

[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）。

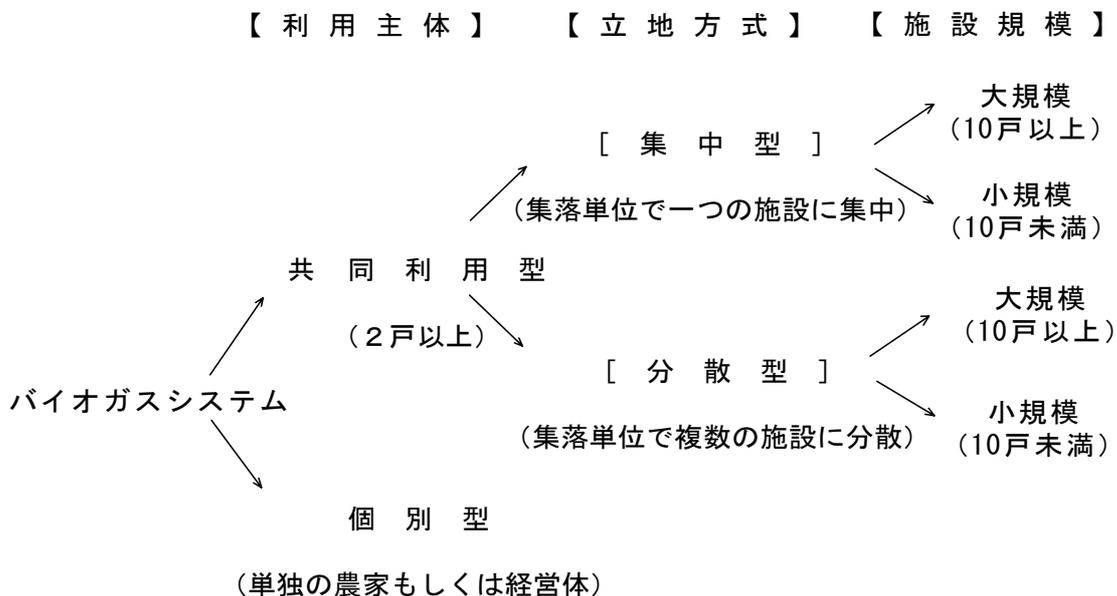


図1 バイオガスシステムの利用主体別分類

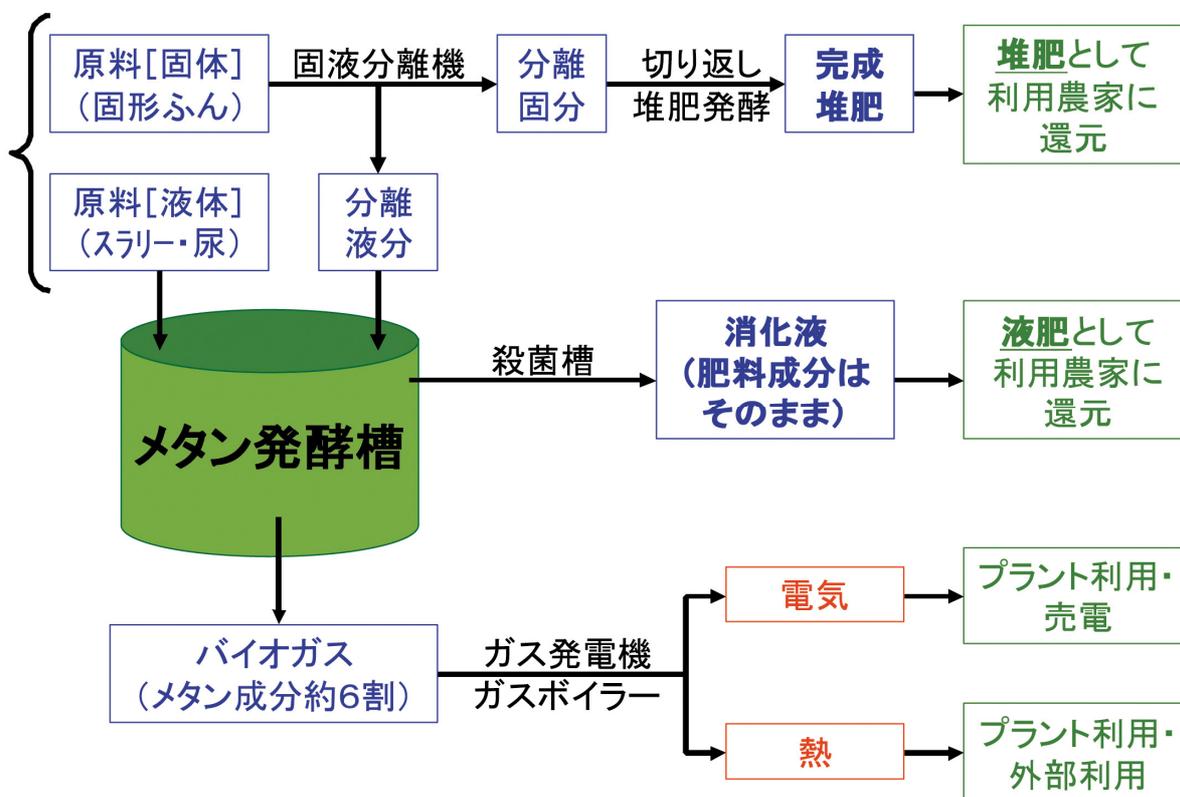


図2 バイオガスシステムの基本フロー

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 攪拌方式	ホイールローダーによる 切り返し方式	ロータリー攪拌方式
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
ボイラー	余剰電力の売電を検討	コジェネの補助熱源
	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、CO₂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での整理であるが、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働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働実績から、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け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働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	スタンション牛舎
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…休科主体 (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 (m ²)	542.5	471.1
尿溜・ラグーン総容量 (m ³)	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 (m ²)	5.8	7.6
経産牛1頭当たり尿溜・ラグーン総容量 (m ³)	19.7	1.3
畜舎～プラント間の距離 (片道km)	2.6	2.0

注)「尿溜・ラグーン総容量」には、素堀ラグーン等を含む。

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 戸とスタンション 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、スタンションで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、スタンションで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2.8kmで、農家から最も遠い圃場までは14km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%、スタンション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
スタンション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ションともに約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%)、スタンションでは搾乳作業(54%)の割合が高くなっている(図3)。

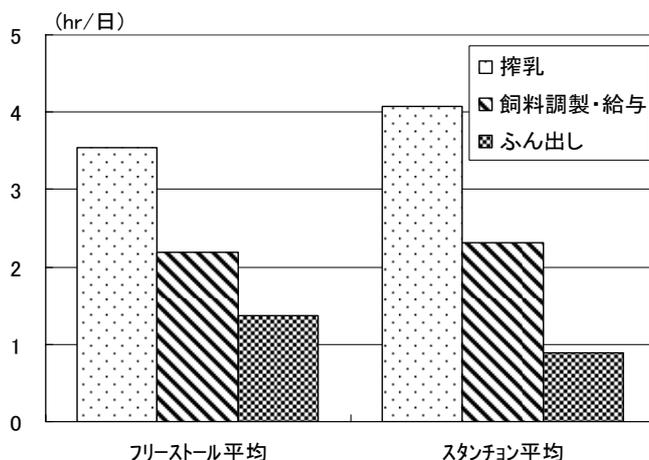


図3 1日当たり飼養管理における実作業時間(別海)^注

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ションの約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、スタンシ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、スタンションが高かった（図4）。

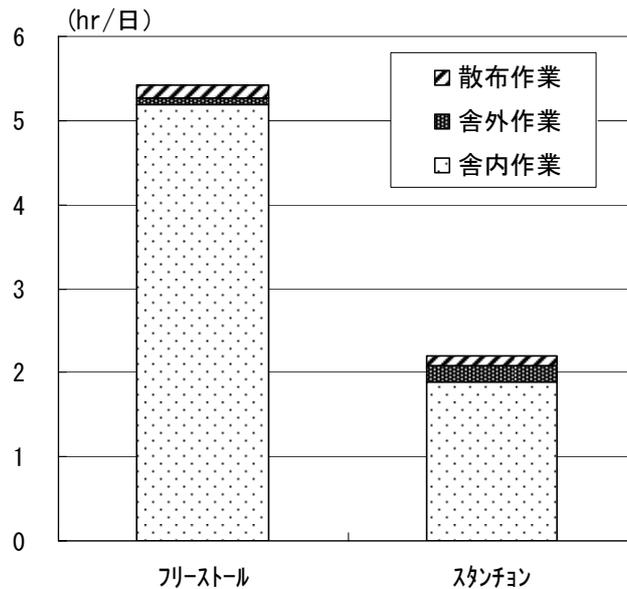


図4 1日当たりふん尿処理延べ作業時間 (別海)

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。

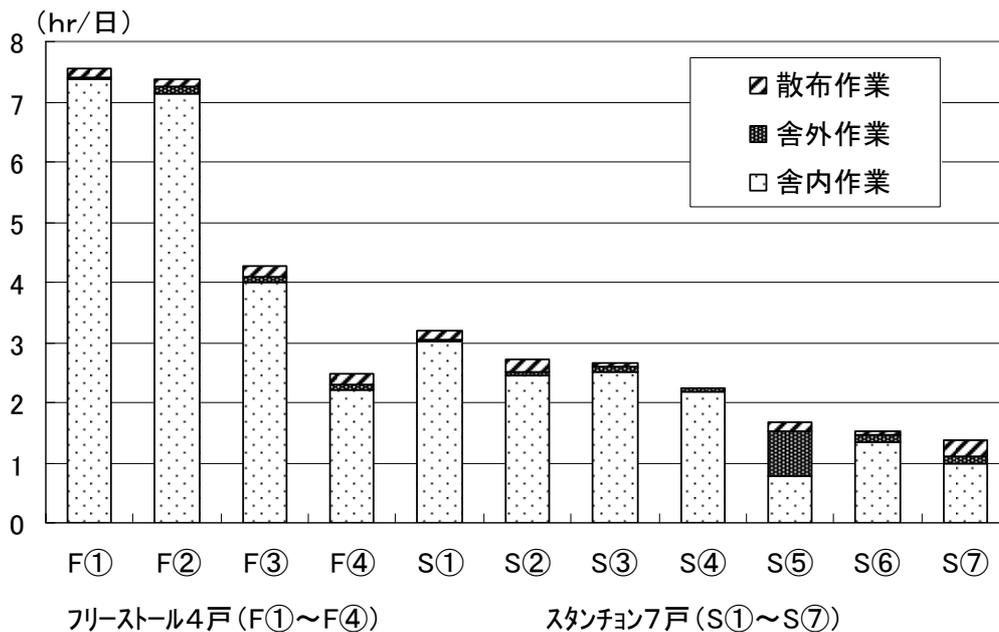


図5 1日当たりふん尿処理延べ作業時間 (別海・各農家別)

これを農家別にみると、スタンシ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。スタンシ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、スタンション農家は273万円になり、総額ではフリーストール農家はスタンション農家の約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頭あたり減価償却費はスタンション農家の約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ション農家の約1.9倍かかっている。

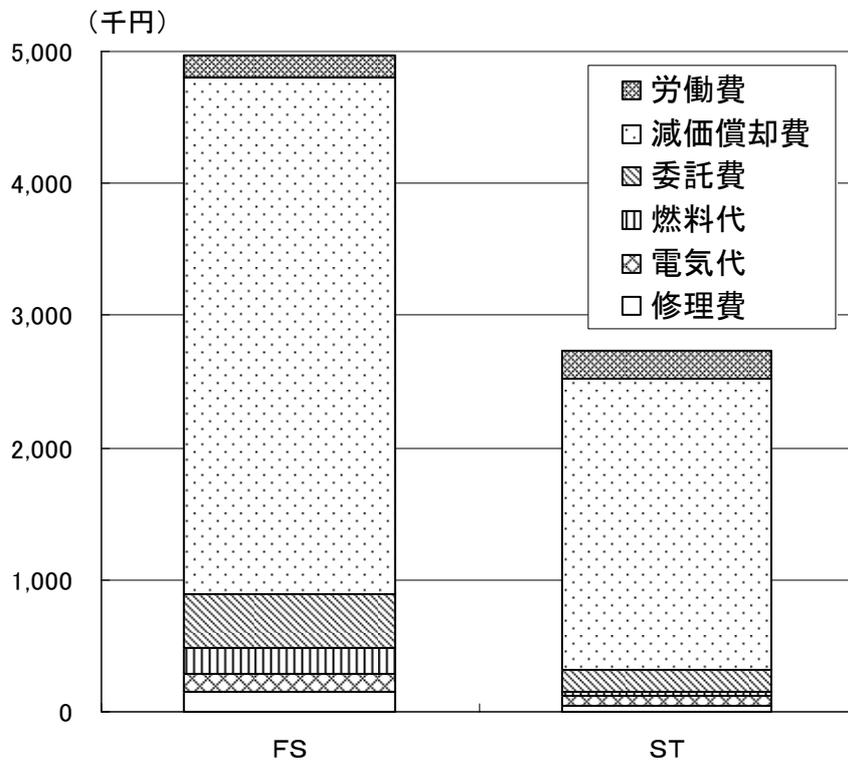


図6 別海プラント利用予定農家のふん尿処理に係る費用(1戸あたり)
(2004年パリティ換算値)

注) FS: フリーストール、ST: スタンション

(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ション農家の約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シ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ション農家の約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、一方のスタンシ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、マニユアスプレッダ、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、スタンション農家で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、スタンション農家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、スタンション農家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、スタンション農家では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シ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	スタンション平均	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

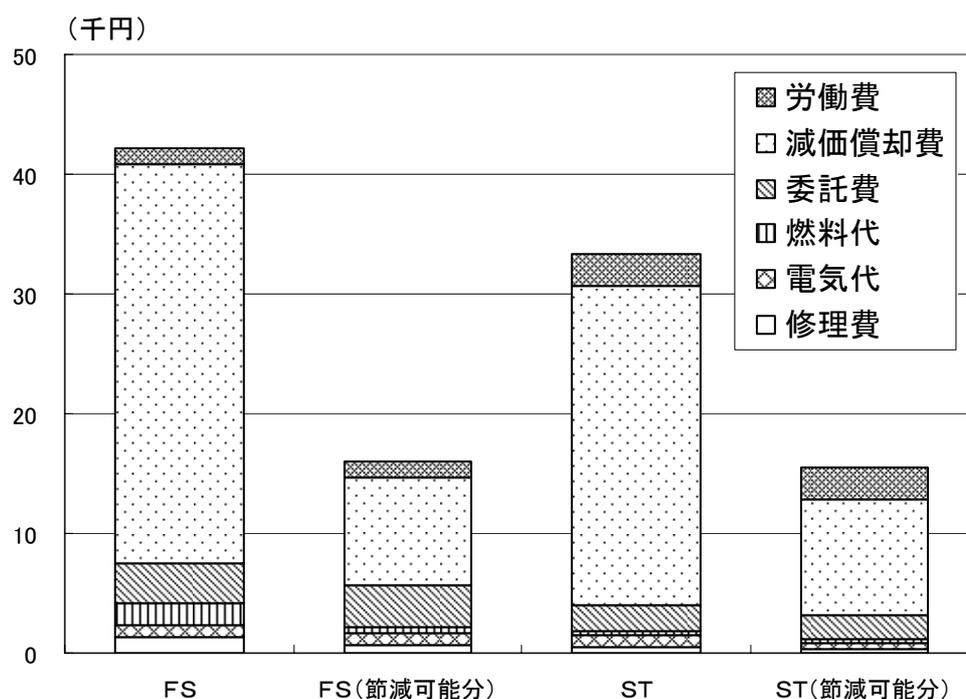


図7 別海プラント利用予定農家のふん尿処理に係る節減額（1頭あたり）
（2004年パリティ換算値）

注）FS：フリーストール、ST：スタンション

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働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	スタンション牛舎
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
デントコーン(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(m ²)	811.2
尿溜・ラグーン総容量(m ³)	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(m ²)	16.6
経産牛1頭当たり尿溜・ラグーン総容量(m ³)	6.0
畜舎～プラント間の距離(片道km)	3.2

注)「尿溜・ラグーン総容量」には、素堀ラグーン等を含む。

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、牛舎型式はスタンション畜舎のみで、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 km で、農家から最も遠い圃場までは 7 km 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
スタンション5戸	5.6	6.3 ha	1.5 km/1.9 km	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、別海のスタンシ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）。

