

有機系廃棄物を利用したメタン発酵に関する基礎的研究

前川明弘*, 西川奈緒美**, 橋本典嗣***, 三宅由子*, 藪谷祐希*

神寄康之****, 川岡孝督****

A Basic Study on Methane Fermentation using Organic Waste

Akihiro MAEGAWA, Naomi NISHIKAWA, Noritsugu HASHIMOTO,
Yuko MIYAKE, Yuki YABUYA, Yasuyuki KANZAKI and Takayoshi KAWAOKA

Recently, biogas power generation using biomass waste attracts attention as new generating system. The main component of biogas is methane, which is produced by methane fermentation under anaerobic conditions. In this study, after injecting food wastes into two kinds of methane fermentation digestive liquid, the biogas emissions were investigated. The generated gas was collected by aluminum gas trap bag. The volume of the gas was measured by a method of underwater immersion and gas components were analyzed by gas chromatography. As a result, gases like methane, hydrogen, carbon dioxide, etc. were generated from the gas trap bags. The volume and components of the gas were different for food wastes or methane fermentation digestive liquid. In addition, it was confirmed that the gas mass had decreased as the gas volume increases.

Key words: Food Waste, Methane Fermentation, Anaerobes bacteria, Biomass, Low Carbonization

1. はじめに

国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書¹⁾によれば, 気候システムの温暖化には疑う余地がなく, 温室効果ガス排出量の抜本のかつ持続的な削減が必要であると結論付けられた。これらの理由により, 二酸化炭素排出量の削減は, 今後, 避けては通れない課題であり, 世界的な取り組みが求められている。その解決策の一つとして, 近年, 生ごみや家畜排せつ物などの固形有機性廃棄物と発酵液(以下, 消化液とする)を混合し, メタン発酵法によりエネルギーを回収・利用する手法に注目が集まっている²⁻⁶⁾。メタン発酵法とは,

嫌気性細菌の働きにより有機性廃棄物を加水分解し, 最終的にメタンガス(バイオガス)として回収するものであり, 得られたガスは熱や電力源として利用される。わが国においても, 既に稼働しているバイオガス発電施設は存在するものの⁷⁻¹⁰⁾, 事業化に関しては, 高額な建設・維持費, 不安定な原料供給, 発酵残渣として発生する発酵液の有効活用に関する技術確立が不十分であるといった問題も指摘されている¹¹⁻¹⁸⁾。

著者らは, 三重県内から発生する食品廃棄物を活用したバイオガス発電の事業化に向けた取り組みを進めており, その実現の可能性を判断するためには, 実際に使用する廃棄物から生成できるガスの量や特性などについて事前に把握しておく必要がある。またメタン発酵では, 消化液および原料となる廃棄物の種類や状態, 処理温度などの条件により反

* ものづくり研究課
** プロジェクト研究課
*** 窯業研究室
**** 株式会社大栄工業

応が異なる。そこで本研究では、想定する条件に近いと思われる消化液と食品廃棄物とを混合してガスを生成させ、各種条件とガスの生成に関する基礎的な実験を行った。

2. 実験 I および実験 II

2. 1 使用材料

本研究では、食品廃棄物を利活用している県外の異なるバイオガス発電施設から排出される 2 種類の消化液（以下、消化液 A、消化液 B とする）と、実際に使用を予定している 5 種類（饅頭、野菜、魚、コーヒークず、食品残渣）の廃棄物を用いて、以下の 2 実験（実験 I、実験 II）を実施した。また、メタン発酵法において、消化液の液温は、ガスの生成に大きな影響をおよぼす要因の 1 つとなっている。消化液の温度は、低温消化帯（15~20℃）、中温消化帯（30~37℃）、高温消化帯（50~55℃）の設定があり、本研究では中温消化帯での実用化を想定するため、消化液は全て実験開始前に 24 時間、37℃ で加温した。表 1 に、消化液 A、消化液 B の分析結果を示す。

