

平成12年度

# 創薬等ヒューマンサイエンス研究

## 重点研究報告書

### 第6分野

医用材料及び製剤設計技術の開発に関する研究

# 目 次

## 課題番号

20000994A	61021	新規体外循環システムの創製と評価技術の開発	渋谷 統寿	……	1
	61027	循環型社会に対応した有機性廃棄物の資源化処理システムの開発	○田中 勝	……	9
	61100	医薬品製造におけるプロセスバリデーションと科学的品質保証に関する研究	森川 馨	……	16
	61111	膜型人工肺を用いた小児用呼吸循環補助システムの開発（小児用ECMOシステムの開発）	中川 聡	……	40
	61131	セラミックビーズを用いた抗原・抗体捕捉法による簡便な感染症診断技術の開発	田代 真人	……	45
20000995A	61245	血液凝固線溶制御因子に関する基礎的研究並びに関連医薬品の有用性確保及び診断技術の確立	○内田恵理子	……	54
20000996A	61248	酸性多糖類の医用材料としての応用に関する基礎的研究	○四方田千佳子	…	64
	61268	人工臓器材料の長期間安全性評価に有用な指標に関する基礎的研究	土屋 利江	……	74

## 循環型社会に対応した有機性廃棄物の資源化処理システムの開発

所 属 国立公衆衛生院 廃棄物工学部  
研究者 田中 勝

分担研究者

山村 勝美 財団法人 廃棄物研究財団

### 要 旨

し尿処理汚泥及び生ごみ等の有機性廃棄物に含まれる有用物質を再利用するための要素技術（固形有機物の前処理技術（可溶化、低分子化等）及び炭素・窒素・リン回収（資源化）技術）並びに資源化処理システムの総合評価手法の開発に関する研究を進めた。

### 1. 研究目的

焼却処理施設からのダイオキシン等微量有害物質の発生によって、地方自治体は一般廃棄物処理システムの抜本的改革（小規模焼却処理の見直し、全量焼却の見直し、RDF(ごみ燃料)への変更など）を迫られている。持続的発展のためには可燃ごみの一律焼却から有用物質のリサイクル等先端的な処理方式の導入による微量有害物質の環境汚染防止、廃棄物の減量化及び省資源・省エネルギー化等多様な処理・有効利用に関する要素技術が必須となっている。また、地域における有機性廃棄物の処理・処分の問題に対しては、それぞれの地域が持っている有機性廃棄物の発生構造及び資源化物の需要構造から見た新しい資源化・減量化或いは無害化技術やシステム開発が必要となっている。

本研究では研究対象としてし尿処理・浄化槽汚泥、家畜糞尿等農業廃棄物、食品加工からの有機性廃棄物、生ごみ、下水汚泥など地域で発生している含水率の高い有機性廃棄物を取り上げ、それらの再資源化のための再資源化処理技術及び再利用を促進する上で障害となる有害物質を無害化・除去するための要素技術及びシステム構築に関する研究開発を実施する。すなわち、(1)固形有機物の可溶化、低分子化等の前処理技術の開発、(2)炭素、窒素、リン回収（資源化）技術の開発及び、これらの技術を社会システムに適用するための(3)資源化処理システムの総合評価手法の開発に取り組む。具体的には、高機能微生物の分離・大量培養、特定機能発現プラスミドの分離・導入等を利用した高含水有機性廃棄物に含まれるC、N、Pの回収・有効利用に関する技術開発を行うとともに、廃棄物処理システムのLCAを行う。また、新技術の導入やLCAに基づく適正システム設計を通じて、循環型社会に対応した有機性廃棄物の資源化処理システムの構築を目指すものである。

### 2. 研究方法

本研究を実施するにあたり、研究運営委員会、班会議及び合同班会議を開催し、国立公衆衛生院、廃棄物研究財団（官学民研究協力者を含む）により以下のような方法をとった。

- ✓ 年2回開催の研究運営委員会によって研究実施計画の作成と研究の取りまとめ等、及び研究開発目標の確認を行った。
- ✓ 本テーマを4つのサブテーマに分けてそれぞれ研究班を組織し、各班会議を年2回ずつ開催し、そこで研究の進捗状況の報告と必要な調整を行った。班構成は(1)前処理技術班、(2)高機能バイオリアクターの開発班、(3)資源化技術班、(4)総合評価班とした。
- ✓ 年1回開催する合同班会議にて、当該年度の研究成果発表を行った。

なお、国立公衆衛生院は研究分担者を含めた研究班組織を構築するとともに、各研究班に主任研究者の研究課題を持って担当者を派遣し、上記会議の中で研究活動を指導した。

### 3. 研究成果

平成12年度のサブテーマごとの研究成果の概要は次のとおりであるが、ここでは重要な成果が得られた研究テーマについて主として報告し、その他のテーマについては簡単にまとめた。

