

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03662

研究課題名（和文）可搬式メタン発酵システムの再起動を目的としたアクセラレータの相乗効果と原理の探求

研究課題名（英文）Exploring the Synergies and Principles of Accelerators to Restart Portable Methane Fermentation Systems

研究代表者

大門 裕之（Daimon, Hiroyuki）

豊橋技術科学大学・学生支援統括センター・教授

研究者番号：60335106

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：可搬式メタン発酵システムは、近年、災害時の非常用電源としても期待されている。本研究では可搬式メタン発酵システムの再起動期間を短縮するアクセラレータの開発を目的とした。アクセラレータとしては食品残渣を原料にした発酵助剤と導電素材を担体とした粒状活性炭を用いた。その結果二つのアクセラレータを適した割合で添加することで、可搬式メタン発酵システムの再起動期間短縮に寄与することができると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタン発酵は家畜ふん尿や生ゴミ、廃棄食品などのバイオマスを適切に処理するための手法として位置付けられており、発酵によって得られるバイオガスにより発電が可能である。災害が多い我が国において、脱炭素循環型社会の構築や減災対策、バイオマスの利活用の推進が極めて重要になってくる。可搬式メタン発酵システムの効率的な運用は、それらの課題解決に大きく貢献することができ、日本の2050年までのカーボンニュートラルの実現にも寄与することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Portable methane fermentation systems have recently shown promise as an emergency power source in times of disaster. The aim of this study was to develop an accelerator to shorten the restart period of portable methane fermentation systems. Fermentation aid made from food residues and granular activated carbon using conductive material as a carrier were used as accelerators. The addition of the two accelerators in a suitable ratio could contribute to shortening the restart period of portable methane fermentation systems.

研究分野：環境・農学 / 環境政策、環境配慮型社会

キーワード：メタン発酵 減災対策 再生可能エネルギー 発酵助剤 粒状活性炭

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

メタン発酵システムは家畜ふん尿や生ゴミ、廃棄食品などのバイオマスを適切に処理するための技術として位置付けられており、発酵によって得られるバイオガスは発電に向けたエネルギーとして利用可能である。このようにメタン発酵システムは廃棄物処理としてだけでなく、バイオマスを利活用した再生可能エネルギー生産技術としての一面を持つが、日本国内では欧州などに比べると導入が進んでいない。研究代表者らは、これまで日本国内におけるメタン発酵システムの普及促進を目指してきた。具体的には環境技術におけるアプリケーションとして、主に 1 次産業の個人事業主向けに、経済性と操作性に留意した小規模なメタン発酵システムの開発および社会実装を行ってきた。このシステムは、愛知県を中心に全国 9 ヶ所で稼働している。近年、さらに小型化し低廉化した可搬式メタン発酵システムを開発した。可搬式メタン発酵システムは小規模事業所等での廃棄物処理を行うために設計されているが、容易に解体し組み立てることができ移動させることができるため、災害時の避難所等における非常電源（減災対策用可搬式メタン発酵システム）として利用することができる。

こうしたシステムの利用において課題となるのはメタン発酵の再起動や立ち上げである。メタン発酵の微生物叢は、生分解性高分子を低分子化させ、生成した酢酸やプロピオン酸、水素からメタンや二酸化炭素を生成する。しかし、メタンを生成するメタン生成菌の増殖速度が遅いことから再起動や立ち上げ時は、微生物叢のバランスが崩れやすくメタン発酵が停止してしまう可能性がある。そのため、微生物叢のバランスを保ちメタン発酵の再起動や立ち上げを短縮させる技術開発が重要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、減災対策用可搬式メタン発酵システムの再起動および立ち上げ期間を短縮させるアクセラレータを開発し、その原理を解明することである。

