

「環境低負荷型の社会システム」
平成 8 年度採択研究代表者

野池 達也

(東北大学大学院工学研究科 教授)

「新世代型低負荷環境保全技術による

廃棄物のエネルギー化・再資源化」

1. 研究実施の概要

近年、地球温暖化をはじめとする地球規模環境問題がクローズアップされ、地球環境にやさしい新世代型環境保全技術の開発や新しい知的社会システム創造の重要性が強く認識されるようになった。わが国では 1980 年代後半から、ごみ排出量が急速に伸びてきている。一般廃棄物では紙類とプラスチック類の排出量が増大しているにもかかわらず、その再資源化割合は産業廃棄物と比較して極めて低いのが現状である。特に、廃プラスチックの増大により燃焼処理を行っているごみ処理施設の耐用年数の低下を引き起こすこと等の問題が生じている。また、産業廃棄物の 50% 近くを占めている下水汚泥等の処分も、埋立処分地が不足していることから深刻な社会問題となってきた。人間と環境の調和のとれた社会の実現を目指すには、環境への負荷を軽減する物質循環に基づいた新しい環境保全技術が不可欠である。

本研究は、エネルギー・物質循環を重視した廃棄物処理技術の開発に焦点を当て、環境負荷を最小とする物質循環可能な新世代型環境保全技術を確立することにより、環境低負荷型社会システム実現の一翼を担おうとするものである。図-1 に本研究の構想を示す。都市から排出される廃棄物を易分解性廃棄物と難分解性廃棄物に分けて、再資源化およびエネルギー化を行う。易分解性廃棄物は主に汚泥や生ゴミなどであり、難分解性廃棄物は廃プラスチックである。有機性廃棄物は、水素発酵で水素ガスを回収した後に重金属除去を行い、コンポストとして土壌に還元される。また、プロセスの最終段階ではウイルスや病原細菌などに関して安全性評価を行う。プロセスは五つのユニットに分割され、各研究グループによって研究が進められている。平成 10 年度までの研究において、各ユニットの研究が完成に近い状態となっており、平成 11 年度後半からは、プロセス全体を完成させる研究に移行する予定である。

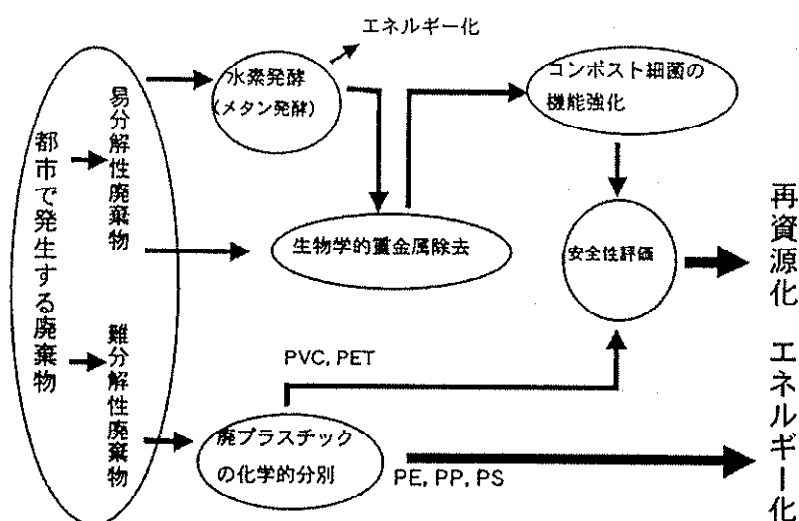


図-1 研究構想の概略

2. 研究実施内容

(1) 水素およびメタン発酵法を利用した都市廃棄物のエネルギー化

有機性固形廃棄物からの水素回収を検討する前に、純粋物質を用いて実験を行い、基礎データを収集した。基質としては、グルコース、スクロース、デンプンおよびセルロースを用いた。水素生成細菌は、発酵を起こした大豆から分離したものと、下水汚泥から分離したものを嫌気培養して使用した。また、水素生成量に影響を及ぼす因子として、pH、微量元素濃度の検討も行った。さらに、有機性固形廃棄物からの水素生成を検討するために、厨芥、おから、米糠および小麦ふすまを用いて実験を行った。発生したガスの50-70%が水素であり、有機性固形廃棄物からの水素回収が可能であることが明らかになった。

一方、嫌気性光合成細菌を用いた水素の回収の研究にも着手した。嫌気性光合成細菌としては混合培養の紅色非硫黄細菌を使用し、酸生成細菌によって生産された代謝産物（酸やアルコールなど）からの水素回収を検討している。

(2) 都市プラスチック廃棄物のエネルギー化・再資源化

ポリ塩化ビニル（塩ビ）材料は、熱分解によって大量の塩化水素を生成し、また焼却の仕方によっては微量の有機塩素化合物を副生する。さらに、添加剤として塩ビ材料に含まれるフタル酸や重金属の溶出による土壌・水質汚染の環境系におよぼす影響が懸念されている。一方、PET ボトルは年間20万t生産されており、容器包装リサイクル法などにより分別回収が進められている。しかし、都市ゴミ中のプラスチック廃棄物からPETのみを完全に分別することは難しいため、新しいリサイクル技術の開発が不可欠である。本研究では、混合廃プラスチックの新しい