#### (1) 有機性廃棄物の資源化のための前処理技術の開発

このサブテーマでは、有機性廃棄物の資源化のための前処理技術の開発を主目的とした。

## 1) 可溶化技術の開発

**i 物質添加による可溶化：** 都市下水処理場及び食品工場からの濃縮された余剰汚泥、消化汚泥及び有機性廃棄物の一つとしての食肉に、界面活性作用・溶血作用・抗菌作用等をもつサポニンを添加し、可溶化の有無の評価を行った。サポニン添加による消化ガス発生の評価と破碎食肉（豚の内臓）からの消化ガス発生量を測定した結果、サポニン添加によって低級脂肪酸が減少し、ガス発生量が増加することが明らかになった。また、バチルス菌の利用について、回分式実験に基づきメタン発酵促進効果ならびに油脂分解特性についての検討を行った結果、嫌気性消化においてバチルス菌がサポニンと共にメタン発酵に影響を及ぼすことが明らかとなった。

**ii 機械的破碎による可溶化：** 機械的破碎した活性汚泥からの有用酵素（プロテアーゼ）の濃縮分離と酵素の利用方法に焦点を当てて、5種類の汚泥のプロテアーゼについて比較検討した。機械的破碎装置としては DYNOMILL にガラスビーズを充填して使用した。その結果、汚泥の種類によりプロテアーゼの温度依存性が異なっていることが明らかとなった。また、汚泥破碎液の上清液からの有用酵素の濃縮法としては、硫酸塩析法が有機溶媒沈殿法よりも濃縮比が高いことが明らかとなった。酵素による汚泥可溶化は見られなかったが、たんぱく質の加水分解は可能であったことから、余剰汚泥内の酵素がたんぱく質等を含む実際の排水処理に利用できることが示唆された。酵素の回収と再利用についてコスト試算した結果、汚泥破碎液(27m<sup>3</sup>)から酵素（プロテアーゼ活性 80,100kU）を回収するために消費する硫酸(1,860kg)のコストは 2,990 万円、回収されるプロテアーゼのコスト 3,200 万円で利益の方が大きくなり、ミル破碎による余剰汚泥の再資源化技術の実用化は可能であると考えられた。

余剰汚泥の前処理方法として、オゾン処理、機械的破碎のメタン発酵の促進効果を検討した。その結果、これら処理によりメタンガスの発生量が増大し、余剰汚泥をメタン発酵されやすい形に変換できることが明らかになった。また、余剰汚泥細胞破片はアルカリによる可溶化処理を行うことで微生物による資化が可能であることが明らかとなった。一方、エネルギー消費について、前処理なし、オゾン処理、機械破碎の3つの方法について比較すると、前処理に対する投入エネルギーはそれぞれ 0kwh/日、145kwh/日、541kwh/日であったのに対して、回収エネルギーはそれぞれ 429kwh/日、637kwh/日、644kwh/日となり、オゾン処理がエネルギー回収上有効であることが明らかとなった。

セラミック製高速回転ディスク（直径 20cm）による下水処理場返送汚泥の処理を行った。運転条件としては、50℃の前加温によって可溶化が促進されること、下水汚泥の方がし尿処理汚泥より可溶化が容易であることが明らかとなった。また、ディスク間隔を大きくしたバッチ式非接触式高速回転ディスクを新規に開発して可溶化性能を評価した結果、一過式のディスク装置に比べて高効率に可溶化できることが明らかとなった。バッチ式の方がディスク間隔を広く設定できることから、メンテナンスや装置の工作精度等について有利であると考えられた。消費エネルギーを考慮した場合の最適運転条件は、ディスク間隔を任意とし、回転数 5000rpm であると推定された。また、し尿処理余剰汚泥を対象に非接触式高速回転ディスク処理を実施した結果、水素供与体としての効果がメタノールの約 70%であることが明らかとなった。

**iii 加圧・加熱処理：** リサイクルされない紙類に焦点を当て、メタン発酵の効率を高める目的として、湿式酸化処理による可溶化条件を検討した。新聞紙ならびにトイレットペーパーを対象に湿式酸化処理を適用し、メタン発酵性に与える影響を評価した結果、リグニンの分解にはアルカリ性条件での湿式酸化が効果的であることが明らかとなった。なお、190℃、アルカリ性で処理した湿式酸化液を用いた場合、メタン変換効率は、58 日で 72%、79 日で 93%となり、処理液中のセルロースはほぼ分解されたが、リグニンはほとんど分解されなかった。100 日間の半連続実験の結果、メタン変換効率は 50~76%であった。

