

食品廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業

国内初！営業中の都市型商業施設におけるバイオガス発電に成功

赤松 佑介・林 まゆ・遠藤 正史*1・斎藤 芳人

Demonstration of methane fermentation for waste food

Yusuke AKAMATSU, Mayu HAYASHI, Masashi ENDO, Yoshito SAITOU



写真-1 マイカル明石3番街店舗 全景

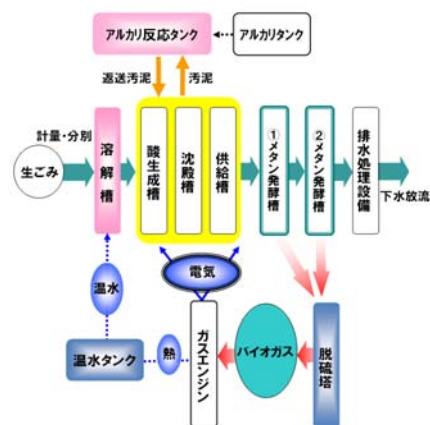


図-1 実証事業に用いたメタン発酵システムフロー

研究の目的

持続可能な環境共生型社会の実現には、未利用資源であるバイオマス資源を地域内でエネルギー化する循環システムの構築と普及が必要不可欠である。中でも食品廃棄物はリサイクル率が低く、その向上が課題となっている。筆者らは、約2年に亘り、都市型商業施設の店舗から排出される食品廃棄物をバイオガス化する可溶性二相式メタン発酵装置の実証運転データを蓄積した。

本稿では事業の総括として、排水処理水質、発生バイオガスの有効利用状況、事業採算性等について報告する。

技術の説明

マイカル明石店舗内の各テナントや加工場から発生した残飯や調理くず、売れ残り商品などの食品廃棄物をメタン発酵によりバイオガス化し、コジェネレーションガスエンジンによって電気と温水を回収し、有効利用する技術である。本システムは、高速・安定処理と発酵残渣の減量化、省エネ型排水処理設備の導入に特徴がある。

食品廃棄物がメタンガスになるまでの過程には、可溶化、酸生成、メタン生成があり、その各過程を別槽に分けて処理することにより処理が効率且つ高速化される。これは、微生物の機能分離が成立するためであると報告されている。また、アルカリ添加により発酵残渣を再基質化するプロセスを導入し、動力を使用しない排水処理設備であるDHS（Down flow hanging sponge）も設置している。

なお、複合商業施設での食品廃棄物を原料とするメタン発酵で発電までを実施するのは国内初の試みである。

主な結論

可溶性二相式メタン発酵の約2年に亘る実証運転の結果、以下の結果を得た。

- メタン発酵処理水中のSSを低減することで、BOD・N・Hex値も著しく低減可能であることが示唆された。
- 本メタン発酵システムにより、生ごみ1tあたり約150 Nm³のバイオガス発生量が安定的に発生した。
- ガスエンジンによる総発電量は、本メタン発酵システムの総消費電力量の半分程度であった。

食品廃棄物発生量が5t規模であれば、事業採算性が開ける結果となった。

*1 関東支店 JR 豊野作業所

食品廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業

赤 松 佑 介 林 ま ゆ
遠 藤 正 史*1 斉 藤 芳 人

要 旨

マイカル明石店舗内で発生する食品廃棄物（生ごみ）を原料として、好気性可溶化プロセスを組み込んだメタン発酵によるバイオガス生成とガスエンジンを利用した電気と温水の回収・利用についての実証事業を行った。前報では、プラント各部の挙動・効果について詳述した。本稿では事業の総括として、排水処理水質、発生バイオガスの有効利用状況、事業採算性等について報告する。

排水処理の評価として、通年平均では目標値となる下水放流基準をクリアすることができなかった。排水のBOD、N-hex値を押し上げる要因はSSにあり、これを分離除去することで基準値を満足する水質が得られる見込みを得た。エネルギー利用の面においては、生ごみ1tあたりに換算すると、約150 m³のバイオガスが発生し、プラントの電気エネルギー自給率は約49%であった。

