



Title	ふん尿・食品残渣のバイオガスプラントにおけるエネルギー供給施設としての評価に関する研究
Author(s)	小川, 幸正; 原, 達己; 藤田, 正憲 他
Citation	空気調和・衛生工学会論文集. 2004, 95, p. 35-43
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3253
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ふん尿・食品残渣のバイオガスプラントにおける エネルギー供給施設としての評価に関する研究

小 川 幸 正^{*1} 原 達 己^{*2}
藤 田 正 憲^{*2} 中 川 悦 光^{*3}

畜産ふん尿や食品残渣を原料とするバイオガスプラント「八木バイオエコロジーセンター」の運転実績から、エネルギー供給施設としての評価を行った。本センターのガスエンジン式発電では発電効率が 28.1%、熱回収効率が 43.2%、総合効率は 71.3%であったが、熱利用効率は 18.8%であり総合利用効率は 46.9%であった。発電量の場合内使用率は 95.6%であるが、おからの受入れ量を 5t/d 増加すれば外部供給率は 24.9%となる。また消化液を脱水・排水処理せずに、液肥利用すれば外部供給率は 76.4%に上がる。この結果から、国内のふん尿・食品残渣・生ゴミの 40%をバイオガス発電すれば、外部供給できる電力量は、消化液を脱水・排水処理する方式で約 11 万 kW、液肥利用方式で約 30 万 kWと試算した。

キーワード：実測、バイオガスプラント、コージェネレーション、ふん尿処理、食品残渣処理

1. はじめに

畜産ふん尿、食品残渣や生ごみは発生量が多く、これまで様々な環境問題を引き起こしてきた。しかし、これらの廃棄物系のバイオマスは循環可能な有機資源であり、2002 年 12 月に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」でも、エネルギー利用面から注目している。具体的な数値として、バイオマス発電は、2000 年度の原油換算で年間 4.7 万 kL (6.9 万 kW) から、2010 年度には 34 万 kL (33 万 kW) と 7 倍の目標値が設定されている¹⁾。循環資源としても、多量に発生する畜産ふん尿に関しては家畜排せつ物法で 2004 年 11 月以降の適正処理と資源化利用が求められる。食品リサイクル法では、2006 年 4 月以降の食品廃棄物の 20%以上のリサイクルを求めている。この様な状況で、バイオマスのメタン発酵は、バイオガス（消化ガスとも言う）としてエネルギー回収ができることから、注目されている。また、2002 年にはバイオガスが再生可能な新エネルギーに加えられ、2003 年 4 月に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」により、電力会社は販売電力量の一定割合を新エネルギーで賄うことを義務付けられた。このため、バイオガスで発電した電気は、電力会社が風力発電による電気等と同様の単価で買電することを期待できるので、メタン発酵はエネルギー生産施設としても大きな注目を集めている。

本報告では、メタン発酵法によりふん尿や食品残渣を 5 年以上処理している『八木バイオエコロジーセンター』（以降本センターと略す）のバイオガスコージェネレーションの運転実績の報告を行う。また、本実績に基づいて、バイオガス発電の先進地である欧州との比較を行い、日本のバイオガスプラントにおける課題を整理し、バイオガスプラントが日本におけるエネルギー供給施設として果たせる役割について評価した。

2. 八木バイオエコロジーセンターの施設概要

2.1 全体概要

京都府八木町にある本センターは、1998 年 3 月に完成した。施設は、乳牛と豚のふん尿およびおからを原料とする「メタン施設」ならびに肉牛のふん尿やメタン施設の脱水ケーキを原料とする「堆肥施設」に大別される。

メタン施設は、1998 年 4 月にメタン発酵槽へ種汚泥を投入し運転を開始した。同年 7 月にはバイオガス発電を開始し、発電した電気は本センター内で使用する方式（逆潮流なしの系統連系方式）で運転していたが、2001 年 3 月に単独運転検出装置を設置して、電力会社へ売電できる方式（逆潮流ありの系統連系方式）に切り替えた²⁾。また、本センター稼働後は、町内の畜産農家がふん尿処理の作業から解放されたこともあり、生産性向上のため乳牛や豚の飼育頭数の増加が見込まれ、2002 年 3 月にメタン発酵槽等の増設工事が完了し、処理能力が増加した。また、増設後には廃牛乳を中心とした濃厚廃液の受入も開始し、一定量を排水処理設備