また、3種類の紙類（段ボール、カラー印刷厚紙、カラーコート紙）を基質として、滞留時間 20 日のメタン発酵実験を行った。その結果、リグニンを含むダンボールではメタン生成能が低いこと、対象とした紙類のメタン発酵にとってメタン生成段階、酸生成段階がいずれも律速にはなっていないことが明らかとなった。また、カラーコート紙のコーティング層の主成分はアルミニウム及びシリコンであり、生物処理では分解されにくいことが明らかとなった。

**iv 可溶化システム開発：** 「高含水率有機性廃棄物高速処理システム」（ウエットコンポスト化システム）を利用し、有機性廃棄物を活性汚泥装置や特定微生物反応槽（例えばメタン発酵プロセス）のための可溶化システム開発を行った。目的は、1)システムを構成するユニット装置の開発、2)システム性能最適化のための処理機構評価、3)性能向上のための最適微生物群の添加と制御、である。高速可溶化装置に糊殻を用いた人工生ごみ+油分を投入して、可溶化速度と炭素収支を検討した。その結果、投入廃棄物の 75%以上が可溶化ならびに無機化することが明らかとなった。なお、水供給量を大きくすると可溶化率が増加するが、可溶化液の濃度低下を来した。また、負荷量の増加により高濃度の可溶化液が生産されるが、

無機化率も増加し、背反する要素があることが明らかとなった。

## 2) リスク削減技術の開発

**機能性膜によるリスク削減：**排水中からの環境汚染物質除去の観点から、特定の重金属に反応して膜細孔を開閉させる機能膜（ゲート膜）の開発に取り組んだ。この機能膜は、有用資源回収の際には環境汚染を起こす重金属イオンがプロセスに混入することを想定し、排水中に重金属が混入したときに膜ろ過操作を停止させるものである。膜は PE 多孔質基材とした NIPAM と BCAM のプラズマグラフト共重合によって作成し、その特性について検討した。開発したイオン認識ゲート膜はクラウンホストのイオン認識機能によって多くのイオン ( $K^+$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  など) を認識したが、 $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  等は認識されなかった。また、温度を一定にして  $Ba^{2+}$  0.01[M]/ $Ca^{2+}$  0.09[M] 混合溶液と  $Ca^{2+}$  0.1[M] を交互に透過させた結果、 $Ca^{2+}$  は Benzo-18-crown-6 と錯形成しないため大量に混合していてもゲートの応答性には関与せず、混合している微量な  $Ba^{2+}$  に応答して、ゲートが迅速に可逆的に開閉することが分かる。また、環境適用型 SEM 観察によって細孔の開閉を確認した。応答速度は非常に早く、開閉時ともに 30 秒以内で透過性が大きく変わった。また、透過性の変化は 50 倍以上と高いゲート効果を示した。

## 3) 可溶化可能性評価技術の開発

ビール絞り粕をベースとする資源化処理システムの開発に取り組んだ。モルト粕の直接利用によるキノコ栽培を行い、廃菌床の再利用方法の検討を行うとともに再資源化処理プロセスにおける処理量、生産量の評価を行った。その結果、各産物（野菜、養殖）の年間生産量は、モルト粕 21.5t/年（水分 80%）に対してキノコ 2.2t/年、豚肉 0.5t/年、メタンガス 161m<sup>3</sup>/年、漁獲量 0.6t/年と推定された。

## (2) C, N, P 回収（資源化）技術の開発

このサブテーマでは、有機性廃棄物から利用可能な資源回収を図ることを主目的とした。

### 1) 低級脂肪酸等の効率的回収プロセスの開発

**i 揮発性脂肪酸回収技術：**生ごみから効果的に低級脂肪酸を回収するリアクターの開発を目的として、モデル生ごみをホモジナイザーで粉碎してペースト状としたものの分解特性を把握するとともに、粉碎の度合いによる発酵特性を検討した。先年に単離した *Clostridium* 属細菌群を大量培養し、ペースト状の基質をふるいでサイズ分けして回分発酵実験を行った。滞留時間 2 4 時間程度では、固形性有機物の直接発酵では発酵率が 4.5% と低かったが、生ごみペースト（水無添加）では TOC 50.6g/l となり、生成された VFA 濃度は最高で 14g/l に達し、生ごみ単位量当たり (TOC ベースで) 15~19% 程度が VFA 及びアルコールとして回収された。固形物の粉碎度合いとしては、粒径を 2mm 以下にすれば効果的に分解できることが明らかとなった。

