

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 - 60 - 2003

循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する
調査・研究
(中間報告)

Studies on Material Cycles and Waste Management

平成 13 ~ 14 年度

FY 2001 ~ 2002

NIES



独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

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

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 - 60 - 2003

循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する
調査・研究
(中間報告)

Studies on Material Cycles and Waste Management

平成 13 ~ 14 年度

FY 2001 ~ 2002

独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

政策対応型調査・研究「循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究」
(期間 平成 13 ~ 14 年度)

政策対応型・調査研究責任者：酒井伸一
政策対応型・調査研究幹事：酒井伸一
報告書編集担当：酒井伸一

序

本報告書は、平成 13～17 年度の 5 カ年の予定で実施されている政策対応型調査・研究『循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究』の平成 13～14 年度、前期 2 年間の研究成果を取りまとめたものです。研究半ばではありますが、中間報告としてこれまでの研究過程とその成果を公表することで、今後の研究を展開するための貴重なご意見を各方面よりいただけることを期待しています。

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もたらしたと言われていています。問題解決への解の一つが循環型社会の形成を進めることであり、そのことは 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、この重要な課題に対処するために、平成 13 年 4 月の独立行政法人化に合わせて、廃棄物研究部門を大幅に拡充・強化し、循環型社会形成推進・廃棄物研究センターを設置するとともに、『循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究』に着手いたしました。本研究の目指すところは、大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から脱却し、物質循環を基調とした環境低負荷型で一次資源利用抑制型の循環型社会を構築することにあります。このため、発生から再資源化・処理および処分にいたるまでの様々な局面での廃棄物問題についての対策技術やシステムの開発、評価を重要な研究対象とするとともに（循環・廃棄物対策技術研究）、有害物質の管理やリスクを念頭においた現象解明から制御に関する研究をカバーしています（循環・廃棄物リスク制御研究）。さらに、循環型社会への転換を支援するための評価手法や基盤システム整備に関する研究をいま一つの核に据えています（循環システム研究）。

前期 2 年間を経て、処分技術フィールド研究では安定型最終処分場の硫化水素対策で貴重な知見を得たほか、液状廃棄物のリン除去・回収技術は実証に向けて一定の成果が得ることができました（循環・廃棄物対策技術研究）。また、バイオアッセイによるモニタリング手法、有機臭素化合物の挙動、LC/MS のイオン化法の研究で多くの成果を得つつあります（循環・廃棄物リスク制御研究）。さらに、循環型社会の実現に向け目指すべき方向を示す羅針盤を整備するための研究を拡充しつつあり、マテリアルフロー分析・産業連関分析を活かした指標研究で環境政策につながる成果を挙げ始めています（循環システム研究）。これまでの成果について様々な評価・批判をいただき、本研究の今後の展開につなげていきたいと考えています。

終わりに、本研究を進める上で研究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 15 年 11 月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 合 志 陽 一

目 次

1	研究の目的と経緯	1
1.1	研究の目的	1
1.2	研究の構成	1
2	研究の成果	3
2.1	循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究	3
2.1.1	産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の確立	3
2.1.2	ライフサイクル的視点を考慮した資源循環促進策の評価	7
2.1.3	循環システムの地域適合性診断手法の構築	12
2.1.4	リサイクル製品の安全性評価および有効利用	17
2.2	廃棄物の資源化・適正処理技術およびシステムに関する研究	21
2.2.1	循環廃棄過程における環境負荷の低減技術開発に関する研究	21
2.2.2	資源循環技術・システムの開発	25
2.2.3	最終処分場容量増加技術の開発と適地選定手法の確立	28
2.2.4	最終処分場安定化促進・リスク削減技術の開発と評価手法の確立	31
2.3	資源循環・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究	38
2.3.1	バイオアッセイによる循環資源・廃棄物の包括モニタリング	38
2.3.2	有機臭素化合物の発生と制御に関する研究	41
2.3.3	循環資源・廃棄物中有機成分の包括的分析システム構築	45
2.3.4	循環資源・廃棄物中ダイオキシン類や PCB 等の分解技術開発	50
2.4	液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究	54
2.4.1	窒素、リン除去・回収型高度処理浄化槽、消毒等維持管理技術システムの開発	54
2.4.2	浄化システム管理技術の簡易容易化手法の開発	57
2.4.3	開発途上国の国情に適した省エネ・省コスト・省維持管理システム技術の開発	61
2.4.4	バイオ・エコと物理化学処理の組合せを含めた技術による 環境改善システムの開発に関する研究	64
[資 料]		
	研究の組織と研究課題の構成	71
1	研究の組織	71
2	研究課題と担当者	73
	研究成果発表一覧	74
1	誌上発表	74
2	口頭発表	81

1 研究の目的と経緯

1.1 研究の目的

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こりはじめたのは、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警鐘を、日本で公式に制度に盛り込むこととなったのは1991年の改正廃棄物処理法であり、廃棄物対策に「発生回避」、「リサイクル」政策を含め、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年に策定された「環境基本法」では、循環，共生，国際協調が基本理念とされ、このなかの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」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，適正処分を循環廃棄物対策の基本原則として、この順に優先順位を考えること」とされている。この「循環型社会形成推進基本法」は、物質循環を基調とした社会の形成をはかるための日本の憲法ともいえるが、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。

このような状況を踏まえ、2001年4月から5年間の中期計画において、循環型社会における適正な物質循環や廃棄物管理のあり方を研究・提案するために政策対応型調査研究「循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究」を実施することとした。そのめざすところは20世紀型の大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から、さまざまな研究と政策のツールを駆使して、物質循環を基本とした環境低負荷型で一次資源利用抑制型の循環型社会を構築することである。研究と政策のツールとしては、技術，法制度，経済的手段，情報，モニタリング手法などがあり，問題の対象に応じて，これらのツールを効果的に組み合わせることが必要である。

このため，本研究では，循環型社会への転換を支援するための評価手法や基盤システム整備に関する研究を一つの核にとらえている。また，廃棄物の発生から再資源

化・処理および処分にいたるまでの様々な局面での廃棄物問題について，対策技術やシステムの開発，評価を行うことも重要な研究対象である。さらに，有害物質の管理やリスク管理を念頭においた現象解明から制御に関する研究もカバーして，研究を進めている。環境保全を図りつつ，一次資源利用と廃棄物発生を抑制し，再利用する物質の流れを創り上げ，適正な廃棄物の管理を行うことが研究の目標である。

1.2 研究の構成

本研究は，次の4つのサブテーマについて実施している。

(1) 循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究

循環資源をはじめとする物質のフローを経済統計と整合的に記述・分析し，循環の度合いを表現する手法，資源の循環利用促進による環境負荷の低減効果を総合的に評価する手法，地域特性にあった循環システムの構築を支援する手法，および循環資源利用製品の安全性を評価する手法を開発し，これらを循環型社会への転換にかかる諸施策の立案・実施・達成状況評価の場に提供することにより，社会を構成するさまざまな主体による効果的な「循環」の実践の促進に貢献することを目指す。

(2) 廃棄物の循環資源化技術，適正処理・処分技術およびシステムに関する研究

資源の循環および廃棄物の適正処理・処分のための技術・システムおよびその評価手法を開発し，循環型社会の基盤となる技術・システムの確立に資することを目的として，熱的処理システムの循環型社会への適合性評価手法の開発，有機性廃棄物に関する発生構造・需給要件および物質フローの把握と循環資源化要素技術およびシステム評価手法の開発，最終処分場用地確保と容量増加に必要な技術・システムの開発，海面最終処分場のリスクや環境影響のキャラクタライゼーション，処分場の安定度や不適正サイトの修復必要性を診断する指標やそれらを促進・改善する技術の評価手法の開発を行う。

(3) 資源循環・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究

循環資源や廃棄物に含有される有害化学物質によるリスクを総合的に管理する手法として、バイオアッセイ手法を用いた包括的検出手法、臭素化ダイオキシン類を的確に把握できる検出手法とその制御手法、不揮発性物質を系統的に把握する検出手法、有機塩素系化合物を含有する廃棄物等の分解手法を開発する。

(4) 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究

し尿や生活雑排水等の液状廃棄物に対して、地域にお

けるエネルギー消費の低減および物質循環の効率化を図るため、バイオエンジニアリングとしての浄化槽や土壌・湿地等の生態系に工学を組み込んだエコエンジニアリング等を活用し、開発途上国も視野に入れつつ、窒素、リン除去・回収型高度処理浄化槽、消毒等維持管理システムの開発、浄化システム管理技術の簡易容易化手法の開発、開発途上国の国情に適した浄化システム技術の開発、バイオ・エコエンジニアリングと物理化学処理を組み合わせた技術システムの開発、地域特性に応じた環境改善システムの最適整備手法の開発を行う。

2 研究の成果

2.1 循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究

2.1.1 産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の確立

(1) 目的

循環型社会への転換に向けたさまざまな検討を行うための基盤として、資源、製品、廃棄物などのものの流れに関する統計情報の体系化とその分析手法の開発が急務である。とくに、経済・社会の活動と、廃棄物との関わりを分析する上では、廃棄物統計と経済統計とを一貫した枠組みの中で分析できるような基盤を整える必要がある。そこで本研究では、産業連関分析の手法とマテリアルフロー分析の手法とを組み合わせた分析の枠組みを開発し、廃棄物統計をはじめとする関連情報をこの枠組みのもとに体系的に整備するとともに、生産・消費構造と廃棄物発生とのかかわりに関する実証分析や、循環型社会形成の進捗の度合いを計測するための指標開発などの応用研究を行うことによって、循環型社会への転換に係る諸施策の立案・実施・達状況評価を支援することを目指す。

(2) 方法、結果および考察

本研究では、従来、資源・エネルギー消費やCO₂排出といった分野で応用されてきた産業連関分析およびマテリアルフロー分析の手法を活かしながら、経済活動のいわゆる静脈部門におけるものの流れを、産業連関表を介して経済統計と整合のとれた枠組みの中でとらえるための手法開発とデータ整備を行う。このため、13～14年度においては、主に以下の3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。

- ・循環資源を取り入れた物量投入産出表の枠組みとデータベース構築
- ・産業連関表と廃棄物統計との結合による廃棄物発生構造の分析
- ・マテリアルフローに基づく循環の指標の開発

1) 循環資源を取り入れた物量投入産出表の枠組みとデータベース構築

物量投入産出表の概念

物量投入産出表(物量産業連関表)(Physical Input-Output Tables (PIOT))は、経済活動部門間の財の取引を、物量単位で記述したものであり、ドイツ、デンマーク等では既に国家の統計部門により作成されているものである。通常の経済主体だけでなく、「資源の供給者(source)としての自然環境」と「排出物の受容者(sink)としての自然環境」を「部門」に含めることにより、資源・廃棄物問題に関わる一連のマテリアルフローを記述することができる。多次元投入産出表(MDPIOT: Multi-Dimensional Physical Input-Output Tables)の枠組みを本研究に先立ち提案し、数表の試作を行ってきたが、これまでの試作では、廃棄物・リサイクル問題への展開を視野に入れつつも、資源として投入された物質がどのような産業を経てどのような消費財・資本財に変化していくのか、その過程でどのような副次的な物質の発生や環境への負荷の発生があるかを記述すること、すなわち動脈部門と環境とのかかわりの記述に主眼をおいていた。そこで、本研究では、この廃棄物やその他の副生物(これらのうち有用なものが循環基本法の定義による循環資源)のマテリアルフローを、MDPIOTに取り入れるための拡張を行った。

循環資源フロー表の設計

ある生産活動から発生した副生物は、中間処理を経た後に(あるいは直接的に)、再利用(あるいは再使用)するために生産活動に戻されるか、焼却などの中間処理によりCO₂や水あるいはその他ガスに変換されて環境中に放出されるか、あるいは、処分場で処分される。循環資源フロー表では、このような副生物のフローを記述の対象とし、その間に物質の変化があればそれも表現した。ただし、中間処理については、処理されるもののフローの記述に主眼をおき、処理に要する投入物や、これに起因する副生物の発生や環境への負荷については、データの入手可能性の限界から次の段階の課題とした。なお、動脈部門における生産活動間の主産物の取引は、MDPIOTにおいて既に詳細な記述の対象としているため、ここでは除外した。

フローの記述は必ず生産活動から開始され、中間処理において全量がガスや水に変化して環境中に放出されるような特殊な例を除いては、最後は生産活動（再利用・再使用の場合）、最終処分場（最終処分の場合）のいずれかで終了する。したがって、通常1つの副生物のフローは複数のレコードの集まりで表現される。勘定表の実体は汎用のデータベースソフトウェア（Microsoft Access）に格納し、これと連動するExcelに備わっているピボットテーブル機能を活用して、柔軟性に富んだ形式の表として表示することができる。

循環資源フローに関するデータ

循環資源の量を把握する上では、少なくとも2つの異なる方法がある。第一は、経済活動に投入される全ての物質をまず把握し、その使途を追跡して、循環資源に該当しないものを差し引く、トップダウンによる方法である。第二は、循環基本法の「廃棄物等」の定義に従って、これに該当するものを「積み上げる」、ボトムアップによる方法である。本研究では、これら2つの方法を併用している。すなわち、トップダウン法については、MDPIOTの試作過程において、資源の使途を追跡しながら、ある部門の投入と産出の物的バランスから、副生物の量を推計している。ボトムアップ法に用いるべき統計・調査は多岐にわたるが、本研究では、産業廃棄物の発生量・処理量に関する統計調査をもとにしたデータ構築を進めている。このデータは1995年および2000年の2時点を対象とし、次項の廃棄物発生構造の分析においても用いている。推計方法の概略を以下に示す。

まず、産業廃棄物統計の基礎データにあたる都道府県ごとの産業廃棄物統計調査データをもとに、産業連関表の部門との対応を考慮して業種小分類（約230業種）別、廃棄物種類（約70種類）別の産業廃棄物発生量を推計した。次に、産業廃棄物の発生から各種処理方法を経て処分にいたるまでの経路について、発生業種別、廃棄物種類別に整理し、これをもとに、発生業種ごとに処理方法別の処理量の推計を行った。なお、資源化については、用途等の情報をもとにした投入先業種別の資源化量の推計可能性について検討を行った。最後に、推計を行った業種分類と産業連関表の部門分類との対照表を用いて、業種別の推計結果を産業連関表の部門別の推計として再集計した。

2) 産業連関表と廃棄物統計との結合による廃棄物発生構造の分析

ねらい

各産業の生産活動は、本来の目的である生産物に加え、結合生産物として直接的に廃棄物を排出し、さらに、その生産活動に必要なエネルギーや原材料の購入を通して間接的に廃棄物を排出させている。本研究の主な目的は、こうした廃棄物の発生構造を、需要の側から分析すること、すなわち、どのような消費財、資本財の生産活動が産業廃棄物発生量および産業廃棄物最終処分量に直接・間接的に影響を与えているのかを定量的に明らかにすることである。

方法および用いたデータ

本研究では、経済循環の構造を数量的に解明することのできるSNA（System of National Accounts）産業連関分析を応用し、廃棄物分析の枠組みにまで拡張している。モデル式の詳細は略すが、内包エネルギー分析・内包CO₂排出量分析と同様に、最終需要に対して発生する直接・間接の生産額を求め、これに、各部門の生産額あたりの産業廃棄物発生量、処理処分量を乗じることで、最終需要が誘発する廃棄物発生量、処理処分量を計算した。本モデルに適用した主なデータとして、1995年産業連関表基本表、V表、屑・副産物発生投入表、輸入表および上記2.1.1項の(2).1)で構築した部門別産業廃棄物データが挙げられる。

結果と考察

まず、国内最終需要各項目が産業廃棄物発生量に与えた影響を見てみると、家計消費支出が32.0%と最も大きく、次いで、国内総固定資本形成（民間）、国内総固定資本形成（公的）、政府消費支出、輸出の順となっている（図1）。

環境省資料によると、一般廃棄物のうち、事業系のものを除いた、家庭による直接的な「廃棄」行為によって排出される一般廃棄物量は約3500万トン/年であることから、家庭による財・サービスの「消費」行為によって直接・間接的に誘発する産業廃棄物の発生量は約3倍（約1億トン/年）にのぼることが分かる。家計消費支出項目との関係で見ると、主な内訳は、水道・下水道を利用することによる汚泥（約43%）、卸売・小売サービスの提供に必要な紙の生産による汚泥（主に製紙汚泥、約20%）などとなっている。一方、公的資本財（道路建設などいわゆる公共事業）、民間資本財（工場、

事務所など)の建設行為による産業廃棄物発生量が全体の約45%と大きな割合を占めている。

一方、環境省資料では、事業系を含む一般廃棄物約5,000万トンの総排出量に対する最終処分量は約1,360万トンとされているが、この量と、家庭の消費行為によって誘発する最終処分量は同程度であった。発生量では前者と後者の間に約2倍の違いがあるにもかかわらず、最終処分量ではほぼ同程度になっているのは、誘発される廃棄物に占める汚泥の割合が高く、中間処理による減量化量が多いことなどが寄与していると考えられる。

図2は、横軸に各商品の家計消費支出額(百万円)を、縦軸に各商品の単位消費支出百万円当たりの産業廃棄物最終処分量(kg)をとったものであり、当該商品に関する横幅に縦幅を掛けた面積が当該商品消費した結果誘発した最終処分量を表している。縦長の長方形になる場合は、家計消費の絶対的なボリュームよりもその消

費財を生産するための生産技術構造に大きく依存しており、横長の場合はその逆である。対応の方向性も、生産者の技術的対応の側に求めるのか、消費者の消費スタイルの側に求めるのか、大きく違ってくる。この観点から見ると、水道、パルプ・紙、電力などの消費財については技術改良による一層の廃棄物削減努力が求められる一方、商業は後者の典型であり、需要額の絶対量が多いがゆえに寄与が大きい結果となっている。容器・包装の簡素化は、それ自身の廃棄量の軽減に加え、生産段階での廃棄物発生抑制という点でも効果が大きいことが示唆される。

家庭の消費行為とともに、産業廃棄物発生量、最終処分量の主要な牽引力としてあげべき最終需要項目は、国内総固定資本形成(公的)、国内総固定資本形成(民間)である。これは、民間と政府の建築・土木工事に関係するものであり、これら2項目で最終処分量全体の約

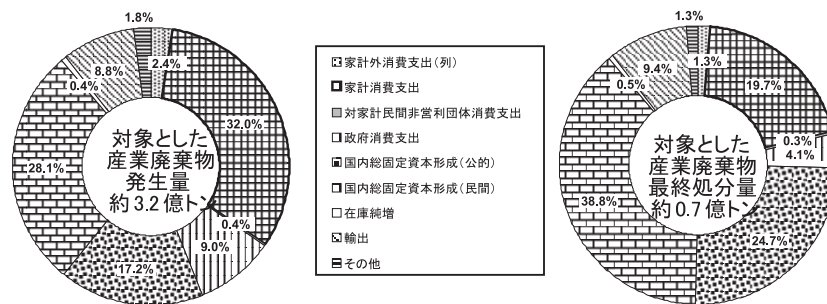


図1 最終需要別の産業廃棄物発生量・最終処分量への寄与

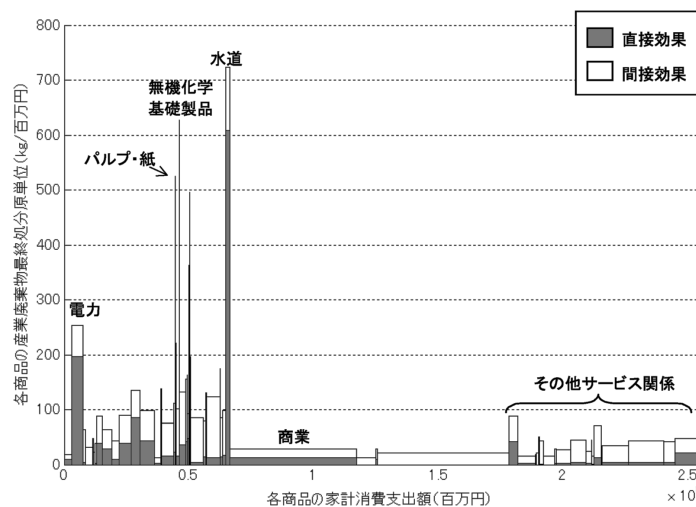


図2 家計消費支出によって誘発する産業廃棄物最終処分量の鳥瞰図
(注: 原単位が大きく消費支出額の小さい4部門を非表示としている)

64%を占めている。その構造をみると、土木工事関係と比べて建築工事関係（住宅建築・非住宅建築）は最終処分原単位が全体的に低い。すなわち、同額の追加的な投資に対し、土木部門の方が建築部門よりも廃棄物最終処分量が大きくなる。

産業連関分析の理論面における検討

なお、上記の分析に先立ち、産業連関表における廃棄物の記述についての理論面での検討を行った。これは、効果的な廃棄物管理政策を検討する上では、廃棄物を含めた結合生産財市場について議論すること、すなわち市場的な（正の価格を持つ）結合生産物（グッズ）だけでなく、非市場的な（負の価格を持つ）結合生産物（バズ）についても国民経済計算体系（SNA）に入れることが重要であると考えたためである。こうした認識に基づいて、invisible multiplier と名づけた乗数を導き、これを用いれば、財・サービスの国内総生産量が、内生的な廃棄物発生構造と廃棄物投入構造、外生的な最終処分量で決定されることを示した。その実証面での研究への応用は今後の課題である。

3) マテリアルフローに基づく循環の指標の開発背景

物質循環を促進するにあたっては、まず、その実態を把握することが不可欠である。その際に問題となるのは、物質循環にどのような形態があり、それぞれの形態における物質循環の量をどのようにとらえるかということである。現時点では、把握対象となる物質循環に一貫した定義がなく、異なる形態の物質循環が区別されていないことから、形態と量のとらえ方の関係を整理する必要がある。また、これまでに行われた実態把握の多くは、廃棄物の発生を出発点としたものであるが、物質循環の目的の一つが天然資源の消費抑制であるならば、人間社会への資源の投入を出発点とした資源フロー全体の中で、物質循環がとらえられるべきであろう。一方、物質循環を促進するためには、その目安となる指標を設定し、施策の効果を客観的に把握できるようにする必要がある。現存する様々なリサイクル率もそうした指標のひとつであるが、対象とする物質循環の形態、断面の違いによって、その計算根拠は実に様々である。したがって、前述した物質循環の量の把握と合わせて、適切な指標を検討する必要がある。そこで本研究は、資源の上流から下流への流れ（マテリアルフロー）をもれなくとら

えることを意識しながら、とらえるべき物質循環の形態を分類した上で、それぞれの形態の特徴を検討し、それをもとに物質循環の指標について提案を行った。

物質循環の形態の分類

物質循環の形態は、物質循環の対象となる物質の種類（「同工程副産物」「他工程副産物」「使用済み製品」の3種類）とその利用方法（「再使用」「物質再生利用」「熱再生利用」の3種類）から、表1の組み合わせが考えられる。このうち、副産物それ自身で製品としての利用価値をもつものは副産物ではない（製品である）ため、副産物の再使用に相当する物質循環はない。また、熱再生利用できる副産物は熱利用の工程からは発生しないため、同工程副産物の熱再生利用に相当する物質循環もない。したがって、全部で6つの物質循環の形態があると言える。資源の上流から下流への流れ（マテリアルフロー）をもれなくとらえることを意識すると、通常、廃棄物の観点からはとらえられない黒液の燃料としての利用なども、物質循環のひとつととらえられる。

表1 物質循環の形態の分類

	再使用	物質再生利用	熱再生利用
同工程副産物	-	b	-
他工程副産物	-	c	d
使用済み製品	a	e	f

物質循環の形態ごとの特徴

a ~ fのそれぞれの物質循環の形態について、対象となる物質循環の量がどのように計測されるのか、どのようにして天然資源の消費を抑制し、環境への負荷を低減するのか、という2つの視点（物質循環の量の計測方法の視点、物質循環の意味の視点）から、その特徴を検討した。その詳細はここでは略するが、物質循環の量を計測するという視点からも、天然資源の消費抑制と環境負荷の低減にどのように貢献するのかという視点からも、6つの物質循環の形態は3つに集約される。それらは、使用済み製品の再使用、副産物の再生利用、使用済み製品の再生利用である。この3つの物質循環の形態は、それぞれに意味が異なることから、物質循環の量を把握するにおいても、物質循環の指標を設定するにおいても

別々に取り扱うのが適切である。

物質循環の6つの指標の提案

前述した物質循環の3つの形態ごとに、その量を計測する上での特徴を踏まえた指標について検討し、これに物質循環の目的に関する指標を加えて物質循環の6つの指標を提案する。1) 使用済み製品の再使用に関する指標:「物質利用時間」、2) 副産物の再生利用に関する指標:「物質利用効率」、3) 使用済み製品の再生利用に関する指標:「使用済み製品再資源化率」および「使用済み製品再生利用率」、4) 物質循環の目的に関する指標:「直接物質投入量」および「国内排出物量」。以上の6つの指標をまとめたものが図3である。図からも分かるように、本研究が提案する6つの指標は物質のライフサイクルの要所を捉えとらえたものとなっている。

循環基本計画の数値目標との関係

循環型社会形成推進基本法における循環基本計画の策定にあたっては、これらの指標をベースに数値目標設定の検討を行った。社会における物質循環の実態は、これらの指標を用いて表現することが適切であるものの、統計情報の有無、分かりやすさ、他の法規との関係等から、最終的には、入口、循環、出口の3つの断面において、次の指標を採用することとなった。それらは、 $GDP / \text{直接物質投入量}$ 、 $\text{再使用} \cdot \text{再生利用量} / (\text{直接物質投入量} + \text{再使用} \cdot \text{再生利用量})$ 、最終処分量である。今後、本稿で提案するような指標を算出できるような情報を研究レベルで蓄積し、統計情報として整備していくことが求められる。

さらに、これらの指標は、国レベルでの資源を対象とした指標となっているが、今後、地域レベルや産業レベ

ルでの物質循環を計測できるような指標の開発を行う計画である。

(3) まとめ

本研究では、マテリアルフロー分析、産業連関分析を軸として、国全体のマクロなものの流れに関する情報を経済活動部門ごとにとらえる勘定の枠組みを構築するとともに、産業廃棄物の業種別・種類別処理処分量に関するデータ整備を行った。これによって、エネルギー消費やCO₂排出に関する先行研究と同様に、廃棄物の発生・処理・処分量について、生産・消費構造との関連における包括的な分析を行うための情報基盤が整備された。また、廃棄物の処理・処分過程における詳細なマテリアルフローについても、マテリアルバランスを重視した枠組みの中でとらえることが可能となりつつある。これら静脈部門のデータを、国全体のマクロな資源フローに関するデータとマスマルバランスを整合させつつ結合することが目下の課題である。一方、これらマテリアルフローに着目した「循環の指標」については、あるべき指標の枠組みを提案するとともに、平成15年3月に閣議決定された「循環型社会形成推進基本計画」に盛り込まれたマテリアルフローに着目した数値目標の策定を支援した。今後は、地域レベルへの適用などへ拡張することを検討する。

2.1.2 ライフサイクル的視点を考慮した資源循環促進策の評価

(1) 目的

本研究は、さまざまな資源循環促進策、すなわち政

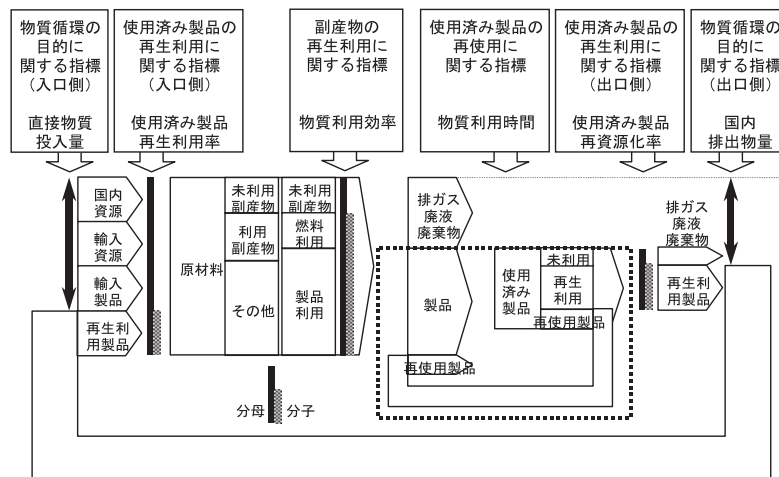


図3 物質循環の6つの指標

府、企業、市民など各々の立場からどのような行動に取り組めば、環境への負荷の低減にどれだけ貢献できるのかを明らかにすることを旨とする。リサイクルは本当に環境によいのかといった疑問がある中、資源の採取から製品の生産、流通、使用、その廃棄にいたるまでの一連の過程を総合的にとらえて環境への影響を評価するライフサイクルアセスメント(LCA)の手法を用いることにより、真に効果的な循環の技術や仕組みを明らかにすることを目的とする。また、資源循環に関わる各主体の意識や行動の把握や分析によって、政策の立案・実施の支援のための基礎的情報を得る。

(2) 方法

本研究では、いわゆる3Rをはじめとする資源循環促進策について、a) LCAをはじめとする評価手法面の研究とプラスチックのリサイクル技術など具体的な対象についてのLCAの事例研究、b) 個別リサイクル法など実社会における資源循環促進策についての環境面以外を含めた多面的な評価、の2分野について研究を展開してきた。

まず、リサイクル技術をはじめとする資源循環促進策の効果の評価にLCA手法を適用するため、廃棄物・リサイクル分野におけるLCAの事例研究についてレビューを行い、インベントリ分析およびインパクト評価の手法における廃棄物・リサイクルに特有の課題について整理した。一方、LCA手法を実際に適用して評価する事例研究の対象として、プラスチック廃棄物、とくに容器包装リサイクル法の「その他プラスチック」を選定し、現地調査を含むリサイクル技術の調査、データ収集を行った。また、地方自治体の廃棄物処理行政の支援を用途として想定したLCAソフトウェアの開発、機能改良を進めた。

一方、本研究と関連して廃棄物科学研究費(競争的資金)の補助を得て実施した研究において、耐久消費財の保有・廃棄行動解析、乗用車の長期使用が環境と経済に及ぼす影響の分析、家電リサイクル法の施行前後におけるリサイクル動向の把握、自動車部品の再使用の実態調査、住宅の長寿命化に関する意識調査などを実施した。さらに、資源循環の国際的側面に関する研究として、アジアの近隣諸国との間での国際的なリサイクルの状況把握、他の先進国におけるリサイクル関連法制度の分析を行った。

(3) 成果および考察

1) 廃棄物処理・リサイクルのためのLCA手法の検討と事例研究

まず、LCAにおける廃棄物処理・処分およびリサイクルに伴う環境影響の評価手法に関して、国際論文誌に掲載された論文のレビューを行い、評価対象とする財、環境負荷および環境影響について整理した。大気汚染物質などに関する環境影響の地域依存性を検討した事例や、環境アセスメントの手法などを参考に検討した結果、廃棄物管理・リサイクルシステムの埋立処分場の立地を山間部、平地、沿岸部と区分して、立地区分ごとに影響係数を推定するのが妥当と考えられた。一方、国内学会関連の雑誌・講演論文集に掲載された同分野の研究事例について、「廃棄物学会リサイクルシステム・技術研究部会リサイクル技術・システムの評価に関するWG」の活動と協調しながら、レビューを行った。その目的は、リサイクル技術・システムのLCA研究事例を横断的に比較し、結果に及ぼす影響が大きい設定条件を抽出すること、設定条件の明示基準を提案することにあった。容器包装プラスチックの中でも、リサイクルに関する評価事例の多いPETボトル(12事例)に関して、事例ごとの評価結果の比較を行ったところ、マテリアルリサイクルに関して結果のばらつきが大きいことが分かった。これはカスケードリサイクルにおける配分(アロケーション)手法や各種設定条件の差異が影響している可能性がある。また、以下のような課題が抽出された。「リサイクル技術」の評価、「リサイクルシステム」の評価、など目的によってシステム境界が変化することに注意しなければならない。「技術」を評価する場合、工場施設ごとにプロセスに差異があることに注意しなければならない。「システム」を評価対象とする場合、導入を想定している地域を明確にして輸送距離やプラスチック組成の代表値を示さなければならない。

以上のような点を考慮し、プラスチックリサイクル技術へのLCA適用のための予備的検討を行った。プラスチックごみのリサイクルは、社会的関心が高く、また熱回収(いわゆるサーマルリサイクル)も含めた多様な代替案について、リサイクルによってかえって環境負荷が増えることがないかどうかという点にも関心もたれている。PETについては既に多くの研究が行われていることを考慮し、これ以外のものを対象とした。すなわち、リサイクル技術としては、容器包装リサイクル法に

において認められている、マテリアルリサイクル、コークス炉化学原料化、高炉還元剤化、ガス化、油化を対象とした。

このうち、コークス炉化学原料化、ガス化（2方式）、油化の各方式について、プラントの実地調査を行うとともに、各方式について事業者・事業団体からのヒアリング等により、技術情報を得てこれを整理した。また、高炉還元剤化については、関連業界の技術者からのヒアリングによる情報収集を行った。さらに、関連する技術として、セメント原燃料化（2施設）についても、現地調査ならびに担当技術者からのヒアリングを行うとともに、技術情報の収集を行った。また、これらの技術を効率的に運用する上での法制度上の課題についても情報収集した。これらの技術の調査においては、容器包装プラスチックに主眼をおきつつも、建設混合廃棄物、シュレッダーダストなど、プラスチックを含むその他の廃棄物の受入可能性についても調査した。これらを要約した結果を表2に示す。

また、これらの技術について、プラントを保有・運営する事業者や関連団体などによってこれまでに行われたLCA（インベントリ分析）結果を収集するとともに、追加的なデータの収集可能性を調査し、技術間の相互比較の可能性について検討した。現状では、比較を行う際に揃えるべきシステム境界や、プラスチックごみのリサイクルによって、どのような原材料・製品・サービスがどれだけ代替されるかの設定の方法に不一致な点が多く、結果を比較しながら解釈する際には十分な注意が必要である。特に、これらの技術から得られるガスや油などの再生原料は、直接に比較しうる同等の性状の原料がない場合も多く、用途をさらに追跡して、既存の製品と比較

できるところまで評価範囲の拡張を行う必要がある（図4）に示す合成ガスによる発電など。また、これらの技術にLCAを適用する際には、「配分（アロケーション）」の考慮が重要である。とくに、セメント産業や鉄鋼産業などの既存プロセスと結合したり既存プロセスに内部化されているリサイクルシステムでは、プラスチックごみのリサイクルというサービスの生産と、本来の製品の生産との間での「配分」問題を生じること、さらに、本来の生産においても、複数の製品・副製品を生産しており、ここでも「配分」が避けられず、この配分の考え次第で、結果が大きく異なる可能性がある。この点が今後研究を進める上での重要な課題である。図4は調査対象とした主なりサイクル技術と製鉄などの既存プロセスとの関係を示したものである。この図で「油化」は既存プロセスから独立しているのに対し、「ガス化（ガス化改質）」は酸素の投入や発生したガスの利用において、既存プロセスと結合されている。さらに、「コークス炉化学原料化」、「高炉還元剤化」は既存プロセスに内部化されている。リサイクルによるエネルギー収支の変化は転炉や圧延以降のプロセスを含めた製鉄システム全体のエネルギー収支まで影響するため、ここまでの変化を考慮する必要がある。このように、「配分」の操作を行う前にリサイクルで物質収支が変化するプロセスを可能な限り把握することが重要である。

一方、地方自治体の行政の支援を用途として想定し、一般廃棄物処理に関するLCAソフトウェアの改良を行った。ごみ処理の広域化や各種リサイクル法の施行に伴い、自治体におけるごみ処理計画の内容や住民の意識が、単なるごみ処理という観点からリサイクルや環境配慮の重視、計画段階からの積極的な住民関与などへと変

表2 リサイクル技術別の受入れ可能な廃プラスチックの調査結果

発生源に基づく分類 組成に基づく分類	容器包装プラ	製造業等における工程くず、 調達資材の容器包装等		建設廃プラ		農業廃プラ	家電、自動車 等の可燃材	シュレッ ターダスト	備 考
	分別基準適 合物	非塩ビ系	塩ビ系	塩ビ管	建設混合廃 棄物	主として塩 ビ	*一部、難 燃剤を含む		
高炉還元剤化			x	x	?	x	?	?	含有塩素による高炉設備の酸腐食が懸念。
コークス炉化学原料化			x	x		x	?	?	現有の前処理プロセスは容器包装に最適化。
ガス化（ガス化改質）									プラ以外にも紙くず、汚泥、木くずなどを投入。
ガス化（加圧二段ガス化）									塩ビ系や熱硬化性樹脂も含めた一括処理が可能。有機性廃棄物、不燃物（サイズの制約あり）も受入可能。
油化							難燃剤の投 入可否は未 確認	x	PE, PP, PSのいわゆる「油化適正3樹脂」のみを限定的に受け入れることが理想。熱硬化性樹脂は受入不可。塩ビは投入重量比で50%が限界。
マテリアルリサイクル					?			?	廃プラスチックに混入している塩ビについては、マテリアルリサイクルの際の障害となる場合もある。
セメント原燃料化						農ポリ 農ビ	難燃剤 x	?	セメントの品質および製造プロセスに悪影響を与えるので、ハロゲンを含む樹脂の受入は不可。熱可塑性樹脂が対象。
RDF化						要確認			プラスチックの種類（PE, PP, PS, PET, PVC等）によらず、全て受入可能。熱硬化性樹脂の混入は望ましくない。

：現在受け入れている
x：現在受け入れているが、現有設備において受入可能である

：前処理等の技術開発や事業性等の条件が整えば受入可能である
x：受入不可能
?：判断が困難（現状では - x）

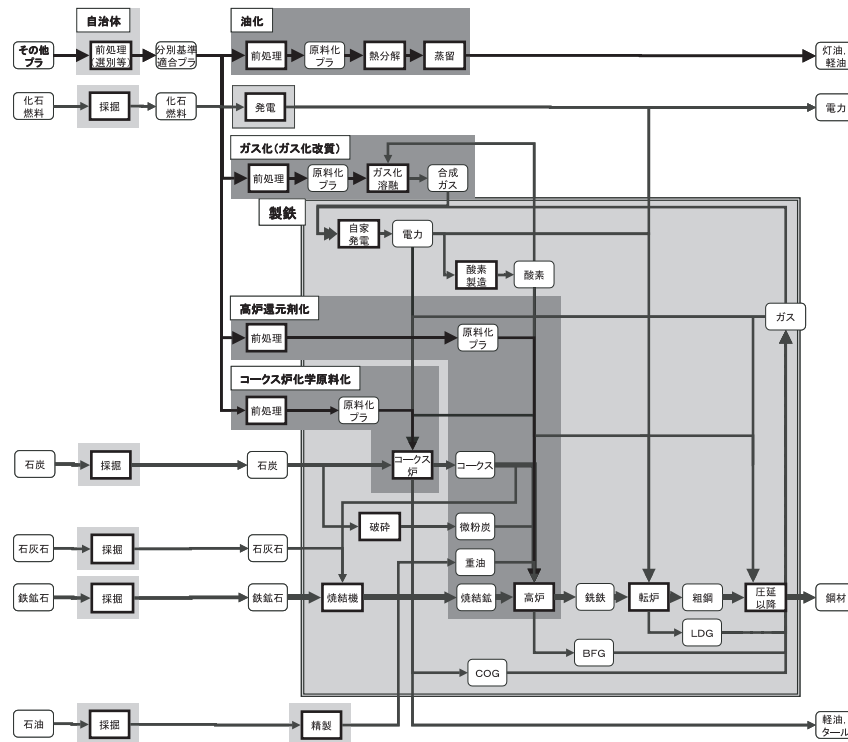


図4 廃プラスチックの主要リサイクル技術のシステム境界と既存プロセスとの関係

廃プラスチックを投入すると、COG（コークス炉ガス）やBFG（高炉ガス）の生成量が変化し、コークス炉、高炉、転炉へ供給する以外の自家発電等に利用するエネルギーが変化する。さらに自家発電の電力は製鉄システム全体で利用され、余剰分あるいは不足分の電力は外部との間で売買される。ゆえに、リサイクルが影響を及ぼすシステム境界は製鉄システム全体と外部の発電システムまで拡張する必要がある。

化しつつある。このため、適切な計画策定ができるように、ごみ処理に係わる環境負荷やコストを分析し、計画の策定を支援するソフトウェアが求められている。開発したソフトウェアには、収集・運搬、中間処理、最終処分の各段階に関するコスト・環境負荷の予測式が内蔵されており、利用者は「地域データ」（人口、世帯数、面積）、「ごみ組成・分別区分」、「中間処理施設・最終処分場の種類と諸元」（処理方式、発電の有無、排ガス・水処理の方式、等）といった計画値を入力することで、対応するコスト・環境負荷を定量的に評価することが可能である。評価項目は、コスト（建設・運転）、エネルギー消費量およびCO₂排出量の3項目とした。利用者は、焼却、灰溶融、ガス化溶融、粗大ごみ処理、資源選別、RDF化、堆肥化、バイオガス化等の処理技術を任意に組み合わせた複数の処理シナリオをソフトウェアに登録することによって、各シナリオのコスト・エネルギー消費・CO₂排出量を比較検討することが可能である。また、個別評価指標の重み付け手法としてAHP法

を組み込んであるので、各種処理シナリオの総合評価も可能である。特に一般廃棄物の収集・運搬過程に焦点を当て、各種の分別収集の実施に伴うコスト・環境負荷に関する基礎データ収集・モデル化を実施し、支援ソフトウェアを改善した。

2) 個別リサイクル法などの影響の分析と評価

自動車・家電等の耐久消費財のリサイクル動向に関する分析

廃棄物科学研究費（競争的資金）「耐久財起源の循環資源の適正管理に関する研究」の支援により、自動車、家電製品、パソコンなどの耐久消費財に着目した研究を進めた。

まず、自動車・家電等の廃棄行動・長期使用行動等に及ぼす要因を解析した結果、車の廃棄・買替行動には車の変更意思とともに車検時期が大きな要因であることが分かった。一方、家電等では故障が廃棄行動の主な要因であり、加えて「置き場所があれば、まだ使えれば捨てない」という行動様式を確認できた。上記の結果を踏ま

え、廃棄モデルと産業連関モデルを組み合わせることで乗用車の長期使用がもたらす環境と経済への影響を分析し、5年間の期間を経て0～2年の長期使用が達成された場合における国内総生産、雇用者所得、エネルギー必要量、廃棄物処分量の変化量を定量的に求めることができた。また、修理・リユース行動へ導いて廃棄行動を減らすことが考えられるが、家電等については、これらの行動意識は必ずしも高くないだけでなく、意識の高い人でもこれらの行動を断念せざるを得ない状況が確認できた。加えて、家電等のリユースが必ずしも使用年数を長くさせておらず、望まれる効果が得られない場合があることが示唆された。

自動車のマテリアルフロー調査では、部品・素材ごとの物質含有量やそのリサイクル・処理過程の関連情報を調査し、車の素材別に出荷、廃棄発生、解体・リサイクル、処理・処分の各フロー量を概算した。また、自動車解体業者へのヒアリング調査ならびに既存アンケート調査結果・文献情報を整理して、解体業に係る物質フロー量を推算し、自動車部品再使用の実態を把握した。また、家電のマテリアルフロー調査では、家電リサイクル法施行前後における再商品化量、不法投棄量、海外輸出等のフロー情報を整理し、家電リサイクル法施行直前における冷蔵庫の駆け込み廃棄が主に使用年数が長い製品の廃棄による影響であること、リサイクル費用徴収によって廃冷蔵庫の発生抑制がすすむ可能性が短期的には認められなかったことを示した。

資源循環の国際的側面に関する研究

近年、アジアの近隣諸国などに再生資源が輸出され、海外でリサイクルが行われるケースが多くなっており、これらの環境面での影響や、国内の法制度との関連について、検討が必要と考えられる。こうした問題については、耐久消費財関連の研究やプラスチックリサイクルの研究において、予備的検討を行っていたが、平成14年度には廃棄物科学研究費（競争的資金）を獲得し、「アジア地域における資源循環・廃棄の構造解析」に着手した。その一環として、2002年11月に、国立環境研究所において「持続可能な資源循環に関する国際シンポジウム」を開催し、中国、インド、インドネシア、フィリピン等7ヵ国9名の専門家を招へいして、各国の廃棄物管理の状況に関する情報収集、今後の研究協力の可能性の検討を行った。

日本からの今後の再生資源輸出動向把握やアジア諸国

との資源循環・廃棄物管理制度の連携を考えると、アジア各国の廃棄物管理状況に関する知見が重要であるが、上記シンポジウムなどを通じて、以下のような情報が得られた。すなわち、廃棄物の発生抑制やリサイクルに向けた各国のアプローチは多様であること、廃棄物統計が十分に整備されている国は少ないこと、電気・電子廃棄物（E-waste）や使用済み自動車（ELV: End of Life Vehicle）については現時点では問題の顕在化が特定の国に限られていること、などである。また、多くの国では都市ごみから資源回収を行う際のインフォーマルセクタへの依存度は高く、回収量の把握が困難であるとともに、経済発展後の資源回収体制の整備も課題となると考えられた。

国際的なリサイクルの量的側面としては、日本からの再生資源輸出が1990年代後半から著しく伸びていることが挙げられる。鉄・非鉄の金属くず、古紙、プラスチックくずの輸出総量は2002年において900万トンに達し、重量でみた輸出総量の1割近くを占めるにいたっている。この輸出先の大半が中国であることから、中国における現地調査を実施し、主に容器包装材由来のプラスチックリサイクルの現状把握を試みた。その結果、中国国内の盛んな需要を背景として、日本や欧州からの容器包装プラスチックが多量に輸入され、零細業者によって繊維材料化（一部は再生繊維製品が日本へ再輸出）されている現状を確認した。また、質的側面としては、上記シンポジウムでE-wasteに関する指摘が注目された。中国の零細業者においては、被覆電線などの野焼き、ブラウン管の粉碎と放置、チップの酸処理と廃液の垂れ流し、などである。

日本のリサイクル法制は国内での循環を前提として検討されてきた経緯もあり、このような国際的なリサイクルの動きに対する対応が現在求められている。その際の課題を検討し、動脈側プロセスと静脈側プロセスとの情報交流確保、再生資源輸出フローの把握の向上、輸出先での需要変化予測に加えて、リサイクル海外依存の道義面なども挙げた。

一方、資源循環についての他の先進国との比較として、建設廃棄物の発生に関する日欧比較、自動車のリサイクル法制度に関するドイツの状況について、情報収集を行った結果をまとめた。建設廃棄物については、欧州との比較を通じて、日本でも長期使用による発生抑制とともに、新築、改築、解体に分類した精度の高い把握が

必要であることが示された。自動車リサイクルについては、EU 指令に基づくドイツ国内法の制定経緯と内容を精査することによって、引取方法にかかる生産者責任と費用負担のあり方、各種登録・回収システムの連携による ELV のフロー把握を日本の課題に挙げた。

