

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

環境科 岡本哲志 大竹正寿*

三鈴工業株式会社 津田謹郎 原田達也 須和部益通 谷野真史 鈴木正史

Development of the Methane Fermentation Equipment
Using New Microbe Fixed Contact MaterialTetsuji OKAMOTO, Masatoshi OTAKE, Kinro TSUDA, Tatsuya HARADA, Masumichi SUWABE,
Masashi YANO and Masashi SUZUKI

Methane fermentation technology which generates methane from organic wastes (biomass), such as food residues and effluent treatment waste sludges, has been expected as component engineering of the electricity-generation-by-biomass system which makes waste reduction and energy recovery compatible. Because the technology becomes recoverable initial investment by carrying out the electricity sales to utilities of the electric power generated from methane under Feed-in Tariff. In this research, utilizing the microbe fixed contact material which was the core technology of the joint research company, we developed the methane fermentation equipment of the pilot scale (1m³) towards the introduction to the customer of the company (research partnership company). We carried out the performance assessment to the real drainage which was discharged in the research partnership company (tofu manufacturer) for about four months. And we checked the designated performance (the amount of biogas generation in the steady state : 704L/day, biogas-generation efficiency : 342mL/g-TS/day, the methane concentration in the biogas : average of 62.5%, the BOD removal ratio : 81%) as the result.

Keywords : Methane fermentation, contact material, waste reduction, energy recovery, electricity generation by biomass.

キーワード : メタン発酵、接触材、廃棄物削減、エネルギー回収、バイオマス発電。

1 はじめに

メタン発酵技術により、食品残渣や排水処理余剰汚泥といった有機性廃棄物（バイオマス）から、メタンガスを生成できる。同技術は、メタンガスから発電した電力を再生可能エネルギーの固定価格買取制度*（メタン発酵ガス（バイオマス由来）：39円（税抜）/kWh、調達期間：20年）で売電することにより初期投資の回収が可能となるため、廃棄物削減とエネルギー回収を両立するシステムの要素技術として期待されている。メタン発酵技術を利用したバイオマス発電システムを図1に示した。図のとおり、食品工場等から発生する食品残渣や濃厚廃液及び排水処理余剰汚泥といった有機性廃棄物を基質（栄養源）として、発酵によりメタンを含むバイオガスが生成される。このバイオガスはメタンガスに精製され、一旦ガスホルダーに貯留された後、ガスエンジン等による発電で電気エネルギーと熱エネルギーが回収される。一方、メタン発酵の消化液は、

排水処理施設で処理され放流される。

一般的なメタン発酵では、グラニュール（粒状）化したメタン菌を用いたUASB（上向流嫌気性スラッジブランケット）法が知られている（図2）。しかし、廃棄物に懸濁物質を多く含む場合、メタン菌のグラニュール化が難しく装置外に菌体が流出してトラブルの原因となる。我々はこれに対応するため、微生物固定化接触材（以下、接触材）（写真1）を利用することで、上記トラブルを解決できると考えた。また、グラニュール菌を用いるメタン発酵処理では種菌を外部から購入し馴養利用するが、約10万円/トンと高額である。これに対し、余剰汚泥からメタン菌を集積し接触材を利用する場合、1トンあたり1.5万円以下と試算された。

本研究は、三鈴工業㈱のコア技術であり、活性汚泥処理で導入実績のある接触材を活用し、同社の顧客企業（以下、研究協力企業）への導入に向けたパイロットスケールのメタン発酵装置の開発を目的とした。

