

平成22年度

地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に
関する調査報告書

平成23年3月

財団法人 エンジニアリング振興協会
地下開発利用研究センター

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて
実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

序

本報告書は、財団法人JKAより機械工業振興資金の補助を受け、財団法人エンジニアリング振興協会・地下開発利用研究センター（研究企画委員会）が、平成22年度事業として行った「地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査」の成果を取りまとめたものであります。

2010年の世界経済は、ゆるやかな回復基調にあるものの、米国での不確実性の高まりや欧州の一部での信用不安を受けて、低迷が長引く結果となりました。我が国においても、歴史的な円高水準が継続しており、日中のGDPが逆転し、日本が世界第3位になるなど、厳しい状況が続いています。

その中にあっても、中国、インド、ブラジルといった新興国において力強い成長が見られ、成長市場への投資機会の増加など明るい兆しも見えています。

また、エネルギー・環境分野への世界的な関心の高まりから、環境配慮型製品の需要の拡大やインフラ関連投資の活発化が大きな話題となるなど、この分野でのビジネスチャンスが拡大していることも事実です。

本調査研究では、従来のバイオマス転換技術であるメタン発酵に比べ、より簡単で比較的運転管理の容易なシステムを構築することによって、未利用バイオマスを活用し、バイオガスの有効活用を図ることを目的として取り組みました。この調査研究によって期待される成果は、化石燃料の使用を削減し、さらにはCO₂排出量の削減を図ることです。具体的には、モデル地域を選定しシステムの概念の構築、建設・運用コストの検討及び環境影響評価を行い、今後のバイオマス利用推進のための導入例を明らかにすることができました。

本調査研究は、地下開発利用研究センターの研究企画委員会の下で、学識経験者および企業の専門家からなる委員会（委員長 株式会社 ダイヤコンサルタント 中川加明一郎 技師長 [財団法人 電力中央研究所 名誉研究顧問]）並びに同作業部会を編成し、事業を実施したものであります。なお、本調査研究の取りまとめに当たっては清水建設株式会社が中心となって行いました。

本調査研究にご協力いただいた関係各位に対し心から謝意を表するとともに、本報告書の成果が各方面で有効に活用されることを切望する次第です。

平成23年3月

財団法人エンジニアリング振興協会
会 長 増 田 信 行

はじめに

地球温暖化防止のためのCO₂削減策として、世界各国が先を争うようにバイオマスや太陽光・風力などの新エネルギーを活用した技術の導入を急いでいます。我が国でもその一環として、バイオマスエネルギーについては、経済産業省や農林水産省を中心に支援制度が導入され、各地で導入のための構想作成、実証実験及び事業化が進められています。

しかし、バイオマスエネルギーの主要転換技術であるメタン発酵技術は、高度なシステムによる高効率なエネルギー回収が主流であり運転管理の複雑化、維持管理費の増大が問題となっています。バイオマス利用を普及させる為には簡単に維持管理が容易なシステムが求められています。

本調査研究では、このような要求に応えるべく、ランドフィルガスシステムと乾式メタン発酵を合体させた「地下管理型処理施設のバイオガスシステム」を提案し、その実現に向けた種々の課題を検討することにしました。とくに今回の調査研究の特徴は、具体的なモデル地域(奄美大島)を設定することで、システムを導入した場合の設備の規模、経済性、環境影響といった技術的課題や事業性・CO₂削減効果などをわかりやすく提示することとしました。また特に、運転管理を容易にし、設備コストを削減するために、無加温でのメタン発酵を取り組みの重点課題のひとつとしました。従来採用されているメタン発酵温度(中温メタン発酵の場合、35℃程度)より低温となるため、低温下でのメタン発酵特性の調査、モデル地区の気象条件の詳細分析を行いました。バイオガスの利用に関しては、都市ガスやLPGなどとの混合利用による熱利用が注目されているので、モデル地区におけるガス利用などについても調査研究を行いました。これらにより、導入メリットに加え、実用化に際しての課題も抽出しました。

今後は、モデル地域に限らず、さらに他の地域において本システムを導入した場合の、建設・運用コストの検討および環境への影響評価等に活用していただければ幸甚に耐えません。

最後に、調査委員会を代表し、本委員会を設置した財団法人エンジニアリング振興協会および助成いただいた財団法人JKAに感謝いたします。

平成22年3月

「地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査」委員会

委員長 中川加明一郎

平成 22 年度
「地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査」委員会
委員名簿

委 員 長	中川加明一郎	(株)ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング事業本部技師長室 技師長 ((財)電力中央研究所 名誉研究顧問)
副委員長	野池 達也	日本大学 大学院総合科学研究科 環境科学専攻 教授
委 員	梅津 一孝	帯広畜産大学 畜産衛生学研究部門 環境衛生学分野 教授
委 員	松田 従三	ホクレン農業協同組合連合会 農業総合研究所 顧問 (北海道大学名誉教授)
委 員	石川 賢一	(株)オリエンタルコンサルタンツ S C 事業本部 技師長
委 員	森 忠宏	東京ガス(株) 生産エンジニアリング部 生産技術推進グループ 主幹
委 員	小林 隆輔	日揮(株) 新事業推進本部 部長代行
委 員	八田 敏行	清水建設(株) 技術研究所 上席マネージャー
委 員	渋谷 勝利	清水建設(株) 技術研究所 地球環境技術センター 新エネルギーグループ 上席研究員
オブザーバー		
	小宮 康則	経済産業省 経済産業政策局地域経済産業グループ 産業施設課 課長補佐
	萬上 俊隆	経済産業省 製造産業局産業機械課 国際プラント推進室 プラント貿易企画一係長
事 務 局	奥村 忠彦	(財)エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 研究理事
事 務 局	佐藤 一浩	(財)エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 技術開発第一部 研究主幹

平成 22 年度
「地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査」委員会
作業部会 部会員名簿

部 会 長	渋谷 勝利	清水建設(株) 技術研究所 地球環境技術センター 新エネルギーグループ 上席研究員
副部会長	石川 賢一	(株)オリエンタルコンサルタンツ SC事業本部 技師長
部 会 員	隅倉 光博	清水建設(株) 技術研究所 地球環境技術センター 環境バイオグループ 研究員
部 会 員	米山 一幸	清水建設(株) 技術研究所 社会基盤技術センター 地下技術グループ 主任研究員
事 務 局	佐藤 一浩	(財)エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 技術開発第一部 研究主幹

要 旨

本調査研究は、資源循環型社会の構築に向けて、地域の未利用のバイオマスを利用した地産地消型エネルギーシステムの提供を目的に、実績のあるバイオマス転換技術であるメタン発酵及びたい肥化技術を採用した初期投資が安価で、維持管理が容易で、かつ安価な新規システムの技術的有効性、経済性及びCO₂削減効果について検討を行うものである。

新規システムは、ランドフィルガス方式の簡便性を利用し、発酵を促進させるため乾式メタン発酵を応用し、メタン発酵普及課題である発酵残渣処理については、乾式メタン発酵に準拠しているため水分が湿式メタン発酵に比較して少ない。そのため、たい肥化が適用可能である。たい肥は農地に施肥され、化学肥料を削減するとともに、新たな生物資源を生み出すことになる。

ランドフィルガス方式のため、広い面積が必要と考えられるが、地下空間の活用は、その恒温性、断熱性、構造体への利用などの利点が考えられる。

地下管理型処理・資源化システムの有効性について、モデル地区として奄美大島を選定し、詳細検討を実施した。以下に、調査研究の検討結果の概要を示す。

第1章では、調査研究の背景、目的、調査研究の進め方及び調査研究内容を示した。続いて、第2章では、バイオマス資源化技術として採用したメタン発酵技術について検討した。特に、地下管理型処理・資源化システムでは、ランドフィルガス方式と乾式メタン発酵を融合したシステムを検討している。そのため、ランドフィルガス方式のメタン発酵機構の調査、本邦唯一のランドフィルガス利用施設である東京都中央防波堤内側の事例調査検討、我国に導入されている乾式メタン発酵システムを調査検討した。ランドフィルガス方式の採用には、降雨による浸出水対策が必要になるため、施設設計の際、雨水の浸透防止、またバイオガス回収の観点から表面のカバーが必須とされた。乾式メタン発酵の調査から、原料のバイオマスは、生ごみ及び紙類の混合物が有望であることが判明した。発酵時の投入エネルギー（特に加温）の削減を図るため、低温、無加温のメタン発酵事例を調査した。20℃以上であれば、馴養により時間を要するが有機物の分解が進展することが判明した。発酵残渣は、発酵槽を堆積槽として活用し、攪拌混合（切り返し）を行うたい肥化が採用可能とされた。

第3章では、得られたバイオガスの利活用法を調査検討した。近年は、バイオガスをPSA（Pressure Swing Adsorption: 圧力変動吸着）法、吸収法及び膜濃縮法などの精製濃縮を行い、都市ガス混合供給、ボンベ詰め、自動車燃料利用等の実用化、実証試験、研究開発が進展してきている。発酵残渣のたい肥化について、機械力を使用しないパッシブな堆積法があり、発酵槽を堆積槽として活用し、油圧ショベルを用いた混合攪拌が採用できる。

第4章では、奄美大島に設置した場合をモデルケースに、地下管理型処理・資源化施設の詳細検討を行った。最初に、モデル地区と選定した奄美大島に関する詳細検討を実施した。奄美大島は温暖で、多雨であり台風の接近が多い。地盤は強固で地下空間は利用しやすいと考えられる。地表より5m以深では、地温は年間を通じ、ほぼ一定で21.5℃程度と想定され、20℃以上のため無加温メタン発酵の可能性が示唆された。奄美大島で利用可能な未利用バイオマスとして、そのほとんどが焼却処分されている生ごみがある。これは、乾式メタン発酵の原料として、好都合と言える。

対象とするバイオマスである一定量の生ごみを確保できることから、奄美市が選定された。生ごみの排出量予測から、資源化原料は生ごみ3トン/日、水分調整用に紙類1トン/日の計4トン/日

と設定される。投入原料に種汚泥として発酵残渣（水分変化は無いものと仮定）を同量添加し、発酵期間 90 日間とすると、総発酵槽容積は 870m³ 必要とする。この発酵残渣に同量の戻したい肥を加え、90 日間のたい肥化工程とすると堆積槽（兼発酵槽）は同じく 870m³ 必要とする。

雨水、台風対策のため、発酵槽を 2 棟の建屋内に、付帯建屋に前処理工程、ガス利用設備、たい肥製品化設備を収納すると、必要面積は 2,440m² となる。発酵槽（兼堆積槽）の 3 槽分を覆う、移動式建屋とし、建蔽率 50% とすると敷地面積は 1,650m² と試算された。

4 トン/日の原料の資源化では、発生するバイオガス量が少ないこと、かつ無加温のメタン発酵を採用しているため、より発生量は少なく、バイオガス精製濃縮後、都市ガス供給のメリットが小さいと考える。そのため、得られたバイオガスは発電利用として、たい肥製品化設備などの自家消費、わずかであるが余剰分は、売電する方法が考えられる。

湿式メタン発酵施設に比較して、地下管理型処理・資源化施設は、広範囲な面積を必要とするが、初期投資額及び維持管理費の両者において、優位と試算された。焼却方式に比較して、初期投資額では約 2 倍掛かるが、年間の維持管理費は焼却方式が 3,812 万円（1 年目）であるのに対して、提案システムは約 621 万円と圧倒的に優位となっている。

提案システム（バイオガスはガス発電利用）の CO₂ 排出量は、たい肥化工程を入れても 0.06 トン・CO₂/処理量・トンと焼却方式に比較して、非常に低い値となっている。さらに、処理量が多くなると余剰エネルギーが増加し、ゼロになることが期待させる。

以上の調査研究結果から、地下管理型処理・資源化施設について、文献調査等から技術の有効性が、湿式メタン発酵、焼却方式に比較して、広範囲な面積を必要とするが、経済性が高い資源化システムであることが試算結果から明らかになった。さらに、CO₂ 排出量削減効果が期待できる有望システムと考えられる。

目 次

第1章 調査研究の概要	1
1. 1 調査研究の背景と目的	1
1. 2 調査研究の進め方	1
1. 3 調査研究の内容	2
第2章 未利用バイオマスの地下管理型メタン発酵技術によるエネルギー転換技術の調査	5
2. 1 メタン発酵処理技術の調査検討	5
2. 1. 1 ランドフィルガス方式の調査	5
2. 1. 2 乾式メタン発酵技術の調査	13
2. 1. 3 低温・無加温メタン発酵技術の調査	22
2. 2 まとめ	33
第3章 バイオガス、発酵残渣の利活用システムの検討	37
3. 1 バイオガスの利活用の検討	37
3. 1. 1 未利用バイオマスの選定	37
3. 1. 2 バイオガス利活用の種類	37
3. 1. 3 バイオガス利活用の最近の動向	45
3. 2 発酵残渣の利活用の検討	49
3. 2. 1 発酵残渣の処理法	49
3. 3 まとめ	55
第4章 モデル地区を想定した地下管理型処理・資源化システムの構築及び評価	57
4. 1 モデル地域を対象としたメタン発酵条件調査	57
4. 1. 1 モデル地域の選定	57
4. 1. 2 モデル地区の概要	57
4. 1. 3 モデル地域の利用可能な未利用バイオマスの選定	65
4. 1. 4 候補地の検討	75
4. 2 構造、システムの詳細検討	86
4. 2. 1 想定フロー	86
4. 2. 2 バイオガス利活用	91
4. 2. 3 発酵残渣のたい肥化	100
4. 2. 4 施設概要	106
4. 2. 5 法的検討	118
4. 3 経済性評価	120
4. 3. 1 施設建設（概算）コスト	120
4. 3. 2 プラント建設等（概算）コスト	120

4. 3. 3	湿式メタン発酵施設との比較	121
4. 3. 4	焼却との比較	124
4. 4	CO ₂ 削減効果の検討	126
4. 5	まとめ	128
第5章	総括及び提言	131
5. 1	総括	131
5. 2	今後の課題	134
5. 3	提言	134

第1章 調査研究の概要

1. 1 調査研究の背景と目的

地球温暖化防止のためのCO₂削減策としてバイオマスや太陽光・風力などの新エネルギーを活用した技術が、最近急速に注目を集めるようになってきている。バイオマスエネルギーについては、経済産業省、農林水産省や環境省を中心に支援制度が導入され、各地で導入のための構想作成、実証実験及び事業化が進められている。

バイオマスエネルギーの主要転換技術であるメタン発酵技術は、下水汚泥や食品工場排水などを対象に導入の歴史が長い。近年は、欧州からの技術導入による厨芥、食品廃棄物、家畜排せつ物などのいわゆるWet系への適用が多くなってきている。しかし、このメタン発酵は、高度なシステムによる高効率なエネルギー回収が主流であり運転管理の複雑化、維持管理費の増大が問題となっている。さらには、得られたバイオガスを利活用できる利点の反面発酵残渣（液）の処理問題が、大きな普及課題となっている。¹⁾

従って、歴史があり、導入の多いメタン発酵によるバイオマス利用を普及させる為には、発酵残渣の経済的な処理や資源化技術の開発、安価な設備、維持管理が容易なシステムが求められている。

本調査研究では、恒温性や構造体としての利用など地下空間の特性を活用した未利用のバイオマスを対象としたメタン発酵施設の構築と、地域の特性を加味したバイオマスエネルギー貯蔵・供給システムの構築を提案、さらにはメタン発酵の大きな普及課題である発酵残渣の資源化法を検討し、その実現に向けた技術的課題や、事業性・CO₂削減効果の検討を行うことを目的とする。

本調査研究では、モデル地区を選定し、その地域の未利用バイオマスの調査から、現状の処理法を考慮した利用可能量に基づく、施設規模設定等具体的な検討を行い、今後の資料に資することとする。

1. 2 調査研究の進め方

本調査研究では、委員会のもとに作業部会を設置し、表.1-2-1 に示す項目について検討を行った。

地下管理型資源化施設は、メタン発酵を採用し、ランドフィルガス方式と発酵の促進を期待して、乾式メタン発酵を融合したシステムと言える。さらに、発酵残渣はたい肥化し再利用する循環型システムである。

ランドフィルガス方式と乾式メタン発酵の実施例等を精査し、地下管理型資源化施設に適用する際の参考とした。

地下部を利用する技術であるため、地下の恒温性に着目し、従来実施されている(35℃付近)及び高温(55℃程度)メタン発酵でなく、低温あるいは無加温メタン発酵の可能性を調査した。このため、モデル地区の地温、気温、降水量等の気象条件のほか、地質データの収集を行った。

モデル地区として、奄美大島を選定し、バイオマス賦存量・利用可能量の分析を行った。メタン発酵により得られるバイオガスの利活用法の検討、発酵残渣のたい肥化の詳細検討

を行い、当該地区の利用方法を検討した。

実際に奄美大島に設置する際の施設設計、経済性、CO₂削減寄与などを検討し、地下管理型資源化施設導入の際の課題の整理、資料の提供を図ることとした。

表.1-2-1 実施項目と工程

調査研究項目	平成 22 年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 未利用バイオマスの地下管理型メタン発酵技術によるエネルギー転換技術の課題の解決及び設備仕様の検討				■	■	■	■	■	■	■	■	■
(2) バイオガス、発酵残渣の利活用システムの課題の解決及び設備仕様の検討												
a) バイオガスの利活用の検討				■	■	■	■	■	■	■	■	■
b) 発酵残渣の利活用の検討				■	■	■	■	■	■	■	■	■
(3) モデル地区（奄美大島）を想定した地下管理型処理・資源化システムの構築及び評価												
a) 構造、システムの詳細検討								■	■	■	■	■
b) 経済性評価									■	■	■	■
c) CO ₂ 削減効果の評価									■	■	■	■
d) 法的検討					■	■	■	■	■	■	■	■
(4) 現地調査					▽		▽	▽	▽			
(5) 委員会					第1回		第2回				第3回	

1. 3 調査研究の内容

調査の実施にあたりモデル地区として奄美大島を選定し、具体的な検討を実施する。

(1).未利用バイオマスの地下管理型メタン発酵技術によるエネルギー転換技術の課題の解決及び設備仕様の検討

地下管理型処理・資源化施設は、ランドフィルガス方式を基本に、乾式メタン発酵のように投入物を管理することにより、短期間の、かつ安定したメタン発酵を期待している。このため、モデル地区の利用可能バイオマスの選定を行う。また、基本は無加温としているため、従来採用されているメタン発酵温度（中温メタン発酵の場合、35℃程度）より低温が予想されるため、低温下でのメタン発酵特性の調査、モデル地区の気象条件の詳細分析を検討する。

(2).バイオガス、発酵残渣の利活用システムの課題の解決及び設備仕様の検討

a) バイオガスの利活用の検討

近年、メタン発酵からのバイオガスは、都市ガスや LPG などとの混合利用による熱利用が注目されている。モデル地区は、ガス利用の需要があるため、熱利用を中心に適用システムを検討する。

b) 発酵残渣の利活用の検討

モデル地区である奄美大島は、平野部は少ない。そのため、地下管理型処理・資源化施設は最小の設置面積で繰り返し利用できる必要がある。発酵残渣は、需要のある堆肥化により再資源化し、搬出するシステムについて検討する。

(3)モデル地区（奄美大島）を想定した地下管理型処理・資源化システムの構築及び評価

上記の調査検討結果から、奄美大島をモデルに地下管理型処理・資源化システムを構築し評価する。

a) 構造、システムの構築（詳細検討）

ランドフィルガス方式を参考に、構造等の詳細について、乾式メタン発酵を例に投入物等の管理について検討する。

b) 経済性評価

前項の詳細検討結果をもとに、地下管理型処理・資源化施設の建設コスト、及びランニングコストを概算し、事業性の検討を行う。

c) CO₂削減効果の評価

メタン発酵に適する選定予定の未利用バイオマスは、カーボンニュートラルと位置付けられているが、モデル地域では清掃工場で焼却処分されている。現行の焼却処分と比較して、本システムの CO₂ 削減効果を評価する。

d) 法的検討

地下管理型処理・資源施設設置に係る関連法規等について調査する。

〔参考文献〕

- 1).NEDO、（委託先）清水建設㈱、長崎菱電テクニカ㈱：平成 16 年度～平成 18 年度成果報告書、バイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度廃水処理技術の開発、平成 19 年 3 月

第2章 未利用バイオマスの地下管理型メタン発酵技術によるエネルギー転換技術の調査

地下管理型メタン発酵技術は、ランドフィルガス方式のバイオガス回収施設の簡便性及び乾式メタン発酵の高速発酵などの利点を融合したシステムである。また、地下に設置した槽はランドフィルガス方式のように一回利用でなく、繰り返し使用するため、発酵残渣はたい肥として再資源化し搬出を予定している。

そのため、本章では、ランドフィルガス方式、乾式メタン発酵及びたい肥化技術について、さらにメタン発酵を左右する主要因の一つである温度（地中温度及び気温）や設置場所を検討する上で、気象などの自然条件、利用可能なバイオマス等の詳細検討を行う。

2. 1 メタン発酵処理技術の調査検討

2.1.1 ランドフィルガス方式の調査

1).ランドフィルガスについて

生ごみ、紙、繊維類などの有機物を埋立処分すると、微生物の分解に伴いバイオガスが生成される。ごみの埋立処分場から発生するバイオガスは、特にランドフィルガス(landfill-gas:埋立地のガス)と呼ばれている。

我国では、可燃ごみの焼却処理体制が整わない時代に使用されていた。現在は唯一東京都中央防波堤内側で実施(ただしランドフィルガスの回収は終期)されているのみである。世界の廃棄物処理の主流は、焼却などの中間処理を行わない埋立処分である。また、図.2-1-1 に示すように、ドイツ(バイオマスプラント方式の採用が多い)を除く欧米では、バイオガス回収の主流(回収エネルギー換算)はランドフィルガス方式である。

そこで、ごみのランドフィルから発生するバイオガスを回収し、燃焼を図ることにより温室効果ガスの削減を図るクリーン開発メカニズム(CDM)に利用されている。¹⁾

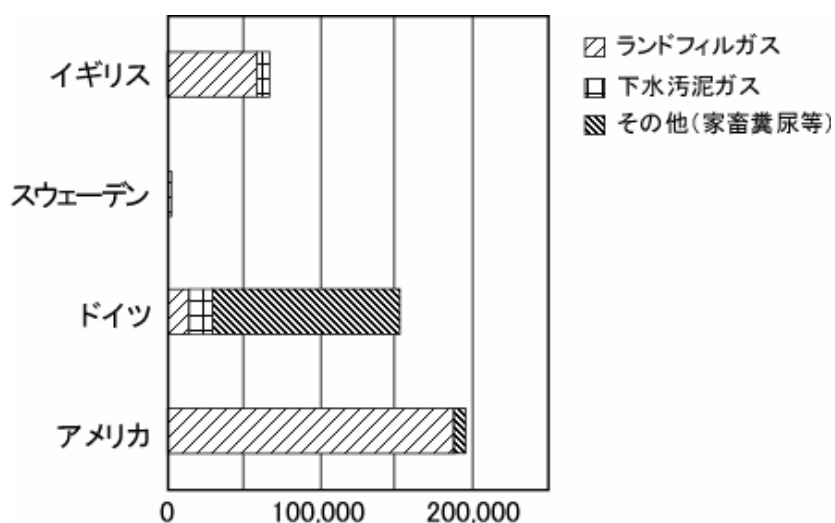


図. 2-1-1 欧米のバイオガス回収量（単位:TJ）

〔出典〕 IEA:IEA Statistics,Renewables Information 2010

埋立地の定常期のランドフィルガス成分は、一般にメタン(CH_4)が60%程度、二酸化炭素(CO_2)が40%程度、その他微量の窒素、酸素、硫化水素などである。

埋立処分場での有機性廃棄物の挙動を図.2-1-2に示す。有機物は好気分解すると CO_2 と水が生成され、嫌気分解すると CH_4 、 CO_2 及び水となる。埋立地の構造、経過年数、投入物などの相違から好気状態、嫌気状態あるいは両者が共存する状態となる。

一般に、十分な転圧下でも空隙には空気が残存し、一時的に好気状態となる。この状態で好気性細菌により酸素が消費され、嫌気性環境に移行する。最終覆土の後も表層から 3m 深さ位までは、気圧の変化、降水等により好気状態になり得るとされている。また、底部に集排水管の敷設がある場合、この付近は好気状態になりやすい。

埋立処分中の生ごみなどの易分解性の有機物及び紙類、繊維、草木類などの中程度の分解性有機物中の高分子化合物は段階的に低分子化され、アミノ酸、有機酸、糖類などを経て最終的に水、 CH_4 、 CO_2 などのガス及び無機塩類となる。

ランドフィルガス発生モデルを図.2-1-3に示す。図.2-1-4には、一般的なメタン発酵の立上時の挙動を示す。

図.2-1-2の第Ⅰ期は、空気存在下の好気的環境で、消費した酸素と当量の CO_2 が産生される。窒素濃度の変化は見られない。第Ⅱ期は、酸素が全て消費された嫌気的段階で、 CO_2 が盛んに発生し、水素の発生も見られる。第Ⅲ期は、嫌気的メタン生成期で CH_4 が発

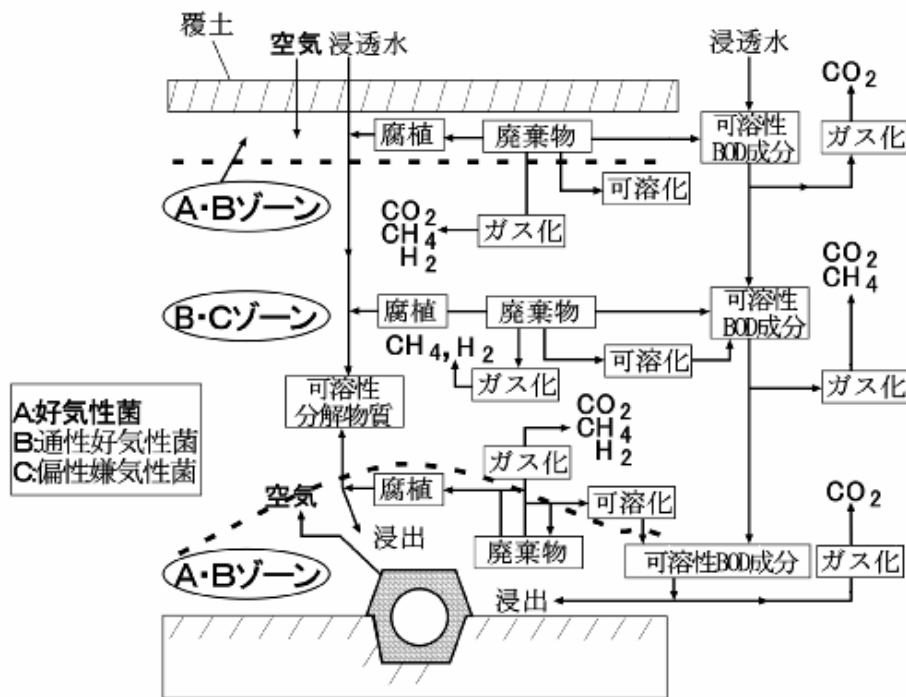


図.2-1-2 埋立処分場での有機性廃棄物の挙動

〔出典〕最終処分場技術研究協会編：廃棄物最終処分場新技術ハンドブック、環境産業新聞社、平成18年12月

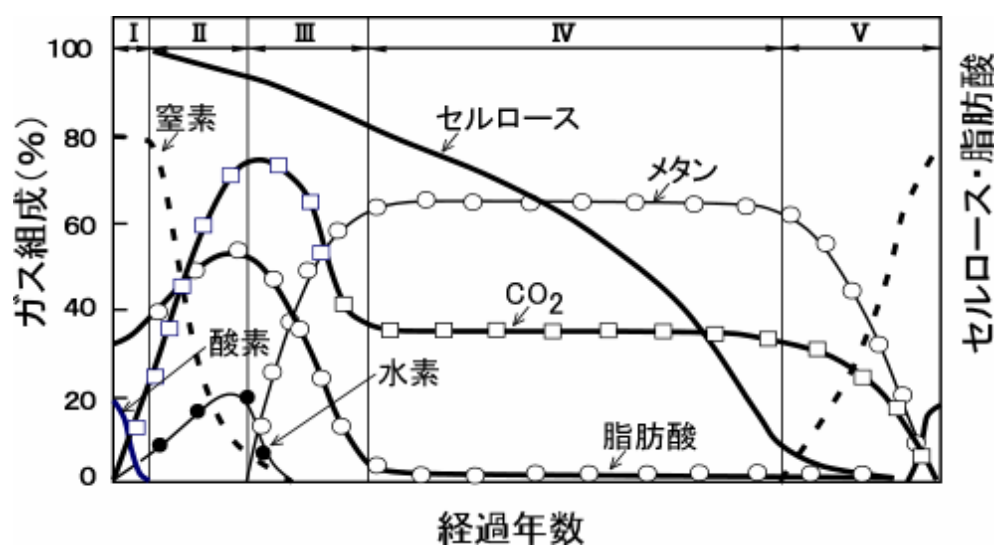


図.2-1-3 ランドフィルガス発生モデル

〔出典〕 最終処分場技術研究協会編：廃棄物最終処分場新技術ハンドブック、環境産業新聞社、平成 18 年 12 月

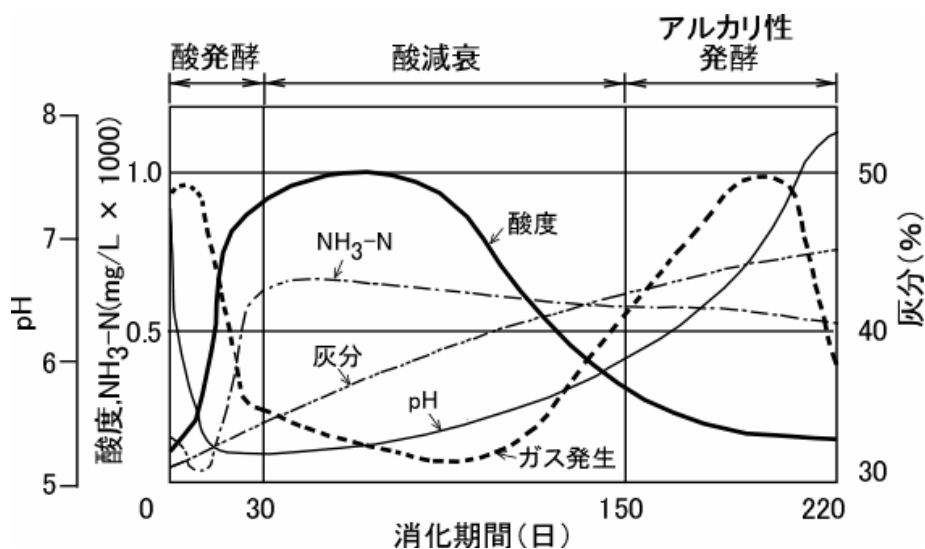


図.2-1-4 一般的なメタン発酵立上時の挙動

〔出典〕 Methane Fermentation Processes, AOTS-AIT-EBARA International Training Course, 2000.8/21-9/1, Ebara Corporation

生し始める。水素はメタン生成細菌により消費され消失する。Ⅰ～Ⅲ期は、埋立て後 180 日～500 日後と様々とされている。第Ⅳ期（定常期）は、安定した CH_4 発生となり、発生 バイオガス中の CH_4 濃度は 50～70%、 CO_2 濃度は 30～50% 程度となる。第Ⅴ期は、メタン発酵の終期で、地中の内圧の低下により、気圧の変化や大気の拡散により、埋立て内部に大気が侵入し易くなる。このため、 CH_4 や CO_2 濃度が低下し、窒素及び酸素の割合が増加する。

大気中の酸素が消費され嫌氣的条件下になっても、地中温度が低い場合、微生物の活性が弱まりバイオガス発生量、 CH_4 及び CO_2 濃度が低下する。一般に 30℃ 程度に上昇すると微生物活性が高まり、バイオガスの発生が増加するとされている。地中温度はまた、大気中の酸素の浸透に関与し、温度が高い方が可溶化の促進、微生物活性の高揚により酸素消費が促進され、浸透は少ないが、反対に温度が低いと浸透深さは増加する傾向にある。

図.2-1-4 の最初の酸発酵期では、発酵性嫌気性細菌により産生する有機酸の蓄積のため、pH は急激に低下し pH5 に近づく。次の酸減衰期は、メタン生成細菌により有機酸から CH_4 の産生が開始される。この期の pH は 5.0～6.0 程度である。これは、酸生成と酸消費反応が同時に進行していることによる。大部分の有機物が枯渇すると、pH は増加に転じアルカリ性発酵に移る。ここでは、pH は 7.0 以上となり、バイオガスの発生が顕著となる。

図.2-1-3 のランドフィルガス発生モデルと図.2-1-4 の一般的なメタン発酵経過工程とは、同様な傾向となっている。

2). 東京都中央防波堤内側の事例

図.2-1-5 には、海面埋立て終了後の地層内の最高及び平均温度の経年推移例を示す。図.2-1-6 には、その深さ方向の温度測定例を示す。

地層内の最高温度は、埋立て終了 5 年経過後、約 15～25m 深さで、70℃ 弱であった。5m

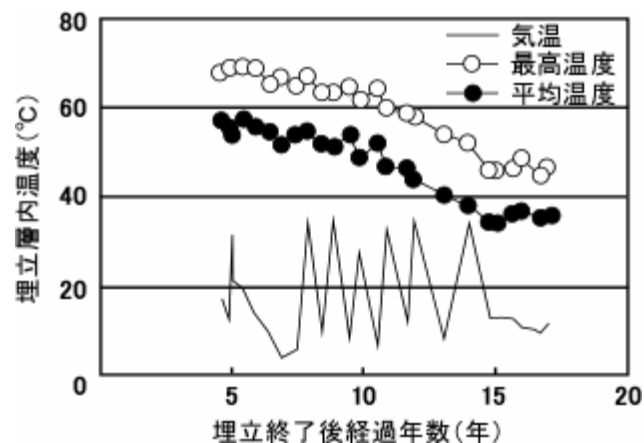


図.2-1-5 東京都中央防波堤内側埋立て地の地層内最高及び平均温度の推移

(昭和 51 年 11 月から昭和 54 年 3 月にかけて埋立てが行われた地点)

〔出典〕 廃棄物埋立処分研究部会：廃棄物最終処分場廃止基準の調査評価方法、
廃棄物学会、平成 14 年 3 月

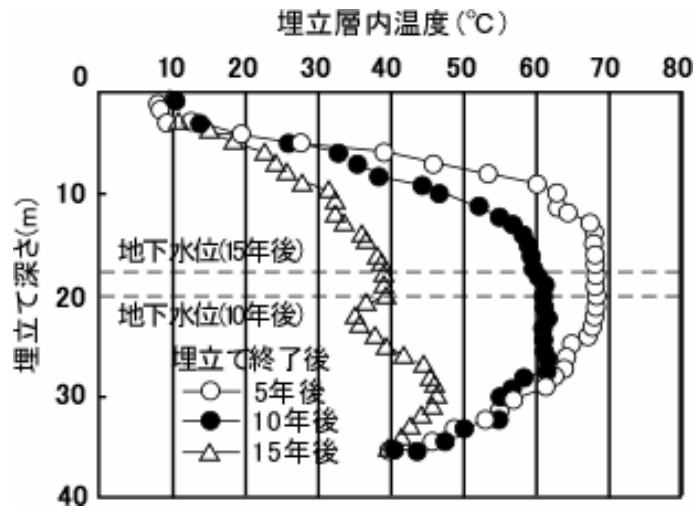


図.2-1-6 東京都中央防波堤内側埋立て地の深さ方向の温度の推移

〔出典〕 廃棄物埋立処分研究部会：廃棄物最終処分場廃止基準の調査評価方法、
廃棄物学会、平成 14 年 3 月

以深では、メタン発酵に適する 30℃となっている。この後、温度は低下傾向にある。各年度の測定結果から、深さ方向の温度分布は表層から深さ 10m 以内で、表層方向に向けての温度低下勾配となっている。特に約 5m 深さ以内では、特に外気（東京地方の年平均気温：15℃）変動の影響を受けやすい。地下水位面を境に、それ以上の深さは嫌気状態と考えられ、概して温度は低下傾向にある。15 年経過後も、平均温度は 30℃以上となっている。

温度上昇は生物反応のほか、投入物の化学反応、例えば焼却炉から排出された焼却灰及び飛灰と水との接触に伴う発熱、飛灰中の未反応な消石灰の水和反応が考えられる。

温度の観点から、年平均気温が高い地域の方が有機物の好気、嫌気分解が促進され、早期のランドフィルガス発生が期待できる。

埋立が終了し最終覆土が密に施され、ガス抜き設備がない酸素供給量の少ない埋立地内部では、好気性域がほとんどないことから温度上昇が見られない場合がある。従って、埋立て初期の好気反応による温度上昇を期待する場合は、多少通気性を持たせた投入法を考慮する必要があると考えられる。

中央防波堤内側埋立地の面積は、780,000m²で、昭和48年12月から昭和62年3月まで約 14 年間に亘って埋立てが行われた。昭和52年までの4年間で81%の埋立てが終了しており、その後の10年間はゆっくりと埋立てが進行した。最大で標高約30mの高さまで積み上げられ、総埋立容積は約1,400万トンであった。

埋立ては、図.2-1-7に示すサンドイッチ工法による。ごみは3m高さに積まれ、50cmの覆土が実施される。

覆土は、臭気、衛生害虫等の発生及び飛散防止、自然発火対策のため実施されるが、含有有機物希釈効果があり、過度な覆土は回収可能なランドフィルガス量の低減の可能性がある。

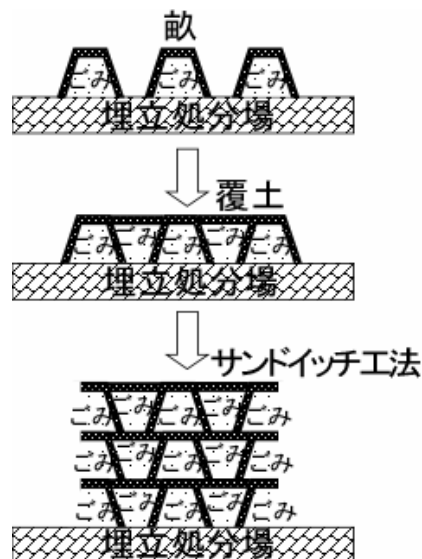


図.2-1-7 サンドイッチ工法による埋立て

〔出典〕東京都環境局：東京都廃棄物埋立処分場中央防波堤外側埋立処分場・新海面処分場、平成 20 年度登録第 3 号

中央防波堤内側の次に埋立てが開始された中央防波堤外側（海面）埋立地の断面図を図.2-1-8に示す。護岸は、二重鋼管矢板式構造となっている。埋立地周囲は、飛散防止対策としてフェンスが設置されている。

降雨は、ごみ層に浸透し有機分を含む浸出水となる。浸出水は、集水され図.2-1-9の排水処理施設で浄化される。この排水処理に係る経費が重荷となっている。

従って、地下管理型メタン発酵施設では降雨が浸透しない構造とする必要がある。

昭和61年12月にガス発電設備が設置された。途中、設備移設、エンジン方式の変更等のため全稼働を除いても、ランドフィルガス中のメタンガスは減少しており、発電量も減少

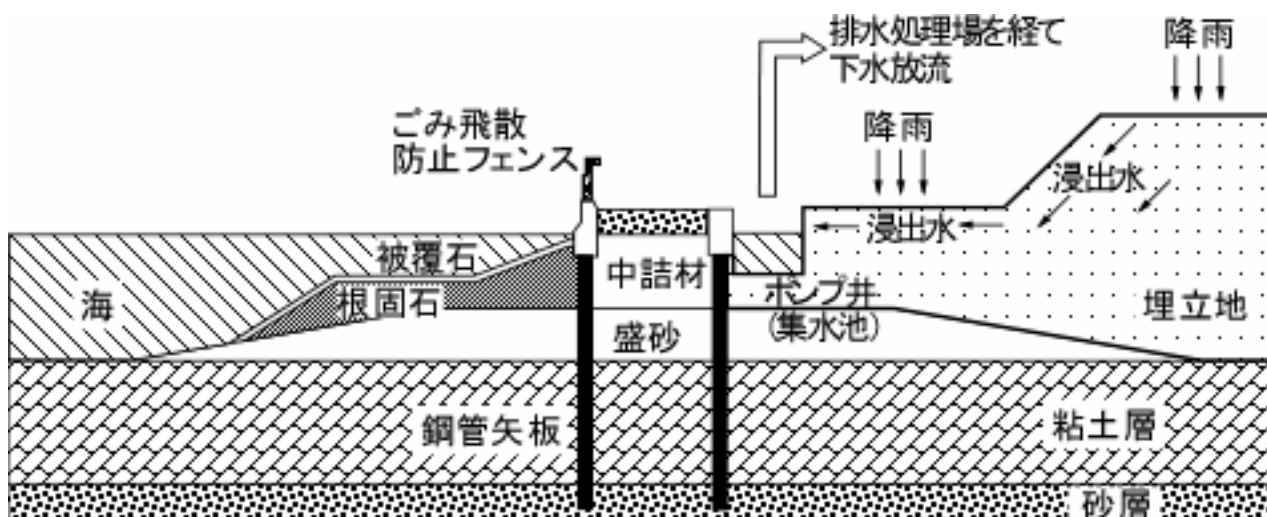


図.2-1-8 中央防波堤外側（海面）埋立地の構造

〔出典〕東京都環境局：東京都廃棄物埋立処分場中央防波堤外側埋立処分場・新海面処分場、平成 20 年度登録第 3 号



図.2-1-9 浸出水処理施設

傾向にある。平成18年2月から発電方式は、マイクロガスタービンに変更されている。

図.2-1-10に東京都中央防波堤内側の埋立て履歴、ランドフィルガス使用量及び発電量の推移を示す。²⁾

図.2-1-11 には、ランドフィルガス吸引管、図.2-1-12 にはガスホルダー及び図.2-1-13 には、6連の 30kWh 級マイクロガスタービン発電機を示す。

処理量 1,230 万トン、バイオガス使用量累計 41,878,423m³ から、全てのランドフィルガスが回収されたものとは考えられないが、概算すると 3.4Nm³/トンとなる。

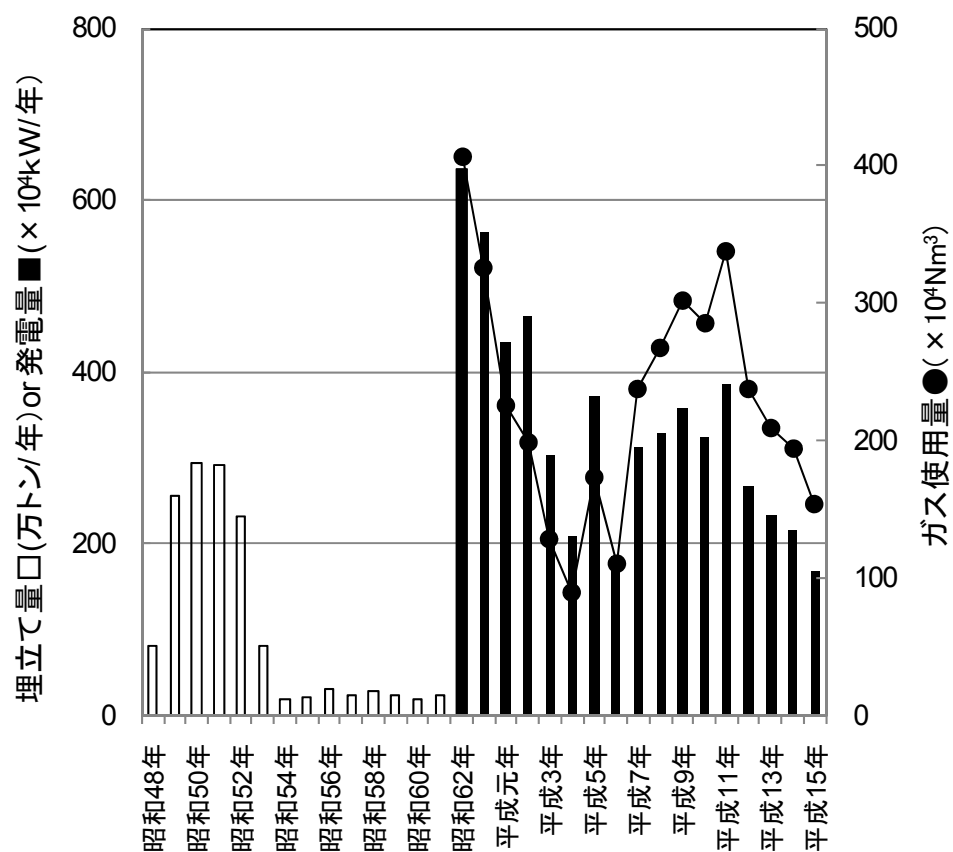


図.2-1-10 東京都中央防波堤内側の埋立て履歴、ランドフィルガス使用量及び発電量の推移



図.2-1-11 ガス吸引ライン



図.2-1-12 容積 1,000m³ ガスホルダー



図.2-1-13 マイクロガスタービン発電機

3).CDMでのCH₄排出量の予測³⁾

一般に、CDMでの管理処分場からのCH₄排出量の予測は、次式により示され、生分解性廃棄物（有機性廃棄物）量に依存する。

$$E = \{ \sum (EF_{i,j} \times Ai,j) - R \} \times (1 - OX)$$

E:管理処分場からのCH₄排出(kg-CH₄)

EF_{i,j}:構造jの埋立処分場に焼却されずに埋立てられた生分解性廃棄物iの排出係数
(乾燥ベース) (kg-CH₄/t)

Ai,j:構造jの埋立処分場に焼却されずに埋立てられた生分解性廃棄物iのうち算定対象
年度内に分解した量(乾燥ベース)(t)

R:埋立処分場におけるCH₄回収量(t)

OX:埋立処分場の覆土によるCH₄酸化率(-)

*CH₄排出係数 = (炭素含有率)×(ガス化率)×(好気分解係数)×(発生ガスCH₄比率)×
1000/12 × 16

炭素含有率例:食物くず(43.4%)、紙くず(40.9%)、下水汚泥(40.0%)、家畜ふん尿(40.0%)
廃棄物中のガス化率: 50%

好気分解係数:嫌気性埋立処分場(1.0)、準好気性埋立処分場(0.5)

発生ガス中のCH₄比率:50%

2.1.2 乾式メタン発酵技術の調査

1).乾式メタン発酵の種類

地下管理型メタン発酵技術は、ランドフィルガス方式と発酵時間の短縮など乾式メタン発酵の利点を活かした融合システムである。

我国では、表.2-1-1の実績のある欧州の乾式メタン発酵システムが技術導入されている。

①. ドランコ方式

図.2-1-14に長野県でのドランコ方式の実証設備フローを示す。図.2-1-15～図.2-1-17に

は、施設写真を示す。

加温は、投入の際、投入物と発酵残渣の混合時に蒸気注入による。攪拌は、引き抜き、再投入の繰り返しによる。発酵残渣は、水分が少ない特徴を活かし、乾燥後燃料として利用される。住民には、ごみの分別収集の徹底を依頼している。

表.2-1-1 我国に技術導入されている乾式メタン発酵システムの概要

方式	ドランコ (Dranco)	コンポガス (Kompogas)	ビオフィェルム (BioFerm)
発酵槽	縦型	横型	ガレージ型
攪拌方式	槽外ポンプ循環	機械攪拌	なし (メタン生成細菌を含む浸出液循環散布)
加温	蒸気吹き込み	温水熱交換 (ジャケット方式)	温水熱交換 (床暖房方式)
温度	高温	高温	中温
処理方式	連続式	連続式	回分式
国内での実施例(プラントメーカー等)	・屋久島有機性廃棄物資源化実証プラント(終了:栗田工業) ・先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業(穂高広域施設組合:栗田工業)	・京都市バイオガス化技術実証研究プラント(バイオガス研究会;タクマ代表) ・カンボリサイクルプラザ(タクマ)	・白井再資源化センター(フジコー) ・乾式メタンプラントテスト機(中部エコテック)

