

6. 環境省 神戸市における生ごみバイオガス化燃料電池発電実証施設

A Demonstration Plant of Methane Fermentation System of Garbage Combined with Fuel Cell Power Generation in Kobe

渋谷 力 *

Chikara SHIBUYA

ABSTRACT ; A thermophilic methane fermentation system of garbage combined with fuel cell power generation was constructed and has been in operation I Kobe to demonstrate its performance in reducing the greenhouse gases. Evaluation of environmental, economic aspects as well as the project outline and the operation results are discussed.

As a result, we proved that the garbage can be used for fuel cell, and this system is effective for reduction of the greenhouse gases.

KEYWORDS ; greenhouse gas , garbage , recycling , methane fermentation , fuel cell

1 はじめに

日本は 1997 年気候変動枠組条約第 3 回締約国会議 (COP3 京都会議) で 2010 年頃までに温室効果ガスを 1990 年レベルの 6%削減を諸外国に約束したが、現在 5%程度増加しており、温室効果ガス削減の早急な対策が求められている。

そのため、国内では、温室効果ガス削減に向けて、容器・包装リサイクル法、循環型社会を目指した循環型社会形成推進基本法が成立し、その一法案として食品循環資源の再利用のための食品リサイクル法が平成 18 年度から完全実施される。

食品廃棄物 (生ごみ) は、食品の食べ残し、賞味期限切れ、食品加工残渣等の一般廃棄物と食品工場等の産業廃棄物を含め約 2000 万 t/年発生する。食品廃棄物の処理は、コンポスト (肥料化)、飼料化等一部再資源化されているが大部分焼却処理されている。そのコンポストも品質の不安定さ、塩分濃度、需給バランス問題から販路の確保が難しくなっている。一方、焼却については、最も簡単な処理方法であるが、大気汚染、ダイオキシン及び焼却灰の処理等問題があり、住民反対運動もあり用地の確保が難しくなっている。

このような背景の中、環境省は、生ごみ等のバイオガスを利用した燃料電池発電システムを実証することにより、温室効果ガス削減の有効性を確認し、循環型社会の移行に向けて重要な役割を果たすとともに、地球温暖化防止及び循環型社会構築を加速させることを目指している。

2 実施検証事業

2. 1 事業の目的

*鹿島建設株式会社 環境本部 有機性廃棄物資源化グループ 担当部長

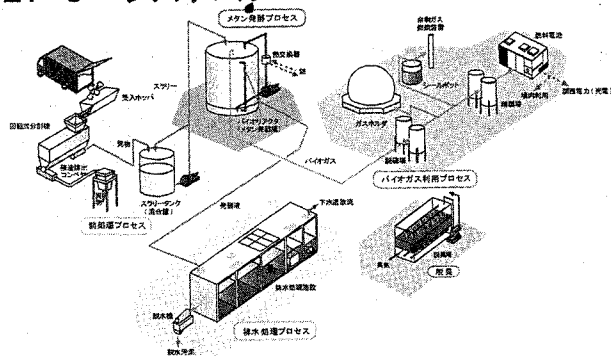
環境省は、生ごみバイオガス化技術と燃料電池発電技術を組み合わせた先進的温室効果ガス削減システムを構築し、それを運用することで、温室効果ガスの削減効果、経済効果などについて広い観点から評価し、その成果を全国に普及させることを目標に平成 13～15 年度にかけて神戸市において生ごみバイオガス化燃料電池発電施設の実施検証事業を行った。

ここでは、神戸市の生ごみをメタン発酵によりバイオガスを発生させ、そのバイオガスを燃料電池に供給し、電気と熱を取出す過程において、生ごみ量、バイオガス発生量、発電量等の各種データを測定し温室効果ガス削減の効果を確認した。

2. 2 施設概要

名 称	生ごみバイオガス化燃料電池実施検証事業
設置者	環境省
設置場所	神戸市中央区港島 9 丁目 12 (ポートアイランド地内)
対象生ごみ	神戸市内のホテル等の生ごみ (事業系一般廃棄物) 6t/日
実証期間	平成 13 年 8 月～平成 15 年 8 月 (約 2.0 年間)
運用・管理	鹿島建設・富士電機
メタン発酵プラント	前処理設備、メタン発酵設備、排水処理設備
燃料電池設備	りん酸型燃料電池、定格出力: 100kW AC200V
排水処理設備	浸漬膜活性汚泥処理 (下水道放流)

