

「資源循環・エネルギーミニマム型システム技術」
平成12年度採択研究代表者

津野 洋

(京都大学大学院工学研究科 教授)

「資源回収型の都市廃水・廃棄物処理システム技術の開発」

1. 研究実施の概要

本研究では、都市廃水や廃棄物を資源、あるいは資源材料として取り扱い、都市や地域内で資源を循環利用することをコンセプトに、生ゴミを下水道で収集し、エネルギーと資源を回収する一元化システムの確立を目指して、その要素技術を開発する。平成16年度は、平成12、13年度で設計整備を行った機器による実験を、平成15年度に引き続き行い、これら要素技術開発に必要なデータを取得すると共に、解析にも着手し、より効率的な操作法や因子の検討を行った。

尿からの磷資源等回収技術のパイロットプラントを用い、実尿を用いた連続実験を自動運転システムを導入して行い、適切な尿貯留時間、適切な攪拌と尿流入速度条件下で尿中の磷の85%を回収できるようになり、生成した沈殿はFT-IRによる分析でMAP標準品とほぼ同等であることが示された。ディスポーザ処理廃水や実下水からの固液分離特性について検討を行い、ろ過が最も高い固形物回収率(70~80%)を期待でき、処理水側でのT-NおよびT-Pは2 mgN/Lおよび0.2 mgP/L程度であること、さらに凝集剤を添加することで、処理水SSをディスポーザ普及前と同等あるいはそれ以下に押えることが可能であることが示された。回収生ゴミ等の高温高負荷メタン発酵では、有機物負荷率は20kgCODcr/(m³・d)が適切であり、CODベースで80%以上のメタン収率が得られ、生ゴミ1kgCODcr当たり260Lのメタンガスが生成した。また生ゴミと初沈汚泥の混合発酵でも、順調なメタン発酵がなされることが分かった。高温2相発酵では、約23gCODcr/(L-reactor・d)の負荷条件までで90%以上のメタン回収率が得られた。メタン発酵ガスを用いた発電では、下水汚泥嫌気性処理ガスにおいても安定した運転が確認され、耐久試験での失火・停止後の分解・分析により、シロキサンの蓄積箇所や対策についての有用なデータが得られた。水資源回収技術については、終末処理場からの効率的窒素除去技術の開発に転じ、ろ速160m/dで、SSで0.5~3 mg/L程度、T-N濃度で1~6 mgN/L程度等の良好な処理を行うことができることが示された。終末処理場での磷回収技術については、実際の下水処理場の活性汚泥を対象に、半回分式でオゾン処理を行い、その汚泥の可溶化・基質化、活性度の変化などについて実験的検討を行い、実汚泥でも人工下水汚泥と比較して差は小さいことが示された。

2. 研究実施内容

1) 研究目的

生ゴミを下水道で収集し、拠点で浮遊粒子状物質を回収し有機物の効率的な高温メタン発酵によりエネルギーを回収し、発電や熱利用を図ると共に、下水から地域の水循環を支える用水を生成する。また、糞尿分離トイレや資源回収型下水処理技術を開発することにより、尿中の資源である窒素・リン等の回収や終末処理場での汚泥発生量の削減と窒素・リンの回収を図る。

平成16年度は、平成12・13年度で設計整備を行った機器による実験を平成15年度に引き続き行い、これら要素技術開発に必要なデータを取得すると共に、解析にも着手し、より効率的な操作法や因子の検討を行った。

2) 実験方法

尿からのリン資源等回収技術の開発では、尿尿分離トイレ、貯留槽、ストラバイト反応槽よりなるパイロットプラントを用いて実尿を用いた連続実験を自動運転システムを導入して実施した。

下水道管からの生ゴミ回収技術については、ディスポーザ処理廃水や実下水からの固液分離特性について、沈殿、濾過、浮上分離およびスクリーンを用いて検討した。本年は凝集剤添加効果、リン・窒素の除去の検討も開始した。

回収生ゴミ等のメタン発酵については、嫌気性反応器を用いて高温高負荷メタン発酵を引き続き行ったが、初沈汚泥との混合発酵や2相発酵による効果の検討も行った。

メタン発酵ガスを用いた発電特性を検討するため、昨年度と同じマイクロタービンを用いて実下水汚泥発酵ガスを対象に、連続耐久試験を行い、シロキサンの影響の把握を試みた。

