

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22604

研究課題名（和文）集落排水汚泥と食品廃棄物の混合メタン発酵効率化のための最適な原料貯留条件の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the feedstock storage condition to improve the efficiency of anaerobic co-digestion of rural sewage sludge and food waste

研究代表者

折立 文子（Oritate, Fumiko）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・主任研究員

研究者番号：90535303

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：農業集落排水汚泥（以下、集排汚泥）と食品廃棄物を原料とする混合メタン発酵の効率化を目指し、メタン発酵槽の前段に設けられた原料混合槽における原料貯留条件が原料の分解性とバイオガス生成におよぼす影響の検討を行った。その結果、集排汚泥と食品廃棄物を等量で混合した原料について、20で、貯留日数が21日程度までは、貯留日数の増加が原料の分解性の向上や投入VSあたりのバイオガス生成量の増加に寄与するとともに、投入湿重あたりのバイオガス生成量を減少させないことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全国約5,000箇所に存在する農業集落排水施設では、維持管理費の約6割を占める汚泥処理費の削減が課題である。集排汚泥と周辺地域で発生する食品廃棄物を原料とした混合メタン発酵システムの構築は、廃棄物処理費削減とエネルギー生産を同時に実現する。本成果はそのシステムの効率化に寄与するものである。さらに、メタン発酵の効率化を目的として、従来の物理・化学的手法に比べてエネルギーがかからない「貯留」に着目した例は生ごみ単独や下水汚泥を対象とした限られた条件での報告のみであり、集排汚泥と食品廃棄物を対象に、原料の分解性を向上させるとともにバイオガス生成量を減少させない条件を明らかにした本研究の意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：To improve the efficiency of anaerobic co-digestion of rural sewage sludge and food waste, the effect of a storage condition of the feedstock in the storage tank on the degradability of feedstock and biogas generation was investigated. It was clarified that an increase of the storage days of the feedstock at following storage condition will improve the degradability of the feedstock and increase the biogas generation rate per input VS of the feedstock; The feedstock was the mixture of equal rates of rural sewage sludge and food waste, the storage temperature was 20 and the storage duration was up to 21 days. It was also clarified that the storage condition did not decrease the biogas generation rate per input wet weight of the feedstock.

研究分野：農業工学およびその関連分野

キーワード：混合メタン発酵 農業集落排水汚泥 食品廃棄物 前処理 貯留条件

1. 研究開始当初の背景

メタン発酵は、嫌気性条件で微生物の作用により有機物をメタンと二酸化炭素に分解する反応であり、高含水率のバイオマスからの効率的なエネルギー回収技術である。メタン発酵は有機物の可溶化・加水分解過程、酸生成過程、酢酸生成過程およびメタン生成過程の4段階の反応を経て行われる(野池, 2009)。

近年、集排施設の維持管理費削減のため、集排汚泥と農村地域で発生する生ごみや農産加工残渣等の食品廃棄物を集約して混合メタン発酵し、エネルギーの生産と資源循環の両立を図る取り組みが進められている(地域環境資源センター(JARUS), 2017)。汚泥のメタン発酵に関しては、下水汚泥を対象とした取り組みが先行しているが、処理対象や処理方式が下水処理施設とは異なる集排施設からの汚泥は下水汚泥とは異なる特性を有すること、集排汚泥単独ではメタン発酵効率が低いが、食品廃棄物を混合することでバイオガス生成量の増加が見込めること、ただし混合条件によっては発酵不良を生じること(Nakamura et al., 2020)が報告されている。

メタン発酵の効率化のための物理的および化学的前処理として、マイクロ波照射、超音波処理、機械的粉碎、アルカリ処理、熱処理、オゾン処理、酵素処理等があるが、現状ではいずれもコストがかかり、原料からのエネルギー回収効率を減少させる(Lu et al., 2016)。これに対し、メタン発酵施設に搬入された原料は発酵槽の前段に設けられている原料混合槽で集排汚泥と混合状態で一定期間貯留されるが、この工程は植菌や調整剤の添加も不要であり、最も簡易で低コストの前処理と捉えられる。