②.コンポガス方式

図.2-1-18 に発酵槽を示す。発酵槽は、横型で攪拌羽根を持つ。加温はジャケット方式による。

生ごみの投入物は、ビニル袋と共に粉碎投入される。押し出し流方式により入口から反対側の出口に運ばれる。発酵残渣は、たい肥化され、図.2-1-19 に示すように園芸用等に利用される。含水率が低下したたい肥の段階で、ビニルとたい肥を分離している。

バイオガスは、図.2-1-20 に示すガス発電機により電力転換される。

③.ビオフィェルム方式⁴⁾

ビオフィェルム方式は、図.2-1-21 に示すようにガレージ型である。図.2-1-22 には、フローを示す。投入物は適度な空隙を持たせ積み上げられ、攪拌は無く、メタン生成細菌を含む菌液を循環散布する。

現在想定 of 地下管理型メタン発酵方式は、ガレージと地下の相違があるが、考え方はビオフィェルム方式に近い。

2).乾式メタン発酵特性

乾式メタン発酵は、湿式メタン発酵が TS(Total Solids:全固形分)数%~10%程度で、場合により原料を希釈して投入されるのに対して、TS を高く 20~40%程度として運転できる特徴を有している。従って、湿式メタン発酵の最大の普及課題である発酵液の処理に関

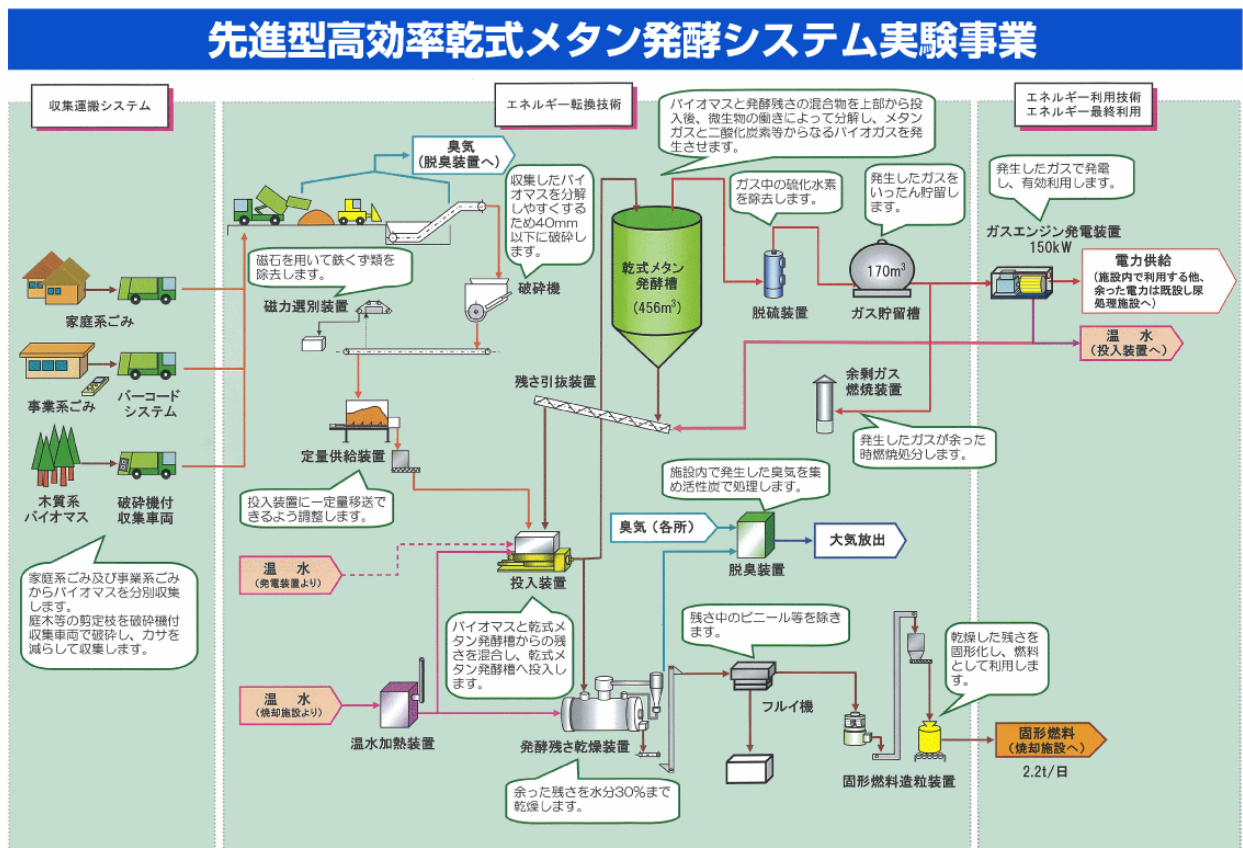


図.2-1-14 穂高町 NEDO 実証設備フロー

〔出典〕 穂高広域施設組合：先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業パンフレット

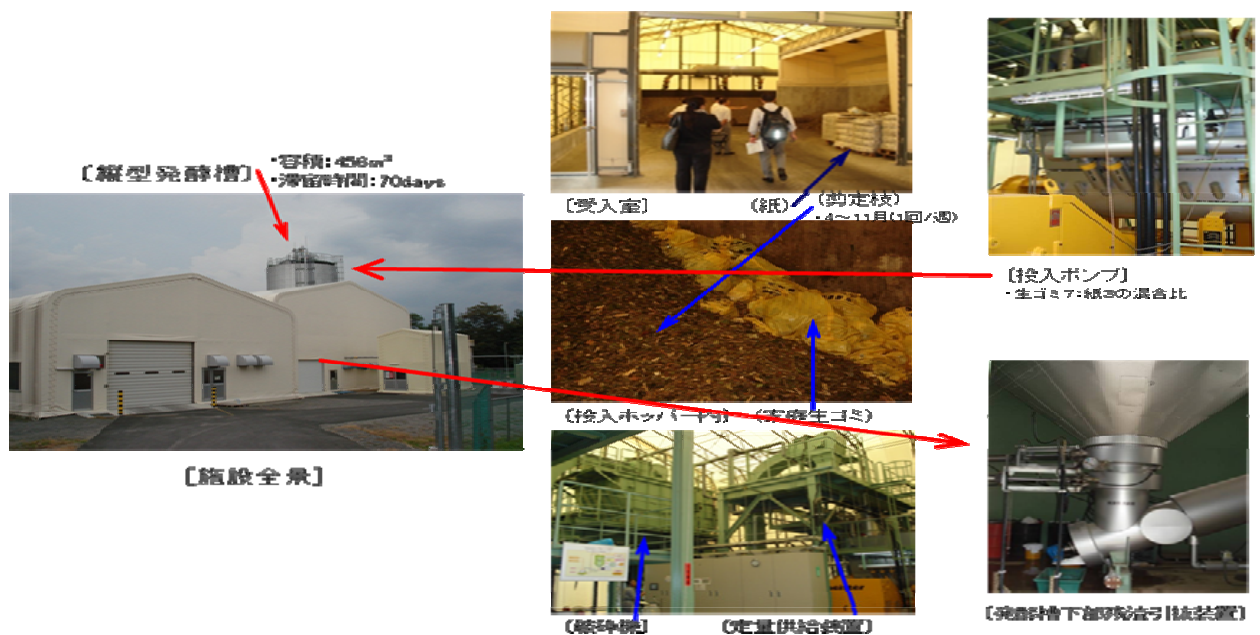


図.2-1-15 実証施設(1)

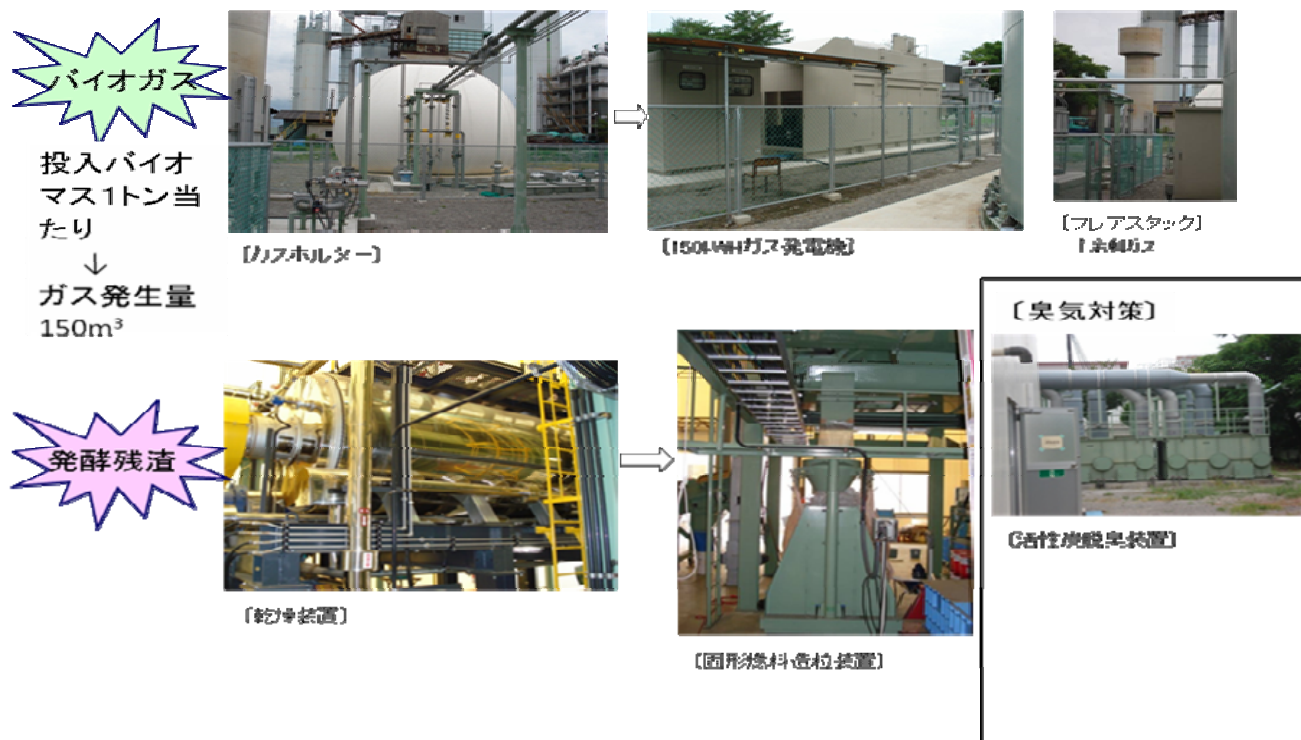


図.2-1-16 実証施設(2)

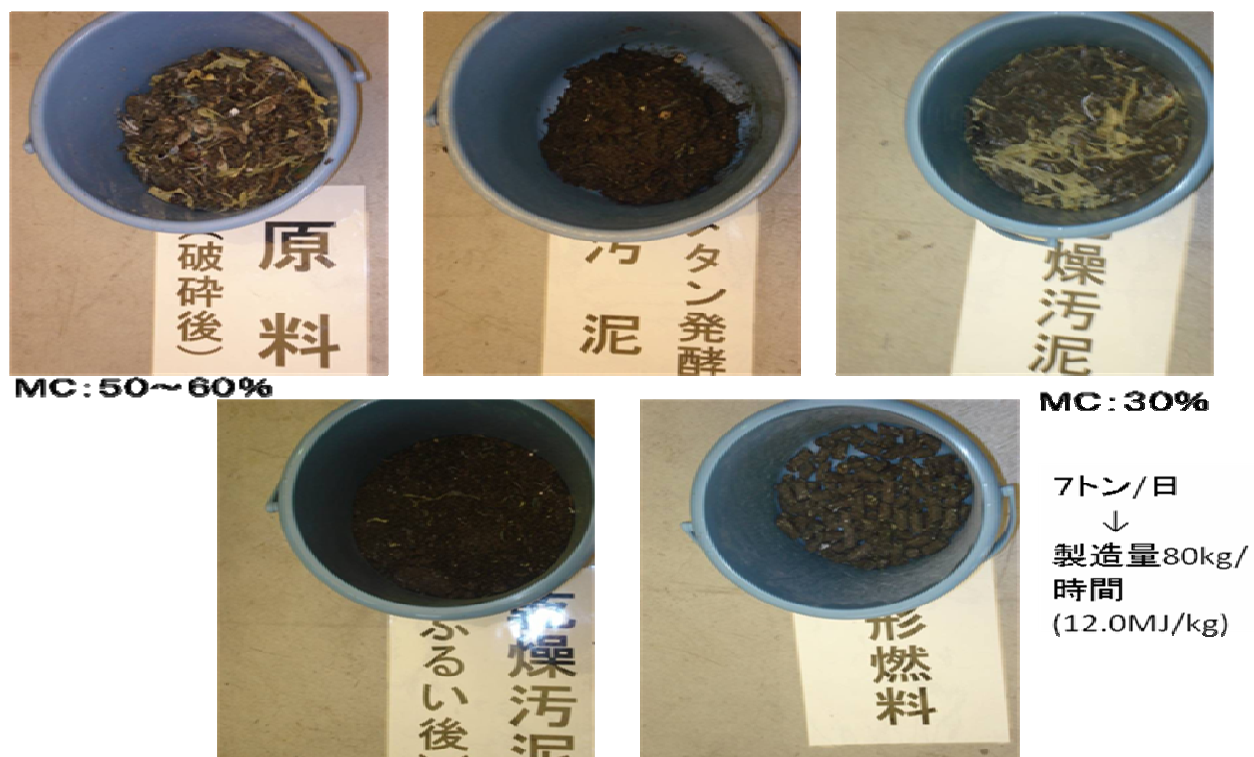


図.2-1-17 実証施設(3) (MC:水分)



図.2-1-18 コンポガス発酵槽



図.2-1-19 園芸用に利用される発酵残渣のたい肥



図.2-1-20 ガス発電機



図.2-1-21 ビオフェルム方式（上左：投入口（油圧ドア）側、上右：バイオガス利用設備、
下：有機物の投入）

〔出典〕 固形有機廃棄物乾式バイオガス・プラント、ビオフェルム

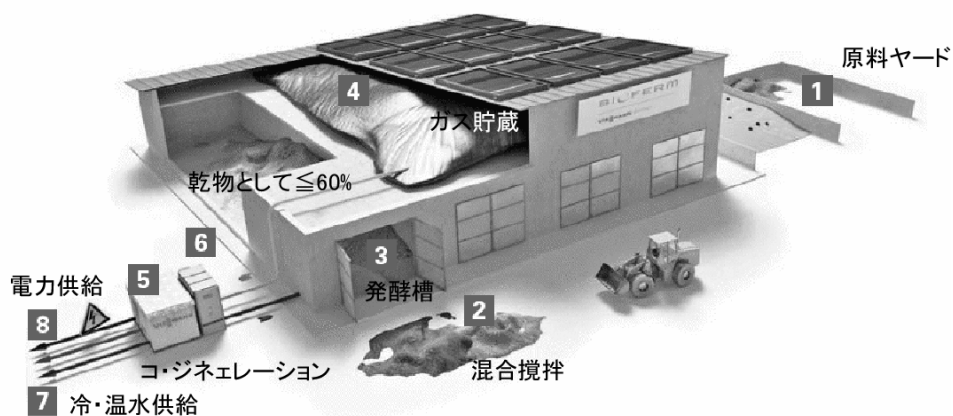


図.2-1-22 ビオフェルム方式フロー

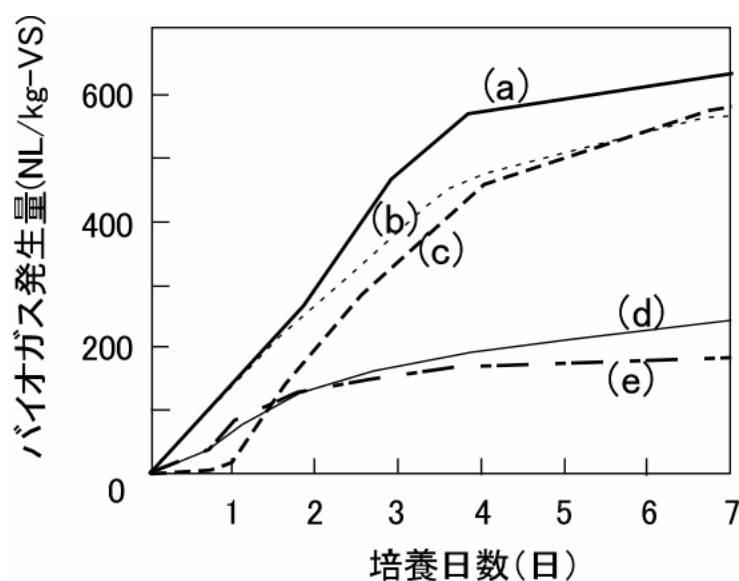
〔出典〕 http://www.bioferm-energy.com/etc/medialib/internet_bioferm/images/technology.Par.6548.Image.File.tmp/image/jpeg.html

して、乾式メタン発酵の発酵残渣は水分が少なく、たい肥化、燃料化が容易である。

乾式メタン発酵は、投入物に種汚泥として発酵残渣の一部を戻し、混合したものが投入される。この際、この混合物の空隙率がメタン発酵に影響することが知られている。投入物（水分 55～76%）と発酵残渣（同 68～85%）の混合物の場合、空隙率は 14～20%でメタン転換率($\text{Nm}^3/\text{kg-VS}$, VS: Volatile Solids、強熱減量＝有機物含有量の一指標)は最大となる。

通常投入物は、生ごみ(TS=20%程度)を対象に、水分調整として紙ごみが用いられる。紙ごみ以外にも、草、剪定枝などを用いることができる。これらは、空隙率の調整に寄与する。

図.2-1-22～図.2-1-23に各種有機性廃棄物の高温乾式メタン発酵回分試験結果例を示す。



- (a):セルロース (b):牛排せつ物
(c):豚排せつ物 (d):し尿汚泥
(e):生ごみ

図.2-1-22 各種有機性廃棄物の高温乾式メタン発酵特性(1)
(種汚泥からのバイオガス発生を含む)

〔出典〕野池達也編：メタン発酵、技報堂、2009年5月

紙ごみ、剪定枝などの主成分であるセルロースは、高温乾式メタン発酵では分解 VS 換算で高いバイオガス転換率を示す。牛、豚の家畜排せつ物は、生ごみ、し尿汚泥よりバイオガス転換率が高いが TS は低く（水分が多い）、乾式メタン発酵に用いる際は、多くの水分調整材を必要とする。

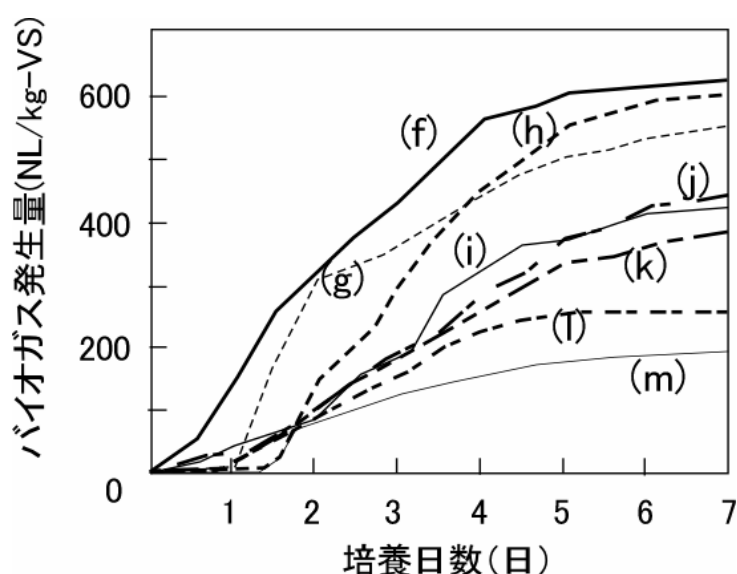
同じセルロース由来の紙ごみでは、種類によりバイオガス転換率が異なる結果となった。新聞紙より、漂白コピー紙、紙コップ、段ボール紙の方がバイオガス転換率が高い。紙ごみの CH_4 濃度は概ね 52%程度である。紙ごみに比較して、剪定枝は VS 分解率が約 25%と低くかつバイオガス転換率も低い。

地下管理型メタン発酵では、地域の利用可能なバイオマスの種類、排出量を考慮し、生

ごみを主対象に、紙ごみ場合により剪定枝、木材チップ等で水分及び空隙率を調整し、発酵残渣の一部を混合したものを投入する。検討プロセスでは、発酵残渣のたい肥化を想定している。従って、メタン発酵で未分解の有機物があってもたい肥化工程で分解が進行するものと考えられる。

地下管理型メタン発酵に近いガレージ式のビオフィェルム方式の実施例を以下に示す。

この実施例では、前回の発行残渣 28 トンに新規の生ごみ 22 トンを混合し、総量 50 トンで実施している。新規生ごみ 1 トン、1 日当たりの発生バイオガス量の推移を図.2-1-24 に示す。23 日経過後に再投入を行っている。前半の総量 50 トンのバイオガス累積発生量は、2,249m³で総量 1 トン当たり 45m³となった。後半では、それぞれ 2,482m³、1 トン



- | | |
|--------------|-----------|
| (f):漂白コピー紙 | (g):紙コップ |
| (h):セルロース | (i):段ボール紙 |
| (j):ティシュペーパー | (k):草 |
| (l):新聞紙 | (m):剪定枝 |

図.2-1-23 各種有機性廃棄物の高温乾式メタン発酵特性(2)
(種汚泥からのバイオガス発生を含む)

〔出典〕野池達也編：メタン発酵、技報堂、2009年5月

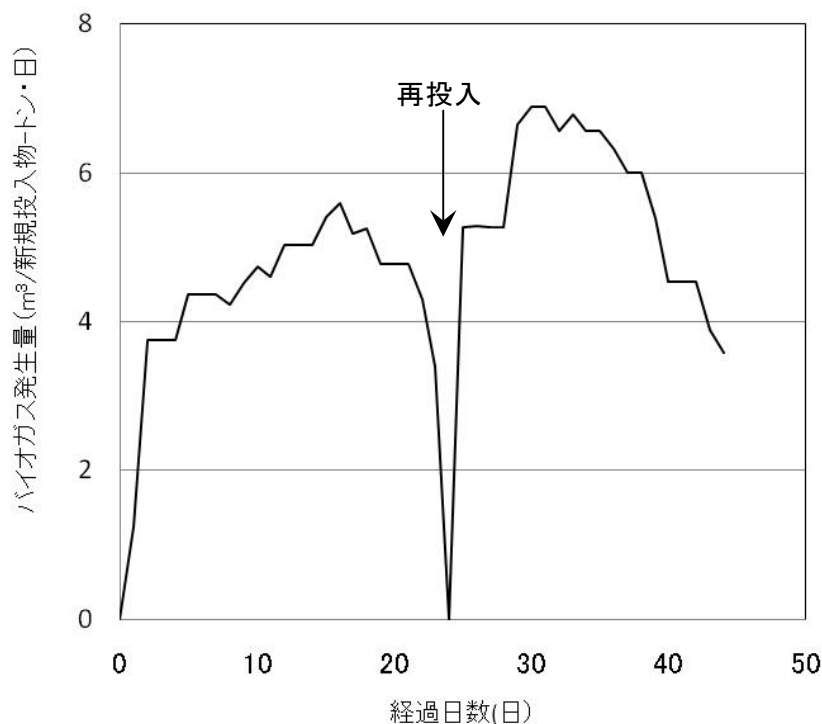


図.2-1-24 ビオフィェルム式乾式メタン発酵のバイオガス発生量の推移
 (総量 50 トンの生ごみ、新規投入 22 トンを対象に換算)
 [出典] 固形有機廃棄物乾式バイオガス・プラント、ビオフィェルム

当たり 50m^3 であった。生ごみは毎回 22 トン新規に加えているので、新規生ごみで換算すると前半の新規投入 1 トン当たり 102m^3 、後半は 113m^3 となった。ここでは、新規投入物 4 に対して発酵残渣を 5 混合し、新規投入生ごみ 1 トンあたり 100m^3 程度のバイオガスを得ている。

この際のメタン及び硫化水素濃度の推移を図.2-1-25 に示す。メタン濃度は、開口部（ガレージの油圧扉）の閉鎖とともに 1 週間程度で 60% に到達し、前半のメタン平均濃度は 61%、後半は 63% となった。硫化水素は、生ごみを対象としているため、最大で 180mg/L 程度で前半の平均硫化水素濃度は 104mg/L 、後半が 71mg/L であった。

運転は、投入物の水分を 60% 程度とし、細かな破碎の必要が無く、ショベルカーなどによりガレージ内に搬入、積層される。所定量の投入に到達後、開口部の気密扉を閉じ、吸引ファンにより、 -25mmbar 程度で脱気される。数十時間後、センサーにより嫌気状態が確認される。発酵温度は、 37°C 前後で推移したようであるが、開始時は、残存する空気を好気性微生物が利用し 2～3 日間は 60°C に達するようである。

この結果を地下管理型メタン発酵の参考とすると、新規投入物 1 に対し発酵残渣を 1 程度添加すること、新規生ごみ投入物 1 トン当たり 100m^3 程度のバイオガスの回収が期待できること、開口部は油圧扉で閉鎖するなど気密性確保の配慮が必要なこと、開始当初は、残存する空気を好気性微生物が利用し発熱が期待できる等が挙げられる。

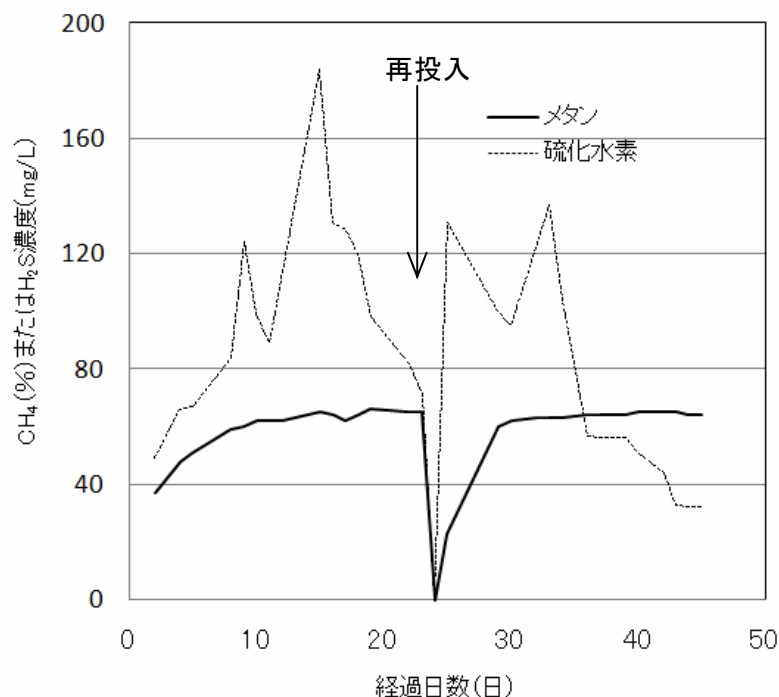


図.2-1-25 ビオフィェルム式乾式メタン発酵の際のメタン及び硫化水素濃度の推移
(投入物：生ごみ)

〔出典〕 固形有機廃棄物乾式バイオガス・プラント、ビオフィェルム

2.1.3 低温・無加温メタン発酵技術の調査

メタン発酵反応に関して、温度は重要な物理的要因の一つである。

我国で実施されている家畜排せつ物、生ごみ及び食品工場排水等のメタン発酵は、35℃付近の中温メタン発酵あるいは55℃付近の高温メタン発酵が採用されている。下水汚泥を対象としたメタン発酵である嫌気性消化では、20℃以下の低温消化帯（15～20℃）、40℃以下の中温消化帯（30～37℃）、65℃以下の高温消化帯（50～55℃）の3つが採用されている。

地下管理型メタン発酵は、地下の恒温性、断熱性等に着目している。温度が低く操作できれば、加温に要するエネルギーの削減が可能となり、経済性の向上につながる。

そこで、低温時のメタン発酵特性及び無加温メタン発酵事例を調査し、地下管理型メタン発酵施設の設計及び運転際の参考資料とする。

①.温度特性

図.2-1-26 に中温メタン発酵と高温メタン発酵における発酵温度及び有機物負荷量並びにバイオガス生成量の関係を示す。

高温メタン発酵は、中温メタン発酵に比べ、有機物負荷量を約2.5倍多くでき装置の小型化が可能となる反面、温度に関する半値幅が小さいことから厳密な発酵温度管理が要求される。一方、中温メタン発酵は、概して35℃を中心に広範囲な温度域に対し追随性があるが、25℃以下でのバイオガス回収は厳しいことが言える。

図.2-1-27に、下水汚泥の嫌気性消化の際の消化温度と最適消化日数の検討結果を示す。
55℃の高温消化では 10 日程度の消化日数を、20℃の低温消化では約 50 日を必要とする。
15～20℃の低温下において、日数を要するが消化が可能であることを示唆している。

無加温の嫌気性消化の実施設調査、室内実験結果からは、有機物負荷を低減することにより、低温下においても消化が進展するが、10℃を目安に加温を必要としている。⁵⁾

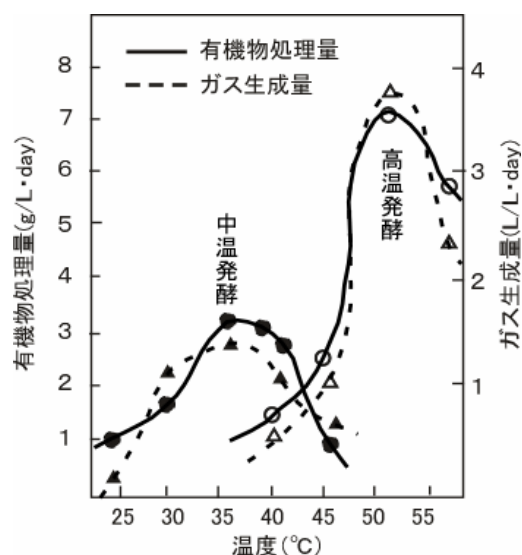


図.2-1-26 中温メタン発酵と高温メタン発酵における発酵温度及び有機物負荷量並びにバイオガス生成量の関係

〔出典〕小野英男、他：発酵研究所報告、15、121、1958

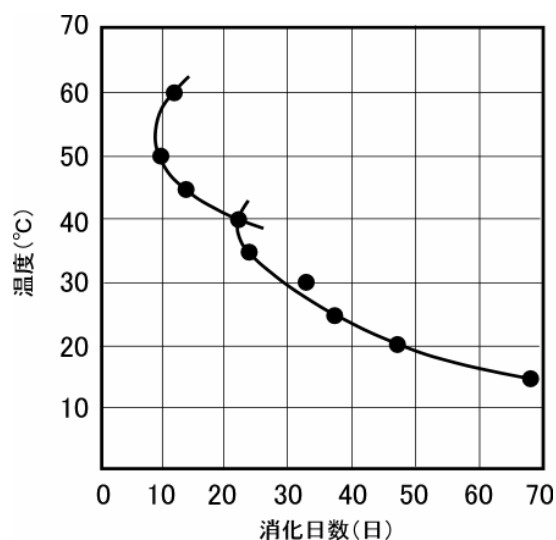


図.2-1-27 下水汚泥の嫌気性消化の際の消化温度と最適消化日数の検討結果

〔出典〕日本下水道協会：下水処理場の維持管理-WPCF マニュアル（Ⅲ）、1974

②. モデル物質を用いた回分実験例

松本らは、ディスポーザー排水の無加温の嫌気性処理を検討した。ここで炭水化物のモデル物質としてスクロース（ショ糖：グルコース（ブドウ糖）とフルクトース（果糖）が結合した 2 糖類）、タンパク質のモデル物質としてポリペプトン（タンパク質を酵素や酸で加水分解したもの）を選定し、バイアル瓶を用いた回分実験により培養温度の影響を検討した。

実験は、容積120mLのバイアル瓶に各基質(モデル物質10,000mg/Lに緩衝剤及び栄養塩を含む)10mL及び種汚泥（下水処理場の中温消化の汚泥を中温で馴養したもの）30mLを注入・混合し、恒温槽を用い振とう培養し、バイオガス発生量、ガス組成、培養液を遠心分離し、さらに0.45 μ mポアサイズのフィルタでろ過したろ液中の全有機性炭素除去率などを分析した。

図.2-1-28 にスクロースを基質とした場合の培養液ろ液中の TOC(Total Organic Carbon:全有機性炭素)の除去率の推移を示す。図.2-1-29 には、バイオガス中のメタン発生量を示す。

同様に、図.2-1-30 にはポリペプトンを基質とした場合のろ液中の TOC 除去率の推移を、図.2-1-31 にメタン発生量を示す。

スクロース基質とポリペプトン基質を比較すると、除去（分解）率が定常状態になるまでの時間からスクロースの方がポリペプトンより資化されやすいことが、両者の除去率は、ともに80%以上と良好な除去率である結果を得た。両基質は、25℃及び35℃において、ろ液中のTOC除去がほぼ終了するまでの時間に顕著な差は見られなかった。一方、15℃では、分解が終了するまでの進行速度が大きく低下している。しかし、時間をかけると両基質ともに除去率は温度に関わらずほぼ同じになる結果となった。

メタンの生成は、ろ液中の TOC の分解を反映し、25℃及び 35℃では、速やかなメタンの生成が見られ、両基質ともに 5 日まで急速に、その後緩慢となった。15℃では、緩やかなメタン生成が見られ、ろ液中の TOC の分解が定常状態となる 14 日前後以降は、穏やかになった。スクロースを基質とした場合、培養温度の影響を顕著に受け、累積メタン生成

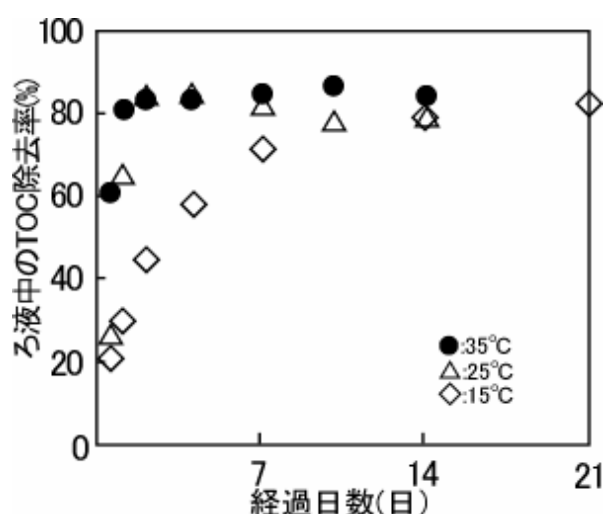


図.2-1-28 ろ液中の TOC 除去率の推移（スクロース基質）

〔出典〕松本明人、他：中低温域でのメタン発酵による炭水化物および蛋白質含有排水の処理、信州大学環境科学年報、No.29、p.76-80、2007

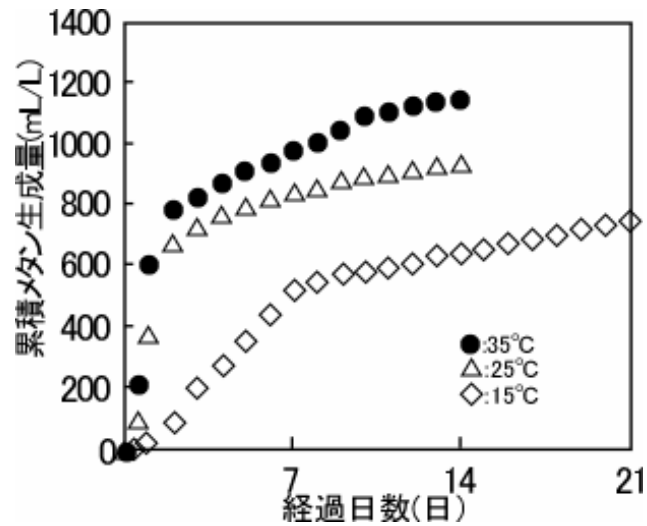


図.2-1-29 累積メタン発生量（スクロース基質）

〔出典〕松本明人、他：中低温域でのメタン発酵による炭水化物および蛋白質含有排水の処理、信州大学環境科学年報、No.29、p.76-80、2007

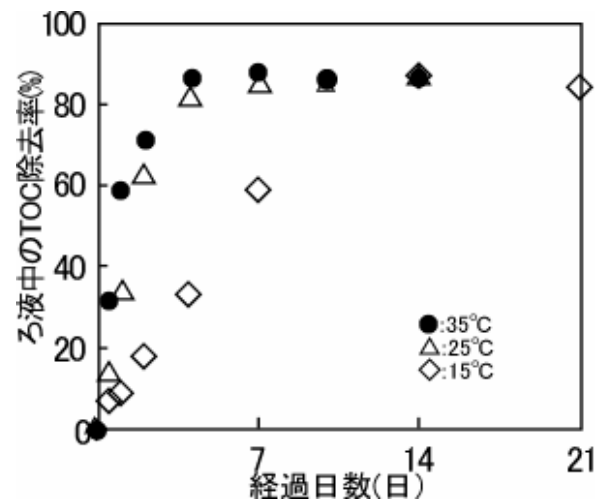


図.2-1-30 ろ液中の TOC 除去率の推移（ポリペプトン基質）

〔出典〕松本明人、他：中低温域でのメタン発酵による炭水化物および蛋白質含有排水の処理、信州大学環境科学年報、No.29、p.76-80、2007

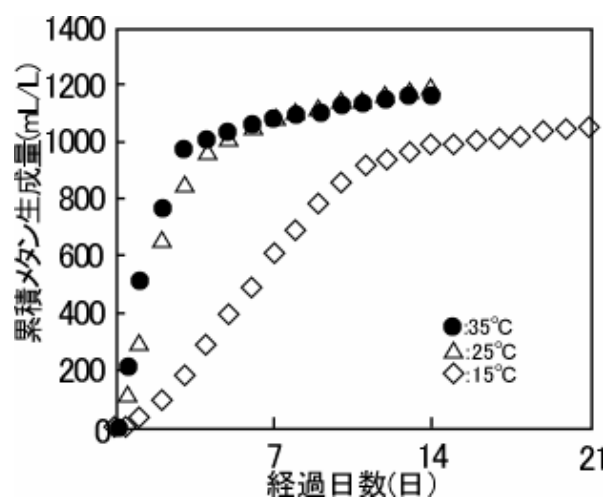


図.2-1-31 累積メタン発生量（ポリペプトン基質）

〔出典〕 松本明人、他：中低温域でのメタン発酵による炭水化物および蛋白質含有排水の処理、信州大学環境科学年報、No.29、p.76-80、2007

量は温度が高いほど多かった。ポリペプトンを基質とすると 25℃及び 35℃では、累積メタンに生成量に差は見られなかった。両基質とも 15℃では、累積メタン量は、25℃及び 35℃に比較し下回る結果となった。この結果から、回収される累積メタン量は少なくなるものの、15℃でも時間をかけることにより、メタン発酵が進行することが示唆された。

③.温室を用いた無加温メタン発酵実証試験例

梅津らは、家畜排せつ物を対象に無加温のメタン発酵についての実証試験を実施した。

試験装置は、図.2-1-32～図.2-1-33 に示すように温室内にスラリー槽を設け、無加温で実施した。



図.2-1-32 温室方式の無加温メタン発酵試験施設

〔出典〕 梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成 14 年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

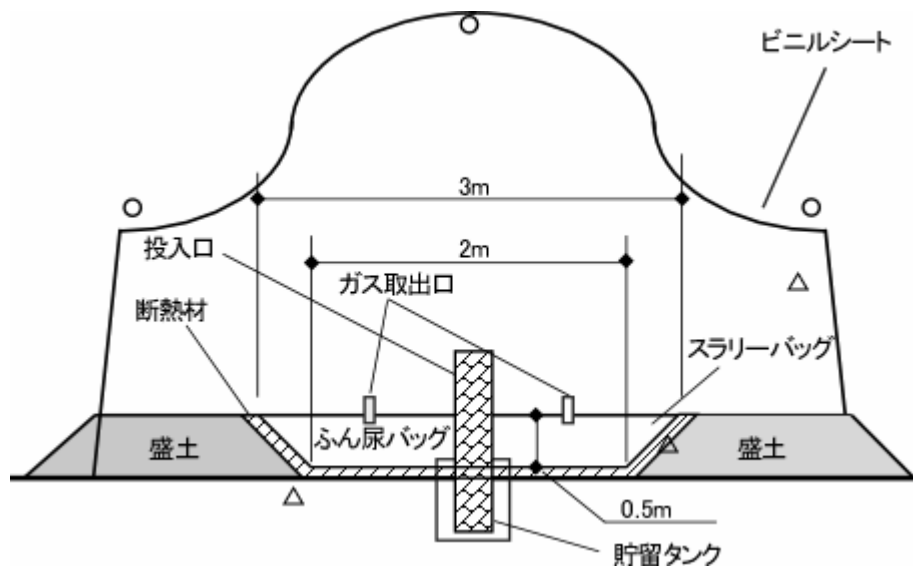


図.2-1-33 温室方式の無加温メタン発酵試験施設概略図

〔出典〕梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成14年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

温室内、外気及びスラリー温度を図.2-1-34に示す。図.2-1-35には、5月投入時からスラリー温度が10℃付近になる11月までのバイオガス生成量とスラリー温度の推移を示す。

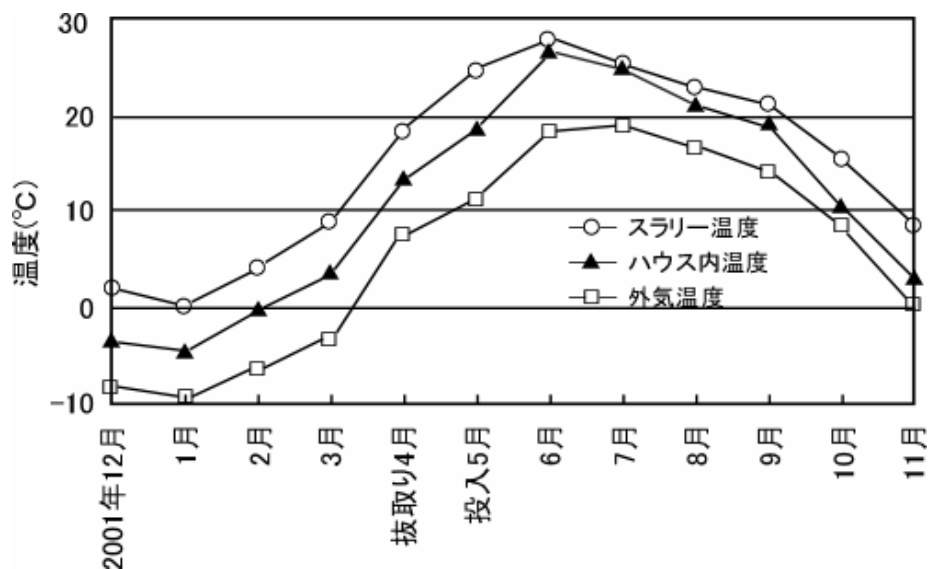


図.2-1-34 温室内、外気及びスラリー平均温度の推移

〔出典〕梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成14年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

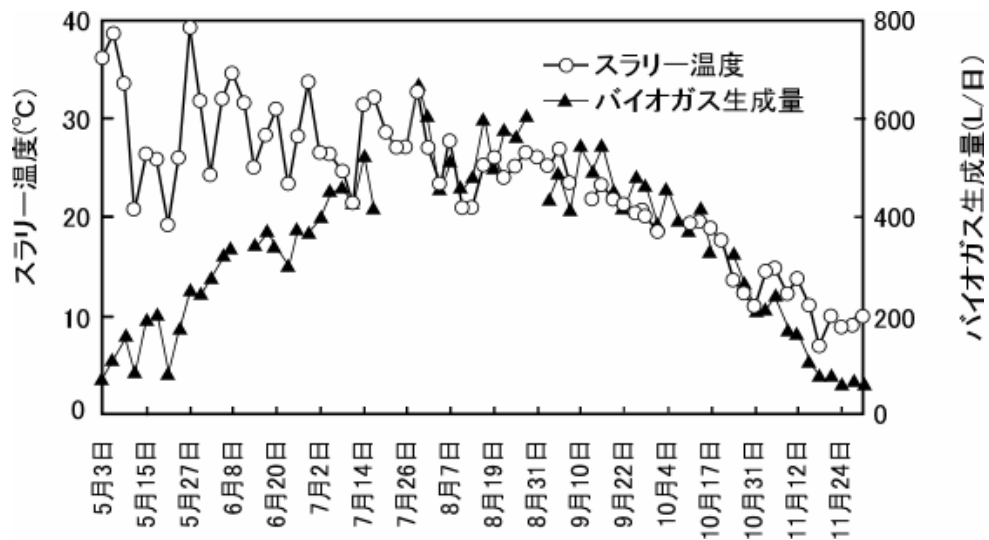


図.2-1-35 バイオガス生成量及びスラリー温度の推移

〔出典〕梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成14年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

スラリー槽平均温度は、ビニルシート張り温室内に設置されているため、年間を通じ温室内及び外気平均温度より高い値を示し、ビニルシート張りの保温、室内温度上昇効果が示された。

投入直後のスラリー温度は、30℃以上あり、その後も20℃以上を確保していたため、順調にバイオガスの発生が見られ、投入後約3ヶ月付近で1日当たり最大のバイオガス発生量が観察された。その後は、スラリー温度の低下とともに発生するバイオガス量も低下した。

図.2-1-36 にスラリー温度と発生するバイオガス量の相関図を示す。

スラリー温度と発生するバイオガス量の相関係数(R)は、0.8239 となり極めて高い相関が確認された。

スラリー温度15℃以下においてもバイオガスの発生が見られるが、少量であった。37℃の中温メタン発酵に比較し、20℃近辺でのバイオガス発生量は約1/2 となっている。

本実証試験は、家畜排せつ物を対象に無加温の湿式で実施されたが、バイオガスの回収（中温メタン発酵発生量の1/2 以上を目標）の観点から、発酵温度は20℃以上を必要とすることが示唆された。

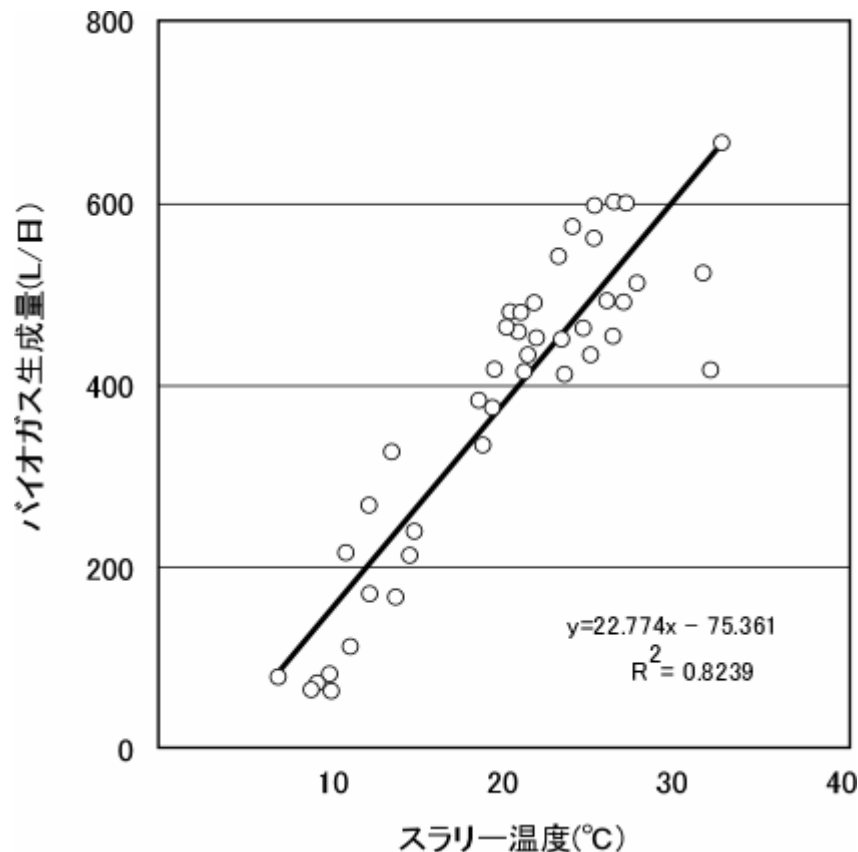


図.2-1-36 バイオガス生成量及びスラリー温度との相関図

〔出典〕梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成14年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

