

「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の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科学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。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新しい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。都市から排出される廃棄物を易分解性廃棄物(廃水、生ゴミ、汚泥など)と難分解性廃棄物(廃プラスチック)に分けて、再資源化およびエネルギー化を行うことを目的としている。易分解性廃棄物は、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病原ウイルスに関して安全性評価を行う。難分解性廃棄物については主に資源化される。プロセスを五つのユニットに分割し、各研究グループによって研究が進めてきた。平成12年度前半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になり、個々のユニットでも十分に機能することが明らかになった。平成12年度後半からは、水素発酵プロセスを完成させるためにこれまでの研究を集約し、コンポスト工程を導入した二相式水素発酵プロセスの開発に着手した。

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

生ゴミからの連続的な水素生成では、30 前後で反応槽を運転すると、メタンの発生が抑制され、水素生成量が増大することを明らかにした。混合培養の光合

成細菌による水素生成は、細菌の同化代謝過程が終了してから起こることが明らかになった。培養初期の同化代謝では液中のアンモニアが消費され細菌の増殖が起こり、続いてアンモニアが枯渇すると、細菌の増殖は停止し水素生成が起こった。液中にアンモニアが存在してもそれを消費させれば水素生成は可能であった。

水素発酵プロセスを完成させるために、オカラをモデルの有機性廃棄物として、コンポスト工程を導入した二相式水素回収プロセス(図 - 1)の検討を開始した。この結果、第1水素生成槽では、オカラ由来の細菌が優占すると、乳酸発酵が起こり水素生成が停止する現象が見られ、オカラ由来の細菌群が反応槽内の水素発酵細菌に強い影響を及ぼすことが明らかになった。このため、オカラに熱処理を施し、オカラに含まれる細菌を不活性化した後に水素発酵を行ったところ、処理温度50～100 で効果が見られ、水素発酵を維持することが可能であり、連続水素発酵の研究において進展があった。

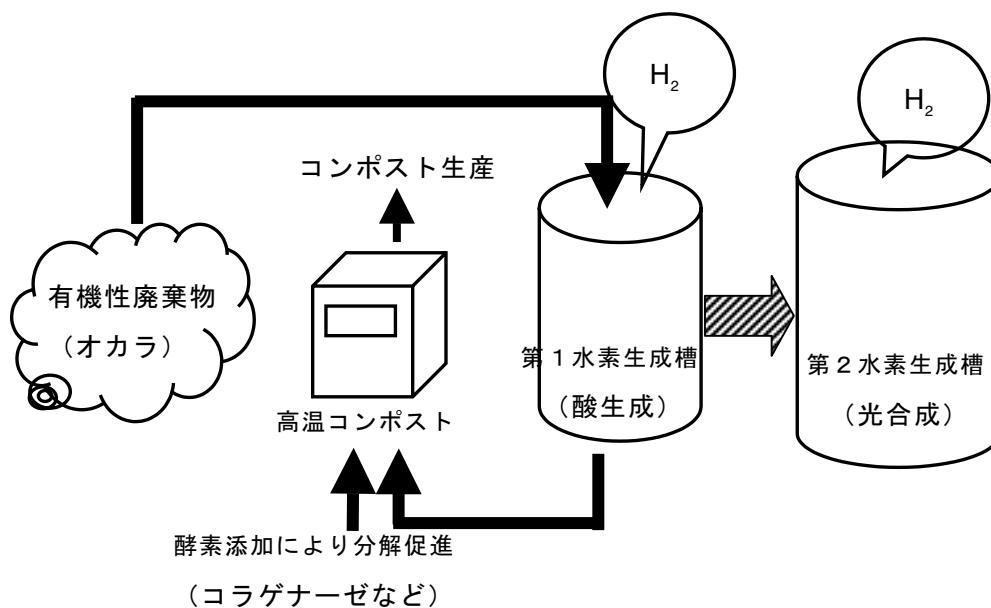


図 - 1 コンポスト工程を導入した水素発酵プロセス

(2) 都市プラスチック廃棄物のエネルギー化・再資源化

都市ごみから分別した混合廃プラスチックのアルカリ処理による原燃料化の実験的研究では、当初の計画をほぼ達成した。都市ゴミ中の廃プラスチックを資源化及びエネルギー化するためには、塩素系プラスチックの脱塩素処理が不可欠である。本研究で行ったNaOH水溶液を用いた混合廃プラスチックの湿式処理は、ダイオキシンに代表される有機塩素化合物の副生を伴わずに、塩素系プラスチッ

クの脱塩素処理が可能であることを明らかにした。また、塩ビ材料に可塑剤として添加され、環境ホルモンとされるフタル酸エステルをフタル酸とアルコールに加水分解できることを明らかにした。

(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

水俣湾底泥から単離した数種の水銀耐性細菌の染色体を調べたところ、水銀耐性を獲得するための一連の遺伝子群はトランスポゾン上に存在することが明らかとなった。このトランスポゾンには他に独立して転移できるグループ2型の細菌イントロンをもコードしていることが明らかとなった。これらの知見から、このトランスポゾンまたはイントロンを細菌種間で水平伝達させることによって、実際の汚染環境中およびバイオリアクター中で本来その中に生息する細菌に水銀除去遺伝子等を転移させて浄化機能を発現させる方法として、新たにIn-vitro分子育種法という技術概念を提示した。

