

## [IV] 成果の要約と今後の課題



# 1 バイオガスプラントの技術的適応性

## 1) 別海プラント

### (1) 畜舎での糞尿収集

#### i フリーストール

##### a 当初計画

現状はスキットローダーによる堆肥盤への押し出し方式である。これをピット貯留方式へ変更。糞尿の移動は、畜舎内にバークリーナー（シャトルスクレーパー）を設置して、地下ピットに貯留する計画とした。

##### b 試験結果

スキットローダーによる糞尿の押し出し方式あるいはバークリーナーによる糞尿の移動方式を採用する事によって、4月～11月の温暖期には糞尿は農家の管理作業時間内で順調に収集された。厳寒期においても、畜舎内での夜間の糞尿凍結が発生することがあるものの、ピットへの糞尿の送り込みはおおむね順調に行われた。

しかしながら、ピット内では厳寒期にしばしば糞尿の凍結・粘度上昇が発生し、プラントへの糞尿の搬送時に糞尿を吸引できない場合が生じた。調査の結果、外気による冷却と糞尿の粘度の高さが凍結の原因と判断され、ピットの断熱対策試験およびピット内糞尿のパーラー排水による希釈試験を行った。

その結果、①ピットの断熱には盛土が効果的で、これにより糞尿の保温が可能であること（表1）、②パーラー排水の混和により、糞尿中の固形分が低下し、糞尿の吸引が容易になること、③糞尿の粘度が高い場合、吸引前にあらかじめ十分な攪拌を行うことが必要であることが明らかとなった。

共同利用型バイオガスプラントの場合、一定量の発酵原料の継続的な供給が必要であり、ピット内の糞尿を常に吸引可能な状態に保つことは重要である。

表1 各農家における外気温、および機械室、地下ピット内、盛土内、牛舎内、ふん尿溝の温度

| 処理区           | 底部から | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm | 400cm | 外気温度  | 機械室内  | 断熱材下 | 断熱材上 | 盛土  | 牛舎内温度 | ふん尿溝 |
|---------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-------|------|
| I区 (断熱材+盛土:A) | AVG  | 6.4  | 6.4   | 4.2   | 1.8   | 1.8   | -2.6  | -0.1  | 0.8  | -0.5 | —   | —     | —    |
|               | ±SD  | 1.9  | 1.9   | 2.9   | 2.8   | 3.0   | 5.9   | 6.6   | 0.4  | 1.0  | —   | —     | —    |
|               | MAX  | 9.5  | 9.5   | 8.9   | 8.5   | 10.6  | 7.6   | 11.8  | 2.1  | 1.3  | —   | —     | —    |
|               | MIN  | 3.0  | 2.8   | -6.3  | -6.4  | -7.6  | -19.7 | -16.3 | 0.1  | -2.5 | —   | —     | —    |
| II区 (盛土のみ:E)  | AVG  | 7.0  | 6.6   | 4.1   | 1.6   | 0.7   | -2.2  | 0.7   | —    | —    | 0.9 | -0.4  | 1.3  |
|               | ±SD  | 0.3  | 0.6   | 2.7   | 2.2   | 2.3   | 5.0   | 6.1   | —    | —    | 0.4 | 6.5   | 2.9  |
|               | MAX  | 7.8  | 7.8   | 7.7   | 7.7   | 6.5   | 6.1   | 10.2  | —    | —    | 2.0 | 18.0  | 10.3 |
|               | MIN  | 6.1  | 5.3   | -3.0  | -3.9  | -5.5  | -19.8 | -13.6 | —    | —    | 0.1 | -16.4 | -7.6 |
| III区 (無処理:B)  | AVG  | 3.5  | 3.3   | 1.9   | 0.1   | 0.7   | -2.8  | -0.6  | —    | —    | —   | —     | —    |
|               | ±SD  | 1.5  | 1.5   | 1.8   | 2.0   | 3.3   | 5.6   | 6.8   | —    | —    | —   | —     | —    |
|               | MAX  | 5.9  | 6.1   | 4.8   | 4.6   | 13.4  | 7.3   | 10.3  | —    | —    | —   | —     | —    |
|               | MIN  | 0.9  | -1.3  | -3.9  | -7.0  | -7.3  | -18.5 | -17.5 | —    | —    | —   | —     | —    |

\*ふん尿溝温度はE農家のみの測定、2003年3月1日から3月26日の集計

c 残された課題

畜舎内の凍結糞尿の融解対策

ii ストール

a 当初計画

現状では、バークリーナーで排出し堆肥盤に堆積している。これを堆肥盤に堆積したものを、ホイールローダーとダンプで回収する計画とした。

b 試験結果

ストールでは畜舎内での気温が低下せず、糞尿凍結は発生しなかった。

堆肥盤では、厳寒期に積み上げられた固形糞尿表面の凍結が生じたが、ホイールローダーでのダンプへの積み込み時に簡単に破碎され、プラントでの固液分離時に問題が発生することはなかった。また、後述するように、農家からプラントへの糞尿の搬送労力軽減のため、2002年度7月からコンテナ（写真1）による固形糞尿の搬送方式を導入したが、こ



写真1 コンテナの設置状況

この方式では糞尿の回収頻度が従前の方式より多くなるため、糞尿の凍結はそれほど発生しなかった。ただし、コンテナ方式導入に当たっては、コンテナ車のぬかるみ防止、コンテナの堆肥盤への凍結固着防止のため、堆肥盤および堆肥盤への浸入経路の改造が必要となる場合があった。

c 残された課題

農家敷地内の道路は大型のコンテナ車の通行に耐える構造になっている場合は少なく、低コストの道路補強・維持法の開発が必要である。

## (2) 農家からプラントへの糞尿の搬送

### a 当初計画

当初の糞尿搬送車両は図1の上のとおりで、フリーストール農家からの糞尿スラリーは、糞尿スラリーピットよりバキュームタンカーで吸い上げ搬送する計画とした。

ストール農家からは、固形糞尿はホイールローダー積込+ダンプトラック搬送、尿はバキュームタンカー搬送の計画とした。

### 当初計画



バキュームタンカー



ダンプトラック (左) と  
ホイールローダー (右)



### 改善後



アームロール車  
(バキュームタンク搭載時)



アームロール車  
(コンテナ搭載時)

図1 別海プラントにおける糞尿搬送体制の変化

## b 試験結果

フリーストール農家からの糞尿はスラリー状のため、厳寒期の凍結問題以外に特に問題は発生していない。

ストール農家では、ホイールローダーとダンプトラックを利用することによる労力の増が課題となった。そこで、2002年度7月より、バキュームタンクとコンテナを着脱可能なアームロール車（図1下）による糞尿運搬体制に移行した。この結果、従前では3人の人員が必要であった糞尿搬送を1人で実施可能となった。

フリーストール農家のピット内の糞尿の固形分が多い場合、糞尿の吸引に時間を要し、搬送効率の低下を招くことが明らかとなり、対策として、パーラー排水の混和が有効であった。

## c 残された課題

- ・コンテナ内の固形糞尿排出時の糞尿によるアームロール車後輪汚損の防止。

### (3) 消化液・堆肥の搬出・散布

#### a 当初計画

現状では生糞尿を未熟のまま散布している。

計画では、消化液の散布作業は農家の選択により業者委託と個人散布の 2 系統で行う。プラントに 2,500m<sup>3</sup> 容量の貯留タンクを 3 基、プラントから離れた草地にはサテライトの貯留タンク (1,000m<sup>3</sup>) を 2 基設置した。

搬出散布機械は業者委託は「190PS トラクタ+16t タンカー」、個人散布は 6.5t 程度のバキュームカーが多く、トラクター馬力は「90~140PS」である。



写真2 スプラッシュプレート

#### b 試験結果

地元業者ならびに農家が使用している散布機械は、スプラッシュプレート方式 (写真2) による空中散布で、吐出量が散布幅も大きく効率は良いが、臭いやアンモニア揮散など環境上の課題も大きい。一方、散布液の飛散を抑える浅層インジェクション方式 (写真3) およびバンドスプレッド方式 (写真4) の散布機械は、農家の間で散布効率に対する不安があり、日本での普及が進んでいない。そこで、これら 3 方式の散布機械の散布効率について比較試験を行った。その結果、スプラッシュプレート方式、浅層インジェクション方式およびバンドスプレッド方式の 3 機種種の散布効率はそれぞれ、1.6ha/h、1.5ha/h、3.7ha/h で浅層インジェクション方式でスプラッシュプレート方式と同程度、バンドスプレッド方式で 2 倍以上の散布効率となった。



写真3 浅層インジェクション



写真4 バンドスプレッド

貯留タンクから圃場までの搬送時間 (労力) が散布作業全体に及ぼす影響が非常に大きく (表2)、離隔距離が大きいほど移動時間の占める割合が大きくなる。

表2 消化液の搬出・散布作業能率 (3 台の平均)

| 移動  | 搬出 1 台あたりの作業時間 (秒、カッコ内は分) |                   |     |               | 総時間<br>(秒) | 能率<br>(台/h) | 往復距離<br>(km) |
|-----|---------------------------|-------------------|-----|---------------|------------|-------------|--------------|
|     | 圃場散布                      | 消化液積み込み<br>(プラント) | その他 | 移動以外の<br>作業時間 |            |             |              |
| 627 | 260                       | 251               | 115 | 626 (10.4)    | 1253       | 2.9         | 3.2          |

運搬・散布タンカ容量：14500L

このことから、遠隔圃場に対してはサテライト貯留タンクを設け、予め貯留を行うことにより、散布と搬送の作業工程を切り離すこと、及び搬送機械は走行速度向上を図れるトラックタンカー等に依ることが適当と考えられる。

#### c 残された課題

ガス揮散が少なく、環境負荷の小さい浅層インジェクションなどの導入の検討。

#### (4) 受入設備

##### a 当初計画

原料糞尿は、スラリーを受け入れる計画であるが、敷き料に長ワラを使用しているスタンション農家がフリーストールに移行する状況になく、当面長ワラ糞尿を受け入れざるを得ない。プロジェクトでは、地域農家の飼養実態を考慮し以下の対応とした。

- ・フリーストールからのスラリーは 7.2t のバキュームカーで受入槽に直接搬入する。
- ・スタンションストールからの固形糞尿は 8.4t のダンプトラックで搬入し、固液分離後液分を受入槽にポンプ圧送する。

##### b 試験結果

スラリーは当初計画通りバキュームカーで受入槽に直接投入しており、支障は生じていない。

一方、冬期間堆肥盤に野積みされた固形糞尿は、夜間に表面の凍結が発生し、固液分離の前処理として凍結糞尿の融解が必要となった。このため、2002 年度に床暖方式の融解施設（写真 5）を導入した。

また、プラント管理人からは固液分離作業には常時、人が付き、人力で行う作業があり、大変であるとの報告がある。2 人の管理人の固液分離作業と堆肥作業の作業時間全体に占める割合が 1/3 以上と大きいことが確認された。

さらに、当初計画の固液分離能力では、スタンション飼養の参加予定 7 戸の固形糞尿全量を受け入れることができなかった。

このため、2002 年度にウエービープレスによる固液分離の能力増強と、改良マニユアスプレッダによる固液分離機への固形糞尿の定量供給設備（写真 6）を導入した。

この結果、定量供給設備への負荷量を一定量以下にすれば、数時間の無人運転が可能であることが確認された。

固形糞尿を受入槽に直接投入するための機械設備を増強し、試験を実施した。長藁を含んだ大きな塊の固形糞尿をそのまま投入すると、ポンプが閉塞することがあった。長藁を敷料として用いている農家の固形糞尿、固形糞尿の固液分離固分および裁断藁を敷料として用いている農家の固形糞尿について、受入槽への直接投入試験を行ったが、いずれも固形分の破砕・分散に多大な労力と時間を必要とし、実用化は困難と判断された。

##### c 残された課題

- ・固形糞尿の短時間の破砕・分散が可能な受入システムの開発



写真 5 床暖式融解施設



写真 6 固形糞尿の定量供給設備

(5) メタン発酵設備

i 原料投入量

a 当初計画

原料スラリー46.7m<sup>3</sup>/日(乳牛 1,000 頭)、副資材 3.3m<sup>3</sup>/日、合計 50m<sup>3</sup>/日

b 試験結果

メタン発酵槽への原料スラリー投入は、2001年5月15日から開始され、2003年10月までは40m<sup>3</sup>/日を超えることは稀であったが、2003年11月以降は高い頻度で超えるようになった(図2)。2003年11月には、固形糞尿排出農家のうち、1戸がスラリーでの糞尿排出方式に変更しており、この影響により原料スラリー投入量が増加したと思われる。しかしながら、協力農家10戸のうち、1戸がプラントへの糞尿の搬入を長期にわたって休止している関係で、メタン発酵槽への原料スラリー投入量は、計画値の46.7m<sup>3</sup>/日を満たしていない。

原料の回収量が夏季に少なく、冬季に多い傾向を示すのは、夏季の放牧飼育の影響と考えられる。

副資材投入量は、2002年度以前で122.6t/yr、2003年度で172.2t/yrと少なかったが、2004年度には1029.1t/yrと飛躍的に受入量が増加した。これは、613.5t/yrにおよんだ乳業工場汚泥の受入開始の影響が大きかった。

c 残された課題

- ・糞尿発生量の季節変動を考慮した合理的原料投入計画の立案
- ・副資材の安定的確保

ii ガス発生量

a 当初計画

中温発酵(発酵温度 37°C、滞留日数 30 日)、投入量 46.7m<sup>3</sup>/日(副資材含まない)、ガス発生量 1,300m<sup>3</sup>/日、単位発生量 27m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>(副資材含まない)

副資材含み処理量 50m<sup>3</sup>/日、ガス発生量 1,500m<sup>3</sup>/日、単位発生量 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

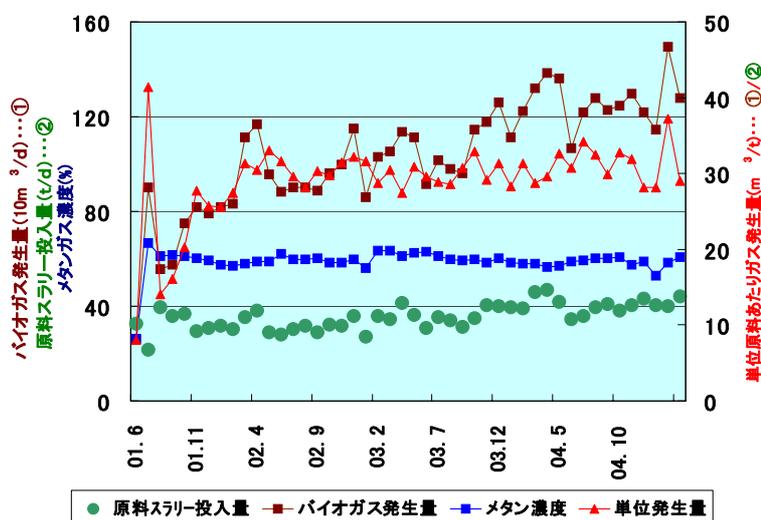


図2 別海施設のメタン発酵の推移

b 試験結果

図2に示すように、原料スラリー投入量が計画値を達成していないため、バイオガス発生量は2004年度においても1200m<sup>3</sup>/d前後と計画値に達していないが、単位発生量は29m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>程度とほぼ計画値を達成しており、積雪寒冷地においても、バイオガスの発生は順調に進むものと判断できた。

立上げ直後のガス単位発生量の平均値は25m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>で、一般値の15~30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の範囲にあり、単位発生量からメタン発酵は良好と判断される。

c 残された課題

- ・特になし

iii メタンガス濃度

a 当初計画

バイオガスのメタンガス濃度約60%、二酸化炭素約40%

b フェイズIの試験結果

図2に示すように、メタン濃度の一般値である60%程度を推移しており、ガス濃度の点からの評価としてもメタン発酵は良好と判断される。

c 残された課題

- ・特になし

iv 高温発酵の実証試験

a 当初計画

本プラントの実証試験では、積雪寒冷地で気候的に不利な条件下での高温発酵技術の習得やその実証も目的としている。

高温発酵の条件は、計画処理量75m<sup>3</sup>/日(副資材含む)、滞留日数20日、ガス発生量2,250m<sup>3</sup>/日の計画である。

b 試験結果

原料確保が困難なため、処理量50m<sup>3</sup>/日、滞留日数30日という条件での実験となった。中温発酵から高温発酵への移行期では、単位ガス発生量やメタンガス濃度が減少し、発酵槽の加温に多くの外部エネルギーを消費する結果となったが、高温発酵が安定期に入ると、

表3 高温発酵試験における期別対比表

| 項目                                    | 中温発酵期   | 温度上昇期<br>(7日間) | 移行期<br>(10日間) | 高温発酵期   |
|---------------------------------------|---------|----------------|---------------|---------|
| バイオガス発生量<br>(m <sup>3</sup> /日)       | 1,190.9 | 1,495.6        | 935.9         | 1,506.5 |
| メタンガス濃度(%)                            | 59.0    | 56.3           | 49.4          | 58.6    |
| スラリー投入量(m <sup>3</sup> /日)            | 42.8    | 45.8           | 44.8          | 40.0    |
| 単位原料当たりガス発生量<br>(m <sup>3</sup> /t/日) | 27.8    | 32.7           | 20.9          | 36.7    |
| 電力自給率(%)*1                            | 107.5   | 97.9           | 47.2          | 145.7   |
| 重油消費量(L/日)                            | 97      | 209            | 247           | 67      |
| 発酵槽熱消費量(MJ/日)                         | 4,384   | 17,880         | 9,520         | 5,742   |
| 殺菌槽熱消費量(MJ/日)                         | 4,401   | 2,031          | 0             | 0       |

\*1 電力自給率は売電を除く消費電力量の合計と発電量の比率

メタンガス濃度が回復し、中温発酵期に比べ、単位ガス発生量は 1.3 倍、電力自給率は 1.5 倍となり、高温発酵の方がエネルギー収支的に有利であった（表 3）。

c 残された課題

- ・高温発酵への移行期でのガス発生量の一時的低下を軽微かつ短期に抑える手法の開発。

(6) ガス貯留設備

a 当初計画

ガスホルダは中温発酵対応の 200m<sup>3</sup>(湿式ガスホルダ)と、高温発酵対応の 250m<sup>3</sup>(乾式ガスホルダ)を設置した。

b 試験結果

湿式ガスホルダは下部に消化液を一時滞留させ、残存バイオガスの二次回収と、生物脱硫を兼ね備えたものであるが、この部分の保温対策が十分でないため、冬期間この部分からの熱損失が大きく、殺菌工程での加熱に大きな熱エネルギーを要した。積雪寒冷地において湿式ガスホルダを導入する場合、保温対策がしっかりなされたものを選択する必要がある。

c 残された課題

- ・湿式ガスホルダの保温対策による熱損失改善。

(7) 脱硫設備

a 当初計画

湿式ガスホルダーと兼用の生物脱硫と、酸化鉄による乾式脱硫装置を設置した。

b 試験結果

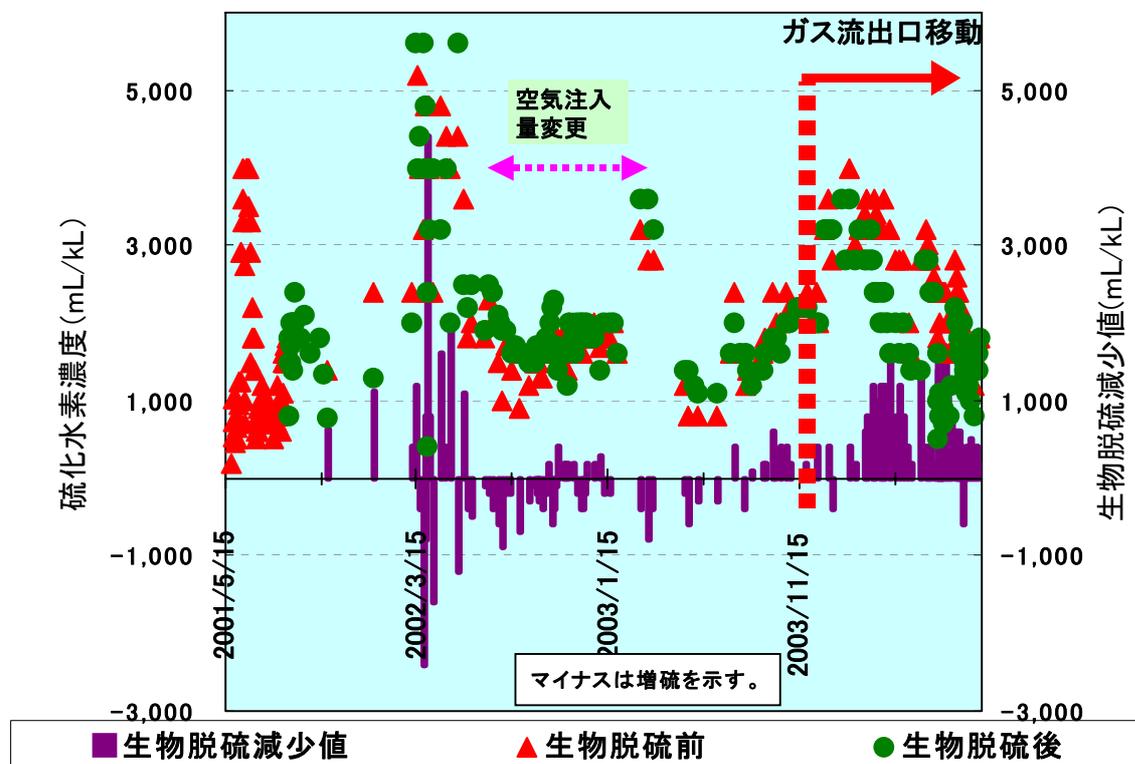


図3 生物脱硫の効果

生物脱硫の状況を図3に示す。湿式ガスホルダーでのバイオガス流入口と流出口は当初近接していたが、その時に空気混入量を0～4%の範囲で変更しても生物脱硫の顕著な改善効果は認められなかった。

改善策として、湿式ガスホルダーの流出口の位置を流入口に対向するように移動し、湿式ガスホルダー内でのバイオガスの滞留時間を長くした。これにより空気混入率が6～9%の範囲で、生物脱硫率は低い時もあるが、約80%まで高めることもでき、生物脱硫が改善された。

湿式ガスホルダー内の液温は20℃前後に推移し、夏期の外気温より約10℃、冬期の外気温より約20℃高かった。

施設内に設置した小規模な担体式生物脱硫試験装置では、装置内温度を38℃に保持し、空気混入率が5～8%の時に、約80%の安定した生物脱硫率が達成された。本装置のイオウ酸化細菌の生息場所面積当たりの日ガス処理量は0.5m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>/日で、同2.8m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>/日の湿式ガスホルダーに比べて、イオウ酸化細菌に対する処理負荷が小さかった。

以上から、生物脱硫の機能を十分発揮させるためには、①バイオガスと空気との十分な混和、②イオウ酸化細菌の繁殖場所、③イオウ酸化細菌の生育適温の確保が重要であると結論

された。

脱硫経費に関しては、生物脱硫装置を併設し機能させる方が、酸化鉄脱硫単独よりも安価であると試算された。

c 残された課題

- ・ 乾式脱硫設備の維持管理費の低減
- ・ 担体投入・保温下での湿式ガスホルダーの脱硫機能の検討

(8) 殺菌

a 当初計画

本プラントは、70°C1時間以上ホールドで後殺菌、前殺菌双方が可能な施設とした。

b フェイズ I の試験結果

表4 バイオガスプラントにおける原料スラリーおよび消化液中の中の大腸菌および腸球菌数の変化

| プラント名 | サンプリング*           | n  | 大腸菌数                                  |          | n  | 腸球菌数                     |          |        |
|-------|-------------------|----|---------------------------------------|----------|----|--------------------------|----------|--------|
|       |                   |    | log <sub>10</sub>                     | cfu/g±sd |    | log <sub>10</sub>        | MPN/g±sd | PRE**4 |
| 湧別    | 受入槽               | 34 | 5.7                                   | ± 0.5    | 25 | 5.9                      | ± 0.7    |        |
|       | 発酵槽               | 34 | 2.7                                   | ± 0.7    | 25 | 3.9                      | ± 0.5    | 2.0    |
|       | 殺菌槽 <sup>1)</sup> | 33 | ND <sup>3)</sup> (n=29), 2.3±1.0(n=4) |          | 24 | ND(n=14), 1.6±0.3 (n=10) |          | >4.3   |
|       | 貯留槽               | 20 | ND (n=12), 1.9±1.2(n=8)               |          | 19 | ND(n=1), 2.3±1.0(n=18)   |          | >3.6   |
| 別海    | 受入槽               | 39 | 5.2                                   | ± 0.6    | 31 | 5.6                      | ± 0.6    |        |
|       | 発酵槽               | 37 | 2.3                                   | ± 1.0    | 31 | 3.7                      | ± 0.6    | 1.8    |
|       | 殺菌槽 <sup>2)</sup> | 30 | ND(n=28), 1.7±0.5(n=2)                |          | 23 | ND(n=10), 1.8±1.0(n=13)  |          | >3.8   |
|       | 貯留槽               | 30 | ND(n=24), 1.7±0.8 (n=6)               |          | 29 | ND(n=9), 1.6±0.8(n=20)   |          | >4.0   |

1)70°C・1hr

2)70°C・1hr(～'03/1/27)、55°C・7.5hr('03/1/27～)

3)ND:不検出(=検出限界以下;<1.0)

4)PRE=Pathogen reduction effect of overall process in log10 units. (病原体減少効果) ある過程の前後における腸球菌数の対数の差

殺菌槽での加熱処理は、当初設計では 70°C 1時間であったが、ヨーロッパでの実例を参考にして、平成 15 年 2 月よりエネルギー収支の面から有利な 55°C7.5 時間に変更した。いずれの加熱処理においても、消化液中の大腸菌は不検出となり、腸球菌も概ね 2log<sub>10</sub>MPN/g 以下に減少し、十分な病原性微生物の低減効果が得られた (表 4)。

プラントにおける熱量不足や殺菌槽の配管閉塞等のトラブルにより、加熱処理が十分に行われなかった場合、上記目標値を達成できない場合も生じることから、殺菌槽の安定的な運転・管理が重要であるものと考えられた。

c 残された課題

- ・ トラブル時の十分な殺菌温度と加温時間の確保。

## (9) 消化液貯留施設

### a 当初計画

冬期間は消化液の散布ができないことから、プラント内に 2,500m<sup>3</sup>×3 基、遠隔の草地にサテライト貯留タンク 1,000m<sup>3</sup>×2 カ所を設置し、冬期発生 of 消化液を貯留する計画とした。いずれも無蓋型である。附属施設として、場内タンクには槽内に攪拌スクリー（出力 7.5kW）各 1 台と槽外に汲上ピット（RC 造 25m<sup>3</sup>）各 1 基を設置した。場外タンクには槽外に汲上ピット（RC 造 25m<sup>3</sup>）各 1 基と汲上ポンプ（出力 5.9kW）各 1 台を設置した。場内タンクの汲上ポンプには、汲上ピットに流出した消化液を貯留槽内に吐出させて消化液を攪拌・循環させる機能も持たせた。

### b 試験結果

冬期間に発生する消化液の貯留を行っており、容量的な不足は生じていない。

スラリータンカーへの消化液の汲上げにも対応可能なように、場内タンクの各汲上用ピットに汲上ポンプ設備（φ100mm×5.5kW～1 台）の増設を行った。場内タンクでは、当初毎日 90 分×3 回の攪拌を行っていたが、この攪拌頻度ではスラッジの堆積が発生し、消化液散布時に汲出口が閉塞したり、攪拌不良による消化液の成分不均一が発生し、汲出時期により消化液の肥料成分濃度が異なるという問題が発生した。この問題は、消化液散布時期には数日前から 24 時間攪拌に切り替えることで解決した。場内タンクでは、汲上ピットに流出させた消化液を貯留槽に吐出させることにより貯留槽内の攪拌を行うため、汲上ピットへの流出量をバルブによって汲上ポンプの吐出量と同程度に正確に調整しないと、汲上ピットから消化液が溢れたり、逆に汲上ピットが空になり汲上ポンプの空運転が発生する危険性があり、24 時間の自動運転が困難であった。このため、貯留槽内の攪拌が不十分となり、スラッジの堆積が進む結果となった。

また、圃場への消化液散布は散布時期が短期集中するため、作業性向上の観点から、汲上ピットの容量と汲上ポンプの出力をもっと大きくして欲しいという要望が農家から上がった。

消化液の散布は短期間に集中することから、複数の農家が同時に迅速に散布作業が行えるよう、十分な大きさの汲上ピットの確保と短時間に汲上げが完了する大出力の汲上ポンプを設置することが合理的である。また、スラッジが堆積しないよう、また、農家間による消化液の品質差が生じないように、消化液の攪拌が十分に行えるだけの攪拌機器の出力確保と、運転の実施を行う必要がある。また、スラッジが堆積した場合の清掃作業が容易なような貯留槽構造の選択も重要である。

貯留槽中の消化液の分析結果から、無蓋型の貯留槽の場合、貯留中に消化液からアンモニアが揮散し、窒素肥料成分の損失を招くことが明らかとなった。したがって、これを防止するために、有蓋型の貯留槽を採用することが望ましい。

### c 残された課題

有蓋型貯留槽採用による窒素成分損失防止効果の検証

## (10) 発電機

### a 当初計画

発電機は中温発酵試験対応として 65kW×2 台、高温発酵試験対応として 65kW×1 台を追加し、合計 65kW のガス専焼式発電機 3 台を設置した。

### b 試験結果

余剰電力を北電へ送電するための契約及び施設改善(逆潮流機能)が H15 年 2 月よりなされたため、これまでの稼働制限が解除され、余剰電力の売電が可能となった。

平成 14 年 12 月に北海道電力(株)との間で契約となった売電単価は以下である。

- ・ 冬季 8:00～22:00 9.5 円/kWh
- ・ 夏季 8:00～22:00 8.8 円/kWh
- ・ 通年 22:00～8:00 3.8 円/kWh

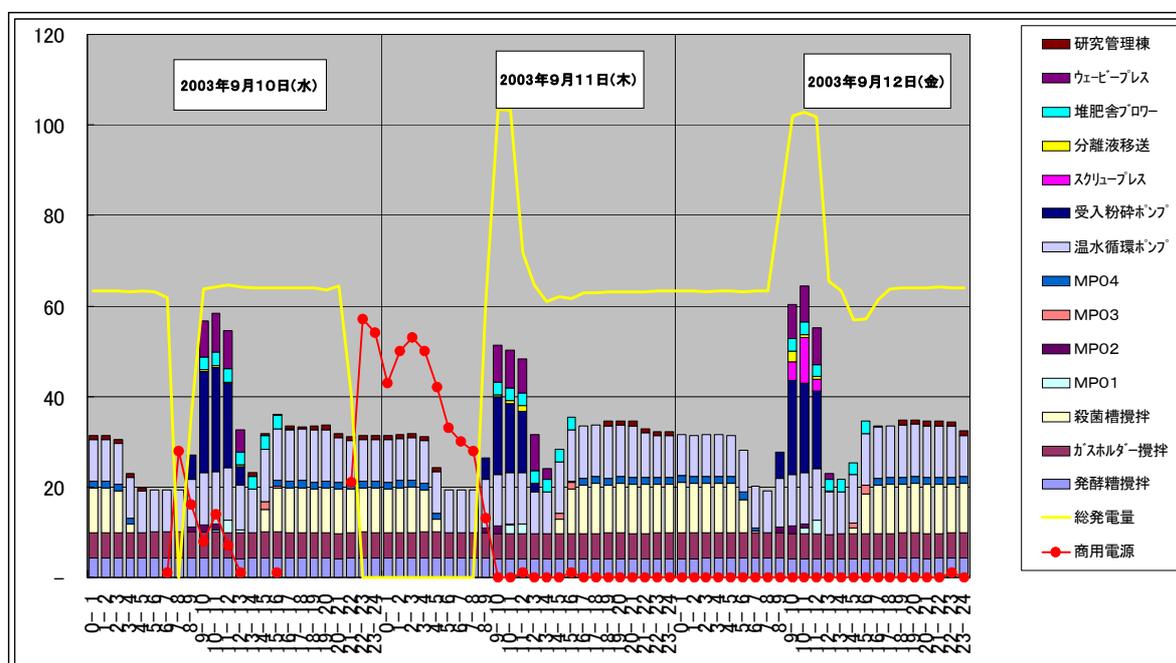


図4 発電機の停止に伴う購入電力増加の状況

稼働制限解除後は、中温発酵で、1 台が 24 時間、もう 1 台が 8:30 頃～12:00 頃の 2 台体制で発電を行った。この運転体制では、しばしばガス不足により未明に発電機が停止した。プラントに設置した発電機にはガス不足が解消したときの自動復帰システムが付帯しておらず、一旦発電機が停止した場合の復帰はプラント運転員が出勤してきた 8:30 分以降となり、復帰までは余剰ガスはフレアスタックにより無効燃焼され、不足電力を購入電力で補うこととなった(図4の9月10日20時～9月11日10時)。また、このような現象は、日曜日には原料糞尿が投入されないことから、日曜深夜から月曜未明にかけて発生しやすく、ガス不足による発電機停止事例のおよそ5割に達した。自動復帰システム導入への改造は専門的な慎重な検討を要し、容易ではない。したがって、発電機停によるエネルギーの損失を防ぐためには、設計当初から発電機の自動復帰システムを組み込んでおくべきである。また、発酵槽への原料投入を毎日行うことも有効な防止策となる。

本プラントに導入した発電機は当時、国内製品に適当なものがなかった関係でドイツ製であった。最初の点検整備時には、初めてであることから、ドイツから技術者を呼んだが、点検整備費用が1台あたり約180万円と高額となった。その後、日本の企業（本拠地：横浜）への点検整備ノウハウの技術移転を進め、2回目の点検整備費用は1台あたり約75万円にまでコストダウンできた。現在、別海町の企業への技術移転を進めている段階であり、将来の点検整備費は更に低減されるはずである。しかしながら、部品交換が発生した場合、日本製品で代替はできないので、ドイツから輸入することになり、交換費用が増嵩することになる。

今後、プラントを設計する場合は、発電機の性能だけでなく、維持管理費用や維持管理の利便性も十分考慮して発電機の選定をすべきである。

なお、発酵原料の不足により、高温発酵時の3台同時運転の検証は実施できなかった。

### c 残された課題

- ・ 高温発酵処理による3台同時運転の実証

## (11) エネルギー利用

### a 当初計画

コジェネレーター（電熱併給型発電機）により得た電気は、プラント内利用を優先し、余剰電力は将来の売電を視野に入れ、売電単価の高い日中に集中して発電する計画とした。また、回収した熱量は、メタン発酵槽と殺菌槽の加温、堆肥発酵施設の加温に利用する計画としている。

ガス温水ボイラーはガス発電機故障時のバックアップとして、重油ボイラーは当初立ち上げ時または発酵不良時のバックアップとして装備した。温室ハウスは高温発酵試験時の予定とした。

### b 試験結果

エネルギー消費は、電気・熱ともに冬期に多く、夏期には少なかった。温室ハウスなどの研究用附属設備でのエネルギー消費を除外した場合、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。

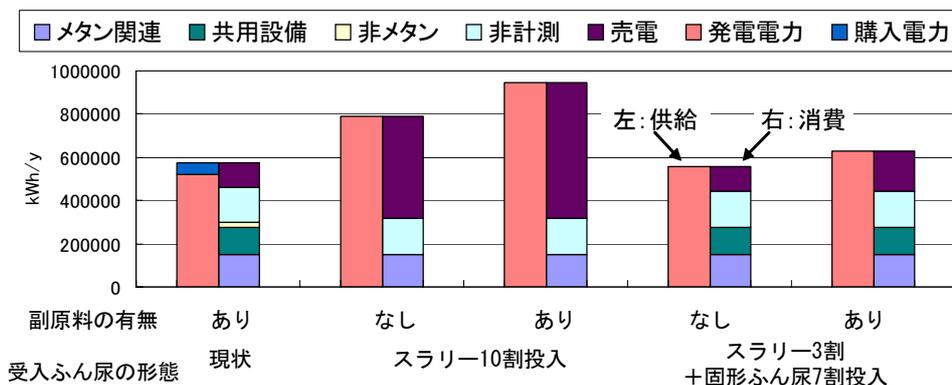


図5 年間の電力収支（現状とシミュレーション結果）

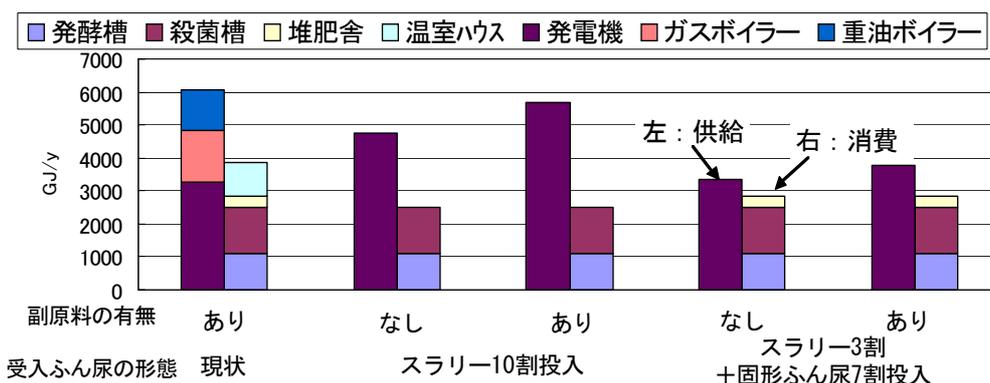


図6 年間の熱収支（現状とシミュレーション結果）

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、この時間帯では電力の購入が必要であった。

受入糞尿の性状の異なる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、スラリーと固形糞尿の混合重量比が3：7の処理体系では余剰電力が発生するも

のの、わずかであった。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、糞尿を全量スラリーで受け入れる処理体系であった（図5、6）。

c 残された課題

- ・消費電力ピークの分散を考慮した施設運転体系の検討
- ・高売電単価時・低買電単価時を考慮した稼働体制の検討

## (12) 副資材の利用

### a 当初計画

副資材としては、水産系残滓、生活系残滓等が考えられ、糞尿量の約 10%程度(3.3m<sup>3</sup>/日)を導入する計画とした。

### b 試験結果

受け入れ槽から採取した原料スラリーと廃用牛乳(酸敗後)、脱脂粉乳、給食残滓、牛乳工場汚泥を用いてバッチ処理による室内試験を行った。障害の発生程度、ガス発生量、メタンガス濃度 60%保持期間を指標として各副資材の優劣を評価すると、廃用牛乳(酸敗後)、脱脂粉乳、給食残滓、牛乳工場汚泥の順位となる結果が得られた。

室内実験でのスラリーに対する牛乳混入によるメタンガス増量効果はスラリーに対して 20%投入して約 1.5 倍であった。同じく、バターでは 8%投入して約 2.3 倍であった(表 5)。

表 5 牛乳実験、バター実験、パン粉実験での投入Vs量とメタンガス発生量

| 処理区      | 投入Vs量(g) |       |      | メタンガス発生量(ml) | 投入Vs当りメタンガス発生量(ml/g) | 無投入区に対する比率 |            |
|----------|----------|-------|------|--------------|----------------------|------------|------------|
|          | スラリー由来   | 副原料由来 | 合計   |              |                      | 投入Vs       | メタンガス単位発生量 |
| 対照区      | 643      | 0     | 643  | 159100       | 248                  | 1          | 1          |
| 牛乳5%投入区  | 609      | 77    | 686  | 192800       | 281                  | 1.07       | 1.13       |
| 牛乳10%投入区 | 575      | 154   | 729  | 230200       | 316                  | 1.13       | 1.27       |
| 牛乳20%投入区 | 508      | 307   | 815  | 293700       | 360                  | 1.27       | 1.45       |
| 対照区      | 813      | 0     | 797  | 169700       | 213                  | 1          | 1          |
| バター2%投入区 | 778      | 196   | 974  | 319000       | 327                  | 1.22       | 1.54       |
| バター4%投入区 | 780      | 393   | 1173 | 443100       | 378                  | 1.47       | 1.77       |
| バター8%投入区 | 748      | 785   | 1533 | 753800       | 492                  | 1.92       | 2.31       |
| 対照区      | 515      | 0     | 515  | 141600       | 275                  | 1          | 1          |
| パン粉8%投入区 | 459      | 634   | 1094 | 395900       | 362                  | 2.13       | 1.32       |

※パン粉実験は北海道大学院農学研究科松田従三教室：中久保亮修士生との共同実験

なお、有機物当たりのメタンガス発生量は糞尿：0.23m<sup>3</sup>/kg、廃牛乳 0.82m<sup>3</sup>/kg、廃バター0.89m<sup>3</sup>/kg であり、廃乳製品は糞尿に比べて、顕著に有機物当たりのガス発生量が多かった。

室内実験で限界投入量を調べたところ、プロテインでは 7%、バターでは 10%、パン粉では 12%程度と考えられた。

別海施設でのプラントレベルでの各種副資材によるメタンガス増量効果は平均すると約 1.13 倍であった。

### c 残された課題

- ・オガクズ等その他の副資材の効果の検証。
- ・廃乳中の抗生物質がメタン発酵におよぼす影響の検証

### (13) 堆肥化施設

#### a 当初計画

堆肥化施設での固形糞尿の搬入量計画値は 10.3m<sup>3</sup>(t)/日である。固液分離後の固分は 3.1t/日である。

#### b フェイズ I の試験結果

プロジェクト参加農家はフリーストール農家が 3 戸、スタンション農家が 7 戸であり、計画量よりも多くの固形糞尿が発生する。

2002 年 4 月から 10 月までの固形糞尿搬入量は約 10t/日で計画値に近似したが、プラントの固液分離機の能力不足のため、7 戸全戸の固形糞尿を受入はできなかった。このため、固形糞尿の自動送り施設の設置と固液分離能力の増強を図り、11 月以降は約 20t/日まで増加してきた。その後、2003 年 7 月に固形糞尿の搬送方法をコンテナによる搬送方式に変更し、同年 11 月には簡易堆肥舎の増設を行い、7 戸全戸の固形糞尿を受け入れる体制を整えた。しかし、堆肥発酵施設の増設はできず、腐熟期間を計画値の約 1/3 にまで短縮して発酵処理を行わざるを得ず、農家からは生成堆肥の腐熟度が低いという意見があった。

#### c 残された課題

特になし

## 2) 湧別プラント

### (1) 畜舎でのふん尿収集及び搬入

#### a 当初計画

固形ふん尿と尿汚水を別々に搬入する。固形ふん尿は、バーンクリーナーで排出し堆肥盤に堆積したもの、また尿汚水は、若干のふんが混じった状態で既存の尿ピットに貯留されたものである。5戸の農家のうち3戸は固形ふん尿をホイールローダーで積み込み、ダンプ搬入する。残りの2戸農家は自前のトラックで搬入する。尿汚水は、別途牽引式タンカーで搬入する。冬期間の堆肥盤での固形ふん尿凍結に対しては、受け入れ設備での融解対策をとる計画とした。

#### b 試験結果

参加農家はいずれもスタンションストール農家であり、現状の施設形態に沿った形で、ふん尿収集と搬入を行った。一方、個人対応の尿汚水搬入では、タンカー内の液の振動による冬季凍結路面上でのスリップ事故の危険性がフェイズⅠ終了時の課題となった。フェイズⅡでは、冬季の尿汚水搬入を、個別農家ではなく、JA湧別町の大型タンカーによって行い、搬送回数を抑制した。しかしながら、大型タンカーといえども慎重な運転が求められた。

#### c 残された課題

冬期の尿汚水搬送時の安全性確保。

### (2) 消化液・堆肥の搬出・散布

#### a 当初計画

メタン発酵処理後の消化液は、農家所有のバキュームタンカーにより搬出・散布を行う計画である。また完成堆肥は、農家所有のマニユアスプレッダーによる搬出・散布を行う計画である。

#### b 試験結果

散布作業は業者委託と農家自らの散布の2系統で行った。その比率は概ね7割が業者委託である。堆肥は、固形ふん尿の搬入後の復路のダンプで搬出されるため、施設内に滞留することはなかった。一方、消化液も順調に施用されたため、施設内に長期的に滞留することはなかった。

また、利用農家のふん尿処理作業では、主に舎外作業（畜舎から圃場ピットへの移動・切返し）と散布作業が半減し、その分舎内作業などに振り替わった。これは扱いやすく散布時間の短い消化液散布が増加し、従来の手間のかかる堆肥散布が減少したことによる散布効率の上昇や、業者委託による労力節減によるものと考えられた。

一方、消化液及び堆肥の需要が多いため、搬出ルールが守られず、配分に不公平をきたしている事が、フェイズⅠの課題として挙げられていた。平成15年および16年の春期の散布開始前に、前年度末までの原料搬入量及び消化液・堆肥搬出量を整理し、施設利用運営部

会において配分量調整を行った。不公平はかなり改善された。

c 残された課題

なし。

(3) 受入設備

a 当初計画

地域の家畜飼養実態から原料ふん尿は、敷き料を使用した固形ふん尿と尿污水とを別々に受け入れる。固形ふん尿は固液分離し、分離液分と尿污水を混合して受入槽にポンプ圧送する。

分離固分は堆肥化施設へ移動し、堆肥化处理する計画とした。

冬期間堆肥盤に野積みされた固形ふん尿は、夜間のうちに表面の凍結が発生する事が考えられたため、固液分離の前処理として床暖方式による凍結固形ふん尿の融解施設を設けた。

b 試験結果

ふん尿の受入は夏期間には特に問題は発生しなかった。冬期間においては、床暖方式の融解施設を導入しているが、床面だけからの加温では融解が不十分であったので、フェイズ I 終了後に断熱性のある覆いを新設した。しかしながら、低温で半凍結状態のふんを用いた融解試験（図 7）では、床から上 10cm 程度までのふん尿は一晩で 20℃程度、24 時間で 25～30℃程度まで上昇するのに対し、上方は低温のまま長時間を経過した。上方への融解の進捗は 1 時間当たり 1cm 程度とおそかった。

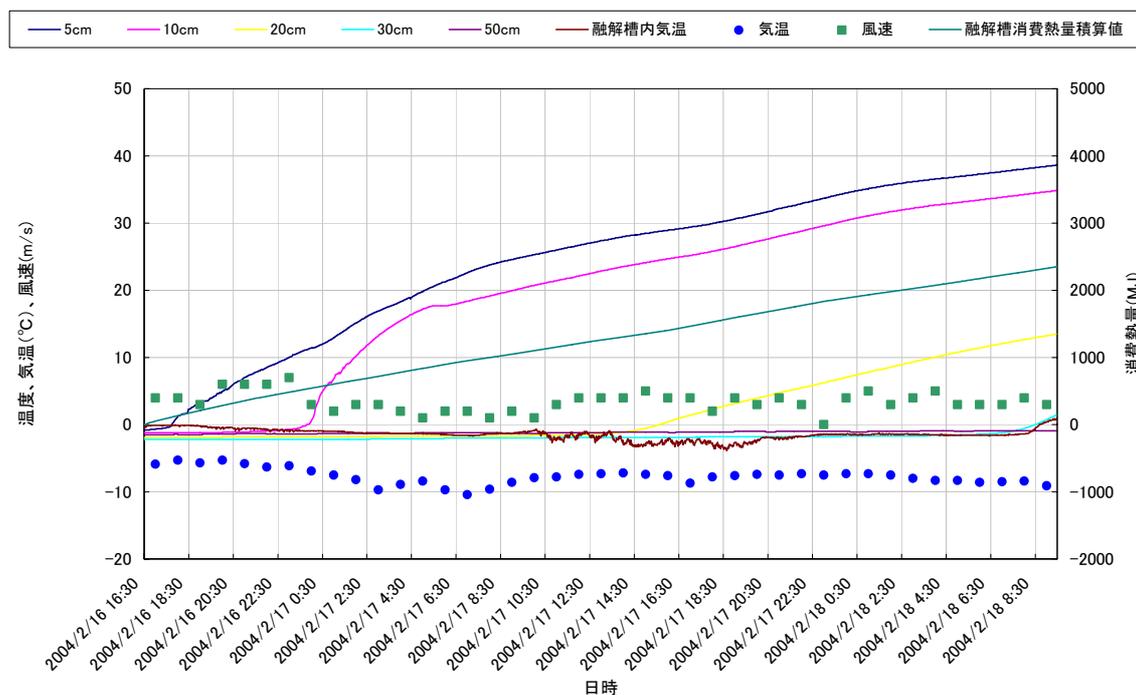


図 7 ふん内部温度、融解槽内外気温及び融解槽での消費熱量の推移

一方、管理人の作業実績調査では、1人の管理人による作業時間全体に占める固液分離作業と堆肥移動作業の割合が約半分以上と大きいことが確認された。これは、固液分離機処理能力(3m<sup>3</sup>/hr)に合わせた少量ずつの投入がホッパーの詰り防止上必要となったためであり、H14年度管理労力の節減を目的に固液分離機への固形ふん尿の定量供給設備の導入を図った。定量供給設備は、順調に稼働した。設備設置前には、運転員が原料等入部のバーンクリナーに長時間拘束されたのに対し、設置後は他の作業に時間を使うことができるようになった。

c 残された課題

融解施設の機構として、床面だけでなく側面・上面からも加温するもの、あるいは固形ふん尿の熱伝導特性を考慮して床面積を大きくとるなどの改善が必要である。

(4) 発酵設備

i 原料投入量

a 当初計画

原料スラリー6.3m<sup>3</sup>/日(乳牛150頭)、副資材0.6m<sup>3</sup>/日、合計6.9m<sup>3</sup>/日である。

b 試験結果

原料ふん尿の計画量通りの投入は、問題なく実施できた。

平成15年度に廃用牛乳および給食残食をそれぞれ2ヶ月間投入した。廃用牛乳は、プロジェクトに参加した5戸以外の農家からも収集した。

c 残された課題

実際に処理収入を見込める廃用牛乳は、入荷時の検査により乳業工場での引き取りを拒否されたタンカー単位(10トン程度)の牛乳であるから、湧別規模の施設でこれを受け入れて処理するならば、量的に一度に発酵槽に投入できないため、貯留槽が必要となる。

ii ガス発生量

a 当初計画

計画値は、中温発酵(発酵温度37℃、滞留日数30日)、投入量6.9m<sup>3</sup>/日(副資材含む)、ガス発生量207m<sup>3</sup>/日(単位発生量30.0m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>、副資材含む期待値)である。

b 試験結果

稼働開始からのバイオガス単位発生量は21.7m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>で一般値の15~30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の範囲にあり、メタン発酵は良好と判断された(図8)。また、平成15年7・8月、10・11月の副資材の投入により、単位発生量は26~27m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>程度に増大した。

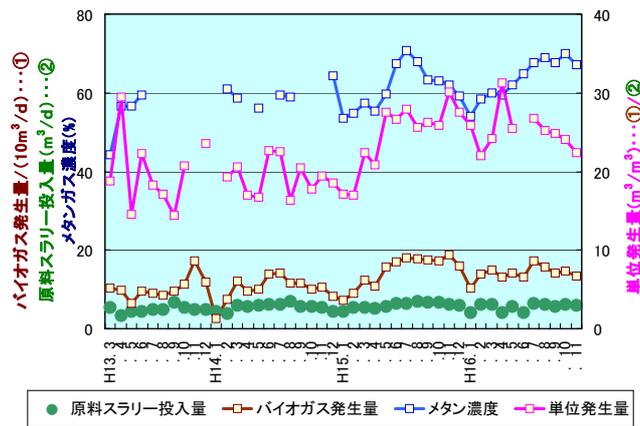


図8 湧別施設でのメタン発酵の推移

c 残された課題

なし。

iii メタンガス濃度

a 当初計画

計画値は、バイオガスのメタンガス濃度約 60%、二酸化炭素約 40%である。

b 試験結果

メタン濃度の一般値である 55～60%程度で推移しており、ガス濃度の点からの評価としてもメタン発酵は良好と判断された(湧別施設でのメタン発酵グラフ参照)。

c 残された課題

副資材投入時を中心に、メタンガス濃度は 60%を超えたものの、変動も大きかった。そのため、発電機の運転が不安定になった。メタンガス濃度の変動を許容できる発電機の設置が望ましい。

(5) ガス貯留設備

a 当初計画

副資材を投入して得られるバイオガス量でのコージェネ連続運転を想定し、ガス発生量の変動緩和の目的で概ね 3 時間分の 25m³として計画した。実際に発電を開始したところ、発電機の消費ガス量が大きいため、長時間の連続運転ができなかった。そのため、2002 年 12 月に 100m³のガスホルダーを新設し、これを主として用いることにした。

## b 試験結果

発電機の発電効率と施設内での1日の電力需要の変動パターンを調査した。その結果、施設内の夜間の電力需要を自家発電で賄う場合には、発電効率が低くなり不利であることがわかった。そのため、必ずしも商用電力に接続する必要のない機器を選択し、固液分離作業等のある昼間に、重点的に発電機に負荷させて施設運転を行った。その結果、運転員の出勤時に貯留されていた100m<sup>3</sup>のバイオガスが、固液分離等の作業終了時ころに概ね消費されるようになった。

バイオガス中の飽和水蒸気除去については、フェイズⅡでもガスラインの断熱を追加して、改善を行った。

## c 残された課題

なし。

## (6) 脱硫設備

### a 当初計画

生物脱硫(一次脱硫)で発電機の耐性硫化水素濃度まで低下させる計画とした。

二次脱硫(活性炭吸着式)は一次脱硫のバックアップとして計画し通常では運転しないものとした。

### b 試験結果

フェイズⅠにおいては、プラント運転開始後2ヶ月にわたる硫化水素濃度では、脱硫前の硫化水素濃度1,500ppm程度のものが、一次脱硫後には約500ppmまで減少しており、生物脱硫の効果が確認された。脱硫装置の消化液の交換については、約2週間で脱硫効果が減じること、脱硫機能を安定確保するために定期的に消化液の一部を置き換える必要があることがわかった。また、実際の管理は、一次脱硫の消化液を平日に1回約30Lを入れ替えることとした。生物脱硫機能の再検証が課題として残された。

フェイズⅠの後半から、長期的に硫化水素濃度が欠測していた。再度計測を開始したところ、生物脱硫の効果がわずかであったため、フェイズⅡでは、直列配置されている生物脱硫と活性炭脱硫を併用した。生物脱硫率が40%を超えるのは一時的であった。イオウ酸化細菌の棲息面積当たりのガス処理量が18.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日と大きく、バイオガスの平均滞留時間は0.03時間と小さいことから安定した持続的な生物脱硫効果は認められなかったためと考えられる。一方、活性炭脱硫では活性炭の交換直後では顕著な脱硫効果を示したが、経時的に脱硫率が低下し、定期的な活性炭交換が必要であった。

### c 残された課題

活性炭脱硫の定量的な評価が、今後の課題である。

## (7) 殺菌

### a 当初計画

70℃の温度で1時間滞留による殺菌とし、殺菌工程は前殺菌、後殺菌両者が可能な施設計画とした。

### b 試験結果

フェイズⅠでは、殺菌効果は顕著で、大腸菌では原料スラリーの約 $10^6$ cfu/gから消化液で $10^2\sim 10^3$  cfu/gまで減じ、殺菌後の消化液には大腸菌は検出されなかった。また腸球菌では原料スラリーの約 $10^6$ MPN/gから消化液で約 $10^4$  MPN/gまで減じ、殺菌後の消化液では検出されないか検出限界に近い $10^1$  MPN/gと微量であり、加熱処理による十分な殺菌効果が得られた。

フェイズⅡでも、殺菌効果はフェイズⅠと同様の結果となった。しかしながら、殺菌槽の配管閉塞等のトラブルにより加熱処理が十分に行われなかった場合、上記目標値を達成できない場合も生じることから、殺菌槽の安定的な運転・管理が重要であるものと考えられた。

殺菌に要する熱量が消費熱量全体に占める割合は、夏期で41%、冬期で23%であった。また殺菌温度の設定を70℃から55℃まで下げると（殺菌時間は延びる）、循環温水の温度設定を下げるができるため、施設全体での消費エネルギー量は約20～30%減少することがわかった。

### c 残された課題

殺菌槽運転の安定化が必要である。

## (8) 消化液貯留施設

### a 当初計画

冬期間は消化液の散布ができない事から、プラント内に $1,100\text{m}^3\times 1$ 基、冬期間に発生する消化液を貯留する計画とした。

### b 試験結果

容量的な不足は生じなかった。搬出・散布機種がバキュームカー及びタンカー等多種になることから、H14年度に貯留槽内に汲上げポンプ設備( $\phi 100\times 3.1\text{kw}\sim 1$ 台)の増強を行った。汲み上げポンプ設置後は、従来のバキュームカーによる搬出とともにポンプによるタンカーへの積み込みも行われた。

### c 残された課題

スラッジの堆積がみられるが、攪拌ポンプ（汲み上げポンプ兼用）だけでは堆積物の再攪拌はできない。スラッジの排除方法を検討する必要がある。

## (9) 発電機

### a 当初計画

発電機は 25kw×1 台である。発電量が小さいことから、売電は計画せず、回収エネルギーは全て自家消費する計画とした。

### b 試験結果

フェイズⅠにおいてガス貯留機能の改善を行い、夜間発生ガスの有効活用とコージェネの長時間運転を計画した。フェイズⅡにおいて、発電機の発電効率と施設内での1日の電力需要の変動パターンを調査した。その結果、施設内の夜間の電力需要を自家発電で賄う場合には、発電効率が低くなり不利であることがわかった。そのため、必ずしも商用電力に接続する必要のない機器を選択し、固液分離作業等のある昼間に、重点的に発電機に負荷させて施設運転を行った。

また施設内での電力・熱の消費をモデル化して、効率的な運転方法を比較検討するシミュレーション方法を開発した（効率的な運転の比較については、「エネルギー効率と生成エネルギーの有効利用の検討」を参照）

### c 残された課題

バイオガスのメタン濃度の変動により、発電機の起動が不安定になることがあった。

発電機を設置することで、保守点検費などの支出が必要になる。施設の必要エネルギーをバイオガスだけで賄えない小規模施設でなかつ殺菌が必要な（熱の消費が大きい）共同利用型施設の場合には、発電機を設置せず、バイオガスを全てガスボイラーで消費するというエネルギー利用が、全体の維持管理費の面で有利となる場合もある。発電機の設定については、総合的に検討する必要がある。

## (10) エネルギー利用

### a 当初計画

コージェネにより得た電気と熱は、プラント内利用を基本に計画した。

ガス温水ボイラーはガス発電機故障時のバックアップとして、重油ボイラーは当初立ち上げ時または発酵不良時のバックアップとして装備した。

### b 試験結果

「(9) 発電機」でも述べたように、発電機の効率は、定格発電量に近い大きな負荷をかけるほど有利である。また、湧別施設で発生するガス量を24時間で均等に発電に使うとすると、発電効率が極めて低い電力負荷量の範囲となる。それゆえに、発電機を稼働させるならば、運転員の作業があり大きな電力需要がある昼間に集中的に発電を行うことが有利であった。

電力・熱の消費パターンの調査からは、湧別施設での全ての必要エネルギーをバイオガス

で賄うことはできないことがわかった。各種の運転条件に対するエネルギー収支予測モデルによるシミュレーションの結果は、図9のとおりであり、殺菌温度を低く設定するほど自賄い率は高くなるものの、夏期でも自賄い率は70%以下である。

湧別施設では、固液分離の必要な固形ふん尿を受け入れていたが、これを全てスラリーで受け入れるとした場合でも、外部からの電力・熱（重油）の購入が必要であることがわかった。

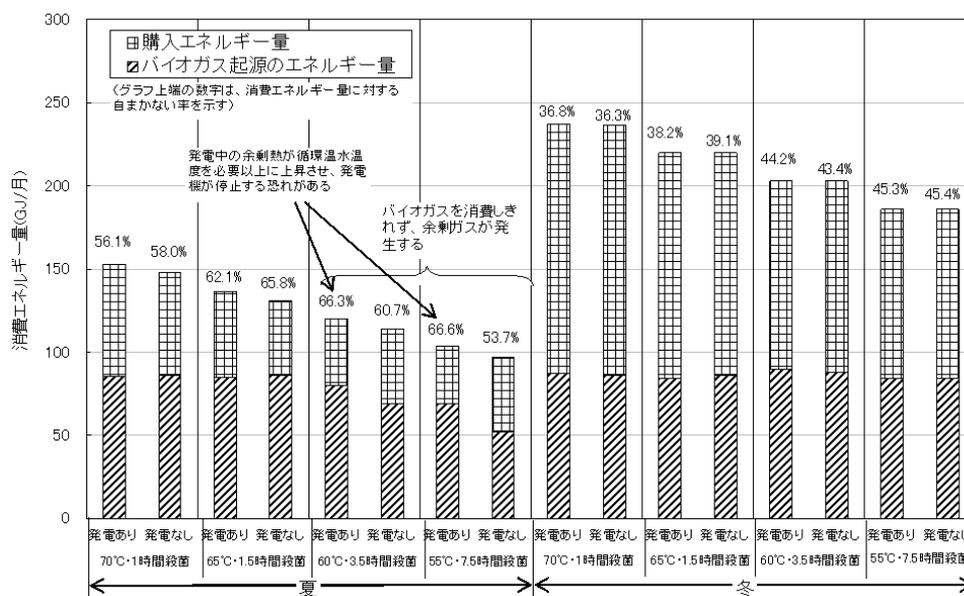


図9 消費エネルギー量とエネルギーの自賄い率

なお、バイオガスプラントのエネルギー収支の評価では、エネルギーの自給の可否（外部への売電の有無）に目を奪われがちであるが、湧別施設のような小規模のシステムでは自給の可否ではなく、維持管理費の抑制効果を評価すべきである。

c 残された課題

余剰熱の有効利用の適当な用途は見いだすことができなかった。

(11) 副資材の利用

a 当初計画

地域で発生する副資材としては、酪農経営から発生する廃用牛乳、学校・病院などから発生する給食残滓、家庭から発生する厨芥生ゴミ、漁業残滓などが考えられる。

導入量としては原料スラリーの日投入量の概ね10%程度の0.6m<sup>3</sup>/日とした。（ヨーロッパの事例で10~20%程度が多いが、経験がないこと、農家の消化液に対する意識などを考慮した）

b 試験結果

近隣の農家から収集した廃用牛乳と給食センターから搬入した給食残食をそれぞれ2ヶ

月間投入した。平均的な投入量は、廃用牛乳で約 6.5%、給食残食は約 2.2%であった。廃用牛乳および給食残食投入時期の 1 日当たりのバイオガス発生量は、通常運転時と比較すると、それぞれ約 1.24 倍、約 1.30 倍であった。また、1 日当たりのメタンガス発生量で見ると、約 1.41 倍、約 1.33 倍であった。室内試験結果と比べると、やや効果は小さいが、実施設での投入においても、ガス発生量が増加し、発酵が不安定になることはなかった。

乳業工場への搬入時の検査により受け入れを拒否された牛乳は、適切に処理することが求められている。それゆえ、湧別ならびにその周辺で発生したこのような廃用牛乳は、釧路あるいは旭川の処理施設で処理しなければならない。一方、農家単位で発生する廃用牛乳はこのような処理を義務づけられていない。それゆえ、処理料収入を見込めるのは、前者のような廃用牛乳である。湧別近傍で年間に発生する「工場での受け入れを拒否された廃用牛乳」は、湧別施設だけでも投入できる量であるため、小規模共同利用型施設が同一地域に複数建設される場合には、全ての施設でバイオガスの発生増を見込めるほどの副原料が入手できないおそれがある。給食センターの給食残食についても、日々の全量を受け入れたものの、投入量としては約 2.2%にとどまったため、同様のおそれがある。

#### c 残された課題

別海施設のような大規模施設では、乳業工場からの汚泥などをまとまった量で受け入れることができる。小規模なバイオガスプラントを計画する場合には、各地域に賦存する、小規模施設でも処理料収入をえられるような副資材を事前に探す必要がある。

## 2. バイオガスシステムの運営体制・経済性

### 1) 別海プラント

#### (1) 管理運営体制

##### a 当初計画

大規模共同利用型バイオガスシステムにおいて、スラリー・固形糞尿・尿溜め液の農家からプラントへの搬入、プラント運転、消化液・堆肥の農家への運搬に関わる作業時間に係る実態調査を行う。

##### b 試験結果

プラント運転には、専属の運転員2名が常駐し、週5.5日（平日2名・土曜1名・日曜休み）の勤務体制において、主にプラント本体の運転管理に係わる作業を行ってきた。

プラント運転員の具体的な作業内容については、次の6つに大きく区分される。

- ①管理作業（フロー制御、施設運転および維持関連作業）
- ②事務作業（施設運転および運搬記録等の整理など）
- ③固液分離作業（固形糞尿の固液分離作業）
- ④堆肥化作業（固液分離後の分離固分の堆肥舎での切り返しおよび完成堆肥の堆肥場への移動作業）
- ⑤運搬作業（原料（尿・スラリー・固形糞尿）のプラントへの搬入および生成物（消化液・完成堆肥）の消化液場外貯留槽もしくは農家一時置き場への搬出）
- ⑥その他の作業（施設間の移動時間など）

各作業時間の割合について、別海プラント運転員2名の作業実績を、2004年度の1週間の作業日誌及び作業時間体系調査の実測値に基づいて整理し、運搬作業専従者と管理・固液分離作業専従者の役割分担が大きく二分されることが示された。運搬作業専従者は運搬作業のみでほとんどを占める一方、管理・固液分離作業専従者は『固液分離』+『堆肥化』作業で73%（2名全体では36%）を占め、その大部分は『固液分離』作業となっている。別海をはじめ北海道での一般的なストール飼養では大量の敷料使用が一般的であり、こうした農家の糞尿を原料として受け入れることから、糞尿の固液分離および堆肥化に係わるこれら一連の作業時間の占める割合は必然的に大きくなる。なお『管理』作業は他の作業の合間に行えるため、2名全体でも12%程度である。（図1）

別海資源循環試験施設（以下、別海プラント）は2000年度に建設され、2001年3月に完成した。そして2001年5月より立ち上げ運転を開始、同年9月には生成物の中の有機質肥料である消化液（固液分離機で分離された液分およびス

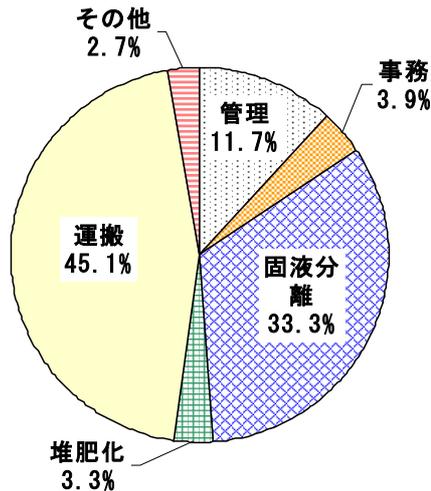


図1 別海プラント運転員2名の作業時間の割合  
(2004年度・1週間の実作業時間より整理)

注) 管理：フロー制御、施設運転・維持管理作業  
 事務：施設運転及び運搬記録等の整理  
 固液分離：固形糞尿の固液分離作業  
 堆肥化：固液分離後の分離固分の移動・切り返し作業  
 運搬：原料の搬入及び生成物の搬出  
 その他：施設間の移動時間等

ラリーがメタン発酵を経て生成される液肥)の、同年10月には堆肥(同様に分離された固分を攪拌・発酵して生成される堆肥)の農家への搬出が開始され、以降4年間にわたる試験研究期間における運営実績を重ねてきた。

利用農家のプラント利用料金に関しては、試験施設として運営されていることから、原料の糞尿は無償でプラントに提供してもらい、生成された堆肥及び消化液は利用農家へ各提供量に比例配分されて無償で還元されることとしている。また、糞尿の運搬作業あるいはその費用については、農家及び地元関係機関が負うこととしている。

利用農家10戸分の糞尿を一元的に処理して、発生するメタンガスを利用すると同時に、原料の固液分離後の固分を堆肥として、また発酵後の消化液を液肥として利用するこの共同利用型システムでは、原料及び消化液と完成堆肥の運搬を、当初、農家自身やコントラクタ利用により行っていたが、2003年7月からはプラント運転員が操作する脱着コンテナ車(コンテナとバキュームタンクの搭載可能)による搬送が導入されるなど、現地の状況を踏まえながら効率的に改善され、糞尿運搬に占めるプラント運転員による直接作業の割合が高まった。その結果、利用農家10戸から排出される糞尿全量のプラント処理が可能となり、搾乳牛分については全量のプラント処理を達成している。(図2、3)

次に、別海プラントにおける原料(スラリー・固形糞尿・尿汚水)搬入量及び生成物(堆肥・消化液)搬出量を月別の推移で整理した。プラント稼働によ

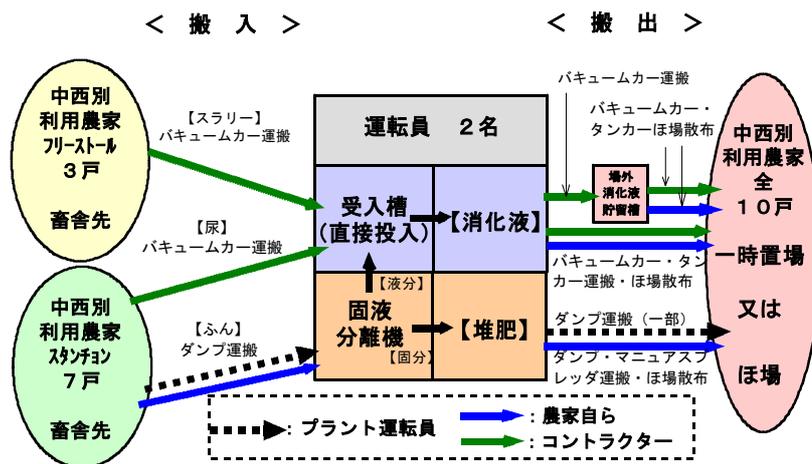


図2 別海プラントの搬出入体制（2001～2002年度時点）

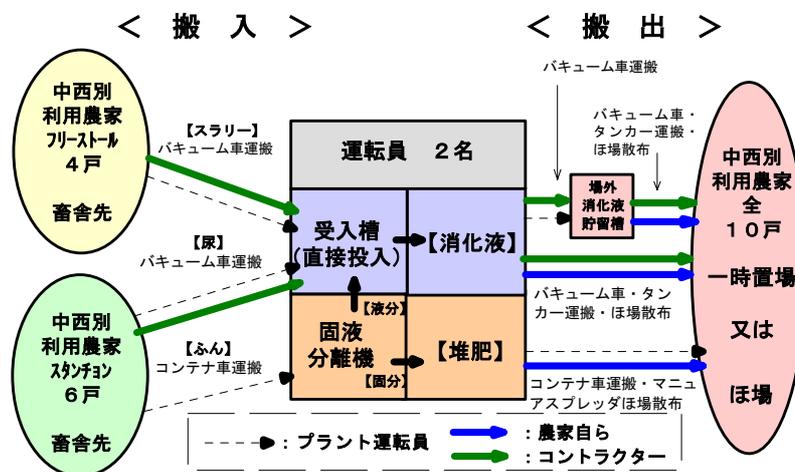


図3 別海プラントの搬出入体制（2003～2004年度現在）

り即効性の高い消化液が大量に生産・供給され、春施肥の他にも、主に牧草への追肥等に使用され、散布時期のピーク月（5・7・10月）が形成されていることが明らかになった。また雪の無い農繁期には畜舎外への放牧が頻繁に行われるため、農閑期（12～4月）のプラントへの原料の搬入量（スラリー・固形糞尿・尿汚水の総計の月平均値）が1,375tであるのに対し、農繁期（5～11月）では1,163tとなり、約85%まで減少することも確認できた。

同じく、累計（重量）で整理すると、まず搬入量におけるスラリー＋尿の割合は68%、そして搬出量における消化液の割合は92%を占めて、全体的に液肥処理としての性格が強いことが明らかになった。なお搬出量計／搬入量計は81%である。

### c 残された課題

各種一般・産業廃棄物の有料受入を前提とした運営体制の検討

## (2) 経済性の検討

### i イニシャルコスト

#### a 当初計画

システム導入後の経済収支算定のためのイニシャルコストを調査する。

#### b 試験結果

別海施設の建設費として、建設した年の費用のみならず、以降の施設改善を目的とした整備費までを含めて、2004年度パリティ換算値で整理した。このうち明らかに試験研究のみを目的とした施設である研究管理棟、試験圃場、温室ハウス等の建設費を除き、実用運転に必要な施設の建設費を抽出して整理した。その結果、実用運転にかかる施設の建設費は11億34百万円、総合耐用年数13.1年、減価償却比は86百万円/年と算出された。建設費の内訳は図4のとおりで、固形糞尿の処理に使用される固液分離・堆肥化施設が23%を占めており、固形糞尿の受入が建設費の増嵩を招くことを示している。

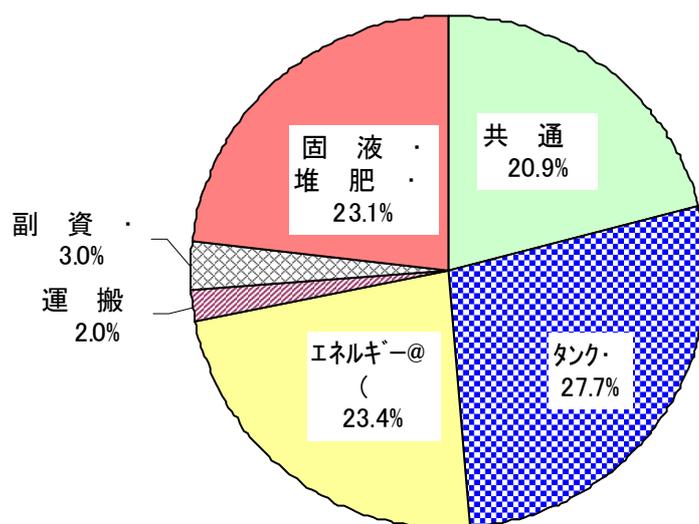


図4 別海プラント用運転施設部分の建設費内訳（2004年度現在）

注) 共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等  
タンク類：発酵槽、ガスホルダー、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器  
エネルギー施設：発電機、ボイラー、ポンプ、熱交換機等  
運搬車輛：コンテナ車及びバキュームタンク  
副資材処理：残滓破砕機及び残滓タンク  
固液分離・堆肥化施設：固液分離機、堆肥発酵舎、完成堆肥舎、糞尿用コンテナ等

#### c 残された課題

特になし

## ii ランニングコスト

### a 当初計画

稼働後の経費を調査し、将来予測をする。

### b 試験結果

別海施設の運営費は、2001～2004年度の別海施設の運転実績から、建設費と同様に、明らかに試験研究のみを目的とした費用を除いたものを実用運転時に必要な経費として、2004年度パリティ換算値で整理した。その結果、運営費総額は2001年度は約25百万円、2002年度は約34百万円、2003年度は約33百万円、そして2004年度は約35百万円であった。プラントの稼働経過を考慮すると、これらの運営費について2001年度は立ち上げ運転期、2002年度以降より本稼働後に係る費用として位置づけられる。運営費の中では人件費が占める割合が37%で最も多く、光熱費(26%)と点検交換費(23%)の割合も高い(図5)。

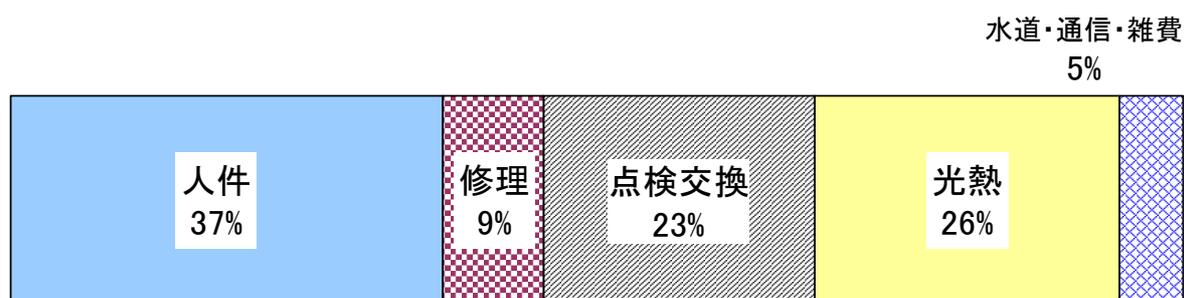


図5 別海プラントの運営費の内訳  
(累計・2001～2004年度、2004年度パリティ換算値)

### c 残された課題

特になし

### iii 農家の経営的効果

#### a 当初計画

大規模集中型バイオガスプラント導入に伴う農家の経営的効果を検証する。

#### b 試験結果

別海プラントの利用農家におよぼす経営的効果はプラント側が糞尿、堆肥、消化液の搬出入と散布を行う場合、固形糞尿を処理する場合には成牛換算1頭当たり35,921円、スラリーのみを処理する場合には同36,601円であると算定された(表1)。

表1 別海型バイオガスシステム利用農家の経済効果額(円/成牛換算1頭当たり)

| 条件       | プラントが搬出入・散布を行う場合 |        |
|----------|------------------|--------|
|          | 固形ふん+尿           | スラリーのみ |
| 労力節減     | 4,265            | 3,515  |
| 購入肥料費節減額 | 6,876            | 5,131  |
| 減価償却費節減  | 19,940           | 21,657 |
| 直接経費節減   | 4,840            | 6,298  |
| 合計       | 35,921           | 36,601 |

#### c 残された課題

特になし

iv 各種の運営条件に対する経営収支シミュレーション

a 当初計画

大規模集中型バウオガスプラントについて、各種運営条件を変えて経営収支のシミュレーションを行い、経営的に持続可能な運営形態を明らかにする。

b 試験結果

シミュレーションの結果、固形糞尿とスラリーの両方を受け入れる場合は、2000頭規模で、スラリーのみを受け入れる場合は1000～2000頭規模で経営収支が黒字となり、受入糞尿をスラリーのみとする方が経営的に有利であった（表2、3）。

表2 別海型バイオガスシステムの経済性—処理頭数規模別—  
（円／年、変動費と収入は処理頭数当たり）

| プラント施設        |                  | 別海プラント            |                   |                   |            |
|---------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| 条件            | 運搬               | 搬出入               | プラント              | プラント              | プラント       |
|               |                  | 圃場散布              | プラント              | プラント              | プラント       |
|               | 処理頭数規模<br>(成牛換算) |                   | 1,000             | 2,000             | 3,000      |
| 原料ふん尿         |                  | 固形ふん尿<br>+スラリー    | 固形ふん尿<br>+スラリー    | 固形ふん尿<br>+スラリー    |            |
| 固定費           | 減価償却費            |                   | 14,319,356        | 28,317,411        | 42,497,267 |
|               | 人件費              |                   | 9,131,900         | 13,787,900        | 22,919,800 |
|               | 点検交換費            |                   | 6,746,000         | 13,492,000        | 20,238,000 |
|               | 光熱費①             |                   | 187,000           | 307,000           | 427,000    |
|               | 雑費               |                   | 1,080,000         | 2,040,000         | 3,000,000  |
| 計             |                  | <b>31,464,256</b> | <b>57,944,311</b> | <b>89,082,067</b> |            |
| 変動費           | 修理費              |                   | 2,160             | 2,160             | 2,160      |
|               | 光熱費②             |                   | 5,725             | 5,725             | 5,725      |
|               | 運搬委託料金           |                   | 0                 | 0                 | 0          |
| 計<br>(全体計)    |                  | <b>7,885</b>      | <b>7,885</b>      | <b>7,885</b>      |            |
| 収入            | 利用農家料金           |                   | 35,921            | 35,921            | 35,921     |
|               | 売電料金             |                   | 1,150             | 1,150             | 1,150      |
| 計             |                  | <b>37,071</b>     | <b>37,071</b>     | <b>37,071</b>     |            |
| 損益分岐点(成牛換算頭数) |                  | —                 | <b>1,985</b>      | —                 |            |
| 収入合計          |                  | 37,070,720        | 74,141,440        | 111,212,160       |            |
| 費用合計          |                  | 39,349,256        | 73,714,311        | 112,737,067       |            |
| 経営収支          |                  | -2,278,535        | 427,129           | -1,524,906        |            |

注) 別海プラント施設の規模拡大時の人件費については、「固液分離・堆肥化」に係る作業では、固液分離機の能力及び運転員の作業時間を踏まえて、1運転員当たり2,000頭処理まで、「搬出入」及び「圃場散布」に係る作業については1運転員・臨時作業員当たりそれぞれ1,000頭分まで、作業が可能とした。

表3 別海型バイオガスシステムの経済性—スラリーのみ処理—  
(円/年、変動費と収入は処理頭数当たり)

| プラント施設        |        | 別海プラント            |                   |                   |                   |       |
|---------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| 条件            | 運搬     | 搬出入               | 外部委託              | プラント              | プラント              | プラント  |
|               |        | 圃場散布              | 外部委託              | 外部委託              | プラント              | プラント  |
|               |        | 処理頭数規模<br>(成牛換算)  | 1,000             | 1,000             | 1,000             | 2,000 |
|               | 原料ふん尿  | スラリー              | スラリー              | スラリー              | スラリー              |       |
| 固定費           | 減価償却費  | 10,226,832        | 12,326,001        | 12,997,176        | 25,994,353        |       |
|               | 人件費    | 4,475,900         | 5,375,900         | 6,275,900         | 11,831,900        |       |
|               | 点検交換費  | 5,925,000         | 6,621,000         | 6,621,000         | 13,242,000        |       |
|               | 光熱費①   | 187,000           | 187,000           | 187,000           | 307,000           |       |
|               | 雑費     | 1,080,000         | 1,080,000         | 1,080,000         | 2,040,000         |       |
|               | 計      | <b>21,894,732</b> | <b>25,589,901</b> | <b>27,161,076</b> | <b>53,415,253</b> |       |
| 変動費           | 修理費    | 1,742             | 1,839             | 2,160             | 2,160             |       |
|               | 光熱費②   | 3,616             | 4,648             | 5,248             | 5,248             |       |
|               | 運搬委託料金 | 34,200            | 9,000             | 0                 | 0                 |       |
|               | 計      | <b>39,558</b>     | <b>15,487</b>     | <b>7,408</b>      | <b>7,408</b>      |       |
|               | (全体計)  | <b>39,558,000</b> | <b>15,487,000</b> | <b>7,408,000</b>  | <b>14,816,000</b> |       |
| 収入            | 利用農家料金 | 36,601            | 35,634            | 35,634            | 35,634            |       |
|               | 売電料金   | 1,150             | 1,150             | 1,150             | 1,150             |       |
|               | 計      | <b>37,751</b>     | <b>36,784</b>     | <b>36,784</b>     | <b>36,784</b>     |       |
| 損益分岐点(成牛換算頭数) |        | —                 | —                 | <b>925</b>        | <b>1,818</b>      |       |
| 収入合計          |        | 37,751,495        | 36,783,879        | 36,783,879        | 73,567,759        |       |
| 費用合計          |        | 61,452,732        | 41,076,901        | 34,569,076        | 68,231,253        |       |
| 経営収支          |        | -23,701,237       | -4,293,022        | 2,214,803         | 5,336,506         |       |

注) 別海プラントにおけるスラリーのみ処理する場合の人員費については、運転員の「固液分離・堆肥化」に係る作業がなくなることで、1運転員当たり1,000頭規模の維持管理及び搬出入作業が可能という条件とした。なお、プラントが搬出入のみを行う条件から圃場散布まで全ての運搬作業を行う条件へと移行する場合、減価償却費(圃場散布機械トラクター+タンカー分)約70万円と人員費(圃場散布専門の臨時雇用作業員1万円/日×30日×3ヶ月=)90万円が増えるのに対し、運搬委託料金(=消化液18,000t/年間×地元単価500円/t)900万円が不要になる。

c 残された課題

特になし

### iii 収入（売電・廃棄物処理料金）

#### a 当初計画

試験期間中の経済内訳を把握し、試験終了後の収入予測を行う。

#### b 試験結果

系統連携施設の完成により、2003年1月末より売電が可能となり、2003年度および2004年度の売電収入はそれぞれ、406千円および517千円であった。電力会社による購入単価が低く設定されている現状では収入源としてあまり期待出来ないのが現状である。

一方、別海町役場および別海町とその周辺の乳業工場に別海施設での廃棄物の処理希望の有無、希望処理量および希望料金アンケート調査を行ったところ、合計約1,500tの処理希望があり、希望料金どおりに処理を行っても1千万円程度の収入となることが明らかとなった。副資材の処理は極めて大きな収入源となることが明らかとなり、共同利用型プラントの経済的成立には地域周辺の副資材の有料での処理受入が不可欠であるといえた。

農家からの収入は500円/tの処理単価で、合計約800万円であった。

#### c 残された課題

特になし

## 2) 湧別プラント

### (1) 管理運営体制

#### a 当初計画

参加農家はスタンション 5 戸で、固形ふん尿はコントラあるいは農家が搬入し、プラントの運転員が固液分離作業を実施する。尿汚水は冬季を除き農家が搬入する。運転員は、固形ふん尿の固液分離、堆肥化作業及びメタン発酵施設の稼働を行う。

#### b 試験結果

湧別施設での運営体制は図 6 のとおりであった。フェイズ I の試験結果では、「小規模施設では、常勤の管理人を雇用できない場合を想定し、全体プロセスを分断し、農家負担を明確にする必要がある。(中略) 現システムの運営では、プラント内における原料の固液分離、分離液分のバイオガスプラントへの投入、堆肥施設における作業、消化液および堆肥の積み込みがプラント運転員の作業であり、これらの部分が、新たな農家負担(コントラクター委託含む)となる。」とされていた。しかしながら、小規模施設といえども機械設備を組み合わせたプラントであることにはかわりはなく、その運転管理は誰でも短期間で習得できるほど単純なものではない。それゆえ運転員の作業を農家負担(あるいはコントラクター委託)とできる目途がたつには至らなかった。また、湧別施設では常勤の運転員がいたが、専門のメンテナンス会社による保守点検が必要であった。さらに「施設システムの改善検討」で述べたような各種の技術的課題が発生した。徐々に、施設システムの改善が進むとしても、現時点では、施設の稼働に責任を持ちなおかつプラントに関する最低限の知識・経験を有する運転員(常勤が必要とは限らない)なしに、共同利用型施設を円滑に運営できるとは考えにくい。それゆえ、施設の計画時点で経営収支を検討するとき、運転員の人件費や保守点検費の抑制により経営収支の均衡を図ることには、現時点においては、慎重な考慮が必要であると考えられる。

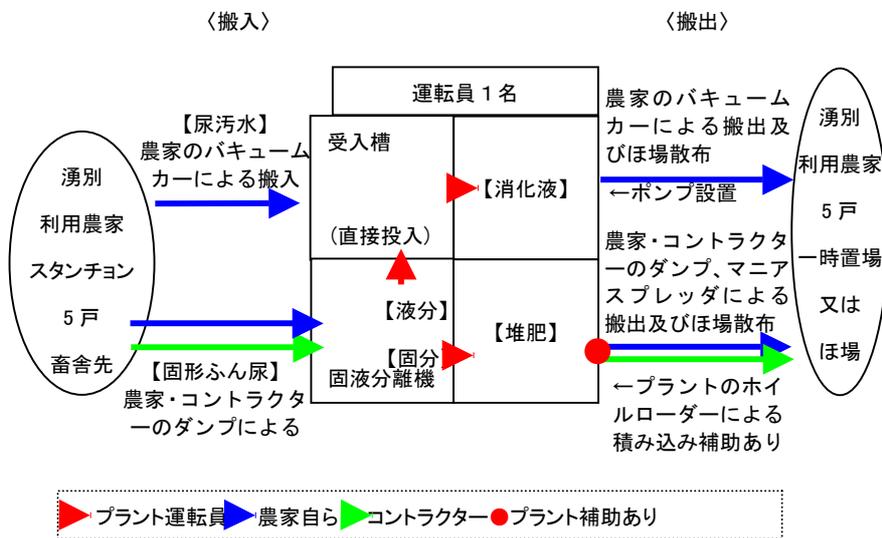


図 6 湧別システムにおける、搬入・搬出・ほ場散布体制

#### c 残された課題

運営体制の課題を解決するためには、まずシステムの技術的課題の解決が必要である。

フェイズ I 終了時点で、運転員が交代した。稼働技術の引き継ぎに約 1 ヶ月を要した。運転方法を理解している者が 1 名しかいない状況では、病気・退職などによる運転員の欠員が生じた場合に、すぐさまシステムの運営に支障が生じるおそれがある。このようなシステム運営の脆弱性の解決も今後の課題である。

## (2) 経済性の検討

### a 試験結果

#### i イニシャルコスト及びランニングコスト

実用運転にかかる施設の建設費は406百万円、その内訳は図7のようであった。総合耐用年数は13.6年、減価償却費は30百万円/年であった。また、実用運転に要した運営費は、ほぼ1年間の運転を行った2002、2003、2004年度のそれぞれで、14百万円、17百万円、18百万円であり、試験期間全体（2001～2004年度）の内訳は図8のとおりであった。

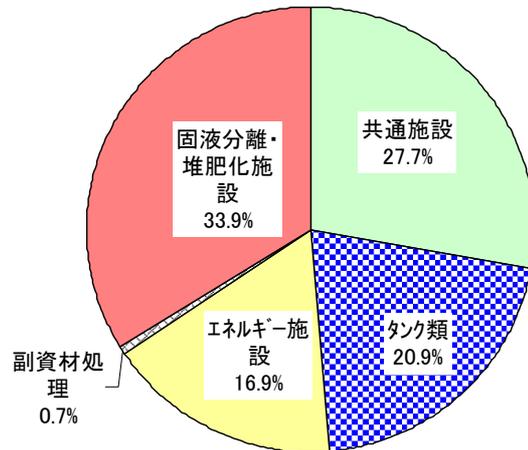


図7 湧別施設の建設費(2004年度整理)

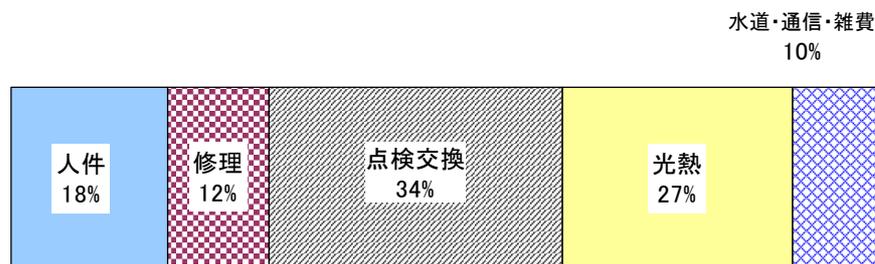


図8 湧別施設の運営費の内訳（2001～2004年の累計）

## ii 農家の経営的効果

農家の経営的効果は、表4のように、プラントがふん尿の搬入・搬出や圃場散布を行うとき、固形ふん+尿を処理する場合で成牛換算1頭当たり44,292円、スラリーのみ処理する場合で49,869円と試算された。

表4 湧別型バイオガスシステム利用農家の経営効果額（円/成牛換算1頭当たり）

| 条件       | プラントが搬出入・散布を行う場合 |        |
|----------|------------------|--------|
|          | 固形ふん+尿           | スラリーのみ |
| 労力節減     | 5,615            | 5,615  |
| 購入肥料費節減額 | 6,876            | 5,131  |
| 減価償却費節減  | 23,811           | 31,133 |
| 直接経費節減   | 7,990            | 7,990  |
| 合計       | 44,292           | 49,869 |

## iii 各種の運営条件に対する経営収支シミュレーション

搬入・搬出や圃場施用の実施者（外部委託あるいはプラントが実施）や処理頭数、受け入れ原料形態（「固形ふん尿+尿汚水」あるいは「スラリーのみ」）を種々に変えてプラント運営の経済性を試算したところ、いずれのケースでも採算がとれなかった。

そこで、運営体制は変えず、バイオガスシステムの経済性に影響を与える重要な条件として挙げられた「副資材投入の実施」、「排出権取引の評価」そして「バイオガスプラント建設費および運営費の削減」について、それぞれ実現した場合の湧別型バイオガスシステムの経済性をシミュレートした。

その結果、次の①から③の条件が満たされるときには、「スラリーのみを対象とした200頭規模の圃場散布までプラントが担うシステム」の採算がとれ、さらに①から④までの条件が満たされると「スラリーのみを対象とした200頭規模の搬入・搬出までプラントが担うシステム」の採算がとれる、などの試算結果が得られた。

- ① 全投入量の1割にあたる廃用牛乳を受け入れ、処理料金単価2万円/tに設定する。
- ② 「メタン発酵」および「タンク類」の建設費が半減すると仮定する。
- ③ 点検交換を運転員が行う。
- ④ メタン発酵関連部分の修理を運転員が行う。

## b 残された課題

経営収支の改善のための必要条件を満たすには、施設の建設費の低廉化、施設の稼働の安定化とそれに伴う修理費等の抑制、バイオガスプラントの運転管理技術の確立と運転員によるその習得等が必要である。また、小規模施設の普及段階では、近傍で入手しやすく、なおかつ処理料収入を得られる適当な副資材の検討が必要である。

### 3 生成物の利用技術

#### 1) 施用散布試験結果

##### i 当初計画

消化液の作物に対する施用効果を検討し、施用技術を確立する。

##### ii 試験結果

###### ■ 草地への施用法

消化液は窒素、リン酸、カリウムともに、現行のスラリーを対象とする換算方法によって肥料に換算できた。ただし、消化液のアンモニウム態窒素が全窒素の 50%以上を占める場合には、アンモニウム態窒素が化学肥料と同等に利用されると見なす評価法がより適切であった（表 1）。

年間 4t/10a 程度の消化液施用量では、前年秋（10 月まで）と当年春（5 月中旬まで）の等量分施が、越冬前後における窒素の損失を相対的に少なくし、1 番草有穂茎数と一茎重の確保によって高収を維持する効果的な施用法であった（図 1）。

2カ所3年間で実施された現地試験により、牧草収量および牧草体養分含量の面から、本試験で提起した消化液に対する肥効評価の妥当性を実証した。

表 1 消化液の基準肥効率<sup>1)</sup>

| 窒素                |                         | リン酸 | カリウム |
|-------------------|-------------------------|-----|------|
| 全窒素 <sup>2)</sup> | アンモニウム態窒素 <sup>3)</sup> |     |      |
| 0.4               | 1.0                     | 0.4 | 0.8  |

1) 肥効評価は当該番草を対象とする。

2)  $\text{NH}_4\text{-N} / \text{T-N} < 0.5$  のとき適合性が高い。スラリーの補正係数を用いて品質と施用時期により補正する。

3)  $\text{NH}_4\text{-N} / \text{T-N} \geq 0.5$  のとき適合性が高い。スラリーの補正係数で施用時期についてのみ補正する。

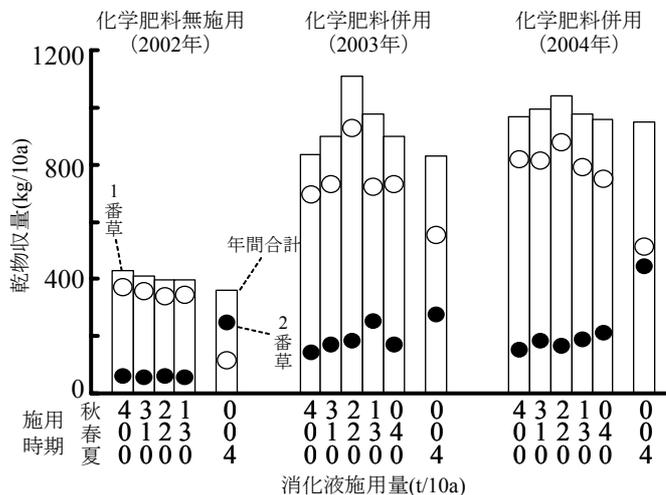


図 1 消化液の施用配分がチモシー単播草地の乾物収量に及ぼす影響（根釧農試）

###### ■ 畑地への施用法

消化液の窒素肥効は全窒素またはアンモニウム態窒素量で評価でき、消化液の肥効率は表 2 のように評価するのが妥当であった。

消化液の窒素肥効率は表面施用、施用翌日の土壌混和で低下した。ゆえに、窒素の肥効率を高めるには、消化液は施用後速やかに土壌と混和することが望ましい。ただし、秋まき小麦では起生期に施用する方が基肥として施用するより肥効率が高かった。

えん麦、シロカラシは消化液が付着すると枯死するため基肥として使用するのが適切であった。

カリウムの施肥標準量から算出した消化液施用適量は、てんさい、ばれいしょ、緑肥は3t/10a程度、秋まき小麦は2t/10a程度であった(表2)。

表2 消化液の窒素およびカリウムの肥効率と施用適量

| 施用法         | 対象作物                  | 成分肥効率 |                    |                  | 施用適量(10a) |
|-------------|-----------------------|-------|--------------------|------------------|-----------|
|             |                       | T-N   | NH <sub>4</sub> -N | K <sub>2</sub> O |           |
| 表面施用        | 秋まき小麦<br>(起生期追肥)      | 0.7   | 1.0                | 1.0              | 約2t       |
| 表面施用<br>後混和 | てんさい、ばれいしょ、緑肥<br>(基肥) | 0.4   | 0.7                | 1.0              | 約3t       |

### ■ 施用法の窒素動態に及ぼす影響

アンモニア揮散は液と大気が直接接触するような条件で促進され、液と土壌との接触により抑制された。このため、アンモニア揮散率は溝切散布(浅層インジェクションに相当) < 帯状散布(バンドスプレッドに相当) < 表面散布(農家慣行法に相当)の順に小さかった(図2)。

液面からのアンモニア揮散はpHが高く、アンモニウム態窒素含量が多い消化液の方が原料スラリーより多かった。

しかし、実際に圃場に散布した場合、消化液は原料スラリーに比べて、施用時には速やかに土中に浸透し、アンモニア揮散が少なかった。

気温が高い夏期を除けば、圃場施用時のアンモニア揮散は5t/10aの施用でも施用アンモニウム態窒素の10%前後であった。

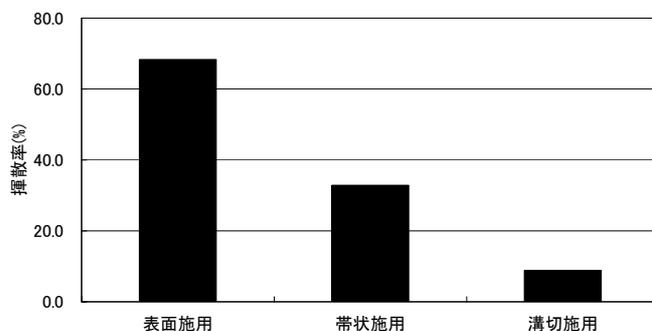


図2 異なる施用法でのアンモニア揮散率

5t/10aの施用量においても、施用1日後の無機態窒素の土中分布は深さ5cm以内に留まっていた。

### iii 残された課題

アンモニア揮散を低減する施用法(浅層インジェクション、バンドスプレッド等)における肥効評価

## 2) 原料スラリー・消化液の性状に関する検討

### i 当初計画

原料スラリー及び消化液の性状（肥料成分、雑草種子発芽率、重金属）を明らかにし、使用する際の安全性を確保する。

### ii 試験結果

消化液はスラリーに比べて、乾物含量が少ないために流動性が高く、即効性窒素としてのアンモニウム態窒素に富む液肥として評価できた。

無蓋型の消化液貯留槽を用いると、貯留中にアンモニア揮散が生じ、消化液中の窒素成分の損失を招くので、有蓋型の消化液貯留槽を用いることが望ましい。

プラントの原料－消化液の処理フロー内において、固形分の沈殿が発生する箇所が存在すると、肥料成分（特に、リン酸、マグネシウム）の損失が発生するので、このような現象が発生しないように、設計時・運転時に留意すべきである。

各プラントで生成する消化液の肥料成分はそれぞれ固有であり、同一プラントであっても肥料成分は変動するので、消化液を液肥として利用する場合、事前に肥料成分を分析する必要がある。

消化液の肥料成分は表3に示す推定式により、迅速・簡易な分析が可能な電気伝導度(EC)、乾物率(DM)、pH、比重の各種分析値により、推定可能であった。

表3 消化液の肥料成分含量および乾物含量の推定式

| 推定項目                                | 回帰式   | 決定定数         | n  | 備考           |
|-------------------------------------|---|--------------|----|--------------|
| T-N(FM%)                            | $0.0314EC+0.0172DM+-0.0553$                 | $R^2=0.6252$ | 61 | スラリーの式と同一    |
| NH <sub>4</sub> -N(FM%)             | $0.0299pH+0.0282EC-0.3518$                  | $R^2=0.7579$ | 49 |              |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (FM%) | $0.0230DM+0.0140$                           | $R^2=0.6312$ | 55 |              |
| K <sub>2</sub> O(FM%)               | $0.1017pH+0.0175EC+0.0494DM-0.7595$         | $R^2=0.4956$ | 55 |              |
| DM(FM%)                             | $(173.24 \times \text{比重}-173.29) \times a$ | $R^2=0.9458$ | 16 | a=比重測定時の希釈倍率 |

注) 比重は比重が1.03以下になるように、適宜消化液を希釈して測定する。

乳牛糞尿を原料とする限り、消化液中の重金属含量は非常に少なく、消化液の液肥利用に伴う重金属等の問題は発生しないと推察された。

中温発酵処理と加熱処理の組合せないし高温発酵処理により、エゾノギシギシ種子の約9割を死滅させ、生存率を効果的に低下させることができた。

### iii 残された課題

副資材を投入した場合の肥料成分や重金属含量の変化の把握

### 3) プロジェクト参加農家の施肥概要と肥料節減効果

#### i 当初計画

糞尿の有効利用による化学肥料節減量（額）を調査する。

#### ii 試験結果

別海プラントへの参加後、化学肥料の施肥量、延べ散布面積、単位面積当たりの施肥量は変わらなかった。また、堆肥および消化液の単位面積当たり施用量は変わらなかった。一方、堆肥の施用量および延べ施用面積が減少し、消化液の施用量と延べ施用面積が増加した（図3、4、5）。このことから、プラント導入により、農家において、有機質肥料として、堆肥主体の使用から消化液主体の使用に切り替えが進んでいることが示唆された。また、今だに農家の間で消化液の肥効についての信用が十分でなく、化学肥料の節減に踏み切れない実態も明らかとなった。本プロジェクトの成果として、消化液の肥料成分の実態と肥効について明らかとなり、農業改良普及センターを通じて公式に普及されることとなったことから、今後は化学肥料の節減が進むものと思われる。

バイオガスプラント導入による化学肥料の節減効果は成牛換算1頭当たり6,876円と試算された。

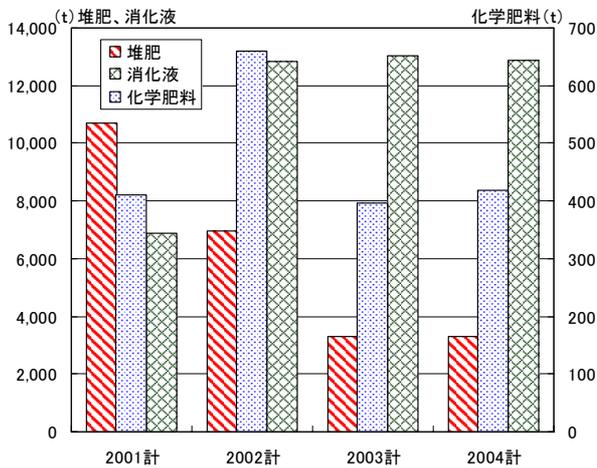


図3 利用農家の種別施肥量（別海）

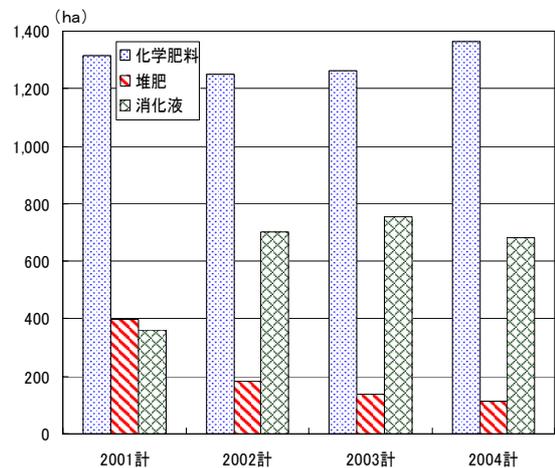


図4 利用農家の種別延べ施肥面積

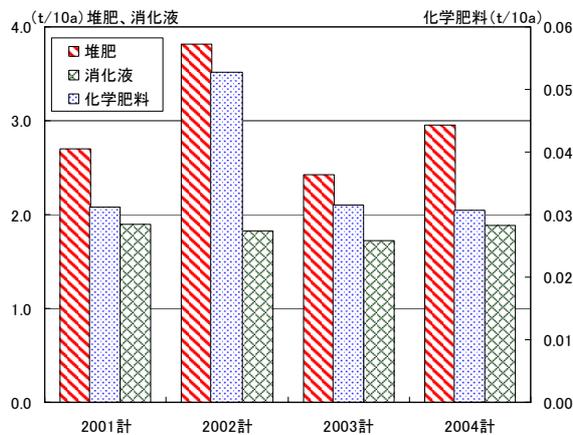


図5 利用農家の種別単位面積当たり施肥量

#### c 残された課題

特になし

## 4 社会・環境効果

### 1) 農村の環境向上効果

#### a 当初計画

プラント稼動による地域水域の水質負荷の変化を調査する計画であった。しかし、水質調査ができない状況のため、地域の窒素収支のフローからこの課題を検討する事に変更した。

#### b 試験結果

当初計画に関しては十分な成果を上げることができなかったが、プラントに関する農家アンケートにより、農家が糞尿処理の効率化および畜舎周辺の糞尿の消失を高く評価していることが明らかとなった。この評価は、糞尿処理がプラントで行われ、農家自身の糞尿処理作業が畜舎からの糞出し以外なくなったことからくるものである。畜舎外での農家自身の糞尿処理作業がなくなったということは、農家の労力不足等から来る野積み等の不適切な糞尿処理がなされなくなることを意味しており、共同利用型バイオガスプラントの導入は一定の農村環境向上効果を持つものと評価できる。また、臭気の軽減についても高く評価されており、これも農村環境の向上効果として挙げられる（図1）。

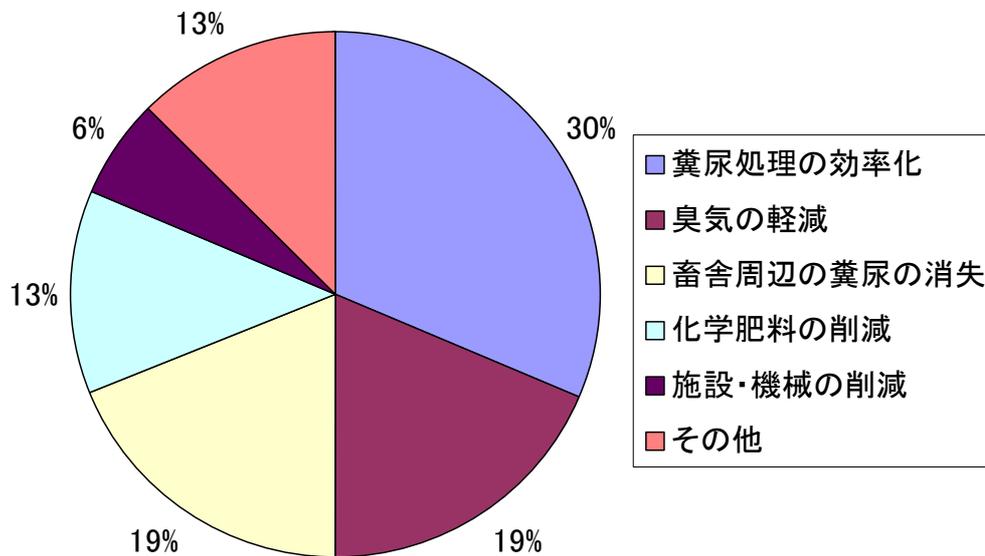


図1 バイオガスプラントの利点に関する農家の意見

#### c 残された課題

窒素収支と水質の関連性の検証

## 2) 温室効果ガスの削減効果

### a) 当初計画

共同利用型バイオガスプラント導入前には、農家個々で糞尿スラリー及び尿溜め液を好気処理し、固形糞尿は堆肥化をしていた。そして堆肥などの生成物は近傍の農地に散布していた。一方、導入後には糞尿を共同利用型バイオガスプラントに搬入し、糞尿スラリー、尿溜め液及び固形糞尿の固液分離液はメタン発酵し、固液分離固形分は堆肥化を行う。そして、堆肥や消化液の生成物はプラントから搬出し、農家の農地に搬出・散布することとなった。そこで、導入前後での温室効果ガス発生量を比較する。

### b) 調査結果

導入後には原料糞尿のプラントへの搬入や生成物のプラントからの搬出などの運搬で、また、施設稼働のエネルギーの内、バイオガスでの不足分を化石燃料で補う事となり、その際に燃焼に伴う CO<sub>2</sub> と N<sub>2</sub>O が発生する。一方で、糞尿の嫌気処理では好気処理(固形糞尿の堆肥化やスラリーの曝気)に比べ、処理過程での CH<sub>4</sub> や N<sub>2</sub>O の発生量が少ない。また、嫌気処理後の生成物を散布した後の温室効果ガス揮散量は好気処理の場合よりも少ない。各温室効果ガス発生量に温暖化係数(CO<sub>2</sub> : CH<sub>4</sub> : N<sub>2</sub>O = 1 : 23 : 296) を乗じて CO<sub>2</sub> に換算し、導入前と後で比較すると表1のようで、導入前には CO<sub>2</sub> 換算で 819t/年の放出があったが、導入後には 447t/年に、ほぼ半減する事が明らかになった。

表1 バイオガスプラントの導入前後での温室効果ガス発生量の比較

| 項目                        | 導入後                         |                 |                  | 導入前                         |                 |                  |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|
|                           | CO <sub>2</sub>             | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub>             | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| 搬入時燃料消費                   | 15,750                      | 0.2             | 0.26             | -                           | -               | -                |
| プラント使用電力                  | 75,852                      | -               | -                | -                           | -               | -                |
| 重油消費                      | 41,293                      | -               | -                | -                           | -               | -                |
| 作業用機械燃料消費                 | 19,653                      | 0.2             | 0.33             | -                           | -               | -                |
| 固形分堆積発酵                   | -                           | 1,363.9         | 708.94           | -                           | 2,753.5         | 1,295.63         |
| 消化液貯留時揮散                  | -                           | 610.0           | -                | -                           | -               | -                |
| スラリー・尿貯留時揮散               | -                           | -               | -                | -                           | 3,863.1         | 656.06           |
| 搬出時燃料消費                   | 12,422                      | 0.2             | 0.32             | -                           | -               | -                |
| 散布時燃料消費                   | 7,070                       | 0.1             | 0.12             | 7,243                       | 0.1             | 0.12             |
| 散布後揮散                     | -                           | -               | 66.90            | -                           | 1,091.8         | 190.28           |
| 気体別合計 (kg/年)              | 172,040                     | 1,974.6         | 776.87           | 7,243                       | 7,708.5         | 2,142.09         |
| 特性化係数                     | 1                           | 23              | 296              | 1                           | 23              | 296              |
| CO <sub>2</sub> 換算 (kg/年) | 172,040                     | 45,416          | 229,954          | 7,243                       | 117,296         | 634,059          |
| <b>温室効果ガス合計</b>           | <b>約447t-CO<sub>2</sub></b> |                 |                  | <b>約819t-CO<sub>2</sub></b> |                 |                  |

分析対象期間は 2003 年 9 月～2004 年 8 月

### c) 残された課題

- ① 施設稼働の効率化により、買電量が減少し、売電量が増加すると、導入後の温室効果ガス発生量はさらに減少することになる。
- ② 使用諸元は各種資料から引用しており、同一の精度ではないもある。したがって、精度等の向上が課題である。

### 3) 有機性廃棄物(副資材)処理での環境負荷の軽減

#### a) 当初の状態

地域には乳業工場やし尿処理場が存在し、そこから有機物性の廃製品や処理汚泥が発生している。これらは、これまで下記のように処理されていた(地元廃棄物処理業者から聞き取り)。

- ① 廃牛乳 → 焼却 (800℃以上)
- ② 廃脱脂(全脂)粉乳 → 管理型埋立
- ③ 廃バター → 乾燥 管理型埋立
- ④ 乳業工場汚泥 → 管理型埋立
- ⑤ 廃生クリーム → 焼却
- ⑥ し尿処理場汚泥脱水ケーキ → 町処分場 管理型埋立
- ⑦ 合併浄化槽汚泥 → 町し尿処理場で処理し、汚泥を埋立

水分の多い物(廃牛乳など)の焼却では多量のエネルギーが必要とされ、焼却温度が不適切な場合にはダイオキシン発生の危惧がある。また、埋立処理では潰れ地が生じ、管理が不十分な場合には汚水浸透やメタンガス揮散の懸念がある。

#### b) 調査結果

上記の有機性廃棄物をバイオガスプラントの副原料とすることにより、上記の危惧や懸念が解消される。さらに、易分解性有機物が多い場合にはメタン発酵によりカーボンニュートラルなエネルギーと液肥としての肥料資源が得られ、資源循環と環境保全の両面から、バイオガスプラントでの有機性廃棄物の処理は望ましい方法である。

#### c) 残された課題

上記の①～⑦の有機性廃棄物には肥料取締法の基準以上の重金属は含まれていないが、その他の有機物を副資材として受け入れるためには、事前に重金属含量などを確認する必要がある。重金属含量の高い有機性廃棄物としては、イカのごろ、ホタテのウロあるいはヒトデなどが知られている。

## 5 共同利用型バイオガスプラントの普及のために

共同利用型バイオガスプラントの普及ためには以下のような対策が必要である。

### (農家)

1 共同利用型プラントでは個別型プラントでは行われたい、①原料糞尿のプラントへの搬入及び生成物の搬出、②糞便性伝染病や雑草種子の蔓延防止のための殺菌操作、が必要とされる。この短所を出来るだけ小さくする以下の様な方策が必要である。

① 原料糞尿や生成物の運搬・散布の効率化を使用機械や体制の集中化も含めて図る。

小規模な場合は農家個々で運搬・散布する事も選択肢であるが、大規模な場合には専用の運搬・散布の機械を導入し、農家個々でのこの作業にかかる機械や労力の節減をすることも重要である。

なお、アームロール車運搬での固形糞尿用のコンテナを農家間で共用する事により、運搬作業の効率は向上するが、その場合には衛生上の支障が無いようにする。

② 殺菌処理は消費熱エネルギーの小さな条件(温度や保持時間)で実施する。

### (農家)

2 共同利用型バイオガスプラントの効率的運営のためには、受入原料はスラリー状糞尿に限定する。

メタン発酵施設の効率的運営のためには、原料をスラリー状のものに限定し、固形糞尿を処理対象としない。参加農家での飼養形態の変更などによりスラリー化を促し、受入れ原料はスラリー状糞尿に限定する。

なお、農家側で固形糞尿を固液分離し、スラリー状糞尿だけを共同利用型プラントで受入れることも考えられる。この場合には農家側で固液分離作業と堆肥化作業をする事になり、総合的な作業自体は従来よりも増加する事になることも考慮して取り組む必要がある。

### (行政・農家)

3 農家に共同利用型バイオガスプラントや消化液の長所を普及・啓蒙する。

農家が共同利用型バイオガスプラントに参加する事で庭先から糞尿が消失すること、生成物は粘性や悪臭が低下し扱いやすい液肥であること、糞尿が有効利用され化学肥料の節減になることを普及・啓蒙する。また、農家は原料糞尿が搬出され易い様にするなどの協力も必要である。

### (行政・廃棄物政策・バイオマスニッポン総合戦略)

4 共同利用型バイオガスプラントを家畜糞尿のみの処理施設として位置付けるのではなく、他の有機性廃棄物も安全に処理する施設、公共的役割も担う事ができる施設として位置付け、処理料収入を得る。

これまで焼却、埋立であるいは曝気処理などされていた有機性廃棄物(重金属などの有害物質を含まない物)をバイオガスプラントで処理する事は、ダイオキシンの発生、汚水滲出あるいはメタンガス揮散の危惧がなく、潰れ地が発生しない事や化石燃料不要という長所

を評価し、施設の建設や運転に優遇措置を講ずる。バイオガスプラントの普及しているデンマークでは有機性廃棄物の埋立て処理を禁止し、焼却処理には課税し、有機性廃棄物の処理を循環利用に誘導する政策が採られており、その手段としてプラントが位置付けられている。

なお、小規模な共同利用型プラントでは多量の有機性廃棄物を受け入れることが出来ないため、処理料収入は小さい。

(行政・環境・エネルギー政策)

5 バイオガスプラントでの処理は従来の堆肥化処理に比べ、温室効果ガス発生量が少ないことを政策的に評価し、推奨する。また、再生可能エネルギーであるバイオガスプラントでの発電単価はヨーロッパのように買電単価以上となるようにする。

(行政)

6 売電(系統連携)手続き、廃棄物処理法の手続き、肥料取締法の手続き・経費を簡素化する。

(プラントメーカー)

7 施設費・維持管理費の低廉化を進める。このためには、実際に導入している農家や団体から実利用上の課題や要望を把握する。さらに設備の国産化、国際規格部品の採用、建設・維持・修理の国産化・地場産業化が必要である。