また、生ごみ、し尿汚泥を対象に、酸発酵速度に及ぼす HRT および発酵温度の影響把握を嫌気性条件下で試みた。その結果、可溶化率は HRT および温度の増加につれて高くなり、発酵温度によって発酵生成物に変化した。なお、このときたんぱく質の分解は進んでいなかった。温度の影響としては、可溶化率には中温、高温で大きな相違が見られなかったが、有機酸生成率 (VFA/T-COD) は高温ほど高く、酢酸が多く生成された。また、乳酸は低・中温で多く生成されることが明らかとなった。

**ii 乳酸回収技術：**標準的生ごみを用いて、ホモ乳酸発酵菌による発酵特定並びに微生物学的特性を実験的に検討し、乳酸発酵槽の設計および運転のための基本パラメータを求めた。実験では標準生ごみを熱処理 (80℃、30 分) し、熱処理生ごみの組成 DS 174.5(g/l)、VTS 150.9(g/l)、TOC 51.3(g/l) を対象として、*Lactobacillus amylovorus* を培養した。*L. amylovorus* は、増殖が早く、菌体収率 0.15、嫌気性での乳酸生成能が高く、乳酸生成率が 0.09 と乳酸発酵に適していることが明らかとなった。生ごみの発酵特性として温度 45℃、熱処理温度として 100℃ が最適となり、生ごみの固形物濃度 15% を発酵することによって 7% 以上の乳酸濃度を達成することができた。また、乳酸回収の目的で電気透析装置の適用を検討した結果、必要電力量は乳酸 1kg 当たり 0.14kwh となった。乳酸回収の発酵プロセスとして、固液分離 + 電気透析 + 上流システムを提案し、その基本特性を明らかにした。

### 2) 機能性バイオポリマー生産

**i バイオフィロキュラントの生産：**低級脂肪酸からバイオコンバージョンによりバイオフィロキュラント (BF) を生産するプロセスの開発を目指し、適正培養条件の検討、実際の汚泥嫌気性消化液を用いた BF 生産の可能性の検討を行った。バッチ培養で BF 生産の最適化を図り、バイオフィロキュラント (BF) を生成する微生物 *Citrobactor sp. TKF04* 株を用いた回分テストで凝集力価 900 を得た。基質濃度は 5g/l が好適となった。BF 生産は C/N 比によって大きな影響を受け、C/N 比が 10 では 22,300 の凝集力価を記録した。また、実用化に向けて汚泥嫌気性消化液からの BF 生産性について検討し、余剰汚泥を酸発酵させた上澄み

液（酢酸とプロピオン酸を含む）を対象に BF 生産を検討した結果、BF 生産には酵母エキスの添加が必要であることが明らかとなった。

**ii PHA 生産：** 活性汚泥の PHA 生産反応並びにその生産能力に影響を及ぼす因子について検討した。影響因子としては処理プロセス内の pH、流入基質濃度、水温、SRT などを取り上げた。嫌気好気性汚泥プロセスによる小規模実験装置を作成し、各因子の影響を検討した結果、PHA 生産反応では低 pH 域で阻害が現れ、未解離の酢酸分子が阻害している可能性があること、水温の影響が小さいことが示された。また生産能力については、pH は中性より高い方がよく、酢酸濃度が影響すること、グルコース主体の基質と酢酸主体の基質の PHA 生産性を比較すると酢酸主体のほうが高くなることが示唆された。実污水と酢酸添加污水とを比較すると PHA 含有率は酢酸添加の方が 10%向上して 30~35%となった。活性汚泥の SRT の影響については人工下水と実污水とでは若干影響が異なった。また、従来の嫌気好気法に比し、嫌気槽と好気槽を逆に配置するプロセスを開発し、PHA 蓄積の可能性を検討した。好気槽の HRT が短いほど PHA 含有量は高くなり、余剰汚泥発生量を低減する効果が見られた。

### 3) 各種有用菌体の生産工程の開発

光合成細菌（紅色非硫黄細菌）を培養し、飼料微生物や生物分解性プラスチックの原料となる PHA を回収するために回転平膜装置をフォトバイオリアクターとした「光合成細菌培養/回収システム」の開発を試みた。光合成細菌増殖に関する動力学的モデルの構築を行った結果、エネルギー有効利用の観点から、効率的な光照射条件を検討し、フォトバイオリアクターの光照射深度をより浅く、SRT を長く設計することで投入エネルギーを有効利用できることが明らかとなった。