*1 (株)大林組エコロジーエンジニアリング部 正会員

*2 大阪大学大学院工学研究科

*3 京都府八木町農林振興課

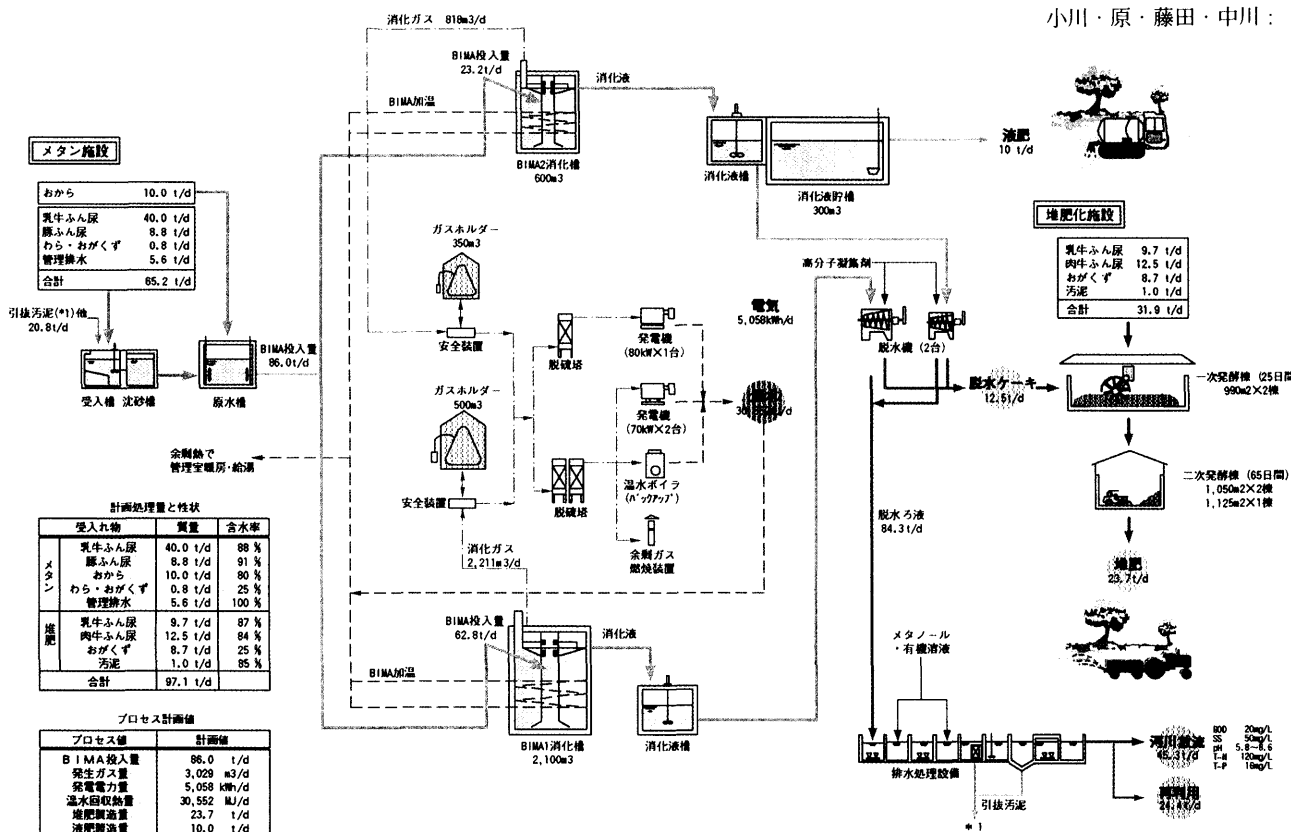


図-1 八木バイオエコロジーセンター システムフロー

の生物脱窒プロセスの栄養源とし、残りはメタン発酵に投入している。

本センターのシステムフローを図-1に示し、主要設備について下記に記述する。また、メタン施設の外觀を写真-1、主要施設の仕様を表-1に示す。

2.2 メタン施設の概要

メタン施設へは、毎日乳牛や豚のふん尿およびおからならびに廃牛乳等が搬入され、トラックスケールで自動計量後に受入槽等に投入する。受入槽に投入されたふん尿は、破砕機や破砕ポンプでわら等の長物が破砕され、原水槽に送られる。原水槽では、スカム発生抑制とおから溶解を目的に水中ミキサーで攪拌を行っている。原水槽からは1日8回に分けてふん尿やおからのスラリーを2基のメタン発酵槽（商品名：BIMA 消化槽）へ電磁流量計で自動計測しながら投入している。

本メタン発酵槽の特長は、発生したガスを利用して無動力攪拌ができることである。2基のメタン発酵槽は並列運転しており、37℃の中温消化槽（新設時建設：容量2100m³）と55℃の高温消化槽（増設時建設：容量600m³）である。2基の消化槽の設計値は、中温発酵の有機物負荷が2.4kgVTS/m³/dで滞留日数が33日であり、高温発酵はそれぞれ2.9kgVTS/m³/dと26日である。高温発酵は中温発酵に比べて病原性細菌の消毒効果が高く、また種子の発芽率が抑制されるので、この消化液の一部を液肥として利用している。高温消化槽は、中温に比べて消毒効果以外に有機物

負荷を高く取れるため、消化槽の容量を小さくできるメリットがあるが、その反面消化槽の運転温度範囲が狭いことや加温エネルギーが多いなどのデメリットもある。このため、新設時の中温消化槽は増設後も運転の容易な中温消化のまま運転している。

2基の消化槽で発生するバイオガスは2基のガスホルダー（合計容量：850m³）に一時貯留し、ブロワーで加圧後、乾式脱硫塔に送り硫化水素を除去した後に3台のガスエンジン式発電装置（70kW×2台、80kW×1台）の燃料として供給される。発電した電気は、本センター内ならびに隣接する下水処理場（2002年4月供用開始）で使用し、さらに余剰電力は2001年4月から電力会社へ売電している。発電装置から回収した温水（65～70℃）は、消化槽の加温、管理室の給湯や暖房に使用している。

メタン発酵処理された消化液は、スクリーンプレス式脱水機で固形物が分離される。分離液は排水処理設備へ送られ、有機物、窒素、燐等が生物的脱窒・膜分離・凝集沈殿・オゾン処理・塩素消毒して放流される。生物的脱窒処理水は精密ろ過膜による膜ろ過を行うが褐色に着色しているため、凝集沈殿ならびにオゾン酸化による脱色を行った後隣接する河川に放流する。

増設工事で設置された高温発酵のメタン発酵槽からの消化液は、新設時と同様に脱水・排水処理工程へ送られるが、一部10t/d程度は液肥利用するために、消化液貯留槽に貯められ水稻や野菜などの液肥として利用できるようになっている。

