食品廃棄物のメタン発酵

一食品工場における小型メタン発酵プラントの導入効果の検討

環境エネルギー科 太田良和弘 室伏敬太 鈴木光彰 宮原鐘一 山梨罐詰株式会社 松村英功 望月光明

Methane fermentation of food waste

 Economic and environmental evaluation of a small-scale methane fermentation system for food factories

OHTARA Kazuhiro, MUROFUSHI Keita, SUZUKI Mitsuaki, MIYAHARA Shouichi, MATSUMURA Hidenori and MOCHIZUKI Mitsuaki

We have developed a pretreatment technology that enables the highly efficient methane fermentation of food waste containing large amounts of oil and solids.

We conducted tests at six food factories using a methane fermentation pilot system employing this pretreatment technology. We examined the effectiveness of a small-scale methane fermentation system.

For small-scale plants, it was revealed that boiler heat utilization was more economical than gas engine cogeneration to make effective use of the biogas.

When using the subsidy with 1/3 of the subsidy rate for a depreciation period of 15 years, it was confirmed that the processing scale would be effective in all six industries.

Keywords: Methane fermentation, Food waste, Economic and environmental evaluation.

キーワード:メタン発酵、食品廃棄物、事業性評価

1 はじめに

環境調和に優れた食品廃棄物の処理方法としてメタン発酵が注目されているが、油分を多く含む難分解性原料の処理¹⁾と装置の小型化が課題である。平成26~28年度に、我々はメタン発酵に不向きな食品廃棄物をメタン発酵しやすい原材料に変換する前処理技術を新規開発^{2)~7)}し、この技術を応用したメタン発酵パイロットプラントを試作⁸⁾した。この技術は実験室規模の標準的な原材料による試験は完了しているものの、スケールアップした規模で実際の廃棄物による有効性の確認は実施されておらず、実証化が完了していない。この技術が実証化されれば、メタン発酵工程が高効率化することによりプラントが従来より約1/2に小型化可能となり、製作コストの低減化が図れる。

本研究では、平成29年度から3年間に6業種(レトルト、水産加工品⁹⁾、豆腐、調味料、健康食品、肉加工品)の食品製造工場で、それぞれの食品廃棄物をメタン発酵処理する実証化試験を行い、業種ごとにプ

ラント導入の効果を検証する事業性評価を行った。

2 方法

2.1 メタン発酵プラント試験

メタン発酵パイロットプラント(写真1)を6業種の食品製造工場敷地内に設置し、モデルケースIの既設メタン発酵プラントの消化汚泥を種汚泥としてメタン発酵槽に加え馴養した。プラント試験のフローを図1に示す。それぞれの食品製造工程で実際に発生する食品廃棄物を原料とし、原料中の油脂重量濃度が8%未満の場合は、原料をディスポーザーにより粉砕希釈し、有機体炭素濃度(TOC)約0.5~2%のメタン発酵原料液110Lを調整した。一方、原料中の油脂重量濃度が8%以上の場合は、同様に原料を希釈粉砕し、工場排水汚泥でTOC約1~3%に調整した後、前処理装置に投入し2~4日間の前処理工程を行った。その後、処理液を適宜希釈してTOC約0.5~2%のメタン発酵原料液110Lに調整した。これらのメタン発酵原料液



写真1 メタン発酵パイロットプラント

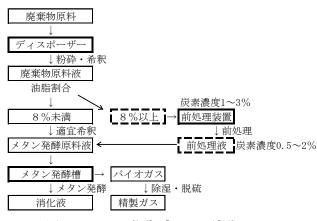


図1 メタン発酵プラント試験フロー

110L を工場稼働日の毎日、1100L のメタン発酵槽に連続投入し、消化液を毎日 110L 排出することで滞留日数 10 日の中温メタン発酵処理を行った。

これらを評価するために、発生するバイオガス量とエネルギー消費量のモニタリングを行うとともに、原料液と消化液の炭素および窒素濃度、バイオガスの成分を定期的に分析することで、バイオガス発生効率やエネルギー効率等の事業性評価を行うための指標データを収集した。