④.下水を対象とした無加温メタン発酵実証試験例

平成18年度～平成20年度に、メタン発酵の排水処理分野への利用拡大を目指し、「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」が実施された。このプロジェクトの中で、常温(10～20℃)で多量に排出される排水処理への適用を目的に無加温メタン発酵排水処理の開発を行った。⁶⁾

鹿児島県霧島市の下水処理場にUASB（Up-flow Anaerobic Sludge Blanket）方式の処理量50m³/日の実証試験装置を設置し、性能評価を実施した。

無加温嫌気処理における有機物分解特性は、集積培養試験により下水に含まれる固形有機物の分解進行と水温との関連を調査した。その結果、水温20℃未満で固形有機物の分解速度が大きく低下することが明らかになった。

また、UASB槽汚泥のセルロース含量分析により、冬季の水温の低下に伴う固形有機物の蓄積と夏季の水温上昇に伴う固形有機物分解の進行の様相を明らかにした。

水温低下時(15℃以下)においても、COD除去率は59±12%となり処理性能を維持した。溶解性CODは冬季では、処理水と同じレベルに達するのに処理槽高さ3.25m(HRT(水利学的滞留時間):6.5時間)を必要としたが、夏季では高さ1.25m(HRT:2.5時間)で同様のレベルに達することから、冬季では十分な反応時間が確保されることにより、処理水質は維持され

ることを示した。

この結果から、20℃未満では固形有機物の分解速度が大きく低下するものの、15℃以下でも馴養と HRT を長くとることにより有機物の分解が進行することが言える。

⑤.無加温簡易メタン発酵の例

中国特に内陸部の農家等では、図.2-1-37 に示すような地下埋設式のメタン発酵が実施されている。ここでは、家畜排せつ物等を対象に、比較的長期の消化期間を設けて実施されている。得られたバイオガスは、家庭の燃料等として、消化残渣は、肥料として利用されている。

中国では、発酵槽容量約 10m³ でのものが、1991 年時点で 475 万基、2010 年では、4,000 万基、2020 年には 8,000 万基建設が予定され、原料は牛 2 頭の排せつ物あるいはオカラ 20kg などを 3～4 ヶ月の滞留時間で、1 日当たり約 2m³ のバイオガスを得ている。これは、5 人程度の調理に十分な量とされている。⁷⁾

中国以外でも、東南アジアでは簡易メタン発酵の実施が見られる。図.2-1-38 にその実施例を示す。この例では、発酵槽としてプラスチック袋を採用している。

我国においても、1980 年頃図.2-1-39 に示すような地下埋設型簡易メタン発酵施設の導入が試みられた。また、埼玉県小川町では、図.2-1-40 及び図.2-1-41 のような、小規模簡易メタン発酵設置事例がある。小川町では、町設置の簡易バイオガスプラントが 1 基、有機農家が設置した施設が 7 基となる。⁸⁾⁹⁾ 運営は、NPO「小川町風土活用センター」(NPO ふうど) による。¹⁰⁾

地下空間を利用した乾式メタン発酵類似事例あるいは無加温の乾式メタン発酵について、調査した範囲では、わが国の実施例は現在 1 例しかないが、諸外国で大規模に、また CDM 対象としても実施されているランドフィルガス方式以外、地下を利用した乾式メタン発酵類似の実施例はない。

湿式方式では、無加温の実施例がある。しかし 20℃以下の発酵温度では、メタン発酵は進行するものの長期間を要する、また回収できるバイオガス量は激減する。

地下管理型メタン発酵では、バイオガス回収の観点から発酵温度の目標値を 20℃とすることとする。

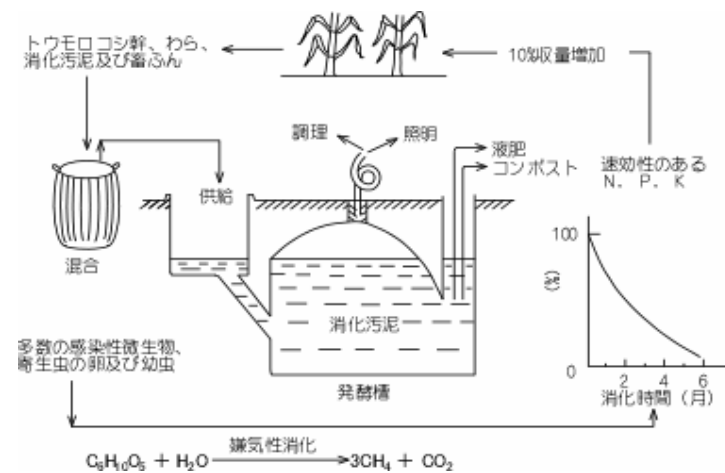


図.2-1-37 中国式簡易メタン発酵

〔出典〕農文協編：畜産環境対策大事典第2版、（社）農山漁村文化協会、2004年3月

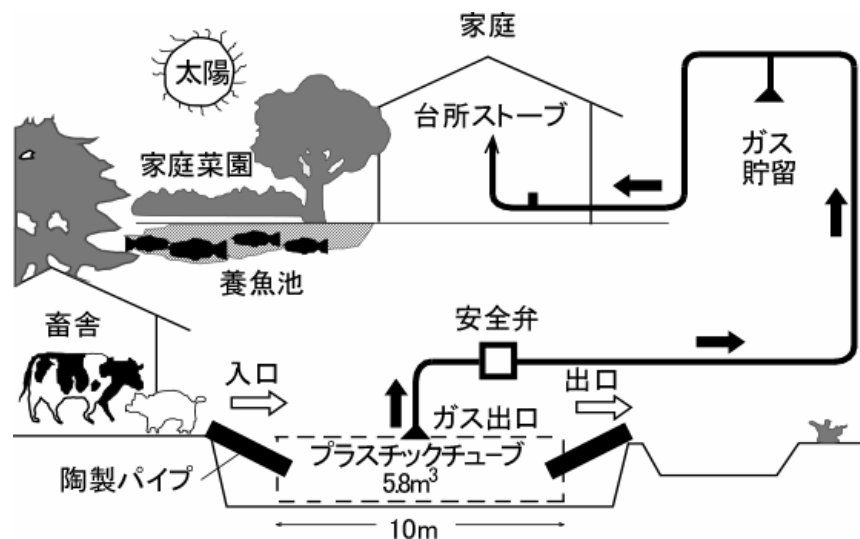


図.2-1-38 東南アジアで実施されている簡易メタン発酵の例

〔出典〕神力達夫：ドイツにおける、水離れの新ドライ・バイオガス・システム
月刊廃棄物、2002-7

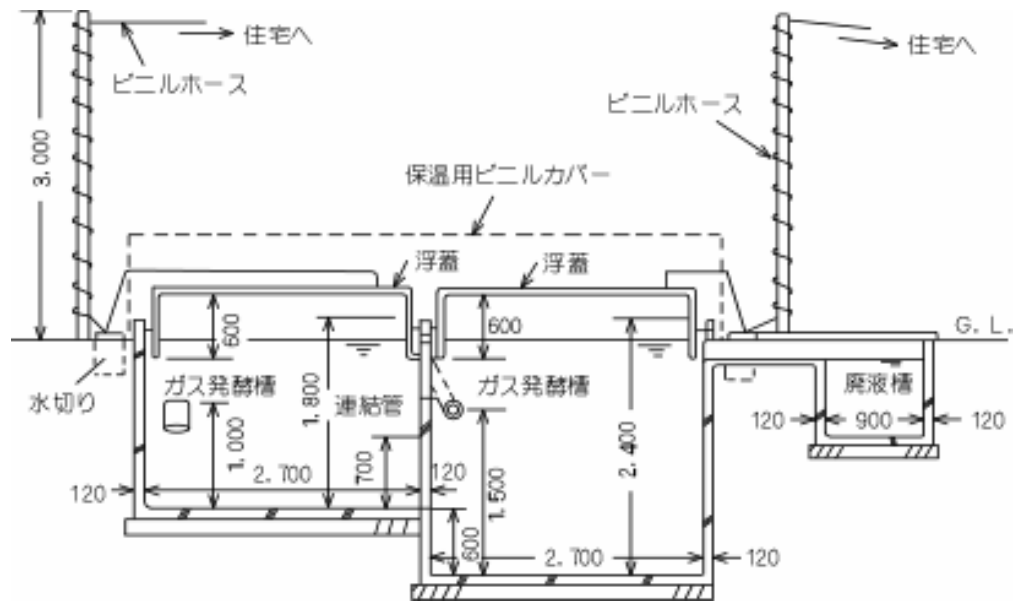


図.2-1-39 我が国での地下埋設型簡易メタン発酵施設の例

〔出典〕農文協編：畜産環境対策大事典第2版、（社）農山漁村文化協会、2004年3月



- ・バイオガス取出部
- ・中央石の下が発酵槽



- ・投入口

図.2-1-40 小規模簡易メタン発酵の例(1)

(牛2頭の糞尿、家族5人分の生ごみが原料。バイオガスは、燃料に利用。発酵液は液肥利用)

〔出典〕高橋良子（国学院大学古沢ゼミ）：小川町の有機農業について

<http://kuin.jp/fur/ogawamati.html>



図.2-1-41 小規模簡易メタン発酵の例(2)

(牛 10 頭の糞尿(投入量 120kg/日。発酵槽容積 8m³。バイオガスは、燃料に利用。資材購入費約 20 万円)

〔出典〕長崎県農林（水産）部：資料・8 モデルケース試算にあたっての詳細資料、埼玉県小川町における小型メタン発酵プラントの事例

<http://www.suisan.n-nourin.jp/ah/sesaku/nouseika/vaio/8-1.pdf>

2. 2 まとめ

本章では、未利用バイオマスの資源化技術として選定した、ランドフィルガス方式、乾式メタン発酵及びたい肥化技術について、詳細調査検討を行った。概要を以下に示す。

- ・ランドフィルガスの我国での実施例は、東京都中央防波堤内側の 1 ヶ所のみであるが、イギリス、アメリカなどでは、バイオガスの回収法として採用例が非常に多い方式である。
- ・ランドフィルガス発生モデルと一般のメタン発酵のガス発生モデルは同一のため、ランドフィルガス方式もメタン発酵の投入原料、環境要因等を整備することにより、発酵の促進が示唆された。
- ・東京都中央防波堤内側の深さ方向の温度分布の推移は、表層から 5m 以内は、気温の影響を受けるが、5m 以深では、埋立終了後 10 年経過後も好気発酵により 30℃以上の地温を、10m 以深では、埋立終了後 15 年経過後も 30℃以上の地温を維持している。地下水位を境に以深では、嫌気状態のため、温度は低下する傾向にある。
- ・埋立方式は、降雨による浸出水処理が維持管理費の大半を占め、雨水が発酵槽に浸透することを防止する対策が必須と考えられる。
- ・我国では、横型発酵槽攪拌式コンポガス、縦型発酵槽循環混合式ドランコ及びガレージ式ビオフィェルムの方式が、技術導入されているが、地下管理型処理・資源化システムは、回分式のビオフィェルム方式に近いと考えられる。
- ・乾式メタン発酵の原料として、生ごみ及び水分調整用に紙類、剪定枝等を用いることが多いが、生ごみより紙類の方が、分解有機物当たりのバイオガス発生量は多い。
- ・地下部の恒温性、断熱性などの利点を活用するため、低温、無加温のメタン発酵システムについて調査を行った。20℃の低温時でも、馴養することにより、また発酵時間を長期間とすることにより、メタン発酵の可能性があることが判明した。発酵温度とバイオガス発生量には、相関が見られ、低温では有機物分解が低下し、同時にバイオガスの発生が少

なくなる。地下管理型処理・資源化システムでは、発酵残渣をたい肥化するため、この工程により未分解の有機物を利用し、発熱、水分減少が図られるため、好都合と言える。

〔参考文献〕

- 1).CDM 情報：「京都メカニズム情報プラットフォーム」参照
<http://www.kyomecha.org/>
- 2).東京都環境局＞廃棄物と資源循環＞埋立処分場＞中央防波堤埋立処分場の各種データ＞ガス発電データ＞ガス発電稼働状況データ
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/resource/landfill/central_breakwater/data_gas_power/operational_status.html
- 3).環境省：CDM/JI 事業実施マニュアル 2008、2009
- 4).http://www.viessmann.com/com/etc/medialib/internet-global/pdf_documents/com/brochures_englisch.Par.45273.File.File.tmp/pr-systems-to-generate-biogas.pdf
- 5).建設省土木研究所、秋田県土木部：無加温式嫌気性消化プロセスの実態調査報告書、昭和 63 年 3 月
- 6).NEDO、三機工業㈱、㈱荏原製作所、(独) 土木研究所、(財) 造水促進センター：平成 18～20 年度無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発成果報告書、平成 21 年 3 月
- 7).木田健次：見直されるオールドバイオ技術による地球温暖化対策および資源循環型まちづくり、バイオガス事業推進協議会会報、Vol.7、平成 22 年 1 月
- 8).http://www.city.eniwa.hokkaido.jp/www/contents/1211961049383/files/ogawachou_baiopurannto.pdf
- 9).<http://www.pref.saitama.lg.jp/uploaded/attachment/376010.pdf>
- 10).<http://www.foodo.org/whats.html>

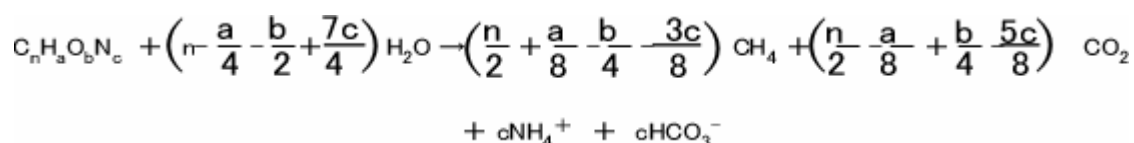
第3章 バイオガス、発酵残渣の利活用システムの検討

3. 1 バイオガスの利活用の検討

3.1.1 未利用バイオマスの選定

未利用のバイオマスから、メタン発酵技術により得られるメタンを主成分とするバイオガスは、バイオマスの組成に依存する。

バイオマス組成から次式により生成メタン量を推定することができる。¹⁾



各種物質からの理論メタン発生量及び理論メタン濃度の推定を、表.3-1-1 に示す。成分的には、脂肪の含有が多いほど、メタン比率、発生バイオガス量が増加するが、水に混和しにくく、代謝過程で生じる有機酸が蓄積しやすい。リグニン等は、理論上はメタン比率、発生バイオガス量が多い。しかし、代謝に時間がかかり、発酵時間は長めになりやすい。

各種有機性廃棄物の湿式メタン発酵における原料当たりのバイオガス発生量及びメタン濃度等を表.3-1-2 に示す。家畜排せつ物より有機物含量が多い厨芥（生ごみ）の方が、代謝しやすく原料当たりのバイオガス発生量が多いことが分かる。

高温乾式メタン発酵での各種有機性廃棄物のメタン発酵特性は、図.2-1-22～図.2-1-23 に前述した。

地下管理型メタン発酵で使用する未利用バイオマスは、今までの乾式メタン発酵等に関する調査検討結果から、生ごみを主対象とし、生ごみと同様に多くのバイオガスの発生が期待できる紙類の混合による水分調整を基に、場合により空隙率調整の観点から木質系チップの添加を想定している。

3.1.2 バイオガス利活用の種類

一般にメタン発酵で得られるバイオガス組成は、CH₄ 60%、CO₂ 40%、残りは H₂S などである。

H₂S は腐食性を有し、家畜排せつ物では場合によりバイオガス中に数 1,000ppm、生ごみでは数 100ppm 含み、バイオガス利用の際には除去される。この除去法には、発酵槽内になぜかな空気を吹き込むなどの生物脱硫と酸化鉄や水酸化鉄系等の脱硫剤を用いる乾式脱硫がある。

奄美大島では、汚泥のたい肥化による資源化が進展しているため、汚泥を主対象バイオマスとして選定していないが、汚泥を対象とする場合、バイオ（消化）ガス中のシロキサン除去が必要となる場合がある。シロキサンは、シャンプーや化粧品中に含まれるシリコンオイルに起因する。シロキサンの主成分は、環状4重合体の [(CH₃)₂SiO]₄ (D4) と環状5 重合体の [(CH₃)₂SiO]₅ (D5) である。シロキサン類は、主骨格が Si-O- で側鎖に炭化水素基を有するため可燃性で、燃焼すると酸化けい素 (SiO₂) が発生する。この酸化けい素が発電機やボイラーの排気管内に蓄積し、発電停止や燃焼トラブルの原因となる。²⁾

表.3-1-1 各種物質のメタン発酵に関する化学量論式及びバイオガス回収量の概算

物質名	疑似分子式に基づくメタン発酵の化学量論式 (菌体増殖の影響を考慮していない)	ガス発生量の概算		
		L/g-VS	CH ₄ 率 (%)	L-CH ₄ /g-VS
炭化水素	$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	0.83	50	9.415
タンパク質	$C_{16}H_{24}O_5N_4 + 14.5H_2O \rightarrow 8.25CH_4 + 3.75CO_2 + 4NH_4^+ + 4HCO_3^-$	0.764	60	0.527
脂肪	$C_{50}H_{90}O_6 + 24.5H_2O \rightarrow 34.75CH_4 + 15.25CO_2$	1.425	70	0.998
リグニン等	$(-CH_2-)n + 0.5n5H_2O \rightarrow 0.75nCH_4 + 0.25nCO_2$	1.6	75	1.2

食品生ごみ	$C_{17}H_{29}O_{10}N + 6.5H_2O \rightarrow 9.25CH_4 + 6.75CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.88	58	0.51
都市ごみ	$C_{46}H_{73}O_{31}N + 14H_2O \rightarrow 24CH_4 + 21CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.887	53	0.47
混合紙	$C_{46}H_{73}O_{31}N + 54.25H_2O \rightarrow 134.375CH_4 + 130.625CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.832	51	0.424
下水汚泥	$C_{10}H_{19}O_5N + 5.5H_2O \rightarrow 6.25CH_4 + 2.75CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	1.003	69	0.69
余剰汚泥	$C_5H_7O_2N + 4H_2O \rightarrow 2.5CH_4 + 1.5CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.793	63	0.5
初沈汚泥	$C_{22}H_{39}O_{10}N + 9H_2O \rightarrow 13CH_4 + 8CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.986	62	0.611
し尿汚泥	$C_7H_{12}O_4N + 9H_2O \rightarrow 13CH_4 + 8CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$	0.772	59	0.463

VS:Volatile Solid (強熱減量)、有機物含量の一指標)

[出典] バイオガス化マニュアル、有機資源熱・エネルギー化調査検討専門委員会報告書、日本有機資源協会、平成 18 年 8 月

表.3-1-2 各種有機性廃棄物のメタン発生原単位

資源化施設	処理対象物	ガス発生率 [m ³ /トン-分解VS]	CH ₄ 濃度 (%)	有機物(VS) 分解率 (%)
汚泥再生センター	余剰汚泥	793	62.5	35～40
	食品生ごみ	880	57.8	75～80
家畜排せつ物処理	乳牛ふん尿	808	60.0	25～35
	豚ふん尿	1069	65.0	45～55
	鶏ふん	—	—	43～53
乾式メタン発酵施設	厨芥	808	55～60	84
	紙類	827	50～55	66
	草木類	817	55～60	20

[出典] バイオガス化マニュアル、有機資源熱・エネルギー化調査検討専門委員会報告書、日本有機資源協会、平成 18 年 8 月

埋立が終了し、ランドフィルガスが定常的に発生し始めるとそのガス成分は、CH₄ が 60%、CO₂ が 30～40%、その他微量の窒素、酸素、硫化水素などである。メタン発酵により得られたバイオガスは、図.3-1-1 の用途に利用できる。

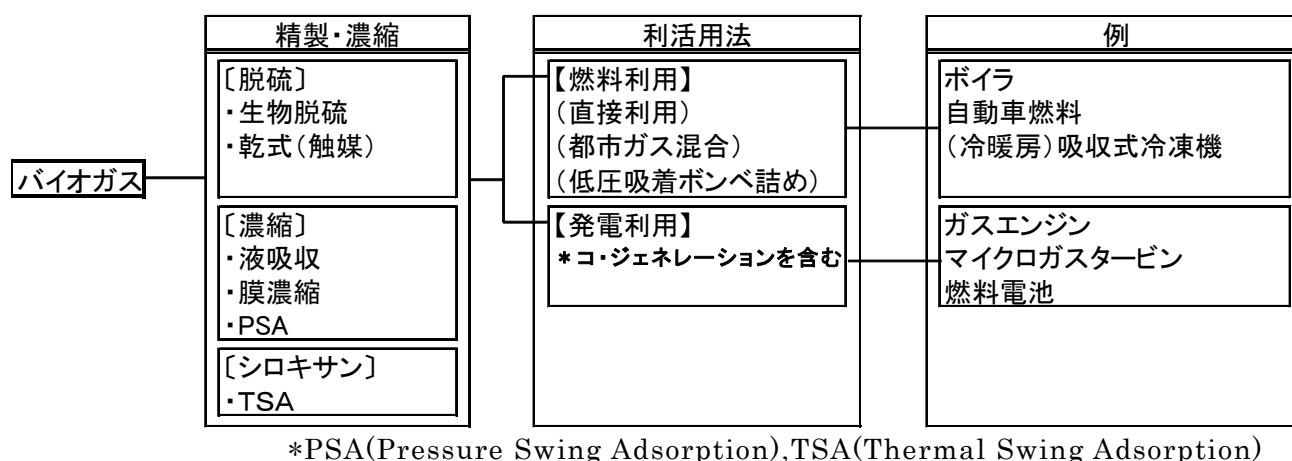


図.3-1-1 バイオガスの利活用例

①.バイオガスの精製・濃縮

前述のようにバイオガスは、CH₄が60%、CO₂が30～40%の組成となっている。この中のCO₂を除去することにより、相対的にCH₄濃度を高めることができ、利用範囲が拡大する。

この濃縮法に i .液吸収法、 ii .膜濃縮法及び iii .PSA（Pressure Swing Adsorption: 圧力変動吸着）法などがある。

i .液吸収法

CO₂吸収の液体としては、下水処理場の消化ガスを対象に設置される場合は、処理水を用い、例えば0.9MPaの圧力下で実施されている。CO₂の処理水への溶解は、水温が低いほど、操作圧力が高いほど高くなり、CH₄は高くなる。CO₂吸収液として、ジェタノールア

ミン水溶液も実証試験されている。

吸収塔の例を図.3-1-2 に示す。

実施例として、消化ガスを対象に、長岡市長岡中央浄化センターの北陸ガス（株）への供給事業、金沢市臨海水質管理センターの市営都市ガスへの供給事業、神戸市東灘処理場の「こうべバイオガスステーション」の天然ガス自動車燃料化などがある。なお、神戸市の同処理場では、精製ガスの都市ガス導入実証試験が開始されている。^{3) 4)}



図.3-1-2 吸収塔（後方）の例（金沢市臨海水質管理センター）
（吸収液:浄化水、塔内には充填物を入れている。前方は脱硫塔）

ii .膜濃縮法

濃縮膜の内、中空糸（ホロファイバー）型膜の模式図を図.3-1-3 に示す。

膜を透過する速度は、ガス種により異なる。例えば、図.3-1-3 の中空糸膜では、 H_2O 、 H_2 、 He が比較的早く、 O_2 、 Ar 、 CO 、 N_2 が遅く、 CO_2 は中程度となる。この速度差を利用して分離、濃縮する。

この膜濃縮実証試験装置の例を、図.3-1-4 に示す。

実施例としては、横須賀市生ごみバイオガス化技術実証事業（プラントは現在停止中）での、精製ガスの収集車の燃料利用や中空糸衛生施設組合リサイクレーンのバイオガス充填・精製装置などがある。後者では、ボンベ詰めのほか、トラクタなどの農業車輛への供給も試験している。

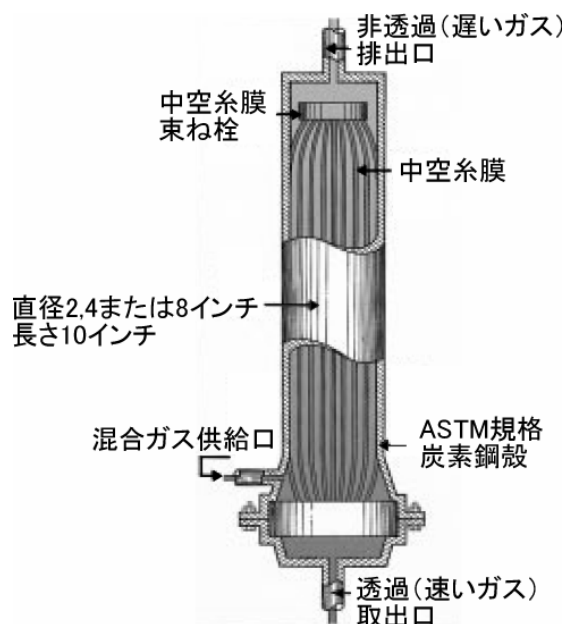


図.3-1-3 中空糸（ホロファイバー）型膜の模式図

[出典] Advanced Prism Membrane Systems For Cost Effective Gas Separations, Air Products 社カタログ

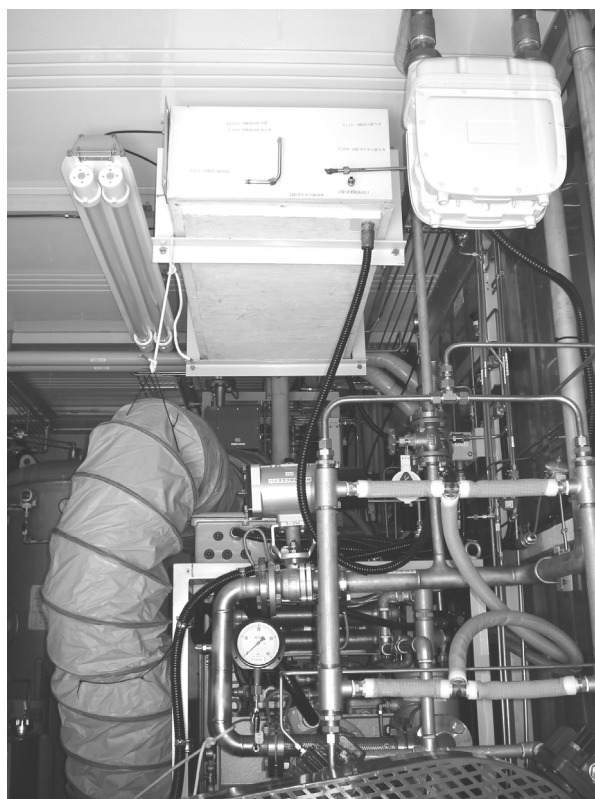


図.3-1-4 膜濃縮実証試験装置（中空知衛生施設組合リサイクルライン設置）
（天井中央部が膜収納部、右はガスメータ）

iii.PSA 法

PSA 法を用い、高濃度 N_2 、 O_2 の供給が実用化されている。この充填剤としては、モレキュラシーブが使用されている。この方法を用いバイオガス中の CH_4 濃縮、精製が実施されている。これは、バイオガス (CH_4 : 60%、 CH_2 : 40%) 中の CO_2 を活性炭などの吸着剤に通すことにより、吸着速度の違いを利用し、吸着除去することにより、メタンガスを 90 ~ 98% に濃縮・回収する方法である。活性炭等に吸着された CO_2 は、真空状態とすることで脱離され、再生される。なお、この再生方式には、常圧再生と減圧再生の 2 形式がある。

減圧再生方式 PSA の例を図.3-1-5 に示す。



図.3-1-5 減圧再生方式の PSA (細澤牧場設置)

実施例としては、鹿児島県垂水市の道の駅へのボンベ詰め燃料供給実証事業（現在プラントは撤去済）、家畜排せつ物等を対象に、メタン発酵を実施している熊本県山鹿市バイオマスセンターの山鹿都市ガス（株）への都市ガス混合事業、東京都大田区の食品残渣をメタン発酵で資源化しているバイオマスエナジー（株）の東京ガス（株）の都市ガス導管への注入実証事業、千歳市細澤牧場の家畜排せつ物を対象としたバイオガスを、ファミリーレストラン等を展開する恵庭市の（株）アレフ北海道工場に、ボイラ燃料としてボンベ詰め供給する事業等で採用されている。^{5) 6) 7) 8)}

②.バイオガスのボンベ詰め

バイオガスの利活用は、地産地消が望ましい。しかし、バイオガス生産地区と消費地区

が離れている場合の手段として、ボンベ詰めを活用が考えられる。

メタン発酵からのバイオガスの主成分であるメタンの沸点は -161.5°C である。このため1気圧の環境下で液化するには極低温が必要になり、臨界温度が -82.6°C であるため、いくら加圧してもこれ以上の温度では液化はしない。液化できても、その比重は0.43であり、原油の比重約0.85と比べても液体メタンは非常に軽いため、運搬時には重量に比べて大きな体積を必要とする欠点がある。

バイオガスのボンベ詰めは、前述の精製・濃縮後、高圧注入あるいは1MPa以下の操作圧の吸着貯蔵が用いられている。1MPa以下の操作圧が用いられるのは、「高圧ガス保安法」により、高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱い及び消費並びに容器の製造及び取扱いに関して厳格な規制があるためである。100m³/日以上の高圧ガスの容器充填は、同法の製造許可（第一種製造者）を、100m³/日以下の場合は、製造の届出（第二種製造者）が必要となる。

また、バイオガスを商業供給する場合、ボンベ詰めしたもの等を簡易なガス発生設備で、一つの団地（供給地点群）内において70戸（供給地点）以上のガス消費者に対し、導管でガスを供給すると、簡易ガス事業となり、「液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律」でなく「ガス事業法」が適用される。

バイオガスの高圧注入及び吸着貯蔵の経済的操作範囲の例を図.3-1-6に示す。図.3-1-7には、吸着貯蔵(ANG)の模式図を示す。

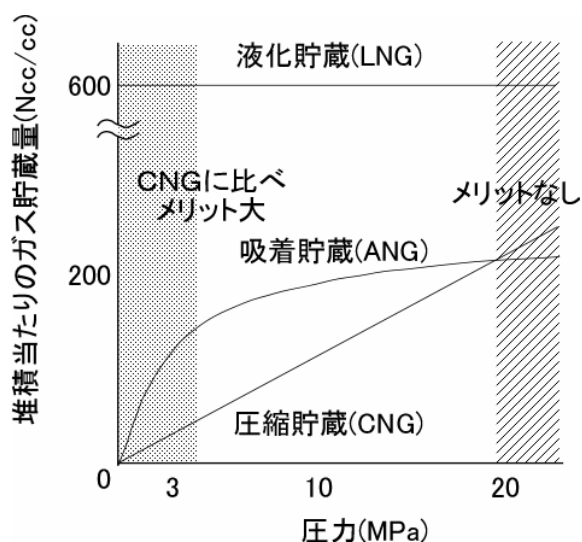


図.3-1-6 各種貯蔵法の比較

〔出典〕 資料提供大阪ガス㈱：バイオガスの利用方法・消化ガスの吸着貯蔵技術-、APEC 環境技術交流促進事業運営協議会

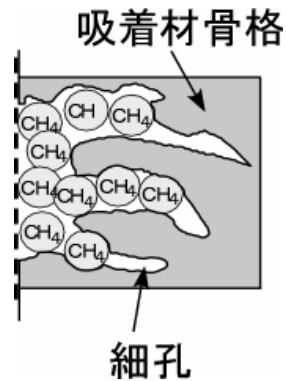


図.3-1-7 吸着貯蔵の模式図

〔出典〕 資料提供大阪ガス㈱：バイオガスの利用方法・消化ガスの吸着貯蔵技術・、APEC 環境技術交流促進事業運営協議会

吸着貯蔵では、細孔内でCH₄はむしろ液体に近い状態で存在し、そのため高密度貯蔵が可能と考えられている。CO₂は、CH₄に比較して吸着力が強い。従って、高濃度のCH₄を容易に回収できる。このCO₂は、残存しやすいため、真空脱着やあらかじめCO₂を除去したバイオガスを投入する必要がある。

ボンベ詰め事業例としては、鹿児島県垂水市のNEDO実証事業（現在プラントは撤去済）、北海道細澤牧場からのバイオガスを食品工場へ供給する事業、熊本県山鹿都市ガス（株）の山鹿市バイオマスセンターからのバイオガスを都市ガス混合及びボンベ詰めする実証事業（2009年4月から2010年2月にかけて実施）などがある。なお、山鹿市バイオマスセンターから山鹿都市ガス（株）間（約5km）の移送には、輸送コスト削減のため、従来の鋼製容器と比べて約1/3の軽量のCFRP（炭素繊維強化プラスチック）製の高压充填（20MPa）カーボン容器を搭載した軽量トレーラーを開発した。

③.発電

バイオガスの一般的な利活用法の一つである。個別家畜排せつ物メタン発酵施設のような小規模発電から下水汚泥の消化ガス用、食品廃棄物用商業大規模メタン発酵施設用などの大規模発電システムがある。

発電のみの利用では、転換効率が約 30%と低いため、排熱を回収し再利用するコ・ジェネレーションが採用されることが多い。

発電規模により、ガスエンジン式、燃料電池式、ガスタービン及びマイクロガスタービン式が採用される。ガスエンジン式では、オットー(otto)式（点火プラグ式）とディーゼルエンジンのデュアルフューエル式に大別できる。

下水汚泥、食品産業等の固形分の少ない排水を対象としたメタン発酵は、我国で既に実績があった。一方、家畜排せつ物や生ごみなどを対象としたメタン発酵の経験が少なく、欧州の技術を中心に導入が行われた。この際、発電機をはじめ主要な装置が搬入された。故障時の部品調達等が課題とされた。

我国では、比較的ニーズのあるバイオガス用の 10～数 10kWh 程度の小出力発電機の種類が少ない。

バイオガス発電には、いくつかの規制を受ける。バイオガス発電は、電気事業者の配電系統に系統連係するのが一般的である。これには、「電力品質確保に係る系統連係技術要件ガイドライン」の規制を受ける。このガイドラインは、発電設備設置者・電気事業者の双方により、法的強制力を持っているものと見なされている。

逆潮流（発電設備等設置者の構内から商用電力系統側へ向かう有効電力の流れ）ありでの系統連係契約を電気事業者と締結し、売電による利益を得ることが可能である。

政府は、平成22年12月22日「再生可能エネルギーの全量買取制度における詳細制度設計について」 買取制度小委員会報告書（案）を公表し、この中でバイオマス発電（本文中の例示は、木質系バイオマス発電）の高価買入に言及している。電力会社の買入価格が安価な現在は、大容量売電が可能な場合以外、売電による利益を得、維持管理費を低減することは難しいと考える。

発電を行うにあたり、電気主任技術者選任届が必要となる。1,000kW未満で、主任技術者を選任しない場合は、不選任承認申請を提出しなければならない。燃料電池式で改質器圧力が98kPa以上の場合及び300kW以上のガスタービン式の場合は、ボイラー・タービン主任技術者が必要となる。ガス発電の場合は、ボイラー・タービン主任技術者は不要である。発電装置からの排ガスにも配慮する必要がある。

3.1.3 バイオガス利活用の最近の動向

平成21年、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）」が制定された。この法律は、原子力、太陽光及び風力等の非化石電源の利用、バイオマスの利用及び石油製品や都市ガスの製造工程におけるロスの減少等の取組みを通じて、電気事業者、ガス事業者及び石油事業者等といったエネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用を促進することで、エネルギーの安定的かつ適切な供給の確保を図ることを目的としている。

特に、一般ガス事業者の非化石エネルギー源の利用に関して、バイオガス利用促進が義務づけられ、平成27年（2015年）に、下水処理場等で発生する余剰バイオガスの推定量（適正なコストで調達できるもの）の80%以上を利用する目標を掲げている。

自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現を目指し、施策のアクションプランは図.3-1-6ように定めている。図.3-1-7には、バイオガスの利用イメージを示す。

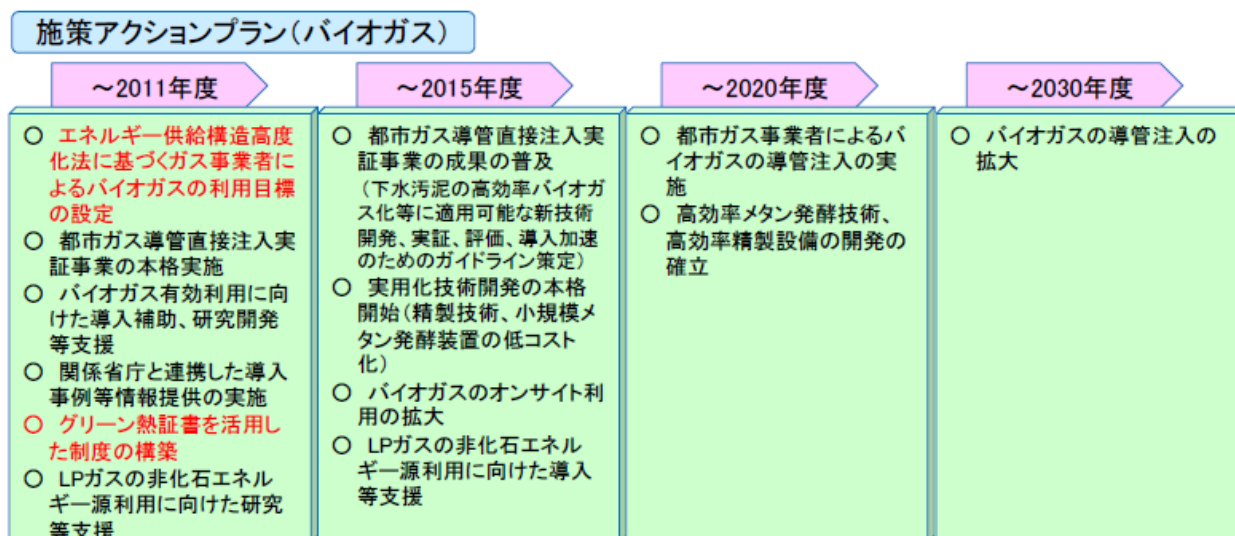


図.3-1-6 ガス事業者の非化石エネルギー源利用のための施策アクションプラン
 [出典] 経済産業省：資源エネルギー政策の見直しの基本方針（案）、平成 22 年 4 月

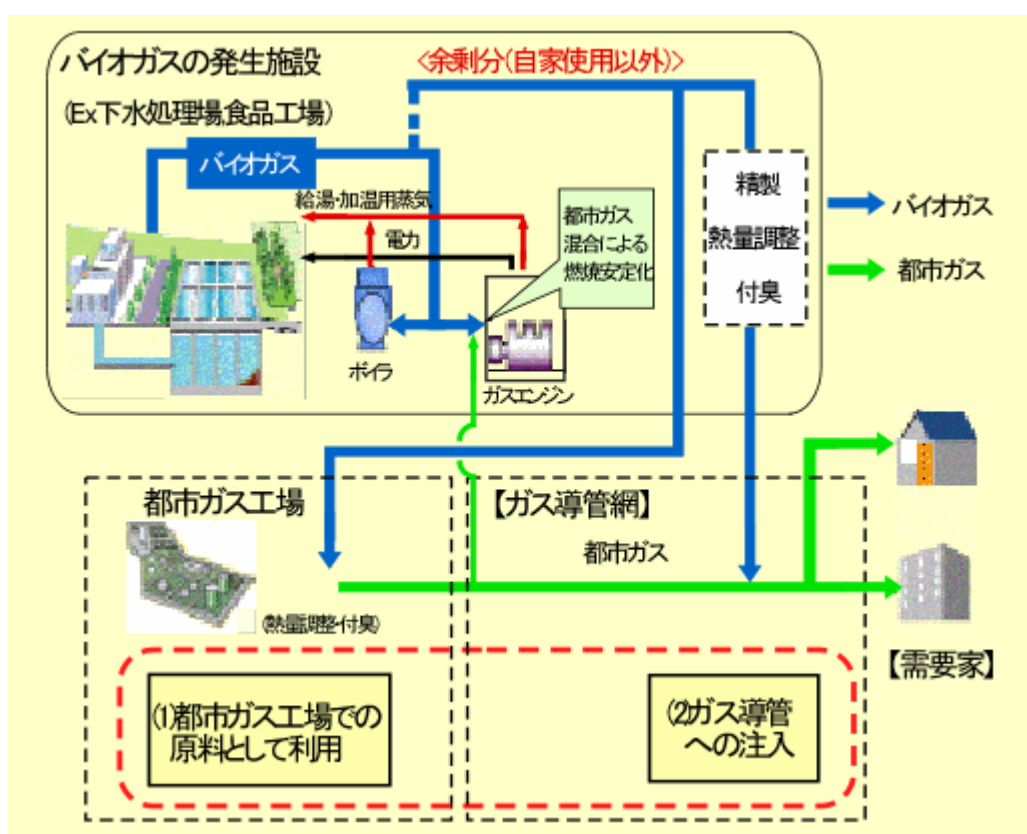


図.3-1-7 バイオガスの利用イメージ
 [出典] 経済産業省資源エネルギー庁：エネルギー供給構造高度化法の基本方針及び判断基準について（案）、平成 22 年 9 月

またこの中で、事業者が計画的に取り組むべき措置等として、次を掲げている。

- ・下水汚泥、食品廃棄物等から発生するバイオガスの発生元及びその発生量等の調査を定期的に実施する。
- ・上記の調査結果を踏まえ、技術的・経済的観点から、その利用可能性を検証する。
- ・ガスの組成や受入条件、保安等のバイオガスの調達の諸条件を策定し、公表する。等

「エネルギー供給構造高度化法」では、一定規模以上の事業者を対象としている。現在これに該当するのは、東京ガス（株）、大阪ガス（株）及び東邦ガス（株）の3社（2008年度の合計市場占有率:約67%）である。

これら3社と西部ガス（株）（全国211社（2010年7月現在）の内、この4社で合計市場占有率:約9割）は、2008年にそれぞれバイオガス購入要領を策定した。この概要を表.3-1-3に示す。

バイオガスの都市ガス混合等の実施例として、新潟県長岡中央浄化センターの消化ガスを北陸ガス（株）へ都市ガス供給する事業、金沢市臨海水質センターの卵形消化槽からのバイオガスを隣接の市営ガス工場に配管供給する事業、熊本県山鹿市バイオマスセンターのバイオガスを高圧充填し、山鹿都市ガス（株）にボンベ詰めし、都市ガスに混合供給する実証事業（2010年2月まで実施）がある。

以前は北見市下水処理場の消化ガスを市営ガスに混合供給する事業が実施されていたが、平成18年の市営ガス事業の北海道ガス（株）への譲渡の際に、ガス発電に切り換えられた。

都市ガス導管への注入実証試験が、東西で開始されている。東京都大田区のバイオエナジー（株）及び東京ガス（株）は、2010年度から2019年度の10年間、食品残渣由来のバイオガスを都市ガス導管へ注入を行う予定となっている。神戸市、（株）神鋼環境ソリューション及び大阪ガス（株）は、神戸市東灘処理場のバイオガスを都市ガス導管への注入を開始している。

表.3-1-3 バイオガス購入要領概要

主な項目	概要	備考
購入条件	・ 高圧導管または中圧導管で受け入れ可能であること ・ 性状及び圧力が供給ガスと同等であること ・ 購入量等の受入条件が、導管能力の範囲であるとともにガス供給の事業の遂行に支障を生じないこと ・ 所定の性状まで加工するための費用や導管受入に伴い必要となる設備はバイオガスの購入依頼する方の負担とすること	◎バイオガスの性状等の基準例(東京ガスの例) 標準熱量 ; 45MJ/m³ 総発熱量 ; 44.20～46.00MJ/m³ N ウォッベ指数 ; 52.7～57.8 燃焼速度 ; 35～47 比重 ; 1.0 未満 全硫黄 ; 0.00g/m³ N 硫化水素 ; 検出せず アンモニア ; 検出せず 水素 ; 5.0vol %以下 一酸化炭素 ; 0.05vol%以下 受入温度 ; 5～30℃
購入価格	・ 購入するバイオガス量と同規模の需要におけるガス販売価格を目安とし、個別のバイオガス購入条件に応じて算定する	・ 大阪ガスは、平成 22 年 4 月 1 日より、当初 5 年間は購入価格を 2 倍とする改定を実施
実施日	平成 20 年 4 月 1 日	

3. 2 発酵残渣の利活用の検討

3.2.1 発酵残渣の処理法

我国で多数設置されている湿式メタン発酵の発酵残渣（発酵液）は、高濃度窒素分等が残存し、液肥として利用可能な場合は経済性が高まるが、液肥利用できない場合は、排水処理等の措置を講じなければならない。液肥利用できる地域は、北海道、東北地方の一部とされている。さらに液肥利用できたとしても飼料作物等への適用など範囲は限定されている。

一方、地下管理型メタン発酵では、乾式メタン発酵システムを基本としているため、従来の湿式メタン発酵と比べて発酵液が排出されないという利点を有している。

乾式メタン発酵残渣の処理、資源化法として、ドランコ方式（縦型内容物引抜き再投入攪拌）では、発酵残渣が低水分である利点を活用し、鹿児島県屋久島の実証試験では炭化物に、長野県穂高町の実証試験では、乾燥し燃料化している。コンポガス方式（横型攪拌羽根付）の京都市の実証施設では、たい肥化し花卉用（非食物植物）とする試みを実施されている。同方式のカンポリサイクルプラザ（株）の商用施設でも、たい肥化し農地利用を行っている。ガレージ方式の奈良県の施設では、図.3-2-1に示す高速たい肥化装置を用いている。



図.3-2-1 奈良県畜産技術センター家畜ふん尿処理施設全景
（左：高速たい肥化装置、右：ガレージ式発酵槽（4室））

たい肥は、易分解性有機物を主に好気性微生物により分解した肥料である。たい肥化を促進（腐熟度を増す）させるには、酸素、温度、原料 pH、水分、C/N 比（炭素/窒素比）がある。

適正な酸素濃度を確保するためには、通気性（空隙率）の確保、適正な水分、送風による通気（強い送風は、温度低下の原因と成りうる）、切り返しによる酸素供給及び通気性の確保がある。

発酵は、中温域（30～50℃）と高温域（50～65℃）の微生物群が関与し、高温の方が分解が早い。病原細菌等や雑草種子の不活化の観点からも高温暴露は必須と言える。

原料 pH5 以下では、ほとんど分解が起こらない。通常の乾式メタン発酵残渣で、この pH 域になることはないを考える。pH が低すぎる場合は、消石灰の添加、製品たい肥の戻し混合などが必要となる。

水分は、微生物反応上高い方が良いが、酸素供給の通気性確保が困難となり、むしろ分解は低下傾向になる。一般に水分 50～60%で操作されることが多い。水分が高い場合は、わらなどの副資材の添加、原料の機械的圧搾等による固液分離が行われる。

微生物の活性化には、適正な C/N とする必要がある。一般的に C/N 比 10～30 程度が良いとされている。C/N 比が高いたい肥の施肥は、窒素飢餓を起こす原因となる。概して、都市ごみのたい肥は C/N 比が高い傾向にある。極端に C/N 比が高い場合は、塩化アンモニウムや窒素分の高い副資材の添加が必要となる。