「前処理」としての貯留に着目し、その効果を詳細に検討した例は少ないが、食堂からの生ごみ(Lu et al., 2016; Axelle et al., 2019)や下水汚泥(Xu et al., 2011)を対象として、メタン発酵前の貯留が、原料の可溶化・加水分解および酸生成を進行させることが報告されている(それぞれ、通気状態(Axelle et al., 2019)、酸素の侵入を防いだ状態(Lu et al., 2016)および嫌気状態(Xu et al., 2011))。一方、原料からのメタン生成量は貯留開始5~7日目までは貯留日数の増加とともに大きく増加するものの、その後は鈍化すること(Lu et al., 2016)、貯留期間が長くなるにつれ、有機酸の蓄積等が原因となり、バイオガス生成量が減少する可能性があること(Axelle et al., 2019; Xu et al., 2011)、貯留により原料中のタンパク質やセルロースは2~9%削減するのに対し、リグニンや多糖類はほとんど変化しないこと(Xu et al., 2011)等が報告されており、原料の分解性の向上とバイオガス生成量の増加が図れる(もしくは減少を抑制し得る)貯留期間は原料の性状や通気状態等に影響を受けると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、廃棄物処理費削減とエネルギー生産を同時に実現し得る農村地域における集排汚泥と食品廃棄物の混合メタン発酵の効率化のために、原料の分解性の向上とバイオガス生成量の増加が図れる(もしくは減少を抑制し得る)原料貯留条件を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 混合メタン発酵施設における原料混合槽の概況と農村地域の生ごみの特性把握

集排汚泥と食品廃棄物の混合メタン発酵を行っている実証施設(以下、実証施設)において、メタン発酵槽の前段に設けられている原料混合槽の概況(通気性や温度条件、原料滞留日数等)を調査した。また、(2)の試験で用いる模擬生ごみ(李ら(2003)を参考に作製)と、実際に農村地域で発生する家庭生ごみの特性の違いを把握するために、実証施設に搬入される生ごみについて、その構成要素の確認と、固形物濃度(TS)、有機物濃度(VS)、炭素と窒素の含有率の比(C/N比)の分析を行った。

(2) 原料混合槽における貯留日数が原料の分解性とバイオガス生成に及ぼす影響の把握

2020年度は、原料混合槽における原料貯留日数の違いが、原料の分解性とバイオガス生成に及ぼす影響を把握するための予備試験を行った。試験には、(1)の実証施設の原料混合槽から採取した試料(以下、原料混合槽液)に、集排汚泥と食品廃棄物の重量比1:1混合物を全体の1/10量となるように添加し、(1)で把握した実証施設の原料混合槽の概況に基づき、嫌気条件、20°C、攪拌速度100rpmで、14日間貯留し、時間経過に伴う試料のTS、VSおよび有機酸濃度等を測定した。食品廃棄物は、李ら(2003)を参考に作製した模擬生ごみと、日常的に発生し、分解性が比較的低い食品廃棄物として、コーヒーかすを準備し、これらをVS比1:1となるように混合したもの(TS:8.3%、VS:7.9%)を用いた。さらに、貯留日数の異なる試料について、それぞれ、中温条件(37°C)での回分式メタン発酵試験を行い、貯留日数の増加が投入VSあたりのバイオガス生成量および投入原料(湿重)あたりのバイオガス生成量に及ぼす影響を把握した。

2021度は、予備試験の結果をもとに、引き続き、原料混合槽における原料貯留日数の違いが原料の分解性とバイオガスの生成に及ぼす影響を把握するための試験を行った。予備試験よりも貯留日数を長く設定するとともに、分解性が低い食品廃棄物として、コーヒーかすに加え、緑茶かす(1)の家庭生ごみ中にも度々、混入)を準備し、予備試験よりもこれらが高い割合で原

料に含まれる場合について検討を行った。試験には、前年度同様、原料混合槽液（TS：4.7%、VS：4.1%）および、集排汚泥と食品廃棄物の重量比 1:1 混合物を準備した。食品廃棄物は、模擬生ごみとコーヒーかすもしくは緑茶かすを、それぞれ、VS 比 1:3 となるように混合したものをを用いた。集排汚泥と模擬生ごみとコーヒーかすの混合原料（以下、コーヒーかす混合原料）の TS および VS は、それぞれ、8.3%および 7.9%、集排汚泥と生ごみと緑茶かすの混合原料（以下、緑茶かす混合原料）の TS および VS は、それぞれ、8.4%および 7.9%であった。これらをそれぞれ、原料混合槽液に全体の 1/10 量となるように添加し、嫌気条件、20°C、100rpm で、0、3、7、10、14、21 日間貯留し、各試料の pH、TS、VS、含水率、有機酸濃度を測定した。これらについて、中温条件で回分式メタン発酵試験を行い、各試料の投入 VS あたりのバイオガス生成量および投入原料（湿重）あたりのバイオガス生成量を求めた。