食品廃棄物の収集運搬については廃掃法上の制約・課題点を抱えているものの、都市部域で本バイオガス化プラント設置を検討した場合、食品廃棄物の発生量が5 t/day規模であれば、外部処理委託と比較して、事業採算面での展開が開ける結果となった。

キーワード バイオマス／食品廃棄物／商業施設／メタン発酵／発電／収集運搬／事業採算

目 次

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. はじめに | 4. 収集運搬に係る法的な課題 |
| 2. 事業概要 | 5. 経済性評価 |
| 3. 稼動状況の総括 | 6. まとめ |

DEMONSTRATION OF METHANE FERMENTATION FOR WASTE FOOD

Yusuke AKAMATSU Mayu HAYASHI
Masashi ENDO Yoshihito SAITO

Synopsis:

We are operating the methane fermentation plant that applies the aerobic solubilization process. The plant was placed at MYCAL AKASHI.

The water quality that roughly meets the discharge standard that is the targeted value has been maintained from the commencement of commercial operation. But, the water quality became worse in the winter temperature. It has been understood that in order to removed both BOD and N-hex, suspension (SS) remove was the standard. It was thought that it led to a great water quality improvement by taking the removal of the suspension.

At first, it was assumed that the food waste capacity is 1 t/day, and the amount of biogas yield is 125 Nm³/day. As a result, about 150 m³ biogas was produced per 1t food waste in terms of m³/t. The self-sufficient rate of this verification system was about 49%.

When the entire plant was consolidated in one place in facilities, it calculated it provisionally. As a result, if the amount of the exhaust was 5 t, the business profit was expected to be secured.

* 1 関東支店 JR 豊野作業所

1. はじめに

近年、バイオマスの有効利用に関する取り組みが注目を集めており、製材残材等の木質をガス化利用する事例や、下水汚泥・畜産廃棄物等の有機物を発酵処理した際に得られるメタンガスを燃料として利用する事例が見られる。

しかし、現在までの所、これらの試みは、経済性（事業採算性）、原料の収集・運搬体制、原料性状の変動、安定的なエネルギー変換技術の確立等、種々の課題を抱えており、本格的な導入には至っていないのが実情である。つまり、クリーンエネルギーとしてのバイオマスの利活用は注目を集めてはいるものの、まだ技術的には廃棄物処理のレベルに留まっており、エネルギー利用まで至っていない。

そのため、将来的にバイオマスをより効果的にエネルギー化し、石油代替エネルギーとして利用していくためには実証試験などを通して、様々な課題を克服する必要がある。

本稿は、これまでに開発された要素技術を組み合わせ、複合商業施設（マイカル明石店舗）から発生する食品廃棄物をバイオガス化するシステムとして稼働させた実証事業を総括するものである。

なお、本稿に記載の実証事業は独立行政法人 新エネルギー産業技術総合開発機構、株式会社マイカルと共同実施した「新エネルギー技術フィールドテスト事業 地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 複合商業施設における食品系廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業」の成果をもとにしている。



写真-1 マイカル明石店舗外観

2. 事業概要

本実証事業は、マイカル明石店舗（写真-1）内にて発生する食品廃棄物（生ごみ）をメタン発酵によりバイオガス化し、ガスエンジンを用いて、電気と温水を回収し、有効利用することを目的とした実証事業である。

マイカル明石は、兵庫県明石市に立地した大型商業施設であり、最寄駅（JR 山陽本線 大久保駅）とも通路で連結された 4 棟の商業棟から構成されている。各棟はそれぞれ、1 番街、2 番街と称されている。

開業当初より、3 番街内には、マイカル明石店舗全体から発生する廃棄物を集約・管理するリサイクルセンターが構えられており、そこでは食品廃棄物以外にも空き缶、ビン類、ダンボールなど店舗から発生する廃棄物の分別回収とリサイクルが進められている。

今回設置した設備は、リサイクルセンター及び、3 番街屋上駐車場脇の空きスペースに設置した。

各店舗テナント、調理加工場には、発生する食品廃棄物を投入する専用の車輪付バケツが設置されており、そこに食品廃棄物のみを投入し、1 回／日、リサイクルセンターまで、テナント従業員または、リサイクルセンター管理委託業者によって搬送されている。