(4) まとめ

廃棄物処理・リサイクル技術の環境負荷低減効果の評価への LCA の適用について、既往の研究のレビューに基づいて手法上・データ収集上の課題を整理するとともに、廃プラスチック、とくに容器包装プラスチックのリサイクル技術への LCA の適用のため、代表的な技術について、文献資料による調査に加え、ヒアリング・現地調査を行った。リサイクルによる効果を技術間で比較するためには、評価対象とするシステム境界の拡張・統一に十分な注意を要するため、現時点では LCA 結果としてとりまとめるにいたっていないが、収集した情報をもとに解析を進め、容器包装リサイクル法などの法制度の運用、見直しなどに活用可能な情報を提供することが課題である。一方、資源循環の促進のための各種施策に関する研究については、家電製品、自動車、建築物など、主要な耐久財を対象とした研究を実施しており、これまで実施した現状把握をもとに、より適正な管理のための政策提言につなげていくことが課題である。

すなわち、LCA の手法開発、実証データ収集によって、資源循環の促進による所期の効果の客観的・定量的評価を進めるとともに、個別リサイクル法の施行による影響の把握や、国際的なりサイクルの進展に伴う諸問題についての情報収集を引き続き行うことにより、資源循環促進施策の多面的な評価につなげていく計画である。また、マテリアルフロー分析や産業連関分析(2.1.1項)との連携により、個別の資源循環促進策の環境面、経済面でのマクロな影響の分析にもつなげていくことも検討する。

2.1.3 循環システムの地域適合性診断手法の構築

(1) 目的

地域の産業基盤、物質・エネルギー需給、循環資源・廃棄物に係る施設立地等に関する情報を、地理情報システム等の情報技術を活用して統合的に分析する手法を開発する。これを用いて、地域に適合した資源循環システムの高度化を図るための統合型地域循環診断システムを

関係主体と協力して開発する。

(2) 方法

事例対象地域として埼玉県を、産業廃棄物の品目として主にコンクリート塊(がれき類)を、循環資源の需要先として建築・土木工事への建材(再生骨材)利用を取り上げ、以下の情報の収集と整理を行った。

1) 建築への骨材利用について、生コンクリートならびに骨材等の主な物流経路、埼玉県内外における産地の位置と個別建築現場におけるこれら資材の調達先を、資材業者や建設発注業者へのヒアリングとアンケート等により調査した。さらに、「建設着工統計」(国土交通省資料)等を用いて、埼玉県内各市町村におけるセメント、生コンクリート、骨材、再生骨材の需要量分布を推計した。

2) 埼玉県環境防災部と共同で、産業廃棄物運搬・処分業者による処理実績報告(平成12年度)の原票(約20万件)を電子化し、排出事業所ならびに処理業者の住所データを位置座標に変換してレコードに付け加え、産業廃棄物物流データベースを構築した。これを用いて、埼玉県内におけるコンクリート塊と再生骨材の需給分布について地理情報システム(GIS)上で解析した。

3) GIS で得られる市町村間の距離と、各市町村の産業廃棄物中間処理能力データを用いて、木くずの発生地点から中間処理/再生施設/最終処分場までの移動範囲を予測する物流モデルを構築し、廃棄物物流データベースから得られた実際の移動範囲との比較を行った。

4) 文献等を調査し、対象物と単位操作に着目して、廃棄物・循環資源に対する選別技術データベースを構築した。さらに、コンクリート塊(がれき類)について、中間処理と再生業者へのヒアリング等により、供給側と需要側の品質上の適合性を検討した。

また、地域レベル循環系を解析するための、ライフサイクルアセスメント、マテリアルフロー解析、ならびに産業連関分析の手法的枠組みについて検討した。

(3) 結果および考察

1) 埼玉県における骨材等の流通形態の把握

まず、廃棄物(がれき類)に近いモノの流れとして、埼玉県内における骨材等の流通形態を概観した。

骨材・砕石は自然産品であり、輸送費が価格に占める割合が大きい。一般に流通には金銭の取引(契約)関係

を表す商流と商品の納入にいたる輸送経路を表す物流があるが、骨材・砕石の場合、商流は生コンメーカーおよび建設業者から協同組合や建材店を通じて採取業者へといったるが、実際の物流は大口需要の場合は採取地からの直送、小口需要の場合は建材店のストックヤードからの納入が主であった。埼玉県県内の建設現場への搬入は県周辺の主要骨材・砕石産地からが主である。県内の採石場および採石工場は、産地である秩父郡および大里郡等北西部のうち、国道沿いなど搬送の便のよいエリアに分布していた（図5）。

生コンクリートは、長期の貯蔵が不可能で運搬車両が限定されるなどの特性から、建設現場の近傍（運送時間が60～90分）かつ幹線道路沿いという位置に製造場所が強く制約される。着工床面積の多いさいたま市周辺エリアの埼玉中央生コン協同組合には半数以上の工場が含まれていた。

建築工事における骨材（砂利、砕石、再生砕石、石材、ならびに骨材換算した生コンクリート）県内使用量推定値の市町村別分布を図6に示す。いずれの資材需要もさいたま市を中心とした県南と熊谷市で高く見積もられた。

以上より、建築資材の調達において骨材・砕石のように商流と物流は経路が異なる場合があり、また、資材の移動の範囲は、骨材・砕石のように産出される場所や資材の重量、また生コンクリートのように運搬性、貯蔵性等の特性に制約されていた。これらの制約を緩和するものとして、主に県北の産地と県南の需要地間の道路経路での輸送時間と中継拠点等の立地の関係、また在庫や流通加工（例えば生コンクリート製造）等の中継拠点の

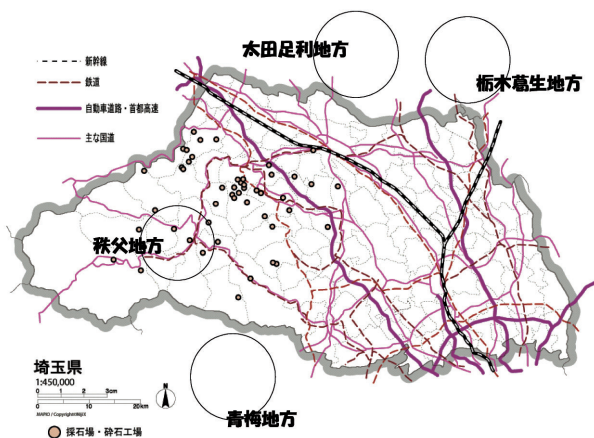


図5 埼玉県内外の採石場と採石工場の分布

機能の把握が重要であると考えられた。

2) 埼玉県におけるコンクリート塊の物流と需給の解析

産業廃棄物物流データベースには、平成12年度に埼玉県内の廃棄物収集処分量に県外から持ち込まれた350万トンと県内から発生した334万トン、ならびに収集運搬業者によって県外に持ち出された129万トン、総計813万トンの産業廃棄物について、発生源から最終処分または再利用先までの移動が登録された。このうち、がれき類の県内外での移動は（図7）、県内発生量が172万トンであり、県外からは東京都からの搬入が115万トンと多く、その他に神奈川県、千葉県、栃木県、群馬県等の関東圏内からの搬入があった。また、再利用先では、埼玉県内が159万トンと最も多く、他に東京都や群馬県等の周辺県への移動があった。

がれき類総量から、アスファルト・コンクリート塊の排出量を除いて、埼玉県内でのコンクリート塊の需給状況を検討した。まず、コンクリート塊総量では骨材の建築工事における県内使用量351万トンに対して、埼玉県

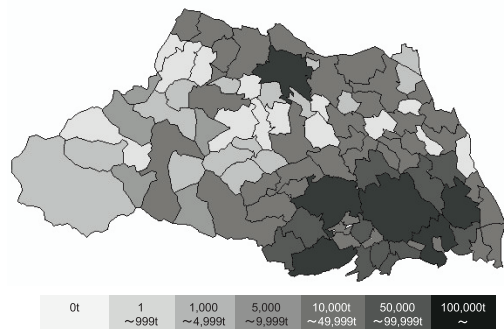


図6 埼玉県内における骨材使用量推定値（平成13年度、建築工事）

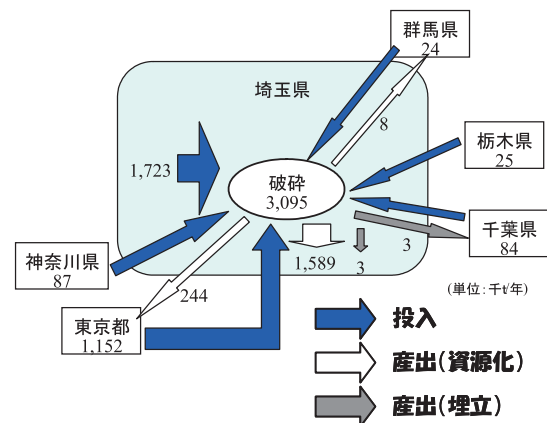


図7 埼玉県内外におけるがれき類の移動（平成12年度）

内の産業廃棄物処理施設で中間処理等されているものとして、県内発生に由来するものが208万トン、県外発生に由来するものが178万トンであった。これらコンクリート塊の県内中間処理業者による破碎処理量（図8）は、図6の骨材使用量とほぼ同じ分布を示した。しかし、コンクリート塊の発生量と処理量を市町村別に比較すると全体の約6割の市町村で発生量に対する処理量が不足しており（図9）、主に発生地点と処理施設の間で移動が生じていることが推察された。市町村ごとのコンクリート塊の中間処理目的での搬出入を図10に示す。県南部は地域外の県外から搬入して破碎処理等される割合が多いのに対して、それ以外の地域では地域外の県内へ搬出している市町村の中心に、地域内の県内から受け入れている市町村が分布していた。また、後者の市町村は関越自動車道やそれに接続する国道沿いに分布しており、図5の碎石場・碎石工場の分布と似ていた。

すなわち、埼玉県は関東圏内における産業廃棄物の中間処理を担う立地にあり、主に県南は東京都からのがれ

き類/コンクリート塊を受け入れている。破碎等の中間処理能力は建築工事等の需要地に多く分布するが、それ以外の地域からの発生は、まず近隣の処理能力（施設）を有する市町村に移動して一次処理され、さらに自動車専用道路や国道等を通じて需要地まで運ばれると考えられた。

3) 産業廃棄物の物流モデルの開発

図11は、廃棄物物流データベースの情報を利用して、埼玉県所沢市の焼却中間処理施設に市外から搬入される木くずについて、搬出市町村の地域的分布状況と搬出量を示したものである。

産業廃棄物の処理・処分は、基本的に経済的な合理性に基づいて行われていることから、物流モデルの構築に当たっては、産業廃棄物の処理に伴う物流を、ある廃棄物の排出源に対して、距離的あるいは時間的に近い場所に、その廃棄物を処理する施設および能力が存在する場合に起こる移動現象としてとらえ、単純化したアルゴリズムを作成した（図12）。図11のフローは産業廃棄物の

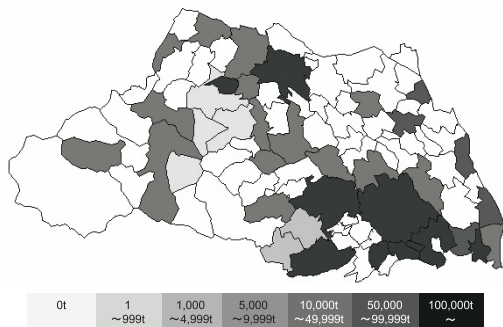


図8 埼玉県内のコンクリート塊処理量（平成12年度）

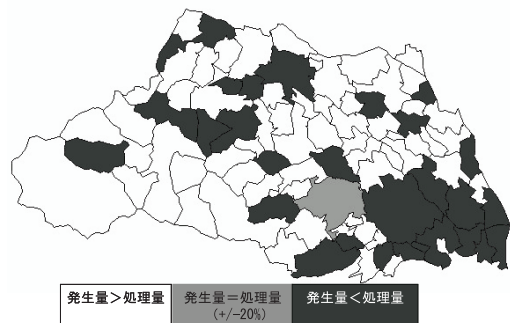


図9 埼玉県内のコンクリート塊発生量と処理量の比較（平成12年度）

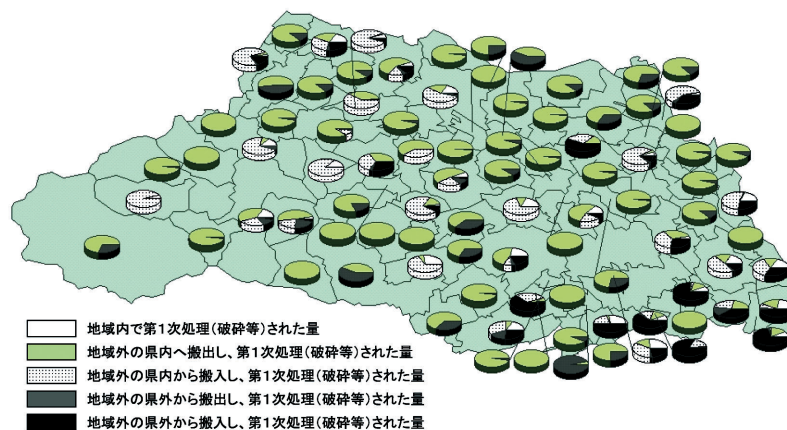


図10 埼玉県内のコンクリート塊の移動

適正処理・処分プロセスのうち、一部の廃棄物について排出から中間処理までの段階のフローを切り取って見たものであるが、中間処理後の残渣が最終処分にいたるフローも当然表現可能である。このようなフローを上記の様なモデルで表現するためには、廃棄物種類ごと・市町村ごとの発生量ならびに処理種類ごとの処理能力のデータ、さらに主にトラック輸送を表現するための幹線道路経由距離のデータが必要である。廃棄物の発生量に関しては、種類ごとに原単位を用いて市町村別の推計を行い、処理能力に関しては、関東圏に存在する廃棄物中間処理施設の所在地や能力等の諸元をデータベースとして整理し、市町村別に集計した。幹線道路経由の市区町村間距離に関しては、GIS上で道路ネットワークデータに

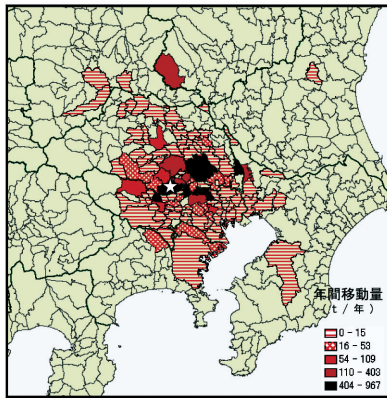


図11 廃棄物物流データベース情報による実際のフロー

産業廃棄物・木くずの市区町村間フロー
所沢市（印）に焼却による一次処理目的で木くずを委託する市区町村

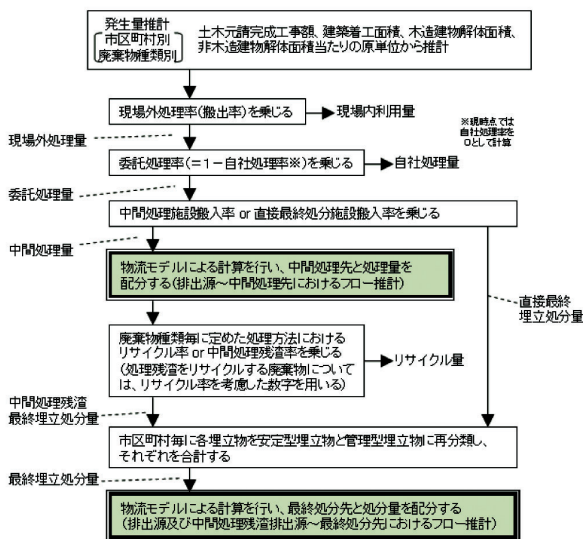


図12 物流モデルを用いた適正処理処分フロー推計のアルゴリズム

よる距離解析から求めた。

現在、これらのデータを用いて物流モデルによりフローを推定し、廃棄物物流データベースのフローと比較検証を行いながら、モデルとしての有用性を検討している段階であるが、その一例として図13に幹線道路距離の考え方についての解析結果を示した。図11に示された各市町村は、所沢市から幹線道路を利用して3時間で到達できる範囲であり、実際の移動範囲とほぼ一致している。すなわち、ある場所で発生した廃棄物が中間処理目的等で移動する範囲は、主に施設等の拠点の分布とそこに達するまでの移動時間に支配されると考えられた。

4) コンクリート塊および再生材の要求品質

図14に コンクリート塊の一般的なリサイクルフローを示す。施設に持ち込まれるコンクリート塊は、破砕機に投入できる50cm程度の大きさまで粗割りし、土砂その他の異物を除去する。一次破砕としてジョークラッシャー等で15cm程度以下まで粗破砕し、磁選機による鉄筋の除去、目視等による木片、布きれ、プラスチック片等の除去後、20~40mmのふるいで分け、再生クラッシャーランとする。また、二次破砕としてインパクトクラッシャー等により、粒形や粒径分布を揃えた

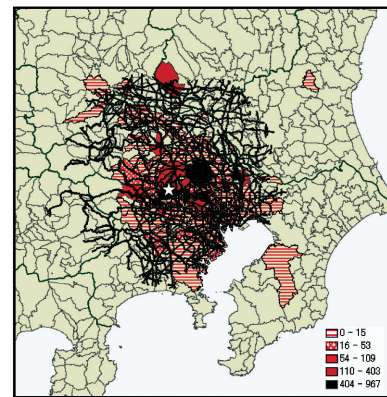


図13 所沢市から幹線道路を用いて3時間で移動できる範囲

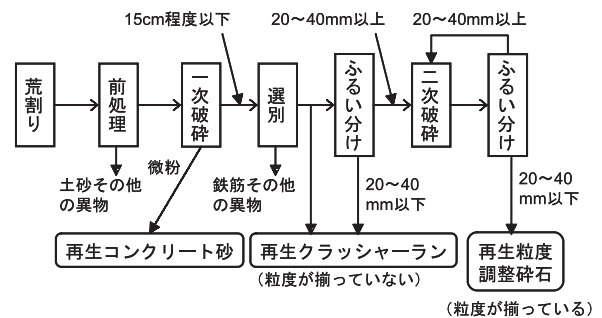


図14 コンクリート塊のリサイクルフロー

ものは、再生粒度調整砕石として用いられる。

中間処理業者等に対するヒアリングにより、コンクリート塊の受け入れ条件には、発生源の種別として戻りコンクリート塊（未使用の生コン）、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊があり、混合物ならびに異物混入は不可となることが多く、大きさとして50 cm³以下と30 cm³以下という指定、有筋と無筋という種別があった。これらの事項が受け入れ料金に反映されていた（戻りコン、30 cm³以下、無筋が安い）。また、破碎後の再生用途はほとんど路盤材や基礎材であり、コンクリート骨材としての利用は限られていた。この理由は、砕石等とくらべて、比重が小さく、水分吸収率が高く、すり減り減量が大きく、表面のモルタルをはがす等の特別の操作が必要となるためである。

平成6年に建設省（当時）が策定した「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」では、路盤材品質として修正CBR、塑性指数（PI）、一軸圧縮強さ、マーシャル安定度の規定があるが、道路用の再生クラッシャーランならびに再生粒度調整砕石としては、主に粒度範囲（40～20 mm以下）の規格で使用されていた。なお、コンクリート用骨材としての品質には、吸水率、安定性、粒度、有害物の含有率の規定があり、再生骨材1～3種という等級に分けられている。

以上より、コンクリート塊の循環利用では、路盤材以外の用途、すなわちコンクリート骨材利用において、中間/再生処理業者の受け入れ側の条件と比較して、利用側が材料として要求する品質項目が多く、アンバランスであることが分かった。循環範囲の推定のためには、より発生源によるコンクリート塊の分類で用途に適合した資源を検索した上で、拠点配置と需要に合わせた品質変

換技術の適用を考える必要がある。

5) 地域循環系の環境・経済・社会的適合性の評価手法の検討

循環資源に関する地域内・地域間フローを体系的に表現するため、物量単位の地域内・地域間廃棄物の産業連関フレームワーク（表3）を新たに設計するとともに、循環資源関連部門の細分化を施した物量単位の投入産出表との関係から地域内リサイクル乗数を導いた。また、これらの産業連関（投入産出）表を用いた実証分析を行うため、廃棄物関係の諸統計・調査資料をもとに廃棄物の処理・処分・再利用に関する地域内・地域間物量フローの集計を行った。

また、LCAを用いた循環システム導入による地域の物質収支、環境負荷全体への影響を評価では、システム境界に含まれるプロセスの存在地域を区別し、評価対象地域の内外での負荷排出への寄与度を明確化することが重要であり、また、地域の物理的・社会的特性を考慮したインパクトアセスメントを構築する必要があると考えられた。

さらに、市町村や都道府県といった規模では物循環が完結しないのが現状である。そこでまず、評価対象地域と周辺地域との物質の出入りを把握したのち、地域内での完結度、地域外への依存度などを評価する指標が必要であると考えられた。

今後は、これらの評価フレームを埼玉県で実証分析し、地域内でのリサイクルの達成度を環境と経済双方の側面から定量的に評価してゆく予定である。

(4) まとめ

事例調査対象地域（埼玉県）における産業・経済構造

表3 廃棄物の地域間産業連関勘定（物量ベース）

（単位：トン）

		地域 <i>r</i>		地域 <i>s</i>		地域 <i>r</i>	地域 <i>s</i>	輸出	総需要
		商品	産業	商品	産業	最終処分	最終処分		
地域 <i>r</i>	商品		U_{ww}^{rr}		U_{ww}^{rs}	f_w^{rr}	f_w^{rs}	x_w^r	q_w^r
	産業	V_w^r		V_w^{rs}					g_w^r
地域 <i>s</i>	商品		U_{ww}^{sr}		U_{ww}^{ss}	f_w^{sr}	f_w^{ss}	x_w^s	q_w^s
	産業			V_w^s					g_w^s
輸入			m_w^r		m_w^s				
調整項			y_w^r		y_w^s				
総供給		$(q_w^r)^T$	$(g_w^r)^T$	$(q_w^s)^T$	$(g_w^s)^T$				

注：廃棄物のマテリアルバランスを考慮するため、最終埋立等の最終処分列ベクトル f と調整項行ベクトル y が設けられている。下付記号 w は廃棄物を表している。

や、建材と建設解体廃棄物の流通、発生、再生品需要に関する地理情報を収集し、県内外におけるマテリアルフローをGIS上に作成した。また、中間処理能力の分布、循環資源の選別・精製技術、再生資源への要求品質等を調べ、資源の移動と需給の適合にかかわる要因を整理、評価した。さらに、これらの情報を用いて、地域レベルのリサイクル率、環境影響や経済波及効果等、資源循環システムの地域適合性を診断する手法の開発を進めた。

今後は、事例研究対象地域における資源循環に関連する地理情報等について、一般廃棄物を含めた調査を進め、この情報基盤を用いた循環資源の輸送モデル、品質的な需給マッチングモデルを開発し、品質変換技術の技術評価手法等の物流拠点の計画法の検討を開始する予定である。さらに情報基盤を用いた循環度指標、LCA、ならびに投入産出表分析の適用も開始する。

2.1.4 リサイクル製品の安全性評価および有効利用

(1) 目的

持続可能な社会を構築するためには、様々なタイプの廃棄物の利用法を拡大するなどの再資源化を図ることが極めて重要である。一方、その利用や処分過程においては安全性を確保すると同時に環境への負荷を最小限にすることも重要である。本研究においては、リサイクル製品の安全性評価および有効利用に関する研究として、リサイクル製品の利用の現状把握、安全性の評価、利用法の拡大、各種試験法の標準化に関する研究を主に進めている。本研究の2年度目に当たる平成14年度は昨年度に引き続き、1)スラッグの再生利用を促進させるために必要な科学的知見等を集積し、再生利用の際の長期に亘る安全性を確認するための試験評価手法および再生品全体についての管理手法を構築すること、2)木材系廃棄物の利用法を拡大するための研究の一環として、その炭化物の有害ガス吸着能を室内で利用する方法(炭化物ボードなどの利用法)および木材系廃棄物などの安全性評価手法を作成することなどを目的とした。

(2) 方法

1)スラッグの再利用の促進に関する研究

スラッグの有効利用の際に生じるリスクには、土壌・地下水系への溶出による環境影響と飛散粉じん等の直接摂食による健康影響が想定される。そこで、前者については各種条件を変えた溶出試験群により溶出挙動を特性化

し、新たな試験系を設計・提案した。また、後者については、土壌汚染対策法において含有量測定法として採用された強酸性溶媒による抽出法を援用し、評価した。本検討においては、スラッグと同等の機能をもつ天然原料系の材料も同時に試験に供し、比較検討を行った。また、国内外の再生品に関する国内外の環境安全管理制度の設計思想、特徴を整理し、環境開放形で再生品を利用する場合の環境安全管理の視点を抽出するとともに、今後の日本における制度設計の考え方を提案した。

2)木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究

木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究においては、その炭化物の有害ガス吸着能を室内で利用する方法(炭化物ボード)作成などについて検討した。即ち、木材系炭化物をセルロース繊維等と接着して炭化物ボード等を作成し、その利用法としてホルムアルデヒドの長期(6ヵ月間:モデル実験室の床面積約10m³)吸着試験やトルエン、アンモニアの吸着能について検討した。また、作成した木炭の有害ガス(ベンゼン、スチレンなど)の吸着能に及ぼす炭化温度条件をベンチスケールのガス吸着試験で調べた。さらに、空気中の揮発性物質(VOC)の簡易測定法(可搬型GC/MSによる分析など)や防蟻剤のGC/MSによる分析法、発光umu試験、ConA Blast免疫毒性試験、発がんプロモーター試験法などに関する基礎的検討を進めた。

(3) 結果と考察

1)スラッグの再利用の促進に関する研究

各種溶出試験による溶出挙動の特性化

廃棄物溶融スラッグ12試料を用いて特性化を行った。注目すべき鉛についてみると含有量の範囲は<10~13000mg/kgであり、環境影響最大溶出量はほぼ10%以下と低い割合であった。図15に産業廃棄物溶融スラッグの溶出特性の例を示す。pHの変動に伴い鉛の溶出はpH5~9で極小となり強酸性と強アルカリ性で溶出するパターンを示す。また単一のバッチ試験による溶出量は溶出液pHによって異なる。実環境を模擬したカラム試験の鉛溶出量は同じ接触水量で比較すると、振とう試験(JLT46)による溶出量より1桁以上低かった。試料を静置し接触溶媒を交換する拡散試験の結果から、初期の表面溶出後内部拡散が律速となる溶出が認められ、拡散係数は純水よりpH4の水の方が1桁大きかった。長期溶出量評価を複数回の溶出で行うシリアルバッチ試験に

より接触水量と接触時間に対応する溶出量を調べた。鉛や銅等では短い接触時間の繰り返しの方が溶出量が多くなることが観察され、溶出後に pH 変化による新たな化学反応やスラグ表面への再吸着等の可能性も考えられた。鉛等一部の元素では純水より pH 4 の水の方が溶出量は多かったが、その他は溶出量の差がみられなかった。シリアルバッチ試験は拡散試験の溶出量より多く、実環境へ適用する長期溶出量推定として安全側での評価試験系となりうるといえる。

重金属類濃度の溶出濃度は変動幅が大きく表面洗浄においても溶出する。表面に濃縮して存在する金属類を分析型走査型電子顕微鏡により分析し、産業廃棄物溶融スラグは銅、鉄、アルミニウムが、一般廃棄物溶融スラグでは鉄とアルミニウムが金属態として存在すること、またクロムや亜鉛はスラグ全体よりも表面層に濃縮して存在する場合があります、溶出にも寄与することが分かった。

水系への溶出の観点からの新たな試験系の設計

スラグ再生品の水系汚染経路の環境影響について評価するための試験系を提案した。a. 重金属類の溶出が、表面洗浄等による短期的因子と内部拡散による長期的因子に支配されること、b. 粒径による表面積の違いが溶出濃度に影響すること、c. 再現性・労力・コスト・時間の面からの実用性を勘案すること、などを考慮し提案した試験系の概要を図 16 に示す。有効利用時の形状(有姿)のままシリアルバッチ試験(液固比 10:1、かくはん翼によるかくはんで第一段階 6 時間、その後 24 時間溶出操作の繰り返し)に供し、第一段階を短期評価、第二段階以降を長期評価として溶出フラックスを評価する。短期評価における安全性の判断基準は、水質環境基準をベースに評価し、長期評価においては、各段階

のフラックスを土壤環境基準と比較する。

土壤含有基準に対応する塩酸抽出法によるスラグの評価

土壤汚染対策法では地下水汚染リスクに加えて直接摂取に係るリスクが新たに考慮された。その試験方法は、胃酸を模擬した 1 N 塩酸抽出法である。スラグを一般環境で再利用するにあたり一般土壌と同様に直接摂取の可能性が指摘されている。そこで、塩酸抽出法の適用を想定して評価すると、基準値が設定された重金属類 8 項目で鉛以外は基準値を超過するものはなかったが、図 17 に示すように鉛の塩酸抽出量は全含有量の 10 ~ 100 % であり基準値を超える場合があった。一般環境での利用にあたり鉛含有量の低減化を図る必要性も生じることから、溶融処理における鉛のマスバランスを検討した。含有量に影響を与えるのは、溶融飛灰の再溶融化と溶融雰

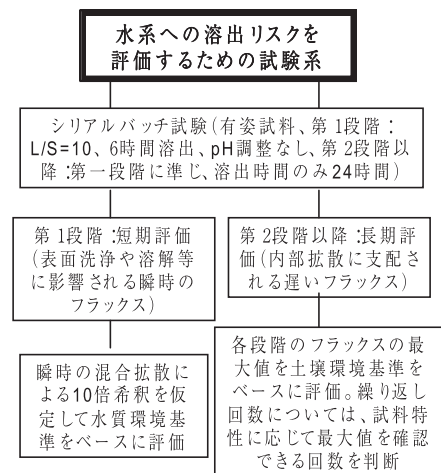


図16 新たに設計した試験系の概要

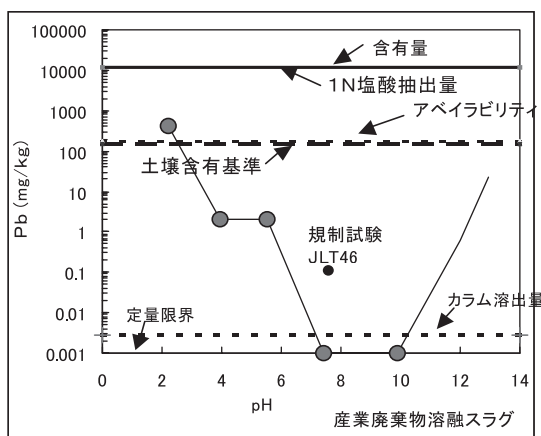


図15 溶融スラグの溶出特性

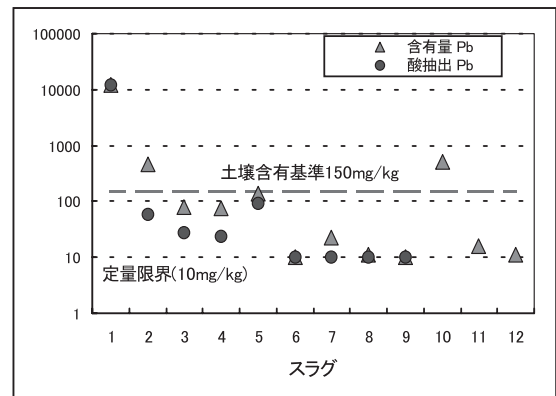


図 17 スラグ中の鉛の全含有量と酸抽出量

1, 2: 産業廃棄物溶融スラグ
3 ~ 12: 一般廃棄物溶融スラグ

困気などの溶融条件であり、溶融飛灰の再溶融化はスラグ化率を高める利点があるものの鉛の含有量を増加させていた。積極的な揮散による溶融飛灰への濃縮や適切な返送率によってスラグ中の鉛濃度を低減することが可能であるが、溶融飛灰の山元還元を含めたシステムづくりが今後求められる。

スラグの利用用途と同じ天然資源、廃棄物資源およびスラグの二次製品の環境影響量

骨材、埋め戻し材等土木利用されるスラグの環境影響量の比較対照として各種セメント、砕石、鉄鋼スラグ、レンガ等を、二次製品としてアスファルト合材、インターロッキングブロック等 28 試料を各種溶出試験により比較した。骨材利用時の配合原料であるセメント類はクロム、鉛およびホウ素が、また鉄鋼スラグではホウ素が、コンポスト類からヒ素の溶出がみられ土壌溶出基準を超える場合もあった。スラグを骨材利用しているアスファルト合材とインターロッキングブロックではスラグ利用の有無による差はみられなかった。鉛を高濃度含むスラグを骨材に用いたモルタルの粉砕物から鉛が溶出するものの、粒径が大きくなると共に溶出量は減少した。一次資源等からも定常的ではないが微量元素が溶出し、スラグはこれらと比較して一般の環境条件 (pH 等) では影響量に有意な差はみられなかった。

スラグ有効利用に関する環境安全性評価と管理制度の枠組み設計

国内外の再生品に係る環境安全管理制度を比較し、様々な安全管理の視点を抽出した上で管理制度の枠組みを設計した。ここでは、土壌環境管理における状況を踏まえ、環境中への溶出と直接摂取を想定することにした。まず、具体的な安全性評価試験に関して、溶出については図 16 で提案したとおりである。直接摂取については、スラグの粒径分布と強度が土壌とは異なり、曝露

特性に違いがある。そこで、土壌の摂取量、土壌とスラグの粒径、手への土壌付着、スパイクタイヤ粉じん、風害・砂丘砂漠研究などの文献データを整理したが、含有量試験の試料粒径を決定するに確たるデータは得られず、試験確立のためには、新たな検討が望まれることが分かった。次に、スラグの環境安全管理の枠組みを図 18 に示す。従来の「再生原料」の判定制度だけでなく、「再生製品」の判定制度を設けた。再生製品の試験は基本的に有姿で行うこととし、より実際の利用・曝露条件を踏まえたものとした。再生原料の試験は、利用用途が明確にできない場合などに用いることを想定しており、仮に土壌粒子レベルまで粉砕されても環境安全上の支障がないように設計した。

2) 木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究

木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究では、その炭化物の有害ガス吸着能や炭化物を室内で利用する方法 (炭化物ボード)、および有害物質の人体曝露を考慮した安全性評価手法などについて検討した。

木材系炭化物をセルロース繊維等と接着して炭化物ボードを作成し、その利用法として、モデル実験室 (床面積約 10m³) を用いたホルムアルデヒドの長期 (6 ヵ月間) 吸着試験を実施した。得られた結果を図 19 (a, b)

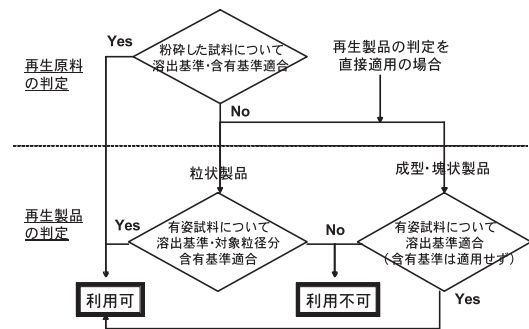


図18 スラグの環境安全管理の枠組み

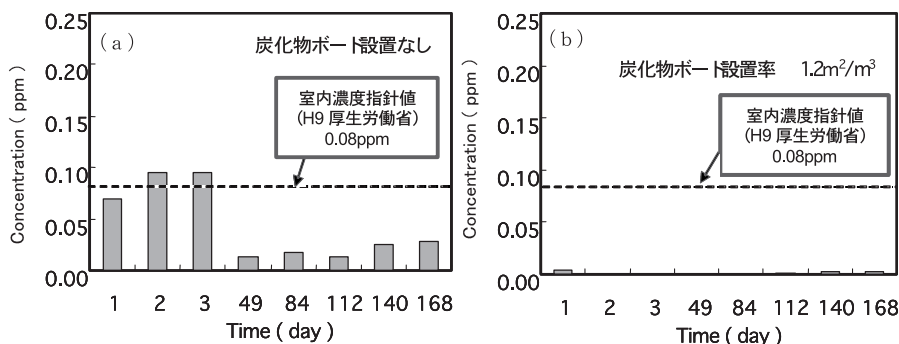


図19 炭化物ボードを設置したモデル実験室内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

に示してある。この図から、炭化物ボードを設置(12m²/m³)した場合には、設置しなかった場合に比べて6ヵ月の長期にわたってホルムアルデヒドがほとんど検出されないことが分かる。また、ベンチスケールの吸着試験では、前年度と同様にホルムアルデヒドに対する吸着効果のほか、トルエン、アンモニアについても吸着効果があることを認めた。

木材系廃棄物の炭化物としての利用に関する研究の一環として、作成した木炭の有害ガス(ベンゼン、スチレンなど)の吸着能に及ぼす炭化温度条件をベンチスケールのガス吸着試験で調べた。得られた結果の一部を図20(a, b, c)に示してある。これらの結果から、炭化温度が400の場合にはほとんど吸着能を示さないこと、炭化温度が高くなると吸着能が高くなること、物質によって吸着量が異なることなどが認められた。

有害物質の人体曝露を考慮した安全性評価手法に関する研究の一環として、空気中の揮発性物質(VOC)の簡易測定法(パッシブサンプリング GC/MS分析, 可搬型GC/MSによる分析)や素材中の防蟻剤のGC/MS分析法, および発光umu試験, ConA Blast免疫毒性試験, 発がんプロモーター試験法などのバイオアッセイ法に関する基礎的検討を行った。図21(a, b)には可搬型GC/MSを用いて一般家庭室内空気を測定した結果を示してある。この図から、トルエン、 α -ピネン、スチレン、ウンデカンなどの代表的室内空気汚染物質が検出されていることが分かる。一般に室内での濃度調査や個人曝露調査では、パッシブサンプラーなどが用いられガス類を吸着採取したのち、実験室へ持ち帰って抽出しGC/MSなどの分析に供されている。これに対し可搬型GC/MSの場合は、現場での物質検索や濃度測定が可能であることや、空気採取時間が1分間程度と短いため経

時変化の測定が可能であるなどの利点がある。今後、廃棄物に含まれるガス状物質などの検討にも用いていく予定である。

(4) まとめ

様々なタイプの廃棄物の利用中の拡大を図る上で、安全性を確保すると同時に環境への負荷を最小限にすることは極めて重要である。本研究においては、有害物質が含まれる可能性の高いリサイクル製品に関して、その利

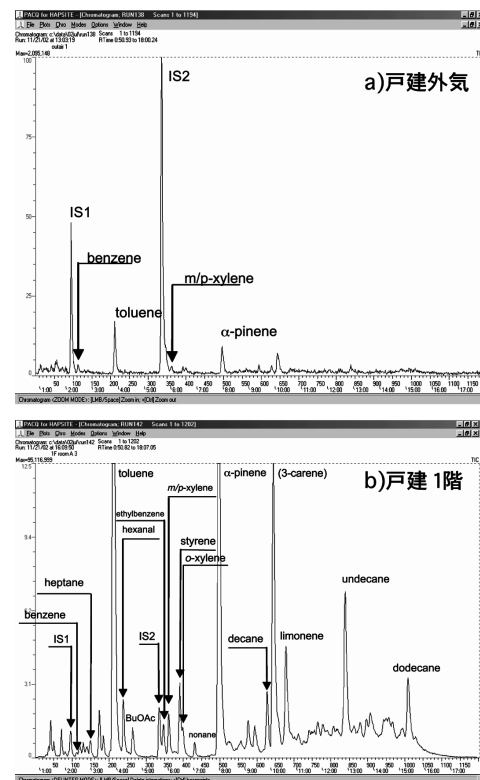


図21 可搬型GC/MSによる一般家庭内空気b)および外気a)の測定結果

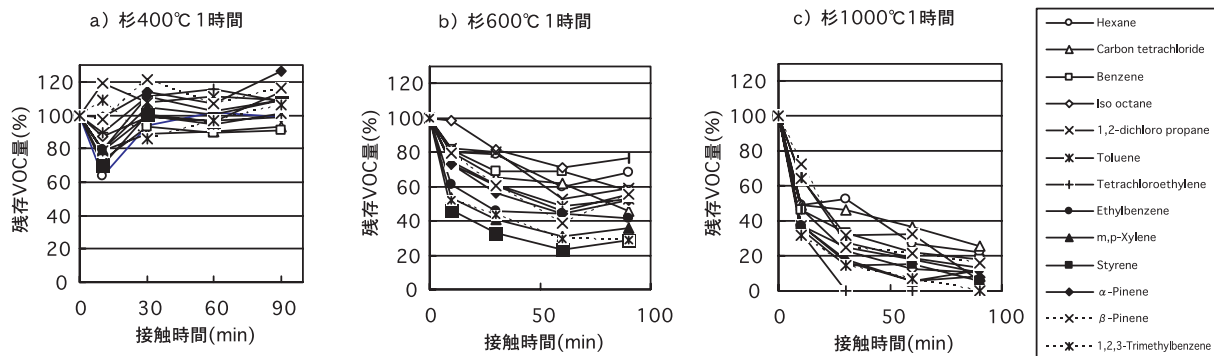


図20 杉材の炭化温度条件が及ぼす単位炭化物のガス吸着能への影響
a) 400 / 1時間, b) 600 / 1時間, c) 1000 / 1時間

用の現状把握，安全性の評価，利用法の拡大，各種試験法の標準化に関する研究を進めている。特に建設廃材のうち木材系廃棄物においては，その炭化物の新たな利用形態の開発も進めている。また，都市ごみの溶融スラグに関しては再生利用の際に問題となりうる事項として，長期に亘る安全性を確認するための試験評価手法および再生品全体についての管理手法などに関する研究を特に進めている。今後も安全性を確保するための関連研究をさらに進め，各種廃棄物の利用法の拡大を図ると共にそれらに必要な試験法の作成やその規格化などを進める予定である。

2.2 廃棄物の資源化・適正処理技術およびシステムに関する研究

2.2.1 循環廃棄過程における環境負荷の低減技術開発に関する研究

(1) 目的

循環型社会に適した適正な廃棄物処理技術は，処理にともなう環境負荷物質の排出を極力抑制できるものであると同時に，資源化のプロセスおよび資源化物が循環する過程で環境負荷を与えないことが要求される。そのためには，効率や経済性などの面で総合的かつ効果的に抑制できる排出低減技術を適用することが重要である。一方，環境負荷が具体的には個々の化学物質により引き起こされるものであることを考えると，化学物質のもつ固有の性状を正確に把握することが，排出の抑制において，あるいは循環の過程での環境進入の挙動を理解し，適切な対策をとる上で基本的な重要性をもつことが分かる。そこで，本研究においては，次の2つの項目について成果を得ることを目的とした。

1) ごみの焼却処理やガス化溶融処理などの熱的な処理技術を主対象として，処理にともない排出される環境負荷物質を最小にすることが可能な技術的対策を開発・改良し，また対策技術を補完し得る負荷物質生成機構に関する知見を得ること。これを，熱処理環境負荷の削減技術に関する研究と呼ぶ。

2) 環境負荷となる有害化学物質や資源回収の対象となる物質が，処理・資源回収プロセスにおいてどのような挙動をとるかを解析すること，およびそのための物質固有の性状値を測定し物理化学的見地から評価すること。これを，環境負荷物質の物理化学パラメーターに関する研究と呼ぶ。

(2) 方法

1) 熱処理環境負荷の削減技術に関する研究

熱処理プロセスからの環境負荷物質としてダイオキシン類を主たる対象物質ととらえ，活性炭などの吸着材料を用いた吸着処理（分離）技術を基礎的に検討した。すなわち，活性炭および活性コークスが個々の化合物に対して示す吸着容量を正確に求めることにより，排ガス中ダイオキシン類の低減にもっとも適切な吸着材料の適用方法を明らかにする。また，材料固有の因子のうち吸着容量に対し何がもっとも重要であるのかを明らかにすることで，最適な材料選択の基準を明確にする。

この趣旨のもと，図22に示す装置を用いて材料充填層に連続的に一定かつ実排ガスに近い低濃度の1,2,3,4-テトラクロロベンゼン含有ガスを流し，出口ガスの濃度変化を経時的に追跡することにより，動的に平衡吸着量を求めた。材料としては，活性炭4種類，活性コークス1種類を用いた。また，細孔半径の範囲を区分して累積細孔容積を求めたほか，基礎的な工業分析値を整備して平衡吸着量との関係を考察した。平均粒径はレーザー回折法，比表面積および30 nm以下の累積細孔容積は窒素吸着BET法，30 nm以上の累積細孔容積は水銀圧入法により測定した。

ダイオキシン類が，熱処理プロセスからの排ガス冷却過程で再合成される機構と生成上の特性を明らかにするために，ガス化溶融炉施設で発生した種々の灰試料を用いた加熱実験を，以下の要領で行った。図23の装置を用いて，試料約500 gを反応管内に充填し，塩化水素を含む模擬排ガスを流通させながら加熱し，排出ガス中のダイオキシン類および実験後の灰試料に含有されるダイオキシン類を測定した。別途，灰試料に含まれる微量の

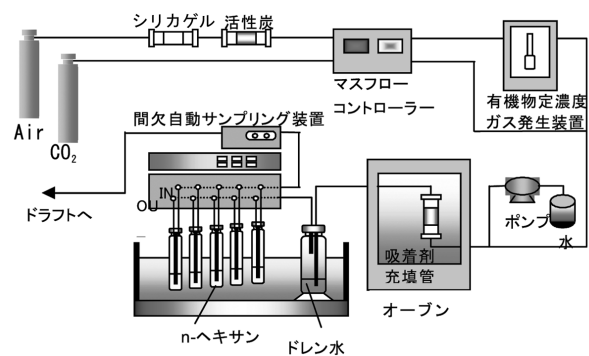


図22 間欠自動サンプリング型動的吸着容量試験装置

炭素量の測定を行い、ダイオキシン類生成との関係性を考察した。

2) 環境負荷物質の物理化学パラメーターに関する研究

物理化学パラメーターの中では、とくに水への溶解度、1-オクタノール/水分配係数およびヘンリー定数などの重要性が高い。一方、重要な環境負荷物質と位置づけられる有機臭素化合物に関するパラメーターの実測値は極めて少ない。そこで、第一段階として、臭素系難燃剤のポリプロモフェノール類 (PBPhs) とテトラプロモビスフェノールA (TBBP-A) を対象に物理化学パラメーターを測定した。水への溶解度の測定では、図24に示すDCCLC (Dynamic Coupled Column Liquid

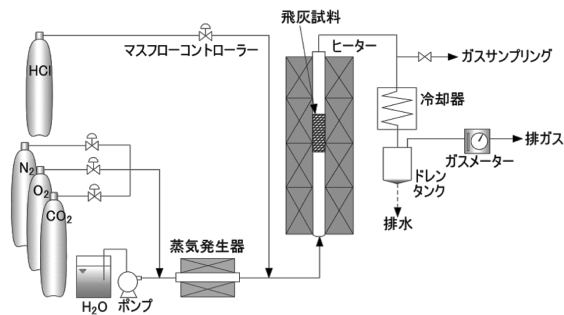


図23 固定床試料加熱 - ガスサンプリング実験装置

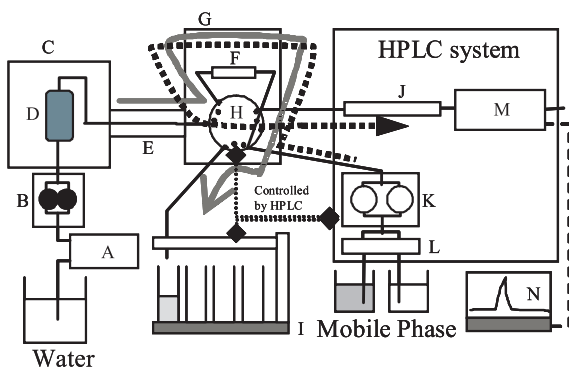


図24 DCCLC法による水への溶解度の測定

→:Flow of water ⇨:Flow of mobile phase
A: Degassor, B: Dual Plunger Pump, C: Thermostated Water Bath, D: Generator Column, E: Thermostated Tape Heater, F: Extractor column, G: Thermostated Air Oven, H: Two-Position Six-Port Switching Valve, I: Fraction Collector, J: Analytical Column, K: HPLC Pump, L: HPLC Degassor, M: UV Detector, N: Integrator.

