	平成19年度～22年度
平田 彰	(早稲田大学名誉教授)	平成18年度
福井 博	(神奈川県環境科学センター)	平成19年度～平成20年度
福田和正	(産業医科大学)	平成19年度～平成20年度
藤井 実	(名古屋大学)	平成21年度
古川憲治	(熊本大学)	平成20年度
松藤康司	(福岡大学)	平成18年度
松村正利	(筑波大学)	平成18年度
虫明功臣	(福島大学)	平成18年度～20年度
村上進亮	(東京大学)	平成19年度～22年度
村上和仁	(千葉工業大学)	平成18年度
毛利紫乃	(岡山大学)	平成18年度～21年度
森 達摩	(大阪府環境農林水産総合研究所)	平成20年度～22年度
安田憲二	(東京工芸大学大学院)	平成21年度～22年度
安原昭夫	(東京理科大学)	平成18年度～21年度
矢吹芳教	(大阪府環境農林水産総合研究所)	平成20年度～22年度
山崎宏史	((財) 茨城県薬剤師会公衆衛生検査センター)	平成18年度～22年度
山本雅資	(富山大学)	平成22年度
李 玉友	(東北大学)	平成18年度～22年度
呂 錫武	(中国東南大学)	平成21年度～22年度
渡辺洋一	(埼玉県環境科学国際センター)	平成18年度～22年度

[D 共同研究員 (共同研究契約にもとづく)]

沼田大輔	(福島大学)	平成20年度～21年度
東條なお子	(スウェーデン・ルンド大学)	平成20年度～21年度
石垣智基	(龍谷大学)	平成18年度～19年度
田中綾子	(福岡大学)	平成18年度～19年度
中山裕文	(九州大学)	平成18年度～19年度
松藤康司	(福岡大学)	平成18年度～19年度
松藤敏彦	(北海道大学)	平成18年度～19年度
藤原 拓	(高知大学)	平成22年度～26年度
古積 博	(総務省消防庁消防大学校消防研究センター)	平成18年度～19年度

佐宗祐子	(総務省消防庁消防大学校消防研究センター)	平成18年度～19年度
岩田雄策	(総務省消防庁消防大学校消防研究センター)	平成18年度～19年度
内藤浩由	(総務省消防庁消防大学校消防研究センター)	平成18年度～19年度
山脇 敦	(財団法人産業廃棄物処理事業振興財団)	平成18年度～19年度
小松 寛	(大成建設株式会社)	平成18年度～19年度
樋口雄一	(大成建設株式会社)	平成18年度～19年度
中島秀也	(大成建設株式会社)	平成18年度～19年度
升本俊也	(大成建設株式会社)	平成18年度～19年度

[E MOU (外国研究機関との覚書) の締結]

スウェーデン・ルンド大学国際環境産業経済研究所	平成20年度～22年度
タイ・カセサート大学	平成21年度～24年度
タイ・キングモンクット大学	平成21年度～24年度
タイ・ラムチャバン市	平成21年度～24年度
中国・中国住宅・都市農村建設部農村汚水処理技術北方研究センター	平成21年度～24年度
ベトナム・Institute of Science for Environmental Management (ISEM)	平成21年度～24年度
ベトナム・Institute for Urban Environment and Industry of Vietnam (INEV)	平成21年度～24年度

2 研究課題と担当者

(1) 中核研究プロジェクト1：近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価

大迫政浩・森口祐一・橋本征二・田崎智宏・藤井 実・南齋規介・村上進亮・稲葉陸太・中島謙一・河井紘輔・鄭 昌煥・村上理映・阿部直也・加用千裕・横尾英史・加河茂美*

(2) 中核研究プロジェクト2：資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価

野馬幸生・森口祐一・滝上英孝・貴田晶子・肴倉宏史・渡部真文・梶原夏子・小瀬知洋・鈴木 剛・白波瀬朋子・小口正弘・山本貴士・川口光夫・田崎智宏・高橋史武・石川 紫・中島謙一・村上進亮・酒井伸一*・平井康宏*・安原昭夫*・岡本 拓*・田中綾子*・高橋 真*・早川和一*

(3) 中核研究プロジェクト3：廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発

川本克也・井上雄三・稲森悠平・蛭江美孝・徐 開欽・大迫政浩・倉持秀敏・山田正人・稲葉陸太・小林 潤・近藤貴志・李 東烈・崔 基仁・褚 春鳳・Aljbour Salah Hamdan Matrouk・李 玉友*・須藤隆一*・杉浦則夫*・松村正利*・今岡 務*・谷口初美*・福田和正*・土手 裕*・関戸知雄*

(4) 中核研究プロジェクト4：国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築

寺園 淳・森口祐一・井上雄三・吉田 綾・村上進亮・中島謙一・村上(鈴木)理映・河井紘輔・李 淑熙・崔 基仁・山田正人・遠藤和人・Komsilp Wang-Yao・松藤康司*・石垣智基*・貴田晶子・滝上英孝・渡部真文・梶原夏子・肴倉宏史・小口正弘・横尾英史・平井康宏*・稲森悠平・徐 開欽・蛭江美孝・劉 超翔・近藤貴志・神保有亮・桂 萍・須藤隆一*・孔 海南*・林 紀男*・岩見徳雄*・戎野棟一*・杉浦則夫*・西村 修*・川端善一郎*・木村賢史*・木持 謙*・松村正利*・虫明功臣*・村上和仁*

(5) 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究

① 循環型社会に対応した安全・安心な適正処理・処分技術の確立

井上雄三・川本克也・山田正人・遠藤和人・石垣智基・小林 潤・坂内 修・山田垂矢・朝倉 宏・阿部 誠・成岡朋弘・石森洋行・金 喜鍾・小野雄策*・東條安匡*・川寄幹生*・渡辺洋一*・磯部友護*・大石 修*・香村一夫*・倉田泰人*・鈴木和将*・高橋通正*・田中和宏*・長谷隆仁*

- 半野勝正^{*}・原 雄^{*}・福井 博^{*}・毛利紫乃^{*}・森 達磨^{*}・矢吹芳教^{*}
- ② 試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化
貴田晶子・野馬幸生・山本貴士・滝上英孝・肴倉宏史・渡部真文・鈴木 剛・川口光夫・梶原夏子・
小瀬知洋・白波瀬朋子・藤森 崇
- ③ 液状・有機性廃棄物の適正処理技術の高度化
稲森悠平・徐 開欽・蛭江美孝・近藤貴志・須藤隆一^{*}・岡田光正^{*}・岩見徳雄^{*}・雨宮 隆^{*}・
長坂實上^{*}・清水康利^{*}・杉浦則夫^{*}・田中修三^{*}・西村 修^{*}・山崎宏史^{*}・川端善一郎^{*}・
金 主鉉^{*}・常田 聡^{*}・平田 彰^{*}・松村正利^{*}・虫明功臣^{*}・村上和仁^{*}
- ④ 廃棄物の不適正処理に伴う負の遺産対策
野馬幸生・井上雄三・山田正人・遠藤和人・山本貴士
- (6) 基盤的な調査・研究
- ① 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究
貴田晶子・野馬幸生・山本貴士
- ② 資源循環に係る基盤的技術の開発
川本克也・小林 潤・佐伯 孝・黄 仁姫・魯 保旺
- (7) 知的研究基盤の整備
- ① 資源循環・廃棄物処理に関するデータベース等の作成
森口祐一・井上雄三・貴田晶子・大迫政浩・山田正人・橋本征二・田崎智宏・倉持秀敏・藤井 実・
南齋規介・滝上英孝・肴倉宏史・稲葉陸太・加用千裕・河井紘輔

注：^{*}は、(第2期中期計画期間における職員経験者以外の)客員研究員を示す。

II 研究成果発表一覧

1 誌上発表

(1) 中核研究プロジェクト1: 近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

阿倍直也, 大迫政浩 (2008) 一般廃棄物行政に対するベンチマーキング手法の適用意義とその課題, 廃棄物学会論文誌, 19 (3), 161-174

醍醐市朗, 橋本征二 (2009) 物質フロー分析の近年の動向と課題, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (5), 254-263

藤井実, 橋本征二, 南齋規介, 村上進亮, 稲葉陸太, 森口祐一 (2007) リサイクルの LCI 分析結果の表記法, 土木学会論文集G, 63 (2), 128-137

藤井実, 村上進亮, 南齋規介, 橋本征二, 森口祐一, 中村卓也, 越川敏忠 (2007) 家庭系ごみの分別収集に係わる収集車の走行距離・台数等の調査, 廃棄物学会論文誌, 18 (6), 443-453

藤井実 (2007) リサイクル技術の評価, 環境技術会誌, (129), 100-105

藤井実, 橋本征二, 南齋規介, 村上進亮, 稲葉陸太, 大迫政浩, 森口祐一 (2008) マテリアルリサイクルの LCI 分析手法の整理と評価事例, 日本LCA学会誌, 4 (1), 78-88

藤井実 (2009) 3.1 容器包装プラスチックのリサイクル, 4.2.2 リサイクル効果の要素分解, 松藤敏彦編著, プラスチックリサイクル入門—システム・技術・評価—, 技報堂, 71-85, 137-146

橋本征二, 森口祐一, 田崎智宏, 柳下正治 (2006) 循環型社会像の比較分析, 廃棄物学会論文誌, 17 (3), 204-218

橋本征二, 田畑智博, 松本亨, 田崎智宏, 森口祐一, 井村秀文 (2006) 自治体の廃棄物処理事業を対象とした環境会計の枠組み試案, 都市清掃, 59 (271), 19-26

Hashimoto S., Tanikawa H., Moriguchi Y. (2007) Where will large amounts of materials accumulated within the economy go?-A material flow analysis of construction minerals for Japan, Waste Manage., 27 (12), 1725-1738

橋本征二 (2007) 気候変化の短中期の緩和と緩和のための政策・措置・手法, グローバルネット, (199), 12-13

Hashimoto S., Matsui S., Matsuno Y., Nansai K., Murakami S., Moriguchi Y. (2008) What factors have changed Japanese resource productivity?: A decomposition analysis for 1995-2002, J.Ind.Ecol., 12 (5/6), 657-668

Hashimoto S., Tanikawa H., Moriguchi Y. (2009) Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy -A case study of construction minerals in Japan, Waste Manage., 29 (11), 2859-2866

橋本征二, 大迫政浩, 阿部直也, 稲葉陸太, 田崎智宏, 南齋規介, 藤井実, 松橋啓介, 森口祐一 (2009) 近未来の資源・廃棄物フローおよび資源循環・廃棄物管理システムに関するシナリオ・プランニング, 土木学会論文集G, 65 (1), 44-56

橋本征二 (2009) 循環型社会の地球温暖化対策, マッセOSAKA研究紀要, 12, 77-92

橋本征二 (2009) 建設リサイクル法の施行状況の検討と200年住宅の普及促進に関する動き, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (3), 115-121

Hashimoto S. (2009) The Junkan-Gata Society: Concept and progress in MFA in Japan, J.Ind.Ecol., 13 (5), 655-657

Hashimoto S., Daigo I., Eckelman M., Reck B. (2010) Measuring the status of stainless steel use in the Japanese socio-economic system, Resour.Conserv.Recycl., 54 (10), 737-743

稲葉陸太 (2007) バイオマス利活用とメタン発酵の可能性, 廃棄物研究財団だより, 71, 15-20

稲葉陸太 (2009) 4.1 LCAとは, 4.2.1 リサイクルシステムのLCAとシステム境界, 4.3 プラスチックリサイクルシステムのLCA事例, 松藤敏彦編著, プラスチックリサイクル入門—システム・技術・評価—, 技報堂, 127-131, 132-137, 147-154

Inaba R., Nansai K., Fujii M., Hashimoto S. (2010) Hybrid life-cycle assessment (LCA) of CO₂ emission with management alternatives for household food wastes in Japan, *Waste Manag.Res.*, 28 (6), 496-507

Jung C., Osako M. (2007) Thermodynamic behavior of rare metals in the melting process of municipal solid waste (MSW) incineration residue, *Chemosphere*, 69 (2), 279-288

Jung C., Osako M. (2009) Water extraction with CO₂ bubbling as pretreatment of melting-furnace fly ash for metal recovery, *J.Mater.Cycl.Waste Manag.*, 11 (1), 65-72

Kagawa S., Kudoh Y., Nansai K., Tasaki T. (2008) The economic and environmental consequences of automobile lifetime extension and fuel economy improvement: Japan's case, *Econ.Syst.Res.*, 20 (1), 3-28

Kagawa S., Nansai K., Kudoh Y. (2009) Does product lifetime extension increase our income at the expense of energy consumption?, *Energy Econ.*, 31 (2), 197-210

Kubo H., Yokoyama K., Nakajima K., Hashimoto S., Nagasaka T. (2008) Application for material flow accounting to phosphorus in Japan with a focus on its accumulation, *J. Environ. Eng. Manage.*, 18 (1), 49-55

Matsui Y., Tanaka M., Osako M. (2007) Study of the effect of political measures on the citizen participation rate in recycling and on the environmental load reduction, *Waste Manage.*, 27 (8), 9-20

Bogner J., Ahmed M.A., Diaz C., Faaij A., Gao Q., Hashimoto S., Mareckova K., Pipatti R., Zhang T. (2007) Chapter 10 Waste management, In: Metz B. et al.ed., *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, 585-618

森口祐一 (2007) 循環型社会の理念、実践と研究展望, *土木学会論文集G*, 63 (4), 286-293

Murakami S., Oguchi M., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part I: The creation of a database and its review, *J.Ind.Ecol.*, 14 (4), 598-612

村上進亮, 橋本征二 (2010) 経済社会の物質ストックに関わる研究の意義と現状, *日本LCA学会誌*, 6 (2), 76-82

村上進亮, 藤井実, 南齋規介, 橋本征二, 大迫政浩, 森口祐一 (2008) 地理的特性を考慮した収集・運搬費用算定モデル, *廃棄物学会論文誌*, 19 (3), 225-234