原料中の炭水化物は、酸化分解され最終的には CO_2 と H_2O になる。脂質とタンパク質は、酸化分解により CO_2 、 H_2O 及び NH_3 を生成しながら低分子化する。この NH_3 は H_2O と反応し、 NH_4^+ 及び OH^- を生じる。この OH^- 基によりたい肥原料をアルカリ性にする。 NH_4^+ は、好気性微生物の硝化細菌により硝化され NO_2^- に酸化される。この NO_2^- は硝酸細菌により、植物が利用しやすい窒素源である NO_3^- にさらに酸化される。

嫌気条件下では、メタン発酵の際の未分解の炭水化物の分解により生成した糖類は、 CH_3COOH 等に分解されるほか、一部メタン発酵で未利用の有機酸が残存している場合がある。 CH_3COOH 等は、 H^+ を放出し原料を酸性化するほか、脱窒素反応により NO_3^- を窒素ガスに転換し肥効成分の減少に繋がる。

たい肥化は、未利用バイオマス資源化転換技術の中で、需要と安定した品質の確保等ができれば、最も導入しやすい転換技術の一つと言える。

近年は、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」や、「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（家畜排せつ物 法）」の施行により、たい肥化が盛んとなってきている。

地下管理型メタン発酵では、嫌気性（メタン）発酵槽を地下に設置している。発酵残渣の利活用として、この槽を用い発酵残渣のたい肥化が、施設運営上、また乾式メタン発酵残渣の資源化法の実施例から判断すると優位と考えられる。

たい肥化の技術分類を図.3-2-2 に示す。

発酵槽とたい肥化槽を兼用することから、堆積方式が候補となる。堆積方式の詳細を図.3-2-3 に示す。

地下管理型メタン発酵の発酵残渣資源化としては、当面堆積方式の堆肥舎を参考に計画する。なお、メタン発酵槽の加温が必要な地区への設置の場合、床暖房方式あるいは床面

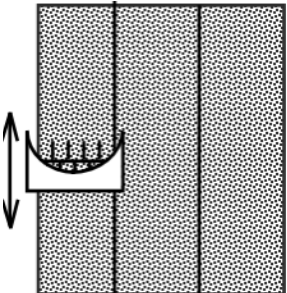
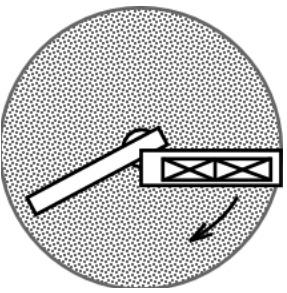
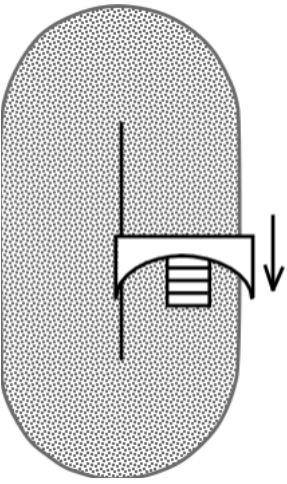
区 分		名称	実用上の呼称等
堆肥化（発酵） 処理	堆積方式	無通気型 通気型	堆肥盤 堆肥舎 堆肥舎 バッグ 通気型堆肥舎 開放・直線型堆肥化装置 （単列・複列）
	攪拌方式	開放型 〔通気型、 無通気型が ある〕 密閉型	開放・円型堆肥化装置 開放・回行型堆肥化装置 （橢円形） 密閉・縦型堆肥化装置 密閉・横型堆肥化装置
開放・直線型発酵槽		開放・円型発酵槽	
 直線型		 円型	
		 回行型	

図.3-2-2 たい肥化の技術分類

〔出典〕 堆肥化施設設計マニュアル(2 版)、(社) 中央畜産会、平成 13 年 1 月

区分 処理施設名		施設の特徴						経営別の利用状況						設備・使用上の留意点	
		太陽熱の 利用	副資材添加 の必要性	悪臭処理の難 易と脱臭法	処理労力	施設必要 面積	施設/ 運転費	処理期間	畜種別				規模別		
									酪農	肥育牛	養豚	養鶏	大・中		小
堆肥方式	堆肥舎		利用すること が望ましい	あり	難	多	大	小/小	長	◎	◎	△	○	・排汁溝の設置必要 ・堆積底部に乾材を敷く ・材料の通気性確保に留意し、徐々に落下させる	
	通気型堆肥舎		利用すること が望ましい	あり	易 (土壌脱臭、 ロックウール 脱臭)	多	中	小/中	中	○	○	○	○	・通気床上に乾材を敷くとともに、通気床目詰まり部の改修作業を行う	

◎：多く利用されている
○：利用されている
△：一部で利用されている

副資材には、戻し堆肥を含む

通気型堆肥舎には、ショベルローダのほかにウィンドローを作りながら切返しをする堆肥切返し機、堆肥を把持・移動させながら切返すクレーン式がある

図.3-2-3 堆積方式の詳細

〔出典〕堆肥化施設設計マニュアル(2版)、(社) 中央畜産会、平成 13 年 1 月

からの送風加温が考えられる。後者の場合、送風系統を活用した通気方式が採用できる。

たい肥等に関する基準について、下水汚泥から得られる肥料は、普通肥料に属し、「肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件」により、基準が設けられている。汚泥肥料等には、下水汚泥肥料、し尿汚泥肥料、工業汚泥肥料、混合汚泥肥料、焼成汚泥肥料、汚泥発酵肥料、水産副産物発酵肥料、硫黄及びその化合物があり、登録の有効期間は3年である。安全性の観点から、As、Cd、Hg、Ni、Cr、Pbについて最大含有許容量が示されているとともに、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令（昭和48年総理府令第5号）別表第一の基準に適合する原料を使用したものであること、植害試験の調査を受け害が認められないものであることとしている。

この他に、全国農業協同組合中央会では、有機質肥料等推奨基準を策定しており、「有機質肥料等推奨基準に係る認証要領」として、表.3-2-1の基準値を定めている。

表.3-2-1 種類別品質基準

	家畜ふん たい肥	パーク たい肥	食品工業汚泥 たい肥	下水汚泥	し尿処理 汚泥
有機物（乾物）	60%以上	70%以上	40%以上	35%以上	35%以上
C/N（炭素/窒素）比	30以下	40以下	10以下	20以下	20以下
全窒素（乾物）	1%以上	1%以上	2.5%以上	1.5%以上	2%以上
無機態窒素（乾物）	—	25mg以上	—	—	—
全リン酸（乾物）	1%以上	—	2%以上	2%以上	2%以上
全カリウム（乾物）	1%以上	—	—	—	—
アルカリ分（乾物）	—	—	25%以下	25%以下	25%以下
水分	70%以下	60%以下	50%以下	50%以下	50%以下
pH（現物）	8.5以下	—	8.5以下	8.5以下	8.5以下
EC（電気伝導度） （現物）	5mS/cm以下	3mS/cm以下	—	—	—
CEC（陽イオン交換容量） （乾物100g当たり）	—	70meq以上	—	—	—

また、全国パーク堆肥工業会は、表.3-2-2の品質基準を設けている。

たい肥等の特殊肥料を生産するためには、特殊肥料1銘柄ごとに都道府県知事への届出が必要となる。また、これとは別に肥料を販売するための届出も必要となる。この際の表示例を図.3-2-4に示す。

なお、普通肥料に該当する汚泥肥料等は、届出でなく登録が必要となる。

表.3-2-2 バークたい肥品質基準

項 目	範 囲
有機物	70%以上
全窒素(N)	1.2%以上
全リン酸(P_2O_5)	0.5%以上
全カリ含量(K_2O)	0.3%以上
(C/N比)炭素率	35以下
pH	5.5～7.5
陽イオン交換容量(CEC)	70me/100g以上
含水率(水分)	60±5%
幼植物試験	異常を認めない

- 注 1) 各成分含量および陽イオン交換容量は乾物当たり。
 2) 有機物含有率は炭素含有率を求めて 1.724 倍するか、強熱減量を用いる。
 現物当たりの含有率は 28%以上。
 3) 全窒素含有率は硝酸態窒素を含む。
 4) 含水率は有姿（現物）。
 5) 幼植物試験はコマツナ法（肥料取締法の植害試験に準ずる）。

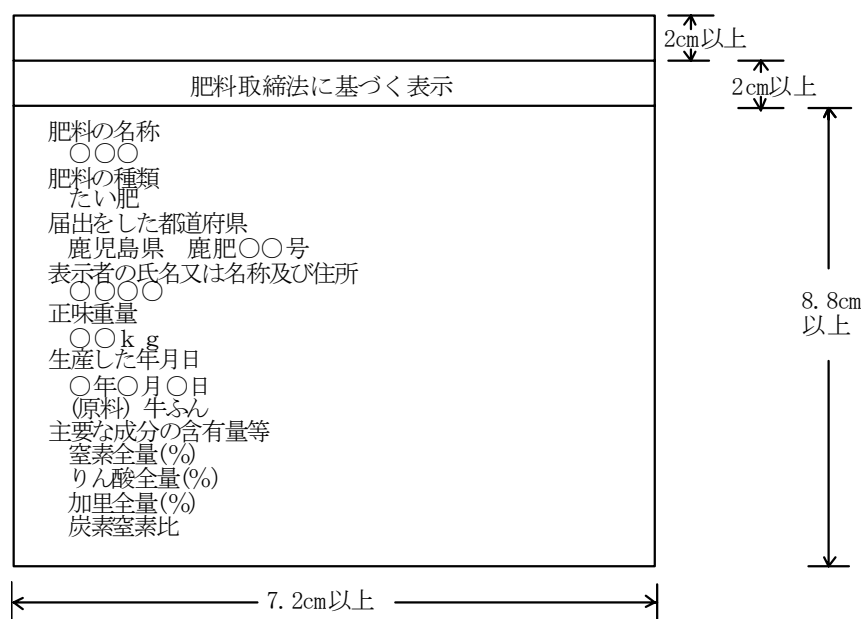


図.3-2-4 たい肥製品への表示例

3. 3 まとめ

本章では、未利用バイオマスのメタン発酵により得られたバイオガスの利活用について及び発酵残渣の利活用について、詳細調査検討を行った。発酵残渣は、乾式メタン発酵に準拠して運転されるため、低水分の発酵残渣の特徴を生かし、たい肥化による資源化に着目した。調査結果の概要を以下に示す。

- ・バイオガスは、精製・濃縮等の操作後、燃料として直接利用、都市ガス混合供給、ボンベ詰め供給の燃料利用がある。これにより、ボイラー熱源、自動車燃料などの利用がある。また、ガス発電、燃料電池用に利用されている。

- ・バイオガスの精製・濃縮法として、吸収法、PSA法、膜濃縮法が実用化あるいは実証試験が実施されている。

- ・近年は、都市ガス導管注入が着目されている。東京都での生ごみのメタン発酵からのバイオガスをPSAで精製・濃縮したものを、神戸市では、下水汚泥の消化ガスを吸収式で濃縮後都市ガス混合を開始している。

- ・乾式メタン発酵残渣の利活用として、京都市の例では、花卉等のたい肥に、奈良県の場合は、高速たい肥化装置を用いたたい肥化している。

- ・地下に設置された発酵槽は、堆積槽として利用可能と考えられる。この場合、混合攪拌（繰り返し）は、油圧ショベルを用いることができると考える。

〔参考文献〕

- 1). バイオガス化マニュアル、有機資源熱・エネルギー化調査検討専門委員会報告書、日本有機資源協会、平成 18 年 8 月
- 2). 矢野聡、他：シロキサン除去装置、エバラ時報、No.209、2005 年 10 月
- 3). 大阪ガスプレスリリース：http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2010/1191341_2408.html、2010 年 10 月 12 日
- 4). 金沢市：http://www4.city.kanazawa.lg.jp/data/open/cnt/3/9030/1/rinkai_taishou.pdf
- 5). NEDO、(株)日本総合研究所、前澤工業(株)、コーンズ・アンド・カンパニー・リミテッド、吸着技術工業(株)、垂水市：平成 18 年度～平成 20 年度成果報告書小型 VPSA を用いたバイオガス燃料化実験事業報告書、2009 年 5 月
- 6). アレフ(株)：http://www.kanematsu.co.jp/Portals/0/pdf/news/2007/20071012_biogas.pdf
- 7). 東京ガスプレスリリース：<http://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20091019-02.html>、平成 21 年 10 月 19 日
- 8). 山鹿都市ガス(株)：<http://www.jfecon.jp/news/pdf/biz100301.pdf>

第4章 モデル地区を想定した地下管理型処理・資源化システムの構築及び評価

4. 1 モデル地域を対象としたメタン発酵条件調査

4.1.1 モデル地域の選定

地下管理型メタン発酵施設の導入を検討するにあたり、モデル地域を選定し、詳細検討を実施することとした。

モデル地域の選定にあたり、①.原料として利用可能なバイオマス資源がある程度の規模で存在する。②.基幹エネルギーネットワークからの直接的なエネルギー供給が困難、または高コストな地域、③.メタン発酵に有利な年間の平均気温が高い地域、④.新規廃棄物処理計画、廃棄物の焼却回避のメリットが見込まれるなどの条件を満たし、比較的人口・産業の規模が大きく、たい肥需要の高い農業生産地域を考慮し、奄美大島をケーススタディの場所とした。

以下に、モデル地域である奄美大島に導入する際の詳細検討を実施した。調査は、現地関連施設調査、関連資料の収集、ヒアリング等により実施した。

4.1.2 モデル地区の概要

1).奄美大島の概要¹⁾

奄美大島は、鹿児島県に属し奄美群島最大の島である。面積は、周辺諸島を含め812.55㎢、人口は減少傾向にあり、平成17年の国勢調査結果では70,462人で、現在奄美市、大和村、宇検村、瀬戸内町、龍郷町の1市2町2村からなっている。

島の85.4%、69,389ha(国有林4,133ha、民有林65,254ha)は森林及び原野に覆われ、耕地面積はわずかに2,183ha(田59ha、畑2,122ha)で全面積の2.7%にすぎない。

産業としては、サトウキビ、野菜、果樹を主体とした農業と黒糖焼酎、大島紬が主なものであり、特産物としては大島紬、たんかん、パッションフルーツ、黒糖焼酎等がある。また、瀬戸内町、宇検村では、真珠、クロマグロ等の魚類の養殖が行われている。なお、本島北部地域には県営かんがい排水事業笠利東部地区により須野ダムが完成し、末端畑地かんがい施設も一部を残し整備が完了しており、畑かん営農による農業振興が図られつつある。

自然は、猛毒で知られているハブや、天然記念物として保護されているアマミノクロウサギなど、貴重な動植物が多く生息している。

2).地質的条件²⁾³⁾

地下管理型メタン発酵施設は、地下の恒温性等に着目している。この施設が設置されるモデル地区の地質図を図.4-1-1に、図.4-1-2には表層地質図をそれぞれ示す。

奄美大島北部は、大部分が古生代～中生代の堆積岩を基岩とする500m前後の山々がそびえる険しい山岳地帯である。そのため、平地は極めて少なく河川の流域周辺に限定される。

奄美大島南部も北部同様に、ほとんどが山地からなり、低地は湾入した海岸の奥部に見

古生代(ペルム紀); 主として堆積岩類

中生代(白亜紀); 主として堆積岩類

新生代(古第三紀); 堆積岩類(海成)

新生代(第四紀); 堆積岩類(海成)

新生代(古第三紀); 深成岩類: 珧長質

〔出典〕国土交通省土地・水資源局国土調査課ホームページ、調査データを見る
<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/inspect/inspect.html>

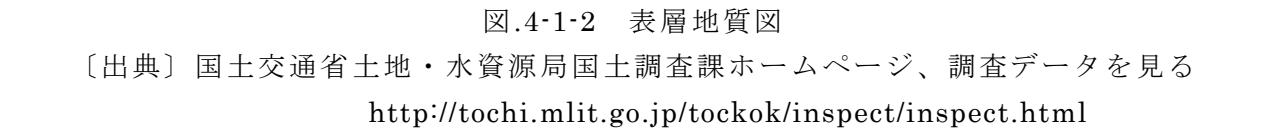


図.4-1-3 に土壌図を示す。

奄美大島は、河川流域や一部の海岸線に分布する低地と、陸地の大半を占める山岳地帯に大別できる。

低地に分布する土壌は、堆積岩の風化物に由来する褐色森林土、灰色低地土、グライ土が大部分で、一部に砂丘未熟土が分布する。

山岳地帯に分布する土壌は、非火山灰土壌である赤黄色土が大部分を占め、乾性褐色森林土、褐色森林土、湿性褐色森林土などの褐色森林土で、岩屑土の分布も見られる。

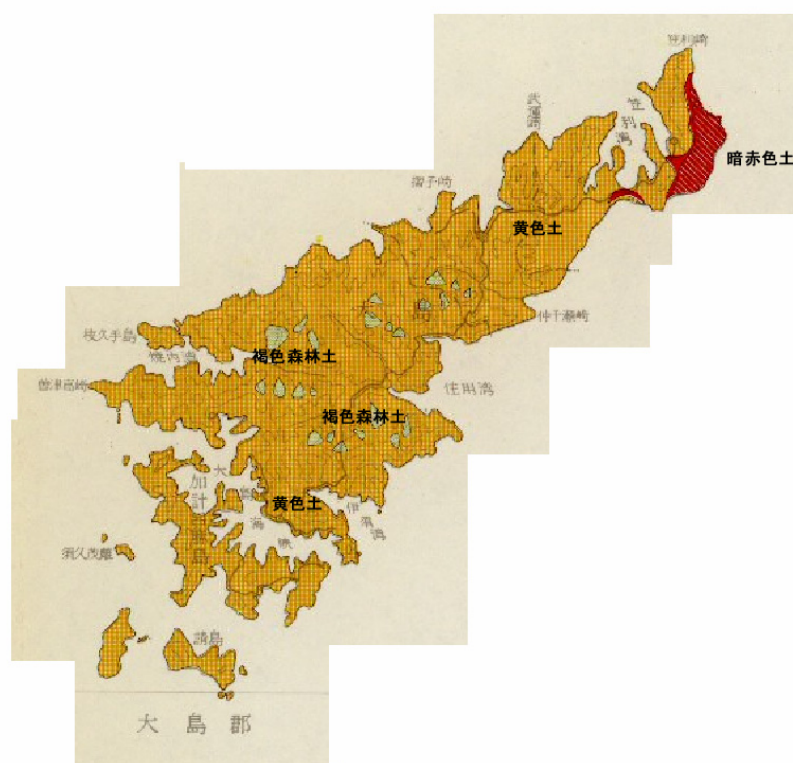


図.4-1-3 土壌図

〔出典〕国土交通省土地・水資源局国土調査課ホームページ、調査データを見る

<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/inspect/inspect.html>

図.4-1-4 に奄美大島の地盤の揺れやすさを示す。

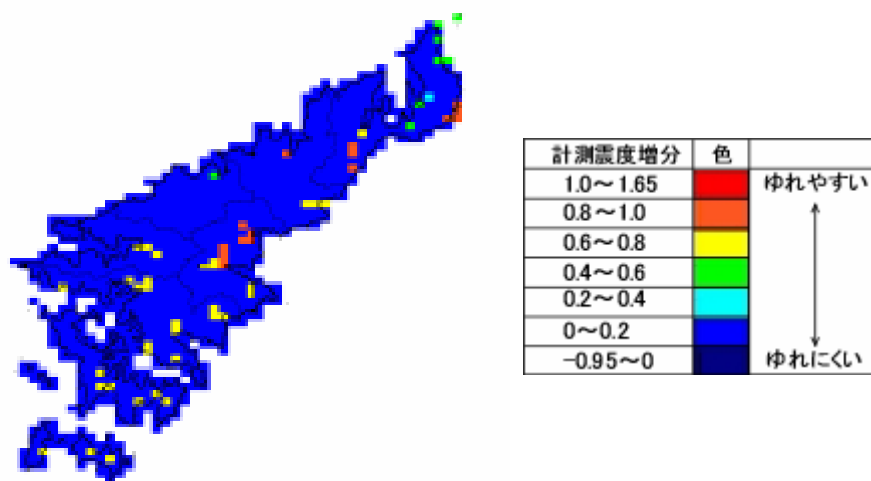


図.4-1-4 奄美大島の地盤の揺れやすさ

〔出典〕内閣府防災情報のページ、表層地盤のゆれやすさ全国マップ

<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/yureyasusa/zenkoku.pdf>

奄美大島は、大半が堆積岩に覆われ、表層より数 m 深さまでは風化が進行しているものの強固な地盤からなり、地震の際にも揺れにくいことが判明した。

地下管理型メタン発酵施設を設置する際、地質的にも奄美大島は適地の一つと考えられる。

3).気象条件等の詳細調査⁴⁾

メタン発酵は、前述のように発酵温度の影響を顕著に受ける。また、ランドフィルガス方式では、雨水の浸透による浸出水処理の必要が生じてくる。さらに、台風等の自然災害を考慮して地下管理型メタン発酵施設を検討する必要がある。

そこで、モデル地区として選定した奄美大島の気象条件等について詳細検討する。

①.気温

奄美大島は、亜熱帯可溶性で温暖多雨である。奄美市名瀬測候所の 1971～2000 年(30 年間)の月別平均気温の推移を図.4-1-5 に示す。年平均気温は、21.5℃で同県の鹿児島市と比較して 3.2℃高く、無加温あるいは加温に関して奄美大島は有利な地域と言える。

図.4-1-6 には、2009 年の年間平均気温の推移を示す。近年は、温暖化の影響を受け、気温は上昇傾向にある。

地下管理型メタン発酵での目標発酵温度を 20℃以上と想定している。月最低気温が 20℃以上となるのは、5～10 月の半年間となる。

②.地温

近年は名瀬測候所での地温測定の結果はない。明治 30 年～昭和 32 年(60 年間)の表層の

地中深さ方向の月平均温度を図.4-1-7に示す。1m深さまでの測定結果は、表層は気温の影響を大きく受け、その変動に連動しやすいが、深くなる程年平均値のバラツキは平滑化

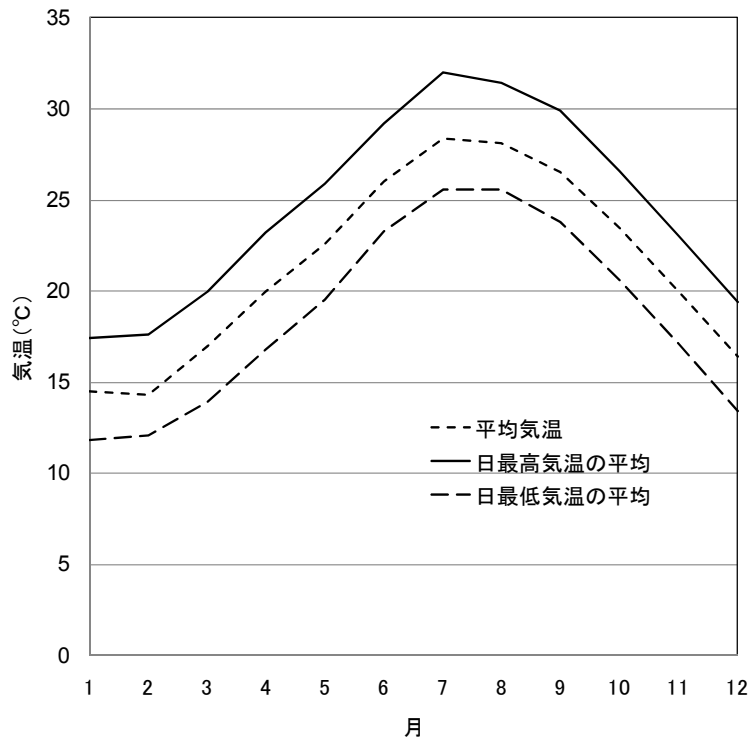


図.4-1-5 奄美市(名瀬測候所)の 1971～2000 年(30 年間)の気温の推移

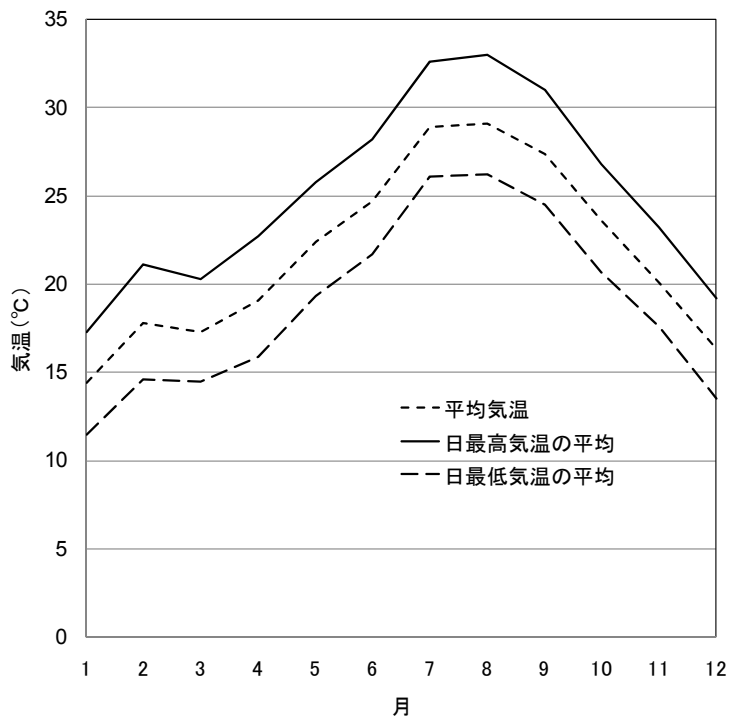


図.4-1-6 奄美市(名瀬測候所)の 2009 年の気温の推移

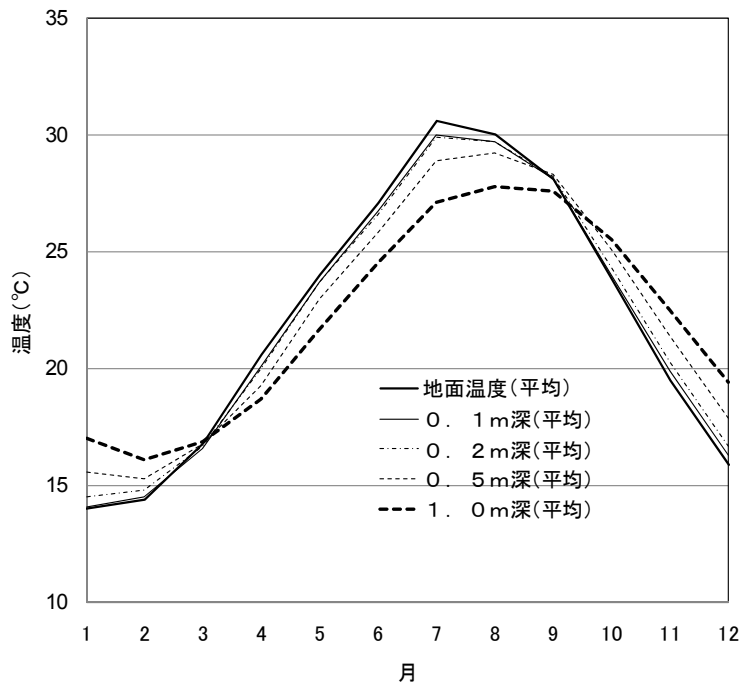


図.4-1-7 奄美市(名瀬測候所)の明治30年～昭和32年(60年間)の地中深さ方向の月平均温度

する傾向が見られた。地面温度が20℃以上となる期間は、4月から10月末までの約7ヶ月であるが、1m深さにおいて、20℃以上となる4月中旬から12月までとなり、温度的に地下部を利用する利点を確認された。

1m以深の測定例を図.4-1-8に示す。測定地は、東京都小平市で、深さ方向に従い年間の変動幅は小さくなる傾向が見られる。5m測定点では、年間を通じほぼ一定の地温となっている。

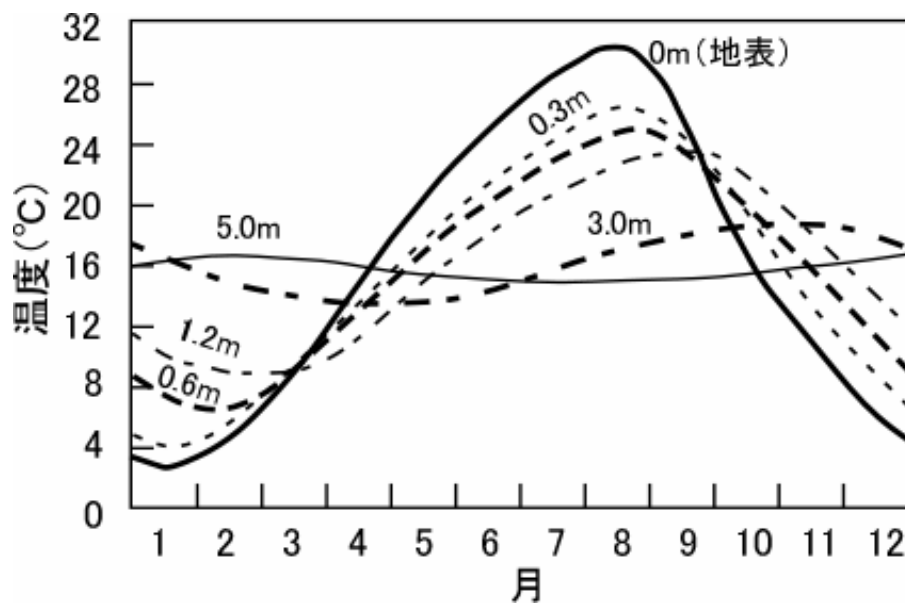


図.4-1-8 地中の温度測定例

[出典] 地下水ハンドブック編集委員会編：地下水ハンドブック、建設産業調査会、1979

一般に、5m 以深では地温はほぼ一定の温度となり、恒温層と呼ばれている。この温度は次式で表せる。

$$T_e = 0.83T_a + 3.7$$

T_e ：恒温層上限地中温度（℃）

T_a ：年平均気温（℃）

奄美大島の過去 30(1971～2000 年)年間の年平均気温は、21.5℃であるから、恒温層上限地中温度は、年平均気温と同値の 21.5℃となる。

地下管理型メタン発酵では、発酵温度を 20℃以上と想定している。従って、この地温を活用することにより、特に冬期から春先までの期間の加温について大幅に有利となる。

なお、上記の式から、福岡地方の恒温層上限温度は、17.5℃（過去 30 年間の年平均気温：16.6℃）、大阪地方は 17.4℃（同：16.5℃）、東京地方は 16.9℃（同：15.9℃）、仙台地方は 13.7℃（同：12.1℃）及び札幌地方は 10.8℃（同：8.5℃）と地下管理型メタン発酵施設設置は南方の方が有利となるが、5m 以深の恒温を活用することにより、冬期の 20℃以上に加温する際の負荷低減に寄与することが考えられる。

③.降雨量及び台風

名瀬測候所の過去 30（1971～2000 年）年間の月毎の平均累積降雨量及び当該月の日最大降雨量を図.4-1-9 に示す。また、図.4-1-10 には 2009 年の月毎の累積降雨量を示す。

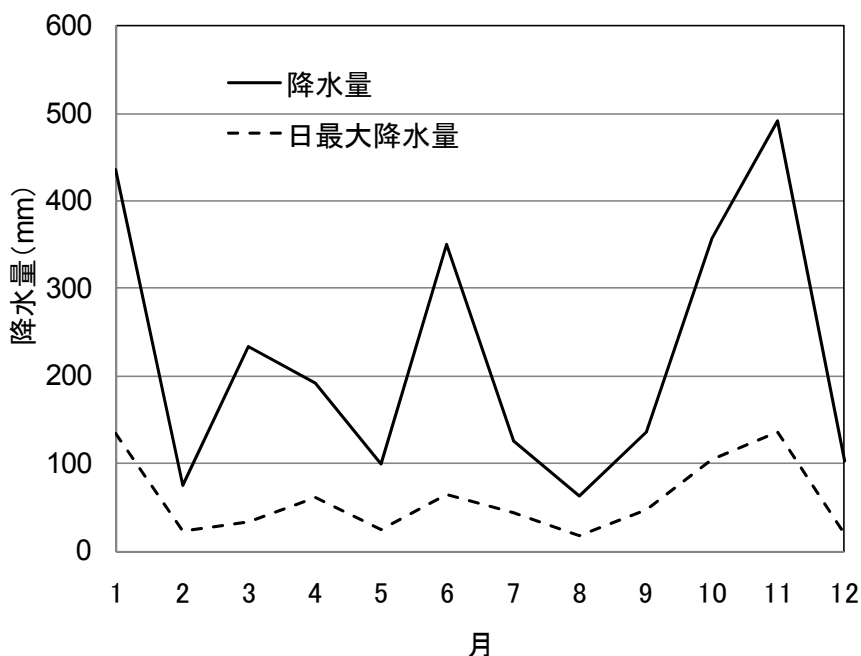


図.4-1-9 奄美市(名瀬測候所)の 1971～2000 年(30 年間)の降雨量の推移

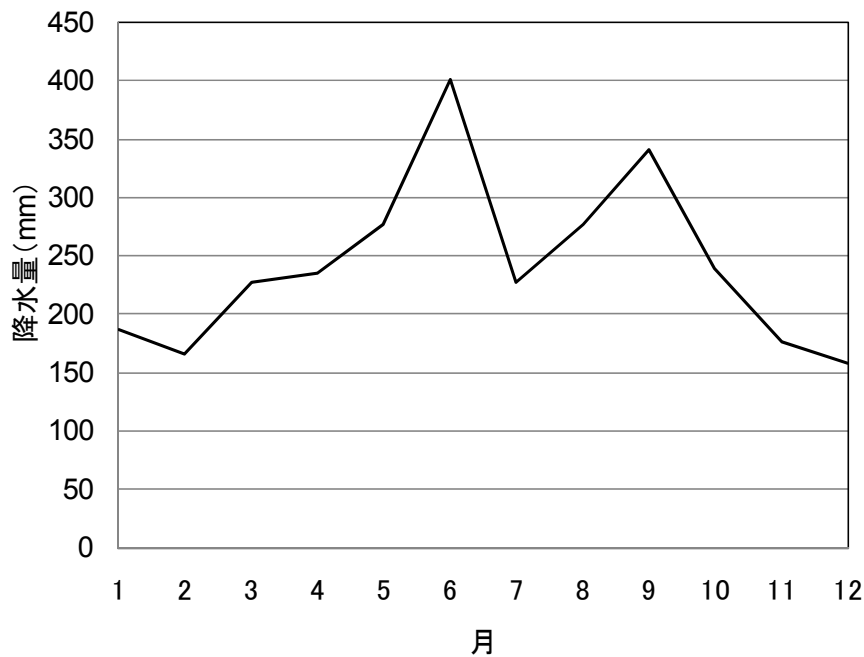


図.4-1-10 奄美市(名瀬測候所)の2009年の降雨量の推移

名瀬測候所の過去30年間の年降雨量は2913.5mmで、冬期でも150mmを超える我国有数の多雨地帯である。冬から春に掛けては、低気圧、前線及び寒気の影響で雨の日が多い。夏から秋に掛けては、高気圧に覆われて晴れの日が多い。しかし、月降雨量は約200～300mmとなる。これは、台風の接近によるもので、台風の接近が少ない年は干ばつが起こりやすい。

2009年の降雨(≧1mm)日数は163日で、年間降雨量は2,652mm、日最大降雨量は11月24日の136.5mm、最大1時間降雨量は1月30日の30mmであった。

本年10/20からの奄美地方の集中豪雨では、死者3名、住家全壊10棟、半壊475棟、床上浸水123棟の大惨事を記録した。10月の名瀬の降雨(≧1mm)日数は19日、降雨量は平年比417%の994.5mmであり、10月1ヵ月で平年1年分の約1/3に相当する降雨量となった。

過去30年間(1971～2000年)に発生した台風は802個で、年平均26.7個になる。奄美市から500km以内に接近した台風は、発生した台風の約20%にあたる160個で年平均5.3個、300km以内では発生数の約12%の98個で年平均3.3個となる。

2009年には、22個の台風が発生し、奄美市から500km以内に接近した台風は2個で、平年以下であった。

ランドフィルガス方式での降雨は、地下に浸透し堆積物中の有機分、場合により重金属などの有害物質を溶解し、浸出水処理のための設備面積、初期投資及び維持管理費が大きくなる欠点がある。

地下管理型メタン発酵施設を奄美大島に設置することは、温度的に有利であるが、降雨量が多く、台風の接近も多いことから、防風対策を考慮した雨水の浸透対策を講じる必要がある。地表面を雨水浸透対策のため覆うことは、地下槽の嫌気性維持、発生したバイオガスの回収の観点からも好都合と言える。

4.1.3 モデル地域の利用可能な未利用バイオマスの選定

メタン発酵可能なバイオマスには、家畜排せつ物、生ごみ、汚泥、紙類、剪定枝などの木質系、その他有機性廃棄物がある。

モデル地区の未利用バイオマス及び現状の処理法などを調査し、本地区に設置する際の施設規模等の参考資料とする。

①.廃棄物処理の現況

奄美大島は本島のほか、瀬戸内町に属する有人島の加計呂麻島、与路島、請島及びその他の島々からなる。本島は、本州など4島を除くと佐渡島に次ぎ面積5位の島である。

一般廃棄物などは、奄美市、大和村、龍郷町、宇検村で組織する一部事務組合の島内唯一の処理施設である「名瀬クリーンセンター」に搬入され、処理される。

本島の残りの瀬戸内町は、当初自前のクリーンセンターを整備する計画があったが、諸般の事情により断念し、「名瀬クリーンセンター」で委託処分されており、平成23年度からは正式に一部事務組合に参加する予定となっている。なお、この一部事務組合では、一般廃棄物の中間処理（焼却）及び資源回収の「名瀬クリーンセンター」のほか、中間処理後の廃棄物の「最終処分（埋立て）場」、ペットボトルとビン類の選別、貯留施設である「奄美市ストックヤード」、し尿汚泥等の汚泥を資源として、たい肥化する「有良（あいら）汚泥再生処理センター」を運営している。

瀬戸内町の大きな加計呂麻島（平成17年時の人口:1,547人）は、ごみ収集車をフェリーで交互搬送し、本島の古仁屋港から約50km離れた「名瀬クリーンセンター」に搬入し処理されている。与路島（同:137人）及び請島（同:161人）では、各集落毎に生ごみ処理機によりたい肥化し農地還元を行っている。与路島では小型の焼却炉も導入している。

このように瀬戸内町は、地下管理型メタン発酵施設設置の有力な検討地区と考えられる。

概して、奄美大島での生ごみを含めた一般廃棄物の資源化例は非常に少なく、地下管理型メタン発酵施設導入のニーズは高いものと考えられる。

②.バイオマスタウン構想策定状況^{5) 6)}

現在（平成22年11月30日）バイオマスタウン構想を発表した地区は286ヶ所ある。この内奄美大島では、宇検村が該当する。

ここでは、村内に存在する焼酎粕やチップ工場残材、家畜排せつ物などのバイオマス資源をたい肥化、肥料化、飼料化や機能性食品への利用に取組み、さらにごみの減量化を進め資源循環型社会の構築を目指しながら産業の活性化を図るとしている。

奄美大島最大の市町村である奄美市（平成22年11月末の人口:47,138人）は、本年度のまとめを目標に、バイオマスタウン構想の本格的検討中である。

ここでは、地下管理型メタン発酵のバイオマス転換技術と同一のメタン発酵及びたい肥を採用予定としている。このバイオマス資源地域利用例を図.4-1-11に示す。

昨年度の調査から、奄美市で利用可能なバイオマス総量は、108,188湿重量トン/年（水分59%）であった。

生ごみ、肉牛ふん尿及び豚ふん尿の家畜排せつ物、水産ならびに果実の加工残渣、し尿汚泥、浄化槽汚泥などの汚泥さらには廃食用油のメチルエステル化によるBDF製造時の廃グリセリン、洗浄水も、湿式メタン発酵し、発生したバイオガスはエネルギー転換効率

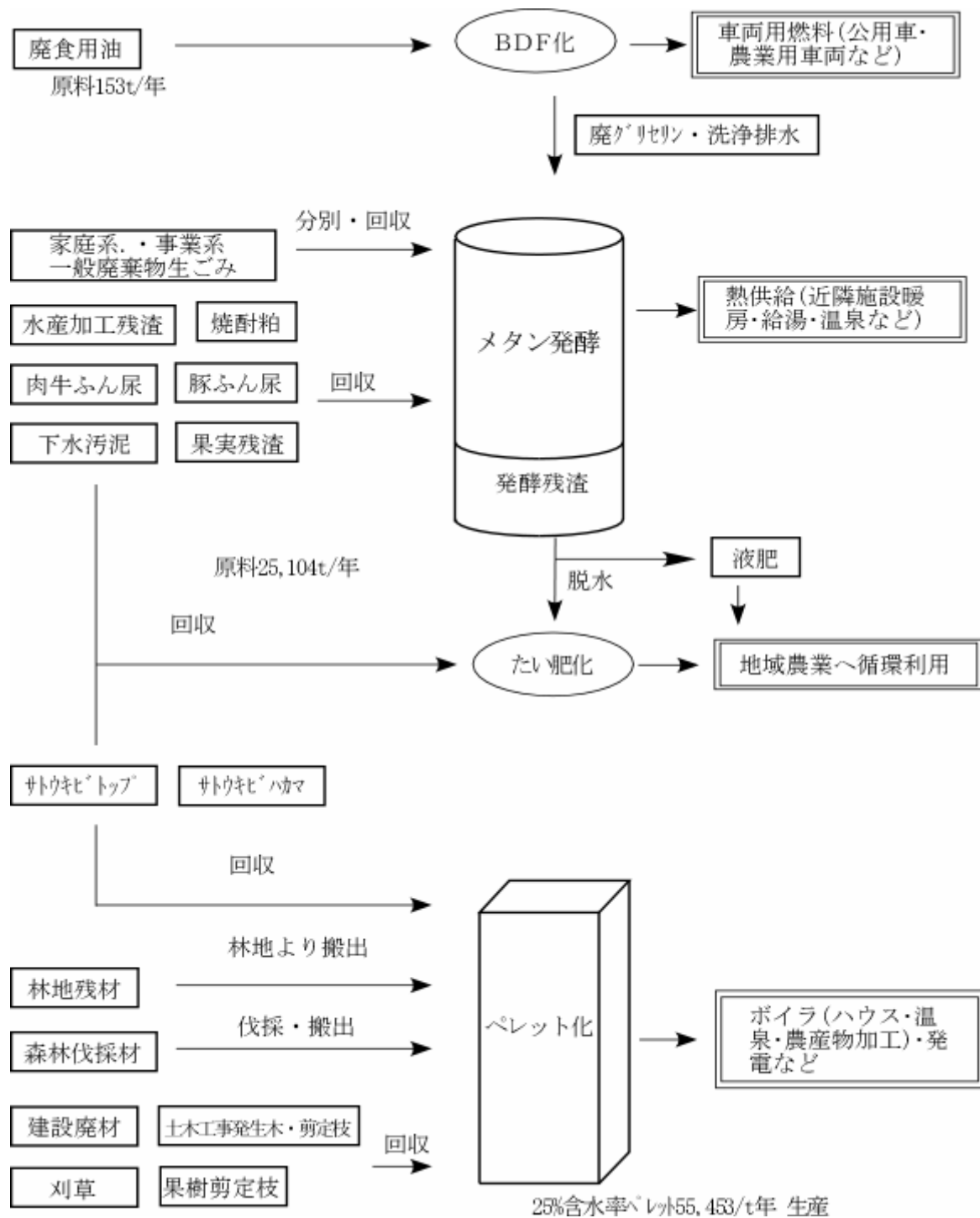


図.4-1-11 奄美市バイオマス資源地域利用例

[出典] 平成21年度地域における環境バイオマス総合対策調査九州地域調査事業実地調査（調査対象鹿児島県奄美市）、㈱TRES

が高い熱利用あるいはガス発電コ・ジェネレーションとしている。

発酵残渣は脱水され、脱離液は液肥として、固分はたい肥化され農地還元される。現在も汚泥は「有良汚泥再生処理センター」でたい肥化されているが、汚泥の一部は継続してたい肥化される予定としている。

林地残材、森林伐採材、建設廃材、剪定枝などの木質系バイオマスはペレット化され、ボイラ燃料としてハウス、温泉や農産物加工のほか発電等に利用を予定している。

メタン発酵により 864,246Nm³/年のバイオガスを回収でき、低位発熱量 18,991GJ/年となり、これは A 重油 486kL/年相当となる。

木質系ペレットの直接燃焼により、低位発熱量 527,910GJ/年となり、A 重油換算 13,502 kL/年に相当する。

廃食用油は、BDF 化され公用車、農業用車両等に利用される予定である。年間 153 トンの廃食用油（有効発熱量 0.8）から A 重油 94kL/年（低位発熱量 3,664GJ/年）に相当する自動車燃料を生産することができる。

奄美市は、島内最大の都市で未利用のバイオマスの収集、排出量の観点から、得られたバイオマスエネルギーの地産地消の点で、かつメタン発酵への取組み姿勢から、地下管理型メタン発酵施設のケーススタディを実施する有力な候補地と考えられる

④.家畜排せつ物

家畜排せつ物は、有力なメタン発酵に適する有機性廃棄物の一つである。特に、牛ふんは、メタン生成細菌を含みメタン発酵の自立的立ち上げが可能である。

奄美大島での有機性廃棄物のメタン発酵は、焼酎廃液を対象に、バイオガスの回収を目的ではなく、高濃度有機物の排水処理の一環で実施されたことがあるが、現在は実施されていない。奄美市の名瀬終末処理場に汚泥減容化のための消化槽が設置されている。これは、無加温で運転されているようである。⁷⁾

奄美大島に設置された地下管理型メタン発酵施設では、牛ふんを用い、自立的に立ち上げるほか、すばやくメタン発酵を立ち上げるには、この嫌気性消化汚泥の利用が考えられる。

平成 18 年度公表の奄美大島市町村別、家畜排せつ物の賦存量及び利用可能量例を図.2-2-12 に示す。⁸⁾ 平成の大合併により、名瀬市、住用村、笠利町は奄美市となったが図.4-1-12 以降の各種バイオマスの賦存量及び利用可能量表示では、発生所在を明確にするため、奄美市の表示は、名瀬、住用及び笠利地区別とする。

奄美大島の平成 20 年度の家畜飼養数を表.4-1-1 に示す。奄美大島では、牛の飼育は、肉用牛のみである。奄美大島の肉用牛飼養戸数は 118 戸であるから、1 戸当たり 24.7 頭となる。豚の飼養戸数は 16 戸であるから、同様に 67.2 頭となる。肉用牛 1 戸当たりの全国平均飼養頭数（平成 21 年）は、37.5 頭、豚は同様に 1,585.8 頭である。奄美大島の牛及び豚の飼育は、他の奄美群島に比較しても飼養戸数、飼養頭数も少なく、かつ全国平均以下である。

奄美大島での家畜の飼育は、地域特性があり、肉用牛及び採卵鶏は本島北部及び南部に、養豚は名瀬地区に、ブロイラーは本島北部で主に実施されている。

ニワトリの排せつ物の利用可能量は多いと予想されるが、アンモニアを高濃度を含むた

めメタン発酵阻害を起こしやすく、一般にメタン発酵の事例は少ない。
肉用牛及び豚の排せつ物は、場合により利用可能と考えられる。

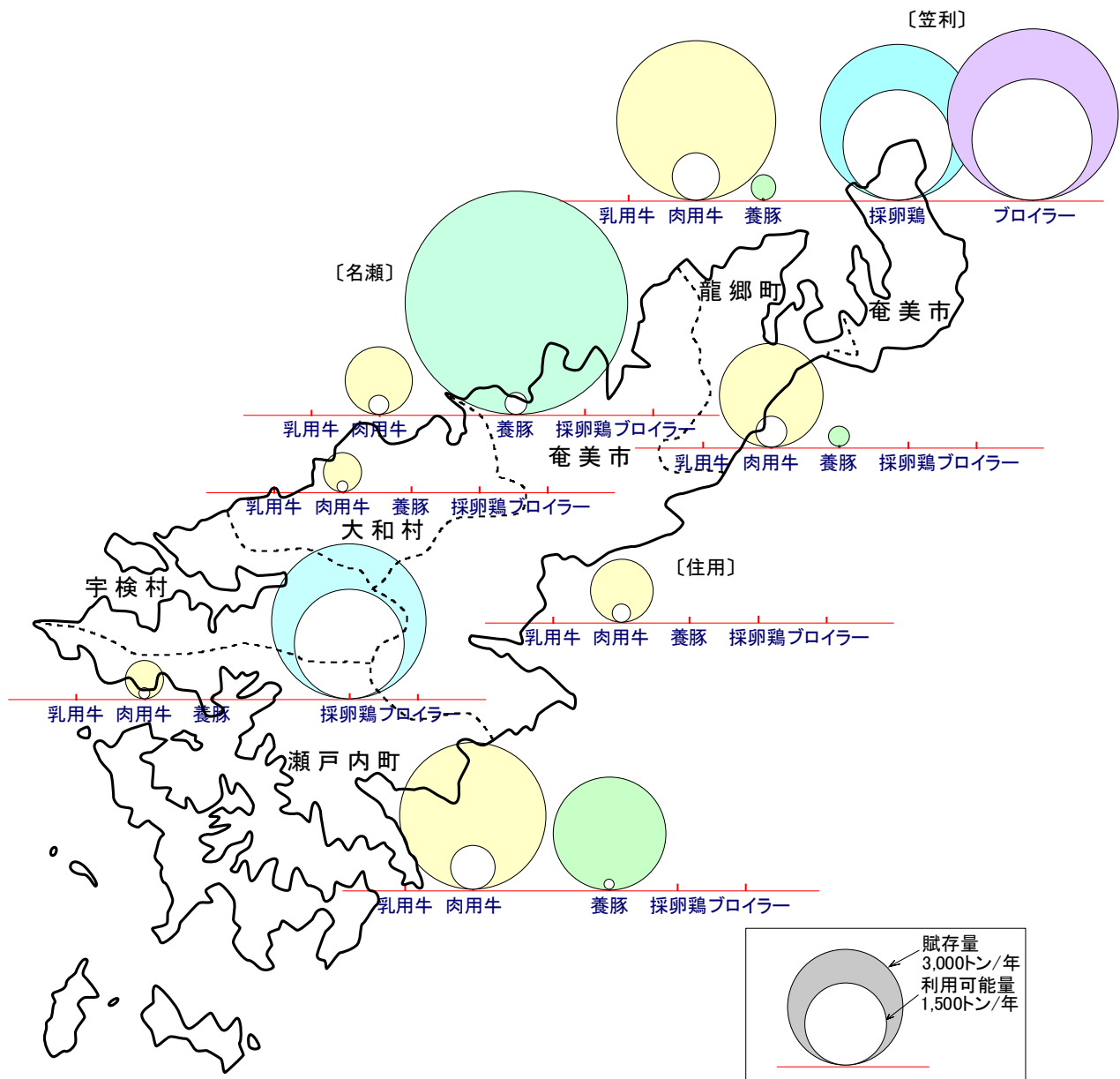


図.4-1-12 家畜排せつ物の賦存量及び利用可能量例
(円外側:賦存量、内側:利用可能量;円の大きさは量に比例)

表.4-1-1 家畜飼養数¹⁾

(頭・羽数)

	牛		豚	ニワトリ		山羊
	乳牛	肉用牛		採卵鶏	ブロイラー	
奄美市	0	1,399	350	40,916	800	174
龍郷町	0	496	106	800	1,700	135
瀬戸内町	0	893	614	639	0	389
大和村	0	0	0	250	0	13
宇検村	0	124	5	22,800	0	103
計	0	2,912	1,075	65,405	2,500	814

⑤.生ごみ

生ごみは、メタン発酵の対象として適しているバイオマスの一つである。特に、乾式メタン発酵では、良く用いられている。

家畜排せつ物と同様に、奄美大島地区別の賦存量及び利用可能量を図.4-1-13に示す。

生ごみの賦存量は、居住人口数に応じて多くなる傾向があり、旧名瀬市地区が最も多い。奄美大島の生ごみのほとんどが「名瀬クリーンセンター」で焼却処分されているため、利用可能量は多い。従って、メタン発酵による資源化は意義があると考えられる。

⑥.下水汚泥

平成22年度版環境白書によると、平成19年度の産業廃棄物419,425千トンの内、種類別では汚泥が最も多く、185,305千トンで44.2%を占めている。

奄美大島での賦存量及び利用可能量を図.4-1-14に示す。⁸⁾

通常下水汚泥の固形分は、数%で、一部はメタン発酵の一種である嫌気性消化が実施されている。脱水処理されたケーキは、たい肥として資源化されることがある。

地下管理型メタン発酵施設では、乾式メタン発酵を基本としている。従って、水分が多いバイオマスは主対象物となりにくく、ケーキの場合のみ利用の余地がある。

しかし、奄美大島では、島内唯一の施設である「有良汚泥再生処理センター」でたい肥化されており、利用可能量は少ないものと考えられる。

なお、奄美市の名瀬終末処理場に汚泥減容化のための消化槽が設置されている。これは、無加温で運転されているようである。

⑦.木質系

林地残材、製材所残材、果樹剪定枝、公園剪定枝、建築解体廃材及び新・増築廃材の賦存量ならびに利用可能量を図.4-1-15に示す。⁸⁾

奄美大島は、島の85.4%が森林である。そのため、各地区で林地残材及び製材所廃材が発生しているが、有効に活用されていないようである。

木質系バイオマスは、資化に時間を要するため、メタン発酵の主対象材料になりにくい。乾式メタン発酵では、空隙率確保のために有効と考える。また、発酵残渣はたい肥化

を予定しているため、チップ化された木質系はたい肥化の際の副資材としても、メタン発酵当初から、発酵残渣のたい肥化の際に添加することができるものとする。

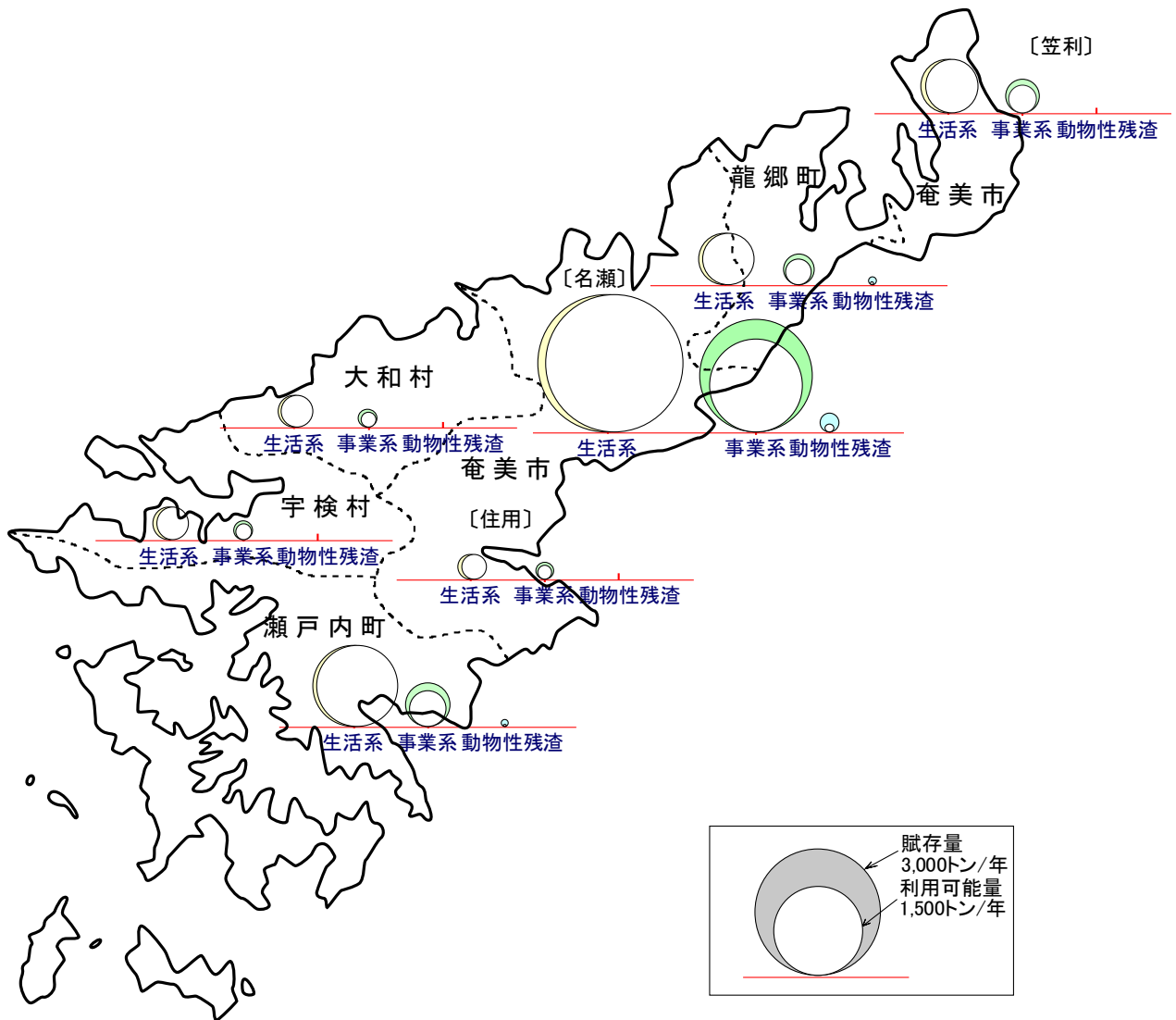


図.4-1-13 生ごみの賦存量及び利用可能量例
(円外側:賦存量、内側:利用可能量;円の大きさは量に比例)



図.4-1-14 下水汚泥の賦存量及び利用可能量例
(円外側:賦存量、内側:利用可能量 (ただし該当なし))

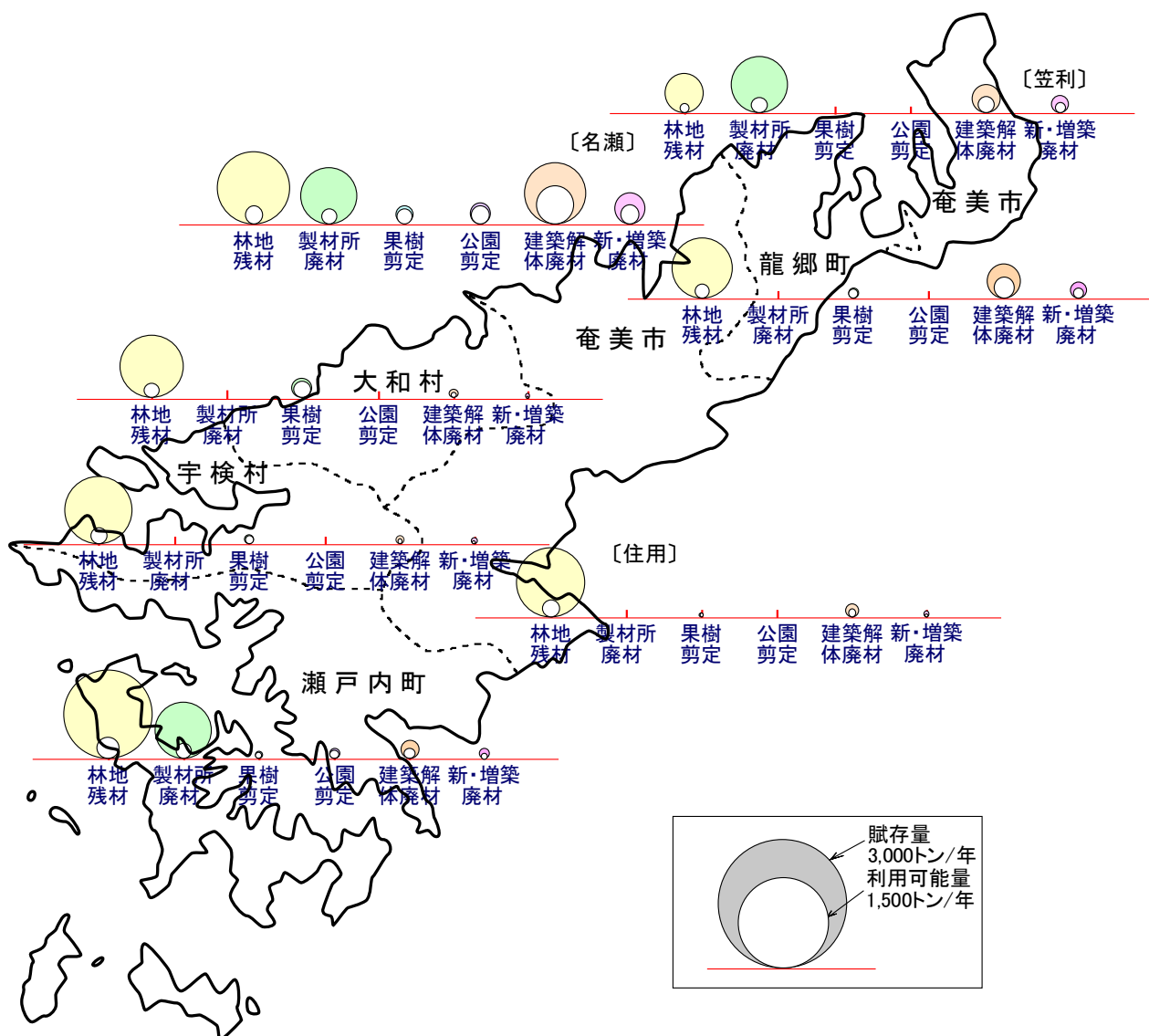


図.4-1-15 木質系バイオマスの賦存量及び利用可能量例
(円外側:賦存量、内側:利用可能量;円の大きさは量に比例)

木質系バイオマスを利用する際の最大の課題は、収集、運搬といえる。林地残材の利用の際は、さらに発生形態等を精査する必要がある。一方、製材所廃材は、一カ所で大量に排出されることが多いことから、木質系バイオマスの中では比較的利用しやすいと考えられる。

⑧.農業系廃棄物

稲わら、麦わら、もみ殻の農業系廃棄物の賦存量及び利用可能量を図.4-1-16 に示す。⁸⁾ 奄美大島の耕地面積はわずかに 2,183ha（田 59ha、畑 2,122ha）で全面積の 2.7%にすぎない。農家一戸当たりの耕地面積は、90.4 アールと奄美群島の中で最も小さい。¹⁾

奄美大島北部の笠利地区では、サトウキビを中心に、野菜・切花の複合経営が多い。龍郷町、住用地区や奄美大島南部町村では、柑橘類のほかトロピカルフルーツが栽培されている。

このため、稲作は盛んでなく、稲わらの利用可能量はあるものの量は少ない。

この他にモデル地域特有の農業系バイオマスとして、サトウキビトップ（頭梢部）、ハカマ（残葉）がある。収穫したサトウキビトップは、苗としてそのまま利用できるほか、畜産飼料として利用される。ハカマは、バガス（サトウキビ搾り粕、搾汁残渣部）と共に家畜の敷料として利用され、その後にたい肥化されることがある。バガス自身は、製糖時のボイラ燃料として利用されることもある。

⑨.モデル地区特有のバイオマス

我国では、この地方のみの産業である黒糖焼酎製造がある。平成 20 年酒造年度（7 月～翌 6 月）の黒糖焼酎製成数量は、11,250kL、移出額は 9,023 百万円となっている。奄美大島には、大小 11 の製造所がある。鹿児島県の場合、焼酎製造では、製造量とほぼ同量の残渣が発生するとされている。焼酎粕の性状を表.4-1-2 に示す。

島内最大手の製造場（年間約 4,000kL 製造）では、焼酎粕 30 トン/日の処理能力を持つ濃縮炭化処理装置を導入し、15kg/日の炭化物を製造し、土壌改良材として、現在は無償で近隣農家に配布している。焼酎粕を 10 倍濃縮した時に残る廃液は、好気性廃水処理され下水放流している。中小の製造場では、液肥として農地還元されている。

なお、鹿児島県では「焼酎廃液（粕）の農耕地施用のガイドライン（平成 7 年）」により、土壌診断の実施、圃場外への流出防止、悪臭防止等を図るほか、施用基準に基づく施用するよう指導している。これによると、黒糖焼酎廃液（粕）のサトウキビ、果樹等への 10 アール当たり年間施用量は、3 トン以内の元肥利用としている。

芋焼酎などの焼酎粕を利用して、鹿児島県、宮崎県などの本土では、メタン発酵が実施されている。奄美大島においては、試験的にメタン発酵が実施されたが、現在の実施例はない。この実施フローを図.4-1-17 に示す。黒糖焼酎粕 1 トン当たり、メタン濃度 50%程度の約 150m³のバイオガスを得られるが、エネルギー回収が目的でなく、むしろ減量化や BOD の低減を目的としているため、大気放出としている。

メタン発酵液は、オゾンにより脱臭後、活性汚泥を用いた曝気処理が行われる。曝気処理後の上澄み廃液は、BOD、COD が低減しているため放流される。この工程での残渣（沈殿物）は、自社の農地に年間 200 トン（日 2 トン程度）肥料として還元される。

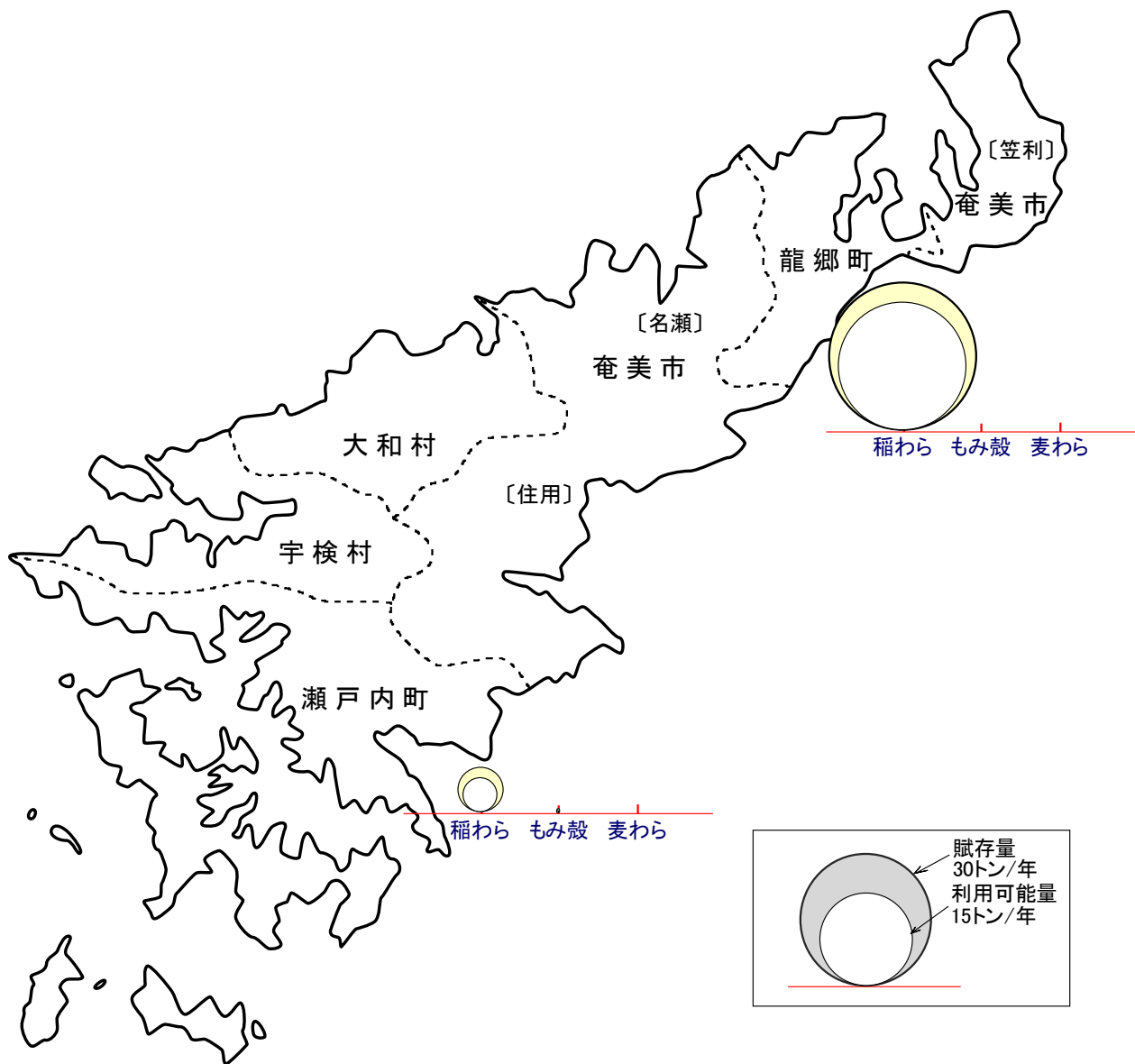


図.4-1-16 農業系廃棄物の賦存量及び利用可能量
 (円外側:賦存量、内側:利用可能量;円の大きさは量に比例)

表.4-1-2 各種焼酎粕の性状

	黒糖焼酎粕	甘藷焼酎粕	麦焼酎粕
水分 (%)	95.1	93.5	93.8
pH	4.2	4.2	3.7
T-N(%)	0.49	0.24	0.39
NH ₄ -N(mg/kg)	185	393	123
NO ₃ -N(mg/kg)	7	27	4
P(%)	0.04	0.03	0.04
K(%)	0.89	0.18	0.04

[出典] 経済産業省九州経済産業局：奄美地区における黒糖焼酎粕の高度利用可能性調査報告書、平成 19 年 3 月

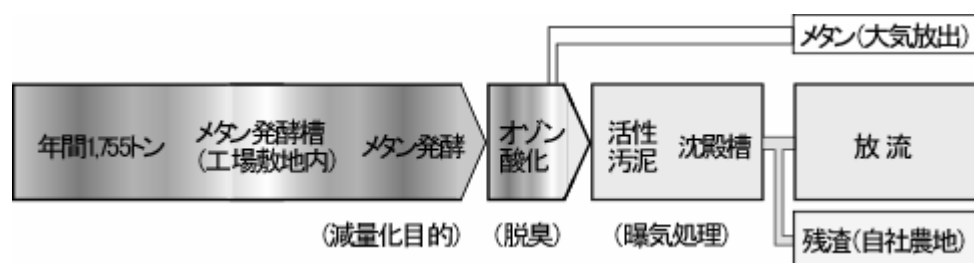


図.4-1-17 メタン発酵フロー

[出典] 経済産業省九州経済産業局：奄美地区における黒糖焼酎粕の高度利用可能性調査報告書、平成 19 年 3 月

黒糖焼酎粕は、固形分が 5%程度と液状のため、乾式メタン発酵の原料として扱い難い。一方、名瀬たい肥センターでは、たい肥化の際にバーク等に黒糖焼酎粕を混合している。発酵残渣のたい肥化の際に、このような使用法が考えられる。

4.1.4 候補地の検討

奄美大島本島内に、地下管理型メタン発酵施設の設置場所を検討する。検討の際の考慮点は、①.居住人口、②.当該地区のバイオマス賦存量及び利用可能量、③.同エネルギー需要、④.同バイオマス資源化及び廃棄物処理ニーズ、他がある。

①.メタン発酵施設導入の際の考慮点

地下管理型メタン発酵は、乾式メタン発酵を基礎としているが、NEDO「バイオマスエネルギー導入支援データベース」を用い、食品廃棄物等の湿式メタン発酵についての導入の効果等を以下に示し、候補地選定の参考とする。⁸⁾ 試算には、表.4-1-3 の条件を採用した。

処理量当たりの建設コストを図.4-1-18 に示す。図.4-1-19 には、処理量当たりの設置面積を示す。

この試算では、バイオガスの利活用は熱利用としている。図.4-1-20 に熱生産量及び利用

可能量の試算結果を示す。

6トン/日までの処理量では、建設コスト、設置面積及び熱生産能力ならびに利用可能量は、処理量に比例する結果となっている。

図.2-2-21 には、処理量当たりの原料調達コスト試算結果を示す。この処理量の範囲では、原料調達コストはマイナスとなり、処理費を受領する必要がある。

表.4-1-3 食品廃棄物等の湿式メタン発酵導入試算条件

項目	概要	備考
バイオガス利活用	熱利用	
発酵残渣	後処理実施	
補助金利用	有り	建設コストの 50%補助
金利	3.00%	建設コストの残金の借入金利
人件費	500 万円/人	
電力単価	15 円/kWh	業務用
熱単価	10 円/McaL	灯油相当

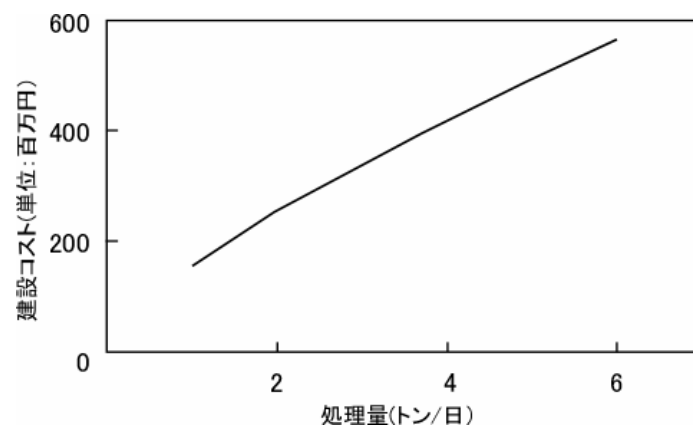


図.4-1-18 処理量当たりの建設コスト試算結果

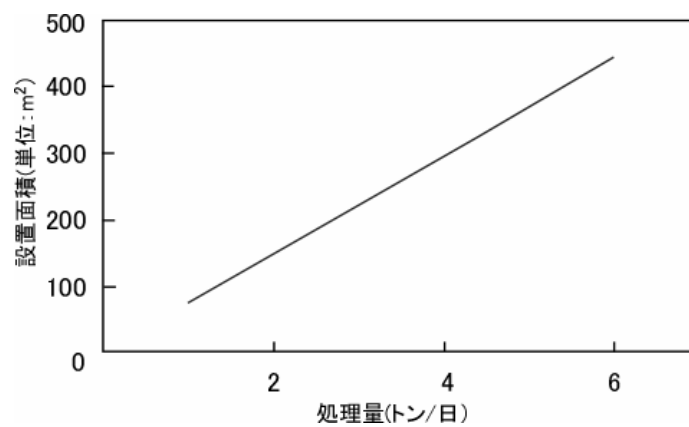


図.4-1-19 処理量当たりの設置面積試算結果

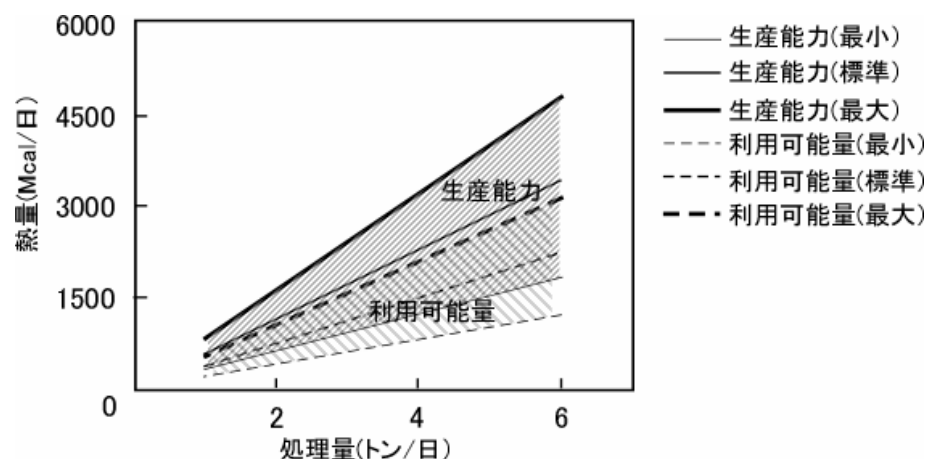


図.4-1-20 熱生産量及び利用可能量試算結果

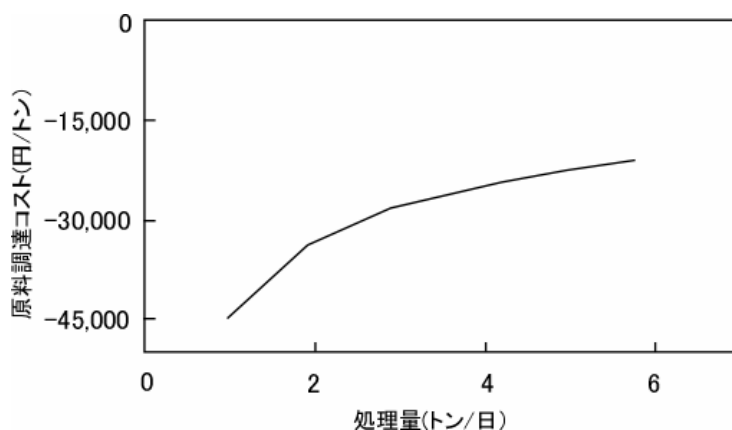


図.4-1-21 処理量当たりの原料調達コスト試算結果

処理量の増加につれて、原料調達コストは低減する傾向があり、標準的な一般廃棄物の外部委託処理費と考えられる 25,000 円/トンとすると 4 トン/日以上処理量が必要となる。⁹⁾

②.居住人口

平成 22 年 9 月末時点の各地区の人口を図.4-1-22 に示す。

主要産業である製糖、黒糖焼酎製造以外大規模なバイオマスを排出する工場等は見られない。製糖工場からの利用可能なバイオマスであるバガス（搾り粕）、サトウキビトップ（頭梢部）、ハカマ（残葉）は、再利用、資源化が進んでいる。黒糖焼酎残渣は、大手業者は炭化等による資源化、中小業者は農地還元している。かつ、水分が多いため、たい肥化の際に添加することは可能であるが、乾式メタン発酵の原料としては利用しにくいと考える。

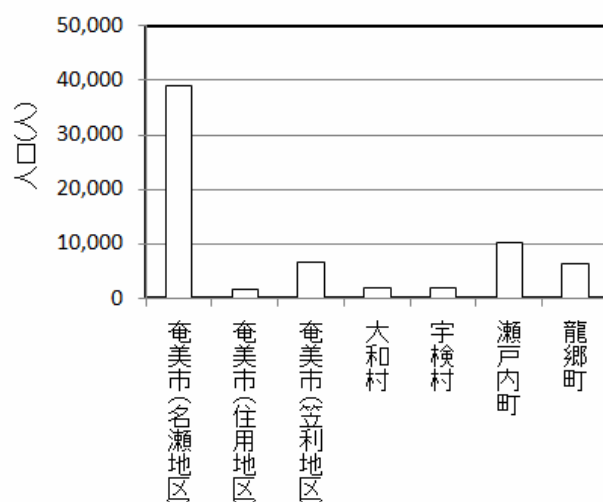


図.4-1-22 奄美大島市町村の人口（平成 22 年 9 月末現在）

〔出典〕各市町ホームページより

乾式メタン発酵の原料として、十分な量の確保が可能と考える生ごみ、また水分調整用の紙類の排出の多い地区が候補地となる。これらの排出量は、人口に比例する。

奄美大島の人口は、奄美市名瀬地区に偏っている。輸送に係るコスト及び輸送の際の CO₂ 発生削減の観点から、生ごみ及び紙類を多量に確保するため、この奄美市名瀬地区が有力な候補地と考えられる。

③.当該地区のバイオマス賦存量及び利用可能量

地下管理型メタン発酵は、ランドフィルガス方式の施設形態で、投入未利用バイオマスからのバイオガス回収を促進させるため、乾式メタン発酵の技術を参考としている。

乾式メタン発酵を参考とすると、原料は生ごみ及び水分調整用を兼ねた紙類（紙は、種類により、メタン発酵の際のバイオガス発生量は異なるが、有望な原料の一つである）が、主原料と考えられる。発酵残渣はたい肥化利用を想定しているため、場合により、メタン発酵の際の空隙率の確保、あるいはたい肥化工程の副資材としてチップ、バーク等の木質系バイオマスの利用が考えられる。

現在までの調査検討結果から、メタン発酵施設は処理量が大いほど設置面積が大きくなる短所があるが、事業性は向上する傾向にある。

未利用バイオマス資源化は、原料が容易に調達できる場所に設置し、得られたエネルギーは、その場所あるいは近隣で消費することが望ましい。この観点から、前述のように人口の多い地区の方が、排出される原料となり得る生ごみ、紙類が多い。従って、奄美市を対象に、利用バイオマスの詳細検討を実施する。

i.生ごみ、紙類について

現在まで入手した奄美市の生ごみの排出量のデータは、a.バイオマス賦存量・利用可能量の推計、b.平成 21 年度地域における環境バイオマス総合対策調査九州地区調査事業実施調査、c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績(平成 20 年度)がある。¹⁰⁾

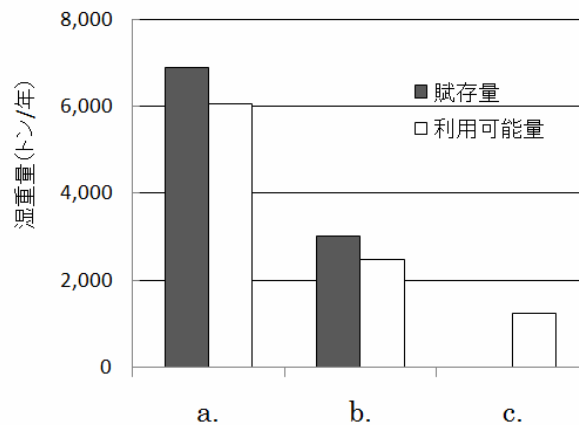


図.4-1-23 奄美市の生ごみの賦存量及び利用可能量

a;NEDO:バイオマス賦存量・利用可能量の推計

b;平成 21 年度地域における環境バイオマス総合対策調査九州地区調査事業実施調査

c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績(平成 20 年度)

生ごみのデータを図.4-1-23 に示す。a.の生ごみ賦存量は 6,895 トン/年、利用可能量は 6,058 トン/年、b.では賦存量が 3,012 トン/年、利用可能量が 2,484 トン/年及び c.の可燃ごみ搬入量は 15,921 トン/年、これに厨芥(生ごみ)割合 7.8%を乗じて求めると年間 1,242 トンと算出され、大きな差異が見られる。しかし、a.b.及び c.いずれのデータも、3 トン/日以上の上の生ごみを確保できることが判明した。

なお、c.の名瀬クリーンセンターには、奄美大島各市町村のごみが搬入される。この総量は 21,328 トン/年となり、これに前述の生ごみ割合を掛けると 1,664 トン/年の生ごみが搬入されることになる。

奄美市の人口は、前述のように 47,205 人である。平成 22 年版環境・循環型社会・生物多様性白書によると、1 人 1 日当たりの一般廃棄物排出量（＝収集ごみ量＋直接搬入ごみ量＋集団回収量）は、1,033 g（平成 20 年度の値、前年度比 5.1%減）であることから、17,798 トン/年となる。全国平均より、約 1 割（ $=15,921/17,798=0.89$ ）減のごみ排出量となっている。

乾式メタン発酵の際の水分調整、空隙率確保などの観点から、原料の一つとして使用を予定している紙類の排出量に関しては、c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績(平成 20 年度)のデータがある。

c.の可燃ごみ搬入量 15,921 トン/年、これに紙・布割合 66.3%から年間 10,556 トン（1 日当たり約 30 トン）と推定され、十分な量が確保できる。

ii.木質系について

木質系バイオマスは、乾式メタン発酵の際の空隙率の確保に、たい肥化の際の副資材としての利用が考えられる。

木質系に関しては、a.バイオマス賦存量・利用可能量の推計、b.平成 21 年度地域における環境バイオマス総合対策調査九州地区調査事業実施調査、c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績(平成 20 年度)に記述がある。これらのデータを表.4-1-4 に示す。

表.4-1-4 木質系バイオオマスの賦存量及び利用可能量データ

(トン/年)

	林地残材		製材所廃材		果樹剪定		公園剪定		建築解体廃材	
	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量
a.バイオマス賦存量・利用可能量の推計	2,135	136	1,173	95	65	50	83	59	862	336
b.平成21年度地域における環境バイオマス 総合対策調査九州地区調査事業実施調査	4,681	2,292	0	0	1,783	1,783	—	—	3,823	3,823
c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績 (平成20年度)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

	新・増築廃材		剪定枝・工事発生木		木・竹・わら類	
	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量
a.バイオマス賦存量・利用可能量の推計	244	95	—	—	—	—
b.平成21年度地域における環境バイオマス 総合対策調査九州地区調査事業実施調査	—	—	2,393	423	—	—
c.名瀬クリーンセンターごみ搬入量実績 (平成20年度)	—	—	—	—	—	430

各資料間で、大きな差異が見られる。木質系未利用バイオマス利用の課題は、収集、運搬、年間を通じた排出量（寒地での伐採材、間伐材、剪定枝等の排出は期待できない）等の課題がある。b.の調査結果では、林地残材は全量山置き、果樹剪定枝は全量土地還元あるいは焼却、建築廃材は全量焼却され有効活用されていない。この理由に、収集、運搬等の課題が否定できないと考える。剪定・工事発生木の約8割は、たい肥化の際の副資材、法面吹付け材として利用されている。

木質系未利用バイオマスについて、c.の搬入実績から、年間430トン（約1トン/日）の利用が考えられる。

④.当該地区のエネルギー需要¹⁾

バイオガスは、ガス発電等により電力に、ボイラ等の燃料に、天然ガス自動車の代替燃料等に利用可能である。

奄美大島の電力は、九州電力(株)より供給されている。島内には、内燃式（ディーゼル）火力発電の竜郷発電所（龍郷町；出力 60,000kW）、名瀬発電所（奄美市名瀬地区；同 21,000kW）、古仁屋発電所（瀬戸内町；同 4,750kW）と水力発電の新住用発電所（奄美市住用地区；同 3,000kW）と小水力発電の名音川発電所（大和村；同 65kW）がある。竜郷発電所の単機出力 10,000kW 級（6 基稼働）は、我国最大級である。奄美大島の認可出力の合計は、88,815kW である。奄美群島（喜界島、奄美大島、徳之島、沖永良部島及び与論島）内には、14 ヶ所の発電所があり、認可出力の合計は、161,065kW であるから、約 1/2 が奄美大島と言える。

平成 20 年度の奄美群島での総発生電力は、577,311MWh で、内販売電力量は、電灯 250,607MWh、電力 263,546MWh、合計 514,153MWh であった。

新エネルギーの導入は平成 21 年 3 月末現在、奄美大島では、電力会社による風力発電が 1 件建設中である。その電力規模は、1,990kW となっている。奄美群島の与論島、喜界島、沖永良部島では、太陽光発電については、電力会社設置が 1 件 30kW で、一般の設備が 100 件合計 638kW で、風力発電では一般の設置が 3 件合計 1,800kW 規模が稼働している。

平成 18 年度の各地区の電力需要試算結果を、図.4-1-24 に示す。合計は 1,242,186GJ/年(345,052MW/年)となっている。

前述の各地区の人口に応じて、電力需要量が増加する傾向にある。

ガス発電による余剰電力供給は、地下管理型メタン発酵施設の近隣に需要がある場合、適用しやすい。しかし、電力主任技術者の選任あるいは発電容量により主任技術者委任の経費、現在の売電価格、逆潮流を考慮した系統連系装置の設置などを十分検討する必要がある。

奄美市では、島唯一の都市ガス供給会社である南海ガス(株)により、ガス配管供給が実施されている。名瀬地区を中心に、契約件数 7,600 件に供給している。龍郷町に貯蔵基地があり、ここで受入れ名瀬工場に輸送される。名瀬工場の主要製造設備・供給設備は、原料タンク 20 トン×2 基、サージタンク（バッファ用）15 トン×2 基、有水式ガスタンク 1,500m³×1 基、液体 LPG 用ガス発生器 1,000m³/時×2 基、ペーパー用ガス発生器 700m³/時×1 基となっている。図.4-1-25 に名瀬工場タンク類を示す。

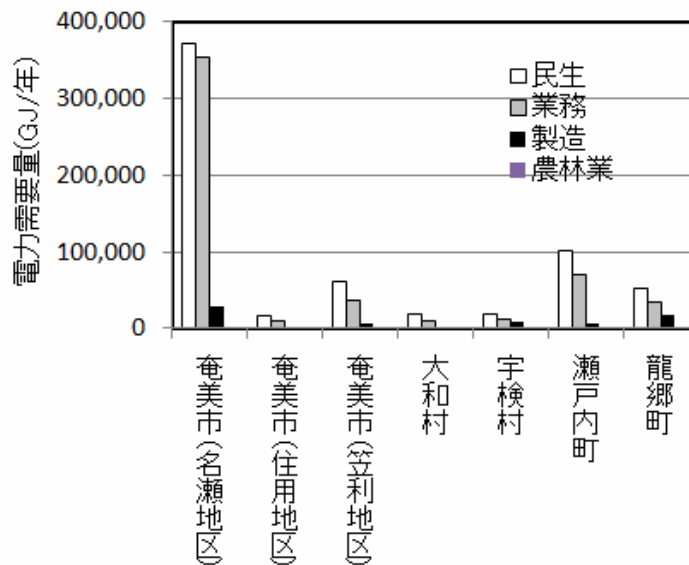


図.4-1-24 奄美大島の電力需要

原料 LPG は、温水気化器一体型ベーパーライザーミキサーにより PA13A(プロパンエアーガス；標準熱量 62.8MJ(15,000kcal)/m³)の空気混合ガスが製造される。2.38kPa の元圧で供給される。ガス配管は SG（鋼管）管から、耐腐食性、地震時応答性の観点からポリエチレン管に転換が進展（導管総延長の約 60%が転換済）してきている。

関連会社を通じ、15 地区の開発団地を対象とした簡易ガス事業（70 戸以上/地区に供給）も手掛けている。

LP ガスは、船で図.4-1-26 に示す LP ガスタンクに受入れ、一次貯留する。（最大貯留量 25KL×5 基）それをポンペに充填し島内に供給している。平成 21 年の消費量は、3,415 トンとなっている。

組成はプロパンが 98.8%、エタン・エチレンが 0.6%、n-ブタンが 0.6%となっている。ポンベ充填時は、液体 90%、ガス 10%となっている。タンク保管時の圧力は 1MPa でポンベ充填時は 1.3～1.5MPa になるようにしている。

図.2-2-27 に示す LP ガスのポンベ充填は液体で行われているので、ガス状態のバイオガスを、ここでは充填できない。

奄美大島の都市ガス需要の推定結果を図.2-2-28 に示す。電力需要と同様に、人口との相関が見られ、名瀬地区で需要は高い。

バイオガスの利活用として、都市ガス製造の際の、熱量調整時に混合利用が考えられる。



図.4-1-25 名瀬工場タンク類
 (前左側) 原料貯蔵タンク、(前右側) サージ (バッファー) タンク、(後方) ガスホルダー



図.4-1-26 奄美大島エルピーガス協同組合の貯蔵タンク



図.4-1-27 LP ガスボンベ充填機

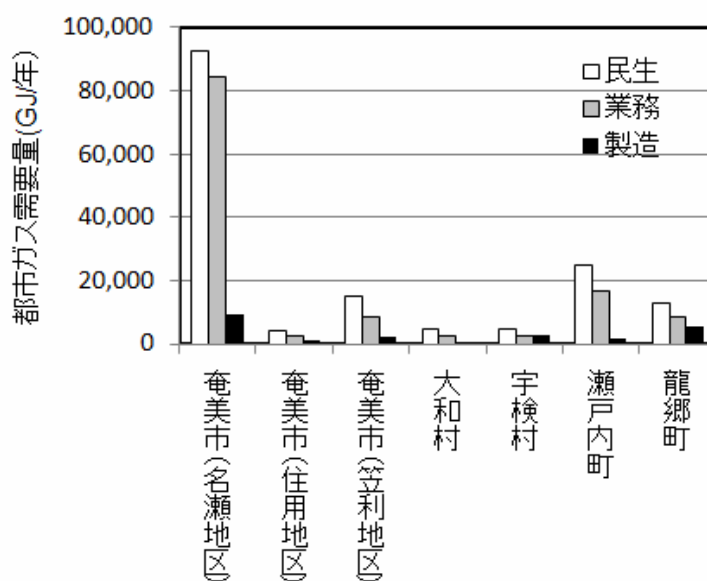


図.4-1-28 奄美大島の都市ガス需要

④.当該地区のバイオマス資源化及び廃棄物処理ニーズ

奄美大島は、島しょ部を含め長手方向で直線距離約 80km の大きさである。奄美大島内の清掃工場は、名瀬クリーンセンターのみである。瀬戸内町（以下各役場を起点）からは約 45km、宇検村からは約 40km、大和村では約 30km、龍郷町は約 15km 離れている。

乾式メタン発酵の主原料である生ごみ及び紙類は、事業系生ごみを除き、ほぼ全量がここで焼却処分され、焼却灰は隣接の最終処分場処理されている。

廃棄物が排出される場所での分散処理は、輸送に係る CO₂削減効果に寄与できる。

瀬戸内町は、このクリーンセンターから最も遠距離にあり、過去には自前のクリーンセンター建設の計画があったが、諸般の事情により断念し、名瀬クリーンセンターを運営する一部事務組合に、来年度より正式加入することとなっている。一般に、メタン発酵は資源化量が多いほど、事業性が向上する。名瀬クリーンセンターへの瀬戸内町可燃ごみ搬入実績は 2,697 トン(平成 20 年度)で、これに生ごみ比率 7.8%を掛けると約 210 トン(0.58 トン/日) となり、小規模施設となり事業性は低いものとする。

奄美大島でバイオマスタウン構想を策定あるいは策定中の市町村は、宇検村(提出日平成 21 年 3 月 31 日)及び奄美市がある。

宇検村の採用のバイオマス転換技術は、たい肥化である。奄美市の構想では、生ごみ、家畜排せつ物、焼酎粕等は、メタン発酵による資源化、発酵残渣の液肥及びたい肥化利用を視野に入れている。

奄美市は島内最大の市町村で排出される生ごみを含む一般廃棄物の排出量が最も多い。以上のことから、奄美市が候補地の最有力地域とする。

4. 2 構造、システムの詳細検討

4.2.1 想定フロー

1).規模設定

地下管理型処理・資源化施設は、ランドフィルガス方式と乾式メタン発酵を融合したシステムと言える。

奄美市への設置を想定する。一般に、バイオマスの資源化は処理量が多いほど、施設の自己使用以外の余剰エネルギーが多くなるため、事業性は向上する傾向にある。当該地区のバイオマス利用可能量及び既設の乾式メタン発酵施設の原料投入比率等を参考にすると、1日当たりの新規投入原料は、生ごみ3トンと紙類1トンの混合物が考えられる。

空隙率の確保、水分調整用等の副資材として、チップ等の木質系バイオマスの使用が考えられるが、発酵状況、メタン発酵後の発酵残渣のたい肥化状況等を考慮して、原料組成の再検討を行う必要がある。

図.4-2-1 に家庭から排出される（微粉碎）模擬生ごみ（組成は、表.4-2-1 参照）3 に対してシュレッター紙1の混合物（湿重量比）の状況を示す。

この組成のTS(全固形分)は、41.5%、pH6.7となった。

生ごみのかさ密度を0.7（トン/ｍ³）、紙類を0.4とすると、1日当たりの投入容量は、約4.7ｍ³となる。¹¹⁾

地下に設置された発酵槽に投入する際に、種汚泥として取出した発酵残渣（水分は変化しないと仮定）を同量添加混合すると、1日当たりの必要容量は、約9.4 ｍ³となる。投入物の温度、気温、地温などにより発酵槽内の滞留時間は異なるが、ここでは、90 日間と設定する。従って、発酵槽総容量は、約850ｍ³と試算される。

この発酵残渣は、この発酵槽を堆積槽として利用し、重機攪拌によるたい肥化を行う。この際にも、製品たい肥を戻したい肥として、原料の発酵残渣に同量添加混合する。同様に、たい肥化期間を90 日間とすると、発酵槽兼堆積槽は同様に約850ｍ³となる。

従って、1,700ｍ³の地下槽が必要になる。

2).資源化フロー

メタン発酵により得られたバイオガスは、近年利用が期待されている都市ガスへの混合を想定する。このため、島内唯一の都市ガス供給会社である南海ガス（株）名瀬工場に近隣に、地下管理型処理・資源化施設の設置が望ましい。

想定される資源化フローを図.4-2-2 に示す。分別収集された生ごみ、紙類は、建屋内に一次仮置きされる。生ごみ、紙類は破砕機で細断される。混合後、発酵槽に投入される。この移送には、小回転半径でトラックに比較して小型な、図.4-2-3 に示すようなクローラダンプなどの使用が考えられる。

発酵槽には、種汚泥として、投入原料と同量の発酵残渣が掘削されず、残存している。これらは、地下発酵槽で良く混合される。なお、新規立ち上げの際の、種汚泥として名瀬終末処理場の消化槽の汚泥の利用が考えられる。その後、地下発酵槽は嫌気性を確保するため、シートで覆われ、3 ヶ月後メタン発酵される。

シートで覆われた発酵槽には、原料と種汚泥としての発酵残渣の混合の際に、有孔管が埋め込まれバイオガスが回収される。回収されたバイオガスは、精製、圧力調整等の後、

配管でガス工場に移送される。ガス工場では、この高純度バイオガスを PA13A 都市ガス製造の際に混合利用する想定とする。

メタン発酵開始 3 ヶ月後、発酵槽の覆いシートは取り除かれ、油圧ショベルにより半分量が掘削される。この掘削された発酵残渣は、新規メタン発酵原料に混合される。残りの発酵残渣とたい肥製品の一部である戻したい肥の同量が混合され、発酵槽はたい肥化の堆積層として利用し、たい肥化が開始される。

メタン発酵と同様に 3 ヶ月後、半分量が掘削され、たい肥製品として販売する。この原料と発酵残渣の混合物のメタン発酵、その後の発酵残渣と戻したい肥の混合、製品たい肥の取り出し作業を繰り返す。

原料の移送の一部、破砕機への投入、堆積槽（発酵槽を兼ねる）への投入、混合、掘削などの一連の作業は、油圧ショベルを用いることとする。

降雨及び台風対策、臭気対策の観点から施設は建屋内に収納する。ここからの排気は、必要に応じ、水洗法、燃焼法、吸着法、薬液処理法、生物脱臭法、オゾン酸化法などによる脱臭を行う。ここで用いる脱臭法は、維持管理費が安価で、脱臭効果が高く、持続性があるなどの要件を満たす必要がある。この条件から生物脱臭法が挙げられる。生物脱臭法の一つである土壌脱臭法の例を図.4-2-4 に示す。



図.4・2・1 生ごみ 3 にシュレッダー紙 1 の混合物

表.4・2・1 家庭から排出される模擬生ごみの組成例

組成	重量(wet-g)	割合 (%)
キャベツ	130	14
ニンジン	130	14
ジャガイモ	130	14
バナナの皮	120	13
オレンジの皮	120	13
豚・牛肉合挽き	80	8
サーモンフレーク	80	8
卵の殻	30	3
ほうじ茶柄	30	3
米飯	100	11
計	950	100

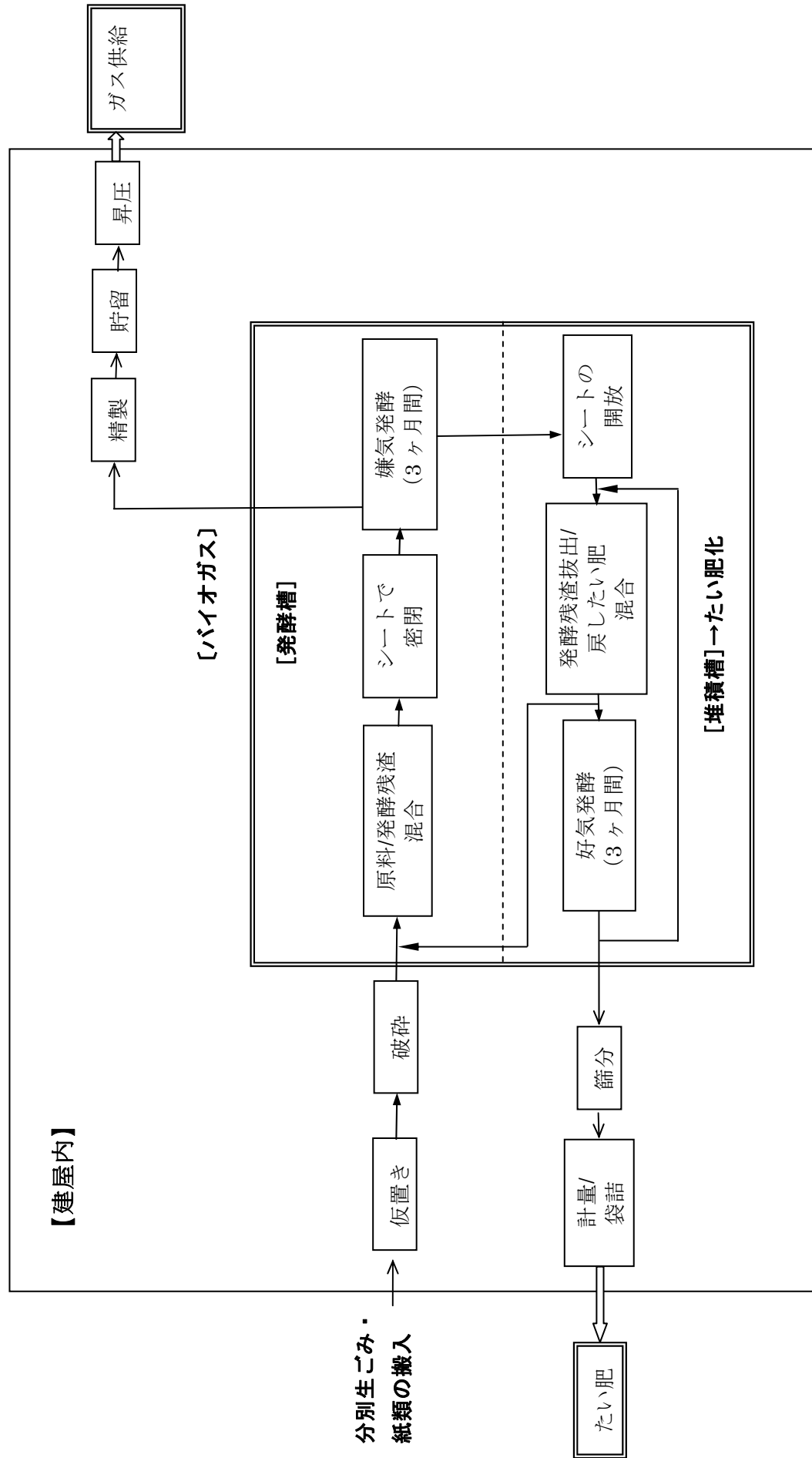


図.4-2-2 資源化フロー



左機種種の諸元

(mm)

機体：全長=2,830、全幅=1,160

全高=1,370

クローラ外幅：1,080

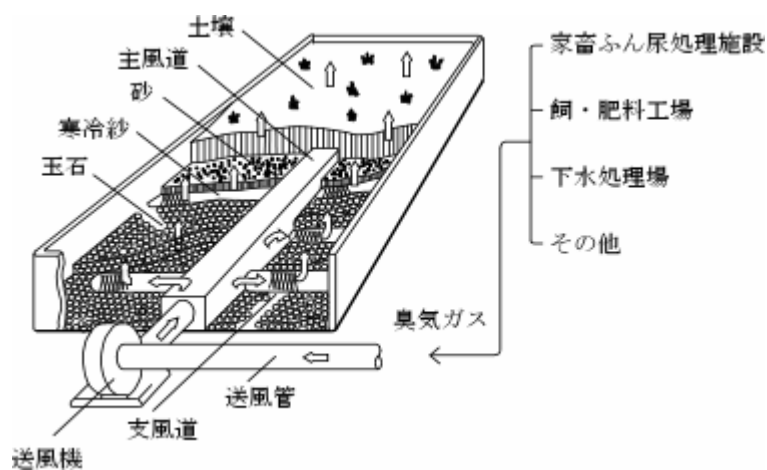
クローラ幅：250

接地長：1,245

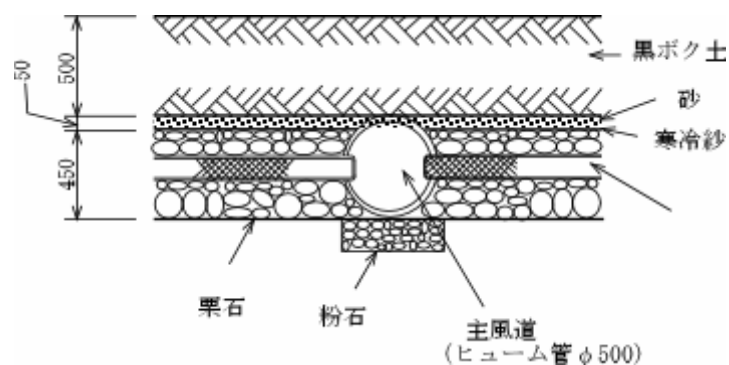
最大作業能力：1,200kg

* 公道走行不可

図.4-2-3 クローラダンプ（河島農具製作所社製）の例



〔概要図〕



〔断面図例〕

図.4-2-4 土壌脱臭装置例

〔出典〕 堆肥化施設設計マニュアル(2版)、(社) 中央畜産会、平成13年1月

4.2.2 バイオガス利活用

1). 想定バイオガス発生量

①. 中温メタン発酵

発酵温度を 35℃ 付近に維持する場合は、生ごみ及び紙類（湿重量比 3:1）の原料では、1 トン当たり 100m³ のバイオガスの発生が期待できる。検討規模は、生ごみ＋紙類の合計 4 トン/日を想定しているため、400m³ のバイオガスが発生するものとする。

35℃ 付近を確保するためには、新規原料投入時に原料混合物中に残存する空気中の酸素を消費し、発熱が期待できるが、一般に発酵槽内の加温あるいは原料への加温等が必要となる。発酵槽内の加温法としては、槽内に設置された加温コイルによる熱交換による方法等が採用されているが、重機による掘削があるため使用できない。従って、床暖房法が考えられる。原料への加温には蒸気吹き込みが考えられる。この熱源として、パッシブソーラーの一種である太陽熱温水器の使用が考えられる。

②. 無加温メタン発酵

奄美大島の気象的利点を生かし、無加温メタン発酵について検討する。

奄美市の過去の深さ方向の地温の測定例及び 5m 深さの年平均気温から算出した予想地温を図.4-2-5 に示す。

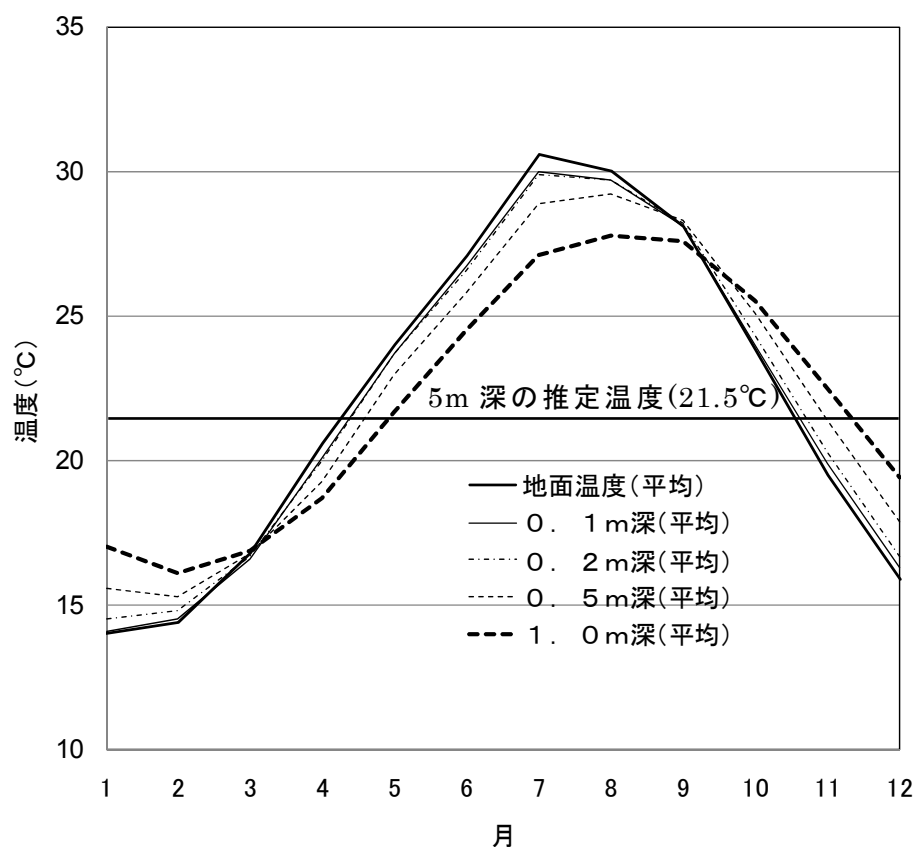


図.4-2-5 奄美市（名瀬測候所の明治 30 年～昭和 32 年(60 年間)）の地温測定結果例及び 5m 以深の想定地温

この図から、地温分布を推定すると図.4-2-6 のようになり、これから各月の代表温度を算出すると表.4-2-2 とする。この代表温度と発酵槽内の温度が同一と仮定する。

図.4-2-7 に示す梅津らの家畜排せつ物を用いた無加温湿式メタン発酵の温度とバイオガス発生量の相関と 35℃のバイオガス発生量を 100m³/原料-トンとして、各月のバイオガス発生量を算出すると表.4-2-3(投入原料 4 トン/日)のように想定される。

原料と発酵残渣の混合物の投入物は、投入物中の残存空気による好気性発酵による発熱及び隣接する発酵槽をたい肥化のための堆積槽として利用している場合の発酵熱の移動により、投入物は想定地温より高くなっていることが考えられる。従って、このバイオガス発生量の想定値は、最低値と考えられる。

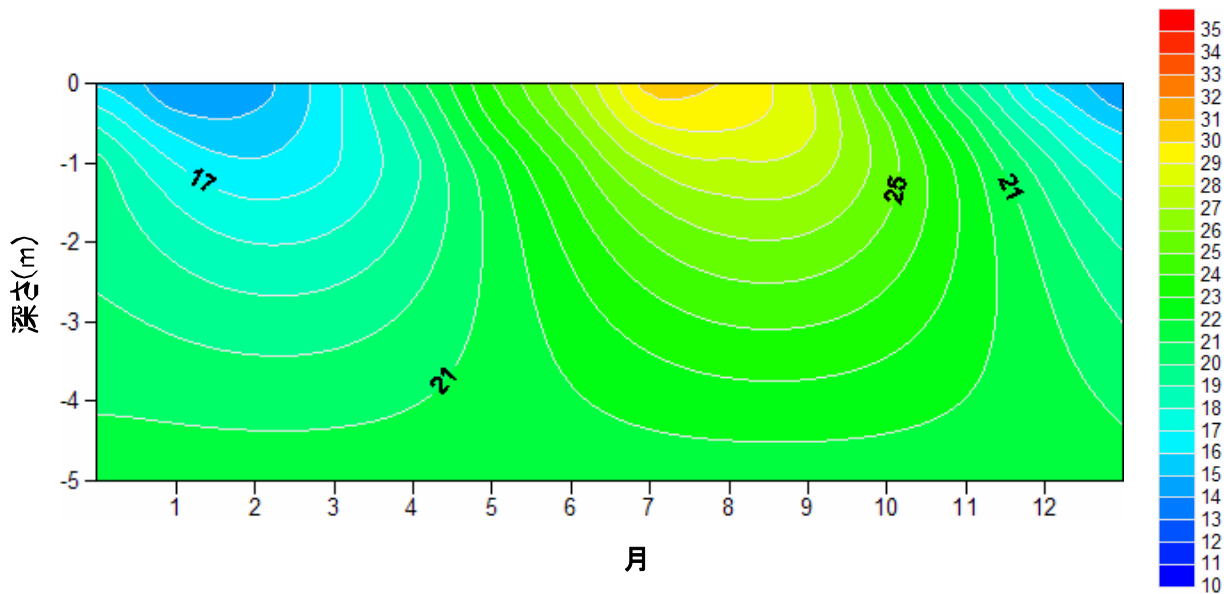


図.4-2-6 奄美市地温分布の推定
(Golden Software 社 Sufer8 使用)

表.4-2-2 発酵槽内の想定代表温度

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 0	1 1	1 2
代表 温度 (℃)	18.7	18.3	19.0	20.4	22.0	23.2	24.8	25.2	25.0	23.5	22.4	20.8

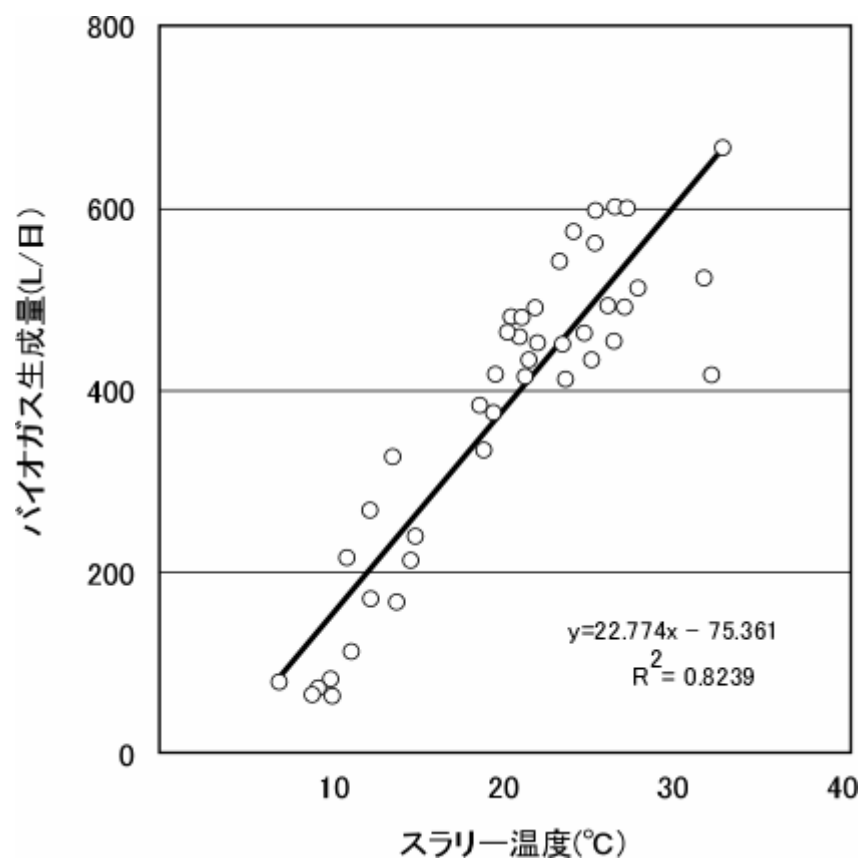


図.4-2-7 家畜排せつ物を対象とした発酵温度とバイオガス発生量の相関
 〔出典〕梅津一孝：シートマット・ソーラーポンド式メタン発酵家畜糞尿処理に関する研究、平成14年度ノーステック財団研究開発助成事業研究成果発表会資料

表.4-2-3 各月の想定バイオガス発生量（m³/日）

月	1	2	3	4	5	6
発生量	195	190	199	217	237	252
月	7	8	9	10	11	12
発生量	271	276	274	255	242	222

2). バイオガス利活用

①. バイオガスの回収

中温メタン発酵では、原料と発酵残渣を混合、発酵槽に投入した早期よりバイオガスの発生が期待できる。発酵槽の1区画の容量は約145m³で約1ヶ月で満杯となる。この場合、投入途中よりバイオガスの発生が予想される。発酵槽表面はシートで覆われ、シートは水封（水深約200mm 予定）され、必要に応じU字溝底部に設置されたステンレス製板（重石）のアイボルトに、カラビラにて固定される。発酵槽は、片側から順次投入され、投入が終了した面はシートで覆われる。必要に応じて、投入面表層を30cm 厚さ程度の土壌で覆うことが考えられる。

最終処分場では、図.4-2-8 に示すようなガス抜き管が設置（米国事例）される。廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領では、ガス抜き管は管径150mm 以上（堅型集排水管を兼ねる場合は200mm 以上）とし、構造は碎石で巻き立てるとしている。この指針では、ガス抜き管の間隔は、50m としている。

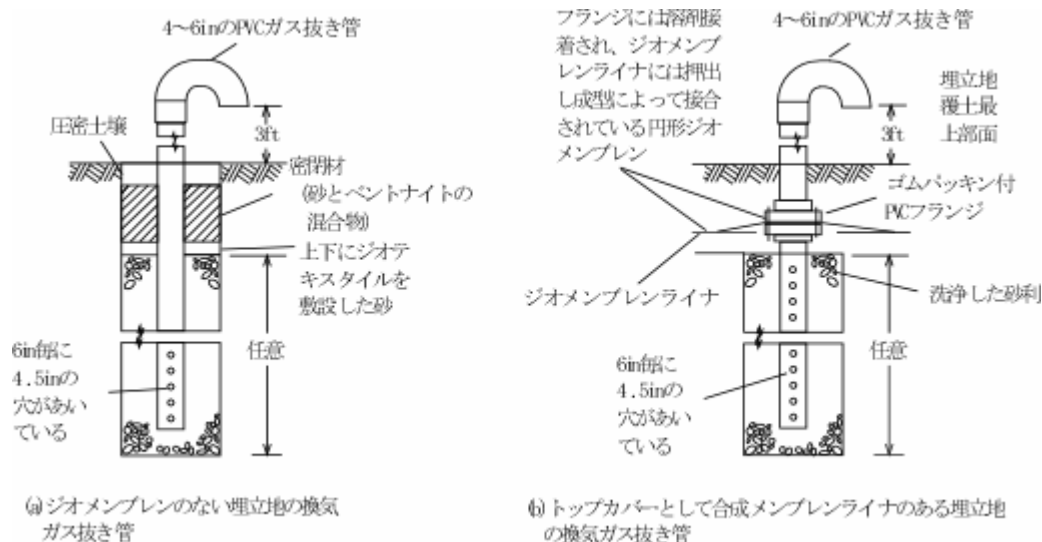


図.4-2-8 埋立地表面に設置される（埋立地発生ガス受動型制御用）換気ガス抜き管の例
〔出典〕最終処分場技術システム研究協会：廃棄物最終処分場新技術ハンドブック、環境産業新聞社、平成18年12月

地下管理型処理・資源化施設の発酵槽の1区画は、幅6m×長さ約4.8m×深さ5mであるから、この中央部に直径100mm（東京都中央防波堤内側に設置と同径）の塩化ビニル製有孔管を投入時に立て、上部はカップラーにてビニルホースに接続され、発酵槽上部に設置された集合管に、同様にカップラー接続される。この集合管はポンプ接続され、覆いシートの膨らみ状況に応じて、適正な吸引力で運転される。

この模式図を図.4-2-9に示す。図.4-2-10には吸引ポンプの例を示す。

ここで用いるシートは、経済産業省原子力安全・保安院ガス安全課「メンブレンガスホルダーに係るガイドライン」（平成19年3月）に適合することが望ましい。

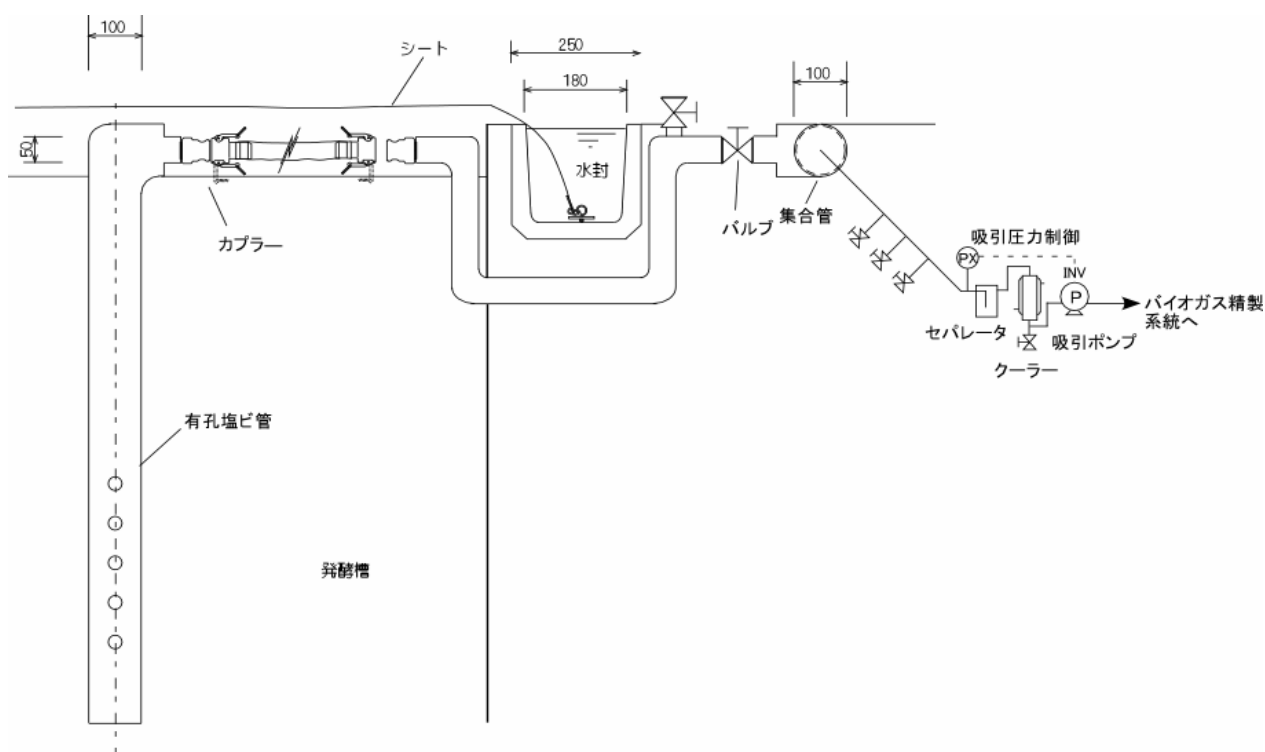
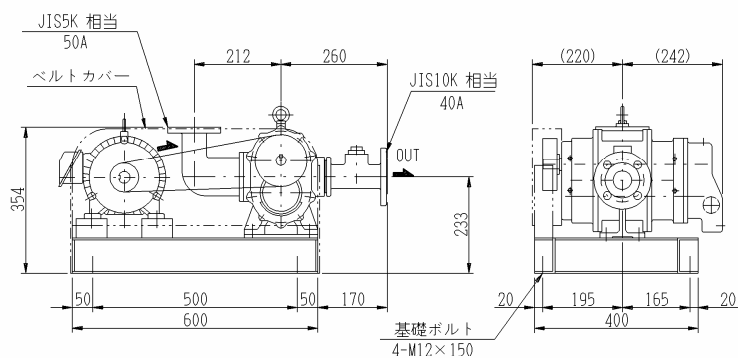
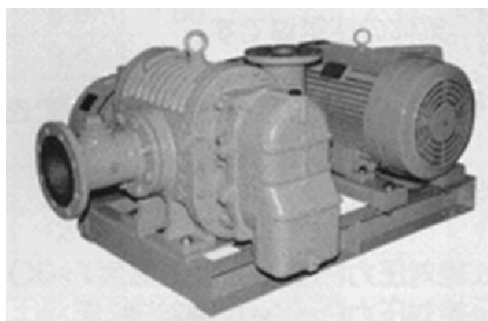


図.4-2-9 バイオガス回収系統模式図

外形寸法図



[型式]BS40GE の場合

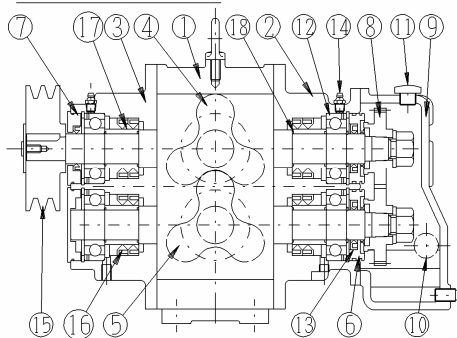
口径：40A

空気量：0.850m³/分

吐出圧力：30.00kPa

所要動力：1.13kW

内部構造図



番号	部品名称	材質
1	ケーシング	FC200
2	ハウジング R	FC200
3	ハウジング L	FC200
4	ロータシャフト A	FC0500-7
5	ロータシャフト B	FC0500-7
6	カラー R	FC200
7	カラー L	FC200
8	タイミングギヤ	SCM415
9	ギヤカバー	FC200
10	オイルレベルゲージ	樹脂
11	オイルキャップ	樹脂
12	ベアリング	SUJ2
13	オイルシール	NBR
14	グリスニップル	C3604
15	本体ブーリー	FC200
16	ハウジングオイルシール	テフロン
17	シャフトスリーブ	S45C
18	Oリング	FKM

図.4-2-10 (ガス密閉型) 吸引ポンプ (アンレット社製) の例

②.バイオガスの都市ガス混合の検討

発生したバイオガスは、近年その用途が着目されている都市ガス混合について検討する。当然のことながら、施設設置近隣に、エネルギー需要があれば、ボイラ燃料、ガス発電等に利用されることは十分あり得る。

ここでは、前処理として、乾式脱硫法によるバイオガス中の硫化水素の除去及び酸添着活性炭による有機硫黄化合物、アンモニア、有機酸などを除去する。

水分は、冷却による凝縮除去を採用する。

バイオガス中のメタンの濃縮には、採用実績がある PSA(Pressure Swing Adsorption)を検討する。この想定フローを図.4-2-11 に示す。

PSA を用いたバイオガス精製仕様例を表.4-2-4 に示す。この PSA を図.4-2-12 に示す。

表.4-2-4 PSA を用いたバイオガス（原料：豚糞、焼酎残渣）精製仕様例

	項目	仕様	備考
PSA 装置性能	方式	VPESA(Vacuum Pressure Swing Adsorption) 方式	減圧式
	バイオガス供給量	10m ³ /hr・基	目標値
	バイオガス回収量	5m ³ /hr・基	目標値
	精製 CH ₄ 回収率	90%以上	目標値
	H ₂ S 除去率	95%以上	目標値
	CH ₃ SH*除去率	90%以上	目標値 *メチルメルカプタン
	所要エネルギー	1.0kWh/精製ガス m ³	目標値
供給 バイオガスの 性状	高位発熱量	約 5,850kcal/Nm ³	メタン 65%換算
	低位発熱量	約 5,140kcal/Nm ³	メタン 55%換算
	メタン(CH ₄)	約 55～65%	
	二酸化炭素	約 35～45%	
	硫化水素(H ₂ S)	200～3,000ppm	
	水分(H ₂ O)	飽和状態	
精製 バイオガスの 性状	発熱量	8,000～9,000kcal/Nm ³	
	メタン濃度	85～98%	
	硫化水素	0.2～1.0ppm	
	二酸化炭素	10%未満	

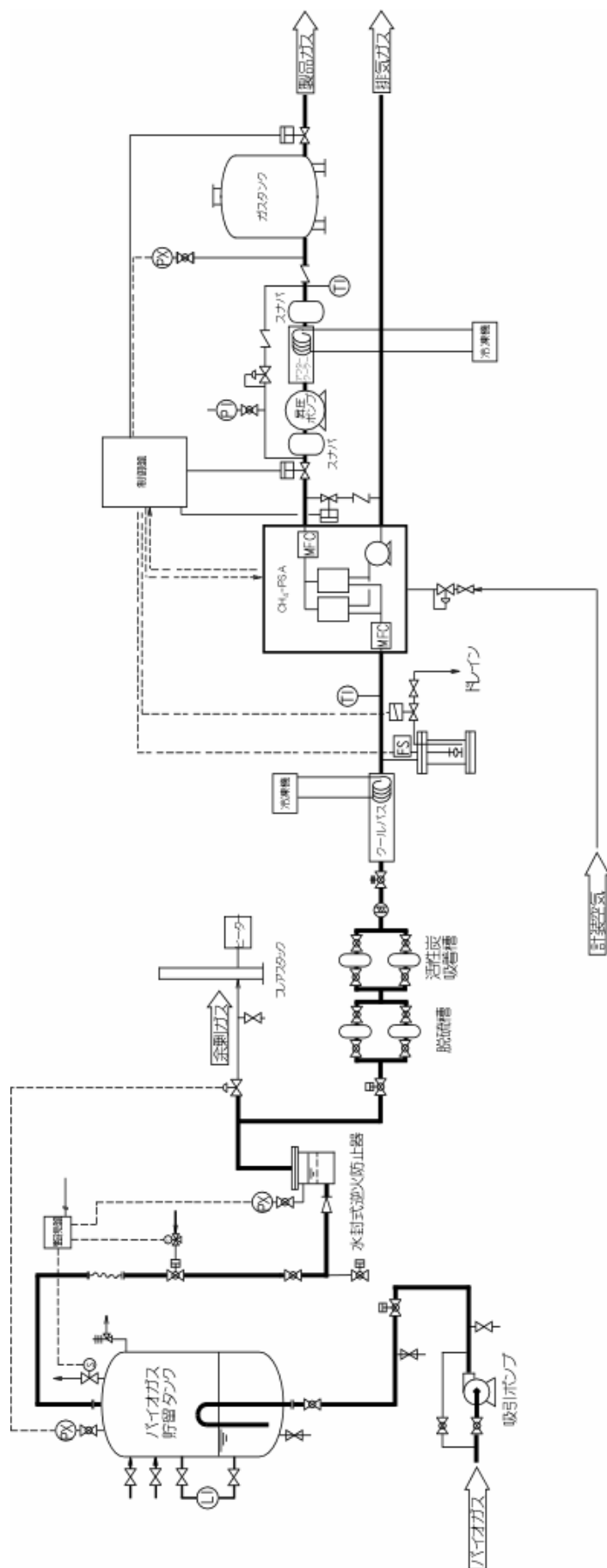


図 4-2-11 PSA によるバイオガス精製・濃縮フロー例

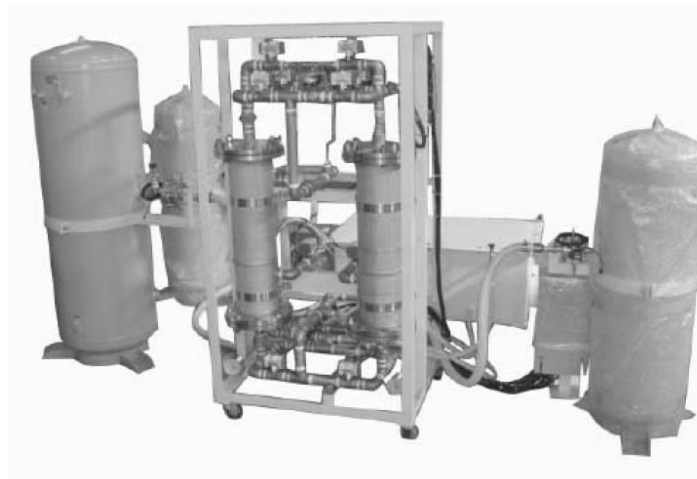


図.4-2-12 PSA の例（減圧再生式；吸着技術工業社製）

〔出典〕NEDO、他：平成18年度～平成20年度成果報告書小型V P S Aを用いたバイオガス燃料化実験事業報告書、2009年5月

地下発酵槽からのバイオガス中の CH_4 濃度を 55%、精製 CH_4 濃度を 90%、精製 CH_4 回収率を 90%と想定すると、無加温メタン発酵の場合、各月の精製 CH_4 ガス量は表.4-2-5 のように試算される。

表.4-2-5 各月の回収される精製 CH_4 ガス量の試算結果 ($\text{m}^3/\text{日}$)

月	1	2	3	4	5	6
発生量	117	114	119	130	142	151
月	7	8	9	10	11	12
発生量	163	166	164	153	145	133

CH_4 の低位発熱量を $37.18\text{MJ}/\text{Nm}^3$ とすると、この精製 CH_4 濃度 90%の熱量は、 $33.46\text{MJ}/\text{Nm}^3$ となる。

奄美大島の都市ガスは、表.4-2-6 にガス組成を示した PA13A ($62.79075\text{MJ}/\text{Nm}^3=15,000\text{kcal}/\text{Nm}^3$) である。原料のプロパンを空気で希釈して熱量調整する際に混合される。精製メタンをプロパン ($100.55\text{MJ}/\text{Nm}^3=24,020\text{kcal}/\text{Nm}^3$) 原料に混合することにより熱量的に削減できる原料プロパン量は、表.4-2-7 のようになる。年間に換算すると、 $17,196\text{Nm}^3$ (1.73TJ) の原料プロパンを削減可能と試算される。

表.4-2-6 PA13A のガス組成

	組成比 (%)
酸素	8.32
窒素	29.63
エタン	0.32
プロパン	61.02
イソブタン	0.55
ブタン	0.16
合計	100

[出典] 南海ガス(株)資料（現地調査入手資料）

表.4-2-7 各月の原料プロパンの削減量試算結果（m³/日）

月	1	2	3	4	5	6
発生量	39.0	38.0	39.7	43.3	47.3	50.3
月	7	8	9	10	11	12
発生量	54.3	55.3	54.7	51.0	48.3	44.3

4.2.3 発酵残渣のたい肥化

1). 奄美大島でのたい肥化の取組状況

奄美大島には、現在3ヶ所のたい肥化センターが稼働している。宇検村堆肥化センター、奄美市有機農業支援センター及び名瀬たい肥センター(有機農業支援センターに統合予定)が稼働している。この他に、有良汚泥再生処理センターにおいて下水汚泥のたい肥化を実施している。

奄美市有機農業支援センターでは、図.4-2-13に示す攪拌機を用いた、直線型たい肥化方式を採用している。宇検村たい肥化センターでは、堆積方式を採用し、ショベルローダーによる切り返しと図4-2-14の攪拌機を用いている。



図.4-2-13 自走式大型攪拌機（緑産社製）



図.4-2-14 自走式攪拌機（緑産社製）

名瀬たい肥センターでは、図.4-2-15 に示すように、堆積方式の通気型たい肥舎を採用し、攪拌はショベルローダーによる。

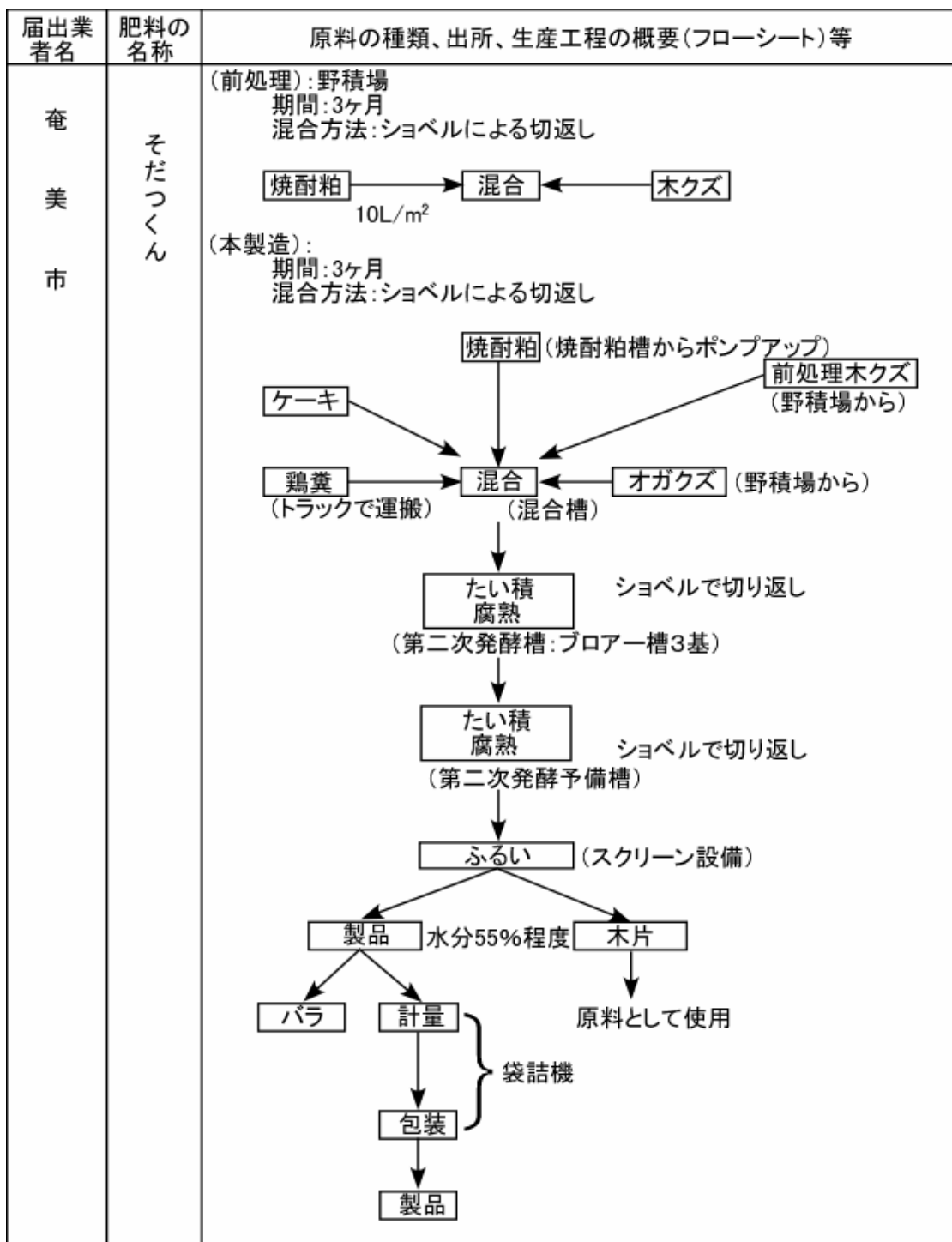


図.4-2-15 名瀬たい肥センター内部

名瀬たい肥センターの製造フローを図.4-2-16 に示す。図.4-2-17 には、宇検村たい肥センターの製造工程を示す。

地下管理型メタン発酵残渣は、乾式メタン発酵の長所である発酵残渣の水分が湿式メタン発酵に比較して少ない点を利用し、たい肥化を想定している。このたい肥化は、地下発酵槽を兼用して実施する予定である。従って、名瀬たい肥センターのような堆積方式のショベルローダー（地下管理型メタン発酵では地下槽のため、油圧ショベルの使用となる）による攪拌方式が考えられる。

奄美市のアンケート調査結果から、68%のさとうきび栽培農家がたい肥を利用したいとしており、奄美市だけで、元肥として約 1,400 トン/年の需要がある。



(原料及び混合割合)

原料名	使用割合%
パーク(オガクズ含む)	66
ケーキ	3
鶏糞	13
焼酎粕	13

(材料(添加剤等))
なし

図.4-2-16 名瀬たい肥センターの製造フロー

[出典] 名瀬堆肥センター：堆肥製造フロー（現地調査入手資料）

《製造工程》 原料割合 (牛糞 45% 鶏糞 10% バーク 45%) 元気堆肥 1 号

一次発酵 ↓	(屋外堆積)	2 ヶ月間	タイヤショベル (月/4 回)
二次発酵 ↓	(屋内堆積)	3 ヶ月間 スクリーンによるふるい掛け 5 ヶ月間 以降 熟成庫にて保管・袋詰め	コンポターン (自走式攪拌機) (月/4 回) タイヤショベル (月/3 回)

図.4-2-17 宇検村たい肥化センターの製造工程

[出典] 宇検村堆肥センターの概要～資源循環による堆肥の生産流通～ (現地調査入手資料)

2).モデル地区への適用

発酵残渣は、発酵槽を堆積槽として活用し、たい肥化を行う。通常、堆積方式のたい肥化期間の目安は、家畜ふんのみの場合 2 カ月程度、作物収穫残渣との混合物で約 3 カ月、木質系との混合物の場合 6 カ月程度とされている。

地下管理型処理施設では、約 3 カ月の発酵期間を採用する。前段のランドフィル方式の乾式メタン発酵が、無加温の低温メタン発酵を予定しているため、有機物分解率は、中温・高温メタン発酵に比較して低く、有機物の残存が高い（相関してバイオガスの発生が減少する）ことが予想される。

生ゴミと紙類（混合比率（湿重量）＝3:1）発酵残渣は、有機物分解に伴い体積減とともに水分は相対的に当初より高くなっていることが考えられるが、ここでは水分は変化しないと仮定して、約 60%と想定する。これに戻したい肥（想定水分 50%）を同量、油圧ショベルを用い混合する。

通常、たい肥化の堆積高さは 2m 以下が多い。これは、2m 以上高さとなると自重により、空隙率が減少し、好气的条件を確保しにくくなるためとされている。従って、たい肥化開始 1 ヶ月は週 1 回以上の混合が望ましい。その後は、混合後の発熱が観測されなくなるまで、週 1 回の混合が望ましい。

戻したい肥を発酵残渣と同量添加することとしているが、生ゴミを原料としているため、戻したい肥の繰り返し添加による塩類濃度の上昇が危惧される。この場合は、戻したい肥に新規の木質系チップのような副資材を添加する必要がある。

表.4-2-8 に各種原料中の成分例を示す。一般に製品たい肥の C/N 比は 20（～40）以下とされている。これ以上の場合、窒素飢餓を引き起こしやすい。今回用いる乾式メタン発酵では、生ゴミ 3 に対して紙類 1 を混合することになっている。紙類や木質系は、C/N 比が高い。魚、肉類等窒素分が多く含まれる生ゴミは、好都合であるが、野菜類のクズが多い場合は、原料中の C/N 比が高くなることが考えられる。また、乾式メタン発酵の際にも、C/N 比が高いと易分解性の炭素分の分解が進行し、酸生成により pH 低下を起こしやすい。

今回のたい肥原料は、発酵残渣であるため、C/N 比は、改善されている可能性がある。しかし、C/N 比が改善されていない場合は、たい肥化開始時に窒素分の多い副資材等の添加が考えられる。

