

戦-10. 余剰有機物と都市排水の共同処理技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（リサイクル）

研究担当者：岡本誠一郎、山下洋正

【要旨】

近年、都市の余剰有機物の有効利用および発酵廃水の効率的処理が求められおり、下水道施設を活用して余剰有機物と都市排水とを共同処理して資源・エネルギー回収を行う技術の開発が必要である。UASB と嫌気性消化槽を組み合わせ、下水生汚泥と食品廃棄物を混合発酵して、発酵廃水と下水一次処理水を UASB で共同嫌気処理する UASB-AD システムおよび同システムの後段に好気活性汚泥処理を追加した UASB-AD-AS システムについて、実下水を用いた連続運転を行い処理性能を評価した。

キーワード：余剰有機物、都市排水、共同処理、メタン発酵、嫌気処理

1. はじめに

バイオマス・ニッポン総合戦略¹⁾の推進など、都市で発生する余剰有機物の有効利用が求められているが、発酵処理に伴い発生する廃水の処理に技術的課題が残されている。従って、都市の資産であり、有機物および廃水の処理に優れた能力を有する下水道施設を活用して、これら余剰有機物と都市排水とを合わせて処理して資源・エネルギー回収を行う、新たな複合処理技術の開発が求められている。本研究では、都市排水と地域社会で発生する余剰有機物を合わせて処理することにより、資源・エネルギー回収を行い、その際に発生する発酵廃水を下水処理施設で効率的に共同処理する基礎技術を開発する。

2. 研究方法

2.1 発酵廃水・下水混合液の嫌気処理の基礎技術の開発

発酵廃水・下水混合液の嫌気処理の基礎技術の開発のため、UASB 法（Upflow Anaerobic Sludge Blanket、上向流嫌気性汚泥床法）を用いて、無加温で嫌気処理を行う技術について次に述べる通り実験的検討を行った。

2.1.1 方法

流入下水を最初沈殿池で一次処理し、発生した下水生汚泥に食品廃棄物を添加して嫌気性消化槽で混合発酵を行い、その嫌気性消化汚泥を UASB へ投入するとともに、下水一次処理水を UASB で嫌気処理する処理方法

(UASB-AD システム) の開発を行った。

なお、当初は、流入下水を UASB に直接流入させて嫌

気処理を行い、UASB から引き抜いた汚泥と外部から添加した余剰有機物（食品廃棄物）を混合して嫌気性消化槽で混合発酵を行い、その嫌気性消化汚泥を再び UASB へ投入する処理方法の開発として実験を開始したが、流入下水の有機物負荷が低すぎて目的の実験ができなかったため、上述の処理方法の開発に変更したものである。この点は実験経過の部分で再度説明する。

実験プラント（UASB 容量約 230L、嫌気性消化槽容量は UASB の 20% の約 46L）を下水処理場に設置し、UASB に実下水 460L/d（HRT12 時間）を流入させて温度制御なし（流入水温は 14.4℃～23.2℃で平均 17.9℃）で 8 週間運転した。実験プラントの概要は図-1 に示すとおりである。

嫌気性消化槽に投入する余剰有機物として、家庭厨芥を模擬して既報²⁾を参考に調製した食品廃棄物の混合スラリーを用いた。食品廃棄物の組成は、湿重ベースで、果物の皮 30%（リンゴ・グレープフルーツ・バナナを各 10%）、野菜 36%（にんじん・キャベツを各 18%）、炭水化物 20%（うどん・パンを各 5%、米飯を 10%）、タンパク質等 14%（魚の骨皮・豚肉を各 7%）として、ミキサーで混合した。

実験開始後の 2 週間は、UASB から引き抜いた汚泥と外部から供給した食品廃棄物を混合して嫌気性消化槽に投入し、嫌気性消化槽から引き抜いた嫌気性消化汚泥を UASB に投入する形で、嫌気性消化槽と UASB の間で汚泥の循環を行った。

実験 3 週間目以降は、UASB 汚泥の減少が著しくなり

UASBにおける水処理に支障が生じるようになったため、UASB汚泥の引き抜きを中止し、代わりに実下水の生汚泥を沈降濃縮させた汚泥を別途用意して、外部から供給した食品廃棄物と混合して消化槽に投入し、その嫌気性消化汚泥をUASBに投入することとした。