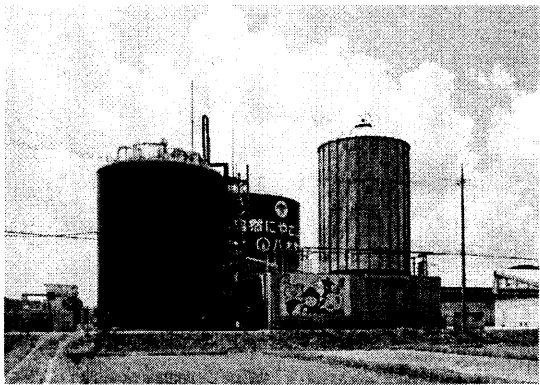


写真-1 施設の外観

表-1 主要設備の仕様

名 称	仕 様
メタン施設	原水槽
	容量：150m ³ 、構造：RC製、水中ミキサー2台
	メタン発酵槽 (BIMA消化槽)
	・BIMA1
	中温発酵、容量：2,100m ³ 、処理量：62.8m ³ /日
	構造：RC製、有機物負荷：2.4kg/m ³ /日
	・BIMA2
	高温発酵、容量：600m ³ 、処理量：23.2m ³ /日
	構造：RC製、有機物負荷：2.9kg/m ³ /日
	・加温方式
	BIMA躯体内に温水配管埋込み
	・攪拌方式
	ガス圧力式無動力攪拌、回数：8回/日
消化液槽	数量：2槽、容量：65m ³ ・60m ³ 、構造：RC製、縦型攪拌機各1台
	消化液貯留槽
	数量：1槽、容量：300m ³ 、構造：RC製、汲出・攪拌ポンプ1台
	ガスホルダー
	数量：2基、容量：350m ³ ・500m ³ 、ガスバック材質：ポリエチレン製 (PVCコーティング)
発電装置	ガスエンジン式3台、70kW×2台、80kW×1台
	燃料：バイオガス専焼式
排水処理	方式：生物脱窒・膜分離・凝集沈殿・オゾン処理・塩素消毒
	処理量：84m ³ /日
堆肥施設	発酵棟
	ロータリー攪拌機：2基、攪拌槽：4槽
管理棟	堆肥舎
	堆積式、発酵ブロワー付
管理棟	管理室
	S造、部屋面積：43m ²

2.3 堆肥施設の概要

脱水機で分離された固形分は堆肥施設へ運ばれ、肉牛や育成乳牛のふん尿と混ぜロータリー式の攪拌機で25日間攪拌しながら一次発酵する。二次発酵では、堆肥舎に搬送されて堆積発酵するが、約2週間に一度、ホイールローダで切り返しながら約65日間で発酵を終了し、完熟堆肥として、バラあるいはフレコンバックや袋詰めして出荷する。

2.4 コージェネレーションシステム

本センターでは発電電力を商用電力系統に連系しており、発電電力は施設内で使用するとともに、余剰分については、隣接する下水処理場や電力会社への売電を行っている。本センターは浄化センターを含めて高圧受電契約をしており、電気全体系統図を図-2に示す。

本センターの発電設備としては3台のガスエンジン式発電機が設置されており、発電及び温水による熱回収のコージェネレーション

を行っている。その仕様を表-2に示す。発電に使用するガスはメタン発酵によって得られたバイオガスのみで、これを硫化水素10ppm以下に脱硫してから供給している。運転方法は発生ガス量に応じた3台の台数制御で、24時間連続運転である。バイオガス発電で廃熱回収した温水とその利用システムを図-3に示す。

2.5 測定項目と分析方法

本センターでは、ふん尿やおからの受入れ物や原水・メタン発酵消化液のTS(固形物)、VTS(揮発性固形物；有機物を示す)、COD_{Cr}を下水道試験法に準拠して分析した。また、バイオガス成分のCH₄やCO₂濃度は、バッグで採取し赤外線吸光度法で分析した。バイオガス発生量や使用量は、バイオガス供給配管や燃焼機器の入口で、乾式ガスメーターにより計測し、自動記録している。

電力使用量は、発電量・受電量・電力売電量・浄化センター使用量を電力量測定装置で時間毎に自動計測し、センター使用電力量は、それらのデータから計算により算出した。発電量は、各ガスエンジン式発電装置毎に電力量計を設置し、時間データを自動計測している。また、各設備系統の主幹に電力測定装置を設置し、

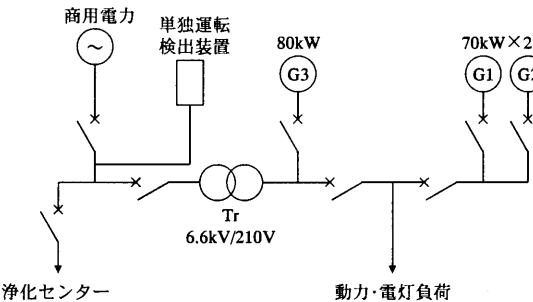


図-2 電気全体系統図

表-2 発電機機器の仕様

発電機		発電機 1・2		発電機 3	
		出力	70 [kW]	80 [kW]	
発電機	電圧	210 [V]		208 [V]	
	周波数	60 [Hz]		60 [Hz]	
	相数	3φ		3φ	
原動機	タイプ	ガスエンジン		ガスエンジン	
	出力	76 [kW]×1,800 [rpm]		86 [kW]×1,800 [rpm]	
	シリンダ数	直列6気筒		直列6気筒	
熱回収	形態	温水		温水	
	回収箇所	ジャケット・排ガス		ジャケット	

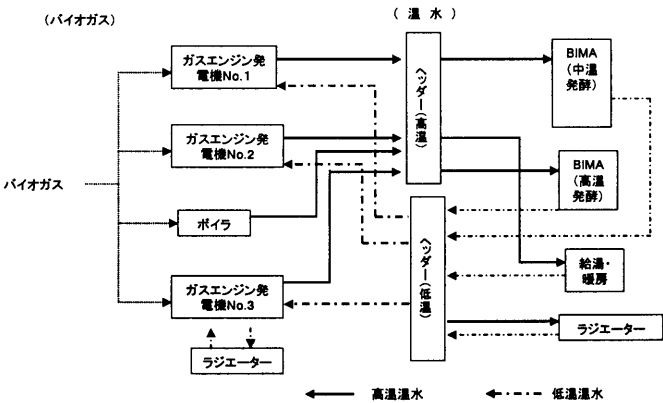


図-3 バイオガス発電の廃熱回収と温水利用システム

各設備の時間毎の電力量を自動計測している。

ガスエンジンからの廃熱回収熱量は、エンジン内部の一次冷却水を熱交換した二次冷却水の温水（冷却水）の瞬時流量とポンプの運転時間から温水流量を算出し、これと自動計測している温水温度から計算により求めた。また、消化槽の加温に使用する温水熱量は、二次冷却水の温水と同様に計算により求めた。暖房の使用熱量は管理室の床面積から、また給湯の使用熱量は5人の一般的な事務所における使用熱量から計算した。

