

都市ごみを用いた乾式メタン発酵法実証試験

藤原孝行 長谷川猛* 高橋和清** 細野英之*** 高橋徹*** 山本和成*** 永井猛****
(*共立女子学園 **技術部 ***東京ガス株式会社 ****東京工業大学)

要　旨

本実験では、乾式メタン発酵法を用い、低リサイクル率である厨芥ごみと紙ごみからバイオガスを生産するシステムを開発した。その結果、廃棄物から当初目標の2倍以上のバイオガスが効率よく得られることが分かった。発酵残差の処理について、乾燥方法や有効利用の可能性を検討し、間接乾燥方式が有効であることが分かった。プラントとしての実現可能性については、規模や設置方法など一定の諸条件のもとで、ごみ量10t/日以上の処理規模でエネルギー収支がプラスになることも分かった。

この研究は、東京ガス株式会社と東京都環境整備公社が共同で環境省より委託を受けた事業である。

キーワード：メタン発酵、バイオガス、再生エネルギー、廃棄物処理

Verification test of the dry methane fermentation using municipal waste

FUJIWARA Takayuki, HASEGAWA Takeshi *, TAKAHASHI Kazukiyo**, HOSONO Hideyuki***
TAKAHASHI Tohru ***, YAMAMOTO Kazunari ***, NAGAI Takeshi ****
*Kyoritsu Women's University **Engineering Department **Tokyo Gas Co., Ltd.
***Tokyo Institute of Technology

Summary

In this experiment, we developed a system to produce biogas from waste paper and kitchen waste, their recycling rate has remained, low. With dry methane fermentation. As a result, we found that efficient biogas obtained more than double the original goal. Also considering the possibility of drying methods for handling and effective use of the residual fermentation, indirect drying method was found to be an indirect effective. After the feasibility study of a plant, under a certain conditions, such as size and installation method, it was also found that the energy balance becomes positive on a scale of 10t a day or more processing waste volume.

This study was a project jointly commissioned by Tokyo kankyoseibikosha and Tokyo Gas Co., Ltd., from the Ministry of Environmental Protection.

Key words: Methane fermentation, Biogas, Reproduction energy, Waste disposal treatment

1 はじめに

ポスト京都議定書への取り組みが世界的に議論され、温室効果ガスの排出削減など地球環境保全に対する社会の関心は高まる一方である。

国内都市部においては、多くの廃棄物系バイオマスが発生するが、特に生ごみ、紙ごみ（OA用紙、雑誌・パンフ、新聞紙、ダンボール以外の紙ごみ。以後、ミックスペーパー）の発生量が多い。これらは再利用率が低く、多くのバイオマス資源が焼却処理されているのが現状である。

事業用大規模建物から発生するごみは、紙類を中心にリサイクルが進んでいるが、東京23区では、可燃ごみの1/4程をしめる厨芥ごみ等の「生ごみ」の再利用率は図1で示すように11.5%とほとんど利用されていない。

また、紙ごみの中でもミックスペーパーはマテリアルリサイクルが難しいため再利用率が低い。

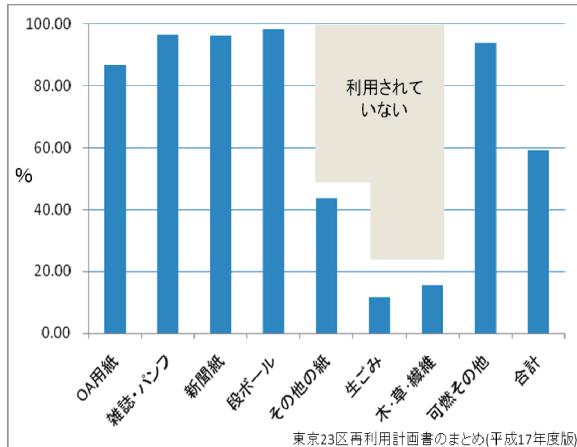


図1 東京23区におけるごみの再利用率

乾式メタン発酵は、地方都市¹⁾のような厨芥ごみの割合が多いごみに適用した事例があるが、日本の大都市のような紙ごみの割合が多いごみでの実証はされていない。

我々は、生ごみとミックスペーパーを共に利用することができ、かつ高効率でエネルギー変換が期待できる乾式メタン発酵法に着目し、これを活用した都市部に適用可能なバイオマスエネルギー利用システムの実用化に向けた実証を行った。本報では、実際に都市ごみを原料に用いて乾式メタン発酵処理した結果と、そのシステム評価について報告する。