また、生ごみ・各種有機性廃棄物から酵母を生産するプロセスの開発を目指し、下水汚泥、浄化槽汚泥、生ごみを供試体とし、その処理液の酵母生産能力の検討を行った。使用酵母は *Hansenula fabianii* J640 株と *Saccharomyces cerevisiae* であり、生ごみを市販ミキサーで粉碎し、遠心分離した上澄み液については *Hansenula fabianii* J640 株を用いた場合、対照とした 1/8 標準培地と比べて約 80%の増殖を示し、生ごみ TOC の 5%が酵母に転換した。*Saccharomyces cerevisiae* の場合は、醸造用酵母であり、炭水化物や糖類の多い生ごみに適し、酵母転換率は 13%に達した。

### 4) リンの回収技術

**i 物理化学的方法：** リンの高性能凝集剤である Poly Silicato Iron (PSI) を連続的に製造する装置を製作し、安定的に PSI を製造した。また、PSI を長期間ゲル化させずに貯留するために、Na<sup>+</sup>を除去してエタノールを添加する方法を見だし、長期貯留 PSI の凝集能力を確認した。また、凝集汚泥に含有されるリンに対して酵素及び有機酸による可溶化について検討した。その結果、酸性フォスファターゼによって汚泥中の有機体リンの約 50%が可溶化されること、クエン酸によって 1g の汚泥から約 8mg のリン酸が可溶化されることを確認した。また、低耐リン性のビートを生物汚泥に施肥し、酸性フォスファターゼを注入して栽培し、リン酸肥料と同等以上の収穫量を得た。

一方、吸着剤を利用したリン回収法としてハイドロタルサイト系化合物 (HTAL) からのオルトリン酸脱離・再生条件について検討を行った。HTAL 単体および粒状 HTAL と模擬排水を用い、NaCl と NaOH の濃度を変化させた実験を行った結果、20%NaOH で最高（約 80%）の脱離率が得られた。また、アルカリ脱離+MgCl<sub>2</sub>50%以上による再生条件において、脱離率は 70~80%であったが高い再生率が得られた。また、CaCl<sub>2</sub>による脱離液からのリン回収を行った。その結果、アルカリ濃度によらず、Ca/P（モル比）=3/2 でリンはほぼ完全に沈殿除去された。また、最終 pH が 6.3~6.9 の範囲では残留リン濃度は 1~2mg/l であった。沈殿リンを Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> と仮定したよりも実測値は明らかに多かったが、これはヒドロキシアパタイトなどの多様なリン酸カルシウム塩が生成されているためと思われる。

また、フェライト系のリン吸着剤について、吸着基本特性、脱着特性、再生特性、及び実排水によるカラム吸着特性について検討した。吸着実験を実施した結果、吸着等温線はラングミュラー型であらわすことができること、5 時間ほどで吸着速度が緩やかにすることが示された。脱着実験より、水酸化ナトリウム濃度が高い方が脱着率がよいことがわかり、6%水酸化ナトリウムが脱着に適していることがわかった。再生については、1パス型再生方法が最も良いが、循環型再生方法でも吸着能力に大きな差は見られず、循環型再生方法が適していると考えられた。また実排水を適用した実験から、膜分離液では実験排水より吸着が良いことが明らかとなった。

**ii 生物学的方法：** リンを菌体中に高濃度に蓄積する細菌を用い、微生物が体内にリンを高濃度に蓄積する現象（オーバープラス）の機序について検討した。同現象を生じる *Klebsia aerogenes* のポリリン酸合成酵素をコードする *ppk* 遺伝子と分解酵素をコードする *ppx* 遺伝子とを取得し、塩基配列を定めた。*K. aerogenes* は、リン酸飢餓状態としたときにポリリン酸合成酵素活性は増加するが、分解酵素活性は低下

した。この過程で、*ppk* 遺伝子と *ppx* 遺伝子の転写状況を解析したところいずれも増加することが認められ、酵素の転写過程では正常に翻訳されていた。ただし、分解酵素の活性はリン酸飢餓状態ではリン十分な条件時より約 1/5 に低下しており、分解酵素の転写翻訳後に何らかの修飾を受け、活性低下を引き起こすことが示唆された。

また加熱によりリン含有汚泥よりポリリン酸顆粒を遊離させた上で、カルシウムを添加して効率的に回収することを目的として、実際の余剰汚泥を用いてリン回収・再資源化システムを検討した。嫌気好気法の実汚泥を処理した結果、得られたのはポリリン酸ではなく多くはリン酸であった。塩化カルシウムだけでは十分な回収ができなかったが、pH 調整に消石灰を投入することによってほぼすべてを回収できた。実汚泥での回収率の低さには鉄イオンなどの凝集剤の共存が影響しており、汚泥馴致の際に鉄が含まれる系ではリンはポリリン酸として蓄積されるが、熱処理で溶出しにくくなることが示唆された。なお、EDTA を投入して鉄の阻害効果を見ると明らかに溶出率が增大した。以上から、リン溶出のためには薬剤添加を併用する必要があることが明らかとなった。

