

令和 2 年 6 月 20 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00673

研究課題名(和文)食品廃棄物を対象とした酵母・メタン多段発酵システム

研究課題名(英文)Yeast and methane fermentation system for food waste

研究代表者

古崎 康哲 (KOSAKI, Yasunori)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90454553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は前処理にエタノール発酵を行う膜分離型中温メタン発酵システムの運転能力の把握とその機構解明を目的とした。各年度とも模擬厨芥をエタノール発酵させた基質と無処理基質の対照系の両系で半連続比較実験を行った。対照系はCODcr容積負荷13 g/L/dでVFA過剰蓄積により破綻したが、エタノール発酵系ではその2.5倍の33 g/L/dでも同等のメタン収率を得ながら安定した運転が可能であり、世界で最も高い負荷を達成できた。高負荷運転可能な理由をVFA、菌叢、ガス生成速度などから考察した。前処理であるエタノール化は酵素添加方法、各種酵母の実験的検討を行い、それらに関する知見を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はメタン発酵効率化のための前処理として位置づけられる。基質を生物学的に処理に有利な形へ低分子化させるという発想は、様々な種類の基質や微生物に応用が広がり、一つの学問領域に発展可能であると考えられる。また本技術はメタン発酵槽の小型化に直接資するとともに、膜分離技術の発展を促す成果であり、産業の発展、自然エネルギー利用拡大、温室効果ガス排出量削減に資するものである。今回の研究によって、パイロットプラント作成に必要な知見を得ることができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to understand the capacity and mechanism of the anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) using ethanol prefermentation. The mesophilic sequential batch experiment was compared in two series whose substrates were either ethanol-prefermented artificial food waste or a nonprefermented one used as control. The control series failed due to VFA overaccumulation at 13 g/L/d of CODcr volumetric loading, whereas, the ethanol prefermentation series achieved a stable operation with the same methane yield at 33 g/L/d, which is 2.5 times higher than the control series and the highest loading yet. The reasons for the high loading operation observed are discussed from the perspective of VFA, bacterial population, and biogas production rate. The information about ethanol fermentation as a pretreatment was also obtained on saccharification procedure and the ability of some yeasts.

研究分野：衛生工学

キーワード：メタン発酵 エタノール発酵 膜分離 食品廃棄物 バイオマス バイオガス

1. 研究開始当初の背景

本研究は食品廃棄物のメタンの発酵技術である。食品廃棄物の再生利用は堆肥化・飼料化が主流ではあるが、研究として成熟しており、実用化施設の普及も近年伸びていない。一方メタン発酵は堆肥化・飼料化が難し場合であっても処理可能であること、代謝産物であるバイオガスのエネルギー利用の観点から注目されており、今後の普及が予想されている。特に食品小売業や飲食店の廃棄物は成分の日変動が大きく、夾雑物も含まれているためにリサイクル率が伸びていないことから、本研究ではこれら廃棄物を対象とした。

近年のメタン発酵技術は、前段で水素発酵を行う水素・メタン 2 段発酵、固液分離に膜分離型メタン発酵、比較的低い含水率で運転が可能な乾式メタン発酵、等が行われている。これらはいずれも基質分解速度を高めて安定した運転、高ガス収率を目指している。

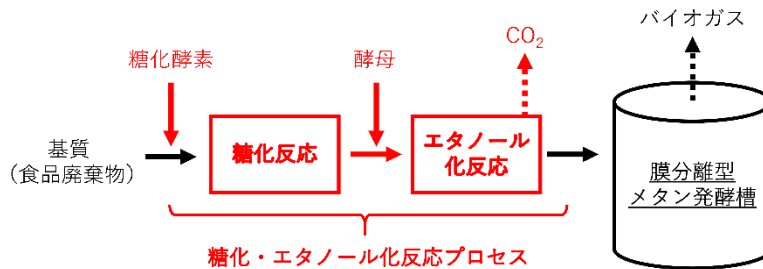


図1 本研究で提案するメタン発酵フロー

研究体表者は食品小売業や飲食店からの廃棄物にでんぷん質が多く含まれることに着目し、前処理に生物学的エタノール発酵を行うメタン発酵システムの研究を行ってきた（科研費 No.26340105）。前処理された発酵液は、蒸留操作等を行わずそのまま投入させることが特徴である。このフローでは、炭水化物成分がエタノールに変換される際に二酸化炭素が生成し、その分だけメタン発酵での二酸化炭素生成量が減少し、結果としてメタン濃度の高いバイオガスを得ることができる。また、VFA の生成が少ないために高負荷での運転が可能となることを示した。しかしながら、前処理を用いることで従来よりも汚泥生成量が少なくなることがわかった。これ自体は悪いことではないが、実用化を考えると菌体保持を考慮したシステムを考える必要が出てきた。

2. 研究の目的

以上のことから本研究では膜分離型リアクターを提案した。嫌気発酵槽に膜を導入することにより、増殖速度が低い嫌気性微生物の流出を効果的に防ぎ、短い HRT での運転を可能にしながら、菌体保持に必要な長い SRT を提供するのが特徴である。

本研究の目的は、図1に示すシステムにおいて、メタン発酵槽の小型化・省力化を行うこと、糖化・酵母の可能性を広げること当初の目的とした。そのために前処理と膜分離型メタン発酵槽を組み合わせ、短い滞留時間で汚泥生成量の少ないメタン発酵を達成すると同時に、運転ノウハウを蓄積しながら長期的に低 HRT・高負荷運転に挑んだ。予想を超えた高負荷運転が可能であったため、能力の限界と破綻時の知見を得るために、前者を中心に研究を行った。

3. 研究の方法

本研究は、ラボスケールでの連続実験を中心に行った。写真1に、本研究で使用したエタノール発酵槽、中空糸膜、メタン発酵槽を、図2に発酵装置システムの概略図示す。主な検討項目を以下に示す。

平成 29 年度：膜分離型メタン発酵槽の構築と連続運転特性の検討

平成 30 年度：膜分離型メタン発酵槽を用いた半連続実験による処理能力の上限検討、エタノール化工程における各種酵母の検討

令和元年度：エタノール発酵させた低含水率食品廃棄物の半連続実験による高負荷メタン発酵の長期運転

4.2. 膜分離型メタン発酵槽を用いた半連続実験による処理能力の上限検討、エタノール化工程における各種酵母の検討（平成30年度）

(1) 研究目的

当該年度の研究内容は 膜分離型メタン発酵槽を用いた半連続実験による処理能力の上限検討、エタノール化工程における各種酵母の検討を行った。

(2) 得られた知見

については、本年度（平成30年度）はさらに投入量を増加させ、HRT 5 d（昨年度 15 d）、VTS 容積負荷 19.6 g VTS/L/d（昨年度 6.5 g VTS/L/d）までの条件で実験を行った。対照系は HRT 12.5 d で破たんしたのに対し、前処理系は 5 d の条件において、発泡現象や粘性が高くなるといった状態変化が見られたが運転可能であった。バイオガス中メタン濃度は昨年度同様に前処理を行うことで 15%pt 程度の向上が見られた。汚泥収率は対照系の 20～50%減量となった。高負荷運転が可能であった理由として、エタノール発酵させた基質はプロピオン酸が蓄積しにくいことを代謝経路の文献調査と実証とで示すことができた。さらに、破綻を予め把握する指標としてアルカリ度が有効であることがわかった。

については、昨年度と同様の市販醸造用酵母に加えて、糖化能力を有する酵母（*Scheffersomyces Shehatae*）市販ワイン酵母 2 種類、の計 4 種類の酵母を用いてエタノール化能力を検討した。その結果、市販ワイン酵母のエタノール化能力が高く、昨年度使用した醸造用酵母よりも投入量が少ないにもかかわらず、短時間でエタノール化が行われることがわかった。この時の酵母菌数のカウント結果から、この酵母は増殖能力が高いことがわかった。

4.3. エタノール発酵させた低含水率食品廃棄物の半連続実験による高負荷メタン発酵の長期運転（令和元年度）

(1) 研究目的

本年度はさらに負荷を上げるために、基質濃度を 15%（昨年度 10%）へ引き上げて連続運転を行って高負荷メタン発酵の長期運転が可能かを検討する。

(2) 得られた知見

対照系は HRT10 日、容積負荷 14.2g-VTS/L/日で破綻に対し、前処理系は HRT6 日、容積負荷 31.6g-VTS/L/日でも定常状態での運転が可能であり対照系の約 3 倍での運転ができた。この負荷での運転は、世界で報告されているメタン発酵の中で最も高い負荷であった。バイオガス中メタン濃度は昨年度同様に前処理を行うことで 15%pt 程度の向上が見られ、メタン収率は両系ともほぼ同じ傾向で推移した。メタゲノム解析により、エタノール発酵させた基質ではメタン発酵の菌叢が異なることを確認し、プレートカウントにより基質中に含まれた酵母はその全てがメタン発酵槽内で分解されていたことが確認できた。

4.4. 本研究の総括

本研究はでんぷん質の比率が高い基質を対象としたメタン発酵において、前処理に生物学的エタノール発酵を行うシステムを対象とした。各年度とも膜分離型メタン発酵の運転ノウハウを蓄積しながら高負荷運転に挑んだ。3年で得られた知見の総括を以下に示す。

本システムが膜分離型メタン発酵で安定した運転が可能であることを示すことができ、実用化の形を示すことができた。

エタノール化処理について、食品廃棄物に適した各種酵母を検討し、少ない酵母添加量かつ短時間でのエタノール化が可能な酵母を見つけることができた。

前処理させた基質は汚泥生成量が少なくなる。基質の分解率が向上した理由は Gibbs フリーエネルギーの面から示すことができた。

基質のエタノール化によって高負荷運転が可能であった理由として、基質はプロピオン酸が蓄積しにくいことを代謝経路の考察と実証とで示すことができた。

前処理によって高負荷運転が可能であり、対照系の約 3 倍の容積負荷 31.6g-VTS/L/日での運転ができた。この負荷は中温メタン発酵では世界で最も高い値であった。

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 Jin Sun, Yasunori Kosaki, Nobuhisa Watanabe	4. 巻 297
2. 論文標題 Higher load operation by adoption of ethanol fermentation pretreatment on methane fermentation of food waste	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bioresource Technology	6. 最初と最後の頁 122475
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biortech.2019.122475	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasunori Kosaki, Sun Jin
2. 発表標題 Anaerobic membrane bioreactor employing ethanol fermentation as a pre-treatment for food waste
3. 学会等名 16th IWA World Conference on Anaerobic digestion (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫晋, 古崎康哲, 石川宗孝
2. 発表標題 エタノール発酵を前処理に用いた食品廃棄物の膜分離型メタン発酵
3. 学会等名 廃棄物資源循環学会平成30年度春の研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 孫晋, 古崎康哲, 石川宗孝
2. 発表標題 エタノール発酵を前処理に用いた食品廃棄物の膜分離型メタン発酵
3. 学会等名 第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 孫 晋, 古崎 康哲, 石川 宗孝
2. 発表標題 エタノール発酵を前処理に用いた食品廃棄物の膜分離型メタン発酵
3. 学会等名 第 55 回環境工学フォーラム講演集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 孫晋, 古崎康哲, 石川宗孝
2. 発表標題 エタノール発酵を前処理に用いた膜分離型メタン発酵
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今西隆文、古崎康哲、石川宗孝
2. 発表標題 エタノール発酵を前処理に用いた食品廃棄物の膜分離型メタン発酵
3. 学会等名 第52回日本水環境学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

バイオサイクル研究室 http://www.oit.ac.jp/env/lab.php?id=9 Biocycle laboratry http://www.oit.ac.jp/env/cardamom/~biocycle/biocycle_e/
--

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
研究協力者	渡邊 信久 (WATANABE Nobuhisa)	大阪工業大学・環境工学科・教授 (34406)	
研究協力者	笠原 伸介 (KASAHARA Shinsuke)	大阪工業大学・環境工学科・教授 (34406)	
研究協力者	徳本 勇人 (TOKUMOTO Hayato)	大阪府立大学・大学院理学系研究科・講師 (24403)	
研究協力者	石川 宗孝 (ISHIKAWA Munetaka)	大阪工業大学・環境工学科・客員教授 (34406)	