

積雪寒冷地における乳牛ふん尿を対象とした  
共同利用型バイオガスシステム導入の参考資料



資源循環別海施設

平成18年 3月

独立行政法人 北海道開発土木研究所



## 発刊にあたって

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

酪農では多量のふん尿が排出され、それによる環境汚染が懸念されてきました。このため、1999年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が施行されました。一方、ほぼ時期を同じくして、化石燃料の消費を抑制することによる地球温暖化防止対策が具体化し始め、温室効果ガスの発生抑制・地球温暖化の防止（京都議定書の批准(1997)及びその発効(2005)、地球温暖化対策の推進に関する法律(1998)、あるいは再生可能エネルギーの利用促進（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(1997)）にかかる法律等が制定されました。

バイオガスプラントは家畜ふん尿を処理すると同時に、化石燃料の消費を抑制することにもなる再生可能なエネルギーを産出する施設です。この技術はデンマークやドイツなどヨーロッパの一部の国々で普及しています。しかし、北海道はこれらの国々に比べて寒冷であり、乳牛の飼養方式の違いに起因してふん尿の性状も異なります。このため、ヨーロッパの技術をそのまま北海道に導入することはできません。

そこで当研究所では、北海道に適した共同利用型バイオガスプラントの実証試験を、国土交通省北海道局及び北海道開発局農業水産部のご指導のもと、2000年度より開始しました。まず、2000年度には実証試験施設を建設し、2001～2004年度には実証試験参加農家のご協力のもとにプラントを実際に稼働させながら、各種のデータを収集しました。

実証試験では、経済性・運営体制に関する事項、バイオガスプラント内での効率的な発酵技術やエネルギー利用技術に関する事項、及び発酵後の生成物である消化液の利用技術など、多岐にわたる課題を取り上げました。各課題の研究推進に当たっては関連研究機関の協力を頂き、農業技術として行政的にも認められる多くの成果を上げることができました。

本冊子は、乳牛ふん尿処理の改善方法の選択肢として共同利用型バイオガスシステムの導入を検討される方々のために、積雪寒冷地におけるシステム導入の適用条件、基本的な考え方、配慮すべき事項などを、上記の実証試験結果や既往の知見を踏まえてまとめたものであり、関係者の執務参考資料として活用していただければ幸いです。

本冊子の作成にあたっては、北海道立農業試験場、北海道立畜産試験場、北海道立工業試験場、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター、北海道開発局農業水産部ならびに関係開発建設部、国土交通省北海道局、北海道大学松田従三教授ならびに酪農学園大学干場信司教授から貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

独立行政法人北海道開発土木研究所  
理事長 齊藤智徳



## 目 次

<b>第1章 総 論</b> .....	1
1-1. この資料の用途 .....	1
1-2. この資料で想定する嫌気性発酵システム導入目的 .....	3
1-3. 嫌気性発酵システムの特徴 .....	5
1-4. この資料の対象(嫌気性発酵システムの規模) .....	7
1-5. 嫌気性発酵施設(バイオガスプラント)の概要 .....	8
<b>第2章 調査</b> .....	12
2-1. 地域の概要調査 .....	12
2-2. 地形・地盤調査 .....	14
2-3. 気象調査 .....	14
2-4. 周辺環境調査 .....	15
2-5. 営農状況調査 .....	16
2-6. 乳牛ふん尿及び副資材の賦存量調査 .....	17
2-7. 乳牛ふん尿及び副資材の成分調査 .....	18
2-8. 圃場還元量調査 .....	18
<b>第3章 計 画</b> .....	19
3-1. 計画処理量 .....	19
3-2. 処理方式.....	22
3-2-1. ふん尿の処理方法 .....	22
3-2-2. 堆肥化处理 .....	23
3-2-3. 嫌気性発酵処理 .....	24
3-2-4. 好気性発酵処理(液状コンポスト化处理) .....	25
3-2-5. 処理方式の選択 .....	26
3-3. 処理規模.....	28
3-3-1. 集中型 .....	28
3-3-2. 共同型 .....	31
3-3-3. 個別型 .....	32
3-4. メタン発酵 .....	33
3-4-1. 発酵温度及び滞留日数 .....	33
3-4-2. バイオガス発生量 .....	38
3-4-3. 副資材の利用 .....	40
3-4-4. バイオガスのエネルギー量 .....	46
3-5. バイオガスプラントシステム計画 .....	48
3-6. 全体システム計画 .....	49
3-6-1. 計画の基本方針 .....	50

3-6-2. 原料収集・搬入方式 .....	50
3-6-3. 受け入れ方式（受入設備） .....	54
3-6-4. 発酵槽方式 .....	58
3-6-5. 殺菌方式 .....	62
3-6-6. 消化液貯留方式 .....	68
3-6-7. 消化液搬出・圃場散布方式 .....	71
3-6-8. バイオガス貯留方式 .....	73
3-6-9. 脱硫・除湿設備 .....	76
3-6-10. バイオガス利用方式 .....	78
3-6-11. 固液分離後の固分の堆肥化 .....	85
3-7. 維持管理計画 .....	86
3-8. 消化液の利用計画 .....	87
3-9. 経営収支の検討 .....	91
3-9-1. 検討項目 .....	91
3-9-2. 経営収支検討の例 .....	92
3-9-3. 農家負担額の評価 .....	118
3-9-4. 原料の性状や施設の規模の違いによる処理費用の比較 .....	120
<b>第4章 施設設計 .....</b>	<b>122</b>
4-1. 一般 .....	122
4-2. 一時貯留槽(畜舎周辺設備) .....	123
4-3. 搬送機械 .....	125
4-4. 受入設備 .....	126
4-4-1. 原料スラリーの受入槽 .....	127
4-4-2. 固形ふん尿の受入槽 .....	129
4-5. メタン発酵設備 .....	131
4-6. 消化液貯留槽 .....	135
4-7. バイオガスエネルギー利用設備 .....	135
4-7-1. コージェネレーション利用 .....	135
4-7-2. ボイラー燃焼利用 .....	136
4-8. 脱硫設備及び除湿設備 .....	137
4-8-1. 別海施設の生物脱硫システム .....	137
4-8-2. 乾式脱硫法の施設規模 .....	140
4-8-3. バイオガスの除湿対策 .....	141
4-9. 配管、ポンプ設備 .....	142
4-9-1. 配管設計 .....	142
4-9-2. ポンプ設備設計 .....	145
4-10. 基礎の検討 .....	156
<b>第5章 施工 .....</b>	<b>157</b>

5-1. 施工計画.....	157
5-2. 施工管理.....	158
5-3. 仮設工事.....	158
5-4. 本工事.....	159
5-4-1. 掘削.....	159
5-4-2. 基礎.....	160
5-4-3. 建家.....	160
5-4-4. 機械設備機器等の据付.....	161
5-4-5. コンクリートの施工.....	161
<b>第6章 維持管理 .....</b>	<b>162</b>
6-1. 維持管理.....	162
<b>第7章 生成物の利用 .....</b>	<b>164</b>
7-1. 消化液の利用.....	164
7-2. バイオガスエネルギーの地域利用.....	166
<b>第8章 環境への貢献 .....</b>	<b>168</b>
<b>第9章 その他(遵守すべき法律・規則、基準・指針) .....</b>	<b>171</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>173</b>
索引	





## 第1章 総論

### 1-1. この資料の用途

この資料の利用者には、酪農を抱える地域で、乳牛ふん尿の処理の改善方法の選択肢として嫌気性発酵(メタン発酵ともいう)システムの導入も考えている方々を想定している。

この資料は、乳牛ふん尿処理・利用の手段として、嫌気性発酵システムを積雪寒冷地で導入する場合の適用条件、基本的な考え方、配慮すべき事項などを解説したものである。

#### 【解説】

##### (1) 参考資料の作成の背景

乳牛ふん尿は、これまで堆肥やスラリーとして圃場散布し有効利用を図ってきた。嫌気性発酵は、空気を遮断した状態で有機物を発酵させて、液肥として利用できる消化液を得るものである。また、嫌気性発酵によりメタンガスも得られる。近年、温室効果ガス削減の各種取り組みがなされる中で、このような有機性資源から得られるメタンガスは、二酸化炭素削減に貢献できる有力なエネルギー資源としての認識が高まっている。

嫌気性発酵システムは、乳牛ふん尿の資源化、エネルギー化とそれらの有効活用により、環境負荷軽減、資源循環による農業の持続的発展に寄与する処理方式として注目されている。積雪寒冷地である北海道では、近年共同利用型・個別型の嫌気性発酵システムの実証施設の建設と試験により、その適応性の確認が進められており、今後ふん尿処理方式の1つとして導入が進むものと考えられる。

この資料では、嫌気性発酵システムを積雪寒冷地で導入する場合の適用条件、基本的な考え方、配慮すべき事項等について、実証試験によって明らかになった事項を踏まえながら整理し、今後の導入に当たっての参考とするものである。

##### (2) この参考資料の活用

この資料の内容は、現地調査、原料ふん尿の搬送、嫌気性発酵施設、生成物の搬出・散布、バイオガスエネルギーの利活用、施設の運営、営農効果及び環境負荷軽減効果についての考え方、積雪寒冷地において配慮すべき事項等多岐にわたって整理しており、以下の状況での活用を想定したものである。

1. ふん尿処理の改善を計画する場合の各種処理方式の比較検討。
2. 嫌気性発酵システムを導入する場合の調査、計画、設計、施工、維持管理に関わる検討。

基本計画、基本設計、実施設計及び維持管理の各段階では、必要な検討項目や精度が異なる。地区の実状や計画の熟度等を十分に考慮しながら、最良の計画を立てることが重要である。また農家個人が計画する場合と行政や組合等の組織が計画する場合とでは、検討の範囲や対象も異なってくるが、基本的な検討項目は同一と考えられる。各段階で

検討すべき項目は概ね表 1-1-1のように整理される。

表 1-1-1 嫌気性発酵システム計画の各段階での検討事項

項 目 ( 目 次 )	段 階			
	基本計画	基本設計	実施設計	維持管理
第2章 調査				
2-1.地域の概要調査	◎			
2-2.地形・地盤調査	◎	○		
2-3.気象調査	◎	○		
2-4.周辺環境調査	◎	○		
2-5.営農状況調査	◎	○		
2-6.乳牛ふん尿及び副資材の賦存量調査	◎	○		
2-7.圃場還元量調査	◎	○		
2-8.原料成分調査	◎	○		
第3章 計画				
3-1.計画処理量	○	◎		
3-2.処理方式	○	◎		
3-3.処理規模	○	◎		
3-4.メタン発酵	○	◎	○	
3-5.バイオガスプラントシステム計画	○	◎	○	
3-6.全体システム計画	○	◎	○	
3-7.維持管理計画	○	◎	○	○
3-8.消化液の利用	○	◎	○	○
3-9.収支の検討	○	◎	○	
第4章 施設設計		○	◎	
第5章 施工			◎	
第6章 維持管理	○		○	◎
第7章 バイオガスエネルギーの地域利用	◎	○	○	○
第8章 環境への貢献	◎	◎	◎	◎
第9章 その他(準拠すべき法律・規則、基準・指針)	○	○	○	○

※重要度の高い検討項目：◎、場合によっては必要となる検討項目：○

## 1-2. この資料で想定する嫌気性発酵システム導入目的

この資料で扱う嫌気性発酵システムの導入目的は、乳牛ふん尿を主たる発酵原料とし、生成した消化液を液肥として圃場還元するとともに、発酵過程で得られるバイオガスをエネルギー利用し、乳牛ふん尿の有効活用による資源循環システムを構築することである。

### 【解説】

#### (1) 嫌気性発酵システムの目的

嫌気性発酵の原料としては、家畜ふん尿、厨芥生ゴミ、下水汚泥、漁業残滓等の有機性廃棄物が考えられるが、この資料で扱うシステムでは、主に酪農地域における乳牛ふん尿を対象とする。

乳牛ふん尿は、無処理のまま放置すれば、降雨等に伴う河川への流出や、土壌浸透による地下水汚染の原因となるが、適切な処理と施用により有機態、無機態の成分を含む肥料価値の高い即効性の液肥として利用することが可能である。圃場還元する農地がない地域では多大なコストを投じて浄化处理しなければならないが、北海道の酪農地域のように広大な農地を有する場合は、液肥として利用することが可能である。

この資料で想定する嫌気性発酵システムの導入目的は、乳牛ふん尿の嫌気性発酵後の生成物（消化液という）の圃場還元により、農村地域の有機性廃棄物の資源循環システムを構築するとともに、バイオガスのエネルギー利用を進めることで環境負荷低減をはかり、循環型農業の持続的発展に寄与することである。

## (2) 嫌気性発酵システムの概要

この資料で対象とするのは、乳牛ふん尿を利用する資源循環システムである。乳牛ふん尿は、嫌気性発酵処理することで取り扱い性などが向上し、効率的に圃場還元することが可能となる。この圃場によって生産された牧草を乳牛の飼料とすることで、外部から多量の資源を取り入れることなく、持続的な農業が確立できる。また、嫌気性発酵システムでは、発酵処理の際に発生するバイオガスを使って電気や熱を得ることができ、それらを施設の運転管理に用いることで、外部からのエネルギー使用量の削減ができる(図 1-2-1)。

また嫌気性発酵システムは、バイオガスを利用してエネルギーを生み出すことによって、地球温暖化の要因となる二酸化炭素の発生抑制に寄与する。石油等の化石燃料から得られるエネルギーを使用すると、大気中の二酸化炭素は増加する。しかし、バイオガスから得られる電気・熱エネルギーを利用する場合には、それらに含まれる炭素が光合成により大気から取り込まれたものであるから、地球規模で見れば、大気中の二酸化炭素は増加しない(カーボンニュートラル)。

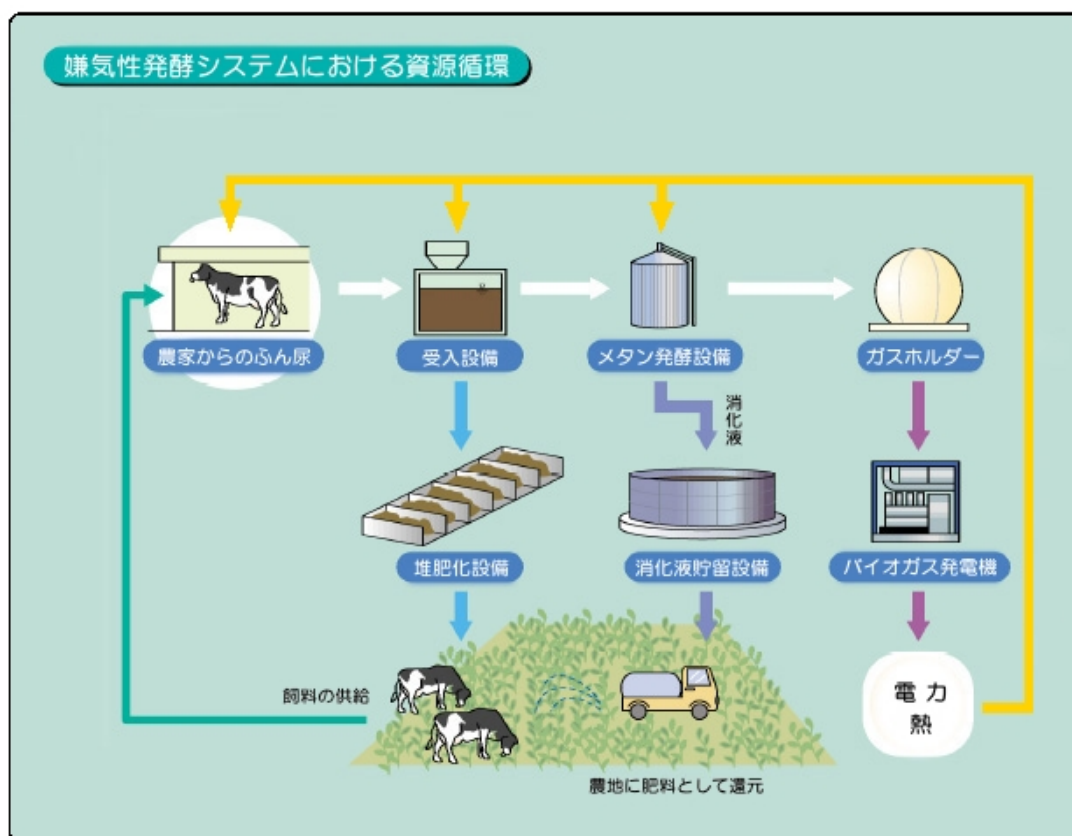


図 1-2-1 嫌気性発酵システムにおける資源循環の模式図

### 1-3. 嫌気性発酵システムの特徴

嫌気性発酵システムは、乳牛ふん尿から得られる消化液を悪臭の少ない液肥として利用でき、また発酵過程で得られるバイオガスを電気・熱エネルギーに変換して利用できる。さらに、発酵が閉鎖系施設で行われることから、発酵に伴う臭気の発生や温室効果ガスであるメタンや酸性雨の原因となるアンモニアの揮散が少ない。このように、嫌気性発酵システムは、化学肥料・化石燃料の消費節減や地球温暖化・酸性雨の抑制効果もあり、環境保全に寄与する。

#### 【解説】

積雪寒冷地における乳牛ふん尿の嫌気性発酵システムの利点と課題、導入に適する条件を整理すると以下のようなことが挙げられる。

#### (1) 利点

- a. 完全閉鎖系での処理であり、処理過程での臭気は発生しない。
- b. 地球温暖化の要因であるメタンガスの放出がほとんどなく、酸性雨の要因となるアンモニアの揮散が少ない等、環境への負荷が少ない。
- c. 発酵過程での窒素成分の減耗が少ないため、消化液は肥料成分の高い即効性の液肥として圃場利用が可能である。また、消化液はふん尿スラリーに比べて悪臭が少なく、雑草種子の活性も低い。
- d. 嫌気性発酵では、発酵の維持のために温度・滞留日数を一定に管理することから、比較的性状の安定した消化液が得られる。
- e. 発酵過程で得られるバイオガスを電気・熱エネルギーとして利用できる。積雪寒冷地では、施設の運転管理に必要なエネルギーが大きいため利点大きい。
- f. バイオガスのエネルギー利用は大気中の二酸化炭素を増大させないため、化石エネルギーの代替にすれば、地球温暖化防止に寄与する。
- g. 地域に賦存する有害物質を含まない有機性廃棄物（副資材）を乳牛ふん尿とともに発酵（共発酵）させることで、バイオガス発生量の増加が期待できる。
- h. 共発酵により、有機性廃棄物の従来処理法（焼却・埋め立てなど）で生じていたダイオキシンの発生・汚水滲出・メタン揮散の危惧や処理のための化石燃料の消費などの問題が軽減される。
- i. 共発酵により、有機性廃棄物の処理料収入が得られる。

## (2) 課題

- a. 外気温の低い寒冷地では発酵温度保持のための必要熱量が大きくなり、熱収支の均衡を図るため、様々な設計上の工夫が必要である。
- b. 嫌気性発酵施設は、一般に建設費が高いといわれている。積雪寒冷地では耐雪・防雪対策等が必要であり、さらに建設費が増大する傾向がある。
- c. バイオガスの利用に当たってガス中に含まれる水分や硫化水素ガスは、コーシエネレータやボイラーを傷めるおそれがあるため、その除去が必要である。
- d. 施設を構成するポンプ、攪拌機、熱交換機等の機械設備を閉塞させるような原料（敷料等）は、除去することが必要である。

## (3) 導入に適する条件

単独農家で利用するシステムの場合には下記のa～fが、また複数の農家で利用するシステムの場合には、a～iの条件が満たされることが望ましい。

- a. 原料ふん尿はスラリーが望ましい。敷料等夾雑物を含む場合でも固液分離等で対応可能であるが、プラントの構成が複雑になるとともに経営収支が不利になることが多い。
- b. 原料ふん尿の確保可能量の変動が小さいこと。
- c. 消化液散布に必要な圃場面積が確保できること。
- d. 散布圃場が近く、散布作業が容易であること。
- e. 施設償還費、維持管理費を含めた経営収支の均衡が見込まれること。
- f. 回収エネルギー（特に熱エネルギー）の有効利用が可能なこと。
- g. 効率的な原料ふん尿の搬送ができること。
- h. 施設建設に必要な十分な用地と環境条件が確保できること。
- i. 処理料収入が得られる副資材が近傍に賦存すること。

複数の農家で利用するシステムの場合には、それぞれの地域でa～iの条件が全て満足されるとは限らない。満足されない条件については代替的解決策を探すことが重要である。

### 【補足】

北海道では、酪農農家のうちフリーストール飼養を採用している農家は15%弱であり、残る大部分はストール（つなぎ式）飼養を採用している。ストール飼養の牛舎の大部分やフリーストール飼養の牛舎の一部は、長わらを敷料として採用しており、牛舎から排出されるふん尿は長わらの混じった固形状のふん尿であることが多い（本資料では、ふんと敷料を主体とし、尿も染み込んだもので、それが畜舎あるいは堆肥盤等に堆積された固形物あるいは半固形物を「固形ふん尿」とよぶこととする）。固形ふん尿は、スラリーと別々に運搬しなければならないうえに、長わらの混じったふん尿はポンプ閉塞の原因となるため、そのままの状態嫌気性発酵処理の原料とすることができない。そ

のためスラリーのみを原料とした場合には不必要な固液分離や破碎の工程が必要となり、システムの効率低下につながる。

#### 1-4. この資料の対象(嫌気性発酵システムの規模)

嫌気性発酵システムは、その規模と機能によって、集中型、共同型及び個別型に区分されるが、この資料では集中型及び共同型を主な対象とする。

##### 【解説】

この参考資料では、集中型、共同型及び個別型を以下のように区分して考える。下記のように集中型と共同型は、その規模により大規模共同利用型及び小規模共同利用型と区分する場合もある。しかし、集中型と共同型は規模だけではなく機能にも相違があるので、ここでは集中型、共同型という用語を使用する。

##### (1) 集中型

多数の農家が参加する処理施設で、乳牛ふん尿以外にも家庭の厨芥生ゴミ等、地域で発生する有機資源(副資材)を受け入れることが可能な規模のものである。副資材を積極的に受け入れることで、行政・組合等が参加する公共性の高い施設となり得る。さらに、副資材によるバイオガスの増産と有効活用により、地域社会で活用できる資源循環システムが実現する。

一方では、原料ふん尿の搬入及び消化液の搬出に経費がかさむ等課題もある。

国内では、京都府八木町の施設や積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト(以下資源循環プロジェクトと記す)の別海資源循環試験施設(以下別海施設と記す)の事例がある。

##### (2) 共同型

共同型は、複数の農家が参加・運営し、これら農家以外からの有機資源の搬入が少なく、公共性が低いものである。このため参加農家の位置が比較的まとまっていて原料搬送が容易であることが条件となる。

国内では、資源循環プロジェクトの湧別資源循環試験施設(以下湧別施設と記す)の事例がある。

集中型との主な違いは、大規模な副資材の受入がなく施設の公共性が低いことである。また個別型との違いは、乳牛ふん尿処理を共同で行うか、個別の農家自身が行うかの相違である。共同で行う場合、建設費や維持管理作業・経費の分担が可能となる。

##### (3) 個別型

個別型は、農家個人の処理施設として、主に畜舎近傍に設けられるものである。

運営方法は、個人が施設の運転管理、原料ふん尿の搬入、消化液の搬出散布等全てを行うものである。

## 1-5. 嫌気性発酵施設(バイオガスプラント)の概要

嫌気性発酵施設は原料ふん尿の受入れから、メタン発酵、消化液の貯留、バイオガスエネルギー利用までの一連のシステムで構成される。

### 【解説】

嫌気性発酵施設は大別して受入設備、メタン発酵設備、消化液貯留設備及びエネルギー利用設備で構成される(図1-5-1)。

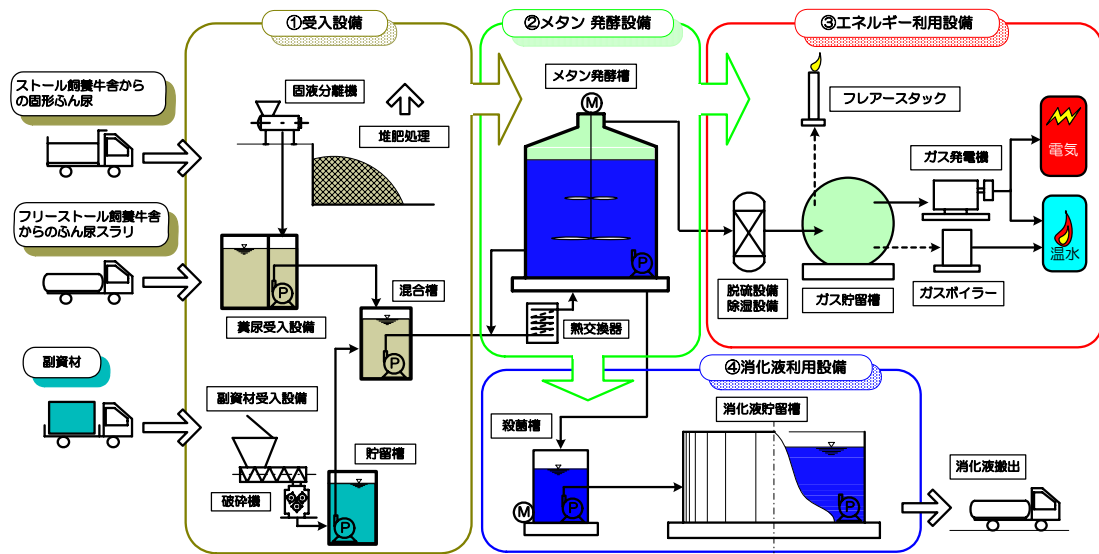


図 1-5-1 バイオガスプラントの概略構成

### (1) 受入設備

集中処理方式及び共同処理方式では、畜舎で回収されたふん尿はタンカー等によって施設内に設けた受入槽に搬入される。受入槽は、搬入量と発酵槽投入量の時間差調整の役割を持つ。その容量は少なくとも投入量1日分容量が必要であるが、搬入計画及び施設運転管理も考慮して適切な容量とする必要がある。

積雪寒冷地では投入口・機器類の保護や作業環境保持の目的で、受入設備を上屋で保護する等の配慮が必要である。



写真 1-5-1 受入設備の例(別海施設)



## (2) メタン発酵設備

メタン発酵には嫌気的条件、適切な温度管理と攪拌が必須条件であるため、発酵設備はメタン発酵槽、熱交換設備、攪拌設備で構成される。所定の温度と日数により発酵処理された消化液は消化液利用設備に移される。また、発酵段階で得られたバイオガスは、エネルギー利用設備に送られる。

発酵槽形式、熱交換及び攪拌方式は一つのシステムとして、各メーカーによって種々の方式があることから、処理規模等に適する形式を検討の上決定する。



写真 1-5-2 発酵槽(右)・ガスホルダー(中央・左)  
脱硫塔(右端赤)の例(別海施設)

## (3) 消化液利用設備

消化液利用設備は殺菌設備及び消化液貯留槽によって構成される。消化液の利用条件、地域特性等を考慮の上、殺菌工程の必要性の有無、貯留設備の規模等を決定する必要がある。

### a. 殺菌設備

共同型及び集中型施設では、複数農家から原料ふん尿が搬入され、混合処理された消化液は各々の圃場に散布される。従って万一病原菌や雑草種子等の混入がある不適切な消化液が生産された場合、その責任が明確にならず、生産された消化液そのものの信用を失うこととなる。消化液のシステム参加農家での共同利用や地域外利用等を考慮して、殺菌や雑草種子発芽抑制の必要性を検討し、エネルギー効率の良い殺菌方法等を決定する。



写真 1-5-3  
殺菌槽の例(別海施設)

### b. 消化液貯留槽

積雪寒冷地では冬期間の土壌凍結、積雪等によって圃場散布が不可能となるため、この期間に発生する消化液の貯留が必要となる。貯留期間については地域の気象特性、営農上の施用適期等を参考に適切な貯留日数を決定する。

また、貯留槽上部を覆うカバーをつけると



写真 1-5-4 消化液貯留槽の例(別海施設)

貯留中の消化液からのアンモニア揮散がなくなり、大気汚染の防止と肥料成分減耗の抑制につながる。ヨーロッパではカバーを有するものが多い。

#### (4) エネルギー利用設備

エネルギー利用設備はバイオガス貯留設備(バイオガスホルダー)、脱硫設備、除湿設備、熱電併給機(コージェネレータ)、売電のための電気設備(系統連携設備)、バイオガスボイラー、余剰ガス燃焼設備(フレアスタック)及び重油ボイラー等で構成される。エネルギー利用設備の構成・規模は、地域特性・施設立地条件から電力や温熱の利用条件・利用量、余剰エネルギーの活用方法等を検討し、これをもとに決定する。

##### a. バイオガス貯留設備(バイオガスホルダー)

バイオガスホルダーは、バイオガス発生量と利用量の差を調整するものであり、容量はコージェネレータやガスボイラーの運転計画を考慮して決定する。

##### b. 脱硫設備

バイオガスは微量であるが硫化水素ガスを含んでいる。硫化水素ガスは人体に有害であるほか、水と反応して希硫酸となり機器類を腐食させることから硫化水素ガスの除去(脱硫)を行う必要があるであり、ガス利用設備の硫化水素に対する耐腐食性を考慮した脱硫目標濃度を設定する。

##### c. 除湿設備

バイオガスに多量の水分が含まれていると、コージェネレータ及びガスボイラーの効率を低下させる。また、積雪寒冷地ではガス配管内での結露が生じやすく、機器や管路の腐食の原因となる。これらを防止する目的で除湿設備を設ける。

##### d. コージェネレータ(熱電併給機)

コージェネレータは発電と同時に熱(温水)を回収し、バイオガスエネルギーの利用効率を高めるものである。このシステムをコージェネレーションという。回収した電気及び熱エネルギーは嫌気性発酵施設内で消費するほか、余剰電気の電力会社への売電、余剰熱の有効活用を計画する。



写真 1-5-5 コージェネレータの例  
出力65kW(別海施設)

e. 電気設備

得られた電力は、各設備に供給して有効利用するほか、余剰電力については、施設外利用、または電力会社への売却により有効活用を図る。

電気設備の計画に当たっては施設内での利用を第一とし、その他施設外の利用計画及び売電計画を考慮の上、電力会社との系統連携設備を計画する。

f. バイオガスボイラー

バイオガスを燃焼させて熱を得るものである。熱エネルギーはコージェネレータからも得られるが、多量の熱を必要とする施設ではバイオガスボイラーによる熱利用計画を検討する必要がある。またコージェネレータのメンテナンス時、故障時のための非常用熱源としても重要である。

g. 余剰ガス燃焼装置(フレアースタック)

ガス利用設備の故障時や、ガス発生量の急増時などに発生する余剰ガスは、フレアースタックによって燃焼処理し、バイオガスの大気放出による環境汚染を防止する。

h. 重油ボイラー

メタン菌の不活性時には燃焼に必要なメタン濃度を持ったバイオガスが得られない場合がある。また嫌気性発酵は、バイオガスがまだ得られない運転開始当初においても、発酵槽への熱供給が不可欠である。このような場合には、重油ボイラー等の熱供給で発酵槽温度を維持することが必要である。



写真 1-5-6 ガスボイラー(左)と重油ボイラー(右)の例(別海施設)

## 第2章 調査

調査は、立地条件を的確に把握し、嫌気性発酵システムの適用性の検討や、システム規模の決定、各設備の設計や施工方法、並びに将来の管理を行うために必要な基礎資料を得ることを目的とする。従って、設計、施工、維持管理までを含めた広い視野に立った計画性のある調査を実施する必要がある。

特に気象条件や営農形態等、地域性の高い事項については、対象農家を含めた地域での聞き取り調査が重要である。

はじめに、嫌気性発酵システムの計画、施設建設及び将来の維持管理に当たって必要と考えられる調査項目を設定し、その後、既往資料調査、現地調査、聞き取り調査等適切な方法により調査を行う。それぞれの事項に関して考えられる調査項目を挙げると次のとおりである。これらの調査項目の中から、嫌気性発酵システムの導入検討に必要な項目について適切な調査を行う。

- (1) 地域の概要調査
- (2) 地形・地盤調査
- (3) 気象調査
- (4) 周辺環境調査
- (5) 営農状況調査
- (6) 乳牛ふん尿及び副資材の賦存量調査
- (7) 圃場還元量調査
- (8) 乳牛ふん尿及び副資材の成分調査

### 2-1. 地域の概要調査

地域の概要調査は、計画・設計の前提として嫌気性発酵システムの適用性の検討を行うためのものであり、主として既往の資料から得られる情報を検討・整理する。

#### 【解説】

#### (1) 地域の社会、経済、営農概況

##### 1) 地域の営農概況

地域における既往のふん尿処理における問題点や、農用地の利用区分、作付け方式を把握する。特に酪畑混合地域にあっては、堆肥利用等ふん尿の利用形態と必要量は作物や土地利用によって異なるので、土地利用状況、圃場条件、地域のふん尿流通を考慮したふん尿利用と嫌気性発酵システムの適用性について検討を行う。

## 2) 地域の社会・経済立地構造

地域の社会・経済構造における酪農業の位置づけを明らかにするとともに、土地、労働力、資本の需給動向、生産物の価格動向、地域の産業構造を調査分析し、酪農業の将来の発展方向と嫌気性発酵システムの適用性の検討を行う。

### (2) 社会的立地条件（排水・河川、道路、集落、電気、水道等の整備条件）

参加農家周辺の排水・河川状況、道路整備状況、集落位置及び電気・水道等の整備状況を整理し、嫌気性発酵システムの適用性の検討を行うとともに、参加農家調査と併せて参加農家の範囲、嫌気性発酵施設の計画位置、規模の検討に役立てる。

特にこれらの整備水準が低い条件不利地では周辺整備費に多大の費用を要することが考えられるため、施設の建設位置の決定に当たっては十分な調査が必要である。

社会的立地条件については以下の項目について調査を行い、図面等の整理を行う。

- ・ 道路網：管理者別、構造別、除雪・非除雪等の通行規制別
- ・ 排水・河川：河川種類、水質類型、保護水面等の法規制、流域での利水状況
- ・ 電気、電話、水道等の配置、規格・容量
- ・ 住宅密集地や静穏環境を要する施設(学校、病院など)付近等の建設不適地

### (3) 他事業及び地域開発計画との関連

先行する他事業や各市町村が掲げる町づくり計画、エネルギービジョン等を調査し、これらの計画と整合性のある事業計画としなければならない。地域住民の理解を得た、ふん尿処理のシステム計画を立てることが重要である。

### (4) 管理に関する調査

嫌気性発酵システムの管理は、原料ふん尿の搬送、処理液の搬出・散布、機器類運転等ハード面の他に、労務管理、資金管理、安全管理等ソフト面の管理を含めた組織的な管理が必要となる。これらの管理を参加農家が独自で行うことは困難であり、委託管理とする事が妥当と考えられる。新たに管理組合を組織するか、既存の組織への委託とするか、人的資源の育成も含めた検討を行う。

委託可能な既存の組織としては市町村、農協、土地改良区、産業廃棄物運搬業者、コントラクター等が考えられるが、各地域での組織状況について調査し、管理委託の可能性について検討する。

また、警察署、消防署、民間警備会社のサービスエリア、機器類の維持補修体制等、通常時、緊急時に可能な対応の内容についても調査をおこない、適切な管理施設の計画に反映させることが必要である。

## 2-2. 地形・地盤調査

地形・地盤調査は、嫌気性発酵施設の建設予定地及びその周辺について資料収集及び現地調査により地形条件、地盤条件を把握し、合理的な施設計画立案に反映されるよう適切に行う。

### 【解説】

#### (1) 地形調査

地形調査は、嫌気性発酵施設の各設備の適切な位置を決定し、施設のシステム設計、各設備の構造設計、施工計画並びに管理計画策定のための前提となる地形上の制約要因を明らかにすることを目的とするものである。

地形調査においては以下の作業等を行う。

- ・ 資料収集
- ・ 現地踏査
- ・ 平面測量
- ・ 縦断、横断測量

#### (2) 地盤調査

地盤調査は、各設備の構造設計と施工計画に必要な地盤の工学的性質を把握するもので、必要に応じて以下の作業等を行う。嫌気性発酵施設はポンプ、配管、攪拌機等の機械設備が多く、また可燃性のバイオガスを扱うことから、構造物の支持力に対する検討が特に重要となる。また、北海道東部のように地震地帯にあっては、耐震設計や液状化による影響の検討も必要となる。

- ・ 資料収集
- ・ 現地踏査
- ・ ボーリング調査
- ・ サウンディング
- ・ サンプルングとその解析
- ・ 原位置試験

## 2-3. 気象調査

気象条件は、嫌気性発酵システムの適用性の検討、施設計画・設計及び管理計画等に大きく関わるため、既往の資料の収集・整理とともに、現地調査・聞き取り調査によって現地の実状を十分に把握できるよう行う。

### 【解説】

気象条件は嫌気性発酵施設や周辺整備の設計、施工計画、原料の搬入方式や消化液の搬出方式の策定、エネルギー計画の検討等、計画、設計、施工、管理のそれぞれに関係する。

特に、積雪寒冷地においては施設の各設備の防寒対策や積雪対策、冬季ふん尿の搬入路確保、ふん尿の凍結等、冬季の気象関係資料が重要な判断資料となることを考慮しなければならない。

また、ふん尿を扱う施設であることから、雨水の施設用地外流出に留意することも必

要となり、局所的な降雨履歴や豪雨時の排水経路等についての聞き取り調査も必要である。

気象関係の資料は既設の測候所及び観測所の資料を利用できる場合が多いが、聞き取り調査による現地の実状を把握し、嫌気性発酵システムの適用性の検討や、施設計画、設計及び管理計画に反映させる。

気象については以下の項目について調査する。

- |        |           |
|--------|-----------|
| 1.気温   | 2.風向・風力   |
| 3.降水量  | 4.降雪量・積雪深 |
| 5.積算寒度 | 6.凍結深     |

## 2-4. 周辺環境調査

周辺環境調査では、嫌気性発酵施設の設置が周辺住民の生活環境や自然環境に悪影響を及ぼすことがないように、資料収集や現地調査、聞き取り調査によって地域の将来計画や施設建設予定地周辺の環境条件を十分に調査する。また処理方式別に環境への影響を評価し、適切な対策を検討することが必要である。

### 【解説】

施設を建設することによって、周辺住民の生活環境や自然環境に影響を及ぼすと考えられる場合は、処理施設の特徴も考慮のうえ、環境との調和を図る適切な対策をとる必要がある。

処理施設の「環境との調和」への配慮では、建設時の震動・騒音、維持管理時の震動・騒音、悪臭、排水処理等が重要である。

#### (1) 生活環境に係わる調査

建設時の震動・騒音は施工手法によっても緩和が可能であるが、学校、病院、住宅等の静穏を要求される施設の有無について調査し、騒音、振動等の公害を未然に防止できるよう検討する。

施設稼働時に発生が懸念される大気汚染、騒音、振動又は悪臭に係わる事項の内、周辺地域の生活環境に影響を及ぼすものについて調査を行い、影響の少ない処理方式の選択、遮断緑地の設置、集落からの距離の確保等適切な対策を検討する必要がある。これらの検討には、地域の将来計画への配慮も必要である。

#### (2) 自然環境保全に関する調査

施工中の泥水や、維持管理時の排水が水生動物に悪影響を与えないよう留意する必要がある。必要に応じて河川内の水中生物、魚介類の生息状況を調査し、水質汚濁防止法等による処置を検討する必要がある。また、北海道には保護水面指定や資源保護水面指定河川が多いため、関係部署との協議により適切な処置を検討する必要がある。

### (3) 景観との調和

乳牛ふん尿を主体とした処理施設の建設予定地点は、概ね農村地域になると考えられる。農村地域は良好な自然景観を有している地域でもあり、周囲の景観と調和のとれた施設計画とする必要がある。

周辺環境への影響については主として以下の項目について調査する。

1. 処理施設と民家・集落等との距離：悪臭、騒音、震動
2. 処理施設周辺の排水状況、保護河川、指定河川、湖沼等：水質汚濁
3. 処理施設周辺の植栽状況：悪臭、騒音、景観
4. 処理施設位置と風向：悪臭

なお、これらの公害規制基準は都道府県知事が地域ごとに規制値を定めているので、あらかじめ調査する必要がある。

## 2-5. 営農状況調査

営農状況調査は、現地調査や聞き取り調査によって、嫌気性発酵システムの適用性や、規模・方式の検討が適切に行われるよう、営農形態、飼養形態等について現況及び将来予測を含めて行う。

### 【解説】

1/10,000地形図等を利用して参加農家位置図及び土地利用区分図を作成し、原料ふん尿の搬送、処理液の搬出・散布を考慮した参加農家の範囲と、処理施設の建設位置及び規模概定の検討に役立てる。

乳牛ふん尿は基本的に全て嫌気性発酵が可能であるが、飼養形態によっては処理が困難な夾雑物が混入して、計画とおりのふん尿回収量が確保できない場合がある。また、夏季放牧を行う農家にあっては、夏期のふん尿回収量が低下する。このため、参加農家の営農形態、飼養形態を調査することにより、敷料の使用状況やふん尿処理形態、夏期の放牧期間等を把握し、嫌気性発酵システムの適用性の検討や後述する賦存量調査に役立てる。

参加農家については、以下の項目について現状及び将来予測を含めて調査を行い、写真、調査票、図面の整理を行う。

- ・ 農家番号、代表者氏名、農家位置、営農形態、経営面積
- ・ 飼養頭数、飼養形態、敷料の種類・形状・使用量
- ・ ふん尿処理方式、処理機械、処理時間、処理経費



## 2-6. 乳牛ふん尿及び副資材の賦存量調査

賦存量調査では、処理方式に応じて利用が可能となる乳牛ふん尿及び副資材の賦存量を、既往の資料収集・現地調査等によって十分に把握する。賦存量調査結果は、各種処理方式での規模、嫌気性発酵システムの適用性の検討に利用する。

### 【解説】

ふん尿の性状によっては、処理方式が限定されることがある。前述の営農状況調査によって得られた諸元を活用し、各種処理方式によって利用可能なふん尿の賦存量を把握する。

また、嫌気性発酵では一定量の範囲で、乳牛ふん尿と同時に農業系残滓、生活系残滓、漁業系残滓等を副資材として利用することも可能である。このような副資材の利用は、バイオガス発生量を増大させ、施設のエネルギー収支を好転させる。従って乳牛ふん尿量と同時にこれらの賦存量調査も行い、地域に適合した嫌気性発酵システム構築のための資料とすることが必要である。

また、副資材の処理料収入は、施設運営にとって重要な財源となる。それゆえ、処理料収入を想定する参考として、現況の残滓等の処理方法と処理料金を調査する。副資材の形状によっては、処理前に粉碎等の前処理が必要な場合もあるので、形状等の特徴も考慮して賦存量を把握することが重要である。

賦存量については以下の項目について調査を行う。

- ・飼養頭数・形態から求められる各種処理方式で利用可能なふん尿量
- ・利用可能な副資材の種類・形状・量（季節変動）・現行処理（方法と経費）

## 2-7. 乳牛ふん尿及び副資材の成分調査

乳牛ふん尿の成分調査は、生成物の圃場還元の可否判定に必要である。また、副資材として想定している原料については、この調査段階では、文献等で利用の可否を検討し、必要に応じて法律で求められる項目の分析を行う。

なお、乳牛ふん尿及び副資材の成分は、嫌気性発酵システムの適用性を検討するうえで、発生バイオガス量の概算をはじめエネルギー計画の検討にも用いる。

### 【解説】

参加農家の内、標準的な原料ふん尿の現地サンプリングと室内試験により、ふん尿に含まれる肥料成分（N,P,K）や有機質含有量を調査する。肥料成分の調査結果は生成物の圃場還元計画の検討に役立て、有機質含有量等の調査結果は嫌気性発酵における発生バイオガス量の推定に用い、嫌気性発酵システムにおけるエネルギー計画の検討材料とする。

副資材を発酵原料に使用した場合、用いた副資材ごとに、その消化液に必要な分析項目が肥料取締法で定められている。調査段階では、近傍で有望な副資材について、必要な項目の分析を行う。その結果は、副資材としての投入可能量や生成物受け入れに対する農家の意向確認などに活用する。代表的な副資材について必要な分析項目は、7-1. (3) 消化液のその他成分について を参照のこと。

## 2-8. 圃場還元量調査

圃場還元量調査は、既往の資料の収集、現地調査・分析によって、地域の圃場において受入可能な施用量の調査を行う。

### 【解説】

ふん尿処理によって得られた生成物は、肥料として圃場還元利用する事を基本とする。牧草・飼料作物への施肥を考える場合には、施用量に応じて減肥をすることが重要であり、対象作物の施用特性を把握し、適切な量を用いることが必要である。

草地型酪農専業地域にあっては搬入元と搬出先が一致することが基本と考えられるが、酪農畑作混合地域にあっては、畑地での利用も考慮に入れる必要がある。

地域の作物別農地面積と施肥標準から、地域において圃場還元することが可能な施用量、施用可能時期の調査を行う。

## 第3章 計 画

計画の樹立に当たっては、調査内容に基づき、計画諸元の決定から順次細部のものへと作業を進め、必要に応じて修正しながら最も妥当な計画となるようにする。

### 【解説】

計画は、調査内容に基づき、計画諸元から順次細部のものへと作業を進めていくこととするが、地域及び地区の実状を考慮し決定する。

作業を進めるに当たっては、計画処理量、嫌気性発酵以外の方式を含む各種処理方式の適用性比較、規模、全体システム計画、維持管理計画などの各項目において十分な検討を行い、最後に経営収支の検討により計画を決定する。また検討を進めても良好な経営収支とならなかった場合には、計画を修正して経営収支の改善を試みることにする。

システムの計画に当たっては、参加農家のふん尿処理との整合性を考慮してプラントの規模・方式を決定するとともに、参加農家とプラントの役割分担を工夫して、システムの利点を引き出すことが重要である。

### 3-1. 計画処理量

計画処理量は嫌気性発酵施設をはじめとする各種処理方式の適用性比較や規模の決定のための基礎数値である。計画処理量は、処理対象戸数、散布面積(消化液・堆肥)、飼養頭数(成牛・育成牛)、ふん尿の単位排せつ量、飼養形態、敷料の利用状況、固液分離状況を考慮して過不足のないように決定する。これらは将来の営農計画を考慮したものとする。

### 【解説】

#### (1) 処理対象区域

処理対象区域は、下記の事項を考慮して決定する。

- ・嫌気性発酵システム採用に対する農家の要望等
- ・嫌気性発酵が適する農家の分布状況
- ・営農集団や地区協議会など地元組織の枠組みの状況
- ・参加農家の土地所有状況及び消化液散布圃場の位置
- ・地域の地形的条件
- ・飼養形態及びふん尿処理状況

#### (2) 計画処理量の算出

計画処理量は、飼養頭数(成牛、育成牛)、飼養形態、ふん及び尿の排せつ量、敷料、

固液分離の状況から算出する。処理量決定に当たっては、実際に調査を行って地域実態に即した数値を使用することが望ましい。

また計画処理量の算出に当たって、参考値を以下に示す。

## 1) 乳牛ふん尿の単位排せつ量

乳牛ふん尿の単位排せつ量は表3-1-1、3-1-2に示すように参考文献、乳牛の体重等によって異なる。また乳牛の飲み水量、季節、飼料、排せつ後の蒸発量によっても異なることから、単位排せつ量の決定に当たっては、実際に調査を行い地域実態に即した数値を使用することが重要である。

しかし、処理対象農家が決定していない段階では参考文献を参考とせざるを得ないが、なるべく早い段階で実態値に置き換えて精度を高める必要がある。

表3-1-1 乳牛ふん尿の単位排せつ量

区分	体重(kg)	1日1頭当たりふん尿量(kg)		
		ふん量	尿量	合計
搾乳牛	500~600(550)	30~50(40)	15~25(20)	45~75(60)
育成牛	200~300(250)	10~20(15)	5~10(7.5)	15~30(22.5)

( )は平均的な数値を示す  
(畜産環境対策大事典<sup>1)</sup>を基に作成)

表3-1-2 乳牛ふん尿の単位排せつ量

畜種	区分	体重	1日1頭当たりふん尿量(kg)		
			ふん量	尿量	合計
搾乳牛	生乳生産量10,000kg/年以上	700kg	54	17	71
	生乳生産量10,000kg/年程度	700kg	50	15	65
	生乳生産量7,600kg/年程度	600~700kg	36	14	50
乾乳牛		550~650kg	21	6	27
育成牛		40~500kg	16	7	23

(堆肥化施設設計マニュアル<sup>2)</sup>を基に作成)

## 2) ふん尿回収率

ふん尿回収率は、表3-1-3に示すように飼養方法により大きく異なる。積雪寒冷地では、冬季はパドックでの運動時間(2時間程度)を除けば舎飼が主であり、概ねふん尿回収率は高い。しかし、夏季は放牧飼養する場合と舎飼飼養の場合とがあり、飼養方法によってふん尿回収率は極端に異なる。

表3-1-3 舎飼方式別のふん尿回収率

飼養方法	ふん尿回収率	算出式
放牧	50%	$= (24-12) \div 24 \times 100$
パドック利用	90%	$= (24-2) \div 24 \times 100$
舎飼	100%	$= (24-0) \div 24 \times 100$

放牧：1日のうち12時間程度放牧するとして算出<sup>3)</sup>

パドック利用：1日のうち2時間程度パドックで運動するとして算出<sup>3)</sup>

舎飼：1日中畜舎内で飼育するとして算出

### (3) 畜舎での敷料利用

積雪寒冷地では畜舎内で牛体の保護、乳房炎の予防等の目的で敷料を利用している。敷料には麦かん、おがくず、わら等が利用され、ふん尿と混じり合った形で畜舎外に排出される。

計画処理量の算出に当たっては、回収するふん尿に含まれる敷料を考慮する必要がある。ストール飼養の農家では成牛1頭1日当たり2kg程度、育成牛では同5kgの敷料が利用されている場合が多いが、農家の飼養方針によっても異なるので実態調査に基づく値を用いることが重要である。一方フリーストール飼養の農家では、敷料のふん尿中への混入はほとんどない場合がある。

### (4) 固液分離率

回収されたふん尿に長わら敷料やオガコ、チップなどが多く含まれる場合は、固液分離が必要となる(3-6-3(4)参照)。固液分離機の機種選定に当たっては、ふん尿の性状、敷料の種類などを考慮する必要がある。固液分離機と敷料の有無や種類などの関係から経験的に求められている固液分離率を以下に示す。