## 3. 研究の方法

### (1) 低有機物負荷 (2.5 g-VS/L) における発酵助剤と粒状活性炭の相乗効果

基質の有機物負荷量 2.5 g-VS/L における発酵助剤と粒状活性炭 (GAC) の相乗効果を調べることを目的に豚ふんを基質とした回分式嫌気性消化試験に発酵助剤と GAC を添加し、各アクセラレータがメタン生成効率に与える効果の評価を行った。発酵助剤とは、食品廃棄物を酸発酵させることで保存性と安定性を高めたものである。GAC の添加量は液量に対して 2%、発酵助剤の添加割合は豚ふんの投入量に対し 10%、20%、30%、40% とし、発酵助剤の添加割合がメタン生成効率に与える効果について検討した。基質は混合区においても有機物負荷量が 2.5 g-VS/L になるよう調製した。種汚泥 (畜産農家に導入したメタン発酵槽から得られた消化液) は 5 g-VS/L になるように調製した。バイアル瓶を密閉し 37、80 rpm 条件下で 17 日間発酵試験を行った。発酵試験中、バイアル瓶からストップコック付きシリンジを用いてバイオガスを採取し、ガスクロマトグラフを用いて気相の成分を分析し、メタン生成量を算出した。

(2) 高有機物負荷 (25 g-VS/L) における活性炭の添加割合が発酵助剤と活性炭の相乗効果

基質の有機物負荷量 25 g-VS/L 条件下における発酵助剤と GAC の添加割合を求めるため回分式嫌気性消化試験を行った。発酵助剤の添加割合は基質の投入量に対して 10%、20%、40%、GAC の添加量を液量に対して 2%、5%、10% とし、発酵助剤と活性炭の添加割合がメタン生成効率に与える効果について検討した。基質は混合区においても有機物負荷量が 25 g-VS/L になるように調製した。種汚泥 (畜産農家に導入したメタン発酵槽から得られた消化液) は 5 g-VS/L になるように調製した。バイアル瓶を密閉し 37、80 rpm 条件下で 10 日間発酵試験を行った。発酵試験中、バイアル瓶からストップコック付きシリンジを用いてバイオガスを採取し、ガスクロマトグラフを用いて気相の成分を分析し、メタン生成量を算出した。

4. 研究成果

(1) 低有機物負荷における発酵助剤と粒状活性炭の相乗効果

図 1 に全試験区の累積メタン生成量の経時変化を示す。豚ふんのみ試験区と比べ、アクセレレータの GAC と発酵助剤を添加した試験区は累積メタン生成量が増加した。しかし、活性炭および発酵助剤を添加した試験区と発酵助剤のみを添加した試験区をそれぞれ比較すると累積メタン生成量は同様な結果が得られた。このことから有機物負荷量 2.5 g-VS/L では GAC の添加効果を見ることができなかった。GAC の添加効果が見られなかった要因としては、GAC のミクロ孔やマクロ孔に生成されたメタンが吸着したためだと考えられた。