Nansai K., Kagawa S., Suh S., Inaba R., Moriguchi Y. (2007) Simple indicator to identify the environmental soundness of growth of consumption and technology: "Eco-velocity of consumption", *Environ.Sci.Technol.*, 41 (4), 1465-1472

Nansai K., Kagawa S., Moriguchi Y. (2007) Proposal of a simple indicator for sustainable consumption: classifying goods and services into three types focusing on their optimal consumption levels, *J.Cleaner Prod.*, 15 (10), 879-885

Nansai K., Inaba R., Kagawa S., Moriguchi Y. (2008) Identifying common features among household consumption patterns optimized to minimize specific environmental burdens, *J.Clean.Prod.*, 16 (4), 538-548

Nansai K., Kagawa S., Suh S., Fujii M., Inaba R., Hashimoto S. (2009) Materials and energy dependence of services and its implications for climate change, *Environ.Sci.Technol.*, 43 (12), 4241-4246

Nansai K. (2009) Environmental Input-Output database building in Japan, In: Suh Sangwon ed., *Handbook on Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, 653-688

Oguchi M., Murakami S., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part II: Methodologies for estimating lifespan distribution of commodities, *J.Ind.Ecol.*, 14 (4), 613-626

Oguchi M., Tasaki T., Moriguchi Y. (2010) Decomposition analysis of waste generation from stocks in a dynamic system: Factors in the generation of waste consumer durables, *J.Ind.Ecol.*, 14 (4), 627-640

大迫政浩, 肴倉宏史, 鄭昌煥 (2007) 廃棄物溶融技術を中核とする資源循環システムの設計と評価, *環境資源工学*, 54 (4), 209-259

大迫政浩, 肴倉宏史 (2010) 都市ごみ焼却残渣の処理およびリサイクルの行方, *都市清掃*, 63 (297), 422-426

- 大迫政浩 (2010) 日本および欧州のリサイクル政策の変遷, 日本エネルギー学会誌, 89 (6), 482-489
- 大迫政浩 (2010) 平成21年度 2020年における我が国環境ビジネスに関する調査研究, 産業機械, (718), 4-11
- Reck B.K., Chambon M., Hashimoto S., Graedel T.E. (2010) The global stainless steel cycle exemplifies China's rise to metal dominance, *Environ.Sci.Technol.*, 44 (10), 3940-3946
- 谷川寛樹, 大西暁生, 高平洋祐, 橋本征二, 東修, 白川博章, 井村秀文 (2010) “ストック型” かつ “低炭素型” 社会へ向けた都市構造物の物質・エネルギー消費の 4D マッピング: 名古屋市の建築物を対象としたケーススタディ, 日本LCA学会誌, 6 (2), 92-101
- 田崎智宏 (2007) ごみ減量・再資源化に係る廃棄物処理費用の現状と課題, 都市清掃, 60 (280), 549-554
- 田崎智宏 (2009) リサイクル法の見直しをめぐって, グローバルネット, (223), 18-19
- 田崎智宏, 森口祐一 (2009) 現状のごみ問題, 自治体法務研究, (18), 6-11
- Wen Lih-Chyi, Lin Chun-Hsu, 村上理映, 朴勝俊 (2010) 台湾の廃電子・電気機器 (WEEE) のリサイクル政策に関する評価, LEE Soocheol 著, 東アジアの環境賦課金制度—制度進化の条件と課題, 昭和堂, 273-300
-

(2) 中核研究プロジェクト 2: 資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価

- 遠藤和人, 肴倉宏史, 大迫政浩 (2007) 境膜厚さに着目したバッチとカラム溶出試験における溶出挙動の比較, 第7回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 155-162
- Falandysz J., Nose K., Ishikawa Y., Lukaszewicz E., Yamashita N., Noma Y. (2006) HRGC/HRMS analysis of chloronaphthalenes in several batches of halowax 1000,1001,1013,1014 and 1099, *J.Environ.Sci.Health A*, 41 (10), 2237-2256
- Flandysz J., Nose K., Ishikawa Y., Lukaazewicz E., Yamashita N., Noma Y. (2006) Chloronaphthalenes composition of several batches of halowax 1051, *J.Environ.Sci.Health A*, 41 (3), 291-301
- Fuse M., Nakajima K., Yagita H. (2009) Global flow of metal resources in the used automobile trade, *Mater.Trans.*, 50 (4), 703-710
- Hirobe M., Goda Y., Okayasu Y., Tomita J., Takigami H., Ike M., Tanaka H. (2006) The use of enzyme-linked immunosorbent assays(ELISA) for the determination of pollutants in environmental and industrial wastes, *Water Sci.Technol.*, 54 (11/12), 1-9
- 乾徹, 肴倉宏史, 鎌田典久, 田坂行雄 (2008) 廃棄物再生資材の新たな環境影響試験法とその適用事例, 地盤工学会誌, 56 (8), 16-19
- Kajiwara N., Noma Y., Takigami H. (2008) Photolysis studies of technical decabromodiphenyl ether(DecaBDE) and ethane(DeBDethane) in plastic under natural sunlight, *Environ.Sci.Technol.*, 42 (12), 4404-4409
- Kajiwara N., Sueoka M., Ohiwa T., Takigami H. (2009) Determination of flame-retardant hexabromocyclododecane diastereomers in textiles, *Chemosphere*, 74 (11), 1485-1489
- 梶原夏子, 貴田晶子, 滝上英孝 (2011) 可搬型蛍光X線分析計による各種製品部材中RoHS指令対象物質のスクリーニング調査, 環境化学, 21 (1), 13-20
- Kawashiro Y., Fukata H., Omori-Inoue M., Kubonoya K., Jotaki T., Takigami H., Sakai S.-i., Mori C. (2008) Perinatal exposure to brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls in Japan, *Endocr.J.*, 55 (6), 1071-1084
- 貴田晶子, 高橋史武 (2008) 日本と諸外国の水銀の大気排出インベントリ, 地球環境, 13 (2), 167-180
- Kose T., Yamamoto T., Anegawa A., Mohri S., Ono Y. (2008) Source analysis for polycyclic aromatic hydrocarbon in road dust and urban runoff using marker compounds, *Desalination*, 226 (1-3), 151-159
-

Kuramochi H., Kawamoto K., Sakai S.-i. (2008) Effects of pH on the water solubility and 1-octanol/water partition coefficient of 2,4,6-tribromophenol, *J. Environ. Monit.*, 10 (2), 206-210

松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2009) 社会基盤素材を介したサブスタンスフロー, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (5), 227-236

宮脇健太郎, 大迫政浩, 肴倉宏史 (2007) 都道府県等におけるリサイクル製品認定制度の現状と課題-制度調査と問題事例-, 廃棄物学会誌, 18 (3), 182-193

宮脇健太郎, 大迫政浩, 肴倉宏史 (2009) リサイクル認定制度の現状と課題, 再生と利用, 33 (122), 6-12

門木秀幸, 貴田晶子, 細井由彦 (2009) ガラス系再生材からの重金属類の溶出特性と地下水への影響評価, 廃棄物学会論文誌, 20 (1), 24-38

Murakami S., Oguchi M., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part I: The creation of a database and its review, *J. Ind. Ecol.*, 14 (4), 598-612

中島謙一, 中村慎一郎, 松八重和代, 近藤康之, 長坂徹也 (2009) 廃棄物産業連関分析を応用したトップダウン型 MFAモデルの開発, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (5), 206-211

中島謙一, 竹田修, 三木貴博, 長坂徹也 (2009) 熱力学的解析に基づいた金属の潜在的な資源回収可能性の評価手法, 日本金属学会誌, 73 (10), 794-801

中島謙一 (2010) 希少金属の循環利用のために, 電気協会報, 12, 14-19

Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2010) Thermodynamic analysis of contamination by alloying elements in aluminum recycling, *Environ. Sci. Technol.*, 44 (14), 5594-5600

Nakamura S., Nakajima K., Yoshizawa Y., Matsubae-Yokoyama K., Nagasaka T. (2009) Analyzing polyvinyl chloride in Japan with the waste input-output material flow analysis model, *J. Ind. Ecol.*, 13 (5), 706-717

Nose K., Hashimoto S., Takahashi S., Noma Y., Sakai S.-i. (2007) Degradation pathways of decabromodiphenyl ether during hydrothermal treatment, *Chemosphere*, 68, 120-125

Oguchi M., Murakami S., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part II: Methodologies for estimating lifespan distribution of commodities, *J. Ind. Ecol.*, 14 (4), 613-626

Oguchi M., Tasaki T., Moriguchi Y. (2010) Decomposition analysis of waste generation from stocks in a dynamic system: Factors in the generation of waste consumer durables, *J. Ind. Ecol.*, 14 (4), 627-640

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, 248-252

Omori N., Fukata H., Sato K., Yamazaki K., Aida-Yasuoka K., Takigami H., Kuriyama M., Ichinose M., Mori C. (2007) Polychlorinated biphenyls (PCBs) alternate the expression of endothelial nitric oxide synthase (eNOS) mRNA in human umbilical vein endothelial cells (HUVECs), *Human and Experimental Toxicology*, 26, 811-816

大迫政浩, 肴倉宏史 (2006) 再生製品の環境安全管理に関する現状と今後の展望-建設資材系再生製品に関する評価方法と許容基準-, 廃棄物学会誌, 17 (4), 206-233

大迫政浩, 肴倉宏史 (2010) 都市ごみ焼却残渣の処理およびリサイクルの行方, 都市清掃, 63 (297), 422-426

Sakai S., Yamamoto T., Noma Y., Giraud R. (2006) Formation and control of toxic polychlorinated compounds during incineration of wastes containing polychlorinated naphthalenes, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (7), 2247-2253

Sakai S.-i., Noma Y., Kida A. (2007) End-of-life vehicle recycling and automobile shredder residue management in Japan, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 9, 151-158

Sakanakura H. (2007) Formation and Durability of Dithiocarbamic Metals in Stabilized Air-Pollution-Control Residue from Municipal Solid Waste Incineration and Melting Processes, *Environmental Science and Technology*, Vol.41, 1717-1722

- 肴倉宏史, 崎田省吾, 遠藤和人, 貴田晶子, 大迫政浩 (2007) 連続バッチ型溶出試験における再生材からの成分溶出挙動の解析, 第7回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 163-168
- 肴倉宏史, 大迫政浩 (2007) 建設系再生製品を対象とした環境安全性評価試験システムの廃棄物学会規格化への取り組み, 廃棄物学会誌, 18 (6), 321-329
- 肴倉宏史, 大迫政浩 (2008) 非鉄スラグ製品の有効利用に係るリスク解析調査～非鉄スラグの安全性は?～, 鉱山, 61 (9), 24-32
- Sakanakura H., Osako M., Kida A. (2009) Effect of exposure test conditions on leaching behavior of inorganic contaminants from recycled materials for roadbeds, *Waste Manage.*, 29 (5), 1658-1665
- 肴倉宏史, 大迫政浩, 鄭昌煥, 小野田弘士, 永田勝也 (2009) 溶融飛灰・溶融メタルの処理・処分と資源化の現状に関する調査, 都市清掃, 62 (288), 85-91
- 肴倉宏史, 井野場誠治, 大迫政浩 (2009) 上向流カラム通水試験による溶出挙動評価法の標準化に関する研究-都市ごみ焼却灰を用いた室内精度の評価と流出挙動解析-, 第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 281-286
- 肴倉宏史, 宮脇健太郎 (2009) 有害物質・溶出-環告13号溶出試験の役割と課題-, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (6), 287-291
- 肴倉宏史 (2010) 建設材料利用される副産物・廃棄物の欧州における環境安全管理方策, 安全工学, 49 (2), 87-93
- 肴倉宏史 (2010) 土の化学・物理と環境影響評価法, 地盤工学会誌, 58 (12), 54-61
- 肴倉宏史, 小口正弘, 藤崎芳利 (2011) 使用済み電気・電子製品の収集区分と処理方法の全国アンケート調査, 都市清掃, 64 (300), 187-191
- Sakanakura H., Osako M., Kida A., Sakai S. (2011) Design optimization and standardization of an environmental availability test under both acidic and alkaline conditions, *J.Mater.Cycles and Waste Manag.*, 13 (1), 56-67
- Suzuki G., Takigami H., Nose K., Takahashi S., Asari M., Sakai S-I. (2007) Dioxin-like and transthyretin-binding compounds in indoor dusts collected from Japan: Average daily dose and possible implications for children, *Environ.Sci.Technol.*, 41 (4), 1487-1493
- Suzuki G., Takigami H., Watanabe M., Nose K., Takahashi S., Asari M., Sakai S. (2008) Identification of Brominated and Chlorinated Phenols as Potential Thyroid-disrupting Compounds in Indoor Dusts, *Environmental Science & Technology*, 42 (5), 1794-1800
- Suzuki G., Kida A., Sakai S.-i., Takigami H. (2009) Existence state of bromine as an indicator of the source of brominated flame retardants in indoor dust, *Environ.Sci.Technol.*, 43 (5), 1437-1442
- 鈴木剛, 高橋真, 田辺信介 (2010) 野生高等動物に蓄積する内分泌攪乱化学物質の包括的同定評価の試み, *Endocr. Disrupter News Lett.* (日本内分泌攪乱化学物質学会), 13 (2), 5
- Suzuki G., Someya M., Takahashi S., Tanabe S., Sakai S., Takigami H. (2010) Dioxin-like activity in Japanese indoor dusts evaluated by means of in vitro bioassay and instrumental analysis: Brominated dibenzofurans are an important contributor, *Environ.Sci.Technol.*, 44 (21), 8330-8336
- 高橋史武, 貴田晶子, 島岡隆行 (2007) 廃棄物溶融スラグ利用アスファルトの磨耗粉塵におけるスラグの寄与, 環境工学研究論文集, 44, 453-462
- Takahashi F., Yamagata M., Yasuda K., Kida A. (2008) Impact of mercury emissions from incineration of automobile shredder residue in Japan, *Appl.Geochem.*, 23, 584-594
- Takigami H., Behnisch P.A., Shiozaki K., Ohno M., Sakai S. (2006) Bioassay monitoring of waste PCB samples during chemical destruction treatments, *Water Sci.Technol.*, 53 (11), 43-50
-

