

平成 21 年 5 月 11 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560549
 研究課題名（和文） 超高濃度嫌気性消化の有機物分解に及ぼす含水率の影響と数学モデルによるプロセス制御
 研究課題名（英文） Process control using mathematical model and effects of water content on degradation of organic substance in ultra-highly concentrated solids anaerobic digestion
 研究代表者
 野池 達也（NOIKE TATSUYA）
 日本大学・大学院総合科学研究科・教授
 研究者番号：90005398

研究成果の概要：超高濃度嫌気性消化では消化汚泥の不均一性が高く、これが消化速度の低下に寄与している可能性が懸念されている。本研究においては、超高濃度嫌気性消化に特徴的な極低含水率の有機固形物原料を投入し、無攪拌、低速攪拌および高速攪拌による35℃の中温消化実験を行い、消化汚泥の攪拌がバイオガスの生成に及ぼす影響について検討した。高速攪拌では無攪拌よりもADM1で導かれるガス生成曲線に近づく結果が得られた。超高濃度嫌気性消化にあたっては、内容物を均一化する処理によって、より多くのエネルギーを高速に回収できることが明らかとなった。励起蛍光画像による反応槽内メタン生成細菌の不均一性に関する新しい解析手法として、励起蛍光マトリックスによる分析が、湿式および乾式の発酵槽内部における有機物分解の挙動を解析する上で、迅速かつ有用な手段である可能性が示された

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：エネルギー施設

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止は、21世紀における世界各国共通の使命である。地球の温暖化防止に関

する京都議定書の義務履行のために、バイオマス・ニッポン総合戦略において、カーボ

ン・ニュートラルであるバイオマスのエネルギー利用が積極的に推奨され、下水汚泥、家畜排せつ物、生ごみ等の廃棄物バイオマスからのエネルギー回収のために、嫌気性消化法の重要性が再認識され、既存の下水処理場嫌気性消化槽の有効活用のための事業が進められている。西欧諸国のように、消化液をそのまま受容できる圃場を必ずしも有していないわが国において、嫌気性消化法が、真にわが国の廃棄物バイオマスからのエネルギー回収と物質循環システムとして寄与し得る環境保全技術であるためには、消化液の処理処分問題が解決されなければならない。そのために、近年、20-40%の高濃度の有機固形物に対して、消化液の水処理を必要最小限とする超高濃度嫌気性消化法が開発され、わが国に技術導入されている。しかし、本法の技術開発にあたっては、最初から実廃棄物による実規模の装置による経験的な実証実験が行われているのみであり、最適温度条件、最適含水率、有機物負荷量、物質分解の挙動および数学モデルの高効率な高濃度嫌気性消化技術を確立するための基礎的研究は、全く行われてきていない。

2. 研究の目的

本研究では、超高濃度嫌気性消化を最も特徴づける含水率の嫌気性消化の機能に及ぼす影響に関する室内実験を行い、最適含水率および有機物の物質分解の挙動について解明し、超高濃度嫌気性消化の高効率化のための基礎的知見を確立し、まだ、全く着手されていない超高濃度嫌気性消化に関する数学モデルを構築し、超高濃度嫌気性消化の運転制御への応用について検討することを目的とするものである。

3. 研究の方法

(1) 中温超高濃度嫌気性消化の最適含水率

に関する室内実験

超高濃度嫌気性消化では、一般に固形物濃度15-40%（含水率：60-85%）とされていることに基づき、嫌気性消化の担い手である酸生成細菌およびメタン生成細菌の活動のために、下限となる最小含水率を明らかにし、槽内における種汚泥（消化汚泥）と投入基質との混合接触の可能性の面からも考慮して、最適含水率について35℃の中温回分実験により検討する。

(2) 励起-蛍光画像による反応槽内メタン生成細菌の不均一性に関する新しい解析手法の導入

反応槽中に存在するメタン生成細菌、及びセルロース、リグニン等の諸物質は、自家蛍光を発することが知られている、そこで、メタン発酵槽中の消化液を対象として、励起波長及び蛍光波長をそれぞれ段階的に変化させた励起-蛍光画像を、高感度冷却型CCDカメラを用いて網羅的に取得する。その後、励起波長と蛍光波長の関係から対象に関する励起-蛍光画像を抽出し（対象：メタン生成細菌、セルロース、リグニンなど）、その不均一性について考察する。

4. 研究成果

(1) 湿式メタン発酵と乾式メタン発酵の発酵特性の差異について調べるため、含水率99%の湿式試験区と含水率83%の乾式試験区を用意し、回分実験によってバイオガス発生速度および励起蛍光マトリックスの経時変化を取得した。ガス発生速度においては、両試験区における平均発生速度に大きな差異は見られなかったが、湿式試験区の方が全体的に速度が大きい傾向が見られた。また、試験区内における蛍光物質特性を示す励起マトリックスにおいては、両試験区で明確な差異が見

られた。乾式試験区は、湿式試験区に比べて明らかに浮遊性物質由来の蛍光強度が大きく、湿式試験区の固相のみを抽出した際の励起蛍光マトリックスと蛍光分布が類似していた。一方で、水溶性タンパク質由来の蛍光強度は小さかった。また、両試験区における複数の蛍光ピークがそれぞれ異なる経時変化を表わしており、内部での代謝反応の差異を反映していると考えられる。これらの結果から、励起蛍光マトリックスによる分析が、湿式および乾式の発酵槽内部における有機物分解の挙動を解析する上で、迅速かつ有用な手段である可能性が示された。

(2) 励起-蛍光画像による反応槽内メタン生成細菌の不均一性に関する新しい解析手法の導入反応槽中に存在するメタン生成細菌、及びセルロース、リグニン等の諸物質は、自家蛍光を発することが知られている、そこで、メタン発酵槽中の消化液を対象として、励起波長及び蛍光波長をそれぞれ段階的に変化させた励起-蛍光画像を、高感度冷却型 CCD カメラを用いて網羅的に取得する。その後、励起波長と蛍光波長の関係から対象に関する励起-蛍光画像を抽出し(対象：メタン生成細菌、セルロース、リグニンなど)、その不均一性について考察する。内部における有機物分解の挙動を解析する上で、迅速かつ有用な手段である可能性が示された。

(3) 湿式試験区における個々のデータの標準偏差に比べて、乾式試験区における結果の標準偏差はきわめて大きく、回分実験のための種汚泥を採取した実発酵槽内での不均一性が高いことが示された。本実験に関する湿式および乾式条

件下での反応速度パラメーターを決定し、既存のメタン発酵モデル ADM1 を導入した。その結果、湿式試験区に関するシミュレーションは、実際の結果とは異なっており、内部の不均一性等を考慮するパラメーターが必要であることが裏付けられた。

(4) 超高濃度嫌気性消化では消化汚泥の不均一性が高く、これが消化速度の低下に寄与している可能性が示唆されている。本研究においては、超高濃度嫌気性消化に特徴的な、極低含水率の有機固形物原料を投入した実験を行い、消化汚泥の攪拌がバイオガスの生成に及ぼす影響について調査した。試験区には、無攪拌区、低速攪拌区および高速攪拌区を用意し、それぞれについて回分実験を行って、バイオガスの発生量および組成の計測を行った。その結果、反応槽内の攪拌速度の増大に従ってバイオガス生成量が増大した。低速攪拌区および高速攪拌区では、原料投入から 24 時間以内にバイオガスの生成が観察されたが、無攪拌区においては、ガス生成までに 72 時間を要した。

どの試験区とも、安定時のメタン含有割合は 70%であった。反応槽内部の複数の箇所での蛍光計測から、攪拌によって内容物が均質化していることもわかった。これに関連して、高速攪拌区では無攪拌区よりも ADM1 で導かれるガス生成曲線に近づく結果が得られた。本結果より、超高濃度嫌気性消化にあたっては、内容物を均一化する処理によって、より多くのエネルギーを高速に回収できることが明らかとなった。

(5) 本研究で用いた原料は平均含水率が7.6%であり、超高濃度嫌気性消化技術が本来対象とする有機固形物の含水率(20~40%)と比べて極めて低い。にもかかわらず、嫌気性消化槽内の含水率は想定ほどには低下せず、75%程度で定常状態となった。本研究で用いた高機密性の閉鎖型実験システムにおいては、生成したバイオガスが選択的に回収される一方で、水分の多くが反応槽内に留まる。その結果、水分蓄積と低含水率の原料投入とが槽内で均衡して、含水率が75%程度で定常となったと考えられた。これらの実験結果より、今後の超高濃度嫌気性消化技術開発において、安定した低含水率の実現のためには、システム中の水の挙動に関する研究が不可欠であることが提示された。

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11件)

- ① 野池達也、高濃度有機性廃棄物の一次処理としてのメタン発酵法、用水と廃水、51, 330-337, (2009), 査読有
- ② Yasui H., Goel R., Li Y.Y. and Noike T., Modified ADM1 Structure for Modelling Municipal Primary Sludge Hydrolysis, Water Research, Vol.42, No.1, 249-259 (2008)、査読有
- ③ Sangsan Teepyobon, 李玉友、野池達也、安井英斉、濃縮余剰汚泥の中温消化と高温消化の性能比較、下水道協会誌論文集、44, 124-134, (2008), 査読有
- ④ H. Yasui, K. Komatsu, R. Goel, Y. Y. Li and T. Noike, Water Science and Technology, Evaluation of state variable interface between the activated sludge and anaerobic digestion model no.1, Vo.1 57, 901-907, (2008), 査読有
- ⑤ 野池達也、バイオマスによる地球温暖化防止、用水と廃水、50, 308-317, (2008), 査読有
- ⑥ 小松和也, 安井英斉, 李玉友, 野池達也 下水汚泥の嫌気性消化における無機物の溶解析出挙動の熱力学的解析、環境工学研究論文集、45, 341-348, (2008), 査読有
- ⑦ 安井 英斉, 小松 和也, ラジブ ゴエル, 李玉友, 野池 達也、状態変数分類による最初沈澱汚泥のメタン発酵プロセスモデル、土木学会論文集G、64, 132-143, (2008), 査読有
- ⑧ H. Yasui, K. Komatsu, R. Goel, Y. Y. Li and T. Noike, Evaluation of state variable interface between ASM and ADM, Water Science and Technology, 57, 901-907, (2008), 査読有
- ⑨ T. Kobayashi, Y.Y. Li and H. Harada, H. Yasui and T. Noike, Upgrading of the anaerobic digestion of waste activated sludge by combining temperature-phased anaerobic digestion and intermediate ozonation, Water Science and Technology, 59, 185-193, (2008), 査読有
- ⑩ 寺島光春、ラジブゴエル、小松和也、安井英斉、高橋弘、李玉友、野池達也、中温と高温の嫌気性消化汚泥の粘性特性の比較、環境工学研究論文集、44, 687-694, (2007), 査読有
- ⑪ 安井英斉、小松和也、ラジブゴエル、李玉友、野池達也、ASMのDeath & regeneration conceptを用いた活性汚泥処理プロセスと嫌気性消化プロセスの数

学的統合、環境工学研究論文集、44、
703-712, (2007), 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① R. Endo, O. Kitani, T. Noike, M. Tosaka and K. Omasa, Fluorescence Characteristics of the Sludge during Wet and Dry Anaerobic Digestion, Proceedings of 5th International workshop on innovative anaerobic technology、(2008. 4. 3)、日本大学会館第 2 別館
- ② 遠藤良輔、乾式メタン発酵消化汚泥に対する励起蛍光マトリックス計測、第 3 回バイオマス科学会議、(2008)
- ③ R. Endo, O. Kitani, T. Noike and K. Omasa, Fluorescence Measurement as an Assessment Method for the Anaerobic Digestion Activity, The 2008 APGC Symposium、(2008)
- ④ Endo, R., Analysis of Hxcitation -Emission Matrices of Anaerobically Digested Sludge under Wet and Dry Conditions, 11th IWA World Congress on AD, (2007)
- ⑤ 遠藤良輔、含水率変化がメタン発酵励起蛍光マトリックス特性に及ぼす影響の解析、農業環境工学関連学会 2007 年合同大会
- ⑥ 遠藤良輔、メタン発酵回分培養時における発酵励起蛍光マトリックスの経時変化、生態工学会、(2007)

[図書] (計 1 件)

野池達也編著、メタン発酵、技報堂出版、(2009), 283 頁

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野池 達也 (NOIKE TATSUYA)

日本大学・大学院総合科学研究科・教授
研究者番号：90005398

(2) 連携研究者

木谷 収 (KITANI OSAMU)

日本大学・大学院総合科学研究科・教授
研究者番号:00024539

遠藤 良輔 (ENDO RYOUSUKE)

日本大学・大学院総合科学研究科・助手
研究者番号:10409146

(3) 研究協力者

坂本 勝 (SAKAMOTO MASARU)

三機工業株式会社技術開発本部・課長