ここで、固液分離率とは(固液分離後の分離液分重) / (分離前のふん尿重)の百分率のことをいう。

表3-1-4 固液分離率

機 種	ふん尿の性状	敷 料	固液分離率(%)
スクリュープレス	ふん尿スラリー	な し	83
		麦かん	72
		おがくず	61~71
スクリュープレス	固形ふん尿	麦かん	75~82
		長わら	58 <sup>5)</sup> ~72
ローラープレス	ふん尿スラリー	麦かん	84~86
		おがくず	79~82
ウエービープレス	固形ふん尿	長わら	44 <sup>6)</sup>

(家畜ふん尿利活用施設 設計の手引き<sup>4)</sup>から作成、ただし文献5)、6)は資源循環プロジェクト実績値)

### (5) 固液分離してふん尿を処理する場合の計画処理量の算出例

#### i. 算出条件：

乳牛100頭(搾乳牛) ストール飼養

1日1頭当たりふん尿量60kg ふん尿回収率(冬季、パドック利用) 90%

敷料(1日1頭当たり2kg利用) 固液分離率80% とした場合。

#### ii. 計画処理量

・分離液分  $100\text{頭} \times (60\text{kg}/\text{頭}/\text{日} + 2\text{kg}/\text{頭}/\text{日}) \times 90\% \times 80\% = 4,464\text{kg}/\text{日}$

・分離固分  $100\text{頭} \times (60\text{kg}/\text{頭}/\text{日} + 2\text{kg}/\text{頭}/\text{日}) \times 90\% \times 20\% = 1,116\text{kg}/\text{日}$

### 3-2. 処理方式

ふん尿の処理方式は、原料ふん尿の性状、処理物の利用方法等を検討の上適切な方法を採用する。

【解説】

#### 3-2-1. ふん尿の処理方法

##### (1) 乳牛ふん尿の処理方法

乳牛ふん尿の処理方法には図3-2-1に示すように種々のものが考えられ、処理物の最終的な利用方法によって処理方法が選択される。

乳牛ふん尿の処理方法を選択するに当たっての基本方針は以下とする。

1. 発生量が膨大であることから浄化処理など廃棄物としての処理は処理費の面から見て不適當であり、資源循環利用を最優先とする。
2. 資源循環利用では圃場還元による有機肥料として循環利用する。
3. 圃場還元面積は処理した液肥、堆肥の利用可能量に見合ったものとする。

圃場への還元利用を前提とした場合の代表的な処理方法としては、堆肥化処理、嫌気性発酵処理、好気性発酵処理（液状コンポスト化）の3方法があげられる。

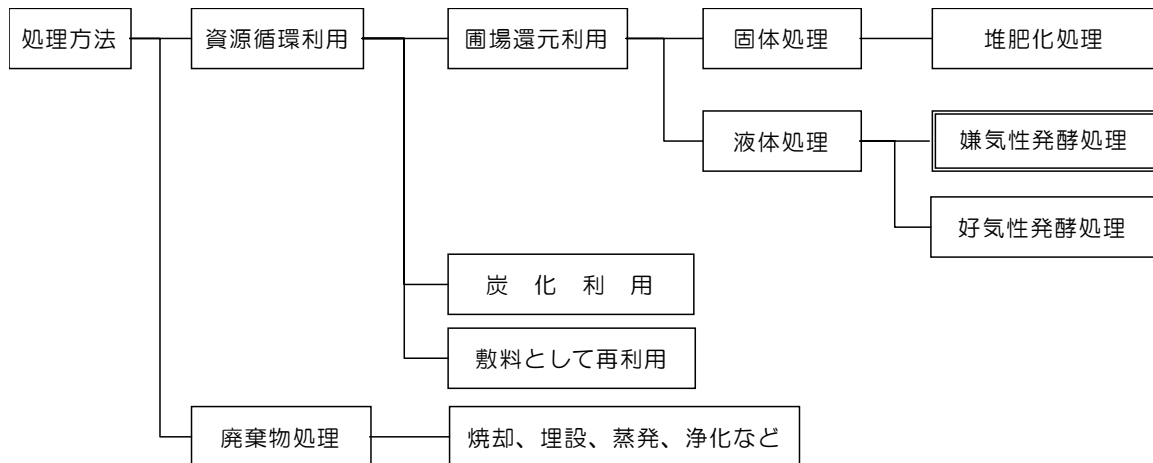


図3-2-1 主なふん尿処理方法

## (2) 処理方法の比較

堆肥化処理、嫌気性発酵処理、好気性発酵処理(液状コンポスト化)の主要な相違点を表3-2-1にまとめる。

表3-2-1 ふん尿処理方法の比較

項目		堆肥化処理	嫌気性発酵処理	好気性発酵処理
ふん尿の性状		固形ふん	スラリー(細断敷料等は含む)	
発酵条件	発酵槽形式	開放型/密閉型	密閉型	開放型
	微生物	好気性菌	通性・偏性嫌気性菌	好気性菌
	発酵方式	攪拌による好気性発酵	温度保持による嫌気性発酵	曝気による好気性発酵
	攪拌の目的	均一な空気混入	温度・スラリー性状の均一性	溶存酸素・スラリー性状の均一性
	投入エネルギー	攪拌に外部エネルギーが必要	温度保持にバイオガスエネルギーを利用できる	曝気に外部エネルギーが必要
生成物		堆肥	消化液、バイオガス	曝気液
環境面	アンモニア揮散	発酵過程で大きい	発酵過程ではない	発酵過程で大きい
	エネルギー創出	なし	バイオガスから電気・熱エネルギーを創出	なし

好気性菌 : 空気(酸素)がないと生存できない細菌をいう。

通性嫌気性菌: 空気(酸素)があってもなくても生存できる細菌をいう。


偏性嫌気性菌: 空気(酸素)があっては生存できない細菌をいう。

## 3-2-2. 堆肥化処理

乳牛ふん尿の水分を65~70%程度に調整して通気性を確保し、好気性微生物の働きによって有機物を分解する。水分含有量が少ない固形ふん尿の場合は、堆肥化処理を行うのが有利である。また水分量が多くなおかつ敷料が多く含まれている原料の場合は固液分離を行って分離固分のみを堆肥化処理する方法や、固液分離をせず水分調整材を加えて堆肥化処理する方法などがある。

表3-2-2は、乳牛ふん尿の嫌気性発酵施設(湧別施設)に分離固分の堆肥化のために併設された攪拌式堆肥化施設の例である。堆肥化施設には堆積式、攪拌式等の方式があるが、施設設計の詳細については堆肥化施設設計マニュアル<sup>2)</sup>等を参考にする。

表3-2-2 堆肥化処理の特徴

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水分65~70%程度の固形状ふん尿の処理に適する。</li> <li>・ 堆肥化過程では微生物がふん尿中の易分解性有機物を積極的に分解し、悪臭や汚物感がなくハンドリングの良い有機質肥料を製造できる。</li> <li>・ 発酵過程で発酵熱が発生することによって、水分の蒸発が促進され、また病原菌や雑草種子を死滅させるなど衛生面に貢献する。</li> <li>・ 開放系のため処理時にふん尿の臭いが発生する。</li> <li>・ 乳牛ふん尿のC/Nが15~20と低いため有機物の分解に伴って余剰窒素がアンモニアガスとして揮散する。</li> </ul>	
---	--

### 3-2-3. 嫌気性発酵処理

閉鎖系の無酸素状態の発酵槽で、嫌気性微生物の働きによって有機物を分解する方法である。発酵槽では、微生物の働きを良好な状態にするためにある一定の温度に保つとともに攪拌によって原料性状の均一化を図る。嫌気性発酵は図3-2-3に示すように最終的に偏性嫌気性菌であるメタン細菌によるメタンガス生成過程に移行することからメタン発酵とも呼ばれる。

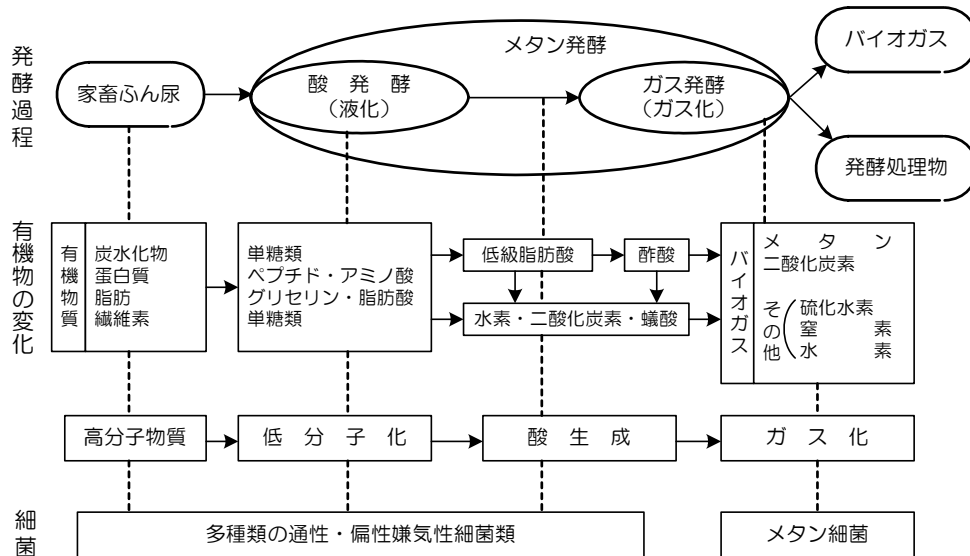


図3-2-2 家畜排泄物のメタン発酵  
(バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効活用<sup>7)</sup>より)

前項の堆肥化処理は固形ふん尿を対象とするのに対し、嫌気性発酵処理は液状の原料を対象としている点で原料性状に大きな違いがある。また、次項で述べる好気性発酵処理は同じく液状の原料を対象としているが、発酵過程に違いがある。

表3-2-3は、酪農専業地域における集中型処理施設（別海施設）に設けられた嫌気性発酵槽の例である。発酵槽形式・構造等には種々のものがあるが、何れの場合もメタン発酵に必要な機能を備えなければならない。

表3-2-3 嫌気性発酵処理の特徴

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 槽内において原料の固形分濃度(TS)が12%程度以下で運転するもので、液状ふん尿の処理に適する。</li> <li>・ 発酵槽の機密性、発酵温度、滞留日数などの運転条件を適切に管理する事が重要である。</li> <li>・ 発酵温度によっては別途殺菌設備を設けなくても、病原菌や雑草種子の不活性化が図れる。</li> <li>・ 完全閉鎖系での処理であり、処理過程で臭気やアンモニアガスの揮散が発生しない。</li> <li>・ 発酵過程で得られるバイオガスを電気・熱エネルギーとして利用できる。</li> <li>・ 発酵過程での窒素の揮散がないことから消化液の肥料価値は高い</li> </ul>	
---	--




なお、食品廃棄物のように固形分濃度が20%を超える原料を対象とする嫌気性発酵処理方式（乾式嫌気性発酵処理）も存在するが、乳牛ふん尿の処理を行うには固形ふんがかさばって量が多く、搬送と発酵槽内での移動（貫流）が問題となっている<sup>8)</sup>。そのためこの参考資料で扱う嫌気性発酵は、液体処理の嫌気性発酵処理方式（湿式嫌気性発酵処理）とし、乾式嫌気性発酵処理については記述しない。

### 3-2-4. 好気性発酵処理（液状コンポスト化処理）

主としてふんと尿が混合したものや乳牛の尿に用いられる処理方法で、強制通気によって好気性微生物の働きを活性化させて有機物を分解する方法である。表3-2-4に好気性発酵処理の特徴を示す（嫌気性発酵処理との違いは前項の処理方法の比較を参照のこと）。

表3-2-4 好気性発酵処理の特徴

<ul style="list-style-type: none"><li>・ 水分含有量の多い液状の原料の処理に適している。</li><li>・ 開放系のため処理時にふん尿の臭いが発生する。</li><li>・ 乳牛ふん尿のC/Nが15~20と低いため有機物の分解に伴って余剰窒素がアンモニアガスとして揮散する。</li><li>・ 発酵過程でアンモニア揮散が生ずるため嫌気性消化液に比べ窒素成分は減少する。</li></ul>	
---	---

### 3-2-5. 処理方式の選択

処理方式は、原料ふん尿の性状、処理物の利用可能量、エネルギー利用の可能性など、地域の特徴を十分に把握した上で、適切なものを選択する。

#### 【解説】

圃場還元を前提としたふん尿処理方式の選択は、以下の事項を考慮して決定する。  
処理方式の選択の手順を図3-2-4に示す。

#### (1) 堆肥、消化液及び曝気液が有効利用できる農地が地域に存在するか？

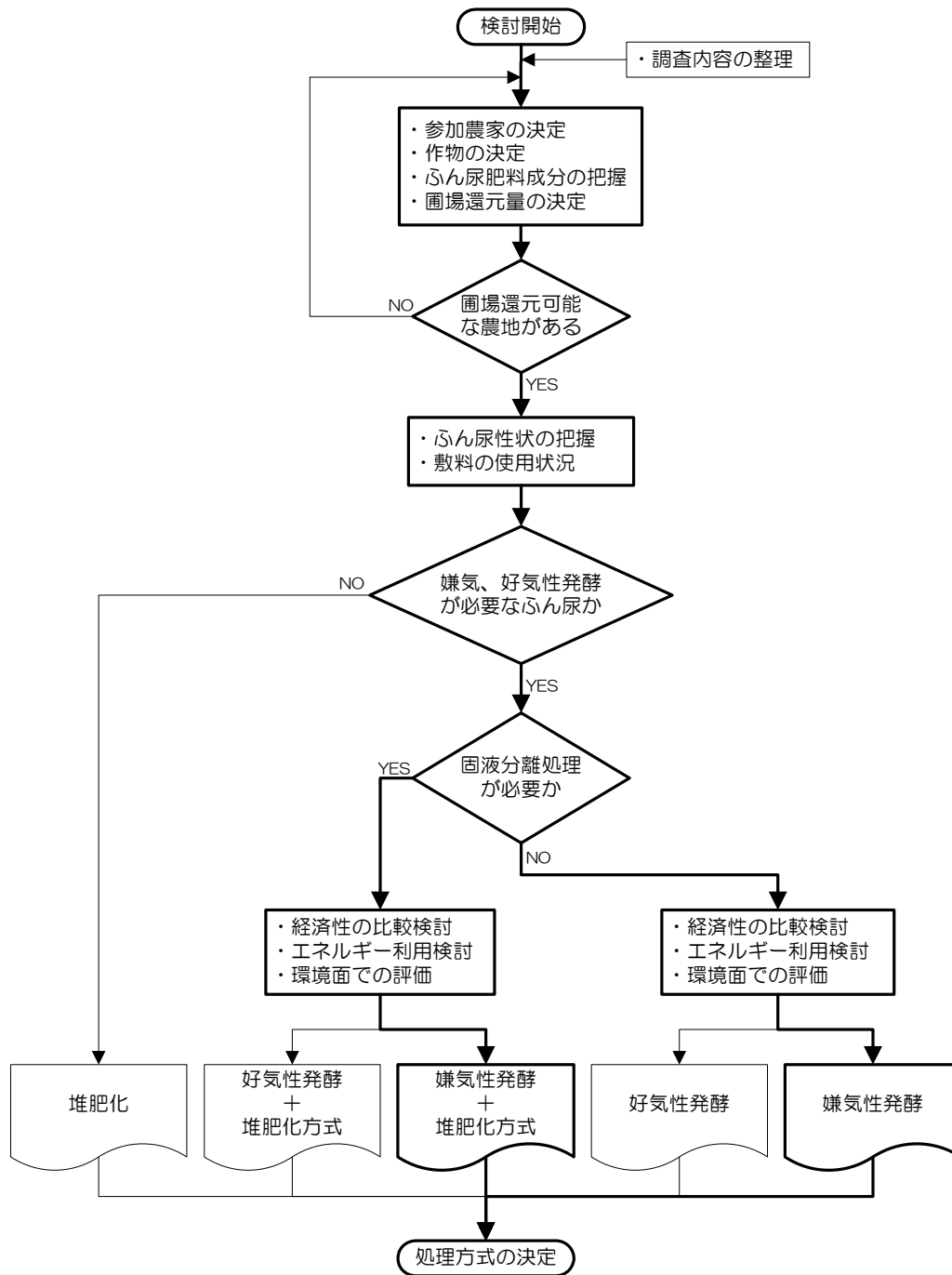
堆肥、消化液、曝気液には肥料成分(窒素、リン酸、カリウム)が多く含まれている。しかし窒素の過剰施用は地下水を汚染し、カリウムの過剰施用は作物の品質を低下させることになる。このため圃場還元にあたっては、作物別、土壌区別の施用可能量を十分把握して必要な圃場面積を確保することが必要である。

#### (2) 処理対象のふん尿は敷料を含んでいるか？

嫌気性発酵処理方式は、多くのポンプ・配管等が介在するため、敷料を多く含んだふん尿を処理すると配管等が閉塞する可能性がある。それゆえ、固形ふん尿を受け入れると、固液分離機や堆肥化施設が必要になり、スラリーのみを受け入れる場合に比べて建設費・維持管理経費が高額になる。また、固液分離作業や堆肥化の処理労力も大きくなる。それらにかかるコストと労力を許容するか否かを、慎重に検討しなければならない。

#### (3) バイオガスエネルギーが有効に利用できるか？

嫌気性発酵処理が好気性発酵処理と大きく違う点は、バイオガスを利用して電気や熱エネルギーを産出できることである。施設建設予定地の隣接地やその周辺で、エネルギーを利用できる施設が存在する場合は、嫌気性発酵処理の有利性は高まる。また地域で発生する副資材を受け入れられるか否かも、バイオマスエネルギー有効利用の可能性に大きく関わり、処理方式決定の重要な検討項目となる。余剰エネルギーの用途が少ない場合やエネルギーが自給できず維持管理費用が高額となる等の条件では、好気性処理(液状コンポスト)が有利となる場合がある



(太線は本参考資料の記述範囲)

図3-2-3 処理方式選択の手順

### 3-3. 処理規模

嫌気性発酵システムは、処理規模によって集中型、共同型、個別型に区分できる。処理規模の決定に当たっては、各規模の特徴を十分考慮の上、経済性の検討を行い地域実態に即したものを選択する。

#### 【解説】

嫌気性発酵システムは処理規模によって集中型、共同型、個別型に分けられる。個別型は単独の農家が利用する施設をさす。集中型、共同型は、ともに複数農家で利用する施設をさすが、本書では集中型は「多数の農家が参加する処理施設で、乳牛ふん尿以外にも地域で発生する有機資源(副資材)を受け入れることが可能な規模のもの」、共同型は「複数の農家が参加・運営し、これら農家以外からの有機資源の搬入が少なく、公共性が低いもの」をさすものとする。

集中型では、施設規模が大きいため施設費やエネルギー収支の面でスケールメリットが得られるが、搬入搬出の経費に留意が必要である。共同型は集中型に比べ施設費やエネルギーのスケールメリットが得られない。このため比較的まとまった農家で共同利用し、搬入搬出の経費を極力抑えた規模となる。個別型はプラントを利用者個人が建設するため、施設費や運転管理の負担が大きくなる傾向がある。処理規模の決定の際は、各規模の特徴や参加農家の要望、営農状況等を考慮し、経済性及びエネルギー収支の検討を行い地域実態に即したものを選択する必要がある。

#### 3-3-1. 集中型

集中型施設は、ふん尿以外の有機資源の受け入れや地域社会へのエネルギー供給などの有利性が大きい。このため処理規模の決定に当たっては農家位置、圃場位置、建設費、維持管理費、副資材処理量、余剰エネルギーの利用地域など地域特性を十分考慮する必要がある。

#### 【解説】

集中型は共同型、個別型に比べ、施設費やエネルギー収支においてもスケールメリットが得られる。その一方で、ふん尿の性状や農家群の分布状況によっては、原料搬入や消化液の搬出に多大な労力が必要となる場合がある。したがって、処理対象範囲の決定に当たっては、営農状況、自然状況、社会状況等地域の特徴について十分な検討が必要である。表3-3-1に集中型施設の特徴について示す。

表3-3-1 集中型施設の特徴

定義	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数の農家が参加する処理施設で、乳牛ふん尿以外にも地域で発生する有機資源(副資材)を受け入れることが可能な規模のもの。</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設規模が大きいため、建設費やエネルギー収支の面でスケールメリットが大きい。</li> <li>参加農家が広範囲なため、ふん尿の搬入や消化液の搬出に多大な労力が必要になる。</li> <li>ふん尿以外の有機資源を受け入れることが可能なため、公共性のある施設となり、かつ発生ガス量の増量が期待できる。結果として、余剰エネルギーが発生し、地域社会で活用することができる。</li> </ul>
採用条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域において、有効な副資材が安定的に(量・質とも)確保できること。</li> <li>搬入搬出の労力、コストが許容できること。</li> <li>余剰エネルギーの地域利用が、現実的に可能であること。</li> </ul>
概念図	

集中型の特徴及び採用に当たっての留意点は、次のように整理できる。

(1) 利 点

- ・大規模化によるスケールメリットにより、個別型を多数建設するのに比較して施設建設費が安価である。
- ・大規模化によるスケールメリットにより、余剰エネルギーを多く得ることが可能になり、発生エネルギーを地域社会で活用することが可能である。
- ・多数の農家が参加する処理施設のため、地域一体のふん尿処理、環境保全対策としての公共性が高まる。
- ・原料はふん尿の他、地域で発生する有機資源(副資材)も処理可能なことから、公共性の高い施設となる。

(2) 課 題

- ・参加農家の位置や対象圃場の位置によっては、原料ふん尿の搬入や消化液の搬出に多くの労力が必要となる。これらに必要な労力、コストが許容できるか否かについて十分に検討しなければならない。
- ・比較的多数の農家からのふん尿を受け入れることや、副資材を受け入れることが

あることなどから、原料あるいは生成物の殺菌等による安全性の確保の検討が必要である。

- ・原料搬送路の確保、及び事故防止が必要である。
- ・冬期間においても計画処理量を一定量確保するため、原料ふん尿の凍結防止を図る対策が必要である。
- ・敷料に長わらを利用したふん尿では固液分離が必要である。
- ・維持管理組織のあり方について関係者の合意形成を図る必要がある。
- ・専任オペレーターの常駐が望ましく、人件費が必要となる。
- ・建設費・維持費等の負担額及び負担方法について関係者の合意形成を図る必要がある。

### (3) 処理対象範囲とプラント位置

集中型では、原料ふん尿の搬入、消化液の搬出に関わる労力・コストが大きいため、処理対象範囲の決定は非常に重要である。特に、点在する農家間の距離が大きい場合には、農家群及び搬送路の整備状況等を考慮した、経済的な対象農家の範囲設定が必要となる。

以下に処理対象範囲を及びプラント位置を設定する際の留意事項をまとめる。

- ・対象農家群と処理施設の位置関係から、全体的に搬送距離が短くなる位置を選定する。
- ・効率的な人員配置、機械の確保が可能となるように、搬入・搬出にかかる時間、搬送ローテーションを検討する。
- ・搬入・搬出に必要な経費は、バイオガスプラント全体の維持管理費の中で適切な範囲とする。
- ・余剰エネルギー活用の利便性も考慮に入れる。
- ・営農協議会、部落境界、道路網など、将来の維持管理を考慮した範囲とする。
- ・積雪寒冷地にあっては、特に通年の安全な搬送路が確保できる範囲とする。

### (4) 搬送距離の事例

別海資源循環試験施設では10戸の農家が処理対象であり、搬送距離は最大で約4.9km、平均で2.3kmである。

集中型バイオガスプラントの多いデンマークの事例では、1プラントの参加農家は5～80戸で平均34.8戸、平均運搬距離1.5～11.0km、その平均は5.5kmである<sup>9)</sup>。

### 3-3-2. 共同型

共同型施設は、参加農家が比較的まとまっていて原料ふん尿の搬入搬出が容易であることが必要な条件となる。このため処理区域の決定に当たっては農家位置、対象圃場、建設費、維持管理費、農家意向などを十分考慮する必要がある。

#### 【解説】

共同型は個別型に比べ、施設費、維持管理費、作業の効率性においてスケールメリットが得られる。共同型と個別型の差は乳牛ふん尿処理を共同で行うか、個人で行うかの違いである。従って処理区域の決定に当たっては、参加農家の意向、農家位置、営農状況、維持管理作業の分担等について十分な検討が必要である。

表3-3-2に共同型施設の特徴について示す。

表3-3-2 共同型施設の特徴

定義	・複数の農家が参加・運営し、これら農家以外からの有機資源の搬入が少なく、公共性が低いもの。
特徴	・個別型に比べると、施設規模が大きいためスケールメリットがある。 ・参加農家がまとまっているため、ふん尿の搬入や消化液の搬出の労力が少ない。
採用条件	・維持管理作業や費用の分担が可能であること。
概念図	

共同型の特徴及び採用に当たっての留意点は、次のように整理できる。

#### (1) 利 点

- ・個別型を多数建設するのに比較して施設建設費が安価になる。
- ・参加農家が比較的まとまった地域を対象としているため、原料の搬入・搬出が容易である。
- ・維持管理作業を共同で行うため、個別型に比べ作業効率が向上する。

#### (2) 課 題

- ・集中型施設に比較すると、建設費、余剰エネルギー創出のスケールメリットは小さいため、施設費や運転管理の負担が大きい傾向がある。
- ・余剰エネルギーが得られても集中型に比べて少量であり、プラント内あるいはごく近傍で使う以外は利用しにくい。
- ・原料及び消化液の殺菌の要否は、消化液利用者の範囲・用途や法的義務づけの有無、乳牛ふん尿以外の資材投入の可能性、殺菌を行わない事によるリスクと殺菌

に必要な経費の比較などにより、判断する必要がある。

- ・原料搬送路の確保、及び事故防止が必要である。
- ・冬期間においても計画処理量を一定量確保するため、原料ふん尿の凍結防止を図る対策が必要である。
- ・敷料に長わらを利用したふん尿では固液分離が必要である。
- ・維持管理作業は共同で行うことから、参加農家の作業分担や必要に応じて雇用する管理作業員の作業内容を明確に決めておく必要がある。
- ・建設費・維持費等の負担額及び負担方法について参加農家の合意形成を図る必要がある。

### 3-3-3. 個別型

個別型は、農家個人の処理施設として、主に畜舎近傍に設けられるもので、施設の運転管理、原料ふん尿の搬入、消化液の搬出散布等を全て個人が行うものである。

個別型施設の計画に当たって、この参考資料の内容について参考となるものも多いと考えられる。参考に個別型の特徴及び採用に当たっての留意点の概略を以下に整理する。

#### (1) 利 点

- ・処理施設を畜舎近傍に計画できるため原料ふん尿の移動（搬送）が容易である。また、冬季でも長時間低温下におくことがないので原料凍結の恐れが少ない。
- ・利用者が個人に限定されることから殺菌の必要性が低く、施設構成が簡素化できる。
- ・余剰エネルギーを農場内で利用できるため、電気料金などの節減になる。
- ・個人施設のため施設の運営上で複数農家間の調整といった作業が不要である。また施設の故障などの影響範囲も限定される。

#### (2) 課 題

- ・施設建設費、維持管理費、作業労力などに共同施設のようなスケールメリットは発生しない。
- ・バイオガスの利用計画(電気・熱)に十分な検討が必要である(バイオガス量が少ないため、施設設備投資に見合うバイオガス利用による便益が得られないことがある)。



### 3-4. メタン発酵

#### 3-4-1. 発酵温度及び滞留日数

発酵温度(中温あるいは高温)は1日当たりの処理可能量や発酵の安定性を考慮して決定する。滞留日数は、選定した発酵温度に適した期間とする。発酵温度と滞留日数の組み合わせは、発酵槽を中心とする施設規模・建設費、エネルギー収支に密接な関係がある。

#### 【解説】

##### (1) 発酵温度と滞留日数

メタン発酵槽の温度領域は、低温発酵、中温発酵及び高温発酵に大別される。このうち低温発酵(発酵温度20℃以下)は、有機物の分解が遅いため滞留日数が長く必要である。このため施設規模が大きくなり建設費が嵩むことから、現実的な選択肢には入りにくいので、この参考資料では扱わない。

表3-4-1に中温、高温の発酵温度と標準的な滞留日数を示す。

表3-4-1 発酵温度と標準的な滞留日数

温度領域	発酵温度(℃)	滞留日数(日)
中温	37~38	25~30
高温	55	15

中温発酵温度は、37~38℃、滞留日数は25~30日の範囲であるが、この違いに特段の理由はなく、各メーカーの判断によるものと考えられる。

従って、この範囲内であれば、計画者側からメーカーの仕様に変更を要求しても問題はないものと考えられる。

高温発酵については、現段階で北海道内では1施設の実施例(帯広畜産大学農場)しかないが、発酵温度55℃、滞留日数15日程度が適当と考えられる。

表3-4-2に中温発酵と高温発酵の比較を示す。

表3-4-2 中温発酵と高温発酵の比較

項目	中温発酵	高温発酵
施設構成	・プラント設備、機器類等、システム構成としての大差はない。	
エネルギー利用	・殺菌工程が必要な場合がある。(3-6-5 殺菌方式参照)	・殺菌工程が不要である。
施設費	・メタン発酵施設容量が大きい分、施設費が嵩む。 ・殺菌設備が必要な場合がある。	・メタン発酵施設容量が縮小でき、施設費の節減が可能。
維持管理	・中温発酵施設の実績が多い。 ・管理温度幅の余裕が大きいいため管理が容易。	・道内では高温発酵の経験が少ない。 ・管理温度幅が1℃と小さい <sup>8)</sup> ため、細かい配慮が必要。

## (2) 発酵温度と滞留日数の事例

### 1) 北海道の事例

北海道の事例は、「北海道のバイオガスプラント事例集<sup>10)</sup>」を参考にして示す。

北海道で建設されたバイオガスプラントは、個別方式及び集中方式を含めて20施設ある(平成16年3月現在 低温発酵施設は除く)。

この中で、高温発酵施設は帯広畜産大学農場のみで、その他の19施設は中温発酵の施設となっている。

滞留日数は、図3-4-1に示すように、中温発酵施設では20日～30日の範囲であり、高温発酵施設では帯広畜産大学農場で15日となっている。また酪農学園大学植苗農場、まちむら農場、中島牧場の3施設では消化液貯留槽にも二次発酵槽としての機能を持たせているので結果的に滞留日数が長い。

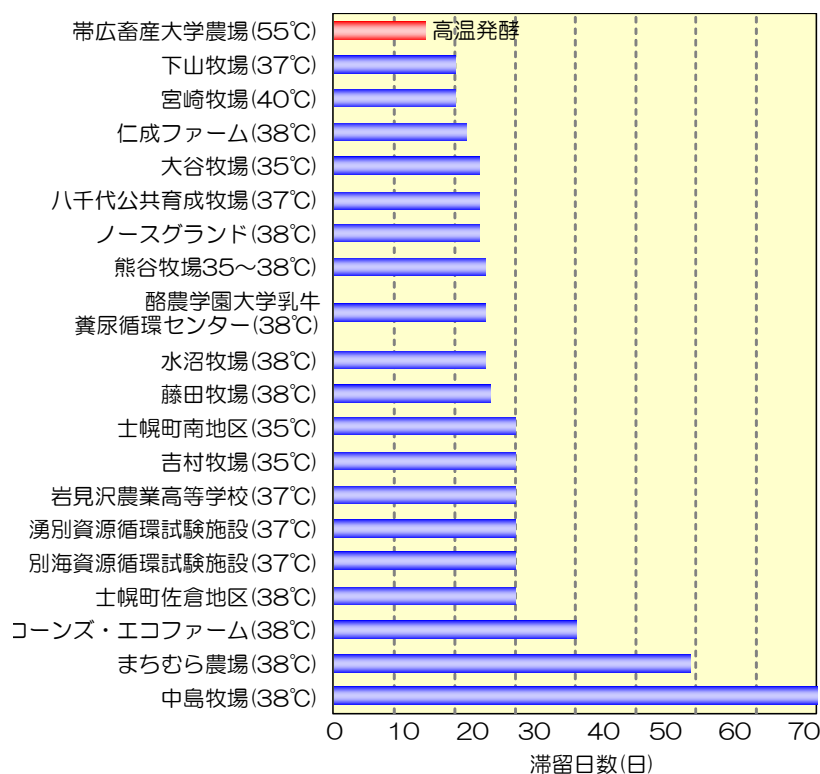


図3-4-1 北海道のバイオガスプラントにおける滞留日数

## 2) デンマークの事例

デンマークの事例を「デンマークの集中型バイオガスプラント<sup>11)</sup>」を参考にして示す。嫌気性発酵施設の先進地であるデンマークの実績20施設の集中型バイオガスプラントの滞留日数は図3-4-2のようである。中温発酵9施設は17日～33日の範囲で平均20日程度となっており、高温発酵11施設は10日～23日の範囲で平均15日程度となっている。

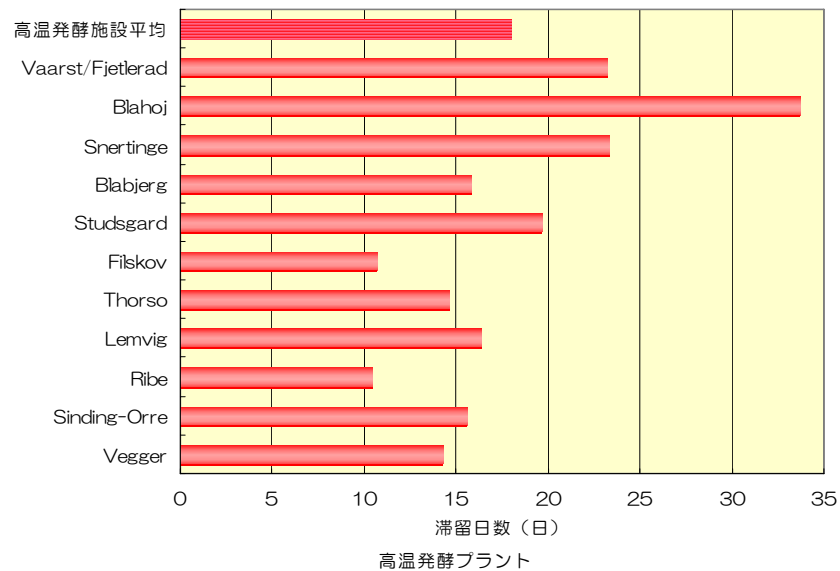
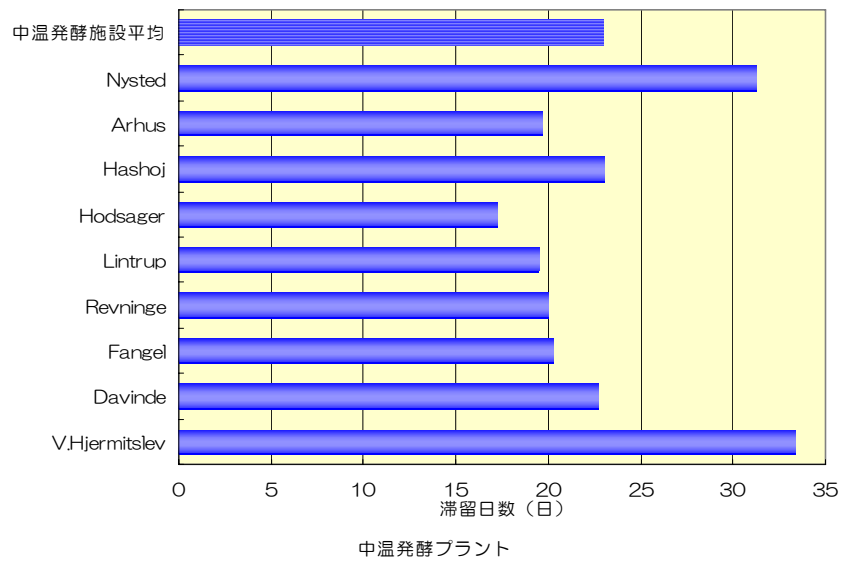


図3-4-2 デンマークのバイオガスプラントにおける滞留日数  
 ※滞留日数は発酵槽容量を1日当たり処理量で除して算出した。

日当たりの処理量については図3-4-3に示すように中温発酵9施設では33m<sup>3</sup>～382m<sup>3</sup>の範囲で、高温発酵11施設では56m<sup>3</sup>～444m<sup>3</sup>の範囲となっており、処理量による発酵温度選択の差は見られない。

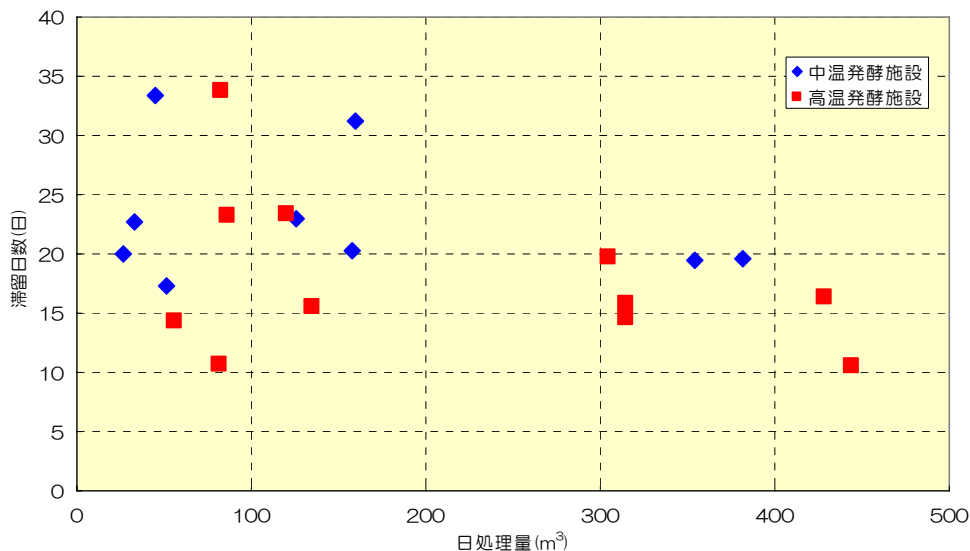


図3-4-3 デンマークのバイオガスプラントにおける日処理量と滞留日数の関係

### (3) 高温発酵の安定性や立ち上げについて

高温発酵の安定性については次のように多様な評価がある。また発酵の立ち上げ方法についてはAhring<sup>12)</sup>の文献などがある。

松田<sup>13)</sup>は、「高温発酵は、発酵槽内環境の高度な制御技術が必要であり、発酵環境の平衡状態が崩れると、もとの状態に戻るのに時間がかかると言われている。」としている。その他の資料においても、高温発酵は中温発酵に比べて発酵の安定性に欠けると述べているものが多い。

また同じく松田は最近の傾向として、「(現行では中温発酵の採用が多いが)近年55℃を中心とした高温域で運転するメタン発酵槽が、特に共同利用型プラントで家畜ふん尿、産業廃棄物などの処理用として普及している。」とも述べている。

Ahring<sup>12)</sup>は、高温発酵も中温発酵と同様の安定性を持つことを、デンマークの集中型バイオガスプラントでの運転実績から述べている。ただし、高温発酵に関わる菌のうちある種のみは、一般的な有機性廃棄物の中には少数しか存在しないため、増殖に時間がかかることから、高温発酵の立ち上げ時には、先行プラントからの種菌の入手できることや適切な立ち上げ方法を選択することが重要であると述べている。

### (4) 別海施設での高温発酵の試験例<sup>5)</sup>

高温発酵試験期間中の発酵槽の温度およびバイオガス発生量の推移から、[温度上昇期] [移行期] [高温発酵期]の3期に区分して、比較対照として[中温発酵期]を加えた4期で諸元を整理した(表3-4-3)。

温度上昇期はメタン発酵自体に強い劣化は生じておらず、中温発酵を上回るガス発

生であったが、1500m<sup>3</sup>の発酵液の温度を上昇させるためには熱量が不足であり、重油に依存した。高温に達した後、約10日間(=移行期)はバイオガスの発生量もメタン濃度も低下してしまい、電力も熱もほとんど自給できず、外部エネルギーに依存した。

ガス発生とメタン濃度が回復して、高温発酵としての安定期(=高温発酵期)に入った以降は中温発酵期より電力自給率が高まった。加えて、殺菌行程も不要であるため熱消費においても中温発酵より低い値であった。

この実験では、高温発酵はガス発生とエネルギー収支において中温発酵より良好な値であった。一方、温度上昇期や高温発酵が安定するまでの期間は、外部エネルギーに大きく依存することから、移行期間をできるだけ短くする工夫が必要と考えられた。

高温発酵から中温発酵への移行では、ガス発生低下などの明確なトラブルは発生しなかった。

表3-4-3 別海施設での高温発酵試験結果

項目	中温発酵期 (2004.12.9 ~ 1.9)	温度上昇期 (2005.1.10 ~ 1.17)	移行期 (2005.1.18 ~ 1.28)	高温発酵期 (2004.1.29 ~ 3.10)
バイオガス発生量 (m <sup>3</sup> /日)	1,190.9	1,495.6	935.9	1,506.5
メタンガス濃度(%)	58.3	54.0	49.2	58.5
スラリー投入量(m <sup>3</sup> /日)	42.8	45.8	44.8	41.1
単位原料当たりガス発生量 (m <sup>3</sup> /t/日)	27.8	32.7	20.9	36.7
電力自給率(%) <sup>*1</sup>	107.5	97.9	47.2	145.7
重油消費量(L/日)	144	334	340	130
発酵槽熱消費量(MJ/日)	5,395	17,880	13,282	6,612
殺菌槽熱消費量(MJ/日)	5,417	2,321	0	0

\*1 電力自給率は売電を除く消費電力量の合計と発電量の比率

### 3-4-2. バイオガス発生量

乳牛ふん尿からのバイオガス発生量は、発酵槽へ投入する原料中に含まれる易分解性有機物量や発酵槽内での滞留日数によって異なる。バイオガス発生量の計画値は、既往の事例を参考にして決める。

#### 【解説】

#### (1) 乳牛ふん尿のバイオガス発生量

乳牛ふん尿からのバイオガス発生量は、発酵槽へ投入する原料中の有機物量と密接な関係がある。それゆえバイオガス発生量は、飼料の種類やふん尿の水分量、敷料の有無、固液分離などの前処理の有無・方法などの影響を受ける(副資材の利用によるバイオガス発生量の増大については3-4-3.で述べる)。また、発酵槽内での滞留日数にも影響を受ける。

ふん尿からのバイオガス発生量の計画値は、既往プラントの実績値を参考にして決定できる。図3-4-6は北海道のバイオガスプラントのバイオガス発生量の事例である。2次発酵槽を有していて滞留日数が長い場合や乳牛ふん尿以外の有機物を投入する場合を除くと、単位原料当たりのガス発生量は $25\text{m}^3/\text{m}^3$ 前後である。

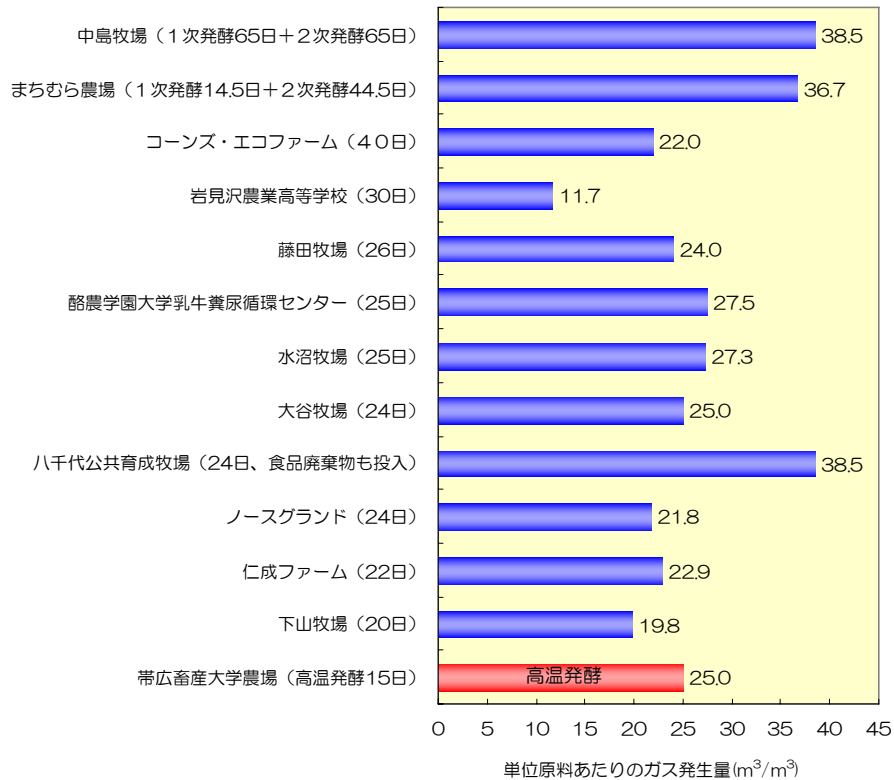


図3-4-4 北海道のバイオガスプラントのバイオガス発生量 (カッコ内は滞留日数)

※「北海道のバイオガスプラント事例集<sup>10)</sup>」より1日のガス発生量を1日の原料投入量で除して算出

(2) 資源循環プロジェクトにおけるバイオガス発生量

1) 別海施設

別海施設の原料ふん尿は、スラリーが主体であり、バイオガス単位発生量は、平成14年3月以降は安定しており $30\text{m}^3/\text{m}^3$ 付近で推移した。

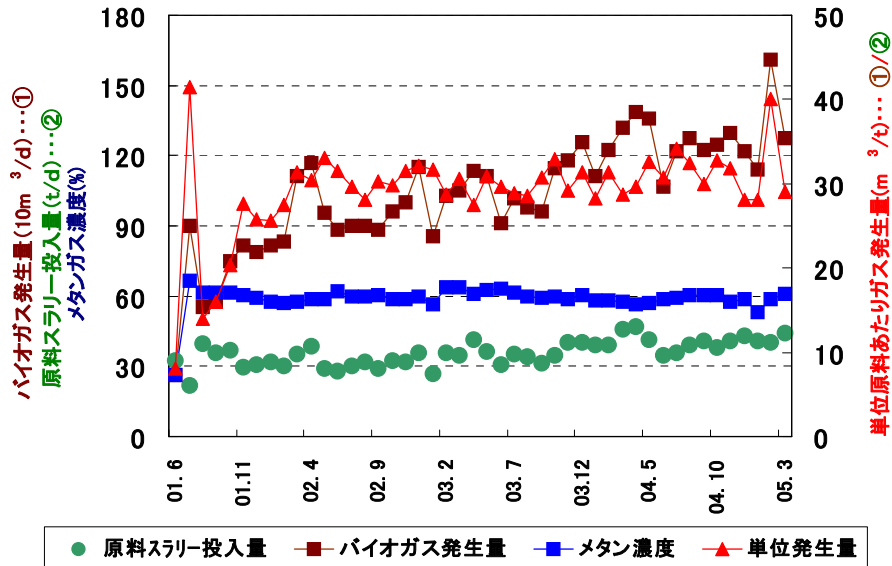


図3-4-5 メタン発酵の推移(別海施設)<sup>5)</sup>

2) 湧別施設

湧別施設では、スタンションストール農家5戸からふん尿を搬入し全量固液分離した分離液分を投入した。稼働が安定した後の単位発生量は概ね $20\sim 26\text{m}^3/\text{m}^3$ の範囲で変動した。

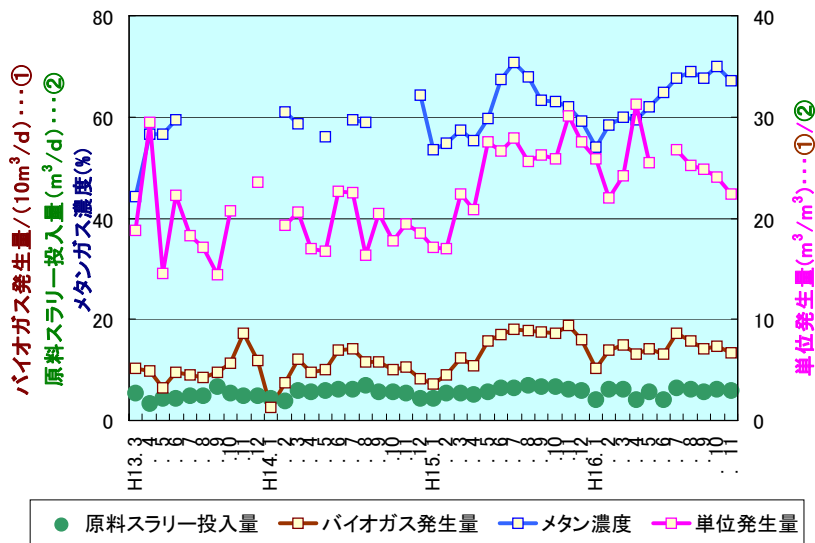


図3-4-6 メタン発酵の推移(湧別施設)<sup>5)</sup>

### 3-4-3. 副資材の利用

副資材は原料1m<sup>3</sup>当たりのバイオガス発生量が大きい場合が多く、全体発生ガスの増量が見込めることから、プラント計画を策定するに当たっては重要な要素となる。

副資材の利用に当たっては、利用によるガスの増量効果、限界投入量、生成される消化液の安全性などを考慮して、適正な利用量を決定する必要がある。

#### 【解説】

##### (1) 副資材投入によるバイオガス発生量の増加

副資材の投入により発生するバイオガスを増量させることができる。たとえば、原料1m<sup>3</sup>あたりのバイオガス発生量は、乳牛ふん尿で20~30m<sup>3</sup>程度であるのに対し、食品残渣で200m<sup>3</sup>前後、古脂肪で600m<sup>3</sup>前後とされている<sup>8)</sup>。これをエネルギーとして有効利用することで、プラントの維持管理費を節減することができる。バイオガスエネルギーの生産という面では発生ガス量の多い副資材を投入することが有利となる。

しかし本参考資料では、バイオガスプラントで処理した消化液あるいは堆肥は、圃場還元を基本としているため、副資材の選定に当たっては、重金属や病原菌について十分注意する必要がある。また圃場還元するためには、肥料取締法等の法規に準拠して重金属許容値の範囲内で施用する必要がある。

##### (2) 副資材投入によるガス発生量の増加事例

###### 1) 室内実験による例

資源循環プロジェクトでは、副資材(牛乳、バター、パン粉)の連続投入室内試験を行った。各副資材について、投入有機物当たりメタンガス発生量を図3-4-8に示す。全ての副資材において、バイオガス量の増加が見られた。

