積雪寒冷地における
環境・資源循環プロジェクト

（平成12～16年度）

最終成果報告書

平成１７年３月

独立行政法人
北海道開発土木研究所

「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」
最終成果報告書の発刊にあたって

北海道では広大な土地資源を活用した土地利用型の大規模農業が展開されており、我が国の最も重要な食料基地としての役割を果たしています。中でも北海道の東部や北部で展開されている酪農は、既にヨーロッパ諸国の規模をしのぐまでに規模拡大が進められ、その生産物は全国に流通しています。

酪農では多量の糞尿が排出され、それによる環境汚染が懸念されていました。このため、1999年 11 月に「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」が施行されました。一方、ほぼ時期を同じくして、化石燃料の消費を抑制することによる地球温暖化対策が具体化し始め、温室効果ガスの発生抑制・地球温暖化の防止(京都議定書の批准(1997)、地球温暖化対策の推進に関する法律(1998))あるいは再生可能エネルギーの利用促進(新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(1997))にかかる法律等が制定されました。

バイオガスプラントは家畜糞尿の処理と同時に、化石燃料の消費を抑制することにもなる再生可能なエネルギーを産出する施設です。この技術はヨーロッパの一部の国々では普及しています。しかし、北海道はバイオガスプラントが普及しているデンマークやドイツに比べて寒冷であり、糞尿の排出形態も異なります。このため、ヨーロッパの技術をそのまま北海道に導入することはできません。

そこで、北海道に適した共同利用型バイオガスプラントの実証試験を国土交通省北海道局および北海道開発局農業水産部の指導のもとに、2000 年度より開始しました。まず、2000 年度には実証試験施設を建設し、その後、独立行政法人となった北海道開発土木研究所が主体となって2001～2004 年度まで試験研究を実施してきました。

実証試験では、経済性・運営体制に関する事項、バイオガスプラント内での効率的な発酵技術やエネルギー利用技術に関する事項、及び発酵後の生成物である消化液の利用技術等多岐に亘る課題を取り上げました。そして、関連研究機関の協力を得て、各分野で農業技術として行政的にも認められる成果を上げる事ができました。本報告書はそれらをまとめたもので、本成果が既存バイオガスプラントの効率的稼働や、今後のバイオガスプラントの導入・普及に活用される事を期待しています。

最後にプロジェクトに参加、協力あるいは指導頂いた地元農家、町役場、JA、北海道農政部、支庁、北海道立農業試験場、北海道立畜産試験場、北海道立工業試験場、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター、開発建設部、北海道開発局農林水産部および国土交通省北海道局に感謝します。

また、中間成果及び最終成果の報告会でご後援頂いた諸団体、及びご指導・ご協力頂いた北海道大学松田従三教授、酪農学園大学干場信司教授及び松中照夫教授に感謝します。

平成１７年３月

(独)北海道開発土木研究所
理事長　　斉　藤　智　徳

はじめに

北海道では、家畜ふん尿の年間発生量が約 2,000 万tにのぼるが、その管理の適正化と有効利用が、規模拡大や高齢化に伴う労働力不足等によるだけでなく、平成11年11月に成立した「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」により、重要な課題となっている。

デンマークやドイツ等では、安全な飲料地下水確保と国のエネルギー政策転換等により、N，Pの施肥制限、家畜ふん尿の貯留規制(デンマークでは 9 カ月分)や電力業界によるバイオガス発電電力の買い上げ義務を課している。このような社会制度の中、家畜ふん尿をメタン発酵(嫌気発酵)し、生成した消化液やメタンガスを肥料やエネルギーとして利用しており、共同利用型及び個別型のバイオガスプラントが普及している。

北海道はこれらの諸外国と、気象条件だけでなく、乳牛の飼養形態や各種の政策が異なるため、外国のバイオガスプラント技術をそのまま導入することはできない。そこで、積雪寒冷な北海道において、共同利用型バイオガスプラントの実証試験が平成12年度より「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」として発足した。当時、気象条件の厳しい北海道では、個別型バイオガスプラントが数カ所稼働し始めたばかりで、共同利用型バイオガスプラントは皆無であった。

そこで、2000年度に堆肥化施設を併設した実証規模のバイオガスプラント（資源循環試験施設）を別海町(1,000 頭規模)と湧別町(200 頭規模)に建設し、2001～2004年度において実証試験を行った。

本プロジェクトは、国土交通省北海道局で予算化し、北海道内の関係行政・研究機関の協力を受け、独立行政法人北海道開発土木研究所が主体となって実施した。平成2003年度当初には2002年度迄の成果を中間報告したが、本報告書は平成2001年度～2004年度までの全期間の調査研究成果等を報告するものである。

なお、現在（2005年４月）、北海道内では、個別型バイオガスプラントは約30基が稼働しているが、共同利用型バイオガスプラントは本プロジェクトで建設した別海施設と湧別施設のみである。

積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト
最終報告書目次

最終成果報告書の発刊にあたって

はじめに

［Ⅰ］ 北海道酪農のふん尿処理をめぐる状況

1 乳牛ふん尿をめぐる状況…… 1

2 家畜排泄物等の処理・利用に関する政策の動向…… 4

［Ⅱ］ 実証試験の概要

1 積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト…… 5

2 試験施設の概要…… 7

3 施設の管理運営体制…… 11

4 各プラントの稼働状況

1) 別海プラント…… 16

2) 湧別プラント…… 19

5 実証試験の推進組織、試験課題と分担…… 26

［Ⅲ］ 最終の個別成果

Ⅰ バイオガスシステムの効率的運営体制と経済性に関する研究

1 寒冷地における集中型バイオガスシステムの成立条件と経済性の解明…… 28

2 環境会計手法を用いた集中型バイオガスシステムの総合評価……107

Ⅱ 施設機械の効率的運転技術に関する研究

1 集中型バイオガスプラントにおける家畜ふん尿搬入・搬出・散布法の検討·129

2 効率的なバイオガスの生成及び脱硫条件の検討……145

3 エネルギー効率と生成エネルギーの有効利用の検討……185

4 施設システムの改善検討……209

Ⅲ 有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全効果に関する研究

1 原料・生成物の品質・安全性に関する検討

1) 処理による微生物性(大腸菌群)の変化……・213

2) 処理による肥料成分や雑草種子発芽率の変化と重金属含量……・221

2 生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する検討

1) 草地に対する消化液の効果的施用法の確立……・230

2) 畑作物に対する消化液施用法の確立……・245

3) 施用法の窒素動態に及ぼす影響……・257

［Ⅳ］ 最終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……263
2) 湧別プラント……281
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……290
2) 湧別プラント……299
3 生成物の利用技術……302
4 社会・環境効果……306
5 今後の普及に向けて……309

＊ ［Ⅲ］編の基礎資料
1 Ⅰ－1……311
2 Ⅱ－4
別海プラントのトラブルカルテ……334
湧別プラントのトラブルカルテ……384

［Ⅰ］　北海道酪農の
ふん尿処理をめぐる状況

Ⅰ　北海道酪農のふん尿処理をめぐる状況

1　乳牛ふん尿をめぐる状況

1)　北海道酪農の発展過程

1960 年に北海道では、全国の 15.4%に相当する 64 千戸で酪農が営まれ、全国の 20.7%に相当する 183 千頭の乳牛が飼養されていた(図１)。戸当り頭数は 2.9 頭で全国平均の 2.1 頭より多かった(図２)。生乳生産量は全国の 21%に相当する 397 千 t であり、搾乳牛 1 頭当りの乳量は 3694kg で、全国の 4010kg より少なかった。

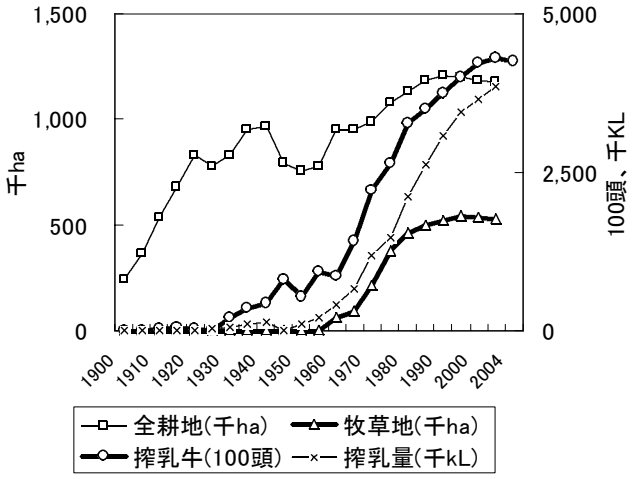


図１　耕地面積、搾乳牛頭数、搾乳量の推移

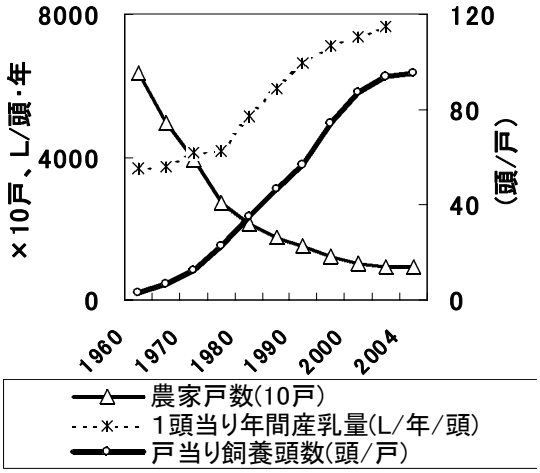


図２　酪農戸数、戸当たり飼養頭数と年間産乳量の推移

2004 年には全国の31.4%に相当する 9,030 戸の酪農家で51.2%に相当する 864 千頭の乳牛が飼養されており、戸当り頭数は95.6頭で全国平均の 58.6 頭よりもはるかに多い。2003年の生乳生産量は全国の45.8%に相当する 3849 千 t であり、搾乳牛 1 頭当りの乳量は 7,663kg で全国の 7,493kg よりやや多い。このように、北海道酪農ではこれまで経営規模及び生産量の拡大が進展してきた。

2)　乳牛ふん尿量と処理利用状況

搾乳牛 1 頭当りの産乳量の増大に伴い、搾乳牛 1 頭当りのふん尿量も、1960 年の 40kg/日から 1995 年の 60kg/日(築城・原田:1997)に増大した。これと頭数の増加は北海道における全ふん尿量を 1960 年の 2.2 百万 t から 2004 年には６倍の 13.6 百万 t まで増大した。さらに、戸当りの年間ふん尿量は北海道平均で 1960 年には 38t であったが、2004 年には 約40 倍の1503t に増大した。気象条件が厳しく、大規模な酪農が営まれている北海道の北部や東部では、戸当り平均の年間ふん尿量は 1400t ～ 1800t にも達する(図３)。積雪や土壌凍結のため、ふん尿の散布利用ができない約 6 ヵ月間(11 月～ 4 月)の貯留ふん尿量はほぼ 800t で、5t 積みトラック 160 台に相当する。洗浄水や敷き料を含めると実際の貯留量は800t を超える。

北海道の調査報告(1998)によると、乳牛ふんでは 57%、尿やスラリー(液状ふん尿)では 45%しか有効利用されておらず、ふん尿の約半分は利用されていないとみられた。また、家畜の固形ふん尿の 80%は野積みされ、スラリーの 20%は素堀ラグーンに貯留され、環境への負荷が懸念された。1999 年に制定された「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」により、2004 年 11 月から

同法施行規則による管理基準に関する罰則が適用されることとなっていた。

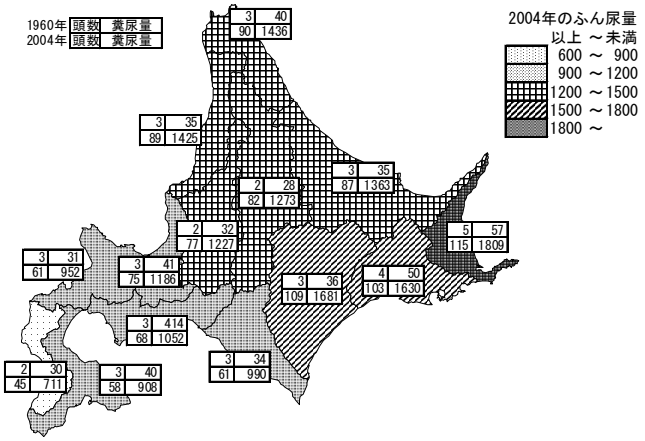


図３　支庁別乳牛頭数と糞尿量の推移
（1960年と2004年）

2004年12月末調査時点では管理基準が適用されると見込まれる農家10,995戸の内、応急対応を含め、2003年度までに対応済み6,071戸、2004年度12月末迄に完成4,019戸、着工中824戸であり、99.3%の進捗率とされる。2005年度以降、恒久的な処理施設が事業で整備されるのは1,738戸とされる(2005年４月：北海道農政部畜産振興課)

3) 北海道の気候

北海道は北緯 41.5 度と 45.5 度の間に位置し、イタリア北部と同緯度であり、太平洋、日本海及びオホーツク海に囲まれている。北海道の東部あるいは北部では生育期間の気温が低いため、水稲や畑作物の栽培は難しく酪農専業地帯となっている。デンマークのコペンハーゲンよりはるかに南に位置する別海での 8 月の平均気温は 18 ℃で、コペンハーゲンより１度高いが、1 月の平均気温は-8 ℃で零下にならないコペンハーゲンより低い(図４)。これは、デンマークでは北側を暖流が通過するのに対し、北海道では冬季に周囲を寒流が流れる事による。このため、北海道の耕地は冬季に積雪に覆われるかあるいは凍結する。さらに別海での冬期の最低気温は-20 ℃にも達し、ふん尿が凍結する。

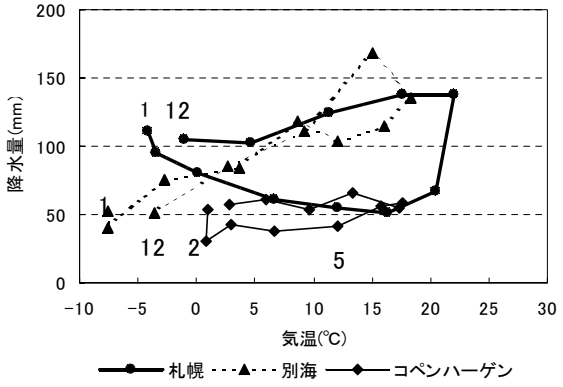


図４　北海道とデンマークのクリモグラフ

これらの事は、作物栽培だけでなく、ふん尿の処理利用にも大きな課題となる。

別海の年間降雨量は 1130mm であり、コペンハーゲン(610mm)の約２倍で、５月から 10 月の月降雨量は 100mm を超え、多い。これらの事もふん尿の適期散布・利用の障害となる。

4) 草地へのふん尿施用の時期と労働

北海道においては、積雪や土壌凍結のために冬季や早春のふん尿散布はできない。北海道での春先の降水量は少ないが、融雪や融凍直後は土壌が湿潤なため、土壌のトラフィカビリテイは小さく、ふん尿の散布作業ができない。このため、融雪や融凍の後は重量の軽い化学肥料が散布される。その後、温暖になると土壌は乾燥し、トラフィカビリテイも増加し、重量の重いマニュアスプレッダやタンカーによる厩肥やスラリー状のふん尿散布がなされる。しかし、牧草の生育も旺盛になるため、その生育や牛の嗜好性の面からふん尿施用はできなくなる。したがって、越冬後に散布すべき量は膨大であるにもかかわらず、春の散布適期は短い(北海道東部で 10 ～ 14 日程度：図５)ため、散布労働が短期間に集中し、労働力不足が顕著となる。６月末の１番草刈取り後にもふん尿は散布されるが、その量は多くない。２番草刈取り後で、冬に備えてふん尿貯溜施設を空にすべき８月や秋には多量の雨があり、ふん尿散布に適した日数割合は低い。このように、北海道では、多量のふん尿を還元すべき春や秋に、気象・土壌条件だけでなく、労働力の面でもふん尿散布の制約がある。

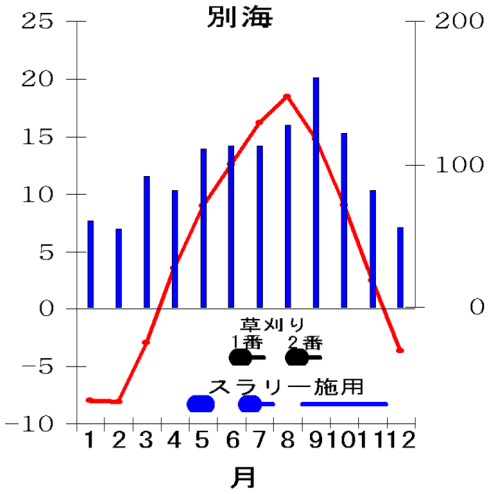


図５　別海での気象と草刈り・スラリー散布の時期

2　家畜ふん尿の処理・利用に関する政策の動向

最近、資源リサイクルや再生可能エネルギーに関する法律や施策が次々と施行された(表１)。これらの法律はバイオガスプラントを奨励する効果を有する。上述のように、1999 年に「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、家畜ふん尿の有効利用を畜産農家に義務付けている。

表１　最近成立した資源循環及びエネルギー関係法律等

年次	法律等の名称
1997	京都議定書採択
1997	新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法
1998	地球温暖化対策の推進に関する法律
1999	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
2000	循環型社会形成推進基本法
2000	食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律
2002	バイオマス・ニッポン総合戦略閣議決定
2005	京都議定書発効

2000 年に「循環型社会形成推進基本法」が制定され、これに基づき同年に「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」が成立した。この法律は食品廃棄物の発生量を削減するとともに、食品廃棄物を肥料や飼料として再利用することを義務付けている。有害成分を含まない食品廃棄物をバイオガスプラントの副原料とすることは、肥料化の一環であり、この法律に従う選択肢のひとつであるとともに、後述のような再生可能エネルギーも得られる。2002 年に閣議決定されたバイオマス・ニッポン総合戦略でもバイオマスに該当する食品廃棄物の利用促進を掲げている。

バイオガスプラントの主原料である家畜ふん尿の炭素は最近 1 ～ 2 年に光合成された飼料に由来するものであり、化石燃料のように太古に蓄積されたものではない。このため、バイオガスプラントで生産される炭酸ガスは化石燃料と異なり温室効果ガスに該当しない。メタンガスは炭酸ガスの 23 倍の温室効果を有するが、バイオガスプラントから発生するメタンガスは燃焼され、生成する炭酸ガスは上述のように温室効果を有しない。このため、バイオガスプラントで発生するエネルギーは風力発電あるいは太陽光発電と同様に再生可能エネルギーである。

1997 年に京都議定書が採択され、1998 年に「地球温暖対策の推進に関する法律」が、1997年に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」、2002年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が制定され、2005年には京都議定書が発効した。これらの法律や政策は温室効果を有する化石燃料の使用を抑制する一方で、温暖化効果を有しない再生可能エネルギーを生産し利用することを奨励している。バイオガスプラントはこれらの政策的動向に位置付けられたひとつの選択肢である。

［Ⅱ］　実証試験の概要

Ⅱ　実証試験の概要

1　積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト

前述のように、家畜ふん尿を原料とするバイオガスプラントは最近の各種法律や政策に適合する選択肢のひとつである。共同利用型バイオガスプラントが普及しているデンマークやドイツと北海道では気象、乳牛の飼養方式あるいはエネルギーや有機性廃棄物に対する政策などの条件が異なる。このため、外国のバイオガスプラント技術はそのままでは北海道に適用できない。

気象的に冬期厳寒なことは、発酵槽や殺菌槽等の保温維持の課題だけでなく、ふん尿凍結の課題も生じる。特に共同利用型施設ではふん尿の発生場所から処理場所までの搬送の距離や時間が長く、対策を講じないとふん尿が凍結し、施設の定常的稼働に支障をきたす。このため、農家側あるいはプラント側で凍結対策が必要となる。

家畜ふん尿を主原料とするバイオガスプラントでは連続処理を可能とし、かつ気密処理が可能なるように、各工程を管路で接続し、スラリー状のふん尿を受け入れている。乳牛の飼養形態は敷料を多く使用し、敷料が多量に混入した固形ふん尿と尿を排出する繋ぎ飼い方式(スタンチョンストール方式)と、敷き料の使用量が少なく、スラリー状のふん尿を排出する放し飼い方式(フリーストール方式)に大別される。デンマークやドイツでは、フリーストール農家が多い事もあり、スラリー状のふん尿のみをそのまま、バイオガスプラントの原料として受け入れている。

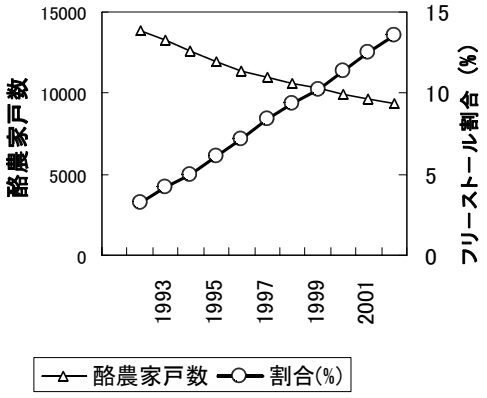


図１　酪農家戸数とフリーストール割合の推移

一方、北海道の酪農では大規模農家を中心に序々にスタンチョン方式からフリーストール方式に移行している(図１)が、未だ、フリーストール方式の農家は20%以下にとどまり、過半の農家からは固形ふん尿が排出される。これをメタン発酵の原料とするには、畜舎段階で敷料を裁断したり、チップあるいは裁断古紙等を使用し、固形ふん尿に長藁が含まれない様にする必要がある。あるいは長藁の混じった固形糞尿については、固液分離し、分離液分をメタン発酵の原料にするか、固形ふん尿中の長藁を裁断する処理が必要である。

このような北海道での共同利用型バイオガスプラントの課題を明らかにし、実証的対策を確立するため、2000 年(平成 12 年度)に「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」が国土交通省北海道局(当時：北海道開発庁)で予算化され、北海道開発局農業水産部の指導のもと、(独)北海道開発土木研究所で開始された。プロジェクトのスケジュールは図２のようで、5 カ年の実証試験を行った。

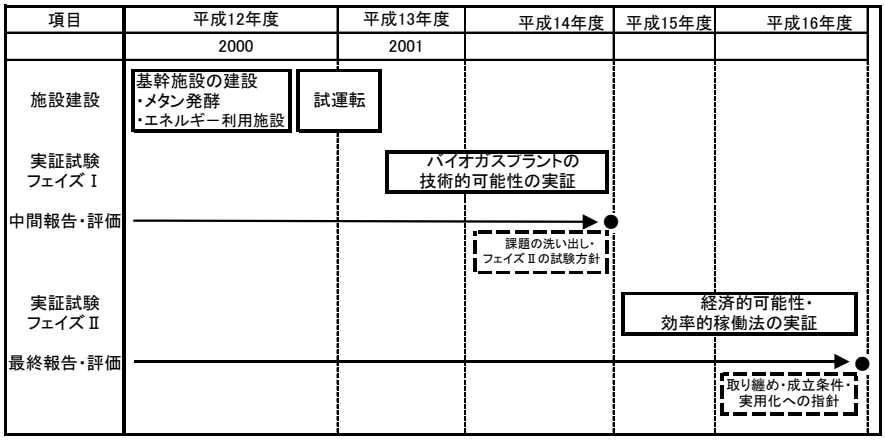


図２　積雪寒冷地における環境資源循環プロジェクトの全体スケジュール

2000 年度に北海道東部の別海町と湧別町に異なる型式のバイオガスプラントが堆肥化施設と併設して建設された。2000 年度末から 2001 年度始めにかけて試運転を行い、2002 年度迄をフェイズⅠとし、2003 年度以降をフェイズⅡとして実証試験を実施した。

別海資源循環施設は酪農専業地帯の大規模共同利用型のモデルである。独立した管理主体による運営管理を想定し、農家から処理料を徴収することにより家畜排泄物の収集・運搬も管理主体が担い、広範囲から収集し処理を行う大規模施設を想定したモデルで、スケールメリットを活かし、売電や温室等の外部施設への熱供給を想定していた。

一方、湧別資源循環試験施設は酪農畑作の混合地域を想定した小規模共同利用型のモデルで、参加農家による自主的な管理を想定しており、家畜排泄物の収集・運搬も農家自らが行うタイプである。小規模であるため、発生エネルギーは内部での利用にとどまる。また、畑作農家の堆肥に対する需要が高い事や繋ぎ飼い方式に多い敷き料を含んだ固形ふん尿の処理に対応するため堆肥の生産を重視した施設である。

実証試験の主な内容は①効率的な糞尿の搬入、生成物の搬出・散布法と運営体制の確立、②効率的な運転管理法の確立、③副資材の処理技術の確立、④消化液の施用技術の確立、⑤環境に与える影響の検証、⑥総合的な経済性の検証、である。両試験施設での結果を比較することにより共同利用型バイオガスシステム導入・成立のための諸条件を明らかにするもので、本報告書は５カ年の調査・解析結果の取りまとめである。

2　試験施設の概要

別海資源循環試験施設（以下、別海プラントと呼ぶ）および湧別資源循環試験施設（以下、湧別プラントと呼ぶ）の施設概要を表１に、また、両者のシステムフロー図をそれぞれ図１、２に示す。

表１　施設の概要

項目 タイプ	別海資源循環試験施設 大規模共同利用型	湧別資源循環試験施設 小規模共同利用型
営農形態	酪農専業地帯	酪農畑作混合地帯
戸数	10戸	５戸
規模	乳牛1000頭規模	乳牛200頭規模
メタン発酵槽投入量	50m^3/日（中温発酵時）	6.3m^3/日
メタン発酵方式	縦置き円筒型1500m^3	横置き円筒型200m^3
	中温発酵(約37℃：約30日)	中温発酵(約37℃：約30日)
	高温発酵(約55℃：約20日)	－
殺菌	50m^{3}縦置き円筒型	6.1m^{3}地下埋設型
消化液貯留槽	2500m^3×３基	1100m^3×１基
	1000m^3×２基	－
ガスホルダー	湿式200m^3 乾式250m^3	乾式(100m^3+25m^3) －
堆肥化施設投入量 堆肥化の撹拌方式	6.1m^3/日 ホイールローダ切返し	3.8m^3/日 ロータリー撹拌方式
バイオガス発電機 ガスボイラー 重油ボイラー	65kW×３台 186kW×１台 186kW×１台	25kW×１台 198kW×１台 75kW×１台
試験温室	３棟(延べ1000m^2)	－

1)　別海プラント

別海町は大規模酪農専業経営地帯であり、多頭飼育化による労働力不足に悩む農家が多く、ふん尿の集中処理による労働・処理コスト軽減に関する要望が大きい。また、本地域ではスラリーが液肥として利用されており、消化液の液肥としての利用の需要は見込めるが、堆肥は草地更新時の基肥が主となる。

このような地域事情を反映して、別海プラントは乳牛 1,000 頭分のふん尿を受け入れることができる大規模共同利用型プラントとして設計されている。参加農家は酪農専業農家 10 戸で、2001年度当初にはフリーストール方式でスラリー状糞尿排出農家は３戸、スタンチョン方式で固形糞尿排出農家は７戸であった。その後、プラントの効率的稼働のため、１戸の固形糞尿排出農家がスラリー状糞尿の排出に変更したため、スラリー状糞尿排出農家は４戸、固形糞尿排出農家は６戸になった。

フリーストール方式の農家のふん尿はスラリー状で、そのままメタン発酵の原料として利用される。一方、スタンチョン方式の農家のふん尿は敷料のわらを相当量含んでおり、固液分離処理後、液分はメタン発酵の原料として、固分は堆肥発酵の原料として利用される。また、スタンチョン方式の農家の尿溜に貯留した尿もメタン発酵原料として利用される。メタン発酵原料の１日当たりの投入量は 45.4m^3、堆肥原料の１日当たりの投入量は 3.4m^3 で、堆肥の生産よりも、バイオガスおよび消化液の生産を重視している。また、農業系残滓、水産系残滓等のメタン発酵のための副資材も投入できるような設計になっている。

メタン発酵槽は縦置円筒型で容量は 1,500m^3、発酵滞留日数は中温発酵（約 35 ～ 37 ℃）で 30 日程度、高温発酵（約 55 ℃）で 15 ～ 20 日程度である。メタン発酵により生成したバイオガスと消化液は湿式ガスホルダーに送られ、生物脱硫によりバイオガス中の有害成分である硫化水素が一定程度除去される。この後、バイオガスは乾式ガスホルダーに貯留され、酸化鉄を用いた脱硫装置を通過して硫化水素が更に脱硫された後、コジェネレーション方式（電熱併給方式）のバイオガス発電機あるいはバイオガスボイラーにおいて燃焼させられ、電気エネルギーや熱エネルギーに変換される。本プラントで得られたエネルギーは大規模施設のスケールメリットを活かして、プラントの稼働に使用されるだけでなく、余剰分は売電されるか温室等外部施設の熱源として供給される。

消化液は殺菌槽で殺菌処理をされた後、消化液貯留槽へと搬送・貯留され、必要に応じて圃場へ運搬・散布される。なお、本プラントは消化液を殺菌する後殺菌方式にもメタン発酵原料を殺菌する前殺菌方式にも対応可能である。

固液分離機で分離された固分は切り返し方式の堆肥発酵槽にて堆肥化された後、完成堆肥舎へ運搬・堆積され、必要に応じて圃場へ搬送・散布される。

2） 湧別プラント

湧別町は中・小規模酪農畑作混合経営地帯であり、消化液の液肥としての草地への散布利用もあるが、特に、畑に対する堆肥の需要が大きい。

このため、湧別プラントは比較的小規模な酪農家に多い、敷料を含んだ固形状ふん尿を原料としての堆肥の生産を重視し、参加農家による自主的な管理運営を想定した小規模共同利用型の施設となっている。施設は乳牛 200 頭分のふん尿を受け入れる設計で、参加農家は酪農畑作混合経営でスタンチョンストール方式の飼養形態の５戸である。

参加農家のふん尿は敷料のわらを相当量含んでおり、固液分離後、液分はメタン発酵の原料として、固分は堆肥の原料として利用される。また、各農家の尿溜に貯留した尿もメタン発酵原料として利用される。メタン発酵原料の 1 日当たりの投入量は 6.3m^3、堆肥原料のそれは 3.8m^3 で、別海プラントに比較して原料ふん尿の堆肥生産へ配分される割合が大きい。農業系残滓、水産系残滓等のメタン発酵のための副資材も投入できる設計となっているのは別海プラントと同様である。

メタン発酵槽は水平円筒型で容量は 200m^3、中温発酵方式（約 35 ～ 37 ℃）を採用し、発酵滞留日数は 30 日程度である。メタン発酵により生成したバイオガスは生物脱硫設備に送られ、硫化水素を除去された後、ガスホルダーに貯留される。貯留されたガスは必要に応じてコジェネレーション方式（電熱併給方式）のバイオガス発電機あるいはバイオガスボイラーによって燃焼させられ、電気あるいは熱エネルギーに変換される。発生したこれらのエネルギーはプラント稼働のために使用されるが、小規模施設のため、余剰エネルギーは発生しない。なお、本プラントには、通常は使用しないが、生物脱硫設備のバックアップとして活性炭吸着方式の脱硫設備も付設されている。

消化液は殺菌槽で殺菌処理をされた後、消化液貯留槽へと搬送・貯留され、必要に応じて圃場へ搬送・散布される。なお、本プラントは消化液を殺菌する後殺菌方式にもメタン発酵原料を殺菌する前殺菌方式にも対応可能である。

固液分離機で分離された固分は畑地で使用する高品質な堆肥を製造するため、ロータリー方式の堆肥発酵槽にて堆肥化され、完成堆肥舎へ移送・貯留される。完成堆肥舎に貯留された高品質の堆肥は必要に応じて圃場へ搬送・散布される。

図1 別海資源循環試験施設システムフロー図

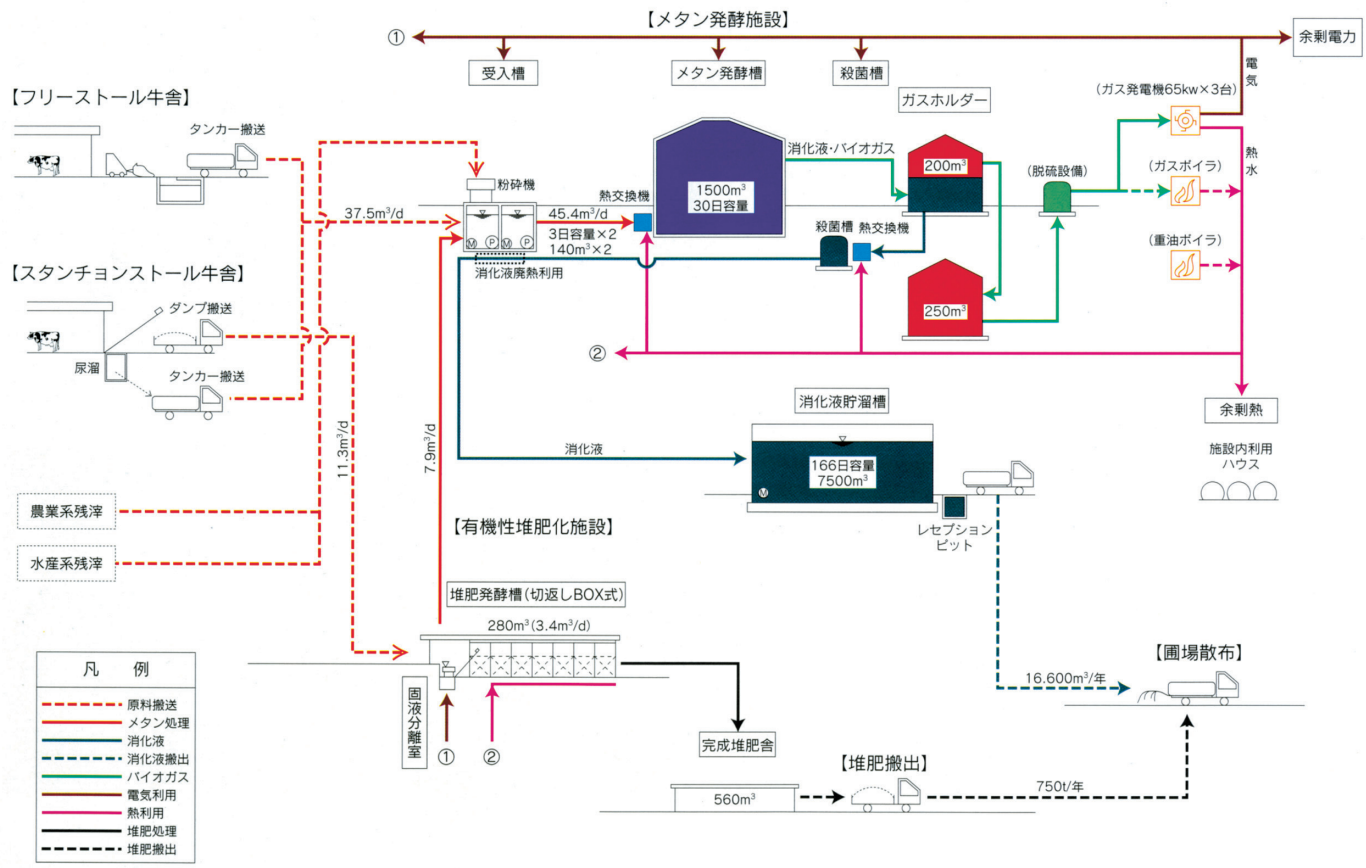
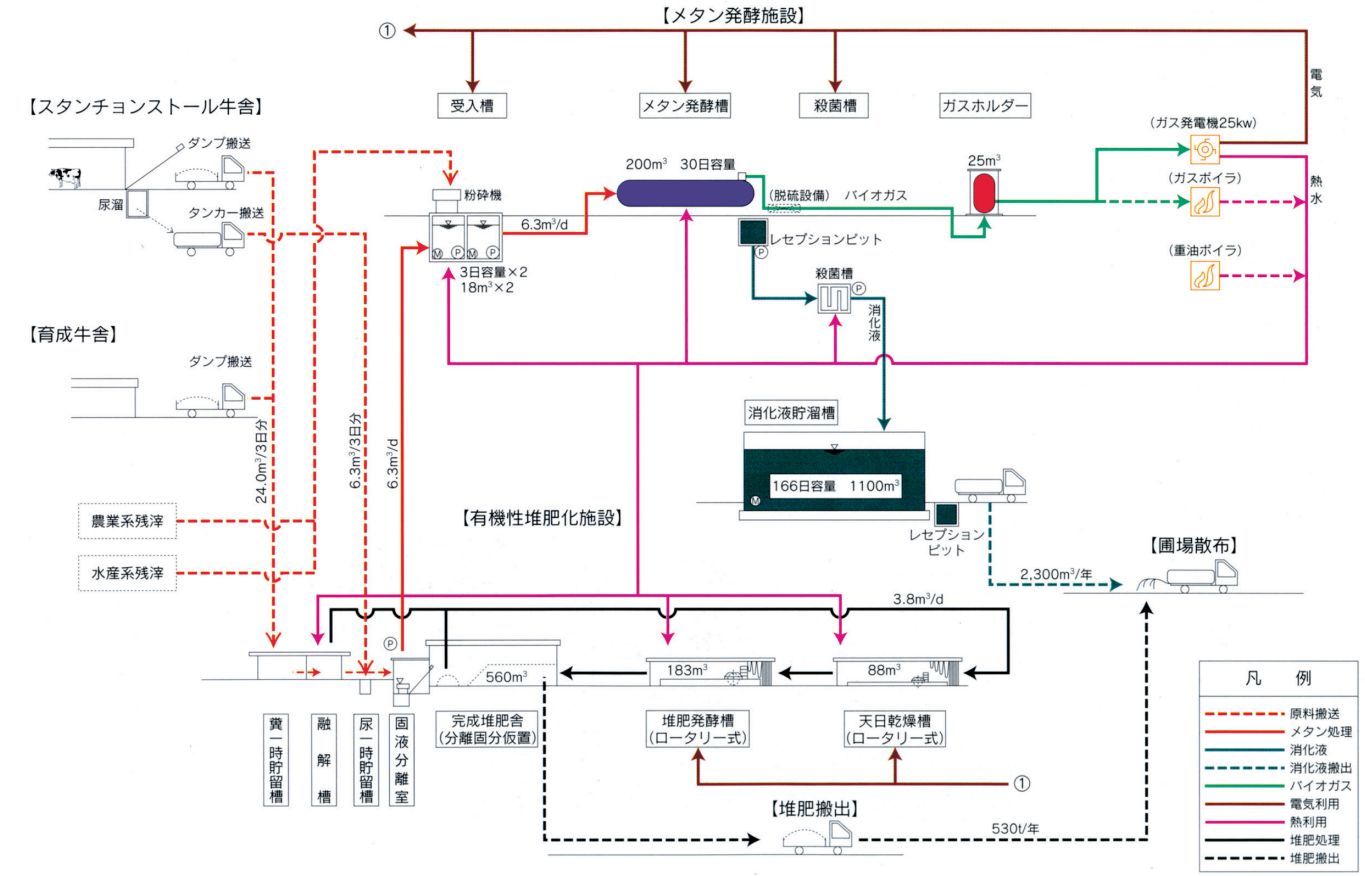


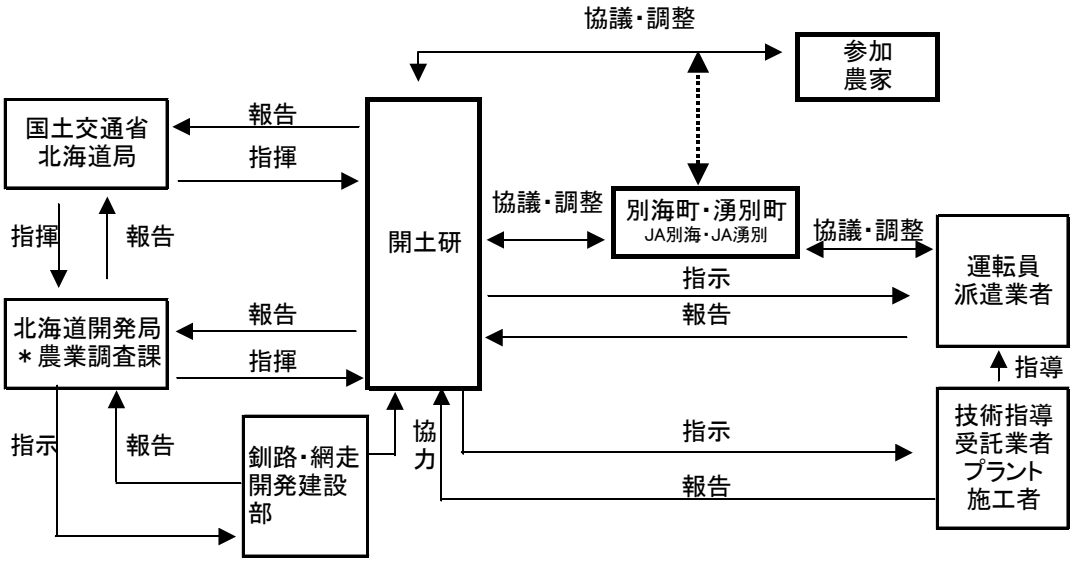
図2 湧別資源循環試験施設システムフロー図



3　施設の管理運営体制

1)　管理運営体制

両施設の運営及び管理については、施設の所有者で研究主体である北海道開発土木研究所が中心となって、関係機関との協力を得て行った(図１)。



＊　2000～2002年度:農業調査課、2003年度:農業設計課、2004年度:農業振興課

図１　管理運営体制の模式図

2)　役割分担

(1)　北海道開発土木研究所(以下、開土研という)

・全ての運営管理の総括を行い、これらに関する関係機関との協議・調整を行った。

・地元、他の試験研究機関等と調整を行い、運転計画及び搬入搬出計画を決定した。

・試験計画に従って、運転管理作業の指示を行い、その稼働報告を受け、運転計画に反映した。

(2)　釧路･網走開発建設部

・北海道開発局あるいは開土研の要請を受け、地元関係機関(別海町、別海 JA、農家、根室支庁)との調整を行った。

・地域の意見・要望等に対応するとともに、その内容を局および開土研に伝える。また、問題が生じた場合は開土研と調整を図り、初期対応等の支援を行った。

(3)　別海町・湧別町

・地元窓口として、農家、農協、その他地元関係機関との調整を行った。

・糞尿の搬入及び生成物の搬出・散布を地元の責任において行うための助成等を行った。

・問題が生じた場合は、開土研と打ち合わせて対応した。

(4)　JA別海・JA湧別

・町役場と連携し、協力農家の状況把握と調整を行った。

・開土研からの委託を受け、プラント運転員の派遣、試験圃場の耕種管理及び重機等のリースを行った。

・開土研と調整し、試験計画に沿った搬入・搬出計画を作成した。

(5) プラント施工者

・プラントの施工者として、また開土研からの委託を受け、13 年度に試運転や技術指導を行った。

・14 年度以降もプラントの施工者として技術的助言を行った。

(6) 国土交通省北海道局企画課・農林水産課

・国土交通省北海道局はプロジェクト研究に必要な予算を措置するとともに、プロジェクトの進捗や成果について開土研から報告を受けると共に、円滑なプロジェクト進行のための指揮を執った。

(7) 北海道開発局農業調査課(2000～2002年度)・農業設計課(2003年度)・農業振興課(2004年度)

・プロジェクトの進捗や成果について開土研から報告を受け、円滑なプロジェクト進行のための調整や協議に参画し、必要な指示をした。

3) 具体的内容

(1) 別海プラント

ⅰ 管理体制の概要

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（固形ふんの固液分離作業）

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・固形ふん）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）

運転員２名の作業は、運搬作業専従者と管理・固液分離作業専従者に役割分担が大きく二分される。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』作業である。別海をはじめ北海道での一般的なスタンチョン飼養では大量の敷料使用が一般的であり、こうした農家のふん尿を原料として受け入れることから、ふん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。

ⅱ 運搬体制の概要

別海プラントは2000年度に建設され、2001年３月に完成した。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撹拌・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、原料のふん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、ふん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戸分のふん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、ふん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戸から排出されるふん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。

プラント稼働によ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（ふん尿スラリー・固形ふん・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％まで減少した。

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％、搬出量における消化液の割合は92％を占め、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。

ⅲ　経過概要

①　施設の立ち上げ試運転を施工業者のＴ社が行い、2001 年５月１日より運転員１名が配置され、2001 年９月１日からさらに１名が追加配置された。2001 年 11 月まではＴ社の技術指導を受けていたが、2001 年 12 月より両運転員により施設の稼働がなされるようになった。

②　Ｔ社の技術指導の終了した 2001 年 12 月から、別海資源循環試験施設の運営については、農家、別海 JA 及び開土研土壌保全研究室が随時協議し、開土研土壌保全研究室が主体となって作成する原案を、原則として月１度開催する定例会(参加農家、別海町、別海 JA、開土研、釧路開建、根室西部農業改良普及ｾﾝﾀｰ、(根釧農業試験場及び施設運転員)が参集)において決定している。

③　原料糞尿の搬入・生成物の搬出については開土研から提示する試験計画を加味し、別海 JA が計画案を作成し、定例会で決定している。

④　原料糞尿(敷き料の混入した糞尿、尿、及び糞尿ｽﾗﾘｰ)の搬入・生成物(消化液及び堆肥)の搬出は地元の責任において実施することとされている。原料糞尿の搬入や生成物の搬出を自己で実施する農家以外の糞尿については、当初、スラリー状糞尿の搬入はＡ社により 1000 円/m3 で、固形糞尿の搬入はＢ社により 1000 円/t で実施されたが、その後、この価格は低減化された。また、広野バイオガス研究会(参加農家及び JA 別海が構成員)がダンプトラックを購入し、これと、開土研が JA 別海より借受けているフロントローダにより両

運転員が固形糞尿を 2001 年 11 月 1 日より搬入し始めた。

固形糞尿の搬入は 2001 年８月 25 日より開始された。当初はスクリュープレスによる固液分離作業が行われたが、固形糞尿の固液分離処理能力の不足のため、参加農家の全量の固形糞尿を処理するには至らなかった。固液分離能力増強のため、ウェービープレスが導入・稼働し始めたのは 2002 年 11 月 12 であった。2003 年２月以降はほぼ参加農家の固形糞尿を収集・処理できるようになった。

⑤　副資材の投入については、副資材提供者と開土研で協議し、副資材に有害物質が含まれないことをまず確認している。その後、開土研で試験計画を立案し、副資材提供者の了解を得た後、産業廃棄物については根室支庁、別海町からの一般廃棄物については別海町役場に試験計画書を提出し、投入試験を実施している。なお、副資材の搬入は副資材提供者の責務としている。

⑥　稼働当初はダンプトラックとホイールローダの2台（プラント運転員２名）で利用農家の畜舎先まで運転して、固形ふんのみの搬入および完成堆肥の搬出した。スラリー、尿および消化液の運搬は外部コントラクタに委託した。2003年７月に脱着コンテナ車(アームロール車)が導入された。コンテナを積載し固形糞尿と堆肥を、バキュームタンクを積載し、尿、スラリー及び消化液を運搬を１人でできるようになり、利用農家の畜舎先からの原料全ての搬出入を、基本的にプラント運転員１名で対応できるようになり、作業効率は向上した。同時にコントラクタ利用も低減したことでプラント運営経費の節減も図られた。

⑦　2003年には追加的設備投資として、切り返しの終わった完成堆肥について、散布時期までの蓄積が余裕をもって行える置き場面積の拡張を目的とした、完成堆肥置き場（屋根無し、ビニールシートによる被覆）が設置された。

(2)　湧別プラント

湧別町は北海道東北部に位置し(N44° 15’)、12月から3月までの月平均気温が零下の厳寒な気候にある。この地域では酪農と畑作が混在しており、個々の農家においても酪農と畑作を兼ねた営農が行われている。乳牛飼養農家の平均飼養頭数は68頭と北海道内において中規模である。畜舎形態は繋ぎ飼い（スタンチョン式）が大半であるが、放し飼い（フリーストール式）においても麦稈等の有機敷料が使用されている。現況では、個々の農家のふん尿処理は、堆肥盤と尿溜めに分離貯留後、農地に還元利用されている。

湧別プラントを共同利用（実証試験に参加）する農家数は５戸(施設から2-4kmの距離)であり、その農家個々の経営規模は異なるが、全てスタンチョン式の経営形態（飼養頭数：65-115頭、採草・放牧地：10-26ha）で、普通畑（4-20ha）も経営している。農・酪農作業は各戸2-4名の複数名で行われているほか、牧草・デントコーンの収穫、耕起作業、堆肥切返し作業等にコントラクター利用が行われている。

湧別プラントの施設計画における１日の処理量やそのフローを、図２に示す。施設の受入容量は３日分の調整容量を持たしている。すなわち、プラントへの搬入頻度は３日に１回であり、利用農家が５戸であることから、各農家は約２週間に１回（3 × 5 ＝ 15 日）搬入した。実際の固形ふんの持ち込みは、３戸の農家が廃棄物輸送業者に委託し（堆肥の持ち出しも同様)、残りの２戸は所有機械により自力搬入した。尿および消化液の搬入・搬出（散布）は、全ての農家とも所有するトラクター牽

引式タンカーで行った。尿の搬入は、ほぼ１週間に１回の頻度で行われた。ただし、厳冬期には、路面状況によりトラクター牽引式タンカーによる尿の搬送は危険であった。そのため、このような時期には、ＪＡ湧別町に尿の搬送を依頼した。

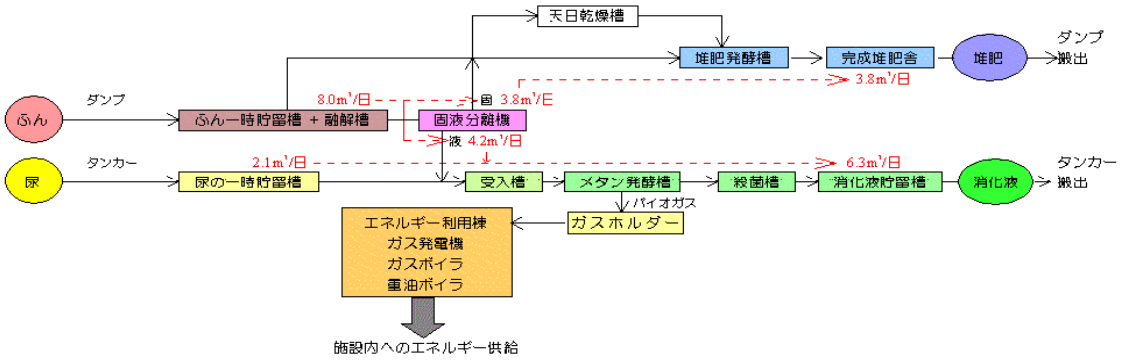


図２　湧別プラントの施設機能と運転

実際の運営は、地域の関係機関で構成する施設利用運営部会（湧別町、JA 湧別、湧別地区農業改良普及センター、網走開建、北海道開発土木研究所）で施設利用の月例協議を行い、その内容を受け、湧別町が原料搬入予定表を作成した。さらに、管理人が搬入実績・処理状況を判断し、湧別町と再調整のうえ運転した。また、実プラントでの発酵試験に必要な副原料（廃用牛乳や給食残食）の調達・搬送には、湧別町ならびに JA 湧別町、両湧別町給食センターの協力を得た。

施設の運転は、基本的に湧別町非常勤職員１名で行った。その作業内容は、ふん尿や生成物の搬入・搬出状況の把握、固液分離作業、液分が搾られた後の有機材の堆肥化施設への搬送、生成堆肥の完成堆肥舎への搬送、バイオガス利用に関する施設運転作業、ガス濃度の分析や定期的なデータ回収、定期的なふん尿・生成物のサンプリングなどである。

上述のように固液分離作業や堆肥化作業に人為作業がともなうため、地下ピット（受入槽）から発酵槽へのメタン発酵原料の投入及びボイラーの起動などの自動化された動作以外は、管理者が作業する平日だけに実施した。また、このような運転内容のため、平日に固液分離作業量を増やし、平日以外の日の分の原料スラリーを確保した。

4　各施設の稼働状況

1)　別海プラント

(1)　稼働経過

別海施設の運転・稼働に重要な影響を及ぼした事項を年度別に表１に示した。

表１　稼働経過

年　度	事　　項
2000年度	別海資源循環試験施設の建設期間
2001年度	Ｔ社に管理依託し、設備やシステムの稼働の確認と不良部の改善を実施しながら施設を起動させた。 運転員に操作の技術移転を行った。
2002年度	運転員２名による自立運転に移行した。 補正工事を実施した。主要な内訳は以下のとおりである。 ①固形ふん尿直接投入試験設備の増設 ②ウェービープレスと固形ふん尿自動定量供給装置の増設 ③逆潮流設備の増設 固形ふん尿直接投入試験を実施。破砕ポンプでの閉塞を招き、固形ふん尿の直接投入は現有機器では現実的な手法ではないと判断した。 殺菌条件を70℃×1hrから55℃×7.5hrに変更した。 プラントでの発生電力を系統に流す逆潮流(売電)を開始した。
2003年度	フリーストール農家のスラリーピットに凍結防止整備を実施した。 簡易完成堆肥置き場を増設した。 ふん尿の搬入機器にアームロール車を導入した。このことで、従前の３車輌３名作業から１車輌１名作業に大幅に効率化した。 １戸の農家でスタンチョン方式からフリーストール方式に畜舎が改造された。フリーストール方式の参加農家が３戸から４戸となった。 固液分離固分を用いた直接投入試験を実施した。受入ピットに投入した分離固分をスラリー中でほぐす作業は簡便ではなく､非実用的と判断。 廃用バターや廃脱脂粉乳などの副資材投入試験を開始した。副資材の提供元は１社。廃用牛乳は随時投入した。 エネルギー地域自立型実証研究施設(以下、水素プラントと呼ぶ)が受電設備を共用して建設された。
2004年度	水素プラントの実験が開始し、断続的に行ったバイオガスの供給の都度、発電機とガスボイラーの稼働制限や生物脱硫空気注入中断などを実施した。最初の生物脱硫空気注入中断から再開の過程で、乾式脱硫塔を異常発熱させてしまうというアクシデントを経験した。この経験から２回目以降は問題なく空気注入中断と再開を実施している。 副資材の提供元を増加させた(１→６団体)。 高温(53℃)発酵試験を２ヶ月間実施した。

2004年度	以下の主要な設備の点検整備や更新を集中的に実施した。 ①殺菌用循環モーノポンプを更新、②コジェネレータ１号機と２号機の点検整備、③第２継電器の交換、④消化液排出配管支持台のズレ補修、⑤第２受入槽の全面清掃と破砕ポンプの交換、⑥ガスボイラーと重油ボイラーの総点検と整備、⑦ガス冷却機の点検整備、⑧温水循環ポンプの交換、⑨湿式ガスホルダー攪拌機の総点検と整備、⑩発酵槽攪拌機の総点検と整備、⑪フレアスタックの総点検と整備、⑫場外消化液貯留槽にトラクターステージを増設

(2)　搬入・搬出

2001年5月にメタン発酵を立上げ、2005年3月末までの施設への搬入量はスラリー:36,800t、固形ふん尿:18,100t、尿汚水:2,900tであり、この他に副資材として、表2に示す量をメタン発酵の受入槽に投入した。生成物である消化液:42,200t、堆肥3,500tが施設より搬出・散布されている。

副資材の投入は、2002年３月に廃用牛乳を投入したことが始まりで、2003年度以後は副資材投入試験に関する計画書を根室支庁に届出ると同時に、副資材の提供元と覚え書きを締結して試験を継続してきた。

図１に原料糞尿のプラントへの月別搬入量とプラントからの生成物(消化液と堆肥)の月別搬出量を、表２に2002年3月～2005年3月までの月別のメタン発酵槽へのふん尿投入量と副資材の種類別投入量を示した。搬入した副資材のうち、汚泥類はスラリー受入槽に空き容量がない場合に堆肥化施設に投入する場合もあったが、極めて希であった。汚泥類以外の副資材は全てスラリー受入槽に投入した。したがって、メタン発酵槽への投入量＝搬入量とみなして差し支えない。表-2で投入量を集計すると、ふん尿が約40000ｔ、副資材が約1300ｔなので、重量割合としては3.1%程度であるが、有機物負荷としては、2400t：225tで9.4%となる。

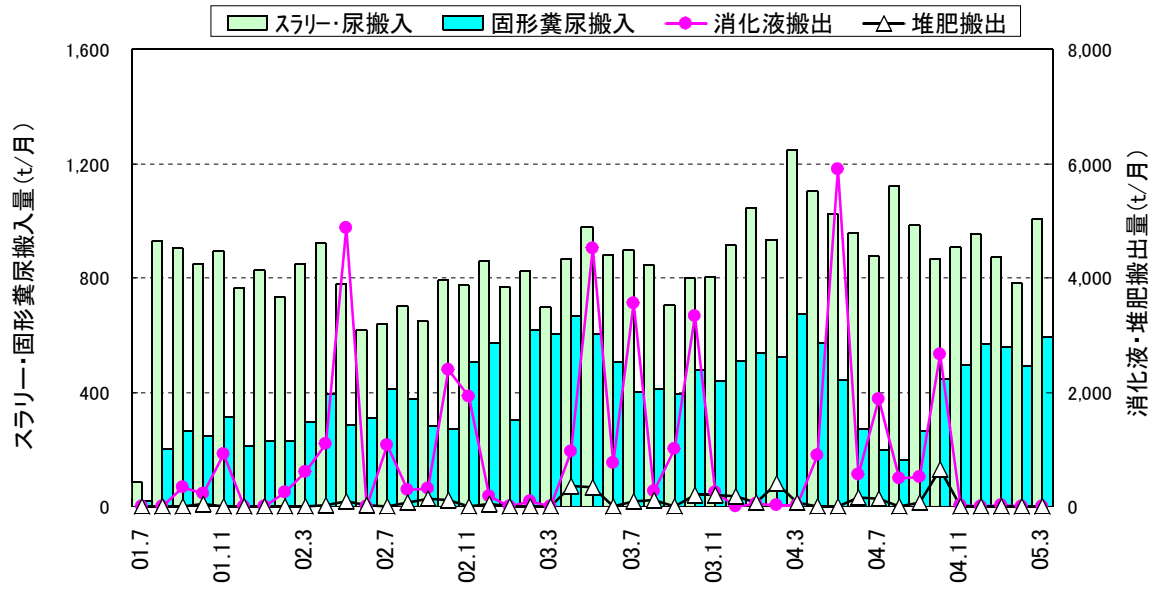


図１　　月別の原料糞尿の搬入量と生成物の搬出量

表２　糞尿スラリーと副資材の月別投入量

年月	ふん尿スラリー量（ｔ）(6.0%)	副資材の月別合計投入量（ｔ） 廃用牛乳(12.3%)	廃脱脂粉乳(90.0%)	廃生クリーム(50.1%)	廃バター投入(81.8%)	屎尿汚泥(10.8%)	水産加工残滓(23.8%)	乳業工場汚泥(9.8%)	固形糞尿直接投入(9.7%)	合計
平成14年 3月	1060	40.0								40
平成14年 4月	1120	30.0								30
平成14年 5月	895									
平成14年 6月	840									
平成14年 7月	942									
平成14年 8月	990									
平成14年 9月	875									
平成14年10月	997						3.0			3
平成14年11月	935								15.3	15.25
平成14年12月	1095								16.5	16.5
平成15年 1月	828								12.0	12
平成15年 2月	998		1.6							1.61
平成15年 3月	1066		4.3							4.26
平成15年 4月	1233	3.0	3.3			1.0				7.335
平成15年 5月	1116					3.7				3.68
平成15年 6月	915	7.3				2.6				9.8
平成15年 7月	1079	4.5				7.6				12.09
平成15年 8月	1054					6.2				6.24
平成15年 9月	929	0.2			2.7	7.8				10.67
平成15年10月	1068				2.3	9.3				11.63
平成15年11月	1186			24.0						23.98
平成15年12月	1232	8.1	1.9			5.1				15.03
平成16年 1月	1216					4.2				4.24
平成16年 2月	1086		1.7	5.9		6.2			32.0	45.74
平成16年 3月	1402				2.1	1.7			18.0	21.755
平成16年 4月	1389	9.1				0.1		3.7		12.91
平成16年 5月	1235	16.9	1.5	0.8		2.3		33.1		54.55
平成16年 6月	956		1.3	2.2		6.5		69.3	5.2	84.49
平成16年 7月	878	63.1	6.0	2.8	6.0	14.0		109.3	26.0	227.094
平成16年 8月	1043	30.0	26.3	1.9	1.7	21.5		95.3		176.65
平成16年 9月	1062	30.0	7.8	1.0		29.0		99.8		167.54
平成16年10月	1102		7.8	4.1		13.4		52.7		77.98
平成16年11月	1195			2.1		13.8		63.9		79.75
平成16年12月	1142	12.4		1.0		7.1		57.9		78.304
平成17年 1月	1320			2.2	2.8	5.8		9.0		19.77
平成17年 2月	1227	10.4			4.6	2.5		14.0		31.537
平成17年 3月	1106	9.3				3.8		5.5		18.56
平成14年度以前	12640	70.0	5.9	－	－	－	3.0	－	43.8	122.6
平成15年度	13517	23.1	6.8	29.9	7.1	55.3	－	－	50.0	172.2
平成16年度	13656	181.2	50.8	17.9	15.1	119.5	－	613.5	31.2	1029.1
合計	39813	274.2	63.5	47.8	22.2	174.8	3.0	613.5	125.0	1323.9

(3)　メタン発酵状況

図２に2001年5月～2005年3月のバイオガス発生量の推移を月別日平均値で示した。原料スラリー投入量は上述したように副資材を含む量である。

メタン発酵槽へのスラリー投入量は50,800t、バイオガス発生量は1,443,000 m^3で、スラリー1t当りのバイオガス発生量は約29 m^3/t、バイオガス中のメタンガス濃度は約60%であり、メタン発酵は順調に推移している。2005年2月の高いピークは高温発酵試験に伴うものである。内容はⅢ-2-2)効率的なバイオガスの生成及び脱硫条件の検討の章に記載した。

施設の運転操作に携わる運転員は、平日(月～金曜日)は２名である。１名は2003年７月に導入したアームロール車にコンテナを積載し固形ふん尿を、バキュームタンクを積載しふん尿スラリーや尿汚

水を搬入している。他の１名は固形ふん尿の固液分離作業を行っている。土曜日には１名が施設の稼働を実施している。

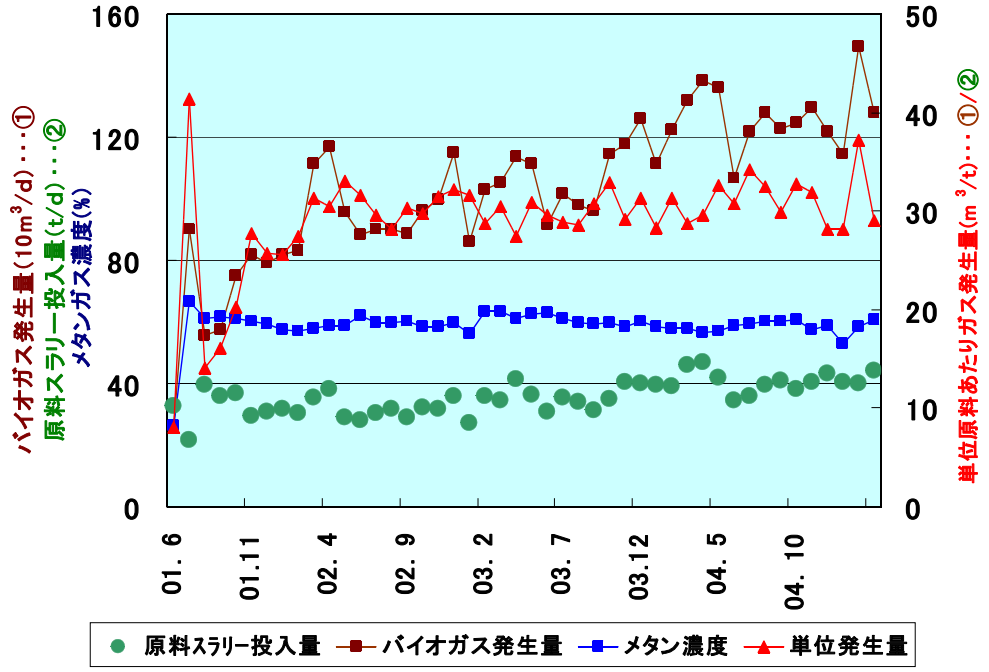


図２　別海施設のメタン発酵の推移

2003年１月末より逆潮流が可能となり、売電を行っており、2005年3月末までの売電収入の総額は996,684円(月平均38,281円)である。なお、売電量は併設した水素プラントへバイオガスと発電電力を供給したことにより、資源循環施設だけで稼働した場合より少なくなっている。

2)　湧別施設

(1)　稼働概要

湧別プラントでは、200頭相当の乳牛から１日に排泄されるふん尿を受け入れ、処理することを想定している。プラントの管理は基本的に１名で行っている。稼働開始からの主な稼働履歴は表３のとおりである。

このプラントでは、５戸の農家から定期的に搬入される敷料混合ふん尿を固液分離した後、その分離液分に別途搬入される尿汚水をほぼ２：１に混合したものをメタン発酵の原料としている。１日あたりに約4.2m³の分離液分を生成し、これに約2.1m³の尿汚水を混合し、合計で約6.3m³の原料スラリーをメタン発酵槽へ投入する。メタン発酵後の原料スラリーは、殺菌工程を経て消化液（液肥）としてふん尿を搬入した農家に還元される。一方、分離固分は堆肥原料として、ロータリー攪拌機を備えた堆肥発酵施設へ移され、堆肥化後、消化液と同様に還元される。

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温水ヒーターで電気及び熱に変換し、プラント内のみで消費している。不足するエネルギーは、商用電力及び重油により補っている。ガス発電機の起動及びいくつかの機器の電源経路を発電へ切り替える操作はプラント管理人が行う。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り替え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しか行っていない。なお、休日・夜間に発生するガスは、ガス温水ヒーターの自動運転で利用している。

典型的な運転状況を諸データで示すと以下の図３のようになる。

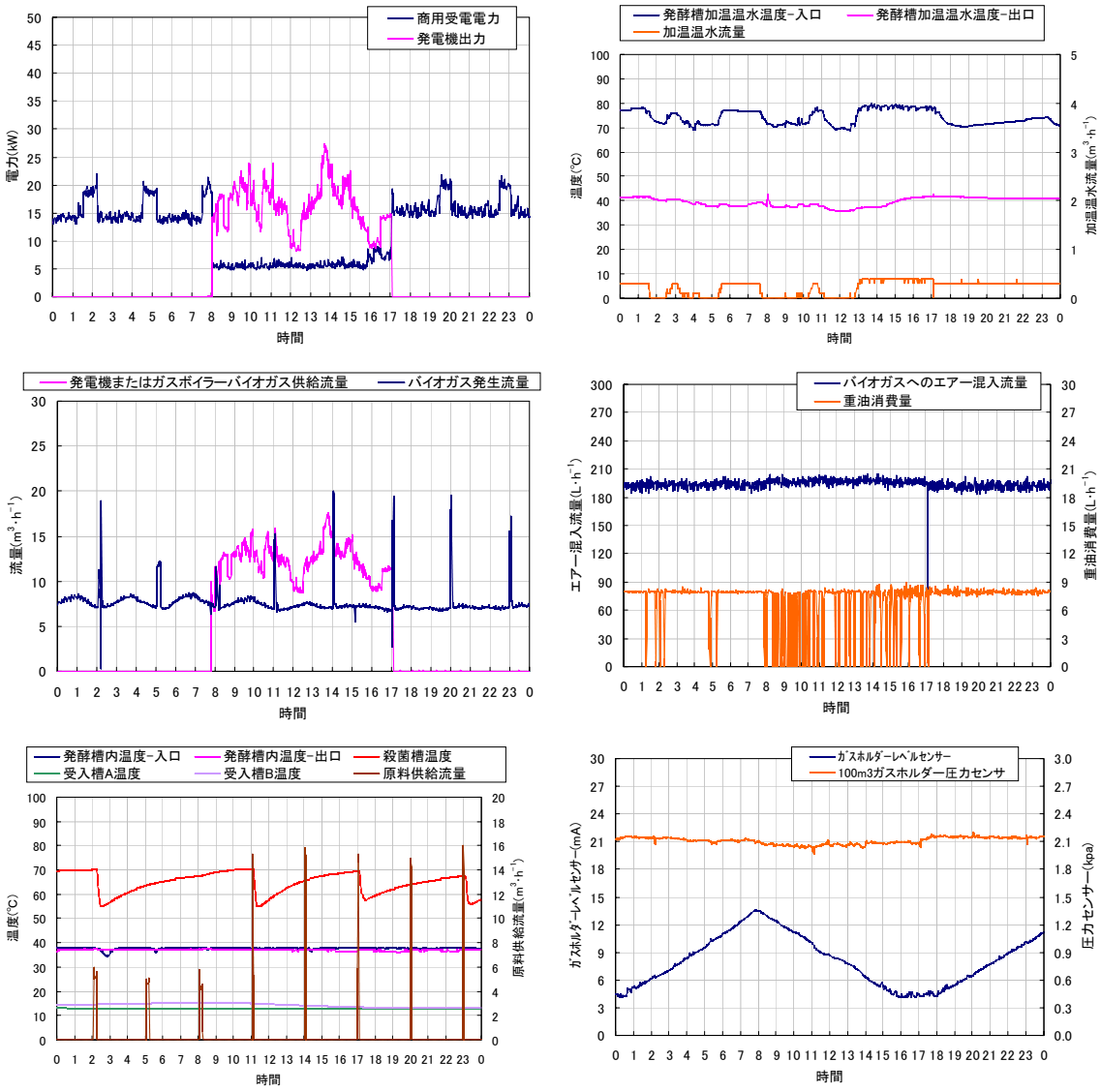


図３　　典型的な運転状況のデータ（平成15年12月22日）

表３　湧別施設の稼働履歴

2001 年 2 月 19 日	メタン発酵施設が部分完成したことから、農家のふん尿で発酵を立ち上げた。外部からの種菌は使わなかった。
2001 年 3 月 9 日	（特別の種菌などを使用していない。） 発酵槽がふん尿で満杯となり、バイオガスの発生が確認できた。
2001 年 4 月 9 日	(12 日間発酵槽で菌を馴養後､原料スラリーの連続投入を再開した。)
2001 年 8 月 14 日	固液分離機・堆肥化施設の稼働を開始する。
2002 年 1 月	尿の受入（尿溜め）が整備出来たことにより、計画の日処理量 6.3m^3 に移る。
2002 年 5 月 14 日	温水供給系等の機能不全とそのメンテナンスのため、約１月原料供給およびプラントへのふん尿の受入を休止。
2002 年 12 月	最初に導入したガス発電機はベースのガスエンジンが大きいことから燃料消費量が大きく、ガス発生量と旨く連携しないことや、空熱比制御が難しいことから、発電機を交換し、自家発電を開始した。(Leroy Somer 社製へ交換) ガスホルダー(100m^3)を増設し、長時間のガス利用運転が可能になった。
2002 年 12 月 10 日～ 27 日	副原料投入試験（廃用牛乳）
2003 年 2 月 18 日～ 3 月 14 日	副原料投入試験（給食残食）
2003 年 3 月	融解槽改造（断熱強化） マニュアスプレッダを改良した固形ふん定量投入装置の設置（管理人労力抑制）
2003 年 7 月 1 日～ 8 月 31 日	副原料投入試験（廃用牛乳）
2003 年 8 月 23 日	活性炭による２次脱硫開始
2003 年 10 月 8 日～ 11 月 28 日	副原料投入試験（給食残食）
2003 年 11 ～ 12 月	ガスボイラーと重油ボイラーの直列配置化
2004 年 1 月	豪雪（プラントの停電や外部からの孤立を経験）
2004 年 2 月～	発電機の不調が続いた。
2004 年 5 月 10 日～ 6 月 18 日	循環温水の変色と漏水が発生し、その対策を実施した。
2004 年 8 月 5 日	前殺菌を試行したが、発酵温度の上昇が抑制できず、40 度を超えたため、後殺菌に戻した。
2004 年 9 月 8 日	台風 18 号により堆肥発酵施設が傾いた。10 月上旬までかかって、倒壊しないように応急処置を施した。
2004 年 12 月 5 日	雪により完成堆肥舎の上屋が倒壊した。9 日までに撤去した。プラントに残っているふん尿以外に、新たなふん尿の受け入れを一旦停止した。
2004 年 12 月末	新たなふん尿の受け入れ停止を決定した。これ以降、年度末までの間で、プラントの稼働停止作業を行うこととした。

(2)　搬入・搬出・固液分離

プラントで生成された消化液は参加農家によりプラントから搬出・圃場散布されており、堆肥については農家の地先で二次発酵させた上で圃場還元されている。ふん尿の受入と生成物の搬出の状況は、図４に示すとおりである。春・夏・秋の施用のため生成物が搬出され、冬期では搬出が無い。生成物は良質な肥料として、利用農家から評価を得ている。

2001（H13）年度までは、尿の搬入が農家の所有するトラクター牽引式タンカーで行われていたために、冬期の積雪路面での運転が危険なことから、この機械での尿の搬入を休止した。2002（H14）年度以降は、冬期の尿搬入をJA湧別町に依頼した。また、2004（H16）年1月は豪雪の影響により、原料の搬入量が小さかった。その他で搬入量の小さい月は、プラントの故障により受け入れを控えていた月などである。それらの月を除けば、2003・2004 年度は相対的に安定した搬入量を確保できた。消化液・堆肥ともに順調に搬出された。

2001年4月から原料の受け入れを停止した2004年12月末までの累計では、固形ふん尿8,754t、尿汚水1,752tが搬入され、消化液7,011tと堆肥4,233m³が搬出された。これらの値をもとにすると、ふん尿の搬入量と生成物の量の間には、次の関係がある。

消化液量(m³)＝0.684×固形ふん尿量(m³)＋尿量(m³)

堆肥(m³)＝0.494×固形ふん尿量(m³)

なお、2005年３月現在にプラントに残されている消化液および堆肥は、2005年の春期に農家によって搬出・施用される。

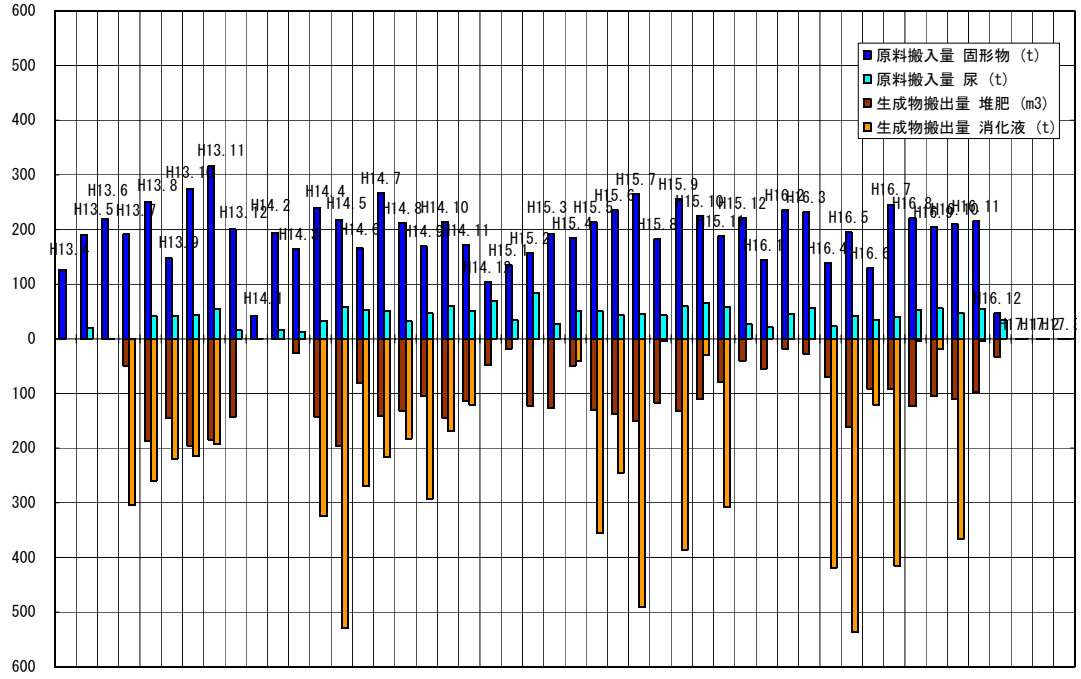


図４　　湧別施設における原料の搬入及び生成物の搬出量

(3)　メタン発酵状況

2001年のメタン発酵の立ち上げは、次のように行った。メタン発酵槽の稼働は、プラントが概成した2001年2月19日に開始した。３週間ほどで発酵槽内をふん尿スラリーで充填した。使用したスラリーは湧別町内でふん尿をスラリー処理を行う農家の裁断ワラ入りスラリーを使用した。他プラントの消化液を種菌とする処理は行わなかった。メタン発酵槽がスラリーで充填された段階でバイオガスの発生が確認された。この時点でメタン濃度は０であったが、１週間後には50%を超え、以後60%程度で推移した。発酵槽が充填された後２週間、スラリーの追加投入を行わず、37℃で保温・撹拌を行いながら、メタン菌の馴養を行った。2001年3月23日からバイオガス発生状況を確認しながら、スラリーの投入を再開した。固液分離機の稼働開始に伴い、4月10日より投入原料を固液分離スラリーに変更した。尿受入施設の完成に伴い、8月14日より固液分離スラリーと尿を２：１にブレンドし、設計負荷量での運転に移行した。

立ち上げ以降のメタン発酵状況を図５に示す。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。このガス発生量増大の原因は、15年7月～11月については副原料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。稼働開始時から原料投入終了までの平均単位発生量は21.7m^3/m^{3}であり、乳牛ふん尿でのメタン発酵の一般値15～30m^3/m^{3}の範囲内である。メタンガス濃度は、廃用牛乳投入期間中に比較的高い値を示したほか、2003年にも70%日近い値を示した。このようにガス発生は安定しているが、メタンガス濃度に変動がみられた。

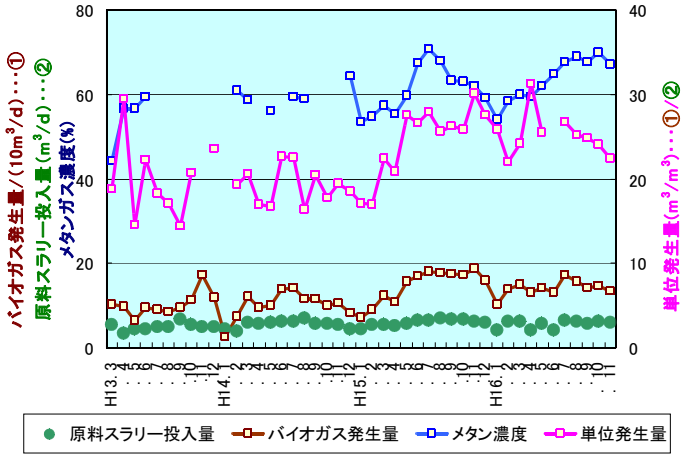


図５　湧別施設のメタン発酵の推移

(4)　堆肥発酵状況

堆肥化施設は、固液分離機による分離固分を原料に、ロータリー式撹拌機で撹拌機により行った。本施設では、固液分離機により含水率が70%程度に低下しているため、水分調整材を用いずに堆肥化を行った。また、厳寒期の発酵促進のため、バイオガスのエネルギーを利用した通風・加温設備を有しているが、2002年度の冬期の堆肥化施設での温度分布測定結果では、下方からの通気（20℃前後）が無くても、堆肥温度が上昇することがわかった。そのため、それ以降は下方からの通気を行わず、堆肥化施設を稼働させた。

湧別プラントの稼働開始から2004年１月までの堆肥化施設の温度測定結果は、図６のと

おりである。この図のように、冬期間はそれ以外の季節に比べて温度が低い傾向がある。毎年の気象条件にもよるが、厳冬期には、短期間であるものの、60℃の発酵温度履歴を持たない堆肥が発生することがある。

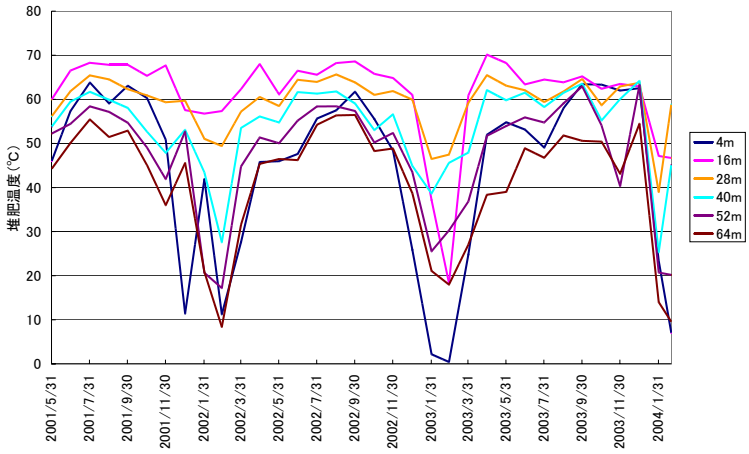


図６　各測定点での月平均堆肥温度

(5)　フェイズⅡにおける運転計画と進捗

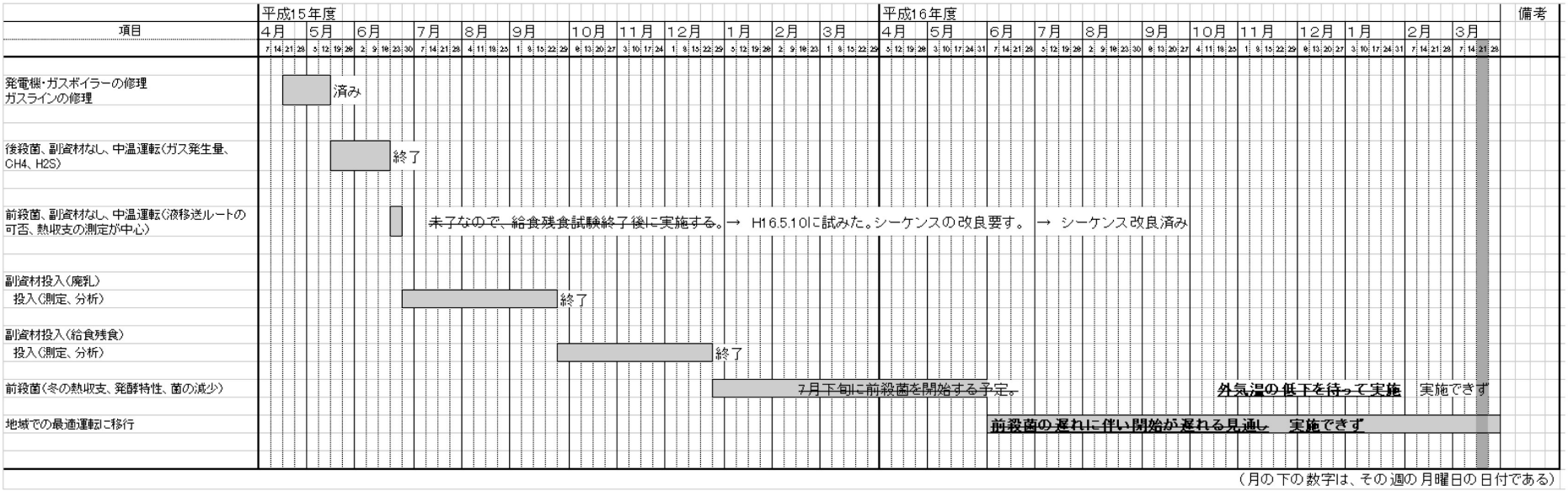
フェイズⅡでの運転計画と作業実績は、図７のバーチャートに示すとおりである。

前殺菌試験の試行は、シーケンスの書き換えや熱交換機の機能不足により、遅れ気味で推移したため、2004・2005年の年末年始を挟んだ実施を計画していた。しかしながら、完成堆肥舎の倒壊等により、実施を断念せざるを得なかった。

フェイズⅡにおける全体的な進行状況としては、概ね次のとおりである。

・エネルギー収支調査と副資材投入発酵試験については、十分な成果を得た。

・前殺菌試験については、実施できなかった。



2004（H16）年度は、前殺菌運転に移行できなかったものの、後殺菌運転でのエネルギー収支の観測は継続して行っていた。

図７　湧別施設における運転計画と実績

5　実証試験の推進組織、試験課題と分担

試験研究の推進組織として図１のように、①北海道開発局農業水産部、北海道農政部農業改良課、北海道農業研究センター、北海道立の農業試験場及び北海道開発土木研究所から構成される研究行政連絡会、②北海道開発土木研究所、北海道農業研究センター及び北海道立の農業試験場等から構成される試験研究連絡会、③地元の町役場、JA、農業関連機関及び開発建設部等及び北海道開発土木研究所から構成される別海地域及び湧別地域の連絡協議会を設けた。

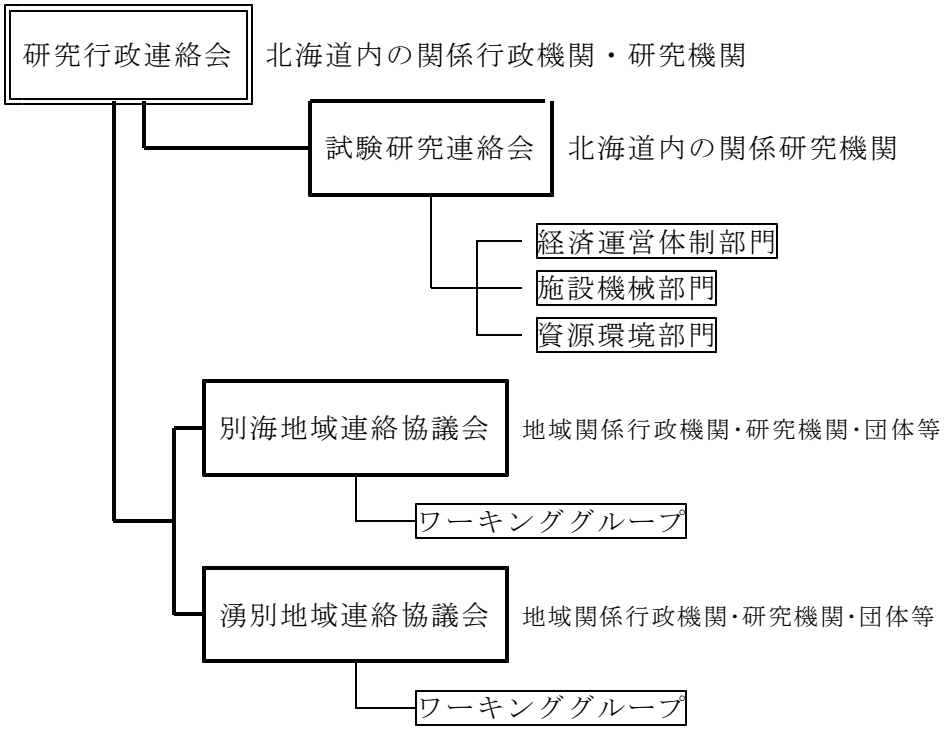


図１　「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」推進組織

平成 13 ～ 14 年度(フェイズⅠ)での試験研究の課題は経済運営体制部門、施設機械部門及び資源環境部門に大別し、それぞれの課題名と分担組織は表１のようであった。

平成 15 ～ 16 年度(フェイズⅡ)ではこれまでの調査試験内容から、経済運営体制部門の試験課題名を表２のように変更した。

表１　試験研究の課題名と分担組織(フェイズⅠ：平成13～14年度)

	課題名	分担
Ⅰ	ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの効率的運営体制と経済性に関する研究(経済運営体制部門)	
1	寒冷地における集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの経済性の解明	北農研動向解析研・開土研土保研
2	寒冷地における集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの成立条件	根釧農試経営科
Ⅱ	施設機械の効率的運転技術に関する研究(施設機械部門)	
1	集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽﾌﾟﾗﾝﾄにおける家畜糞尿搬入・搬出・散布法の検討	根釧農試酪農施設科
2	効率的なﾊﾞｲｵｶﾞｽの生成及び脱硫条件の検討	開土研土保研・農土研
3	ｴﾈﾙｷﾞｰ効率と生成ｴﾈﾙｷﾞｰの有効利用の検討	開土研農土研・土保研
4	施設システムの改善検討	開土研土保研・農土研
Ⅲ	有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全効果に関する研究	
1	原料・生成物の品質・安全性に関する検討(資源環境部門)	
1)	処理による微生物性(大腸菌群)の変化	畜産試験場畜産環境科
2)	処理による肥料成分や雑草種子発芽率の変化と重金属含量	開土研土保研
2	生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する検討	
1)	草地に対する消化液の効果的施用法の確立	根釧農試草地環境科
2)	畑作物に対する消化液施用法の確立	北見農試栽培環境科
3)	施用法の窒素動態に及ぼす影響	開土研土保研
4)	大気中のアンモニア揮散量のモデル化	開土研農土研
3	プロジェクトによる環境負荷緩和効果の検証	開土研農土研

表２　試験研究の課題名と分担組織(フェイズⅡ：平成15～16年度)

	課題名	分担
Ⅰ	ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの効率的運営体制と経済性に関する研究(経済運営体制部門)	
1	寒冷地における集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの経済性と成立条件の解明	北農研動向解析研・開土研土保研
2	環境会計手法を用いた集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽｼｽﾃﾑの総合評価	根釧農試経営科
Ⅱ	施設機械の効率的運転技術に関する研究(施設機械部門)	
1	集中型ﾊﾞｲｵｶﾞｽﾌﾟﾗﾝﾄにおける家畜糞尿搬入・搬出・散布法の検討	根釧農試酪農施設科
2	効率的なﾊﾞｲｵｶﾞｽの生成及び脱硫条件の検討	開土研土保研・農土研
3	ｴﾈﾙｷﾞｰ効率と生成ｴﾈﾙｷﾞｰの有効利用の検討	開土研農土研・土保研
4	施設システムの改善検討	開土研土保研・農土研
Ⅲ	有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全効果に関する研究	
1	原料・生成物の品質・安全性に関する検討(資源環境部門)	
1)	処理による微生物性(大腸菌群)の変化	畜産試験場畜産環境科
2)	処理による肥料成分や雑草種子発芽率の変化と重金属含量	開土研土保研
2	生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する検討	
1)	草地に対する消化液の効果的施用法の確立	根釧農試草地環境科
2)	畑作物に対する消化液施用法の確立	北見農試栽培環境科
3)	施用法の窒素動態に及ぼす影響	開土研土保研

[Ⅲ]　最終の個別成果

1　課題名

Ⅰ　バイオガスシステムの効率的運営体制と経済性に関する研究

1　寒冷地における集中型バイオガスシステムの経済性と成立の解明

2　担当場所名　独立行政法人　農業・生物系特定産業技術研究機構
北海道農業研究センター　総合研究部　動向解析研究室
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

3　研究目的

1．北海道酪農の経営的課題

我が国畜産は、食生活の高度化等を背景に急速な発展を遂げたが、混住化の進行や環境問題に対する関心の高まり等から、今日では家畜排せつ物による環境負荷が深刻な環境問題となっている。1999 年 7 月に施行された「食料・農業・農村基本法」の基本方針の一つである「農業の持続的な発展」では、効率的な農業構造の確立とともに農業の自然循環機能の維持増進が掲げられ、また同年 11 月に施行された「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」をはじめとする「環境三法」では、土づくりの推進と同時に家畜ふん尿の野積み等の不適切な管理の解消を義務づけている。今後は環境対策として家畜排せつ物の適切な処理及び利用を推進することが、我が国の全ての畜産業にとって緊急の課題となっている。

北海道は、我が国の乳用牛飼養頭数の約半分を占める代表的な酪農地域である。その大部分は冬季の平均気温が氷点下になる寒冷地で、特に東部や北部は農耕期間中の平均気温も低く畑作物栽培に適さない条件不利地域であり、大型酪農専業経営が発展する要因にもなっている。酪農生産構造の推移についてみると、酪農家戸数の減少とともに戸当たり乳牛頭数及び１頭当たり産乳量が増加し、結果的には生乳生産量は増加してきた。この間、省力化技術の導入も進んだが、１戸当たり労働時間が増大し、過重労働への対策が急務になっている。

2．『積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト』

こうした状況を踏まえて、国土交通省北海道局、北海道開発局及び北海道開発土木研究所を主体とする研究プロジェクト『積雪寒冷地における環境･資源循環プロジェクト』(2000～2004 年度）が実施された。このプロジェクトでは、家畜ふん尿処理の手法として、デンマークなどで急速に普及している嫌気性発酵を利用した共同利用型バイオガスシステムを取り上げ、営農現場に試験施設を設置して実証的に研究を進めてきた。

バイオガスシステムは、①発酵処理中の悪臭やアンモニア揮散がない、②発酵残渣液（以下、消化液という）は悪臭と粘度が低く性状が均一で液肥と同様に容易に取り扱える、③発生したメタンガスをエネルギー源として利用できる、④水産廃棄物及び生ゴミなどの有機性廃棄物の処理も可能である、等の利点があり、近年急速に普及している。

バイオガスシステムは、利用主体に基づき個別型と共同利用型に分類できる（図１）。個別型システムは既に北海道にも存在するが､共同利用型システムは初めての試みであり、寒冷地における家畜ふん尿の搬入や消化液の搬出及び圃場散布のための効率的な体制のあり方は明らかになっていない。また、発生するメタンガスから生成される電力と温水の効率的な利用法やプラント及び農家における総合的な経済性も解明されていない。

そこで、このプロジェクトではバイオガスシステムの試験施設を、酪農地帯である別海町及び湧別町に建設して、「①経済運営体制部門」をはじめ「②施設・機械部門」、「③資源・環境部門」の３つの研究グループを設け、それぞれの課題について現地実証試験を行ってきた（表１、図２）。

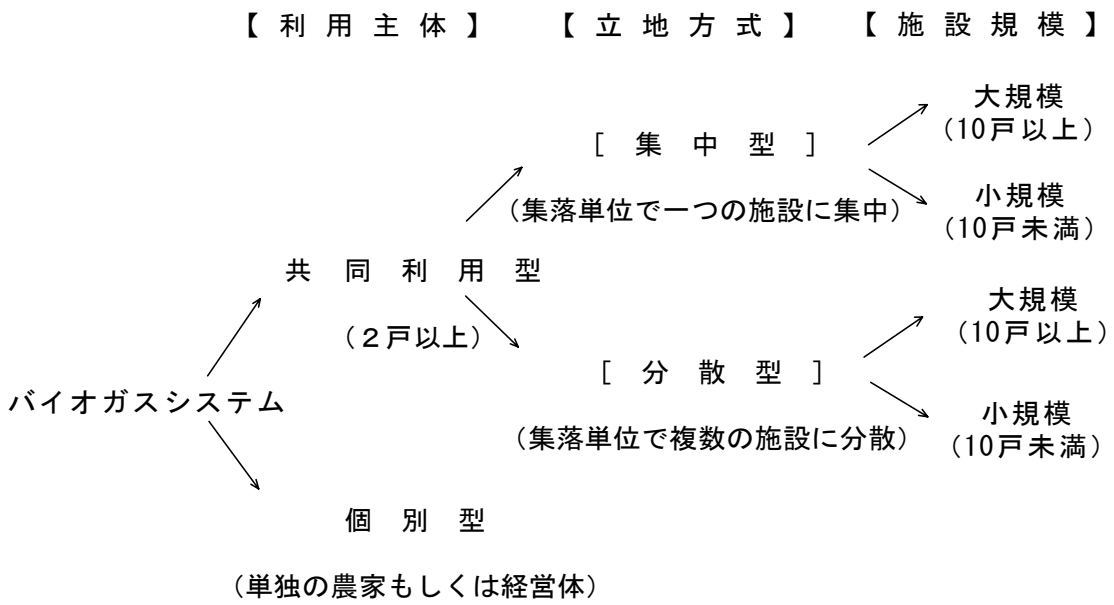


図１　バイオガスシステムの利用主体別分類

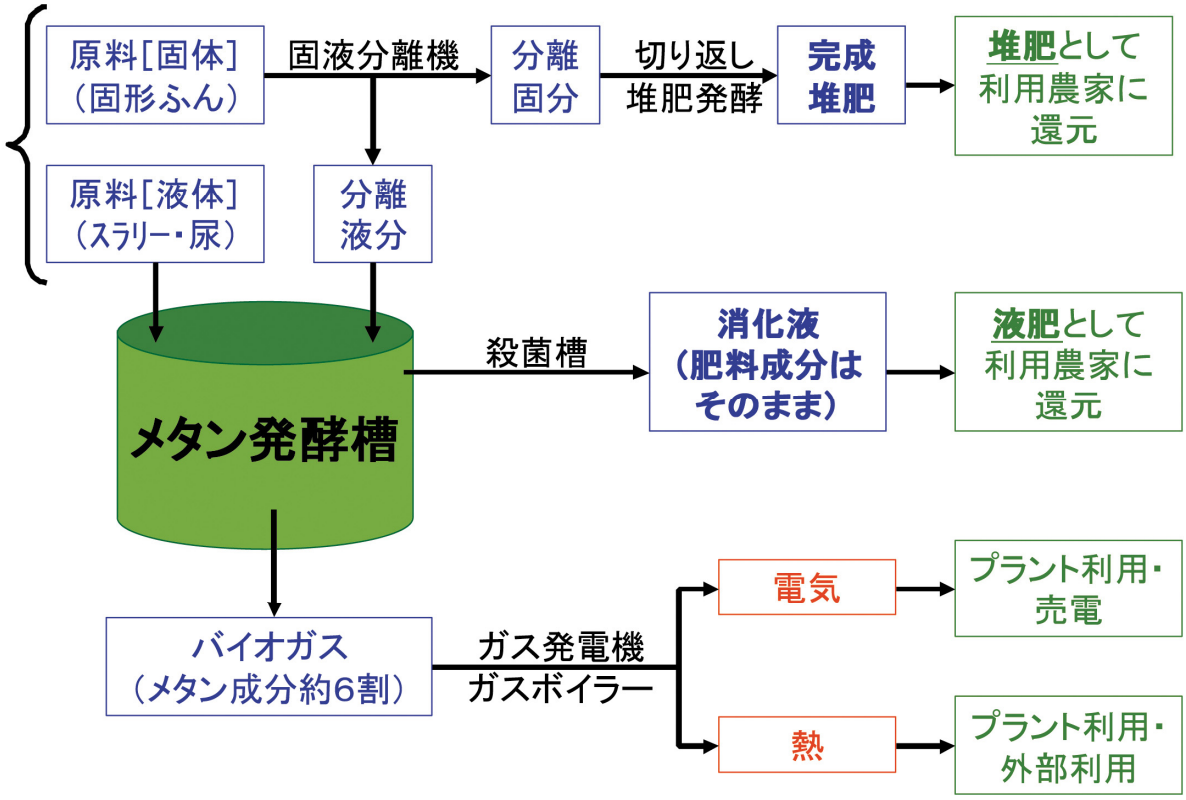


図２　バイオガスシステムの基本フロー

表１　別海・湧別資源循環試験施設の基礎諸元（2000 年度時点）

施設	別海資源循環試験施設	湧別資源循環試験施設
立地条件	酪農専業地帯	酪農畑作混合地帯
施設の分類	大規模集中型（草地還元） 利用予定農家１１戸（運転員２名）	小規模分散型（草地・畑地還元） 利用予定農家５戸（運転員１名）
規模 （投入量）	乳牛１，０００頭規模	乳牛２００頭規模
	メタン発酵４５．４m^3／日	メタン発酵６．３m^3／日
	堆肥発酵施設３．４m^3／日	堆肥発酵施設３．８m^3／日
メタン発酵 方式	縦置円筒型発酵槽（１，５００m^3）	水平円筒型発酵槽（２００m^3）
	中温発酵（約３５℃）で３０日程度	中温発酵（約３５℃）で３０日程度
	（高温発酵（約５５℃）で １５～２０日）	
消化液貯留槽	２，５００m^3×３基 １，０００m^3×２基	１，１００m^3×１基
	約半年分の消化液を貯留	約半年分の消化液を貯留
堆肥化の 撹拌方式	ホイールローダーによる 切り返し方式	ロータリー撹拌方式
バイオガス 発電機	６５ｋｗ×３台	２５ｋｗ×１台
	バイオガスによるコジェネで施設内電気を供給	バイオガスによるコジェネで施設内電気を供給
	発電時の熱を有効利用	発電時の熱を有効利用
	余剰電力の売電を検討	
ボイラー	コジェネの補助熱源	コジェネの補助熱源

３．バイオガスシステムの経済的課題

本プロジェクトは 2004 年度で完了したが、プラント自体は試験施設であると同時に実用運転が可能な施設であることから、その後の地元での実用運転の可能性と成立条件について検討されてきた。そこで、この地域における効率的かつ安定的なプラントの実用運転及びバイオガスシステムの運営を実現するための経済的条件を明らかにするため、以下のことを課題とする。

①バイオガスプラント利用予定農家におけるふん尿処理の実態

バイオガスシステムを導入する前の経営におけるふん尿処理の費用と、導入後に想定されるふん尿処理の費用との差額を利用支払い可能額として試算する。

②実証プラントの運営実態と酪農経営に及ぼす効果

別海（1,000 頭規模）及び湧別（200 頭規模）プラントの運営実態と利用農家におけるふん尿処理の実態からみたバイオガスプラント利用の経営効果を明らかにする。

③共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

プラントの建設費及び運営費用、利用農家における減化学肥料などの経済効果の推定値に基づきバイオガスシステムの経済（経営収支）モデルを策定する。そのモデルに基づき、運搬体制、処理頭数規模、原料ふん尿種類がそれぞれ異なる場合を想定したシミュレーションを行い、経済的に成立可能な共同利用型バイオガスシステムを提案する。

次に、他のふん尿処理システムとして、個別型バイオガスシステム、液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）、そして農家の個別処理（好気性発酵）をそれぞれ利用する場合の経済性を別海及び湧別型バイオガスシステムと比較検討する。

④共同利用型バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件と改良湧別型バイオガスシステムの提案

経済性に影響を与える諸条件として、将来的に期待できる副資材処理、CO_2排出権取引、売電、バイオガスプラント建設費及び運営費の低減を取り上げ、各経済モデルにおける経済性への影響について検討する。

次に、経済性シミュレーションの検討では採算の取れなかった湧別型システムを対象に、諸条件の改善による経済性の向上および採算の取れるバイオガスシステムについて検討し、経済的に成立可能な共同利用型バイオガスシステムを提案する。

４　研究方法

１．バイオガスプラント利用予定農家におけるふん尿処理の実態

施設が本格稼働に入る前の 2000 年度に、別海町の利用予定農家を対象に、集中型バイオガスシステムへの参加が酪農経営に及ぼす影響を検討するため、システム利用前の営農状況を把握するための調査を行った。

調査項目は、まず「営農概要（経営規模、機械及び施設の整備状況、ふん尿処理の現況、プラントに対する考え方、等)」として、農業経営に関する基本的指標（作付面積、頭数、出荷量及び農業従事者等)、給与飼料の内訳、ふん尿処理に係る機械及び施設の整備状況、ふん尿量、維持管理費、ふん尿処理に係る労働時間及び散布状況の概要について各農家から直接聞き取った。

次に「圃場利用状況（作付作物、施肥状況、土地改良、プラントからの消化液及び堆肥の利用方針、等)」として、各農家の圃場の団地数、位置及び面積の確認を行った。そして各団地における作付作物、単収、施肥状況、土地改良の経緯、圃場状態そしてプラントからの消化液及び堆肥の散布希望について各農家から直接聞き取った。

そして「ふん尿処理に係わる労働時間（作業日誌及び聞き取りによる整理)」について、システム利用前の各農家のふん尿処理に係る作業時間を把握するため、各農家に作業日誌の記帳を依頼した。なお開始時期が秋からのため 2000 年度は主に冬の舎飼期のみの整理であるが、2001 年秋まで継続的に記帳を行い、年間を通じての労働時間を把握した。

なお湧別町の利用予定農家についても、別海同様バイオガスシステム利用前の営農及びふん尿処理状況について聞き取り調査を実施した。

これらの結果に基づいて、システム導入効果として期待される経営費削減額（ふん尿処理に係る機械の減価償却費、修理費、光熱費及び委託費）及び労働経費節減額について試算し、事前評価額とした。

２．実証プラントの運営実態と酪農経営に及ぼす効果

施設の稼働が開始された 2001 年度以降、バイオガスシステム稼動後の利用農家における効果発現状況を明らかにするために、プラント運営実績の整理と現地調査を実施した。

バイオガスシステムの稼動実績から、プラントの運営状況や利用農家の経営に与えた影響を分析し、プラントの運営実態及び利用農家への経済的効果について整理、検討した。

具体的には、バイオガスシステム導入による効果発現状況を明らかにするために、現地で実施した調査結果に基づき、以下の４つの項目について整理・分析・評価した。

①　プラントの建設費及び運営費

建設費は、プラントが建設された 2000 年度の建設費用と、次年度以降に施設改善を目的とした費用を整理した。

運営費は、関係機関における運営に係る費用の実績値より、明らかに試験目的の費用を除いたものを整理した。

なお、このプラントは試験施設なので研究を目的とした施設や機器が多く、同規模の一般的なプラントと比較する場合には留意を要する。

②　プラント運転員の作業時間

運転員の作業日誌及び作業時間調査の実績値から整理した。

③　利用農家の消化液、スラリー、尿及び堆肥の散布状況
利用農家への聞き取り調査より、プラント稼働前後について比較・検討した。

④　利用農家のふん尿処理に係る作業時間
利用農家における作業日誌及び聞き取り調査より、プラント稼働前後について比較・検討した。

３．共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

プラント施設の本格稼働後期間の実績を踏まえて、共同利用型バイオガスシステムの経済モデルを策定し、その成立条件を検討した。

まず、別海および湧別プラントでこれまでにかかった建設費及び運営費から、明らかに試験研究目的の費用を除いた、実用運転時に必要とされる費用を実績資料より抽出して整理した。特に施設改善費、点検交換費、修理費及び光熱費について、実用運転時に必要とされる項目及び費用を従来からの実績値及び運転経過より総合的に判断して、抽出、整理した。

次に、プラント利用農家について、現在のプラント利用状況及び経済効果の発現状況を確認しながら、実用運転時にプラント利用によりもたらされると思われる経済効果を、プラント利用後における聞き取り調査などを実施して、予想される効果額を利用農家からの徴収可能な負担金（利用料金）として試算した。

また、別海プラントにおいては 2003 年２月から開始された売電収入については、負担金以外のもう一つの収入源として実績値を踏まえて試算し、プラント全体の収支に含めて整理、検討した。

このように策定した経済モデルに基づき、運搬体制や原料ふん尿種類、処理頭数規模のそれぞれの条件についてシミュレーションし、共同利用型バイオガスシステムの経済性を検討した。

続いて、その他のふん尿処理施設として、実際に稼働・運営されている施設の実績を踏まえて、ふん尿処理システムの経済性を分析し、共同利用型バイオガスシステムと比較検討した。

そのため、中規模（500 頭規模）および小規模（200 頭規模）個別型のバイオガスプラント、好気性処理（切り返し・ばっ気）による共同利用型の堆肥・液肥処理施設、そして農家が個別に好気性処理施設を整備する場合を取り上げ、実際に地域で運営されている施設を対象に聞き取り調査を実施し、その運営状況および経済性について把握した。

次に、それぞれの経済性の実態を分析するとともに、共同利用型バイオガスシステムの経済性と比較した。

４．共同利用型バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件と改良湧別型バイオガスシステムの提案

共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーションにより、採算性と同時に、その経済性を大きく左右する要因とその条件が明らかになった。そこでこれらの諸条件について今後の動向を検討するとともに、共同利用型バイオガスシステムの経済性の改善につ

いて、現状では採算が取れなかったシステムを取り上げ、経済性が成立する可能性とその条件について検討した。

まず、バイオガスシステムの経済性を大きく左右する条件として、副資材処理および処理料金の徴収、エネルギー収支の改善などによる売電料金の増収、温暖化ガス削減効果による排出権取引の実施、そしてバイオガスプラントの建設費および運営費の低減を取り上げ、今後の動向および改善の可能性について検討した。

次に、それら諸条件の変化に伴う、共同利用型バイオガスシステムの経済性への影響を分析するとともに、現状では採算が取れなかった湧別型バイオガスシステムを取り上げ、その経済性が成立する可能性について、諸条件を踏まえた経済性シミュレーションに基づき検討した。

5　結果と考察

1．バイオガスプラント利用予定農家におけるふん尿処理の実態

1）別海バイオガスプラント利用予定農家の事前評価

（1）別海型システム導入前の別海町酪農専業経営の状況

別海町は北海道東部の根室支庁管内に位置し、冷涼な気候条件の下で大規模な酪農経営が行われている。特に酪農専業に特化しており、牧草作付面積、生乳生産量とも全国第1位である。酪農家戸数の減少及び多頭飼育化が進行し、労働力不足が大きな問題となっていることから、手間のかかる家畜ふん尿処理に対する労動力の投入が困難な状況にあり、今後の酪農経営の展開においてふん尿処理対策が大きな課題になってくる。またサケ・マスの遡上河川である西別川や風蓮湖の流域に位置するため、水質保全が地域の重要な課題となっており､資源循環システム導入による地域環境の改善効果に期待が寄せられている。

表２　別海プラント利用予定農家の農業経営概要（2000 年度時点の平均値）

牛舎型式	ﾌﾘｰｽﾄｰﾙ牛舎	スタンチョン牛舎
戸数	4	7
採草地(ha)	70.6	41.0
放牧地(ha)	0.0	11.6
採草・放牧兼用地(ha)	0.2	0.7
宅地・畜舎(ha)	2.1	2.1
経営面積計(ha)	72.9	55.4
牧草…ｲﾈ科主体(ha)	44.7	45.4
牧草…ﾏﾒ科主体(ha)	25.8	8.0
牧草作付面積計(ha)	70.5	53.4
搾乳牛頭数	83	54
乾乳牛頭数	11	6
育成牛頭数	47	43
成牛換算頭数	118	82
年間出荷量（ｔ）	691.5	455.3
農業従事者数	3.8	3.9
ｺﾝﾄﾗｸﾀｰ利用頻度（日／年）	4.5	1.3
搾乳等作業人数	2.9	2.3
堆肥盤面積（㎡）	542.5	471.1
尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量（ｍ３）	1,856.0	75.5
経産牛１頭当たり農地面積（ha）	0.75	0.89
経産牛１頭当たり堆肥盤面積（㎡）	5.8	7.6
経産牛１頭当たり尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量（ｍ３）	19.7	1.3
畜舎～プラント間の距離（片道km）	2.6	2.0

注）「尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量」には、素堀ﾗｸﾞｰﾝ等を含む。

利用予定農家 11 戸（2000 年度時点）は全て酪農専業経営であり、牛舎型式の異なるフリーストール４戸とスタンチョン７戸に区分できる。前者の主なふん尿処理方式はラグーンを使ったスラリー処理、後者は堆肥盤による堆肥処理である。バイオガスシステムの事前評価はふん尿処理方式により異なると想定されることから、ここでは牛舎型式別に検討

する。

平均経営面積はフリーストールで 72.9ha、スタンチョンで 55.4ha、全体で 61.8ha であり、戸当たり搾乳牛頭数はフリーストールで 83 頭、スタンチョンで 54 頭、全体で 65 頭である(表２)。いずれも町平均又はそれ以上の経営規模で、地域の基幹的農業経営者である。

別海町では農地の交換分合が積極的に行われてきたことから、利用農家の圃場の総団地数は 33 団地（戸当たり３団地、１団地当たり約 22ha）と少なく、総面積の大きさの割にはまとまっている（表３）。河川及び沢沿いに若干の作付不良地がみられるが、全体的に本地率の高い、好条件の圃場といえる。耕地は比較的各農家の自宅周辺にまとまっているものの飛地も幾分存在し、畜舎と圃場間の道路の平均距離は 2.8 ㎞で、農家から最も遠い圃場までは 14㎞の距離がある。

ふん尿の散布方法は、毎年全面積に均等散布するものから数年毎のサイクルを設けてその団地に多投するものまで、農家によって様々である。散布方法にとらわれず、ふん尿の散布対象になっている団地の面積の割合で整理すると、ふん尿散布面積割合はフリーストール 93%、スタンチョン 81%、全体では 86%と高かった。

表３　別海プラント利用予定農家の農地還元状況（2000 年度時点）

利用農家	戸当たり団地数	１団地当たり面積	畜舎～圃場間平均距離(直線/道路)	ふん尿散布面積割合[注]	日ふん尿発生量
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙ４戸平均	2.5	31.2ha	2.2 km/3.4 km	93%	7.3t
スタンチョン７戸平均	3.3	17.9ha	1.8 km/2.5 km	81%	4.5t
全戸平均	3.0	21.9ha	1.9 km/2.8 km	86%	5.5t

注）2000 年度聞き取り調査より。「ふん尿散布面積割合」とは、量に係わらず有機質肥料を散布したことのある圃場面積の全体に対する割合のこと。

（２）別海型システム導入前のふん尿処理の状況

はじめに、毎日の飼養管理作業全体の実作業時間をみると、フリーストールとスタンチョンともに約７時間と変わらないが、その内訳ではフリーストールではふん出し作業（24%)、スタンチョンでは搾乳作業（54%）の割合が高くなっている（図３)。

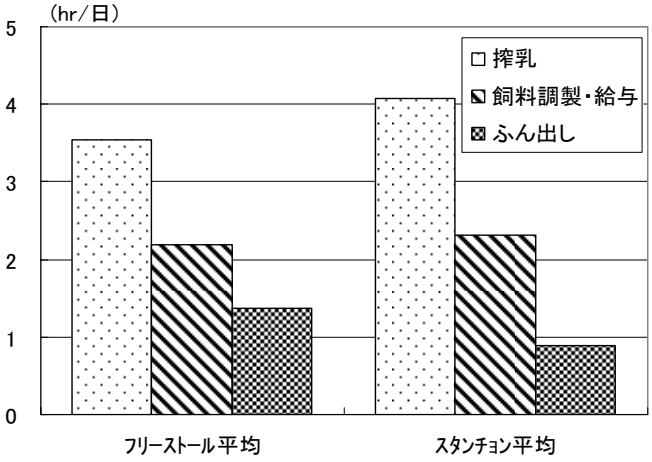


図３　１日当たり飼養管理における実作業時間（別海）[注]

注）聞き取り調査結果より。実作業時間は、１日 24 時間に占める時間帯のこと。

次に、ふん尿処理に係る作業日誌から、2000 年 11 月～2001 年 10 月の１年間における１日平均延べ作業時間を整理した。

作業内容については、ふんの掻き出し・搬出などの舎内作業、畜舎外移動・切り返しなどの舎外作業、尿、スラリー及び堆肥の散布作業の３つに区分したが、ほとんどが舎内作業であった。その中で、実作業時間では牛舎型式による差はみられなかったものの、延べ作業時間でみるとフリーストールではスタンチョンの約 2.5 倍もの時間が投入されていることが明らかになった。またその内訳についてみると、フリーストールでは散布作業が、スタンチョンでは舎外作業の割合が比較的高いが、全体的に畜舎外作業（舎外作業＋散布作業）の割合は、スタンチョンが高かった（図４）。

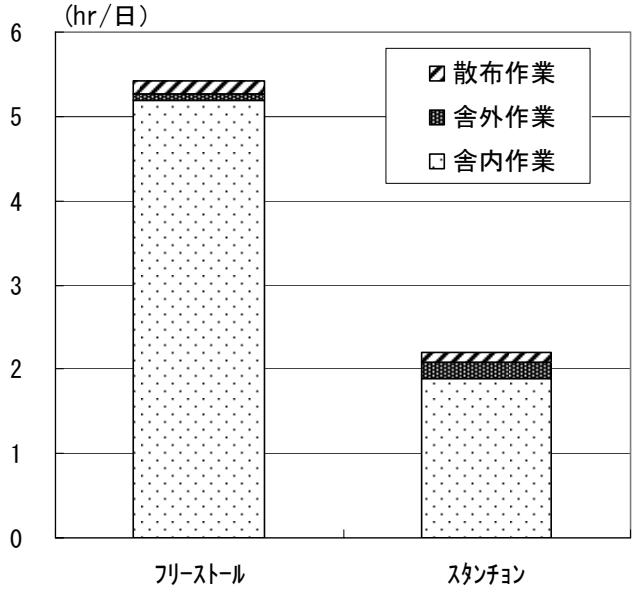


図４　１日当たりふん尿処理延べ作業時間（別海）

注）舎内作業は敷料投入とふん搬出、舎外作業は畜舎外移動と切り返し、散布作業は尿及びスラリー、堆肥散布など。図５も同じ。

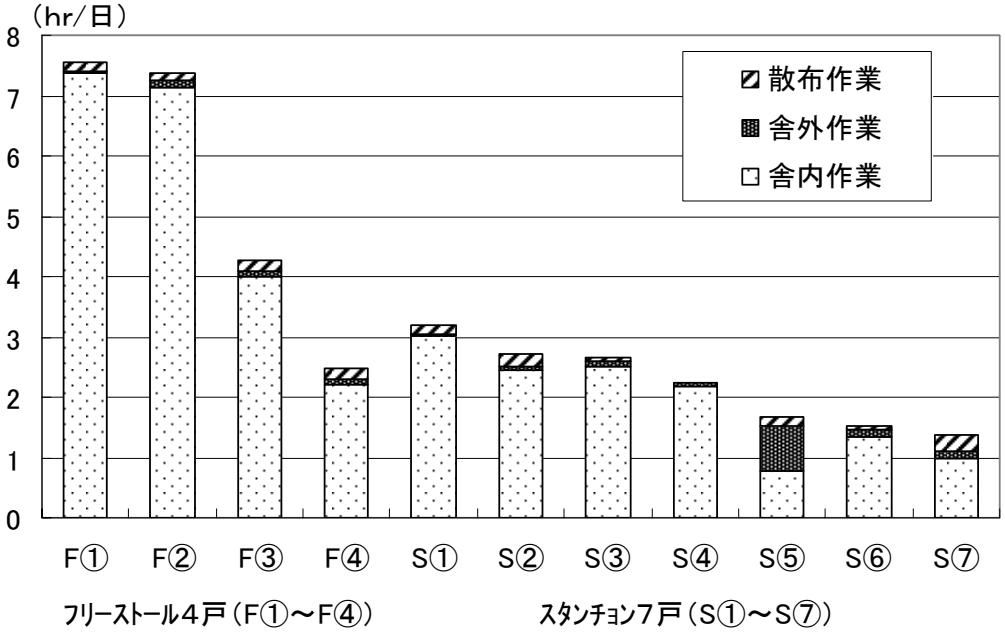


図５　１日当たりふん尿処理延べ作業時間（別海・各農家別）

これを農家別にみると、スタンチョンでは農家間格差が小さいのに対し、フリーストールでは大きな格差がみられる（図５）。例えば、延べ作業時間が最も長い農家 F①と最も短い農家 F④とでは４倍以上の格差がある。スタンチョン牛舎におけるふん尿処理方式は、どの農家においても堆肥盤を使った堆肥処理が行われ、その作業は定型化されていることから、ふん尿処理作業時間の農家間格差はそれほど大きくはならない。他方、フリーストール牛舎におけるふん尿処理方式は、スラリー処理という点では共通しているが、その作業は定型化されていないことから、実際の作業では大きな農家間格差があることが実態である。

さらに聞き取り調査から、ふん尿処理に係る費用として、作業機械の減価償却費と修理費、電気費と燃料費および作業委託費を整理した（図６）。フリーストール農家の戸当たり平均は 497 万円、スタンチョン農家は 273 万円になり、総額ではフリーストール農家はスタンチョン農家の約 1.8 倍になるが、成牛換算１頭あたりではそれぞれ４万円と３万円になる。費用の構成をみると、作業機械の多いフリーストール農家の成牛換算１頭当たり減価償却費はスタンチョン農家の約 1.2 倍であり、さらに他の４項目の費用合計ではフリーストール農家がスタンチョン農家の約 1.9 倍かかっている。

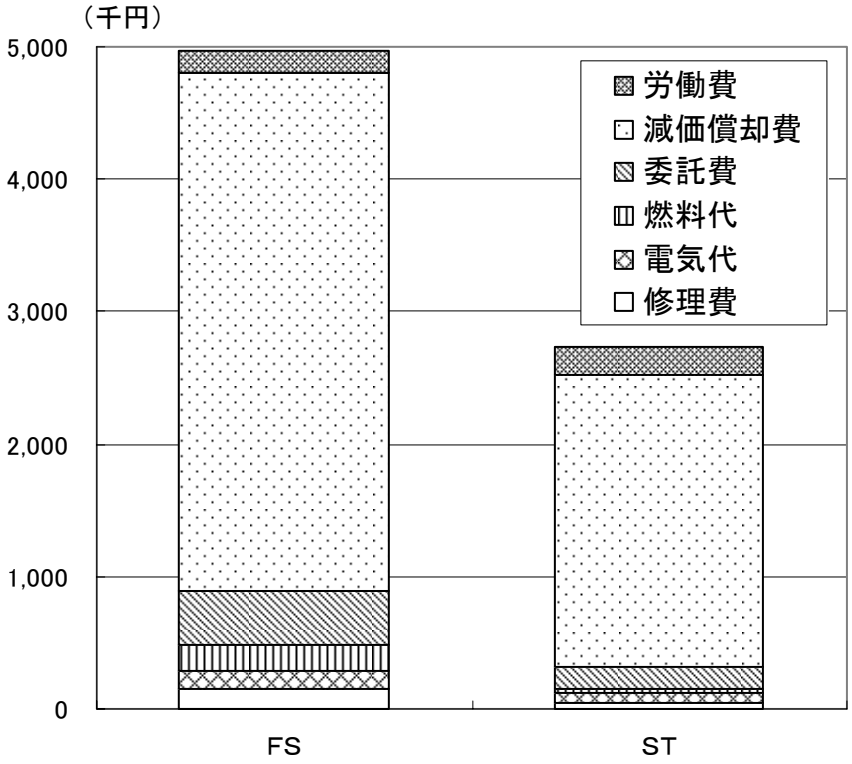


図６　別海プラント利用予定農家のふん尿処理に係る費用(1 戸あたり)
（2004 年パリティ換算値）
注）FS：フリーストール、ST：スタンチョン

（３）別海プラント利用予定農家の事前評価

ふん尿処理に係る延べ作業時間でフリーストール農家がスタンチョン農家の約 2.5 倍もの時間を投入していること､毎日の飼養管理の実作業時間はどちらも約７時間であること、及び農業従事者はどちらも約４名であることから、現状ではフリーストール農家はスタンチョン農家に比べてふん尿処理作業への労働力の多投を強いられており、労働力の投入限

界が近いと推察できる。これはフリーストール牛舎に不可避な経営的性格として考えられる。

またふん尿処理に係る経営費でも、１戸当たりではフリーストール農家はスタンチョン農家の約 1.9 倍かかり、作業機械が多いフリーストールでの減価償却費以上に、毎年の直接経費での差が大きいことから、経営規模の違い以上にふん尿処理作業に経営費が投入されていると考えられ、これもフリーストールの飼養形態の特徴ともいえる。

したがってフリーストール農家ではその経営的性格から、ふん尿処理作業に労働力及び経営費に多くの投入が必要とされ、一方のスタンチョン農家ではふん尿処理作業の重要度は相対的に低いとみなされる。

別海バイオガスシステムでは、プラントまでのふん尿の搬入、プラントからの消化液・堆肥の搬出及び圃場への散布に関わる作業は、農家が直接行うか、もしくはコントラクタに委託することが想定されている。ここでは分析結果より、利用予定農家におけるバイオガスシステム利用の事前評価として、ふん尿の運搬・散布をバイオガスプラントが全て担うことを前提とした利用予定農家のふん尿処理委託料の支払い限度額を措定し、次の２つの視点から検討する。1 つは利用農家における現状のふん尿処理費用に基づく試算であり、もう１つは利用農家における現状のふん尿処理作業時間に基づく試算である。

まず利用前時点の経営全体におけるふん尿処理に係る経営費について、主に畜舎外作業で利用され、バイオガスシステム導入により不要となる機械の減価償却費と修理費、電気費と燃料費及び作業委託費の合計値を、バイオガスシステム導入により代替される費用として推定した。主に畜舎外作業で利用され、バイオガスシステム導入によって不要になる機械として、スラリースプレッダ、マニュアスプレッダ、尿散布機（タンカー）といった圃場散布用機械及び尿ばっ気装置を設定した。なお減価償却費以外の経営費は作業時間に基づき案分し、それぞれの経営費を推定した。これらの結果、成牛換算の年間１頭当たり代替費用はフリーストール農家で 14.6 千円、スタンチョン農家で 12.9 千円、全体で 13.7 千円が見込められる（表４、図７）。

次に主に畜舎外でのふん尿処理に係る延べ作業時間から、バイオガスシステム導入により節減されうる延べ作業時間を推定した。主に畜舎外での、バイオガスシステム導入において労働時間が節減されうるふん尿処理作業として、畜舎外移動、切り返し、堆肥・尿・スラリー散布を設定した。この結果、成牛換算の年間１頭当たり節減時間はフリーストール農家約 0.7 時間、スタンチョン農家 1.3 時間、平均では約 1.1 時間になる。労働費を時間当たり２千円で試算すると、成牛換算の年間１頭当たりふん尿処理作業の労働費節減額はフリーストール農家約 1.4 千円、スタンチョン農家 2.6 千円、平均では約 2.0 千円になる。

以上の結果から、バイオガスシステム導入により節減されうる経営費と労働費の合計値を委託利用における支払可能額として設定すると、成牛換算の年間１頭当たりフリーストール農家では 16.0 千円、スタンチョン農家では 15.5 千円、平均では 15.7 千円と試算される。ここでの分析結果では、両牛舎型式ともふん尿処理における畜舎外作業の割合が極めて低く、結果的に代替しうる成牛換算１頭当たり費用に差が生じなかったことから、バイオガスシステム利用の事前評価には牛舎型式による大きな違いはみられなかった。なおフリーストール農家では、畜舎外の作業割合がより低いことから、バイオガスシステム利用の効果はスタンチョン農家に比べて相対的に小さくなることが予想されるが、この点についてはフリーストール農家間のふん尿処理作業時間差の内実も含めた検討が併せて必要である。

表４　別海プラント利用における事前評価額（2004 年パリティ換算値）

飼育方式			フリーストール平均	スタンチョン平均	全戸平均
成牛換算頭数（頭）			118	82	95
節減対象分	節減分経営費計（千円）		1,722.0	1,057.8	1,299.3
	〃　（１頭当たり）		14.6	12.9	13.7
		機械の年間修理費	75.1	21.7	41.2
		ふん尿処理での年間電気代	124.9	45.5	74.3
		ふん尿処理での年間燃料代	58.1	28.5	39.3
		年間委託費	404.6	169.7	255.1
		減価償却費	1,059.2	792.3	889.4
	労働経費節減額（千円）		162.2	209.4	192.2
	〃　（１頭当たり）		1.4	2.6	2.0
節減額合計（事前評価額）（千円）			1,884.2	1,267.1	1,491.5
〃　（１頭当たり）			16.0	15.5	15.7

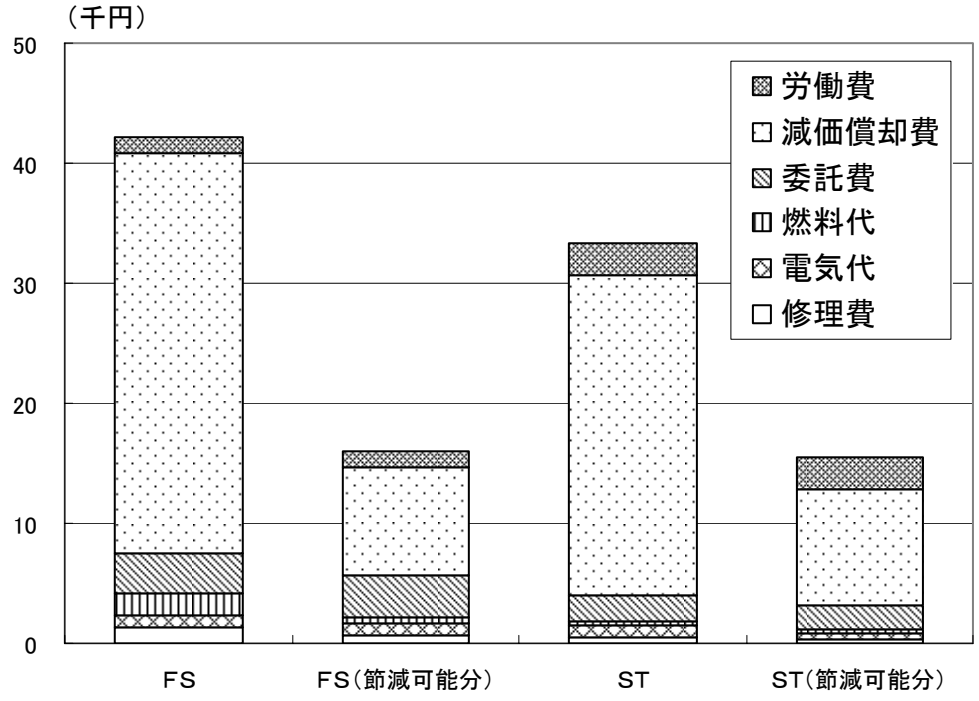


図７　別海プラント利用予定農家のふん尿処理に係る節減額(1 頭あたり)
（2004 年パリティ換算値）
注）FS：フリーストール、ST：スタンチョン

2）湧別バイオガスプラント利用予定農家の事前評価

（1）湧別型システム導入前の湧別町酪農畑作混合経営の状況

湧別町は北海道東部の網走支庁管内に位置し、酪農をはじめデントコーンやてんさいなどの畑作物栽培との混合経営が主に行われている農業地域である。別海町同様、酪農家戸数の減少及び世帯主の高齢化が進行し、労働力不足が大きな問題となっていることから、手間のかかる家畜ふん尿処理に対する労動力の投入が困難な状況にある。またサロマ湖の北西岸に位置しており、ホタテの養殖など水産資源への悪影響を及ぼさない水質及び環境保全が地域の重要な課題となっている。そのため、今後の農業経営の展開においてふん尿処理対策が大きな課題であり、バイオガスシステム導入による改善効果に期待が寄せられている。

表５　湧別プラント利用農家の農業経営概要（2000 年度時点の平均値）

牛舎型式	スタンチョン牛舎
戸数	5
普通畑(ha)	13.9
採草地(ha)	15.0
放牧地(ha)	0.9
宅地・畜舎(ha)	1.5
経営面積計(ha)	31.3
ﾃﾞﾝﾄｺｰﾝ(ha)	9.9
てんさい(ha)	2.6
小麦(ha)	1.1
ながいも(ha)	0.2
普通畑作物作付面積計(ha)	13.8
牧草…ｲﾈ科主体(ha)	12.8
牧草…ﾏﾒ科主体(ha)	2.2
牧草作付面積計(ha)	15.0
搾乳牛頭数	44
乾乳牛頭数	5
育成牛頭数	32
成牛換算頭数	65
年間出荷量（ｔ）	292.4
農業従事者数	2.8
ｺﾝﾄﾗｸﾀｰ利用頻度（日／年）	4.0
搾乳等作業人数	2.2
堆肥盤面積（㎡）	811.2
尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量（ｍ３）	292.4
経産牛１頭当たり農地面積（ha）	0.61
経産牛１頭当たり堆肥盤面積（㎡）	16.6
経産牛１頭当たり尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量（ｍ３）	6.0
畜舎～プラント間の距離（片道km）	3.2

注）「尿溜・ﾗｸﾞｰﾝ総容量」には、素堀ﾗｸﾞｰﾝ等を含む。

利用予定農家５戸（2000 年度時点）は全て酪農畑作混合経営であり、牛舎型式はスタンチョン畜舎のみで、これまでのふん尿処理は主に堆肥盤による堆肥処理と尿溜によるばっ気処理であった。

利用予定農家の平均経営面積は 31.3ha であり、戸当たり搾乳牛頭数は 44 頭である（表５）。いずれも町平均又はそれ以上の経営規模で、地域の基幹的農業経営者である。

利用予定農家の圃場の総団地数は 28 団地（戸当たり６団地、１団地当たり約 6.3ha）であり、別海プラント利用予定農家よりは小規模な区画のほ場が多く分散している（表６）。この地域は泥炭土壌が広く分布しており、部分的に排水不良を引き起こしている作付不良地がみられるが、全体的に本地率の高い、好条件の圃場といえる。耕地は比較的各農家の自宅周辺にまとまっているものの、飛地も多く存在し、畜舎と圃場間の道路の平均距離は 1.9 ㎞で、農家から最も遠い圃場までは７㎞の距離がある。

ふん尿の散布方法は、毎年全面積に均等散布するものから数年毎のサイクルを設けてその団地に多投するものまで、農家によって様々である。散布方法にとらわれず、ふん尿の散布対象になっている団地の面積の割合で整理すると 87%と高かった。

表６　湧別プラント利用予定農家の農地還元状況（2000 年度時点）

利用農家	戸当たり団地数	１団地当たり面積	畜舎～圃場間平均距離(直線/道路)	ふん尿散布面積割合注	日ふん尿発生量
スタンチョン５戸	5.6	6.3 ha	1.5 ㎞/1.9 ㎞	87%	3.9 t

注）2000 年度聞き取り調査より。「ふん尿散布面積割合」とは、量に係わらず有機質肥料を散布したことのある圃場面積の全体に対する割合のこと。

（２）湧別型システム導入前のふん尿処理の状況

はじめに毎日の飼養管理作業全体の実作業時間について、別海のスタンチョン農家平均と比較すると、総時間では約 5.5 時間で、別海より約 1.5 時間少ない。内訳では搾乳作業（35%）の割合が別海より低く、そのため他の作業の割合が大きく、特に飼料調製・給与の作業時間では別海を上回っている。湧別の利用予定農家では別海に比べて飼養頭数が少ないことから、飼料調製・給与関係の作業に時間を充分かける作業体系が定型化していることがわかる（図８）。

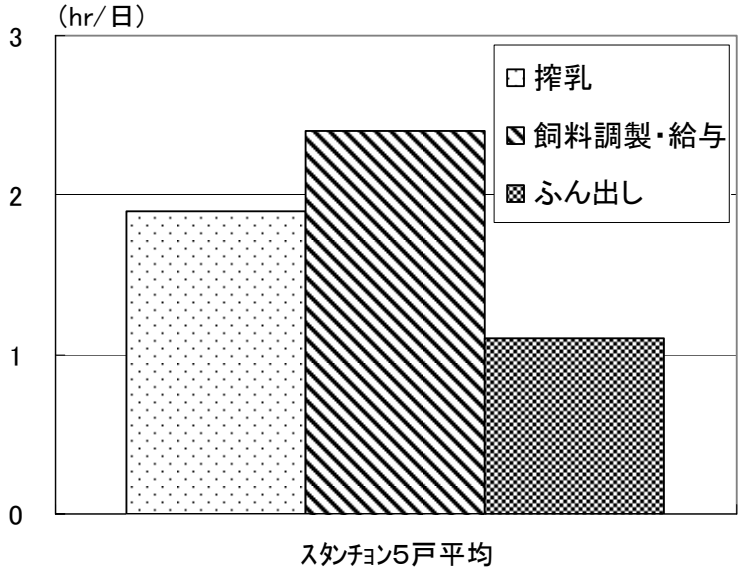


図８　１日当たり飼養管理における実作業時間（湧別）

注）2000 年聞き取り調査結果より。実作業時間は、１日 24 時間に占める時間帯のこと。

次に聞き取り調査結果から、ふん尿処理作業について、2000 年度における１日平均延べ作業時間を整理した。延べ作業時間では平均頭数の多い別海のスタンチョン農家より、特に舎内作業が約１時間長くなっている。なお舎外作業の移動・切り返しの時間はほぼ同じある（図９）。

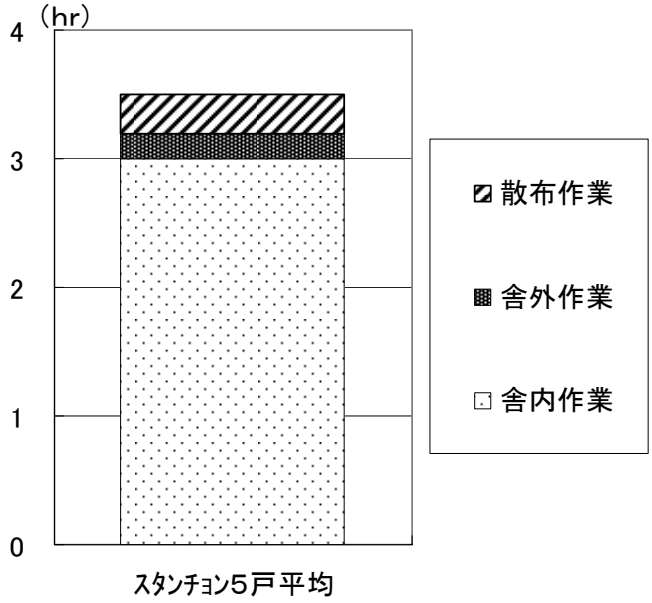


図９　１日当たりふん尿処理延べ作業時間（湧別）

注）舎内作業は敷料投入とふん搬出、舎外作業は畜舎外移動と切り返し、散布作業は尿及びスラリー、堆肥散布など。図Ⅲ-1-7も同じ。

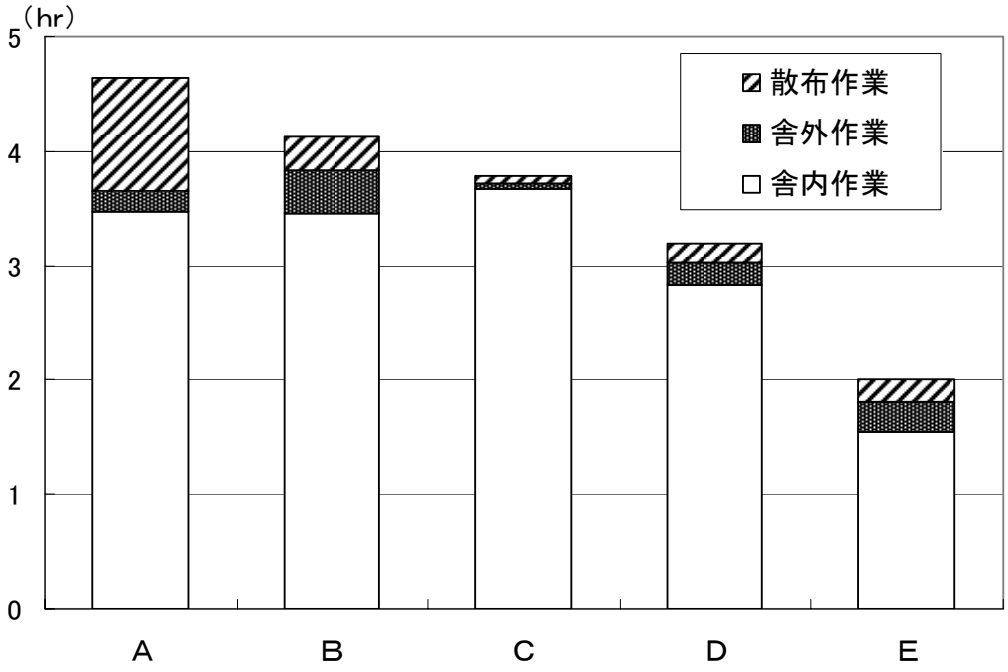


図１０　１日当たりふん尿処理延べ作業時間（湧別・各農家別）

これを農家別にみると、延べ作業時間が最も長い農家Ａと最も短い農家Ｅとでは約２倍の格差があり、別海のスタンチョン農家と同程度の農家間格差であった（図１０）。

さらにふん尿処理に係る費用として、作業機械の減価償却費と修理費、電気代と燃料代および作業委託費を整理した（図１１）。なお、ここでのふん尿処理作業機械は湧別利用農家が使用している種類のものとした。その結果、ふん尿処理費用はスタンチョン農家５戸平均では総額 306 万円になり、別海のスタンチョン農家平均の 273 万円より約１割高になり、成牛換算１頭当たりでは約５万円になる。費用の構成を比較してみると、燃料代、電気代､修理費において別海のスタンチョン農家の戸当たり合計約 10 万円に対して湧別では約 46 万円と高くなっている。これには湧別の利用農家における飼料調製・給与とふん出し関係の作業に時間を充分かける作業体系が影響していると考えられる。

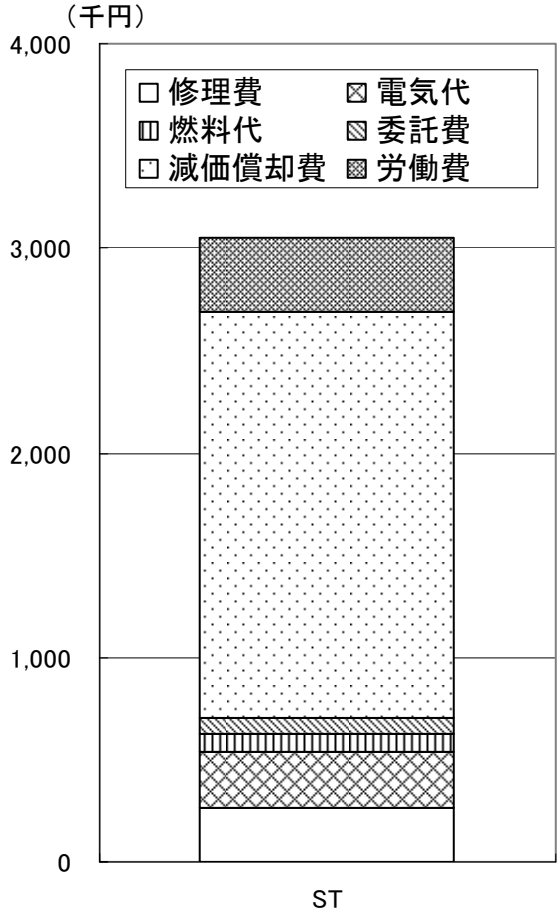


図１１　湧別プラント利用予定農家のふん尿処理に係る費用(1 戸あたり)
（2004 年パリティ換算値）
注）ST：スタンチョン

（３）湧別プラント利用予定農家の事前評価

湧別は畑地を含む酪畑混合地域であるため、牧草地のみの別海に比べ、ふん尿処理及び圃場散布作業に係る作業時間割合が大きく、ふん尿処理に係る経費が高いことが特徴といえる。湧別スタンチョン農家が、別海スタンチョン農家よりも飼養頭数が少ないにもかかわらずふん尿処理に係る延べ作業時間やふん尿処理に係る経営費で大きいことを踏まえると､ふん尿処理作業に労働力及び経営費に多くの投入が必要とされる作業形態であるため、ふん尿処理作業の重要度は相対的に高いとみなされる。

ここでは分析結果より、別海同様に、利用予定農家におけるバイオガスシステム利用の

事前評価を、ふん尿処理費用とふん尿処理作業時間に基づく、ふん尿処理委託料の支払い限度額として検討する。

まず利用前時点の経営全体におけるふん尿処理に係る経営費を別海と同様の手順で推定すると、成牛換算の年間１頭当たり 17.4 千円が見込められる（表７、図１２）。

同様に、バイオガスシステム導入により節減されうる延べ作業時間は成牛換算の年間１頭当たり約 2.9 時間になる。労働費を時間当たり単価で試算すると、成牛換算の年間１頭当たりふん尿処理作業の労働費節減額は約 5.7 千円になる。

以上の結果から、バイオガスシステム導入により節減されうる経営費と労働費の合計値を委託利用における支払可能額として設定すると､成牛換算の年間１頭当たり 23.1 千円と試算される。

ここでの分析結果を、別海のスタンチョン農家平均と比較すると、ふん尿処理における畜舎内作業時間の割合及び経営費が高いことから、結果的に節減されうる成牛換算１頭当たり費用に差が生じて、バイオガスシステム利用の事前評価に地域的な違いがみられた。

なお別海及び湧別バイオガスシステムでは、プラントまでのふん尿の搬入、プラントからの消化液･堆肥の搬出及び圃場への散布に関わる作業は、農家が直接行うか、もしくはコントラクタに委託することが想定されている。ここで算出した支払可能額は、ふん尿処理作業における舎外・圃場散布作業全てをバイオガスシステムが受け持った場合の効果額であり、湧別プラント稼働後の現状の体制では、舎外・圃場散布作業のほとんどが従来通り農家自ら行っており、この事前評価はプロジェクト期間内での運営を前提にして算定すると著しく低下する。

その意味では、これらの数値については、あくまでも「バイオガスシステム導入前に実施した事前評価で、利用農家の運搬・圃場散布作業までもバイオガスシステムが担う事を前提として、プラントに対する支払い可能額の最大値」として位置づけられるものである。

表７　湧別プラント利用における事前評価額（2004 年パリティ換算値）

飼育方式			ｽﾀﾝﾁｮﾝ５戸平均
成牛換算頭数（頭）			65
節減対象分	削減分経営費計（千円）		1,131.0
	〃　（１頭当たり）		17.4
		機械の年間修理費	130.1
		ふん尿処理での年間電気代	246.7
		ふん尿処理での年間燃料代	85.4
		年間委託費	76.9
		減価償却費	591.9
	労働経費節減額（千円）		368.4
	〃　（１頭当たり）		5.7
節減額合計（事前評価額）（千円）			1,499.4
〃　（１頭当たり）			23.1