#### 5) その他、C, N, Pの有価物としての回収技術

熱帯性植物であるケナフによる過栄養土壌と汚濁水の浄化を試み、余剰生産物の新しい利用法を模索した。ケナフは過栄養土壌の浄化に利用できるため、公共水域に流入する栄養塩濃度を低減できるとの考えからケナフ水耕による N, P 除去量を検討した結果、窒素除去量については  $0.56\text{gN}/\text{m}^2/\text{day}$ 、リン除去量については  $0.06\text{gP}_2\text{O}_5/\text{m}^2/\text{day}$  であった。また、生産物の利用法としてキノコ生産について検討したところ、ケナフチップにケナフチップ炭を混ぜた培地ではケナフ培地よりもさらにキノコの生育が良好となった。また、利用価値の少ないケナフの上部 1/3 の茎や枝を磨砕し、小松菜の発芽試験を行った結果、プランター用の土より早く発芽することが示された。

### (3) 資源化処理システムの総合評価手法の開発

総合評価手法の開発に向けて、有機性廃棄物処理過程に関する LCA 手法を用いた環境負荷評価及び再利用製品の安全性評価の 2 つの課題に取り組んだ。

#### 1) LCA手法による環境負荷評価

し尿処理施設並びに汚泥再生処理センターを中心として、関連する有機性廃棄物管理・処理システムとそれに係る施設について LCA を行うことを目的とし、a)資源・エネルギー消費、環境負荷、コストに関する評価手法を確立するとともに、b)自治体の計画設計、プラントメーカー等の施設設計に資する基礎データを集積し、それをもって従来以上の環境への配慮を組み込んだシステム・施設設計を可能とする情報基盤を整備する。

**i 汚泥・生ごみ混合メタン発酵システムの評価：**メタン発酵によるエネルギー回収、資源回収としてのコンポスト化及び焼却による埋立を対象として、メタン発酵処理による資源化システムと焼却処理システムにおける環境負荷を比較した。「排水処理汚泥は焼却、生ごみはコンポスト化」、「排水処理汚泥はメタン発酵後にコンポスト化、メタン発酵では熱エネルギーの回収」、「排水処理汚泥はメタン発酵後にコンポスト化、メタン発酵では熱エネルギーおよび電気エネルギーの回収」といった条件にてケース間の比較と建設および供用における詳細を明らかにした。なお、解体・廃棄に伴う発生量は  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  とともに 1%以下であった。

**ii 既存し尿処理施設のLCA：**し尿処理、メタン発酵によるエネルギー回収やコンポスト化施設を対象として、既存のし尿処理方式と汚泥再生処理システムのLCI分析及び液状廃棄物処理におけるLCA手法適用のガイドライン化を図った。複数の処理方式のし尿処理施設19施設、及び汚泥再生処理センター1施設を対象にエネルギー、二酸化炭素発生量の積算を実施した。その結果、処理量1kl当たりのエネルギー消費量及び二酸化炭素発生量は、従来型処理方式の19施設の平均がそれぞれ $1,099\text{MJ}/\text{kl}$ 、 $74\text{kg-CO}_2/\text{kl}$ であり、内訳はいずれの方式においても運転時に使用される電力及び燃料の寄与が大半を占め、次いで運転時に使用される薬剤、建設時の建築工事の寄与が大きかった。汚泥再生処理センター1施設の処理量1klあたりのエネルギー消費量及び二酸化炭素発生量はそれぞれ $944\text{MJ}/\text{kl}$ 、 $63\text{kg-CO}_2/\text{kl}$ であり、発電及びコンポスト化によって約3%が回収されることが明らかとなった。また、環境負荷の影響要因を検討するため、1klあたりのエネルギー消費量と、施設規模、負荷率、浄化槽汚泥比率及び処理機材の種類等の施設条件を表す諸変数との相関について検討した。その結果、土木工事、建築工事、解体工事、電力に関するエネルギー消費量と「施設規模」との間に負の相関が見られ、スケールメリットがあることが示唆された。

また、①従来のし尿処理+生ごみの焼却と、②汚泥再生処理センターによるし尿と生ごみの混合処理、の2つのシナリオの環境負荷を比較した。機能単位を「80klのし尿処理及び1.3tの生ごみ処理」と設定し

