

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340105

研究課題名(和文) 生物学的エタノール生成を前処理に用いる食品廃棄物のメタン発酵

研究課題名(英文) Methane fermentation of food waste using biological ethanol fermentation pretreatment

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：炭水化物を多く含む食品廃棄物のメタン発酵を対象とし、前処理に生物学的エタノール化処理を行うことの有効性を検討した。期待される効果として、メタン発酵バイオガス中のメタン濃度の向上、基質分解性向上によるメタン発酵槽の小型化、の2点である。模擬厨芥を基質として、回分実験、半連続実験、連続実験を行った。

得られた成果は、前処理を行うことで、(1)バイオガス中メタン濃度が10～15%向上すること、(2)高負荷でもpH低下による酸敗が起こりにくくなるため高負荷・短時間での運転が可能になり装置小型化が可能になること、(3)汚泥の生成量が少なくなること、などであり、長期的に安定してその効果が得られる。

研究成果の概要(英文)：The effectiveness of ethanol fermentation pretreatment for methane fermentation of food waste rich in carbohydrates was investigated in this study. Expected effects are increased methane ratio in biogas and miniaturization of methane fermentation reactor by improvement of substrate biodegradability. Batch, sequential batch and continuous experiments are conducted using artificial food waste as substrate. It was found that pretreatment enables following; (1) Methane ratio in biogas rose from 10% to 15%. (2) Decreased risk of rancidity by lowering pH which enables operation on high loading conditions and miniaturization of methane fermentation reactor. (3) Excess sludge decreased. (4) Increased effectiveness, as well as stable operation, is obtained over long term.

研究分野：環境工学

キーワード：メタン発酵 エタノール発酵 食品廃棄物

1. 研究開始当初の背景

食品廃棄物のリサイクルはバイオマス利用と廃棄物削減の両観点から様々な政策的取り組みが行われている。リサイクル技術の一つであるメタン発酵は、廃棄物中の有機成分を嫌気性微生物によって分解させる方法であり、生成するバイオガス中のメタンは発電やボイラーなどに利用できる。下水汚泥の嫌気性消化は古くから行われてきたが、食品廃棄物を対象とした施設の普及はここ 20 年で急速に導入が進んだ。近年では食品リサイクル法の施行に加えて、震災後の再生可能エネルギーへの期待の高まりから注目されている。図-1 に本研究の背景および目的を示す。事業系食品廃棄物のメタン発酵は、家庭系の食品廃棄物に比べて夾雑物が少なく組成も安定しているため、規模の大きな工場などを中心に導入が進んできた。今後は比較的規模の小さい工場やショッピングセンターなど、大規模工場よりも発生量が少ない事業所での普及が進むと予想される。それら施設での今後の普及形態は、コンパクトかつ前処理から発電までをユニット化した装置であると考えられる。このことから小型化を目指した研究開発が多く行われている。

研究代表者は大学食堂から発生する生ごみを対象として、メタン発酵およびエタノール発酵の研究を行っている。その研究の中で、酵母によるエタノール化を前処理に応用すれば、メタン発酵槽の小型化を図れるだけでなく、メタン濃度の高いバイオガスを生成することができ、ガス利用工程の設備も小型化できる可能性を見出したため、本提案を行うに至った。

研究代表者は今までバイオエタノール化に関する研究を行い、でんぷん質以外を含む模擬厨芥を基質として、市販の糖化酵素と醸造用酵母を用いて、糖化 2 時間、エタノール化 24 時間の反応時間で濃度 5% 程度のエタノールを含有する発酵液が得られることを示した。本研究ではバイオエタノール化がメタン発酵に比べて短時間で基質の低分子化が可能である点に着目した。本研究で提案するメタン発酵フローを図 2 に示す。前処理として糖化・エタノール化を行い、エタノールを