表 1 消化液の分析結果 (mg/L)

項目	消化液A	消化液B
生物化学的酸素要求量 (BOD)	7200	57
化学的酸素要求量 (COD _{Cr})	46000	1500
化学的酸素要求量 (COD _{Mn})	20000	960
浮遊物質 (SS)	37000	130
窒素含有量 (T-N)	4400	1100
リン含有量 (T-P)	590	16
アンモニア (NH ₃)	2100	550
カリウム	4000	690
塩分 (Cl)	4400	500



図 1 混合液加温の様子

2. 2 消化液 A と食品廃棄物との反応性 (実験 I)

2. 2. 1 実験概要

実験 I では、消化液 A を使用し、実験条件やガス分析に関する評価方法の妥当性確認などを主な目的とした。消化液 A と反応させた廃棄物として 3 種類（饅頭、野菜、コーヒークず）を選定し、それらは特別な前処理を行わず、処理施設に搬入されたままの状態で使用した。

実験では、4 L の三角フラスコ内に、消化液 A 3000 ml と各廃棄物 30 g、攪拌のための回転子を投入した。投入後、2 個のcockを取り付けたゴム栓とシール材で上部を密閉し、さらに、cockに取り付けたホースにより窒素ガスを通過させることで、混合液上部を嫌気状態にした。窒素ガス導入後、片方のcockに取り付けたホースに発生ガス捕集用のアルミニウムバッグ (5 L) を取り付け、37℃ に設定した乾燥器内にスターラー (180 rpm に設定) と三角フラスコを設置し、実験を開始した (図 1 参照)。また、ブランクとして、消化液 A のみの変化も確認し、全ての反応時間は 16 日間程度とした。

混合液から発生したガスはアルミニウムバック

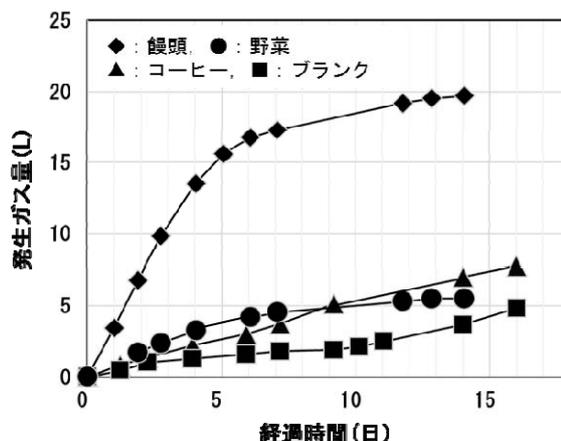


図 2 消化液 A を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係

で捕集後、水中に沈め、あふれた水の容積を計測することで発生量を算出し、さらに、ガスクロマトグラフ (島津製作所製 GC-2014) を用いて分析した。

2. 2. 2 実験結果および考察

(1) ガス発生量

消化液 A を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係を図 2 に示す。図 2 より、饅頭は混合開始後、急激にガスが発生し、その生成量は

表 2 混合液の作製条件

廃棄物名	廃棄物含水率 (%)	廃棄物質量 (純乾-g)	投入サンプル量(g)	廃棄物+水 (ml)	総液量(ml)
ブランク	-	0	0	800	3200
食品残渣	34.0	32	91.7		
鰹頭	72.1		44.4		
魚	34.0		94.1		

14日間で約 20 L となった。一方、野菜とコーヒークラスの場合には、その反応は遅く、生成量は順に約 5 L と約 8 L となった。しかしながら、消化液 A (ブランク) から約 5 L のガスが発生しており、実質的には 2~3 L 程度のガスしか生成していない可能性がある。