ここで、実験当初は流入下水を直接UASBに流入させるシステムとして実験を行っていたが、流入下水が低濃度であり有機物負荷量が不十分であったため、これを初沈での固液分離後の一次処理水とみなし、初沈からの生汚泥のADへの供給には、別途生汚泥を用意することで、初沈を含むシステムとして実験を継続した。

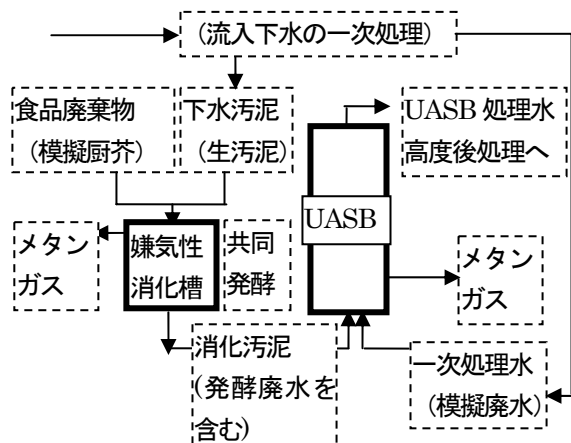


図-1 UASB-ADシステムの概要

2.1.2 分析

実験装置より必要な汚泥・水・ガス試料を週に1回程度採取して、温度、pH、BOD、COD_{Cr}、TS、VS、SS、VSS、N・P、ガス量およびCH₄濃度等の分析を、下水試験方法に則って行った。

2.2 嫌気処理水の高度後処理の基礎技術の開発

2.2.1 方法

嫌気処理水の高度後処理方法として、UASB-ADシステムの後段に好気処理の活性汚泥法を組み合わせるUASB-AD-ASシステムの開発を行った。

実験は、実験系列（UASB-AD-AS）および対照系列（標準活性汚泥法、AS）を各1系列ずつ用いて行った。対照系列では、標準活性汚泥法として最初沈殿池、エアレーションタンク、最終沈殿池を設置した。

実験系列では、最初沈殿池を設置せず、「2.1 発酵廃水・下水混合液の嫌気処理の基礎技術の開発」で開発したUASB-ADシステムのUASBに下水を流入させ、UASB処理水をエアレーションタンクに流入させた。最終沈殿池の余剰汚泥は消化槽に投入した。

流入下水の有機物濃度が低すぎたため、別途用意した生汚泥を連続的に混合して、実験に適した流入下水濃度に調整してから、実験系列および対照系列に流入させた。UASB-ADの運転は、「2.1 発酵廃水・下水混合液の嫌気処理の基礎技術の開発」と同様に行った。

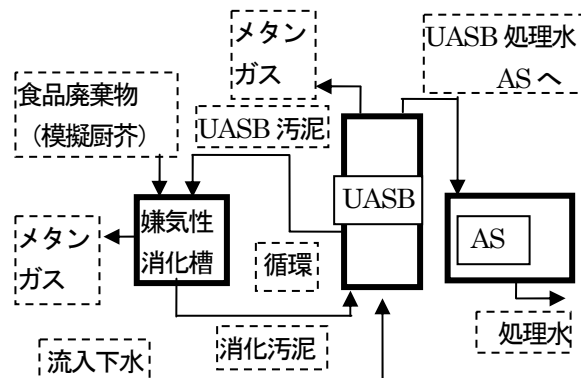


図-2 UASB-AD-ASシステムの概要

2.2.2 分析

実験装置より必要な汚泥・水・ガス試料を週に1回程度採取して、温度、pH、BOD、COD_{Cr}、TS、VS、SS、VSS、N・P、ガス量およびCH₄濃度等の分析を、下水試験方法に則って行った。

3. 結果および考察

3.1 発酵廃水・下水混合液の嫌気処理の基礎技術の開発

UASBを用いて、無加温で嫌気処理を行う技術として、下水生汚泥・食品廃棄物の混合発酵および発酵廃水・下水一次処理水の共同嫌気処理するUASB-ADシステムについて検討した結果を以下に示す。