各食品製造工場での試験期間は4~6ヶ月間であった。

2.2 事業性評価

(1) エネルギー収支

食品工場から発生するメタン発酵の原料となる食品 廃棄物量、プラント試験で得られたバイオガス発生効 率等から、バイオガス発生量や発生エネルギー量を推計¹⁰⁾した。一方、プラント試験のエネルギー消費量からスケールアップした場合のエネルギー消費量を推計し、全体のエネルギー収支を試算した。

(2) 炭素収支

二酸化炭素排出量の削減効果を単純焼却処理と比較して評価した。原料由来の二酸化炭素はカーボンニュートラルと考えられるため、バイオガスシステムでの創出エネルギーと消費エネルギーを対象として、二酸化炭素の収支を算定した。なお、二酸化炭素排出原単位については、電気:0.452kg-CO2/kWh*1)、熱:0.0189kg-C/MJ 11) を用いた。

(3) 支出算定

ア 設備投資及び維持管理費

プラント試験結果から、廃棄物量に対応するプラント 規模(容量)の概算設計と設備投資費及び維持管理 費(光熱費、薬剤費等)の試算を行った。バイオガス 利用設備については、ガスエンジン(コジェネシステム)とボイラー(熱利用)の2ケースについて発生する バイオガス量に対応する機種を選定し、これらのメー カーから設備投資費及び維持管理費を調査した。

今回のモデルケースでは設備投資費に対して、補助率1/3の設備導入補助金*2)が得られるものと想定した。収支算定にあたっては、補助金の全額を圧縮記帳したうえで、法定耐用年数15年、定額減価償却を行った場合の減価償却費を計上した

イ 消化液処理

プラントから排出する消化液については、原則、既存の排水処理施設で処理することとし、既存の排水処理施設の排水処理単価を算出し、消化液の排出量から排水処理費を試算した。消化液の有効利用が具体的に見込める事例については別途、収入で算定した。ウ保険

投資設備に対して火災保険に加入するものとし、年間保険料の料率を設備投資費の0.4% として算出した。

工 固定資産税

メタン発酵プラントの法定耐用年数を15年として、投資設備に対する固定資産税を算出した。

*1) 中部電力:「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づく2018年度のCO2排出実績の報告について

https://www.chuden.co.jp/publicity/topics/3271523-21498.html (2020.3.12アクセス)

*2) 静岡県:ふじのくにエネルギー地産地消推進事業費補助金公募要領

https://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-150/enetisantisho/hozyokin2020.html(2020.3.25アクセス)

(4) 収入算定

ア 消費燃料削減

ガスエンジンにおいては、発電による余剰電力と余熱 利用が見込める。電力単価については自家消費を原則 として購入電気代と同様とした。バイオガス発生量が多 く売電利用が見込める事例については、別途、固定価 格買取制度(以下、「FIT」という。)利用の平成30年 時点での売電単価39円/kWhにより収入算定を行った。

余熱利用については、A 重油を燃料として供給され ている熱を代替するものと想定し、A 重油の単価 76.7 円 (小型ローリー 2017 ~ 2019 年平均値)*3)と熱量12)よ り熱単価を算出した。

イ 廃棄物処理費削減

メタン発酵に用いる原料はいずれも廃棄物であるた め、それぞれの廃棄物処理費の単価に利用量を乗じる ことで、廃棄物処理費削減効果として算出した。

ウ 消化液の有効利用

消化液を液肥として具体的に利用可能な事例につ

いては、想定される液肥単価と消化液量から利益を算 出した。この場合、消化液を排水処理しないため、上 述の支出から消化液排水処理費を除外した。

(5) 経済性収支算定

ガスエンジンとボイラーの2ケースについて、年間収 益を算出した。投資回収年数は、設備投資費より補助 金額を差し引いた実質的な投資額を、利益に減価償却 費を足し戻した平均キャッシュフローで除した値とした。