- Takigami H., Etoh T., Nishio T., Sakai S.(2008) Chemical and bioassay monitoring of PCB-contaminated soil remediation using solvent extraction technology, *Journal of Environmental Monitoring*, 10, 198-205
- 滝上英孝, 鈴木剛, 酒井伸一 (2008) 有機臭素化合物に着目したハウスダストの化学分析/バイオアッセイ研究, *Endocr. Disrupter News Lett.* (日本内分泌攪乱化学物質学会), 11 (1), 3
- Takigami H., Suzuki G., Hirai Y., Ishikawa Y., Sunami M., Sakai S.-i. (2009) Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan, *Environ.Int.*, 35 (4), 688-693
- Takigami H., Suzuki G., Hirai Y., Sakai S.-i. (2009) Brominated flame retardants and other polyhalogenated compounds in indoor air and dust from two houses in Japan, *Chemosphere*, 76 (2), 270-277
- Takigami H., Suzuki G., Sakai S.-i. (2010) Screening of dioxin-like compounds in bio-composts and their materials: chemical analysis and fractionation-directed evaluation of AhR ligand activities using an in vitro bioassay, *J.Environ.Monit.*, 12, 2080-2087
- 滝上英孝, 光原好人, 松山喜代志, 酒井伸一 (2010) 金属ナトリウム法によるPCB処理過程のバイオアッセイモニタリング, *環境工学研究論文集*, 47, 141-148
- Tasaki T., Oguchi M., Kameya T., Urano K. (2007) Screening of metals in waste electrical and electronic equipment using simple assessment methods, *J.Ind.Ecol.*, 11 (4), 64-84
- 田崎智宏, 谷川昇 (2008) 廃棄物と循環資源のサンプリング, *廃棄物学会誌*, 18 (6), 345-352
- 田崎智宏 (2008) 使用済みパソコンの再資源化と有害物質管理, *化学物質と環境*, (87), 6-7
- Tue N.M., Suzuki G., Takahashi S., Isobe T., Trang P.T.K., Viet P.H., Tanabe S. (2010) Evaluation of dioxin-like activities in settled house dust from Vietnamese e-waste recycling sites: Relevance of polychlorinated/brominated dibenzo-p-dioxin/furans and dioxin-like PCBs, *Environ.Sci.Technol.*, 44 (23), 9195-9200
- 辻本浩子, 王寧, 肴倉宏史, 大迫政浩 (2010) 最終処分場から採取したキレート処理溶融飛灰中重金属の長期安定性の評価, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 21 (2), 86-93
- Watanabe M., Nakata C., Wu W., Kawamoto K., Noma Y. (2007) Characterizations of semi-volatile organic compounds emitted during pyrolysis of nitrogen-containing plastics at low temperature, *Chemosphere* 68, 2063-2072
- Watanabe M., Noma Y. (2009) Influence of combustion temperature on formation of nitro-PAHs and decomposition and removal behaviors in pilot-scale waste incinerator, *Environ.Sci.Technol.*, 43 (7), 2512-2518
- 渡部真文 (2009) 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律 (2), *ぶんせき*, 2009 (5), 242-243
- Watanabe M., Noma Y. (2010) Behavior of 2-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)benzotriazole (DBHPBT) and 2-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-5-chlorobenzotriazole during incineration of solid waste contaminated with thousand mg/kg levels of DBHPBT, *J.Hazardous Mater.*, 178 (1/3), 1065-1069
- Watanabe M., Noma Y. (2010) Behavior of polychlorinated benzenes, PCDD/Fs and dioxin-like PCBs during incineration of solid waste contaminated with mg/kg levels of hexachlorobenzene, *J.Environ.Sci.Health A*, 45 (7), 846-854
- Yamamoto T., Ohara A., Noma Y., Nishizawa K., Yasuhara A., Sakai S. (2007) Photodegradation of tetraphenyltin contained in polychlorinated biphenyl-based transformer oil simulants in alkaline 2-propanol solution, *Journal of Material Cycles Waste Management*, 9(2), 188-193
- 山本貴士 (2007) 工業用ヘキサブロモシクロドデカン製剤に含まれる立体異性体の分離分析, *ぶんせき*, 385 (5), 252-253
- Yamashita M., Wannagon A., Matsumoto S., Akai T., Sugita H., Imoto Y., Komai T., Sakanakura H. (2010) Leaching behavior of CRT funnel glass, *Journal of Hazardous Materials*, 184, 58-64
-

Yamasue E., Minamino R., Numata T., Nakajima K., Murakami S., Daigo I., Hashimoto S., Okumura H., Ishihara K.N. (2009) Novel evaluation method of elemental recyclability from urban mine -Concept of urban ore TMR. *Mater.Trans.*, 50 (6), 1536-1540

(3) 中核研究プロジェクト3：廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発

Asakuma Y., Maeda K., Kuramochi H., Fukui K. (2009) Theoretical study of the transesterification of triglycerides to biodiesel fuel, *Fuel*, 88 (5), 786-791

Chu C.F., Li Y.Y., Xu K-Q., Ebie Y., Inamori Y., Kong H.N. (2008) A pH- and temperature-phased two-stage process for hydrogen and methane production from food waste, *Int.J.Hydrogen Energy*, 33 (18), 4739-4746

Chu C.F., Ebie Y., Inamori Y., Kong H.N. (2009) Effect of hydraulic retention time on the hydrogen yield and population of *Clostridium* in hydrogen fermentation of glucose, *J.Environ.Sci.*, 21 (4), 424-428

Chu C-F, Ebie Y., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Yuhei (2010) Characterization of microbial community in two-stage process for hydrogen and methane production from food waste, *Int.J.Hydrogen Energy*, 35 (15), 8253-8261

蛭江美孝, 近藤貴志, 徐開欽, 常田聡, 稲森悠平 (2007) リン回収技術の現状と将来展望, 再生と利用, 30 (117), 6-10

蛭江美孝, 近藤貴志, 徐開欽, 常田聡, 杉浦則夫, 丸山治, 稲森悠平 (2008) 水処理プロセスにおけるリン資源の除去・廃棄から回収・資源化へのパラダイムシフト, *ケミカルエンジニアリング*, 53 (7), 42-47

Ebie Y., Kondo T., Kadoya N., Mouri M., Maruyama O., Noritake S., Inamori Y., Xu K-Q. (2008) Recovery oriented phosphorus adsorption process in decentralized advanced johkasou, *Water Sci.Technol.*, 57, 1977-1981

蛭江美孝 (2008) 浄化槽におけるリン回収技術, *月刊浄化槽*, (392), 14-18

蛭江美孝 (2009) 汚泥処理に関する研究課題と展望, *環境情報*, 519, 4-5

Ebie Y., Yamazaki H., Xu K-Q. (2010) Influence of polyferric sulfate coagulant on the amoA mRNA expression of ammonia oxidizer in activated sludge, *J.Water Environ.Technol.*, 8 (4), 413-419

Freitag J., Yokoyama Y., Kuramochi H., Kawamoto K., Nagahama K., Kato S. (2007) Measurements of the solubilities of derivatized amino acids in supercritical carbon dioxide, *Fluid Phase Equilibria*, 257, 201-206

稲葉陸太 (2007) バイオマス利活用とメタン発酵の可能性, *廃棄物研究財団だより*, 71, 15-20

Inaba R., Nansai K., Fujii M., Hashimoto S. (2009) Hybrid LCA of CO₂ emission with management alternatives for household food wastes in Japan, *Waste Manage.Res.*, 28 (6), 496-507

稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2008) 食品工場排水の環境低負荷資源循環型高度処理技術, *ジャパンフードサイエンス*, 47 (6), 24-36

稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 許春蓮 (2009) バイオエコシステムを活用した環境再生技法の現状と将来, 畜産の研究, 63 (2), 261-272

稲森隆平, 稲森悠平, 孔海南 (2007) 生物処理における酸生成嫌気性微生物による分解, *月刊食品工場長*, (118), 60-61

Inamori R., Wang Y-H., Yamamoto T., Zhang J-X., Kong H-N., Xu K-Q., Inamori Y. (2008) Seasonal effect on N₂O formation in nitrification in constructed wetlands, *Chemosphere*, 73 (7), 1071-1077

Inoue K., Kawamoto K. (2010) Control of hydrocarbon content of a reforming gas by using a hydrogenation catalyst, *Chemosphere*, 78 (5), 599-603

Kato S., Shibata R., Shiraishi K., Kuramochi H. (2010) The acceleration of phase separation by phase inversion transesterification in alkali-catalyzed biodiesel production, *Solvent Extr.Res.Dev.Japan*, 17, 63-71

川本克也 (2007) 循環型社会に求められる廃棄物の再生資源化技術, *科学技術動向*, (81), 11-22

Kawamoto K. (2008) Waste recycling technologies required by a sound material-cycle society, *Sci.Technol.Trends Q.Rev.*, (27), 38-56

川本克也 (2009) 廃棄物系バイオマスからの次世代エネルギー回収技術, *化学物質と環境*, (97), 13-15

Kawamoto K., Wu W., Kuramochi H. (2009) Development of gasification and reforming technology using catalyst at lower temperature for effective energy recovery: Hydrogen recovery using waste wood, *J.Environ.Eng.*, 4 (2), 409-421

小林潤, 呉畏, 川本克也 (2009) 廃棄物ガス化改質におけるニッケル系改質触媒の耐久性能評価, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 20 (6), 352-360

Kobayashi J., Kawamoto K. (2010) Catalyst durability in steam reforming of thermally decomposed waste wood, *J.Mater.Cycles Waste Manag.*, 12 (1), 10-16

Kobayashi J., Kawamoto K., Fukushima R., Tanaka S. (2011) Woody biomass and RPF gasification using reforming catalyst and calcium oxide, *Chemosphere*, Vol. 83, 1273-1278

小林拓朗, 李東烈, 徐開欽, 李玉友, 稲森悠平 (2011) 生ごみ嫌気発酵によるメタンおよび水素生成ポテンシャル－食品標準成分に基づく分類と特性評価－, *環境技術*, 40 (3), 31-38

Kondo T., Tsuneda S., Ebie Y., Inamori Y., Xu K-Q. (2009) Improvement of nutrient removal and phosphorus recovery in the anaerobic/oxic/anoxic process combined with sludge ozonation and phosphorus adsorption, *J.Water Environ.Technol.*, 7 (2), 135-142

Kuramochi H., Nakajima D., Goto S., Sugita K., Wu W., Kawamoto K. (2008) HCl emission during co-pyrolysis of demolition wood with a small amount of PVC film and the effect of wood constituents on HCl emission reduction, *Fuel*, 87, 3155-3157

Kuramochi H., Kawamoto K., Miyazaki K., Nagahama K., Maeda K., Li X.W., Shibata E., Nakamura T., Sakai S.-i. (2008) Determination of physicochemical properties of tetrabromobisphenol A, *Environ.Toxicol.Chem.*, 27 (12), 2413-2418

Kuramochi H., Maeda K., Osako M., Nakamura K., Sakai S.-i. (2008) Superfast transesterification of triolein using dimethyl ether and a method for high-yield transesterification, *Ind.Eng.Chem.Res.*, 47, 10076-10079

Kuramochi H., Maeda K., Kato S., Osako M., Nakamura K., Sakai S.-i. (2009) Application of UNIFAC models for prediction of vapor-liquid and liquid-liquid equilibria relevant to separation and purification processes of crude biodiesel fuel, *Fuel*, 88 (8), 1472-1477

倉持秀敏 (2010) バイオディーゼル燃料の製造に係る相平衡とその新たな展開, *分離技術*, 40 (1), 14-18

Lee D-Y., Ebie Y., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2010) Continuous H₂ and CH₄ production from high-solid food waste in the two-stage thermophilic fermentation process with the recirculation of digester sludge, *Bioresour.Technol.*, 101 (1,Suppl.1), S42-S47

Maeda K., Kuramochi H., Fujimoto T., Asakuma Y., Osako M., Nakamura K., Sakai S.-i. (2008) Phase equilibrium of biodiesel compounds for the triolein + palmitic acid + methanol system with dimethyl ether as cosolvent, *J.Chem.Eng. Data*, 53, 973-977

Maeda K., Safaeefar P., Ang H.M., Kuramochi H., Asakuma Y., Tade M.O., Fukui K. (2009) Prediction of solid-liquid phase equilibrium in the system of water(1)+alcohols(2)+MgSO₄·7H₂O(3)+MnSO₄·H₂O(4) by the ion-specific electrolyte NRTL model, *J.Chem.Eng.Data*, 54 (2), 423-427

前田光治, 倉持秀敏, 大迫政浩, 中川究也, 朝熊裕介, 福井啓介 (2010) バイオディーゼル関連混合物の融解特性, *化学工学論文集*, 36 (5), 432-434

前田光治, 高本佳典, 倉持秀敏, 朝熊裕介, 福井啓介 (2010) 海水資源に関する電解質の溶解度モデルの開発, *日本海水学会誌*, 64 (6), 329-334

Safaeefar P, Ang H.M., Maeda K., Kuramochi H., Asakuma Y., Tade M.O., Fukui K. (2009) Solid-liquid phase equilibria in the system water+methanol+MgSO₄·7H₂O+MnSO₄·4H₂O, Fluid Phase Equilibria, 277 (1), 68-72

関戸知雄, 土手裕, 井上雄三 (2007) 畜産廃棄物の適正資源化量決定のための窒素・リンのフロー解析, 廃棄物学会論文誌, 18 (6), 382-391

Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Influence of plant species and wastewater strength on constructed wetland methane emissions and associated microbial populations, Ecol.Eng., 32 (1), 22-29

Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Nitrous oxide emission from polyculture constructed wetlands: Effect of plant species, Environ.Pollut., 152 (2), 351-360

Wang Y-H., Zhang J-X., Kong H-N., Inamori Y., Xu K-Q., Inamori R., Kondo T. (2009) A simulation model of nitrogen transformation in reed constructed wetlands, Desalination, 235 (1/3), 93-101

Wu W., Kawamoto K., Kuramochi H. (2006) Hydrogen-rich synthesis gas production from waste wood via gasification and reforming technology for fuel cell application, J. Mater. Cycles Waste Manag., (8): 70-77

徐開欽 (2008) 中国における水環境の現状と深刻さ増す湖沼のアオコ問題, 科学, 78 (7), 756-759

徐開欽, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2009) 長江流域における水環境の現状と課題, 環境技術, 38 (5), 309-316

蛭江美孝, 近藤貴志, 常田聡, 稲森悠平 (2009) 嫌気/好気/無酸素法とオゾン処理, リン吸着法のハイブリッド化による汚泥減容化とリン除去・回収資源化, 大竹久夫監修, リン資源の回収と有効利用, サイエンス&テクノロジー, 160-170

稲森悠平, 稲森隆平, 丸山治, 徐開欽 (2009) 水処理・汚泥処理におけるリン除去・回収・有効利用と課題・展望, 大竹久夫監修, リン資源の回収と有効利用, サイエンス&テクノロジー, 33-62

井上雄三 (2007) 有機性廃棄物の地域循環システムの設計と評価, 日本農業経営学会編, 循環型社会の構築と農業経営, 農林統計協会, 21-40

川本克也 (2010) 第7節 バイオマス・廃棄物からの水素製造技術, 川本克也 他著, 水素製造・吸蔵・貯蔵材料と安全化, サイエンス&テクノロジー, 78-91

Kondo T., Ebie Y., Tsuneda S., Inamori Y., Xu K-Q. (2009) Phosphorus recovery from high-phosphorus containing excess sludge in an anaerobic-oxic-anoxic process by using the combination of ozonation and phosphorus adsorbent, In: Ashley K., Mavinic D., Koch Feds., International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams: May 10-13, 2009 the Westin Bayshore Hotel and Resort, Vancouver, British Columbia, Canada, IWA, 762-771

倉持秀敏, 加藤覚 (2007) バイオディーゼル燃料製造プロセスにおける物性, 分離技術会編著, 分離技術会, 345p.

徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一, 岩見徳雄 (2008) 水域の富栄養化の制御, 湖沼マイクロコズムによる藻類制御と生態系の解析・評価, 稲森悠平編, 最新環境浄化のための微生物学, 講談社サイエンティフィック, 84-104, 105-119

(4) 中核研究プロジェクト4: 国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築

Chen Z., Chen D., Xu K-Q., Zhao Y., Wei T., Chen J., Li L., Watanabe M. (2007) Acoustic Doppler current profiler surveys along the Yangtze River, Geomorphology, 85, 155-165

Choi K.-I., Lee D.-H., Osako M., Kim S.-C. (2007) The prediction of PCDD/DF levels in wet scrubbers associated with waste incinerators, Chemosphere, 66, 1131-1137

蛭江美孝, 徐開欽, 山崎宏史, 西村修, 稲森悠平 (2008) 液状廃棄物処理における温暖化対策, 水, 50 (9), 35-41

蛭江美孝, 徐開欽 (2009) 日本の浄化槽技術の発展途上国への適用事例と展望, 水環境学会誌, 32 (9), 12-16

- 遠藤和人, 山田正人 (2010) 廃棄物処分場からの温室効果ガスの測定と維持管理への応用, 環境システム計測制御学会誌, 15 (1), 24-27
- 遠藤和人, 小澤一喜 (2011) 5. 土の化学・物理と廃棄物最終処分場, 地盤工学会誌, 59 (1), 41-48
- 布施正暁, 中島謙一, 八木田浩史 (2010) 中古車貿易に伴う金属資源の国際流動, 日本金属学会誌, 74 (3), 171-178
- 林紀男, 稲森隆平, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2007) 水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすオタマジャクシの役割, 四万潤E流域圏学会誌, 7 (1), 7-12
- 稲森隆平, 徐開欽, 山本智子, 松村正利, 稲森悠平 (2006) 生態工学を活用した水生植物による浄化技術, 用水と廃水, 48 (11), 963-975
- Inamori R., Wang Y-H., Yamamoto T., Zhang J-X., Kong H-N., Xu K-Q., Inamori Y. (2008) Seasonal effect on N₂O formation in nitrification in constructed wetlands, *Chemosphere*, 73 (7), 1071-1077
- Inamori R., Xu K-Q., Gui P., Ebie Y., Inamori Y., Matsumura M. (2006) Characteristic analysis of the organic substance and nutrient removal and the green house gas emission in the soil treatment systems with aquatic plants, *Jpn.J.Water Treat.Biol.* (日本水処理生物学会誌), 42 (4), 185-197
- Inamori R., Gui P., Dass P., Matsumura M., Xu K-Q., Kondo T., Ebie Y., Inamori Y. (2007) Investigating CH₄ and N₂O emissions from eco-engineering wastewater treatment processes using constructed wetland microcosms, *Process Biochem.*, 42, 363-373
- 稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2008) 食品工場排水の環境低負荷資源循環型高度処理技術, ジャパンフー
ドサイエンス, 47 (6), 24-36
- 稲森悠平, 稲森隆平, 蛭江美孝, 徐開欽 (2007) バイオ・エコ技術を活用した中国への水環境再生保全戦略, 月刊下
水道, 30 (11), 58-62
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 環境農業直接支払制度を具体化した「環境こだわり農業」による水環境保全,
用水と廃水, 49 (6), 3-6
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 中国の水環境の現状と汚水処理事業の進展, 用水と廃水, 49 (5), 363-367
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio・Eco Systemを活用した我が国の対策を踏まえた中国
における水環境保全再生戦略 (2), 水, 2008 (2), 14-26
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio・Eco Systemを活用した我が国の対策を踏まえた中国
における水環境保全再生戦略 (1), 水, 2008 (1), 14-27
- 稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 蛭江美孝 (2008) バイオエコシステムを導入した高度処理による水環境保全再生, 水,
2008 (2), 33-41
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 陶村貴, 須藤隆一 (2010) 地球環境問題としての低炭素社会型の排水処理の方向性
と国際的展望, 用水と廃水, 52 (10), 788-797
- 石垣智基, 山田正人 (2008) 諸外国における処分場浸出水の水質特性と処理方法, 水環境学会誌, 31 (10), 596-600
- Ishigaki T., Chung C.V., Sang N.N., Ike M., Otsuka K., Yamada M., Inoue Y. (2008) Estimation and field measurement of
methane emission from waste landfills in Hanoi, Vietnam, *J.Mater.Cycl.Waste Manag.*, 10 (2), 165-172
- 石森洋行, 遠藤和人, 山田正人 (2009) 穿孔前後の埋立地ガスフラックス計測による覆土層の透気係数の推定, 第
8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 373-376
- 伊藤豊, 馬奈木俊介, 寺園淳 (2009) 環境経済学の到達点と今後, 環境科学会誌, 22 (2), 103-112
- 金相燦, 稲森悠平, 朴俊大, 徐開欽, 蛭江美孝 (2007) 湖泊和湿地水環境 生態修復技術与管理指南 (金相燦, 稲森悠
平, 朴俊大編, 科学出版社, 394p.) (中文)
-

- Kajiwara N., Noma Y., Takigami H. (2008) Photolysis studies of technical decabromodiphenyl ether(DecaBDE) and ethane(DeBDethane) in plastic under natural sunlight, *Environ.Sci.Technol.*, 42 (12), 4404-4409
- Kajiwara N., Sueoka M., Ohiwa T., Takigami H. (2009) Determination of flame-retardant hexabromocyclododecane diastereomers in textiles, *Chemosphere*, 74 (11), 1485-1489
- Kashiwakura S., Kubo H., Kumagai Y., Kubo H., Matsubae-Yokoyama K., Nakajima K., Nagasaka T. (2009) Removal of boron from coal fly ash by washing with HCl solution, *Fuel*, 88 (7), 1245-1250
- 河井紘輔, 山田正人 (2009) 廃棄物分野におけるCDM事業活動-現状と課題-, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (4), 165-170
- 小島道一, 鄭城尤, 吉田綾, 佐々木創 (2009) 第 3 章 使用済み製品の国際リユース・リサイクルに関する制度設計, 第 7 章 中国の輸入廃棄物原料規制の動向, 小島道一 他編著, アジア地域におけるリサイクルの実態と国際資源循環の管理・3 R政策 (K2067) 平成20年度廃棄物処理等科学研究報告書, 39-52, 95-103
- Kojima M., Yoshida A., Sasaki S. (2009) Difficulties to apply extended producer responsibility in developing countries: cases of E-waste recycling in China and Thailand, *J. Mater.Cycles Waste Manag.*, 11 (3), 263-269
- Kojima M., Yoshida A., Sasaki S., Chung S.W. (2011) Chapter 8 Transboundary Movement of Hazardous Waste: Lessons from uncovered cases, In: Kojima M. and Michida E. ed., *Economic Integration and Recycling in Asia*, Institute of Developing Economies
- 小島道一, 吉田綾, 佐々木創, 鄭城尤, 青木裕子, 吉田文和 (2006) 第 I 部第 3 章 急がれる e-waste の適正処理, アジア環境白書 2006/07 (日本環境会議, 「アジア環境白書」編集委員会編著, 東洋経済新報社, 317p.), 63-85
- Kuwabara T., Kimochi Y., Xu K-Q., Inamori Y., Matsumura M. (2007) Analysis of the characteristics of CH₄ and N₂O Emission in the bench-scale lagoon system, *Jpn.J.Wat.Treat.Biol.* (日本水処理生物学会誌), 43 (2), 83-90
- Kuwabara T., Matsumura M., Hayashi N., Xu K-Q., Inamori Y. (2007) Evaluation of the role of the aquatic plants in floating type edible aquatic plant purification system, *Jpn.J.Wat.Treat.Biol.* (日本水処理生物学会誌), 43 (2), 91-97
- Liu C., Xu K-Q., Inamori R., Ebie Y., Liao J., Inamori Y. (2010) Pilot-scale studies of domestic wastewater treatment by typical constructed wetlands and their greenhouse gas emissions, *Front.Enviro.Sci.Engin.China*, 3 (4), 477-482
- 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2009) 社会基盤素材を介したサブスタンスフロー, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (5), 227-236
- 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也 (2009) 鉄鋼循環におけるレアメタルフロー, ふえらむ, 14 (12), 759-765
- 村上理映 (2007) 韓国と台湾の家電リサイクルシステム-生産者の責任の相違と政府の管理-, 環境と公害, 34 (4), 49-52
- 村上理映 (2007) 台湾の使用済み家電リサイクル政策-実態と課題-, 廃棄物学会論文誌, 18 (4), 250-263
- 村上進亮, 吉田綾, 村上理映, 寺園淳 (2006) マテリアルフローから見た循環型社会 2) e-waste の国際循環と資源性・有害性, エネルギー・資源, 27 (4), 260-263
- 村上進亮 (2006) 国境を越える循環型社会, 環境と文明, 14 (10), 7-8
- 長森正尚, 山田正人, 石垣智基 (2008) 維持管理及び安定化評価のためのモニタリング事例, 生活と環境, 53 (2), 66-72
- 中島謙一 (2008) 環境影響の簡易代理指標, 日本LCA学会誌, 4 (3), 304-308
- Nakajima K., Takeda O., Miki T., Nagasaka T. (2009) Evaluation method of metal resource recyclability based on thermodynamic analysis, *Mater.Trans.*, 50 (3), 453-460
- 中島謙一, 竹田修, 三木貴博, 長坂徹也 (2009) 熱力学的解析に基づいた金属の潜在的な資源回収可能性の評価手法, 日本金属学会誌, 73 (10), 794-801
- 中島謙一, 中村慎一郎, 松八重和代, 近藤康之, 長坂徹也 (2009) 廃棄物産業連関分析を応用したトップダウン型 MFAモデルの開発, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (5), 206-211

Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T. (2010) Thermodynamic analysis of contamination by alloying elements in aluminum recycling, *Environ.Sci.Technol.*, 44 (14), 5594-5600

中島謙一 (2010) 希少金属の循環利用のために, *電気協会報*, 12, 14-19

Nakamura S., Nakajima K., Yoshizawa Y., Matsubae-Yokoyama K., Nagasaka T. (2009) Analyzing polyvinyl chloride in Japan with the waste input-output material flow analysis model, *J.Ind.Ecol.*, 13 (5), 706-717

中谷隼, 藤井実, 吉田綾, 寺園淳, 森口祐一, 平尾雅彦 (2008) 使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析, *廃棄物学会論文誌*, 19 (5), 328-339

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, 248-252

澤村啓美, 山田正人, 宮城俊彦, 石垣智基, 池道彦 (2007) 亜熱帯・熱帯地域の廃棄物埋立地における微生物生態系の調査, *水環境学会誌*, 30 (11), 621-628

鈴木理恵, 徐開欽, 佐竹隆顕, 山崎宏史, 稲森悠平 (2006) ディスポーザ活用排水処理システムの浄化機能と微小動物の質的量的特性, *用水と廃水*, 48 (11), 994-1001

高畑恒志, 山田正人, 寺園淳 (2009) アジア地域における廃棄物処理と日本の国際協力の在り方について, *生活と環境*, 54 (7), 9-14

田崎智宏, 吉田綾 (2010) 電気電子製品のリユースの現状と課題, *エネルギー・資源*, 31 (5), 264-268

立尾浩一, 山田正人, 石垣智基, 大塚康治, 植木祥治 (2007) ベトナム社会主義共和国の廃棄物の現状, *日本環境衛生センター所報*, (33), 71-75

Terazono A., Murakami S., Abe N., Inanc B., Moriguchi Y., Sakai S., Kojima M., Yoshida A., Li J., Yang J. et al. (2006) Current status and research on E-waste issues in Asia, *J.Mater.Cycles Waste Manag.*, 8 (1), 1-12

寺園淳 (2006) アジアにおけるE-waste問題, *廃棄物学会誌*, 17 (2), 69-77

寺園淳 (2007) アジアにおけるE-waste問題について, *月刊廃棄物*, 33 (3), 22-29

寺園淳 (2007) リサイクル法のルートから漏れる使用済み家電はどこへ行く?, *エコノミスト*, 85 (49), 84-87

寺園淳 (2008) 使用済み電気電子機器の越境移動と管理, *電気学会誌*, 128 (11), 748-751

寺園淳 (2008) 日本からアジア各国へ向かう使用済み電気電子機器: ごみか資源か, *科学*, 78, 768-772

寺園淳 (2008) 日中間におけるPETなど廃プラスチックのリサイクル, *環境技術会誌*, (130), 28-32

寺園淳 (2008) 使用済み電気・電子製品のフローと海外輸出, *化学物質と環境*, (87), 8-10

寺園淳 (2009) 3Rイニシアティブと日本の役割, *土木学会誌*, 94 (9), 20-21

寺園淳, 吉田綾, 村上理映, 村上進亮, 新熊隆嘉 (2009) アジア地域における廃電気電子機器と廃プラスチックの資源循環システムの解析 平成20年度廃棄物処理等科学研究費補助金研究報告書, 119p.