UASBでの水処理について、BOD等の経時変化を図-3に示した。また、嫌気性消化槽での汚泥処理について、COD等の経時変化を図-4に示した。

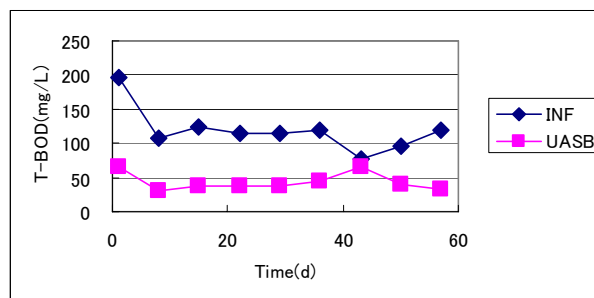


図-3 UASB-ADシステムのUASBでのT-BOD処理

特性 (Inf : 流入下水、UASB : UASB 処理水)

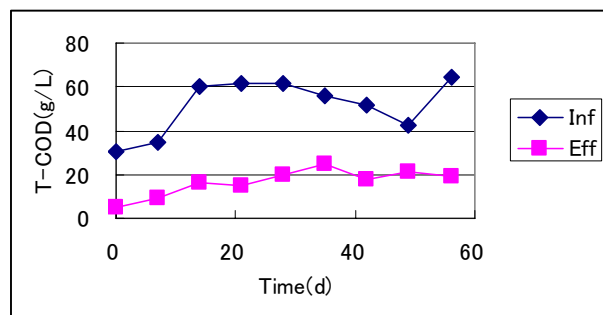


図-4 UASB-AD システムの嫌気性消化槽での T-COD 処理特性 (Inf : 投入汚泥、Eff : 消化汚泥)

実験開始後 3~8 週間目 (UASB 汚泥の引き抜きを中止した期間)における有機物 (COD) の収支については、次の通りである。

(1) COD 投入の 47%が流入下水 (一次処理水とみなす) 由来、18%が食品廃棄物由来、35%が生汚泥由来であった。

(2) 初沈で流入有機物負荷の 43%を生汚泥として分離し、消化槽へ食品廃棄物とともに投入した計算となる。負荷の比率は、COD 比で生汚泥 : 食品廃棄物 = 2:1 であった。

(3) 食品廃棄物の COD 負荷比率は、流入下水 (一次処理水みなし + 生汚泥) 負荷の 22%であった。

(4) COD 排出は投入の 40%であり、その内訳は、UASB から流出した処理水中の有機物として 20%、嫌気性消化槽で発生した消化ガス中の CH₄ として 18%、同じく UASB での消化ガスとして 2%であった。

(5) 以上より、外部より供給した食品廃棄物による有機物負荷は、全負荷量の約 2 割に相当、流入下水のみの場合と比較し有機物負荷量を約 1.3 倍に増大させたことになる。この条件下において、嫌気性消化は良好に行われ、UASB の水処理も安定して行われていたことから、本実験で開発した UASB-AD システムは、この程度の負荷量増大は許容範囲であると考えられた。

UASB と嫌気性消化槽を組み合わせた水処理について、Mahmoudら³⁾は、水温 15°C の都市下水を UASB で嫌気処理する際に、AD を追加した方が COD 除去と汚泥分解に効果的であったと報告している。本研究は、食品廃棄物を AD に投入して混合発酵を行い、発酵廃水と都市下水を共同処理している点で、水処理のみを主眼とした既往の研究と大きく異なっており、独自の UASB-AD システムとして検討する意義が高いと考えられた。

3. 2 嫌気処理水の高度後処理の基礎技術の開発

嫌気処理水の高度後処理方法として、UASB-AD システムの後段に好気処理の活性汚泥法を組み合わせる UASB-AD-AS システムの検討を行った結果を以下に示す。