製品たい肥の水分は、50%と想定されるため、1 日約 3.3 トンのたい肥の製造が可能となる。

表.4-2-8 各種原料の成分分析例（水分を除き乾物％）

資材名		水分	石灰	苦土	カリ	リン酸	窒素	炭素	C/N 比
野菜 ク ズ	ダイコン葉	約 90	5.0～7.0	0.3～0.5	5.0～6.0	0.8～1.0	5.0～6.0	40～45	8～10
	ニンジン葉	約 80	3.0～4.0	0.5～0.7	5.0～6.0	0.8～1.0	3.0～4.0	40～45	10～15
	キャベツ	約 90	1.5～2.0	0.2～0.3	5.0～6.0	1.0～1.5	5.0～6.0	40～45	8～10
	ハクサイ	約 90	5.0～6.0	0.7～1.0	5.0～6.5	1.5～2.0	3.0～4.0	40～50	10～15
	キュウリ茎	約 70	6.0～8.0	0.5～0.7	0.7～1.0	1.0～1.5	4.0～5.0	40～45	9～12
	サトイモ茎葉	約 80	1.0～1.5	0.4～0.5	0.8～1.0	1.0～1.5	4.0～5.0	40～50	10～15
	カンショ茎	約 70	4.5～5.0	0.3～0.5	0.7～0.9	1.0～1.5	2.0～3.0	40～45	10～15
	トウモロコシ茎	約 70	2.5～3.0	0.7～1.0	1.5～2.0	1.0～1.5	3.5～4.0	40～50	10～15
	トウモロコシ実皮	約 50	0.2～0.3	0.2～0.5	1.5～2.0	0.5～1.0	1.5～2.0	40～45	20～25
	ミカン皮	約 80	4.0～4.5	0.2～0.3	0.5～1.0	0.2～0.5	1.0～1.5	40～50	30～40
植物 性 食 品 カ ス	ソバ殻	約 15	—	—	1.0～1.5	1.0～1.5	2.0～6.0	40～50	20～30
	米ヌカ	約 15	—	—	1.5～2.0	4.0～5.0	2.0～6.0	45～50	20～25
	ナタネ油カス	約 10	—	—	1.5～2.0	2.0～3.0	5.5～6.0	45～50	7～10
	大豆油カス	約 10	—	—	2.0～2.5	1.5～2.0	7.0～6.0	45～50	6～8
	酒カス	約 65	—	—	0.1	0.5～1.0	7.0～6.0	45～50	6～8
	ビールカス	約 75	—	—	0.1	1.5～2.0	4.0～6.0	45～50	8～10
	味噌カス	約 40	—	—	0.5～1.0	0.5～1.0	5.0～6.0	45～50	6～8
	海そう	約 75	—	—	2.0～2.5	0.5	1.5～6.0	40～50	20～30
	コーヒークラス	約 75	—	—	0.1	0.1	2.5～6.0	45～50	15～20
	ココアカス	約 10	—	—	2.5～3.0	1.0～1.5	2.5～6.0	45～50	15～20
動物 性 食 品 カ ス	オカラ	約 75	0.5～0.7	0.2～0.4	1.0～1.5	1.0～1.2	4.0～5.0	50	10～12
	魚カス	約 10	—	—	—	8.0～10	8.0～9.0	45～50	6～8
	肉カス	約 10	—	—	—	2.0～2.5	8.0～9.0	45～50	6～8
	骨粉	約 5	—	—	—	10.0～12	6.5～7.0	35～40	6～8
	イワシ	約 70	—	—	—	4.0～5.0	8.0～9.0	45～50	6～8
	カニ甲ら	約 5	—	—	0.5	3.5～4.0	6.0～7.0	35～40	6～8
	タニシ	約 60	—	—	1.0	1.0	3.5～4.0	35～40	8～10
	イナゴ	約 60	—	—	1.0～1.5	1.5～2.0	8.0～9.0	45～50	6～8
	家畜内蔵	約 20	—	—	0.5～1.0	0.5～1.0	8.0～9.0	45～50	6～8
	皮クズ	約 15	—	—	0.2	0.1	5.0～5.5	45～50	8～10
そ の 他	牛ふん	約 80	1.5～2.0	0.5～1.0	1.5～2.0	2.0～2.5	2.0～2.5	40～45	15～20
	豚ふん	約 70	4.0～5.0	1.0～1.5	1.5～2.0	5.0～6.0	3.0～4.0	40～45	10～15
	樹皮（パーク）	約 30	2.0～2.5	0.1～2.0	3.0～4.0	0.1～0.2	0.0～0.1	45～50	500-
	オガクズ（広葉樹）	約 10	0.3～0.5	0.1～0.2	0.1～0.2	0.0～0.1	0.0～0.1	45～50	500-

〔出典〕 堆肥化施設設計マニュアル(2版)、(社) 中央畜産会、平成 13 年 1 月

4.2.4 施設概要

1).地下発酵槽の詳細

奄美大島の特徴を活用し、無加温ランドフィル方式の乾式メタン発酵による資源化及び発酵残渣の堆積方式によるたい肥化について検討する。

主な仕様を表.4-2-9 に示す。

表.4-2-9 地下発酵（兼堆積）槽設計仕様

		諸元	備考
メ タ ン 発 酵	発酵方式	ランドフィル方式の乾式メタン発酵	地下槽、堆積槽を兼ねる
	投入原料	生ごみ及び紙類	組成比(湿重量) = 3:1
	投入物	(投入原料) + 発酵残渣	組成比(湿重量) = 1:1
	1 日当たりの投入原料	4 トン	(湿重量)
	発酵期間	90 日間	
	投入・掘削・攪拌方法	投入：クローラダンプによる 攪拌・掘削：油圧ショベルによる	
た い 肥 化	発酵方式	堆積方式	地下槽、発酵槽を兼ねる
	投入物	発酵残渣 + 戻したい肥	組成比(湿重量) = 1:1
	1 日当たりの投入量	4 トン	(湿重量)
	発酵期間	90 日間	
	投入・掘削・攪拌方法	油圧ショベルによる	

4.2.1 想定フロー、2).規模設定に示したように、メタン発酵及びたい肥化に合計 1,700m³ の地下槽が必要になる。

降雨及び台風を考慮して、地下槽は建屋内に収納し、油圧ショベルが建屋内で作業できる高さを確保することとする。

地下槽設置平面図を図.4-2-18に、地下槽周囲詳細図を図.4-2-19に示す。図.4-2-20には、断面図を示す。

建屋の仕様は、幅 15m×長さ 40m×高さ約 7.5m とした。これに、0.5m³ バケットクラスの油圧ショベルの作業範囲を考慮し、幅 6m×長さ 29m×高さ 5m の地下槽(容積 870m³) を設けた。この地下槽を収納した建屋を 2 棟設置することにより、必要容積 1,700m³ を確保する。

地下槽の擁壁は、300mm 厚さのコンクリート製で、幅 250mm のコンクリート隔壁で 6 室に区分される。底板は、500mm 厚さのコンクリート打設とした。この隔壁及び地下槽周囲には、呼び名 180 の U 字溝を設置する。ここには、水を満たし、発酵槽各室を覆うシートが水封される。水位は、約 200mm (低圧のメタン発酵ガスホルダーの内圧は数 100mm 水柱が採用されている) となる。U 字溝底部には、ステンレス製板(重石) が置かれ、こ

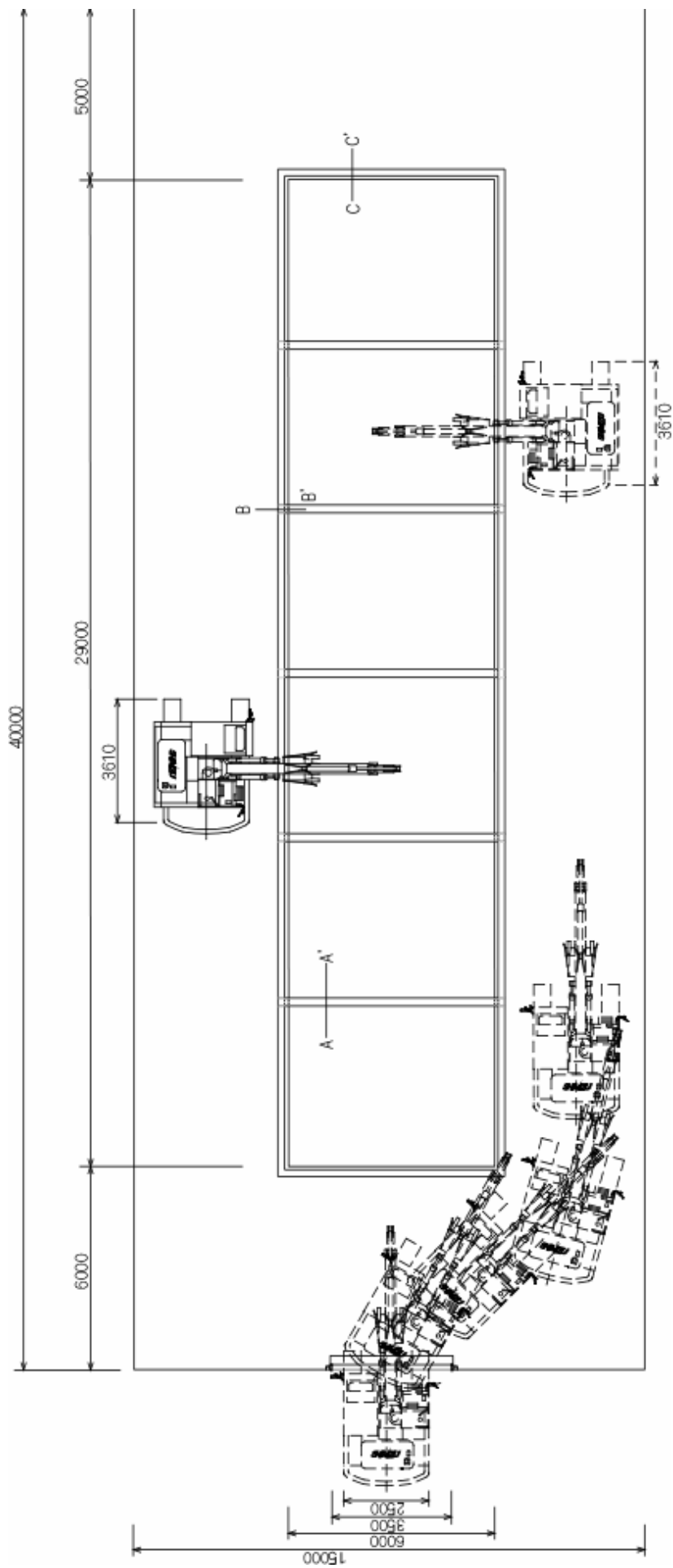


图.4-2-18 地下槽設置平面图

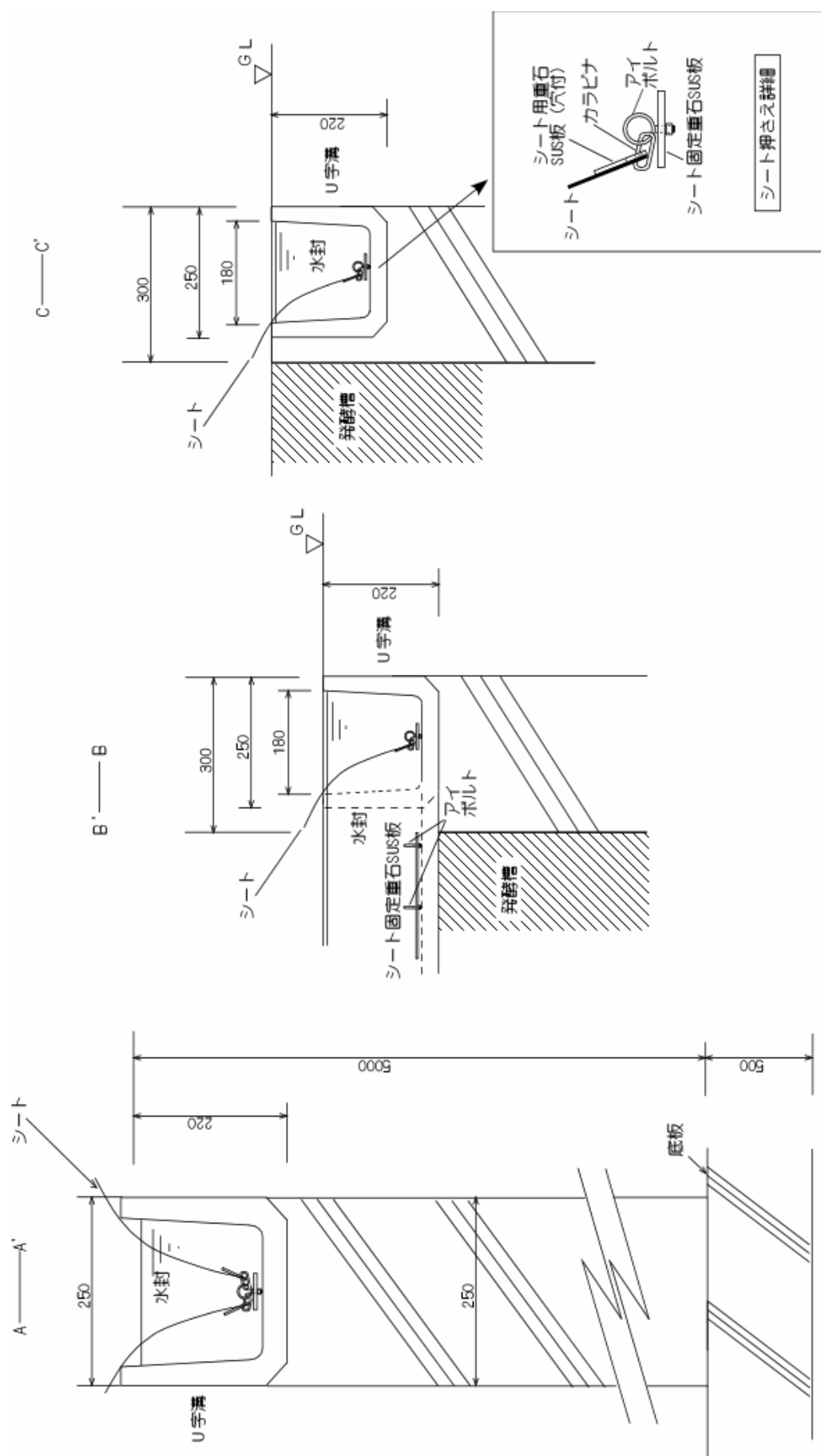


図.4-2-19 地下槽周辺詳細図

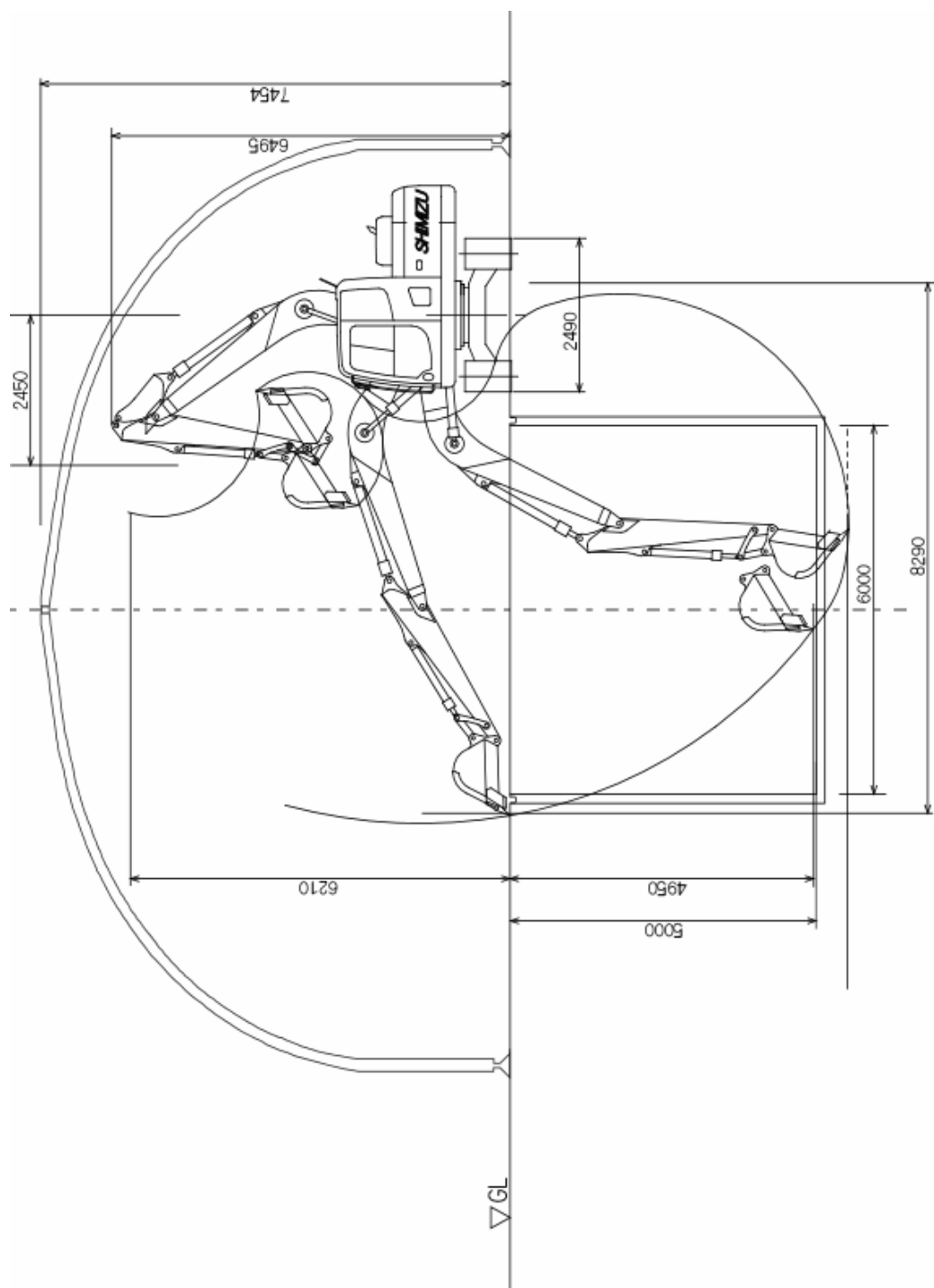


图.4-2-20 地下槽断面图

れには適当な間隔でアイボルトが取付けられている。シート端部には、孔の開いたステンレス小片が、シートの巻き上げの支障のない間隔で取付けられている。必要に応じて、カラビナなどにより迅速に固定される。

建屋の地下槽周囲は、砕石敷きとする。

鋼鉄製の屋根材としたが、積極的に太陽熱エネルギーを取入れるため、一部ガラス張りや設置地区が延焼防止に関する規制に該当（奄美市の準防火地域は 2ha、平成 19 年 3 月 31 日現在）しない場合は、光透過性樹脂板等の屋根材利用が考えられる。屋根材には、断熱処理を施さないことにする。

建屋のイメージ図を図.4-2-21 に示す。場合により、太陽光を活用する観点、投資額削減のため、移動式上屋の利用が考えられる。



幅：15m、長さ：30m の場合



移動式建屋の例（塗装ヤード移動式上屋）

図.4-2-21 建屋イメージ（東光鉄工社製の場合）

発酵槽の加温が必要な場合は、原料の蒸気吹き込みによる初期加温や床暖房方式による加温が考えられる。

床暖房の施工例を図.4-2-22 に示す。通常、架橋ポリエチレン管が用いられる。



図.4-2-22 床暖房施工例（左：融雪用、右：床暖房（右ヘッダー部））

〔出典〕架橋ポリエチレン管・継手、クボタシーアイペックスカタログ

地下槽の幅は 6m あるため、必要に応じて移動式のキャットウォークが設置され、発酵槽兼堆積槽にアクセスできるようにする必要がある。このキャットウォークの移動には、油圧ショベルのクレーン機構が利用できる。

2).搬入、混合、引抜き

ごみ収集車で搬入された生ごみ、紙類は建屋内の一次置き場に置かれる。分別が徹底されたものが、搬入されると想定しているが、ビニル袋等の完全除外は困難と考える。そのため、除袋機を導入することとする。乾式メタン発酵を採用しているため、湿式の分別・破碎機は採用しにくい。一連の前処理は、乾式が望ましい。

図.4-2-23 に搬入、前処理フローを示す。

搬入ごみは、除袋機（例えばスクリー＋フック方式）を通過中に破袋・除袋される。その後破碎機で細断される。

除袋機への投入は、油圧ショベルで行う。0.5m³クラスの油圧ショベルの例を図.4-2-24 に示す。破碎された原料は、クローラダンプに積載される。発酵槽に運ばれた細断原料は、ダンピングされ、油圧ショベルにて混合される。

発酵終了後は、油圧ショベルで掘削され、戻したい肥の入った堆積槽（発酵槽兼用）に投入され、たい肥化が開始される。たい肥化中は、少なくとも 1 週間に 1 回以上、油圧ショベルを用い、混合される。たい肥化終了後は、堆積槽の半分量が掘削されクローラダンプに移される。クローラダンプは、たい肥製品化工程に移動する。たい肥製品化工程の想定フローを図.4-2-25 に示す。

一次置き場にダンピングされたたい肥は、トレンメル（回転篩）により骨などの夾雑物が除去される。自動定量袋詰装置により 15kg 袋詰めされ販売される。一部は、フレキシブルコンテナバッグ（フレコン）にバルク詰めされ、販売される。

メタン発酵残渣は、発酵中に有機物の分解に伴う重量（容積）減があり、相対的に水分が上昇する可能性がある。低温、無加温下では、良く用いられる中温（35℃）あるいは高温（55℃）メタン発酵に比較して、有機物の分解速度は遅いことが、またバイオガスを吸引回収するために、水蒸気が同伴回収されることが期待できる。たい肥化に移行できる発酵残渣の量については、実証試験等の確認が必要と考える。

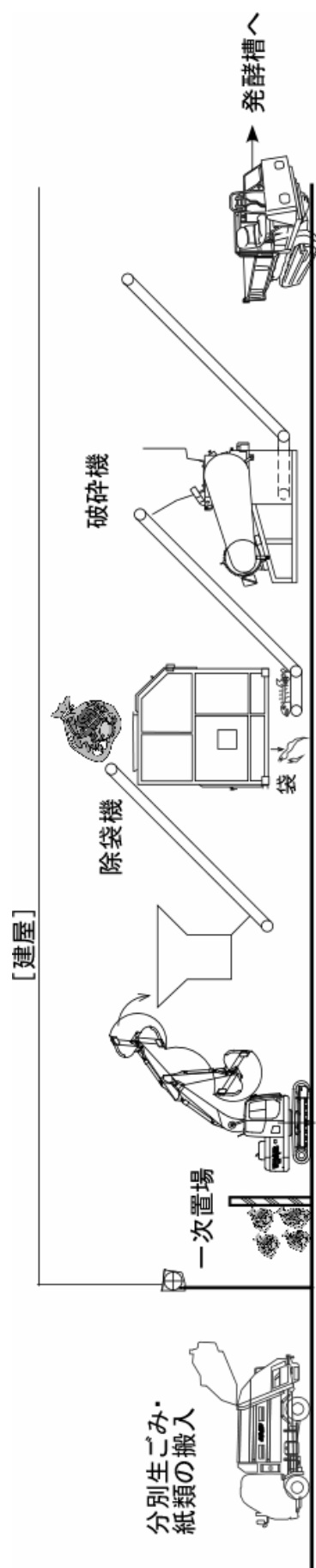


図.4-2-23 受入・前処理フロー

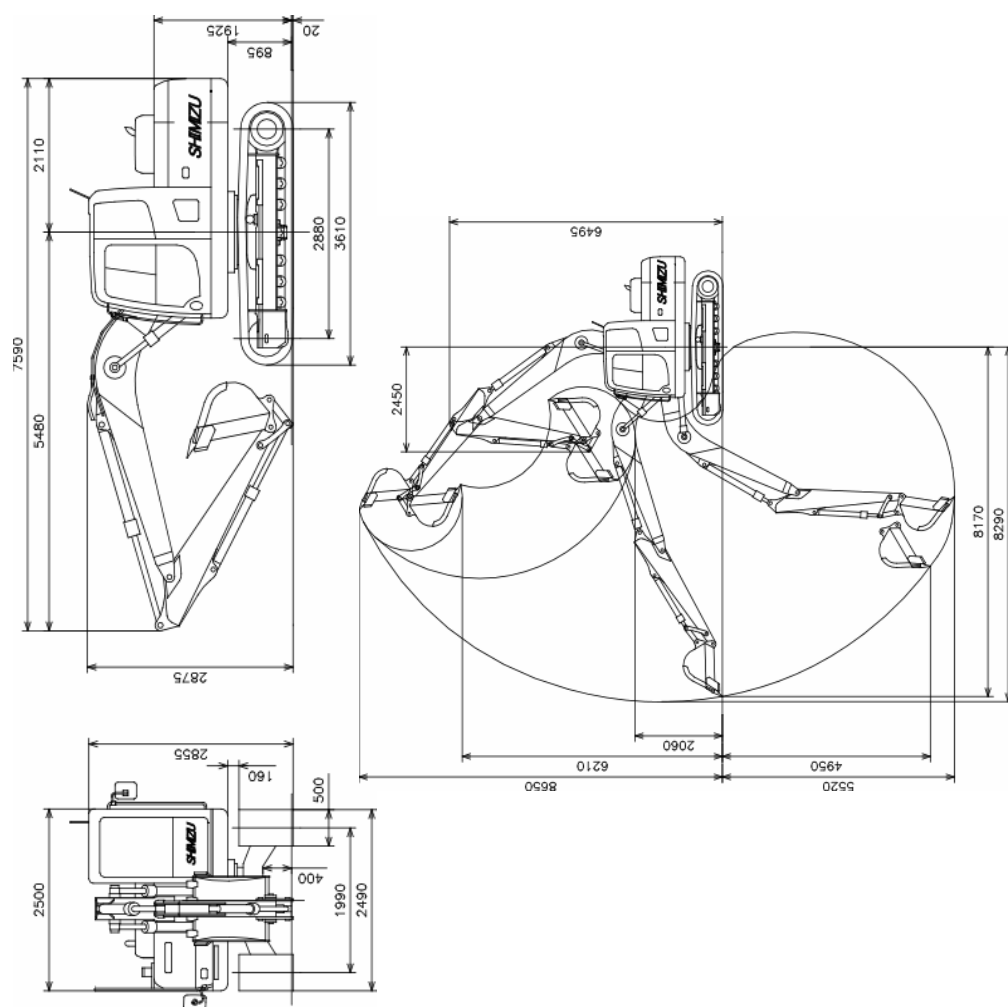


図.4-2-24 バケット容量 0.5m³ の油圧ショベルの例 (コマツ PC120-8 の場合)

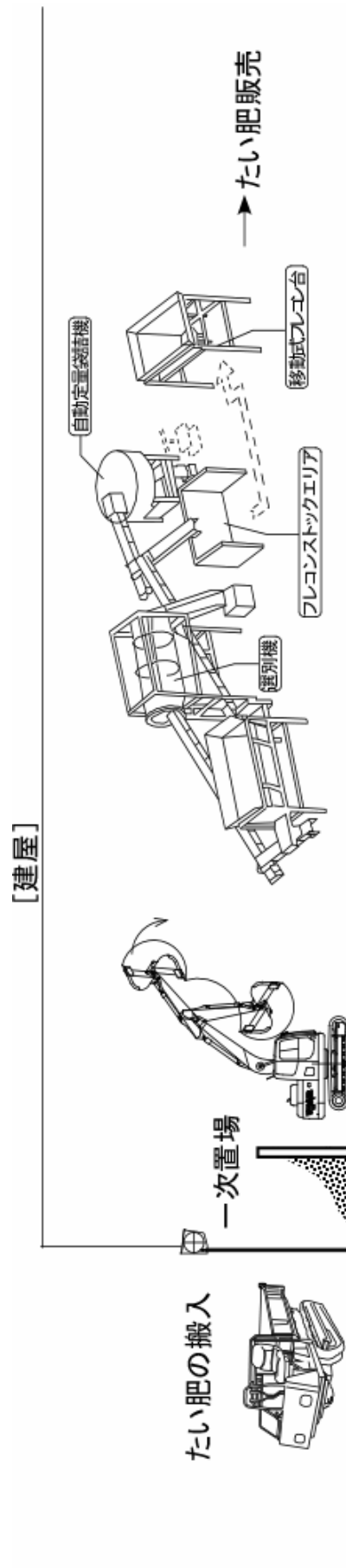


図.4-2-25 たい肥製品化想定フロー

3).施設配置計画

建屋(幅 15m×長さ 40m)に収納した地下槽(幅 6m×長さ 29m×深さ 5m)は、2 基必要となる。さらに、原料受入関連施設、袋詰め等たい肥製品化施設、回収バイオガス精製設備を収納する建屋が必要となる。

この配置例を図.4-2-26 に示す。施設のための面積は、 $61\text{m}\times 40\text{m}=2,440\text{m}^2$ 必要とする。建物延べ床面積は、 $1,800\text{m}^2$ となる。建蔽率を 50% とすると、敷地面積は $3,600\text{m}^2$ となる。

3 槽を覆う移動建屋とし、直線的に地下槽を配置した場合を、図.4-2-27 に示す。地下槽 3 槽を覆う移動建屋の面積を $15\text{m}\times 15\text{m}=225\text{m}^2$ 、原料受入関連施設、袋詰め等たい肥製品化施設、回収バイオガス精製設備を収納する付帯建屋を $15\text{m}\times 40\text{m}=600\text{m}^2$ とすると計 825m^2 となり建蔽率を 50% とすると、敷地面積は $1,650\text{m}^2$ と 2 棟の場合に比較して約 1/2 になる。しかし、周囲の道路等を考慮すると、前述の図.4-2-18 の配置計画の場合、 $70\text{m}\times 41\text{m}=2,870\text{m}^2$ となり、2 棟の場合に比較して敷地面積は約 20% 低減する。

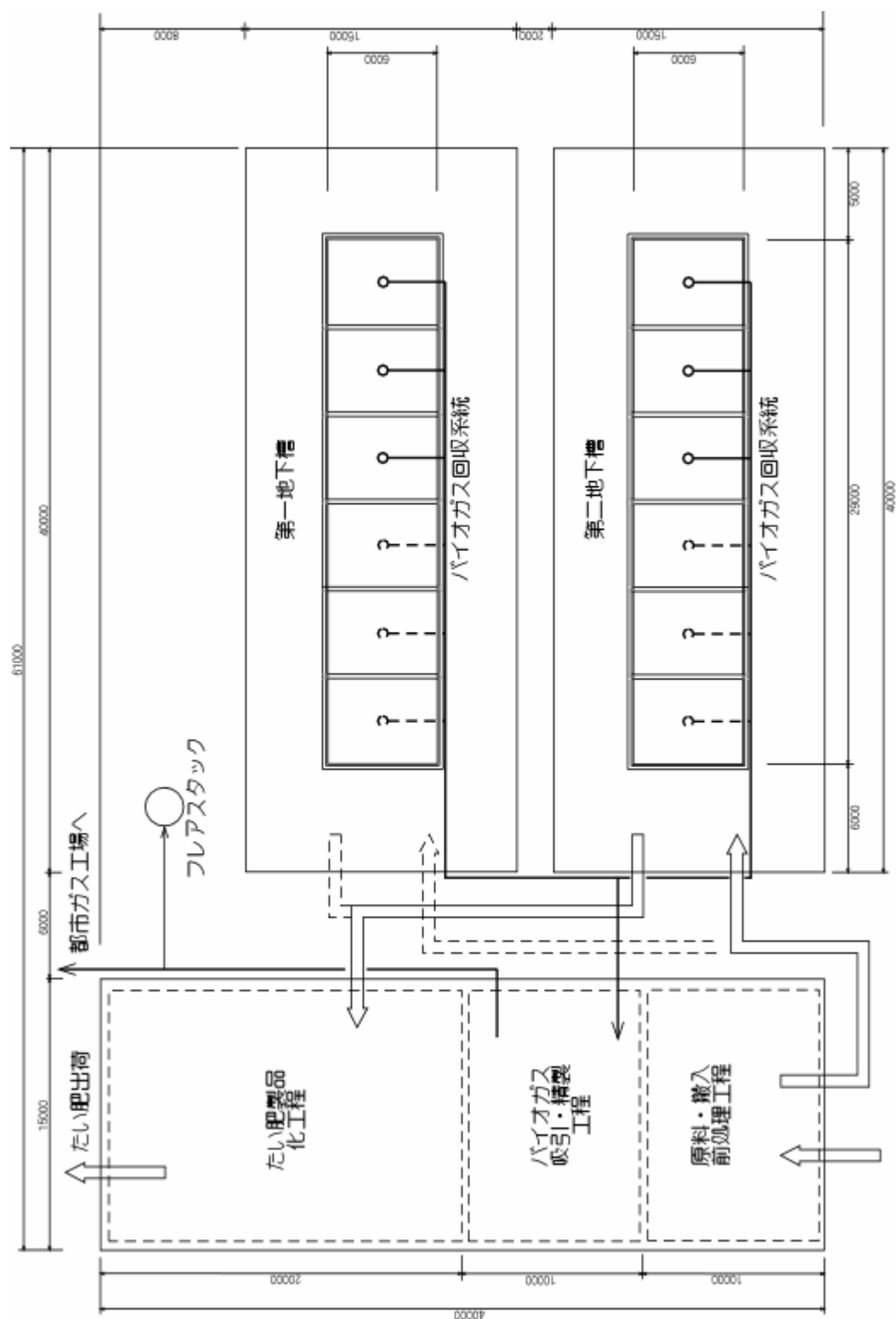


図.4-2-26 施設全体配置図の例(1) (地下槽収納建屋2棟の場合)

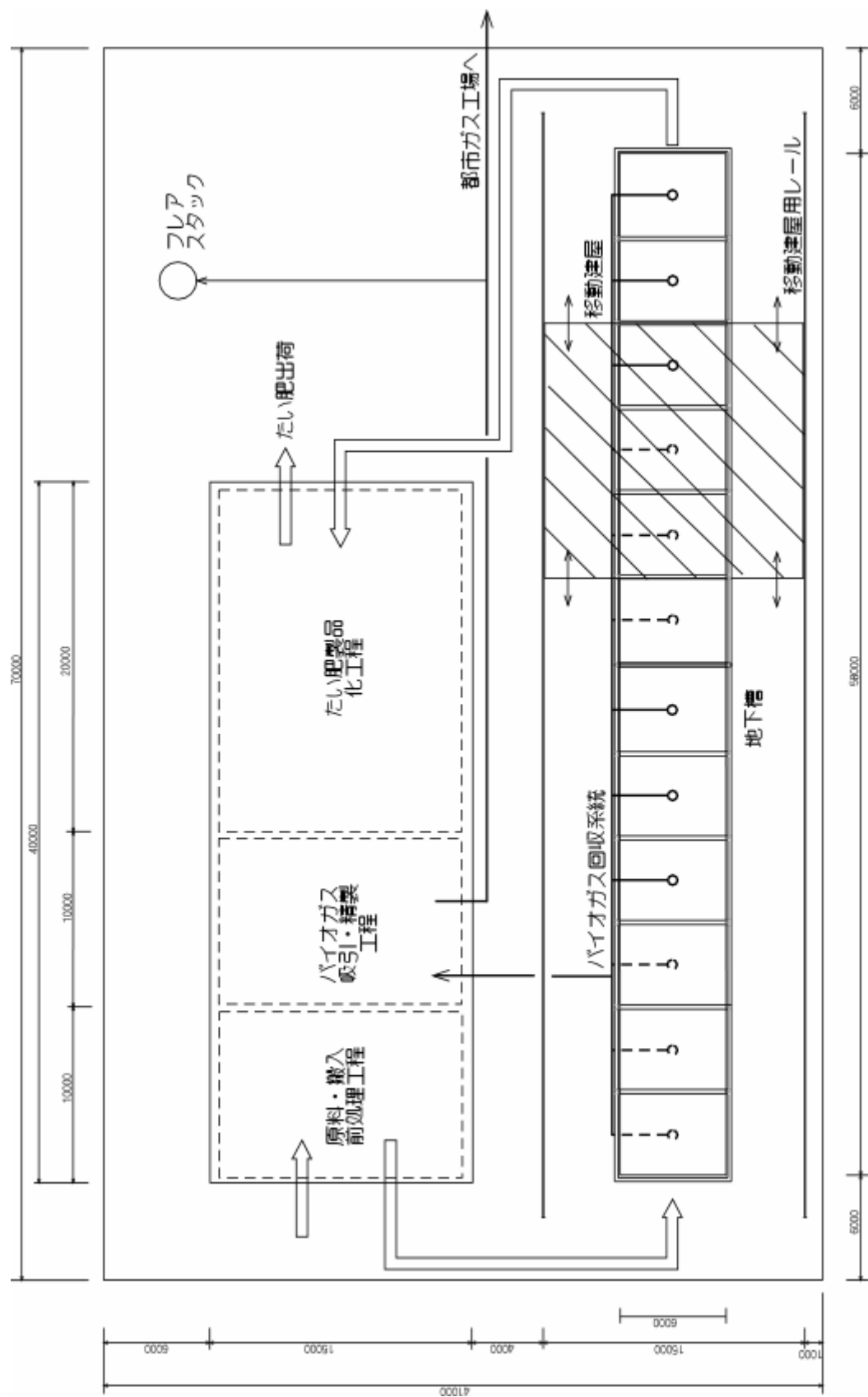


図.4-2-27 施設全体配置図の例(2) (移動式建屋の場合)

4.2.5 法的検討

廃棄物を地中に投入する形態に、最終処分場がある。最終処分場は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法、廃掃法と略される）」に定められた構造基準と維持管理基準に基づいて設置・運営される。同法に定められた廃棄物の区分に従い埋立処分される。

紙、木くず類、動植物性残渣、動物のふん尿、汚泥等の場合、管理型処分場の適用となる。最終処分場には、谷沢型、掘込み型及び盛立て型の3分類があるが、地下利用では、図.4-2-28に示す掘込み型がある。

管理型処分場に該当すると、投入物の中の有害物等の排除、二重遮水構造、法面の勾配は50%未満などの構造基準、地下水集排水設備、地下水採取設備、浸出液処理施設の設置、地下水の試験項目、排水基準等の詳細な基準が課せられる。

一方、検討中の地下管理型処理・資源化施設は、資源化施設として位置付けられ、かつ最終処分場のような一過性の使用でなく、繰り返し使用することから、最終処分場には該当しない。

廃掃法では、都道府県知事が所管する一般廃棄物処理施設の設置許可の規定があり、これに該当する可能性がある。この設置許可申請が必要となるのは、1日当たりの処理能力が5トン以上のごみ処理施設である。

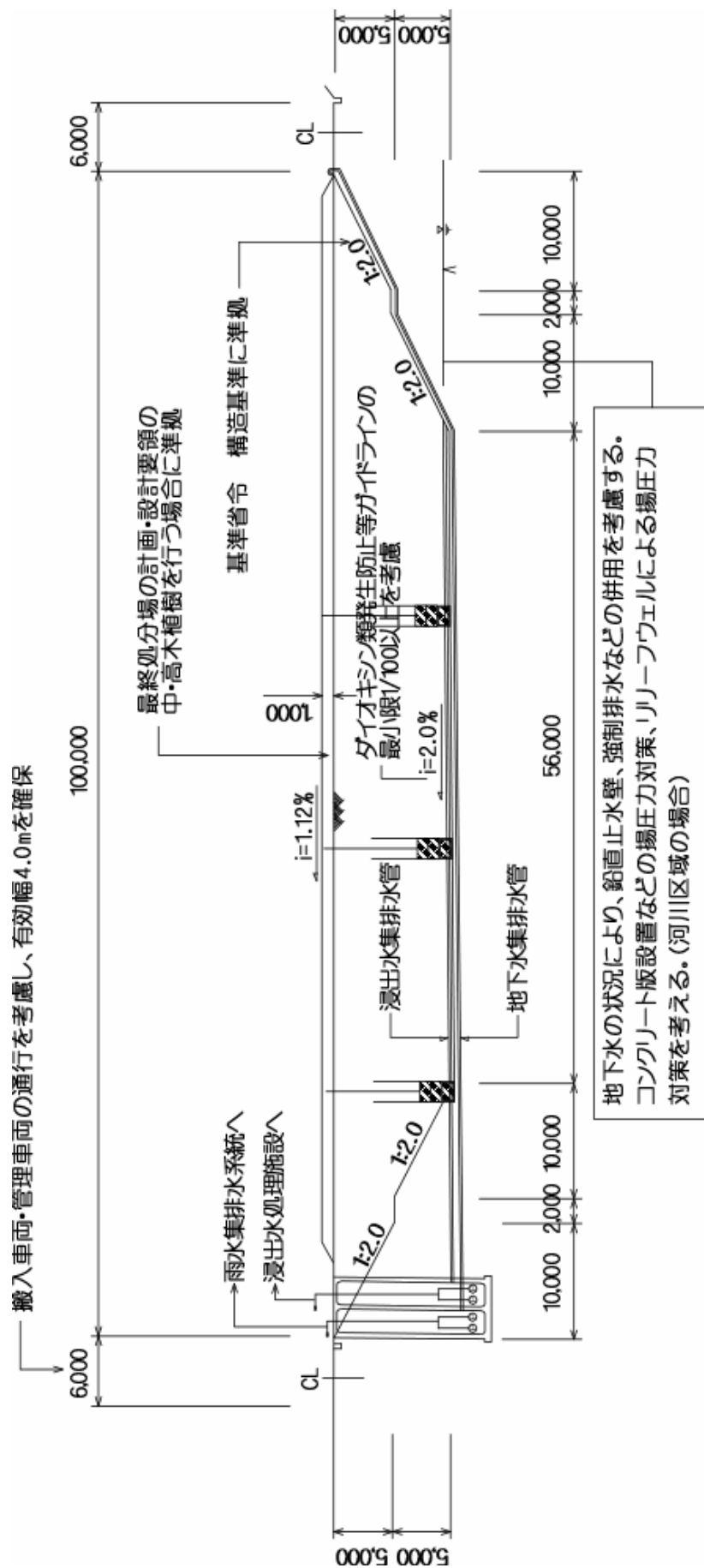


図.4-2-28 管理型（掘込み型）最終処分場の模式図の例

〔出典〕最終処分場技術システム研究会：廃棄物最終処分場新技術ハンドブック、環境産業新聞社、平成 18 年 12 月

4. 3 経済性評価

4.3.1 施設建設（概算）コスト

地下管理型処理・資源化施設は、土木、建築工事を主体とするため、設置する場所の地形、土質、現況、各種規制等により建設コストを大きく異なる。

ここでは、標準的な条件により建設コストを試算することとする。土地取得費、外構、建屋間の舗装、搬入道路取付け、砕石敷設、水道及び電気引込み等の工事費は含まず、地下槽、収納建屋、付帯設備のみとする。

地下槽の全てを建屋に収納した場合（2 基建設）の施設建設（概算）コスト試算結果を表.4-3-1 に示す。

表.4-3-1 施設建設（概算）コスト試算結果（単位：千円）

項目	単価	数量	計
地下槽設置工事(土留、掘削)		2 基	9,500
コンクリート・砕石敷設工事 (水路を含む)		1 式	18,600
建屋	42,000	3 棟	126,000
建屋内電気・水道工事		1 式	3,000
諸経費		1 式	62,840
合計			219,940

4.3.2 プラント建設等（概算）コスト

原料受入・前処理設備、たい肥製品化設備、回収バイオガス精製設備の（概算）コスト試算結果を表.4-3-2 に示す。表.4-3-3 には、調達車両を示す。これには、都市ガスとの接続工事は含まない。

表.4-3-2 プラント建設（概算）コスト試算結果（単位：千円）

項目	単価	数量	計
前処理装置（除袋機・破碎機） ホッパー、コンベアを含む		各 1 機	8,000
発酵槽被覆シート(EPDM*)	30	7 枚	2,100
バイオガス回収系統 (吸引ポンプ、フレアスタック を含む)		1 式	5,000
ガス精製装置		1 式	25,000
ガス分析計		1 式	3,000
たい肥袋詰め装置 (回転ふるいを含む)		1 式	12,000
合計			55,100

*EPDM:エチレン・プロピレン・ジエンゴム

表.4-3-3 車両調達（概算）コスト試算結果（単位：千円）

項目	単価	数量	計
油圧ショベル(0.5m ³ 級)		1台	10,000
クローラローダー (最大積載量:1,200kg)		1台	1,300
合計			11,300

総初期投資額（概算）は、施設建設に 219,940 千円、プラント建設で 55,100 千円及び車両購入で 11,300 千円の合計 286,340 千円と予想される。

収納建屋の占める割合が高いため、地下槽収納建屋を移動式とすると、6,000 千万以上の削減が期待できる。

4.3.3 湿式メタン発酵施設との比較

1).建設コストの比較

我国で普及している湿式メタン発酵施設と比較する。湿式メタン発酵施設については、NEDO「バイオマスエネルギー導入支援データベース (<http://app2.infoc.nedo.go.jp/biomass-db/>)」を用いた。原料バイオマスは、食品廃棄物等、投入量は 4.0 トン/日、バイオガスは熱利用、発酵液は後処理を行うケースとした。

表.4-3-4 に設置面積及び建設コストの比較を示す。

表.4-3-4 湿式メタン発酵施設との比較（原料投入量 4.0 トン/日）

	地下管理型処理・資源化施設		湿式メタン発酵施設
必要敷地面積(m ²)	地下槽を建屋内 収納	2,440（施設面積のみ）	294.6
	移動式建屋	1,530（施設面積のみ）	
建設コスト(百万円)	地下槽を建屋内 収納	286.3 (71.6/トン)	420.0 (105/トン)
	移動式建屋	226.3 (56.6/トン)	
必要人員(人)	2		2.3

湿式メタン発酵施設は、処理量が増加することにより余剰エネルギーが増し、事業性は良くなる傾向がある。また、建設コストは、処理量が少ないほど割高になりやすい。

北海道での生ごみを対象としたメタン発酵施設(3か所)の場合、施設規模は 16～55 トン/日であり、建設単価は 31～55 百万円/トンの範囲となっている。¹²⁾

地下管理型処理・資源化施設は、敷地面積に関しては湿式メタン発酵に比較して約 8 倍必要とするが、地下槽を建屋内に収納（2棟設置）した場合でも、初期投資額は約 35%の大幅な削減が期待でき、地価が安価な地区での地下部を有効活用するメリットが生かされ

と考えられる。4.0 トン/日の小規模施設であるが、移動式建屋の地下槽を活用することにより、中・大規模のメタン発酵施設の建設コストに近づくことが可能となった。

2).湿式メタン発酵と乾式メタン発酵の処理コスト比較

メタン発酵施設の処理コストは、ごみ 1 トン当たり、実績値(3 施設)で約 29,000~41,000 円で、試算値(プラントメーカー5 社の 20 トン/日の売電なし、50 トン/日の売電ありの各ケース)で約 13,000~29,000 円となっている。ここで、処理コストは、人件費、用役費、点検・補修費、汚泥処理費、減価償却費及びその他経費である。¹³⁾

メタン発酵施設の実績値が試算値より割高なのは、試算値が定格能力処理を前提としているのに対して、実績値は定格能力の約 6 割程度の処理のためとしている。

湿式メタン発酵(3 社)と乾式メタン発酵(2 社)の試算結果は、20 トン/日の売電なしの場合、湿式の平均値が 22,970 円/トン、乾式の場合 21,340 円/トン、50 トン/日の売電ありのケースでは、湿式の平均値が 16,100 円/トン、乾式の場合 14,020 円/トンといずれの場合も乾式メタン発酵が有利となっている。

3).バイオガスを都市ガス混合する場合

表.4-3-5 には、事業収支に関連する発生エネルギー、余剰エネルギー、再資源化物等の販売収入、逆有償取引等の比較を示す。地下管理型処理・資源化施設は、無加温の場合とする。

地下管理型処理・資源化施設では、精製バイオガス販売、たい肥販売及び廃棄物処理費の収入が期待できる。

精製バイオガスの販売は、換算熱量から算出したプロパン量に平成 22 年度の CIF(運賃保険料込み条件)価格を乗じて求めた。

たい肥の販売価格は、奄美市のたい肥販売価格を参考に、バラ売り価格 6,000 円/トンとした。¹⁴⁾

奄美市のごみの歳出の内、処理及び維持管理費(人件費+処理費+車両購入費+委託費+調査研究費(組合分担金を除く))の平成 20 年度の合計は 163,749(千円)、組合分担金は 250,842(千円)で、ごみ処理量は、直接焼却量が 18,332 トン、焼却以外の中間処理量(粗大ごみ処理、資源化等)2,095 トンの合計 20,427 トンである。従って、ごみ処理に 20,296 円/トン(車両運搬費 92 円/トンを含む)要している。一般に生ごみ処理を廃棄物業者に委託した場合の費用は、25,000 円/トン程度と言われている。ここでは、20,000 円/トンの処理費を徴収することとする。