水資源回収技術については昨年度までの技術が開発が完了したので、終末処理場からの効率的な窒素除去技術の開発に転じた。すなわち、昨年度までの硝化ろ床と仕上げろ床を用い二次処理水を対象に連続処理実験を行った。

終末処理場でのリン回収技術については、実際の下水処理場の活性汚泥を対象に、半回分式でオゾン処理を行い、その汚泥の可溶化・基質化、活性度の変化などについて実験的検討を行った。

3) 結果および考察

尿からのリン資源等回収技術の開発では、人尿の成分の変化では、貯留開始から4日目までにpH9に到達し、他の成分についても運転開始後20日目ぐらいから各濃度が安定し、また、反応槽の運転条件に関しては、攪拌速度50 rpm、尿流入速度100 mL/minの条件下でMAPの回収率が最大となることが分かった。これらを基に、システムの自動運転を試みたところ、安定して尿中リンの85%を沈殿・回収することができるようになった。さらに、生成した沈殿をFT-IR（フーリエ変換赤外吸光度計）により分析した結果、MAP標準品とほぼ同等であることがわかった（下図参照）。

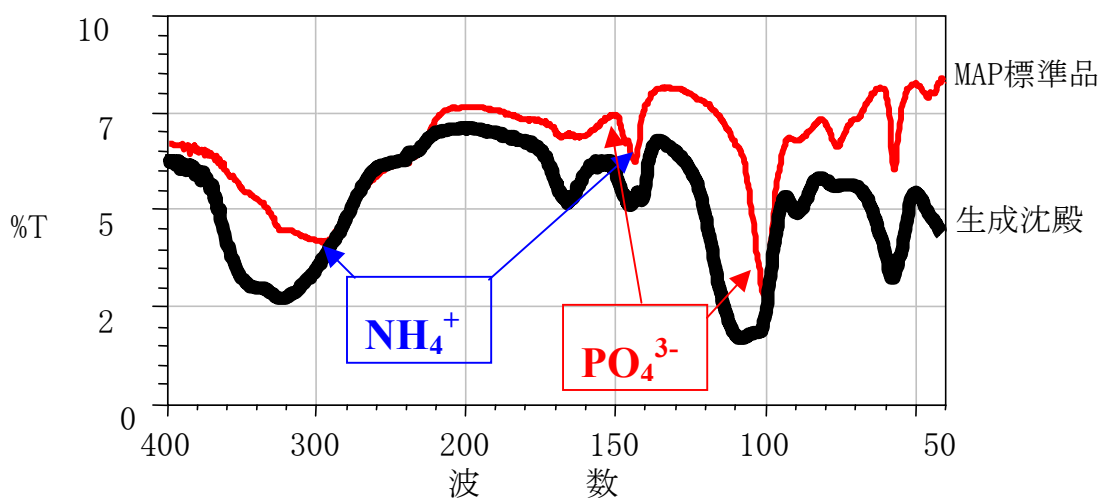


図 尿から得られたストラバイトのFT-IRによる分析

下水道管からの生ゴミ回収技術については、回収率の観点からは、ろ過が最も高い固形物回収率(70~80%)を期待できるが、維持管理の容易さからは、スクリーン(0.5 mm)も有用な選択になりうると考えられた。処理水側ではT-CODcrが125~146 mg/L増加するのに対して、T-NおよびT-Pは2 mgN/Lおよび0.2 mgP/L程度の増加にすぎず、下水処理場での高度処理には有利となることが示された。また固形物の高濃度化では、8%まで可能となった。また、凝集剤を添加することで、処理水SSをディスポーザ普及前と同等あるいはそれ以下に押えることを可能としうることが示された。

回収生ゴミ等のメタン発酵については、高温高負荷メタン発酵では、メタンガスへの回収率の観点からは有機物負荷率は20kgCODcr/(m³・d)が適切であり、CODベースで80%以上の高回収率が得られ、生ゴミ1kgCODcr当たり260Lのメタンガス(乾燥生ゴミ1kg当たり400Lのメタンガス)が生成した。また生ゴミと初沈汚泥の混合発酵でも、初沈汚泥の含有率の増加と共に減少し初沈汚泥のみでの36%まで減少するが、順調なメタン発酵がなされることが分かった。高温2相発酵では、pH6で最も高い酸生成率を示し、約23gCODcr/(L-reactor・d)の負荷条件までは90%以上のメタン回収率が得られた。