(2) 発生ガスの分析結果

図 2 に示した捕集袋のガス分析の結果では、1 袋目の捕集ガスは最初に通過させた窒素ガスの影響から 22~30 % 程度の窒素が検出され、他に、メタン、二酸化炭素、酸素が検出された。しかしながら、2 袋目以降は窒素ガス濃度が大きく減少し、メタンガス濃度は約 57~60 %、二酸化炭素濃度は約 25~30 % の範囲となり、メタンガスの生成が確認できた。これらの結果は、廃棄物の種類により大きな差はなく、消化液 A (ブランク) のみでもメタンガスを生成することが明らかとなった。これは、実験開始時点において、消化液 A に未反応物質が残留しており、新たに廃棄物を添加しなくてもガスを発生し続けたものと推察される。

2. 3 消化液 B と食品廃棄物との反応性 (実験 II)

2. 3. 1 実験概要

実験 II では、廃棄物として鰹頭、食品残渣 (総菜などの残渣)、魚の 3 種類を選定し、消化液には、消化液 A と比較し、反応性が低いと思われる消化液 B を用いた。各廃棄物はフードカッターで前処理し、混合液の作製は、廃棄物の含水率なども考慮し、以下のような条件に変更した。

各廃棄物の使用量は、含水率を測定することにより純乾質量で約 32 g となるよう算出し、加水することで 800 ml となるよう調整した。それらを 4 L の三角フラスコに投入し、廃棄物の純乾質量が総液量 (3200 ml) の約 1 % となるよう、さらに消化液 B を 2400 ml 加えた (表 2 参照)。また、消化液 B (ブランク) の経時変化の確認、発生ガスの捕集や分析

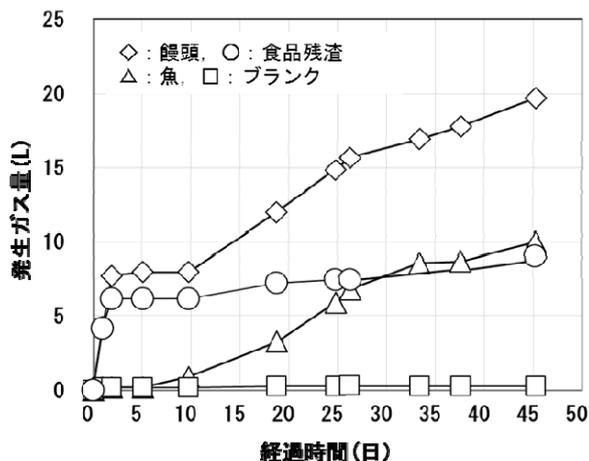


図 3 消化液 B を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係

方法は実験 I と同一とした。反応期間は 46 日間とし、新たに混合液の質量も測定した。併せて、別実験として、混合液の pH がガスの生成におよぼす影響についても調べた。

また、実験終了後、各混合液から 2400 ml を取り出し、同一の廃棄物を表 2 の条件で再び添加し、混合液 (以下、消化液 C) を作製した。これは、混合液から継続的にガスを生成できるか確認するためであり、37 °C に設定した乾燥器内で 41 日間反応させ、再度、発生ガスに関する実験を行った。

2. 3. 2 実験結果および考察

(1) ガス発生量および質量変化

消化液 B を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係を図 3 に、質量減少率と経過時間との関係を図 4 に示す。図 3 より、鰹頭の場合には、混合開始後、2 日間で約 8 L のガスが発生したが、その後、反応がおさまりに安定化した。しかしながら、10 日後に再びガスが発生し始め、46 日間で約 20 L のガスが生成した。食品残渣では、鰹頭と同様の傾向を示したものの、10 日以降の反応が緩やかで最終的なガス量は約 10 L となった。魚については、最初の 5 日間はほとんど変化が確認できず、その後、少

しずつガスが生成し始め、最終的な発生量は約 9 L となった。ブランクである消化液 B は、消化液 A の結果とは大きく異なり、45 日間ほとんど変化が認められず、実験 II で生成したガスは各廃棄物との反応により得られたものであると判断できる。