2 実証試験の目的

ミックスペーパー比率の高い都市ごみ（東京都江東区）を実際に用い、①乾式メタン発酵法が都市ごみを原料に安定に運転できるかの把握、②バイオマスエネルギーとして省エネルギーという視点でのエネルギー収支評価をすることがある²⁾。

3 実証試験設備の概要

試験設備の設計仕様を以下に示す。

バイオマス原料：生ごみおよびミックスペーパー

原料含水率：平均55%

厨芥ごみ/ミックスペーパー比率：1/1

処理能力：300kg/日

発生バイオガス：メタン 48～62%

二酸化炭素 38～52%

約62m³/日

乾式メタン発酵槽容量：20m³

バイオガスホルダー有効容量：20m³

ボイラー：蒸気発生能力 120kg/h

燃料 バイオガスと都市ガスの混合ガス

実証設備のフローを図2に、全景写真を図3に示す。

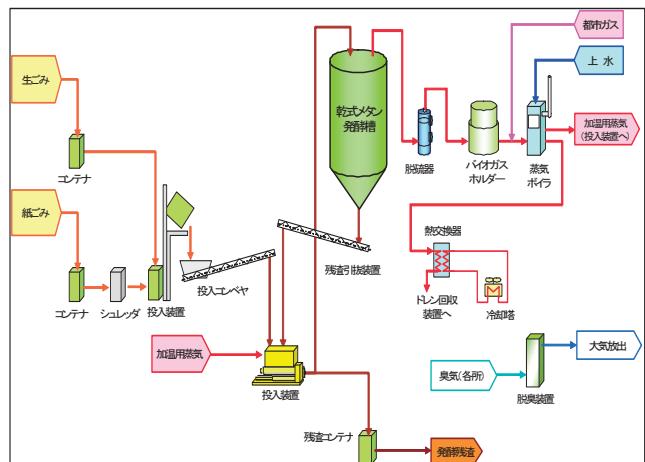


図2 実証設備フロー

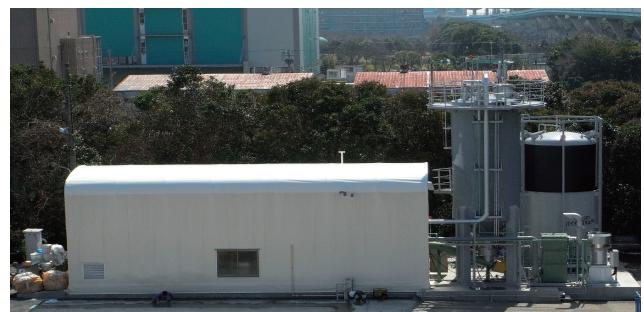


図3 実証試験設備全景

実験方法は、江東区にある某事業場から排出される都市ごみを用いた乾式メタン発酵実証試験を、厨芥ごみ：紙ごみ=50：50、45：55、40：60と湿重量比率を変更させ、運転試験を行った。

4 実証試験結果

(1) 乾式メタン発酵の安定性・バイオガス変動確認

原料として、東京都内の業務・商業用複合ビルより厨芥ごみとミックスペーパーを収集した。投入は月曜から

金曜の5日間行った。

バイオガスの発生状況を図4に示す。バイオガス発生量、バイオガスメタン濃度とその積であるメタン発生量は原料投入のサイクルである1週間単位で増減を繰り返しているが、メタン発生量は週単位ではほぼ変わらず、安定的なガス発生を確認できた。

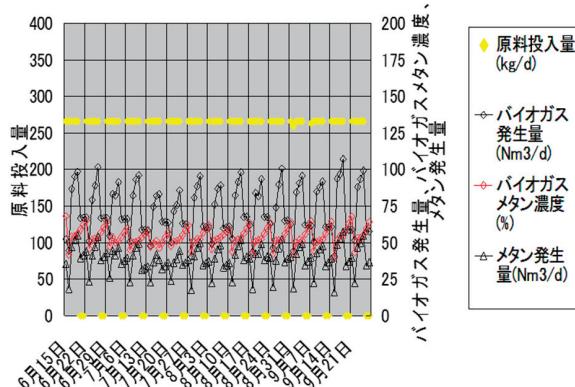


図4 バイオガスの発生状況

(2) バイオガス/都市ガス混焼制御

都市部にシステムを設置する際に、発生量に変動のあるバイオガスを使って安定的にエネルギー供給をしつつバイオガスホルダーを最小化するため、バイオガスと都市ガスの混焼制御方式の検証を行った。