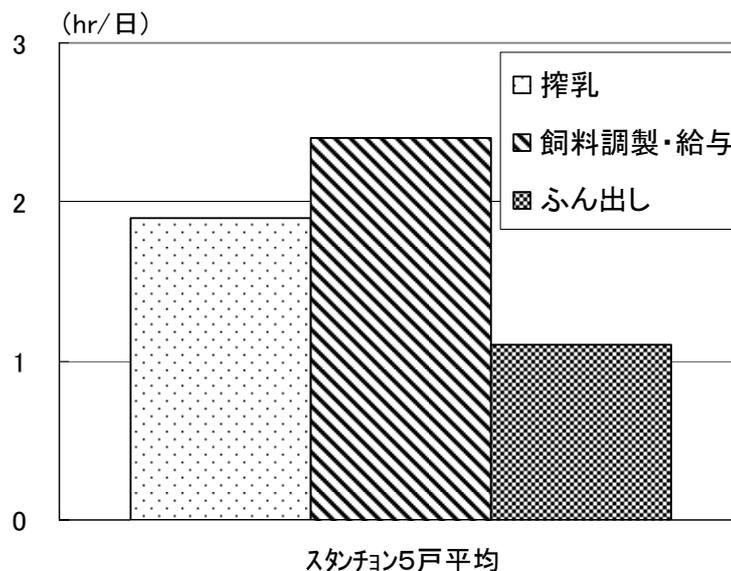


図 8 1日当たり飼養管理における実作業時間（湧別）

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ション農家より、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）。

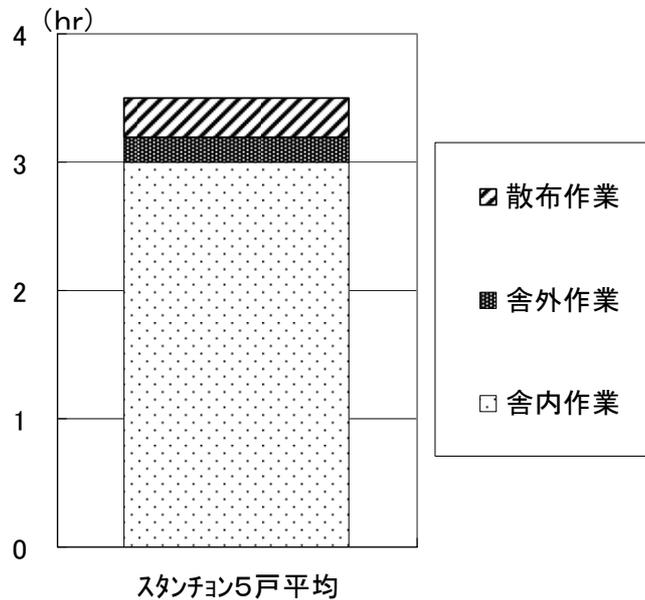


図9 1日当たりふん尿処理延べ作業時間（湧別）

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。

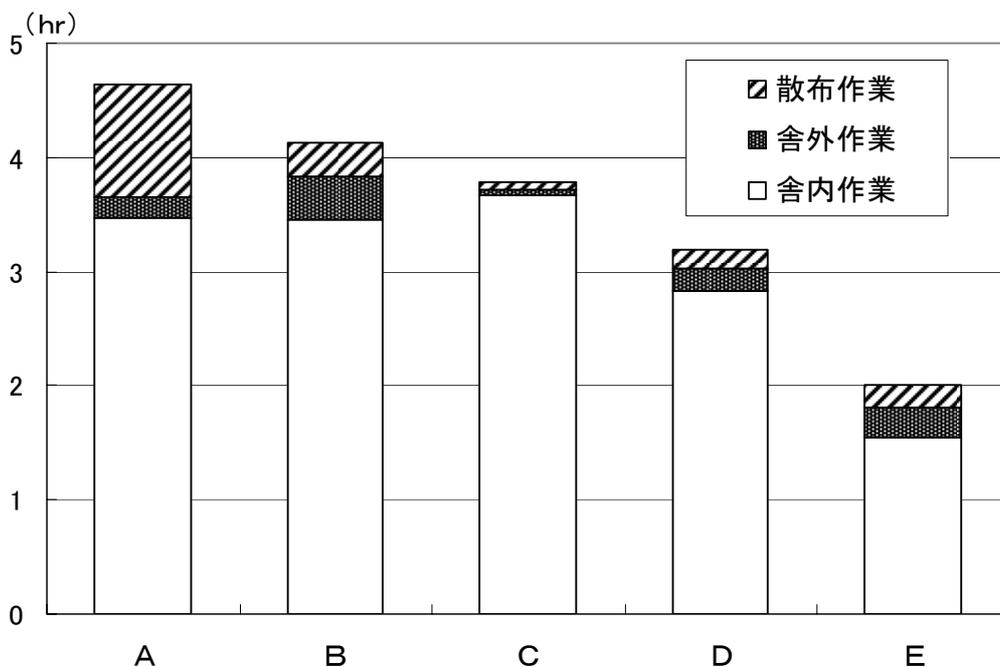


図10 1日当たりふん尿処理延べ作業時間（湧別・各農家別）

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、別海のスタンシ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ション農家5戸平均では総額306万円になり、別海のスタンション農家平均の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シ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。

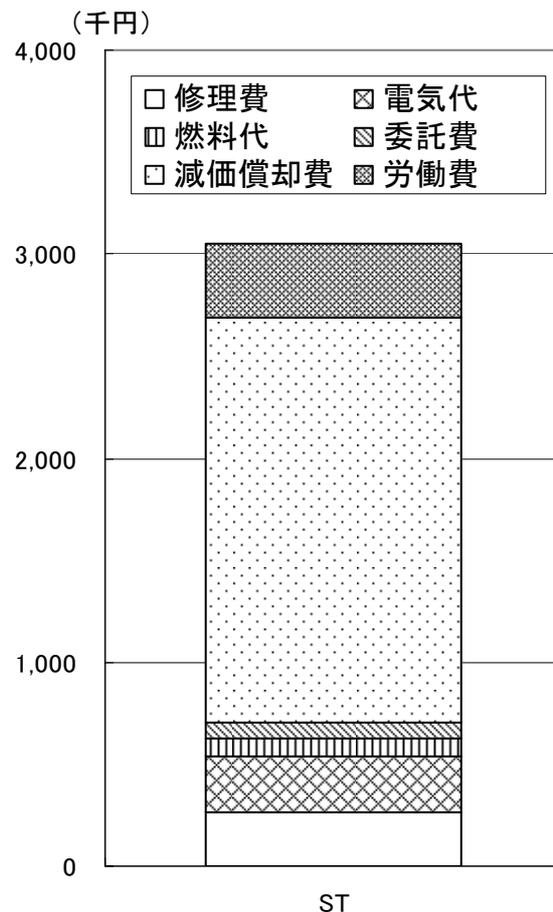


図11 湧別プラント利用予定農家のふん尿処理に係る費用(1戸あたり)
(2004年パリティ換算値)
注) ST: スタンション

(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。湧別スタンション農家が、別海スタンシ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、別海のスタンシ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		スタンション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

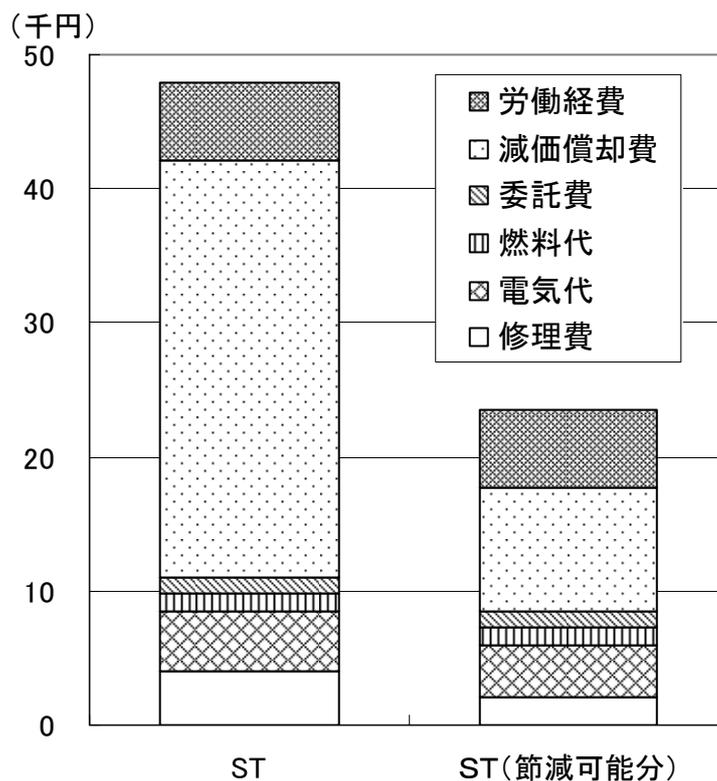


図 1 2 湧別プラント利用予定農家のふん尿処理に係る節減額(1頭あたり)
 (2004年パリティ換算値)
 注) ST: スタンション

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。

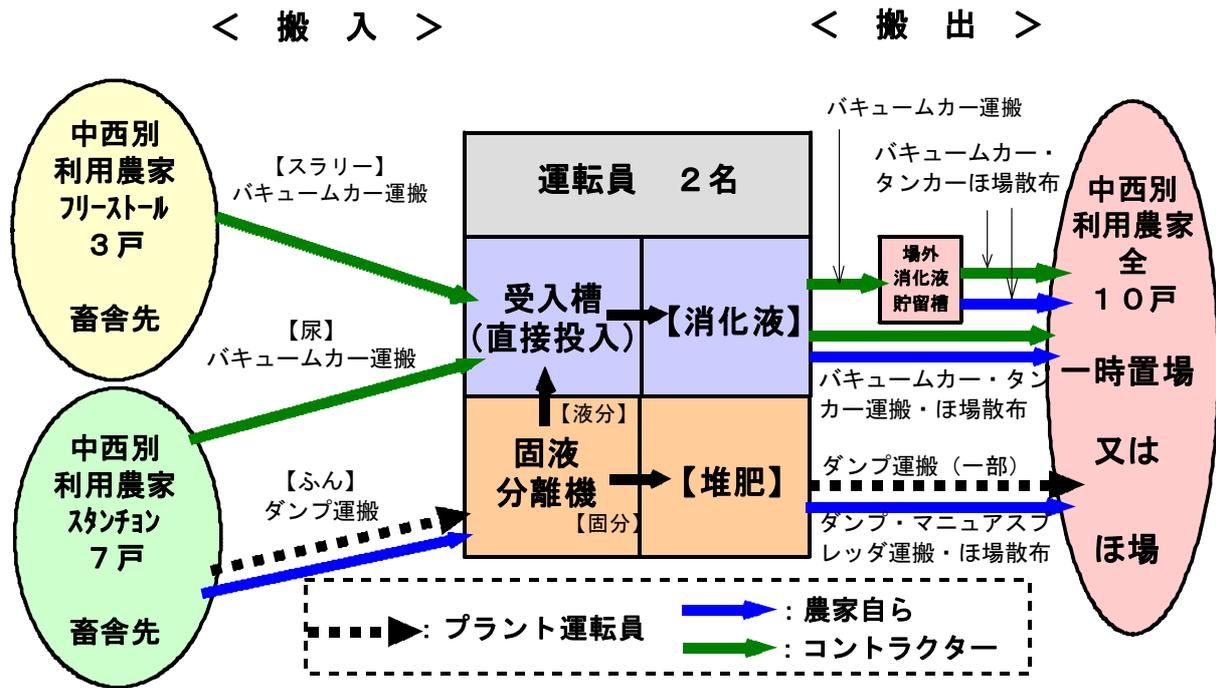


図13 別海プラントの搬出入体制（2001～2002年度時点）
注）利用農家10戸から排出されるふん尿全量に対するプラント処理量の割合は、平成14年度で約7割だった。

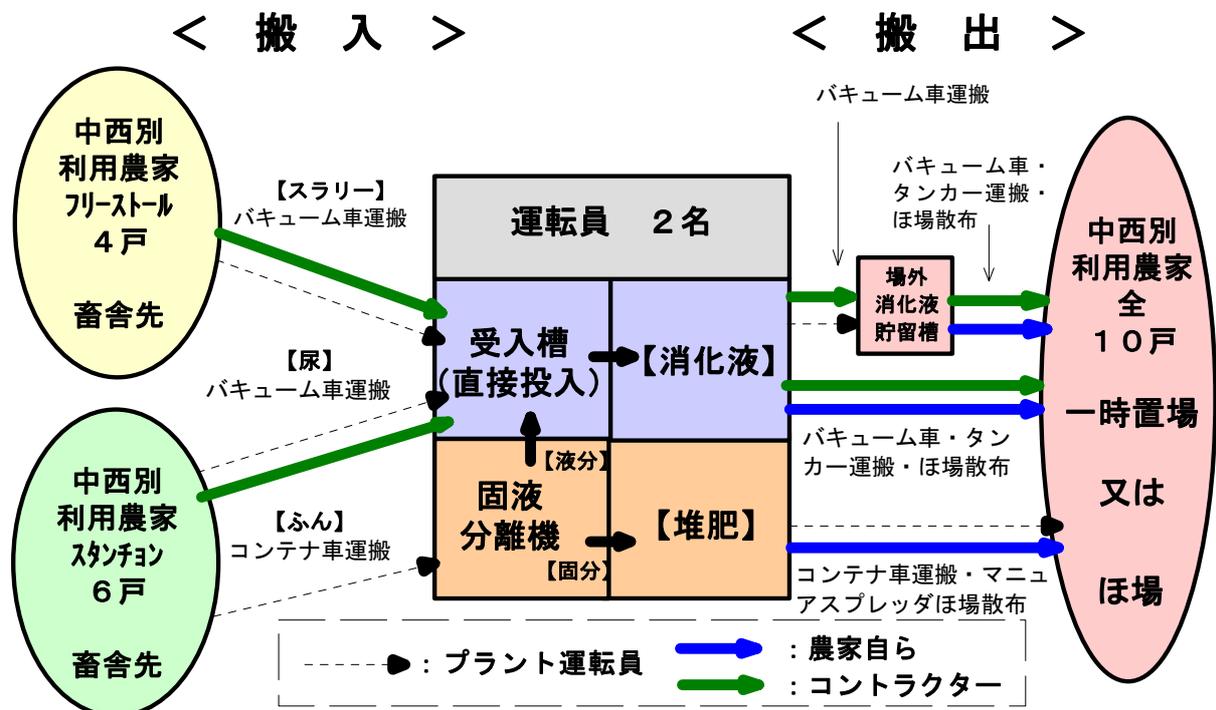


図14 別海プラントの搬出入体制（2003～2004年度現在）
注）利用農家10戸から排出されるふん尿全量に対するプラント処理量の割合は、平成16年度現在約9割で、利用農家の都合で搬入しなかった分と作業能力および作業時間を考慮すると全量进行处理する体制は整備されたと考えられる。

(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。

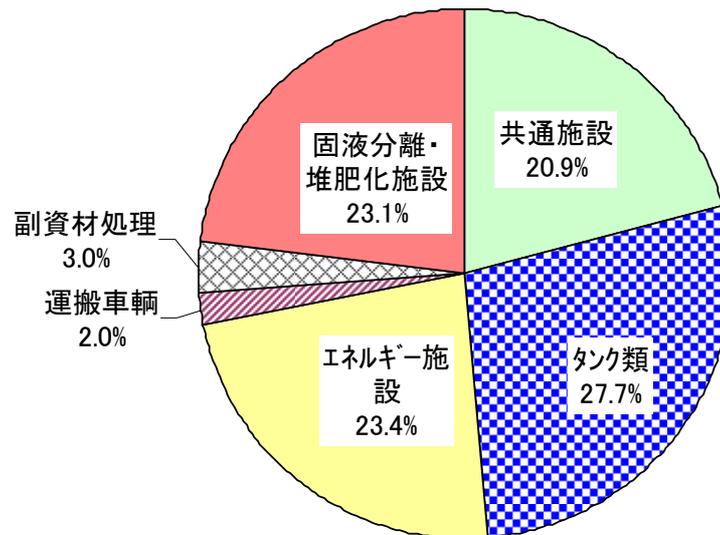


図15 別海プラント実用運転施設部分の建設費内訳 (2004年度現在)

注) 共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等

タンク類：発酵槽、ガスホルダー、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器

エネルギー施設：発電機、ボイラー、ポンプ、熱交換機、等

運搬車両：コンテナ車及びバキュームタンク

副資材処理：残滓破碎機及び残滓タンク

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、ガスホルダー、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器)、『エネルギー施設』(発電機、ボイラー、ポンプ、熱交換機、等)、『運搬車両』(コンテナ車及びバキュームタンク)、『副資材処理』(残滓破碎機及び残滓タンク)、『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』、『エネルギー施設』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。