(6) プラント導入経済効果

モデルケース結果から廃棄物日量 0.5 以上~5トン 未満 (年間廃棄物量 150 以上~ 1,500 トン未満) を小 型メタン発酵プラントと定義し、プラント規模が変動した 場合の収支との関係性を評価し、プラント導入の経済 効果を推計した。推計方法は、上述の収支推計項目 の内、初期投資額は廃棄物処理量の2/3乗に比例す る13)ものとし、保険料及び固定資産税は、初期投資額 に比例するものとした。その他の項目は廃棄物処理量 に比例するものとした。

実証化試験とりまとめ結果

		> (
記号		I	П	Ш	IV	V	VI
業種		レトルト	水産加工	豆腐	調味料	健康食品	肉加工品
主廃棄物		シチュー	魚血水	豆腐	マヨネーズ	ゼラチン	ラード
副廃棄物		油、汚泥	-	厚揚げ	汚泥	汚泥	野菜、汚泥
主廃棄物量 (t /年)		298	780	910	468	360	30
副廃棄物量 (t /年)		66	_	130	468	360	325
合計廃棄物量 (t/年)		364	780	1,040	936	720	355
希釈率		3	1	8	12	10	3
前処理槽容積 (t)	※ 1	9	-	-	173	-	13
メタン発酵槽容積 (t)	※ 2	33	33	360	432	330	40
メタン発酵効率(L/kg-TOC)	※ 3	1,600	1, 154	1,600	1, 440	907	1,770
_ バイオガス発生効率 (L/kg-TOC)	※ 4	740	1, 154	1,600	623	907	816
バイオガス発生量(Nm³/年)		19, 254	8, 147	140, 130	134, 784	97,956	8, 225
メタン濃度(%)		71	70	62	68	60	62
発生エネルギー量(MWh/年)	※ 5	135	56	861	911	588	51
回収エネルギー量 (MWh/年)	※ 6	4 4	▲ 12	394	307	426	▲ 40
二酸化炭素削減効果(kg/年)		▲ 521	▲ 6, 954	89, 515	64, 184	98, 364	▲ 17, 376
ガスエンジン:設備投資額(千円)		64, 537	43, 637	174, 200	250, 200	173, 200	66, 300
ガスエンジン:年間利益 (千円)	※ 7	10, 400	▲ 450	10, 252	1, 427	2,047	▲ 949
FIT利用 : 年間利益 (千円)		_	-	10, 743	2, 336	1, 227	_
ボイラー: 設備投資額(千円)		54,070	33, 170	156, 230	232, 230	162, 160	55, 260
ボイラー :年間利益 (千円)	※ 7	10, 764	113	9,618	2, 377	2, 805	249
投資回収年		2.8	14	6.3	12	11	16
投資回収規模 (t /年)	※ 8	150未満	730	150未満	590	200	430

前処理槽容積

: 一日当たりの原料投入量と処理日数から設計 : 一日当たりの原料投入量と処理日数及び安全率10%から設計 メタン発酵槽容積

X•2 メタン発酵効率 バイオガス発生量 (L/d) /メタン発酵原料液TOC (kg-TOC/d) **※**3

バイオガス発生効率 メタン発酵効率×メタン発酵原料液TOC/廃棄物原料液TOC **※**4

発生エネルギー量 バイオガス中のメタン濃度及びメタンガス発熱量から算出 **※**5 [発生エネルギー量] - [プラント全体の消費エネルギー量] **%**6

回収エネルギー量 年間利益 静岡県補助金制度等(補助率1/3)を活用した場合 **※**7

投資回収規模 減価償却期間15年間で収益が黒字化する最低廃棄物排出規模 **%**8

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgag/pl007/results.html (2020.3.12アクセス)

^{*3)} 資源エネルギー庁: 「石油製品価格調査」

3 結果および考察

実証化試験のとりまとめ結果を表1に示す。

エネルギー収支算定結果の事例を図2、経済性収支 算定結果の事例を図3に示す。

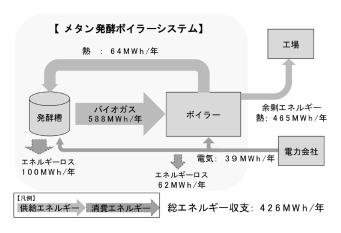


図2 エネルギー収支算定結果事例 (健康食品:ボイラー利用)

