

1 課題名

3 エネルギー効率と生成エネルギーの有効利用の検討

2 担当場所研究科室名

独立行政法人北海道開発土木研究所 農業開発部 農業土木研究室・土壌保全研究室

3 はじめに

近年、家畜ふん尿の不適切な管理が全国的に重要な問題であると認識されるようになり、1999年11月には「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が施行された。すでに、この法律に基づく罰則の適用期間が、2004年11月から始まっている。

北海道においても、酪農経営の大規模化が進むとともに乳牛ふん尿の不適切な管理がみられるようになり、これに起因して地域環境の悪化が生じている。地域環境保全や資源循環型社会の実現のために、現在、乳牛ふん尿の管理の改善と循環利用が求められている。

このような背景の中で、バイオガスプラントは、乳牛ふん尿処理技術の一手法として注目を集めている。バイオガスプラントは、各種の有機性資源をメタン発酵させるものである。他のふん尿処理技術と比べると、発酵後に出てくる消化液を肥料として利用できること、発酵に伴い発生するバイオガスをエネルギーとして利用できることなどが特徴である。

デンマークやドイツでは、再生可能エネルギーの利用促進をはかる政策が進められていることもあり、すでに多数のバイオガスプラントが稼働している。北海道内では、2000年頃から大学や酪農家による個別利用の実用プラントや実証プラントが建設されるようになった。しかし、複数農家で利用する共同利用型プラントはなかった。

共同利用型プラントは、個別利用型プラントと比較して次のような利点を有するとされている(北海道バイオガス研究会,「バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効活用」, p. 13)。

- ①畜産農家各戸に設置すべき施設が大幅に減少できる。
- ②畜産農家のふん尿処理にかかる労働負担が減少できる。
- ③個別農家だけでは農地に戻せなかったものが、地域で受け持つことによって農地還元できる。
- ④よい品質の液肥ができ、地域の耕種農家が液肥を利用しやすくなる。
- ⑤効率のよいメタン発酵ができる。
- ⑥取得したエネルギー量が大きく利用方法が広い。

北海道の冬期の気象条件は、ドイツやデンマークなどに比べても寒冷である。それゆえに、バイオガスプラントの運転に必要な熱エネルギーが、他の地域に比べて大きくなる。また、安心して使用できる液肥を得るためには、原料ふん尿や消化液の殺菌が必要であり、これにもエネルギーを要する。それゆえに、北海道において上記の利点を活かしながら、共同利用型バイオガスプラントを運営するためには、効率の良い運転方法を検討することが必要である。

そこで、本研究では、1000頭規模の乳牛ふん尿の処理能力をもつ別海資源循環試験施設、200頭規模の湧別資源循環試験施設のエネルギー収支を整理するとともに、シミュレーションによってプラントの効率的な運転条件を明らかにした。

4 別海、および湧別資源循環試験施設の運転方法

(1) 別海資源循環試験施設の運転方法

搬入ふん尿の形状は、表-1に示すとおりである。敷料混合ふん尿は、固液分離後の液分をメタン発酵の原料とし、固分は堆肥化している。これに対し、スラリーは前処理を行わず、そのままメタン発酵の原料としている。なお、乳牛ふん尿以外の有機性資材の副資材については、地域で発生する無害な有機性資材を発生の都度投入しているが、量的には少ない。

メタン発酵槽への原料スラリーの投入は、管理人が勤務する平日(月～土曜日)に毎日1度行っている。メタン発酵方式は、稼働開始から2004年12月まで、37℃の中温発酵である。別海プラントは共同利用型であることから、プラントを介した糞便性病原菌の伝搬を防止するため、消化液全量を殺菌している。殺菌条件は、平成15年1月までは70℃×1時間とし、それ以降は55℃×7.5時間とした。55℃×7.5時間の条件は、70℃×1時間の殺菌と同程度の効果を有するとされているものである。

メタン発酵で発生したバイオガスは、直列に接続されている湿式と乾式の二つのガスホルダーに貯留し、除湿・脱硫を経て、ガス発電機とガスボイラーで利用している。余剰ガスはフレアスタック(余剰ガス燃焼装置)で燃焼させている(図-1)。

表-1 別海プラントでの受け入れふん尿の形状

項目	条件
処理頭数規模	1000頭
受け入れふん尿の形態 (農家数、質量比率)	敷料混合ふん尿+尿汚水：6戸，37% スラリー：4戸，63%

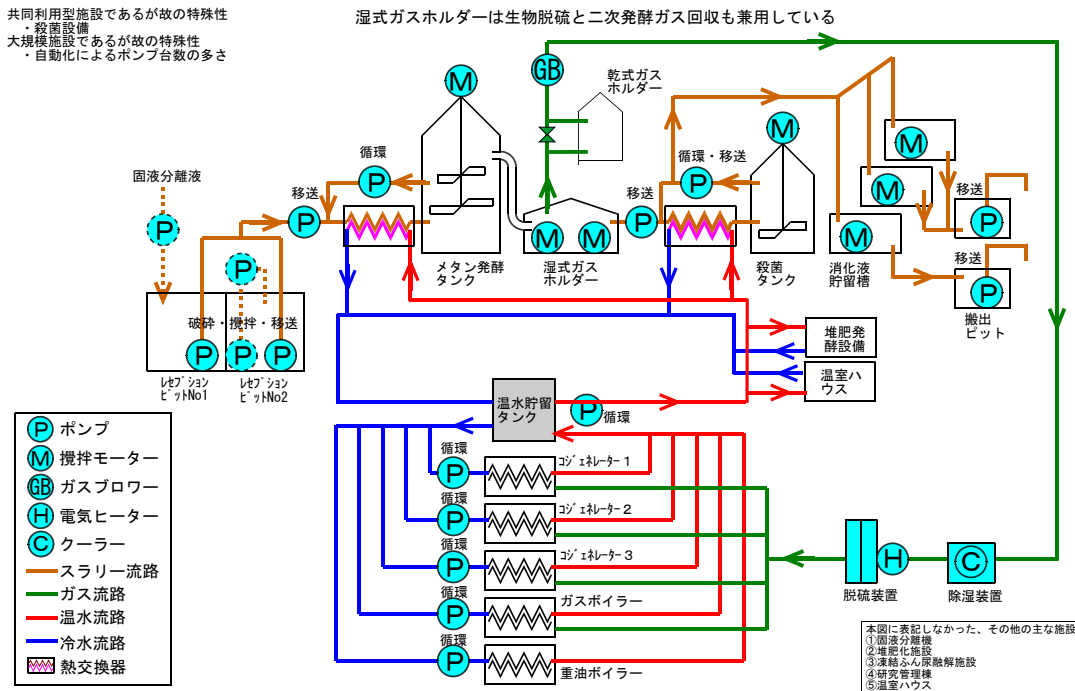


図-1 別海プラントのエネルギーフロー模式図

プラントで必要な熱エネルギーは、ガス発電機やガスボイラー、重油ボイラーによって加温した循環温水により、それぞれの施設・機器に供給している。熱の供給は、ガス発電機からを優先し、不足する場合はガスボイラーを起動する。それでも熱が不足する場合には重油ボイラーを起動する。また、必要な電力はガス発電機で供給するが、発電量が必要量を上回っていればプラント外へ売電し、逆に発電量が必要量を下回っていれば商用電力を購入している。

(2) 湧別資源循環試験施設の運転方法

農家から搬入された敷料混合ふん尿は、固液分離機で分離され、分離固分は堆肥化し、分離液分はメタン発酵へ利用する。メタン発酵で発生したバイオガスは、ガス発電機及びガスボイラーで電気及び熱に変換し、湧別プラント内のみで消費している。不足するエネルギーは、商用電力及び重油の購入により補っている。ガス発電機の起動及びそれに続いていくつかの機器の電源を商用電力から発電機へ切り替える操作は施設管理人が行う。ガス発電機の停止は通常は管理人が操作するが、停止操作前にガスホルダー内のガス貯留量が下限設定量まで減少すると制御装置が作動し、ガス発電機を強制的に停止させる仕組みとなっている。発電機停止後は、管理人の操作により電源経路を発電から商用電力へ戻す。このように電源経路の切替は自動化されていないため、発電機停止時に管理人が不在であると、発電電力で稼働している機器が停止したままとなるから、発電機の運転は管理人が常駐している平日の日中のみ行っている。なお、休日・夜間に発生するガスは、ガスボイラーの自動運転で利用している。また共同利用型プラントのため、生成された消化液を介して、病原性微生物や雑草種子などが他の農家へ拡散しないように、加熱処理を行う殺菌槽を有している。

5 調査・試験方法

両施設ごとにエネルギー収支調査、およびシミュレーションによる効率の良い運転方法の検討を行った。それぞれの調査、検討方法は次のとおりである。

5-1 エネルギー収支調査

(1) 大規模共同利用型バイオガスプラント（別海資源循環試験施設）

エネルギー収支の調査に必要な項目の測定方法は、表-2のとおりである。

表-2 測定方法

項目	測定方法
プラントへの受け入れふん尿量	敷地入口に設置した車両重量計により、ふん尿の荷下ろし前後の車両重量を測定し、その差を計算した。
メタン発酵槽への原料投入量	流量計で計測した。
ガス発生量	流量計で常時計測した。
発電量・購入電力量・売電量	電力量計で常時計測した。
機器類の消費電力量	電力量計で常時計測した。ただし、計測していない機器もある（「非計測」と区分した）。
発電機・ボイラーでの発熱量	発電機・ボイラーを通過する循環温水流量と通過前後での水温上昇の積から計算した。
機器類の消費熱量	機器類を通過する循環温水流量と通過前後での水温低下の積から計算した。

(2) 小規模共同利用型バイオガスプラント（湧別資源循環試験施設）

図-2は、湧別プラントでの熱収支に関する各種設備と温水循環経路及び温度計・流量計の設置位置の模式図である。データ収録装置(FKシリーズ、(株)チノー製)に接続されている測温抵抗体温度計((株)岡崎製作所製)及び電磁流量計(横河電機(株)製)から取り込んだ測定値は、1分毎にパーソナルコンピュータへ収録した。また、オフライン温度計(小型防水温度データロガーTR-52、(株)ティアンドディ製)では1分ごとの循環温水温度を計測した。なお、循環温水には凍結防止のため不凍液を混入しているが、熱量計算には水の比熱(4.186KJ/kg/K)を用いた。

電力は、発電量及び湧別プラント全体の購入電力量を電力計で測定した。個別機器の消費電力は、携帯型クランプ電力計で測定した。

バイオガス流量は容積式回転式ガス流量計(シリーズB3、ROOTS製)により自動測定した。バイオガスのメタン濃度はガスアナライザー(SMM6000、SCHMACK BIOGAS製)で1日1回、自動測定した。

なお、小規模共同利用型バイオガスプラントのエネルギー収支を評価するにあたって、湧別プラントではガスの発生量に対して施設内の機器類の稼働に伴う消費ガス量が大きく、安定した運転によるエネルギー収支のデータを得ることが困難であった。また、プラントを用いた実証試験では、得られる計測データに気象条件の違いや投入原料の性状・量の変動が影響し、殺菌温度などの条件をいく通りかに変化させるにしても、その条件設定の数が限定される。これに対し、たとえば外気温条件を全く同じにして、殺菌温度設定がエネルギー収支に与える影響を比較検討する場合などには、実測データをもとにしたシミュレーションが有効である。さらに、シミュレーションでは実証試験だけでは不足する条件設定数を補うこともできる。そこで、湧別プラントでは、実測データをもとに構築した1週間単位のエネルギー収支のシミュレーション結果で評価することとした。

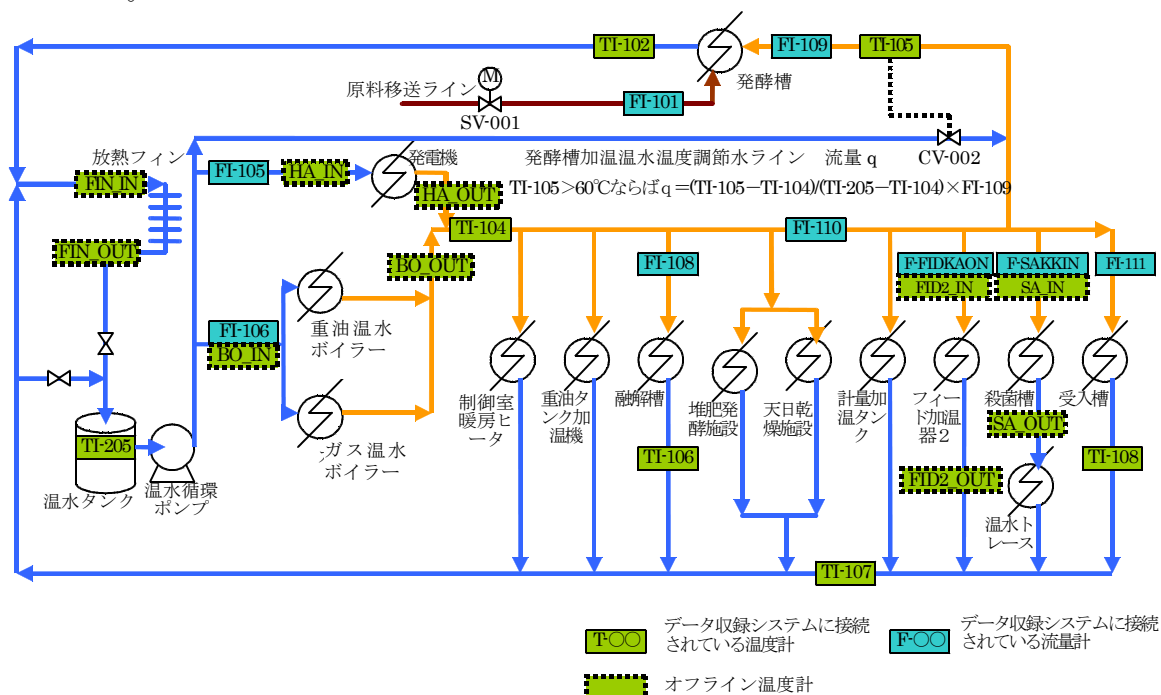


図-2 温水循環経路および温度計・流量計の設置位置

(3) 湧別プラントにおけるシミュレーションによるエネルギー収支の評価方法

1) シミュレーションの概要

シミュレーションの全体イメージは図-3のとおりである。また、プラントの運転状況は管理人が勤務する平日と、管理人が不在となる休日では大きく異なり、1週間が1サイクルであるため、シミュレーションも1週間を1サイクルとした。

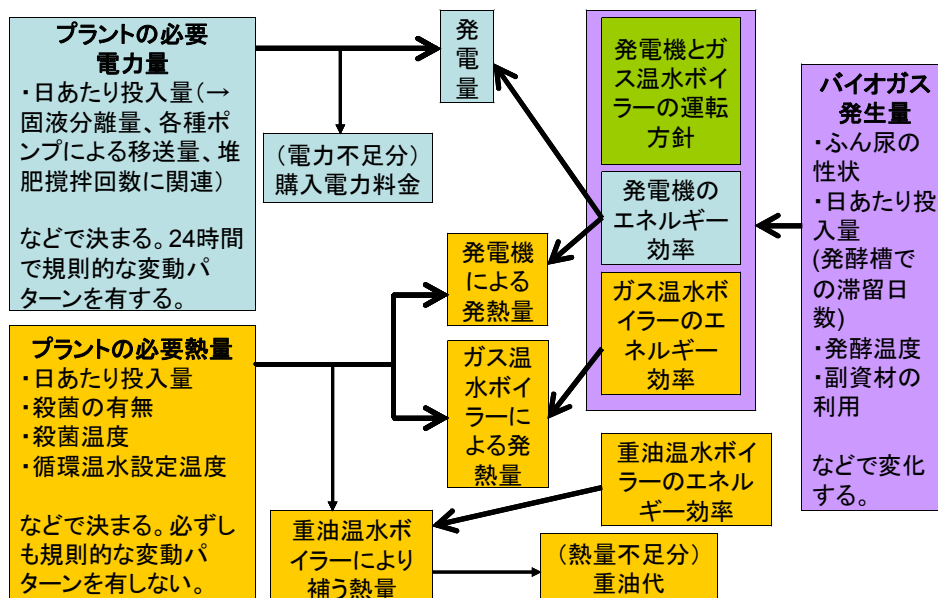


図-3 光熱費を最小化する運転方法をシミュレーションするイメージ

2) シミュレーションモデルの計算フロー

計算の時間刻みは1分間とした。電力収支、熱収支、機器の起動・停止は次のような想定を行い、1分毎に計算した。

① 電力

- i) その時点で稼働している機器の消費電力の合計を1分毎に算出し、必要電力量とする。
- ii) 発電機の急停止があっても稼働させなければならないプラント運転上重要な機器は、商用電源のみに接続し、発電機へは接続しないこととする。
- iii) 発電機は管理人が起動・停止を行うので、平日の8:30~17:00以外は稼働させない。
- iv) バイオガスを貯留するガスホルダーは100m³の容量がある。ガス貯留量が5m³以上あれば発電機やガスボイラーは運転可能であるが、ガス貯留量が一旦5m³未満になると98m³まで貯留されない限り、これらのガス利用機器は起動できない。シミュレーションでもこの条件を反映させる。

② 熱

- i) 必要熱量は、条件として設定した殺菌温度及び平均気温から推定する。
- ii) 発電機稼働時は発電負荷に応じて発電熱量を算出し、熱が不足する場合は重油ボイラーで補う。
- iii) 発電機停止中はガスボイラーで熱を供給し、熱が不足する場合は重油ボイラーで補う。
- iv) 一旦ガス貯留量が5m³を下回った後のガス再貯留中は、発電機及びガスボイラーを起動できないので、重油ボイラーのみで熱を供給する。

- v) 夏に発電機を稼働させる場合は必要以上の熱が発生し、循環温水の温度が上昇しすぎる可能性がある。これは、発電機のガス消費量がプラント内の電力負荷だけにより決まるため、電力と同時に生じる熱の発生量を制御することができないためである。そこで、過剰な熱は放熱フィンを使用して大気中に放出させ、発電機のオーバーヒートを防止する。放熱フィンを使用しても熱の過剰がある場合には、次の1分間の必要熱量からこの過剰分の熱を差し引くことにする。これは過剰分の熱が循環温水の温度上昇として蓄積されると考えるからである。
- vi) 1分毎の熱収支の不足は、次の時間へ繰り越されるものとする。たとえば、ある1分の必要熱量に対し供給熱量が不足する場合は、次の1分の必要熱量にこの不足分を加える。これは、プラント内を循環する温水の温度低下として不足熱が繰り越されると考えるからである。

3) モデルで使用する諸元値

① 電力消費機器の稼働条件と消費電力

電力消費機器の稼働条件は表-3の通りである。この表の消費電力は携帯型クランプ電力計による実測値である。表-3の稼働条件を入力したときの平日の計算値と、プラントの平日稼働時の実測値を図-4に示す。日中の計算値と実測値に差があるが、これは日中に行う固液分離作業での消費電力が、搬入される固形ふん尿の量や質により変動するためである。計算値は実際の消費電力を十分に再現しているから、消費電力量のモデルとして適当であると考えた。

電力消費機器の稼働時間帯は、表-3のとおりガスブロアーを除き固定値とした。ガスブロアーは、発電機及びガスボイラーにバイオガスを送るための加圧装置であるため、ガス貯留中でガスが利用できない時間帯にはガスブロアーを停止させた。

表-3 消費電力機器の稼働条件

機器名	消費電力 (kw)	設定した稼働条件	電力の種類
堆肥発酵施設(往路・攪拌時)	3.1	平日1:00~2:59,13:00~14:59に稼働	購入電力 ←→発電 電力の切 替が可能
堆肥発酵施設(復路・移動時)	0.10	平日3:00~4:59,15:00~16:59に稼働	
固液分離機	7.2	平日8:30~11:59,13:00~15:59に稼働	
マニュアルスプレッター	1.3	平日8:30~11:59,13:00~15:59に稼働	
No2原料移送ポンプ	4.8	1日8回,1回当たり34分間稼働	
発酵槽フィードポンプ	2.2	24時間稼働	
No1発酵槽攪拌機	0.38	2分稼働,8分停止のくり返し	
No2発酵槽攪拌機	0.26	2分稼働,8分停止のくり返し	
No2加温循環ポンプ	4.2	24時間稼働	
冷却水循環ポンプ	0.55	24時間稼働	
ガスライン保温用電熱線	0.46	24時間稼働	
消化液移送ポンプ	2.2	1日4回,1回当たり2分間稼働	
No1ガス供給ブロア	0.81	ガス貯留量が98m ³ を超えると稼働し、 ガス貯留量が一旦5m ³ 未満になると、 98m ³ になるまで停止する	
場内夜間照明	0.95	0:00~8:29,17:01~23:59に点灯	
換気扇	0.60	24時間稼働	
ガスホルダーエアチャージファン	0.56	24時間稼働	
計測機器、パソコン、冷蔵庫等(プラント全体での消費電力から、稼働機器の消費電力を引いた値)	3.9	24時間稼働	

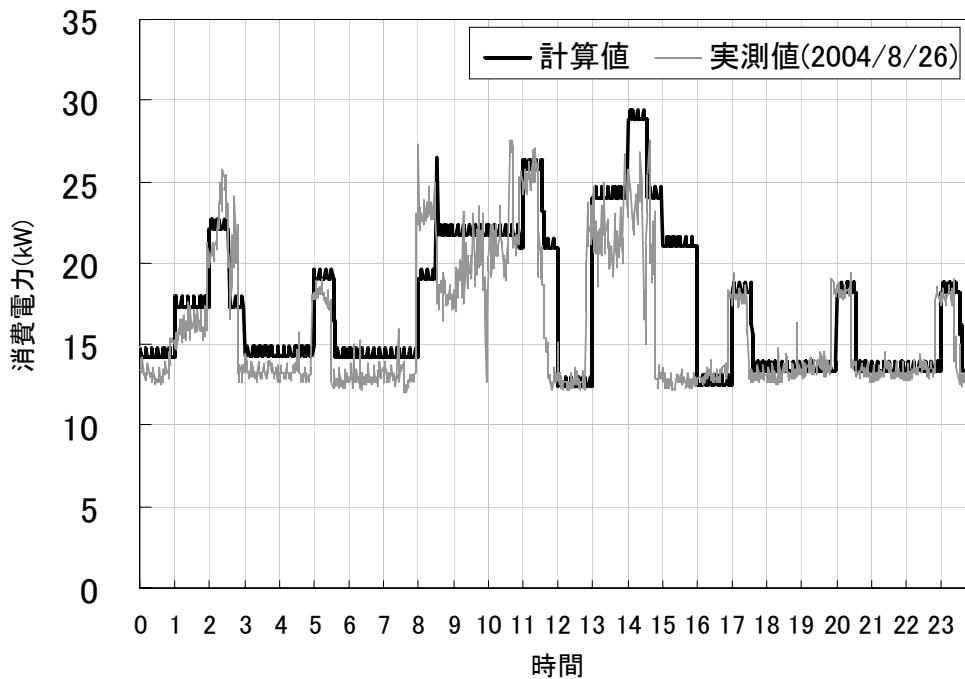


図-4 消費電力機器の稼働条件

②殺菌温度と外気温によるプラント消費熱量

湧別プラントは共同利用型施設であるため、通常運転時は70℃で最低1時間の発酵後の殺菌（後殺菌）を行っている。これは、バイオガスシステム研究の先進国であるデンマークの研究成果に基づいて設定した。

デンマークの研究成果によると70℃・1時間殺菌に相当する効果を持つ殺菌処理として、65℃で1.5時間以上、60℃で3.5時間以上、55℃で7.5時間以上の条件が報告されている。これを参考に、夏に殺菌条件を変えて消費熱量の変化を測定した結果を図-5に示す。殺菌温度を下げることにより、殺菌に必要な消費熱量を削減することができる。また、温水を一経路で循環させる湧別プラントでは、殺菌温度の設定を下げることは、すなわち循環温水温度を下げることであり、「温水トレース+配管ロス」の項での消費熱量も抑制できる。

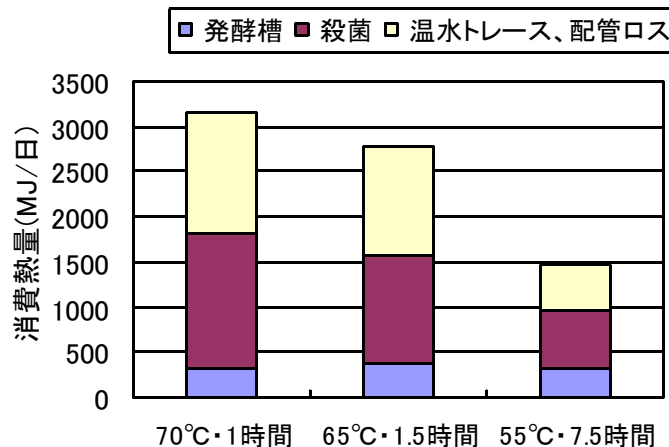


図-5 殺菌条件を変えた場合の消費熱量の変化(調査時期：2004年7～9月)

「殺菌温度と日平均気温との差」とプラント全体での消費熱量の関係を図-6に示す。なお、この図にプロットした点は、2004年夏期のデータと2003年12月に測定した70℃・1時間殺菌時のデータである。この「殺菌温度と日平均気温との差」とプラント全体での消費熱量は直線関係にあり、シミュレーションではこの推定式からプラント全体での日当たりの必要熱量を算出し、1440分で割り、1分当たりの必要熱量とした。

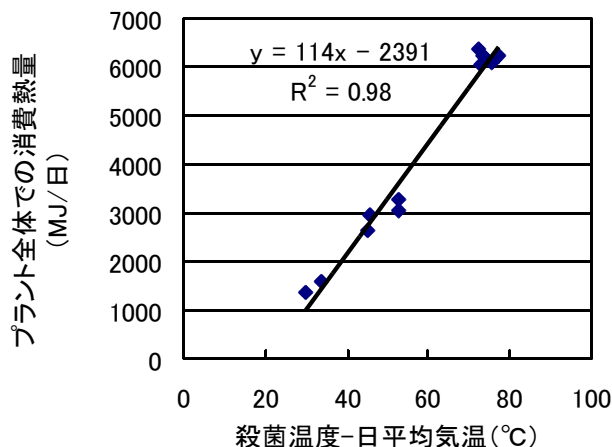


図-6 「殺菌温度と日平均気温との差」と消費熱量の関係

③ バイオガス発生量とメタンガス濃度

表-4に湧別プラントにおける2003年6月及び2004年1～3月の原料投入量、投入原料の性状、バイオガス発生量、メタンガス濃度を示した。夏期及び冬期とも、投入原料は廃用牛乳等の副資材が混入していないふん尿の分離液分を用いている。シミュレーションにおけるバイオガス発生量とメタンガス濃度の設定値は、両時期の実測値の平均値とした。

表-4 夏期及び冬期の稼働状況の日平均値

期間	原料投入量 (m ³ /日)	TS (%)	TVS (%)	バイオガス 発生量(m ³ /日)	単位発生量 (m ³ / m ³)	メタンガス 濃度(%)
2003年6月	6.4	7.95	5.83	165.9	25.9	68.4
2004年1月～3月	6.3	5.99	4.44	146.0	23.2	59.6
平均(シミュレーションの設定値)				156.0		

④ 発電機及びボイラーのエネルギー効率とガス消費量

図-7に発電機のエネルギー効率を示した。ここでのエネルギー効率は、発電した電力エネルギー及び発電機冷却温水から取り出した熱エネルギーが、発電機で消費したバイオガスのエネルギーに占める割合である。なお、メタンガスの発熱量は35.8MJ/m³として求めた。エネルギー効率は定格出力の25kWに近づくほど高くなる。

また、実測データをもとに、ガスボイラーのエネルギー効率は約77%、重油ボイラーのエネルギー効率は約81%とした。なお、A重油の発熱量は39.1MJ/Lとした。

発電機による単位時間当たりのバイオガス消費量は電力負荷が大きいほど多い。また、バイオガス中のメタン濃度に応じて発電機内部の調節弁の開度が自動的に変化し、発電機に導入されるバイオガス量が変化する。ただし、今回のシミュレーションでは表-4のようにメタンガス濃度を64%で固定したため、発電機のガス消費量は図-8の通りとした

ガスボイラーによる単位時間当たりのバイオガス消費量は実測値に基づき17.52 m³/hで一定とした。

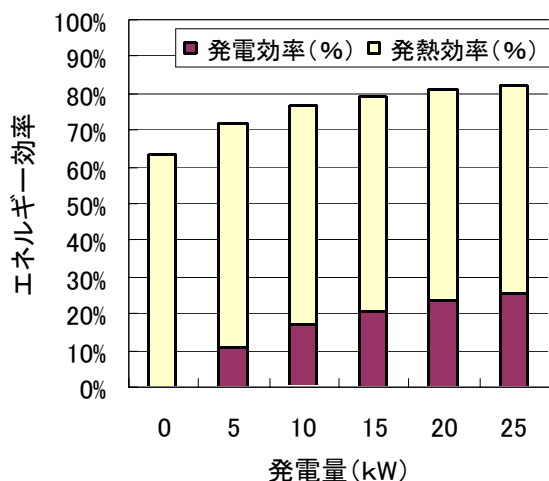


図-7 発電機のエネルギー効率

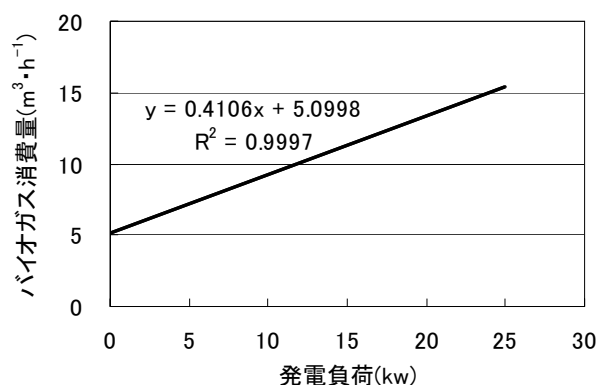


図-8 発電負荷とバイオガス消費量の関係

⑤入力条件の設定

表-5は、今回のシミュレーション入力条件である。平均気温は過去10年間のアメダス湧別での観測値から設定した。これらの条件を組み合わせ、合計16通りのシミュレーションを行った。

表-5 入力条件

項目	設定内容
発電機	あり、なし
殺菌条件	70℃で1時間 65℃で1.5時間 60℃で3.5時間 55℃で7.5時間
平均気温	夏(8月) 18.9℃ 冬(2月) -7.3℃

5-2 シミュレーションによる効率の良い運転方法の検討

(1)大規模共同利用型バイオガスプラント (別海資源循環試験施設)

1)検討ケース

シミュレーションの条件を表-6に示す。

受け入れふん尿形態は、現在の別海町内での飼養方式の構成比を考慮した「スラリー3割＋固形ふん尿7割」と、メタン発酵で処理しやすいとされているスラリーだけを受け入れる「スラリー10割」の2ケースとした。

また、殺菌温度を抑制するとプラント内での熱消費量が節約できて有利であることから、シミュレーションでは55℃×7.5時間の殺菌条件だけを想定した。

バイオガスの単位発生量は、副原料の有無で2ケースとした。副原料なしの場合の単位発生量は、乳牛ふん尿のメタン発酵での標準的な値を与えた。また、副原料ありの場合は、資源循環プロジェクトで別途行った実プラント(湧別資源循環試験施設)での発酵試験の結果を参考にして設定した。

なお、研究用付帯設備である温室ハウスは、全てのケースで不使用とした。また、スラリー10割のケースでは、固形ふん尿処理設備を使用しないものと想定とした。

表-6 シミュレーション条件

項目	条件
受け入れふん尿の形状	・スラリー10割 ・スラリー3割＋固形ふん尿7割
殺菌条件	55℃×7.5hr
バイオガス単位発生量	・25m ³ /m ³ (副原料なし) ・30m ³ /m ³ (副原料あり)

2) 諸元値

①ふん尿の処理量とバイオガス発生量

「スラリー10割」と「スラリー3割＋固形ふん尿7割」のそれぞれの条件に対するふん尿の処理量は、表-7に示すとおりとした。これらは、表-8～表-12に示す数値を根拠として算出した。

バイオガス発生量は、表-7で示されるメタン発酵の日処理量に表-6のバイオガス単位発生量を乗じて計算した。

表-7 シミュレーションにおけるふん尿の日処理量

	放牧を考慮したふん尿の搬入率	1000頭のふん尿をスラリーで搬入する場合		300頭のふん尿をスラリーで、700頭のふん尿を固形ふん尿で搬入する場合	
		メタン発酵	堆肥化	メタン発酵	堆肥化
1月	100%	51.8 t	—	36.6 t	15.3 t
2月	100%	51.8 t	—	36.6 t	15.3 t
3月	100%	51.8 t	—	36.6 t	15.3 t
4月	100%	51.8 t	—	36.6 t	15.3 t
5月	87%	45.1 t	—	31.8 t	13.3 t
6月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
7月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
8月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
9月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
10月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
11月	74%	38.3 t	—	27.1 t	11.3 t
12月	87%	45.1 t	—	31.8 t	13.3 t

(放牧を考慮したふん尿の搬入率は、1月～4月を舎飼期、6月～11月を放牧期、5月・12月を過渡期として、別海施設での実績から算出した。その他の計算根拠は付録に示した。)

表－8 ふん尿を受け入れる乳牛の構成の仮定

	成牛		育成牛
	初産	2産以降	
構成比率	1	2	1
(別海資源循環試験施設) 1000頭規模を想定した頭数	250	500	250

表－9 乳牛1頭あたりのふん尿発生量

	ふん(kg)	尿(kg)	根 拠
成牛(2産以降)	51.4	13.0	「家畜ふん尿処理利用の手引き2004」
成牛(初産)	35.8	13.8	
育成牛	17.9	6.7	

表－10 生ふんと麦カンの水分

	水分(%)	根 拠
生ふん	86	「家畜ふん尿処理利用の手引き2004」
麦カン	15	

表－11 固液分離機の分離性能

原料ふん尿の形状	固液分離後の質量割合		根 拠
	固形分(%)	液分(%)	
長藁入り固形ふん尿	42	58	資源循環プロジェクト実績

表－12 乳牛1頭あたりに使用する敷料の想定量

ふん尿の形状	敷料の量(kg)	根拠
固形ふん尿	1.1	・資源循環プロジェクト実績値 ・「家畜ふん尿処理利用の手引き2004」 で示されているスラリーとセミソリッドの境界値2.0kgの1/2
スラリー	1.0	

②エネルギー消費

シミュレーションで与える消費電力量あるいは消費熱量の諸元値は、実測データをもとにして表－13および表－14のように施設群ごとに与えた。これらの表に示すように、ふん尿の処理に必要なない研究管理棟と温室については、全てのシミュレーションケースで消費エネルギーから除外した。さらに、スラリー10割の場合では、堆肥化が不要であるから、共用施設や堆肥舎での消費エネルギーを除外した。なお、メタン発酵原料および堆肥化原料の量の大小に合わせた消費電力および消費熱量の補正は行わなかった。その理由は、次のとおりである。

- i) 消費電力量については、補正しないことによる結果への影響が無視できる。
- ii) 消費熱量については現状運転における実測データをもとにした補正が困難である。

しかし、スラリー10割のケースでは補正しないことによる計算結果への影響は小さい。また、スラリー3割+固形ふん尿7割のケースでは、補正しないことで余剰エネルギーの算出に影響が出るが、過小(安全側)に算出されるので大きな問題とはならない。

表-13 消費電力量の与え方

項目	スラリー10割の場合	スラリー3割+固形ふん尿7割
・メタン関連設備	現況運転での当該月実測値	現況運転での当該月実測値
・共用設備	—	〃
・非メタン関連設備 (研究管理棟、温室など)	—	—
・非計測	現況運転での当該月実測値	現況運転での当該月実測値

「現況運転での当該月実測値」とは、現況運転での日合計値を月毎に平均したものである。
メタン発酵原料や堆肥原料の量の大小による消費電力量の補正は行わない。

表-14 消費熱量の与え方

項目	スラリー10割の場合	スラリー3割+固形ふん尿7割
・発酵槽	現況運転での当該月実測値	現況運転での当該月実測値
・殺菌槽	〃	〃
・堆肥舎	—	〃
・温室	—	—

「現況運転での当該月実測値」とは、現況運転での日合計値を月毎に平均したものである。
メタン発酵原料や堆肥原料の量の大小による消費熱量の補正は行わない。

③エネルギー供給

エネルギー供給量は実測データに基づき、発電機での発電量を定格出力である65kWとし、発熱効率を55%とした。また、バイオガスボイラーおよび重油ボイラーのエネルギー効率は80%とした。

現状の運転では発電機とガスボイラーを併用しているが、実際には多大な余剰熱を生じることがある。そのため、シミュレーションでは発電機2台のみでバイオガスを利用することとし、不足熱は重油ボイラーで補うこととした。

また、現状では、バイオガスの無効燃焼を生じていたが、シミュレーションでは、効率的な運転を検討する前提条件として、発生したバイオガスの全量を2台の発電機で消費し尽くすものとした。

(2)小規模共同利用型バイオガスプラント（湧別資源循環試験施設）

1)検討ケース

湧別プラントをベースとしたシミュレーションの条件を表-15に示す。基本的な条件は、別海プラントでのシミュレーションと同様な条件とした。湧別プラントでは、受け入れふん尿形態の条件のひとつに、現在の湧別プラントで受け入れている「固形ふん尿10割」を加え、3ケースとした。また、殺菌温度も55℃×7.5時間以外に70℃×1時間を

加え、2通りの殺菌条件を想定した。バイオガスの単位発生量は、別海プラントと同様である。したがって、12通りの検討を行った。

表-15 シミュレーション条件

項目	条件
受け入れふん尿の形状	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固形ふん尿10割（現状） ・ スラリー10割 ・ スラリー3割＋固形ふん尿7割
殺菌条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 55℃×7.5hr ・ 70℃×1.0hr
バイオガス単位発生量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 25m³/m³（副原料なし） ・ 30m³/m³（副原料あり）

2) 諸元値

① ふん尿の処理量とバイオガス発生量

「固形ふん尿10割」、「スラリー10割」、「スラリー3割＋固形ふん尿7割」のそれぞれの条件に対するふん尿の処理量は、表-16に示すとおりとした。これらは、表-17、及び表-9～表-12に示す数値を根拠として算出した。

バイオガス発生量は、表-16で示されるメタン発酵の日処理量に表-15のバイオガス単位発生量を乗じて計算した。

表-16 シミュレーションにおけるふん尿の日処理量

	放牧を考慮したふん尿の搬入率	200頭のふん尿を固形ふん＋尿で搬入する場合		60頭のふん尿をスラリーで、140頭のふん尿を固形ふん＋尿で搬入する場合		200頭のふん尿をスラリーで搬入する場合	
		メタン発酵	堆肥化	メタン発酵	堆肥化	メタン発酵	堆肥化
1月	100%	6.7 t	3.2 t	7.6 t	2.2 t	9.8 t	—
2月	100%	6.7 t	3.2 t	7.6 t	2.2 t	9.8 t	—
3月	100%	6.7 t	3.2 t	7.6 t	2.2 t	9.8 t	—
4月	100%	6.7 t	3.2 t	7.6 t	2.2 t	9.8 t	—
5月	87%	5.8 t	2.8 t	6.6 t	1.9 t	8.6 t	—
6月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
7月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
8月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
9月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
10月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
11月	74%	4.9 t	2.3 t	5.6 t	1.6 t	7.3 t	—
12月	87%	5.8 t	2.8 t	6.6 t	1.9 t	8.6 t	—

(放牧を考慮したふん尿の搬入率は、1月～4月を舎飼期、6月～11月を放牧期、5月・12月を過渡期として、別海施設での実績から算出した。その他の計算根拠は付録に示した。)

表-17 ふん尿を受け入れる乳牛の構成の仮定

	成牛		育成牛
	初産	2産以降	
構成比率	1	2	1
(湧別資源循環試験施設) 200頭規模を想定した頭数	50	100	50

②エネルギー消費

シミュレーションで与える消費電力量の諸元値は、「固形ふん尿10割」を受け入れている現状での実測データをもとに、受け入れふん尿の形態及び処理量の変化に応じて、機器の稼働時間を増減して与えた。ただし、堆肥化施設については、攪拌機の稼働時間は現状のままとし、堆肥化の原料の減少割合に応じて攪拌負荷が減少すると考え、消費電力を少なくした。

消費熱量の諸元値は、メタン発酵原料の量が増加すると液の昇温に必要な熱量が増えるため、メタン発酵原料の増加割合に応じて消費熱量を増やした。

③エネルギー供給

前述の「シミュレーションモデルの計算フロー」に示したとおりである。ただし、あるシミュレーション条件によっては、熱供給が重油ボイラーで補っても不足する場合がある。この場合は、さらに重油ボイラーで補うことを想定し、重油消費量を調整しながらシミュレーションを行った。

6 調査結果および考察

6-1 エネルギー収支調査結果

(1)大規模共同利用型バイオガスプラント（別海資源循環試験施設）

1)ふん尿の搬入量

2003年7月～2004年8月における別海プラントへのふん尿の搬入量を図-9に示す。2003年7月以降は、固形ふん尿の固液分離能力の増強により、10戸の参加農家のふん尿のすべての受け入れが可能となったことで、施設規模に相応する運転となった。

放牧が行われる時期には、ふん尿の搬入量が比較的少ない。月毎の搬入量全体の傾向では、6月～11月が放牧時期に、1月～4月が舎飼時期に、5月および12月が過渡的な時期にそれぞれ相当する。

図-9の搬入量全体から計算した1ヶ月当たりの平均搬入量は、放牧時期と舎飼時期のそれぞれで1220 tと1660 tであった。放牧時期の搬入量は、舎飼時期の約74%である。

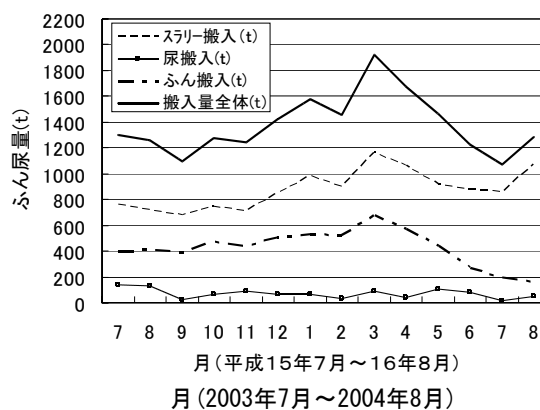


図-9 ふん尿の搬入量

2)ガス発生量

図-10は、別海プラントにおけるバイオガス発生量、メタン濃度、原料スラリー投入量の推移である。メタン発酵槽への糞尿スラリー投入量が計画値(50m³/d)に達したのは、2003年度後半である。メタン発酵の連続投入がなされた2001年9月以降、メタンガス濃

度は約60%、スラリー当たりのガス発生量は $30\text{m}^3/\text{m}^3$ であり、メタン発酵は順調に推移している。

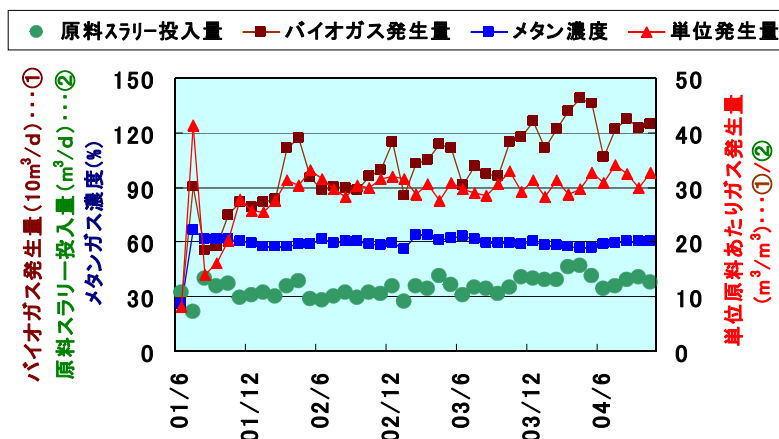


図-10 バイオガス発生量、メタン濃度、原料スラリー投入量の推移

3) ガス消費の内訳

発生バイオガスの消費内訳を図-11に示す。逆潮流(施設から電力会社への電線に電力を流し売電する)が可能となった2003年1月末から発電量に制約がなくなったため、発電機でのバイオガス消費が多くなり、ガスボイラーでの消費割合が低下した。

フレアスタックでの無効燃焼は、二つのガスホルダーの充填率が95%を超えた時に自動的に生じる。無効燃焼は、次のようなことから日曜日に生じることが多い。日曜日はスラリーが投入されないため、ガス発生量が低下する。しかし、発電機による単位時間当たりのガス消費量は変化しないため、徐々にガス貯留量が少なくなり、最終的に発電機が停止する。発電機には自動起動の機能がないため、その後ガス貯留量が回復してもガス消費量は小さいままであるため、ガスホルダーの充填率が高まり、無効燃焼を生じる。バイオガスの無効燃焼を防ぎ、効率的なプラント運転を行うためには、ガス発電機の起動の自動化が必要である。

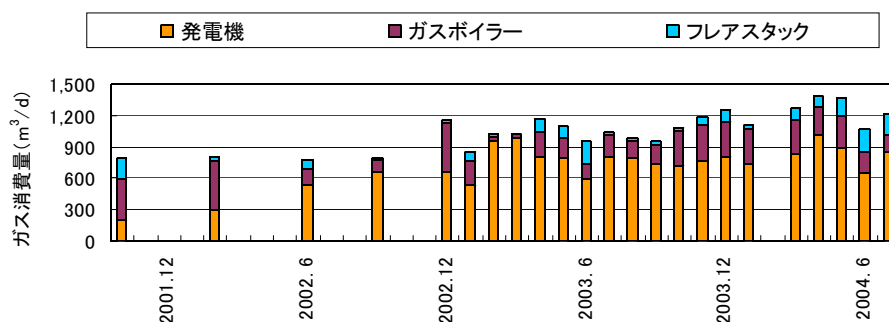


図-11 発生バイオガスの消費内訳

4) 電力収支

別海プラント全体での1日当たりの電力収支とその内訳を図-12に示す。電力消費の区分のうち、共用施設とは、メタン発酵と堆肥化の両者で共用する固形糞尿融解施設・固液分離施設・温水循環動力等を意味する。非計測とは計測対象としていない機器類による電力消費の合計量である。

プラント全体での電力消費量は季節変動を有し、冬期に大きい。その原因は、冬期には放牧が少ないため糞尿量が増加すること、加温・保温のための温水循環ポンプの稼働時間が長くなること、固形ふん尿の融解施設の電力消費が発生することなどである。

電力消費の内訳では、メタン発酵関連の電力量が全体の30～40%を、共用施設の電力量は20～25%を占めており、大きな電力ユーザーとなっている。また、2003年2月に逆潮流が可能となったのちは、徐々に売電の実績が伸びてきている。温室・管理棟などの研究用付帯設備を除き、ふん尿処理に要する電力消費だけを発電量と比較すると、バイオガスだけで概ね自給できる。

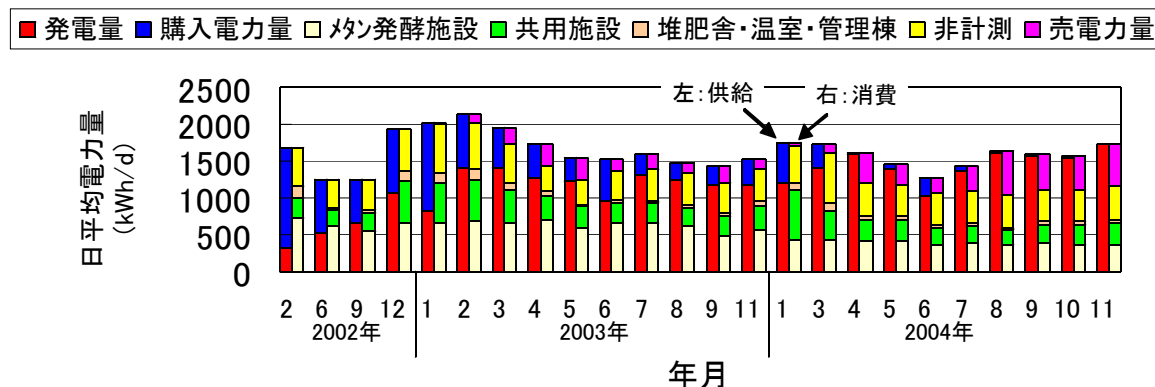


図-12 別海プラントにおける電力収支

図-13は、時間帯による電力収支の変化を示したものである。消費電力が大きいのは、発酵槽への原料スラリーの投入や固液分離作業が運転員によって行われる勤務日の午前中である。この時間帯は、消費電力が発電量を上回っているため、電力を購入している。一方、夜間には電力消費機器の稼働が少ないため、売電を実施している。

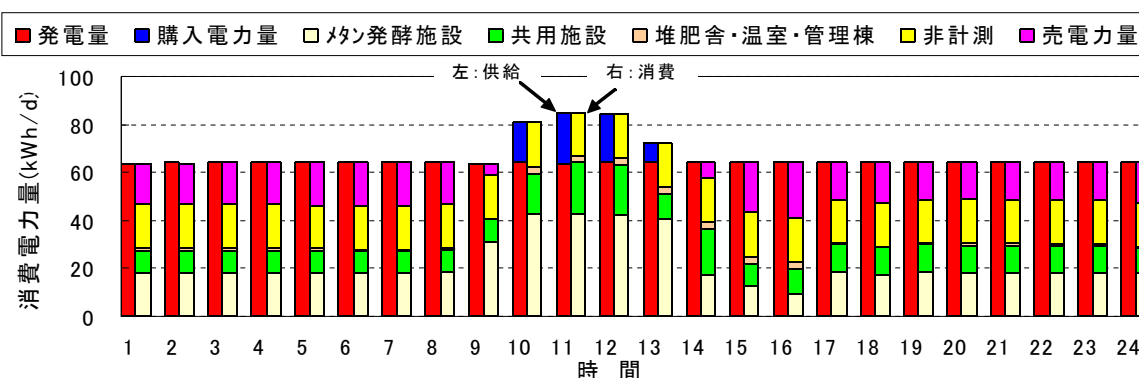


図-13 消費電力の時間変化(2004/8/20の事例)

5) 熱収支

別海プラントにおける1日当たりの熱収支とその内訳を図-14に示す。温水による加温対象は、メタン発酵施設内のメタン発酵槽と殺菌槽、堆肥化施設、試験温室である。年間を通じて熱の消費が大きいのは、メタン発酵槽と殺菌槽である。また、冬期には温室の加温熱量が必要になること、殺菌のための熱量が大きくなることなどから、夏期に比べて熱消費が大きくなるため、重油ボイラーからも熱を供給している。電力と同様に、

研究用付帯設備での熱消費がなかったと仮定すると、バイオガス起原の熱エネルギーのみで自給が可能であった。

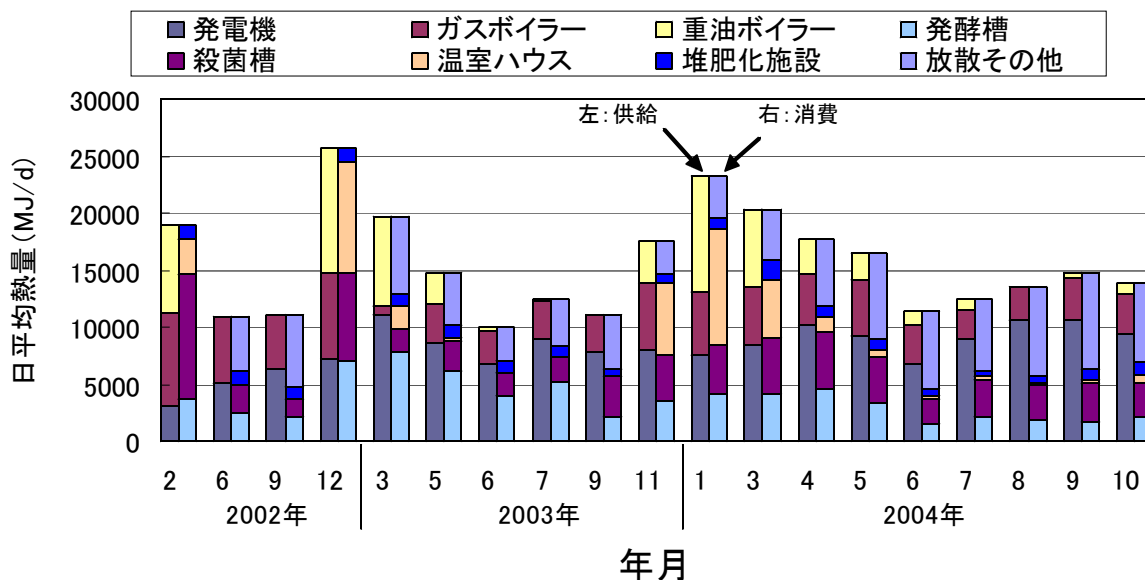


図-14 別海プラントにおける熱収支

6) 大規模共同利用型バイオガスプラントのエネルギー収支の評価

別海プラントの運転実績では、日中作業時の消費電力ピークが発電量を超えるため、電力の完全な自給までには至っていない。しかし、購入電力量は減少傾向にある。熱については温室ハウスでの消費量が大きく、重油ボイラーで不足熱を補っている。

しかし、研究用付帯設備である温室や管理棟で消費する電力、熱を除外すると、メタン発酵により発生するバイオガス起原のエネルギーにより、電力・熱の両方とも概ね自給できることがわかった。

(2) 小規模共同利用型バイオガスプラント (湧別資源循環試験施設)

1) ふん尿の搬入量、ガス発生量

2004年11月末現在までの累計では、固形ふん尿8,708t、尿汚水1,718tが搬入され、一方、消化液7,011tと堆肥4,200m³が搬出された。バイオガス発生量は、2002年以前に比べて、2003・2004年で大きな値となった(図-15)。

このガス発生量増大の原因は、2003年7月～11月については副資材投入の影響が考えられるが、それ以外については不明である。稼働開始時から現在までの平均単位発生量は21.7m³/tであり、乳牛ふん尿でのメタン発酵の一般値15～30m³/tの範囲内である。