UASB での水処理について、T-BOD、T-COD および SS の経時変化を図-5~7 に示した。

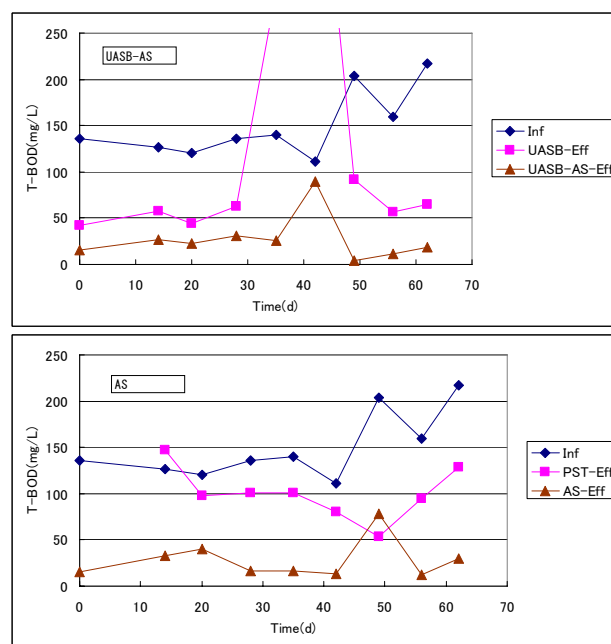


図-5 UASB-AD-AS システムの T-BOD 処理特性 (上

図 : 実験系列 (UASB-AD-AS)、Inf : 流入下水、

UASB-Eff : UASB 処理水、UASB-AS-Eff : AS 処理水、

下図 : 対照系列 (AS)、Inf : 流入下水、PST-Eff : 最初沈殿池処理水、AS-Eff : AS 処理水、

上図の day35、day42 の UASB 処理水の値はそれぞれ 300mg/L、520mg/L)

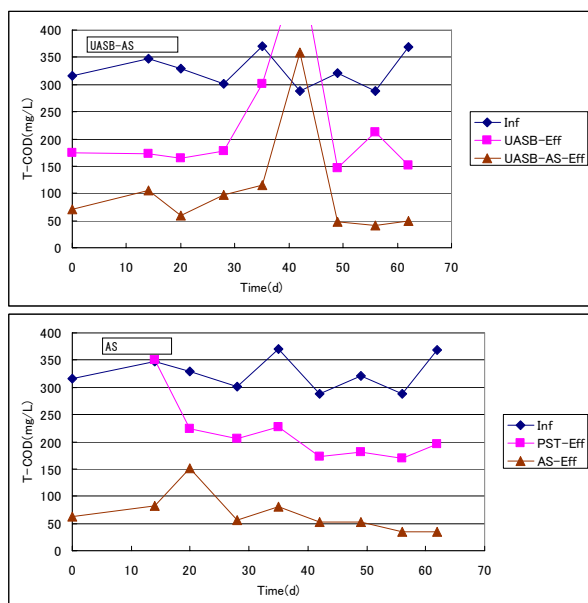


図-6 UASB-AD-AS システムの T-COD 処理特性 (図の凡例等については図-1 と同様、
上図の day42 の UASB 処理水の値は 530mg/L)

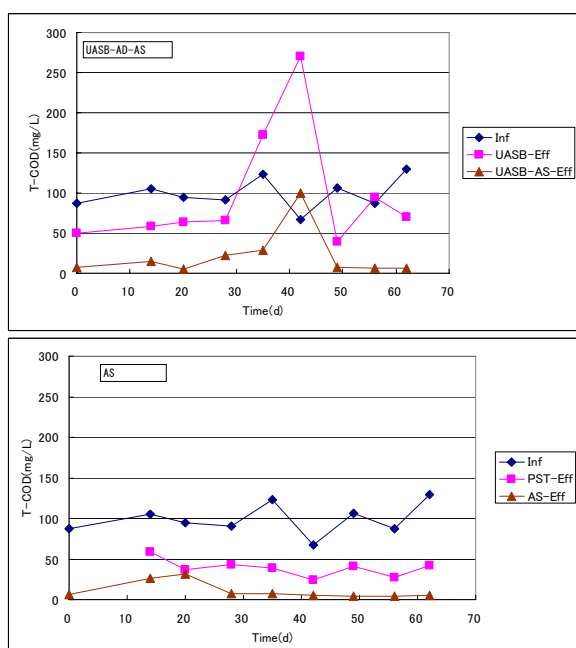


図-7 UASB-AD-AS システムの SS 処理特性 (図の凡例等については図-1 と同様)

主要な結果は次の通りである。

(1) 実験開始初期 (day7~day14) には、実験系列 (UASB-AD-AS) で、前段 UASB の流出汚泥 (流入下水 SS のうち UASB で捕捉されなかったものおよび UASB の汚泥層から流出したもの) が後段 AS のエアレーションタンクで沈降して嫌氣的性状を呈していた。沈降していた汚泥は、曝気強度を上げることにより、再度

浮遊状態とすることができた。本実験のエアレーションタンクは、曝気攪拌方式であり、好気処理と同等の曝気強度では活性汚泥が沈降してしまっていたことから、UASB 流出汚泥は好気処理の活性汚泥と比較して沈降しやすいものと考えられた。

