

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きました。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 齊藤智徳

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。

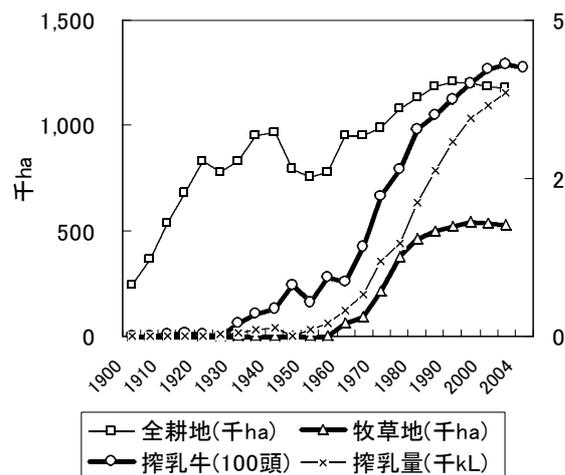


図1 耕地面積、搾乳牛頭数、搾乳量の推移

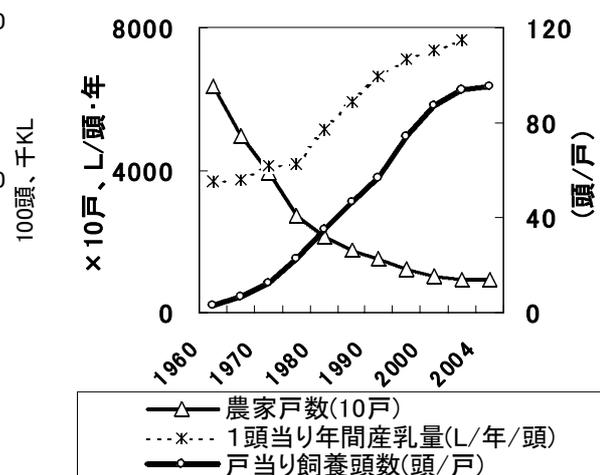


図2 酪農戸数、戸当たり飼養頭数と年間産乳量の推移

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。

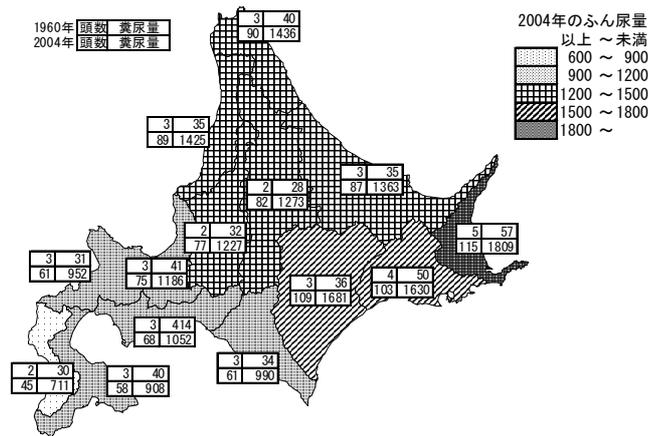


図3 支庁別乳牛頭数と糞尿量の推移
(1960年と2004年)

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、水稻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。

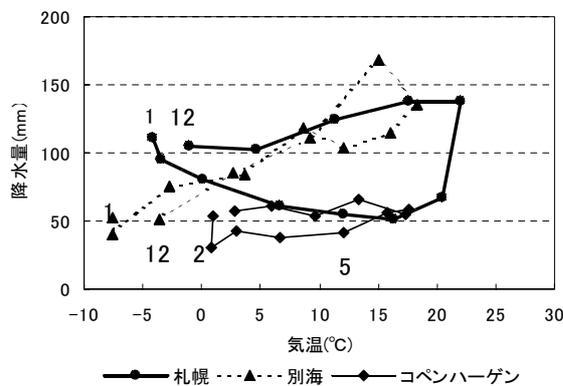


図4 北海道とデンマークのクリモグラフ

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、融雪や融凍の後に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、重量の重いマニユ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。