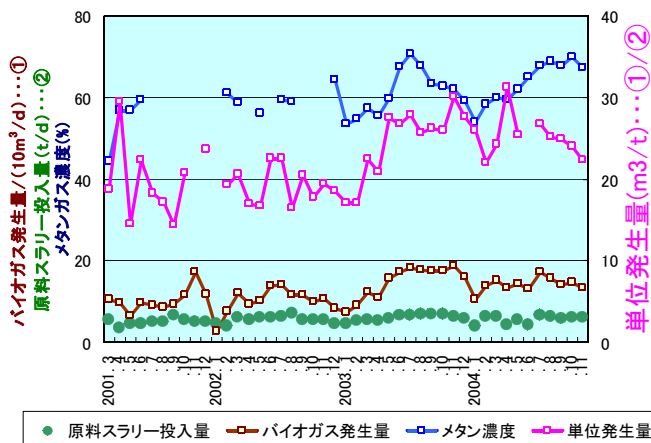


図-15 湧別施設のメタン発酵の推移

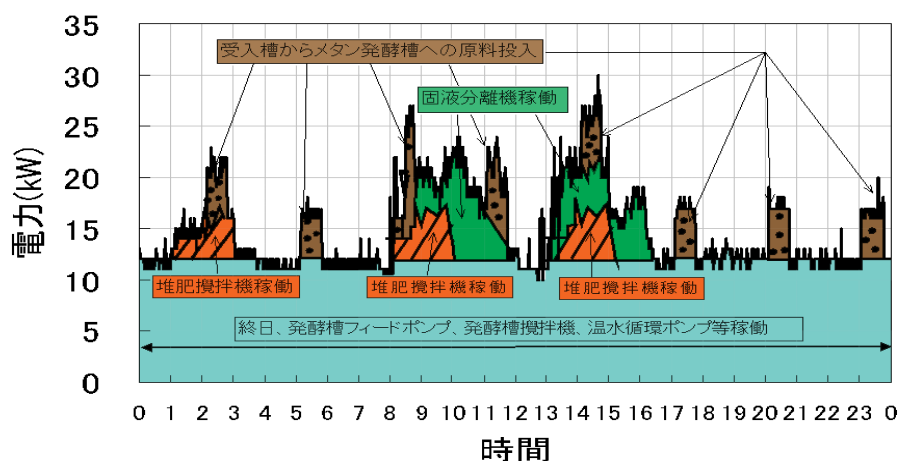
2) 電力収支

表－18は2003年7月10日における電力収支構成であり、これは湧別プラントの平日運転時の標準的な構成である。供給電力は、自家発電により一日の必要電力の36%をまかなっていた。電力消費量の最も大きい機器類は、施設内へ温水を循環させるために終日稼働している温水・冷却水循環ポンプであった。次に大きいものは、発酵槽への原料投入や、発酵後の消化液移送に必要なスラリー移送ポンプ類であった。これらポンプ類で、一日の電力消費量の57%を占めていた。その他消費には、施設照明、換気用ファン、ガスホルダーエアークャージファン等が含まれている。ガスホルダーエアークャージファンは二重膜ガスホルダーの内膜と外膜の間に空気を供給し、ガスホルダーを自立させている。なお、投入前原料のポンプによる攪拌時間を短縮するなどいくつかの消費電力の節約はすでに行った。そのため、現在の設備構成において消費電力のさらなる削減は難しいと思われる。

表－18 電力収支構成 (2003年7月10日、kWh/d)

供給電力		消費電力				
商用電力	発電電力	堆肥攪拌機	固液分離機	スラリー移送ポンプ類	温水・冷却水循環ポンプ	その他消費
231 (64%)	131 (36%)	12 (3%)	55 (15%)	99 (27%)	107 (30%)	89 (25%)
362 (100%)		362 (100%)				

図－16は平日の電力消費の変化である。日中は、固液分離機が稼働するため消費量が多くなり、電力消費のピークは固液分離機及び堆肥攪拌機、原料投入ポンプの3種の機器が同時に稼働した14時～15時に出現した。



図－16 平日の電力消費の変化 (2003年7月10日)

3) 熱収支

表－19は2003年7月における夏期の熱収支構成である。消化液の殺菌は70℃・1時間以上の後殺菌とした。放熱フィンとは屋外に設置した循環温水冷却器であり、発電機稼働

時には循環温水を必ずこれに通し、発電機へ流入する温水温度を強制的に下げる操作を行った。また温水トレースとは、ガス配管内での結露防止や原料移送配管の保温のために配管と断熱材の間に配置し、温水を通す細管である。一日の供給熱量は4,266MJであり、消費構成は、殺菌に要した熱量が最も多く、消費全体の41%(1,744MJ)を占めた。次いで温水トレースが大きく消費全体の34%(1,463MJ)を占めた。37℃に維持している発酵槽の加温熱量は消費全体の17%(710MJ)であった。

表-19 殺菌温度70℃、1時間以上の運転管理時の熱収支
(2003年7月10, 11, 25日の平均値、MJ/d)

供給熱量		消費熱量 (加温熱量)						
発電機	重油ボイラー+ ガスボイラー	発酵槽	受入槽	融解槽	殺菌槽 (殺菌)	フィード加温 器2 (殺菌)	放熱フィン	温水トレース +配管放熱
1,198	3,068	710	0	0	229	1,515	349	1,463
4,266 (100%)		(17%)	(0%)	(0%)	1,744 (41%)		(8%)	(34%)

※観測期間の日平均気温：16.9℃

表-20は2003年12月における冬期の熱収支構成である。消化液の殺菌条件および放熱フィンへの温水循環は、2003年7月と同様である。一日の供給熱量は6,434MJであり、夏期の約1.5倍となった。消費構成は、温水トレースが最も多く、消費全体の41%(2,640MJ)を占めた。次いで、殺菌のための熱が多く消費全体の23%(1,453MJ)を占めた。発酵槽の加温熱量は消費全体の15%(975MJ)であった。冬期には、凍結ふん尿を融かすための融解槽へ温水循環を行った。また、原料スラリー及び消化液の凍結防止に必要な箇所への温水循環を開始した。このように、夏期と比較して冬期には新たな熱需要が発生したため、消費熱量が大きく増加した。殺菌に関しては、冬期に殺菌槽上部の開口部及び金属製の蓋部分を断熱材で覆い断熱を強化したため、夏期の消費熱量との単純な比較は行えない。発酵槽での消費熱量の増加は、投入原料の温度が夏期と比較して冬期の方が低いため、昇温に要する熱量が増加したことと、発酵槽表面からの放熱が増えているものと考えられる。

表-20 殺菌温度70℃、1時間以上の運転管理時の熱収支
(2003年12月18, 21, 24, 25, 26, 27日の平均値、MJ/d)

供給熱量		消費熱量 (加温熱量)						
発電機	重油ボイラー+ ガスボイラー	発酵槽	受入槽	融解槽	殺菌槽 (殺菌)	フィード加温 器2 (殺菌)	放熱フィン	温水トレース +配管放熱
632	5,802	975	221	894	0	1,453	252	2,640
6,434 (100%)		(15%)	(3%)	(14%)	1,453 (23%)		(4%)	(41%)

※観測期間の日平均気温：-4.2℃

4) 小規模共同利用型バイオガスプラントのエネルギー収支の評価

各種条件(表-5)のシミュレーションで計算した消費エネルギー量とエネルギーの自

まかない率を図-17に示す。ここで、エネルギーの自まかない率とは、消費エネルギー量に対するバイオガス起源のエネルギー量の割合を意味する。なお、この図は1週間シミュレーションから得られた値を30日換算して表示している。

図-17をみると、どの検討ケースも完全に自給できる結果は得られなかった。また、夏期の60℃殺菌および55℃殺菌を除くと、バイオガス起源のエネルギー量はほぼ等しく、殺菌温度が低いと、プラントでの消費エネルギー量は小さくなる傾向がある。したがって、殺菌温度が低いほどエネルギーの自まかない率は大きくなる。

夏期の60℃殺菌および55℃殺菌のケースでは、他の検討ケースに比べて、バイオガス起源のエネルギー量が少ない。これは、夜間及び休日においてはプラントの消費熱量が少なく、その間は、バイオガスボイラーでのガス消費が抑制され、ガスホルダーの貯留量が100m³を超えて、余剰ガスが生じるためである。

これらのことから、殺菌温度を低く抑えるとともに、バイオガスの全量を使用できるように発電機起動・停止の自動化による発電時間の延長など、施設の改良を行うことで、エネルギーの自まかない率を向上させる余地がありそうである。

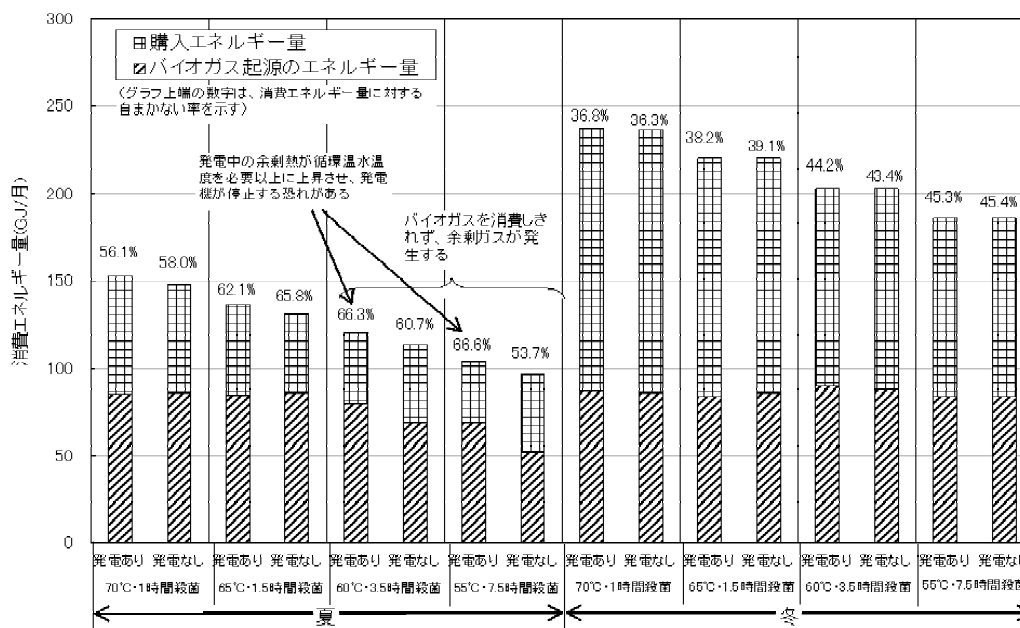


図-17 消費エネルギー量とエネルギーの自まかない率

6-2 シミュレーションによる効率の良い運転方法の検討結果

(1)大規模共同利用型バイオガスプラント (別海資源循環試験施設)

図-18と図-19は、年間の電力収支および熱収支である。それぞれ現状とシミュレーション結果で対比して示す。

スラリー10割とした場合には、固液分離および堆肥化の電力が不要となるうえに、メタン発酵原料が多いためガスの発生量が増加し発電量が多くなるから、他のケースと比較して売電量が大きくなる。

現状の運転では、平日の日中にある消費電力のピーク時に電力の購入が生じる

(図-13)。これに対し、シミュレーションでは電力消費の時間変動を考慮していないので、消費の合計が供給の合計を上回らない限り、電力の購入が生じない計算結果となる。スラリー3割+固形ふん尿7割の条件で実際に運転する場合には、電力消費の時間変動によって現状と同程度の購入電力が生じるおそれがある。しかし、供給と消費は必ず等しくなるから、購入電力と同量の電力が売電に付加されるため、余剰として生じる電力量は、図-18のとおりである。

スラリー10割の場合には、堆肥化に関わる作業がなくなるため平日日中の消費電力のピークが小さくなることと、発電電力が大きいことから、購入電力は現状に比べて大幅に抑制される。それゆえ、この場合電力収支の基本的特性を考えるうえで購入電力は無視できる。

熱収支は、全てのケースで消費熱量よりも供給熱量が大きい。現状では、温室ハウスがあるために冬期間の消費熱量が大きいことから、重油ボイラーによる供給も無視できない割合を占めている。また、日曜日に一旦停止した発電機が自動で再起動しないために、ガスボイラーがバイオガスを消費して熱を供給する時間帯がある。

これに対しシミュレーションでは、2台の発電機でバイオガスを消費しつくして無効燃焼がないものとしたこと、温室ハウスなどふん尿処理に必要な施設を除外したことなどから、余剰熱が大きく発生する結果となった。特に、メタン発酵に投入する原料

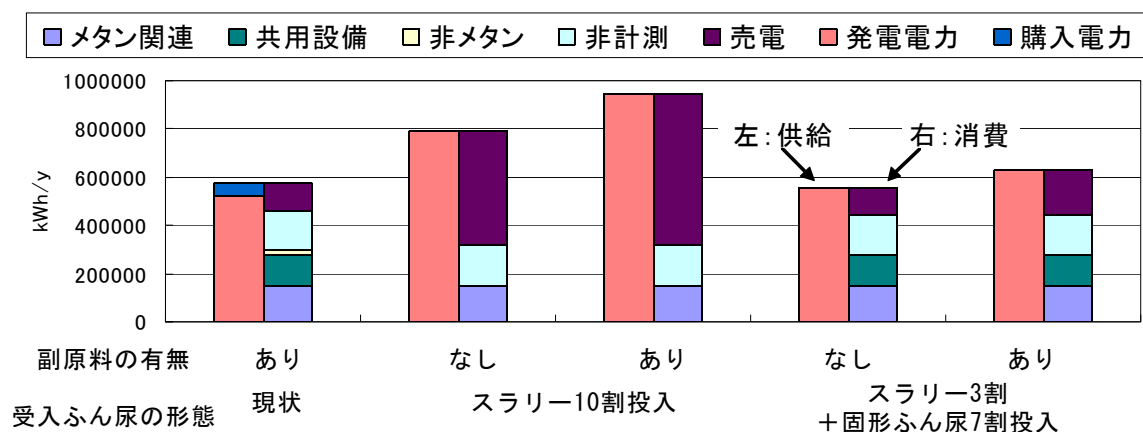


図-18 年間の電力収支（現状とシミュレーション結果）

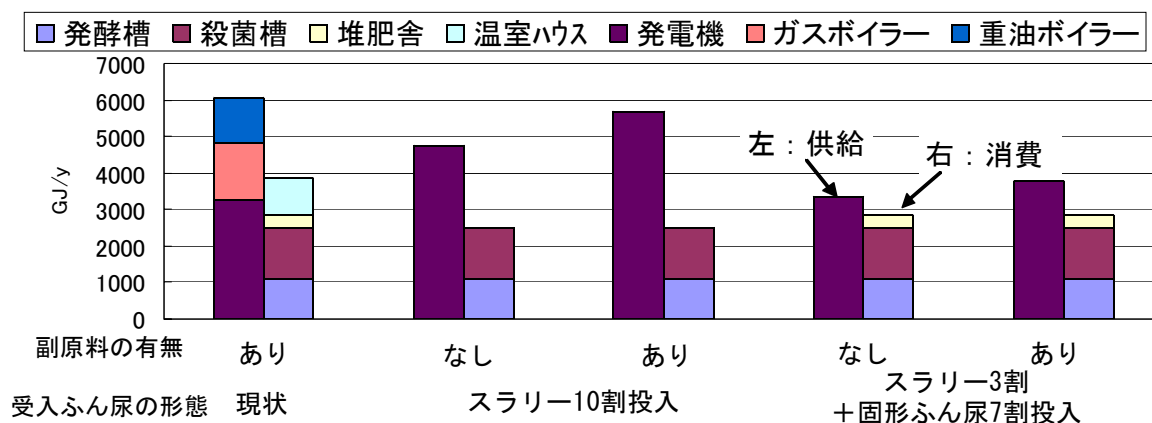


図-19 年間の熱収支（現状とシミュレーション結果）

の量が多いスラリー10割の場合に、大きな余剰熱が発生する。なお、図では明確に示されていないが、スラリー3割+固形ふん尿7割の場合には、重油ボイラーによる熱供給がごくわずかながら生じる。

年間のエネルギー収支から計算した購入電力量・売電量・重油必要量の推定結果を表-21に示す。今回シミュレーションした条件では、スラリーのみを処理し、副原料の投入によりガス発生量が増加する場合は最も効率的であり、余剰電力(売電力)が多く発生した。スラリー3割+固形ふん尿7割を処理するケースでは、余剰電力が発生するものの、発電機のみでは熱が不足するため、重油ボイラーによる熱供給が必要であった。

このように、実験用付帯設備を有しない施設構成で、受け入れふん尿をスラリーに限定すれば、発生するバイオガスのみで電力、熱の両方とも自給し、余剰電力を外部に販売することが可能である。なお、売電単価は季節や曜日、時間帯によって異なるので表-21だけから売電収入を計算することはできない。

表-21 購入電力量・売電量・重油必要量の推定結果

受け入れふん尿の形状	現状	スラリー10割搬入		スラリー3割 + 固形ふん尿7割搬入	
		なし	あり	なし	あり
殺菌条件	55°C×7.5hr	55°C×7.5hr		55°C×7.5hr	
副原料の有無	あり	なし	あり	なし	あり
購入電力量(kWh/年)	141,000	0	0	0	0
売電量(kWh/年)	113,485	474,887	632,851	116,345	186,654
重油必要量(リットル/年)	55,800	0	0	335	10

(2)小規模共同利用型バイオガスプラント（湧別資源循環試験施設）

年間のエネルギー収支から計算した購入電力量・売電量・重油必要量の推定結果を表-22に示す。今回のシミュレーション条件の範囲では、バイオガス起源のエネルギーだけで、プラント内のエネルギー需要を満たすことはできず、外部からのエネルギー供給が必要である。外部からの購入エネルギー量が最も小さくなる条件は、受け入れ原料をすべてスラリーとし、副原料を投入して殺菌条件を55°C×7.5hrとする場合である。

シミュレーション結果のうち、55°C殺菌のすべてのケースにおいて、フレアスタック(余剰ガス燃焼装置)でバイオガスを無効に燃焼せざるを得ない時間帯が生じた。余剰ガスの生じる主たる原因としては、夜間のガス利用はガスボイラーに限られるため、殺菌温度の低い(55°C)ケースを中心として夜間の消費ガス量が発生ガス量に比べて小さくなることがあげられる。この場合、バイオガス貯留量がガスホルダー容量である100m³に到達した後は無効に燃焼せざるを得ない。余剰ガスの発生を抑制するためには、例えば夜間も発電を可能にするような改善が必要である。

表-22 購入電力量・売電量・重油必要量の推定結果

受け入れふん尿形態	現状(10割固形ふん尿)				スラリー10割搬入				スラリー3割+固形ふん尿7割搬入			
	55°C×7.5hr	55°C×7.5hr	70°C×1.0hr	70°C×1.0hr	55°C×7.5hr	55°C×7.5hr	70°C×1.0hr	70°C×1.0hr	55°C×7.5hr	55°C×7.5hr	70°C×1.0hr	70°C×1.0hr
殺菌方式	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有
副原料の有無	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有
購入電力量(kWh/年)	116967	115252	121152	119871	111834	111221	114935	111900	114849	113726	119380	117356
重油量(L/年)	9066	5082	26606	21140	5211	3015	20864	13863	7366	4015	24769	18777

6-3 別海施設と湧別施設のエネルギー収支比較

施設規模の差（スケールメリット）や電力あるいは熱の用途、殺菌槽の構造などの違いがバイオガスプラントのエネルギー収支に及ぼす影響を把握することは興味深いところである。参考までに、ふん尿1tあたりに要した消費エネルギー量を別海、湧別プラントごとに示す（図-20）。これらの試算にあたっては、別海プラントの場合、2004年2月、2004年8月の実績データから、また、湧別プラントではシミュレーションにより、夏季と冬季のふん尿1tあたりに要した消費エネルギー量を求めた。両プラントとも55℃殺菌、副原料ありの条件下である。

別海プラントでは、ふん尿1tあたりに夏季に416MJ/t、冬季に534MJ/tのエネルギーを要しており、湧別プラントでは夏季に349MJ/t、冬季に626MJ/tを要していた。また、別海では夏季に52MJ/t、冬季に13MJ/tの売電力量があった。別海、湧別両プラントの必要エネルギー量の比は、夏季で1:0.8、冬季で1:1.2であり、比較的小さい。一方、この必要エネルギーに対するバイオガス起源のエネルギーの割合は夏冬とも別海の方が大きい。この要因としては、両プラントでのバイオガスの単位発生量の差が上げられる。なお、ここで示した結果は参考までに示したものであり、ふん尿処理能力の違いによる両プラントのエネルギー収支の比較検討およびその評価は、各々のプラントに設置されている施設構成、ならびに各種機器類の機能、規模が異なることから、単純な比較はできないと考えられる。

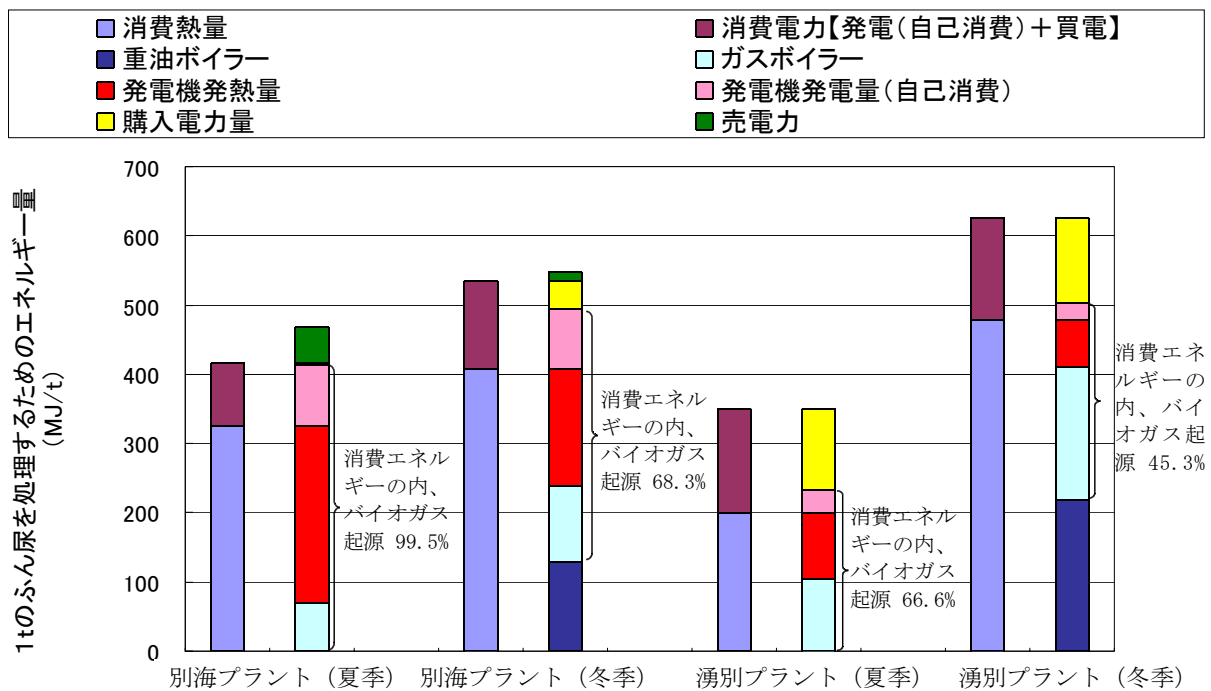


図-20 別海、湧別プラントにおけるふん尿1tあたりに要するエネルギー量及び、消費エネルギーに対するバイオガス起源の割合

7 今後の研究方向

数戸の農家で利用する小規模共同型バイオガスシステムでの効率的な運転方法の提示が残されている。

今回のシミュレーションでは、現在の湧別プラントの施設制御をもとに計算したため、

発電機の稼働が平日の日中に限定されるなどで、発生したバイオガスを有効利用できない場合がある。今後、機器を自動制御した場合のエネルギー収支の試算や、機器の規格を変えた場合のエネルギー収支の試算を行い、さらにエネルギー利用率の高い施設構成、運転方法を明らかにする余地がある。

8 おわりに

共同利用型バイオガスプラントのエネルギー収支を明らかにするため、別海資源循環試験施設、湧別資源循環試験施設において調査を行った。また、受入ふん尿の形態を変えた場合や副原料を投入した場合を想定したシミュレーションにより、エネルギーの効率的な運転条件を検討した。

その結果、規模別に次のようなことが明らかになった。

(1) 大規模共同利用型バイオガスプラント（別海資源循環試験施設）

- 1) 現状のエネルギー消費は、電気・熱ともに冬期に多く、夏期は少なかった。温室ハウスなどの研究用附帯設備でのエネルギー消費を除外した場合、現状の運転でも、一年を通して電気・熱ともに概ねバイオガス起源のエネルギーで自給可能であった。
- 2) 現状の運転では、固液分離など昼間の作業時間帯に電力消費のピークがあり、バイオガス起源の発電量だけでは不足するため、電力の購入が必要であった。
- 3) 受け入れふん尿の形状の異なる3種類の処理体系におけるエネルギー収支をシミュレーションした結果、スラリーと固形ふん尿の混合重量比が3:7の処理体系では余剰電力が発生するものの、発電機のみではエネルギーが不足するため、重油ボイラーによる熱供給が必要であった。最も余剰電力(売電)が多く、エネルギー的に自立可能だったのは、ふん尿を全量スラリーで受け入れるスラリー10割の処理体系であった。
- 4) 以上の結果より、1000頭規模の大規模共同利用型バイオガスプラントでは、エネルギー的に自立運転が可能であることが明らかとなった。

(2) 小規模共同利用型バイオガスプラント（湧別資源循環試験施設）

- 1) 殺菌温度、発電機の有無などの条件設定を行い、シミュレーションによるエネルギー収支を評価した結果、湧別プラントの場合、完全な自給を行うことはできなかった。なお、条件によっては余剰ガスが発生する場合もあることから、施設の改良等によるエネルギーの自まかないの向上に向けた改善手法の検討が必要と考えられる。
- 2) 乳牛200頭から発生する糞尿を処理する場合においても、今回のシミュレーションでは全てスラリーで搬入する処理体系の場合が効率的な結果となった。

1 課題名

4 施設システムの改善検討

2 担当場所研究科室名

独立行政法人北海道開発土木研究所 農業開発部
土壌保全研究室・農業土木研究室

① 施設システムの問題点の取りまとめ方針

別海・湧別の両プラントは、バイオガスシステムの先進地であるヨーロッパの技術を導入した施設である。もちろん、北海道は外気温条件や飼養形態・飼料の違いなどがヨーロッパと異なることから、両プラントの計画・設計時は現場の条件を想定・反映させている。しかしながら、実証試験にはお手本となるべき前例がないのであるから、計画・設計時に想定しきれない各種現象に起因する不具合・トラブルが発生する。

資源循環プロジェクトの大きな研究目的の1つは、共同利用型バイオガスプラントを積雪寒冷地へ持ち込んだときに発生するこれらの不具合・トラブルを、後継プラントの計画・設計に有益となるように技術的な記録として残すことである。このとき、失敗情報をいかに取りまとめるかが重要である。

取りまとめの参考となるような技術的失敗情報の公開例は多くないが、数少ない例外として次の2冊の書籍があげられる。

- ・石橋多聞：上水道の事故と対策、技報堂出版、1977
- ・畑村洋太郎・実際の設計研究会：続々・実際の設計－失敗に学ぶ－、日刊工業新聞社、1996

後者は、教訓としての失敗情報を他の技術者に利用しやすい形で公開するために、個々のトラブルに対して、1.事象、2.経過、3.原因、4.対処、5.総括、6.知識化という節を設けて記述している。それに対し、前者は、特段の節を設けず、1つの文章として記述しているが、後者の6つの節に記述されている内容は概ね盛り込まれている。そこで、別海・湧別の両プラントの施設システムの課題の取りまとめに当たっても畑村らの取りまとめ方法に習うこととし、畑村らの著書を引用しながら、以下にこれらの6つの節に区分することのねらいを説明する。

畑村らは、自分や他人の失敗の情報価値を「知識」にまで高めた状態とするためには図1に示すように、記述、記録、伝達、知識化、体験、の作業が重要であると述べている。このうち、失敗事例の取りまとめまでに該当する作業の内容は次のように説明されている。

「まず、「記述」が必要である。すなわち知識化する前に、事象(失敗としてどのように顕在化したのか)、経過(どのように失敗が進行したか)、原因(完全に真実でないかも知れないが、その時点で推定される原因は何か)、対処(それにどう対処したか)、総括(失敗は、結局はどのようなものであったか)、という失敗の記述をすることである。

(中略)

もちろんこのように、失敗を記録し、伝達し、教育するためには、その前に失敗が「知識化」されている必要がある。教育や検索の可能な記録を作ろうとするときには、失敗情報の分析が行われ、そこから何を学ぶのか、という知識化が不可欠である。……」

畑村らのいう「知識化」とは、それぞれの失敗事例を繰り返さないための教訓を、「購入品があっけなく破損するかも知れない。こんな時のために分解・補修・再組み立てが可能な設計にしておかないと、にっちもさっちもいなくなる。」とか、「高圧ゴムホースは圧力が上昇してもその内容積はほぼ一定である。圧力上昇により直径が増加し、その分、長さが縮む。」といった短いフレーズで表現することである。

この「4)施設システムの改善検討」では、両プラントで研究期間中に生じたトラブルを表裏で2ページのカルテに整理した。報告書本文には、次の②のとおりカルテのタイトルリストを示し、それぞれのカルテは報告書の巻末に付録として掲載する。

なお、両プラントでのトラブルのカルテ化の目的は、あくまでも失敗情報の共有化であり、トラブルの責任の追及ではない。それゆえ、確定した原因ばかりではなく、推定・想定域を出ない”原因らしき事柄”についても、列挙している。後継プラントで同様の失敗・不具合を生じさせないためには、”原因らしき事柄”も必要不可欠な情報だからである。

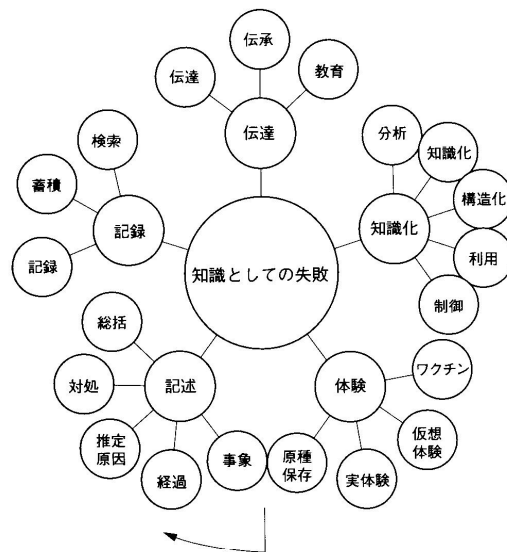


図1 知識を得るための作業（畑村洋太郎ら、「続々・実際の設計－失敗に学ぶ－」より引用）

②カルテのタイトルリスト

別海プラントでのトラブルのカルテ一覧表

カルテ 番号	カルテタイトル
1	殺菌加熱循環ポンプのスラリー漏れ
2	湿式ガスホルダーのガス流出口の移設
3	メタン発酵槽の温度計測精度の劣化
4	スカム(浮滓)、スラッジ(沈殿滓)の状況が肉眼で確認できる構造になっていない
5	コージェネレータの稼働復帰が自動ではないことによるエネルギー損失と購入エネルギー増大
6	ドレイン弁の閉塞
7	外国製品の部品類が高額であること
8	第3号コージェネレータの冷却ファンモータが焼付いたが、国産製品に交換できなかった
9	上下2カ所に設置されているメタン発酵槽の加温循環取り出し口のうち、下部の閉塞
10	メタン発酵消化液の流出管での閉塞
11	乾式脱硫装置配管でのイオウ固結閉塞
12	脱硫剤を交換したのに最終硫化水素濃度が0 ppm にならなかった
13	乾式脱硫剤の異常発熱
14	トラックスケール・プリンタの修理履歴
15	スクリープレス系統の修理履歴
16	ウェービープレス系統の修理履歴
17	温水供給地下配管の断列
18	堆肥化施設への温水供給配管の断熱不良
19	破棄バターを副資材利用するための手間
20	破棄バターを副資材利用するための手間
21	消化液搬出時の溢れ
22	ガスホルダーと脱硫の配列
23	メタン発酵槽攪拌機のギアボックスからのオイル漏れ
24	コンテナのルーフが凍結の影響で利用しづらい

湧別プラントでのトラブルのカルテ一覧表

カルテ 番号	カルテタイトル
1	センサーの異常感知
2	ガス流量計の目詰り
3	重油流量計データの異常記録
4	殺菌槽の温度表示が変化しない。
5	副資材投入用粉碎機について
6	メタンガスアナライザー
7	固液分離機のスクリュウの変形
8	バークリーナー及び固液分離機の凍結
9	発酵槽の封水切れ
10	殺菌槽電磁バルブの異常について
11	殺菌槽レベルHの点灯
12	制御室プリンターの異常
13	発酵槽への原料投入ができなくなった
14	シーケンサーカードの腐食
15	ガスボイラーが着火しにくい。
16	受入槽 No 2 の液面ゲージの値は正確ではない？
17	ガスボイラーの燃焼時間が予想より短い。
18	バイオガス混入空気量が変動する。
19	ガス発電機の不調について
20	発酵槽の封水のふき出し
21	ガスボイラーの着火不良
22	緊急停止
23	ガスラインの意外な場所での気付かなかった閉塞
24	殺菌槽からの消化液の溢れ
25	ガス流量計の目詰まり
26	発酵槽～生物脱硫間での消化液移送配管の詰まり
27	ガスアナライザーの故障
28	固液分離液槽ポンプのホース脱落
29	ガス発電機の不調
30	ガスボイラーの着火不良
31	殺菌槽で消化液が溢れた。
32	殺菌槽で消化液が溢れた。
33	ガスラインのバルブが閉じられない。
34	凍結によるマニユアスプレッダーの破損
35	殺菌槽フィードポンプが停止
36	封水切れ
37	温水循環ラインの腐食及び漏水
38	発酵槽への原料移送トラブル
39	落雷によるポンプ類の停止
40	商用・自家発電の切り替えができない。
41	殺菌槽レベルセンサーの異常
42	温度センサーの故障
43	殺菌槽の開口部が小さい
44	発電機の稼働不良
45	殺菌槽からあふれた消化液の清掃