寺園淳, 中島謙一, 吉田綾, 村上進亮, 古積博, 佐宗祐子, 山崎ゆきみ, 鶴田順 (2009) 有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況の把握と適正管理方策 (K2015) 平成20年度廃棄物処理等科学研究費補助金研究報告書, 87p.

寺園淳 (2010) 循環資源の越境移動の実態と中古家電・金属スクラップの事例にみる適正管理方策, *新世代法政策学研究*, 9, 77-104

Terazono A. (2010) Utilization of Material Flow Analysis in 3R Policy in Japan, In: Kojima M.ed., 3R Policies for Southeast and East Asia (ERIA Research Project 2009, No.10), Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, 259-273

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

- 寺園淳, 林廣和, 吉田綾, 中谷隼, 森口祐一 (2011) 使用済みPETボトルの国内外マテリアルフローと中国におけるプラスチックリサイクル, 廃棄物資源循環学会誌, 22 (2), 125-139
- 内田佳子, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 遠藤和人 (2008) 廃棄物処分場覆土材におけるメタン酸化細菌の育成可能な条件の提示, 地盤工学ジャーナル, 3 (1), 85-93
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Influence of plant species and wastewater strength on constructed wetland methane emissions and associated microbial populations, *Ecol.Eng.*, 32 (1), 22-29
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Nitrous oxide emission from polyculture constructed wetlands: Effect of plant species, *Environ.Pollut.*, 152 (2), 351-360
- Wang Y-H., Zhang J-X., Kong H-N., Inamori Y., Xu K-Q., Inamori R., Kondo T. (2009) A simulation model of nitrogen transformation in reed constructed wetlands, *Desalination*, 235 (1/3), 93-101
- 徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一 (2007) 深刻さ増す中国のアオコ問題: 対策に本格的取組み - 「第7回江蘇科学技術フォーラム」に参加して-, 用水と廃水, 49 (12), 1006-1010
- Xu K-Q., Brown C., Kwon H-H., Lall U., Zhang J., Hayashi S., Chen Z. (2007) Climate teleconnections to Yangtze river seasonal streamflow at the Three Gorges Dam, China, *Int.J.Climatol.*, 27, 771-780
- 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2009) 長江流域における水環境の現状と課題, 環境技術, 38 (5), 309-316
- 稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 許春蓮 (2009) バイオエコシステムを活用した環境再生技法の現状と将来, 畜産の研究, 63 (2), 261-272
- 徐開欽 (2010) 統合的流域管理の手法で世界の湖沼生態系の保全を推進 - 「第13回世界湖沼会議」に参加して-, 用水と廃水, 52 (1), 14-18
- 徐開欽, 蛭江美孝, 神保有亮 (2010) 中国農村地域における液状廃棄物処理の現状と課題 -北京市延慶県永寧鎮新華営村の事例紹介-, 用水と廃水, 52 (2), 96-102
- 山田正人 (2007) CDMと廃棄物管理, 都市清掃, 60, 345-350
- 山田正人 (2008) 廃棄物処理分野からの温室効果ガス排出量の推計方法-2006 IPCC guidelines for national greenhouse as inventoriesより-, 都市清掃, 61 (284), 332-338
- Yamamoto T., Gui P., Osaka T., Ebie Y., Xu K-Q., Sugiura N., Inamori Y. (2010) Comparative evaluation of wastewater purification performance among ten different macrophytes in the constructed wetland, *Jpn.J.Water Treat.Biol.*, 46 (1), 59-69
- Yamasue E., Minamino R., Numata T., Nakajima K., Murakami S., Daigo I., Hashimoto S., Okumura H., Ishihara K.N. (2009) Novel evaluation method of elemental recyclability from urban mine -Concept of urban ore TMR, *Mater.Trans.*, 50 (6), 1536-1540
- 吉田綾 (2006) 日中を中心とした東アジアの循環資源貿易の動向, 生活と環境, 50 (6), 31-36
- 吉田綾 (2006) 東アジアの資源循環の現状と今後の課題, 月刊廃棄物, 33 (1), 14-19
- 吉田綾 (2006) 第Ⅲ部データ解説編 廃棄物の発生と越境移動, アジア環境白書 2006/07 (日本環境会議, 「アジア環境白書」編集委員会編著, 東洋経済新報社, 317p.), 276-279
- 吉田綾, 寺園淳, 小島道一 (2008) 中国の循環型社会づくりへの取り組み, 環境研究, (149), 75-83
- Yoshida A., Tasaki T., Terazono A. (2009) Material flow analysis of used personal computers in Japan, *Waste Manage.*, 29 (5), 1602-1614
- 吉田綾 (2009) 循環型社会の構築における日中協力の可能性, 中国科学技術月報, (36)
- Yoshida A., Terazono A. (2010) Reuse of secondhand TVs exported from Japan to the philippines, *Waste Manage.*, 30 (6), 1063-1072
-

- 吉田綾 (2010) 国際資源循環の観点から見た日本からの循環資源輸出の現状と課題, 新世代法政策学研究, 9 (28), 165-176
- Yoshida A. (2011) Chapter 3 Economic Integration and Recycling in Asia: Recyclable waste and goods trade of mainland China, In: Michikazu Kojima and Etsuyo Michida ed., Economic Integration and Recycling in Asia, Institute of Developing Economies, 29-43
- Zhan J., Ding G., Xu K-Q. (2007) Study on inactivation effect of chlorine on Rhabditis sp. in drinking water, Water Puri.Technol. (in Chinese), 26 (3), 42-44
- 明日香壽川, 堀井伸浩, 小島道一, 吉田綾 (2007) 特集第2部 中国と日本: エネルギー・資源・環境をめぐる対立と協調, 中国環境問題研究会編, 中国環境ハンドブック2007-2008年版, 蒼蒼社, 61-102
- Chen Z., Xu K-Q., Watanabe M. (2007) 21 Dynamic hydrology and geomorphology of the Yangtze River, In: Gupta A., Large Rivers: Geomorphology and Management, Wiley, 457-469
- Chung S.-W., Murakami R. (2008) 6 A comparative study of E-waste recycling systems in Japan, South Korea and Taiwan from the EPR perspective: Implications for developing countries, In: Kojima M.ed., Promoting 3Rs in Developing Countries-Lessons from the Japanese Experience-(IDE Spot Survey No.30), IDE-JETRO, 125-145.
- 稲森悠平, 徐開欽, 岩見徳雄 (2006) 5.2.2 湖沼マイクロコズム, 有馬朗人監修, こらからの大学等研究施設 第3編「環境科学編」, 文教施設協会, 105-116
- 稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2007) 排水污水处理技術集成, 稲森悠平編著, 排水污水处理技術集成, エヌ・ティー・エス, 1-28
- 寺園淳 (2007) アジアのごみ事情, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 184-185
- 寺園淳 (2007) ペットボトルの輸出-中国への輸出増と国内の原料不足, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 188-189
- 寺園淳 (2007) 中古家電, 中古製品の行方, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 190-191
- 寺園淳 (2008) 5 国際的な廃棄物(循環資源)の動き, 3R検定実行委員会編, 3R検定公式テキスト, ミネルヴァ書房, 10-13
- 寺園淳 (2008) E-wasteってなに?, E-waste のリサイクルってどうなってる?, 国際資源循環の抱える問題は?, 田中勝, 寄本勝美編, ごみハンドブック, 丸善, 163-165, 138-140, 176-178
- 寺園淳 (2009) 第4章 廃棄物-ごみの行方を追う, 窪田順平編, モノの越境と地球環境問題, 昭和堂, 95-143
- 徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一, 岩見徳雄 (2008) 水域の富栄養化の制御, 湖沼マイクロコズムによる藻類制御と生態系の解析・評価, 稲森悠平編, 最新環境浄化のための微生物学, 講談社サイエンティフィク, 84-104, 105-119
- 吉田綾 (2007) 中国の環境法制, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 204-205
- 吉田綾, 小島道一 (2007) データ・資料 第2部統計 7. 廃棄物・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2007-2008年版, 蒼蒼社, 308-311
- Yoshida A., Kojima M. (2008) 7. Transboundary Movement of Recyclable Resources: Current Management System and Practices in Japan, In: Kojima M.ed., Promoting 3Rs in developing countries -Lessons from the Japanese Experience-, 146-171
- 小島道一, 吉田綾, 佐々木創 (2008) 第9章 発展途上国におけるEPRの適用とその課題, 小島道一編, アジアにおけるリサイクル (研究双書 No.570), アジア経済研究所, 225-253
- 吉田綾 (2008) 第6章 中国におけるリサイクル-使用済み家電と自動車の事例-, 小島道一編, アジアにおけるリサイクル (研究双書 No.570), アジア経済研究所, 225-253

吉田綾, 小島道一 (2009) [データ・資料] 第2部統計 7. 廃棄物・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2009-2010年版, 蒼蒼社, 352-354

吉田綾 (2010) 第9章 資源の循環利用, 堀井伸浩編, 中国の持続可能な成長—資源・環境制約の克服は可能か?, アジア経済研究所, 245-269

吉田綾 (2010) 第3章 中国における廃棄物原料の輸入規制, 小島道一編, 国際リサイクルをめぐる制度変容-アジアを中心に-, アジア経済研究所, 45-81

吉田綾 (2011) 地デジ化とブラウン管テレビの排出増加に伴う問題, 吉田綾著, 月刊自治研2011年4月号, (株)自治労システムズ自治労出版センター, 12-16

Yoshida F., Kojima M., Aoki Y., Yoshida A., Sasaki S., Chung S. (2009) Proper E-waste processing and disposal, Waste generation and transboundary movement, In: Jpn Environ.Counc.ed., The State of the Environment in Asia 2006/2007, United Nations Univ.Press, 48-70, 258-263

(5) 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究

5.1 循環型社会に適応した安全・安心な適性処理・処分技術の確立

阿部誠, 山田正人 (2009) 土壌動物(トビムシ)を用いた固体廃棄物の環境影響評価手法の検討, 第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 287-290

Asakura H., Endo K., Yamada M., Inoue Y., Ono Y. (2009) Improvement of permeability of waste sludge by mixing with slag or construction and demolition waste, Waste Manage., 29 (6), 1877-1884

Asakura H., Matsuto T. (2009) Experimental study of behavior of endocrine-disrupting chemicals in leachate treatment process and evaluation of removal efficiency, Waste Manage., 29 (6), 1852-1859

朝倉宏, 渡辺洋一, 山田正人, 小野雄策, 井上雄三 (2009) 砂状の建設混合廃棄物破碎選別残さ中の廃石膏ボードと木の含有特性, 都市清掃, 62 (289), 254-260

Asakura H., Yamada M., Inoue Y., Watanabe Y., Ono Y. (2010) Investigation on the components removed in loss on ignition test of sandy crushed construction and demolition waste, Waste Manage.Res., 28 (1), 11-19

Asakura H., Endo K., Yamada M., Inoue Y., Ono Y., Ono Y. (2010) Influence of oxygen flow rate on reaction rate of organic matter in leachate from aerated waste layer containing mainly incineration ash, Waste Manage., 30 (11), 2185-2193

Asakura H., Watanabe Y., Ono Y., Yamada M., Inoue Y., Alfaro A.M. (2010) Characteristics of fine processed construction and demolition waste in Japan and method to obtain fines having low gypsum component and wood contents, Waste Manage.Res., 28, 634-646

坂内修, 遠藤和人, 山田正人, 井上雄三, 小野雄策 (2007) 廃棄物層内温度分布の自動モニタリングと熱発生量の解析, 環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 7, 275-280

Deguchi Y., Toyozumi T., Masuda S., Yasuhara A., Mohri S., Yamada M., Inoue Y., Kinai N. (2007) Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish, Mutat.Res., 627, 178-185

遠藤和人, 貴田晶子, 大迫政浩 (2006) シリアルバッチ試験結果を用いたセメント系固化処理土からの六価クロム溶出挙動解析, 地盤改良シンポジウム論文集, 7回, 177-182