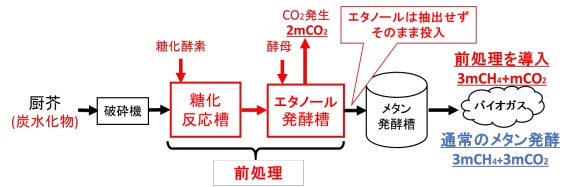


図 2 本研究で提案するメタン発酵フロー

一般的なメタン発酵における炭水化物の代謝経路

$$(C_6H_{10}O_5)_m + mH_2O \rightarrow mC_6H_{12}O_6 \dots(1)$$

$$mC_6H_{12}O_6 + 2mH_2O \rightarrow 2mCH_3COOH + 2mCO_2 + 4mH_2 \dots(2)$$

$$2mCH_3COOH \rightarrow 2mCH_4 + 2mCO_2 \dots(3)$$

$$4mH_2 + mCO_2 \rightarrow mCH_4 + 2mH_2O \dots(4)$$

エタノール化を経由した場合の炭水化物の代謝経路 (本研究での提案)

$$(C_6H_{10}O_5)_m + mH_2O \rightarrow mC_6H_{12}O_6 \rightarrow 2mC_2H_5OH + 2mCO_2 \dots(5)$$

$$2mC_2H_5OH + 2mH_2O \rightarrow 2mCH_3COOH + 2mCO_2 + 4mH_2 \dots(6)$$

$$2mCH_3COOH \rightarrow 2mCH_4 + 2mCO_2 \dots(7)$$

$$4mH_2 + mCO_2 \rightarrow mCH_4 + 2mH_2O \dots(8)$$

図 3 微生物による炭水化物の代謝経路

蒸留することなくメタン発酵槽へ投入することが特徴である。基質中のでんぷん質などの炭水化物成分は、糖化・エタノール化によって図 3 中式(5)に示すようにエタノールへと変換される。炭水化物の最小単位であるグルコース 1mol から、分解代謝物として二酸化炭素が 2mol 発生し、これは大気中へ放出される。発酵液をメタン発酵槽へ投入すると式(6)~(8)の生物反応によってメタン 3mol と二酸化炭素 1mol が排出する(メタン濃度 75%のバイオガスとなる)。反応全体で発生する二酸化炭素とメタンは 3mol ずつで、これは通常メタン発酵の式(1)~(4)で示す反応(メタン濃度 50%のバイオガスとなる)と同じである。本研究で提案するフローは、エタノール発酵槽で 2mol の二酸化炭素を事前に放出させることでバイオガス中メタン濃度を向上させること、また、前処理による低分子化によりメタン発酵の分解を早めることをねらっているのが特徴である。

2. 研究の目的

本研究ではメタン発酵の前処理にエタノール化を取り入れることで、メタン発酵の分解速度向上とバイオガス中メタン濃度向上の両方が可能かを検証し、あわせて処理システムとして有効かを検討した。

研究の手順として図 3 に示す生物反応が進むかどうかを検証した後、長期的にその反応が継続するかどうかを検証し、さらにメタン発酵槽の小型化に寄与できるかどうかを検証した。

3. 研究の方法

本研究は、ラボスケールでの回分実験および連続実験を中心に行った。本研究で使用したエタノール発酵槽を写真 1 に、メタン発酵

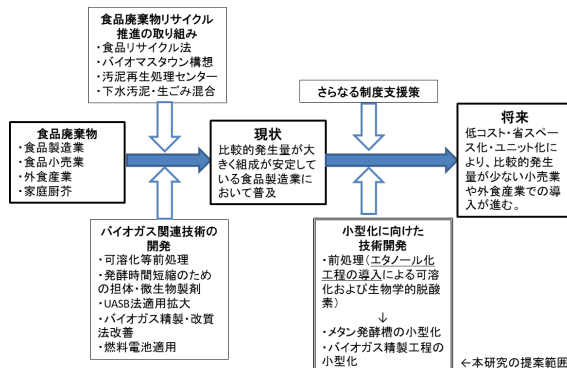


図 1 本研究の背景および目的

槽を、写真2および図3に示す。主な検討項目を以下に示す。

- (1) 糖化・エタノール化させた基質のメタン発酵特性（回分実験）：平成26年度
- (2) 糖化・エタノール化させた基質を用いたメタン発酵の長期運転可能性（半連続実験）：平成27年度
- (3) 装置の小型化・高負荷運転の可能性（連続実験）：平成28年度

以上に示すように、まずは微生物反応の視点から前処理の効果を確認し、続いて実用化を視野に長期的な運転可能性を検討し、さらに実用化に近い基質投入方法での運転特性を調べた。