リサイクル技術を創製するために 1 湿式法による PET の加水分解・酸化プロセスの開発、高温アルカリ水溶液を用いた塩ビ材料の脱塩化水素と可塑剤の浸出挙動、について検討し、さらに実際に都市ゴミとして排出されたプラスチックの精製プロセスについて検討した。

(3) 生物学的重金属除去

(3-1) 重金属耐性能の遺伝子工学を用いた強化

水俣湾埋め立て以前のメチル水銀によって汚染されていた水俣湾底泥サンプルから嫌気性水銀耐性細菌と好気性水銀耐性細菌を分離し、分離できた嫌気性水銀耐性細菌 26 菌株および好気性水銀耐性細菌 1 株の染色体 DNA について、従来から知られている好気性水銀耐性細菌 *Bacillus* の水銀還元遺伝子である *merA* と有機水銀分解遺伝子である *merB* 遺伝子の塩基配列の情報に基づいて作成した DNA プライマーを用いた PCR 法により、これら 27 菌株の染色体 DNA 上にコードされている *merA*、*merB* が既知の *Bacillus* の *merA* および *merB* と構造的に類似性があるかどうかについて検討した。また、昨年度発見した水銀耐性遺伝子オペロンがどのような伝達媒体にコードされまたどのように伝播されるかについてさらに詳細な研究を行った。

(3-2) 水素発酵残渣への重金属蓄積機構の解明

排除方式、処理区域面積・人口、工場系排水量の大小を考慮し、主に標準活性汚泥法を採用している処理場を調査対象とした。Cu は硫化物塩態と残留態の割合が非常に高く、次いで無機炭酸塩態と有機結合態の割合が高い。Zn は一般に有機結合態および無機炭酸塩態が主な形態であった。この他の元素では、Pb は何れの試料でも有機結合態、無機炭酸塩態、硫化物塩態および残留態が主な形態であった。

(3-3) 水素発酵残渣からの重金属溶出技術の確立

11 種の重金属について ICP-MS による下水汚泥中の重金属濃度を精度良く分析できる実的な測定条件を検討した。その結果、汚泥分解液を 100 倍以上に希釈すれば十分に測定可能であることを示した。生物学的方法は、化学的方法に比較して Cd、Ni、Cu、Mn、Zn の溶出に効果があり、特に、化学的方法では溶出できなかった Cu の溶出を促進することが分かった。これは鉄酸化細菌あるいは鉄酸化細菌による酸化作用によって生成した第 2 鉄が汚泥中に硫化物として存在する重金属を酸化するためであることを実験前後の汚泥中の重金属の存在形態の相違から明らかにした。

(4) 遺伝子工学を用いたコンポスト細菌の機能強化

コンポスト化は、厨芥残渣をはじめとする各種の有機性廃棄物を再資源化する方法のひとつである。コンポスト化においては、関与する微生物（コンポスト微生物）の増殖により通常 50～70℃の発酵熱が生成し、各種化合物の分解反応もそのよう

な高温条件下で進行する。本研究グループでは、生化学的・遺伝子工学的なアプローチによりコンポスト微生物の機能を強化し、高温コンポスト化の過程のさらなる高速化を実現させることを目的としている。コンポスト微生物の機能の中で特に強化すべきものとして各種の加水分解酵素活性を取り上げ、50～70℃という高温環境で長期間にわたって十分な活性を保ち続ける耐熱性酵素の探索を続けてきた。これまでに、耐熱性加水分解酵素を生産する好熱性微生物として有力なものがいくつか見いだされ、それらの酵素は高温環境においてその触媒活性を十分に保持していることがわかっている。本研究では、二つの異なった耐熱性プロテアーゼ生産菌を分離し、そのキャラクタリゼーションおよび高温コンポスト化の促進に関する基礎的研究を行なった。

(5) 病原細菌・ウイルス・原虫および毒性物質の安全性評価

本研究グループの研究分担役割は、各研究グループによって開発されるプロセスから排出される最終産物と副産物の中に、毒性の高い物質や病原微生物など社会に害を及ぼす可能性のある物を検索・定量し、そのプロセスやシステムの社会に対するリスクを評価することにある。都市固形廃棄物の主たる物と位置づけている都市下水汚泥が、高濃度の病原ウイルスを含んでいる事は明白であり、その検出及び不活化に関する研究が必要である。本研究では、採取した実際の汚泥に弱毒性ポリオウイルスをスパイクし、EVE (Enzymatic Virus Elution method) 法を用いて様々な環境条件から誘出し、その有効性を確かめ、改良法を模索した。ウイルスのカプシドタンパク質と特異的に結合するタンパク質バイオポリマーに関して、アフィニティークロマトグラフィーの手法を用いた検索を開始した結果、汚泥タンパク質のうち簡単な物理操作で抽出可能であるタンパク質は、分子量1～2万ダルトンの数種類のタンパク質によって構成されていることが分かった。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

○ Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste (1999) *Water Research*, 33, 2579-2586.

他 8 件