4. 研究成果

(1) メタン発酵施設における原料混合槽の概況と農村地域の生ごみの特性

実証施設の原料混合槽は、常温（加温機能なし）で、攪拌機能付、投入原料の滞留日数は約 10 日であった。食品廃棄物は破砕分離装置から、集排汚泥は汚泥貯留槽から、それぞれ、ポンプの動力により管路を通して原料混合槽へ流れ込み、また、原料混合槽からの原料は管路を通してメタン発酵槽に流れ込む構造となっており、酸素の供給が少ない条件であった。

実証施設に混合メタン発酵の原料として搬入された家庭生ごみは野菜や果実の残渣の占める割合が高く、度々、茶かす等の混入が確認された。TS、VS、C/N 比は、それぞれ、約 11~18%、10~17%、14~28 であった（図 1）。季節による変動があるものの、TS、VS は模擬生ごみ（それぞれ、13.2~14.9%および 12.6~14.3%）とおよそ同程度で、C/N 比は模擬生ごみ（14.5~16.8）よりやや高めであった。

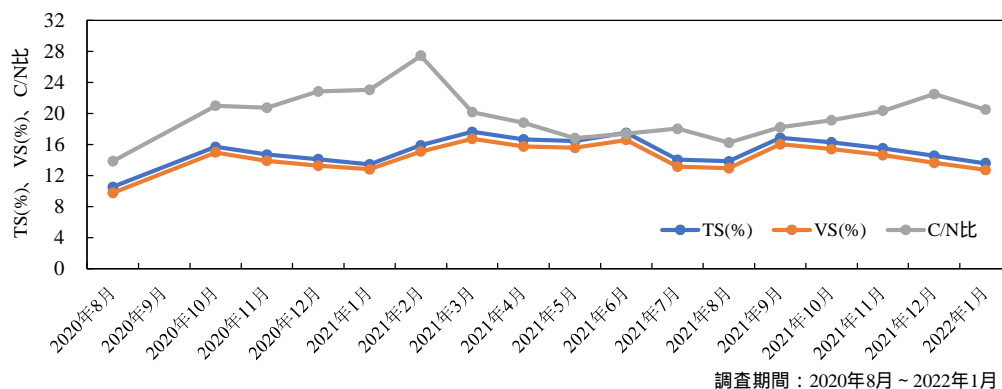


図 1 家庭生ごみの TS、VS、C/N 比

(2) 原料混合槽における貯留日数が原料の分解性とバイオガス生成及ぼす影響

予備試験では、貯留日数の増加に伴う TS および VS の減少、乳酸濃度の減少と酢酸濃度の増加がみられた。また、回分式メタン発酵試験による投入 VS あたりのバイオガス生成量は貯留日数の増加に伴い大きくなった。投入原料（湿重）あたりのバイオガス生成量は、貯留 14 日間で増加（0~3 日および 7~10 日にかけて）と減少（3~7 日および 10~14 日にかけて）がみられたが、貯留 3~14 日目のいずれの値も貯留 0 日目の値を上回っていた。

原料の分解性については、本試験でも予備試験とほぼ同様の傾向が確認された。コーヒーかす混合原料および緑茶かす混合原料のいずれを用いた場合も、貯留日数の増加に伴い、TS、VS の減少、含水率の増加、乳酸濃度の減少および酢酸濃度の増加が見られた（ただし、乳酸濃度については、コーヒーかす混合原料および緑茶かす混合原料のいずれを用いた場合も貯留 0 日目から 3 日目にかけてのみ、増加がみられた）。21 日間の TS、VS の減少率は、それぞれ 14~17% および 16~19%、含水率の増加率は 0.7~0.9% であった（図 2）。また、21 日間の乳酸濃度の減少率および酢酸濃度の増加率はそれぞれ、約 70% および 95~150% であった（図 3）。

回分式メタン発酵試験による投入 VS あたりのバイオガス生成量は、いずれの原料を用いた場合も貯留日数の増加に伴い大きくなり、21 日間の貯留による増加率は、コーヒーかす混合原料では約 17%、緑茶かす混合原料では約 25% であった（図 4）。一方、投入原料（湿重）あたりのバイオガス生成量は、緑茶かす混合原料を用いた貯留 7 日間の試料を除き、コーヒーかす混合原料および緑茶かす混合原料いずれにおいても貯留日数による差はほとんど見られなかった（図 5）。