遠藤和人, 小野雄策 (2007) 廃棄物最終処分場の抱える潜在環境汚染ポテンシャルの評価とモニタリング, 生活と環境, 53 (1), 82-87

遠藤和人 (2008) 多孔質体中での多相流, 地盤工学会誌, 56 (4), 41-42

- 遠藤和人, 中川美加子, 肴倉宏史, 井上雄三, 井真宏, 杉原元一 (2010) 廃石膏・石灰系地盤改良における硫化水素ガス発生ポテンシャル試験に関する考察, 第9回地盤改良シンポジウム論文集, 181-184
- 遠藤和人, 山田正人 (2010) 廃棄物処分場からの温室効果ガスの測定と維持管理への応用, 環境システム計測制御学会誌, 15 (1), 24-27
- 遠藤和人, 小澤一喜 (2011) 5. 土の化学・物理と廃棄物最終処分場, 地盤工学会誌, 59 (1), 41-48
- 濱田武志, 古田祐介, 井上大介, 石垣智基, 惣田訓, 池道彦, 山田正人 (2010) 8 箇所のコミュニティ・プラントの温室効果ガス排出量の調査, 用水と廃水, 52 (6), 58-65
- Inoue K., Kawamoto K. (2008) Adsorption characteristics of carbonaceous adsorbents for organic pollutants in a model incineration exhaust gas, *Chemosphere*, 70, 349-357
- Inoue K., Kawamoto K. (2008) Adsorption treatment for organic pollutants in an incineration exhaust gas, In: *Persistent Organic Pollutants(POPs) Research in Asia*
- 井上雄三 (2007) 廃棄物最終処分場のあり方, 電気評論, 92 (5), 52-53
- 井上雄三 (2008) 埋立処理技術の現状と課題, 生活と環境, 53 (7), 48-52
- 井上雄三 (2008) 廃石膏ボードの再資源化への課題と展望, *Indust*, 23 (10), 2-6
- 井上雄三 (2008) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第1回序章(その1) 古代～近世における人の排泄物(し尿)と文明との関わりあい, 月刊浄化槽, 2008 (388), 32-38
- 井上雄三 (2008) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第2回序章(その2) 近代～現代における人の排泄物(し尿)と文明との関わりあい, 月刊浄化槽, 2008 (389), 30-36
- 井上雄三 (2008) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第3回第1章 近代における人糞尿の利用の試み, 月刊浄化槽, 2008 (391), 45-50
- 井上雄三 (2008) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第4回第2章 し尿の寄生虫殺卵・殺菌技術, 月刊浄化槽, 2008 (392), 39-46
- 井上雄三 (2009) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第5回第3章 昭和初期のし尿処理の模索, 月刊浄化槽, 2009 (393), 28-31
- 井上雄三 (2009) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第6回第4章 戦後、わが国の公衆衛生を支えた嫌気性消化技術(1), 月刊浄化槽, 2009 (394), 28-35
- 井上雄三 (2009) 講座わが国のし尿処理技術の歴史 第7回第4章 戦後、わが国の公衆衛生を支えた嫌気性消化技術(2), 月刊浄化槽, 2009 (395), 26-32
- 石垣智基, 山田正人 (2008) 諸外国における処分場浸出水の水質特性と処理方法, 水環境学会誌, 31 (10), 596-600
- Ishimori H., Endo K., Katsumi T., Fukagawa R., Inui T. (2010) Barrier Performance of GCLs against Sodium Chloride Solutions at Elevated Temperature Conditions, In: Koemer R.M., Gartung E., Zanzinger H. eds., *Geosynthetic Clay Liners: Proceedings of an International Symposium, Nurnberg, 14-15 April 1994*, Aa Balkema, 145-154
- Kagawa S., Nakamura S., Inamura H., Yamada M. (2007) Measuring spatial repercussion effects of regional waste management, *Resour. Conserv. Recycl*, 51, 141-174
- Kamon M., Li Yan, Endo K., Inui T., Katsumi T. (2007) Experimental study on the measurement of S-p relations of LNAPL in a porous medium, *Soil Found.*, 47 (1), 33-45
- Katsumi T., Inui T., Ishimori H., Kamon M. (2010) Geosynthetics applied in waste landfills and containment facilities, *Proc. 9th Int. Conf. Geosynthetics*, 323-342
- 川本克也 (2006) 廃棄物焼却技術の進展, 環境研究, (143), 80-89
-

- 川本克也 (2007) 循環型社会に求められる廃棄物の再生資源化技術, 科学技術動向, (81), 11-22
- 川本克也 (2007) 環境汚染-ごみに由来する環境汚染, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 18-19
- 川本克也 (2007) 中間処理-焼却, ガス溶融、熱分解等, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 38-39
- 川本克也 (2007) ごみ処理施設の公害防止対策, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 52-53
- 川本克也 (2007) 廃乾電池, 蛍光灯の処理, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 54-55
- 川本克也 (2007) 特別管理廃棄物-法規制と処理の実態-, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 56-57
- 川本克也 (2007) PCBの処理-PCB問題の経緯, 廃棄物・3R研究会編, 循環型社会キーワード事典, 中央法規出版, 58-59
- 川本克也, 名久井博之, 渡部剛, 鈴木悟, 浅田正三, 藤吉秀昭, 宮田治男, 渡辺信久 (2008) 有機ハロゲン濃度のモニタリングによる焼却施設の環境安全および運転管理支援, 都市清掃, 61, 271-276
- Kawamoto K. (2008) Waste recycling technologies required by a sound material-cycle society, Sci.Technol.Trends Q.Rev., (27), 38-56
- 川本克也, 依田育子 (2008) ガス中有機性ハロゲン量測定方法と焼却排ガスモニタリングへの応用, 環境化学, 18 (2), 205-217
- 川本克也 (2008) 廃棄物サーマルリサイクルの現状と課題 プラスチックの混入と排ガスの観点から, 環境浄化技術, 7 (8), 1-6
- 川本克也 (2008) 循環型社会の視点からみたガス化溶融方式焼却施設の実態と評価, 都市清掃, 61, 462-471
- 川本克也 (2009) 廃棄物焼却施設の理論と実際, 環境技術会誌, (136), 35-37
- 川本克也 (2009) 3.1.4 吸着処理, 公害防止の技術と法規編集委員会編, 新・公害防止の技術と法規 2009 ダイオキシン類編, (社) 産業環境管理協会, 188-207
- Kawamoto K. (2009) Potential formation of PCDD/Fs and related bromine-substituted compounds from heating processes for ashes, J.Hazard.Mater., 168 (2/3), 641-648
- 川本克也 (2010) 6.3 環境影響, 藤吉秀昭 他編, 廃棄物安全処理・リサイクルハンドブック, 丸善, 276-287
- 川本克也 (2011) 3.1.4 吸着処理, 公害防止の技術と法規編集委員会編, 新・公害防止の技術と法規 2011 ダイオキシン類編, 産業環境管理協会, 196-216
- Montero A., Tojo Y., Matsuo T., Matsuto T., Yamada M., Asakura H., Ono Y. (2010) Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs, J.Hazardous Mater., 175, 747-753
- 長森正尚, 山田正人, 石垣智基 (2008) 維持管理及び安定化評価のためのモニタリング事例, 生活と環境, 53 (2), 66-72
- 長森正尚, 小野雄策, 河村清史, 山田正人, 石垣智基, 小野芳朗 (2008) 廃棄物埋立地におけるガス組成の経年変化-多量成分と脂肪族炭化水素-多量成分と脂肪族炭化水素 (C2-C6) -, 廃棄物学会論文誌, 19 (4), 244-254
- 長森正尚, 小野雄策, 河村清史, 山田正人, 小野芳朗 (2007) 浸出水質による一般廃棄物最終処分場の評価-その類型化とEC測定の有用性-, 廃棄物学会論文誌, 18 (5), 325-334
- 中村拓郎, 山本陽介, 井上愛子, 澤村啓美, 石垣智基 (2010) 集積培養微生物による廃棄物系バイオマスの水素発酵における原料品質の影響, 用水と廃水, 52 (9), 735-740
-

- 小野雄策, 川寄幹生, 渡辺洋一, 山田正人, 遠藤和人, 小野芳朗 (2008) 最終処分場内部保有水質制御のためのHPRB技術の開発, 廃棄物学会論文誌, 19 (3), 197-211
- 小野雄策, 遠藤和人, 山田正人 (2007) 日本における産業廃棄物の処分を巡る諸問題～現場で何が起きている～, 廃棄物学会誌, 18 (6), 370-381
- 小野雄策, 遠藤和人, 山田正人 (2008) 循環型社会における安全・安心な最終処分場を求めて, 生活と環境, 53 (3), 71-79
- 澤村啓美, 石垣智基, 遠藤和人, 小野雄策, 原雄, 香村一夫, 惣田訓, 池道彦 (2010) 微生物の基質利用性・系統分類に基づく最終処分場の安定度評価, 環境技術, 39 (6), 355-364
- Sawamura H., Yamada M., Endo K., Soda S., Ishigaki T., Ike M. (2010) Characterization of microorganisms at different landfill depths using carbon-utilization patterns and 16S rRNA gene based T-RFLP, J.Biosci.Bioeng., 109 (2), 130-137
- Suzuki K., Anegawa A., Endo K., Yamada M., Ono Y., Ono Y. (2008) Performance evaluation of intermediate cover soil barrier for removal of heavy metals in landfill leachate, Chemosphere, 73 (9), 1428-1435
- 田中誠, 遠藤和人, 西村伸一, 吉本憲正 (2008) 廃棄物の地盤工学的利用におけるリスクとは?, 地盤工学会誌, 56 (8), 4-7
- 田中宏和, 田中博義, 橋治廣, 山田正人 (2007) 福井豪雨災害における水害廃棄物への対応について, 都市清掃, 60, 220-226
- 内田佳子, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 遠藤和人 (2008) 廃棄物処分場覆土材におけるメタン酸化細菌の育成可能な条件の提示, 地盤工学ジャーナル, 3 (1), 85-93
- 内田佳子, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 遠藤和人 (2007) 廃棄物最終処分場覆土材におけるメタン酸化細菌の育成可能な条件の提示, 環境地盤工学シンポジウム, 7回, 203-210
- Wangyao K., Yamada M., Endo K., Ishigaki T., Naruoka T., Towprayoon S., Chiemchaisri C., Sutthasil N. (2010) Methane generation rate constant in tropical landfill, J.Sustainable Energy Environ., 1 (4), 181-184
- Watanabe N., Kawamoto K., Asada S., Fujiyoshi H., Miyata H., Watanabe G., Suzuki S. (2010) Surrogate study for dioxins from municipal waste incinerator in startup condition: applicability as a dioxin control indicator and an organohalogen emission warning, J.Mater.Cycles Waste Manag., 12, 254-263
- 山田正人 (2006) 分別という技術, 都市清掃, 59 (272), 311-314
- 山田正人 (2007) 物質循環は本当に閉じるのか, 土木学会環境工学委員会編, 自然・社会と対話する環境工学, 土木学会, 84-86
- 山田正人, 小野雄策 (2007) 埋立廃棄物の安定化プロセス, 生活と環境, 52 (12), 75-84
- 山田正人, 遠藤和人, 坂内修, 阿部誠, 井上雄三, 小野雄策, 石渡康尊, 灘重樹, 福井博, 小野芳朗 (2007) 場内観測井を用いた最終処分場の安定化モニタリング, 都市清掃, 60, 253-256
- 山田正人 (2009) 埋立物制御技術としての中間処理, 廃棄物資源循環学会誌, 20 (6), 292-296
- 山田正人, 遠藤和人, 井上雄三 (2009) 最終処分場へ向かう産業廃棄物の流れ, 環境技術, 38 (4), 233-240
- 山田正人 (2010) 焼却施設と最終処分場には経済の調節機能の役割がある, 月刊廃棄物, (4), 12-15
- Inoue K., Yasuda K., Kawamoto K. (2009) Report: Atmospheric pollutants discharges from municipal solid waste incineration and gasification-melting facilities in Japan, Waste Manage.Res., 27 (6), 617-622
- Yasuda K., Yoda I., Kawamoto K. (2009) Feasibility of a monitoring system for detecting changes in dioxin concentrations of both in flue gas and fly ash in incineration plants, J.Mater.Cycles Waste Manag., 11 (4), 328-338
- Asakura H., Sakanakura H., Matsuto T. (2010) Alkaline solution neutralization capacity of soil, Waste Manage., 30 (10), 1989-1996
-

- Bekki K., Takigami H., Suzuki G., Tang N., Hayakawa K. (2009) Evaluation of toxic activities of polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives using in vitro bioassays, *J. Health Sci.*, 55 (4), 601-610
- Denison M.S., Takigami H. (2006) Dioxin 2006 Session summary: Analysis-biological methods, 26th Int. Symp. Halogenat. Persistent Org. Pollut. (Thomsen C., Becher G. eds., 118p.), 36-38
- Hirobe M., Goda Y., Okayasu Y., Tomita J., Takigami H., Ike M., Tanaka H. (2006) The use of enzyme-linked immunosorbent assays (ELISA) for the determination of pollutants in environmental and industrial wastes, *Water Sci. Technol.*, 54 (11/12), 1-9
- 貴田晶子 (2007) 入門講座 失敗から学ぶ分析技術のコツ 廃棄物試料, *ぶんせき*, 385 (12), 628-634
- 貴田晶子, 滝上英孝 (2007) 循環・廃棄過程における試験・検査法とその簡易法, *廃棄物学会誌*, 18, 361-369
- 門木秀幸, 貴田晶子, 細井由彦 (2009) ガラス系再生材からの重金属類の溶出特性と地下水への影響評価, *廃棄物学会論文誌*, 20 (1), 24-38
- Nose K., Falandysz J., Wyrzykowska B., Orlikowska A., Noma Y. (2009) By-side PCDD/Fs in technical PCB formulations of Kanechlor series, *J. Environ. Sci. Health A*, 44 (14), 1528-1537
- Omori N., Fukata H., Sato K., Yamazaki K., Aida-Yasuoka K., Takigami H., Kuriyama M., Ichinose M., Mori C. (2007) Polychlorinated biphenyls alter the expression of endothelial nitric oxide synthase mRNA in human umbilical vein endothelial cells, *Human Exp. Toxicol.*, 26, 811-816
- 大迫政浩, 肴倉宏史 (2010) 都市ごみ焼却残渣の処理およびリサイクルの行方, *都市清掃*, 63 (297), 422-426
- Sakanakura H. (2007) Formation and durability of dithiocarbamic metals in stabilized air pollution control residue from municipal solid waste incineration and melting processes, *Environ. Sci. Technol.*, 41, 1717-1722
- 肴倉宏史, 大迫政浩 (2008) 非鉄スラグ製品の有効利用に係るリスク解析調査～非鉄スラグの安全性は?～, *鉱山*, 61 (9), 24-32
- Sakanakura H., Osako M., Kida A. (2009) Effect of exposure test conditions on leaching behavior of inorganic contaminants from recycled materials for roadbeds, *Waste Manage.*, 29 (5), 1658-1665
- 肴倉宏史, 宮脇健太郎 (2009) 有害物質・溶出-環告13号溶出試験の役割と課題-, *廃棄物資源循環学会誌*, 20 (6), 287-291
- 肴倉宏史 (2010) 建設材料利用される副産物・廃棄物の欧州における環境安全管理方策, *安全工学*, 49 (2), 87-93
- 肴倉宏史 (2010) 土の化学・物理と環境影響評価法, *地盤工学会誌*, 58 (12), 54-61
- Sakanakura H., Osako M., Kida A., Sakai S. (2011) Design optimization and standardization of an environmental availability test under both acidic and alkaline conditions, *J. Mater. Cycles and Waste Manag.*, 13 (1), 56-67
- Sato M., Takigami H., Hayakawa K., Sakai S. (2010) Water-quality monitoring technique for dioxins during dredging using onsite solid phase extraction with graphitic carbon and analysis with DR-CALUX, *J. Environ. Sci. Health A*, 45 (7), 867-874
- Suzuki G., Takigami H., Nose K., Takahashi S., Asari M., Sakai S.-I. (2007) Dioxin-like and transthyretin-binding compounds in indoor dusts collected from Japan: Average daily dose and possible implications for children, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (4), 1487-1493
- 鈴木剛, Besselink H., Felzel E., Brouwer A., 酒井伸一, 滝上英孝 (2007) DR-CALUX アッセイを用いた食品及び資料中のダイオキシン類測定に係る国際相互検定研究, *環境化学*, 17 (3), 483-493
- Suzuki G., Kida A., Sakai S.-i., Takigami H. (2009) Existence state of bromine as an indicator of the source of brominated flame retardants in indoor dust, *Environ. Sci. Technol.*, 43 (5), 1437-1442
- Suzuki G., Someya M., Takahashi S., Tanabe S., Sakai S., Takigami H. (2010) Dioxin-like activity in Japanese indoor dusts evaluated by means of in vitro bioassay and instrumental analysis: Brominated dibenzofurans are an important contributor, *Environ. Sci. Technol.*, 44 (21), 8330-8336
-