混焼制御系のフローを図5に示す。

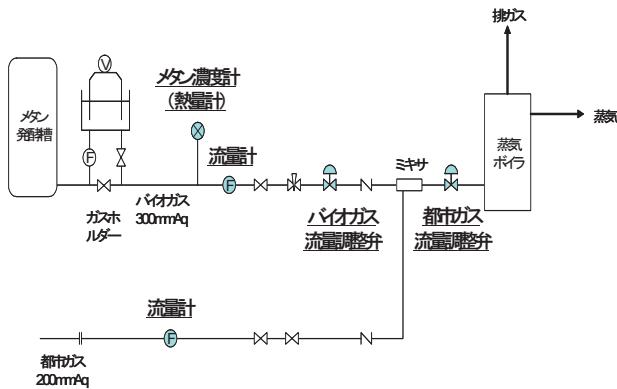


図5 混焼制御試験制御系フロー図

発生量が変動するバイオガスに対して行った都市ガス混焼制御結果を表-1に示す。バイオガス流量、または熱量を安定化するためにバイオガスホルダーを使用する2つの制御方式ではいずれもボイラーを安定に運転することができたが、用意したバイオガスホルダー（運用有効容積20m³）では容量が不足するということが確認された。

バイオガスホルダーを使用せずダイレクトに混合ガス熱量を一定とする制御方式では、都市ガス流量制御の制御定数を調整することにより、ボイラーを安定に運転する

ことができ、ホルダーレス化制御が可能であることを検証できた。

表-1 混焼制御試験結果

	バイオガス流量	都市ガス流量	セシング対象	検証課題
ホルダー有	一定	可変	混合ガス熱量	安定燃焼制御 ホルダー容量0.3日分以上
	可変	一定	混合ガス熱量	安定燃焼制御 ホルダー容量0.3日分以上
ホルダー無	出力なし (非制御)	可変	混合ガス熱量	安定燃焼制御

(3) 投入ごみ性状

原料として、東京都内の業務・商業用複合ビルより厨芥ごみとミックスペーパー（シュレッダー紙、および雑紙として分類されている紙ごみ）を収集した。分別状況は良好で夾雜物混入割合は、厨芥ごみは15%前後、ミックスペーパーはほぼゼロ%であった。ごみ性状を表-2に示す。厨芥ごみの水分量が少なく、発熱量が高いのが特徴である。

表-2 ごみ性状

	水分	灰分	可燃分 (VS)	低位発熱量 (kJ/kg)
厨芥	72.60%	1.90%	25.40%	2,721
紙類	6.80%	9.20%	83.90%	11,679
50%混合ごみ	39.70%	5.60%	54.70%	7,828
区部：清掃工場	43.40%	5.30%	51.30%	8,749

(4) ごみ分解率と物質収支

本システムは1年間以上安定してごみ処理し、バイオガスを製造することが出来た。（環境省提示の目標値150Nm³/t-ごみ（湿重量）以上）

バイオガス発生量は、360～370Nm³/t-ごみ（湿重量）、ごみからバイオガスとしてのエネルギー回収割合は約80%となった。表-3に物質収支と可燃物分解率を示す。分解率は約80%と高かった。

なお分解率は、投入ごみの可燃成分と発酵残渣の可燃成分から算出した。

またミックスペーパー混入比率については、厨芥ごみ：ミックスペーパー=50:50、45:55は全く問題なく長期間運転できたが、40:60とミックスペーパー比率が高まった場合、メタン発酵槽の有機酸濃度がゆっくり上昇してきた。従って、ミックスペーパー比率は短期

間であれば 60%まで許容できるが、55%以下に抑えて運転することが望ましいことが示唆された。

表-3 物質収支と可燃分分解率

	入口側			出口側			B/A	可燃分 分解率
	ごみ	蒸気	A 合計	バイオガス	発酵残渣	B 合計		
期間1	1,000	220	1,220	520	609	1,129	0.93	85.3%
期間2	1,000	267	1,267	509	834	1,343	1.06	80.5%
期間3	1,000	369	1,369	522	921	1,433	1.05	80.0%