*）現 経済産業部商工振興課（公益財団法人静岡県産業振興財団へ派遣）

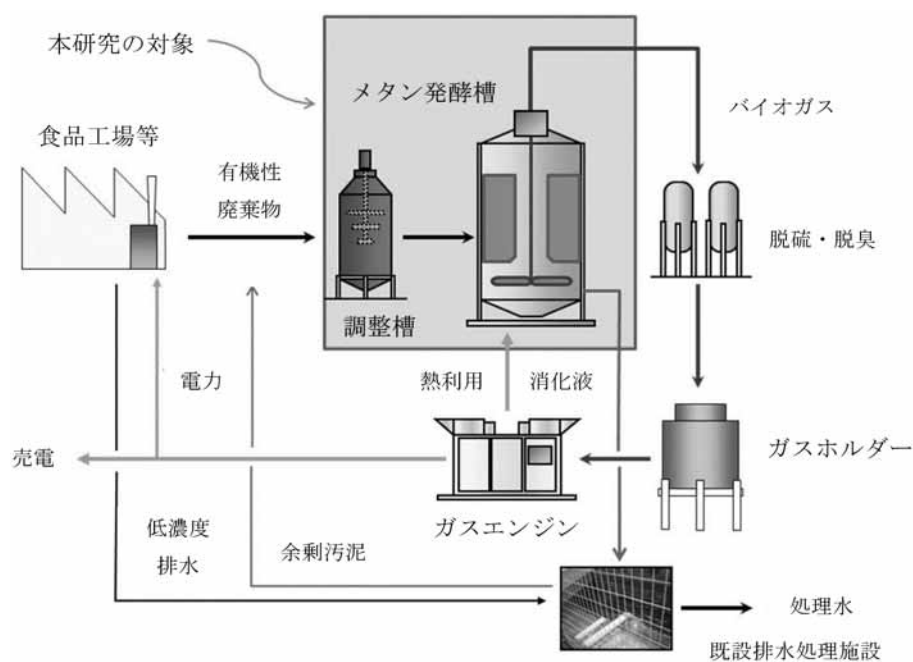


図1 メタン発酵技術を利用したバイオマス発電システム

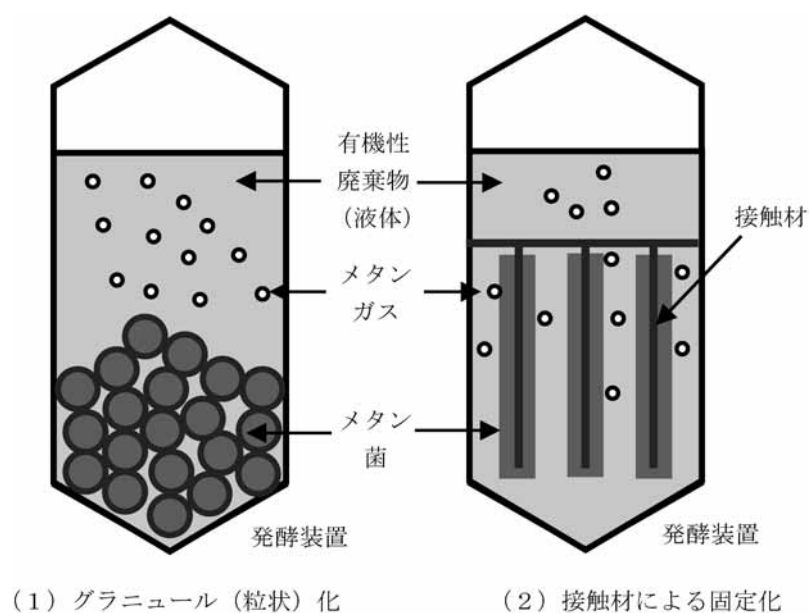


図2 メタン菌のグラニュール（粒状）化と接触材による固定化



写真1 接触材に固定した微生物

2 方法

2.1 基礎試験

研究協力企業で発生する実排水（以下、実排水）を基質としたメタン発酵の処理条件を確立する目的で、実験室レベル（容量：1 L）の基礎試験を行った。試験条件を表1に示した。試験操作では、嫌気性条件下でメタン菌（食品工場の余剰汚泥由来）を入れた容量1 Lのフラスコを恒温槽で38℃に保ち、50rpmで撹拌した（写真2）。また、メタン発酵で生成するメタンガスを含むバイオガスは、水上置換でメスシリンダーに回収した。最初に、馴養のため液化汚泥を基質として滞留期間20日でメタン発酵を行い、バイオガスの発生量とpHを測定した。次に、基質を実排水に替え同様にメタン発酵を実施し、バイオガスの発生量とpHを測定した。

2.2 試作機の性能評価

基礎試験の結果を基に、接触材を活用したパイロットスケール（1 m³）のメタン発酵装置（写真3）を三鈴工業㈱が試作した。

性能評価としての本運転の前に、試運転として試作機（メタン菌600L（0.6m³））に実排水を400L（0.4m³）投入しバイオガスの発生を確認後、ガスの発生が停止したら実排水を新たに添加する操作を約2ヶ月間繰り返した。