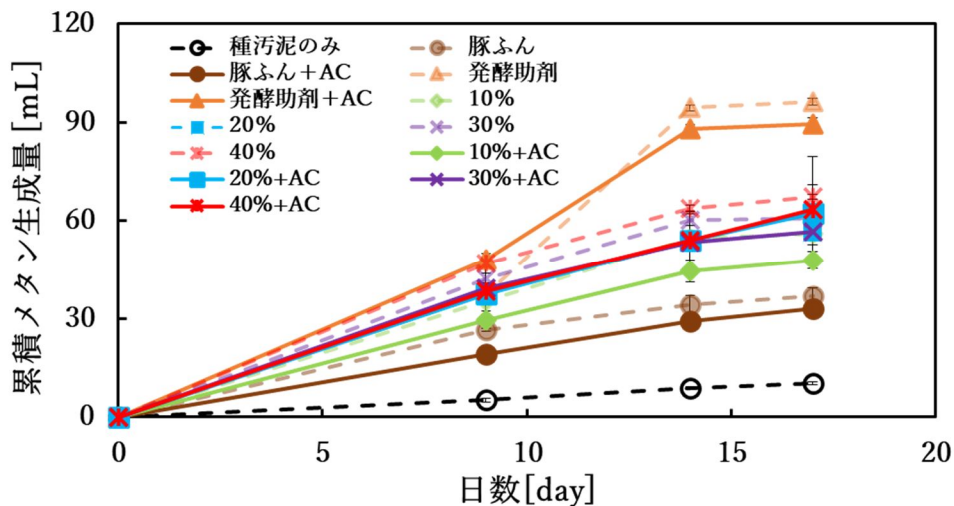


図 1 低有機物負荷 (2.5 g-VS/L) における発酵助剤と GAC の併用がメタン生成量に与える効果

## (2) 高有機物負荷 (25 g-VS/L) における GAC の添加割合が発酵助剤との相乗効果

図2に全試験区の累積メタン生成量の経時変化を示す。発酵助剤の添加割合が0%の条件下では、GACを2-10%添加した試験区はGAC0%と比べてメタン生成量が増加した。発酵助剤の添加割合が10%、そしてGACを5%、10%添加した区で、発酵助剤とGACの相乗効果が見られた。しかしGACを2%添加した試験区とGACなしの試験区は発酵助剤0%の条件と比べ、メタン生成量が減少した。また、発酵助剤の添加量を20%以上にするとGACを10%添加した試験区のみメタン生成量が増加した。そのため相乗効果は発酵助剤を10%添加した条件下でGACを5%および10%添加した試験区そして、発酵助剤を20%添加した条件下でGACを10%添加した試験区の3試験区のみ相乗効果が見られた。その一方、発酵助剤の添加割合を40%まで高めると全ての条件において相乗効果が得られなかった。これは発酵助剤由来の有機酸の蓄積が進行し、メタン生成に関わる微生物の活性が落ちたためだと考えられる。そのためGACを用いた直接的異種間電子移動が起きなかったと考えられた。