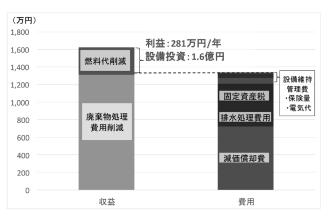


図3 経済性収支算定結果事例 (健康食品:ボイラー利用)

6業種の内、廃棄物原料に油脂含有量が多い I: レトルト、IV: 調味料及びVI: 肉加工品製造工場では前処理工程を採用した。なお、V: 健康食品製造工場では原料の廃棄ゼラチン中に油脂含有量は少ないが、栄養素の調整のため副資材として排水汚泥を投入した。

Ⅲ:豆腐、IV及びVは原料中のTOCが高く、希釈率を8~12倍と大きく設定したため、廃棄物が日量5トン未満であってもプラント規模としては300トン超の中規模のプラントとなった。

前処理工程を採用した3業種は、前処理液のメタン 発酵効率は1,440~1,770L/kg-TOCと比較的高く前 処理工程により高効率の原料液が生成されることがわかる。しかし、前処理工程により原料中炭素の4~6割が好気性微生物処理により消費されるため、全工程のバイオガス発生効率としては623~816 L/kg-TOCとなり、結果的に前処理工程のないメタン発酵工程より効率は低くなる。油脂含有濃度が高い原料は、そのままではメタン発酵阻害が生じるため、原料の含有成分を考慮して前処理工程の採用を判断する必要がある。

プラント規模の大きい事例(図2)では、回収エネルギー及び二酸化炭素削減効果がプラスになり有用性が確認できたが、一方、小規模プラント(I、II:水産加工、VI)では、有用性が確認できなかった。これは、熱損失や機械設備の電力消費などスケールメリットが得られなくなるためであり、より大型施設であればこれらの指標は改善される。経済的収益や環境面の有用性を十分考慮したプラント規模により設計する必要があることがわかった。

経済性評価では、図3で示した結果と同様に、全事例で収益のほとんどが廃棄物処理費削減効果で、エネルギー回収による経済的効果は影響が少ないことがわかった。IIの事例では設備投資費が最も少ないにもかかわらず、対象とする廃棄物の魚血水を処理費用の安価な排水処理工程で自家処理しているため、廃棄物処理費削減効果が低く結果的に経済性が低くなった。エネルギー回収で得られる経済性の大きさは、小規模プラントではほぼ維持管理費程度であるため、プラント導入の経済性は設備投資費と廃棄物処理削減費で簡易評価可能であることがわかった。

ガス利用設備の選定を経済性の面で評価すると、今回のような小規模プラント事例では、ガスネンジンに比べてボイラーによる熱利用の有益性が高かった。これはガスネンジンの設備投資額がボイラーより10,000 千円以上高く、バイオガス発生量が大きくないと経済的に不利だからである。メタン発酵槽の規模(投資額)とバイオガス発生量により推計したところ、メタン発酵槽容積が小規模(300トン未満)でバイオガス発生量が10万N㎡/年未満であればボイラー利用の経済性が優位となると考えられた。なお、中規模プラントの場合、規模(投資額)とバイオガス発生量により経済性の優劣が異なる結果となった。ボイラーよりガスエンジンが優位な場合、Ⅲのように補助金制度を活用せずFITによる売電事業の経済性が優位となる可能性もあり、プラント導入を検討する工場のエネルギー需要と有資格者等の管

理体制の確保など、より詳細な設計検討が必要となる。

今回の6事例は、静岡県内の事業所数や廃棄物処理量の多い業種を優先的に選定したが、排出規模は必ずしも業種を代表するものではない。VIの事例は主廃棄物量が30トン/年(0.1トン/日)と少なく、投資回収に16年を要する。6事例をモデルケースとして規模が大きくなるほど経済性に優位となることをふまえ、業種ごとの投資回収規模(投資回収年数15年と定義)を試算した結果を表1に示す。この結果から、業種ごとのプラント導入における経済性を廃棄物発生量から推定することが可能となる。VIの事例について、廃棄物排出規模と経済性収支の関係性を図4に示す。モデルケースでは、排出規模が小さく投資回収が困難な結果が得られたが、排出量が2割程度大きくなれば投資回収可能となることがわかる。