3. 八木バイオエコロジーセンターの運転実績

本センターの最近の運転実績として増設後の運転が安定した2002年11月から2003年10月の1年間の値を以下に示す。

3.1 受入量とガス発生量

本センターで受入れたふん尿等の実績値を図-4に示す。2002年11月～2003年10月の月平均の1日当りの受入量は、豚3.7t～5.9t(平均4.5t)、乳牛47.6t～58.6t(平均52.5t)、おから2.1～5.7t(平均3.2t)、肉牛2.6～7.1t(平均4.2t)、濃厚廃液1.6～8.7t(平均4.8t)となる。合計受入量は平均値で69.2t/dとなり肉牛ふん尿を対象にした堆肥施設の受入量を除き、概ね計画した量を受入れている。メタン施設の受入量は、豚・乳牛のふん尿、おから、濃厚廃液(2t/dは排水処理で使用)で、平均値で63t/dとなり、乳牛ふん尿がそのうち83%を占めている。各性状は表-3に示す。

BIMA 消化槽への投入量は、上記の受入物以外に、排水処理の生物汚泥を約20t/d、場内の生活排水0.3t/d、各種洗浄排水などを含めて約86t/dである。投入スラリーの性状は表-3に示す通り、TS(固形物)濃度が6.7%と、ふん尿混合としてはやや低濃度であるが、これは固液分離した乳牛のふん尿の受入れが多いのと排水処理の生物汚泥の影響による。また、本期間におけるメタン発酵槽の平均的な有機物容積負荷量は中温メタン発酵槽が1.7kg-VTS/m³/dで高温メタン発酵槽が2.0kg-VTS/m³/dである。

メタン発酵槽から発生し発電に使用されているバイオガス量は、図-4に示す通り2槽の消化槽(投入量約86t/d)で平均値2,120Nm³/d(最小1,749～最大2,470Nm³/d)である。発生したバイオガスはほとんどが発電に使用されているが、一部のバイオガスは発電に使用されずに安全装置から放出されていた。そこで正確なバイオガス発生量を求めたところ、2003年2月の実績では、中温消化槽が平均で2,489Nm³/日で、高温消化槽が747Nm³/日であった。このガス発生量に基づき受入れたふん尿や食品残渣当りのバイオガス発生量は、中温発酵が48.5Nm³/tであり、高温発酵が65.7Nm³/tで、高温発酵の方が中温発酵より約35%バイオガス発生量が多いことが分かった。バイオガス中のメタン濃度は53～60%、炭酸ガス濃度が37～39%で安定しており、中温発酵と高温発酵では、ほぼ同等のメタン濃度になっている。バイオガスの熱量は、メタン濃度から19.1～21.6MJ/Nm³となる。バイオガス中には、他に硫化水素が200～1,000ppm含まれている。

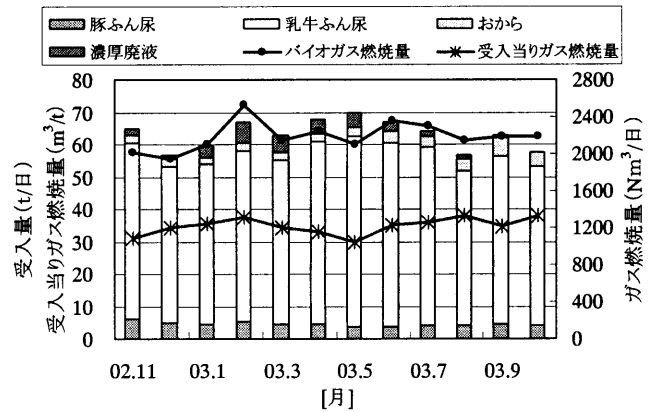


図-4 メタン施設の日平均受入量(2002.11～2003.10実績)

表-3 各受け入れ物、原水及びメタン発酵消化液の性状

分析項目	乳牛ふん尿		豚ふん尿	おから	原水槽	消化液	
	混合	液分				中温メタン	高温メタン
	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
TS(固形物)	135000	47500	62000	230000	66700	44500	47300
TS除去率	—	—	—	—	—	33.3%	29.1%
VTS(有機物)	112500	37500	51500	215900	55100	33300	34600
VTS除去率	—	—	—	—	—	39.6%	37.2%
COD(Cr)	130000	64000	82000	840000	71900	33100	35600
COD除去率	—	—	—	—	—	54.0%	50.5%
備考	1999年～2001年分析値				2002.9～2003.10の分析値		

本センターのメタン発酵では、2003年10月の調査で受入れている有機物量の62%が乳牛のふん尿であり、おからが28%で乳牛ふん尿の占める割合が高かった。また、表-3に示した様に、消化槽に投入された有機物の内約40%(VTSを指標)が分解されてバイオガスになっている³⁾。

3.2 バイオガス発電

(1) 電力バランス

本センターにおける電力量のバランスを図-5に示す。本センターにおける電力使用量は概ね発電電力によってほぼ賄えており、電力量的には処理に必要な電力は自前で賄えているといえる。特に2003年に入ってから濃厚廃液の受入量が増えた事等によりバイオガスの発生量が増え、発電量は約3,500[kWh/d]前後を記録している。また、その結果、受電量の減少および売電量の増加にもつながっている。

次に、本センターにおける時刻毎の電力使用量を図-6に示すが、平日と休日では主に昼間に運転パターンの違いが現れる。平日は畜産農家のふん尿や食品残渣の受入れがあり、その他にも堆肥化装置や堆肥袋詰機などの運転により昼間の電力使用量が多くなる。それに対して、夜間については排水処理設備等24時間自動運転の機器のみの稼働のため、平日・休日ともに、似た運転パターンを示している。

本センターでは、発電機の運転は発生ガス量による運転台数制御を行っているため、多少の変化はあるものの、概ね一日を通して平滑な発電を行っている。その結果、先に述べた通り月間値では場内使用電力を発電電力でほぼ賄っているものの、平日昼間の電力使用量のピーク時には、部分的に不足分を受電する結果となっている。図5は、本センターにおける発電自給率と売電率を示しているが、これらの定義は下記による。

発電自給率 = 場内使用の発電電力量 / 電力使用量 × 100

売電率 = 売電電力量 / 発電電力量 × 100

ピーク時の受電により、本センター電力使用量における発電電力量の割合は80～94%程度である。なお、1ヶ月当りの電力量での比較では、発電により2003年以降は場内負荷を賄っており、場外への売電率も発電電力の7～29%を示している。