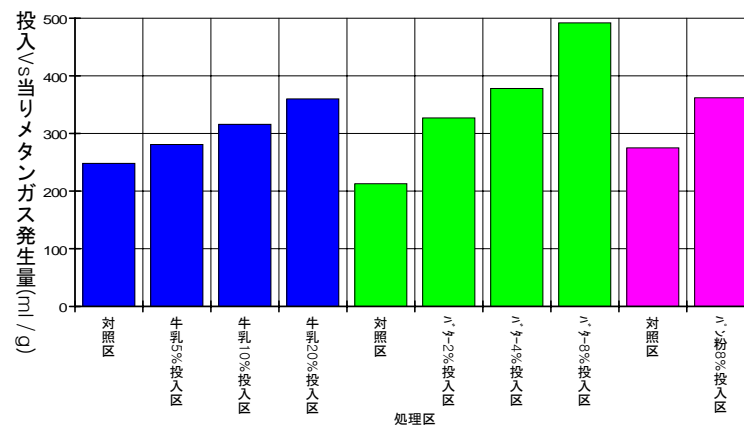


図3-4-7 副資材を導入した場合の投入有機物当たりメタンガス発生量<sup>5,14)</sup>



## 2) 実プラントでのガス発生量の増加事例

湧別施設では、平成15年7～8月に廃用牛乳、10～11月に給食残食の投入試験を行った。表3-4-4に示すように、いずれの試験においても乳牛ふん尿の場合と比較すると1.2～1.3倍にバイオガス発生量が増加することが確認された。

表3-4-4 副資材投入前後での比較<sup>5)</sup>

発酵特性	乳牛ふん尿	廃用牛乳 投入	給食残食 投入
バイオガス発生量 (m <sup>3</sup> /日)	142.7	177.2 (1.24)	184.9 (1.30)
メタン濃度 (%)	60.8	69.3 (1.14)	62.4 (1.03)
メタンガス (m <sup>3</sup> /日)	87.2	122.9 (1.41)	115.5 (1.32)
原料スラリー 投入量(m <sup>3</sup> /日)	6.2 (1.00)	6.7 (1.08)	6.5 (1.05)
単位発生量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	23.3	26.6 (1.14)	28.2 (1.21)

( )は乳牛ふん尿に対する割合

## (3) 副資材の限界投入量

効果的な副資材を投入することでバイオガスの発生量は増加するが、一定量以上の副資材を投入すると、逆にメタン発酵の障害となりガス発生量が減少する場合がある。投入する副資材の限界投入量は室内実験等によって測定することが望ましい。しかし測定することが困難な場合、ふん尿の分離液分やスラリーの重量に対して、副資材に含まれる有機物重量が1割以下となるような計画にすることが望ましい。

表3-4-5は、資源循環プロジェクトの室内実験によって推定された、主な副資材における限界投入量である。窒素分の多い有機物で限界量が小さく測定された。

表3-4-5 主な副資材の限界投入量<sup>5)</sup>

副資材	プロテイン	バター	パン粉
主な成分	タンパク質	脂肪	炭水化物
有機物率	92.3%	81.8%	88.1%
N含有率	14.0%	0.1%	2.3%
測定された 許容投入量	7%	10%	12%

※ 許容投入量は現物重量割合、N含有率は食品栄養成分としてのタンパク質を6.25で除した値

#### (4) 法的規制

副資材の利用に当たっては「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）」の適用を受ける場合がある。例えば、農業協同組合が組合員の共同施設として設置した場合は、一般廃棄物（家庭生ゴミ、下水処理場の汚泥など）を受け入れる場合で処理能力が5t/日以上規模であれば施設設置許可が必要であり、家畜排せつ物を含む全ての産業廃棄物の受入に関して処理業の許可が必要となる。この参考資料で全てのケースを網羅することはできない。また、法令には改廃が伴う。バイオガスプラントの設置、各種副資材の利用に際しては、支庁の廃棄物対策の担当部署に事前に相談する必要がある。

また、この資料では、バイオガスプラントで処理した消化液あるいは堆肥は、圃場還元を基本としているため、副資材の選定に当たっては、重金属や病原体について十分検討する必要がある。消化液散布に関わる法的規制は、7-1. (3) 消化液のその他成分について を参照のこと。

【参考】海外での副資材利用

(1)デンマークの集中型施設での例<sup>11)</sup>

デンマークの集中型バイオガスプラントにおける副資材導入状況を図3-4-9に示す。ただし畜産ふん尿には、牛ふんの他に豚ふんや羊ふんも含まれている。20施設あるプラントの内、中温発酵9施設の副資材の利用割合は6%~40%の範囲で平均21%となっている。高温発酵11施設での利用割合は20%~53%の範囲で平均26%となっている。これらのプラントは、発電収入による経営安定化のために、計画的な副資材の確保・導入を行っている。現地ヒヤリングによれば、副資材を購入して利用している場合もある。

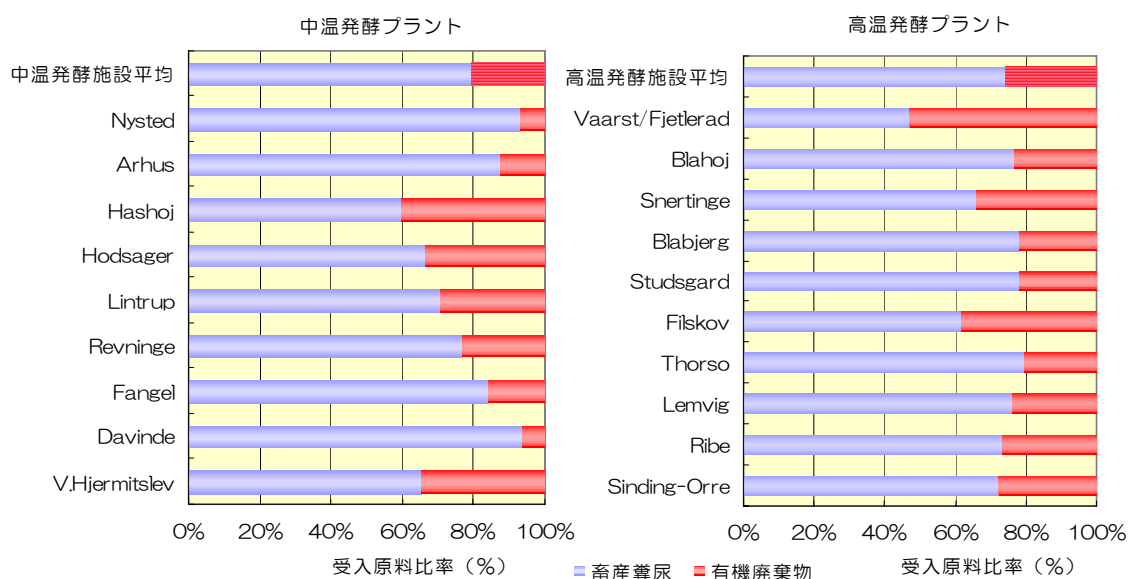


図3-4-8 デンマークの集中型バイオガスプラントにおける原料投入割合

(文献11) から作成)

副資材の種類は、動物内蔵、脂肪、水産加工残滓、野菜くず、下水汚泥、ミルク加工品等様々であり、バイオガス発生量を管理して投入量を調整している。

副資材投入の結果、バイオガス発生量は増加している。中温発酵9施設のバイオガス発生量は原料1m<sup>3</sup>当たり23m<sup>3</sup>～91m<sup>3</sup>の範囲で平均40m<sup>3</sup>となっている。高温発酵11施設の発生量は原料1m<sup>3</sup>当たり29m<sup>3</sup>～98m<sup>3</sup>の範囲で平均42m<sup>3</sup>となっている(図3-4-10)。

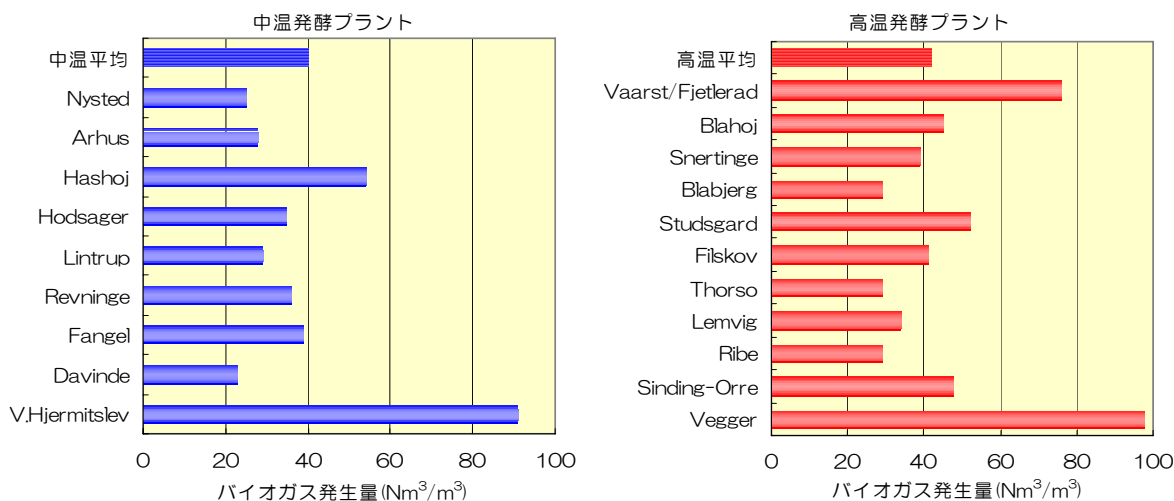


図3-4-9 デンマークの集中型バイオガスプラントにおけるバイオガス発生量

(文献11) から作成

## (2)ヨーロッパの文献による副資材の適用性<sup>15)</sup>

ヨーロッパにおけるバイオガスプラントでは、副資材として都市、農業、工場等の有機性廃棄物を投入しバイオガスエネルギーとして利用している例が多い。

表3-4-6に嫌気性発酵に適用できる副資材の一覧表を示す。副資材毎に発酵の適用性について記載されているが、発酵の適応性が「優」と評価されている副資材は大きな前処理を必要としないで嫌気性発酵が可能なものといえる。「良」あるいは「可」については前処理として裁断、固液分離、不純物除去、殺菌処理等の対策が必要となり、設備投資や維持管理費用が高額となる可能性があるため留意が必要である。

なお、ヨーロッパでは利用する副資材の種類によっては、殺菌の義務づけがなされている(3-6-5参照)。

表3-4-6 ヨーロッパにおける嫌気性発酵に適用できる副資材

副資材名	発酵の適応性			導入時の課題
	優	良	可	
農業から出る有機質資材				
わら等の繊維質植物残渣			○	裁断、固液分離など前処理
緑色植物性残渣、作物、穀物、サイレージ			○	裁断要す。砂、石等の除去
サイレージからのれき汁	○			COD負荷の増大の可能性
収穫物残渣			○	裁断要す。砂・石の除去
家畜ふん尿				
鶏ふん尿			○	NH <sub>3</sub> 濃度上昇で発酵阻害の可能性
豚の液状ふん尿	○			
牛ふん尿			○	裁断、固液分離など前処理
他の家畜のふん尿			○	裁断、固液分離など前処理
商工業廃棄物				
食品工業からの廃棄物				
有効期限切れ食品			○	包装除去(コストかかる)
パン・菓子工場からの廃棄物			○	液体化(希釈)
チーズホエイ	○			
缶詰・冷凍食品工場残渣			○	包装除去(コストかかる)
果汁工場残渣			○	裁断
イースト及びイースト類				
醸造所からのイースト及びクーラー汚泥	○			H <sub>2</sub> S増大の可能性
ワイン工場からの汚泥	○			H <sub>2</sub> S増大の可能性
蒸留所からの汚泥	○			H <sub>2</sub> S増大の可能性
果物、コーン、ポテト残渣	○			H <sub>2</sub> S増大の可能性
家畜飼料工場の廃棄物				
期限切れ飼料			○	前処理
家畜・食肉処理場廃棄物				
食肉処理場廃棄物				
家畜の脂肪	○			スカム発生の可能性
浮揚性の汚泥	○			スカム発生の可能性
胃腸の内容物			○	殺菌・消毒が必要
血	○			
魚からの廃棄物			○	破砕
鶏からの廃棄物			○	スカム発生の可能性(脂肪、羽)
植物性・動物性油脂製品廃棄物				
植物性の廃油	○			スカム発生の可能性
含油種子残渣			○	スカム発生の可能性
脂肪トラップの捕捉物			○	スカム発生・硬化の可能性
脂肪			○	スカム発生・硬化の可能性
含油漂白土			○	不活性物質含量多い
食用油汚泥	○			スカム発生の可能性
食用脂肪汚泥	○			スカム発生の可能性
製菓廃棄物				
タンパク性の廃棄物			○	NH <sub>3</sub> 増による発酵阻害、発泡の可能性
細菌の細胞、カビの菌糸	○			殺菌・消毒
他の商業・流通分野の廃棄物				
レストラン、食堂の残渣			○	不純物(金属、プラスチック)及び殺菌消毒が必要
仕出し、空港食の残渣			○	不燃性物質(包装)を除去(コストかかる)
皮革加工製造からの廃棄物			○	
皮革、組織、そぎ取ったコラーゲン			○	塩分高く重金属(クロム)含む
製紙パルプ工場廃棄物			○	繊維質(セルロース)多い、パルプ添加物に殺菌性のものあり
都市ゴミ				
分別収集されたゴミ			○	裁断及び不純物除去
庭園、公園のゴミ			○	裁断及び不純物除去
市場のゴミ			○	裁断及び不純物除去
下水処理廃棄物				
初期汚泥	○			ガス発生量が少ない
余剰汚泥	○			ガス発生量が少ない
分散型下水処理の廃棄物	○			ガス発生量が少ない
油脂トラップ捕捉物			○	スカム形成、脂肪硬化の可能性
その他の廃棄物				
ゼリー製造汚泥	○			前処理不要
でんぷん製造汚泥	○			前処理不要
ジャガイモでんぷん残渣	○			前処理不要
トウモロコシでんぷん残渣	○			前処理不要
コメでんぷん残渣	○			前処理不要

R.Braun<sup>15)</sup>より

### 3-4-4. バイオガスのエネルギー量

バイオガスは、その燃焼エネルギーを電力や熱に変換することができる。バイオガスの発熱量は約5,130kcal/m<sup>3</sup>である。

#### (1) バイオガス成分

メタン発酵により発生するバイオガスには、容積割合でメタン(CH<sub>4</sub>) 約60%、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>) 約40%、その他微量の硫化水素(H<sub>2</sub>S)、窒素、水素等が含まれている(図3-4-11)。

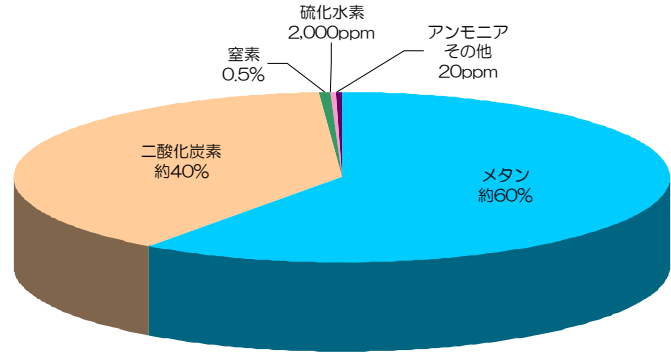


図3-4-10 バイオガスの成分

#### (2) バイオガスの発熱量

メタンガスの発熱量は高位発熱量で約9,500kcal/m<sup>3</sup>、低位発熱量で約8,550 kcal/m<sup>3</sup>である(高位発熱量とは総発熱量とも言われ、熱量計によって測定された値で水蒸気の蒸発熱を含んだ発熱量のことである。低位発熱量とは真発熱量とも言われ、高位発熱量から水蒸気分の蒸発熱を減じた発熱量のことである)。バイオマス中に含まれるメタンの濃度を60%とすると、バイオガスの低位発熱量は約5,130kcal/m<sup>3</sup>となる。

- ・メタンガスの燃焼熱

$$890.4\text{MJ/mol}$$

$$1\text{mol} = 22.4\text{リットル}$$

$$1\text{kJ} = 4.186\text{kcal}$$

- ・メタンガス1m<sup>3</sup>当たりの高位発熱量

$$890.4 \times 1,000 / 22.4 \div 4.186 = 9,496\text{kcal/m}^3$$

- ・メタンガス1m<sup>3</sup>当たりの低位発熱量

低位発熱量を高位発熱量の90%とすると、

$$9,496\text{kcal/m}^3 \times 0.90 = 8,546\text{kcal/m}^3$$

- ・バイオガス1m<sup>3</sup>当たりの発熱量

バイオガス中に含まれるメタン濃度を60%とすると、

$$8,546\text{kcal/m}^3 \times 0.60 = 5,128\text{kcal/m}^3$$

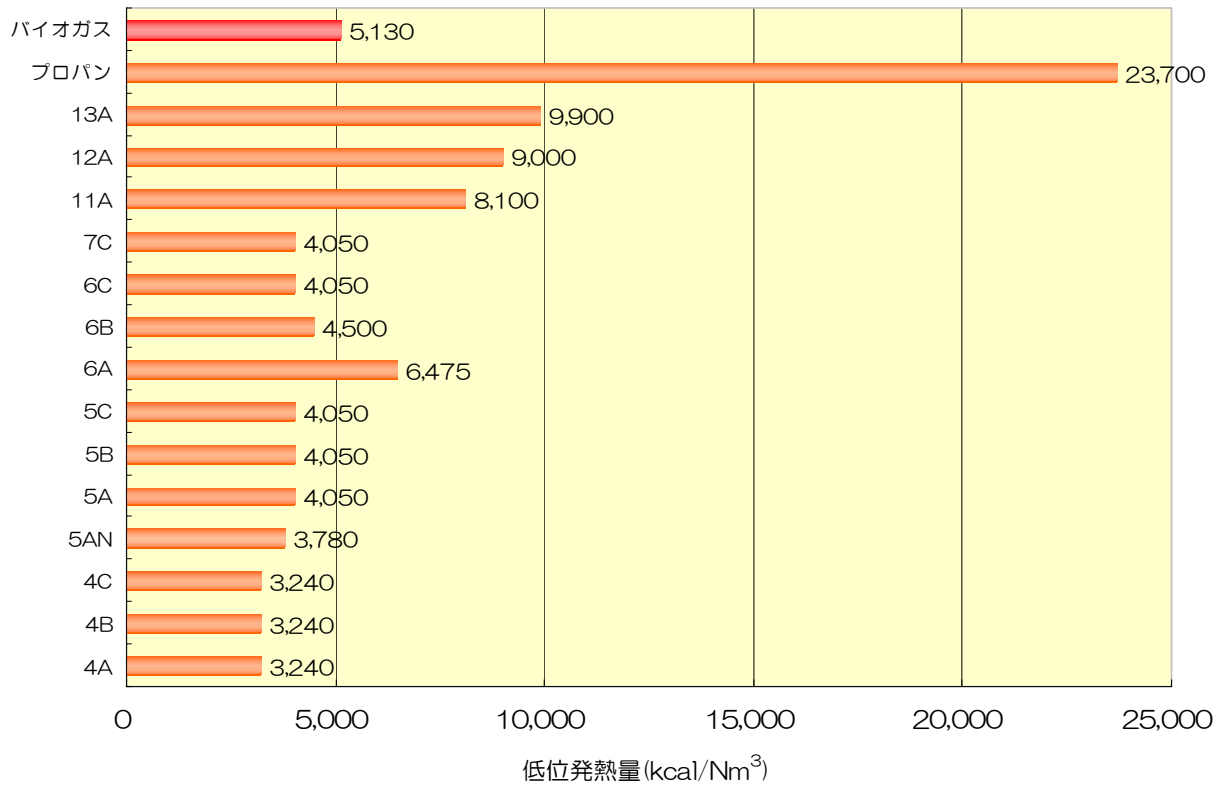


図3-4-11 バイオガスと都市ガスの発熱量比較

図3-4-12にバイオガスと都市ガスの発熱量比較を示す。都市ガスはガス事業法により発熱量、燃焼速度、ガス圧等の特性により14種類に区分されている。北海道では都市ガスの種類が地域によって異なり、札幌市では13Aと6B、旭川市は6C、函館市は6C、小樽市は4Cを使用している。

バイオガスの発熱量は約5,130kcal/m<sup>3</sup>であり、上記の道内の都市ガスと比べると、天然ガスを原料とする13Aよりは劣っているが、その他の都市ガスより発熱量が高い特徴を持っている。

### 3-5. バイオガスプラントシステム計画

バイオガスプラントは、原料ふん尿の受入、嫌気性処理、消化液の貯留、及びバイオガスエネルギーの有効活用を含む一連のシステムによって構成される。

【解説】

集中型と共同型それぞれのバイオガスプラントのシステムフローを図 3-5-1、図 3-5-2に示す。両者の大きな違いは、その規模と副資材を投入するか否かである。

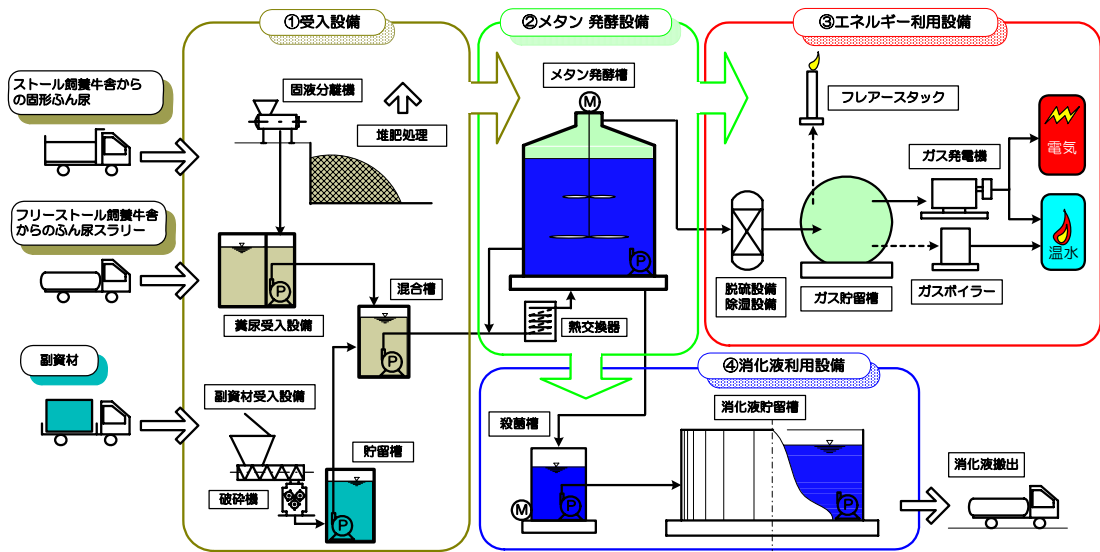


図 3-5-1 集中型バイオガスプラントの基本的システムフロー図

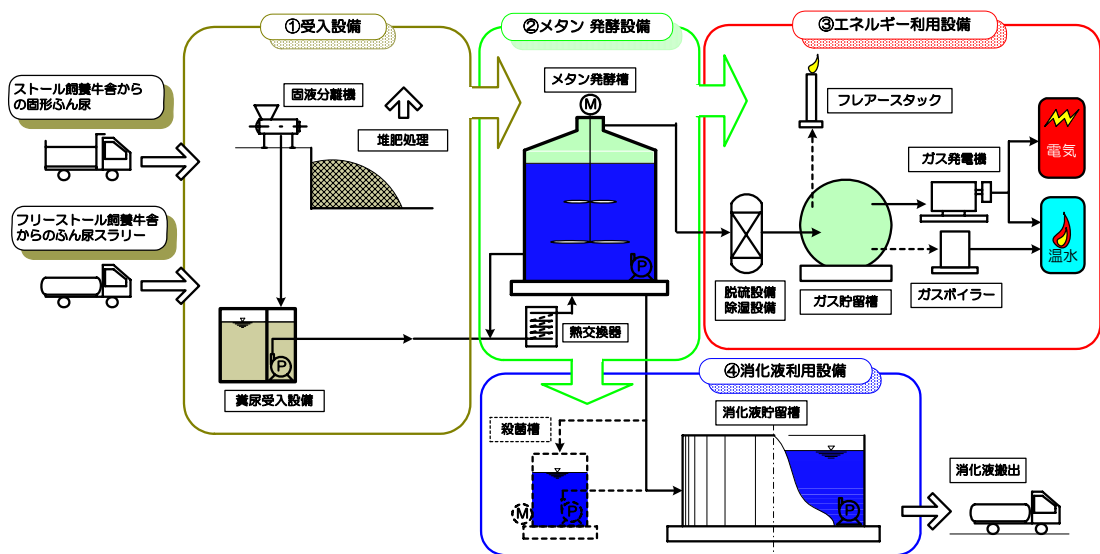


図 3-5-2 共同型バイオガスプラントの基本的システムフロー図



### 3-6. 全体システム計画

嫌気性発酵システム計画の基本方針を立て、それに従って、システムの細部の検討、バイオガスプラント内の各設備の詳細検討を行う。

#### 【解説】

全体システム計画では、基本方針の立案、システムの細部の検討、バイオガスプラントの各設備の詳細検討などを行う。全体システム計画における検討内容を表 3-6-1 に示した。

表 3-6-1 バイオガスシステム計画の検討内容

検討項目	検討内容
3-6-1 計画の基本方針	・全体を通じた基本方針の立案
3-6-2 原料収集・搬入方式	・搬入方式の検討 ・一時貯留槽の必要性、容量の検討
3-6-3 受入方式	・固液分離の必要性の検討 ・受入槽の構造、形式の検討
3-6-4 発酵槽方式	・発酵槽の構造、形式、容量の検討 ・攪拌方式、熱交換方式、排泥方式の検討
3-6-5 殺菌方式	・殺菌方式、殺菌時間の検討 ・殺菌槽の構造、形式、容量、熱交換方式の検討
3-6-6 消化液貯留方式	・分散貯留方式の必要性の検討 ・貯留槽の構造、形式、容量、付帯設備の検討
3-6-7 消化液搬出・圃場散布方式	・搬出方式、機種の検討 ・圃場散布方式の検討
3-6-8 固液分離物残滓の堆肥化	・堆肥化方式の検討
3-6-9 バイオガス貯留方式	・ガスホルダ構造、形式、容量の検討
3-6-10 脱硫・除湿設備	・脱硫設備・除湿設備の検討
3-6-11 バイオガス利用方式	・バイオガス利用機器の検討 ・エネルギー利用計画の検討 ・バックアップ施設の必要性の検討

### 3-6-1. 計画の基本方針

全体システム計画検討に当たっては、嫌気性発酵システムの基本方針を立案する。基本方針の決定では、環境負荷の軽減と循環型農業の持続的発展を目指すこととする。

#### 【解説】

嫌気性発酵ではふん尿が閉鎖系で処理されることから、処理中の臭気が少なく、消化液は肥料成分の高い液肥として圃場利用できる。また、処理過程で得られるバイオガスを電気・熱エネルギーとして利用できるなど維持管理費の軽減、環境的側面への効果がある。

全体システム計画の基本方針はこれらの特徴を十分生かしたものとする。すなわち、ふん尿の衛生的な処理と効率的な活用、バイオガスエネルギーの有効利用、積雪寒冷地における地域の有機性資源の循環活用を行うことで、環境負荷軽減と循環型農業の持続的発展を目指すことを基本方針とする。

具体的には以下のような基本方針が挙げられる。

- ・嫌気性発酵によって生成される消化液は、全量を圃場に還元する。
- ・嫌気性発酵によって発生するバイオガスは、電気や熱エネルギーに変換し、嫌気性発酵施設もしくは周辺施設において最大限有効に利用する。

### 3-6-2. 原料収集・搬入方式

原料の収集・搬入方式は、対象農家の飼養形態、ふん尿の性状、貯留方法等について検討を行い決定する。

#### 【解説】

#### (1) 原料収集・搬入方式の選択

集中型・共同型の施設では、原料ふん尿の搬送量が膨大であり、その搬送の効率化は不可欠である。

一般的に飼養形態にはストール飼養とフリーストール飼養がある。また、畜舎で 사용되는敷料にも様々な形態があり、それぞれで排出されるふん尿の種類が異なる。ふん尿の収集のための貯留設備やプラントへの搬入のための機器は、ふん尿の種類によって採用可能な方式が異なるため、原料収集・搬入方式の選択の際には、各参加農家の営農形態を十分に考慮して決定する必要がある。原料収集・搬入方式の飼養形態などによる違いを表 3-6-2に示した。

表 3-6-2 原料収集・搬入方式の飼養形態などによる違い

参加農家の営農環境			排出される ふん尿の種類	農家地先での ふん尿貯留方式	採用可能な ふん尿搬入方式
飼養形態	敷料	敷料の種類			
フリーストール※	無し	—	ふん尿スラリー	スラリーピット	スラリータンカー 管路搬送
フリーストール	有り	微細材 裁断わら等	ふん尿スラリー	スラリーピット	スラリータンカー 管路搬送
フリーストール	有り	粗大材 長わら等	固形ふん尿	堆肥盤 コンテナBOX	ダンプトラック+ホイールローダー コンテナトラック
ストール	無し	—	ふん尿スラリー	スラリーピット	スラリータンカー 管路搬送
ストール	有り	微細材 裁断わら等	ふん尿スラリー	スラリーピット	スラリータンカー 管路搬送
			尿汚水		
ストール※	有り	粗大材 長わら等	固形ふん尿	堆肥盤 コンテナBOX	ダンプトラック+ホイールローダー コンテナトラック
			尿汚水		

※この表のうち、フリーストール飼養で主要なパターンは最上段のもの、  
ストール飼養で主要なパターンは最下段のものである。

## (2) 農家地先でのふん尿貯留設備

各農家からバイオガスプラントへの搬入作業を行うために、各農家の地先にふん尿の貯留設備が必要である。既設の設備によって代用できる場合も多いが、十分な設備がない場合は新たに設ける必要がある。

その規模の決定に当たっては、搬入ローテーションや搬入機器のアクシデント解消に要する日数などを考慮した余裕量を見込む必要がある。

特に積雪寒冷地では、冬期間吹雪等による道路状況の悪化や、ふん尿の凍結などの特殊な条件に留意し、農家の営農作業や施設の運営に与える影響を最小限に止めるよう配慮する。

農家地先でのふん尿貯留設備には次のようなものがある。

### 1) スラリーピット

畜舎から排出されるふん尿スラリーを貯留するもので、排出投入や凍結防止対策などの観点から地下槽を基本に考える。

車輛への積み込み方法は、運搬車輛に取り付けたバキュームにより吸い上げる方法と、スラリーピットに設置したポンプによって投入する方法とがある。前者は吸い上げ用孔または配管とピット内の攪拌ポンプが必要であり、後者はポンプを設置する必要があり、構造的に異なるので留意が必要である。

### 【積雪寒冷地での注意事項】

ピット内のふん尿スラリーをほとんど汲み上げると、地下槽であっても外気の影響を受け、スラリー表層が数10cm凍結する場合がある。ピット内にポンプを設置する場合はポンプが凍結しない深さまで、残留量を確保する等の配慮が必要である。

また、槽の外壁の凍結深以下までの断熱や、上屋の設置による外気温の影響の緩和など、総合的な対策を行う必要がある。



写真 3-6-1 スラリー凍結防止のためのピット上屋と断熱のための盛土<sup>5)</sup>

## 2) 固形ふん尿の貯留設備

固形ふん尿は通常堆肥盤に堆積貯留される。近年では、家畜排せつ物の野積みの禁止をうけて、あるいは積雪寒冷地での冬季凍結対策としてコンテナボックスが開発されている。例えば、別海施設のコンテナボックス容量は概ね15m<sup>3</sup>であり、100頭規模で約3日分の容量を持っている。



写真 3-6-2 コンテナボックスの例

## 3) 尿溜め

ストール飼養の畜舎から排出される尿汚水を貯留する設備である。スラリーピットとほぼ同様の構造であるが、ふん尿のうち主に尿分や分離液分を貯留することを目的としているため容量は比較的小さなものとなる。

### (3) 積み込み・搬入方式

ふん尿を農家からプラントへ搬入するためには、表 3-6-3のような方法がある。

表 3-6-3 原料の収集・搬入方式

原料種類	搬送方式	特 徴	例
固形ふん尿	ホイールローダー + ダンプトラック	<p>一般的なダンプトラックを使用して搬送を行う方式。</p> <p>■利点 トラックそのものは特殊なものではないので、既所有のものを利用するなど、新規で導入しなくても良い場合がある。</p> <p>■課題 積込作業を補助のホイールローダー等を用いて行うため、作業員が複数人数必要となる。参加農家の協力が得られれば、1人で行う事も可能である。</p>	
	コンテナトラック	<p>専用の牽引式コンテナを使用して搬送を行う方式。各農家にコンテナを新規に導入して行う。各農家地先のパークリナー直下にコンテナを配置することで、自動的にふん尿が溜まる。その後ワンタッチで引上・牽引が可能な特殊車輛によって搬送を行う。</p> <p>■利点 作業員1人で搬入が可能である。</p> <p>■課題 新規導入施設が多く、初期費用が増大する。</p>	
ふん尿スラリーや尿汚水	スラリータンカー	<p>バキュームタンカーを使用して搬送を行う方式。各農家地先のスラリービットや尿溜めから吸引を行い、搬送後荷卸しを行う。</p> <p>■利点 作業を作業員1人で行うことができる。</p> <p>■課題 新規に専用のバキュームタンカーを導入する必要がある。</p>	
	管路搬送	<p>各農家からプラントまでを管路で結び、ポンプによる圧送によって搬送を行う方式。</p> <p>■利点 管路を布設してしまえば、搬送に要する労力は比較的少なくて済む。</p> <p>■課題 原料の粘性が大きい場合や、各農家からのプラントまでの距離が長い場合や土地の高低差が大きい場合は、圧送が困難となり、導入できる条件はかなり限定される。</p>	

### 3-6-3. 受け入れ方式（受入設備）

受入設備は受入槽とポンプ設備などから構成される。また、長わら混じりのふん尿など、そのままでは嫌気性発酵に適さない性状の原料は、固液分離設備などを設けて前処理を行う。

#### 【解説】

##### (1) 受入槽の容量、構造

バイオガスプラントに搬入された原料ふん尿は、受入槽に投入される。受入槽の容量は基本的に1日に受け入れる原料ふん尿量（計画処理量）相当の容量があれば良いが、機器類の故障・点検・修理、冬期吹雪等による道路閉鎖による影響などの余裕をみて計画処理量の3日以上を設ける。

積雪寒冷地では、投入口・機器類の保護及び作業環境保持の目的で、受入設備を上屋で保護する等の配慮が必要である。

原料スラリーの受入槽は、タンカーからの荷卸しの関係及び冬季の凍結防止の観点から地下構造が有利である。


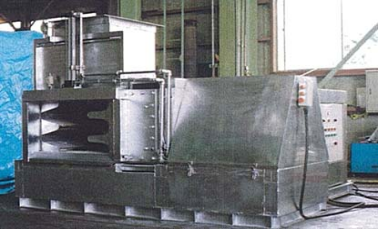
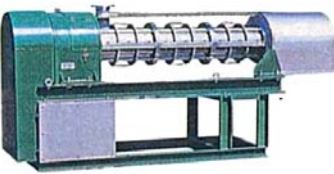
また、積雪寒冷地では、冬季に凍結した固形ふん尿がプラントへ搬入されてくる場合がある。そのため資源循環プロジェクトの別海施設では、床暖房式の融解を行っている。

このように積雪寒冷地で原料のふん尿の凍結のおそれがあると考えられる場合は、定期定量の原料投入を継続するため、一定量の原料の確保に必要な適切な対応が求められる。

(2) 固液分離設備

長わらのような敷料の混じった固形ふん尿は、そのままの性状では配管、ポンプ等の詰まりの原因となるため、前処理として固液分離が必要である。固液分離機としては表 3-6-4に示す形式のものが挙げられ、それぞれふん尿の性状に応じて選定を行う。

表 3-6-4 固液分離設備

名 称	特 徴	対 比
<p>ローラープレス</p> 	<p>回転するロータリースクリーンと圧縮ローラーにより搾り、固分と液分に分離する方式。</p> <p>液分は下方の分離口に落ち、スクリーンの表面に残った固分は固形口に排出される。</p> <p>原料に長わら等の敷き料が混合している場合、ローラーへの絡まり等が生じる危険性がある。</p>	<p>本体価格：安価</p> <p>敷料対応：悪い</p> <p>分離性能：中庸</p> <p>維持管理：容易</p>
<p>ウェーブプレス</p> 	<p>波状の側面を持つ2つのプレス板でふん尿を挟み込んで押しつぶし固分と液分に分離する方式。</p> <p>液分はプレス板フレーム本体の中を通り外部に排出され、残った固分は容器排出口より排出板で外部に放出する。</p> <p>ふん尿を押しつぶす単純構造であるため、長わら等の敷き料が混合している場合にも使用できる。</p>	<p>本体価格：高価</p> <p>敷料対応：良い</p> <p>分離性能：中庸</p> <p>維持管理：容易</p>
<p>スクリュープレス</p> 	<p>スクリューの回転によってふん尿を横方向に移動しながら徐々に圧縮し、圧搾版の円形の穴や縦溝によって固分と液分に分離する方式。</p> <p>長わら等を多く含むふん尿の固液分離をする場合、上記2方式より分離率が高い場合が多い。また長わらが切断されるという利点がある。</p>	<p>本体価格：高価</p> <p>敷料対応：良い</p> <p>分離性能：高い</p> <p>維持管理：複雑</p>

### (3) 固液分離を行う場所

固液分離は、搬入前に農家地先において行う方法と、搬入後にプラントにおいて一括して行う方法がある。前者の場合は、分離液分だけをプラントへ搬送する。それぞれのシステムの比較を表 3-6-5に示す。

表 3-6-5 固液分離の方式比較

	畜舎地点で個別の固液分離	嫌気性発酵処理施設で共同固液分離
施設計画	固液分離機をバークリーナー下部に設置し、運転を同調させることにより、労力のかからないシステムとする。	ふん尿はダンプ等で搬入し、プラントで一括して固液分離するシステムとする。
分離固分の処理	個別に堆肥化施設を設け処理する。	施設内に共同の堆肥化施設を設けて処理し、完成した堆肥は個人が持ち帰る。
稼働効率	低い 朝夕の排ふん作業時のみの稼働で概ね2時間/日程度である。	高い 作業時間等は任意であり6時間/日程度の稼働は可能である。
利点	施設への搬入が原料スラリーに一元化できるため、搬入コストが安くなる。 冬季には、固形ふん尿が凍結する前に固液分離できる。	共同施設であり、稼働効率が高いことから、固液分離機にかかる経費は安く抑えられる。
課題	施設が個人整備となる。 運転管理及び分離固分の堆肥化は個人の責任となる。 設備数が多いため建設コストが高くなる。	システムとして投入機、ホイールローダーなどの周辺機器が必要なほか、これらに掛かる人力作業が発生する。 冬季に搬入した固形ふん尿は凍結が進んでいる場合があり、その場合は固液分離前に融解処理が必要となる。 尿汚水・スラリーと固形ふん搬送の二重対応となるほか、堆肥化施設と完成した堆肥の搬出が必要となる。

### (4) 敷料混合ふん尿の嫌気性発酵原料としての適性

嫌気性発酵施設で固形糞尿を受入れる場合、固形糞尿全量を簡易にスラリー化できれば、施設運営上大きな利点となる。別海施設では、固形糞尿をメタン発酵の原料として利用するため、固形糞尿をメタン発酵の受入槽に投入し、スラリー化する試験が行われた<sup>5)</sup>。

#### a. 長わら入りの固形糞尿の直接投入試験

無細断の長わらあるいは牧草を含む固形糞尿をメタン発酵の受入槽に入れ、水流方向を調整しながら攪拌・混合を約8時間行えば、固形糞尿塊が解されスラリー化し、管路での閉塞の危険性は無いと判断された。しかし、攪拌・混合が不十分であったり、受入槽の液深が浅い場合は容易に閉塞した。したがって、所要の労力や動力を考慮すると、長わら入り固形糞尿をメタン発酵の原料とすることは現実的な方法ではないと判断された。



写真3-6-3は、破砕ポンプでの閉塞状況である。閉塞の原因は、ほぐしきれていない固形糞尿塊が浮遊していて液深が浅い状態から原料移送を行ったときに、さらに液面が下がり破砕ポンプに糞尿塊が吸引されたためと考えられた。



写真 3-6-3 破砕ポンプの破砕用マセレータ部の閉塞

b. 固液分離後の固形分の直接投入試験

長わら入り固形糞尿が固液分離機への定量供給のピータにより一旦ほぐされる場合、固液分離後の分離固分もほぐされ易くなっていることが推定される。そこで、分離固分を受入槽に直接投入する試験を行った。この場合も固形糞尿塊のほぐしに長時間を要し、合理的な方法ではないと判断された。

c. 細断わら入り固形糞尿の直接投入試験

細断わら入り固形糞尿塊は長わら入り固形糞尿塊よりも受入槽での攪拌混合により容易にほぐれ易いと考えられる。そこで、細断わらを敷料として使用する農家の固形糞尿をメタン発酵の受入槽に直接投入した。この場合も固形糞尿塊をスラリー化するのに、長時間を要し、実際的な方法ではないと判断された。

以上のa～cの試験結果を考慮すると、共同利用型バイオガスプラントで固形ふん尿を受入れざるを得ない場合は、運営上は大きな負担となるが、以下の対策が必要と考えられる。

- ・ 固液分離や堆肥化の施設を併設すること。
- ・ スラリー受入槽に投入した固形ふん尿を充分にほぐすなど細心の注意を払う管理体制を整えること。
- ・ より強力な細断・破砕・攪拌機器を開発して設置すること。

### 3-6-4. 発酵槽方式

発酵槽は、形状、材質、攪拌方式などを一体として開発されており、各メーカーがそれぞれに固有の技術を持っている。計画処理量、ふん尿の性状及び提供される維持管理技術、トラブル時の支援体制など各種サービスの内容を検討の上、適切な方式を採用する。

#### 【解説】

##### (1) 発酵槽の容量

発酵槽の容量は、計画処理量と滞留日数によって次式によって決まる。

$$\cdot \text{発酵槽の容量 (m}^3\text{)} = \text{計画処理量 (m}^3\text{/日)} \times \text{滞留日数 (日)}$$

##### (2) 発酵槽方式

発酵槽の方式には、多種多様なものがあり、各メーカーによってそれぞれ固有の技術となっている。表 3-6-6に現在北海道に建設されている嫌気性発酵施設の発酵槽の設置方法、形状、材質、攪拌方式の組み合わせについてまとめた。

表 3-6-6 発酵槽の設置方法、形状、構造、攪拌設備の組み合わせ例

設置方法	形状	構造	攪拌設備	設置例
地上式	箱形横型	コンクリート製	パドル	まちむら農場、ノースグランド 藤田牧場、中島牧場、久保牧場
地上型	コンテナ型	鋼板製	ガスフロア	吉村牧場
地上型	コンテナ型	鋼板製	エア攪拌	土幌町南地区
地上型	円筒形縦型	鋼板製	プロペラ	水沼牧場、熊谷牧場、別海資源循環試験施設 帯広畜産大学農場、北海道岩見沢農業高等学校 北海道大学
地上型	円筒形縦型	鋼板製	スクリュウポンプ +攪拌ポンプ	コーズ・エコファーム、下山牧場、龍田牧場、 後藤牧場
地上型	円筒形縦型	鋼板製	ガスフロア 圧送ポンプ	大谷牧場
地上型	円筒形横型	鋼板製	パドル	宮崎牧場、湧別資源循環試験施設
地上型	円筒形横型	鋼板製	スクリュウ	酪農学園大学乳牛糞尿循環センター
地下型	箱形横型	コンクリート製	パドル	仁成ファーム
半地下型	円筒形横型	FRP製	なし（自然流下）	別海町酪農研修牧場
半地下型	円筒形縦型	コンクリート製	スクリュウ	土幌町新田地区、土幌町佐倉地区

※ 北海道のバイオガスプラント事例集<sup>10)</sup>参考に整理し、その後のプラントを追加した。

### (3) 設置方法・形状

発酵槽は地上式と地下式、半地下式に大別され、北海道ではこのうち地上式が最も多い。

横型の容量には上限があり、デンマーク・フォルケセンターからの聞き取りでは概ね300m<sup>3</sup>程度までとされている。この規模は工場製作が可能であり、運搬時の建築限界が高さ4.5m、トレーラー長が最大12mであることから決まっている。因みに、湧別施設の発酵槽(横型円筒形)は直径3.60m、長さ20m、体積200m<sup>3</sup>で、2分割して運搬を行った(苫小牧市～湧別町)。

また、縦型円筒形についてはヨーロッパ等の事例では3,000～4,000m<sup>3</sup>程度までのものが多く、それ以上の処理の場合は複数基の設置となっている。現在、国内で最大容量のものは京都府八木町のバイオガスプラントで2,100m<sup>3</sup>、次いで別海施設の1,500m<sup>3</sup>であり、いずれも1槽で運転している。

### (4) 材質

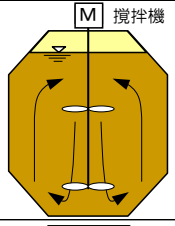
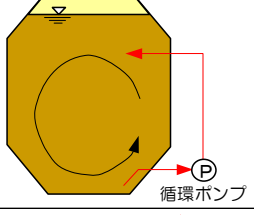
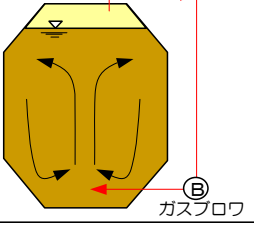
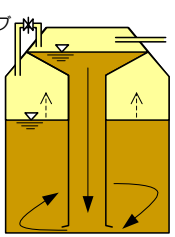
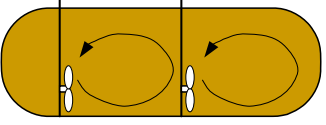
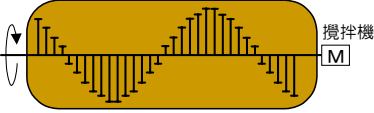
地上式では、鋼板製、コンクリート製、その他のものがあり、容量、形式、経済性を考慮の上選択されている。地下式では、外部土圧を受ける関係から、鉄筋コンクリート構造のものとなる。

### (5) 攪拌方式

発酵槽の形式により大略が決定される。メーカー毎に独自に開発されており、これを変更する事は発酵槽の構造に支障を与える他、発酵効果に対するメーカーの責任を損なう事になるため、変更はできないと考えるべきである。主な攪拌方式を表3-6-7にまとめる。機械攪拌は均一な攪拌が期待できるが、機械の動力によっては運転経費がかさむ場合もあるので注意が必要である。

なお、資源循環試験施設で採用した攪拌方式は、別海施設は縦型円筒形発酵槽縦軸2段プロペラ式、湧別施設は横型円筒形発酵槽横軸パドル式である。

表 3-6-7 発酵槽の主な攪拌方式

形状	攪拌方式	特 徴	模 式 図
縦型	機械攪拌 プロペラ式	攪拌機を稼働させ発酵槽内を強制的に攪拌する。 適切な動力の攪拌機を使用することで、均一な攪拌が期待できる。	
	ポンプ攪拌 ポンプ圧送式	発酵槽内の原料スラリーを吸引し、循環ポンプにより発酵槽内の消化液を攪拌する。 適切な動力のポンプを使用することで、均一な攪拌が期待できる。	
	ガス攪拌 ガスブロウ式	発酵槽上部にたまっているガスをブロウにより槽底部に供給し、上下対流攪拌する。 ガスによる攪拌のため、動力は比較的小さくて済むが、発酵槽内に攪拌できない部分が生じる可能性があるため、循環ポンプを併設して全体攪拌を行う場合がある。	
	差圧式	発酵槽で発生したガスの圧力を利用し、無動力で攪拌を行う方式。バルブを閉じていると、ガスの発生とともに外側液面が低下する。バルブを開くと内側液面が低下して、外側の液面と同じになり、このときに攪拌される。 動力を必要としないので、運転経費はきわめて安価である。 原料性状の粘性が高いと均一な攪拌ができない場合がある。	
横型	スクリー式	攪拌機を稼働させ発酵槽内を強制的に攪拌する。 適切な動力のモーターを使用することで、均一な攪拌が期待できる。	
	パドル式	攪拌機を稼働させ発酵槽内を強制的に攪拌する。 適切な動力の攪拌機を使用することで、均一な攪拌が期待できる。	

(6) 熱交換方式

熱交換方式には原料加熱式、発酵槽加熱式、内部加熱式などがある。発酵槽の形式、形状や攪拌方式などとの組み合わせは各メーカーの独自なものとなっている。それぞれの特徴等について表 3-6-8にまとめる。

表 3-6-8 発酵槽の熱交換方式

方式	原料加熱式	発酵槽加熱式	内部加熱式
特徴	発酵槽とは別に設けられた熱交換器で原料を所定の温度に昇温させ、発酵槽に投入する方式。 発酵槽本体の保温には同じ熱交換器を使用するものと、発酵槽を直接温める方法など、メーカーによって多少方法が異なる。	発酵槽の内壁または外壁にヒートパイプ(温配管)を取り付け、発酵槽を直接温める事によって内部を所定の温度に加熱、保持する方法。	攪拌パドルやドラフトチューブなど発酵槽内の機器を利用してヒートパイプを取り付け発酵槽内部で直接熱交換する方法。
利点	熱交換率が良いため、集中方式などの大規模処理の場合に採用されている例が多い。別海資源循環試験施設はこの方式であり、原料加熱、発酵槽保温の両方とも同一の外部熱交換機によっている。 また高温発酵では、発酵温度が高いことからこの方法が多く採用されている。	原料加熱式のように熱交換時にふん尿が細い配管を通ることがないため、熱交換プロセスでのふん尿の目詰まりの恐れがない。	同 左
留意点	熱交換器は、原料ふん尿と熱媒体(温水)を交錯させて熱交換を行うもので、比較的配管径が細いことからふん尿の目詰まりを起こす危険性がある。 裁断わらなど敷料材の種類、固液分離の有無など、原料の性状に留意し、目詰まりの防止に留意した方式とする。	あらかじめ加熱されていない原料が直接発酵槽に投入される。積雪寒冷地では、冬季の原料温度が特に低いことから投入時発酵槽内で発酵菌にショックを与えない配慮が必要である。	同 左
模式図			

(7) 留意事項

メーカーを決定した段階で、発酵槽や攪拌、熱交換等のシステムがほぼ決定されるので、全体を通した検討により発酵槽形式を決定し、メーカーの絞り込みを行うことが必要である。