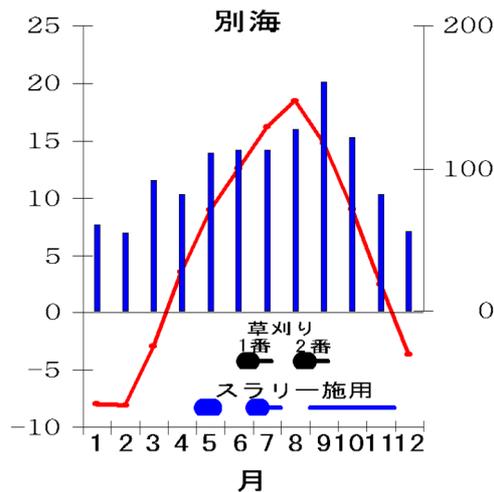


図5 別海での気象と草刈り・スラリー散布の時期

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「地球温暖化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(スタンションストール方式)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。

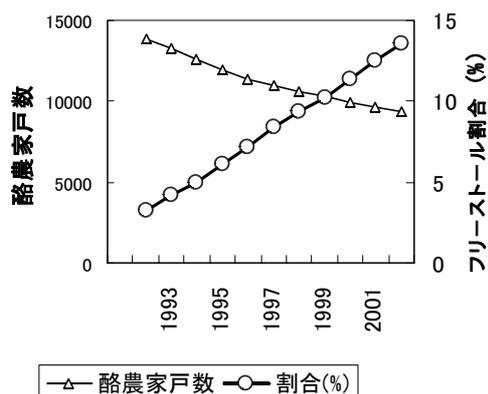


図1 酪農家戸数とフリーストール割合の推移

一方、北海道の酪農では大規模農家を中心に徐々にスタンシ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。

項目	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
	2000	2001			
施設建設	基幹施設の建設 ・メタン発酵 ・エネルギー利用施設	試運転			
実証試験 フェイズ I			バイオガスプラントの 技術的可能性の実証		
中間報告・評価			課題の洗い出し・ フェイズ II の試験方針		
実証試験 フェイズ II				経済的可能性・ 効率的稼働法の実証	
最終報告・評価					取り纏め・成立条件・ 実用化への指針

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や糞尿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	別海資源循環試験施設	湧別資源循環試験施設
タイプ	大規模共同利用型	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） 高温発酵（約55℃：約20日）	中温発酵（約37℃：約30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（100m ³ +25m ³ ）
	乾式250m ³	—
堆肥化施設投入量	6.1m ³ /日	3.8m ³ /日
堆肥化の攪拌方式	ホイールローダ切返し	ロータリー攪拌方式
バイオガス発電機	65kW×3台	25kW×1台
ガスボイラー	186kW×1台	198kW×1台
重油ボイラー	186kW×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、スタンシ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、スタンシ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、スタンション方式の農家の尿溜り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 45.4m³、堆肥原料の 1 日当たりの投入量は 3.4m³ 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 1,500m³、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シ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 6.3m³、堆肥原料のそれは 3.8m³ 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 200m³、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。