また、図 4 より、廃棄物を使用した全ての混合液において、ガス生成に伴う質量減少が確認でき、消化液 B の場合には、質量の変化がほとんど認められなかった。このことから、混合液からガスが発生した場合には、同時に液の質量が減少することが明らかとなった。

消化液 C を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係を図 5 に、質量減少率と経過時間との関係を図 6 に示す。図 5 より、饅頭の場合には、図 3 と比較し、ガス生成量と経過時間に差は生じたものの、ガスは 2 回に分かれて発生しており、同じ傾向の結果が得られた。魚の場合も同様の傾向となったが、食品残渣では経過時間 1 日で約 5 L のガスが生成したものの、その後は変化がなく少し異なる結果となった。また、図 6 においても、混合液からのガス生成に伴う質量減少が確認できた。

以上より、ガス生成量と経過時間などに差は生じるが、消化液に廃棄物を繰り返し投入することで、ガスを継続的に生成できることが明らかとなった。

(2) 発生ガスの分析結果

図 3 に示した捕集袋内のガス分析では、饅頭と食品残渣の結果が実験 I と大きく異なり、経過時間 3 日まではメタンガスが検出されず、窒素、二酸化炭素、酸素の他、新たに水素が検出された。しかしながら、経過時間が 10 日以降になると、水素ガスの発生はなく、逆にメタンガスが検出され始めた。経過時間が約 25 日間における饅頭の分析結果例を図 7 に示す。既述したように、水素ガスは反応初期のみにおいて検出され、メタンガスは反応期間約 10 日以降から生成し始めている。メタン発酵において水素ガスが生成する場合には、その過程で酢酸などの酸が生成することが知られている。本実験では酢酸生成の有無については確認できていないが、例えば、下式 1~4¹⁹⁾ のような反応による生成が推察される。二酸化炭素ガスについては、反応期間 2 日程度で急激に生成し、その後も緩やかな生成が継続した。