### 3-6-5. 殺菌方式

集中処理方式では、複数農家から収集されたふん尿及び各種副資材を混合して処理することから、必要に応じて殺菌を行い、消化液の安全性を確保する。

【解説】

(1) 殺菌の必要性

集中型の施設では複数農家から原料ふん尿を搬入するほか、副資材として各種の有機資材を含め混合処理する場合がある。ふん尿1mlあたりには $10^{10}$ 個程度の微生物が含まれているが、そのうち感染症のものは皆無ではないものの非常に少ないとされている<sup>8)</sup>。ヨーロッパでは、いかなる病気も感染させるおそれのないことが証明されている家畜のふん尿は、殺菌が不要であるとされている<sup>16)</sup>。日本では、共同型・集中型バイオガスプラントでの処理を想定した「家畜に病原菌のないことの証明方法」が定められていないので、施設を共同で利用する農家間でヨーネ病などの感染の危険性を十分に検討し、ふん尿の殺菌の要否を決定する必要がある。

一方各種副資材の中には、下水汚泥のように人間や家畜に危険な病原体が含まれている可能性がある。このことから副資材を導入することで発病と伝染の危険性が高まるため、殺菌プロセスを導入して感染の可能性や伝染の拡大を阻止する必要がある。

家畜ふん尿を通じた病原体の伝染経路を図 3-6-1 に示す。

また、食品残渣などの有機性廃棄物には、植物由来の種子が含まれていることがあり、熱処理による殺菌は雑草種子の死滅にもつながる。

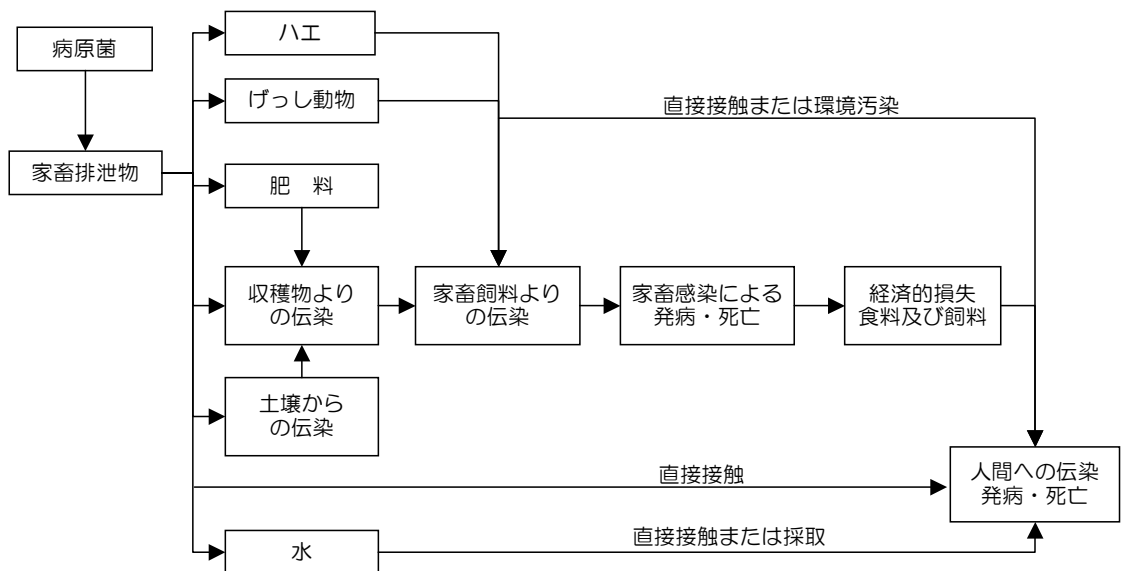


図 3-6-1 家畜排泄物の病原体による伝染経路<sup>8)</sup>

家畜排せつ物及び有機性廃棄物で確認されたいくつかの病原体とそれによる疫病を表 3-6-9に示す。原料にこれらのものが含まれると発病・伝染の危険性がある。

表 3-6-9 液状ふん尿と有機廃棄物内の病原体類<sup>6)</sup>

バクテリア	ウィルス	寄生虫
サルモネラ菌	口蹄病	回虫
大腸菌	豚バスト	柵状寄生虫類
結核菌	豚水泡病	吸虫類
炭疽(たんそ)菌	豚のインフルエンザ	カンテツ(肝臓の寄生虫)
ブルセラ病菌	オルテンブルグ病(豚の病気)	肺寄生虫
レプトスピラ	ロタウィルス感染	胃寄生虫
ミコバクテリア	Teschener Erkrankung	
豚丹毒菌	Aujszkysche Krankheit	
クロストリディウム菌	家禽(かきん)バスト・ウィルス	
連鎖状球菌	Blauzungenerkrankung(アオシカトカゲ病)	
腸内細菌	パプロ,テトロ,エコー,エンテロ・ウィルス	

## (2) 殺菌方式

バイオガスエネルギーの有効利用による熱殺菌方式を採用し、熱媒体はコージェネレーション及びバイオガスボイラーにより得られる温水とする。

殺菌方式には発酵前の原料を殺菌する前殺菌と、発酵後の消化液を殺菌する後殺菌がある。原料に副資材を用いた消化液を後殺菌するならば、消化液の全量を殺菌の対象としなければならず多大なエネルギーを必要とする。それゆえ、ヨーロッパでも事例があるように、殺菌に必要なある副資材のみを前殺菌し、病原菌を含まないことが証明されている場合のふん尿は殺菌対象としないという選択肢も考えられる。

高温発酵の場合は、発酵プロセスでの殺菌効果を期待でき殺菌工程を省略できるため、エネルギー的に有利となる。

採用する方式は原料に対する殺菌の必要度、施設費、エネルギー収支などを勘案の上決定する必要がある。

後述のように畜産副産物欧州規則（EC No.1774/2002 ABP規則）では、消化液を第三者に供給する場合には、70℃で1時間あるいはこれに相当する殺菌が義務づけられている。また、「70℃で1時間」に相当する殺菌としてColleran<sup>17)</sup>は、表 3-6-10を示している。

表 3-6-10 Danish Notification No.823に示されている70℃ 1時間の殺菌に相当する殺菌<sup>17)</sup>

温度	高温発酵槽内での必要保持時間	発酵槽とは別に設置された殺菌槽内での必要保持時間	
		高温発酵の前あるいは後に殺菌槽内で行う殺菌	中温発酵の前あるいは後に殺菌槽内で行う殺菌
52.0℃	10時間	—	—
53.5℃	8時間	—	—
55.0℃	6時間	5.5時間	7.5時間
60.0℃	—	2.5時間	3.5時間
65.0℃	—	1.0時間	1.5時間

### (3) 雑草種子の死滅効果

発酵熱及び加熱殺菌は雑草種子の死滅と発芽率減少の効果がある。表 3-6-に発酵温度及び殺菌温度が雑草種子発芽率や枯死率に及ぼす影響を示す(資源循環プロジェクト試験結果)。

表 3-6-11 加熱処理がエゾノギシギシ種子の生存率に与える影響<sup>5)</sup>

処 理	供試種子数(個)	無休眠種子率(%)	二次休眠種子率(%)	死滅種子率(%)
無処理	300	93.7	0.0	6.3
中温発酵30日	100	0.0	36.0	64.0
中温発酵30日+70℃1時間	100	0.0	11.0	89.0
中温発酵30日+70℃5時間	100	0.0	5.0	95.0
中温発酵30日+55℃4時間	100	0.0	4.0	96.0
中温発酵30日+55℃7.5時間	100	0.0	10.0	90.0
中温発酵30日+55℃15時間	100	0.0	11.0	89.0
高温発酵20日	100	0.0	14.0	86.0
高温発酵30日	100	0.0	9.0	91.0

### (4) 資源循環試験施設における衛生指標菌の殺菌効果

資源循環試験施設では各槽ごとに衛生指標菌(大腸菌、腸球菌)のモニタリング調査を行った。その結果を表 3-6-12に示す。

殺菌槽以降の消化液中の大腸菌は、殺菌槽の稼働が不安定な状況で一部検出されたが、殺菌槽が安定的に稼働すれば検出されない結果となった。また腸球菌については、原料スラリーから殺菌槽以降の消化液で4オーダー低下し、殺菌槽での加熱処理により消化液中の菌数はLarsenら<sup>18)</sup>が必要な殺菌効果として示した2(log<sub>10</sub>MPN/g)以下に概ね減少した。

表 3-6-12 資源循環試験施設における大腸菌及び腸球菌数の変化<sup>5)</sup>

施設名	槽名	大腸菌数 log <sub>10</sub> CFU/g	腸球菌数 log <sub>10</sub> MPN/g
湧 別	受入槽	5.7	5.9
	発酵槽	2.7	3.9
	殺菌槽	ND <sup>*</sup>	1.6以下
	貯留槽	20検体中12検体でND、 8検体で1.9±1.2	2.3以下
別 海	受入槽	5.1	5.7
	発酵槽	2.3	3.8
	殺菌槽	ND <sup>*</sup>	1.8以下
	貯留槽	30検体中24検体でND、 6検体で1.7±0.8	1.6以下

ND：検出限界以下(<1.0)、※は殺菌槽の機能が安定している場合

### (5) 殺菌設備と施設の熱収支

殺菌設備は多くの熱量を必要とする。そのため殺菌設備を備えた施設では、バイオガスから得られるエネルギーのみでは施設の熱需要を満足できない場合がある。そのような時は、重油ボイラーなどの補助熱源を備え、熱エネルギーを補う必要がある。殺菌温度を高くすればするほど、また殺菌時間を長くすればするほど必要な熱量は増



大し、補助熱源の必要性が高まる。

このように殺菌設備の有無や方式は施設の熱収支に大きく影響するため、原料に対する殺菌の必要度、エネルギー収支、施設建設費、維持費などを総合的に勘案し決定する必要がある。

(6) ヨーロッパにおける畜産副産物に対する殺菌の必要性<sup>16)</sup>

2002年に公布された畜産副産物欧州規則(EC NO1774/2002 ABP規則)によって、各種有機物はその危険性から3つに区分されており、バイオガスプラントへの適用条件は表3-6-13のように規定されている。

図3-6-13 ヨーロッパにおける畜産副産物に関する規則 (EC 1774/2002 ABP規則による)

区分	物質	バイオガスプラントで処理が許される畜産副産物	処理が許される要件
第1種	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ TSE (伝染性海綿状脳症:BSE、MSE、FSE、スクレーパー等)に感染した、あるいは感染が疑われる家畜または物質</li> <li>・ SRM (特定リスク物質 TSE感染物質を含む可能性が最も高い(健康な)家畜の物質。これには生後12ヶ月の羊や牛の頭がいや、全月齢の牛の腸などが含まれる。)</li> <li>・ 高濃度環境汚染物質 (ダイオキシン、PCB等)を含んでいる家畜または家畜の一部</li> <li>・ 国内以外から輸送された食品廃棄物</li> <li>・ 第1種加工施設の廃液から回収した家畜廃棄物であって、粒径が6mmを超えるもの</li> </ul>	なし	—
第2種	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 何らかの家畜病に感染するか、あるいは感染させるリスクがある家畜または家畜の一部 (農場での死亡獣畜、または防疾措置による屠畜など)</li> <li>・ 動物用医薬品の残留濃度の高い畜産副産物</li> <li>・ 屠場 (第2種加工施設)の廃液から回収した家畜廃棄物であって、粒径が6mmを超えるもの (ファットスクレーパー処理物、サンドトラップ処理物、油脂や汚泥の滓)</li> <li>・ いかなる病気も感染させる疑いのない家畜のふん尿、内臓、胃、及び腸の内容物 (腸から分離させたもの)、牛乳、初乳</li> </ul>	家畜ふん尿 胃・内臓内容物 牛乳、初乳 (全て前処理不要)	伝染病がないこと。国の法令によりバイオガスプラントが認定されていること。
		その他の全ての第2種物質	殺菌 (133℃、3パール、20分) および標識付け。ABP規則第15条に沿ってバイオガスプラントが認定されていること。
第3種	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 食品廃棄物 (国内のものに限る)</li> <li>・ 消費者向けに屠殺した健康な家畜から取った家畜物質であって、消費用には不適切として、あるいは商業的理由によりはねられたあらゆる家畜物質</li> </ul>	全ての物質	ABP規則第15条に沿ってバイオガスプラントが認定されていること。
		食品廃棄物	国の法令によりバイオガスプラントが認定されていること。

家畜ふん尿、胃・腸内容物、牛乳、初乳は第2種物質として規定されており、前処理することなくバイオガスプラントで処理することができる。その場合消化液は、EU加盟国間の売買や第三者への供給（無償を含む）などをしない限り、ABP規則のいかなる要件も満たす必要はなく、農地や放牧地にそのまま散布することが可能となっている。第三者へ供給（無償を含む）する場合は、70℃1時間の熱処理もしくはそれに相当する処理が義務づけられている。

また、畜産副産物欧州規則第15条によるバイオガスプラントの認定基準は以下のとおりである。

## I) バイオガスプラントの認定要件を満たすこと

### A) 設備

#### 1) バイオガスプラントの所要設備

加工方法1（3バール、133℃条件下で20分間蒸気滅菌）を経た畜産副産物のみを交換する場合は、下記の低温殺菌・衛生装置を必ずしも備える必要はない。

#### a) 次のものを完備した低温殺菌・衛生装置を備えていること。

##### i) 経時温度変化のモニタリング機能

##### ii) 上記測定値の連続記録装置

##### iii) 加熱不足防止のための十分なセーフティー・システム

#### b) 敷地外に出る車両及び容器を洗浄・殺菌するための十分な施設があること。

#### 2) バイオガスプラントは実験室を備えていること。

あるいは外部の実験室が利用できること。実験室は必要な分析を行える設備を備えており、所管当局の認定を受けていること。

## II) 畜産副産物の取り扱い

### B) 衛生要件

#### 1) バイオガスプラントは、次の畜産副産物のみ原料として使用すること。

#### a) 第2種物質（第2種プラントで加工方法1（50mm、133℃、3バールの条件下で20分間蒸気滅菌）を使用した場合）

#### b) 家畜ふん尿、及び消化管内容物

#### c) 第3種物質

#### 2) 1)で述べている畜産副産物は、到着後、できるだけ早期に発酵させなければならない。同副産物は適切な方法で貯蔵し、処理すること。

#### 3) 未処理物質の運搬に使用した容器、受器、車両は、指定区域で洗浄すること。同区域は処理済製品の汚染を防止できる場所に設けるか、あるいはそのように設計すること。

#### 4) 野鳥、齧播類(リス亜目・ヤマアラシ亜目・ネズミ亜目など)、昆虫、その他の有害小動物対策を組織的に講じること。これには有害生物防除対策を文書化して整備すること。

- 5) プラント全域を対象とした清掃手順を策定し、実施内容を記録すること。清掃に適した機器及び洗剤を備えること。
- 6) 衛生管理には環境及び機器の定期検査を含めること。検査計画を文書化し、検査結果を記録する。
- 7) 設備・機器は良好な状態に維持し、測定装置は定期的に較正を行うこと。
- 8) 発酵済み消化液は、汚染なき方法で、プラント内にて処理、貯蔵すること。

#### C)加工基準

- 1) 低温殺菌・衛生装置を備えたバイオガスプラントの原料となる第3種物質は、次の最低要件を満たすこと。
  - a) 同装置投入前の最大粒径：12mm
  - b) 同装置内における全物質の最低温度：70℃
  - c) 同装置内における最低連続滞留時間：60分

#### III) 所管当局による検査

(ABP規則第26条 公的管理及び認定プラント一覧表にもとづく)

第26条は所管当局による認定プラントの検査及び監督の頻度を規定している。また、認定プラントに識別番号を付けた一覧表を作るよう国家行政に求めている。

#### IV) 重要管理点のモニタリング及び点検方法を確立し、これを実施する

ABP規則はプラント・オーナーの自己責任の原則を重要視するとともに、危害分析及び重要管理点方式（HACCPコンセプト）にもとづく自己管理体制の確立を求めている。畜産副産物の受入承認/却下、低温殺菌、清潔/不潔の定義等の衛生管理について、厳格な基準を設けることで、衛生面の潜在的リスクを最小限に抑えなければならない。

#### V) 消化残渣とコンポストの微生物基準

##### D) 消化残渣とコンポスト（ABP規則付記 VI, II章, Part Dに定められている）

- 1) バイオガス/コンポスト・プラントにおける貯蔵期間中、あるいは貯蔵後の抜取り時に試料（消化残渣またはコンポスト）を採取し、それが次の基準を満たしていること。
  - ・サルモネラ菌  
25gの試料5つで、サルモネラ菌が検出されないこと
  - ・腸内細菌  
1g試料5つについて：  
腸内細菌10～300 cfu/gの試料は2つ以下であり、それ以外の試料は腸内細菌が10 cfu/g以下であること（cfuはコロニー形成単位をあらわす）

### 3-6-6. 消化液貯留方式

集中処理システムでの消化液貯留は、集中貯留方式、分散貯留方式などがあり、搬出・散布に必要な労力を考慮した貯留方式とする。

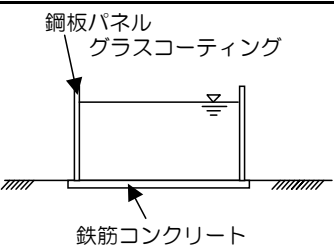
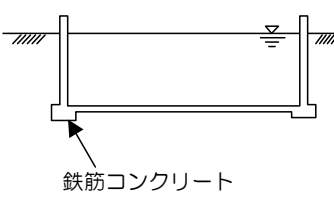
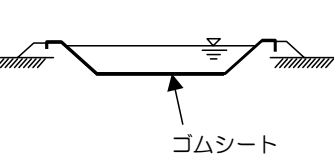
【解説】

嫌気性発酵施設から生成される消化液は圃場還元を前提とするが、作物によって散布期間は異なる。また、積雪寒冷地では積雪や土壌凍結により冬期間の圃場散布ができないため、散布可能な時期まで貯めておくことのできる消化液貯留槽が必要である。

(1) 消化液貯留槽の構造

消化液貯留槽はコンクリート製、鋼製パネル製及びゴムシート製などが一般に用いられている。表 3-6-14にその特徴を整理する。

表 3-6-14 消化液貯留槽の種類

種別	模 式 図	特 徴	建設コスト	耐用年数	設置面積	攪拌性
鋼製パネル製		コンクリート製の床版に、グラスコーティングを施した鋼製のパネルで壁体を作った貯留槽。基本的に地上型が多い。	高い	長い	小	容易
コンクリート製		床版壁体共に鉄筋コンクリートで作られた貯留槽。地下型、半地下型のものが多い。	高い	長い	小	容易
ゴムシート製		床版壁体共にゴムシート張りの貯留槽。盛土の切土の均衡をとって、半地下構造とする場合が多い。	安い	短い	大	難しい

また、貯留槽にカバーや屋根を付ける有蓋型も存在する。その場合、降雨による消化液濃度低下を防止でき、また貯留中のアンモニア揮散による窒素肥料成分の損失を防止できる利点がある。しかし北海道のような積雪寒冷地では、積雪重によって屋根の必要強度が大きく建設費が高いことや、年間降水量がそれほど多くなく消化液の濃度がそれほど低下しないことなどから、現在のところ開放型とすることが多い。

ヨーロッパでは、環境保全上の見地から、アンモニア揮散防止を目的として何らかのカバーや浮き蓋を有するものが多い。

## (2) 付帯設備

消化液貯留槽は大型の槽となるため、表面のスカム除去のために攪拌装置が必要となる。その攪拌装置にはプロペラ式、ポンプ式等がある。前者は出力が小さくて済み、後者は大きな出力が必要となるものの消化液の汲み上げ用のポンプと併用することが可能であるという利点がある。

## (3) 容量

貯留槽の容量は、1年間の中で最も長く圃場還元をしない期間(積雪寒冷地では基本的に冬期間)から決定する。北海道における国営かんがい排水地区の肥培かんがい施設諸元に準じれば、冬期間日数は土壌が凍結を始める日(平均気温 $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$ 以下)から牧草が生育を始める日(平均気温 $5^{\circ}\text{C}$ 以上)までと考えられており、地域によって異なるが概ね150~160日となる場合が多い。

消化液貯留槽容量の総計

：日当たり消化液生成量×最も長く圃場還元をしない期間の日数

## (4) 貯留方式

消化液貯留方式には、集中貯留方式と分散貯留方式がある(図 3-6-2)。採用に当たっては後述の搬出・散布方式の検討を含め、搬出散布に必要な日数、労力、経費などについて比較検討の上決定する。

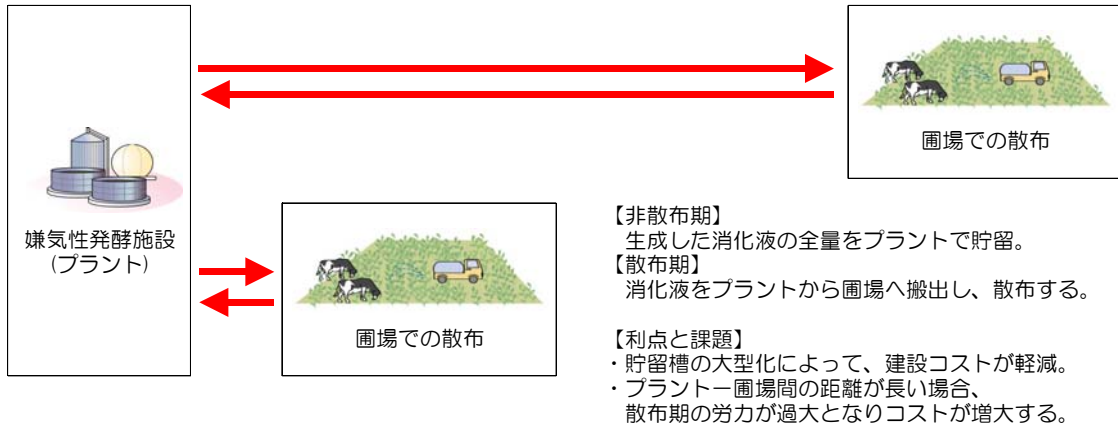
### 1) 集中貯留方式

バイオガスプラント地点に消化液の全量を貯留し、散布時に適時搬出・散布する方式である。貯留槽を大型化することにより工事費等の節減を図ることができるが、圃場がプラントから遠隔地にある場合は、搬出に多くの時間と労力が必要となる。

### 2) 分散貯留方式

消化液還元を行う圃場がバイオガスプラントから遠隔地にある場合の対策として、プラントでの貯留施設とともに、遠隔地の圃場群の近隣にサテライトタンクを設ける方法である。この方式では、バイオガスプラントからサテライトタンクまでの搬出を、非散布期の任意の空き時間にあらかじめ行っておくことができ、散布期の搬出作業を軽減することができる。

■集中貯留方式



■分散貯留方式

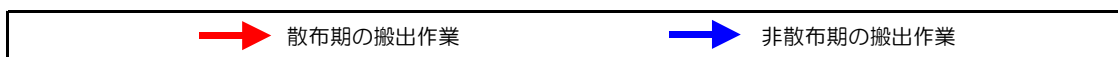
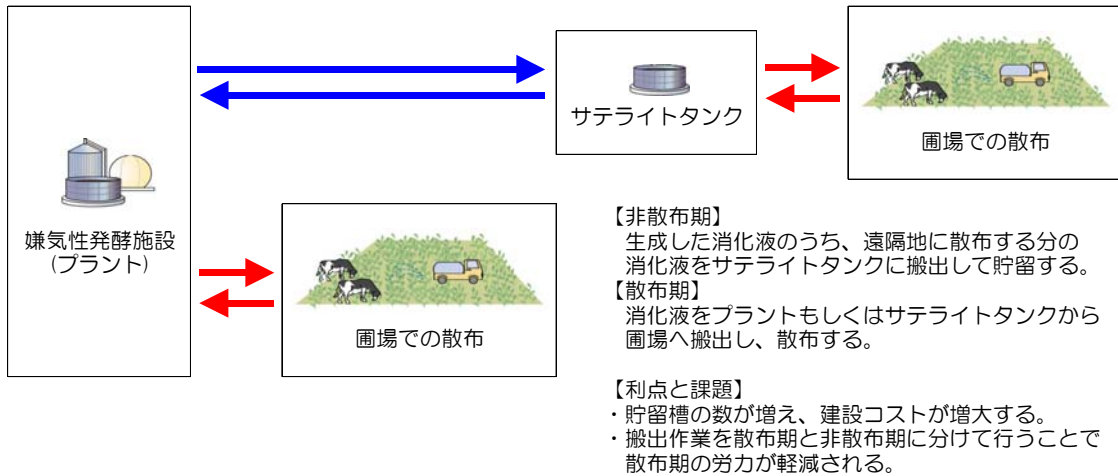


図 3-6-2 集中貯留方式と分散貯留方式の違い

### 3-6-7. 消化液搬出・圃場散布方式

集中処理方式では、消化液の搬出に時間・労力・コストが必要となるので、適切な搬出方式を選定する必要がある。また、圃場散布時には散布コスト抑制、肥料効果の維持、環境負荷の軽減に留意しなければならない。

【解説】

(1) 消化液の搬出

集中型と共同型における共通の課題の一つとして、バイオガスプラントと消化液を散布する圃場の位置が離れてしまうことが挙げられる。そのため消化液の搬出に要する時間、労力、コストの抑制にとって、消化液の搬出方式の選択は非常に重要である。消化液の搬出方式はタンカー等で搬出する方法と、管路によって圧送する方法がある(表 3-6-15)。それぞれの方式で時間・労力・コストが異なるので、搬出計画を十分に検討して方式を決定する必要がある。また、場合によっては処理対象範囲をプラントから一定の距離以内の農家に限定することも必要となる。

表 3-6-15 消化液搬出方式

搬送方式	特 徴	模式図
タンカー搬送	<p>バキュームタンカーを使用して搬送を行う方式。</p> <p>■利点 施設費が比較的小さい。</p> <p>■不利点 搬出にかかる時間・労力が大きい。</p>	
管路搬送	<p>施設から搬出先までを管路で結び、ポンプによる圧送によって搬送を行う方式。</p> <p>■利点 搬送に要する労力は比較的少なくて済む。</p> <p>■不利点 施設費が大きい。 搬出距離や地形条件などによって、圧送が不可能となる場合が多い。</p>	

## (2) 消化液の圃場散布

代表的な消化液の散布方法を表 3-6-16に示す。消化液の散布時にはアンモニアが揮散するが、これは肥料効果の低減や環境負荷の増大につながるため、散布方式決定の際には、労力・コストとともに考慮する必要がある。また、傾斜地においては消化液の表面流出などが考えられるので、これも考慮する必要がある。

表 3-6-16 消化液の圃場散布方式

方 式	散 布 方 式	施設費	労働時間	アンモニア揮散	例
スプラッシュプレート	飛散板によって消化液を飛散させて空中散布する方式。	安い	短い	多い	
バンドスプレッダ	横広の筒状の管から垂らしたチューブによって地表近く散布する方式。	高い	短い	中程度	
浅層インジェクタ	農地の表層に小さな溝を掘り、その中に消化液を流し込む方式。	高い	長い	少ない	
リールマシン	ポンプ圧送により散水器で空中散布する方式。 圃場まで管路を整備する必要がある。 圃場への荷重が小さい。	高い	短い	多い	

参考として表 3-6-17に資源循環プロジェクトにおいて各散布方式の作業能率を測定したものを示す。

表 3-6-17 散布方式による作業能率の違い<sup>5,19)</sup>

散布方式	タンク容量(m <sup>3</sup> )	散布幅(m)	平均作業速度(m/s)	作業能率(ha/h)
スプラッシュプレート	14.5	17.5	1.27	1.6
バンドスプレッダ	15.0	16.0	2.10	3.7
浅層インジェクタ	14.0	5.0	1.95	1.2

※それぞれの方式によって異なる圃場、スラリーによる測定結果。



### 3-6-8. バイオガス貯留方式

バイオガスを貯留するガスホルダーは、その容量、用途、コストによって最適な形式、構造を選定する必要がある。

#### 【解説】

##### (1) ガスホルダーの目的

嫌気性発酵処理によるガスの発生量には、原料ふん尿投入時、あるいは攪拌時など1日のなかで変動が生じる。コージェネレータやガスボイラーの運転状況は随時変動することから、ガスの利用量も1日のなかで一定ではない。発生するバイオガスは全量利用することが基本であるので、ガスホルダーはこうしたガス発生側と利用側の変動に対するバッファーとして機能させるものである。

バイオガスエネルギーが風力や太陽エネルギーと大きく異なるのは、ガスとして貯蔵可能なことであり、ホルダーの設置によりこの特徴を最大限生かした利用を図る事が重要である。

##### (2) ガスホルダーの容量

バイオガスの利用計画によって、ガスホルダーの容量は2通りの考え方がある。

1. バイオガスの利用量が終日一定量である場合
2. バイオガスの利用量が1日のなかで変動する場合

##### 1) バイオガスの利用量が終日一定量の場合

この場合、時間当たりのガス発生量と時間当たりの利用量はほぼ等しいと考えられ、図 3-6-3に示すように、ガスの発生量が利用量を上回る時にはガスが貯留され、逆に下回る時に貯留したガスが消費される。その時の貯留量ピークがガスホルダーの施設容量となり、時間当たりのガス発生量の変動に対するバッファとしての役割を持つことになる。

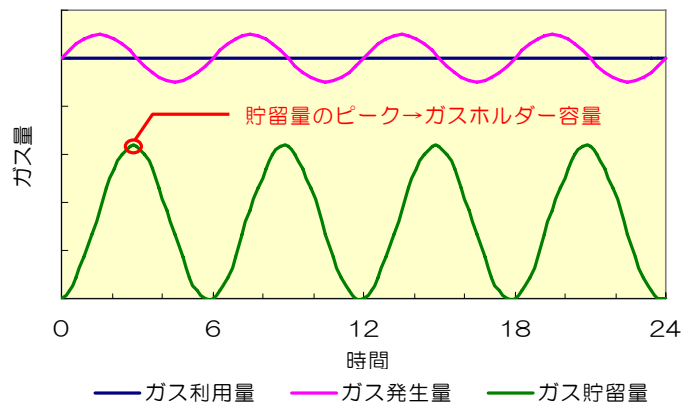


図 3-6-3 1日のガス発生量と利用量、貯留量の動き（バイオガスの利用量が終日一定量の場合）

## 2) バイオガスの利用量が1日のなかで変動する場合

この場合、ガス利用量の変動に応じて、ガスホルダーの容量を決定する必要がある。図 3-6-4に示したように、ガスの消費量が少ない（もしくはない）時間帯にはガスの貯留を行い、ガスを多く消費する時間帯に貯留したガスを消費する。ガスを貯留する時間が長いほど、1)の場合と比較してガスホルダーの容量が大きくなる。

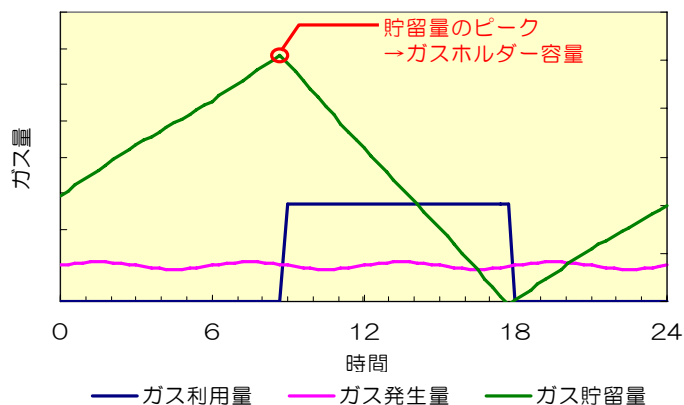


図 3-6-4 1日のガス発生量と利用量、貯留量の動き（利用量が1日の中で変動する場合）

## 3) 容量の決定

ガスホルダー容量は、ガス発生量とガス消費量の時間変化を想定し、図3-6-3、図3-6-4のように貯留量のピーク値を計算し決定する。ガス消費量は、エネルギー利用計画によって決まる。エネルギー利用計画とガスホルダー容量については、3-6-10の(4)、(5)を参照のこと。

### (3) ガスホルダーの構造

バイオガスの貯蔵圧には低圧、中圧、高圧があるが、一般に農業利用では低圧が用いられており、本資料では低圧貯留のみを扱う。低圧貯留の貯留方式としては表3-6-18に示すものが一般的である。各方式とも、ホルダー専用として設計されるもののほかに、発酵槽部や消化液貯留槽の上部を兼ねて設置するものや、生物脱硫設備を併用させたものなどがある。嫌気性発酵施設の基本方針に合った、施設費、維持管理費の安価な方式を選択することが重要である。

ちなみに、別海施設では乾式ガスバック型と生物脱硫装置を兼ねた湿式ドーム型のガスホルダーを、湧別施設では乾式ガスバック型のガスホルダーを備えている。参考として表 3-6-19に北海道でのガスホルダー採用例を示す。

表 3-6-18 ガスホルダーの貯留方式

名称と特徴	模式図
<p>フロートドーム式</p> <p>液体の充満した液体槽の上に鋼板製のフロートドームを浮かせ、バイオガスを水封する方式。 積雪寒冷地では、液体槽の液体が凍結しないように、上屋で保護したり、不凍液を使うなどの対策が必要である。</p>	
<p>乾式ガスバック式</p> <p>耐候性のメンブレン複合シートなどで作られたガスバックにガスを貯留する方式。 天候やその他の要因による損傷から保護するために、上屋を設けたり、より強度の高いシートで保護するなどの対策を行う。</p>	
<p>湿式ドーム式</p> <p>発酵槽や消化液貯留槽の上部に、バイオガスを貯留することが可能な容量を確保する方式。 ドームの構造としては、鋼板製やメンブレン複合シート製など多様である。</p>	

表 3-6-19 北海道の嫌気性発酵施設のガス貯留設備

方式	実施例
フロートドーム式	<ul style="list-style-type: none"> <li>酪農学園大学乳牛糞尿循環センター</li> </ul>
乾式ガスバック式	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯広畜産大学農場</li> <li>ノースグラウンド</li> <li>仁成ファーム</li> <li>藤田牧場</li> <li>宮崎牧場</li> <li>大谷牧場</li> <li>熊谷牧場</li> <li>吉村牧場</li> <li>湧別資源循環試験施設</li> <li>別海資源循環試験施設</li> </ul>
湿式ドーム式	<ul style="list-style-type: none"> <li>まちむら農場</li> <li>中島牧場</li> <li>別海資源循環試験施設</li> <li>北海道岩見沢農業高等学校</li> <li>別海町酪農研修牧場</li> <li>コーンズエコファーム</li> </ul>

(参考文献10)から作成)

### 3-6-9. 脱硫・除湿設備

バイオガス中に含まれる硫化水素は、人体に有害であるほか、各種機器類の損傷の原因となるので、用途に応じて適切な脱硫を行う。

またバイオガスは非常に湿度が高いので、適切な除湿を行う必要がある。

#### 【解説】

#### (1) 脱硫設備

##### 1) 脱硫の必要性

乳牛ふん尿や各副資材のタンパク質中に含まれている硫黄化合物が還元され、バイオガス中には4,000～数千ppmの硫化水素が含まれている。

硫化水素は大気中に3～5ppm含まれていると人が不快に感じ、10ppm以上では人体に有害となり金属やコンクリートも腐食させ、ガスボイラー、発電機等の設備機器や計装機器及び配管設備に損傷をあたえる<sup>20)</sup>。そのため脱硫はバイオガスの利用に当たって欠くことのできない重要な工程である。

##### 2) 脱硫の方式

脱硫の方法には湿式脱硫法、乾式脱硫法、生物脱硫法がある(表 3-6-20)。近年、北海道の先行事例でも生物脱硫法が増加しているが、処理ガス量、維持管理費、脱硫目標値などを勘案の上、複数の方法の組み合わせなどを含めて、適切な方式を選択する必要がある。

#### (2) 除湿設備

##### 1) 除湿の必要性

発生したバイオガスは湿度の非常に高いガスである。このガスをそのままコージェネレータなどのガス利用設備で燃焼させても、バイオガス本来の持つ熱量を得ることはできない。それに加え、水分を多く含んだガスを使用することによって、ガス利用設備の腐食などを引き起こす可能性もある。

また、バイオガスと外気の温度差によりバイオガス配管のまがり部分などには結露水がたまりやすい。厳寒期には、この結露水の凍結によりバイオガス配管の閉塞・破裂事故が発生するおそれがある。

これらのことから、バイオガスは除湿して利用する必要がある。

##### 2) 除湿設備の位置

脱硫や除湿を確実に効果的に行うことは、設備の配列に大きく影響を受ける。

脱硫設備が生物脱硫方式である場合、脱硫設備はバイオガスが十分に水分を含んだ状態である発酵槽直後に設け、除湿設備は脱硫設備の後に設ける事が適切である。

乾式脱硫方式の場合は、バイオガス中の水分が脱硫剤に悪影響を与えることが考え

られるので、発酵槽直後に除湿設備を設け、その後に脱硫設備を設ける方が良い。

なお、乾式のガス貯留設備の後に脱硫設備や除湿設備を設けている例があるが、硫化水素や水分がガス貯留設備及びその配管に悪影響を与える可能性があるため、ガス貯留設備の前に脱硫設備や除湿設備を設ける方が望ましい。

最適と考えられる発酵槽以降の各設備の配列を図 3-6-5に示す。

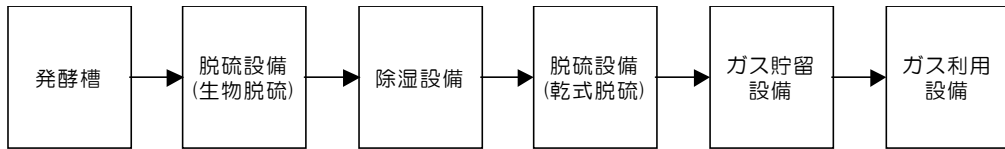


図 3-6-5 発酵槽以降の各設備の最適な配列例

表 3-6-20 主要な脱硫方式

方式	内 容	模 式 図	維持管理費	維持管理のし易さ
湿式脱硫	<p>ガスを液体中に通すことで硫化水素を溶け込ませて除去する方法。水洗、苛性ソーダ、タカハックス、カーボトル法などがある。大容量のガス処理に適している。</p> <p>装置が大型で建設コストがかかるほか、維持費も高い。</p>		高い	容易
乾式脱硫	<p>酸化鉄が硫化水素と反応して硫化鉄に変化することを利用した方法。脱硫剤は定期的に取り出して空気中の酸素によって再生させる方法や、バイオガスに定量の空気を混入させて連続的に脱硫剤を再生する方法などがある。</p> <p>最も安定した脱硫効果が得られ、完全に硫化水素を除去することができるが、脱硫塔の建設コストがかかるほか、脱硫剤の交換等で維持費が高い。</p>		高い	容易
生物脱硫	<p>発酵槽もしくはガス貯留施設内においてわずかな空気を吹き込み、生物的に脱硫する方法。硫酸還元菌の働きによって、空気が流入されている状態で硫化水素が硫酸および水に変化する。</p> <p>発酵槽外に脱硫塔を設置して脱硫する方法と、発酵槽やガスホルダー等との兼用設備として脱硫する方法がある。前者は高い脱硫効果が得られ、後者は脱硫効果は低くなるが簡便で、建設コストや維持管理費が安価である。ドイツの小型プラントでは後者が主流となっている。</p>	<p>【脱硫塔の例】</p> <p>【ガスホルダー兼用設備の例】</p>	安い	容易

### 3-6-10. バイオガス利用方式

回収したバイオガスは施設内利用を最優先とし、余剰分の利用方法などを含め、目的に応じた利用計画により適切に管理する。

バイオガスの利用に当たっては、利用計画に応じた適切な設備を導入する必要がある。その際、立ち上げ時や非常用のバックアップ設備も必要である。

#### 【解説】

##### (1) バイオガスの利用計画

回収したバイオガスの利用方式には、燃焼エネルギーを利用するボイラー燃焼利用、コージェネレーション利用が考えられる(図 3-6-6)。嫌気性発酵では、閉鎖系で無酸素状態を保持すると同時に、発酵槽内の温度環境を維持することと、攪拌により槽内を均一化することが重要であり、これらに熱や電気などのエネルギーが必要となる。バイオガスは、この施設運転に必要な熱や電力に利用することを第一とする。それとともに、バイオガスの余剰分は近接する酪農家や堆肥化施設等へのエネルギー供給や、売電による収益化などでの有効利用を図る。特に、公共施設で有効利用できる場合には、バイオガスプラントの建設位置の調整や、バイオガスを当該公共施設に移送して利用することなども想定しながら、積極的に検討を行うものとする。

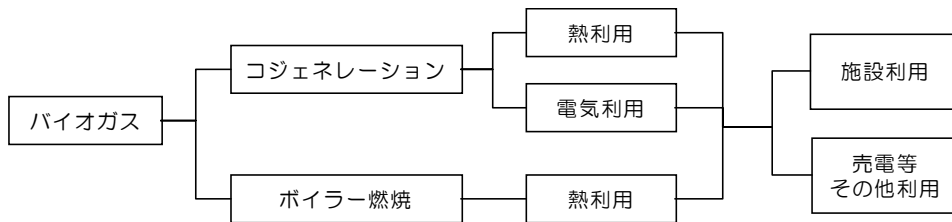


図 3-6-6 バイオガスの利用方法

## (2) 発電方法

### 1) コージェネレータ

バイオガスを使ったコージェネレータには、ガスエンジン、マイクロガスタービン等がある。表 3-6-21にそれぞれの特徴を示す。北海道ではこの中でガスエンジン型が主流である。マイクロガスタービン型も実績はあるがまだ実証段階である。

表 3-6-21 コージェネレータの種類 (文献20.21)から作成)

	ガスエンジン	マイクロガスタービン
出力	18kW~160kW	30kW
発電効率	28~42%	20~35%
総合効率	65~80%	70~80%
排熱温度	排ガス 450~600℃ 冷却水 85℃前後	排ガス 450~550℃
維持管理	容易	容易
特徴	・排ガスがクリーンで熱回収が容易 ・排熱が高温で利用効率が高い	・小型・軽量 ・排ガスが高温で蒸気回収が容易 ・冷却水が不要

### 2) 発電計画

発電計画は、バイオガスを有効に利用しプラントで必要な熱と電気を自給することを基本として決定する。ガスが余剰となる時には、売電を視野に入れた計画とする。

通常コージェネレータは、定格出力よりも低い出力での運転や、電源の入-切の繰り返しにより、エネルギー効率が著しく低下する。そのため、プラントで必要な電力は1日の中で可能な限り均一にし、それに見合った出力のコージェネレータを導入することが重要である。

また、1日の中で発電量を増減させる場合、一般的に電力単価は昼間に高く夜間は安いいため、昼間に多く発電を行うのが有利である。この場合、ガスホルダー容量は発電量の調整に対応できる大きさが必要となる。

### (3) 熱供給計画

#### 1) 必要熱量

嫌気性発酵システムでは、発酵槽の加温・保温などに熱エネルギーが必要である。特に、北海道のような積雪寒冷地では冬期間の必要熱量が大きくなるので、熱供給計画の決定の際には十分な検討が必要である。

施設からの放熱は、外気温が低いときほど大きく、また配管内の循環温水温度や発酵温度、殺菌槽温度などが高いほど大きい。それゆえ、施設での必要熱量は殺菌温度などの施設の温度設定条件と、外気温の差に大きく影響を受ける。湧別施設では消費熱量と殺菌温度-日平均気温の関係は図 3-6-7のような直線関係となった。

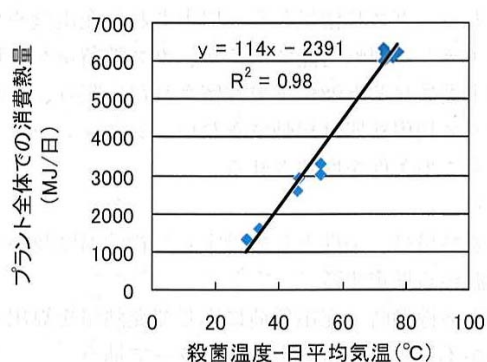


図 3-6-7 殺菌温度-日平均気温と消費熱量の関係(湧別施設の事例)<sup>5)</sup>

#### 2) 熱供給方法

発酵槽の加温等に必要熱量は、コージェネレーションによって得られる熱を利用するのが基本である。しかし、コージェネレーションによって得られる熱量だけでは必要量を賄えない場合もある。その場合は、ガスボイラーや重油ボイラーにより熱を供給する必要がある。また、一般に総合エネルギー効率は、コージェネレーション設備よりもガスボイラーの方が高い(図 3-6-8)。そのためガス量が不足するような施設では、必要な電気は商用電力から購入し、メタンガスは全量をボイラーで熱変換させる方が効率的な計画となる場合もある。

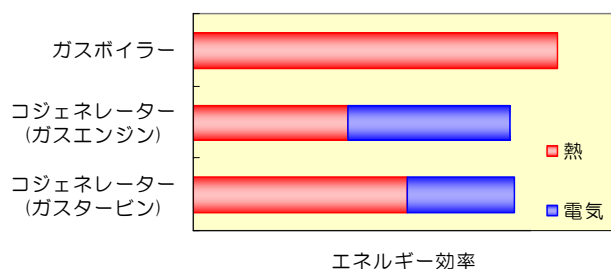


図 3-6-8 バイオガス利用設備のエネルギー効率



#### (4) エネルギー利用計画

##### 1) バイオガスが十分に発生する場合

図 3-6-9は、コージェネレーションを導入した施設における1日間のエネルギー計画の例を示したものである。このように施設内の消費電力と消費熱量が、コージェネレーションによって得られる電気量と熱量の範囲内であることが理想的である。このような施設では、余った熱量は他設備で利用可能となる。また、余った電力も電力会社へ売電することが可能となり、経済面や環境面で非常に優れた施設となりうる。

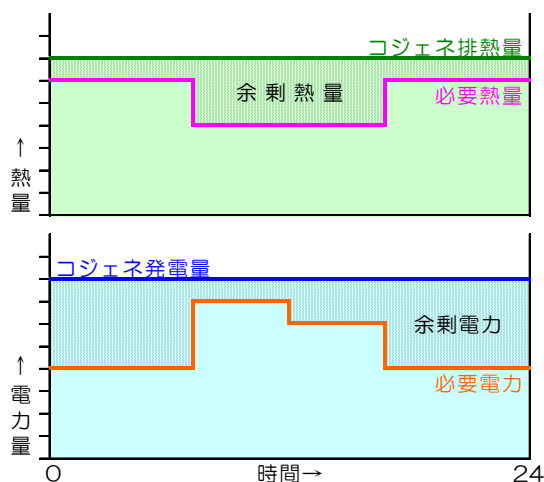


図 3-6-9 理想的なコージェネレーション計画

ただし、上記は余剰電力を売電する契約が電力会社との間で成立している場合である。原理的に、発電は需要先がないと行えないため、もし契約がない場合は、プラント内で必要な電力以上の発電は行えず、エネルギー計画は図 3-6-11のようになる。必要電力に合わせて発電量が変動し低出力運転となる時間帯ができるため、コージェネレータの効率が低下することが懸念される。この場合、必要熱量をコージェネレーションでは賄えずガスボイラーによる熱供給が必要になる場合もある。

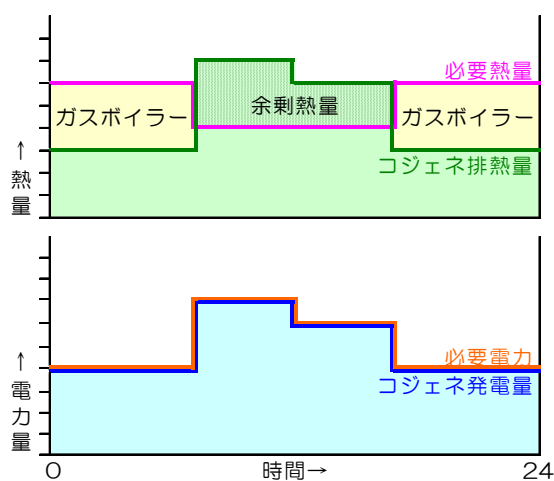


図 3-6-10 バイオガスは十分にがあるが、電力会社との契約がないためコージェネレータの容量を十分に活用できない場合の例

## 2) バイオガスが不足する場合

施設によっては、発生するバイオガス全量でコージェネレーションを行っても、必要電力や熱量、もしくはその両方を供給できないことがある。特に積雪寒冷地では、夏季は供給できても冬季に必要な熱量を確保することが困難な場合が多い。このような場合は、不足する電力量は商用電力から購入し、不足する熱量は重油ボイラー等から得られる熱で補う必要があり、1日のエネルギー計画は図 3-6-11 のようになる。

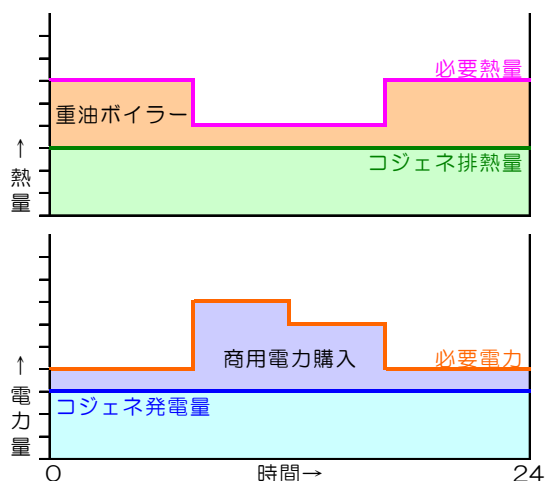


図 3-6-11 バイオガスが不足する場合 (a)

また、次のような検討も必要である。図 3-6-12 はコージェネレーションを昼間に限定して行う計画である。電力単価の高い昼間の電力を自家発電で補い、電力単価の安い夜間は商用電力を購入することで、維持管理費の削減が可能となる。

しかし、この方法では、図 3-6-11 の場合に比べて出力の大きなコージェネレータが必要となることや、コージェネレータの入切を繰り返すためエネルギー効率が低下することが懸念される。また、夜間に発生するバイオガスを全て貯留するため、ガスホルダー容量が増え、建設コストが大きくなるといった不利点もある。

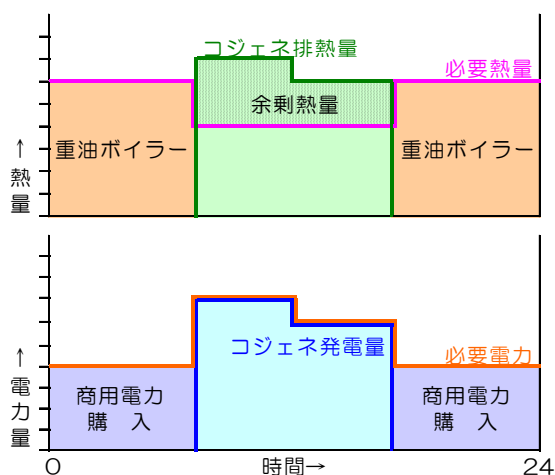


図 3-6-12 バイオガスが不足する場合 (b)

また、図 3-6-13はコージェネレーションを導入しなかった場合である。発生するバイオガスは全てバイオガスボイラーで熱として利用し、必要な電力は全て商用電力を購入する。電力を全て購入するため、前述図 3-6-11や図 3-6-12の場合と比較すると商用電力購入コストが増大するが、重油等の購入コストが不要となり、コージェネレーションを導入しないため初期の設備コストや、メンテナンスにかかる労力・コスト等が減少する。

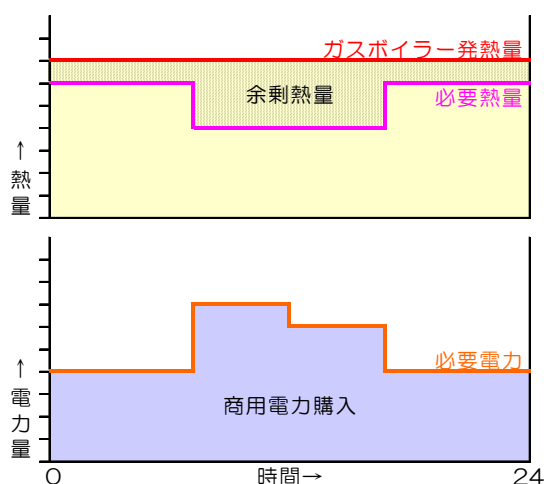


図 3-6-13 バイオガスが不足する場合(c)

このように、エネルギー計画は様々なパターンが考えられる。計画の策定に当たっては、バイオガスの発生量と施設の必要電力及び熱量を的確に把握し、様々なケースを比較検討した上で、適切なエネルギー計画を決定する必要がある。

#### (5) エネルギー利用計画とガスホルダー容量

バイオガスのエネルギー利用パターンは、(4)で例示したように多様である。また、ガス発生量は原料投入パターン(1日1回あるいは1日複数回など)や季節による原料投入量変動、副資材の投入パターン(種類、量、投入の不定期性など)によって変動する。ガスホルダー容量は、これらのを考慮して数日間のガス発生量と消費量を試算して決定する必要がある。

ガスボイラーやコージェネレーションによるガス消費量は、想定する機器のエネルギー効率のカタログ値によって計算できる。コージェネレータのエネルギー効率は、図3-6-14のように発電負荷の大きさによって変化することに注意する。

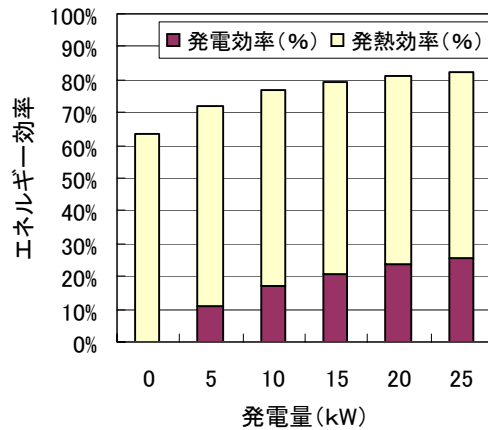


図 3-6-14 コージェネレータの発電負荷とエネルギー効率<sup>5)</sup>

(湧別施設の定格25kWコージェネレータでの事例)

#### (6) バイオガス利用設備のバックアップ

嫌気性発酵施設内で必要とする電力、熱のエネルギーは、バイオガスで賄う事を基本とするが、故障時などにそれらに代わってエネルギーを供給することのできる適切なバックアップ設備を設ける。

バイオガスの発生がない嫌気性発酵施設の立ち上げ時や、コージェネレータやガスボイラーの故障時は、バイオガスによる施設内のエネルギー供給ができない。発酵槽の保温や攪拌などは、こうした場合でも必要であり、電力や熱の供給のバックアップ設備を設けておくことが必要である。すべての設備に対するバックアップ能力を持つことは不要であるが、受入から発酵、消化液貯留まで、ふん尿処理施設としての稼働が可能であるようにしておくことが重要である。

### 3-6-11. 固液分離後の固分の堆肥化

原料ふん尿の前処理に固液分離を行う場合、分離後の分離固分は堆肥化処理により圃場還元を図る。

#### 【解説】

バイオガスプラントへの受入材料は、固液分離の不要なスラリーであることが望ましい。固液分離が必要な場合には、分離固分の処理が必要となり、システムが複雑化するとともに経営収支が不利になる。固液分離が必要な材料を受け入れる場合には、分離固分は堆肥化して圃場還元をはかる。

固液分離後の分離固分は水分率が概ね70%程度まで低下していることから、固液分離を行っていないふん尿よりも堆肥化処理が容易である。堆肥化の方法には表 3-6-22 に示すように堆積方式、攪拌方式などがある（詳細は堆肥化施設設計マニュアル<sup>2)</sup>を参照）。方式の決定に当たっては、処理量や労働人員、維持費等を検討の上決定する必要がある。

表 3-6-22 堆肥化処理の方式<sup>2)</sup>

方 式		太陽熱利用	処理労力	必要面積	運転経費	期 間
堆積方式	堆肥舎	有	多	大	小	長
	通気型堆肥舎	有	多	中	小～中	中
攪拌方式	ロータリー式 スクープ式	有	少	中	大	中～短

また、堆肥化施設をバイオガスプラントに隣接して設ける場合には、バイオガスエネルギーを補助熱源として活用し、処理期間の短縮や、発酵促進による堆肥の質向上を図る事が可能である。別海験施設では通気型堆肥舎、湧別施設では開放型施設を導入している。参考として表 3-6-23に湧別施設の堆肥化実績を示す。

表 3-6-23 湧別施設の堆肥化実績<sup>6)</sup>

	PH	水分 %	乾物率 %	有機物 %	全窒素 %	アンモニア態窒素 ① mgN/kg	全窒素に 占める① の割合 %	C/N比	燐酸 mg· P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg	石灰 mg· CaO/kg	苦土 mg· MgO/kg	加里 mg· K <sub>2</sub> O/kg
原料(分離前)	7.2	92	8.1	5.5	0.39	1,683	44	7.9	1,517	2,449	812	5,385
堆肥	8.5	62	38	28	0.81	98	1.3	19	4,396	4,894	1,822	9,022

なお、肥料取締法上の基準は、7-1.(3) 消化液のその他成分について に記述する消化液の取り扱いとほぼ同様であるのでそちらを参考にすること。

### 3-7. 維持管理計画

平常時のシステムの運営（ふん尿の搬入、プラントの運転管理、生成物の搬出など）、プラントの保守管理、緊急時の管理など、嫌気性システムの維持管理に必要な作業の流れや分担の全体像を明確にし、それらが円滑に行われるよう維持管理計画をたてる。

#### 【解説】

維持管理計画は、平常時のシステムの運営・プラントの保守管理・緊急時の管理など、考えられるすべての状況に対し、必要な作業が円滑に行えるように検討する。標準的な維持管理の内容は、第6章に列記したとおりである。

維持管理計画の策定においては、まず想定される各種の状況に対して、必要となる作業をリストアップし、管理運営委員会、参加農家、プラント運転管理者、外部組織などによる作業分担をきめる。さらに、作業全体をフロー図に整理する。このフロー図では、個々の分担者にとって、作業が時期・量の面から無理のないものでなければならない。

平常時のシステムの運営については、土曜・日曜・祝日のふん尿の受け入れの有無などを考慮する必要があり、作業フローは日単位、週単位、年末・年始などを対象として検討する必要がある。また、積雪寒冷地では、夏季と冬季で作業内容・量が大きく異なることにも留意する。

プラントの保守管理については、簡易なものから専門技術者を要するものまで、多様な作業がある。また、プラントを構成する機器・装置のそれぞれで、適当な保守点検間隔が決まっている。それゆえ、保守管理計画は数年単位の長期間を対象として検討する。必要となる保守管理作業の内容については、プラントメーカーや機械類の保守管理技術者から聞き取ることが必要である。

緊急時の管理については、地震や異常気象、プラントの故障、病気・ケガによる運転管理者の不在など、考え得る各種の事態への対応を想定する必要がある。

嫌気性システムの経営収支を検討する上で必要な維持管理費のうち、人件費や点検交換費、光熱費、運搬委託料金は、維持管理計画に基づき算出する。

### 3-8. 消化液の利用計画

消化液は圃場還元を基本とする。生成する消化液の肥料効果を算定し、全量を圃場還元することができる農地を確保することが重要である。

#### 【解説】

#### (1) 消化液利用の可否判断

嫌気性発酵システムでは、消化液は肥料として圃場に還元することを基本とする。肥料を圃場に投入する際には、作物の生育上や水質環境面などから、作物が必要とする量以上を投入してはならない。

「北海道施肥ガイド<sup>22)</sup>」には土壌別、作物別に必要となる肥料分が示されている。これを参考に図 3-8-1に示す手順によって、生成する消化液を還元できる面積の圃場があるかどうかの判断を行う。計画面積だけでは消化液を圃場還元することができない場合は、以下のような対応策を検討する。

- ・ 圃場還元する農地を増やす。
- ・ 計画に参加する酪農家の数を減らす。
- ・ 副資材の受入を減らす、もしくは中止する。

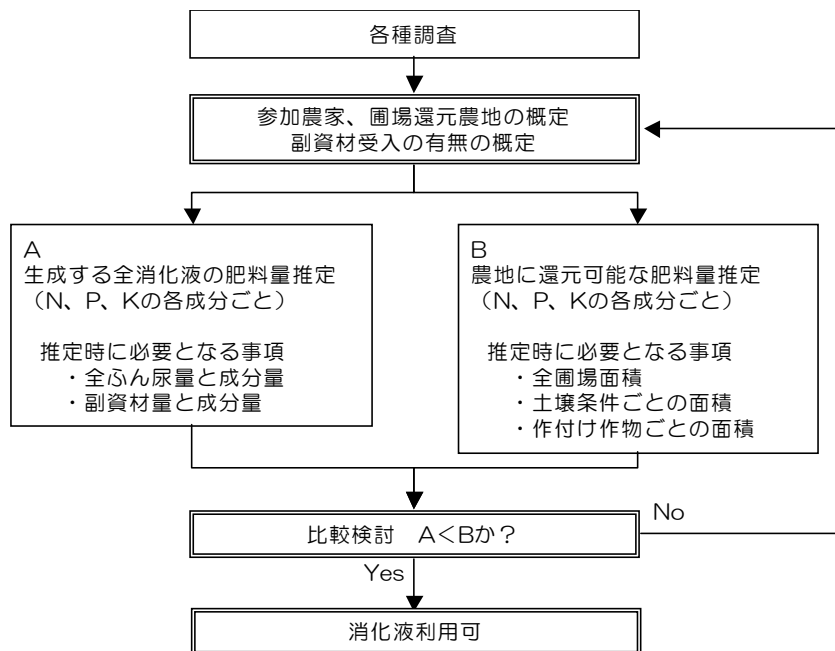


図 3-8-1 消化液利用の可否判断フロー図

## (2) 消化液の肥料成分量推定

消化液の肥料成分量は、窒素、リン酸及びカリウムとともに、「北海道施肥ガイド<sup>22)</sup>」に示されているスラリーを対象とする換算方法にならって算出する。

算出にあたっては実際に消化液を作成し、その分析値をもって算出することが望ましい。しかし理想的な消化液は原料から各成分の減耗が無いと考えられるので、原料の成分分析値をもって同値であると考えても良い。

### 1) 消化液中の肥料養分量と供給量の算出 (C、Y)

施用する消化液から作物に供給される年間の肥料養分量(kg/現物t)は、分析によって窒素、リン酸、カリウムのそれぞれで把握する。

#### a. 消化液中の肥料養分量(C)

消化液中に含まれる肥料養分量C(kg/現物t)は、定められた分析法により直接定量することが望ましい。詳細な分析方法は「家畜糞尿処理・利用の手引き<sup>23)</sup>」等の他文献を参照のこと。

しかし分析に時間がかかることから、やや精度は落ちるが、pH、EC(電気伝導度)、DM(乾物率)、比重といった迅速に分析できる項目を使って、表 3-8-1に示した推定式から推定することも可能である。

表 3-8-1 消化液の肥料成分原料及び乾物含量の推定式(単位：FM%)<sup>5,24)</sup>

推定項目	推定式	備考
全窒素(N)	$0.0314EC+0.0172DM-0.0553$	
$NH_4^+-N$	$0.0299pH+0.0282EC-0.3518$	
リン酸( $P_2O_5$ )	$0.0230DM+0.0140$	
カリ( $K_2O$ )	$0.1017pH+0.0175EC+0.0494DM-0.7595$	
乾物率(DM)	$(173.24 \times \text{比重} - 173.29) \times a$	a=比重測定時の希釈倍率

※比重は比重が1.03以下になるように適宜消化液を希釈して測定する

※EC：電気伝導度(mS/cm) DM：乾物率(重量%)

計画段階においても、実際に成分分析を行うことが望ましいが、困難である場合は文献等から参考値を使用する。参考として資源循環プロジェクトの実績値を表 3-8-2に示す。

表 3-8-2 消化液の成分分析結果の例<sup>5)</sup>

施設名	試料数	T-N(FM%)		$NH_4^+-N$ (FM%)		$P_2O_5$ (FM%)		$K_2O$ (FM%)	
		平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD	平均	±SD
別海施設	19(71)	0.28	±0.06	0.19	±0.05	0.10	±0.04	0.39	±0.07
湧別施設	17(28)	0.31	±0.07	0.20	±0.05	0.13	±0.07	0.52	±0.09

※ 試料数の括弧内の数字は $NH_4^+-N$ の分析試料数



b. 草地での肥効

消化液を草地に施用する場合の肥料換算は、次のように行う。

消化液の肥料換算値 $Y$ (kg/現物t) = 消化液中の養分量 $C$ (kg/現物t) × 肥効率 $R$

ただし、肥効率 $R$  = 基準肥効率 $R_s$  × 施用時期の補正係数 $T$

× 品質の補正係数 $Q$

式を整理すると次のようになる。

$Y$ (kg/現物t) =  $C$ (kg/現物t) ×  $R_s$  ×  $T$  ×  $Q$

基準肥効率 $R_s$ 、施用時期の補正係数 $T$ 、品質の補正係数 $Q$ は、それぞれ表3-8-3、表3-8-4、表3-8-5のとおりである。

表 3-8-3 草地に施用した消化液の基準肥効率 $R_s$ (%)<sup>5,24)</sup>

窒素(N)		リン酸 ( $P_2O_5$ )	カリウム ( $K_2O$ )
全窒素 <sup>2)</sup>	$NH_4^+-N$ <sup>3)</sup>		
40	100	40	80

1) 肥効評価は当該番草を対象とする。

2)  $NH_4^+-N/T-N < 0.5$ のとき適合性が高い。補正係数を用いて品質と施用時期により補正する。

3)  $NH_4^+-N/T-N \geq 0.5$ のとき適合性が高い。補正係数で施用時期についてのみ補正する。

表 3-8-4 施用時期の違いによる窒素の基準肥効率 $R_s$ の補正係数 $T$ <sup>25)</sup>

施用時期	$T$
9月上旬 ~ 10月下旬	0.8
4月 ~ 5月上旬	1.0
5月中旬	0.8
1番草収穫後	0.9

表 3-8-5 品質の違いによる窒素の基準肥効率 $R_s$ の補正係数 $Q$ <sup>25)</sup>

区分	$NH_4^+-N$ (%、乾物)	$Q$
肥効 大	3.5~	1.2
中	1.5~3.5	1.0
小	~1.5	0.8

c. 畑地での肥効

畑作物に対して消化液を施用する場合、窒素とカリウムに対して次のような肥料換算ができる。

$$\text{消化液の肥料換算値Y(kg/現物t)} = \text{消化液中の養分量C(kg/現物t)} \times \text{肥効率R}$$

肥効率Rは表3-8-6のとおりである。またカリウムを施肥標準内に抑えるための施用適量は表3-8-6の右欄に示すとおりである。

表 3-8-6 畑地に施用した消化液の基準肥効率R(%)<sup>5,24)</sup>

施用法	対象作物	成分肥効率			施用適量(10a)
		全窒素(N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	カリウム(K <sub>2</sub> O)	
表面施用	秋まき小麦 (起生期追肥)	70	100	100	約2t
表面施用後混和	てんさい、ばれいしょ、緑肥 (基肥)	40	70	100	約3t

注) 緑肥はえん麦、シロカラシ、ひまわりを供試した。

### 3-9. 経営収支の検討

収支の検討に当たっては、収入と支出を十分検討し、システム導入の妥当性について検証する。

【解説】

#### 3-9-1. 検討項目

嫌気性発酵システムの運営主体からみた収支の検討項目には、次のようなものがある。

##### (1) 支 出

###### 1) 償還費

システムの初期建設費のうち、補助を受けた後の残額の支払額である。初期建設費と償還期間から計上する。

###### 2) 人件費

管理計画に基づき、管理従業員の人件費を計上する。

###### 3) 点検交換費

導入する機器類の点検や部品交換に必要な費用を積み上げ計上する。

###### 4) 光熱費

施設運営に必要な軽油、ガス等の費用を計上する。電気料金や熱需要に対する重油購入費などは、エネルギー利用収入項で計上するのでここでは計上しない。

###### 5) 雑費

水道、通信、その他備品の費用を必要に応じて計上する。

###### 6) 修理費

プラント機器類の使用頻度などから必要に応じて計上する。

###### 7) 減価償却費相当の積み立て

耐用年数後に同じ補助を受けることができる見通しが無い場合は、施設償還費に加えて減価償却費相当額の積み立ても計上する必要がある。

##### (2) 収 入

###### 1) 副資材処理費

副資材を排出する事業者が、副資材処理の対価としてプラント側に支払うものであ

る。各種有機性廃棄物は、プラントに持ち込めば廃棄物としての処理費が不必要になる。これまで必要であった廃棄物処理費に相当する金額を、副資材処理費としてプラントが受け取ることが考えられる。

## 2) エネルギー利用収入

バイオガスから得られる電力と熱から得られる収入をいう。

得られた電力は施設内で使用し、余剰分を電力会社に売却し（売電という）収益とする。一方、発電によって賄えなかった電力の購入や、電力会社との契約の基本料金などには費用が掛かる。両者の差をエネルギー利用収入（電気）として計上する。施設によってはマイナスとなり、収入ではなく支出になる場合もある。

また、バイオガス利用後の余剰熱は、その他の農業施設や公共施設での有効利用が図れることがある。一方、バイオガス利用によって賄えなかった熱量を補うためには重油等を購入する必要がある。余剰熱量（重油量換算）と使用した重油量の差を金額に換算し、エネルギー利用収入（熱）とする。

## 3) 参加農家負担額

支出から収入を差し引いた金額は、参加農家が負担することとなる。この金額をシステムに参加することで生じる農家の経営的効果や、近隣での各種処理料金（堆肥化や産廃処理など）との比較によって嫌気性発酵システムの導入の妥当性を検討する。詳しくは3-9-3.で述べる。

## (3) 補助率と農家負担

嫌気性発酵処理システムは、堆肥化処理や好気性発酵処理と比較して、施設の建設費が高めである。その代わりにエネルギー収入などの効果が発現するが、農家負担額の大部分は施設の償還費や減価償却費相当の積み立てが占めることになる。

ここでの収支検討例（3-9-2. や3-9-4.）においては、施設建設の際に国費の補助があるものとして計算している。建設コスト全額を参加農家の負担でまかなうことは現実的に困難であることが多い。嫌気性発酵システム導入の際には、何らかの補助を受けることを前提に考えることが望ましい。

## 3-9-2. 経営収支検討の例

### (1) 検討例を示すねらい

この項では嫌気性発酵システムの経営収支検討の例を示す。この資料だけで、多様な場合に対して収支検討方法を網羅することは困難である。また、技術開発が進むにつれてそれらの収支検討事例の内容の見直しが必要となる。それゆえ、この節の目的は、あくまでも収支検討がどのような項目で構成されるのかを例示することである。

そのため、本節で用いた諸数値は、別海・湧別両施設の実績などを適宜反映させて

いるものの、あくまでも参考値である。計画対象システムの収支検討では、本書以外の新たな技術資料や設計技術者の意見も考慮して、妥当と考えられる数値を用いることが必要である。たとえば、施設の総合耐用年数は、寒冷地での実プラントの長期運転実績がほとんどないため、個々の構成機械・施設の一般的耐用年数から計算しているが、今後実プラントでの稼働実績が蓄積されれば、妥当な値が明らかになると考えられる。

## (2) 検討事例の基本パターン

以下に示す2通りのパターンを想定し、それぞれの収支検討例を示した。

1. 参加農家2戸、乳牛200頭規模の地域、共同型の嫌気性発酵システム
2. 参加農家10戸、乳牛1,000頭規模の地域、集中型の嫌気性発酵システム

支出は、人件費、光熱費、点検交換費、償還費、雑費、修理費の計上を行った。収入は、副資材処理費、エネルギー収入、参加農家負担額とした。また、償還費については、補助事業(50%補助)があるものと想定して計上した。これらの支出から収入のうちの副資材処理費とエネルギー収入を差し引いて参加農家負担額を算出し、参加農家の経営的効果と比較して経営収支の妥当性を判断することとした。

また、本資料の収支検討例では減価償却費を計上していない。これは、「施設の耐用年数が過ぎた後には、再度補助を受けて同じ施設を作り直す」といった考え方で収支の検討を行っているからである。

次節以降で紹介する経営収支の計算例の結果を表 3-9-1に示す。

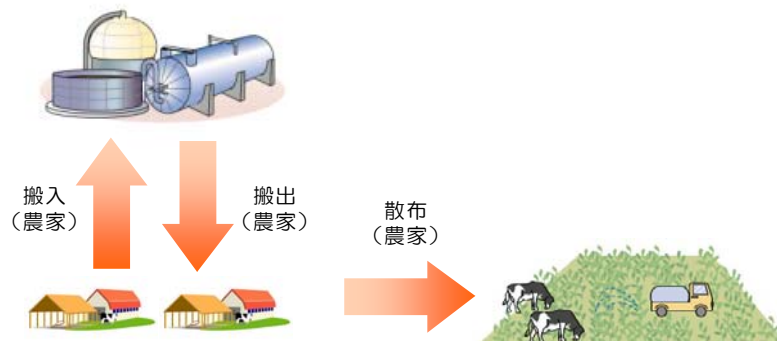
表 3-9-1 嫌気性発酵システムの年間経営収支の計算例

項目	共同型 200頭規模			集中型 1,000頭規模			
	単位	数量	金額(千円)	単位	数量	金額(千円)	
支出	償還費	式	1	9,500	式	1	28,400
	人件費	式	1	5,400	式	1	6,300
	点検交換費	式	1	3,000	式	1	5,300
	光熱費	式	1	400	式	1	1,200
	雑費	式	1	1,000	式	1	1,100
	修理費	式	1	1,100	式	1	1,800
	計			20,400			44,100
収入	副資材処理費	—	—	—	m <sup>3</sup>	730	3,700
	エネルギー収入(電力)	式	1	△ 400	式	1	2,000
	エネルギー収入(熱)	式	1	100	式	1	1,500
	計			△ 300			7,200
参加農家負担額				△ 20,700		△ 36,900	
1頭あたり負担額				103.5		36.9	

### (3) 200頭規模の共同型バイオガスプラント収支検討例

計画地域の概要

【嫌気性発酵プラント】



【農家群】

- ・2戸（成牛75頭、育成牛125頭）
- ・プラントから農家までの平均距離：0.5km
- ・総圃場面積：100ha  
（チモシー草地、道東、低地土、マメ科率5%未満）
- ・全戸フリーストール牛舎
- ・ふん尿の性状：ほぼ液状。
- ・ふん尿の搬入、消化液の搬出・散布は農家が担当。

嫌気性発酵プラントの概要

発酵方式	殺菌	脱硫方式	消化液利用	エネルギー利用
中温 (37℃)	あり、後殺菌 55℃7.5h	生物脱硫	圃場還元	電気、熱に変換

日あたりふん尿発生量

項目	成牛	育成牛	合計
計画飼養頭数(頭)	75	125	200
頭あたりふん尿量(kg)	60.0	22.5	—
ふん尿発生量(m <sup>3</sup> )	4.5	2.8	7.3

日あたり原料受入量 (m<sup>3</sup>)

項目	ふん尿	副資材	合計
舎飼期(12月～5月)	6.6	0.0	6.6
放牧期(6月～11月)	3.7	0.0	3.7

※ ふん尿回収率 舎飼期：90% 放牧期：50%

図 3-9-1 200頭規模の収支検討例における各種条件設定

## 1) 各種設備の計画条件、概算建設費用

嫌気性発酵プラントの初期建設コストは、各設備の条件、規模等からメーカーの見積もり等によって決定する。以下のi.~x.に示す各種設備の条件、規模を満たす嫌気性発酵プラントの初期建設コストとして、本例では200,000千円とする。

表 3-9-2 嫌気性発酵システムの初期建設コスト

設備名	金額(千円)
搬入設備	
受入設備	
発酵設備	
殺菌設備	
消化液貯留設備	
ガス貯留設備	
エネルギー利用設備	
脱硫設備	
建築建家	
その他設備	
合 計	200,000

### i. 搬入設備

- ・各農家からプラントへのふん尿搬入はトラックタンカー搬送とする。

### ii. 受入設備

受入槽は、RC構造とし、余裕を見込んで受入原料の3日分とする。

殺菌で使用した熱を再利用し、原料の加熱が可能な施設とする。

原料が液状であるので、固液分離は行わない。

- ・受入槽容量： $6.6\text{m}^3 \times 3\text{日} = 20\text{m}^3$
- ・付帯設備：残滓タンク、破砕ポンプ等

### iii. 発酵設備

発酵槽は中温発酵用で、横型の鋼板構造とする。槽内の攪拌は機械攪拌によって行う。原料の滞留日数を30日間とし、発酵槽容量は受入原料の30日分とする。

- ・発酵槽容量： $6.6\text{m}^3 \times 30\text{日} = 200\text{m}^3$
- ・付帯設備：循環ポンプ、攪拌機等、熱交換機等

### iv. 殺菌設備

殺菌槽は55℃7.5hの殺菌が行えるものとする。構造は鋼板製。容量は余裕を見込んで受入原料の1日分とする。

- ・殺菌槽容量： $6.6\text{m}^3 \times 1\text{日} = 6.6\text{m}^3$
- ・付帯設備：移送ポンプ、循環ポンプ、攪拌機、熱交換機等

### v. 消化液貯留設備

集中貯留方式を採用し、プラント地点に貯留槽を設置する。貯留槽は冬期間の

166日分の消化液を貯留できるものとし、鋼板製で上部開放型とする。

- ・ 消化液貯留槽容量： $6.6\text{m}^3 \times 166\text{日} = 1,100\text{m}^3$
- ・ 付帯設備：攪拌機等

vi. ガス貯留設備

ガスバッグ式の乾式ガスホルダーとする。

- ・ ガス貯留槽容量： $125\text{m}^3$
- ・ 付帯設備：プロワ、ドライヤー等

vii. エネルギー利用設備

バイオガスを使って電気と熱を得る計画とし、コージェネレータとして定格出力10kWのガスエンジンを導入する。また定格出力95kWのバイオガスボイラー、定格出力75kWのA重油ボイラーをそれぞれ1基ずつ導入する。

- ・ コージェネレータ：定格出力10kW1基、発電効率30%、排熱効率45%、
- ・ バイオガスボイラー：定格出力95kW、熱効率80%
- ・ 重油ボイラー：定格出力75kW、熱効率80%

viii. 脱硫設備

- ・ ガス貯留槽の内部に生物脱硫設備を設置する。

ix. 建築建物、基礎工事

- ・ 受入設備、エネルギー利用設備、施設管理設備等の上屋を建築する。

x. その他設備

- ・ 施設内の電気配管工事、配管工事、土木工事を行う。

2) バイオガス利用計画

舎飼期と放牧期では、ふん尿の発生量や施設の必要熱量が異なるため、バイオガス利用計画はそれぞれに分けて計画する。

i. 舎飼期1日のバイオガス利用計画

a. 発生するバイオガスのエネルギー量

$$= \frac{6.6\text{m}^3 \times 20\text{m}^3/\text{m}^3 \times 5,130\text{kcal}/\text{m}^3}{860\text{kcal}/\text{kWh}}$$

原料受入量      単位原料あたりガス発生量

$$= \underline{\underline{792\text{kWh}}}$$

b. 発酵槽において必要な熱量

殺菌後の消化液を用いて原料をあらかじめ15℃まで加温したと考えて



$$= \{ \underbrace{(37^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C})}_{\text{発酵温度 原料温度}} \times 6.6\text{m}^3 + \underbrace{200\text{m}^3 \times 0.4^{\circ}\text{C}/\text{日}}_{\text{発酵槽容量 発酵槽の日あたり温度低下量を仮定}} \} \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh}$$

$$= \underline{\underline{262\text{kWh}}}$$

c. 殺菌槽において必要な熱量

$$= \{ \underbrace{(55^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C})}_{\text{殺菌温度}} + \underbrace{1.8^{\circ}\text{C}/\text{日}}_{\text{殺菌槽の日あたり温度低下量を仮定}} \} \times 6.6\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{\underline{152\text{kWh}}}$$

15時間で加温(1時間で移送、15時間で加温、8時間で殺菌する)を行うとすると  
1時間あたりに必要な熱量 =  $152\text{kWh} \div 15 = 10.1\text{kWh}$

d. 施設内消費電力量

後述電力収支計算表より 201kWh

e. 発電量

コージェネレータ(定格出力10kWに対して、電力収支計算表より7.6kWで発電)を24時間稼働

$$= 7.6\text{kW} \times 24\text{時間} = \underline{\underline{182\text{kWh}}}$$

f. 購入電力量

$$201\text{kWh} - 182\text{kWh} = \underline{\underline{19\text{kWh}}}$$

g. コージェネレーションに使用するバイオガスのエネルギー量

コージェネレータの発電効率：30%

$$= 182\text{kWh} \div 0.30\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{\underline{608\text{kWh}}}$$

h. コージェネレーションによって発生する熱量

コージェネレータの発熱効率：45%

$$= 608\text{kWh} \times 0.45\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{\underline{274\text{kWh}}}$$

i. バイオガスガスボイラーによって発生する熱量

バイオガスボイラーの発熱効率：80%

$$= \underline{\underline{180\text{kWh}}} \times 0.80\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{\underline{144\text{kWh}}}$$

ボイラーで使用するバイオガスの熱量

j. 余剰熱量

$$= 274\text{kWh} + 144\text{kWh} - 262\text{kWh} - 152\text{kWh} = \underline{\underline{4\text{kWh}}}$$

k. 余剰バイオガス量

$$= 792\text{kWh} - 608\text{kWh} - 180\text{kWh} = \underline{\underline{4\text{kWh}}}$$

a.~k.から舎飼期の1日のエネルギー計画を立てたものが図 3-9-2である。また、電力収支計算表を表 3-9-3に、熱収支計算表を表 3-9-4に示す。

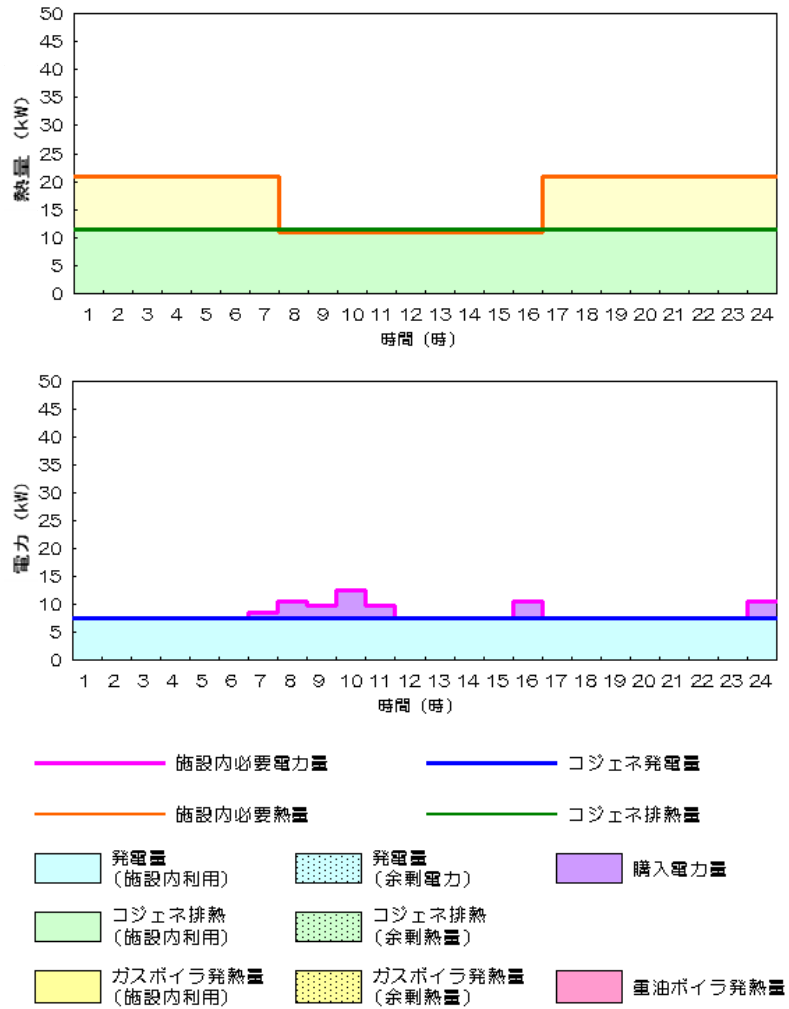


図 3-9-2 舎飼期のエネルギー計画



ii. 放牧期1日のバイオガス利用計画

a. 発生するバイオガスのエネルギー量

$$= \underbrace{3.7\text{m}^3}_{\text{原料受入量}} \times \underbrace{20\text{m}^3/\text{m}^3}_{\text{単位原料あたりガス発生量}} \times 5,130\text{kcal}/\text{m}^3 \times 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{441\text{kWh}}$$

b. 発酵槽において必要な熱量

殺菌後の消化液を用いて原料をあらかじめ20℃まで加温したと考える

$$= \{ \underbrace{(37\text{℃} - 20\text{℃})}_{\text{発酵温度}} \times \underbrace{3.7\text{m}^3}_{\text{原料温度}} + \underbrace{200\text{m}^3}_{\text{発酵槽容量}} \times \underbrace{0.2\text{℃}/\text{日}}_{\text{発酵槽の日あたり温度低下量を仮定}} \} \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh}$$

$$= \underline{120\text{kWh}}$$

c. 殺菌槽において必要な熱量

$$= \{ \underbrace{(55\text{℃} - 37\text{℃})}_{\text{殺菌温度}} + \underbrace{1.4\text{℃}/\text{日}}_{\text{殺菌槽の日あたり温度低下量を仮定}} \} \times 3.7\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh}$$

$$= \underline{84\text{kWh}}$$

15時間で加温(1時間で移送、15時間で加温、8時間で殺菌する)を行うとすると  
1時間あたりに必要な熱量 =  $84\text{kWh} \div 15 = 5.6\text{kWh}$

d. 施設内消費電力量

$$\text{別紙電力収支より } \underline{192\text{kWh}}$$

e. 発電量

コージェネレータ(定格出力10kWに対して、電力収支計算表より7.2kWで発電)を7時から18時までの11時間稼働することとして

$$= 7.2\text{kW} \times 11\text{時間} = \underline{79\text{kWh}}$$

f. 購入電力量

$$= 192\text{kWh} - 101\text{kWh} = \underline{113\text{kWh}}$$

g. コージェネレーションに使用するバイオガスのエネルギー量

コージェネレータの発電効率：30%

$$= 79\text{kWh} \div 0.30\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{264\text{kWh}}$$

h. コージェネレーションによって発生する熱量

コージェネレータの発熱効率：45%

$$= 264\text{kWh} \times 0.45\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{119\text{kWh}}$$

i. バイオガスガスボイラーによって発生する熱量

バイオガスボイラーの発熱効率：80%

$$= 172\text{kWh} \times 0.80\text{kWh/kWh} = \underline{138\text{kWh}}$$

ボイラーで使用するバイオガスの熱量

j. 余剰熱量

$$= 119\text{kWh} + 138\text{kWh} - 120\text{kWh} - 84\text{kWh} = \underline{53\text{kWh}}$$

k. 余剰バイオガス量

$$= 441\text{kWh} - 264\text{kWh} - 172\text{kWh} = \underline{5\text{kWh}}$$

a.~k.から放牧期の1日のエネルギー計画を立てたものが図 3-9-3である。また、電力収支計算表を表 3-9-5に、熱収支計算表を表 3-9-6に示す。

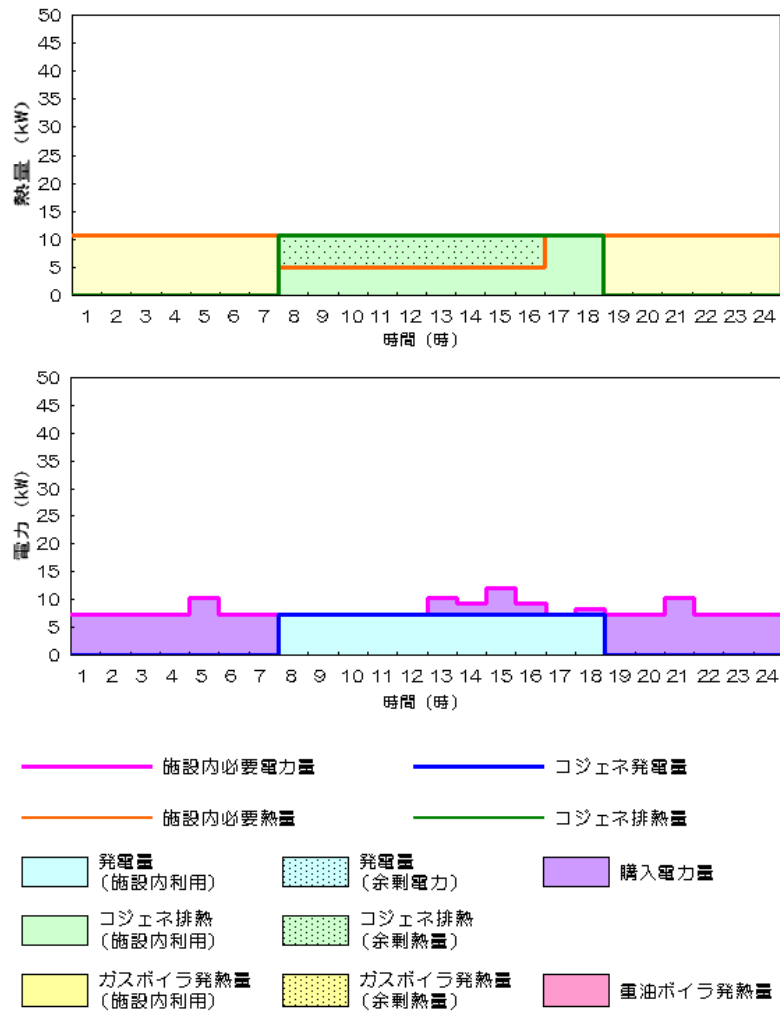


図 3-9-3 放牧期のエネルギー計画



iii. 年間のエネルギー収支

i.およびii.から年間のエネルギー収支は次のようになる。

a. 電力料金

1. 基本料金の算出

$$= 13\text{kWh} \times 1,170\text{円} \times 12\text{ヶ月} = 182,520\text{円}$$

日最大使用電力 料金(実績より)

2. 使用料金の算出

年間使用電力量

$$\text{舎飼期 } 182\text{日} \times 19\text{kWh} = 3,458\text{kWh}$$

$$\text{放牧期 } 183\text{日} \times 113\text{kWh} = 20,679\text{kWh}$$

---

$$\text{計} \qquad \qquad \qquad = 24,137\text{kWh}$$

年間使用料金

$$= 24,137\text{kWh} \times 10\text{円/kWh} = 241,370\text{円}$$

電力単価(仮定)

3. 年間電力料金

$$= 182,520\text{円} + 241,370\text{円} = 423,890\text{円/年}$$

b. 余剰熱

1. 余剰熱量

$$\text{舎飼期 } 182\text{日} \times 4\text{kWh} = 728\text{kWh}$$

$$\text{放牧期 } 183\text{日} \times 53\text{kWh} = 9,699\text{kWh}$$

---

$$\text{計} \qquad \qquad \qquad = 10,427\text{kWh}$$

2. A重油の発熱量

$$= 10,200\text{kcal/kgf} \times 0.86 = 8,772\text{kcal}$$

3. A重油換算量

$$= 10,427\text{kWh} \times 860\text{kcal/kWh} \div 8,772 = 1,022\text{ L}$$

4. 年間消費A重油量

$$= 0\text{ L}$$

5. 余剰熱金額換算

$$= (1,022 - 0)\text{ L} \times 44\text{円/L} = 44,980\text{円/年}$$

### 3) 支出の算出

#### i. 償還費

償還費は、初期建設費と償還期間（ここでは総合耐用年数に等しいとする）から算出する。総合耐用年数は、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。国からの補助を仮に50%とする。

- ・ 償還費：9,500千円/年

表 3-9-7 償還費の算出

建設費 千円	負担率			プラント 負担額 千円	年賦金率	年償還額 千円
	国 %	道 %	プラント %			
200,000	50	0	50	100,000	0.09456	9,456

本例における施設の償還計画は、農林漁業金融公庫を利用することを想定している。

貸付利率は、平成16年9月時点の2%とした。

支払期間は、施設の総合耐用年数12年とした。

#### ii. 人件費

施設の運営計画、管理計画などから必要な管理従業員の人件費を算出する。人件費は地元の人件費の実績などを考慮して算出する。

本例における人件費は別海施設の実績を考慮して5,400千円とする（システムで必要となる作業内容が少なければパートタイムでも対応でき、人件費は節約できる）。

- ・ 人件費：5,400千円/年

#### iii. 点検交換費

導入する機器類の点検や部品交換に必要な費用を、メーカーからの見積もりや聞き取りから積み上げて算出する。

本例における点検交換費は湧別施設の実績を考慮して3,000千円とする。

- ・ 点検交換費：3,000千円/年

表 3-9-8 点検交換費の内訳(円/年)

定期点検	450,000
ガス発電機関係	1,190,000
その他エネルギー施設	1,180,000
運搬関係その他	180,000
合計	3,000,000

#### iv. 光熱費

光熱費は、管理計画などを考慮し、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における光熱費は湧別施設の実績を考慮して400千円とする。

- ・ 光熱費：400千円/年



表 3-9-9 光熱費の内訳(円/年)

軽油代(搬入機械)	250,000
灯油代	100,000
プロパン代	50,000
合計	400,000

v. 雑費

雑費は、水道、通信、その他備品の費用を、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における雑費は湧別施設の実績を考慮して1,000千円とする。

- ・ 雑費：1,000千円/年

表 3-9-10 雑費の内訳(円/年)

水道代	60,000
電話代	120,000
その他	820,000
合計	1,000,000

vi. 修理費

修理費は、各種設備、機器類の使用頻度などを考慮し、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における雑費は湧別施設の実績を考慮して1,100千円とする。

- ・ 修理費：1,100千円/年

表 3-9-11 修理費の内訳

エネルギー施設関連	1,000,000
運搬関係その他	100,000
合計	1,100,000

4) 収入の算出

i. 副資材処理費

共同型の嫌気性発酵システムであるので、地域社会から副資材を受け入れることはない。よって計上しない。

ii. エネルギー利用収入

前述の3-9-2. (4) 2) バイオガス利用計画を参照。

- ・ エネルギー利用収入(電気) = Δ400千円/年
- ・ エネルギー利用収入(熱) = 100千円/年

5) 参加農家負担額の算出

支出合計 = 20,400千円/年

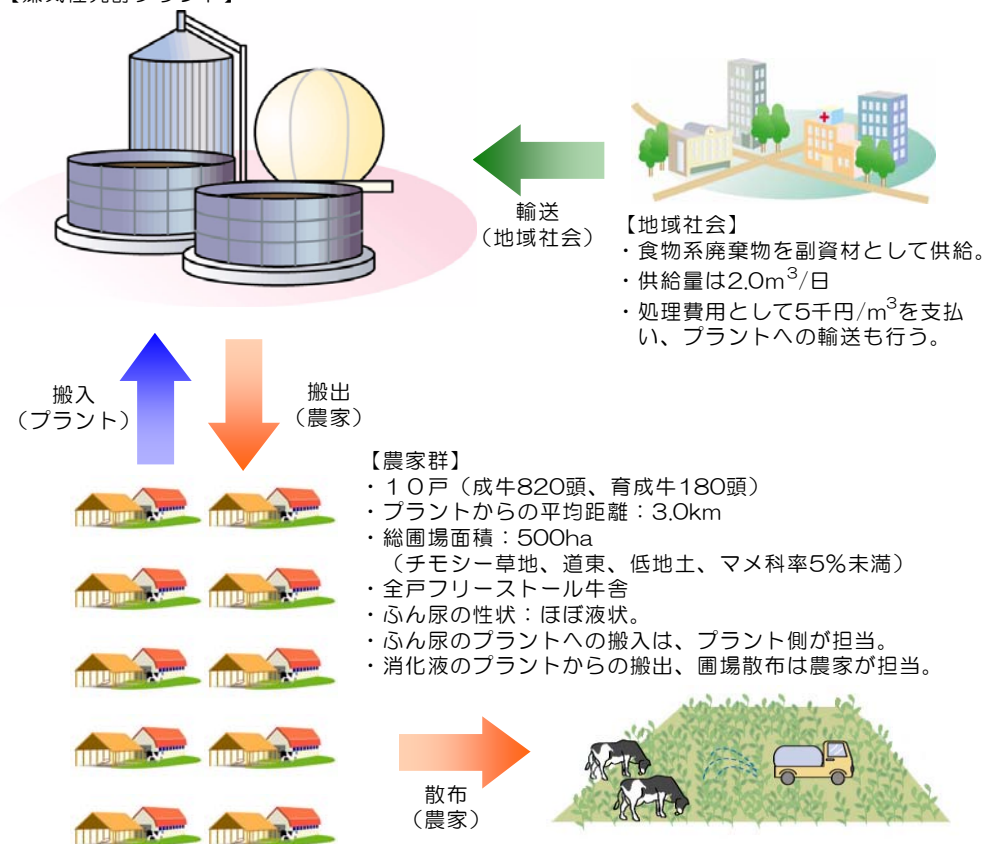
収入(副資材処理費+エネルギー収入) = Δ300千円

- ・ これらから、参加農家負担額の合計は20,700千円となる。

#### (4) 1,000頭規模の集中型バイオガスプラント収支検討例

計画地域の概要

【嫌気性発酵プラント】



嫌気性発酵プラントの概要

発酵方式	殺菌	脱硫方式	消化液利用	エネルギー利用
中温 (37℃)	あり、後殺菌 55℃7.5h	生物脱硫	圃場還元	電気、熱に変換

日あたりふん尿発生量

項目	成牛	育成牛	合計
計画飼養頭数(頭)	820	180	1,000
頭あたりふん尿量(kg)	60.0	22.5	—
ふん尿発生量(m <sup>3</sup> )	49.2	4.1	53.3

日あたり原料受入量 (m<sup>3</sup>)

項目	ふん尿	副資材	合計
舎飼期 (12月～5月)	48.0	2.0	50.0
放牧期 (6月～11月)	27.0	2.0	29.0

※ ふん尿回収率 舎飼期：90% 放牧期：50%

図 3-9-4 1000頭規模の収支検討例における各種条件設定

## 1) 各種設備の計画条件、概算建設費用

嫌気性発酵プラントの初期建設コストは、各設備の条件、規模等からメーカーの見積もり等によって決定する。以下のi.~x.に示す各種設備の条件、規模を満たす嫌気性発酵プラントの初期建設コストとして、本例では600,000千円とする。

表 3-9-12 嫌気性発酵システムの初期建設コスト

設備名	金額(千円)
搬入設備	
受入設備	
発酵設備	
殺菌設備	
消化液貯留設備	
ガス貯留設備	
エネルギー利用設備	
脱硫設備	
建築建家	
その他設備	
合計	600,000

### i. 搬入設備

各農家からプラントへのふん尿搬入はトラックタンカー搬送とする。

### ii. 受入設備

受入槽は、RC構造とし、余裕を見込んで受入原料の3日分とする。

殺菌で使用した熱を再利用し、原料の加熱が可能な施設とする。

原料が液状であるので、固液分離は行わない。

- ・受入槽容量： $50\text{m}^3 \times 3\text{日} = 150\text{m}^3$
- ・付帯設備：残滓タンク、破砕ポンプ等

### iii. 発酵設備

発酵槽は中温発酵用で、縦型の鋼板構造とする。槽内の攪拌は機械攪拌によって行う。原料の滞留日数を30日間とし、発酵槽容量は受入原料の30日分とする。

- ・発酵槽容量： $50\text{m}^3 \times 30\text{日} = 1,500\text{m}^3$
- ・付帯設備：循環ポンプ、攪拌機等、熱交換機等

### iv. 殺菌設備

殺菌槽は $55^\circ\text{C}$  7.5hの殺菌が行えるものとする。構造は鋼板製。容量は余裕を見込んで受入原料の1日分とする。

- ・殺菌槽容量： $50\text{m}^3 \times 1\text{日} = 50\text{m}^3$
- ・付帯設備：移送ポンプ、循環ポンプ、攪拌機、熱交換機等

### v. 消化液貯留設備

集中貯留方式を採用し、プラント地点に貯留槽を設置する。貯留槽は冬期間の

166日分の消化液を貯留できるものとし、鋼板製で上部開放型とする。

- ・消化液貯留槽容量： $50\text{m}^3 \times 166\text{日} = 8,300\text{m}^3$  (3基に分割)
- ・付帯設備：攪拌機等

vi. ガス貯留設備

2次発酵槽を兼ねた湿式ガスホルダーとする。鋼板製。

- ・ガス貯留槽容量： $600\text{m}^3$  (ガス貯留部分： $200\text{m}^3$ )
- ・付帯設備：ブロワ、ドライヤー等

vii. エネルギー利用設備

バイオガスを使って電気と熱を得る計画とし、コージェネレータとして定格出力60kWと50kWのガスエンジン2基を導入する。またバイオガスボイラー、A重油ボイラーともに、定格出力168kWのものを1基ずつ導入する。

- ・コージェネレータ：定格出力60kW1基、50kW1基、  
発電効率30%、排熱効率45%、
- ・バイオガスボイラー：定格出力168kW、熱効率80%
- ・重油ボイラー：定格出力168kW、熱効率80%

viii. 脱硫設備

ガス貯留槽の内部に生物脱硫設備を設置する。

ix. 建築建物、基礎工事

受入設備、エネルギー利用設備、施設管理設備等の上屋を建築する。

x. その他設備

施設内の電気配管工事、配管工事、土木工事を行う。

2) バイオガス利用計画

舎飼期と放牧期では、ふん尿の発生量や施設の必要熱量が異なるため、バイオガス利用計画はそれぞれに分けて計画する。

i. 舎飼期1日のバイオガス利用計画

a. 発生するバイオガスのエネルギー量

$$= \underline{50\text{m}^3} \times \underline{30\text{m}^3/\text{m}^3} \times 5,130\text{kcal}/\text{m}^3 \times 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{8,950\text{kWh}}$$

原料受入量 単位原料あたりガス発生量 (副資材利用を考慮)

b. 発酵槽において必要な熱量

殺菌後の消化液を用いて原料をあらかじめ15℃まで加温したと考える

$$= \{ (37^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}) + 30\text{日} \times 0.3^{\circ}\text{C}/\text{日} \} \times 50\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh}$$

発酵温度 原料温度 滞留日数 発酵槽の日あたり温度低下量を仮定

$$= \underline{1,800\text{kWh}}$$

c. 殺菌槽において必要な熱量

$$= \{ (55^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}) + 1.0^{\circ}\text{C}/\text{日} \} \times 50\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{1,110\text{kWh}}$$

殺菌温度 殺菌槽の日あたり温度低下量を仮定

13時間で加温(3時間で移送、13時間で加温、8時間で殺菌する)を行うとすると  
1時間あたりに必要な熱量 =  $1,110\text{kWh} \div 13 = 85.4\text{kWh}$

d. 施設内消費電力量

後述表 3-9-13の電力収支計算表より 1,279kWh

e. 発電量

コージェネレータ2台(60kW,50kW)を24時間稼働

$$= (60\text{kW} + 50\text{kW}) \times 24\text{時間} = \underline{2,640\text{kWh}}$$

f. 余剰電力量

$$= 2,640\text{kWh} - 1,279\text{kWh} = \underline{1,361\text{kWh}}$$

g. コージェネレーションに使用するバイオガスのエネルギー量

コージェネレータの発電効率：30%

$$= 2,640\text{kWh} \div 0.30\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{8,800\text{kWh}}$$

h. コージェネレーションによって発生する熱量

コージェネレータの発熱効率：45%

$$= 8,800\text{kWh} \times 0.45\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{3,960\text{kWh}}$$

i. 余剰熱量

$$= 3,960\text{kWh} - (1,800\text{kWh} + 1,110\text{kWh}) = \underline{1,050\text{kWh}}$$

j. 余剰バイオガス量

$$= 8,950\text{kWh} - 8,800\text{kWh} = \underline{150\text{kWh}}$$

前述a.～j.に示した諸元を用いて舎飼期の1日のエネルギー計画を立てたものが  
図 3-9-5である。また、電力収支計算表を表 3-9-13に、熱収支計算表を表  
3-9-14に示す。

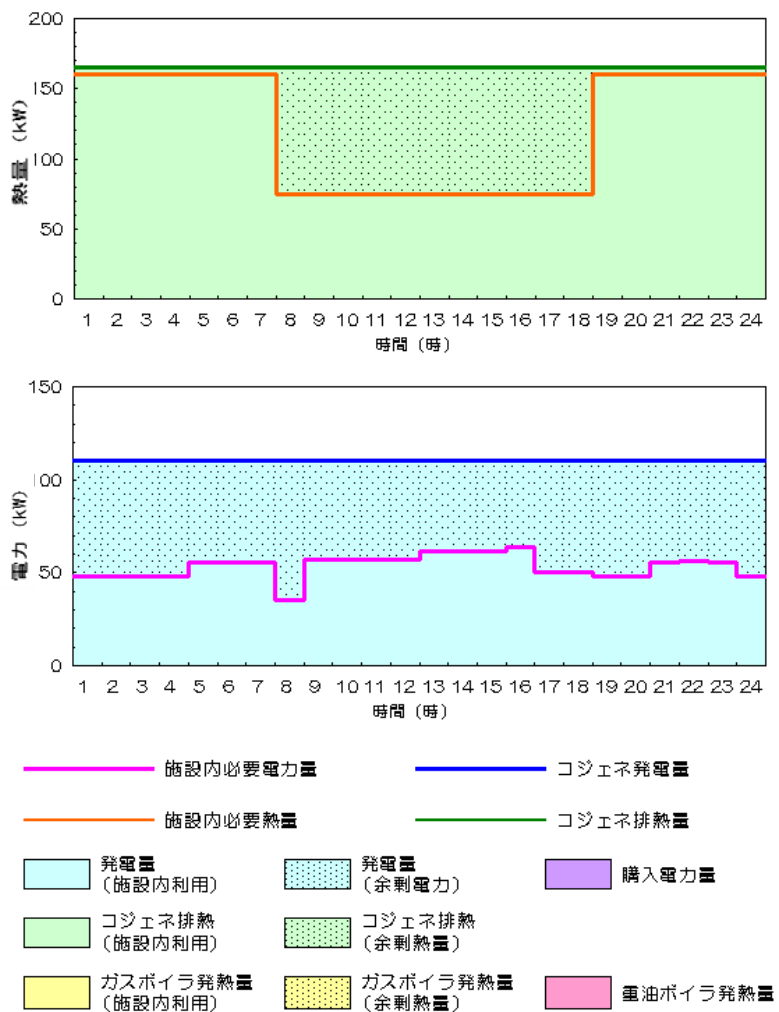


図 3-9-5 舎飼期のエネルギー計画



ii. 放牧期1日のバイオガス利用計画

a. 発生するバイオガスのエネルギー量

$$= \underline{29\text{m}^3} \times \underline{30\text{m}^3/\text{m}^3} \times 5,130\text{kcal}/\text{m}^3 \times 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{5,190\text{kWh}}$$

原料受入量 単位原料あたりガス発生量（副資材利用を考慮）

b. 発酵槽において必要な熱量

殺菌後の消化液を用いて原料をあらかじめ20℃まで加温したと考える

$$= \{(\underline{37^\circ\text{C}} - \underline{20^\circ\text{C}}) + \underline{30\text{日}} \times \underline{0.1^\circ\text{C}/\text{日}}\} \times 29\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh}$$

発酵温度 原料温度 滞留日数 発酵槽の日あたり温度低下量を仮定

$$= \underline{680\text{kWh}}$$

c. 殺菌槽において必要な熱量

$$= \{(\underline{55^\circ\text{C}} - \underline{37^\circ\text{C}}) + \underline{0.5^\circ\text{C}/\text{日}}\} \times 29\text{m}^3 \times 1000\text{kcal}/\text{Mcal} \div 860\text{kcal}/\text{kWh} = \underline{630\text{kWh}}$$

殺菌温度 殺菌槽の日あたり温度低下量を仮定

14時間で加温（2時間で移送、14時間で加温、8時間で殺菌する）を行うとすると

$$1\text{時間あたりに必要な熱量} = 630\text{kWh} \div 14 = 45\text{kWh}$$

d. 施設内消費電力量

別紙電力収支より  $\underline{1,218\text{kWh}}$

e. 発電量

コージェネレータ1台(60kW)を24時間稼働

$$= 60\text{kW} \times 24\text{時間} = \underline{1,440\text{kWh}}$$

f. 余剰電力量

$$= 1,440\text{kWh} - 1,236\text{kWh} = \underline{222\text{kWh}}$$

g. コージェネレーションに使用するバイオガスのエネルギー量

コージェネレータの発電効率：30%

$$= 1,440\text{kWh} \div 0.30\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{4,800\text{kWh}}$$

h. コージェネレーションによって発生する熱量

コージェネレータの発熱効率：45%

$$= 4,800\text{kWh} \times 0.45\text{kWh}/\text{kWh} = \underline{2,160\text{kWh}}$$

i. 余剰熱量

$$= 2,160\text{kWh} - (680\text{kWh} + 630\text{kWh}) = \underline{850\text{kWh}}$$



j. 余剰バイオガス量

$$= 5,190\text{kWh} - 4,800\text{kWh} = \underline{390\text{kWh}}$$

前述a.～j.に示した諸元を用いて放牧期の1日のエネルギー計画を立てたものが図 3-9-6である。また、電力収支計算表を表 3-9-15に、熱収支計算表を表 3-9-16に示す。

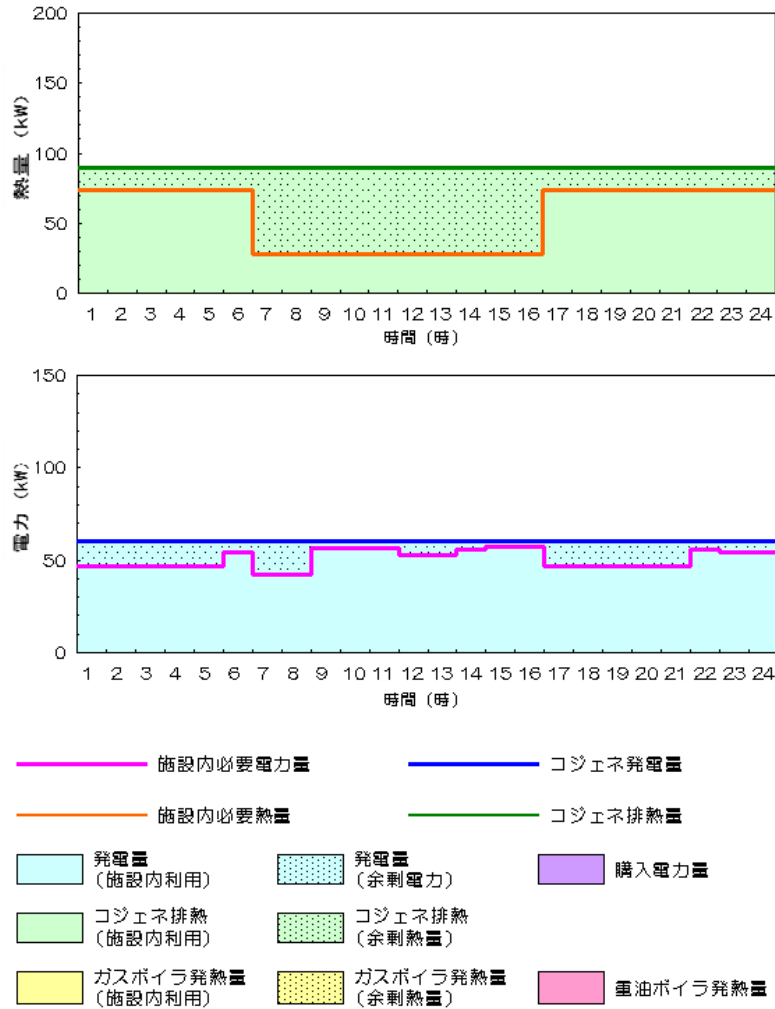


図 3-9-6 放牧期のエネルギー計画



iii. 年間のエネルギー収支

i.およびii.から年間のエネルギー収支は次のようになる。

a. 余剰電力

1. 電気料金の算出

買電力量なし→基本料金のみとなる。

$$64\text{kWh} \times 1,170\text{円} \times 12\text{ヶ月} = 898,600\text{円}$$

日最大使用電力 料金(実績より)

2. 余剰電力を売電した場合の収入

$$\text{年間の余剰電力量} = \frac{1,361\text{kWh}}{\text{日}} \times 182\text{日} + \frac{222\text{kWh}}{\text{日}} \times 183\text{日} = 288,328\text{kWh}$$

舎飼期の余剰電力 舎飼期日数 舎飼期の余剰電力 舎飼期日数

$$288,328\text{kWh} \times 10\text{円} = 2,883,300\text{円}$$

年間余剰電力量 売電単価(将来の想定値)

3. エネルギー収入(電力)

$$2,883,300\text{円} - 898,600\text{円} = 1,984,700\text{円}$$

b. 余剰熱

1. 余剰熱量

$$\text{舎飼期} \quad 182\text{日} \times 1,050\text{kWh} = 191,100\text{kWh}$$

$$\text{放牧期} \quad 183\text{日} \times 850\text{kWh} = 155,550\text{kWh}$$

---

$$\text{計} \quad \quad \quad = 346,650\text{kWh}$$

2. A重油の発熱量

$$10,200\text{kcal/kgf} \times 0.86 = 8,772\text{kcal}$$

3. A重油換算量

$$346,650\text{kWh} \times 860\text{kcal/kWh} \div 8,772 = 33,985 \text{ L}$$

4. 年間消費A重油量

$$= 0 \text{ L}$$

5. A重油金額換算

$$(33,985 - 0)\text{L} \times 44\text{円/L} = 1,495,300\text{円}$$

### 3) 支出の算出

#### i. 償還費

償還費は、初期建設費と総合耐用年数から算出する。総合耐用年数は、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

- ・償還費：28,400千円/年

表 3-9-17 償還費の算出

建設費 千円	負担率			プラント 負担額 千円	年賦金率	年償還額 千円
	国 %	道 %	プラント %			
600,000	50	0	50	300,000	0.09456	28,368

本例における施設の償還計画は、農林漁業金融公庫を利用することを想定している。

貸付利率は、平成16年9月時点の2%とした。

支払期間は、施設の総合耐用年数12年とした。

#### ii. 人件費

施設の運営計画、管理計画などから必要な管理従業員の人件費を算出する。人件費は地元の人件費の実績などを考慮して算出する。

本例における人件費は別海施設の実績を考慮して6,300千円とする。

- ・人件費：6,300千円/年

#### iii. 点検交換費

導入する機器類の点検や部品交換に必要な費用を、メーカーからの見積もりや聞き取りから積み上げて算出する。

本例における点検交換費は別海施設の実績を考慮して5,300千円とする。

- ・点検交換費：5,300千円/年

表 3-9-18 点検交換費の内訳(円/年)

定期点検	850,000
ガス発電機関係	1,900,000
その他エネルギー施設	1,870,000
運搬関係その他	680,000
合計	5,300,000

#### iv. 光熱費

光熱費は、管理計画などを考慮し、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における光熱費は別海施設の実績を考慮して1,200千円とする。

- ・光熱費：1,200千円/年

表 3-9-19 光熱費の内訳(円/年)

軽油代(搬入機械)	1,013,000
灯油代	134,000
プロパン代	53,000
合計	1,200,000

## v. 雑費

雑費は、水道、通信、その他備品の費用を、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における雑費は別海施設の実績を考慮して1,100千円とする。

- ・ 雑費：1,100千円/年

表 3-9-20 雑費の内訳(円/年)

水道代	160,000
電話代	120,000
その他	820,000
合計	1,100,000

## vi. 修理費

修理費は、各種設備、機器類の使用頻度などを考慮し、メーカーからの見積もり、聞き取りによって決定する。

本例における雑費は別海施設の実績を考慮して1,800千円とする。

- ・ 修理費：1,800千円/年

表 3-9-21 修理費の内訳

エネルギー施設関連	1,700,000
運搬関係その他	100,000
合計	1,800,000

## 4) 収入の算出

## i. 副資材処理費

プラントで副資材の処理を行う対価として、廃棄物の排出者が1m<sup>3</sup>あたり5千円をプラント側へ支払うものとする。

- ・ 副資材処理費 = 2.0m<sup>3</sup>/日 × 365日 × 5千円/m<sup>3</sup> = 3,700千円/年

## ii. エネルギー利用収入

後述の3-9-2. (4) 2) バイオガス利用計画を参照

- ・ エネルギー利用収入(電気) = 2,000千円/年
- ・ エネルギー利用収入(熱) = 1,500千円/年

## 5) 参加農家負担額の算出

支出合計 = 44,100千円/年  
収入（副資材処理費＋エネルギー収入） = 7,200千円

・ これらから、参加農家負担額の合計は36,900千円となる。

### 3-9-3. 農家負担額の評価

#### (1) 評価の考え方

一般に、経産牛100頭規模の農家が自力でふん尿処理を行うには年間2.5～4.5万円/頭の経費がもともと必要であるといわれている<sup>26)</sup>。しかし各地域によって処理方法が異なるため処理費用も異なる。各地域の実態から、参加農家の経営的效果を適切に判断し、これに相当する金額や近隣での他方式（堆肥化や産廃処理など）の処理費用と比較することによって嫌気性発酵システム導入の妥当性を判断する。従来費用よりも安価な負担額となれば、嫌気性発酵システムの導入の意義は高くなる。反対に負担額が従来の処理金額よりかけ離れて高い場合などは、計画の諸条件を再検討する必要がある。

#### (2) 参加農家の経営的效果

嫌気性発酵システムに参加することによって、農家には各種の経営的效果が発現する。ここではその効果の種類と考え方と試算例を紹介する。

##### 1) 購入肥料節減

消化液は生成過程での肥料成分の減耗が少ない。またふん尿スラリーに比べて悪臭が少なく取扱い性が向上し、安全性も優れている。嫌気性発酵システムを導入することで、ふん尿の利用度が高まり、化学肥料の使用量が減少すれば、化学肥料購入費を削減できる。

##### 2) 労力節減

農家がふん尿処理を自ら行う場合、労力負担（労働時間）が生じる。例えば堆肥化処理の場合、繰り返し等に多大な労力を必要とする。ふん尿の処理をプラントが行うことによって、これらの労力が節減される。

しかし、ふん尿の搬入と消化液の搬出などを農家自ら行う場合は、それらの労力が新たに必要となる。ふん尿の搬入や消化液の搬出・散布を、プラントと農家のどちらがどこまで行うかを考えたうえで、節減される労力を適切に判断する。

##### 3) 減価償却節減

農家がふん尿処理を自ら行う場合、必要な施設・機器類の減価償却費が発生する。

例えば曝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などが挙げられる。ふん尿の処理をプラントが行うことによって、これらの施設・機器類が不要となり、減価償却費が節減される。

#### 4) 直接経費節減

農家がふん尿処理を自ら行う場合、様々な直接経費が発生する。例えば曝気処理の電気代や切り返しの燃料費などが挙げられる。ふん尿の処理をプラントが行うことによって、これらの直接経費が節減される。

#### 5) 経営的効果試算例

実際の計画に当たっては、地域の条件を反映させた妥当な値を算出することが必要である。既往の研究成果では、別海施設と類似の集中型システム（別海型システム）を対象とした経営的効果の試算例<sup>27)</sup>がある。同様の試算を行う場合には、文献27)で計算の根拠を確認し、地域条件を反映させることが必要である。

試算例では、システム参加前後の営農の変化の想定と経営的効果の試算が次のようになされている。

[想定] 集中型システムに参加する以前には肥培管理が徹底できず、化学肥料による全面・全量散布の上に堆肥・尿を部分的に集中散布していると想定する。システム参加後には、ふん尿処理作業がプラントに委ねられ、肥培管理が徹底されて労働力にも余裕が生じ、計画的な肥料散布が可能となって化学肥料の散布量および購入額の節減ができたとする。

[経営的効果]

購入肥料費節減額： 固形ふんと尿を排出する経営（以下、固形ふん＋尿）では成牛換算1頭当たり年間6,876円（以下、円／頭・年）、スラリーのみ排出する経営（以下、スラリーのみ）では5,131円／頭・年と試算される。

労力節減効果： プラントを利用しない場合に必要とされるふん尿処理作業の外部委託費として、プラント利用前のふん尿処理に係る作業時間と地元の時間当たり労賃を乗じて算出すると、切り返しなどの舎外作業と消化液・堆肥の圃場散布作業に係る時間が節減対象となり、固形ふん＋尿では4,265円／頭・年、スラリーのみでは3,515円／頭・年と試算される。

減価償却費節減効果： プラント利用により不要になる機械類を対象として算出する。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をはじめトラクター1台分さらに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を節減対象として、固形ふん＋尿では19,940円／頭・年、スラリーのみでは21,657円／頭・年と試算される。

直接経費節減効果： 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、そして堆肥の舎外移動の委託費を節減対象として算出すると、その結果、固形ふん＋尿では4,840円／頭・年、スラリーのみでは6,298円／頭・年と試算される。

これらの4つの経済効果額を合計すると、固形ふん＋尿では35,921円／頭・年、スラリーのみでは36,601円／頭・年となる（表3-9-22）。

表 3-9-22 別海型システム利用農家の経済効果金額（円／成牛換算1頭当たり）

条件	プラントが搬出入・ほ場散布を行う場合	
	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

#### 3-9-4. 原料の性状や施設の規模の違いによる処理費用の比較

本項では資源循環プロジェクトにおける実績をもとに、嫌気性発酵システムの収支シミュレーションを行ったものを示す。このシミュレーション事例から、施設の規模や受入原料の性状によって、1頭あたりの処理費用がどのように変動するかをみることができる。

シミュレーションは次の条件によって行っている。

- ・施設の建設費には、ふん尿処理設備（メタン発酵設備、タンク類など）は95%の補助、その他の設備（エネルギー設備、運搬機械など）は50%の補助があるものと仮定する（95%の補助は、北海道における平成16年度までの補助であることに注意）。
- ・副資材の導入は行わない。
- ・ふん尿の搬入や消化液の搬出は全てプラントが行う。

##### (1) 別海施設の実績をもとに試算を行った例

表 3-9-23に別海施設の実績をもとに試算した嫌気性発酵システムの収支検討例を示す。原料ふん尿が固形ふん尿を含む場合、乳牛1頭あたり負担額は2,000頭規模が最も安い結果となった。また固形ふん尿を含む場合に比べて、スラリーのみを受



け入れる場合の方が負担額は安い結果となった。

表 3-9-23 別海施設の実績をもとに試算した嫌気性発酵システムの処理費用(千円/年)<sup>5)</sup>

条件	処理頭数規模 (成牛換算)	1,000頭	2,000頭	3,000頭	1,000頭	2,000頭
	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	スラリー のみ	スラリー のみ
支出	償還費	14,319	28,317	42,497	12,997	25,994
	人件費	9,132	13,788	22,920	6,276	11,832
	点検交換費	6,746	13,492	20,238	6,621	13,242
	光熱費	5,912	11,757	17,602	5,435	10,803
	修理費	2,160	4,320	6,480	2,160	4,320
	雑費	1,080	2,040	3,000	1,080	2,040
	支出計	39,349	73,714	112,737	34,569	68,231
収入	売電料金	1,150	2,300	3,450	1,150	2,300
	収入計	1,150	2,299	3,449	1,150	2,300
参加農家負担額		△38,199	△71,415	△109,288	△33,419	△65,931
1頭あたり負担額		38.2	35.7	36.4	33.4	33.0

(2) 湧別施設の実績をもとに試算を行った例

表 3-9-24に湧別施設の実績をもとに試算した嫌気性発酵システムの収支検討例を示す。1頭あたり負担額は、(1)別海施設の実績をもとに試算したものよりも高い傾向がみられた。また固形ふん尿を含む場合に比べて、スラリーのみを受け入れる場合の方が負担額は安い結果となった。

表 3-9-24 湧別施設の実績をもとに試算した嫌気性発酵システムの処理費用(千円/年)<sup>5)</sup>

条件	処理頭数規模 (成牛換算)	200頭	200頭
	原料ふん尿	固形ふん尿 +スラリー	スラリーのみ
支出	償還費	4,531	4,037
	人件費	5,376	5,376
	点検交換費	5,195	3,018
	光熱費	4,345	4,345
	修理費	1,474	1,148
	雑費	970	970
	支出計	21,890	18,894
収入	売電料金	—	—
	収入計	0	0
参加農家負担額		△21,890	△18,894
1頭あたり負担額		109.5	94.5

## 第4章 施設設計

### 4-1. 一般

嫌気性発酵システムの施設設計は、一連のシステムにおいて嫌気性発酵処理施設が必要とされる機能を確保し、安全で、経済的な施設となるように行う。また施設周辺の自然環境及び景観との調和を考慮して行う。

#### 【解説】

##### (1) 施設設計の基本

嫌気性発酵システム設計の基本方針は、嫌気性発酵施設の設置目的、運転条件に合致した機能を確保し、安全にしてかつ経済的な施設とすることである。

そのためには、受入設備、メタン発酵槽、エネルギー利用設備、及び消化液貯留設備とこれに付帯する設備を含めた施設全体としての温度条件、環境条件、運転管理条件等の総合的な関係を十分把握する。

特に、積雪寒冷地では、冬季の原料ふん尿及びプラント各種配管の内部の凍結防止と凍結時の復旧方法の確保などに留意して各設備の設計作業を進めなければならない。

施設設計にあたっては、先行するプラントが経験したトラブルを繰り返さないようにしなければならない。別海施設及び湧別施設の実証試験中に生じた各種のトラブルについては、経過・原因・対処・予防法などがカルテ化されている<sup>5)</sup>。このような情報を十分に活用することが必要である。

嫌気性発酵システムを構成する施設の設計は、計画で定めた各施設の基本的な機能に関する条件及び諸元に基づき行う。

## 4-2. 一時貯留槽(畜舎周辺設備)

一時貯留槽は畜舎から排出されるふん尿をプラントへの搬送までの間一時的に貯留するものであり、畜舎からの排出方法や搬出時の汲み出し方法及び積雪寒冷条件を考慮した構造とする。

### 【解説】

#### (1) スラリー用一時貯留槽

フリーストール牛舎からのふん尿はスクレーパー等による押し出しにより排出される。そのため一時貯留槽を地下式とし、頂版上面を牛舎床面と同一高さにすれば貯留槽への投入は容易となる。また畜舎地点で固液分離を行う場合も一時貯留槽を地下式とすることで作業高さを低くできる。

特にスラリーの搬送をタンカーで行う場合、一時貯留槽を地下式とすることでバキューム方式の採用が可能となり、搬送に関する作業をオペレーター1人で容易に行うことが可能となる。

地下式の一時的貯留槽は鉄筋コンクリート製を基本とし、土圧、地下水圧及び搬送車輛荷重等に耐える堅固なものとする。

一時貯留槽内の凍結対策は以下のとおりである(図4-2-1)。

- ・外断熱施工により凍結防止を図る。
- ・一時貯留槽の汲上げの際に、原料スラリーを全量汲み上げず1.0m程度残しておくことで凍結を防止する。
- ・上屋による凍結防止を図る。



写真4-2-1 フリーストール牛舎の一時貯留槽

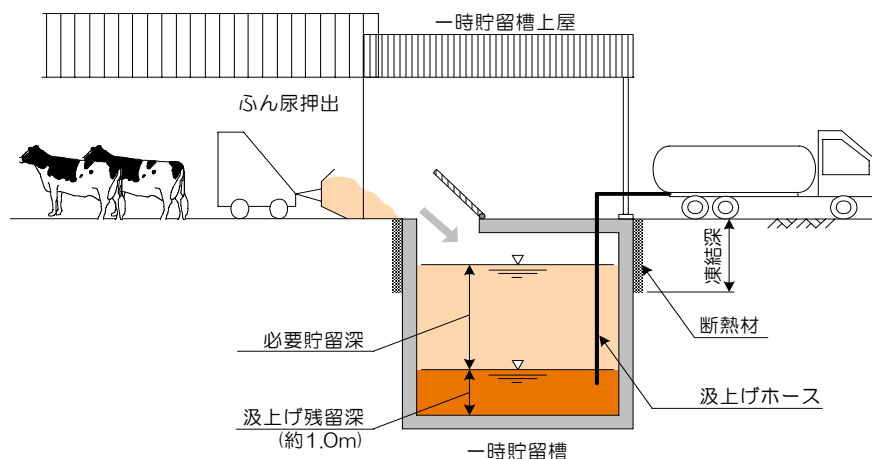


図4-2-1 フリーストール飼養における一時貯留槽内の凍結対策の例

## (2) 固形ふん尿用一時貯留槽

ストール飼養からのふん尿は主としてバークリーナーにより排出される(写真4-2-2)。多くの場合、長わらを敷料に使用した尿分離固形ふんのため堆肥盤への堆積貯留となる。

堆肥盤貯留では床コンクリート造で屋根を設けた堆肥舎構造(写真4-2-3)とする必要がある(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)。

ふん尿の搬出方法はダンプトラックとホイールローダーの組合せやアームロール車による作業となることから、床コンクリートは積込作業時の荷重に対して安全な構造としなければならない。

なお、ストール飼養でオガ粉、裁断わら等の細かい敷料を使用している場合や自然流下ふん尿溝式を採用している等のようにスラリーとして扱える場合は前項(1)で述べたスラリー用一時貯留槽を参考とする。



写真4-2-2 ストール使用の牛舎例



写真4-2-3 堆肥舎の例

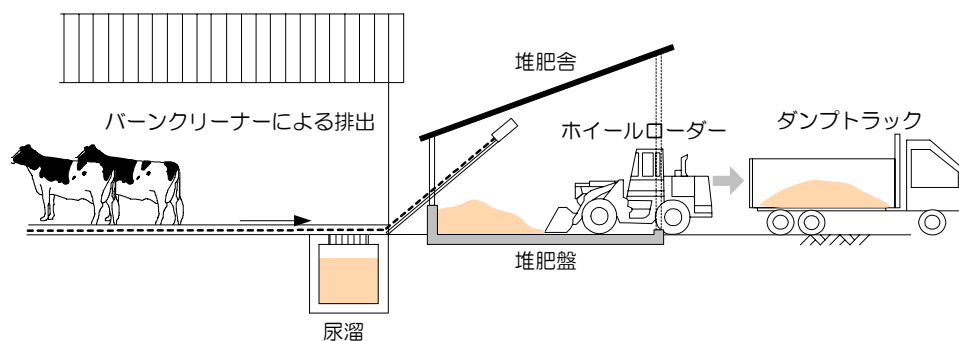


図4-2-2 ストール飼養における一時貯留槽の凍結対策の例

### 4-3. 搬送機械

スラリーの搬送はタンカーで行うのが一般的である。タンカーには自走式トラックタンカーとトラクター牽引式タンカーがある。また積込方式にはポンプ吸引式とバキューム式がある。搬送機械の選定に当たっては地域の実情、維持管理費などを考慮する。

#### 【解説】

##### (1) スラリーの搬送

自走式トラックタンカー(写真4-3-1)は走行性に優れるため比較的遠距離の搬送に適し、トラクター牽引式タンカー(写真4-3-2)は近距離の搬送に適する。



写真4-3-1 トラックタンカー



写真4-3-2 トラクター牽引式タンカー

##### (2) 固形ふん尿の搬送

固形ふん尿の搬送はダンプトラック(写真4-3-3)とフロントローダー(写真4-3-4)との組合せで行うのが一般的である。



写真4-3-3 ダンプトラック



写真4-3-4 フロントローダー

近年、ふん尿の積み卸し搬送作業を作業員1人で行う目的で搬送用コンテナ(写真4-3-5)及びアームロール車輛(写真4-3-6)が開発されている。

この方法は、スラリー用タンクと固形ふん尿用コンテナの積み卸しが1人の操作でできるもので、労力と時間の削減を図ることが可能である。

コンテナの積み卸しに必要な時間は1基当たり5分程度であり、コンテナを予め畜舎に周辺に設置しておくことによって省力的な固形ふん尿の搬送が可能となる。



写真4-3-5 搬送用コンテナ



写真4-3-6 アームロール車輛

### (3) 積雪寒冷地での配慮事項

トラクター牽引式タンカー等を利用する場合、冬季には液面の動揺により後輪が横方向にスリップしやすいので、事故に注意が必要である。これらの営農機械は夏季使用が前提となっており、寒冷地仕様となっていないことから減速走行などを行うことが必要である。

## 4-4. 受入設備

受入設備は搬入されるふん尿の性状(スラリー、固形ふん尿)によって導入する設備が異なってくる。固形ふん尿を受け入れる場合は、前処理設備として固液分離機、融解施設などが必要となることから、事前にふん尿の性状を把握し、地域の事情に合致した受入設備の設計を行う必要がある。

### 【解説】

嫌気性発酵施設に搬入されるふん尿は、スラリー状が最適であるが、地域の特殊事情によって、当面敷料(長わら)混入の固形ふん尿を受け入れなければならない場合がある。

長わら混じりの固形ふん尿は、前処理として固液分離の必要があるため(3-6-3(4)参照)、受入形態も変わってくる。受入槽の設計に当たっては、以下の項に留意した構造とする。

#### 4-4-1. 原料スラリーの受入槽

##### (1) スラリー受入槽の構造

スラリーの搬送はトラックタンカーで行われるため、荷下ろしの容易性から特別な事情がない限り地下式とし、土圧、内圧、地下水による浮力、タンカー載荷重等の外圧に耐えられるよう鉄筋コンクリート製の堅固な構造とする。

##### (2) 受入槽の換気

受入槽は嫌気性発酵施設の中で、唯一未消化のふん尿が解放管理される場所であり、受入作業や攪拌によりアンモニアガスや硫化水素ガス等の金属を腐食させるガスが放出される。このため、適切な換気により臭気対策や機器類の腐食防止に努める必要がある。特に、隣室に機器類が多くある場合には、壁の通気を完全に遮断することが必要である。場合によっては機械室を別棟にすることも有効である。

図4-4-1に受入設備の臭気対策例を示す。



写真4-4-1 臭気設備例

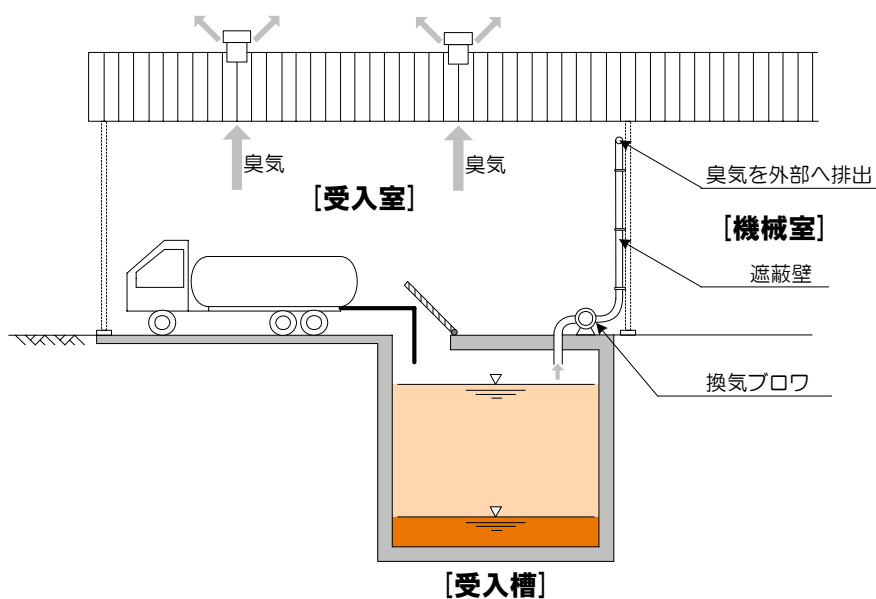


図4-4-1 受入設備の臭気対策の例

##### (3) 消化液の熱エネルギーの利用方法

積雪寒冷地では、冬期間の原料温度は5℃以下になり、原料温度が低いためプラント全体の必要熱量が増大する。

そこで、殺菌処理後の消化液又はメタン発酵後の消化液の熱エネルギーを利用して、受入槽に循環させ熱交換することで、熱エネルギーの有効な利用が可能と考えられる。

図4-4-2は、地下式の受入槽に廃熱を導入し原料ふん尿の加温と融解を目的とした施設例である。

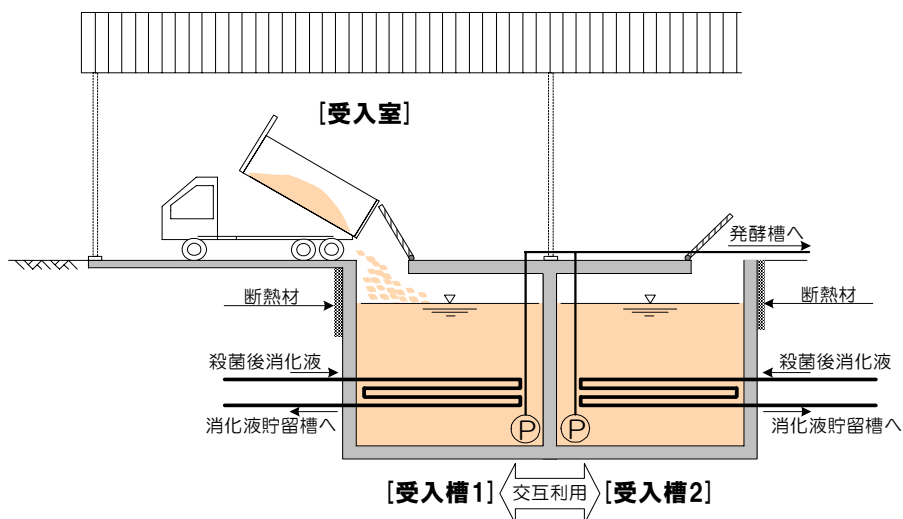


図4-4-2 受入槽における熱利用の例

熱交換設計上の留意点は、以下のとおりである。

- ・熱媒体は温水、消化液等が考えられる。
- ・熱交換パイプは、底版に設置すると沈殿物で埋まり効果がなくなるため必ず側壁に取り付ける。
- ・原料温度は、高い方が熱収支で有利となるが、高すぎると受入槽で発酵が始まる。このため原料温度は発酵温度と分解率の関係から概ね15～20℃が目安となる。
- ・写真4-4-2は、別海施設の例であり、約70℃の液温をもつ後殺菌処理の消化液を貯留槽に移送する途中で受入槽に配管し熱交換しているもので、冬期間の原料スラリーの温度は10～15℃を確保している。



写真4-4-2 受入槽内部の消化液配管の例



## 4-4-2. 固形ふん尿の受入槽

### (1) 固形ふん尿受入槽の構造

固形ふん尿を受け入れる場合、固液分離までの一時堆積が必要であり、家畜ふん尿の適正な管理を考慮し、構造はコンクリート床版と上屋が必要となる。コンクリート床版は車輛の荷重に耐える十分な強度を持たせるとともに、ふん尿レキ汁の流出防止や雨水の流入防止を考慮して厚さ、勾配等を決定する。

### (2) 固形ふん尿の凍結対策

積雪寒冷地では、堆肥盤に堆積している固形ふん尿が夜間のうちに表面凍結することが考えられる。凍結した固形ふん尿は固液分離する前に融解する必要がある。方法として壁、屋根に透明なアクリル板を用いた太陽熱で融解する方法や、バイオガスエネルギーを用いた床暖房による融解方法が挙げられる。

#### 1) 別海資源循環試験施設の融解施設

別海施設では、写真4-4-3に示すようにバイオガス発電による電気式ロードヒーティングの融解施設を設置している。

この施設は平成15年度から稼働しているが、厳寒期は固形ふん尿の下部のみが融解して上部及び中間部は凍結したままの状態となる。ふん尿処理作業は、凍結した固形ふん尿をホイールローダーで粉砕して固液分離工程に送っている。

このように、凍結した固形ふん尿を搬入する場合は、融解施設内で繰り返し作業を行って全体を融解させるなどの別途対応が必要である。



写真4-4-3 別海施設の融解施設の例

## 2) 湧別資源循環試験施設の融解槽

湧別施設では、床暖房式の融解槽における凍結ふん尿の温度測定調査を行った(図4-4-3)。調査の結果、融解槽下面からの高さが5cmでは凍結ふん尿を融解させることが可能であるが、10cmでは融解させるのに約8時間、20cmでは約1日必要であることが判明した。

ふん尿処理作業は一般にほぼ毎日行うものであるから、融解槽への投入量を1日で融解できる融解槽の高さにあわせるか、時々天地返しを行って融解を促進させることが必要である。

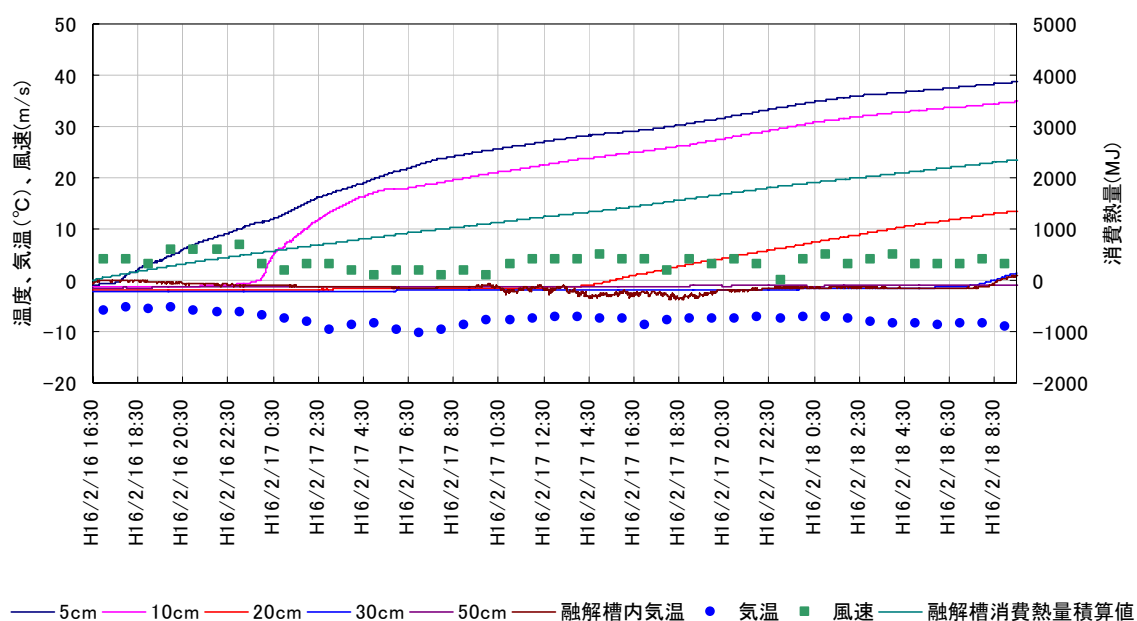


図4-4-3 融解槽における凍結ふん尿の温度測定結果(湧別施設)<sup>5)</sup>

#### 4-5. メタン発酵設備

発酵槽の構造形式は、攪拌方式、熱交換方式と一体的な開発が行われており、各メーカーによって種々のものがある。処理規模、地形・地質条件等を検討の上、適切な方式を選定する。

【解説】

構造形式について代表的なものを表4-5-1に示す。

表4-5-1 発酵槽の適用条件

形状	構造	適用条件	
円筒形縦型	鋼板製	設置条件	・ 地上式
		構造条件	・ コンクリート製より延性に富むが剛性が小さい。 ・ コンクリート性より軽量のため、地耐力の制限は少ない。 ・ 周辺環境との調和性がよい。 ・ 工場で加工し現場で組立を行うため、現場打ちコンクリート製に比較して工期は短い。 ・ 円筒形のため攪拌性に優れる。 ・ 発酵槽容量が300m <sup>3</sup> 以上から大容量にも対応可能である。
	鉄筋コンクリート製	設置条件	・ 設置条件:地上式、地下式など
		構造条件	・ 鋼板製より剛性に富む。 ・ 必要な地耐力は鋼板製に比較して大きい。 ・ 水圧、地震力等の外力によるコンクリートひび割れに留意する。 ・ 現場打ちのため鋼板製に比較して工期は長い。 ・ 円筒形のため攪拌性に優れる。
円筒形横型	鋼板製	設置条件	・ 円筒形縦型鋼板製と同様。
		構造条件	・ 円筒形縦型鋼板製と同様。 ・ 施設容量の上限は槽の搬送時の制約等から300m <sup>3</sup> 程度である。
箱形横型	鋼板製	設置条件	・ 円筒形縦型鋼板製と同様。
		構造条件	・ 円筒形縦型鋼板製と同様。 ・ 箱形のため発酵槽の隅の攪拌性に劣る。
	鉄筋コンクリート製	設置条件	・ 円筒形縦型鋼板製と同様。
		構造条件	・ 円筒形縦型コンクリート製と同様。 ・ 箱形のため発酵槽の隅の攪拌性に劣る。

(1) 発酵槽の縦横比

集中型の発酵槽形式は、地上円筒縦型が多い。規模が大きくなるほど地上高さも高くなり、構造的安定性が必要となる。そのため、施設稼働時の地震力に対する安定性の検討が必要である。

地上円筒縦型の場合は、直径(D)に対する高さ(H)の目安は、 $H \leq 1.0D \sim 1.3D$ 程度である。

## (2) 発酵槽の保温材の設計

嫌気性発酵を順調に行うためには、発酵槽内の温度条件を一定に保つことが重要である。積雪寒冷地では冬季厳寒期は気温が氷点下になる地域もあることから、保温材によって放熱・温度低下を抑制することが必要である。

ここでは、「建築設備の凍結防止 計画と実務<sup>28)</sup>」に準拠して発酵槽の保温材厚と保温効果の計算例を示す。

下記の式は、嫌気性発酵施設に設置する殺菌槽、配管等の保温材厚設計にも適用が可能である。

$$T_L = T_\infty + (T_0 - T_\infty) \cdot \exp\left(-\frac{t}{C \cdot R}\right) \dots\dots\dots \text{式1}$$

- ここで、 $T_L$  : t 時間経過後における発酵槽内液温(°C)  
 $T_\infty$  : 周囲の温度(°C)  
 $T_0$  : 初期の発酵槽内液温(°C)  
 $t$  : 経過時間(h)  
 $C$  : 液体の熱容量(kcal/°C)  
 $R$  : 熱損失抵抗(h・°C/kcal)

$$r = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} \dots\dots\dots \text{式2}$$

- ここで、 $r$  : 熱貫流抵抗(m<sup>2</sup>・h・°C/kcal)  
 $\alpha_1$  : 外表面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)  
 $L_1$  : 断熱材の厚さ(m)  
 $\lambda_1$  : 断熱材の熱伝導率(kcal/m・h・°C)  
 $L_2$  : 発酵槽壁材や管材の厚さ(m)  
 $\lambda_2$  : 発酵槽壁材や管材(kcal/m・h・°C)

$$R = \frac{r}{S} \dots\dots\dots \text{式3}$$

- ここで、 $S$  : 槽の表面積(m<sup>2</sup>)

## 【計算例】

### 1. 設計条件

- ・周囲の温度( $T_{\infty}$ ) : 外気温 $-25^{\circ}\text{C}$
- ・初期の発酵槽内液温( $T_0$ ) : 発酵槽内温度 $37^{\circ}\text{C}$
- ・経過時間( $t$ ) : 24h
- ・液体の熱容量( $C$ ) : 発酵槽容量 $1,500\text{m}^3$ とすると、  
 $1,500,000(\text{kcal}/^{\circ}\text{C})$
- ・外表面の熱伝達率( $\alpha_1$ ) : 鋼板  $30(\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$
- ・断熱材の厚さ( $L_1$ ) : 0.10m
- ・断熱材の熱伝導率( $\lambda_1$ ) : グラスウール  $0.04(\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$
- ・発酵槽壁材の熱貫流抵抗は非常に小さいためここでは考慮しない。
- ・槽の表面積( $S$ ) : 直径12.5m、高さ12.5mの円柱と考え $736(\text{m}^2)$

### 2. 計算

式2より

$$\begin{aligned} r &= \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} \\ &= \frac{1}{30} + \frac{0.10}{0.04} = 2.53(\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kcal}) \end{aligned}$$

式3より

$$\begin{aligned} R &= \frac{r}{S} \\ &= \frac{2.53}{736} = 0.00344(\text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kcal}) \end{aligned}$$

式1より

$$\begin{aligned} T_L &= T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{C \cdot R}\right) \\ &= -25 + (37 - (-25)) \cdot \exp\left(-\frac{24}{1500000 \cdot 0.00344}\right) = 36.7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

以上より、 $1,500\text{m}^3$ の発酵槽に断熱材(グラスウール)を10cm施工した場合、24時間で発酵槽内部の液温は、 $0.3^{\circ}\text{C}$ 低下する。

よって、 $1,500\text{m}^3$ の発酵槽の日当たり放熱量は、下のように $450\text{Mcal}/\text{日}$ となる。

$$0.3^{\circ}\text{C} \times 1,500\text{m}^3 \times 1\text{Mcal}/\text{m}^3 = 450\text{Mcal}$$

### (3) 設計上の留意点

#### i. メタン発酵槽の温度計測装置

別海資源循環試験施設のメタン発酵槽には、上部と下部に温度計が挿入されており、2箇所の温度の平均値を加温要否のインジケータになっている。

通年利用により約2年の供用の後に、下部の温度計が液温を正確に測定していない状況が発生した。この要因は、温度計自体が劣化したものか、スラッジに覆われて感度が低下しているものと推察される。

加温の必要量を算定するための基礎となっている温度計が、発酵槽内の真の温度よりも低い値を示す場合には、槽内温度は設定温度よりも高く制御されることになる。また温度計がスラッジに埋まっている場合には、加温による槽内温度の上昇が感知されないことにより、加温が継続し槽内が異常な高温になる恐れがある。このようにセンサーが埋没あるいは故障した場合にもシステムが暴走しないような配慮が必要である。

#### ii. メタン発酵槽の観察窓の設置(写真4-5-1)

メタン発酵槽内に発生したスカムやスラッジの状況を肉眼で観察できることは、トラブルの防止や原因究明、また施設管理者の不安解消に寄与すると考えられる。

メタン発酵は暗反応であるため、強い光は阻害要因となる。従って、大きな観察窓を設置した場合は遮光の工夫が必要となる。また窓部の強度を適切に設計すること、長期間の経過による窓の汚れの対策も考えておく必要がある。

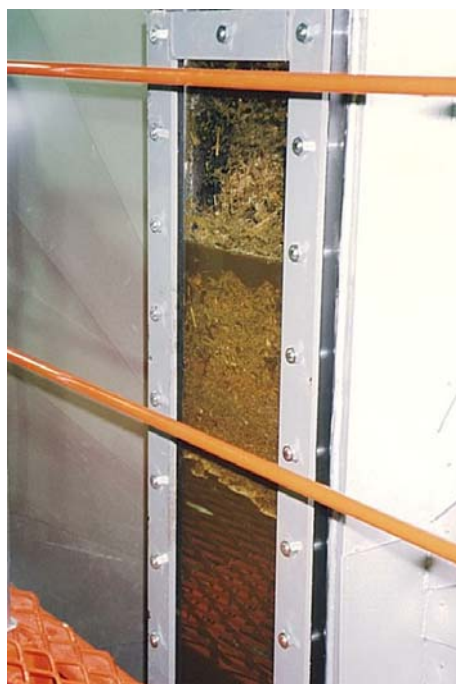


写真4-5-1メタン発酵槽の観察窓の例  
(酪農学園大学バイオガスプラント)

#### 4-6. 消化液貯留槽

消化液貯留槽は、積雪寒冷地では圃場還元ができない冬期間に生じる消化液を貯留することから、嫌気性発酵施設の中で最も施設容量が大きくなる。

構造設計に当たっては、施設容量、地形・地質条件、施工性に加えて、攪拌や消化液搬出時の汲み出しの容易性などを検討の上、適切な方式を選定する。

##### 【解説】

構造タイプには、鋼板製、鉄筋コンクリート製、ゴムシート製がある。

各構造の適用条件を表4-6-1に示す。

表4-6-1 消化液貯留槽の適用条件

構造	適用条件
鋼板製	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置条件:地上式</li> <li>・コンクリート製より延性に富むが剛性が小さい。</li> <li>・コンクリート性より軽量のため、地耐力の制限は少ない。</li> <li>・周辺環境との調和性がよい。</li> <li>・工場で加工し現場で組立を行うため、現場打ちコンクリート製に比較して工期は短い。</li> <li>・貯留量は1基当たり3,000m<sup>3</sup>程度まで規格品として対応可能である。</li> <li>・これまでの施工実績が多い。</li> </ul>
鉄筋コンクリート製	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置条件:地上式、地下式など</li> <li>・鋼板製より剛性に富む。</li> <li>・必要な地耐力は鋼板製に比較して大きい。</li> <li>・水圧、地震力等の外力によるコンクリートひび割れに留意する。</li> <li>・現場打ちのため鋼板製に比較して工期は長い。</li> </ul>
ゴムシート製 ラグーン方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置条件:掘込式</li> <li>・建設費用は鋼板製、鉄筋コンクリート製に比べて安価である。</li> <li>・比較的支持力の小さい地盤でも施工可能である。</li> <li>・地下水の排水設備、空気抜きが必要不可欠である。</li> <li>・構造上深さが浅く、容量を確保するために広い建設用地が必要である。</li> </ul>

#### 4-7. バイオガスエネルギー利用設備

回収したバイオガスの利用方式には、コージェネレーション利用とボイラー燃焼利用がある。設備容量の決定に当たっては、原料スラリー量、発酵槽容量、発酵温度などの基礎条件からバイオガス量を算出し、エネルギー利用計画を立て、それに基づき必要な設備容量を決定する。

##### 【解説】

##### 4-7-1. コージェネレーション利用

###### (1) 機種を選定

コージェネレータの機種には、ガスエンジン(ピュアタイプ、デュアル燃料タイプ)、マイクロガスタービンがある。各機種によって発電効率、廃熱効率、定格出

力等の条件が異なることから、機種選定に当たっては、前述した3-6-10. バイオガス利用方式 に基づき、機種、出力、台数を決定する。

## (2) 設計上の留意点

### i. コージェネレータの自動起動システム

別海資源循環試験施設では、ガス量不足でコージェネレータが強制停止した場合、再起動は手動で行われている。このため、コージェネレータが停止している間にガス貯留量が回復しても、管理人が不在で再起動させられないとガス利用はされず、ガスホルダーの充填率が95%を超えるとフレアスタックで燃焼放出されていた。さらにコージェネレータが停止している時間の電力消費は購入電力に依存していた。コージェネレータに自動起動機能をもたせると、このようなバイオガスの無駄を抑制できる。

コージェネレータに自動起動のシステムを導入する場合、ガス不足のみを前提とするならば、ガスホルダーの充填率のみを指標値として制御すれば良いと考えられるが、コージェネレータが強制停止する原因はガス不足のみとは限らない。従って、想定される全ての要因に対して、監視システム等を組み込んで、自動起動させることにより、エネルギー損失と購入エネルギー増大を防止する必要がある。

### ii. 高額な外国製品の部品類

外国製のコージェネレータを選択する場合は、施設更新や維持管理費用を考慮して決定する必要がある。外国製の場合、一般的に点火プラグ等の消耗品は高価な場合がある。

## 4-7-2. ボイラー燃焼利用

回収したバイオガスを熱利用する方法としてボイラー設備がある。バイオガスボイラーは、コージェネレータがある場合には補助熱源に、ない場合には主たる熱源となる。

ボイラー出力の選定にあたっては、まず発酵槽と殺菌槽での加温・保温に必要な熱量や、配管類の放熱量等を算出する。それらをボイラー燃焼熱で補給する時間を検討して適切な機種、出力を決定する。

なお、メタン発酵の立ち上げ時や、コージェネレータ・バイオガスボイラーの補助熱源として、重油ボイラーを設置する。



## 4-8. 脱硫設備及び除湿設備

脱硫方法には湿式脱硫法、乾式脱硫法、生物脱硫法がある。方法の選定に当たっては、処理ガス量、建設費、維持管理費、脱硫目標値などを考慮の上、複数の方法の組み合わせについても検討し、適切な方式を選択する必要がある。

またバイオガスは非常に湿度が高いため、適切な除湿設備を備える必要がある。

### 【解説】

脱硫方法には、湿式、乾式、生物脱硫法があり、近年は酸化鉄を利用した乾式脱硫と生物脱硫が広く採用されている<sup>8)</sup>。

酸化鉄を利用した乾式脱硫法は、脱硫効果は高いが酸化鉄ペレットの交換費用を必要とする。一方、生物脱硫法は、バイオガスに少量の空気を混入し、イオウ酸化細菌と反応させることで硫黄あるいは硫酸イオンに変換させるもので、硫黄分は消化液に混ざった形で有効利用することができる。

技術的には、乾式脱硫法は確立されているが、生物脱硫法はイオウ酸化細菌の生息活動条件(通気量、温度、水分、基質、生息場所、反応時間)の確保が必要であり、その方法や効果が明確になっていないのが現状である。

ここでは、別海資源循環試験施設で行った生物脱硫の試験結果についてまとめる。

### 4-8-1. 別海施設の生物脱硫システム

別海施設の生物脱硫法は、発酵槽上部のバイオガス貯留部に空気を混入する方式と発酵槽とは別に設置した脱硫塔に空気を混入する方式を採用している。空気混入は発酵槽内の越流パイプの中で行われ、生物脱硫反応は発酵槽から独立した湿式ガスホルダーで生じるシステムとなっている(図4-8-1)。

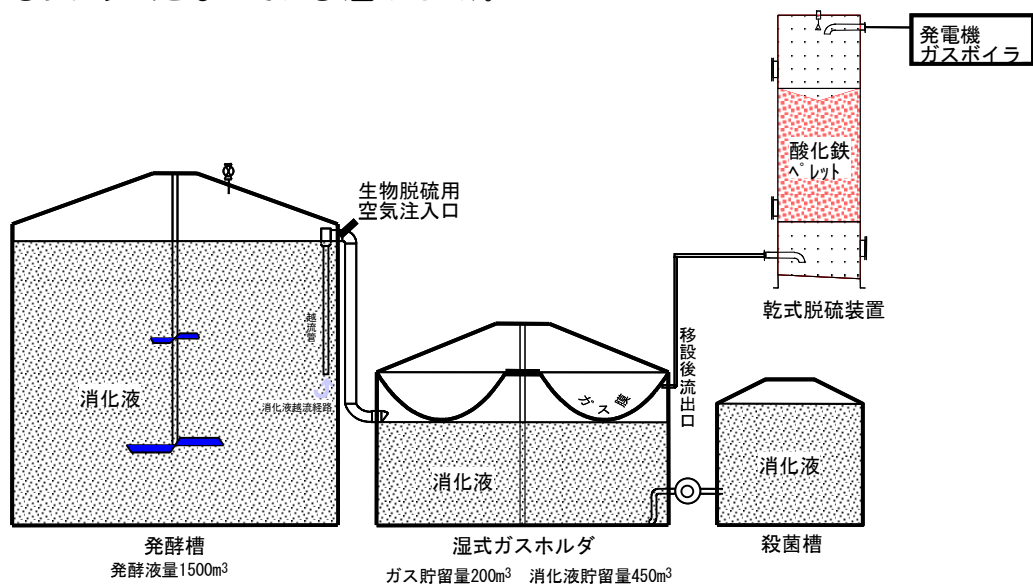


図4-8-1 別海施設の脱硫システム

(1) 湿式ガスホルダーでの空気混入率

別海施設の湿式ガスホルダーにおける空気混入率と生物脱硫率の関係は図4-8-2のとおりである。空気混入率が6～9%の場合に80%の脱硫率が得られる場合があった。

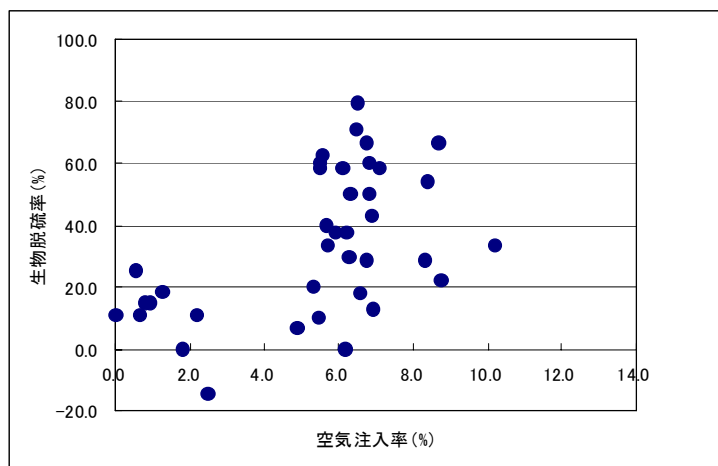


図4-8-2 空気混入率と生物脱硫率の関係<sup>5)</sup>

(2) 担体式生物脱硫装置での試験

湿式ガスホルダーにおける生物脱硫が低い脱硫率を示した理由として、イオウ酸化細菌の棲息面積当たりバイオガス処理量が $2.8\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ と過大であることが考えられた。そこで、イオウ酸化細菌の棲息場所を確保するため担体式のミニ試験装置を設置した。この装置ではバイオガス処理量は約 $50\text{m}^3/\text{日}$ 、担体の表面積は $100\text{m}^2$ 、脱硫塔内の温度は $38^\circ\text{C}$ 、イオウ酸化細菌の棲息面積当たりバイオガス処理量を $0.5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ とした。

担体式生物脱硫の試験結果を表4-8-1に示す。生物脱硫率は1回目の測定を除き、76～85%と高く安定していた。また80%以上の安定した生物脱硫率が得られる空気混入率は5～8%であった。この空気混入率は、湿式ガスホルダーで高い生物脱硫率が得られた値とほぼ一致していた。

表 4-8-1 担体式生物脱硫の試験結果<sup>5)</sup>

試験月日	硫化水素 (mL/kL)		空気注入率 (%)	生物脱硫率 (%)
	生物脱硫前	生物脱硫後		
2003.11.29	2400	2400	2.5	0.0
2003.12.21	2300	550	2.5	76.0
2004.3.12	2400	400	5.0	83.0
2004.3.24	2000	300	6.0	85.0
2004.3.31	2000	400	8.0	80.0

### (3) 経済性の試算

酸化鉄脱硫塔のみを採用した場合と、別海施設で採用している酸化鉄脱硫塔と湿式ガスホルダー(生物脱硫装置)を併用した場合の脱硫経費を比較した。

#### a. 試算の条件

- ・ バイオガス発生量 : 1,300 m<sup>3</sup>/日
- ・ バイオガス中の硫化水素濃度 : 2,400 mL/kL
- ・ 生物脱硫後の硫化水素濃度 : 480 mL/kL
- ・ 脱硫剤(酸化鉄)の交換費用 : 約70万円(実績値)
- ・ 脱硫剤(酸化鉄)の飽和吸着量 : 15%<sup>8)</sup>と30%(メーカー資料)

#### b. 試算の結果

試算の結果を表4-8-2に示す。

表4-8-2 脱硫経費の比較(千円/年)<sup>5)</sup>

項目	脱硫剤の飽和吸収量=0.15		脱硫剤の飽和吸収量=0.30	
	酸化鉄脱硫のみ	生物脱硫併用	酸化鉄脱硫のみ	生物脱硫併用
脱硫剤交換	6590	1320	3300	660
生物脱硫電気代	—	170	—	170
合計	6590	1490	3300	830

脱硫剤の飽和吸収量(kg-H<sub>2</sub>S/kg-脱硫剤)を0.15とすると、生物脱硫装置を設置しない場合には、脱硫剤の交換費用が約6,590千円/年に対し、生物脱硫を併用した場合の費用は約1,490千円/年(脱硫剤交換1,320千円/年+電気代170千円/年)となった。

また脱硫剤の飽和吸収量(kg-H<sub>2</sub>S/kg-脱硫剤)を0.30とすると、生物脱硫装置を設置しない場合での脱硫剤の交換費用が約3,300千円/年に対し、生物脱硫を併用した場合の費用は約830千円/年(脱硫剤交換660千円/年+電気代170千円/年)となり、この場合にも生物脱硫併用で経費が安価な結果となった。

以上より、脱硫経費に関しては、生物脱硫施設を併設し機能させる方が酸化鉄脱硫単独の場合よりも安価であることがわかった。

#### 4-8-2. 乾式脱硫法の施設規模

酸化鉄を用いた乾式脱硫法の場合、酸化鉄の交換間隔を長くすると、交換回数が減って維持管理費が減少するものの、施設規模が大きくなる。脱硫施設の設計に当たっては、交換間隔と施設規模をいく通りか比較して、経済性に優れたものを選択する。

##### (1) 脱硫剤の交換間隔と必要量の関係

酸化鉄を用いた乾式脱硫法の脱硫剤の交換間隔と必要量の関係は、既存文献<sup>7)</sup>によれば、次のとおりである。

$$W = X / S$$

W：脱硫の必要量(kg)

X：充てんされた脱硫剤がT日後までに吸収すべき硫化水素量(kg)

S：脱硫剤の飽和吸収量(kgH<sub>2</sub>S/kg脱硫剤)

$$X = (A - B) \div 10^6 \times (34 / 22.4) \times Q \times T$$

A：入口硫化水素濃度(mL/kL)

B：出口硫化水素濃度(mL/kL)

Q：バイオガス発生量(m<sup>3</sup>/日)

T：脱硫剤の交換間隔(日)

##### (2) 脱硫剤必要量の計算例

###### a. 設計条件

- ・バイオガス発生量(Q) : 1,300 m<sup>3</sup>/日
- ・入口硫化水素濃度(A) : 2,400 mL/kL
- ・出口硫化水素濃度(B) : 10 mL/kL
- ・脱硫剤の飽和吸収量(S) : 0.15 kgH<sub>2</sub>S/kg脱硫剤  
(脱硫剤メーカーカタログより)
- ・硫化水素(H<sub>2</sub>S)の分子量 : 34
- ・1モル当たりの体積 : 22.4L
- ・脱硫剤の交換間隔(T) : 100日

###### b. 計算例

$$\begin{aligned} X &= (A - B) \div 10^6 \times (34 / 22.4) \times Q \times T \\ &= (2400 - 10) \div 10^6 \times (34 / 22.4) \times 1300 \times 100 \\ &= 454 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

$$W = X / S$$

$$= 454 / 0.15$$

$$= 3,027 \text{ (kg)}$$

設計段階では正確な飽和吸収量（S）が分からないことからメーカーカタログ値を使用することになる。なお、バイオガス中の水分が脱硫塔内での結露することがあり、その場合は脱硫性能が低下する。これを防止するためには、脱硫前の段階で、十分に除湿しておく必要がある。

脱硫塔の形状は円筒形が多く、高さを径の2倍程度とするのが標準的である。

#### 4-8-3. バイオガスの除湿対策

発酵槽から発生したバイオガス中には多くの水蒸気と硫化水素が含まれている。このガスを無処理のままでもコージェネレータやバイオガスボイラーで利用すると腐食の原因となることから除去する必要がある。

硫化水素は前述した脱硫設備により除去する。

水蒸気の除去方法には、バイオガスが発酵槽からのガス配管内において、周囲の温度で冷却し結露させるか、又は冷却水を循環させて冷却し結露させる方法がある。分離した水分は、ドレントラップ等に貯留・回収し、消化液とともに圃場に散布する。

積雪寒冷地では、冬季に分離した水分が凍結しバイオガス配管が閉塞することが考えられる。対策としては、バイオガス配管が屋外に露出する箇所は、保温材やヒータ加熱により凍結を防止する等が必要である。また分離した水分を回収するドレントラップは屋外にあると水分が凍結し配管までも閉塞させる危険性があることから、屋内に設置するか断熱材で保護することが必要である。

#### 4-9. 配管、ポンプ設備

嫌気性発酵処理施設の配管、ポンプ設備は、ふん尿用、バイオガス用、温水用等移送する物質・性状により選定する材質が異なる。

配管設備の設計に当たっては、管種の特性を十分把握し、耐久性、耐食性に優れた管種を選定する。また異物の混入や硫黄析出(脱硫装置内)による管の断面縮小、閉塞を想定して、維持管理の容易な配管(口径の選択、バルブ・曲げ・フランジの位置)としなければならない。

ポンプ設備は、配管設備と密接な関係があり、ポンプ吐出量、全揚程、配管の各種損失水頭等を考慮して揚水が安全で確実にできるよう適切に設計する。

【解説】

#### 4-9-1. 配管設計

##### (1) 既製管の種類

JISまたはその他の規格に基づいて製造・販売されている既製管の規格及び特性は、下表のとおりである。

表4-9-1 既製管の一覧表

管種	口径	特 性					
		耐久性	耐食性	電食	重量	その他	
不 性 管 と う	コンクリート管	150~3,000mm	大	大	無い	重	低圧力管路用
と う 性 管	ダクタイル鋳鉄管	75~2,600mm	大	小	少ない	重	高圧力管路用 部分的な交換も切断機が必要
	鋼管	6A~3,000A	大	内面塗 装必要	電食防 止措置 が必要	軽	高圧力管路用 使用可能温度は-30~60℃
	硬質塩化ビニル管	13~ 800mm	大	大	無い	軽	低圧力管路用 施工性が良い 使用可能温度は-5~60℃ 寒冷地での露出配管は衝撃に弱い
	ポリエチレン管	13~ 300mm	大	大	無い	軽	低圧力管路用 施工性が良い(可とう性に富む) 使用可能温度は-30~85℃
	強化プラスチック複合管	200~3,000mm	大	大	無い	軽	低圧力管路用

## (2) 管種・口径の選定とレイアウト

嫌気性発酵処理施設に用いられる管は、用途別に原料ふん尿用、バイオガス用、温水循環用の配管、性状別に液体用、気体用の配管等があり、多岐にわたる。このため、管種の選定に当たっては、経済性ばかりではなく、耐久性、耐食性等を十分考慮して決定する必要がある。

また配管の口径選定にあたっては、計画された流量に見合った口径を選定することが不可欠である。しかし、原料ふん尿用の配管では異物の混入があったり、バイオガス用の配管では配管内部で硫黄が析出したりするなど、配管の目詰まりの要因が多い施設となるので、多少の余裕を持たせた口径選定や、閉塞時の清掃を行いやすい配管とすることが望ましいと考えられる。

### 1) 亜鉛メッキ鋼管の腐食

水道用亜鉛メッキ鋼管(SGPW)、配管用炭素鋼鋼管(SGP)の白ガス管は、亜鉛を管表面に熔融メッキ被覆した配管である。

亜鉛メッキ鋼管の腐食は、錆詰まり、孔食、マクロセル腐食(鋼管とバルブの接続部)によるものが挙げられる。

腐食を促進する水質要因として溶存酸素、pH、残留塩素、温度等が挙げられ、腐食速度は0.3mm～1.0mm/年程度と言われている。

#### i. 温度の影響

温水供給を行う場合、図4-7-1に示すとおり、50℃以下で有効な耐食性を示すが、約60℃付近から急激に腐食速度が進行する。

また多量の空気を含む温水(約60℃以上)で、炭酸塩、硝酸塩を含む水質の場合は、亜鉛メッキの素地鉄が孔食を起こす場合がある。

バイオガスプラントでは、発電機の廃熱を利用して温水供給を行うシステムとなることから、温水温度は60℃以上になるため、管種の選定に留意が必要である。

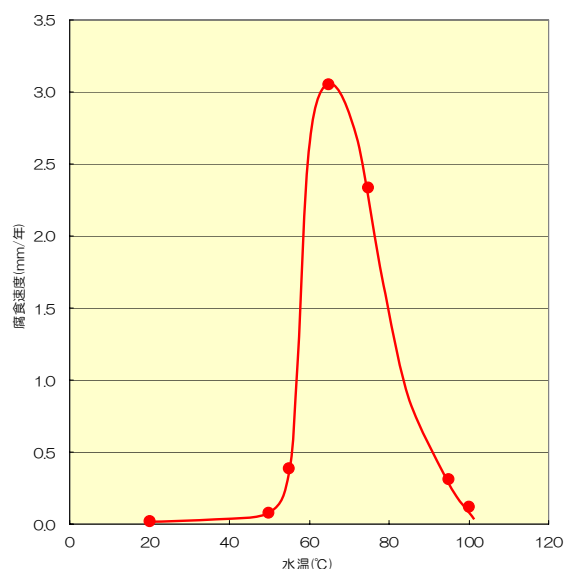


図4-9-1 温度と亜鉛の腐食速度<sup>29)</sup>

## ii. 温水配管の腐食事例

写真4-9-1、2は、温水タンクからポンプにより各設備(発電機、メタン発酵槽等)に温水を循環させる温水供給配管で発生した孔食状況である。

この事例では、流量計の設置の都合上、口径を小さくしたことで管内流速が5m/s以上となる区間で孔食の進行による漏水が発生した。孔食表面を詳細に調査したものの流速と孔食の因果関係やその他の原因は明確にはならなかったが、過大な流速区間をつくらないような注意が必要であると考えられる。

温水配管の腐食を防止する方法には、モルタルライニングや合成樹脂塗装を施した管種を選定するか、定期的な点検による早期補修や部分交換する方法が考えられる。管種を選定に当たっては、経済性だけでなく維持管理も考慮して決定することが重要である。



写真4-9-1 温水配管の腐食状況



写真4-9-2 配管内部の孔食状況  
(SGP32A)



## 4-9-2. ポンプ設備設計

ポンプ設備は、吐出量、全揚程、配管の各種損失水頭等を考慮して揚水が安全で確実に行えるよう適切に設計する。特にふん尿スラリーは粘性が高く夾雑物が含まれており、高濃度になると清水に比較しポンプ揚程が大きく減少する。このためポンプの特徴を十分把握して設計することが重要である。



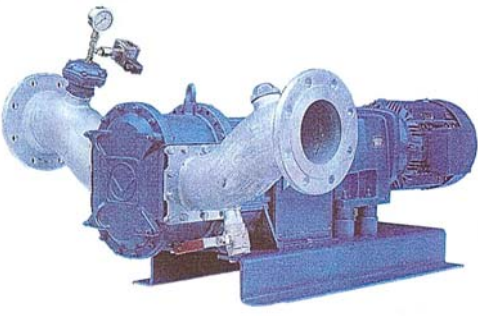
### (1) ふん尿搬送用ポンプ

嫌気性発酵処理施設では、受入槽、発酵槽、消化液貯留槽等、各槽間を搬送するためふん尿搬送用ポンプが採用される。

ふん尿搬送用ポンプの特徴を表4-9-2に示す。

ポンプの機種は、ポンプの特徴を十分把握して選定する必要がある。

表4-9-2 ふん尿搬送用ポンプ

形式	特 徴	例
渦巻きポンプ	<p>【性能】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・吐出量：5～300m<sup>3</sup>/h</li> <li>・出力：5～22kW</li> <li>・全揚程：5～18m</li> </ul> <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・濃度の高い原料に対応可能であるが、全揚程が減少するため注意が必要。</li> <li>・汲上げ口のCutting機能により原料スラリーに含まれた敷料等を裁断する事が可能。</li> <li>・汲上げ機能に加え、攪拌ノズルにより槽内の攪拌が可能。</li> <li>・全揚程が低い。</li> </ul>	
モノポンプ	<p>【性能】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・吐出量：1～400m<sup>3</sup>/h</li> <li>・出力：5～40kW</li> <li>・全揚程：5～160m</li> </ul> <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・濃度の高い原料に対応可能。</li> <li>・原料の濃度に対して、全揚程の低下が小さく安定した性能を有する。</li> <li>・全揚程が高いため、高低差の大きい箇所に適応可能。</li> </ul>	
ピストンポンプ	<p>【性能】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・吐出量：5～400m<sup>3</sup>/h</li> <li>・出力：5～75kW</li> <li>・全揚程：5～120m</li> </ul> <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・濃度の高い原料に対応可能</li> <li>・原料スラリーに含まれる直径30mm以下の夾雑物には対応可能</li> <li>・ロータリーカッター機能を追加することにより、原料中の夾雑物を分離することが可能。</li> <li>・全揚程が高いため、高低差の大きい箇所に適応可能。</li> </ul>	

## (2) 全揚程の決定

### 1) 全揚程の決定

全揚程は、実揚程に各種損失水頭を加えて決定する。

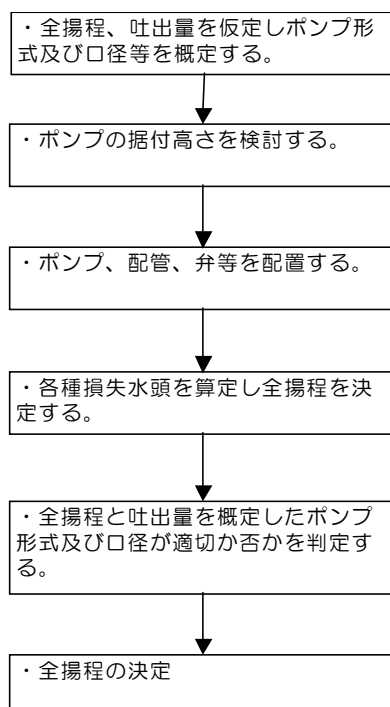


図4-9-2 全揚程の決定手順

全揚程は一般に、図4-9-2の手順を繰り返し検討して決定する。

### 2) 各種損失水頭

各種損失水頭は、ポンプ形式と口径、吸込・吐出管及び弁の配置等を十分検討して算出する。各種損失水頭は摩擦、流入、流出、急拡、漸拡、急縮、漸縮、湾曲、屈折、分流、合流、弁等の損失水頭から求められる。

なお、本項は「土地改良事業計画設計基準(ポンプ場)<sup>30)</sup>」を参考に基本事項を記述したものであり、詳細は同基準を参照されたい。

#### i. 清水の摩擦損失水頭

##### a. ダルシー・ワイズバッハ(Darcy・Weisbach)公式

この公式は、比較的管路の短い場合に広く用いられており、ポンプ場内の配管等の摩擦損失水頭を算出する際に利用する。

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$h_f$  : 管路の摩擦損失水頭(m)

λ：摩擦損失係数

一般の鑄鉄管  $\lambda = \{0.02 + 1/(2000 \cdot D)\} \cdot 1.5$

一般の鉄管  $\lambda = \{0.0144 + 9.5/(1000 \cdot \sqrt{V})\} \cdot 1.5$

1.5は腐食を考慮した係数

L：吸込管、吐出管系中の管路の長さ(m)

D：管路Lに対応する管径(m)

V：管内流速(m/s)

g：重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

b. ハーゼン・ウィリアムス(Hazen・Williams)公式

この公式は、比較的管路の長い場合に広く用いられており、ポンプ場外のパイプライン等の摩擦損失水頭を算出する際に利用する。

$$h_f = 10.666 \cdot \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \cdot L$$

$h_f$ ：管路の摩擦損失水頭(m)

Q：流量(m<sup>3</sup>/s)

D：管径(m)

L：管路長(m)

C：流速係数(表4-9-3による)

表4-9-3 流速係数Cの値

管種(内面の状態)		流速係数(C)		
		最大値	最小値	標準値
鑄鉄鋼	塗装なし	150	80	100
鋼管	塗装なし	150	90	100
コールドラール塗装管	鑄鉄	145	80	100
タールエポキシ塗装管	鋼 注1	—	—	130
	鋼φ800mm以上			
	φ600~700mm			
	φ350~500mm			
φ300mm以下	—	—	100	
モルタルライニング管	鋼、鑄鉄	150	120	130
遠心力鉄筋コンクリート管		140	120	130
プレストレストコンクリート管		140	120	130
硬質塩化ビニール管	注2	160	140	150
硬質ポリエチレン管	注2	170	130	150
強化プラスチック複合管	注2	160	—	150

注1 塗装方法は、JWWA-115-1974に準拠するものとし、塗装厚は0.5mm以上が望ましい。また呼び径800mm未満のタールエポキシ塗装鋼管については、現場溶接部の内面塗装を行わない場合には本表の値を適用する。ただし、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合、C=130を適用することができる。

注2 呼び径150mm以下の管路では、C=140を標準とする。

ii. ふん尿の摩擦損失水頭

前項の摩擦損失係数や流速係数は、清水を対象としたものである。しかし、嫌気性発酵施設では、清水だけでなくふん尿スラリーも管路で輸送する。既存の文献<sup>31,32)</sup>によると、原料スラリーや消化液のように粘性が高く夾雑物が含まれている場合の摩擦損失係数は、TS濃度や液温条件のほか流速によっても異なることが報告されている。

固液分離した分離液分に関する摩擦損失水頭の実験では、内径0.125mの管において、流速1.0m/sで輸送した場合の損失水頭は図4-9-3に示すとおり、TSが4~5%の範囲であれば損失水頭は比較的小さいが、この範囲を超えるとTSの増大に対する損失水頭の増大が顕著になっている。

嫌気性発酵処理した消化液に関する摩擦損失水頭の実験では、摩擦損失水頭は発酵経過10日目以降で著しく搬送効率が高まることが明らかとなった。

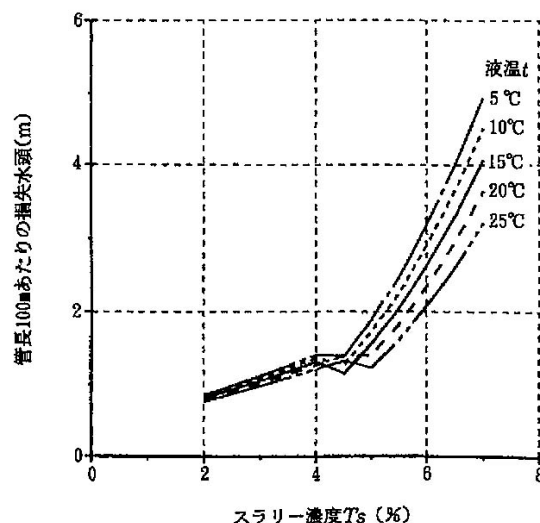


図4-9-3 スラリー濃度と損失水頭<sup>27)</sup>

表4-9-4 消化液の経過日数における摩擦損失係数、損失水頭<sup>32)</sup>

経過日数	流体粘度指数 $n_o$	構造粘度指数 $\eta$	レイノルズ数 $Re$	流れの状態*	粘度試験による摩擦損失係数 $f_L$	摩擦損失水頭 (m)**
0日目	2.375	0.321	425	層流	0.151	30.1
5日目	1.569	0.414	457	層流	0.140	28.0
10日目	0.997	0.381	811	層流	0.079	15.8
15日目	0.735	0.412	981	層流	0.065	13.0
20日目	0.727	0.410	1000	層流	0.064	12.8
25日目	0.709	0.419	992	層流	0.065	12.9
30日目	0.603	0.456	1020	層流	0.063	12.5

\* レイノルズ数  $Re$  が2000未満のときを層流、2000以上のときを乱流と判断。

\*\* 配管径:0.125m、搬送距離:直線1000m、平均速度:0.7m/s、1日の搬送量:10m<sup>3</sup>と仮定。

ここでは、過去に実施した乳牛ふん尿の搬送特性試験結果等をもとに作成した摩擦損失水頭早見図を紹介する<sup>33)</sup>。Ts、温度、流量（流速）、管径が同じであれば、分離液分（未発酵）と消化液の摩擦損失水頭は同程度と見なせ、図4-9-4~図4-9-9から読みとれる。

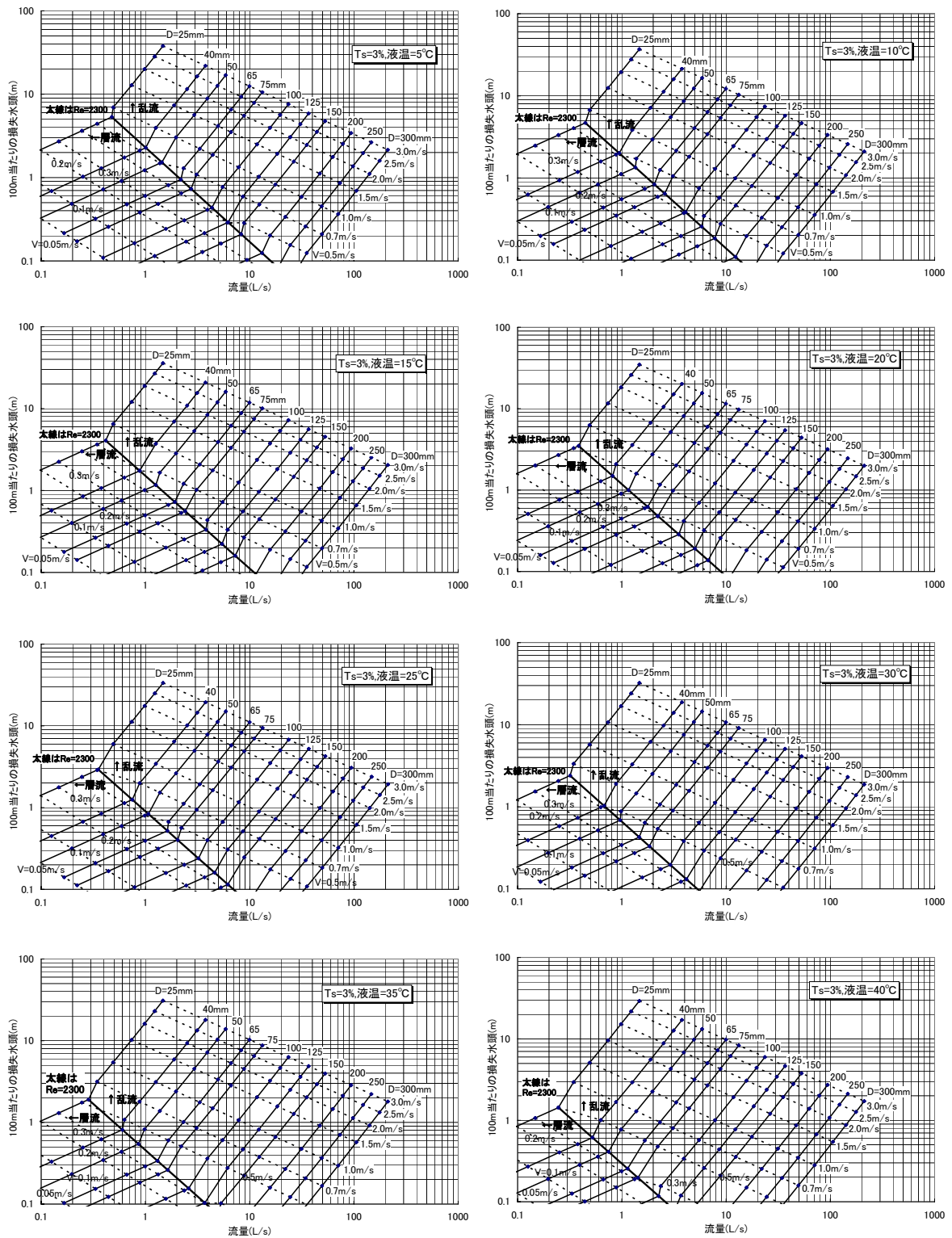


図4-9-4 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図( $T_s=3\%$ 、液温5~40°C、Vは流速)

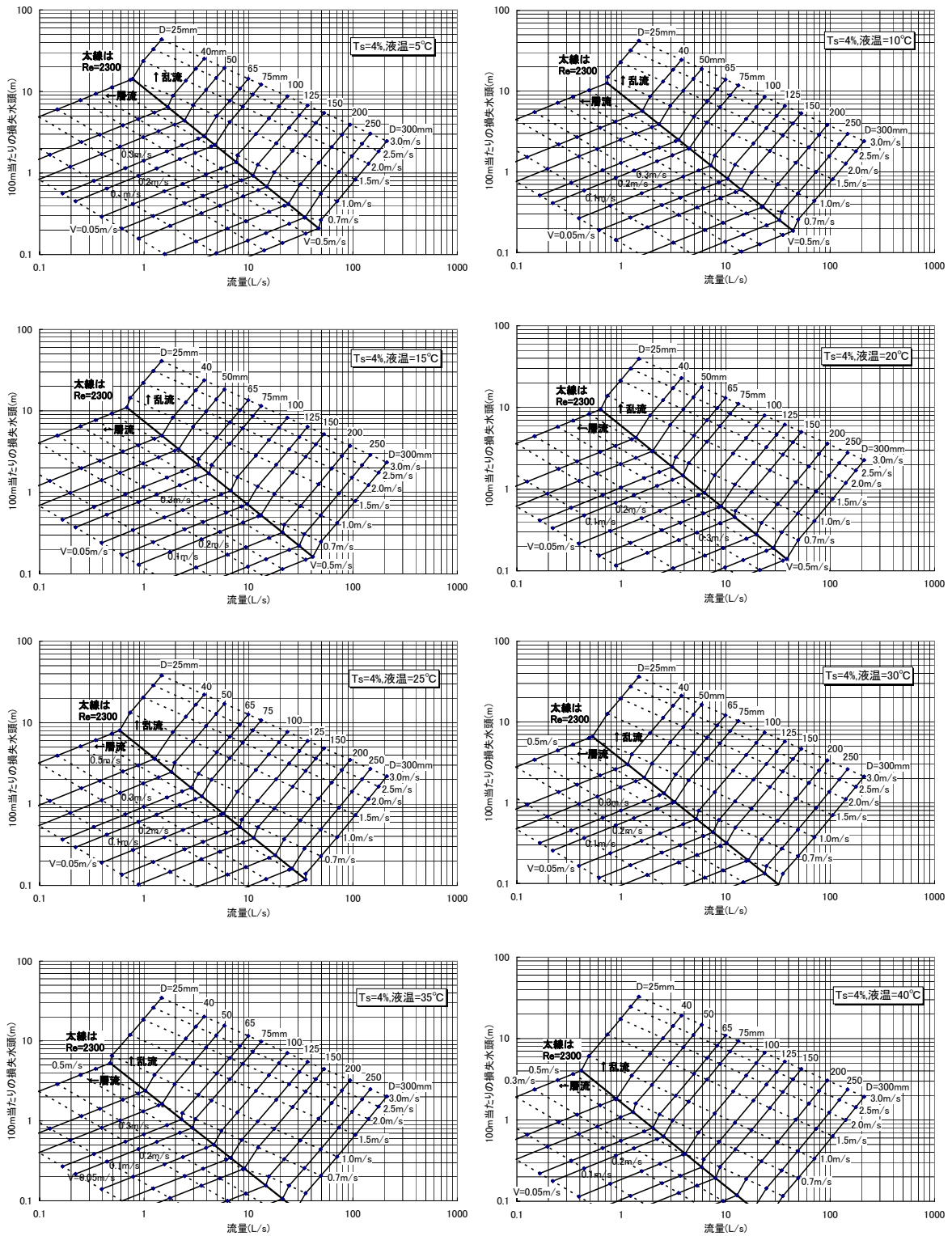


図4-9-5 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図(Ts=4%、液温5~40°C、Vは流速)

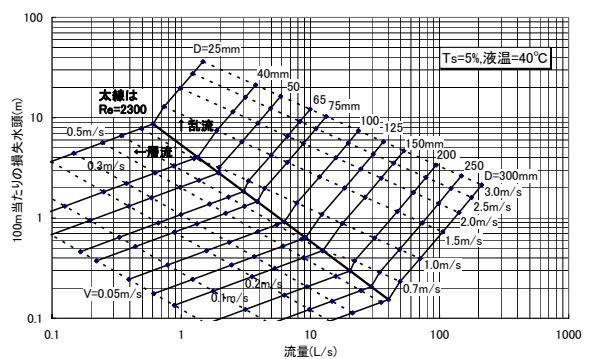
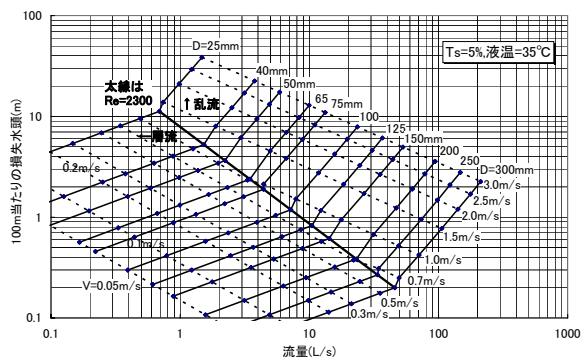
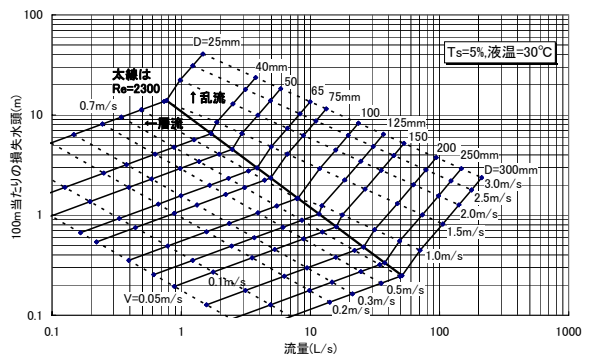
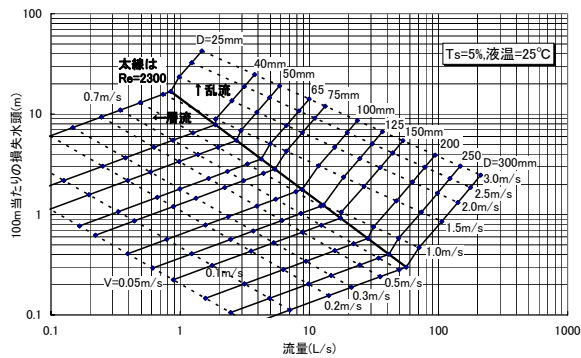
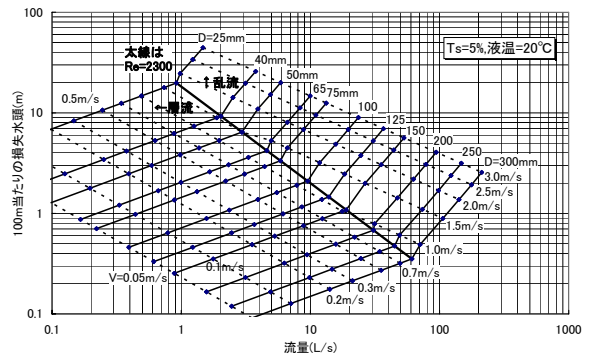
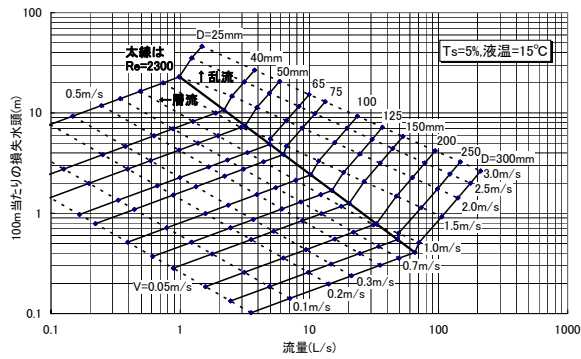
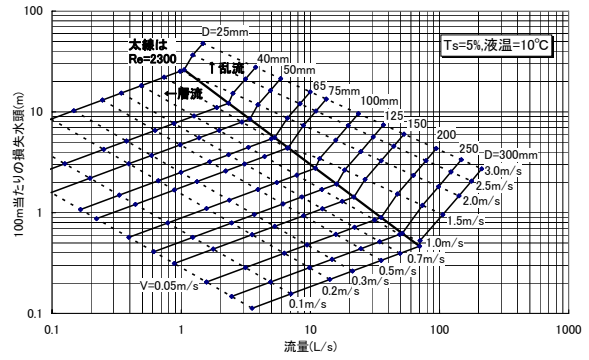
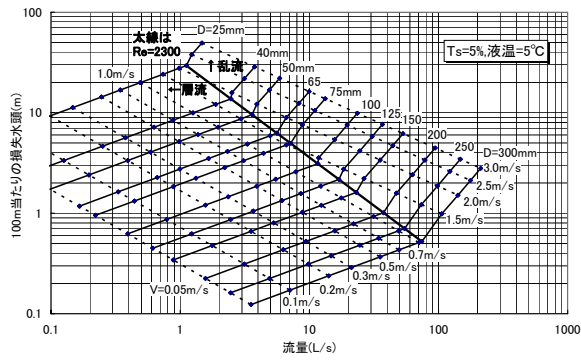


図4-9-6 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図(Ts=5%、液温5~40°C、Vは流速)

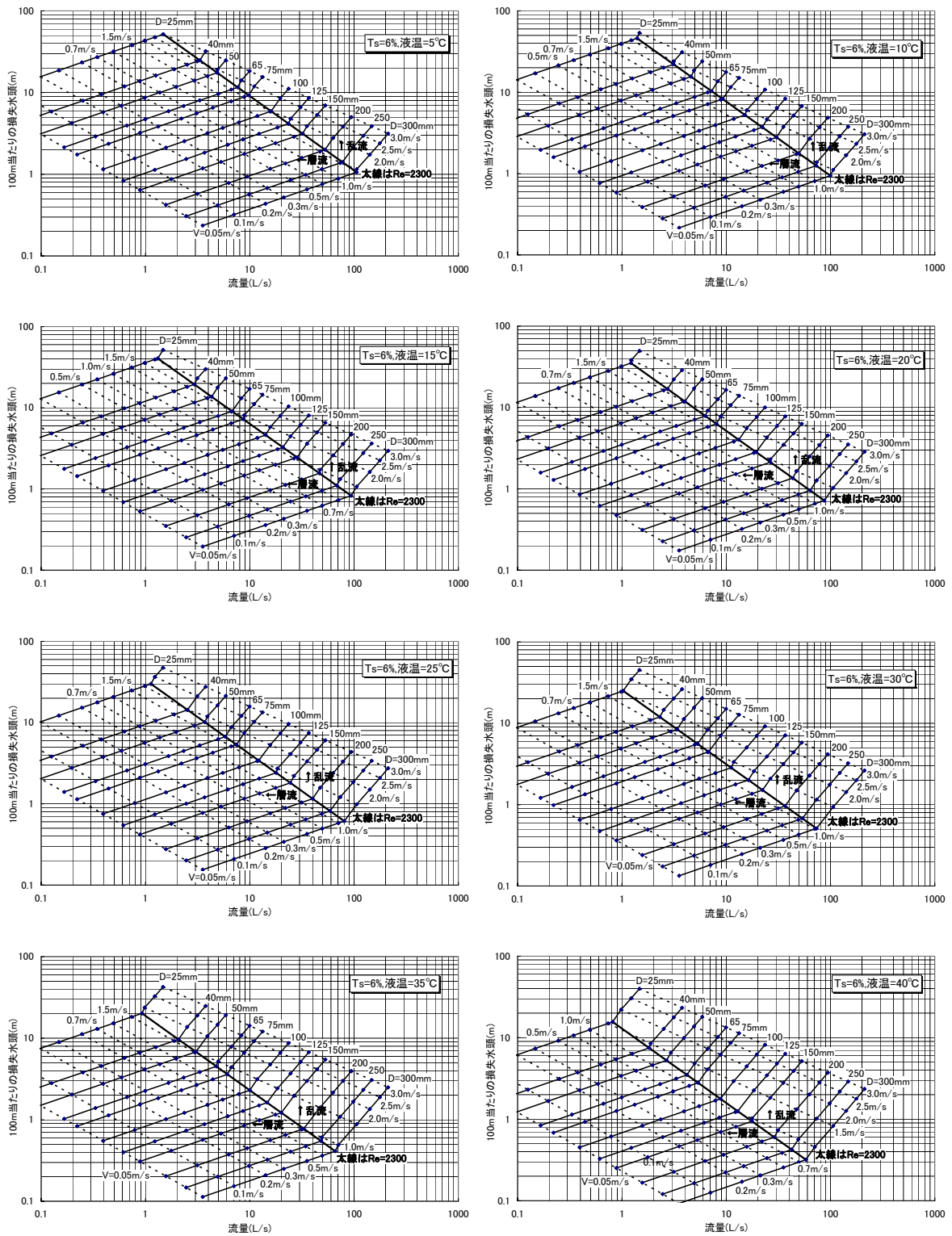


図4-9-7 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図(Ts=6%、液温5~40°C、Vは流速)



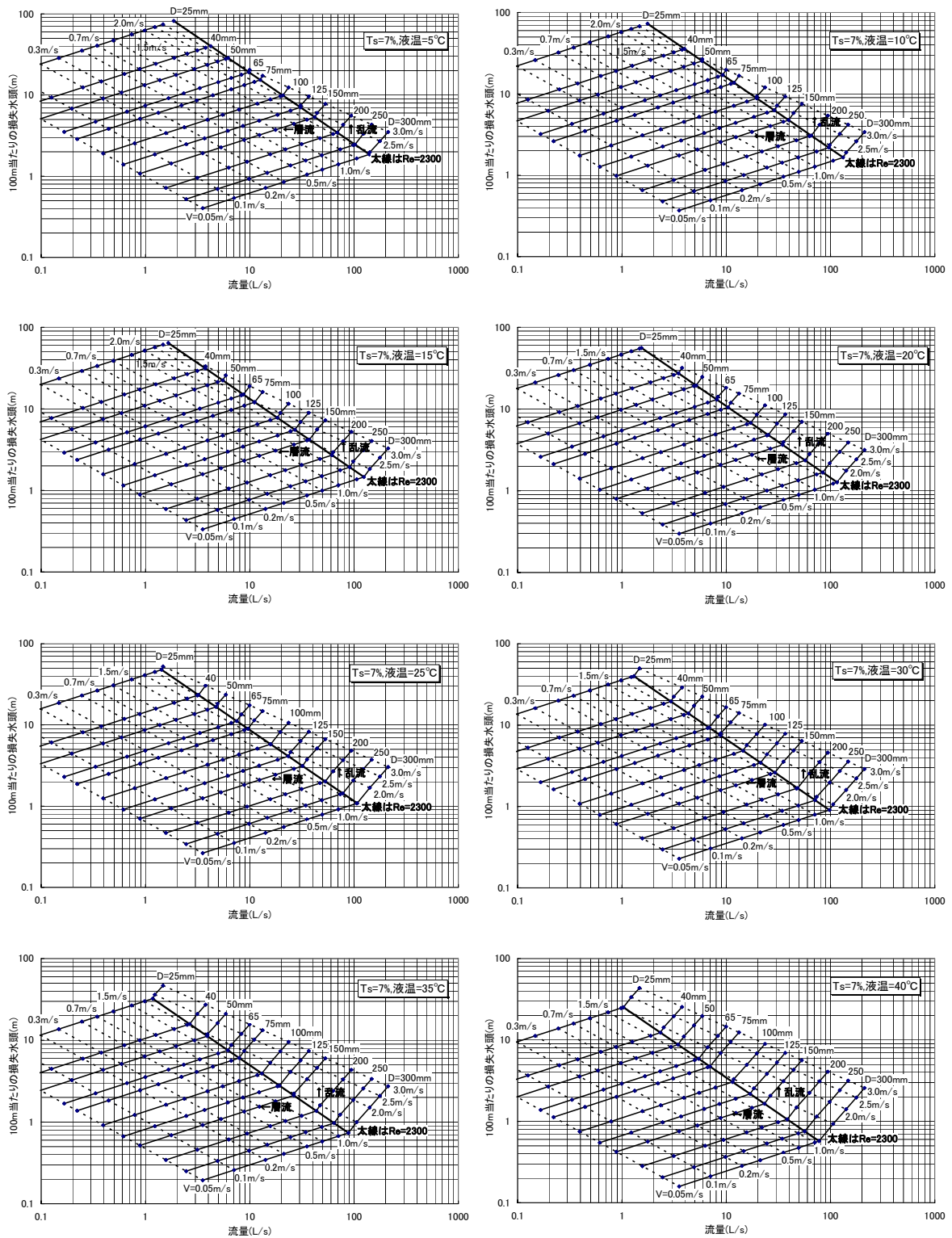


図4-9-8 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図( $T_s=7\%$ 、液温 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、Vは流速)