(2) UASB からの汚泥流出量が一時的に増えて、AS に過大な負荷を与えて処理水質が悪化する場合が見られた。UASB の汚泥量が多く汚泥界面が上昇していたため、突発的な流出が起きていた可能性が考えられた。従って、UASB 汚泥量を適正に制御して AS への汚泥流出を抑制することにより、処理水質を安定化できる可能性が考えられた。

(3) また、これにより、実験系列 (UASB-AD-AS) のエアレーションタンクに流入して沈降する UASB 汚泥を抑制し、活性汚泥の浮遊状態を保つのに必要な曝気量を対照系列 (AS) よりも削減することで、本来の目的である消費エネルギーの削減ができ、UASB 導入のメリットが発揮できる可能性が考えられた。

(4) 実験装置の不具合 (最終沈殿池の動作不良) により、対照系列 (AS) で T-BO が 15mg/L を超えることが多く、標準活性汚泥法の一般的な水質とならなかったことから、実験系列 (UASB-AD-AS) の処理水質を対照系列と比較して処理性能を検証することはできなかったが、実験装置の性能の範囲内では、実験系列

(UASB-AD-AS) と対照系列 (AS) の処理水質は大きな差は見られなかった。ただし、UASBからの汚泥の流出が大となった際には UASB-AD-AS システムの処理水質も悪化したため、UASB汚泥の適正な制御が必要と考えられた。Huangら⁴⁾は、UASBと好気活性汚泥法を組み合わせた水処理法を養豚スラリーに適用し、30°Cでの運転で有機物および窒素除去に有効であったと報告している。本研究では、食品廃棄物と下水汚泥の混合発酵を行うとともに、発酵排水と都市下水を嫌気処理する UASB-AD-AS システムを開発しているため、既往の報告とは処理対象もシステムも異なっている。特に養豚スラリーは都市下水と発酵廃水の混合液よりも有機物および窒素が高濃度であり、30°Cで嫌気処理することにより、むしろ従来型の UASB に適した運転条件となっていることから、都市下水を対象とした処理については、本研究で新たに知見を得ることが不可欠と考えられた。

4. まとめ

本研究の主要な結果は次の通りである。

(1) 流入下水を最初沈殿池で一次処理し、発生した下水

生汚泥に食品廃棄物を添加して嫌気性消化槽で混合発酵を行い、その嫌気性消化汚泥を UASB へ投入するとともに、下水一次処理水を UASB で嫌気処理する処理方法 (UASB-AD システム) の開発を行った。

(2) UASB-AD システムの許容範囲として、外部より供給する食品廃棄物による有機物負荷が、全負荷量の約 2 割に相当し、流入下水のみの場合と比較し有機物負荷量が約 1.3 倍に増大するまでは、対応可能と確認できた。

(3) 嫌気処理水の高度後処理方法として、UASB-AD システムの後段に好気処理の活性汚泥法を組み合わせる UASB-AD-AS システムの開発を行った。

(4) 実験装置の性能の範囲内では、UASB-AD-AS システムと標準活性汚泥法装置の処理水質は大きな差は見られなかった。ただし、UASB からの汚泥の流出が大となつ

た際には UASB-AD-AS システムの処理水質も悪化したため、UASB 汚泥の適正な制御が必要と考えられた。

参考文献

- 1) バイオマス・ニッポン総合戦略：2006.3.31 閣議決定
- 2) 竹崎義則他、「ディスポーザ排水の負荷原単位設定」、廃棄物学会誌、Vol.12、No.5、pp.312-321、2001
- 3) Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system, Nidal Mahmoud, et.al., Water Res, 38, pp.2348-2358, 2004
- 4) Microbial activity in a combined UASB-activated sludge reactor system, J. S. Huang et.al., Chemosphere, 61, pp.1032-1041, 2005

STUDY ON COMBINED TREATMENT TECHNOLOGY FOR EXCESS BIOMASS AND MUNICIPAL WASTEWATER

Abstract: The growing need to recycle excess biomass generated in urban areas and to effectively treat fermentation wastewater requires an innovative technology that can treat excess biomass and municipal wastewater together while recovering resources and energy. A co-digestion system treating raw sewage sludge and food waste, followed by combined upflow anaerobic sludge blanket (UASB) treatment of the digestion wastewater and primary treated sewage, was developed. A UASB-AD (anaerobic digestion) system and a UASB-AD-AS (activated sludge) system for treating raw sewage were examined. The UASB-AD-AS system treated biomass and municipal wastewater successfully.

Key words: biomass, municipal wastewater, anaerobic treatment, combined treatment