車輛はディーゼル仕様である。土質、運転方法、天候などにより燃費が大幅に異なるため、ディーゼル燃料消費量の具体的データは少ない。ここでは、標準モードでの低燃費型油圧ショベルの測定結果(軽油使用量 2,928L、バケット容量 0.8m³級、1 カ月 160 時間稼働、1 カ月 30 日とすると 1 日あたり 5.3 時間となる)を参考とした。¹⁵⁾ 軽油価格は 115 円/L とした。油圧ショベルの 1 日当たりの作業時間を 3 時間、クローラローダー(燃料消費は油圧ショベルの 1/2 と仮定)1 時間と想定した。

購入電気代は、15 円/kWh、ガス精製に係るコストは、5 円/Nm³・CH₄とした。

収入(精製ガス販売+たい肥販売+処理費徴収)の合計は 2,901 万円で、借入金、償却

表.4-3-5 事業収支関連項目の湿式メタン発酵施設との比較(都市ガス混合の場合)

方式	項目	詳細	備考
地下管理型処理・資源化施設	バイオガス発生量	86,175m ³ /年	
	CH ₄ 発生量	47,396m ³ /年	CH ₄ 濃度 55%と想定
	精製ガス中の CH ₄ 熱量	1,729GJ/年	精製 CH ₄ 濃度 90% CH ₄ 回収率 90% CH ₄ 低位発熱量 37.18MJ/Nm ³
	都市ガス原料プロパン相当量(熱量換算)	17,196m ³ /年	プロパン発熱量 100.55MJ/Nm ³
	プロパン販売収入(千円)	543/年	63,145 円/トン(平成 22 年度 CIF 価格;日本 LP ガス協会) プロパン 1kg=0.5m ³ で換算
	たい肥生産量(3 トン/日×365 日)	1,095 トン/年	
	たい肥販売収入(千円)	6,570/年	6,000 円/トンで試算 奄美市の場合: 15kg 袋 350 円 バラ(1 トン)6,000 円 バラ(500kg トン袋詰め
	廃棄物処理費(収入)(千円)	21,900/年	20,000 円/トンで試算 (3 トン/日×365 日=1,095 トン/年)
	用役費(千円)	▼1,181.0/年	
	車輛燃料(千円)	▼2,651.7/年	
湿式メタン発酵施設	人件費(千円)	▼10,000/年	500 万円/人・年
	生産能力(熱)	2,293.5McaL/日	Min1,223.2~Max3,210.9 (McaL/日)
	利用可能量(熱)	1,490.8McaL/日	Min795.1~Max2,087.1 (McaL/日)
	副産物発生量	3.9 トン/日	
	原料調達価格(収支がゼロになる時の調達価格)	▼25,102.0 円/トン(マイナスのため、逆有償の必要がある)	・建設は補助金利用(補助率 1/2) ・金利 3.0% ・返済年数 10.0 年 ・人件費 500 万円/人・年 ・電力 15 円/kWh

費等を除く支出(人件費+燃料+用役費)の合計は 1,383 万円となり、1,518 万円の余剰となる。

4). バイオガスを利用してガス発電する場合

中・大規模メタン発酵施設のバイオガス発生量は多いため、精製ガスの販売は事業性を高めることが考えられる。しかし、4トン/日処理量の無加温メタン発酵から回収可能なバイオガス量は少ない。そのため、高価なバイオガス精製設備を導入し、精製バイオガスの売却の事業性向上への貢献は少ない。一方、バイオガスの発電利用は、除袋、破碎の前処理機、たい肥化施設等の電力の供給が可能となり、買電量の削減が期待できる。

当初、今後のバイオガス利用が期待される都市ガス等の供給を計画したが、バイオガスの利活用法として、ガス発電の可能性について検討する。

プラント建設（概算）コストの内、ガス精製装置一式 25,000 千円が除外され、ガス発電装置が追加される。

CH₄ 濃度 55%と想定すると、47,396m³/年の CH₄ ガスが得られる。無加温のため、月によりバイオガス発生量は異なるが、CH₄ 低位発熱量を 37.18MJ/Nm³とすると、201MJ/時の熱量に相当する。発電効率を 30%とすると、12kWh（6kWh 発電機 2 台運転）の運転が可能となる。この必要熱量は、144MJ/時（=12kWh×3.6MJ/kWh÷0.3）となる。

ガス発電装置を、8,000 千円とするとプラント建設（概算）コストは、38,100 千円と試算される。

均一に発電ができたと仮定すると、総発電量は通年で 105,120kWh となり、電気料金換算で 1,576.8 千円となる。計算上は、場内で使用する電力量以上の確保が可能と試算される。しかし、場内の総定格電力量は、12kWh を超える。従って、作業が実施される勤務時間内では、装置の同時使用状況に応じて売電する必要がある。一方、夜間に稼働する装置は、吸引ポンプ、保安装置等に限定され、余剰となる。この余剰分を同一敷地内の他の施設で利用可能ならば、そこに供給される。しかし、供給先が無い場合は、数量が少ないが売電することとする。

日中の必要電力量を 25kWh、4 時間とすると、4 時間だけ 13kWh の買電が必要となり、作業の無い時間帯（19～8 時の 13 時間を想定）の消費電力量を 5kWh とし、7kWh は売電する想定とする。売電価格は、平成 15 年度のバイオマス発電余剰電力購入価格、北海道電力のその他時間帯（昼間以外）単価 3.80 円/kWh、東京電力の同単価 4.90 円/kWh、関西電力の同単価 5.72 円/kWh の平均値の 4.80 円/kWh とした。

4.3.4 焼却との比較

メタン発酵施設と焼却方法の比較を表.4-2-6 に示す。

焼却方式の焼却時間は 24 時間の 365 日稼働、燃料費は 500L/日（単価 35 円/L）、電気代は 700kW（単価 15 円/kWh）、水道代は 2 トン/日（単価 210 円/トン）、残渣処分費は 10,000 円/トンとし、人件費を含む各コストの年間上昇率を 2%として算出している。

焼却方式の 1 年目の経費（燃料費＋電気代＋保守費＋残渣処分費＋人件費）の小計は、38,120 千円で、10 年間の合計は 4.174 億円となる。処理費用は、34,000 円/トンとしている。

表.4-3-6 メタン発酵施設と焼却方式との比較（4トン/日）

	地下管理型処理・資源化施設		焼却方式*
必要施設面積(m ²)	地下槽を建屋内収納	2,440（施設面積のみ）	約 250（施設面積）
	移動式建屋	1,530（施設面積のみ）	
初期コスト（百万円） バイオガスの利活用 発電（排熱利用なし）	地下槽を建屋内収納	269.3 （67.3/トン）	100.0 （25/トン） 一般雑芥・粗大ごみ （廃プラスチックを利用）
	移動式建屋	209.3 （52.3 トン）	
必要人員（人） 500 万円/人・年	10,000(2)		20,000(4)
燃料費（千円/年）	2,651.7		6,390(1 年目)
電気代（千円/年）	125.3（買電 284.7－売電 159.4）		3,840(1 年目)
水道代（千円/年）	—		160(1 年目)
保守費（千円/年）	1,905（プラント建設費の 5%）		7,000(1 年目)
残渣処分（千円/年）	（たい肥収入）＋6,570		730(1 年目)

*焼却方式は、(株)マルテック社自治体向け分散型一般廃棄物焼却炉のデータを用いた。

（<http://www.maru-tec.co.jp/cgi-bin/marutech/siteup.cgi?category=2&page=5>）

メタン発酵施設及び焼却方式の両者は、一般に小規模では事業性が悪くなる傾向がある。

焼却方式は、必要敷地面積は約 1/10、初期投資コストは 1/2 以下となるが、1 年目の経費比較（廃棄物受入費（収入）を除く）では、焼却方式が約 3,800 万円に対して地下管理型処理・資源化施設は 620.7 万円となり、有利な結果となる。

安価な地価区域に設置される地下管理型処理・資源化施設は、生ごみ、紙類の焼却回避が可能な上、場内使用電力の一部供給（規模によっては、全て賄うことが可能）、たい肥化による資源循環に寄与するばかりでなく、立地が困難となっている清掃工場の代替、ひっ迫している最終処分場の延命につながる有望施設と考えられる。

4. 4 CO₂削減効果の検討

生物起源の生ごみ、紙類などは、いわゆるカーボンニュートラルとされ、埋立てなどの有機物の分解に伴う CO₂（地球温暖化係数 1）排出量や焼却時の CO₂ 排出量は、我国の CO₂ 総排出量には含まれない。ただし、埋立て時には、温室効果ガスの CH₄（地球温暖化係数 21）を、たい肥化の場合 CH₄ 及び N₂O（地球温暖化係数 310）を算定することとしている。

メタン発酵、たい肥化のライフサイクル評価(LCA)算定結果例を表.4-4-1 に示す。

表.4-4-1 メタン発酵、たい肥化の LCA 算定結果例（廃棄物 1 トン当たり）
（エネルギー：MJ/トン、CO₂:kg-CO₂/トン）

	収集・運搬		製造		使用		合計	
	エネルギー	CO ₂	エネルギー	CO ₂	エネルギー	CO ₂	エネルギー	CO ₂
メタン発酵	86.5	6	1,102	43	-2,093	-107	-904	-59
たい肥化	86.5	6	1,688	65	—	—	1,774	71

*運搬条件；走行距離=50km、効率=5km/L、運搬量=4 トン、ガソリン発熱量=34.6MJ/L、
CO₂ 原単位（ガソリン）=0.0671kg-CO₂/MJ

メタン発酵；必要動力=122kW/トン、エネルギー原単位（発電端投入熱量）=9MJ/kWh、
CO₂ 原単位（電気）=0.348kg-CO₂/kWh

たい肥化；必要動力=187.5kW/トン、エネルギー原単位（発電端投入熱量）=9MJ/kWh、
CO₂ 原単位（電気）=0.348kg-CO₂/kWh

〔出典〕経済産業省関東経済産業局：3R システム化可能性調査事業再生利用困難な食品
廃棄物のバイオマス燃料化調査報告書Ⅲ.バイオマス燃料化の LCA 評価について、
平成 19 年 3 月

EU DIRECTIVE 2009/28/EC では、一般廃棄物からのバイオガス（圧縮天然ガスとして利用）について、化石由来の燃料系と比較した場合の温室効果ガス(GHG)排出量の削減率（デフォルト値）を表.4-4-2 のように、73%と定めている。

表.4-4-2 EU 指令におけるバイオガス燃料のデフォルト値（土地利用変化除く）

〔単位〕 gCO₂eq/MJ

		栽培	加工	輸送	計	削減率(%)
一般廃棄物		0	20	3	23	73
参考	湿潤ふん尿	0	11	5	16	81
	乾燥ふん尿	0	11	4	15	82

*ガソリンの場合、81.7 gCO₂eq/MJ

〔出典〕経済産業省：「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」報告書、
平成22年3月

以上のようにバイオガスは、都市ガス代替としてエネルギー使用量及び CO₂ 排出量を削減する効果があるとしている。

地下管理型処理・資源化施設（ガス発電の場合）と焼却方式による廃棄物処理プロセスの LCA を検討すると図.4-4-1 のフローが考えられる。

前述のように、生物由来の生ごみ、紙類はカーボンニュートラルとして位置付けられ、CO₂ 排出量にはカウントされない。しかし、焼却を回避することで、大気中への CO₂ 排出量を抑制できる。地下管理型処理・資源化施設（無加温発酵、ガス発電の場合）と焼却方式の場合の製造段階（メタン発酵＋たい肥化工程、焼却工程（排気、排水処理工程は除く））の CO₂ 削減効果を試算することとする。

ここで、一般廃棄物（バイオマス起源を含む場合）の CO₂ 原単位は、1.048 トン・C/TOE (Ton Oil Equivalent)、0.24TOE/トン、軽油は 38.2GJ/kL、0.0187 トン・C/GJ、A 重油は 39.1GJ/kL、0.0189 トン・C/GJ とし、炭素から CO₂ への換算係数 3.67(=44/12)を乗じた値を、電気は他人から供給された電気の使用の原単位 0.000555 トン・CO₂/kWh を用いた。¹⁶⁾（上）水は、0.000190 トン・CO₂/m³ を用いた。

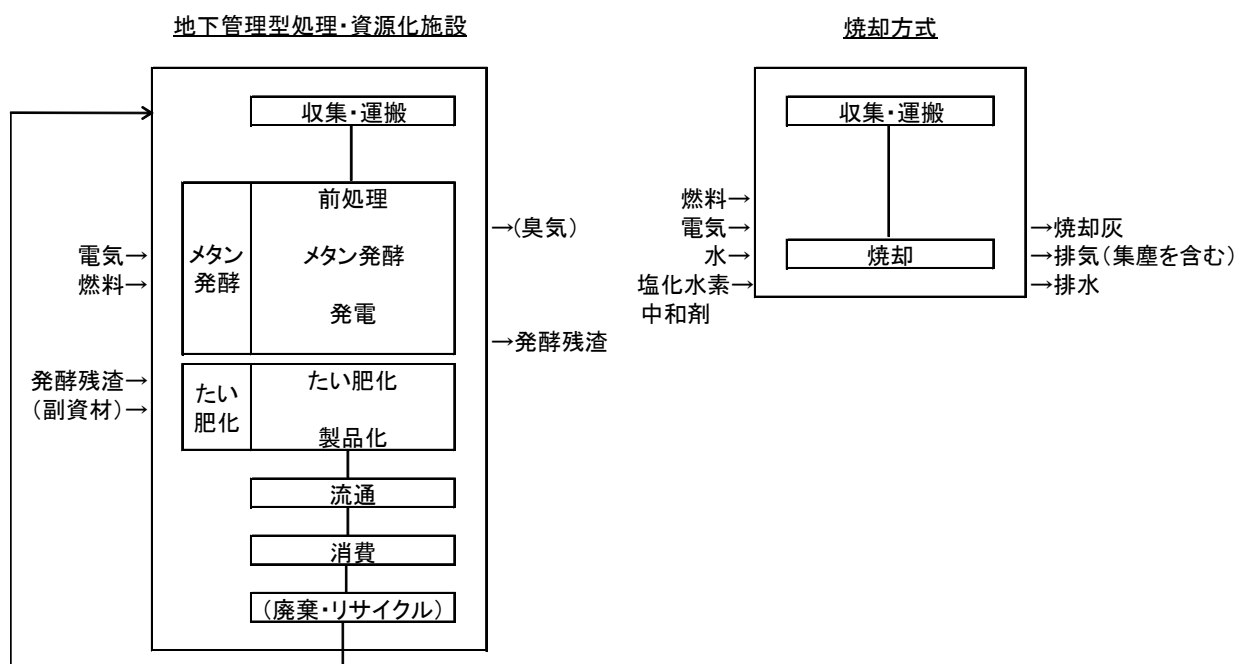


図.4-4-1 LCA 検討フロー

年間総投入エネルギーと年間総処理量から原料トン当たりの CO₂ 排出量を概算した。結果を表.4-4-3 に示す。なお、収集・運搬時、流通、消費及び製造時のメタン発酵、たい肥化工程から発生する CO₂ 及び発酵残渣のたい肥化に移行する際の CH₄（混合時に、空気にすばやく暴露されるため、嫌気発酵は停止するものと仮定）は、CO₂ 排出量の算出に含まれていない。

表.4-4-3 地下管理型処理・資源化施設と焼却方式の CO₂ 排出量の概算結果

	CO ₂ 排出量 (トン・CO ₂ /処理量・トン)		
地下管理型処理・資源化施設 (メタン発酵+たい肥製造工程)	0.06		
焼却方式		焼却	投入エネルギー由来
		3.69	159.08
	計	162.77	

地下管理型処理・資源化施設では、1 日当たりの用役は電力 200kW、軽油約 63L を必要とする。一方、焼却方式では、電力 700kW、A 重油 500L、水 2 トン必要とする。

地下管理型処理・資源化施設は、焼却回避による CO₂ 排出量の削減のほか、製造工程においても大幅な削減あるいは処理量の増加により創出されるエネルギー供給により、さらなる削減が期待できる有望な施設と考えられる。

4. 5 まとめ

第 4 章では、奄美大島をモデルケースに地下管理型処理・資源化施設を導入する際の詳細検討を実施した。

4.1 では、モデル地区として選定した奄美大島の概要、地質、気象条件、利用可能なバイオマス、バイオマス資源化現況及びバイオマス資源化に関する自治体の取組み状況等を調査した。結果の概要を以下に示す。

- ・奄美大島は奄美群島最大の島で、人口は 70,462 人で、そのほとんどが奄美市となっている。島の 85.4% は森林または原野で、耕地面積は全面積の 2.7% にすぎない。地質は、堆積岩層がほとんどである。比較的地盤は強固と言える。

- ・年平均気温は、21.5℃で、同県の鹿児島市に比較して 3.2℃高い。発酵下限温度と考えられる 20℃以上となる期間は、地面では 4 月～10 月末までであるが、1m 深さでは 4 月中旬～12 月までと長くなり、地下利用の利点が確認された。5m 以深では、地温は年間を通じ安定し、年平均気温から推定すると、21.5℃となり、メタン発酵下限温度以上となる。

- ・奄美大島は、多雨かつ台風の接近が多いことから、降雨の浸透防止対策が必須と考える。

- ・宇検村がバイオマスタウン構想を公表、奄美市は準備中である。特に奄美市は、未利用バイオマスの転換技術として、湿式のメタン発酵を視野に入れている。

- ・島内の利用可能なバイオマスで乾式メタン発酵の原料に採用できるものは、生ごみ、紙類等がある。島内最大都市の奄美市に設置を想定した場合、利用可能な生ごみは 3 トン/日程度である。

4.2 では、地下管理型処理・資源化施設の構造、システムの詳細検討を実施した。概要を以下に示す。

- ・投入原料は、生ごみ 3 トン/日、紙類 1 トン/日の混合物とする。これに、発酵残渣を等量混合したものを 90 日間発酵させる。90 日後半分量を掘削し、これに戻したい肥を等量混合したものをたい肥化原料とする。1 週間に 1 回程度良く混合し、発熱が見られなくなるまで、繰り返し、計 90 日間好気発酵させる。

・発酵槽とたい肥化のための堆積槽は兼用する。1 日当たりの発酵槽投入量（原料及び発酵残渣（水分変化は顕著でないと仮定）を等量混合したもの）は、約 9.4m^3 となる。これを 90 日間嫌気発酵させるため、（嫌気）発酵槽合計体積は 846m^3 必要となる。同様に堆積槽も発酵残渣と等量の戻したい肥の混合物を堆積槽（発酵槽兼用）において、好気発酵させるため、同体積を必要とする。従って、約 $1,700\text{m}^3$ の地下槽が必要と算定される。ここでは、攪拌、混合等には、油圧ショベルを採用すると、作業範囲から地下槽は、幅 6m、深さ 5m となり、発酵槽、堆積槽を各 6 槽設置の場合、長さは約 29m の 2 系列となる。

・地下槽周囲での作業スペースを確保すると、地下槽を収納する建屋を幅 15m、長さ 40m となり、2 棟必要となる。前処理工程、ガス精製濃縮工程及びたい肥製品化工程を収納する建屋が必要となる。地下槽は、場合により移動式建屋に収納することも考えられる。

4.3 では、地下管理型処理・資源化施設の経済性について、湿式メタン発酵及び焼却方式の比較を含め検討した。概要は以下の通りである。

・無加温発酵、バイオガスの利活用を PSA による精製濃縮、地下槽を収納する建屋は 2 棟とすると、概算建設コスト（油圧ショベル、クローラダンプ購入費を含む、都市ガス接続工事は除く）は、286 百万円となる。移動式建屋とすると 6 千万円の削減効果がある。従来の湿式メタン発酵では、同規模の場合 420 百万円と考えられ、地下管理型処理・資源化施設は、設置面積は大きくなるが、初期投資額は地下槽を収納する建屋を 2 棟設置した場合で約 35%削減が期待できる。

・生ごみ受入費（処理費）を 20,000 円/トン徴収し、たい肥を 6,000 円/トンで販売、精製バイオガスをプロパン熱量換算 (CIF63,145 円/PG・トン) で販売し、人件費 2 名分 (1,000 万円)、車両燃料費、買電等の支出を試算すると、1,518 万円の黒字となる。

・無加温で実施するため、バイオガスの発生が少ない。そのため、ガスを精製濃縮して販売しても、得る利益は少ない。バイオガスをガス発電に利用し、自家使用及び売電 (4.8 円/kWh) すると電気代は、年間 125.3 千円（買電 284.7－売電 159.4 千円）となる。しかもこの規模のガス発電設備は、ガス精製濃縮装置より安価となり、ガス発電のメリットが期待できる。

・焼却方式と比較すると、焼却方式の方が必要敷地面積は約 1/10、初期投資額 1/2 以下と優位であるが、維持管理費は地下管理型処理・資源化施設が 620.7 万円/年と試算されるのに対して、約 3,800 万円/年となり、運用面で地下管理型処理・資源化施設導入のメリットが期待できる。

4.4 では、生ごみ、紙類はカーボンニュートラルとされ、 CO_2 排出量に含まれない。しかし、清掃工場で焼却することにより、 CO_2 が排出される。また、焼却に必要なエネルギー投入がある。そこで、本システム導入による CO_2 削減効果について試算した。結果を以下に示す。

・4 トン/日規模での焼却と地下管理型処理・資源化方式を比較すると焼却方式の、 CO_2 排出量は $162.77 \text{ トン} \cdot \text{CO}_2 / \text{処理量} \cdot \text{トン}$ であるのに対して、提案方式は $0.06 \text{ トン} \cdot \text{CO}_2 / \text{処理量} \cdot \text{トン}$ とたい肥化工程を算入しても、 CO_2 削減効果が期待できるシステムと言える。さらに、処理量が増加すれば、余剰のエネルギーが増すため、 CO_2 排出量はゼロに近づくことが考えられる。

〔参考文献〕

- 1).鹿児島県大島支庁：奄美群島の概況平成 21 年度
- 2).鹿児島県：奄美群島地域土地分類基本調査奄美大島北部・喜界島、1981
- 3).鹿児島県：奄美群島地域土地分類基本調査奄美大島南部、1983
- 4).鹿児島地方気象台：鹿児島県気象 75 年報告、昭和 33 年 12 月
- 5).平成 21 年度地域における環境バイオマス総合対策調査九州地域調査事業実地調査（調査対象鹿児島県奄美市）、㈱TRES
- 6).宇検村経済課：宇検村バイオマスタウン構想、平成 21 年 3 月
- 7).橋口義仁：寄稿奄美市（名瀬処理区）の下水道事業について、熱帯魚とサンゴ礁の海を守る下水道、季刊水すまし、平成 22 年春号 No.140、日本下水道事業団、平成 22 年
- 8). NEDO：バイオマス賦存量・利用可能量の推計～GIS データベース～
<http://www.nedo.go.jp/library/biomass/index.html>
- 9).食品リサイクルとバイオマス、調査第 48 号、日本政策投資銀行、2002 年 12 月
- 10).名瀬クリーンセンター：平成 20 年度ごみ搬入量実績（現地調査 3.2.2 モデル地域への適用検討
- 11).松藤敏彦：都市ごみ処理素システムの分析・計画・評価・マテリアルフロー・LCA 評価プログラム、技報堂、2005 年 11 月
- 12).国土交通省国土技術政策総合研究所：廃棄物からのエネルギーを回収する技術の調査、国土技術政策総合研究所資料 No.197、2004 年 12 月
- 13).環境省：第 6 回生ごみ等の 3R 処理に関する検討会参考資料、平成 18 年 3 月
- 14).名瀬堆肥センター：堆肥について（現地調査入手資料）
- 15). ㈱レント：http://www.rent.co.jp/icons/kenki/contents/05doboku/bh_tei_souon.htm
- 16).大串卓矢、他：CO₂ 排出量計算講座、省エネルギー、vol.59、No.2、2007

第5章 総括及び提言

5. 1 総括

本報告書は、財団法人エンジニアリング振興協会が財団法人 JKA の「機械工業振興補助事業の調査研究」の委託を受け、同協会・地下開発利用研究センターの平成 22 年度「地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査」について成果を取りまとめたものである。

地下空間を有効活用し、未利用のバイオマスをランドフィルガス方式と乾式メタン発酵を融合したシステムによりバイオガスを回収し、発酵残渣のたい肥化による資源循環型プロセスについて、検討した。総括を表.5-1 に示す。

本調査では、地下空間の恒温性や構造体としての利点を活用し、未利用のバイオマスからの安価な初期投資かつ維持管理が容易なエネルギー回収、資源循環型社会の構築に資する技術の有効性及び経済性等について調査、検討を実施した。

対象とするバイオマスは、①.資源化が進展していない、②.一定の量が確保できる、③.収集、運搬が構築されている有機性廃棄物とし、資源循環型社会の構築に資するバイオマス転換技術は、導入例が多いメタン発酵及びたい肥化技術を採用した。

我国では 1 例しか実施例がないが、ドイツ（バイオマスプラント方式の採用が多い）を除く欧米では、バイオガス回収の主流（回収エネルギー換算）はランドフィルガス方式である。¹⁾しかし、ランドフィルガス方式は、一過性の使用で広大な面積を必要とし、かつバイオガスの回収には長期間を必要とし、平坦地に限られ、また海面や山間部等への埋立てへの制限が多い我国では導入しにくい。そこで、バイオガスの発生を促進するため、乾式メタン発酵の技術を応用し、また繰り返し使用ができるように発酵残渣はたい肥化により再資源化する方法について検討した。

この技術の有効性及び経済性等について、モデル地区として奄美大島を選定し具体的な検討を実施した。

実施項目は、(1).未利用バイオマスの地下管理型メタン発酵技術によるエネルギー転換技術の調査、(2).バイオガス、発酵残渣の利活用システムの検討及び(3).モデル地区（奄美大島）を想定した地下管理型処理・資源化施設の詳細検討である。

(1).での調査、検討結果の概要を以下に示す。

- ・ランドフィルガス方式のバイオガス発生機構を調査し、一般的なメタン発酵の発生機構と同一のモデルを採用していることを確認した。従って、バイオガス発生促進には、通常メタン発酵の発酵要因の確保、発酵阻害を回避することにより達成可能であることが示唆された。
- ・我国唯一のランドフィルガス（発電）利用の東京都中央防波堤内側の実施例を詳細調査した。ここでは、施設設計の参考とするため、構造についても調査した。
- ・ランドフィルガス方式の促進、発酵残渣の有効活用の観点から乾式メタン発酵の技術を応用するため、我国に技術導入されている乾式メタン発酵技術の詳細調査を実施した。

地下管理型処理・資源化施設の考え方は、ガレージ方式のビオフィェルムに近いと考えられる。

- ・（高温）乾式メタン発酵における各種有機性廃棄物のメタン発酵特性の文献調査を行った。試薬レベルのセルロースは分解有機物当たりのバイオガス発生量は高いが、剪定枝は、約 1/3 の発生量となっている。牛、豚排せつ物は高い発生量を示すが、生ごみ、（し尿）汚泥は、むしろ低めである。紙類は、種類によってバイオガス発生量は異なるが、生ごみより多い。特に（漂白）コピー紙、紙コップはセルロースと同等で、バイオガス発生量が多い

(2).バイオガス、発酵残渣の利活用システムの検討結果の概要は、以下の通りである。

- ・地下発酵槽への投入原料は、乾式メタン発酵で採用されている生ごみを主体に紙類を混合したものとする。紙類は、水分調整の役割を果たす効果がある。
- ・バイオガスの利活用法として、精製、必要に応じて濃縮し、ボイラなどの燃料、発電や自動車燃料等への利用あるいは適用実証試験が実施されている。
- ・精製・濃縮法として、バイオガス中の H_2S の除去には、生物脱硫や吸着剤による除去が、濃縮法としては、吸収法、PSA 法、膜濃縮法がある。
- ・近年バイオガスの利活用として、都市ガスへの混合供給が着目されている。
- ・地下発酵槽を堆積槽として活用し、重機による攪拌（切り返し）により、熟成させる方法が採用できる。

(3).モデル地区（奄美大島）を想定した地下管理型処理・資源化施設の詳細検討結果の概要を以下に示す。

- ・モデル地区である奄美大島の特性を活用するため、低温、無加温メタン発酵について調査した。通常メタン発酵で採用される 55°C （高温メタン発酵）、 35°C （中温メタン発酵）に比較して、低温の 20°C 程度であっても、馴養することにより、バイオガス発生量は低下するが、発酵時間を延長することにより、有機物分解は進展することが判明した。
- ・具体的な事例検討を行うにあたり、モデル地区の奄美大島の地形、地質的特性調査、発酵に関与する気温、地温、施設計画の参考とするため、降雨量、台風情報等の気象状況を調査した。同県の鹿児島市より年平均気温は 3°C 以上高い。地表から 1m 深さまでは気温の変動を受け推移するが、5m 深さ以上では年間を通じ、安定し奄美大島では 20°C 程度と予想され、発酵の最低管理温度と考えられる 20°C 以上となり、地下部を活用することにより、無加温のメタン発酵の可能性がある。
- ・奄美大島は、多雨でかつ台風の接近が多い。従って、降雨時の作業環境の確保のため、地下槽の建屋内収納等を考慮する必要があるが、また降雨が浸透し、その処理に多大な設備投資、維持管理費を要する浸出水が発生しないように、そのためにも建屋内収納や地表面をカバーする必要がある。地表面のカバーは、バイオガスの回収にも必須と言える。
- ・島内の利用可能と考えられるバイオマスは、現在ほとんど資源化されず、焼却処理されている生ごみである。建築廃材以外の木質系バイオマスも利用可能である。一方、メタン発酵に利用しにくい（アンモニア濃度が高いため、濃度に留意する必要がある）鶏ふんがあるが、肉用牛ふん、豚ふん及び汚泥の利用は進んでいるため、

奪い合いとなる可能性がある。

- ・島内の施設設置候補地は、利用可能なバイオマスである生ごみ、紙類を所定量確保可能と考えられる奄美市が選定される。また、奄美市はバイオマスタウン構想を検討中で、この中でバイオマス転換技術としてメタン発酵を視野に入れており、バイオマス資源化への意識は高い地区と言える。さらに、バイオガスの利活用として、都市ガス混合供給を考えた場合、島内唯一の都市ガス工場がある。
- ・発酵残渣の資源化法として、たい肥化が有望であり、さとうきび栽培の元肥利用など奄美大島でのニーズがある。
- ・投入原料は、奄美市の生ごみ 1 日当たりの排出量 3 トン（利用可能量に関する各種調査資料では、バラツキが大きく最小値を用いた）に紙類 1 トンを加えたものとする、容積は約 4.7m^3 となる。これに、発酵残渣（水分は変化していないと仮定）を等量添加すると、1 日あたり 9.4m^3 となり、90 日間の発酵期間（滞留時間）とすると地下発酵槽総容積は、約 850m^3 となる。
- ・この発酵槽をたい肥化のための堆積槽として活用するために、発酵残渣（発酵前後で容積が変化しないと仮定）に戻したい肥を等量加えて、90 日間のたい肥化を開始するため、地下槽（発酵槽兼堆積槽）総容積は、約 $1,700\text{m}^3$ 必要と試算される。ここでは、発酵用に 6 槽、たい肥化用に 6 槽の計 12 槽とする。
- ・資源化フローは、次のように想定した。ごみ収集車で搬入されたごみは、除袋後破砕され、クローラダンプで建屋内に収納された地下発酵槽に運搬され、投入される。ここには、発酵残渣（開始時は種汚泥）が投入原料と同量残されていて、油圧ショベルで十分良く混合される。投入時に発生ガスを吸引するための有孔管が設置され、その後、水封式のシートで覆われる。発酵終了後、半分量が油圧ショベルで掘削され、同量の戻したい肥が入っている堆積槽（兼発酵槽）に投入され、1 週間に 1 回程度、発熱がなくなるまで混合攪拌される。90 日後、半分量が掘削され、別棟のたい肥化製品化工程に、クローラダンプで運搬される。当初、バイオガスの利活用は、脱硫、活性炭槽処理後、PSA で濃縮精製し、都市ガス工場への供給とした。
- ・地下槽を収納する建屋を幅 15m、長さ 40m とすると、2 棟必要とし、前処理工程、ガス精製濃縮工程及びたい肥製品化工程を収納する建屋が必要となる。地下槽は、場合により移動式建屋に収納することも考えられる。
- ・無加温発酵、バイオガスの利活用を PSA による精製濃縮、地下槽を収納する建屋は 2 棟とすると、概算建設コスト（油圧ショベル、クローラダンプ購入費を含む、都市ガス接続工事は除く）は、286 百万円となる。移動式建屋とすると 6 千万円の削減効果がある。従来の湿式メタン発酵では、同規模の場合 420 百万円と考えられ、地下管理型処理・資源化施設は、設置面積は大きくなるが、初期投資額は地下槽を収納する建屋を 2 棟設置した場合で約 35%削減が期待できる。
- ・生ごみ受入費（処理費）を 20,000 円/トン徴収し、たい肥を 6,000 円/トンで販売、精製バイオガスをプロパン熱量換算（CIF63,145 円/PG・トン）で販売し、人件費 2 名分（1,000 万円）、車両燃料費、買電等の支出を試算すると、1,518 万円の黒字となる。
- ・無加温で実施するため、バイオガスの発生が少ない。そのため、ガスを精製濃縮し

て販売しても、得る利益は少ない。バイオガスをガス発電に利用し、自家使用及び売電（4.8 円/kWh）すると電気代は、年間 125.3 千円（買電 284.7－売電 159.4 千円）となる。しかもこの規模のガス発電設備は、ガス精製濃縮装置より安価となり、ガス発電のメリットが期待できる。

- ・焼却方式と比較すると、焼却方式の方が必要敷地面積は約 1/10、初期投資額 1/2 以下と優位であるが、維持管理費は地下管理型処理・資源化施設が 620.7 万円/年と試算されるのに対して、約 3,800 万円/年となり、運用面で地下管理型処理・資源化施設導入のメリットが期待できる。
- ・生ごみ、紙類はカーボンニュートラルとされ、CO₂排出量に含まれない。しかし、清掃工場で焼却することにより、CO₂が排出される。また、焼却に必要なエネルギー投入がある。4 トン/日規模での焼却と地下管理型処理・資源化方式を比較すると焼却方式の、CO₂排出量は 162.77 トン・CO₂/処理量・トンであるのに対して、提案方式は 0.06 トン・CO₂/処理量・トンとたい肥化工程を算入しても、CO₂削減効果が期待できるシステムと言える。さらに、処理量が増加すれば、余剰のエネルギーが増すため、CO₂排出量はゼロに近づくことが考えられる。

5. 2 今後の課題

地下管理型処理・資源化施設の実現に向けて、次の事項の確認、検証が必要と考える。

- ・発酵槽投入時の好気性発酵による温度上昇効果の把握、その持続期間とバイオガス発生量について。
- ・油圧ショベルによる攪拌（切り返しを含む）効果について。
- ・投入原料に発酵残渣を混合する際の混合比（想定は、原料 1 に対して発酵残渣 1 を混合）とバイオガス発生開始時間、発生量及び CH₄濃度の推移について。
- ・発酵残渣の投入原料からの体積減、水分上昇について
- ・たい肥工程の温度上昇、製品の水分、肥効成分濃度について
- ・たい肥化時の発酵残渣（たい肥原料）と戻したい肥の割合（想定は、発酵残渣 1 に対して戻したい肥 1 を混合）について。
- ・正確な CO₂削減効果を把握するため、たい肥化移行時の発酵残渣からの残存 CH₄の大気放散量の把握。

5. 3 提言

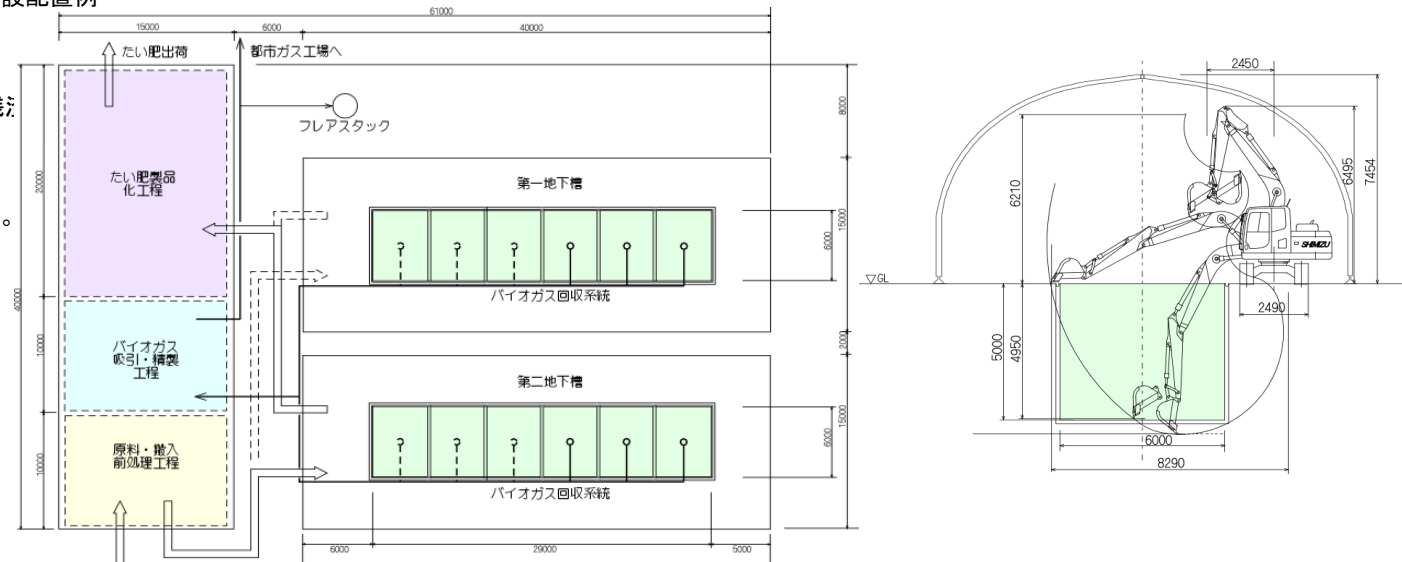
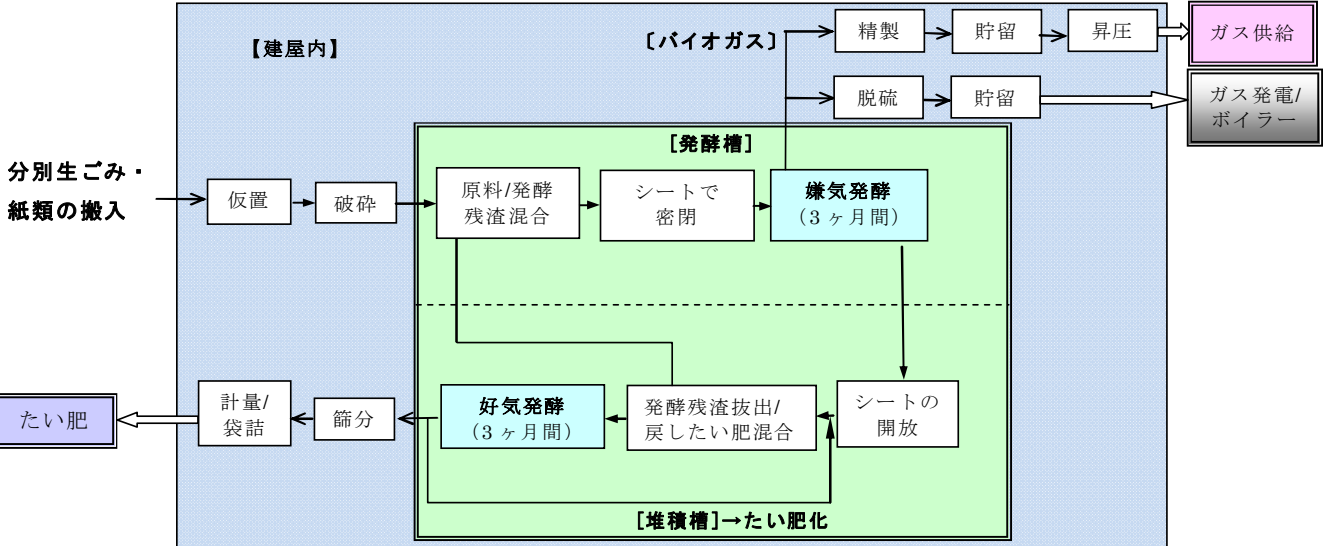
既存の施設分析、文献等により分析した結果、湿式メタン発酵に比較し、設置面積に関しては広い面積を要し、不利であるが初期投資、維持管理の観点では優位であることが示唆された。また、焼却方式に比較して、設置面積及び初期投資では不利であるが、維持管理面では圧倒的に有利であり、地下管理型処理・資源化施設導入により、未利用バイオマス、特に生ごみ、紙類の資源化が進展することが期待できる。かつ、焼却回避による CO₂削減効果も期待できる。

奄美大島のような温暖な地区では、無加温発酵の可能性があり、より施設導入のメリットがあると考えられる。

しかし、現時点の知見に基づき、地下管理型処理・資源化施設の技術的有効性、経済

性等の検討を行ったもので、実際への適用に関しては、実証試験等を経て導入する必要があると考えられる。

表. 5-1 総括

◎地下管理型処理・資源化施設について																													
〔背景〕 ・未利用バイオマスの資源化による、資源循環型社会の構築が早急に求められている。 ・有機性バイオマスの実績のある、有望なバイオマス転換技術にメタン発酵がある。 ・メタン発酵をさらに普及させるには、安価な、操作が容易な、液肥利用ができない地区（できる地区は北海道などに限定される）での発酵残 費が掛からない等のシステムが必要である。	《モデルケース検討：奄美大島に適用した場合》 ○設置場所：奄美市を想定 ○利用未利用バイオマス：生ごみ（現在、ほとんど資源化されておらず、焼却処分）3トン/日、紙類1トン/日、計4トン/日（想定体積約4.7m³） ○施設配置例  〔平面配置例〕 ○（無加温）各月の予想バイオガス発生量（発酵槽5m深さまでの予測地温の平均値から想）（m³/日） <table><tr><th>月</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th></tr><tr><td>発生量</td><td>195</td><td>190</td><td>199</td><td>217</td><td>237</td><td>252</td></tr><tr><th>月</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th></tr><tr><td>発生量</td><td>271</td><td>276</td><td>274</td><td>255</td><td>242</td><td>222</td></tr></table> * 年間予想バイオガス発生量 86,175m³/年 * メタン発生量（CH₄=55%と想定） 47,396m³/年	月	1	2	3	4	5	6	発生量	195	190	199	217	237	252	月	7	8	9	10	11	12	発生量	271	276	274	255	242	222
月	1	2	3	4	5	6																							
発生量	195	190	199	217	237	252																							
月	7	8	9	10	11	12																							
発生量	271	276	274	255	242	222																							
〔地下管理型処理・資源化施設の特徴〕 ・時間が掛かる、浸出水処理が煩雑などの欠点があるが、ランドフィルガス方式の簡便性、乾式メタン発酵の高固形分濃度運転、高速性、発酵残渣低水分などの利点を活用した、ランドフィルガス方式と乾式メタン発酵を融合したシステムである。 ・地下部の恒温性、断熱性、構造体としての利用などの利点を活用する。 ・原料は、乾式メタン発酵に準拠して、資源化が進展していない生ごみを主体に、水分調整、空隙率の確保等のため紙類等を添加したものとする。 発酵残渣はたい肥化し、資源化し再循環させる。																													
〔地下部利用の利点〕 ・表層より5m以深は、地温がほぼ一定で年平均気温と相関がある。 ・表層より5m以内は、気温の変動を受けるが、南西諸島以南のような温暖な地区では、バイオガスの回収量は低下するが無加温のメタン発酵が期待できる。 ・地下部は、恒温性の特性のほか、断熱性能が高い。 ・構造体として活用し、発酵槽として利用とともに、発酵残渣のたい肥化の際の堆積槽としても利用できる。																													
〔地下管理型処理・資源化施設システムフロー例〕  （原料）生ごみ：紙類＝3：1（湿重量比） （発酵槽投入物）原料：発酵残渣＝1：1（想定水分60％） （たい肥化原料）発酵残渣：戻したい肥＝1：1 （発酵期間）3ヶ月 （たい肥化期間）3ヶ月 （移送方法）クローラダンプ使用（発酵槽へのダンピングを含む） （攪拌、取出し方法）油圧ショベル使用 （発酵槽の覆い；1. 降雨対策、2. バイオガスの回収のため）水封式ガスホルダメンブレン採用 （発酵槽兼堆積槽、隔壁）コンクリート造 （水封用水路）U字溝（約200mm水柱）使用	○経済性（発酵槽を建屋収納した場合）：資源化量4トン／日 ・発酵槽関連施設建設概算コスト：220百万円 ・プラント設備一式調達概算コスト（精製・濃縮→都市ガス混合；接続工事は含まない）；55.1百万円、車両購入費；11.3百万円 　　* プラント設備一式調達概算コスト（精製→ガス発電；自家使用、余剰分売電）；38.1百万円 【収入】たい肥（6,000円/トン）、一般廃棄物受入費（20,000円/トン）、売電（4.8円/kWh）：【用役】買電（15円/kWh）、軽油（115円/L） 【人件費】1,000万円/年（500万/年×2人） ▽湿式メタン発酵との比較（装置面積に建蔽率は考慮していない） （本提案システム）・装置面積：約2,440m²；建設コスト＝286百万円（湿式）・装置面積：約300m²；建設コスト＝420百万円 ・ランニングコスト（都市ガス混合の場合）：△1,463万円（金利、減価償却を含む損益分岐点：▼25,102円/トン（逆有償） ▽焼却方式との比較（装置面積に建蔽率は考慮していない） （本提案システム）・装置面積：約2,440m²；建設コスト＝286百万円（焼却方式）・装置面積：約250m²；建設コスト＝100百万円 ・ランニングコスト（ガス発電の場合）：▼621万円（1年目の維持管理費：▼3,800万円 （廃棄物受入費は含まない、保守費プラント建設費の5%計上） ○CO₂削減効果（*生ごみ、紙ごみは、生物由来のため、カーボンニュートラルとされている） <table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">CO₂排出量（トン-CO₂/処理量-トン）</th></tr><tr><th colspan="2">地下管理型処理・資源化施設（メタン発酵+たい肥製造工程）</th><td colspan="2">0.06</td></tr><tr><th rowspan="2">焼却方式</th><th rowspan="3"></th><th>焼却</th><th>投入エネルギー由来</th></tr><tr><td>3.69</td><td>159.08</td></tr><tr><th colspan="2">計</th><td colspan="2">162.77</td></tr></table> *運搬等を含まず、エネルギー転換、資源化時のみを計算。また、生物呼吸のCO₂は含まない			CO ₂ 排出量（トン-CO ₂ /処理量-トン）		地下管理型処理・資源化施設（メタン発酵+たい肥製造工程）		0.06		焼却方式		焼却	投入エネルギー由来	3.69	159.08	計		162.77											
		CO ₂ 排出量（トン-CO ₂ /処理量-トン）																											
地下管理型処理・資源化施設（メタン発酵+たい肥製造工程）		0.06																											
焼却方式		焼却	投入エネルギー由来																										
		3.69	159.08																										
計		162.77																											
『地下管理型処理・資源化施設の提案』 ・未利用のバイオマスをメタン発酵によって資源化し、発酵残渣をたい肥化することにより、資源循環型社会の構築に寄与できるシステムを提案する。 ・ランドフィルガス方式と乾式メタン発酵を融合したシステムにより、設置面積が大となるが、従来の湿式メタン発酵に比較して初期投資が安価で、維持管理費も低減可能である。焼却方式に比較しても、維持管理費が非常に安価で、焼却回避によるCO₂削減効果の他、CO₂発生が少ないシステムである。																													

書 名 平成 2 2 年度
地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関
する調査報告書

発 行 平成 23 年 3 月
財団法人 エンジニアリング振興協会
〒105-0003
東京都港区西新橋一丁目 4 番 6 号
TEL 03 (3502) 4441 (代表)

印 刷 株式会社 三州社

禁無断転・掲載