て試算した結果を表1に示す。①の方が②と比較して2割程度エネルギー消費量が大きいことが明らかとなった。

iii 小型浄化槽処理システムの LCA： 小型浄化槽の汚泥における処理方式・収集形態と量・質の関係の明確化を行った。また、合併処理浄化槽の製造、設置、運転、廃棄に係る LCA 評価を行い、大型の合併処理浄化槽3基について製造・設置・運転に係わるエネルギー消費と環境負荷を算出した。

iv 小規模排水処理施設をモデルとした LCA： 主として団地排水を受け入れる複数の下水処理場における LCI 分析を行った。処理方式の異なる2施設を選定し、処理 BOD 当たりの CO<sub>2</sub> 発生量、コストを比較した。また、処理性能との関連を考察した。

v 液体廃棄物処理システムの環境・経済影響の評価： 液体廃棄物処理システムの環境・経済影響の評価に適用できるモデルの事例による検討を行った。「事業系の食品廃棄物を回収し、乳酸発酵法により乳酸に変換。残渣はコンポスト化」、比較対照システムとして「メタン発酵システムと焼却システム（メタン発酵システムでは残渣はコンポスト化し、焼却システムでは電力回収）」といったケース間における比較と各ケースにおける特性の評価を行った。また、環境負荷と経済影響が比較可能であることを示した。

## 2) 再利用製品の安全性評価

し尿処理系コンポストの安全性を確保する観点から、し尿処理施設におけるクリプトスポリジウム汚染状況の実態を把握するとともに、新しい検出法の検討を実施した。現在 *Cryptosporidium parvum* のオーシストの検出に用いられている方法では、蛍光体と非特異的に結合する大きさ、形の類似した藻類が存在するため、判別が困難となっている。そこで、*Crypto.*特有の遺伝子配列を検出できる PCR 法を用いた検出法を検討した。また、大阪府下のし尿処理施設の汚泥中の *Crypto.*の汚染状況を調査した結果、検出されないことが明らかとなった。

また、汚泥、廃棄物の焼却灰を対象にして、環境庁告示 13 号法に準拠した溶出試験とアベイラビリティ試験を行って安全性を評価した。対象物質としては Pb、Cd、Cr を測定した結果、キレート処理後の飛灰の場合、両試験法では全く異なった結果となった。Cd の場合、前者では 12 時間の実験によって全く溶出しなかったが、後者では 1 時間後に 120mg/kg 溶出した。Cr の場合は、前者では 1 時間で 10mg/kg 溶出し以後減少したが、後者では 1 時間で 7mg/kg 溶出し以後一定であった。500ml の水に 0、3、4、5、6g の飛灰を入れ、その中にヒメダカを入れて 24、48、72 時間後の生存率を調べた。3g 以上の添加で影響が見られ、6g 添加した場合に 24、48 時間後の生存率はそれぞれ 25、10%であった。

## 4. 考 察

ここで取り扱う有機性廃棄物は、し尿処理汚泥をはじめ、浄化槽汚泥、あるいは生ごみなどの含水率の高い廃棄物で、その有効な利用技術としては、現在コンポストや近年実用化に至ったメタン発酵程度しかない。わが国の有機性廃棄物発生量は、年間約 2 億 t にも達しており、これが埋立量の削減或いは早期安定化の障害になったり、地下水等の硝酸汚染の原因ともなっている。リサイクル率を高めるために多様な要素技術が求められている所以である。本研究課題は、研究目的にも挙げているように応用研究による実用的な要素技術の開発並びにこれらの要素技術を利用するためのシステム開発である。分担研究者は(財)廃棄物研究財団となっているが、その下に 19 名の学及び官(地方研)、及び 19 企業が 29 の課題で国立公衆衛生院との共同研究を進めている。国立公衆衛生院の研究運営会議や班会議での指導もあり、多くの研究者に研究を進めるに当たって実用化へ向けての重要なポイントを理解いただいた。その成果が本報告書には多くの点でみられる。

## 5. 結 論

3つのテーマ(1)固形有機物の可溶化、低分子化等の前処理技術の開発、(2)炭素(C)、窒素(N)、リン(P)回収(資源化)技術の開発、及び(3)資源化処理システムの総合評価手法の開発をすすめ、重要な基礎的な知見及び実用化に向けての応用的な知見が明らかとなった。例えば、基礎的な知見としては微生物のポリリン酸蓄積遺伝子解析や機能性膜(ゲート膜)による重金属検知型リスク回避プロセスである。一方応用的知見としては、C回収技術;*Citrobactor sp.*によるバイオフィロキュラント生産、*L. amylovorus*による生ごみからの乳酸回収、リン回収技術;微生物蓄積ポリリン酸の熱処理回収、及び凝集汚泥によるリン回収と植物利用等である。一方、資源化処理システムの総合評価手法開発については、LCA を既存し尿施設に適用し、施設規模やプロセス特性(方式の違い)等の評価が可能となった。