2. 3 システムフロー



システムフロー



施設全景

3 実施実証事業の実施結果

3. 1 生ごみ

バイオガスの原料となる生ごみは、神戸市内のホテル等数十箇所から発生したものを収集した。収集した生ごみは、ビニール袋入った食品の食べ残し、賞味期限切れ食品、調理加工残渣等であり、カロリーのある比較的異物の少ないものであった。

その平均的な生ごみの有機物量 (T-CODcr) と食品の有機物量の分析結果は以下のとおりである。

【表-1 成分分析結果】

項目	単位	生ごみ	クリーム	ケーキ	ごはん	オカラ	パン
T-CODcr	mg/L	295,000	1,200,000	1,100,000	290,000	240,000	680,000
含水率	%	80	13	19	69	80	32

生ごみは日曜日が少なく、月曜日が多く、日平均生ごみの投入量は平成 15 年度（4～8 月、以下同じ）の実績で約 3.8 t であった。

3. 2 前処理設備

投入された生ごみは、回転式分別機により、異物類（ビニール袋、野菜の繊維類、割り箸等）の除去と生ごみの粉碎を行い、生ごみは更に水の希釈（生ごみ：水＝1：1）とカッター付の粉碎ポンプで微粉碎を行い、メタン発酵に適したスラリーとした。

分別機により分別された異物類の割合は約 8.4%で、異物類の中には、メタン発酵の可能な有機物（ミカンの皮、昆布、魚の皮等）が 15%程度（投入生ごみの 1.26%）混入していた。分別機により粉碎された生ごみは、異物混入はほとんどなく、粘性の高い液体に 5mm 以下の固形物が約 35%混入しているペースト状のもので、粉碎ポンプによる微粉碎でメタン発酵で分解し易い 200 μ m 程度のスラリーとなる。

3. 3 メタン発酵

メタン発酵は、生ごみの分解速度が速く、固形物の可溶化を促進する固定床高温メタン発酵方式であり、固定床の担体には、嫌気性微生物が付着し易い炭素繊維担体を充填した。

スラリー化された生ごみは、55℃に加温されたメタン発酵槽に連続投入され、約 10 日間の発酵により、生ごみの 8～9 割がバイオガス化される。

生ごみのバイオガス化への変換割合は、表-2 より 85%程度と推定される。

【表-2 スラリー液、メタン発酵液の有機物量分析結果（2002 年 10 月 30 日測定）】

液名	TS (%)	COD _{Cr} (mg/l)	ガス化割合
A：スラリー液	11.0	180,000	
B：メタン発酵液	1.83	28,000	(A-B) / A=84.4%

3. 4 バイオガス量

バイオガスの発生量は、弊社の実績より、1 t 当り 160～200Nm³ 想定していたが、実証期間の平均で 200Nm³ 平成 15 年度の実績では、238Nm³/t 発生した。これは、平成 15 年度にクリーム、ケーキ、パン等重量の割に高カロリーの生ごみが多く投入されたからと思われる。

バイオガス発生量を把握するため、実際発生したバイオガス量とスラリーの分析データから次の 3 ケースでバイオガス発生量を算出した。

- (1) T-COD_{Cr} によるバイオガス発生量
- (2) TC(wet)によるバイオガス発生量 TC:全炭素量
- (3) TS によるバイオガス発生量 TS:蒸発残留物

【表-3 バイオガス発生量とスラリー分析データ（2002 年 11 月 25 日～12 月 8 日の平均）】

実際の測定値				スラリー分析データ			
ガス濃度 (%)	ガス発生量 (m ³)	スラリー量 (m ³)	生ごみ量 (t)	炭素分 (Wt%:dry base)	TC (%:wet base)	TS (%)	COD _{Cr} (Mg/l)
59.8	643	7.47	3.54	49.9	4.87	9.15	140,000