(2) 発電効率と熱回収

図7に発電機の運転実績を示しているが、発電効率は下記の定義による数値である。

発電効率 = 発電端の発電電力量 / 使用バイオガス熱量 × 100

発電機は3台とも季節による変動もほとんど無く27%～30%の発電端における発電効率を示しており、安定的な運転を行っている。次に表4に発電機の各効率（LHV基準）を示しているが、熱回収効率ならびに熱利用効率は、下記の定義による。

熱回収効率 = 温水による回収熱量 / バイオガス熱量 × 100

熱利用効率 = 温水による使用熱量 / バイオガス熱量 × 100

表4から、本センターの発電効率は28.1%、熱回収効率は43.2%、総合効率は71.3%であった。また、熱利用効率は18.8%で、総合利用効率は46.9%であった。なお、発電機1・2は廃熱回収用の配管を共有しているため熱回収効率は2台合わせての評価となるが、発電効率が30.0%、温水による熱回収が49.4%で総合効率として79.3%を記録しており、安定した運転を行っている。3号機は発電効率が27.2%で、ジャケット水のみからの廃熱回収で排ガスからの回収を行っていないため、熱回収効率が発電機1・2より低い36.6%であり、総合効率としては63.8%にとどまっている。

(3) ヒートバランス

本センターにおいては、施設内で必要な熱は全て発電機からの廃熱回収で賄っている。2003年2月の実測値では、回収熱量のうち43%程度はメタン発酵に必要な熱量として使用し、その他に施設内の暖房・給湯に約1%使用するものの50%以上の熱が余剰分として大気に放熱されている。

4. エネルギー生産施設としての評価

4.1 八木バイオエコロジーセンターの評価⁴⁾

図8に本センターにおけるエネルギーのバランスを示す。ここでは本センター内でエネルギーを最も消費する冬期の実績をもとに、余剰エネルギーによるエネルギー生産施設としての検討を行う。電力に関しては総電力量の5%程度受電をしているもののほと

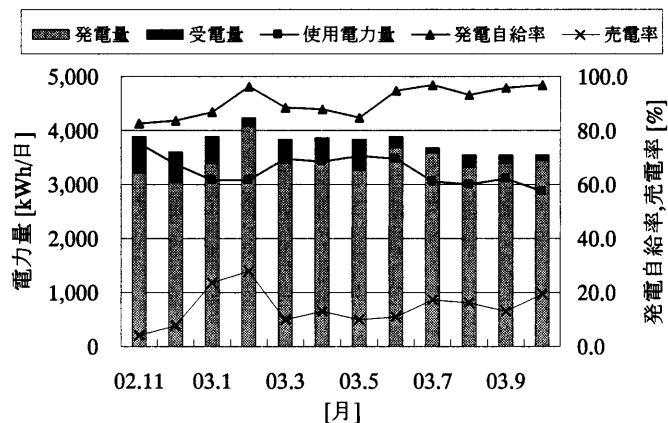


図5 発電自給率と売電率

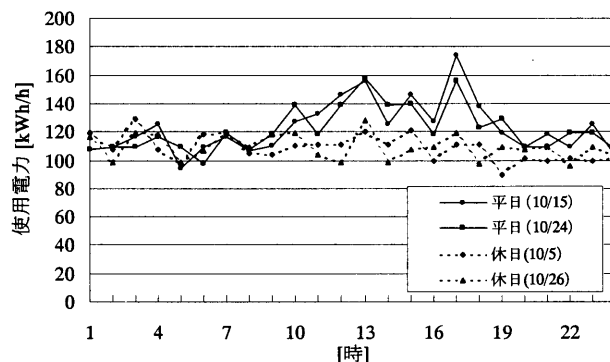


図6 時間毎の電力使用量（2003年10月）

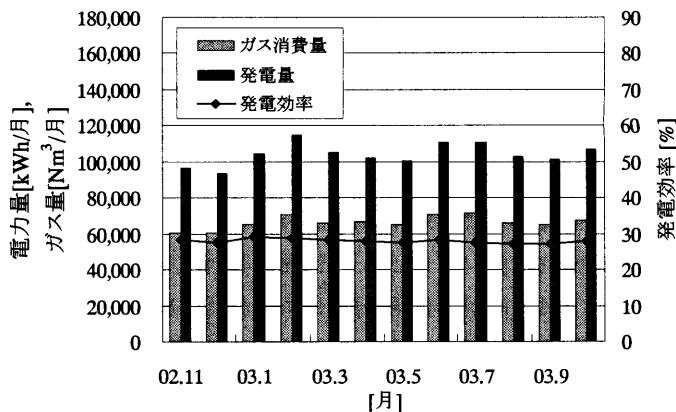


図7 ガスエンジン発電機の発電効率

表4 発電機1,2,3の各効率（2003.2.8～3.1）

	発電電 [kWh]	発電効 率 [%]	回収熱 量 [MJ]	熱回収 効 率 [%]	熱利用 効 率 [%]	総合効 率 [%]	総合利 用効 率 [%]
計 算 式		①		②	③	④ = ① + ②	⑤ = ① + ③
発電機 1・2	47,019	30.0	278,936	49.4	18.8	79.4	46.9
発電機 3	36,964	27.2	179,266	36.6		63.8	
小 計	83,983	28.1	458,202	43.2	18.8	71.3	46.9

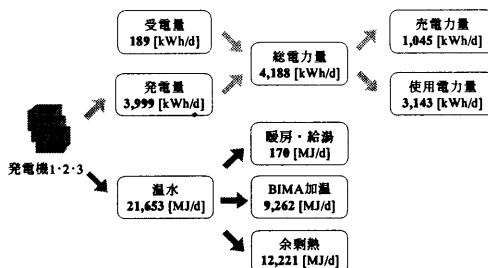


図8 エネルギーバランス（2003.2.8～3.1）

んどが発電電力である。そのうち約75%を本センター内で使用し、残りの25%を売電している。それに対して、熱に関しては温水による廃熱回収熱量の約43%程度をメタン発酵に必要な熱量として使用し、その他暖房・給湯にわずかに使用する以外は、56%の熱が余剰分として大気に放熱されている。発電機3が排ガスからの熱回収を行っていないことを考えると、実際には、余剰熱はさらに増えることとなる。また、夏期ではメタン発酵に要する熱量が少なくなることから大気放熱量はさらに多い。本センターではこの熱の有効利用として植物の温室栽培実験を行っているが、現時点ではまだ余剰熱が多い。この熱の有効利用を行うことによって、バイオガスプラントが電力のみでなく総合的なエネルギー生産施設としての価値を高めることになる。