メタン発酵ガスを用いた発電特性の検討では、下水汚泥嫌気性処理ガスにおいても安定した運転が確認され、耐久試験で、4,100時間まで運転可能でその後に失火により停止したが、これはシロキサンの蓄積の影響であり、分解・分析によりその蓄積箇所や対策についての有用なデータが得られた。

水資源回収技術については、ろ速を200m/dまで上げてでも運転可能であること、160m/dまでは、SSで0.5~3 mg/L程度、T-N濃度で1~6 mgN/L程度等の良好な処理を行うことが示された。

終末処理場での磷回収技術に関する実験では、オゾン添加に伴い汚泥は次第に可溶化し、溶解性有機物中のCODは可溶化率(浮遊性有機物減少率)に対し直線的に増加した。一方、溶解性BOD量も可溶化に伴い増加したが、その増加の程度は可溶化の進行とともに低下し、

可溶化率0.2~0.3付近で溶解性BOD/溶解性COD比は最大(0.6程度)となった。これらの傾向は全ての汚泥でほぼ同じであり、人工下水汚泥と比較しても差は小さかった。

以上得られた結果を基にエネルギーの観点からの検討も開始しており、実際のポンプ場で「地域造水・エネルギーセンター」を想定しシミュレーションを行うために必要となる原単位項目の抽出を行った。

3. 研究実施体制

(1) 糞尿分離型トイレと窒素・リン・尿素等の資源回収技術グループ

- ① 研究分担グループ長：清水 芳久（京都大学大学院工学研究科 助教授）
- ② 研究項目：**糞尿分離型トイレと窒素・リン・尿素等の資源回収技術開発**：便器の形状の工夫により糞と尿を分離し、また尿からリン等の資源を回収しうるプロセスと組み合わせ、糞尿分離・資源回収水洗トイレ技術の開発を行う。

(2) 一元化下水道システム技術開発等グループ

- ① 研究分担グループ長：津野 洋（京都大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目：
一元化下水道システム技術開発：下水道排出用生ゴミ粉砕ディスポーザと下水道からの浮遊固形物質回収技術、ならびに回収浮遊固形物質の高温高負荷メタン発酵とエネルギー回収技術の開発を行う。
効率的・省エネルギー型高度処理技術：健全な水循環の拠点で高度処理水を得るため、省スペース、省エネルギー、自動運転可能な、生物ろ床タイプの物理生物化学的処理プロセスの開発を行う。
汚泥発生抑制・リン回収型処理技術：リンの濃縮と溶出という生物学的リン除去生物の特性と汚泥の可溶化・基質化というオゾン処理の特性を組み合わせ、リンを結晶の形で回収する技術の開発を行う。

(3) 社会経済的評価グループ

- ① 研究分担グループ長：宗宮 功（京都大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目：**一元化下水道の社会経済的評価**：本研究で提案するシステムについて、将来システム像と社会的側面、発生エネルギーの利用形態、リサイクルシステムの規模と効果、適用条件などの検討を行う。

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文（原著論文）発表

- 日高 平, 津野 洋, 鄭 晋宇, 岸本 直之, 織田 稔幸：生物膜ろ過反応器での前凝集汚泥活用に関する研究, 下水道協会誌論文集, Vol. 40, No. 487, pp. 103-116, 2003/5.
- Hidaka T., Tsuno H. and Kishimoto N. : Advanced treatment of sewage by pre-coagulation and biological filtration process, Water Research. Vol.37,

pp. 4259-4269, 2003/10.

- 洪 鋒, 津野 洋, 日高 平, 千 智勲 : 1日1回給餌操作での高濃度高温メタン発酵の生ゴミ処理への適用性と操作因子に関する研究, 環境工学研究論文集, Vol. 40, pp. 333-342, 2003/11.
- Taira Hidaka, Hiroshi Tsuno : Development of a biological filtration model applied for advanced treatment of sewage, Water Research, Vol. 38/2, pp. 335-346, 2004/2.
- Tsuno H., Hidaka T. and Nakamoto M. : Development of pre-coagulation and bio-filtration process for advanced treatment of sewage, Wat. Sci. Tech. Wat. Sup., Vol. 4, No. 1, pp. 13-22, 2004/2.

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数 : 1件 (CREST研究期間累積件数 : 2件)