一方、魚を用いた場合、水素ガスの生成はなく、実験 I と同様、主に、メタンガスと二酸化炭素ガスが検出された。

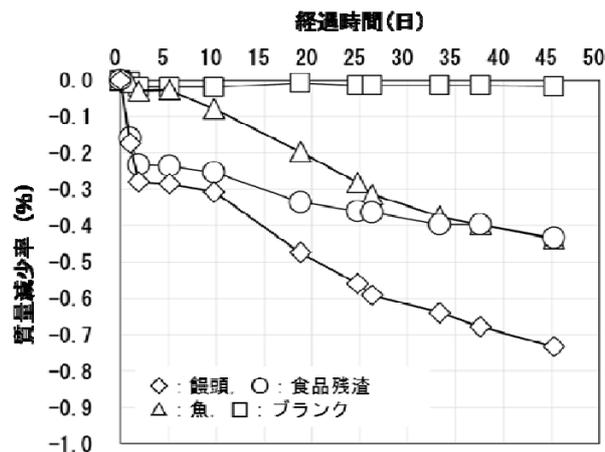


図 4 消化液 B を用いた混合液の質量減少率と経過時間との関係

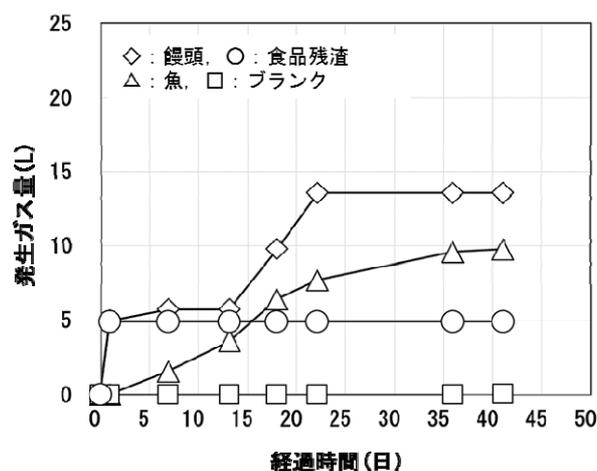


図 5 消化液 C を用いた混合液から発生したガス量と経過時間との関係

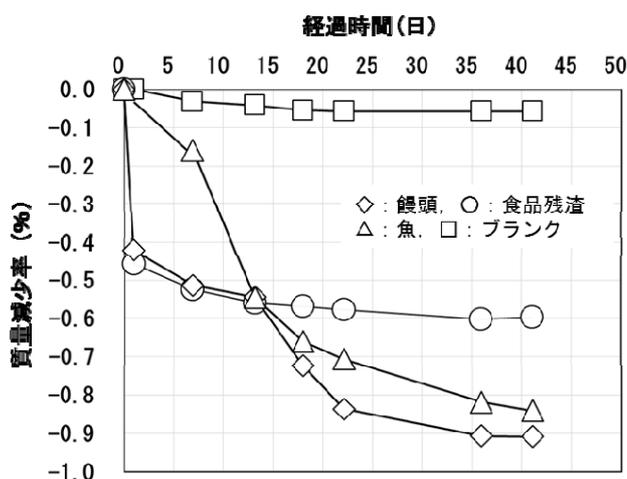
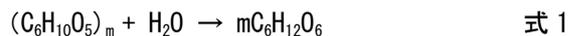


図 6 消化液 C を用いた混合液の質量減少率と経過時間との関係



また、水素ガス生成の場合には、混合液の pH が 5.0~6.5 程度のやや酸性条件が適するなど、メタン発酵における液の pH がガスの生成におよぼす影響は大きい²⁾。そこで、図 3 に示した実験とは別実験として、消化液 B を用いた混合液の pH と経過時間との関係を確認した。得られた結果を図 8 に示す。同図より、混合液からガスが生成し始めた初期段階において、全ての廃棄物で pH が 2 程度減少していることが確認できた。その後、饅頭および魚を用いた混合液では、ガスの発生に伴い pH が増加傾向に転じており、ガスが生成する場合には、混合液の pH に変化が生じることが確認できた。ここでは、すべての混合液の反応過程において、一度は pH が 6.5 を下回っており、メタン生成を阻害する酸敗が生じる恐れがあるため、今後、pH 調整による発生ガスの制御などに関する課題について検討を行う必要がある。

3. まとめ

本研究により、以下の知見を得ることができた。

- (1) 消化液と食品廃棄物を用いた混合液を加温することによりメタンガスを生成させることができ、その際、ガスの生成に伴う混合液の質量減少が生じる。
- (2) 消化液や食品廃棄物の種類により生成するガス量や種類などが大きく異なるため、これらを把握した上で材料を選定する必要がある。
- (3) 消化液に廃棄物を繰り返し投入することにより、メタンガスを継続的に発生させることは可能であるが、酸敗などによるガス生成への悪影響が懸念されるため、混合液の温度や pH などを適切な範囲に制御する必要がある。

参考文献

- 1) “Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report”. (2014)
- 2) 野池達也ほか：“メタン発酵”. 技法堂出版 (2009)
- 3) 倉橋健介ほか：“学内メタン発酵プラントを用

