

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月7日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560542

研究課題名（和文） 稲わらと下水汚泥との混合消化による新エネルギー増産・資源循環の同時技術の実用化

研究課題名（英文） Pilot-scale Experiment for Practical Application of Anaerobic Co-digestion Technology of Sewage Sludge and Rice Straw

研究代表者

藤田 昌一（FUJITA SHOICHI）

長岡技術科学大学 工学部・研究員

研究者番号：30359707

研究成果の概要（和文）：

下水汚泥と未利用バイオマスの混合嫌気性消化が注目されている。本研究では、本技術の実用化に向けて下水汚泥と稲わらのパイロットスケールでの混合消化の実証連続運転を下水処理場にて行った。最初に、実験室規模の稲わらの回分式嫌気性消化実験を行い、実機での効率的な酵素前処理条件を決定した。パイロットスケールの消化槽の容積は 500L であり、対照系の下水汚泥単独系、水浸漬による可溶化稲わら混合系（稲わら系）、酵素水浸漬による可溶化稲わら混合系（酵素稲わら系）の 3 系列を滞留日数約 25 日の条件で 9 週間の運転を行った。下水汚泥と稲わらの固形分混合比は 1:0.2 である。その結果、稲わら混合系では汚泥単独系よりも高い固形分分解率を示し、バイオガス発生量も増大した。稲わらの COD ベースでのメタン転換率は、消化状況が安定していた期間の平均値で、稲わら系では 48%、酵素浸稲わら系では 72% であり、パイロットスケール実験においても稲わらから高いメタン転換率が得られることを実証でき、酵素の投与効果も確認された。

研究成果の概要（英文）：

Anaerobic co-digestion of sewage sludge and currently unused biomass has been paid attention. In this study, we operated pilot-scale digesters for practical application of the co-digestion technology of sewage sludge and rice straw. Before the pilot-scale study, laboratory-scale anaerobic digestion experiments were conducted in order to determine the pretreatment conditions of rice straw in the pilot-scale experiments.

Pilot-scale equipment was installed in a sewage treatment plant. Three digesters having 500 L working volume were operated. Two digesters were fed sewage sludge with (1) water solubilized rice straw, (2) enzyme-water solubilized rice straw. The feeding ratio of sewage sludge and rice straw was 1:0.2 based on TS. A digester fed sewage sludge alone was operated as a control. The digesters were operated for 9 weeks with hydraulic retention times of about 25 days.

As the results, higher TS removal and biogas production were observed by mixing rice straw. In the apparent steady-state condition, methane conversion efficiency of water pretreated rice straw and enzyme pretreated rice straw were 48% and 72% (COD basis), respectively. This study demonstrated that rice straw is a feasible biomass applicable to co-digestion technology in sewage treatment plants.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1600000	480000	2080000
2011 年度	1500000	450000	1950000
2012 年度	500000	150000	650000
年度			
年度			

総計	3600000	1080000	4680000
----	---------	---------	---------

研究分野：下水道

科研費の分科・細目：土木環境システム

キーワード：バイオマス

### 1. 研究開始当初の背景

稲わらは、各種農業残渣の中で最も発生量が多く、鋤き込みの割合が最も高くなっているが、排水不良田での稲わらの鋤き込みにより、根腐れによる生育阻害や、土中に稲わらが嫌気分解されて大気中にメタンが放出され地球温暖化を促進させることが懸念されている。そのため今後も大量に発生することが見込まれる稲わらの有効な利活用の促進が必要である。

一方、下水道分野では、下水汚泥の嫌気性消化槽に他のバイオマスも投入して消化ガス（バイオガス）生成量の増大を図る混合嫌気性消化法が注目されている。本研究グループでは、稲わらが混合消化に適したバイオマスであること、また組織が強固である稲わらの前処理法として、破碎した稲わらを酵素溶液に浸漬させる酵素処理法が有効であることを実験室レベルの基礎実験で明らかにした(6-8)。稲わらの利用は、食糧と競合しないバイオマスであることや秋口に一括回収できるため収集運搬が容易である利点も有している。

### 2. 研究の目的

本研究では、稲作地域において稲わらを下水汚泥とともに嫌気性消化を行いバイオガス化することで、地産地消の再生可能エネルギーとして回収するシステムの実用化を図ること目的としている。