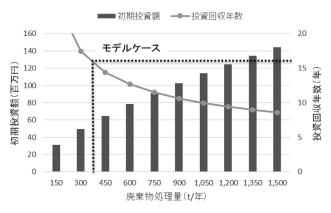


図4 プラント規模と経済性収支の関係性事例 (肉加工品:ボイラー利用)

4 まとめ

油や固形分を多く含む食品廃棄物を高効率にメタン発酵が可能な前処理技術を採用したメタン発酵パイロットプラントを用いて6業種の食品工場で実証化試験を実施し、日量5トン未満処理規模の小型メタン発酵プラントの導入効果を検証した。小規模プラントの場合、メタン発酵により発生するバイオガスは、ガスエンジンコジェネレーションよりもボイラー熱利用の経済性が高いことがわかった。減価償却期間15年基準で補助率1/3の補助金を利用した場合、全6業種で導入効果が得られる処理規模が確認できた。今後は、今回得られた知見をもとにメタン発酵技術を活用した再生可能エネルギー利用とバイオマス利活用の普及啓発に努める。

謝辞

実証化試験の実施に協力いただいた6工場の担当 者の皆様に感謝いたします。

また、この研究は、静岡県地産エネルギー創出支援 事業及び資源エネルギー庁エネルギー構造高度化・ 転換理解促進事業の助成により、静岡県小型メタン発 酵プラント事業化推進協議会と協同で実施しました。協 議会参画企業及び各行政機関の関係の皆様に感謝 いたします。

参考文献

- 1) 野地達也 他:「メタン発酵」, 初版(技報堂出版 (株), 佐藤和明 他 編集, pp. 40-41 (2009).
- 2) 中島大介 他:食品廃棄物のメタン発酵 一油前処理の有効性評価ー.静岡県工業技術研究所研究報告,第8号,7-11 (2016).
- 3) 室伏敬太 他:食品廃棄物のメタン発酵 -油前処理効率化のための油分解菌の探索-.静岡県工業技術研究所研究報告,第8号,28-29 (2016).
- 4)室伏敬太 他:食品廃棄物のメタン発酵 一油前処理効率化のための油分解菌の探索(第2報) -. 静岡県工業技術研究所研究報告,第9号,7-9 (2017).
- 5) 中島大介 他:食品廃棄物のメタン発酵 ーメタン発酵のための固形有機物前処理方法の開発ー.静岡県工業技術研究所研究報告,第9号,36-37(2017).
- 6) 室伏敬太 他:食品廃棄物のメタン発酵 ー油脂分解微生物を利用したメタン発酵の評価ー. 静岡県工業技術研究所研究報告,第10号,25-26(2017).
- 7) 中島大介 他:食品廃棄物のメタン発酵 ー湿式メタン発酵のための固形物前処理の最適化ー.静岡県工業技術研究所研究報告,第10号,27-28(2017).
- 8) 太田良和弘 他:食品廃棄物のメタン発酵 前処理装置用簡易脱臭機構の検討-. 静岡県工業技術研究所研究報告,第10号,23-24(2017).
- 9) 室伏敬太 他:水産加工工場排水のメタン発酵 ラボスケール試験によるメタン発酵適正評価-.静岡県工業技術研究所研究報告,第11号,66-67(2018).
- 10) 環境省:「廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル (2017 年3月)」p.45 (2017).
- 11) 経済産業省:「特定排出者の事業活動に伴う温室 効果ガスの排出量の算定に関する省令」別表第2, (2006)

- 12) 経済産業省: 「特定排出者の事業活動に伴う温室 13) 狩野三郎: 大型化に伴う機器の製作コストについ 効果ガスの排出量の算定に関する省令」別表第1, て. 化学工学, 31 (10), 940-945 (1967). (2006)