写真-2 に車輪付バケツ、写真-3 に発生する食品廃棄物の一例を示す。

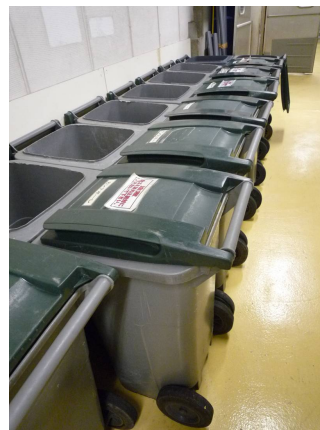


写真-2 車輪付バケツ



（残飯）



（売れ残りパン類）



（魚腸骨）



（野菜類）

写真-3 食品廃棄物一例

図-1 にプラントの処理フローを示す。食品廃棄物を好

気性微生物により可溶化し、酸生成などの前処理を経て、2槽のメタン発酵槽による嫌気性処理でメタンを主成分としたバイオガスに転換。

フローの特徴的な点は、菌床を充填した溶解槽での固形生ごみの乳酸可溶化と酸生成を経た後の2つのメタン発酵槽での高速バイオガス化にある。メタン発酵槽内部には、メタン生成菌が高密度に集塊したグラニュールが充填されており、有機物分解処理の高速化に寄与している。固形生ごみを可溶化、酸生成とメタン発酵を二分割した点から、通称 可溶化二相式と呼ぶ。

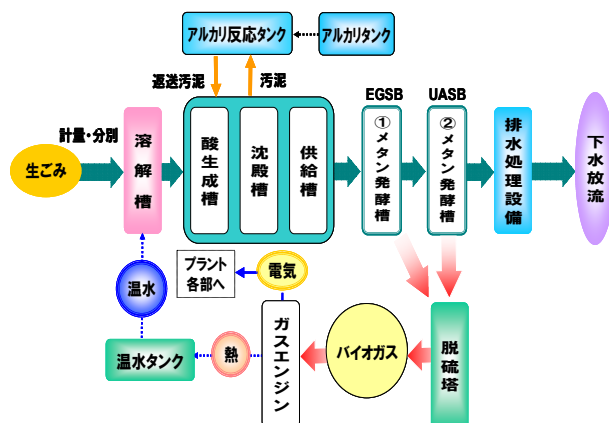


図-1 プラントフロー

さらに、省エネルギー型の好気性処理設備（以後「DHS」と称する）を後段処理として導入し、排水水質の均質安定化と排水処理費用の低減を目指した。

発生したバイオガスは、コージェネレーション型のバイオガスエンジンを用いて、エネルギー（電気と温水）を回収した。なお、本実証試験で得られたエネルギーは全て本プラント設備の運転に使用し、商用電源との系統連系は行わない事とした。

以上が事業概要であり、プラントフローの詳細、各部位の挙動については前報¹⁾を参照されたい。

3. 稼働状況の総括

3.1 メタン発酵処理水

メタン発酵後の処理水質を表-1に示す。

表-1 第2メタン発酵槽出口、DHS出口
通年 液体分析結果比較（単位はいずれも mg/l）

	第2メタン 発酵槽出口	DHS 出口	下水道 放流基準値
BOD	857	772	600
SS	1,445	1,110	600
N-hex	154	99	30

運転開始時より目標値とした下水放流基準の値を概ね

満足する水質を維持していたが、冬期に入ると、やや水質が悪化する傾向が見られた。

その原因としては、冬期に入って外気温の低下とともにメタン発酵槽内温度も低下し、グラニュール菌の活性が低下・有機物分解が緩慢になったことが大きな要因と考えられる。

また、散発的に DHS 内部にてコバエのさなぎが発生し、これが処理水とともに流れ出すことで、水質管理項目である懸濁質（以後「SS」）の値を大幅に押し上げる結果となった。