(3-2) 水素発酵残渣からの重金属溶出技術の確立

硫黄廃棄物を用いた下水汚泥からの生物学的重金属除去に関して、汚泥の連続処理の可能性を明らかにするため、種々の汚泥滞留時間で半連続実験を行った。汚泥濃度2%、硫黄廃棄物の添加量が30g/Lの半連続条件下では、溶出に対するSRTの影響が最も大きいのはCuであり、その場合SRT3日が適当であること、その他の金属類については、SRTの差異によって溶出率に大きな差はないことが明らかになった。

(4) 遺伝子工学を用いたコンポスト細菌の機能強化

耐熱性コラーゲン分解酵素遺伝子のクローニングを行った。精製酵素の部分アミノ酸配列を決定し、この配列に基づいてPCR増幅により酵素遺伝子断片の取得、その塩基配列を決定した。コロニーハイブリダイゼーションを行い、全長遺伝子を取得し本酵素遺伝子の全塩基配列の決定を試みている。また、本耐熱性コラーゲン分解酵素の生産菌の系統分類学的検討を行ったところ、本菌は新種であることが判明し、*Alicyclobacillus sendainensis*と命名した。

耐熱性脂質分解酵素遺伝子の大量発現系を構築し、本酵素の量産化への道を開拓した。また、分子シャッフリングによる本酵素の進化工学的改変を検討し、長鎖アシル基に対する反応性の増加したミュータントを取得した。

(5) 病原細菌・ウイルス・原虫および毒性物質の安全性評価

病原ウイルス(腸管系ウイルス)に関しては、本研究グループが開発した酵素誘出法(EVE法)による固形分からのウイルス誘出、RT-PCR法によるウイルスの核酸の検出、そして、MPN法によるウイルス定量を行った。その結果、1gのコン

ポストからウイルスが検出されることはなかった。病原微生物(サルモネラ、腸管出血性大腸菌O157)については、多段階に渡る選択培養と、O157については、抗体検査や遺伝子検出の技術を利用して検出を行った。その結果、コンポスト1gおよび10gのいずれのサンプルからも陽性の結果は得られなかった。病原微生物に汚染されたコンポストによる感染リスクは、本研究において開発されたリスク評価モデルによって定量的に示すことが可能であった。

3・主な研究成果の発表(論文発表)

- M.Okamoto, T.Miyahara, O.Mizuno and T.Noike : Biological Hydrogen Potential of Materials Characteristics of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, *Water Science and Technology*, 41(3), 25 - 32, 2000.
- T.Noike and O.Mizuno: Hydrogen Fermentation of Organic Municipal Wastes, *Water Science and Technology*, 42(12), 155 - 162, 2000.
- O.Mizuno, T.Ohara, M.Shinya and T.Noike: Characteristics of Hydrogen Production from Bean Curd Manufacturing Waste by Anaerobic Microflora, *Water Science and Technology*, 42(3/4), 345-350, 2000.
- 水野修, 新谷真史, 鈴木清彦, 矢口淳一, 野池達也: 製麺工場排水からの水素生成に及ぼすpHの影響, *環境工学研究論文集*, 37, 97-106, 2000.
- 山肩健史, 黄介辰, 成田勝, 佐藤拓弥, 塚清仁, 遠藤銀朗: *Bacillus megaterium* MB1 のTnMER11 から発見された新規有機水銀分解遺伝子merB3の発現調節, *農芸化学会誌*, 74, 897-901, 2000.
- M.Narita, C.-C. Huang, T. Koizumi, T. Yamagata, and G. Endo: Identification and characterization of anaerobic mercury-resistant bacteria isolated from mercury-polluted sediment, *Water Science and Technology*, 42, 109-114, 2000.
- 山肩健史, 石井秀学, 成田勝, 熊谷康, 黄介辰, 遠藤銀朗: 新たに発見された有機水銀分解遺伝子merB3とその発現調節系を利用した有機水銀の検出方法に関する研究, *水環境学会誌*, 24, 219-224, 2001.
- T.Nakayama, N.Tsuruoka, M.Akai and T.Nishino : Thermostable collagenolytic activity of a novel thermophilic isolate, *Bacillus* sp. Strain NTAP-1. *J. Biosci. Bioengin.*, 89, 612-614, 2000.
- J.Taniguchi, H.Hemmi, K.Tanahashi, T.Nakayama and T.Nishino : Zinc biosorption by a zinc-resistant bacterium, *Brevibacterium* sp. strain HZM-1, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 54, 581-588, 2000.
- 渡部徹, 福士謙介, 大村達夫: 病原微生物に汚染された水道水摂取による感染症集団発生モデルの開発, *土木学会論文集*, VII-15(650), 25-32, 2000.
- 渡部徹, 大村達夫: 流域内二都市間における水系感染症の流行伝播モデルの開発,

土木学会論文集 ,VII-17(664) 75-83, 2000 .

- D. Sano, K.Fukushi, K. Yano, Y. Yoshida and T. Omura : Enhanced virus recovery from municipal sewage sludge with a combination of enzyme and cation exchange resin, *Water Science and Technology* , 43(2) 75-82, 2001.