本運転は、実排水を添加し同量の消化液を引き抜く操作を約2ヶ月間行った（表2に運転条件）。なお、一日当たりの実排水の添加量は基礎試験の結果を基に決定した。

表1 試験条件

項目	内容
1) 発酵槽容量	1L
2) 発酵槽水温	38℃
3) 撹拌	50rpm
4) 滞留期間	20 日
5) 基質	液化汚泥、研究協力企業の実排水
6) 測定項目	バイオガス発生量（mL）、pH

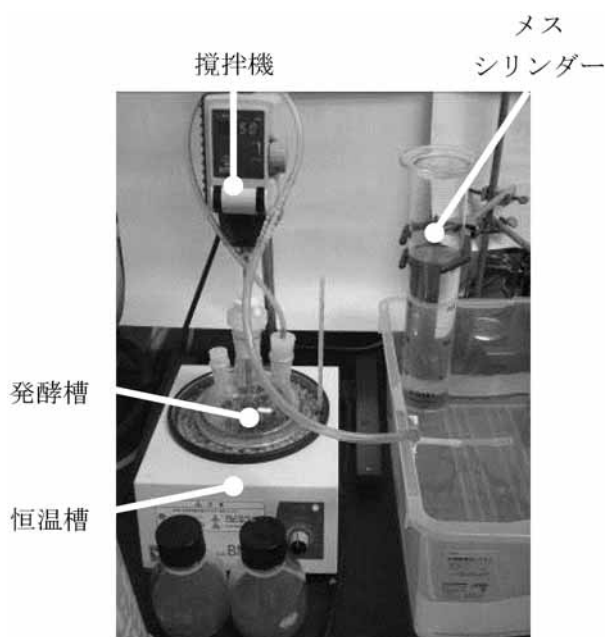


写真2 実験装置



写真3 メタン発酵装置（試作機）

表 2 運転条件

項目	内容
1) 発酵槽容量	1m ³ (1,000L)
2) 発酵槽水温	37℃
3) 発酵槽 pH	7.0
4) 攪拌速度	50rpm
5) 攪拌機運転サイクル	10 分間 ON+50 分間 OFF
6) 基質	研究協力企業の実排水
7) 測定項目	バイオガス発生量 (mL)、メタンガス濃度 (%)、 発酵槽水温 (℃)、pH

3 結果および考察

3.1 基礎試験

使用した基質（液化汚泥及び実排水）の組成を表 3 に示した。各分析項目は、分析方法の欄に記載の方法で測定した。液化汚泥は、三鈴工業(株)の余剰汚

泥減容化装置¹⁾を用いて水熱処理（180℃・0.9MPa）した余剰汚泥である。液化汚泥には、実排水と比べて窒素分、りん分が多く含まれていた。

基礎試験の結果を図 3 に示した。最初に、液化汚泥を基質としてメタン発酵を28日間行い、バイオガスの

表 3 基質の組成

分析項目	液化汚泥	実排水	分析方法
全有機体炭素 (mg/L)	2,680	3,220	TOC 計
COD _{mn} (mg/L)	3,540	4,480	JIS K0102
BOD (mg/L)	—	4,170	JIS K0102
pH	5.9	3.8	pH メーター
全窒素 (mg/L)	566	51.5	JIS K0102
全りん (mg/L)	39.2	17.4	ICP 発光分光分析
全蒸発残留物 (mg/L)	8,640	8,060	JIS K0102