ここで、本実証プラントからの排水は店舗内の雑排水によって下水放流基準以下に希釈処理された上で下水本管に放流されている。

DHS の水質浄化メカニズムは、生物膜法に分類され、DHS 塔に充填されたスポンジ担体表面を微生物膜が被い、そこを流下する有機排水が好気性微生物により浄化される機構である。

運転開始から1年半後の DHS 槽内部を確認し、スポンジ担体の採取を行った。



写真-4 DHS スポンジ担体サンプリング状況



写真-5 DHS スポンジ担体 採取物

新品と比較すると DHS スポンジ担体採取物は汚泥状物質に覆われており、DHS への流入水の SS が高いことが示唆された。

前述したように浄化対象は水溶性の有機物であるため、SS 状の有機物に対しては効力が落ちてしまう。そのため、

本実証事業内では、DHS 設備の効果が最大限には発現し
難い環境となっていたと想定される。



写真-6 新品の DHS スポンジ担体

そこで、DHS 設備が効果を発揮している他の浄水設備
の調査を実施し、比較検討した。

グリーストラップ排水を対象とした水処理設備として
稼働中の下記写真設備は、排水中の油脂状懸濁物を事前
に高分子凝集剤によって、沈殿分離し、上澄み液のみを
設備に流入させている。



写真-7 調査対象設備



写真-8 DHS 内部のスポンジ

SS 分が設備内へ流入しないため、UASB 槽・DHS 槽と
もに安定的な稼働を続けており、DHS 塔内部のスポンジ

担体も汚泥に覆われておらず、良好な好気的環境が維持
されていた。UASB-DHS 設備が対象とする排水は極力
濁物質が少ない方が安定かつ効果的に稼働することが再
確認された。

本実証事業にて DHS 流入前に処理水中から懸濁物を除
去することは、廃棄汚泥費用の大幅な増加、および店舗
内に汚泥をストックするスペース確保が困難なことから
実施を見送った。

また、調査に出向いた設備は産業廃棄物処理場内に設
置されたものであった。そのため集客設備ほどは、臭気
と衛生面において細心の注意を施す必要もない状況であ
り、プラントの運営管理面において寛容な環境であった。

今後、他の商業店舗内にも本システムの展開を考慮し
た場合、極力来客者が立ち入ることのないスペースへの
設置を検討することによって、プラントの衛生面での管
理はさらに容易なものとなると考えられる。

今後の本事業のように下水本管までに他の雑排水によ
る所定基準値以下までの希釈が見込めない場合において
は、しかるべき水処理設備の導入が必要となる。

そこで、本事業での排水 SS メタン発酵槽出口にて採取
した水とそれを 5C 規格ろ紙で濾し、SS を低減させた水
の水質分析を比較した。対象としたメタン発酵槽出口排
水は冬季に採取した中でも比較的水質の悪いケースを用
いた。

分析結果より、SS を除去することで、BOD・N-hex と
もに大幅に低減されることがわかった。つまり、BOD・
N-hex を押し上げる要因は SS にあることが示され、凝集
沈殿、または加圧浮上による SS の除去をシステムに組み
込むことで、大幅な水質改善につながるものと考えられ
た。

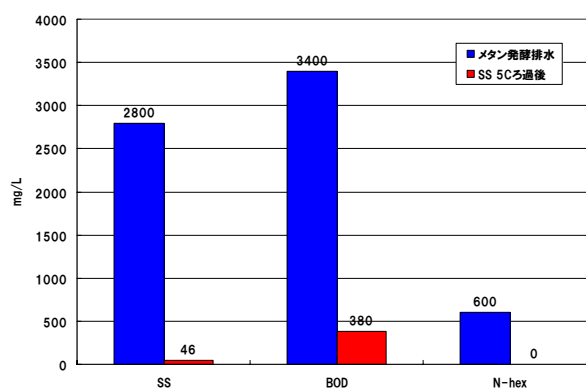


図-2 メタン発酵排水の SS 除去後 各項目比較

3.2 エネルギー利用設備システムの性能評価

本事業では、定格能力 25 kW のガスコジェネエンジン
を採用している。本プラント設計当時においては、バイ
オガスを用いたエンジンとしては保証のある国内産最小
規模の設備であった。しかし、本実証事業規模のプラ
ントから発生するバイオガス量に対しては、過大なスペ
ックのエンジンであった。