Chromatographic) 法を、分配係数の測定ではHPLC法を用いた。また、示差走査熱量計 (DSC) で測定した融点および融解エンタルピーと溶解度データから、活量係数を求めてヘンリー定数を導出した。得られた物理化学パラメーターをもとに、臭素数の効果、温度依存性、各物性値との関係を考察した。さらに、多環芳香族 (PAHs) やポリプロモベンゼン (PBBzs) の物理化学パラメーターと比較することより、PBPhs についての環境挙動特性を体系的に明らかにした。

(3) 結果および考察

1) 熱処理環境負荷の削減技術に関する研究

適用した活性炭ほかの試料の詳細な物性値を表4に示す。比表面積は活性炭が590 ~ 1200 m²/g、活性コークスが285 m²/gであった。累積細孔容積は、半径1 nm以下のマイクロ孔、1 ~ 30 nmのメソ孔および30 nm以上のマクロ孔に区分し、吸着能と比較・評価した。3水準の濃度における破過曲線の例を図25に示す。供給濃度が高いほど、破過に達するまでの時間が長いことが確認される。これより、材料単位量当りの平衡吸着量を破過曲

表4 各吸着材料の基本物性

記号	種類	原料	中心粒径 (μm)	比表面積 (m ² /g)	累積細孔容積(ml/g)		
					<1nm	1~30nm	>30nm
A	活性炭	ヤシ殻	8.24	1213	0.46	0.10	1.19
B	活性炭	ヤシ殻	18.7	1097	0.40	0.09	0.76
C	活性炭	石炭	29.6	832	0.31	0.19	0.82
D	活性炭	泥炭	21.0	590	0.19	0.25	1.06
E	活性コークス	亜炭	23.5	285	0.09	0.14	0.79

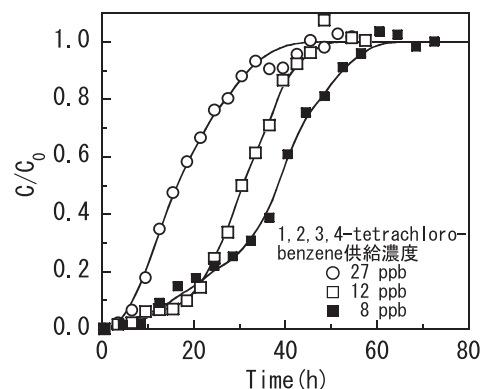


図25 材料Cを用いたときの1,2,3,4-テトラクロロベンゼンの吸着破過曲線

線の積分によって求めると、図 26 のように吸着等温線が求められる。活性炭は、比較的比表面積の小さいDにおいても活性炭ークスに比較して大きな平衡吸着量をもつことが示され、これには比表面積以外の因子の寄与が示唆された。このように吸着能と材料物性との間に密接な関係のあることが分かり、排ガス処理への適用材料を選択する際に有用な知見が得られた。また、吸着等温線は、 $q = kC^{1/n}$ (q : 平衡吸着量 (mg/g), C : 吸着質平衡濃度 (ppb)) なる Freundlich 型等温式で整理でき、材料 A と E では k 値に 12 倍の違いがあることが分かった。さらに、図 27 に示した細孔径ごとの細孔容積と平衡吸着量との関係解析から、半径 1 nm 以下のミクロ孔が全試料を総合して吸着能を決めるもっとも重要な因子であることが示された。

次に、ダイオキシン類の再合成実験において、灰試料の炭素（未燃炭素）含有率すなわち固体単位量当りの炭素量と、ダイオキシン類の生成量との関係を示したのが図 28 である。炭素含有率が非常に低い範囲においても、ダイオキシン類の生成量との間にほぼ比例する関係が成立した。すなわち、未燃炭素含有率をパラメーターとし

て、加熱下におかれた灰試料に起因するダイオキシン類の生成能を推定することが可能な関係を見いだす示唆を得た。また、銅の含有率とダイオキシン類生成量との間には弱い相関が認められた。ただし、量的な要因だけでなく炭素の形態による影響も考えられるため、このことを解明できる実験検討を継続している。再合成における触媒としての銅の影響を、その化学形態から考察した。予備試験から主たる存在形態であることが分かった酸化銅について検討するため、模擬灰に酸化銅を添加して同様の加熱実験を行った結果、塩化水素および金属塩化物 ($FeCl_3$) の共存下でダイオキシン類前駆物質であるクロロベンゼン類の生成が大幅に増加することを認めた。

2) 環境負荷物質の物理化学パラメーターに関する研究

測定対象物質は、TBBP-A の他に PBPhs として、4-プロモフェノール (4-M1BPh), 2,4-ジプロモフェノール (2,4-D2BPh), 2,4,6-トリプロモフェノール (2,4,6-T3BPh), ペンタプロモフェノール (P5BPh) である。4-M1BPh 以外は、すべて難燃剤である。

10 ~ 35 の水への溶解度の測定結果を図 29 と図 30

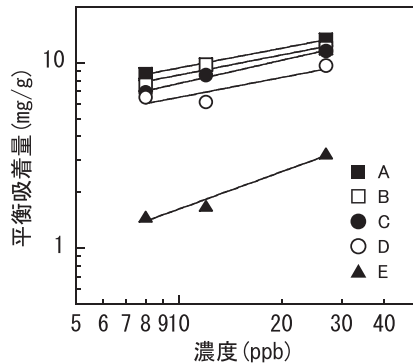


図26 種々の吸着材料の1, 2, 3, 4-テトラクロロベンゼンに対する吸着等温線 (温度 170 °C)

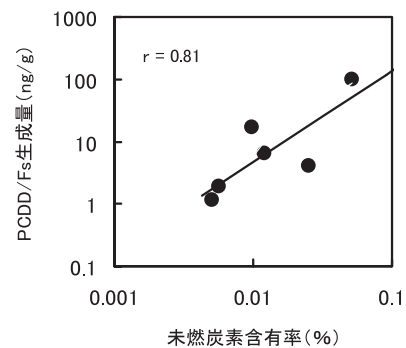


図28 灰中未燃炭素含有率と PCDD/Fs 生成量の関係

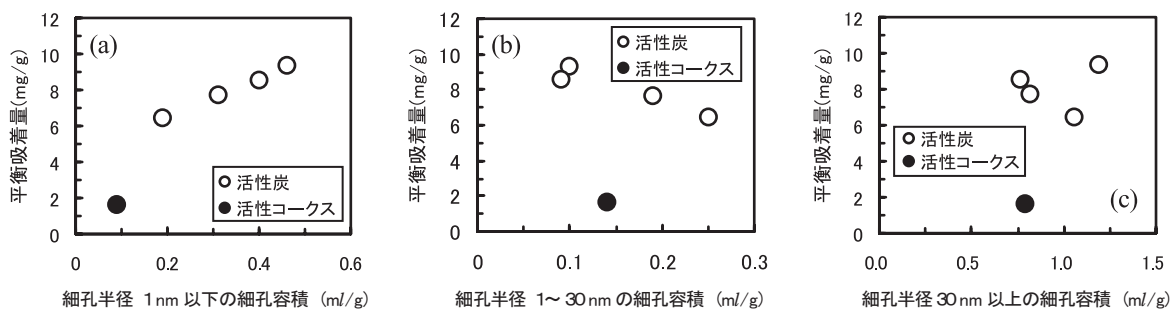


図27 細孔半径 (a) 1 nm, (b) 1 ~ 30 nm, (c) 30 nm の細孔容積と平衡吸着量の関係 (平衡吸着量は 1, 2, 3, 4-テトラクロロベンゼンの供給濃度を 10 ppb としたときの値)

に示す。図 29 では溶解度に対する臭素の置換基効果を、図 30 では溶解度の温度依存性を検討した。図 29 より、臭素数が 1 つ増えるのにもとない、溶解度が約 1 桁減少することが分かった。また、クロロフェノール類と比較すると、溶解度に対する置換基の影響が大きいことも明らかとなった。温度依存性については、図 30 の van't Hoff プロットにより、プロットの傾きから溶解エンタルピー H_{solution} が求められる。測定したすべての物質に対して、 H_{solution} は正の値をとったことから、水への溶解が吸熱反応であることが分かり、溶解度は温度とともに増加した。 H_{solution} は臭素数に比例して増加する傾向がみられ、臭素数の増加は温度依存性が強くなることを示している。とくに、P5BPh の H_{solution} が他の

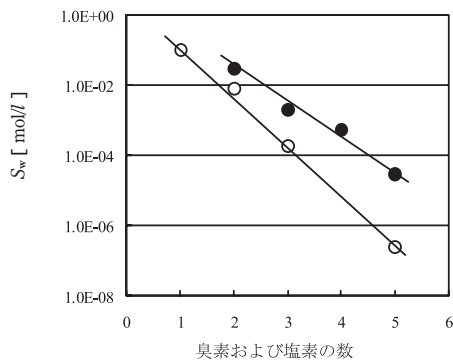


図29 25 の S_w [mol/l] に対する臭素数の影響とクロロフェノール類 (PCPhs) との比較
 : PBPhs : 4-M1BPh, 2,4-D2BPh, 2,4,6-T3BPh, P5BPh
 : PCPhs : 2,4-D2CPh, 2,4,6-T3CPh, 2,4,6-T4CPh, P5CPh

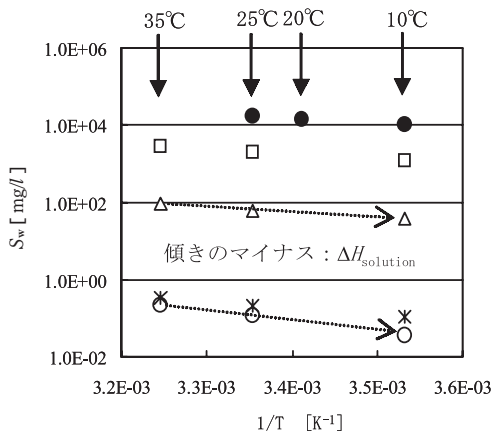


図30 S_w [mg/l] の温度依存性 (van't Hoff プロット)
 : 4-M1BPh, : 2,4-D2BPh,
 : 2,4,6-T3BPh, : P5BPh,
 * : TBBP-A

PBPhs に比べて 2 倍程度高い値となった。DSC で測定した融解エンタルピー H_{fusion} の値から、その主たる原因は、水分子間との間の大きな反発力であることが推察される。一方、これとは逆に、他の臭素化物は水分子間との反発力が比較的小さいことを示唆している。

DSC で測定した融点 T_m および H_{fusion} と S_w の測定データから活量係数を求め、蒸気圧 (推算値) を用いてヘンリー定数 H_w を導出した。その結果を図 31 に示す。このように、 H_w は臭素数に依存せずにはほぼ一定の値であった。また、同じ溶解度レベルの PAHs や PBBzs の値と比較すると、PBPhs の H_w は 2, 3 桁低い値となった。この挙動の違いは、活量係数の値から予測すると、PBPhs の低い蒸気圧に起因していると考えられる。

次に、HPLC 法で測定した 1-オクタノール/水分配係数 K_{ow} の結果を、 S_w との関係で図 32 に示す。両者の

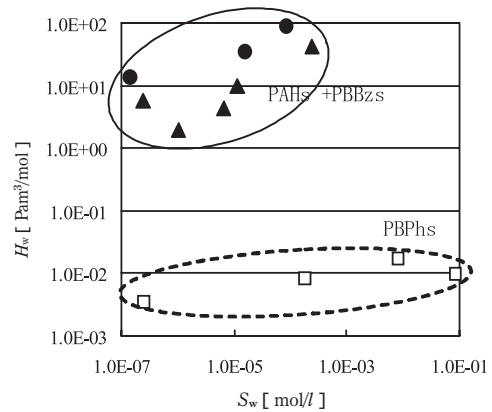


図31 25 における H_w [Pam³/mol] の結果と S_w [mol/l] との関係
 : PBPhs (本研究), : PBBzs (文献値 [実測]),
 : PAHs (文献値 [実測])

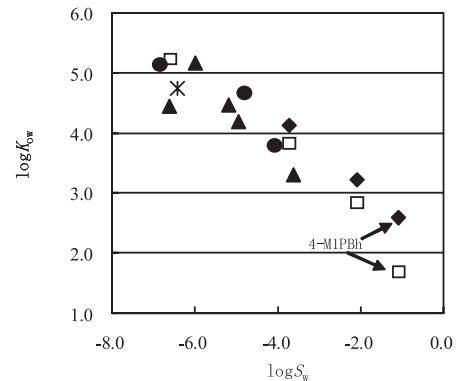


図32 25 における K_{ow} の結果と S_w [mol/l] との関係
 : PBPhs (本研究), : PBPhs (文献値 [実測])
 : PBBzs (文献値 [実測と推算]), : PAHs (文献値 [実測]), * : TBBP-A (本研究)

関係では、 S_w が低いほど、つまり、臭素数が多いほど K_{ow} の値が高くなる傾向となった。文献値と比較すると 4-MIBPhs の値が低いように思われたが、その他は文献値に近い結果が得られた。

今回得られたパラメーターを用いて環境挙動特性について考察すると、 S_w と K_{ow} の結果より、分子中臭素数が増えると水に対する移動性が減少し、生物濃縮性も高くなると推測された。しかし、 H_w の結果からは、水と大気間の分配性について、PAHs や PBBzs に比べてかなり水への分配性が大きく、しかも臭素数に依存しないと考えられた。これらの物理化学パラメーターのほとんどは、本研究によって初めて測定された物性値であり、また、PBPhs の体系的な特性が初めて解明されたという点も大きな成果である。

今後は、他の臭素系難燃剤の物理化学パラメーターおよび熱物性データの蓄積を図り、処理過程における挙動解析や環境進入後の運命予測などを行う予定である。

(4) まとめ

循環型社会に適合した適正な廃棄物処理技術は、処理・資源化および循環過程からの環境負荷物質の排出を、技術とコスト、あるいは技術とリスクなどを総合した観点から最大限抑制できるものであることが要求される。このことの具体的な成果として、熱処理環境負荷の削減技術に関する研究では、排ガス高度処理材料の基本的な処理性能の違いとそれを支配する因子を明確にすることができた。また、ダイオキシン類再合成因子である灰中炭素含有量とダイオキシン類生成量との関係性を見いだした。このように得られた結果は、中期計画の目標とする循環型社会に適合した廃棄物処理技術、循環資源製造技術および適合性評価手法の開発において、有害性除去・資源化のための高度分離等の開発研究、および熱的処理プロセス排出化学物質のデータベース化の一環としての有用な知見を与えた。

環境負荷物質の物理化学パラメーターに関する研究では、臭素系難燃剤化合物を中心に重要性の高い基本的なデータベースを蓄積することができた。このことは、潜在的に環境負荷となり得る有害化学物質および資源回収の対象となる物質が、処理プロセス、資源回収プロセスにおいて、または環境に放出された後においてどのような挙動をとるかを解析・評価する上で有用な知見またはツールを与えるものである。これにより、上記と同様、

有害性除去・資源化のための高度分離等の開発研究、および処理プロセスから排出される化学物質に関連した基盤整備に寄与するものと思われる。

今後は、さらに進んだ要因解析、および次段階の物質への展開をはかるとともに、目標とする循環型社会に適合した廃棄物処理技術、循環資源製造技術および適合性評価手法に関し、具体的かつ明確な成果を得られるようにしたい。

2.2.2 資源循環技術・システムの開発

(1) 目的

有機性廃棄物の資源化は、他の廃棄物の資源化に比べて非常に遅れている。その理由としては性状の問題（含水率が高く腐りやすい）の他に地域資源循環にマッチングした資源化要素技術やシステムが貧弱であることが挙げられる。そこで有機性廃棄物の資源化要素技術として、乳酸発酵、水素発酵およびメタン発酵等の炭素や水素回収技術、ならびにアンモニア回収技術の開発を行う。特に事業系生ごみを含む有機性廃棄物を原材料として、循環可能な生分解性（植物性）プラスチックとして将来の市場価値が非常に高い L-乳酸の回収プロセスおよび高効率なエネルギー回収システムを確立する。一方、CN 比で 10:1 程度の有機窒素化合物を含有する有機性廃棄物は、高効率のエネルギー回収を行うと高濃度のアンモニアを発生し、メタン発酵プロセスそのものに阻害を及ぼしたり、従来の処理技術（生物脱窒素法）ではコストや消費エネルギーが大きくなり、システム導入のメリットを著しく低下させる。本研究ではこのアンモニアの回収技術に焦点を当て、MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）/MHP（リン酸水素マグネシウム）粒子による無機化学的回収技術（特開 2001-104966）の実用化を進める。

(2) 方法

1) 生ごみからの乳酸回収技術の開発

生ごみに含有される多糖類を直接発酵基質に供するため、 α -アミラーゼ活性を有する乳酸菌 *Lactobacillus manihotivorans* LMG 18011 を選定し、生ごみを基質として、培養中 pH が乳酸生成速度および乳酸生成量に及ぼす影響を調べ、生ごみからの乳酸発酵における最適条件を決定するとともに、生ごみ重量（および含有糖量）に対する回収可能な乳酸量を調べた。また、各工程にお

ける炭素・乳酸・水の物質収支を調べるため、実証実験装置における生ごみからの乳酸発酵・回収について実証運転を行った。NIES 食堂から当日排出された生ごみ約 20 kg を異物除去・破砕・濃度調整した後にオートクレーブ滅菌し、発酵槽に投入する。植菌後、水酸化ナトリウム添加により pH 5.0 で制御を行いながら、35・64 時間の発酵を行った。発酵終了後ろ過剤として 1/40 重量のケイ藻土を添加し、フィルタープレスによる固液分離を行ったうえで、電気透析・ロータリーエバポレーターにより乳酸塩の精製・濃縮を行った。

2) 有機性廃棄物からの水素およびメタン回収技術の開発

食堂等の生ごみを無希釈で投入する酸醗酵槽(52 の高温醗酵)とメタン醗酵槽(52 の高温醗酵)を作成し実験を行った。種汚泥は、何れも製パン工場廃棄物を処理対象とする乾式メタン発酵汚泥 237 g を全容量 2.0 l に成るように精製水に懸濁させたものとした。

3) 高濃度アンモニア含有廃水からのアンモニア回収技術の開発

実験に先立って、MAP および MHP をそれぞれ 105 のオープン中で 24 時間加熱した。模擬廃水として塩化アンモニウム溶液を使用し、あらかじめ NaOH を加えて pH 9.5 に調整した後に熱処理 MAP/MHP を添加して実験を開始し、反応液中の NH_4^+ 濃度の経時変化を調べた。 NH_4^+ の除去に伴って反応液 pH が低下するため、NaOH を添加して pH 9.0 で制御した。なお、熱処理による各化合物のアンモニア放出特性は、a) 105 熱処理後、b) アンモニア吸収後、c) 105 による再加熱後の各状態の MAP/MHP について、TG-DTA により重量およびエネルギー変化を調べた。

(3) 結果および考察

1) 生ごみからの乳酸回収技術の開発

乳酸発酵条件の最適化

基質として生ごみを用いて、乳酸発酵に伴って低下する培養液 pH を制御した時の効果を図 33 (A) に示す。培養液 pH の低下を制御することにより、回収乳酸量が増大することが明らかになった。また、生ごみ基質を用いて制御最適 pH を検討した結果を図 33 (B) に示す。培養液 pH を 4.5・5.0・5.5 で制御した結果、pH 5.0 制御の場合に最も高い乳酸収率が得られた。pH 4.5 制御の場合には、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}(\text{O}^-)\text{COOH} + \text{H}^+$ の平衡が左に進み非解離状態の乳酸が増加するため、*L. manihotivorans* が生成物阻害を受けて乳酸生成量が低下すると考えられる。決定した最適条件下で生ごみからの乳酸発酵を行った結果、生ごみ中に含有される糖量の約 7 割が乳酸に変換されることが明らかになった。

実証実験装置における乳酸発酵・回収

実証実験装置により乳酸発酵・回収を行い、得られた水収支および乳酸・炭素収支を調べた。ラボスケール結果から生ごみ中の含有糖の 7 割を乳酸として回収可能と仮定して、各工程の物質収支を試算した結果を図 34 に示す。この結果から、生ごみ 20 kg から L-乳酸 0.97 kg が回収可能であること、また固形物減量率は約 25 % であることが示され、有機性廃棄物を有効に循環利用するためには、乳酸発酵残さの利用用途の探索が重要になることが示唆された。

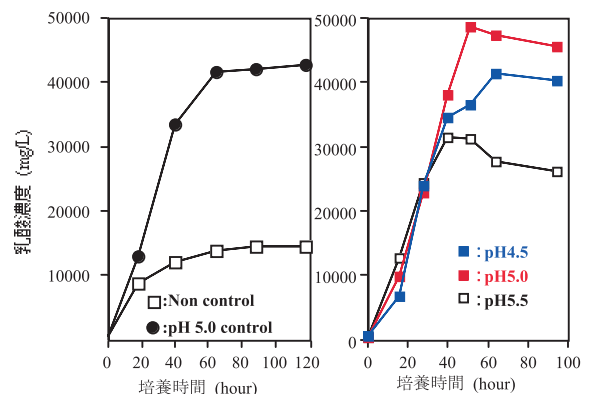


図 33 生ごみからの乳酸発酵条件
(A) pH 制御の効果 (B) 制御 pH の最適化

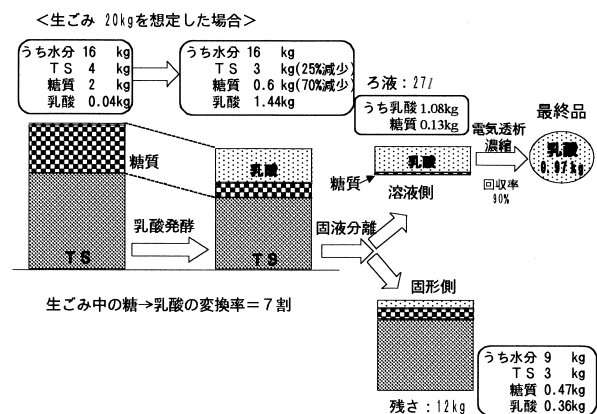


図 34 生ごみ 20 kg からの乳酸回収量および物質収支

2) 有機性廃棄物からの水素およびメタン回収技術の開発

水素発酵は、湿重量 276 g の生ごみを投入し 22 日間の馴致後、約 30 g/day で連続的に生ごみ投入する実験を 77 日間行った。pH は無制御とした。COD_{Cr} 分解率は 76 % であり、酸（水素）発酵による減容化効果が認められた。醗酵槽気相部の水素濃度は約 30 % 程度で推移したが、ガス生成量は低く不安定であり、ガス回収プロセスとしては十分な能力は得られなかった。

一方、メタン醗酵は、湿重量 604 g の乳酸発酵残渣による 96 日間の馴致後、約 30 g/day で連続的に生ごみ投入する実験を 164 日間行った。pH は無制御とした。COD_{Cr} 分解率は 66 % であり、質量基準での基質分解率は 72 % であった。バイオガス発生量とバイオガス中のメタンガス濃度は、いずれも投入生ごみ負荷量が低いことが影響して低くメタンガスの平均濃度は 45 % であった。

3) 高濃度アンモニア含有廃水からのアンモニア回収技術の開発

熱処理 MAP および MHP によるアンモニア除去特性の比較を図 35 に示す。MAP に関しては、アンモニア廃水接触後約 5 分間で添加重量の 5.7 ~ 6.8 % のアンモニアを吸収し、MHP では約 45 分間で添加重量の 7.6 ~ 8.4 % のアンモニアを吸収することが明らかになった。この結果から MAP によるアンモニア吸収反応は極めて短時間で完了し、異なるアンモニア濃度廃水で除去反応をテストした結果から、初期反応速度は溶液中 NH₄⁺ 濃度に比例して増大することが示唆された。一方、MHP によるアンモニア吸収反応は MAP と比較して緩やかに進行するものの、最終的なアンモニア吸収量は MAP を上回っていた。実験に供した MAP を酸溶解して組成を

分析した結果、粒子中にアンモニアが 5.2 % 残存していることが分かり、MAP によるアンモニア吸収効率を上げるためには加熱条件を最適化する必要性が示された。

また、MAP を加熱した際のアンモニア放出特性を図 36 に示す。105 ° で熱処理した MAP (図 36 (A)) では昇温するにつれて緩やかな重量減少が起こったが、明瞭な熱反応は確認されなかった。この MAP をアンモニア吸収後風乾させた MAP (図 36 (B)) の場合には、昇温過程で 41 % の重量減少が起こるとともに明瞭な吸熱反応のピークが現れ、取り込まれたアンモニアが気化・放出される様子が示された。なお、アンモニア吸収 MAP を再度 105 ° で熱処理 (図 36 (C)) して同様に TG-DTA 測定を行ったところ、アンモニア吸収前と同様の曲線を示したことから、105 ° の熱処理により MAP の再生が可能であることが示された。

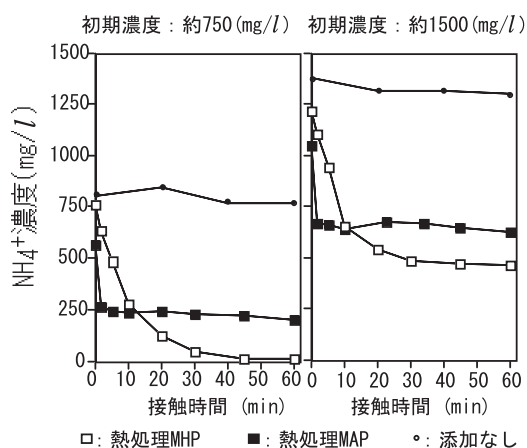


図35 熱処理 MAP/MHP による模擬廃水からの NH₄⁺ 除去特性

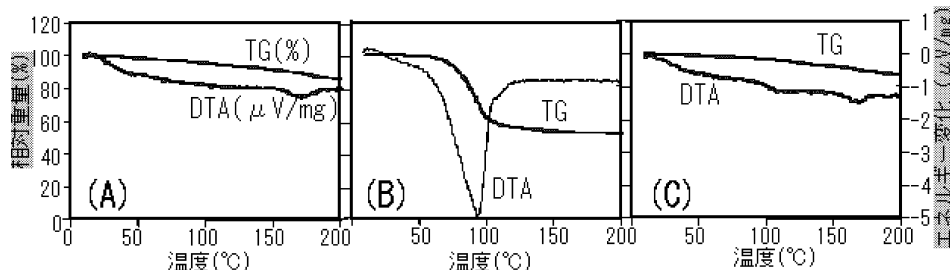


図36 MAP を昇温加熱した場合の重量及び熱変化
 (A) 105 ° 熱処理 MAP (アンモニア吸収前)
 (B) アンモニア吸収後風乾した MAP
 (C) (B) を 105 ° 再加熱した MAP

(4) まとめ

有機性廃棄物の再利用を進めるためには、地域としての資源循環構造と資源化技術とのマッチングが重要であるが、マッチングが可能な要素技術が極めて少ない。そこで本研究では有機性廃棄物から有用な炭素の回収技術として循環可能な生分解性プラスチックの原料となるL-乳酸や高効率なエネルギー回収技術の開発を進めている。これらの回収技術においてはプロセスの物質収支が示され、また今後の課題が明確にされた。乳酸回収技術に関しては残渣の利用、滅菌問題、固液分離技術、水素発酵ではガス発生量の増加と安定化、メタン発酵ではガスの発生量と濃度の増加である。一方、MAP/MHPによる無機化学的アンモニア回収技術の開発は、生ごみ等の有機性廃棄物のメタン発酵等のエネルギー回収プロセスの副プロセスとして極めて重要である。熱処理MAPとMHPのアンモニア吸収特性の違いが明確となり、実用化に向けた新たな展開が進んでいる。

2.2.3 最終処分場容量増加技術の開発と適地選定手法の確立

(1) 目的

最終処分場残余容量の逼迫と新規陸上処分場建設の困難性から、処分場容量の増加技術や海面最終処分場の役割の重要性が指摘されてきている。海面最終処分場の安全性を確保するため、多岐にわたる科学的・工学的視野からの適地選定に関する研究が必要である。そこで本研究では海面最終処分場の環境負荷量、リスクおよびコストに関するライフサイクル評価、ならびに海面処分場内における物質および水分の移動とその収支の把握により処分場のリスクを評価し、環境影響評価を行う手法を確立する。特に、外海水位と同等の水位で保有水を集水する排水暗渠工による移流ポテンシャル低減化工法によりリスクを低減すると共に覆土表面より大気を浸透させて埋立廃棄物層内を好氣的雰囲気に変更する工法を提案し、その効果を明らかにする。

(2) 解析方法

1) 海面最終処分場の環境負荷量、リスクおよびコストに関するライフサイクル評価

陸上最終処分場については、我が国の平均的な実際の最終処分場(2.8 ha, 197 千 m^3)を事例として、また海面処分場については、大阪湾臨海環境整備センターの海

面最終処分場をしゃ水護岸の標準断面を基に1120 × 750 m, 面積84 ha, 9,313 千 m^3 のモデル的に管理型最終処分場を設計し、工事積算書を作成し、資材量および施工関連のエネルギー消費量および損料をリストアップし、重要な工種ごとに環境負荷インベントリを算定、積算した。建設コストの積算は、受注額ではなく、工事積算書を積上げて計算した。なお、「Database of Environmental load of 4000 Social Stocks」(金属材料研究所)等の産業連関表を利用したLCIデータベースを利用した。また、処分場の運用・維持管理期間は15年として計算した。

2) 海面最終処分場における水分の挙動

処分場に埋立られた廃棄物中を流れる流体は水とガスであり、この二つの流体相が化学物質を移動させる媒体となる。二つの相が廃棄物の間隙を浸透するため多孔質二相流モデルを使用する必要があるが、本報告では保有水水位低下と降雨集水機能を簡易的に把握するため、不飽和浸透解析によって水移動を可視化した。

(3) 結果および考察

1) 海面最終処分場の環境負荷量、リスクおよびコストに関するライフサイクル評価

最終処分場のライフサイクル過程における環境負荷量を算定した。なお、計算はそれぞれ1例ずつのケースであるから試算値の代表性については検証してはいないが、海面と陸上処分場の特長を比較するために数値表現をした。評価項目は消費エネルギー、二酸化炭素である。エネルギー消費量は海面、陸上それぞれが1 m^3 当たり668 MJ, 420 MJ, 二酸化炭素は、50 kg, 38 kgとなり、エネルギー消費量が1.6倍程度、二酸化炭素発生量が1.3倍程度海面処分場の方が大きくなっている。その原因は積出基地と搬入(輸送)に関する環境負荷の寄与が大きいと思われる(積出基地については15年で計算しているが、実際には継続して利用されており、総事業期間で評価する必要がある)。建設部分ではむしろ海面の方が少ない傾向にある。一方、一般的には輸送(搬入)距離が環境評価項目に比例すると見なすことができるので、海面処分場のような広域化はそれだけ環境負荷量を増加させると考えられる。広域化においては鉄道や船舶など、輸送システムの効率化が大きな課題になる。また、水処理部分に対して極めて特徴的なことが判明した。

廃棄物層は均一層と仮定し、透水係数として 10^{-2} cm/s の透水係数を与えた。下部は自然堆積粘土地盤が形成されているとして透水係数 10^{-6} cm/s を与え、不透水層として取り扱っている。保有水を 3 m 低下させた後の水飽和度分布を図 39 に示す。排水暗渠設置後の数日で保有水が集水暗渠の位置まで低下していることが確認できる。暗渠を基点としたアーチ場で水位が減少するものと考えられたが、水位低下速度が速く、数日経過後に水位が水平となり、定常状態へと移行した。この後、月降雨量 100 mm 程度を想定した降雨強度を与えても、この水飽和度分布に大きな変化はみられなかった。その理由として、廃棄物層を均一と仮定し、高い透水係数 (10^{-2} cm/s) を与えているためと考えられる。廃棄物層が不均一であったとしても、実際の降雨はより穏やかであり、浸潤フラックスも少ないと考えられ、水飽和度の変化はより少ないと推定される。

排水暗渠よりも 3 m 高い初期保有水水位を一気に低下させたケース、ならびに低下後の降雨を集水したケースにおける速度ベクトルと等速度コンタを図 40 に示す。

浸透ベクトルを可視化することで、保有水や雨水浸透水が集水暗渠に向かって移動していることが読みとれる。また、保有水低下時のケースでは、大きな速度ベクトル(大きな矢印)がみられ、早期に水飽和度が低下し

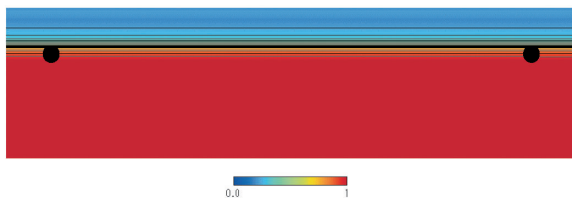
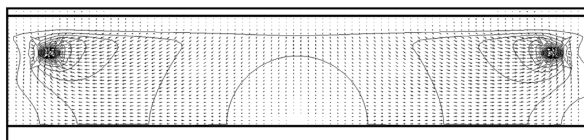
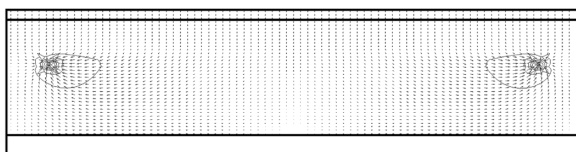


図39 保有水低下後の水飽和度分



(a) 保有水位 (+3m) の低下



(b) 降雨浸透水の集水

図40 速度ベクトルと等速度コンタ

たことを確認できる。しかしながら、両ケースともに暗渠下部からの浸透も認められる。下部からの浸透は、暗渠上部のみを安定化させるという思想に外れるとともに、上部からの水量のみで計算された水処理量よりも膨大な水量が集排水されてしまうことになる。そのため、排水暗渠の下面に遮水シートなどで遮水工を施すなど、下部からの浸透を抑制する工法の必要性が確認された。また、排水暗渠を敷設することにより、解析側面に向かっての流線ベクトルは確認されなかった。水位を低下させただけでは、系外へ向かっての流線を残す可能性が否定できないが、本工法によって系外へと向かう流線をほぼ皆無の状態にすることが可能と思われる。

(4) まとめ

最終処分場の残余容量が逼迫するなか、容量増加のための方策として海面最終処分場の推進するための課題を中心に中期計画を組んだ。容量増加に関する課題では、前者の課題は報告としては割愛したが、最終処分場の再生による容量増加技術に関する技術レビューを行っており、またいくつかの自治体と再生事業計画の策定を進めている。

第1の課題は、適正配置策定の基盤情報を提供するものである。ここでは、陸上と海面最終処分場についてライフサイクルにおける環境負荷量の特徴を比較した。但し、提示した数値は両者の比較のために利用したことを付記する。環境負荷量については付帯施設や輸送距離などの原因により海面処分場が1.3~1.6倍程度大きくなった。

第2の課題では、海面最終処分場のリスクを評価する上で、外海水位と同一水位を担保することを基本維持管理要件として、集水暗渠による保有水の排水工法を提案し、これを条件に移流・拡散による周辺環境(外海)への環境影響のフレームを設定した。また、本工法による海面処分場の安定化促進を、排水と同時に起こる覆土表面からの自然通気による好気性分解の効果を評価した。

今後の課題として、処分場再生を含めた既存処分場の有効利用、前処理等による埋立廃棄物量の大幅な削減等の検討、ならびにライフサイクル評価の算定方法の精緻化を行う。また、海面処分場廃棄物層内の不飽和水移動をガスの移動にも着目し、酸素を取り扱ったモデルを構築する必要がある。また、これらの水分移動モデルで解析された結果を基に、外海との物質移流拡散量を求め、

環境影響評価量を評価する手法を構築し、適地選定手法に組み込む。

2.2.4 最終処分場安定化促進・リスク削減技術の開発と評価手法の確立

(1) 目的

安定型処分場における硫化水素発生防止対策を検討・提案する。そのために安定型廃棄物処分場に搬入される廃棄物の硫化水素発生のポテンシャルを簡易に評価できる手法を開発すると共に、廃石膏ボードからの硫化水素が発生することを実証する。また、資源化処理残渣（シュレッダーダスト）および都市ごみ焼却灰の混合埋立物に関する安定化促進型の最終処分場建設に関する新しい技術を開発する。一方、最終処分場の安定化を評価するため、既存の安定化指標（浸出水の水質、層内温度、ガス発生量、沈下量）に加えて新たなバイオ指標を検討する。さらには、微量汚染物質として、近年注目を浴びている難分解性有機汚染物質（POPs）の代表であるダイオキシン類（DXNs）に焦点をあてて、長期的な挙動予測に資する基礎的な知見を得ることも目的とする。特に、焼却灰中のDXNsの挙動について、埋立層内における溶出メカニズムおよび腐植物質生成の長期的影響について検討する。

(2) 方法

1) 安定型最終処分場における硫化水素の発生防止

5つの破碎選別施設から採取した建築系廃棄物の選別を用いた。選別された試料は、2mm以下に破碎され、建設廃棄物を適当に混ぜて有機物を含んだ試料からあまり含まない試料を作成した。また安定型廃棄物の典型的な試料として廃石膏ボードも使用した。これらの試料を固液比1:5で抽出条件を変えて抽出し、その抽出液に硫酸塩還元菌が繁殖しやすいように栄養液等を添加した培養液を作成して、密閉状態で100mlバイアルで培養実験を行い、層内液およびガスを分析し、硫化水素の発生状況を分析した。また、廃石膏ボードからの硫化水素の発生を実証的に検証するために、廃石膏ボードのみを充填したカラムと有機物を含んだプラスチックを混合・充填した大型ライシメータによる実験を行っている。

2) 安定化促進技術の開発

既存処分場の一郭に処分場と同様な埋立条件をもつテ

ストセルを建設し、資源化処理残渣（シュレッダーダスト）と焼却灰の混合廃棄物を充填することにより、通気および浸出水循環法を利用した生物安定化促進技術と従来の埋立法との違いを実証的に比較検証する。具体的には、三種類のテストセル（通気・浸出水循環、浸出水循環、無操作コントロール）を建設し、実際の処分場と同様な条件で通気および浸出水の循環の効果をエンジニアリング的に明らかにし、および設計・運転上条件を明らかにする。

3) 地表面メタンフラックスの計測手法の開発

埋立地から放出されるメタンは地上より評価可能な有力な安定化診断指標であるが、フラックスが場所的にきわめて不均一な分布を示し、埋立地全体からの放出量の評価が困難であった。廃棄物層は周辺地層に比べて高温であり、メタン放出領域では地表面温度が周囲よりも高くなることが予想される。そこで、赤外線サーマルビデオカメラを用いて処分場表面において周囲より温度が高い領域を検索し、メタン放出領域を簡易、迅速かつ正確に特定することを考えた。複数の最終処分場において、日射による影響を受けない夜明け前から早朝にかけて、処分場表面に設けたグリッドごとに赤外線サーマルカメラによる観測を行い、周囲と比べて温度の高い領域をホットスポットとして選抜し、後述の方法でメタンフラックスを測定した。地表面ガスフラックスの測定は静置型閉鎖式チャンバー法で行い、メタンと二酸化炭素を分析した。

4) 最終処分場の安定化評価のためのバイオ指標

生物学的指標としての適用性を考慮し、非破壊での試料採取および分析が可能な浸出水および覆土中の微生物群を対象とした。最終処分場の浸出水中の特徴的な微生物生態系を解析可能な手法として制限酵素末端断片長解析（T-RFLP; Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism）法の適用を試みた。浸出水原水中全DNAを鋳型として*Eubacteria*特異的16SrDNA（リボソームDNA）をRealtime PCR反応により試料内の群集DNAの定量性をできる限り保持したまま増幅させ、浸出水中の細菌群集構造の忠実な再現を試みた。PCR増幅産物を濃縮・精製し、レーザー蛍光検出キャピラリー電気泳動により蛍光末端断片（TRF; Terminal Restricted Fragment）パターンを得るとともに断片長解析を行った。また、PCR増幅産物より16SrDNAクローンを得るとともにその塩基配列から系統分類学的解

析を行った。一方覆土層における特異的な微生物活性としてメタン酸化反応を対象として、その反応主体であるメタン酸化細菌群 (MOBs; Methane-Oxidizing Bacteria) のモニタリングを行った。処分場覆土試料からの核酸抽出および、全 MOBs, type I および type II MOBs を特異的に検出可能な PCR プライマーを用いた MPN (最確値; Most Probable Number)-PCR 法により各群集のポピュレーション解析を行った。

5) 微量物質の長期的挙動とその対策

POPs のモデル物質として phenanthrene と pyrene を用いて人工汚染土壌を調製し、各種の条件 (溶出時間, 液固比, pH, イオン強度, 温度, 共存物質) を変化させたバッチ溶出試験を実施した。つぎに、焼却灰を充填したライシメータから 5 ~ 7 年経過後の試料を採取し、有機質 (コンポスト) の混合の有無による腐植化の進行を腐植物質の特性化 (紫外 / 可視光吸光度測定, HPLC による分子量分布測定, FTIR 分析など) を行うことによって把握し、溶出試験により DXNs の溶出挙動との関係を考察した。

(3) 結果および考察

1) 安定型最終処分場における硫化水素の発生防止

簡易硫化水素発生評価手法の検討

まず、抽出培養法が、廃棄物の硫化水素発生ポテンシャルを評価できるかどうかの性能試験を行った。図 41 に 50 3 時間抽出液の硫酸塩還元菌培養の結果を示す。有機物が添加された場合には、明らかに高濃度の硫化水素が発生するが、添加されない場合は、廃棄物から熱水抽出された有機物量に比例して気相中硫化水素の発生濃度が増加している。これは、熱水抽出培養法によって硫化水素の発生ポテンシャルを評価することが

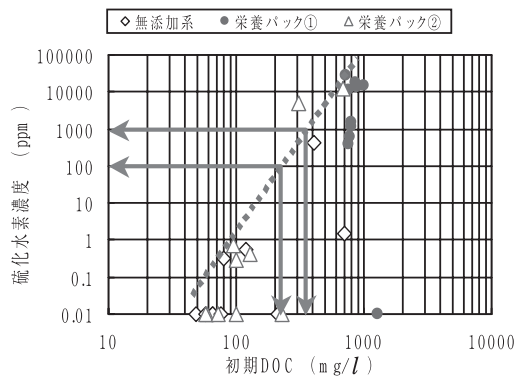


図41 安定廃棄物抽出液の硫化水素の発生特性

可能なことを示すものである。なお、本実験では抽出有機物濃度が DOC で 200 ~ 300 mg/l になると気相硫化水素濃度が 100 ppm を超える。

迅速判定法

100 ml バイアルに対して 50 ml 量で培養を行う培養方法を採用したので、バイアルには約 50 ml のヘッドスペースが残る。培養条件はこのヘッドスペースを 2 つの条件 (エアと N2 ガス) に設定し、硫酸塩還元反応が発現し、硫化水素を発生する培養時間を求めた。表 5 に 2 つの条件での硫化水素が発生するまでの培養日数を示した。ヘッドスペースをエアにしておくと硫化水素を発生する間での期間は非常に長くなると共に、不安定となった。一方、ヘッドスペースを窒素ガス置換すると、最短 3 日で硫化水素が発生することもあり、安定していた。また、ヘッドスペースがエアの場合、培養液中の有機物濃度が DOC で 200 ~ 300 mg/l 必要であったが、60 mg/l 程度でも硫化水素を発生させた。以上の結果から、培養ビンのヘッドスペースを窒素ガス置換することにより 7 日以内に硫化水素の発生を検出できることが判明した。

安定型廃棄物から抽出される有機物の特性

図 42 に廃棄物の熱しゃく減量と 50 抽出液の DOC 濃度の関係を示す。図から熱しゃく減量にほぼ比例して DOC が増加することが分かる。波線は安定型処分場搬入条件の 5 % を示す。廃棄物の種類により抽出傾向がことなるので、硫化水素発生ポテンシャルから考慮すると熱しゃく減量で判定することには無理があるものと推察される。一方、廃石膏ボード自体から有機物が高濃度に抽出されるという重要な事実が判明した。純粋な廃石膏

表 5 培養バイアルヘッドスペース気相のガス組成と硫化水素発生日数

ヘッドスペースの培養条件	安定廃棄物の種類	有機物・栄養塩の添加条件	有機物濃度 DOCmg/l	硫化水素発生までの培養期間(日)	培養試験数
Air (Air headspace incubation)	建設系混合廃棄物	無添加系	20 ~ 410	30 ~ > 40	5
		有機物添加系	720 ~ 1000	5 ~ 40	5
		栄養塩添加系	60 ~ 310	10 ~ > 40	5
	廃石膏ボード (石膏画分)	無添加系	80 ~ 120	40 ~ > 40	3
		有機物添加系	750 ~ 800	30 ~ 40	3
		栄養塩添加系	90 ~ 130	40 ~ > 40	3
	廃石膏ボード (ダスト画分)	無添加系	210	> 40	1
		有機物添加系	890	30	1
		栄養塩添加系	230	> 40	1
廃石膏ボード (紙画分)	無添加系	700	40	1	
	有機物添加系	1300	> 40	1	
	栄養塩添加系	680	> 40	1	
N2 (N2 headspace incubation)	廃石膏ボード (2mm<石膏画分)	無添加系	60	5 ~ 7	18
	混合廃棄物	無添加系	90	3 ~ 4	18

ボードの熱しゃく減量は紙を除いた場合、15～25%程度であり、熱しゃく減量からは安定型処分場への搬入が可能である。ところが、50 3時間熱水抽出で70 mg/l程度のDOCが抽出された。この抽出実験に用いた廃石膏ボードは、いくつかの施設の2 mmアンダーの粉末状石膏ボードを混合したものであり、微細の紙繊維などの有機物に汚染された可能性があったので、解体廃棄物中間処理施設から粉砕されていない廃石膏ボードを採取し、抽出実験に利用した。その結果を表6に示す。