表5に本センター使用電力の内、各設備に使われる割合を示す。これから分かる様に、メタン発酵設備で使用する電力は電力使用量の1/3程度である。特に排水処理設備で使用する電力は半分近くを占めており、脱水・排水処理設備ならびに堆肥化設備での使用電力が2/3を占めている。現在日本では、固形堆肥を有機肥料として使用しているが、消化液を液肥で使用できると、使用電力の64%を占めている脱水・排水処理・堆肥化設備が不要となり、売電出来る電力比率が大幅に増え、バイオガスプラントのエネルギー生産施設としての評価も高まる。欧州のバイオガスプラントでは消化液を液肥として利用できる施設が多く、発電した電力の多くが売電されている⁵⁾。日本国内でも消化液を水稻や野菜栽培等に使用する試みがされており、京都府八木町では液肥使用のマニュアルを作り、普及・促進を目指している^{6), 7), 8)}。

図9に液肥利用した場合に売電を行える電力量を示す。このように液肥を利用することにより、発電電力量の約70%を売電できる試算となる。また、回収した熱も建物や温室の暖房ならびに各種の乾燥などに利用すれば、電気・熱の総合利用効率が大幅に向上する。特に、熱利用は、余剰熱が多くなる夏期や中間期にいかには有効利用するかが、今後の課題でもある。その他に脱水・排水処理設備は薬品の使用量も多いことから、液肥の利用は運転費のかかる薬品使用量を減らすことにもなり、二重の効果が見られる。また、今後このような畜産ふん尿や食品廃棄物といった有機性廃棄物の処理が義務づけられていく中で、処理に必要なエネルギーをカーボンニュートラルなバイオガスのエネルギーで賄うことはCO₂排出量の抑制にも多に貢献できる。

4.2 欧州におけるバイオガスプラントとエネルギー供給

欧州では、バイオガスプラントを電気・熱のエネルギー供給施設として位置付けている。欧州のバイオガスプラントでは、畜産ふん尿や食品残渣や生ごみなどを原料にして、バイオガスによる発電と余剰廃熱を地域暖房へ熱供給している。消化液は液肥として圃場へ還元している。そのため、本センターにある脱水や排水処理設備ならびに堆肥化設備が不要である。このため、バイオガスプラントにおける場内での電気や熱の利用量は少なく、プラント

表5 主要設備毎の電力使用量 (2003.12)

設備名称	使用電力量 [kWh/d]	比率 [%]
前処理・メタン発酵・管理建家設備	1,122	36.1
脱水設備	118	3.8
排水処理設備	1,747	56.1
堆肥化設備	123	4.0
合計	3,110	100.0

表6 欧州バイオガスプラント 電気・熱の場内使用と場外供給¹⁰⁾

プラント名称		Ribe Plant (デンマーク)	Lintrup Plant (デンマーク)
運転開始	年	1990年	1990年
バイオマス受入量	t/年	15,534	14,516
バイオガス発生量	m ³ /年	369,000	465,000
発電量	kWh/年	893,000	1,013,000
バイオガス熱量	kWh/年	2,574,419	3,244,186
発電効率	%	34.7	31.2
プラント消費熱量	kWh/年	198,000	317,100
プラント消費熱量割合	%	7.7	9.8
プラント消費電力	kWh/年	48,500	109,400
プラント消費電力割合	%	5.4	10.8
電気・熱外部供給割合	%	86.9	79.4
備考		バイオガス熱量：25,080 kJ/m ³	

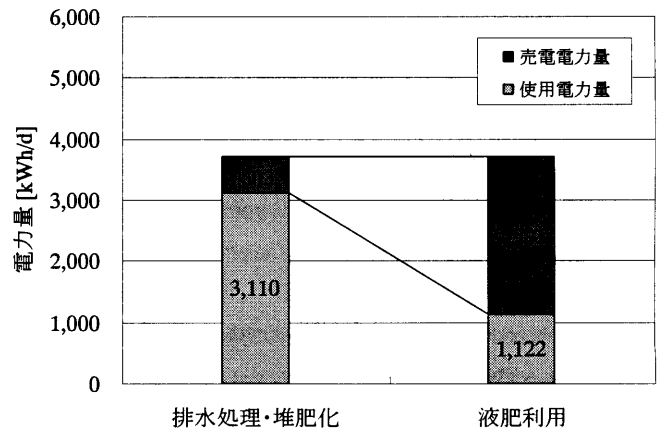


図9 液肥利用による売電電力量の増加予測 (2003.12実績より)

場外へ供給できるエネルギーが多くなっている。デンマークのバイオガスプラントで共同処理を行っている約20施設の総括では、プラント内の電力消費量がバイオマス1t当り4~5kWhで、熱の消費量が15~25kWh (メタン発酵の加温や建家暖房など)である。この消費量は、バイオマス1tから約30m³のバイオガス (熱量：23MJ/m³) が回収できたとして、14~21%のエネルギーを消費している⁹⁾。本センターの実績では、電力消費量が受入れバイ

ふん尿・食品残渣のバイオガスプラントにおけるエネルギー供給施設としての評価に関する研究

オマス 1t 当り 52kWh、熱の消費量が 33kWh になっている。本センターの電力と熱消費量が多いのは、消化液の脱水・排水処理設備や堆肥設備があること、排水処理設備の余剰汚泥もメタン発酵に入れていること等の理由による。表-6 は、デンマークのバイオガスプラントにおける電力と熱の消費割合の一例を示したもので、2 施設の電力消費はそれぞれ 5.4%と 10.8%である。また、熱の消費割合はそれぞれ 7.7%と 9.8%である。これらの数値から、この 2 施設が場外へ供給できる電気と熱を合わせた割合は、それぞれ約 87%と 80%にもなる¹⁰⁾。