### 3. 研究の方法

#### 3. 1パイロット試験機運転条件

最初に学内にて実機を想定した稲わらの嫌気性消化の回分実験を行い、実機での運用に適した酵素前処理条件を設定した。次に、この設定条件を踏まえてパイロットスケールでの連続式の実証実験を行い、下水汚泥に稲わらを混合した場合の消化特性を明らかにした。

稲わらの可溶化槽は全2系列（稲わら系、酵素稲わら系）で運転した。ステンレス製の円筒型の反応槽となっており、有効容量は120Lである。ウォータージャケット構造であり、温水をポンプで槽壁面を循環させることにより、槽内の反応温度を37℃としている。可溶化稲わらはスクリー式の搬出機にて引抜くことが可能である。攪拌については、59分正転攪拌、1分停止、59分逆転攪拌、1

分停止を繰り返すことにより、稲わらと処理水の共回りを防ぐ制御方法を行っている。投入稲わらは、ロール状で屋内保管した稲わら（保管期間約11~12ヶ月）を実証破碎機により破碎したものである。稲わら系では、破碎した稲わら0.6kgと処理水6Lを1日1回投入し（固液比1:10、流入TS約10%）、同量の可溶化稲わらを引抜いて、その一部（1.8L）を消化槽に投入している。酵素稲わら系では、処理水に加えて、今回の回分式嫌気性消化実験による検討で決定した酵素を0.025g/g-稲わらで添加した。

消化槽はステンレス製の円筒縦型の反応器となっており、全3系列で中温消化の運転を行った。有効容量は500Lである。消化槽の外壁内部に熱電対と温度計を巻き、熱電対による加温部の温度によって消化槽全体の加温を制御し、消化槽の反応温度は37℃としている。消化槽内は24時間攪拌を行っている。上部に設置された基質投入口より下水汚泥と可溶化稲わらを投入する。消化槽後部に汚泥引抜口が設置され、バルブを回すことによって消化汚泥の引抜きができ、基質の投入時に同量の消化汚泥を各系から引抜く。

消化槽の3系列は、対照系として濃縮下水汚泥（初沈汚泥と余剰汚泥の容量比2:1）のみを投入した汚泥単独系、下水汚泥と可溶化稲わらを投入した稲わら系、下水汚泥と酵素可溶化稲わらを投入した酵素稲わら系である。

#### 3. 2運転条件と測定項目

本実験では消化槽は約9週間（64日）の連続運転を行った。汚泥単独系での滞留日数（消化日数）は25日とした。また、下水汚泥と稲わらのTS混合比が1:0.25となることを目安として、可溶化稲わらの消化槽への投入量を決定した。消化槽運転の種汚泥は、長岡浄化センターの消化汚泥（TS:2.0%, VS:1.4%）を使用した。一方、可溶化槽は、消化槽の運転開始時に安定した可溶化状態の稲わらを投入できるように、消化槽連続運転の約40日前から運転を開始した。可溶化槽の運転条件を表-1に、消化槽の運転条件を表-2に示す。表中の投入基質のTS比率での稲わら量は可溶化前の値に基づいている。なお、TS比率が実際には1:0.2になったのは、後述するように濃縮下水汚泥の濃度が高かったためである。

可溶化槽、消化槽ともに、基質の投入・混

合液の引抜きは日曜以外の週 6 回行った。基質の濃縮下水汚泥は、消化槽への一時的な負荷上昇を低減化するために 1 日 2 回、午前と午後に分けて、濃縮槽から直接採取した汚泥を消化槽に投入した。一方、可溶化稲わらは、濃縮下水汚泥に比べて量が少ないことから、煩雑さを避けるため 1 日 1 回、午前だけの投入とした。

主な測定項目は、発生ガス量と消化汚泥の pH（日曜以外の週 6 回）、濃縮下水汚泥および消化汚泥の固形物量 TS と有機物量 VS（週 3 回、月水金）である。また、発生ガスのメタン濃度、可溶化稲わらの pH と溶解性 COD（孔径  $0.45\mu\text{m}$  のガラス繊維ろ紙でろ過したサンプルの COD）、消化汚泥の溶解性 COD、アンモニア性窒素、揮発性脂肪酸（酢酸およびプロピオン酸）、色度を週 1 回、主に火曜のサンプルを測定している。発生ガス量は標準状態における値に換算した。