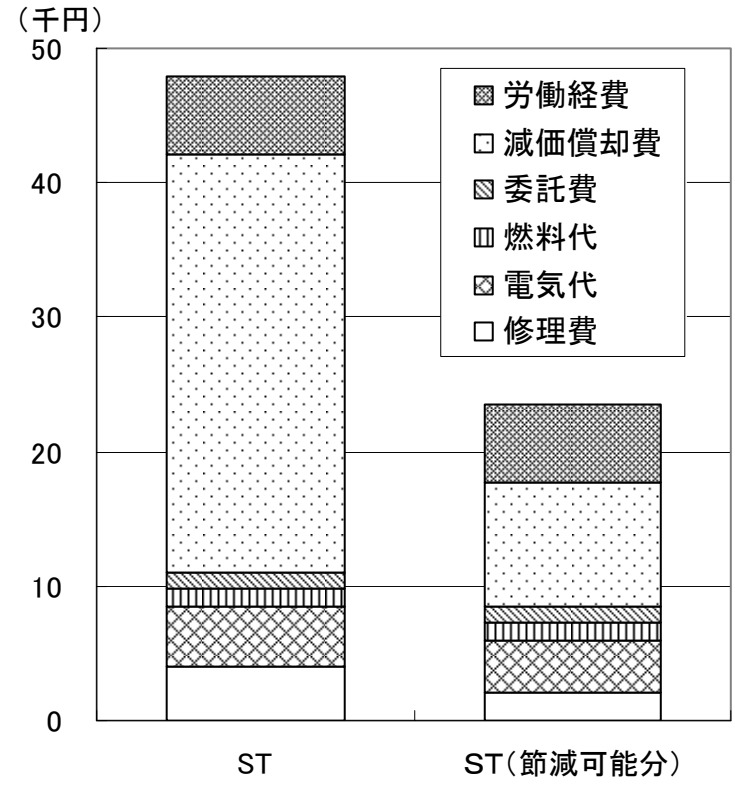


図１２　湧別プラント利用予定農家のふん尿処理に係る節減額(1頭あたり)
(2004年パリティ換算値)
注）ST：スタンチョン

２．実証プラントの運営実態と酪農経営に及ぼす効果

１）別海バイオガスシステムの運営実態

（１）別海プラントの運転経過

このプロジェクトにおいて北海道の別海町に建設された、乳牛 1,000 頭規模の処理能力を持つメタン発酵施設、別海資源循環試験施設（以下「別海プラント」という）は「大規模集中型」（表１）で、利用農家 10 戸のふん尿を一元的に施設へ集め、大規模で効率的な処理や利活用を行うことによって、ふん尿処理に係る農家の労働力やコストの軽減を図るとともに、良質な液肥と堆肥を草地に還元する「土づくり」を推進し、更に発酵の過程で生成されるメタンガスを地域エネルギー資源として有効利用することを目的としている。

別海プラントは 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撹拌・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、原料のふん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、ふん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。

プラント運転には、専属の運転員２名が常駐し、主に機器の運転管理、ふん尿の運搬、固液分離及び堆肥処理に係わる作業を行っている。

利用農家 10 戸分のふん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、ふん尿運搬に占めるプラントの割合が高まった（図１３、図１４）。

その結果、利用農家 10 戸から排出されるふん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。

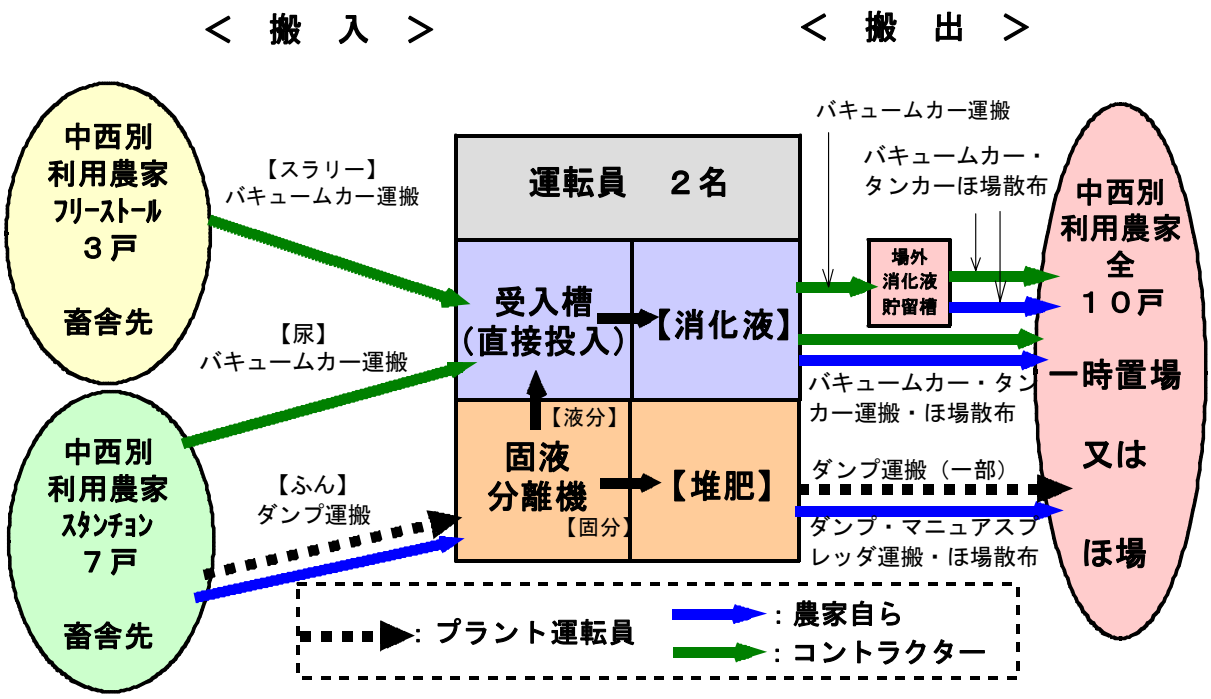


図１３　別海プラントの搬出入体制（2001～2002 年度時点）

注）利用農家10戸から排出されるふん尿全量に対するプラント処理量の割合は、平成14年度で約７割だった。

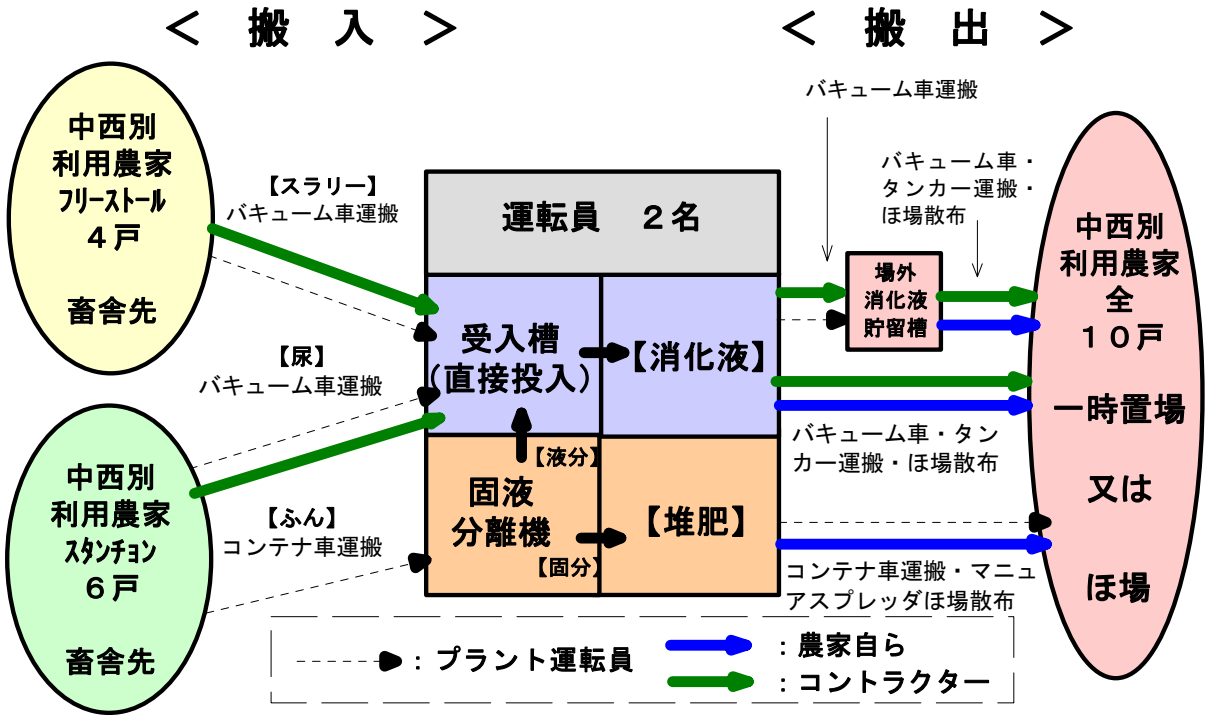


図１４　別海プラントの搬出入体制（2003～2004 年度現在）

注）利用農家10戸から排出されるふん尿全量に対するプラント処理量の割合は、平成16年度現在約９割で、利用農家の都合で搬入しなかった分と作業能力および作業時間を考慮すると全量を処理する体制は整備されたと考えられる。

（２）別海プラントの運営実績

まず別海プラントの建設費として、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含めて、2004 年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、総合耐用年数は 13.1 年、減価償却費は 86 百万円/年と算出された。

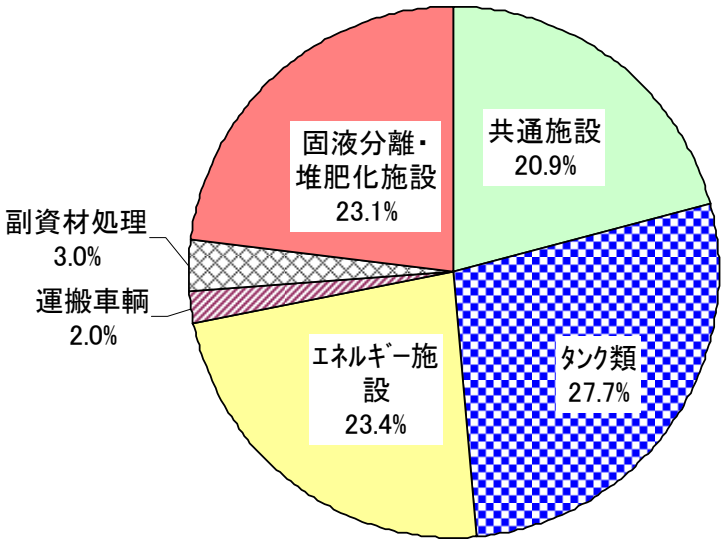


図１５　別海プラント実用運転施設部分の建設費内訳（2004 年度現在）

注）共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等
ﾀﾝｸ類：発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設：発電機、ﾎﾞｲﾗｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ、熱交換機、等
運搬車輌：ｺﾝﾃﾅ車及びﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｸ
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、ふん尿用ｺﾝﾃﾅ、等

この建設費は施設機能別に判断して、『共通施設』（受入棟、系統設備、計器類、等）、『ﾀﾝｸ類』（発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器）、『ｴﾈﾙｷﾞｰ施設』（発電機、ﾎﾞｲﾗｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ、熱交換機、等）、『運搬車輌』（ｺﾝﾃﾅ車及びﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｸ）、『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、ふん尿用ｺﾝﾃﾅ、等）の６つに大別できる。『ﾀﾝｸ類』、『ｴﾈﾙｷﾞｰ施設』および『固液分離・堆肥化施設』がそれぞれ 25%前後を占めるのが特徴である。（図１５）

次に別海プラントの運営費は、2001～2004 年度の別海プラントの運転実績から、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。

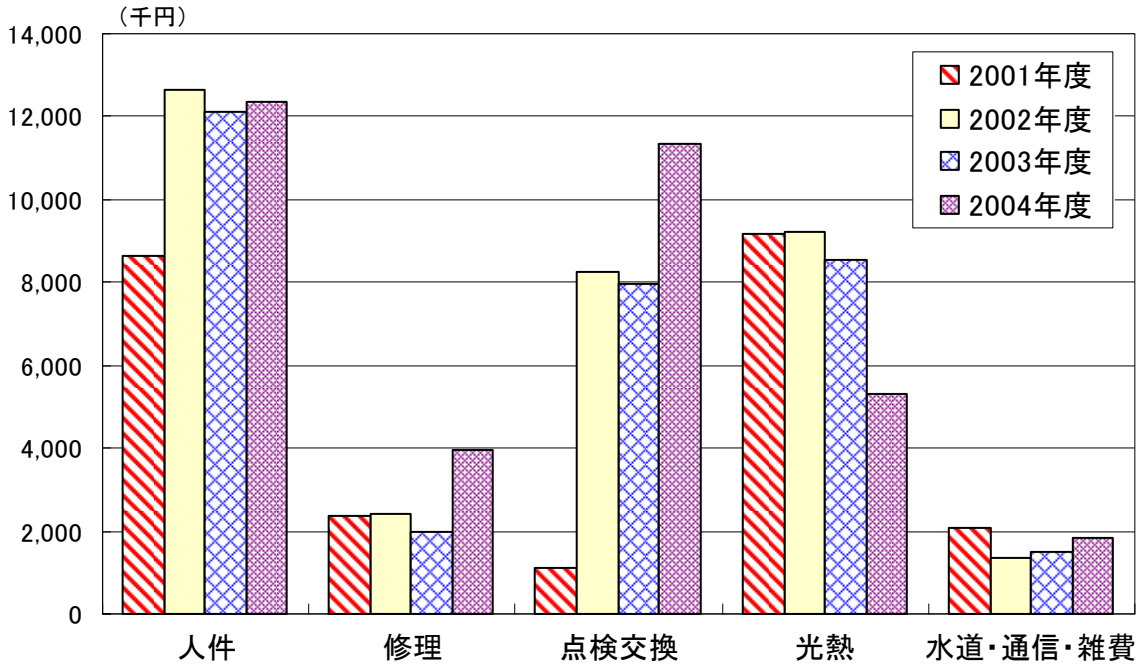


図１６　別海プラントの運営費
（項目別・2001～2004年度、2004年パリティ換算値）

注１）2001年度の運営費は、運転員の雇用は５月から、プラント稼働は７月から開始された条件のもとで整理。

注２）2004年度の運営費は、高温発酵が１～３月にかけて実施された条件のもとで整理。

これらの運営費を費目別にみると、図１６のように整理できる。ここで運転員２名の『人件』費の年度間格差は主に 2001 年度における雇用開始時が年度途中からであったことによる。『修理』費とは予定外の故障に対する整備や、施設の更なる改善を目的とした整備にかかった費用である。『点検交換』費とは施設・機械の定期点検及び必然的な消耗部品の交換に係った費用であり、2002 年度以降で大きくなった。『光熱』費はプラント全体で必要とされたエネルギーをはじめ、運搬車輌の燃料等の費用であり、2004 年度においては温室ハウスでの熱交換機の使用を行わなかったことなどの要因により小さくなった。『水道・通信・雑費』とは水道、電話等の通信費、その他の消耗品などの費用である。

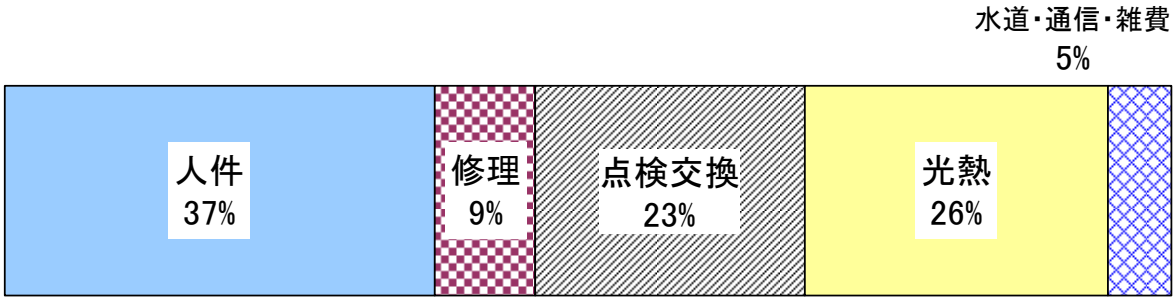


図１７　別海プラントの運営費の内訳
（累計・2001～2004年度、2004年パリティ換算値）

別海プラントの運営費の内訳を、この４ヵ年の運営費実績累計でみると、「人件費」が最も大きく占めるのが特徴である。（図１７）

次に、別海プラントにおける原料（ふん尿スラリー・固形ふん・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（ふん尿スラリー・固形ふん・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（図１８）。

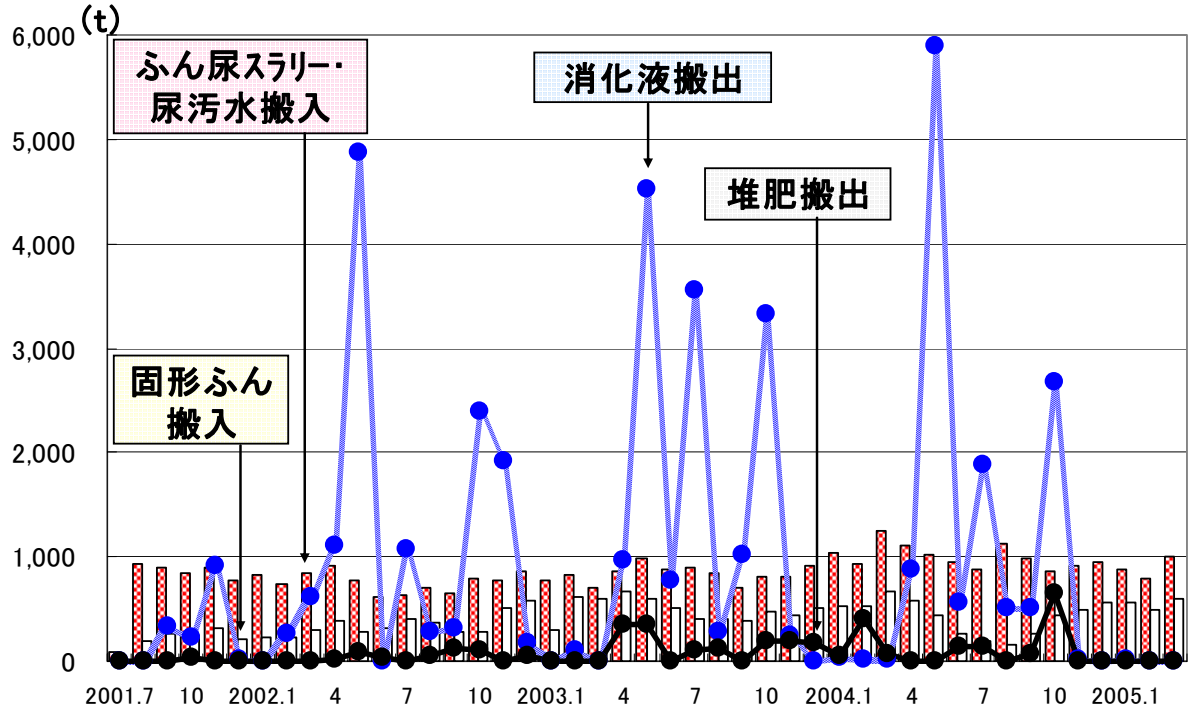


図１８　別海プラントの搬出入状況（2001 年７月～2005 年３月）

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。（図１９）

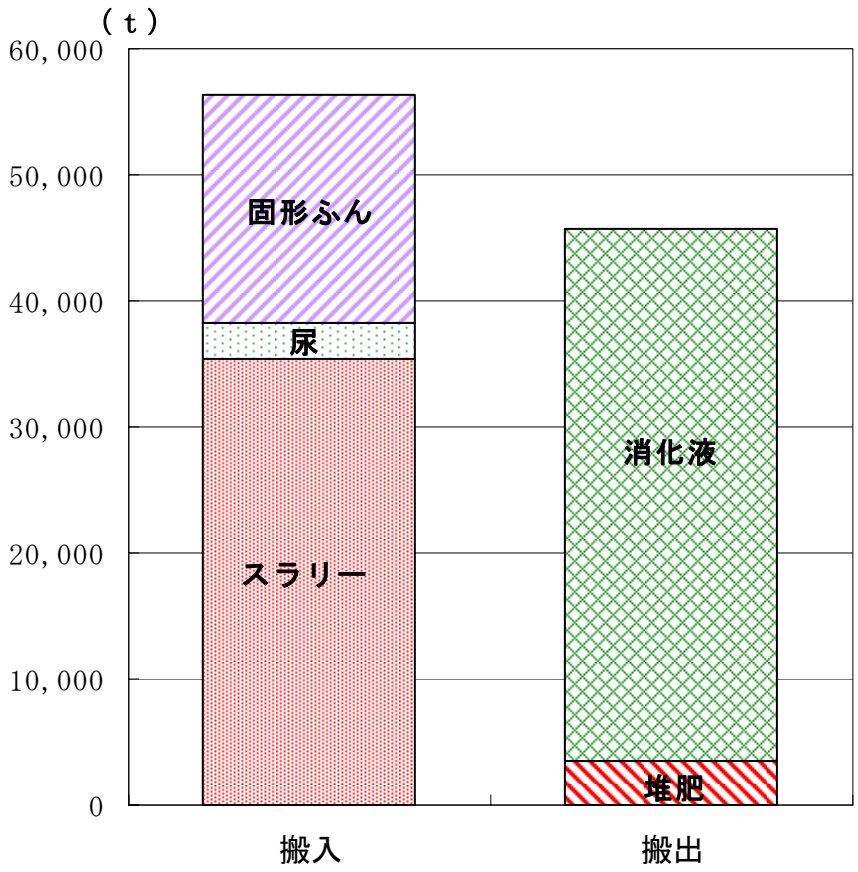


図１９　別海プラントの搬出入量（累計・2001 年７月～2005 年３月）

次に、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た。作業内容を『管理』作業（フロー制御、施設運転・維持関連作業)、『事務』作業（施設運転及び運搬記録等の整理)、『固液分離』作業（固形ふんの固液分離作業)、『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、及び完成堆肥の堆肥場への移動作業)、『運搬』作業（原料の搬入及び生成物の搬出)、そして『その他』（施設間の移動時間等）の６つに区分した。

その結果、週 5.5 日（平日２名・土曜１名・日曜休み）の勤務体制における、作業時間の割合は、まず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る。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タンチョン飼養では大量の敷料使用が一般的であり、こうした農家のふん尿を原料として受け入れることから、ふんの固液分離及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２０）

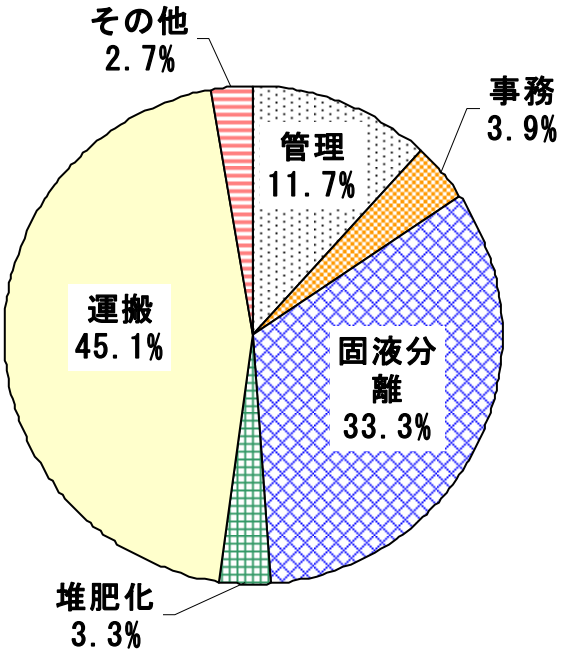


図２０　別海プラント運転員２名の作業時間の割合
（2004 年度・１週間の実作業時間より整理）
注）管理：フロー制御、施設運転・維持関連作業
事務：施設運転及び運搬記録等の整理
固液分離：固形ふんの固液分離作業
堆肥化：固液分離後の分離固分の移動・切り返し作業
運搬：原料の搬入及び生成物の搬出
その他：施設間の移動時間等

（３）別海プラント利用農家における経営状況の変化

まず、プラントからの消化液や堆肥の施用による作物増収効果について検討するため、牧草収量の変化を整理した。

2001～2003 年は、平年に比べて３カ年とも、春の少雨、夏の低温及び秋の多雨といった、牧草生育にとって気候条件の悪さなどの要因もあり、増収効果は特にみられなかった。利用農家からは「気候の割には平年並みを確保できた」との評価もあったが、平均反収では特に大きな変化はみられなかった。

2004 年については、平年に比べて降水量は少なかったものの夏期は高温になり、全体的には気候条件は良く、一部の農家では少雨による減収もみられたが、ほとんどの農家では増収がみられた。結果、2001～2003 年の収量と比較して、１・２番草とも全体の約１～２割の増収がみられた。（表８、図２１）

表８　別海プラント利用農家 10 戸の平均反収

収穫期		10 戸平均反収（ロール換算/10a）
2001 年	１番草	1.30
	２番草	0.59
2002 年	１番草	1.25
	２番草	0.54
2003 年	１番草	1.27
	２番草	0.61
2004 年	１番草	1.52
	２番草	0.69

注）別海プラント利用農家聞き取り調査より

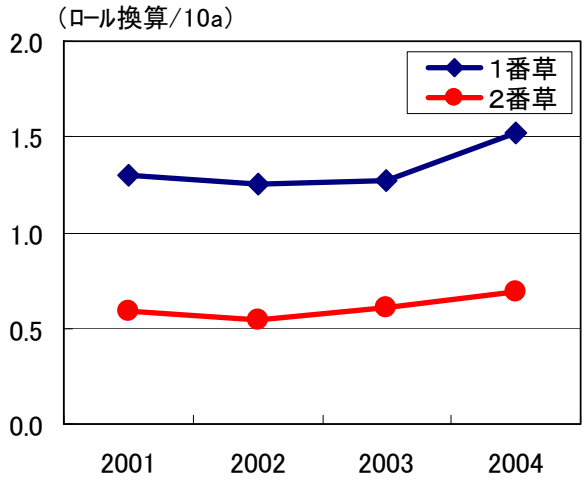


図２１　別海プラント利用農家 10 戸の平均反収

次に、プラント利用前後の施肥実態について、各年毎の農家聞き取り調査をもとに整理した。

まず実際の肥料種類別の施肥状況の変化について、2001～2004 年における別海プラント利用農家の肥料種類別施肥量（図２２）、延べ施肥面積（図２３）および反当施肥量（図２４）を整理した。肥料種類は化学肥料、堆肥及び液肥（スラリー・尿・消化液）に区分した。

その結果、プラント利用による４年間の変化として、次のことが明らかになった。

①有機質肥料（堆肥＋液肥）の総延べ散布面積は 1.2 倍に増加した。

②液肥の散布面積が利用前の約２倍に増えたのに対し、堆肥の散布面積は約３割に減少した。

③化学肥料の施用量および延べ散布面積については傾向的な変化は見られなかった。その要因としては、消化液利用を前提とした施肥体系がまだ確立・普及していないことや、減化学肥料効果の発現よりも増肥による増収効果などを期待する農家が多いことなどが考えられる。

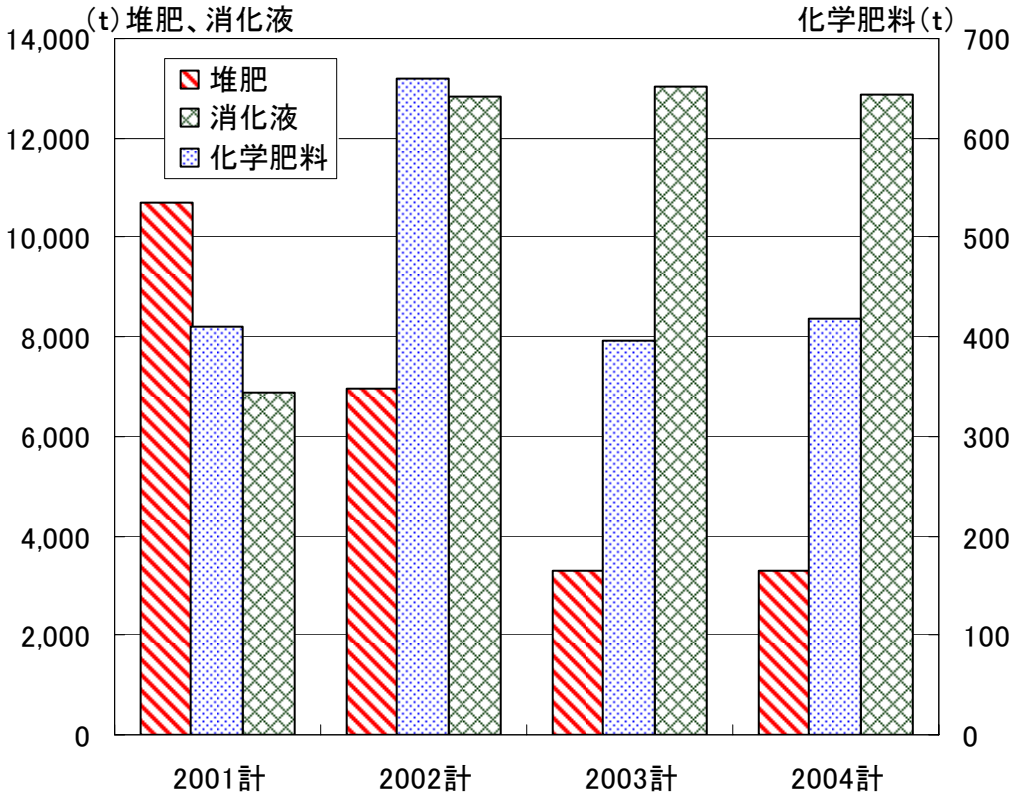


図２２　別海プラント利用農家の肥料種類別施肥量

注）2001 年の液肥はスラリー・尿、2002 年以降の液肥は消化液。以下も同じ。

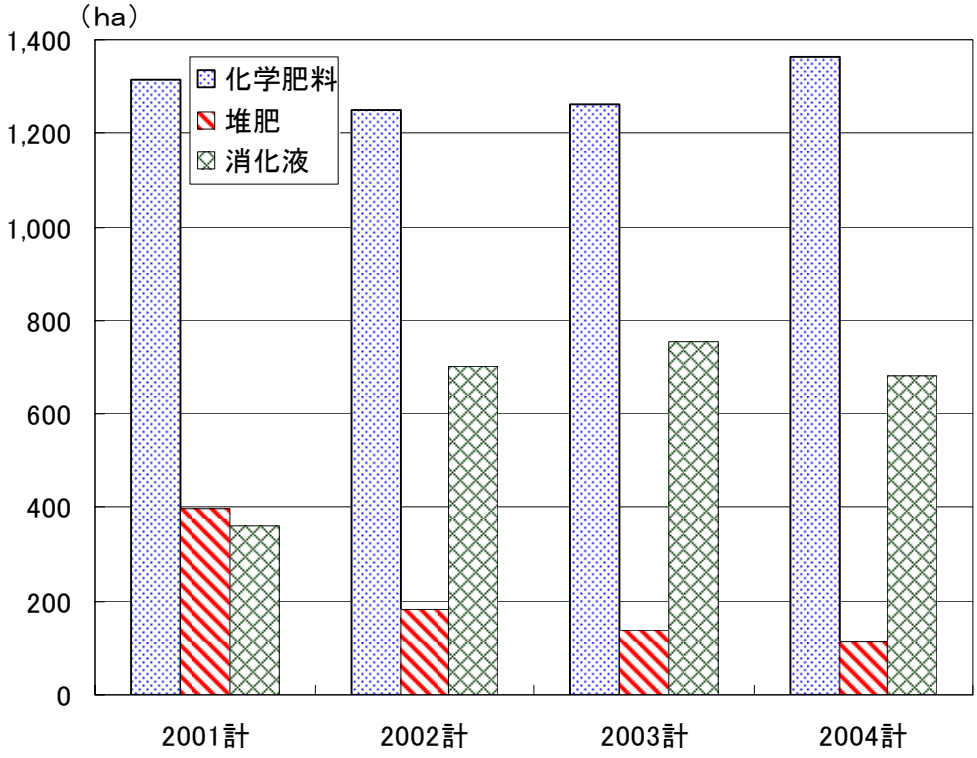


図２３　別海プラント利用農家の肥料種類別延べ施肥面積

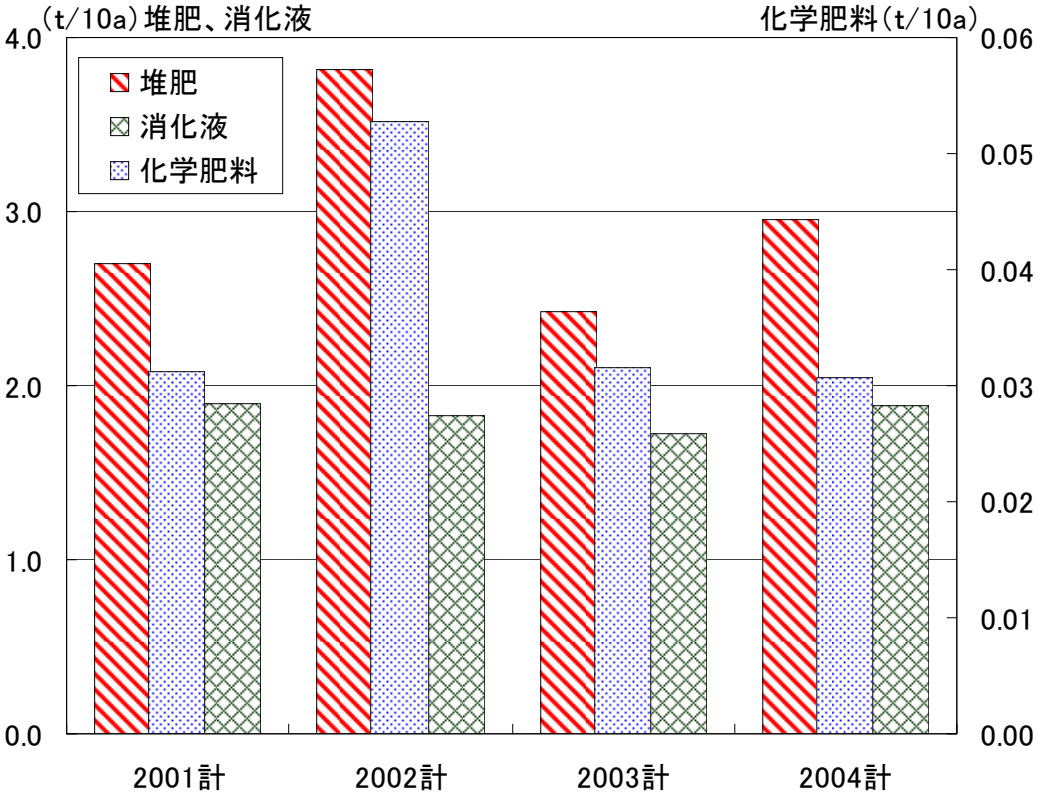


図２４　別海プラント利用農家の肥料種類別反当施肥量

最後に別海プラント利用農家における、プラント利用前後の農作業体系、特にふん尿処理作業に係る時間の変化について整理した。

ふん尿処理作業のほとんどを占めるストールからのふん尿の掻き出しや舎外への移動等の舎内作業には変化がないものの、ふん尿の堆肥場への移動・切り返し等の舎外作業の減少と、有機質肥料の圃場散布作業の増加が、フリーストールおよびスタンチョンにおいていくらかみられた。（図２５）

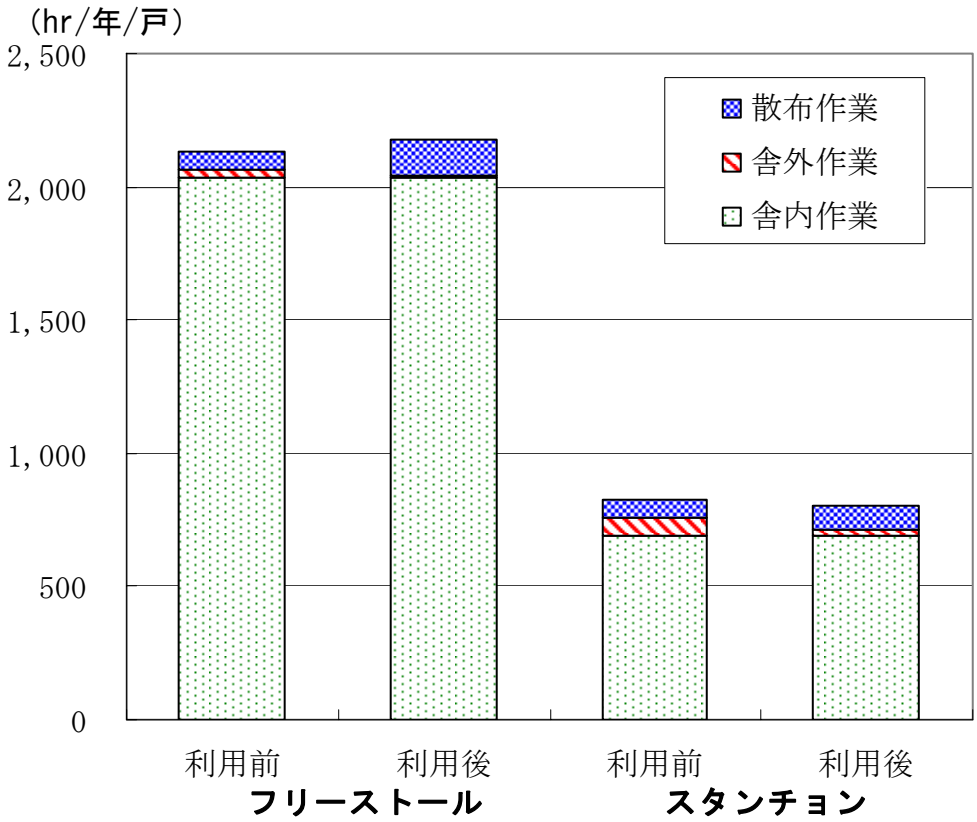


図２５　別海プラント利用農家１戸当たりのふん尿処理作業時間
注）別海プラント利用農家 10 戸の作業日誌及び聞き取り調査をもとに作成。

２）湧別バイオガスシステムの運営実態

（１）湧別プラントの運転経過

別海プラントと同様、このプロジェクトにおいて北海道の湧別町に 2000 年度に建設された、乳牛 200 頭規模の処理能力を持つメタン発酵施設、湧別資源循環試験施設（以下「湧別プラント」という）は「小規模分散型」（表１）で、利用農家５戸のふん尿を一元的に処理して、酪農専業農家の牧草畑のみならず酪農畑作混合農家の一般畑まで含む圃場を還元の対象としている。なお、発電された電気はプラント内で消費される。利用農家のふん尿を一元的に施設へ集めると同時に、小規模の範囲内での効率的な処理や利活用を行うことによって、ふん尿処理に係る農家の労働力やコストの軽減を図るとともに、良質な液肥と堆肥を牧草畑及び一般畑に還元する「土づくり」を推進し、更に発酵の過程で生成されるメタンガスを地域エネルギー資源として有効利用することを目的としている。

湧別プラントは 2001 年２月より立ち上げ運転を開始、同年７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がメタン発酵を経て生成される液肥）及び堆肥（同様に分離された固分を撹拌・発酵して生成される堆肥）の農家への搬出が開始され、以降実績を重ねてきた。2004 年 12 月に実証試験は終了して、プラントの稼働は停止した。

プラント運転には、専属の運転員１名が常駐し、主に管理、固液分離及び堆肥処理に係わる作業を行っている。

湧別プラントにおける搬出入体制（図２６）は、原料になる固形ふん及び尿を利用農家自身もしくは委託されたコントラクタがプラントへ搬入し、農家が必要とする際にプラントから堆肥及び消化液を搬出している。

利用料金についても別海プラント同様、試験施設として運営されていることから、原料のふん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。運搬作業又はその費用については、利用農家及び地元関係機関が負うこととしている。

なお、利用農家５戸から排出されるふん尿全量に対するプラント処理量は約半分程度となっている。

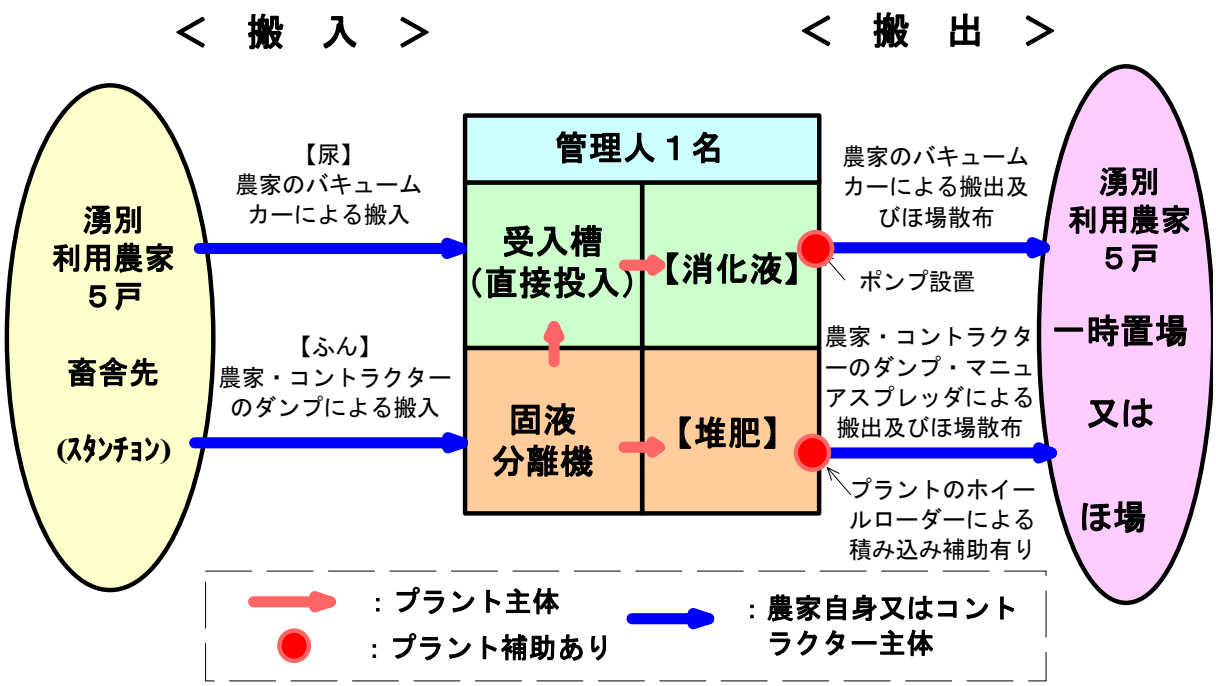


図２６　湧別プラントの搬出入体制　（2001～2004 年度）
注）湧別プラントの運転員及び利用農家５戸の聞き取り調査をもとに作成。

表９　コントラクタによる搬出入量（2001.4～2004.12）

区分	固形ふん（ｔ）	尿(t)	堆肥(t)	消化液(t)
コントラクタ	5,752	－	1,602	－
自前	3,024	1,755	951	7,052
ｺﾝﾄﾗｸﾀ/全体	66%	－	63%	－

注）湧別プラントの作業日誌をもとに作成。

搬出入におけるコントラクタ利用実績（表９）をみると、主に 16ｍ^{3}コンテナ型ダンプによる運搬で、固形ふんと堆肥のそれぞれの搬出入量の約６～７割を占めた。運搬料金は 300 円／ｍ^{3}で、この地域の相場としては安価に設定されている。なお、尿の搬入及び消化液の搬出では、利用農家自身が自前あるいは共同利用のバキュームカーを使用して運搬している。

（２）湧別プラントの運営実績

まず湧別プラントの建設費として、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含めて整理した。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、2004 年パリティ換算値で整理した。その結果、実用運転にかかる施設の建設費は４億 06 百万円、総合耐用年数は 13.6 年、減価償却費は 30 百万円/年と算出された。

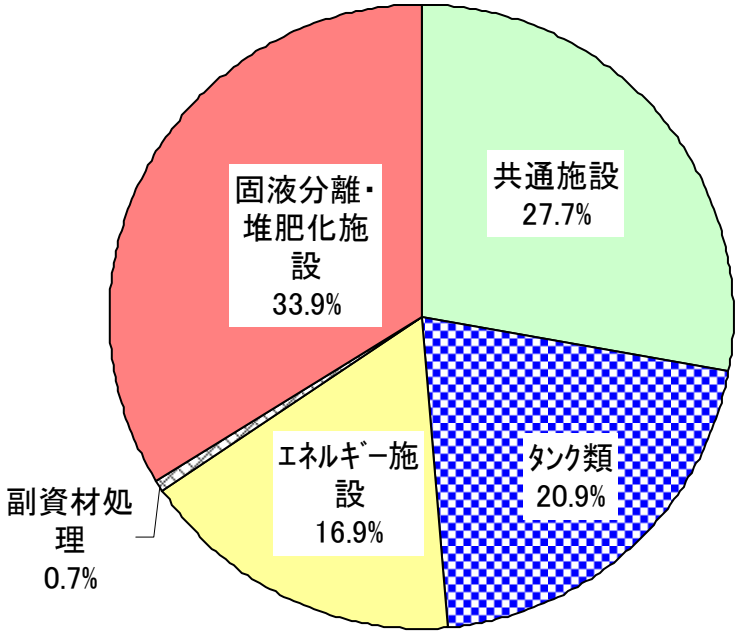


図２７　湧別プラント実用運転施設部分の建設費内訳（2004 年度整理）

注）共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等
ﾀﾝｸ類：発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設：発電機、ﾎﾞｲﾗｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ、熱交換機、等
副資材処理：残滓破砕機
固液分離・堆肥化施設：固液分離機、堆肥発酵舎、完成堆肥舎、攪拌機、等

この建設費は、施設機能別に判断して、『共通施設』（受入棟、系統設備、計器類、等）、『ﾀﾝｸ類』（発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器）、『ｴﾈﾙｷﾞｰ施設』（発電機、ﾎﾞｲﾗｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ、熱交換機、等）、『副資材処理』（残滓破砕機）、『固液分離・堆肥化施設』（固液分離機、堆肥発酵舎、完成堆肥舎、攪拌機、等）の５つに大別できる。別海プラントと比較して、『固液分離・堆肥化施設』が 34%と大きく占めるのが特徴である。（図２７）

次に湧別プラントの運営費は、2001～2004 年度の湧別プラントの運転実績から、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整理した。その結果、運営費総額は 2001 年度は約 10 百万円、2002 年度は約 14 百万円、2003 年度は約 18 百万円、そして 2004 年度は約 17 百万円であった。これらの運営費についてプラントの稼働経過を考慮すると、2001 年７月より消化液の供給が本格的に開始されたことから、2001 年度途中より本稼働に入ったものと判断できる。そのため 2001 年度は（過渡期を含む）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。

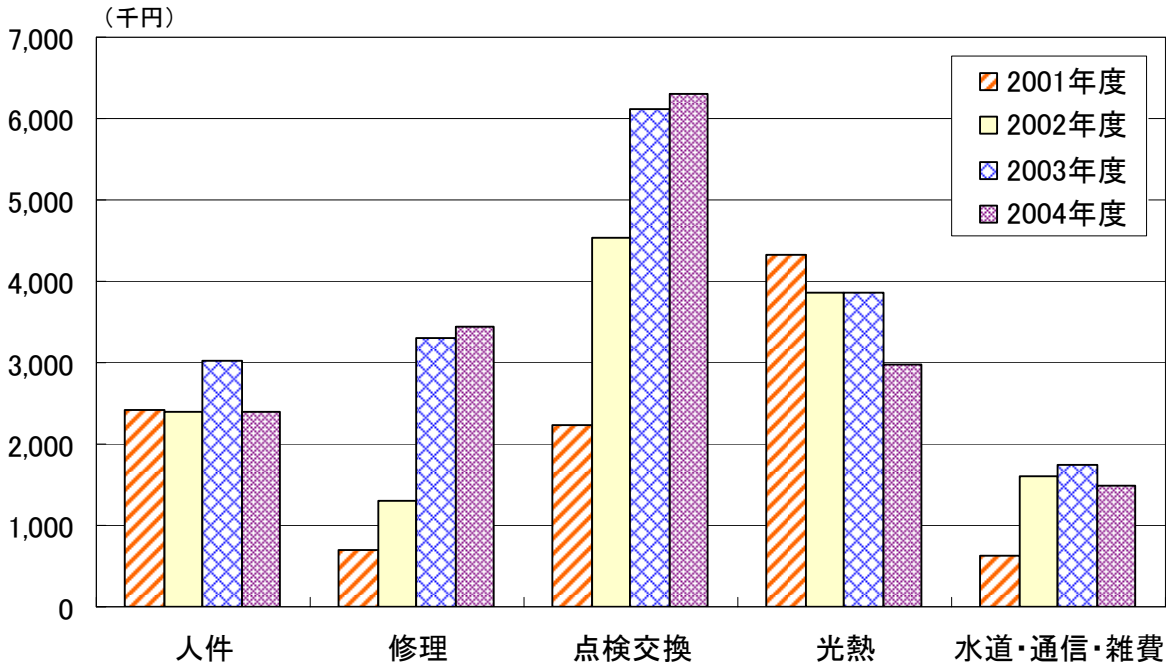


図２８　湧別プラントの運営費（項目別・2001～2004年度）
注１）2001年度の運営費は、立ち上げ運転期と本稼働後を含む条件のもとで整理。
注２）2004年度の運営費は、12月までの稼働による条件のもとで整理。

これらの運営費を年次別および費目別に、図２８に整理した。運転員１名の『人件』費は運転員の作業体系に大きな変化がなかったのでほぼ一定である。予定外の故障に対する整備と施設の更なる改善を目的とした整備にかかった『修理』費、および施設・機械の定期点検及び必然的な消耗部品の交換にかかった『点検交換』費は後年において上昇傾向にあった。この要因については定期点検の体制が後年に確立して定期的かつ確実に行われるようになった分や、2004 年の台風等の災害復旧にかかった分の上積みなどが考えられる。『光熱』費は 2001～2003 年の３カ年ともほぼ一定である。『水道・通信・雑費』は 2002～2004 年の最近３ヵ年では一定の傾向にある。

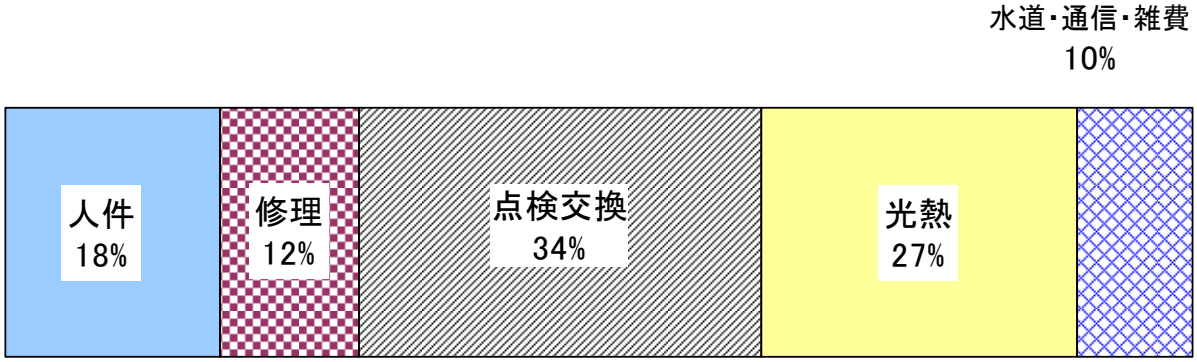


図２９　湧別プラントの運営費の内訳（累計・2001～2004 年度）

湧別プラントの運営費の内訳を、この４ヵ年の運営費実績の累計でみると、「人件費」が 18%、「修理＋点検交換費」が 46%、「光熱費」が 27%となっている。別海プラントと比較して、「人件費」が小さいことと、「修理＋点検交換費」が大きいことが特徴である。（図２９）

次に、湧別プラントにおける原料（固形ふん・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。生成物の搬出が本格的に始まったのは 2001 年７月からで、その年の牧草の１番草刈り後の追肥から散布が開始された。別海プラント同様、即効性の高い消化液が大量に生産・供給され、牧草のみならず畑作物への春施肥・追肥・秋施肥に使用されている。通年における消化液の需要パターンとして４～５月の春施肥期をピークに６～11 月の追肥・秋施肥期にかけて継続的に搬出・散布されている状況が確認できるが、別海プラントと比較して緩やかなピークになっている。（図３０）

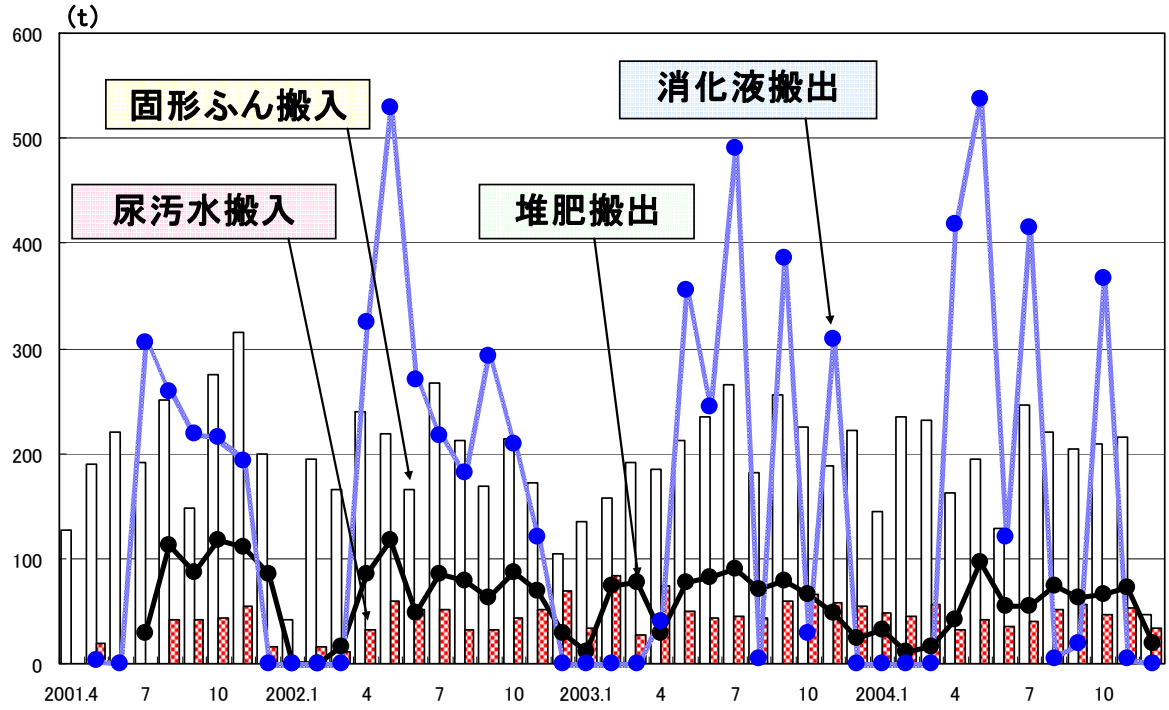


図３０　月別搬出入量の推移（2001.4～2004.12）
注）湧別プラントの作業日誌をもとに作成。尿・消化液は１ｍ^{3}当たり１ｔと換算。

同じく、累計（重量）で整理すると、まず搬入量における固形ふんの割合は 83%に対し、搬出量における堆肥の割合は 26%である。別海プラントと比較して、全戸ともスタンチョン農家であることから相対的に固形ふん尿処理としての性格が強いものの、供給物は液肥が中心になることが明らかになった。なお搬出量計／搬入量計は 93%である。このように、従来まではふんを農家自身で切り返した堆肥がふん尿利用の中心であったのに対して、プラント利用後では液肥としての消化液が新たに登場するなかで堆肥が減少するという大きな変化が明らかになった（図３１）。

なお、プラントでは冬期に生成される消化液を貯めうる容量（1,100ｍ^3）の貯留槽を備えており、春施肥時の散布量を確保できるようになっている。

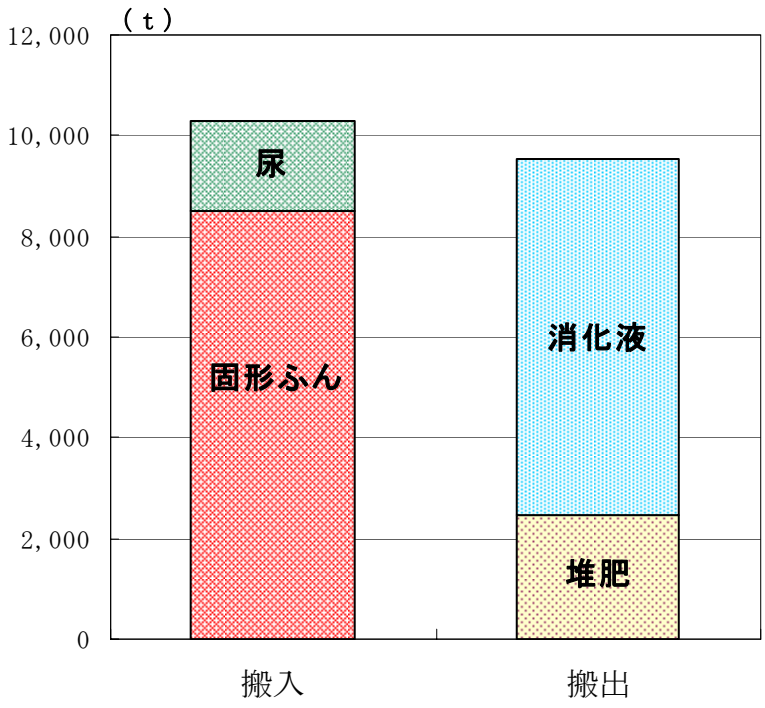


図３１　湧別プラントの搬出入量（累計・2001 年４月～2004 年 12 月）
注）湧別プラントの作業日誌をもとに作成。

次に、湧別プラント運転員１名の作業実績を、16 年度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た。作業内容については『管理』作業（フロー制御、施設運転・維持関連作業)、『事務』作業（施設運転及び運搬記録等の整理)、『固液分離』作業（固形ふんの固液分離作業)、『堆肥化』作業（固液分離後の分離固分及び完成堆肥の移動作業)、『搬出』作業（完成堆肥の搬出時の積み込み補助)、そして『その他』(施設間の移動時間等）の６つに区分した。

その結果、湧別の運転員は別海プラントと異なり運搬作業がないので、管理・固液分離作業専従者として位置づけられる。週５日（平日１名・土曜・日曜休み）の勤務体制における、作業時間全体に占める各作業時間の割合は、『固液分離』＋『堆肥化』作業で 53%と過半数を占めるが、『固液分離』作業がその大部分を占める別海プラントに対して、『堆肥化』作業がおおよそ半分を占めるのが特徴である。この要因には、分離固分を自動攪拌機を備えた堆肥発酵舎に移動する際の作業時間がかかることが挙げられる。別海同様、この地域でのスタンチョン飼養では大量の敷料使用が一般的であり、この様な農家のふん尿を原料として受け入れることから、ふんの固液分離及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と考えられる。(図３２）

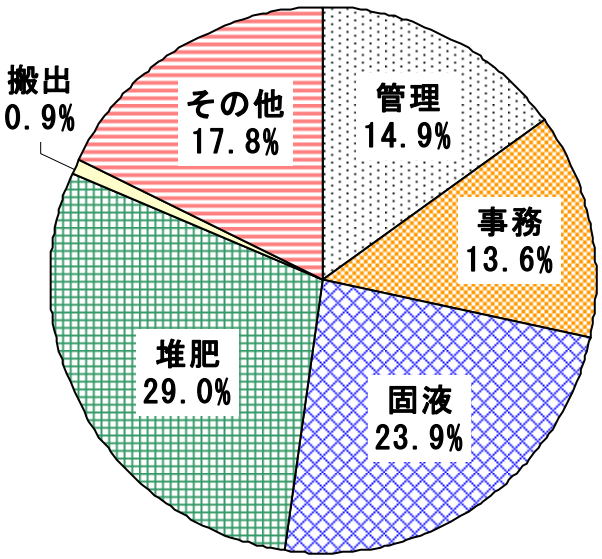


図３２　湧別プラント運転員１名の作業時間の割合（2004 年度）
資料：湧別プラントの作業日誌をもとに作成。
注）管理：フロー制御、施設運転・維持関連作業
事務：施設運転及び運搬記録等の整理
固液分離：固形ふんの固液分離作業
堆肥化：固液分離後の分離固分及び完成堆肥の移動作業
搬出：完成堆肥の搬出時の積み込み補助
その他：施設間の移動時間等

（３）湧別プラント利用農家における経営状況の変化

まず、湧別プラントの利用農家５戸は、１戸が酪農専業経営、残りの４戸が酪農と畑作の複合経営であることから、プラント利用期間における作物別作付面積の合計値を年次別に整理した（図３３）。

作付作物は、牧草、デントコーン、てんさいをはじめ、小麦、小豆、長芋、アスパラが栽培されている。４ヵ年に渡り牧草が約６割を占め、デントコーンが約３割、てんさいが約１割を占める構成になっている。

作付面積は、全体的には微増しているものの、大きな変化はほとんどないといえる。

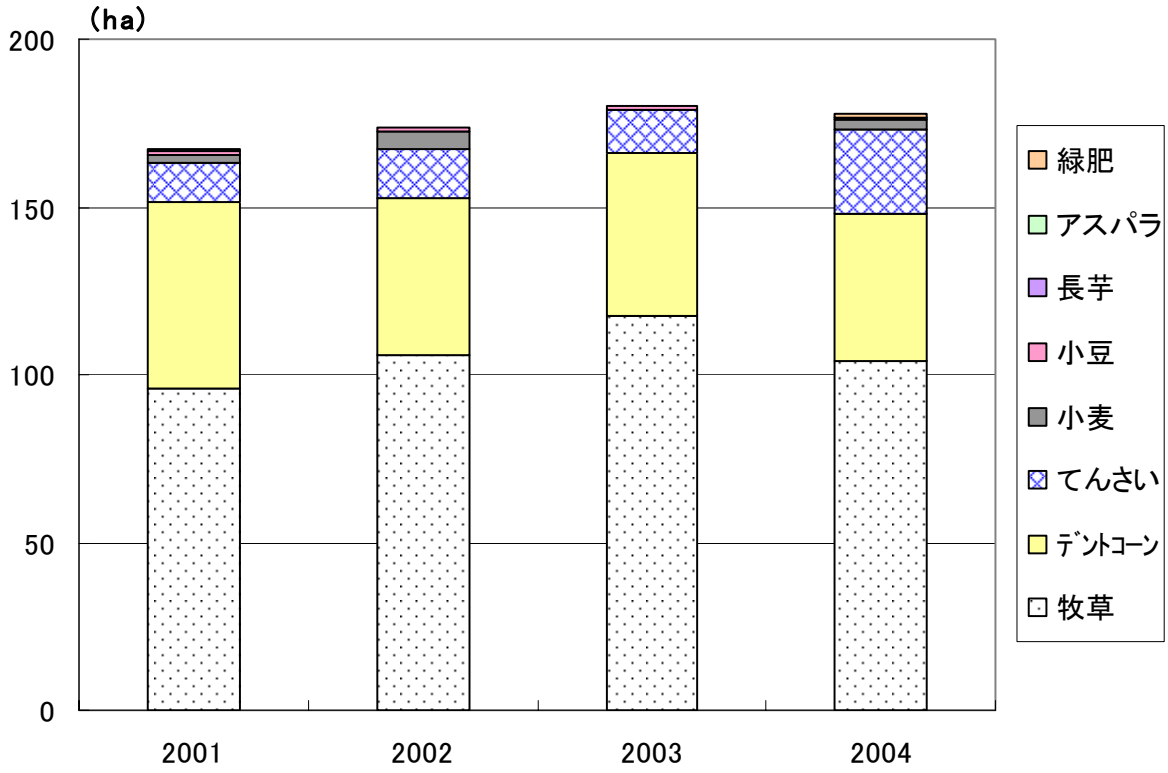


図３３　湧別プラント利用農家５戸の年次別・作物別作付面積

注）湧別プラント利用農家聞き取り調査より

次に、プラントからの消化液や堆肥の施用による作物増収効果について検討するため、牧草収量の変化について整理した。

2001～2003 年は、平年に比べて３カ年とも、春の少雨、夏の低温及び秋の多雨といった、牧草生育にとって気候条件の悪さなどの要因もあり、増収は特にみられなかった。利用農家からは「気候の割には平年並みを確保できた」との評価もあったが、平均反収では特に大きな変化はみられなかった。

2004 年については、平年に比べて夏期は高温になり、全体的には気候条件は良く、全ての農家で増収がみられた。その結果、最も収量が少なかった 2002 年の収量と比較して、１番草では約８割、２番草でも約５割の増収がみられた。

このように気象条件については別海と同様の傾向がみられたが、反当たり収量は湧別プラント利用農家の方がやや大きく、特に２番草で高くなっていることが特徴である（表１０、図３４）。

表１０　湧別プラント利用農家５戸の平均反収

収穫期		５戸平均反収（ロール換算/10a）
2001 年	１番草	1.57
	２番草	0.93
2002 年	１番草	1.15
	２番草	0.79
2003 年	１番草	1.42
	２番草	0.86
2004 年	１番草	2.13
	２番草	1.24

注）湧別プラント利用農家聞き取り調査より

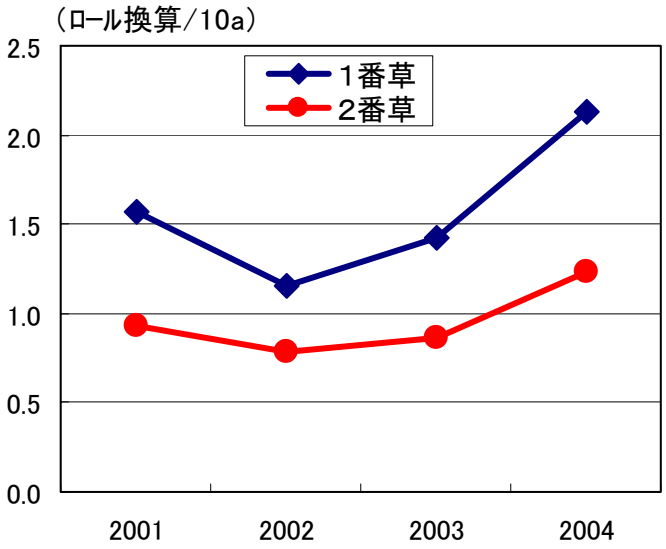


図３４　湧別プラント利用農家５戸の平均反収

次に、プラント利用前後の施肥実態について整理した。各農家ともシステム利用前後で作付作物及び作付面積に大きな変化は見られなかったが、肥培管理面では変化が見られた。

実際の肥料種類別の施肥状況の変化について、2001～2004 年における湧別プラント利用農家の肥料種類別施肥量（図３５）、ならびに牧草地及び普通畑別にそれぞれ区分した施肥量（図３６、３７）、延べ施肥面積（図３８、３９）及び反当施肥量（図４０、４１）を整理した。肥料種類は化学肥料、堆肥及び液肥（消化液）に区分した。

その結果、プラント利用による４年間の変化として、次のことが明らかになった。

①液肥の散布量は、利用開始当初よりプラントからの供給量の増加に伴い施肥量及び施肥面積も増加したが、一方の堆肥も施肥量ではほぼ同量で推移し、その需要が確認できた。消化液散布は徐々に普及してはいるものの、従来の堆肥を中心とした有機質肥料散布の体系はそれほど変わっていないと考えられる。

②圃場別に施肥量をみると、牧草地では利用開始当初は増加したものの、最近年では開

始前の量に落ち着いてきた。一方、普通畑での施肥量は当初の堆肥の増加から、次第に消化液の増加へと移行する傾向がみられた。

③圃場別に施肥面積をみると、牧草地での有機質肥料が共に減少傾向であるのに対し、普通畑では共に増加傾向にある。

④圃場別にみた反当施肥量では、液肥は牧草地ではやや増加した後で落ち着いているが、普通畑では増加傾向が続いている。また、堆肥は牧草地では年次間の変動が大きく、普通畑では概ね減少傾向がみられる。

⑤化学肥料については、牧草地では大きな変化は見られなかったが、普通畑では反当施肥量が減少傾向にある。

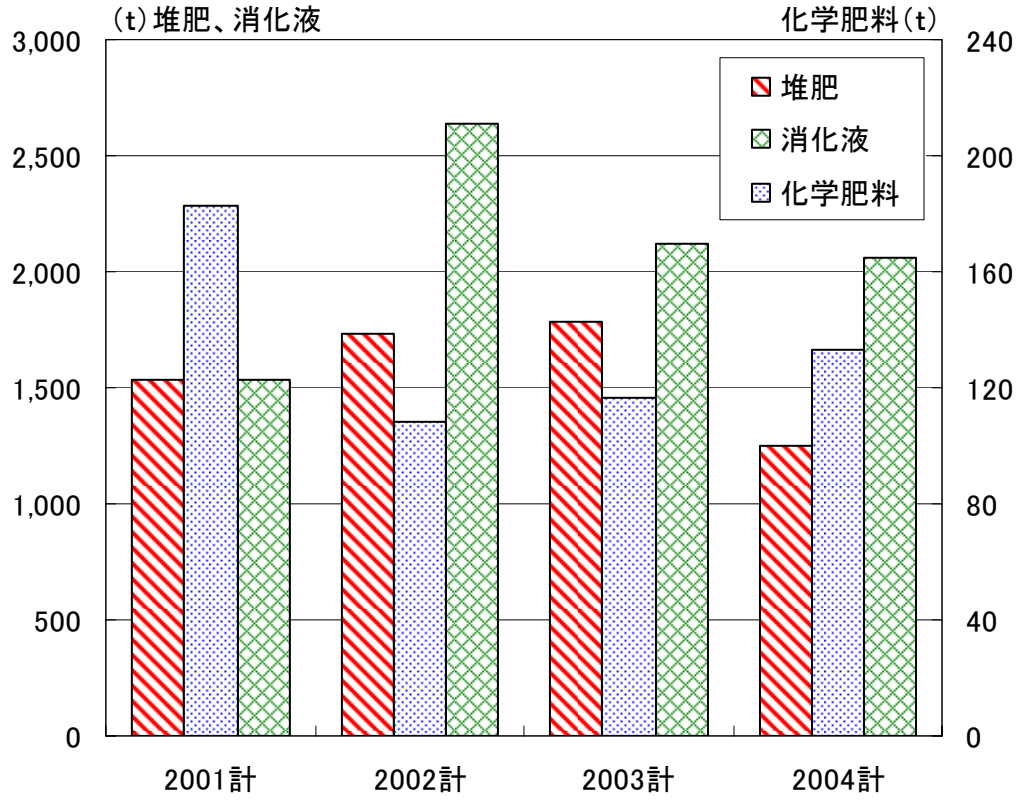


図３５　湧別プラント利用農家の肥料種類別施肥量

注）2001 年の液肥は尿、2002 年以降の液肥は消化液。（図３６～４１も同じ）

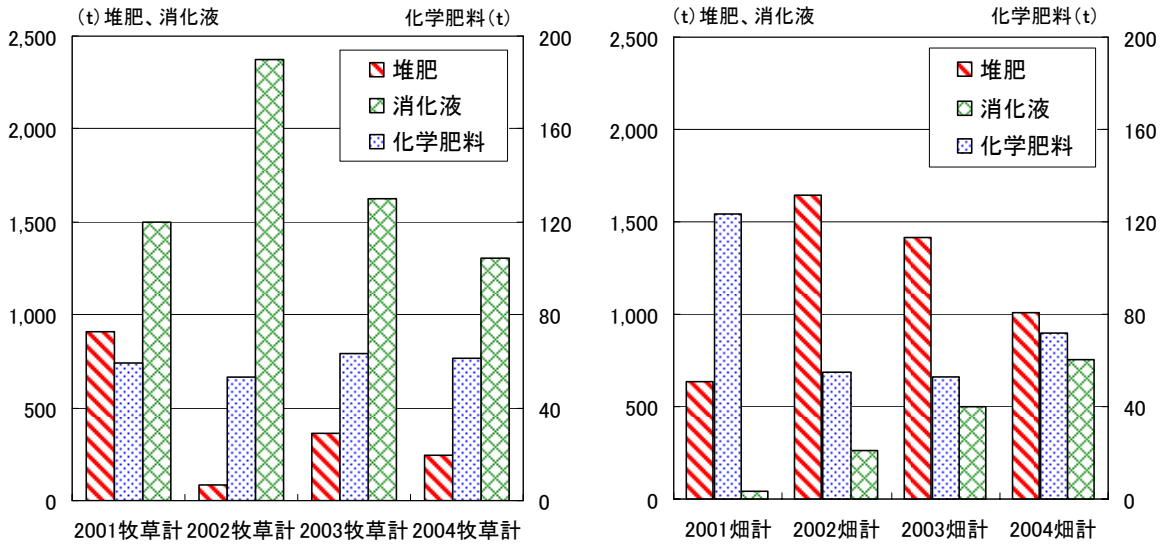


図３６，３７　湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別施肥量

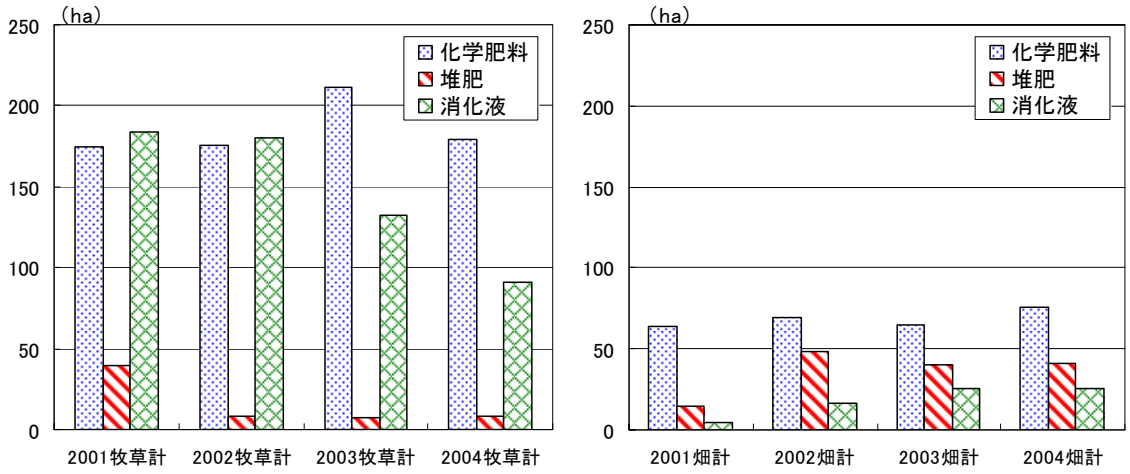


図３８，３９　湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別延べ施肥面積

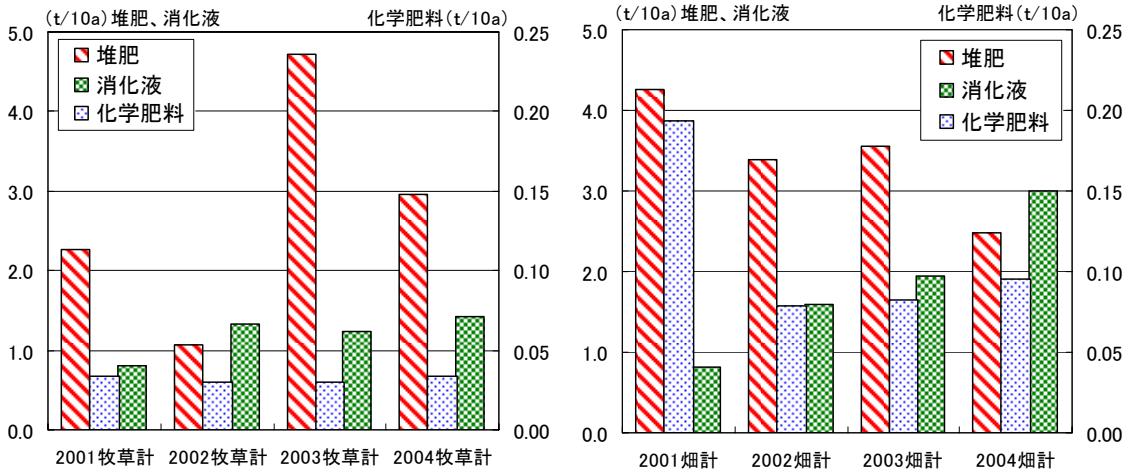


図４０，４１　湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別反当施肥量

最後に湧別プラント利用農家における、プラント利用前後の農作業体系、特にふん尿処理作業に係る時間の変化について整理した（図４２）。

ふん尿処理作業のほとんどを占めるストールからのふん尿の掻き出しや舎外への移動等の舎内作業には変化がないものの、ふん尿の堆肥場への移動・切り返し等の舎外作業と有機質肥料の圃場散布作業が減少して、合計では若干の減少傾向がみられた。これらの要因については、従来の手間のかかる堆肥散布のみの作業体制から粘性の低く扱いやすい散布作業能率の高い消化液散布が加わったことや、コントラクタ利用の効果も考えられる。

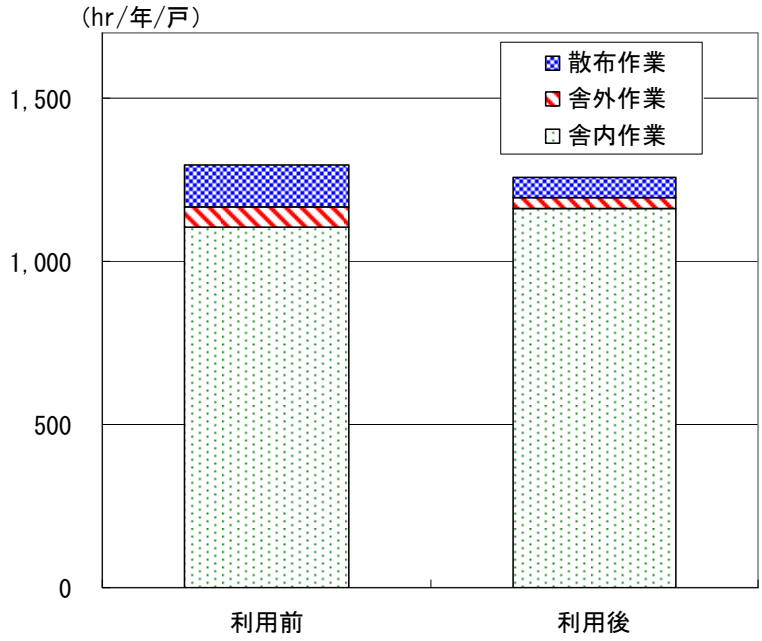


図４２　湧別プラント利用農家１戸当たりのふん尿処理作業時間
注）湧別プラント利用農家５戸の聞き取り調査をもとに作成。

３．共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

１）別海型バイオガスシステムの経済モデル

（１）別海型バイオガスシステムの費用構成

試験研究を目的として運営してきた別海プラントのこれまでの運転実績、研究成果及び地域の事情を踏まえて、別海プラントを中核とする共同利用型バイオガスシステムの経済モデルの基礎的な数値である、システム全体の建設費及び年間経費について整理した。

まず建設費は、実用運転施設の建設費用構成に基づき必要な施設部分について抽出、試算した。別海プラントの 2000 年度の建設費及び次年度以降にかかった施設整備費より試験研究のみを目的とした施設を除いた費用 11 億 34 百万円（2004 年パリティ換算値）とその内訳より、実用運転を前提にした施設及び機械類についてそれぞれ検討した。施設及び機械類の構成については、基本的に図１５を踏まえて、プラント主体で行う作業条件の範囲に基づいて区分した。液状のスラリーと尿のみを処理する『共通＋メタン発酵』（主に図１５における『共通施設』・『ﾀﾝｸ類』・『ｴﾈﾙｷﾞｰ施設』に相当）をはじめ、固形ふんの処理まで行う『＋固液分離・堆肥化』（図１５における『固液分離・堆肥化施設』に相当）、利用農家の畜舎～プラント間の搬出入を行う『＋搬出入』（図１５における『運搬車輌』に相当）、さらにプラントから供給される消化液と完成堆肥の圃場散布まで行う『＋圃場散布』（利用農家が使用している型式を抽出）の４つの施設及び機械類について構成、区分した。『共通＋メタン発酵』関連の施設及び機械類が他より大きいのが特徴である。この施設及び機械類の区分を、別海プラントが実用運転する場合の建設費として試算する根拠とした。（図４３）



図４３　別海プラント実用運転施設の建設費用（1,000 頭規模の場合）
注）2000～2004 年度までの費用を 2004 年パリティ換算値で整理

次に年間経費は、プラント稼働実績から抽出された図１６における５つの費目に、研究期間では生じないが実際のシステム運営では必要とされる費目として、【減価償却費】と【運搬費及び圃場散布費】を加え、各費目別に試算した。（付表１、２、３）

【減価償却費】は試験研究施設として基本的に国費で建設したプラントなので、試験研究期間における別海プラント収支の中には直接的には発生しないものである。実用運転時

には図４３の整理に基づき、建設費用から助成制度を利用した場合を前提とし、ふん尿処理施設（共通・タンク類・固液分離・堆肥化）は 95%補助、その他（エネルギー施設・運搬機械）は 50%補助として、試算した。基本的に固定費とした。

【人件費】は作業時間調査結果をもとに、基本的に同規模の場合には固定費とした。

【修理費】はプラント運転に関連する費用を抽出・整理し、処理量（処理頭数）に比例する変動費とした。

【点検交換費】は修理費同様の抽出・整理だが、定期点検等その費用の性格から基本的に固定費とした。

【光熱費】のなかの①灯油・プロパンについては、実績値においては処理量に係わらず平均的な費目であり、固定費とした。それ以外の②重油・軽油・電気については処理量に比例する変動費とした。

【水道・通信・雑費】は固定費とした。

【運搬費及び圃場散布費】は減価償却費同様、プロジェクト期間内においては試験研究施設として地元協力の下で運営している条件の中で、運搬作業は基本的に地元主体で行う体制にあるため、別海プラント収支の中には直接的には発生しないものである。なお、搬出入については、平成 15 年７月より脱着コンテナ車が導入され、プラント運転員の業務内に編入された経緯がある。基本的に処理量に比例する変動費とした。

これらの７つの費目について、基本的に変動費についてはプラント主体として行う処理がスラリー・尿のみか、固形ふんまでか、さらには運搬・圃場散布をどこまで行うか、等の条件を踏まえてそれぞれ試算される。プラント運営の条件において、業務の主体がプラントとなる場合と､利用農家･コントラクタになる場合でそれぞれ試算されることになる。なお固定費についても、現状の処理頭数規模（1,000 頭）を拡大させる場合など、その条件に応じて試算されることになる。

以上の試算の結果から、1,000 頭規模で搬出入までプラント作業とする場合の別海型バイオガスシステムの年間運営費は約 47 百万円となった。（図４４）

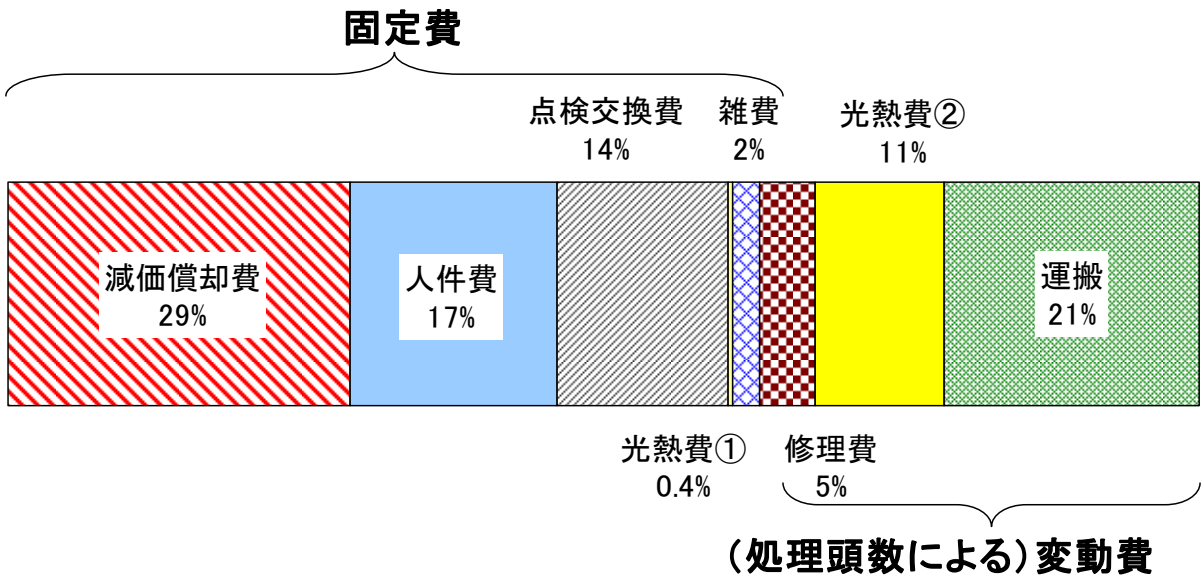


図４４　別海型バイオガスシステムの年間経費（47 百万円）の構成
（現況：1,000 頭規模で搬出入までプラント作業とする場合）

注）固定費：「減価償却費」、「人件費」、「点検交換費」、「光熱費①灯油・プロパン」、「雑費」
（処理頭数による）変動費：「修理費」、「光熱費②重油・軽油・電気」、「運搬」

（２）別海型プラント利用農家の経営的効果

次に、別海型プラント利用農家の経営的効果を推計する。ここではプラント利用による経営的効果を、化学肥料購入費とふん尿処理作業に関わる費用（労働経費・機械等の減価償却費・燃料等の直接経費）を節減する視点から整理した。

まず購入肥料費節減額について、圃場散布に必要とされる施肥基準量に対する不足分に対する化学肥料施肥量を､プラント利用前後の施肥体系の変化を踏まえて考察､試算した。

化学肥料の購入量の実績値については、試験期間における気候条件等の影響もあり、利用農家の実態ではわずかに減量した程度だった。この減量分を購入肥料費節減額とする考え方もあるが、諸条件を踏まえると過小評価になることが懸念されるので、ここでは適用しないこととした。

そこで購入肥料費節減額を試算するための条件を設定した。

①まず、プラント利用前の 2001 年において、作付面積に必要とされる窒素・リン酸・加里の施肥基準量に対する、有機質肥料からの散布量について整理した。

②そのプラント利用前における不足量（施肥基準量－有機質肥料からの散布量）について、特に液肥において成分の少ないリン酸に注目して、現地で最も使用されていた化学肥料（春施肥 BB122／一番後 BB456）により、春施肥でリン酸の不足分に相当する量の施肥を行い､一番後は実際に行われた通りに春施肥の半分の量での施肥を行った条件を設定して、それぞれの化学肥料の使用量及び購入額について試算した。

③次にプラント利用後において、作付面積に必要とされる窒素・リン酸・加里の施肥基準量に対する、プラントから供給されうる有機質肥料からの散布量について利用前と同様に整理した。（図４５）

④そしてプラント利用後における不足量について、特に液肥において成分の少ないリン酸について、現地で液肥との組み合わせで使用されている化学肥料（春施肥 BB055／一番後 BB565）で散布する際、春施肥でリン酸の不足分に相当する量の施肥を行い、一番後の施肥ではプラント利用で可能になった消化液散布を主として行い、プラントと場外タンクから離れた飛び地のみを化学肥料散布の対象とする条件を設定して、それぞれの化学肥料の使用量及び購入額について試算した。

⑤最後に、化学肥料購入額から利用前後における差額を購入肥料費節減額とした。

なお、ここでの消化液の肥効率はスラリー相当とし、利用前後における施肥基準値以上の増肥分については考えていない。

その結果、成牛換算１頭当たり購入肥料費節減額は2004年パリティ換算値で6,876円（スラリーのみ処理する場合は5,131円）と試算された。購入肥料節減額の発生は、利用前後において使用する化学肥料の種類の違い、及び消化液を牧草の追肥で実施出来るようになった事による施肥作業体系の変化によるところが大きい。（付表４、５、６）

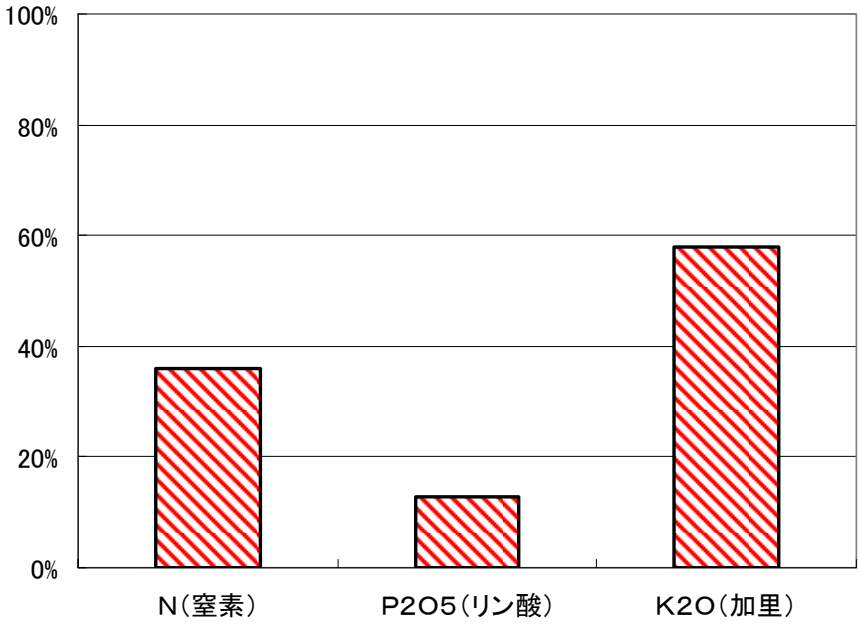


図４５　プラント生成物による肥料成分供給率（農地に必要な施肥基準量に占める割合）
注）牧草の施肥基準量に対して、プラント生成物の堆肥・消化液に含まれる成分で満たすことができる割合について示したものである。なおメタン発酵の際に、バイオガスの発生に伴う消化液の損失割合は、ほぼ無いに等しいと考えることができる。

次に労力節減効果については、プラントを利用しない酪農家に必要とされる切り返し等のふん尿処理作業を外部委託した場合の費用分（作業時間×時間当たり地元単価）として算出した。

プラント利用前におけるふん尿処理に係る作業時間を利用農家の聞き取り調査より整理して、地域のヘルパー利用単価を使用して試算した。（図４６）労力節減対象となる作業は、現在の体制では切り返し等の舎外作業のみであるが、さらにプラントが有機質肥料の圃場散布作業まで担う体制を仮定した場合には、成牛換算１頭当たり 4,265 円（同上 3,515 円）と試算された。

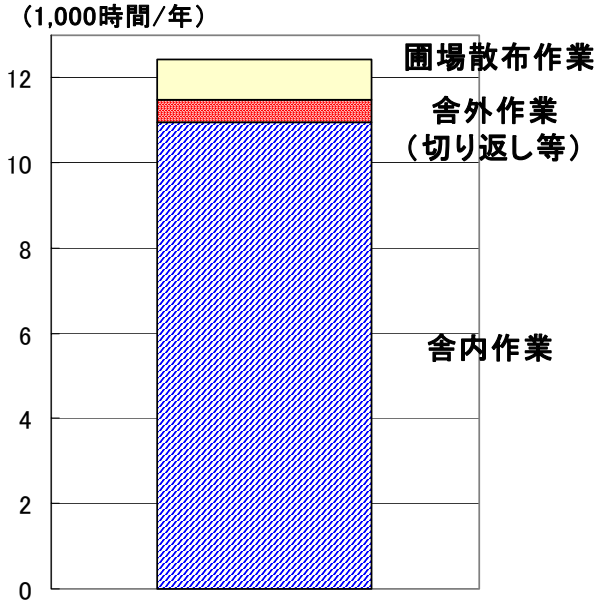


図４６　別海プラント利用前におけるふん尿処理作業時間（10 戸計）

次に減価償却費節減効果については、プラント利用により不要になる機械類を対象とした。まず尿ばっ気装置やフロントローダー用のアタッチメントのバケットが挙げられ、さらに利用農家が所有するトラクターの平均台数 2.8 台より、ここからトラクター１台分を節減できる場合について整理した。またプラントがプラント生成物である堆肥と消化液の圃場散布作業まで担うことを想定した場合には、マニュアスプレッダや尿散布機などの圃場散布機械までが節減対象になり、その場合の節減額は成牛換算１頭当たり 19,940 円（同上 21,657 円）と試算された。

最後にふん尿処理にかかる直接経費節減効果については、直接費の節減対象として使用機械の修理費、ばっ気処理の電気代や切り返しの燃料費といった光熱費、堆肥の舎外移動の委託費があり、成牛換算１頭あたり 4,840 円（同上 6,298 円）と試算された。

これらの４つの経済効果額を合計すると、成牛換算１頭当たり 35,921 円（同上 36,601 円）となり、この金額を利用農家からの処理料金の上限として設定した。（表１１）

表１１　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

（３）別海型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

別海型バイオガスシステムの経済性をシミュレーションするにあたって、まず収入と支出の考え方をそれぞれ整理する。

収入については、システム利用による利用農家の経済効果額をそのまま利用料金として設定した場合、購入肥料費節減・労力節減・減価償却費節減・直接経費節減の効果額の合計が徴収できることとなる。

その他のバイオガスシステムの収入源としては、売電料金と副資材処理料金が考えられる。売電収入についてはこれまでの実績値より固形ふん尿とスラリーを原料とする場合は成牛換算１頭当たり年間 1,150 円と試算される。また、スラリーのみを原料とする場合の売電収入については、後述するⅡ-3 のシミュレーション結果に基づき成牛換算１頭あたり年間 3,324 円とした。なお、総投入量の１割程度が可能とみられる副資材処理については、システムが導入される地域において必ずしも副資材の供給条件に恵まれるとは限らないので、ここでは基本的な収入としては設定しなかった。

よって利用農家からの利用料金（＝利用農家の経済効果額）と売電収入の２つを基本的な収入として経済性を検討した。

支出については、図４４で整理した、別海型バイオガスシステムの年間経費をもとに、シミュレーションのシナリオに基づき、それぞれ設定していくこととする。シナリオとし

ては、まず『運搬体制』≪外部委託する場合／搬出入までプラントが行う場合／圃場散布までプラントが行う場合≫、『処理頭数規模』≪現状の施設をもう一つ建設した２倍規模の場合／更にもう一つ建設した３倍規模の場合≫及び『原料ふん尿』≪固形ふん尿＋スラリーを処理対象とする場合／スラリーのみを処理対象とする場合≫の３つを取り上げ、それぞれの条件のときのバイオガスシステムの年間経費を試算し、経営収支を算出し、その経済性について検討した。

まず『運搬体制』条件について、成牛換算 1,000 頭規模の別海型バイオガスシステムの経済性を検討した。

その結果、運搬を外部委託する場合、現体制の搬出入までプラントが行う場合及び圃場散布まで全てプラントが行う場合のいずれにおいても、基本的な収入のみでは採算が取れなかった。（表１２）

表１２　別海型バイオガスシステムの経済性―運搬体制別―
（1,000 頭規模、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
		圃場散布	外部委託	外部委託	プラント
	処理頭数規模（成牛換算）		1,000	1,000	1,000
	原料ふん尿		固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー
固定費	減価償却費		11,409,511	13,508,681	14,319,356
	人件費		4,475,900	8,231,900	9,131,900
	点検交換費		6,050,000	6,746,000	6,746,000
	光熱費①		187,000	187,000	187,000
	雑費		1,080,000	1,080,000	1,080,000
	計		**23,202,411**	**29,753,581**	**31,464,256**
変動費	修理費		2,063	2,160	2,160
	光熱費②		4,093	5,125	5,725
	運搬委託料金		36,470	10,075	0
	計		**42,626**	**17,360**	**7,885**
	（全体計）		**42,625,500**	**17,360,000**	**7,885,000**
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		**37,071**	**37,071**	**37,071**
損益分岐点（成牛換算頭数）			―	―	―
収入合計			37,070,720	37,070,720	37,070,720
費用合計			65,827,911	47,113,581	39,349,256
経営収支			−28,757,191	−10,042,860	−2,278,535

注）別海プラントが行う運搬作業については、搬出入作業では脱着コンテナ車を運転員が、圃場散布作業ではトラクター・マニュアスプレッダ・尿散布機を臨時作業員が行う条件とした。なお、運転員の作業計画については付表７、８を参照。以下の表についても同じ。

次に、『処理頭数規模』条件についてみると、運搬体制が外部委託と搬出入までプラントが行う場合ではプラント規模を２～３倍に拡大しても採算は取れないが、圃場散布までプラントが行う場合では、２倍規模のプラントで経営収支はかなり改善された。ただし、この条件でも３倍規模になると、運転員の増員など人件費等が大きくなることでスケールメリットがあまり発揮されず、経済性は向上しなかった。（表１３）

表１３　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（成牛換算）		1,000	2,000	3,000
	原料ふん尿		固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋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		**31,464,256**	**57,944,311**	**89,082,067**
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		**7,885**	**7,885**	**7,885**
	（全体計）		**7,885,000**	**15,770,000**	**23,655,000**
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		**37,071**	**37,071**	**37,071**
損益分岐点（成牛換算頭数）			ー	**1,985**	ー
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。

最後に、『原料ふん尿』条件についてみる。ここで運搬作業をプラントが行う場合には脱着コンテナ車や圃場散布機械の減価償却費や圃場散布のための臨時雇用作業員の人件費が増えるのに対して、運搬委託料金が不要になる。この条件下では、1,000 頭規模以上で、運搬体制が外部委託や搬出入までででは収入が不足するが、圃場散布までならば採算が取れた。なお、この条件での２倍規模ではスケールメリットが発揮され、経済性は若干向上した。（表１４）

表１４　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（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		**21,894,732**	**25,589,901**	**27,161,076**	**53,415,253**
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		**39,558**	**15,487**	**7,408**	**7,408**
	（全体計）		**39,558,000**	**15,487,000**	**7,408,000**	**14,816,000**
収入	利用農家料金		36,601	35,634	35,634	35,634
	売電料金		3,324	3,324	3,324	3,324
	計		**39,925**	**38,958**	**38,958**	**38,958**
損益分岐点（成牛換算頭数）			**ー**	**ー**	**861**	**1,693**
収入合計			39,925,495	38,957,879	38,957,879	77,915,759
費用合計			61,452,732	41,076,901	34,569,076	68,231,253
経営収支			−21,527,237	−2,119,022	4,388,803	9,684,506

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件費については、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70万円と人件費（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。

以上の検討を踏まえて、経済性の高い別海型バイオガスシステムとして「スラリーのみを処理対象として、現プラントの 1,000 頭規模のままで、圃場散布までプラントが担うシステム」及び「現状のスラリーと固形ふんの両方を処理対象として、現プラントの２倍の 2,000 頭規模の施設によるスケールメリットを活かした、圃場散布までプラントが担うシステム」の２つが想定できた。

２）湧別型バイオガスシステムの経済モデル

（１）湧別型バイオガスシステムの費用構成

湧別型プラントの費用構成についても別海型プラントと同様の手順で策定した。

まず建設費は、湧別プラントの 2000 年度の建設費及び次年度以降にかかった施設整備費より試験研究のみを目的とした施設を除いた費用４億 06 百万円とその内訳より、実用運転を前提にした施設及び機械類についてそれぞれ検討した。施設及び機械類の構成については、基本的に図２７を踏まえて、別海型プラントと同様の手順で区分した。別海型プラントと比較すると、『共通＋メタン発酵』関連の施設及び機械類の割合が若干小さく、『＋固液分離・堆肥化』が大きいのが特徴である。この施設及び機械類の区分を、湧別型プラントが実用運転する場合の建設費として試算する根拠とした。（図４７）

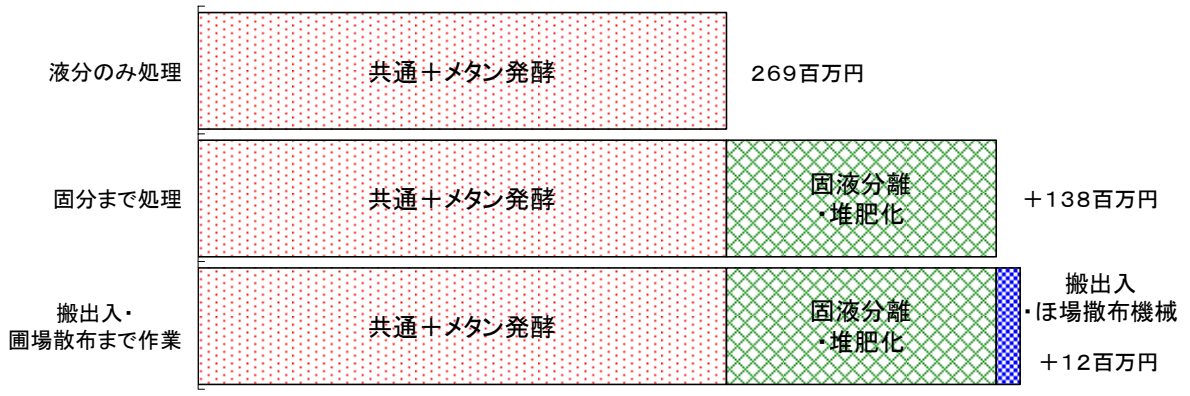


図４７　湧別型プラント実用運転施設の建設費用（200 頭規模の場合）
注）2000～2004 年度までの費用を 2004 年パリティ換算値で整理

次に年間経費は、実績から抽出された図２７を踏まえて、別海型プラントと同様の手順で、【減価償却費】、【人件費】、【修理費】、【点検交換費】、【光熱費】、【水道・通信・雑費】、【運搬費及び圃場散布費】を試算した。（付表９，１０，１１）

その結果、200 頭規模で搬出入を外部委託作業とする場合の、湧別型バイオガスシステムの年間経費は約 24 百万円となった。（図４８）

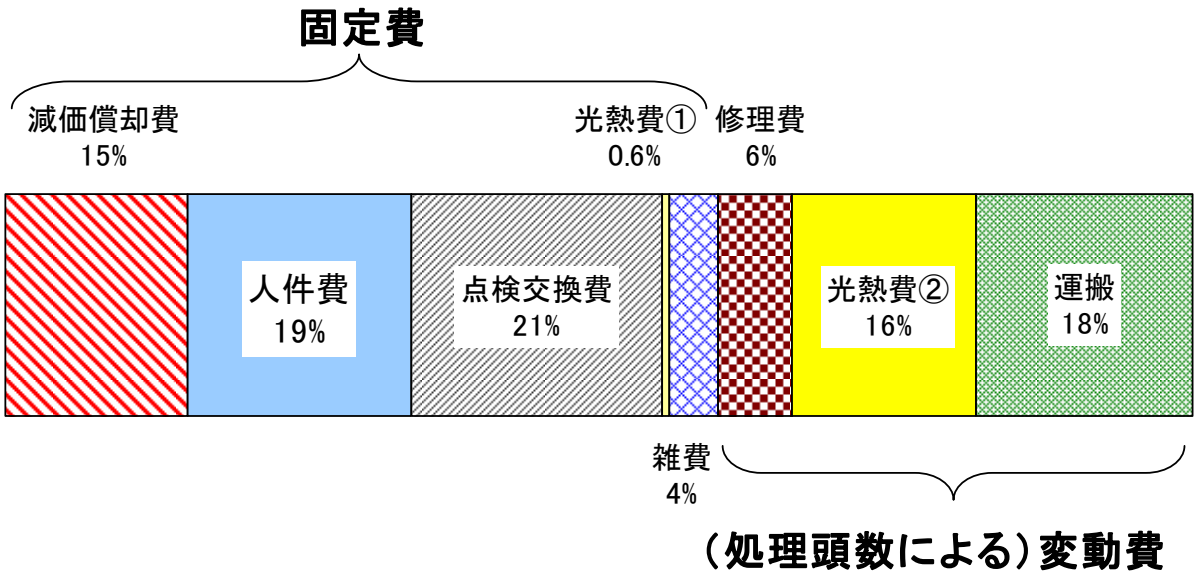


図４８　湧別型バイオガスシステムの年間経費の構成（24百万円、200頭規模の場合）
注）図４４に同じ。

（２）湧別型プラント利用農家の経営的効果

湧別型プラント利用農家の経営的効果についても、別海型プラント同様に推計した。

まず購入肥料費節減効果について、別海プラント同様、圃場散布に必要とされる施肥基準量からの不足分に対する化学肥料施肥量を、プラント利用前後の施肥体系の変化を踏まえて考察、試算した。

湧別プラントにおいては酪農畑作混合経営が展開されている地域であるが、これまでの消化液の散布実績を踏まえて、牧草畑中心の散布体系であることから、別海プラントと同じ数値をそのまま引用して、成牛換算１頭当たり肥料節減額は 6,876 円、またスラリーのみ処理する場合は 5,131 円とした。

次に労力節減効果については、プラントを利用しない酪農家に必要とされる切り返し等のふん尿処理作業を外部委託した場合の費用分（作業時間×時間当たり地元単価）として算出した。

プラント利用前におけるふん尿処理に係る作業時間について利用農家の聞き取り調査より整理して、地域のヘルパー利用単価を使用して試算した。その結果、労力節減対象として切り返し等の舎外作業と有機質肥料の圃場散布作業まで担う体制を想定した場合には、成牛換算１頭当たり 5,615 円と試算された。

次に減価償却費節減効果については、プラント利用により不要になる機械類を対象とした。舎外作業と圃場散布作業の全てをシステムが担う体制での節減額は、固形ふん＋尿を処理する場合で 23,811 円、スラリーのみ処理する場合には 31,133 円とそれぞれ試算された。

最後に、直接経費として機械の修理費、ばっ気処理の電気代や切り返しの燃料費といった光熱費、堆肥の舎外移動の委託費がある。舎外作業と圃場散布作業の全てをシステムが担う体制での節減額は、固形ふん＋尿を処理する場合で 7,990 円と試算され、スラリーの

み処理する場合には同額とした。

これらの４つの経済効果額を合計すると、プラントがふん尿の搬出入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。

これらの効果額を別海の場合と比較すると、固形ふん＋尿を処理する場合で 23%、スラリーのみ処理する場合で 40%高い。その要因は、①湧別バイオガスシステム利用農家の飼養頭数が少ないこと、②規模にかかわらず作業効率を上げる目的で比較的大型の農業機械を使用していること、③飼養頭数が少ない分ふん尿処理に係る作業を充分に行っていたこと、などが挙げられる。

ここでは、別海に比べて割高ではあるが、現地の実態を反映した試算値であることから、これらの効果額をそのまま利用農家からの処理料金の上限として設定した。（表１５）

表１５　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

（３）湧別型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

別海型バイオガスシステムと同様のシナリオで経済性をシミュレーションした。ただし、売電については湧別プラントでは実績がないことから、ここでは考慮しなかった。

まず『運搬体制』条件について、成牛換算 200 頭規模の湧別型バイオガスシステムの経済性を検討した。その結果、現体制の外部委託による場合から、圃場散布まで全ての運搬をプラントが行う場合のいずれにおいても、基本的な収入のみでは採算が取れなかった。なかでは、「搬出入＋圃場散布」をプラントが担う場合、固定費が最も大きいものの変動費が最も小さいことから、これらの条件の中では最も経営収支がよい。（表１６）

表１６　湧別型バイオガスシステムの経済性―運搬体制別―
（200 頭規模、円／年、変動費と収入は処理頭数当たり）

プラント施設			湧別プラント		
条件	運搬	搬出入	外部委託	プラント	プラント
		圃場散布	外部委託	外部委託	プラント
	処理頭数規模（成牛換算）		200	200	200
	原料ふん尿		固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー
固定費	減価償却費		3,629,168	4,530,518	4,530,518
	人件費		4,475,900	4,475,900	5,375,900
	点検交換費		5,015,000	5,195,000	5,195,000
	光熱費①		145,000	145,000	145,000
	雑費		970,000	970,000	970,000
	計		**14,235,068**	**15,316,418**	**16,216,418**
変動費	修理費		7,235	7,370	7,370
	光熱費②		18,500	19,750	21,000
	運搬委託料金		21,536	10,481	0
	計		**47,271**	**37,601**	**28,370**
	（全体計）		**9,454,117**	**7,520,268**	**5,674,000**
収入	利用農家料金		44,292	44,292	44,292
	売電料金		―	―	―
	計		**44,292**	**44,292**	**44,292**
損益分岐点（成牛換算頭数）			―	―	―
収入合計			8,858,418	8,858,418	8,858,418
費用合計			23,689,184	22,836,686	21,890,418
経営収支			−14,830,766	−13,978,267	−13,031,999

注）湧別プラントが行う圃場散布作業について、搬出入作業で使用する機械（トラクター・マニュアスプレッダ（トレーラー）・尿散布機（タンカー））をそのまま臨時作業員が使用する条件で設定しているため、プラントが圃場散布作業を行わない場合と減価償却費などでは同額になる。

次に、『処理頭数規模』条件については、『運搬体制』条件で最も経済性のよかった「搬出入＋圃場散布」をプラントが担う場合を対象に、プラントの処理頭数規模を２、３倍に拡大した場合、さらに参考として別海型バイオガスシステムで示された処理頭数規模 2,000 頭の固形ふん＋尿を処理する場合について検討した。その結果、これらのいずれの場合においても採算は取れないが、大規模になるほど運転員の節減やスケールメリットが達成され、1 頭あたり経済性が改善された。（表１７）

表１７　湧別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			湧別プラント			
条件	運搬	搬出入	プラント	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	プラント
	処理頭数規模（成牛換算）		200	400	600	2,000
	原料ふん尿		固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー
固定費	減価償却費		4,530,518	8,539,641	13,070,158	44,262,387
	人件費		5,375,900	6,275,900	7,175,900	17,231,900
	点検交換費		5,195,000	10,390,000	15,585,000	51,950,000
	光熱費①		145,000	190,000	235,000	550,000
	雑費		970,000	1,820,000	2,670,000	8,620,000
	計		**16,216,418**	**27,215,541**	**38,736,058**	**122,614,287**
変動費	修理費		7,370	7,370	7,370	7,370
	光熱費②		21,000	21,000	21,000	21,000
	運搬委託料金		0	0	0	0
	計		**28,370**	**28,370**	**28,370**	**28,370**
	（全体計）		**5,674,000**	**11,348,000**	**17,022,000**	**56,740,000**
収入	利用農家料金		44,292	44,292	44,292	44,292
	売電料金		―	―	―	―
	計		**44,292**	**44,292**	**44,292**	**44,292**
損益分岐点（成牛換算頭数）			―	―	―	―
収入合計			8,858,418	17,716,837	26,575,255	88,584,183
費用合計			21,890,418	38,563,541	55,758,058	179,354,287
経営収支			−13,031,999	−20,846,704	−29,182,803	−90,770,104

注）湧別プラント施設の規模拡大について、「固液分離・堆肥化」に係る施設について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施設当たり 500 頭処理まで、１運転員当たり２施設まで作業が可能という条件で整理した。それ以外の施設及び各運営費については基本的に処理頭数規模に比例させる条件で整理した。

最後に、『原料ふん尿』条件では、処理頭数 200 頭規模での各運搬体制の場合について、さらに参考として別海バイオガスシステムで示された処理頭数 1,000 頭規模でスラリーのみ処理する場合について検討した。その結果、ここでも全ての場合について採算は取れないが、この条件で規模拡大を行った場合、湧別型バイオガスシステムの検討において最も 1 頭あたり経済性が高かった。（表１８）

表１８　湧別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			湧別プラント			
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（成牛換算）		200	200	200	1,000
	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		3,107,773	4,037,473	4,037,473	20,187,366
	人件費		4,475,900	4,475,900	5,375,900	8,975,900
	点検交換費		2,838,000	3,018,000	3,018,000	15,090,000
	光熱費①		145,000	145,000	145,000	325,000
	雑費		970,000	970,000	970,000	4,370,000
	計		**11,536,673**	**12,646,373**	**13,546,373**	**48,948,266**
変動費	修理費		5,605	5,740	5,740	5,740
	光熱費②		18,500	19,750	21,000	21,000
	運搬委託料金		25,155	10,481	0	0
	計		**49,260**	**35,971**	**26,740**	**26,740**
	（全体計）		**9,852,043**	**7,194,268**	**5,348,000**	**26,740,000**
収入	利用農家料金		49,869	49,869	49,869	49,869
	売電料金		―	―	―	―
	計		**49,869**	**49,869**	**49,869**	**49,869**
損益分岐点（成牛換算頭数）			―	―	―	―
収入合計			9,973,781	9,973,781	9,973,781	49,868,904
費用合計			21,388,716	19,840,641	18,894,373	75,688,266
経営収支			−11,414,936	−9,866,860	−8,920,592	−25,819,362

注）湧別プラントにおけるスラリーのみ処理する場合の人件費について、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５施設まで作業が可能という条件で整理した。

以上のことから、湧別型バイオガスシステムは全ての場合において採算が取れなかった。

この湧別型バイオガスシステムで採算を取るためには、最も経済性のよかった「スラリーのみを処理対象とした、圃場散布までの運搬作業をプラントが担う、大規模のシステム」の経営収支の改善が要点になると考えられる。

なお、別海型バイオガスシステムの検討で経済性の高かった「固形ふん＋尿を処理対象とした、2,000 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」及び「スラリーのみを処理対象とした、1,000 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」を想定し、湧別型バイオガスシステムで採算を取るためには、成牛換算 1 頭当たりの経営収支の不足額はそれぞれ 45 千円及び 26 万円と試算され、これら相当額のその他の収入あるいは運営費節減を図る必要があることも示された。

３）その他のふん尿処理システムの経済性

共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーションの結果を踏まえて、その比較検討の対象として、その他のふん尿処理システムについて、共同利用型バイオガスシステムと同様に、実際に北海道で稼働している代表的なふん尿処理施設を取り上げ、経済モデルを作成し、主として費用構造の差異に基づきそれらの経済性について検討した。なお、以下の検討では､個別利用型のふん尿処理施設の場合でも､共同利用型と比較するために、施設利用に関わる費用と収入（経営効果額）を想定して、経済性を分析する。

その他のふん尿処理システムとして、中規模個別型バイオガスプラント、小規模個別型バイオガスプラント、共同利用型液肥・堆肥処理施設（好気性発酵)、そして「家畜排せつ物法」に対応したふん尿処理施設を農家が個別に整備する場合の４つの場合について取り上げた。

（１）中規模個別型バイオガスプラント（500 頭規模）

代表的な施設として、実際に北海道東部の酪農専業地帯で稼働している中規模個別型プラントを選定し、現地聞き取り調査を実施して、その運営体制および経済性を分析した。その結果をもとに中規模個別型バイオガスシステムの経済モデルを作成した。

この中規模個別型バイオガスプラントは、成牛換算 500 頭規模、経営耕地 300ha の大規模酪農専業経営の農業法人により利用され、原料ふん尿はスラリーのみである。プラントの主な構成については、中温発酵槽（コンクリート製長方形発酵槽）が 520ｍ^3（260ｍ^3×２槽、これら以外に２次発酵槽 1,000ｍ^{3}有り)、消化液貯留槽（ポンプによる撹拌と汲み上げ）が 6,000ｍ^3（3,000ｍ^3×２槽)、発電機 130KWH（50＋80KWH の２台、どちらもバイオガス＋軽油を原料とするデュアル式で、逆潮流施設有り）となっている。2000 年に建設され、2001 年２月より稼働開始、今日に至っている。

はじめに、建設費は１億 97 百万円（共通・タンク類は 95％補助、エネルギー施設は 50％補助）であった。施設及び機械類の構成については、基本的に共同利用型プラントと同様の手順で区分して、共同利用型プラントの液肥処理関連施設と比較すると､『共通施設』と『エネルギー施設』の割合が小さく､『タンク類』が大きい。畜舎と隣接した個別型プラントなので『共通施設』は共同利用型と比べて当然小さくなることを踏まえると､『タンク類』に比べて『エネルギー施設』の割合が小さいことが特徴である。（図４９）

ただし、成牛換算１頭当たりの全体の建設費は約 40 万円で、別海プラントの約４割、湧別プラントの約２割程度になり、今回検討したバイオガスシステムの中では最も低い金額だった。

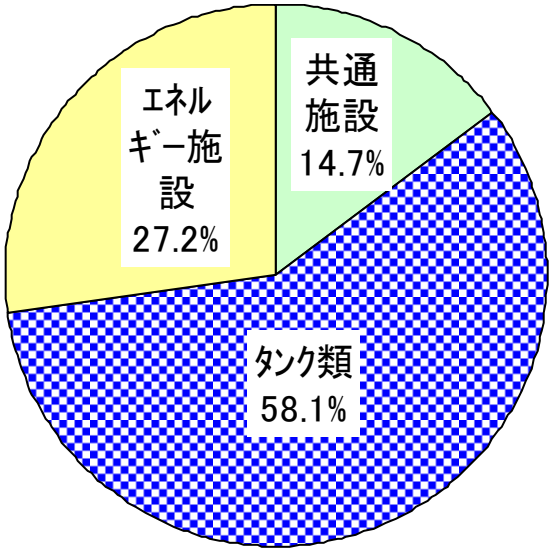


図４９　中規模個別型バイオガスプラントの建設費内訳
（197 百万円、2004 年パリティ換算値）
注）共通施設：建物、関連構築物・機械類
ﾀﾝｸ類：発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、消化液貯留槽、水中ﾎﾟﾝﾌﾟ
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設：発電機、逆潮流施設、関連機械類

次に年間経費は、共同利用型プラント同様、現地聞き取り調査より整理した５つの費目（人件費、修理費、点検交換費、光熱費、雑費）に、建設費より算出される施設の減価償却費を加えた費用を基本として、散布条件で必要とされる場合にはほ場散布費を加える構成とした。

まず減価償却費は、建設費の整理をもとに、機械類 10 年、構築物 15 年の耐用年数で各区分毎に試算した。共同利用型プラントと同様に固定費とした。

人件費は、作業体系および作業時間についての現地聞き取り調査結果をもとに、共同利用型プラントと同様に管理人および臨時作業員について、共同利用型バイオガスシステムのシミュレーションで使用したのと同じ単価で試算した。基本的に同規模の場合には固定費とした。

修理費、点検交換費、光熱費①灯油・プロパン、光熱費②重油・軽油・電気、そして雑費（水道・通信・備品）については、現地で直接聞き取った実績値をもとに、2004 年パリティ換算値を使用した。

修理費は、稼働状況、頻度、処理量（処理頭数）に比例する変動費とした。

点検交換費は、定期点検等その費用の性格から基本的に固定費とした。

光熱費①灯油・プロパンは、施設内暖房や発電機の種火利用といった処理量に係わらない費目と判断して、固定費とした。

光熱費②重油・軽油・電気は、稼働状況、頻度、処理量に比例する変動費とした。

雑費（水道・通信・備品）は、処理量に係わらない平均的な費目と判断して固定費とした。

そして運搬費および圃場散布費は、現地聞き取り調査で現地単価による実績値を把握しているが、今回の経済モデルの構成による各システムの比較検討を目的とする趣旨を踏まえて、共同利用型システムで使用した単価で、運搬および散布量をもとに試算した。基本的に処理量に比例する変動費とした。

これらの７つの費目について、プラント運営の条件において、それぞれ試算することになる。現状では、基本的に経営主体の農業法人が行う経営の範囲内でバイオガスシステムのほとんどの工程を運営しているが、ほ場散布の一部については外部委託している。今回はほ場散布を全面外部委託した場合と、全面自前で行った場合の２つについて検討した。

その結果、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの年間運営費は約 15 百万円（図５０）、ほ場散布を全て外部委託で行った場合のシステムの年間運営費は約 14 百万円となった。人件費と光熱費②重油・軽油・電気の占める割合が大きいのが特徴である。

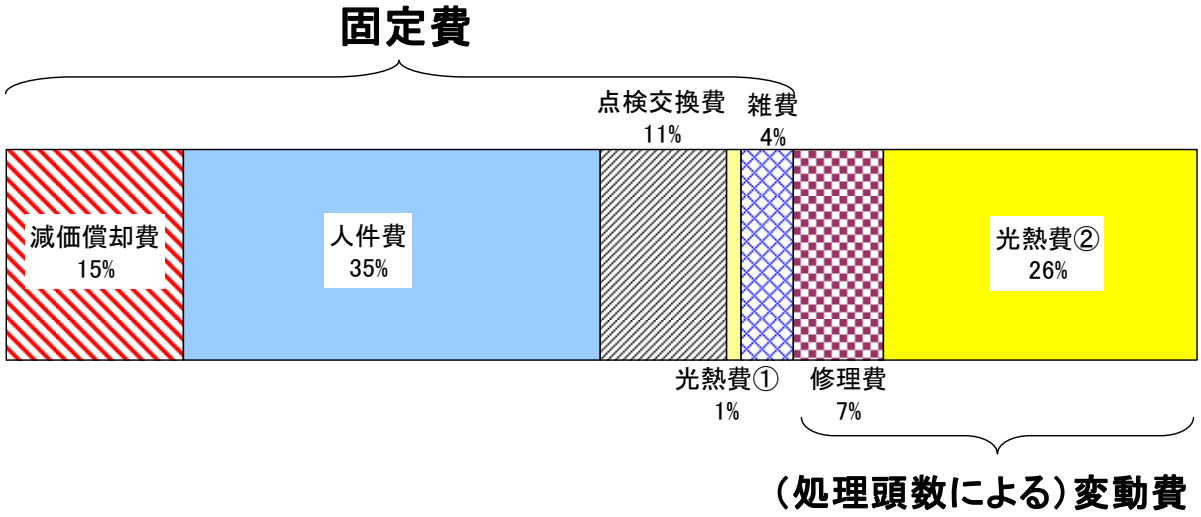


図５０　中規模個別型バイオガスシステムの年間経費の構成
（15百万円、500頭規模・経営主体の経営範囲内で全てのシステムを運営する場合）
注）図Ⅲ-3-2に同じ。

他方、収入については、まず利用農家にもたらす効果額として、酪農専業地帯で運営された別海型システムの検討の中で試算した、スラリーのみを処理対象とした場合の利用農家料金相当額 36,601 円／頭を使用した。その他に、売電料金として、現地聞き取り調査より整理した実績値 4,889 円／頭と、本来の酪農経営で畜舎等で消費する電気量の節減分 8,147 円／頭を加えた。

以上の条件で損益分岐点を試算すると、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの損益分岐点は成牛換算 260 頭（利用農家への経済余剰は成牛換算１頭当たり 19 千円）、外部委託で行った場合では 252 頭(同 16 千円)と、どちらも処理頭数内で十分採算が取れた。決して一概には判断できないものの、今回の全てのシステムの検討において、成牛換算１頭当たりの経済効果が最も高く、経済性の良いシステムであることがわかった。

（２）小規模個別型バイオガスプラント（200 頭規模）

（１）と同様に、北海道東部の酪農畑作混合地帯で稼働している小規模個別型プラントを選定し、現地聞き取り調査を実施して、その運営体制および経済性を分析した。その結果をもとに小規模個別型バイオガスシステムの経済モデルを作成した。

この小規模個別型バイオガスプラントは、成牛換算 200 頭規模、経営耕地 120ha の大規模酪農専業経営の農業法人により利用され、原料ふん尿はスラリーのみである。プラントの主な構成については、中温発酵槽（コンクリート製長方形発酵槽）が 260m^3（１槽）、消化液貯留槽（ポンプによる撹拌と汲み上げ）が 2,770m^3（１槽）、発電機 37KWH（デュアル式）となっている。2000 年に建設され、同年 11 月より稼働開始、今日に至っている。

はじめに、このプラントの建設費は１億 18 百万円（共通・タンク類は 95%補助、エネルギー施設は 50%補助）であった。施設及び機械類の構成を共同利用型プラントと同様の手順で区分して、中規模個別型プラントと比較すると、『共通施設』が大きく、『タンク類』が小さい（図５１）。規模が小さくなることにより『共通施設』の占める割合が大きくなり、『タンク類』は小さくなったことから、スケールメリットが発揮される順位は『タンク類』＜『エネルギー施設』＜『共通施設』になると考えられる。処理頭数規模を踏まえると成牛換算１頭当たりの全体の建設費は約 59 万円で、中規模個別型システムよりは 19 万円の割高となるが、共同利用型システムよりは安価である。

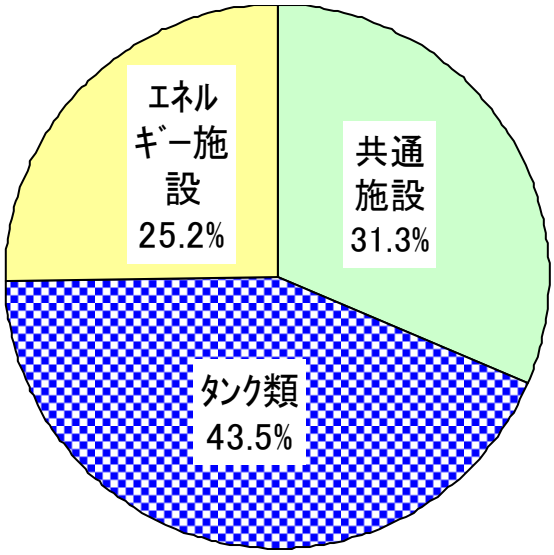


図５１　小規模個別型バイオガスプラントの建設費内訳
（118 百万円、2004 年パリティ換算値）
注）共通施設：建物、関連構築物・機械類
ﾀﾝｸ類：発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、消化液貯留槽、水中ﾎﾟﾝﾌﾟ
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設：発電機、関連機械類

次に年間経費は、中規模個別型プラント同様、現地聞き取り調査より整理した５つの費目（人件費、修理費、点検交換費、光熱費、雑費）に、建設費より算出される施設の減価償却費を加えた費用を基本として、ほ場散布費を加える構成とした。

各費目の試算方法および位置づけは、中規模個別型プラントと同様に整理した。

また、プラント運営の条件について、現状では、基本的に経営主体の農業法人が行う経営の範囲内でバイオガスシステムの全工程を運営している。今回はほ場散布を全面外部委託した場合と、全面自前で行った場合の２つについて検討した。

その結果、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの年間運営費は約 10 百万円（図５２）、ほ場散布を全て外部委託で行った場合のシステムの年間運営費も約 10 百万円となった。人件費の占める割合、また固定費の占める割合が特に大きいのが特徴である。

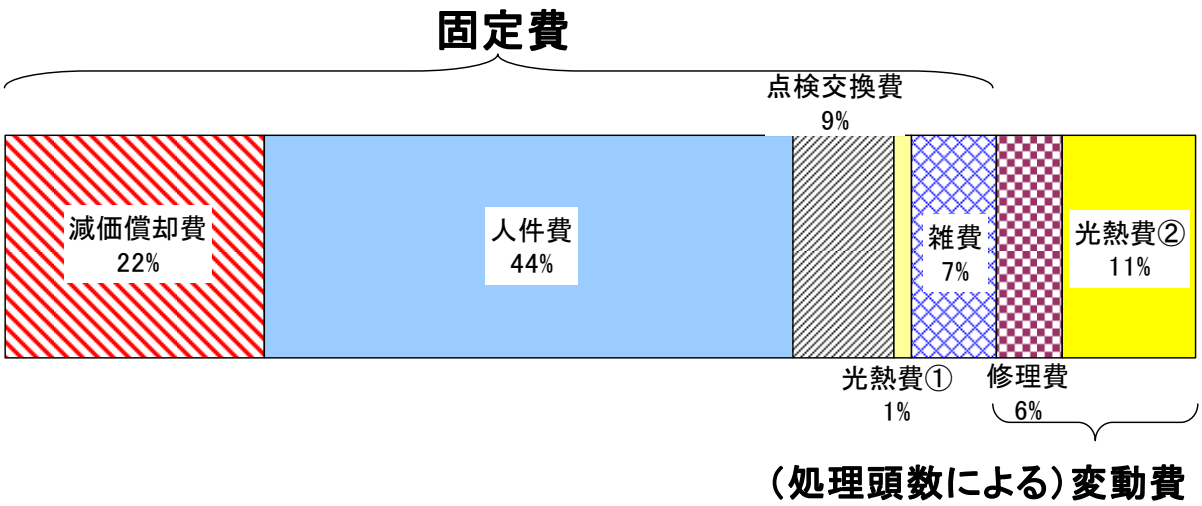


図５２　小規模個別型バイオガスシステムの年間経費の構成
（10百万円、200頭規模・経営主体の経営範囲内で全てのシステムを運営する場合）
注）図４４に同じ。

他方、収入については、利用農家にもたらす効果額として、酪農畑作混合地帯で運営された湧別型システムの検討の中で試算した、スラリーのみを処理対象とした場合の利用農家料金相当額 49,869 円／頭を使用した。その他に、本来の酪農経営で畜舎等で消費する電気量の節減分 3,600 円／頭を加えた。なお逆潮流施設は無いので、売電料金は発生しない。

以上の条件で損益分岐点を試算すると、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの損益分岐点は成牛換算 201 頭、外部委託で行った場合では 219 頭と、どちらも処理頭数をやや上回ったが、ほぼ採算の取れる範囲内にあるとみなしうる。

（３）共同利用型液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）

ここでは代表的な施設として、実際に北海道東部の酪農畑作混合地帯で稼働している共同利用型液肥・堆肥処理施設（好気性発酵：尿スラリー→ばっ気、固形ふん→切り返し）を選定し、現地聞き取り調査を実施して、その運営体制および経済性を分析した。その結果をもとに共同利用型液肥・堆肥処理施設システムの経済モデルを作成した。

この共同利用型液肥・堆肥処理施設は地元のＪＡにより設立、運営されている。施設の処理能力は成牛換算 700 頭規模で、地元の酪農家 15 戸より原料を収集し、施設で処理された後、これらの酪農家および他の畑作農家 160 戸に生成物である液肥と堆肥が還元もしくは販売されている。施設の主な構成については、液肥（ばっ気）施設が 2,700ｍ^3（約 600ｍ^3×４槽・１槽１段階として４段階の処理を経て１工程が完了する）、堆肥盤 1.8ha、自走式切り返し機、ホィールローダーおよび運搬用バキュームタンカーとなっている。1996 年に建設、稼働開始され、以降施設改善および追加的設備投資を実施して、今日に至っている。

この施設の建設費は、1996 年度の建設費および以降の年における施設改善および追加的設備投資に係った費用の合計１億 67 百万円（液肥発酵および堆肥発酵の施設分は 95％補

助、その他は 50%補助）であった。施設及び機械類の構成をバイオガスプラントと同様の手順により、『液肥発酵』関連施設、『ほ場散布』機械、そして『堆肥発酵』関連施設の３つに区分（ＪＡの経営部門の１つであることから事務処理等に利用させる『共通施設』は無い）して、スラリーと固形ふんの両方を扱った共同利用型バイオガスシステムと比較すると、『堆肥発酵』と『ほ場散布』の割合が大きいことが特徴である（図５３）。その要因については､利用農家におけるスタンチョン農家の割合の大きいこともあるが､『液肥発酵』関連施設について発酵槽（ばっ気）が経費の係らない屋外ラグーン型であることや、ばっ気関連施設・機械類が嫌気性発酵関連施設・機械類に比べシンプルかつ安価であることなどが考えられる。

成牛換算１頭当たりの全体の建設費は約 24 万円で、今回取り上げた全てのふん尿処理施設の中で、最も低い金額だった。また、原料の処理量（尿スラリー：固形ふん＝総重量で約２：１）を考慮すると、『液肥発酵』に係る建設費の方が割高になる。

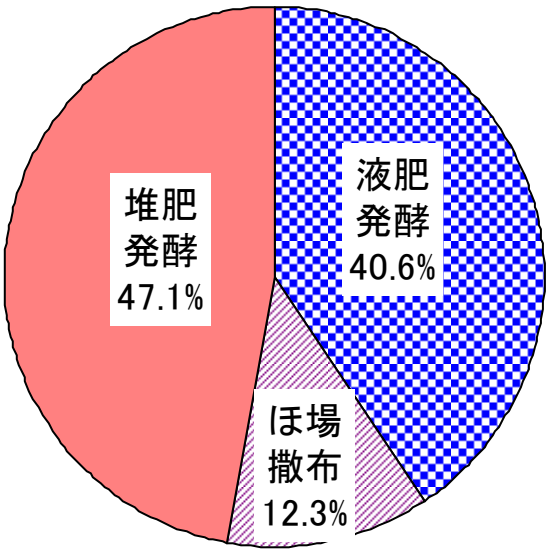


図５３　液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）の建設費内訳
（167 百万円、2004 年パリティ換算値）
注）液肥発酵：ばっ気施設（４段階）
堆肥発酵：堆肥盤、自走式切り返し機、ﾎｲｰﾙﾛｰﾀﾞｰ
ほ場散布：ﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｶｰ

次に年間経費は、バイオガスプラント同様、現地聞き取り調査より整理した５つの費目（人件費、修理費、点検交換費、光熱費、雑費）に、建設費より算出される施設の減価償却費を加えた費用を基本として、ほ場散布費を加える構成とした。

各費目の試算方法および位置づけも、バイオガスプラントと同様に整理した。

また、施設運営の条件について、現状では、基本的に経営主体のＪＡが行う経営の範囲内でふん尿処理の全工程を運営している。今回はほ場散布を全面外部委託した場合と、全面自前で行った場合の２つについて検討した。

その結果、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの年間運営費は約 25 百万円（図５４）、ほ場散布を全て外部委託で行った場合のシステムの年間運営費は約 30 百万円となった。小規模個別型バイオガスシステムと同様、固定費の占める割合が大きいものの、各費目においては３割以上を占める大きな費目が無いのが特徴である。

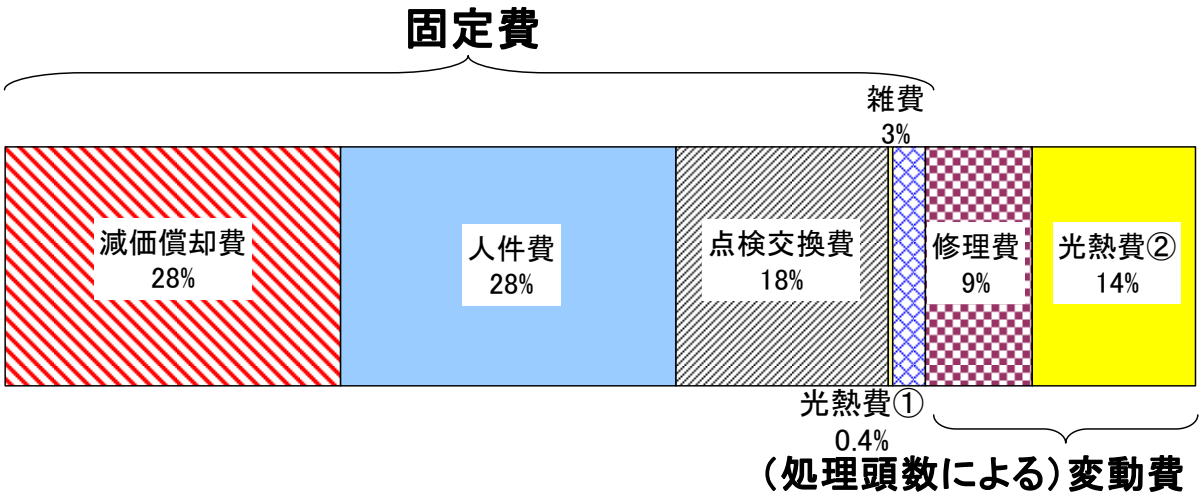


図５４　液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）利用型システムの年間経費の構成
（25百万円、700頭規模の場合）
注）図４４に同じ。

他方、収入としては、利用農家にもたらす効果額として、同規模で運営された別海型システムの検討の中で試算した、スラリーのみを処理対象とした場合の利用農家料金相当額を基本的に使用した。その中で購入肥料費節減額については好気性発酵による肥培管理を完全に行った場合について試算した 7,611 円／頭をすると、効果額は計 36,656 円／頭となった。

以上の条件で損益分岐点を試算すると、ほ場散布を全て自前で行った場合のシステムの損益分岐点は成牛換算 693 頭で、ちょうど採算が取れた。一方、外部委託で行った場合では 887 頭で採算が取れなかった。この様に、ほ場散布体制の違いで採算が取れる場合とそうでない場合に分かれるシステムであることが明らかになった。

（４）「家畜排せつ物法」に適合したふん尿処理施設を農家が個別に整備する場合

これまでのふん尿処理システムの経済性に関する分析では、個別農家で行われてきた現状のふん尿処理費用を前提にしてきた。しかし、ここで前提にしてきたふん尿処理の実態は必ずしも「家畜排せつ物法」に適合的ではなかった。そこで、家畜排せつ物法の管理基準を満たすふん尿処理施設を個別に整備した場合の経済性をこれまでと同様の手法で検討する。ここでは、別海プラントが位置する装置酪農専業地帯の農家が個別にふん尿処理施設を整備する際に一般的な①堆肥舎、②スラリーストアの２つの方式を想定する。なお、以下のふん尿処理費用の試算では、大規模共同利用型バイオガスシステムのシミュレーションで整理した利用農家でのプラント利用前の現況および実績値を使用した。

その中でふん尿処理に係る年間経費として挙げられた修理費、電気代、燃料代、（ほ場運搬）委託費および労力節減額において、移動および切り返し作業の頻度が現状の２倍になるものとして、特に作業に係る労働時間、修理費および燃料代を比例させて整理した。
これらのことから、追加的に整備するふん尿処理施設の減価償却費と、唯一発現する経済効果として購入肥料費節減額が、従来の設定より追加的に生じる費用および経済効果と

なる。

①堆肥舎（屋根付堆肥発酵舎）

スタンチョン農家が、既存の施設においてさらに追加することが求められている代表的な設備として、実際に別海プラントが位置する酪農専業地帯で普及が進められている施設である堆肥発酵施設（屋根付堆肥発酵舎(456 ㎡)）が挙げられる。なお、尿スラリーのばっ気処理は、既存の施設で行うことを前提としている。

建設費は、地元で事業制度を利用して設置された屋根付堆肥発酵舎の実例をもとに整理した。2004 年度の建設費は 11 百万円で、固形ふんを完全な肥培管理のもとで処理する場合における追加的投資として試算する根拠とした。
年間経費は、個別処理における追加的設備である屋根付堆肥発酵舎の利用のみに係る費目として、減価償却費、修理費、点検交換費、および雑費について整理した。
各費目の試算方法および位置づけも、他のシステムと同様に整理した。なお雑費については堆肥舎での切り返し作業の頻度が多くなることで、農業機械の洗浄用水量も増加することが予想される分を見込んだ。この場合の年間経費は約 287 千円となり、追加的な設備投資分として固定費が大きくなるのが特徴である。（図５５）

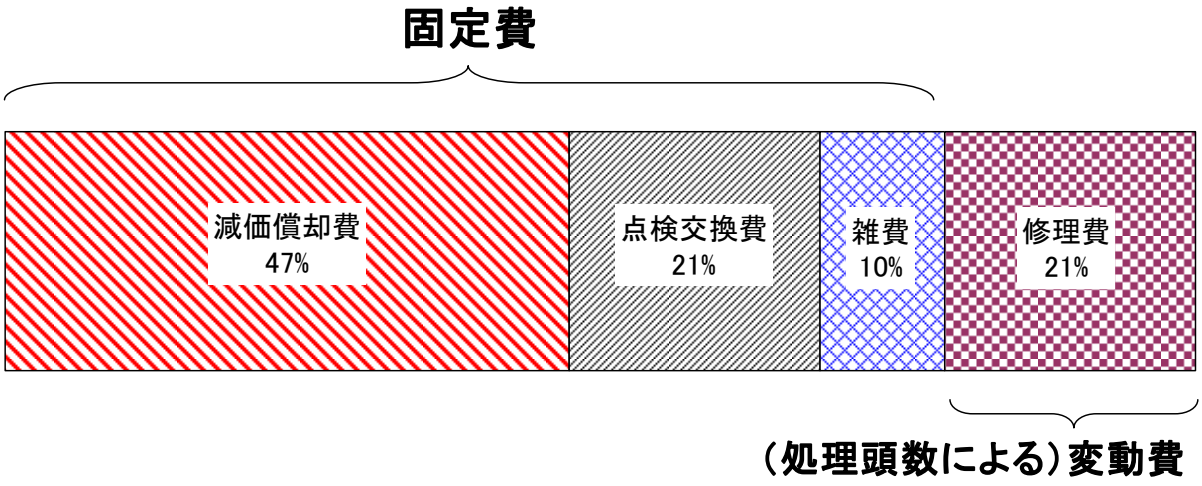


図５５　個別処理における追加設備（堆肥舎）に係る年間経費内訳
（287千円、2004年パリティ換算値）
注）図４４に同じ。

収入は、利用農家にもたらす唯一の効果額として、同規模で運営された別海型システムの検討の中で試算した購入肥料費節減額について、スタンチョン農家における尿スラリー＋固形ふんを処理対象として肥培管理を完全に行った場合の 7,611 円／頭を使用した。なお、戸当たり平均飼養頭数（成牛換算）は 2004 年の別海プラント利用農家のスタンチョン農家６戸の平均値 89 頭を代表的な指標として使用した。

結果について、経済性の検討においては、スラリー＋固形ふんを処理対象とした場合の従来システムの損益分岐点は成牛換算 33 頭で、十分採算が取れた。しかし、ふん尿処理システムを利用する場合の経費節減効果および労力節減効果を受けることができないので、その経済性を検討する上では留意する必要がある。

②スラリーストア

フリーストール農家で、既存の施設においてさらに追加することが求められている代表的な設備として、実際に別海プラントが位置する酪農専業地帯で普及が進められている施設である、液肥発酵施設（スラリーストア(1,067m^3)＋スラリーポンプ）が挙げられる。なお育成牛の固形ふんについては、既存の施設で切り返し作業を行うことを前提とする。

建設費は、堆肥舎同様、地元で事業制度を利用して設置された施設の実例をもとに整理した。2004 年度の建設費は 17 百万円で、堆肥舎より約３割高であった。
年間経費は、個別処理における追加的設備である液肥発酵施設の利用のみに係る費目として、減価償却費、修理費、点検交換費、および光熱費②（変動費）について整理した。
各費目の試算方法および位置づけも、他のシステムと同様に整理した。なお、ばっ気作業について、既存のスラリーストアでのばっ気作業分は既に前提としているが、この追加的設備については、別途使用電力量を見込む必要がある。この場合の年間経費は約 653 千円となった。追加的な設備投資分ではあるが、堆肥舎と比べて変動費が若干大きくなるのが特徴である。（図５６）

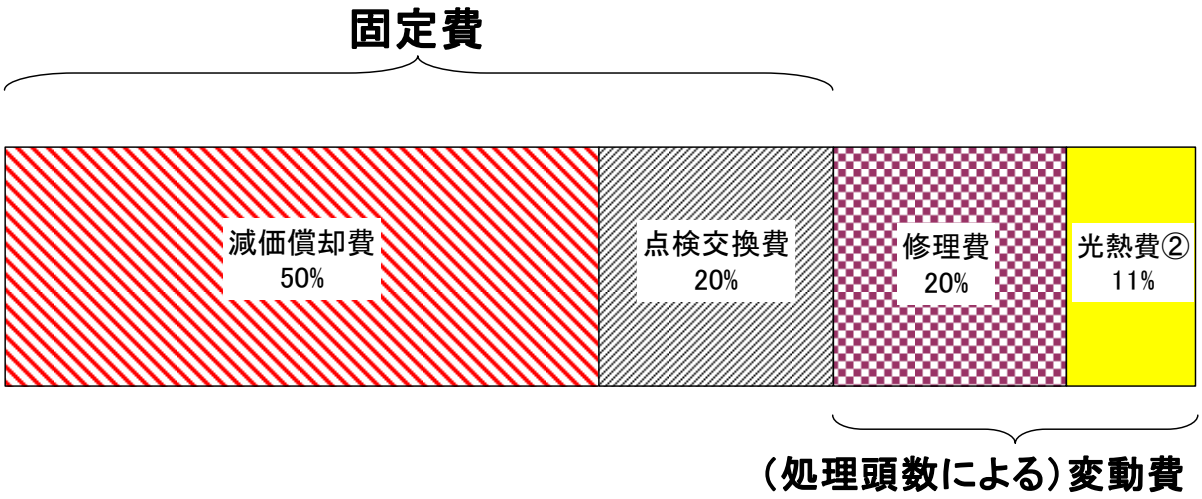


図５６　個別処理における追加設備（スラリーストア）に係る年間経費内訳
（653千円、2004年パリティ換算値）
注）図４４に同じ。

収入は、堆肥舎の試算と同様、利用農家にもたらす唯一の効果額として、同規模で運営された別海型システムの検討の中で試算した購入肥料費節減額について、スラリーのみを処理対象とした場合の 6,486 円／頭を使用した。なお、戸当たり平均飼養頭数（成牛換算）は2004年の別海プラント利用農家のフリーストール農家４戸の平均値104頭を代表的な指標として使用した。

結果について､スラリーのみを処理対象とした場合では 100 頭で採算が取れたことから、堆肥舎利用による経済性が良いように思われる。しかし、堆肥舎同様、ふん尿処理システムを利用する場合の経費節減効果および労力節減効果を受けることができず、その作業体系も大きく異なることから、経済性の判断は一概にはできない。

最後に、これまで検討した各システムの経済性について、成牛換算１頭当たりに係る収支の一覧を整理した。（表１９）

条件にかかわらず採算が取れる中規模個別型バイオガスシステムと個別処理における追加設備（好気性発酵）、採算の取れない小規模個別型バイオガスシステム（全て自前の場合）、さらに経営収支の差額が大きい小規模共同利用型バイオガスシステムの優劣は明らかである。

また、運営条件により採算が取れたり取れなかったりするシステムについて、現行の条件で採算が取れない場合でも、運営体制の改善で十分経済性が向上できるシステムを優先的に評価すると、大規模共同利用型バイオガスシステムが高く、次いで、液肥・堆肥発酵施設（好気性発酵）となる。

よって、現状で経済性に反映されうる効果のみで判断した場合、経済性のみの優位性で判断すると、中規模個別型バイオガスシステム＞個別処理における追加設備（好気性発酵）＞大規模共同利用型バイオガスシステム＞液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）＞小規模個別型バイオガスシステム＞小規模共同利用型バイオガスシステムの順になる。

ただし、バイオガスシステムには、現状では経済的に反映されないものの経営上利益を受けるその他の効果もあるので、総合的な判断はこれだけではできない。

表１９　各システムの成牛換算１頭当たりに係る収支（円／頭）

システム名	収入(円／頭)	経費(円／頭)	差	備考
大規模共同利用型バイオガス	37,071	47,114	−10,043	現行の条件
	38,958	34,569	4,389	経済性の最適条件
小規模共同利用型バイオガス	44,292	115,495	−71,202	現行の条件
	49,869	102,025	−52,156	経済性の最適条件
中規模個別型バイオガス	49,637	33,318	16,319	ほ場散布は外部委託
	49,637	30,757	18,880	全て自前
小規模個別型バイオガス	53,469	56,643	−3,174	ほ場散布は外部委託
	53,469	53,530	−61	全て自前
液肥・堆肥発酵施設（好気性発酵）	36,656	42,565	−5,909	運搬・ほ場散布は外部委託
	36,656	36,357	299	全て自前
個別処理における追加設備（好気性発酵）	7,611	3,219	4,391	尿スラリー＋固形ふん
	6,486	6,281	204	スラリーのみ

注）2004 年パリティ換算値で整理。

４．共同利用型バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件と改良湧別型バイオガスシステムの提言

３．共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーションで分析したように、その経済性はバイオガスシステムを取り巻く条件のあり方に大きく左右される。

そこで、今回の検討で取り上げたバイオガスシステムの経済モデルにおいて、バイオガスシステムの経済性に影響を及ぼす諸条件について改めて検討した。

その上で、諸条件の改善によるバイオガスシステムの経済性の向上を確認するため、ふん尿処理システムの中で最も経済性の悪かった小規模共同利用型バイオガスシステム、つまり湧別型バイオガスシステムを取り上げ、その経済性の向上および採算の取れる可能性について検討した。

そして現況では最も経済性の悪かった小規模共同利用型バイオガスシステムの普及の可能性について、その成立条件を総合的に考察して、経済的に成立可能なバイオガスシステムとして提言することとした。

１）経済性に影響を与える諸条件

バイオガスシステムの経営収支全体に影響を及ぼす処理施設の規模や構成、参加農家のふん尿処理状況、そして運搬・ほ場散布体制の条件については、ふん尿処理システムの経済性シミュレーションにおいて取り上げて検討してきたところである。

一方、それ以外の改善の可能性のある条件として、収入に関する部門では、まず副資材投入の実施、売電料金の増加、環境負荷軽減（排出権取引）の評価、地元関係機関からの補助金､そしてプラント利用農家への経済効果の増加による利用料金の上昇が挙げられる。また、支出に関する部門では、バイオガスプラントの普及・技術的進歩による建設費および運営費の低減と、地元関係機関からの各種支援（人材派遣、メンテナンス、運搬作業単価の引き下げ、等）による運営費の低減が挙げられる。これらの経済性に影響を及ぼす諸条件については、シミュレーションの中では前提条件として一定の考え方を設けて固定していた。そこで、これらの諸条件について、改善実現の可能性の有無や経済効果への影響などを検討した。

①副資材投入の実施【収入】

『副資材投入の実施』について、基本的に有機質であり、それが産業廃棄物であれば処理料金の収入が見込まれる。しかし、こうした副資材どの地域にも必ず存在するものとは限らない。さらに、たとえ存在したとしても、その発生量が恒常的かつ定量的で、かつ既存の処理施設や体制が無い限り、プラントに供給可能であるとは言い切れない。

しかし、バイオガスプラントが設置されるのは大抵の場合は酪農地域であることや、周辺地域の市街地には少なくとも社会的サービス施設（病院、学校、等）が存在することなどを踏まえると、一般的にバイオガスプラントへの供給が可能な副資材として、以下のように想定できる。まず酪農関連廃棄物では廃用牛乳、不良乳製品（牛乳・バター・チーズ・脱脂粉乳）、乳業汚泥がある。そして生活関連廃棄物では給食残食、生ゴミ、廃油（天ぷら油）、下水汚泥がある。ちなみに他の産業関連廃棄物では、漁業が存在する地域では水産加工残滓があるものの、魚類そのものの残滓は発生量に時期的変動があることや、通年で一定量を供給できるヒトデなどについては､破砕処理や重金属含量の確認の問題があり、一般的には難しい。

副資材の種類によっては発酵槽に投入する際の事前処理（破砕・融解処理）を行うための施設が必要であり、また１日当たりの投入量に比べて発生量が恒常的かつ一定的ではない場合には一時保存のための施設が必要となる。こうした場合には設備投資、維持管理および労力が新たに必要になることから、余程の処理料金が見込めない限りは、副資材を投入することで経済性の向上を見込むことはできない。

これらのことから、バイオガスシステムの経済性を向上させうる副資材として、廃用牛乳、乳業汚泥、下水汚泥、そして給食残食が選定され、現地試験等が実施された。

これらの年間発生量は、現地調査（別海町：聞き取り調査における回答分のみ）結果より、「廃用牛乳」は 11t/日（農家個別計）および 1.11ｔ/日（乳業会社)、「乳業汚泥」では 3.5t/日、「給食残食（学校・病院・老人ホーム)」では 0.32t/日であった。ちなみに別海プラントの副資材受入量は５t/日、湧別プラントで 0.67t/日であることから、これらの副資材の受け入れは容量的には可能である。

また、処理料金の単価は、同じく現地調査などから、「廃用牛乳（乳業会社)」で 10～40 千円/t、「乳業汚泥」で無償（運搬費のみ）～15 千円/ｔであった。現地でも処理体制の条件の違いなどで大きな差があり、バイオガスシステムの経済性に与える影響も異なってくる。

②売電料金【収入】

売電量については、後述するⅡ-3 の分析結果が想定され、今後のバイオガス発生量やガス発電機の性能の大きな改善が無い限り、大きな変化は無いものと考えられる。

また、売電単価については、今後の社会情勢（エネルギー政策）の変化によるところが大きいが、現行の廃棄物発電単価（平日昼 8.8～9.5 円/KWH、その他 3.8 円/KWH）から一般電力料金（約 22 円/KWH）までの間の変化に留まるものと推測される。

③CO_2排出権取引【収入】

経済運営体制部門Ｉ－２「環境会計手法を用いた共同利用型バイオガスシステムの総合評価」の成果において、別海プラントを利用したバイオガスシステムでは、現行の農家個々によるばっ気および切り返しによるふん尿処理に比べ、CO_2換算で約 350ｔの節減となることが明らかにされた。

排出権取引の普及については、今後の社会情勢（環境政策）の変化によるところが大きいが、現在の各国、特に先進国の最近の動向からは、排出権取引の導入および市場の拡大が進んでいる状況にあると考えられる。その中で最も重要な基準ともいえる単価設定においては、未だ統一的な基準が定まらず、各地で諸説が論じられている。そこで今回は環境政策の先進地であるヨーロッパの市場で実際に使用されていた 1,000 円/t(CO_2)を採用し、経済モデルのシミュレーションに用いた。

④地元関係機関からの補助【収入・支出】

地元関係機関からの助成については、本来、ふん尿処理システムの経済性シミュレーションを行う上で考えるべき性格のものではないが、前述の環境政策や廃棄物処理の公共性

との関連で、制度化などにより恒常的なメリットが与えられる可能性もある。また、既存の堆肥センターの多くが経営収支赤字に陥っている中で地元関係機関からの助成が恒常的に行われている。

助成の手段としては、補助金、地元関係機関からの人材派遣、メンテナンスなどの各種サービス、運搬委託料金の低減などが挙げられる。

また、地域における独自性や特殊性から特別に自治体などから補助を受ける場合もあるが、地域住民のコンセンサスが前提になる。

⑤農家利用料金（＝効果額）の増収【収入】

今回のシミュレーションにおける成牛換算１頭当たりの農家利用料金は、経済効果を最大に発揮した場合の相当額を想定しているので、これをさらに向上させるのは難しいことから、今回のシミュレーションで使用した成牛換算１頭当たりの農家利用料金が今後さらに高くなることは考えられない。

また、消化液の利用による作物増収効果、作業効率向上効果および悪臭減少効果など、まだ数値化されていないバイオガスシステムの効果も存在するが、経済性に反映（数値化）するのは現状では難しいと判断して、今回は取り上げなかった。

成牛換算１頭当たりの農家利用料金が同じでも、処理量が増加すれば農家利用料の合計は増加する。プラント処理量の増加の可能性については現行の中温発酵を高温発酵にすることで、発酵期間が短縮され処理量（処理頭数）が増加することが一般的に知られている。室内実験結果では、中温発酵期間が 30 日であるのに対し、高温発酵期間は 20 日と報告されている。この割合をそのままプラントに当てはめると、高温発酵で中温発酵の 1.5 倍の処理が可能となる。しかし、エネルギー収支とのバランスや地域性（積雪寒冷地といった気象条件等）などの問題があり、その経済性の検討を行うためには、実際に稼働している高温発酵プラントの運転および運営状況を調査する必要がある。

⑥バイオガスプラントの建設費および運営費の低減【支出】

建設費（減価償却費）については、別海・湧別両プラントが建設された頃と比較して、建物などは変わらないが、メタン発酵関連施設および機械類は、今後の普及および技術的進歩により相場が低減する可能性は大きいと考えられるし、今日では実際に低減した他の事例をみることができる。

他方、人件費については、設定単価を使用しているが、単価そのものの大きな変化は考えられない。

また、点検交換費は、別海・湧別両プラントとも総費用に占める割合が大きく、メタン発酵に関連する費用、固液分離・堆肥化に関連する費用、そして運搬機械に関連する費用の３つに大別される。電気工作物点検や脱硫剤交換など必然的な点検交換は不可避だが、任意の点検や清掃といったメンテナンスについては、技術の習得と機械・資材があれば管理人でも行えるようになる可能性はある。

光熱費①（固定費）としては、暖房用の灯油とガス発電機の種火用のプロパンがあるが、費用が他の費目に比べて小さく、大きく変化することはないと考えられる。

雑費（水道・通信・備品・消耗品）のなかの水道は主に原料の受入施設や運搬機械の洗浄用として、通信は電話代である。備品・消耗品については、仮に点検交換費が節減されても資材や機械が必要なことから、実績値を使用した。

修理費は、点検交換費と同様、別海・湧別両プラントとも総費用に占める割合が大きい。

こちらも技術の習得と機械・資材があれば管理人でも行えるようになる可能性はあるが、点検交換費と不可分の関係であることから（例えば、点検交換費＋修理費が０円になることは非現実なので)、十分検討する必要がある。

光熱費②（処理頭数による変動費）は、別海・湧別両プラントとも総費用に占める割合が大きいが、施設機械部門の研究成果をみる限り、エネルギー収支が今後大幅に改善されて買電量や重油の使用量が大幅に減るということは考えられないので、今回は実績値を使用した。また軽油については、運搬・ほ場散布機械の使用量として、今回は現行の利用農家で使用した場合の実績値をそのまま使用したが、利用農家やほ場とプラント間の距離や地形その他の条件により変化する可能性はある。

運搬委託料金に関わって、現行の単価は、地域の相場と比較して低めに設定されており、これ以上の低減は見込めないと考えている。

以上より、３．の経済性シミュレーションでは考察の対象としなかったが、経済性に影響を与える諸条件のなかで改善される可能性の高いものとして、「副資材投入の実施」、「CO_2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」の３つが挙げられる。（表２０）

表２０　今回の検討におけるバイオガスシステムの経済性に影響を与える条件の整理

区分	関連部門	設定条件	今回の検討
収支全体	処理施設	大規模（1,000 頭）／中規模（500 頭）／小規模（200 頭）	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		個別型／共同利用型	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		処理対象：スラリーのみ／固形ふん・尿・スラリーの全て	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		副次的利用（温室バウス利用、等）を行う／行わない	実績より、現状では行わない方がエネルギー収支で有利と判断
	利用農家	利用農家のふん尿処理施設の整備が管理基準を満たしている／いない	現況で整理→**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		利用農家のふん尿処理作業が管理基準で行われていた／いない	現況で整理→**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
	運搬体制	原料搬入をプラントが行う／利用農家が行う	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		消化液・完成堆肥の搬出をプラントが行う／利用農家が行う	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
		消化液・完成堆肥のほ場撒布をプラントが行う／利用農家が行う	**ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ対象**
収入	副資材	副資材を投入する／しない	しない→**可能性の検討**
		副資材の事前処理（破砕・融解処理、一時保存、等）を必要とする／しない	しない（現状では難しい）
	売電料金	プラントのエネルギー収支の改善により売電量が更に大きくなる／ならない	しない（本プロジェクトの研究成果より、達成は難しい）
		売電単価が上昇する／しない	しない→今後の情勢の変化

	環境負荷削減	CO_2排出権取引を前提とする／しない	しない→**可能性の検討**
	地元支援	地元関係機関から補助金を受ける／受けない	受けない→今後の情勢の変化
	研究進展	農家利用料金が更に上昇する／しない 数値化されていない効果：「作物増収」・「作業効率向上」・「悪臭減少」等	しない（現状では難しい）
支出	プラントの普及・技術的進歩	建設費が低減した／しない 「減価償却費」	しない→**可能性の検討**
		運営費が低減した／しない 「点検交換費」・「修理費」	しない→**可能性の検討**
		プラントのエネルギー収支の改善により燃料の需要量が小さくなる／ならない 「燃料費②」	しない（本プロジェクトの研究成果より、達成は難しい）
	地元支援	地元関係機関からの人材派遣やメンテナンスなどの各種サービスを受ける／受けない	受けない→今後の情勢の変化
		運搬委託料金が更に低減した／しない	しない（現状では難しい）

2）湧別型バイオガスシステムにおける経済性の改善効果

バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件の改善による効果をふん尿処理システムの中でも採算が取れず、かつ最も経済性の低かった小規模共同利用型バイオガスシステムであった湧別型バイオガスシステムを対象に、その経済性の向上および採算の取れる可能性について検討した。

湧別型バイオガスシステムは、運営体制における規模、原料、運搬・ほ場散布の条件における全ての場合において採算が取れなかった。そこで。運営体制は変えずに、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」、「CO_2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。

ここで検討対象とする湧別型バイオガスシステムとして、採算が取れないながらも経済性の良かった「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」と「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、搬出入までプラントが担うシステム」、さらに原料の条件を踏まえて、「固形ふん＋尿を処理対象とした、200 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」の３つを取り上げた。なお、規模拡大の条件については、シミュレーション結果よりスケールメリットがほとんど発揮されないことが明らかになっているので、ここでは現行の 200 頭規模のプラントを利用する場合についてのみ検討することとした。

＜バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件の検討手法＞

①はじめに、経費節減として、まずバイオガスプラント建設費（減価償却費）の削減を検討した。バイオガスプラントの建設費は、2000 年の建設当時に比べ最近では低減している

と一般的に考えられており、バイオガスプラントのメーカーもそれを認めている。その内容は、主にガス発電機をはじめとするメタン発酵関連機械類や発酵槽、消化液貯留槽といったタンク類が、国内規格物の普及や材料の改良などの要因により価格が低減していることである。そこで、北海道内において湧別プラントと同規模で、2001 年以降に建設された他のバイオガスプラントの建設費と比較検討した上で、建設費のなかの「メタン発酵」および「タンク類」の建設費が 50%低減した場合を仮定して、建設費（減価償却費）を再試算した。

②次に、経費の中で人件費、減価償却費に次いで大きな割合を占めている点検交換費の削減を検討した。試算方法としては、点検交換作業そのものの必要性は変わらないので、その作業の中で機械と資材が用意されることで管理人による対応が可能なものを削除することとした。結果、メタン発酵関連費目については、定常的な点検交換作業と浄化槽などの清掃作業は自前対応するものとした。また運搬・圃場散布関連費目については、重度の故障による修理ではなく点検や補修的要素が強い費目なので､全て自前対応するものとした。ただし点検交換費でこの様な削減を図るためには、これらに関する機械や資材等は不可欠なので、これらを含む雑費は節減できない。

③続いて、採算が取れなかった湧別型バイオガスシステムで採算を取るためには、まずシミュレーションの中で最も経済性のよかった「スラリーのみを処理対象とした、圃場散布までの運搬作業をプラントが担うシステム」での経営収支の改善が要点になると考えられる。シミュレーションでの経営収支は、経済性が最も良かったとはいえ約 845 万円の赤字であった。固定費および変動費の費目と経費をみる限り、経費の節減のみで採算を取るのはまず不可能であり、収入の増加が必要である。そこでまず副資材投入の実施することとし、酪農地帯で最も入手し易く、かつ投入前処理を必要としない廃用牛乳を対象とした。副資材の投入量は全投入量の１割とし、処理料金は地元で使用されている単価２万円/t に設定した。

これらの①～③の条件を反映させると、「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」の採算が取れることが明らかになった。（表２１：タイプ１）

④さらに、修理費の中のメタン発酵関連施設分については、これまで故障と修理を繰り返していたが、経験の蓄積により点検交換作業や自前による修理で対応できる場合を想定して、節減出来る費目とした。

①～④の条件を反映させると、「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、搬出入までプラントが担うシステム」の採算が取れることが明らかになった。（表２１：タイプ２）

⑤さらに、バイオガスプラント建設費（減価償却費）の削減において、固液分離・堆肥化施設に注目した。2004 年 11 月からの家畜排せつ物法の完全施行による堆肥化関連施設の普及により、2000 年当時と比較して、建設費が低減することも仮定できると判断した。メタン発酵関連施設での検討を踏まえた上で、建設費における「固液分離・堆肥化」の建設費が 50%低減した場合を仮定して、建設費および減価償却費を再試算した。

⑥次に、人件費のなかで、ほ場散布作業における臨時作業員を 30 日×３回／年としている

が、この作業は管理人が作業の合間に対応可能な場合には、節減できるものと仮定した。なお実際にこの節減を検討する場合には、散布対象のほ場が比較的プラント周辺に隣接していることなどの条件が必要になってくる。

⑦続いて、固液分離・堆肥化施設に係る点検交換費についても、建設費（減価償却費）の削減と同様に整理した。技術的には一般的な農業機械や運搬・ほ場散布機械と同様に完成されているものと位置づけて、重度の故障による修理以外の、点検や補修的要素が強い費目については全て自前対応するものとした。

⑧最後に、CO_2排出権取引を評価した場合を仮定した。取引単価 1,000 円/t(CO_2)より成牛換算１頭当たり 350 円の収入増と試算される。

①～⑧の条件を反映させることにより、「固形ふん＋尿を処理対象とした、200 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」の採算が取れることが明らかになった。（表２１：タイプ３）

３つのシステムとも、収入と支出の金額はおおよそ 14～15 百万円程度になり、採算が取れた。（表２１および図５７）

表２１　湧別型バイオガスシステムにおける経済性の改善
（円／年、変動費と収入は処理頭数当たり）

湧別プラント			現況型	タイプ3	タイプ2	タイプ1	経済性に影響を与える諸条件
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	プラント	外部委託	プラント	
	処理頭数規模（成牛換算）		200	200	200	200	
	原料ふん尿		固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	スラリー	スラリー	
固定費	減価償却費		3,629,168	2,887,270	2,654,923	2,654,923	
		共通＋メタン発酵	3,107,773	1,725,223	1,725,223	1,725,223	①メタン発酵関連の50%低減
		＋固液分離・堆肥化	521,394	260,697	―	―	⑤固液分離関連の50%低減
		＋運搬・ほ場撒布	―	901,350	929,700	929,700	
	人件費		4,475,900	4,475,900	4,475,900	5,375,900	
		管理人	4,475,900	4,475,900	4,475,900	4,475,900	
		運転員	0	―	―	―	
		臨時作業員	0	0	―	900,000	⑥管理人対応
	点検交換費		5,015,000	639,000	639,000	639,000	
		共通＋メタン発酵	2,838,000	639,000	639,000	639,000	②定常的点検交換と清掃は自前
		＋固液分離・堆肥化	2,177,000	0	―	―	⑦解消および自前対応
		＋運搬・ほ場撒布	―	0	0	0	②解消および自前対応
	光熱費①		500,000	145,000	145,000	145,000	
		灯油	250,000	100,000	100,000	100,000	
		プロパン	250,000	45,000	45,000	45,000	
	雑費		105,000	970,000	970,000	970,000	
		水道	45,000	60,000	60,000	60,000	
		通信	0	120,000	120,000	120,000	
		備品	60,000	790,000	790,000	790,000	
	計		13,725,068	9,117,170	8,884,823	9,784,823	
変動費	修理費		7,235	1,765	135	5,740	
		共通＋メタン発酵	1,121,000	0	0	1,121,000	④解消および自前対応
		＋固液分離・堆肥化	326,000	326,000	―	―	
		＋運搬・ほ場撒布	―	27,000	27,000	27,000	
	光熱費②		24,630	21,000	17,388	18,638	
		重油	1,476,000	1,650,000	1,501,500	1,501,500	
		軽油	1,650,000	750,000	500,000	750,000	
		電気	1,800,000	1,800,000	1,476,000	1,476,000	
	運搬委託料金		15,004	0	10,481	0	
		搬入のみ	790,000	―	―	―	
		一時置場への搬出まで	―	―	―	―	
		ほ場撒布	2,210,849	―	2,096,268	―	
	計		46,869	22,765	28,004	24,378	
	（全体計）		9,373,849	4,553,000	5,600,768	4,875,500	
収入	利用農家料金	（1頭当たり換算）	44,292	44,292	49,869	49,869	
		購入肥料節減額	6,876	6,876	5,131	5,131	
		労力節減効果額	5,615	5,615	5,615	5,615	
		減価償却費節減効果額	23,811	23,811	31,133	31,133	
		直接費節減効果額	7,990	7,990	7,990	7,990	
	売電料金	（1頭当たり換算）	―	―	―	―	
	副資材処理料金	（1頭当たり換算）	―	24,000	24,000	24,000	③20,000円/tを使用
	排出権取引	（1頭当たり換算）	―	350	―	―	⑧350円/頭（CO_2換算）を使用
	計		44,292	68,642	73,869	73,869	
損益分岐点（成牛換算頭数）			―	199	194	198	
収入合計			8,858,418	13,728,418	14,773,781	14,773,781	
費用合計			23,098,916	13,670,170	14,485,591	14,660,323	
経営収支			−14,240,498	58,248	288,189	113,457	
採算が取れるための必要条件			（採算取れず）	①～⑧	①～④	①～③	

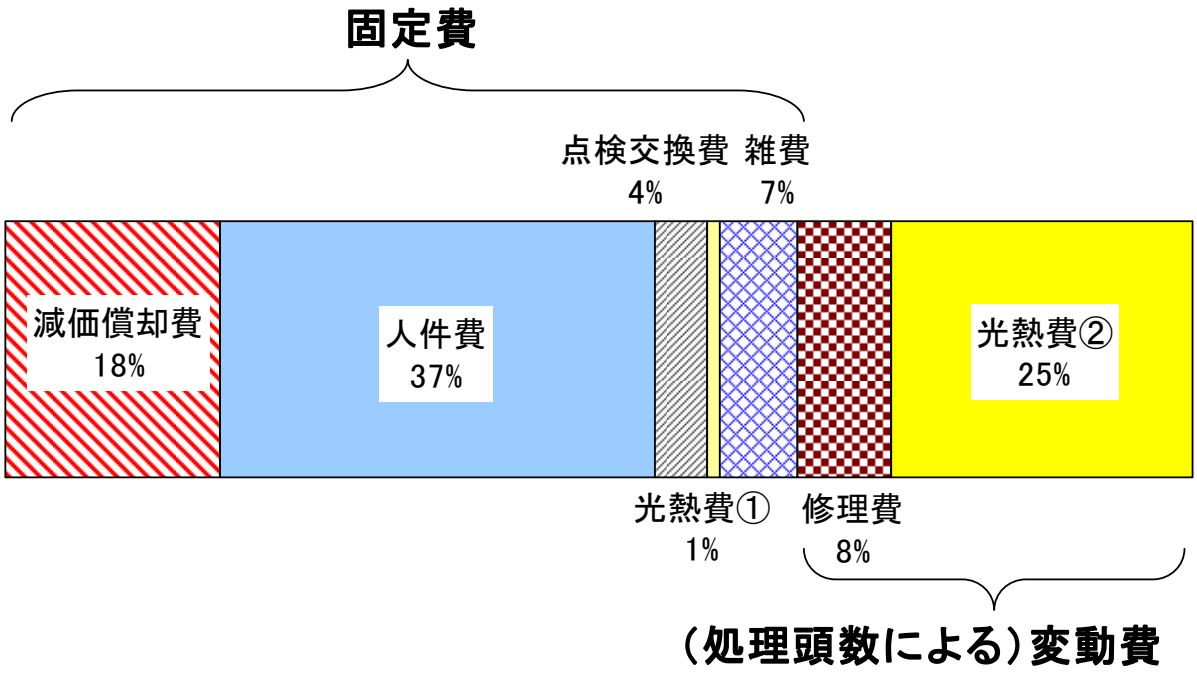


図５７　湧別型バイオガスシステムの年間経費（15 百万円）の構成
（タイプ１：スラリーのみを処理対象とする、湧別プラント 200 頭規模の、ほ場散布までプラントが担うシステムで、経済性に係る諸条件が改善されて採算が取れた場合）

現況の湧別型バイオガスシステムの年間経費の構成（図４８）と比較すると、人件費と光熱費②（変動費）は大きく変化しないことと、点検交換費の低減が図られていることが特徴として挙げられる。

湧別型バイオガスシステムの経済性は、可能性の高い諸条件の改善を踏まえた場合でも、「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、ほ場散布までプラントが担うシステム」＞「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、搬出入までプラントが担うシステム」＞「固形ふん＋尿を処理対象とした、200 頭処理規模の、ほ場散布までプラントが担うシステム」の順になった。

以上より、湧別型バイオガスシステムの経済性は、①～④の条件の改善が実現すれば、採算が取れるようになると考えられる。

6　要約

家畜ふん尿をメタンガス発酵により処理するとともに、エネルギーを生産するバイオガスプラントを利用するシステムは､今後北海道で期待されるふん尿処理方式の 1 つである。しかし、このプラントを農家個別で設置しても酪農経営における労働過重状況の改善には結びつかず、なかでも散布作業に関わるふん尿処理問題の解決にはならない。そこで、複数農家による共同利用型のバイオガスプラントを設置することにより、ふん尿の処理と利用に関わる問題を同時に解決しうるシステムの確立が望まれている。

しかし､共同利用型バイオガスシステムは建設費が高いことや､運搬作業が必要なこと、プラント管理人の人件費がかかること、そしてプラントが利用農家から離れている場合などでは発電した電力を畜舎等に自家利用できないことなどのデメリットもある。

そこで、共同利用型バイオガスプラントを利用したふん尿処理システムの確立を目指して、資源循環プロジェクトの実証試験施設として別海町および湧別町に建設、運営された共同利用型バイオガスプラントを利用したふん尿処理システムの運転経過、運営状況、そして利用農家への経営的効果などの実績値に基づき、積雪寒冷地の酪農地帯におけるバイオガスシステムの経済性を明らかにし、バイオガスプラントが運営主体となって実用運転を行う場合の成立条件を、他のふん尿処理システムの事例と比較検討し、経済的に成立可能で今後普及しうる共同利用型バイオガスシステムを提案した。

研究結果は次のように整理される。

１．バイオガスプラント利用予定農家におけるふん尿処理の実態

バイオガスシステムを導入、利用するにあたり、利用予定農家のプラント利用後における経営効果の発現を、利用前の経営状況を踏まえて試算して、事前評価額とした。

利用予定農家のふん尿処理実態からみた、バイオガスシステム利用料金としての支払い可能額（＝経費節減額）として算出されうる費目として、ふん尿処理関連施設・機械の減価償却費と修理費、ふん尿処理作業関連の電気代・燃料代と労働経費、そして運搬・圃場散布に係る委託費が挙げられる。

その結果、成牛換算 1 頭あたりの年間事前評価額（バイオガスシステム利用料金としての支払い可能額）は、別海フリーストール農家（4 戸）16.0 千円、別海スタンチョン農家（7 戸）15.5 千円、湧別スタンチョン農家（5 戸）23.1 千円と試算された。

２．実証プラントの運営実態と酪農経営に及ぼす効果

資源循環プロジェクトにおける、2000 年度の別海および湧別プラント建設および 2001～2004 年度の試験研究期間のそれぞれのプラント運営実態とプラント利用農家に及ぼす効果について、調査結果をもとに整理、検討した。

別海プラントの建設費は、建設した年の費用に加えて、以降の施設改善を目的とした整備費まで含めた、実用運転に必要な施設の建設費は 11 億 34 百万円、総合耐用年数は 13.1 年、減価償却費は 86 百万円/年と算出された。運営費は、2001～2004 年度の別海プラントの運転実績から、建設費と同様に、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た総額は 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。

原料（ふん・尿・スラリー）搬入量におけるスラリー＋尿の割合は 68%、生成物（堆肥・消化液）搬出量における消化液の割合は 92%であり、全体的に液肥処理としての性格が強く、搬出量計／搬入量計は 81%である。

利用農家におけるプラント利用前後の有機質肥料（堆肥＋液肥）の総延べ散布面積は 1.2 倍に増加した中で、液肥の散布面積が約２倍に増えたのに対し、堆肥は約３割に減少した。また化学肥料は傾向的な変化は見られなかった。

一方、湧別プラントについても、別海プラントと同様に整理すると、まずプラント建設費は４億 6 百万円、総合耐用年数は 13.6 年、減価償却費は 30 百万円/年と算出され、運営費は、2001 年度は約 10 百万円、2002 年度は約 14 百万円、2003 年度は約 18 百万円、そして 2004 年度は約 17 百万円であった。

原料搬入量における固形ふんの割合は 83%に対し、生成搬出量における堆肥の割合は 26%であり、利用農家は全戸ともスタンチョン農家であることから相対的に固形ふん尿処理としての性格が強いものの、供給物は液肥が中心になり、搬出量計／搬入量計は 93%である。

３．共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーション

これまでの両プラントの運転実績や研究成果などを踏まえて、それぞれの共同利用型バイオガスシステムの経済モデルを作成して、経済性シミュレーションを行うとともに、その他のふん尿処理システム（個別型バイオガスシステム、好気性発酵施設、等）と比較して、その経済性と普及の可能性について検討した。

経済モデルの年間経費の費目として、建設費から助成を踏まえて算出された減価償却費、人件費、点検交換費、修理費、光熱費①（固定費：灯油・プロパン)、光熱費②（変動費：重油・軽油・灯油)、雑費そして運搬費を整理した。現行の別海プラント利用体制における年間経費は約 47 百万円になる。

また、利用料金をプラント利用農家における経済効果（労力節減、化学肥料節減、減価償却費節減、直接費節減）として試算すると、別海型システムの場合には成牛換算 1 頭あたり固形ふん＋スラリー処理する場合で 35,921 円、スラリーのみ処理する場合で 36,601 円になり、現行の体制では採算が取れないことが明らかになった。

処理頭数規模、原料ふん尿および運搬体制に関する条件の違いに基づく、共同利用型バイオガスシステムの経済性シミュレーションの結果、農家からの利用料金と売電収入のみで採算がとれるシステムとして、スラリーのみを処理対象として圃場散布までプラントが担う 1,000 頭規模の経済効率の高いシステムが析出され、固形ふんとスラリーを処理対象として圃場散布までプラントが担う 2,000 頭規模の立地条件の広いシステムも経済性が高かった。

なお、湧別型バイオガスシステムの経済性シミュレーションを別海型システムと同様に行った結果、採算がとれるシステムは無かった。

さらにその他のふん尿処理システムとして、中規模個別型バイオガスシステム、小規模個別型バイオガスシステム、共同利用型液肥・堆肥発酵施設（好気性発酵）システム、そして「家畜排せつ物法」に適合したふん尿処理施設を農家が個別に整備する場合についてそれぞれの経済性を検討した。その結果、中規模個別型バイオガスシステムの経済性が最も良かった。

４．共同利用型バイオガスシステムの経済性に影響を与える諸条件と改良湧別型バイオガスシステムの提言

バイオガスシステムの経済性に影響を及ぼす諸条件として、収入に関しては副資材投入の実施、売電料金の増加、環境負荷軽減（CO_2排出権取引）の評価、地元関係機関からの補助金、プラント利用農家への経済効果の増加による利用料金の向上が、支出に関してはプラントの普及・技術的進歩による建設費および運営費の低減と、地元関係機関からの各種支援（人材派遣、メンテナンス、運搬作業単価の引き下げ、等）による運営費の低減などがあり、これらのなかで実現の可能性の高い条件として、「副資材処理の導入」、「排出権取引の導入」そして「バイオガスプラント建設費および運営費の削減」の３つが挙げられた。

ふん尿処理システムの中で最も経済性の低かった小規模共同利用型（湧別型）バイオガスシステムを対象に、これら３つの条件の改善による経済性の向上および採算の取れる可能性について検討した。その結果、「スラリーのみを処理対象とした、200 頭処理規模の、圃場散布までプラントが担うシステム」が採算の取れる最も経済性の良いシステムとなった。

以上の研究結果と考察より、経済性が高く普及しうる共同利用型バイオガスシステムとして、次の２つのタイプが提言できる。

【タイプ１】

「スラリーのみを処理対象とする、1,000 頭規模で圃場散布までプラントが担う共同利用型システム」

利用料金と売電収入で採算がとれる経済効率の高い共同利用型バイオガスシステムである。スラリーのみを処理対象とすることから、固液分離および堆肥化作業が不要になるなど､プラント施設がスリム化されるとともに､全体の作業量も少なくなり効率的である。

ただし、ふん尿をスラリー処理する酪農家の割合は決して大きくはない（現在の北海道におけるスタンチョン農家とフリーストール農家の比率は約８：２）ので、このシステムはスラリー排出農家の多い地域を選んで立地することが求められる。

【タイプ２】

「スラリーと固形ふんを処理対象とする、2,000 頭規模で、圃場散布までプラントが担う共同利用型システム」

スラリーと固形ふんを処理対象とする共同利用型バイオガスシステムは、立地条件をより広い範囲で満たすことができ、かつ 2,000 頭規模のスケールメリットを発揮することができる。

ただし、圃場散布においては消化液貯留施設１カ所から散布できる農地面積には自ずから限界があることや、利用農家戸数が多くなるほど、バイオガスシステムの運営体制に対する合意形成や散布計画の策定等が難しくなることも予想される。

7　残された課題とその対応

資源循環プロジェクト試験研究期間内で研究しきれなかった、残された課題について整理すると、「現プラントの今後の追跡調査」をはじめ、「今後の経済性に影響を与える諸条件の変化に伴うシステムの経済評価」、そして「新たな経済効果としての評価」の３つに区分される。

また、プロジェクトにおける直接の対象ではないものの、その他の型式の（もしくは技術的改善が達成された）バイオガスプラントおよび関連施設・機械類を使用した場合のシステムについても、実用運営における実績値の把握もしくは実証試験の実施により、シミュレーションによる経済評価を行い、今回の成果と比較検討したいと考えている。

2005 年度以降の調査研究については、地元との共同研究等により、稼働を継続するプラントの追跡調査を中心に研究を継続する予定である。

＜１．現プラントの今後の追跡調査＞

①副資材処理状況
②耐用年数経過までの運営費（各費目別）の動向
③試験研究期間終了後の、実用運転における運営・運搬体制の変化の影響
④高温発酵の実施等、処理条件の違いによる、システムの経済評価

＜２．今後の経済性に影響を与える諸条件の変化に伴うシステムの経済評価＞

①普及推進によるバイオガスプラント関連の相場の低減
②制御技術の進歩によるバイオガスプラント関連の相場の低減
③管理および修理技術の進歩および普及によるバイオガスプラント関連の相場の低減
④社会制度の整備によるバイオガスプラント関連の相場の低減

＜３．新たな経済効果としての評価＞

①長期的な研究を経て試算が可能な経済効果
ａ．消化液施用による作物増収
ｂ．粘性の低い消化液利用による作業効率化
②数値評価が出来ない効果
ａ．悪臭減少
ｂ．作業や生活の快適さ

今後、普及とともに研究および社会的評価が進むことで、経済効果は更に向上する可能性が高く、バイオガスシステムは一層社会に推進されるものと考えられる。

［参考文献］

［１］小野学・鵜川洋樹(2002):「北海道酪農における集中型バイオガスシステム導入経営の事前評価」,『農業経営研究』, 40(1), pp.57～62

［２］小野学・鵜川洋樹(2004):「集中型バイオガスシステムの経済性と成立条件」,『農業経営研究』, 42(1), pp.79～84

［３］小野学・鵜川洋樹(2003):「畑地型酪農経営における分散型バイオガスシステム利用の経営的効果」,『農業経営研究』, 41(2), pp.98～103

［４］鵜川洋樹・小野学(2003):「草地型酪農地帯における集中型バイオガスシステムの経済性」『酪農におけるバイオガス利用システム導入の経営経済的評価に関する研究』平成 14 年度ノーステック財団研究開発助成事業補助金研究成果報告書, pp.13-22.

［５］(社) 北海道農業改良普及協会(1999):『家畜糞尿処理・利用の手引き』, p.4

［６］北海道開発土木研究所(2001):「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト・パンフレット」, 別海資源循環試験施設概要表.

［７］農林水産省構造改善局計画部(1997):『解説 土地改良の経済効果』, pp.32-40.

［８］(社) 中央畜産会・(社) 日本畜産施設機械協会(1995):『酪農ふん尿処理システム技術マニュアル』, pp.68-77.

［９］農業総合研究所(2000):「デンマークのバイオガスプラント」,『有機性資源プロジェクト研究資料№1』, pp.41-44.

［10］(財) 農政調査委員会(1999):「欧米畜産営農環境政策調査研究事業」,『平成 10 年度新農政推進等調査研究事業報告書』, pp.58-63.

［11］秦隆夫(1996):「家畜ふん尿処理・利用における経営的評価」,『北農』, 63(4), pp.50-53.

１ 課題名

２　環境会計手法を用いた集中型バイオガスプラントシステムの総合評価

２ 担当場所研究科室名：北海道立根釧農業試験場　研究部経営科

３ はじめに

適切なふん尿処理は、酪農業にとって重要な課題である。2004 年 11 月には家畜排せつ物処理法の猶予期間が解け、酪農家はこれまで以上に自然環境に配慮した適切な処理を義務付けられている。

バイオガスプラントを利用したふん尿処理技術は、嫌気発酵させたふん尿から CH_4（メタン）を捕集しエネルギーを生産する特徴があり、高い温暖化負荷を持つ CH_4 を放出しないことから温暖化防止に有効な技術と言われている。また、他の物質による環境汚染と比較すると、地球温暖化ガスの発生による影響は最も広範囲にわたって漸進的に広がるものである。世界的に見ても、地球の温暖化対策は環境税や CO_2 排出量取引などの経済的な誘導や、直接的な排出量規制など、負荷削減への対策が一番進んでいる分野でもある。

これらの技術を環境的な見地から評価するためには、評価対象の一連の生産過程全てにわたる総合的な分析と、異なる技術間での比較をするための数値による負荷定量化が必要である。

そこで本試験ではまず環境評価の手法として、環境会計手法の一つである LCA（Life Cycle Assessment）を提示する。これを用いて、別海にある大規模共同利用型バイオガスプラントを事例として、ふん尿処理の一連の過程が環境に与える負荷の分析評価を行なうとともに、発生部位別に見た別海バイオガスプラントの環境に与える影響と負荷削減の余地について考察を加える。

さらに、大規模共同利用型バイオガスプラントのモデルを構築するとともに、比較モデルとして従来より行なわれているふん尿処理を想定し、LCA を用いて発生負荷のシミュレーションを行なう。最後に施設建設時における負荷も考慮に入れつつ、これらの数値の比較を行ない、温暖化負荷削減に効率的な大規模共同利用型プラントの条件と、それによる効果を定量的に把握する。

４ 調査・試験方法

大規模共同利用型メタン発酵ふん尿処理の環境に与える影響を評価するため、別海バイオガスプラントを研究対象として調査を行った。

まず、バイオガスプラントシステム参加農家のふん尿処理体制を調査よりモデル化し、LCA を用いて以下の３つの例について温暖化負荷定量分析を行なった。

・別海大規模共同利用型バイオガスプラントの LCA
・大規模共同利用型バイオガスプラントモデルの構築と LCA
・従来型スラリー処理モデルの構築と LCA

これらのモデルの分析結果を考察し、大規模共同利用型バイオガスプラントによる温暖化負荷削減の可能性を評価した。

5 調査結果（及び考察）

1．ふん尿処理の環境に対する影響の定量化

本章では、本研究の分析手法である LCA についての概要を説明するとともに、別海バイオガスプラントへの適用事例を示す。

1）LCA による環境評価分析手法

（1）LCA の概要

LCA とは、ISO が認定する環境評価分析手法である。この分析の特徴は、評価対象の放出する環境負荷を、国際規格化された基準に基づいて製品の一連のライフサイクルの中で積み重ねて定量分析できることにある。

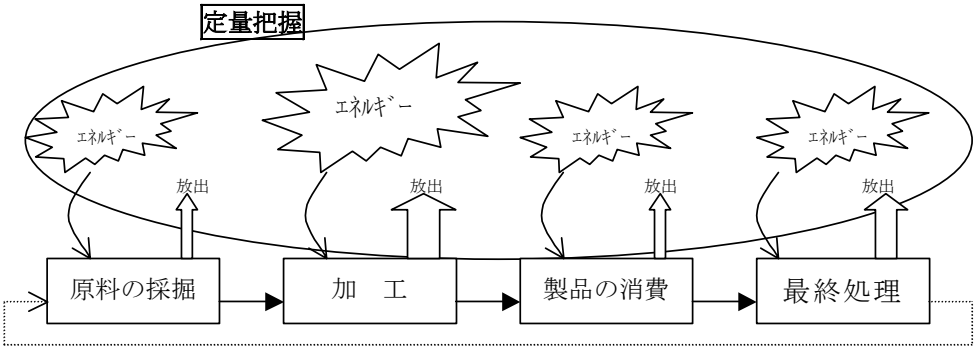


図1　LCA の捉え方

図１は LCA での環境負荷の捉え方を示している。既存の環境評価は評価対象の生産や消費のみを捉えたものが多く、プロブレム・シフティング（負荷の転嫁）を考慮することができなかった。例えばある新製品について考えてみると、その製品を消費する際には従来よりも負荷の発生が少ないが、廃棄時にその減少分を上回る負荷が発生する場合、この問題は評価の範囲の外であった。LCA ではそのような弊害を防ぐため、製品の全過程について細かく評価をすることで範囲の問題をカバーすることができる。また、定量化をすることで比較や減少率の測定が可能となることから、より実用的な環境評価として位置づけられる。

（2）LCA の手順

国際規格 ISO14040 シリーズに基づく LCA では、評価実行者の恣意を排除した客観的評価の遂行のために、目的と範囲の設定、ライフサイクルインベントリ分析、ライフサイクル影響評価、ライフサイクル解釈と 4 段階の作業を経ることが求められている。以下、順を追って作業内容を説明する。

①　目的と範囲の設定

分析の前段階として、評価を実施する目的と評価対象、評価する環境影響項目（温暖化、水質富栄養化、酸性化など、またはそれらの複数）を決める。そして、詳細な実態調査を行ない評価対象のライフサイクルフローを作成する。ライフサイクルフローとは、評価対象が生産されてから廃棄されるまでの過程と、そこで投入されたエネルギーや発生した環境負荷をフローとしたものである。これによって分析の範囲を設定し、どのようなデータを収集するのかを特

定する。

②ライフサイクルインベントリ分析（LCI）

LCI では、作成したライフサイクルフローに従って、環境負荷物質の各発生過程でその発生シナリオをたて、収集したデータから発生量を算定する。採用した計算方法と使用した原単位は明示されることが求められる。そして全過程での発生量を積み上げた表（インベントリ）を作成する。この時、排出量が総排出量と比較して著しく小さく、総体に影響を与え得ない程度（概ね１％未満）の過程については、これを省略（カットオフ）して計算の煩雑化・肥大化を防ぐ。

③ライフサイクル影響評価

インベントリに記載される値は種類別の環境負荷物質の発生総量であることから、数値は複数存在する。そのため、そのままでは影響の度合いの判断が難しく、また異なった技術の評価や、同一技術内の異なった過程間での比較もしづらい。そこで、自然科学の分野で設定された特性化係数を用いて、複数の負荷物質量それぞれを代表的な負荷物質に換算した値を計算し、それを合計する（図２）。この合計値をインパクトと呼ぶ。

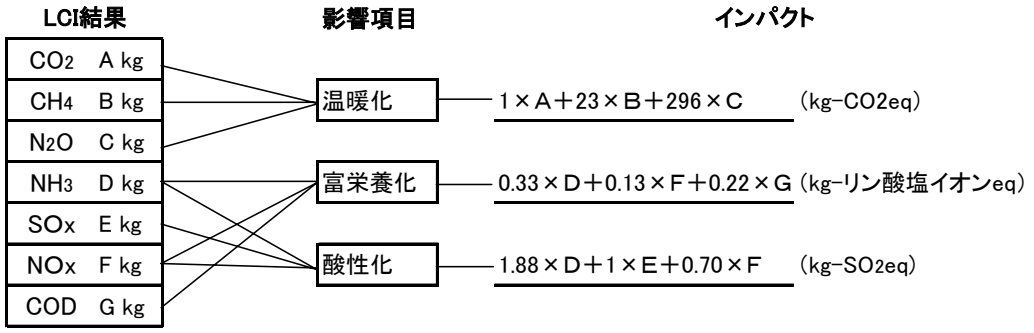


図２　ライフサイクル影響評価の仕組み

④ライフサイクル解釈

精度を確認するためのチェックを行なった後、得られたデータを基に技術内の評価や技術間の評価を行ない、結論や提言を導き出す。

LCA による評価手法や LCA 的な考え方は、工業製品の製造や廃棄物処理などの分野において包括的な環境評価として浸透してきており、近年は農業の分野においても導入の準備がされている。

２）別海大規模共同利用型バイオガスプラントの温暖化の影響を対象とした LCA

（１）別海バイオガスプラントの運営体制と参加農家

別海バイオガスプラントは別海町中西別地区にある 10 戸の酪農専業農家の共同によるふん尿処理施設である。ここでは経営内で発生したふん尿をプラントに搬入、メタン発酵して得られるバイオガスの燃焼によって熱や電力などのエネルギーを生産し、処理後の消化液を草地散布して還元する仕組みをとっている（図３）。

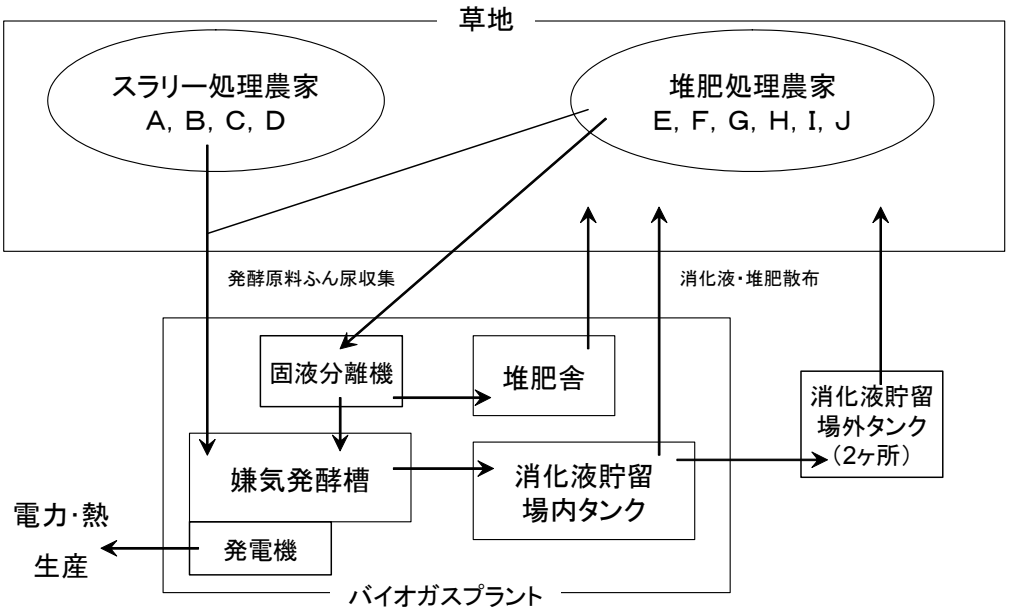


図３　別海大規模共同利用型バイオガスプラントの機能

ふん尿の搬入は、その性状によって異なる形態をとる。主にフリーストール（ＦＳ）農家で採用される、スラリー処理から出るスラリー等の水分含有率の高いものは、一時的に農家に設置した小規模地下ピットに貯留しておく。それらは、プラント職員がプラント所有のアームロール車に付属のバキュームタンクを搭載させて週２～３回のペースで収集する。一方、主にタイストール（ＴＳ）農家が採用する堆肥処理から発生するふんなど水分含有率の低いものについては、農家にコンテナを置いておき、日常はそこに投入してもらう。そして、コンテナ内容量が一定に達した時に、プラント職員がアームロールでコンテナごと交換する仕組みをとっている。

プラント内での作業は、全て常駐する２人のプラント職員が行なっている。職員は、搬入されたふん尿の移動、発酵管理、機械の点検、固液分離、堆肥の製造、発酵後消化液の一部場外タンクへの搬出等の日常業務を担う。この時、作業で使用される電力は、プラントで発電されたものを補完することで、商用電力の購入量を抑えている。その上で余剰となった電力は、北海道電力へ販売することで収入を得ている。

プラントからの搬出作業は、圃場への散布作業とほぼ一体化しており、これらは一部を除いて農家自身の手によって行なわれる。自己所有のスラリースプレッダー、マニュアスプレッダーで、プラントか若しくはプラントから距離がある農家のための中継地点の役割を果たす２ヶ所の場外タンクまで行き、そこで積載した消化液・堆肥を圃場まで運搬し、散布している。

表１はこのプラントに参加している農家の経営概要を示したものである。飼養形態はＦＳが3戸、 ＴＳ7戸となっているが、ＴＳ農家のうち１戸がスラリー処理を採用している。

表1 参加農家の飼養概況

農家記号		A	B	C	D	E
飼養形態		FS	FS	FS	TS	TS
従来ふん尿処理		スラリー	スラリー	スラリー	スラリー	堆肥
経営耕地面積	(ha)	68	80	58.9	46	48
搾乳牛	(頭)	64	107	60	51	68
乾乳牛	(頭)	5	4	10	4	0
育成牛	(頭)	35	70	34	35	40
敷料		麦稈	牧草、おがくず	麦稈	麦稈	牧草
プラント距離	(km)	4.5	1.2	1.4	2.2	0.5
農家記号		F	G	H	I	J
飼養形態		TS	TS	TS	TS	TS
従来ふん尿処理		堆肥	堆肥	堆肥	堆肥	堆肥
経営耕地面積	(ha)	58	38	75	72	51
搾乳牛	(頭)	77	46	74	62	43
乾乳牛	(頭)	0	4	3	11	3
育成牛	(頭)	43	37	47	43	22
敷料			麦稈	おがくず	稲わら	牧草、麦稈
プラント距離	(km)	3.7	2.5	2.0	1.3	1.7

（２）範囲の設定

本分析による対象期間は、2003 年 9 月から 2004 年 8 月までの 1 年間に設定する。分析項目は温暖化のみに限定し、発生量を算定する温暖化ガスを CO_2（二酸化炭素）、CH_4(メタン)、N_2O（亜酸化窒素）の３種類にした。図４は実態調査を基に作成した別海バイオガスプラントのライフサイクルフローである。

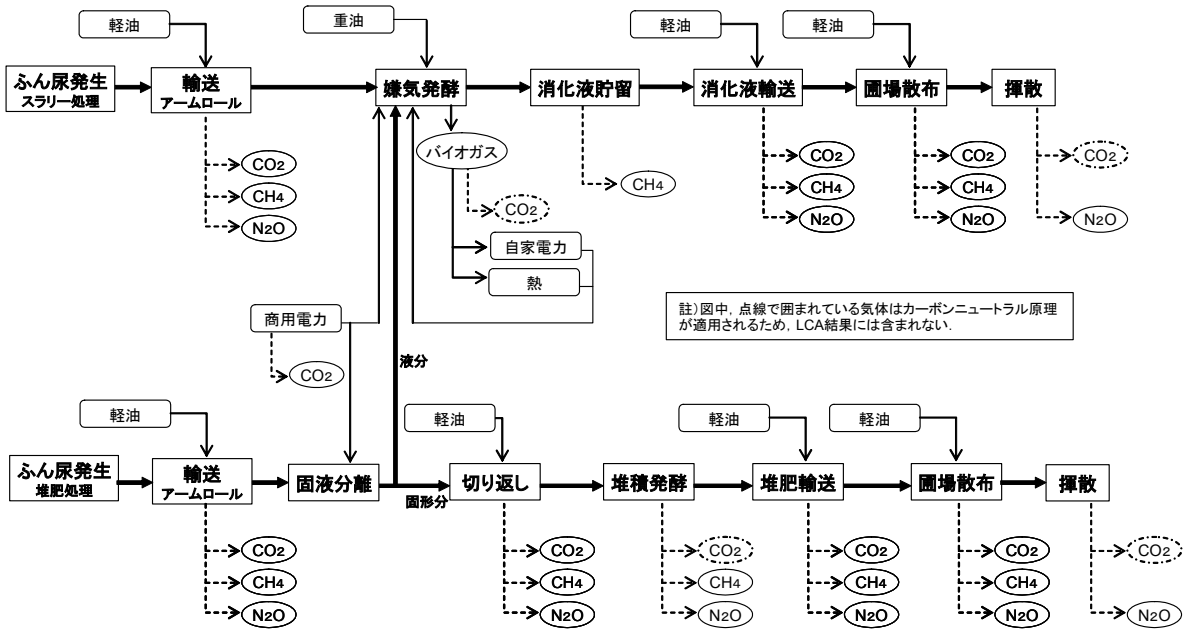


図４　別海バイオガスプラントのライフサイクルフロー

評価範囲は図４内のふん尿処理過程とした。この図より、農家でのふん尿処理形態はプラント内での処理過程を大きく支配していると読み取れる。スラリー処理農家では、ふん尿はスラ

リーの状態のみで発生し一括処理されるのに対し、堆肥処理農家では、ワラ入りふんと尿だめ液が分離されてそれぞれ個別に処理される。このため、バイオガスプラントにおける処理過程にも違いが生じ、堆肥処理農家のふん尿の処理には、嫌気発酵を経ない部分が存在することがわかる。

別海大規模共同利用型バイオガスプラントによるふん尿処理での主な温暖化ガスの発生源は、大きく以下の３種類に分類される。１つは、車両等の動力源や熱源としての化石燃料の燃焼、２つ目に、商用電力の使用時、その電力の生産のための化石燃料燃焼、そして最後に、発酵や揮散などといった形でのふん尿そのものからの発生である。さらに分解すると、温暖化負荷発生過程は、①ふん尿をプラントに搬入する機材の燃料燃焼、②プラントが使用する商用電力の生産、③プラントが使用する重油の燃焼、④プラント内作業用機器の燃料燃焼、⑤固液分離後固形分の堆積発酵、⑥消化液の貯留時揮散、⑦消化液・堆肥を搬出する機材の燃料燃焼、⑧消化液・堆肥を散布する機材の燃料燃焼、⑨散布後圃場の消化液・堆肥からの揮散の９つに分類することができる。ここで、ふん尿の嫌気発酵で発生したバイオガスを燃焼した際に出る CO_2 と、堆積発酵時や散布後に発生する CO_2 については、化石燃料を除くバイオマス由来の CO_2 が、植物体の成長による CO_2 吸収と等量であると考えるカーボンニュートラル原理に従って、温暖化に寄与する温暖化ガスには算入しない。

（３）インベントリ分析

図５は、別海バイオガスプラントの評価対象期間内でのふん尿由来物質の動きである。輸送量はプラント職員や農家の記入が基になっており、記入忘れなどから搬入・搬出総量の均衡が取れてないものについては推定により調整した。

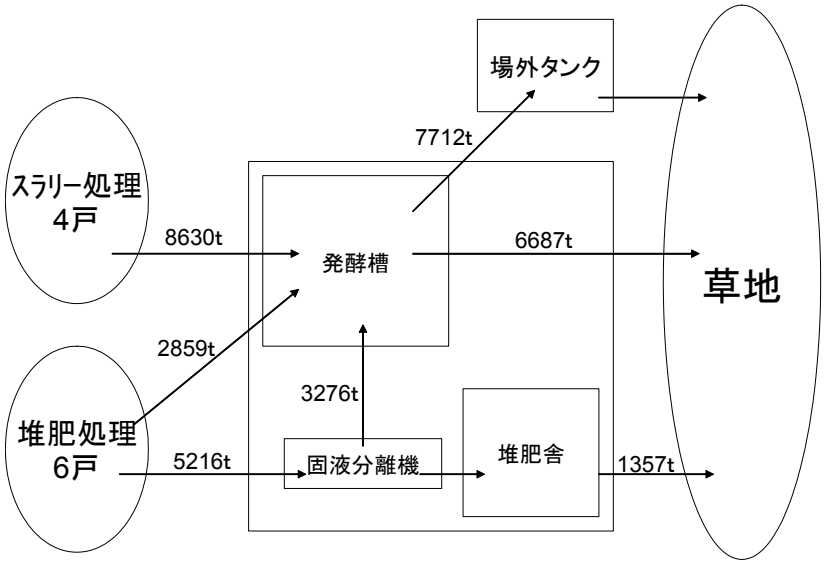


図５ 別海バイオガスプラントにおけるふん尿、消化液、堆肥の流れ

以下に、各排出過程での排出量の推定モデルを示す。

① ふん尿をプラントに搬入する機材の燃料燃焼

軽油をエンジンで燃焼させることによって CO_2、CH_4、N_2O が発生する。プラントへのふん尿の搬入は、プラントの所持するアームロールと、付属品のバキュームタンク、コンテナによ

って行なわれている。搬入の回数は重量と共に日報がつけられており、プラントから各農家への道のりの実測値から実際の走行距離が推定できる。搬入機器の軽油消費による温暖化ガス発生量は、推定走行距離と燃料消費量を基に、消費量当たり CO_2 発生原単位（南齋ら〔21〕）と輸送距離当たり CH_4、N_2O 発生原単位（環境省〔15〕）より算出した。運搬車両の燃費については、コントラクターからの聞き取りより、バキュームタンク搭載時アームロールを 1.5km/L、コンテナ搭載時アームロールを 2.5km/L とみなした。

②プラントが使用する商用電力の生産

商用電力はその使用時には温暖化負荷の発生は伴わないが、発電時に多量の化石燃料を燃焼させることから、燃焼の際の温暖化負荷発生を捕捉する。ここでは送電線による電力損失は考慮に加えず、プラントでの使用量からプラントで生産された電力量を控除したものを、発電所での発電量と考える。プラント内で使用した商用電力量はプラント記録より採取し、北海道電力〔3〕の公表する電力生産時の CO_2 排出原単位より算出した。

③プラントが使用する重油の燃焼

対象期間内の重油の購入量を使用量とみなす。別海プラントには余剰熱の有効利用を目的とした温室があるが、温室の補助熱源として燃焼された重油はインベントリに加えない。購入量はプラント記録より採取して、温室に使われた重油量を控除した後、南齋ら〔21〕の重油燃焼時発生 CO_2 原単位に使用量を乗じて算出した。

④プラント内作業用機器の燃料燃焼

プラント内作業用機器とは、搬入されたふん尿の場内移送のために使用されるホイールローダ、スキッドローダを指す。これらも②③と同じくプラントでの軽油購入量と、南齋ら〔21〕の重油燃焼時発生 CO_2 原単位より算出した。

⑤固液分離後固形分の堆積発酵

堆積発酵の原料になるふんは、固液分離機に投入された固形ふん尿処理農家からのふんの分離固形分である。分離機の固液分離割合は、北海道立根釧農業試験場〔6〕による試験値を用いた。この過程では CO_2、CH_4、N_2O が発生するが、この内 CO_2 には前述のカーボンニュートラル原理が適用されるためインベントリの対象外とする。

堆積発酵で発生する CH_4 と N_2O は、それぞれ固形分内の有機物量とT-N（全窒素）に堆積発酵中の発生原単位を乗じて求めた。固形分中の有機物量とT-Nは北海道開発土木研究所〔4〕での測定化学成分値を、堆積発酵中の発生量原単位は畜産技術協会〔23〕より引用して算出した。

⑥消化液の貯留時揮散

発酵後の消化液はメタン発酵後の残渣であるため、有機物含量は低下しているものの一時貯留の間に揮散が起こる。揮散は、貯留施設の形状や被覆の有無によっても大きく異なる。ここでは、木村ら〔17、18、19〕より固形分濃度 9%のスラリーをメタン発酵処理した後に生成された消化液を 5～20℃の条件で密閉貯留し、貯留槽から発生した CH_4 量を、スラリーでの値との比較より推定し、さらに、Umetsu et al 〔24〕より固形分濃度の違いがバイオガス発生量に与える影響を推定することで、対消化液中有機物 CH_4 発生原単位を作成し、これを利用した。CO_2 は⑤と同様にカーボンニュートラル原理が適応される。

⑦消化液・堆肥を搬出する機材の燃料燃焼

プラントから搬出される消化液・堆肥の正確な数量と回数は、搬入時と同様に日報から把握

できるため、搬出機器を１回の搬出規模より尿散布機、スラリーローリーの２つに区分し、推定走行距離と燃料消費量より計算する。しかし、評価開始の 2003 年 9 月時点でプラントにそれ以前の保有があるため、搬出物がどちらの評価期間内で作られたものかの峻別は困難である。そこで、散布した消化液の量は期間内に嫌気発酵槽に投入された液分と同量とし、堆肥は分離固分重量に堆肥化による減少割合（北海道立根釧農業試験場〔5〕）を乗じて算出した分を対象期間内で生産された堆肥とみなした。

⑧消化液・堆肥を散布する機材の燃料燃焼、

消化液の散布は搬出を必ず伴う行為であり、同一機材を使用して連続して行なう作業のため、散布回数は搬出回数と同じと考えられる。散布作業に要する時間は、１回分を一律５分と考えて総作業時間を推定し、時間当たり軽油消費量（北海道農政部農業改良課〔8〕）を乗じた。堆肥散布時の機材燃料消費量は、単位面積作業量当たり軽油使用量（北海道農政部農業改良課〔8〕、〔9〕）に推定散布面積を乗じて求めた。

⑨散布後の消化液・堆肥からのガス揮散

圃場では散布後消化液と堆肥から N_2O が揮散する。堆肥からの揮散量は、⑦で求めた推定散布量に北海道開発土木研究所〔4〕の堆肥中化学成分値、畜産技術協会〔23〕のふん尿中成分１kg 当たりガス揮散原単位を利用して計算した。

表２　　別海バイオガスプラントの温暖化ガスインベントリ

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
① 搬入時燃料消費	15,750	0.2	0.26
② プラント使用商用電力	75,852	—	—
③ 重油消費	41,293		
④ 作業用機械燃料消費	19,653	0.2	0.33
⑤ 固形分堆積発酵	—	1,363.9	708.94
⑥ 消化液貯留時揮散	—	610.0	—
⑦ 搬出時燃料消費	12,422	0.2	0.32
⑧ 散布時燃料消費	7,070	0.1	0.12
⑨ 散布後揮散	—	—	66.90
気体別合計	172,040	1,974.6	776.87

以上の設定で算出された、別海大規模共同利用型バイオガスプラントの稼動に伴う発生温暖化ガスインベントリを表２に示す。なお、この計算の詳細は巻末補１に付記した。結果は、172040kg-CO_2、1974.6kg-CH_4、776.87kg-N_2O であった。CO_2 は温暖化ガス全発生量 98.4%を占め、化石燃料を使用するあらゆる工程で発生していることがわかる。

（４）ライフサイクル影響評価

温暖化特性化係数は、IPCC 報告書での掲載値を用いた（IPCC〔11〕）。表３は、インベントリ分析で算出されたそれぞれの気体発生量に、特性化係数を乗じて温暖化インパクトを算出したものである。対象期間の別海バイオガスプラント稼動に伴う総温暖化負荷は、CO_2 に換算しておよそ 447 t となると算定された。また、インベントリでは発生量が一番少なかった N_2O が、CO_2 の 296 倍の温暖化効果を持つことから、影響評価の結果で見ると最終的に CO_2 より大きな温暖化負荷の原因物質となっている。このことは非常に注目すべき点である。

表3 別海バイオガスプラントの総温暖化負荷

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
気体別合計	172,040	1,974.6	776.87
特性化係数	1	23	296
	172,040	45,416	229,954
温暖化負荷合計	およそ447t-CO2eq		

3）プラント参加以前のふん尿処理の LCA

本節では、別海バイオガスプラント参加農家が大規模共同利用型バイオガスプラントを選択していなかった場合、即ちスラリー処理、堆肥化処理を今でも継続して行なっていた場合（以下、従来型処理と略記）のモデルを作成し、発生温暖化負荷を同様に評価する。

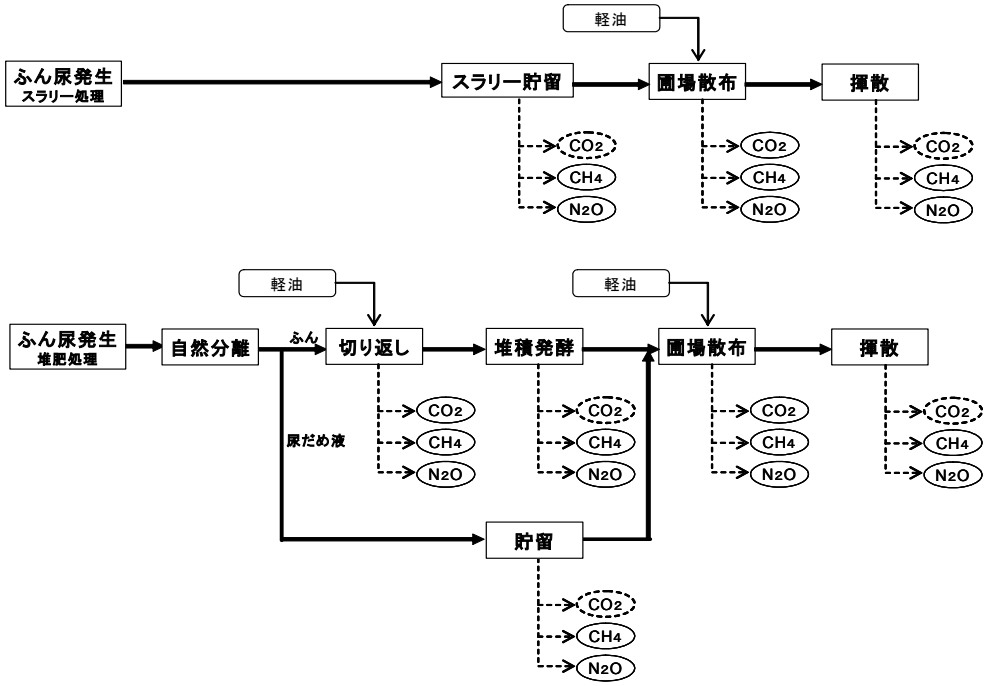


図６　従来型ふん尿処理のライフサイクルフロー

図６は従来型処理におけるライフサイクルフローである。従来型処理は基本的に自己の経営内で完結する処理であるため、大規模な搬出入を必要とせず、ふん尿の移動が大規模共同利用型バイオガスプラントに比べて少なく、処理の過程もより単純であることがわかる。比較の公平性を保つため、インベントリ分析では、処理をするふん尿量や散布量についてバイオガスプラント評価での設定値をそのまま利用した。スラリーは蒸発・揮散による重量減少を考えないこととし、堆肥発酵時の重量減少率は北海道立根釧農業試験場〔5〕での測定値を用いる。その他の原単位も、別海バイオガスプラントのインベントリ分析で使用したものを準用し、新たに、乳牛の尿を単独で散布した際の N_2O 発生原単位は赤井ら〔1〕を引用した。

表４は従来型ふん尿処理のインベントリ分析の結果である。従来型ふん尿処理は化石燃料を使う機会が比較的少ないことから、CO_2 の発生量はバイオガスプラントの 5%程度である。しかし逆に、プラントによる処理に比べて CH_4 と N_2O の発生量が著しく大きいことがわかる。

表4 従来型ふん尿処理の温暖化ガスインベントリ

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
固形分堆積発酵	−	2,753.5	1,295.63
スラリー･尿貯留時揮散	−	3,863.1	656.06
散布時燃料消費	7,243	0.1	0.12
散布後揮散	−	1,091.8	190.28
気体別合計	7,243	7,708.5	2,142.09

このことは、ライフサイクル影響評価の結果にも強く影響する。温暖化負荷の高い CH_4 と N_2O 両ガスの発生量が多いことから、表５より温暖化負荷は同 819 t -CO_2eq と、バイオガスプラントよりも高い負荷が発生すると算定される。以上の 2 つの分析値の比較より、別海バイオガスプラントはふん尿処理時の発生温暖化負荷が 45%削減されているとの結果が推定された。

表５ 従来型ふん尿処理の総温暖化負荷

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
気体別合計	7,243	7,708.5	2,142.09
特性化係数	1	23	296
	7,243	177,296	634,059
温暖化負荷合計	およそ819t-CO_2eq		

４）温暖化負荷削減に効率的な大規模共同利用型プラントの条件考察

図７は別海バイオガスプラントの分析における発生気体ごとの温暖化負荷寄与割合を表したものである。

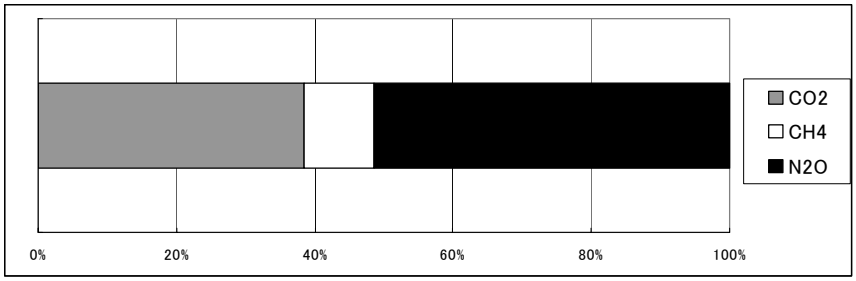


図７ 発生気体別温暖化寄与割合

代表的な温暖化ガスである CO_2 は、発生量では全体の 98.4%を占めるが温暖化への寄与は 40%弱である。その一方で、N_2O の寄与率が高いことがわかる。このことはこれからバイオガスプラントにおいて更なる温暖化の削減を目指す時に、発生量削減の順序として CO_2 よりも N_2O に力を入れるほうが効率的であることを表している。

図８は別海バイオガスプラントの分析結果を受けて、各温暖化ガスの排出過程別による構成比と、総温暖化負荷に対して占める割合を表したものである。ライフサイクル影響評価にて定量化された温暖化負荷の分析値から、別海プラントの搬出入並びに運営システムが環境に与える特徴として次の２点を指摘できる。

１点目は、ふん尿輸送時に発生する温暖化負荷である。バイオガスプラントには、農場敷地

内にプラントを設置し単体の経営で使用する個別型プラントと、複数戸の農家が共同で設置する大規模共同利用型が存在する。この内、自己の経営で発生したふん尿のプラントへの搬入や

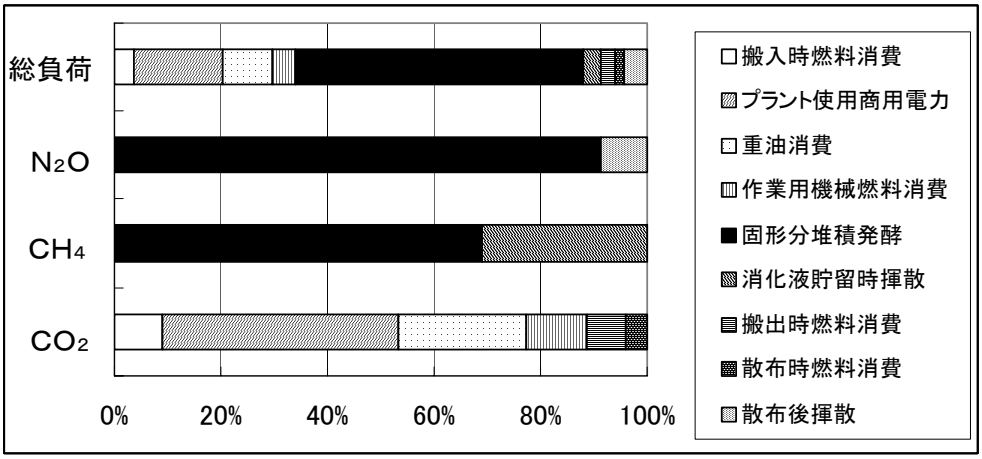


図８　各過程の占める排出負荷の割合

消化液等のプラントからの搬出は、共同利用型プラントだけの問題として認識されている。図８を見ると、搬入・搬出に使用した燃料からの負荷発生は、合わせても全負荷の約 6.3%であり、これらの過程での発生量の増減は温暖化負荷全体の増減にはそれほど寄与しない。このことより、大規模共同利用型バイオガスプラントを組織する上で、参加予定農家のプラントまでの距離は、環境の面に限っていえば大きな影響を与えるファクターではないことが示唆される。

２点目は、搬入されるふん尿の性状についてである。同図より、一連の処理過程の中でも、特に固形分堆積発酵の占める割合が総負荷の 50%を超えていることが分かる。また過程別構成比を見ても、CH_4 の 7 割、N_2O は 9 割以上とそのほとんどがこの過程からの発生であることを示している。堆積発酵は堆肥化と同じものであり、ライフサイクルフロー（p５、図４）にもあった通り、メタン発酵に供することの出来ない難分解性のワラや麦稈が敷料として含まれていることに起因する。これは、バイオガスプラントの利点であるエネルギー生産の、原料となる CH_4 を利用せずに大気中へ放出していることを意味する。

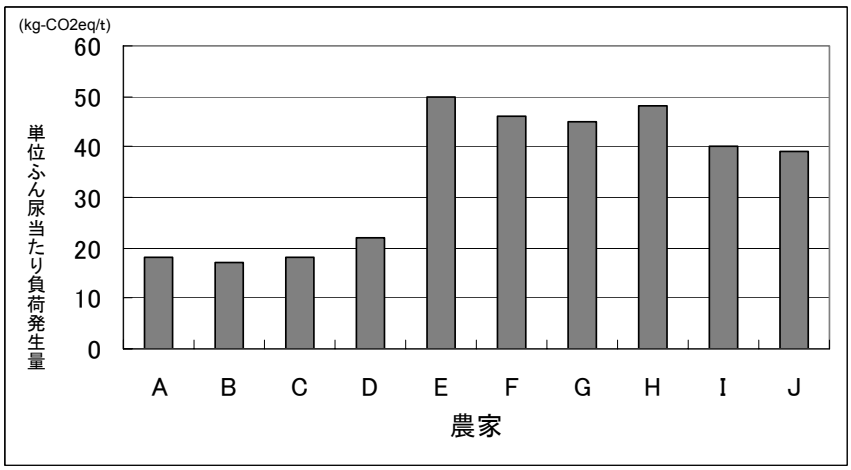


図９　農家別単位ふん尿あたり温暖化負荷発生量

図９は、プラントに参加する各農家の単位糞尿処理当たり温暖化負荷発生量である。スラリー処理のＡ、Ｂ、Ｃ、Ｄに比べて、堆肥処理のＥ、Ｆ、Ｇ、Ｈ、Ｉ、Ｊからのふん尿のほうがより大きな温暖化負荷を発生させていることがわかる。この差は、後者が固液分離を経て堆積発酵の過程があることに由来すると考えられる。このことより、堆積発酵を必要としない処理システムの構築が温暖化負荷削減に大きく貢献するということができる。具体的な方策としては、技術的な要請から敷量使用農家への長わらや麦稈の細断の徹底や、プラントにマセレーターを設置することの他に、参加農家をスラリー処理農家に限定することなど、組織形成の時点から考えるべきものも挙げられる。

以上より、大規模共同利用型バイオガスプラントの設置に当たっては、参加農家のプラントからの距離が負荷の大幅な増減を誘引しないことから、スラリー処理の農家を参加農家として取り込むことを優先する。それが出来ない農家には敷料の細断を義務付けるなどして、可能な限りプラント内の堆積発酵処理の比率を低下させ、異なる処理体系を併存させないようにすることが、更なる温暖化負荷削減のための有効な方策であると言える。

２．個別型スラリー処理との比較評価

別海プラントは試験研究用プラントとして運転されているため、実際のバイオガスプラントによるふん尿処理には不必要な設備やシステムが存在することから、一般的な大規模共同利用型プラントと考えることは困難である。そこで本章では、別海プラントでの LCA から得られた結果から大規模共同利用型プラントの一般化モデルを設定し、評価を実施し、バイオガスプラントを使用しない場合のふん尿処理との比較から効果の計量を試みる。

１）大規模共同利用型バイオガスプラントのモデル評価

（１）一般化モデルの設定

バイオガスプラントの仮想構成農家とプラントへの搬出入体制のモデルを新たに設定する。ふん尿の化学組成などについては別海プラントの設定に準拠するが、別海プラントでの設定から大きな変更を加えた点は次のとおりである。

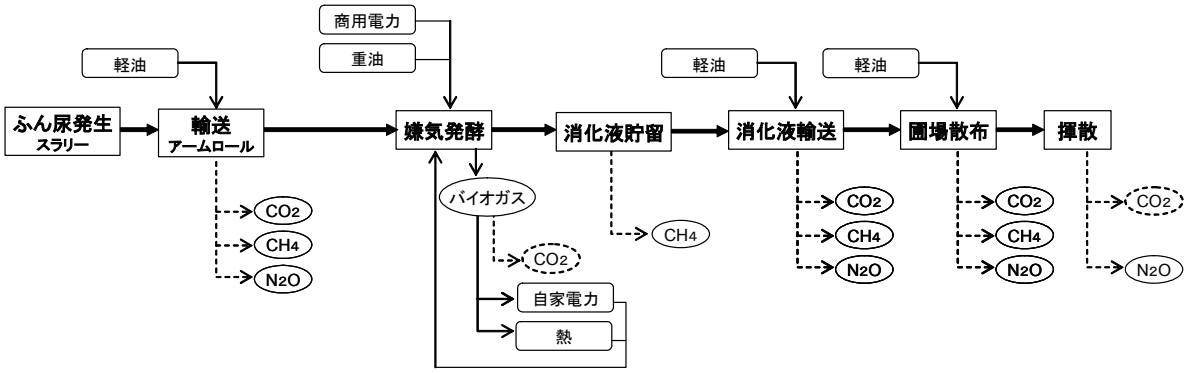


図１０　大規模共同利用型バイオガスプラント一般化モデルのライフサイクルフロー

①仮想構成農家

別海プラントと同じ 10 戸、プラントまでの距離は５km、飼養頭数は各農家経産牛 100 頭とし、全ての農家がスラリー方式でふん尿処理をしていると設定した。

②スラリー搬入

農家からのスラリー搬入は別海プラントと同様にアームロールを用いて行なうと設定した。1 回の搬入量は、プラント参加農家の中で 108 頭の搾乳牛を飼養している B 農家の１回平均搬入量から設定し、7.41ｔで一律と考えて搬入回数を計算した。

③ふん尿量と性状

経産牛の１日のふん尿合計排出量を 65kg と設定し、水分含量、固形分率、有機物含量、全窒素含量は別海プラントでの分析値（北海道開発土木研究所〔4〕）に準拠した。

④バイオガスプラント内での設定

商用電気・重油の使用量は、投入されるふん尿の量に応じて調整した。また、プラント内のふん尿はスラリーしか存在しないことから、ホイールローダやスキッドローダなどの作業機器はここでは使用しないこととした。

⑤搬出

堆肥と消化液の搬出作業は、5ｔ尿散布機と 10ｔ自走式スラリーローリーを使用するものとし、1 回の搬出量は B 農家の１回平均搬出量 9.81ｔを適用し、一律で搬出回数を計算した。

（２）評価結果

表６　大規模共同利用型バイオガスプラント一般化モデルの LCA 結果

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
搬入時燃料消費	56,384	0.5	0.80
施設使用商用電力	102,167	—	—
重油消費	55,746		
消化液貯留時揮散	—	980.2	—
搬出時燃料消費	33,504	0.4	0.60
散布時燃料消費	15,356	0.2	0.26
散布後揮散	—	—	134.22
気体別合計	263,156	981.3	135.88
特性化係数	1	23	296
	263,156	22,570	40,220
温暖化負荷合計	およそ326t-CO_2eq		

インベントリ分析、ライフサイクル影響評価の結果、大規模共同利用型バイオガスプラントの一般化モデルでは、表６で示されるとおり１年間に二酸化炭素換算で 326ｔの温暖化負荷が発生すると推定された。これを単位ふん尿重量当たりにすると、処理スラリー１ｔで 13.7kg-CO_2 となる。

２）個別型スラリー処理のモデル評価

（１）モデルの設定

次に、モデルに設定したバイオガスプラントの参加仮想農家 10 戸が、バイオガス処理を選択していなかった場合を想定し、それぞれ従来のスラリー貯留・散布処理（以下、個別型スラリー処理）を行なっていた場合に発生する温暖化負荷を推定する。

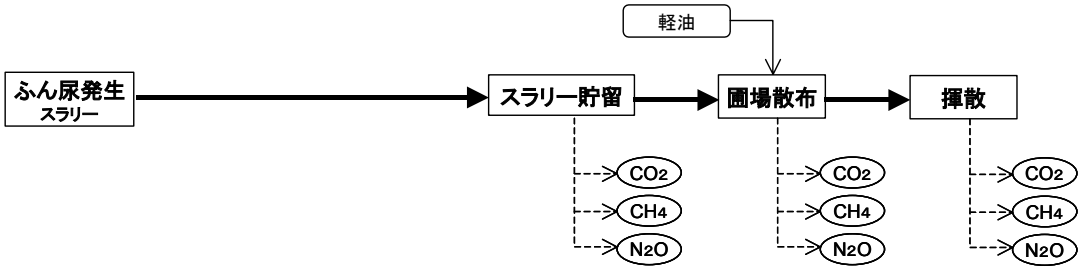


図１１　個別型スラリー処理のライフサイクルフロー

図１１は個別型スラリー処理におけるライフサイクルフローである。従来型処理は基本的に自己の経営内で完結することが可能である。そのため、大規模なふん尿の移動を必要としないことから、バイオガスプラントに比べて処理の過程もより単純であることがわかる。

計算結果を比較に利用するため、処理をするふん尿量や散布量については、前節のバイオガスプラント評価での設定値をそのまま利用した。その他の原単位も、別海プラントにおける LCA での設定原単位と同一のものを使った。

（２）評価結果

表7　個別型スラリー処理モデルの LCA 結果

(kg)	CO_2	CH_4	N_2O
スラリー･尿貯留時揮散	—	10258.7	1062.54
散布時燃料消費	15,356	0.2	0.26
散布後揮散	—	2899.2	170.01
気体別合計	15,356	13158.1	1232.81
特性化係数	1	23	296
	15,356	302,636	364,912
温暖化負荷合計	およそ683t-CO_2eq		

インベントリ分析、ライフサイクル影響評価の結果、個別型スラリー処理モデルでは、表７より１年間に二酸化炭素換算でおよそ 683ｔの温暖化負荷が発生すると計算され、大規模共同利用型バイオガスプラントモデル（表６）より 357ｔ多くなった。これを単位ふん尿重量当たりにすると、スラリー１ｔで 28.8kg の負荷と推定される。

３）施設建設に伴う温暖化負荷定量分析

一般的な LCA では、評価対象の生産が行なわれる施設など資本財の建設に伴う環境負荷については、施設の用途が評価対象以外の複数の製品の生産に使用されることがほとんどであるため、評価の範囲外であるとされている。しかし、本分析のバイオガスプラントは専らふん尿処理に使用されることから、この部分についても捕捉をしておく必要がある。

施設の建設に伴って、温暖化負荷の発生する過程は大きく以下の４つに分類される。

① 建設資材生産過程－鉄鋼やセメントが各製造工場内で生産される際の化石燃料の燃焼
② 建設資材運搬過程－建設資材が各工場間を加工のために運搬され、最終的に建設現場に至るまでの化石燃料の燃焼
③ 建設現場施工過程－施工現場での化石燃料の燃焼
④ 解体除却過程－建築物を解体工事してさら地とし、解体廃棄物を運搬して処分する過程で使用される化石燃料の燃焼

これらは全て化石燃料の燃焼に起因することから、発生する温暖化ガスは CO_2 のみである。建設資材生産過程において、資材生産の際に多量の CO_2 を発生させるのは鉄鋼とコンクリート、アスファルトであるので、ここではこの 3 種類を対象に考える。バイオガスプラントの建設資材使用量は、別海プラント建設業者の施工データを利用した。その際、別海プラントの特殊性を考慮して設備一つひとつの用途を検討し、試験研究用施設を全て除く処置を行なった。個別型スラリー処理で使用するスラリーストアの建設資材量は、畜産環境リース事業による経産牛 100 頭規模スラリーストアの建設標準を利用した。そして求められたそれぞれの資材使用量に、井村〔10〕の CO_2 排出原単位を乗じて CO_2 排出量を推定した。また、資材運搬過程と、解体除却過程の内の解体廃棄物運搬部分については、CO_2 の排出量が資材重量に比例するため、井村〔10〕より限定間接需要算入法で設定した原単位を用いて排出量を推定した。建設現場施工過程と、解体除却過程の内の解体工事部分については、実際の施工面積がわかっているので原単位を用いて推定した。

表８　建設時の発生温暖化負荷

	スラリーストア	プラント
1 鉄筋使用量	15.76 t	40.76 t
2 鉄骨使用量	0 t	187.54 t
3 コンクリート使用容量	211.05 m3	1017.53 m3
4 コンクリート使用重量	495.57 t	2391.26 t
5 アスファルト重量	0 t	4800 t
6 資材重量	511.33 t	7419.56 t
7 施工面積	676 m2	10978 m2
1 建設資材生産過程	73 t	817 t
2 建設資材運搬過程	33 t	482 t
3 建設現場施工過程	7 t	112 t
4 解体除却過程	11 t	158 t
合　計	124 t-CO2	1,569 t-CO2

表８は各分析項目の結果をまとめたものである。大規模共同利用型プラントは大型の輸送機械が頻繁に行き来するため、施設内の広域に舗装をする必要性があることから、アスファルトの使用の差が CO_2 排出量の違いに現れていると言える。この結果をもとに 10 基のスラリーストアと、1 基の大規模共同利用型プラントの建設に伴う発生負荷を比較すると、プラントのほうが 329 t -CO_2 多く発生することが推定された。

４）比較結果

前章での示唆を踏まえての以上の３つの分析結果より、搬入をスラリーに限定したバイオガスプラントの環境に与える影響は次のように結論付けることができる。

経産牛 1000 頭規模のふん尿処理において、大規模共同利用型バイオガスプラントによる処理は個別のスラリー処理と比較して二酸化炭素換算にして年間に 357 t、割合で 52%の温暖化負荷削減効果があると推定された。これは灯油に換算して 135kL 分を燃焼した際に発生する CO_2 に相当する。ただし、プラントの建設は参加 10 戸の農家がそれぞれでスラリーストアを設置する場合に比べ 329 t 多く温暖化負荷を発生させる。

ふん尿処理の LCA と施設建設の温暖化負荷定量分析は、分析の精度が異なるために数値を一律に評価するには注意が必要であるが、それでもプラント建設で発生する温暖化負荷の増加分は、１～２年のプラント運転稼動で十分回収され得る範囲にあると推定された。

6 残された課題

今回の評価は環境影響の評価項目を温暖化のみに搾っているため、水質富栄養化、大気酸性化など他の環境影響評価項目による評価の実施も必要である。

7 おわりに

本研究では、環境会計手法の一つである LCA を用いて、別海大規模共同利用型バイオガスプラントの発生温暖化負荷を定量分析し、そこから得られた結果を基に温暖化負荷削減に効率的な大規模共同利用型プラントの条件を挙げた。また、その条件に沿った大規模共同利用型バイオガスプラントの一般化モデルを作成し、従来の個別型スラリー処理からの温暖化負荷削減効果について、施設建設面からも含めて LCA 分析から評価を行なった。結果は以下に要約される。

1）別海大規模共同利用型バイオガスプラントについて、1 年間のふん尿処理に伴って発生する温暖化負荷を LCA を用いて定量化したところ、およそ 447 t -CO_2eq となり、従来の処理に比べて 45%の温暖化負荷削減があったと推定された。

2）温暖化負荷を発生気体別に見ると、CH_4、N_2O によるものが全体の過半を占める。ふん尿処理による温暖化負荷削減を目指すためには、化石燃料の使用量を減らすことよりも処理の不十分なふん尿からの CH_4、N_2O 発生を抑えることがより重要である。

3）作業過程別に見ると、大規模共同利用型に見られるふん尿の大規模な搬出入は環境に与える影響がそれほど高くなく、メタン発酵に必ずしも付随しない堆積発酵過程が最大の負荷発生源である。大規模共同利用型バイオガスプラントでは、搬入された全てのふん尿をメタン発酵に供することが温暖化負荷削減に効率よいと判断され、そのためにはプラントでの破砕機の設置や、敷料に使うワラ・麦稈の細断の徹底、距離が離れていても参加農家をスラリー処理形態のみに限定するなどハード、ソフト両面からの誘導が必要である。

また、貯留槽を密閉形式にするなど、貯留時揮散を抑制する施設の整備も有効であると推測される。

4）こうした結果を踏まえ、参加農家が全てスラリー処理であること、総経産牛 1,000 頭規模であることを条件に、大規模共同利用型バイオガスプラントのモデルを組み LCA を行なった結果、1 年間の処理で発生する温暖化負荷は 326 t - CO_2eq、スラリー 1 t に対して 13. 7kg-CO_2eq と推定された。

5）比較のため、スラリー処理の経産牛 100 頭規模農家 10 戸分のふん尿処理を想定して LCA を行なった結果、モデル化した大規模共同利用型バイオガスプラントはスラリー処理に対して 52%の温暖化削減効果があると計算された。また、プラント施設建設に伴い発生する温暖化負荷の増加分は、１～２年のプラント運転稼動で回収され得ると判断された。

補１．別海バイオガスプラント インベントリ計算

① ふん尿をプラントに搬入する機材の軽油燃焼

１）走行距離・消費燃料の推定

スラリー・尿

農家番号	搬入回数	道のり	走行距離
A	186	5.1	1,897.2
B	551	1.4	1,542.8
C	436	2.2	1,918.4
D	244	1.9	927.2
E	54	1.3	140.4
G	14	3.9	109.2
H	38	3.2	243.2
I	4	1.4	11.2
J	5	2	20.0
	1532		6,810 km

ワラ入りふん

農家番号	搬入回数	道のり	走行距離
B	21	1.4	58.8
D	13	1.9	49.4
E	184	1.3	478.4
F	35	4.3	301.0
G	102	3.9	795.6
H	158	3.2	1,011.2
I	173	1.4	484.4
J	92	2	368.0
	778		3,547 km

アームロール+バキュームタンク燃費 1.5 km /L
消費燃料 4,540 L

アームロール+コンテナ燃費 2.5 km /L
消費燃料 1,419 L

積算消費軽油量 5,959 L
積算走行距離 10,357 km

２）排出量推定式

・CO_2

2.643 *kg/L* × 5,959 L = 15,750 kg-CO_2

・CH_4

1.5E-05 *kg/km* × 10,357 km = 0.2 kg-CH_4

・N_2O

2.5E-05 *kg/km* × 10,357 km = 0.26 kg-N_2O

② プラントが使用する商用電力の生産

評価対象期間中の売買電量

商用電力消費量 205,505 kWh
売電量 47,481 kWh

・CO_2

0.48 *kg-CO2/kWh* × (205,505-47,481)kWh = 75,852 kg-CO_2

③ プラントが使用する重油の燃焼

評価対象期間中の消費重油量

消費重油量 54,082 L
内，発酵槽・殺菌槽仕向（除 温室） 28.3 %

・CO_2

2.698 *kg-CO2/L* × (54,082×28.3%) L = 41,293 kg-CO_2

④ プラント内作業用機器の軽油燃焼

ワラ入りふんの搬入補助及び固液分離機への流し込みに用いるホイルローダー，スキッドローダーに使用した燃料は，合計で 7,436 L

推定式

・CO_2

2.643 *kg/L* × 7,436 L = 19,653 kg-CO_2

・CH_4

2.621E-05 *kg/L* × 7,436 L = 0.2 kg-CH_4

・N_2O

4.442E-05 *kg/L* × 7,436 L = 0.33 kg-N_2O

⑤ 固液分離後固形分の堆積発酵

1）堆肥舎投入量の推定

評価対象期間中の固形分総量

搬入ワラ入りふん 5,216 t

固液分離機分離率 37.2 % ∴ 5,216 t × *37.2* % = 1940.4 t

固液分離後の固形分中有機物含量21.3%と設定，また対有機物メタン化原単位として0.33%を用いると，

・CH_4

1940.4 t × *21.3* % × *0.33* % = 1,363.9 kg-CH_4

固液分離後の固形分中T-N率を0.5%と設定，また対全窒素N_2O化原単位（Nベース）として4.65%を用いると，

・N_2O

1940.4 t × *0.5* % × *4.65* % × 44/28 = 708.94 kg-N_2O

⑥ 消化液の貯留時揮散

消化液の乾物率を 3.3%，有機物含量を 2.2%と設定する．スラリー貯留時の CH_4 揮散率は対有機物含量で0.92%，貯留時のスラリー揮散対消化液揮散比0.756，乾物率3.3%における補正値0.27より，

・CH_4

14,766 t × *2.2* % × *0.92* % × *0.756* × *0.27* = 610.0 kg-CH_4

⑦ 消化液・堆肥を搬出する機材の軽油燃焼

1）消化液

搬出台帳より，1回搬出量が10ｔまでのものは5ｔ尿散布機，それ以上は自走式10ｔスラリーローリーの性能値を近似的に用いる．

	搬入回数			道のり	走行距離			
農家番号	10t以上	10t未満	合計		10t以上	10t未満	合計	
A	26	0	26	5.1	265.2	0	265.2	
B	0	251	251	1.4	0	702.8	702.8	
C	13	7	20	2.2	57.2	30.8	88	
D	0	148	148	1.9	0	562.4	562.4	
E	0	152	152	1.3	0	395.2	395.2	
H	0	66	66	3.2	0	422.4	422.4	
I	0	95	95	1.4	0	266	266	
場外1	131	385	516	5.5	1441	4235	5676	
場外2	130	217	347	4	1040	1736	2776	
場外1→G	0	48	48	4.1	0	393.6	393.6	
場外1→I	0	28	28	4.1	0	229.6	229.6	
場外1→A	72	0	72	0.4	57.6	0	57.6	
場外2→C	146	0	146	1	292	0	292	
場外2→G	0	8	8	0.4	0	6.4	6.4	
小計	518	1,405	1,923		3,153	8,980	12,133	km

5ｔ尿散布機，自走式10ｔスラリーローリーの燃費はそれぞれ1.90km/L，3.33km/Lであるから，

尿散布機	3,153	km	/	*1.90*	km/L	＝ 1,659 L
スラリーローリー	8,980	km	/	*3.33*	km/L	＝ 2,697 L
					合計	4,356 L

2）堆肥

農家番号	搬入回数	道のり	走行距離
B	7	1.4	19.6
D	21	1.9	79.8
E	28	1.3	72.8
F	26	4.3	223.6
G	9	3.9	70.2
H	43	3.2	275.2
I	27	1.4	75.6
J	11	2	44
			861 km

ダンプ 861 km / *2.5* km/L = 344 L

推定式

・CO_2

2.643 kg/L × 4,700 L = 12,422 kg-CO_2

・CH_4

1.5E-05 kg/km × 12,994 km = 0.2 kg-CH_4

・N_2O

2.5E-05 kg/km × 12,994 km = 0.32 kg-N_2O

⑧ 消化液・堆肥を散布する機材の燃料燃焼

1）消化液

1回の散布時間を一律に5分と考える.

	搬入回数			散布時間	
農家番号	10t以上	10t未満	合計	10t以上	10t未満
A	26	0	26	130	0
B	0	251	251	0	1,255
C	13	7	20	65	35
D	0	148	148	0	740
E	0	152	152	0	760
H	0	66	66	0	330
I	0	95	95	0	475
場外1→G	0	48	48	0	240
場外1→I	0	28	28	0	140
場外1→A	72	0	72	360	0
場外2→C	146	0	146	730	0
場外2→G	0	8	8	0	40
小計				1,285	4,015

自走式10ｔスラリーローリー，5ｔ尿散布機の時間当たり燃料消費率はそれぞれ26.3L/h，9.0L/hであるから，

尿散布機	1,285	/	60 h	×	*26*	L/h
				=	563	L
スラリーローリー	4,015	/	60 h	×	*9.0*	L/h
				=	602	L
				合計	1,166	L

2）堆肥

搬出堆肥の総重量は1,357ｔ．1回での堆肥の適正施肥量を2ｔ/10aと定めると，延べ散布面積は67.85ha.

6ｔマニュアスプレッダの面積当たり燃料消費率を5.56L/ha，実作業率25%とすると，

67.85 ha × 5.56 L/ha ÷ 25 % ＝ 1,509 L

∴ 消化液・堆肥散布作業での消費軽油量は2,675Lと推定される.

推定式

・CO_2

2.643	*kg/L*	×	2,675	L	=	7,070 kg-CO_2

・CH_4

2.6E-05	*kg/L*	×	2,675	L	=	0.1 kg-CH_4

・N_2O

4.4E-05	*kg/L*	×	2,675	L	=	0.12 kg-N_2O

⑨　散布後の消化液・堆肥からのガス揮散

消化液はN_2O揮散データが整っていないため，スラリーで代替する．

消化液と堆肥のT-N率をそれぞれ0.3%, 0.69%と設定し，対全窒素N_2O揮散原単位（Nベース）として0.12% 0.06%を用いると，

消化液	10,265	t	×	0.3	%	×	0.12	%	×	44/28	＝	58.07 kg-N_2O
堆肥	1,357	t	×	0.69	%	×	0.06	%	×	44/28	＝	8.83 kg-N_2O

∴ 66.90kg-N_2O

補２。原単位引用資料一覧

〔1〕赤井直彦・石橋英二・大家理哉・森次真一「牛尿への硝酸化成抑制剤添加が草地からの環境負荷に及ぼす影響」『日本土壌肥料学雑誌』、2001

〔2〕羽賀・和木「肥育牛のふん尿堆肥化におけるエミッションの LCA」『農環研シリーズ農業におけるライフサイクルアセスメント』、養賢堂、2000

〔3〕北海道電力(on-line)「ほくでんグループ環境方針」、2003

〔4〕北海道開発土木研究所『積雪寒冷地における環境･資源循環プロジェクト　調査報告書』、2002

〔5〕北海道立根釧農業試験場 研究部酪農施設科「酪農施設機械試験成績書」、1999

〔6〕北海道立根釧農業試験場 研究部酪農施設科「ふん尿固液分離機（わら用）の性能」『平成 8 年度酪農施設機械試験成績』、1997

〔7〕北海道立農業試験場 家畜糞尿プロジェクトチーム『家畜糞尿処理･利用の手続き 1999』、1999

〔8〕北海道農政部農業改良課『北海道における特定高性能 農業機械の導入に関する計画』、1999

〔9〕 北海道農政部農業改良課『北海道農業生産技術体系（第 2 版）』、2000

〔10〕井村秀文 編『建設の LCA』、オーム社、2001

〔11〕IPCC『Climate Change :The Scientific basis』、2001.

〔11〕ISO(on-line)『international standard ISO14042-Life cycle impact assessment-』、 2000

〔12〕ISO(on-line)『international standard ISO14043-Life cycle interpretation-』、2000

〔13〕小林久・佐合隆一「窒素及びリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量と CO_2 排出量の試算」『農作業研究 第 36 巻第 3 号』、2001

〔14〕環境省『温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン』、1999

〔15〕環境省『平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 運輸分科会報告書』、2002

〔16〕環境省『平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 農業分科会報告書』、2002

〔17〕木村義彰「乳牛糞尿メタン発酵処理システムにおける温度依存性(博士論文)」、1998

〔18〕木村義彰・梅津一孝・高畑英彦「貯留式メタン発酵における温度依存性(2)－乳牛糞尿を対象とする発酵特性－」『農業施設 29 巻 3 号』、1998

〔19〕木村義彰・梅津一孝・高畑英彦「貯留式メタン発酵における温度依存性(3) －メタン発酵鋭離液を対象とする発酵特性の比較－」『農業施設 29 巻 3 号』、1998

〔20〕増田清敬「LCA を用いた酪農環境問題の定量分析」『2003 年度日本農業経済学会論文集』、2003

〔21〕南齋規介・森口祐一・東野達『産業関連表による環境負荷原単位データブック』、国立環境研究所 地球環境研究センター、2002

〔22〕大村道明・両角和夫・田上貴彦・西澤栄一郎・合田素行「農業分野へのＬＣＡ適用の動向と展望」『2002 年度日本農業経済学会論文集』、2002

〔23〕畜産技術協会『畜産における温室効果ガスの発生制御（総集編）』、2002

〔24〕Umetsu,K Takahata,H. and Kawamoto,T「Effect of temperature on mesophilic anaerobic digestion of dairy cow slurry」『Research bulletin of Obihiro university Ⅰ』帯広畜産大学 1990

１　課題名

Ⅱ　施設機械の効率的運転技術に関する研究

１　集中型バイオガスプラントにおける家畜ふん尿搬入・搬出法・散布法の検討

２　担当場所研究科室名　　北海道立根釧農業試験場　研究部　酪農施設科

３　はじめに

近年、酪農経営の大規模化の進行、労働力不足を背景として、家畜ふん尿の管理が十分になされず、環境汚染が懸念されるようになった。このような情勢の中で 1999 年 7 月に「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」が制定された。2004 年 11 月より罰則の適用が開始され、家畜ふん尿の管理の適正化と資源としての有効利用が求められている。

家畜ふん尿処理技術のうち、メタン発酵システムは①発酵処理過程でのアンモニア揮散がない、②消化液の肥効性が高い、③発生したメタンガスをエネルギー利用できるなどの利点がある。

寒冷地での共同利用型処理の場合、原料ふん尿の搬入方法や搬出・散布法について未検討の部分が多く、特に、搬入時の原料ふん尿の凍結によるトラブルは容易に推察されるので、各農家のふん尿貯留施設の凍結防止対策、およびプラントへの家畜ふん尿の搬入方法と、消化液および処理ふん尿の搬出方法、消化液の圃場還元方法について検討した。

なお、改正家畜伝染病予防法では、「家畜の所有・管理者」が飼養衛生管理基準に定められた事項を守ることとされ、管理基準の一つとして、「他の農場等に立ち入った車両が農場に出入りする場合には、当該車両の消毒に努めること」となっている。今回、検討した内容は、参加農家のふん尿を運搬し管理をする共同利用型バイオガスプラント側における衛生対策検討の基礎資料としても重要なものと考える。

４　調査・試験方法

１．搬入方法の検討

１）対象農家の処理施設の概要

共同利用型バイオガスプラントにふん尿を搬入する対象農家の概況（表 1）、およびスラリー処理農家のスラリー性状を調査した。

調査年月：2001 年 11 月

調査項目：飼養形態、飼養頭数、ふん尿処理方法、スラリー粘度など

表 1　対象農家の概況（2001.11）

農家	飼養形態	成牛頭数	処理方式	牛床・敷料	冬季間の問題点
A	フリーストール	71	スラリー	マットレス＋オガクズ	凍結時の対応
B	フリーストール	64	スラリー	マットレス＋オガクズ	凍結ふん尿は別処理
C	つなぎ飼い	64	堆肥	マットレス＋残食など	積雪、凍結時の対応
D	つなぎ飼い	－	堆肥	コンクリート＋長わら	(2003 よりスラリー)
E	フリーストール	135	スラリー	マットレス＋かんなくず	
F	つなぎ飼い	46	堆肥	おがくず＋残食	積雪、凍結時の対応
G	つなぎ飼い	100	堆肥	麦桿	堆肥盤未整備
I	つなぎ飼い	60	堆肥	麦桿	トラックへ積み込み
J	つなぎ飼い	75	堆肥	残食	積雪、凍結時の対応
K	つなぎ飼い	42	堆肥	牧草	積雪、凍結時の対応

２）スラリー貯留時の凍結防止対策

一次貯留槽の簡易的凍結防止対策として、ピット搬出口に上屋を設置（2003 年 12 月 15 日完了、3 試験区共通）し、さらにピットの簡易凍結防止対策試験として表 2 に示す 3 試験区を設定し 2004 年 1～3 月に

温度計測した（写真 1、2)。なお盛土はバイオガスプラントの建設残土を用いた。

表 2　試験区の概要

	断熱材（50mm）	盛土**
Ⅰ区（断熱材＋盛土：A農家）	○	○(20cm)
Ⅱ区（盛土のみ：E農家）	－	○(25cm)
Ⅲ区（無処理：B農家）	－	－

*施工後は盛土をシートで被覆した。
*盛土高の決定はE農家の盛土法面の土が作業用道路に侵入しない高さとした。

調査項目：外気温度、機械室温度、一次貯留槽内温度（下部より 50cm、100cm、200cm、300cm、400cm（上部空間温度))、盛土内温度（A 農家：上部より 20cm、25cm、E 農家：上部より 25cm)、乳牛ふん尿スラリーの固形分濃度および凍結深度（3 点：A 農家に設置）



写真 1　盛土処理前



写真 2　盛土処理後

3）ふん尿搬入作業の実態と作業能率

アームロール車を用いたスラリー、固形ふん尿の搬入作業の実態を調査するとともに、その作業能率について調査した。

調査項目：ふん尿搬入作業内容、各作業時間、運搬距離など

2．搬出方法の検討

共同利用型バイオガスプラントから各農家へのふん尿搬出作業の実態と、その作業能率について調査した。また、圃場近傍の一時貯留施設（サテライト貯留施設）への搬出作業能率についても調査した。

調査項目：ふん尿搬出作業内容、各作業時間、運搬距離など

3．散布方法の検討

1）スラリー散布機の作業能率

（1）スプラッシュプレート式スラリータンカの作業能率

供試機：スプラッシュプレートを装着したスラリータンカ（14500L、表 3）

散布ふん尿：バイオガスプラントの消化液

調査年月及び場所：2004 年 5 月、バイオガスプラント敷地内の試験圃場

（2）浅層インジェクタの作業能率

供試機：B 社製スラリータンカおよび草地用浅層インジェクタ（表 4）

散布ふん尿：バイオガスプラントの消化液
調査年月及び場所：16 年 10 月、根釧農業試験場内試験圃場（牧草地、250×125m）

（3）バンドスプレッダの作業能率
供試機：C 社製スラリータンカおよびバンドスプレッダ（表 5）
散布ふん尿：酪農家スラリー（乳牛ふん尿スラリー、水分：90%、粘度：約 6000mPa･s）
調査年月及び場所：2004 年 10 月、農家圃場（デントコーン収穫跡圃場、約 190×80m）

表 3　供試機主要諸元（スラリータンカ）

散布方式	ｽﾌﾟﾗｯｼｭﾌﾟﾚｰﾄ（衝突板）式
散布幅（m）※)	約 17.5
ﾀﾝｶ容量（L）	14500
供試ﾄﾗｸﾀ馬力（PS）	117

※）散布跡から測定

表 4　供試機主要諸元（インジェクタ）

ｲﾝｼﾞｪｸﾀ型式	ｺｰﾙﾀ使用ｵｰﾌﾟﾝｽﾛｯﾄ方式
散布幅（m）	5
吐出口数（本）	28
ｺｰﾙﾀ間隔（cm）	18
作業深度（cm）	3
ﾎｰｽ径（mm）	50
ﾀﾝｶ容量（L）	14000
ﾀﾝｶ+ｲﾝｼﾞｪｸﾀ重量（kg）	9840
供試ﾄﾗｸﾀ馬力（PS）	180

表 5　供試機主要諸元（バンドスプレッダ）

散布幅（m）	16
ﾎｰｽ本数（本）	48
ﾎｰｽ間隔（cm）	33
ﾀﾝｶ容量（L）	15000
ﾀﾝｶ重量（kg）	5800
ﾀﾝｶ重量（タワーポンプ込、kg）	6750
供試ﾄﾗｸﾀ馬力（PS）	200

5　調査結果及び考察

1．搬入方法の検討

1）対象農家のふん尿処理施設の概要

対象農家は 10 戸で（表 1）、うち A、B、E 農家がフリーストール式牛舎でスラリー処理となっている。D 農家は 2003 年度よりスラリー処理となった。

堆肥処理の農家では、堆肥盤にふん尿を堆積しているため冬季間のふん尿の凍結、降雪時の対応などに不安を抱える農家が多かった。また、フリーストール方式の農家では、牛舎内でふん尿が凍結してスラリー化できない寒冷期には堆肥盤等に堆積するために搬出経路を変更している農家があった。

スラリー処理の農家のふん尿性状は貯留ふん尿の温度が-1℃前後で過冷却状態であった。水分は 91～92%で粘度も 3000～5500mPs と高かった（表 6）

２）スラリー貯留時の凍結対策

（1）外気温度、機械室温度、地下ピット内温度および盛土内温度

各温度の測定は、2004 年 1 月 25 日より開始したが、3 農家共通の温度データが得られた期間は、2 月 5 日～2 月 13 日、3 月 1 日～3 月 26 日であったため、3 農家の比較は 3 月 1 日から 3 月 26 日の 27 日間で行った。

図 1 に A 農家の温度データを、表 7 に各農家の外気温度、機械室温度、地下ピット内温度、盛土内温度、牛舎内温度およびふん尿溝温度を示した。

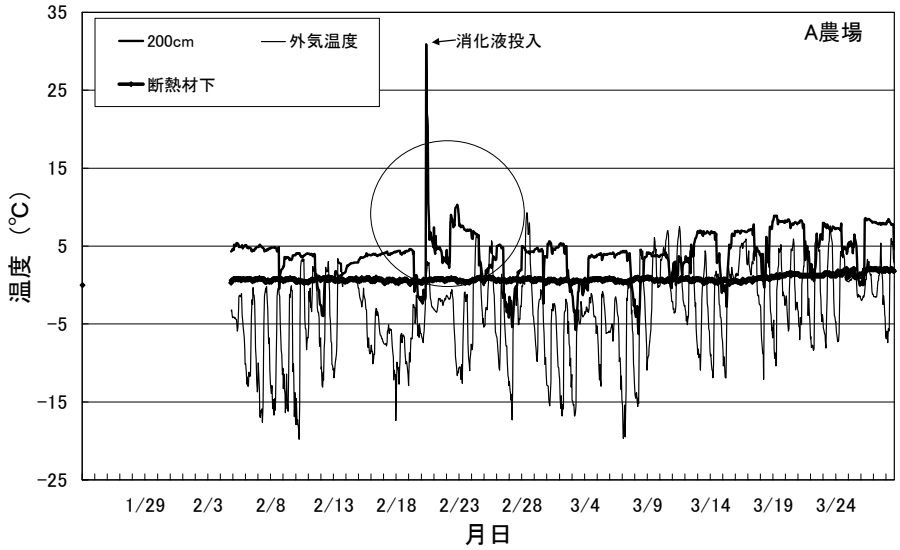


図 1　A 農家の温度変化

表 6　スラリー処理農家のふん尿性状（2001.12）

農家	月日	スラリー温(℃)	深さ(cm)	ｐH	ORP(mV)	DO(mg/L)	粘度(mPs)	水分(%)
A	12/11	-1.2	搬出中	7.54	-181	0.22	5500	90.66
B	12/11	採取不可	373					
E	12/11	-0.9	搬出中	6.82	-157	0.89	3000	92.05

表 7　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

一次貯留槽内の最下部より 50cm 地点における 3 月 1 日から 3 月 26 日までの平均スラリー温度を比較すると、E 農家（7.0℃）＞A 農家（6.4℃）＞B 農家(3.5℃)であった。

A 農家における断熱材上下間の温度は断熱材の直上部（上部より 20cm）で最高 1.3℃、最低-2.5℃、平均-0.5℃であった。断熱材の直下部（断熱材と一次貯留槽の間、上部より 25cm）では最高 2.1℃、最低 0.1℃、平均 0.8℃で 0℃以下とならなかった。E 農家における盛土内（上部より 5cm）温度は、最高 2.0℃、最低 0.1℃、平均 0.9℃であった。

寒冷外気による温度の低下は、外気温度、機械室温度、地下ピット内温度および盛土内温度調査および凍結深度に関する調査から盛土により軽減できると考えられた。また、盛土直下への断熱材の設置は凍結深度を浅くする効果は認められたが、盛土のみと比べ、大きな違いはなかったことから、コスト面を考慮すると盛土のみで十分と考える。

土の高さについては今回検討できなかったが、プラント設置地区の凍結深度の調査により決定することが望ましい。また、ふん尿流入溝からの寒冷外気が一次貯留槽に侵入し、一次貯留槽内のヘッドスペース内温度を低下させることから、ふん尿流入溝の構造も含めた総合的な対策が必要と考える。

（2）A 農家における乳牛ふん尿の凍結

A 農家において、2004 年 1 月 7 日、1 月 30 日および 2 月 21 日に地下ピット内のスラリーが凍結した。このため、バイオガスプラントの殺菌槽内液を用いて融解処理を行った。午前中にピット内に殺菌槽内の温度の高い消化液を投入し、午後より搬出する方法を用いた。投入量はそれぞれ 14.83t、22.38t、18.33t であった。なお、B、E 農家では一次貯留槽内の凍結はなかった。

A 農家のスラリー凍結の要因は、①流入する乳牛ふん尿スラリーの固形分濃度が高い。②一次貯留槽に設置された撹拌・汲み上げポンプの攪拌能力が不足しており、この固形分濃度に対応できていない。

この解決方法として、長時間の撹拌によるスラリーの流動化、撹拌ポンプの能力向上が考えられる。

（3）土壌凍結深

表 8 に各試験区の凍結深度および積雪深を示す。各区の凍結深度は調査した 2 月 6 日に最大であった。Ⅰ、Ⅱ区共に対照区であるⅢ区と比較すると明らかに凍結深度が浅くなった。Ⅰ区とⅡ区の凍結深度を比較するとⅠ区の方が浅く、断熱材の効果が認められた。

（4）スラリーの固形分濃度

表 9 に各農家における固形分濃度を示す。A 農家のスラリーの固形分濃度は他の農家に比べ高かった。また、A 農家では 1 月 20 日よりパーラー排水が一次貯留槽に投入されるようになったが、他の農家に比べ固形分濃度は高く推移した。

表 8　各試験工法における土壌凍結深（cm）および積雪深（cm）

調査月日（2004）	Ⅰ区*：断熱材（5cm）＋盛土(20cm) GL+25	Ⅱ区*：盛土(20cm) GL+20	Ⅲ区：無処理	凍結深度計 設置場所の積雪深
1 月 20 日	7.0	8.5	28.5	15
2 月 2 日	9.0	12.0	30.5	20
2 月 5 日	10.0	15.0	34.5	19
2 月 6 日	11.5	14.5	36.0	17
2 月 15 日	11.0	14.5	35.5	16
2 月 22 日	11.5	15.0	34.0	25

* Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区とも GL=0 からの凍結深度。A 農家に模擬的な条件で設置、計測した。

表 9　各農家における固形分濃度

	A 農家			E 農家			B 農家		
採取月日（月/日）	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1
固形分濃度　(%)	8.87	7.50	7.56	5.43	5.31	5.62	5.32	5.51	5.93

3）ふん尿搬入作業の実態と作業能率

ふん尿の搬入に使用されている運搬車はアームロール車と呼ばれ、トラックの台車にスラリー運搬・散布用のタンクあるいは、固形ふん尿運搬用のコンテナを搭載する（表 10、写真 3、4）。

表 10　ふん尿搬入・搬出用作業機械の主要諸元

アームロール車		スラリー運搬・散布用タンク		ふん尿運搬コンテナ	
全長（mm）	8020	形状	円筒	荷台形状	舟底一方開
全高（mm）	3160	積載容量（L）	8500	全長（mm）	5610
全幅（mm）	2490	ポンプ	外部ポンプ	全幅（mm）	2470
重量（t）	11.4	散布方法	衝突板	内法高（mm）	1400
馬力（PS）	325	散布幅（m）	10～11	重量（kg）	1900
最大積載量（kg）	8100	吐出能力（L/min）	1000～1200（清水）	積載容量（m^3）	15.4
変速段数	5	内面処理	溶融亜鉛メッキ	材質/板厚（mm）	スチール／3.2



写真 3　アームロール車の外観（右）と搭載時の状況（左）



写真 4　アームロール車によるコンテナの搭載状況（左）とプラントでの排出作業状況（右）

（1）スラリー

①搬入方法

アームロール車にスラリータンクを搭載して搬入する（写真 3）。

搬入方法はプラントでスラリータンクを搭載して各農家に移動し、スラリーピットからピットに備え付けられたポンプでスラリーを投入してプラントに戻る。バイオガスプラントの原料スラリー投入口にホースを接続してスラリーを排出した後、搬入農家に移動する（図 2）。

②作業能率

ふん尿粘度が高い農家では積み込み直前に攪拌が必要なことから、移動以外の時間が 1829 秒と粘度の低い農家の 2 倍以上を要していた。移動も含めた作業能率は 1.5 台/h であった。粘度の低いスラリー搬入時の作業能率は 3.2 台/h となり、搬入スラリーは十分に攪拌して粘度を下げた方が作業性が良いと考えられる。

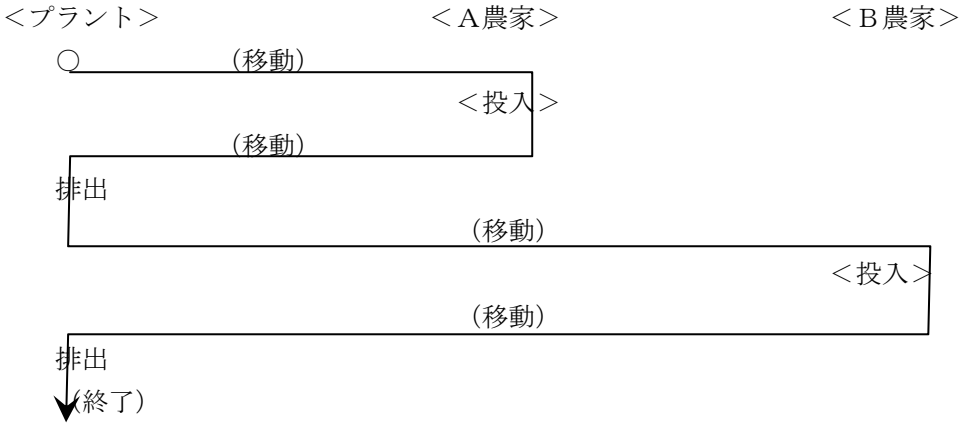


図 2　スラリーの搬入方法の模式図

表 11　スラリーの運搬作業能率

ふん尿粘度 (mPa･s)	1 台あたりの作業時間（秒、カッコ内は分）						総時間	能率	往復距離
	移動	攪拌	投入（農家）	排出（プラント）	その他	移動以外の作業時間	（秒）	（台/h）	（km）
11000	578	495	344	433	557	1829（30.5）	2407	1.5	4.4
1800	310	0	224	350	251	825（13.8）	1135	3.2	2.6

（粘度高低それぞれ 7 台、9 台分の平均、ふん尿粘度の計測は 11/19）

（2）固形ふん尿

①搬入方法

アームロール車にコンテナを積載して搬入する（写真 4）。

固形ふん尿の搬入は、プラントから最初の農家まではコンテナを搭載しないで移動し、農家でふん尿を溜めたコンテナを搭載してプラントに戻り、固形ふん尿受け入れ口に排出する。空になったコンテナを再度農家のバーンクリーナ下部に設置した後、次の農家のコンテナ回収に移動する（図 3）。

②作業能率

5 台の調査結果から、固形ふん尿の搬入時の作業能率は、コンテナの搭載が 61 秒、プラントでの排出が 98 秒であった。排出した後のコンテナ及び運搬用トラックの洗浄に 135 秒を要している。空になったコンテナを農家のバーンクリーナ下部に設置するのに 100 秒を要していた。移動距離が 4km での作業能率は

2.9 台/h であった。

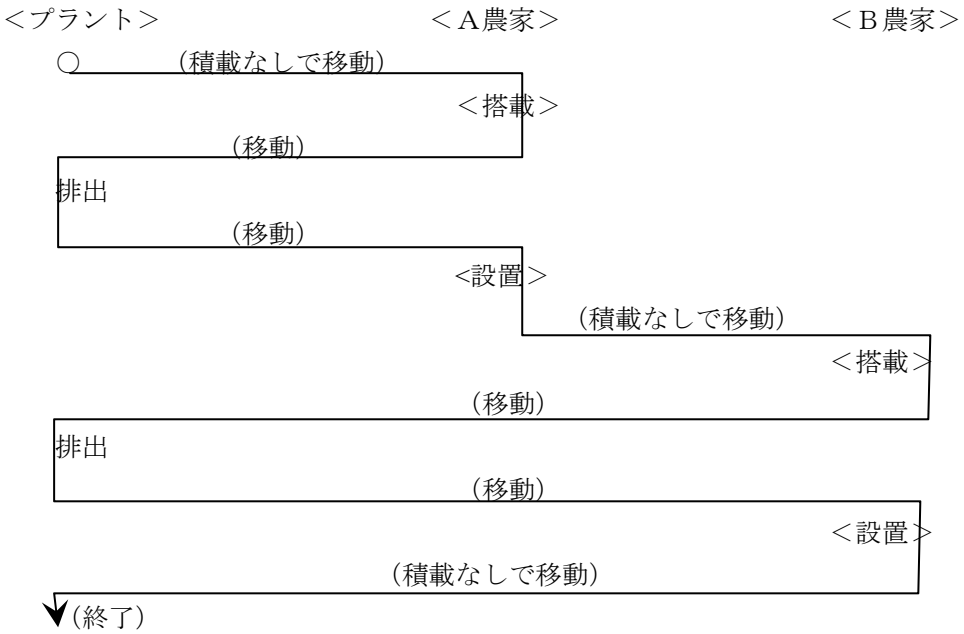


図 3　固形ふん尿の搬入方法の模式図

表 12　固形ふん尿の搬入作業能率（5 台分の平均）

搬入 1 台あたりの作業時間（秒、カッコ内は分）							総時間	能率	移動距離
移動	コンテナ搭載	ふん尿排出（プラント）	洗浄	コンテナ設置	その他	移動以外の作業時間	（秒）	（台/h）	（km）
514	61	98	135	100	329	723（12.1）	1237	2.9	4.0

注：プラントー農家間の往復距離は約 2.7km

4）ふん尿搬入時の汚染対策

（1）スラリー

農家でのスラリー投入時にポンプ操作ミスによる溢れが想定されるが、現状でもほとんど汚れることなく搬入が可能であった。

（2）固形ふん尿





写真 5　コンテナによる固形ふん尿搬入時の汚染状況

プラント内でコンテナからふん尿を排出する時にふん尿が流出して、アームロール車の後輪を汚染する。この汚染が次第に広がる。また、排出後に運搬コンテナ、トラックを洗浄するが、この洗浄場所の排水勾配によっても周囲が汚染される（写真 5)。

搬入したふん尿による車両の汚染や流出したふん尿の上を走行することによる汚染拡大を防止するためには、コンテナふん尿の排出場所および洗浄場所の勾配、構造を図 4 のように変更することが必要である。

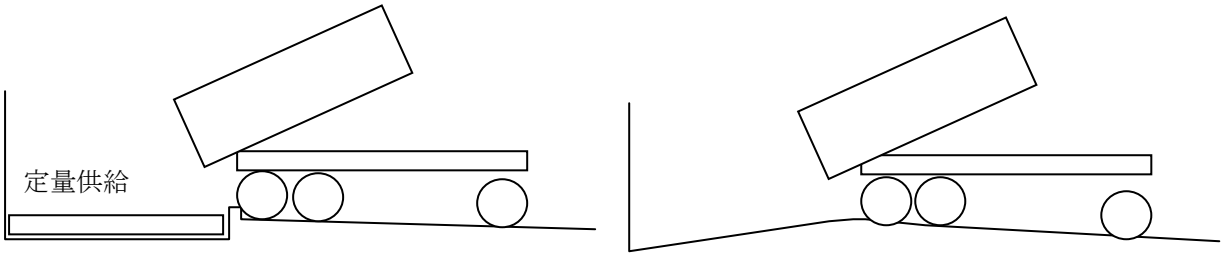


図 4　固形ふん尿搬入時の汚染対策

２．搬出方法の検討

１）消化液・堆肥の搬出方法

遠隔地の圃場散布のためプラントから約 5.4km の場所に消化液のサテライト貯留槽が設置されている。このサテライト貯留槽へはプラントの管理人が適宜、消化液を搬出運搬している。

参加農家の庭先等への運搬作業はなく、各農家が散布と同時作業でプラントからまたはサテライトから各圃場へ消化液及び堆肥を搬出し散布している。

２）ふん尿搬出作業の実態と作業能率

（1）スラリー

①サテライト貯留槽への搬出

バイオガスプラントとサテライト貯留施設との距離は往復で約 11km であった（表 13)。この移動に 911 秒を要していた。消化液はプラント内の貯留槽のレセプションピットに設置されたポンプで運搬車に投入するが､その時間は 175 秒であった｡サテライトでは運搬車のポンプで加圧してレセプションピットに 464 秒で排出した。

作業能率は 1.92 台/h であった。

②農家圃場への搬出・散布

各農家への消化液の搬出・散布は、農家所有のスラリータンカを用いている。調査時のスラリータンカは 14500L の容量であった。

プラントでの消化液の積み込み時間は 251 秒であった｡圃場への往復に 627 秒､圃場内の散布時間は 260 秒であった。消化液の搬出・散布能率はこの移動距離の場合約 2.9 台/h であった。

（2）堆肥

①農家圃場への搬出・散布

プラントで発酵処理した堆肥の搬出・散布についても各農家所有のマニュアスプレッダを利用している。調査時のマニュアスプレッダは TMS7000（スター農機製）であった。

圃場までの往復距離は 2.7km で移動時間は 308 秒であった。散布作業時間は 240 秒で、堆肥の搬出・散布能率は約 3.3 台/h であった。

表 13　消化液のサテライト貯留槽への搬出作業能率（3 台の平均）

搬出 1 台あたりの作業時間（秒、カッコ内は分）					総時間	能率	往復距離
移動	消化液排出（サテライト）	消化液投入（プラント）	その他	移動以外の作業時間	（秒）	（台/h）	（km）
911	464	175	326	965（16.1）	1876	1.9	10.8

表 14　消化液の搬出・散布作業能率（3 台の平均）

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

運搬・散布タンカ容量：14500L

表 15　堆肥の搬出・散布作業能率（2 台の平均）

搬出 1 台あたりの作業時間（秒、カッコ内は分）					総時間	能率	往復距離
移動	圃場散布	堆肥積み込み（プラント）	その他	移動以外の作業時間	（秒）	（台/h）	（km）
308	240	292	241	773（12.9）	1081	3.3	2.7

使用マニュアスプレッダ：TMS7000（スター農機製）

3）ふん尿搬出時の汚染対策

(1) スラリー

汚染箇所は消化液投入時の操作ミスによる溢れと圃場での散布時のタンクおよびタイヤである。

汚染防止対策としては、投入ポンプの自動停止装置の設置や消化液が溢れても運搬車両等のタイヤに付着させないために投入場所をスノコ状にすることなどがある。散布時の汚染については、圃場への出入り時に散布した場所を通らないなど、散布経路を事前に検討しておく必要がある。

(2) 堆肥

汚染箇所は堆肥舎内での堆肥積載時のタイヤおよび散布時のタイヤがあげられる。

汚染防止対策としては堆肥舎に入らないで済むような積載方法の検討と、重複散布を避けるなど散布経路の見直しが必要となる。

3．ふん尿散布法の検討

1）スラリー散布機の作業性能

（1）スプラッシュプレート式スラリータンカの作業能率

圃場から貯留槽間の距離はおよそ 200m であった。試験時はタンカ 1 台ごとに消化液の重量を測定し、供試圃場区画（110×60m）に対して散布量が約 4.5t/10a となるように、速度の調整や区画内で重複散布した。

総散布量は約 31.1t（3 台）で、供試圃場区画（0.66ha）に対する散布量は全体で約 4.7t/10a であったが、圃場の部分的な区域では最大で 3.5 倍（2.4～8.5t/10a）の散布むらが発生した。のべ作業面積（約 1.2ha）

に対する散布量は約 2.7t/10a であった。

総作業時間は約 43 分、平均作業速度は 1.27m/s（0.68～1.69m/s）であり、のべ作業面積に対する作業能率は 1.6ha/h であった。作業内訳では貯留槽への移動時間も含めた補給作業時間が 66.9%と大部分を占め、散布作業時間が 23.7%、旋回時間は 9.4%であった。

表 16　スプラッシュプレート式スラリータンカ作業能率

散布幅[1]	平均作業速度	のべ作業面積[2]	総作業時間	作業能率[2]	作業内訳(%)			
(m)	(m/s)	(ha)	(分)	(ha/h)	作業	旋回	補給(移動含む)	合計
17.5	1.27(0.68～1.69)	1.2	42.6	1.6	23.7	9.4	66.9	100

1)散布跡から測定

2)実際の作業では重複散布を行ったため，作業能率はのべ作業面積(総作業長×散布幅:660×17.5=11550m^2)から算出。

（２）浅層インジェクタの作業能率

供試インジェクタの散布幅は 5m、吐出口数は 28 で、間隔は 18cm である。供試ふん尿は水分が約 96%、粘度が約 440mPa･s であった。

能率試験に先立って、散布量が約 2t/10a となるような設定ポンプ圧と作業速度を決定するため、インジェクタの吐出量を測定した。測定に際しては、散布時のインジェクタの状態を再現するために供試圃場の隅に 8m×3m×深さ 80cm の穴を掘削した。穴の底に容器（約 20L）を並べ、インジェクタを散布時同様に下ろした状態で消化液を吐出（ポンプ圧：0.3bar、0.5bar の 2 段階）して各吐出口からの消化液を受け止め、時間あたりの吐出量を求めた。

能率試験時の消化液の補給は、全 6 回のうち 1 回はバイオガスプラントまで移動して行い、他の 5 回は別のスラリータンカ 2 台（6000L、8500L）でプラントから圃場まで消化液を搬送し、圃場内で行った。なお、圃場からプラント間の距離は約 1km である。

①ポンプ圧、作業速度の決定

設定ポンプ圧 0.3bar における平均吐出量は 22.3kg/s、0.5bar では 25.3kg/s であり、吐出口間の変動係数（c.v.）はそれぞれ 5.1%、5.7%であった（表 17）。設定ポンプ圧 0.5bar での吐出量は、全体では 0.3bar の場合よりも増加したが、両端部付近には明瞭な差がみられず(図 5)、その分変動係数が大きな値を示した。

分配器（ディストリビュータ）から吐出口へ伸びるホースは両端部に近いほど長い。ポンプ圧を増加したことで流速とともに消化液の粘性抵抗が増加し、その影響がホースの長い両端部付近に大きく現れたために、両端部付近の吐出量が上昇しなかったと推察される。

表 17　浅層インジェクタの吐出量

設定ﾎﾟﾝﾌﾟ圧	平均吐出量			
	全体	1口あたり	stdev.	c.v.
(bar)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(%)
0.3	22.3	0.8	0.041	5.1
0.5	25.3	0.9	0.052	5.7

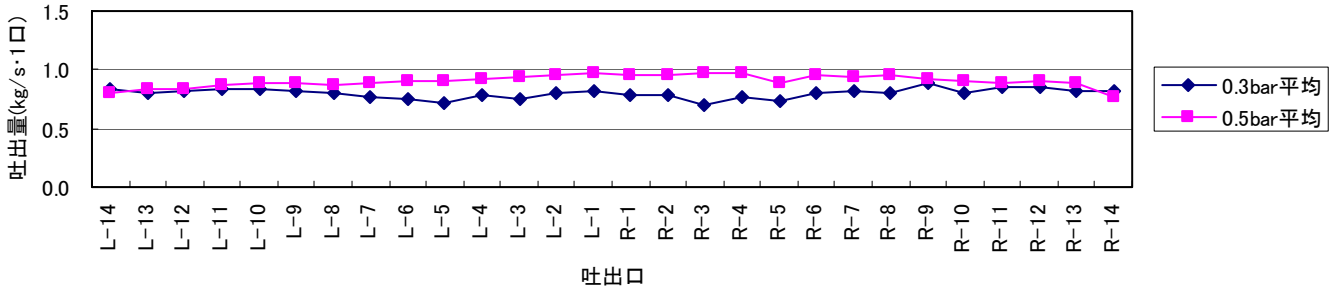


図 5　吐出量分布（浅層インジェクタ）

以上の結果から、能率試験時の設定をポンプ圧 0.3bar（吐出量 22.3kg/s）、作業速度 7km/h（約 1.9m/s）と決定した。計算上の散布量は 2.3t/10a である。

②作業能率

作業面積 3.1ha に対して総作業時間は約 156 分、平均作業速度が 1.95m/s で、作業能率は約 1.2ha/h であった（表 18）。総作業時間のうち実際の散布作業時間が 33.9%、旋回時間が 11.4%、補給時間が 36.7%、移動時間が 15.7%で、作業中のトラブルが 2.3%であった。トラブルは作業機の下ろし忘れや吐出忘れ等、オペレータの操作ミスが原因となるものであった。

表 18　浅層インジェクタの作業能率

散布幅	平均作業速度	作業面積[1)]	総作業時間	作業能率	作業内訳(%)					
(m)	(m/s)	(ha)	(分)	(ha/h)	作業	旋回	補給[2)]	移動[3)]	トラブル[4)]	合計
5.0	1.95	3.1	155.9	1.2	33.9	11.4	36.7	15.7	2.3	100
			127.8	1.5	41.4	13.9	44.7			100

1)圃場区画：250×125m
2)補給回数全6回のうち，1 回目のみバイオガスプラントまで移動して補給，他は別の2台のタンカ（6000L，8500L）で圃場まで消化液を運搬し，圃場内で補給を実施
3)移動は圃場内での移動と圃場−バイオガスプラント間（約1km）の移動の合計時間
4)トラブルは作業機を下ろさずに空走，吐出忘れなど操作ミス
なお，下段は移動とトラブルを除いた値

補給時間は、移動時間も含めると全体の約 5 割を占めた。全 6 回の補給のうち 5 回を圃場内で実施したが、実際の利用場面の多くでは、散布圃場から貯留槽の設置場所まで移動して補給することが想定されるため、本試験と同様の作業速度とポンプ圧設定の場合、本結果よりも作業能率が低下すると考えられる。

（3）バンドスプレッダの作業能率

供試したスラリーは乳牛ふん尿スラリーで、水分：90%、粘度：約 6000mPa･s であった。

供試したバンドスプレッダの散布幅は 16m、ホース本数は 48 で、間隔は 33cm である。試験中、スラリーの補給は圃場から農家のスラリー貯留槽まで移動して行った。圃場と貯留槽の距離は約 200m である。

供試機には流量計および流量制御弁が装備されており、予め設定した散布量となるように吐出量が走行速度に応じてコントロールされる。本試験では散布量が 2t/10a となるように設定して、作業能率を調査した。

作業面積約 1.5ha に対し総作業時間は約 24 分、平均作業速度は 2.1m/s で、作業能率は約 3.7ha/h であった（表 19）。総作業時間のうち散布作業時間が 31.7%、旋回時間が 7.1%で、補給時間（移動時間を含む）は 61.2%と大部分を占めた。

表 19　バンドスプレッダの作業能率

散布幅	平均作業速度	作業面積[1)]	総作業時間	作業能率	作業内訳(%)			
(m)	(m/s)	(ha)	(分)	(ha/h)	作業	旋回	補給[2)]	合計
16.0	2.10	1.5	24.1	3.7	31.7	7.1	61.2	100

1)圃場区画：約190×80m
2)補給時間は圃場内移動と圃場～貯留槽間（約200m）の往復時間も含む

６　残された課題

スラリー搬入農家の凍結防止対策については断熱等を試みたが、十分な攪拌ができなかった農家では貯留ふん尿が凍結した。そのため、この凍結防止対策の改善とその効果確認が必要である。

７　おわりに

１）ふん尿の種類による搬入作業能率

今回の調査対象であるバイオガスプラントでは処理可能なふん尿形態はスラリーのみであるため、つなぎ飼い牛舎で敷料を多量に使用している参加農家の 6 割の固形ふん尿については、固液分離して液分をバイオガスプラントへ送り、固形分は堆肥化処理するという方式をとっている。このため、バイオガスプラントとして必要な人員の他に、固液分離・堆肥処理過程に追加の作業人員が必要となっている。また、運搬についてもスラリー体系と固形ふん尿体系という 2 系統を持つ必要がある。これは、プラント建設費およびランニングコストの増加の大きな要因となっている。

そこでこの問題を解決する一つの方法として、バイオガスプラントの発酵施設に、敷料が多量に混入したものでも対応できる方式を採用することで、このような固液分離・堆肥化施設は不要となる。

また、搬入農家のふん尿処理方式をＤ農家のようにスラリー処理に変更することで図 3 の運搬体系が図 2 のスラリー処理体系に変更になることからスラリーでの搬入作業の方が空での移動分少ないことから、往復の移動距離は 10.1km から 5.2km とほぼ半減し、運搬台数ベースでのアームロール車による搬入作業能率も 1.8 台/h（11.2t/h）から 2.4 台/h（13.0t/h）に向上することが確認できる（表 20、21）。

表 20　固形ふん尿の搬入作業シミュレーション

搬入 1 台あたりの作業時間（秒）							移動時間を除いた能率	移動距離
移動	搭載（農家）	排出（プラント）	洗浄	設置（農家）	その他	総作業時間	（台/h）	（km）
1058	116	166	274	91	305	2010	1.8	10.1

注：プラントー農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。運搬車の固形ふん尿の積載可能量は 6.2t/台。

表 21　スラリーでの搬入作業シミュレーション

1 台あたりの作業時間（秒）						移動時間を除いた能率	移動距離
移動	攪拌	投入（農家）	排出（プラント）	その他	総作業時間	（台/h）	（km）
637	0	224	350	305	1516	2.4	5.2

注：プラントー農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。運搬車のスラリーの積載可能量は 5.4t/台。

堆肥処理施設を持たない場合はこのような搬入作業の高能率化の他、固液分離・堆肥化のための作業および施設の削減、汚染可能箇所の削減、搬入設備（コンテナ）の削減等のコストや衛生管理面でも非常に有利となる。

２）搬入作業のシミュレーション

これまでは、プラントへの搬入作業能率を運搬車両台数で示してきた。ここでは、運搬するふん尿の重量での作業能率を検討した。また、現状のスラリーと固形ふん尿での搬入の場合と全量スラリーでの運搬の場合の運搬可能範囲について検討した。

（1）スラリーの搬入作業

スラリーでの作業能率は、現状のアームロール車での運搬作業能率と、全量スラリーとなった場合にはスラリータンカーをトラクタで牽引する方式での運搬作業能率とした。

結果を表 22 に示した。運搬速度は現状のアームロール車が 29.4km/h で、改善のトラクタ牽引時が 18.4km/h と現状の方が約 1.6 倍高速であり投入・排出も短時間であるが、一回の運搬重量が約 2.4 倍と改善の方が多くなることから、1 時間あたりの搬入能率は現状の 14.6t/h に対して、全量スラリーとしてスラリータンカーに変更した改善区では 19.9t/h と約 1.4 倍の搬入能率となった。

表 22　スラリーでの搬入作業

運搬条件	運搬重量 (kg)	移動距離 (km)	移動時間 (秒)	走行速度 (km/h)	投入 (秒)	排出 (秒)	その他 (秒)	総作業時間 (秒)	搬入能率 (t/h)
現状	5400	5.2	637	29.4	151	236	305	1329	14.6
改善	13050	5.2	1017	18.4	406	634	305	2363	19.9

現状の運搬重量は、最大積載量から逆算。

改善はスラリータンカー（トラクタ牽引、14500L）で運搬した場合。運搬量は容量の 90%とした。

プラント～農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。走行速度などは現地調査を基に算定した。

（2）固形ふん尿の搬入作業

固形ふん尿の場合には、一台あたりの作業能率に運搬重量を適用することで表 23 のように試算され、搬入能率は 10.8t/h となった。

表 23　固形ふん尿での搬入作業

運搬条件	運搬重量 (kg)	移動距離 (km)	移動時間 (秒)	走行速度 (km/h)	排出 (秒)	洗浄 (秒)	設置 (秒)	その他 (秒)	総作業時間 (秒	搬入能率 (t/h)
現状	5400	10.1	1058	34.4	75	274	91	305	1803	10.8

現状の運搬重量は最大積載量から逆算。プラント～農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。

3）運搬距離のシミュレーション

搬入するふん尿量を対象頭数 1000 頭として設定した場合の運搬可能量から最大の運搬距離を求める。表 1 のふん尿の処理方式別の飼養頭数からスラリーと固形ふん尿を 50：50 とした。また、運搬車の移動速度は、表 11、14 から概算した。

（1）現状と同じふん尿の搬入：スラリー、固形ふん尿の運搬作業の場合

搬入量：スラリー50%（32.5t/日）、固形ふん尿 50%（25t/日、ふんのみ）

作業可能時間：6 時間/日

表 24、25 から合計作業時間が 6 時間となるのは平均の農家距離が 5.5km のときである。

（2）運搬を全てスラリーとし、スラリータンカーで搬入した場合

移動速度を 30km/h とした場合、表 26 から合計作業時間が 6 時間となる平均の農家距離は約 8.0km の時となる。

表 24　スラリーの運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
32.5	5.4	6	1.0	12.0	35	1234	4152	5386	1.5
32.5	5.4	6	2.0	24.0	35	2469	4152	6621	1.8
32.5	5.4	6	4.0	48.0	35	4937	4152	9089	2.5
32.5	5.4	6	5.0	60.0	35	6171	4152	10323	2.9
32.5	5.4	6	5.5	66.0	35	6789	4152	10941	3.0
32.5	5.4	6	6.0	72.0	35	7406	4152	11558	3.2

表 25　固形ふん尿の運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
25	5.4	5	1.0	12.0	35	1234	3725	4959	1.4
25	5.4	5	2.0	24.0	35	2469	3725	6194	1.7
25	5.4	5	4.0	48.0	35	4937	3725	8662	2.4
25	5.4	5	4.5	54.0	35	5554	3725	9279	2.6
25	5.4	5	5.0	60.0	35	6171	3725	9896	2.7
25	5.4	5	5.5	66.0	35	6789	3725	10514	2.9
25	5.4	5	6.0	72.0	35	7406	3725	11131	3.1

表 26　スラリータンカーによるスラリーの運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
65	13.05	5	1.0	10.0	20	1800	6725	8525	2.4
65	13.05	5	2.0	20.0	20	3600	6725	10325	2.9
65	13.05	5	4.0	40.0	20	7200	6725	13925	3.9
65	13.05	5	7.0	70.0	20	12600	6725	19325	5.4
65	13.05	5	8.0	80.0	20	14400	6725	21125	5.9
65	13.05	5	9.0	90.0	20	16200	6725	22925	6.4

スラリータンカーの容量：14500L

3）サテライト貯留の効果

散布圃場の近くに補助的な貯留槽を設置（以後、サテライト貯留槽と呼ぶ）した場合の消化液の散布作業能率について検討した。サテライト貯留槽への消化液の運搬は、散布作業とは別の時期に運搬することから散布作業能率には影響しないとして、この比較計算からは除外した。

＜条件＞

散布機：14.5m^{3}のスラリータンカーをトラクタで牽引。

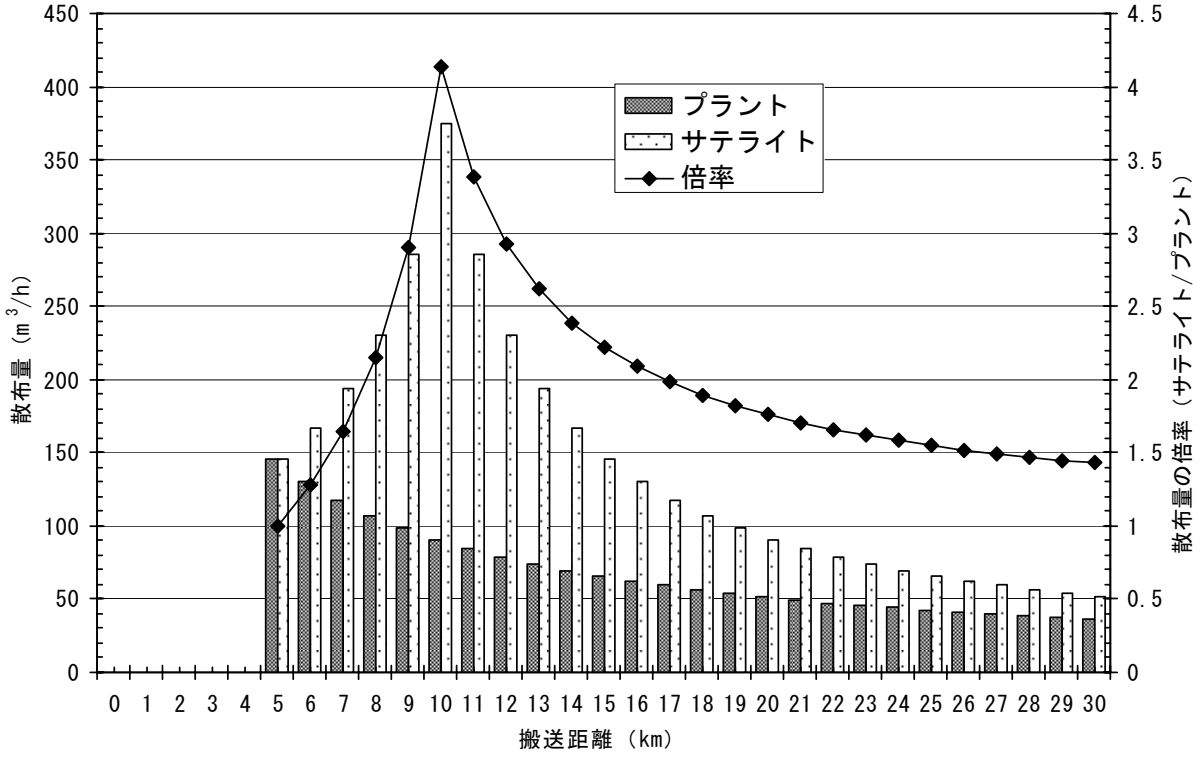
移動速度：約 18.4km/h（1km を 196 秒で走行）

散布作業：260 秒

積み込み作業：251 秒

その他の作業：115 秒

プラントとサテライト貯留槽の距離：5km



補足図１　サテライト貯留槽を用いた場合の散布量変化

補足図 1 から、散布量が 2 倍以上となるのは搬送距離が 17km となり、サテライトからプラント側 1km からプラントと反対側の 3.5km のところまでとなる。ただし、これはプラントとサテライト貯留槽を結んだ直線上での数字であり、実際の場面では道路配置から求めたプラントとサテライト貯留槽からの運搬距離により、散布量を比較する必要がある。

以上のように、共同利用型バイオガスプラントを設計する場合には、対象とする地域のふん尿処理形態に合わせた発酵処理方式を採用して搬入後のふん尿処理をメタン発酵のみとするか、参加農家のふん尿処理方式をスラリー処理に変更して原料ふん尿の搬入作業を単純化する必要があると考える。

1　課題名

2　効率的なバイオガスの生成及び脱硫条件の検討

2　担当場所科室名：　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

3　はじめに

バイオガスプラントはカーボンニュートラルなエネルギーの産出施設として、デンマークやドイツ等では普及しており、北海道においても家畜糞尿をメタン発酵で処理するバイオガスプラントの施設数が 2000 年から増加し、現在は試験用も含めて 30 基を超えている。

発生するバイオガスから効率的にエネルギーを取り出すにはメタンガス発生量を多くし、かつ、バイオガス中の硫化水素を効率的に除去することが必要である。また、北海道ではバイオガスプラントの原料として直接利用し難い固形ふん尿(堆肥盤に堆積されている物)を排出する酪農家が過半を占めるため、共同利用型バイオガスプラントでは固形糞尿も受け入れるためには、この対策が必要となる。そこで、別海及び湧別の資源循環試験施設及び実験室の発酵装置を用いて、効率的なメタンガス産出手法に関し、下記の 4 点について明らかにする。

1）固形糞尿のメタン発酵原料としての直接利用の課題

バイオガスプラントでは原料や生成物が管路移送されるため、原料はスラリー状でなければならない。このため、固形糞尿は固液分離し、分離固形分は堆肥化をし、分離液分をメタン発酵の原料としているが、このためにメタン発酵施設と堆肥化施設が必要となり、運営上の大きな負担となる。そこで、固形糞尿を直接、メタン発酵の原料として利用する可能性を検証する。

2）中温発酵での各種副資材のメタンガス発生の増加効果

地域で発生する有機性廃棄物をバイオガスプラントの副資材として利用することは、エネルギーや肥料資源の有効利用に繋がるだけでなく、焼却処理や埋め立て処理などの環境負荷の懸念のある処理法に比較し安全な処理法である。そこで、地域で発生する各種有機性廃棄物の中温メタン発酵への影響を資源循環試験施設及び小型発酵装置(実験室)で明らかにする。

3）バイオガス中の硫化水素ガスの除去法

バイオガス中には数千 mL/kL の硫化水素ガスが含まれており、バイオガスを発電機やガスボイラーで利用するには、事前にこれを除去する(脱硫という)ことが必要である。そこで､脱硫を確実かつ効果的に実施するための方法を資源循環試験施設等で明らかにする。

4）高温発酵試験

中温発酵に比べると温度変動に弱いため制御は難しいが、エネルギー取得が大きいと言われている高温発酵の試験を室内と別海施設(平成17年 1 ～ 3 月)で実施した。別海施設での実験は、発酵槽の温度を53℃に上昇させ殺菌工程を省略したのみで、発酵原料投入量などは中温発酵のままであった。そのため、通常の高温発酵とは条件が異なる。

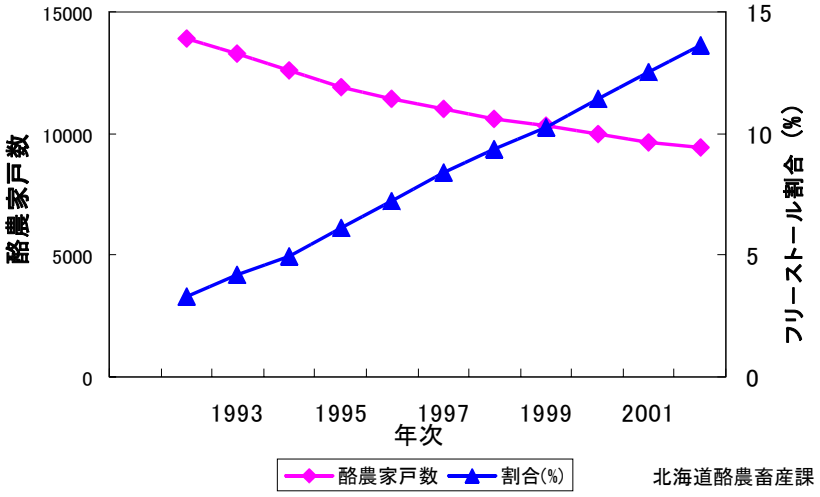
以下に、それぞれの課題ごとに章立てして、研究目的、調査・試験方法、調査結果と考察、小括を述べる。

Ⅰ．敷料混合ふん尿のバイオガスプラントでの原料としての適性

1．目的

北海道酪農ではスラリー状ふん尿を排出するフリーストール飼養農家は 15%弱(図－１)であり、大部分の酪農家はスタンチョン飼養で堆肥盤に堆積される敷料が混入した糞尿(以下、固形糞尿という）を排出している。また、別海施設の参加酪農家 10 戸の内スラリー状糞尿を排出する酪農家は2004年度当初で４戸に過ぎない。

バイオガスプラントでは原料や生成物を管路搬送しており、管路、ポンプあるいは熱交換機での敷料等による閉塞を防止するため、スラリー状糞尿が用いられる。このため、共同利用型バイオガスプラントでスタンチョン飼養からの固形糞尿を受入れる場合には、固形糞尿を固液分離し、分離液分をバイオガスプラントの原料とし、分離固分は堆肥化する事になる。しかし、このためには、固液分離機だけでなく、固形糞尿の凍結防止や融解施設を含めた堆肥化のための一連の施設、労力及び動力が、メタン発酵施設の他に必要とされ、プラントの大きな負担となる。したがって、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接かつ、簡易に利用できれば、プラント運営上の大きな負担軽減となる。そこで、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接利用する可能性を検証する。また、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接投入することで、有機物含量が高まり、バイオガス発生量が増加することも期待され、その効果も検証する。



図－１　酪農家戸数に対するフリーストール飼養農家の割合

２．試験１　長藁使用の固形糞尿の直接投入

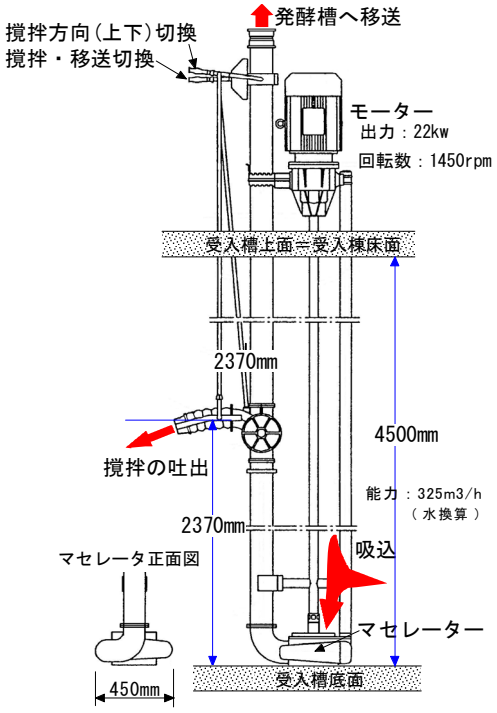
目的

別海施設への参加農家 10 戸のうち、2004年４月始め現在で６戸は固形糞尿を排出し、その内５戸は無細断の麦桿あるいは牧草を敷料として、１戸は麦桿を 10 ～ 20cm に細断し敷料として使用している。そこで、無細断の長藁あるいは牧草を含む固形糞尿(以下、長藁使用の固形糞尿という)をメタン発酵の原料とする可能性を検証する。また、長藁使用の固形糞尿での直接投入の５回目試験で発生した閉塞事故の原因を検討する。

1)方法

(1)　メタン発酵原料の受入槽の構造

メタン発酵原料受入槽には図－２に示すような破砕・撹拌ポンプ(以下、単に破砕ポンプと呼ぶ)がスラリーの撹拌とスラリーに含まれる長藁等の粗大有機物の細断用に設置されており、受入槽に投入されたスラリーは約１時間、受入槽で撹拌・混合されてから、メタン発酵槽に送り込まれる。固形糞尿の直接投入試験にあたっては、図－３に示すように、破砕ポンプとモーノポンプを各１台増設して、固形糞尿とスラリーの撹拌・混合および長藁等の細断能力を増強した。



図－２　破砕ポンプの構造

【破砕ポンプの構造】

マセレータ部の上面からスラリーや長藁や牧草（以下、長藁という）が吸い込まれる。マセレータ内部で回転しているスクリューの羽根とケーシングエッジが鋏と同じ原理で細断機能を発揮する。

スクリューの回転力でパイプに送りこまれたスラリーは押し上げ力で管内を上昇する。切換弁が撹拌側になっていれば、吐出され、撹拌流となって受入槽内に拡散していく。

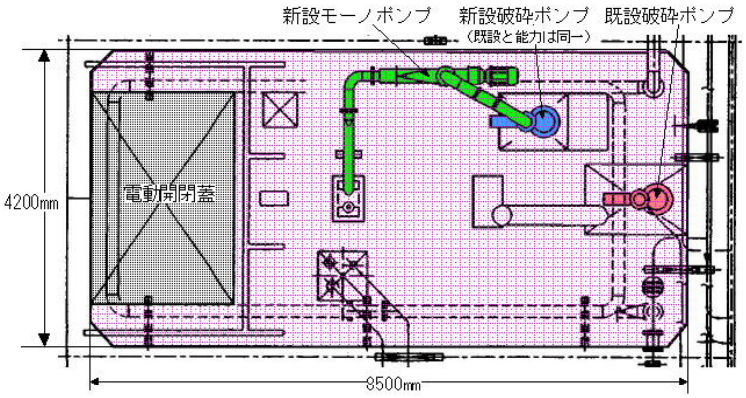
吐出口を含む縦配管全体が横回転可能な構造となっている。加えて、吐出口はレバー操作で上下方向を変化させることができるので、左右100°上45°下30°の範囲で撹拌水流の方向を手動で変化させることができる。

実験経過の写真で示すとおり、この撹拌水流を変化させることが固形糞塊のほぐしに大きく貢献した。

【破砕ポンプの設置位置】

増設の破砕ポンプは、スラリー投入口の斜後方、既設破砕ポンプの斜前方の位置に設置された。

受入槽の形状は直方体であるため、水流の届き難い四隅が撹拌に関するデッドスペースと成りやすい。二つの破砕ポンプの吐出口が同じ方向を向いているので、図の右上角の部分は特に、水流が侵入しずらい。実際に、この隅に入った固形糞尿塊は６時間経過後にやっと水流に乗って動き出したほどである。



図－３　破砕ポンプの設置位置

(2)　原料の受入槽への投入と撹拌混合経過

破砕ポンプの新設のために完全に空とした受入槽に、スラリーと固形糞尿および副原料タンク内の残滓（水産加工物破砕試験）を以下のように投入貯留した。

ふん尿スラリーに対する投入した固形ふん尿の重量割合は約16％であった。

受入槽の撹拌は以下のようである。

2002年11月20日　30分の予備撹拌（破砕ポンプ１台）を行った。

21日　２台の破砕ポンプとモーノポンプで８時間の連続撹拌を行った。

22日　発酵槽へ投入前の撹拌。

表－１　資材別投入日程

資材別	13日（水）	15日（金）	16日（土）	18日（月）	合計	秤量法
スラリー	29m³	68m³	－	－	97　m³	液面計換算
副原料ﾀﾝｸ内残滓	－	－	1.8m³	－	1.8m³	液面計換算
固形糞尿	－	7.3t	－	8.2t	15.5t	ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ

(3)　試料の採取と分析法

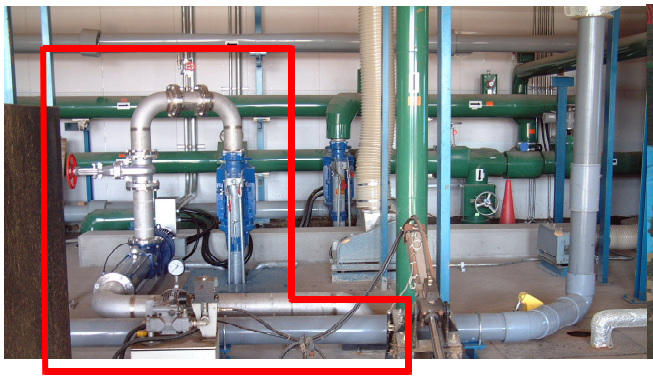
2002年11月15日の固形糞尿投入前に、貯留スラリーの試料を採取した。

20日に30分間の予備撹拌を行った後、貯留スラリーを採取した。

21日の連続撹拌後は８時間目まで、２時間ごとにスラリーを口径215mmの金属製バケツで約15ﾘｯﾄﾙを採取し、計量後水中篩別で2mm以上の有機物を回収した。回収した有機物は実験室で長さ別に仕分けて、湿物重量と70℃乾燥重量を秤量した。

22日にモーノポンプの排出液を採取した。

また、バケツでの採取では不可避的に長藻が排除されてしまうため、測量ポールをスラリー中に入れ、撹拌流で巻き付く長藻も採取し、長さ別重量を調査した。この測量ポールに巻き付けて採取した試料を実験結果の項では「竿掛け」という。



写真－１　新設した破砕ポンプとモーノポンプ



写真－２　長藻の回収状況

(4)　ガス発生増加量の確認法

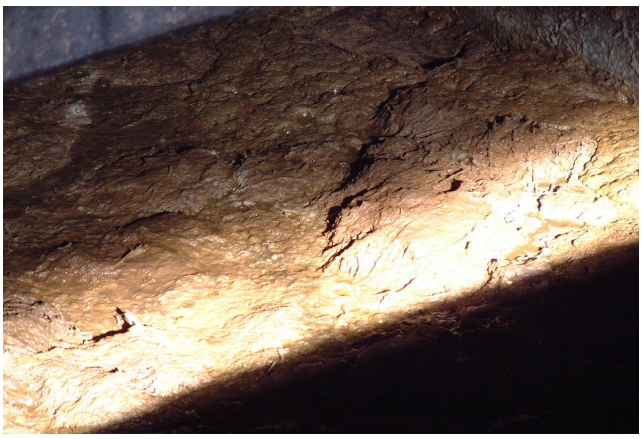
バイオガスの発生量は施設内に設置されたガス流量計によって１時間毎に記録し、１日のガス発生量の合計値を集計した。

2)結果と考察

(1) 原料投入後の撹拌に伴うスラリー化の経時的状況

【固形糞尿の投入直後】

投入した固形糞の塊が浮遊しており、約１ｍの厚さで受入槽の表面を覆い尽くしていた。

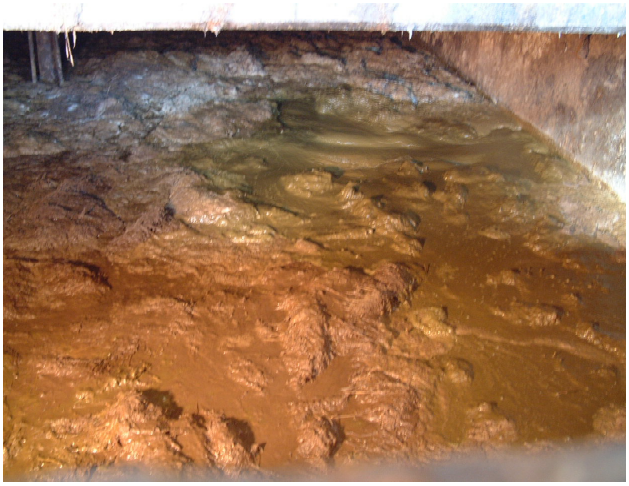


写真－３　2002年11月20日予備撹拌前の状況

【予備撹拌】

破砕前のサンプル採取のために、旧撹拌ポンプのみで30分の撹拌を行った。撹拌開始８分後で液面に湧き上がる流れが確認できた。この流れはその後広がりを見せたが、固形糞塊を大きく揺り動かすような強い流れには至らなかった。

充分に撹拌すると長藁の破砕が進んでしまうので、予備撹拌は30分で終了し、分析用試料を採取した。



写真－４　2002年11月20日予備撹拌８分後の状況

【連続撹拌】

撹拌２時間半までは旧破砕ポンプと新破砕ポンプ＋モーノポンプで撹拌を行っていた。モーノポンプを併用すると、強い撹拌水流が発生せず、固形糞塊のほぐしが進まないため、モーノポンプを停止し、新旧破砕ポンプでの循環撹拌に切り替えた。撹拌水流を上向きにすると、写真のように噴水状の水流が発生し、糞塊の破砕が進んだ。



写真－５　2002年11月21日撹拌開始３時間後

新旧破砕ポンプの水流方向を様々に変化させ、大きな糞塊は半減した。



写真－６　2002年11月21日撹拌開始６時間後

撹拌開始７時間後に新破砕ポンプはモーノポンプ併用に切り替えた。そのため、液面は波立たない静かな状況となっていた。ほぐしきらない糞塊が若干浮遊していた。



写真－７　2002年11月21日撹拌開始８時間後

浮遊固形糞塊は全く確認できない状態。
細かな泡に覆われていた。



写真－８　2002年11月22日一夜静置後の状況

発酵槽への投入に備えて再撹拌を開始したところ、液中に隠れていた固形ふん尿塊の浮き上がりが始まった。前日の破砕撹拌で破砕しきれなかった巨塊が残っていたものである。



写真－９　2002年11月22日再撹拌開始後の状況

固形糞塊の概ねのほぐれが確認できたので、モーノポンプを併用した破砕に切り替えた。

モーノポンプを併用すると強い撹拌流は全く発生しない。

モーノポンプからの排出液のみを採取した。



写真－10　2002年11月22日モノーポンプ破砕の状況

(2)　スラリー性状と長藁の長さ別割合

表－２に採取した固形分濃度(以下、Tsという)の変化を示した。

固形糞投入前の貯留しておいたスラリーのTsは平均7.4%、固形糞を投入し８時間の連続撹拌・破砕を行った後のスラリーのTsは8.2%で、0.8%の増加であった。また、モーノポンプから吐出しているスラリーは8.0%とやや小さな値を示した。

表－２　固形分濃度の変化

試料名		固形分(Ts)	灰分	有機物(Vs)
原料	A農家固形糞尿	13.3%	2.1%	11.2%
	B農家固形糞尿	12.8%	2.1%	10.7%
受入槽	11/15　固形糞尿投入前	7.4%	1.8%	5.6%
	11/20　予備撹拌30分後	7.8%	1.8%	6.0%
	11/21　撹拌２時間後	7.6%	1.8%	5.8%
	11/21　撹拌４時間後	8.0%	1.8%	6.2%
	11/21　撹拌６時間後	8.1%	1.9%	6.2%
	11/21　撹拌８時間後	8.2%	1.9%	6.3%
	11/22　モーノ破砕液	8.0%	1.8%	6.1%

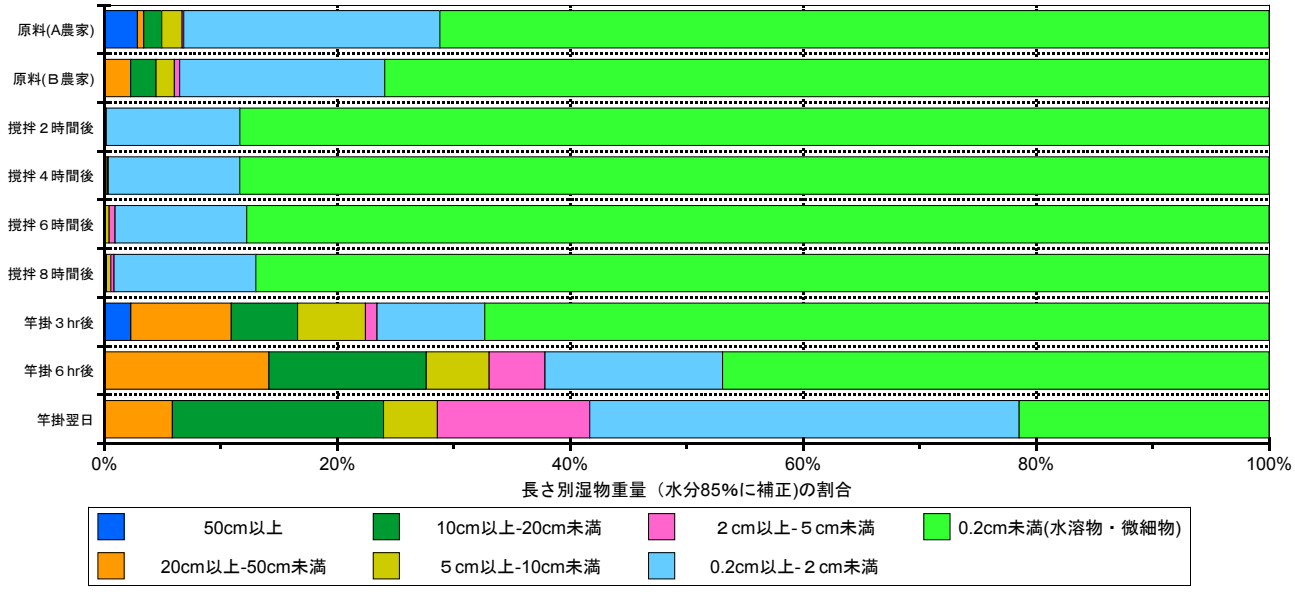
(3) 原料となるスラリーと固形糞尿性状および撹拌混合に伴う長さ別長藁割合の変化

７段階の長さ別に篩分けした長藁の湿物重量(水分85%に補正)を表－３、その割合を図－４に示した。図－５には、２cm以上の粗大物を抽出した湿物重量割合(水分85%に補正)を示した。

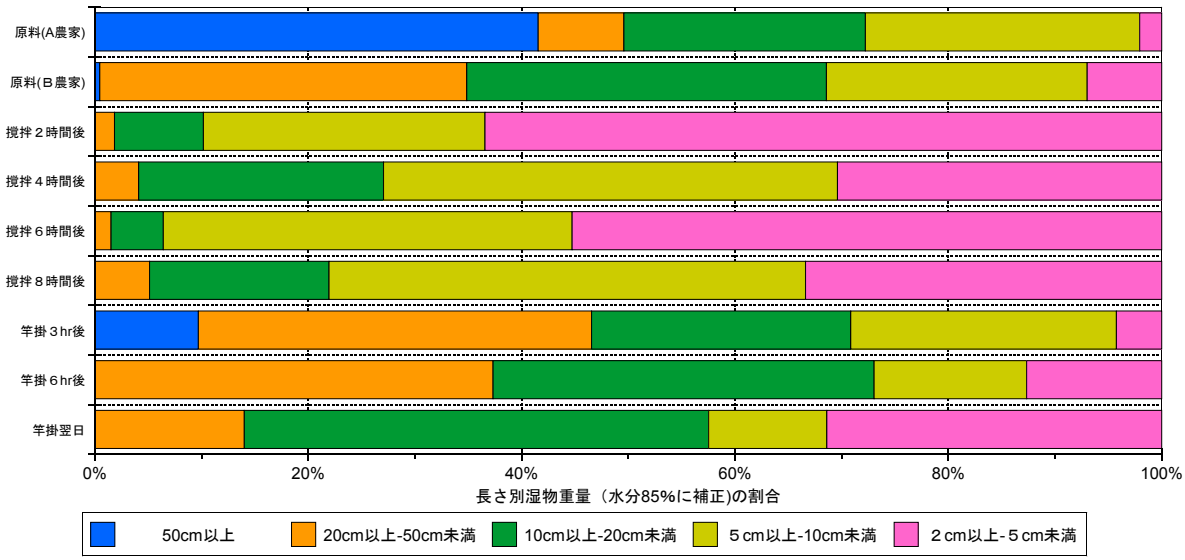
表－３　長藁の長さ別湿物重量および割合(水分85%に補正)

補正湿物重量（g）	原　料		バケツで採取したスラリー				竿掛け物		
長さ画分	原料(A農家)	原料(B農家)	２時間後	４時間後	６時間後	８時間後	竿掛３hr後	竿掛６hr後	竿掛翌日
50cm以上	315.3	3.3	0	0	0	0	4.8	0	0
20cm以上-50cm未満	60.9	240.7	0.4	2.1	2.1	6.2	18.2	27.7	22.9
10cm以上-20cm未満	171.7	235.9	1.8	11.7	6.7	20.3	12	26.5	71.1
５cm以上-10cm未満	195	171.1	5.7	21.7	52.5	53.9	12.3	10.6	18.1
２cm以上-５cm未満	15.7	48.9	13.7	15.5	75.7	40.3	2.1	9.4	51.3
0.2cm以上-２cm未満	2448.1	1906.7	1553.7	1692.3	1683.5	1764	19.5	29.9	144.6
0.2cm未満(水溶物・微細物)	7925.3	8222.4	11971.7	13257.7	13073.5	12612.3	142.1	92.02	84.1
合計	11132	10829	13547	15001	14894	14497	211	196.12	392.1
容量(ﾘｯﾄﾙ)	12	12	15	15	15	15			
補正湿物重量割合（%）									
長さ画分	原料(A農家)	原料(B農家)	２時間後	４時間後	６時間後	８時間後	竿掛３hr後	竿掛６hr後	竿掛翌日
50cm以上	2.83	0.03	0	0	0	0	2.27	0	0
20cm以上-50cm未満	0.55	2.22	0	0.01	0.01	0.04	8.63	14.12	5.84
10cm以上-20cm未満	1.54	2.18	0.01	0.08	0.04	0.14	5.69	13.51	18.13
５cm以上-10cm未満	1.75	1.58	0.04	0.14	0.35	0.37	5.83	5.4	4.62
２cm以上-５cm未満	0.14	0.45	0.1	0.1	0.51	0.28	1	4.79	13.08
0.2cm以上-２cm未満	21.99	17.61	11.47	11.28	11.3	12.17	9.24	15.25	36.88
0.2cm未満(水溶物・微細物)	71.19	75.93	88.37	88.38	87.78	87	67.35	46.92	21.45
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100

註）バケツでの採取では不可避的に長藁が排除されてしまうため、測量ポールをスラリー中に入れ、撹拌流で巻き付く長藁も採取し、長さ別重量を調査した。この測量ポールに巻き付けて採取した試料を「竿掛物」と表現した。



図－４　長藁の長さ別湿物重量割合(水分85%に補正)



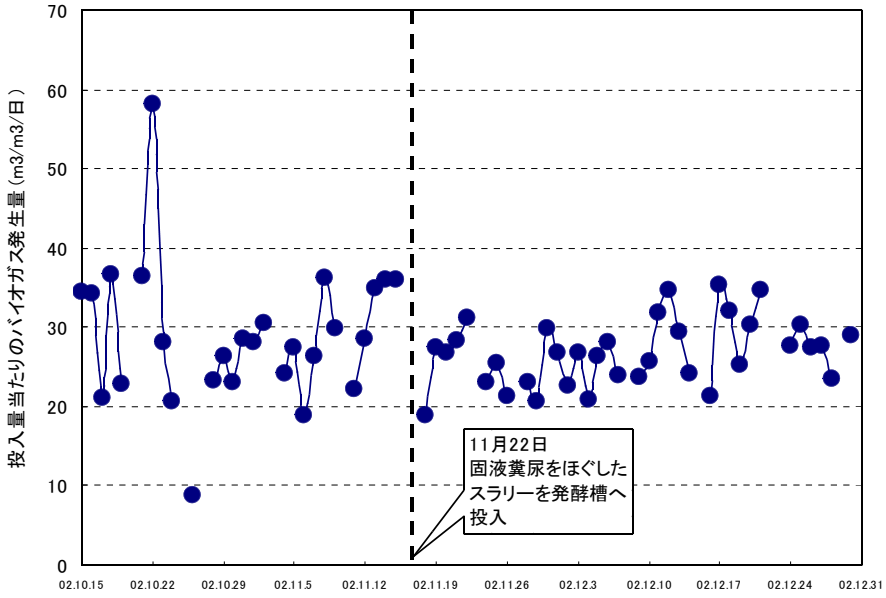
図－５　２cm以上長藁の長さ別湿物重量割合（水分85%に補正）

原料中の長藁の混入割合は農家によって異なっており、A農家の固形糞尿には50cm以上の長藁の割合が多かった。

図－４においても図－５においても時間の経過に伴い、長藁の割合が増える傾向にある。このことは、８時間程度の撹拌では固形糞尿塊が破砕される程度で、長藁の破砕はあまり進行していないと考えられる。しかし、竿掛け物の内容では、６時間後で50cm以上のものが採取されていないことから、長いものから優先的に破砕されていくことも推定される。

(4)　バイオガス発生量の変化

スラリー投入量当りのバイオガス発生量を図－６に示した。固形糞尿の直接投入前と投入後でほぼ等しく、固形糞尿直接投入のバイオガス発生に及ぼす効果は認められなかった。



図－６　固形ふん尿直接投入試験前後でのガス消費量の推移

(5)　破砕ポンプの閉塞事故発生状況

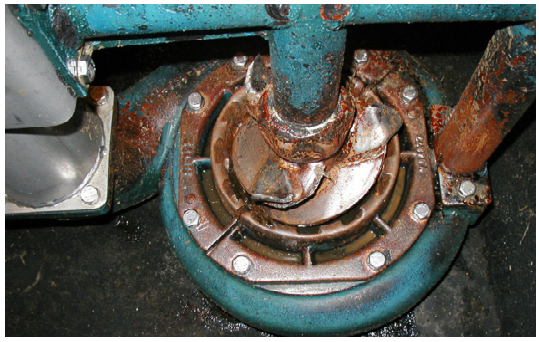
スラリー受入槽に投入された敷料混合ふん尿がほぐれるまでに８時間程度の連続した撹拌が必要であり、効率的にほぐすためには頻繁に撹拌水流の方向を変化させることが必要であるが、ほぐれてしまえば配管内での閉塞の危険性は小さいと判断された。このため、直接投入を断続的に実施した。しかし、約１ヶ月後の平成15年１月の５回目の投入時に破砕ポンプで閉塞するという事故が発生し(写真－11)、その後の直接投入を中断した。



写真－11　敷料混合ふん尿の直接投入による破砕ポンプでの閉塞状況
左：撹拌水流の吐出口の閉塞　　右：破砕用マセレータ部の閉塞



写真－12　除去した閉塞物

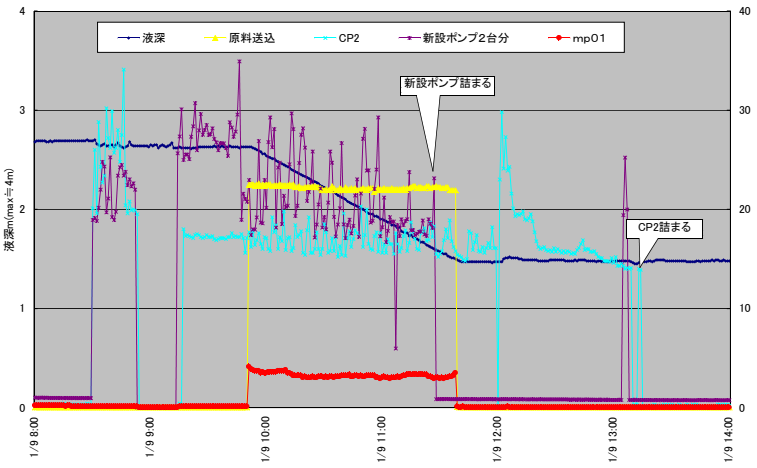


写真－13　洗浄後のマセレータ

(6)　破砕ポンプでの閉塞事故の発生原因の解明

破砕ポンプでの閉塞の原因は、ほぐしきれていない固形糞尿塊が浮遊していて液深が浅い状態で、原料移送を行い、より液深が下がったために破砕ポンプに糞尿塊が吸引されたためと考えられた。

固形ふん尿塊は氷山のように浮遊しているため、スラリー液深が3m以上と深い状態で投入し、充分に撹拌してほぐれたことを確認してから移送するという注意が必要である。



図－７　固形糞尿直接投入中に発生した閉塞とその時の受入槽内の状況（2003.1.9）

３．試験２　固液分離固分の投入

目的

長藁入り固形糞尿でも固液分離過程を経ることにより、固形糞尿中の長藁は固液分離機への定量供給のビータ(写真-14)によりほぐされている。このため、固液分離後の固分は固形糞尿よりは受入槽での撹拌混合によりほぐされ易くなっていると推測した。そこで、固液分離を受けた固形糞尿の直接投入の可能性を検証する。



写真－14　定量供給のビーター部

1)方法

2004年2月3日9時より　受入槽の破砕ポンプを２台とも撹拌モードで始動し、70分間稼働した。

10時10分より　受入槽の格子網の上から、固液分離固分をバケット（約1.3m^3）１杯分投入した。その後、格子網を外した状態で固液分離固分をバケット４杯分を投入した。スラリーは116m^{3}貯留されていたので、重量割合で約4.2%であった。







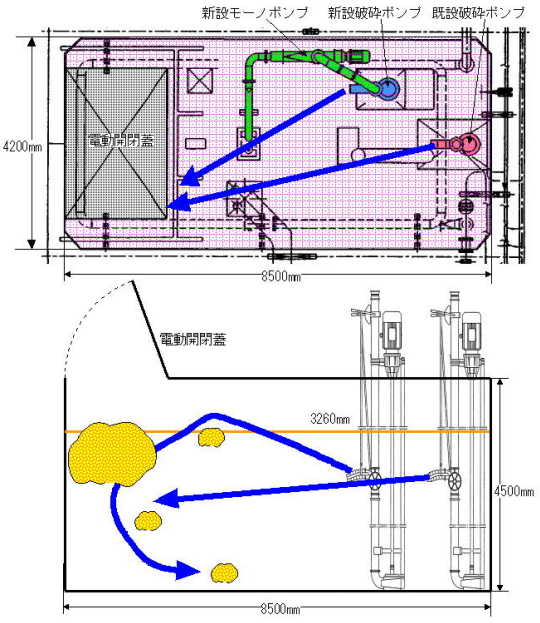
写真－15・16・17　　分離固分　投入状況

2)結果と考察

撹拌水流の方向は、図－８に示した向きを基本として、糞塊の状況に合わせて調整した。

新設ポンプの水流は上向きとし、水面で噴水状の飛沫が生じるようにすると、浮遊糞塊の分断に有効であった。加えて、浮遊糞塊をピットの奥側に逃げ込ませないで、手前側の狭いエリアに閉じこめ、撹拌水流の衝撃を頻繁に浴びさせることにも有効であった。

既設破砕ポンプの水流は、やや下向きとし、分散した糞とワラをピット全体に拡散させる役割を担わせた。



図－８　撹拌水流の方向



写真－18　10:42　３杯目を投入した時点



写真－19　10:44　４杯目を投入した時点



写真－20 11:36 ５杯投入して暫く撹拌した時点



写真－21 16:59 ほぐしきれないない糞塊直径約３ｍ



写真－22 ２月４日 8:44 一晩、新設ポンプを稼働したままにしておいたので、糞尿塊のほぐしが進んだが、直径1.5m程度の塊が残っていた。水流だけの分散では極めて長時間を要すると判断し、レーキ２本を用い、糞塊の周辺から掻き取るような手作業で分散させた。



写真－23 ２月４日 11:42 概ねきれいにほぐされた

分離固分を直接投入するためには、以下の注意点が必要と考えられた。

①１回に投入する量をバケットで３杯以下にする。

②投入間隔をなるべく長くして、投入した糞塊が充分に分散したことを確認してから次の投入を行う。

③撹拌水流は、投入口付近に糞塊が留まったままで分散が促進するように工夫しつつ、調整を行う。

固液分離固分の投入前及び投入撹拌後のスラリー性状を表－４に示した。投入してもTSの変化はなかった。

表－4 固液分離固分直接投入試験 試料分析値

	水分率	乾物率	灰分率	有機物率
投入前平均	91.9	8.1	1.7	6.4
投入後平均	91.9	8.1	1.7	6.4

以上のような操作を行うためには、頻繁にスラリー受入槽を監視している必要があり、現在の運転員の労働体制では容易ではないと考えられる。

固液分離後の固分であってもスラリー受入槽にフロントローダーの標準バケット(1.3m³)に軽く山盛りで５杯投入した時点で大きな塊を形成してしまい、簡単にほぐすことはできなかった。視認できる塊を消失させるまでに相当の労力と撹拌を必要としたことから、現実的な手法とは考えられなかった。

以上のことから、別海施設で装備している現有機器では、長藁が混合した固形糞尿の直接投入は固液分離後の固分であっても困難であると判断した。

４．試験３　細断藁による敷料混合糞尿の投入

目的

細断藁入り固形糞尿塊は長藁入固形糞尿塊よりも受入槽での撹拌混合により容易に解れ易いと考えられる。そこで、この検証を行う。

1)方法

2004年2月より7月まで計13回の直接投入を行った。

直接投入に要する作業時間は１時間～１時間半程度で、念のため、作業中は受入槽内の連続撹拌を行った。よって、合計撹拌時間は３時間～４時間程度である。

Ｃ牧場から排出される糞尿の状況を確認した。10cm～20cmに細断した麦桿を給餌し、残さを敷料に回している。糞尿回収バーンにスリットが組み込まれていて、自然落下式の固液分離ができる構造となっているが、現在はスリットを覆い、尿ごとコンテナに積載していた。コンテナ内部の糞尿は、水分が多く、敷料が短いため絡まり合った大きな糞塊を形成せず、セミソリッドの状態であった。

バーンクリーナーの固液分離を利用したとしてもコンテナで搬出する量が２割程度しか減量しない。かえって、尿ごと排出して高水分を維持しておいたほうが、直接投入には適すると判断された。

2)結果と考察

細断藁を使用している酪農家から搬入される敷料混合糞尿の直接投入を計１３回実施した。その間、閉塞等のトラブルは発生していない。このため、細断藁入り固形糞尿の直接投入は可能であるが、撹拌作業にかかる機器、動力及び労力の観点から現時点では現実的な処理法ではないと判断された。



写真－24　糞尿回収バーン内のスリット





写真－25・26　コンテナ内部の糞尿の様子

５．小括

共同利用型バイオガスプラントで固形糞尿を受入れる場合、固形糞尿全量を簡易にスラリー化出来れば、施設運営上大きな利点となる。そこで、固形糞尿をメタン発酵の原料として利用するため、固形糞尿をメタン発酵の受入槽に投入し、スラリー化する試験を、受入槽の撹拌混合設備を増強して行った。

1.長藁入りの固形糞尿の直接投入試験

無細断の長藁あるいは牧草を含む固形糞尿をメタン発酵の受入槽に入れ、水流方向を調整しながら撹拌・混合を約８時間行えば、固形糞尿塊が解されスラリー化し、管路での閉塞の危険性は無いと判断された。しかし、撹拌・混合が不充分であったり、受入槽の液深が浅い場合は容易に閉塞した。したがって、所要の労力や動力を考慮すると、長藁入り固形糞尿をメタン発酵の原料とすることは現実的な方法ではないと判断された。

2.固液分離後の固形分の直接投入試験

長藁入り固形糞尿でも固液分離過程を経ることにより、固形糞尿中の長藁は固液分離機への定量供給のビータにより解されている。このため、固液分離後の固形糞尿塊は受入槽での撹拌混合により解され易くなっていることが推定される。そこで、固液分離後の固形分をメタン発酵の受入槽に直接投入する試験を行った。この場合も固形糞尿塊のほぐしに長時間を要し、合理的な方法ではないと判断された。

3.細断藁入り固形糞尿の直接投入試験

細断藁入り固形糞尿塊は長藁入固形糞尿塊よりも受入槽での撹拌混合により容易にほぐ

れ易いと考えられる。そこで、細断藁を敷料として使用する農家の固形糞尿をメタン発酵の受入槽に直接投入した。この場合も固形糞尿塊をスラリー化するのに、長時間を要し、実際的な方法ではないと判断された。

4.以上のことから、共同利用型バイオガスプラントでもスラリー状のふん尿のみを受け入れることが望ましいが、固形糞尿を受入れざるを得ない場合は、運営上は大きな負担となるが、以下の対策が必要と考えられた。

①固液分離や堆肥化の施設を併設すること。

②スラリー受入槽に投入した固形ふん尿を充分にほぐすなど細心の注意を払う管理体制を整えること。

③より強力な細断・破砕・撹拌機器を開発して設置すること。

Ⅱ．中温発酵でのメタンガスの効率的な産出

１．目的

バイオガスプラントでは投入スラリー当たりのメタンガス発生量が多いほどエネルギー効率は高くなる。このため、乳牛のスラリー状糞尿だけでなく、重金属などの有害物質を含まない他の有機性廃棄物を副資材として投入することが行われる。そこで、糞尿スラリーだけでなく、副資材として投入する各種の有機性廃棄物の中温発酵でのバイオガス発生への効果を明らかにする。これには多量の藁や牧草を含む固形糞尿をメタン発酵の原料としてメタンガス発生への効果も検証することも含む。

２．試験１　別海施設での実証試験

目的

糞尿スラリーでのメタンガス発生状況及び副資材を投入した場合のメタン発酵に及ぼす影響を別海施設で検証する。なお、副資材として投入する乳業工場からの廃棄物や別海町からの屎尿処理場汚泥脱水ケーキに関しては根室支庁に試験で実施する旨の廃棄物処理法に基づく届け出をするとともに、屎尿処理場汚泥脱水ケーキを含む消化液を生成することとなるため、肥料取締法の汚泥発酵肥料登録を受け実施している。

1)方法

(1)原料の投入

別海施設への参加農家 10 戸のうち、６戸(2003 年 10 月末以降)は固形糞尿を排出し、その内５戸は無細断の長藁あるいは牧草を敷料として、１戸は麦桿を 10 ～ 20cm に細断し敷料として使用している。このため、４戸のスラリー状糞尿と６戸(内１戸は糞尿を搬入せず)の固形糞尿の固液分離液および尿溜め液をメタン発酵の原料としている。また、2002 年度末以降、地域で発生する有機性廃棄物を発生の都度、メタン発酵の原料としている。副資材の投入概要は表－５のとおりである。副資材の投入量が年度を重ねるごとに増加しているのは、提供元の数が増えたためである。2003年度は３団体、2004年度は６団体と覚書きを締結した。

表－５　副資材の有機物含量と年度別投入量

副資材名	有機物含量(%)	2002.3～2005.3の累積投入量(t)	2002年度迄	2003年度	2004年度
廃用牛乳	12.3	274.3	70.0	23.1	181.2
廃脱脂粉乳	90	63.5	5.9	6.8	50.8
廃生クリーム	50.1	47.8	0.0	29.9	17.9
廃バター投入	81.8	22.2	0.0	7.1	15.1
水産加工残滓	23.8	3.0	3.0	0.0	0.0
屎尿汚泥	10.8	174.8	0.0	55.3	119.5
乳業工場汚泥	9.8	613.5	0.0	0.0	613.5
固形糞尿直接投入	9.7	125.0	43.8	50.0	31.2
合計		1324.1	122.6	172.2	1029.1

(2)メタンガス発生量の計測

自動記録しているバイオガス消費量(m³/日)に、毎日、１回計測しているバイオガス中のメタンガス濃度を乗じてメタンガス発生量として算出した。

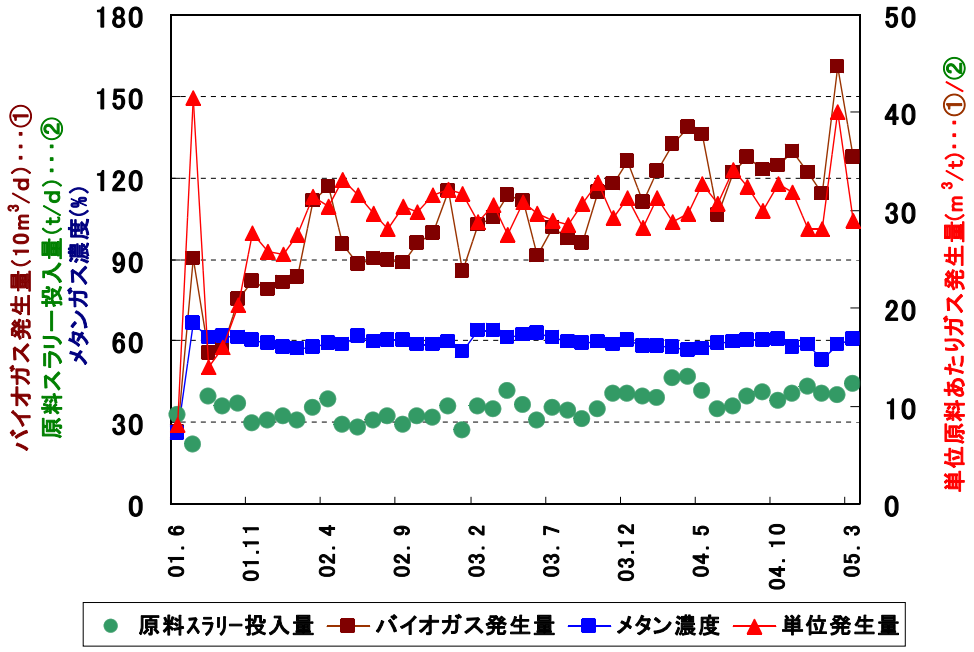
(3)有機物含量の測定

ふん尿スラリーおよび各種副資材の有機物含量はバイオガスの発生量と相関の高い簡便な指標で、550℃灼熱減量を有機物含量（以下、Vsと略する）とした。

2)結果と考察

(1)稼働概要

スラリー状糞尿、固液分離後の液分（スラリー）および尿溜め液を原料とし、原料投入や消化液の排出に支障がない構造のバイオガスプラントであれば、連続的な原料投入と所定温度での加温によりメタン発酵は順調に進行し、投入原料１m³当たりのメタンガス発生量は15～18m³であった。（図－９）



図－９　投入原料当たりのメタンガス発生量

(2)乳牛ふん尿スラリーによるメタンガス発生量

ふん尿スラリーのVsは多少の変動はあるが約6%であった。副資材のVsは表－５に示したとおりであった。

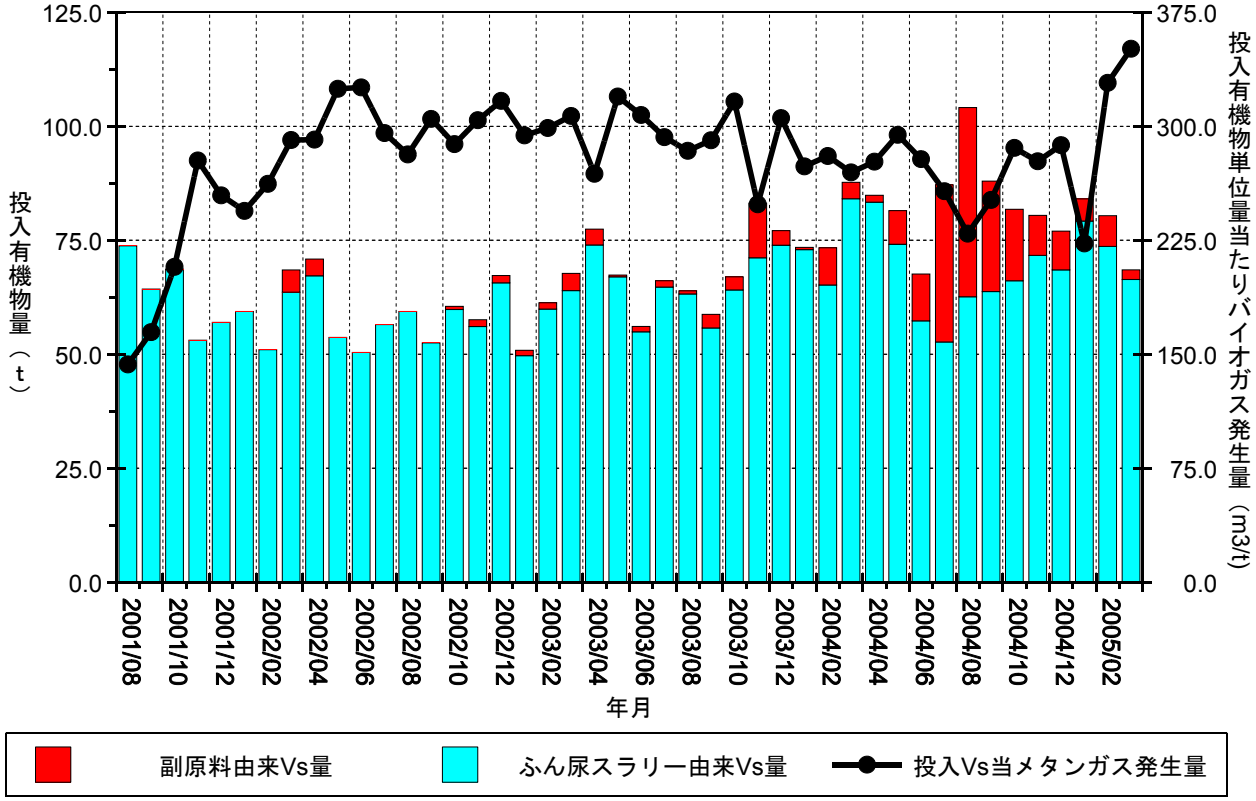
一日のメタン発酵槽に投入した原料スラリーに含まれるVsの総量で一日のメタンガス発生総量を除した値を「単位有機物投入量当たりメタンガス発生量」として、図－10にふん尿スラリー由来のVs量および副資材由来のVs量の月合計値の推移と共に示した。副資材を投入しなかった月（2001年8～2002年2月、2002年5～9月)の平均値は257 m³/ｔであり、これを、別海施設での定常的なふん尿スラリーから発生する単位有機物投入量あたりのメタンガス発生量と考えることができる。

一般的に、Vs8%の乳牛スラリー１単位を30倍の容量を持つメタン発酵槽に投入した場合、メタンガス濃度60%のバイオガスが30単位発生すると言われている。このことを単位有機物投入量当たりのメタンガス発生量に計算すると225 m^3/ｔという値となる。別海施設は一般値よりやや良好な値で運転されていると言える。

(3)副資材の投入によるメタンガス発生量への影響

副資材は混合して投入されていることが多く、個別の副資材としての効果は判然としないが、図－10に示したとおり、副原料を投入した月(2002年3～4月及び2002年10月～2004年11月)の平均値は290m^3/ｔであり、副資材の投入により1.13倍に増量していた。

なお、代表的な副資材の個別のメタンガス増量効果は室内実験で確認したので、室内実験結果の節を参照されたい。



図－10　単位有機物投入量当たりメタンガスの発生量の推移

３．試験２　湧別施設での実証試験

目的

ふん尿スラリーでのメタンガス発生効果及び副資材を投入した場合のメタン発酵に及ぼす影響を別海施設とはふん尿の前処理割合が異なる湧別施設で検証する。

1)方法

(1)原料の投入

湧別施設への参加農家５戸全てが固形糞尿を排出している。このため、５戸の固形糞尿

の固液分離液および尿溜め液をメタン発酵の原料として2:1の割合で投入している。

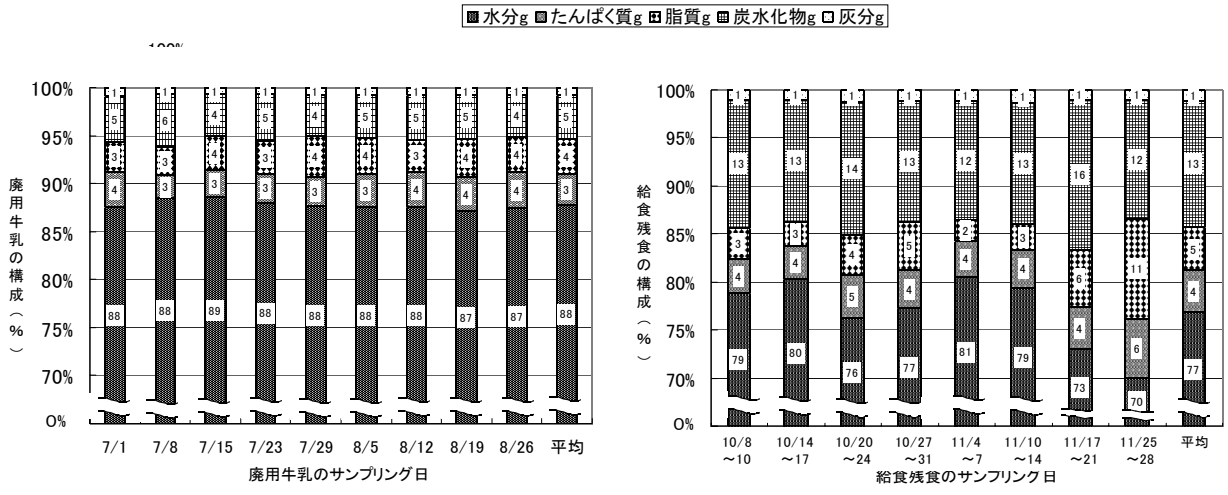
副資材に関する試験は、2003年7月～8月で廃用牛乳、10月～11月で給食残食を用いて、一定量を定期的に投入するように行った。投入された廃用牛乳は全量で24.96m³であった。廃用牛乳を投入した期間中は原料スラリーのメタン発酵槽への実績投入量が平均6.7m³/日であったことから、約6.5%の廃用牛乳を含む原料スラリーを投入したこととなる。また、給食残食は7,201kg投入されており、原料スラリーのメタン発酵槽への実績投入量が平均6.5m³/日であったことから、給食残食は、原料スラリーに対して約2.2%であった。

試験概要を表－6に、各資材の性状を図－12と表－7に示した。

この試験のためにプラントの運転方法を変更することはなかった。

		廃用牛乳投入試験	給食残食投入試験
実施期間		２００４年７月１日～８月３０日	２００４年１０月８日～１１月２８日
副原料の施設への搬入日		上記実施期間の日曜を除く毎日	上記期間中の給食の提供日（土・日・祝日を除く毎日）
副原料回収方法		１３戸の農家から提供された廃用牛乳をバルククーラーに入れ、トラックで運搬した。	両湧別町学校給食センターから提供された給食残食をバケツに入れ、トラックで運搬した。
副原料投入方法		集荷された廃用牛乳を受入槽に直接投入した。	集荷した給食残食を破砕機にかけ、ミンチ状にして受入槽に投入した。
副原料目標投入量		発酵槽投入原料の20%を上限として、バルククーラーで搬入できる量	原料投入量の２～３％
測定項目	バイオガス発生量	容積式回転式ガス流量計（シリーズB3, ROOTS製）により自動計測した。	
	バイオガスのメタン濃度	ガスアナライライザー（SMM6000, SCHMACKBIOGAS製）で１日１回自動計測した。	
	バイオガスの硫化水素濃度	１日１回、自動計測および検知管による測定を行った。	
	原料スラリーおよび消化液成分	メタン発酵前後の状態を把握するため、受入槽の原料スラリーと消化液をサンプリングし、Vs,Ts,VFA,pH,CODを測定した。	
	廃用牛乳および給食残食成分	廃用牛乳のサンプリングは投入期間中１週間おきに行い、7/1,8,15,23,29,8/5,12,19,26の廃用牛乳の成分分析を行った。なお、分析した項目は、水分、たんぱく質、脂質、炭水化物、灰分、Ts、Vs、VFA、pH、COD、NH_4-N濃度である。	給食残食は１週間ごとに混ぜ合わせ、ミキサーにかけてミンチ状態にして分析した。なお、分析した項目は、水分、たんぱく質、脂質、炭水化物、灰分、食塩相当量（ナトリウム換算値）、Ts、Vs、VFA、pH、NH_4-N濃度である。
	廃用牛乳および給食残食投入量	廃用牛乳がバルククーラーに入っている深さから換算した。	集荷した給食残食をポリバケツに入れ、重量と容積重を測定した。

表－６　湧別試験施設で実施した副資材試験の方法



図－12　投入副原料ごとの水分、たんぱく質、脂質、炭水化物、灰分の100g当たりの構成割合

（左図；廃用牛乳、右図；給食残食）

表－７　使用した副資材の性状

副資材名	ｐＨ	水分率(%)	蒸発固形分(Ts)(%)	強熱減量(Vs)(%)	灰分(%)	揮発性脂肪酸総量(mg/kg)	ｱﾝﾓﾆｱ態窒素(%)
廃用牛乳	4.74	86.4	13.6	13.0	0.6	506	0.03
給食残食	4.20	75.4	24.6	23.7	0.9	1729	0.13

2)結果と考察

(1)乳牛ふん尿スラリーによるメタンガス発生量

表－８に通常運転期間と副原料投入期間のガス発生量等を示した。副原料を投入していない2002年7月24日～8月30日は123m^3/dのバイオガス発生量であり、廃用牛乳を投入した直前の5,6月は、平均で163m^3/dのバイオガス発生量であった。

図－13には、単位有機物投入量当たりメタンガス発生量を、廃用牛乳および給食残食投入期間を含む、２～６ヶ月期間毎に整理した値を示した。

副資材を投入していない2001年7月から2003年4月の単位有機物投入量当たりのメタンガス発生量はおおむね250～300m^3/ｔの範囲で推移し、廃用牛乳を投入した直前の5,6月の平均は370m^3/ｔの発生量であった。

表－８　副原料投入前後の発酵状況（時期別平均）

発酵特性	通常運転			廃用牛乳投入期間	廃用牛乳残効期間	給食残食投入期間
	2003.7.24～8.30	2004.5,6	平均	2004.7,8	2004.9,10上	2004.10中～11
バイオガス発生量（m^3/日）	１２２．８	１６２．５	１４２．７	１７７．２（１．２４）	１７０．２	１８４．９（１．３０）
メタン濃度（%）	５８．７	６２．９	６０．８	６９．３（１．１４）	６３．０	６２．４（１．０３）
メタンガス発生量（m^3/日）	７２．１	１０２．３	８７．２	１２２．９（１．４１）	１０７．５	１１５．５（１．３２）
原料スラリー投入量(m^3/日)	６．３	６．０	６．２	６．７（１．０８）	６．６	６．５（１．０５）
単位発生量（m^3/m^3）	１９．５	２７．１	２３．３	２６．６（１．１４）	２５．６	２８．２（１．２１）

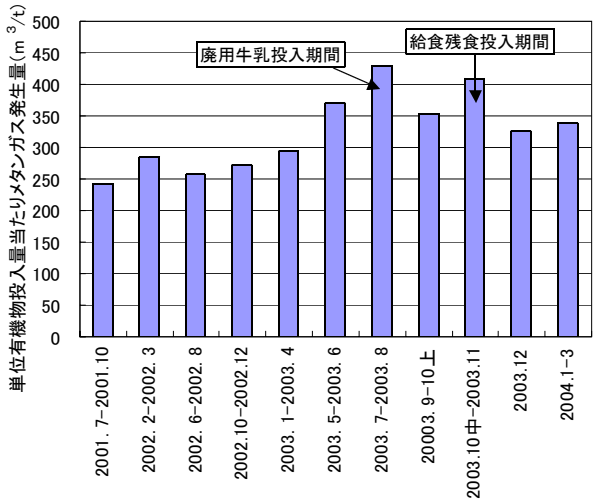
廃用牛乳、給食残食投入期間の（　）内の数値は、通常運転の平均値に対する比率を示す

(2)副資材の投入によるメタンガス発生量への影響

表－８に示したとおり、廃用牛乳および給食残食投入時期の日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、日メタンガス発生量でみると、約1.41倍、約1.33倍であった。

図－13に示したとおり、廃用牛乳および給食残食を投入した時期の単位有機物投入量当たりメタンガス発生量は、400m^3/ｔを超える値となっており、明らかに副資材投入による増量効果が認められた。また、給食残食投入を終えた後は、速やかに減少しており、副資材の残留効果は小さいと考えられた。廃用牛乳には乳房炎治療牛からの抗生物質を含有する牛乳を含むが、発酵への顕著な悪影響は認められなかった。

なお、副資材が投入されたことによる硫化水素濃度の著しい変化は認められなかった。



図－13　単位有機物投入量当たりのメタンガス発生量

４．試験３　室内実験での副資材によるメタンガスの増量効果

目的　実規模での糞尿スラリー投入量や副資材の投入量は一定量を定期的に投入することが難しい。そこで、室内の発酵装置を用いて、糞尿スラリーや副資材がメタンガス発生量に及ぼす効果を明らかにする。

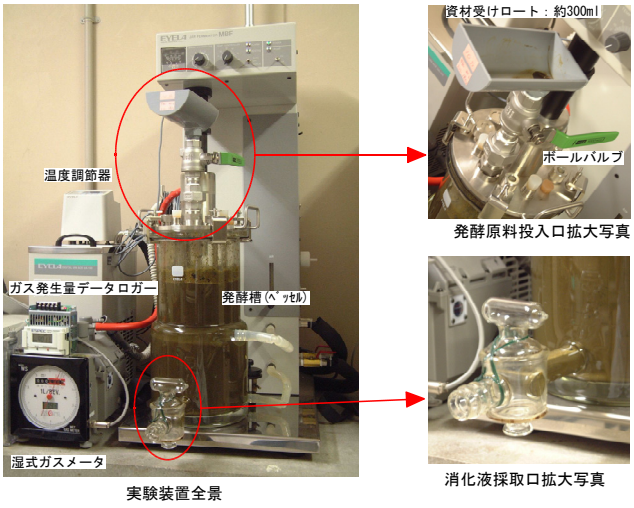
1)方法

(1)実験装置

市販の微生物培養装置を乳牛ふん尿スラリーを主原料としたメタン発酵実験装置に改造した。実験装置の基本的な諸元を表－９と写真－29に示した。装置は写真－29に示した機器構成が一組で、４組準備し、副資材を投入しない対照区を一連の実験の都度、必ず設けた。

表－９　実験装置の主な諸元

項目	内容
発酵槽	ガラス容器(容量８ﾘｯﾄﾙ)、発酵液量６ﾘｯﾄﾙ以下
発酵原料の投入	発酵槽上部の注入口から毎日、手動投入
消化液の抜取り	発酵槽下部の抜取バルブから毎日、手動抜取り
発酵槽の加温	自動温水供給装置によるジャケット加温方式
撹拌	２段の攪拌羽根での回転攪拌、毎分80回転
ガス発生量	自動記録計を接続した湿式ガスメータで計測



写真－29　室内実験装置

(2)実験方法

発酵液量の1/30の量を発酵原料として毎日投入し、同量を抜き取るという連続処理で、30～80日間、中温(37℃)で発酵させた。発酵原料の基質となる乳牛ふん尿スラリーは別海試験施設の固液分離液で、20ﾘｯﾄﾙのポリタンク８本(160ﾘｯﾄﾙ)程度を低温室に搬入保管して、10ﾘｯﾄﾙづつ実験室内に小出ししながら使用した。供試した副資材の種類は、ほとんど脂肪からなるバター、タンパク質としての市販プロテイン、ほとんど炭水化物からなるパン粉の３種類と、実際に別海試験施設に搬入されており、実用プラントでも廃棄牛乳として投入される事が多いと考えられる牛乳を選定した。発酵原料に混合する副資材の量は、副資材の種類ごとに様々に設定した。バターとパン粉実験では副原料の混合量を変えた２回の実験を行った。

表－10にそれぞれの実験設定と各資材のVsを示した。

ガス成分(メタン濃度、二酸化炭素濃度、硫化水素濃度)はガスクロマトグラフで、スラリーと消化液のVs濃度は550℃灼熱減量で随時測定した。

表－10　副原料実験の設定内容

実験名	牛乳実験	バター実験	パン粉実験	プロテイン実験
副資材の入手経路	市販の生乳	別海施設に搬入された廃棄バター	油脂添加のない市販品	スポーツ用健康食品としての市販品
副資材のVs値	12.3%	81.8%	88.1%	92.3%
ふん尿スラリーのVs値	5.2%	7.0%	5.9%	5.8%
実験処理区分	無投入区 ５%投入区 10%投入区 20%投入区	無投入区 ２%投入区 ４%投入区 ８%投入区 無投入区 ８%投入区 16%投入区	無投入区 ８%投入区 無投入区 12%投入区 ※着色は適正投入量実験 それ以外は限界投入量実験	無投入区 7.6%投入区

2)結果と考察

(1)副資材の適正投入範囲内と考えられる投入量での実験（表－10で着色で示した実験）

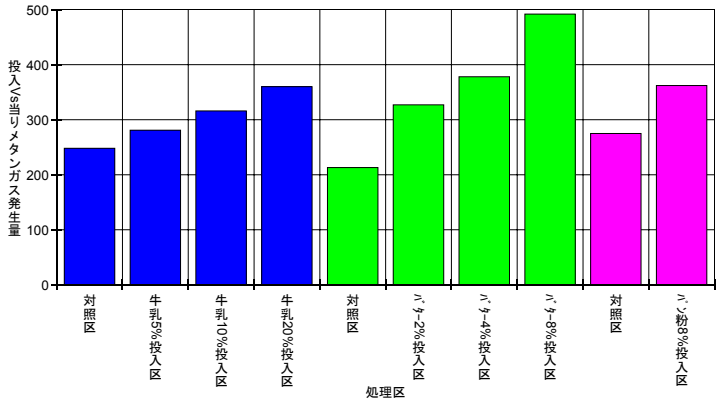
表－11に牛乳実験、バター実験、パン粉実験の投入有機物量、単位有機物投入量当たりメタンガス発生量および無投入区に対する比率を示した。図－14に単位有機物投入量当たりメタンガス発生量を示した。

牛乳とバターでは、Vsの増加率以上にメタンガスの増加率が高く、パン粉では逆転していた(図－15)。また、牛乳とバターでのVs増加率とメタンガス増加率の関係は、概ね一直線上に分布していることから、どちらの資材もVsの増加率からメタンガスの増加率を一律に推定できる可能性が示唆された。

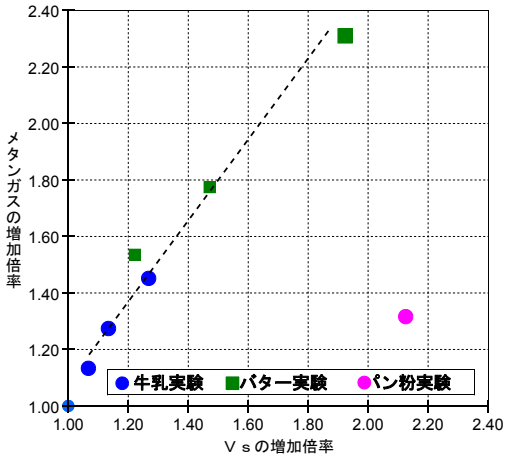
表－11　牛乳実験、バター実験、パン粉実験での投入Vs量とメタンガス発生量

処理区	投入Vs量(g)			ﾒﾀﾝｶﾞｽ発生量	投入Vs当りﾒﾀﾝｶﾞｽ発生量	無投入区に対する比率	
	ｽﾗﾘｰ由来	副原料由来	合計	(ml)	(ml/g)	投入Vs	ﾒﾀﾝｶﾞｽ単位発生量
対照区	643	0	643	159100	248	1.00	1.00
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	1.00	1.00
ﾊﾞﾀｰ2%投入区	778	196	974	319000	327	1.22	1.54
ﾊﾞﾀｰ4%投入区	780	393	1173	443100	378	1.47	1.77
ﾊﾞﾀｰ8%投入区	748	785	1533	753800	492	1.92	2.31
対照区	515	0	515	141600	275	1.00	1.00
ﾊﾟﾝ粉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



図－14　牛乳実験、バター実験、パン粉実験での単位有機物投入量当たりメタンガス発生量の比較

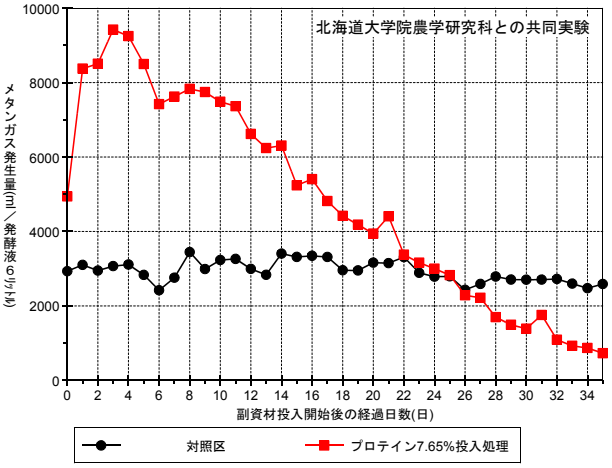


図－15　Vs増加率とメタンガス増加率の相関

(2)限界投入量を調べる実験

①プロテインを用いた実験

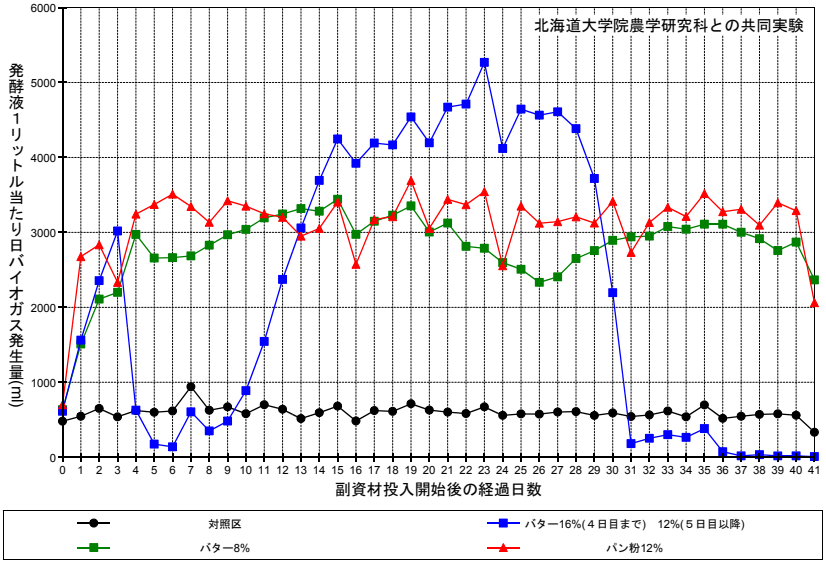
図－16にプロテインを7.6%の重量割合で混合した発酵原料を投入した実験でのメタンガス発生量の推移を示した。副原料の投入開始後、４日目にはメタン発生量が低下し始め、22日後には副資材を投入していない対照区を下回る状況となった。実質的な発酵障害は４日目には生じていたものと判断され、プロテインの限界投入量は7%程度と考えられた。



図－16　プロテインでの限界投入量実験

②バター及びパン粉を用いた実験

図－17にバターとパン粉を副資材に用いた実験でのメタンガス発生量の推移を示した。バターは8%投入と16%投入で開始した。16%投入では副資材投入開始後４日目で急激なガス発生停止状態となってしまった。そこで、速やかに発酵液を交換し12%投入に切り換えた。しかし、20日後には、やはり急激にガス発生量が低下し始め、24日目にはほとんど発酵停止状態となってしまった。パン粉は12%の投入で発酵が停止するような状態には至らなかったが、メタンガス発生量が数日間隔で著しい乱高下を生じており、安定しなかった。



図－17　バター及びパン粉での限界投入量実験

以上のことから、バターは10%程度、パン粉は12%程度が限界投入量と考えられた。

５．副資材の利用と関係法令

副資材の利用にあたっては「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃掃法)」の適用を受ける場合がある。たとえば、個人酪農家が建設したバイオガスプラントに他経営者のふん尿スラリーや廃用牛乳を投入する場合は廃棄物処理業の許可を受けていなければならない。下水処理場の汚泥を受け入れる場合は処理業の許可と同時に、処理能力が５t/日以上の規模であれば施設設置許可も必要である。農業協同組合が組合員の共同施設として設置した場合は、一般廃棄物（家庭生ゴミ、下水処理場の汚泥など）を受け入れる場合で処理能力が５t/日以上の規模であれば施設設置許可が必要であり、家畜排せつ物を含む全ての産業廃棄物の受入に関して処理業の許可が必要となる。この成績書で全てのケースを網羅することはできない。また、法令には改廃が伴う。バイオガスプラントの設置、各種副資材の利用に際しては、支庁の廃棄物対策の担当部署に事前に相談されたい。

また、バイオガスプラントを農業農村整備事業の補助を受けて設置した場合、事業の種類によっては家畜排泄物の処理に限定され、副資材の利用が難しい場合もある。また、事業計画の段階から副資材の利用を明記する必要がある等、手続き上で留意しなければならない事項もある。具体的には補助事業の担当部署に相談されたい。

６．小括

①別海施設での各種の副資材を複合して投入した場合のメタンガス増量効果は平均すると約1.13倍であった。(副資材由来のVsの投入割合は平均7.0%)

②湧別施設での廃用牛乳によるメタンガス増量効果は約1.14倍であった。
(Vs13%の副資材を現物重量割合6.5%で投入した場合(副資材由来のVsの割合は14.1%))

③湧別施設での給食残食によるメタンガス増量効果は、約1.21倍であった。
(Vs23.7%の副資材を現物重量割合2.2%で投入した場合(副資材由来のVsの割合は8.8%))

④室内実験での牛乳によるメタンガス増量効果は約1.5倍であった。
(Vs12.3%の副資材を現物重量割合20%で投入した場合(副資材由来のVsの割合は37%))

⑤室内実験でのバターによるメタンガス増量効果は８%投入で約2.3倍であった。
(Vs81.8%の副資材を現物重量割合8%で投入した場合(副資材由来のVsの割合は50%))

⑥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（いずれも現物重量割合）と考えられた。

⑦実用のバイオガスプラントで各種の資材を利用する場合は、利用形態によって廃掃法の適用が異なるため、廃棄物対策を担当している官署の指導を仰ぐことが必要である。

⑧湧別での実証試験では、抗生物質を含む廃用牛乳の投入によるメタン発酵への悪影響は生じなかった。しかし、廃用牛乳を含むスラリーをメタン発酵させた消化液の農耕地へ散布した後の土壌・作物・環境への影響は調査していない。

Ⅲ．バイオガスの脱硫

１．目的

バイオガスプラントから発生するバイオガスは腐食性を有する硫化水素(H_2S)ガスを数千mL/kLの濃度で含有するため、発電機やガスボイラーで利用する場合にはH_2Sを除去する脱硫工程が必要である。脱硫には酸化鉄脱硫(乾式脱硫)と生物脱硫が現在広く採用されている。

酸化鉄脱硫はこれまでも下水処理場や屎尿処理場で悪臭の除去を目的に用いられてきた方法である。この脱硫法では酸化鉄ペレットが硫化鉄に変化すると脱硫機能を喪失するので、このペレットを交換しなければならない。

一方、生物脱硫は1982年にドイツの技術者によって発見されたもので、バイオガスに空気を混入し、空気中の酸素、嫌気発酵後の消化液中に含まれる有機物とイオウ酸化細菌を利用し、H_2SをSあるいは硫酸イオン(SO_4^{2-})に変換するもので、これらのSあるいはSO_4^{2-}は消化液に戻される。しかし、生物脱硫ではイオウ酸化細菌の棲息活動条件(通気量、温度、水分、基質、生息場所、反応時間)の確保が不可欠で、その方法や効果が確立されていない面が有り、生物脱硫施設の全てが順調に稼働しているわけではない。

積雪寒冷な北海道における乳牛糞尿を主原料とする共同利用型バイオガスプラントの実証試験施設である別海資源循環試験施設(以下、別海施設という)では生物脱硫と酸化鉄脱硫を、湧別資源循環試験施設(以下、湧別施設という)では別海施設と異なる生物脱硫と活性炭脱硫を、それぞれ直列に配置し、効率的な脱硫法を明らかにする。

２．方法

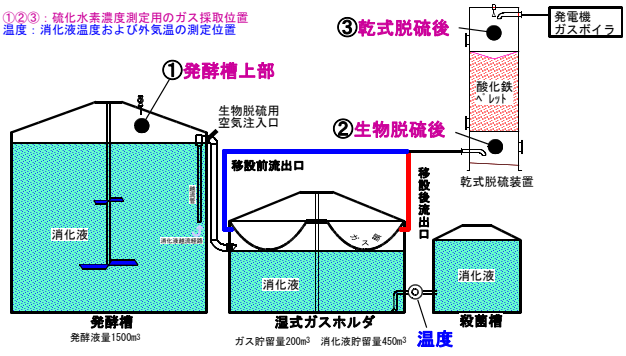
1)別海施設での試験

生物脱硫に関する試験として以下の３種類の試験を実施した。

(1)当初の施設構造での空気混入量の試験

生物脱硫には発酵槽上部のバイオガス貯留部に空気を混入する方式と発酵槽とは独立した脱硫塔を設け、そこに空気を混入する方式に大別されるが、別海施設の場合、空気混入は発酵槽と湿式ガスホルダーを接続する越流パイプの中に行われ、生物脱硫反応は発酵槽から独立した湿式ガスホルダーで進行するという折衷方式である。

別海施設のメタン発酵槽では糞尿スラリーの投入量と同量の消化液が越流パイプ(断面の下部)から湿式ガスホルダーに流出する構造となっている。バイオガスも越流パイプ(断面の上部)からガス圧力で湿式ガスホルダーに流下する構造で、当初、湿式ガスホルダーでバイオガスの流出口が流入口と近接していた(図－18)。生物脱硫のための空気混入は越流パイプの部分で、2001年８月22日から１m^3/時で行われた。空気混入量は０～50m^3/時までの調整ができ、空気混入率は日空気混入量をバイオガス日発生量で除し算出した。

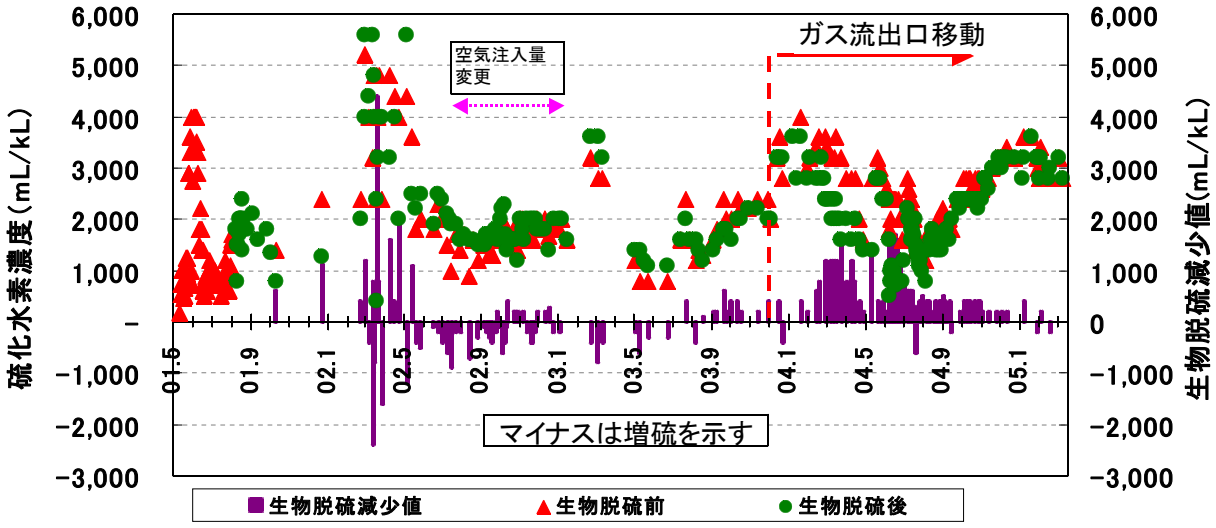


図－18　施設の配置模式図、硫化水素濃度の測定位置図

湿式ガスホルダー(写真－30)では上部約200m³にバイオガスが貯留され、下部に約250m³の消化液が貯留される。ここでの生物脱硫は湿式ガスホルダー内の、気体と液体、及び気体と固体の界面に棲息するイオウ酸化細菌によって行われる。具体的には湿式ガスホルダー内の液面より上の側壁(約87m²)、ガス膜(ナイロン製)の表面(約260m²)、消化液表面(に生成するスカム:112m²)で、合計面積は459m²である。日平均ガス発生量を設計値の1300m³とすると、日当たりのガス処理量は2.8 m³/m²/日となる。



写真－30　湿式ガスホルダー



図－19　生物脱硫の効果

バイオガス中のH_2S濃度は、①発酵槽の上部で生物脱硫の前、②湿式ガスホルダー通過後すなわち生物脱硫後、及び③酸化鉄脱硫後で(図－18の丸数字)、バイオガスを採取し、ガス検知管(㈱ガステック製)で測定した。

生物脱硫の効果は稼働直後に認められた(図－19の2001年10月下旬～2002年３月中旬頃)が、2002年４月から生物脱硫の効果が殆ど認められなくなった。生物脱硫では空気の混入量がその効果に大きく影響すると考えられるため、空気混入量を2002年９月中旬から数段階に変えて(表－12)、生物脱硫の効果試験を実施した。

なお、越流パイプに混入した空気が発酵槽の方に拡散(流入)する場合には、発酵槽上部で生物脱硫が進行する可能性を否定できない。しかし、本報ではその可能性を考慮しないで、発酵槽上部では生物脱硫が生じていないとして、論議を進める。

(2)　湿式ガスホルダーでのバイオガスの滞留時間延長後の空気混入量に関する試験

湿式ガスホルダーでのバイオガスの流入口と流出口の位置が近接しており、流入したバイオガスが生物脱硫反応を充分に受けずに排出されることが危惧された。そこで、バイオガスの流出口を流入口に対向する位置に移し

(図－１８：2003年12月25日)、バイオガスの滞留時間を延長、すなわち、湿式ガスホルダー内での生物脱硫の反応時間を延長した。ガスの平均滞留時間は3.7時間となる。空気混入量を変更し、生物脱硫の試験を実施した。バイオガス中のH_2S濃度の測定位置は上記1)と同じである。

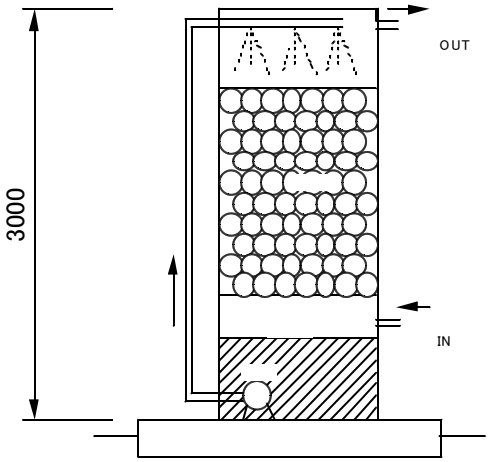
表－12生物脱硫のための空気注入量試験の概要

期　間	空気注入量(m^3/時)
2002年８月17日～2002年９月16日	1.0
2002年９月17日～2002年10月20日	1.5
2002年10月21日～2002年11月29日	0.5
2002年11月30日～2002年12月12日	0.0
2002年12月13日～2003年１月27日	0.5
2003年１月28日～2003年２月28日	1.0

また、湿式ガスホルダーから殺菌槽に消化液を送り込むパイプの外側(パイプに巻いてある断熱材の内側)に温度計測器を取り付け(2004年２月４日)、温度を計測した。この温度は湿式ガスホルダー内の消化液温度と等しいか外気温の影響を受けやや低いと考えられる。なお、2004年２月19日～３月15日、４月12,13日、５月11日～６月７日、７月21日～９月13日は欠測となった。

(3)　担体式生物脱硫装置での試験

湿式ガスホルダーでのイオウ酸化細菌の生息活動場所面積当たりのガス処理量は2.8 m^3/m^2/日で、過大な事が考えられた。そこで、イオウ酸化細菌の棲息場所を確保するための担体を用いたミニ試験装置(図－20、表－13、バイオガス処理量は約50m^3/日、担体の表面積は100m^2、脱硫塔内はヒータで38℃に維持。微生物の生息場所面積当たりのガス処理量は0.5m^3/m^2/日で湿式ガスホルダーの18%)を製作した。担体として用いたクレオボール(写真－31)はポリプロピレン製・直径約15cmの球状で、空隙率が96%、比表面積が66m^2/m^3であり、微生物菌叢が生育・付着するのに適したものである。ガスの平均滞留時間は0.69時間である。



図－20　担体式生物脱硫試験装置の模式

別海施設のバイオガスの配管途中(湿式ガスホルダーから酸化鉄脱硫塔への間)に分岐管を設け、試験装置を据付け、バイオガスを引き込み、2003年11月29日から稼働させ、表－14左側の条件で試験を実施した。

表－13　担体式生物脱硫試験装置の規格

部位・規格	内　容
型式	垂直円筒型・鋼鉄製
構造	上部：担体充填部(約1.5m^3) 下部：消化液貯留部(約0.41m^3)
外径寸法	φ1,355mm×H3,100mm (保温材含)
担体充填部	クレオボール充填：表面積100m^2
付属機器	消化液循環のポンプ 脱硫塔の温度保持(38℃)ヒーター
消化液循環量	750L/時　(150L/分、５分稼働/時)



写真－31　クレオボールの形状

（左：使用後　右：使用前）

（北海道立工業試験場　浅野孝幸氏提供）

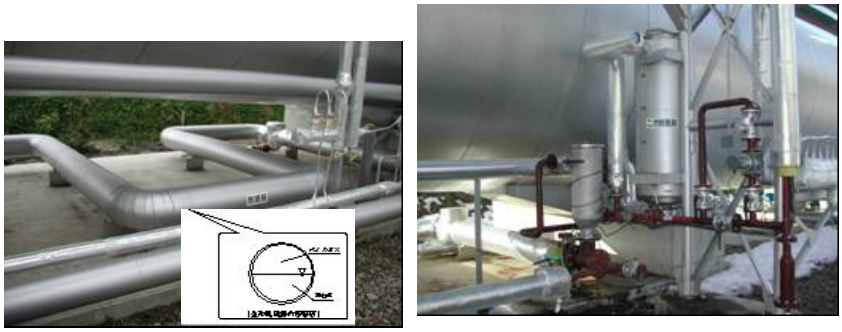
表－14　担体式生物脱硫の試験条件およびその結果

試験月日	バイオガス量	空気注入量	空気注入率	硫化水素（mL/kL）		生物脱硫率
	m^3/時間	m^3/時間	(%)	生物脱硫前	生物脱硫後	(%)
2003.11.29	2.00	0.05	2.5	2400	2400	0.0
2003.12.21	2.00	0.05	2.5	2300	550	76.0
2004.3.12	2.00	0.10	5.0	2400	400	83.0
2004.3.24	2.00	0.12	6.0	2000	300	85.0
2004.3.31	2.00	0.16	8.0	2000	400	80.0

2)湧別施設の試験

湧別施設では、生物脱硫装置（写真－32）と活性炭脱硫装置（写真－33）が直列に配置されており、生物脱硫の後に活性炭脱硫が行われる。空気注入量は日ガス発生量(143m^3/日)に対し約5%で、生物脱硫の前に実施される。生物脱硫は内径15cmのほぼ水平に設置された配管(断熱施工済み・延長約18m)内で進行し、管断面の下半分には消化液が充填されており、上半分をバイオガスが通過し、この間に生物脱硫が進行する。イオウ酸化細菌の生息面積は配管内の消化液とバイオガスとの界面(2.7m^2)と、管内壁とバイオガスとの界面(4.2m^2)の合計6.9m^2である。最近約１年間のガス発生量(143m^3/日)での、イオウ酸化細菌の棲息面積当たりのガス処理量は18.6 m^3/m^2/日であり、別海の湿式ガスホルダーでの2.8m^3/m^2/日よりも約７倍大きい。バイオガスの平均滞留時間は0.03時間と小さい。湧別施設の生物脱硫装置は別海施設の湿式ガスホルダーに比べ、イオウ酸化細菌の棲息面積当たりのバイオガス処理量が多く、滞留時間が短い。生物脱硫装置での配管内消化液は管理人がバルブ操作により、メタン発酵槽から排出される新鮮な消化液を毎日30Lずつ入れ換えた。消化液中のスラッジにより生物脱硫の配管入り口付近で閉塞が生じることがあることから定期的な点検を要した。生物脱硫・活性炭脱硫ともに施設の稼働開始時から使用したが、活性炭脱硫の使用は一旦中断したあと、2003年8月から再開した。活性炭の交換量は42～95kgであり、平均69kgであった。活性炭の明確な脱硫能については明らかにされていない。

バイオガスの硫化水素濃度は、生物脱硫前、生物脱硫後、活性炭脱硫後の３点からガスを採取し、検知管により測定した。日常の作業として測定を始めたのは2003年4月からであり、測定頻度は１日１回である。



写真－32,33　湧別施設の生物脱硫装置（左）と活性炭脱硫装置（右）

３．結果と考察

1)別海施設での試験

(1)当初の施設構造での空気混入量の試験

別海施設での糞尿スラリーの投入量は放牧の影響により冬期に多くなる傾向にある。2002年4月以降、糞尿スラリー当たりのバイオガス発生量は約30m^3/m^3で、メタンガス濃度は約60%で安定しており、メタン発酵は順調に推移していると判断される。

生物脱硫前後でのH_2S濃度と生物脱硫による濃度低下量の推移を図－19に示した。なお、データは省略したが、酸化鉄脱硫後の、バイオガス中のH_2S濃度は脱硫剤の交換の直前を除き、数mL/kL以下であった。

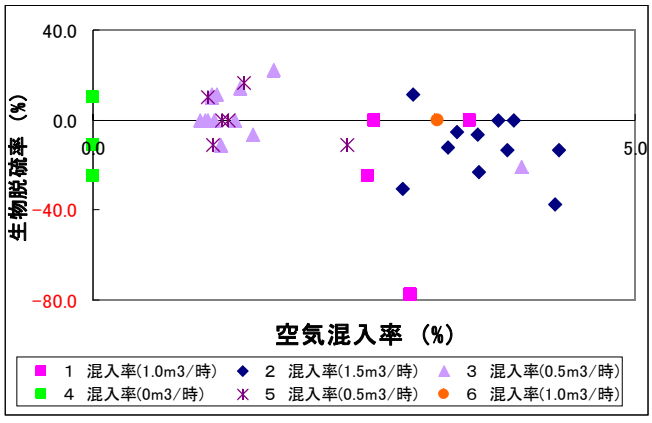
発酵槽中のバイオガス中のH_2S濃度は経時的に大きく変化し、メタン発酵立上げ直後(2001年７月頃)及び冬期に高くなる(4000～6000 mL/kL)傾向が認められる。メタン発酵立上げ直後の濃度上昇はH_2Sが生成される酸化還元電位まで発酵槽内での糞尿スラリーの還元が進行してきた事によると考えられる。一方、冬期の濃度上昇は放牧が少なくなり、発酵槽への糞尿投入量が多くなった事など季節的要因が関連しているように思われる。

空気混入(混入量:1.0m^3/時)開始直後から2002年３月中旬頃迄は測定頻度が少なかったが、生物脱硫の効果が認められた。その後、2002年４月上旬から５月下旬迄、生物脱硫の効果は正負を繰り返した。これは硫化水素濃度が低下する時だけでなく、増加する、すなわち、湿式ガスホルダー内で硫化水素濃度が高まる時もあることを示している。

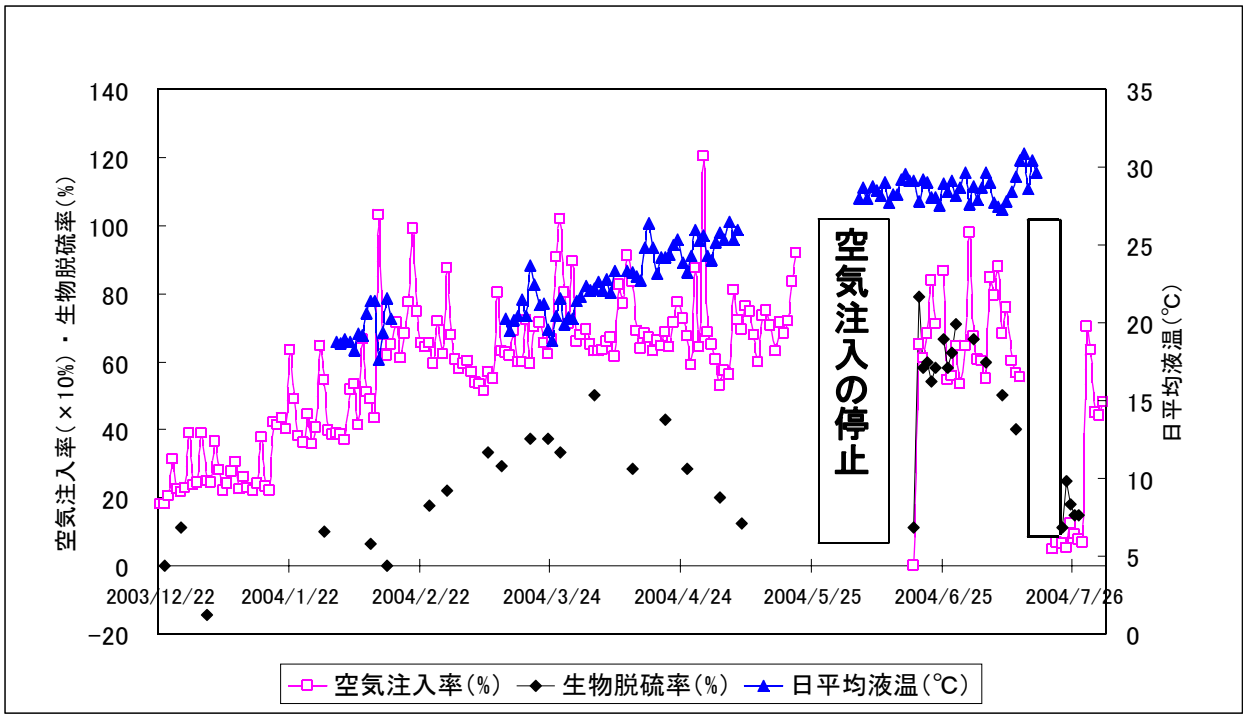
表－12に示すような空気混入量を変化させた生物脱硫の試験(2002年８月中旬～2003年２月)では、図－19に示すように空気混入量が生物脱硫に及ぼす明瞭な効果は認められなかった。図－21に示すように空気混入量1.5m^3/時よりも0.5m^3/時の方での硫化水素濃度の増加が少ないが、生物脱硫に適正な空気混入率も見いだしがたい結果である。これらの空気混入量は後述するバイオガス流出口位置の移動後の、適正と考えられる空気混入率よりも低い範囲の試験であり、全体として、空気混入率が低すぎた事が考えられる。この他に、①湿式ガスホルダーが断熱されておらず、特に冬季に適正温度が保持されなかった事、②湿式ガスホルダーでのバイオガス流入口と流出口が近接しており、流入したバイオガスが短時間で流出し、生物脱硫に充分な反応時間が確保できなかった事、あるいは、③イオウ酸化細菌の生息場所が充分に確保されなかった事、も生物脱硫の効果が認められなかった要因と考えられた。

(2)湿式ガスホルダーでのバイオガスの滞留時間延長後の空気混入量に関する試験

2003年12月25日に湿式ガスホルダーでのバイオガスの流出口を流入口から対向の位置に移し(図－18)、バイオガスの滞留時間を延長するようにした。その後、空気混入量を変更しながら、生物脱硫の効果を観測した。図－22に生物脱硫率(生物脱硫後濃度/生物脱硫前濃度)、空気混入率及び消化液の日平均温度の推移を示した。



図－21　空気注入率と生物脱硫率の関係

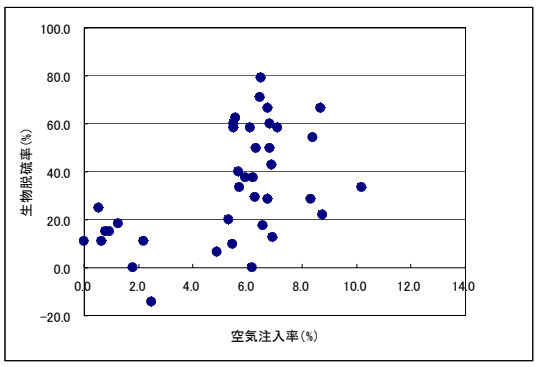


図－22　空気注入率、生物脱硫率及び湿式ガスホルダー液温の推移

流出口の位置を変更してから約１月後に、空気混入量を約1m³/時から2m³/時(バイオガス発生量を1300m³/日とすると、空気混入率は約２%～4%に相当)に増加すると、生物脱硫効果が認められるようになり、空気混入量を約3.5m³/時あるいは約4m³/時(空気混入率として約6～7%に相当)に増加した２月中旬から４月中旬迄の間に生物脱硫率はさらに上昇し、約50%に達し、その後、低下した。この間の消化液の温度は上昇傾向にある。

他の試験の都合上、５月25日～６月21日まで空気混入を停止した。６月22日から３m³/時の空気混入を再開したところ、生物脱硫率はその後約３週間、50～80%の高率となり、その後やはり低下した。７月17日～７月23日にも空気混入を停止し、その後、0.3～0.6m³/時の空気混入を実施した時の生物脱硫率は11～25%であり、あまり高くない。図－23に示した空気混入率と生物脱硫率の関係から、空気混入率約6～9%の場合に、生物脱硫率の変異が大きく、80%の高い生物脱硫率が達成された時もあったが、殆ど生物脱硫の効果が認められない時もあった。この空気混入率で生物脱硫率が低い事は生物脱硫率が高まった後に生物脱硫率が低下している事と関連があるようであり、今後、生物脱硫率が低くなる原因を解明する必要がある。

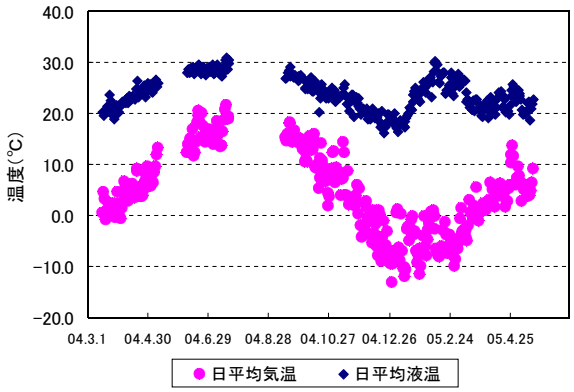
高い生物脱硫率が得られた6～9%の空気混入率は後述の担体式生物脱硫装置で得られた結果ともほぼ一致する。北口らは空気混入位置により生物脱硫率が大きく異なることから、適切な空気混入割合は空気とバイオガスの混合程度により大きく変化することを報告している。このため、空気の混合が不十分な条件では、各施設構造に特有の適正な空気混入率が存在すると考えられる。



図－23　空気混合率と生物脱硫率の関係

このように空気混入率は生物脱硫に大きく影響するため、安定した生物脱硫のための空気混入技術の確立が重要である。

外気温と湿式ガスホルダー内消化液温度の日平均値の関係を図－24に示した。外気温が約-10℃以下と低い時には消化液配管の温度も低いが、それでも20℃弱の温度であり、微生物活性が大きく低下することは無い。消化液配管温度は外気温に比べ冬期で約30℃、夏期で約10℃高く推移している。



図－24　外気温と湿式ガスホルダー液温の推移

湿式ガスホルダーは断熱材で被覆されていないが、日曜日を除くほぼ毎日、糞尿スラリーを発酵槽に投入した時に、約37℃の、投入量と同量の消化液が流入するため、湿式ガスホルダーの消化液配管は外気温よりかなり高温に維持されていると考えられる。

(3)担体式生物脱硫装置での試験

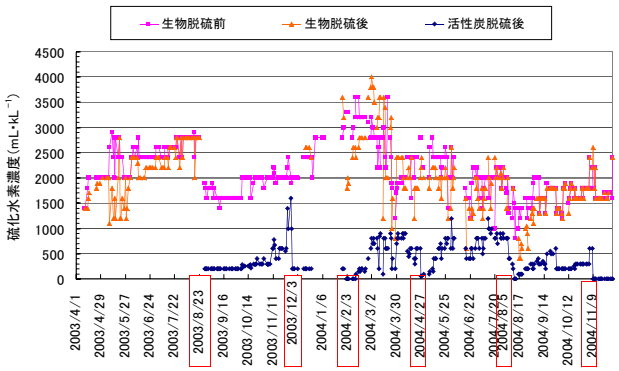
担体式試験装置の稼働１日目である2003年11月29日から生物脱硫の試験を実施し、表－14右側の結果を得た。稼働開始直後である１回目の測定を除き、76%～85%の高く安定した生物脱硫率が得られた。これは担体により、イオウ酸化細菌の生息場所面積当たりの日ガス処理量(0.5m^2/m^3/日)が湿式ガスホルダー(2.8m^2/m^3/日)よりはるかに少ない事や38℃に保温維持されている事が大きな要因である。本装置の場合はバイオガスと空気の混合は十分にされていると考えられるので、80%以上の安定した生物脱硫率が得られた５～８%の空気混入率が適正な割合であると考えられる。この値は上記で述べた湿式ガスホルダーで高い生物脱硫率が得られた空気混入率とほぼ一致している。

2)湧別施設での試験

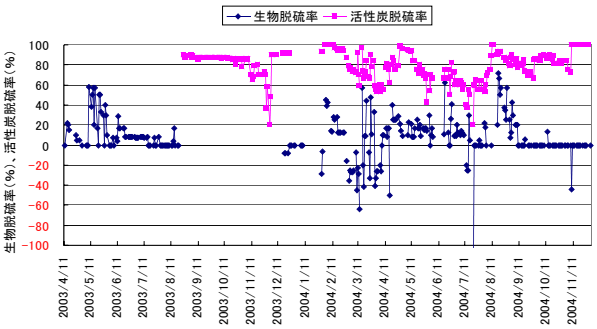
硫化水素濃度の測定結果を図－25に、生物脱硫率と活性炭脱硫率の経時変化を図－26に示す。脱硫前のバイオガスのH_2S濃度は、概ね1500～3000mL/kLの範囲で変動した。測定期間を通じて、生物脱硫装置内の堆積物除去などの管理作業は定期的に行ったが、生物脱硫率が40%を越えるのは一時的であり、安定して持続的な生物脱硫効果は認められなかった。この原因はイオウ酸化細菌の棲息面積当たりのガス処理量が18.6 m^3/m^2/日と大きく、バイオガスの平均滞留時間は0.03時間と小さい事である可能性が大きい。

活性炭による脱硫では活性炭交換直後には、H_2S濃度が100mL/kL以下まで低下し、脱硫率は90～100%を示した。しかし、その後、経時的に脱硫率は低減した。活性炭脱硫後のH_2S濃度が100mL/kLに達するのは活性炭を交換してから約10日、500mL/kLに達するのは20～30日程度である。したがって、脱硫剤としての活性炭は使用量にも依存するが、定期的に交換する必要がある。

生物脱硫前のH_2S濃度が1500～2000mL/kLの場合と2000mL/kLを超える場合で活性炭脱硫後のH_2S濃度を比較すると、前者では200～300mL/kLであるのに対し、後者では500mL/kLを超えている。このことから、活性炭脱硫後のH_2S濃度は、脱硫前濃度の影響を受けるといえる。



図－25　硫化水素濃度の経時変化（湧別施設）



図－26　生物脱硫率と活性炭脱硫率の経時変化（湧別施設）

3)別海施設での経済性の試算

酸化鉄脱硫塔(写真－34)は直列に配置した２塔(脱硫塔Ａ及び脱硫塔Ｂ)から構成される。湿式ガスホルダー(生物脱硫装置)の次に接続された脱硫塔Ａの酸化鉄がまず硫化鉄に変化し、脱硫能力が低下し、次に脱硫塔Ｂでも脱硫能力が低下する。このため、２塔による酸化鉄脱硫後のバイオガス中のH_2S濃度が上昇し始める。この値が約200mL/kLに達した時点で、脱硫塔Ａの劣化した酸化鉄(1225kg/塔)を交換し、バイオガスの回路を切り替え、もう一方の脱硫塔Ｂを湿式ガスホルダーの次に接続し、その次に脱硫塔Ａを接続する。こうして、２塔の酸化鉄脱硫塔の酸化鉄は交互に交換される。

１塔当りの交換費用は、使用済みのペレットの処理費も含め、約70万円である。生物脱硫のための運転経費に関し、空気混入のための電気代は最大で約465円/日(定格出力2.2kWで24時間稼働、8.8円/kW)と試算される。バイオガスの発生量を設計値の1300m^3/日、発生直後の硫化水素濃度を2400mL/kL、生物脱硫率を80%、脱硫剤の飽和吸収量(kg-H_2S/kg-脱硫剤)を0.15（出展：浅野孝幸、バイオガスの脱硫技術、酪農学園大学エクステンションセンター、2002）とすると、生物脱硫装置を設置しない場合には脱硫剤の交換費用が約659万円/年、生物脱硫を併用した場合の費用は約149万円(脱硫剤交換:132万円＋電気代:17万円)と試算される。

脱硫剤の飽和吸収量が0.30（出展：脱硫剤メーカーの脱硫剤に関する資料）の場合では、生物脱硫を設置しない場合での脱硫剤の交換費用は約330万円/年、生物脱硫を併用した場合の費用は約83万円(脱硫剤交換:66万円＋電気代:17万円)と試算され、この場合にも生物脱硫併用で経費は安価である。

上記試算を整理し表－15に示した。これには施設費を含まないが、別海施設の湿式ガスホルダーは生物脱硫の有無にかかわらず必要施設である。湿式ホルダー内の温度保持のための課題を別にすれば、この他に生物脱硫のために必要とされるのは、空気混入装置でこれは高額な物ではない。したがって、生物脱硫を充分に機能させることが経済的にも重要と考えられる。



写真－34　２塔から構成される酸化鉄脱硫塔

表－15　脱硫経費の比較

（千円／年）

項目	脱硫剤の飽和吸収量=0.1		脱硫剤の飽和吸収量=0.3	
	酸化鉄脱硫のみ	生物脱硫併用	酸化鉄脱硫のみ	生物脱硫併用
脱硫剤交換	6590	1320	3300	660
生物脱硫電気代	－	170	－	170
合計	6590	1490	3300	830

４．小括

1)別海施設

別海施設では湿式ガスホルダーがバイオガス中の硫化水素を微生物的に除去する生物脱硫の機能も担っているが、機能発揮が不十分な事があった。

(1)　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。

(2)　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た。今後、生物脱硫率が低い時の原因解明が必要である。

(3)　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。

(4)　脱硫経費に関して、生物脱硫施設を併設し機能させる方が酸化鉄脱硫単独の場合よりも安価であると試算された。前者の脱硫法ではイオウ資源の循環がなされる事もあり、生物脱硫を十分に機能させる事が望ましい。

2)湧別施設

(1)　湧別施設では生物脱硫と活性炭脱硫を直列配置している。生物脱硫率が40%を越えるのは一時的であり、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^3/m^2/日と大きく、バイオガスの平均滞留時間は0.03時間と小さい事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。

(2)　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、経時的に脱硫率は低下し、定期的な活性炭交換が必要であった。活性炭脱硫の定量的な効果については今後に残された課題である。

謝辞

生物脱硫の試験に関しては、北海道立工業試験場の浅野孝幸主任研究員他のご教示とご指導を頂いた。また、別海施設の生物脱硫に関する試験は大成建設㈱およびドーコン㈱との共同研究で実施した。記して深く感謝します。

Ⅳ．高温発酵試験

1.目的

高温発酵は発酵温度を55℃前後で行うもので、37℃前後で行う中温発酵に比べると、以下の長所を持つと言われている。

①発酵原料単位量当たりエネルギー取得量が多い

②したがって、同量のふん尿処理では中温発酵より施設規模を小さくできる。

③施設規模が同じであれば、処理できるふん尿量が増える

しかし、温度変動に弱いため制御は難しいとも言われており、国内での普及は進んでいない。このような高温発酵の特徴を検証するために、室内実験と別海施設での実証試験をを行った。

2.試験１　室内実験

1)目的と方法

以下の３点の事項を確認するために室内実験を行った。

①中温から高温へ温度を上昇させる過程での発酵への影響

②高温発酵の温度変化に対する感受性

③高温発酵の中温発酵に対する優位性

特に、①の実験は既に中温発酵で稼働しているメタン発酵を高温に移行させることを念頭においたもので、別海施設での実証試験に応用することを目的としていた。

実験装置は写真-29で示した副資材実験と同じ装置を用いた。スラリーやガスの分析に関しても副資材実験と同様である。処理区は、以下の３試験区を設けた。実験経過を表16に示した。

①中温標準区

発酵槽内温度を37℃で保持した、中温発酵。

平均滞留日数30日に相当する200mlのふん尿スラリーを毎日投入した。

②高温保温区

発酵槽内温度を37℃の中温発酵で起動させ、その後段階的に55℃の高温発酵に移行させた。平均滞留日数20日に相当する300mlのふん尿スラリーを毎日投入した。槽の外側を建築用断熱材で保温した。

③高温非保温区

槽内条件は②と同様である。槽の外側を断熱材で被覆せず、むき出しのまま使用した。

表16　実験概要

年 月 日	経過日数	槽内温度（中温）	槽内温度（高温）	実 験 内 容
2004.5.27		37℃	37℃	中温発酵で訓養を開始
2004.6.9		37℃	37℃	発酵液全量を混合、等量で3基のファーメンタに再配分
		37℃	37℃	
	0日目	37℃	37℃	実験開始（経過日数:0日）
2004.6.17	8日目	37℃	37→45℃	高温処理区の温度上昇開始
2004.6.21	12日目	37℃	45→47℃	〃
2004.6.30	21日目	37℃	47→49℃	〃
2004.7.2	23日目	37℃	49→51℃	〃
2004.7.4	25日目	37℃	51→53℃	〃
2004.7.6	27日目	37℃	53→55℃	以後、定温状態を保った
2004.7.29	50日目	37℃	55℃	実験終了

2)実験結果

(1)中温から高温へ温度を上昇させる過程での発酵への影響

図27に１日当たりのバイオガス発生量の推移を、図28に発生したバイオガスにメタン濃度を乗じて求めた、１日当たりメタンガス発生量の推移を示した。

実験開始11日目頃(高温処理で43℃を超えた頃から)中温発酵と高温発酵で差が生じ始めた。中温発酵はガス発生量が定量化し、安定状態となった。一方、高温処理は槽内温度が45℃から47℃へ昇温した時点で両ガスとも発生量が減少し始め、中温発酵に対比すると、

高温保温区で0.5～0.6、高温非保温区で0.1～0.15まで低下した（19日目）。その後、昇温を続けたが、それに伴い、両ガス発生量とも上昇に転じ、53℃まで昇温した時点で中温発酵のおよそ２倍のガス発生量を示した（24日目）。しかし、メタン濃度は中温発酵より低いため、メタンガス発生量は約1.6～1.7倍で、２倍には至らなかった。53℃から55℃に昇温した時点（25日目）で両ガス発生量とも再び急激に減少し始め、中温発酵に比べて、最大でも0.22～0.35まで低下した（28日目）。その後、槽内温度55℃で定温状態を保った３週間で、両ガス発生量とも緩やかに増加したが、50日目で終了するまで高温発酵では中温発酵のガス発生量を越えることはなかった。

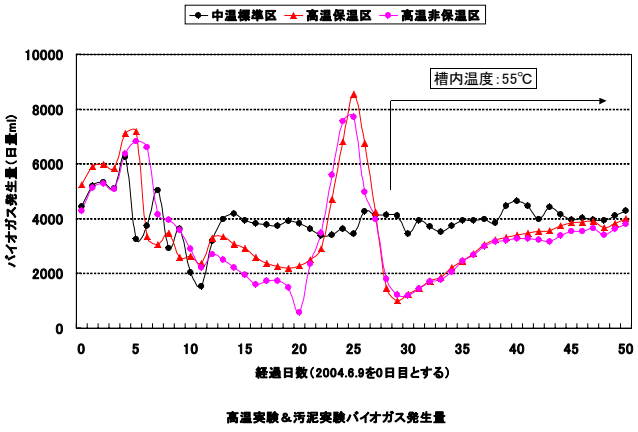


図27　バイオガス発生量

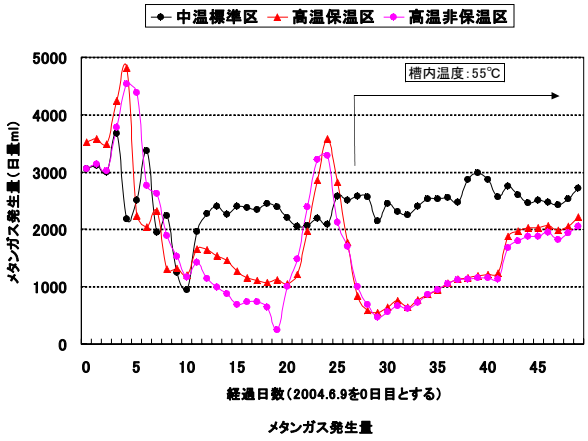


図28　メタンガス発生量

(2)高温発酵の温度変化に対する感受性

図27、及び図28で示したように、槽内温度が変化すると両ガス発生量が増減したことから、メタン発酵は45℃以上の槽内の温度変化に大きく影響されると考えられる。

図29に高温保温区、高温非保温区それぞれの発酵液の温度変化を示した。温度調節器で設定された温度に対し、保温区の温度変動は極めて小さく、断熱材による保温効果が認められた。また、非保温区に関しても、温度変動は0.2℃程度と小さかった。しかし、加温温水を供給する温度調節器の温度設定にあたっては、高温保温区では設定温度より1℃前後高温に設定すれば良好に発酵温度を維持できていたのに対し、高温非保温区は約5℃高く設定しないと安定して目標温度を保持出来なかった。小さな実験装置で室内であったことから、大きな温度変動は生じず、温度編感化に対する感受性自体は明確にはならなかったが、高温保温区では断熱材によって温度調節器の設定温度を低くすることができ、加温に必要な熱エネルギーは大きく低減できた。

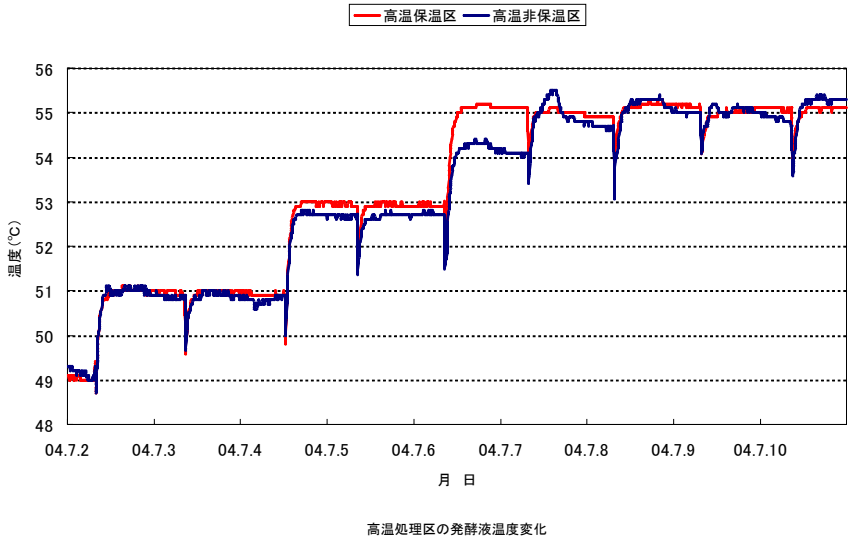


図29 高温処理区の発酵液の温度変化

(3)高温発酵の中温発酵に対する優位性

図30にスラリー中に含まれる有機物率の変化を示した。5回の測定の内、3.5～4.5%の間で有機物率が推移しているが、中温発酵と高温発酵を比較しても両者の間で大きな差はなかった。図31に投入したスラリー中に含まれる有機物量当たりのメタンガス発生量を経過日数毎に示した。7日目（中温状態）、21日目（昇温状態）、28日目以降（高温定温状態）いずれの場合にも高温発酵より中温発酵の方がガス発生効率が良好であった。

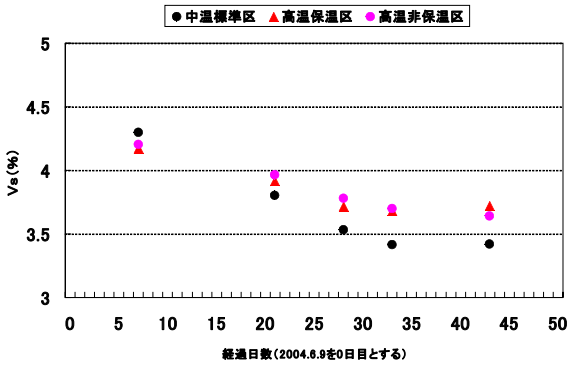


図30　スラリー中の有機物含有率の推移

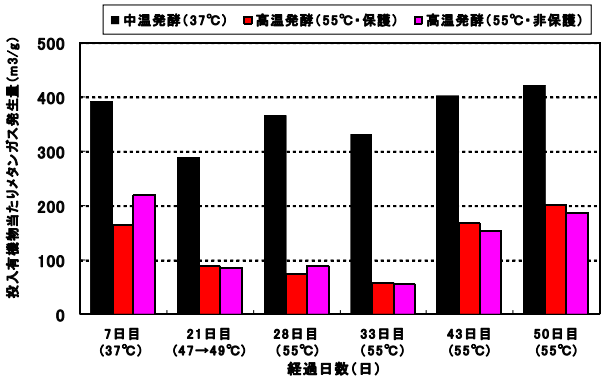


図31　投入有機物当たりのメタンガス発生量の推移

(4)考察

今回の室内実験では、中温発酵に比べ、高温発酵のバイオガス、メタンガスいずれの発生量も少なく、また、45℃以上のメタン発酵は温度変化に対して敏感で、ガス発生量が大きく変動した。加温エネルギー量が多いことも考慮すると、高温発酵の中温発酵に対する明らかな優位性は認められなかった。なお、43℃までが中温発酵の上限、高温発酵は53℃程度が適正と示唆された。

3.試験２　別海施設での実証試験

1)目的と方法

室内実験では高温発酵に関する良好なデータは得られなかったが、発酵が全く停止するという事態には至らなかったことと、帯広畜産大学や足寄町で実規模プラントでの稼働が相次いでいることから、別海施設での実験を実施した。

平成17年１月10日に、メタン発酵槽の温度制御パラメータを55℃に変更した。また、殺菌プロセス制御パラメータも変更して殺菌タンクでの貯留をせずにただちに消化液貯留タンクへ排出されるようにした。

高温発酵の水理学的平均滞留日数は15～20日と言われている。発酵槽の容量は一定であるため、毎回投入する発酵原料の量を中温発酵時の1.5～２倍に増量することとなるが、その分だけ消化液の発生量も多くなる。実験を開始した時期に、消化液貯留タンクの空容量を急速に圧迫することはプラント全体の制御上、得策ではないため、毎日の発酵原料の投入量は中温発酵と同じとした。３月10日に温度制御パラメータをはじめとする制御システムの設定を中温発酵に戻し、自然に中温発酵に戻した。

2)実験結果

約２ヶ月間の高温発酵実験期間中の推移を稼働履歴と供に図32に示した。

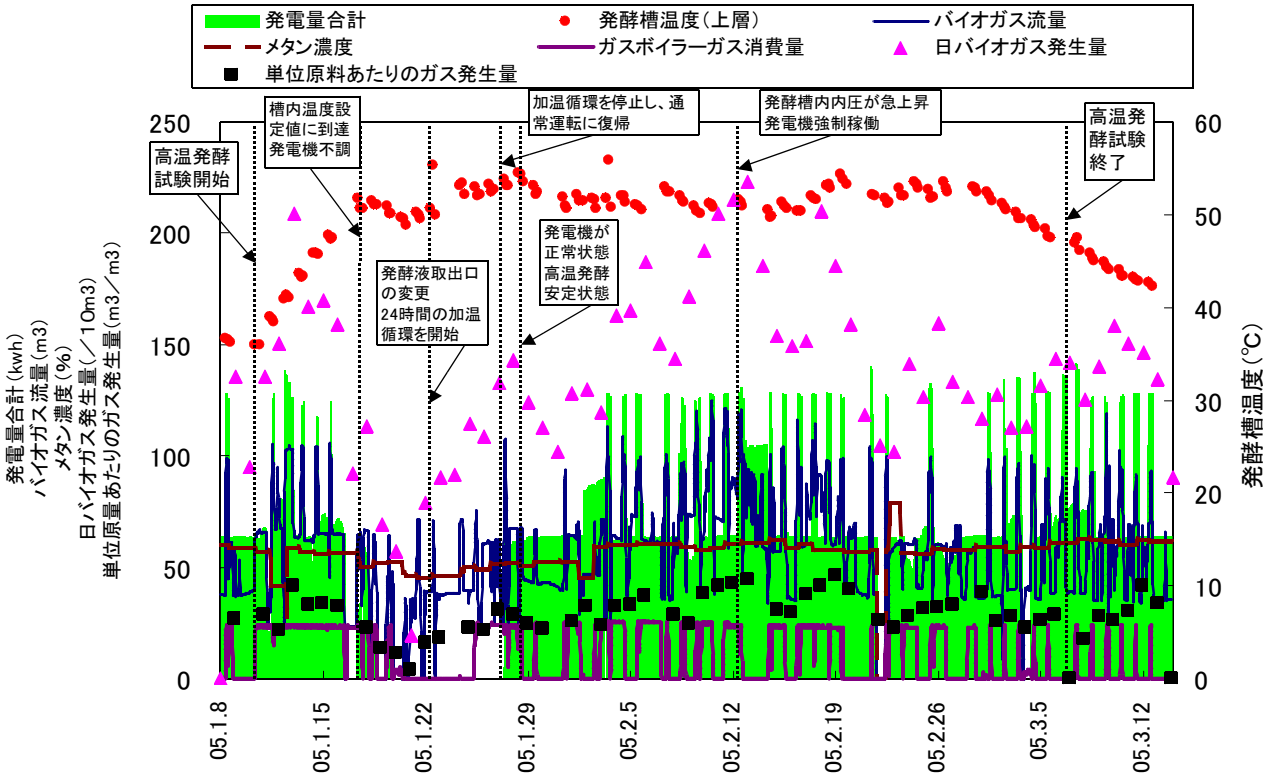


図32　高温発酵試験に関するバイオガス発生量などの推移

高温発酵試験期間中の発酵槽の温度およびバイオガス発生量の推移から、[温度上昇期][移行期][高温発酵期]の３期に区分して、比較対照として[中温発酵期]を加えた４期で諸元を整理した(表-17)。

表-17　高温発酵試験に関する期別対比表

項　目	中温発酵期 (2004. 12. 9 ～ 1. 9)	温度上昇期 (2005. 1. 10 ～ 1. 17)	移行期 (2005. 1. 18 ～ 1. 28)	高温発酵期 (2005. 1. 29 ～ 3.10)
バイオガス発生量 (m^3／日)	1,190.9	1,495.6	935.9	1,506.5
メタンガス濃度(%)	58.3	54.0	49.2	58.5
スラリー投入量(m^3／日)	42.8	45.8	44.8	41.1
単位原料当たりガス発生量 (m^3／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)	144	334	340	130
発酵槽熱消費量(MJ／日)	5,395	17,880	13,282	6,612
殺菌槽熱消費量(MJ／日)	5,417	2,321	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

温度上昇期はメタン発酵自体に強い劣化は生じておらず、中温発酵を上回るガス発生であったが、1500m^3の発酵液の温度を上昇させるためには熱量が不足であり、重油に依存した。高温に達した後、約10日間(＝移行期)はバイオガスの発生量もメタン濃度も低下してしまい、電力も熱もほとんど自給できず、外部エネルギーに依存してしまった。

ガス発生とメタン濃度が回復して、高温発酵としての安定期(＝高温発酵期)に入った以降は中温発酵期より電力自給率が高まった。加えて、殺菌行程も不要であるため熱消費においても中温発酵より低い値であった。

総じて、今回実施した高温発酵はガス発生とエネルギー収支において中温発酵より良好な値であった。一方、温度上昇期や高温発酵が安定するまでの期間は、外部エネルギーに大きく依存することから、移行期間をできるだけ短くする工夫が必要と考えられた。

高温発酵から中温発酵への移行では、ガス発生低下などの明確なトラブルは発生しなかった。

高温発酵試験での温度管理上の施設的な課題

発酵槽に挿入してある温度計が正しい温度情報を発信していないことが明らかとなった。Ⅲ－２－4)で詳述するが、本章でも簡単に触れる。

メタン発酵槽は縦置円筒型で、側面の上部と下部の２カ所にPt抵抗体の温度計が挿入されており、２カ所の平均温度で循環加温の要否を自動制御している。循環加温は発酵槽と加温用熱交換機の間でスラリーを循環させ、熱交換機を導通している温水との間接接触でスラリーの温度を上げる方式で、発酵槽からの取り出し口は、上部と下部に切り替えることができる構造となっている。通常は上部から取り出し、加温後は下部から導入させる。

移行期において、下部温度計の値がなかなか上昇しなかった。しかし、設定温度を高くすると、上部温度が55℃を超えてしまうこととなり、下部に滞留していると思われる冷たいスラリーを直接加温するために、加温循環の取り出し口を発酵槽上部から下部に切り替えた。その結果、下部取り出し配管で閉塞が発生した。

実際に下部の液温が上昇していないのか、液温は上昇しているが温度計が感知できていないのか（温度計の故障　もしくは　測定環境の悪化）、原因を特定できなかった。そこで、上部と下部の温度計の値を遡って確認したところ、図33のようであった。すなわち、施設稼働直後は、上部温度計と下部温度計はほとんど同じ値を示していたが、年数の経過とともに較差が生じ、下部温度計の値が低下していることが認められた。

このことから、下部温度計は原因不明であるが正しい液温を感知できておらず、上部温度計の温度が発酵槽全体の液温であると判断した温度制御で実験を継続した。

具体的な温度制御は、以下の考え方で行った。

①上部温度計の値が53℃を維持するようにする。

②下部温度計の値は不正であるが、制御は上部と下部の平均温度で行われる。

③下部の温度は実際より約９℃低い値を示すと判断される。

④制御温度は48℃とし、液温の変化を見ながら微調整する。

下部温度計の指示値が不正であることの理由は、温度計自体の劣化・スラッジに埋没している・汚れが厚く被覆している等が考えられる。下部配管が閉塞したことから、スラッジの堆積は明らかであり、原因として強く疑われる。なお、温度計は発酵槽に直接挿入されているため交換するためには、発酵液を全て排出するなどの手順が必要となる。二重ソケット方式など、センサー類の異常に対する点検や交換が簡便に実施できる構造と設計が求められる。

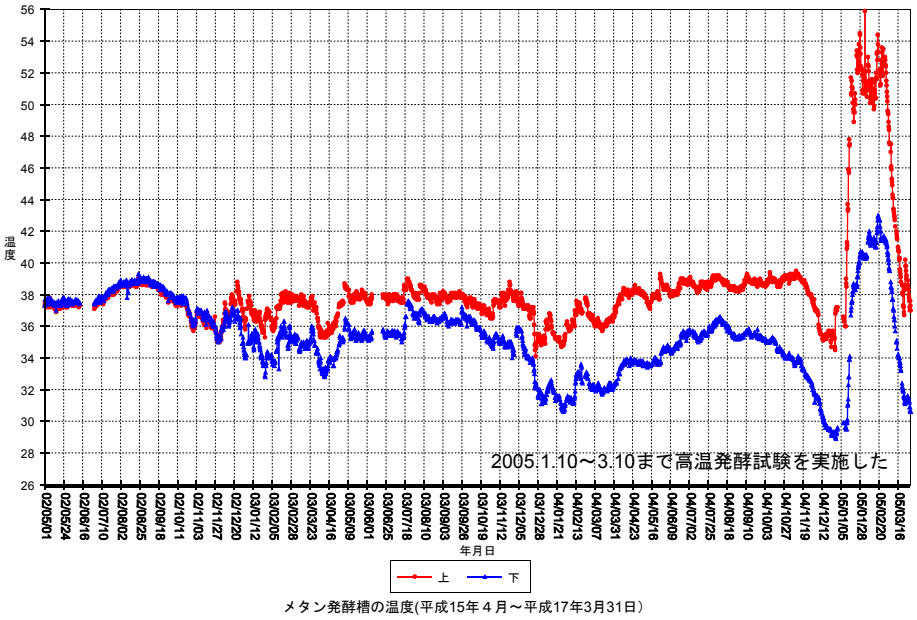


図33　メタン発酵槽上部と下部の温度の推移

Ⅴ．総合考察

１　固形糞尿の取り扱い

北海道においても家畜糞尿を主原料とするバイオガスプラントの設置数は増加しているが、北海道酪農では堆肥盤に堆積される固形糞尿を排出する酪農家が過半を占めるため、共同利用型バイオガスプラントではスラリー状糞尿だけでなく、固形糞尿も受け入れる可能性がある。

固形糞尿をメタン発酵の原料とするには、メタン発酵施設と堆肥化施設の両方を整備し、固形糞尿は固液分離を行い、分離液分だけをメタン発酵の原料とし、分離固分は堆肥化することが運営上の負担は大きいが、施設稼働面から現実的であった。

固形糞尿を直接、メタン発酵の受入槽に投入し、攪拌・混合後、メタン発酵槽に投入することは可能であるが、攪拌・混合に施設の増強、多大な労力と動力を必要とし、効率的かつ安全な処理法とはではなかった。

このことから、共同利用型バイオガスプラント施設の効率的な稼働のためには、原料をスラリー状糞尿に限定することが望ましい。

２　副資材のバイオガス発生効果

地域で発生する多くの有機性廃棄物は家畜糞尿とともに堆肥化される他に、ダイオキシンの発生が危惧される焼却処理、地下水汚染やメタンガス揮散の危惧のある埋め立て処理等をされていた。しかし、有害物質を含まない有機性廃棄物はバイオガスプラントの副資材として利用することにより、エネルギーを取出すことができるようになる。また、これらの副資材のガス発生効果や発酵上の投入限界が本成果で明らかになり、今後のバイオガスプラントの稼働上の指針となる。

３　バイオガス中の硫化水素の効率的除去

別海施設の生物脱硫装置(イオウ酸化細菌の棲息面積当たりのガス処理量:2.8m^3/m^2/日、平均滞留時間：0.69時間)では当初、バイオガスの流入口と流出口が近接していたが、流出口を流入口に対向する位置に移動することにより、バイオガスの実質的な滞留時間が長くなり、生物脱硫効果が向上した。

一方、湧別の生物脱硫装置は別海施設にくらべ、イオウ酸化細菌の棲息面積当たりのガス処理量が約７倍、バイオガスの滞留時間は1/20以下である。このために生物脱硫の効果が低かったものと考えられる。このように、現在の生物脱硫装置は全てが十分に機能しているとは言いがたいが、担体式生物脱硫装置は安定した脱硫効果が認められた。

脱硫装置に関しては、酸化鉄脱硫装置単独よりも十分に機能を発揮する生物脱硫と酸化鉄脱硫を併用した脱硫装置で維持管理費が低廉であることが試算された。加えて、使用済み酸化鉄剤は現在、埋め立て処理されるため、イオウ資源の循環にならないが、生物脱硫ではイオウ資源の循環にも寄与することからも、今後の脱硫では生物脱硫装置を酸化鉄(化学的脱硫)脱硫装置とともに併設する事が望ましい。

４　高温発酵

別海施設での検証試験では、高温発酵としての安定期に入れば、メタン濃度は低下せず、ガス発生量は約1.3倍に増量し、殺菌エネルギーが不要になることからエネルギー収支も小さく、中温発酵に対する優位性が認められた。一方で、中温から高温への移行期間中は外部エネルギーへの依存が極めて高くなることが実証できた。

Ⅵ. 要約

1) 長藁入り固形糞尿、固液分離後の固形糞尿及び裁断藁入り固形糞尿をメタン発酵の受入槽に投入しメタン発酵の原料とするには、受入槽での固形糞尿塊の破砕・分散に多大の時間・労力・機械力を要し、不充分な場合にはポンプ等の閉塞を招く(写真－11)ため、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接利用することは実用的でない。

2) スラリー状糞尿、固液分離後の液分(スラリー)および尿溜め液を原料とし、原料投入や消化液の排出に支障がない構造のバイオガスプラントであれば、連続的な原料投入と所定温度での加温によりメタン発酵は順調に進行し、投入原料当たりのメタンガス発生量は15～18m^{3}であった(図－９)。廃牛乳や給食残滓を副資材として投入した場合に原料投入量当たりのメタンガス発生量は増加する傾向が認められた。

3) 重金属等の有害物質を含まない有機性廃棄物の副資材としてのメタンガス産出効果はその組成により異なり、廃牛乳や廃バターで多く(図－14)、汚泥等で小さかった。有機物当たりのメタンガス発生量は糞尿:0.18 m^3/g、廃牛乳:0.82 m^3/g、廃バター:0.89 m^3/gであり、食品残滓などでメタンガス発生量が多くなる。バイオガスの発生量が大きく低下する投入限界量は廃バターで10%、パン粉で12%、蛋白質(プロテイン)で8%であり、N分の多い有機物で限界量が小さかった。

4) 生物脱硫(湿式ガスホルダー)と酸化鉄脱硫が直列に配置される別海施設では、脱硫後のバイオガス中の硫化水素濃度を数mL/kL以下に維持できた。湿式ガスホルダー式生物脱硫装置での脱硫効果はガス流入口と近接していたガス流出口を対向位置に移動した後、空気注入率5～8%で脱硫効率の改善が認められた(図-19)が安定しなかった(図-23)。38℃保持の担体式生物脱硫試験装置では空気注入率5～8%で約85%の安定した生物脱硫率が得られた(表-14)。

5) 脱硫経費に関して、生物脱硫施設を併設し機能させる方が酸化鉄脱硫単独の場合よりも安価であると試算された(表－15)。前者の脱硫法ではイオウ資源の循環がなされる事もあり、生物脱硫を十分に機能させる事が望ましい。

6) 別海施設での高温発酵は水理学的平均滞留日数を中温発酵と同じで実証試験を実施した。その結果、高温発酵のエネルギー収支は中温発酵より優れていた(表-17)。

Ⅶ. 残された問題とその対応

1) 副資材としては調査した物以外にも、敷き料として使用しているオガクズも含め、多くの有機性資源が考えられ、今後室内試験で調査する予定である。

2) 廃脱硫剤のイオウ資源としての再利用は残された課題である。

3) 抗生物質を含む廃棄牛乳を副資材として利用した消化液での抗生物質の残留状況とその影響の究明は残された課題である。

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

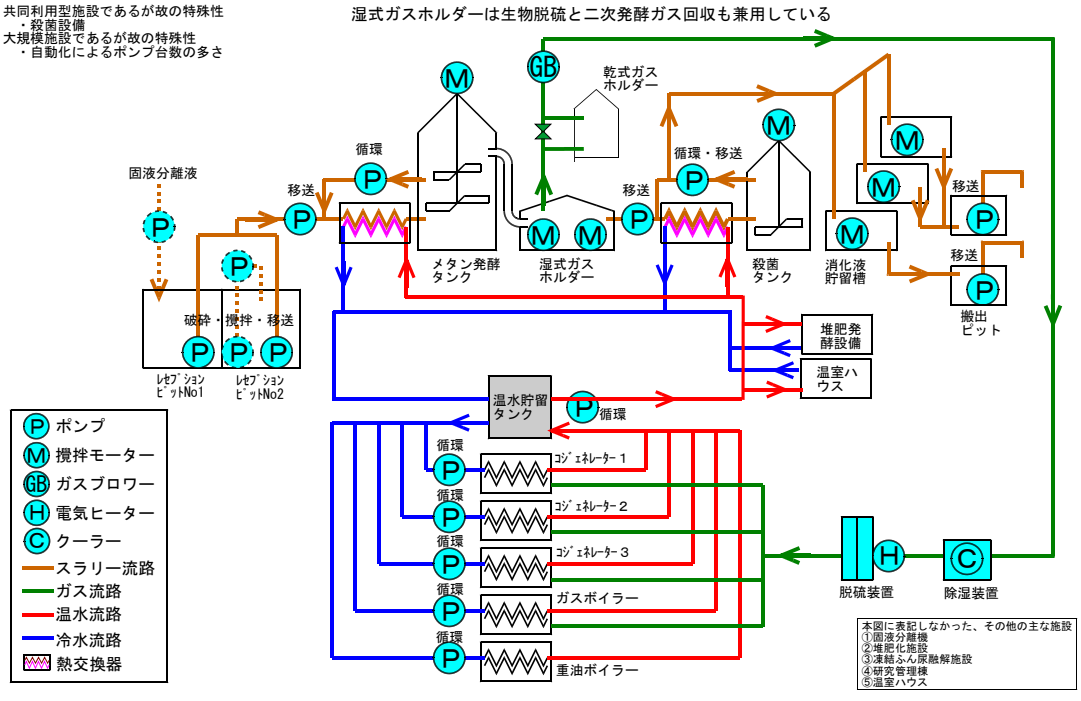
搬入ふん尿の形状は、表－1に示すとおりである。敷料混合ふん尿は、固液分離後の液分をメタン発酵の原料とし、固分は堆肥化している。これに対し、スラリーは前処理を行わず、そのままでメタン発酵の原料としている。なお、乳牛ふん尿以外の有機性資材の副資材については､地域で発生する無害な有機性資材を発生の都度投入しているが、量的には少ない。

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。

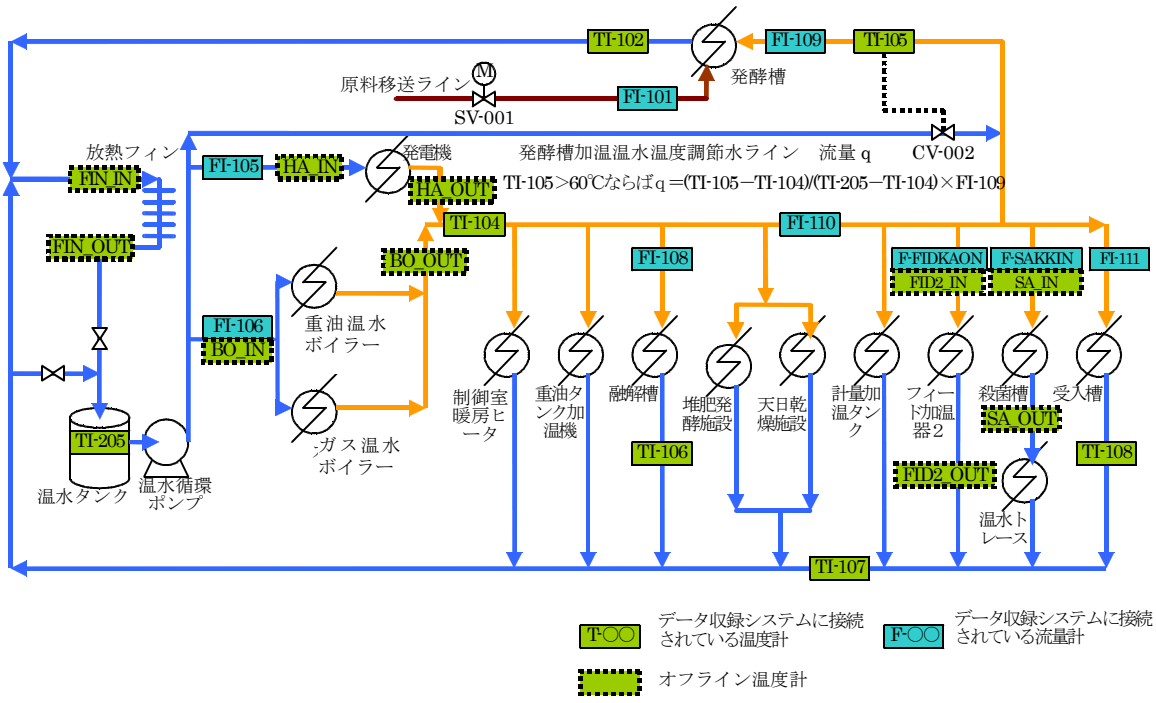
(2)小規模共同利用型バイオガスプラント（湧別資源循環試験施設）

図－2は、湧別プラントでの熱収支に関係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。

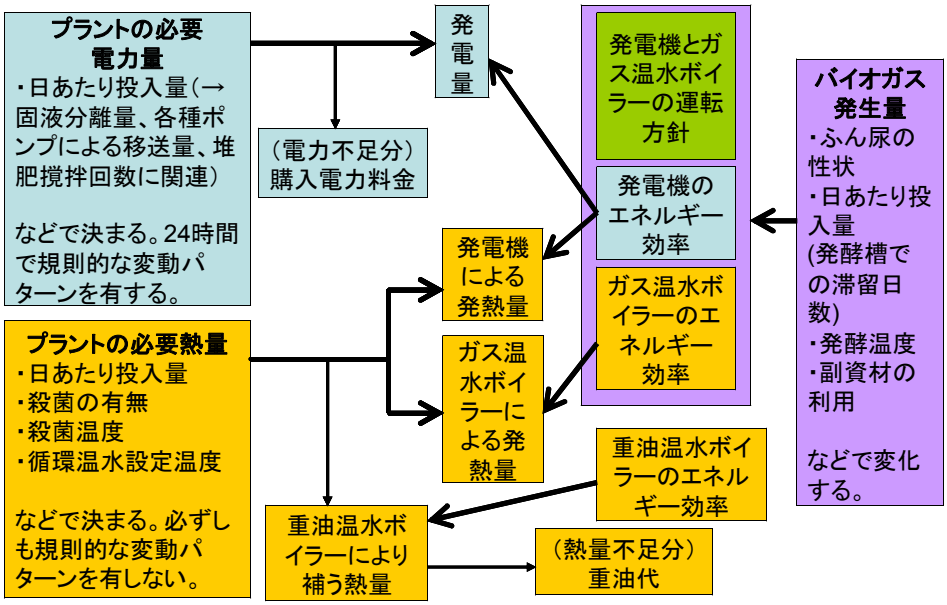


図－2　温水循環経路および温度計・流量計の設置位置

(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ことがある。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

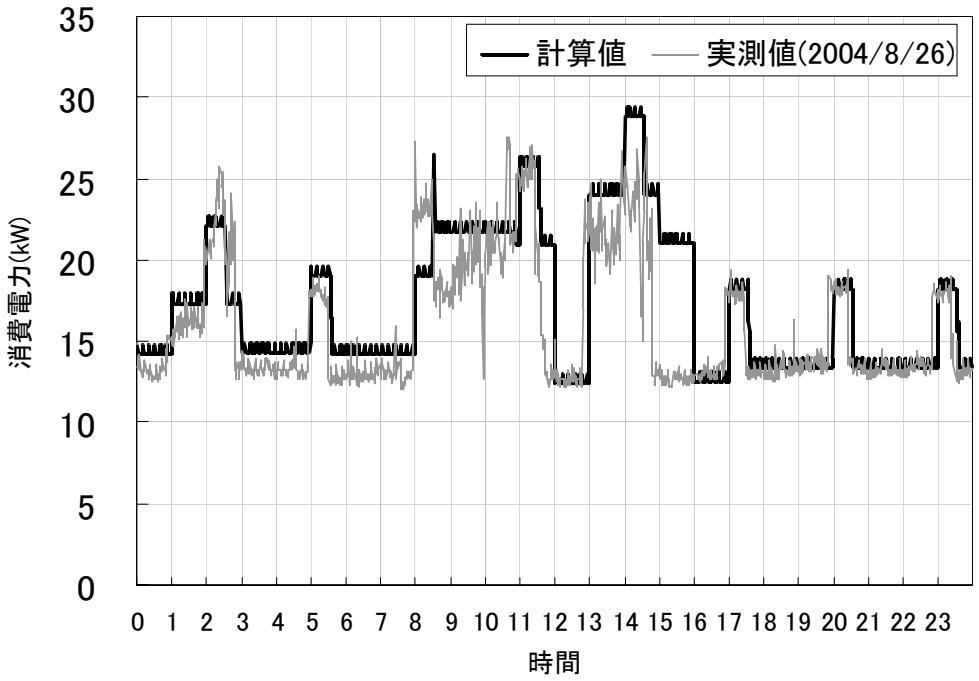
①電力消費機器の稼働条件と消費電力

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･撹拌時)	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発酵槽撹拌機	0.38	2分稼働,8分停止のくり返し	
No2発酵槽撹拌機	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	購入電力のみ使用
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	
ガスホルダーエアーチャージファン	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	

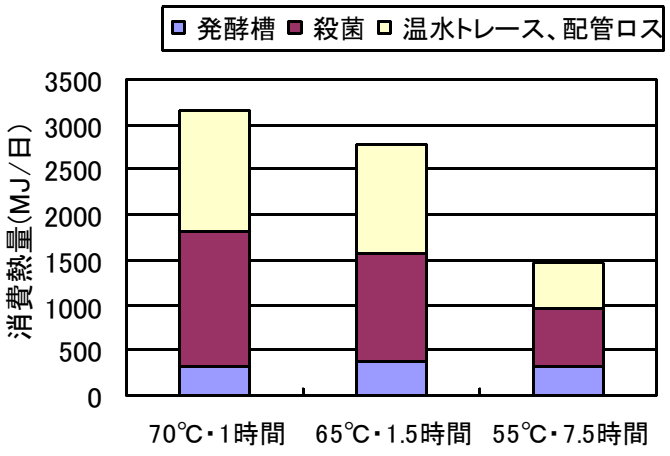


図－4　消費電力機器の稼働条件

②殺菌温度と外気温によるプラント消費熱量

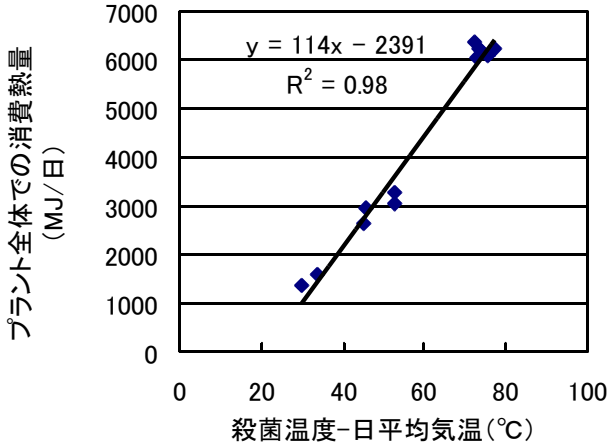
湧別プラントは共同利用型施設であるため、通常運転時は70℃で最低1時間の発酵後の殺菌（後殺菌）を行っている。これは、バイオガスシステム研究の先進国であるデンマークの研究成果に基づいて設定した。

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るから、「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 (㎥/日)	TS (%)	TVS (%)	バイオガス発生量(㎥/日)	単位発生量 (㎥/ ㎥)	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		64.0

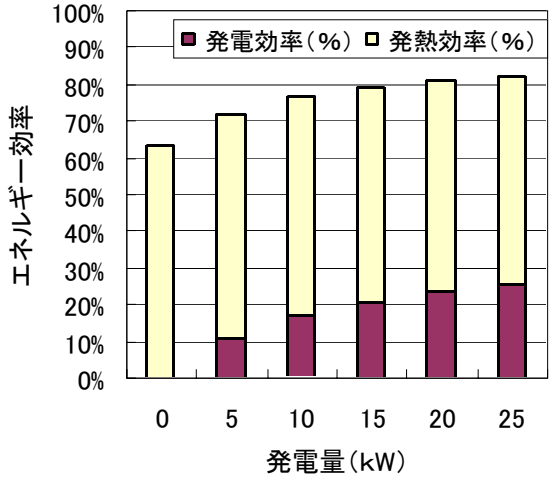
④発電機及びボイラーのエネルギー効率とガス消費量

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/㎥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。

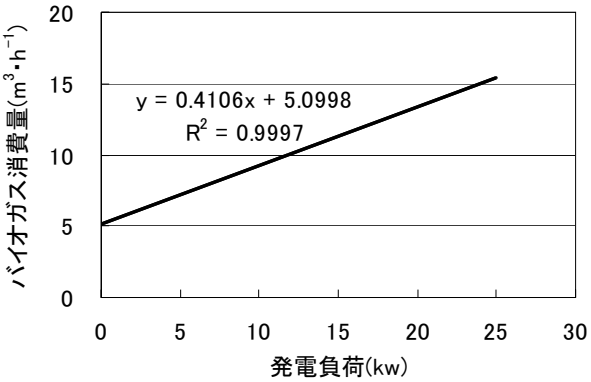
また、実測データをもとに、ガスボイラーのエネルギー効率は約77%、重油ボイラーのエネルギー効率は約81%とした。なお、A重油の発熱量は39.1MJ/Lとした。

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 m^3/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て、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	・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

「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%	51.8ｔ	－	36.6ｔ	15.3ｔ
２月	100%	51.8ｔ	－	36.6ｔ	15.3ｔ
３月	100%	51.8ｔ	－	36.6ｔ	15.3ｔ
４月	100%	51.8ｔ	－	36.6ｔ	15.3ｔ
５月	87%	45.1ｔ	－	31.8ｔ	13.3ｔ
６月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
７月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
８月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
９月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
10月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
11月	74%	38.3ｔ	－	27.1ｔ	11.3ｔ
12月	87%	45.1ｔ	－	31.8ｔ	13.3ｔ

（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
スラリー	1.0	・「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

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の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	・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	・55℃×7.5hr ・70℃×1.0hr
バイオガス単位発生量	・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%	6.7ｔ	3.2t	7.6ｔ	2.2ｔ	9.8ｔ	－
2月	100%	6.7ｔ	3.2t	7.6ｔ	2.2ｔ	9.8ｔ	－
3月	100%	6.7ｔ	3.2t	7.6ｔ	2.2ｔ	9.8ｔ	－
4月	100%	6.7ｔ	3.2t	7.6ｔ	2.2ｔ	9.8ｔ	－
5月	87%	5.8ｔ	2.8t	6.6ｔ	1.9ｔ	8.6ｔ	－
6月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
7月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
8月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
9月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
10月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
11月	74%	4.9ｔ	2.3t	5.6ｔ	1.6ｔ	7.3ｔ	－
12月	87%	5.8ｔ	2.8t	6.6ｔ	1.9ｔ	8.6ｔ	－

（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。

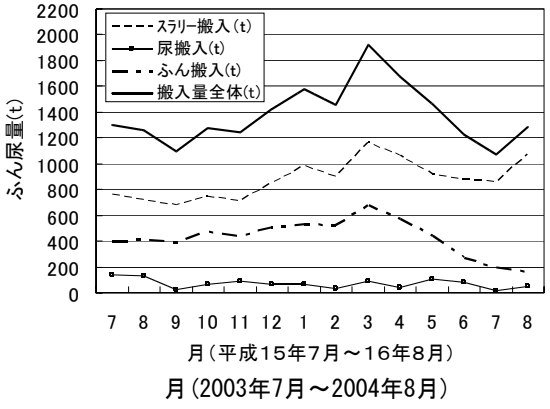
6　調査結果および考察

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。



図－9　ふん尿の搬入量

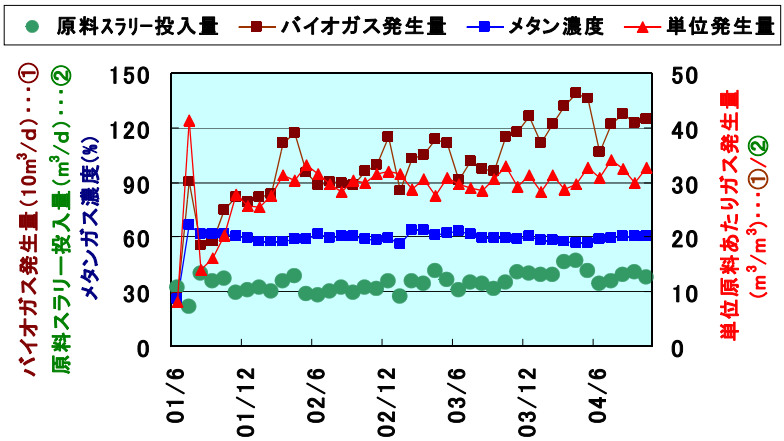
放牧が行われる時期には、ふん尿の搬入量が比較的少ない。月毎の搬入量全体の傾向では、6月～11月が放牧時期に、1月～4月が舎飼時期に、5月および12月が過渡的な時期にそれぞれ相当する。

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1220ｔと1660ｔであった。放牧時期の搬入量は、舎飼時期の約74%である。

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30m³/m³であり、メタン発酵は順調に推移している。

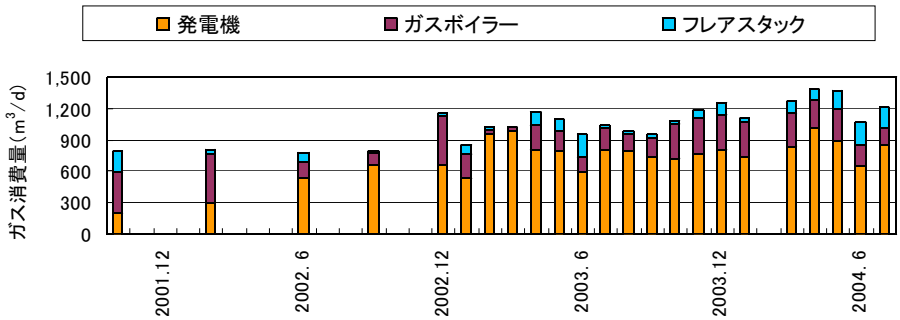


図－10　バイオガス発生量、メタン濃度、原料スラリー投入量の推移

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。



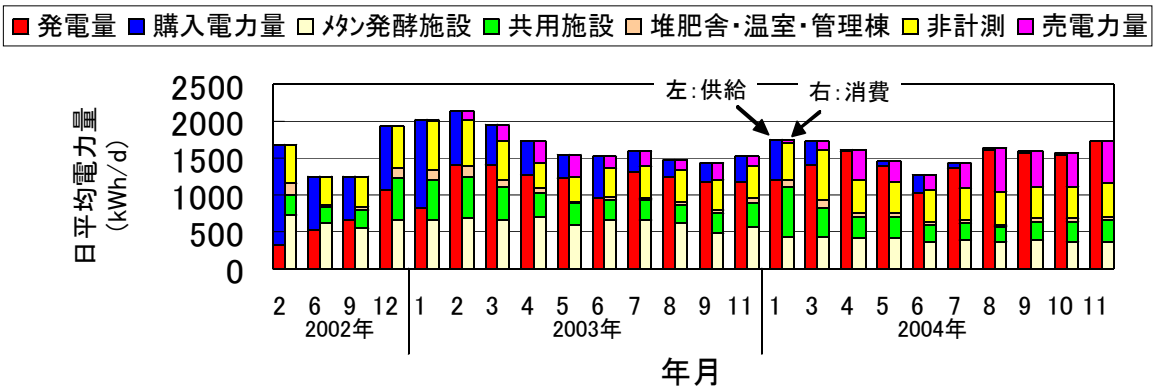
図－11　発生バイオガスの消費内訳

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。

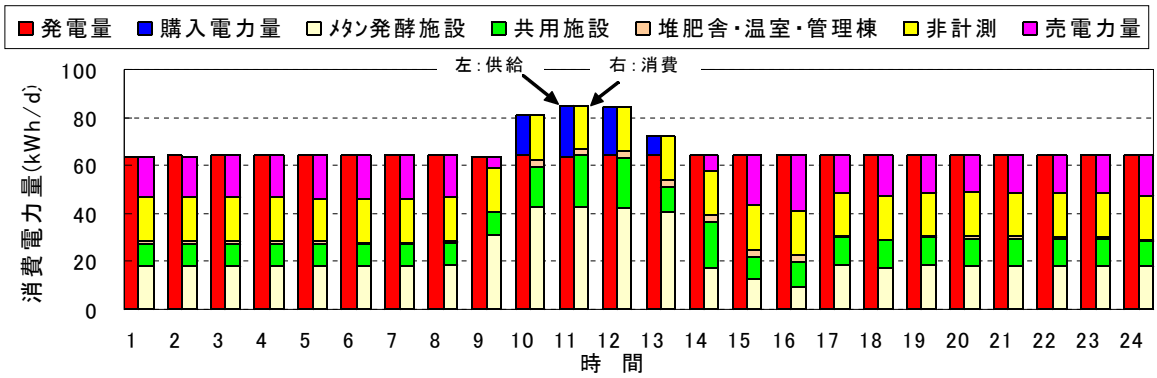
プラント全体での電力消費量は季節変動を有し、冬期に大きい。その原因は、冬期には放牧が少ないため糞尿量が増加すること、加温・保温ための温水循環ポンプの稼働時間が長くなること、固形ふん尿の融解施設の電力消費が発生することなどである。

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。

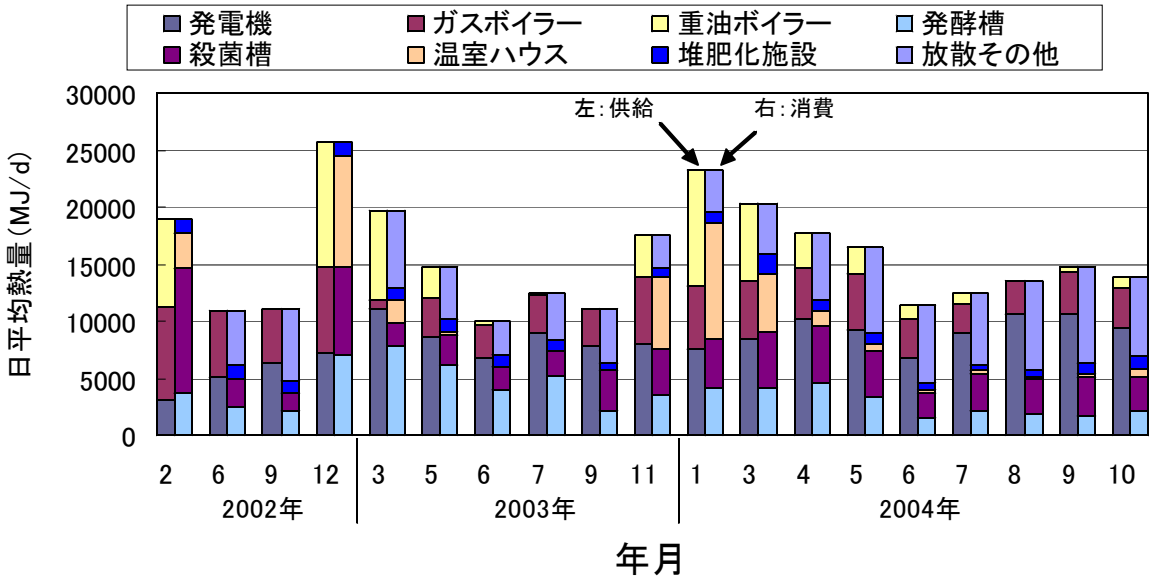


図－13　消費電力の時間変化(2004/8/20の事例)

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。

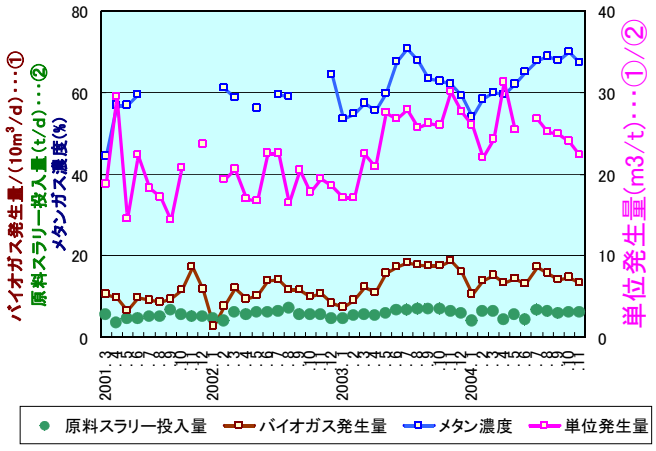
しかし、研究用付帯設備である温室や管理棟で消費する電力、熱を除外すると、メタン発酵により発生するバイオガス起原のエネルギーにより、電力・熱の両方とも概ね自給できることがわかった。

(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

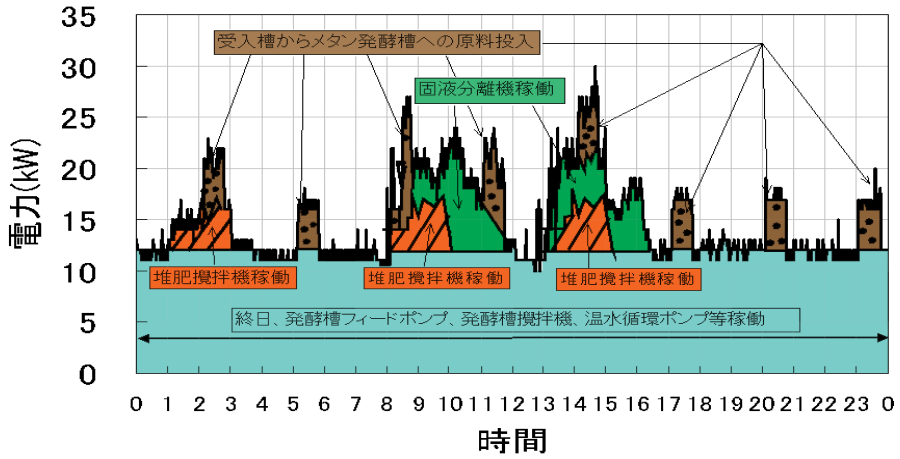
2)電力収支

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チャージファン等が含まれている。ガスホルダーエアーチ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

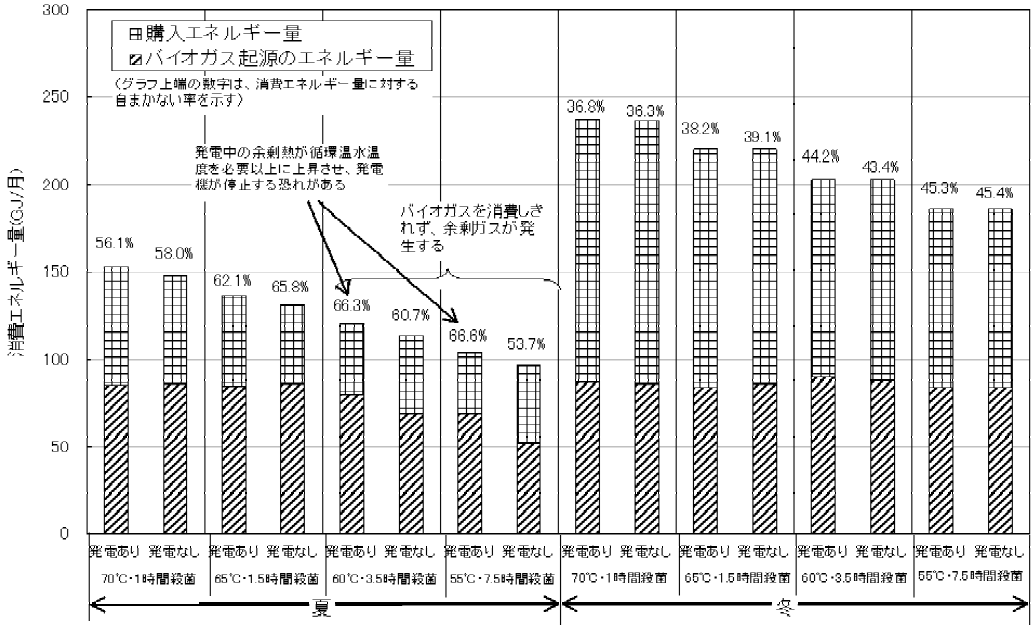
各種条件(表－5)のシミュレーションで計算した消費エネルギー量とエネルギーの自

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 100m^{3}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、他のケースに比較して売電量が大きくなる。

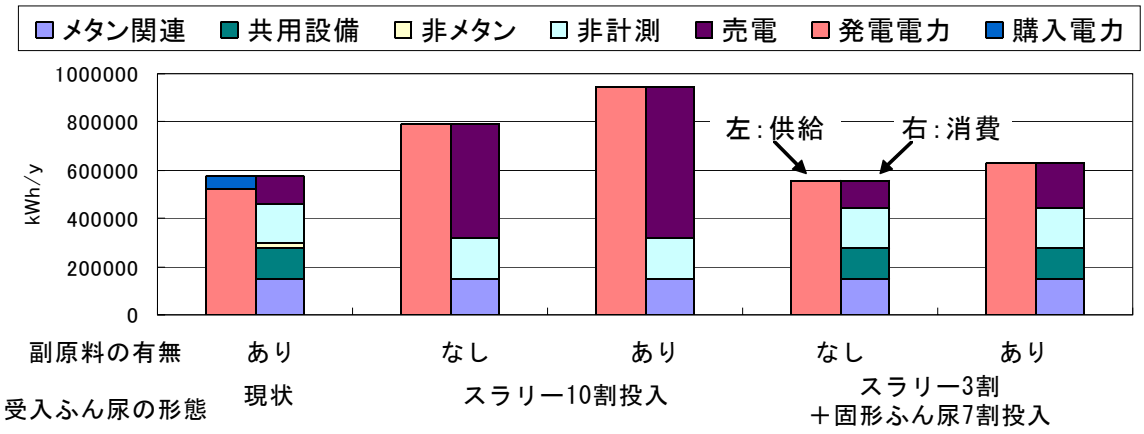
現状の運転では、平日の日中にある消費電力のピーク時に電力の購入が生じる

(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。

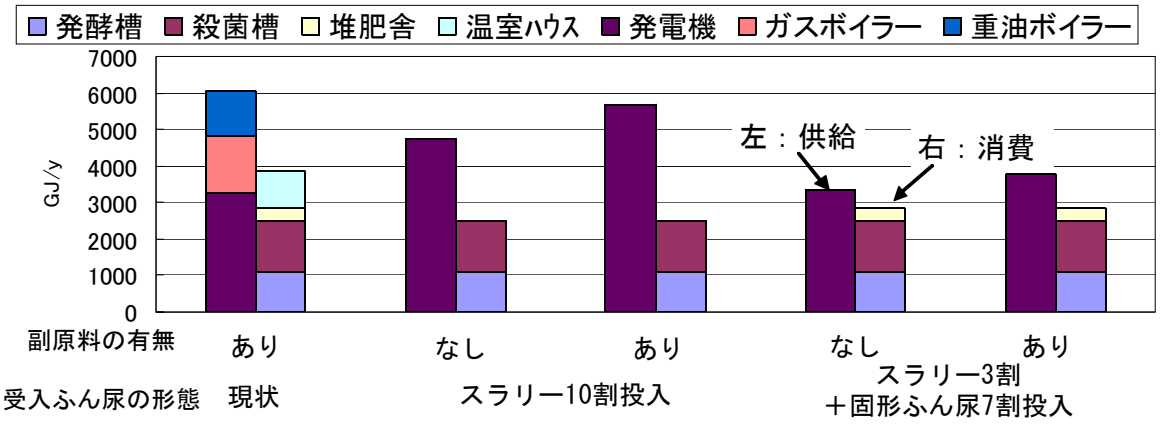
スラリー10割の場合には、堆肥化に関わる作業がなくなるため平日日中の消費電力のピークが小さくなることと、発電電力が大きいことから、購入電力は現状に比べて大幅に抑制される。それゆえ、この場合電力収支の基本的特性を考えるうえで購入電力は無視できる。

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のない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が最も効率的であり、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	
殺菌条件	55℃×7.5hr	55℃×7.5hr		55℃×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℃×7.5hrとする場合である。

シミュレーション結果のうち、55℃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℃)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100m^{3}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。

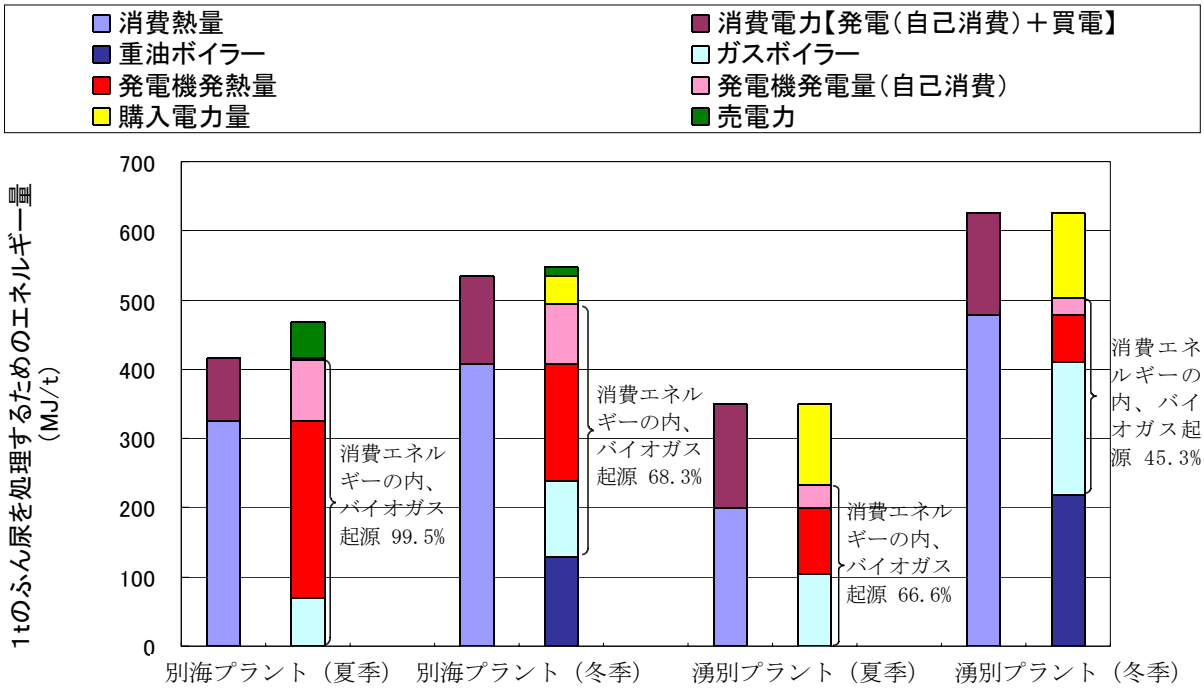
表－22　購入電力量・売電量・重油必要量の推定結果

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			
殺菌方式	55℃×7.5hr	55℃×7.5hr	70℃×1.0hr	70℃×1.0hr	55℃×7.5hr	55℃×7.5hr	70℃×1.0hr	70℃×1.0hr	55℃×7.5hr	55℃×7.5hr	70℃×1.0hr	70℃×1.0hr
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当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当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当たりに夏季に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当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効率の高い施設構成、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、失敗情報をいかにと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）

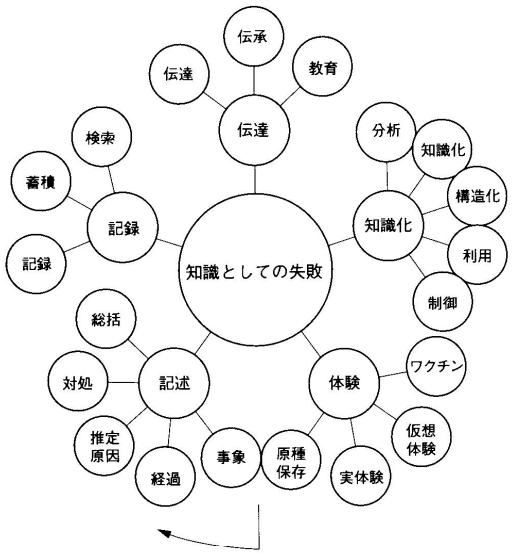


図１　知識を得るための作業（畑村洋太郎ら、「続々・実際の設計－失敗に学ぶ－」より引用）

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かなくなる。」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・想定の域を出ない”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。

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	スクリュ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ずらい

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	副資材投入用粉砕機について
6	メタンガスアナライザー
7	固液分離機のスクリューの変形
8	バーン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	凍結によるマニュ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	発電機の稼動不良
45	殺菌槽からあふれた消化液の清掃

1　課題名

Ⅲ　有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全に関する研究

1　原料・生成物の品質・安全性に関する検討

1)　処理による微生物性(大腸菌群)の変化

2　担当場所研究室科室名

北海道立畜産試験場　環境草地部　畜産環境科

3　はじめに

家畜ふんは稀に人や家畜に対して病原性を示す微生物を含むことがある。複数の農家のふん尿を１ヶ所で処理する共同利用型のプラントでは、ふん尿の移動により農家間や畜産経営外へ病原性微生物が拡散する危険性が懸念され、衛生面に対する安全性が強く求められる。

家畜ふん中に含まれる病原菌は堆肥化や液肥化（曝気、メタン発酵）処理により不活性化されていくが、その不活性化効果は、病原菌の減少の指標となる微生物数の調査によって示される。指標微生物としては、生のふん中に高い確率で存在し、一般環境中には存在せず、かつ、多くの病原菌と同等かそれ以上の耐熱性を持つことが求められる。デンマークでは、メタン発酵過程においてふん便性連鎖球菌(腸球菌)がそれらの条件を満たすものとして、指標微生物としての利用が推奨されている。一方、堆肥化過程での有効な指標微生物に関する詳細な検討例はみられないが、一般環境中のふん便汚染の指標菌とされ、人に対しても病原性を有する株が存在する大腸菌が利用されている。

本試験では、メタン発酵と堆肥化施設を併せ持つ、２箇所の共同利用型プラント（別海プラント：大規模共同利用型、湧別プラント：小規模共同利用型）において、ふん尿処理過程における大腸菌および腸球菌数のモニタリングを実施し、処理過程での病原菌の低減効果を調査した。

4　調査・試験方法

1)　バイオガスプラントにおける衛生指標菌のモニタリング

乳牛ふん尿を主原料とする 2 箇所の共同利用型バイオガスプラント(別海および湧別資源循環試験施設,表 1、図１)において、メタン発酵および堆肥化過程における衛生指標菌の消長を約１ヶ月間隔でモニタリングした。

表１　施設の概要

	メタン発酵(37℃)※1			堆肥化施設	
	規模	滞留日数	殺菌槽	堆肥化方式	処理日数
湧別プラント	乳牛200頭	約30日	70℃1時間※3	ロータリー攪拌 2m(幅)×68m(長)×0.9m(高)	約30日
別海プラント	乳牛1000頭			堆積・切返し(15日毎に切返し)	約90日

※1 別海プラントでは2005/1/10～3/6の間高温発酵(53℃)試験を実施。
※2 別海プラントでは2003/1/27より55℃・7.5hrに変更

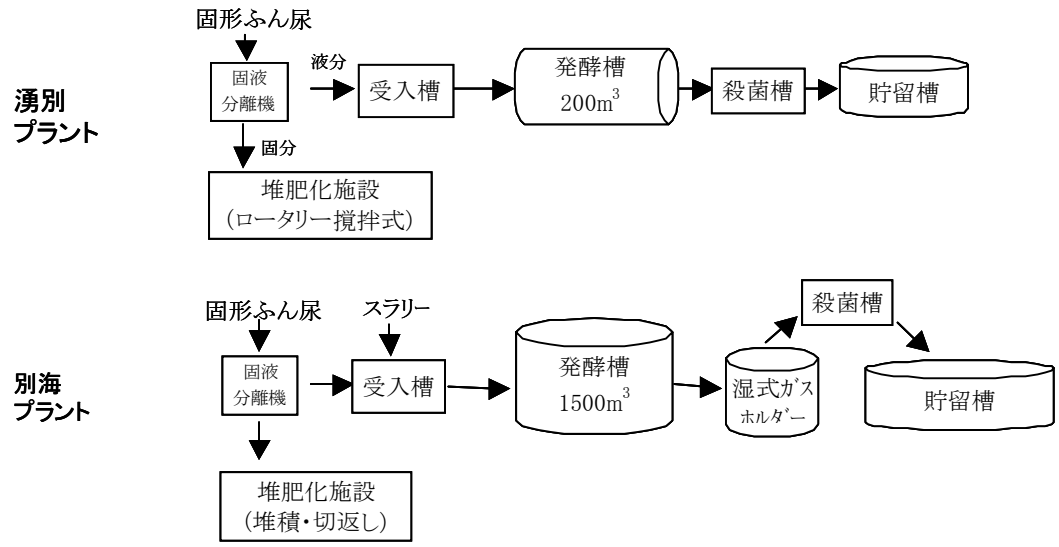


図１　別海・湧別プラントにおける乳牛ふん尿の処理フロー

(1)　試料採取箇所

メタン発酵施設；受入槽、発酵槽、殺菌槽および貯留槽（各図１参照)。

堆肥化施設；別海プラント（堆積・切返し）では固液分離後の固形物（生堆肥）および完成堆肥（約 90 日後)、湧別プラント（ロータリー撹拌方式；全長 68m）では、入口、中間（32m付近）および出口（68m 付近）部分。

(2)　調査項目：大腸菌（ｸﾛﾓｶﾙﾄ寒天培地・塗末法）および腸球菌数（アザイドクエン酸培地・MPN 法)。スラリーおよび消化液サンプルは大腸菌と腸球菌数、堆肥サンプルは大腸菌数を調査した。

(3)　調査期間：2001 年 7 月～2005 年 3 月

2)　殺菌温度の検討

メタン発酵過程での病原菌減少の指標微生物としての有用性が報告されている腸球菌を対象に、温度と不活化の関係を検討した。別海プラントより採取した消化液を 55、60 および 65℃の恒温水槽内で静置培養し、継時的に EF 寒天培地を用いた希釈平板法により腸球菌数を計数した。

5　調査結果および考察

1)　バイオガスプラントにおける衛生指標菌のモニタリング

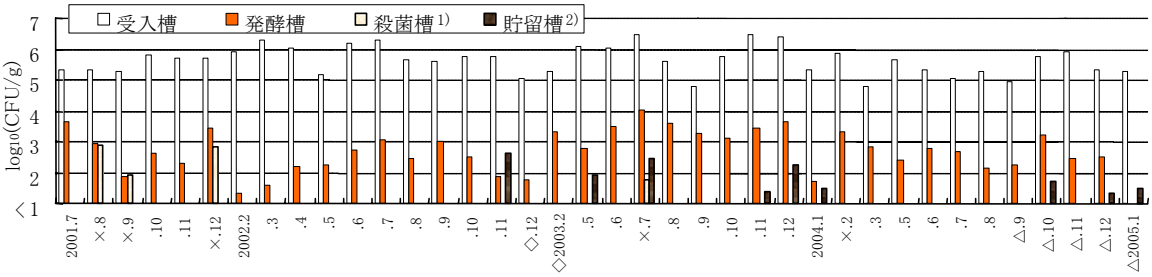
(1)　メタン発酵施設

i　大腸菌の消長(図 2,3,表 2)

i）大腸菌数は受入槽の原料スラリーからは平均 5～6$\log_{10}$CFU/g、発酵槽の消化液からは平均 2～3$\log_{10}$CFU/g 検出され、メタン発酵過程(中温発酵:37℃,平均滞留日数:30 日)を経ることで約 3.0 ｵｰﾀﾞｰ減少した。両プラントともにほぼ同様の傾向を示した。別海プラントでは、発酵槽の消化液から大腸菌が検出されない期間(図 3,2002 年 5 月～8 月)があったが原因は不明である。また、別海プラントにおいて 2005 年 1～3 月に実施した高温発酵(発酵温度:53℃,平均滞留日数 30 日)試験時においては、消化液から大腸菌は検出されなかった。

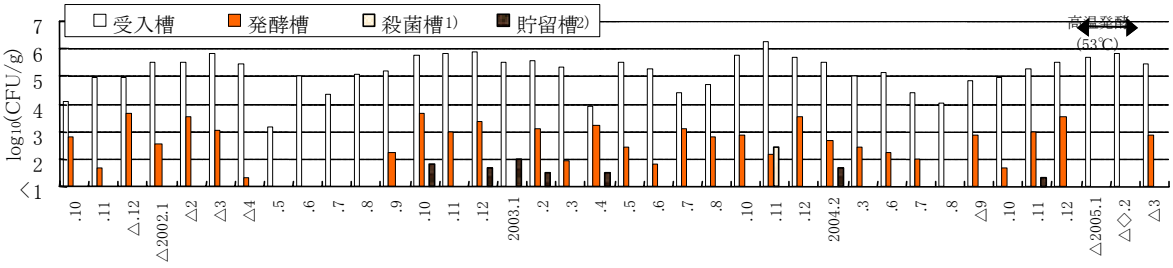
ii）両プラントともに、大腸菌は殺菌槽での加熱処理後の消化液からは概ね検出されなかったが、一部殺菌槽での加熱が十分に行われていない期間（湧別プラントでは図 2 の×印）があり、発酵槽と同程度の菌数が検出された。湧別プラントでは殺菌槽の稼働が不安定で、図 2 の×印以外の非サンプリング時でも、設定値である 70℃に達していない期間が多かった。

iii）貯留槽の消化液からは、両プラントともに大腸菌は低密度ながら数回検出された。これは殺菌での加熱が不十分な消化液の混入によるものと考えられる。



1) 70℃・1hr　2)'02/8月より調査開始　×殺菌槽稼働不良　△殺菌槽・採取不可　◇貯留槽・採取不可

図2　湧別プラントにおける原料スラリーおよび消化液中の大腸菌数の変化



1) 70℃・1hr(～'03/1/27), 55℃・7.5hr('03/1/27～), 2)'02/5月より調査開始　△殺菌槽・採取不可　◇貯留槽・採取不可

図3　別海プラントにおける原料スラリーおよび消化液中の大腸菌の変化

表2　バイオガスプラント(37℃・滞留日数30日)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

ﾌﾟﾗﾝﾄ名	ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ	大腸菌数 n	大腸菌数 log_{10} cfu/g±sd	腸球菌数 n	腸球菌数 log_{10} 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1)	33	ND3)(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2)	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℃・1hr
2)70℃・1hr(～'03/1/27)、55℃・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

ii　腸球菌の消長(図 4,5,表 2)

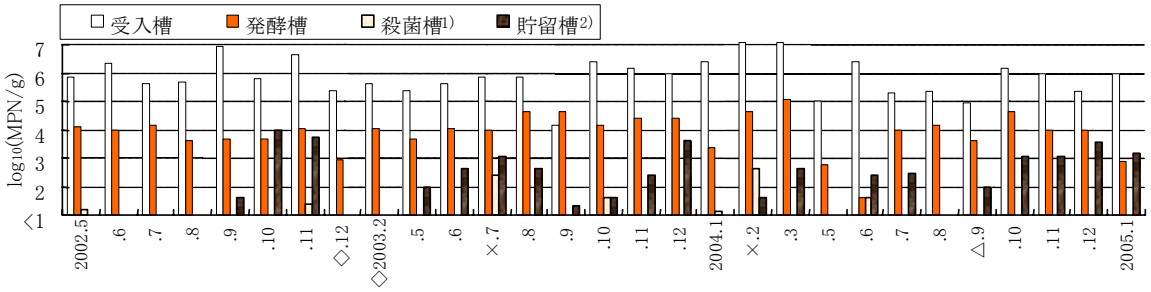
i) 腸球菌数は受入槽の原料スラリーから平均 5～7log_{10}MPN/g、発酵槽の消化液から平均 3～5 log_{10}MPN/g 検出され、メタン発酵過程(中温発酵:37℃,平均滞留日数:30 日)で約 2.0 ｵｰﾀﾞｰ減少した(PRE※＝2.0)であった。両プラントともにほぼ同様の傾向を示し、Larsen ら(1994)によるドイツでの調査事例と同程度であった。また、別海プラントでの高温発酵試験(53℃)時においては、発酵槽の消化液中の腸球菌数は 2.0 log_{10}MPN/g であり、メタン発酵過程での低減効果は 3.4～4.0 ｵｰﾀﾞｰ(PRE=3.4～4.0)であった。

ii) 両プランとともに、殺菌槽の消化液からは腸球菌は不検出、もしくは 1～2 log_{10}MPN/g と低密度であった。しかし、一部殺菌槽での加熱が十分に行われていない時にサンプリングをおこなった場合は 2log_{10}MPN/g 以上の比較的高い菌数が検出された。

iii) 貯留槽の消化液中の腸球菌数は、別海プラントでは概ね 2log_{10}MPN/g 以下と低密度であったが、湧別プラントでは 2log_{10}MPN/g を上回る場合が多かった。前述のように、湧別プラントでは殺菌槽の稼働が不安定であり、加熱不十分な消化液の流入による影響と考えられた。

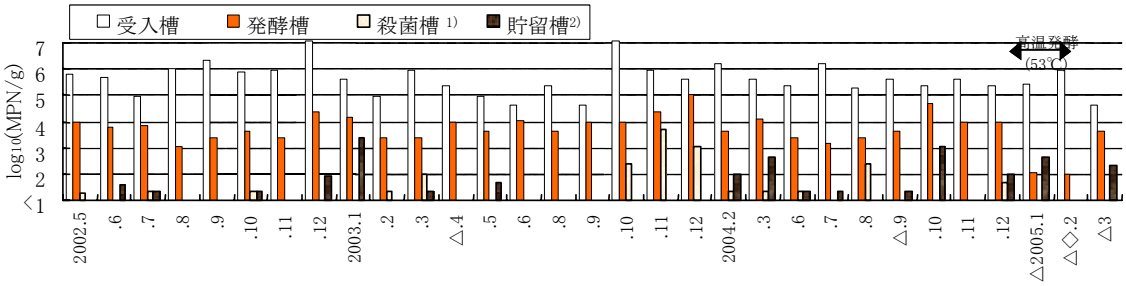
iv) 腸球菌は各種病原菌に比べ耐熱性があり、かつメタン発酵過程での生存期間も長いことから、指標菌としての有用性が報告されている。Larsen ら(1994)は、メタン発酵過程で病原菌数を十分に減らすには、腸球菌数を 3～4 ｵｰﾀﾞｰ低下させ(PRE=3～4)、消化液中の菌数を 2log_{10}/g 以下とすることが必要であるとしている。調査プラントにおける、メタン発酵過程での腸球菌の低減効果は平均 1.8～2.0 オーダー(PRE=1.8～2.0)と低かったが、殺菌槽での加熱により消化液中の菌数は概ね 2 log_{10}MPN/g 以下に減少した(PRE=3.8～4.3<)。殺菌槽の稼働を安定させることで、十分な病原微生物の低減効果を持つプラントとして稼働するものと考えられた。

※PRE=Pathogen Reduction Effect(=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。



1)70℃・1hr，2)'02/9より調査開始　×殺菌槽稼働不良　△殺菌槽・採取不可　◇貯留槽・採取不可

図４　湧別プラントにおける原料スラリーおよび消化液中の腸球菌数の変化



1) 70℃・1hr→55℃・7.5hr('03/1/27より)　2)'02/6月より調査開始　△殺菌槽・採取不可　◇貯留槽・採取不可

図５　別海プラントにおける原料スラリーおよび消化液中の腸球菌数の変化

iii　まとめ

ⅰ）メタン発酵(中温発酵:37℃, 平均滞留日数:30 日)過程での衛生指標菌の低減効果は、大腸菌で平均 3 ｵｰﾀﾞｰ、腸球菌で平均 2 ｵｰﾀﾞｰ(PRE=2.0)であった。また高温発酵(53℃、平均滞留日数:30 日)試験時の消化液中の指標菌数は、大腸菌は不検出、腸球菌は 2 $\log_{10}$MPN/g であった(PRE=3.4～4.0)。

ⅱ）メタン発酵後の殺菌槽での加熱処理(70℃・1 時間ないし 55℃・7.5 時間)により、消化液中の大腸菌は不検出となり、腸球菌も概ね 2$\log_{10}$MPN/g 以下に減少し、十分な病原微生物の低減効果が得られていた。

ⅲ）しかし、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。

(2)　堆肥化施設

ⅰ　湧別プラント(開放型ロータリー攪拌方式)

ⅰ）大腸菌は堆肥原料となる分離固分(入口)から 4～6$\log_{10}$CFU/g 検出され、中間、出口と進むにつれて菌数は顕著に減少した(図 6)。出口部分の堆肥からは、大腸菌は 37 回の調査のうち 20 回は検出されなかったが、その他では 2～3$\log_{10}$CFU/g 検出された。

ⅱ）発酵温度は概ね 60℃以上に達していたが、1～2 月の厳寒期では、分離固分の水分含

量が 80%前後と高く、60℃以上に上昇していない時も見られた。冬期間に生産された堆肥から大腸菌が検出されたのは発酵温度上昇の不足によるものと考えられる。

ⅲ） 一方、厳寒期以外でも大腸菌が出口の堆肥から検出されることがあった。特に 2003 年の 2 月～12 月の間は 2～3 $\log_{10}$CFU/g の大腸菌が検出され続けた。この間はふん尿の搬入量が多く、攪拌回数が増加して堆肥化日数が短縮されていた。大腸菌の生存は堆肥化日数の短縮による高温暴露時間の減少が要因として考えられた。

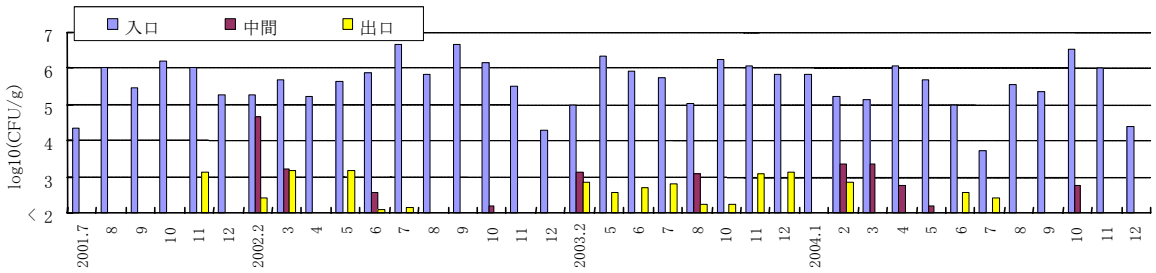


図６　堆肥化過程における大腸菌数の変化（湧別堆肥化施設）

ⅱ　別海プラント(通気型堆肥舎)

ⅰ） 大腸菌は分離固分(原料)から 5～ 7 $\log_{10}$CFU/g 検出された。完成堆肥からは 33 回の調査のうち 16 回は検出されなかったが、その他では 2～4$\log_{10}$CFU/g の菌数で検出された(図 7)。

ⅱ） 発酵温度は温暖期では概ね 60℃以上、夏期間では 70℃を越えることもあったが、厳寒期（１～3 月）では 40～50℃程度にしか上昇していない場合が多かった。また、堆肥原料および完成堆肥の水分含量は冬季間に上昇し 80%を越えていたことが多かったことから、完成堆肥中での大腸菌の生存は、堆肥原料の水分含量の増加による温度上昇不足や、発酵温度ムラ等の影響が主要因として考えられた。副資材の混合や堆肥化期間の延長などによる対応が必要であると考えられる。

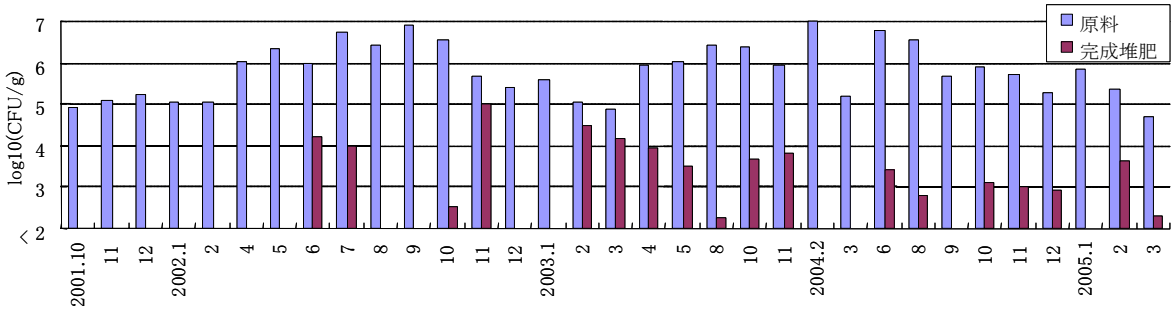


図７　堆肥化過程における大腸菌数の変化（別海堆肥化施設）

2)　殺菌温度の検討

(1)　腸球菌は各種病原菌に比べ耐熱性が強く、かつメタン発酵過程での生存期間も長いことから、指標菌としての有用性が報告されている。メタン発酵過程で腸球菌が 4 オーダー減少する条件下では、多くの一般的な病原微生物は不活化されるという。

(2)　開始時 4～5 $\log_{10}$CFU/g 検出された消化液中の腸球菌は、55℃では 8hr、60℃では 1.5hr、65℃では 10 分で不検出となった(図 8)。

(3)　腸球菌を 4 オーダー減少させるために必要とする加熱時間は、本結果においては 55℃・6～7 時間、60℃・30 分、65℃・10 分程度となる。また、中温メタン発酵と併用する場合は、発酵過程での低減効果を考慮すると、より短時間での殺菌が可能となるものと考えられる。

(4)　しかしながら、バイオガスプラントの先進地であるデンマークやドイツでは下水汚泥等の汚染の危険性が高い廃棄物は 70℃・1 時間の加熱殺菌が義務づけられている。また、ドイツでは、汚染の危険性の高い廃棄物以外のものに対しても 70℃・1hr に相当する加熱殺菌時間として 55℃・7.5h、60℃・3.5、65℃・1.5hr という高い基準が定められている。

(5)　今後、メタン消化液に由来する微生物が人や家畜に再感染する危険性(二次感染リスク)を定量的に評価し、それらを踏まえて、メタン発酵プラントに要求される病原微生物の除去率を評価していくことが必要であろう。

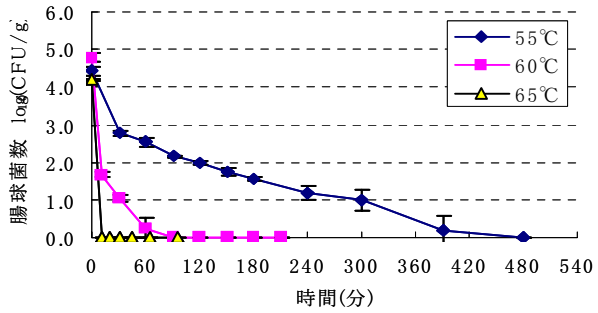


図 8　加熱処理による消化液中の腸球菌数の変化

6　残された課題

共同利用型プラントにおいて衛生的に安全な生産物を作成するには、定期的なモニタリングとそれを反映した改善措置をシステム化することが重要である。そのためには、現場で簡易に実施可能な指標微生物の検出法の開発が必要であると考えられる。また、メタン発酵プラントに要求される病原微生物の除去率については、二次感染リスク(メタン消化液に由来する微生物が人や家畜に再感染する危険性)を定量的に示した上で、それらを踏まえた評価をおこなう必要がある。

7　おわりに

バイオガスプラントのみならず、複数の農家のふん尿を処理する共同利用型のプラント

は、ふん尿の移動に伴い病原菌を拡散させるリスクを持っている。プラント内で発酵熱や殺菌槽での加熱により病原菌を不活化し、衛生的に安全な生産物を産み出すことが重要であることはもちろんであるが、それ以前に、新鮮ふん尿の運搬に伴うルール作りが重要である。特に、プラント利用農家において法定伝染病等が発生した場合の対策マニュアルを用意しておくことも必要であろう。また、今後、家畜ふん尿以外の有機性廃棄物が投入される可能性も想定し、総合的な衛生管理対策が求められるものと考えられる。

１　課題名

2)　処理による肥料成分や雑草種子発芽率の変化と重金属含量

２　担当場所研究科室名

（独）北海道開発土木研究所　農業開発部　土壌保全研究室

３　はじめに

バイオガスプラントによる家畜ふん尿の嫌気発酵処理システムは、①発酵処理中のアンモニア揮散が少ない、②発酵残滓液（以下、消化液）の肥料成分が豊富で農地還元の効果が大きい、③発生したメタンガスをエネルギー源として利用できるなどの利点を有する。このため、デンマーク、ドイツ、中国などでバイオガスプラントによる家畜ふん尿処理システムが普及しており、北海道においても導入事例が増加しつつある。

本システムで発生する消化液を河川放流可能なレベルまで浄化処理するには多大なコストを要するため、消化液を圃場に液肥として還元できることが本システム成立の要件となる。また、肥料取締法の一部改正に伴い、家畜ふん尿処理物中の肥料成分や重金属の含有量の表示が義務付けられ、圃場還元するための消化液の成分の把握と品質保持が求められている。

本課題では、原料ふん尿および生成物（消化液、堆肥）の肥料成分、重金属含量を調査するとともに、原料ふん尿の嫌気発酵処理および殺菌処理にともなう雑草種子の死滅効果を検討し、品質、安全性の高い消化液および堆肥を生成するための処理条件の検討に資する。

４　調査・試験方法

1)　一般性状および肥料成分

江別市の町村牧場のバイオガスプラントおよび独立行政法人北海道開発土木研究所が別海町および湧別町において試験運営する２基のバイオガスプラント（別海プラント、湧別プラント）の受入槽から採取した原料スラリーを採取し、室内ファーメンターによって37℃で30日間嫌気発酵させ、発酵前後の一般性状および肥料成分を分析調査した。

また、別海プラントおよび湧別プラントにおいて、メタン発酵施設の受入槽（原料投入槽）、発酵槽、殺菌槽、消化液貯留槽および堆肥発酵施設の固液分離固分および完成堆肥から試料採取を行った。別海および湧別プラントの施設概要を表１に、メタン発酵施設における乳牛ふん尿の処理フローを図１に示す。原料スラリーは受入槽に投入され、１日につき、発酵槽容量の1/30に当たる原料スラリーが発酵槽へ移送される。こうして発酵槽に投入された原料スラリーは、35～37℃の中温発酵条件で30日間滞留した後、消化液として発酵槽外へ移送される。この消化液は別海プラントでは湿式ガスホルダーに流入し、約10日間滞留した後、殺菌槽へと移送される。湿式ガスホルダー内には微量の空気が通気され、この空気中の酸素により消化液中の硫黄酸化細菌が繁殖し、バイオガス中の硫化水素を酸化し、これを除去する。一方、湧別プラントでは発酵槽より流出した消化液6.3m^3/日のうち、0.03m^3/日が生物脱硫装置を経て殺菌槽へ、残りの6.27m^3/日が直接殺菌槽へと送り込まれるため、消化液が生物脱硫装置を通過する影響は無視できるほど小さい。殺菌槽へ流

表1　施設の概要

	別海プラント	湧別プラント
営農形態と参加農家	酪農専業、10戸	酪農畑作混合、5戸
対象頭数	乳牛1,000頭	乳牛200頭
規模（投入量）	メタン発酵投入量45.4m^3/日	メタン発酵投入量6.3m^3/日
	堆肥化投入量3.4m^3/日	堆肥化投入量3.8m^3/日
メタン発酵槽	縦置円筒型発酵槽	水平円筒型発酵槽
	施設容量1,500m^3	施設容量200m^3
メタン発酵方式	中温発酵(35～37℃で30日)	中温発酵(35～37℃で30日)
ガスホルダー	乾式250m^3、湿式200m^3	乾式250m^3、25m^3
消化液貯留槽	2,500m^3×3基	1,000m^3×1基
	1,000m^3×2基（場外）	
堆肥化の撹拌方式	ホイルローダー切返し	ロータリー撹拌
脱硫方式	生物脱硫＋酸化鉄脱硫	生物脱硫＋活性炭脱硫
バイオガス発電機	65kw×3台	25kw×1台
ボイラー	コジェネの補助熱源	コジェネの補助熱源

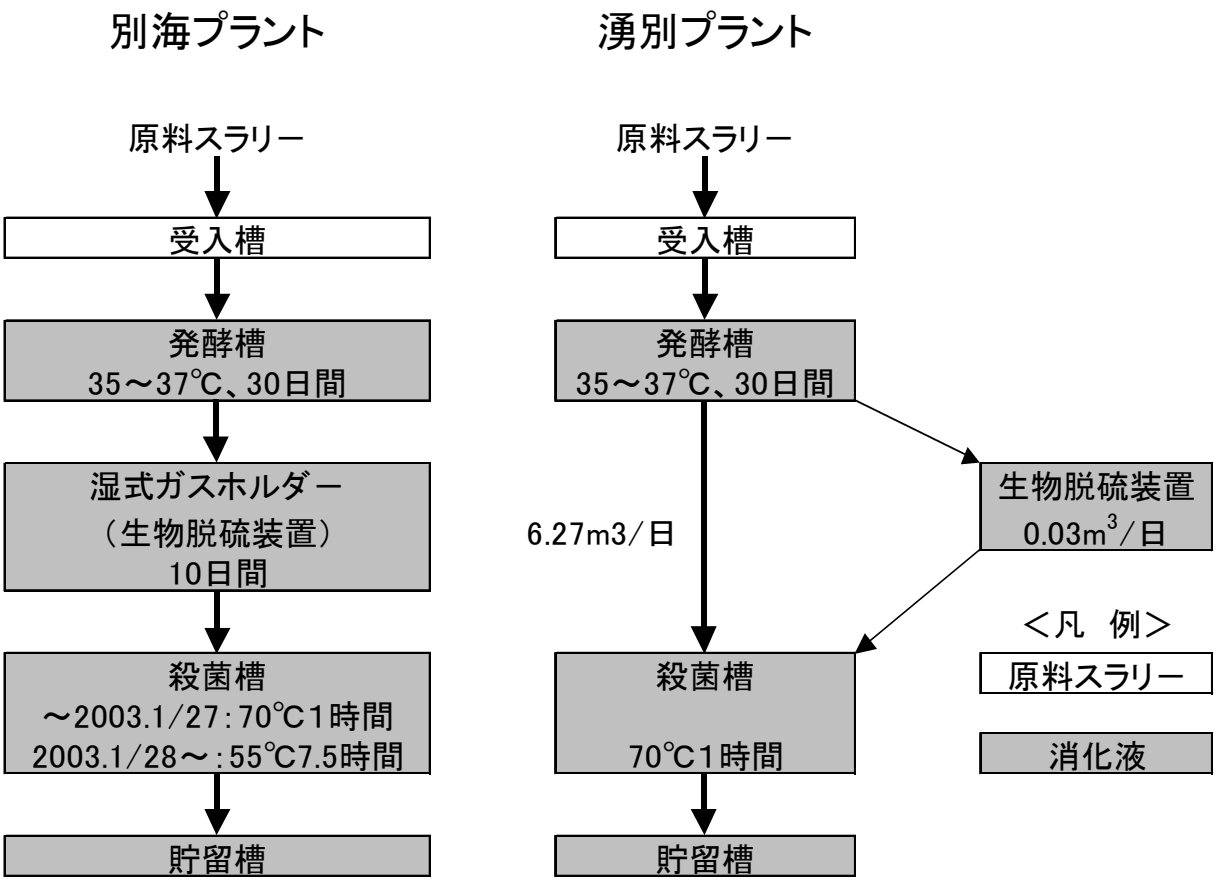


図１．別海・湧別プラントにおける乳牛ふん尿の処理フロー

入した消化液は70℃１時間ないし、55℃7.5時間の加熱処理を受け、その後、無蓋型の貯留槽へと移送され、液肥として圃場施用されるまで貯留される。

週１回の割合で受入槽から原料スラリー試料を、発酵槽、殺菌槽および貯留槽から発酵処理後、殺菌処理後および貯留中の消化液試料を採取し、メタン発酵に伴う液状乳牛ふん尿の性状変化を分析するために供試した。また、堆肥発酵施設からも月１回の割合で分離固分および完成堆肥を採取し、堆肥発酵に伴う乳牛ふん尿分離固分の性状変化を分析するために供試した。調査期間は2001年5月～2005年3月までである。

試料について、併記した分析法に基づいて下記の分析項目を分析した。

①乾物含量(DM)：乾熱法（105℃、24時間)、②有機物含量(OM)：乾式燃焼法（550℃、５時間)、③灰分：同、④pH：ガラス電極法（試料：蒸留水＝１：１)、⑤電気伝導度(EC)：電極法（試料：蒸留水＝１：１)、⑥比重：比重計法（試料：蒸留水＝１：１)、⑦全窒素(T-N)：ケルダール分解法＋水蒸気蒸留・滴定法、⑧アンモニウム態窒素(NH_4-N)：水蒸気蒸留・滴定法、⑨燐酸(P_2O_5)：硝酸－過塩素酸混合液分解法＋バナドモリブデン法、⑩カリウム・カルシウム・マグネシウム(K、Ca、Mg)：硝酸－過塩素酸混合液分解法＋原子吸光法。

①～④、⑧については、採取した全試料について分析を行った。その他は三ヶ月に一回程度の分析間隔になるように、分析試料を選択して分析を行った。ただし、凍結による採取不可能等の理由により、採取カ所によっては試料採取できなかった場合があったので、供試試料数は分析試料により異なる。

2)　重金属含量(Zn、Cu、Cd、Pb、As、Hg、Cr、Ni)

独立行政法人北海道開発土木研究所が試験運営する前述の別海プラント、湧別プラント（表１、図１）において、受入槽から原料スラリー試料を、発酵槽、殺菌槽および貯留槽から発酵処理後、殺菌処理後および貯留中の消化液試料を、堆肥発酵施設から固液分離固分、完成堆肥を３ヶ月に１回程度採取・分析した。調査期間は2001年5月～2005年3月までである。

採取した試料について、併記した分析法に基づいて下記の分析項目を分析した。

①Cu、Zn、Cd、Pb、Ni：硝酸－過塩素酸混合液分解法＋原子吸光法、②As：硝酸－過塩素酸混合液分解法＋還元気化・原子吸光法、③Cr：硝酸－過塩素酸－硫酸混合液分解法＋原子吸光法、④Hg：湿式分解・還元気化・無炎原子吸光法。

3)　雑草種子生存率

2003年９月に札幌市内で採取し、冷蔵保存して一次休眠状態においたエゾノギシギシ種子を2004年10月に取り出し、別海プラントから採取した発酵槽液を37℃に加温し、その中に30日間投じた（中温発酵処理)。なお、培養中は毎日、培養液量の1/30に当たる原料スラリーを投入し、培養液から同量の培養液を取り出した。培養終了後、投じた種子を液ごと所定温度で所定時間（55℃４時間、55℃7.5時間、55℃15時間、70℃１時間、70℃５時間）保持した。その後、種子を取り出して蒸留水および70％エタノールで洗浄し、無処理種子を対照として、発芽試験を行った後、非発芽種子についてテトラゾリウムテストによる種子の生死を判定した。なお、一部は中温発酵処理後、ただちに洗浄、発芽試験、テトラゾリウム試験を行った。また、同様の手法で毎日原料スラリーの投入と培養液の取り出しを繰り返しながら、エゾノギシギシ種子を培養液中に55℃で20～30日間投じ、同様に洗

浄後、発芽試験とテトラゾリウム試験を行った（高温発酵処理)。

５　調査結果および考察

1)　原料スラリーと消化液との差異

室内発酵試験によって、消化液では原料スラリーに比べて、pHが上昇した。また、アンモニウム態窒素含量、全窒素に占めるアンモニウム態窒素の割合が増加し、全窒素含量は変化しなかった。一方、乾物含量(DM)が顕著に減少し、燐酸含量、カリウム含量も減少した。なお、発酵処理終了後に供試液をファーメンターから取り出した際、スラッジ様の固形分がファーメンター内に沈殿・付着しているのが観察された。燐酸、カリウムの減少は発酵そのものの影響というより、供試したファーメンターの構造上の問題から槽内での均一な攪拌がなされず、固形分が沈殿したことによるものと推察された（表２)。

表２．　室内発酵試験による性状変化

原料採取場所	原料採取年月	供試液	pH	乾物 (%)	T-N (%)	NH_4-N (%)	NH_4-N/T-N×100 (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
町村牧場	2000年12月	原料スラリー	6.57	10.10	0.39	0.14	35.9	—	—
		消化液	7.78	8.74	0.39	0.25	64.1	—	—
別海施設	2002年3月	原料スラリー	6.96	8.56	0.44	0.25	56.8	0.15	0.57
		消化液	7.78	4.39	0.40	0.30	75.0	0.06	0.39
	2003年3月	原料スラリー	7.06	6.99	0.43	0.23	53.5	0.17	0.61
		消化液	8.68	4.64	0.40	0.29	72.5	0.11	0.48
	2004年3月	原料スラリー	7.33	7.16	0.44	0.23	52.3	0.21	0.57
		消化液	7.39	4.70	0.41	0.27	65.9	0.12	0.49
	2004年5月	原料スラリー	6.89	5.51	0.37	0.21	56.8	0.16	0.49
		消化液	7.10	4.41	0.40	0.26	65.0	0.12	0.47
湧別施設	2002年7月	原料スラリー	7.95	6.41	0.38	0.23	61.1	0.17	0.55
		消化液	8.16	4.14	0.38	0.26	67.9	0.11	0.50
		変化傾向	上昇	減少	無変化	増加	上昇	減少	減少

別海および湧別のバイオガスプラントにおいても、受入槽中の原料スラリーと発酵槽中の消化液との間で、燐酸およびカリウム以外は室内発酵試験と同様の変化が認められた。プラントレベルにおいても、嫌気性細菌による有機物の分解によって乾物含量の減少と窒素の無機化が生じ、窒素の無機化によって増加したアンモニウム態窒素によりpHが上昇するという傾向に変わりはなかった。なお、発酵処理では燐酸とカリウムの減少は認められなかったが、これは発酵槽内の攪拌が均一になされ、槽内で沈殿が発生していないことを示唆している（表３、４)。

これらの結果から、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る。

2)　発酵以外の各種処理が消化液の肥料成分におよぼす影響

嫌気発酵処理によって生じたバイオガスプラントの消化液は、即座に農地へ施用されることは稀で、通常は施用まで貯留槽に貯留される。また、プラントによっては貯留槽へ送られる前に、生物脱硫槽に貯留されることや殺菌処理を施される場合もある。今回調査対象とした別海、湧別プラントは殺菌槽が設置され、貯留槽へ送られる前に消化液の殺菌処理が行われる。また、別海プラントでは発酵槽と殺菌槽の間に生物脱硫槽が設置され、発生した消化液はここで約10日ほど貯留される。

両プラントとも、無蓋型の貯留槽における全窒素およびアンモニウム態窒素の減少が顕著である。これらの減少は灰分のそれを大きく上回っているので、雨水による希釈の影響

ではなく、アンモニアの空中揮散による窒素成分の損失によるものと考えられる。

また、両プラントともに、発酵槽と殺菌槽の間での燐酸およびマグネシウムの減少が認められる。両プラントともに、これらの成分の減少が認められる部分で、灰分も減少しているので、発酵槽から殺菌槽までの間のいずれかの箇所で攪拌不良等により固形分の沈殿が生じ、これに伴って固形分での分布が多いとされる燐酸およびマグネシウムの損失が生じたと考えられる（表３、４）。

以上の結果から、バイオガスプラントでは発酵処理の他にも消化液の肥料成分に影響を与える行程が存在し、これらの行程による肥料成分の損失を防ぐには、①プラント購入時には有蓋型の貯留槽を持ち、各処理槽での攪拌不良のないものを選択する、②各処理槽での攪拌機の運転は、沈殿が発生しないよう細心の注意を払うという点に注意する必要がある。また、消化液の肥料成分分析を行うときは、貯留槽から、液を十分に攪拌した後に試料採取を行って分析に供することが肝要である。

表３．　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の一般性状

施設	採取槽	試料数	pH		EC(mS/cm)		揮発性脂肪酸		乾物(FM%)		灰分(FM%)		有機物(FM%)	
			平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD
別海プラント	受入槽	125(19)	7.05	±0.43 d	9.9	±1.4 b	0.66	±0.20 a	6.86	±1.13 a	1.53	±0.29 a	5.37	±0.97 a
	発酵槽	136(9)	7.49	±0.46 c	11.1	±1.1 a	0.36	±0.34 b	4.99	±1.16 b	1.50	±0.42 a	3.51	±1.09 b
	殺菌槽	87(13)	8.39	±0.34 a	11.1	±2.7 ab	0.24	±0.13 c	3.52	±1.27 c	1.22	±0.36 b	2.31	±0.96 c
	貯留槽	72(13)	7.95	±0.28 b	9.5	±1.7 b	0.31	±0.09 b	3.48	±1.30 c	1.18	±0.33 b	2.31	±0.98 c
湧別プラント	受入槽	157(37)	6.95	±0.31 d	11.1	±1.6 a	0.72	±0.20 a	7.65	±1.51 a	2.25	±0.72 a	5.41	±1.11 a
	発酵槽	160(37)	7.91	±0.23 c	11.7	±1.7 a	0.25	±0.14 b	5.69	±1.11 b	2.20	±0.50 a	3.46	±0.68 b
	殺菌槽	22(35)	8.48	±0.45 a	10.9	±1.5 b	0.46	±0.31 c	4.97	±0.97 c	1.79	±0.22 b	3.19	±0.56 b
	貯留槽	31(42)	8.16	±0.24 b	10.2	±1.6 b	0.29	±0.09 bc	4.00	±1.39 d	1.65	±0.47 b	2.34	±0.66 c

注 ： 試料数の括弧内の数字はECの分析試料数

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の肥料成分

施設	採取槽	試料数	T-N(FM%)		NH_4-N(FM%)		NH_4-N/T-N×100(%)		P_2O_5(FM%)		K_2O(FM%)		CaO(FM%)		MgO(FM%)	
			平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD
別海プラント	受入槽	24(130)	0.39	±0.07 a	0.21	±0.04 b	52.0	±8.0 b	0.16	±0.05 a	0.43	±0.05 a	0.15	±0.04 ab	0.08	±0.02 a
	発酵槽	24(144)	0.38	±0.04 a	0.27	±0.05 a	64.1	±5.2 a	0.15	±0.05 a	0.44	±0.07 a	0.16	±0.04 a	0.08	±0.02 a
	殺菌槽	21(89)	0.37	±0.04 a	0.26	±0.05 a	68.6	±9.9 a	0.11	±0.04 b	0.43	±0.09 ab	0.13	±0.05 bc	0.06	±0.02 b
	貯留槽	19(71)	0.28	±0.06 b	0.19	±0.05 b	64.1	±10.3 a	0.10	±0.04 b	0.39	±0.07 b	0.10	±0.04 c	0.05	±0.02 b
湧別プラント	受入槽	24(155)	0.41	±0.04 a	0.18	±0.04 c	41.5	±10.2 b	0.18	±0.04 a	0.57	±0.09 a	0.14	±0.04 b	0.09	±0.02 ab
	発酵槽	24(160)	0.37	±0.05 a	0.23	±0.04 a	61.0	±13.4 a	0.19	±0.06 a	0.56	±0.06 ab	0.23	±0.13 a	0.10	±0.03 a
	殺菌槽	13(20)	0.38	±0.04 a	0.22	±0.05 a	60.3	±6.8 a	0.16	±0.03 b	0.57	±0.05 a	0.15	±0.05 ab	0.08	±0.02 b
	貯留槽	17(28)	0.31	±0.07 b	0.20	±0.05 b	61.6	±10.4 a	0.13	±0.07 b	0.52	±0.09 b	0.16	±0.16 ab	0.07	±0.04 b

注 ： 試料数の括弧内の数字はNH_4-Nの分析試料数

表５．　バイオガスプラントにおける分離固分および完成堆肥の一般性状

施設	試料	試料数	pH		水分(FM%)		乾物(FM%)		灰分(FM%)		有機物(FM%)		C/N	
			平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD
別海プラント	分離固分	20	7.53	±0.58 b	75.3	±4.17 a	24.67	±4.17 a	3.73	±0.93 b	21.33	±3.67 a	22.3	±5.2 a
	完成堆肥	20	8.21	±0.34 a	76.9	±4.59 a	23.10	±4.59 a	6.33	±2.64 a	16.83	±2.71 b	15.0	±3.9 b
湧別プラント	分離固分	24	8.29	±0.58 a	72.5	±5.93 a	27.50	±5.93 b	4.90	±2.08 b	22.43	±4.93 a	22.3	±4.41 a
	完成堆肥	24	8.47	±0.44 a	64.0	±10.79 b	35.97	±10.79 a	10.17	±4.83 a	25.96	±7.43 a	17.7	±4.33 b

表６．　バイオガスプラントにおける分離固分および完成堆肥の肥料成分

施設	試料	試料数	T-N(FM%)		NH_4-N(FM%)		NH_4-N/T-N×100(%)		P_2O_5(FM%)		K_2O(FM%)		CaO(FM%)		MgO(FM%)	
			平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD
別海プラント	分離固分	20	0.56	±0.09 b	0.14	±0.04 a	15.1	±8.1 a	0.34	±0.27 a	0.53	±0.10 b	0.39	±0.32 a	0.14	±0.03 b
	完成堆肥	20	0.68	±0164 a	0.10	±0.03 a	8.2	±5.1 b	0.42	±0.19 a	0.79	±0.17 a	0.67	±0.67 a	0.21	±0.09 a
湧別プラント	分離固分	24	0.59	±0.13 b	0.04	±0.04 a	7.1	±7.1 a	0.30	±0.13 b	0.65	±0.15 b	0.28	±0.30 b	0.14	±0.04 b
	完成堆肥	24	0.86	±0.21 a	0.01	±0.01 b	1.3	±1.2 b	0.53	±0.21 a	1.07	±0.38 a	0.55	±0.51 a	0.25	±0.09 a

3)　堆肥化に伴う性状の変化

一般に、堆肥の腐熟化に伴って、水分含量、アンモニウム態窒素含量が減少し、全窒素含量が増加し、C/N比が低下するとされる。表５、６に示すとおり、両プラントともに、有意な全窒素含量の増加、C/N比の低下が求められた。一方、水分含量およびアンモニウム態窒素含量については、湧別プラントについては有意に減少していたが、別海プラントでは、原料である分離固分と完成堆肥の間で有意差が認められなかった。

このことから、湧別プラントの堆肥は十分に腐熟が進んでいるといえる。一方、別海プラントの堆肥は、腐熟が進行しているのは間違いないが、湧別プラントに比べると、腐熟の進み具合がやや悪いようである。

4)　消化液および堆肥の肥料成分の変動

別海、湧別のプラント間では、原料スラリーの段階でアンモニウム態窒素、燐酸、カリウム含量に有意な差があり、前述したプラントの各行程が肥料成分へおよぼす影響の差異も相まって、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異なったものとなっていた。また、同一プラントであっても消化液の肥料成分には原料スラリーと同程度の成分変動があった（表４）。したがって、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しておく必要がある。

また、堆肥についても同じことがいえる。

5)　消化液肥料成分の簡易推定法

消化液を液肥として有効利用するには、農地への施用前に肥料成分含量を事前に把握する必要がある。前述のように、消化液は肥料成分の変動が大きく、また、プラントによっても異なる。したがって、これを液肥として利用する場合、プラント毎に施用の都度肥料成分含有量を分析する必要がある。しかしながら、各種肥料成分の分析は時間を要することから、メタン発酵消化液のための簡便な肥料成分の推定法の確立が必要である。しかしながら、肥料成分の簡便な推定法は、スラリーや堆肥については既に確立されているが、消化液についてはまだである。

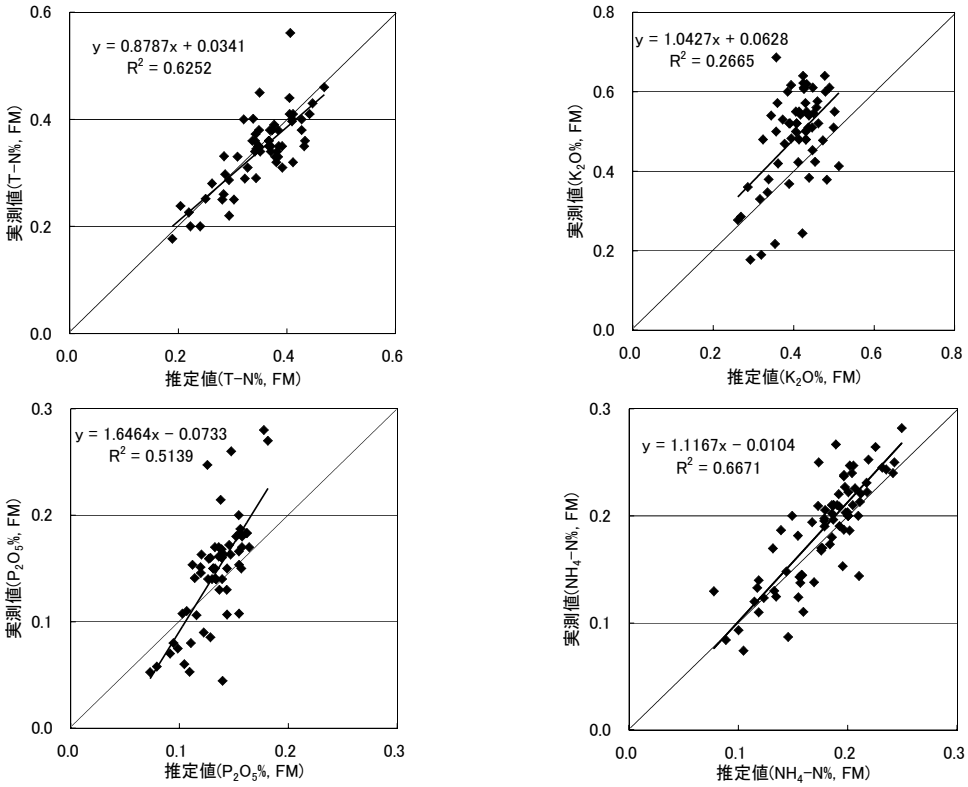


図２．　消化液肥料成分の実測値と「スラリーの肥料成分の推定式」による推定値との関係

スラリー中の肥料成分の推定式は北海道立農業・畜産試験場家畜ふん尿プロジェクト研究チームによる「家畜ふん尿処理・利用の手引き2004」に記載されており、全窒素、アン

モニウム態窒素、燐酸、カリウムともに電気伝導度と乾物含量(DM)により推定可能となっている。また、乾物含量はスラリーを２倍以上希釈したときの比重により推定可能である。

そこで、消化液中の肥料成分の推定にこれらの推定式が適用可能かどうかを検証した。なお、推定式の適合性の検証に際して、別海・湧別プラントにおける実測データの他に、平成12(2000)年度北海道農業試験場（成績会議）資料「個別型バイオガスプラントによる乳牛糞尿処理・利用システムの提示」所収のバイオガスプラント７基の消化液の分析データと本成績書Ⅲ章の１.「草地に対する効果的施用法」で畜産試験場での試験に用いた田中牧場のバイオガスプラントの消化液４試料の分析データもあわせて用いた。その結果、全窒素およびアンモニア態窒素の推定式は適合した。しかし、アンモニウム態窒素はpHとECにより、更に精度の高い推定が可能であった。その他の肥料成分の推定には独自の推定式を適用する必要が明らかとなった（図２）。また、前述の別海・湧別プラント以外のプラントの消化液の値は、図２上で特異的な分布はしなかったことから、今回観察された傾向は消化液一般にいえる傾向と推察される。乾物含量の推定式は別海・湧別プラントの試料のみによる検証だが、やはり独自の式を適用する必要があった（図３）。

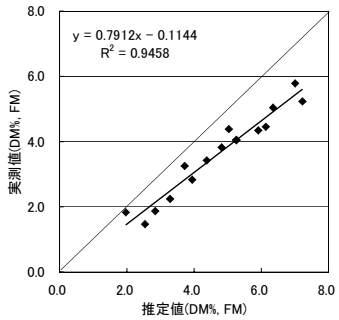


図３.　消化液の乾物含量の実測値と「スラリーの推定式」による推定値との関係

各推定式は表７のとおりとなった。乾物含量以外の推定式は前述の別海・湧別プラント以外のプラントの消化液分析値についても本式がよく適合したことから、これらの推定式は消化液一般に適用可能と考えられる。これらの推定式を活用することにより、消化液の２倍希釈液の比重ないし乾物率およびpH、電気伝導度を測定することにより、簡易かつ短時間で各種肥料成分の推定が可能である。乾物含量の推定式も、前述のように、性状の異なる別海プラントと湧別プラントのデータが混在しているにも関わらず、高い推定精度を保っていることから、他のプラントの消化液にも適用可能と考えられる。なお、比重の測定は、消化液の比重の測定値が1.03以下になるように希釈して行うこととする。

表７.　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	決定係数	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_4-N(FM%)	0.0299pH+0.0282EC-0.3518	R^2=0.7579	49	
P_2O_5(FM%)	0.0230DM+0.0140	R^2=0.6312	55	
K_2O(FM%)	0.1017pH+0.0175EC +0.0494DM-0.7595	R^2=0.4956	55	
DM(FM%)	(173.24×比重-173.29)×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。

推定式による推定で生ずる推定誤差（RMSE=$\sqrt{(実測値-推定値)^2/標本数}$）は表８のとおりであった。

表８．　消化液の肥料成分含量の推定式の推定誤差

	T-N(FM%)	NH_4-N(FM%)	P_2O_5(FM%)	K_2O(FM%)
RMSE	0.05	0.03	0.03	0.08

5)　重金属(Zn、Cu、Cd、Pb、As、Hg、Cr、Ni)

基本的には、メタン発酵施設における発酵処理、殺菌処理、貯留による重金属含量の変化も、堆肥発酵処理における重金属含量の変化も生じなかったが（表９、10)、別海プラントにおいて、亜鉛と銅に限り、原料スラリーより発酵槽ないし殺菌槽中の消化液で有意に高い傾向が求められた。別海プラントではし尿汚泥脱水ケーキの副資材としての受入を行っており、原因ははっきりしないが、恐らくはこれの影響と思われる。しかしながら、乳牛ふん尿を主原料にしており、し尿汚泥脱水ケーキの受入量は乳牛ふん尿の1%にも満たないため、消化液中の重金属含量は非常に少なく、肥料取締法上の基準値を大幅に下回った（表９)。豚ふん尿を主原料とする場合や、重金属が多いとされる下水汚泥や水産廃棄物等を多量に副原料として使用する場合は注意が必要である。

表９．　原料スラリーおよび消化液の重金属含量（新鮮物当たり）

試験施設	採取槽	試料数	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
別海プラント	受入槽	平均値±SD n=15	11.3±3.2 b	2.4±1.2 bc	0.04±0.04 a	0.46±0.83 a	0.09±0.11 a	0.01±0.02 a	0.43±0.27 a	0.77±0.87 a
	発酵槽	平均値±SD n=15	14.3±3.4 a	6.6±5.1 ab	0.04±0.03 a	0.55±0.88 a	0.08±0.08 a	0.01±0.01 a	0.38±0.20 a	0.86±1.14 a
	殺菌槽	平均値±SD n=12	15.5±7.1 ab	12.1±11.9 a	0.03±0.03 a	1.09±1.10 a	0.07±0.07 a	0.01±0.02 a	0.35±0.20 a	0.86±0.95 a
	貯留槽	平均値±SD n=10	11.8±8.7 ab	1.8±1.1 c	0.05±0.06 a	0.53±0.89 a	0.08±0.09 a	0.01±0.01 a	0.36±0.30 a	0.80±0.95 a
湧別プラント	受入槽	平均値±SD n=15	16.3±5.8 a	2.8±1.4 a	0.05±0.05 a	0.19±0.34 a	0.09±0.04 a	0.01±0.01 a	1.00±0.50 a	1.27±1.07 a
	発酵槽	平均値±SD n=15	14.3±1.9 a	2.7±1.0 a	0.05±0.06 a	0.10±0.13 a	0.08±0.03 a	0.01±0.01 a	0.87±0.41 a	1.18±1.15 a
	殺菌槽	平均値±SD n=8	14.2±2.1 a	2.4±0.8 a	0.04±0.05 a	0.16±0.24 a	0.06±0.03 a	0.01±0.02 a	0.98±0.45 a	1.38±1.16 a
	貯留槽	平均値±SD n=9	12.7±3.3 a	2.3±1.0 a	0.06±0.07 a	0.07±0.13 a	0.12±0.11 a	0.01±0.02 a	0.76±0.37 a	1.49±1.20 a
肥料取締法で表示義務が生じる基準			300以上	900以上	−	−	−	−	−	−
許容値(汚泥肥料等)			−	−	5.00	100.00	50.00	2.00	500.00	300.00

表10.　分離固分および完成堆肥の重金属含量（新鮮物当たり）

試験施設	試料	試料数	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
別海プラント	分離固分	平均値±SD n=11	21.5±12.3 a	3.4±1.8 a	0.07±0.06 a	0.66±0.81 a	0.10±0.08 a	0.01±0.01 a	0.85±0.51 a	1.46±1.19 a
	完成堆肥	平均値±SD n=13	30.8±17.7 a	5.4±2.9 a	0.08±0.07 a	0.66±0.95 a	0.13±0.06 a	0.01±0.01 a	1.51±0.99 a	2.30±2.34 a
湧別プラント	分離固分	平均値±SD n=11	36.7±47.9 a	4.4±1.9 a	0.07±0.07 a	0.10±0.20 a	0.14±0.10 a	0.01±0.01 a	1.69±1.25 a	2.27±1.06 a
	完成堆肥	平均値±SD n=14	34.7±19.1 a	6.9±4.0 a	0.09±0.08 a	0.14±0.18 a	0.19±0.10 a	0.01±0.01 a	2.46±1.36 a	3.31±2.55 a
肥料取締法で表示義務が生じる基準			300以上	900以上	−	−	−	−	−	−
許容値(汚泥肥料等)			−	−	5.00	100.00	50.00	2.00	500.00	300.00

6)　発酵処理による雑草種子発芽率の変化

中温発酵処理、高温発酵処理によりエゾノギシギシの無休眠種子は全く認められなくなった。しかし、中温発酵処理30日間で36%、高温発酵処理20日間で14%、同30日間で9%の二次休眠種子が残存し、完全死滅には至らなかった。中温発酵処理後の加熱処理により、二次休眠種子率は4～11%に低下した。しかし、中温発酵後の加熱温度および加温時間の違いの影響は判然としなかった。いずれにしても、中温発酵と加熱処理の組み合わ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、二次休眠種子を１割前後に抑えることが可能であり、これらの処理により原料スラリー中に混入したエゾノギシギシ種子の生存率を効果的に低下できることが明らかとなった（表８)。

表11.　発酵および加温処理がエゾノギシギシ種子の発芽におよぼす影響

処理	供試種子数（個）	無休眠種子率（%）	二次休眠種子率（%）	死滅種子率（%）
対照区	100	94.0	0.0	6.0
中温発酵30日(MF)	100	0.0	36.0	64.0
MF+70℃1時間	100	0.0	11.0	89.0
MF+70℃5時間	100	0.0	5.0	95.0
MF+55℃4時間	100	0.0	4.0	96.0
MF+55℃7.5時間	100	0.0	10.0	90.0
MF+55℃15時間	100	0.0	11.0	89.0
高温発酵20日	100	0.0	14.0	86.0
高温発酵30日	100	0.0	9.0	91.0

６　まとめ

①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る。

②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。

③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、燐酸、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。

④各プラントで生成する消化液および堆肥の肥料成分はそれぞれで固有であり、同一プラントであっても肥料成分は変動するので、これらを肥料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。

⑤消化液の肥料成分は表７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。

⑥乳牛ふん尿を原料とする限り、メタン発酵消化液中の重金属含量は非常に少なく、メタン発酵消化液の液肥利用に伴う重金属害の問題は発生しないと推察される。

⑦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。

１　課題名　２　生成物の効果的換言技術と環境負荷に関する検討

1)　草地に対する消化液の効果的施用法の確立

２　担当場所研究科室名

北海道立根釧農業試験場　研究部　草地環境科

北海道立畜産試験場　環境草地部　畜産環境科

３　はじめに

メタン発酵による家畜ふん尿処理システムで生成されたメタン発酵消化液（以下、消化液）を適切に農地に還元し、有機性資源の循環利用を図るため、草地に対する消化液の肥効特性を明らかにし、効果的な施用量と施用時期について検討する。

４　調査・試験方法

１）消化液の肥効特性

（１）目的

消化液とふん尿スラリー（以下、スラリー）の草地に対する肥効特性を比較する。

（２）方法

試験は表１に示す北海道立根釧農業試験場（以下、根釧農試）と北海道立畜産試験場（以下、畜試）の２カ所で実施した。供試資材の化学性を表２に示す。畜試で供試した消化液は、発酵前に原料を曝気したので、根釧農試で供試したものに比較してアンモニウム態窒素含量が低い傾向を有していた。これら消化液の肥効特性を、表１の条件でスラリーと比較した。

表 1.　試験設計の概要（処理の詳細は P. 15 の付表１参照）

試験場所	根釧農試	畜試
年次	2002-2004年	2000-2003年
供試土壌	黒色火山性土	
供試草地	チモシー「ノサップ」単播草地 （毎年異なる草地を供試）	
供試資材(消化液)	集中型プラント消化液 （中温発酵、30日滞留）	個別型プラント消化液 （高温発酵、14日滞留） 発酵前に原料を曝気
対照資材(スラリー)	同プラント原料受入槽のスラリー	プラントと無関係な農家のスラリー
消化液とスラリーの施用量と時期	4 t/10a (秋または春に全量施用) 無施用区併置	5-8 t/10a (秋、春、夏のいずれかに全量施用) 無施用区併置
化学肥料 N-P_2O_5-K_2O	年間8-6-2 kg/10a （早春：1番後=2:1） 無施用区併置 (2002年は無施用のみ)	年間0-8-0 kg/10a （早春：1番後=2:1）

表２．供試資材一覧

場所	施用年	種類	施用量	水分含量	肥料養分含量 窒素 T-N	窒素 NH_4^+-N	窒素 乾物当たり NH_4^+-N	窒素 NH_4^+-N/T-N	リン酸 P_2O_5	カリウム K_2O	カルシウム CaO	マグネシウム MgO
			t/10a	現物中%			%		現物中%			
根釧農試	2001-2002	消化液	4.0	97.8	0.13	0.10	4.5	76	0.06	0.20	0.08	0.04
	2001-2002	スラリー[1)]	4.0	94.8	0.27	0.12[3)]	2.3	45	0.13	0.36	0.13	0.07
	2002-2003	消化液	4.0	96.8	0.25	0.14	4.5	57	0.07	0.41	0.10	0.05
	2002-2003	スラリー[1)]	4.0	93.0	0.30	0.16	2.3	52	0.14	0.46	0.23	0.09
	2003-2004	消化液	4.0	95.4	0.23	0.18	4.0	79	0.10	0.46	0.21	0.08
	2003-2004	スラリー[1)]	4.0	92.2	0.37	0.19	2.5	52	0.16	0.49	0.27	0.09
畜試	1999	消化液	8.0	－	0.30	0.14	－	45	0.20	0.29	0.06	0.07
	2000	消化液	6.3	94.9	0.37	0.17	3.3	45	0.21	0.37	0.26	0.11
	1999-2000	スラリー[2)]	5.0	88.0	0.43	0.15	1.3	35	0.20	0.50	0.17	0.11
	2000-2001	消化液	5.0	95.6	0.30	0.09	2.0	29	0.15	0.38	0.20	0.10
	2000-2001	スラリー[2)]	5.0	93.0	0.29	0.11	1.6	39	0.10	0.31	0.19	0.11
	2002	消化液	5.0	95.5	0.33	0.11	2.5	33	0.25	0.42	0.21	0.09
	2002	スラリー[2)]	5.0	89.7	0.35	0.13	1.3	38	0.15	0.39	0.27	0.13
	2003	消化液	5.0	95.7	0.29	0.14	3.2	48	0.16	0.47	0.32	0.19
	2003	スラリー[2)]	5.0	92.8	0.29	0.11	1.5	37	0.13	0.38	0.12	0.14

1) バイオガスプラントの原料受入槽から採取した原料スラリー
2) プラントとは無関係の農家から採取したスラリー
3) EC(電気伝導度)、DM(乾物率)による簡易推定

＜肥効評価の方針＞

消化液の肥効特性を明らかにするため、その施用によって期待される牧草の養分吸収増加量を、既に北海道で設定されているスラリーの肥効評価法によって予測し、実測値との適合性を調査する。なお、スラリーの肥効は単年度で評価されている。消化液についても参考試験(P.14)により、翌年の残効が十分に小さいことが確認されたので、単年度で肥効評価を実施する。

ア．スラリーを肥料に換算する現行の方法

スラリーの肥料換算値 ＝ スラリー中の養分量（↑分析する）×肥効率 R

肥効率 $R = Rs \times Q \times T$ ・・・・・・・・・・・・・・・ 式①

（Q：窒素のみ）

（根釧農試・天北農試・畜試 2004）

表3-1. スラリーの基準肥効率 Rs

窒素	リン酸	カリウム
0.4	0.4	0.8

表3-2.品質の違いによる窒素の補正係数Q

区分	乾物当たり NH_4^+-N%	補正係数
肥効大	3.5～	1.2
中	1.5～3.5	1.0
小	～1.5	0.8

表3-3. 施用時期の違いによる窒素の補正係数T

施用時期	補正係数
9月上旬～10月下旬	0.8
4月～5月上旬	1.0
5月中旬	0.8
1番草収穫後	0.9

（根釧農試・天北農試・畜試 2004）

イ．Rを圃場試験の結果から求める方法

（根釧農試・天北農試・畜試 2004）

$$R = (U_M - U_{M0}) / N_M \div a \quad \cdots\cdots\cdots \text{式②}$$

（$(U_M - U_{M0})$：みかけの養分利用割合）

ここで、
U_M ：スラリー施用区の養分吸収量 (kg/10a)
U_{M0} ：スラリー無施用区の養分吸収量 (kg/10a)
N_M ：スラリーによる養分施用量 (kg/10a)
U_F ：化学肥料施用区の養分吸収量 (kg/10a)
U_{F0} ：化学肥料無施用区の養分吸収量 (kg/10a)
N_F ：化学肥料による養分施用量 (kg/10a)
a ：化学肥料の利用割合 (kg/kg)　　$a = (U_F - U_{F0})/N_F$

ウ．消化液の施用によって期待される養分吸収量の増加量（養分吸収増加量）を予測する方法

式①と式②から、消化液施用に伴う試験区への養分施用量と化学肥料の利用割合が得られていれば、式③により地上部の養分吸収増加量を予測できる。この予測値と消化液施用区における実測値が等しければ、消化液の肥効はスラリーの肥効評価法で良好に説明し得ると判断できる。

スラリー評価による予測法 A

$$U_M - U_{M0} = N_M \times R \times a$$
$$= N_M \times Rs \times \underline{Q \times T} \times a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\text{式③}$$

↑ 窒素のみ

なお、消化液における窒素の肥効はアンモニウム態窒素によってよく評価できることが知られているので、含まれるアンモニウム態窒素の全てが化学肥料と同様に利用されると考え、式④による予測方法 B による検証も試みた。

アンモニウム態窒素評価による予測法 B

$$U_M - U_{M0} = AN_M \times T \times a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\text{式④}$$

ここで、AN_M：スラリーによるアンモニウム態窒素施用量 (kg/10a)

2）消化液の効果的施用時期・施用配分

（1）目的

前節では、消化液の肥効評価に対し、スラリーを対象とする現行の評価法が利用可能であることを明らかにした。これにより、消化液とスラリーにおける肥効の類似性が示された。スラリーではすでに施用時期による肥効の変化、春秋分施の有効性などが指摘されている。そこで、消化液についても効果的な施用時期と配分に関する検証を行う。

（2）方法

① 供試草地：チモシー「ﾉｻｯﾌﾟ」単播草地(根釧農試場内、黒色火山性土)、毎年異なる草地を供試

② 試験処理：供試消化液の化学性　表 1 に同じ

施用量 4t/10a、

施用時期　秋（前年 10 月）、春（5 月中旬）、夏（１番草収穫後の 7 月）

施用配分 6 処理　①秋全量、②秋重点＝秋 3t：春 1t、③秋春等量、

④春重点＝秋 1t：春 3t、⑤春全量、⑥夏全量）

化学肥料 2002 年無施用、2003・2004 年併用、併用量は試験 1 に同じ

３）現地実証試験

（１）目的

これまでに設定した消化液の肥効評価法を用い、化学肥料を併用した施肥設計の妥当性を実証する。

（２）方法

① 供試草地

別海試験地

チモシー単播草地（北海道開発土木研究所別海プラント内、黒色火山性土、2000 年造成）

湧別試験地

ﾁﾓｼｰ・ｱｶｸﾛｰﾊﾞ・ｼﾛｸﾛｰﾊﾞ混播草地（同湧別プラント内、擬似グライ土、2000 年造成）

② 供試資材および施用量

ア．供試資材

別海試験地：北海道開発土木研究所　別海プラントの消化液

湧別試験地：　　同　　湧別プラントの消化液

それぞれの化学性を表 4 に示す。

消化液中の全窒素含量に占めるアンモニウム態窒素含量はいずれも 50%以上であることから、アンモニウム態窒素に基づく肥効評価がより正確と考えられる。この場合、全供試資材の平均値では、消化液 1t 当たり窒素 2.0kg、リン酸 0.5kg、カリウム 3.5kg の肥料価値を有すると算定され、現行の一般的なスラリーの目安に近かった。

表４．供試資材の化学性

試験地	年次	施用[1)]時期	水分含量	肥料養分含量							消化液1t当たりの化学肥料換算値			
				窒素(N)					リン酸	カリウム	窒素(N)		リン酸	カリウム
				T-N (a)	NH_4^+-N (b)	比	乾物当たり NH_4^+-N	$Q^{2)}$	(P_2O_5)	(K_2O)	スラリー評価	NH_4^+-N 評価	(P_2O_5)	(K_2O)
			---	現物中 % ---		(b/a)	%		--- 現物中% ---		kg / t	kg / t	kg / t	kg / t
別海	2002	秋	98	0.13	0.10	0.77	6.1	1.2	0.05	0.19	0.6	1.0	0.2	1.5
		春	97	0.30	0.21	0.71	7.2	1.2	0.09	0.34	1.5	2.1	0.4	2.7
	2003	秋	97	0.25	0.17	0.66	5.2	1.2	0.14	0.36	1.2	1.7	0.6	2.8
		春	97	0.26	0.15	0.58	5.0	1.2	0.09	0.39	1.2	1.5	0.4	3.1
	2004	秋	95	0.23	0.18	0.79	4.0	1.2	0.10	0.46	1.1	1.8	0.4	3.7
		春	95	0.39	0.25	0.63	5.0	1.2	0.14	0.50	1.9	2.5	0.6	4.0
湧別	2002	春	－	0.41	0.25	0.62	－	1.2	0.16	0.57	1.9	2.5	0.6	4.5
	2003	春	95	0.35	0.21	0.60	3.9	1.2	0.17	0.60	1.7	2.1	0.7	4.8
	2004	春	97	0.28	0.25	0.89	7.3	1.2	0.11	0.48	1.3	2.5	0.4	3.8
										平均	1.4	2.0	0.5	3.5

1) 秋施用は前年10月、春施用は当年5月中旬までに実施
2) スラリーの品質の違いによる補正係数

イ．消化液と化学肥料の施用量

消化液は秋または早春に全量施用した。化学肥料は早春に年間の 2/3、1 番草収穫後に残りの 1/3 の割合で分施した。消化液はほぼ計画どおりの量を施用できた。これにより、肥料養分量もおおむね設定に近く、実証試験は精度良く実施できた。ア．ではアンモニウム態窒素に基づく肥効評価が妥当と判定したが、スラリー評価でも年間合計の窒素施肥量が大きく変わることはなかった。なお、本試験は同一草地における連用条件で実施された（表 5)。

表５．現地試験の施肥設計

試験地	年次	処理[1)]	消化液t/10a		化学肥料 kg/10a			肥料養分合計 kg/10a			
			目標	実績	N	P_2O_5	K_2O	N[2)] A	N[2)] B	P_2O_5	K_2O
別海	2002	消化液秋施用(2001年秋)	4	4.1	14	7	9	16	17	8	15
		同　春施用(2002年春)	2	2.1	14	7	9	16	17	8	15
		対照区	0	0	16	7	16	16	16	7	16
	2003	消化液秋施用(2002年秋)	4	4.3	12	6	8	16	18	9	20
		同　春施用(2003年春)	4	4.3	12	6	8	16	17	8	21
		対照区	0	0	16	9	20	16	16	9	20
	2004	消化液秋施用(2003年秋)	4	4.3	12	6	2	16	19	8	18
		同　春施用(2004年春)	3	2.6	12	7	8	16	17	8	18
		対照区	0	0	15	7	21	15	15	7	21
湧別	2002	消化液区(春施用)	4	3.7	0	8	0	6	7	11	17
		対照区	0	0	6	10	18	6	6	10	18
	2003	消化液区(春施用)	4	4.2	0	8	0	6	7	11	20
		対照区	0	0	6	10	23	6	6	10	23
	2004	消化液区(春施用)	5	4.7	0	6	0	5	9	8	18
		対照区	0	0	5	8	18	5	5	8	18

1) 秋施用は前年10月、春施用は当年5月中旬までに実施
2) A：スラリー評価、B：アンモニウム態窒素評価

③ 試験規模

試験地の規模を図 1 に示す。施肥・収穫等の管理作業は、別海試験地では協力農家またはコントラクタの慣行機械体系により、また、湧別試験地では人手によって実施された。なお、収量調査時には研究員が 1m^2 枠による坪刈り調査を行った。

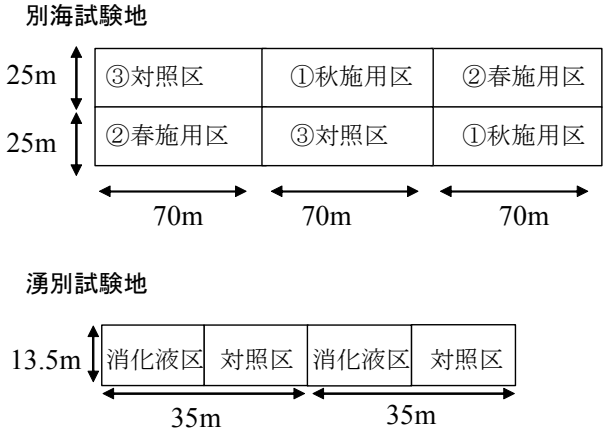


図１．実証試験の規模

５　調査結果および考察

１）消化液の肥効特性

(1) 収量水準

① 年間乾物収量は 360-1010kg/10a の範囲にあった。このうち、化学(窒素)肥料無施用条件で実施された畜試および根釧農試 2002 年の区で少なかったが、化学肥料を併用した根釧農試 2003-2004 年では 800-1000kg/10a の目標収量水準を得た（図 2)。

② 畜試では消化液区がスラリー区よりも多収となった例が多かったが、根釧農試では明瞭でなかった。これは、根釧農試で供試された消化液の窒素含量が全窒素、アンモニウム態窒素ともにスラリーよりも低い傾向にあったためと考えられる（図 2、表 2)。

(2) 窒素の肥効評価

① 消化液の見かけの利用割合はスラリーよりも高かった。しかし、その程度は年次と場所によって大きく異なった（図 3)。

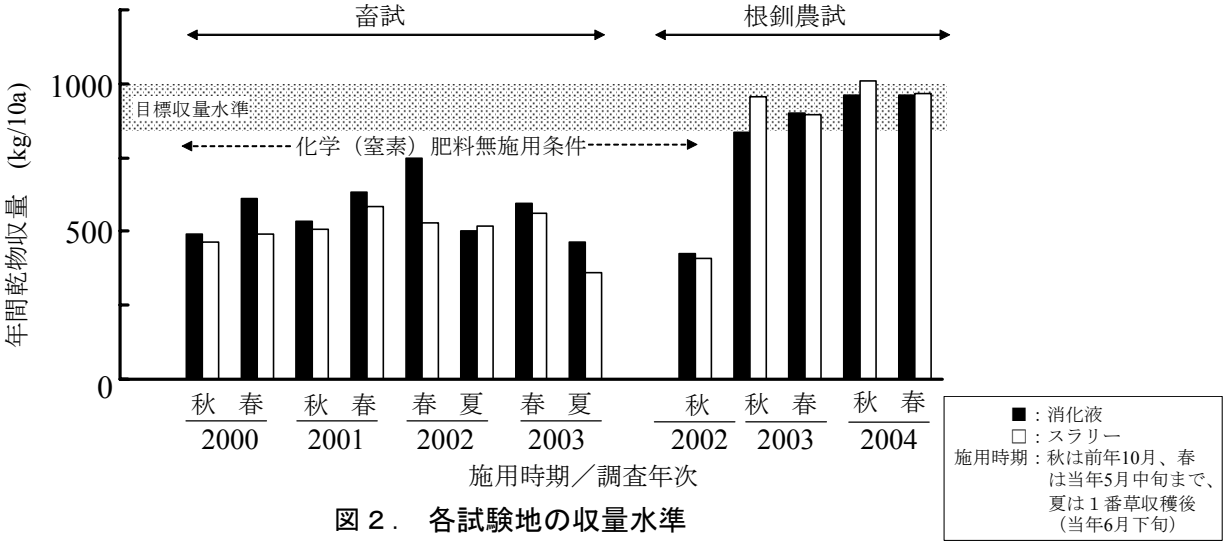


図２．　各試験地の収量水準

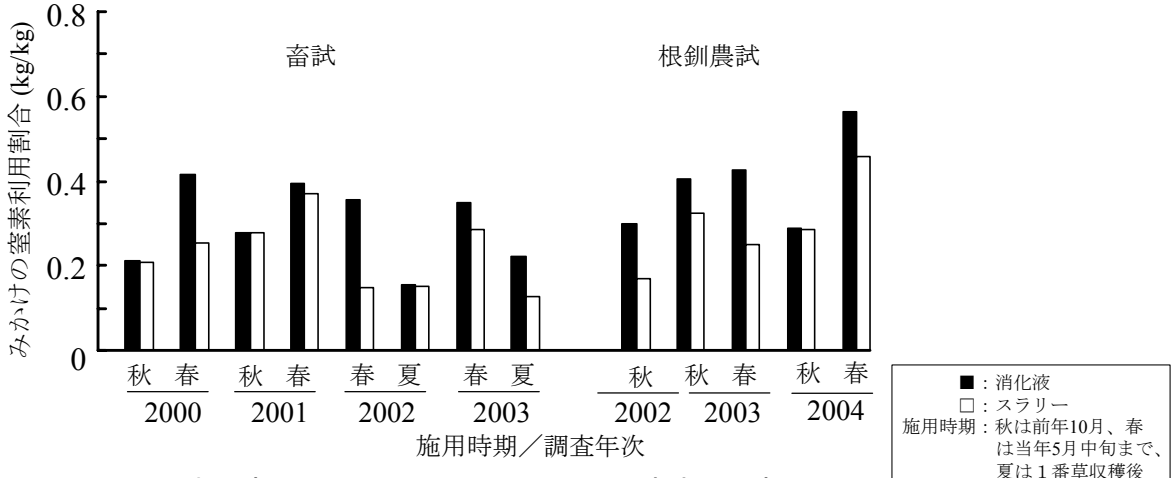


図３．　消化液とスラリーにおけるみかけの窒素利用割合

② ①における肥効の変動について、A.スラリー評価（式③）と B.アンモニウム態窒素評価（式④）による説明を試みた。
③ いずれの評価法でも予測値と実測値はおおむね良好に対応した(図 4)。このことから、消化液の肥効は、スラリー評価とアンモニウム態窒素評価のいずれによっても評価可能と判断された。

＜適合度の比較＞

④ スラリー評価では、品質の補正によって 0.4×1.2≒0.5 が最大の肥効率となる(図 5)。これは，全窒素量の半分をアンモニウム態窒素が占める消化液の肥効をアンモニウム態窒素評価で見積もった場合の評価値に等しい。
⑤ このため、アンモニウム態窒素が全窒素の半分以上を占める消化液では、スラリー評価では対応しきれず、アンモニウム態窒素評価による対応が良好になると予想できる。
⑥ 以上の仮説に基づき、全窒素に占めるアンモニウム態窒素の割合を 0.5 以上および 0.5 未満の２群に区分し、双方の適合性を比較した。
⑦ その結果、全窒素に占めるアンモニウム態窒素の割合が 0.5 未満の消化液に対してはスラリー評価が、また 0.5 以上の消化液に対してはアンモニウム態窒素評価が良好な適合性を示し（RMSE 値が小さく）、上記の仮説が支持された（図 5)。

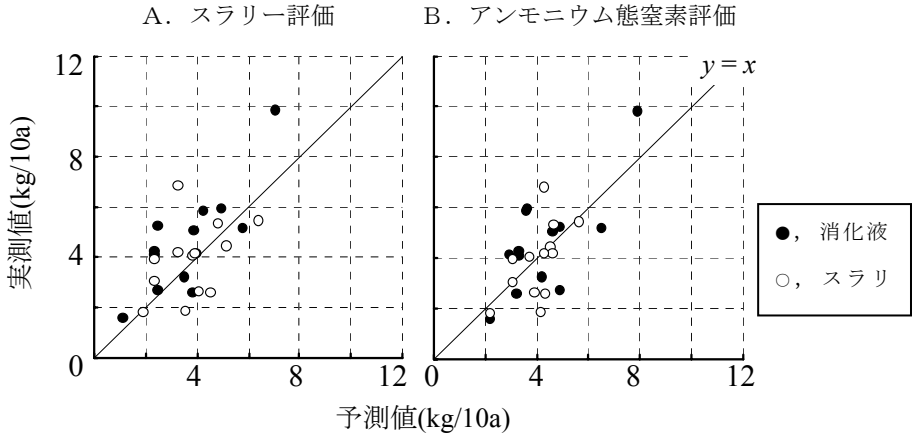


図４． 窒素吸収増加量に対する適合性

●，消化液　；　○，スラリー

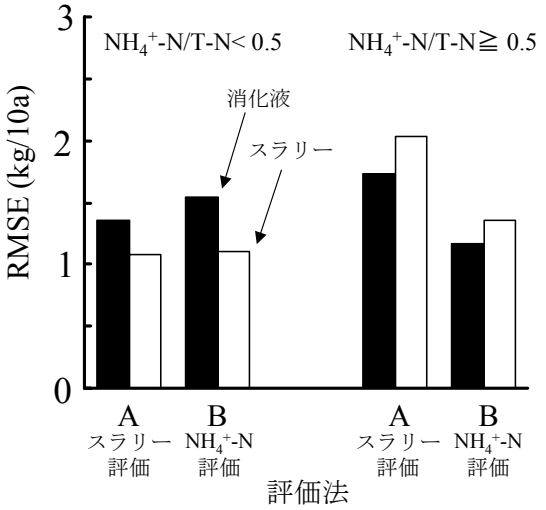


図５． 窒素肥料への換算方法と予測精度

表3-2.品質の違いによる窒素の補正係数Q (p.2)

区分	乾物当たり NH_4^+-N%	補正係数
肥効大	3.5～	1.2
中	1.5～3.5	1.0
小	～1.5	0.8

スラリー換算法の品質変化に伴う窒素肥効率の変動範囲

0.4×1.2=0.48
0.4×0.8=0.32

変動範囲：0.32～0.48

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(\text{実測値}-\text{予測値})^2}{\text{標本数}}}$$

(3)リン酸とカリウムの肥効評価

① 根釧農試で供試した消化液におけるみかけのリン酸利用割合は、スラリーよりも平均で約 3 割高い傾向にあったが、畜試では明瞭でなかった（図 6)。

② そこで、根釧農試で供試した消化液におけるリン酸の基準肥効率も、スラリーより約 3 割高いとすると、その値は 0.4×1.3 ≒0.5 程度と見積もられる。しかし、消化液中のリン酸含量は低いので、消化液の施用が牧草のリン酸吸収量に及ぼす影響はきわめて小さい（図 7)。

③ そこで、厳密には、根釧農試と畜試で施肥反応の異なる可能性を否定できないが、消化液とスラリーのみかけのリン酸利用割合には、場所によらず大差ないと見なすことにした。

④ 消化液におけるみかけのカリウム利用割合は、根釧農試、畜試のいずれにおいてもスラリーと同程度と認められた。

⑤ 窒素の場合と同様に、リン酸とカリウムの吸収増加量をスラリー評価で予測し、実測値と比較した。いずれの試験地でも、両者は良好に対応し、消化液のリン酸とカリウムの肥効はスラリー評価で見積もることが可能と判断した（図 7)。

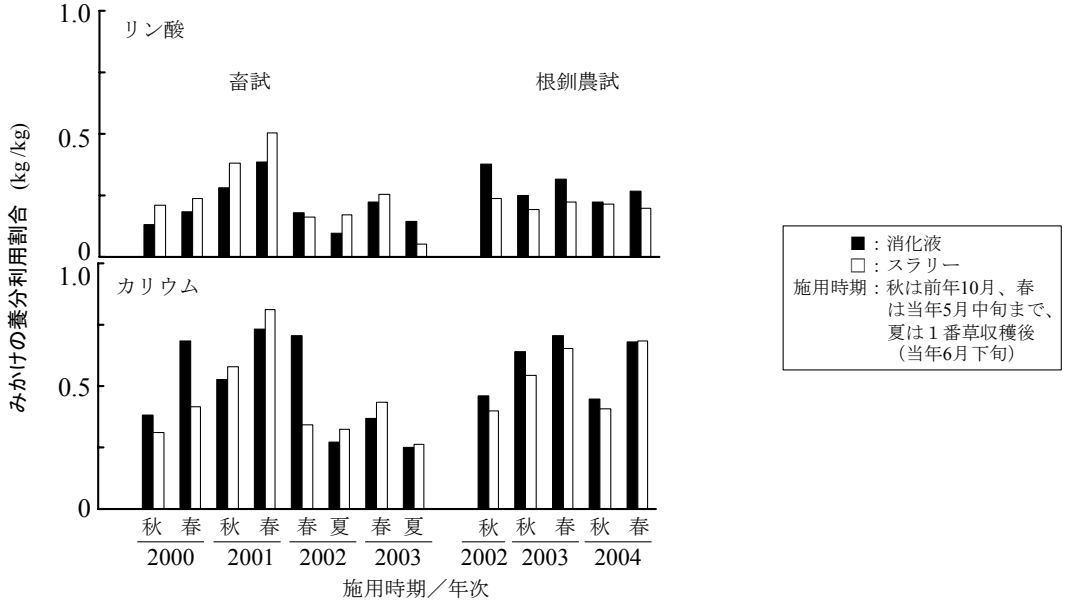


図６．消化液とスラリーにおけるみかけのリン酸およびカリウム利用割合

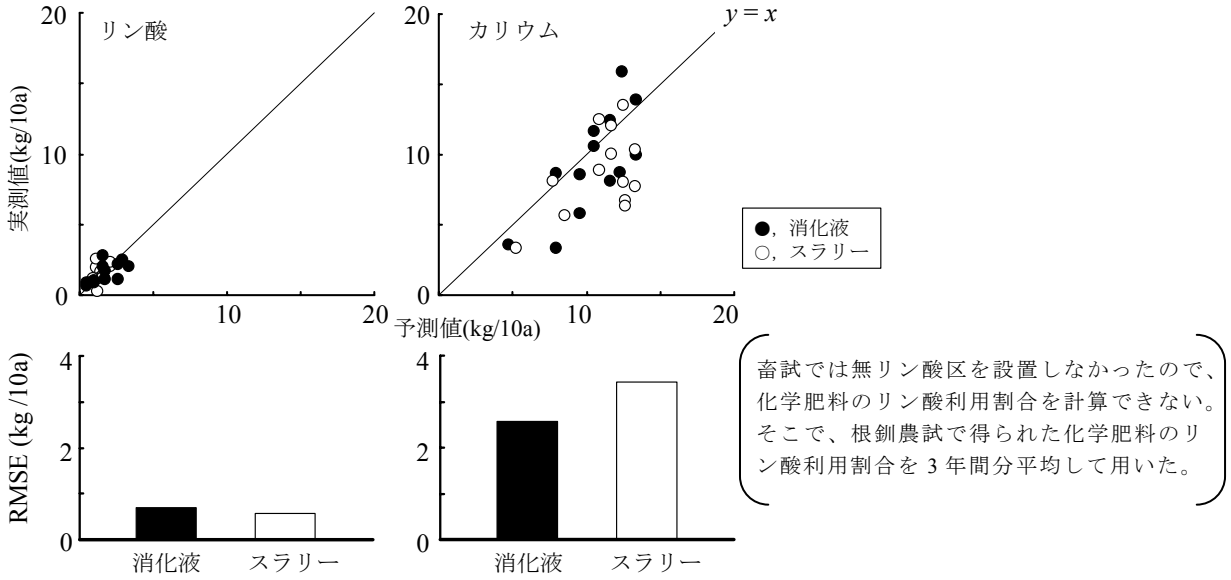


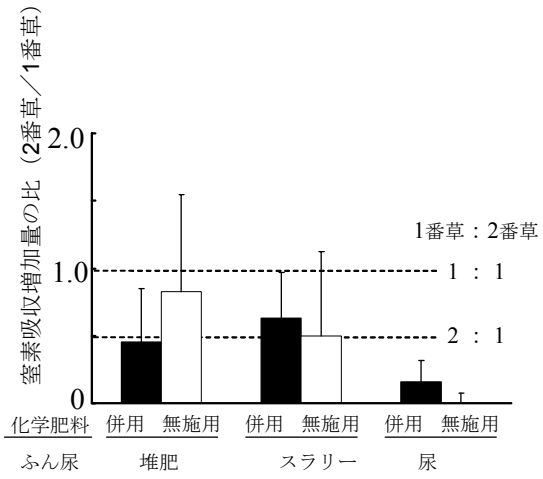
図７．リン酸およびカリウム吸収増加量に対する適合性

(4)化学肥料併用時の施肥配分

① 消化液の秋施用区と春施用区を対象に、1 番草と 2 番草に発現する肥効を比較するため、養分吸収増加量について、1 番草に対する 2 番草の比の値を算出した（図 8)。

② 1 番草に対する 2 番草の比の値は、化学肥料併用の有無によらず、0.5 を下回った。参考図と比較すると、消化液の肥効はスラリーよりも尿に近い配分を示すと思われた（図 8、参考図)。

③ したがって、消化液施用時に化学肥料を補填する場合には、尿と同様に、当該番草に対して補填量を計算することが合理的であると結論した。



参考図．堆肥、スラリー、尿施用時の1番草と2番草における窒素吸収増加量の割合（根釧・天北・畜試 2004）

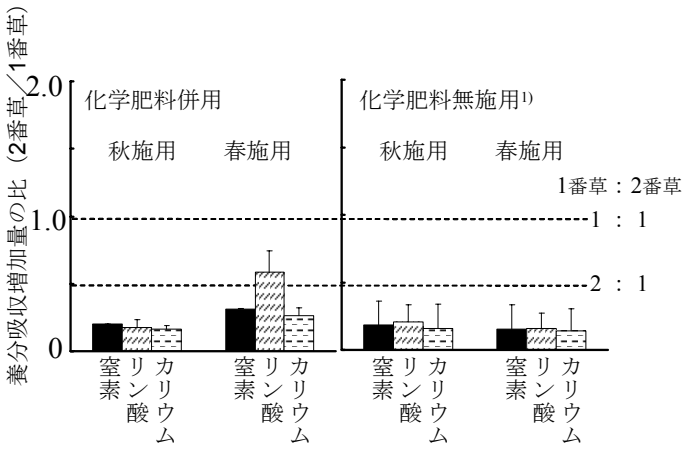


図８．消化液施用時の1番草と2番草における養分吸収増加量の割合

1) 畜試はいずれの区でもリン酸8kg/10aを施用しているが、窒素とカリウムが無施用であり、収量水準も根釧農試の化学肥料無施用条件に近いので（図１）、化学肥料無施用条件に含めて計算した。

(5)まとめ

① 消化液は、窒素、リン酸およびカリウムともに、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る（表 3-1～3、表 6)。

② このうち、窒素の肥効については、含まれるアンモニウム態窒素の全部が化学肥料と同様に利用されると見なす評価法でも良好な評価が可能であった。この評価法は、全窒素に占めるアンモニウム態窒素の割合が 50%以上を占めるとき、特に良好な対応を示した（図 4、図 5、表 6)。

③ 消化液施用時に化学肥料を補填する場合は、当該番草に対して補填量を計算する(表 6)。

表６．バイオガスプラント消化液の基準肥効率1)

窒素		リン酸	カリウム
全窒素2)	ｱﾝﾓﾆｳﾑ態窒素3)		
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) NH_4^+-N / 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) NH_4^+-N / T-N ≧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。

2）消化液の効果的施用時期・施用配分

(1) 収量と見かけの利用割合

① 化学肥料無施用条件で実施した 2002 年では、収量水準が低く、処理間差が明瞭でなかった。そこで、化学肥料を併用し、目標収量水準で比較すると、消化液の施用効果は秋春等量分施区で高い傾向が認められた。1 番草に効果を期待できない夏全量区では、いずれの年次でも高収を得られなかった（図 9)。

② みかけの窒素利用割合は、2003 年度の春全量区を除き、秋施用量の多い区ほど低く、越冬前後における窒素の損失が示唆された（図 10)。

③ これはすでに知られているスラリーの傾向と同様である。このような結論に至った理由について、早春の地上部窒素吸収量の推移と収量構成要素の面から確認を行った。

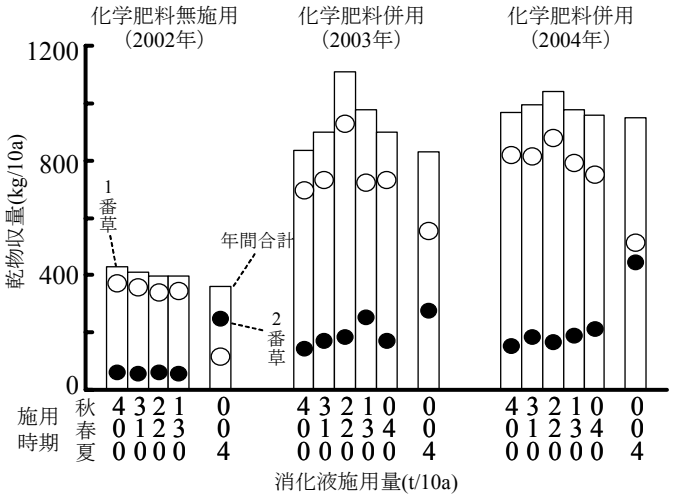


図９． 消化液の施用配分がチモシー単播草地の乾物収量に及ぼす影響（根釧農試）

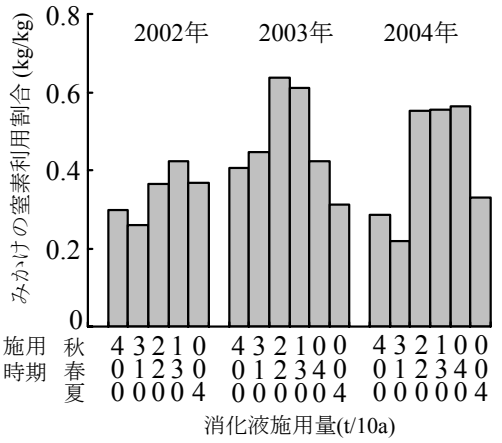


図 10. 消化液の施用時期と配分がみかけの窒素利用割合に及ぼす影響（根釧農試）

施用時期：秋は前年 10 月、春は当年 5 月中旬まで、夏は 1 番草収穫後（7 月中旬）

(2) チモシーの収量構成要素

① 早春、萌芽後におけるチモシーの生育は、秋の消化液施用量が多い区ほど旺盛であった。このため、萌芽日から消化液を施用するまでの期間の地上部における窒素吸収量も、秋の施用量が多い区ほど多かった（図 11)。

② 春(5 月 17 日)に消化液を施用された区では、その後、急激に窒素吸収量が増大したため、6 月 3 日の地上部における窒素吸収量は春の施用量の多い区ほど多くなった（図 11)。秋施用量の多い区における地上部の窒素吸収量は、越冬前後の窒素の損失により、春施用量の多い区に及ばなかったものと考えられた。

③ ただし、6 月 3 日の地上部における窒素吸収量は、いずれの区でも、1 番草有穂茎数の確保に必要とされる 5 kg/10a（松中 1987）を越えていた(図 11)。

④ これに対応し、いずれの区の 1 番草でも 900 本/m^2 前後の十分な有穂茎数を得た(図 12)。

⑤ 一方、1 番草有穂茎の一茎重は秋春等量分施(2:2)区で最も大きな値を得た（図 12)。

⑥ 秋全量および秋重点区では、越冬前後における窒素の損失が相対的に大きく、翌春の消化液施用量が少ないので、一茎重が秋春等量区に及ばなかった。また、春重点および春全量区では、茎数の増加する時期が遅く、小さな有穂茎が多くなったため、一茎重が相対的に小さくなったと推察された。

⑦ 以上により、年間 4t/10a 程度の消化液施用量では、秋春等量分施が、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方法と考えられた。

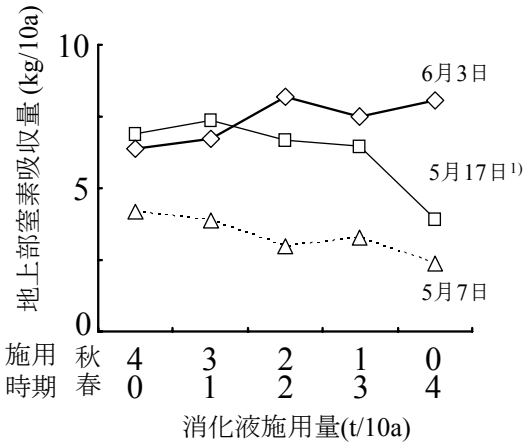


図 11. **消化液の施用配分がチモシー単播草地における地上部窒素吸収量の推移に及ぼす影響（根釧農試 2004年）**

1) 春の消化液施用は5月17日の調査直後に実施

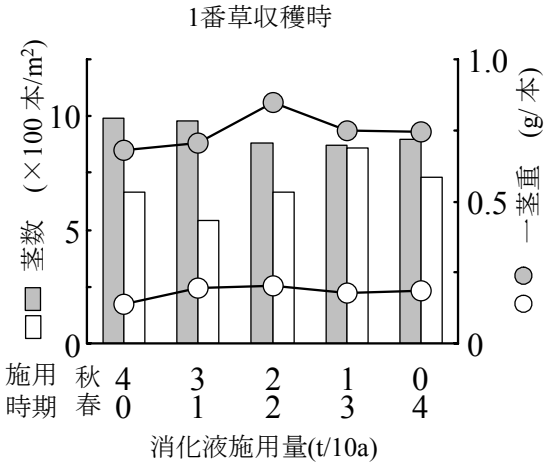


図 12. **消化液の施用配分が収穫時におけるチモシー１番草の収量構成要素に及ぼす影響**

(根釧農試 2004年)

■, ●，有穂茎； □, ○，伸長茎

施用時期：秋は前年 10 月、春は当年 5 月中旬

(3) まとめ

年間 4t/10a 程度の消化液施用量では、秋春等量分施が、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る。

３）現地実証試験

① 消化液のアンモニウム態窒素含量に基づいた施肥設計を適用することにより、いずれの試験地でも、化学肥料で施肥標準並みに管理された対照区と同等の乾物収量を得た（図 13）。

② 別海試験地における消化液施用区の 1 番草カリウム含量は、2 年間対照区を上回った(表 7)。これは、本来、1 番草に対して行うべきであった化学肥料の減肥を（表 6)、早春と 1 番草後に配分したため、早春の減肥が不十分になった結果と考えられた。

③ 以上を除けば、消化液施用区の牧草体養分含量は対照区と概ね同程度であった（表 7)。

④ これにより、表 6 に提示した肥効評価と分施方法の妥当性が確認されたと判断する。

⑤ 本試験は、連用条件で実施されたが、牧草体養分含量は経年的に増大しなかった。消化液の肥効は、施用当年に顕著に発現し、翌年以降の残効はきわめて少ないことがあらためて確認された（表 7)。

⑥まとめ

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。

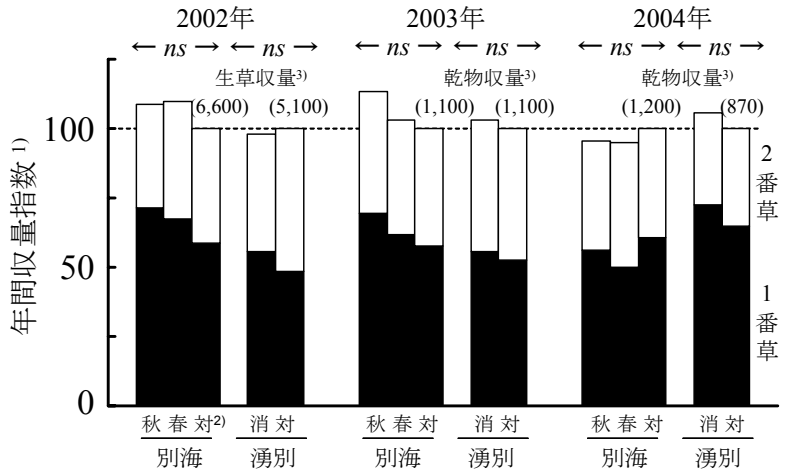


図13. 消化液と化学肥料の併用が牧草収量に及ぼす影響

1) 対照区の年間収量を100とした指数，（）内の数値は実数(kg/10a)
2) 秋，消化液を前年10月に施用；春，消化液を当年5月中旬に施用；
消，消化液を5月中旬に施用；対，化学肥料のみ施用
3) 2002年は根釧農試草地環境科における臨時職員雇用体制の激変に伴って、研究作業能率が著しく低下した結果、牧草試料が腐敗し、乾物収量を求められなかった。

表７．各試験地における牧草体養分含有率

(乾物中%)

年次	試験地	処理	1番草					2番草				
			N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
2003	別海	対照	1.7	0.6	2.7 *a*	0.3	0.2	2.2	0.7	3.0	0.5	0.3
		春施用	2.1	0.7	3.5 *b*	0.4	0.3	2.2	0.7	2.7	0.5	0.4
		秋施用	2.1	0.6	3.4 *b*	0.3	0.3	2.3	0.7	2.4	0.5	0.4
	湧別	対照	1.3	0.7	2.5	0.4	0.3	2.0	1.0	2.9	0.7	0.5
		消化液	1.6	0.7	2.4	0.6	0.4	2.2	1.1	3.0	0.8	0.5
2004	別海	対照	2.1	0.5 *a*	2.5 ***a***	0.3	0.2	2.0	0.5 *a*	2.6	0.3	0.2 *a*
		春施用	2.6	0.7 *b*	3.4 ***b***	0.3	0.2	2.2	0.6 *b*	2.6	0.3	0.3 *b*
		秋施用	2.2	0.6 *a*	2.4 ***a***	0.3	0.3	2.4	0.6 *b*	2.0	0.4	0.4 *b*
	湧別	対照	1.6	0.7	2.3	0.4	0.3	1.8	1.0	2.2	0.5	0.4
		消化液	1.9	0.7	3.0	0.6	0.3	1.8	1.1	2.0	0.5	0.4

秋施用は前年10月、春施用は当年5月中旬までに施用した。

異種文字間に危険率5%水準（太字は危険率1%水準）で処理間差あり。

なお、2002年は、根釧農試草地環境科における臨時職員雇用体制の激変に伴って、研究作業能率が著しく低下した結果、牧草試料が腐敗し、養分含有率を測定できなかった。

４）総括

① 消化液は、窒素、リン酸およびカリウムともに、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る。

② 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る。

③ また、化学肥料の減肥は、尿の場合と同様に、当該番草のみを対象とすることが合理的である。

④ 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る。

⑤ 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。

６　残された課題

アンモニア揮散を低減する施用法における肥効評価

７　おわりに

本調査の結果、①草地に対する消化液の肥効は、当該番草を対象にスラリーと同じ基準肥効率で評価できる、②アンモニウム態窒素の多い消化液における窒素の肥効評価に対しては、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になる、③消化液の施用法は秋と春の等量分施が効果的であると結論する。

今後、インジェクタやバンドスプレッダなどアンモニア揮散を低減する施用方法の導入が可能になれば、草地において、さらに環境負荷の少ない消化液の有効利用が期待できる。

参考試験

草地における消化液の残効調査

１．目的

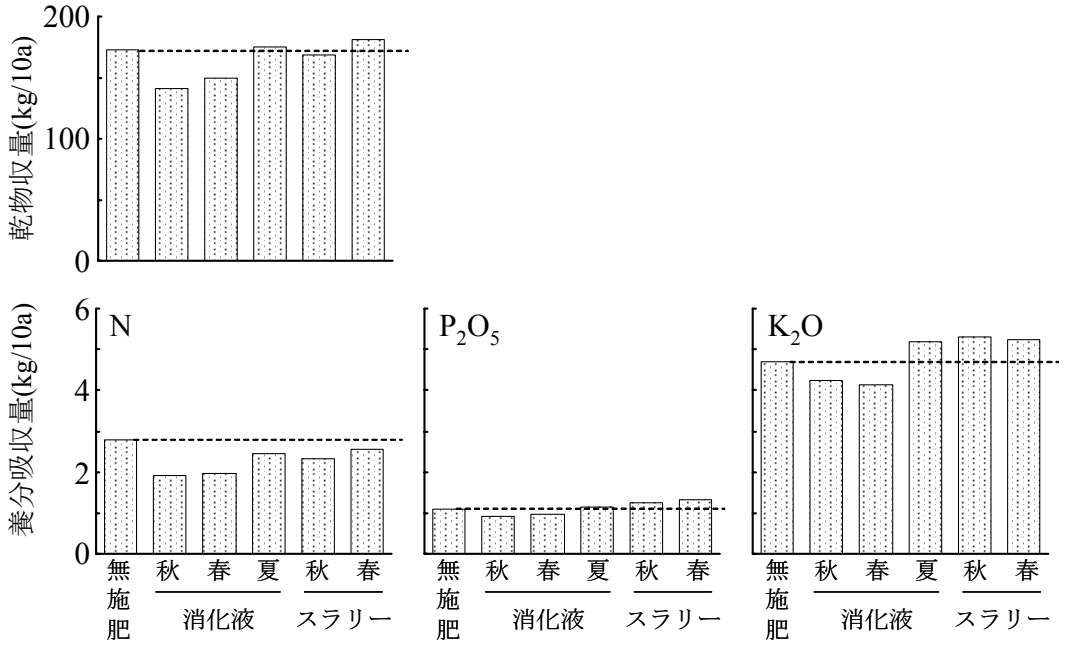
現在、スラリーの肥効は、翌年の残効がきわめて少ないのでこれを無視し、単年度評価で見積もられている。したがって、スラリーを原料とする消化液でも、翌年の残効は小さいと想定される。そこで、消化液施用翌年の残効を調査し、肥効評価において残効を考慮する必要性について検討する。

２．方法

本試験Ⅲ-1．草地に対する効果的施用法　1）消化液の肥効特性において、2002 年に化学肥料無施用条件で実施された試験区を、翌年同様に化学肥料無施用条件で管理し、収量および地上部の養分吸収量を調査した。

３．結果

1) 乾物収量、養分吸収量ともに、消化液秋施用区≦同春施用区≦同夏施用区＝スラリー秋・春施用区の傾向が窺われたが、統計的な有意差は検出されなかった。
2) また、その水準は無施肥区ともおおむね等しかった。
3) 以上のことから、消化液の窒素、リン酸、カリウムのいずれについても、施用翌年の残効はほとんど無視できると考えられた。



付図１．消化液・スラリー施用翌年におけるチモシー単播草地の乾物収量および養分吸収量

春、夏施用区は2002年5月および7月施用、秋施用区は2001年10月施用、調査は2003年　（根釧農試）
2002年および2003年はいずれも化学肥料無施用条件

付表１．試験処理詳細

場所	年次	処理番号	処理	消化液またはスラリー		化学肥料年間施用量kg/10a		
				施用日	施用量 (t/10a)	窒素 (N)	リン酸 (P_2O_5)	カリウム (K_2O)
根釧農試	2002	1	消化液　秋施用	01/10/22	4.0	0	0	0
		2	消化液　春施用	02/05/13	4.0	0	0	0
		3	スラリー秋施用	01/10/22	4.0	0	0	0
		4	スラリー春施用	02/05/13	4.0	0	0	0
		5	無施用	―	0	0	0	0
	2003	1	消化液　秋施用	02/10/23	4.0	8	6	2
		2	消化液　春施用	03/05/12	4.0	8	6	2
		3	スラリー秋施用	02/10/23	4.0	8	6	2
		4	スラリー春施用	03/05/12	4.0	8	6	2
		5	化学肥料のみ	―	0.0	8	6	2
		6	無施用	―	0.0	0	0	0
	2004	1	消化液　秋施用	03/10/21	4.0	8	6	2
		2	消化液　春施用	04/05/17	4.0	8	6	2
		3	スラリー秋施用	03/10/21	4.0	8	6	2
		4	スラリー春施用	04/05/17	4.0	8	6	2
		5	化学肥料のみ	―	0	8	6	2
		6	無施用	―	0	0	0	0
畜試	2000	1	消化液　秋施用	99/10/15	8.0	0	8	0
		2	消化液　春施用	00/04/29	6.3	0	8	0
		3	スラリー秋施用	99/10/15	5.0	0	8	0
		4	スラリー春施用	00/04/29	5.0	0	8	0
		5	無施用	―	0	0	8	0
	2001	1	消化液　秋施用	00/10/18	5.0	0	8	0
		2	消化液　春施用	01/04/27	5.0	0	8	0
		3	スラリー秋施用	00/10/18	5.0	0	8	0
		4	スラリー春施用	01/04/27	5.0	0	8	0
		5	無施用	―	0	0	8	0
	2002	1	消化液　春施用	02/04/25	5.0	0	8	0
		2	消化液　夏施用	02/06/24	5.0	0	8	0
		3	スラリー春施用	02/04/25	5.0	0	8	0
		4	スラリー夏施用	02/06/24	5.0	0	8	0
		5	無施用	―	0	0	8	0
	2003	1	消化液　春施用	03/04/23	5.0	0	8	0
		2	消化液　夏施用	03/06/24	5.0	0	8	0
		3	スラリー春施用	03/04/23	5.0	0	8	0
		4	スラリー夏施用	03/06/24	5.0	0	8	0
		5	無施用	―	0	0	8	0

化学肥料は年間の 2/3 を早春に、残りの 1/3 を 1 番草収穫後に分施

1　課題名

2)　畑作物に対する消化液施用法の確立

2　担当場所研究科室名

北海道立北見農業試験場　生産研究部　栽培環境科

3　はじめに

各種畑作物に対する施用効果を検討し、適切な施用法を明らかにする。

4　調査・試験方法

1) **試験年次：**2001年～2004年

2) **試験場所：**湧別町　(灰色低地土)

訓子府町(表層多腐植質湿性黒ボク土)

3) **検討事項：**4)に示す作物を対象に、消化液の施用適量、望ましい施用方法を検討した。具体的には、施用方法として土壌混和(移植、播種前に施用しロータで深さ15cm程度に混和)と表面施用(移植、播種後に表面に施用)を検討した。さらに、施用後に土壌混和するまでの時間について、当日混和と翌日混和とで比較検討した。

4) **供試作物及び耕種概要等：**表1に供試作物、耕種概要、試験区制、供試肥料を示した。

表1　　供試作物と耕種概要等

収穫年	圃場	播種･移植期	収穫期	隙込み日	栽植密度	1区面積等	反復数	品種	供試肥料	B施用
					てんさい					
2001		5月 9日	10月17日		66×21cm	210m^2	1	スコーネ	S182	無
2003	湧別	5月15日	9月 4日		75×33cm	70～210m^2	1	スコーネ	S182	有
2004		5月10日	10月20日		75×33cm	70～210m^2	1	スコーネ	S182	有
2002		5月 9日	10月22日		60×23cm	18.9m^2	2	ｱｰﾍﾞﾝﾄ	S182	無
2003	訓子府	5月12日	10月27日		60×23cm	15m^2	4	ｱｰﾍﾞﾝﾄ	S182	無
2004		5月13日	10月26日		60×23cm	15m^2	3	ｱｰﾍﾞﾝﾄ	S182	有
					ばれいしょ					
2001		5月 9日	8月 8日		72×30cm	210m^2	1	ワセシロ	S053	－
2002	湧別	5月10日	8月28日		72×30cm	210m^2	1	男しゃく	S053	－
2004		5月 6日	8月 2日		72×30cm	70～140m^2	1	男しゃく	S053	－
2003	訓子府	5月15日	9月 4日		72×30cm	11.2m^2	3	ワセしろ	S804	－
					秋まき小麦					
2002	湧別	9月27日	7月22日		畦幅14cm、播種量12kg	70～210m^2	1	ホクシン	S042	－
2003		9月24日	7月22日		畦幅14cm、播種量13kg	70～210m^2	1	ホクシン	S807	－
2003	訓子府	9月20日	7月22日		畦幅30cm、播種量9kg	12m^2	3	ホクシン	S807	－
2004		9月19日	7月23日		畦幅30cm、播種量9kg	12m^2	3	ホクシン	S807	－
					えんばく					
2001	訓子府	8月 9日	10月23日	10月29日	播種量15kg	18～27m^2	1	－	S053	－
					シロカラシ					
2001	訓子府	8月 9日	10月23日	10月29日	播種量2kg	18～27m^2	1	－	S053	－
					ひまわり					
2001	訓子府	8月 9日	10月22日	10月29日	播種量2.5kg	18～27m^2	1	－	S004	－

注)消化液施用区では硫安、過石、硫加を用い施肥量を調節した。

B施用は、消化液施用区に対するホウ素入り肥料の施用の有無を示す。

5）**供試消化液：**成分、施用日ならびに施用日の平均気温を表2に示した。

表2　供試消化液の成分と施用日ならびに施用日の平均気温

年次	試験圃場	施用作物	施用位置	水分	pH	EC	T-N	NH_4-N	T-P_2O_5	T-K_2O	T-CaO	T-MgO	施用日	施用日平均気温
				(%)		(mS/cm)	現物重量%							
2001	湧別	てんさい・ばれいしょ	混和	－	7.9	－	0.17	0.09	0.06	0.56	0.07		5月 9日	4.0
		秋まき小麦	混和	－	7.9	－	0.40	0.14	0.18	0.55	0.25	0.09	9月27日	13.6
	訓子府	緑肥	混和	－	7.8	18.0	0.38	0.21	0.18	0.49	0.16	0.08	8月 8日	14.2
		緑肥	表面	－	8.0	21.8	0.39	0.21	0.17	0.52	0.16	0.08	9月10日	18.6
2002	湧別	ばれいしょ	混和・表面	95.7	8.5	21.0	0.38	0.18	0.15	0.55	0.15	0.07	5月10日	10.6
		秋まき小麦	表面	95.4	8.4	19.9	0.36	0.17	0.17	0.52	0.17	0.09	4月22日	14.1
		秋まき小麦	混和	96.6	8.7	17.7	0.25	0.20	0.08	0.54	0.13	0.04	9月24日	17.0
	訓子府	てん菜	混和	95.1	8.4	19.9	0.36	0.17	0.17	0.52	0.16	0.09	5月 9日	12.2
2003	湧別	秋まき小麦	表面	95.9	8.2	21.2	0.35	0.21	0.15	0.52	－	－	4月23日	10.6
		てんさい	混和	96.1	8.3	21.6	0.34	0.21	0.14	0.48	－	－	5月15日	7.5
		てんさい	表面	96.3	8.0	21.2	0.34	0.21	0.14	0.50	－	－	5月15日	7.5
	訓子府	ばれいしょ	混和	96.1	8.1	22.6	0.36	0.20	0.14	0.48	－	－	5月15日	9.4
		てんさい	混和	95.9	8.2	21.2	0.35	0.21	0.15	0.52	－	－	5月12日	11.5
		てんさい	表面	96.1	8.2	22.6	0.35	0.20	0.14	0.50	－	－	6月 5日	11.3
		秋まき小麦	表面	97.0	8.2	14.4	0.20	0.12	0.08	0.36	－	－	4月25日	9.8
		ばれいしょ(枠試験)	混和・表面	96.1	8.1	22.6	0.36	0.20	0.14	0.48	－	－	5月15日	9.4
2004	訓子府	秋まき小麦	表面	96.3	8.3	－	0.31	0.18	0.14	0.50	－	－	4月27日	4.6
		てんさい	混和・表面	96.1	8.3	－	0.31	0.18	0.14	0.53	－	－	5月 6日	8.3

(6) 肥効評価方法

ふん尿スラリーの肥効評価法(平成11年指導参考事項:北海道農政部)に準じて、消化液に含まれる成分の肥効は肥効率で評価した。

すなわち、消化液施用時の減肥可能量は

減肥可能量(kg/10a)＝消化液施用量(kg/10a)×成分濃度(%)×肥効率／100

で求められるとした。

肥効率は以下により求めた。

ア．消化液の全窒素およびアンモニウム態窒素の肥効率は以下の式で求めた。

肥効率＝｛(U_M－U_{N0})／N_M｝/a

U_M　：消化液施用区の窒素吸収量(kg/10a)

ただし、化学肥料併用区では、｛U_M －(N_F×a)｝をU_M として用いた。

N_F　：併用した化学肥料窒素量

U_{N0}　：無窒素区の窒素吸収量(kg/10a)

N_M　：施用した消化液中の窒素量　(kg/10a)

a　：化学肥料窒素の利用割合　(kg/kg)

イ．消化液のカリウムの肥効率は以下の式で求めた。

肥効率＝｛(U_M－U_{N0})／N_M｝／a

U_M　：消化液施用区のカリウム吸収量(kg/10a)

U_{N0}　：無窒素区のカリウム吸収量(kg/10a)

N_M　：施用した消化液中のカリウム量　(kg/10a)

a　：化学肥料カリウムの利用割合(kg/kg)＝(U_F－U_{N0})/N_F

U_F　：化学肥料区(対照区)のカリウム吸収量(kg/10a)

N_F　：併用した化学肥料カリウム量(kg/10a)

5　調査結果(及び考察)

(1)てんさいに対する施用法

湧別圃場2001年、訓子府圃場2002年・2003年の各消化液施用区ではホウ素を施用しなかったためホウ素欠乏が発生した。さらに、湧別圃場2003年・2004年の消化液施用区でそう根病が発生した。このため、消化液のてんさいに対する影響は、訓子府圃場(2004年)のみで評価した。ただし、そう根病は訓子府では発生しておらず、消化液は病害発生原因ではなかった。

先ず、てんさいの収量、窒素・リン酸吸収量および窒素の肥効率を表3に、カリウムの吸収量と肥効率を表4に示した。

対照区(化学肥料N施肥量15kg/10a)と消化液3t－化学肥料N施肥量11kg区は、無機態窒素施用量、収量および修正糖量が同程度であった。また、この区で消化液の窒素およびカリウムの肥効率は、全窒素で0.3、アンモニウム態窒素で0.5、カリウムで1.0であった。

次に、てんさいに対する消化液の施用方法について、てんさいの窒素吸収量と土壌内での施用窒素の分布を元に検討した。具体的には、表面施用した区と土壌混和した区を設け、施用後3週目にそれぞれの土壌深さ別の無機態窒素増減量を無施用区との差し引き法で求めた。先ず、てんさいの窒素吸収量は消化液を表面施用した場合で土壌混和した場合に比べて、1t当たり約1kg少なく(図1)、肥効率も低かった(表3)。続いて、土壌内での消化液窒素の分布を検討した(図2)。その結果、土壌混和された消化液の窒素は硝酸態窒素に変化して5cm以深に存在した。一方、表面施用された消化液の窒素はアンモニウム態窒素として作土の極表層に存在し、土層中の無機態窒素総量は混和した場合より消化液1t当たり0.9kg少なかった。なお、大気中への揮散がないカリウムでは吸収量、肥効率に施用方法の影響は認められなかった(表4)。ゆえに、消化液を表面施用すると、消化液1t当たり約1kgの窒素が揮散し肥効率が低下すると考えられた。以上のことから、消化液の肥効率を高めるには施用後土壌と混和することが望ましいと判断した。

続いて、てんさいに対する消化液の施用適量を、栽培跡地土壌の化学性、施用後の散布ムラ、てんさいの道施肥標準量から検討した。先ず、消化液を施用してんさいを栽培した跡地土壌で、消化液に多く含まれる窒素、カリウムの濃度を測定した。その結果、消化液を5t/10a施用しても、熱水抽出性窒素および交換性カリウムは増加しなかった(表5)。ただし、消化液を5t/10aも施用すると、排水性が良好な訓子府町の圃場でも消化液が表面に停滞し低みに流去して散布ムラが生じた(写真1、2)。さらに、カリウムの道施肥標準量(15kg/10a前後)を供給する消化液施用量は、消化液の平均的なカリウム濃度を0.5%、カリウムの肥効率を1として計算すると、3t/10aであった。以上から、てんさいに対する消化液の施用適量は3t/10aと判断された。

表3　てんさいの収量、窒素・リン酸吸収量および窒素の肥効率調査結果

収穫年	化学肥料N施肥量 (kg/10a)	消化液施用量 (t/10a)	施用消化液中の量 N (kg/10a)	施用消化液中の量 NH_4-N (kg/10a)	施用量計 N (kg/10a)	施用量計 無機N (kg/10a)	茎葉重 (kg/10a)	根重 (kg/10a)	T/R比	修正糖量 (kg/10a)	吸収量 N (kg/10a)	吸収量 P_2O_5 (kg/10a)	肥効率 N	肥効率 NH_4-N
						― 訓子府 ―								
2004	0	0	–	–	0.0	0.0	1.4	3.7	0.39	521	7.2	3.3	–	–
	15	0	–	–	15.0	15.0	4.7	6.7	0.70	1149	20.2	6.9	–	–
	8	3(混和)	9.3	5.4	17.3	13.3	3.8	6.5	0.58	1140	15.6	4.5	0.2	0.3
	11	3(混和)	9.3	5.4	20.3	16.4	4.7	6.7	0.70	1187	19.1	7.0	0.3	0.5
	14	3(混和)	9.3	5.4	23.3	19.3	4.7	6.7	0.71	1153	20.4	7.0	0.1	0.2
	11	3(表面)	9.3	5.4	20.3	16.4	3.9	6.7	0.58	1181	16.7	5.4	0.0	0.0
	14	3(表面)	9.3	5.4	23.3	19.3	4.4	6.5	0.69	1126	18.5	5.1	0.0	0.0

表4　消化液に含まれるカリウムのてんさいに対する肥効調査結果

収穫年	化学肥料N施肥量 (kg/10a)	消化液施用量 (t/10a)	カリウム施用量 化学肥料 (kg/10a)	カリウム施用量 消化液 (kg/10a)	カリウム施用量 計 (kg/10a)	吸収量 K_2O (kg/10a)	肥効率
	0	0	17.5	0.0	17.5	19.0	
	15	0	17.5	0.0	17.5	38.6	
	8	3(混和)	0.0	15.0	15	33.1	0.9
2004	11	3(混和)	0.0	15.0	15	38.4	1.0
	14	3(混和)	0.0	15.0	15	36.9	1.0
	11	3(表面)	0.0	15.0	15	36.0	0.9
	14	3(表面)	0.0	15.0	15	38.3	1.0

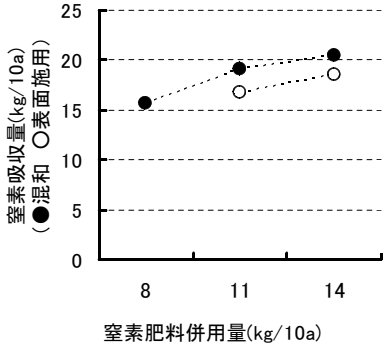


図1　消化液の施用方法がてんさいによる窒素吸収量に及ぼす影響
(消化液施用量3t/10a、2004年、訓子府)

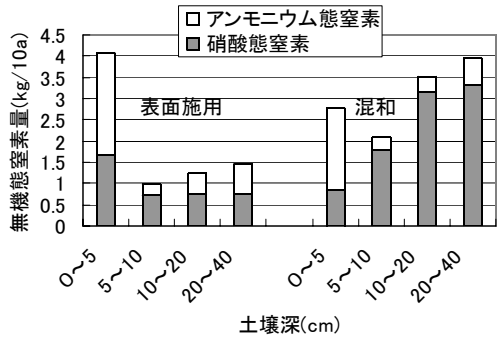


図2　消化液施用方法が異なる圃場での土壌無機態窒素量の土壌深別比較
(施用3週目　2004年、訓子府)

表5　栽培跡地土壌の化学性

消化液施用量	pH	熱抽N (mg/100g)	交換性K_2O (mg/100g)
0t	5.6	4.2	49.1
3t	5.2	4.0	37.8
5t	5.3	3.8	40.6

(2003年、訓子府)



写真1　消化液施用時の散布状況
(図中円内の低みに消化液が集まり停滞した)

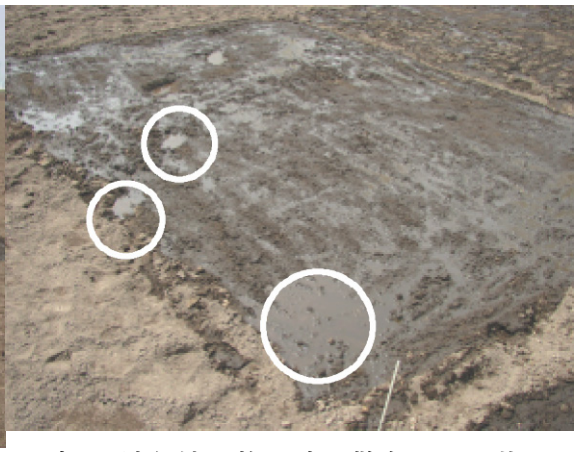


写真2　消化液5t施用時の散布ムラの状況
(消化液が表面に停滞し、低み(円内)に集中した)

(2) ばれいしょに対する施用法

ばれいしょに対する消化液の施用効果と肥効率の調査結果を年度別に表6に示した。

先ず、ばれいしょに対する消化液の肥効率を検討した(表6)。なお、湧別町圃場は草地からの転換畑であった。このため、栽培跡地土壌の熱水抽出性窒素は転換初年目の2001年は7.3mg/100g、転換2年目の2002年は7.5mg/100gと高かった。さらに、両年の消化液の窒素の肥効率は他年よりも明らかに低かった。そこで、これらの区は肥効率の評価する際に除外した。これら区を除いて、対照区(窒素施肥量8kg区)と無機態窒素施用量、窒素吸収量および収量が同程度であった処理区は2004年の湧別町圃場の2.5t-4kg区(反当たり消化液施用量－化学肥料N施肥量：以下同じ)と5t－0kg区、ならびに、2003年の訓子府町圃場の3t－3kg区と5t－0kg区であった(表6)。これらの区の消化液の肥効率を平均した結果、全窒素0.3、アンモニウム態窒素0.5、カリウム0.7であった。

次に、ばれいしょに対する消化液の施用方法について、窒素の吸収量から検討した(表6、図4)。ばれいしょによる窒素吸収量は表面施用で土壌混和より消化液1t当たり0.1～0.8kg少なく、かつ、肥効率は低下した(図3)。さらに、消化液を土壌に混和する場合も、施用翌日混和した場合は当日混和した場合より窒素吸収量が少なく、肥効率は低下した(図3)。また、土壌の無機態窒素の分布は測定していないが、てんさいの試験結果と同様に、表面施用した場合は極表層にアンモニウム態窒素で存在すると考えられた。一方、大気に揮散しないカリウムの吸収量は施用方法の影響を受けなかった(表6)。以上のことから、消化液を表面施用すると消化液の窒素は揮散し、肥効率は低下する考えられた。ゆえに、消化液の肥効率を高めるには施用して早期に土壌と混和することが望ましいと判断された。

続いて、ばれいしょに対する消化液の施用適量について、栽培跡地土壌の化学性、ばれいしょの道施肥標準量から検討した。先ず、消化液を施用し、ばれいしょを栽培した跡地土壌の化学性を測定した結果を表7に示した。消化液施用跡地で熱水抽出性窒素、有効態リン酸、交換性カリウムが富化されていた。具体的には消化液5t/10a施用ではぞれぞれ0.7mg/100g、3.6mg/100g、5.7mg/100g増加した。このように、ばれいしょに消化液を施用した跡地では交換性カリウムが明らかに増加していた。しかし、消化液3t/10ａ施用では交換性カリウムの増加は約1mg/100gであり、消化液の土壌化学性への影響は小さかった。続いて、カリウムの道施肥標準量(15kg/10a前後)を供給する消化液施用量は、消化液の平均的なカリウム濃度を0.5%、カリウムの肥効率を1として計算すると約3t/10aであった。さらに、てんさいの結果と同様に、消化液を5t/10a施用すると施用ムラが生じることが懸念された。以上のことから、ばれいしょに対する消化液の施用適量は3t/10aと判断された。

表6　ばれいしょに対する消化液の施用効果と肥効率

年度	化学肥料施肥量 (kg/10a)		消化液施用量	施用消化液中の量 (kg/10a)			施用量計 (kg/10a)			上いも重(kg/10a)		吸収量(kg/10a)			肥効率		
	N	K_2O	(t/10a)	N	NH_4-N	K_2O	N	無機N	K_2O	kg/10a	相対値	N	P_2O_5	K_2O	N	NH_4-N	K_2O
								― 湧別 ―									
2001	8	10.4	0				8	8	10.4	2642	100	12.5	4.7	13.4			
	0	0	4混和	6.8	3.6	22.4	6.8	3.6	22.4	2849	108	11.9	4.6	10.2			
2002	8	10.4	0				8	8	10.4	3982	100	12.3	5.0	14.6			
	0	0	0				0	0	0	3067	77	9.0	3.7	10.7			
	4	0	2.5混和	14.4	7.2	13.3	18.4	11.2	13.3	2692	68	7.6	2.9	11.3	0.0	0.0	0.1
	0	0	5混和	28.8	14.4	27.5	28.8	14.4	27.5	3588	90	10.6	3.8	14.4	0.1	0.3	0.4
	0	0	5表面	28.8	14.4	27.5	28.8	14.4	27.5	2318	58	6.5	2.7	7.8	0.0	0.0	–
2004	8	10.4	0				8	8	10.4	3463	100	8.7	9.1	14.2			
	0	0	0				0	0	0	2427	70	6.1	6.5	9.7			
	4	5.2	2.5混和	7.8	4.5	12.0	12.5	**8.5**	17.2	3274	**95**	9.4	9.5	14.9	**0.3**	**0.4**	**0.7**
	0	0	5混和	15.5	9.0	24.0	15.5	**9**	24.0	3793	**110**	10.0	9.8	15.7	**0.3**	**0.4**	**0.6**
	0	0	5表面	15.5	9.0	24.0	15.5	9	24.0	3787	109	9.5	9.7	15.7	0.2	0.4	0.6
								― 訓子府 ―									
2003	8	14.0	0				8	8	14.0	3843	100	8.4	2.6	21.4			
	0	14.0	0				0	0	14.0	1832	48	3.4	1.9	11.9			
	0	0	3混和	10.8	6.0	14.4	10.8	6	14.4	3333	87	6.1	2.5	18.4	0.3	0.5	0.7
	3	0	3混和	10.8	6.0	14.4	13.8	**9**	14.4	3924	**102**	8.2	2.8	22.0	**0.3**	**0.5**	**1.0**
	6	0	3混和	10.8	6.0	14.4	16.8	12	14.4	4802	125	10.3	3.5	26.4	0.2	0.4	1.5
	0	0	5混和	18.0	10.0	24.0	18.0	**10**	24.0	4060	**106**	9.3	2.9	22.3	**0.3**	**0.6**	**0.6**
2003	7	12.3	0				7	7	12.3	4775	100	7.6	7.6	28.3			
	0	12.3	0				0	0	12.3	4238	89	6.2	6.2	24.1			
	0	0	4混和a	14.4	8.0	19.2	14.4	8	19.2	6305	132	9.1	9.1	34.0	0.2	0.4	1.5
	0	0	4混和b	14.4	8.0	19.2	14.4	8	19.2	5023	105	7.8	7.8	28.2	0.1	0.2	0.6

注)4混和aは施用当日混和し、4混和bは施用翌日混和した。何れも6㎡の枠試験結果である。
消化液の肥効率は対照区と下線を伏した処理区で平均して求めた。

表7　消化液施用量が異なるばれいしょ栽培跡地の土壌化学性(2003年、訓子府)

消化液施用量	pH	熱水抽出性窒素	有効態リン酸	交換性塩基		
				K_2O	MgO	CaO
				(mg/100g)		
0t/10a	6.4	4.1	10.0	36.1	38.1	265
3	6.3	4.6	12.6	37.5	36.9	238
5	6.4	4.8	13.6	41.8	38.8	249

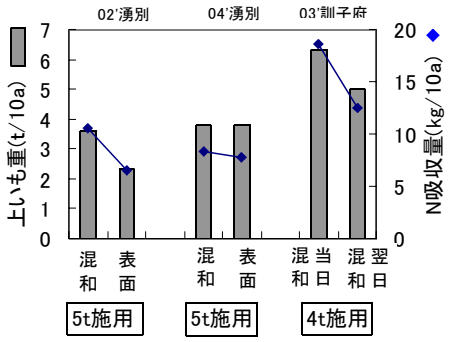


図3　消化液の施用方法および施用から混和までの時間を異にした場合の上いも重の比較

(3)　秋まき小麦に対する施用法

秋まき小麦に対する消化液の施用効果と肥効率を年度別に表8に示した。

先ず、秋まき小麦に対する消化液の肥効率を求めた(表8)。なお、湧別町圃場は草地からの転換畑であった。このため、転換初年目の2002年の収穫跡地土壌の熱水抽出性窒素は12.0mg/100gと極めて多かった。そこで湧別町圃場の2002年結果は消化液の肥効率評価から除外した。対照区(化学肥料12～14kgN/10a施用区)と2003年訓子府町圃場の消化液6.3t追肥区と2004年訓子府町圃場の消化液2.5t追肥区と消化液4.5t追肥区は、無機態窒素施用量、収量および窒素吸収量が同程度であった。これらの区の消化液の肥効率を平均した結果、全窒素0.7、アンモニ

ウム態窒素1.0、カリウム0.8であった(表8)。ただし、これらの区のカリウム施用量は化学肥料と合わせて21～33kg/10aであり、平均吸収量の17kg/10aより過剰な量が施用されていた。このため、消化液の施用量が少ない場合、消化液に含まれるカリウムの肥効率は0.8以上となると考えられた。

次に、秋まき小麦に対する消化液の施用方法について、生育・収量と窒素の肥効率から検討した(表8)。ただし、同一年度で基肥として土壌混和した区と追肥として表面施用した区が無かった。このため、2003年の湧別町圃場と、2003年度、2004年度の訓子府圃場について、生育・収量は対象区との相対値で、また窒素の肥効率は相互に比較した。その結果、秋まき小麦では消化液を追肥として表面施用したほうが生育・収量、窒素の肥効率は高かった(表8)。このように、秋まき小麦ではてんさい及びばれいしょと消化液の適施用方法が異なった。この原因は、第一に表面施用する4月のほうが土壌混和する9月よりも気温が低く窒素揮散が抑えられたと考えられること(表2)、第二に土壌混和では越冬前の生育と窒素吸収が限られるため吸収されなかった窒素が根域外に流亡してしまうためと考えられる。以上から、消化液の窒素肥効率を高め、環境への影響を抑えるためにも、秋まき小麦に対して消化液は起生期追肥として利用するべきと判断された。

続いて、秋まき小麦に対する消化液の施用適量について、栽培跡地土壌の化学性、秋まき小麦の道施肥標準量から検討した。先ず、消化液を施用し、秋まき小麦を栽培した跡地土壌の化学性を測定し、結果を図4に示した。消化液施用で交換性カリウムは明らかに増加した。具体的には、2.5t施用で約4mg、4.5t施用で約8mg増加した。ただし、熱水抽出性窒素は変化しなかった。続いて、カリウムの道施肥標準量(10kg/10a前後)を供給する消化液の施用量は、消化液の平均的なカリウム濃度を0.5%、カリウムの肥効率を1として計算すると約2t/10aであった。さらに、てんさいの結果と同様に、消化液を5t/10a施用すると施用ムラが懸念された。以上のことから、秋まき小麦に対する消化液の施用適量は約2t/10aと判断された。

表8　秋小麦に対する消化液の施用効果と肥効率

年度	化学肥料施肥量 (kg/10a)			消化液施用量 (t/10a)		施用消化液中の量 (kg/10a)			施用量計 (kg/10a)			乾物重			吸収量(kg/10a)			肥効率		
	N(基肥)	N(追肥)	K_2O	基肥	追肥	N	NH_4-N	K_2O	N	無機N	K_2O	稈重 (kg/10a)	子実重 (kg/10a)	相対値	N	P_2O_5	K_2O	N	NH_4-N	K_2O
										― 湧別 ―										
2002	0	0	0						0	0	0	334	360	64	8.0	4.2	5.8			
	7	7	8.4						14.0	14.0	8.4	493	560	100	10.8	6.0	12.4			
	0	0	0	2.5	4.5	26.2	11.2	37.2	26.2	11.2	37.2	470	470	84	10.0	5.4	10.1	0.4	0.9	0.1
	0	0	0	4	3	26.8	10.7	37.6	26.8	10.7	37.6	471	506	90	10.3	5.4	9.8	0.4	1.1	0.1
2003	0	0	0						0	0	0	330	281	51	5.5	2.7	5.3			
	5.6	7	12						12.7	12.7	11.9	506	551	100	9.3	4.4	9.5			
	0	0	0	2.5	4.5	22.0	12.7	36.9	22.0	12.7	36.9	526	489	89	8.3	4.5	9.8	0.4	0.7	0.3
	0	0	0	4	3	20.5	11.5	37.2	20.5	11.5	37.2	495	449	81	7.7	4.1	8.9	0.4	0.6	0.3
										― 訓子府 ―										
2003	0	0	8.5						0	0	8.5	496	491	71	7.7	－	－			－
	4	8	8.5						12.0	12.0	8.5	610	687	100	12.4	－	－			－
	4	0	8.5	0	6.3	15.8	7.6	22.7	19.8	11.6	31.2	628	689	**100**	11.9	－	－	**0.5**	**0.9**	－
2004	0	0	8.5						0	0	8.5	437	366	62	6.7	3.8	10.5			
	4	8	8.5						12.0	12.0	8.5	588	588	100	12.5	4.2	13.1			
	4	4	8.5	0	2.5	7.8	4.5	12.0	15.8	12.5	20.5	639	603	**103**	14.0	5.0	15.2	**0.9**	**1.6**	**0.7**
	4	0	8.5	0	4.5(畝間)	14.0	8.1	24.0	18.0	12.1	32.5	634	568	**97**	12.7	4.7	18.5	**0.6**	**1.0**	**0.8**
	4	0	8.5	0	4.5(株上)	14.0	8.1	24.0	18.0	12.1	32.5	666	631	**107**	14.5	5.7	19.4	**0.9**	**1.5**	**0.9**

注)2003年湧別で基肥として施用された無機態窒素量は5kg/10a(2.5t区)、8kg/10a(4t区)であった。

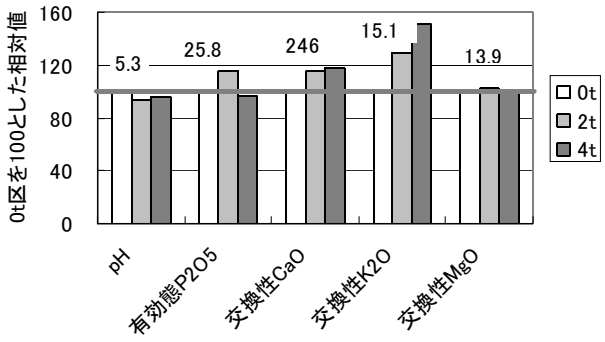


図4　　土壌化学性に及ぼす消化液施用の影響(栽培跡地)
注）図中数字は0t区の実数

(4)　緑肥作物に対する施用法

緑肥作物(えん麦、シロカラシ、ひまわり)に対する消化液の施用効果と肥効率を作物別に表9に示した。

先ず、これら作物に対する肥効率を求めた(表9)。

えん麦では、対照区(化学肥料N施肥量が4kg/10a、8kg/10a)と消化液2t/10ａ区、4t/10a区は収量、窒素吸収量および施用無機態窒素量がほぼ同量であった(表9)。これらの区の消化液の肥効率の平均値は、全窒素0.5、アンモニウム態窒素1.0、カリウム0.5であった。ただし、えん麦栽培跡地土壌の交換性カリウム濃度は47.1mg/100gと極めて高かった。このため、カリウムの肥効率は低く求められていたと考えられる。

シロカラシ・ひまわりは、対照区と施用無機態窒素量および乾物収量が同等となった区の肥効率は、全窒素で0.3、0.3(シロカラシ、ひまわりの順)、アンモニウム態窒素で0.6、0.5(同順)、カリウムで0.8、0.4(同順)であった。

このように、えん麦、ひまわりはカリウムの肥効率がシロカラシよりも低かった。しかし、これら作物へのカリウムの総施用量は15～31kg/10aと吸収量(平均11～16kg/10a)より明らかに多かった。このため、カリウムの肥効率が低かったと考えられた。

なお、えん麦、シロカラシ、ひまわりの肥効率を平均すると、全窒素0.4、アンモニウム態窒素0.8であった。

次に、緑肥作物(えん麦、シロカラシ)に対する消化液の施用方法について、生育量、窒素吸収量から検討した。先ず、これら作物に消化液を追肥として表面施用した結果、消化液が付着した部分は枯死して、その後の生育と窒素吸収が抑制された(表9、図5)。ゆえに、これら緑肥は消化液を施用する場合、基肥として施用する必要があると判断された。

続いて、緑肥作物(えん麦、シロカラシ、ひまわり)に対する消化液の施用適量について、栽培跡地土壌の化学性から検討した。先ず、えん麦栽培圃場で10月末に栽培跡地の化学性を調査した(図6)。その結果、消化液を6t/10a施用するとｐH、熱水抽出性窒素に影響はなかったが、交換性カリウムが明らかに増加した。具体的には、消化液6t中にはカリウムが31kg/10a程度含まれており、交換性カリウムは10mg/100g増加した。ただし、消化液を4t/10a施用では、消化

液にはカリウムが約20kg含まれるが栽培跡地土壌の交換性カリウムは無施用区と大差がなかった。続いて、カリウムの道施肥標準量(えん麦：最大5kg/10a、ひまわり：最大10kg/10a、シロカラシ：最大7kg/10a)を供給する消化液の施用量は、消化液の平均的なカリウム濃度を0.5%、カリウムの肥効率を1として計算すると最大約2t/10aであった。なお、試験区のカリウム吸収量は8.2～16.9kg/10aを供給する消化液の施用量は、同様に計算して1.7～3.4t/10aであった。以上のことから、緑肥に対する消化液の施用適量は約3t/10aと判断された。

最後に、消化液の残効性を評価した。具体的には、消化液を施用して栽培したえん麦を土壌に鋤込み、翌年度にてんさいを栽培して窒素吸収量を調査し(表10)、さらに、てんさい栽培跡地土壌の熱水抽出性窒素濃度を測定した(表11)。なお、後作てんさいへの窒素施肥量は16kg/10aに揃えた。また、鋤込まれたえん麦は乾物重で500～600kg/10aであった。先ず、後作物であるてんさいの窒素吸収量は、緑肥えん麦に施用した消化液1ｔ当たり約1.5kg程度増加していた。ゆえに、消化液を施用して栽培した緑肥を鋤込んだ場合、次作物への施肥量は北海道緑肥作物栽培利用指針(平成16年3月　北海道農政部)に従い減肥対応が必要である。ただし、てんさい収穫跡地の熱水抽出性窒素に消化液施用の影響はなかった。ゆえに、消化液中の窒素の次作への残効は小さいと考えられた。

表9　　緑肥作物に対する消化液の施用効果と肥効率

作物	化学肥料施肥量(kg/10a)		消化液施用量	施用消化液中の量(kg/10a)			施用量計(kg/10a)			乾物重		吸収量(kg/10a)			肥効率		
	N	K_2O	(t/10a)	N	NH_4-N	K_2O	N	無機N	K_2O	kg/10a	相対値	N	P_2O_5	K_2O	N	NH_4-N	K_2O
えん麦	0	0	0				0	0	0	236	40	2.4	1.4	4.7			
	4	5.6	0				4	4	5.6	531	90	4.4					
	8	10.4	0				8	**8**	10.4	593	**100**	7.1	3.2	15.8			
	0	0	2	7.6	4.2	9.8	7.6	4.2	9.8	532	90	4.9	2.7	10.1	0.6	1.1	0.5
	0	0	4	15.2	8.4	17.6	15.2	**8.4**	17.6	587	**99**	6.0	3.1	12.1	0.4	0.8	0.4
	0	0	2+2	15.4	8.4	20.2	15.4	8.4	20.2	443	75	5.5			0.5	0.7	
	0	0	2+4	23.2	12.6	30.6	23.2	12.6	30.6	507	85	5.5			0.3	0.5	
シロカラシ	0	0	0				0	0	0	81	14	0.9	0.5	2.2			
	8	10.4	0				8	**8**	10.4	560	**100**	11.3	3.8	12.6			
	0	0	4	15.2	8.4	17.6	15.2	**8.4**	17.6	537	**96**	6.8	3.6	16.9	0.3	0.5	0.8
	0	0	2+2	15.4	8.4	20.2	15.4	8.4	20.2	442	79	7.2	2.9	16.3	0.3	0.6	－
ひまわり	0	0	0				0	0	0	112	28	1.4	0.6	3.3			
	6	8.4	0				6	**6**	8.4	403	**100**	4.8	1.9	11.4			
	0	0	3	11.4	6.3	14.7	11.4	**6.3**	14.7	305	**76**	3.3	1.4	8.2	0.3	0.5	0.4

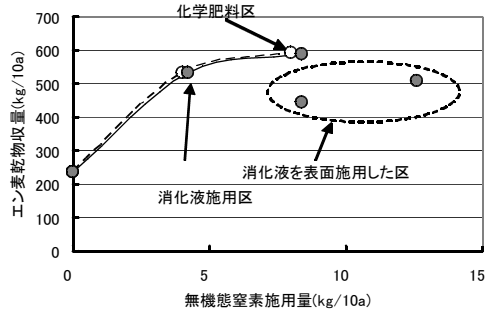


図5 無機態窒素施用量とえん麦の乾物収量の関係

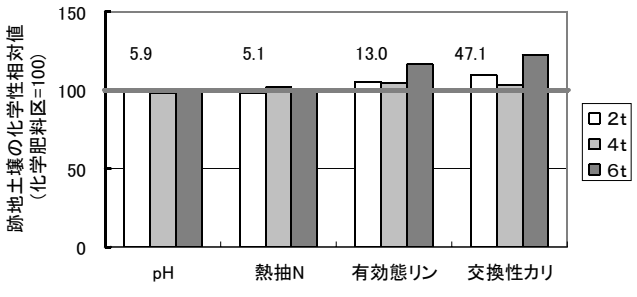


図6 土壌化学性に及ぼす消化液施用の影響
(えん麦跡地で2001年10月29日に調査した)

表10　緑肥鋤込み跡地で栽培したてんさいの窒素吸収量

緑肥(前作)への施肥・消化液施用量	N吸収量(kg/10a) 緑肥(前作)	てんさい(次作) 吸収量	無窒素区との差	消化液1t当たり窒素吸収増加
無窒素	2.4	19.2	−	−
N4kg	4.4	16.0	0.0	−
N8kg	7.1	23.8	4.6	−
消化液2t	4.9	24.1	4.9	2.5
消化液4t	6.0	22.2	3.0	0.8

(2002年　訓子府)

表11　緑肥の次作物栽培跡地の熱水抽出性窒素濃度　(2002年秋)

消化液施用量	0t	2t	4t
熱抽窒素	5.6	5.5	5.8

注)消化液は2001年にえん麦に施用しえん麦は鋤込み、2002年てんさいを栽培した。値は2002年秋、てんさい栽培跡地土壌の分析値

(5)　畑作物に対する施用効果のまとめ

①　消化液の肥効率について

消化液には窒素、カリウムが高濃度に含まれるが、リン酸濃度はこれら養分の1/2～1/5と低い。リン酸の過剰蓄積はそうか病発生を助長する報告もあるが(後藤,2003)、道内の普通畑の可給態リン酸濃度は平均21mg/100gでほぼ適正水準にある(平成8年､北海道農政部)。加えて､春の低温の北海道では生育停滞を回避するため施肥標準量が多く設定されている。以上から、有機質資材施用に伴うリン酸減肥量は畑作物、水稲、野菜では設定されてこなかった。一方、窒素やカリウムは作物の収量･品質、環境保全への影響が大きく、かつ、有機物に含まれるこれらの肥効率はリン酸に比べて高い。そのため、有機質資材施用に伴い減肥が指導されてきた。そこで､消化液についても窒素とカリウムのみ肥効率を設定した。

てんさい、ばれいしょ、秋まき小麦、緑肥とも、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た。これら作物に対する消化液の窒素、カリウムの肥効率は表12のとおりであり、ふん尿スラリーの施用指針(表13)とほぼ同じであった。ただし、消化液の窒素の肥効率は消化液の施用方法で変化した。先ず、てんさい、ばれいしょ、緑肥では、消化液を表面施用した場合は土壌混和した場合より肥効率が低下した。さらに、施用翌日に混和した場合は当日に混和した場合より肥効率は低下した。このように、消化液を表面施用した場合に肥効率が低下するのは、消化液のpHは8以上と高く、かつ、アンモニウム態窒素が多いことから、窒素揮散が原因と考えられた。さらに、えん麦やシロカラシで追肥として表面施用した場合に肥効率が低下するのは、消化液が付着した部分が枯死することが原因であった。ただし、秋まき小麦では秋期に基肥施用として土壌と混和するよりも、起生期に表面施用したほうが窒素の肥効率は高かった。このように、秋まき小麦で表面施用しても窒素の肥効率が低下しない原因は、施用時の気温が起生期のほうが低いため、窒素揮散が抑えられることと、基肥施用した場合は越冬前までの窒素吸収量が少なく残りは流亡するためと考えられた。

以上のように、消化液の窒素の肥効率は、施用方法で変化する。いずれにせよ、作物に吸収されず土壌に残存した窒素は翌年に吸収されていないことから、周辺環境への影響を軽減するためにも窒素の肥効率を高めることは重要と考えられる。

表12　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 T-N	NH_4-N	K_2O	施用適量(10a)
表面施用	秋まき小麦（起生期追肥）	0.7	1.0	1.0	約2t
表面施用後混和	てんさい、ばれいしょ、緑肥（基　肥）	0.4	0.7	1.0	約3t

注）・緑肥はえん麦、シロカラシ、ひまわりを供試した。

表13　ふん尿スラリーの畑作物への施用指針

施用法	対象作物	成分肥効率 NH_4－N（T－N）	K_2O
表面施用	小麦（起生期追肥） てんさいなど（追肥）	0.5～0.7 (0.25～0.35)	1
表面施用後混和	すべての畑作物（播種直前）	0.7 0.35	1

② 消化液の施用適量について

消化液の施用が栽培跡地土壌の化学性に及ぼす影響、各種作物の道施肥標準量を満たす消化液の施用量、施用時の散布ムラについて調査し、てんさい、ばれいしょ、秋まき小麦、緑肥に対する施用適量を検討した。

先ず、消化液の施用が土壌の化学性に及ぼす影響を調査した。消化液には窒素とカリウムが高濃度で含まれている。ゆえに、消化液の施用が土壌の化学性に及ぼす影響は熱水抽出性窒素と交換性カリウムで他の項目より大きいと考えられる。そこで、施用試験跡地土壌でこれら成分を調査した。その結果、特に、交換性カリウムへの影響が大きく、平均して6t施用で約10mg、5t施用で約7mgと明らかに高まったが、3t施用では3mg程度しか増加しなかった。一方、交換性カリウムの増加を抑えるためにはカリウムの施肥標準量以内で消化液を施用するべきである。このような消化液の施用量を、平均的な消化液のカリウム濃度を0.5%、カリウムの肥効率を1として計算した。その結果、消化液の施用適量はてんさい、ばれいしょ、緑肥は3t程度、秋まき小麦は2t程度であった。

なお、この施用量は消化液の散布ムラを防ぐためにも有効と考えられた。なぜなら、消化液より水分が低いふん尿スラリーでも表面流去が発生しないように畑地への施用量は4～5t/10a以内と指導されており(平成11年、指導参考、十勝農試)、ふん尿スラリーよりも高水分である消化液では表面流去による散布ムラを防ぐためには施用量がふん尿スラリーより少ないことが望ましいためである。実際に、本試験で消化液を5t/10aすると消化液が表面流去して散布ムラが生じた。

以上のことから、消化液の各種畑作物への施用適量は表12のようにまとめられた。

(6)小括

① 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、消化液の肥効率は全窒素0.5、アンモニウム態窒素で0.8、カリウムは1.0で計算する。

② 消化液の窒素肥効率は表面施用、施用翌日の混和で低下する。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、小麦では起生期に施用するほうが基肥として施用するより肥効率は高い。

③ えん麦、シロカラシは消化液が付くと枯死するため基肥として使用する。

④ 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程度である。

6　残された課題

畑地に対する施用法の試験結果は、地表面近くからの全面施用条件で得られたものである。ゆえに、アンモニウム揮散を低減する施用法における肥効評価は今後の残された課題である。

7　おわりに

試験実施に当たっては、湧別農業協同組合、遠軽町、ホクレン北見支所に多大の御協力を頂いた。記して感謝申し上げます。

１　課題名

3)　施用法の窒素動態に及ぼす影響

２　担当場所研究科室名

（独）北海道開発土木研究所　農業開発部　土壌保全研究室

３　はじめに

最近、北海道において家畜糞尿を原料とした嫌気発酵（メタン発酵）プラントがいくつか稼働するようになり、家畜糞尿の嫌気発酵消化液（以下、消化液）が液肥として草地に還元されるようになってきた。北海道においては、家畜糞尿を発酵処理しない新鮮なスラリー（以下、原料スラリー）の形で草地還元している例も多い。このため、北海道において合理的な家畜糞尿の資源循環利用体系を確立するためには、原料スラリーと消化液の性状差を明らかにし、それぞれの最適な圃場施用法を確立することが重要となる。しかし、これらの成分と施用による環境負荷の比較検討はほとんどなされていない。そこで、同一の原料スラリーから室内ファーメンターにより消化液を作成し、その成分を比較するとともに、これらを両資源循環試験施設の草地圃場および畑地圃場に散布したときのアンモニア揮散および土壌中窒素成分の変化を比較検討した。

４　調査・試験方法

1)　供試液の作成

(1) 室内試験用供試液

札幌近郊の町村牧場で運営されているバイオガスプラントのスラリー受入槽から原料スラリーを採取し、その一部を室内ファーメンターで嫌気発酵（発酵条件：36℃、30日間）させて消化液を作成した。残りは原料スラリーの供試液とした。なお、プラントからの原料スラリーの採取は室内試験開始の２ヶ月前に行った。

(2) 圃場試験用供試液

供試した消化液は別海プラントの受入槽から採取した原料スラリーの一部を室内ファーメンターにより36℃で30日間嫌気発酵させて作成した。残りは原料スラリーの供試液とした。なお、プラントからの原料スラリーの採取は圃場試験開始の２ヶ月前に行った。

(3) 供試液の分析

室内試験、圃場試験とも、最初の試験の実施５日前に各供試液について下記の分析を行った。

①pH(H_2O)：ガラス電極法（試料：蒸留水＝1:1)、②乾物含量：炉乾燥法(105℃)、③全窒素：ケルダール法・水蒸気蒸留法、④アンモニウム態窒素：10%塩化カリウム溶液抽出法・水蒸気蒸留法。

供試液の性状を表1に示す。

表1.　供試液の性状

試験区分	供試液	pH	DM (FM%)	T-N (FM%)	NH_4-N (FM%)	NH_4-N/T-N×100 (%)
室内試験	原料スラリー	7.95	6.41	0.38	0.23	60.5
	消化液	8.16	4.14	0.38	0.26	68.4
別海5月	原料スラリー	7.33	7.16	0.44	0.23	52.3
	消化液	7.39	4.70	0.41	0.27	65.9
別海7月	原料スラリー	6.89	5.51	0.37	0.21	56.8
湧別9月	消化液	7.10	4.41	0.40	0.26	65.0

2)　チャンバー法によるアンモニア揮散測定における測定値の補正手法

アンモニア揮散量を測定する方法としてはいくつかの方法が知られているが、それぞれ一長一短がある。本試験ではチャンバー法を採用したが、本法では、狭いチャンバー内における揮散アンモニアを捕集し、測定するため、気候条件によってはチャンバー内に結露が生じ、結露中に揮散したアンモニアが吸着され、アンモニア揮散量が過小評価されるという欠点がある。したがって、チャンバー法での測定精度を上げるためには、アンモニア揮散を測定する毎に、ブランク値として、同一気候条件下で、チャンバー自体が揮散アンモニアの何%を回収できるのか（アンモニア回収率）を調べる必要がある。そこで、上述の各試験を行う毎に同時並行で次の手法でチャンバー自体のアンモニア回収率を求め、各試験で得られたアンモニア揮散量にこのアンモニア回収率の逆数を乗じて、チャンバーに生じた結露による揮散アンモニアの再吸着の影響を補正した。

アンモニア回収率の算出は、チャンバー内の中空に浮かせたステンレスバット内に濃度既知の硫酸アンモニウム溶液の一定量を入れ、そこに水酸化ナトリウム溶液を混合して液中のアンモニウム態窒素の全てを強制的にアンモニアとして揮散させてこれをチャンバー法で捕集し、硫酸アンモニウム溶液中のアンモニウム態窒素含量に対する捕集液中アンモニウム態窒素含量の割合(%)を求め、この値を用いた。

3)　室内試験の概要

(1) 土壌薄層上施用試験

供試土壌として、別海プラントの試験圃場造成前の草地の表土(Ap1層、黒色火山性土)を用いた。供試土700gを564cm^2のステンレスバットに厚さ約1cmで敷きつめ、-155kPaの水分ポテンシャルになるよう水分調整して一昼夜放置した後、揮散アンモニア捕集用チャンバー内に静置した。これに56.4g(1t/10aの施用量に相当)の供試液を一定量の蒸留水で希釈して施用し、チャンバー法による揮散アンモニアの捕集を行った。なお、希釈水の量は散布後の土壌水分ポテンシャルが-20kPaになるように決定した。揮散アンモニアは吸引ポンプにより10L/minで吸引し、150mLの0.5M H_2SO_4水溶液に導いて捕集した。捕集液は試験開始後10時間経過後までは１時間毎に、その後は24時間後、48時間後に捕集ビンごと交換した。採取した捕集液の一定量を取り、水蒸気蒸留・滴定法により捕集液中のアンモニア含量を求め、アンモニア揮散量を算出した。試験は2001年2月1～4日に行った。

(2) ステンレスバット上施用試験

前述の試験と同サイズのステンレスバットに、前述の試験の土壌水分調整に使用した蒸留水と同量の蒸留水を注ぎ入れ、チャンバー内に静置した。これに、56.4gの供試液を前

述の試験と同量の蒸留水で希釈して注ぎ入れ、ただちに試験を開始した。アンモニア揮散量の測定法は前述の試験と同様である。試験は2001年2月5～7日に行った。

4) 圃場試験の概要

(1) 試験区の設定

別海プラントおよび湧別プラントの草地試験圃場に下記の試験区（各1m²)を設けた。なお、前者の試験圃場の土壌は黒色火山性土、後者のそれは疑似グライ土である。

＜別海・湧別共通の試験区＞

①原料スラリー1t/10a施用区、②同3t/10a施用区、③同5t/10a施用区

②消化液　　1t/10a施用区、⑤同3t/10a施用区、⑥同5t/10a施用区

いずれの試験区も所定量の供試液を散水栓を取ったじょうろで均等に施用した。

＜湧別プラントのみの試験区＞

①表面散布区：消化液3L（3t/10aに相当）を散水栓付きのじょうろで均等に散布した。

②帯状散布区：消化液3L（3t/10aに相当）を試験区の中央に、散水栓を取ったじょうろで、幅5cm、長さ1mの帯状に施用した。

③溝切散布区：消化液3L（3t/10aに相当）を試験区の中央に溝切りした幅3cm、深さ4cm、長さ1mの溝に、散水栓を取ったじょうろで溢れないように流し込んだ。

(2) 試験時期　　別海：2004年5月26～30日（春施用時）

2004年7月28～8月1日（一番刈後）

湧別：2004年8月30日～9月4日（二番刈後）

(3) 試験方法

アンモニア揮散試験開始の前日に、施用前の土壌試料の採取を行った。試料の採取は0～2.5、2.5～5、5～10、10～15、15～20cmの５層に分けて行った。

試験当日は、まず、各試験区の右隅に設置したチャンバー枠内（0.25m²）に供試液を施用した。ただちにチャンバー法により揮散アンモニアの捕集を行い、後日、捕集液を水蒸気蒸留・滴定法により分析し、アンモニア揮散量を算出した。揮散試験は１日間行い、捕集液の交換は開始直後は1、2、3、5、7、10時間後、１日後に行った。チャンバー枠外への施用はチャンバー法による揮散アンモニアの捕集開始後ただちに行った。

試験開始１日後に各試験区において、施用後の土壌試料の採取を前述の手法と同様に行った。

土壌試料の分析は、採取した土壌試料の風乾細土を用いて、無機態窒素（硝酸態窒素＋アンモニウム態窒素)の分析を10%塩化カリウム溶液抽出法・還元水蒸気蒸留法で行った。

５　調査結果および考察

1) 室内試験

表1に示すように、消化液は原料スラリーに比べて、pH、アンモニア態窒素含量ともに高く、アンモニア態窒素の揮散が生じやすい性状を有しているといえる。この性状を反映して、ステンレスバット上への施用、液の下方浸透が許されない土壌

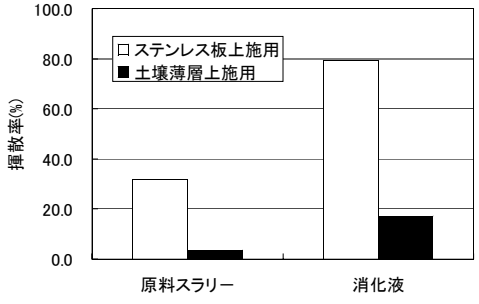


図１．　室内試験でのアンモニア揮散率

薄層への施用ともに、消化液の方が原料スラリーより、施用したアンモニウム態窒素量に対する揮散したアンモニア態窒素量の割合（以下、アンモニア揮散率）が高かった。しかし、ステンレスバット上への施用と土壌薄層上への施用ではアンモニア揮散率が大きく異なり、後者で大幅に抑制された（図１）。

このことから、消化液を液肥として施用する場合、液と大気との接触を極力抑え、土壌との接触を図ることが、アンモニア揮散による窒素損失を防ぐ上で、原料スラリーを施用する場合以上に、重要であることがわかった。

2)　圃場試験

(1)　原料スラリーと消化液とのアンモニア揮散の差異

前述のように、液そのものの性質としては原料スラリーより消化液の方がアンモニア揮散がしやすい性状を有しており、下方浸透を抑制した状態で土壌薄層へ施用した場合も消化液の方がアンモニア揮散が多いという結果となった。

しかしながら、圃場へ施用した場合、結果は全く逆となり、消化液で原料スラリーよりアンモニア揮散率が小さいという結果となった（図２、３、４）。圃場施用の場合、施用された供試液は下方へ浸透することが可能であることから、実際の圃場での施用の場合、液の浸透性がアンモニア揮散を決定する主要因であり､消化液の方が乾物含量が低いため、原料スラリーより浸透しやすく、アンモニア揮散率が低くなると結論できる。

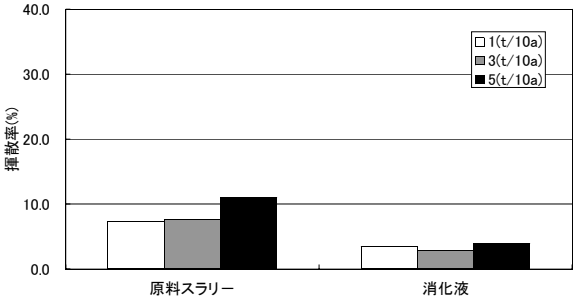


図２．　別海圃場での５月のアンモニア揮散率

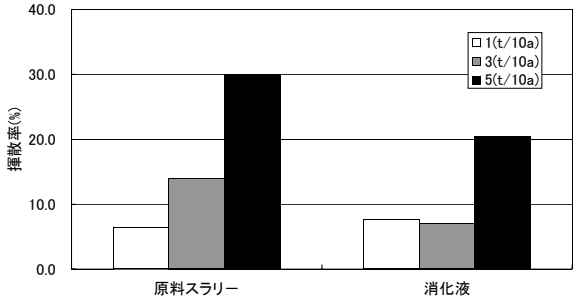


図３．　別海圃場での７月のアンモニア揮散率

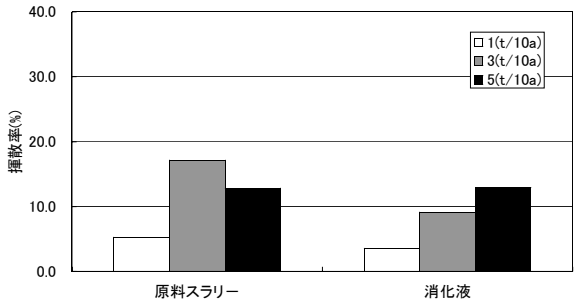


図４．　湧別圃場での９月のアンモニア揮散率

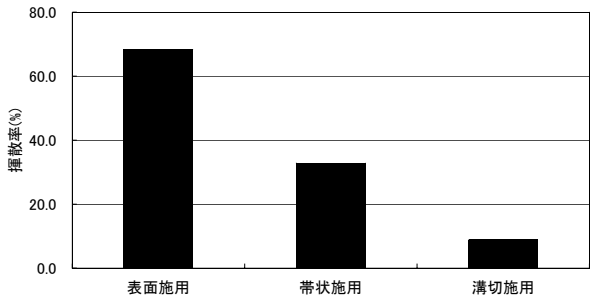


図５．　異なる施用法でのアンモニア揮散率

(2)　気温とアンモニア揮散の関係

別海プラントの同一試験圃場での同一施用量での５月（春施用、試験期間中の日平均気温の平均：13.4℃）と７月（１番刈後施用、同：23.5℃）でのアンモニア揮散率を比較すると、原料スラリー、消化液ともに、気温の高い７月での施用の方がアンモニア揮散率は高かった。消化液の場合、施用量3t/10aまでの場合、春夏問わずアンモニア揮散率は10%を下回ったが、７月の5t/10aの施用量では20%にもおよんだ（図２、３）。

したがって、気温の高い時期での大量施用は控えるべきである。

(3)　土壌とアンモニア揮散の関係

湧別プラントの試験圃場の土壌は別海プラントに比べて重力水孔隙量および飽和透水係数の値がともに小さく、透水性の低い土壌といえる（表２）。気温条件が同程度の湧別プラントでの試験結果（図４、試験期間中の日平均気温の平均：21.8℃）と別海プラントでの７月の試験結果（図３、試験期間中の日平均気温の平均：23.5℃）を比較しても、3t/10a施用区以外は別海プラントが上回っており、土壌の影響は明瞭ではなかった。

表２．　試験圃場の土壌物理性

試験圃場	層	容積重 (g/cm^3)	重力水孔隙 (Vol.%)	易有効水分孔隙 (Vol.%)	難有効水分孔隙 (Vol.%)	非有効水分孔隙 (Vol.%)	飽和透水係数 (cm/s)
別海	Ap1	0.80	4.6	15.5	22.3	26.8	1.08E-04
	Ap2	0.76	4.2	16.9	21.0	27.3	2.17E-03
	Ap3、A	0.50	8.0	20.0	18.1	29.1	2.96E-03
	C1	0.50	11.0	17.4	20.6	24.1	2.45E-02
湧別	Ap	1.21	2.0	5.1	11.1	34.7	4.03E-05
	Cg1	1.35	1.7	3.9	10.6	34.3	6.53E-04
	Cg2	1.50	0.8	2.6	7.3	34.2	1.57E-06

(4)　施用量とアンモニア揮散の関係

両プラントでのいずれの圃場試験においても、施用量が増えるほどアンモニア揮散率が上昇する傾向を示した。高温となる夏期に施用時期となる、一番刈り後における施用を除き、5t/10aの施用でもアンモニア揮散率が10%前後となった（図２、３、４）。

(5)　施用法とアンモニア揮散の関係

室内試験により、液と大気との接触ができるだけ少なく、液と土壌との接触ができるだけ多い程、アンモニア揮散が抑えられることが明らかとなったが、圃場試験の結果も、溝切施用＜帯状施用＜表面施用の順にアンモニア揮散率が小さく、溝切施用は表面施用の約1/7にまでアンモニア揮散率を抑えることができた（図５）。

f）施用後の無機態窒素の土中分布

別海試験圃場における５月の施用試験において、施用１日後の無機態窒素は施用量に関係なく深さ5cm以内に留まっており、施用量の増大が施用後直後の無機態窒素の分布域を下げることにはならなかった（図６）。

湧別試験圃場の施用法を変えた試験においては、溝切施用において深さ2.5～5cmでの無機態窒素が他の施用法より多いものの、無機態窒素の分布域は深さ5cm以内に留まっており、消化液がより深くにまで浸透している形跡は認められなかった（図７）。

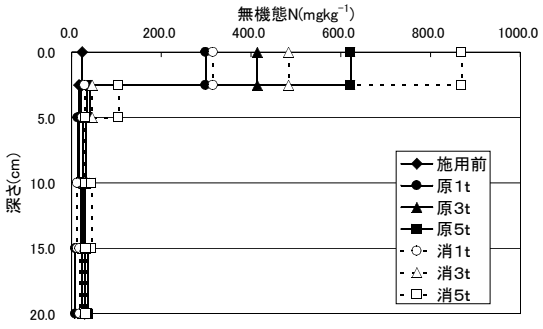


図６．試験後の無機態窒素の土中分布（別海５月）

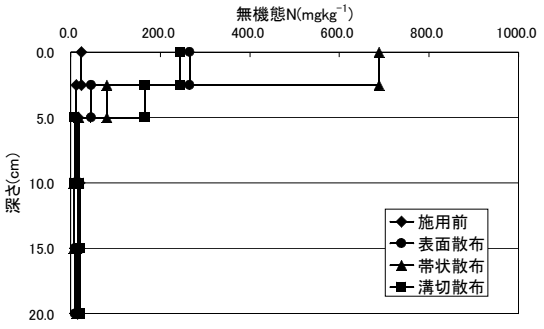


図７．異なる施用法での試験後の無機態窒素の土中分布

６　まとめ

①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＜帯状散布＜表面散布の順に小さかった。

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。

③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。

④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の施用量でも施用アンモニウム態窒素量の10%前後であった。

⑤5t/10aの施用量においても、散布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。

[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、畜舎内にバーンクリーナー（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出投入方式あるいはバーン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、バーン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砕され、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。



写真 1　コンテナの設置状況

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 2,500m³ 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（1,000m³）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



写真3　浅層インジェクション



写真４　バンドスプレッダ

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。

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）

搬出１台あたりの作業時間（秒、カッコ内は分）					総時間	能率	往復距離
移動	圃場散布	消化液積み込み（プラント）	その他	移動以外の作業時間	（秒）	（台/h）	（km）
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チ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。

・スタンチ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。



写真５　床暖式融解施

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、スタンチ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。



写真６　固形糞尿の定量供給設備

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、改良マニュ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

(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46.7m³/日(乳牛 1,000 頭)、副資材 3.3m³/日、合計 50m³/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 40m³/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ものと思われる。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 46.7m³/日を満たしていない。

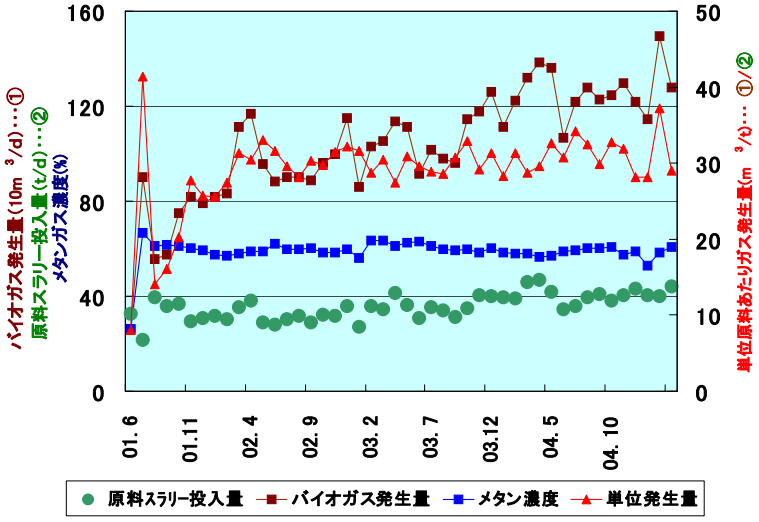


図２　別海施設のメタン発酵の推移

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℃、滞留日数 30 日)、投入量 46.7m³/日(副資材含まない)、ガス発生量 1,300m³/日、単位発生量 27m³/m³（副資材含まない）

副資材含み処理量 50m³/日、ガス発生量 1,500m³/日、単位発生量 30m³/m³

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1200m³/d前後と計画値に達していないが、単位発生量は29m³/m³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25m³/m³で、一般値の15～30m³/m³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75m³/日(副資材含む)、滞留日数20日、ガス発生量2,250m³/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50m³/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（7日間）	移行期（10日間）	高温発酵期
バイオガス発生量（m³／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（m³／日）	42.8	45.8	44.8	40.0
単位原料当たりガス発生量（m³／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 200m³(湿式ガスホルダ)と、高温発酵対応の 250m³(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

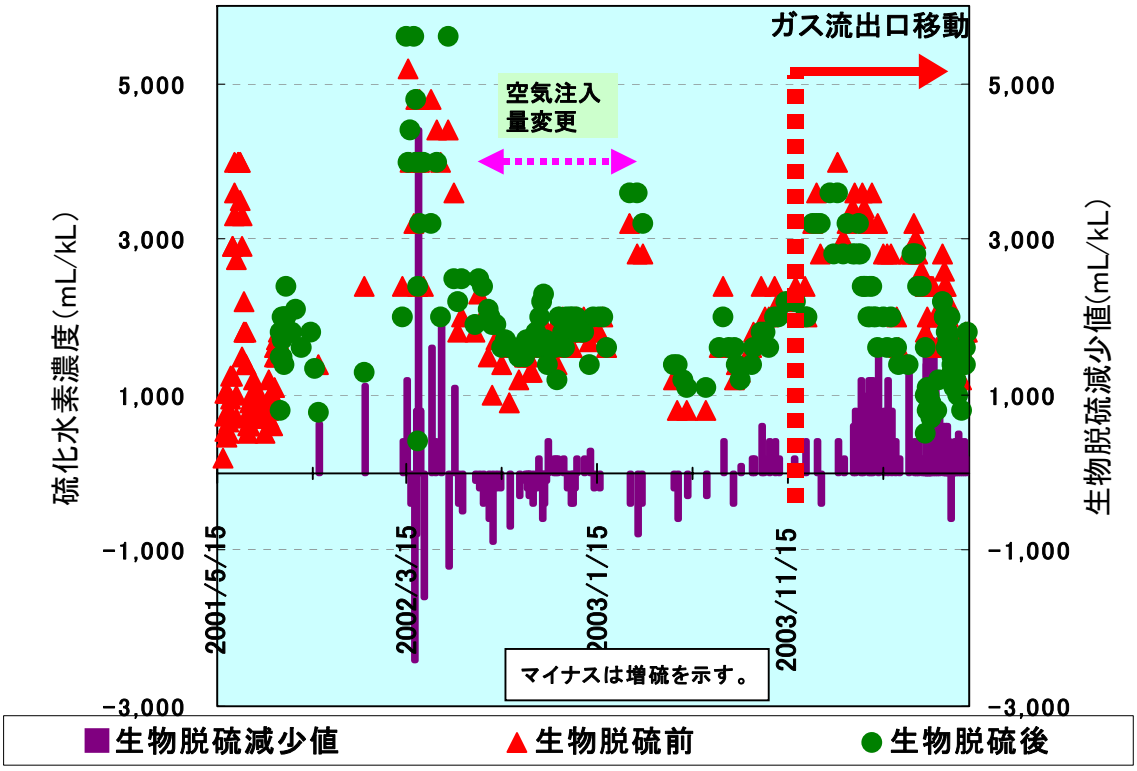


図３　生物脱硫の効果

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 0.5m²/m³/日で、同 2.8m²/m³/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℃1 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

ﾌﾟﾗﾝﾄ名	ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ	大腸菌数 n	大腸菌数 log_{10} cfu/g±sd	腸球菌数 n	腸球菌数 log_{10} 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[1]	33	ND[3](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[2]	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℃・1hr
2)70℃・1hr(～'03/1/27)、55℃・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℃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℃7.5 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 $2log_{10}MPN/g$ 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事から、プラント内に 2,500m³×3 基、遠隔の草地にサテライト貯留タンク 1,000m³×2 カ所を設置し、冬期発生の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ュー（出力 7.5kW）各 1 台と槽外に汲上ピット（RC 造 25m³）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 25m³）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、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、これまでの稼動制限が解除され、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

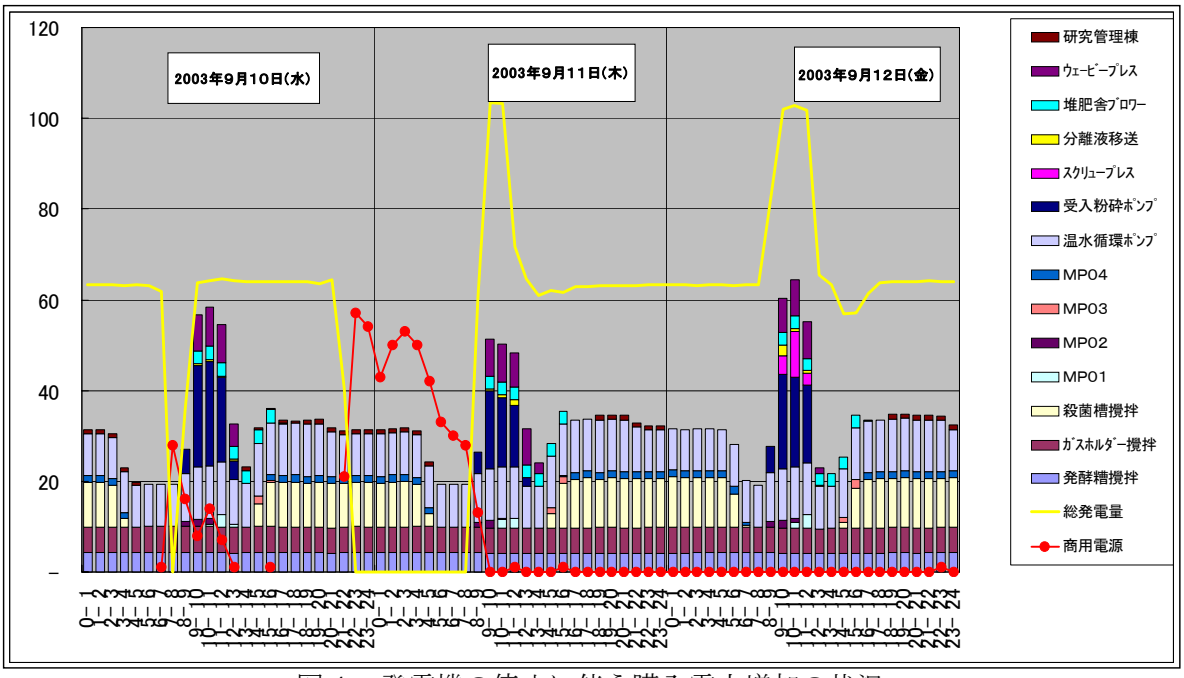


図 4　発電機の停止に伴う購入電力増加の状況

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ろう。

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台当たり約 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帯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。

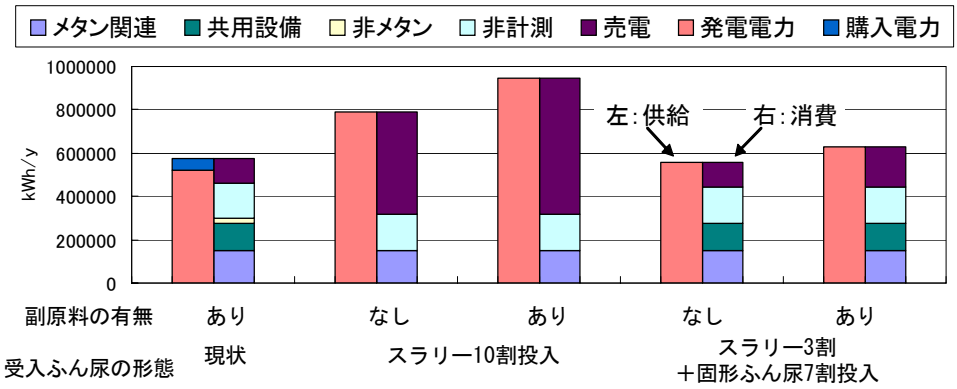


図５　年間の電力収支（現状とシミュレーション結果）

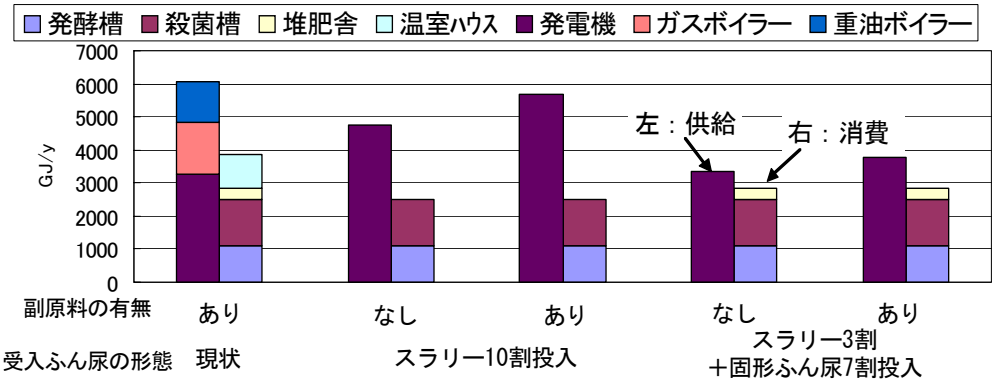


図６　年間の熱収支（現状とシミュレーション結果）

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(3.3m³/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)			ﾒﾀﾝｶﾞｽ発生量	投入Vs当りﾒﾀﾝｶﾞｽ発生量	無投入区に対する比率	
	ｽﾗﾘｰ由来	副原料由来	合計	(ml)	(ml/g)	投入Vs	ﾒﾀﾝｶﾞｽ単位発生量
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
ﾊﾞﾀｰ2%投入区	778	196	974	319000	327	1.22	1.54
ﾊﾞﾀｰ4%投入区	780	393	1173	443100	378	1.47	1.77
ﾊﾞﾀｰ8%投入区	748	785	1533	753800	492	1.92	2.31
対照区	515	0	515	141600	275	1	1
ﾊﾟﾝ粉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：0.23m³/kg、廃牛乳 0.82m³/kg、廃バター0.89m³/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 10.3m³(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、スタンチョン農家が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チ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、農家所有のマニュ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汚水とを別々に受け入れる。固形ふん尿は固液分離し、分離液分と尿汚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、堆肥化処理する計画とした。

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。

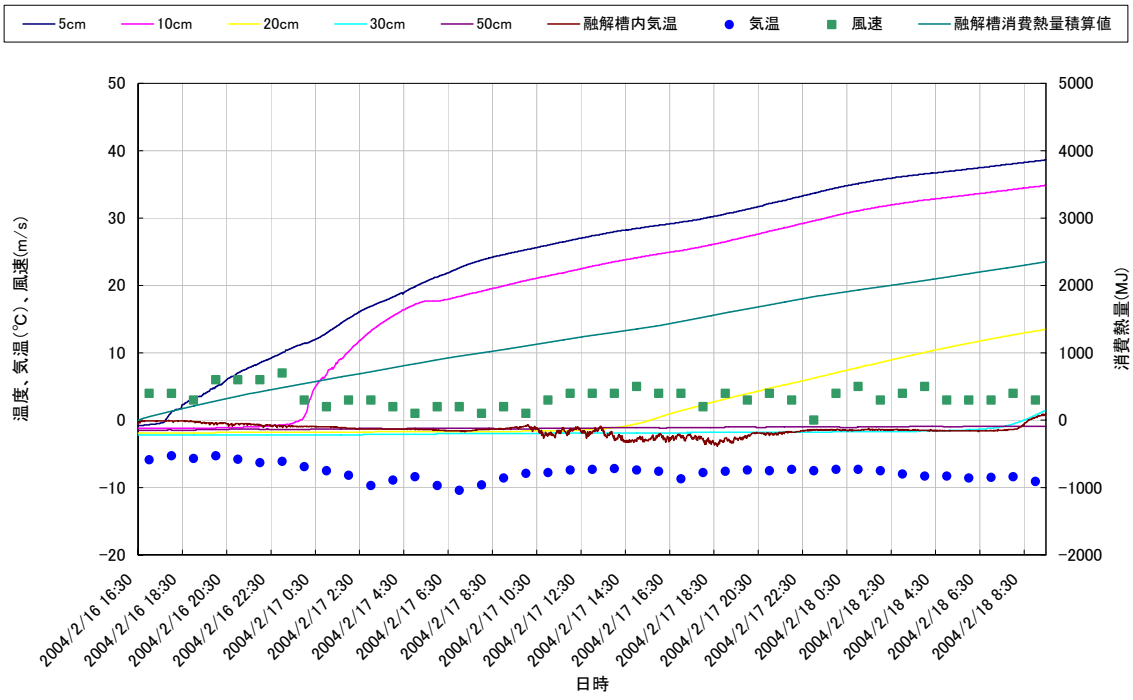


図７　ふん内部温度、融解槽内外気温及び融解槽での消費熱量の推移

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(3m³/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ー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6.3m³/日(乳牛 150 頭)、副資材 0.6m³/日、合計 6.9m³/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 6.9m³/日(副資材含む)、ガス発生量 207m³/日(単位発生量 30.0m³/m³、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 21.7 m³/m³ で一般値の 15～30m³/m³ 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 26～27 m³/m³ 程度に増大した。

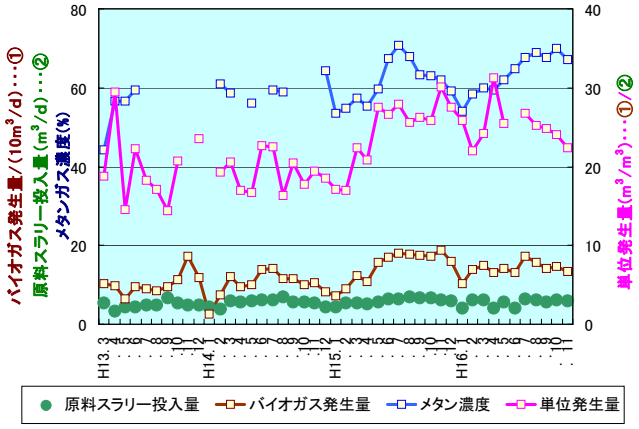


図８　湧別施設でのメタン発酵の推移

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^3 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%を越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^3/m^2/日と大きく、バイオガスの平均滞留時間は 0.03 時間と小さい事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 10^6cfu/g から消化液で 10^2～10^3 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 10^6MPN/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ことができるため、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 1,100m^3×1 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ポンプ設備(φ100×3.1kw～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、撹拌ポンプ（汲み上げポンプ兼用）だけでは堆積物の再撹拌はできない。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おかつ殺菌が必要な（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。発電機の設置については、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。

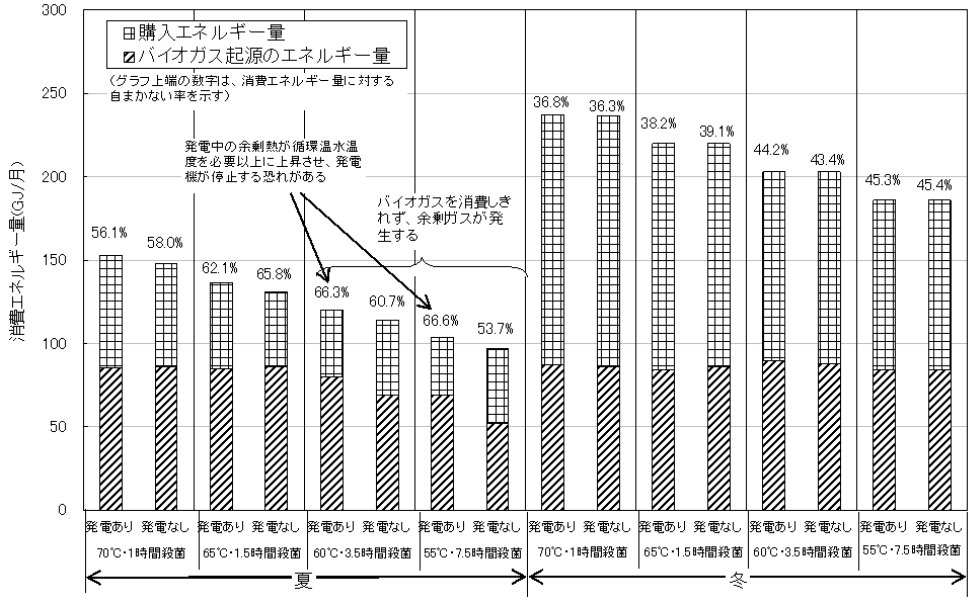


図９　消費エネルギー量とエネルギーの自賄い率

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^3/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みると、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

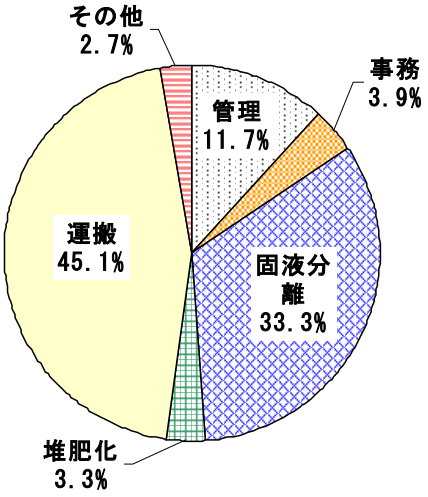


図１　別海プラント運転員２名の作業時間の割合
（2004 年度・１週間の実作業時間より整理）
注）管理：フロー制御、施設運転・維持管理作業
事務：施設運転及び運搬記録等の整理
固液分離：固形糞尿の固液分離作業
堆肥化：固液分離後の分離固分の移動・切り返し作業
運搬：原料の搬入及び生成物の搬出
その他：施設間の移動時間等

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撹拌・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

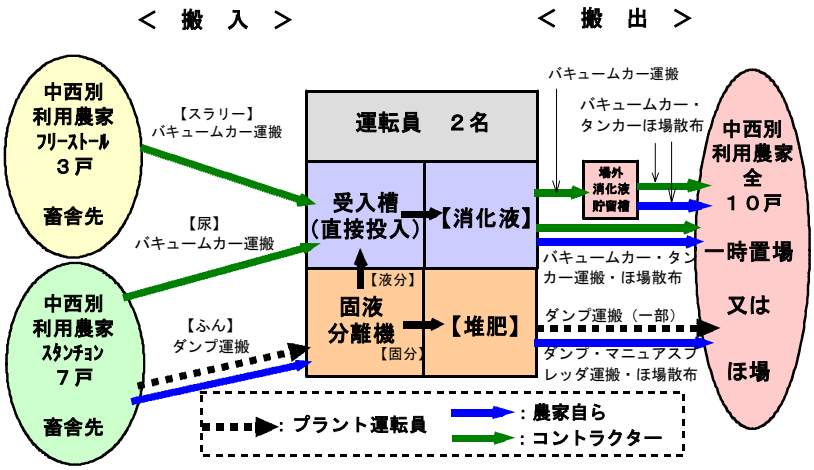


図２　別海プラントの搬出入体制（2001～2002 年度時点）

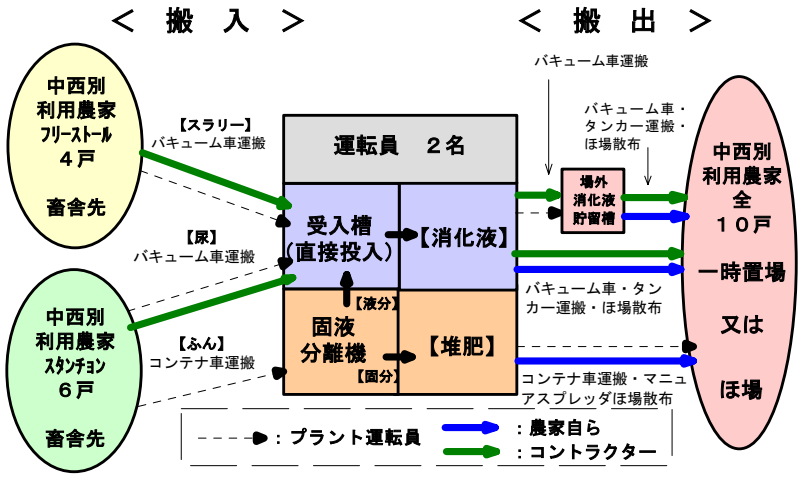


図３　別海プラントの搬出入体制（2003～2004 年度現在）

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。

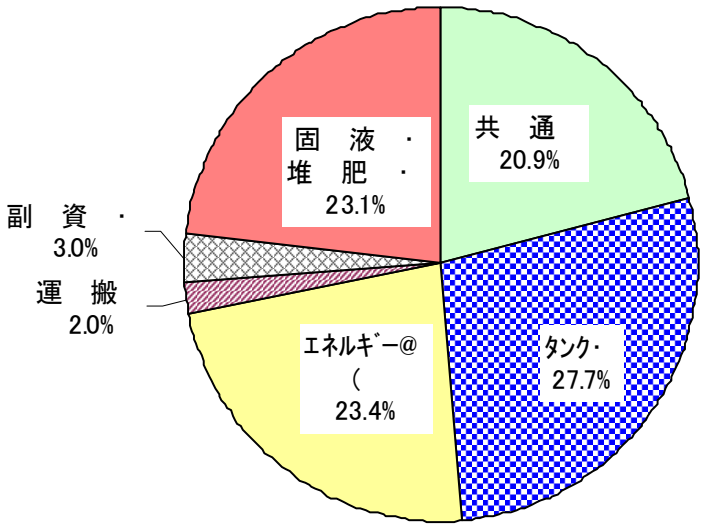


図４　別海プラント用運転施設部分の建設費内訳（2004 年度現在）
注）共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等
ﾀﾝｸ類：発酵槽、ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設：発電機、ﾎﾞｲﾗｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ、熱交換機等
運搬車輌：ｺﾝﾃﾅ車及びﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｸ
副資材処理：残滓破砕機及び残滓ﾀﾝｸ
固液分離・堆肥化施設：固液分離機、堆肥発酵舎、
完成堆肥舎、糞尿用ｺﾝﾃﾅ等

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

稼動後の経費を調査し、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）。

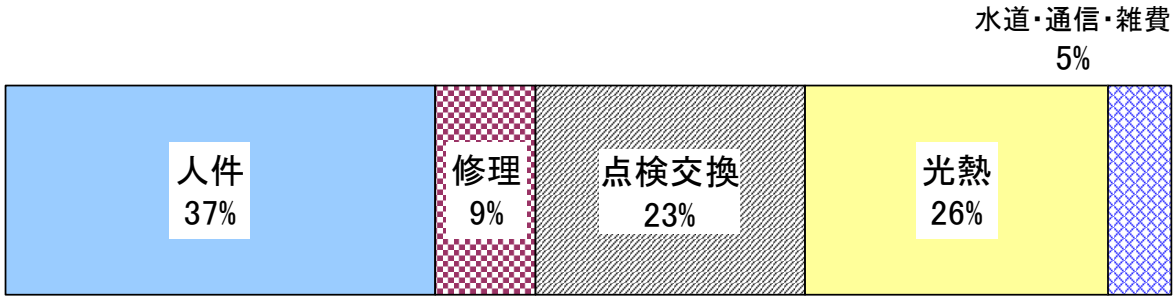


図５　別海プラントの運営費の内訳

（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では成牛換算１頭当たり 35,921 円、スラリーのみを処理する場合では同 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
	運搬 圃場散布	プラント	プラント	プラント
	処理頭数規模（成牛換算）	1,000	2,000	3,000
	原料ふん尿	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋スラリー	固形ふん尿＋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	**31,464,256**	**57,944,311**	**89,082,067**
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	**7,885**	**7,885**	**7,885**
	（全体計）	**7,885,000**	**15,770,000**	**23,655,000**
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	**37,071**	**37,071**	**37,071**
損益分岐点（成牛換算頭数）		―	**1,985**	―
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（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		**21,894,732**	**25,589,901**	**27,161,076**	**53,415,253**
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		**39,558**	**15,487**	**7,408**	**7,408**
	（全体計）		**39,558,000**	**15,487,000**	**7,408,000**	**14,816,000**
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		**37,751**	**36,784**	**36,784**	**36,784**
損益分岐点（成牛換算頭数）			ー	ー	**925**	**1,818**
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件費については、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70万円と人件費（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

参加農家はスタンチョン 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。

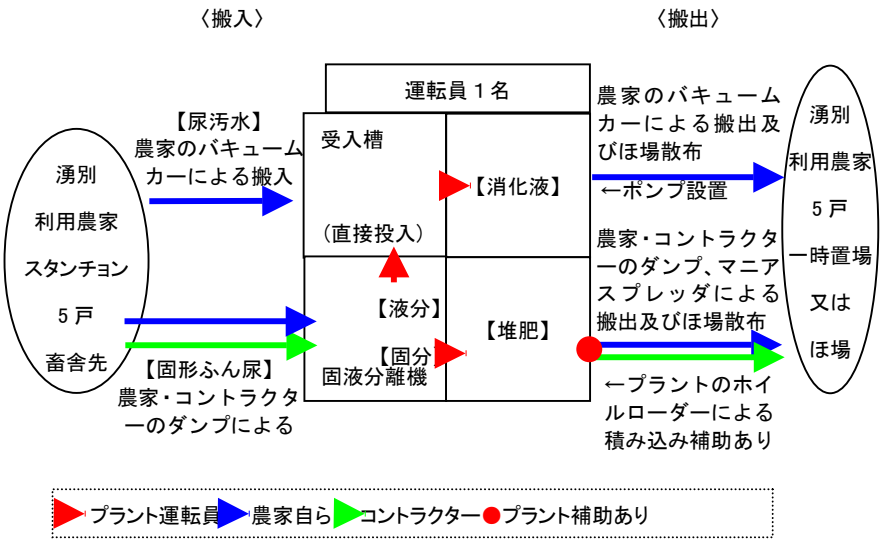


図６　湧別システムにおける、搬入・搬出・ほ場散布体制

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。

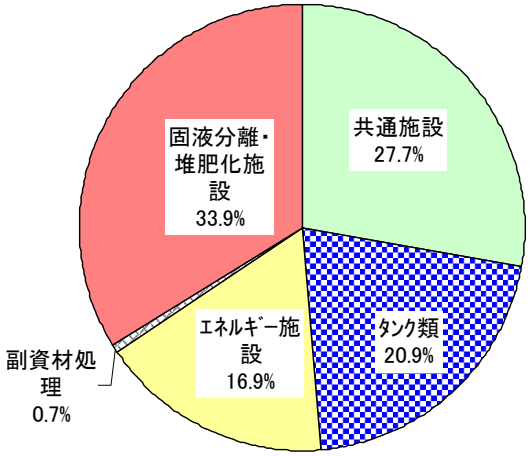


図 7　　湧別施設の建設費(2004 年度整理)

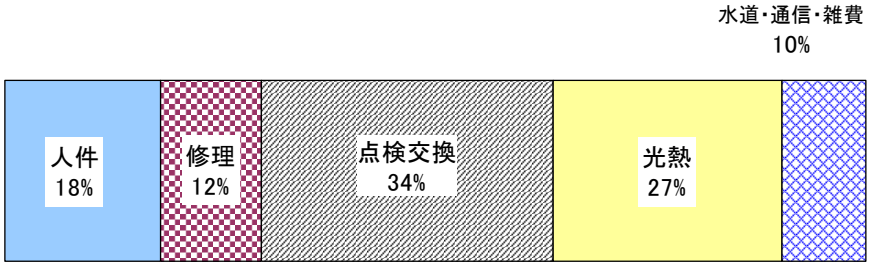


図 8　　湧別施設の運営費の内訳（2001～2004 年の累計）

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、燐酸、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 1)

窒素		リン酸	カリウム
全窒素2)	ｱﾝﾓﾆｳﾑ態窒素3)		
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) NH_4^+-N / 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) NH_4^+-N / T-N ≧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。

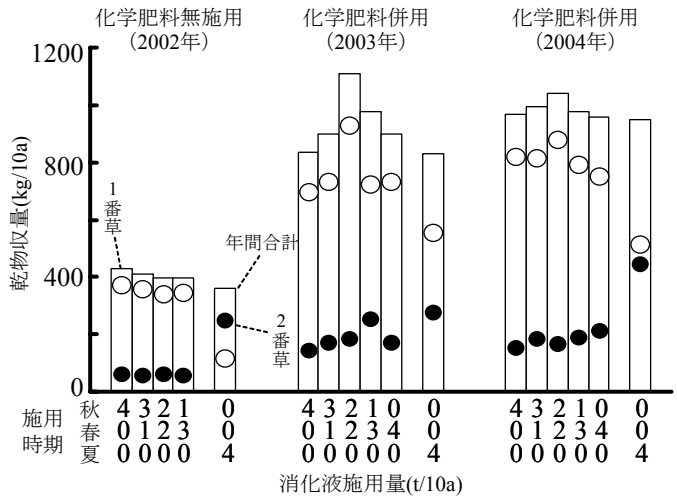


図１　消化液の施用配分がチモシー単播草地の乾物収量に及ぼす影響（根釧農試）

■　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 T-N	NH_4-N	K_2O	施用適量(10a)
表面施用	秋まき小麦（起生期追肥）	0.7	1.0	1.0	約2t
表面施用後混和	てんさい、ばれいしょ、緑肥（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。

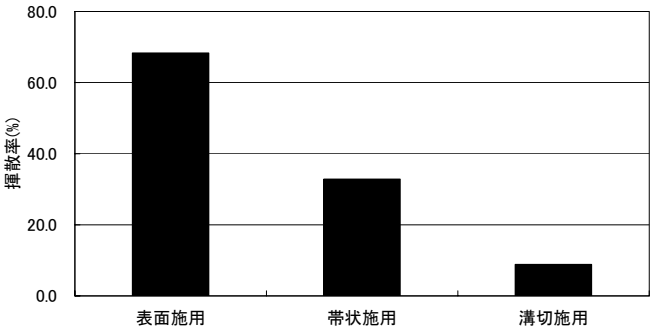


図２　異なる施用法でのアンモニア揮散率

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。

プラントの原料ー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、燐酸、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_4-N(FM%)	0.0299pH+0.0282EC-0.3518	R^2=0.7579	49	
P_2O_5(FM%)	0.0230DM+0.0140	R^2=0.6312	55	
K_2O(FM%)	0.1017pH+0.0175EC+0.0494DM-0.7595	R^2=0.4956	55	
DM(FM%)	(173.24×比重-173.29)×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。

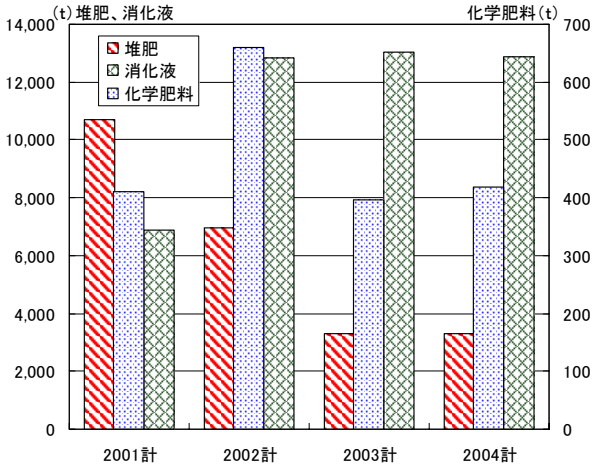


図３　利用農家の種別施肥量（別海）

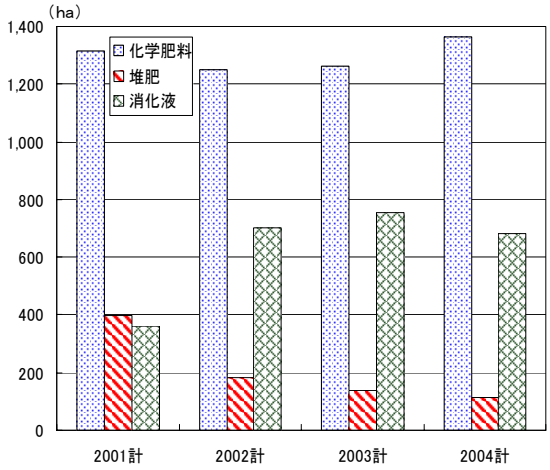


図４　利用農家の種別延べ施肥面積

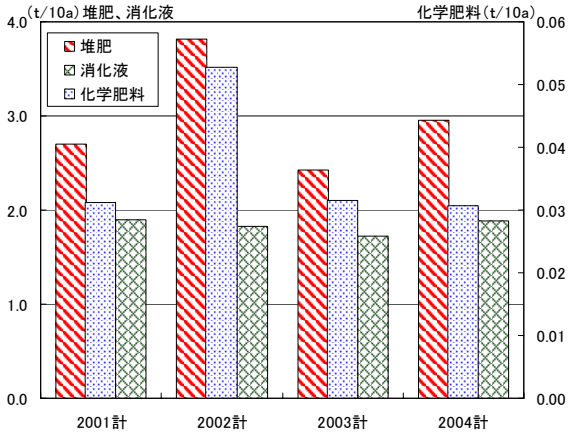


図５　利用農家の種別単位面積当たり施肥量

c　残された課題

特になし

４　社会・環境効果

l)　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）。

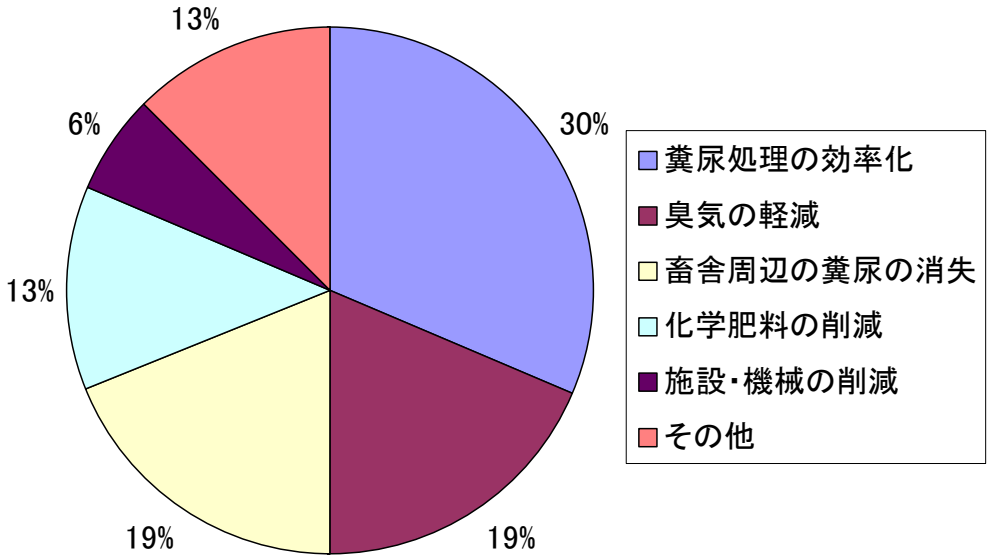


図１　バイオガスプラントの利点に関する農家の意見

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_2 と N_2O 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_4 や N_2O 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_2 : CH_4 : N_2O = 1 : 23 : 296)を乗じて CO_2 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_2 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_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
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_2換算 (kg/年)	172,040	45,416	229,954	7,243	117,296	634,059
温室効果ガス合計	約447t−CO_2			約819t−CO_2		

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、管理が不充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、イカのゴロ、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ない、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､総体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､埋立て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ので、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)

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。

＊　[Ⅲ]編の基礎資料

①　Ⅰ-1-1)　寒冷地における集中型バイオガスシステムの経済性と成立条件の解明

②　Ⅱ-4　　施設システムの改善検討

付表１　別海プラントの建設費及び減価償却費（2004 年パリティ換算値）

施設区分	施設・機器	合計	ﾊﾟﾘﾃｨ換算計(2004年)	耐用年数区分	耐用年数	ﾊﾟﾘﾃｨ換算減価償却	備考
共通施設	受入施設建築建物	27,098	26,610	建物	30	798	
共通施設	受入施設基礎	22,548	22,142	建物	30	664	
共通施設	系統連携設備	11,225	11,023	建物付属設備	15	661	
共通施設	防臭設備	8,495	8,342	建物付属設備	15	501	
共通施設	ｶﾞｽ検知機	2,150	2,111	測定工具	5	380	
共通施設	計装機具	41,025	40,287	測定工具	5	7,252	
共通施設	水道工事	4,388	4,309	建物付属設備	15	259	
共通施設	ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ	720	707	測定機器	5	127	
共通施設	外灯	1,443	1,417	建物付属設備	15	85	
共通施設	門扉	1,625	1,596	建物付属設備	15	96	
共通施設	洗車場	950	933	建物付属設備	15	56	
共通施設	簡易(ﾕﾋﾞﾛﾝ)ﾊｳｽ設置	1,808	1,810	構築物	10	163	2003施設改善
共通施設	土工事、排水、舗装	103,010	101,156	区画整理	35	2,601	
共通施設	堆肥化施設ｽﾛｰﾌﾟ	14,310	14,052	土造自動車道	40	316	
（小計）		240,795	236,496		16.9	13,959	
ﾀﾝｸ類	ﾒﾀﾝ発酵槽1500m3	44,211	43,415	構築物	15	2,605	
ﾀﾝｸ類	ﾒﾀﾝ発酵ﾀﾝｸ基礎	5,208	5,114	構築物	15	307	
ﾀﾝｸ類	攪拌機	4,762	4,676	農林業用	10	421	
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ湿式200	43,663	42,877	構築物	15	2,573	
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰA基礎	3,443	3,381	構築物	15	203	
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ乾式250	23,250	22,832	構築物	20	1,027	
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰB基礎	1,371	1,346	構築物	20	61	
ﾀﾝｸ類	殺菌槽タンク	13,000	12,766	構築物	15	766	
ﾀﾝｸ類	殺菌槽基礎	5,674	5,572	構築物	15	334	
ﾀﾝｸ類	消化液ﾀﾝｸ基礎2500m3	107,908	105,966	構築物	15	6,358	
ﾀﾝｸ類	消化液ﾀﾝｸ基礎1000m3	49,362	48,474	構築物	15	2,908	
ﾀﾝｸ類	消化液貯留施設（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	17,351	17,315	農林業用	8	1,948	2002施設改善
（小計）		319,203	313,734		16.1	19,511	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	発電機	64,500	63,339	内燃力又はｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電施設	15	3,800	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ﾎﾞｲﾗｰ（ｶﾞｽ）	2,187	2,148	ﾎﾞｲﾗｰ	8	242	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ﾎﾞｲﾗｰ（重油）	1,378	1,353	ﾎﾞｲﾗｰ	8	152	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	膨張ﾀﾝｸ	123	121	構築物	15	7	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	重油ﾀﾝｸ	2,435	2,391	構築物	15	143	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	熱交換器	22,000	21,604	ﾎﾞｲﾗｰ	8	2,430	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	その他配管、操作設備	133,888	131,478	建物付属設備	15	7,889	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	閉塞防止試験施設（ﾎﾟﾝﾌﾟ	23,455	23,406	農林業用	8	2,633	2002施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	循環水ﾎﾟﾝﾌﾟ	275	270	農林業用	8	30	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	循環ﾎﾟﾝﾌﾟ	265	260	農林業用	8	29	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	脱硫設備	9,442	9,272	構築物	10	834	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ﾌﾚｱｰｽﾀｯｸﾞ	8,202	8,054	構築物	10	725	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ﾎﾞｲﾗｰ用煙突	1,943	1,908	構築物	10	172	
（小計）		270,093	265,605		13.9	19,088	
運搬車輌	脱着ｺﾝﾃﾅ車	15,200	15,168	特殊自動車	4	3,413	2002施設改善
運搬車輌	ﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｸ	6,970	6,955	ふん尿散布機	5	1,252	2002施設改善
（小計）		22,170	22,124		4.7	4,665	
副資材処理	残渣破砕機（ｺﾝﾍﾞｱ、ﾎｯﾊﾟｰ）	16,993	16,687	農林業用その他	8	1,877	
副資材処理	残渣タンク	17,587	17,270	構築物	15	1,036	
（小計）		34,580	33,958		11.7	2,914	
堆肥化施設	固液分離器ｽｸﾘｭｰﾌﾟﾚｽ	18,037	17,712	家畜飼養	8	1,993	
堆肥化施設	固形糞尿前処理施設（ｳｪｰﾋﾞ	114,727	114,487	家畜飼養	8	12,880	2002施設改善
堆肥化施設	固液分離器ﾊﾞｰﾝｸﾘｰﾅｰ	6,990	6,864	家畜飼養	8	772	
堆肥化施設	固液分離器ﾎﾟﾝﾌﾟ	7,725	7,586	農林業用	8	853	
堆肥化施設	堆肥発酵上屋	20,000	19,640	農林業用	15	1,178	
堆肥化施設	堆肥発酵設備	6,469	6,353	電動機	10	572	
堆肥化施設	箱型通気堆肥舎	12,800	12,570	農林業用	20	566	
堆肥化施設	箱型通気堆肥設備	5,244	5,150	電動機	10	463	
堆肥化施設	完成堆肥舎	20,000	19,640	農林業用	20	884	
堆肥化施設	長藁堆肥舎	5,867	5,761	農林業用	20	259	
堆肥化施設	電気設備	3,725	3,658	建物付属設備	15	219	
堆肥化施設	ﾎｲｰﾙﾛｰﾀﾞｰ・ｽｷｯﾄﾞﾛｰﾀﾞｰ	11,375	11,170	自走式作業機械	5	2,011	
堆肥化施設	10tﾀﾞﾝﾌﾟ	2,095	2,072	ﾀﾞﾝﾌﾟ式	4	466	2001施設改善
堆肥化施設	糞尿用コンテナ（成牛）	21,840	21,794	家畜飼養その他	8	2,452	2002施設改善
堆肥化施設	糞尿用コンテナ（育成）	2,150	2,146	家畜飼養その他	8	241	2002施設改善
堆肥化施設	簡易堆肥置場設置作業	3,308	3,312	農林業用	8	373	2003施設改善
堆肥化施設	ｺﾝﾃﾅ設置場所整備	2,205	2,207	農林業用	20	99	2003施設改善
（小計）		264,556	262,121		10.0	26,282	
（合計）		1,151,397	1,134,037		13.1	86,418	

付表２　別海プラント実用運転にかかる運営費（2004 年パリティ換算値）

項目	実績値からの抽出（円）				システム設定値（円）	考察		
	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度				
1 減価償却								
共通＋メタン発酵			849,791,746 （建設費）		10,226,832	ｴﾈﾙｷﾞｰ機械の負担率５０%、他は５%	2000～2004	実績→試算
＋固液分離・堆肥化			262,121,236 （建設費）		1,182,679	負担率５%	2000～2004	実績→試算
＋運搬			22,123,623 （建設費）		2,099,170	負担率５０%	2000～2004	実績→試算
＋ほ場撒布 トラクター			－		489,375	負担率５０%	別海利用農家で最も使用されている規格で試算	
＋ほ場撒布 タンカー			－		181,800	負担率５０%		
＋ほ場撒布 ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ			－		457,200	負担率５０%		
＋ほ場撒布 ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ			－		139,500	負担率５０%		
2 人件費								
管理人	8,724,368	12,661,000	12,095,000	12,341,322	4,475,900	北海道開発局特定単価「特殊作業員」	2004	試算
運転員					3,756,000	北海道開発局特定単価「運転員（一般）」	2004	試算
臨時雇用	－	－	－	－	900,000	地元ｺﾝﾄﾗ使用単価	2004	試算
3 点検交換費								
定期点検	931,052	851,408	851,408	851,717	852,000		2001～2004	実績
脱硫材交換	0	2,194,500	3,354,750	1,302,000	1,302,000		2001～2004	実績
ガス発電機関係	0	3,465,000	2,221,737	1,915,620	1,901,000		2001～2004	実績
その他エネルギー施設関連	57,330	723,607	754,026	5,944,525	1,870,000		2001～2004	実績
その他固液分離関係	0	34,797	0	466,935	125,000		2001～2004	実績
運搬関係その他	137,466	1,015,771	762,970	866,642	696,000		2001～2004	実績
4 修理費								
エネルギー施設関連	2,362,846	1,043,784	633,881	3,549,177	1,742,000		2001～2004	実績
固液分離関連		1,089,900	677,340	320,523	321,000		2001～2004	実績
運搬関係その他	7,875	135,260	312,143	96,663	97,000		2001～2004	実績
5 光熱費								
電気	6,523,063	5,526,352	3,470,336	2,671,999	2,672,000		2001～2004	実績（2004年水素ﾌﾟﾗﾝﾄ分補正）
重油	2,245,427	2,775,077	3,339,659	943,872	944,000		2001～2004	
軽油Ａ 固液分離投入・移動	338,475	762,231	1,500,960	477,207	477,000		2001～2004	実績
軽油Ｂ 搬出入機械				1,032,131	1,032,000		2001～2004	実績
軽油Ｃ ほ場撒布機械	－	－	－	－	600,000	別海利用農家で最も使用されている規格で試算		
灯油	93,207	131,964	139,134	134,879	134,000		2001～2004	実績
プロパン	77,458	47,802	77,076	32,663	53,000		2001～2004	実績
6 雑費								
水道	590,709	218,288	251,608	222,600	160,000		2001～2004	試算
電話	115,959	173,633	139,734	117,523	120,000		2001～2004	実績
その他	1,369,235	971,931	1,096,630	1,512,746	800,000	小備品の購入等	2001～2004	実績
7 運搬費								
搬入Ａ ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	14,224,681	18,052,248	8,300,000	889,688	12,719,500	2003.7より脱着ｺﾝﾃﾅ車導入	地元単価で試算	
搬出Ａ 消化液＋堆肥					13,675,000		地元単価で試算	
ほ場撒布Ａ 消化液＋堆肥	－	－	－	－	10,075,000		地元単価で試算	
搬入Ｂ ｽﾗﾘｰのみ	－	－	－	－	12,600,000		地元単価で試算	
搬出Ｂ 消化液のみ	－	－	－	－	12,600,000		地元単価で試算	
ほ場撒布Ｂ 消化液のみ	－	－	－	－	9,000,000		地元単価で試算	

付表３　別海型システムの年間経費の考え方（2004 年パリティ換算値）

<table>
<tr><td rowspan="4">項目</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4">システム設定単価（円/現況1,000頭規模・台）</td><td colspan="9">シミュレーションにおける考え方</td></tr>
<tr><td>処理対象とする原料</td><td colspan="4">固形ふん＋スラリー</td><td colspan="4">スラリーのみ</td></tr>
<tr><td>処理規模</td><td colspan="3">1,000頭</td><td>2,000頭</td><td>3,000頭</td><td colspan="3">1,000頭</td><td>2,000頭</td></tr>
<tr><td>プラントが行う運搬</td><td>外部委託</td><td>搬出入まで</td><td>全て</td><td colspan="2">全て</td><td>外部委託</td><td>搬出入まで</td><td>全て</td><td>全て</td></tr>
<tr><td>1 減価償却</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>共通＋メタン発酵</td><td>10,226,832</td><td colspan="3">現プラントにおける湿式メタン発酵にかかる施設</td><td>同規模施設を１つ増設</td><td>同規模施設を２つ増設</td><td colspan="4">現プラントにおける湿式メタン発酵にかかる施設</td></tr>
<tr><td></td><td>＋固液分離・堆肥化</td><td>1,182,679</td><td colspan="3">現プラントにおける固液分離・堆肥化にかかる施設</td><td>同規模施設を１つ増設</td><td>同規模施設を２つ増設</td><td colspan="4">（必要としない）</td></tr>
<tr><td></td><td>＋搬出入　脱着コンテナ車本体＋バキュームタンク</td><td>2,099,170</td><td>－</td><td colspan="2">搬出入作業は実績を踏まえて、1,000頭規模まで１台で可能
バキュームタンクは圃場散布機能を備えており、稼働状況より、散布時期において補助的に圃場散布を行うことは可能と判断</td><td>同機械一式を１台増加</td><td>同機械一式を２台増加</td><td>－</td><td colspan="2">搬出入作業は実績からの推定量を踏まえて、1,000頭規模まで１台で可能
バキュームタンクでの運搬量が増加することから、圃場散布を行うことは不可能と判断</td><td>同機械一式を１台増加</td></tr>
<tr><td></td><td>＋ほ場散布　トラクター</td><td>489,375</td><td>－</td><td>－</td><td>圃場散布作業は実績を踏まえて、1,000頭規模まで１台で可能
タンカー１台とﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ１台の両方を牽引する</td><td>同機械を１台増加
タンカー１台とﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ１台の各専用とする</td><td>同機械を２台増加
タンカー２台とﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ１台の各専用とする</td><td>－</td><td>－</td><td>圃場散布作業は実績からの推定量を踏まえて、1,000頭規模まで１台で可能
タンカー１台を牽引する</td><td>同機械を１台増加</td></tr>
<tr><td></td><td>タンカー</td><td>181,800</td><td>－</td><td>－</td><td colspan="2">消化液散布は実績及び脱着コンテナ車＋バキュームタンクが補助的に行えることを踏まえて、2,000頭規模まで１台で可能</td><td>同機械一式を１台増加</td><td>－</td><td>－</td><td>消化液散布は実績からの推定量を踏まえて、1,000頭規模まで１台で可能</td><td>同機械を１台増加</td></tr>
<tr><td></td><td>ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ</td><td>139,500</td><td>－</td><td>－</td><td colspan="3">堆肥散布は実績を踏まえて、3,000頭規模まで１台で可能</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
</table>

項目	システム設定単価（円/現況1,000頭規模・台）	シミュレーションにおける考え方								
処理対象とする原料		固形ふん＋スラリー					スラリーのみ			
処理規模		1,000頭			2,000頭	3,000頭	1,000頭			2,000頭
プラントが行う運搬		外部委託	搬出入まで	全て	全て		外部委託	搬出入まで	全て	全て
2 人件費										
管理人	4,475,900	プラントの一般管理作業＋固液分離・堆肥化作業は実績を踏まえて、２倍規模まで１人で可能				１人分の追加	固液分離・堆肥化作業が無くなる分、プラントの一般管理＋通常時の搬出入作業までは１人で可能			搬出入は1,000頭分までだが、プラントの一般管理は２倍でも１人で可能
運転員	3,756,000	－	通年における搬出入作業は実績を踏まえて、1,000頭規模まで１人で可能		１人分の追加	２人分の追加	－	－	－	1,000頭分の搬出入分の追加
臨時雇用	900,000	－	－	圃場散布作業は実績を踏まえて、1,000頭規模まで１人で可能	１人分の追加	２人分の追加	－	散布ピーク時の場外タンクへの搬出	圃場散布作業分の追加	1,000頭分の搬出入分＋圃場散布分の追加
3 点検交換費										
定期点検	852,000	メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例
脱硫材交換	1,302,000									
ガス発電機	1,901,000									
その他エネルギー施設関連	1,870,000									
その他固液分離関係	125,000	固液分離・堆肥化関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	（必要としない）			
その他運搬関係	696,000	－	運搬関連機械に必要な費用として、実績より、機械一式単位の固定費と判断		同機械一式を１つ増設→比例	同機械一式を２つ増設→比例	－	運搬関連機械に必要な費用として、実績より、機械一式単位の固定費と判断		同機械一式を１つ増設→比例
4 修理費										
エネルギー施設関連	1,742,000	メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例
固液分離関連	321,000	固液分離・堆肥化関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	（必要としない）			
運搬	97,000	－	運搬関連機械に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断		プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	－	運搬関連機械に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断		プラント処理量の２倍増加→比例

項目			システム設定単価（円/現況1,000頭規模・台）	シミュレーションにおける考え方								
処理対象とする原料				固形ふん＋スラリー					スラリーのみ			
処理規模				1,000頭			2,000頭	3,000頭	1,000頭			2,000頭
プラントが行う運搬				外部委託	搬出入まで	全て	全て		外部委託	搬出入まで	全て	全て
5 光熱費												
	電気		2,672,000	プラント全体で消費した実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	プラント全体で消費した実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例
	重油		944,000	主に冬期の発酵槽の加温（不足分）に使用されている実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	主に冬期の発酵槽の加温（不足分）に使用されている実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例
	軽油Ａ	固液分離投入・移動	477,000	脱着コンテナ車導入後の体制における実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	脱着コンテナ車導入後の体制における実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例
	軽油Ｂ	搬出入機械	1,032,000	－	脱着コンテナ車導入後の体制における実績より、処理量に比例する変動費と判断		搬出入量の２倍増加→比例	搬出入量の３倍増加→比例	－	脱着コンテナ車導入後の体制における実績より、処理量に比例する変動費と判断		搬出入量の２倍増加→比例
	軽油Ｃ	ほ場撒布機械	600,000	－	－	脱着コンテナ車導入後の体制における実績を基に試算、処理量に比例する変動費と判断	圃場散布量の２倍増加→比例	圃場散布量の３倍増加→比例	－	－	脱着コンテナ車導入後の体制における実績を基に試算、処理量に比例する変動費と判断	圃場散布量の２倍増加→比例
	灯油		134,000	主に冬期の作業員の控え室の暖房に利用されている実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	主に冬期の作業員の控え室の暖房に利用されている実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例
	プロパン		53,000	主にﾎﾞｲﾗｰの種火用などに利用される実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	主にﾎﾞｲﾗｰの種火用などに利用される実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例
6 雑費												
	水道		160,000	主にプラントや運搬機械の洗浄、一般的利用等に使用されている実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	主にプラントや運搬機械の洗浄、一般的利用等に使用されている実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例
	電話		120,000	実績より、関連機関等との連絡を主な目的とすることより、施設全体単位の固定費と判断								
	その他		800,000	主に備品、軽作業の役務（雑草刈り、除雪等）などの実績より、固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	主に備品、軽作業の役務（雑草刈り、除雪等）などの実績より、固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例
7 運搬費												
	搬入Ａ	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	12,719,500	実績の地元単価より、全量を搬出入する場合の試算	－	－	－	－	－	－	－	－
	搬出Ａ	消化液＋堆肥	13,675,000		－	－	－	－	－	－	－	－
	ほ場撒布Ａ	消化液＋堆肥	10,075,000	実績の地元単価より、全量を圃場散布する場合の試算		－	－	－	－	－	－	－
	搬入Ｂ	ｽﾗﾘｰのみ	12,600,000	－	－	－	－	－	実績の地元単価より、全量を搬出入する場合の試算	－	－	－
	搬出Ｂ	消化液のみ	12,600,000	－	－	－	－	－		－	－	－
	ほ場撒布Ｂ	消化液のみ	9,000,000	－	－	－	－	－	実績の地元単価より、全量を圃場散布する場合の試算		－	－

付表４　別海型システム利用前後における肥料種類別散布量の考え方

１．固形ふん＋スラリー処理の場合

（利用前、t、2001年）　　１０戸・711.0ha・成牛換算910頭

肥料	春	一番後	秋	計	
化学肥料	242	121	0	364	必要量からの試算値
スラリー	3,650	0	1,841	5,491	実績値
尿	671	219	485	1,374	実績値
堆肥	456	1,187	4,978	6,621	実績値

（利用後、t、2004年）　　１０戸・753.6ha・成牛換算950頭

肥料	春	一番後	秋	計	
化学肥料	211	28	ー	238	試算値
消化液	2,463	12,292	2,463	17,218	試算値
堆肥	ー	ー	2,056	2,056	試算値

２．スラリー処理の場合

（利用前、t、2001年）　　３戸・237.8ha・成牛換算340頭

肥料	春	一番後	秋	計	
化学肥料	65	33	0	98	必要量からの試算値
スラリー	3,650	0	1,841	5,491	実績値
堆肥	360	264	2,006	2,630	実績値

（利用後、t、2004年）　　３戸・242.8ha・成牛換算345頭

肥料	春	一番後	秋	計	
化学肥料	66	8	ー	74	試算値
消化液	1,019	4,094	1,019	6,132	試算値
堆肥	ー	ー	835	835	試算値

＜条件＞

利用前の有機質肥料は、2001年の実績値

利用後・一番後の消化液散布の算出：2t/10a（平均値）×204.7ha（３戸の作付面積計242.8ha－３戸の飛び地38.1ha）

利用後・春と秋の撒布量は、作業ピークを同程度にする目的で、ここでは同量とした。

利用後・堆肥の散布は、秋のみとしたが、更新地への散布等を考慮した場合にはこの限りではない。

化学肥料の施肥方法についての考え方は従来の通り。

（利用前：春はPの不足量を満たす分・一番後はその半分、利用後：春はPの不足量を満たす分・一番後は飛び地分のみ）

付表５　購入肥料費節減額の試算（固形ふん＋スラリー処理の場合）

【設定条件】①関連表

2001年度別海プラント利用農家10戸の施用肥料の集計より

種類	施肥量（t）	施肥面積（ha）	N（kg）	P（kg）	K（kg）
堆肥	6,621	396	18,273	5,553	37,658
尿	1,374	224	3,799	569	5,330
ｽﾗﾘｰ	5,491	122	8,676	2,273	21,300
有機質肥料計	13,486	742	30,748	8,395	64,287

＊肥効率は北海道施肥標準より使用。

堆肥　N:P:K＝40%:30%:90%

尿　N:P:K＝70%:30%:90%

スラリー　N:P:K＝40%:30%:90%

＊堆肥及びスラリーの成分は、2001年分析結果を使用。

堆肥　N:P:K＝0.690%:0.280%:0.632%

尿　N:P:K＝0.395%:0.138%:0.431%

スラリー　N:P:K＝0.395%:0.138%:0.431%

堆肥のNの肥効率（当年25%、2年目10%、3年目5%）について、ここでは経年利用を前提とする。

「堆肥、スラリー、尿の養分含量推定法と肥効率の設定」（1999年指導参考）より

有機質肥料の圃場還元率は、スラリー95%、尿68%、堆肥94%

また、この実績値より、施肥基準量に対する不足量を試算した。

不足分	N（kg）	P（kg）	K（kg）	
施肥基準量	71,100	56,880	127,980	2001年作付面積：711.0ha
有機質肥料分	30,748	8,395	64,287	
差（不足量）	40,352	48,485	63,693	

施肥基準量は北海道施肥標準の牧草畑における基準値を使用。

採草地、チモシー、道東、Ⅲ、火山性土－N：10、P2O5：8、K2O：18（kg/10a）

【設定条件】②関連表

この不足量を補うために必要な化学肥料量を試算した。なお使用する化学肥料について、当時現地で最も使用されていた組み合わせと施用量「BB122（春）＋BB456（一番後）／一番後の施肥量は春の施肥量の半分」を設定した。液肥において特に不足するPについて、必要とする化学肥料（BB122：242,423kg）をベースに肥料購入額を試算した。なおKの過剰施用について、牧草生育に影響が出る範囲ではないことを確認している。

肥料購入	単価（円）FB500kg	購入額（円）	
BB122	20,750	10,060,548	N:P:K＝10:20:20
BB456	23,500	5,696,937	N:P:K＝14:5:26
	計	**15,757,485 円**	

＊利用後の状況と比較する場合には、比較年次の作付面積とパリティ指数を考慮する必要がある。

【設定条件】③関連表

プラント利用後の有機質肥料の施肥状況を把握するため、2004年の利用農業10戸の飼養頭数を踏まえて、ふん尿を全量プラント処理した場合の有機質肥料の供給量を試算した。

2004年度別海プラント利用農家10戸の飼養頭数及び発生ふん尿量

農家名	成牛（頭）	育成（頭）	成牛ふん（年・t）	成牛尿（年・t）	育成ふん尿（年・t）
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙa	70	36	1,273.4	334.2	323.2
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙb	113	67	2,055.7	539.5	601.6
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙc	84	52	1,528.1	401.0	466.9
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙd	52	41	946.0	248.3	368.1
ｽﾀﾝﾁｮﾝa	40	31	727.7	191.0	278.3
ｽﾀﾝﾁｮﾝb	69	57	1,255.2	329.4	511.8
ｽﾀﾝﾁｮﾝc	87	49	1,582.7	415.4	440.0
ｽﾀﾝﾁｮﾝd	88	49	1,600.9	420.1	440.0
ｽﾀﾝﾁｮﾝe	71	57	1,291.6	339.0	511.8
ｽﾀﾝﾁｮﾝf	42	29	764.0	200.5	260.4
計	716	468	13,025.2	3,418.3	4,202.2

＊　頭・日当たりの排泄量は、「『家畜糞尿処理・利用の手引き』 P4、表1－1　畜種別糞尿排出量」 より参照。

2004年度発生ふん尿量を全量プラント処理する場合における、有機質肥料（消化液及び堆肥）の供給量

有機質肥料	供給量（t）	
消化液←（ｽﾗﾘｰ、尿、分離液分）	17,218	9,221t（スラリー＋尿）×11,424t×0.7（分離液分）＝17,218t
堆肥←（分離固分）	2,056	11,424t×0.7（分離固分）×0.6（目減り率）＝2,056t

＊固液分離率は70%、堆肥の目減り率は60%を設定。

2004年度の作付面積に必要な施肥基準量及び有機質肥料分

成分	N（kg）	P_2O_5（kg）	K_2O（kg）
施肥基準量	**75,360**	**60,288**	**135,648**
有機質肥料	26,420	7,633	76,792
差（不足量）	48,940	52,655	58,856

（参考1）プラントが供給する消化液と堆肥の成分は、これまでの分析値を使用した。

有機質肥料	N（%）	P_2O_5（%）	K_2O（%）	
消化液	0.3000	0.1000	0.4000	土壌保全研究室分析結果より
堆肥	0.7000	0.4000	0.8000	土壌保全研究室分析結果より

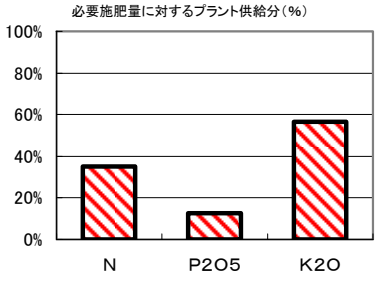
（参考2）消化液の肥効率については、資源循環プロジェクトの研究成果の値を使用した。

成分	N	P_2O_5	K_2O
消化液の肥効率	40%	40%	80%

＊資源循環プロジェクト「資源環境部門　Ⅲ　有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全効果に関する研究　－2　生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する検討　－1）草地に対する消化液の効果的施用法の確立」 とりまとめ成果より

（参考3）施肥基準量に対する2004年の有機質肥料の供給割合

割合	N	P_2O_5	K_2O
プラント供給分	35%	13%	57%
不足分	65%	87%	43%



【設定条件】④関連表

2004年における必要な化学肥料量を試算した。なお使用する化学肥料について、現在現地で最も使用されている、液肥を利用する場合における組み合わせ「BB055（春）＋BB565（一番後）／一番後の施肥量は消化液の施用が可能になることで縮小が可能」を設定した。液肥において特に不足するPについて、必要とする化学肥料（BB055：210,619kg）をベースに肥料購入額を試算した。なおKの過剰施用について、牧草生育に影響が出る範囲ではないことを確認している。

肥料購入	単価（円）FB500kg	購入額（円）	
BB055	20,750	8,524,240	N:P:K＝10:25:15
BB565	20,750	1,110,945	N:P:K＝15:6:15
	計	**9,635,184 円**	

＊農家の利用実績より、一番後の施肥時期において、消化液散布を基本とした。プラント利用により消化液を使用する体制になることで、春・一番後・秋の施肥時期において、従来は全く有機質肥料を散布できなかったが、利用後において散布が可能になり利用しやすくなった、一番後の施肥時期において、飛び地（7団地139ha）以外の圃場は全て消化液散布で追肥する条件を設けて整理した。

【設定条件】⑤関連表

最後に年次別の作付面積及びパリティ指数の違いを調整した。

年次	作付面積（ha）	パリティ指数
2001年	**711.0**	544.82
2004年	**737.3**	539.05

＜調整後の試算＞

利用前の必要化学肥料購入額（2001年）	**16,167,302 円**
利用後の必要化学肥料購入額（2004年）	**9,635,184 円**
利用後における節減額（2004年）	**6,532,117 円**
成牛換算1頭当たり（／950頭）	**6,876 円**

付表６　購入肥料費節減額の試算（スラリーのみ処理の場合）

【設定条件】①関連表

2001年度別海プラント利用農家フリーストール3戸の施用肥料の集計より

種類	施肥量（t）	施肥面積（ha）	N（kg）	P（kg）	K（kg）
堆肥	2,630	146.26	7,260	2,206	14,962
ｽﾗﾘｰ	5,491	121.74	8,676	2,273	21,300
有機質肥料計	8,121	268	15,936	4,480	36,261

＊肥効率は北海道施肥標準より使用。
堆肥　N:P:K＝40%:30%:90%
スラリー　N:P:K＝40%:30%:90%
＊堆肥及びスラリーの成分は、2001年分析結果を使用。
堆肥　N:P:K＝0.690%:0.280%:0.632%
スラリー　N:P:K＝0.395%:0.138%:0.431%

堆肥のNの肥効率（当年25%、2年目10%、3年目5%）について、ここでは経年利用を前提とする。

「堆肥、スラリー、尿の養分含量推定法と肥効率の設定」（1999年指導参考）より

有機質肥料の圃場還元率は、スラリー95%、尿68%、堆肥94%

また、この実績値より、施肥基準量に対する不足量を試算した。

不足分	N（kg）	P（kg）	K（kg）	
施肥基準量	23,780	19,024	42,804	2001年作付面積：711.0ha
有機質肥料分	15,936	4,480	36,261	
差（不足量）	7,844	14,544	6,543	

施肥基準量は北海道施肥標準の牧草畑における基準値を使用。
採草地、チモシー、道東、Ⅲ、火山性土－N：10、P2O5：8、K2O：18（kg/10a）

【設定条件】②関連表

この不足量を補うために必要な化学肥料量を試算した。なお使用する化学肥料について、当時現地で最も使用されていた組み合わせと施用量「BB122（春）＋BB456（一番後）／一番後の施肥量は春の施肥量の半分」を設定した。液肥において特に不足するPについて、必要とする化学肥料（BB122：72,722kg）をベースに肥料購入額を試算した。なおKの過剰施用について、牧草生育に影響が出る範囲ではないことを確認している。

肥料購入	単価（円）FB500kg	購入額（円）	
BB122	20,750	3,017,952	N:P:K＝10:20:20
BB456	23,500	1,708,961	N:P:K＝14:5:26
	計	4,726,913 円	

＊利用後の状況と比較する場合には、比較年次の作付面積とパリティ指数を考慮する必要がある。

【設定条件】③関連表

プラント利用後の有機質肥料の施肥状況を把握するため、2004年の利用農業フリーストール3戸の飼養頭数を踏まえて、ふん尿を全量プラント処理した場合の有機質肥料の供給量を試算した。

2004年度別海プラント利用農家フリーストール3戸の飼養頭数及び発生ふん尿量

農家名	成牛（頭）	育成（頭）	成牛ふん（年・t）	成牛尿（年・t）	育成ふん尿（年・t）
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙa	70	36	1,273.4	334.2	323.2
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙb	113	67	2,055.7	539.5	601.6
ﾌﾘｰｽﾄｰﾙc	84	52	1,528.1	401.0	466.9
計	267	155	4,857.2	1,274.7	1,391.7

＊　頭・日当たりの排泄量は、「『家畜糞尿処理・利用の手引き』 P4、表１－１　畜種別糞尿排出量」 より参

2004年度発生ふん尿量を全量プラント処理する場合における、有機質肥料（消化液及び堆肥）の供給量

有機質肥料	供給量（t）
消化液←（ｽﾗﾘｰ）	6,132
堆肥←（育成ふん尿）	835

＊堆肥の目減り率は60%を設定。（育成ふん尿を対象）

2004年度の作付面積に必要な施肥基準量及び有機質肥料分

成分	N（kg）	P_2O_5（kg）	K_2O（kg）
施肥基準量	**24,280**	**19,424**	**43,704**
有機質肥料	9,696	2,842	28,087
差（不足量）	14,584	16,582	15,617

（参考1）プラントが供給する消化液と堆肥の成分は、これまでの分析値を使用した。

有機質肥料	N（%）	P_2O_5（%）	K_2O（%）	
消化液	0.3000	0.1000	0.4000	土壌保全研究室分析結果より
堆肥	0.7000	0.4000	0.8000	土壌保全研究室分析結果より

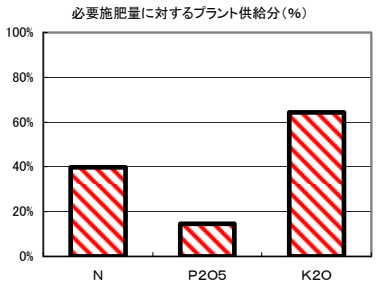
（参考2）消化液の肥効率については、資源循環プロジェクトの研究成果の値を使用した。

成分	N	P_2O_5	K_2O
消化液の肥効率	40%	40%	80%

＊資源循環プロジェクト「資源環境部門　Ⅲ　有機性廃棄物の農地還元技術と環境保全効果に関する研究　－２　生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する検討　－１）草地に対する消化液の効果的施用法の確立」 とりまとめ成果より
＊堆肥の肥効率は北海道施肥標準値を使用した。

（参考3）施肥基準量に対する2004年有機質肥料の供給割合

割合	N	P_2O_5	K_2O
プラント供給分	40%	15%	64%
不足分	60%	85%	36%



【設定条件】④関連表

2004年における必要な化学肥料量を試算した。なお使用する化学肥料について、現在現地で最も使用されている、液肥を利用する場合における組み合わせ「BB055（春）＋BB565（一番後）／一番後の施肥量は消化液の施用が可能になることで縮小が可能」を設定した。液肥において特に不足するPについて、必要とする化学肥料（BB055：66,330kg）をベースに肥料購入額を試算した。なおKの過剰施用について、牧草生育に影響が出る範囲ではないことを確認している。

肥料購入	単価（円）FB500kg	購入額（円）	
BB055	20,750	2,885,476	N:P:K＝10:25:15
BB565	20,750	316,230	N:P:K＝15:6:15
	計	3,201,706 円	

＊農家の利用実績より、一番後の施肥時期において、消化液散布を基本とした。プラント利用により消化液を使用する体制になることで、一番後の施肥時期において、従来はほとんど有機質肥料を散布できなかったが、利用後において利用しやすくなった、一番後の施肥時期において、飛び地（3団地38.1ha）以外の圃場は全て消化液散布で追肥する条件を設けて整理した。

【設定条件】⑤関連表

最後に年次別の作付面積及びパリティ指数の違いを調整した。

年次	作付面積（ha）	パリティ指数
2001年	**237.8**	544.82
2004年	**242.8**	539.05

＜調整後の試算＞

利用前の必要化学肥料購入額（2001年）	**4,971,859 円**
利用後の必要化学肥料購入額（2004年）	**3,201,706 円**
利用後における節減額（2004年）	**1,770,153 円**
成牛換算1頭当たり（／345頭）	**5,131 円**

付表７　管理人、運転員及び臨時作業員の作業計画

施設	運搬		処理頭数規模	原料ふん尿	管理人		運転員		臨時作業員	
	搬出入	圃場散布			人数	作業	人数	作業	人数	作業
別海プラント	外部委託	外部委託	1,000	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化				
	プラント	外部委託	1,000	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化	1	搬出入（通年）		
	プラント	プラント	1,000	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化	1	搬出入（通年） 圃場散布（通年）	1	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	2,000	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化	2	搬出入（通年） 圃場散布（通年）	2	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	3,000	固形ふん＋スラリー	2	一般管理作業 固液分離・堆肥化	3	搬出入（通年） 圃場散布（通年）	3	圃場散布（ピーク月）
	外部委託	外部委託	1,000	スラリー	1	一般管理作業				
	プラント	外部委託	1,000	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年）			1	搬出（ピーク月） ＊補助的
	プラント	プラント	1,000	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年） 圃場散布（通年）			2	搬出（ピーク月） 圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	2,000	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年） 圃場散布（通年）	1	搬出入（通年） 圃場散布（通年）	4	搬出（ピーク月） 圃場散布（ピーク月）
湧別プラント	外部委託	外部委託	200	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化				
	プラント	外部委託	200	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化 搬出入（通年）				
	プラント	プラント	200	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化 搬出入（通年）			1	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	400	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化 搬出入（通年）			2	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	600	固形ふん＋スラリー	1	一般管理作業 固液分離・堆肥化 搬出入（通年）			3	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	2,000	固形ふん＋スラリー	2	一般管理作業 固液分離・堆肥化 搬出入（通年）			10	圃場散布（ピーク月）
	外部委託	外部委託	200	スラリー	1	一般管理作業				
	プラント	外部委託	200	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年）				
	プラント	プラント	200	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年） 圃場散布（通年）			1	圃場散布（ピーク月）
	プラント	プラント	1,000	スラリー	1	一般管理作業 搬出入（通年） 圃場散布（通年）			5	圃場散布（ピーク月）

＜各作業員の設定条件＞

「管理人」

実8時間労働（休憩を除く）
一般管理業務をはじめ、運搬作業まで幅広く行うことができる。
スラリーのみの場合、固液分離・堆肥化作業がないため、その分運搬作業を行うものとする
スラリーのみの場合、搬出入作業は1,000頭規模までの運搬が一人で可能と判断
スラリーのみの場合で圃場散布までプラントが行う場合、搬出作業の一部として圃場散布も同時に管理人が行うこととなる
別海では2,000頭規模（現規模の2倍）まで、一般管理＋固液分離・堆肥化作業が一人で可能と判断
湧別では1,000頭規模（現規模の5倍）まで、一般管理＋固液分離・堆肥化作業が一人で可能と判断

「運転員」

実8時間労働（休憩を除く）
運搬車輌の運転作業に専属
スラリーのみの場合、搬出入作業は1,000頭規模までの運搬が一人で可能と判断
現地での運営状況を踏まえて、湧別では設定する必要がないと判断
現地での運搬作業より、一人当たり1,000頭規模までの作業が可能と判断

「臨時作業員」

実8時間労働（休憩を除く）
時間は日中が基本だが、フレックスな対応も可能とする
（今回、別海のピーク月の場外タンクへの搬出作業の補助する場合（＊）として、管理人使用時以外の時間帯を設定している）
搬出及び圃場散布のピーク月（5・7・10月）のみの雇用
搬出及び圃場散布の運転作業に専属
（別海では場外タンクへの搬出作業と兼務する場合が想定されている。）
別海では一人当たり500頭規模までの圃場散布が可能と判断
（管理人や運転員の搬出及び圃場散布作業と重複するため）
湧別では一人当たり200頭規模までの圃場散布が可能と判断
（管理人一人が複数プラントを管理する場合、圃場散布時間を作業員が節減できるまで重複することは難しいため）
（また湧別では場外タンクがないことや1プラント当たりの規模が小さいことから、プラントからの直接散布を基本としている。）

付表８　現体制（1,000 頭規模：搬出入までプラントが実施）における作業時間体系

脱着ｺﾝﾃﾅ車の運転員（1名）の作業時間体系　　（参考）管理人

曜日	月	火	水	木	金	土		月～金	固液分離機稼働時間
						（参考）1人勤務			
8:00	出勤	出勤	出勤	出勤	出勤	出勤		出勤	
	ST① 固形ふん 1回目	ST① 固形ふん 2回目	ST④ 固形ふん 2回目	ST① 固形ふん 3回目	ST④ 固形ふん 3回目	管理業務		管理業務	
9:00	ST② 固形ふん 1回目	ST② 固形ふん 2回目	ST⑤ 固形ふん 2回目	ST② 固形ふん 3回目	ST⑤ 固形ふん 3回目	ST① 固形ふん 4回目		固液分離	（稼働）
	ST③ 固形ふん 1回目	ST⑥ 固形ふん 1回目	ST③ 固形ふん 2回目	ST③ 固形ふん 3回目	ST⑥ 固形ふん 2回目	ST② 固形ふん 4回目			
10:00	ST④ 固形ふん 1回目	FS④ スラリー 1回目	ST② 尿 1回目	ST② 尿 2回目	FS④ スラリー 3回目	ST③ 固形ふん 4回目			
		FS④ スラリー 2回目	ST④ 尿 1回	FS② スラリー 5回目	FS④ スラリー 4回目	FS② スラリー 7回目		管理業務	
11:00	ST⑤ 固形ふん 1回目	FS① スラリー 2回目	ST① 尿 1回	FS③ スラリー 5回目	FS② スラリー 6回目	管理業務		固液分離	
			FS② スラリー 3回目						
12:00	昼休み	昼休み	昼休み	昼休み	昼休み	昼休み		昼休み	
13:00	FS② スラリー 1回目	FS② スラリー 2回目	FS② スラリー 4回目	FS① スラリー 4回目	FS③ スラリー 6回目	FS② スラリー 8回目		固液分離	
	FS① スラリー 1回目	FS③ スラリー 3回目	FS③ スラリー 4回目	場外②4回目	場外②10回目	FS① スラリー 5回目			
14:00	FS③ スラリー 1回目	場外①5回目	FS① スラリー 3回目	場外②5回目	場外②11回目	管理業務		管理業務	
	FS③ スラリー 2回目	場外①6回目	場外①11回目	場外②6回目	場外②12回目	FS③ スラリー 7回目		固液分離	
15:00	場外①1回目	場外①7回目	場外①12回目	場外②7回目	場外②13回目	場外②16回目			
	場外①2回目	場外①8回目	場外②1回目	場外②8回目	場外②14回目	場外②17回目			
	場外①3回目	場外①9回目	場外②2回目	場外②9回目	場外②15回目	場外②18回目			（洗浄）
16:00	場外①4回目	場外①10回目	場外②3回目						
	管理業務	管理業務	管理業務	管理業務	管理業務	管理業務		管理業務	
17:00	退社	退社	退社	退社	退社	退社		退社	

＜各運搬作業時間整理表＞

バキュームの積み込み作業

共通行程	／日
ﾊﾞｷｭｰﾑ本体積み込み	0:01
ﾊﾞｷｭｰﾑ調整・長ﾎｰｽ装着	0:03
ﾊﾞｷｭｰﾑ本体下ろし	0:01
移動・停止・降車	0:01
計	0:06

消化液→場外タンク

行程／種類	場外①:消化液			場外②:消化液		
	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動・牽引車切り返し	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ﾊﾟｲﾌﾟ・ｾｯﾄ・ﾊﾞﾙﾌﾞ開栓	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
消化液吸い込み 又は ﾀﾝｸ投入	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04
ﾊﾞﾙﾌﾞ閉栓	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:04	0:04	0:04	0:07	0:07	0:07
開門	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
切り返し・ﾊﾟｲﾌﾟｾｯﾄ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
場外ﾀﾝｸ投入	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04
ﾊﾟｲﾌﾟ外し	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
閉門	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:04	0:04	0:04	0:07	0:07	0:07
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01		0:01	0:01		0:01
計	0:25	0:24	0:25	0:31	0:30	0:31

スラリー→プラント

行程／種類	FS①:スラリー			FS②:スラリー			FS③:スラリー			FS④:スラリー		
	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目	2回目	1回のみ	1回目～	最終回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動・ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
切り返し・着替え・ｾｯﾄ	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽﾗﾘｰ吸い込み 又は ﾀﾝｸ投入	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:43	0:43	1:14	0:04	0:04	0:04
ｾｯﾄ・着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
移動・切り返し・ｾｯﾄ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
受入槽投入	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:10	0:05	0:05	0:05
ｾｯﾄ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
移動	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
計	0:31	0:30	0:31	0:23	0:22	0:23	1:04	1:03	1:40	0:25	0:24	0:25

尿→プラント

行程／種類	ST⑤:尿			ST③:尿			ST①:尿			ST④:尿			ST②:尿			ST⑥:尿		
	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動・ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
切り返し・着替え・ｾｯﾄ	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽﾗﾘｰ吸い込み	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04	0:04
ｾｯﾄ・着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
移動・切り返し・ｾｯﾄ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
受入槽投入	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05
ｾｯﾄ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
移動	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
計	0:29	0:28	0:29	0:23	0:22	0:23	0:23	0:22	0:23	0:27	0:26	0:27	0:25	0:24	0:25	0:25	0:24	0:25

ふん→プラント

行程／種類	ST⑤:ふん			ST③:ふん			ST①:ふん			ST④:ふん			ST②:ふん			ST⑥:ふん		
	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
掻き出し：屋根開扉	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
ｺﾝﾃﾅ本体積み込み	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
金具外し	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
積み下ろし	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
掻き出し：水洗	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
金具留め	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え・ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
位置確認・ｺﾝﾃﾅ本体積み下ろし	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
扉掃開扉：着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:05	0:05	0:05	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:04	0:04	0:04	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
移動・停止・降車	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
計	0:47	0:45	0:47	0:35	0:33	0:35	0:35	0:33	0:35	0:43	0:41	0:43	0:39	0:37	0:39	0:39	0:37	0:39

育成ふん→プラント＜仮定＞

行程／種類	FS①:育成ふん			FS②:育成ふん			FS③:育成ふん			FS④:育成ふん		
	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回	1回のみ	1回目～	最終回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
掻き出し：屋根開扉	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
ｺﾝﾃﾅ本体積み込み	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ｽｹｰﾙ	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
金具外し	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
積み下ろし	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
掻き出し：水洗	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
金具留め	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
着替え・ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
ｽｹｰﾙ・ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
位置確認・ｺﾝﾃﾅ本体積み下ろし	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02	0:02
扉掃開扉：着替え	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
農家庭先移動	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01
道路移動	0:06	0:06	0:06	0:02	0:02	0:02	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03	0:03
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
移動・停止・降車	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01	0:01		0:01
計	0:51	0:49	0:51	0:35	0:33	0:35	0:39	0:37	0:39	0:39	0:37	0:39
（実際の処理状況）	自家処理			自家処理			スラリー混合			自家処理		

完成堆肥積み込み作業

共通行程	／回
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01
育成用ｺﾝﾃﾅ本体積み込み	0:02
ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01
完成堆肥積み込み	**0:06**
ｽｹｰﾙ・ﾌﾟﾗﾝﾄ内移動	0:01
計	0:11

付表９　湧別プラントの建設費及び減価償却費（2004 年パリティ換算値）

施設区分	施設・機器	合計	ﾊﾟﾘﾃｨ換算計(2004年)	耐用年数区分	耐用年数	ﾊﾟﾘﾃｨ換算減価償却	備考
共通施設	受入･ｴﾈﾙｷﾞｰ利用施設	13,200	12,962	建物	30	389	
共通施設	移送ﾎﾟﾝﾌﾟ	1,080	1,061	農林業用	8	119	
共通施設	発酵槽ﾌｨｰﾄﾞﾎﾟﾝﾌﾟ	480	471	農林業用	8	53	
共通施設	消化液移送ﾎﾟﾝﾌﾟ	360	354	農林業用	8	40	
共通施設	脱臭用ﾌｧﾝ	840	825	建物付属設備	15	49	
共通施設	鉄架構	4,200	4,124	建物	30	124	
共通施設	出入口排水溝設置	791	783	区画整理	35	20	2001施設改善
共通施設	排水溝追加設置	976	966	区画整理	35	25	2001施設改善
共通施設	増設電気制御盤	2,608	2,602	建物付属設備	15	156	2002施設改善
共通施設	換気扇取付工事	41	41	建物付属設備	15	2	2002施設改善
共通施設	電気計装	26,828	26,345	測定工具	5	4,742	
共通施設	一体型電磁流量計	1,968	1,964	測定工具	5	354	2002施設改善
共通施設	舗装・砂利・ｹﾞｰﾄ等	11,040	10,841	区画整理	35	279	
共通施設	排水路等	49,200	48,314	区画整理	35	1,242	
共通施設	場内進入路設置	802	794	区画整理	35	20	2001施設改善
(小計)		114,414	112,448		14.8	7,615	
ﾀﾝｸ類	発酵槽	28,100	27,594	構築物	15	1,656	
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽ貯留設備	22,181	22,134	構築物	15	1,328	2002施設改善
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ	3,790	3,722	構築物	15	223	
ﾀﾝｸ類	ﾋﾟｯﾄ類（受入槽：殺菌槽：ｽﾗﾘｰ受槽）	8,400	8,249	構築物	30	247	
ﾀﾝｸ類	消化液貯留槽（搬出槽含む）	16,920	16,615	構築物	15	997	
ﾀﾝｸ類	ﾊﾞｷｭｰﾑﾀﾝｶｰ排出管設備修理	917	907	建物付属設備	15	54	2001施設改善
ﾀﾝｸ類	堰付ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰﾄﾞﾚﾝ排出設備工	182	182	建物付属設備	15	11	2002施設改善
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰ切替ﾊﾞﾙﾌﾞ設置工	571	570	建物付属設備	15	34	2002施設改善
ﾀﾝｸ類	ｶﾞｽﾎﾙﾀﾞｰﾄﾞﾚﾝ排出設備工	1,181	1,178	建物付属設備	15	71	2002施設改善
ﾀﾝｸ類	汲み上げポンプ③	3,610	3,602	農林業用	8	405	2002施設改善
(小計)		85,851	84,753		16.9	5,027	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	発電機	11,400	11,195	内燃力又はｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電施設	15	672	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	温水ﾋｰﾀｰ（油炊き）	1,200	1,178	ﾎﾞｲﾗｰ	8	133	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	温水ﾋｰﾀｰ（ｶﾞｽ炊き）	1,440	1,414	ﾎﾞｲﾗｰ	8	159	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	重油ﾀﾝｸ	500	491	構築物	15	29	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	燃料ﾎﾟﾝﾌﾟ	760	746	農林業用	8	84	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	温水ﾀﾝｸ	600	589	構築物	15	35	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	加温循環ﾎﾟﾝﾌﾟ	280	275	農林業用	8	31	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	計量加温ﾀﾝｸ	940	923	構築物	15	55	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	温水循環ﾎﾟﾝﾌﾟ工事	2,824	2,818	農林業用	8	317	2002施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	殺菌槽ﾌｨｰﾄﾞ加温器１	1,010	992	ﾎﾞｲﾗｰ	8	112	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	殺菌槽ﾌｨｰﾄﾞ加温器２	10,101	9,919	ﾎﾞｲﾗｰ	8	1,116	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	脱硫器	1,680	1,650	構築物	10	148	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	二次脱硫器	360	354	構築物	10	32	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	脱硫器改造工	522	520	構築物	10	47	2002施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	脱硫器出口改造工	1,378	1,375	構築物	10	124	2002施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	脱硫器出口改造工据付	369	368	構築物	10	33	2002施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ｶﾞｽ供給ﾌﾞﾛｱｰ	1,380	1,355	電動機	10	122	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ｴｱﾁｬｰｼﾞﾌｧﾝ	40	39	電動機	10	4	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	余剰ｶﾞｽ燃焼装置	1,320	1,296	構築物	10	117	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ｴｱ混入ﾎﾟﾝﾌﾟ	60	59	電動機	10	5	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	冷却循環水ﾀﾝｸ	360	354	構築物	15	21	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	冷却水凍結防止ﾋｰﾀｰ	180	177	建物付属設備	15	11	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	冷却循環ﾎﾟﾝﾌﾟ	120	118	農林業用	8	13	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	配管	16,160	15,869	建物付属設備	15	952	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	保温	9,600	9,427	建物付属設備	15	566	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	加熱管	1,660	1,630	建物付属設備	15	98	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	機器据付	1,440	1,414	建物付属設備	15	85	
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	ボイラー煙突製作取替工事２カ所（改善）	332	332	建物付属設備	15	20	2003施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	融解槽凍結抑制ガード設置工事（蓋）	360	361	建物付属設備	15	22	2003施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	電磁流量計増設	330	330	測定工具	5	59	2003施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	露結対策補助（遠熱線）	1,030	1,031	建物付属設備	15	62	2003施設改善
ｴﾈﾙｷﾞｰ施設	温水配管変更作業（熱収支向上）	217	217	建物付属設備	15	13	2003施設改善
(小計)		69,952	68,817		13.0	5,296	
副資材処理	粉砕機	2,820	2,769	農林業用その他	8.0	312	
堆肥化施設	受入施設	41,060	40,321	農林業用	20	1,814	
堆肥化施設	天日乾燥施設	14,400	14,141	農林業用	20	636	
堆肥化施設	堆肥発酵施設	16,800	16,498	農林業用	20	742	
堆肥化施設	完成堆肥舎	9,480	9,309	農林業用	20	419	
堆肥化施設	ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ＋ﾄﾗｸﾀｰ	2,835	2,784	自走式作業機械	5	501	
堆肥化施設	ﾊﾞｰﾝｸﾘｰﾅｰ（受入側）	1,790	1,758	家畜飼養	8	198	
堆肥化施設	ﾊﾞｰﾝｸﾘｰﾅｰ（排出側）	2,680	2,632	家畜飼養	8	296	
堆肥化施設	固液分離機	12,380	12,157	家畜飼養	8	1,368	
堆肥化施設	水中ﾎﾟﾝﾌﾟ	1,960	1,925	農林業用	8	217	
堆肥化施設	排気ﾌｧﾝ	740	727	建物付属設備	15	44	
堆肥化施設	天日乾燥用熱交換器	4,200	4,124	ﾎﾞｲﾗｰ	8	464	
堆肥化施設	天日乾燥用攪拌機	3,620	3,555	家畜飼養	5	640	
堆肥化施設	天日乾燥用ﾌﾞﾛｱｰ送風機	470	462	建物付属設備	15	28	
堆肥化施設	堆肥発酵用熱交換器	4,680	4,596	ﾎﾞｲﾗｰ	8	517	
堆肥化施設	堆肥発酵用攪拌機	7,700	7,561	家畜飼養	5	1,361	
堆肥化施設	堆肥発酵用ﾌﾞﾛｱｰ送風機	470	462	建物付属設備	15	28	
堆肥化施設	ﾀｲﾔｼｮﾍﾞﾙ	7,875	7,733	自走式作業機械	5	1,392	
堆肥化施設	堆肥発酵棟出入口設備修理	807	798	農林業用	20	36	2001施設改善
堆肥化施設	ﾊﾞｰﾝｸﾘｰﾅｰ上屋巻上設備修理	312	309	建物付属設備	15	19	2001施設改善
堆肥化施設	天日乾燥棟出入口設備修理	874	865	農林業用	20	39	2001施設改善
堆肥化施設	固液分離機凍結防止装置設置	496	491	建物付属設備	15	29	2001施設改善
堆肥化施設	ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ改良・設置	4,437	4,442	自走式作業機械	5	800	2003施設改善
(小計)		140,066	137,648		11.9	11,587	
(合計)		413,103	406,435		13.6	29,836	

付表１０　湧別プラント実用運転にかかる運営費（2004 年パリティ換算値）

項目		実績値からの抽出（円）				システム設定値（円）	考察	
		2001年度	2002年度	2003年度	2004年度			
1 減価償却								
共通＋メタン発酵				268,787,165 （建設費）		3,107,773	エネルギー機械の負担率50%、他は5%	2000～2004 実績→試算
＋固液分離・堆肥化				137,648,266 （建設費）		521,394	負担率5%	2000～2004 実績→試算
＋運搬・ほ場撒布	トラクター			―		472,500	負担率50%	湧別利用農家で最も使用されている規格で試算
	尿散布機			―		238,500	負担率50%	湧別利用農家で最も使用されている規格で試算
	ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ			―		457,200	負担率50%	湧別利用農家で最も使用されている規格で試算
	ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞｰ			―		190,350	負担率50%	湧別利用農家で最も使用されている規格で試算
2 人件費								
管理人		2,450,000	2,400,000	3,010,050	2,400,000	4,475,900	北海道開発局特定単価「特殊作業員」	2004 試算
運転員		―	―	―	―	3,756,000	北海道開発局特定単価「運転員（一般）」	2004 試算
臨時雇用		―	―	―	―	900,000	地元コントラ使用単価	2004 試算
3 点検交換費								
定期点検		451,000	451,184	451,184	451,348	451,000		2001～2004 実績より試算
脱硫材交換		―	997,500	1,822,800	1,974,000	1,199,000		2001～2004 実績より試算
ガス発電機関係		―						2001～2004 実績より試算
その他エネルギー施設関連		117,810	226,615	1,492,785	2,914,464	1,188,000		2001～2004 実績より試算
その他固液分離関係		1,137,640	2,861,230	2,929,866	1,781,255	2,177,000		2001～2004 実績より試算
運搬関係その他		―	―	―	―	180,000		2004 試算
4 修理費								
エネルギー施設関連		698,502	1,303,102	1,398,274	1,083,906	1,121,000		2001～2004 実績より試算
固液分離関連		―	―	1,093,087	211,669	326,000		2001～2004 実績より試算
運搬関係その他		―	―	―	―	27,000		2004 試算
5 光熱費								
電気A	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	2,330,052	2,071,227	1,782,236	1,573,097	1,800,000		2001～2004 実績より試算
電気B	ｽﾗﾘｰのみ					1,476,000		実績より試算
重油A	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	1,560,300	1,518,000	1,642,679	926,100	1,650,000		2001～2004 実績より試算
重油B	ｽﾗﾘｰのみ					1,501,500		実績より試算
軽油A	固液分離投入・移	379,938	113,090	245,567	208,147	250,000		2001～2004 実績より試算
軽油B	搬出入機械	―	―	―	―	250,000		2004 試算
軽油C	ほ場撒布機械	―	―	―	―	250,000		2004 試算
灯油		47,696	116,840	147,695	86,528	100,000		2001～2004 実績より試算
プロパン		55,000	45,585	45,000	185,000	45,000		2001～2004 実績より試算
6 雑費								
水道		68,358	58,798	56,129	55,187	60,000		2001～2004 実績より試算
電話		257,952	169,827	120,300	86,498	120,000		2001～2004 実績より試算
その他		311,280	1,377,618	1,561,504	1,567,393	790,000		2001～2004 実績より試算
7 運搬費								
搬入A	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	―	―	―	―	2,210,849		地元単価で試算
搬出A	消化液＋堆肥	―	―	―	―	―		
ほ場撒布A	消化液＋堆肥	―	―	―	―	2,096,268		地元単価で試算
搬入B	ｽﾗﾘｰのみ	―	―	―	―	2,934,775		地元単価で試算
搬出B	消化液のみ	―	―	―	―	―		
ほ場撒布B	消化液のみ	―	―	―	―	2,096,268		地元単価で試算

付表１１　湧別型システムの年間経費の考え方（2004 年パリティ換算値）

項目		システム設定単価（円/現況200頭規模・台）	シミュレーションにおける考え方									
処理対象とする原料			固形ふん＋スラリー						スラリーのみ			
処理規模			200頭			400頭	600頭	2,000頭	200頭			1,000頭
プラントが行う運搬			外部委託	搬出入まで	全て	全て			外部委託	搬出入まで	全て	全て
1 減価償却												
	共通＋メタン発酵	3,107,773	現プラントにおける湿式メタン発酵にかかる施設			同規模施設を１つ増設	同規模施設を２つ増設	同規模施設を９つ増設	現プラントにおける湿式メタン発酵にかかる施設			同規模施設を４つ増設
	＋固液分離･堆肥化	521,394	現プラントにおける固液分離・堆肥化にかかる施設 処理能力及び作業時間の実績を踏まえて、500頭規模まで処理が可能と判断				同規模施設を１つ増設	同規模施設を３つ増設	（必要としない）			
	＋運搬 ･ほ場撒布 トラクター	472,500	－	運搬量及び作業時間の実績を踏まえて、現況の200頭規模まで、管理人１人による、１台のトラクター＋尿散布機とﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ（ﾄﾚｰﾗｰ兼）の牽引で可能と判断	運搬量及び作業時間の実績を踏まえて、現況の200頭規模まで、管理人１人による搬入作業及び臨時作業員１人による圃場散布作業を、１台のトラクター＋尿散布機とﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ（ﾄﾚｰﾗｰ兼）の牽引で可能と判断	同機械一式を１台増加	同機械一式を２台増加	同機械一式を９台増加	－	運搬量及び作業時間の実績を踏まえて、現況の200頭規模まで、管理人１人による、１台のトラクター＋ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞの牽引で可能と判断	運搬量及び作業時間の実績を踏まえて、現況の200頭規模まで、管理人１人による搬入作業及び臨時作業員１人による圃場散布作業を、１台のトラクター＋ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞの牽引で可能と判断	同機械一式を４台増加
		尿散布機 238,500	－			同機械一式を１台増加	同機械一式を２台増加	同機械一式を９台増加	－	－	－	－
		ﾏﾆｭｱｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ 190,350	－			同機械一式を１台増加	同機械一式を２台増加	同機械一式を９台増加	－	－	－	－
		ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ 457,200	－	－	－	－	－	－	－	液分（スラリー及び消化液）の運搬専用となるため、ｽﾗﾘｰｽﾌﾟﾚｯﾀﾞを使用		同機械一式を４台増加

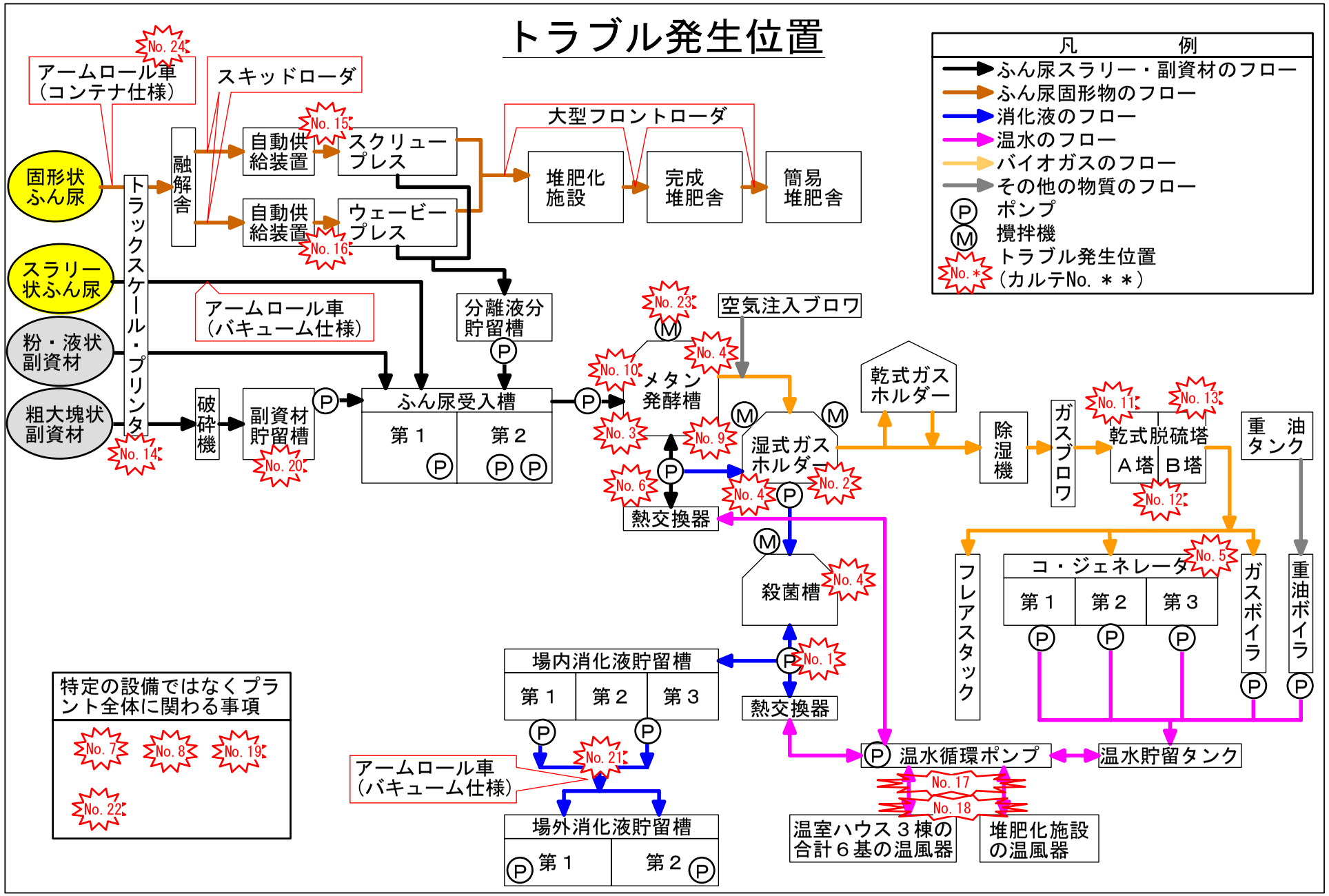
<table>
<tr><td rowspan="4">項目
処理対象とする原料
処理規模
プラントが行う運搬</td><td rowspan="4">システム設定単価（円/現況200頭規模・台）</td><td colspan="10">シミュレーションにおける考え方</td></tr>
<tr><td colspan="6">固形ふん＋スラリー</td><td colspan="4">スラリーのみ</td></tr>
<tr><td colspan="3">200頭</td><td>400頭</td><td>600頭</td><td>2,000頭</td><td colspan="3">200頭</td><td>1,000頭</td></tr>
<tr><td>外部委託</td><td>搬出入まで</td><td>全て</td><td colspan="3">全て</td><td>外部委託</td><td>搬出入まで</td><td>全て</td><td>全て</td></tr>
<tr><td>2 人件費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理人</td><td>4,475,900</td><td colspan="5">プラントの一般管理作業＋固液分離・堆肥化作業の作業時間、及び搬入量と作業時間の実績を踏まえて、1,000頭規模まで１人で可能と判断</td><td>１人分の追加</td><td colspan="4">プラントの一般管理作業＋固液分離・堆肥化作業の作業時間、及び搬入量と作業時間の実績を踏まえて、1,000頭規模まで１人で可能と判断</td></tr>
<tr><td>運転員</td><td>3,756,000</td><td colspan="10">（現況で場外ﾀﾝｸがない条件設定より、搬出作業がなく、管理人による搬入作業のみの対応が可能と判断）</td></tr>
<tr><td>臨時雇用</td><td>900,000</td><td>－</td><td>－</td><td>圃場散布作業は散布量を踏まえて、現況の200頭規模まで１人で可能</td><td>１人分の追加</td><td>２人分の追加</td><td>９人分の追加</td><td>－</td><td>－</td><td>圃場散布作業は散布量を踏まえて、現況の200頭規模まで１人で可能</td><td>４人分の追加</td></tr>
<tr><td>3 点検交換費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>定期点検</td><td>451,000</td><td colspan="3" rowspan="3">メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断</td><td rowspan="3">同規模施設を１つ増設→比例</td><td rowspan="3">同規模施設を２つ増設→比例</td><td rowspan="3">同規模施設を９つ増設→比例</td><td colspan="3" rowspan="3">メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断</td><td rowspan="3">同規模施設を４つ増設→比例</td></tr>
<tr><td>脱硫材交換
ガス発電機</td><td>1,199,000</td></tr>
<tr><td>その他エネルギー施設関連</td><td>1,188,000</td></tr>
<tr><td>その他固液分離関係</td><td>2,177,000</td><td colspan="3">固液分離・堆肥化関連施設に必要な費用として、実績より、施設単位の固定費と判断</td><td>同規模施設を１つ増設→比例</td><td>同規模施設を２つ増設→比例</td><td>同規模施設を９つ増設→比例</td><td colspan="4">（必要としない）</td></tr>
<tr><td>その他運搬関係</td><td>180,000</td><td>－</td><td colspan="2">運搬関連機械に必要な費用として、実績より、機械一式単位の固定費と判断</td><td>同機械一式を１つ増設→比例</td><td>同機械一式を２つ増設→比例</td><td>同機械一式を９つ増設→比例</td><td>－</td><td colspan="2">運搬関連機械に必要な費用として、実績より、機械一式単位の固定費と判断</td><td>同機械一式を４つ増設→比例</td></tr>
<tr><td>4 修理費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>エネルギー施設関連</td><td>1,121,000</td><td colspan="3">メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断</td><td>プラント処理量の２倍増加→比例</td><td>プラント処理量の３倍増加→比例</td><td>プラント処理量の10倍増加→比例</td><td colspan="3">メタン発酵関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断</td><td>プラント処理量の５倍増加→比例</td></tr>
<tr><td>固液分離関連</td><td>326,000</td><td colspan="3">固液分離・堆肥化関連施設に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断</td><td>プラント処理量の２倍増加→比例</td><td>プラント処理量の３倍増加→比例</td><td>プラント処理量の10倍増加→比例</td><td colspan="4">（必要としない）</td></tr>
<tr><td>その他運搬関係</td><td>27,000</td><td>－</td><td colspan="2">運搬関連機械に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断</td><td>プラント処理量の２倍増加→比例</td><td>プラント処理量の３倍増加→比例</td><td>プラント処理量の10倍増加→比例</td><td>－</td><td colspan="2">運搬関連機械に必要な費用として、実績より、処理量に比例する変動費と判断</td><td>プラント処理量の５倍増加→比例</td></tr>
</table>

項目			システム設定単価（円/現況200頭規模・台）	シミュレーションにおける考え方								
処理対象とする原料				固形ふん＋スラリー						スラリーのみ		
処理規模				200頭			400頭	600頭	2,000頭	200頭		1,000頭
プラントが行う運搬				外部委託	搬出入まで	全て	全て			外部委託	搬出入まで	全て	全て
5 光熱費													
	電気A	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	1,800,000	プラント全体で消費した実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	プラント処理量の10倍増加→比例	プラント全体で消費した実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の５倍増加→比例
	電気B	ｽﾗﾘｰのみ	1,476,000										
	重油A	ｽﾗﾘｰ＋固形ふん	1,650,000	主に冬期の発酵槽の加温（不足分）に使用されている実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	プラント処理量の10倍増加→比例	主に冬期の発酵槽の加温（不足分）に使用されている実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の５倍増加→比例
	重油B	ｽﾗﾘｰのみ	1,501,500										
	軽油A	固液分離投入・移動	250,000	現況の実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の２倍増加→比例	プラント処理量の３倍増加→比例	プラント処理量の10倍増加→比例	現況の実績より、処理量に比例する変動費と判断			プラント処理量の５倍増加→比例
	軽油B	搬出入機械（搬入作業分）	250,000	－	現地で使用された搬入機械における実績を基に試算、処理量に比例する変動費と判断		搬入量の２倍増加→比例	搬入量の３倍増加→比例	搬入量の10倍増加→比例	－	現地で使用された搬入機械における実績より、処理量に比例する変動費と判断		搬入量の５倍増加→比例
	軽油C	ほ場撒布機械	250,000	－	－	現地で使用された圃場散布機械における実績を基に試算、処理量に比例する変動費と判断	圃場散布量の２倍増加→比例	圃場散布量の３倍増加→比例	圃場散布量の10倍増加→比例	－	－	現地で使用された圃場散布機械における実績を基に試算、処理量に比例する変動費と判断	圃場散布量の５倍増加→比例
	灯油		100,000	主に冬期の作業員の控え室の暖房に利用されている実績より、施設全体単位の固定費と判断									
	プロパン		45,000	主にﾎﾞｲﾗｰの種火用などに利用される実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	同規模施設を９つ増設→比例	主にﾎﾞｲﾗｰの種火用などに利用される実績より、施設単位の固定費と判断			同規模施設を４つ増設→比例

項目		システム設定単価（円/現況200頭規模・台）	シミュレーションにおける考え方									
処理対象とする原料			固形ふん＋スラリー						スラリーのみ			
処理規模			200頭			400頭	600頭	2,000頭	200頭			1,000頭
プラントが行う運搬			外部委託	搬出入まで	全て	全て			外部委託	搬出入まで	全て	全て
6 雑費												
水道		60,000	主にプラントの洗浄、一般的利用等に使用されている実績より、施設単位の固定費と判断	現況の実績＋運搬機械の洗浄分を追加		同規模施設を１つ増設→比例	同規模施設を２つ増設→比例	同規模施設を９つ増設→比例	主にプラントの洗浄、一般的利用等に使用されている実績＋受入槽の使用頻度増加による洗浄量の増加分として、施設単位の固定費と判断			同規模施設を４つ増設→比例
電話		120,000	実績より、関連機関等との連絡を主な目的とすることより、施設全体単位の固定費と判断									
その他		790,000	主に規模に係わらない備品やその他修理などの実績より、施設全体単位の固定費と判断									
7 運搬費												
搬入A	スラリー＋固形ふん	2,210,849	実績の地元単価より、全量を搬出入する場合の試算	－	－	－	－	－	－	－	－	－
搬出A	消化液＋堆肥	－	（場外タンクなし）									
ほ場撒布A	消化液＋堆肥	2,096,268	実績の地元単価より、全量を圃場散布する場合の試算		－	－	－	－	－	－	－	－
搬入B	スラリーのみ	2,934,775	－	－	－	－	－	－	実績の地元単価より、全量を搬出入する場合の試算	－	－	－
搬出B	消化液のみ	－	（場外タンクなし）									
ほ場撒布B	消化液のみ	2,096,268	－	－	－	－	－	－	実績の地元単価より、全量を圃場散布する場合の試算		－	－

別海プラントでのトラブルのカルテ一覧表
（カルテ番号は、それぞれのカルテの左上隅に記してある。）

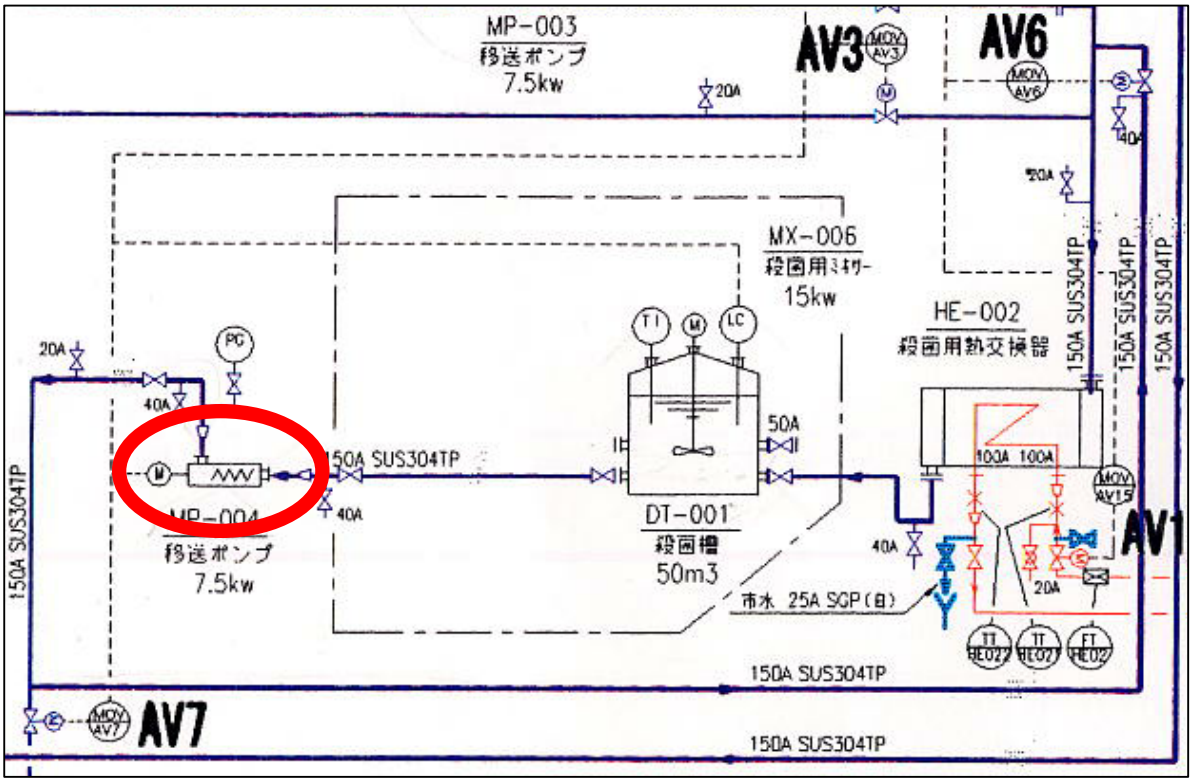
カルテ番号	カ ル テ タ イ ト ル
1	殺菌加熱循環ポンプのスラリー漏れ
2	湿式ガスホルダーのガス流出口の移設
3	メタン発酵槽の温度計測精度の劣化
4	スカム(浮滓)、スラッジ(沈殿滓)の状況が肉眼で確認できる構造になっていない
5	コジェネレータの稼働復帰が自動ではないことによるエネルギー損失と購入エネルギー増大
6	ドレイン弁の閉塞
7	外国製品の部品類が高額であること
8	第３号コジェネレータの冷却ファンモータが焼付いたが、国産製品に交換できなかった
9	上下２カ所に設置されているメタン発酵槽の加温循環取り出し口のうち、下部の閉塞
10	メタン発酵消化液の流出管での閉塞
11	乾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	スクリュ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	副資材貯留タンクの底の形状が不良
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ずらい


トラブル発生位置
凡　例
ふん尿スラリー・副資材のフロー
ふん尿固形物のフロー
消化液のフロー
温水のフロー
バイオガスのフロー
その他の物質のフロー
ポンプ
攪拌機
トラブル発生位置
No.＊（カルテNo. ＊＊）
固形状ふん尿
スラリー状ふん尿
粉・液状副資材
粗大塊状副資材
アームロール車（コンテナ仕様）
No. 24
トラックスケール・プリンタ
No. 14
融解舎
スキッドローダ
自動供給装置
No. 15
スクリュープレス
自動供給装置
No. 16
ウェービープレス
大型フロントローダ
堆肥化施設
完成堆肥舎
簡易堆肥舎
アームロール車（バキューム仕様）
分離液分貯留槽
破砕機
副資材貯留槽
No. 20
ふん尿受入槽
第１
第２
空気注入ブロワ
No. 23
No. 4
No. 10
メタン発酵槽
No. 3
No. 9
No. 6
No. 4
No. 2
湿式ガスホルダー
熱交換器
乾式ガスホルダー
除湿機
ガスブロワ
No. 11
No. 13
乾式脱硫塔
Ａ塔
Ｂ塔
No. 12
重　油タンク
殺菌槽
No. 4
No. 1
場内消化液貯留槽
第１
第２
第３
熱交換器
No. 21
アームロール車（バキューム仕様）
場外消化液貯留槽
第１
第２
フレアスタック
コ・ジェネレータ
No. 5
第１
第２
第３
ガスボイラ
重油ボイラ
温水循環ポンプ
温水貯留タンク
No. 17
No. 18
温室ハウス３棟の合計６基の温風器
堆肥化施設の温風器
特定の設備ではなくプラント全体に関わる事項
No. 7
No. 8
No. 19
No. 22

No1

確　認　日		2003年03月27日
タイトル		殺菌加熱循環ポンプのスラリー漏れ
事　　象		スラリー移送用に設置されている４台のモーノポンプのうち、殺菌槽と殺菌用熱交換器のスラリー循環を担っているモーノポンプ(設備番号MP-004) の液漏れが、他の３台に比べて著しい。グランドシール(ｱｽﾍﾞｽﾄを練り固めたようなもので輪状。６枚で一組@24,000円)の交換が頻発して維持費の増嵩の一因となっている。加えて、いくらグランドシールを交換しても漏れが止まらなくなってしまった。
経　　過		2003.03.27　MP004の不調が運転員から明確に報告された。同型の予備機に交換した。 2004.09.13　運転員からMP004の交換もしくは全面修理を強く要望された。MP001の性能を増強した時に取り外して保管してあった旧MP001に交換した。 2005.01.06　漏れが止まらない。雨樋のようなものを取り付けて漏れた液を盥に集めて屋外に流し出す工夫をするので資材を調達してほしいと運転員から要望あり。
原　　因		
要因１		高温域のｽﾗﾘｰに晒され続けているため、金属部の摩耗が著しいのか？
	要因1-1	2001.7.6に殺菌処理（70℃、１hr保持）を開始した
	要因1-2	2003.1.25に55℃、7.5hr保持に変更し、現在に至る
要因２		製品の高温耐性に疑問が残る。機種選定に間違いはなかったのか？
	要因2-1	高温発酵を前提とした設計なので、高温耐性ポンプと認識していたが、中温スラリーを
	要因2-2	処理しているMP001-3に異常がなくMP004に異常が集中するのは耐性に課題ありか？
要因３		
	要因3-1	
	要因3-2	
要因４		
	要因4-1	
	要因4-2	
対処・予防措置		兵神装備株式会社製のモーノポンプに交換した(2005.5.12完了) モーター直結型ではなく、モータが分離していてベルトで動力伝達する方式である。
総　　括		プラント建設時に導入したSeepex社製モーノポンプ４台のうち、殺菌循環を担っているMP004のみが甚だしい液漏れを生じ、同型ポンプへの交換２回、６回以上のグランドシール交換でも善処せず、兵神製モーノポンプに交換した。
知識化		中温発酵を基本としたプラントであっても、共同利用型で殺菌工程を取り込んでいる場合は、局部的とはいえ、高温に晒され続ける部位がある。その部位の耐熱性は設計および機種選定時から注意してメーカーに確認しておかなければならない。
その他		

No1





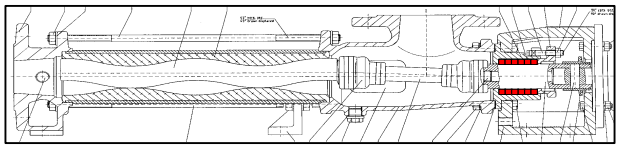
2001.9.21撮影



2005.1.12撮影
樋と盥を置いたが、量が多くて、溢れ放題となっていた。



2005.5.10撮影　更新した兵神製モーノポンプ

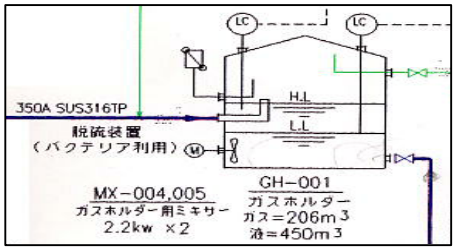


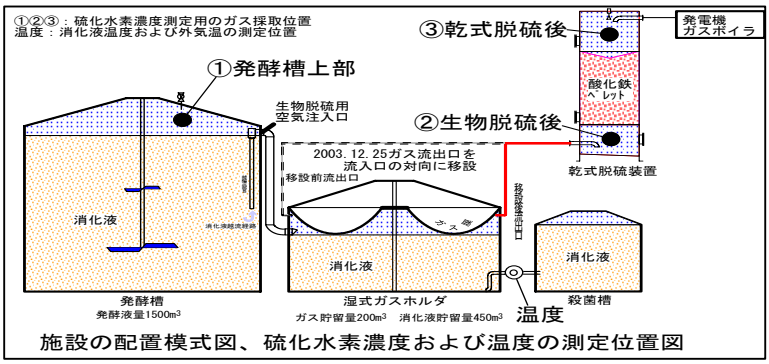
Seepex製ﾓｰﾉﾎﾟﾝﾌﾟの断面図。着色部がｸﾞﾗﾝﾄﾞｼｰﾙ

No2

確　認　日	2003年12月21日
タイトル	湿式ガスホルダーのガス流出口の移設
事　　象	別海試験施設の湿式ガスホルダーは、①ガスホルダー、②後熟発生ガスの捕集、③生物脱硫という３つの機能を併せ持っているが、生物脱硫の機能を充分には発揮していない状況が明らかとなった。ガス流入口と流出口が近接していることが原因の一つと考えられたため、ガス流出口を流入口の対向の位置に移設した。このことによる脱硫機能の改善は認められたが、充分ではない。
経　　過	2001.08.22 生物脱硫用空気注入を開始 2002.07.25 乾式脱硫剤の最初の交換を実施。生物脱硫の機能低下が疑われた 2002.09.17 空気注入量を変更するなど、生物脱硫の機能回復試験を開始 2003.12.21 ガス流出口の移設工事を実施
原　　因	湿式ガスホルダーの構造が充分な生物脱硫性能を発揮するためには適正ではない
要因１	バイオガスと微生物(イオウ酸化細菌)膜の接触態様が適正ではない
要因1-1	大きな空洞の側壁・天幕・液面に微生物膜があっても、空間を通過するガスには無効。
要因1-2	酸化鉄脱硫のように狭い空間をガスが通過するような仕組み(担体型)が望ましい。
要因２	微生物膜の面積が処理すべきガス量に対して過小である。
要因2-1	湿式ガスホルダーの微生物膜面積当り日ガス処理量は2.8m3である。試験に供した担体型生物脱硫装置では0.5m3であった。担体式は安定した高率な脱硫性能であった。
要因３	微生物への栄養補給の仕組みが不十分
要因3-1	担体型生物脱硫装置では一般に消化液をシャワリングして析出したイオウを洗浄するとともに微生物への栄養補給を行っている。そのような仕組みが湿式GHにはない。
要因４	ガス流入口と流出口が近接していたことによる脱硫のための滞留時間が短いこと
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	要因４への対処として、ガス流出口の移設を実施した。効果は認められた。 要因１～３への対処は湿式ガスホルダーの構造上、実施は困難と考えられる。
総　　括	生物脱硫が充分に機能することは、乾式脱硫剤の交換頻度を低下させて維持費の低減に寄与する。加えて、イオウ資源の循環利用にも貢献する。しかし、日本国内での歴史は浅く、積雪寒冷地で充分機能する生物脱硫装置は定着していない。 欧州のバイオガスの硫化水素濃度は極めて薄いとの情報もあり、欧州型の生物脱硫装置が国内で充分機能するとは言えない状況にあり、日本仕様の装置の開発が望まれる。
知識化	単機能の設備よりは多機能な設備のほうが施設の省力化となり有意義であるが、複合させた機能のそれぞれが単機能設備に比べても劣らない機能を発揮するものでなければならない。
その他	

No2





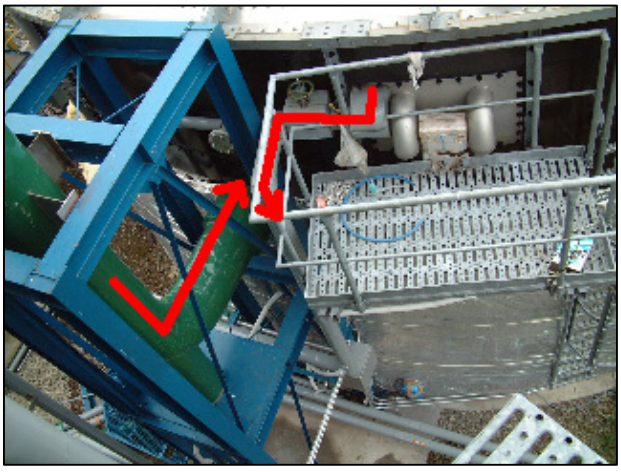
施設の配置模式図、硫化水素濃度および温度の測定位置図



ガス流出口を移設する前の状況



移設したガス流出口



ガス流出口移設前のガス流入ラインと流出ライン

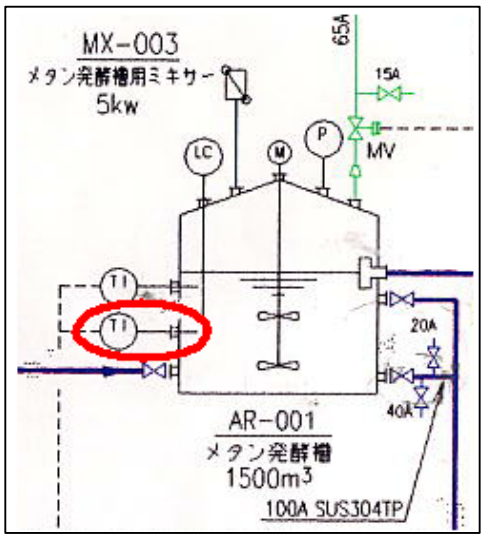


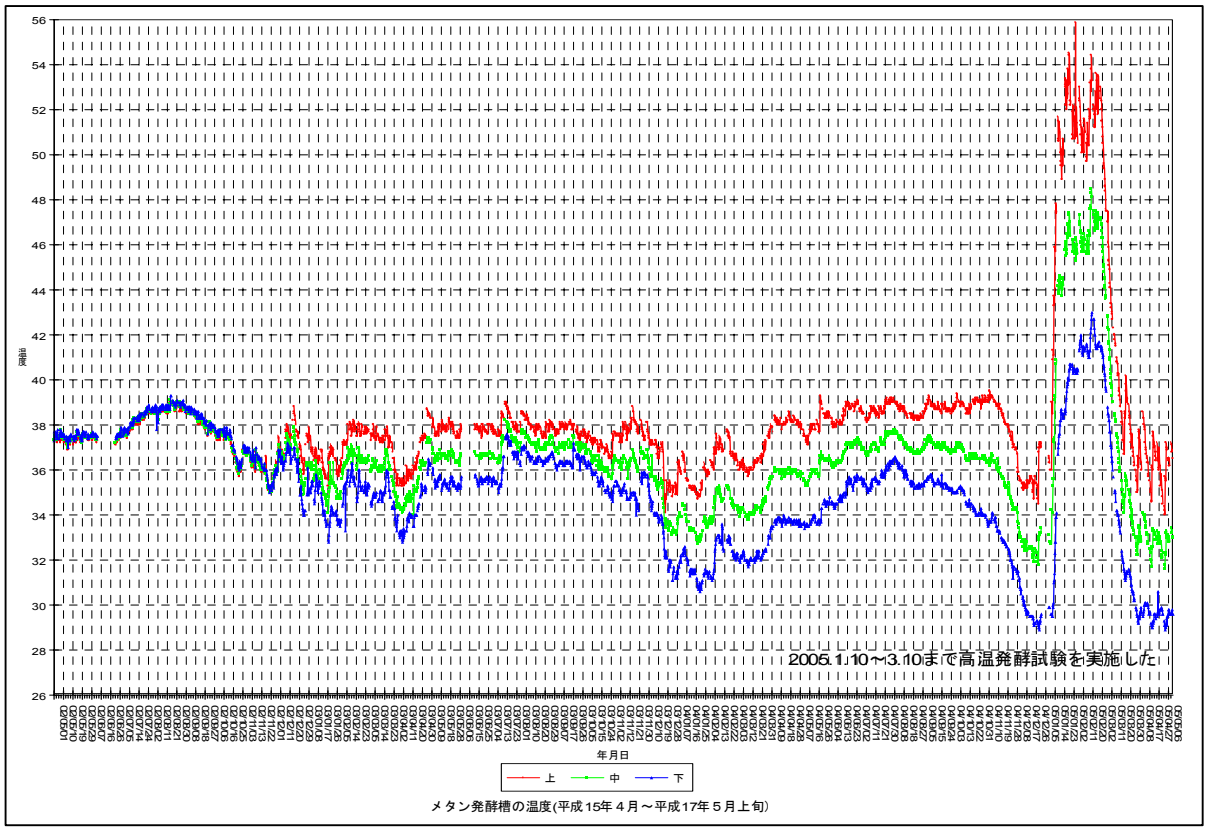
ガスと消化液の移送ライン

No3

確　認　日	2005年01月20日
タイトル	メタン発酵槽の温度計測精度の劣化
事　　象	メタン発酵槽には上部と下部に温度計が挿入されている。２カ所の温度の平均値を加温要否のインジケータとして制御されている。下部の温度計が液温を正確に測定していないことが明らかとなった。温度計自体が劣化したのか、滓の付着やスラッジに覆われて感度が低下しているのか、状況は不明であるが、2002年12月ころから乖離が始まり、2003年12月にはより悪化していることが過去のデータ整理から判明した。
経　　過	高温発酵試験を開始して発酵槽温度を監視していたところ、発酵槽下部の温度と上部の温度が大きく乖離していることに気が付いた。撹拌不良による温度差と考え、加温循環流出口を発酵槽下部に切り替え、循環ポンプを強制的に24hr稼働させるなどしたが解消しなかった。発酵槽下部の加温循環流出口で間接的に液温を測定したところ、記録データより９℃高く、発酵槽上部温度とほぼ等しいことが推測された。
原　　因	不明：スラッジに埋没して正しい温度を測定できていない、もしくは、温度計の劣化が推定される
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	温度計を交換することが最善の対処法であるが、そのためには1500m3の発酵液を全て一時的であれ、排出しなければならない。この作業には周到な準備が必要である。 温度計の不良を放置することは、加温過多＝エネルギーの無駄使いを招くこととなる
総　　括	システムの制御に関係するセンサー類は、簡単に交換できるように工夫しておく必要がある。 また、センサーの故障により異常値が発信された場合の制御プログラム上でのセキュリティに関しても把握しておくことは重要である。今回の事例では異常値を発したものではないが、もし、下部温度計が極めて低い温度を発信した場合、メタン発酵槽は連続した加温状態となり、異常高温となる危険性がある。
知識化	
その他	

No3





メタン発酵槽の温度(平成15年４月～平成17年５月上旬)



上部温度計

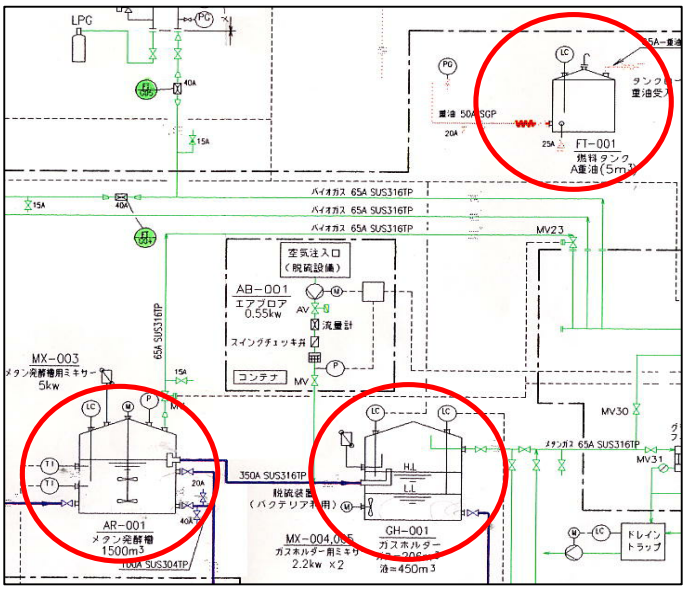


下部温度計(四角い箱で覆ってある)

No4

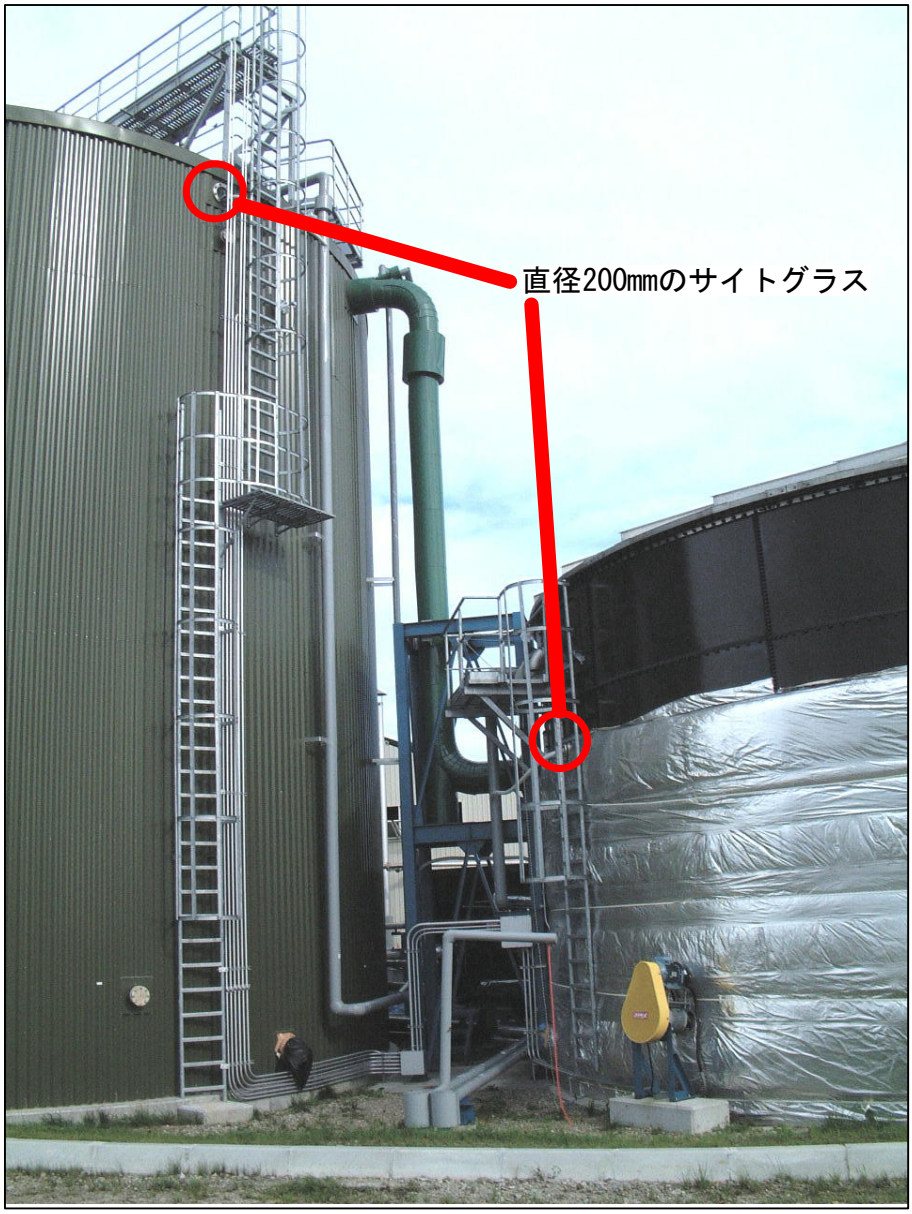
確　認　日	2001年9月
タイトル	スカム(浮滓)、スラッジ(沈殿滓)の状況が肉眼で確認できる構造になっていない
事　　象	メタン発酵槽と湿式ガスホルダーには直径200㎜の観察窓が取り付けられているが、いずれも液面を上から覗き込む位置についている。実際には、小さすぎてよく見えない。また、梯子の中途半端な位置に設置されているので姿勢の維持が難しく長時間の観察ができないことから利用価値は低い。また、スラッジを観察できる観察窓は設置されていない。殺菌槽にはどちらの観察窓も設置されていない。
経　　過	
原　　因	施設の基本設計で観察窓が組み込まれていない。
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	スカムやスラッジの状況が肉眼で観察できること自体はトラブルの防止策ではないが、トラブルが生じた場合の原因究明や施設管理者の不安解消に寄与すると考えられる。 消化液貯留タンクには相当量のスラッジが堆積しており、春先の汲み出しで取り出し口を閉塞するといったアクシデントも経験している。発酵槽や湿式ガスホルダーでのスラッジ堆積は状況がわからないだけに不安要因となっている。
総　　括	メタン発酵は暗反応であるため、強い光は阻害要因となる。したがって、大きな観察窓を設置した場合は遮光の工夫が必要となる。また施設設計上は、強度や汚れによる視界不良化対策も発生すると考えられる。 なお、オリジナルでスラッジ抜きなどの仕組みが付随していない理由は、ドイツでは数年に一度は発酵槽を開放して清掃することを当然の手当としているためである。
知識化	
その他	

No4



発酵槽と湿式ガスホルダーにはサイトグラスが装備されているが、直径が小さく、液面の状態をわずかに窺い知ることができる程度である。

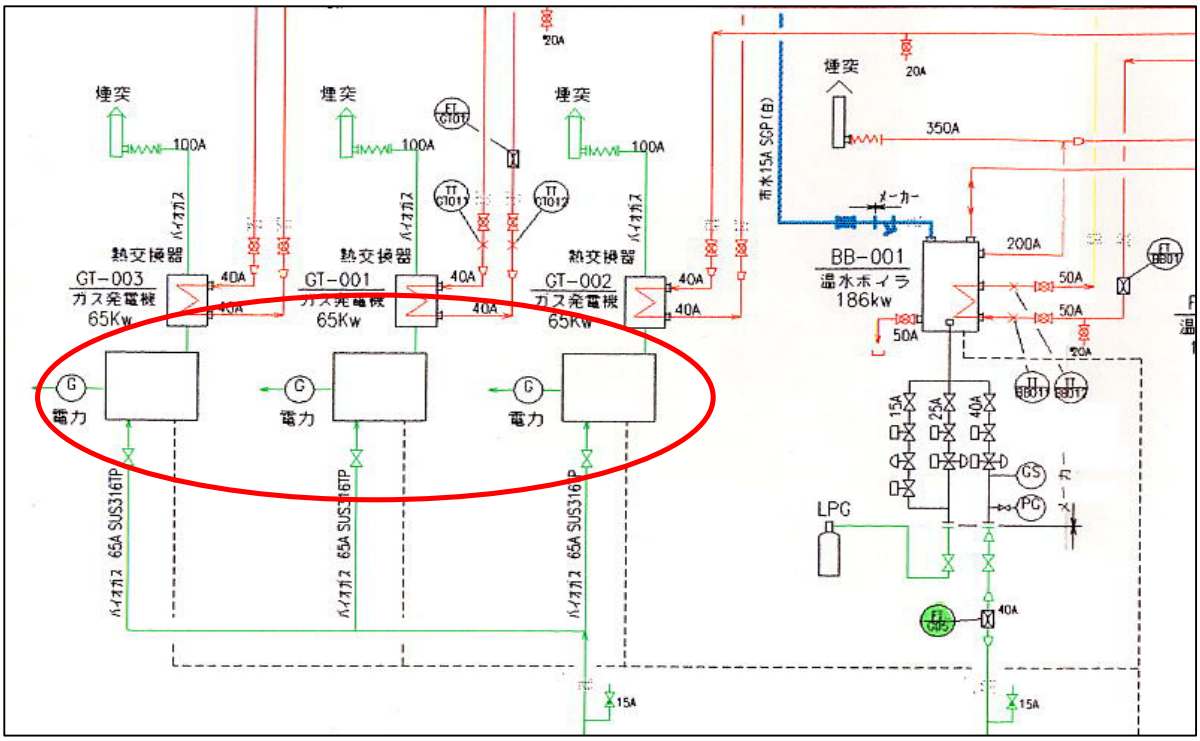
　スラッジの状況を確認できる仕組みは一切ない。



No5

確　認　日	
タイトル	コ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ｷﾞｰ損失と購入ｴﾈﾙｷﾞｰ増大
事　　象	ガス量不足でコジェネレータが強制停止した場合、再起動は自動では行われない。 したがって、コジェネレータが停止している間にガス貯留量が回復したとしても、ガス利用はされず、ガスホルダーの充填率が95%を超えるとフレアスタックで燃焼放出される。コジェネレータが停止している時間の電力消費は購入電力に依存することとなる。 自給エネルギー源を無効放出し、外部エネルギーに依存するという２重の損失を生じている。
経　　過	
原　　因	コジェネレータに自動起動のシステムが組み込まれていないこと
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	現状のシステムでは手段はない。
総　　括	コジェネレータに自動起動のシステムを導入する場合、ガス不足のみを前提とするならば、ガスホルダーの充填率のみを指標値として制御すれば良いと考えられるが、コジェネレータが強制停止する原因はガス不足のみとは限らない。想定される全ての要因に対して、監視システムを組み込んで、自動起動させる必要があると考えられる。 このことは、プラント全体のシステム設計に関わることであり、専門家による慎重な検討に委ねたい。ユーザーの要望としては、エネルギーの損失を防ぐためにもコジェネレータの自動運転の実現に期待したい。
知識化	
その他	

No5



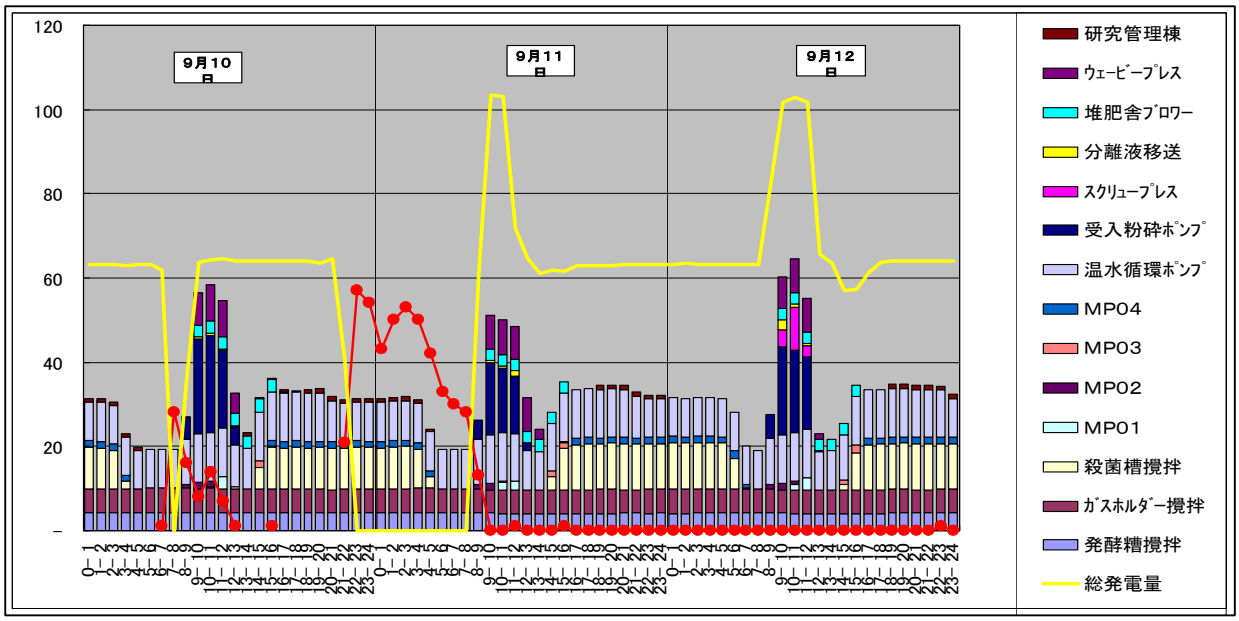
下図は平成15年９月10～12日の総発電量（黄色折線）と購入電力（赤色折線）、
電力消費機器の稼働内訳(積み上げ棒）の図です。

10日21:00過ぎにガスホルダーの貯留量減少に伴い発電量が低減しはじめ、22:00台に発電機が停止しました。その後、ガス貯留量が回復しても発電機は自動稼働しないため、翌日に運転員が出勤してくる8:30まで、発電０の状態となっています。

この時間帯は大きな購入電力が生じています。

一方、11日から12日にかけては、ガス不足による発電機の強制停止がなかったため、
購入電力は０であり、100%の電力自給となっています。

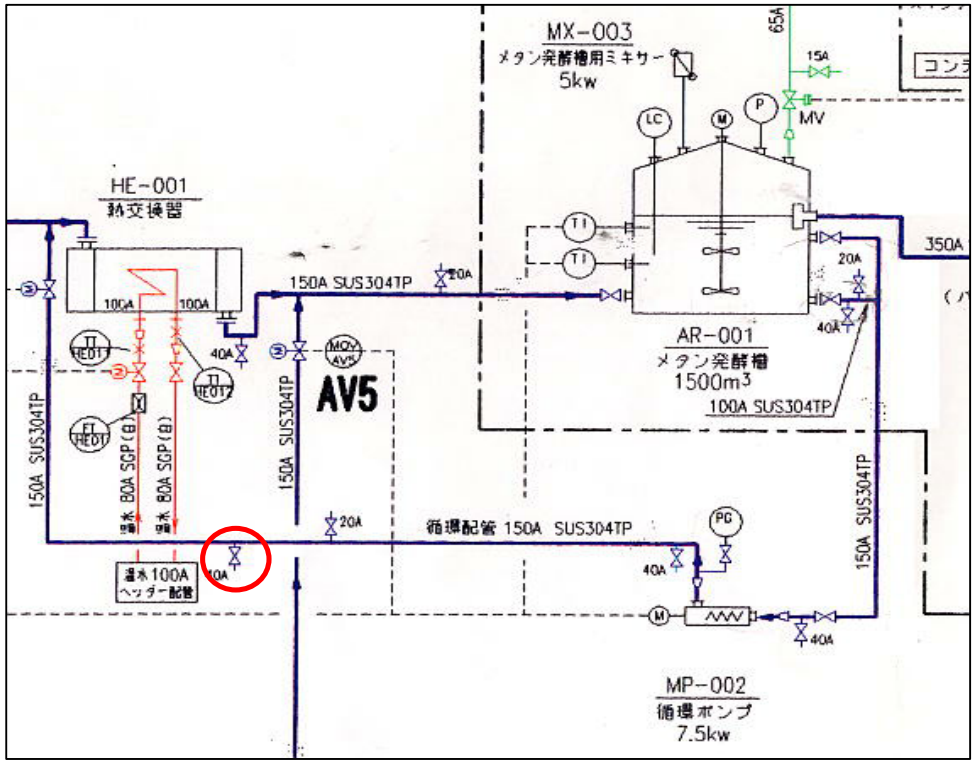
年間を通じて、９月11～12日のような運転が確保できれば、電力自給率100%となるものです。



No6

確　認　日	
タイトル	ドレイン弁の閉塞
事　　象	メタン発酵の状態を監視する目的で、発酵液を定期的に採取分析している。発酵液を採取する専用のバルブは設置されていないため、最も採取しやすい位置にある、発酵加温循環配管の途中にあるドレイン弁を利用している。しかし、このバルブでの閉塞が頻発し、発酵液の採取がスムーズに実施できない。他に利用できる適当なバルブが設置されていない。
経　　過	
原　　因	
要因１	下向きＵ字配管の下側に設置されたバルブであり、滓が最も貯まりやすい構造である。
要因1-1	
要因1-2	
要因２	発酵液の採取頻度は１ヶ月に一回であるため、貯まった滓が固結する時間がある。
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	発酵液を採取するための専用のバルブとして、下位置ではなく、横位置にバルブを新設する。ただし、この位置では、配管内に発酵液が充満している状態でないと採取できない。すなわち、発酵液の加温用循環が動作しているタイミングで採取作業しなければならず、運転員の作業を拘束する場合がある。
総　　括	
知識化	
その他	

No6

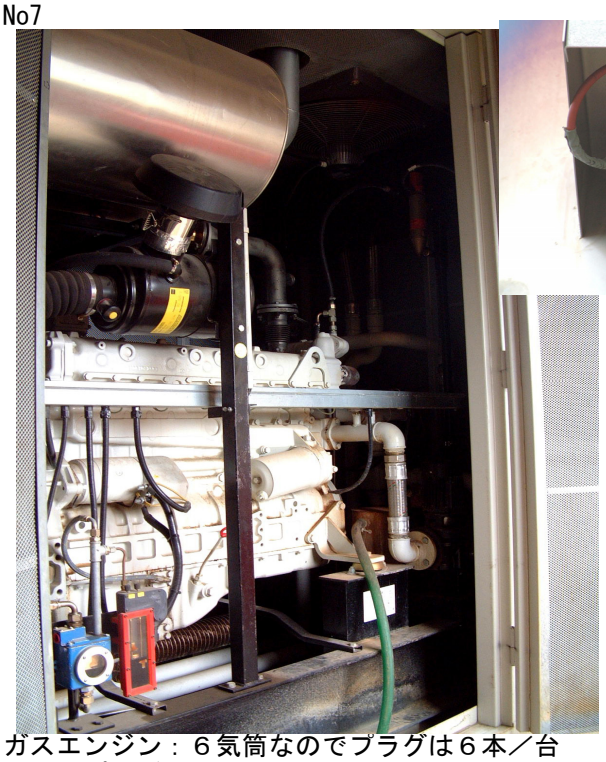

MX-003
メタン発酵槽用ミキサー
5kw
HE-001
熱交換器
AR-001
メタン発酵槽
1500m3
MP-002
循環ポンプ
7.5kw
AV5
150A SUS304TP
100A SUS304TP
循環配管 150A SUS304TP
温水100A
ヘッダー配管
MV
350A


発酵液を加温する循環ライン
発酵液試料を採取するために利用しているドレイン弁

No7

確　認　日	
タイトル	外国製品の部品類が高額であること
事　　象	フレアスタックの点火プラグ：30,000円／本 コジェネレータの点火プラグ：20,000円／本 スラリー移送用モーノポンプのグランドシール：24,000円／６枚組
経　　過	
原　　因	
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	国産の部品が利用できる機種を選択する。 国産製品を選択する。
総　　括	施設の設計、もしくは建設発注する段階で条件として提示しておく必要がある。
知識化	
その他	

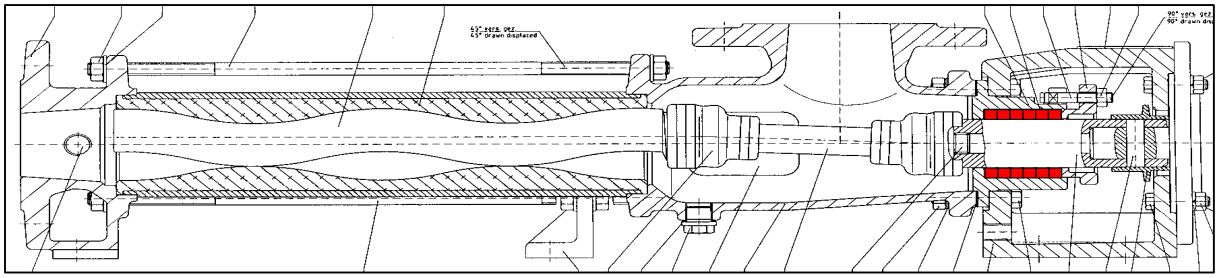
No7



ガスエンジン：６気筒なのでプラグは６本／台
１台のプラグ交換で部品代のみで18万円の支出
３台のプラグを交換すると54万円となる。



フレアスタック（余剰ガス燃焼装置）
左上の写真が点火部の拡大写真
特殊な形状のプラグが使用されている



Seepex社製モーノポンプの構造図。着色部がグランドシール。６枚で一組になっており、交換時は
６枚全てを交換する。

No8

確　認　日	
タイトル	第３号コ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
事　　象	第３号コジェネレータの冷却ファンモータが焼き付くというトラブルが発生した。 　国産のモータに換装することを検討したが、シャフトの径・取付け穴の位置などの規格が一致しなかった。国産モーターの規格に一致するように改造することは可能であるが、改造はメーカーの保証対象外となるため断念した。 焼き付いたモーターのコイルを巻き直し修理して再設置した。修理に20日を要した。
経　　過	
原　　因	海外仕様と国内仕様が異なるため
要因１	モーターが焼き付いた原因は特定できないが、屋外に野ざらしで設置されていることは誘因と考えられる。
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	
総　　括	この事象は、モーターだけの問題ではない。別海施設で国産の製品は「ガスボイラー」「重油ボイラー」「ウェービープレス」「温水循環ポンプ」「脱臭・換気ファン」だけであり、その他の設備は国外製品である。したがって、国外製品については、国産部品で修理可能かどうか事前に検討しておき、修理不能なものは、いつでも修理可能なように事前に部品ストックを輸入しておくべきである。
知識化	
その他	

No8

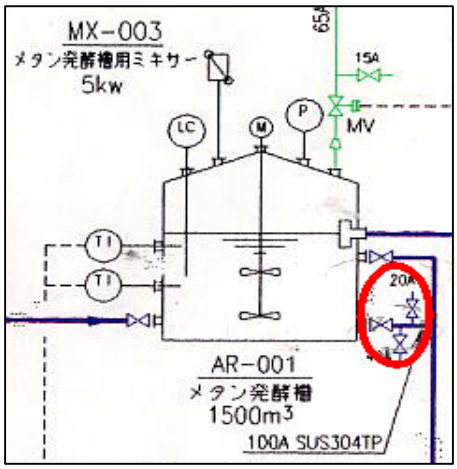


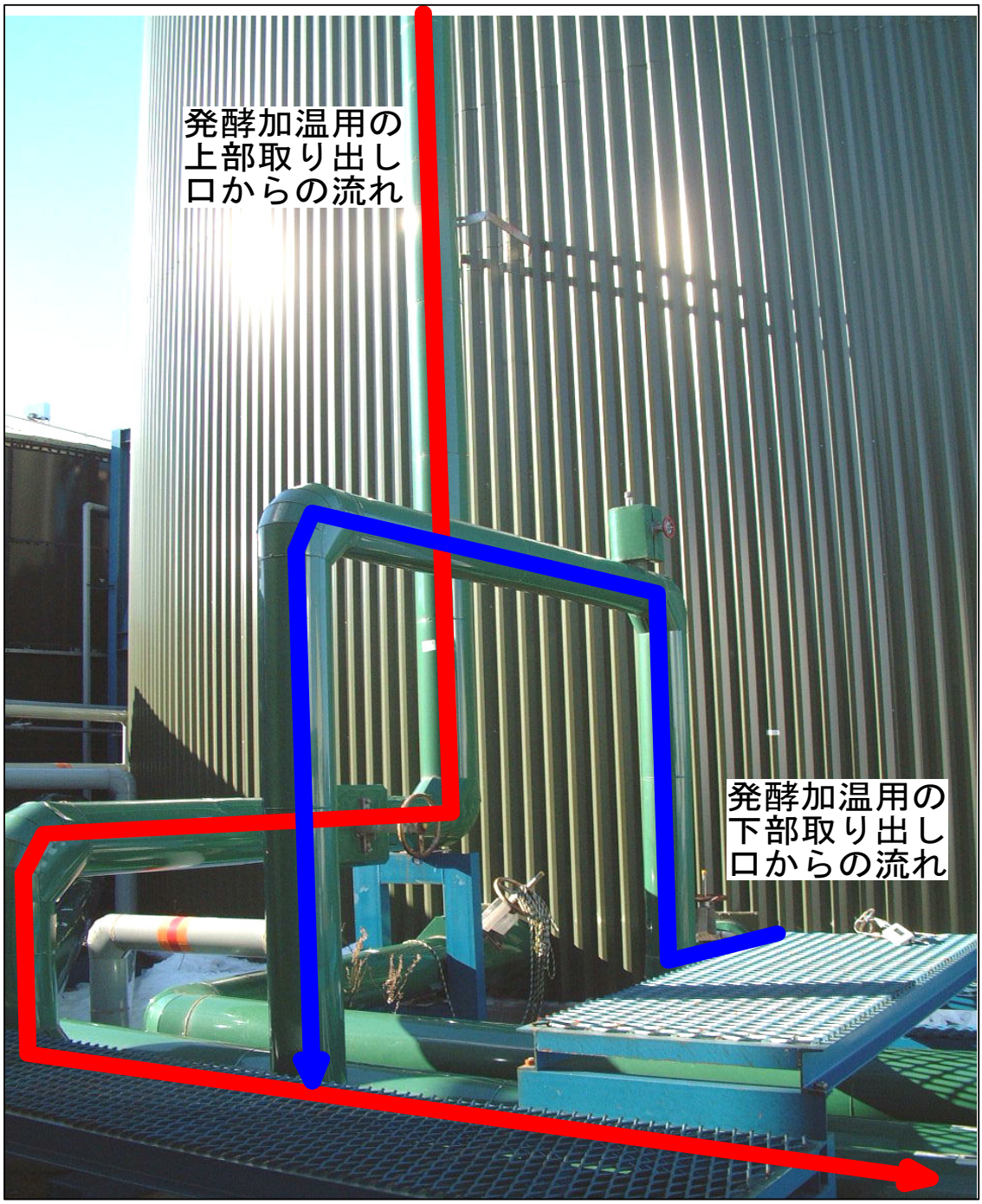
第３号コジェネレーターの冷却ファン

No9

確　認　日	
タイトル	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
事　　象	平成17年1月に高温発酵試験を開始した。下部の温度がなかなか上昇しなかったことから、下部に滞留しているスラリーを直接加温することを試行した。その結果、配管が閉塞してしまった。上部からの循環加温に切り替え、配管を取り外して清掃することで修復した。 関連事象：カルテNo.3、No.4
経　　過	下部取り出し口の配管は写真のように空気抜きのために上部へ屈曲した形状となっている。バルブの開いた運転員の話では「バルブを全開した直後にゴトンという大きな音がして閉塞してしまった」とのことである。清掃した業者によると「最初の屈曲部で閉塞していた」とのことであった。
原　　因	スラッジの堆積
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	スラッジの原因となる土砂の流入は避けられない。配管閉塞を生じるほど大量に堆積する前に、下部流出口を開いて消化液タンクへ排出しておけば、今回の事態は避けられたと考えられる。せっかく上下２カ所に流出口が設置されているのであるから、これをうまく利用すれば良かった。
総　　括	
知識化	
その他	

No9

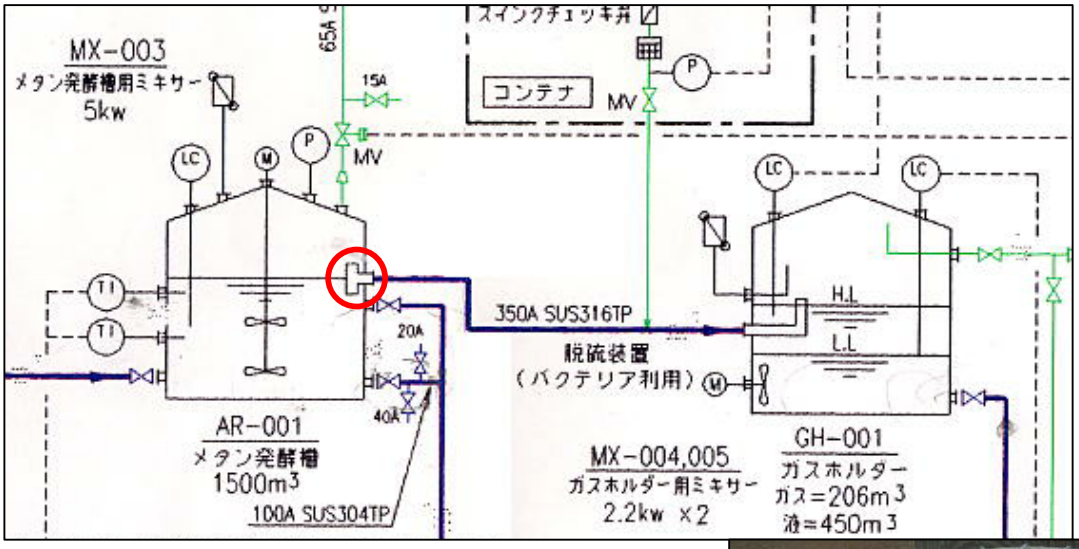

MX-003
メタン発酵槽用ミキサー
5kw
65A
15A
MV
LC
M
P
TI
TI
20A
AR-001
メタン発酵槽
1500m3
100A SUS304TP

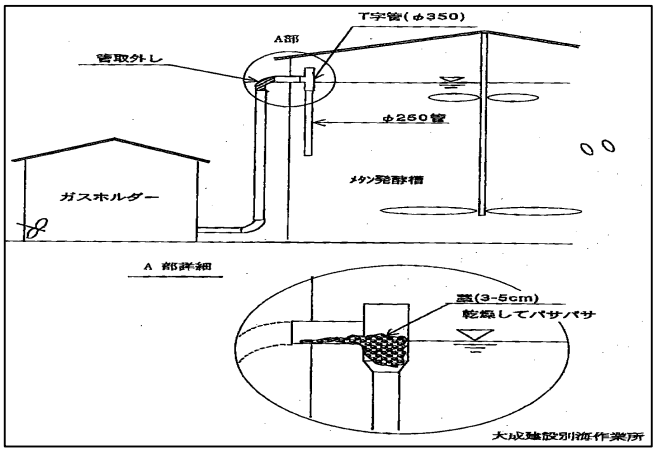

発酵加温用の
上部取り出し
口からの流れ
発酵加温用の
下部取り出し
口からの流れ

No10

確　認　日	
タイトル	メタン発酵消化液の流出管での閉塞
事　　象	メタン発酵の立ち上げ初期の段階で発生したトラブル。
経　　過	2001年5月15日にラグーンに貯留されていたふん尿スラリー750m3を投入し、始動した。 2001年6月15日から50m3/日の連続投入を開始した。 2001年7月12日、消化液とガスの流出がなく閉塞が想定された 2001年7月13日、ガス流出は回復したが、スラリー流出は停止したまま。 2001年7月14日、水酸化ナトリウム水溶液100ﾘｯﾄﾙと水200m3を投入してスカムの溶解を図ったが、改善せず。 2001年7月15日、発酵槽内の水位変動を繰り返したが改善せず。 2001年7月26日、対策工事の検討が終了し、実際に配管をはずした。 3-5cm程度のワラの塊で閉塞していた。
原　　因	スカムが越流管の上部からＴ字管内に落ち込み閉塞させた
要因１	起動時に投入したスラリーに夾雑物が多量に含まれていたが除去しなかった。
要因1-1	
要因1-2	
要因２	養生期間が長く、スカム層が肥大した
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	越流管を分解して閉塞物を除去した。 オリジナルには存在していない清掃用マンホールを設置した。 生物脱硫用空気注入ノズルを洗浄水が噴射できる２重管構造に改造して、向きを変えて設置し直した。
総　　括	その後、同様のトラブルは一回も発生していない。 起動時に投入するスラリーから夾雑物を除去するなどの前処理を施せば発生しないトラブルであったかもしれない。
知識化	
その他	

No10







手前の小さなマンホールが追加設備した点検孔
奥は湿式ガスホルダーの屋根



発酵槽との接続部で配管を取り外して、中を確認
配管の奥に閉塞物が見える

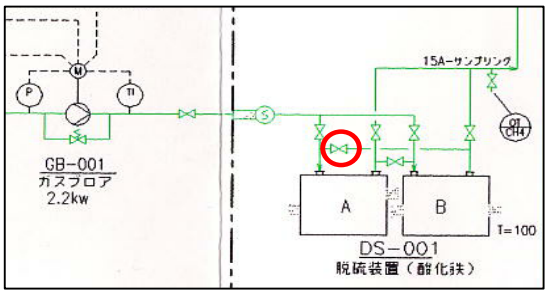


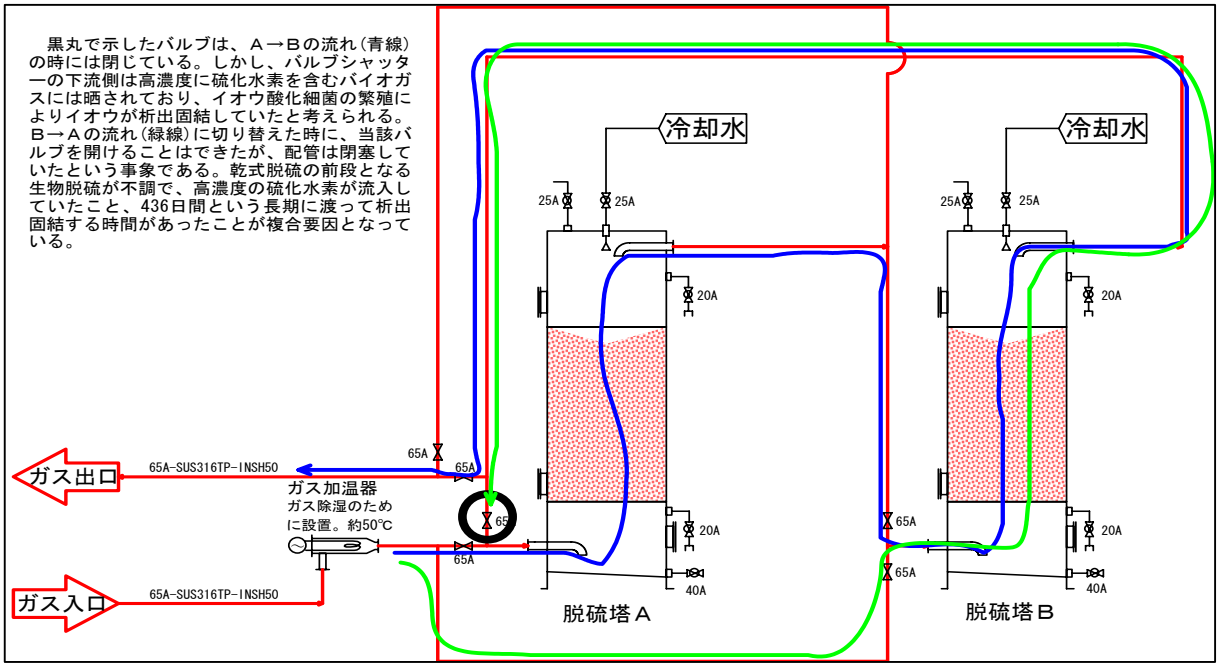
取り出した閉塞物

No11

確　認　日	2002年7月25日
タイトル	乾式脱硫装置配管でのイオウ固結閉塞
事　　象	２塔の乾式脱硫塔をメリーゴーランド方式（脱硫性能が低下した塔をガス流路の上流側となるようにバルブの開と閉の組み合わせを切り替える）で使用している。 プラント稼働後、最初の脱硫剤交換後に、Ａ塔→Ｂ塔の流路をＢ塔→Ａ塔としたところガスが流れなくなった。
経　　過	平成13年５月：メタン発酵槽の起動に伴い乾式脱硫も開始した。 平成13年8月21日：生物脱硫開始 平成15年2月25日：最初の脱硫剤交換を実施 脱硫剤の交換自体は順調に作業が終了した。Ａ塔→Ｂ塔の順序でガスが流れていたが、Ｂ塔→Ａ塔の流れに切り替えた。ガス消費機器（コジェネレータとガスボイラ)がどうしても起動しなくなった。乾式脱硫塔の配管をチェックしたところ、Ａ→Ｂの流れでは使用されておらず、Ｂ→Ａの流れで使用されることとなった配管のバルブ部分に大量のイオウが析出固結して配管を閉塞していた。
原　　因	想定外の場所でイオウ酸化細菌の繁殖・イオウの析出固結が生じた
要因１	脱硫開始から436日間という長期に渡って析出したため閉塞するほど固結した
要因1-1	
要因1-2	
要因２	前段の生物脱硫の不調で、高濃度の硫化水素が流入していたため析出が多量となった。
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	予備バルブに交換した。 その後、５回目の脱硫剤交換後に剥落したイオウでバルブが完全に閉まらないというアクシデントを経験したが、閉塞に至る事態は生じていない。 特段の予防措置は講じていないが、この経験を引き継ぐことで対処可能と考えられる
総　　括	
知識化	
その他	

No11









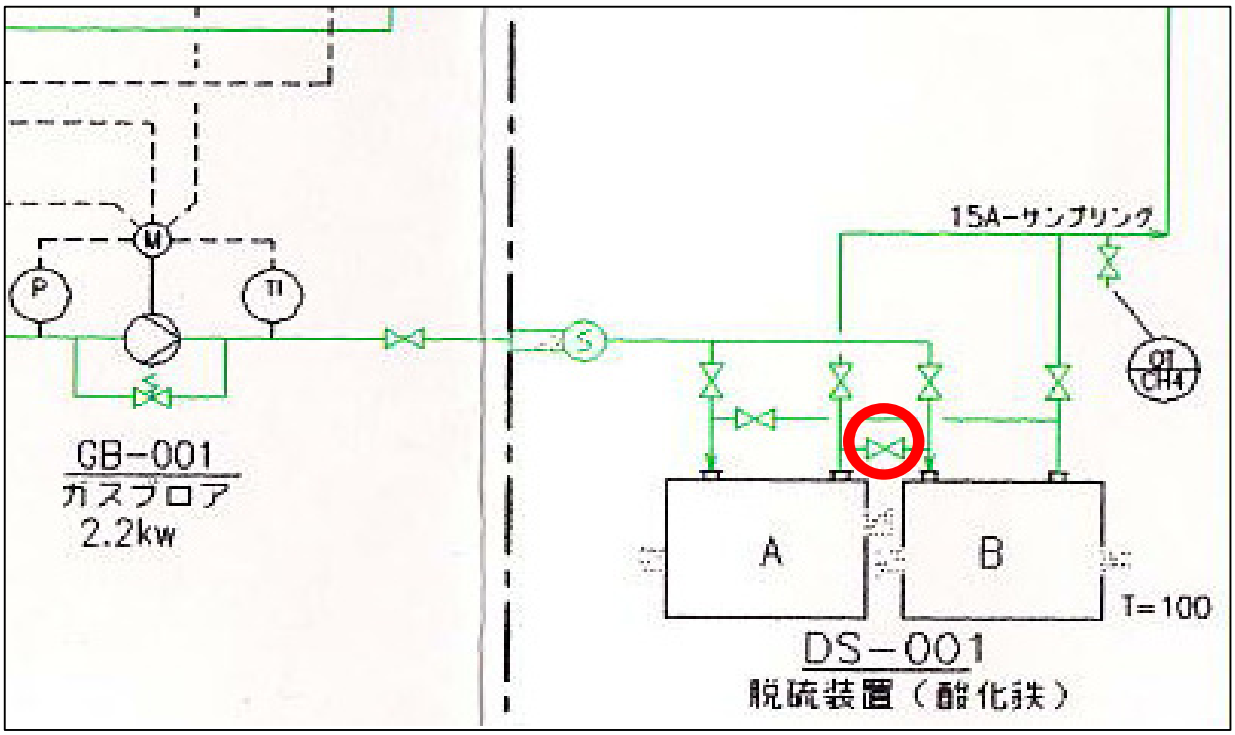
上写真：乾式脱硫塔の裏側の配管とバルブ群
左写真：乾式脱硫塔正面写真
下写真：閉塞していたバルブ。イオウは除去した後。

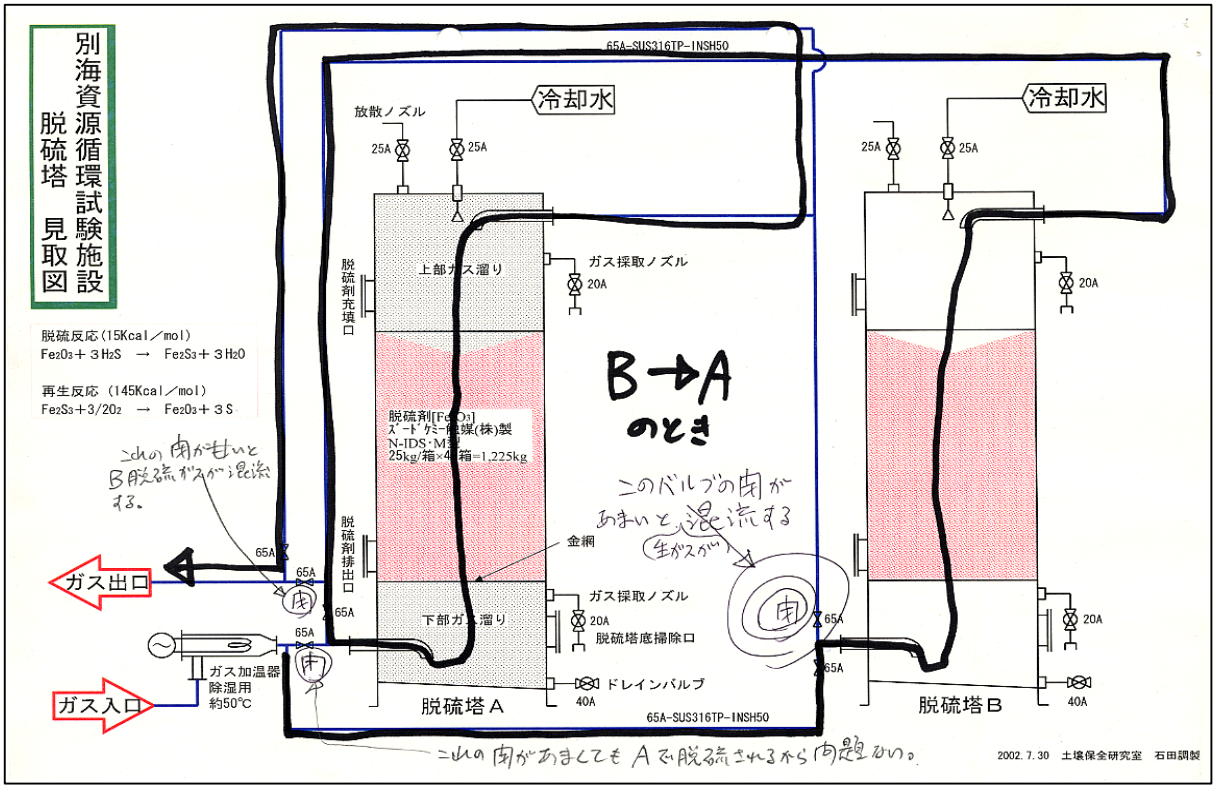


No12

確　認　日	2003年12月8日
タイトル	脱硫剤を交換したのに最終硫化水素濃度が０ppmにならなかった
事　　象	通算で５回目となる脱硫剤の交換(Ａ塔)を平成15年12月８日に実施した。 全ての作業を終了して、ガス流路の最終出口で硫化水素濃度を測定したところ、０ppmにならなかった。作業した業者から「原因がわからない」と連絡があった。
経　　過	析出したイオウで配管が閉塞していたというトラブルを経験していたので、今回の事案も、析出したイオウがバルブシャッターの溝にはまりこんで、遮断が不完全になっているものと推定された。脱硫フロー図を子細に検討して、トラブルの原因となっているバルブを特定し、点検するように指示した。 指示されたバルブを予備に交換したところ、改善されたと連絡を受けた。
原　　因	配管内で析出したイオウが剥落し、バルブの遮断を不完全にしていた
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	特段の予防措置は講じていない。
総　　括	過去に、類似したトラブルを経験していたことから、右往左往することなく、対応することができた。しかも、トラブルの原因・発生場所とも全て正確に推定できていた
知識化	
その他	

No12



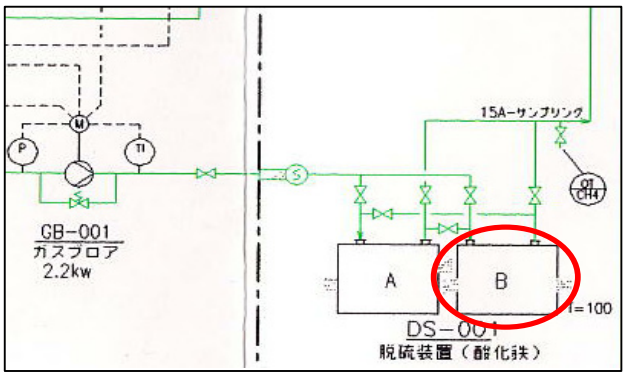


「手書きで三重丸をつけたバルブを検査するように」という指示を現場に送った文書

No13

確　認　日	2004年6月24日
タイトル	乾式脱硫剤の異常発熱
事　　象	生物脱硫用空気注入を水素プラントへ供給するバイオガスは無窒素としてほしいとの要請があり、水素改質実験にあわせて生物脱硫用空気注入を停止した。停止期間は26日間に及んだ。水素実験の終了に伴い、空気注入を停止前の流量で再開した。３日後に乾式脱硫塔で異常発熱を運転員が感知した。
経　　過	2005/5/25：4m3/hrで実施していた空気注入を停止 2005/6/14：Ａ塔の脱硫剤を交換。Ｂ塔が上流側となった。 2005/6/21：水素実験の終了により、空気注入を３m3/hrで再開 2004/6/23：硫化水素の測定値から生物脱硫は50%程度回復と判断 2004/6/24：硫化水素の検知を実施した運転員から脱硫塔が触れないくらい熱い。 焦げ臭がする。・・・・・と連絡あり。
原　　因	硫化鉄の再生反応が激烈に生じたため
要因１	長期に渡る生物脱硫空気注入停止で、高濃度の硫化水素が流入し酸化鉄の硫化が進行
要因1-1	空気注入停止期間中に脱硫剤の交換を行い、劣化したＢ塔が上流側になった
要因1-2	ただでさえ酸化鉄の硫化が進んでいる脱硫剤が上流側となったためより一層硫化が進行
要因２	硫化鉄の再生反応が激烈に生じた
要因2-1	空気注入再開時に生物脱硫は再生していないので、酸素消費がされない
要因2-2	注入空気の酸素は全て、硫化鉄との反応に寄与した
要因３	生物脱硫の再生には時間がかかることを考慮せず、通常の量で空気注入を再開した
要因3-1	空気注入再開時に生物脱硫は再生していないので酸素消費はされない
要因3-2	注入した空気に含まれる酸素は全て、乾式脱硫に流入する
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	異常発熱したＢ塔をガス回路から分離するようにバルブの開閉の組み合わせを変更 散水して温度を下げ、脱硫剤を全て交換した。 この教訓に基づき、２回目以降の空気注入停止と再開では、再開時の空気注入量を微量で開始し、徐々に増量する手法を実施している。同様のトラブルは発生していない。
総　　括	本件は水素改質実験設備が併設されていて、バイオガス中の窒素濃度を極力小さくしてほしいという要請が契機となった。このような契機は別海独自のものであるが、通常のプラントにおいても、生物脱硫を採用していれば、空気注入の停止と再開という操作は発生すると考えられる。酸化鉄脱硫を併設している場合に、このようなトラブルが発生する危険性は少なくない。脱硫剤の硫化の進行程度も異常発熱を生じるか否かと関係しており、今回の異常発熱を生じたＢ塔では50%以下の脱硫率になっていた。
知識化	硫化が進行した脱硫剤（酸化鉄）の再生反応は強い発熱を生じる。 したがって、生物脱硫と酸化鉄脱硫剤を直列で使用している場合は、脱硫塔に流入するバイオガス中の酸素濃度に配慮しなければならない。
その他	

No13





マンホール部：煤けた状態であった



上部ガス溜まり部
タールエポキシ塗装は全く新品の時と同様と感じられる。

脱硫剤が充填されている部分
　中間部に赤茶色が多く、上下は灰色の部分が斑状になっていた。
　赤茶色の部分は水が流れた跡のようにも見えた。冷却のための散水が鉄分を含み、高温となっていた壁に焼き付いたとも思われる。タールエポ塗装に異常がなければこのような変色は問題ないと判断される。

金網
　赤錆がこびりついたような状態になっており、ひどく焦げ臭かった。

No14

確　認　日	
タイトル	トラックスケール・プリンタの修理履歴
事　　象	搬入・搬出されるふん尿・副資材・消化液の全ての重量は、トラックスケールで秤量し、感熱ロール紙に出力して記録管理している。トラックスケールはポータブル車輌重量計RWP-61Aで、計量板１枚での片軸測定である。４年間での修理履歴は２回であった
経　　過	平成15年２月：トラックスケール用プリンタ故障。新品に買い換え。48,300円
	平成16年５月：トラックスケール計量板修理。20日間を要した。484,050円
原　　因	プリンタ故障は不明。計量板は雨水の浸入と推定。
要因１	計量板を設置する場所はほぼ一定である。轍が掘れて凹み、湛水しやすくなっている
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	計量板を設置する場所を平坦に修理する必要がある。
総　　括	発酵原料は無償で提供されることを前提とした試験研究施設であることから、トラックスケールは簡易なポータブル型を設置した。しかし、今後、副資材を有償で受け入れるといった体制に変化した場合には、商業利用に適さないスケールである。また、舗装面に５年程度で轍が発生したことも想定外であった。
知識化	
その他	

No14





上写真：平成13年度当初の状況
左写真：轍が掘れている様子

下写真：轍部は計量板が浮いた状態になっている
車輌が通過するたびに撓み、計器の故障を助長すると同時に、秤量精度にも影響する。



No15

確　認　日	
タイトル	スクリュープレス系統の修理履歴
事　　象	固液分離設備のスクリュープレス系統は、受入ハウスー送り込みバーンクリーナーースクリュープレス本体で構成されている。４年間での修理履歴を整理した。
経　　過	平成14年６月：Ｖベルト４本交換。5,208円
	平成14年10月：バーンクリーナーチェーン交換。120,750円
	平成14年10月：ストレーナー交換・スクリュー肉盛。811,650円
	平成15年３月：バーンクリーナーワイパー修理(ブレードとスプリング交換)34,797円
	平成15年６月：受入ハウス修理。336,000円
	平成15年７月：本体テンションボルト交換。3,150円
	平成16年３月：ホッパ内センサー修理。55,125円
	平成16年３月：ストレーナー修理。79,800円
原　　因	設備の稼働率が高いほど部品交換や修理が発生するのは必然であるが、多すぎる。
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	
総　　括	
知識化	
その他	

No15



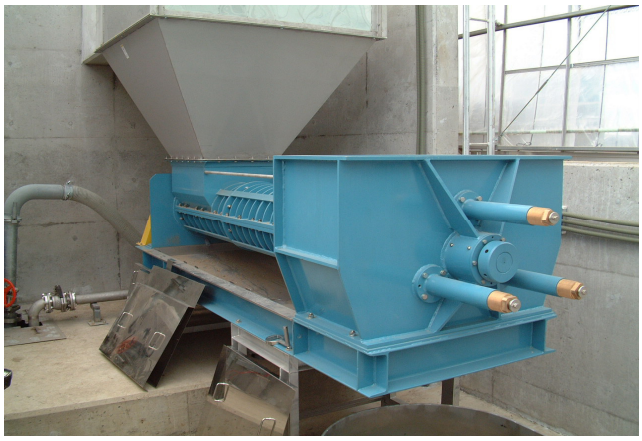
スクリュープレス用受入ハウス



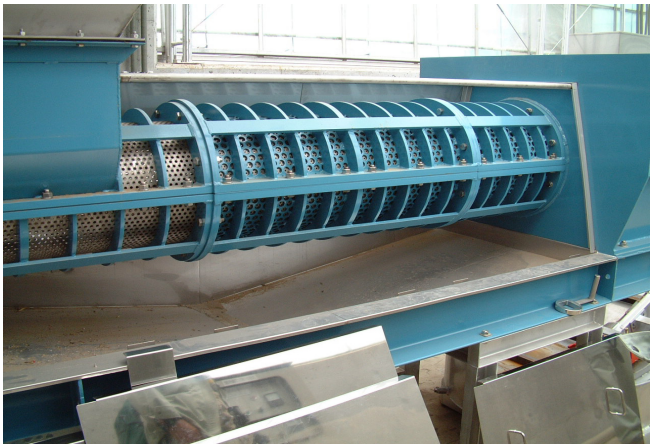
受入ハウスの奥側の溝の中に、移送用バーンクリーナーがある



移送用バーンクリーナー



スクリュープレス全景



ストレーナー部



ホッパ部：内部にスクリューのシャフトと螺旋錐が見える。
右手の黄色の物体がセンサー

No16

確　認　日	
タイトル	ウェービープレス系統の修理履歴
事　　象	固液分離設備のウェービープレス系統は、受入ハウスー定量送り込み装置(マニュアスプレッダ流用)ー送り込みバーンクリーナーープレス本体で構成されている。スクリュープレスでは固形ふん尿を全量処理できないことから、平成14年度に特注仕様で導入し、11月から稼働開始した。４年間での修理履歴を整理した。
経　　過	平成15年９月：送り込みバーンクリーナー修理　66,780円
	平成16年２月：送り込みバーンクリーナー修理　7,350円
	平成16年３月：送り込みバーンクリーナーワイパー修理　42,525円
	平成16年７月：マニュアスプレッダチェーンバーねじれ修理　68,103円
原　　因	
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	
総　　括	
知識化	
その他	

No16



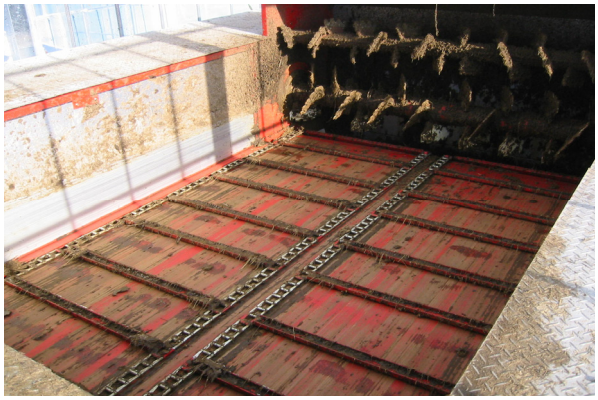
定量送り込み装置が設置された受入ハウス



定量送り込み装置へのふん尿投入



定量送り込み装置



定量送り込み装置内部



定量送り込み装置からふん尿を搬送するバーンクリーナー

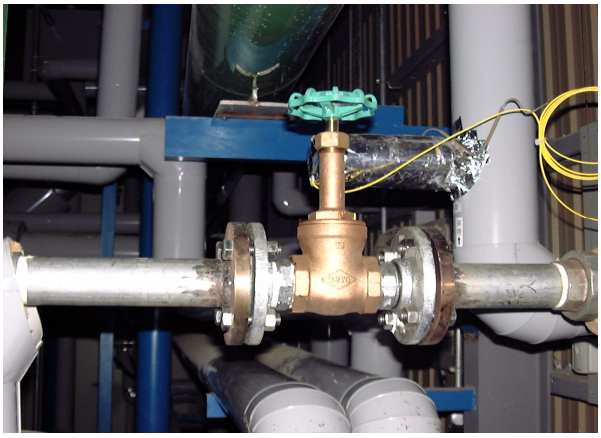


ウェービープレスのプレス装置内部

No17

確　認　日	
タイトル	温水供給地下配管の断列
事　　象	平成16年12月１日に「温水貯留タンクの水位が一日で10cm程度低下している。地上部の配管には異常は観察されない」との連絡があった。12月８日には「一日で空になってしまうほどひどくなった」との連絡があった。地下での配管断列が強く疑われたので、地下配管への分岐基部にバルブを設置し、閉めたところ、温水貯留タンクでの水位は低下しなくなった。
経　　過	地震の被災経過から、以下のように推測される。　　平成16年11月29日に震度５強という強い地震があった。この被災で地下配管に亀裂が入り、水漏れが始まった。12月６日には震度５弱の強い余震を受け、地下配管が断列してしまい、急激な漏水となった。
	漏水を止めるためにバルブを閉じるように指示したところ、この時に初めて止めバルブが設置されていないことが判明し、急遽、追加工事を行った。分岐配管にはメンテナンスのために止めバルブがついていることを信じて疑っていなかったので右往左往した。
原　　因	度重なる地震による被害と考えられる
要因１	建設時には地下配管の基部にバルブが設置されていなかった。
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	
総　　括	
知識化	施工図面を細かく良く確かめること。また、施工業者にきちんと確認すること。
その他	

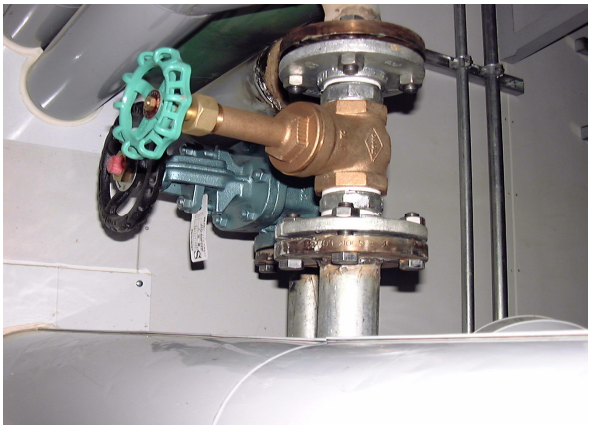
No17



温室への温水供給を停止するバルブその１



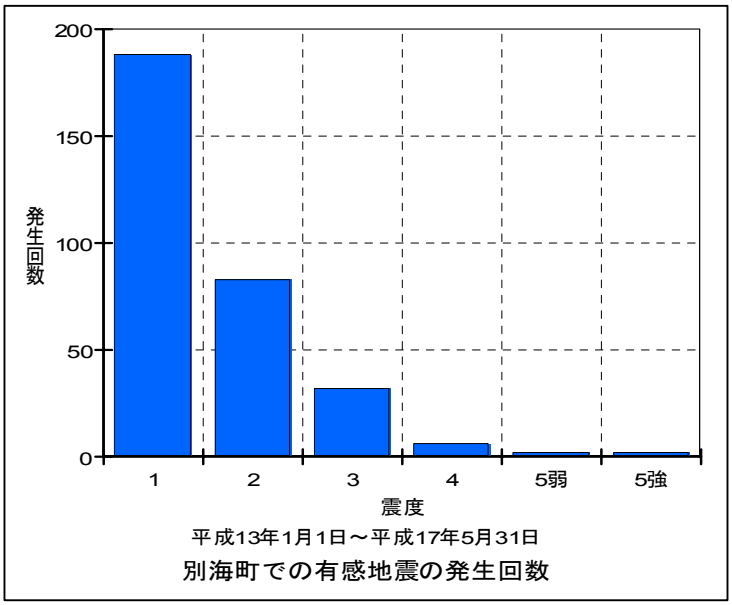
温室への温水供給を停止するバルブその２



堆肥化施設への温水供給を停止するバルブ



バルブを閉めたあとの配管内残留水を抜くためのバルブ。
エアコンプレッサで加圧する必要がある。



平成13年１月から平成17年５月までの1612日間に別海町で記録された震度１以上の地震の震度別回数を図示した。合計313回の地震が記録されており、平均すると５日に１回は揺れていることになる。

No18

確　認　日	
タイトル	堆肥化施設への温水供給配管の断熱不良
事　　象	春期の過湿な時期に撮影した写真で、堆肥化施設への温水を供給している配管の直上部だけ土壌が乾燥していることが明らかとなった。このことは、温水配管からの熱で直上の土壌の乾燥が促進していること、すなわち、温水供給配管の断熱が不充分で放熱による無効エネルギーが大きいことを示している。
経　　過	
原　　因	１．２ｍの凍結深度以深に埋設されているが、断熱材での保護が施工されていない。
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	
総　　括	
知識化	
その他	

No18

No19

確　認　日	
タイトル	廃棄バターを副資材利用するための手間
事　　象	乳業工場から発生する廃棄バター、破棄脱脂粉乳、廃棄生クリームはメタンガス発生を増量させることから優良な副資材である。しかし、廃棄バターは20kgの大きな塊、もしくは1kgの銀紙小包で搬入される。ふん尿受入槽に投入するためには、梱包の除去と溶解という手間を必要とする。この手間は大きな労働負荷である。特に、冬季は溶解の手間が大きく、運転員の作業ではなし得ないため、外注で措置した。
経　　過	
原　　因	
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	労働力（作業員）の確保が必要である。また、大型（最低でも浴槽程度）の温水を利用した融解設備を設置するなどの工夫が必要である。また、投入した副資材が受入槽内で速やかに拡散するようにしなければ、受入槽の底に溜まって固着してしまうので、副資材の投入時には撹拌状態にしておく必要もある。
総　　括	
知識化	
その他	

No19



電熱ヒーターを利用して試作した溶解器。能率が悪く、少量であれば対応できるが、通常の利用には不適であった。



縦半割にしたドラム缶にバターを入れ、２台のジェットヒーターで溶解する方式。冬季はこの方式に落ち着いた。作業員２名が付きっきりで495kgの処理に14日間を要した。



大きな塊は20kg／箱、右上の箱は1kgの小包。



大きな塊は、スコップなどで小分けしなければ速やかに溶けない。



脱脂粉乳は25kg/袋で搬入される。綴じ口を切り開いて、ふん尿受入槽に投入する。粉塵となって舞い上がる。

No20

確　認　日	
タイトル	副資材貯留タンクの底の形状が不良
事　　象	2002年10月24日に水産加工残滓（サケマス加工場から搬入された中骨、頭、ヒレ、内臓）を用いて、破砕機の稼働と破砕程度の試験を実施した。破砕程度は粗く、期待していたミンチ状にはならなかった。また、副資材貯留タンクから副資材を搬出する吸い出し口は側壁に設置されているため、破砕した水産加工残滓のほとんどがタンク内に残留した。放置すれば腐敗することが懸念されるので、マンホールを開けて残滓を掻き出し、清掃した。
経　　過	水産加工残滓は季節変動が大きいこともあり、投入試験はこの１回しか実施しなかった。連日のように使用するのであれば、多少の残滓は課題にならないかもしれないが、投入に一区切りついた時点では、残滓の問題は必然となる。
原　　因	底が平坦で、吸い出し口が側壁にあるという構造上の不良
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	図示したように、貯留タンクの底の形状と吸い出し口の位置を改造することが最善と考えられる。
総　　括	
知識化	
その他	

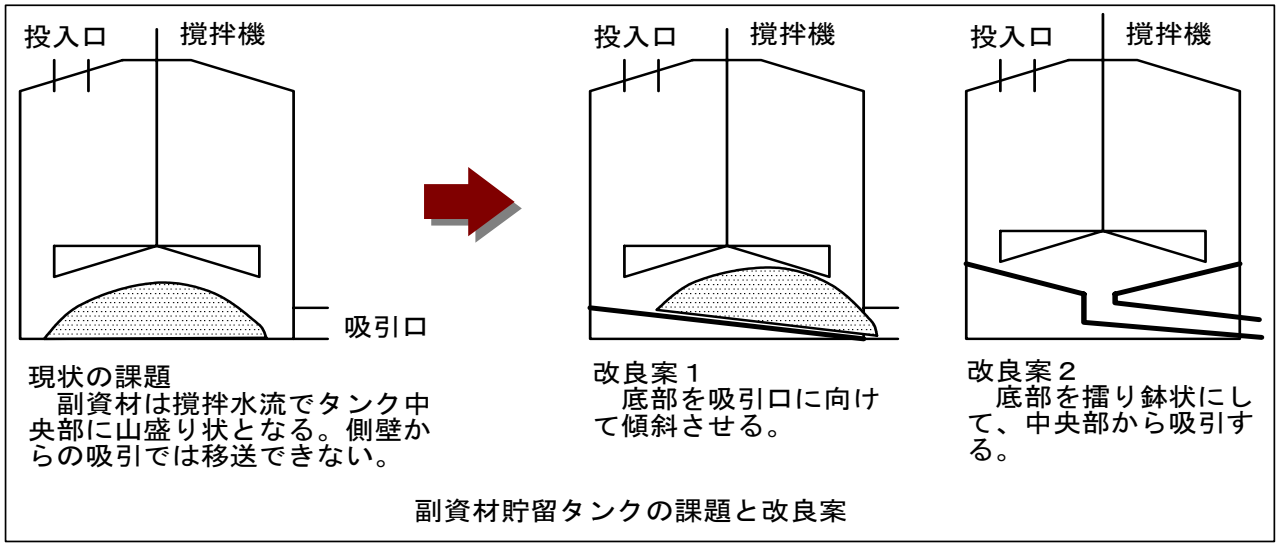
No20



水産加工残滓を副資材破砕機の受入ホッパに投入した状況



副資材貯留タンク内での残留状況



現状の課題
　副資材は撹拌水流でタンク中央部に山盛り状となる。側壁からの吸引では移送できない。

改良案１
　底部を吸引口に向けて傾斜させる。

改良案２
　底部を擂り鉢状にして、中央部から吸引する。

副資材貯留タンクの課題と改良案

No21

確　認　日	
タイトル	消化液搬出時の溢れ
事　　象	春先・一番草収穫後(７月下旬）・二番草収穫後（９月中旬）・秋口の４回／年に消化液の圃場散布が実施される。ふん尿の提供農家が、各自の都合とタンカーで搬出を行う。積載時に溢れさせる事例が多く見受けられる。
経　　過	
原　　因	汲み上げポンプを停止させるタイミングが遅い
要因１	タンカーに満載することを優先させているため、溢れたら止めるという認識の者が多い
要因1-1	
要因1-2	
要因２	真空吸引での積載ではなく、タンク上部の開口部からの流し入れなので溢れる
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	利用者のモラルに委ねざるを得ない
総　　括	
知識化	
その他	

No21



消化液貯留槽と汲み出しポンプ



汲み出しの状況



農家が使用している一般的なタンカー：牽引型



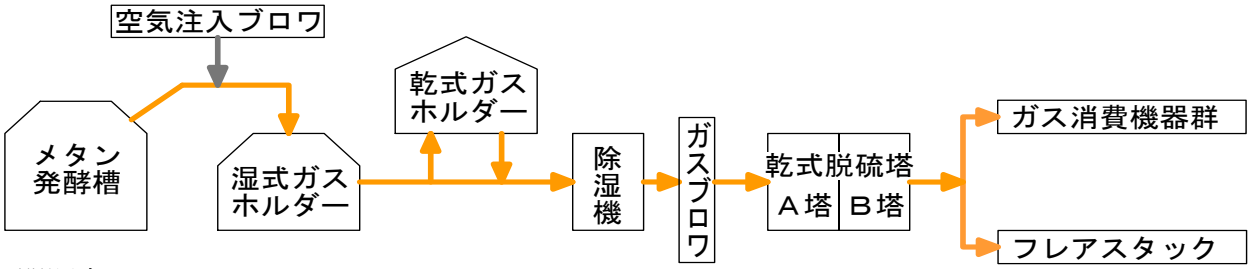
農家による積み込みの様子

No22

確　認　日	
タイトル	ガスホルダーと脱硫の配列
事　　象	バイオガスプラントでのガス利用の視点からは、以下の事項が重要となる。　①脱硫を確実に行い設備の損耗を防ぐ　②除湿を確実に行いエネルギー効率を高めるとともに設備の損耗を防ぐ　③ガス消費の変動を緩和するために充分な容量のガスホルダーを備える　④ガス利用設備の維持管理が簡便で低コストである。　　このことは、発酵槽とガス消費機器の間で、脱硫設備・除湿設備・ガス貯留設備・ガスブロワをどのように配列するかという事項に影響される。別海施設の配列を検討してみたところ、いくつかの危惧される事項があった。
経　　過	
原　　因	現状の配列に決定された根拠が不明なので、原因も不明である
要因１	生物脱硫が不調になった場合に、トラブルが危惧される
要因1-1	生物脱硫が不調になることを想定していない配列である。
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	根本的には配管を改修して、適正な配列でガスが流れるようにするべきである。
総　　括	
知識化	ガスクリーニングでは、とかく「脱硫」にのみ注目しがちであるが「除湿」にも充分に配慮すべきである。また、脱硫設備やガスホルダーに生じるであろう不調・故障・トラブルをきちんと想定し、対処を盛り込んだ設計を行う必要がある。
その他	

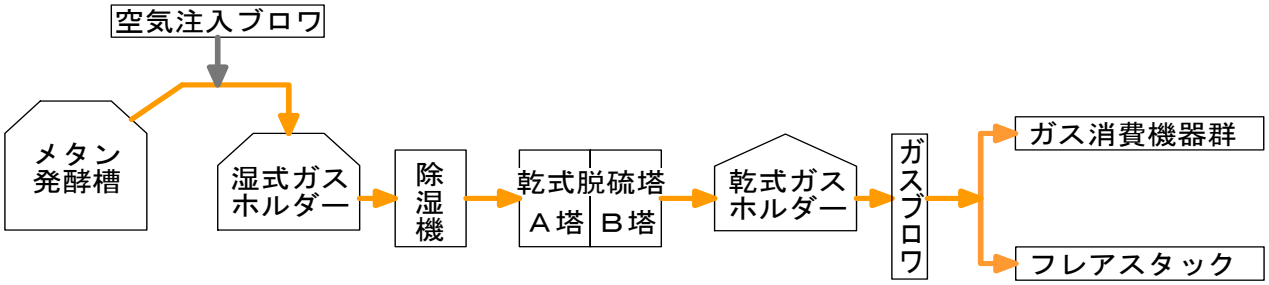
No22

現状の配列



問題点
① 乾式ガスホルダーには、生物脱硫が不調であると脱硫されていない生ガスが貯留される。加えて、除湿もされていなため、乾式ガスホルダーのガス膜の損傷が強く危惧される。
② 除湿器には、生物脱硫が不調であると脱硫不充分な生ガスが流入する。除湿器の損耗が危惧される。
③ ガスブロワには、生物脱硫が不調であると脱硫不充分な生ガスが流入する。ガスブロワの損耗が危惧される。

改善した配列案



問題点
① 除湿器には、生物脱硫が不調であると脱硫不充分な生ガスが流入する。除湿器の損耗が危惧される。

No23

確　認　日	
タイトル	メタン発酵槽攪拌機のギアボックスからのオイル漏れ
事　　象	平成15年10月29日、運転員からメタン発酵槽の攪拌機でオイル漏れが２週間くらい前に発生していた。漏れはとまっている。大きなトラブルはない。・・との連絡があった。
経　　過	11月に現場を確認した。ギアにキシミ音などもなく致命的なトラブルとは考えられなかったことと、代理店に問い合わせた結果、修理自体は現地で実施できるとのことであったが予算上の都合もあり、様子を見ることとした。
	平成16年度の最終的な点検整備の中で、点検整備を実施した。
原　　因	不明
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	定期点検の励行
総　　括	
知識化	
その他	

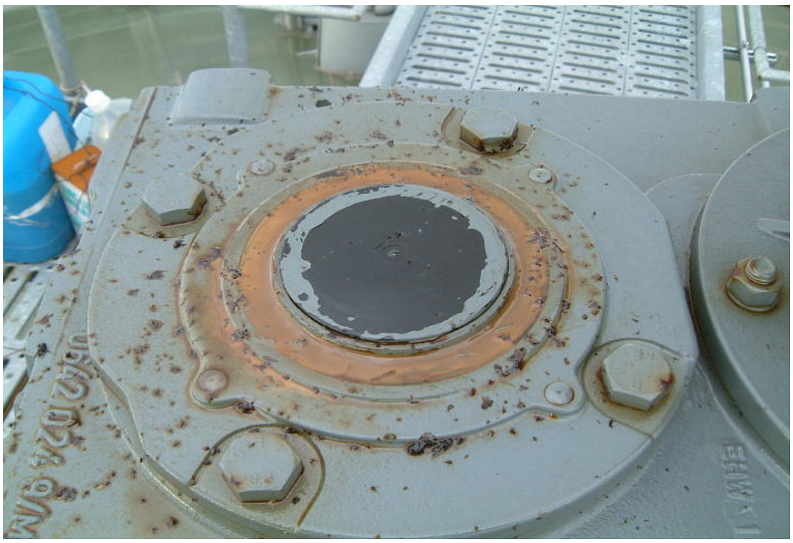
No23



攪拌機全景。左上にモーターがあり、中央上部のギアボックスで回転数を落とすとともにトルクを得る。



ギアボックス上面部の状況



オイル漏れ状況の拡大写真。薄い茶色が漏れたオイルが乾燥した跡。

No24

確　認　日	
タイトル	コンテナのルーフが凍結の影響で利用しずらい
事　　象	固形ふん尿を収集運搬するアタッチメントとして採用したコンテナには、冬期の凍結抑制や雪の吹き込み防止を目的としたルーフも装備した。しかし、バーンクリーナーから落下してコンテナの縁（ルーフの開閉用ローラーのレールでもある）に飛散したふん尿が凍結してルーフの開閉ができなくなるというトラブルが頻発し、全てのルーフが使用されていない状況となっている。
経　　過	
原　　因	バーンクリーナーから落下するふん尿がコンテナの縁に載って凍結してしまう
要因１	
要因1-1	
要因1-2	
要因２	
要因2-1	
要因2-2	
要因３	
要因3-1	
要因3-2	
要因４	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	バーンクリーナーのワイパー部をコンテナの天端近くまで下げて、縁にふん尿が飛散しないようにすることが考えられるが、搬出時にはワイパー部を高く上げ、回送後に再びワイパー部を下げるといった手間が必要となる。冬期はバーンクリーナーの上下機構が凍結して稼働しないことが多く、現実的な作業体系ではない。このため、ルーフを取り外してコンテナを使用することとしたが、ふん尿の凍結によるふん尿搬入作業の障害は発生していない。
総　　括	コンテナは312万円／台で、ルーフは別売りオプションで36万円／台である。６台分のルーフの使用頻度が低い。
知識化	
その他	

No24



ルーフを装着した状態のコンテナ

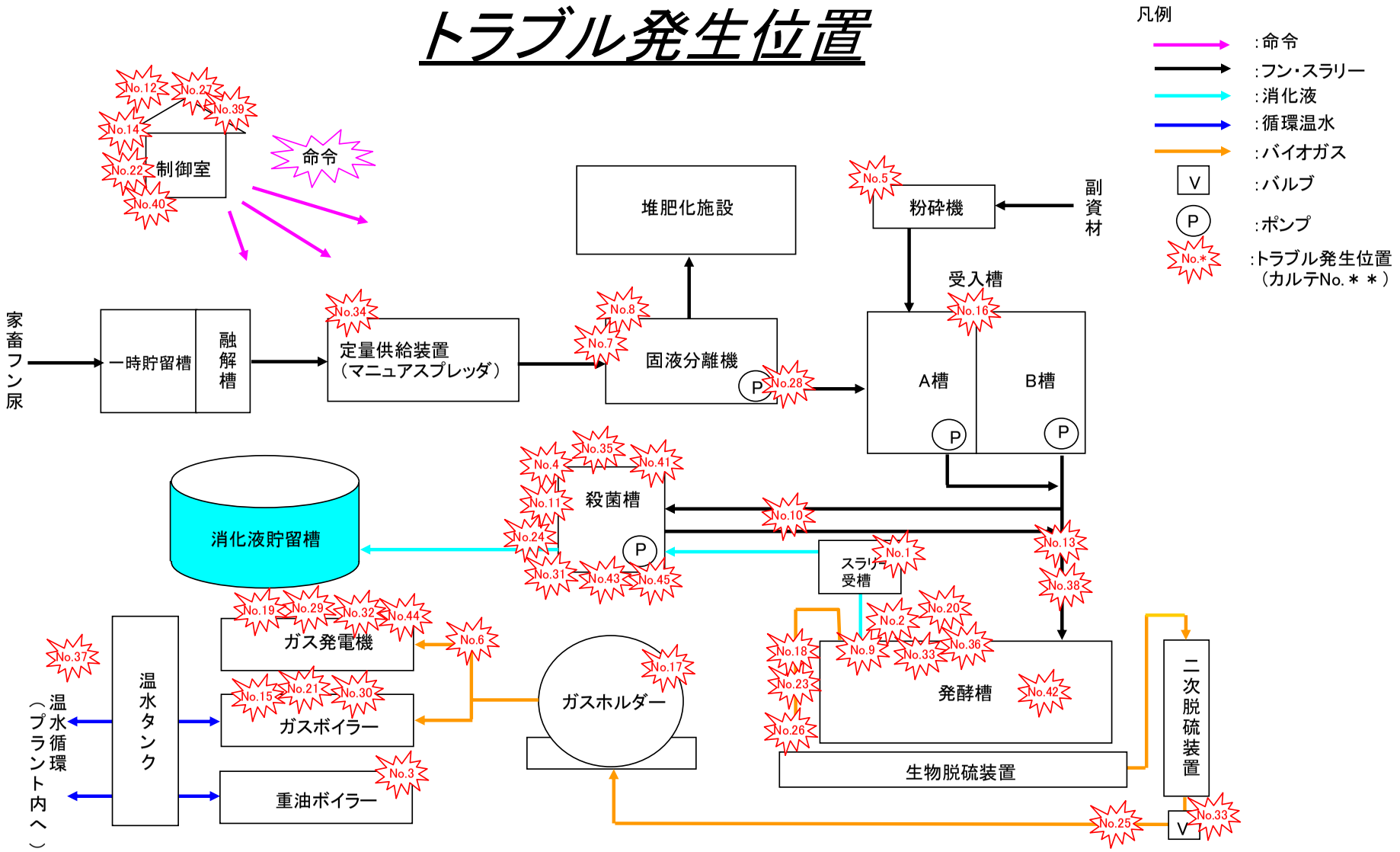

搬出の状況


プラント内の機械機具庫に収納されたルーフ

湧別プラントでのトラブルのカルテ一覧表
（カルテ番号は、それぞれのカルテの左上隅に記してある。）

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	副資材投入用粉砕機について
6	メタンガスアナライザー
7	固液分離機のスクリューの変形
8	バーン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No２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	ガス発電機の不調
33	ガスラインのバルブが閉じられない。
34	凍結によるマニュ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	発電機の稼動不良
45	殺菌槽からあふれた消化液の清掃

トラブル発生位置

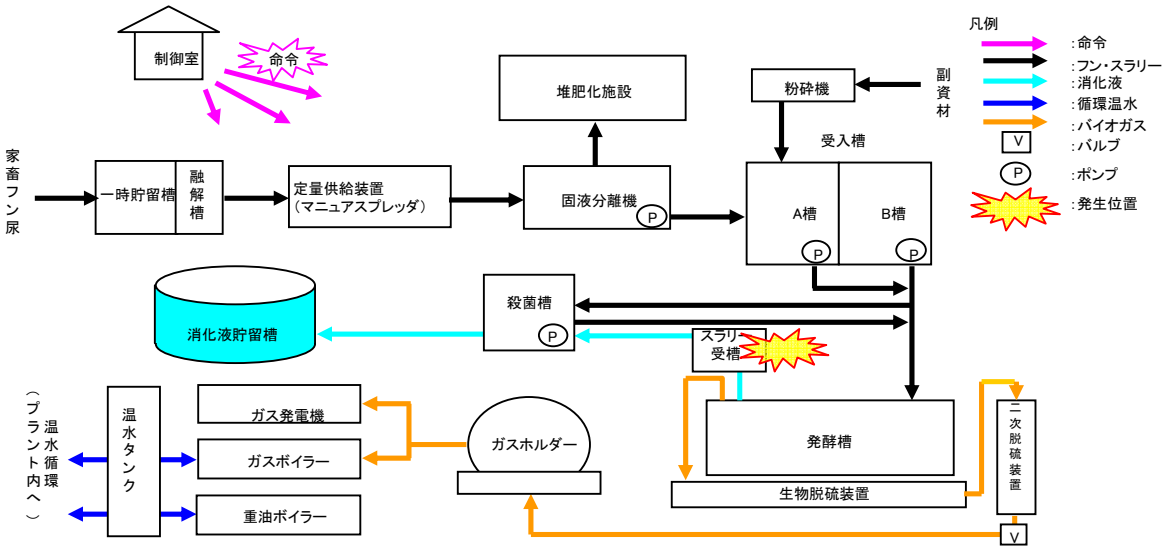

凡例
:命令
:フン・スラリー
:消化液
:循環温水
:バイオガス
V :バルブ
P :ポンプ
No.* :トラブル発生位置（カルテNo.＊＊）
制御室
命令
堆肥化施設
粉砕機
副資材
受入槽
家畜フン尿
一時貯留槽
融解槽
定量供給装置（マニュアスプレッダ）
固液分離機
A槽
B槽
消化液貯留槽
殺菌槽
スラリー受槽
ガス発電機
ガスボイラー
重油ボイラー
温水タンク
温水循環（プラント内へ）
ガスホルダー
発酵槽
生物脱硫装置
二次脱硫装置

No1

確認日	2002/10/23
タイトル	センサーの異常感知
事　象	センサーの異常感知が過去に何度かあった。
経　過	スラリー受槽センサーの異常感知が過去に何度か発生していたのでテスターによるチェックを行った。その結果、断線していることが判明した。原因はふん尿に接したケーブルの被覆が劣化しケーブル内配線が浸食されたためであった。
原　因	ケーブル内の断線
要因1	ふん尿がケーブル内配線を浸食したため
要因1-1	ふん尿はビニルを劣化させるため
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	H、Lセンサーの交換
総　括	ふん尿あるいは消化液を貯留する閉鎖型の槽で発生したセンサーケーブルの劣化である。このような環境におかれるセンサー類は、消耗品と考えて、適宜交換をしなければならない。このトラブルの後、同様のレベルセンサーは、し尿処理施設でも劣化実績のあることがわかった。センサーの故障があってもそれが波及しての被害が広まらないような工夫も必要である。
知識化	ふん尿はケーブルの被覆物の劣化を早める。
その他	センサーの交換の際スラリー受け槽の底にスラッジが堆積していることがわかった。

No1

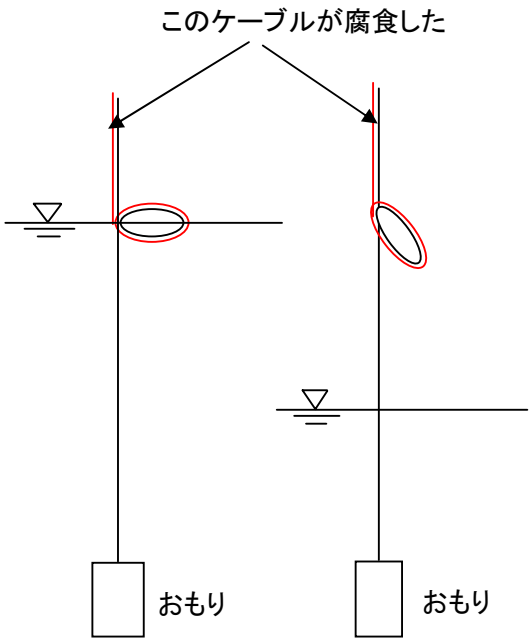
トラブル発生位置





交換後のレベルセンサー全景

レベルセンサー
　徳利のようなセンサー本体の傾きで液面の到達・未到達を発信する。

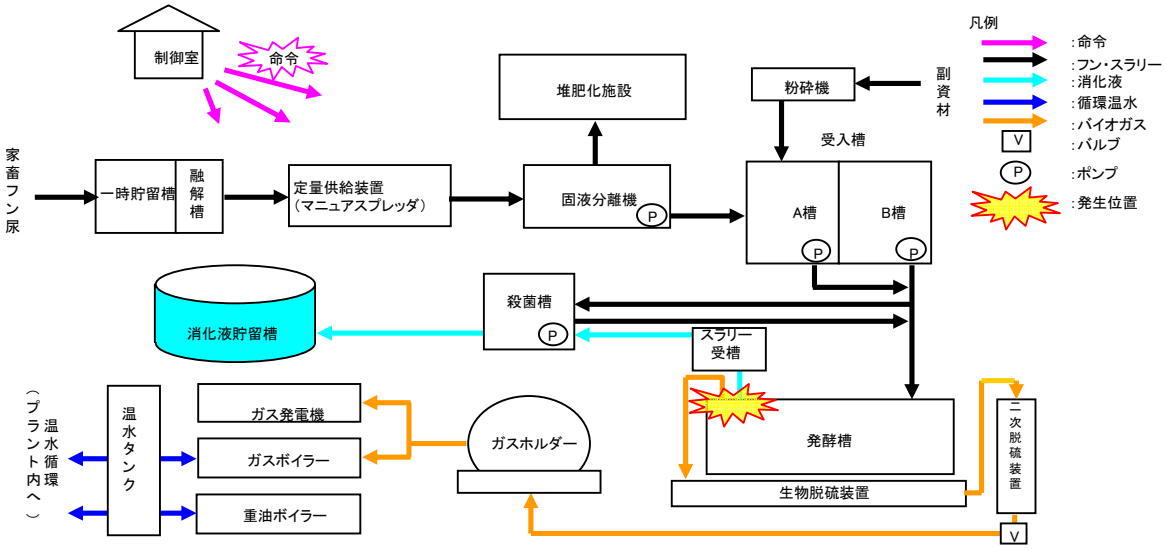


No2

確認日	2005/10/25～10/28
タイトル	ガス流量計の目詰り
事　象	ガス流出計の出力値がゼロのまま変わらない。その後、発酵槽より泡が流出した。
経　過	10/25日20時頃よりガス流量計がゼロのままになり、10/28日発酵槽封水部より泡が流出した。そこで流量計を取り外したところ流量計入口のストレーナーが目詰りしていた。
原　因	ガスラインより流入した泡により、ガス流量計が目詰を起こしたため
要因1	液面上昇によりガスラインに泡が流入したため
要因1-1	原料投入時に液面が上昇したため
要因1-2	
要因2	ガス溜りに泡が発生していたため
要因2-1	
要因2-2	
要因3	ガス流量計が発酵槽ガス流出部に近い位置にあったため
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	流量計を脱硫装置の前から後へ移設した。
総　括	流量計での目詰まりによるトラブルである。このカルテ以外にも、流量計の閉塞に関わるトラブルは多い。ガス流量計は、ガスラインのうちなるべく下流に設置し、発酵槽から離しておくことが、このような目詰まりの回数を抑制するために有効である。
知識化	発酵槽直下流のガスラインには流量計など詰り易いものを設置しない。 ガス溜りでは泡が発生することがある。
その他	

No2

トラブル発生位置





ガスだまり外観

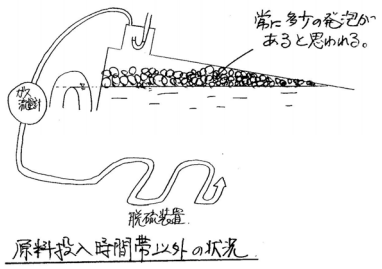


図1

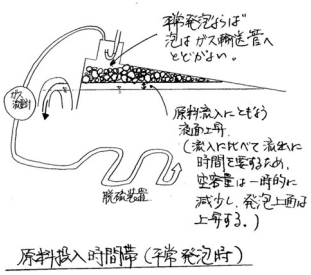


図2

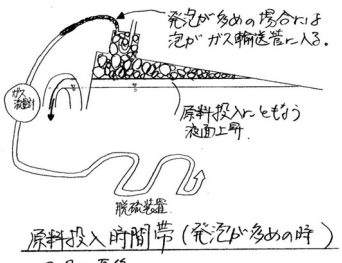


図3

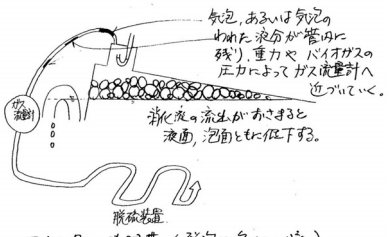


図4

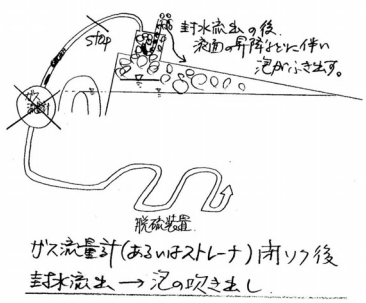


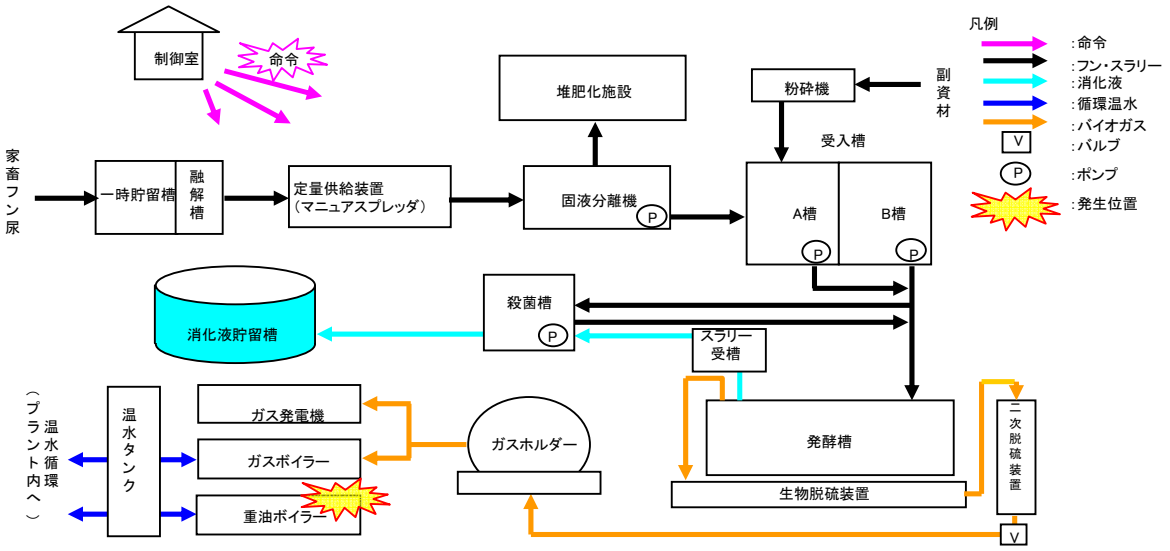
図5

No3

確認日	2002/10/20～23
タイトル	重油流量計データの異常記録
事　象	重油流量計記録値異常が疑われたので、調査を行った結果、流量計の接続ミスであった。
経　過	重油流量計の操作盤上の表示計が実流量と一致していないため検査を行った。電圧計を用いた調査により、操作盤表示計への入力電圧が正常の電圧値の半分程度しかないことが分かり、パルス・アナログ変換機-操作盤表示計の間で不具合の疑いが大きいことがわかった。施工業者に問いあわせたところ、流量計からパルス・アナログ変換機への入力は無単位パルスへ入力が正解であったが、有単位パルスへ接続していた。
原　因	流量計の接続ミスのため
要因1	配線図面が間違っていたため
要因1-1	図面のチェックもれ
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	接続し直したところ、正しい表示になった。
総　括	単純なケーブルの接続指示ミスである。プラントの稼働初期に、各種データを十分にクロスチェックしておくべきであった。
知識化	図面も間違っていることがある。 実流量と計測流量は、必ず証査する。
その他	

No3

トラブル発生位置





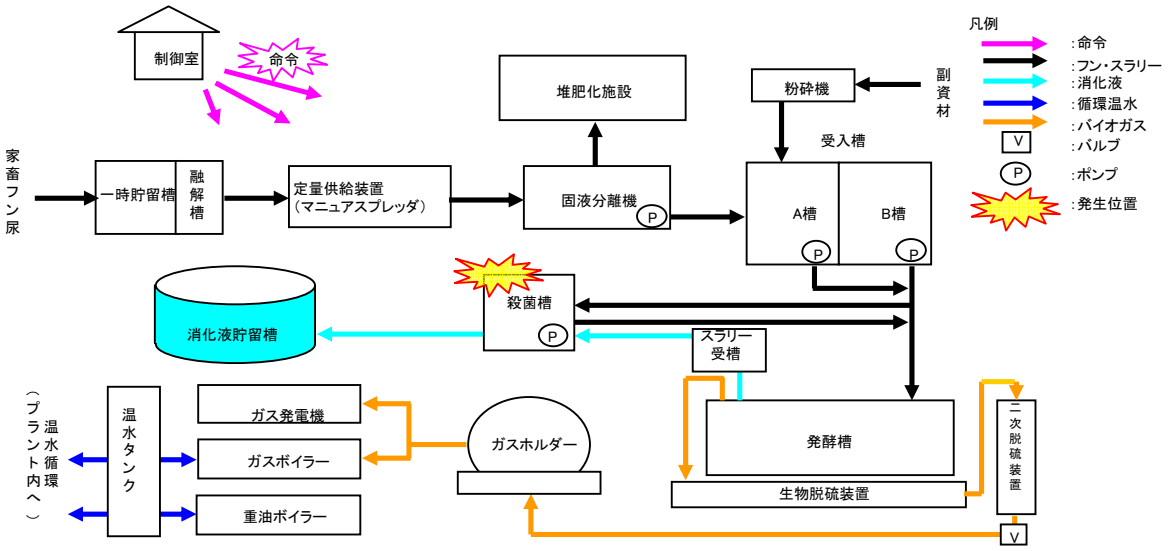
重 油 流 量 計

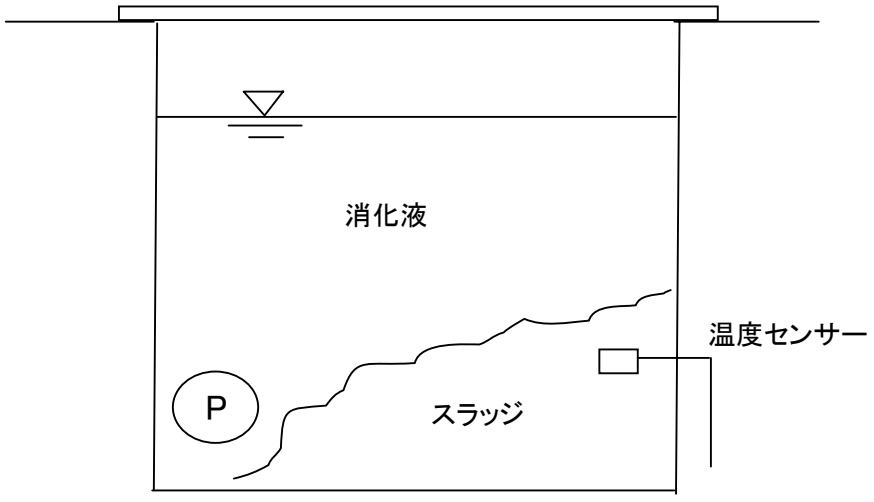
No4

確認日	2002/11/8
タイトル	殺菌槽の温度表示が変化しない。
事　象	加温用循環温水の設定温度を60℃から90℃に変更したが、これに伴って上昇するはずの殺菌槽温度計の表示値がほとんど変化しなかった。
経　過	重油ボイラーの設定温度を60℃から90℃に変更し、殺菌槽の温度上昇を観測した。その際、加温用循環温水の温度は上昇しているにもかかわらず、殺菌槽内消化液の温度変化は微小であった。温度計の故障を疑い殺菌槽温度測定位置に可搬式温度計を挿入し、温度を確認しようした際、殺菌槽の底部に堆積物があり、温度計が埋まっていることが分かった。
原　因	殺菌槽堆積物により温度計が埋没したため
要因1	殺菌槽に堆積物が溜まったため
要因1-1	フン尿中の固形物量を想定してなかったため
要因1-2	殺菌槽のポンプの撹拌能力を過大評価していたため
要因2	殺菌槽の堆積物を除去しなかったため
要因2-1	堆積物の量を予測していなかったため
要因2-2	
要因3	温度計の設置位置が深かったため
要因3-1	堆積物の堆積形状、深さを予測していなかったため
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	定期清掃
総　括	地下ピットの堆積物が溜まってしまったために、センサーが埋もれてしまったトラブルである。日々のデータをグラフ化して確認していたので、殺菌槽の温度変化の異常に気がついた。ふん尿・消化液が滞留する場所には、遅かれ早かれ堆積物が生じる。施設の設計時には、スラッジの堆積を十分に考慮した仮想演習が必要である。
知識化	消化液中には固形分が存在し、流速の小さいところで必ず堆積する。 温度計の位置は底に近すぎると堆積物に埋まる。
その他	もし、殺菌槽温度をもとにしたフィードバック制御をかけていたとしたら、このような欠測の影響を防ぐ方法を考えておく必要がある。すべてのセンサーに対して「そのセンサーが欠測した時、制御上で何がおこるか」を考えておくことが必要である。

No4

トラブル発生位置





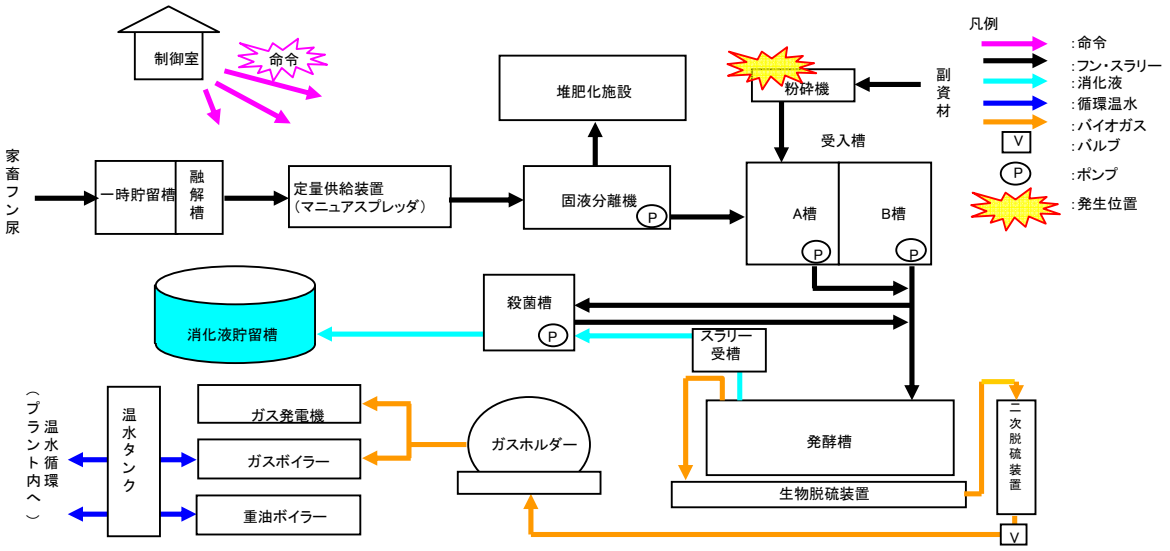
・殺菌槽略図

No5

確認日	2002/11/8
タイトル	副資材投入用粉砕機について
事　象	副資材投入用粉砕機の試運転を行ったが動かなかった。
経　過	副資材投入試験が計画されているため準備として粉砕機の試運転を実施した。電源をONにしても始動しなかったのでマニュアルで確認したところ安全装置が働いていた。
原　因	安全装置がはたらいていたため
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	安全装置は、投入ホッパーを取り付けて、本体とホッパーの両方についているセンサーの隙間が4mm以下にすれば解除される。隙間を測定したところ5.5mmあった。よって、適正な隙間に調整した。
総　括	試運転時以来、長期間使用していなかった粉砕機を、再度運転するときにストッパーの起動条件を忘れていたために生じた小さなトラブルである。「安全装置あり。この隙間が4mm以上ならスイッチが入りません」のステッカーが、粉砕機についていたら混乱しなかったかも知れない。
知識化	たまにしか使わないものは、使用前にマニュアルを予習すること。
その他	

No5

トラブル発生位置





粉砕機



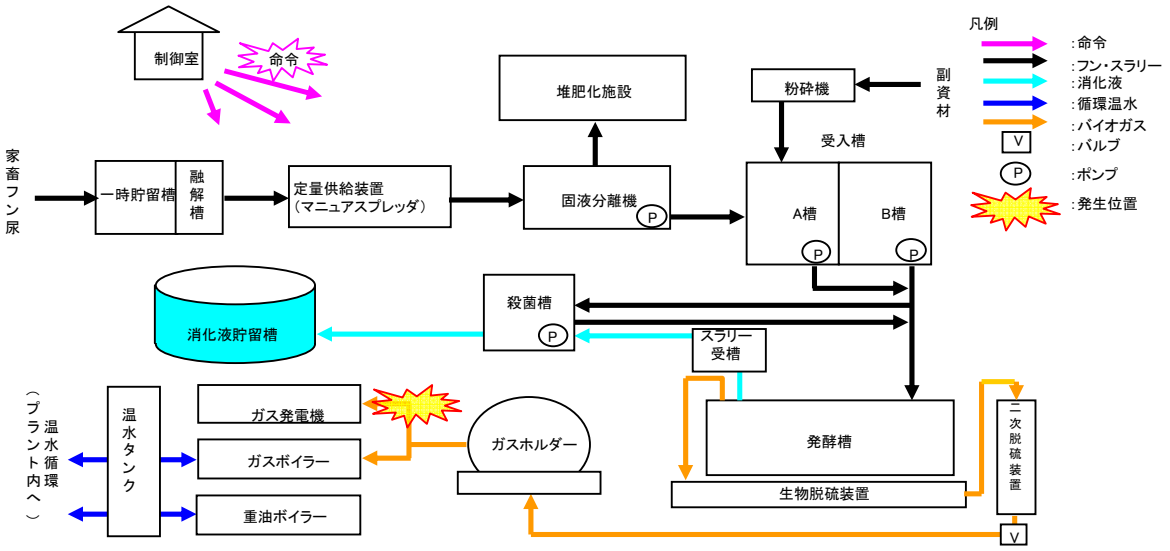
粉砕機の安全装置

No6

確認日	2002/12/5
タイトル	メタンガスアナライザー
事　象	メタンガスアナライザーの測定値がゼロのまま変化しない。
経　過	メタンガスアナライザーによる測定値が異常な数値を示したので、メーカーに修理を依頼した。故障の原因はバイオガス中の水蒸気が凝結し装置内に進入し、装置が錆びつき、バイオガスが流入できなくなったためである。
原　因	バイオガスの流入口が凝結水と硫化水素により腐食したため
要因1	ガスアナライザーに水が浸入したため
要因1-1	アナライザーへいたるガスラインの保温不足で結露が生じたため
要因1-2	ガスアナライザーに水が流入してしまう機構であったため
要因2	脱硫機能の不足
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	凝結は発電機～ガスアナライザー間で発生している。管路に勾配をつけてガスアナライザー側へ導き、ガスアナライザー直前に簡易トラップを取り付け凝結水を除去した。
総　括	ガスの経路における結露によるトラブルである。ガスライン本管ではなく、サンプリング用の管で発生した。いかに細い管であっても、上流部よりも低温な区間があれば、かならず結露することを肝に銘じるべきである。
知識化	バイオガス中の水蒸気は、低温部など条件がそろえばどこでも結露するおそれがある。 水と硫化水素があると錆びる。
その他	

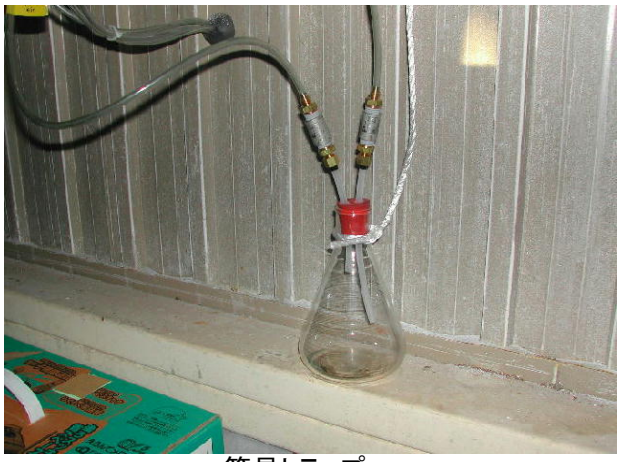
No6

トラブル発生位置





メタンガスアナライザー



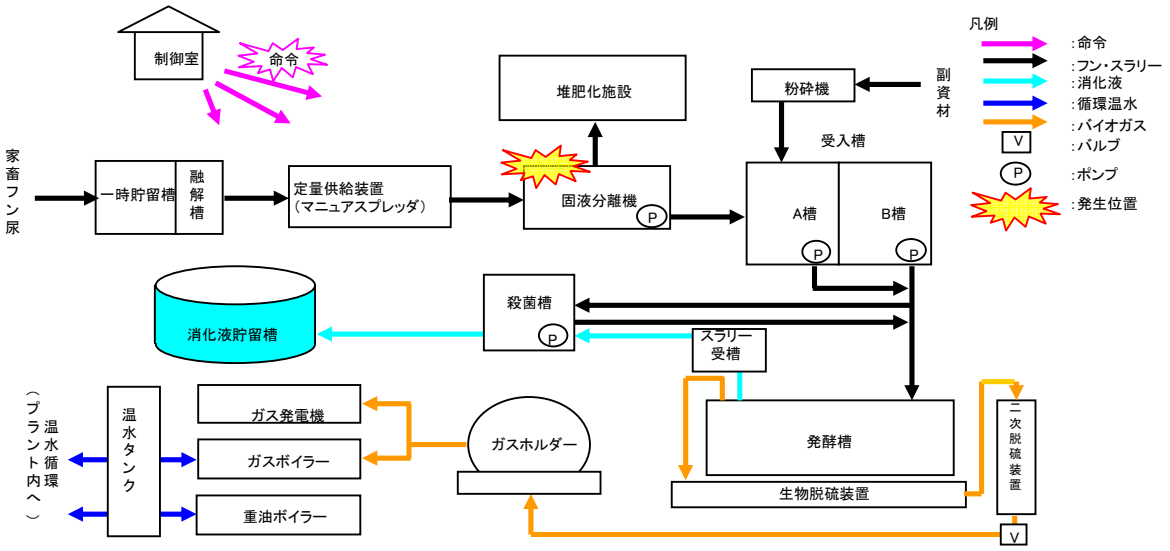
簡易トラップ

No7

確認日	2002/12/5
タイトル	固液分離機のスクリューの変形
事　象	管理人が固液分離機作業中にスクリューの変形に気付いた。
経　過	2002/12/5 固液分離作業中に変形を発見した。これまでの固液分離作業中に、時々大きな異音が聞こえたり、分離物中に石等が混ざっていたことがあった。
原　因	固液分離機に異物が混入したため
要因1	農家より搬入されるふん尿に異物が入っていたため
要因1-1	
要因1-2	
要因2	固液分離機に材料を投入する際に異物を発見するのが困難であるため
要因2-1	
要因2-2	
要因3	固液分離機の強度・機構が異物の混入に耐えられないため
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	どんな異物があるかリストを作成、それぞれに対し対策を練る。
総　括	農家の堆肥盤において、ホイールローダなどで家畜ふん尿をすくい上げる場合、どうしても異物が多少混入してしまう。固液分離機に限らず他の装置も異物により機能を損なうので注意が必要である。固液分離機の分解・修理には高額の修理費が必要であり、プラントの運営の可否に関わる問題である。しかし、異物混入の完全な防止は容易ではない。
知識化	固形ふん尿には、コンクリート片などの異物が入っていることがある。
その他	

No7

トラブル発生位置





変形したスクリュー



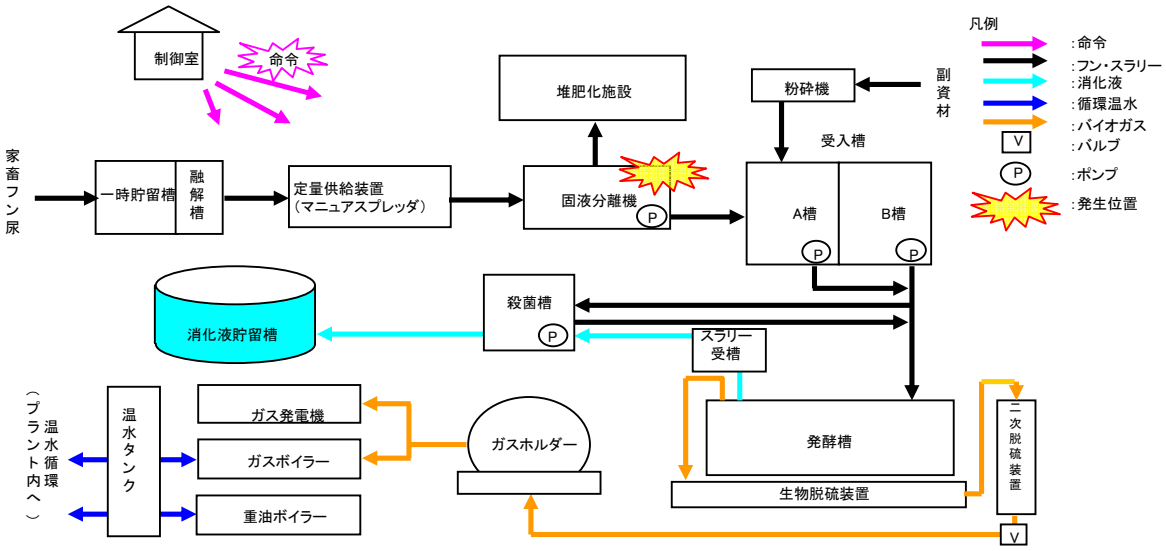
フンに混入する異物の事例

No8

確認日	2002/12/31
タイトル	バーンクリーナー及び固液分離機の凍結
事　象	バーンクリーナーと固液分離機内でふん尿が凍結し、発酵槽へのふん尿の投入が行えなくなった。
経　過	固液分離機の液分を回収するホース入口が凍結したため、固液分離作業ができなくなった。そのときにバーンクリーナー（固液分離機の前段階）にすでに投入されていたふん尿は、固液分離機に送ることができなくなったので、やむをえずそのままにしておいた。3連休明けの管理人出勤時には、バーンクリーナー内のふん尿が強固に凍結してしまっていた。
原　因	凍結により固液分離作業が行えなくなったため
要因1	分離液分の回収ホースが凍りついたため
要因1-1	ホースが適当でなかったため(ホース径が小さかった)
要因1-2	
要因2	１２月の気温を予測した作業を行わなかったため
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ジェットヒーターを使用して溶かした後、ふん尿をとり除いた。
総　括	ふん尿処理ラインの一部での凍結が、他のステージでのふん尿の動きを停止させ、別なところのふん尿も凍結させてしまったトラブルである。処理ラインの中での凍結に弱い部分がどこかを仮想演習し、応急処置の方法・道具を事前に準備しておくべきである。
知識化	１２月ならばふん尿は凍結する。 システムの一部でふん尿が凍結すると、他の場所のふん尿の動きもとまり、凍結範囲が広がる。
その他	