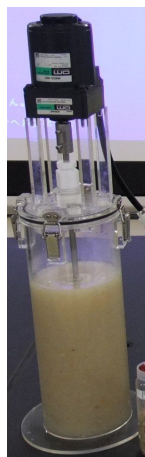


写真1 エタノール発酵槽



写真2 メタン発酵槽（半連続実験）

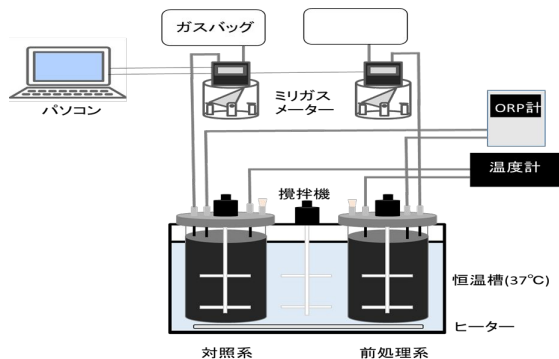


図3 実験装置概略図（半連続実験）

4. 研究成果

4.1. 回分実験による糖化・エタノール化させた基質のメタン発酵特性（平成26年度）

(1) 研究目的

炭水化物を比較的多く含む食品廃棄物のメタン発酵を対象に、前処理として糖化・エタノール化を行うことで、

図2に示すようなバイオガス中メタン濃度の向上が実際に可能かどうか

前処理を行わない場合と比べて遅滞なく生分解が行われるのかどうか

を中心に調べることを目的とした。

(2) 得られた知見（回分実験）

エタノール化処理された基質は処理を行わない対照系と比べて同量もしくはそれ以上のバイオガス生成が可能であるとともに、分解速度の高い成分が増加したことが示唆された。

バイオガス中メタン濃度は分解の早い段階で違いが大きくなり、回分実験では最大で約20%ほど高くなることがわかった。

基質中のエタノールはそのほとんどが分解されることが確認された。エタノール濃度2.0g/L以上の条件では、分解に関する障害が認められた。

エタノール化処理された基質は、VFAの生成が少なくなることがわかった。これはエタノールよりも炭素数大きいVFAが生成しにくくなるためと考えられる。

4.2. 半連続実験による長期運転可能性の検討（平成27年度）

(1) 研究目的

前年度の研究では、前処理によりバイオガス濃度の向上などの効果を確認することができた。続く年度では下記を目的に研究を行った。

回分実験で得られた効果・特徴が長期間にわたって継続して得られるかどうかを検証する

発酵槽内汚泥の細菌叢から前処理された基質の分解特性を検討する

(2) 得られた知見（半連続実験）

バイオガス中のメタン比率は対照系よりも約15%増加した。

メタン収率は対照系より10%向上した。

物質収支から、基質の分解性が前処理により向上したことが示された。

基質当たりの汚泥収率は対照系の1/5であり、DNA濃度は対照系の1/7であった。このことからでんぷんとしての糖からエタノールへの基質成分の変換が低い

微生物収率をもたらしたと考えられる。エタノール発酵と嫌気性消化を通した

バイオガス中の二酸化炭素比率は、対照系と前処理系でほぼ同じであった。このことは、これらの反応が本研究で示した

化学式に従ったことを示している。
優占細菌は対照系と前処理系で違っていた。そのことは基質分解における代謝経路の違いが優占種に影響を与えていることを示している。

4.3. 連続実験によるメタン発酵槽小型化の可能性検討(平成28年度)

(1) 研究目的

前処理を導入することにより低い滞留時間かつ高負荷での運転が可能になるかを検討した。前処理系と対照系の2系列について、投入量を段階的に上げて処理能力の限界を調べた。

(2) 得られた知見(連続実験)

糖化・エタノール発酵を前処理に用いるメタン発酵において、約25%の反応槽の小型化が可能であるとともにバイオガス中のメタン濃度が20%向上、汚泥生成量が70~80%減少、基質分解率10~15%向上などの効果が得られた。この要因は、基質分解性の向上により分解時間が短縮され、VFA生成を回避するとともに基質の分解率が向上したためと考えられる。このことから、糖化・エタノール発酵の前処理を行うことにより、より高負荷での運転が可能となりメタン発酵槽の小型化が可能であることを示すことができた。

