

「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下水道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。

し尿分離トイレを利用して分離した尿から85%以上のリンをMAPとして回収可能であることについては、前年度までに報告した。リン回収後の処理尿には、貯留槽内において尿素の分解によって発生したアンモニア性窒素が約2,500mg/Lの濃度で残存している。本研究では、リンを回収した後のステップとして、曝気によるアンモニア性窒素の回収を試みた結果、pH調整無しで、処理尿中のアンモニア性窒素の約80%を回収することができた。

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は各々2 mgN/Lおよび0.2 mgP/L程度であること、さらに回収固形物濃度を10%に濃縮しうるということが示された。

回収生ごみのメタン発酵については、高温高負荷メタン発酵の連続運転を引き続き行い、有機物負荷率を35kgCOD/(m³・d)まで上昇させることが可能であったが、メタン回収率はCOD_{cr}ベースで70%以下にまで低下し、最適な負荷率は20kgCOD/(m³・d)であることが確認された。また回分式実験で、生ごみ組成毎の発酵はおおむね90%以上の発酵率であり、アンモニア阻害は3800mgN/L程度で50%の発酵低減となることが明らかにされた。2相高温発酵でも順調に効率よく発酵しうるということが明らかにされ、そのときの操作因子が提示された。酸発酵槽、メタン発酵槽および一相メタン発酵槽での生物相解析手法を確立し、優占菌が明らかに異なることを表示できた。

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、実験室規模の模擬プラントを構築し、オゾン処理による汚泥減量化およびリン結晶化をともなう連続処理実験を実施した。実験では余剰汚泥の引抜量を段階的に削除し、余剰汚泥発生量を従来比32%に抑制(68%削減)、リン回収75%を達成した。

また、エネルギー回収量の検討スキームも開発しつつある。

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・磷等の回収や終末処理場での汚泥発生量の削減と窒素・磷の回収を図る。

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

リン回収後の処理尿1Lを用いて、pH、曝気量を変化させて、4w/v%のホウ酸溶液へのアンモニア性窒素の回収を測定した。

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。本年はリーフテストによる脱水効果、凝集剤添加効果の検討も開始した。

回収生ごみのメタン発酵については、高温高負荷メタン発酵の連続運転を引き続き行いながら、その細菌群を用いて生ごみ組成毎の発酵特性やアンモニア性窒素濃度の影響について回分式実験で検討した。また、高温2相発酵についても連続実験による特性把握を行った。なお、これらの反応器での生物相の解析にも着手した。

水資源回収技術については、一昨年度までの技術は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、一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特に高負荷条件で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、実験室規模の模擬プラントを構築し、オゾン処理による汚泥減量化およびリン結晶化を伴う連続処理実験を実施した。

3) 結果および考察

図1にリン回収後の処理尿を用いて、pH9 (pH調整無)、曝気量500mL/minの条件下でアンモニア性窒素を回収した結果を示す。図より、アンモニア性窒素の総発生量と補集量はほぼ一致しており、曝気により処理尿から発生したアンモニア性窒素のほぼ全量が回収できることがわかる。また、曝気開始96時間後には、アンモニア性窒素濃度が500mg/Lとなり、約80%のアンモニア性窒素が回収可能であることがわかる。pHを10に、

曝気量を100mL/minの場合もほぼ同様の結果が得られた。図より、総発生量はほぼ直線的に増加していることから、アンモニア窒素の発生量は常に安定していることを考慮すると、pH調整のためのアルカリを投入することなしに、約120時間後にはほぼ全量のアンモニア性窒素を回収することが可能であると考えられる。

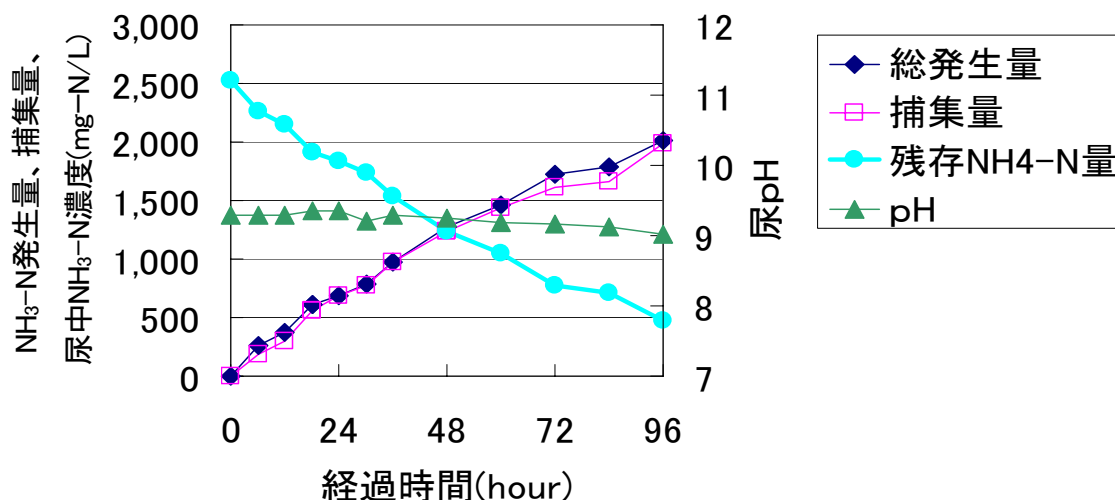


図1 曝気による処理尿中のアンモニア性窒素濃度の経時変化と捕集量 (pH9, 曝気量500mL/min)

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、リーフテストにより、回収固形物を10%にまで脱水可能と示された。

回収生ごみのメタン発酵については、高温高負荷メタン発酵の連続運転では、有機物負荷率を35kgCOD/(m³・d)まで上昇しうることが可能であったが、メタン回収率はCODcrベースで70%以下にまで低下し、最適な負荷率は20kgCOD/(m³・d)であることが確認された。回分式発酵実験では、生ゴミ組成毎の発酵は、大根を除き90%以上の発酵率であった。また、50%発酵低減アンモニア性窒素濃度は3800mgN/L程度であった。2相高温発酵では、酸発酵槽での滞留時間は1日~2日で30%以上の酸生成率を得、順調に効率よく発酵しうることが明らかにされ、そのときの操作因子が提示された。生物相の解析では、酸発酵槽とメタン発酵槽では優占菌が明らかに異なり、一相メタン発酵ではそれらの菌群が混在していることなどが明らかにされた。

水資源回収技術については、ろ速を200m/dまで上げても運転可能で良好な処理水が得

られること、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できることが示された。300m/dまで上げるともちこみD0の影響が大きくなり、脱窒効果は減少した。

終末処理場でのリン回収技術の連続処理実験については、余剰汚泥引抜量を、各々従来プロセスの1/5 (Phase II)、1/10 (Phase III) と段階的に削減した。これに伴い、余剰汚泥発生量は従来プロセスの40% (60%削減)、同32% (68%削減) へと減少した (図2参照)。また、リンをカルシウムと反応させ、ヒドロキシアパタイトとして回収した。回収率は最大で75%であった (図3参照)。また処理水質では大きな変化はなく、良好な状態が保たれていた。

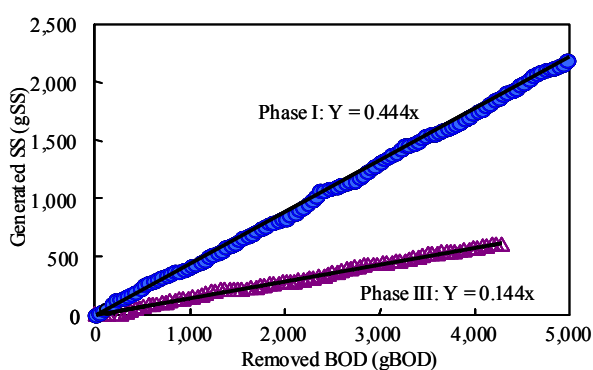


図2 余剰汚泥発生量
(70%程度が削減されている)

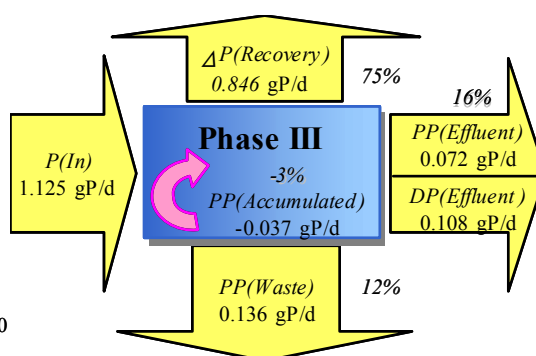


図3 リンの収支
(75%のリンが回収されている)

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い、試算をいくつか行った。その結果、生ゴミより一般都市生活での潜在的エネルギー回収量等の試算も可能となった。

3. 研究実施体制

(1) 糞尿分離型トイレと窒素・磷・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・磷・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、また尿から磷等の資源を回収しうるプロセスと組み合わせて、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・燐回収型処理技術：燐の濃縮と溶出という生物学的燐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、燐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（龍谷大学理工学部 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) 論文発表

- 洪 鋒，津野 洋，日高 平，千 智勲：1日1回給餌操作での生ごみの高温メタン発酵特性に関する研究，廃棄物学会論文誌別冊，Vol. 15, No. 5, pp. 381-388, 2004.
- Hiroshi TSUNO, Taira HIDAKA : Development of resource recycling type urban wastewater and solid waste processing system, Proceedings of the 13th KAIST-KYOTO-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.1-9, 2004.
- Yongjin PARK, Taira HIDAKA, Hiroshi TSUNO, Jihoon CHEON : Effect of thermal pretreatment of a sewage sludge on slubilization and Anaerobic biodegradability , Proceedings of the 13th KAIST-KYOTO-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.39-50, 2004.
- Jinwoo JEONG, Hiroshi TSUNO, Taira HIDAKA, Daisuke TAKESHIMA : Biological filtration for effective nitrogen removal as tertiary treatment of sewage, Proceedings of the 13th KAIST-KYOTO-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.170-178, 2004."
- Taira HIDAKA, Hiroshi TSUNO : Nitrogen and phosphorus removal by pre-coagulation and biological filtration, Proceedings of the 13th KAIST-KYOTO-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.201-210, 2004.
- 津野 洋，宗宮 功，清水 芳久，永禮 英明，日高 平：資源循環・エネルギーミニマム型システム技術：資源回収型の都市廃水・廃棄物処理システム技術の開発，環境衛生工学研究，Vol.18, No. 3, pp. 47-52, 2004.
- Y. J. Park, H. Tsuno, T. Hidaka, F. Hong and J. H. Cheon : Evaluation of two-phase thermophilic anaerobic methane fermentation for the treatment of garbage, Anaerobic Digestion 2004, 10th World Congress, Montreal, Canada,

Proceedings Volume 1, pp.515-521, 2004.

- J. Jeong, T. Hidaka, H. Tsuno, D. Takeshima, T. Oda : Development of biological filtration process for effective nitrogen removal as tertiary treatment of sewage, 4th IWA World Water Congress and Exhibition Proceedings, Marrakech, p.116612, 2004.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：2件）