特徴的な傾向は廃石膏ボードとその他の安定型廃棄物で、糖の抽出濃度に大きな差が出ていることである。石膏ボード以外の廃棄物安定型廃棄物の場合、DOCは高いが、糖濃度が極端に低い。ところが、廃石膏ボードの場合、糖濃度が半分以上になっている。これは、石膏ボードの成分にグルコース糊（デンプン）が結合剤として約0.5%含まれているためである。すなわち、廃石膏ボードから硫化水素が発生しやすいのは、このグルコース糊のためであると結論付けられる。表5に示すように建設系混合廃棄物より廃石膏ボードから硫化水素の発生

がより多く認められる。実際の埋立処分場では、石膏ボード中のデンプンが一度に溶出するわけではなく、また埋立層内に侵入した酸素により好気的な分解が起こり、廃石膏ボード中のデンプンを消費するので、いつも硫酸塩還元が生じ、硫化水素を発生するとは限らない。そこで、大型ライシメータを用いて廃石膏ボード自体からの硫化水素の発生の実証実験を試みている。

大型ライシメータによる廃石膏ボードからの硫化水素発生実証実験

大型ライシメータ（模擬埋立槽：内径50 cm）に廃石膏ボードと有機物で汚染されている廃プラスチック、或いは汚染されていない粒状難燃性プラスチックをそれぞれ質量比約3：1（No.1 lysimeter）および3：2（No.2 lysimeter）で混合・充填し、充填密度をそれぞれ、および粉末状石膏ボードを質量比4：1の割合で混合した。充填密度はそれぞれ0.65および0.77 t/m³となった。ごみ充填時に栄養塩を添加した純水を加え加湿した。湿潤密度は両ライシメータとも約1 t/m³である。充填した後、下部浸出水集水部から純水を約40 l注入した。その結果ごみ槽にそれぞれ、48 cm、40 cmまで湛水状態となった。以上の条件で充填した後、2003年2月4日から開始した。埋立開始後、約3週間後にはNo.2 lysimeterでは下部から採取した浸出液が黒色を呈し、湛水面直上において、No.1: 9,000 ppm, No.2: 500 ppm程度の硫化水素が観察された。その後、層内の温度が数度上昇してきており、微生物活動が進行していることが観察され、浸出水の酸化還元電位もNo.1が-200, No.2が-300 mV程度に低下しており、槽内が嫌気的になっていることが予想された。以上、途中段階ではあるが、廃石膏ボードのみを埋立てた場合でも硫化水素の発生が認められた。

2) 安定化促進技術の開発

本プロジェクトでは、都市ごみ焼却灰とシュレッダーダストの混合埋立物の安定化に関する嫌気性および好気性埋立バイオリアクターの設計条件や操作条件を評価するために、埼玉県環境整備センター内に実際の処分場内にそれぞれ約350 m³のテストセルを3つ建設した。2つのテストセルはバイオリアクターとして運転し、もう一つはコントロール（実際の埋立条件）とした。テストセルには温度センサーと水分センサーが装着され、オンラインでモニター、データロガーで保存された（図43）。通気はインバーター遠心型ブロワーを用いた。

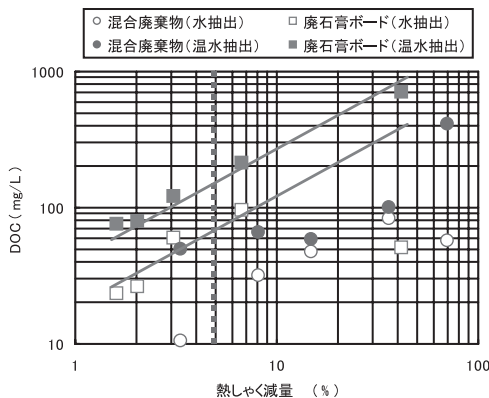


図42 安定廃棄物の熱しゃく減量と熱水抽出特性

表6 廃棄物の抽出特性

		抽出方法	
		オートクレーブ 30min	沸騰水注 入 30 min
廃石膏ボード 6mm<T1	DOC mg/l	120	65
	糖類 mg/l	220	90
	糖類 TOC*/DOC比	0.733	0.554
解体系 廃石膏ボード T3	DOC mg/l	200	100
	糖類 mg/l	360	190
	糖類 TOC*/DOC比	0.72	0.76
建設系破砕 分別残さ K1	DOC mg/l	210	130
	糖類 mg/l	52	43
	糖類 TOC*/DOC比	0.099	0.132

*) 糖類 TOC[mg/l]= 0.4 × 糖類[mg/l]

セル底部で集水された浸出水は、水中ポンプでそれぞれ地上の集水タンクまで揚水された。図44に示したように運転初期のセルの挙動から、通気は微生物分解を促進し、温度を急激に上昇させることが判明した。浸出水の循環のみではテストセル内の廃棄物層の温度は上昇しなかったが、pHが11.5から10.4まで低下した。

一方、セル内の水分は以下のような挙動を示した(図45)。左側下段(センサー番号A)において、センサーAの反応は本実験を通して認められず、ほぼ一定の値を取ることが確認された。センサーAは、一時的には水の流れが確認された時期(初期)があったが、その後、体積含水率の変化を認められなかった。過去のデータから推察すると、テストセル中央部からの送気によって左側給水管からの水みちが閉じられ、鉛直ではなく水平流れがどこかに発生したと思われる。また、セルの右側右側(センサー番号X, B, C, D)において、セ

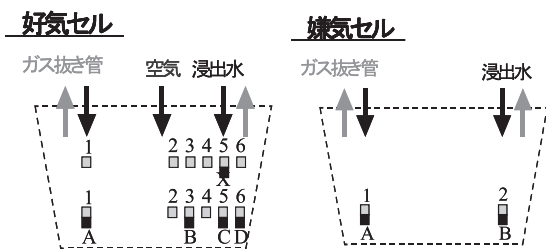


図43 好気および嫌気セルのセンサー位置と通気・通水の概要
 ■ 温度センサー ● 水分センサー

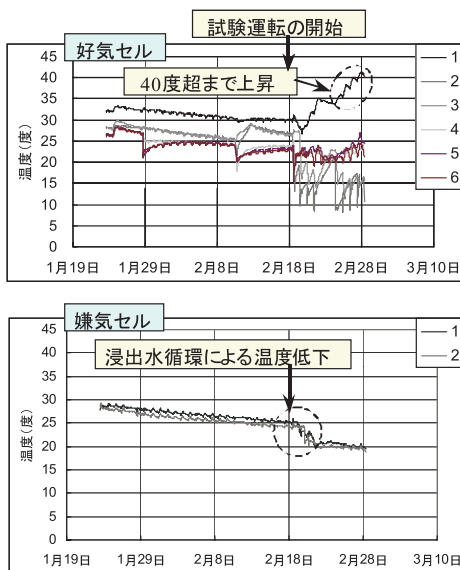


図44 好気および嫌気セルの通水・通気による温度

ンサーXは給水管直下の上部に位置するセンサーであり、給水開始により即時的に体積含水率の上昇が認められた。次いでセンサーDが反応している。これは、給水管直下ではなく、50 cm 水平方向に離れた位置に設置されたセンサーであり、右側給水管からの水の流れが鉛直下向きで無いことを証明している。直下下段に位置するセンサーCは、センサーDの反応後すぐに体積含水率が上昇しており、流れが鉛直下向きで無いといってもそれほどの水平流が発生していないことが確認される。仮に鉛直下向き流れを主流と考えるならば、浸潤前線の浸透速度はセンサーXとセンサーCの反応時間の違いと距離より計算され、おおよそ0.06 cm/sである。また、センサーBは給水間直下より1 m離れた距離に位置しているが、本実験を通して体積含水率の変化を確認されなかった。

3) 地表面メタンフラックスの計測手法の開発

図46にA処分場での6月の調査において、サーマルカメラを用いて検出された熱源(ホットスポット)および無作為に抽出した観測地点の位置とメタンフラックスの実測値を示す。いずれの調査においても、フラックスの大きさのばらつきが大きく、放出地点も不均一に分布していた。合計7回の現場調査において延べ100地点以上のホットスポットが検出され、そのうちメタンフラックスが検出されなかったのは1割以下であった。逆に無作為に地点を選出した場合には、51地点のうち38地点でメタンフラックスが検出されなかった。以上より、サーマルカメラを用いたホットスポットの検索は、処分場地表面におけるメタン放出地点を特定する有効な手法であることが示唆された。地表面温度とフラックスの関係式をそれぞれ図47に示した。いずれの調査においても地表面温度とメタンフラックスの間に正の相関関係が見られた。この関係式を用いて地表面温度分布の面積積

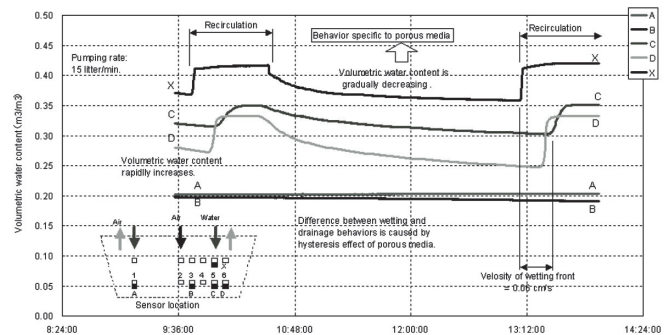


図45 好気テストセルにおける水分移動試験とセンサーの位置

分値をフラックスに換算して地表面全体からのメタン放出量を算出した結果を表7に示した。地表面からのメタン放出量は処分場ごとに大きく異なった。前者の原因は、基本的には埋め立てられている廃棄物の質と量、ならびに埋め立て後の経過年数の影響が大きい、この他に、ガス抜き施設による埋立地ガスの捕集効率や廃棄物層および覆土の材質や厚さ、締め固めの状態による透気性の違いが影響しているものと考えられる。

これまで、埋立地からのメタン放出量の推計において現場実測値の不足が問題視されていたが、その一因として、安価かつ簡便で正確なメタンフラックス測定法の不在が挙げられる。本研究では、簡便な熱画像計測によるメタン放出地点の検出と閉鎖型チャンバー法によるフラックス計測の組合せにより、不均一に分布する地表面メタンフラックスの迅速な計測が可能になり、メタンフラックスと地表面温度の相関を用いて温度分布図と限ら

れたフラックスの測点より、埋立地全体の地表面メタン放出量が推計できることを示した。

4) 最終処分場の安定化評価のためのバイオ指標 処分場浸出水の微生物群集構造

履歴の異なる処分場浸出水のT-RFLP解析を行った結果、それぞれ2~3の主要なピークが確認され、各浸出水中の微生物生態系で優占していると考えられるグループが少なくとも2~3種類存在していることが推測された。各断片長の帰属は処分場ごとに異なっており、処分場の構造、受入れ廃棄物および設置年数などに応じて異なる微生物群集が形成されていることが示唆された。各TRF断片長のRDPデータベース検索の結果、一部のTRFの帰属はRDP検索からは判定不可能で、データベース検索による簡便な生物相解析を可能にするためには、今後のデータベース充実の必要性が示唆された。一方で、各制限酵素処理によるTRFの組合せから複数の帰属が推定されるケースもみられたが、いずれも属種が同じ系統分類学的に近い株であり、データベース検索による帰属推定により、分類学的にも一定の情報が得られることが示された。また、各TRFの系統分類学的情報については、16SrDNAクローンの塩基配列および各クローンのTRF断片長解析の結果と比較することで明

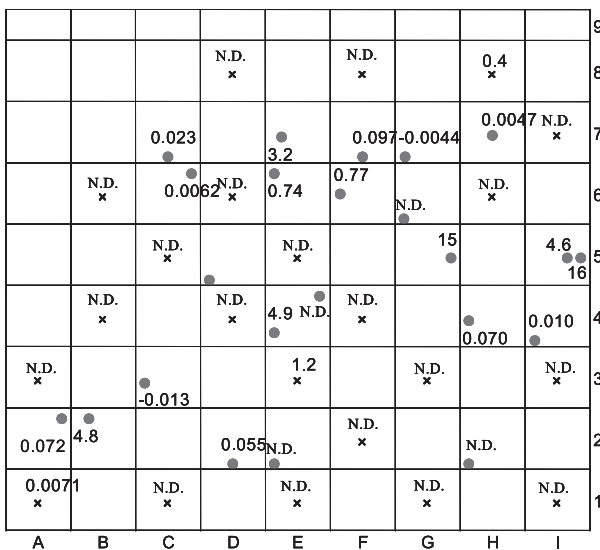


図46 A 処分場第一回調査におけるメタンフラックスの分布
($\text{g-CH}_4/\text{hr/m}^2$), 熱源, xランダム観測点
ND; not detected

表7 処分場地表面からのメタン放出

	A 処分場 (2001-11月)	B 処分場 (2002-10月)	C 処分場 (2003-2月)
Range ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)	-0.064 to 7.5	-0.08 to 0.36	-0.0035 to 0.0095
Average ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)	5.7×10^{-1} $\pm 347\%$	1.4×10^{-1} $\pm 85\%$	1.5×10^{-3} $\pm 302\%$
Whole emission ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)	7.1×10^{-3}	3.5×10^{-3}	9.5×10^{-4}

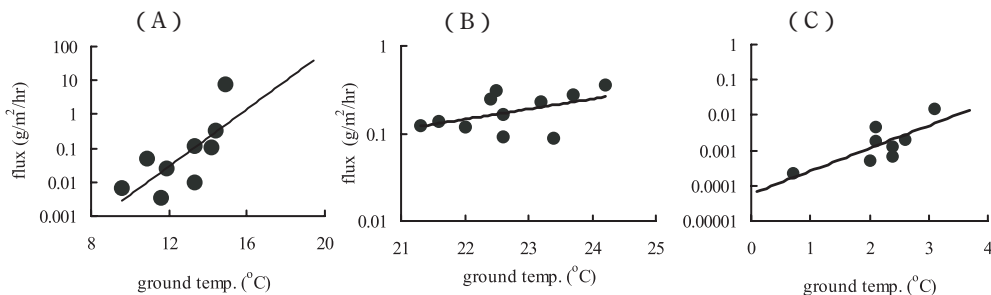


図47 メタンフラックスと地温の相関

(A) A 処分場 11月調査, (B) B 処分場 10月調査, (C) C 処分場 2月調査

らかにされ浸出水中微生物相が推測された(図48)。浸出水Aでは γ -proteobacteria に属する群集が優占している他、硫酸還元活性を有する *Desulfomicrobium* 属に属する群集が全体の一分割弱を占めるなどの特徴が見られたのに対し、浸出水Bでは *Alcaligenes* 属など β -proteobacteria に属する群集が優占していることが示され、処分場ごとに存在している微生物生態系の差異を表現可能であることが示唆された。今後は、本手法を用いて浸出水中における微生物群集構造に関する系統分類学的情報を蓄積し、データベースの拡充を図ることでより簡便な解析手法としての手法改善を推進するとともに、処分場安定化に関連する特徴的な生態学的特性(例えば硫酸塩還元に関わる群集の優先度等)の抽出を進め、安定度の指標化へと発展させていく予定である。

メタン酸化細菌群集

異なるメタンフラックスを示す処分場覆土を対象とした、メタン酸化活性およびMOB群集構造の評価を行った。メタン放出量がきわめて高い状況下においては、覆土中の高濃度のメタンを効率的に利用する type II のMOBs が優占していることが推測された。安定化が進行しメタンフラックスが比較的低下してきた段階においても、覆土においては過去の履歴を反映して高いメタン酸化活性と type II のMOBs が優占する状況が続くが、低いメタンフラックスが続くメタン酸化活性が低下する状況が続いた段階で、低濃度のメタンを効率的に利用する type I のMOBs へと生態系が変遷していくことが示された。MOBs のポピュレーション解析より、メタン放出量の変化など処分場の安定化に応じて異なる群集構造を形成されており、これらの生態学的指標の処分場安定化評価への適用性が示唆された。

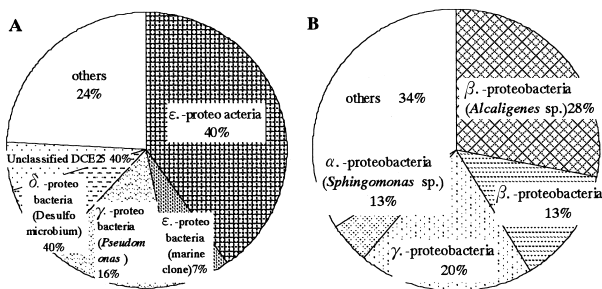


図48 T-RFLP 法および 16 SrDNA クローン解析により推定された浸出水中細菌群集構成比
A: 浸出水 A, B: 浸出水 B

5) 微量物質の長期的挙動とその対策

POPs の溶出メカニズム

人工汚染土壌からの phenanthrene と pyrene 両物質の溶出濃度は、溶出時間との関係では初期に急激に増加し、時間の経過とともに増加の程度は小さくなった。初期の易溶性フラクションの溶出から、溶解度あるいは吸着平衡支配への移行、あるいは内部拡散支配への移行が考えられる。液固比との関係では、液固比に対して溶出量は直線的に増加したことから、内部拡散支配の可能性は低くなった。既往の研究では、含有量によって溶出濃度が異なっていることが報告されており、十分な時間経過の後には、溶出濃度は吸着平衡に依存する可能性が高い。pH の影響はほとんど認められず、イオン強度の影響は若干認められ、溶出濃度のイオン強度(0.005 ~ 0.25 M) に対する変化は Davies 式で説明できることが分かった。溶出濃度の温度依存性が明らかとなり、溶出エンタルピーの推定から吸熱反応であることが分かった。共存物質として難分解性 COD 成分である溶解性フミン物質(DHM)を添加すると急激に溶出濃度が上昇し、POPs を吸着した DHM は POPs-DHM 複合体としてコロイド状で存在し、溶出するものと推定された。そのときの溶出システムを図49のようにモデル化した。

焼却灰の腐植化進行とダイオキシン類の溶出挙動

焼却灰からの DXNs の溶出挙動は、共存する腐植物質(溶解性フミン物質: DHM)の影響を受けることから、焼却灰中での腐植物質の生成とその特性化を試みた。採取した試料からフミン酸を抽出し、光吸収特性を測定した。

標準フミン酸や土壌抽出性のフミン酸ほどの腐植化の進行は認められなかった。腐植化は表層ほど進んでおり、深層では進んでいなかった。溶出試験の結果

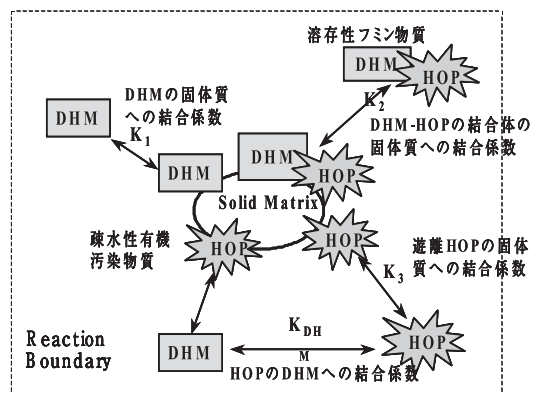


図49 DHM 共存下における HOPs の溶出モデル

(図50)からは、腐植化が進んでいる表層ほど DXNs の溶出率が低かった。DXNs を捕そくした腐植物質の固定化・安定化の効果も考えられるが、同族体パターンをみると下層ほど高塩素化体の割合が高く、高塩素化体と親和性の高い DHM が DXNs-DHM 複合体として高塩素化体を選択的に溶出・下方移動させた結果、溶出しやすい DXNs-DHM が下層に集積し溶出率を高め、溶出した DXNs に占める高塩素化体の割合も高くなったとの推測も可能である。

(4) まとめ

既存最終処分場における大きな課題は、搬入廃棄物によってもたらされるリスクを周辺環境に及ぼさないよう工学的に保証をすること、および埋立層内のリスク要因物質を安定化させ、周辺環境に影響を及ぼすことなく、できるだけ速やかに廃止することである。そのために本研究課題では、まず近年問題となっている安定型処分場における硫化水素問題を解決するための研究を行ってきた。これまでに、安定廃棄物が持っている硫化水素発生ポテンシャルを評価する方法を提案し、安定型処分場に受入れ可能な廃棄物を予め判定する可能性が示された。また、本評価法の開発過程で、廃石膏ボードの硫化水素発生ポテンシャルが、他の安定廃棄物に比べて高いこと

を示し、その原因が石膏ボードの結合剤として使用されているグルコース糊に由来する可能性を明らかにした。現在、この事実を実証するために大型ライシメータにより、硫化水素発生実験を進めている。途中段階ではあるが、廃石膏ボードのみで硫化水素の発生が認められている。

産業廃棄物の資源化処理残渣(シュレッダーダスト)および都市ごみ焼却灰の混合埋立を対象として、安定化促進のための研究を進めている。両者とも比較的有機物含量が低い、焼却灰のために塩分濃度が高く、安定化が遅れる傾向にある。そこで、地方自治体および民間との共同研究により、世界的にも注目に値する実証規模でのテストセル実験を開始した。今後、着実に実験を進展させ、成果を発信していきたい。一方、最終処分場の安定化を評価するため、埋立地表面から非破壊で内部の状態を診断する手法として、表面ガスフラックスの計測手法を、また、既存の安定化指標を補完さらには総合化する新たな手法として微生物生態系を用いるバイオ指標を開発してきた。前者では、赤外線サーマルビデオカメラ等を用いた地表面温度の面的な観測により、フラックスと地温との相関関係を用いて、これまで困難であった処分場全体の地表面ガス放出量を、簡易かつ迅速に評価する新たな手法を示した。また、後者では、処分場ごとの細菌群集構造の違いが示され、今後生態学的特性に関する情報を蓄積していくことで新たなバイオ指標の手がかりが見えつつある。また、覆土中のメタン酸化細菌群を対象とした解析による安定化指標は他の安定化指標との比較ならびに実証等を経て実用化への提案を行っていく段階にあるといえる。我が国では最終処分場に搬入される廃棄物の主体が焼却灰へと大きく変わってきている。焼却灰中には、近年注目を浴びている難分解性有機汚染物質(POPs)の代表であるダイオキシン類(DXNs)が少なからず含まれ、既存の処分場においては埋立基準を超えるところも見受けられる。本研究では、焼却灰中のDXNsが溶解性フミン酸の存在で保有水の移動にあわせて下方へ移動している可能性を示し、腐植化がPOPs等難分解性有機物の長期挙動の鍵を握っていることを推測した。

以上、4研究課題の成果をまとめたが、今後の課題として、第1の課題では、安定型処分場における硫化水素発生問題の解決を図るため、安定廃棄物の硫化水素発生ポテンシャルを基準化するための評価手法の精緻化を図

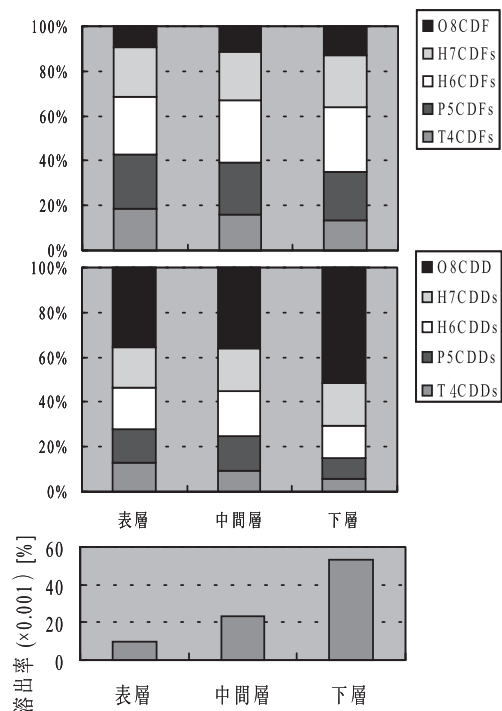


図50 焼却灰の腐植化の進行とダイオキシン類の溶出特性の鉛直方向変化

ること、および廃石膏ボード自体が持っている有機物（グルコース糊）による硫化水素発生能を実証レベルで評価することである。第2の課題では、3つのテストセルの条件である好気性セル、嫌気性セルの安定化促進効果を評価すること、および好気性セルにおける最適通水・通気条件を明らかにすることである。第3の課題ではいろいろなタイプの処分場に微生物群集構造解析を適用し、比較研究を進めることである。そして、第4の課題では、最終処分場におけるDXNsの挙動、特に腐植酸との相互関係を明らかにする研究をさらに進め、DXNsの移動の主要なドライビングフォースを明らかにする。

2.3 資源循環・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究

2.3.1 バイオアッセイによる循環資源・廃棄物の包括モニタリング

(1) 目的

本研究では、循環資源や廃棄物、土壌、排水、排ガスなどに含有される重金属類やPCBなどの有害物質を、バイオアッセイ法により包括的に、かつ簡易に検出する測定監視手法を開発すること、また、ダイオキシン類緑化合物把握にむけたバイオアッセイ手法の適用と未知物質の探索を行うことにより、循環廃棄過程における塩素化ダイオキシン類以外の制御対象物質群候補をスクリーニングすることを中期計画の目標としている。平成13年度から本年度にかけての目標設定としては、難分解性の残留性有機化学物質（POPs）の代表的物質であるダイオキシン類やPCBに対して、酵素免疫測定系アッセイ（ELISA）およびAhレセプター結合アッセイ（CALUX（Chemical-Activated Luciferase Gene Expression）、EROD（7-ethoxyresorufin O-deethylase））の導入と前処理系の開発を含めたモニタリング手法検討および循環資源・廃棄物試料への適用を行うことが挙げられ、実試料として、フライアッシュおよび廃PCB油を対象としたモニタリング研究を実施した。

また、有害化学物質全般の包括的かつ迅速な測定監視手法（早期警戒システム）の開発に向けて、廃棄物埋立処分場浸出水管理を対象として、種々のバイオアッセイ（急性毒性試験、遺伝子毒性・変異原性試験、内分泌かく乱関連バイオマーカー試験）を組み合わせ、試験結果の総合化を検討するアプローチを行った。

(2) 実験方法

本年度対象試料としては特に、焼却飛灰（フライアッシュ）中のダイオキシン類緑化合物のモニタリングを意図し、フライアッシュ試料をCALUX、ERODにより分析する際の妨害成分除去法を確立し、それを組み込んだ前処理方法でフライアッシュの脱塩素化処理前後の挙動について毒性当量値（バイオ-TEQ）を求め、ダイオキシン類の化学分析値との比較評価を試みた。

また、廃PCBの化学分解処理過程のバイオアッセイモニタリングを目的として、パラジウム/カーボン触媒（Pd/C）を用いた水素化学分解などによる廃PCBの化学処理実験を行い、分解処理前後の化学性状、CALUXおよびELISAによる情報を獲得し、分解挙動に対する総合的な知見獲得を試みた。重要な問題はPCB含有トランス油（鉱物油系絶縁油）中の多環芳香族炭化水素（PAHs）などの共存活性成分除去のための前処理方法であり、この課題に重点的に取り組んだ。

廃棄物埋立処分場管理のためのバイオアッセイバッテリー構築のため、20種あまりの生物試験手法について浸出水試料測定のための手法の標準化や妨害対策などを検討した。処分場の履歴の判明している浸出水共通試料に対する生物試験、機器分析等により物理化学的要因の寄与と、処分場管理のためのスコアリング手法を検討した。

(3) 研究調査結果および考察

1) 廃棄物焼却フライアッシュのダイオキシン類緑化合物把握に向けたバイオアッセイの適用

フライアッシュ試料をバイオアッセイで分析する際の妨害成分（PAHs）除去法について、PAHs標準品およびフライアッシュ実試料を用い、バイオアッセイ用前処理法について検討した結果、バイオアッセイにおけるPAHsの過剰活性影響を除去し、ダイオキシン類緑化合物を選択的に分析する必要がある場合には、44%硫酸シリカゲル加熱還流法が、濃硫酸処理法や硫酸シリカゲルカラム処理法と比較して、PAHsの除去法として最も有効と認められる結果が得られ、以降のモニタリングの前処理法として採用した。

窒素雰囲気下におけるフライアッシュ脱塩素化処理過程でのバイオアッセイ手法の導入をはかるため、脱塩素化処理実機装置の処理前原灰と処理灰の採取と、ラボ装置による脱塩素化試料の作成を実施した。これらの試料

に対して、CALUX や EROD を適用し、毒性等量値（バイオ - TEQ）を求め、ダイオキシン類の化学分析値と比較した結果、化学分析値とバイオアッセイ値間に類似の傾向が認められた（図 51）。図中で“Plant A-F”は処理前飛灰，“ideal”は実プラントでの脱塩素化処理飛灰，“intermediary”はラボ条件で中間的分解条件を施したときの飛灰を意味する。バイオアッセイ値は化学分析値に比べて高めの値で、1.1 ~ 5.5 倍の範囲にあり、脱塩素化処理での条件スクリーニングあるいはモニタリング手段としての有効性が認められた。フライアッシュ試料の CALUX による定量下限をマトリックスの異なる 3 種のフライアッシュ試料を用いて検討した結果、20 ~ 40 g の試料を前処理した場合の定量下限は高めの見積もりにおいても 1 pg-TEQ/g であると考えられた。

CALUX-TEQ が化学分析による TEQ と比べて高めの値を示す原因の一つとしては、化学分析で TEF が考慮

されていない臭素系ダイオキシン/フラン [PBDD/Fs, PXDD/Fs (X = Br or Cl)], 臭素系難燃剤 (PBBs, TBBP-A, PBDEs 等), ポリ塩化ナフタレン (PCNs) およびニトロ化または塩素化 PAHs のダイオキシン様活性 (CALUX-TEF) が挙げられるが、化学分析の実測データを充実させた上でそれらの物質の活性寄与を判断することが必要と考えられた。

2) 廃 PCB の分解処理過程のモニタリング手法としてのバイオアッセイ

廃 PCB の分解処理過程におけるバイオアッセイモニタリング手法の確立を目指し、2 つの PCB 化学処理（触媒水素化脱塩素化法 (Pd/C 法) および有機アルカリ金属分解法 (t-BuOK 法)) を組み合わせた廃 PCB コンデンサー油の処理実験を行い、分解処理前後の化学性状と併せ、バイオアッセイ情報の獲得を試みた（表 8）。本実験では、Pd/C 法および、t-BuOK 法を併用することに

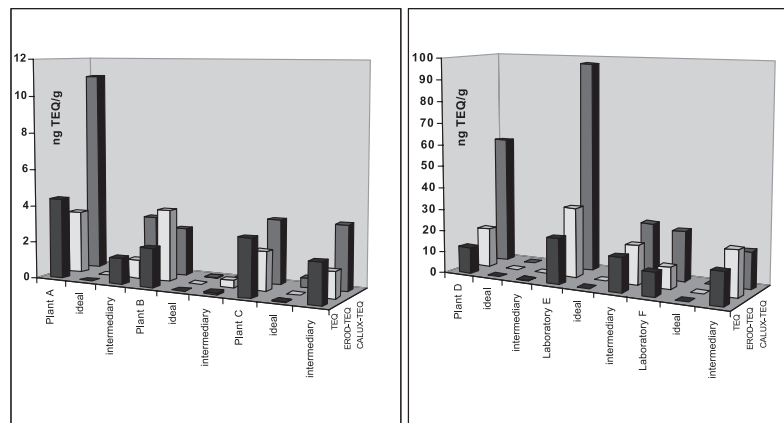


図51 フライアッシュ試料の化学 TEQ と CALUX および EROD により求めたバイオ-TEQ の比較

表 8 PCB 化学処理試料における化学分析及び CALUX バイオアッセイ結果

		試料1	試料2	試料3	試料4	試料5	試料6
		Oil 1	Oil 2	Pd/C Oil 2	Pd/C Oil 2	Pd/C+ t-BuOK Oil 2	Pd/C+ t-BuOK Oil 2
化学分析値							
PCB	mg/kg	900,000	960,000	0.36	5.2	0.13	0.16
Sum-TEQ	ngTEQ/g	1,150	2,500	0.028	0.114	未測定	未測定
CALUX 結果							
CALUX (24h)	ngTEQ/g	2,330	5,140	(A) ≤ 0.78 (B) ≤ 0.36	(A) ≤ 0.35 (B) ≤ 0.45	(A) ≤ 0.36 (B) ≤ 0.06	(A) ≤ 0.41 (B) ≤ 0.18
CALUX (48h)	ngTEQ/g	1,440	4,180	(A) ≤ 0.44 (B) ≤ 0.14	(A) ≤ 0.14 (B) ≤ 0.33	(A) ≤ 0.082 (B) ≤ 0.02	(A) ≤ 0.17 (B) ≤ 0.12

(A) : 粗抽出分画試料 (DMSO/ヘキサン抽出)

(B) : PCB 分画試料 (前処理 A 法+22%硫酸シリカゲルカラムクリーンアップ)

より、PCB濃度は100%に近いレベルから0.13ppmにまで最高7桁の低減が図られている。一方で、CALUXでは、数千ng TEQ/gという活性値から0.1, 0.01ng TEQ/gレベルにまで4, 5桁の毒性の低減がなされている。これら高濃度PCBを含むコンデンサー油の化学処理試料については、DMSO分配のみを行う前処理(表中A法と記載)、あるいは硫酸シリカゲルカラム処理を追加した前処理(表中B法と記載)により、化学TEQに対応したバイオ-TEQがppmレベル(PCB総量で)の処理試料まで得られている。

一方で、柱上トランスに含まれるppmレベルの微量PCB含有鉱物油系絶縁油試料については、硫酸シリカゲルカラムクリーンアップによってもバイオ-TEQが化学TEQに漸近せず過剰応答を示すことが分かった。鉱物油に数%程度含まれる鉱物油中のPAHsが原因物質と推察され、フライアッシュ同様の44%硫酸シリカゲル加熱還流法を用いることにより、PAHsが排除でき、PCB濃度にして数ppm程度相当のTEQモニタリングがCALUXにて十分可能であった。また、PCB主要異性体であるPCB#118のモノクローナル抗体を用いたELISAによっても同様の前処理を鉱物油に施すことにより、総PCB濃度数ppmに対応できるモニタリングが可能であることが分かった。

3) 処分場管理における化学物質リスクの早期警戒システムの構築

履歴、構成の推測可能な5処分場より浸出水8試料、処理水6試料について化学分析、生物試験(表9)を

行った。

一般水質項目・無機元素・陰イオンおよびアンモニウムイオン・イオンバランス・吸着型全有機ハロゲン(AOX)ならびにフェノール、フタル酸エステル、その他有機酸の分析結果より、浸出水でTOCとDOCが100mg/l以上を示し、高濃度の有機性汚濁物質を含んでいることが推測され、無機成分についてはほぼ全体像を把握できた。また、水処理工程では無機元素の大半は除去されないが、浸出水原水中の吸着型全有機ハロゲンは処理により約半量にまで低減されていた。

両生類初期胚、魚類、藻類、甲殻類の生物個体、ならびに細菌を使用した急性毒性試験で数種の浸出水に検出された毒性は処理により低減しており、感度の差はあるものの結果に類似の傾向が見られた。細胞毒性に関し、浸出水で特に試験系への阻害が懸念される高浸透圧の問題を検討したところ、数種の試料では培地の塩化ナトリウム添加濃度の調整が必要であったが、280mOsm/kgまで対応可能とされた。遺伝子毒性、変異原性試験に関し、生物個体を供試生物とした小核試験、コメットアッセイでは非濃縮試料において有意の毒性が検出され、適用可能であった。ただし急性毒性を示す試料では測定不能なため希釈が必要である。一方細菌試験系についてはAmes試験で非濃縮、umu試験で10倍の減圧濃縮試料の毒性が検出可能であったものの、感度の上でさらなる改良の必要があり、より簡便と見られるumu試験にて発光検出ならびにバイオセンサー化による高感度化の検討を行った。また、急性毒性、遺伝子毒性、内分泌かく乱

表9 バイオアッセイの概要

試験名称	供試生物	検出毒性
初期胚催奇形性試験(FETAX)	アフリカツメガエル <i>Xenopus laevis</i>	受精胚の急性毒性
小核試験	金魚(和金)	染色体異常
コメットアッセイ	<i>Carassius auratus</i>	DNA鎖切断
Ames試験	<i>S.typhimurium</i> TA98 TA100	復帰突然変異
急性毒性試験	ヒメダカ	急性毒性
ピテロジェニン誘導試験	<i>Olyzias latipes</i>	内分泌攪乱性
EROD活性測定試験		CYP1Aの誘導
急性毒性試験		急性毒性
コメット試験	ムラサキイガイ	DNA鎖切断
血球細胞の食作用活性	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	免疫毒性
ALP(試験)		内分泌攪乱性評価
藻類増殖阻害試験	淡水産緑藻(NIES35) <i>Selenastrum capricornutum</i> Printz	藻類増殖阻害
ウキクサ葉体増殖阻害試験	淡水産コウキクサ <i>Lemna minor</i> 1769	増殖阻害
レタス発芽・幼根伸長阻害試験	レタス <i>Lactuca sativa</i>	増殖阻害
甲殻類急性致死試験	淡水産甲殻類 <i>Thamnocephalus platyurus</i>	急性毒性
基礎細胞毒性試験	ヒト神経芽細胞腫 NB-1細胞	細胞毒性
海洋性発光細菌発光阻害試験	<i>Vibrio fischeri</i> NRRL B-11177	エネルギー産生阻害
藻類増殖阻害試験	<i>Selenastrum capricornutum</i>	藻類増殖阻害
umu試験	<i>S.typhimurium</i> TA1535/pSK1002	DNA損傷性
培養ヒト細胞を用いる生存率試験	ヒト肝細胞由来細胞株 Hep G2	細胞毒性

性の間に毒性の関連は見られなかった。以上の試験結果より、最終処分場のリスク監視のツールとして、試験系そのものの有用性評価、最適化を進め、テストバッテリーを構成する試験の選定のための基礎情報を得た。

バイオアッセイはいずれも包括的であり、相互作用の最終の影響を検出するものであるが、その結果の意義付け、使用法の設定はそれぞれの検出メカニズムにおける科学的根拠に基づいて、行われることが重要である。が、同時に、必要十分なレベルまで手法や結果の評価法が簡易化されることが不可欠である。バイオマーカー試験、抗体アッセイなどの個別の生体応答に基づくもの、生態毒性、個体の内分泌攪乱性試験などの個体そのものへの包括的毒性を検出するもの、ならびに試験管内、生体の遺伝子毒性試験などの発ガンのプロセス検出から発展した閾値の設定されていないものなど、カテゴリ分けを行い、それぞれ3段階、5段階の数パターンのスコアリングを行った。

一例を図52に示す。こういった図によりそれぞれの試料に高くスコアリングされる毒性のカテゴリや処理工程による毒性低減効果の傾向などが判別可能である。

(4) まとめ

ダイオキシン類縁化合物のモニタリングで課題となっていたPAHs除去のための試料前処理方法として硫酸シリカゲル加熱還流処理が有効であるとの知見が、フライアッシュ、PCB含有鉱物系絶縁油を対象としたバイオアッセイ結果と化学分析との比較により得られた。フライアッシュでは、CALUXを用いてpg-TEQ/gレベルの高感度検出把握が可能となり、廃PCB処理においては、

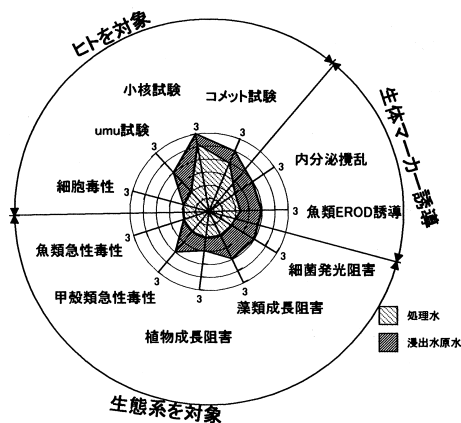


図52 処分場試料のバイオアッセイによる3段階スコアリング結果

数ppmレベルまでの低減はCALUX、酵素免疫測定系アッセイにより検出対応が行えることを確認した。

廃棄物処分場浸出水試料を対象とした広範な生物試験手法（バイオアッセイバッテリー）の標準化について検討した結果、急性毒性、遺伝子毒性、内分泌攪乱性、生態毒性などの幅広い毒性が検出可能であり、濃縮、抽出等の前処理を行わなくとも試験別で有意な差のある毒性が検出されることが分かった。これらの成果に基づき、処分場管理のためのスコアリング手法を提案した。

今後、ダイオキシン類縁化合物検出アッセイについては廃棄物や汚染土壌、底質などの媒体別に段階的な分画を行って幅広いデータ蓄積を図り、未知活性物質検索を継続するとともに、前処理を含めた簡易モニタリング手法としての洗練を行う。バイオアッセイバッテリーについては、バッテリー選択やスコアリングについてさらに検討を加え、包括的な毒性評価に最適な運用システムを提案するとともに、処理対策に結びつく知見獲得を目指す。

2.3.2 有機臭素化合物の発生と制御に関する研究

(1) 目的

難燃剤は、プラスチックや合成繊維、合成ゴムなどの可燃性物質に添加または反応させることにより、難燃効果を与えるもので、ヒトの日々の生活に不可欠のものであるが、一方、こうした物質によるヒトの健康や環境に対する影響が心配されはじめている。つまり、1990年代後半になって、ヒトの母乳中にあるポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDEs、図53参照）の濃度が急増していることが分かってきた。ポリ塩素化ダイオキシン類（PCDDs/DFs）やポリ塩素化ビフェニル（PCB）などの多くの有機塩素化合物は20世紀最後の四半世紀で減少傾向にあるのに対し、PBDEsの濃度は1972年から1997

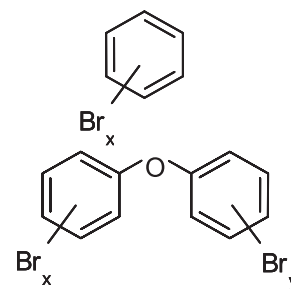


図53 ポリプロモベンゼン（PBBz）とポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDEs）

年の間で指数関数的増加を示しており、5年間で2倍増加のペースであることが報告されている。そこで、有機臭素化合物を緊急の検討対象とし、その主たる発生源、環境移動経路をフィールド研究から確認し、制御手法を検討することを目的としている。

(2) 実験方法および解析方法

中長期にわたる計画的な対策策定のための基礎的情報を得ることを目的に、テレビに含まれる臭素系難燃剤の年間の廃棄フロー量を推計した。テレビのなかでも重量の大きい前カバー、後カバーを対象部位として、80年代後半、90年代前半、90年代後半の3つの製造年代別に全臭素、全アンチモン、PBDEs、テトラプロモビスフェノールA(TBBPA)、臭素化ダイオキシン類(PBDDs/DFs)を分析したデータ、ならびにテレビの出荷台数、ワイブル分布に近似した寿命曲線を用いて、使用済みテレビの廃棄台数およびそれに含有される臭素系難燃剤の廃棄量をモデルによって推計した。なお、テレビの平均使用年数を9.8年とし、テレビのサイズの違いを反映させるために計算は5つのサイズ区分ごとに行った。また、メーカーヒアリングの結果に基づいて、非代替シナリオ(90年代後半維持)、非PBDEs代替シナリオ(2001年度までに代替完了)、非臭素系難燃剤シナリオ(2003～2006年度のうちに代替)の3つのシナリオについて予測を行った。

7カ所の廃棄物埋立処分場(一般廃棄物処分場6カ所、産業廃棄物処分場1カ所、いずれも管理型埋立地)を調査対象として選定し、浸出水処理施設の前線で試料を採取した。採取試料水中に存在する臭素系難燃剤については、PBDEsの同族体および異性体などの測定を行った。その他、TOBr、Br、Sb、pH、EC、ORP、SS、BOD、COD、E260(紫外部260nm吸光度で溶解性フミン物質(DHM)の指標)を測定した。

有機臭素化合物の挙動を把握するには、それらの水溶解度などの物性データが必要となる。しかし、それらのデータの測定例は非常に少なく、入手が困難である。そこで、ジェネレータカラム法をベースとした水への溶解度の測定装置を作成し、図53のようなPBDEsやポリブロモベンゼン等の有機臭素化合物の水への溶解度を測定した。

熱分解ガスクロマトグラフ質量分析計(PyGC-MS)を用い、臭素化合物を含むプラスチックを各条件によ

り、熱抽出・熱分解測定することで、その生成物について検討を行った。熱分解装置には、フロンティアラボ社製オートショットサンプラー(AS-1020E)を用い、18種のプラスチック試料についてGC/MSスキャン測定を行った。

(3) 結果および考察

臭素系化合物の含有量分析結果および文献情報等から、後カバーには1987～1990年、前カバーには1993～1996年に臭素系難燃剤が利用され始めたことと推測された。また、90年代前半までは、PBDEsの一種であるデガブロモジフェニルエーテル(DBDE)が主流であったが、その毒性・環境蓄積性が懸念されて90年代後半にはTBBPAなどのその他臭素系難燃剤が主流となっていた。

上記のテレビの寿命とサイズを踏まえた廃棄モデルによる予測・推算の結果、2000年度に廃棄されるテレビのうちの81%が臭素系難燃剤を含んでいることが分かった。既に、臭素系難燃剤を含む廃プラスチックのリサイクル・適正処理への対応が求められていることが分かる。シナリオ(非代替シナリオ)では、近年のテレビの出荷台数はほぼ一定であるにもかかわらず、テレビカバーに含まれて使用済みとなるBr量は2020年度まで増加し続け、2000年度比で3.7倍となった(図54)。この原因はテレビの大型化であり、2020年度においては30インチ以上の大型テレビの寄与が38%と大きかった。現状では、後カバーについて一部マテリアルリサイクルが試みられているのみで、臭素系難燃剤を含む廃プラスチックの多くは埋立・焼却処分されている状況にあるため、早急にリサイクル・処理技術を確立することが望まれる。なお、今回の予測値は環境進入量のベースとなる量であり、このうちの一部が実際に環境へ進入することに注意が必要である。

次に、代替シナリオについて、国内の主要テレビメーカーは非PBDEs代替シナリオ対策を既に終了させている。したがって、このシナリオが現時点の基本のシナリオであり、との差がメーカーのこれまでの対策成果である。この場合、PBDEsの廃棄ピークは2005年度と予測され、その後減少し、2015年度には寄与が小さくなる。ただし、PBDEsの減少分だけ、TBBPAが増加するので、カバー中の全Br量はシナリオと変わらない結果となった。シナリオ(非臭素系難燃剤シナリオ)は、最短期間で非臭素系難燃剤に代替が進む場合を想定