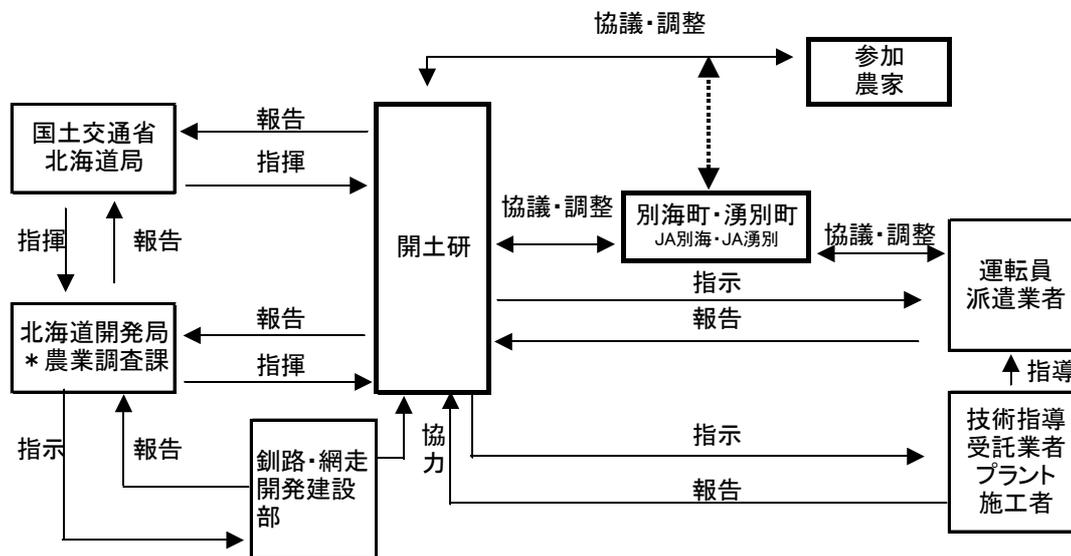
消化液は殺菌槽で殺菌処理をされた後、消化液貯留槽へと搬送・貯留され、必要に応じて圃場へ搬送・散布される。なお、本プラントは消化液を殺菌する後殺菌方式にもメタン発酵原料を殺菌する前殺菌方式にも対応可能である。

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。

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シ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攪拌・発酵して生成される堆肥)の農家への搬出が開始され、以降4年間にわたる試験研究期間における運営実績を重ねてきた。

利用農家のプラント利用料金に関しては、試験施設として運営されていることから、原料の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。当初はスクリーン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、ウェーブプレスが導入・稼働し始めたのは 2002 年 11 月 12 日であった。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（スタンション式）が大半であるが、放し飼（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、全てスタンション式の経営形態（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（ $3 \times 5 = 15$ 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。

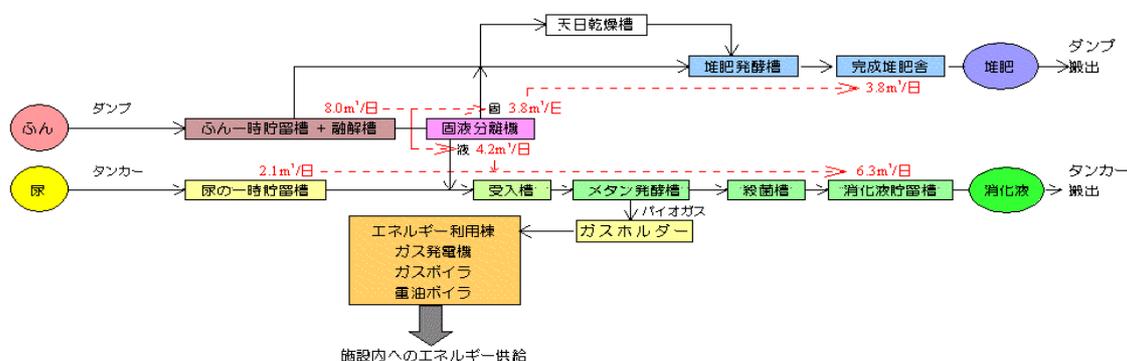


図2 湧別プラントの施設機能と運転

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倉への搬送、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ウェーブ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。破碎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車輛3名作業から1車輛1名作業に大幅に効率化した。 1戸の農家でスタンシ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	<p>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。</p> <p>①殺菌用循環モノポンプを更新、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</p>
--------	--

(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。

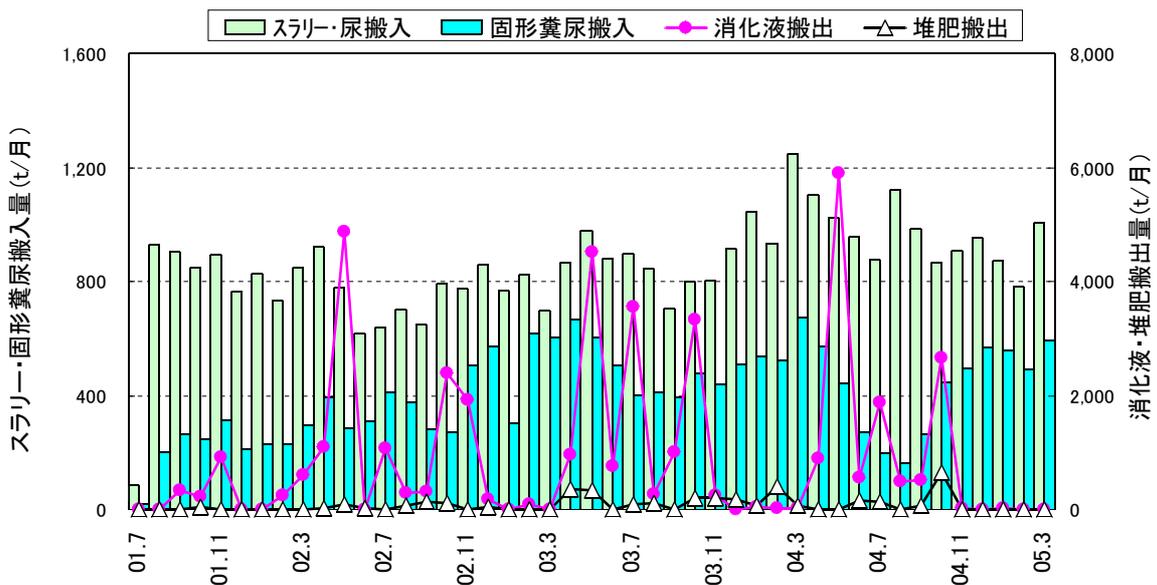


図1 月別の原料糞尿の搬入量と生成物の搬出量

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)								合計
		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%)	尿尿汚泥 (10.8%)	氷産加工残滓 (23.8%)	乳業工場汚泥 (9.8%)	固形糞尿直接投入 (9.7%)	
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 m³で、スラリー1t当りのバイオガス発生量は約29 m³/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。

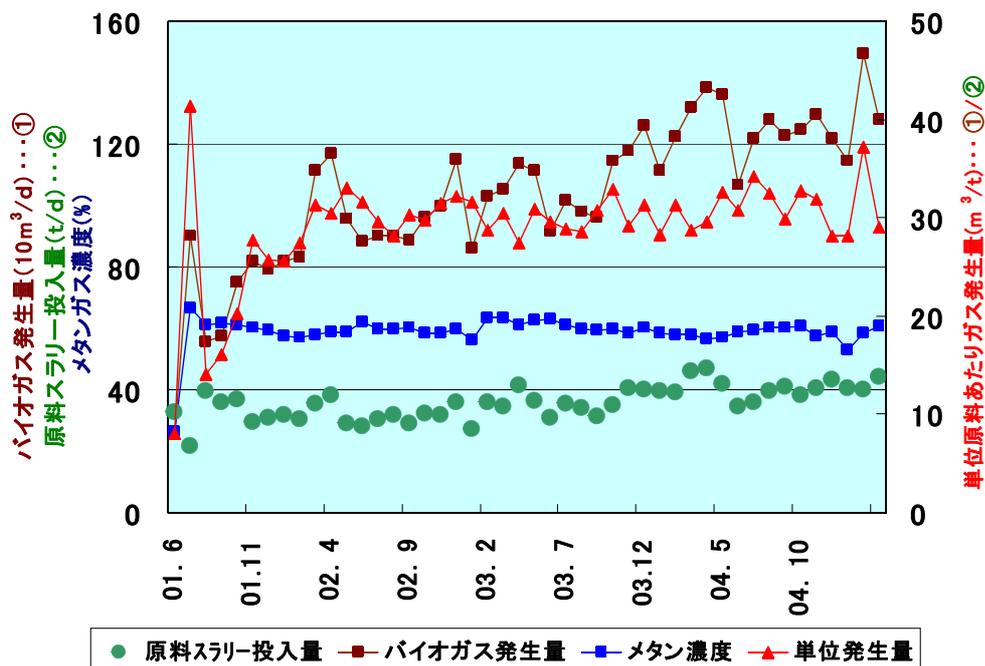


図2 別海施設のメタン発酵の推移

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。

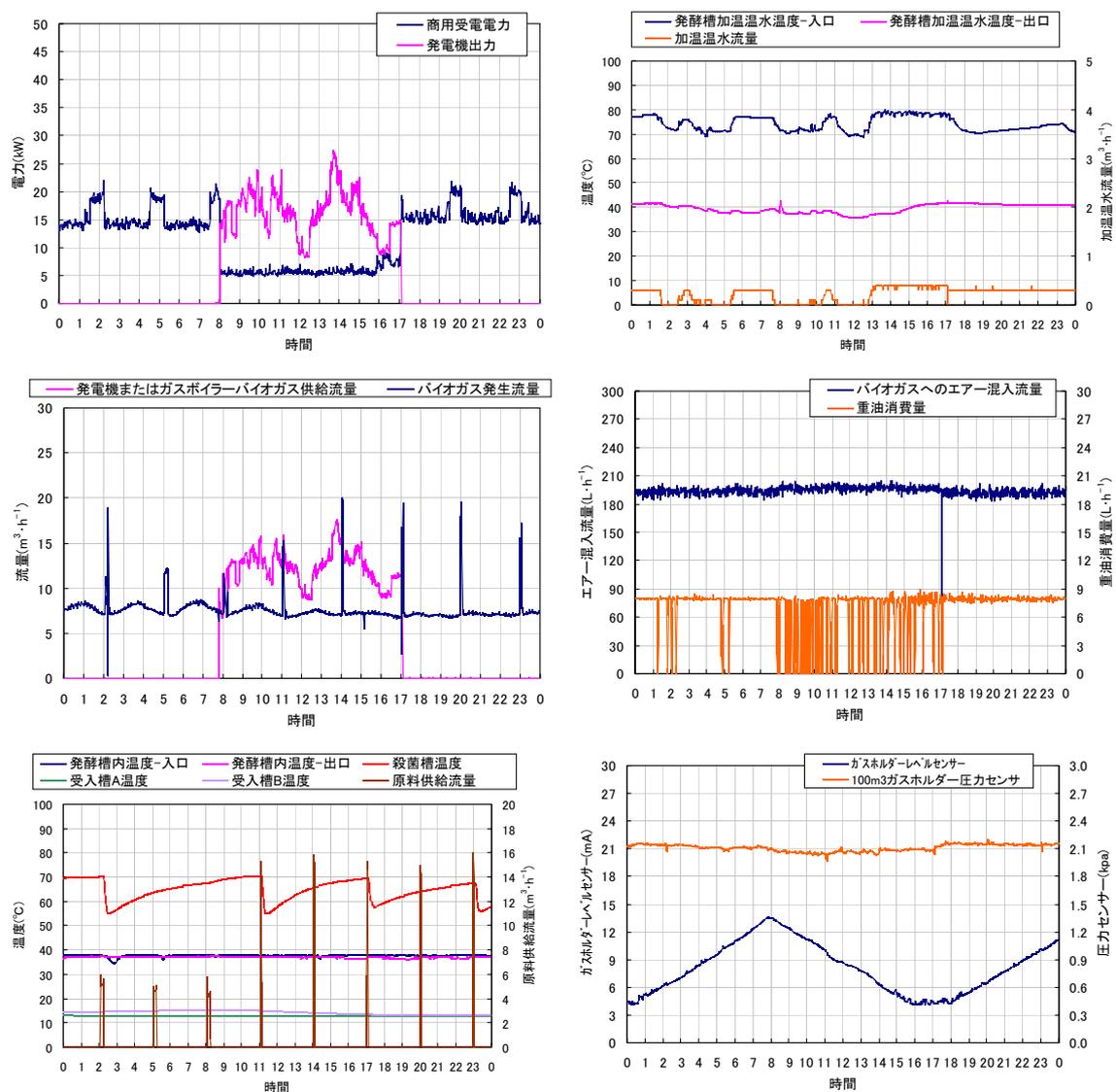


図3 典型的な運転状況のデータ（平成15年12月22日）

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) マニユア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。

$$\text{消化液量 (m}^3\text{)} = 0.684 \times \text{固形ふん尿量 (m}^3\text{)} + \text{尿量 (m}^3\text{)}$$

$$\text{堆肥 (m}^3\text{)} = 0.494 \times \text{固形ふん尿量 (m}^3\text{)}$$

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。

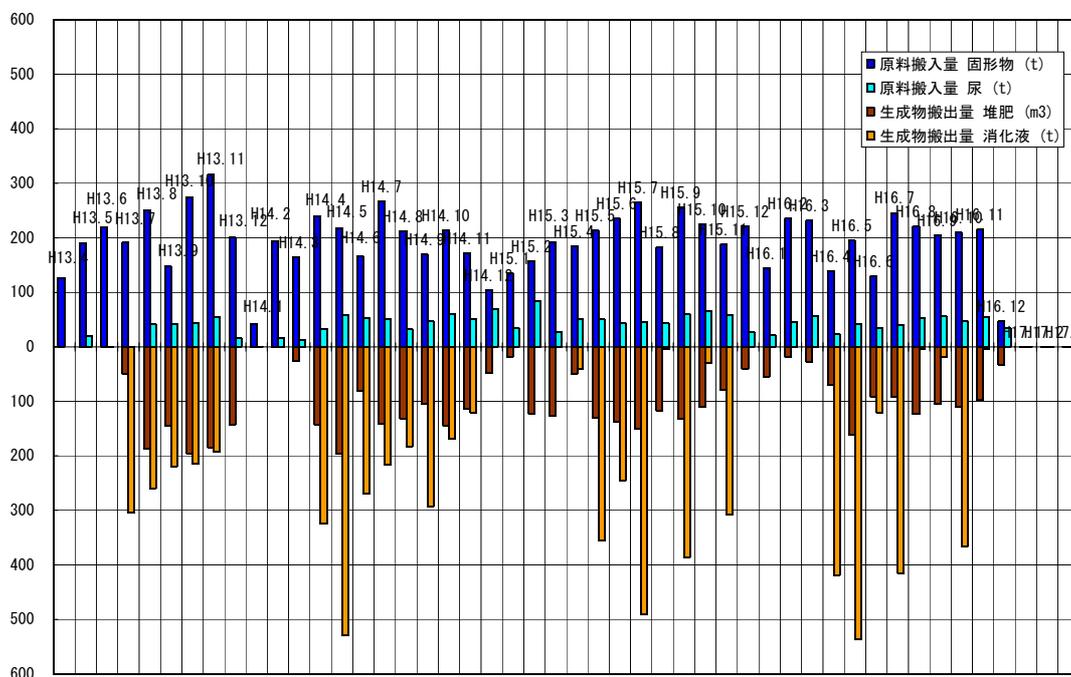


図4 湧別施設における原料の搬入及び生成物の搬出量

(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・攪拌を行いながら、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 $21.7\text{m}^3/\text{m}^3$ であり、乳牛ふん尿でのメタン発酵の一般値 $15\sim 30\text{m}^3/\text{m}^3$ 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%に近い値を示した。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。

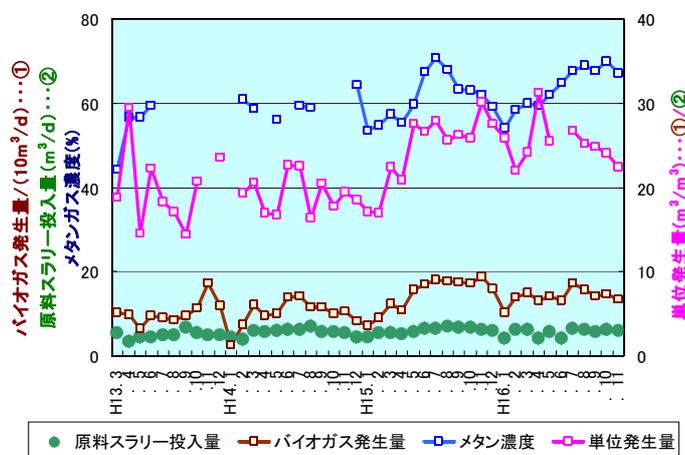


図5 湧別施設のメタン発酵の推移

(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、ロータリー式攪拌機で攪拌機により行った。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。

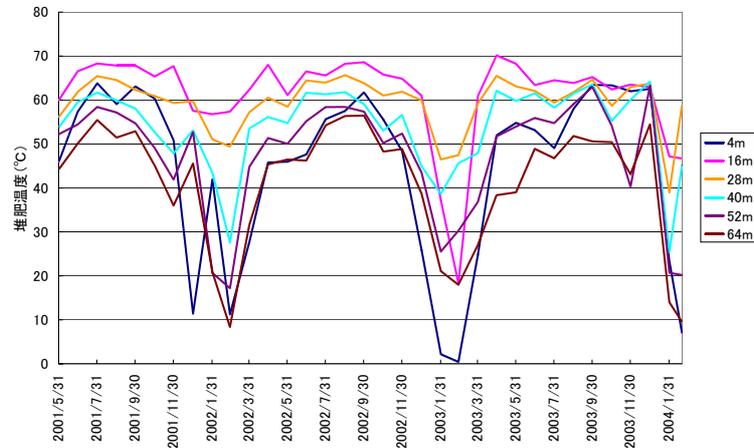


図6 各測定点での月平均堆肥温度

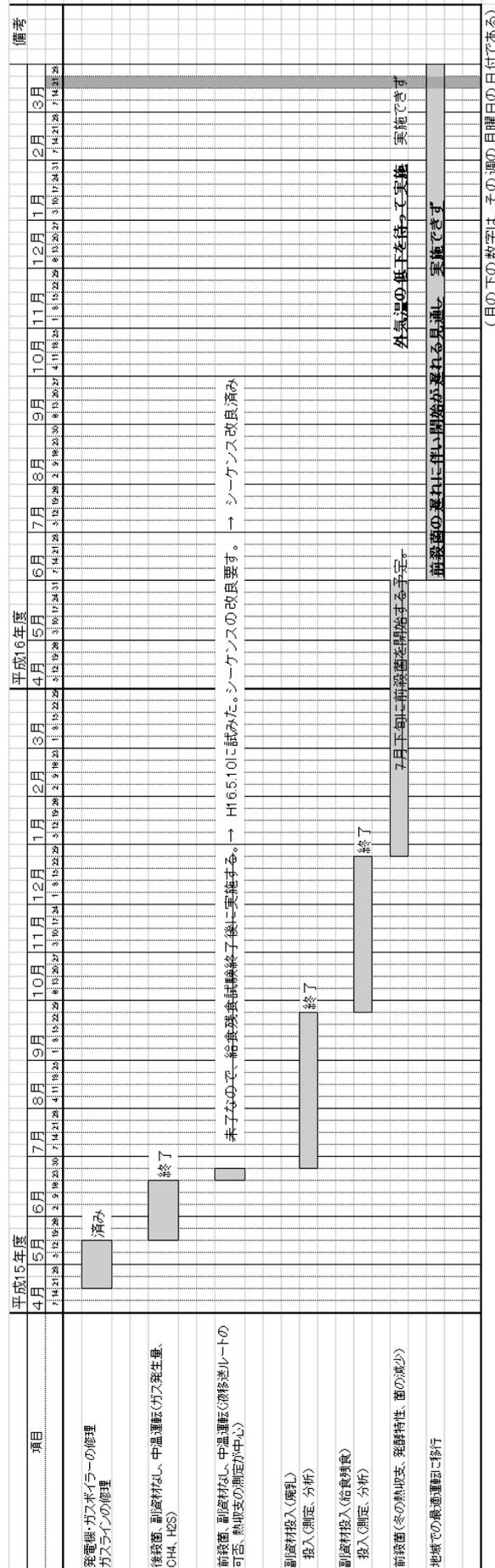
(5) フェイズⅡにおける運転計画と進捗

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つたものの、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。

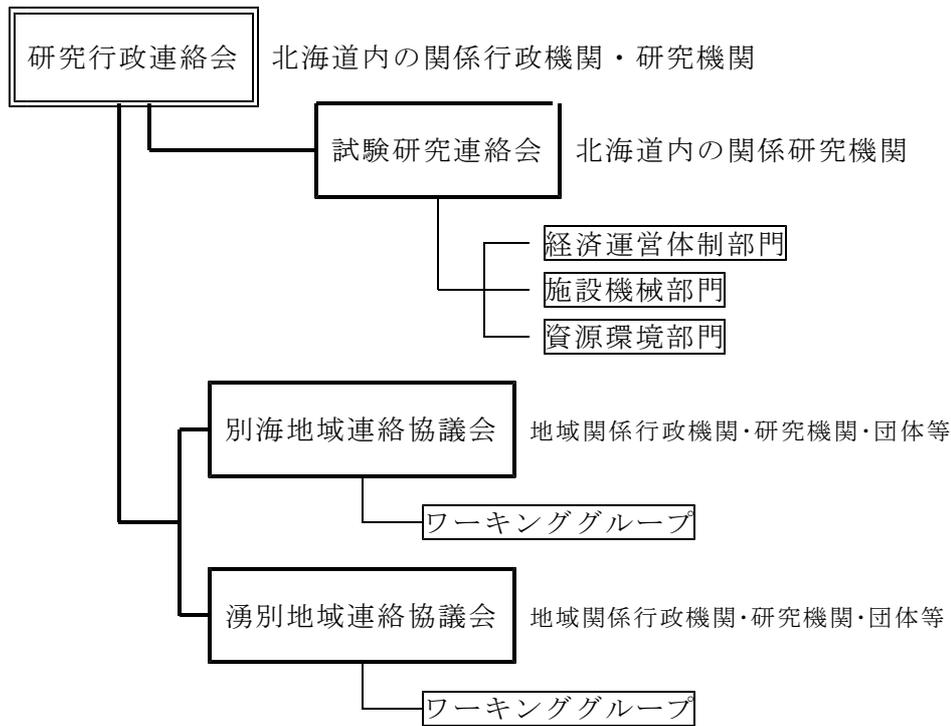


図1 「積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト」推進組織

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 バイogas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バイogas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バイogas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 集中型バイogasプ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 効率的なバイogasの生成及び脱硫条件の検討	開土研土保研・農土研
3 エネルギー効率と生成エネルギ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 バイogas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バイogas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バイogas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 集中型バイogasプ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 効率的なバイogasの生成及び脱硫条件の検討	開土研土保研・農土研
3 エネルギー効率と生成エネルギ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