4.3 日本におけるバイオガスプラントの評価

本センターの運転実績に基づき、国内のバイオガスプラントがバイオマス・ニッポン総合戦略が目指している新エネルギー導入目標値であるバイオマス発電量 33 万 kW を供給するための試算を行い、その結果を表-7 に示す。表-7 では、本センターの 1 年間の実績値ならびに消化液を全量液肥として利用した場合およびおから 5t/d (ガス発生量：140Nm³/t) の受入れ量が増加して計画値に近づいた場合の電気・熱の外部供給量と割合を試算した。また、

日本国内で発生する畜産ふん尿 (発生量約 90 百万 t/年) や食品残渣ならびに生ゴミ (発生量約 19 百万 t/年) の 40%を本センターと同様の施設でメタン発酵したと想定して、バイオガスプラントの発電量・余剰熱を試算した¹¹⁾。試算結果より、下記のように整理できる。①本センターで液肥利用することで、発電電力の約 75%を外部へ供給できる。②本センターでおからの受入れを 5t/d 増加することにより、発電電力の 25%を外部へ供給できる。③本センターで全量液肥利用し、おからの受入れ量を 5t/d 増加すると外部へ供給できる電力容量は 135kWである。④日本国内のふん尿や食品残渣・生ゴミの 40%をバイオガスプラントでメタン発酵することにより、2.0Gm³/年のバイオガスが得られる。ガスエンジンによるコージェネレーションを行うことで、3.3GWh/年の電力と 4.7GWh/年の廃熱回収ができる。⑤④の発生エネルギーの内、脱水・排水処理を行う本センターの方式であれば、56.2%の電気・熱を外部へ供給できる。外部への供給電力は発電量の約 35%であるが、1.15GWh/年 (電力容量：13 万 kW) で原油換算量は 29 万 kL/年になる。また、消化残渣を全量液肥利用できると、外部

表-7 日本のバイオガスプラントにおける電気・熱供給量の試算

プラント名称			八木バイオエコロジーセンター試算				本国内バイオガスプラントの試算	
計算条件			2002/11～ 2003/10 実績	全量液肥利用 試算	おから5t/d増 量	おから5t/d増 量 + 全量液肥 利用	排水処理・堆肥 + おから5t/d増 量	全量液肥利用 + おから5t/d増量
試算ケース			A	B	C	D	E	F
脱水・排水処理設備			あり	なし	あり	なし	あり	なし
液肥利用			なし	あり	なし	あり	なし	あり
おから5t/d増加			なし	なし	あり	あり	あり	あり
受入量	バイオマス受入量	t/年	23,003	23,003	24,503	24,503	43,955,600	43,955,600
	ふん尿量	t/年	20,805	20,805	20,805	20,805	36,195,600	36,195,600
	残渣・生ゴミ	t/年	2,198	2,198	3,698	3,698	7,760,000	7,760,000
バイオガス量	バイオガス発生量	Nm ³ /年	772,940	772,940	982,940	982,940	1,991,290,000	1,991,290,000
	ふん尿由来	Nm ³ /年	—	—	—	—	904,890,000	904,890,000
	残渣・生ゴミ由来	Nm ³ /年	—	—	—	—	1,086,400,000	1,086,400,000
	受入当りガス発生量	Nm ³ /t	34	34	40	40	45	45
発電・熱回収	発電量	kWh/年	1,250,388	1,250,388	1,590,106	1,590,106	3,306,467,581	3,306,467,581
	回収熱量	kWh/年	2,500,776	2,500,776	3,180,212	3,180,212	4,723,525,116	4,723,525,116
	発電効率	%	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
プラント消費量	プラント消費熱量	kWh/年	750,233	750,233	750,233	750,233	1,362,623,600	1,362,623,600
	受入当り消費熱量	kWh/t	33	33	31	31	31	31
	プラント消費熱量割合	%	30.0	30.0	23.6	23.6	28.8	28.8
	プラント消費電力	kWh/年	1,194,818	317,599	1,194,818	403,848	2,153,824,400	703,289,600
	受入当り消費電力	kWh/t	52	14	49	16	49	16
	プラント消費電力割合	%	95.6	25.4	75.1	25.4	65.1	21.3
外部供給量	電気・熱外部供給割合	%	48.1	71.5	59.2	75.8	56.2	74.3
	電気・熱外部供給量	kWh/年	1,806,113	2,683,333	2,825,267	3,616,236	4,513,544,698	5,964,079,498
	原油換算量	kl/年	452	671	706	904	1,128,386	1,491,020
	電気外部供給量	kWh/年	55,570	932,769	395,288	1,186,257	1,152,643,181	2,603,177,981
	原油換算量	kl/年	14	233	99	297	288,161	650,794
	外部供給電気設備容量	kV	6	106	45	135	131,580	297,166

(試算条件) ①国内のふん尿発生量は 90,489 千 t/年、食品残渣・生ゴミの発生量は 19,400 千 t/年とし、その 40%をバイオガスで受入れるとした。 ②バイオガスの熱量は、21.3MJ/Nm³とした。 ③バイオガス発生量は、ふん尿が 25m³/t、食品残渣・生ゴミが 140m³/tとした。 ④ガスエンジン式発電で発電効率は 28%、熱回収効率は 40%とした。

への供給電力は2.60GWh/年（電力容量:30万kW）で原油換算量は65万kL/年と試算できる。この外部供給電力量は、バイオマス・ニッポン総合戦略の目指しているバイオマス発電量に近い電力量である¹²⁾。また、新エネルギーや環境の先進地であるドイツでは、2002年に厨芥・剪定枝等の有機性廃棄物の20%がバイオガスで処理されている¹³⁾。デンマークでは、2010年までに畜産ふん尿発生量の約18%をバイオガスプラントによるガス発生量を確保する目標を立てている¹⁴⁾。欧州の数値を参考にすれば、日本国内の畜産ふん尿や食品残さ・生ごみの20%をバイオガスで処理することは現実味があり、さらに表-7で試算した様なふん尿や食品残渣・生ごみの40%をバイオガスで処理することも不可能な値ではないと考えられる。なお、燃料電池は、ガスエンジンに比べて発電効率（40～45%）が高いので、将来燃料電池によるバイオガス発電が普及すれば、発電量は本試算の1.5倍程度になることが予想される。