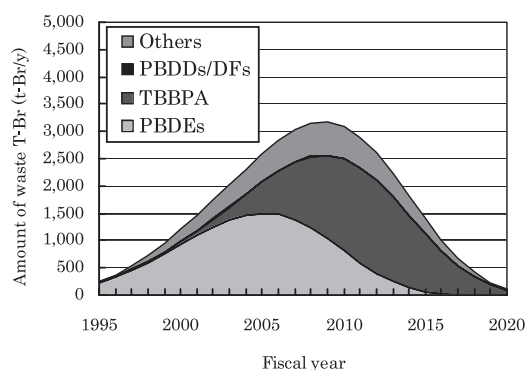
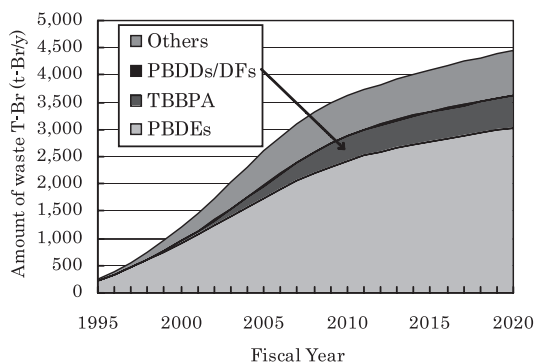


図54 廃テレビに含有される臭素量の予測
(臭素系難燃剤の非代替シナリオ(左図)と代替シナリオ(右図))

したものである。この場合は、全 Br 量のピークが 2010 年度頃になると予測され、2000 年度比で 2.6 倍の全 Br 量であった(図 54)。したがって、仮に迅速に代替が進んだとしても、2000 年度の 2.6 倍の量を適正にリサイクル・処理することが必要になる。なお、経済産業省の試算によれば 400 万台を超える中古テレビが輸出されていると推算されている(今回の予測量の 48%に相当)ため、今回の予測量が国内と国外における合計環境進入量のベース量を示している。

7カ所の埋立浸出水の実測調査の結果、検出された PBDEs の主要異性体は PBDE-47、-99 および-100 であり、それらの 3 異性体の合算濃度は浸出水原水 n.d. ~ 4 ng/l (平均 0.56 ng/l) で、処理水で n.d. であった。原水については米国の調査結果より低いレベルであった。TBBPA は原水で n.d. ~ 620 ng/l (平均 110 ng/l)、処理水で n.d. ~ 11 ng/l (平均 3.1 ng/l) であった。施設間で比較すると、埋立後の経過年数が短く、粗大ごみの破砕物が埋め立てられている処分場で比較的濃度が高い傾向にあった。処理水の濃度は極めて低く、十分除去されていた。

埋立浸出水で一定の検出が見られたため、難燃加工プラスチックの溶出試験を行った。TV 用耐熱タイプの HIPS (黒色のペレット状, FR-HIPS)、TV 用 PS-HIPS (灰色のペレット状, PS-HIPS)、実際の廃 TV ケーシング材の粗破砕物、実際の廃 TV ケーシング材の細破砕物を難燃加工プラスチックの試料とした。溶出試験は、溶媒として蒸留水、メタノール溶液 (20%)、Aldrich フミン酸溶液 (DOC 換算で 1,000 mg/l) の 3 種類を使い、30℃ の恒温槽で液固比を 100:1、接触時間を 5 日間とし、2 回/日の頻度で軽く振とうさせながらかくはんした。メタノールは埋立層内での易分解性有機

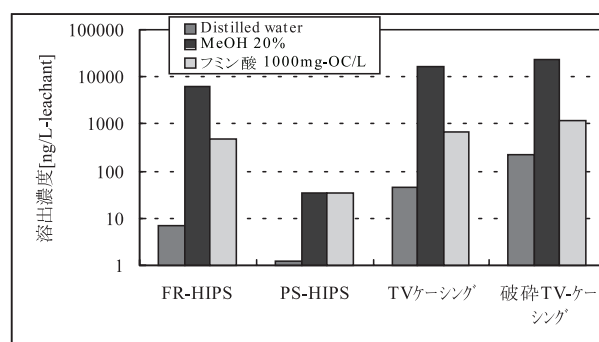


図55 難燃加工プラスチックの溶出試験結果

物の共存を想定し、またフミン酸は実際の埋立地で PBDEs の浸出を高める影響が認められた難分解性の COD 成分を想定して用いた。PBDEs の同族体の合算含有量は、PS-HIPS では 1 μg/g と低かったが、その他は 24,000 ~ 25,000 μg/g であった。これらの試料を用いた溶出試験の結果として、定量できた同族体の合算濃度を図 55 に示す。メタノールを溶媒として使った場合の溶出濃度が最も高いが、蒸留水を用いた場合にも検出された。また、試料間で比較すると TV ケーシング材の細破砕物からの溶出濃度が高かった(蒸留水 220 ng/l)。フミン酸を溶媒として使った場合にも高い溶出濃度がみられた。いずれの溶媒でも、TV ケーシング材では粗破砕物より細破砕物の溶出濃度が若干高かった。

PBDEs の溶出試験の結果(テレビケーシング材破砕物)を埋立地での実測調査結果と比較した。埋立地浸出水の中で最も濃度が高かった 1 施設(下水汚泥の搬入があり、浸出水は暗褐色を帯びている)とフミン酸添加により DOC 換算 1,000 mg/l の溶媒を用いた溶出試験結果は表 10 のとおりである。なお、PBDEs は同族体濃度と比較した。TOC や E 260 を比較すると、フミン酸を添加し

た溶出試験の試料が高く、9, 10 臭素化は極端に溶出試験結果のほうが高いのに対して、3 臭素化から 7 臭素化までの同族体濃度はむしろ浸出水のほうが高い点が注目される。要因として、液固比（埋立地のほうが低い）、あるいは接触時間（埋立地のほうが長い）、埋立層内の生物反応等の関与による脱臭素化反応、難燃プラスチック材料の相異などの影響が考えられる。

溶解度の測定結果を表 11 に示す。表中の 3 物質を測定対象とした理由は、初めての測定として取り組み易いということと、物性データの評価や応用において高臭素化物だけでなく低臭素化物のデータも必要となるためである。さらに、示差走査熱量計を用いてこれら物質の融点 (T_m) と融解エンタルピー (H_{fusion}) を測定し、水への溶解度 (S_w) データと共に熱力学関係式へ代入して、水中の活量係数 () も決定した。水への溶解度の値が低い場合には、溶解度データから求めた活量係数は無限希釈活量係数とみなせるので、活量係数に蒸気圧をかけることでヘンリー定数 (H_w) を求めることが可能となる (表 11)。得られた S_w と H_w を PCDDs/DFs の値と比較

すると、 S_w は PCDDs/DFs の $10^2 \sim 10^6$ 倍であり、 H_w は 1 ~ 10 倍のオーダーである。この物性値の差は、PCDDs /DFs に比べて測定物質の水に対する移動性はかなり高いが、水-大気環境間の分配性についてはあまり大きな差はないことを示唆している。以上のように、有機臭素化合物に対して、熱物性を含めて多くの物性データを提供できた。とくに、本研究で得られた 25 以外の温度の S_w 、 $H_{solution}$ 、 H_{fusion} などは、本研究によって初めて明らかにされた物性値である。今後は、高臭素化物の溶解度を測定すると共にオクタノール/水分配係数の測定を行う予定である。

加熱温度を 200、300、500、800 に変え、ヘリウム雰囲気および空気（窒素：酸素 = 4 : 1）雰囲気下で熱分解測定を行ったところ、500 までは加熱温度に伴い、生成物ピークが増加することが確認できた。しかし、800 では、500 の時よりもピーク数が減少する傾向にあった。これは、ほとんどの試料で見られる現象であった。とくに 500 以上の場合、検出されたピーク数は、ヘリウムよりも空気の場合の方が少なく、酸素により分解が促進されていることが示唆された。

測定に供した試料には、3 ~ 12 % (w/w) の臭素が含まれていることが分かっているが、ほとんどの試料において、検出された主なピークは、基材由来の熱抽出物が熱分解生成物で、臭素化合物はマイナーな検出物であった。しかし、MS スキャン測定によって得られたデータを 3 D クロマトグラムとして視覚化し、逐次検索したところ、さまざまな臭素化合物が確認できた。300、ヘリウム雰囲気における測定では、多くの試料から、プロモフェノール類とプロモベンゼン類が同定された。一部の試料からは、臭素系難燃剤であるプロモジフェニルエーテル類やプロモビスフェノール類が同定されたが、一部では検出率（プロモジフェニルエーテル類：5 / 18、プロモビスフェノール類：1 / 18）は低かった。また、プロモジベンゾフランも検出された（検出率：

表10 テレベケーシング破砕物の溶出試験結果と埋立浸出水の比較

項目	溶出試験	埋立地浸出水	
PBDEs	T3BDEs	0.1	0.97
	T4BDEs	0.18	3.2
	P5BDEs	0.17	1.8
	H6BDEs	0.76	1.2
	Hp7BDEs	1.5	11
	O8BDEs	11	< 2
	N9BDEs	1000	< 5
	D10BDE	210	< 50
pH	7.1	8	
ORP(mS)	+ 130	+ 76	
EC	2	15	
E260	70	9.3	
TOC(mg/l)	1,300	540	
Sb(mg/l)	0.1	0.0016	

表11 溶解度 (S_w)、融点 (T_m)、融解エンタルピー (H_{fusion})、溶解エンタルピー ($H_{solution}$)、ヘンリー定数 (H_w) の計算値

Compounds	$S_w(10^\circ\text{C})$ [mg/l]	$S_w(25^\circ\text{C})$ [mg/l]	$S_w(35^\circ\text{C})$ [mg/l]	$\Delta H_{solution}$ [J/mol]	T_m [K]	ΔH_{fusion} [J/mol]	$H_w(25^\circ\text{C})^*$ [Pam ³ /mol]
1,2,4-T3BBz	3.65 ± 0.04	6.94 ± 0.09	11.17 ± 0.08	32100	316.95	17882	21.6
1,2,4,5-T4BBz	0.0303 ± 0.0004	0.0799 ± 0.0006	0.1442 ± 0.0010	45300	454.50	24411	6.95
4,4'-D2BDE	0.0962 ± 0.0005	0.227 ± 0.003	0.414 ± 0.003	42100	331.65	19647	11.2

*蒸気圧は推算値を使用

5/18) 多くの試料から、プロモフェノール類が検出されたにも関わらず、それを前駆体として生成する可能性のあるプロモジベンゾ-*カ*-ジオキシンは検出されなかった。

(4) まとめ

廃テレビの年代別の有機臭素系難燃剤の含有実態を把握し、廃テレビの寿命曲線から時系列的な廃棄予測モデルを作成した。7カ所の埋立処分場浸出水から、ポリ臭素化ジフェニルエーテルが検出された。その主要異性体はPBDE-47, -99および-100であり、それらの3異性体の合算濃度は最大4 ng/l (平均0.56 ng/l) であり、テレビケーシング材の細破砕物からの溶出も確認された。2臭素化のPBDEに対する水溶解度を実験的に求めたところ、塩素化ダイオキシン類と比較して $10^2 \sim 10^6$ 倍であり、水に対する移動性はかなり高いことが確認された。

2.3.3 循環資源・廃棄物中有機成分の包括的分析システム構築

(1) 目的

循環資源や廃棄物を取り扱う際に、有害化学物質の有無を調べることは、環境影響や生態影響を事前に予測・防止する観点から極めて重要である。現在汎用されている有害化学物質の分析法は多くがガスクロマトグラフィー質量分析法(GC/MS)を利用したものであるが、この方法は基本的に、熱的に安定で、かつ300位までの温度域においてある程度以上の蒸気圧を持つ物質に限定されてしまう。一方、循環資源や廃棄物で対象とする化学物質には、不揮発性物質や熱的に不安定な物質も多く含まれており、これら进行分析するためには新たな手法の開発が必要である。そこで、本研究では液体クロマトグラフィー質量分析法(LC/MS)を中心とした有機成分の包括的分析システムの構築を目指す。また従来の定量を中心とした分析法だけでなく、未知物質の同定にも対応できるシステムを考えていく。この手法を最終処分場浸出水などの液状試料に応用して分析システムの有効性を検証する。

具体的には最終処分場浸出水を試料として、(i) 系統的試料処理法の開発、(ii) 改良LC/MSの開発、(iii) 有機成分のキャラクタリゼーション法の開発、を柱に研究を実施していく。

(2) 方法

1) 系統的試料処理法の開発

様々な性質の化学種に対応する方法とするため、水/オクタノール分配係数(logP)、分子量および官能基を考慮して選択したモデル化合物47種(表12参照)を実際の浸出水に添加して調製した模擬浸出水を使用して、多段固相吸着・分画溶出法と液々抽出・ゲルろ過クロマトグラフィー(GPC)分画法を比較検討した。

疎水性吸着剤(Sep-pak C18, OASIS HLB, Sep-Pak Plus PS-2の1種)とグラファイトカーボン(Sep-pak AC2またはEnvi-Carb)を抽出剤とする方法で、以下の3種類の組み合わせを検討した。

Sep-Pak Plus PS-2/ Envi-Carb 抽出/酸性・中性・塩基性の溶媒脱離

Sep-pak C18/ Sep-pak AC2 中性・酸性・塩基性抽出/溶媒脱離

OASIS HLB / Sep-pak AC2 中性・酸性・塩基性抽出/溶媒脱離

~ の方法は、抽出剤の性能、組み合わせは大差ないが、ではすべてpH調整を行わない水溶液を抽出、は中性水溶液を抽出後、酸性、塩基性に順次変えて抽出する。いずれの方法も残った水溶液中の成分はLC/MSで分析した。

液々抽出・GPC分画法では、ヘキサン/ジエチルエーテル/ジクロロメタンによる逐次抽出と水系GPCを組み合わせた。モデル化合物を添加した浸出水の水系GPC分画は、ヘキサン、エーテル、ジクロロメタンの順に各3分画ずつ行った。

2) 改良LC/MSの開発

多くの化学物質について現在広く使われているLC/MSのイオン化法による検出感度を測定し、化合物の構造と感度の相関を調べた。さらに感度の低い化学物質を測定するための新しいイオン化法を開発を行った。

3) 有機成分のキャラクタリゼーション法の開発

薄層クロマトグラフィー(TLC)で有機塩素化合物あるいは有機リン系農薬の有無を包括的かつ迅速に検知する手法の開発を行った。また、GPCで浸出水中に含有されている有機物の分子量分布を測定する方法やTLC-水素炎イオン化検出法(FID)で極性分布を調べる方法の開発も行った。一方、質量スペクトルを解析して未知物質を同定する研究では、特定官能基(カルボニル基)を誘導体化して、それらのLC/MSスペクトルを解析す

表12 オクタノール/水分配係数 (LogP) などの特性から選び出したモデル化合物

化合物名	Log Pow	化合物名	Log Pow
EDTA	-3.86	Simetrin	2.8
Paraquat	-2.71	Metolachlor	3.13
Glyoxal	-2.54	N,N-Diphenylnitrosamine	3.13
Hexamethylenetetramine	-2.2	MEP	3.3
Diethylenetriamine	-1.93	Fluazinam	3.56
Amitrole	-1.3	DNBP	3.56
Triglycidyl isocyanurate	-1.3	Ethylthiometon	4.02
Acrylamide	-0.67	Dimepiperate	4.02
Ethylene thiourea	-0.66	2-Ethylhexyl methacrylate	4.54
Adiponitrile	-0.32	Teflubenzuron	4.56
Caprolactam	-0.19	BPPS	5.0
p-Aminophenol	0.04	Kelthane	5.02
Mercaptoacetic acid	0.09	Fenbutatin-oxide	5.2
CI direct blue 15	0.71	Amitraz	5.5
Catechol	0.88	Carbosulfan	5.57
Hexanediisocyanate	1.08	Diafenthuron	6.0
2,2'-Azobisisobutyronitrile	1.1	Bifenthrin	6.6
m-Dinitrobenzene	1.49	TBA-diethanol	6.78
PHC	1.52	CI acid red 114	7.86
Terephthalic acid	2.0	Tris(2-ethylhexyl) phosphate	9.49
XMC	2.23	LAS	0.45
Dimethyl phthalate	2.25	Monocrotophos	-0.2
Bis(8-quinolinolato)copper	2.46	Diquat	-4.6
Phenytoin	2.47		

ることにより、分子構造とスペクトルパターンの関係を調べた。

(3) 結果および考察

1) 系統的試料処理法の開発

多段固相吸着・分画溶出法および液々抽出によるモデル化合物の回収率をいくつか表13に示した。

47モデル化合物の大部分はこれらの方法で抽出されたが、glyoxal (LogP: -2.54) diethylenetriamine (LogP: -1.3) mercaptoacetic acid (LogP: 0.09) terephthalic acid (LogP: 2) の4物質は固相に抽出されなかった。terephthalic acidは新たな抽出剤の検討により、terephthalic acidを除く3物質は誘導体化などと組み合わせた抽出法の検討により、捕集あるいは検出できると考える。この方法で回収率の差が大きい物質はdiquat (LogP: -4.6), EDTA (LogP: -3.86), ethylene thiourea (LogP: -1.3), caprolactam (LogP: -0.19), CI directblue 15 (LogP: 0.71), dimethylphthalate (LogP: 2.25), ethylthiometon (LogP: 4.02), diafenthuron (LogP: 6) で、他は比較的同レベルの回収率であった。これらの差違は、化合物の存在形態に因るところが大きいと思われる。一方、液々抽出・GPC分画法については、LogPが-0.8より大きい化合物は、pH6, ジクロロメタン (DCM) で効率よく回収できた。液々抽出は固相抽出に比べ、溶液中におけるクラスター

形成の影響を受けにくいいため、化合物による抽出率の差が小さかった。

モデル化合物を添加した浸出水の水系 GPC 分画では、ヘキサン画分に全体の半数以上の物質が溶出し、エーテル画分、ジクロロメタン画分には数物質が溶出したのみであった。また、ジクロロメタン画分には、Log Powの小さい物質が溶出した。これは GPC 分画の一例であるが、LC/MS の試料分画に有益な結果を得た。

2) 改良 LC/MS の開発

廃棄物関連化学物質の現在の LC/MS による感度を明らかにするため、55 物質を選び、APCI (Atmospheric Pressure Chemical Ionization: 大気圧化学イオン化), ESI (Electro Spray Ionization: エレクトロスプレーイオン化) の感度を評価した。また、それらを化合物群別に分類し、生成イオンの質量電荷比 (m/z : 実質は $z = 1$) と相対感度 (最も感度の低い臭素化合物を基準に計算した値) を図56に示した。有機臭素化合物の感度は他の化合物より2,3桁低く、ニトロ化合物の一部は1,2桁低い。これらの物質は一般にイオン化エネルギーや酸度が高く、かつプロトン親和力や電子親和力が低い。溶媒イオンを介してイオン化が進む APCI, ESI ではイオン化はほとんど起こらない。

低感度の化合物を高感度で測定するための新たなイオン化法として SGDI 法 (インスプレীগロー放電イオン化法) を開発した (特願 2002-184622 (平成 14 年 6 月

表13 各抽出法によるモデル化合物の回収率

化合物名	多段固相抽出法の回収率 (%)			液々抽出法の回収率 (%)			
	PS2/ EnvC	C18/ AC2	HLB/ AC2	Ether	DCM pH 3	DCM pH 6	DCM pH 9
Amitrole	20	31	26	1	1	1	1
Triglycidyl isocyanurate	95	58	51	111	90	116	118
Caprolactam	29	106	79	3	40	31	3
LAS	99	102	79	6	103	76	29
PHC	90	98	45	103	114	104	111
XMC	95	67	49	91	126	108	111
Phenytoin	87	101	93	90	87	92	18
Metolachlor	89	64	67	113	110	109	110
Fluazinam	29	72	66	119	103	117	115
Ethylthiometon	0	40	0	48	108	78	161
Dimepiperate	79	53	51	128	125	117	154
Teflubenzuron	50	59	69	83	78	90	81
BPPS	57	48	0	144	116	117	112
Kelthane	155	115	80	82	73	86	14
Fenbutatin-oxide	23	20	23	117	90	106	108
DNBP	79	116	72	90	67	90	12
MEP	81	41	29	127	98	132	160
Diafenthuron	12	61	44	3	3	70	85
CI acid red 114	73	33	26	0	16	47	28

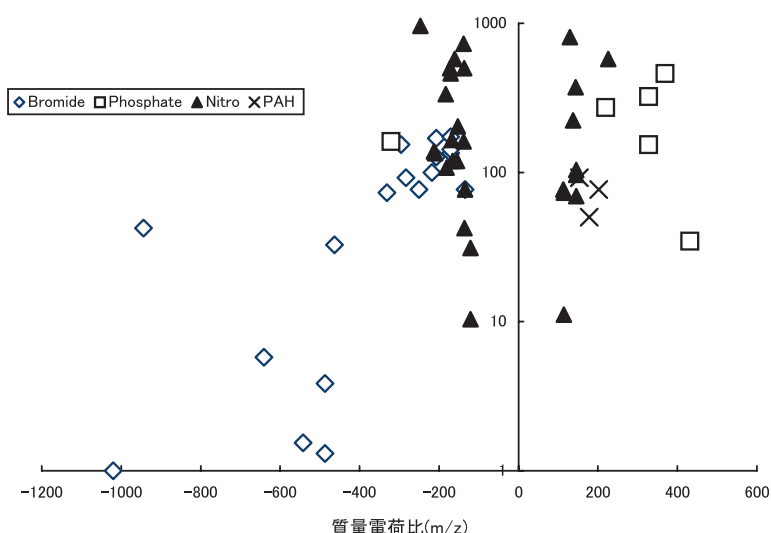


図56 LC/MSにおける分子イオンの質量電荷比と相対感度の散布図
(縦軸は最も感度の低い臭素化合物を基準に計算した相対感度)

25日))。SGDI法のイオン化装置の概要を図57に示した。このイオン化装置は、市販のLC/MSのAPCIイオン化装置に、グロー放電電極、放電電源を付加して製作し、スプレーガスにアルゴンを用いたものである。従来のイオン化装置と簡単に切り替えられるため、相互補完的な使用ができ、製作費も安価である。

SGDIにおけるイオン化の原理は、液体クロマトグラフ(LC)から溶媒とともに溶出する化学種をアルゴンガスで霧化し、これをグロー放電させて励起アルゴン(Ar^{*})、アルゴンイオン(Ar⁺⁺)を生成させ、これらを

介して化学種をイオン化させるものである。Ar^{*}、Ar⁺⁺の内部エネルギー(それぞれ10.55 eV, 15.76 eV)は、APCI, ESIで作用する溶媒和イオンS⁺nS, H⁺nS(Sは溶媒分子,例えばSがCH₃CNではCH₃C=N⁺・nCH₃CN, CH₃OHではCH₃OH₂⁺・nCH₃OH)の内部エネルギーより大きく、プロトン親和力が低くてイオン化エネルギーの高い化合物もイオン化できる。なお、SGDIは正イオンを生成する反応であるが、電子親和力が低く酸度の高い物質の一部も正イオンにできる。

従来のESI法と違ってSGDI法では、イオン化時の余

剰のエネルギーによって分子イオンは開裂し、多くのフラグメントイオンを生成する。一般にフラグメントは分子構造を反映すると考えられるため、これらの情報の解析について、解析アルゴリズムの検討、スペクトルデータベースの物質の整備等を進めることにより、構造情報が得られることが期待される。したがって、SGDIを用いることによって、廃棄物中に存在すると考えられる難分解性化学物質を検出できる可能性が大幅に向上するとともに、生成するフラグメントイオンからそれらの物質の構造情報を得られる利点がある。

SGDI と APCI によるニトロナフタレンの感度を比較したところ、SGDI によるイオン強度、S/N 比は APCI に比べ、それぞれ約 30 倍、約 50 倍大きかった。そこで

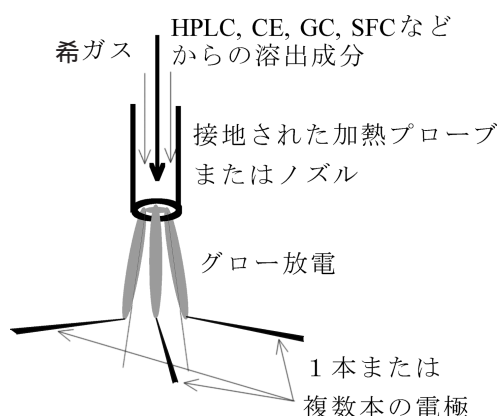


図57 SGDI 法（インスプレージョー放電イオン化法）のイオン化装置概念図

APCI, ESI では低感度の化学物質について、SGDI と APCI, ESI の感度を比較した。その結果を表 14 に示す。

SGDI は tetrabromo-BPA (TBBPA) などの有機ハロゲン化合物のイオン化には適さないが、芳香族ニトロ化合物など表 14 に示すほとんどの物質で、従来の LC/MS のイオン化法に比べ数倍から数百倍の感度が得られ、これまで LC/MS で測定できなかった物質の範囲を大幅に縮小できるものとする。

SGDI でイオン化が困難であった有機ハロゲン化合物のうち、臭素化炭化水素の検出を容易にする技術 (Dopant APCI 法と名付けた) の基礎的開発に成功した。SGDI が正イオンを作るイオン化法であるのに対し、このイオン化法は負イオンを生成する方法である。負イオン生成に寄与が大きいのは、物質の電子親和力および酸度である。電子親和力が低く、酸度の高い物質は、通常の LC/MS のイオン化ではイオン化し難く、その典型のひとつが有機ハロゲン化合物である。本法は、有機臭素化合物より電子親和力が低く、酸度の高い溶媒を Dopant として、有機臭素化合物のイオン化効率を高めるものである。Dopant APCI と APCI による有機臭素 (ヘキサブromoシクロドデカン (HBCD) とヘキサブromoベンゼン (HBB)) の感度を比較したところ、HBCD, HBB と APCI 法でのピークはノイズに近い状態であるが、Dopant APCI 法では明瞭なクロマトグラムが得られた。本法によって、従来イオン化が困難であった臭素化炭化水素を 1 桁程度以上高感度で検出することができ

表14 SGDI 法と従来法の LC/MS 感度比較

化合物名	分子式	分子量	感度比 (SGDI 法/従来法)
Acrylamide	C ₃ H ₅ NO	71.1	18
Diethylenetriamine	C ₄ H ₁₃ N ₃	103.2	5
Dimethyl terephthalate	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.2	20
1,3-Dinitrobenzene	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168.1	18
2-Ethylhexyl methacrylate	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	198.3	4
Ethylthiometon	C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₃	274.4	4
Oxin-copper	C ₁₈ H ₁₂ CuN ₂ O ₂	351.9	11
Terephthalic acid	C ₈ H ₆ O ₄	166.1	33
Acenaphthene	C ₁₂ H ₁₀	154.2	10
2,4-Dinitrotoluene	C ₇ H ₃ N ₂ O ₄	182.1	11
4-Nitroindane	C ₉ H ₉ NO ₂	163.2	598
4-Nitrobenzyl bromide	C ₇ H ₆ BrNO ₂	216.0	227
4-Nitrobenzyl chloride	C ₇ H ₆ ClNO ₂	171.6	329
2-Nitrobiphenyl	C ₁₂ H ₉ NO ₂	199.2	4
2-Nitrofluorene	C ₁₃ H ₉ NO ₂	211.2	128
1-Nitronaphthalene	C ₁₀ H ₇ NO ₂	173.2	162
4-Nitrophenol	C ₆ H ₅ NO ₃	139.1	2
Phenanthrene	C ₁₄ H ₁₀	178.2	4
Pyrene	C ₁₆ H ₁₀	202.3	8
Tetrabromobisphenol A (TBA)	C ₁₅ H ₁₂ Br ₄ O ₂	543.9	0.3
TBA-bis(allyl ether)	C ₂₁ H ₂₀ Br ₄ O ₂	624.0	15

た。今後、さらに多くの物質で有効性を検証し、マトリックスの影響や反応機構を解明する予定である。

3) 有機成分のキャラクタリゼーション法の開発

有機塩素化合物を TLC 上で検出するには芳香族アミン系 (特に *o*-Dianisidine と 3,3',5,5'-Tetra-methylbenzidine) の発色剤が有効であった。発色剤を噴霧後、紫外線を照射することで白地に緑ないし青色の比較的鮮やかな発色を示した。検出感度は化合物により異なり、クロルデンで 0.1 µg, 塩素化パラフィンで 10 µg, PCB で 2 µg, クロルピリフォスで 1 µg 程度になる。また、それぞれの化合物は TLC で分離検出される。実際の家屋に使用されている柱材試料片をジクロロメタンに浸し、溶媒を蒸発させて 20 倍に濃縮した後、TLC を行ったところ、クロルデンが検出された。発色度から木材中の濃度を推定すると 0.6 ppm 程度であり、本法の実試料への適用可能性が確認された。

リン系農薬としてはモノクロトフォス, エチルチオメトン, MEP (フェニトロチオン), クロルピリフォスを選び、可塑剤等で廃棄物試料でよく検出されるリン酸トリクレジル (TCP), リン酸トリオクチルも用いた。発色剤として 4-(4-Nitrobenzyl) pyridine (NBP) 試薬を用いた場合, TOP, TCP 以外は青い発色スポットを与えた。逆に Ammonium phosphomolybdate を用いると TOP, TCP 以外は発色しなかった。これらの結果から, Ammonium phosphomolybdate は感度が低く, リン系農薬の検出には NBP 試薬が適していた。NBP 試薬による発色の感度は化合物によって異なり, モノクロトフォス, MEP で 0.1 µg, クロルピリフォスで 0.5 µg, エチルチオメトンで 1 µg 程度であった。展開挙動も化合物によって異なり, アミノ基を含むモノクロトフォスはジクロロメタンで展開されなかった。また塩化パラジウムを噴霧した場合は, 硫黄を含まない TOP, TCP およびモノクロトフォスは発色せず, これら以外の硫黄を含むリン系農薬は黄褐色を示した。こうした展開挙動と塩化パラジウムによる発色の有無を組み合わせることでリン系農薬の包括的スクリーニングを行うことができる。

浸出水のキャラクタリゼーションに関しては, GPC による分子量分布の測定は予想した結果を得るまでにはいたっていないが, TLC-FID による極性分布の測定で興味ある結果が得られた。浸出水 6 種類を分析した結果, 浸出水の主な有機成分は強極性であることが分かった。これに対し, 有機成分の抽出に汎用される液々抽

出, 固液抽出で得られる成分は, 比較的極性が強いがもとの浸出水の主成分よりは極性が弱い。また浸出水中有機化合物の 99% 以上は, PS-2 に保持されないことが分かった。さらにイオン交換系の固液抽出を行った結果, 浸出水中の有機化合物は大部分がイオン性である可能性が高いと考えられた。このように浸出水中の有機成分が大部分親水性・イオン性であることが分かった。親水性成分中の有害成分の分離が包括的な分析システムとしては重要である。

LC/MS スペクトルを解析して物質を同定する研究では, 38 種類のカルボニル化合物を 2,4-ジニトロフェニルヒドラジンと反応させてヒドラゾンとし, ESI 負イオン質量スペクトルを測定した。誘導体の特異性のために, フラグメントピークが観察され, フラグメンテーション解析を行った。いずれの化合物でも, 分子からプロトンが脱離した擬似分子イオンが強く観察された。ジニトロフェニルヒドラジン骨格に由来するピークと分子全体に由来するピークに大別できたが, 詳細な分子構造は質量スペクトルに反映されていなかった。

(4) まとめ

試料抽出・分画では, ポーラスポリマー/グラファイトカーボンの組み合わせで様々な性質の化学種を幅広く抽出できることが明らかになった。また, Log Pow が -0.8 以上の物質はジクロロメタンの液々抽出で十分抽出された。分画には, ポーラスポリマー/グラファイトカーボンの各吸着剤から別々に溶媒抽出して分画する方法, HPLC を用いて GPC モードで分画する方法とも有効であるが, さらに分画を検討する必要がある。分画された試料を LC/MS で高感度検出する基本的な方向は今回の研究で定められたので, 今後は実試料を使った実験を重ねることにより, その有効性を高めていく。一方, 未知物質を含めた有機成分の全体像を把握するためには, 個々の化合物を定量する方法とは別のマニュアルが必要である。そのためには, 有機成分のキャラクタリゼーション法の研究に力を注ぐ必要がある。今回の研究では, TLC で有機塩素化合物や有機リン系農薬などを包括的に簡易検出する道を開いたが, 実試料への適用を考えた改善が求められる。未知スペクトルを解析して物質を同定する手法の開発はまだ緒についたばかりであり, 基礎的な検討をしばらく続けねばならないと考える。

今回開発した手法は浸出水などの水溶液を想定したも

のだが、固形廃棄物に適用するのは比較的容易と考えられる。包括的分析手法開発の今後の課題として、LC/MS分析法の改良、抽出分画法の統合と改善、LC/MSによる未知物質検索ツールの開発、廃棄物主要成分の定性分析法における定性手段の開発などを考えている。

2.3.4 循環資源・廃棄物中ダイオキシン類やPCB等の分解技術開発

(1) 目的

有機塩素化合物などの有害化学物質を含んでいる廃棄物は環境汚染防止のために、これらの有害化学物質を除去あるいは分解してから処理されねばならない。本研究では有機塩素化合物に着目して、これらの高効率抽出手法や無害化手法を開発すると共に、将来的には開発された技術における物質フロー解析を行い、システムとしての制御方策を提言する。

中期計画の前半においては、1) 既存のPCB分解技術における分解機構の解明、2) 電解還元などによる有機塩素化合物の分解技術開発、3) 微生物による有機塩素化合物の分解技術開発、の内容で研究を行った。1) では、PCB処理においてはPCB消失の確認をただけでは、安全性の担保は完全とは言い難く、分解機構の解明やPCB以外の有害物質の有無の確認が重要である。ここではパラジウム・カーボン(Pd/C)触媒分解法と紫外線分解法におけるPCBの分解機構を解明することにより、PCBの安全で、安定的な分解処理手法を確立することを目的とした。2) では、難分解性の芳香族塩素化合物の脱塩素化には還元的手法が有効と考えられ、新技術開発として、ここでは電気化学的に還元を行う方法や熱水で抽出分解する方法など、迅速・安全で制御容易な脱塩素化技術の開発を目的とした。3) では、微生物を使って有機塩素化合物の脱塩素化分解を行う研究は既にいくつも行われているが、高塩素化物質では脱塩素化されにくい点や反応速度が遅いことなど、実用的な分解技術にはいたっていない。そこで、反応速度が速いと考えられる高温域(60℃以上)でも活動する好熱菌を利用して、有機塩素化合物を分解する技術開発を目的とした。

(2) 方法

1) 廃PCB化学処理における分解機構の解明

9種類のPCB異性体(2-CB(IUPAC No, # 1),

3-CB(# 2), 4-CB(# 3), 2,3,4-T₃CB(# 21), 2,2',5,5'-T₄CB(# 52), 2,3',4,4',5-P₅CB(# 118), 3,3',4,4',5-P₅CB(# 126), 2,2',4,4',5,5'-H₆CB(# 153), D₁₀CB(# 209))を出発物質として光分解およびパラジウム・カーボン(Pd/C)触媒分解を行い、経時的に採取した試料から分解過程における中間体を特定、分解経路を明確にする。また、塩素置換位による反応速度の違いを比較することにより、光反応とPd/C触媒反応との分解経路や塩素置換位置における反応性の違いを比較する。光反応では、50mlのイソプロパノール、水酸化ナトリウム(塩素モル数の100倍量)、2mgのPCB各異性体を混合し、窒素雰囲気下25℃で、紫外線照射(低圧水銀ランプ、5W、254nm)により反応を開始した。触媒反応では、ヘキサデカン1200gとPCB各異性体(100mg/l程度)を混合後、Pd/C触媒0.6gを投入、窒素雰囲気下260℃で、水素ガスの注入により反応を開始した。

2) 電解還元法による有機塩素化合物の脱塩素化技術開発

還元電位の高い難分解性有機塩素化合物である1-Chloronaphthaleneを基質として、分解の諸条件を検討した。2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenylと4-Chlorobiphenylを使って反応機構の解析を行い、実用化に向けてカネクロール400での脱塩素化実験を行った。代表的な電解系としては、ジメチルホルムアミドにTetra-n-butylammonium perchlorateを0.1mol/l濃度に溶解した電解液を使用した。電解セルは隔膜(ガラスフィルター)で仕切られた2室型で、容量は各30mlである。陰極にはグラッシーカーボン、陽極には白金のともに17mm四方の平板を使用し、参照極には銀-銀イオン電極を使用した。速度論的検討では、室温(20±2℃)、一定かくはん下で所定量のメディーエータと基質を添加して電位を印加し、電流(反応速度)と濃度の時間変化を追跡した。電解は主に定電位分解を行い、電流・電気量をモニターするとともに、適宜サンプリングを行ってHPLCにより基質、生成物の分析を行った。反応で生成する中間生成物、副生成物の同定はGC/MS等で行った。

3) 微生物による有機塩素化合物の脱塩素化技術開発

沖縄県内の土壌から発見された好熱菌を利用して、高濃度のPCBを含有する魚肉を高温分解し、PCBがどのように分解されたかを調べた。実験装置は断熱密閉陽圧

型発酵機（高温型生ゴミ処理装置）を使用した。容器内の圧力は圧力計で、温度はデジタル温度計で連続計測した。PCBを含有する試料として、サメの切り身を購入して、家庭用ミキサーでミンチ状にしたもの25kgに、オガクズ25kg、種菌25kg、水25kgを混合したものを上記装置に入れ、密閉してかくはんした。ジュール熱と発酵熱で温度は140℃まで上昇し、140℃で3時間放置した。室温まで冷却後、内容物を取り出し分析を行った。

(3) 結果および考察

1) 廃PCB化学処理における分解機構の解明

モノクロロビフェニル(MCB)の分解反応

3種類のMCB(等量混合物)でオルト位,メタ位,パラ位での反応速度(表15参照)を調べた。

光反応ではほとんど2-CBのみ分解が進んでいるのに対し、触媒反応では2-CBの分解速度は遅い。メタ位やパラ位の塩素に比べてオルト位に結合する塩素の反応性が、光反応では極めて大きく、逆に触媒反応では低いものと考えられる。

2,3,4-トリクロロビフェニル(#21)の分解反応

連続してオルト,メタ,パラへ塩素が置換している#21からの主な一脱塩素化体は光反応ではオルト位が脱離した3,4-D₂CB(#12)で、触媒反応ではパラ位が脱離した2,3-D₂CB(#5)であった(図58)。次に光反応,触媒反応ともメタ位脱離が起きていた。また光反応では塩素が転位した反応生成物(2',3',4'-T₃CB)も見られたが主要な経路ではなかった。

デカクロロビフェニル(#209)の分解反応

光反応,触媒反応とも反応開始後,#207,#208が同程度出現しており,オルト位から脱塩素した#206は検出されなかった。脱塩素化はオルト位では起こりにくく,メタ位またはパラ位からの脱塩素が主反応と考えられた。その後も,オルト位の塩素が脱離しない形で反応が進み,オルト位にのみ塩素が置換されている#54となる。光反応では#54以降は転位反応による経路が主となっており,不安定なオルト位から容易に安定な位置へ転位した後脱塩素が起きると考えられた。

分解速度への影響

各異性体での反応速度式を液中濃度の1次式(-dC/dt = kC, k:分解速度定数)として表し,分解速度

表15 光反応及びPd/C触媒反応によるモノクロロビフェニルの濃度変化(濃度単位: μmol/l)

反応時間 (min)	光反応							Pd/C触媒反応						
	0	20	40	60	80	100	120	Init.	0	10	20	30	40	50
2-CB(#1)	180	120	72	50	34	23	15	160	144	41	3.7	0.26	0.07	0.06
3-CB(#2)	180	180	160	160	160	150	150	160	99	5.8	0.07	0.02	0.01	0.01
4-CB(#3)	140	130	130	130	130	120	120	156	86	28	0.08	0.07	0.07	0.07

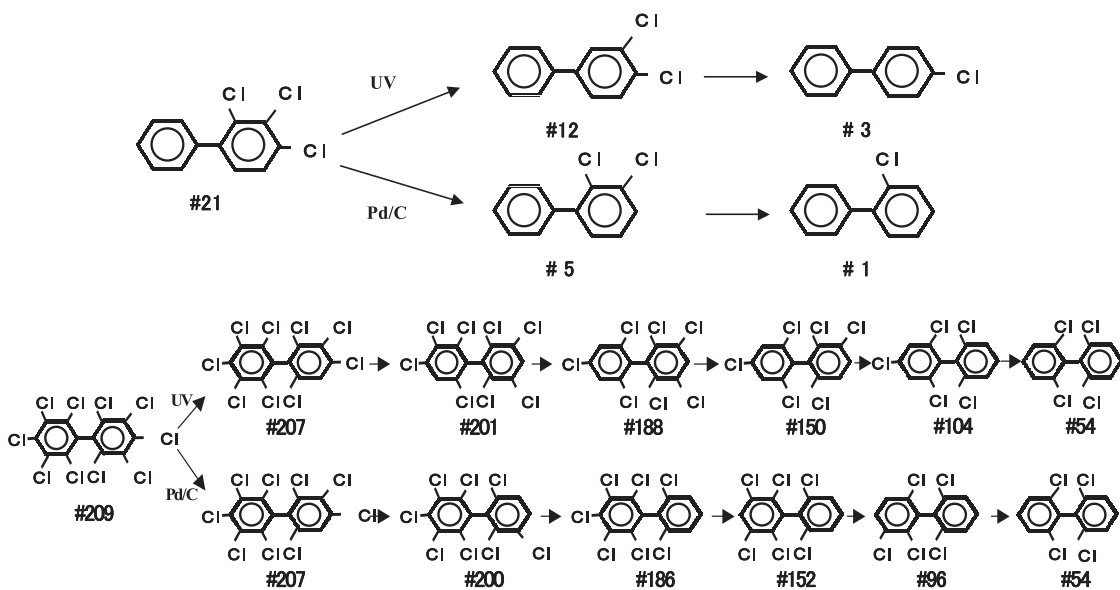


図58 光反応及びPd/C触媒反応における分解経路の比較

定数を求め、表 16 に示した。塩素置換位置（オルト，メタ，パラ），塩素原子数および置換塩素に隣接した原子の分解速度への影響について考察した。

a. 塩素置換位置

・オルト位塩素：触媒反応ではオルト位塩素の脱離が遅く，オルト塩素数が多いほど反応は遅くなる。一方，光反応ではオルト位に置換する塩素数によって異なる。オルト位の塩素原子が 1 つの場合（# 21，# 118）はオルト位脱離が起きやすい。これはオルト位塩素脱離によりフェニル基のねじれが大きく緩和するため，立体効果から反応性が決定されると考えられる。オルト位塩素が 2 つ以上ある場合は，# 209 はメタ位とパラ位脱塩素，# 153 はパラ位脱塩素が多く起きるなど，オルト位以外の脱塩素が起きやすい。オルト位塩素脱離によって生じるねじれの緩和は，6 位塩素など他のオルト位塩素の存在のため小さくなり，反応性は立体効果よりも電子効果により決定されていると考えられた。

・メタ位塩素およびパラ位塩素：メタ位とパラ位の反応性の違いは普通あまり大きくないが，個々の異性体ではいずれかに偏っていることがよくあり，どのようなときに差が出るかは他の塩素置換位置と数によって決定されているようである。

b. 塩素原子数

・総塩素数：光反応では総塩素数が多いものは分解速度定数がわずかに大きい傾向を示している。また，隣接する塩素数が多いほど解しやすい傾向もみられ，塩素密度が高いほど塩素が脱離しやすいと考えられる。触媒反応では # 209 の分解速度定数が著しく小さいため，総塩素数が多いと分解しにくい。また，オルト位塩素がないフェニル基では塩素数が多いほど分解速度定数が大き

く，分解しやすい傾向が見られた。しかし，全体として両フェニル基に置換している総塩素数の違いによる反応性の差は明確でなく，オルト位塩素の有無等，他の要因の方が大きく影響していると考えられた。

・両フェニル基の塩素数が異なる場合：光反応では塩素数の多い方から脱離して両フェニル基の塩素数が同じになるように反応が進んでいた。塩素数が少ないほど安定で反応性が弱いので，各フェニル基を単独に考えれば塩素数の多いフェニル基の反応性が高いためであろう。触媒反応では塩素の多い方からではなく，むしろ塩素数の少ないフェニル基の方が反応しやすい傾向にあり，これは立体障害の小さい方が Pd/C に接近しやすいためと考えられた。

c. 連続した 3 塩素置換の場合

光反応では，オルト位塩素または連続 3 塩素のうち真ん中の塩素から脱離していた。これはフェニル基のねじれまたは塩素密度の高さが原因で，反応性が上がると考えられた。触媒反応では塩素原子に隣接した原子が両端とも塩素原子の場合（Cl-Cl-Cl）に，片方に水素原子が隣接（H-Cl-Cl）している場合よりも脱塩素しにくい傾向を示した。隣接した 3 つの炭素に結合した原子の影響により，反応性は H-Cl-H > H-Cl-Cl > Cl-Cl-Cl の順となり，これは塩素原子の誘起効果によると考えられた。

2) 電解還元法による有機塩素化合物の脱塩素化技術開発

1-Chloronaphthalene (CN) の脱塩素化

CN の電解還元はその還元電位（- 2650 mV）では十分な電流密度が得られず，電位を Naphthalene の還元電位（- 3000 mV）に設定することで，反応完結まで十分な電流密度が得られた。反応完結時までの消費電気量は

表 16 各異性体の分解速度定数

化合物	総塩素数	オルト位置 換塩素数	オルト位に塩素 のないフェニル 基上の塩素数	Pd/C 触媒分解 速度定数 (min ⁻¹)	光分解速度 定数 (min ⁻¹)
#1 (2-)	1	1	0	0.253	0.021
#2 (3-)	1	0	1	0.421	0.0015
#3 (4-)	1	0	1	0.445	0.00092
#21 (2,3,4-)	3	1	0	0.227	0.066
#52 (2,2',5,5'-)	4	2	0	0.259	0.0057
#118 (2,3',4,4',5-)	5	1	2	0.442	0.11
#126 (3,3',4,4',5-)	5	0	5	0.586	0.036
#153 (2,2',4,4',5,5'-)	6	2	0	0.273	0.027
#209 (2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-)	10	4	0	0.125	0.33

電流効率で 106 % で、脱塩素生成物である Naphthalene の生成量は CN の濃度に対して 97 % であった。CN が消滅した後に陰極内の反応液は濃緑色になり、電位印加を停止すると透明になること、また着色溶液に CN を添加すると速やかに脱色することから CN の脱塩素で生成した Naphthalene がその還元電位で還元され、ラジカルアニオンになり、これが還元剤として働いていると推定された。Naphthalene の還元は可逆反応であり、過電圧下で生成したラジカルアニオンは CN を速やかに還元して Naphthalene に戻る。そこで Naphthalene を最初から過剰に添加しておく、反応が安定に進行することが分かった。この方法は CN 濃度が低い場合や水分等の妨害不純物が存在する場合に特に有効であった。反応機構を解析した結果、ラジカルアニオンの溶液中への拡散が重要な要素であり、反応速度はメディエータである Naphthalene の濃度に 1 次、基質濃度である CN に 1 / 2 次で比例することを確認した。