以上より、混合メタン発酵において、生ごみと、生ごみの 1~3 倍程度の VS 量のコーヒーかすや緑茶かすを含む食品廃棄物と集排汚泥の重量比 1:1 混合物を原料とした場合、20°C で、原料混合槽における貯留日数が 21 日程度までは、貯留日数の増加が原料の分解性の向上や投入 VS あたりのバイオガス生成量の増加に寄与するとともに、投入原料（湿重）あたりのバイオガス生成量を減少させないことが示された。

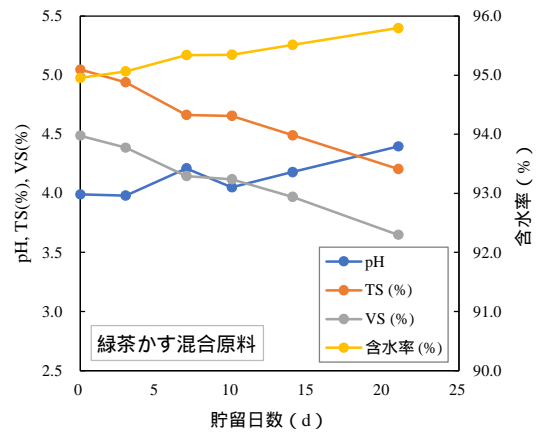
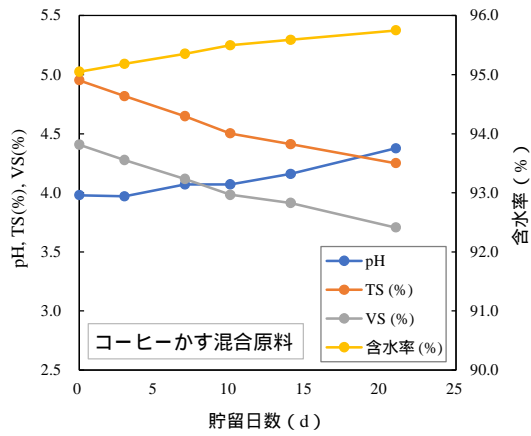


図2 貯留日数の増加に伴う試料中 pH、TS、VS、含水率の変化

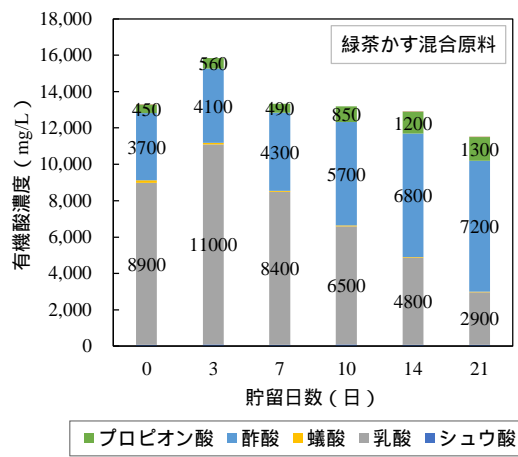
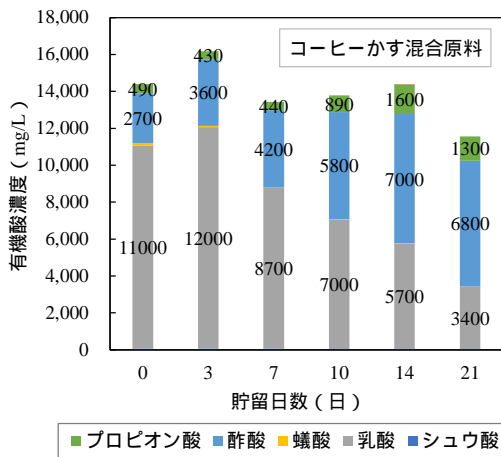