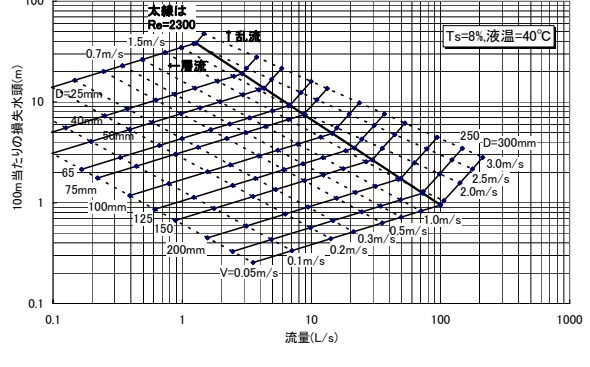
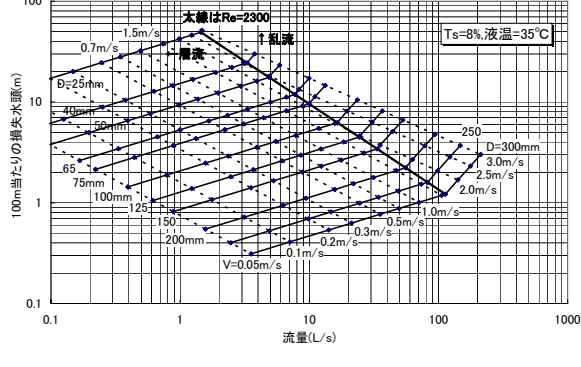
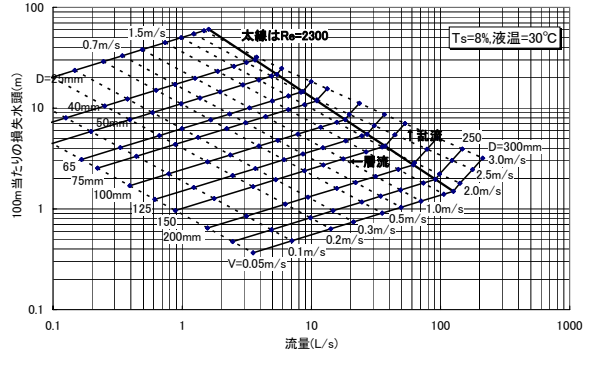
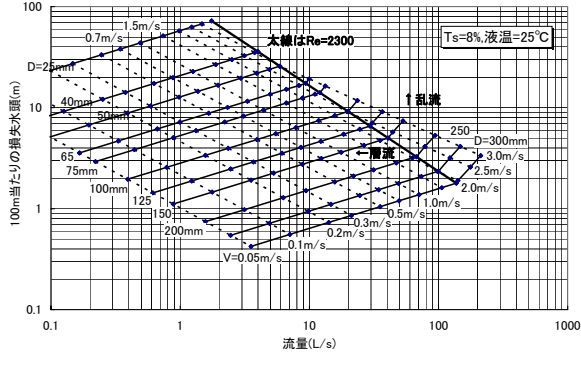
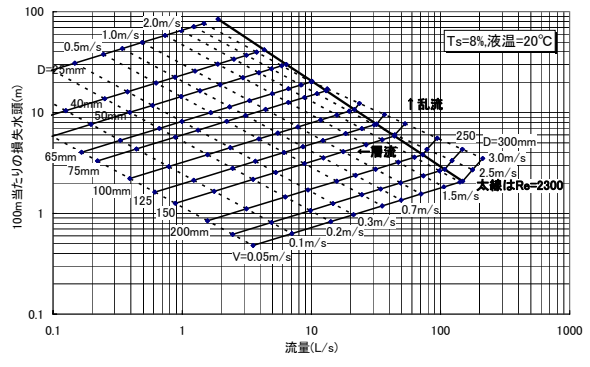
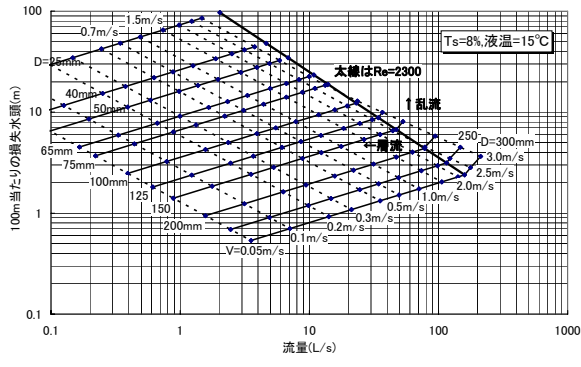
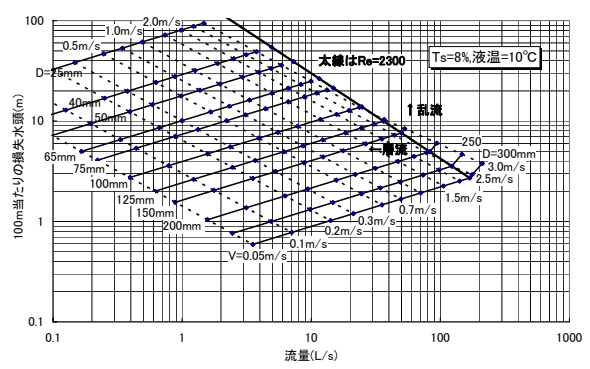
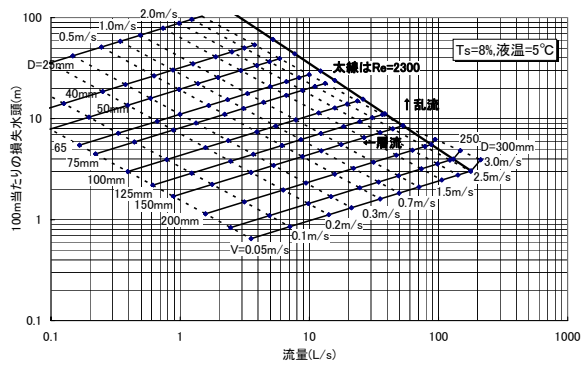


図4-9-9 乳牛ふん尿スラリーの摩擦損失水頭早見図(Ts=8%、液温5~40°C、Vは流速)

### (3) 殺菌加熱循環ポンプのトラブル事例

別海資源循環試験施設では、スラリー移送用に設置されている4台のモノポンプのうち、殺菌槽と殺菌用熱交換器のスラリー循環を担っているモノポンプの液漏れが発生した。液漏れを生じたポンプは、他のポンプと比べて高温の液体を扱う稼働環境にあった。

高温発酵の場合はもちろんのこと、中温発酵を基本としたプラントであっても、共同利用型で殺菌工程を取り込んでいる場合は、局部的とはいえ、高温にさらされ続ける部位がある。その部位の耐熱性に留意した設計及び機種選定が必要である。



写真4-9-3 モーノポンプの液漏れの例

#### 4-10. 基礎の検討

嫌気性発酵施設の基礎は、上部構造の形状、規模、構造、剛性などを考慮して、これを安全に支持し、有害な沈下を生じないような設計とする。また、経済性にも配慮した設計とする。

##### 【解説】

##### (1) 基礎の検討

バイオガスプラントにおいては、各種設備・機器の多くは地上設置となることが多い。また、攪拌設備や各種モーター等の回転機器が多い施設であることも特徴である。このため不等沈下がなく、長期・短期許容支持力が得られる良好な基礎の選定を行うことが重要である。基礎や基礎形式には一般に直接基礎、杭基礎等が考えられるが、安全かつ経済的である適切な方法を選択することが必要である。

詳細については、土地改良事業計画設計基準 設計「ポンプ場」<sup>30)</sup>、同「水路工」技術書<sup>34)</sup>などを参照に検討を行う。

##### (2) アンカー基礎の検討

バイオガスプラントでは、発酵槽、ガスホルダー、消化液貯留槽及び各種機器類は基礎コンクリートにアンカー止めを行う構造となる場合のあるものが多い。

これらの設備は、構造上地上階への設置となる場合が多く、アンカーの検討にあたっては、局部震度法による地震力を採用するととする。

詳細については「建設設備耐震設計・施工指針<sup>35)</sup>」などを参照に検討を行う。

## 第5章 施工

施工は、設計の基本的な方針に従い、その設計内容を満足するものを経済的かつ安全に建設することを基本とする。このため、現場条件を十分に考慮した施工計画をたてるとともに、工事の進捗状況の把握等、適切な施工管理を行う必要がある。また施工に当たっては適用を受ける関係法令等（9章参照）の遵守に努めなければならない。

### 5-1. 施工計画

施工計画は土木・建築工事、機械設備製作・据付工事、電気工事、その他工事等の各工事の工程調整を十分検討するとともに、工事現場の施工条件を考慮した施工計画を策定し、安全でかつ経済的なものとする。

#### 【解説】

##### (1) 工程計画

工事の着手に先立ち、実施工程計画を立て、工程表に整理する。工程計画は工種ごとに、週間又は月間工程表を作成し、ネットワークによる詳細な検討を可能な物とすることが重要である。

##### (2) 施工計画書

工事の着手に先立ち、工事の総合的な計画をまとめた総合施工計画書を作成する。施工計画書は、工事に必要な手順や工法についてまとめるもので、表 5-1-1に示すような事項について記載を行う（ただし、工事の規模や内容等によって適宜追加又は省略を行う）。

表 5-1-1 施工計画書の記載事項

1.工事概要	8.施工管理計画
2.計画工程表	9.緊急時の体制及び対応
3.現場組織票	10.交通管理
4.安全管理	11.環境対策
5.指定機械	12.現場作業環境の整備
6.主要資材	13.再生資源の利用の促進と建設副産物の適正処理方法
7.施工方法 (主要機械、仮設計画、工事用地等を含む)	14.その他

## 5-2. 施工管理

施工管理は、定められた設計仕様により工事を安全に施工し、所定の工期内で所定の出来形及び品質を確保するよう、適切な管理手法のもとに実施する。

### 【解説】

#### (1) 施工管理

施設建設にあっては、当初の施工計画及び施工中に定めた適切な施工管理及び施工管理体制のもとで、所定の工期内に確実に、経済的かつ安全に施工する必要がある。工程管理、品質管理、出来形管理及びその他について管理を行う。

#### (2) 安全衛生管理

工事は安全な方法で施工し、且つ衛生面への配慮が必要である。関係法規を遵守するとともに、各種指針等を参考に、適切な安全衛生管理のもとで行う。

#### (3) 施工に関する関係法規

嫌気性発酵システムの内容は多種多様であり、様々な法規を遵守する必要がある。関係する主な法規等については9章を参考にする。

## 5-3. 仮設工事

仮設工事は、施工計画に従って本工事が所定の工期内で所定の出来形、及び品質を確保し、安全に施工できるよう、現場の施工条件を十分検討して実施する必要がある。

### 【解説】

仮設工事の決定にあたっては、施工計画に従い工事用地、工事用道路、電気・電話設備、用水の供給、排水・濁水処理を十分に検討する必要がある。施設建設位置や施工時期によっては、これら仮設費の高騰が大きなマイナス要因となる。気温の低下、降雪、土壌凍結といった積雪寒冷地の特徴を十分考慮し、経済性、安全性を確保した仮設工事を実施する。

## 5-4. 本工事

### 5-4-1. 掘削

掘削は、施工計画に従い掘削量を考慮して適切な掘削方法を決めるとともに、基礎地盤の強度確保のために過掘には十分注意する必要がある。また、積雪寒冷地では、工事時期と掘削方法を十分検討することが重要である。

#### 【解説】

##### (1) 掘削のための事前調査

工事のための事前調査は、計画・設計に当たって必ず行われるが、掘削工事等の施工に関する調査はややもすると二次的に扱われ、計画・設計のための調査をもって施工に関する調査とみなしている場合が多い。

しかし、本来計画・設計のための調査と施工のための調査とは必ずしも同一ではない。施工のための調査では、地表近くの地層の力学的性質や、地下水の状態などをより重視する必要がある。掘削のための事前調査のうち重要なものは環境調査と地盤調査であり、その内容を表 5-4-1 にまとめる。

表 5-4-1 掘削のための事前調査

調査	調査内容
環境調査	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 工事用地の広さ</li><li>・ 周囲の構造物の状況</li><li>・ 工事騒音の許容される程度</li><li>・ その他</li></ul>
地盤調査	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 掘削土砂の性質</li><li>・ 地下水位</li><li>・ 掘削場所周辺の地盤の性質(掘削による周辺地盤の沈下の程度等)</li><li>・ その他</li></ul>

##### (2) 掘削方法

工事用地の確保が容易な場合は、安全な法勾配を有するオープンカット工法が最も安全でかつ経済的であるが、周囲の地盤状態や、周辺への悪影響がある場合等は鋼矢板による山止め工等によらなければならない。掘削はブルドーザ、ショベル、バックホウ等を用いて行うのが一般的である。いずれの方法によっても過掘のないよう厳密な施工管理を行って基礎地盤の強度の確保に努めなければならない。

また積雪寒冷地にあっては、凍結期の土工事は融解後の不等沈下を招きやすく、可能な限り避ける事が望ましい。やむを得ず行う場合は、掘削及び埋戻し土の凍結を避けるよう適切な養生を行うなどの対策をとる必要がある。

### 5-4-2. 基礎

基礎は、上部構造物と一体となり、荷重を安全に支持し、滑動、沈下、転倒に対して安全性が確保できるよう、設計条件及び施工条件等を検討して適切な方法で施工する必要がある。

#### 【解説】

基礎地盤まで掘削した場合、調査・設計段階で推定した基礎地盤の地耐力、沈下量等と現場のそれらに相違がないかを確認し、異なっている場合は設計の変更等を行い、上部構造を安全に支持できる工法等を検討しなければならない。

バイオガスプラントにおける基礎工事の施工場所は、施設の規模や各設備の方式によって異なるが、一般には発酵槽、殺菌槽、消化液貯留槽、ガス貯留槽、受入設備やエネルギー利用設備及びその上屋などを含む建家全般、その他付帯施設の基礎部が挙げられる。受入槽を除けば地表下1～2m程度の浅い位置で広い基礎面の施工となるものが多く、部分的な掘削が発生しやすい。掘削で過掘があった場合などはコンクリートによる埋戻しを考えるなど、不等沈下防止に留意する必要がある。また、付帯設備等の外部独立の小構造物基礎は、凍結融解による不等沈下が特に発生しやすいので、凍結期の施工は避ける事が望ましい。

### 5-4-3. 建家

建家は、建築基準法などの関係法令を遵守し、設計図書等に示される位置及び形状のとおり正確に建築する。

#### 【解説】

建家工事は、建築基準法や設計図書、共通仕様書などに基づいて施工を行うが、他工事の工程との関係から以下の事項等に留意する必要がある。

建家の基礎部に受入槽や配管等が設置され、あらかじめそれらを埋設しなければ手戻りになる場合は、先行して工事を行った後、十分な保護を行って工事に支障のないように配慮する。

また、バイオガスプラントの各機械設備機器は、工場で製作された完成品が現場に運び込まれ設置される物も多い。このため基礎及びアンカーは先行して工事を行う必要がある。芯出し等の関係者間打ち合わせを十分に行うことで手戻りの防止に努める必要がある。



#### 5-4-4. 機械設備機器等の据付

ポンプ設備やその他各付帯設備の据付は、設計図書に示される位置及び形状のとおり正確に据え付ける。

##### 【解説】

各設備機器は設計図書や共通仕様書に基づいて工場で作成し、各機器現場へ輸送し据付けることになる。機械室内での移動や設置の方法には、天井からのクレーン吊り下げやコロ引きなどの方法が考えられる。移動や据付時に各機器に変形、損傷を与えないように慎重に配慮する。加えて据付けにあたっては、据付仮設、現場組み立て、溶接、塗装等は、設計図書に合致するよう正確に行い、据付完了後には各機器の性能を十分発揮できるようにしなければならない。

#### 5-4-5. コンクリートの施工

コンクリートの施工にあたっては、各施工箇所の機能に応じて必要な強度、水密性及び耐久性を有し、かつ経済的なコンクリート構造物が得られるように施工する。

##### 【解説】

積雪寒冷地では、冬期間のコンクリート工事には防寒囲いと暖房が必要である。発酵槽、消化液貯留槽、機械室等の基礎は比較的広い面積の防寒養生が必要となり、配管サポート基礎等のコンクリート工事では、点在した小構造物の防寒養生が必要となる。いずれにしても、コンクリート工事費の高騰を招くものであり、冬期間のコンクリート工事は可能な限り避けることが望ましい。やむを得ず冬季打設工事となる場合は、共通仕様書に基づいた適切な施工を行う。

## 第6章 維持管理

### 6-1. 維持管理

嫌気性発酵システムは、各設備の機能を正常に維持して、安全かつ経済的に運転しなければならない。そのため諸設備の性能特性、運転条件等を検討して適切な運転管理計画及び保守管理計画を立て、適正に管理する必要がある。

#### 【解説】

嫌気性発酵システムは機械設備が多いことから、設計にあたってはシステム全体の運転管理及び保守管理の概要をあらかじめ把握し、運転操作の容易性及び維持管理の経済性等の管理面から必要とされるシステム計画の条件に適合した設備設計を行う必要がある。

一方嫌気性発酵システムの施設能力を最大限に発揮させ、最も効率的にふん尿の処理、バイオガスの回収を行うためには、各設備の機能を常に良好な状態に維持しておく必要がある。そのために諸設備の性能特性、運転条件等に応じて管理規定・操作規定を作成し、それに基づいた適切な運転管理を行うことが重要である。

#### (1) 管理規定

管理運営体制を明確にするとともに、原料ふん尿の搬入から消化液の搬出及びエネルギーの利用までの一連のシステムが計画された機能を十分発揮できるよう、次のような規程を作成し規則的運用を行う。

##### i. 管理目的及び対象施設

嫌気性発酵システムの管理の目的（必要性）・目標等を整理し、目標を達成するために管理すべき施設と管理内容を決定する。

##### ii. 管理者及び管理体制

集中型の嫌気性発酵システムにあっては、システム全体の財務・総務を含めた管理組織を中心に、以下のような管理者を組織し、円滑な運転管理に努める。管理者の不在時や災害時緊急対応等も含めた検討により、適切な管理体制、管理組織の規模を決定する必要がある。

1. 管理運営委員会等：システム全体の管理運営計画の統括を行う。
2. 原料管理者：ふん尿の性状や量の管理責任を担う。
3. 搬入・搬出管理者：搬入・搬出の責任を担う。外部組織への委託も検討する。
4. プラント運転管理者：プラント運転保守及び消化液品質管理などを行う。
5. 消化液散布管理：基本的には農家が行うが、外部組織への委託も考えられる。

### iii. 平常時の管理

原料搬入量・性状管理、発酵槽・殺菌槽の温度管理、ポンプ機械類運転管理、脱硫管理、エネルギー利用管理、消化液搬出管理、運転記録管理、維持保全管理等

### iv. 異常時の管理（地震時、異常気象時の管理）

1. 地震時：一定震度の地震を受けた場合には、プラントの運転を一時停止し、安全を確認する等の対応などを規定する。
2. 異常気象時：暴風雨や暴風雪などの悪天候時における、交通遮断や商用電力停電などに対する体制と対応などを規定する。

### v. 点検・整備

日常点検、定期点検の対象と点検整備計画

## (2) 操作規程

主に処理施設の機器類の運転制御に必要な情報を収集し、機器類を操作する方法について次に示すような事項について規程を作成する。

1. 対象施設及び操作目的
2. 制御目標及び運転操作方法
3. 操作員の配置
4. 平常時の操作（操作順序、操作方法）
5. 異常時の操作（緊急停止操作、点検操作、復旧操作、異常気象等の予測操作）
6. 点検整備

## 第7章 生成物の利用

### 7-1. 消化液の利用

消化液は圃場還元を基本とする。消化液の肥効特性をよく理解し、適切な量を効果的な時期に散布することが必要である。

#### 【解説】

##### (1) 消化液の施用

消化液は有機態、無機態の肥料成分を豊富に含んでいる。堆肥・スラリー・尿に関しては「北海道施肥ガイド<sup>22)</sup>」が策定されており、その施用方法も確立されている。資源循環プロジェクトにおいてスラリーの施用方法に準拠して消化液を牧草に施用した場合の牧草収量結果を表 7-1-1に示す。消化液もスラリーの施肥方法と同様に施用を行うことで有効な圃場還元をすることができる。

表 7-1-1 スラリーの施用法に準拠して消化液を施用した場合の牧草収量<sup>6)</sup>

試験区	処理区	生草収量(kg/10a)		
		1番草	2番草	年間合計
別海	対照区	3,852	2,723	6,574
	消化液区1	4,688	2,453	7,140
	消化液区2	4,435	2,760	7,195
湧別	対照区	2,478	2,643	5,120
	消化液区	2,860	2,154	5,014

※ 消化液区は消化液+化成肥料 対照区は化学肥料のみ

##### (2) 施用量(上限量)の算出

窒素とカリウムは重要な肥料成分であるが、過剰な供給は作物の品質に大きな影響を及ぼし、また環境に対する負荷にもなりえる。作物が必要とする肥料養分は、圃場に投入することのできる肥料養分の上限量と考えることができる。「北海道施肥ガイド<sup>22)</sup>」には作物、地域、土壌に対応した標準的な施用量が示されているので、これを参考に、以下の手順で消化液の施用量(上限量)を求める。

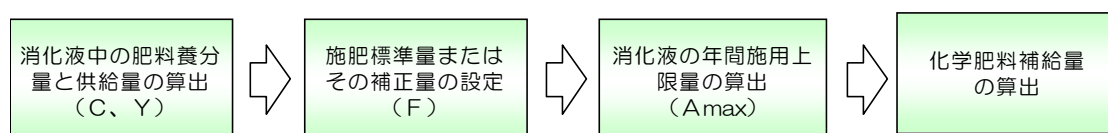


図 7-1-1 消化液の施用量(上限量)の算出手順フロー図

##### 1) 消化液中の肥料養分量と供給量の算出 (C、Y)

施用する消化液から作物に供給される年間の肥料養分量(kg/現物t)は、分析によって窒素、リン酸、カリウムそれぞれに把握する。3-8.(2) 消化液の肥料成分量推定 に

示したように、計画段階においては発酵原料の分析値を用いて算出を行っても良いが、施設完成後には実際に生成した消化液の分析値を用いてC及びYの算出を行う。算出方法は前記3-8.(2)を参照のこと。

2) 施肥標準量またはその補正量の設定（肥料養分の年間施用上限量、F）

「北海道施肥ガイド<sup>22)</sup>」に従い、対象とする圃場の窒素、リン酸、カリ養分の施用上限量である施用標準量またはその補正量F(kg/10a、年間)を設定する。

3) 消化液の年間施用上限量の算出(Amax)

窒素、リン酸、カリの各養分について、施用許容量A(現物t/10a)を $F \div Y$ から算出する。その後、窒素、リン酸、カリの各養分で算出したAのうち最も少ない値を、圃場に対する消化液施用量の年間上限量Amax(現物t/10a)とする。

4) 化学肥料補給量の算出

消化液だけの施用では、施肥標準量には不足する養分があるので、不足養分は化学肥料で補給する。なお、草地に施用する場合、番草別に供給される養分量については、施肥標準の施肥配分を参考にする。

$$\text{該当肥料養分の補給量(不足量)} = \text{施肥標準量等から求めた養分の上限量} - \text{消化液から供給される量}$$

(3) 消化液のその他成分について

個別型プラントで生産した消化液を自己保有圃場に還元する場合、肥料取締法の適用を受けない。しかし消化液を他者に販売ないし譲渡する場合は同法の規制を受ける。また集中型、共同型プラントで生産される消化液は参加農家の自己保有圃場に還元する場合であっても同法の規制を受ける。この場合、消化液中の肥料成分や重金属の含有量の表示が義務づけられ、圃場還元するための消化液の成分の把握と品質保持が求められている。表 7-1-2に肥料取締法で規制される成分を示す。重金属に関しては副資材として各種汚泥ないし水産加工残滓を用いた場合、表の上段の基準に適合しなければならない。また上記条件を満たさない消化液の場合は、豚ふんまたは鶏ふんを原料とする場合で亜鉛または銅が表の下段の値を超える場合のみ表示義務が生じる。詳しくは肥料取締法ならびに同施行令を参照のこと。

表 7-1-2 消化液を圃場還元する場合の各種成分の規制(mg/kg)<sup>5)</sup>

分類	亜鉛 Zn	銅 Cu	カドミウム Cd <sup>**</sup>	鉛 Pd	ヒ素 As <sup>**</sup>	総水銀 Hg <sup>**</sup>	総クロム Cr	ニッケル Ni
肥料取締法基準値 (汚泥発酵肥料等)	—	—	5.00	100.00	50.00	2.00	500.00	300.00
肥料取締法で表示義務が生じる基準値	300以上 <sup>a</sup>	900以上 <sup>ab</sup>	—	—	—	—	—	—

aは豚ふんを原料とする場合、bは鶏ふんを原料とする場合の参考値

※ 水産加工残滓を原料とする場合の基準

## 7-2. バイオガスエネルギーの地域利用

嫌気性発酵システムによって得られたエネルギーを地域で利用することで、酪農業の発展と循環型社会の形成に向けた取り組みがはかれる。

### 【解説】

嫌気性発酵システムによって得られたバイオガスは燃料エネルギーを電気や熱に変換してプラントの運転に活用する他に、地域に存在する他施設においても積極的に利用を図ることで、地域と一体となった酪農業の発展が可能となる。また農村地域におけるバイオマスの有効利用を促進させることができ、循環型社会の形成に向けた取り組みにもなり得る。

積雪寒冷地で草地型酪農を主体とする北海道では、各農家位置が広い間隔で分散している。このような状況の中で、バイオガスエネルギーを地域資源として公共的・公益的に有効活用するためには以下のような利用システムが考えられる。

### (1) バイオガスプラントの余剰エネルギーを利用する場合

バイオガスプラントにおいてバイオガスのコージェネレーションやボイラー燃焼を行ってエネルギーを発生させ、余剰となった電気や熱をその他の施設で利用する場合がある(図7-2-1)。

このうち余剰熱は温水の状態では保持されていることが多い。バイオガスプラントに隣接した施設等では、温水を引き込むことでこの熱を利用することができる。しかし、遠隔地まで輸送して利用することはエネルギー効率上ロスが大きく困難であることが多い。

また、余剰の電気に関しては、送電線等の整備することによって物理的には遠隔地での利用も可能となる。しかしバイオガスプラントでは発電量が一定でない等の問題がある他、電気事業法による各種の規制がある。別海施設では余剰電力は電力会社に売電を行う方法をとっていた。

嫌気性発酵システムでは、原料ふん尿搬入と消化液搬出の関係からバイオガスプラントを生産区域に設置するケースが多く、往々にしてエネルギー需要の大きな集落から離れている。図7-2-1のようなシステムを想定する場合、プラントの位置を熱需要の多い地域に計画することや、プラント近郊に熱需要のある産業を創出・誘致することなど、熱エネルギーの有効活用の対策の検討が必要である。

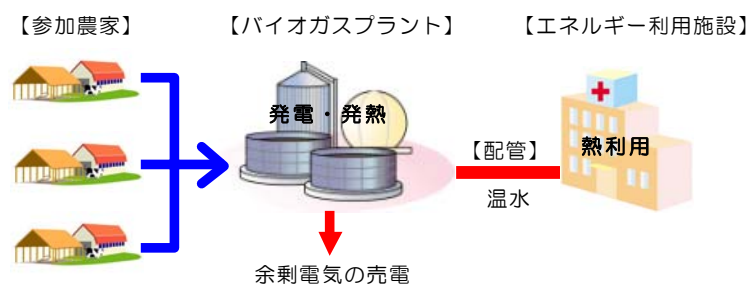


図 7-2-1 バイオガスプラントの余剰エネルギーを利用する場合の例

(2) 余剰のバイオガスを輸送して地域で利用する場合

プラントのバイオガスを、施設内で必要な電力・熱量を得るためだけに利用し、余ったバイオガスはその他の施設に輸送し、そこでコージェネレーション等を行ってエネルギー利用する場合がある（図7-2-2）。

ガスの輸送の方法としては、ガス専用の配管を設置する方法や、ガスをポンペに詰めて車輛によって輸送する方法などが考えられる。

この方法では、バイオガスプラントが生産区域に位置している場合でも、熱需要の多い集落等でバイオガスエネルギーを余さず利用できる。

しかしバイオガスの輸送システムの管理が新たに必要となり、配管や輸送車両の整備に掛かる費用、輸送に必要なコスト等に課題があり、またガス事業法が適用となる場合があるのでこれを遵守する必要がある。

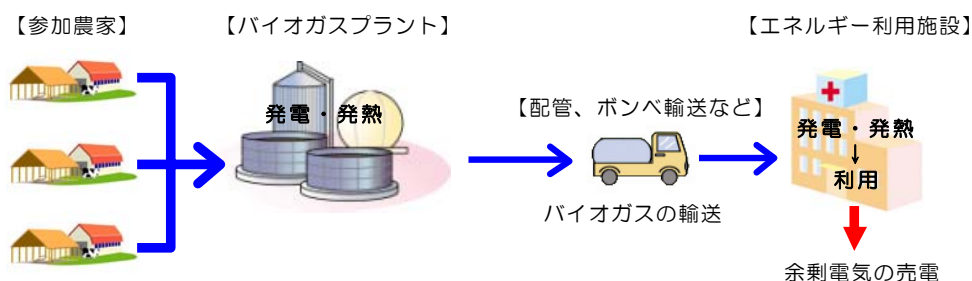


図 7-2-2 バイオガスを輸送して地域で利用する方法

## 第8章 環境への貢献

嫌気性発酵システムでは、バイオガスの有効利用による地球温暖化ガスの削減など地域環境への貢献が可能である。

### 【解説】

#### (1) 環境への貢献

嫌気性発酵システムでは、処理施設が閉鎖系であるため、処理過程での臭気やアンモニアガスの揮散が防止される。また他の方法との最も特徴的な違いはバイオガスを回収できることである。

このシステムではこのバイオガスの燃焼エネルギーの利用(コージェネレーション及びボイラー利用)により、電気・熱エネルギーを創出し有効利用することで、新エネルギー創出を含めた環境への貢献に取り組むことが重要である。

環境への貢献は、現時点では必ずしもシステム運営のための収入とはならないが、将来その役割は増大すると予想される。

嫌気性発酵システム導入による環境貢献効果には、以下のものが考えられる。

#### 1) 温室効果ガス削減効果

##### a. バイオガスのエネルギー利用による効果

バイオガスの利用に伴い発生する二酸化炭素は、カーボンニュートラルの扱いを受ける。従ってバイオガス生産する電気・熱エネルギー利用にあっては、同じエネルギーを化石燃料から生み出す時に発生する量の二酸化炭素を削減する効果がある。

##### b. 閉鎖系処理による温室効果ガスの発生抑制

開放系での処理となる堆肥化や好気性発酵では、処理時にメタン(CH<sub>4</sub>)や亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)が大気中に放出される。二酸化炭素に比べメタンは23倍、亜酸化窒素は296倍の温室効果をもっている<sup>36)</sup>。嫌気性発酵では、閉鎖系での処理となることからこれらのガスを放出することがない。よって従来堆肥化や好気性発酵を行っていた者が嫌気性発酵を導入すると、これらのガスの発生を抑制することができる。

##### c. 消化液の化学肥料代替による効果

消化液を化学肥料の代替として利用することで、経済性の利点に加えて、消費エネルギーを減少させることができる。化学肥料の製造～施用までに必要とされるエネルギーを生み出す時に発生する量の二酸化炭素を削減する効果がある。



## 2) 農村環境改善効果

### a. 大気汚染の防止

完全閉鎖系での処理であるため、処理過程での臭気やアンモニアガスの揮散がなく、酸性雨などの環境負荷の発生防止に寄与する。

### b. 水質の保全

ふん尿は畜舎での発生時から圃場散布まで一貫した管理下にあり、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遵守することができる。

### c. 散布時の悪臭・汚物感の解消

悪臭の解消は、その効果の経済的評価はなされていないが、とりわけ市街地に近い区域において、すでに嫌気性発酵システム導入の大きな判断材料となっている。

### d. 畜舎周辺及びふん尿処理施設の景観改善

## (2) 温室効果ガス削減効果の算定方法

温室効果ガスの削減効果の算定方法として、環境会計手法の一つであるLCA(Life Cycle Assessment)が挙げられる。ふん尿の処理方法を、処理施設の建設から運営、解体までを含めた範囲で比較検討することで、より実用的な環境評価として位置付けられる。ここでは、LCAを用いた温室効果削減効果算定の基本的考え方を示す。資源循環プロジェクトではLCAを用いたバイオガスプラントシステムの評価を行っている<sup>5,37)</sup>ので、詳しくはそちらを参考にされたい。

### 1) バイオガスのエネルギー利用による二酸化炭素削減量の算定

バイオガスのエネルギー利用によって、電気や熱を回収し利用することができる。これによる二酸化炭素削減効果は以下のように算定する。

- ・ 電気の利用については、バイオガスから発生した電力量と同量の電力量を火力発電所で発電した時に発生する二酸化炭素の量が削減できたと見なす。
- ・ 熱の利用については、バイオガスから回収した熱量と同量の熱量を化石燃料から回収した時に発生する二酸化炭素の量が削減したと見なす。

### 2) 閉鎖系処理による温室効果ガス抑制量の算定

従来の処理法と嫌気性発酵システムにおけるメタンや亜酸化窒素の放出量を算出し、その差を削減量とする。嫌気性発酵システムにおいては、処理時にはそれらのガスは発生しないが、消化液の貯留時、運搬時、散布時などには発生が考えられる留意が必要である。

温室効果ガスについては二酸化炭素の量に換算し、統一の指標で評価すると比較が容易になる。温暖化特性係数は、二酸化炭素を1とすると、メタンが23、亜酸化窒素が296である。

### 3) 消化液利用による二酸化炭素削減量の算定

化学肥料の製造や運搬過程では二酸化炭素が発生している。消化液を利用することが化学肥料の使用量を減らすことができるので、その減少量に相当する化学肥料を製造するときに発生する二酸化炭素の量が削減できたと見なす。

## 第9章 その他(遵守すべき法律・規則、基準・指針)

嫌気性発酵システムの調査・計画・設計・施行・維持管理に当たっては、関係する法律や規則で定められている事項を遵守する必要がある。

### 【解説】

嫌気性発酵システムに関係する可能性のある主な法規を表9-1-1に示す。

表 9-1-1 嫌気性発酵システムに関係する可能性のある主な法律・規則

分類	根拠法	適用	主な規制事項	制定年度
家畜排泄物関係	・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	◎	・畜舎地点での野晒し及び嫌気性処理施設での固液分離残滓の野晒し防止が必要。	平成11年
	・改正肥料取締法	◎	・堆肥利用促進のための品質表示の義務づけであるが、消化液の品質確保にも関わる。	平成11年
	・持続性の高い農業生産方式の導入に関する法律	◎	・堆肥等による土づくりと化学肥料・化学農薬の使用低減を一体的に行う『持続性の高い農業生産方式』導入の支援	平成11年
環境保全関係	・環境基本法	△		平成5年
	・自然環境保全法	△		昭和47年
	・自然公園法	△		昭和32年
	・文化財保護法	△		昭和25年
	・森林法	△		昭和26年
	・鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律	△		平成14年
	・都市緑地法	△		昭和48年
	・都市の美観風致を維持するための樹木の保存に関する法律	△		昭和37年
・絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律	△		平成4年	
公害防止関係	・水質汚濁防止法	○	・嫌気性処理施設敷地内からの排水による公共用水域及び地下水の水質の汚濁の防止（知事協議）	昭和45年
	・大気汚染防止法	○	・規制大気汚染物質のばい煙（特定物質）の中に硫化水素が含まれているため、バイオガス処理に適切な脱硫が必要。（知事協議）	昭和43年
	・振動規制法	○	・嫌気性処理施設建設工事に於ける重機等による振動防止（知事協議）	昭和51年
	・騒音規制法	○	・嫌気性処理施設建設工事に於ける重機等による騒音防止（知事協議）	昭和43年
	・悪臭防止法	○	・アンモニア、メチルメルカプタンなど特定悪臭物質は嫌気性処理システムから発生する可能性があり予防措置が必要。（知事協議）	昭和46年
	・農用地の土壌の汚染防止等に関する法律	◎	・特定有害物質のカドミウム、銅、ヒ素及びそれぞれのその化合物が対象であり、乳牛ふん尿の嫌気性処理システムには関わらないが、副材には成分検査が必要。（知事協議）	昭和45年
	・工業用水法	△		昭和31年
	・建築物用地下水の採取の規制に関する法律	△		昭和37年
・廃棄物の処理及び清掃に関する法律	◎	・家畜排泄物は産業廃棄物であり、収集・運搬・処理に対する規則によらなければならない。（知事協議）	昭和45年	
災害防止関係	・砂防法	△		明治30年
	・宅地造成等規制法	△		昭和36年
	・地すべり等防止法	△		昭和33年
	・急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律	△		昭和44年

次ページへ続く

危険防止 関係	・ 火薬類取締法	△		昭和25年
	・ 消防法	◎	・ バイオガス貯留が危険物貯蔵所扱いになるかどうかは所轄消防と協議することが適当。 ・ その他重油タンクなどは危険物貯蔵所となる。	昭和23年
	・ 高圧ガス保安法	△	・ バイオガスの高圧圧縮を行う場合は、高圧ガス製造所、貯蔵所該当する可能性がある。(通産局と協議)	昭和26年
河川関係	・ 海岸法	△		昭和31年
	・ 河川法	△		昭和39年
	・ 港湾法	△		昭和25年
	・ 公有水面埋立法	△		大正10年
	・ 水産資源保護法	○	・ ふん尿の流出防止など水質汚濁防止、工事での汚濁防止(農林水産大臣又は知事協議)	昭和26年
都市計画 関係	・ 都市計画法	△		昭和43年
	・ 都市公園法	△		昭和31年
公共工事 関係	・ 建築基準法	◎	・ 機械室等は一級建築士による知事への建築確認申請手続きが必要(消火器、消防設備等は消防からの指導がある。)	昭和25年
	・ 電気事業法	◎	・ コージェネレーションによる発電は自家用電気工作物の発電所として電気事業法の適用を受ける。通産局への申請が必要	昭和39年
	・ ガス事業法	△		昭和29年
	・ 熱供給事業法	△		昭和47年
動労関係	・ 労働基準法	◎	・ 施設維持管理体制に於ける労働条件の設定	昭和22年
	・ 労働安全衛生法	◎	・ 施設維持管理作業に於ける労働安全衛生条件の設定	昭和47年
その他	・ 道路法	◎	・ 施設建設に関わる取付道路建設など道路構造令	昭和27年
	・ 鉱業法	△		昭和25年
	・ 道路交通法	◎	・ 施設建設に関わる特殊資材運搬	昭和35年
	・ 電波法	△		昭和25年

※適用欄 ◎：全ての場合適用となる ○：適用となる可能性が高い △：適用となる場合がある

## 参考文献

1. (社)農山漁村文化協会：畜産環境対策大事典,1995
2. (社)中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル,2001
3. 農林水産省構造改善局事業計画課 編：国営土地改良事業 調査計画マニュアル,(社)農業土木事業協会,2003
4. 北海道農政部設計課監修：家畜ふん尿利活用施設 設計の手引き,(社)北海道農業土木協会,1999
5. 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(平成12～16年度) 最終成果報告書,2005
6. 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 中間報告書,2003
7. 北海道バイオガス研究会監修：バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効活用,酪農学園大学エクステンションセンター,2002
8. Heinz Schulz and Barbara Eder共著, 浮田由則監訳：バイオガス実用技術,オーム社,2002
9. Danish Institute of agricultural and Fisheries Economics; Centralized Biogas Plants,2000
10. 農業土木新聞社：北海道のバイオガスプラント事例集,2004
11. 農業総合研究所：有機性資源プロジェクト研究資料 NO1 デンマークの集中型バイオガスプラント,2000
12. Ahring, B. K.: Status on Science and Application of Thermophilic Anaerobic Digestion, Wat. Sci. Tech., 30(12),pp.241-249, 1994
13. 松田従三：北海道におけるバイオガスプラントの将来性, 平成12年度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(資料編)所収, 北海道開発局開発土木研究所, 2001
14. 北海道開発土木研究所土壌保全研究室・農業土木研究室：バイオガスプラントにおけるメタンガスの効率的な産出手法、平成16年度北海道農業試験会議成績会議成績概要書(2005)
15. R.Braun:Potential of Co-digestion,  
(<http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37> のReportから),2002
16. European Biogas Workshop; The Future of Biogas in Europe II, 2003
17. Colleran, E.: Hygienic and sanitation requirements in biogas plants treating animal manures or mixtures of manures and other organic wastes. In: Anaerobic Digestion: Making energy and solving modern waste problems. Ed. H. Ørtenblad. AD-NETT, Herning Municipal Authorities, Denmark. pp. 77-86. 2000
18. Larsen HE,: Use of Indicator Monitoring the Reduction of Pathogens in Animal Waste Treated in Biogas Plantd.Zbl.Hyg.195,1994
19. 北海道立根釧農試酪農施設科：共同利用型バイオガスプラントにおける家畜ふん尿

- の搬入・搬出法および散布法(集中型バイオガスプラントにおける家畜糞尿の搬入・搬出・散布法の検討)、平成16年度北海道農業試験会議成績会議成績概要書(2005)
20. (財)畜産環境整備機構：家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き,2001
  21. (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギーガイドブック入門編,2003
  22. 北海道農政部編：北海道施肥ガイド(施肥標準・診断基準・施肥対応),(社)北海道農業改良普及協会,2002
  23. 北海道立農業・畜産試験場 家畜ふん尿プロジェクト研究チーム 企画・編集:家畜糞尿処理・利用の手引き,(社)北海道農業改良普及協会,2004
  24. 北海道開発土木研究所土壌保全研究室・北海道立根釧農試草地環境科・北見農試栽培環境科・畜試畜産環境科：乳牛ふん尿を主原料とするバイオガスプラント消化液の特性と草地・畑地への施用法、平成16年度北海道農業試験会議成績会議成績概要書(2005)
  25. 北海道立根釧農試草地環境科・天北農試草地環境科・畜試畜産環境科：牧草・飼料作物に対するふん尿主体施肥設計法(牧草・飼料作物を対象としたふん尿主体施肥設計システムの開発)、平成15年度北海道農業試験会議成績会議成績概要書(2004)
  26. (社)中央畜産会 (社)日本畜産施設機械協会：酪農ふん尿処理システム技術マニュアル,1995
  27. 小野学・鶴川洋樹：共同利用型バイオガスシステムの経済性と成立条件ーバイオガスプラントの利用実態と経済性シミュレーションー、北海道開発土木研究所月報(印刷中)
  28. (社)空気調和・衛生工学会：建築設備の凍結防止 計画と実務,1998
  29. 勝山降善：溶解亜鉛メッキ,理工図書株式会社,1965
  30. 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「ポンプ場」,1997
  31. 中村和正：牛ふん尿スラリーの管路輸送に関する基礎的実験,開発土木研究所月報 No.532,1997
  32. 寺山貢平ら：乳牛ふん尿の建機発酵過程における理化学性変化と消化液搬送効率の評価,第53回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集,2004
  33. 中村和正：乳牛ふん尿スラリー管路輸送時の摩擦損失水頭早見図,北海道開発土木研究所月報 No.628, 2005
  34. 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」技術書,2001
  35. 日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針,1997
  36. IPCC: Climate Change: The Scientific basis,2001
  37. 北海道立根釧農業試験場研究部経営科：環境会計手法(LCA)を用いた家畜ふん尿用バイオガスシステムの評価(生成物の効果的還元技術と環境負荷に関する研究) 平成16年度北海道農業試験会議成績会議成績概要書(2005)

索引

あ行-----		さ行-----		な行-----	
アームロール車	126	搾乳牛	20 21	長わら	6 30 54 124
悪臭	5	殺菌	62	乳牛ふん尿	17 20
アンモニア	127	殺菌槽	9	尿溜め	52
アンモニア揮散	68 72 169	雑草種子	5	熱交換	61
イオウ酸化細菌	137	雑費	91	熱電併給機	10
育成牛	19	サテライトタンク	69 70	(農家の)経営的效果	119
維持管理	162	参加農家負担額	92	農家負担	92
維持管理計画	86	酸性雨	5 170		
一時貯留槽(畜舎周辺)	123	敷料	6 21	は行-----	
ウエービープレス	21 55	支出	91	バイオガス	166
受入設備	8	システム計画	48	バイオガスの利用	78
受入槽(原料スラリー)	54 127	システムフロー	48	バイオガス発生量	38
受け入れ槽(固形ふん尿)	54	設備償還費	6 91	バイオガスプラント	8
営農状況調査	16	湿式脱硫	77	配管	142
液状コンポスト	22 25	湿式ドーム式	75	売電	10 78 92 167
液分	21 41 149	湿式メタン発酵	26	廃用牛乳(副資材)	41
エネルギー利用計画	81	脂肪	40 44	バター	40
エネルギー効率	80 84	舎飼	20	畑作物	90
LCA	169	重金属	165	バックアップ	84
汚泥	42 44 62 166	収支検討例	92 94 106	発酵温度	33
温室効果	169	集中型	7 28	発酵槽	58
温度計測装置	134	集中貯留方式(消化液)	69	発酵槽の方式	58
		収入	91	発電計画	79
か行-----		周辺環境調査	15	発熱量(バイオガス)	46
カーボンニュートラル	4 169	重油ボイラー	11	バドック	20
外国製	137	修理費	91	パン粉	40
攪拌方式(発酵槽の)	59 60	収量(牧草)	165	搬出(消化液)	71
攪拌	60	消化液	3 9 87	搬送機械	125
ガスエンジン	79	消化液貯留槽	9	搬送距離	30
ガスタービン	79	消化液貯留方式	68	バンドスプレッダ	72
ガスボイラー	11	消化液の利用	87 164	肥効	88
ガスホルダー	10 73 83	償還費	91	病原菌	40 62
ガスホルダーの構造	75	小規模共同利用型	7	肥料成分	88
仮設工事	158	除湿(バイオガスの)	10 76 141	肥料取締法	166
家庭生ゴミ	7 42	処理料収入	17	肥料養分量	164
カリウム	88	人件費	91	副資材	17 40 44 91
換気	127	水分調整材	23	腐食(管の)	143
環境への貢献	168	スクリュープレス	21 55	フリーストール飼養	51
乾式ガスバック	74	スケールメリット	28	フレアスタック	11
乾式嫌気性発酵	25	ストール飼養	51	フロートドーム式	75
乾式脱硫	77	スブラッシュプレート	72	分散貯留方式(消化液)	69
管理組合	13	スラッジ	134	ふん尿回収率	20
管路搬送	53	スラリー	148	平常時	86
気象調査	14	スラリータンカー	53	閉塞	26 56 76 142
季節変動(ふん尿量の)	17	スラリーピット	51	別海施設	39 120
基礎	156	スリップ	126	偏性嫌気性菌	24
牛乳(副資材)	40	成牛	19	ホイールローダ	53
共同型	7 31	生物脱硫	77 137	ボイラー	136
共発酵	5	成分調査	18	法的規制	42
緊急時	86	施工	157	放牧	20
経営収支	91	施工計画	157	法律・規則	171
計画処理量	19	施用可能時期	18	保温材	132
系統連携	10	浅層インジェクタ	72	牧草	88
限界投入量	41	損失水頭(清水)	146	圃場還元量	18
減価償却	91 119	損失水頭(ふん尿)	148	圃場散布方式	71 72
嫌気性発酵	24			ポンプ	142 145
嫌気性発酵システム	4 5	た行-----			
建設費	95 107	大規模共同利用型	7	ま行-----	
原料収集	50	堆肥化	23	メタン菌	11
原料搬入	28	滞留日数	33	メタン発酵	33
高位発熱量	46	立ち上げ	36 78 84	メタン発酵設備	9 131
高温発酵	33 36	脱硫	10 76		
好気性発酵	25	脱硫経費	140	や行-----	
公共性	7 28	単位排せつ量	20	融解施設	129 130
購入肥料節減額	119	単位発生量	38 39	有害物質	5
光熱費	86 91	タンカー	125	湧別施設	39 121
固液分離	20 21 23 26	担体式生物脱硫	139	揚程	146
固液分離設備	55	タンバク質	41 76	容量(受入槽)	54
固液分離率	21	ダンプトラック	53	容量(ガスホルダー)	73
コージェネレーション	10 135	畜舎周辺設備	123	容量(貯留槽)	69
コージェネレータ	10 79	窒素	88	容量(発酵槽)	58
固形ふん尿	6	中温発酵	33	余剰ガス燃焼装置	11
固分	21 85	直接投入試験(長わらの)	56		
固分の堆肥化	85	直接経費節減額	120	ら行-----	
個別型	7 32	貯留(消化液)	68 135	リールマシン	72
コンテナ	52 126	貯留(バイオガス)	73	硫化水素	76
コンテナトラック	53	つなぎ式	6	リン(リン酸)	88
		低位発熱量	46	労力節減効果	119
		電気設備	11	ローラープレス	21 55
		点検交換費	91		
		凍結対策	52 123 130		
		凍結(ふん尿の)	14 30 51		
		都市ガス	47		