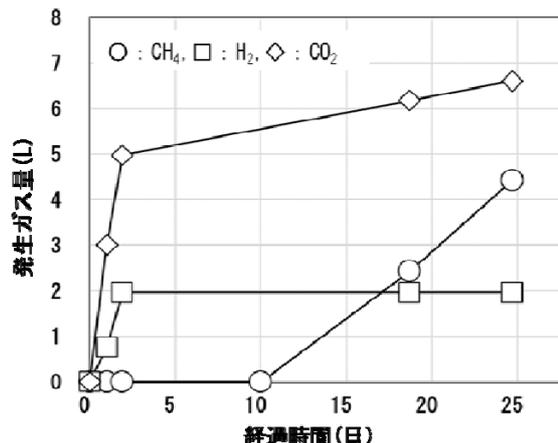


図 7 消化液 B と饅頭の混合液から発生した各種ガス量と経過時間との関係

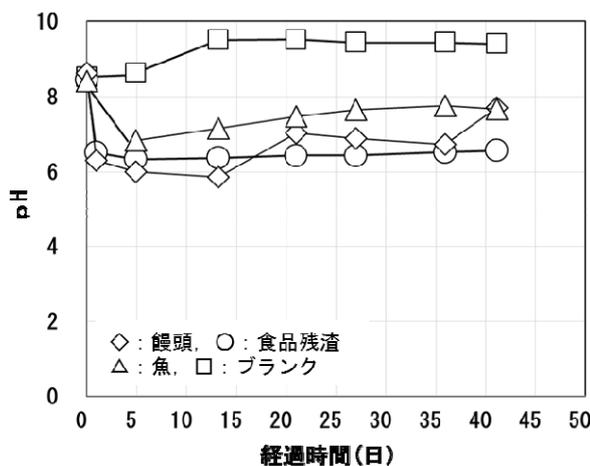


図 8 消化液 B を用いた混合液の pH と経過時間との関係

いた食品厨芥のエネルギー化実証試験”. 環境技術, Vol.42, No.6, p355-361 (2013)

- 4) 岡本哲志ほか：“新規な微生物固定化接触材を利用したメタン発酵装置の開発”. 静岡県工業技術研究所研究報告, 第 9 号, p10-15 (2017)
- 5) 中島大介ほか：“食品廃棄物のメタン発酵”. 静岡県工業技術研究所研究報告, 第 8 号, p7-11 (2016)
- 6) 小川幸正：“エネルギー自立型畜産・食品廃棄物処理への挑戦”. 環境技術, Vol.34, No.3, p177-182 (2005)
- 7) 北海道経済部産業振興局：“畜産系バイオガスプラント導入ガイドブック”. (2015)
- 8) 満石良三：“食品廃棄物の有効利用によるゼロエミッションへの挑戦”. 廃棄物学会誌, Vol.18, No.3, p166-171 (2007)

- 9) 浅野信好：“食品廃棄物のメタン発酵によるバイオガス発電事例”。廃棄物学会誌, Vol.19, No.4, p177-181 (2008)
- 10) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：“新エネルギー等地域集中実証研究京都エコエネルギープロジェクト”。平成15～平成19年度成果報告書, (2008)
- 11) 岩本寛司ほか：“バイオガス発電の小型化による活用について”。第27回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿, p227-228 (2016)
- 12) 檜佐有希：“廃棄物系バイオマスを利用した地区内エネルギーシステムに関する研究”。2004年日本建築学会関東支部研究報告集, p625-628 (2004)
- 13) 大隈修：“国内事例にみるバイオマス利活用事業の成立要件と実効性の評価”。環境科学会誌, 26(1), p32-41 (2013)
- 14) 矢野貴之ほか：“都市由来のバイオマス廃棄物のエネルギー変換における技術や事業収支要因の不確実性が環境負荷や事業性に及ぼす影響の分析”。環境システム研究論文集, Vol.35, p481-489 (2007)
- 15) 北野誠ほか：“バイオマスメタン発酵設備の実態調査と処理特性”。環境技術, Vol.34, No.2, p127-133 (2005)
- 16) 北川雅一ほか：“メタン発酵消化液の固化と農業利用性”。農業機械学会誌, 71 (1), p72-79 (2009)
- 17) 柚山義人ほか：“メタン発酵消化液の利活用技術”。農業土木学会論文集, No.247, p119-129 (2007)
- 18) 矢野歳和ほか：“メタン発酵消化液処理の環境負荷評価”。第1回LCA学会研究発表会講演要旨集, p208-209 (2005)
- 19) 高橋開人ほか：“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講演原稿, p245-246 (2016)

(本研究は、産業廃棄物抑制型産官共同事業において実施し、産業廃棄物税を財源としています。)