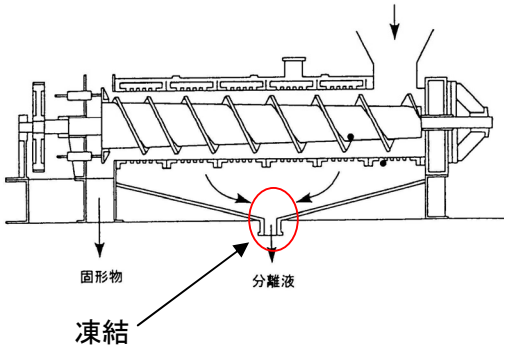
No8

トラブル発生位置





バーンクリーナーで凍りついたフン



スクリュープレス



正常な液分回収ホースへの入口



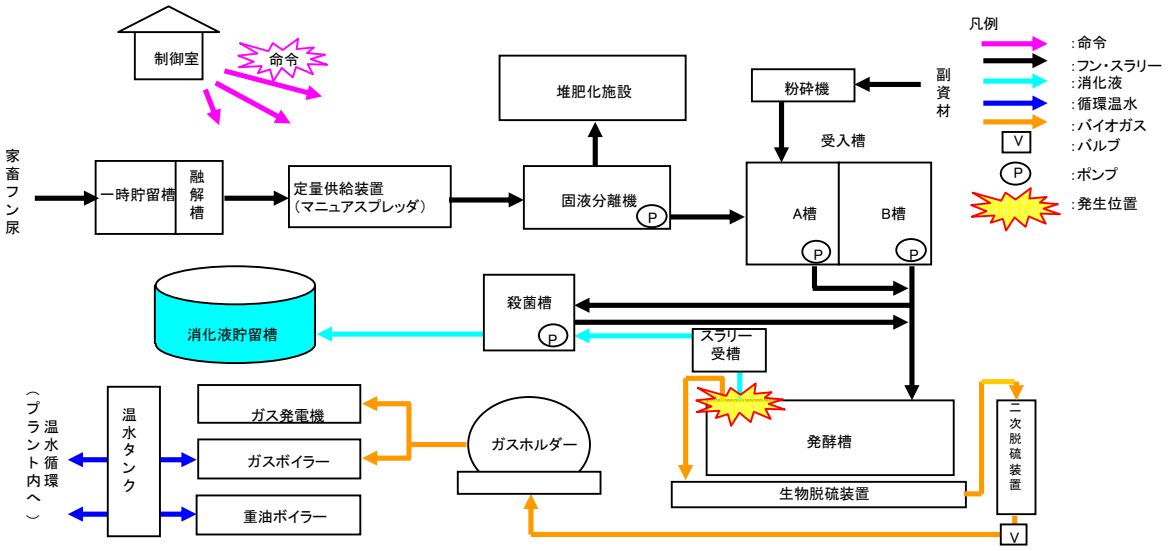
凍りついた液分回収ホースへの入口

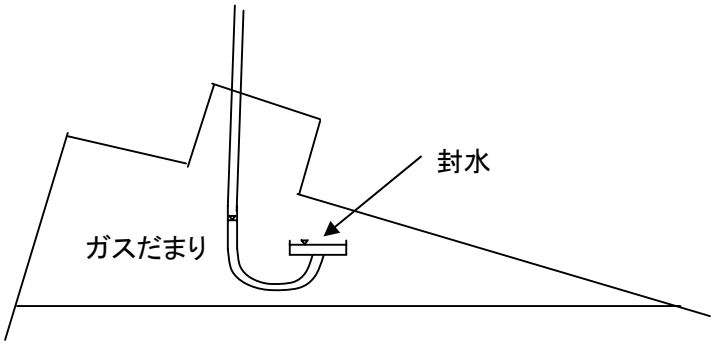
No9

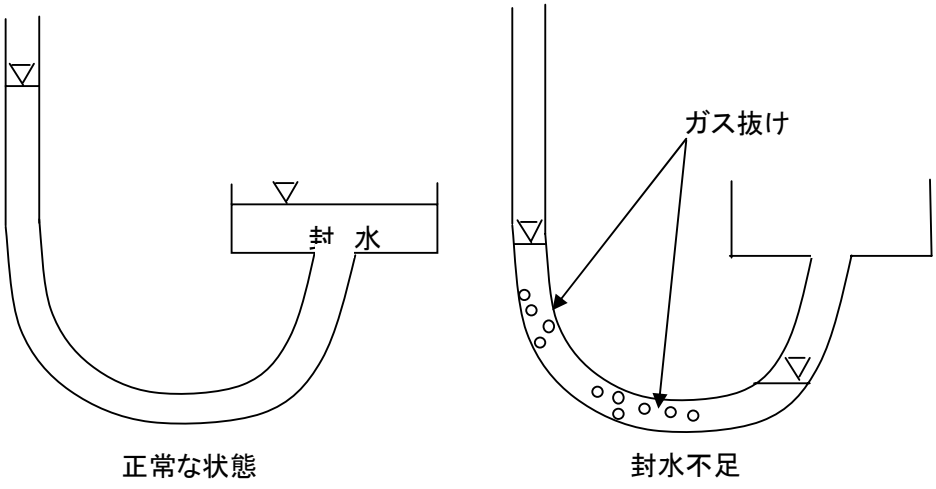
確認日	2002/12/31
タイトル	発酵槽の封水切れ
事　象	ガス発電の後、ガスホルダーへガスが溜まらかった。
経　過	ガス発電後、ガスホルダーへガスが溜まらないことがわかり、発酵槽の封水を確認したところ、内部からボコボコとガスが噴出していた。
原　因	不明
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	不凍液を12リットル補充したところ機能が回復した。
総　括	省略
知識化	ガスホルダーにガスが送られない時は発酵槽の封水を確認せよ。
その他	

No9

トラブル発生位置





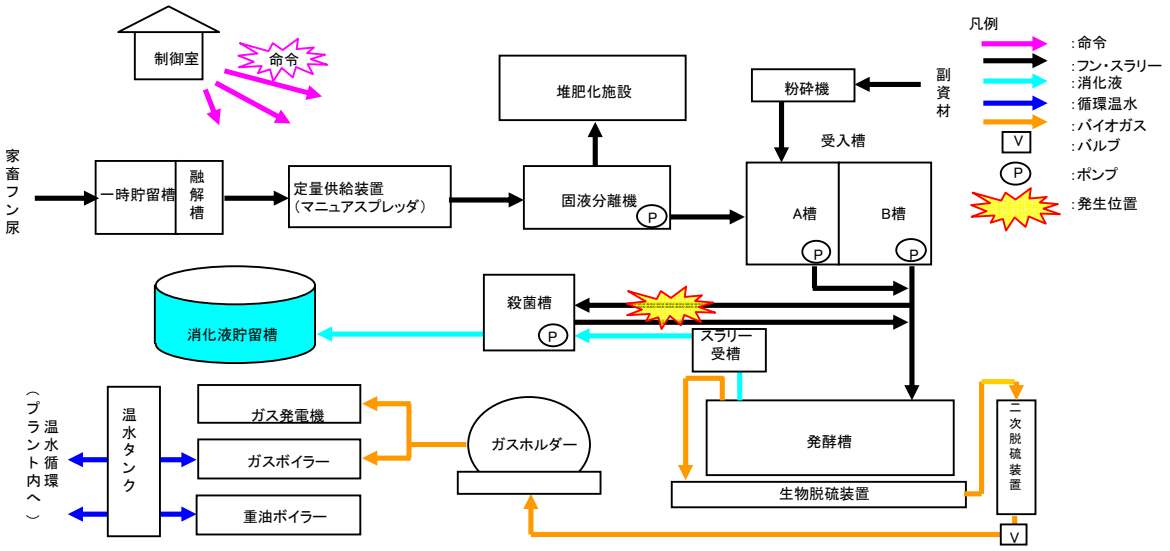


No10

確認日	2002/12/27
タイトル	殺菌槽電磁バルブの異常について
事　象	殺菌槽電磁バルブ（SV－002）が自動運転で閉じなくなった。
経　過	殺菌槽電磁バルブ（SV－002）が自動運転で閉じなくなった。操作盤上のスイッチを確認したところ、閉のランプが点滅し、開のランプが点灯したままであった。バルブ本体についている手動開閉ハンドルを使って、強制的に閉じることは可能であった。しかし、自動運転で一旦開になると、自動操作では閉じなくなってしまう。
原　因	不明
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	凍結防止の応急処置として殺菌槽内で循環するように設定した。
総　括	省略
知識化	省略
その他	カルテNo14へ続く

No10

トラブル発生位置

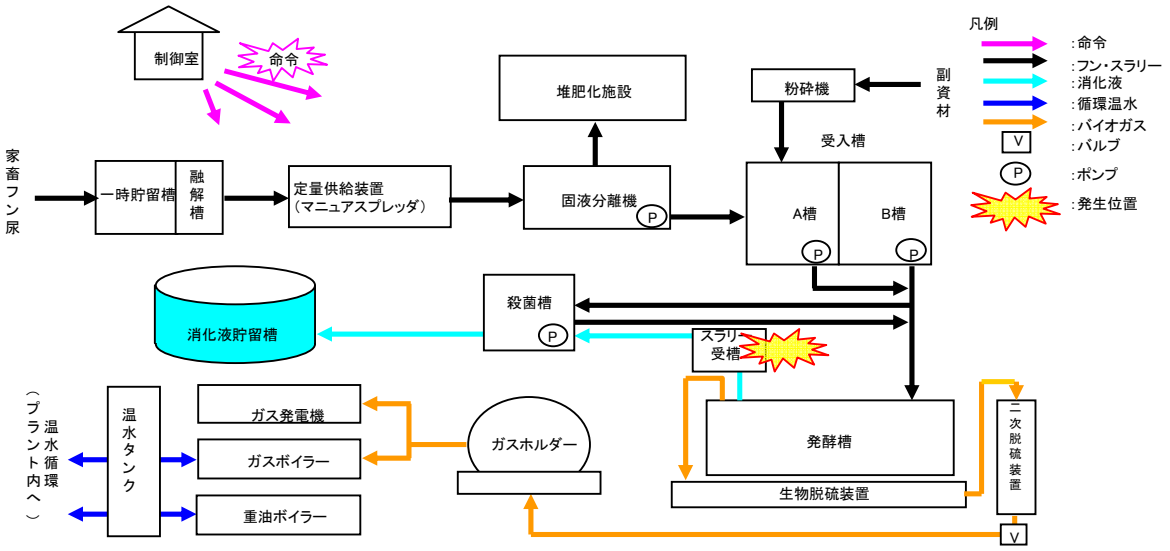


No11

確認日	2002/12/28
タイトル	殺菌槽レベルHの点灯
事　象	殺菌槽レベルHが点灯していた。
経　過	殺菌槽レベルHが点灯していたので、消化液受け槽のレベルHを強制的に入れたところ、シーケンス制御が正常に動作し、殺菌槽から消化液貯留槽への移送がおこり、殺菌槽のレベルHは消灯した。原因は殺菌槽の電磁バルブの動作異常によるものと考えられる。
原　因	殺菌層のバルブの異常
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	殺菌槽から消化液貯留槽への液移送を強制的に行ったところ、殺菌槽の液面が下がったため、警告は消えた。通常のシーケンス制御では殺菌槽のレベルHが常時点灯することはなく、詳細な原因は不明である。
総　括	省略
知識化	省略
その他	

No11

トラブル発生位置

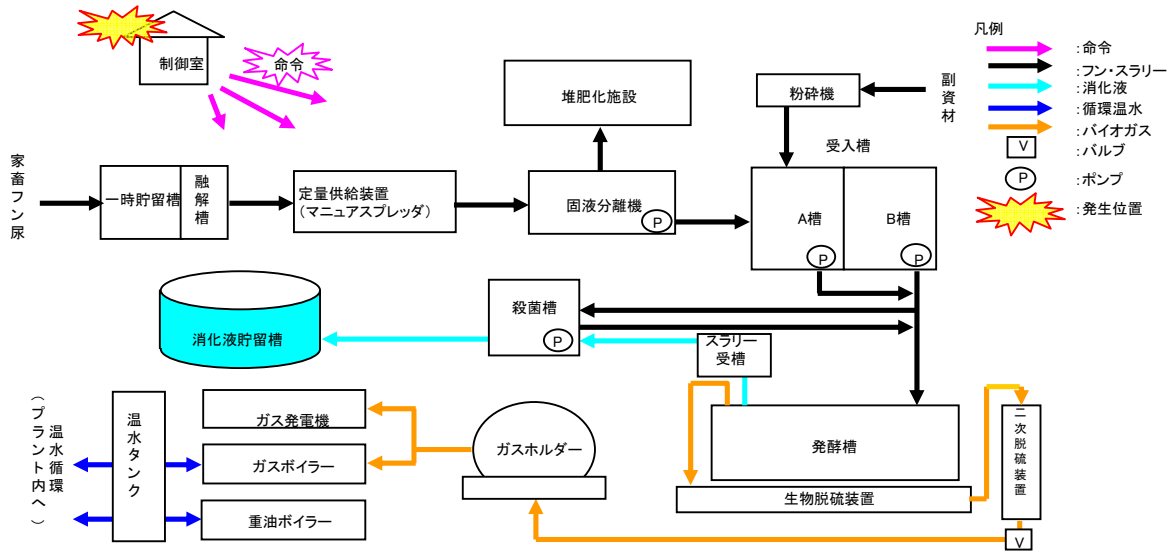


No12

確認日	2002/12/31
タイトル	制御室プリンターの異常
事　象	制御室プリンターが正常に動かなかった。
経　過	制御室内のデータ収録用PCのプリンターが異常を示し、印刷ジョブがパソコン内に蓄積していた。プリンターを再起動したが改善されなかった。
原　因	インクの凍結
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	零下でも作動する装置にする。
総　括	データ回収用のパソコンは、エネルギー棟の制御盤の横に置いてあった。その部屋は、常時は運転員がいないため、冬期には低温になる。このような部屋に電子機器類をおく場合には、何が弱部になるのかを事前に仮想演習しておくべきである。
知識化	装置の作動条件を把握する。 零下になる場所はなるべく避ける。
その他	

No12

トラブル発生位置

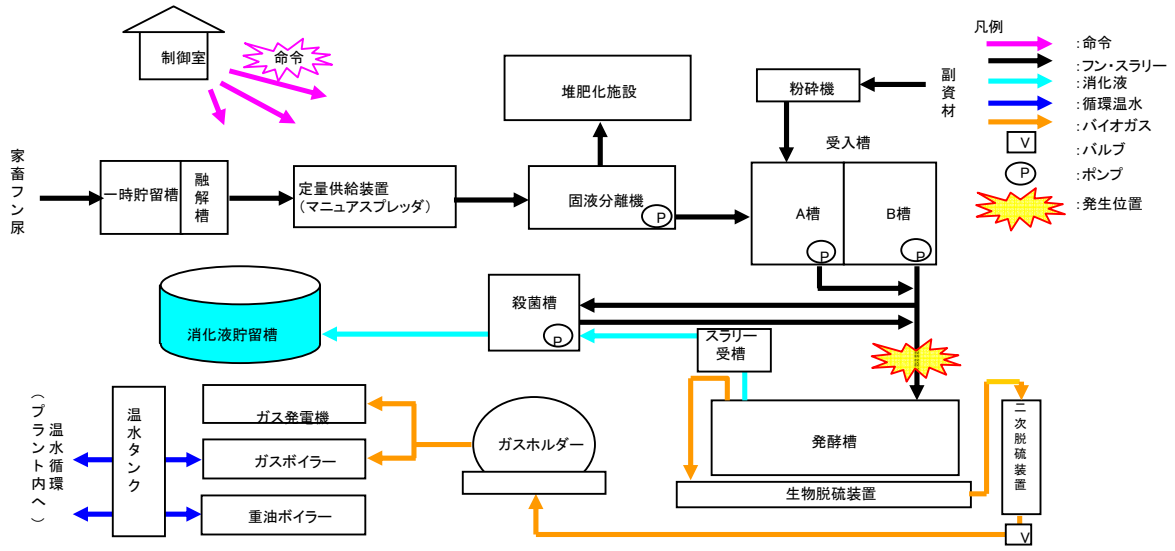


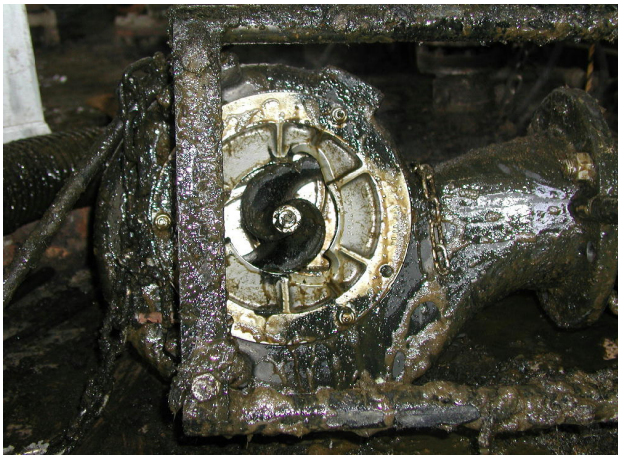
No13

確認日	2002/12/31～2003/1/16
タイトル	発酵槽への原料投入ができなくなった
事　象	原料投入が自動制御及び手動操作のいずれもできなくなった
経　過	発酵槽へ原料の移送が困難な状態になった。調査したところ、自動制御中ポンプに手動操作が割り込んだためのシステムエラーであることが分かった。
原　因	システムエラー（シーケンサーの停止）
要因1	自動制御中に、トラブル対応のため、手動操作（ポンプ起動）を割り込ませてしまった
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	システムを見直して、シーケンスのリセットスイッチを新設した。
総　括	No.10のトラブルも、今回のトラブルも、システムのエラーが原因である。自動制御中に手動操作を割り込ませると、どうなるかを事前に確認しておく必要がある。
知識化	自動制御中に手動操作を割り込ませたとき、システムがどうなるかを仮想演習しておくこと。
その他	

No13

トラブル発生位置





原料移送ポンプ（異常なし）



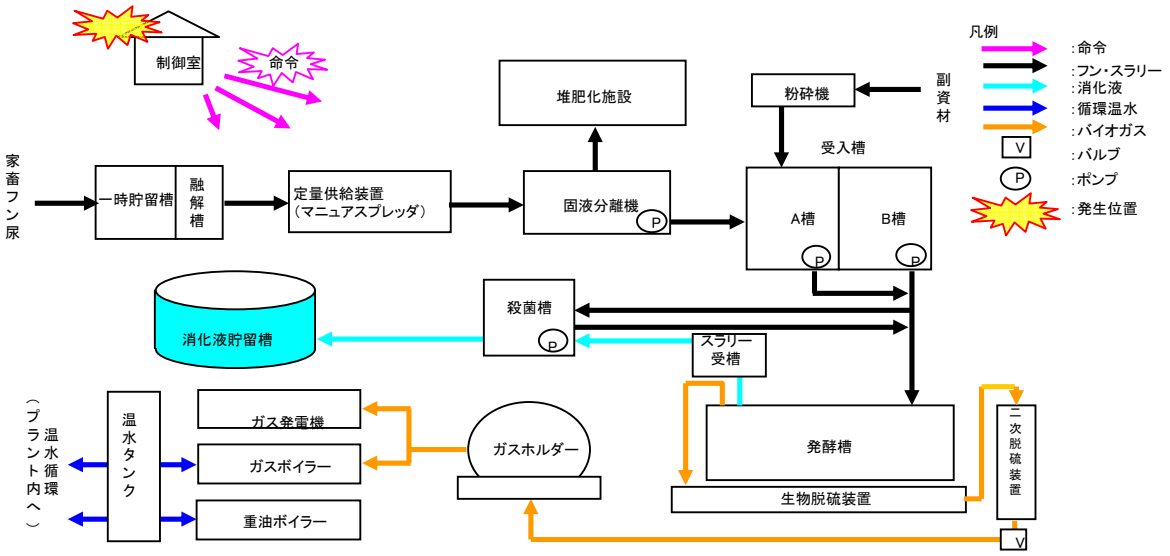
原料移送スイッチ

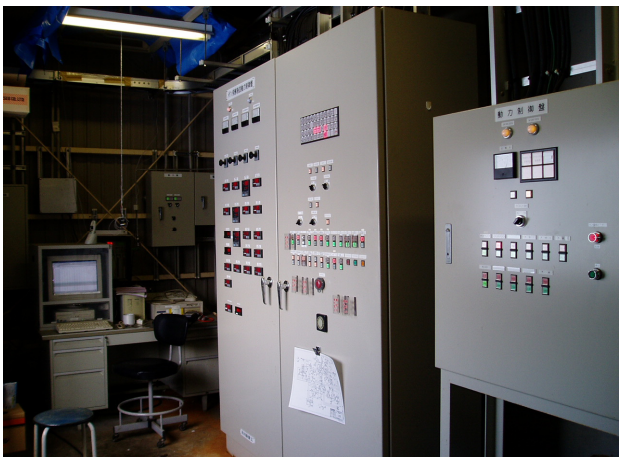
No14

確認日	2003/2/8
タイトル	シーケンサーカードの腐食
事　象	殺菌槽出口原料供給遮断弁(SV-002)のループチェックを行った結果、シーケンサーカードが腐食していることが分かった。
経　過	制御室操作盤よりSV-002の閉動操作を行えない状態であったので、SV-002のループチェックを行った。その結果、シーケンサ(プログラム)には異常なく、シーケンサー出力カードが腐食していることが判明した。
原　因	シーケンサーカードの腐食
要因1	室内雰囲気が腐食性ガスを含んでいたため
要因1-1	換気が不十分なため
要因1-2	ふん尿を貯留している隣室との遮断が不十分なため
要因2	操作盤内に室内雰囲気が入ったため
要因2-1	操作盤が気密でなかった。
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	シーケンサーカードの交換及び制御室内に屋外の新鮮空気を取り込むファンを設置した。今後、定期的な点検及びシーケンサーカードと室内雰囲気が接触しないような対処が必要である。
総　括	シーケンサーカードの腐食によるシステムの誤作動である。このトラブルでは、目につきやすいバルブに故障があるものと思いこみ、シーケンサーカードに疑いをかけるのが遅れた。バルブ類が不可思議な動作をするようになったら、制御システムの(ソフトではなく)部品を疑ってみる必要がある。
知識化	シーケンサーカードのような細かな電子回路が錆びると不可思議な制御不良が生じる。 腐食性のガスがあると、細かな電子部品も錆びて、誤作動する。
その他	カルテNo.10を参照。 2002/12/31以降、原料投入が自動停止しないトラブルがたびたび発生していた。上記シーケンサーカードの交換後、このトラブルは発生しなくなった。原料投入の制御は、交換したシーケンサーカードを経由しており、原料投入が自動停止しなかったトラブルもシーケンサーカードの腐食に起因していた可能性が高い。

No14

トラブル発生位置





左の制御盤の中にシーケンサーカードが格納されている



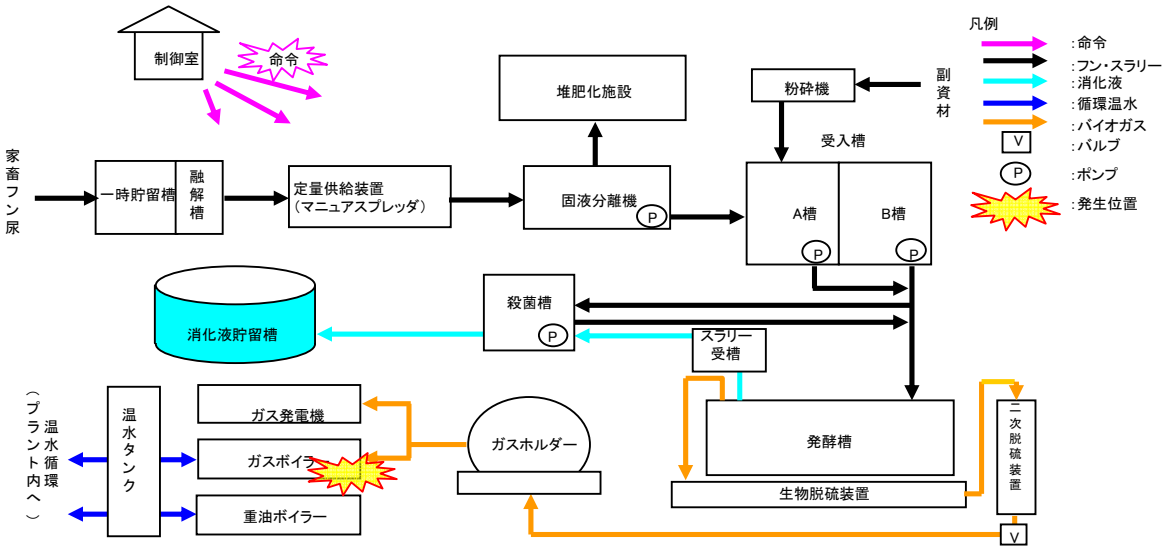
制御室内に屋外の空気を送るファン（新設）

No15

確認日	2002/12/31
タイトル	ガスボイラーが着火しにくい。
事　象	ガスボイラー点火の際、何度か着火ミスを起こす。
経　過	ガスボイラーは、ガスホルダーの貯留量が約80%に達したとき自動点火するようになっているが、いずれも一発で着火しない。しかし、その後何度か手動で点火動作を繰り返すと着火する。
原　因	不明
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	特になし。機能上問題とならないので、このまま様子を伺うことにする。
総　括	省略
知識化	省略
その他	カルテNo21に続く。

No15

トラブル発生位置

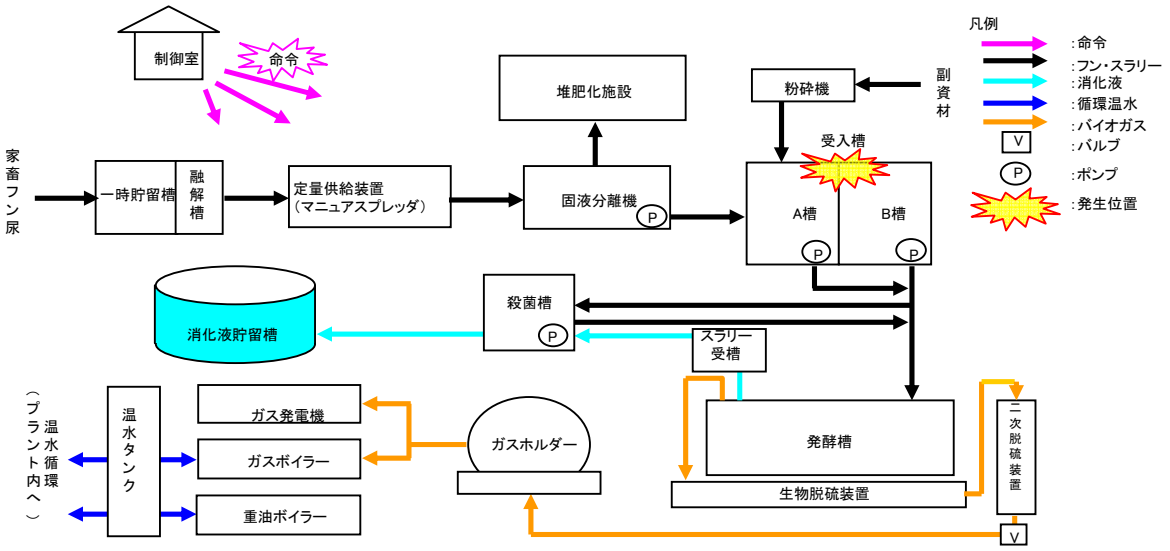


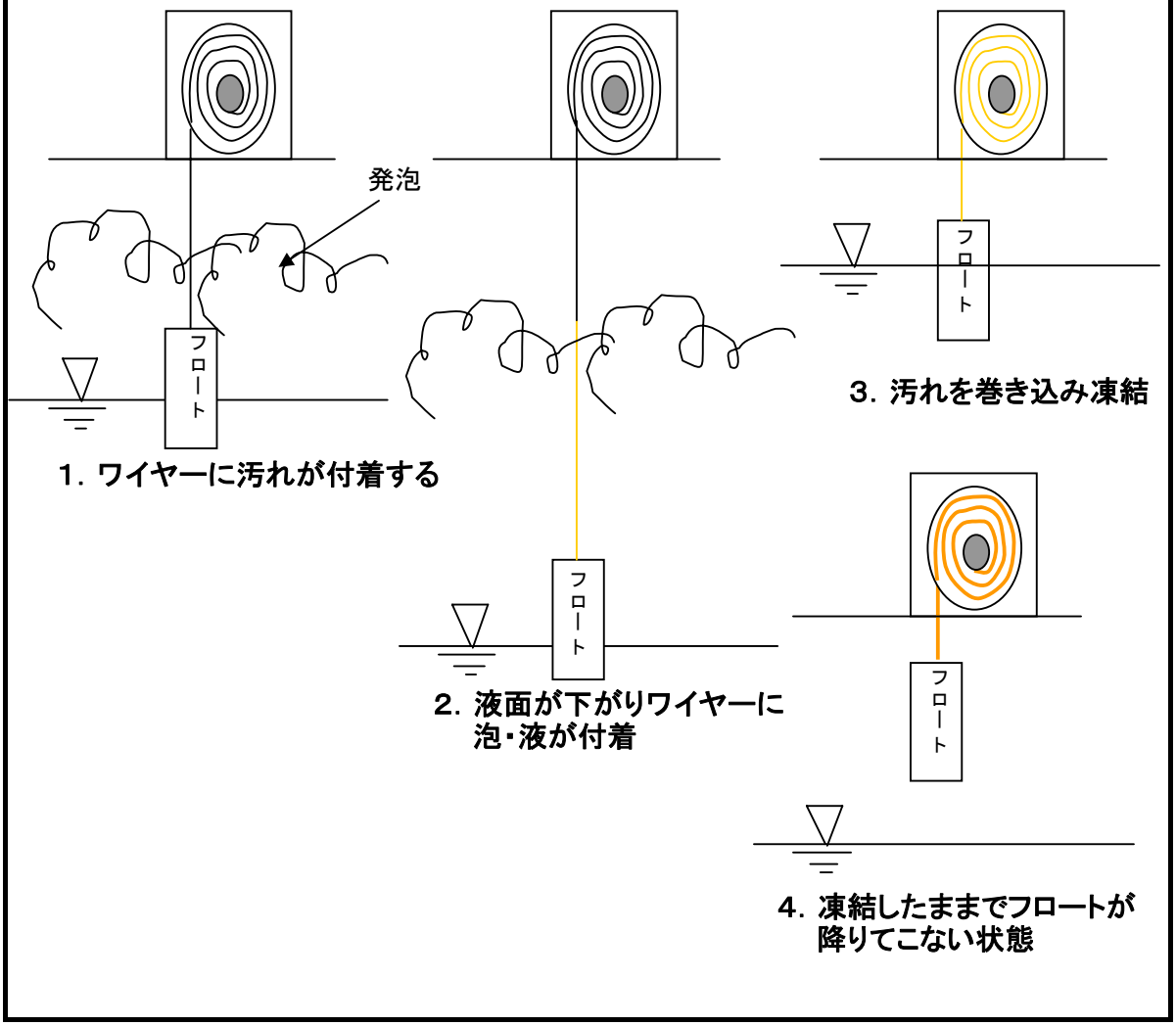
No16

確認日	2002/12/31
タイトル	受入槽No2の液面ゲージの値は正確ではない？
事　象	No2受入槽の液面ゲージの指示値と目視による液面の確認が一致しなかった。
経　過	No2受入槽の液面ゲージの値を確認した後、直接目視により液面を確認したところ、液面より2m位上でフロートが凍りついて宙に浮いていた。センサーのワイヤーに付着した汚れがセンサーのメーター内に進入し凍りついた。
原　因	凍結
要因1	受入棟の温度低下。
要因1-1	
要因1-2	
要因2	ワイヤーについた汚れを巻き込んだため
要因2-1	受け入れ槽での発泡によるワイヤーの汚れを予想できなかった。
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	装置の改善は行わなかった。フロートが宙に浮いていないかを確認するようにした。
総　括	液面の発泡により生じた機器類内部の凍結である。液面の発泡がありうるかも知れないという想定まではできるが、それがワイヤーについて、ワイヤーの巻き取り部でこびりつき、凍結に至るまでのことは仮想演習でも難しい。何らかの機械的改善を実施しないと、点検・清掃の手間が負担になる。
知識化	ふん尿や消化液の液面には、1m以上の泡の層ができることがある。 フロート式の液面計は、内部にワイヤーについた汚れ（泡）を巻き込む。
その他	

No16

トラブル発生位置



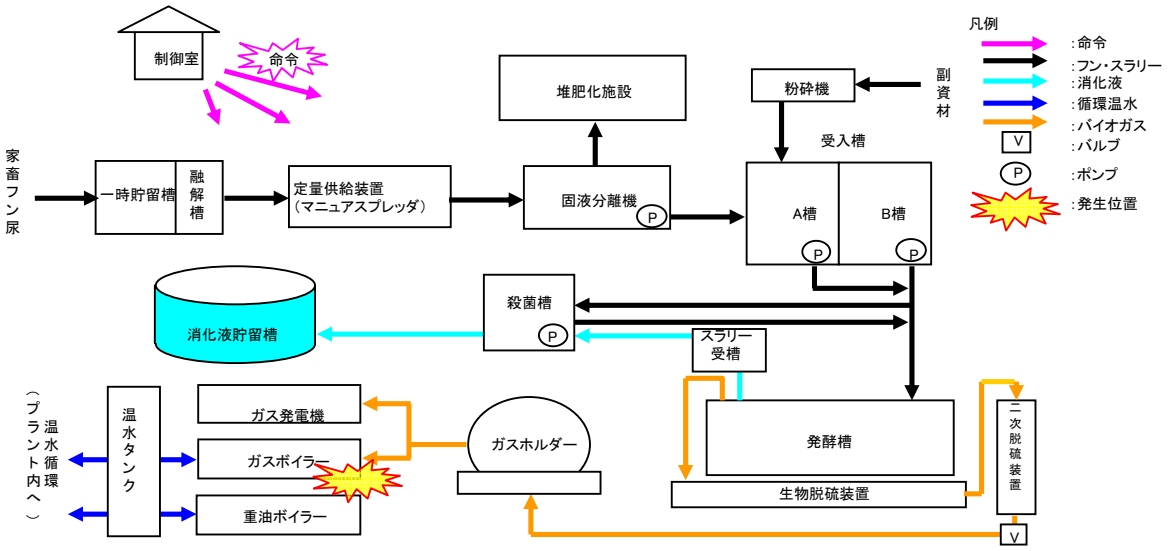


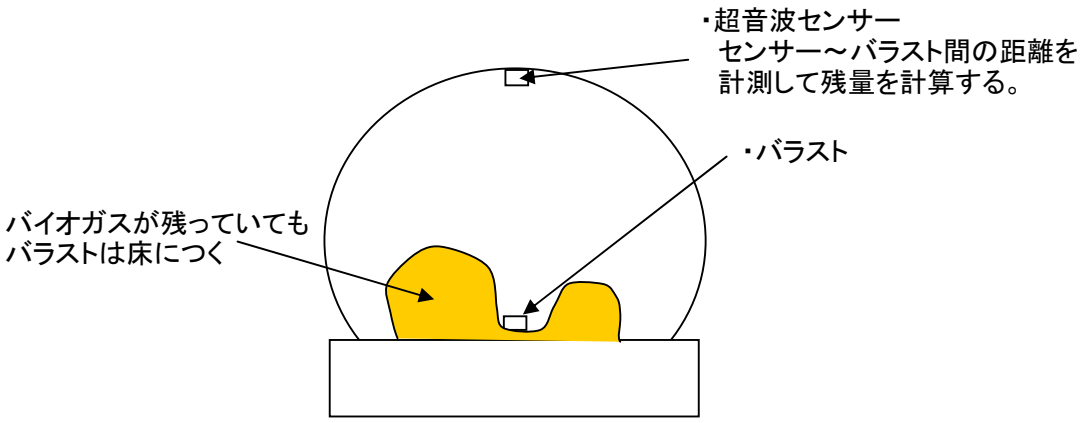
No17

確認日	2002/12/31
タイトル	ガスボイラーの燃焼時間が予想より短い。
事　象	ガスボイラーの燃焼時間が予想より短時間で停止することがある。
経　過	2002/12/31 ガスホルダーが貯留量に設定した値に達したので、ガスボイラーを起動させたが、わずか37分後に停止した。その際のガス貯留率は3．88%であった。ところが、1時間後には69．82%であった。バイオガスの発生量は6．0m^3（ガスホルダーの容量は100m^3）であるので、ガスホルダーのセンサーが正確に働いていないと考えられる。
原　因	残量はホルダー（球状）の頂点のバラストの高さから計算できない
要因1	バラストが底面に達してもドーナツ状にガスは残る
要因1-1	
要因1-2	
要因2	バルーンのしぼみ方が不安定なため、バラストが傾く
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	バラストが底面についた状態でも半分くらいの残量があるため、それ以下についてはガス流量計の指示値を積算して、残量を計算させて、その値をボイラー・発電機の制御に使うことにした。また、均一にしぼむようにリングを設置した。
総　括	ガスホルダーの内膜の体積が測定しにくいことによるトラブルである。バラストが底部についたあとのガス消費流量を積算することで、ガス残量を把握することにしたが、そのため、システムとしては複雑化してしまった。たとえば、ガス消費流量計の異常があれば、ガスホルダーの残量は正しく把握できないおそれがある。
知識化	球状ガスホルダーの残量は測りにくい。
その他	

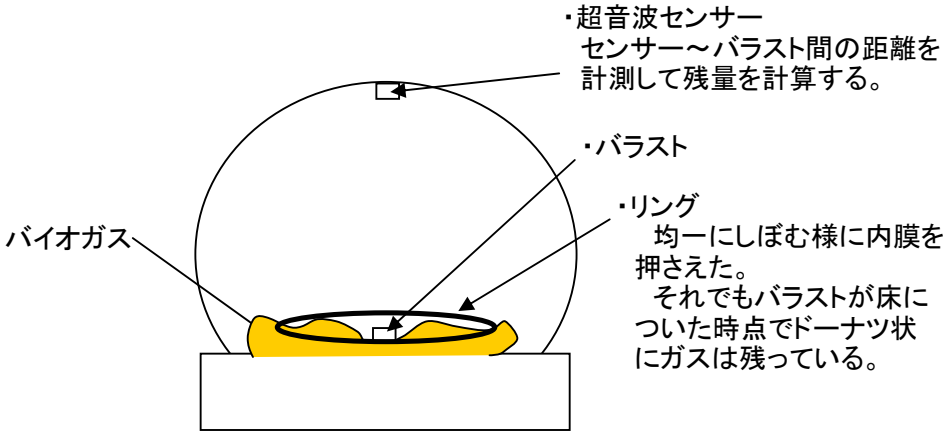
No17

トラブル発生位置





・改良前



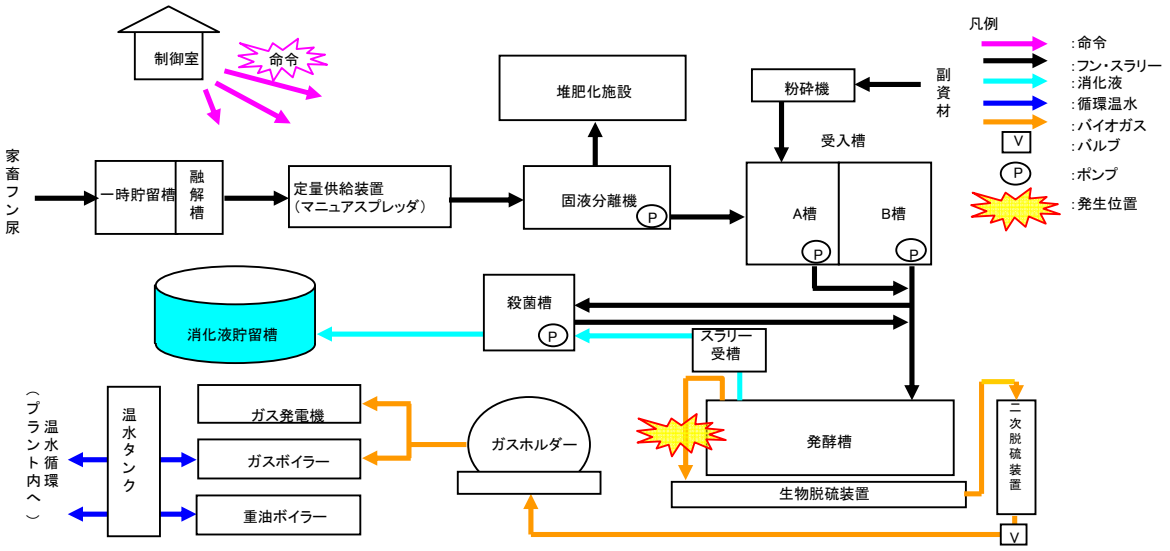
・改良後

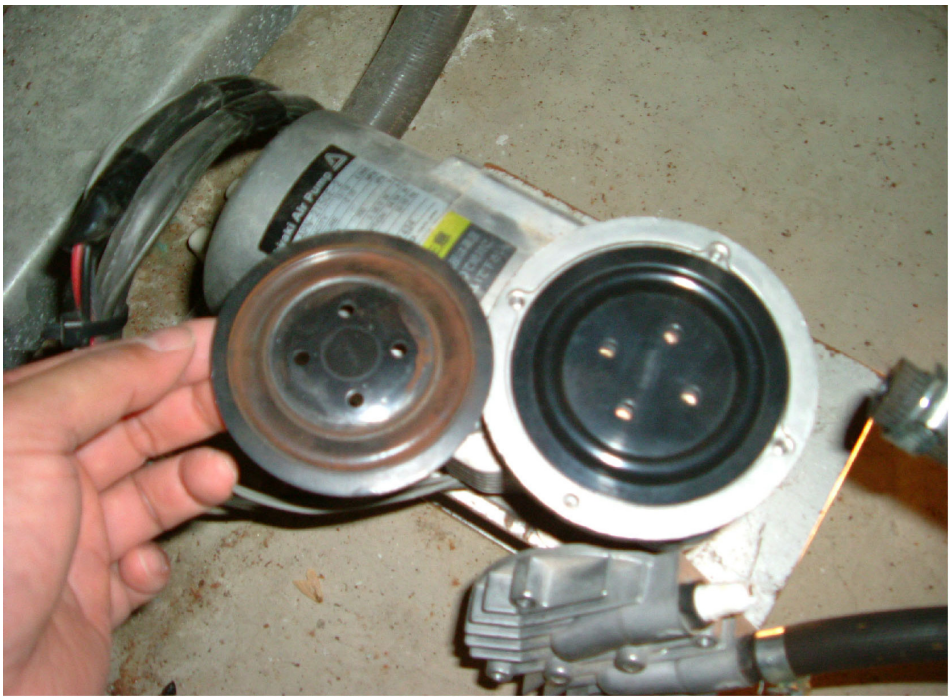
No18

確認日	2002/12/31
タイトル	バイオガス混入空気量が変動する。
事　象	生物脱硫のためのバイオガスへの混入空気量は気温が低いと減少してゆく。
経　過	バイオガス混入空気量は50ℓ/hourを目標に調整するが、低温下では混入空気量がどんどん低下していた。混入空気量を一定に保つには、1時間おき程度で逐一調整が必要である。
原　因	低温下でのポンプ機能不安定
要因1	機械的原因は不明
要因1-1	
要因1-2	
要因2	ポンプ選択ミス
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	なし
総　括	生物脱硫に必要な、バイオガスに対する一定量での空気混入ポンプの不具合である。結局原因は明らかにできなかった。低温でも送気量の変わらないポンプを選択しなければならない。
知識化	ポンプは温度環境が変化しても送気量が変わらないものを選ぶこと
その他	

No18

トラブル発生位置





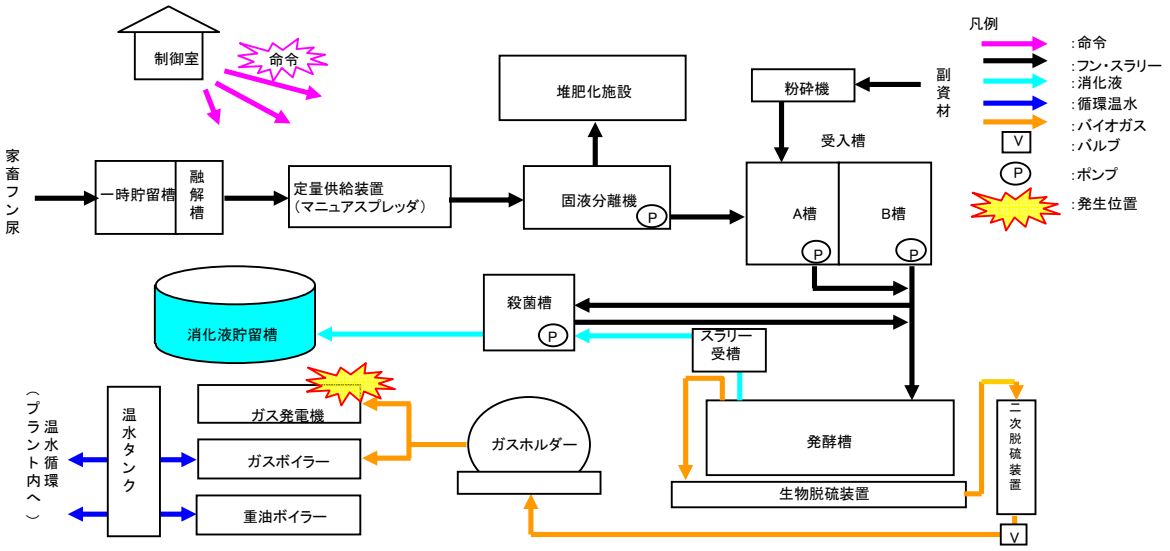
空気圧送ポンプ

No19

確認日	2003/3/24
タイトル	ガス発電機の不調について
事　象	エンジン始動後2～3分で停止する。
経　過	エンジン始動後2～3分でガス圧が不安定になり、エンジンが強制停止される。上流部のガスライン内部を清掃したところ、正常に燃焼した。
原　因	エンジン部へのガス供給不足
要因1	ガスライン（フレアスタック取り付け付近）の目詰まりによる過大な圧力損失
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	定期的な清掃が必要である。
総　括	省略
知識化	（フレアスタック周辺の目詰まりの原因が不明なので知識化なし）
その他	

No19

トラブル発生位置

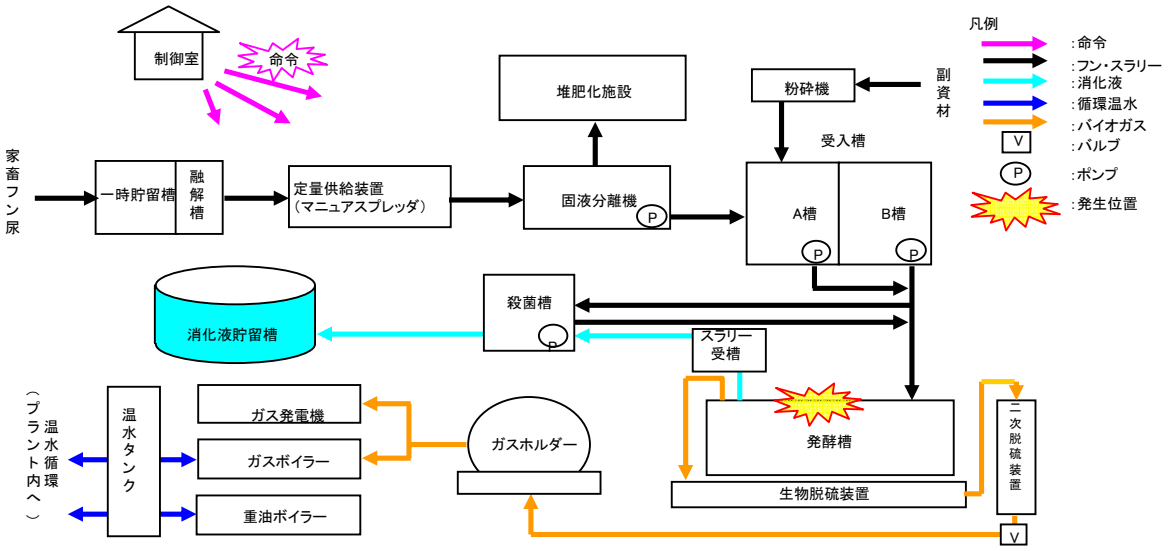


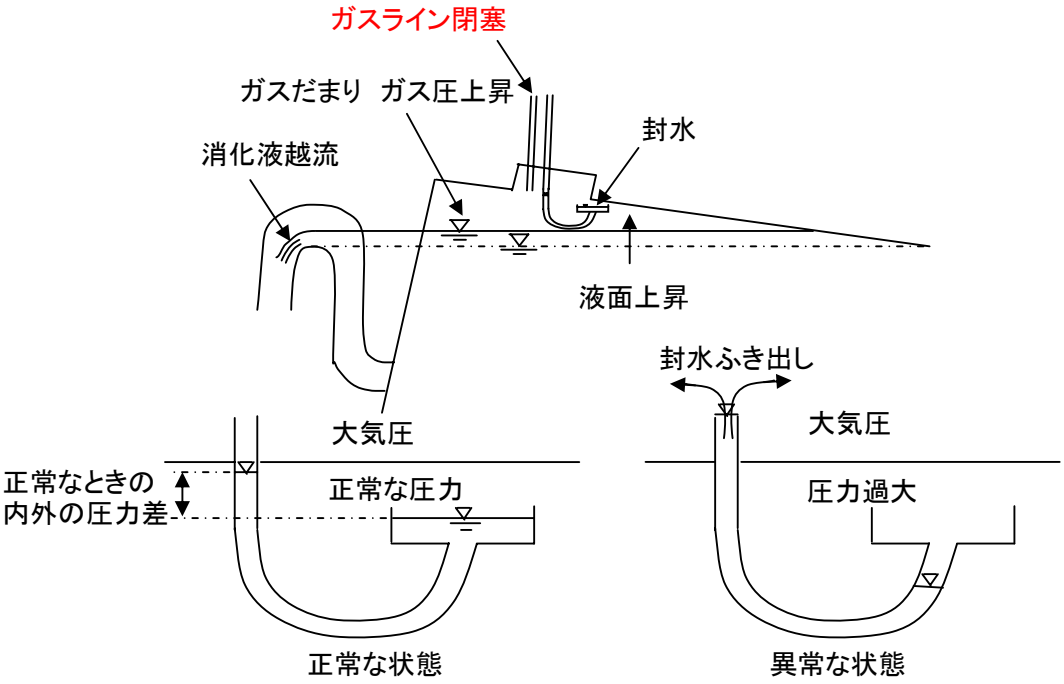
No20

確認日	2003/3/24
タイトル	発酵槽の封水のふき出し
事　象	発酵槽の封水がふき出してしまったので封水を補充したが再びふき出してしまう。
経　過	管理人より封水がふき出したと報告を受け、12:30頃に封水の補充を指示した。発酵槽への原料投入が12:50に行われた後、確認すると封水はまたふき出した後であった。
原　因	ガスだまり圧が封水圧を上回ったため
要因1	原料投入と同時に発酵槽内の液面が上昇し、ガスだまり圧が上昇したため
要因1-1	
要因1-2	
要因2	ガス流量計に閉塞物があり、ガスラインが閉塞したためガスだまり圧が上昇した。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ゴミの除去、定期的な清掃が必要である。また、ガス流量計など消化液中の異物などが詰まりやすい機器はガスラインのうち発酵槽から遠い下流に置くべきである。
総　括	封水のふき出しは、湧別プラントで良く発生したトラブルである。ほとんどの場合、原因は、ガスラインのどこかで閉塞していることである。
知識化	発酵槽内の泡がガスラインに入り込むことがある。 ガス流量計は発酵槽出口から離し消化液の泡が到達しないようにする。
その他	ガスラインのどこが閉塞したのか調べるために、ガスラインの何ヶ所かに圧力測定のマノメータがあると便利である。

No20

トラブル発生位置





・原料投入時の封水ふき出し説明図

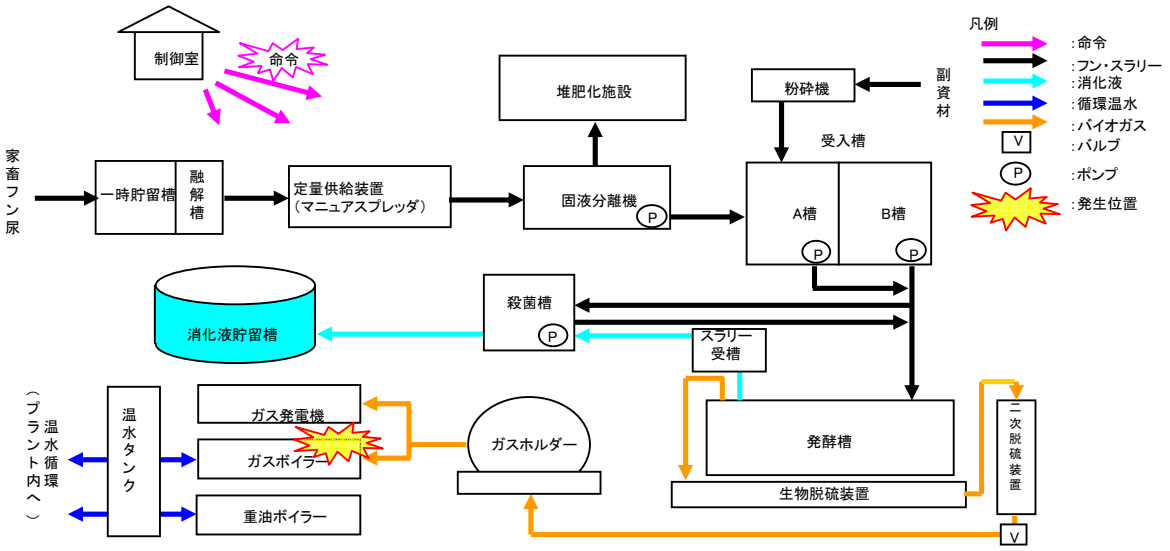
1. 原料が投入されると消化液が排出管の逆U字部を越流し始める。この時、越流水深分の水位上昇が発酵槽内でも生じる。
2. 発酵槽上部から出て行くガスラインが、途中のガス流量計などが閉塞していると、発酵槽のガスだまり圧が高まる。
3. これにより封水が外部にふき出し、封水の機能を失うことで、封水部からバイオガスが漏れる

No21

確認日	2003/3/26
タイトル	ガスボイラーの着火不良
事　象	ガスボイラーが自動で着火しない。手動でも着火まで数回の起動が必要である。
経　過	2002年12月ころから、ガスボイラーの不着火が生じるようになった。2003年3月末にボイラーの点検を行ったところ、水管という部品が錆びており、隣り合う水管の間のクリアランスが狭くなっていた。そのクリアランスを通る排気ガスがスムーズに排気されないため、バイオガスがバーナー部に流入しにくくなっていた。
原　因	ガスボイラー内部の錆びによる排気経路阻害
要因1	バイオガス中に含まれる水蒸気のガスライン内での結露
要因1-1	ガスラインの一部での保温不足
要因1-2	
要因2	施設場内の雰囲気に含まれる腐食性ガスの影響
要因2-1	
要因2-2	
要因3	長期間使用しない場合のボイラー本体低温部での結露
要因3-1	ボイラー本体が気温により温度変化するため
要因3-2	長時間使用しないため
要因4	煙突からの雨水の浸入（おそれあり）
要因4-1	煙突の先端の形状が不適
要因4-2	
対処・予防措置	要因1についてはガスホルダー内部で結露させることによって、要因2についてはガスブロアー直下流の管路の断熱・保温によって、要因3については毎日必ず10分程度は運転することによって、要因4については煙突の形を改良して対処する。いずれにしても定期点検や清掃が必要である。
総　括	プラント稼働開始後2年を経過して、内部の錆がボイラーの運転を不安定にするまでになったものである。各要因に対する対策を実施したが、1年程度でまた内部の清掃が必要になった。バイオガスの除湿や、屋内雰囲気からの腐食性ガスの除去は、しっかり実施する必要がある。不調の初期症状として着火不良（カルテNo15）が見られる。
知識化	バイオガスの除湿、結露防止を徹底すること。 少々の着火不良でも必ず原因があるので早急に点検すること。
その他	

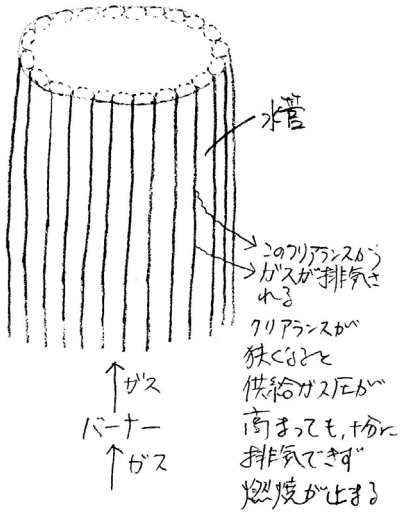
No21

トラブル発生位置





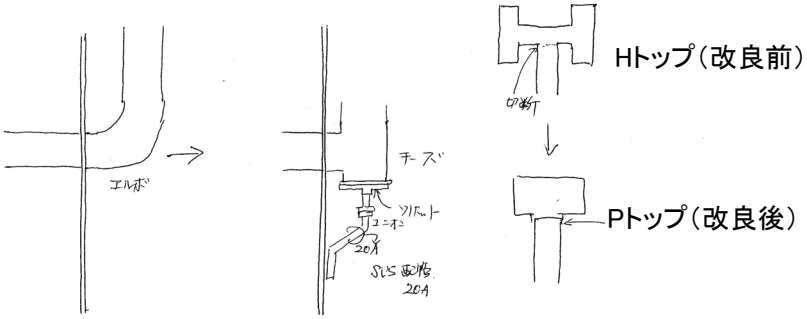
水管の状態



燃焼不良の原理



変更前の煙突



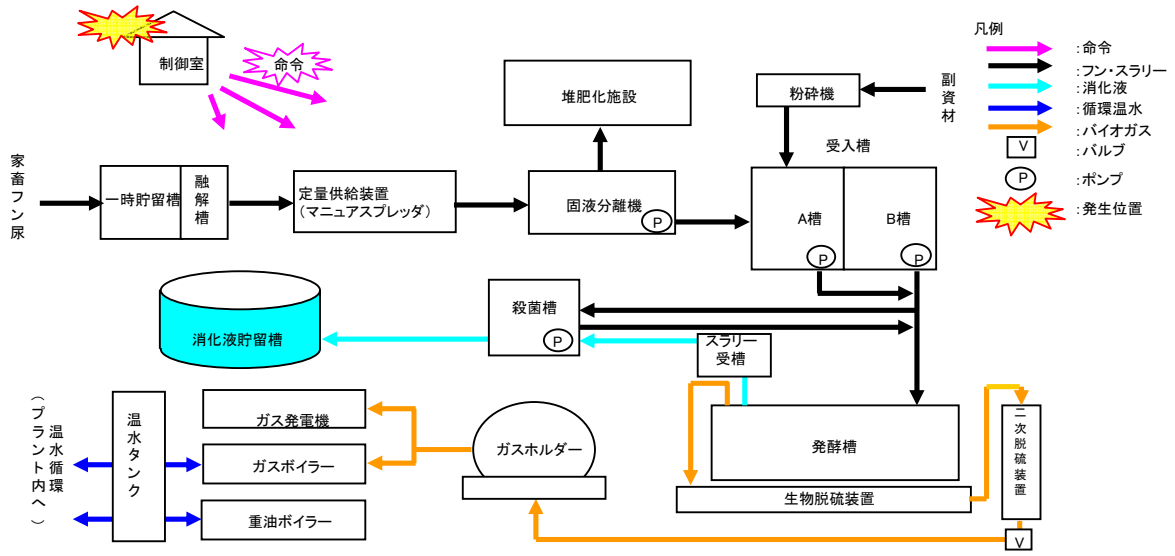
煙突の修正案

No22

確認日	2003/4/21
タイトル	緊急停止
事　象	警報ブザーが鳴ったので、あわてて緊急停止ボタンを押してしまい、全機能が停止した。
経　過	原料投入異常を知らせるための警報ブザーが鳴ったため、あわてた管理人が緊急停止ボタンを押してしまい全機能が停止した。管理人は4月に交代して、まだ3週間目であった。
原　因	警報ブザーがなったときの対処方法を知らなかった。
要因1	警報ブザーが鳴ったときの対応について、新管理人への引継ぎが不十分であった
要因1-1	
要因1-2	
要因2	遠くにいる管理人にもわかるようにするため軽微な異常に対しても警報ブザーは大きな音でなる。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	管理人への運転方法の説明は通常の運転方法に加えて、非常時、異常時の対応方法にも重点を置くこと。
総　括	運転員の交代に伴う引き継ぎが、十分にできていなかったことによるトラブルである。新たな運転員には、平常時の運転を習熟させる外に、非常時にとるべき行動について十分に理解させておかなければならない。
知識化	緊急停止ボタンを押すべき非常時とそうでない異常時を運転者にしっかり伝えること。 重大な異常と軽微な異常の区別ができなければ必ずあわててしまう。
その他	

No22

トラブル発生位置

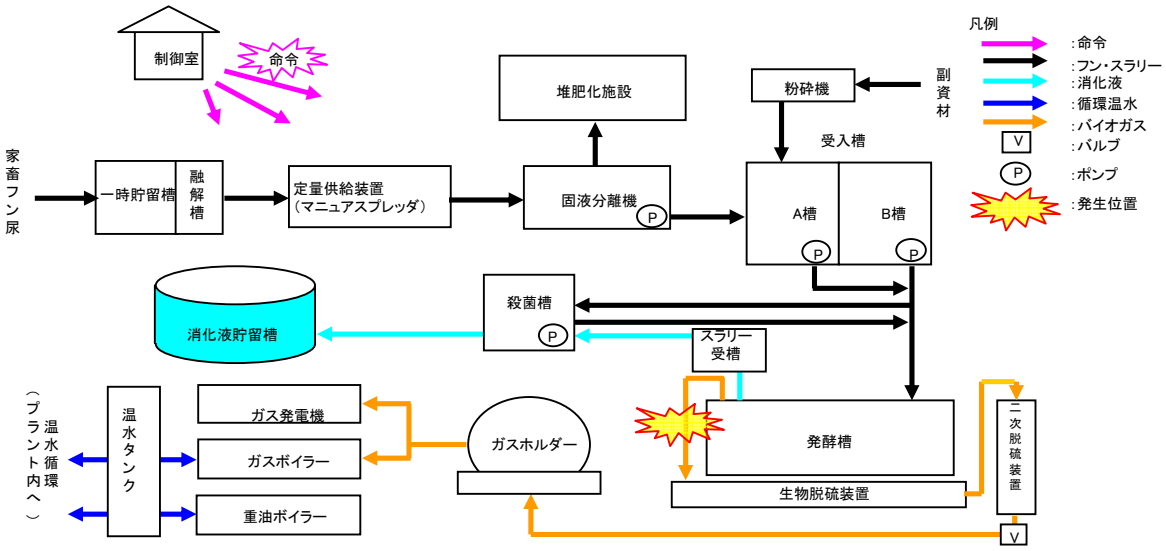


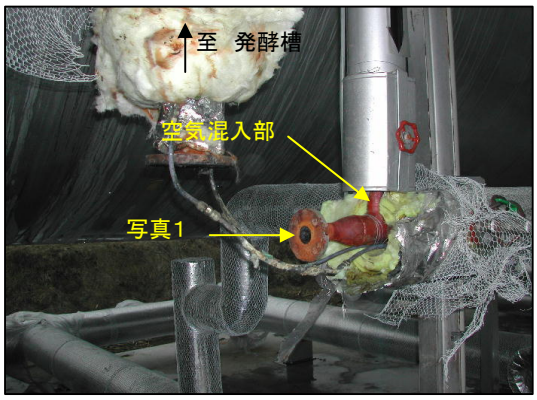
No23

確認日	2003/4/21～23
タイトル	ガスラインの意外な場所での気付かなかった閉塞
事　象	脱硫による硫黄様の析出物が生物脱硫装置や空気混入部より上流側のガスライン内部でも発生し、断面を狭めた。
経　過	ガスラインの閉塞部位を特定するため、ガスラインの数点でガス圧を測定し、発酵槽～脱硫装置間で閉塞があることが分かった。ガス配管の分解調査により脱硫装置や空気混入部の上流側でも硫黄様の析出が多量に発生していることがわかった。
原　因	脱硫装置上流のガスラインの硫黄様析出物による閉塞
要因1	ガス配管内で脱硫が起こったため
要因1-1	発酵槽からガスラインに泡などの形で消化液が供給される。
要因1-2	空気混入部より上流にも若干の酸素が存在し得る。
要因2	パイプ径が小さかったため（閉塞しやすかった）
要因2-1	
要因2-2	
要因3	点検・清掃の対象としていなかったので閉塞が進むまで気付かなかった。
要因3-1	空気混入部より上流でも脱硫が生じると想定してなかった。
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ガスライン内の閉塞した部分を清掃したところ、封水が切れることがなくなった。脱硫の生じうるところは、清掃しやすいように設計しておく。
総　括	報告書No20と同様にガス配管の詰りにより封水が噴出してしまう現象である。いずれにしても定期的な点検と清掃が重要である。ガスラインの清掃の便を考えてフランジ位置や断熱材の脱着方法の工夫が必要である。脱硫は、脱硫装置だけで都合良く生じるのではない。
知識化	栄養分（消化液）と若干の酸素があればどこでも脱硫が生じ、硫黄が溜まる。
その他	発酵槽への原料投入時に上昇した内部液面が、消化液の発酵槽からの流出にともなって下がるとき、ガスラインの逆流が生じて、混入空気が上流側に流れることがあるかもしれない。

No23

トラブル発生位置







閉塞部分



写真1



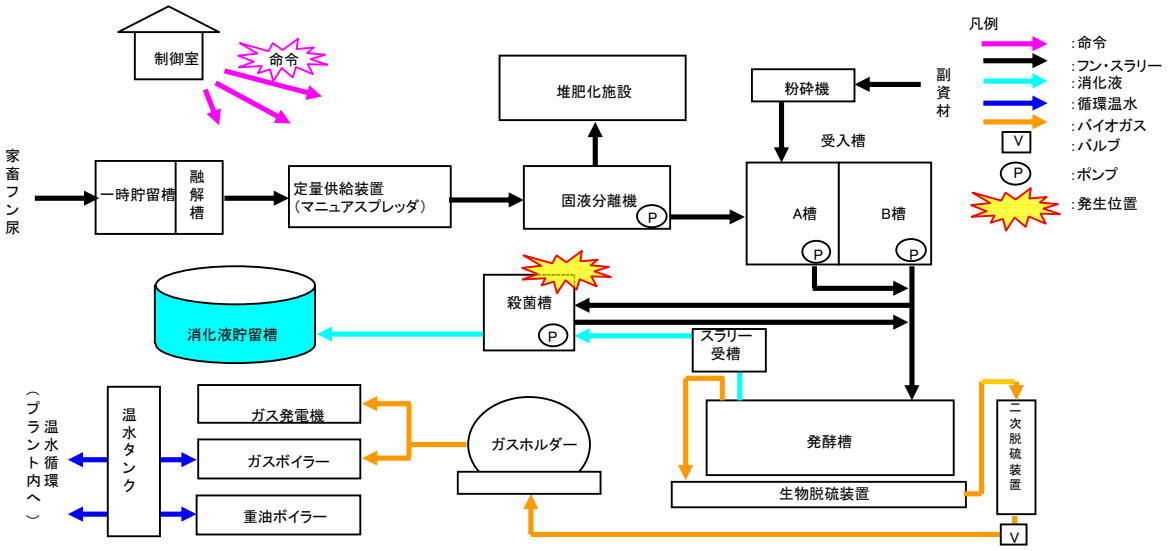
写真2

No24

確認日	2003/7/17～19
タイトル	殺菌槽からの消化液の溢れ
事　象	バルブの操作ミスで殺菌槽が溢れた。
経　過	殺菌モードを無殺菌モードから後殺菌モードへ変更した後、殺菌槽が溢れた。原因はバルブの操作ミスによってポンプ付根でホースが脱落したためである。
原　因	バルブの操作ミス
要因1	バルブ操作方法の運転員への指示にミスがあった。
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ホースを再度接続するとともに、正しいバルブ操作を行った。
総　括	バルブの操作方法は、慎重に確認する必要がある。また、実証試験施設であるため、多数のバルブがついており、見つけにくい位置や操作しにくい場所に設置されているものもあったことはやむを得ない。実用施設であれば、バルブ数も少なくてすむだろうから、操作しやすい場所に配置するよう留意すべきである。
知識化	ふん尿・消化液の移送経路を切り替えるときは、バルブ開閉設定を図面でよく確認すること。
その他	

No24

トラブル発生位置

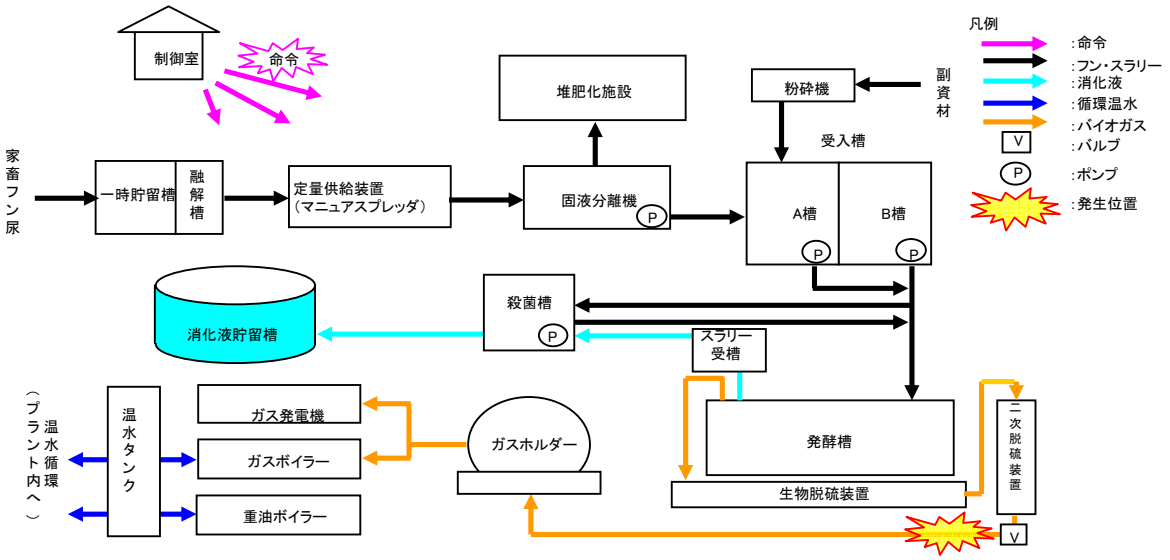


No25

確認日	2003/7/30
タイトル	ガス流量計の目詰まり
事　象	ガス流量計のチェックを行ったところ小さなゴミが詰まっていた。
経　過	ガス流量計のチェックを行ったところ小さなゴミが詰まっていた。ガス流量計上流側にはストレーナーがあったが、小さなゴミはストレーナーを通過してきた。目詰まりを起こした流量計にガスを間欠的に送り一時回復したが、再度、目詰まりをおこしたので流量計をとりはずして清掃した。
原　因	流量計の目詰まり
要因1	ガスラインを小さなゴミが通る
要因1-1	
要因1-2	
要因2	小さなゴミがストレーナーを通過した
要因2-1	
要因2-2	
要因3	ガスライン内で小さなゴミ(硫黄や錆びの粒など)が生じるのかも知れない。
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	清掃してゴミを取り除いた。
総　括	流量計内に小さなごみが詰まって生じた閉塞である。このときには、ストレーナーで防ごうとしたが、ストレーナーを通過するものもある。また、流量計内にぬめりが付着することもあり(脱硫に関係するかも知れない)、もともとストレーナーが有効でない場合もある。
知識化	ストレーナーで除去できないほど小さなゴミでも流量計が詰まることがある。 ガスラインは流量計で目詰まりしやすい。
その他	

No25

トラブル発生位置

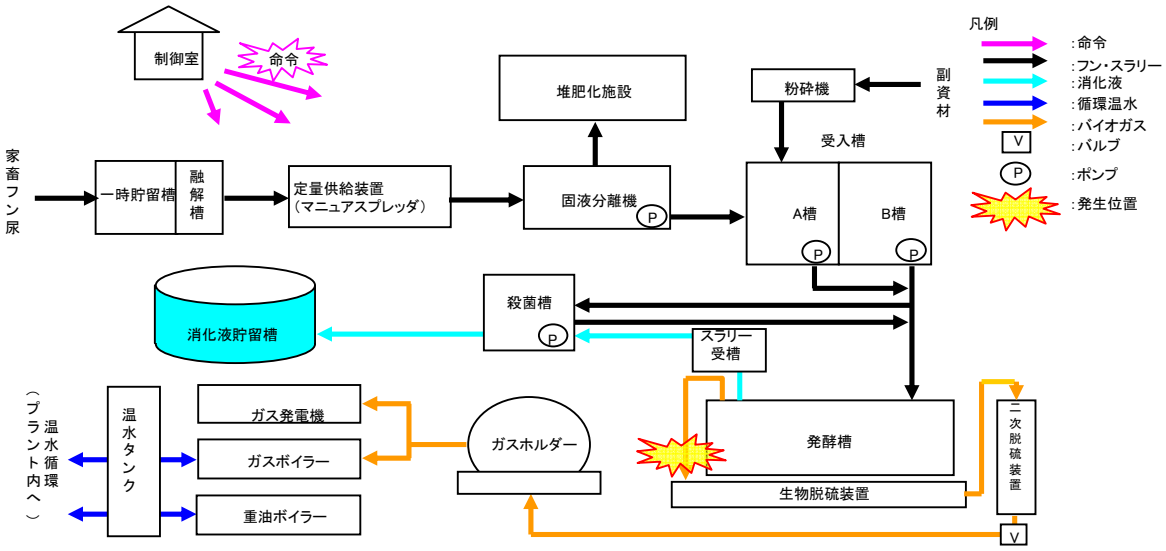


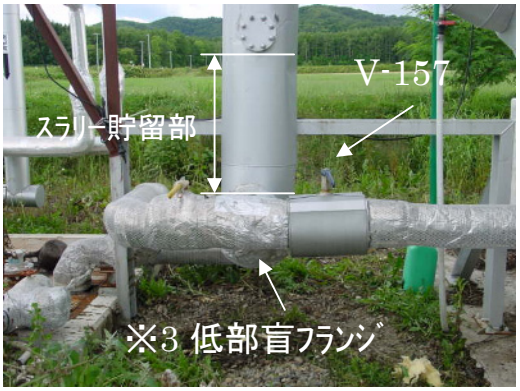
No26

確認日	2003/8/28
タイトル	発酵槽～生物脱硫間での消化液移送配管の詰まり
事　象	生物脱硫装置内の清掃終了後、消化液を送るためにバルブを開いたが消化液が送れなかった。
経　過	生物脱硫装置を清掃したので、新たな消化液を生物脱硫装置へ送ろうとしてバルブをあけた。しかし、消化液は生物脱硫装置内に流入しなかった。発酵槽からスラリー受け槽までは正常に消化液が流れるので、閉塞は消化液を送るためのバルブ付近であると疑われた。翌日、配管を取り外したところ、配管のフランジの部分で堆積物が詰まっていた。
原　因	消化液の固形分による配管内部の閉塞
要因1	ほぼ1日中消化液が静置状態におかれる部分があった。
要因1-1	
要因1-2	
要因2	消化液には沈殿しやすい固形分が含まれている。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	清掃が必要となるほど堆積するとは予想していなかった。
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	清掃を行いゴミを除去した。
総　括	配管に砂・ワラが溜まったことによる不具合である。生物脱硫装置に新鮮な消化液を送り込むべく毎日バルブ操作をしていたが、いつからか、消化液は送られていなかったわけである。消化液の流動・静置をよくイメージして、堆積しそうなところを想定しておき、点検・清掃しやすい構造としておく必要がある。
知識化	消化液を静置する場所には固形分が堆積する。
その他	

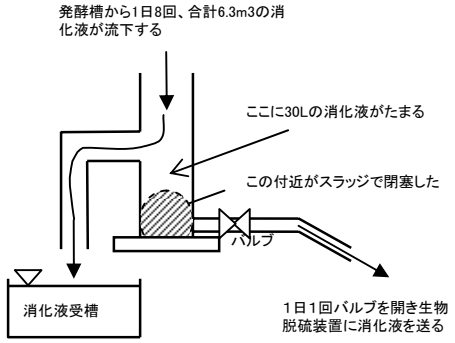
No26

トラブル発生位置





閉塞部分



生物脱硫装置への消化液補充部



閉塞状況



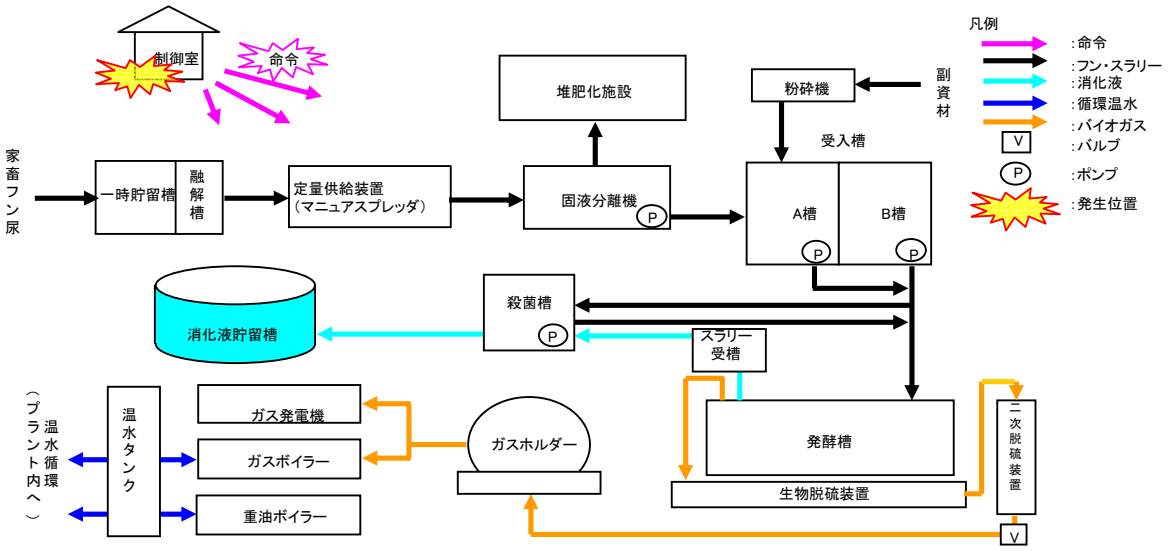
取り外したフランジ

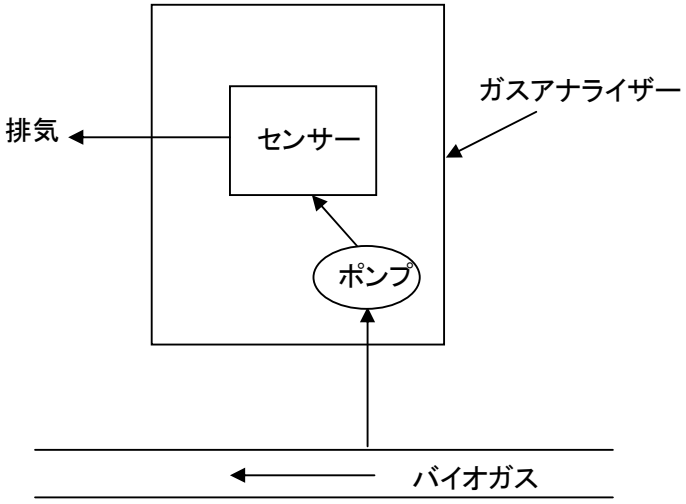
No27

確認日	2003/9/2
タイトル	ガスアナライザーの故障
事　象	バイオガスアナライザーによる硫化水素濃度の測定値がおかしい。
経　過	バイオガスアナライザーが故障したので修理を依頼した。故障の原因はバイオガス中に含まれる硫化水素により装置が錆びたためである。
原　因	硫化水素測定用の電子センサーが故障したおそれがある。
要因1	アナライザーの測定時間帯以外でもバイオガスが常にアナライザーを通過していた。
要因1-1	大気圧と等しい圧のガスをサンプリングするアナライザーを内圧を有するガスラインにつかったため
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	機械的な対処はしなかった。硫化水素濃度はアナライザーでは計測せず、検知管による計測に切り替えた。
総　括	バイオガス中に含まれる硫化水素によって金属は腐食する。よって常時バイオガスが流入する形態は装置の寿命を縮める。
知識化	ガスアナライザーは内圧を有するガスラインからサンプリングできるのか、あらかじめ確認すること。
その他	

No27

トラブル発生位置





・ガスアナライザー略図

このバイオガスアナライザーは内部に吸引用のポンプがあり、分析時間帯だけ、このポンプがバイオガスを採取するタイプである。また、このポンプは内圧を持たない（大気圧のみ）バイオガスを吸引することを想定している。

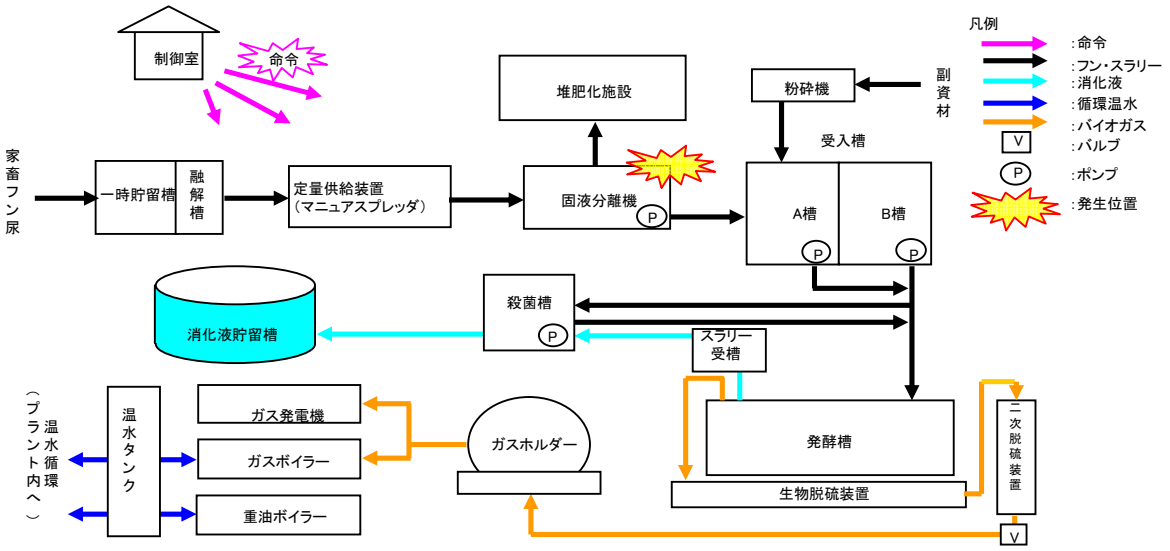
湧別プラントではバイオガスがガスライン内で正の圧を有しているため、分析時間帯以外でもバイオガスがアナライザーを通過し、センサーやその周辺部品の寿命を縮めた。

No28

確認日	2003/9/11
タイトル	固液分離液槽ポンプのホース脱落
事　象	固液分離液槽に設置してあるポンプの吐出側ホースがスラリー移送中に脱落した。
経　過	固液分離液槽からスラリー受け槽へスラリーをポンプにより圧送している際に、ポンプの吐出側ホースが脱落した。現地調査の結果ホースの止金具が腐食していたためであることが判明した。
原　因	止金具の腐食
要因1	腐食する材質であったため
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	止金具をステンレス製の物と交換した。
総　括	ふん尿や消化液に常時漬かっている金属が腐食したトラブルである。あらかじめ接触が予想できるものは腐食しないものを使用すべきである。
知識化	ふん尿に漬かっているものは錆びやすい。
その他	

No28

トラブル発生位置

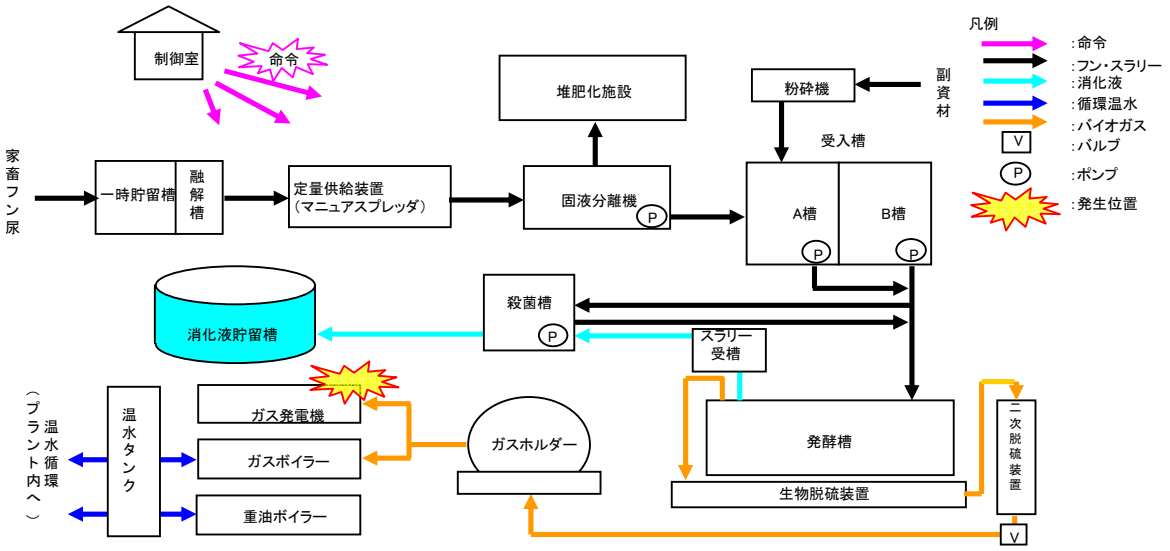


No29

確認日	2003/9/1
タイトル	ガス発電機の不調
事　象	ガス発電機が突然止まる。
経　過	ガス発電機がたびたび止まる現象が起こった。ガス発電機停止時の発電機にエラーメッセージは表示されなかった。調査したところガス流入口にあるバルブのビスが緩んで、正常にバルブが稼動しなかったために、高負荷時にガス不足が生じていることが分かった。ビスを締め付けたところ正常に作動するようになった。
原　因	ビスの緩み
要因1	点検不良
要因1-1	振動によりビスが緩むことを見すごしていた。
要因1-2	
要因2	装置の振動
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ビスを再度締め付けたところ正常に作動した。
総　括	複雑な機器類の故障時には、内部の重要な部分の不調から疑っていきがちである。 技術者を呼ぶ前に、ねじのゆるみがないかを確認することも有効である。
知識化	振動する機械のネジは緩むことがある。 複雑な故障を疑う前にネジが緩んでないかたしかめよ。
その他	

No29

トラブル発生位置

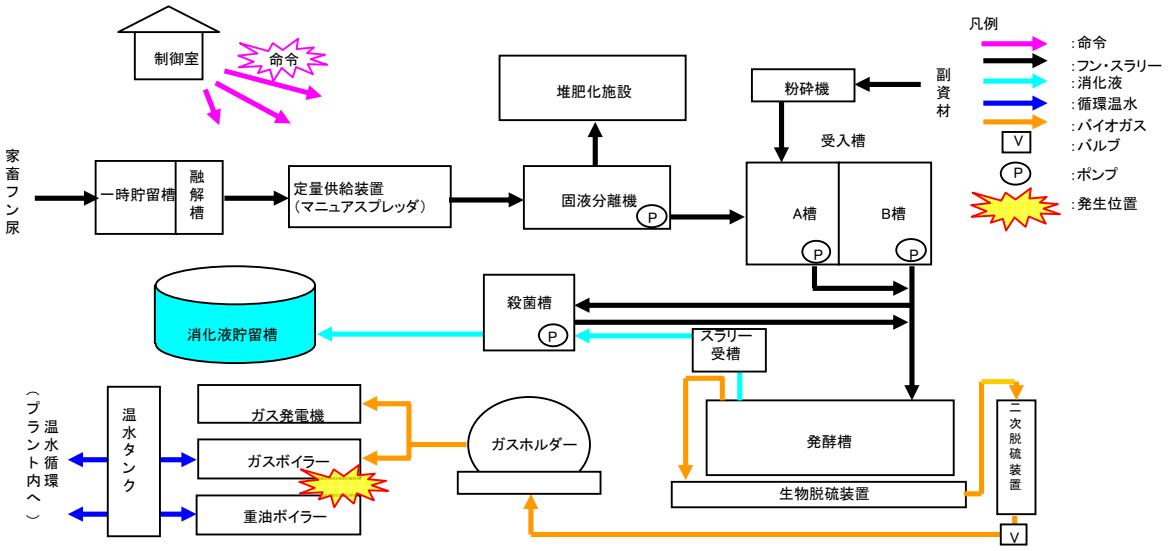


No30

確認日	2003/10/7
タイトル	ガスボイラーの着火不良
事　象	ガスボイラーの着火不良が多発した。
経　過	ボイラーメーカの点検結果として、着火→停止→着火→停止の繰り返し頻度が高すぎ、徐々に着火部が汚れて着火不良が生じやすくなった。
原　因	高頻度の着火～停止の繰り返しによるボイラー着火部の汚れ
要因1	ガスボイラーを通過する温水の温度が短時間で上昇する
要因1-1	重油ボイラーとガスボイラーが並列配管であるため、ガスボイラーを通過する温水流量が小さい。
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	ガスボイラーと重油ボイラーを直列に配置するよう配管を改善した。また、ガスボイラーの設定温度を重油ボイラーより高く設定し、ガスボイラーだけで長時間運転できるようにした。
総　括	ボイラーの配置によって、バイオガスの利用効率や外部からのエネルギー（重油）購入量が左右されるという、重要なヒントが得られたトラブルである。2つのボイラーを直列に配管することによってガスボイラーの着火～停止頻度が低下した。また、ガスがある限り、重油を節約できる。無駄の少ない効率の良い稼動が行えるようになった。
知識化	ガスボイラーは着火－停止の頻度が高くなるとプラグが汚れて着火しにくくなる。 ボイラーが複数あるときは、配置（直列、並列）をよく検討すること。
その他	ボイラーの直列配置については、労基署に相談した。ボイラーメーカーなどとも相談が必要である。

No30

トラブル発生位置



点火・消火の頻度高い　→　着火ミスが徐々に増える

ガスボイラーの運転状態にかかわらず重油ボイラーが点火する　→　重油のムダな消費

→　改善

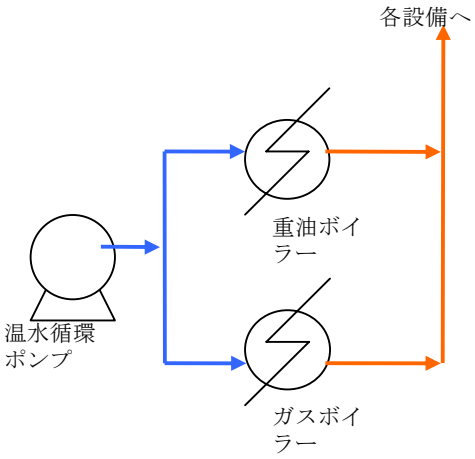


図１　並列配管の温水循環経路（改良前）

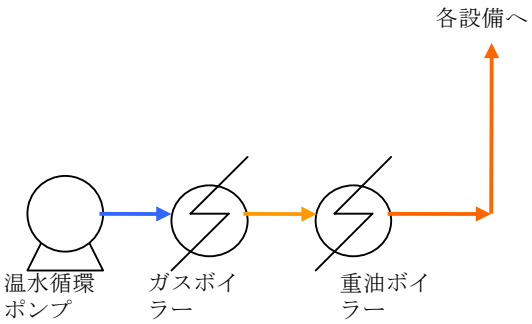


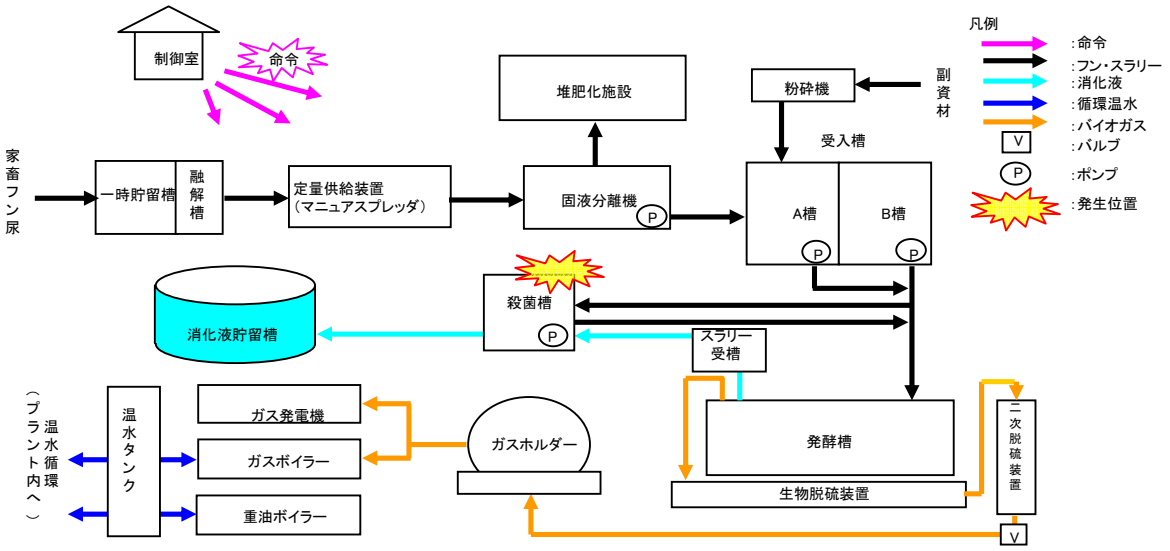
図２　直列配管の温水循環経路（改良後）

No31

確認日	2003/11/10～11/14
タイトル	殺菌槽で消化液が溢れた。
事　象	殺菌槽で消化液が溢れた。
経　過	殺菌槽レベルセンサーを交換した後、後殺菌モードで殺菌処理を行った。その際、殺菌槽で消化液が溢れた。調査の結果フィードポンプ吐出側のホースが破損していることが判明した。
原　因	フィードポンプのホースが破損したため
要因1	熱によりホースが膨張して破損したため
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	熱に強いホースに取り替えた。
総　括	殺菌槽内のフィードポンプは、常時高温下で稼働を続ける。ホースも高温下で内圧を受ける。温度による資材の膨張・収縮は予測できるので、これに対応した施設にする必要がある。
知識化	殺菌槽内のホースは、高温と内圧によりふくらみ、破れやすいので、高温に耐えられるものを選ぶこと。
その他	

No31

トラブル発生位置





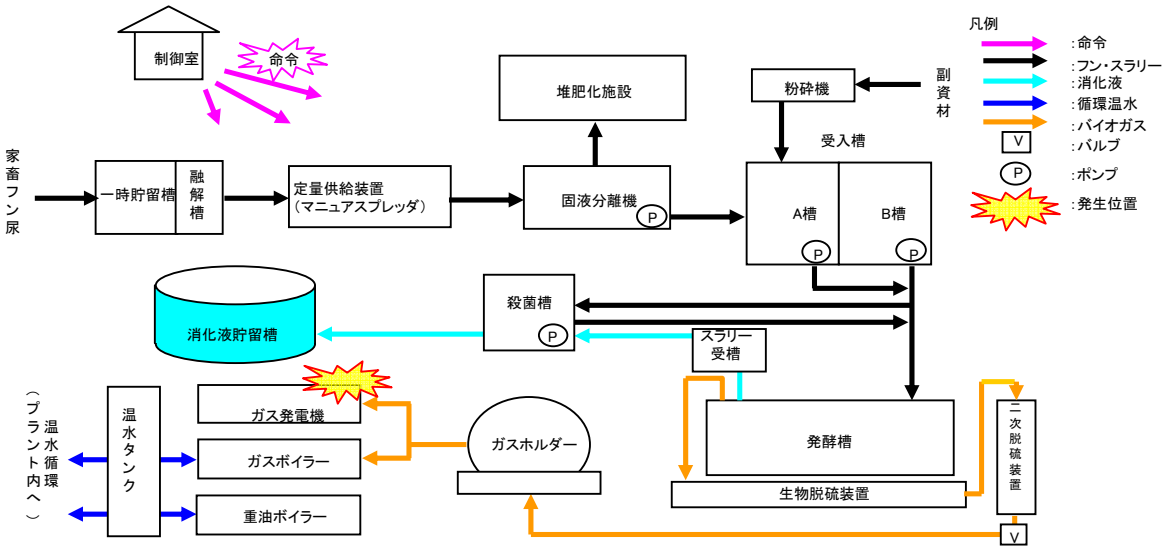
ホースがちょうちんのようにふくらみ、スパイラル状に途中でちぎれている。

No32

確認日	2003/10/31
タイトル	ガス発電機の不調
事　象	発電機がかからない。
経　過	ガス発電機が稼動しない。調査の結果、部品の交換が必要と分かり交換した。その後、バッテリーが消耗していることもわかったのでバッテリーを交換したが稼動しなかった。過去に配線関係のビスの緩みが原因で稼動しなかったことがあったので再度ビスを締め付けたところ稼動した。
原　因	発電機の故障
要因1	部品の消耗
要因1-1	
要因1-2	
要因2	バッテリーの消耗
要因2-1	常時稼動していないことによる充電不足
要因2-2	
要因3	配線関係のビスの緩み
要因3-1	振動
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	部品の交換と装置の整備を行った。
総　括	No.29の教訓（ねじのゆるみによる不調）が生きた。ねじのゆるみがないかを確認することは有効である。
知識化	振動する機械のネジは緩むことがある。
その他	

No32

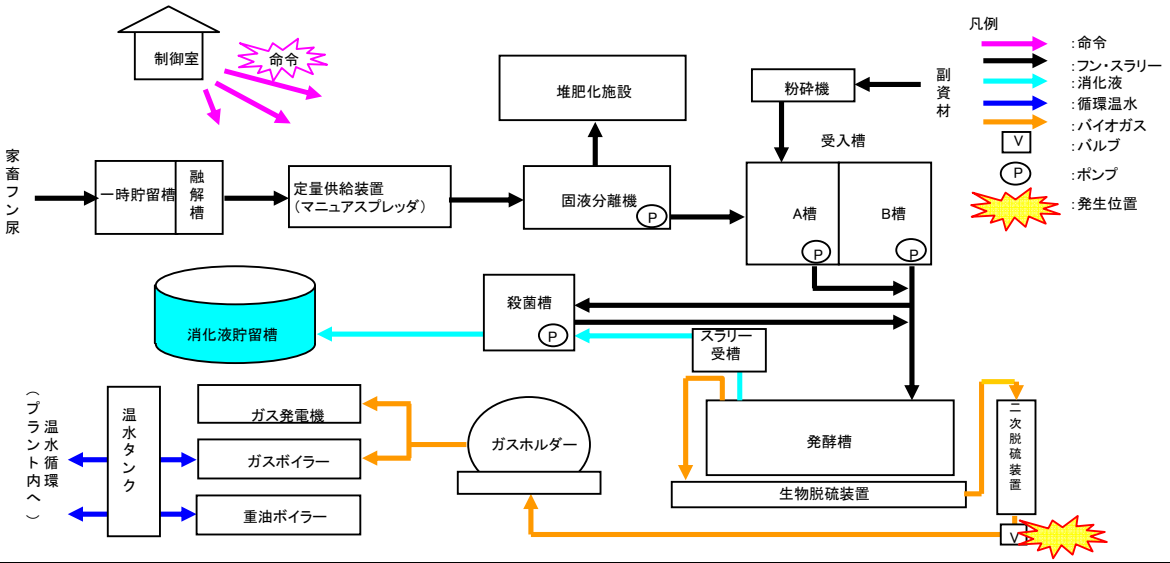
トラブル発生位置



No33

確認日	2003/12/24
タイトル	ガスラインのバルブが閉じられない。
事　象	ガスラインのバルブを閉じようとしたがかたくて動かなかった。
経　過	ガスラインの調査をしていたところ、通常は閉じているはずのバルブが開いていた。調査の結果、二次脱硫後のガスに脱硫前のガスが混入していた。バルブを閉めようとしたところバルブが動かなかった。
原　因	バルブの錆びつき
要因1	長期間操作しなかった。
要因1-1	
要因1-2	
要因2	内部を脱硫しきれないガスが流れていた。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	バルブの交換を行った。
総　括	ガスラインのバルブを長期間開閉しなかったためにバルブが固くなり、操作不能になったものである。ガスラインのバルブは、定期的に動かしてみるべきである。
知識化	ガスラインのバルブは長期間開閉しないとかたくなることがある。
その他	

No33



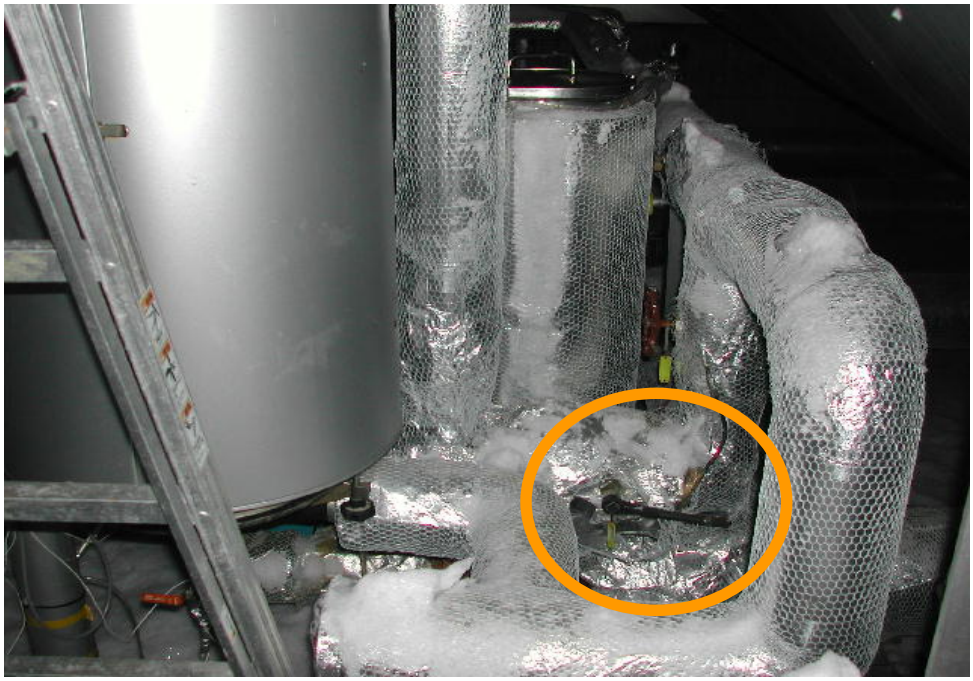


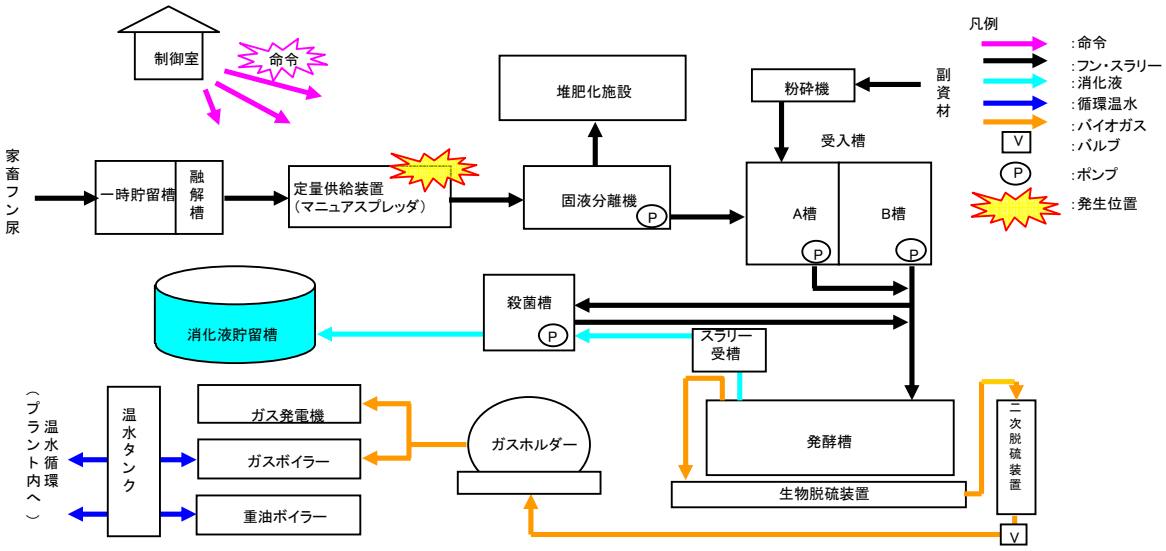
図　動かないバルブ

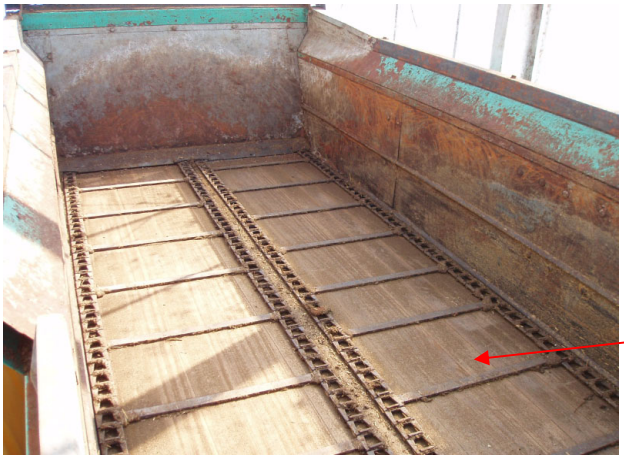
No34

確認日	2004/1/23
タイトル	凍結によるマニュアスプレッダーの破損
事　象	マニュアスプレッダーの駆動軸が折れて固液分離機への定量供給が不可能になった。
経　過	H16.1.26、マニュアスプレッダーの駆動軸が折れてしまい、固形ふんの固液分離機への投入が不可能になったと管理人より連絡があった。調査の結果、夜間は停止しているマニュアスプレッダーのコンベアが凍結し、朝の起動時に過負荷がかかってしまい駆動軸が折れたことが判明した。
原　因	駆動軸が折れたため
要因1	コンベアが凍結した。
要因1-1	冬期の低温
要因1-2	荷台の裏側に作業終了時にふんが残り凍結する
要因2	軸の強度不足
要因2-1	もともと非凍結期に使う機械であるため
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	冬期には夜間も起動状態にし、凍結を防止した。
総　括	通常凍結期に使うことのないマニュアスプレッダを、固液分離機へのふん尿定量供給設備として転用したために生じたトラブルである。早朝にジェットヒータで温めて解凍するとか、タイマーで数分ごとにコンベアーをすこし動かす、などの対応策を考えたが、荷重がない場合の電力消費量が小さかったので夜間もコンベアーを動かすことにした。
知識化	凍結を想定しない機械を長期間屋外で使う場合には、凍結が重大な故障・破損に結びつく
その他	

No34

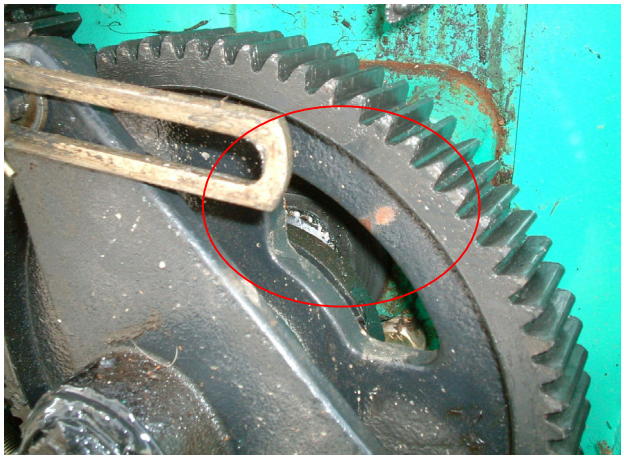
トラブル発生位置





マニュアスプレッダの台上面のコンベア
（台の裏側でコンベアが凍結した）

このうえにのせた固形ふんはコンベアにより徐々にバーンクリーナーへ落下し、固液分離機に運ばれる。



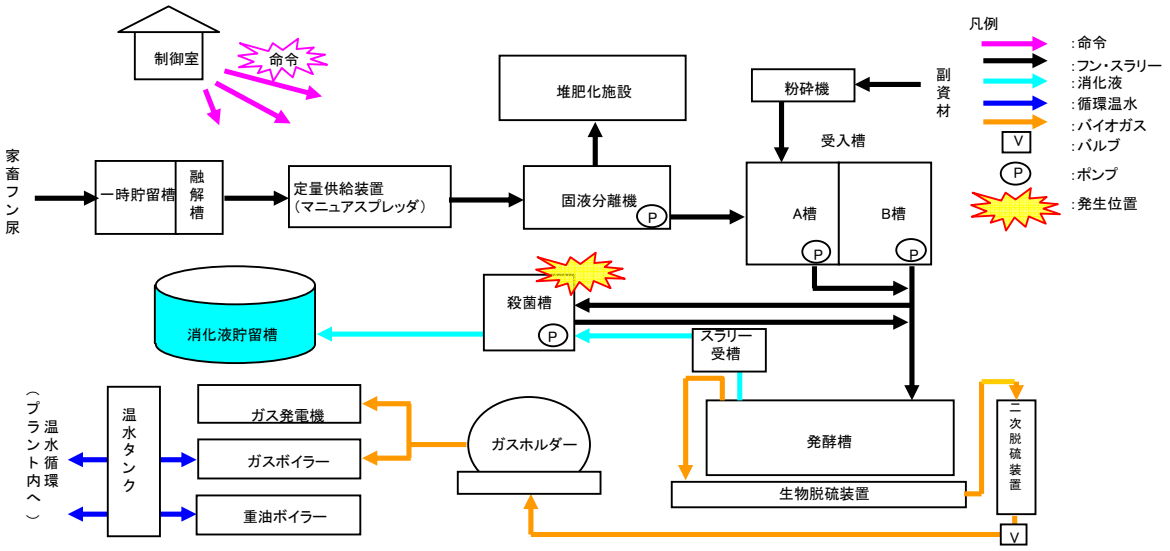
駆動軸破損状況

No35

確認日	2004/2/19
タイトル	殺菌槽フィードポンプが停止
事　象	殺菌槽フィードポンプが停止した。何度か起動を試みるがすぐに停止してしまった。
経　過	殺菌槽フィードポンプが停止した。何度か起動してみたがすぐに停止してしまう。調査したところ漏電していることが分かった。
原　因	ポンプ内部での漏電
要因1	不明
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	高温に耐えられるポンプに交換した。
総　括	殺菌槽のフィードポンプは、高温の液体内で継続して稼働する。またこのポンプのケーシングの外側には、有機物が分厚く付着することがあり、ポンプ内部の熱が外部に逃げにくい場合がある。それゆえ、ポンプ内部は、殺菌の設定温度よりも高温になっていると考えられる。このような条件を想定したポンプの選定が必要である。
知識化	殺菌槽には高温に耐えられる機械をいれる。
その他	ポンプを殺菌槽から引き上げたところ、インペラー(プロペラ部分)及びインペラーを覆っているポンプケーシングの摩耗が著しいことが明らかとなった。

No35

トラブル発生位置

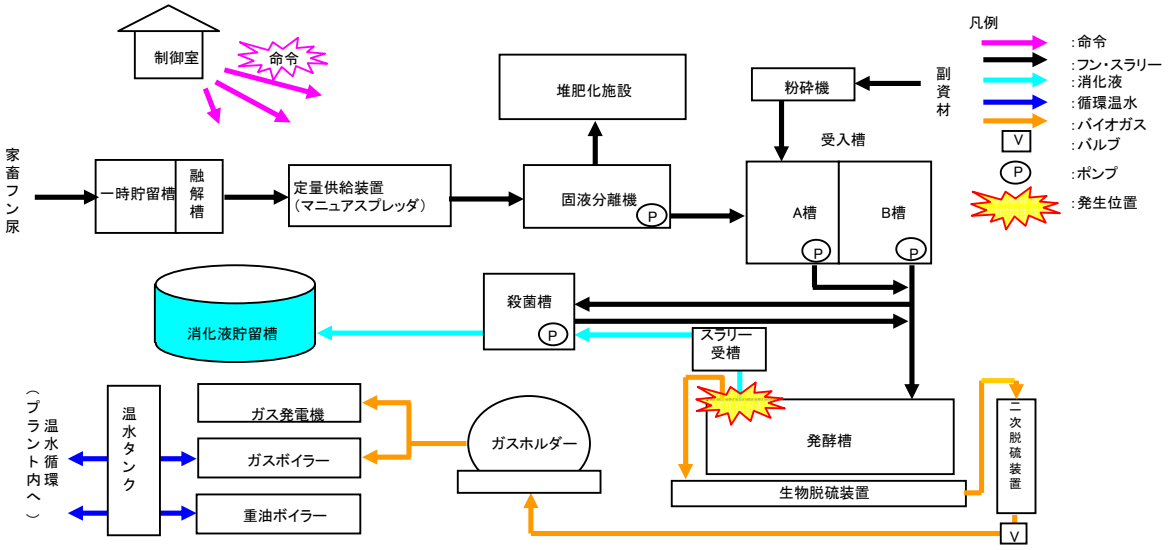


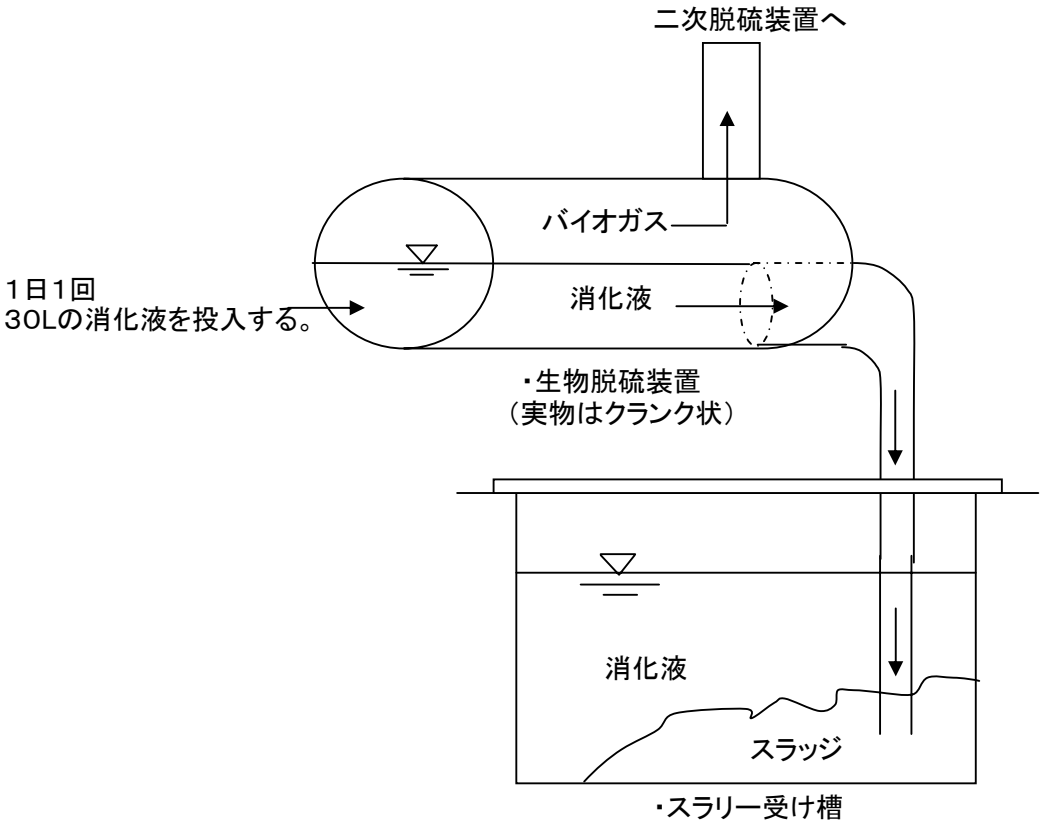
No36

確認日	2004/3/29
タイトル	封水切れ
事　象	発酵槽の封水が切れた。
経　過	発酵槽の封水が切れた。生物脱硫装置からスラリー受け槽へ消化液が排出される配管で閉塞していた。ただし、詳細な閉塞箇所は特定できなかった。
原　因	生物脱硫装置～スラリー受け槽間の消化液排出ラインでの閉塞
要因1	生物脱硫装置での消化液の流入・排出状況が確認できない構造のため
要因1-1	
要因1-2	
要因2	生物脱硫装置内の硫黄やスラッジ
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	生物脱硫装置末端のドレインより消化液を一旦排出して様子を伺った。
総　括	ガスラインのいずれかの場所での閉塞によって、発酵槽ガスだまり部の封水が切れた。閉塞の直接の原因は硫黄やスラッジであるが、生物脱硫装置での消化液の出入を確認する手段がないことが間接的な原因である。
知識化	ピットにスラッジが堆積したら何がおこるか想定せよ。 液の流れのおそいところにはスラッジがたまり、さらに流れをおそくする。 生物脱硫装置での消化液の出入を確認する手段が必要。
その他	スラリー受け槽底部のスラッジが生物脱硫装置からの排水口よりも高く堆積してしまうおそれあり。

No36

トラブル発生位置





バイオガスの抜け道とならないようにスラリー受け槽の最低液面より下まで、排出管が突っ込まれている。この槽にスラッジがたまっていると消化液が排出されず、生物脱硫装置が満杯になり、ガスラインが閉塞するおそれがある。

No37

確認日	2004/5/10
タイトル	温水循環ラインの腐食及び漏水
事　象	温水配管の漏水が頻発した。もともと青い温水が茶色に変色していた。温水循環ポンプ内部も腐食していた。
経　過	5/6時点の温水は、不凍液の色である青色であった。5/10に温水の漏水が発見され、その後、口径の小さい管路で漏水が頻発した。漏水の色は褐色であった。また、温水循環ポンプで異常音が発生していた。ポンプは内部のインペラーが著しく腐食していた。茶色い温水は工具を1時間程度で錆びさせるほどの腐食性を示した。これらの原因は完全にはつきとめられなかったので、このカルテに示す原因は推定である。
原　因	循環温水による腐食
要因1	温水が80℃前後の高温であった。
要因1-1	
要因1-2	
要因2	温水が高流速で通過していた。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	温水に有機物が混入し、腐食性の微生物が繁殖した。
要因3-1	混入経路としてはフィード加温機が疑われるが、浸みだし混入速さは小さかった。
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	変色した循環水を真水に置き換えた。しかし、1晩程度で再び茶色に変色したので真水による洗浄を3回程度行った後、すみやかにクーラントを加え、クーラントの防錆効果に頼ることにした。
総　括	全く想定外のトラブルであり、漏水初期の頃には、事態の重大さを認識しきれず、対応開始に時間がかかった。温水循環ラインのうち口径が小さい（流速が大きい）部分は、温水流量計の取り付け部である。このような計測機器の選定に当たっては、前後の管路の口径と合わせることが安全のために必要かも知れない。
知識化	高温の循環水は配管を腐食させることがある。 循環水の変色に注意すること ポンプの異常音には原因がある
その他	温水循環ラインはプラントにとって血管のようなものであり、プラントを再起不能な状態にまで損傷することがあるので要注意である。

No37

トラブル発生位置

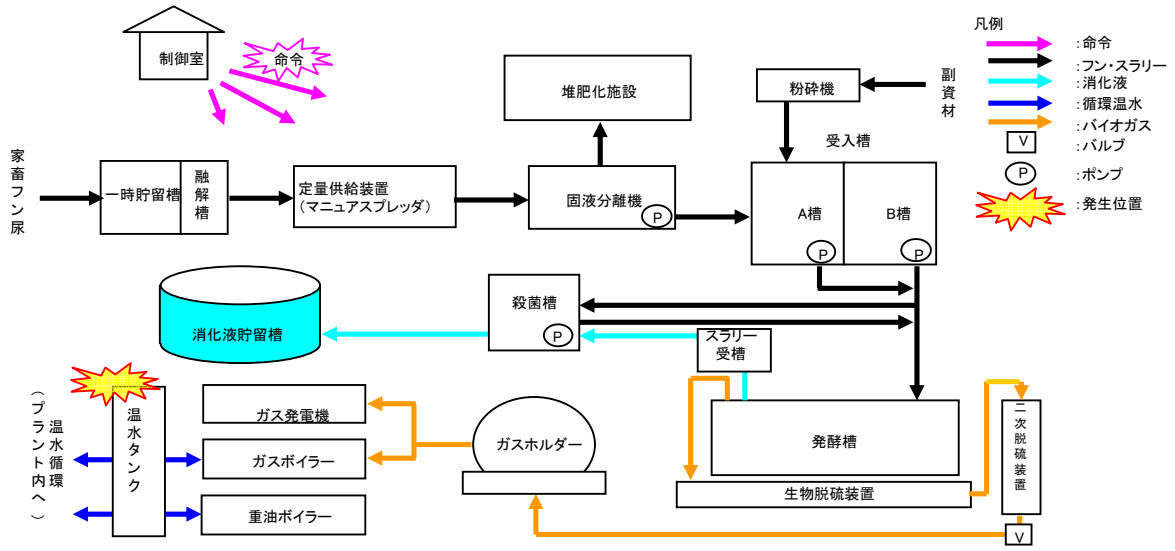




図１　温水漏れの状況



図２　錆びて肉厚が薄くなった配管



図3　管路洗浄状況

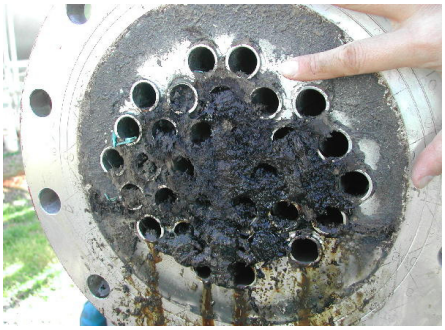


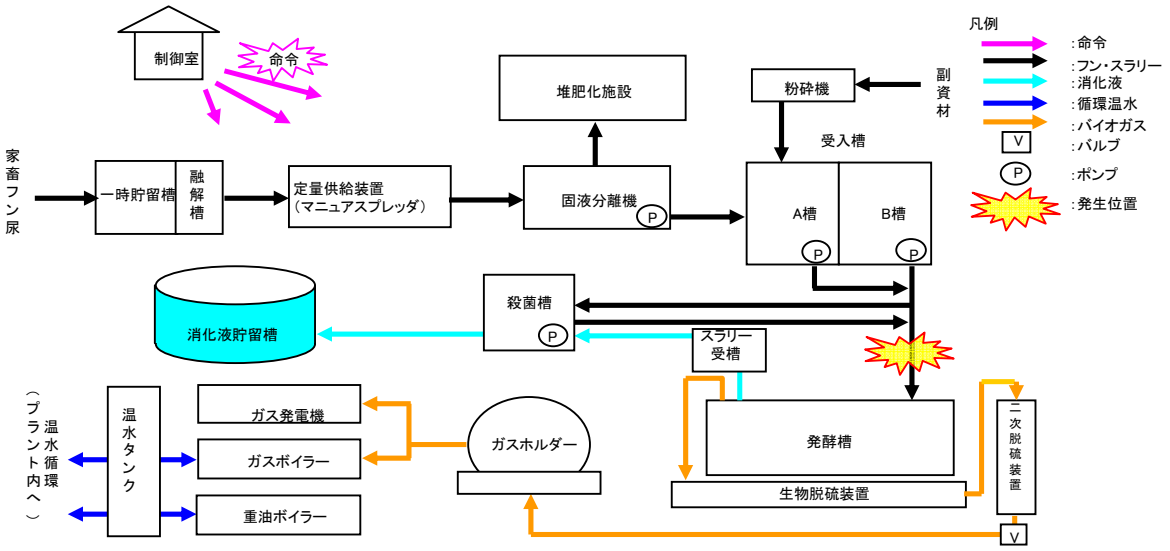
図4　消化液が循環温水に進入したと思われるフィード加温機の内部の状況

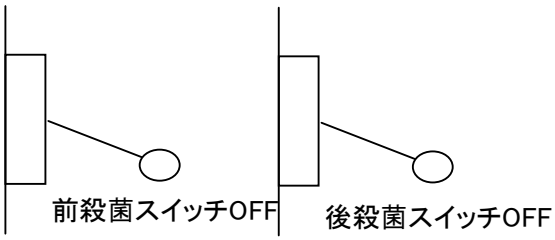
No38

確認日	2004/7/28
タイトル	発酵槽への原料移送トラブル
事　象	発酵槽へ原料自動投入時に、原料の投入が止まらなくなった。
経　過	発酵槽へ原料自動投入時に、原料の投入が止まらなくなった。調査の結果、殺菌モードのスイッチ「前殺菌」と「後殺菌」の両方のスイッチをONにしてしまったためにシーケンサーにエラーが生じたことがわかった。
原　因	前殺菌と後殺菌のスイッチを両方ONにできる形であった。
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	殺菌モードスイッチを適切な位置にセットし、原料投入リセットスイッチを押してシーケンサーのエラー解除した。
総　括	スイッチの操作ミスである。現状では前殺菌スイッチと後殺菌スイッチの2つのスイッチがあり、両方をOFFにすれば無殺菌モードになる。両方ONになることは想定されてない。3点スイッチ1個にまとめれば、このミスは防げる。
知識化	スイッチの選択で防げるミスもある。
その他	

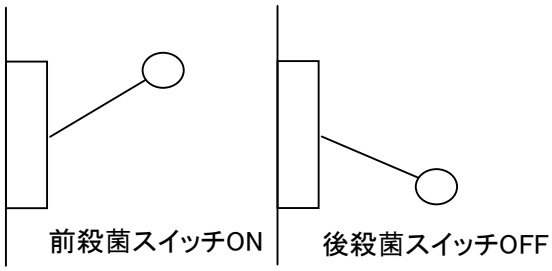
No38

トラブル発生位置

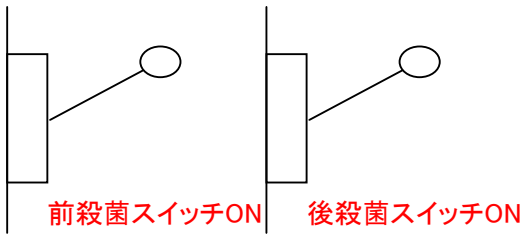




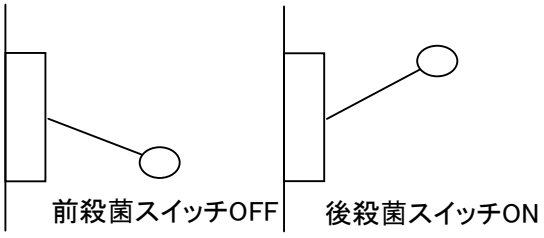
無殺菌モード



前殺菌モード



・誤った操作



後殺菌モード

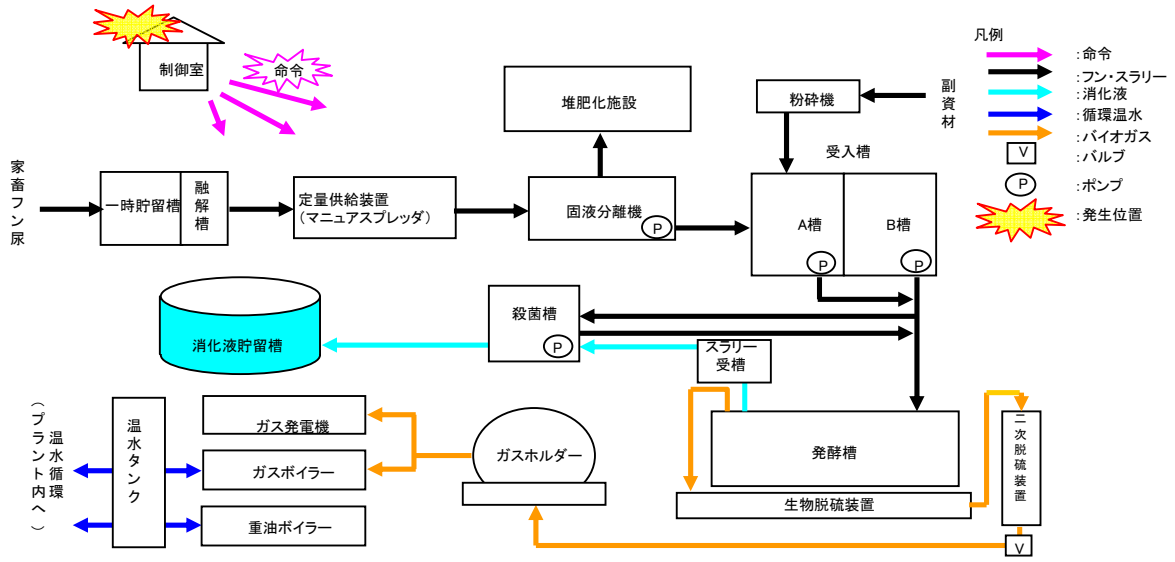
・正しい操作

No39

確認日	2004/8/15
タイトル	落雷によるポンプ類の停止
事　象	殺菌槽フィードポンプ、ガスホルダーエアチャージファン、生物脱硫用空気混入ポンプが停止していた。
経　過	殺菌槽フィードポンプ、ガスホルダーエアチャージファン、生物脱硫用空気混入ポンプが前夜の落雷による停電で停止していた。各々のスイッチを入れたところ通常運転に戻った。
原　因	停電
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	この時はプラントの制御システムの改良をしていない。しかし、パソコンだけには無停電電源装置をつけた。瞬停電などによるプラントの異常が管理人・関係者に通知されるシステムが必要である。
総　括	今回の停電は大事には至らなかった。しかし、停電による機材類の停止はガスホルダーのしぼみ→風にあおられてホルダー損傷、温水循環停止による発酵槽温度の低下、ガスライン内での結露などの2次的なトラブルを招く恐れがあるから、すみやかに停電のあったことが運転員に伝わって、運転を再開できるようにする必要がある。
知識化	長期・短期の停電時に何が起こるか仮想演習を行え
その他	

No39

トラブル発生位置

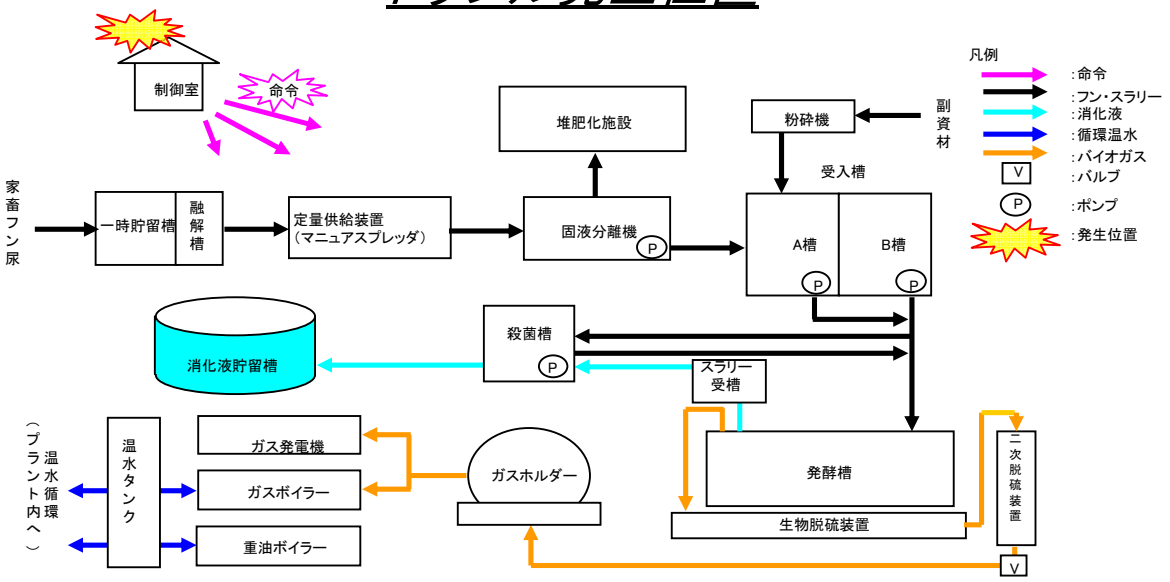


No40

確認日	2004/11/4
タイトル	商用・自家発電の切り替えができない。
事　象	商用・自家発電の切り替えができない。
経　過	発電機は通常どおり稼動するが商用・自家発電の切り替えができない。調査したところ制御盤のリレースイッチが故障していることがわかった。
原　因	リレースイッチの故障
要因1	寿命？
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	部品の交換
総　括	省略
知識化	省略
その他	

No40

トラブル発生位置

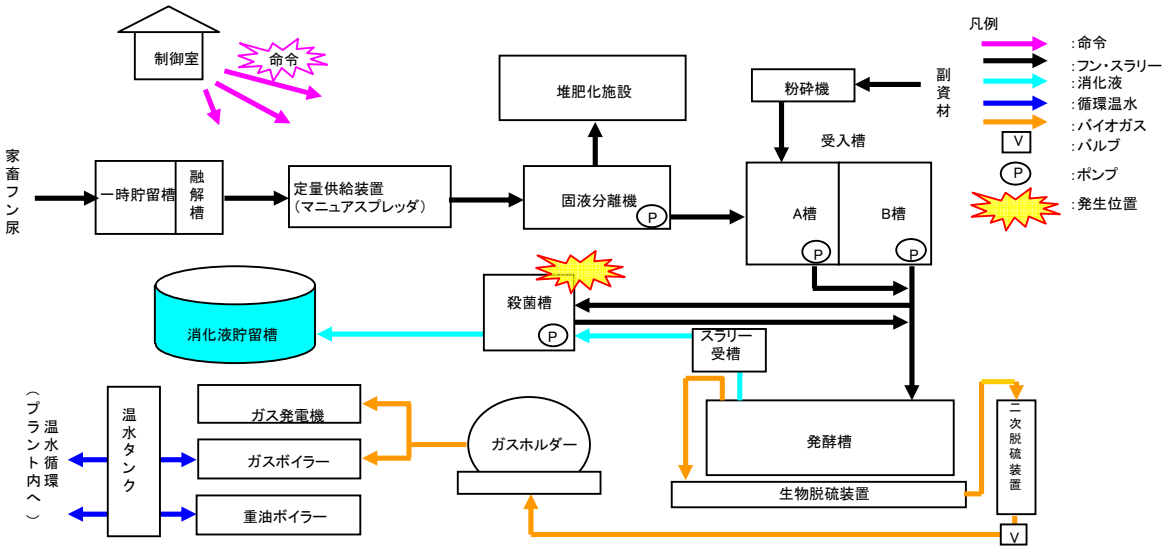


No41

確認日	2005/1/27
タイトル	殺菌槽レベルセンサーの異常
事　象	殺菌槽のレベルセンサーが、短絡により、水位を感知しなくなった。
経　過	殺菌槽フィードポンプが動かなくなったので調査したところ、殺菌槽レベルセンサーが短絡していた。このとき制御盤は殺菌槽レベル低位と高位の両方が点灯していた。
原　因	ケーブルの腐食
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	現在はプラント休止の作業を行っており、手動操作により対応することとし、修理は行わない。
総　括	以前にも起こった（カルテNo.1）センサーの消耗である。点検・交換の時期を的確に見極めるのが重要である。
知識化	ふん尿のあるピット内のセンサーは消耗品である。
その他	再度稼動させる際には修理が必要である。

No41

トラブル発生位置

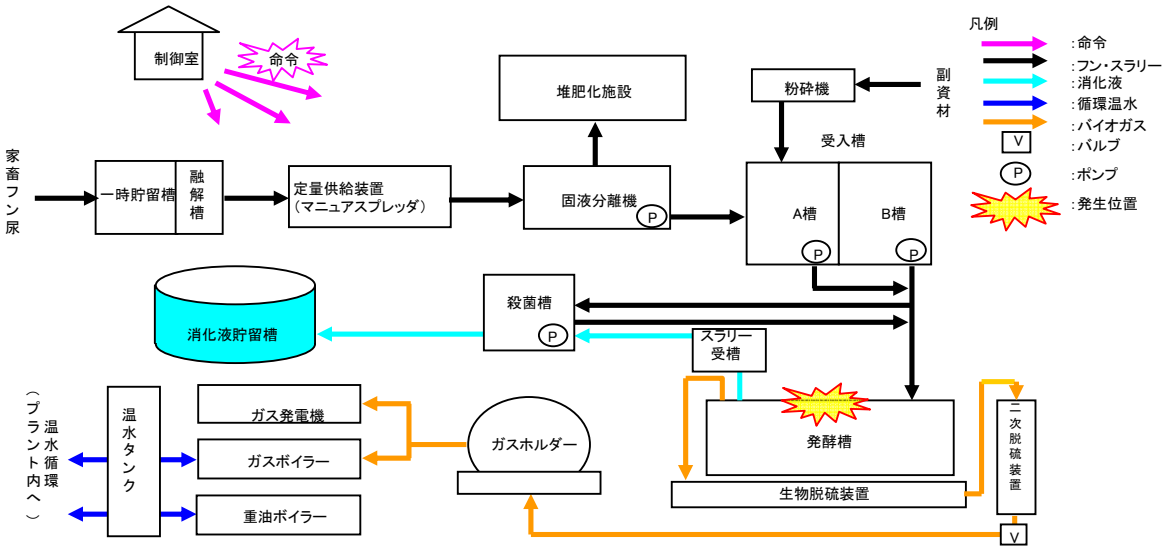


No42

確認日	2005/2/15
タイトル	温度センサーの故障
事　象	発酵槽の温度センサーが故障した。このセンサーの値は発酵槽加温のためにフィードバックされるものである。
経　過	発酵槽の温度センサーが故障し、ロガーへは高温側の値を意味する信号が送られていた。
原　因	不明
要因1	
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	研究期間終了に近かったので修理しなかった。
総　括	温度センサーの故障である。制御のフィードバックに用いられるセンサーが故障しても、システムが暴走しないような配慮が必要である（湧別施設でその配慮がなされていないというわけではない）。
知識化	センサーの故障が制御を暴走させないように注意する。
その他	

No42

トラブル発生位置

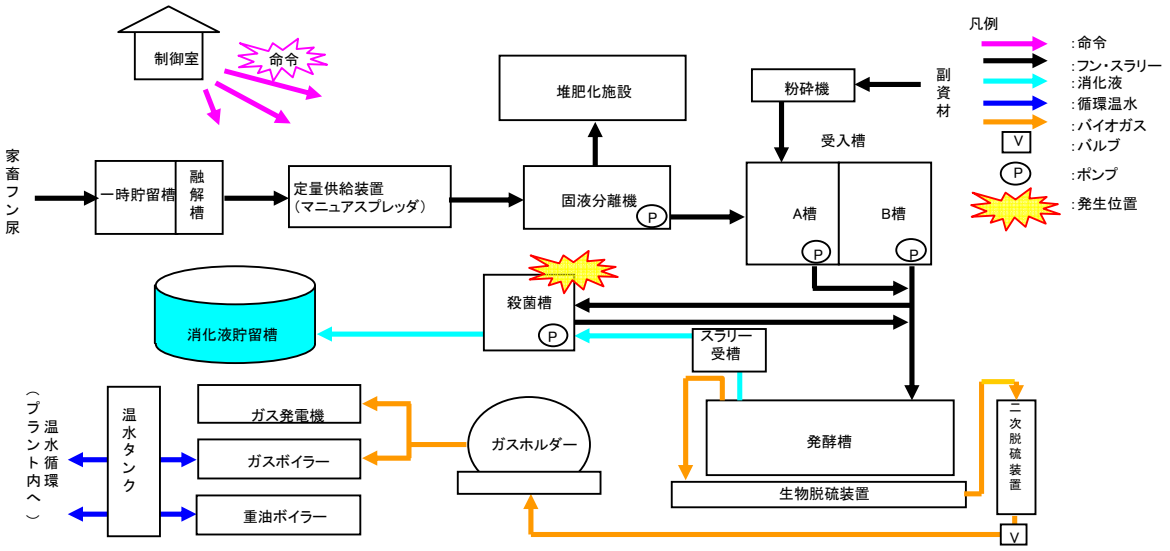


No43

確認日	*****
タイトル	殺菌槽の開口部が小さい
事　象	殺菌槽の開口部がフィードポンプを出し入れするぎりぎりの大きさであるためポンプ吊り上げ点検時に、作業が行いにくかった。
経　過	殺菌槽のフィードポンプは、高温下で常時稼動しているため点検や修理の頻度が高い。しかし、槽の開口部が小さく、フィードポンプを直立させたまま引き出せないので傾けながらつり上げるなどの工夫が必要であった。
原　因	殺菌槽の開口部が小さい
要因1	メンテナンス作業の想定不足
要因1-1	
要因1-2	
要因2	
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	物理的対応はしていない。
総　括	殺菌槽のポンプは、過酷な条件下で常時起動しているため、槽外に引き出して点検・修理する頻度が高かった。殺菌槽などの機器の消耗が大きなところでは、施設設計の際にメンテンスの作業性を十分に検討することが重要である。
知識化	メンテナンスではポンプなどの重量物のつり上げなどの作業を行いやすいようにする。
その他	

No43

トラブル発生位置





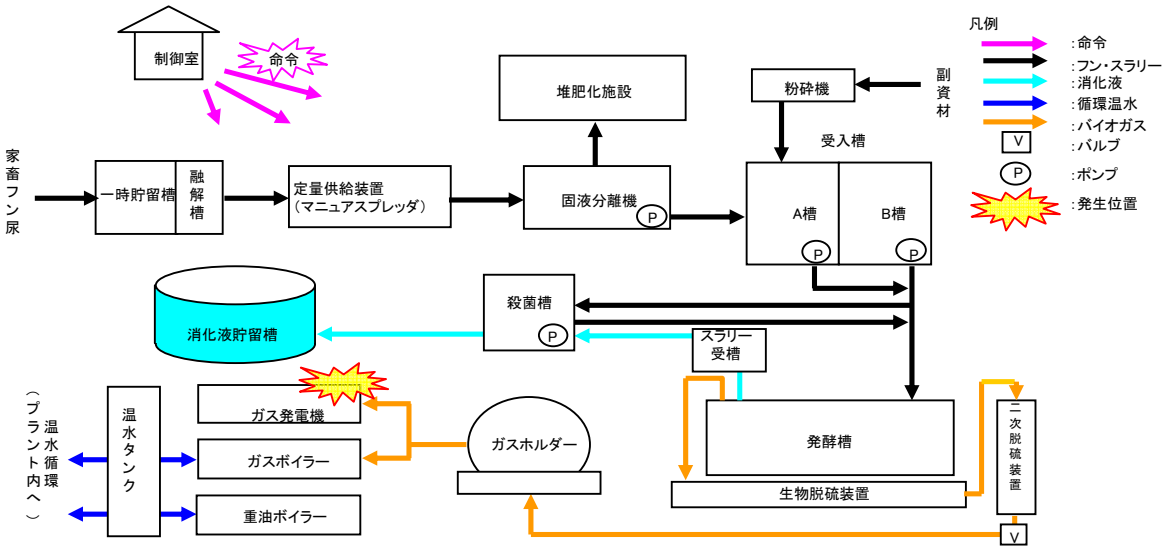
ポンプメンテナンス状況

No44

確認日	2004/2頃
タイトル	発電機の稼動不良
事　象	発電機の稼動不良が継続した。
経　過	2004年2月ころから発電機が順調に運転できない状態が継続した。
原　因	メタン濃度の変動が発電機の許容範囲をこえる状態が続いた。
要因1	発電機がメタン濃度を自動的に調整する機構を持ってなかった。
要因1-1	メタン濃度の変動が予想以上だった。
要因1-2	
要因2	道外の専門技術者の修理に必要な費用が高額で、修理を断念した。
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	バイオガスはボイラーで消費した。必要電力は商用電力でまかなった。
総　括	発電機は2003年度には順調に稼働していたが、2004年度は稼働率が低かった。小規模共同利用型プラントでは、バイオガスの性質の変動があらかじめ予測されるので、機材が対応しているか確認すべきである。また、小規模実用施設では、修理費を適切に見込んで、それでも発電機を持つことが有利かどうかを判断すべきである。
知識化	小規模共同利用型プラントでは、原料の性質の変動に起因してメタン濃度の変動が大きなことがある。
その他	

No44

トラブル発生位置

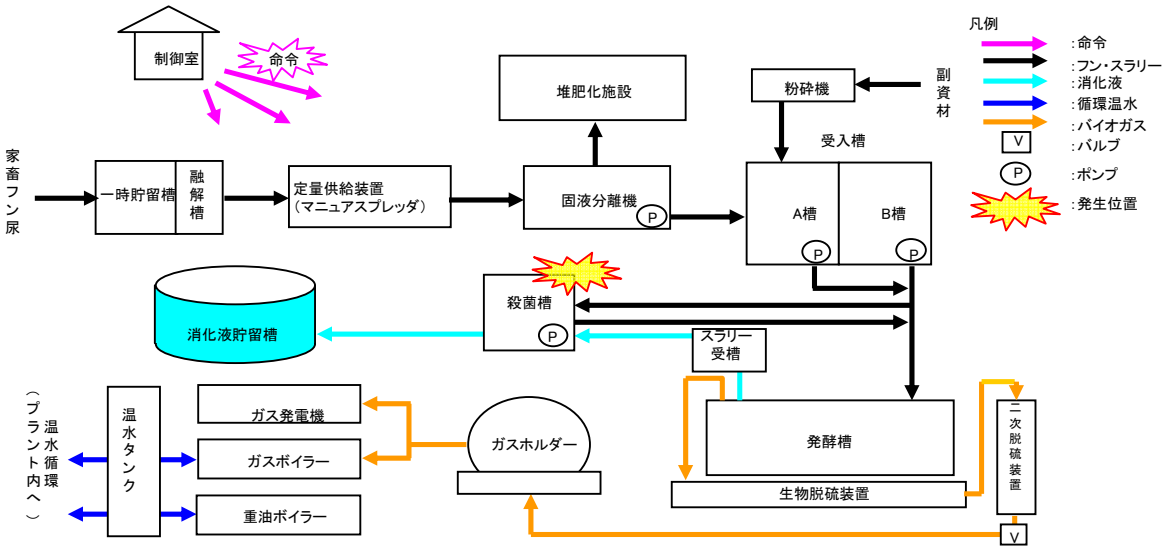


No45

確認日	2003/7 2003/11
タイトル	殺菌槽からあふれた消化液の清掃
事　象	殺菌槽から消化液があふれるたびに清掃が必要である。
経　過	殺菌槽では液面の高さをはかるレベルセンサーのケーブル腐食などのたびに消化液があふれる。このとき、砂利を敷いた地面にあふれ出るため、そのたびに清掃が必要である。
原　因	溢流をうけとめるコンクリート床などがない。
要因1	あふれることを想定していなかった。
要因1-1	レベルセンサーのケーブル腐食が想定されていなかった。
要因1-2	殺菌槽のフィードポンプの故障時に何がおこるか想定されていなかった。
要因2	予算不足？
要因2-1	
要因2-2	
要因3	
要因3-1	
要因3-2	
要因4	
要因4-1	
要因4-2	
対処・予防措置	特段の構造物理的対応はしなかった。毎回、清掃と砂利交換などに費用を要した。
総　括	殺菌槽の溢流は、レベルセンサーの腐食やフィードポンプの故障、フィードポンプのホースの脱落、プラント制御シーケンスの誤作動などが生じるたびに、何度も起きた。見学客が来所する数日前に溢れたこともある。清掃作業は運転員の労力の他、気力も阻害するので、万が一溢れた場合でも簡単に清掃できる施設が望ましい。
知識化	ピット類はどのような条件のときにあふれるおそれがあるのか、また、そのとき何が起こるのか、どう対処すべきか、などを仮想演習すること。
その他	

No45

トラブル発生位置





殺菌槽からあふれ出した消化液

積雪寒冷地における環境資源循環プロジェクト

試験担当機関：(独)北海道開発土木研究所
(独)農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター
北海道立根釧農業試験場、北海道立畜産試験場、北海道立北見農業試験場

協力・推進機関：別海町、JA別海、別海施設参加農家、湧別町、JA湧別、湧別施設参加農家
国土交通省北海道局、北海道開発局農業水産部、釧路開発建設部
網走開発建設部、北海道農政部、北海道立工業試験場、根室支庁、網走支庁

連絡先
〒062-8602　札幌市豊平区平岸１－３
(独)北海道開発土木研究所土壌保全研究室・農業土木研究室
電話：011-841-1754、011-841-1764
ホームページアドレス: http://www.ceri.go.jp