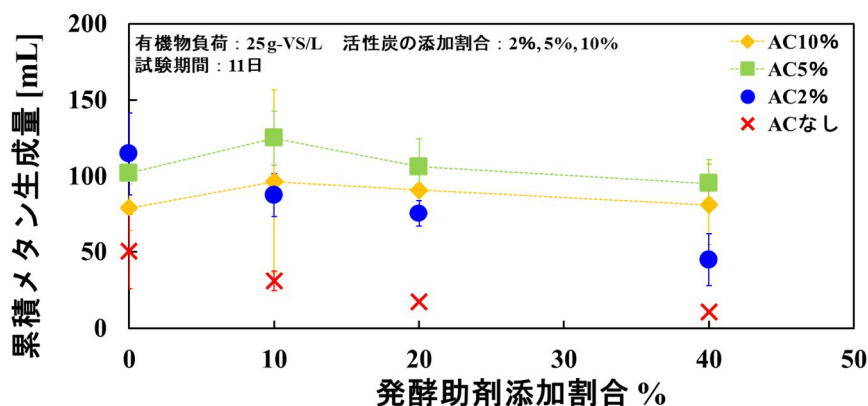


図2 高有機物負荷における発酵助剤とGACの併用がメタン生成に与える効果

発酵助剤と活性炭の併用効果における今後の展望は最適有機物の検討と連続式試験での併用効果の確認、経済性の検討の3つである。本研究により発酵助剤と活性炭を併用することで高有機物負荷条件において酸敗を防ぐことで併用効果を得ることができ、それぞれを単独で使用した試験区に比べメタン生成効率が向上することが分かった。しかし、発酵助剤による効果は先行研究と比べて微量であったことから有機物負荷や攪拌などの条件を最適化することでさらなるバイオガス生成量の向上を期待できる。また、発酵助剤の効果を確認できる大まかな有機物負荷量は明らかとなったが、最大有機物負荷や活性炭を添加した際に投入できる最大有機物負荷は明らかとなっていない。有機物負荷を高められれば得られるメタンも増えるため、さらなるメタン生成量の増加に向け、今後発酵助剤の効果を確認できる有機物負荷や有機酸量の検討が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Hanum Farida, Nagahata Masanori, Nindhia Tjokorda Gde Tirta, Kamahara Hirotsugu, Atsuta Yoichi, Daimon Hiroyuki  | 4. 巻<br>15                |
| 2. 論文標題<br>Evaluation of a Small-Scale Anaerobic Digestion System for a Cattle Farm under an Integrated Agriculture System in Indonesia with Relation to the Status of Anaerobic Digestion System in Japan | 5. 発行年<br>2023年           |
| 3. 雑誌名<br>Sustainability   | 6. 最初と最後の頁<br>3833 ~ 3833 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/su15043833  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Hanum Farida, Atsuta Yoichi, Daimon Hiroyuki   | 4. 巻<br>27                |
| 2. 論文標題<br>Methane Production Characteristics of an Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure and Fermented Liquid Feed | 5. 発行年<br>2022年           |
| 3. 雑誌名<br>Molecules  | 6. 最初と最後の頁<br>6509 ~ 6509 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/molecules27196509   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>該当する              |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>尾崎友亮, 熱田洋一, 大門裕之                        | 4. 巻<br>33              |
| 2. 論文標題<br>嫌気性消化システムにおけるプロピオン酸の分解促進を目的とした粒状活性炭の添加 | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>(一社)廃棄物資源循環学会論文誌                        | 6. 最初と最後の頁<br>263 ~ 270 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3985/jjsmcwm.33.263 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）             | 国際共著<br>-               |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>宮里真珠, 今井裕之輔, 熱田洋一, 大門裕之               |
| 2. 発表標題<br>電圧印加や各種アクセラレータの併用が嫌気性消化のメタン生成効率に与える効果 |
| 3. 学会等名<br>第34回廃棄物資源循環学会研究発表会                    |
| 4. 発表年<br>2023年                                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>宮里 真珠, 今井 裕之輔, Zubair Amir, 大門 裕之 |
| 2. 発表標題<br>微生物反応における電子移動促進によるメタン発酵効率の向上      |
| 3. 学会等名<br>第57回日本水環境学会年会                     |
| 4. 発表年<br>2023年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>那須 大翔, 熱田 洋一, 大門 裕之                 |
| 2. 発表標題<br>グリストラップ廃棄物を基質としたメタン発酵効率に対する活性炭の添加効果 |
| 3. 学会等名<br>第33回廃棄物資源循環学会研究発表会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>宮里真珠, 今井裕之輔, Zubair Amir, 大門裕之 |
| 2. 発表標題<br>微生物反応における電子移動促進によるメタン生成効率の向上   |
| 3. 学会等名<br>第57回日本水環境学会年会                  |
| 4. 発表年<br>2023年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>濱田宝風, 山田剛史, 熱田洋一, 大門裕之          |
| 2. 発表標題<br>小規模メタン発酵システムの稼働状況と発酵効率向上を目指した技術 |
| 3. 学会等名<br>化学工学会 第52回秋季大会                  |
| 4. 発表年<br>2021年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>尾崎友亮, 山田剛史, 熱田洋一, 大門裕之                      |
| 2. 発表標題<br>粒状活性炭の添加によるDIET効果を活用した嫌気性微生物処理におけるプロピオン酸の分解 |
| 3. 学会等名<br>第24回日本水環境学会シンポジウム                           |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>金子光瑠, 山田剛史, 熱田洋一, 大門裕之             |
| 2. 発表標題<br>小規模普及型メタン発酵システムの高効率化に向けた導電性物質の添加効果 |
| 3. 学会等名<br>第32回廃棄物資源循環学会研究発表会                 |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>尾崎友亮, 金子光瑠, 熱田洋一, 大門裕之       |
| 2. 発表標題<br>小規模廉価型嫌気性消化の発酵促進に向けた活性炭の添加効果 |
| 3. 学会等名<br>第56回日本水環境学会年会                |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|               | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)      | 備考              |
|---------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 研究<br>分担<br>者 | 山田 剛史                     | 豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 | 削除: 2021年10月29日 |
|               | (Yamada Takeshi)          |                            |                 |
|               | (90533422)                | (13904)                    |                 |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|