図3 貯留日数の増加に伴う試料中有機酸濃度の変化

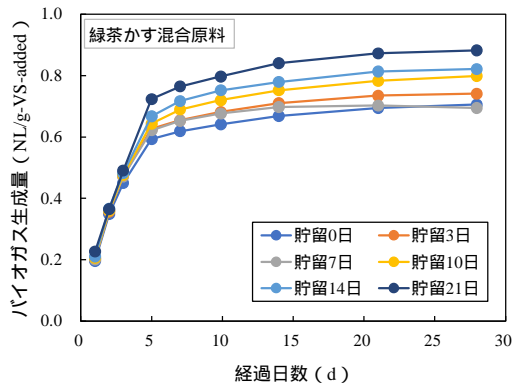
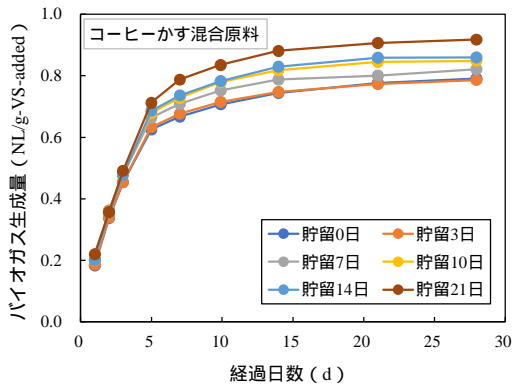


図4 回分式メタン発酵試験における投入 VS あたりのバイオガス生成量

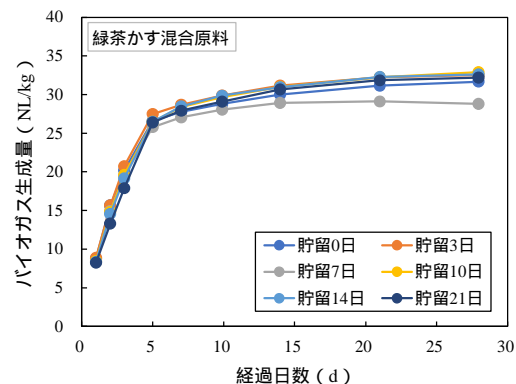
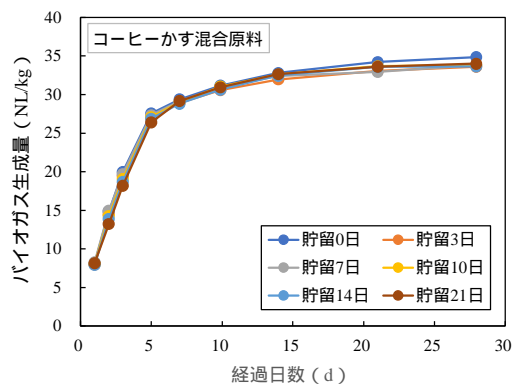


図5 回分式メタン発酵試験における投入原料 (湿重) あたりのバイオガス生成量

参考・引用文献

- ・ 野池達也：メタン発酵，技報堂出版，pp.3-6（2009）
- ・ 中邨栄二郎：集落排水施設と連携した小規模メタン発酵システムの実証，月刊浄化槽 497，pp.8-11（2017）
- ・ Nakamura M., Shibata H., Yamaoka M., Oritate F.: Trace metals requirements for anaerobic co-digestion of sewage sludge from rural area and food waste in Japan, *Water Practice & Technology* 15(2), pp.472-481 (2020)
- ・ Lu F., Xu X., Shao L., He P.: Importance of storage time in mesophilic anaerobic digestion of food waste, *Journal of Environmental Sciences* 45, pp.76-83 (2016)
- ・ Axelle D., Sylvie P., Pascal P., Anne T.: Storage of food waste: Variations of physical-chemical characteristics and consequences on biomethane potential, *Waste and Biomass Valorization* 11, pp.2441-2454 (2020)
- ・ Xu H., He P., Wang G., Shao L., Lee D.: Anaerobic storage as a pretreatment for enhanced biodegradability of dewatered sewage sludge, *Bioresource Technology* 102 667-671 (2011)
- ・ 李 玉友, 水野 修, 船石圭介, 山下耕司：二相循環方式高濃度メタン発酵プロセスを用いた生ごみの高速メタン化処理，環境工学研究論文集 40，pp.321-332（2003）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 折立文子、中村真人、柴田浩彦、蒲地紀幸、山岡賢	4. 巻 89巻11号
2. 論文標題 農村地域における生ごみのメタン発酵基質としての特性把握	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 水土の知：農業農村工学会誌	6. 最初と最後の頁 33-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 折立文子、中村真人
2. 発表標題 乳酸菌資材の添加が生ごみと稲わらの堆積貯蔵中のガス生成と性状変化に与える影響
3. 学会等名 2022年度（第71回）農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------