【表-4 バイオガス発生量】

分析項目	バイオガス発生量 (Nm ³)	バイオガス計算方法
実際の測定値	643	
(1) T-CODcr	520	分解 T-CODcr × 0.35 ÷ 0.6
(2) TC(wet)	589	スラリーの全炭素量(スラリー量×TC×比重)より計算
(3) TS	541	蒸発残留物の炭素量(TS×WT)より計算

計算の条件 ・ガス化変換割合：85%、メタン濃度 60%、スラリーの比重 1.02

実際のバイオガス発生量は平均 643Nm³/日であるが、スラリーの分析データによる計算でのバイオガス発生量は、550Nm³であり、実際のバイオガス発生量が約 15%多く発生している。この有意差の原因は、判明していないが、成分分析で測定できない何かの溶解性成分等が考えられる。今後引続き原因を調査する予定である。しかし、スラリー分析データの有機物が全てバイオガス転換されたと仮定すれば、分析データによるガス発生量と実際の測定値がほぼ一致する。

3. 5 燃料電池設備

(1) 安定運転の確保

メタン発酵槽で発生したバイオガスには、メタン、二酸化炭素の他に微量有害物質（硫化水素、アンモニア、塩化水素等）が含まれている。これらは、燃料電池の機能を阻害するため、脱硫・精製装置により除去して燃料電池に供給した。燃料電池は、主に都市ガスを対象として開発されたもので、バイオガスに適応させる例は、下水消化やビール工場など大量に処理される廃液を発酵（消化）させるバイオガス組成の比較的安定したものばかりであった。

今回のように、エネルギー密度が高くかつ組成が変動する「生ごみ」からメタン発酵でバイオガスを発生させるには、発生したバイオガスの組成（特にメタン濃度）や発生量の変動が予想された。そのため、バイオガスの変動に対応し安定的に運転可能であることを確認することが最大の課題であったが、制御ソフト等の改良を加えた結果、燃料電池に由来する故障・運転停止はなく、工事等による計画的な運転停止期間を除いた稼働時間率は 98.5%であり、安定的な運転を実現できた。

また、施設運転期間中の燃料電池による総発電電力量は、約 560MWh であった。

(2) 発電効率の実証

実証試験では、燃料電池の定格運転(100%)を行ない、発電効率を確認することができた。

2003 年 6 月に実施した燃料電池の 100%定格運転試験のうち、1 日中 100kW 定格運転した表-5 の 6 月 5 日・6 日両日のデータ（バイオガス濃度は直近の 6 月 11 日のデータ）によると、発電効率は 34.9%であった。

また、試験終了後の 6 月 10 日は平均 44kW の運転となったが、その時の発電効率は、39.3%であったことが確認できた。この結果から燃料電池は、部分不可になっても効率が低下しないことが確認できた。

【表-5 発電データ (2003年6月5日・6日・10日)】

2003年	燃料電池負荷運転 [%]	使用バイオガス量 [Nm³]	発電電力量 [kWh]	メタン濃度 [%]
6月5日	100	1274.4	2430.0	
6月6日	100	1274.5	2440.0	
合 計	100	2548.9	4870.0	55.12%
6月10日	40	492.1	1060.0	55.12%

4 実施検証事業の評価

環境省では、平成14年度に「燃料電池活用戦略検討会」(座長＝盛岡通・大阪大学大学院工学研究科教授)を設置して、環境省における包括的な燃料電池活用戦略を検討し、今後の燃料電池の効果的な活用方策についての報告書を取りまとめた。

この検討会では、環境省が神戸で実施した生ごみバイオガス化燃料電池発電設備による地球温暖化防止対策実施検証事業の実績値に基づいたCO₂削減効果(表-6)及び総合的な評価(表-7)を行っており、その評価結果は次の通りである。

【表-6 実績値に基づいたCO₂の削減効果】

神戸施設	ごみ	エネルギー使用量				エネルギー回収量			CO ₂ 発生	CO ₂ 回収	CO ₂ 収支
		電力 (kWh/t)	ガス (m³/t)	重油 (%t)	合計 (MJ/t)	電力 (kWh/t)	熱 (MJ/t)	合計 (MJ/t)	(tC/t)	(tC/t)	(tC/t)
	生ごみ	323	3.5	—	1,310	400	1.676	3,116	0.033	0.062	-0.029