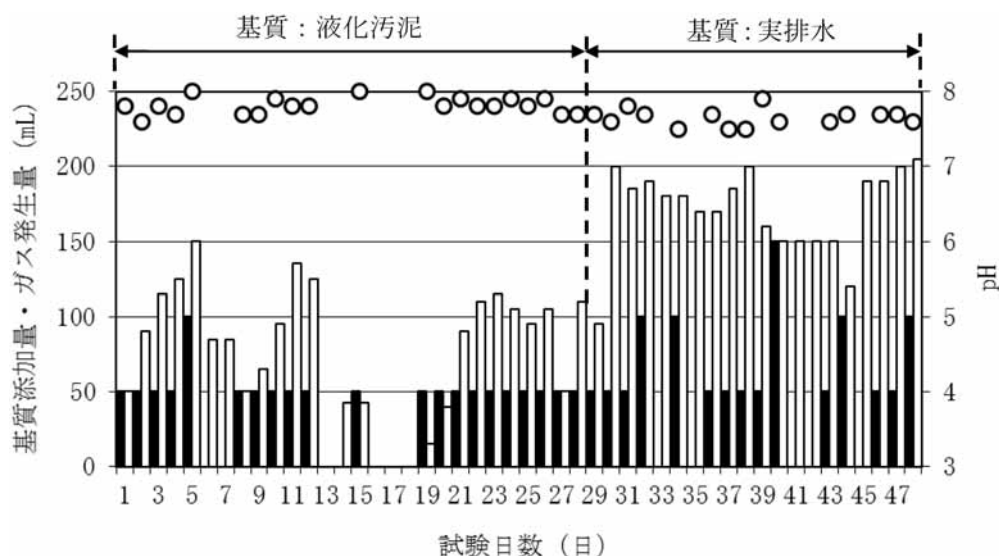


図 3 メタン発酵基礎試験
(■基質添加量、□ガス発生量、○pH)

【報告】

発生 (225mL/g-TS/日) を確認した。試験13日目及び16～18日目にバイオガスの発生が止まったが、液化汚泥を新しいロットに替えた結果、再びガスの発生が確認された。次に、基質を実排水に替え液化汚泥と同様にメタン発酵を20日間行った。その結果、液化汚泥の時を上回るバイオガスの発生 (434mL/g-TS/日) を確認した。また、消化液のTOC分析結果から、本処理過程において実排水中の有機物の91%が除去されていることがわかった。今回使用した実排水は、有機物負荷が予定よりも低かった(0.4kg-TS/m³/日)。そこで、有機物負荷を高めてガス発生量を増やすために、試作機による運転では滞留期間を短縮 (7日) することにした。

3.2 試作機の性能評価

本運転によるメタン発酵試験の内、平成27年の5/26～6/15のバイオガス発生量及び発酵槽水温を図4に示した。本図から、平均のバイオガス発生量は488L/日、発酵槽水温は36.9±0.2℃であった。さらに、バイオガスが比較的安定して発生している時期 (5/29～

6/2) を集約すれば、ガス発生量は704L/日に達していることがわかった。また、発酵槽pHは7.0±0.1に維持され、バイオガス中のメタン濃度は平均62.5% (40.6～77.5%) に達した。一方、6/3以降バイオガスの発生量が一時的に低下したのは、6/3にオプション追加のため制御盤電源を約5時間停止したためと考えられた。バイオガス発生量から、このトラブルからの回復には約1週間を要した。

次に、本運転で使用した実排水とメタン発酵処理液である消化液 (写真4) の分析を行った (表4)。各分析項目は、分析方法の欄に記載の方法で測定した。その結果からBOD、全窒素、全りん、の除去率は、それぞれ、81.0%、49.8%、82.0%であった。メタン発酵におけるBOD除去率は通常80～90%であり、本試験においても同様な結果が得られた。一方、全窒素の除去率は50%程度であり、BODや全りんに比べ窒素成分が残存しやすいことがわかった。

また、実排水の全蒸発残留物が14,600mg/Lであったことから、有機物負荷2.06kg-TS/m³/日に相当した。

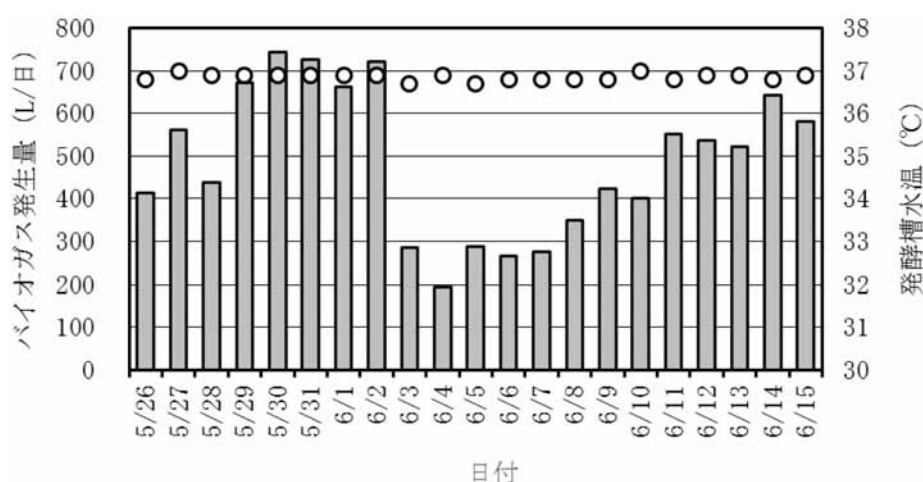


図4 メタン発酵本試験
(■ バイオガス発生量 (L/日)、○ 発酵槽水温 (°C))