PCB の脱塩素化

PCB などの多塩素化物の場合は予想した電位では十分な脱塩素化が起こらなかったが、最初からメディエータ前駆体 (Biphenyl, Naphthalene など) を添加しておく、非常に迅速な脱塩素化が起こり、中間の低塩素化物を一時的に生成するだけで、ほぼ理論量の Biphenyl が生成した。また、カネクロール 400 の場合は、反応中異性体分布はほとんど変化しなかったが、これは個々の脱塩素化反応が非常に速いため、中間体が残留できないためと考えられた。還元力の弱いメディエータを用いた場合には反応中間体が確認できたので、反応機構を解明することができた。塩素の脱離されやすさは $p > o > m$ の順であるが、この順位はメディエータとの反応性でなく、生成した PCB のラジカルアニオンから脱離しやすい塩素の位置を反映したものである。このように強力なラジカルアニオンをメディエータとして用いた場合、PCB 異性体間で反応性に差はないと考えられる。PCB を脱塩素化する場合、塩素数に応じた電気量が必要である。反応速度に関しては図 59 に示すように塩素数が異なる PCB でも、濃度に塩素当量を用いるとほぼ同じ速度になることが分かった。塩素当量は対象の平均塩素数と濃度から求まるので共通速度式が適用可能となり、分解速度が推算可能となる。ただし、反応初期に電極表面活性が低下する場合があります、その原因解明が必要である。

3) 微生物による有機塩素化合物の脱塩素化技術開発
 実験装置は断熱密閉型であるため、発酵分解におけるガスなどの散逸がなく、本実験における平均質量損失は 4.65 % であった。したがって、発酵中に PCB などが漏洩した可能性はない。摩擦によるジュール熱と微生物の発酵熱により室温 (30) から 140 まで 1.22 / 分の速度で温度上昇した。PCB の分解率は Cl₁ が 97 % , Cl₂ が 98 % , Cl₃ が 98 % , Cl₄ が 69 % , Cl₅ が 65 % , Cl₆ が 61 % , Cl₇ が 54 % , Cl₈ が 48 % , Cl₉ が 49 % , Cl₁₀ が 58 % , 全 PCB 平均が 76 % であった。塩素が 3 個以下の PCB は 90 % 以上が分解されているが、塩素が増えると分解されにくくなり、塩素が 8 個の PCB が一番分解されにくい結果となった。全体としての分解率は 70 % 程度であり、期待したほどには分解されなかった。

(4) まとめ

本研究では PCB などの有機塩素化合物を共通対象物質として既存技術の高度化ならびに新技術開発を目指して研究を行ってきた。以下にまとめと今後の課題を示す。

廃 PCB をパラジウム・カーボン触媒および光照射で分解する場合、触媒法ではオルト位が脱離しにくく光分解ではオルト位が脱離しやすい等、両分解法による反応機構の違いについて解明できた。今後は、PCB 異性体混合時の反応性の違い等未解決の点を明らかにするとともに、PCN 等他の物質で技術の有効性を検証する。新たに金属ナトリウムによる分解機構を解明し、前 2 法と比較する。また、PCB 処理施設における解体現場など室内環境中 PCB を迅速かつ容易に測定するための簡易モニタリング法の開発を行う。

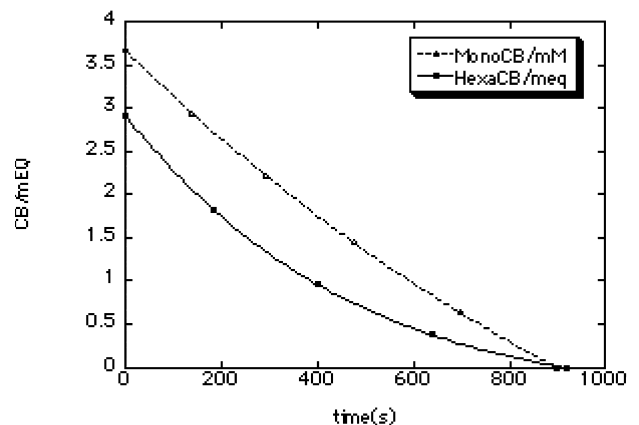


図59 ヘキサクロロビフェニルおよびモノクロロビフェニルの電解還元反応 (縦軸はミリモル塩素当量 /)

電解還元で生成させたラジカルアニオンをメディエータとする脱塩素化法によって1-クロロナフタリンおよびPCBの迅速かつ完全な脱塩素化を実現した。反応速度はメディエータ濃度に比例するので、メディエータ前駆体（Naphthalene や Biphenyl 等）の濃度調整によって反応速度を制御することが可能となる。PCBの脱塩素反応も迅速に進むが、置換位置によって塩素の脱離しやすさが異なることも明らかとなった。また、反応時間は塩素数に応じた当量数で計算でき、PCBの平均塩素数を用いれば算定可能である。今後の課題としては初期の電極表面の不活性化の原因究明とより簡便な電解質の開発である。

微生物（好熱菌）による魚肉中PCBの分解実験では、塩素数3個以下のPCBは90%以上で分解できたが、高塩素化PCBは約50%程度しか分解できなかった。今回の実験では沖縄の研究者が所有している好熱菌を使用したため、十分なデータを採取できなかったが、今後は自分で好熱菌の探査を行い、有害化学物質の分解に利用できるか否かを調べていく。

2.4 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究

2.4.1 窒素、リン除去・回収型高度処理浄化槽，消毒等維持管理技術システムの開発

(1) 目的

し尿や生活雑排水等の液状廃棄物処理において、窒素、リンなどの栄養塩類を高度に除去し、かつ、派生する汚泥の適正な処理を行うことは、湖沼などの閉鎖性水

域における有毒アオコの発生に繋がる富栄養化を防止する上で極めて重要な課題である。一方で、栄養塩類のうちのリンは枯渇する資源であり、我が国においては将来的に輸入が困難になることが十分に予想される。我が国では、リンは100%を輸入に頼っているのが現状であり、肥料原料としてのリン鉱石の入手が困難となることは、食料安全保障の観点からも深刻な問題である。これらの理由から、とくに、リンについては液状廃棄物および派生汚泥からの回収を念頭においた高度処理技術の開発が不可欠となる。すなわち、リン除去・回収ならびに窒素除去も効果的に行える既存浄化槽の改造も含めた分散型の液状廃棄物および派生汚泥の高度処理技術の開発とともに、このような高度処理技術の効果的普及のための衛生的配慮としての消毒等の維持管理技術システムを含めた開発を図60に示すフローで推進し、我が国におけるリンの動態調査、分散型のリン資源循環が可能な液状廃棄物処理技術の基盤の開発を行った。

(2) 内容および成果

1) リン資源の国内におけるフロー解析

平成10年度における我が国のリンのフローを代表例として図61に示す。リンの輸入総量は、この年度で67.9万トンに及んだ。輸入されたリンのうち、そのほとんどが食料・飼料、化学肥料およびリン鉱石としてであり、これらは輸入総量の約87%を占めていた。国内におけるリンの動態をみると13.8万トンが水域へ排出され、50.2万トンが国土へ蓄積されていることが分かる。水域へのリン排出量のうち43.5%に該当する6.0

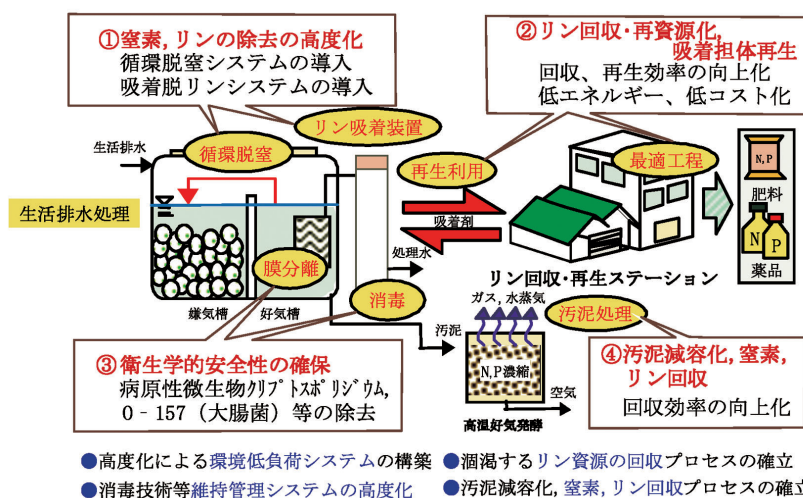


図60 窒素、リン除去回収型高度合併処理浄化槽，消毒等維持管理技術システム

万トンがし尿、雑排水等の生活系液状廃棄物として排出された現状が伺える。この排出量のおよそ1/4にあたる約15万トンは浄化槽で処理されることとなる。このリンの総量は、我が国で排出される畜産系からの液状廃棄物中に含まれるリンの総量(18万トン)にも相当する。さらに、閉鎖性水域の富栄養化防止のための第五次水質総量規制においては、技術開発と普及が立ち後れている浄化槽に対し、窒素、リン除去能の強化が打ち出されている。水域の富栄養化の累進的な加速とリン資源が世界的に枯渇化していく現状を考えると、リンを高度に除去する技術とリンを資源として利用しやすい形で回収できる再資源化技術を開発し、リンのリサイクルラインを構築することが今後の技術課題として極めて重要な位置づけとなる。このように生活系液状廃棄物を対象とした分散型のリン資源循環が可能な液状廃棄物処理技術の開発を行う意義が明らかとなった。

2) 吸着脱リンシステム導入浄化槽における水質評価

浄化槽からのリン排出低減化とリン資源回収の両立可能な高度処理技術を確立することを目的として、リンに対する吸着選択性が極めて高いジルコニウムフェライトを液状廃棄物処理で利用しやすい球状に成形したリン吸着担体を合成し、リン吸脱着特性などの基盤データを取得するとともに、この担体を既存の分散型の液状廃棄物処理プロセスとしての浄化槽とベストミックスさせ実用プロセスとして適用可能とするために設計された円筒型カラムシステムに充填し、これらを実験モデル地区として土浦市に設置された16基の浄化槽(5~7人槽)の後段に設置してリン除去能およびリン吸着の持続性、リン脱離方法について実証化研究を実施した。

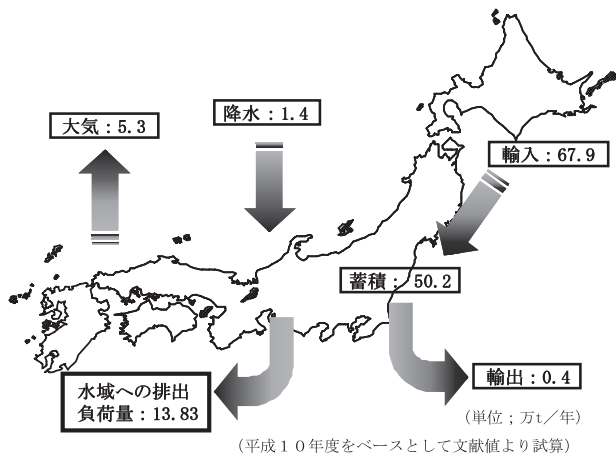


図61 我が国のリンのフロー

本実証研究に際して、浄化槽への流入水質は実使用人員、生活様式により大きく異なることが予想され、例えば5人槽の浄化槽でも実使用人員が1人(人槽比0.2または人員比0.2)や2人(人槽比0.4)などのケースがある。本実証試験における16基の浄化槽の人槽比、使用状況は表17に示したとおりであるが、まず、本実証研究においては、基本データを得ることを目的として、浄化槽の設計人員に基づき、リン負荷濃度を原単位で $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、カラムへのリン吸着担体充填量を5人槽で約50kg、7人槽では約70kgとして、流入通水pHは5~7程度、通水速度はSV3程度、通水方向は降下流として設計し設置した。また、浄化槽が高度処理化された場合の性能目標をBOD $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-N $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-P $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ に設定した。なお、吸着担体の再生サイクルはT-Pの破過点を $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ としたとき、おおむね3ヵ月となるようにカラムへのリン吸着担体充填量を設定してある。実証試験における処理水中のT-P濃度の結果を図62に示す。本実証試験では、各家庭の家族構成、生活様式などにより浄化槽に流入する水量負荷が大きく異なることが示唆されたが、各人槽比において処理水質

表17 実証試験に使用した浄化槽の計画と実使用との人槽比

人槽比	0.4以下	0.4~0.7	0.7~1.0
5人槽	2基	2基	7基
7人槽	0基	3基	2基

計16基

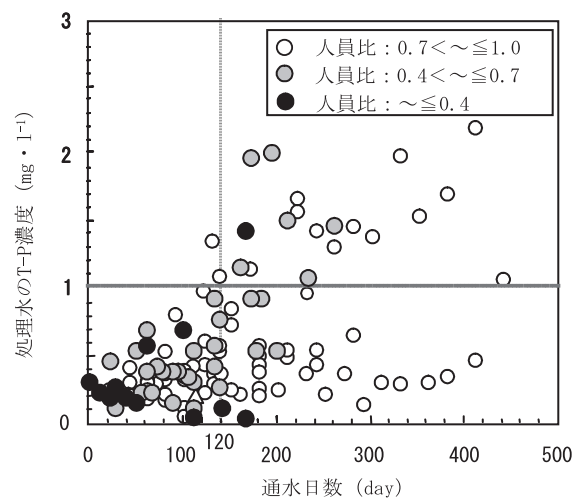


図62 吸着脱リンシステムの処理水の全リン濃度の経日変化

としてT-P $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ を約4ヵ月間にわたって達成可能なことが実証された。このように、リン吸着担体充填カラムを付設することにより、リンの排出削減が極めて効果的に達成できることが分かった。また、リン吸着担体を充填したカラム内における各部位のリン破過状況を知るためにコアサンプル試験によって、カラムの下層、中層、上層の各部位におけるリン吸着量を算出した結果、いずれの部位においても均一にリン吸着が達成されており、実験期間中は設計どおり適正に運転されていることが分かった。ここで、吸着破過点に達した担体のリン吸着量を調べたところ $8.7 \text{ g-P} \cdot \text{kg}^{-1}$ 担体⁻¹が得られ、室内実験と同様にして行ったモデル実験の結果とほぼ一致する吸着量となり、実証試験においても設計どおりの吸着量が得られることが分かった。また、吸着脱リン法は、窒素、リン除去能を有さない既存の合併処理浄化槽に対しても導入可能で、循環脱窒法との組み合わせ改造を行うことで窒素、リンの除去性能を向上させT-N $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下、T-P $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下の処理水質の維持可能なことが実証試験により明らかとなった。

3) 吸着脱リンシステムにおけるリン回収のための脱離能評価

ジルコニウムフェライト系リン吸着担体の脱着原理は、可逆的なイオン交換、すなわち、アルカリ領域で吸着しているオルトリン酸イオンが水酸イオンと交換し脱離することにある。この原理を用いて、pH 7付近で液状廃棄物中のリン酸イオンを吸着し、後に水酸化ナトリウム溶液を用いてバッチでリン酸を脱離させ、その脱離液からリン酸をリン酸ナトリウム塩として晶析させ、その結晶を回収するというリン回収工程を考えた。室内実験の結果から、リンの吸着保持量として約 $9 \text{ g-P} \cdot \text{kg}^{-1}$ 担体⁻¹に調整した吸着担体を用いて脱離実験を行った。その結果、脱離液として7%水酸化ナトリウム溶液が適正な濃度であり、吸着担体量（嵩として）に対して10倍量の容積（10 bed）以上の水酸化ナトリウム溶液が必要であることが明らかとなった。この結果を踏まえ、実際の浄化槽から回収した破過後のリン吸着担体からリンを脱離によって回収し、脱離したリンをリン酸塩として晶析させ、脱離後の担体を硫酸で活性化させる実証試験を行うためのパイロットプラントのリン回収再生ステーション（図63）の適正運転を図るための検討を行った。

本パイロットプラントの運転条件の適正化を図るため

担体からのリンの脱離率と脱離に用いる7%水酸化ナトリウム溶液（以降脱離液と称す）の繰り返し使用量を検討した。すなわち、脱離液を10, 20, 30 bed用いて担体からリンを脱離させた場合のリン脱離率と、それぞれのbed量において一度使用した脱離液のリンを晶析させずに再び脱離に用いる場合の繰り返し使用回数と脱離率の関係を調べた。その結果、表18に示したように10 bedにおける脱離率は20, 30 bedの脱離率に比べて低く、また、10 bedにおいては繰り返し使用回数が増すごとに20, 30 bedに比べ脱離率の低下が顕著であることが分かった。以上の結果から、脱離率は最大で89.3%であることが示され、脱離率の目標値を85%程度に設定した場合、脱離液の使用bed量は20以上で3回は繰り返し使用可能なことが分かった。

4) 生活排水対策における吸着脱リンシステム導入によるリン回収量の評価

リン濃度が畜産系液状廃棄物のように数百 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上の高濃度であればその状態で晶析法によりMAP（マグネシウムアンモニウムフォスフェイト）やHAP（ヒ

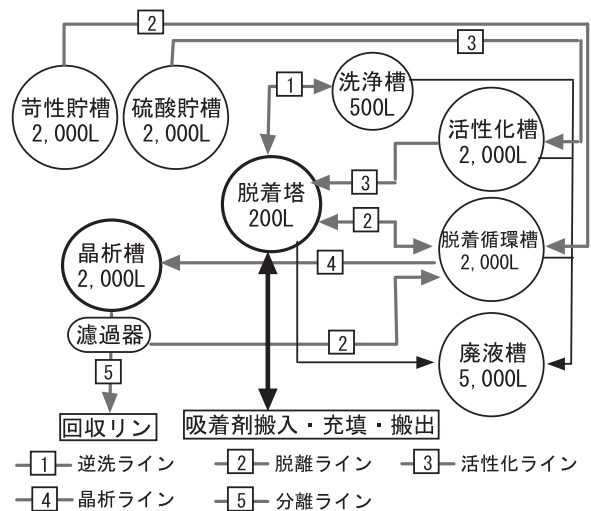


図63 リン回収再生ステーションのフロー

表18 リン脱離率に対する脱離液 Bed量と繰り返し使用回数の影響

使用回数 Bed量	1回目	2回目	3回目	平均脱離率
10Bed	78.2%	74.3%	63.5%	72.0%
20Bed	84.0%	85.4%	81.8%	84.7%
30Bed	82.7%	89.3%	84.5%	85.5%

※通水比速度：SV5 (hr)，通水方式：上向流循環通水，通水時間：24hr，温度：20℃

ドロキシアパタイト)として効率的な回収が可能である。しかしながら、生活系液状廃棄物中のリン濃度は高くても $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度であり、しかも、処理水のリン濃度を $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下に安定させ、かつ、リン回収までも行う上では、吸着法を導入し、リンを吸着担体から脱離させた後に晶析法により回収する方法が有効と考えられる。ここで、本吸着脱リン法を国内全ての浄化槽に導入した場合のリン回収量を試算することとした。リン負荷原単位を $13 \text{ g-P} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ とすると生活系液状廃棄物としての1人あたりの年間のリン負荷量は $474.5 \text{ g-P} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ となる。また、浄化槽使用人口は約3,000万人(人口の約1/4)であるので、浄化槽にかかる年間のリン負荷量は $14,235 \text{ t} \cdot \text{y}^{-1}$ となる。ここで、本実証試験の結果に基づき、リンの除去率を80%、リンの脱離率を85%とすると、浄化槽から年間約 $9,700 \text{ t} \cdot \text{y}^{-1}$ のリンが回収できることになる。図61に示したように、我が国の水域へのリン負荷量は $138,300 \text{ t} \cdot \text{y}^{-1}$ (平成10年度)であり、このうち生活系液状廃棄物は $60,000 \text{ t}$ (水域へのリン負荷量の約43%)である。

本吸着脱リン法を分散型の浄化槽に適用した場合、生活系液状廃棄物として排出されるリン総量の約16%、水域へのリン負荷量の約7%ものリンを資源回収という形で負荷削減可能なことが見込まれる。

(3) まとめおよび展望

1) 浄化槽で処理されるリンの総量は、畜産系から排出される量に相当する量であることが調査結果から明らかとなり、分散型のリンの高度除去技術とリン回収再資源化技術を開発し普及させることは資源循環型社会を形成し、推進していく上で極めて重要な位置づけとなることが分かった。

2) 浄化槽からのリン排出低減化とリン資源回収の両立可能な高度処理技術として吸着脱リン法適用の可能性が実証試験において示された。

3) 吸着脱リン法を浄化槽に適用した場合、生活系液状廃棄物として排出されるリン総量の約16%($9,700 \text{ t} \cdot \text{y}^{-1}$:平成10年度の実績をベースとした場合)の資源回収と負荷削減が可能であることが見積もられた。

生活系液状廃棄物に由来するリンは、水域に排出されたうちの43.5%もの高い割合を占めている。しかしながら、畜産系や一部の産業系の液状廃棄物と比べて排出濃度が $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度と濃度が低いことから比較的高濃

度に適用しやすい従来技術のMAP法やHAP法を生活系液状廃棄物の処理プロセスに導入しても維持管理、設備の簡素化などを考慮すると、長期間安定したリン除去能およびリン高回収率は望めない。本開発研究で実施している吸着脱リン法は検討すべき課題は残されているものの、窒素、リン除去能を有さない既存の合併処理浄化槽への改造導入においても、循環脱窒システムと組み合わせることによって長期間にわたり処理水のBOD $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-N $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-P $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ が達成可能で、 $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の低濃度から高い割合でリン回収が見込めることが分かった。このように、生活系液状廃棄物の分散型の高度処理およびリン資源回収を両立させる手法として極めて有望であると考えられ今後の展開に期待もてる。

今後、既存浄化槽の改造も含め高度処理技術、資源回収技術の実用化を図るためには、技術開発のみを先行させるだけではなく、なによりも地域社会の協力、住民の環境保全、資源循環に対する意識の高揚が重要であり、地域単位での協力体制、施策確立が不可欠である。したがって、残された基盤技術の開発を推進していくとともに、本システムを導入したモデル地域を確立し、地域社会をフィールドとして、リン回収拠点としてのリン回収再生ステーションにおける回収実証試験を行い、リン資源回収を行う上で重要な浄化槽の各種操作条件の適正化を検討し、イニシャルコスト、ランニングコストのミニマム化、さらには、衛生面としての殺菌消毒法も考慮した新たな維持管理手法について検討していく必要がある。

2.4.2 浄化システム管理技術の簡易容易化手法の開発

(1) 目的

地域におけるエネルギー消費の低減および物質循環の効率化を図る上では、窒素除去、リン除去回収型の高度処理浄化槽や汚水処理施設などにおいて浄化機能を安定化・高効率化させる上でのシステム管理技術は必要不可欠である。とくに、浄化性能の適正管理を支援する技術としての有用微生物の検出方法および定着促進方法、窒素、リンの簡易試験方法などを開発するとともに、それらを活用した管理技術の確立に対しては、我が国のみならず開発途上国を含めた環境行政や管理現場サイドからも強く要望されている。そこで、浄化槽や汚水処理施設などの生物処理システムにおいて有用生物としての窒素

除去の中核を担う硝化細菌に着目し、生物膜や生物付着担体などにおける硝化細菌群の時間的、空間的分布、さらには、作用や機能についても検出、測定できる免疫学的手法、分子生物学的手法を開発し、これらの手法と試験紙などの管理現場において迅速に窒素、リンの測定が可能な手法と併用しつつ相補的解析を行い、適正管理手法の開発につながる知見を得ること、有用微生物の定着促進手法などにより浄化槽や生物膜の機能性微生物を活用することで浄化槽などの分散型液状廃棄物処理システムにおいて常時安定な浄化性能を維持し、処理水質の向上を図るための基礎および応用技術を確立することを目的として、図 64 に示したフローで硝化細菌の個体群および機能の検出、測定のための免疫学的手法、分子生物学的手法、処理水の清澄度の向上に有用な微小動物の高密度定着手法の開発に向けて実験的検討を行った。

(2) 内容および成果

1) 硝化細菌の免疫学的手法を活用した簡易的検出、測定方法の開発

浄化槽や污水处理施設において、窒素除去を担う有用硝化細菌群の時間、空間動態を分子生物学的手法としての競合 ELISA 法を用いることで、迅速かつ容易に硝化細菌群を検出する基礎技術を確立し、現場における硝化活性の迅速かつ的確な診断ツールとしての適用を検討した。硝化細菌に対する競合 ELISA 法の開発においては、まず、目的とする硝化菌の表面抗原を認識するモノク

ローナル抗体を得る必要がある。そこで、硝化細菌群としてアンモニア酸化細菌である *Nitrosomonas europaea* と亜硝酸酸化細菌である *Nitrobacter winogradskyi* のそれぞれについて微生物大量培養装置（大型）を用いて大量培養し、菌体を濃縮、回収した後に各菌体の破砕物を抗原としてマウスに投与した後、ハイブリドーマ作成およびスクリーニング過程を経て各硝化細菌の検出可能なモノクローナル抗体を得ることに成功した。さらに、得られた抗体の精製度を確認するために、実際の生物処理で活用される活性汚泥を用い、そこに生息する他の細菌群とのクロスリアクションを検討した結果、得られたモノクローナル抗体は *N. europaea* および *N. winogradskyi* のそれぞれを検出できる特異性を持っていることが判明し、実際の浄化槽や污水处理施設においても硝化細菌を検出する手法として適用可能であると考えられた。また、モノクローナル抗体を硝化細菌の定量化に適用させるために、得られた抗体を競合 ELISA 法にて活用し、公定法としての MPN 法による硝化細菌の定量化手法と測定精度を比較した結果、図 65 に示すように、高い正の相関が得られ、実際の生物膜や浄化槽、活性汚泥などの生物処理において硝化細菌の時間動態を定量化する有効な測定手法を開発することができた。

モノクローナル抗体にマーカーを付与すれば、硝化細菌の安定な定着手法の検討や適正操作条件を評価解析するための硝化細菌群の空間分布測定を行うことが原理的には可能である。とくに、処理性能の現場管理や有用微

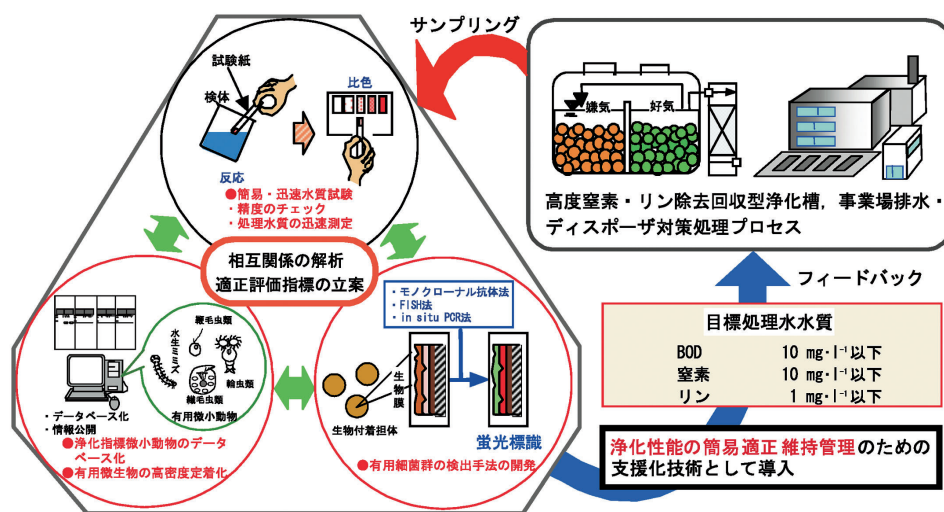


図64 浄化システム管理技術の簡易容易化手法の開発フロー

生物を優占的に定着させるための新たな微生物担体の開発においては処理水質と特定微生物の空間分布構造を解析することが適正な管理体制創りや材料の選定、構造の設計を行う上で有用な知見を与える。そこで、分子生物学的手法として、抗体に蛍光マーカーを付与した二抗体サンドイッチ ELISA 法で、担体や生物膜における硝化細菌群の可視化による分布構造を認識可能であることを実証するために、まず、污水处理施設から採取した担体を固定後にマイクロトームで薄くスライスし、そこに、先に得られた *N. europaea* および *N. winogradskyi* に対する 2 種の一次抗体を反応させた。つぎに、それぞれの一次抗体に特異的に反応する異なった蛍光色素でラベルした二次抗体を反応させた結果、それぞれの硝化細菌が異なった蛍光色でラベルされ、担体中や表面近傍の *N. europaea* および *N. winogradskyi* の空間分布を観察することに成功した。さらに、*N. europaea* および *N. winogradskyi* を包括固定化した担体を污水处理プロセスに導入するモデル実験を行い、処理過程において、硝化速度の上昇とこれらの硝化細菌群の空間分布の変化についての相関を得ることに成功し、容易な操作で多検体の同時測定が可能であることが分かり、管理現場で硝化機能を迅速に把握する上での一手法に目途をつけることができた。

2) 硝化細菌の機能に基づいた検出、測定のための分子生物学的手法の開発

モノクローナル抗体法は、特定細菌群の個体群や分布特性を包括的かつ簡易的に測定し解析する上では有効な手法となるが、この抗体で検出されない硝化細菌が存在

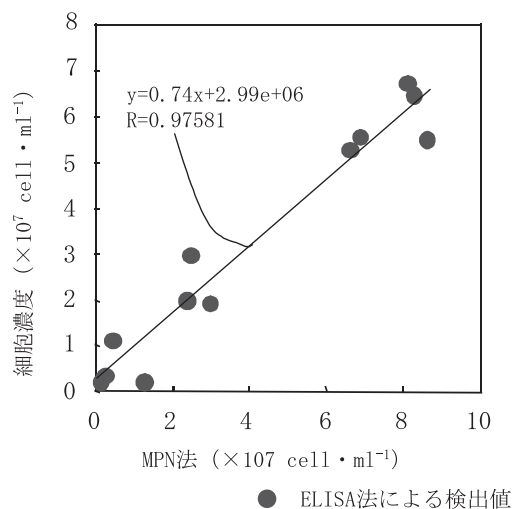


図65 MPN 法と ELISA 法との相関関係

したり、また、検出された個体数そのものが活性や機能を必ずしも反映しない。例えば、個体数は多く分布していても活性が極端に低下し、硝化が十分に進行しないケースやその逆のケースもある。したがって、硝化機能を正確に診断するためには、個体群や分布特性および硝化細菌の有するアンモニア酸化機能、亜硝酸酸化機能を把握し、処理水質との関係を総合的に解析する必要がある。これまで、モノクローナル抗体法のような免疫学的手法によりも極めて高い精度で微生物群集構造の解析が可能な遺伝子学的手法としての FISH 法や DGGE 法を検討してきたが、これらの手法は rRNA をターゲットとしているため活性の高い硝化細菌 (rRNA を十分に保持している) の検出は可能であるが、活性の低下した硝化細菌 (rRNA 含有量は少ない) を把握することはできなかった。そこで、硝化細菌の活性には左右されないと考えられる機能遺伝子をターゲットとした *in situ* PCR 法と 16S rRNA をターゲットとした FISH 法により、まずは活性度の大きく異なるアンモニア酸化細菌の検出を試みた。*in situ* PCR 法では機能遺伝子としてアンモニアをヒドロキシルアミンに酸化する酵素をコードする *amoA* 遺伝子をターゲットとした。検出試験は、アンモニア態窒素を十分に与えアンモニア酸化細菌の活性度が十分に保持されたグラニュール状の生物膜およびアンモニア態窒素を制限しアンモニア酸化細菌の活性度を低下させたグラニュール状の生物膜を対象とした。その結果、FISH 法においては、活性度が十分に保持された生物膜中のみからアンモニア酸化細菌が検出されたが、*in situ* PCR 法では活性度の有無に関係なくアンモニア酸化細菌を検出することができた。このように、活性が低下し rRNA の含有量が減少したアンモニア酸化細菌の検出法として機能遺伝子をターゲットとした *in situ* PCR 法の有効性が示された。以上の検討により、FISH 法と *in situ* PCR 法によりアンモニア酸化細菌を検出し相対差を解析することによって窒素除去における微生物反応の一過程であるアンモニア酸化反応の活性度を適正に評価できる可能性が示唆された。

3) 混合微生物生態系における有用微小動物の高密度定着手法の開発

分散型の高度処理浄化槽などの液状廃棄物処理プロセスにおいて処理水の透明度向上、余剰汚泥の発生低減を図るための有用高機能微生物を用いた技術開発を目指したものである。対象とした有用微生物は、懸濁状のバク

テリアを効率よく捕食する機能を有するろ過摂食性の輪虫類 *Philodina erythropthalma* で、これを活用した処理の高度化のための技術開発を行った。すなわち、この高機能微小動物を合併処理浄化槽の好気槽で高密度化を図る方法、現場に供給する上での微小動物の大量培養方法と長期保存方法について検討した。

多孔質担体流動式小型合併処理浄化槽を用いて *P. erythropthalma* の高密度定着化の実証試験を行った結果、浄化槽の運転開始時に *P. erythropthalma* を増殖促進成分（米糠抽出物）とともに添加することで、その個体を2週間程度で $10^4 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ に担体内へ高密度定着化できることが分かった（図66）。また、個体数が低下時に成分の添加により、再び高密度定着化が図れることが分かった。なお、*P. erythropthalma* は、米糠抽出物に多く含まれているビタミンの一種である -オリザノールにより増殖活性が高まることが室内実験により確認されている。

実証試験期間における処理水の透明度と *P. erythropthalma* の個体数との相関関係（図67）から *P. erythropthalma* の高密度化されたことにより処理水の透明度は飛躍的に向上することが明らかとなり、混合微生物生態系の生物膜方式の液状廃棄物処理プロセスにおける高度化を有用微小動物を活用して行えることが分かった。

P. erythropthalma を現場に供給する上では、量産とシーディング剤化を検討する必要があるが、*P. erythropthalma* を微生物大量培養装置（大型）により、増殖促進成分 $2.5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ を主要基質として温度 25°C 、水中散気（ $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ）の培養条件において、2週間程

度で $1.7 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで高密度大量培養できることを明らかにした。また、培養後の培養液中の懸濁物（*P. erythropthalma* を含む）を濃縮・回収し、回収物に6%グリセロールを添加することで-80℃において約1年間 *P. erythropthalma* の保存が可能であることが分かり、浄化槽等の液状廃棄物処理の管理現場で容易に活用可能とするためのシーディング剤化に向けての手法を見出すことができた。

（3）まとめおよび展望

液状廃棄物処理において窒素除去過程の律速因子となる硝化細菌の検出可能なモノクローナル抗体を得ることに成功し、*in situ* 蛍光抗体法により担体や生物膜における硝化細菌群の可視化による分布構造が認識可能であることを実証した。

機能遺伝子をターゲットとした *in situ* PCR 法と 16S rRNA をターゲットとした FISH 法により、活性度の大きく異なる硝化細菌（アンモニア酸化細菌）の検出が可能であることを実証し、硝化細菌の機能解析にかかると分子生物学的手法を開発した。

微小動物輪虫類 *P. erythropthalma* を液状廃棄物処理プロセスで高密度定着化させ処理機能を向上させるとともに、この輪虫類を管理現場で容易に活用可能なシーディング剤化に向けての大量培養、保存方法を見出すことができた。

本研究で得られた各種分子生物学的手法によって、これまで極めて困難とされていた混合微生物生態系における窒素除去の律速因子となる硝化細菌の個体群解析、機能解析が迅速かつ明瞭に行える可能性が明らかとなり、

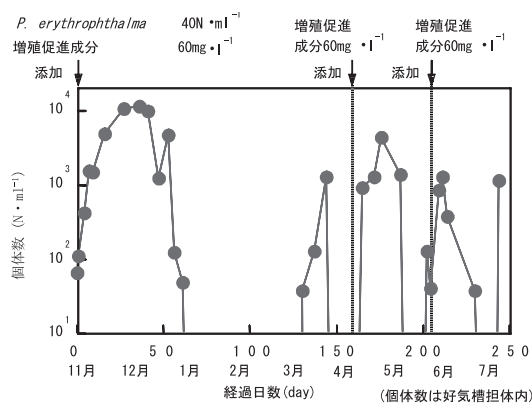


図66 *P. erythropthalma* の個体数密度の変化

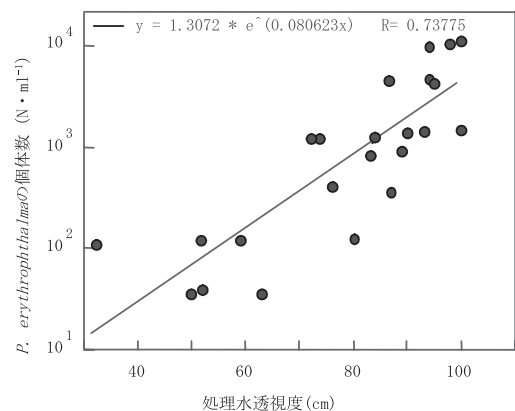


図67 *P. erythropthalma* の個体数と透視度の添加系における関係

液状廃棄物処理プロセスにおける硝化細菌群の機構解明につながるのみならず、処理プロセス設計や適正維持管理の指針創りに反映させる基盤データを得る上で大きな期待がもてる。一方、液状廃棄物処理プロセスにおいて特定の有用微生物を高密度化させ処理機能を向上させること、さらに、有用微生物を管理現場で容易に活用可能とするための一つの手法を提案することができた。これらの知見を踏まえ、今後は、し尿・生活雑排水等の液状廃棄物処理性能の向上化に貢献する有用微小動物のバイオリクターへの高密度定着簡易化手法および窒素除去に関わる有用細菌類の新たな分子生物学的検出手法を水質簡易測定手法と併用して開発し、正確で汎用化可能な浄化システム管理技術としての熟成を図るべく、生物膜を構成する微生物群集の構造解析および微生物群集構造と浄化機能との関係を解明するための解析手法の開発研究を推進することとする。

2.4.3 開発途上国の国情に適した省エネ・省コスト・省維持管理システム技術の開発

(1) 目的

し尿や生活雑排水等の液状廃棄物に対して、エネルギー消費の低減および省コスト、省維持管理システムをアジア太平洋地域の開発途上国も視野に入れた各国、各地域に移転可能な技術として開発することは、国際的な

自然環境保全と生活環境の改善に責務を負う我が国の最も重要な課題であると考えられる。そのなかで自然生態系の持つ浄化能力を有効に活用し、また、自然の持つ物質サイクルとも協調が可能な土壌・湿地等の生態系に工学を組み込んだ生態工学は、最も有望な技術として着目されている。とくに、生態工学のなかでも食料生産を兼ね備え、窒素・リンの資源リサイクルも可能とした浄化システムの構築は、開発途上国の環境改善に貢献する上で極めて重要である。そこで、図 68 に示したように開発途上国の国情を考慮し、低コスト化を図ることが可能な生活排水等の液状廃棄物の処理と、さらには、再資源化による資源リサイクルの理念を開発途上国にも普及させる目的で資源化と浄化の両立を目指すことが可能な食料生産を兼ねた水耕栽培、水生植物による浄化方法、また、東南アジアを中心とした開発途上国で非常に有効な浄化システムであるラグーンを用いた手法について、養魚による窒素やリンなどの資源サイクルを確立することを目的とし研究を行った。

(2) 内容および成果

1) 水耕栽培植物を活用した資源循環型植栽浄化システムの水質浄化能

実際に藻類が発生した湖沼水の水生植物を用いた植栽浄化実験として、タイ王国における一般的な食用野菜の

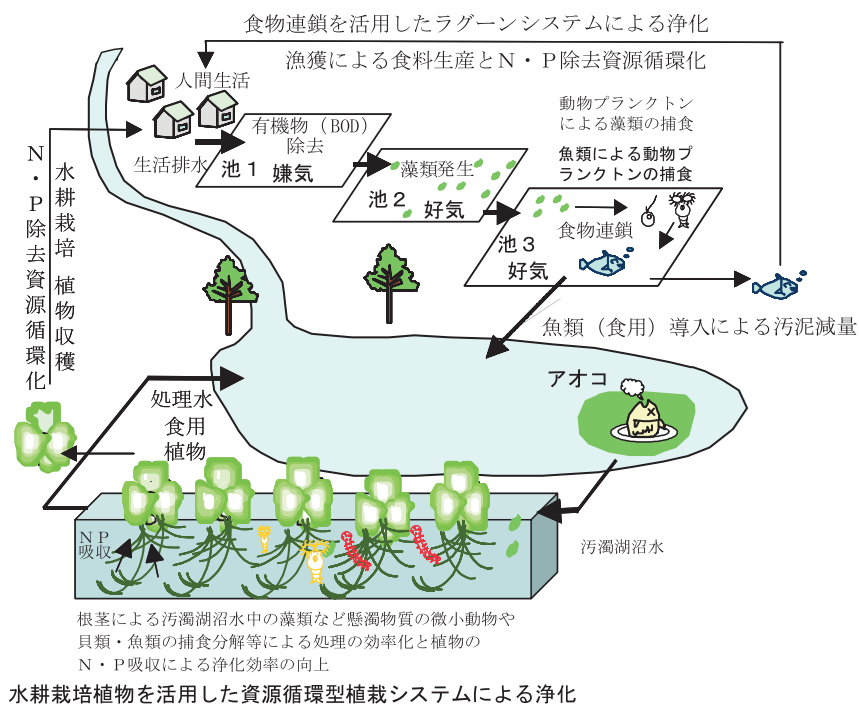


図68 開発途上国の国情に適した省エネ・省コスト・省維持管理システム技術の開発に関するフロー

クウシンサイ（別名：Pak-Bung，パックブン）とクレソン（Water Cress）を用い、タイ王国における汚濁池の浄化能力、刈り取り量、収穫した野菜の含有重金属類について、タイ王国のAsian Institute of Technology (AIT) 内に設置された傾斜 1 / 100、縦 10 m、横 2 m の水路 5 本のうち 2 本を用いて実験を実施した。流入水（供試水）は大学構内にある汚濁した池水を用いた。4 月より植栽を行った後、実験は 5 月 8 日より開始し 12 月 18 日に終了した。水量負荷はパックブン、クレソンともに $1.5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で行い、水のサンプリングは約 2 週間に 1 回行った。また、5 月 24 日と 8 月 29 日に刈り取りを行った。流入水の平均濃度は、COD 約 $27 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、SS 約 $22 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-P 約 $0.11 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 約 $0.261 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。測定項目は流入水と流出水の SS、COD、T-P、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、pH、DO および気温とした。

このタイ王国における植栽浄化実験において、得られた COD、SS、TP の平均除去率の結果を図 69 に示した。いずれも $1.5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ の高流入条件ではあったが、クウシンサイの COD、SS、T-P 除去率はそれぞれ 26、23、38 %、クレソンでは、それぞれ 17、10、29 % となった。また、これらのデータから除去速度を算出すると、クウシンサイの COD、SS、T-P の除去速度は、それぞれ 10 、 14 、 $0.034 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、クレソンでは、それぞれ 8.3 、 10.8 、 $0.022 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ となった。このように各水質項目は、ともに良好な平均除去速度を示した。とくに COD については、 $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上の高い浄化能力の得られることが明らかとなった。また、クウシンサイとクレソンの浄化能力を平均除去率および除去速度で比較するとクウシンサイの方が高いことが明

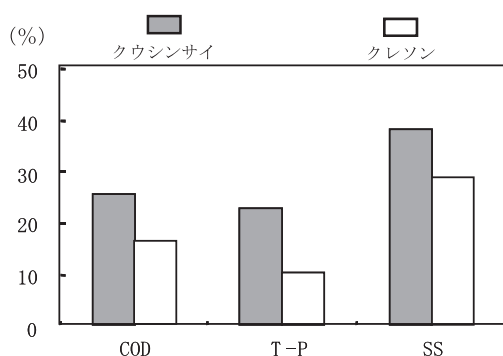


図69 植栽浄化システムの平均除去率

らかとなった。日本においても夏季の 30 以上になる状態では、クレソンは生育能力が低下するとともに浄化能力も低下し、一方、クウシンサイは、夏季の浄化能力が高かったという結果が得られている。このことから、タイ王国においても日本の夏季と同様の状態が浄化結果に反映していると考えられた。ここで、タイ王国と夏季の日本における 3 ヶ月間の単位面積あたりのクウシンサイの刈り取り量を比較すると、それぞれ 5.060 、 $4.978 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ であり大きな差は見られなかった。このことは、日本において 8 月、9 月の平均気温が高い時期に多量に収穫しこと、一方、タイ王国では害虫の発生が収穫量に影響したことが考えられる。

2) 植栽浄化システム生態系における生息生物

水生植物の根茎部には、実際に浄化効果が期待できるほどの数多くの微小動物類が生息していることが観察された。また、水量が安定して十分水量水路に供給されている場合には、シジミなどの二枚貝の他、水生昆虫類、カエル、小型魚類の生息も確認されており、この植栽浄化システムのなかで高次の食物連鎖が形成されている可能性が示唆された。とくに、これらの中でも二枚貝は極めて濾過水量が多く、藻類などを摂食し除去する効果が高いことから浄化能力の向上に貢献していると考えられた。このように、水生植物を用いた浄化法は、多自然型の浄化法であり多様な生物種が生息しているので、浄化機能のみならず、湖沼周辺の景観の改善や周辺住民への環境教育の場としての役割も大いに期待できる。

3) 植栽浄化システムにおける収穫植物の安全性と経済性評価

収穫した植物（乾燥植物体として）中の Ni、Cd、Pd を測定した結果、クウシンサイの Ni、Cd、Pd は、それぞれ 0.064 、 0.005 、 $0.054 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、クレソンでは、それぞれ 0.096 、 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、ND となった。これは、日本における一般の野菜中の含有量とほぼ同等であることから、重金属類に関しては食用として安全であると考えられた。衛生面をはじめ他の安全面が確保できれば途上国の自国において市場出荷が可能であると考えられる。そこで、タイ王国における野菜の市場価格を比較した結果を図 70 に示した。この価格と実験で得られた単位面積当たりの生産力から推算すると $1,000 \text{ m}^2$ 当たりの収穫売上高は、約 82 万バーツとなり、植栽浄化システム施設 $1,000 \text{ m}^2$ 当たりの初期建設費用である 62 万 5 千バーツをクウシンサイの市場売り上げにより賄うこ

とが可能である。また、価格としてはクレソンがクウシンサイの約5倍高値となっていることから、クレソンの植栽も同時に行うことで、大規模な浄化システムの建設と維持運用は、コスト的にも十分に可能であると考えられる。

4) タイ王国におけるラグーンシステムによる生活排水の浄化実験

東南アジアを中心とした開発途上国で非常に有効な浄化システムであるラグーンを用いた手法について、養魚による窒素やリンなどの資源サイクル確立のための実証化研究を行うこととした。本年度は、タイ王国ロイヤルプロジェクト内で管理されているラグーン施設の現地調査を行うとともに、ラグーンの高度化を図るための高次捕食者として魚類を導入した室内モデルを用い、魚類の導入によるラグーン内での汚泥減量化や養魚による再資源化のための基礎的研究を行った。その結果を表19にまとめた。