5. まとめ

畜産ふん尿やおから等を受入れてメタン発酵している本センターの最近1年間の運転実績を整理し、これを基に日本におけるバイオガスプラントのエネルギー供給施設としての評価を行った。

①本センターでは、受入れた有機性廃棄物は乳牛のふん尿が中心で約63t/dあるが、バイオガス発生量は受入れ量当中温発酵48.5Nm³/t、高温発酵65.7Nm³/t発生した。②3台のガスエンジン発電機による発電で、本センターの発電効率は28.1%、熱回収効率は43.2%、総合効率は71.3%であった。また、熱利用効率は18.8%で、総合利用効率は46.9%であった。③本センターは、発酵残渣を脱水・堆肥化・排水処理しているが、2003年以降は発電電力で場内負荷をほぼ賄っている。また同時に、余剰電力が発電量の7～29%発生している。④廃熱回収した熱は、冬期でもその半分程度は余剰熱として放熱されている。熱の有効利用が今後の課題である。⑤欧州のバイオガスプラントでは、場外への電力・熱供給割合が高いが、本センターでも発酵残渣を全て液肥として使用できれば、発電電力の70%程度を外部へ供給することができる。⑥バイオマスニッポン総合戦略が示した2010年の新エネルギー導入目標値であるバイオマス発電33万kWに近い電力量をバイオガス発電で供給するための試算を行った。日本の畜産ふん尿・食品残渣・生ゴミの40%をバイオガスプラントでメタン発酵し、本センターと同様にコージェネレーションを行うと、外部への供給電力は1.15GWh/年（電力容量：13万kW）で原油換算量は29万kL/年になる。また、消化液を全量液肥利用できると、外部への供給電力は2.6GWh/年（電力容量:30万kW）で原油換算量は65万kL/年と試算でき、この外部供給電力量は、2010年の新エネルギー導入目標値であるバイオマス発電量に近い値である。本報文が、今後のバイオガスプラントによる新エネルギー供給に貢献できることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 資源エネルギー庁新エネルギー対策課：経済産業省のバイオマス導入促進施策、2003.11
- 2) 中川悦光・小川幸正・筒井直義：エネルギー再生型畜産廃棄物処理システムにおけるコージェネレーションシステム、コージェネレーションシンポジウム'98発表抄録集、日本コージェネレーションセンター、pp.191-199、1998.11
- 3) 小川幸正・藤田正憲・中川悦光：ふん尿・食品残渣のメタン発酵施設における運転データの解析、廃棄物学会論文集、Vol.14、NO.5、pp.258-267（2003）
- 4) 小川幸正・加藤顕・原達己・中川悦光：バイオガス発電プラントの運転実績と考察（その1・その2）、空調調和・衛生工学会平成15年度学術講演会講演論文集、pp.1781～1788、2003.9
- 5) Heinz Schulz・Barbara Eder・浮田良則訳：バイオガス実用技術、オーム社、pp.214-216、2002.3
- 6) 中川悦光：ふん尿とエネルギー利用による循環型社会を目指してー八木バイオエコロジーセンターの稼働状況の報告ー、システム農学、19（1）、pp.9～20、2003.9
- 7) Kun-Zhi Li, Tatsuya Inamura, Mikio Umeda: Growth and Nitrogen Uptake of Paddy Rice as Influenced by Fermented Manure Liquid and Squeezed Manure Liquid, Soil Sci. & Plant Nutr.,49(3),pp.463～467,2003
- 8) 八木町農業技術者会：やぎバイオグリーン液による野菜の施肥方法、2003
- 9) L.Ellegaard:Large scale manure based biogas plants in Denmark Configuration and operation experience, Green house Gases and Animal Agriculture,GGAA,pp.239～240(2002)
- 10) 佐々木市夫他：欧州諸国における循環型農業の発展とバイオ熱エネルギー市場の形成に関する比較研究、平成12～14年度科学研究費補助金研究成果報告書、pp.24～35、2003.3
- 11) 環境省ホームページ、2004.1
- 12) 経済産業省ホームページ、2003.11
- 13) バイオガス事業推進協議会資料、2003.11
- 14) 畜産環境整備機構：家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引、畜産環境整備機構、p.16、2001.8

（2004年2月17日原稿受付）

ふん尿・食品残渣のバイオガスプラントにおけるエネルギー供給施設としての評価に関する研究

Evaluation of Biogas Plant Treating Manure and Food Processing Waste as for Energy Supply Facility

by Yukimasa Ogawa^{*1}, Tatsuki Hara^{*1}, Masanori Fujita^{*2}, Yoshiteru Nakagawa^{*3}

Key Words : Measurement, Biogas Plant, Co-generation, Manure Treatment, Food Processing Waste Treatment

Synopsis : This paper reports the actual operation data of Yagi Bio Ecology Center which is received manure, tofu residue and so on and these waster are digested by methane fermentation. Based on the results of operation of the Center, we evaluate the biogas plant as the energy supply plant in Japan. The performance of the co-generation system is that the electrical efficiency of gas engine generators is 28.1%, the heat recovery efficiency is 43.2%, and total efficiency is 71.3%, the heat utilization efficiency is 18.8% and the total utilization efficiency is 46.9%. 95.6% of the generated electricity is used in the biogas plant. If the quantity of tofu residue would increase more 5t/d, the ratio of

supplying electricity to outside among the generated electricity in the plant will increase to 24.9 %. Further if the digested liquid would be used as liquid fertilizer, the ratio of them will increase to 76.4%.

We calculated excess electricity and heat based on the Center's actual data, that if the biogas plants are received 40 % of manure, food processing waste and kitchen garbage which are produced in all Japan, these plants will supply electricity about 110,000kW to out side of plants. If these plants would use digested liquid as liquid fertilizer directly, these plants will supply about 300,000kW to out side of plants.

(Received February 17, 2004)

*1 Engineering Division, Obayashi Corporation, Member

*2 Graduate School of Engineering, Osaka University

*3 Agricultural and Forestry Promotion Division, Yagi Town Office