写真4 実排水 (左) と消化液 (右)

表4 実排水と消化液の組成

分析項目	実排水	消化液※	分析方法
BOD (mg/L)	5,380	1,020	JIS K0102
全窒素 (mg/L)	1,190	597	JIS K0102
全りん (mg/L)	132	23.7	ICP 発光分光分析
pH	4.6	7.3	pH メーター
懸濁物質 (mg/L)	8,260	—	文献 ²⁾
全蒸発残留物 (mg/L)	14,600	—	JIS K0102

※試料をろ過 (ろ紙 (No. 5B) 使用) したろ液を分析に供した。

したがって、安定時のバイオガス発生効率は342mL/g-TS/日であり、基礎試験での結果（434mL/g-TS/日）に比べて低かった。その主な原因として、滞留期間の差（基礎試験20日、本試験7日）や、スケールアップに伴う攪拌効率の低下が影響していると考えられた。対策として、操作条件あるいは装置的な改良が考えられた。

約2ヶ月間の本運転で、安定時のバイオガス発生量は704L/日であった。また、バイオガス中のメタン濃度は平均62.5%であったことから、1日当たりのメタンガス生成量は440Lであった。これは4,180kcal（メタンの発熱量:9,500kcal/m³）のエネルギーに相当した。さらに、ガスエンジン発電機によるコージェネレーションを考慮すると、総合効率70%で電気効率と熱効率をそれぞれ30%および40%とすれば、電気エネルギー1,254kcal（1.46kWh）と熱エネルギー1,672kcalが得られることがわかった。

4 まとめ

メタン発酵技術により、食品残渣や排水処理余剰汚泥といった有機性廃棄物（バイオマス）から、メタンガスを生成できる。同技術は、メタンガスから発電した電力を再生可能エネルギー固定価格買取制度で売電することにより初期投資の回収が可能となるため、廃棄物削減とエネルギー回収を両立するバイオマス発電システムの要素技術として期待されている。

本研究では、三鈴工業㈱のコア技術である接触材を活用し、研究協力企業への導入に向けたパイロットスケールのメタン発酵装置の開発を行った。

処理容量1m³（1,000L）のメタン発酵装置を試作し、研究協力企業（豆腐製造業）で発生する実排水に対し、性能評価を約4ヶ月（試運転：約2ヶ月、本運

転：約2ヶ月）実施した。

本運転の結果、所定の性能（安定時のバイオガス発生量：704L/日、バイオガス発生効率：342mL/g-TS/日、バイオガス中のメタンガス濃度：平均62.5%、BOD除去率：81%）を確認した。

上記の結果から、メタンガス発生量は440L/日であり、これは4,180kcalのエネルギーに相当した。さらに、ガスエンジン発電機によるコージェネレーション（総合効率70%（電気30%+熱40%））では、電気エネルギー（1,254kcal）と熱エネルギー（1,672kcal）が得られることがわかった。

謝辞

本研究は、経済産業省の平成25年度補正 中小企業・小規模事業者ものづくり・商業・サービス革新事業として実施した。ここに謝意を表するものである。

*経済産業省 資源エネルギー庁：再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック 2015（平成27）年度版．http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2015_fit.pdf（2016. 3 .25アクセス）

参考文献

- 1) 岡本哲志 他：低温度域水熱処理を利用した余剰汚泥減容化装置の開発．静岡県工業技術研究所研究報告，第8号，12-17（2016）．
- 2) 亀山建一：第2編 一般理化学試験，第3章 活性汚泥試験，第6節 活性汚泥浮遊物質（MLSS），1．遠心分離法，「下水試験方法 上巻」，1997年版（公益社団法人 日本下水道協会，東京），pp.269-270（1997）．