試運転後の通常運転期間、2008 年 9 月から 2009 年 12 月までの間、バイオガス化プラントへの食品廃棄物の投入総量は約 273 t、それに対するバイオガスの積算発生量は約 41,800 m³であった。生ゴミ 1 t あたりに換算すると、約 150 m³ のガス発生量となった。積算発電量は約 30,900 kWh であり、プラントの電力自給率としては約 49%となった。また、バイオガス中のメタンガス濃度は約 60～80%で推移した。

本プラントは 9 系統の配電先へガスの発生量に併せて順次バイオガス電力を自動で切り替え、電力使用設備全体が同時に稼動した際には、定格 7.8 kW の発電を行う設定となっている。

しかし、配電先として常時稼動しているのは 9 系統の内 4 つの電力使用設備であり、その他は間欠運転を行っている。そのため、平均では約 4 kW の発電にとどまっている。設備からの電気需要も少ないこともあって、発電効率は 14.3%程度であった。

また排熱回収について、温水の使用先がプラントの加温希釈用とリサイクルセンター洗場での使用に限られ、合計で平均 200 L/h 程度である。これを約 40℃（20℃→60℃）加温していると考ええると約 8.5 kW の排熱回収となっており、発電から生ずる排熱の約半分程度を利用している。無限に温水の使用先があると仮定すると、定格 25 kW を発電した場合には 40 kW の排熱回収が可能であり、約 950 L/h の温水を供給することが可能である。

エネルギー効率は、発電効率 14.3%、排熱回収効率 30.6%、総合効率で約 44.9%となった。

4. 収集運搬に係る法的な課題

マイカル明石店舗は、4 つの商業棟（内 3 棟から食品廃棄物が発生）からなる複合商業施設であるが、1 日あたりの食品廃棄物の発生量が 1 t に満たない状況にある。

他の施設でも、一部の超大型商業施設や大型食品工場を除いては、単独の施設のみで、数 ton 規模の食品廃棄物が発生することは難い。

そのため、食品廃棄物を効率的に収集する仕組み・制度の構築が望まれるが、現状の廃掃法上の制約について下記前提条件の下での検討を明石市環境部にヒヤリングした。

【前提条件】

ある小売店が自店舗から発生する生ゴミを利用してバイオガス発電を実施中。能力に余力がある場合、別店舗から排出される生ゴミを受け入れる検討をしたい。

- ① バイオガス発電を有する店舗に必要な廃掃法上の許認可は、

5 t/日以上設備の場合は廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第 5 条に則して「廃棄物処理施設（ごみ処理施設）」としての許認可が必要。

- ② 同一企業内の別店舗から発生する食品廃棄物を同一企業内の職員が収集運搬することは可能か。

問題はないが、行政区域をまたがる場合は市町村間での協議（確認）が必要。

- ③ 同一グループ傘下の別企業経営店舗から発生する食品廃棄物を同一グループ内の職員が収集運搬することは可能か。

同一グループ内の企業であっても別企業とみなされるため、収集運搬許認可を受けた業者に委託する必要がある。さらに行政区域をまたがる場合には搬出元と搬入先の自治体における収集運搬許可が必要。グループ傘下でもない、まったく他資本の企業が経営する店舗から食品廃棄物を受け入れる場合も同様。

- ④ バイオガス発電設備を所有する側が、生ゴミを買い取るとした場合（生ゴミの処理料を徴収するとした場合）に係る問題点、必要とされる許認可はどのようなものがあるか。