## 6. 研究発表

- 1) 保井淳、国次純、西嶋渉、岡田光正：成分組成に基づいた有機性固形廃棄物の再資源化用途の評価，環境科学会誌，（投稿中）。
- 2) 菅原正孝：微生物活性助剤による下水汚泥のメタン発酵の効率化，月間「地球環境」、pp.128-131, 2000.
- 3) 菅原正孝、池田伸吾、田代榮一：植物抽出液による固形性有機物の可溶化，環境技術，（印刷中）。
- 4) 追田章義、藤井隆夫、王殿霞、井原之偉、鈴木基之：有機性廃棄物からの資源化処理プロセスの評価，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2000.
- 5) Yong-jin Choi, Takeo Yamaguchi, Sin-ichi Nakao：A novel separation system using porous thermosensitive membrane, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, pp.2491-2495, 2000.
- 6) 崔龍鎮、山口猛央、中尾真一：感温性高分子鎖固定多孔膜の構造制御及びタンパク質分離システム適用への基礎的検討，化学工学論文集，26, pp. 849-854, 2000.
- 7) 村上裕子、今井剛、浮田正夫、汐重啓、北本高洋、深川勝之、河村友喜：高速回転ディスクによる有機性固形廃棄物のBOD化に関する研究－前処理あるいは後処理としての加温の影響－，第37回環境工学研究フォーラム，B-6, pp.46-48, 2000.11.29-30, 2000.
- 8) 今井剛、村上裕子、浮田正夫、汐重啓、深川勝之、河村友喜：高速回転ディスクによる余剰汚泥の可溶化に関する実験的研究，第35回水環境学会年会，p.197, 2001.
- 9) X.-H.Xing, JH Jung, K.Matsumoto：Apprication of MiuDisruption Technique to Reuse Process of Excess Sludge from Wastewater Treatment Plant, *Proceedings of the 3rd Chine-Japan Symposium on Water Environment*, pp.100-106, 2000.
- 10) 委鬼成涛, S.Wutyoadi, けい新会, 松本幹治：特定細菌による余剰汚泥からの有用物質の生産特性，第35回水環境学会年会研究発表要旨集，2001.
- 11) 鄭振浩、那新会、松本幹治：余剰汚泥の再資源化を目指す有用酵素の機能探索と解析，化学工学会つくば大会研究発表講演要旨集，p.45, 2000.
- 12) 那新会、鄭振浩、松本幹治：ミル破砕による有機性汚泥の再資源化技術の開発，バイオサイエンスとインダストリー，Vol.59, No.3, pp.185-186, 2001.
- 13) JH Jung, X.-H.Xing, K.Matsumoto：Kinetic Analysis of disruption of Excess Activated Sludge by Dyno Mill and Characteristics of Protein Release for Recovery of useful Materials, *Biochem.Eng.J.*, vol.7(2), 2001.
- 14) 朴賛祐、宗宮功、藤井滋穂、岸本直之：生ゴミの有機酸発酵における酸生成分解特性と細菌群分布に関する基礎研究，環境衛生工学研究，第14巻第3号，pp.83-87, 2000.
- 15) 朴賛祐、宗宮功、藤井滋穂、岸本直之、Kim Jongoh：生ごみの有機酸発酵における低級脂肪酸の回収特性，第3回水環境学会シンポジウム，2000.
- 16) 大竹久夫、黒田章夫、加藤純一、池田宰、滝口昇：リン除去細菌の開発と活性汚泥からのポリリン酸熱回収技術，日本醸造協会雑誌，第95巻第1号，pp.23-28, 2001.
- 17) 藤田正憲、池道彦、張震鍋、金信明、平尾知彦：Biofloculant Production from Lower-molecular fatty acids as novel strategy for utilization of sludge digestion liquor, *Proceedings of Sludge Management Entering the 3rd Millennium*, 2001.
- 18) Y.watanabe, T.Tadano, T.Hasegawa, Y.Shimanuki and H.Odegaard：Phosphorous recycling from Pre-coagulated wastewater sludge, *Chemical Water and Wastewater Treatment VI* (Eds.: H.Hahn, E.Hoffmann and Hodegaard), pp.359-371, Springer-Verlag, berlin, 2000.
- 19) 松井康弘、山田正人、井上雄三、河村清史、田中 勝：し尿処理施設のLCAによる評価，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.153-155, 2000.
- 20) 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VII，（投稿中）。

---

平成12年度

創薬等ヒューマンサイエンス研究  
重点研究報告書

第6分野

医用材料及び製剤設計技術の開発に関する研究

平成13年11月30日発行

発行 財団法人 ヒューマンサイエンス振興財団

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町13番4号

共同ビル（小伝馬町駅前）4F

電話 03(3663)8641 FAX 03(3663)0448

---

印刷 株式会社 ソーラン社