単位：重量比率（ごみ投入量=1000）

以上の実証試験から、ミックスペーパーを多く含む都市ごみを乾式メタン発酵法で分解、バイオガスを製造出来ることが証明できた。

(5) 乾式メタン発酵残渣の処理

乾式メタン発酵残渣（含水率約 80%）の処理については、乾燥処理に止める場合と、炭化処理まで行う場合について、乾燥・炭化実験等により以下の項目を調査した。
 ア 乾式メタン発酵残渣の乾燥・炭化処理物の物性把握
 イ 乾燥・炭化処理に係る選定因子の抽出
 ウ 実規模施設を設置した場合のエネルギー消費量及びコストの算出

アについては、乾式メタン発酵残渣の乾燥・炭化処理物の物性把握は、表-4に示す内容となった。その中で、炭化物の発熱量データを見ると炭化物 A で 5420dry kJ/kg であり（実用域は、12600 dry kJ/kg 以上が望ましい）、発熱量が低く燃料としては不適であることが分かった。イの乾燥・炭化処理に係る選定因子の抽出については、直接乾燥と間接乾燥のタイプの異なる乾燥機で残差の水分量を変化させて実験を行った。その結果、乾燥機内での残差付着が性能に大きく影響することが分かった。

乾燥機の選定では、間接乾燥機のほうが高含水の残差でも安定して乾燥できることが分かった。

ウの実規模施設を設置した場合のエネルギー消費量などについては、(6)エネルギー収支試算結果を参照されたい。

表-4 元素分析、基本物性及び精錬度の分析結果

項目及び単位	試料名	炭化物		乾燥品		
		A	B	① (含水率20%)	② (含水率30%)	③ (含水率40%)
元素分析	炭素(C)	dry wt. %	21.6	19.0	31.8	—
	水素(H)	dry wt. %	0.8	0.6	3.4	—
	窒素(N)	dry wt. %	0.8	0.5	1.6	—
	塩素(Cl)	dry wt. %	1.28	1.28	1.06	—
	硫黄(S)	dry wt. %	0.17	0.08	0.29	—
	嵩密度 g/cm ³		0.35	0.44	0.24	0.28
基本物性	水分	wt. %	15.2	10.0	17.2	31.2
	灰分	dry wt. %	57.1	60.8	39.1	34.2
	揮発分	dry wt. %	32.1	29.4	57.3	59.7
	固定炭素	dry wt. %	10.8	9.8	3.5	6.2
	発熱量	dry kJ /kg	5420	4420	12350	12190
	精錬度	—	4.7	4.2	9.0以上	9.0以上

炭化物 A : 炭化装置出口温度350~430°Cの物

炭化物 B : 炭化装置出口温度450~520°Cの物

精錬度 : 精錬度は炭化の進行度合いを把握するための指標で、木炭精錬度計をもちいて炭化製品を 1mm 以下に砕いてサンプルの電気抵抗値 (10 t Ω/cm) を測定したときの t の値をいう。

(6) エネルギー収支試算結果

エネルギー収支試算は、乾式メタン発酵施設を単独で設置し、都市ごみ（厨芥ごみとミックスペーパーの混合ごみ）をメタン発酵処理し、発酵残渣は乾燥炭化して外部で利用することを想定した。尚、発酵残渣の含水率は 80%程度であり、排水処理設備は無として計算している。また、ごみは理想的に分別されていると仮定し、選別破碎機などの前処理設備は今回考慮していない。

実証プラント運転データを用いて、処理規模別のエネルギー収支予測を行った。想定したシステムを図 6 に、計算したエネルギー収支予測を図 7 に示す。乾式メタン発酵により得られたバイオガスは、①加温用に蒸気ボイラで消費（ボイラ効率 85%と仮定）、②発酵残渣を乾燥炭化する際の燃料として消費し、余ったバイオガスを外部で利用するとした。尚、得られた炭化物は外部で利用できるエネルギーとしては今回カウントしていない。

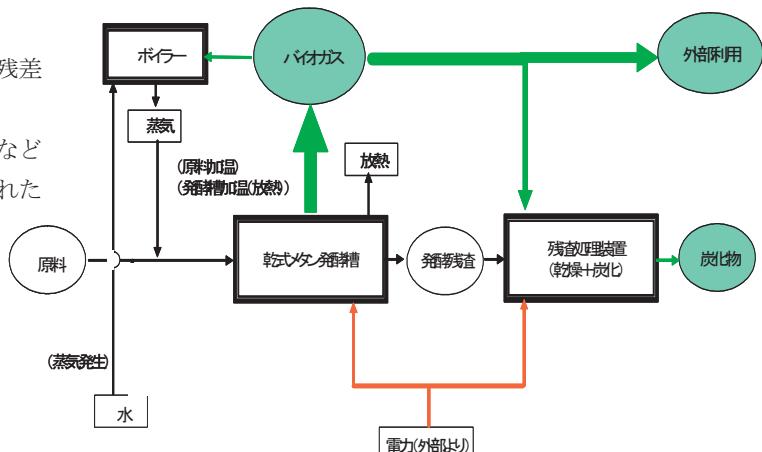


図 6 エネルギー収支試算のプラントシステムフロー

エネルギー収支計算では、乾式メタン発酵プラントおよび乾燥炭化プラントで消費された電力は使用端の効率 36.9%で除し、一次エネルギー換算し、余剰バイオガスエネルギー量から差し引いた。試算の結果、図 7 に示すように製造されるバイオガスは処理規模が大きくなるにつれて比例的に増加していく。一方、プラントのエネルギー消費量は、①メタン発酵槽の加温用バイオガス消費量が処理規模拡大により遞減、②ポンプ等の動力が処理規模拡大により効率化、等の効果で遞減していく。この差引きの結果、比較的小規模である 10t/d 以上の処理規模でエネルギー収支がプラスとなり、プラント外部へエネルギー供給できることがわかった。

このような比較的小規模でエネルギー収支がプラスとなる要因は、都市ごみに多く含まれる紙ごみからのバイオガス発生量が多いことが挙げられる。

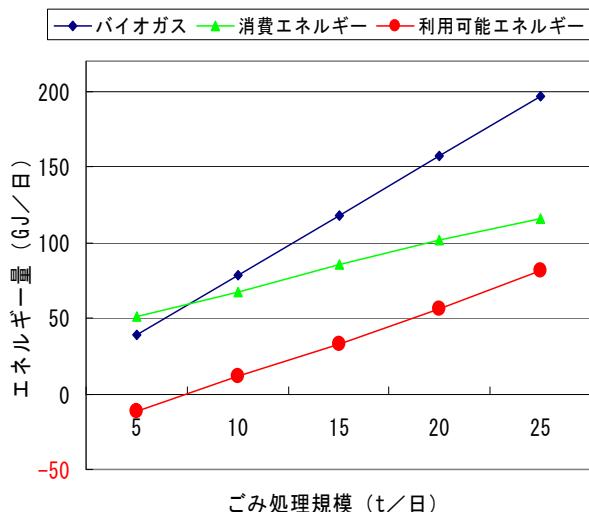


図 7 エネルギー収支試算結果

5まとめ

今回、都市部で発生するごみの中で、リサイクル率の低い厨芥ごみとミックスペーパーをバイオマス原料とし、そこから効率よくバイオガスとしてエネルギーが回収出来ることを実証試験で確認した。特に、都市部では紙ごみ量が多く、またその分解率が高いことから、ごみ重量あたりのバイオガス発生量が非常に多くなることがわかった。

本実証研究は環境省地球温暖化対策技術開発事業「乾式メタン発酵法活用による都市型バイオマスエネルギーの実用化に関する技術開発」によるものであり、東京ガス株式会社、江東区、東京都環境科学研究所の3者で実施したものである。ここに関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 二条久男・西島真幸・深澤愛：先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業」(第2報)-実験事業の概要及び実験システムの運転状況、廃棄物学会研究発表会講演論文集、No. 19(1) (2008), pp. 456 ~458
- 2) 環境省「地球温暖化対策技術開発事業」を受託「平成 20 年度環境省委託事業 地球温暖化対策技術開発事業乾式メタン発酵法活用による都市型バイオマスエネルギーの実用化に関する技術開発成果報告書 (2009 年度)