プロセス評価は、汚泥単独系と比較した稲わら混合の影響および酵素処理の効果を中心に行った。データは主に 1 週間単位で整理した。

#### 4. 研究成果

実証実験施設では、収集した稲わらロールの保管、稲わらの 破砕（破砕径は 2mm 程度）、稲わらの可溶化前処理、消化槽による連続式メタン発酵を進めている。図-1 に本実験のプロセスを示す（混合比 1:0.75 の場合）。混合比 1:0.5 では 10 週、1:0.75 では 11 週の連続運転を行い、安定状態を確認した。

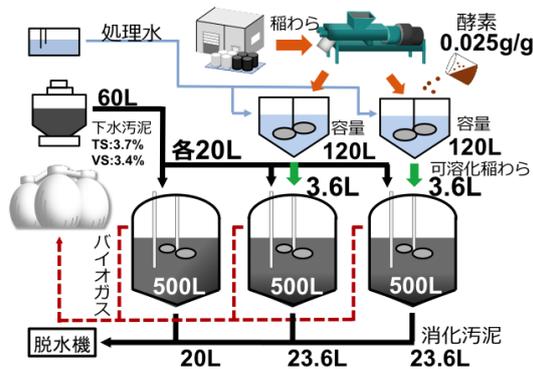


図-1 パイロットプラント図

混合比 1:0.5 では、ガス発生量が安定するのに約 4 週間を要した。一方、1:0.75 では、継続して運転を行ったため運転初期から安定したガス発生量を示した。連続実験開始後、稲わら投入系が汚泥単独系よりも常に多いガス発生量であった。

混合比 1:0.75 においても全系列において消化状況は安定していた。しかし、稲わらのメタン転換率の平均は、稲わら系が約 37%、酵素稲わら系が約 40%となり、1:0.5 の場合に比べて大きく低下した。稲わら由来

の有機物負荷が高くなり汚泥負荷が限界に近づいたためと考えられる。したがって、混合消化での稲わらの混合比は 1:0.5 以下が望ましいことが分かった。

TS 分解率、VS 分解率ともに稲わら混合系が汚泥単独系よりも高く、稲わらの固形分は十分に分解されることを示している。投入 VS あたりの発生ガス量に関しては、汚泥単独系の方が高いが、下水汚泥は VS 当りの COD が稲わらよりも高いためと考えられる。エネルギー化の総合的な指標となる COD 基準のメタン転換率は、汚泥単独系で 63.7%であるなど、全系列で 60%以上を示した。

COD 基準での稲わらの正味のメタン転換率を、下水汚泥のメタン転換率が汚泥単独系と等しいと仮定し、さらに酵素からのメタン転換率は COD 基準で 100%であると仮定して計算した結果、稲わら系では 47.9%に留まったが、酵素稲わら系では 71.6%となった。このメタン転換率を、実験室レベルの消化槽容量 1.8L での連続実験と比較すると、TS 濃度が概ね等しい条件では、稲わら系 74.0%、酵素稲わら系 83.6%が得られていた。しかし、これは稲わらの保存状態や破砕などが有利な条件における結果である。そのため、それには及ばないが、パイロットスケールにおいても酵素処理によって稲わらから下水汚泥以上のメタン転換率を得ることができた。

また、稲わら投入によって溶解性 COD は若干上昇、アンモニア性窒素は若干低下する結果が得られた。

これは過去の実験でも同様の傾向が得られている。稲わらのメタン転換率は、Lab の連続実験で約 90%であった結果には及ばないが、パイロットスケールにおいても酵素処理によって下水汚泥以上のメタン転換率が得られることを実証できた。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1. 小松俊哉、姫野修司、藤田昌一、渋川洋、水田から下水処理場までの一貫体系の構築による下水汚泥と稲わらの混合消化技術の開発、再生と利用、138、12-18、2013

〔学会発表〕（計 2 件）

1. 藤田昌一、小松俊哉、姫野修司、下水汚泥との混合消化実証実験における前処理方法および混合比の影響、第 47 回日本水環境学会年会講演集、2013 年 3 月

2. 藤田昌一、小松俊哉、姫野修司、下水汚泥との一括バイオガス化技術の実用化へ向けた稲わらの回分式嫌気性消化実験、第 45 回日本水環境学会年会講演集、2011 年 3 月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤田 昌一 (FUJITA SHOICHI)  
長岡技術科学大学 工学部 研究員  
研究者番号 : 30359707

### (2) 研究分担者

小松 俊哉 (KOMATSU TOSHIYA)  
長岡技術科学大学 工学部 准教授  
研究者番号 : 10234874  
姫野 修司 (HIMENO SHUJI)  
長岡技術科学大学 工学部 准教授  
研究者番号 : 31150360