他店舗から生ゴミを購入する場合には、その時点で生ゴミは有価物であり、廃掃法の縛りから外れる。

5. 経済性評価

本プラントは既設店舗内に後付け設置したために、プラント各部位が離散した配置となっている。そのため、1 箇所を集約した場合に比べて、余分な設置経費が生じている。

したがって、経済性評価の検討では施設内 1 箇所にプラント全体を集約・平置した場合を想定し、下記の 3 パターンによる検討を行った。

A : 標準パターン

B : DHS 代替となる水処理設備を設置した場合

本事業で設置の水処理設備の代替として、加圧浮上、消化脱窒などの装置を設置した場合を想定した。本ケースでは、BOD、SS、N-hex とともに T-P、T-N の低減効果も含めた水処理設備導入の場合を検討した。

C : 既設水処理設備にて排水の処理が可能な場合

バイオガス化設備を設置予定の場所には既に本設備のメタン発酵槽から排出される排水に対応可能な水処理設備が設置してある場合を想定した。水処理に係る費用負担が増えないと仮定した場合を検討した。

【評価の共通条件】

- ・ 概算初期費用に土工事は含まない。
- ・ 資産価値を 10 年償却し、簿価 0 円まで償却する。
- ・ 生ゴミ投入作業は人件費に含まない。

- ・ 都市部域 再生利用登録施設への食品廃棄物処理委託費を¥40,000/t とする。
- ・ プラントで使用する水は地下水とした。
- ・ 下水道使用料金を含まない。
- ・ プラントメンテナンス時の食品廃棄物の外部委託処理費用、稼働を補うための熱量（都市ガス・電気）のバックアップ費用は配慮しない。
- ・ 複数店舗連携などによる食品廃棄物の収集方法・費用については考慮しない。
- ・ 余剰に生ずる熱（温水）の売却益は除外する。
- ・ （余剰の電力）売電単価を 12 円/kWh とする。

表-2 に検討結果を示す。

表-2 事業採算まとめ（単位：万円）

食品廃棄物量	パターン	年間収支
1t	A	▲870
	B	▲1,800
	C	▲725
5t	A	1,320
	B	▲260
	C	2,280

1 t/day 規模の事業採算は A, B, C とともにマイナスとなり難しい。

また、初期投資額の 1/3 を補助される場合、1/2 を補助される場合を表-3、表-4 に示す。

水処理設備設置に係る負荷が増えた場合（B パターン）においても、5 t/day 規模であれば、黒字化する算定結果となった。

表-3 事業採算まとめ 1/3 補助がある場合

規模	パターン	年間収支 (¥万円)
1 t	A	▲489
	B	▲1,266
	C	▲386
5 t	A	2,499
	B	1,033
	C	3,282

表-4 事業採算まとめ 1/2 補助がある場合

規模	パターン	年間収支 (¥万円)
1 t/day	A	▲235
	B	▲910
	C	▲160
5 t/day	A	3,285
	B	1,895
	C	3,950

6. 結論

マイカル明石店舗内で発生する食品廃棄物（生ごみ）を原料として、好気性可溶化プロセスを組み込んだバイオガス化実証事業を実施し、以下の結果を得た。

- ① 排水処理の評価として、通年平均では目標値とした下水放流基準をクリアすることができなかった。
- ② 排水中懸濁物（SS）を除去することで、BOD・N-hex とともに大幅に低減されたことから、凝集沈殿、または加圧浮上による SS の除去をシステムに組み込むことで、大幅な水質改善につながるものと考えられた。
- ③ 生ごみ 1 t あたり、約 150 m³ のバイオガス発生量、プラントの電力自給率としては約 49%であった。
- ④ 法制上、同一企業内の別店舗からであれば、食品廃棄物を認可を受けた業者に委託しなくとも収集運搬することが可能となる見解が得られた。
- ⑤ 本プラントの事業採算性を検討した結果、5 t/day 規模であれば、プラントを所有する効果が生ずる結果となった。
- ⑥ ただし、企業 CSR を重要視する昨今の状況においては、環境に対する姿勢を PR する効果とのバランスが求められるため、単純な事業採算検討とは一線を画した各企業の判断が生じはじめていくものと思われる。

謝辞：共同研究者として実証事業にご協力頂きました株式会社マイカル 環境社会貢献部、明石サティ（マイカル明石 3 番街）、リサイクルセンターの関係者各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 赤松佑介，食品廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業，前田建設 技術研究所報 VOL.50，2009.