このタイ王国で稼働しているラグーンシステムはBOD除去率90%、T-N除去率72%、T-P除去率86%で、いずれも高い処理能を示した。

5) ラグーンシステムの室内モデル実験

ラグーン内では通常の湖沼生態系などと同様に一次生産者である藻類が窒素、リンを吸収して増殖し動物プランクトン、さらに水生昆虫などを含めた高次捕食者へと繋がる生食連鎖、および、藻類が代謝した有機物を起点とし細菌が増殖することで動物プランクトンへと繋がって行く微生物ループから構成されているが、窒素、リン除去の多くの部分は、この細菌を始めとした食物連鎖中の微生物による汚泥転換によっている。そこで、食物連鎖をより高次にまで延長し、高次捕食者としての魚類へのストックを増やすことにより汚泥生成の割合を減ずることを試みるために、ラグーンシステムの室内モデル実

験を行った(図71)。魚類としてはグッピーを用いた。その結果、このラグーンシステムでは懸濁物の除去効率が高く約90%となっており、また、魚類の導入による汚泥減量率が43%と、魚類の導入が汚泥減量化に非常に有効であることが明らかとなり、高次捕食者による高度効率化やコンパクト化の可能性が示唆された。さらに、魚類への変換率は15%に達しており、増殖した魚類を回収することにより、窒素、リン除去と同時に食料資源としてのリサイクルとしても成立する可能性が示唆された。

(3) まとめおよび展望

タイ王国における植栽浄化実験においてクウシンサイのCOD, SS, T-P除去率はそれぞれ26, 23, 38%, クレソンのCOD, SS, T-P除去率はそれぞれ17, 10, 29%であった。

収穫した植物中の重金属は国内の野菜と同程度であり、重金属の面からは安全であることが判明した。

表19 タイ王国ロイヤルプロジェクトラグーンシステムの浄化特性

サンプリング場所	BOD mg・L ⁻¹	T-N mg・L ⁻¹	T-P mg・L ⁻¹
流入原水	145	22.0	3.7
沈殿池	45	19.0	3.4
第1酸化	31	11.0	3.0
第2酸化	21	7.5	1.3
第3酸化	12	6.8	0.7
フィッシュポンド	14	6.1	0.5
除去率(%)	90	72	86

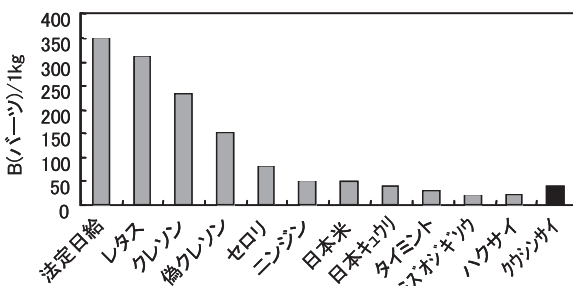


図70 タイ王国における野菜の価格比較

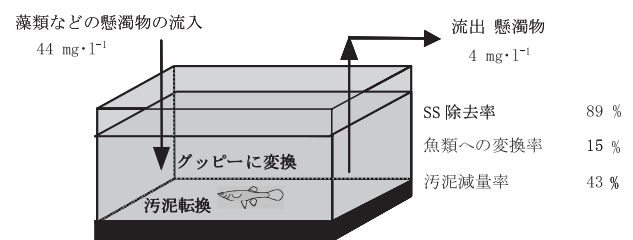


図71 高次捕食者として魚類を導入した室内モデル実験

本研究から得られた実験データを用いた試算から、水耕栽培浄化システムにおいては浄化能と市場的な価値がバランスした植物種の栽培により資源化と浄化の両立が可能であることが明らかとなった。

タイ王国におけるラグーンシステムにおいて生活排水処理が可能であることが明らかとなった。

ラグーンシステムにおいては魚類生産と汚泥減量化の両立が可能であることを示すことができた。

以上の成果から、エコエンジニアリングシステムとしての水耕栽培浄化システムやラグーンを用いた浄化システムは水路建設など、一定の初期コストが必要ではあるものの、その後の維持管理はきわめて省コスト、省エネであり、また食料生産などの経済的な付加価値も期待できることから、これまで高コストのために導入が困難であった開発途上国への窒素、リン負荷対策技術導入策として極めて有望であると考えられる。今後は、これまでの研究成果を踏まえ、水耕栽培の植栽密度や収穫頻度、また害虫管理などの諸管理条件適正化と浄化機能や、ラグーンの生態システムにおいて、魚類などの高次捕食者の窒素、リンなどの物質フローへの影響と汚泥減量化に対する検討、さらに、食料生産を考慮した場合の安全性評価などを重点課題として研究の進展を図るものとする。

2.4.4 バイオ・エコと物理化学処理の組合せを含めた

技術による環境改善システムの開発に関する研究

(1) 目的

バイオ・エコエンジニアリングによる処理の限界を考慮した場合、物理化学的処理との最適な組み合わせを含めて窒素、リンの除去高度処理と資源化プロセスの要素技術を開発し、負荷削減および資源循環の両立を図るための経済的評価も含めたベストミックス化システムを立案することは、今後の環境低負荷・資源循環型社会を構築する上で必須の課題である。このようななか、バイオ・エコエンジニアリングのBOD、COD、窒素、リン除去の限界を踏まえた物理化学処理技術に加え、生ゴミ、植物残渣、汚泥の高温好気発酵・コンポスト化法による資源化技術やこれらの組み合わせによるハイブリッド化処理技術の開発は極めて重要な研究開発課題として位置づけられる。また、このような物理化学処理、ハイブリッド化処理技術とともに、窒素、リン除去・回収型高度処理浄化槽などのバイオエンジニアリングによ

るし尿や生活雑排水等の液状廃棄物の処理技術や、水生植物・水耕栽培植物などを活用したエコエンジニアリングによる湖沼などの浄化対策などの環境改善システムを国内や開発途上国各地において最適整備を行うために、各処理・対策技術の負荷削減効果の評価手法を有毒アオコ発生機構などの生態学的知見をもとに開発し、負荷削減と対費用効果との解析・評価に基づく地域特性に応じたベストミックス化システムを提案すること、さらに整備にかかわる行政制度のあり方を含めて提案することも極めて重要な研究開発課題である(図72参照)。

本研究では、物理化学的処理の要素技術としてラジカル反応を利用した電気化学的処理パイロットプラントを開発して実証試験を行い、効率的な有機物、窒素、リン除去のための電極の選定、運転操作パラメーターの検討を行い基盤的知見の収集を図るとともに、確立されるバイオ・エコエンジニアリングシステムとしての高度合併処理浄化槽、食物残渣破砕物に対応可能な処理プロセス、植栽・土壌浄化プロセス等および物理・化学的処理等についての性能評価としての藻類生産能力(AGP)、湖沼シミュレータによるアオコ発生抑制効果の解析評価技術を開発するとともに、地域の物質循環等を考慮に入れた地域特性に応じた最適整備手法を確立することを目的とし研究を実施した。

(2) 内容および成果

1) 電気化学的処理による実排水処理試験

物理化学処理装置として、2つの反応槽(反応槽1、反応槽2)と、沈殿槽を組み合わせた処理水量 $7.2\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ の電気化学的処理パイロットプラントを開発した(図73)。反応槽1と2に酸化金属 TiO_2 電極を設置し、反応槽1の電極に低電圧を与えることで $\cdot\text{O}_2$ ラジカルが発生し、反応槽2の電極に高電圧パルスを与えることで、主に $\cdot\text{OH}$ ラジカルが発生していると考えられた。これらのラジカルは、非常に反応性が高く、次々と酸化力が強い多くの分子種をカスケード的に生成し、排水中の有機物質と速やかに反応してゆくものと考えられる。特に生物処理では分解が難しいフミン等の難分解性物質も酸化処理が可能であると考えられる。実排水を用いた実験では、良好な処理条件下では、15 min程の処理時間で排水中のCODやBODは80~90%の処理が可能であることが判明し、有機物の処理が可能であることが実証できた(図74)。また、リンについても安定した処理が可能

であり、全リンの除去率として60～80%の高い処理効率を得ることができたが、リンに関しては物質収支を考慮すると汚泥に移行することで除去されていると考えられた。一方、窒素に関しては処理能の安定性に問題が残り、全窒素の除去率で10%以下から50%の間を変動していた。この窒素に関して、本電気化学的処理システムでは、脱窒的な反応が生じているかどうかは明確ではないものの、多くは、懸濁態が凝集沈殿して汚泥へ移行することで懸濁態の窒素成分が減少した結果であると考えられ、CODやBODに関しても懸濁態の部分については

凝沈により除去されていると考えられた。一方、リンの除去能力が高いのは、電極反応によりリンが金属と化合し除去されていることが原因として考えられた。

2) 有害ラン藻類ミクロキスティスとオシラトリアの温度特性解析

アオコ発生抑制効果の解析評価技術の基盤的研究として、近年の有毒アオコであるミクロキスティス (*Microcystis*) 属からオシラトリア (*Oscillatoria*) 属などの糸状性ラン藻類への遷移、特に冬季における糸状性ラン藻類の優占化にかかわる因子としてラン藻類の増殖と

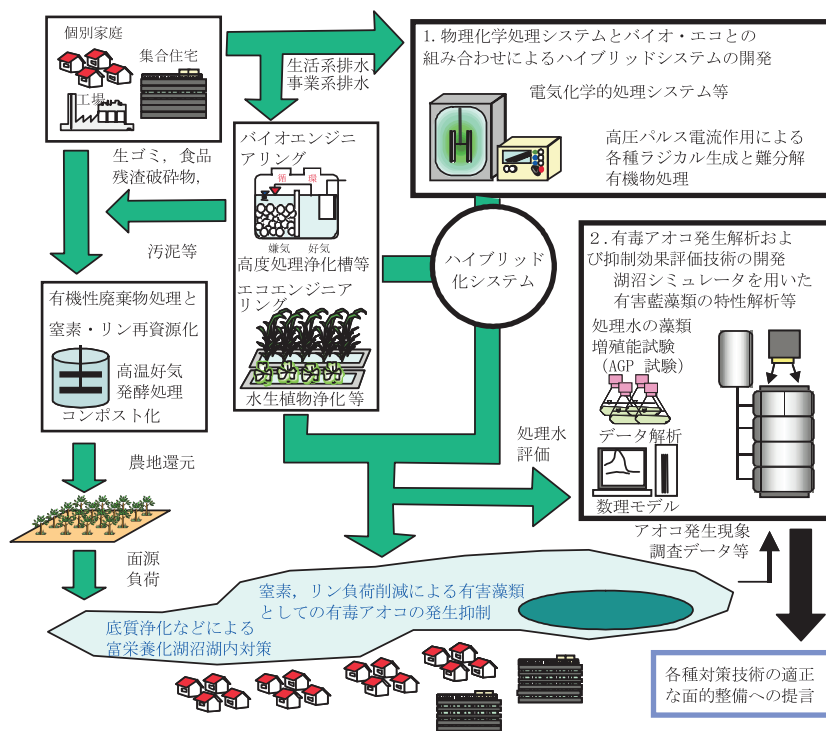


図72 バイオ・エコと物理化学処理の組み合わせを含めた技術による環境改善システムの開発に関する研究フロー

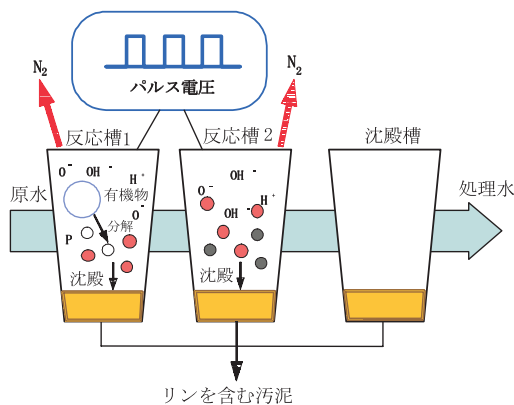


図73 電気化学処理パイロットプラントのフロー

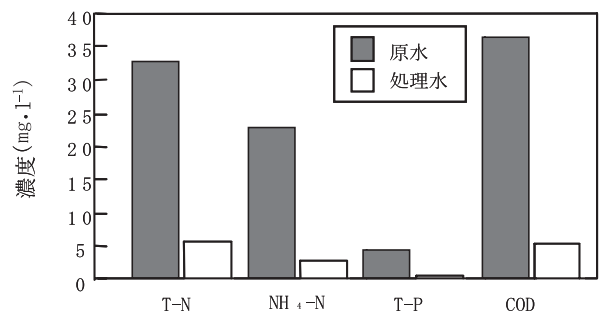


図74 電気化学処理パイロットプラントによる生活排水処理結果

競争に関しての温度の影響について検討した。供試ラン藻類としては *Microcystis aeruginosa* と *Oscillatoria mougeotii* を用い、単独培養実験において各藻類の増殖に及ぼす温度影響について冬季の 10 から夏季の 30 の範囲で検討した。その結果、*M. aeruginosa* は夏場において優占化することから、高温での増殖率で高くなると予想され、実際に 30 で増殖速度が最も高くなる結果が得られたが、15 では増殖可能なものの増殖速度の低下は大きく、10 の低温下ではほとんど増殖できなかった。一方、*O. mougeotii* は 20 ~ 25 で増殖速度は最大となり、30 ではむしろ低下したが、低温環境には強く 15 においても増殖速度の低下は比較的少なく、また 10 においても増殖可能であった。

3) 湖沼シミュレータを用いたミクロキスティス属とオシラトリア属の競争への温度影響解析

湖沼シミュレータを用い、つぎに、このような温度特性を持つ、*M. aeruginosa* と *O. mougeotii* の両種について栄養塩（窒素、リン）の獲得競争への温度影響について、*M. aeruginosa* と *O. mougeotii* の混合培養により実験的検討を実施した。図 75 に結果を示した。30 の環境下では、窒素、リンが十分にある培養開始から約 15 日目までは両種ともに増殖可能であった。一方、窒素、リン濃度が低下した 15 日以降では、30 の高温環境下では *M. aeruginosa* の増殖が有利となり *O. mougeotii* の増殖が抑制された。しかしながら、15 の低温環境下での *M. aeruginosa* の増殖速度は極めて低く、低温であることと同時に、*O. mougeotii* により抑制されていることが示唆された。一方、*O. mougeotii* は 15 でも良好に増殖可能であった。近年、冬季においても霞ヶ浦ではオシラトリア属が優占化しているが、これは、オシラトリア属の持つ低温環境下における増殖能の高さが原因の一つであると考えられる。一方、夏場においても、窒素、リンなど栄養塩の供給が十分である場合にはミクロキスティスとオシラトリアは共存可能であり、夏場においてもオシラトリアが繁茂する要因となっていると考えられる。

4) ミクロキスティス属の増殖に及ぼす鉄、キレート、およびリン酸の影響解析

藻類の増殖には窒素、リンのみならず、多種類の金属イオンが必要である。中でも、鉄、マンガンなどは比較的少量に必要とされる。しかしこれらの金属イオンは通常は湖水環境中では溶存有機物と化合しキレート態で可

溶化しており、ラン藻類もキレート態の金属を利用するものと考えられている。そこで、キレート能を持つ溶存有機物としての EDTA と *M. aeruginosa* を用いその増殖と鉄、キレート化合物、およびリン酸との関係についての実験を行った。その結果、一定濃度以下の EDTA では、多くの鉄はリン酸の存在下ではリン酸鉄となり沈殿してしまうので、*M. aeruginosa* は全く増殖できなかったが、0.054 mM 以上の EDTA 濃度では、極めて良好に増殖することができた。これらの結果から、*M. aeruginosa* の増殖には金属イオンとキレートを形成することで可溶化し、金属イオンの取り込みを促進する溶存有機物が一定濃度存在することが必要不可欠であることが判明した。

(3) まとめおよび展望

ラジカル生成作用に基づく電気化学処理は生活排水などを高速で処理可能であることが明らかとなったが、窒素除去などに関しては処理の安定性の向上を図る必要があることが判明した。

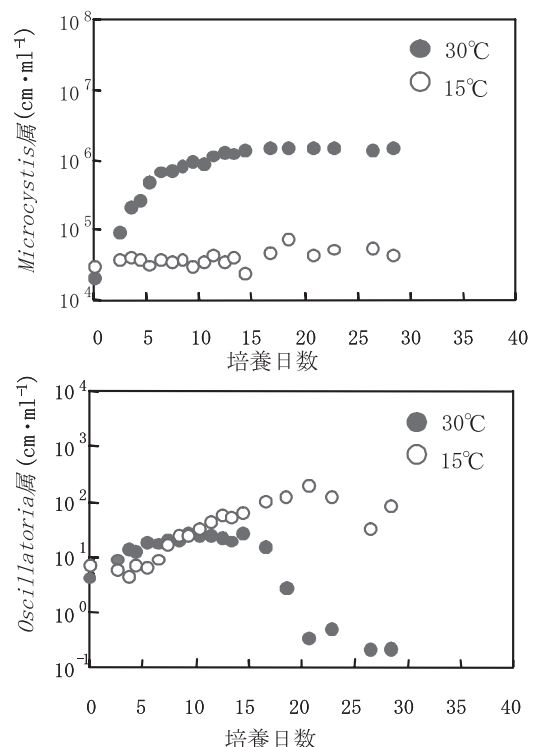


図75 ミクロキスティス属とオシラトリア属の競争に及ぼす水温の影響

湖沼シミュレータ（約深さ 4 m、直径約 1 m）を用いた霞ヶ浦で発生する糸状性藍藻オシラトリア属と有毒藍藻ミクロキスティス属の混合培養実験による種間競争実験

冬季におけるオシロトリア属の優占化はオシロトリア属の低温で増殖可能であることが大きな要因の一つであることが明らかとなった。夏季においても窒素，リン濃度が高ければオシロトリア属とマイクロキスティス属は共存できることが明らかとなった。

マイクロキスティス属の増殖にはキレート（溶存有機物）が必要であることが明らかとなった。

以上の成果から，オシロトリア属の増殖抑制には年間を通しての窒素，リン除去方式の高度処理システムによる負荷削減対策が必要であり，特に冬季に能力が低下するエコエンジニアリングにおいては，低温に強い植物種の導入などが極めて重要であることが提言される。一

方，有毒アオコのマイクロキスティスの発生抑制には，生物学的処理と電気化学的処理の適正な組み合わせにより，マイクロキスティス属の増殖に必要な鉄やマンガンとキレート形成をする溶存有機物の負荷削減が効果的であると期待できる。しかしながら，電気化学的処理法は安定性の向上が必要であり，そのためには，ラジカル反応過程等の詳細についての研究が極めて重要な位置づけにあると考えられる。さらに，ハロゲンが共存すると有害副生成物が発生することが知られており，処理水の藻類増殖能（AGP）試験等とともに安全性試験を実施し，各処理システムの面的整備について，負荷削減効果とともに安全性の側面からも評価することは不可欠である。

[資 料]

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]

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター

センター長	酒井伸一
循環型社会形成システム研究室	森口祐一
	橋本征二
	加河茂美
	森 保文
	寺園 淳
	稲葉陸太
循環技術システム研究開発室	後藤純雄
	中島大介
	田崎智宏
	江副優香
適正処理技術研究開発室	川本克也
	西村和之
	倉持秀敏
最終処分技術研究開発室	井上雄三
	山田正人
	Bulent Inanc
	石垣智基
	遠藤和人
	大河内由美子
	毛利紫乃
循環資源・廃棄物試験評価研究室	安原昭夫
	鈴木 茂
	野馬幸生
	山本貴士
	高橋 真
	橋本俊次
	松永充史
有害廃棄物管理研究室	酒井伸一
	貴田晶子
	大迫政浩
	滝上英孝
	金 容珍
	松井康弘
	川畑隆常
バイオ・エコエンジニアリング研究室	稲森悠平

水落元之
板山朋聡
岩見徳雄
礪田博子
桂 萍

[B 客員研究員]

渡辺洋一	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 14 年度)
吉澤秀二	(明星大学)	(平成 14 年度)
辻 清美	(神奈川県衛生研究所)	(平成 14 年度)
秋山 茂	(北里大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
今岡 務	(広島工業大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
岡田光正	(広島大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
西尾 治	(国立感染症研究所)	(平成 13 ~ 14 年度)
西島 涉	(広島大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
土手 裕	(宮崎大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
藤原 拓	(高知大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
長森正尚	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 14 年度)
小野雄策	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 14 年度)
八戸昭一	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 14 年度)
貫上佳則	(大阪市立大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
吉野秀吉	(神奈川県環境科学センター)	(平成 14 年度)
原 雄	(千葉県環境研究センター)	(平成 14 年度)
香村一夫	(千葉県環境研究センター)	(平成 14 年度)
及川 智	(東京都環境科学研究所)	(平成 14 年度)
吉川雄規	(三機環境サービス株式会社)	(平成 12 ~ 13 年度)
角田俊司	(三機工業株式会社)	(平成 13 年度)
中野益男	(帯広畜産大学)	(平成 14 年度)
岡本 拓	(広島県保健環境センター)	(平成 14 年度)
形見武男	(岐阜県保健環境研究所)	(平成 14 年度)
田辺顕子	(新潟県保健環境科学研究所)	(平成 14 年度)
川田邦明	(新潟県保健環境科学研究所)	(平成 14 年度)
上堀美知子	(大阪府公害監視センター)	(平成 14 年度)
長谷川敦子	(神奈川県環境科学センター)	(平成 14 年度)
山本 敦	(富山県衛生研究所)	(平成 14 年度)
藤本尚志	(東京農業大学)	(平成 13 年度)
西村 浩	(船橋市役所)	(平成 13 年度)
林 紀男	(千葉県立中央博物館)	(平成 13 年度)
戎野棟一	(東邦大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
川端善一郎	(京都大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
木持 謙	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 13 ~ 14 年度)
杉浦則夫	(筑波大学)	(平成 13 ~ 14 年度)

東 照雄	(筑波大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
平田 彰	(早稲田大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
松村正利	(筑波大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
村上和仁	(千葉工業大学)	(平成 13 ~ 14 年度)
石崎勝義	(長崎大学)	(平成 14 年度)
増永二之	(島根大学)	(平成 14 年度)
田中修三	(明星大学)	(平成 14 年度)
栗原 康	(東北大学名誉教授)	(平成 14 年度)
清水康利	(東陶機器株)	(平成 14 年度)
須藤隆一	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 14 年度)

2 研究課題と担当者(*客員研究員)

(1) 循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究

森口祐一・後藤純雄・貴田晶子・大迫政浩・山田正人・橋本征二・加河茂美・中島大介・田崎智宏・森 保文・寺園 淳・稲葉陸太・江副優香・川畑隆常・渡辺洋一*・吉澤秀二*・辻 清美*

(2) 廃棄物の循環資源化技術・適正処理・処分技術及びシステムに関する研究

井上雄三・川本克也・山田正人・西村和之・大河内由美子・秋山 茂*・今岡 務*・岡田光正*・西尾 治*・西嶋 渉*・土手 裕*・藤原 拓*・吉川雄規*・角田俊司*・Bulent Inanc・石垣智基・遠藤和人・大迫政浩・金 容珍・毛利紫乃・長森正尚*・小野雄策*・長谷隆仁*・八戸昭一*・貫上佳則*・吉野秀吉*・原 雄*・香村一夫*・及川 智*

(3) 資源循環・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究

酒井伸一・安原昭夫・貴田晶子・大迫政浩・鈴木 茂・野馬幸生・山本貴士・滝上英孝・高橋 真・橋本俊次・金 容珍・松井康弘・松永充史・中野益男*・岡本 拓*・形見武男*・田辺顕子*・川田邦明*・上堀美知子*・長谷川敦子*・山本 敦*

(4) 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究

稲森悠平・水落元之・板山朋聡・岩見徳雄・磯田博子・桂 萍・藤本尚志*・西村 浩*・林 紀男*・戎野棟一*・川端善一郎*・木持 謙*・杉浦則夫*・東 照雄*・平田 彰*・松村正利*・村上和仁*・石崎勝義*・増永二之*・田中修三*・栗原 康*・清水康利*・須藤隆一*

研究成果発表一覧

1 誌上発表

- (1) 循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究
(査読付き)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

Kagawa S., Inamura H., Moriguchi Y.: The Invisible Multipliers of Joint-Products, *Econ. Syst. Res.*, 14(2), 185-203, 2002

Shibano K., Yoshizawa S., Goto S., Ogawa Y.: Reduction of formaldehyde concentration with charcoal board in a room model, *Indoor Air* 2002, 2, 694-699, 2002

Madhusree B., Goto S., Ohkubo T., Tian H., Ando F., Fukuhara M., Tohkin M., Watanabe I.: Mutagenicity Testing of 1,3-Butadiene, 1,4-Pentadiene-3-ol, Isoprene, 2,4-Hexadiene, cis- and trans-Piperlylene, *J. Health Sci.*, 48(1), 73-78, 2002

田崎智宏, 大迫政浩, 酒井伸一: 一般環境中で利用される再生製品に含まれる有害物質の環境安全性管理制度の比較, *廃棄物学会論文誌*, 14(1), 1-9, 2003

Hashimoto S., Moriguchi Y.: Proposal of six indicators of material cycles for describing society's metabolism: from the viewpoint of material flow analysis, *Resour., Conserv., Recycling*, (in press), 2003

Hashimoto S., Moriguchi Y., Saito A., Ono T.: Six indicators of material cycles for describing society's metabolism: application to wood resources in Japan, *Resour., Conserv., Recycling*, (in press), 2003

Gielen D., Moriguchi Y., Yagita H.: CO₂ emission reduction for Japanese petrochemicals, *J. Cleaner Prod.*, 10, 589-604, 2002

Yoshizawa S., Ezoe Y., Goto S., Maeda T., Endo O., Watanabe I.: A simple method to determine the sources of VOCs in indoor air, *Indoor Air* 2002, 2, 938-943, 2002

(査読なし)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

寺内清修, 川畑隆常, 大迫政浩, 河邊安男: 関東圏域における建設系産業廃棄物の市区町村別排出量及び移動状況に関する調査と解析, *日本環境衛生センター所報*, 29, 46-54, 2002

後藤純雄, 中島大介, 江副優香: 環境汚染の遺伝毒性(変異原性)計測法としての *in vitro* バイオアッセイ, *全国環境研会誌*, 27(4), 227-232,

田崎智宏, 大迫政浩, 酒井伸一: 再生製品の環境安全性管理に係る諸制度, *生活と環境*, 47(3), 24-34, 2002

寺園 淳: 自動車リサイクルにおけるドイツの状況, *廃棄物学会誌*, 13(4), 210-220, 2002

寺園 淳: 日本のマテリアルフローとアジアの資源循環, *都市清掃*, 56(252), 7-14, 2003

橋本征二, 森口祐一: 物質フローから見た循環型社会, *化学工学*, 67(5), 256-258, 2003

森口祐一: 環境負荷を定量化するということ: インベントリ作成から影響評価まで, *電気学会誌*, 123(1), 11-14, 2003

(2) 廃棄物の循環資源化技術，適正処理，処分技術及びシステムに関する研究

(査読付き)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

井上雄三，大河内由美子，松井康弘：有機性廃棄物の地域循環システムの設計と評価，農業経営研究，39(4)，7-16，2002

Kuramochi H., Ohsako M., Maeda K., Sakai S.: Prediction of physico-chemical properties for PCDDs/DFs using the UNIFAC model with an alternative approximation for group assignment, Chemosphere, 49(2), 135-142, 2002

大迫政浩，山田正人，井上雄三，金容珍，朴政九，李東勲，吉田恵男，野村稔郎：日韓の都市ごみ焼却主灰からの重金属類溶出特性に関する比較考察，廃棄物学会論文誌，12(6)，256-265，2001

Osako M., Kim Y.-J., Lee D.-H.: A pilot and field investigation on mobility of PCDDs/PCDFs in landfill site with municipal solid waste incineration residue, Chemosphere, 48(8), 849-856, 2002

大迫政浩：有機性廃棄物の微生物過程におけるアンモニアおよびメチルメルカプタンの発生特性，廃棄物学会論文誌，13，410-418，2002

Kim Y.-J., Osako M., Lee D.: Removal of hydrophobic organic pollutants by coagulation-precipitation process with dissolved humic matter, Waste Manage. Res., 20(4), 341-349, 2002

Kim Y.-J., Osako M.: Leaching characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from spiked sandy soil, Chemosphere, 51(5), 387-395, 2003

金容珍，大迫政浩：疎水性有機汚染物質の溶出試験の現状と展望，廃棄物学会誌(展望論文)，13(6)，341-350，2002

Kim Y.-J., Ohsako M.: A study on the appearance of persistent organic pollutants (POPs) in leachate treatment processes, Waste Manage. Res., 20(3), 243-250, 2002

Kim Y.-J., Lee D.-H., Ohsako M.: Effect of dissolved humic matters on the leachability of PCDD/F from fly ash — Laboratory experiment using Aldrich humic acid —, Chemosphere, 47(6), 599-605, 2002

Maeda K., Kuramochi H., Shinkawa T., Fukui K.: Solubility of Two Salts Containing Sulfate and Chloride Ions in Water for Ternary Systems at 313 K, J. Chem. Eng. Data, 47(6), 1472-1475, 2002

松井康弘，山田正人，井上雄三，河村清史，田中勝：し尿・浄化槽汚泥等の液状廃棄物処理施設のライフサイクルインベントリー分析，土木学会論文集，706/ -23，19-29，2002

(査読なし)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

井上雄三：有機性廃棄物の資源化処理システム構築に関する官民共同研究，かんきょう，26(4)，40-41，2001

大河内由美子，井上雄三：有機性循環資源の排出構造特性と循環技術，環境技術，39(6)，7-16，2002

松井康弘，山田正人：し尿・浄化槽汚泥等の処理に伴うエネルギー消費・温室効果ガス発生に関する分析，用水と廃水，45(4)，26-33，2003

大迫政浩，金容珍：最終処分場における難分解性有機汚染物質の挙動　ダイオキシン類を中心にして，安全工学，40(6)，428-434，2001

(3) 循環資源・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究

(査読付き)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

Behnisch P. A., Hosoe K., Sakai S.: Combinatorial bio/chemical analysis of dioxin and dioxin-like compounds in waste recycling, feed/food, humans/wildlife and the environment, *Environ. Int.*, 27, 495-519, 2001

Behnisch P. A., Hosoe K., Sakai S.: Bioanalytical screening methods for dioxins and dioxin-like compounds — a review of bioassay/biomarker technology, *Environ. Int.*, 27, 413-439, 2001

Sakai S., Hayakawa K., Kawakami I.: Dioxin-like PCBs released from waste incineration and their deposition flux, *Environ. Sci. Technol.*, 35(18), 3601-3607, 2001

Behnisch P. A., Hosoe K., Brouwer A., Sakai S.: Screening of Dioxin-Like Toxicity Equivalents for Various Matrices with Wildtype and Recombinant Rat Hepatoma H4IIE Cells, *Toxicol. Sci.*, 69, 125-130, 2002

Behnisch P. A., Hosoe K., Shiozaki K., Kiryu T., Komatsu K., Schramm K.W., Sakai S.: Melting and Incineration Plants of Municipal Waste-Chemical and Biochemical Diagnosis of Thermal Processing Samples (Emission, Residues), *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 9(5), 337-344, 2002

Behnisch P. A., Hosoe K., Shiozaki K., Ozaki H., Nakamura K., Sakai S.: Low-Temperature Thermal Decomposition of Dioxin-like Compounds in Fly Ash: Combination of Chemical Analysis with in Vitro Bioassays (EROD and DR-CALUX), *Environ. Sci. Technol.*, 36(23), 5211-5217, 2002

Kuramochi H., Ohsako M., Maeda K., Sakai S.: Prediction of physico-chemical properties for PCDDs/DFs using the UNIFAC model with an alternative approximation for group assignment, *Chemosphere*, 49(2), 135-142, 2002

Sakai S., Hayakawa K., Ninomiya T., Deguchi S., Takatsuki H.: Polychlorinated biphenyls in sediments of Osaka Bay and Lake Biwa, Japan, *Fresenius Environ. Bull.*, 12(2), 111-116, 2003

鈴木 茂, 安原昭夫: 液体クロマトグラフィー/質量分析法による環境化学物質の分析, *環境化学*, 12(1), 45-62, 2002

行谷義治, 鈴木 茂, 安原昭夫, 毛利紫乃, 山田正人, 井上雄三: 廃棄物埋立地浸出水中の無機成分, ジオキサン, フェノール類およびフタル酸エステル類の濃度, *環境化学*, 12, 817-827, 2002

Noma Y., Ohno M., Sakai S.: Pathways for the degradation of PCBs by palladium-catalyzed dechlorination, *Fresenius Environ. Bull.*, 12(3), 302-308, 2003

平井康宏, 加藤利崇, 高月 紘, 酒井伸一: PCB 処理促進によるリスク削減効果の検討, *環境化学*, 13(2), 103-115, 2003

松永充史, 安原昭夫: PCB の還元的脱塩素化反応, *環境化学*, 12(1), 33-43, 2002

Kawata K., Tanabe A., Yagoh H., Ibaraki T., Yasuhara A., Shibamoto T.: Determination of semivolatile organic compounds in environmental samples with cyclic steam distillation and gas chromatography/mass spectrometry, *J. AOAC Intern.*, 86, 246-256, 2003

(査読なし)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

酒井伸一, 滝上英孝, 細江和典, ピーター・ベーニッシュ: ダイオキシン様物質の培養細胞によるバイオアッセイ, *廃棄物学会誌*, 14(1), 34-50, 2003

滝上英孝, 酒井伸一: バイオアッセイを用いたダイオキシン類の簡易分析法, *環境浄化技術*, 2(2), 1-5, 2002

野馬幸生, 安原昭夫, 酒井伸一: PCB の処理技術と分析方法, *安全工学*, 40(6), 353-361, 2001

安原昭夫, 鈴木 茂: 液体クロマトグラフィー質量分析法による廃棄物関連試料の分析, *化学と教育*, 50(11), 763-764, 2002

(4) 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究

(査読付き)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

- Terence P. N. Talorete., Isoda H., Maekawa T.: Agaricus blazei (Class Basidiomycotina) Aqueous Extract Enhances the Expression of c-Jun Protein in MCF7 Cells, J. Agric. Food Chem., 50, 5162-5166, 2002
- Isoda H., Koyama A., Oka S., Abe Y.: Protective Effect of the Chinese Medicinal Desert Plant *Cistanche salsa* on Human-Derived Neurotypic SH-SY5Y Cells against Alzheimer's Disease Amyloid- β -induced Toxicity, 砂漠研究, 12(2), 77-82, 2002
- Kitamoto D., Isoda H., Nakahara T.: Functions and Potential Applications of Glycolipid Biosurfactants —from Energy-Saving Materials to Gene Delivery, J. Biosci. & Bioeng., 94, 187-201, 2002
- Isoda H., Terence P. N. Talorete., Kimura M., Maekawa T., Inamori Y., Nakajima N., Seki H.: Phytoestrogens genistein and daidzin enhance the acetylcholinesterase activity of the rat pheochromocytoma cell line PC12 by binding to the estrogen receptor, Cytotechnology, 40, 117-123, 2002
- Han J., Isoda H., Maekawa T.: Analysis of the mechanism of the tight-junctional permeability increase by capsaicin treatment on the intestinal Caco-2 cell, J. Chemical Eng. Jpn., 40, 93-98, 2002
- Sugita N., Isoda H., Maekawa T.: Degradation potential of musty odour in a drinking water source by a biofilm method, J. Water supply: Res. & Technol. AQUA., 52(3), 181-187, 2003
- 稲森悠平, 富永和樹, 木持 謙, 水落元之, 戎野棟一, 松村正利: 生物学的排水処理における硝化活性および N_2O 生成速度に及ぼす水温および窒素負荷の影響, 水環境学会誌, 24(2), 97-102, 2001
- 林 紀男, 稲森悠平, 水落元之, 須藤隆一: 食物連鎖を活用した生物処理における魚類の収率, 浄化槽研究, 13(1), 3-12, 2001
- 野田尚宏, 蛭江美孝, 生田 創, 常田 聡, 平田 彰, 松村正利, 角野立夫, 稲森悠平: 包括型および付着型 PEG 担体で固定した硝化細菌の抗原抗体法による挙動解析, 日本水処理生物学会誌, 37, 77-86, 2001
- 杉浦則夫, 岩見徳雄, 板山朋聡, 稲森悠平: 微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 増加抑制能の評価, 日本水処理生物学会誌, 37, 55-61, 2001
- 竹崎義則, 清水康利, 稲森悠平, 山海敏弘: ディスポーザ排水の負荷原単位設定, 廃棄物学会, 12, 312-321, 2001
- Yoshie S., Noda N., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Microbial Community Analysis in the Denitrification Process of Saline-Wastewater by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis of PCR-Amplified 16S rDNA and the Cultivation Method, J. Biosci. Bioeng., 92, 346-353, 2001
- Inamori Y., Xu Kaiqin, Noda N.: Development of Advanced Water Renovation Systems Using Bio/ecoengineering for Establishing Sound Water Environment, Study on lake eutrophication and its countermeasure in China, 53-71, 2001
- 山本泰弘, 三浦勇二, 井上 充, 藤本尚志, 稲森悠平, 松村正利: 嫌気ろ床・生物ろ過法における物理化学的リン除去法導入による処理性能の評価, 日本水処理生物学会誌, 38, 47-55, 2002
- Yamamoto Y., Inoue M., Nishimura O., Inamori Y., Matsumura M.: Development of Phosphorus Removal Process of On-site Domestic Wastewater Treatment Systems Using Dripping Method of Thick Iron Solution, Jpn. J. Water Treat. Biol., 38, 29-38, 2002
- Fujimoto N., Soma M., Yoshida M., Suzuki M., Takahashi R., Inamori Y.: Production of Cyanobacterial Hepatotoxin Microcystin in a Nutrient-limited Culture of *Microcystis viridis*, Jpn. J. Water Treat. Biol., 38, 39-45, 2002
- Tada C., Itayama T., Nishimura O., Inamori Y., Sugiura N., Matsumura M.: The Effect of Manganese Released from Lake Sediment on the Growth of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, 日本水処理生物学会誌, 38, 95-102, 2002
- Ikuta H., Matsumura M., Inamori Y.: Comparison of the Multi-well Filtration ELISA, MPN and FISH Methods for Quantifying Ammonia Oxidizing bacteria in Activated Sludge, 日本水処理生物学会誌, 38, 79-86, 2002

Kong Hai Nan, Kimochi Y., Mizuochi M., Inamori R., Inamori Y.: Study of the characteristics of CH₄ and N₂O emission and methods of controlling their emission in the soil-trench wastewater treatment process, *Sci. Total Environ.*, 290, 59-67, 2002

Ebie Y., Miura H., Noda N., Matsumura M., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Detection and quantification of expression of *amo* A by competitive reverse transcription-PCR, *Water Sci. Technol.*, 46(1-2), 281-288, 2002

Noda N., Yoshie S., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: PCR-DGGE analysis of denitrifying bacteria in a metallurgic wastewater treatment process, *Water Sci. Technol.*, 46(1-2), 333-336, 2002

丁 国際, 須藤隆一, 長坂實上, 佐藤義典, 稲森悠平: 理容美容薬剤を含有する生活排水の処理に及ぼす微小動物相の影響, *浄化槽研究*, 14(1), 3-13, 2002

長坂實上, 荒又健夫, 佐藤義典, 丁 国際, 稲森悠平: ヒモ状担体を使用した高度処理型合併処理浄化槽の処理特性と微生物活性助剤(キラヤサポニン)の添加の効果, *浄化槽研究*, 14(1), 25-35, 2002

木村賢史, 市村 康, 坂巻隆史, 西村 修, 稲森悠平, 木幡邦男, 須藤隆一: 人工干潟における水質浄化機能に関する解析, *海岸工学論文集*, 49, 1306-1310, 2002

Kameyama K., Sugiura N., Isoda H., Inamori Y., Maekawa T.: Effect of nitrate and phosphate concentration on production of microcystins by *Microcystis viridis* NIES 102, *Aquatic Ecosyst. Health Manage.*, 5(4), 443-449, 2002

Yoshie S., Noda N., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Characterization of microbial community in nitrogen removal process of metallurgic wastewater by PCR-DGGE, *Water Sci. Technol.*, 46(11-12), 93-98, 2002

Ebie Y., Matsumura M., Noda N., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Community analysis of nitrifying bacteria in an advanced and compact Gappei-Johkasou by FISH and PCR-DGGE, *Water Sci. Technol.*, 46(11-12), 105-111, 2002

Saitou T., Sugiura N., Itayama T., Inamori Y., Matsumura M.: Degradation of microcystin by biofilm in practical treatment facility, *Water Sci. Technol.*, 46(11-12), 237-244, 2002

Inamori Y., Ebie Y., Matsumura M.: Application of molecular microbiological methods for advanced nitrogen removal countermeasure, *Res. Adv. Water Res.*, 3, 65-76, 2002

Saito T., Itayama T., Inamori Y., Sugiura N., Matsumura M.: Characteristics of Biodegradation of Cyanobacterial Toxin Microcystin LR in Environmental Water Under the River Die-away Test, *Jpn. J. Water Treat. Biol.*, 39(1), 1-8, 2003

林 紀男, 大内山高広, 水落元之, 稲森悠平: 環形動物貧毛類 *Dero limosa* の増殖に及ぼす環境因子の影響, *千葉中央博自然誌研究報告*, 7(1), 29-36, 2002

(査読なし)

稲森悠平, 小沼和博: 食品製造業に係わる第5次水質総量規制, *月刊食品工場長*, (45), 30-31, 2001

稲森悠平, 小沼和博: 生ごみディスポーザによるリサイクル処理システム, *月刊食品工場長*, (46), 22-23, 2001

稲森悠平, 小沼和博: 水圏生態系の保全のためのリスク管理, *月刊食品工場長*, (47), 56-57, 2001

稲森悠平: 食品製造などの小規模事業場排水対策の方向(その1), *月刊食品工場長*, (52), 38-39, 2001

稲森悠平: 食品製造などの小規模事業場排水対策の方向(その2), *月刊食品工場長*, (53), 16-17, 2001

稲森悠平: 食品系排水をはじめとする窒素, リン負荷削減・循環システムによる新世紀型水環境の修復, *月刊食品工場長*, (54), 26-27, 2001

稲森悠平: 排水処理技術動向循環型社会におけるディスポーザ対応排水処理システムの役割, *月刊食品工場長*, (55), 34-35, 2001

稲森悠平: 食品廃棄物に由来する消化ガスの燃料電池化, *月刊食品工場長*, (56), 32-33, 2001

- 稲森悠平：窒素，リンの小規模事業場における排水対策の現状と技術的課題，資源環境対策，37，1020-1026，2001
- 稲森悠平，水落元之：高度新技術および既存改善型浄化槽による水環境修復，資源環境対策，37，1061-1069，2001
- 稲森悠平，岩見徳雄，板山朋聡：霞ヶ浦水質浄化プロジェクト，ベース設計資料，(110)，53-57，2001
- 稲森悠平，稲森隆平：バイオ・エコテクを活用した水処理の高度化，エンバイオ，(1)，31-39，2001
- 稲森悠平，ディスポーザ生ごみリサイクル研究会：循環型社会におけるディスポーザ対応排水処理システムのあり方，用水と廃水，43，889-893，2001
- 稲森悠平，丁 国際，岩見徳雄，藤井邦彦：有用微生物の機能強化・製剤化と輪虫類活用高度水処理技術の開発，月刊エコインダストリー，(8)，33-42，2001
- 稲森悠平，稲森隆平，孔 海南：食品産業に位置づく家畜排せつ物の対策，月刊食品工場長，(57)，26-27，2002
- 稲森悠平，稲森隆平，孔 海南：有機性廃棄物生ごみからのプラスチック化，月刊食品工場長，(58)，40-41，2002
- 稲森悠平，稲森隆平，孔 海南：食品産業にかかわる流域圏における有機物・窒素・リンの物質循環システム，月刊食品工場長，(59)，38-39，2002
- 稲森悠平，稲森隆平，孔 海南：食品産業における地球温暖化防止対策の必要性和 COP7(1)，月刊食品工場長，(60)，24-25，2002
- 稲森悠平，稲森隆平，孔 海南：食品産業における地球温暖化防止対策の必要性和 COP7(2)，月刊食品工場長，(61)，26-27，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品産業排水・廃棄物対策を視野に入れた窒素・リンの循環，月刊食品工場長，(62)，26-27，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品廃棄物等を包含した水素エネルギーの活用方策，月刊食品工場長，(63)，36-37，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品廃棄物対策への活用も視野に入れた風力発電クリーンエネルギーシステム，月刊食品工場長，(64)，58-59，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品産業排水対策における油分の分解，バルキング防止および汚泥の減容化，月刊食品工場長，(65)，28-29，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：国際的水環境対策における食品産業にもかかわる下水道サービスの ISO 化，月刊食品工場長，(66)，24-25，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品系廃棄物等のバイオマスを活用したエタノール化技術，月刊食品工場長，(67)，60-61，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：21 世紀の初頭における日本の海洋政策，月刊食品工場長，(68)，62-63，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品排水等の浄化に貢献する有用微生物，月刊食品工場長，(69)，74-75，2002
- 稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品排水等の浄化に貢献する有用微生物，月刊食品工場長，(70)，64-65，2002
- 稲森悠平，山海敏弘，松村正利：クロスメディアを踏まえた環境低負荷資源循環型の排水処理技術の高度化，資源環境対策，38，770-782，2002
- 稲森悠平，清水康利，大島綾子，孔 海南：膜を利用した排水の高度化処理技術の最新動向，資源環境対策，38，819-827，2002
- 稲森悠平：生活系生ごみ・汚水・汚泥の資源化リサイクル，新政策，50-53，2002
- 稲森悠平：窒素・リン除去システム技術開発・普及整備への変換の必要不可欠性，月刊地球環境，33，86-87，2002

稲森悠平：序 高度処理浄化槽の普及と展開に向けて 本プロジェクト研究の推進経緯 本プロジェクト研究の体制 第1章 水環境修復・保全を目指した高度処理型合併処理浄化槽の普及整備の必要性 第 章 21世紀の環境低負荷資源循環技術の構築において重要となる技術と政策，生活排水対策のための高度処理浄化槽の普及と展開に向けて，ぎょうせい，i-38，245-259，2002