鈴木剛, 高橋真, 田辺信介 (2010) 野生高等動物に蓄積する内分泌攪乱化学物質の包括的同定評価の試み, *Endocr.Disrupter News Lett.* (日本内分泌攪乱化学物質学会), 13 (2), 5

Takigami H., Behnisch P.A., Shiozaki K., Ohno M., Sakai S. (2006) Bioassay monitoring of waste PCB samples during chemical destruction treatments, *Water Sci.Technol.*, 53 (11), 43-50

Takigami H., Etoh T., Nishio T., Sakai S.-i (2008) Chemical and bioassay monitoring of PCB-contaminated soil remediation using solvent extraction technology, *J.Environ.Monit.*, 10 (2), 198-205

滝上英孝 (2008) 廃棄物試料中ダイオキシン類への生物検定法の適用と課題, *エンバイオ*, 44 (6), 2-6

滝上英孝, 鈴木剛, 酒井伸一 (2008) 有機臭素化合物に着目したハウスダストの化学分析/バイオアッセイ研究, *Endocr.Disrupter News Lett.* (日本内分泌攪乱化学物質学会), 11 (1), 3

Takigami H., Suzuki G., Sakai S.-i. (2010) Screening of dioxin-like compounds in bio-composts and their materials: chemical analysis and fractionation-directed evaluation of AhR ligand activities using an in vitro bioassay, *J.Environ.Monit.*, 12, 2080-2087

滝上英孝, 光原好人, 松山喜代志, 酒井伸一 (2010) 金属ナトリウム法によるPCB処理過程のバイオアッセイモニタリング, *環境工学研究論文集*, 47, 141-148

戸次加奈江, 滝上英孝, 鈴木剛, 唐寧, 鳥羽陽, 亀田貴之, 早川和一 (2011) 中国・北京及び日本・金沢の大気が表示AhR活性化作用へのPAH類及びダイオキシン類の寄与, *環境化学*, 21 (1), 27-33

Tue N.M., Suzuki G., Takahashi S., Isobe T., Trang P.T.K., Viet P.H., Tanabe S. (2010) Evaluation of dioxin-like activities in settled house dust from Vietnamese e-waste recycling sites: Relevance of polychlorinated/brominated dibenzo-p-dioxin/furans and dioxin-like PCBs, *Environ.Sci.Technol.*, 44 (23), 9195-9200

辻本浩子, 王寧, 肴倉宏史, 大迫政浩 (2010) 最終処分場から採取したキレート処理溶融飛灰中重金属の長期安定性の評価, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 21 (2), 86-93

Watanabe M., Noma Y. (2009) Influence of combustion temperature on formation of nitro-PAHs and decomposition and removal behaviors in pilot-scale waste incinerator, *Environ.Sci.Technol.*, 43 (7), 2512-2518

渡部真文 (2009) 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律 (2), *ぶんせき*, 2009 (5), 242-243

Watanabe M., Noma Y. (2010) Behavior of 2-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)benzotriazole (DBHPBT) and 2-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-5-chlorobenzotriazole during incineration of solid waste contaminated with thousand mg/kg levels of DBHPBT, *J.Hazardous Mater.*, 178 (1/3), 1065-1069

Watanabe M., Noma Y. (2010) Behavior of polychlorinated benzenes, PCDD/Fs and dioxin-like PCBs during incineration of solid waste contaminated with mg/kg levels of hexachlorobenzene, *J.Environ.Sci.Health A*, 45 (7), 846-854

山田信吾, 内藤勇太, 山本貴士, 野馬幸生, 細見正明 (2008) ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) およびペルフルオロオクタン酸 (PFOA) の紫外線分解処理挙動, *化学工学論文集*, 34 (3), 410-414

Yamamoto T., Noma Y., Sakai S.-i, Shibata Y. (2007) Photodegradation of perfluorooctane sulfonate by UV Irradiation in water and alkaline 2-propanol, *Environ.Sci.Technol.*, 41, 5660-5665

山本貴士 (2007) 工業用ヘキサブロモシクロドデカン製剤に含まれる立体異性体の分離分析, *ぶんせき*, 385 (5), 252-253

山本貴士, 貴田晶子 (2008) 廃棄物処理におけるアスベストの分析, *廃棄物学会誌*, 19 (5), 223-238

5.2 試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化

貴田晶子 (2007) 1章2.2 土壌の前処理法-土壌溶出試験、土壌含有試験, 平井昭司監修, 現場で役立つ環境分析の基礎-水と土壌の元素分析, オーム社, 28-48

貴田晶子(2008) Chapter 7 廃棄物の分析, 上本道久監修, ICP発光分析・ICP質量分析の基礎と実際, オーム社, 190-222
Takigami H., Suzuki G., Sakai S.-i. (2008) Application of bioassays for the detection of dioxins and dioxin-like compounds in wastes and the environment, In: Murakami Y., Nakayama K., Kitamura S.-I. eds., Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry-Biological Responses to Chemical Pollutants, TERRAPUB, 87-94

5.3 液状・有機性廃棄物の適正処理技術の高度化

Chen Z., Chen D., Xu K-Q., Zhao Y., Wei T., Chen J., Li L., Watanabe M. (2007) Acoustic Doppler current profiler surveys along the Yangtze River, *Geomorphology*, 85, 155-165

Chen Z., Xu K-Q., Watanabe M. (2007) 21 Dynamic hydrology and geomorphology of the Yangtze River, In: Gupta A., Large Rivers: Geomorphology and Management, Wiley, 457-469

蛭江美孝, 徐開欽, 山崎宏史, 西村修, 稲森悠平 (2008) 液状廃棄物処理における温暖化対策, *水*, 50 (9), 35-41

蛭江美孝, 近藤貴志, 徐開欽, 常田聡, 杉浦則夫, 丸山治, 稲森悠平 (2008) 水処理プロセスにおけるリン資源の除去・廃棄から回収・資源化へのパラダイムシフト, *ケミカルエンジニアリング*, 53 (7), 42-47

Ebie Y., Kondo T., Kadoya N., Mouri M., Maruyama O., Noritake S., Inamori Y., Xu K-Q. (2008) Recovery oriented phosphorus adsorption process in decentralized advanced johkasou, *Water Sci. Technol.*, 57, 1977-1981

蛭江美孝 (2008) 浄化槽におけるリン回収技術, *月刊浄化槽*, (392), 14-18

蛭江美孝 (2008) 環境微生物の分子生物学的評価, 稲森悠平編, 最新環境浄化のための微生物学, 講談社, 55-69

蛭江美孝 (2009) 汚泥処理に関する研究課題と展望, *環境情報*, 519, 4-5

蛭江美孝, 近藤貴志, 常田聡, 稲森悠平 (2009) 嫌気/好気/無酸素法とオゾン処理、リン吸着法のハイブリッド化による汚泥減容化とリン除去・回収資源化, 大竹久夫監修, リン資源の回収と有効利用, *サイエンス&テクノロジー*, 160-170

蛭江美孝 (2010) 温暖化と廃棄物と微生物, *生物工学会誌*, 88 (3), 124

蛭江美孝, 徐開欽, 岡城孝雄, 山崎宏史 (2010) 浄化槽を中心とした液状廃棄物処理フローにおける温室効果ガス排出量の現状と課題, *月刊浄化槽*, 2010 (407), 23-27

Ebie Y., Yamazaki H., Xu K-Q. (2010) Influence of polyferric sulfate coagulant on the amoA mRNA expression of ammonia oxidizer in activated sludge, *J. Water Environ. Technol.*, 8 (4), 413-419

Furukawa K., Hoshino T., Tsuneda S., Inamori Y. (2006) Comprehensive analysis of cell wall-permeabilizing conditions for highly sensitive fluorescence in situ hybridization, *Microbes Environ.*, 21 (4), 227-234

林紀男, 桑原享史, 稲森隆平, 稲森悠平, 須藤隆一 (2006) 水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすユスリカ類の役割, *四万潤E流域圏学会誌*, 5 (2), 35-42

林紀男, 稲森隆平, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2007) 水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすオタマジャクシの役割, *四万潤E流域圏学会誌*, 7 (1), 7-12

稲森隆平, 孔海南, 稲森悠平 (2006) 生物処理に出現する微生物の増殖, *月刊食品工場長*, (113), 60-61

稲森隆平, 孔海南, 稲森悠平 (2006) 生物処理における独立・従属栄養微生物の働きと有機物の酸化・分解, *月刊食品工場長*, (114), 64-65

稲森隆平, 孔海南, 稲森悠平 (2006) 生物処理における硝化・脱窒, *月刊食品工場長*, (115), 68-69

稲森隆平, 稲森悠平, 孔海南 (2006) 生物処理におけるリン蓄積, *月刊食品工場長*, (116), 64-65

稲森隆平, 徐開欽, 山本智子, 松村正利, 稲森悠平 (2006) 生態工学を活用した水生植物による浄化技術, *用水と廃水*, 48 (11), 963-975

- 稲森悠平, 孔海南, 稲森隆平 (2006) 生物処理に係わる微生物の種類, 月刊食品工場長, (110), 56-57
- 稲森悠平, 徐開欽, 岩見徳雄 (2006) 5.2.2 湖沼マイクロコズム, 有馬朗人監修, こらからの大学等研究施設 第3編「環境科学編」, 文教施設協会, 105-116
- Inamori R., Gui P., Dass P., Matsumura M., Xu K-Q., Kondo T., Ebie Y., Inamori Y. (2007) Investigating CH₄ and N₂O emissions from eco-engineering wastewater treatment processes using constructed wetland microcosms, *Process Biochem.*, 42, 363-373
- 稲森悠平, 稲森隆平, 孔海南 (2007) 生物処理における汚泥減量化, 月刊食品工場長, (117), 62-63
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 環境農業直接支払制度を具体化した「環境こだわり農業」による水環境保全, 用水と廃水, 49 (6), 3-6
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 中国の水環境の現状と汚水処理事業の進展, 用水と廃水, 49 (5), 363-367
- 稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2007) 排水污水处理技術集成, 稲森悠平編著, 排水污水处理技術集成, エヌ・ティー・エス, 1-28
- 稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2008) 食品工場排水の環境低負荷資源循環型高度処理技術, ジャパンフーズサイエンス, 47 (6), 24-36
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio・Eco Systemを活用した我が国の対策を踏まえた中国における水環境保全再生戦略 (2), 水, 2008 (2), 14-26
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio・Eco Systemを活用した我が国の対策を踏まえた中国における水環境保全再生戦略 (1), 水, 2008 (1), 14-27
- 稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 蛭江美孝 (2008) バイオエコシステムを導入した高度処理による水環境保全再生, 水, 2008 (2), 33-41
- Inamori R., Wang Y-H., Yamamoto T., Zhang J-X., Kong H-N., Xu K-Q., Inamori Y. (2008) Seasonal effect on N₂O formation in nitrification in constructed wetlands, *Chemosphere*, 73 (7), 1071-1077
- Inamori Y., Jin X., Park J., Xu K-Q. (2008) Guideline on the Management for Establishment of Eco-Sound Watershed Environment of Lakes and Marshes, *Ind.Water Inst.*, 572p.
- 稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 陶村貴, 須藤隆一 (2010) 地球環境問題としての低炭素社会型の排水処理の方向性と国際的展望, 用水と廃水, 52 (10), 788-797
- 金相燦, 稲森悠平, 朴俊大, 徐開欽, 蛭江美孝 (2007) 湖泊和湿地水環境 生態修復技術与管理指南 (金相燦, 稲森悠平, 朴俊大編, 科学出版社, 394p.) (中文)
- Kondo T., Ebie Y., Tsuneda S., Inamori Y. (2007) Detection of Deffluvicoccus-related Glycogen-accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal processes, *Microbes Environ.*, 22 (2), 190-195
- Kondo T., Tsuneda S., Ebie Y., Inamori Y., Xu K-Q. (2009) Improvement of nutrient removal and phosphorus recovery in the anaerobic/oxic/anoxic process combined with sludge ozonation and phosphorus adsorption, *J.Water Environ.Technol.*, 7 (2), 135-142
- Kondo T., Tsuneda S., Ebie Y., Inamori Y., Xu K-Q. (2009) Characterization of the microbial community in the anaerobic/oxic/anoxic process combined with sludge ozonation and phosphorus adsorption, *J.Water Environ.Technol.*, 7 (3), 155-162
- Kwon H-H., Brown C., Xu K-Q., Lall U. (2009) Seasonal and annual maximum streamflow forecasting using climate information: application to the Three Gorges Dam in the Yangtze River basin, China, *Hydrol.Sci.J.*, 54 (3), 582-595 <第28回月刊「水」論文賞awarded>
-