※ 神戸施設のエネルギー使用量、回収量は生ごみ6t/日投入時の値である。

※ 熱回収のCO₂削減量は都市ガス換算とした。

【表-7 実施検証事業の総合的な評価】

評価項目		評価結果
(1) 環境適合性	1) 温暖化対策としての効果	・化石燃料(助燃剤)を使用して焼却していた生ごみからエネルギーを生み出すことができるのでCO ₂ 削減効果が期待できる。
	2) 環境負荷低減の効果	・SO _x やNO _x 等の大気汚染物質の排出が微量しかなく、また、化石燃料の使用抑制、ごみ処理量の減量化の効果が期待できる。
(2) 技術先進性	1) 技術・システム全体の普及促進効果	・類似技術の開発促進効果や自治体への導入促進効果、更に幅広い主体への環境教育・啓発効果が期待できる。
	2) 技術・システム全体の先進性	・生ごみーメタン発酵ー燃料電池の実規模による組合せはなく、先進性が高い技術・システムである。
(3) 効率性	1) 資源の有効活用	・有機物の分解率は、80～90%程度で大部分がガス化されている。有機物資源が高効率で有効利用されるシステムである。
	2) 技術・システムのエネルギー効率	・既存のエンジン等と比べ、高い発電効率、総合効率を有する。 ・メタン発酵の前処理及び排水処理に多くの電力を必要としているため、電力の低減化が課題である。
	3) 技術・システムの経済性	・生ごみ1t当りの処理費用は、約2.5万円(人件費別)であり、低コスト化が課題である。

(4) 技術・システム全体の設計		・燃料電池から得られる電力・熱の利用先を確保したシステム設計で、オンサイト型の施設が望ましい。 ・エネルギーの少ない分別技術、排水処理技術が開発の課題である。
(5) 地域の持続的発展への貢献		・生ごみの大部分をガス化するため残渣が少なく、残渣を肥料として散布する農地が少ない都市域に適したシステムである。
(6) まとめ	1) 導入の効果・利点	・CO₂の排出が削減できる等、環境負荷の少ないシステムである。 ・生ごみのほとんどがガス化され、廃棄物の減容化が図れる。 ・類似技術の開発・導入を促進する効果が期待できる。
	2) 課題	・生ごみを効率的かつ低コストで分別する技術の開発。 ・発生する電力・熱の需要先を確保した設計・立地検討。 ・効率的かつ低コストな排水処理技術の開発・導入。 ・イニシャル、ランニングコストを低減する技術開発。

5 終わりに

2年間の実施検証期間中、生ごみバイオガス化燃料電池発電施設は順調に稼働し、100%燃料電池定格運転時、発電量の36%を関西電力に売電を行なった。今回の実証では施設の使用電力量が多かったが、これを低減することにより、相当の効果が可能であり、生ごみが燃料電池の燃料として有効に利用できることが実証できた。

また、燃料電池活用戦略検討会でも、このシステムは投入エネルギー（施設稼働のためのエネルギー）に対して2倍以上のエネルギー回収が可能であり、CO₂収支では生ごみ1tあたり0.032~0.042tCのCO₂削減となるとの評価結果が出ている。

更に、この実証施設は6t/日と規模が小さいが、生ごみが50t/日、100t/日クラスの施設であれば1t当りのエネルギー使用量が大幅に少なくなるため、なお一層の効果があると考えられる。実際の温室効果ガスの削減効果としては、現在行なわれている可燃ごみを焼却した場合と、可燃ごみから生ごみを取除いて、生ごみをメタン発酵によるエネルギー化、生ごみを取除いた可燃ごみを焼却した場合（焼却効率が非常に良くなり、焼却炉が小さくてすむ）の差で、計算上相当の効果がより更に施設の省エネルギー化、省スペース化等を進めることにより、なお一層の効果が期待できる。

謝辞

生ごみバイオガス化燃料電池発電の実証検証試験では、設置者の環境省地球環境局、地元の神戸市、共同で運営を行なった富士電機（株）を始め、多くの方の御助言・御協力いただきました。この場を借りて厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 燃料電池活用戦略検討会報告書 バイオマス資源の有効利用に資する燃料電池活用戦略
- 2) (株)環境コミュニケーションズ 資源環境対策 2004年2月号