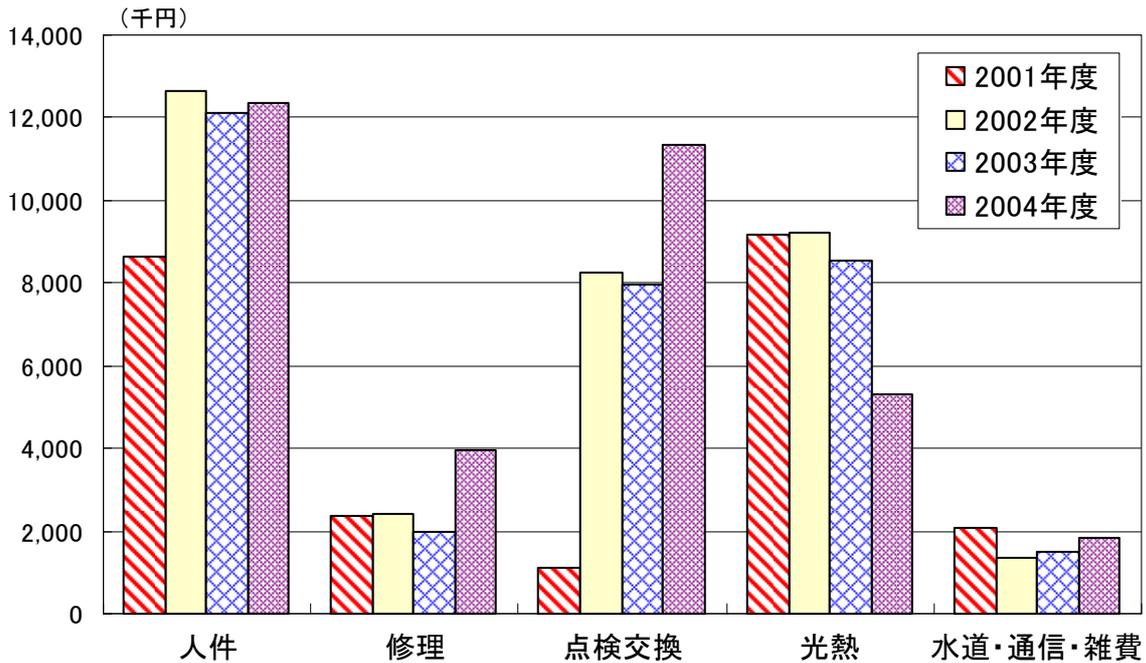


図16 別海プラントの運営費

(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、運搬車両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。

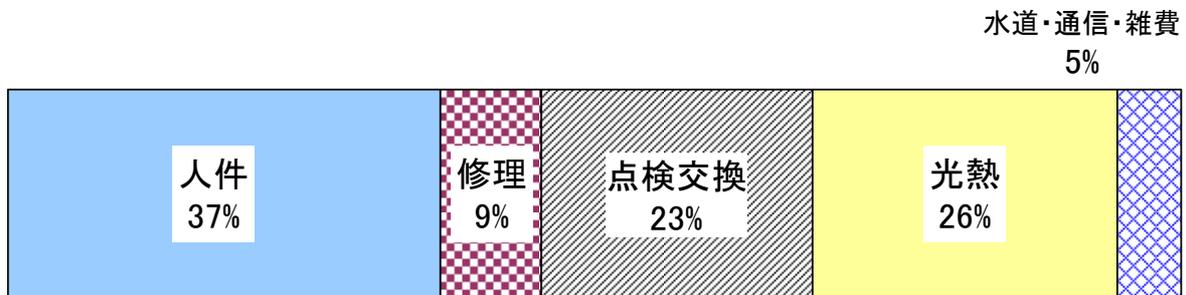


図17 別海プラントの運営費の内訳

(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・尿污水）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・尿污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)。

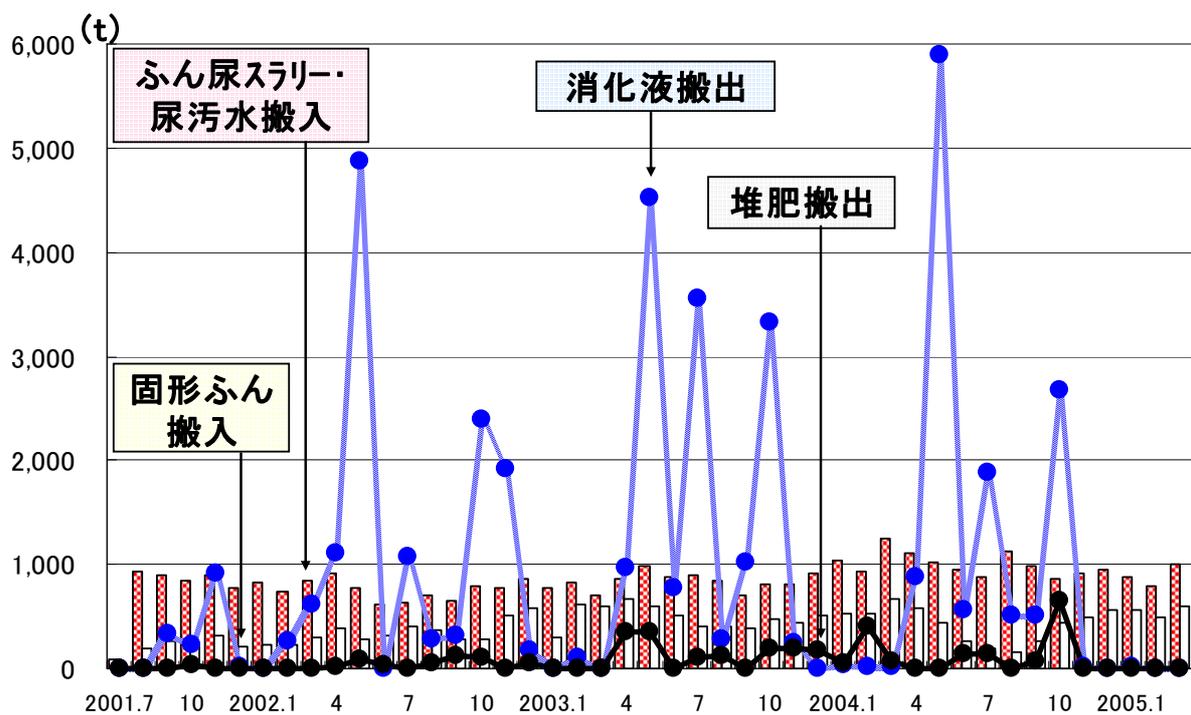


図18 別海プラントの搬出入状況（2001年7月～2005年3月）

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)

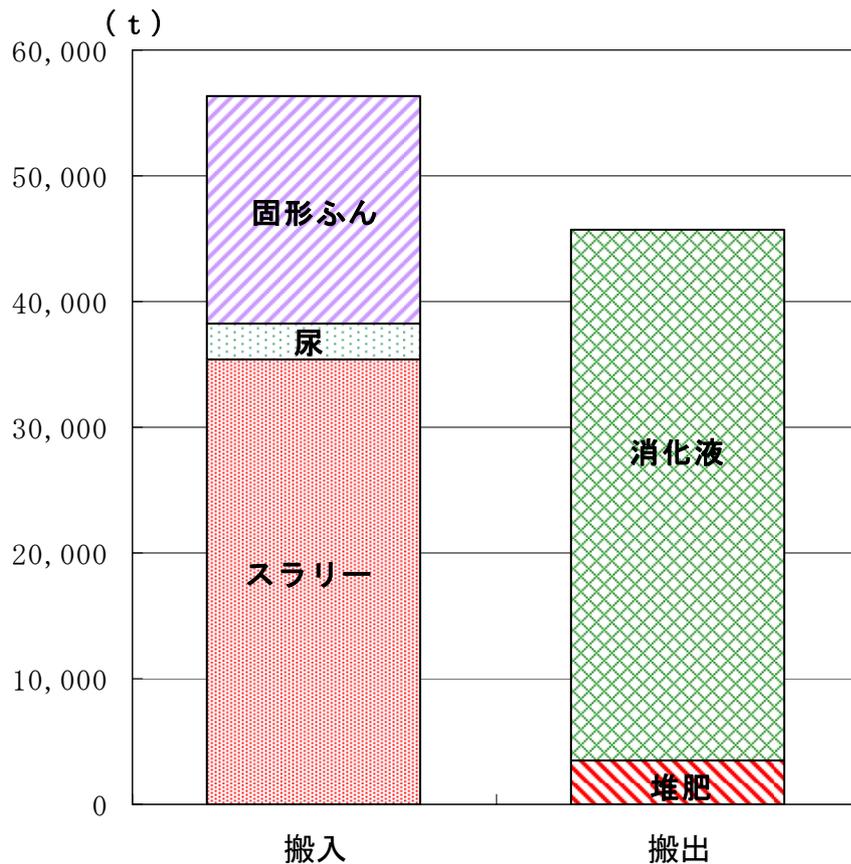


図 19 別海プラントの搬出入量（累計・2001年7月～2005年3月）

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）

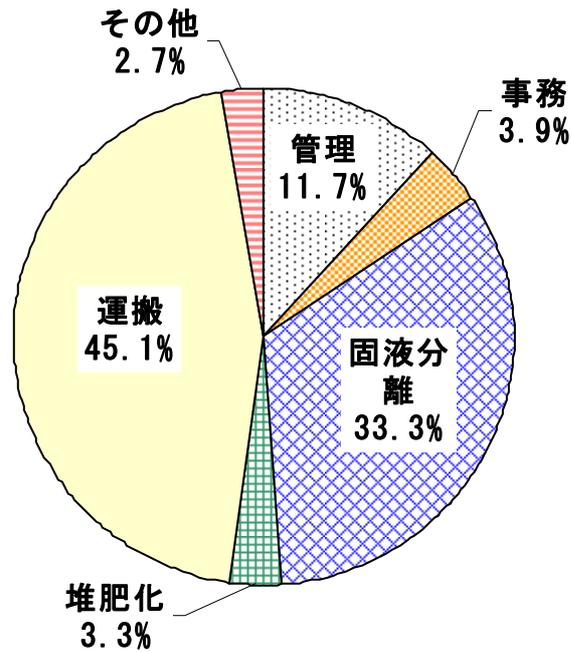


図20 別海プラント運転員2名の作業時間の割合
(2004年度・1週間の実作業時間より整理)

- 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 (㍻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

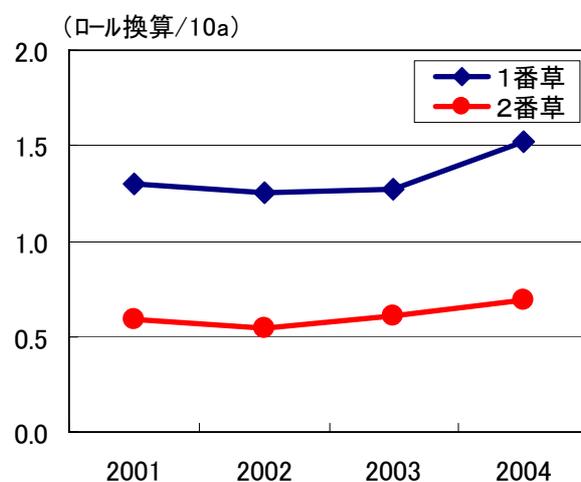


図 2 1 別海プラント利用農家 10 戸の平均反収

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 2 2)、延べ施肥面積 (図 2 3) および反当施肥量 (図 2 4) 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。

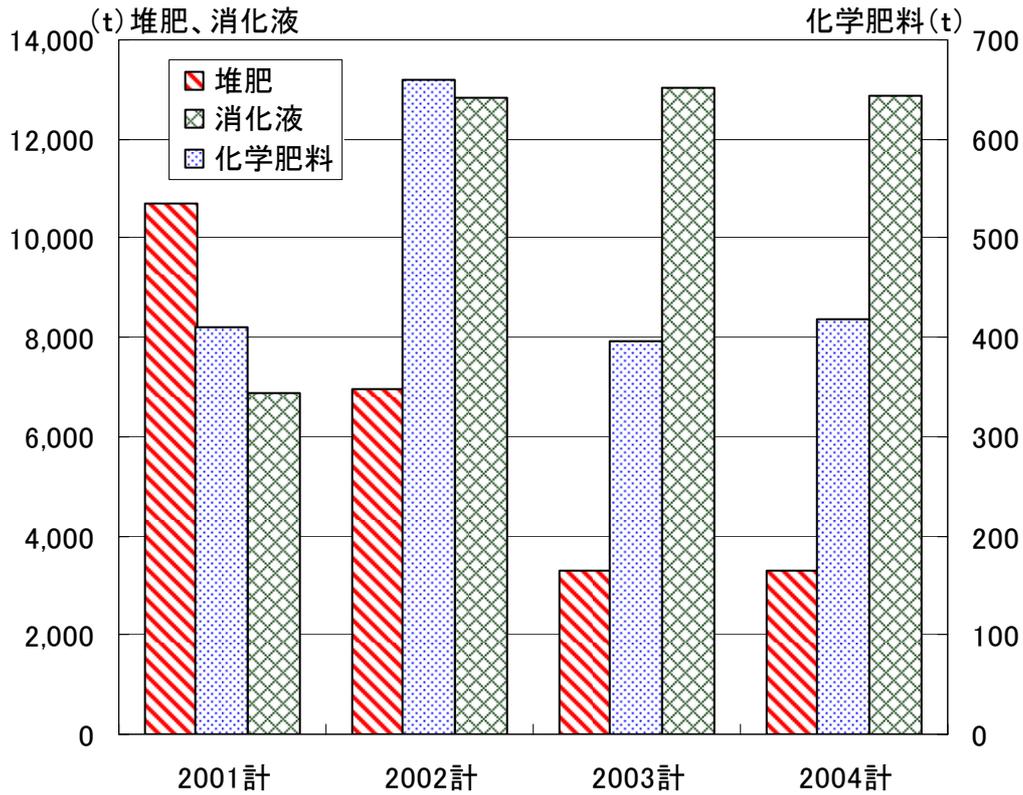


図 2 2 別海プラント利用農家の肥料種類別施肥量
 注) 2001 年の液肥はスラリー・尿、2002 年以降の液肥は消化液。以下も同じ。

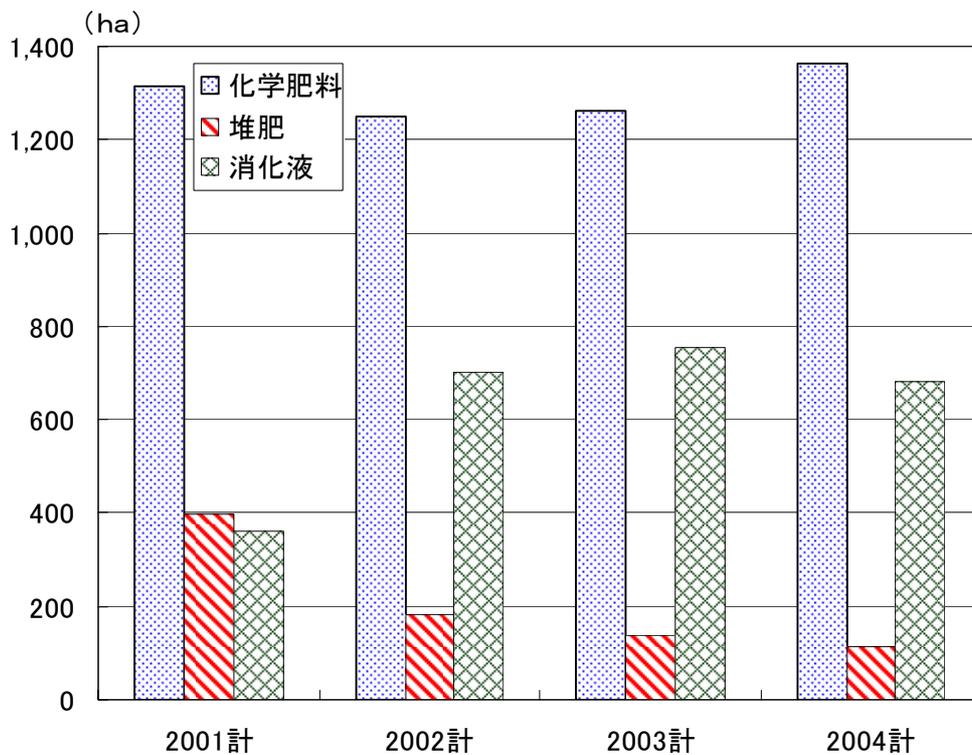


図 2 3 別海プラント利用農家の肥料種類別延べ施肥面積

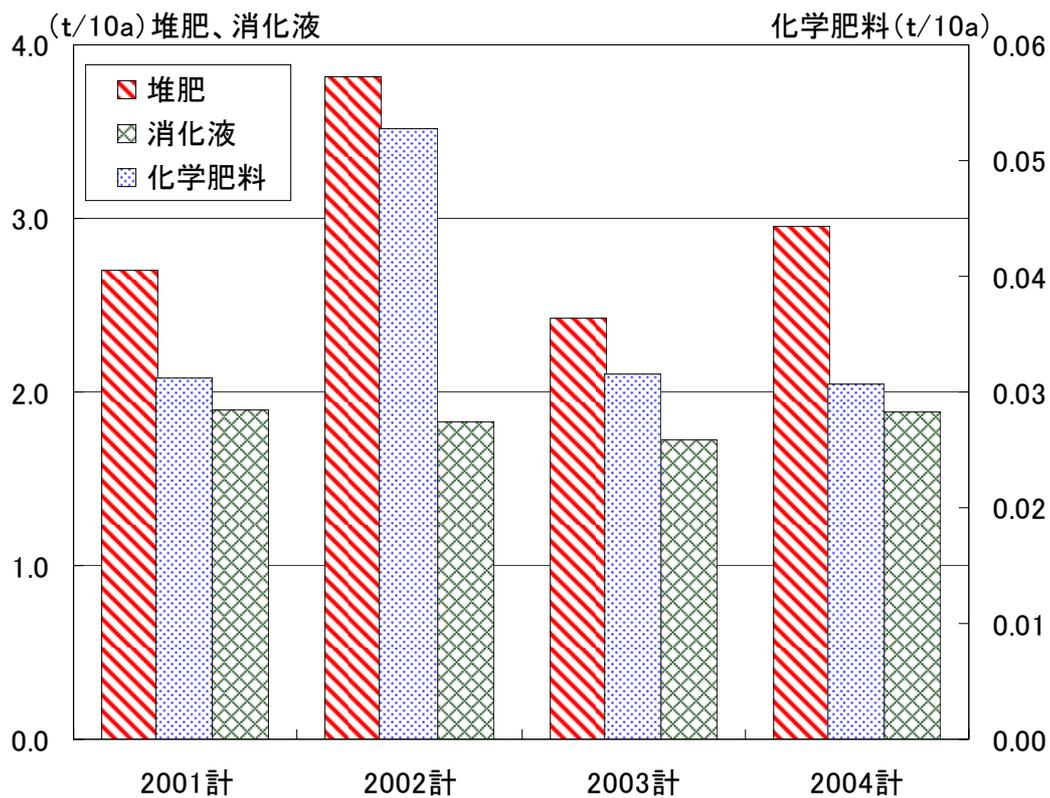


図 2 4 別海プラント利用農家の肥料種類別反当施肥量

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ションにおいていくらかみられた。(図 2 5)

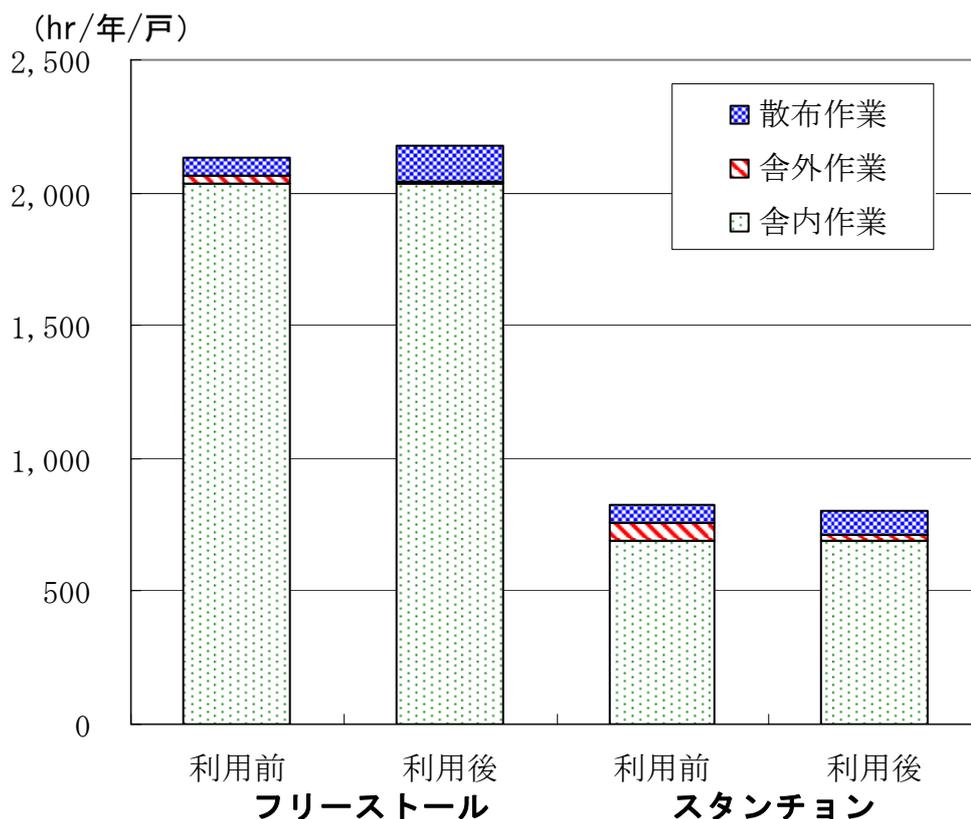


図 25 別海プラント利用農家 1 戸当たりのふん尿処理作業時間
 注) 別海プラント利用農家 10 戸の作業日誌及び聞き取り調査をもとに作成。

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ー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。

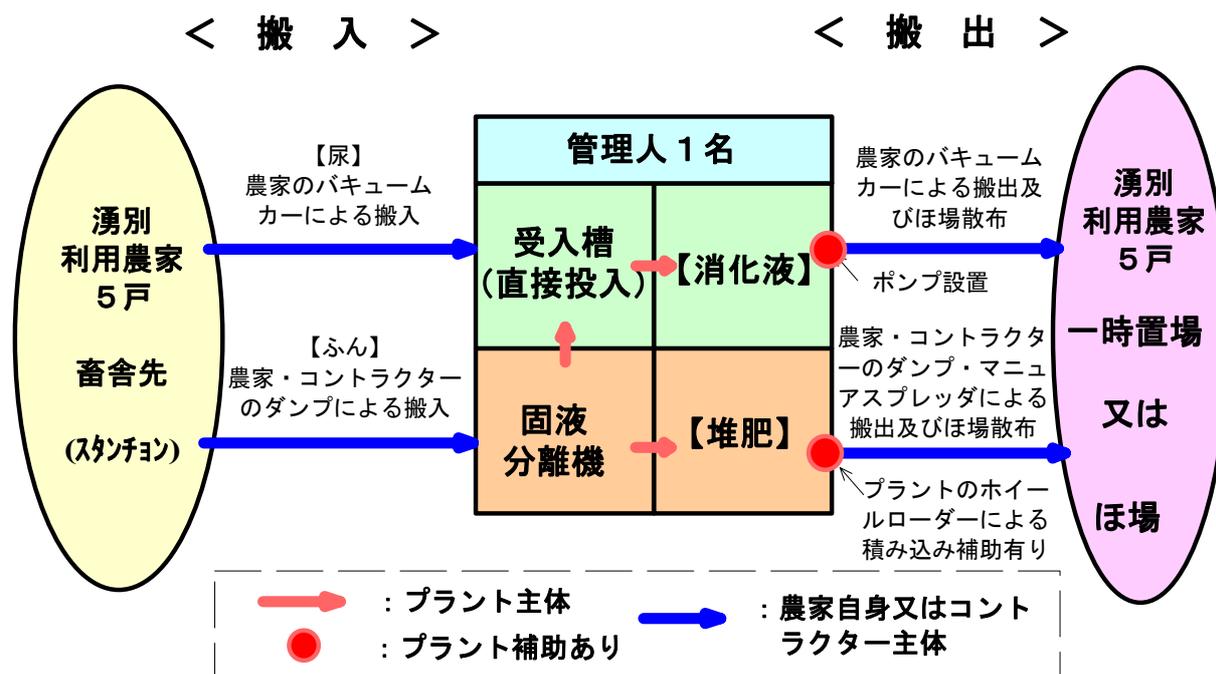


図26 湧別プラントの搬出入体制（2001～2004年度）

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 コントラクターによる搬出入量（2001.4～2004.12）

区分	固形ふん（t）	尿（t）	堆肥（t）	消化液（t）
コントラクター	5,752	—	1,602	—
自前	3,024	1,755	951	7,052
コントラクター/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ー利用実績（表9）をみると、主に16m³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/m³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。

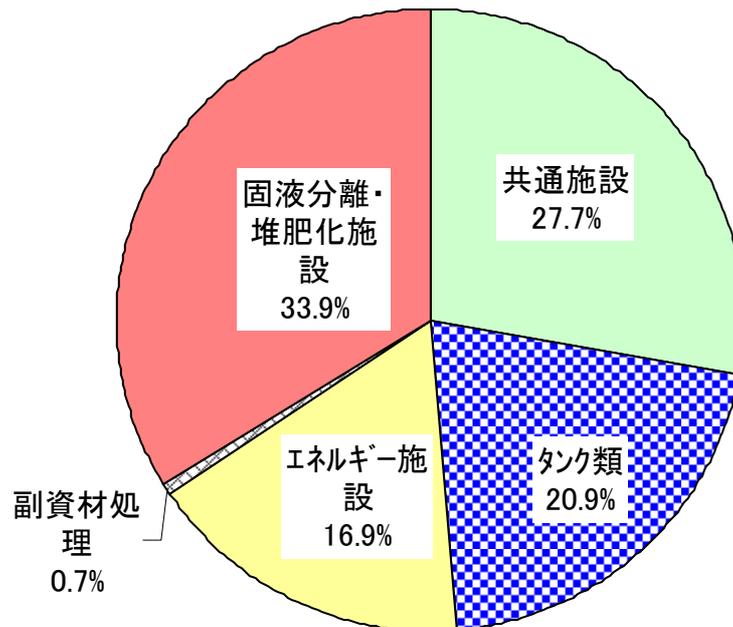


図27 湧別プラント実用運転施設部分の建設費内訳（2004年度整理）

注）共通施設：受入棟、系統設備、計器類、等

タンク類：発酵槽、ガスホルダー、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器

エネルギー施設：発電機、ボイラー、ポンプ、熱交換機、等

副資材処理：残滓破碎機

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、ガスホルダー、殺菌槽、消化液貯留槽、付属機器）、『エネルギー施設』（発電機、ボイラー、ポンプ、熱交換機、等）、『副資材処理』（残滓破碎機）、『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営実績から、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。

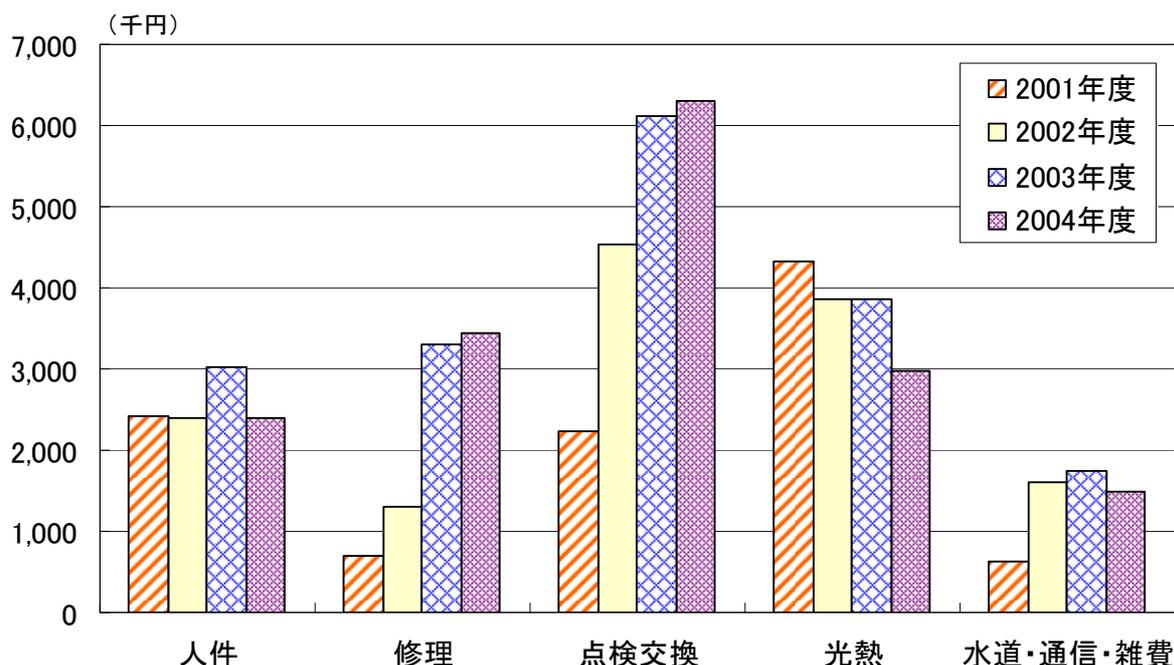


図 2 8 湧別プラントの運営費 (項目別・2001～2004年度)

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 2 8 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はほぼ一定である。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 カ年では一定の傾向にある。

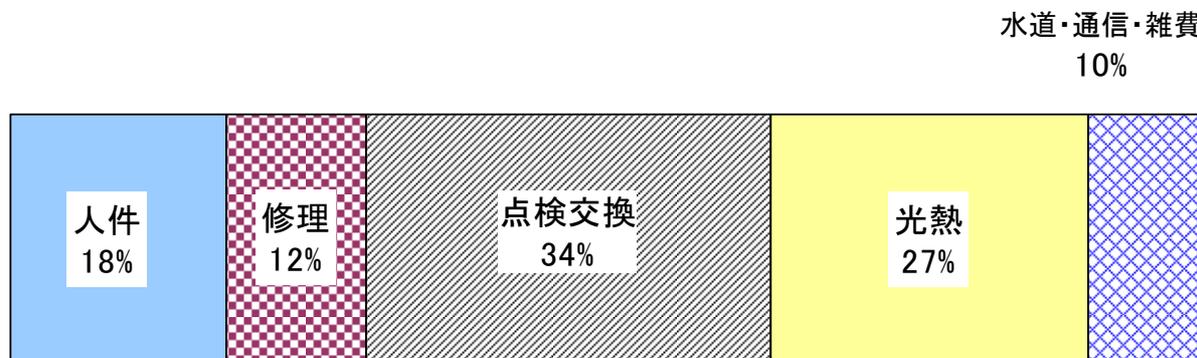


図 2 9 湧別プラントの運営費の内訳 (累計・2001～2004 年度)

湧別プラントの運営費の内訳を、この4カ年の運営費実績の累計で見ると、「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）

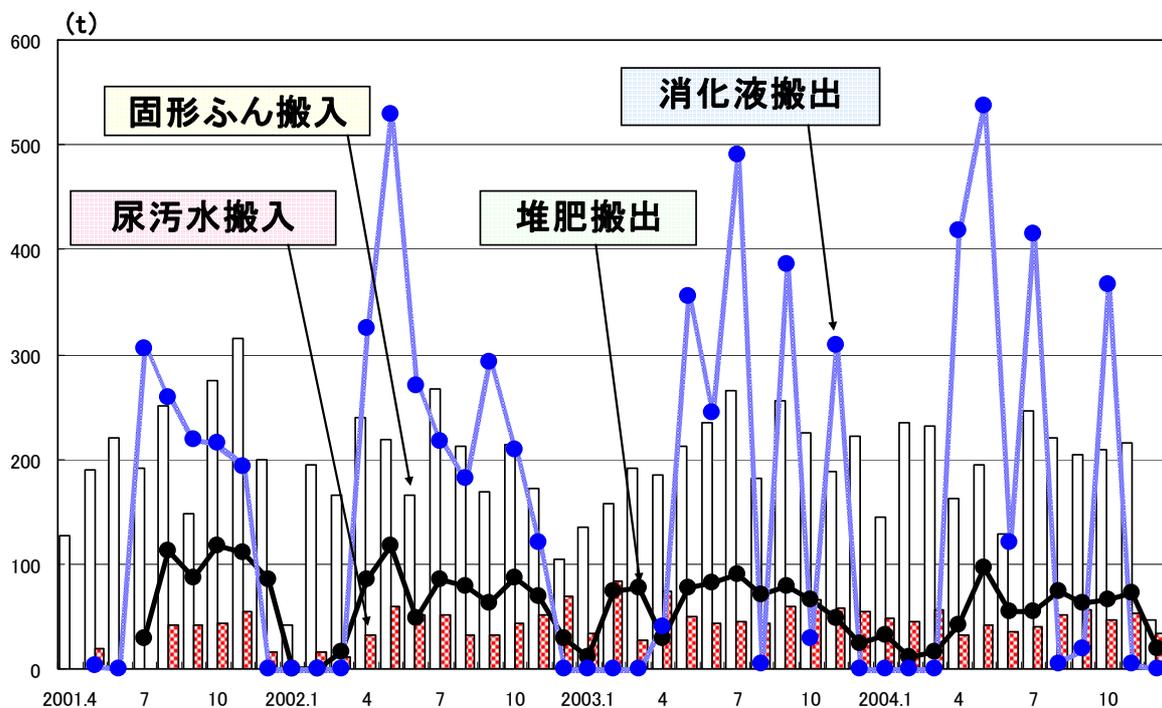


図30 月別搬出入量の推移（2001.4～2004.12）

注）湧別プラントの作業日誌をもとに作成。尿・消化液は1m³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、全戸ともスタンシ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（1,100m³）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。

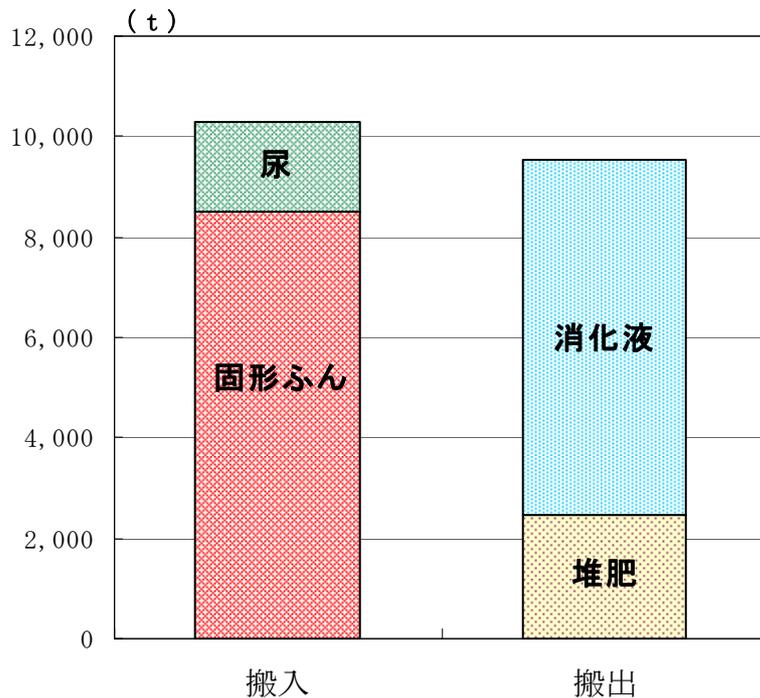


図 3 1 湧別プラントの搬出入量（累計・2001 年 4 月～2004 年 12 月）
注）湧別プラントの作業日誌をもとに作成。

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ション飼養では大量の敷料使用が一般的であり、このよう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 3 2）

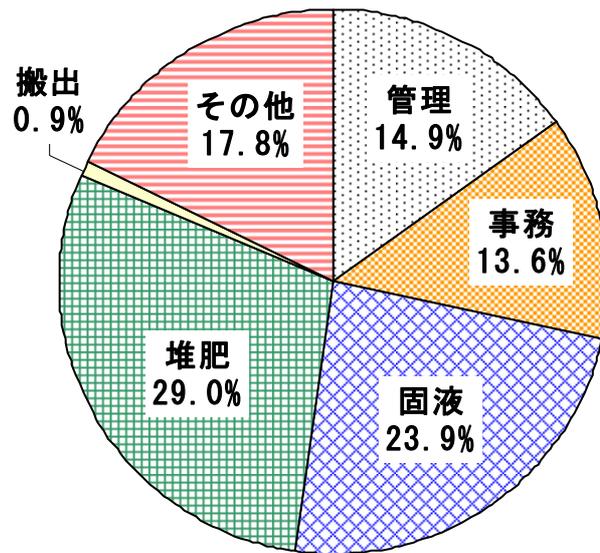


図 3 2 湧別プラント運転員 1 名の作業時間の割合 (2004 年度)

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 3 3)。

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 ヶ年に渡り牧草が約 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。

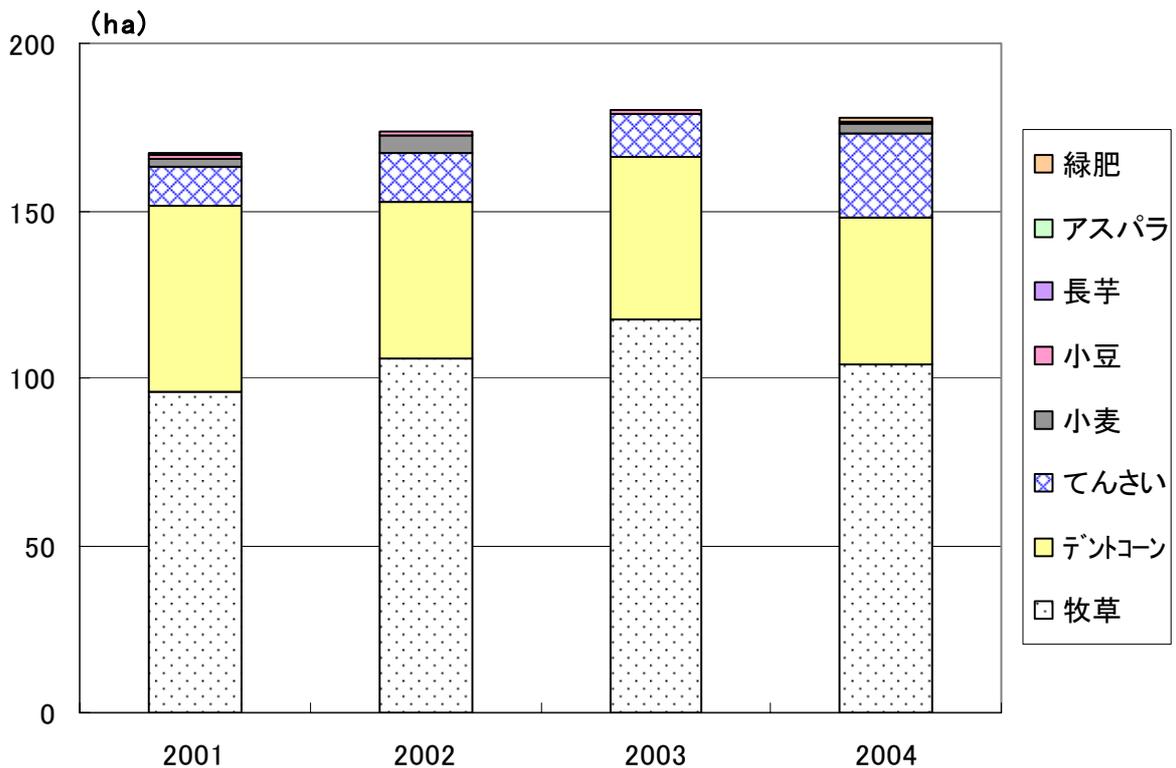


図 3 3 湧別プラント利用農家 5 戸の年次別・作物別作付面積
注) 湧別プラント利用農家聞き取り調査より

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 3 4)。

表 1 0 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 (ρ - ρ 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

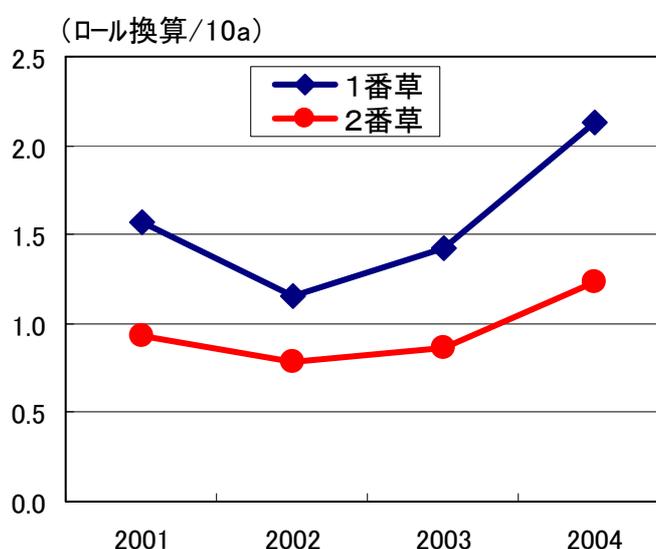


図 3 4 湧別プラント利用農家 5 戸の平均反収

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 3 5)、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 3 6、3 7)、延べ施肥面積 (図 3 8、3 9) 及び反当施肥量 (図 4 0、4 1) 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。

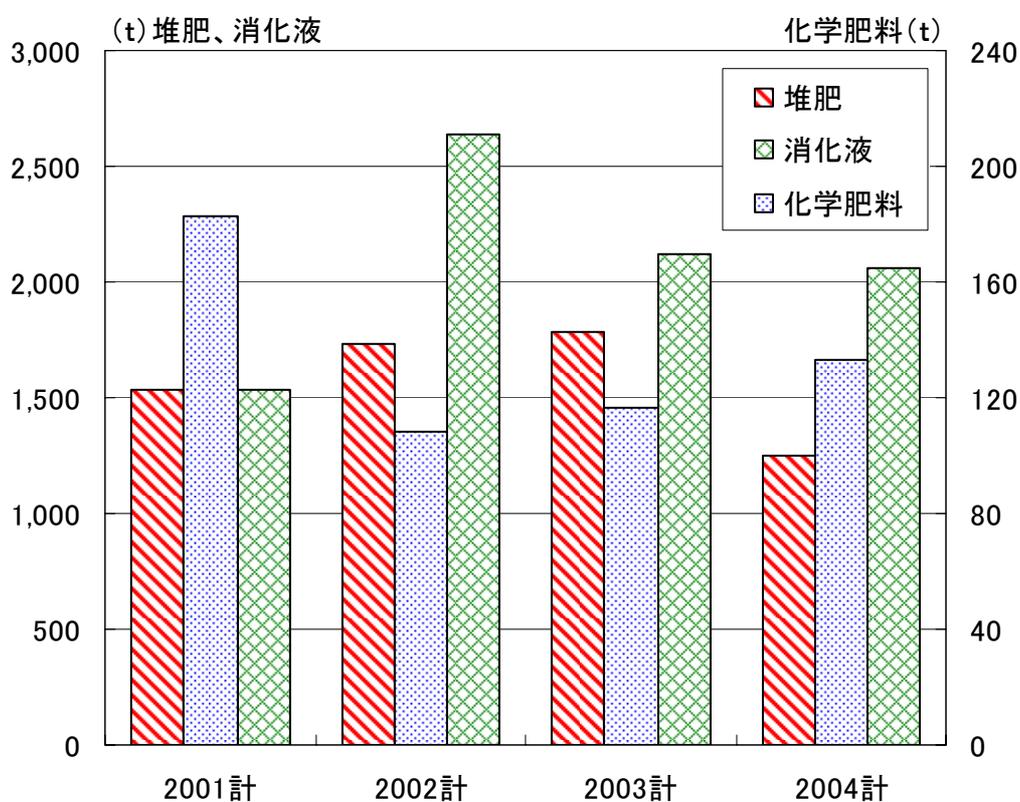


図 3 5 湧別プラント利用農家の肥料種類別施肥量

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)

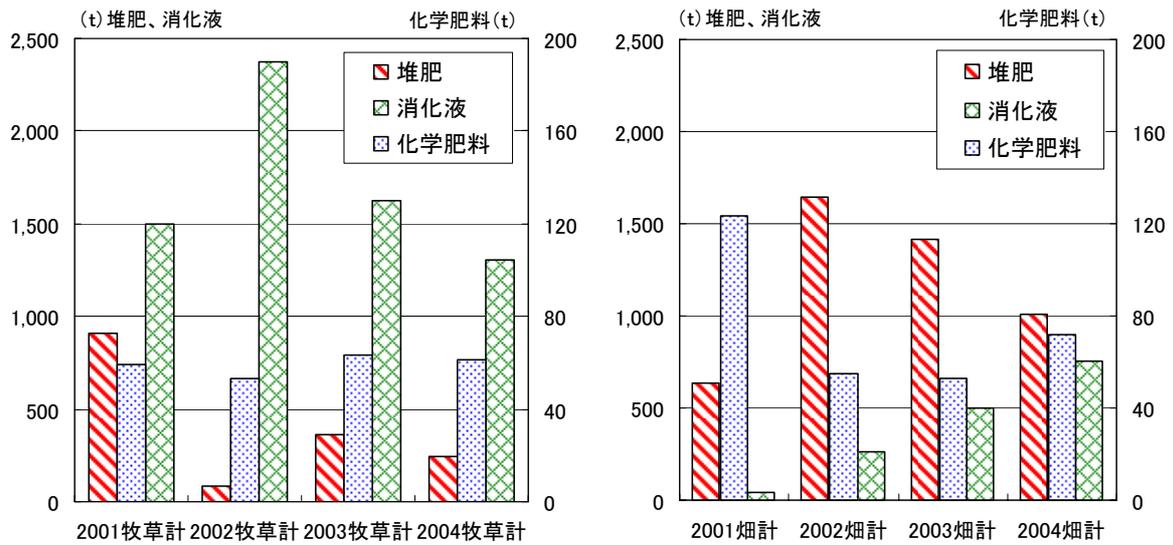


図 3 6 , 3 7 湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別施肥量

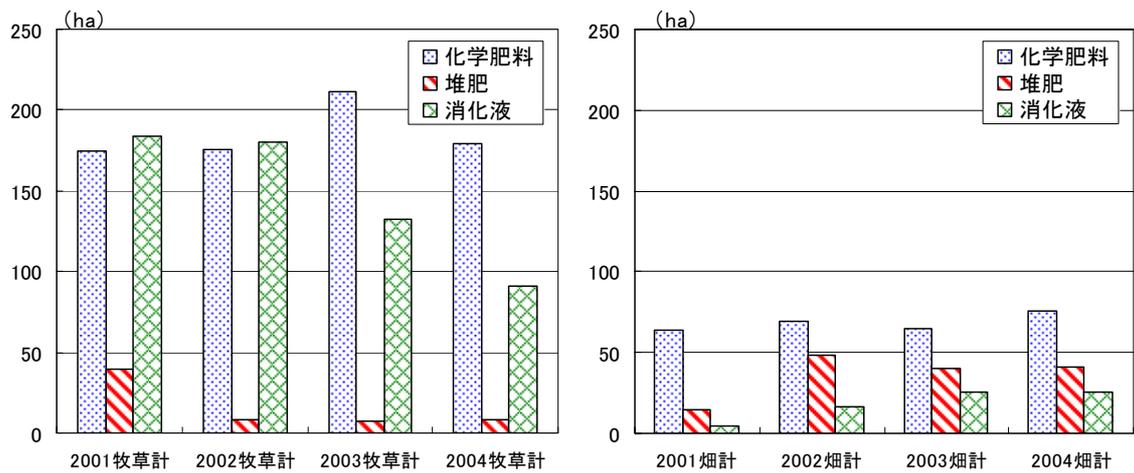


図 3 8 , 3 9 湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別延べ施肥面積

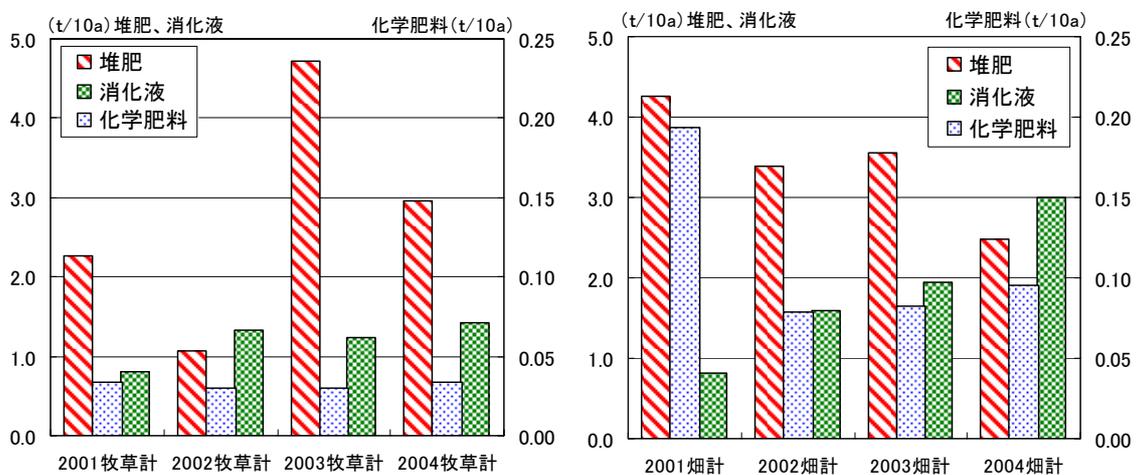


図 4 0 , 4 1 湧別プラント利用農家の牧草地及び普通畑での肥料種類別相当施肥量

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4-2）。

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。

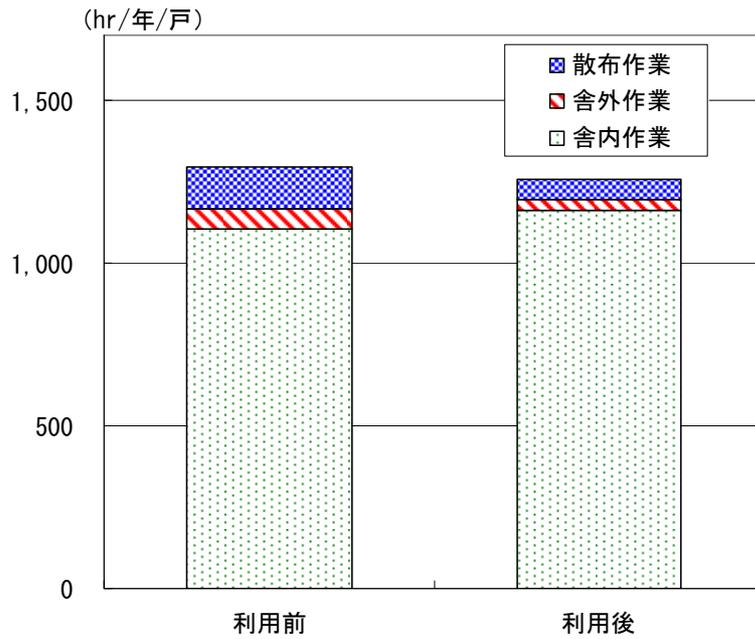


図4-2 湧別プラント利用農家1戸当たりのふん尿処理作業時間
注) 湧別プラント利用農家5戸の聞き取り調査をもとに作成。

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』・『エネルギー施設』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『運搬車輛』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』(利用農家を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)

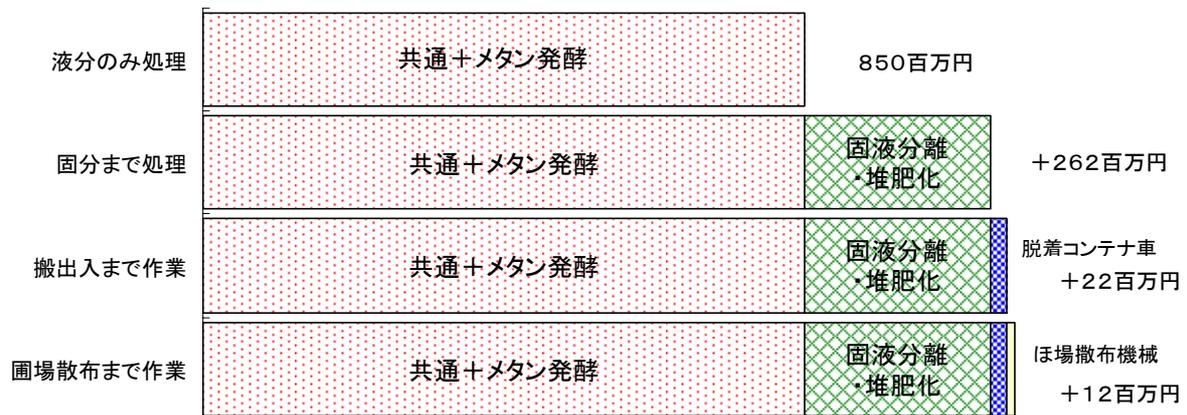


図43 別海プラント実用運転施設の建設費用(1,000頭規模の場合)

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4-3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4-4）

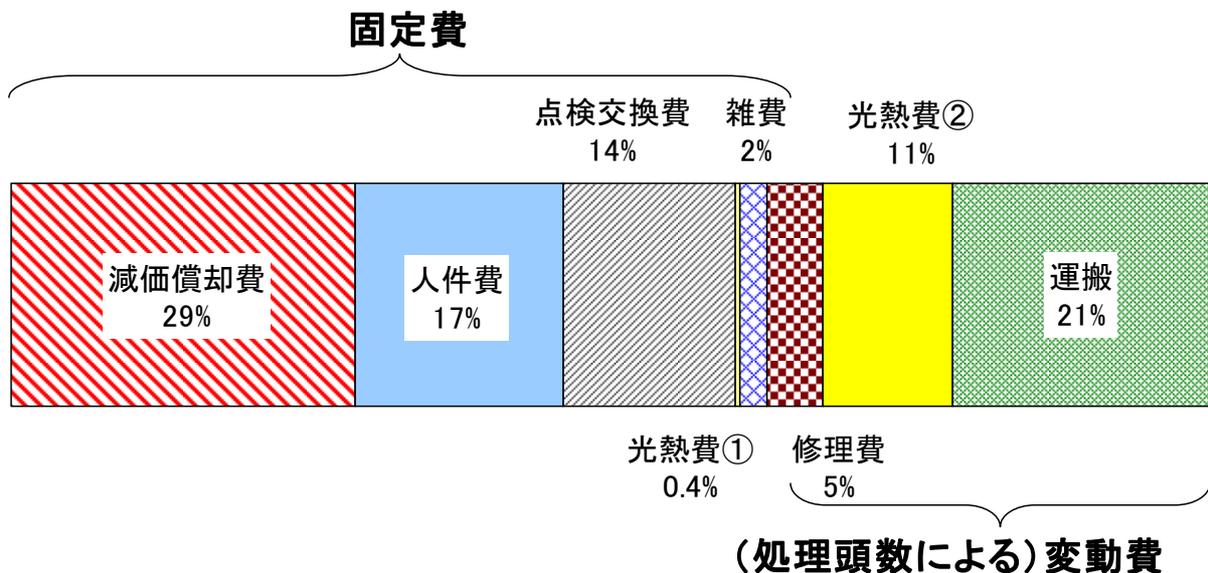


図4-4 別海型バイオガスシステムの年間経費（47百万円）の構成

（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 4 5）

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）

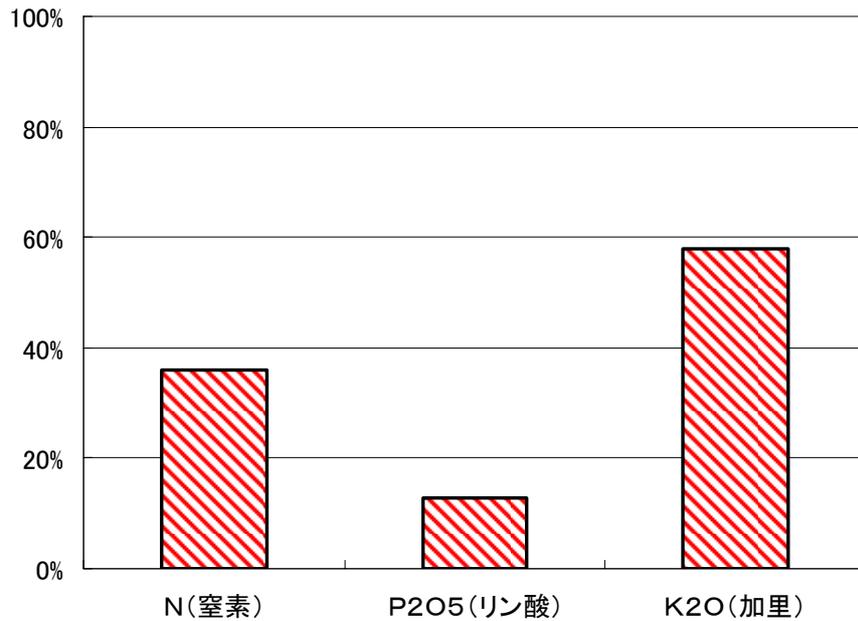


図45 プラント生成物による肥料成分供給率（農地に必要な施肥基準量に占める割合）
 注）牧草の施肥基準量に対して、プラント生成物の堆肥・消化液に含まれる成分で満たすことができる割合について示したものである。なおメタン発酵の際に、バイオガスの発生に伴う消化液の損失割合は、ほぼ無いに等しいと考えることができる。

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繰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、現在の体制では繰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。

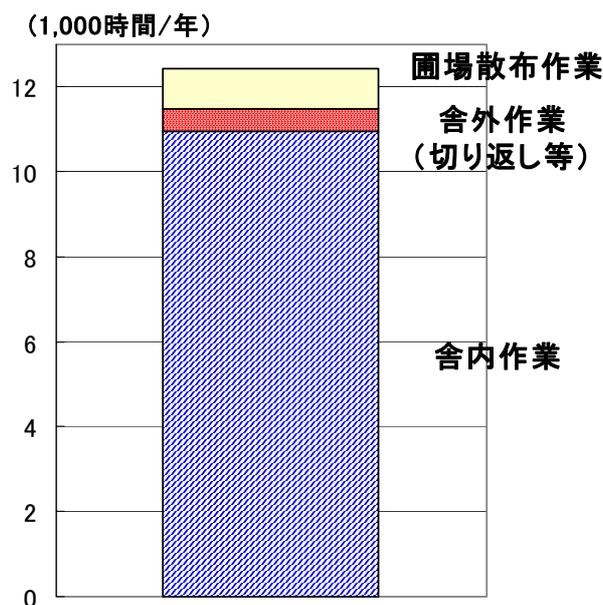


図46 別海プラント利用前におけるふん尿処理作業時間（10戸計）

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、マニユ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 1 1）

表 1 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

（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 4 4 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・マニュアルプレッダ・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)		—	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、固液分離機的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 1 4 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 圃場散布	外部委託 外部委託	プラント 外部委託	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)		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)		—	—	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 2 7 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 4 7)



図 4 7 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 2 7 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 4 8)

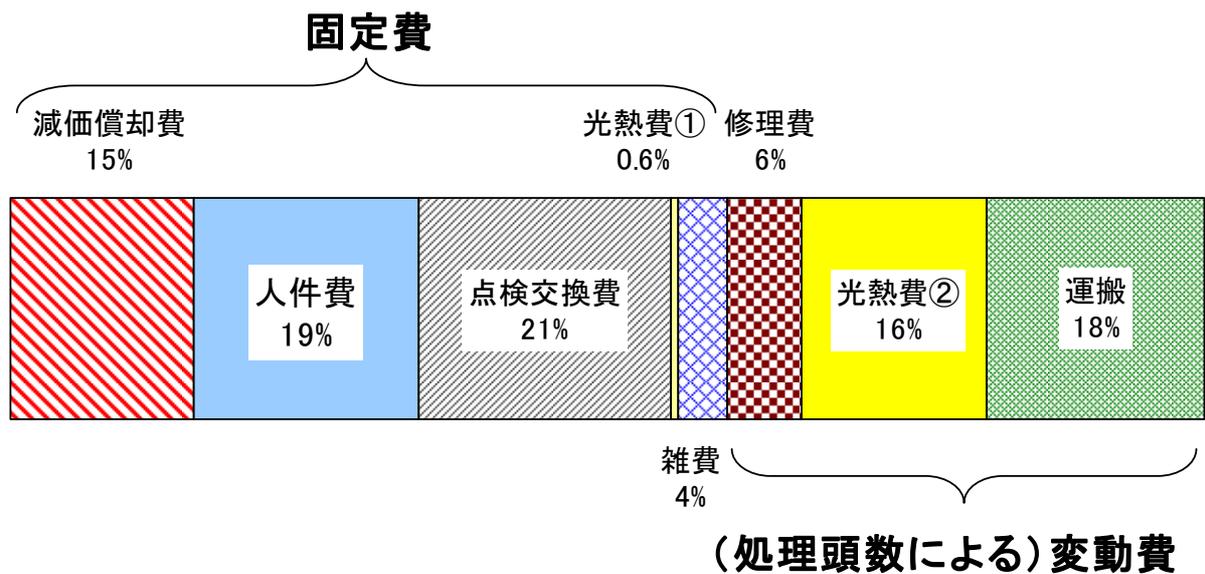


図 4 8 湧別型バイオガスシステムの年間経費の構成（24百万円、200頭規模の場合）
注）図 4 4 に同じ。

（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 1 6 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・マニュアルプレッダ(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 1 7 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的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
	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520m³（260m³×2槽、これら以外に2次発酵槽1,000m³有り）、消化液貯留槽（ポンプによる攪拌と汲み上げ）が6,000m³（3,000m³×2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。

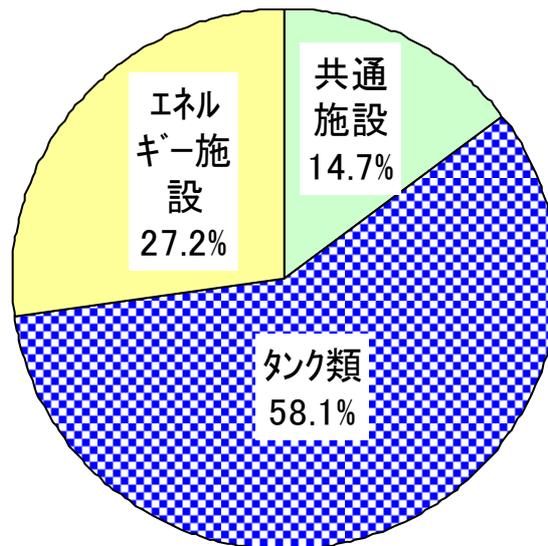


図4-9 中規模個別型バイオガスプラントの建設費内訳
(197百万円、2004年パリティ換算値)

注) 共通施設：建物、関連構築物・機械類

タンク類：発酵槽、ガスホルダー、消化液貯留槽、水中ポンプ

エネルギー施設：発電機、逆流施設、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。

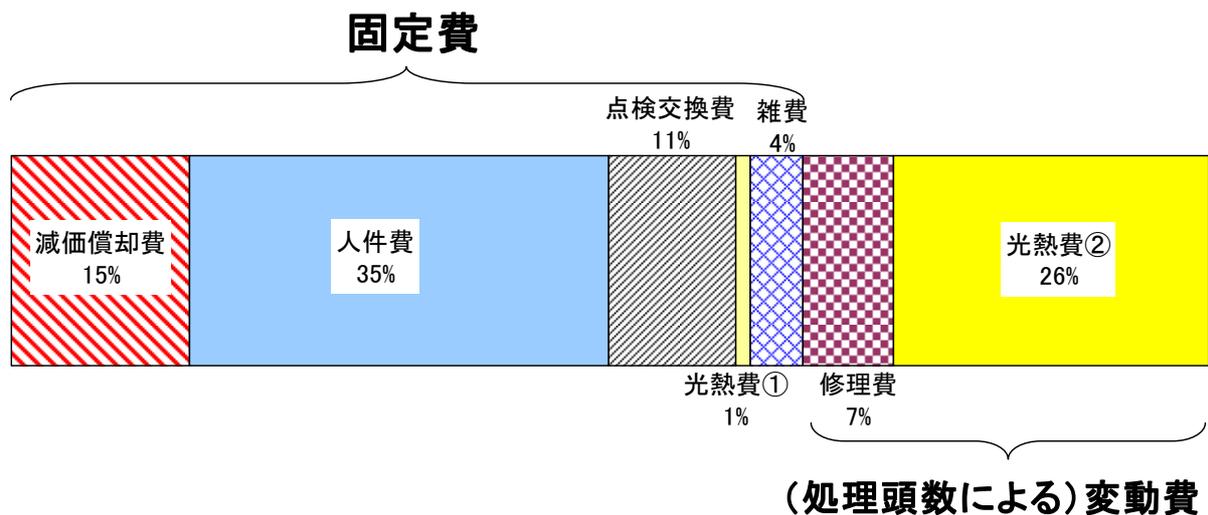


図50 中規模個別型バイオガスシステムの年間経費の構成
(15百万円、500頭規模・経営主体の経営範囲内で全てのシステムを運営する場合)
注) 図Ⅲ-3-2に同じ。

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 260m³（1 槽）、消化液貯留槽（ポンプによる攪拌と汲み上げ）が 2,770m³（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 5 1）。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。

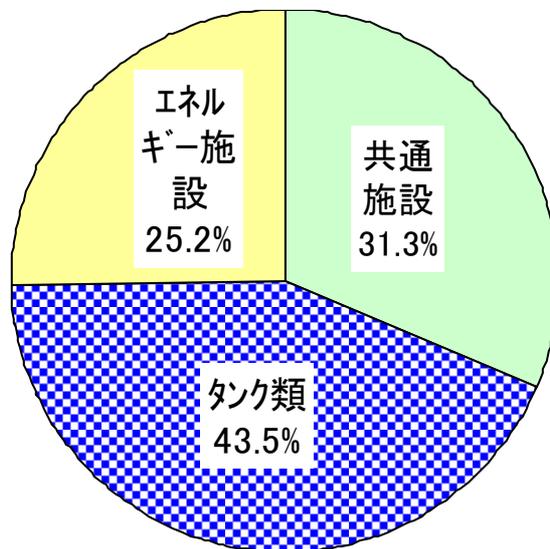


図 5 1 小規模個別型バイオガスプラントの建設費内訳
（118 百万円、2004 年パリティ換算値）

注）共通施設：建物、関連構築物・機械類

タンク類：発酵槽、ガスホルダー、消化液貯留槽、水中ポンプ

エネルギー施設：発電機、関連機械類

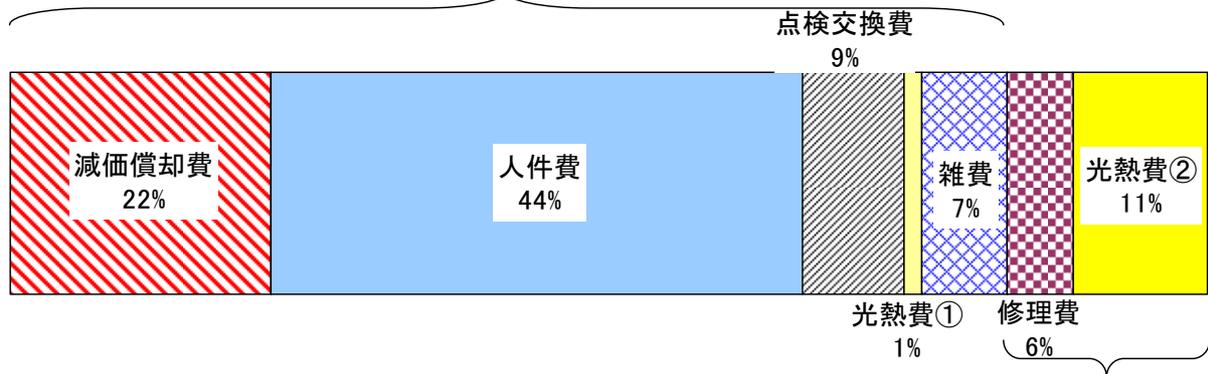
次に年間経費は、中規模個別型プラント同様、現地聞き取り調査より整理した 5 つの費目（人件費、修理費、点検交換費、光熱費、雑費）に、建設費より算出される施設の減価償却費を加えた費用を基本として、ほ場散布費を加える構成とした。

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 5 2）、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。

固定費



(処理頭数による)変動費

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・经营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 2,700m³(約 600 m³×4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、ホイ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シ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。

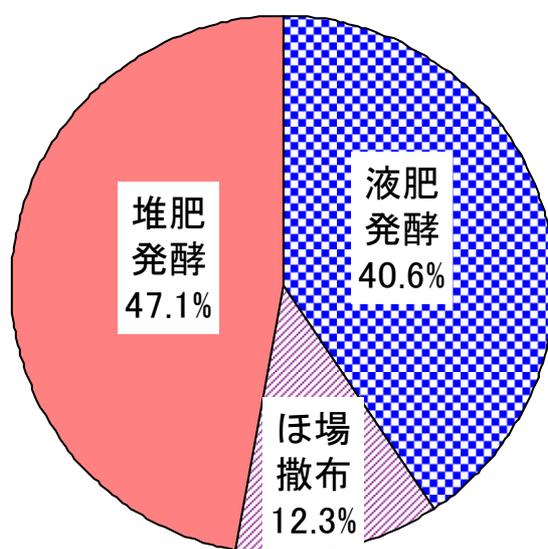


図53 液肥・堆肥処理施設(好気性発酵)の建設費内訳
(167百万円、2004年パリティ換算値)

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、ローローター
ほ場散布:バキュームタンカー

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。

固定費

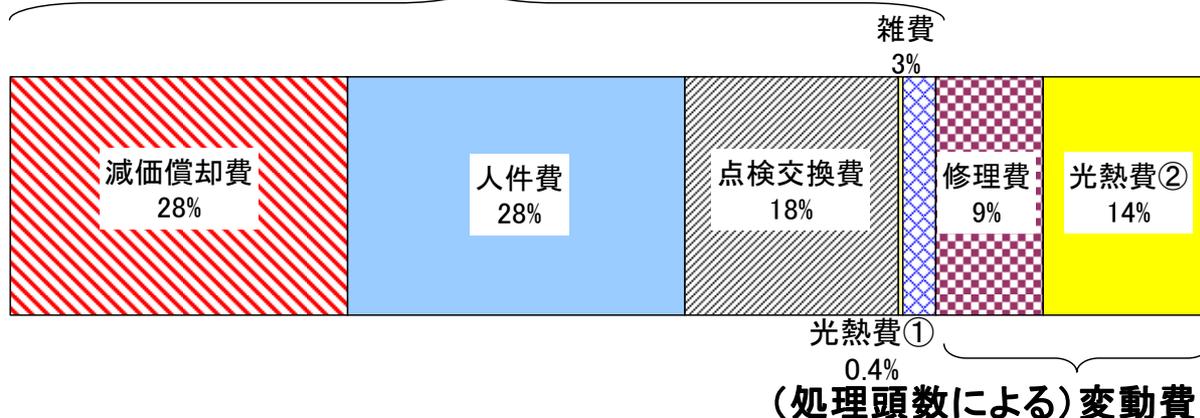


図5 4 液肥・堆肥処理施設（好気性発酵）利用型システムの年間経費の構成
（25百万円、700頭規模の場合）

注）図4 4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、移動および繰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）

スタンション農家が、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 m²)）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繰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）

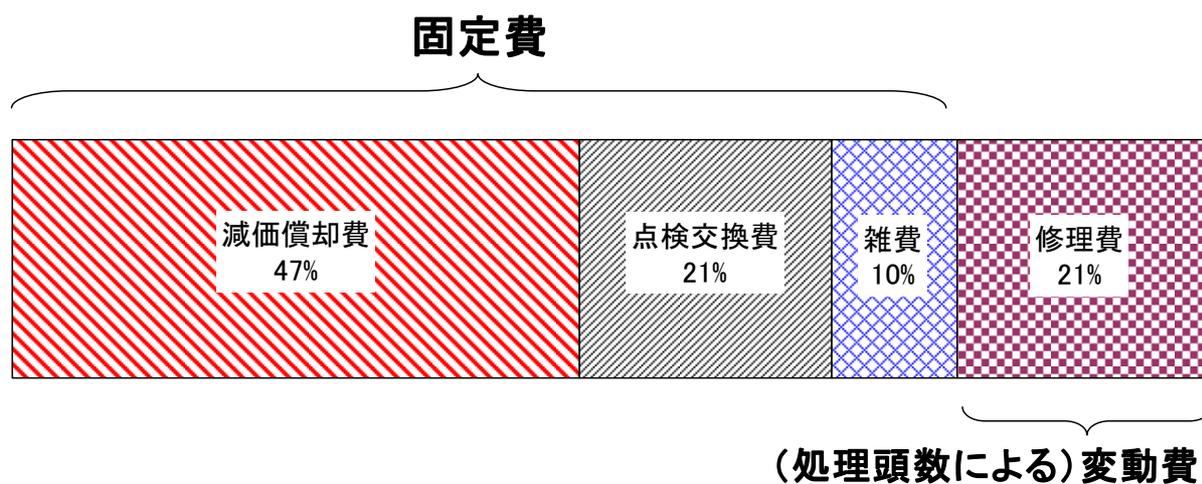


図55 個別処理における追加設備（堆肥舎）に係る年間経費内訳
（287千円、2004年パリティ換算値）
注）図44に同じ。

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、スタンシ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ション農家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(1,067m³)+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、既存の施設で繰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）

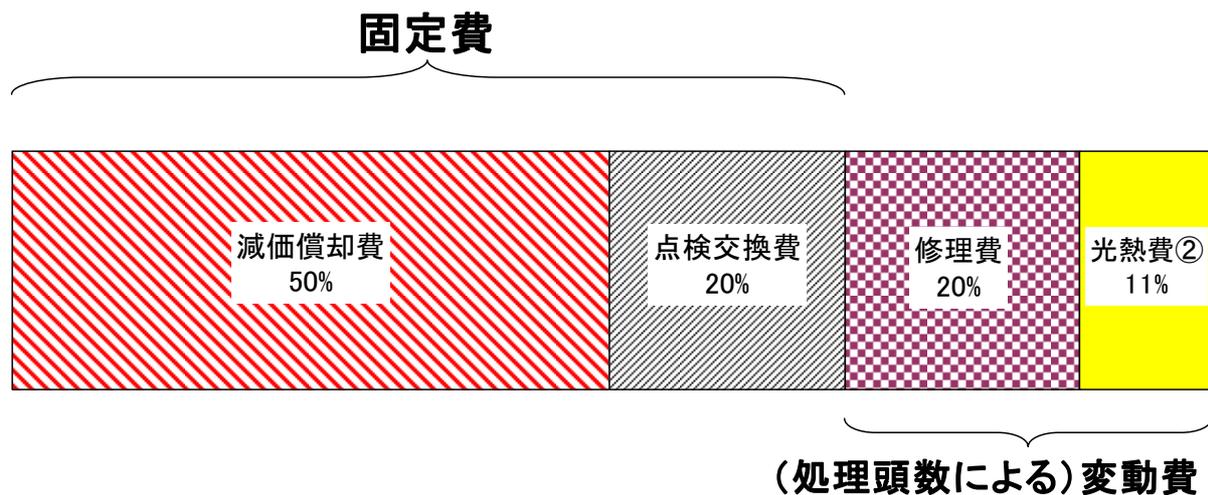


図56 個別処理における追加設備（スラリーストア）に係る年間経費内訳
（653千円、2004年パリティ換算値）

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、破碎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（破碎・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1.11 t/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5 t/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。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。

③CO₂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、CO₂換算で約350 t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。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(CO₂)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、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。

こちらに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」、「CO₂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（温室ハウス利用、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（破碎・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」、「CO₂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に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やすく、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用については全て自前対応するものとした。

⑧最後に、CO₂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(CO₂)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 2 1 : 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 2 1 および図 5 7)

表 2 1 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	プラント	プラント	プラント		
		圃場散布	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・ほ場散布		—	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・ほ場散布		—	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・ほ場散布		—	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		—	—	—	—	
	ほ場散布		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		

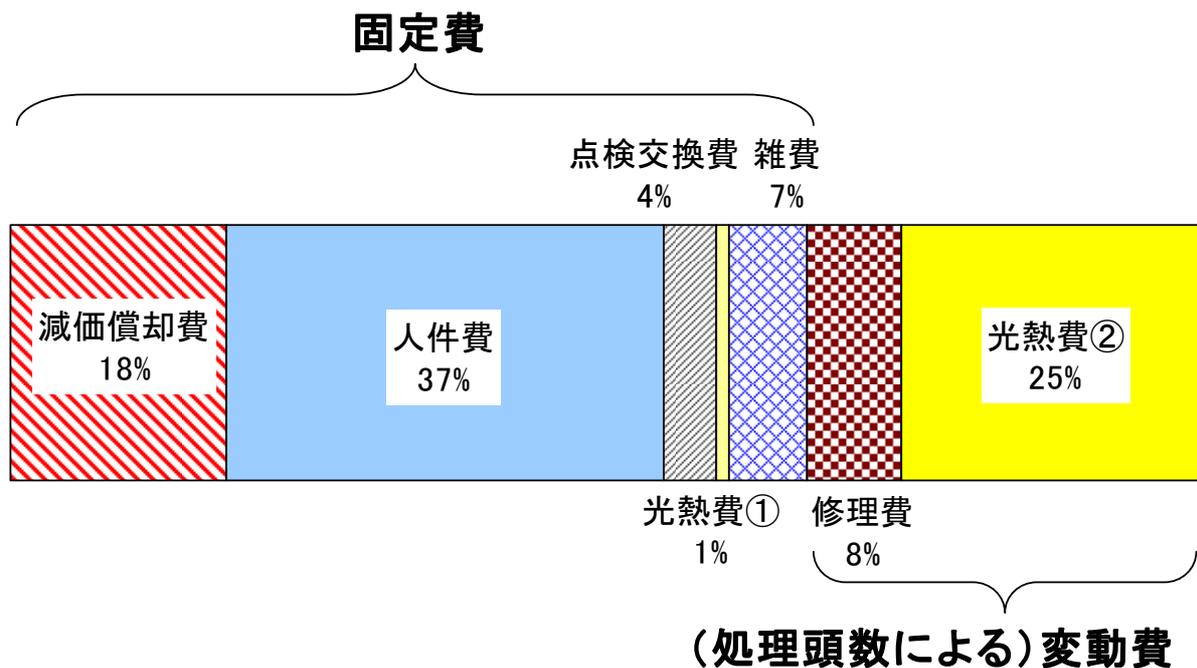


図57 湧別型バイオガスシステムの年間経費（15百万円）の構成
 （タイプ1：スラリーのみを処理対象とする、湧別プラント200頭規模の、ほ場散布までプラントが担うシステムで、経済性に係る諸条件が改善されて採算が取れた場合）

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的費がかかること、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、別海スタンション農家（7戸）15.5千円、湧別スタンション農家（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シ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（CO₂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シ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・鶴川洋樹(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・鶴川洋樹(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・鶴川洋樹(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] 鶴川洋樹・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No.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。

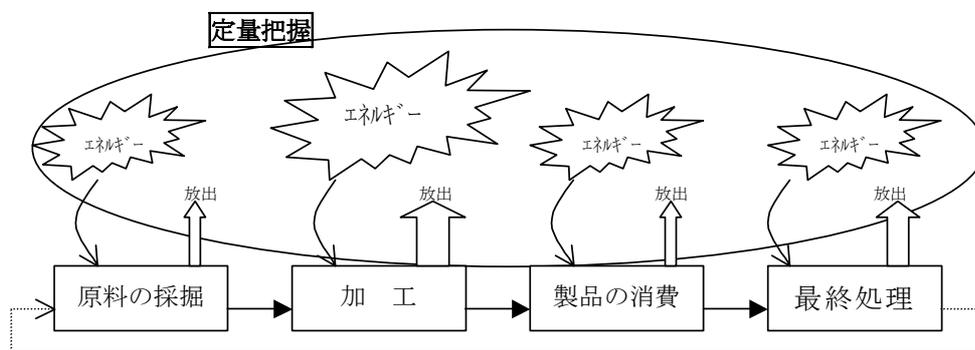


図1 LCA の捉え方

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、複数の負荷物質を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。

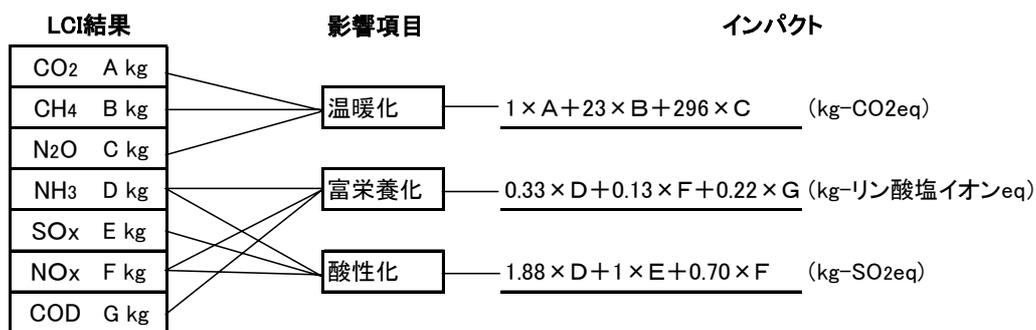


図2 ライフサイクル影響評価の仕組み

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)。

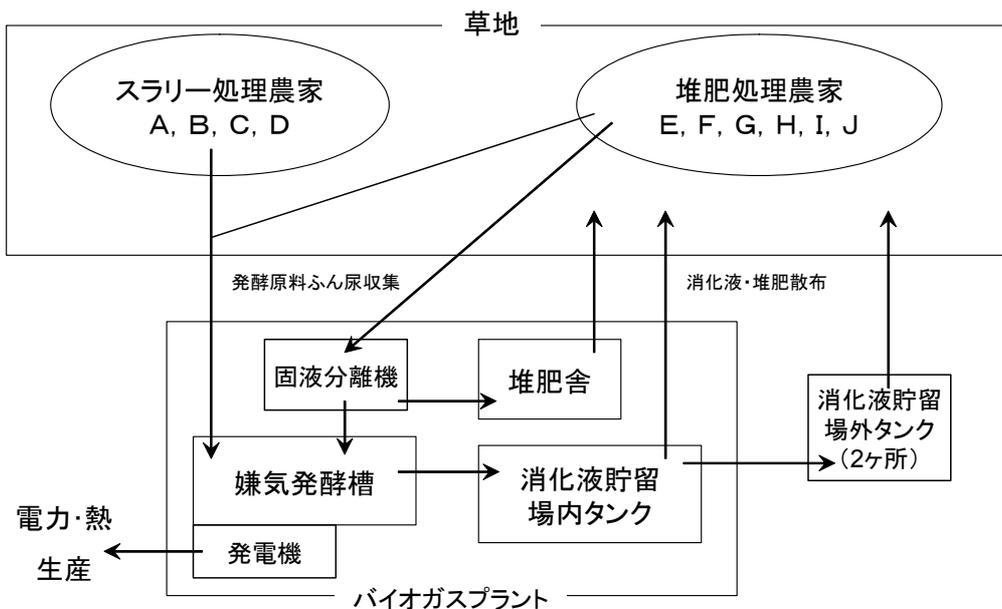


図 3 別海大規模共同利用型バイオガスプラントの機能

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、マニュアルスプレッダーで、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CO₂（二酸化炭素）、CH₄（メタン）、N₂O（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。

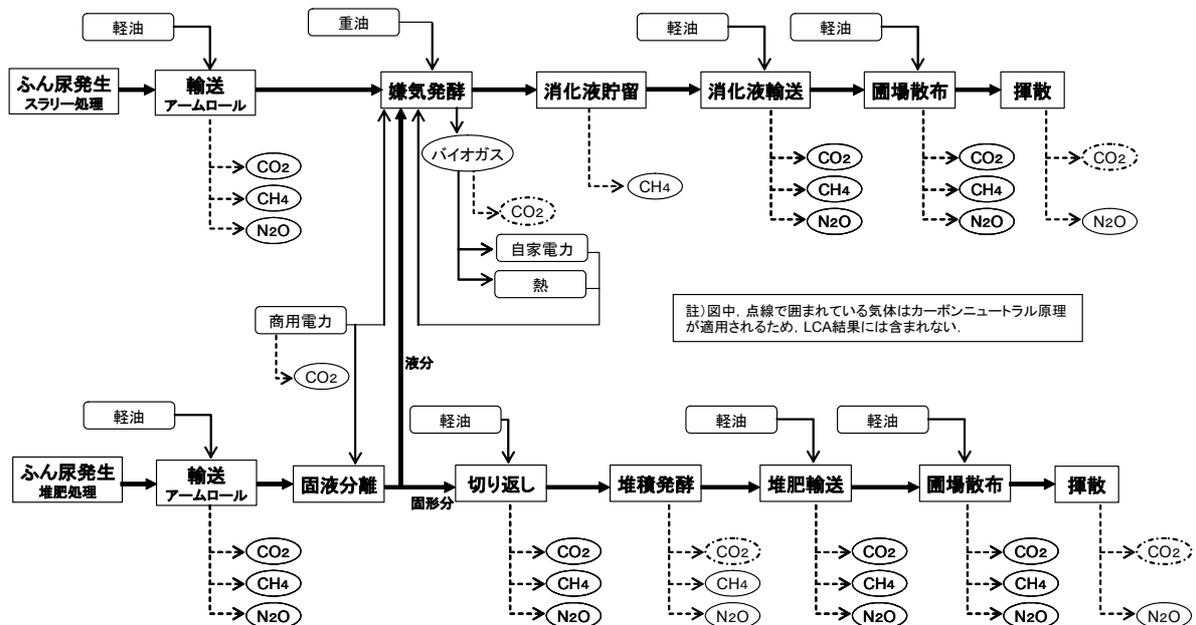


図4 別海バイオガスプラントのライフサイクルフロー

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CO₂と、堆積発酵時や散布後に発生するCO₂については、化石燃料を除くバイオマス由来のCO₂が、植物体の成長によるCO₂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。

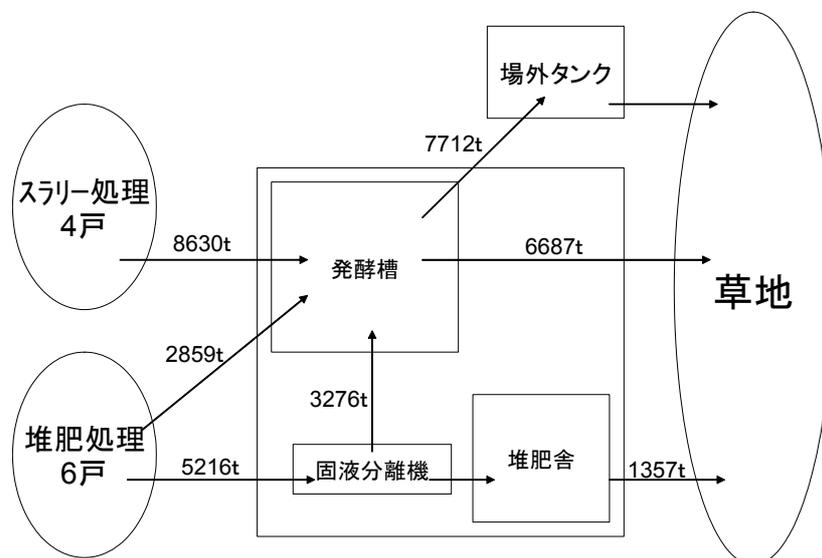


図5 別海バイオガスプラントにおけるふん尿、消化液、堆肥の流れ

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CO₂、CH₄、N₂O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°C 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 ₂ O
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-CO₂、1974.6kg-CH₄、776.87kg-N₂Oであった。CO₂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、CO₂に換算しておよそ447t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N₂Oが、CO₂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CO₂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 ₂ O
気体別合計	172,040	1,974.6	776.87
特性化係数	1	23	296
温暖化負荷合計	およそ447t-CO ₂ eq		

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。

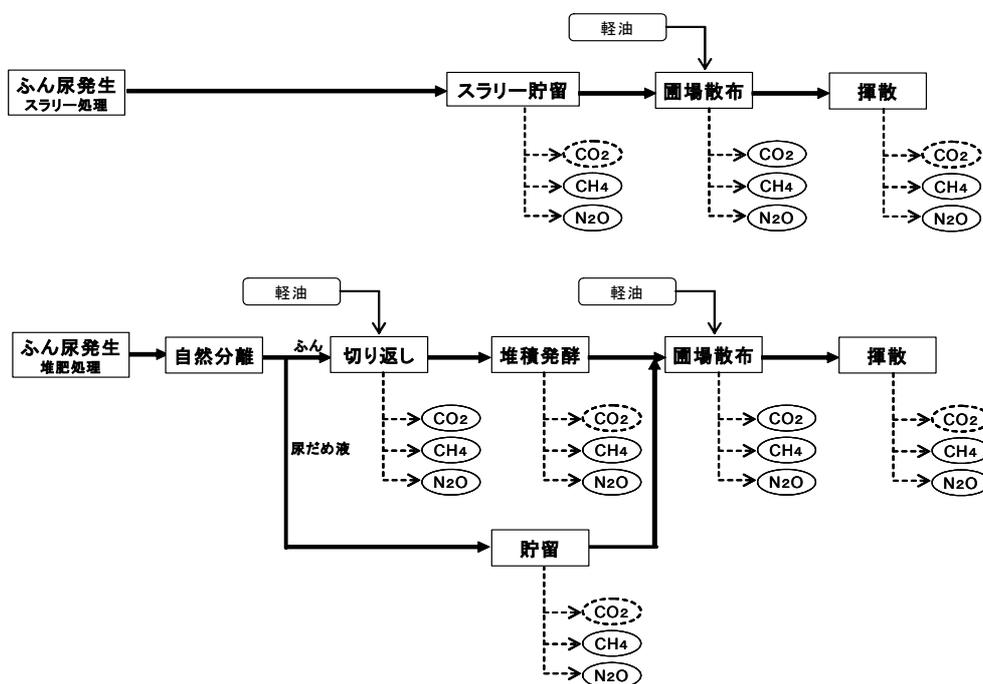


図6 従来型ふん尿処理のライフサイクルフロー

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 N₂O 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、CO₂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 CH₄ と N₂O 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 ₂ O
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 CH₄ と N₂O 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-CO₂eq 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 ₂ O
気体別合計	7,243	7,708.5	2,142.09
特性化係数	1	23	296
温暖化負荷合計	7,243	177,296	634,059
	およそ819t-CO ₂ eq		

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。

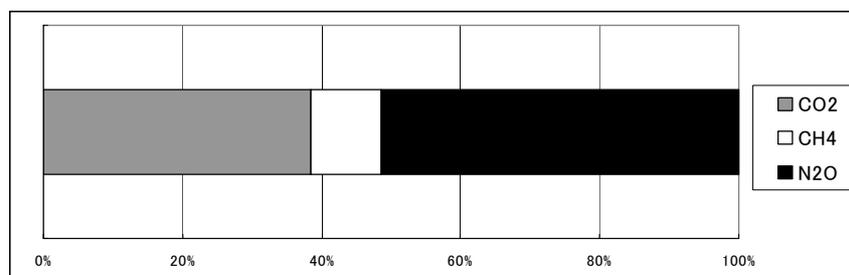


図7 発生気体別温暖化寄与割合

代表的な温暖化ガスである CO₂ 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、N₂O 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 CO₂ よりも N₂O 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

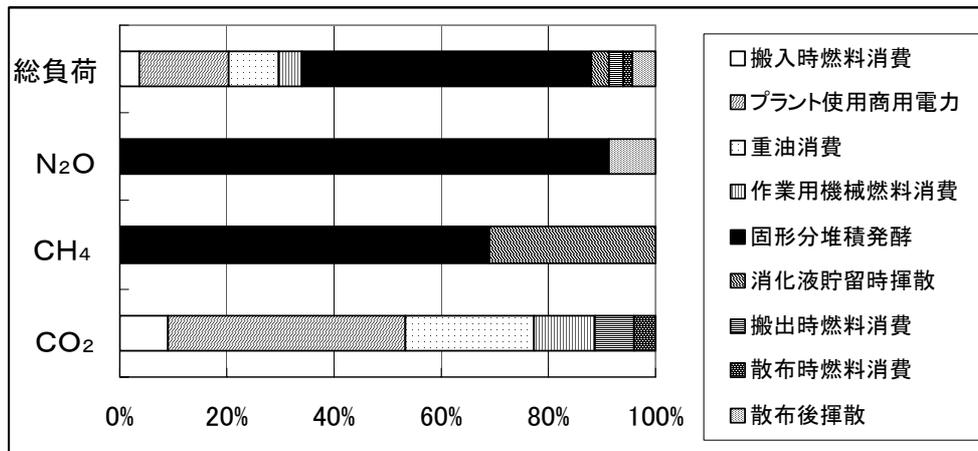


図8 各過程の占める排出負荷の割合

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、CH₄の7割、N₂O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CH₄を利用せずに大気中へ放出していることを意味する。

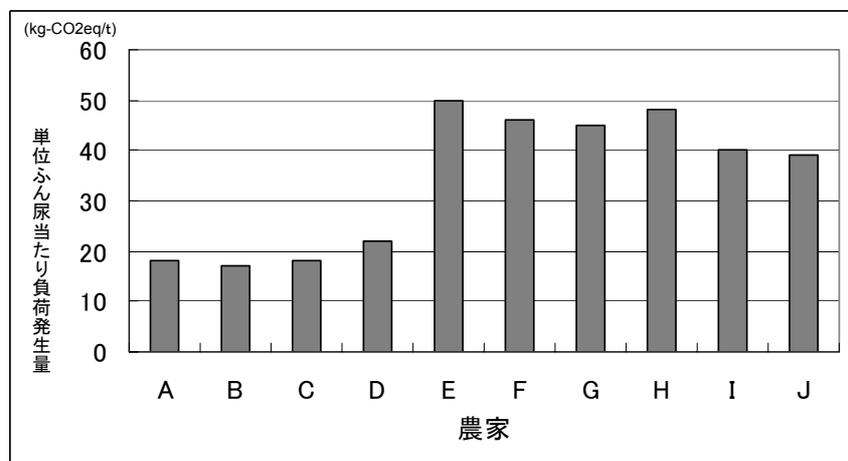


図9 農家別単位ふん尿あたり温暖化負荷発生量

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える。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。

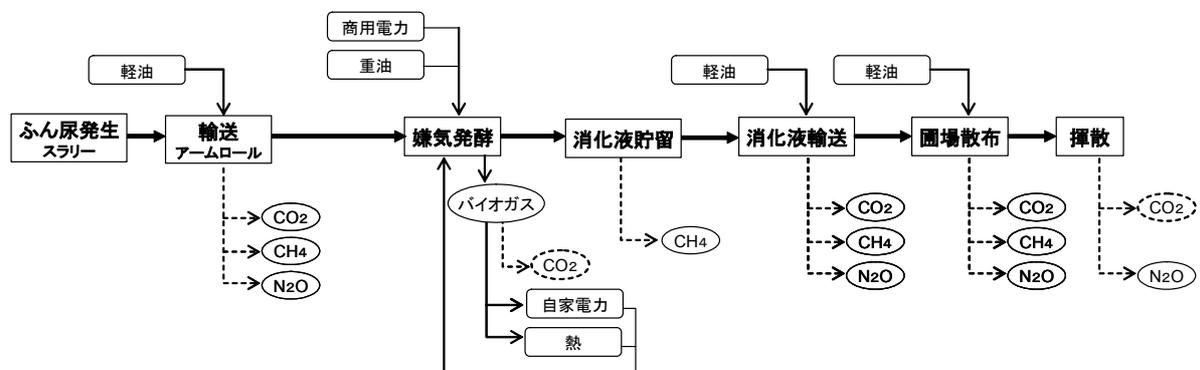


図 10 大規模共同利用型バイオガスプラント一般化モデルのライフサイクルフロー

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 5 km、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、7.41 t 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、5 t 尿散布機と 10 t 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 9.81 t 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 ₂ O
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
	263,156	22,570	296
温暖化負荷合計	およそ326t-CO ₂ eq		

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 326 t 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なると、処理スラリー 1 t で 13.7kg-CO₂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）を行っていた場合に発生する温暖化負荷を推定する。

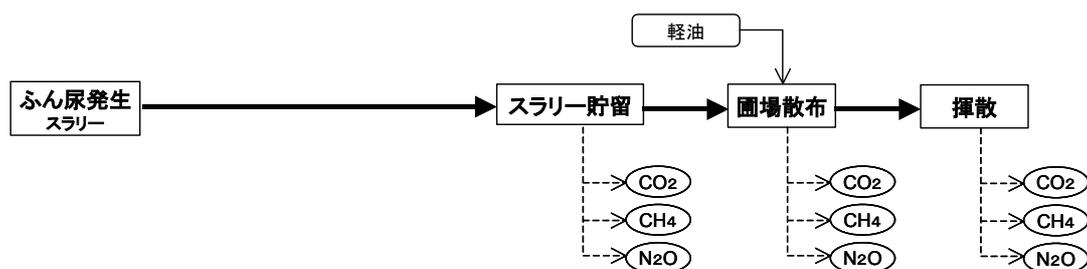


図 1 1 個別型スラリー処理のライフサイクルフロー

図 1 1 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 ₂ O
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 ₂ eq		

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なると、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CO₂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CO₂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CO₂排出原単位を乗じてCO₂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、CO₂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 m ³	1017.53 m ³
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 m ²	10978 m ²
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-CO ₂	1,569 t-CO ₂

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があることから、アスファルトの使用の差が CO₂ 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-CO₂ 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 CO₂ 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働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-CO₂eq 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、CH₄、N₂O 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 CH₄、N₂O 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-CO₂eq、スラリー 1 t に対して 13.7kg-CO₂eq 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働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

ワラ入りふん

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

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

・CO₂

$$2.643 \text{ kg/L} \times 5,959 \text{ L} = 15,750 \text{ kg-CO}_2$$

・CH₄

$$1.5E-05 \text{ kg/km} \times 10,357 \text{ km} = 0.2 \text{ kg-CH}_4$$

・N₂O

$$2.5E-05 \text{ kg/km} \times 10,357 \text{ km} = 0.26 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

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

・CO₂

$$0.48 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} \times (205,505 - 47,481) \text{ kWh} = 75,852 \text{ kg-CO}_2$$

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 28.3 %
(除 温室)

・CO₂

$$2.698 \text{ kg-CO}_2/\text{L} \times (54,082 \times 28.3\%) \text{ L} = 41,293 \text{ kg-CO}_2$$

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ールローダー、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

・ CO₂

$$\underline{2.643} \text{ kg/L} \times 7,436 \text{ L} = 19,653 \text{ kg-CO}_2$$

・ CH₄

$$\underline{2.621E-05} \text{ kg/L} \times 7,436 \text{ L} = 0.2 \text{ kg-CH}_4$$

・ N₂O

$$\underline{4.442E-05} \text{ kg/L} \times 7,436 \text{ L} = 0.33 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

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,

・ CH₄

$$1940.4 \text{ t} \times \underline{21.3} \% \times \underline{0.33} \% = 1,363.9 \text{ kg-CH}_4$$

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 N₂O 化原単位 (N ベース) として 4.65%を用いると,

・ N₂O

$$1940.4 \text{ t} \times \underline{0.5} \% \times \underline{4.65} \% \times 44/28 = 708.94 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

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 CH₄ 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%における補正值 0.27 より,

・ CH₄

$$14,766 \text{ t} \times \underline{2.2} \% \times \underline{0.92} \% \times \underline{0.756} \times \underline{0.27} = 610.0 \text{ kg-CH}_4$$

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

農家番号	搬入回数			道のり	走行距離		
	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

5 t 尿散布機，自走式 10 t 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 / <u>1.90</u> km/L =	1,659 L
スラリーローリー	8,980 km / <u>3.33</u> 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

・CO₂

$$\underline{2.643} \text{ kg/L} \times 4,700 \text{ L} = 12,422 \text{ kg-CO}_2$$

・CH₄

$$\underline{1.5E-05} \text{ kg/km} \times 12,994 \text{ km} = 0.2 \text{ kg-CH}_4$$

・N₂O

$$\underline{2.5E-05} \text{ kg/km} \times 12,994 \text{ km} = 0.32 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

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。

農家番号	搬入回数		合計	散布時間	
	10t以上	10t未満		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 10 t スラリーローリー，5 t 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 × <u>26</u> L/h	= 563 L
スラリーローリー	4,015 / 60 h × <u>9.0</u> L/h	= 602 L
	合計	1,166 L

2) 堆肥

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

6 t マニュアル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，

$$67.85 \text{ ha} \times 5.56 \text{ L/ha} \div 25\% = 1,509 \text{ L}$$

∴ 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

・ CO₂

$$\underline{2.643} \text{ kg/L} \times 2,675 \text{ L} = 7,070 \text{ kg-CO}_2$$

・ CH₄

$$\underline{2.6E-05} \text{ kg/L} \times 2,675 \text{ L} = 0.1 \text{ kg-CH}_4$$

・ N₂O

$$\underline{4.4E-05} \text{ kg/L} \times 2,675 \text{ L} = 0.12 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

⑨ 散布後の消化液・堆肥からのガス揮散

消化液は N₂O 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 N₂O 揮散原単位 (N ベース) として 0.12% 0.06% を用いると、

$$\text{消化液} \quad 10,265 \text{ t} \times 0.3 \% \times 0.12 \% \times 44/28 = 58.07 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

$$\text{堆肥} \quad 1,357 \text{ t} \times 0.69 \% \times 0.06 \% \times 44/28 = 8.83 \text{ kg-N}_2\text{O}$$

∴ 66.90kg-N₂O

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」『日本土壌肥科学雑誌』、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 CO₂ 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)ー乳牛糞尿を対象とする発酵特性ー」『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) ーメタン発酵鋭離液を対象とする発酵特性の比較ー」『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 L C A 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