- Lee D-Y., Ebie Y., Xu K-Q., Li Y-Y., Inamori Y. (2010) Continuous H₂ and CH₄ production from high-solid food waste in the two-stage thermophilic fermentation process with the recirculation of digester sludge, *Bioresour.Technol.*, 101 (1,Suppl.1), S42-S47
- Li M., Xu K-Q., Watanabe M., Chen Z. (2007) Long-term variations in dissolved silicate, nitrogen, and phosphorus flux from the Yangtze River into the East China Sea and impacts on estuarine ecosystem, *Estuar.,Coast.Shelf Sci.*, 71 (1/2), 3-12
- Liu C., Xu K-Q., Inamori R., Ebie Y., Liao J., Inamori Y. (2010) Pilot-scale studies of domestic wastewater treatment by typical constructed wetlands and their greenhouse gas emissions, *Front.Enviro.Sci.Engin.China*, 3 (4), 477-482
- Nakagawa G., Ebie Y., Tsuneda S., Matsumura M., Inamori Y. (2007) Use of real-time PCR to examine the relationship between ammonia oxidizing bacterial populations and nitrogen removal efficiency in a small decentralized treatment system "Johkasou", *Water Sci.Technol.*, 55 (7), 203-210
- Nakagawa G., Ebie Y., Tsuneda S., Matsumura M., Xu K-Q., Inamori Y. (2007) Analysis of the relationship between ammonia oxidizing bacterial populations and nitrification efficiency in full-scale advanced johkasou using different structured carriers by real-time PCR, *Jpn.J.Wat.Treat.Biol.* (日本水処理生物学会誌), 43 (3), 143-149
- Osaka T., Ebie Y., Tsuneda S., Inamori Y. (2008) Identification of the bacterial community involved in methane-dependent denitrification in activated sludge using DNA stable-isotope probing, *FEMS Microbiol.Ecol.*, 64 (3), 494-506
- 佐野彰, 古賀由似子 (2011) 水素発酵廃液の再利用および環境負荷低減を目的とした有機酸分離濃縮システムの開発, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 22 (1), 30-37
- Sugiura N., Okano K., Burns B.P., Utsumi M., Inamori Y., Nishimura O., Sudo R. (2006) Adsorption and biodegradation characteristics of musty odorous compounds, 2-methylisoborneol and geosmin, *Jpn.J.Water Treat.Biol.* (日本水処理生物学会誌), 42 (2), 85-91
- 鈴木理恵, 徐開欽, 佐竹隆顕, 山崎宏史, 稲森悠平 (2006) ディスポーザ活用排水処理システムの浄化機能と微小動物の質的量的特性, *用水と廃水*, 48 (11), 994-1001
- Wang X-J., Huang B-B., Hu Z-P., Xu K-Q. (2010) An incentive compatible double auction mechanism in emission permits market, *China Environ.Sci.*, 30 (6), 845-851 <In 中国語>
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Influence of plant species and wastewater strength on constructed wetland methane emissions and associated microbial populations, *Ecol.Eng.*, 32 (1), 22-29
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Nitrous oxide emission from polyculture constructed wetlands: Effect of plant species, *Environ.Pollut.*, 152 (2), 351-360
- Wang Y-H., Zhang J-X., Kong H-N., Inamori Y., Xu K-Q., Inamori R., Kondo T. (2009) A simulation model of nitrogen transformation in reed constructed wetlands, *Desalination*, 235 (1/3), 93-101
- Wang Z., Li L., Chen D., Xu K-Q., Wei T., Gao J., Zhao Y., Chen Z., Watanabe M. (2007) Plume front and suspended sediment dispersal off the Yangtze(Changjiang) River mouth, China during non-flood season, *Estuar.,Coast.Shelf Sci.*, 70 (1/2), 60-67
- 徐開欽 (2006) アメリカの水事情 (5) -水危機・水紛争を防ぐためのWater 2025-, *用水と廃水*, 48 (1), 12-16
- 徐開欽 (2006) アメリカの水事情-特別編 南部を直撃したハリケーン「カトリーナ」(1), *用水と廃水*, 48 (4), 288-291
- 徐開欽 (2006) アメリカの水事情-特別編 南部を直撃したハリケーン「カトリーナ」(2), *用水と廃水*, 48 (5), 385-390
- 徐開欽, 稲森悠平, 渡辺正孝 (2006) 三峡ダム湖湛水後の周辺流域環境の現状と課題, *用水と廃水*, 48 (7), 550-553
- 徐開欽 (2006) アメリカの水事情 (6) -排水再利用の動向, *用水と廃水*, 48 (11), 936-939
- 徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一 (2006) アメリカにおける分散型排水処理システムの政策的動向, *月刊浄化槽*, (365), 4-11
- 徐開欽 (2006) アメリカの水事情 (7) -排水再利用の事例, *用水と廃水*, 48 (12), 1020-1025
-

- 徐開欽 (2007) 中国の水環境改善へ向けた国際協力的重要性 - 中国環境科学学会水環境分会 2006 年大会に参加して, 用水と廃水, 49 (1), 17-19
- 徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一 (2007) 深刻さ増す中国のアオコ問題: 対策に本格的取組み - 「第 7 回江蘇科学技術フォーラム」に参加して-, 用水と廃水, 49 (12), 1006-1010
- Xu K-Q., Brown C., Kwon H-H., Lall U., Zhang J., Hayashi S., Chen Z. (2007) Climate teleconnections to Yangtze river seasonal streamflow at the Three Gorges Dam, China, *Int.J.Climatol.*, 27, 771-780
- 徐開欽 (2008) 中国における水環境の現状と深刻さ増す湖沼のアオコ問題, 科学, 78 (7), 756-759
- 徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一, 岩見徳雄 (2008) 水域の富栄養化の制御, 湖沼マイクロコズムによる藻類制御と生態系の解析・評価, 稲森悠平編, 最新環境浄化のための微生物学, 講談社サイエンティフィク, 84-104, 105-119
- 徐開欽 (2009) 第2講 アメリカにおける排水再利用の動向と展望, ブッカーズ編, 海外における水ビジネス最前線, NTS, 293-310
- 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2009) 長江流域における水環境の現状と課題, 環境技術, 38 (5), 309-316
- 稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 許春蓮 (2009) バイオエコシステムを活用した環境再生技法の現状と将来, 畜産の研究, 63 (2), 261-272
- 徐開欽 (2010) 統合的流域管理の手法で世界の湖沼生態系の保全を推進 - 「第13回世界湖沼会議」に参加して-, 用水と廃水, 52 (1), 14-18
- 徐開欽, 蛭江美孝, 神保有亮 (2010) 中国農村地域における液状廃棄物処理の現状と課題 -北京市延慶県永寧鎮新華営村の事例紹介-, 用水と廃水, 52 (2), 96-102
- 徐開欽 (2010) アメリカにおけるMBRシステムによる廃水再利用の例, 山本和夫監修, MBR (膜分離活性汚泥法) による水活用技術, サイエンス&テクノロジー, 223-240
- Xu K-Q., Qi L-h., Ebie Y., Inamori Y., Sudo R. (2010) Measures and policies for lake eutrophication in Japan, China *Environ.Sci.*, 30 (Suppl.), 86-91 <In 中国語>
- 徐開欽 (2011) 今月の話題: 中国の水問題と「水ビジネス」, 用水と廃水, 53 (3), 165
- 山崎宏史, 鈴木理恵, 清水康利, 蛭江美孝, 稲森悠平, 西村修 (2006) 嫌気・好気高循環排水処理システムの窒素除去特性と運転操作条件の関係解析, 日本水処理生物学会誌, 42, 151-157
- 山崎宏史, 鈴木理恵, 蛭江美孝, 稲森悠平, 西村修 (2008) ディスポーザ対応浄化槽のLCCO₂評価, 日本水処理生物学会誌, 44 (3), 129-138
- 山崎宏史, 鈴木理恵, 蛭江美孝, 稲森悠平, 西村修 (2008) ディスポーザ排水の生物学的可溶化・資化反応特性, 日本水処理生物学会誌, 44 (3), 149-159
- 山崎宏史, 井上廣輝, 稲森悠平, 鈴木理恵, 蛭江美孝, 西村修 (2009) ディスポーザ排水導入が嫌気・好気循環方式生活排水処理システムに及ぼす影響, 下水道協会誌, 46 (559), 97-107 <奨励賞受賞>
- 山崎宏史, 鈴木理恵, 蛭江美孝, 徐開欽, 稲森悠平, 西村修 (2010) ディスポーザ対応浄化槽の高度処理化とLCCO₂評価, 日本水処理生物学会誌, 46 (2), 99-107
- Zhan J., Ding G., Xu K-Q. (2007) Study on inactivation effect of chlorine on *Rhabditis* sp. in drinking water, *Water Puri.Technol.*(in Chinese), 26 (3), 42-44
- Zhang J., Xu K-Q., Yang Y., Hayashi S., Watanabe M. (2006) Measuring water storage fluctuations in lake dongtin, China, by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry, *Environ.Monit.Assess.*, 115 (1/3), 23-27
-

5.4 廃棄物の不適正処理に伴う負の遺産対策

Falandysz J., Chudzynski K., Takekuma M., Yamamoto T., Noma Y., Hanari N., Yamashita N. (2008) Multivariate analysis of identity of imported technical PCN formulation, *J. Environ. Sci. Health A*, 43, 1381-1390

Ishikawa Y., Noma Y., Mori Y., Sakai S.-i. (2007) Congener profiles of PCB and a proposed new set of indicator congeners, *Chemosphere*, 67, 1838-1851

Ishikawa Y., Noma Y., Yamamoto T., Mori Y., Sakai S.-i. (2007) PCB decomposition and formation in thermal treatment plant equipment, *Chemosphere*, 67, 1383-1393

Noma Y., Mitsuhashi Y., Matsuyama K., Sakai S.-i. (2007) Pathways and products of the degradation of PCBs by the sodium dispersion method, *Chemosphere*, 68, 871-879

Nose K., Hashimoto S., Takahashi S., Noma Y., Sakai S.-i. (2007) Degradation pathways of decabromodiphenyl ether during hydrothermal treatment, *Chemosphere*, 68, 120-125

小野雄策, 遠藤和人, 山田正人 (2007) 日本における産業廃棄物の処分を巡る諸問題～現場で何が起きている～, *廃棄物学会誌*, 18 (6), 370-381

Sakai S.-i., Noma Y., Kida A. (2007) End-of-life vehicle recycling and automobile shredder residue management in Japan, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 9, 151-158

滝上英孝, 光原好人, 松山喜代志, 酒井伸一 (2010) 金属ナトリウム法によるPCB処理過程のバイオアッセイモニタリング, *環境工学研究論文集*, 47, 141-148

田中誠, 遠藤和人, 西村伸一, 吉本憲正 (2008) 廃棄物の地盤工学的利用におけるリスクとは?, *地盤工学会誌*, 56 (8), 4-7

山本貴士, 貴田晶子 (2008) 廃棄物処理におけるアスベストの分析, *廃棄物学会誌*, 19 (5), 223-238

(6) 基盤的な調査・研究

Hwan in-Hee, Kawamoto K. (2010) Survey of carbonization facilities for municipal solid waste treatment in Japan, *Waste Manage.*, 30 (7), 1423-1429

川本克也 (2007) 循環型社会に求められる廃棄物の再生資源化技術, *科学技術動向*, No.81, 11-22

川本克也 (2009) 廃棄物バイオマスからの次世代エネルギー回収技術, *化学物質と環境*, No.97, 13-15

佐伯孝, 川本克也 (2007) 高圧流体を用いた食品廃棄物の資源化技術の現状と課題, *廃棄物学会論文誌*, 18 (4), 219-229

酒井伸一, 山本貴士, 野馬幸生, 貴田晶子, 寺園淳 (2006) アスベスト廃棄物の熔融分解とその分析学的評価に関する研究, *廃棄物学会誌*, 17 (5), 290-300

山本貴士, 貴田晶子, 野馬幸生, 寺園淳, 酒井伸一 (2007) アスベスト含有廃棄物の無害化処理とその評価, *都市清掃*, 60 (276), 47-53

山本貴士, 貴田晶子 (2008) 廃棄物処理におけるアスベストの分析, *廃棄物学会誌*, 19 (5), 223-238

川本克也, 長岡裕, 澤田繁樹 (2010) 1. 地球環境と水, 2. 水の科学, 3. 水環境と水質指標, 6.2 流域規模における水のマネージメント, 川本克也著, *水環境工学 水処理とマネージメントの基礎*, 共立出版, 1-12, 13-54, 55-108, 264-275

貴田晶子 (2008) 8章3 産業廃棄物, 10章1 有害廃棄物・POPs, 10章4 石綿, 3R検定実行委員会編, *3R検定公式テキスト*, ミネルヴァ書房, 160-161, 194-195, 200-201

(7) 知的研究基盤の整備

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

Murakami S., Oguchi M., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part I: The creation of a database and its review, *J.Ind.Ecol.*, 14 (4), 598-612

Oguchi M., Murakami S., Tasaki T., Daigo I., Hashimoto S. (2010) Lifespan of commodities, part II: Methodologies for estimating lifespan distribution of commodities, *J.Ind.Ecol.*, 14 (4), 613-626

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告
SR-97-2011

平成 23 年 12 月 28 日発行

編 集 国立環境研究所 編集委員会

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2
電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

印 刷 株式会社コームラ

〒501-2517 岐阜市三輪ぷりんとびあ3

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan
December 2011

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料「Aランク」のみを用いて作製しています。