稲森悠平，孔 海南，稲森隆平：食品排水等に由来する硝酸・亜硝酸性窒素の対策，月刊食品工場長，(71)，34-35，2003

2 口頭発表

(1) 循環型社会への転換策の支援のための評価手法開発と基盤システム整備に関する研究

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

- 石垣智基, 山田正人, 川畑隆常, 藤谷典秀, 小野雄策, 渡辺洋一, 藤井 崇, 玉井伸明, 立尾浩一: 埼玉県における建材および建設解体廃棄物の物流解析, 第 24 回全国都市清掃研究発表会, 東京, 2003 2
- 稲葉陸太, 荒巻俊也, 及川 智, 山田芳幸, 菊池尚仁, 小関光二, 田中真紀, 中新田直生, 劉 庭秀: リサイクルに関する LCA 研究の整理, 理想のリサイクルシステム・技術のあり方を考える, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, リサイクルシステム・技術研究部会 各 WG による中間報告発表 (小集会資料), 91-105
- Inaba R., Moriguchi Y.: The consideration of Site-dependency of environmental impact in LCA of recycling and waste management system, Abst. 10th LCA Case Stud. Symp., Barcelona, 2002 .12, 189-193
- 上矢恭子, 柴野一則, 吉澤秀治, 江副優香, 後藤純雄: メタノール溶媒を用いた VOCs 発生量の簡易・安全測定法, 平成 14 年度室内環境学会研究発表会, 東京, 2002 .12, 176-177
- 江副優香, 深井文雄, 中島晴信, 中島大介, 小野寺祐夫, 後藤純雄: 有機スズ化合物の免疫毒性についての基礎的検討, 第 11 回環境化学討論会, 箱根, 2002 6, 530-531
- 大迫政浩, 貴田晶子, 酒井伸一, 志村利夫, 若松秀樹: 溶融スラグの品質管理に係る施設運転と試験分析の現況, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演要旨集, 579-581
- 大迫政浩, 貴田晶子, 酒井伸一, 志村利夫, 若松秀樹: 溶融スラグの有効利用状況と課題, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演要旨集, 585-587
- 大迫政浩, 貴田晶子, 酒井伸一, 若松秀樹, 志村利夫: 溶融スラグの有効利用状況と品質管理に係る施設運転の現況, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 234-236
- 大迫政浩, 貴田晶子, 田崎智宏, 酒井伸一, 水谷 聡, 肴倉宏史: ごみ溶融スラグの有効利用における環境安全性評価の考え方, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 237-239
- 加河茂美, 森口祐一, 稲村 肇, 森川貴史: 廃棄物分析用の需要主導型・供給主導型結合生産モデルの基本的な枠組み, 第 12 回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10
- 加河茂美, 森口祐一, 稲村 肇: 物量的結合生産を持つ動的産業連関モデルとその特性, 第 24 回土木計画学研究発表会, 高知, 2001 .11
- 森川貴史, 加河茂美, 森口祐一, 稲村 肇: 廃棄物の最終処分活動に内包化される雇用と産出の前方・後方誘発効果, 第 24 回土木計画学研究発表会, 高知, 2001 .11
- 加河茂美, 稲村 肇, 森口祐一: 廃棄物分析用の地域間産業連関勘定体系の提案, 第 25 回土木計画学研究発表会, 名古屋, 2002 6
- 加河茂美: 資本蓄積と廃棄物蓄積の関係, 環境経済・政策学会 2002 年大会, 札幌, 2002 9, 同報告要旨集, 236-237
- Kagawa S: The Relation Between Capital and Waste Accumulation, 14th Int. Input-Output Associ. (IIOA), Montreal, 2002 .10
- Kagawa S., Moriguchi Y.: Identifying the Sources of Waste Generations: Japan's Case, Pan Pac. Associ. Input-Output Stud.: 13th Conf., Fukuoka, 2002 .11
- Kagawa S., Hashimoto S., Inaba R., Moriguchi Y.: An Empirical Analysis of Hazardous and Other Wastes Embodied in the 1995 Japanese Economy, 2003 International Society for Industrial Ecology: 2nd Int. Conf., Ann Arbor. 2003 6
- 川畑隆常, 田崎智宏, 松井康弘, 大迫政浩, 立尾浩一: 関東圏域における建設系廃棄物のフロー解析, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 42-44
- 後藤純雄, 中島大介, 江副優香, 前田恒昭, 遠藤 治, 渡辺征夫, 吉澤秀二: 高分子材料中のモノマー類の簡易測定法の検討, 第 11 回環境化学討論会, 箱根, 2002 6, 570-571
- 上矢恭子, 柴野一則, 吉澤秀治, 小川 游, 後藤純雄: 炭素化合物ボードによる室内空気中のホルムアルデヒドの

低減効果, 第 29 回炭素材料学会年会, 大阪, 2002 .12, 266-267

辻 清美, 長谷川一夫, 伏脇裕一, 森 康明, 後藤純雄, 小野寺祐夫: パッシブサンプラーによる室内空気中の VOC の測定, 平成 14 年度室内環境学会研究発表会, 東京, 2002 .12, 106-107

水谷 聡, 肴倉宏史, 貴田晶子, 大迫政浩, 酒井伸一: 多変量解析による溶融スラグ中の元素と溶融形式の関係について, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演要旨集, 826-828

水谷 聡, 竹内和樹, 高月 紘, 貴田晶子, 大迫政浩, 酒井伸一: 廃棄物溶融スラグのアベイラビリティと酸中和容量 (ANC), 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演要旨集, 823-825

田崎智宏, 大迫政浩, 酒井伸一: 一般環境中で利用される再生品に含まれる有害物質の環境安全性管理制度, 第 34 回安全工学研究発表会, 京都, 2001 .11, 同講演予稿集, 69-72

田崎智宏, 寺園 淳, 森口祐一: 家電製品・パソコンの保有状況と廃棄行為に関するアンケート調査, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 91-93

肴倉宏史, 水谷 聡, 田崎智宏, 貴田晶子, 大迫政浩, 酒井伸一: 拡散溶出試験による廃棄物溶融スラグの長期溶出量評価法, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 112-114

寺園 淳, 橋本征二, 森口祐一, 酒井伸一: 建設廃棄物の発生実態に関する日欧比較の試み, 第 12 回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 445-447

寺園 淳, 田崎智宏, 森口祐一: 自動車の保有・廃棄にかかる意識の分析, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 94-96

寺園 淳: ごみ処理計画策定時の評価項目について, 第 18 回全国環境研究所交流シンポジウム予稿集, つくば, 2003 2, XI-1-4

高木敬彦, 中島大介, 白石不二雄, 江副優香, 西村和之, 深井文雄, 小野寺祐夫, 後藤純雄: 発光 umu 細菌を用いる変異原性試験法の高感度化における留意点, 第 11 回環境化学討論会, 箱根, 2002 6, 526-527

中島大介, 山口貴史, 内山真由美, 江副優香, 前田恒昭, 奥田泰資, 後藤純雄: パッシブサンプラーおよびポータブル GC/MS を用いた室内空気中の VOC 検索について, 平成 14 年度室内環境学会研究発表会, 東京, 2002 .12, 66-67

Nansai K., Kagawa S., Moriguchi Y.: Dynamic Allocative Efficiency of Environmental Burdens in the Japanese Economy, 2003 International Society for Industrial Ecology: 2nd Int. Conf., Ann Arbor, 2003 6

橋本征二, 森口祐一, 齊藤 聡, 小野隆史: マテリアルフローの把握にもとづく木材資源の循環度の分析, 第 30 回環境システム研究論文発表会, 甲府, 2002 .10, 同講演集, 235-240

橋本征二, 森口祐一: 循環型社会に向けた物質循環の 6 つの指標の提案 ~ マテリアルフロー分析の視点から, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 48-50

Hashimoto S., Moriguchi Y.: Proposal of six indicators of material cycles toward industrial ecology: from the viewpoint of material flow analysis, Proc. 5th Int. Conf. EcoBalance, Tsukuba, 2002 .11, 689-692

橋本征二, 広池秀人, 山中勇司, 貫上佳則, 角田邦夫, 今村祐嗣, 小松幸平, 川井秀一: 防腐処理木材を用いた木橋のライフサイクルアセスメント, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 99-101

Tanikawa H., Hashimoto S., Moriguchi Y.: Estimation of material stock in urban civil infrastructures and buildings for prediction of waste generation, Proc. 5th Int. Conf. EcoBalance, Tsukuba, 2002 .11, 803-806

Hashimoto S., Moriguchi Y., Saito A., Ono T.: Six indicators of material cycles: a case study of wood resources in Japan, Abst. ISIE Meet. Eur., Barcelona, 2002 .12, 121-124

森口祐一, 松井重和: 循環資源のマテリアルフロー分析のための物量投入産出表の設計, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 54-56

Y. Moriguchi: Accounting for material flows and their underlying structures — Empirical results from international and intersectoral flow studies, 3rd Gordon Conf. Ind. Ecol., New London (USA), 2002 6

森口祐一, 松井重和, 南齋規介, 寺園 淳, 加河茂美, 橋本征二: 環境・資源効率指標のための物量投入産出表の試作, 環境経済・政策学会 2002 年大会, 札幌, 2002 9, 同報告要旨集, 194-195

Reloar G., Lenzen M., SUh S., Crawford R., Hondo H., Huppes H., Jolliet O., Krewitt W., Moriguchi Y.,

Munksgaard J., Norris G.: Boundary selection in Life Cycle Inventory, SETAC Europe 12th Annu. Meet. Vienna, Austria, 2002 5, abst. book, 13

Bringezu S., Moriguchi Y.: The life-cycle-perspective and the industrial metabolism: Shuffling the analytical toolbox, Proc. 5th Int. Conf. EcoBalance, Tsukuba, 2002 .11, 673-676

立尾浩一，藤田武美，山田正人：廃棄物処理計画の策定に向けた戦略アセスメント等に関する一考察，第13回廃棄物学会研究発表会，京都，2002 .11，同講演論文集，188-190

山田正人，石垣智基，川畑隆常，藤谷典秀，小野雄策，渡辺洋一，藤井 崇，玉井伸明，立尾浩一：埼玉県における建材および建設解体廃棄物の物流解析，第24回全国都市清掃研究・事例発表会，東京，2003 2，同講演論文集，40-42

Shibano K., Yoshizawa S., Goto S., Ogawa Y.: Reduction of Formaldehyde Concentration with Charcoal Board in a Room Mode.，第14回日本MRS学術シンポジウム，東京，2002 .12，I1-005，184

Sakamoto A., Shibano K., Ogawa Y., Yoshizawa S., Goto S.: Chemical Compounds Adsorption by Charcoal Board Adhered with Superfine Natural Fibers，第14回日本MRS学術シンポジウム，東京，2002 .12，I1-P18-M，194

(2) 廃棄物の循環資源化技術, 適正処理, 処分技術及びシステムに関する研究

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

Ishigaki T., Kozakai T., Ohkouchi Y., Yamada M., Nagamori M., Ono Y., Inoue Y.: Field survey on methane emission from waste landfill site in Japan, Int. Symp. Environ. pollut. control & waste manage., Tunis (Tunisia), 2002 .1, Proceedings, (1), 447-451

石垣智基, 山田正人, 石渡尚美: 廃棄物最終処分場におけるメタン放出の数値解析, 第23回全国都市清掃研究・事例発表会, 京都, 2002 .2

Ishigaki T., Yamada M., Kozakai T., Inanc B., Ohkouchi Y., Mohri S., Nagamori M., Ono Y., Inoue Y.: Relationship between gas flux and ground temperature on a surface of a waste landfill site, 2nd Asian-Pac. Landfill Symp., Seoul, 2002 .9

石垣智基, 小坂井崇, 澤村啓美, 山田正人, 井上雄三: 廃棄物処分場表層のメタン酸化細菌群集の解析, 日本生物工学会平成十四年度大会, 大阪, 2002 .10

李 泰鎬, 石垣智基, 鎌形洋一, 山田正人: 廃棄物最終処分場浸出水中の細菌群集構造の比較, 日本生物工学会平成十四年度大会, 大阪, 2002 .10

石垣智基, 澤村啓美, 山田正人, 井上雄三, 小坂井崇, 長森正尚, 小野雄策: 最終処分場覆土におけるメタン酸化細菌群の生態学的評価, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11

立田真文, 中西亜加音, 池 道彦, 藤田正憲, 石垣智基: 焼却灰からの重金属類回収に有効な微生物の検討, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11

石垣智基, 李 泰鎬, 山田正人, 鎌形洋一: 廃棄物埋立地浸出水における微生物群集構造とその機能的役割, 日本水処理生物学会第39回大会, 大宮, 2002 .11

Ishigaki T., Ohkouchi Y., Mohri S., Inanc B., Yamada M., Nagamori M., Ono Y., Inoue Y.: Monitoring of Methane Emission from Waste Landfill Site using Closed Chamber Method, Int. Workshop Technol. Munic. Solid Waste Treat. — Exper. & Challenges, Hanoi, Vietnam, 2003 .3

石垣智基, 李 泰鎬, 山田正人, 鎌形洋一: 廃棄物最終処分場浸出水中の細菌群集構造解析, 日本微生物生態学会第18回大会, 津, 2003 .3

Inanc B., Yamada M., Ishigaki T., Inoue Y., Ohkouchi Y., Mohri S., Nagamori M. and Ono Y.: Feasibility of landfill reclamation in Japan, APLAS 2002, 2nd Asian Pac. Landfill Symp., Seoul, 2002 .9, 822-827

Inanc B., Yamada M., Ishigaki T., Inoue Y., Ohkouchi Y., Mohri S., Nagamori M. and Ono Y.: The need for landfill reclamation in Japan, ICLRS, 2nd Intercont. Landfill Res. Symp., Asheville, U.S.A., 2002 .10, 94-96

Inanc B., 井上雄三, 山田正人, 井上雄三, 遠藤和人: Enhanced stabilization and reclamation of landfills, 第24回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 .2, 同講演論文集, 373-375

井上雄三, 吉川雄規, 河村清史: 高濃度リン含有排水からのリン除去・回収プロセスの開発, 12回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 289-291

井上雄三, 大迫政浩, 小野雄策: 安定型処分場搬入廃棄物の硫化水素発生ポテンシャルに関する研究, 第12回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 1031-1033, 2001

井上雄三, 山田正人, 廣崎 淳, 中西雅時, 伴野 茂: 海面および陸上最終処分場比較のLCI分析およびコスト評価, 第12回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 1042-1044

井上雄三, 山田正人, 山辺功二, 三木昭夫, 岩田義康: 海面および陸上最終処分場のリスクに関するアンケート調査, 第12回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 1045-1047

井上雄三: 有機性廃棄物の地域循環システムの設計と評価, 平成13年度日本農業経営学会研究大会, 京都, 2001 .10, 同報告要旨(シンポジウム課題 循環型経済社会の構築に向けた農業ビジョン), 11-25

井上雄三, 大迫政浩, 河村清史, 内田真由, 越田亮三, 田中 勝, 西村和之: 断熱型生ごみ発酵試験機の発酵特性と殖菌床管理に関する2, 3の考察, 第12回廃棄物学会研究発表会, 横浜, 2001 .10, 同講演論文集, 299-301

井上雄三, 下河原(古島)理江子, 吉光寺徳子, 菊池伸江, 大河内由美子: 生ごみ等有機性廃棄物からの乳酸回収システム化を目指した *Lactobacillus* 菌の異なる糖基質による発酵動態の把握, 第74回日本生化学会大会, 京

都, 2001 .10, 同発表抄録集, 73(8), 832

Inoue Y., Yang J.-W., Ishigaki T., Ohkouchi Y., Mohri S., B. Inanc S., Nagata Y., Honda K., Yamada M.: Priority chemicals for monitoring and managing in waste streams, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC Eur. 12th Annu. Meet., Vienna (Austria), 2002 5

井上雄三, 山田正人, Inanc B., 石垣智基, 小野雄策, 今田俊彦, 中村 浩, 町田直美, 種市尚人, 和田千広: 最終処分場台帳の電子化および周辺環境情報の GIS による活用事例, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 997-999

井上雄三, 大河内由美子, 山田正人, 町田直美, 藤谷典秀, 小野雄策: 食品および飲料製造業から排出される食品系廃棄物の推計, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 4-6

土手 裕, 井上雄三, 大河内由美子: 宮崎県における家畜ふんの再資源化状況に関する調査, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 592-594

井上雄三, 大河内由美子, 山田正人, 中村 浩, 町田直美, 小野雄策: 食品系廃棄物量の市町村別推計事例, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 16-18

遠藤和人, 井上雄三, 嘉門雅史: 海面埋立処分場の遮水材料と遮水の考え方, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 238-240

井上雄三, 西村和之, 大河内由美子: 未活用バイオマスの再資源化技術, 第 2 回つくばテクノロジー・ショーケースプログラム&アブストラクト, つくば, 2003 3, 70-70

大河内由美子, 山田正人, 小野雄策, 井上雄三: 有機性廃棄物の循環利用システム構築の課題, 京都大学環境衛生工学研究会第 24 回シンポジウム, 京都, 2002 8, 同講演論文集, 47-50

大河内由美子, 三浦知美, 下河原(古島)理江子, 井上雄三: 有機性廃棄物からの乳酸回収プロセスにおける運転制御因子に関する研究, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 598-599

大河内由美子, 山田正人, 小野雄策, 井上雄三: 埼玉県を例とした有機性廃棄物の発生に関する調査研究, 第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会, 東京, 2003 2, 同講演論文集, 13-15

大河内由美子, 西村和之, 井上雄三: 高濃度窒素含有液状廃棄物からの無機化学的な窒素除去・回収, 第 37 回日本水環境学会, 熊本, 2003 3, 523

原 弘之, 大田美咲, 小林美佐子, 白井勝久, 大河内由美子, 西村和之, 井上雄三: 分子生物学的手法を用いたコンポストからのクリプトスポリジウムの活性オーシストの検出, 第 37 回日本水環境学会, 熊本, 2003 3, 427

鄭 承美, 大迫政浩, 金 容珍: データベースを用いた都市ごみ焼却主灰から鉛(Pb)の溶出特性解析(韓国語), 2001 年度韓国廃棄物学会春季学術研究発表会, ソウル, 2001 5, 73-76

Osako M., Kim Y.: Leaching behavior of dioxins from raw and treated fly ash generated at MSW incineration plant under the condition of coexistence of surface-active agents, Proc. 2nd Asian Pac. Landfill Symp., Seoul, 2002 9, 6-721

Osako M. Kim Y.: Accelerated mineralization technology of MSW incineration residue for landfill site renewal, Proc. 2nd Int. Landfill Res. Symp., Asheville, U.S.A., 2002 .10, 192-193

北村光太郎, 大迫政浩, 金 容珍: データベースを用いた主灰の元素組成に関する影響因子解析, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002 .11, 同講演論文集, 887-889

川本克也, 今泉孝志, 宮田治男, 安田宣夫, 小吉省吾: ダイオキシン類簡易分析法を用いた運転管理の可能性, 日本機械学会第 12 回環境工学総合シンポジウム 2002 講演論文集, 川崎, 2002 .7, 251-254

Kawamoto K., Imaizumi T., Fujiyoshi H., Tanaka M.: Application of concentration of Organohalogen Compd. in flue gas for the management of Dioxins, Organohalogen Compd., Vol.59, 53-56, 2002 8

川本克也, 今泉隆志, 藤吉秀昭, 田中 勝: 排ガス中有機ハロゲン化合物濃度の総括的測定にもとづいたダイオキシン類の推定と管理, 学会誌 EICA, Vol 7, 251-254, 2002 .10

川本克也, 今泉隆志, 宮田治男, 安田宣夫, 小吉省吾: ダイオキシン類簡易測定法を用いた焼却施設運転管理, 第 10 回衛生工学シンポジウム, 札幌, 2002 .10, 同論文集, 149-152

川本克也, 今泉隆志, 藤吉秀昭, 田中 勝: 有機ハロゲン濃度の総括的測定による焼却排ガス中ダイオキシン類

の低減管理，第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002 .11，同講演論文集，687-689

金 容珍，大迫政浩：疎水性有機汚染物質の溶出試験における誤差誘発因子に関する検討（1），第 12 回廃棄物学会研究発表会，横浜，2001 .10，同講演論文集，1124-1126

Kim Y., Osako M.: Leaching characteristics of PAHs depending on factors affecting leachability, Proc. 10th Pac. Basin Conf. (PBC) Hazardous Waste, Okayama, 2001 .12, Integrated Manage. Hazardous Waste From Cleaner Prod. Waste Disposal

金 容珍，大迫政浩，山田正人，野馬幸生，八木美雄，松藤康司：焼却残渣からの有機・無機汚染物質の溶出挙動 疎水性有機汚染物質を中心にして，第 23 回全国都市清掃研究発表会，京都，2002 2，同講演論文集，373-375

金 容珍，大迫政浩，島岡隆行，宮脇健太郎：焼却残渣の土壌化に関する基礎的研究（韓国語），2002 年度韓国廃棄物学会春季学術研究発表会，ソウル，2002 5

Kim Y., Osako M.: A case investigation on the soilification of incineration residue, Proc. 2nd Asian Pac. Landfill Symp., Seoul, 2002 9, 722-727

Kim Y., Osako M.: Investigation on the carbonation-humification of incineration residue and its effect on the leaching behavior of pollutants, Proc. 2nd Int. Landfill Res. Symp., Asheville, U.S.A., 2002 .10, 67-68

Kim J., Osako M.: A case study on the characterization of humic substances generated from incineration residue, Proc. 13th Annu. Conf. Jpn. Soc. Waste Manage. Experts, Kyoto, 2002 .11, 1227-1229

金 容珍，大迫政浩：疎水性有機汚染物質の溶出試験における誤差誘発因子に関する検討（2） 固液分離方法を中心に，第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002 .11，同講演論文集，1173-1175

倉持秀敏，大迫政浩，酒井伸一，川本克也：PCDDs/DFs の物性定数の推算法としての UNIFAC モデルの評価，第 11 回環境化学討論会，箱根，2002 .6，同講演要旨集，378-379

長浜邦雄，倉持秀敏：環境技術で必要な物性は何か，第 15 回「化学工学物性定数の最近の動向」講演会，東京，2002 .11，同講演要旨集，19-22

倉持秀敏，大迫政浩，貴田晶子，川本克也，前田光治：廃棄物からの無機塩の資源回収および溶出挙動予測のための活量係数式の提案と応用，第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002 .11，同講演論文集，525-527

倉持秀敏，前田光治，川本克也：有機臭素化合物の水への溶解度の測定と活量係数の計算，化学工学会第 68 回年会，東京，2003 3

Suzuki K., Katagiri M., Kanda N., Itaya M., Kawamoto K.: Characteristic formation of dioxins when heating fly ash samples from incineration plant, Organohalogen Compd., Vol.56, 233-236, 2002

西村和之，大河内由美子，井上雄三，川本克也：有機性廃棄物のコンポスト化過程における重金属類の挙動，第 37 回日本水環境学会，熊本，2003 3，421

山田正人，石垣智基，小坂井崇，立尾浩一：産業廃棄物処理過程におけるメタン放出量の推定，第 23 回全国都市清掃研究発表会，京都，2002 .1，同講演論文集，370-372

山田正人，小野雄策，長森正尚，高橋伴幸：埋立地表面における地温とメタンフラックスの関係，第 12 回廃棄物学会研究発表会，横浜，2001 .10，同講演論文集，1026-1027

Yamada M., Osako M., Kim Y., Matsufuji Y., Takata M.: Leachability of dioxins from mixture of fly ash and bottom ash, 2001Co-Conf. 5th Int. Session Waste Manage. & Treat., Seoul, 2001 5, Proceedings, 31-35

山田正人，ブレント・イナンチ，石垣智基，井上雄三：最終処分場の安定化とは何か～適正な跡地利用に向けて～，第 10 回衛生工学シンポジウム，札幌，2002 .10，同論文集，177-180

山田正人，石垣智基，井上雄三，長森正尚，小野雄策：埋立地におけるメタンガスのモニタリング，環境科学会化学物質管理戦略研究会 2002 年研究会，東京，2002 2

Yamada M., Ishigaki T., Kozakai T., Inoue Y.: Some consideration on estimation method for national methane emission from solid waste landfills, 2002 Spring Conf. Korea Soc. Solid Manage., Seoul, 2002 5, 259-262

山田正人，大迫政浩：浸出水処理技術に関する最近の開発・研究動向，平成 14 年度廃棄物学会研究シンポジウム，東京，2002 5，同講演論文集，148-152

山田正人：廃棄物埋立地からのメタンの放出量の評価と対策，土木学会平成 14 年全国大会研究討論会「地球温暖化に関わる CDM/JI 事業の展開における土木の役割と可能性」，札幌，2002.9，講演資料集，31-33

山田正人，石垣智基，倉持秀敏，渡辺洋一，小野雄策，柴田昌彦：廃棄物・循環資源に対する選別・抽出技術の動向について，第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002.11，同講演論文集，149-150

山田正人，石垣智基，井上雄三，小坂井崇，小野雄策，長森正尚：埋立地表面における地温とメタンフラックスの関係（2），第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002.11，同講演論文集，949-950

長森正尚，渡辺洋一，木持 謙，小野雄策，河村清史，山田正人，石垣智基，井上雄三：管理型最終処分場の廃止基準に関する考察（1），第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002.11，同講演論文集，972-974

山田正人，石垣智基，井上雄三，小野雄策，谷川俊治，草加速太，橘 敏雄：廃棄物最終処分場における植物・土壌動物の特性について，第 13 回廃棄物学会研究発表会，京都，2002.11，同講演論文集，1011-1012

(3) 循環資源・廃棄物管理システムに対応した総合リスク制御手法の開発に関する研究

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

- 大迫政浩, 金 容珍, 酒井伸一: 埋立処分場における臭素系難燃剤の浸出および処理特性, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11, 同講演論文集, 1031-1033
- 倉持秀敏, 大迫政浩, 酒井伸一, 川本克也: PCDDs/DFsの物性定数の推算法としてのUNIFACモデルの評価, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6
- 倉持秀敏, 前田光治, 川本克也: 有機臭素化合物の水への溶解度の測定と活量係数の計算, 化学工学会第68回年会, 東京, 2003.3
- Watanabe I., Sakai S.: Environmental Release and Behavior of Brominated Flame Retardants-An Overview, Gyeongju, Korea, 2001.9, Organohalogen Compd., 52, 1-4
- Sakai S., Honda Y., Takatsuki H., Watanabe J., Aoki I., Nakamura K., Shiozaki K.: Polybrominated substances in waste electrical & electronic plastics and their behavior in the incineration plants, Gyeongju, Korea, 2001.9, Organohalogen Compd., 52, 35-38
- Behnisch P.A., Hosoe K., Brouwer A., Sakai S.: DR-CALUX® — and EROD-TEF values for dioxin-like compounds (PXBs/PXDDs/Fs; X = Br, Cl) and others (e.g. PAHs), 21st Int. Symp. Halogenat. Environ. Org. Pollut & POPs, Gyeongju (Korea), 2001.9, Organohalogen Compd., 52, 49-52
- Behnisch P.A., Hosoe K., Brouwer A., Sakai S.: Cross-validation study of the DR-CALUX® — bioassay comparison to micro-EROD bioassay and chemical analyses, 21st Int. Symp. Halogenat. Environ. Org. Pollut & POPs, Gyeongju (Korea), 2001.9, Organohalogen Compd., 54, 81-85
- Behnisch P.A., Hosoe K., Ozaki H., Nakamura K., Brouwer A., Sakai, S.: Hagenmaier drum-fly ash dechlorination/hydrogenation process: combinatorial bio/chemical analysis, 21st Int. Symp. Halogenat. Environ. Org. Pollut & POPs, Gyeongju (Korea), 2001.9, Organohalogen Compd., 54, 132-136
- Sakai S., Behnisch P.A., Hosoe K., Shiozaki K., Ohno M., Brouwer A.: PCB destruction by catalytic hydrodechlorination (CHD) and t-BuOK method: combinatorial bio/chemical analysis, 21st Int. Symp. Halogenat. Environ. Org. Pollut & POPs, Gyeongju (Korea), 2001.9, Organohalogen Compd., 54, 293-296
- 酒井伸一, 野馬幸生: PCBの処理技術について, 第34, 35回日本環境化学講演会, 東京, 2001.10, 同予稿集, 10-18
- Sakai S., Behnisch P.A., Hosoe K., Komatsu K., Ozaki H., Brouwer A.: Combined chemical and bioanalytical detection of dioxin-like persistent organic pollutants in emissions and residues (ash, slag) from thermal processes, 4th Annu Meet Jpn. Soc. Endocr. Disrupters Res., Tsukuba, 2001.12, Program & Abstr., 161
- 酒井伸一, 滝上英孝, Behnisch P.A., 細江和典, 汐崎 憲, 尾崎弘憲, 中村一夫: ダイオキシン類の脱塩素化処理におけるバイオアッセイモニタリング, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6, 同講演要旨集, 430-431
- 酒井伸一, 滝上英孝, 中村一夫, 細江和典, 汐崎 憲, 尾崎弘憲, 小島 健: ごみ焼却飛灰の脱塩素化処理におけるバイオアッセイ, 第24回全国都市清掃会議研究発表会, 東京, 2003.2
- 鈴木 茂, 安原昭夫: LC/MSによる環境微量分析, 第4回日本水環境学会シンポジウム, 北九州, 2001.9
- 鈴木 茂, 安原昭夫: 大気中の化学物質と質量分析法 GC/MSからLC/MSまで, 第42回大気環境学会年会, 北九州, 2001.10
- 鈴木 茂, 安原昭夫, 酒井伸一: 廃棄物を起源とする化学物質のLC/MS分析法の検討(1), 浸出水中の化学物質に関する基礎的検討, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6
- Behnisch P.A., Hosoe K., Brouwer A., Takigami H., Sakai S.: Cell bioassays (DR-CALUX® and Micro-EROD) for Ah receptor agonists, 4th Annu Meet Jpn. Soc. Endocr. Disrupters Res., Tsukuba, 2001.12, Program & Abstr., 179
- Takigami H., Sakai S.: Chemical Destruction Processes of PCBs and Their Combinatorial Bio/Chemical Monitoring, The 2nd PCB Workshop, Brno (Czech), 2002.5, Recent Adv. Environ. Toxicol. Health Eff. PCBs, 150
- 滝上英孝, Behnisch P.A., 細江和典, 汐崎 憲, 尾崎弘憲, 水上春樹, 大野正之, 酒井伸一: 廃PCBの分解処理におけるバイオアッセイモニタリング, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6, 同講演要旨集, 524-525
- 滝上英孝, 細江和典, Behnisch P.A., 酒井伸一: DR-CALUXを用いた残留性有機汚染物質(POPs)のbio-TEF

- 評価, 日本内分泌攪乱化学物質学会第5回研究発表会, 広島, 2002.11, 同要旨集, 219
- Okuyama A., Takenaka H., Nishi K., Mizukami H., Kozaki S., Kirihata M., Miyatake K., Takigami H., Sakai S., Morita M.: Development of enzyme-linked immunosorbent assay for the pre-screening of coplanar polychlorinated biphenyls, Barcelona, Spain, 2002.8, Organohalogen Compd., 58, 333-335
- Hosoe K., Behnisch P.A., Takigami H., Sakai S.: Determination of REP values by DR-CALUX® and Micro-EROD for several PCDD/Fs and Co-PCBs, and comparison to WHO TEF values (1998), Barcelona, Spain, 2002.8, Organohalogen Compd., 58, 373-375, 2002
- Takigami H., Hosoe K., Behnisch P.A., Shiozaki K., Mizukami H., Ohno M., Sakai S.: Validation study for practical bio-monitoring of waste PCB samples during their destruction treatment using DR-CALUX® assay and PCB immunoassay, Barcelona, Spain, 2002.8, Organohalogen Compd., 58, 397-400
- Noma Y., Sakai S.: Degradation pathways of PCBs by the palladium-catalyzed dechlorination, The 2nd PCB Workshop, Brno (Czech), 2002.5, Recent Adv. Environ. Toxicol. Health Eff. PCBs, 159
- 野馬幸生, 酒井伸一, 岡本 拓, 大野正之: パラジウム・カーボン触媒によるデカクロロビフェニルの分解経路に関する研究, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6, 同講演要旨集, 582-583
- Noma Y., Muramatsu T., Nishizawa K., Ohno M., Sakai S.: Dechlorination pathways of PCBs by photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination, Barcelona, 2002.8, Organohalogen Compd., 56, 413-416
- 野馬幸生, 酒井伸一, 大野正之, 西澤克志, 村松武彦: PCB分解における光反応及びパラジウム・カーボン触媒反応の違いについて, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11, 同講演論文集, 1079-1081
- 大野正之, 八木富士夫, 辻 隆博, 池田 勝, 高光繁和, 西澤克志, 村松武彦, 野馬幸生, 酒井伸一: 触媒水素化脱塩素化法でのPCB分解機構, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11, 同講演論文集, 1064-1066
- 村松武彦, 西澤克志, 大野正之, 野馬幸生, 酒井伸一: 廃PCBの光分解メカニズムに関する検討, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11, 同講演論文集, 1076-1078
- 橋本俊次, 大迫政浩, 酒井伸一: PyGC/MSによる臭素系難燃剤の熱分解特性に関する検討, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6, 同講演要旨集, 586-587, 2002
- 橋本俊次, 大迫政浩, 酒井伸一: 熱処理過程における難燃性プラスチック類からの生成物に関する研究, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6, 同講演要旨集, 592-583, 2002
- 毛利紫乃, 山田正人, 井上雄三: 最終処分場浸出水のリスク早期警戒システムの構築 生物試験の可能性, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11
- 毛利紫乃, 山田正人, 井上雄三, 中村匡聡, 岡村秀雄: 最終処分場浸出水の水生物試験による生態毒性評価, 第37回水環境学会年會, 熊本, 2003.3
- 安原昭夫, 鈴木 茂: 21世紀の環境問題と分離分析 循環型社会の構築を目指して, 第8回クロマトグラフィシンポジウム, 東京, 2001.5
- 安原昭夫: 廃棄物研究とMS, 第50回質量分析総合討論会, 京都, 2002.5
- 中宮邦近, 安原昭夫, 酒井伸一, 森田昌敏, 上田裕一: 高温型生ゴミ処理装置における魚肉中PCBの分解挙動, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6
- 安原昭夫, 鈴木 茂, 山本貴士, 毛利紫乃, 山田正人, 井上雄三, 行谷義治: 廃棄物埋立地浸出水および処理水中の無機成分, ジオキサン, フェノール類およびフタル酸エステル類の濃度, 第13回廃棄物学会研究発表会, 京都, 2002.11
- 永瀬 誠, 土田大輔, 高橋浩司, 鳥羽峰樹, 宇都宮彬, 近藤紘之, 安原昭夫, 長谷部清: プラスチック廃棄物中の有害化学物質の定量, 第18回全国環境研究所交流シンポジウム, つくば, 2003.2
- Yamada M., Inoue Y., Kinase N., Ono Y., Yoshino H., Oda Y., Amanuma K., Sakai Y., Ichikawa I., Mohri S.: Development of Early Warning System for Landfill Site Management with a Battery of Biotests, SETAC Eur. 12th Annu. Meet., Vienna, Austria, 2002.5, Challenges in Environ. Risk Assess. Modelling Abstr.
- 山本貴士, 安原昭夫: 有機ハロゲン化合物の簡易分析のための分画法の検討, 第11回環境化学討論会, 箱根, 2002.6

(4) 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

Saitou T., Sugiura N., Itayama T., Inamori Y., Matsumura M.: Degradation of microcystin by microorganisms on biofilm in practical treatment facility, Asian Waterqual 2001 1st IWA Asia-Pac. Reg. Conf., Fukuoka, 2001 9, Proc., 31

斎藤 猛, 杉浦則夫, 板山朋聡, 稲森悠平, 松村正利: 有毒アオコ産生 *microcystin* の生分解に及ぼす pH の影響, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 105

桑原健太郎, 杉浦則夫, 岩見徳雄, 板山朋聡, 稲森悠平: 湖沼シミュレーターを用いた藍藻類 *Microcystis* 属と *Oscillatoria* 属の競争関係に及ぼす温度影響, 第9回世界湖沼会議, 大津, 2001 .11, 同発表文集第4分科会, 126-129

斎藤 猛, 松村正利, 杉浦則夫, 板山朋聡, 稲森悠平: 霞ヶ浦から単離した *Sphingomonas* 属からの *microcystin* 分解酵素遺伝子の検出, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11, (22), 115

Inamori Y., Mizuochi M., Iwami N.: Improvement of lake water quality using bio-eco engineering system, Int. Semin., Integrated Watershed Manage. Toward 21st Century, Incheon, 2001 6, Abstracts., 187-201

Noda N., Yoshie S., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: PCR-DGGE analysis of denitrifying bacteria in a metallurgic wastewater treatment process, 3rd IWA Int. Spec. Conf. Microorganisms Act Sludge & Biofilm Processes, Roma, 2001 6, Proc.

Ebie Y., Miura H., Noda N., Matsumura M., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Detection and quantification of expression of *amoA* by competitive reverse transcription-PCR, 3rd IWA Int. Spec. Conf. Microorganisms Act Sludge & Biofilm Processes Roma, 2001 6, Proc., 210-217

Hoshino T., Noda N., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Direct detection of ammonia monooxygenase gene in a biofilm by in situ PCR, 9th Int. Symp. Microb. Ecol., Amsterdam, 2001 8, Abstr., 384

Ebie Y., Miura H., Noda N., Matsumura M., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Quantitative analysis of AMOA expression in autotrophic ammonia-oxidizing bacteria by competitive reverse transcription-PCR, 9th Int. Symp. Microb. Ecol., Amsterdam, 2001 8, Abstr., 384

稲森悠平: 窒素, リン除去技術と生物膜法, 第4回日本水環境学会シンポジウム, 北九州, 2001 9, 同講演要旨集, 127

Yoshie S., Noda N., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Characterization of microbial community in nitrogen removal process of metallurgic wastewater by PCR-DGGE, Asian Waterqual 2001 First IWA Asia-Pacific Reg. Conf., Fukuoka, 2001 9, Proc., 479

Ebie Y., Matsumura M., Noda N., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Community analysis of nitrifying bacteria in advanced and compact Gappei-Johkasou by FISH and PCR-DGGE, Asian Waterqual 2001 First IWA Asia-Pacific Reg. Conf., Fukuoka, 2001 9, Proc., 513

三浦英智, 蛭江美孝, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: アンモニア酸化活性に関わる機能遺伝子とその発現特性に基づいた微生物群集構造の評価・解析, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 14

蛭江美孝, 稲森悠平, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 松村正利: メタノール添加による有機物負荷の増大下における浄化槽内硝化細菌の個体群動態の解析, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 15

小松央子, 小沼和博, 稲森悠平, 萩谷昭三, 須藤隆一: 高度化のための既設合併処理浄化槽の改造効果の N, P, AGP からの評価, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 19

稲森悠平, 中川和哉, 小松央子, 高井智丈, 水落元之, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰: 吸着法を用いたリンの除去と回収条件の評価・解析, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 21

生田 創, 松村正利, 稲森悠平: アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の混合培養における動態解析, 日本水処理生物学会第 38 回大会, 神戸, 2001 .11, 日本水処理生物学会誌, (21), 22

- 小松央子, 小沼和博, 稲森悠平, 萩谷昭三, 須藤隆一: 窒素, リン高度処理システムの付加による既存合併処理浄化槽の水質改善効果, 第9回世界湖沼会議同会議, 大津, 2001.11, 発表文集第3分科会, 161-164
- 岩見徳雄, 藤井邦彦, 杉浦則夫, 稲森悠平: 浄化槽の処理機能向上のための輪虫の高密度化手法の開発, 第9回世界湖沼会議, 大津, 2001.11, 同発表文集第3分科会, 165-168
- 稲森悠平, 島谷幸宏, 庄田丈夫, 小川雄比古, 齊藤啓吾, 孔 海南: 太湖水環境修復モデルプロジェクト, 第9回世界湖沼会議第3分科会, 大津, 2001.11, 同発表文集, 237-240
- 稲森隆平, 井上武雄, 岩見徳雄, 水落元之, 稲森悠平: アシ・マコモ系植栽浄化法における有機物 N・P 除去特性と温室効果ガス発生特性, 日本水処理生物学会第38回大会, 神戸, 2001.11, 日本水処理生物学会誌, (21), 52
- 桑原享史, 松村正利, 藤本尚志, 林 紀男, 稲森悠平, 水落元之: 高次捕食者として魚類を導入したラグーン法の評価・解析, 日本水処理生物学会第38回大会, 神戸, 2001.11, 日本水処理生物学会誌, (21), 53
- 稲石高雄, 中里広幸, 李 先寧, 稲森悠平, 水落元之, 松村正利: ビオパーク浄化法のクレソン水路における浄化能力と隔離水界による解析, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 129
- 小松央子, 小沼和博, 藤井邦彦, 稲森悠平, 板山朋聡, 萩谷昭三, 戒野棟一, 須藤隆一: 生活排水対策としての既存BOD型合併処理浄化槽の窒素・リン除去型への改造における改善効果のAGP等による評価, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 149
- 稲森悠平, 水落元之, 中川和哉, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 小松央子, 小沼和博, 高井智丈: 吸着脱リン法による生活排水の高度処理およびリン再生ステーションの構築, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 170
- 生田 創, 稲森悠平, 松村正利: MPN法, ELISA法およびFISH法による活性汚泥中におけるアンモニア酸化細菌の定量特性の比較検討, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 195
- 稲森悠平, 国安祐子, 中川 剛, 村上和仁, 瀧 和夫: マイクロコズムとしての捕食者 *Trithymostoma* sp. および被食者 *Oscillatoria* 属を導入したシステムの構築, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 233
- 星野辰彦, 永野達生, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: *in situ* PCR法による生物膜内アンモニア酸化細菌の機能遺伝子の検出, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 299
- 蛭江美孝, 松村正利, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 高濃度有機物流入時における浄化槽内硝化細菌の分子生物学的評価解析, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 372
- 楊 瑜芳, 稲森悠平: 生ゴミディスポーザ破砕物の高温好気反応による操作条件の適正化, 第36回日本水環境学会年会, 岡山, 2002.3, 同講演集, 409
- Hoshino T., Noda N., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: In situ PCR for visualizing of distribution of a functional gene amoA in biofilm regardless of its activity, Int. Conf. Biofilm Monitor. Porto, 2002.3, Proc., 340-342
- Ebie Y., Noda N., Tsuneda S., Hirata A., Matsumura M., Inamori Y.: RT-PCR DGGE for monitoring gene expression of ammonia oxidizer in wastewater treatment process, 7th Symp. Bact. Genet. Ecol., Bergen, 2002.6, Abstr., 102
- Hoshino T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: In situ PCR for detection of ammonia monooxygenase gene in a biofilm, 7th Symp. Bact. Genet. Ecol., Bergen, 2002.6, Abstr., 106
- Noda N., Yoshie S., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Characterization of nitrite reductase activity based on nitrite reductase genes (*nirS*) in saline wastewater treatment processes, 7th Symp. Bact. Genet. Ecol., Bergen, 2002.6, Abstr., 112
- Yoshie S., Noda N., Miyano T., Tsuneda S., Hirata A., Inamori Y.: Quantitative analysis of microbial community in the denitrification process of saline-wastewater treatment system using new 16S rRNA-targeted oligonucleotide probes, 7th Symp. Bact. Genet. Ecol., Bergen, 2002.6, Abstr., 129
- 稲森悠平: 窒素, リン対応を踏まえた生ごみディスポーザ処理システム等の技術開発動向と課題, 第5回日本水環境学会シンポジウム, 府中, 2002.9, 109-110
- 稲森悠平, 大阪利文, 吉江幸子, 常田 聡, 平田 彰: 分子生物学的手法を用いた排水処理プロセスにおける脱

窒細菌の解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 20

近藤貴志, 星野辰彦, 吉江幸子, 蛭江美孝, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 分子生物学的手法を用いた生物学的リン除去プロセスにおける有用微生物の評価・解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 21

三浦英智, 蛭江美孝, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: アンモニア酸化細菌の群集構造と活性発現の排水処理プロセスにおけるモニタリング解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 23

稲森悠平, 寺原 猛, 星野辰彦, 常田 聡, 平田 彰: T-RFLP 法による排水処理微生物叢の解析評価, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 43

岩見徳雄, 稲森悠平, 金 正淑, 藤井邦彦: 高度合併処理浄化槽への有用輪虫類の高密度化およびシーディング剤化手法の開発, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 68

中川和哉, 高井智丈, 小松央子, 小沼和博, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 生活排水対策としての浄化槽への吸着脱リン法導入による高度化・資源循環システムの構築, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 69

小松央子, 小沼和博, 稲森悠平, 水落元之, 萩谷昭三: N・P 対応型への既存合併処理浄化槽の改造による評価解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 71

板山朋聡, 稲石高雄, 稲森悠平: 生態工学技法としての植栽浄化システムのモデル解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 85

桑原享史, 松村正利, 藤本尚志, 林 紀男, 稲森悠平, 水落元之: ラグーン法における高次捕食者導入の浄化能におよぼす効果, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 86, 2002

稲石高雄, 稲森悠平, 水落元之, 中里広幸, Preeda Parkpian: タイ王国における水耕植物を活用したバイオパーク浄化法の処理能力の解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 87

稲森悠平, 牧野 博, 三浦英智, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰: 環境中における有毒藍藻類の分子生物学的评价手法による解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 119

楊 瑜芳, 稲森悠平: 高温好気反応による生ゴミディスプレイ破砕物の処理効果の解析, 日本水処理生物学会第 39 回大会, さいたま, 2002 .11 ,(22), 136

稲森悠平, 牧野 博, 三浦英智, 常田 聡, 平田 彰, 野田尚宏: 分子生物学的手法を用いた湖沼の有毒藍藻類の評価・解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 ,(22), 17

桑原享史, 松村正利, 藤本尚志, 林 紀男, 稲森悠平, 水落元之: フィッシュポンドを導入したラグーン法における高次捕食者の効果解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 70

稲石高雄, 稲森悠平, 水落元之, 中里広幸: 水耕生物ろ過法であるバイオパーク浄化法のタイ王国における除去能力と収穫物の解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 131

中川 剛, 蛭江美孝, 松村正利, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 高度合併処理浄化槽におけるアンモニア酸化特性と硝化細菌の個体群動態解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 186

岩見徳雄, 藤井邦彦, 稲森悠平: 高度合併処理浄化槽における有用輪虫類の高密度定着による汚水処理特性, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 187

中川和哉, 常田 聡, 平田 彰, 高井智丈, 稲森悠平: オゾン活用 A₂O 法における污泥減容化および窒素・リン高度除去システムの開発, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 297

蛭江美孝, 松村正利, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 窒素濃度および温度がアンモニア酸化酵素遺伝子の発現に及ぼす影響, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 428

稲森悠平, 大阪利文, 吉江幸子, 常田 聡, 平田 彰: 分子生物学的手法を導入した脱窒細菌の基質資化特性に基づいた群集構造解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 431

稲森悠平, 寺原 猛, 星野辰彦, 常田 聡, 平田 彰: T-RFLP 法による排水処理微生物叢の簡易・迅速モニタリング技術の開発, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 434

吉江幸子, 野田尚宏, 常田 聡, 平田 彰, 稲森悠平: 混合状態の異なる脱窒リアクターに存在する亜硝酸還元酵素遺伝子群の比較解析, 第 37 回日本水環境学会年会, 熊本, 2003 3 , 436

楊 瑜芳，稲森悠平：生ごみディスポーザ破砕物の高温好気反応による有機物分解特性の解析，第 37 回日本水環境学会年会，熊本，2003 3，520

岩見徳雄，藤井邦彦，相馬修正，水落元之，稲森悠平：高度合併処理多孔質担体充填浄化槽における輪虫類の個体数制御と浄化特性の解析，日本水処理生物学会第 38 回大会，神戸，2001 .11，日本水処理生物学会誌，(21)，74

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- 60 - 2003

平成 15 年 11 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 イ セ ブ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保 2 丁目 11-20

Published by the National Institute for Environmental Studies

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

November 2003

無断転載を禁じます