4.4. 本研究の総括

本研究では炭水化物を多く含む食品廃棄物のメタン発酵において、基質の前処理として糖化・エタノール化を行うことの有効性を評価した。3年間で得られた知見の総括を以下に示す。

前処理を行うことで、メタン発酵で生成するバイオガス中メタン濃度を10~15%向上させることができる。これはエタノール化で二酸化炭素を放出させるため、化学量論的に説明することができる。この効果は、基質中の炭水化物の割合によって決まると考えられる。

前処理によって基質はメタン発酵でVFAが生成しにくくなり、高負荷でもpH低下による酸敗が起こりにくくなる。その結果、より高い負荷および低い水理学的滞留時間でも運転が可能となる。

前処理された基質は汚泥の発生量が少なくなる。基質の菌体収量が低いことは分解率向上、バイオガス発生量増加につながる。

これら効果は馴致することなく得ることができるが、長期間の運転でメタン発酵細菌叢は変化する。

これらの効果は連続実験で長期的に安定して得ることができる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

1)古崎康哲,石川宗孝:生物学的エタノール化反応を前処理に用いたメタン発酵に関する基礎的研究,土木学会論文集G,Vol.71, No.7, pp. -47-55(2015.11.27) 査読有

[学会発表](計11件)

1)高橋開人,田中量也,古崎康哲,石川宗孝:生物学的エタノール生成を前処理に用いる模擬厨芥のメタン発酵,平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集,p.-15(2015.5.30)

2)Yasunori Kosaki, Munetaka Ishikawa: Methane fermentation of artificial food waste using biological ethanol fermentation pretreatment, The 2nd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, G1_02 (2015.5.22)

3)田中量也,古崎康哲,石川宗孝:糖化・エタノール化を前処理とした模擬厨芥のメタン発酵,廃棄物学会春の研究発表会(2015.5.28)

4)田中量也,古崎康哲,石川宗孝:糖化・エタノール化を前処理としたメタン発酵の効率化に関する研究,第26回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿2015,pp.279-280(2015.9.4)

5)高橋開人,田中量也,古崎康哲,石川宗孝:糖化・エタノール発酵を前処理に用いる模擬厨芥のメタン発酵,土木学会第70回年次学術講演会講演概要集,pp. -35-36(2015.9.16)

6)田中量也,古崎康哲,石川宗孝:生物学的エタノール生成を前処理としたメタン発酵の半連続運転特性,第50回日本水環境学会年會講演要旨集,p.23(2016.3.16)

7)高橋開人,古崎康哲,石川宗孝:生物学的エタノール生成を前処理としたメタン発酵の半連続運転特性,平成28年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集,p. -13(2016.6.11)

8)Yasunori KOSAKI, Munetaka ISHIKAWA: Methane Ratio Improvement in Biogas through Methane Fermentation by Employing Biological Ethanol Fermentation in Pretreatment, WET (Water and Environment Technology Conference) 2016 Program and abstracts, p.48 (2016.8.28)

9)高橋開人,古崎康哲,石川宗孝:糖化・エタノール化を前処理としたメタン発酵の半連続運転特性,第27回廃棄物資源循環学会研究発表会,pp.245-246(2016.9.28)

10)高橋 開人,古崎 康哲,石川 宗孝：糖化・エタノール化を前処理に用いるメタン発酵の連続運転特性, 第 51 回日本水環境学会年会講演要旨集,p.59(2017.3.15)

11)高橋 開人,古崎 康哲,石川 宗孝：糖化・エタノール発酵を前処理とした食品廃棄物の連続メタン発酵特性,平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集 ,p.5(2017.5.27)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：廃棄物からのメタンガス製造方法
発明者：古崎康哲,石川宗孝,田中量也
権利者：学校法人常翔学園
種類：特許
番号：特願 2015-67470
出願年月日：平成 27 年 3 月 27 日
国内外の別：国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.oit.ac.jp/env/cardamom/~biocycle/subjects.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

古崎 康哲 (KOSAKI, Yasunori)

大阪工業大学・工学部環境工学科・准教授

研究者番号：9 0 4 5 4 5 5 3

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし