

集排汚泥とバイオ液肥の利活用を伴う
小規模メタン発酵システム導入の手引き(案)
～集排施設の特徴を活かした
施設計画から消化液の農業利用まで～

令和 4 年 3 月 3 1 日

一般社団法人 地域環境資源センター

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

農村工学研究部門

はじめに

近年、SDGs といった持続可能な開発、COP（気候変動枠組条約締約国会議）での地球温暖化対策の議論が取り上げられ、持続可能を目指した資源循環に脚光が当たっているところである。

しかしながら、資源循環は新しい話ではなく、農業・農村において、農耕を営む中で自然発生して営々と受け継がれてきたものである。例えば、し尿や生ゴミは、貴重な肥料として利用されることにより、農業を通じて食料として再生産され、排出されたし尿や生ゴミは再度肥料として利用するといった、資源循環がなされていた。持続可能を目指したのではなく、地域資源を有効利用した結果、いわば無意識の資源循環と言える。

その後、戦後の食料増産のため化学肥料が大いに用いられるようになった。また、農業用水の確保や農村における生活環境の改善を目的とし、昭和 58 年度に農業集落排水事業が制度化され、平成初期に農業集落排水施設の整備が大きく進んだ。

この結果、食料の安定的な生産や農村の振興に大きく貢献した上、農業集落排水施設は当初から資源循環の理念を掲げており、排水処理過程で発生する汚泥を農地還元するという形で資源循環に向けた取組を継続的に行ってきた。

とはいえ、農業は化学肥料で行い、農村のし尿を含めた生活排水の処理は農業集落排水施設等で行っているため、無意識に資源循環できないことから、意識的に資源循環を行う必要がある。このためには、農業集落排水施設の関係者のみならず、農家や消費者の意識も重要となる。

農家や消費者の意識としては、持続可能性や有機栽培に関心が抱かれるようになってきたと感じる。そこからもう一歩進み、し尿や生ゴミといった農村地域の資源を活用した農業に価値を見出す社会になる一助として、本手引きを活用いただければと思う。

なお、本手引き及び実証事業は、農林水産省の官民連携新技術研究開発事業の助成を受けて実施したものであり、農林水産省及び当該事業委員会の皆様に感謝申し上げます。また、令和 3 年 3 月に亡くなった当センター岡庭良安バイオマスチームリーダーの尽力があったことについても記させていただきます。

令和 4 年 3 月

一般社団法人 地域環境資源センター

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門

集落排水施設効率性向上実証事業検討委員会

1. 委員

	所 属・職 名	氏 名
委員長	愛媛大学大学院 農学研究科 生物環境学専攻 水環境再生科学特別コース・地域環境工学コース 教授	治多 伸介
委員	一般社団法人 日本有機資源協会 事務局 次長	菅原 良
委員	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 研究グループ長	塚原建一郎
委員	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 資源利用研究領域 地域資源利用・管理グループ 上級研究員	中村 真人
委員	東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 水環境学講座 環境保全工学分野 教授	李 玉友

(委員は50音順にて掲載)

2. オブザーバー

所 属・職 名	氏 名
農林水産省農村振興局整備部 地域整備課課長補佐（農村資源循環班担当）	星 一樹
農林水産省農村振興局整備部 地域整備課事業係長	井上 秀之
農林水産省農村振興局整備部 地域整備課計画第2係長	高森 健
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 資源利用研究領域 地域資源利用・管理グループ 主任研究員	折立 文子

3. 事務局（主なメンバー）

所属・役職	氏名
一般社団法人 地域環境資源センター 地域環境資源研究所 バイオマスチームリーダー	岡庭 良安
一般社団法人 地域環境資源センター 集落排水部 上席研究員	柴田 浩彦
一般社団法人 地域環境資源センター 集落排水部・バイオマス技術部 主任研究員	蒲地 紀幸

目 次

1. 総論

1.1 目的	1-1
1.2 手引きの構成	1-2
1.3 用語の定義	1-3

2. 資源の循環利用をめぐる情勢

2.1 SDGs を契機とした資源循環の加速化	2-1
2.2 みどりの食料システム戦略.....	2-3
2.2.1 本戦略が目指す姿と KPI の抜粋.....	2-4
2.2.2 具体的な取組の抜粋.....	2-4
2.3 経済のグリーン化とは.....	2-5
2.4 グリーンインフラの取組の推進.....	2-6
2.5 2050 年カーボンニュートラル	2-7
2.6 集排施設と農村を取り巻く状況.....	2-8
2.6.1 集排施設の現状.....	2-8
2.6.2 メタン発酵施設の現状.....	2-9
2.6.3 農村における資源循環の必要性和課題.....	2-10

3. メタン発酵システムの導入（調査・計画）

3.1 メタン発酵の概要.....	3-1
3.1.1 メタン発酵とは.....	3-1
3.1.2 メタン発酵施設の概要.....	3-1
3.2 事業の検討手順	3-4
3.3 事業計画	3-5
3.3.1 地域資源調査.....	3-5
3.3.2 収集運搬計画.....	3-7
3.3.3 バイオガス利用計画.....	3-9
3.3.4 堆肥・液肥利用計画.....	3-9
3.3.5 水処理計画.....	3-10
3.3.6 法規制への対応.....	3-11
3.3.7 環境影響検討.....	3-13
3.4 農村バイオマス	3-14
3.4.1 農村バイオマスの種類.....	3-14
3.4.2 集排汚泥	3-14
3.5 経済性の検討	3-17
3.5.1 肥料利用を伴うメタン発酵施設の概要.....	3-17
3.5.2 肥料利用を行っている施設データ.....	3-18

3.5.3 肥料利用を伴うメタン発酵施設の施設工事費.....	3-19
3.5.4 肥料利用を行っている施設の維持管理費.....	3-20
3.5.5 液肥利用施設の経済性.....	3-21
3.6 グリーン化に向けた可能性.....	3-25
3.6.1 農村地域のグリーン化（地産地消型エネルギーマネジメントシステム）..	3-25
3.6.2 集排施設の特徴と可能性.....	3-25
3.6.3 集排施設の強靱化・グリーン化（非常時）.....	3-26
3.6.4 集排施設の強靱化・グリーン化（平常時）.....	3-26
3.7 肥料の品質確保等に関する法律（肥料法）.....	3-28
3.7.1 肥料法の概要.....	3-28
3.7.2 汚泥肥料に係る法改正経緯.....	3-29
3.7.3 肥料法改正の概要.....	3-30
3.7.4 肥料法改正の詳細.....	3-30
4. 小規模メタン発酵施設の導入促進（具体的事項）	
4.1 標準的な発酵方式と規模.....	4-1
4.1.1 メタン発酵原料.....	4-1
4.1.2 発酵方式.....	4-1
4.1.3 対象規模.....	4-1
4.2 受益範囲と施設規模.....	4-3
4.2.1 受益範囲.....	4-3
4.2.2 規模算定時の留意事項.....	4-4
4.3 バイオマスの収集.....	4-6
4.3.1 集排汚泥.....	4-6
4.3.2 生ごみ.....	4-6
4.4 小規模メタン発酵施設の構成設備.....	4-7
4.4.1 小規模メタン発酵施設の基本処理フロー.....	4-7
4.4.2 前処理設備.....	4-8
4.4.3 メタン発酵設備.....	4-9
4.4.4 エネルギー利用設備.....	4-14
4.4.5 バイオ液肥利用設備.....	4-15
4.4.6 水処理設備.....	4-17
4.4.7 脱臭設備.....	4-18
4.4.8 電気・計装設備.....	4-19
4.5 運転管理上の留意事項.....	4-20
4.5.1 前処理設備.....	4-20
4.5.2 メタン発酵設備.....	4-21
4.5.3 エネルギー利用設備.....	4-24
4.5.4 バイオ液肥利用設備.....	4-25

4.6 経済性の評価	4-26
4.6.1 検討条件	4-26
4.6.2 検討結果	4-27
4.7 地球温暖化防止効果の検討	4-32
4.7.1 地球温暖化防止効果の考え方	4-32
4.7.2 メタン発酵施設導入に係る諸係数	4-34
4.7.3 メタン発酵施設導入の効果試算	4-36
4.7.4 バイオ液肥の利用に係る効果	4-37
4.7.5 下水道温暖化対策推進計画における算定方法	4-38
4.7.6 LCA（ライフサイクルコストアセスメント）による算定	4-45
4.8 小規模メタン発酵施設の過去事例	4-46
4.8.1 実証試験施設概要	4-46
4.8.2 バイオガス発生量	4-47
4.8.3 有機物分解率	4-48
4.8.4 メタン発酵槽容量（滞留日数）	4-48
 5. 液肥利用の導入促進（具体的事項）	
5.1 肥料について	5-1
5.1.1 肥料とは	5-1
5.1.2 肥料の種類	5-2
5.1.3 農業経営費に占める肥料費	5-3
5.2 バイオ液肥の特徴	5-4
5.2.1 バイオ液肥とは	5-4
5.2.2 バイオ液肥の利用プロセス・経済性	5-4
5.2.3 肥料としての特徴	5-5
5.3 バイオ液肥の施肥設計	5-7
5.3.1 施肥基準	5-7
5.3.2 施肥設計	5-7
5.4 バイオ液肥の品質管理	5-10
5.5 バイオ液肥の貯留・輸送・散布	5-11
5.5.1 貯留	5-11
5.5.2 輸送	5-12
5.5.3 散布	5-13
5.6 バイオ液肥普及の取組	5-17
5.6.1 バイオ液肥普及のプロセス	5-17
5.6.2 各地の取組	5-17

6. 小規模メタン発酵システム実証

6.1 小規模メタン発酵システム実証の概要.....	6-1
6.1.1 概要	6-1
6.1.2 経緯	6-4
6.1.3 地域概況	6-5
6.2 小規模メタン発酵施設.....	6-6
6.2.1 基本設計	6-6
6.2.2 実施設計	6-9
6.2.3 施工	6-16
6.2.4 施設運転概要.....	6-20
6.2.5 各運転条件の結果.....	6-21
6.2.6 主なトラブルと対応.....	6-27
6.2.7 試験後の発酵槽内の様子.....	6-28
6.3 集排施設併設メタン発酵施設の運転・管理作業の評価.....	6-29
6.4 農村バイオマスの収集・投入.....	6-32
6.4.1 農村バイオマスの投入量.....	6-32
6.4.2 家庭生ごみの収集.....	6-32
6.4.3 家庭生ごみの特徴.....	6-34
6.4.4 事業系食品廃棄物や農産加工残さの追加.....	6-36
6.5 バイオ液肥としての利用.....	6-40
6.5.1 バイオ液肥の性状.....	6-40
6.5.2 営農実証概要.....	6-41
6.5.3 ポット栽培試験.....	6-43
6.5.4 無機化試験.....	6-51
6.5.5 ほ場試験（試験ほ場）	6-53
6.5.6 ほ場試験（現地実証）	6-82
6.5.7 肥料登録	6-84
6.5.8 散布効率化.....	6-97
6.6 室内メタン発酵試験.....	6-103
6.6.1 室内試験の目的.....	6-103
6.6.2 検討課題と試験条件.....	6-103
6.6.3 室内メタン発酵試験の方法.....	6-104
6.6.4 集排汚泥のメタン発酵における微量元素の必要性.....	6-106
6.6.5 集排汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵の立ち上げ.....	6-110
6.6.6 集排汚泥と高 C/N 比原料の混合割合の検討.....	6-112
6.6.7 集排汚泥と低 C/N 比原料の混合割合の検討.....	6-115
6.6.8 集排汚泥の混合割合を小さくした場合の影響評価.....	6-118
6.6.9 （補足試験）現地汚泥と生ごみを用いた室内発酵試験.....	6-120
6.7 参考となる事例	6-123

6.7.1 野菜加工工場へのユニット化施設の導入.....	6-123
6.7.2 事業系食品廃棄物を用いた小型メタン発酵装置の導入.....	6-126

おわりに

1. 総論

1. 1 目的

今回の小規模メタン発酵システムの開発は、農業集落排水汚泥（以下、「集排汚泥」という。）を効率的に処理し、地域内の資源循環に資することを目的としている。集排汚泥は水処理後の残さ物であるため、メタン発酵の効率が良くないという課題がある。その解決策の一つとして、ガス発生量が多い生ゴミ等の農村バイオマスと混合処理する方法がある。

本手引きでは、集排汚泥と農村バイオマスを混合してメタン発酵を行い、生成した消化液を「バイオ液肥」として肥料利用することにより、地域内での資源循環はもとより、持続可能な農業・農村の発展に資することを目的とする。

【解 説】

資源循環については、持続可能な開発目標(SDGs:Sustainable Development Goals)等により、近年注目が高まっているところであり、食料・農業・農村基本計画においても、「自然資本や環境に立脚した食料・農業・農村分野は、SDGsが目指す環境・経済・社会の統合的向上において果たす役割が非常に大きく、他産業に率先してSDGsの実現に貢献することが求められる。」としている。

また、農業集落排水施設(以下「集排施設」という。)は、全国約4,800地区で稼働しており、小規模分散型であり農地の近くに立地しているため、生活排水の処理による農業用排水の水質保全及び農村環境の改善といった本来の目的に加え、水処理過程で発生する汚泥の農地還元により農村地域内での資源循環を推進し、持続可能な農業・農村の発展に資することが今まで以上に求められていると考える。また、集排施設は農村地域の生活排水のみを対象としており、流入する重金属量が少なく、集排汚泥は肥料に適した原料とすることができる。

なお、本手引きでは、集排汚泥のメタン発酵に関する記載に限らず、メタン発酵後の消化液を「バイオ液肥」として農業利用（以下、「液肥利用」という。）をする際に有益かつ必要な記載を盛り込んでいるため、各施設において参考にしていただければ幸甚である。

1. 2 手引きの構成

本手引きは、第1章「総論」、第2章「資源循環利用をめぐる情勢」、第3章「小規模メタン発酵システムの導入（調査・計画）」、第4章「小規模メタン発酵施設の導入促進（具体的事項）」、第5章「液肥利用の導入促進（具体的事項）」、第6章「小規模メタン発酵システム実証」から構成される。

【解 説】

本手引きにおける各章の記載概要は以下のとおりである。

第1章 総論

本手引きの目的及び基本事項を記載。

第2章 資源の循環利用をめぐる情勢

資源の循環利用をめぐる国際的な情勢から農村地域における状況までを記載。

第3章 メタン発酵システムの導入（調査・計画）

消化液の液肥利用を伴うメタン発酵システムを導入する際に検討する、基本的な調査・計画に係る事項を記載。

第4章 小規模メタン発酵施設の導入促進（具体的事項）

集排施設に併設する小規模メタン発酵施設の導入及び運用にあたり、具体的な実施方法や事例を記載。

第5章 液肥利用の導入促進（具体的事項）

消化液の液肥利用にあたり、具体的な実施方法や事例を記載。

第6章 小規模メタン発酵システム実証

実証事業の成果について、施設計画から消化液の農業利用までを体系化して記載。

1. 3 用語の定義

本手引きで用いる用語を次のように定義する。

①小規模メタン発酵システム

(i) メタン発酵施設

「バイオマス」のエネルギー利用には、直接バイオマスを燃焼させる直接燃焼のほか、微生物の力を利用してバイオマスを分解する「メタン発酵」がある。

「メタン発酵」によりメタンを主成分とするガスが得られ、このガスを「バイオガス」と呼ぶ。「バイオガス」は、燃焼させても大気中の二酸化炭素量を増加させないカーボンニュートラルなエネルギーであり、発電機、ボイラー、コージェネレーション（熱併給発電）等の燃料に使用することができる。この「バイオガス」を生産する施設を一般的に「メタン発酵施設」又は「バイオガスプラント」等と呼んでいる。集排施設に併設する小規模なものについて、本手引きでは「小規模メタン発酵施設」とする。

なお、集排汚泥を原料とした「小規模メタン発酵施設」の対象人口は、1,000人以上を想定している。

(ii) 小規模メタン発酵システム

「小規模メタン発酵施設」に加え、バイオ液肥の農業利用を含めたシステムの総称を「小規模メタン発酵システム」とする。

(iii) バイオマス

バイオマス活用推進基本法（平成21年法律第52号）の第2条第1項では、「バイオマス」を、「動植物に由来する有機物である資源（原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭（以下「化石資源」という。）を除く。）」と定義している。

また、第3条において、「バイオマスの活用の推進は、太陽、大地、海等の自然の恩恵によってもたらされる資源をはじめとする枯渇することのない資源の活用を図ることが化石資源の乏しい我が国にとって経済社会の持続的な発展を実現する上で極めて重要であることにかんがみ、バイオマスを製品の原材料及びエネルギー源として最大限に利用することができるよう、総合的、一体的かつ効果的に行われなければならない。」としており、バイオマス活用推進の必要性を記載している。

(iv) 農村バイオマス

ここでは、農村で発生する各種バイオマスのことを「農村バイオマス」とする。集排汚泥のほか、一般家庭からの生ごみ、食品廃棄物や農作物の非食部、農産加工残さ、家畜ふん尿などがある。

(v) カーボンニュートラル

バイオマスを燃焼する際に放出される二酸化炭素は、生物の成長過程で大気から吸収されたものであるため、バイオマスには大気中の二酸化炭素を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる性質がある。

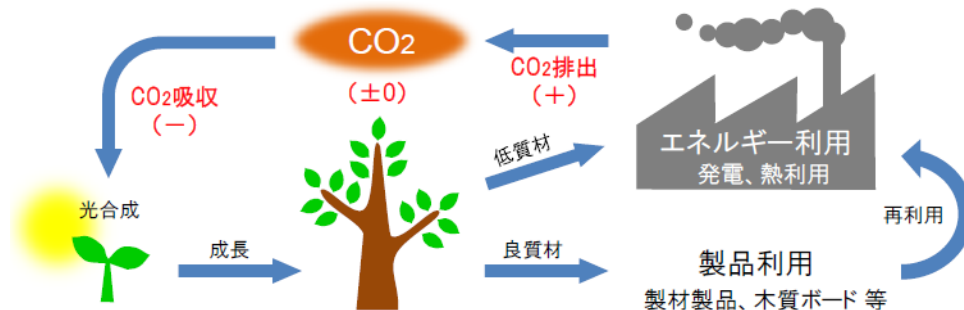


図 1.3.1 カーボンニュートラルのイメージ

②消化液の農業利用

(i) 消化液

家畜排せつ物・食品廃棄物等の「バイオマス」を発酵槽に投入し、嫌気性条件下でメタン発酵することによりバイオガスを得る。有機物のメタン発酵後に残る液を「消化液」とする。

消化液は、窒素やリン、カリウム等の肥料成分を含み、肥料として畑地や水田のほか、牧草地の肥料として利用できる。

(ii) バイオ液肥

消化液を肥料として農業利用する場合、各地域において一般的に用いられている名称であり、「みどりの食料システム戦略」でもこの名称を利用しているため、本手引きでは「バイオ液肥」を用いる。

<参考資料・文献>

農林水産省 みどりの食料システム戦略 参考資料（令和3年5月）

農林水産省 バイオマスの活用をめぐる状況（令和3年3月）

2. 資源の循環利用をめぐる情勢

2. 1 SDGs を契機とした資源循環の加速化

国連サミットで持続可能な開発目標(SDGs)が採択され、これを契機に持続可能な取り組みが推進されており、バイオ液肥の有効利用といった資源循環の取組を加速化する必要がある。

【解 説】

持続可能な開発目標 (SDGs : Sustainable Development Goals) は、2001年に策定されたミレニアム開発目標 (MDGs) の後継として、2015年9月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された、2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標である。17のゴール・169のターゲットから構成され、地球上の「誰一人取り残さない (leave no one behind)」ことを誓っている。

前身のMDGs (Millennium Development Goals : ミレニアム開発目標) は主として開発途上国向けの目標であったが、SDGsは、先進国も含め、全ての国が取り組むべき普遍的 (ユニバーサル) な目標となっている (図2.1.1、図2.1.2)。

また、食料・農業・農村基本計画 (令和2年3月31日閣議決定) においても、「自然資本や環境に立脚した食料・農業・農村分野は、SDGsが目指す環境・経済・社会の統合的向上において果たす役割が非常に大きく、他産業に率先してSDGsの実現に貢献することが求められる。」としている。



図2.1.1 MDGsからSDGsへの移行



図2.1.2 SDGsの17ゴール

2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和 2 年 12 月）では、「⑬資源循環関連産業の成長戦略「工程表」」において、「メタン発酵エネルギー回収の向上、消化液等の有効活用」を 2030 年までの工程として掲げており、バイオ液肥のさらなる有効利用が重要となっている（図 2.1.3）。

⑬資源循環関連産業の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
●具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



図2.1.3 資源循環関連産業の工程表

2. 2 みどりの食料システム戦略

食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを目指し、SDGs等を踏まえ、農林水産省は「みどりの食料システム戦略」を策定した。

【解説】

我が国の食料・農林水産業は、大規模自然災害・地球温暖化、生産者の減少等の生産基盤の脆弱化・地域コミュニティの衰退、新型コロナを契機とした生産・消費の変化などの政策課題に直面しており、将来にわたって食料の安定供給を図るためには、災害や温暖化に強く、生産者の減少やポストコロナも見据えた農林水産行政を推進していく必要がある。

このような中、健康な食生活や持続的な生産・消費の活発化やESG投資市場の拡大に加え、EUの「ファームtoフォーク戦略」など諸外国が環境や健康に関する戦略を策定し、国際ルールに反映させる動きが見られる。今後、このようなSDGsや環境を重視する国内外の動きが加速していくと見込まれる中、我が国として持続可能な食料供給システムを構築し、国内外を主導していくことが急務となっている。

このため、生産から消費までサプライチェーンの各段階において、新たな技術体系の確立と更なるイノベーションの創造により、我が国の食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」を策定した。

また、食料生産を支える化学肥料の原料の大半は輸入に依存しており、特に「りん酸アンモニウム」及び「塩化カリウム」は全て海外から原料を輸入しており、尿素でも国内生産は4%である（図2.2.1）。

さらに、再生可能エネルギーの導入によるCO₂の削減も期待されているところである（図2.2.2）。

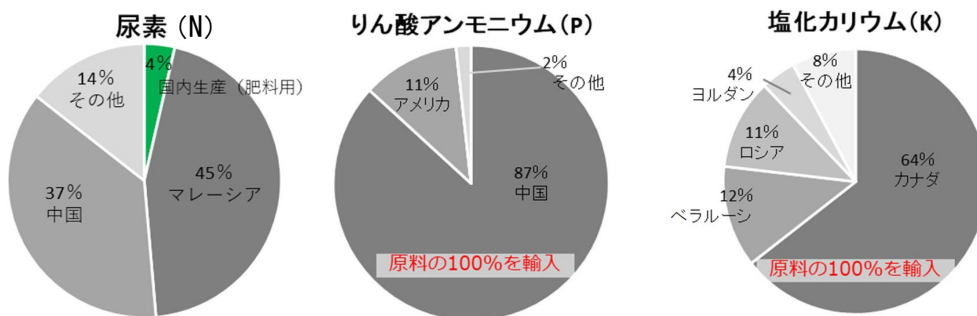


図2.2.1 食料生産を支える資材等の自給率

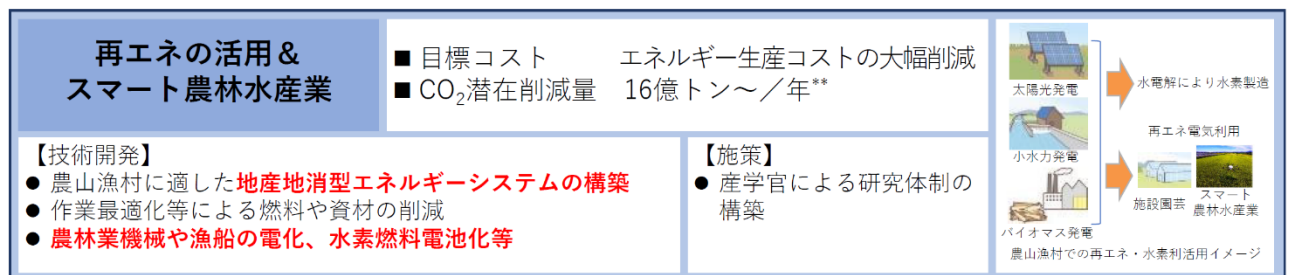


図2.2.2 地産地消型エネルギーシステムの構築

2.2.1 本戦略が目指す姿と KPI の抜粋

本手引きと関連する本戦略が目指す姿と KPI（重要業績評価資料）について、以下のとおり抜粋して示す。

- 2050 年までに、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量の 30%低減を目指す。
- 2040 年までに、主要な品目について農業者の多くが取り組むことができるよう、次世代有機農業に関する技術確立する。これにより、2050 年までに、オーガニック市場を拡大しつつ、耕地面積に占める有機農業（※）の取組面積の割合を 25%（100 万 ha）に拡大することを目指す。（※国際的に行われている有機農業）
- 農林水産省地球温暖化対策計画の改定・実践を通じ、2050 年までに農林水産業の CO₂ゼロエミッション化の実現を目指す。
- 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。

2.2.2 具体的な取組の抜粋

本手引きと関連する具体的な取組について、以下のとおり抜粋して示す。

- 資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷軽減の推進
- 持続可能な資材やエネルギーの調達
 - ・営農型太陽光発電、バイオマス・小水力発電等による地産地消型エネルギーマネジメントシステムの構築（図 2.2.2）
 - ・農山漁村の活性化に資する再エネ事業者等の取組を可視化するためのロゴマークの導入
 - ・小水力発電、地産地消型バイオガス発電施設の導入
 - ・バイオ液肥（バイオガス発電の副産物である消化液）の活用による地域資源循環の取組の推進
- 資源のリユース・リサイクルに向けた体制構築・技術開発
 - ・食品残さ・廃棄物、汚泥、端材を肥料化・飼料化・燃料化するリサイクル技術の開発
- イノベーション等による持続的生産体制の構築（化学肥料の低減）
 - ・堆肥等の有機資源を活用した施肥体系の確立と現場実証や取組の拡大
- 消費者と生産者の交流を通じた相互理解の促進
 - ・見た目重視の商品選択の見直し等、環境にやさしい消費の拡大
 - ・環境にやさしい農業経営（有機農業、無農薬、減農薬等）と付加価値の高い農産物の販売の促進

2. 3 経済のグリーン化とは

経済のグリーン化とは、経済活動が環境に配慮したものとなり、経済活動により自然資源や生態系などの地球環境が回復不能なほど損なわれないようにすることである。

【解 説】

私たちの経済活動は、自然資源や生態系の恵みを利用して成り立っている。自然を損なうことは、人類にとっても、持続可能な成長を阻害することにはかならない。経済のグリーン化は、経済成長と環境保全の両立を図るものであり、持続可能な社会を実現するために、不可欠な基盤であるといえる。

事業者の優れた環境配慮の取組を促進するためには、より多くの人々が環境意識を高め、経済活動において関わりのある人・物・組織などの環境への影響を理解し、環境に良いと自らが判断した対象に経済行為を実行していくことが必要である。つまり、環境に配慮した製商品・サービスや、環境に配慮した事業活動などを自ら評価し、その結果、購買をしたり、金融取引をしたり、日々の事業活動をしたりといった、実際の経済行動に移すことが重要である。

これらの環境に良い経済活動のプロセスが連鎖していくことにより、経済のグリーン化が社会・経済システムに定着するものとなる。そして、そのためには、①事業者による環境配慮経営の実践、②環境負荷や環境配慮の取組について適切な情報公開、③他者による環境配慮経営の評価、④環境に配慮した消費や金融の実行、この4つが有効に機能することが不可欠である（図 2.3.1）。



図 2.3.1 経済活動プロセス連鎖のイメージ

2. 4 グリーンインフラの取組の推進

社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるグリーンインフラに関する取組を推進している。

【解 説】

「グリーンインフラ」という言葉は、自然環境が有する機能を社会における様々な課題解決に活用する考え方で、1990年代後半頃から欧米を中心に使われていたものが、我が国においても、近年、その概念が導入され、様々な研究が進められてきた。また、行政分野においては、国土形成計画（平成27年8月閣議決定）において、初めて「グリーンインフラ」という用語が登場し、その後、社会資本整備重点計画（平成27年9月閣議決定）等においても内容が盛り込まれたところである（図2.4.1）。

これらにおいてグリーンインフラは、「社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能（生物の生育・生息の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等）を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるグリーンインフラに関する取組を推進する」と位置付けられている。

グリーンインフラの「グリーン」は単に緑、植物という意味を持つのではなく、さらに「環境に配慮する」、「環境負荷を低減する」といった消極的な対応を越え、緑・水・土・生物などの自然環境が持つ自律的回復力をはじめとする多様な機能を積極的にいかして環境と共生した社会資本整備や土地利用等を進めるという意味を持つ。また、グリーンインフラの「インフラ」は、従来のダムや道路等のハードとしての人工構造物だけを指すのではなく、その地域社会の活動を下支えするソフトの取組も含み、公共の事業だけではなく、民間の事業も含まれる。

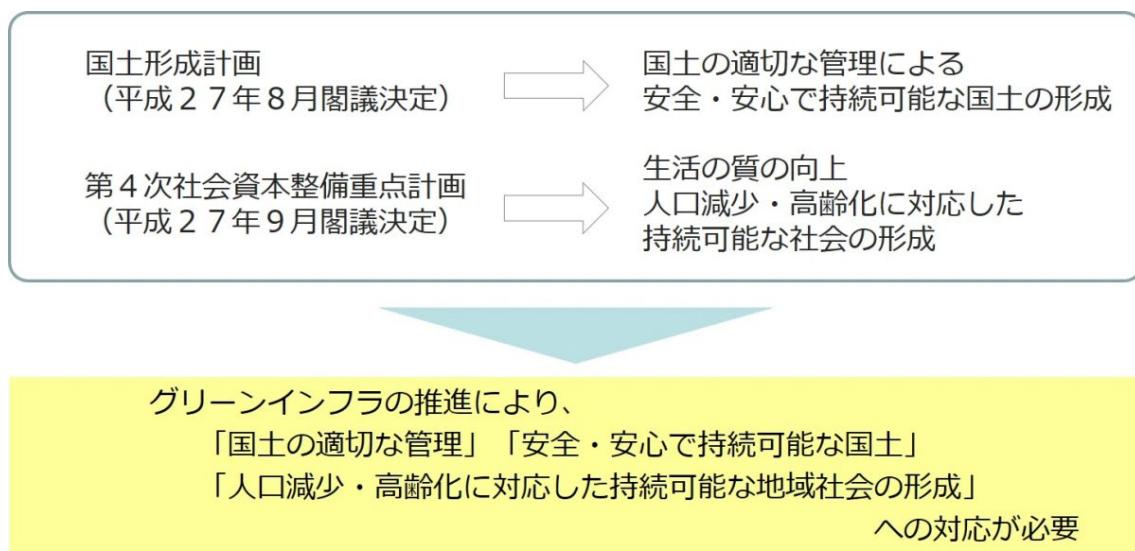


図2.4.1 グリーンインフラの位置付け

2. 5 2050 年カーボンニュートラル

日本は、「2050 年カーボンニュートラル」を宣言した。これに伴い、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を令和2年 12 月に策定した。

【解 説】

日本は、令和2年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」を宣言した。温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入した。従来 の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策をグリーン成長戦略として策定している（図 2.5.1）。

電力については、再生可能エネルギーに極力置き換えるとともに、非電力についても電化を進めていくこととしている。

成長が期待される分野として、14 分野が挙げられており、この中でも、下記の 2 項目を目指しているところである。

⑨食料・農林水産業として、2050 年時目標として、農林水産業における化石燃料起源の CO2 ゼロエミッションの実現。

⑬資源循環関連産業として、2030 年時目標として、循環経済への移行を進め、2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロ。

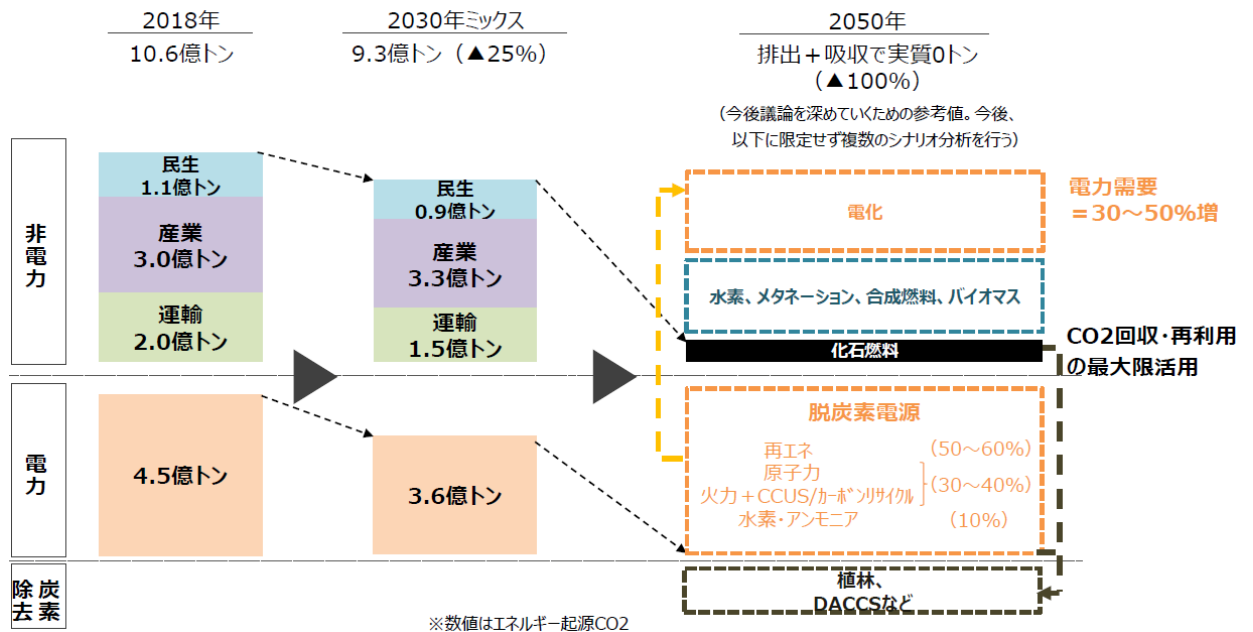


図2.5.1 エネルギー構成のイメージ

2. 6 集排施設と農村を取り巻く状況

集排施設は全国 4,800 地区で稼働しており、小規模分散型といった特性を有しており、この特性を活用し、農村の資源循環に貢献することが期待される。そこで、集排施設の汚泥に加え、農村地域内で発生する生ごみや農産加工残さ等を活用した、小規模メタン発酵システムを実証した。

【解 説】

集排施設という。）は全国約4,800地区で稼働しており、小規模分散型であり農地の近くに立地しているため、生活排水の処理による農業用排水の水質保全及び農村環境の改善といった本来の目的に加え、農村地域内での資源循環を推進し、持続可能な発展に資することが今まで以上に求められていると考える。

2.6.1 集排施設の現状

集排施設の1地区あたりの処理人口は平均で約640人であり、処理人口が1,000人以下の地区数が全体の約8割を占める（図2.6.1）。

また、集排施設の維持管理費の約8割が、汚泥処理費（約6割）と電気料（約2割）を占めていることから、メタン発酵による消化液のバイオ液肥としての利用により、汚泥処理費の削減が期待され、バイオガス発電による電気量の削減が期待される（図2.6.2）。

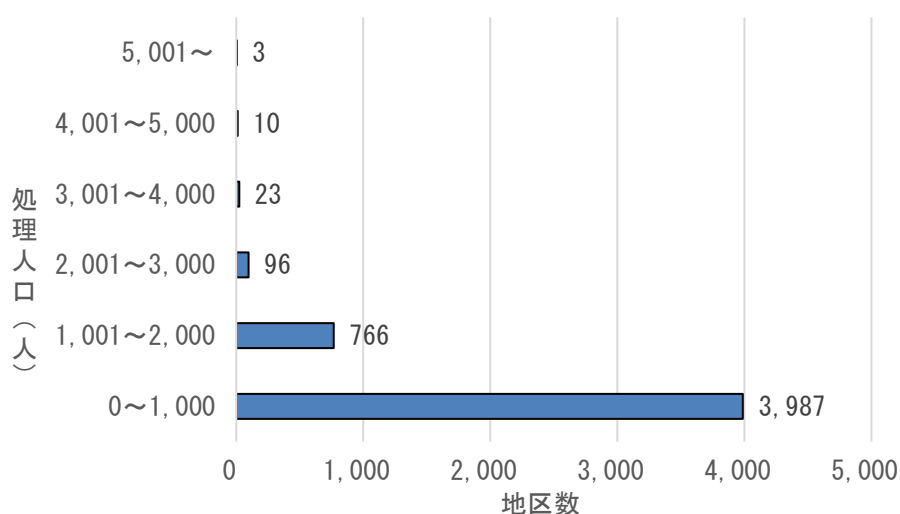


図2.6.1 整備計画人口別農業集落排水地区数（令和元年度末、農村振興局調べ）

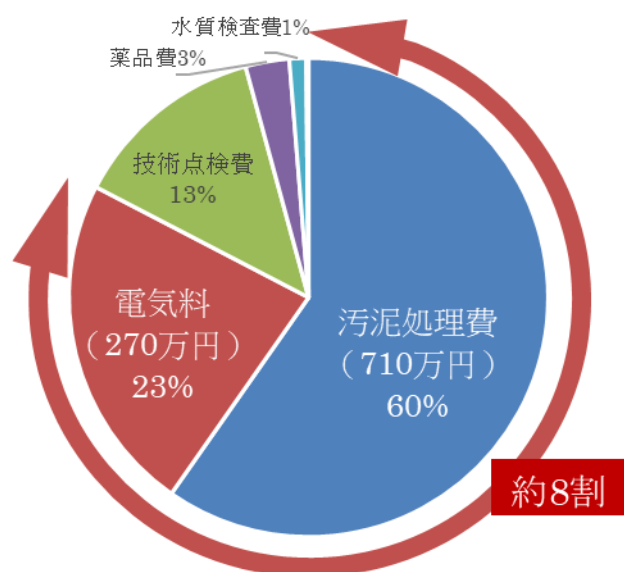


図2.6.2 維持管理費内訳 ((一社)地域環境資源センター算出)
(JARUS-14型、1,000人規模でフル運転した場合 (汚泥処理費を10千円/m³と仮定)
使用電力量料金単価は15円/kWhで算出)

2.6.2 メタン発酵施設の現状

食品産業における食品廃棄物の利用は、「令和元年度食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率(推計値)」によると、約4%はメタン発酵されている。また、前年度と比較すると、メタン発酵は対前年比92.5%と減少しているが、このうち、食品小売業及び外食産業では増加している(表2.6.1、表2.6.2)。

表2.6.1 食品リサイクル法で規定している食品循環資源の再生利用の用途別の内訳
(令和元年度推計値)

区 分	食品リサイクル法で規定している用途別の実施量							
	合 計	肥 料	飼 料	きのこ類の栽培のために使用される固形状の培地	メタン	油脂及び油脂製品	炭化して製造される燃料及び還元剤	エタノール
食品産業計	千 t (100%) 12,229	千 t (16%) 1,975	千 t (75%) 9,187	千 t (0%) 41	千 t (4%) 504	千 t (4%) 473	千 t (0%) 47	千 t (0%) 4
食品製造業	(100%) 11,292	(15%) 1,653	(78%) 8,814	(0%) 40	(4%) 456	(3%) 288	(0%) 38	(0%) 3
食品卸売業	(100%) 134	(57%) 76	(32%) 43	(1%) 1	(3%) 4	(6%) 8	(1%) 1	(0%) 0
食品小売業	(100%) 437	(28%) 123	(41%) 181	—	(7%) 31	(22%) 95	(2%) 7	(0%) 0
外食産業	(100%) 366	(33%) 122	(41%) 149	—	(3%) 12	(22%) 81	(0%) 1	(0%) 0

表2.6.2 食品リサイクル法で規定している食品循環資源の再生利用の用途別の内訳
(令和元年度対前年比)

区 分	食品リサイクル法で規定している用途別							
	合 計	肥 料	飼 料	きのこ類の栽培のために使用される固形状の培地	メタン	油脂及び油脂製品	炭化して製造される燃料及び還元剤	エタノール
食品産業計	100.4%	95.6%	101.7%	—	92.5%	97.9%	110.9%	83.8%
食品製造業	101.2%	99.2%	101.2%	—	91.6%	115.3%	112.6%	102.4%
食品卸売業	87.6%	91.5%	100.6%	—	84.0%	41.7%	205.2%	2.2%
食品小売業	93.4%	86.7%	92.9%	—	104.1%	99.9%	107.2%	92.4%
外食産業	92.1%	70.4%	161.7%	—	104.5%	68.8%	65.8%	57.4%

2.6.3 農村における資源循環の必要性と課題

SDGsを契機とした資源循環の加速化や地球温暖化対策としてのグリーン化を踏まえ、農村内における資源循環の必要性が高まっている。集排施設は小規模分散であり、農地に近いためバイオ液肥による資源循環がしやすい一方、小規模なメタン発酵施設の実績が乏しいといった課題がある。

そこで、平成29年度から令和3年度にかけて農林水産省から官民連携新技術研究開発事業を受託して、集排施設の汚泥に加え、農村地域内で発生する生ごみや農産加工残さ（すだち搾りかすなど）を活用した、小規模メタン発酵システムを実証した。このメタン発酵で生成し、肥料成分を多く含む消化液をバイオ液肥として農業利用することで、集排施設や農村バイオマスといったハード・ソフト両面の活用による、農村地域内での資源循環の取組の実証について、第5章及び第6章において報告する。

<参考資料・文献>

外務省 HP、食料・農業・農村基本計画（令和 2 年 3 月 31 日閣議決定）

2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和 2 年 12 月）

農林水産省 みどりの食料システム戦略 本体資料・参考資料（令和 3 年 5 月）

環境省 環境配慮経営ポータルサイト

グリーンインフラ推進戦略（令和元年 7 月 国土交通省）

バイオマスの活用をめぐる状況（農林水産省 令和 3 年 3 月）

令和元年度食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率（推計値）
（農林水産省・環境省）

3. メタン発酵システムの導入（調査・計画）

3. 1 メタン発酵の概要

メタン発酵は有機性廃棄物を嫌気性微生物の代謝作用を利用して、メタンと二酸化炭素に分解する処理である。

【解 説】

3.1.1 メタン発酵とは

メタン発酵とは、食品廃棄物や家畜排せつ物などの有機性廃棄物を、酸素のない嫌気性状態において、嫌気性微生物の代謝作用を利用してメタンと二酸化炭素に分解する処理のことである（図3.1.1）。排水・廃棄物処理の分野では、嫌気性消化とも言われている。メタン発酵により、廃棄物系バイオマスの適正処理や減量化が進むだけでなく、生成物であるバイオガス及び消化液はエネルギー資源、有機質肥料として利用することができる。

メタン発酵は、発酵温度により高温（53～55℃）、中温（35～37℃）に分けられ、原料中の固形物濃度により大きく湿式と乾式に分けられる。メタン発酵の長所として、エネルギー・肥料回収ができること、好気性の処理に比べて送風動力が不要なこと、汚泥発生量が少ないこと、運転管理が比較的容易なことが挙げられる。短所としては、好気的な処理に比べ有機物分解率が低いこと、窒素化合物やリン酸の除去率が低いこと、処理時間が長いこと、発酵温度の保持が必要なことなどが挙げられる一方、窒素化合物やリン酸の除去率が低いことは消化液をバイオ液肥として利用する場合には長所となる。

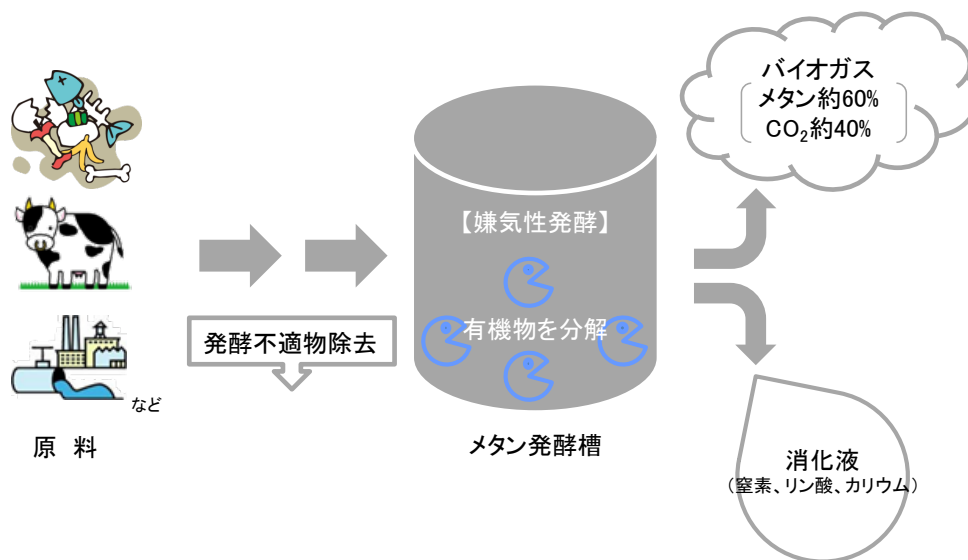


図3.1.1 メタン発酵模式図

3.1.2 メタン発酵施設の概要

メタン発酵施設におけるシステム構成は、原料バイオマスの種類、メタン発酵の目的や方式等により種々のシステムがあり一様ではないものの、受入・前処理設備、メタン発酵設備、エネルギー利用設備等で構成される（図3.1.2）。メタン発酵後の消化液については、そのまま農地還元する場合と固液分離する場合があり、消化液そのものや固液分離した液分を農地還元する場合には、殺菌設備、消化液貯留設備が必要となる。また、消化液や固液分離した液分が肥

料利用できない場合には、液分の処理に消化液処理設備（水処理設備）が必要となる。

なお、メタン発酵についての基本的事項や基礎知識については、この章でも述べているが、末尾にある参考文献（「バイオガス化マニュアル」 日本有機資源協会、「メタン発酵」 野池、李氏ら）を参照すると良い。

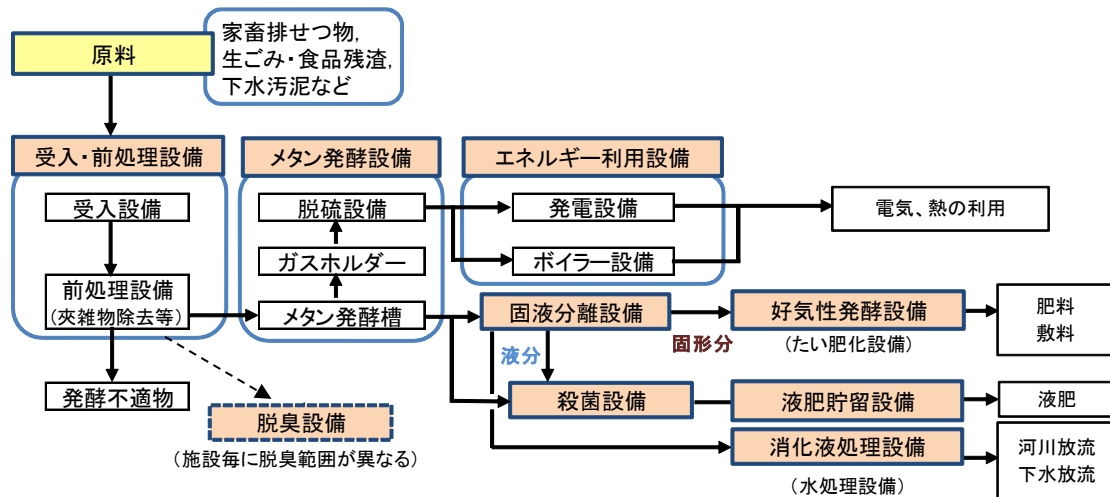


図3.1.2 メタン発酵施設の概要

①受入・前処理設備

原料バイオマスは受入設備・前処理設備を経てメタン発酵槽に投入される。受入設備は受入ピット等で構成し、バイオマス原料の搬入量を把握する。

前処理設備は、夾雑物除去装置等で構成され、夾雑物除去装置では処理工程の機器を損傷させる金属等の夾雑物を除去しメタン発酵しやすい性状に調整する。また、原料の形状が大きい場合には破碎装置を設置することや、原料が家畜排せつ物の場合には前処理としてわら等の粗大な有機物を分離して堆肥化に回すこともある。

受入・前処理設備は、搬入原料をメタン発酵の原料としてふさわしい性状に調整する設備であり、原料の性状に見合った設備構成が必要となる。

②メタン発酵設備

メタン発酵設備は、鉄筋コンクリート造りまたは鋼板製等の水密かつ気密構造とし、原料の投入及び消化液の引き抜き装置、反応槽内の攪拌装置、反応槽の温度調整装置等で構成する。メタン発酵槽の前には、投入原料の性状や流量の調整を目的とした調整槽を設けることが望ましい。

ガスホルダーは、発生したバイオガスを一時的に貯留するための設備である。メタン発酵後のバイオガスには硫化水素などの腐食性ガスが含まれており、燃焼装置などに悪影響を及ぼすため、脱硫装置を設置する必要がある。

③エネルギー利用設備

エネルギー利用設備には、発電設備（ガスエンジン、マイクロガスタービン、燃料電池等）、熱供給設備（ボイラー）などがあり、エネルギー利用及び供給計画により、適切な設備を導入する。

④消化液の利用・処理設備

消化液の利用や処理の方法に応じて必要な設備を設置する。本手引きで紹介する集排施設を活用した小規模メタン発酵システムでは消化液の液肥利用を前提としており、その場合必要となる設備は、下記のうち、（iii）殺菌設備と（iv）液肥貯留設備である。

（i）固液分離設備

メタン発酵後の消化液を固液分離するための設備である。分離後の固形分は堆肥や敷料として利用される場合と、利用できない場合には焼却等の処理が必要となる。

液分は液肥として利用する場合と、液肥として利用できない場合は水処理して河川や下水道への放流が必要となる。

（ii）好気性発酵設備（堆肥化設備）

原料バイオマスの固形分や消化液から脱水分離した固形分を有機物分解することにより、堆肥化する設備である。堆肥化には、堆積方式と攪拌方式があり、堆積方式はコンクリート底盤等に堆肥化原料を堆積し、定期的に切返しを行って堆肥化を行う。

攪拌方式では、堆肥化物を専用の攪拌装置を用いて切返し攪拌して堆肥化を行う。

堆積方式は攪拌方式に比較し低コストで簡易な堆肥製造法である。

（iii）殺菌設備

消化液の液肥利用において、病害菌及び害虫や雑草種子の影響を防止するため、適切な殺菌を行うことが望ましい。殺菌は加熱殺菌が一般的であり、その場合には殺菌対象物が殺菌に適した温度及び時間に十分にさらされる必要がある。

（iv）液肥貯留設備

消化液の使用量には季節変動があり、生産量と使用量の予測精度を上げる必要がある。そのうえで生産量と使用量の差を調整できる液肥貯留槽を整備する。液肥貯留槽は、消化液生産量と使用量（施肥計画により推定する。）を勘案した容量とする必要がある。

（v）消化液処理設備（水処理設備）

メタン発酵後の消化液は高濃度であり、固液分離後の液分も下水、し尿などと比べて高濃度であり、原料によってBODとT-Nのバランスも大きく変わるほか、放流時の水質基準にも留意して、水処理設備を設計する必要がある。

3. 2 事業の検討手順

事業実施について検討する際は、事業全体のフローを把握した上で、地域と調整しつつ、事業計画検討フローに従って検討する。

【解 説】

地域でバイオマス利用のシステムを確立するために、メタン発酵やバイオ液肥の利用のみならずバイオマス活用一般を含む計画策定から実行までの視点を整理する必要がある。図3.2.1は、市町村等が食品廃棄物を主原料として実施する「肥料利用を伴うメタン発酵事業」の検討手順について示したものである。再生利用事業者は、メタン発酵システムの導入を主体的にする者のことである。

再生利用事業計画検討フロー

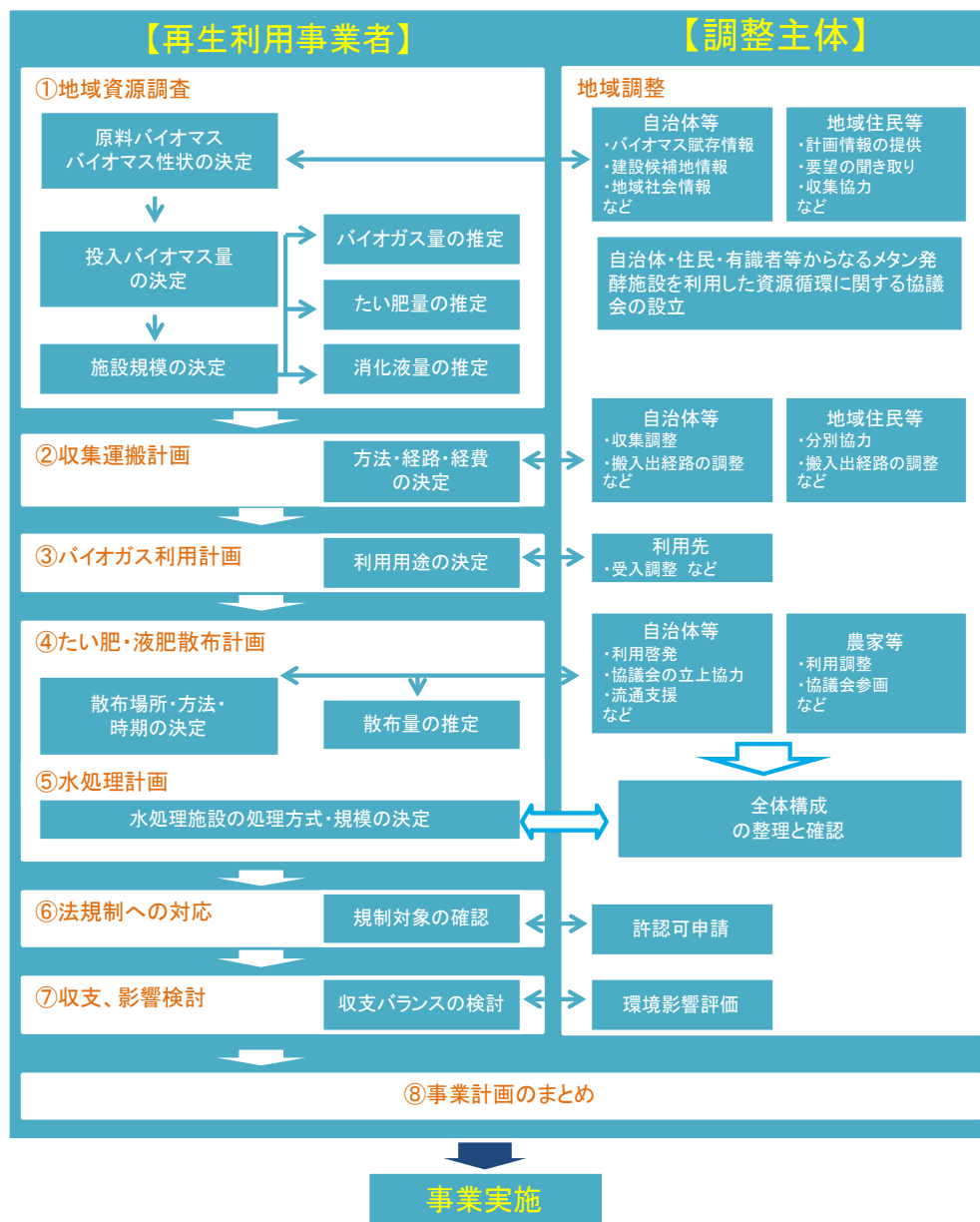


図3.2.1 肥料利用を伴うメタン発酵事業の検討手順

3. 3 事業計画

地域資源調査等を踏まえて、施設規模を検討し、バイオガスや液肥を適切に利用する事業計画を策定する。

【解 説】

3.3.1 地域資源調査

食品工場から発生する加工残さや一般家庭からの生ごみなど、地域での収集範囲内の利用可能なバイオマスの性状や量を把握し、施設規模やバイオガス発生量等を想定することにより、施設計画の基礎となる情報を収集する。

①原料バイオマス量及び性状の把握

農村地域には、食品廃棄物、家畜排せつ物、汚泥等が薄く広く存在する。これらを効率よく収集し、利用するためには、収集対象の選定、収集範囲の設定が必要となる。それらバイオマスの発生量については、自治体の持つ統計情報や聞き取り調査によって把握することが有効である。食品廃棄物では、食品工場から出る加工残さ等に加えて、小売店で発生する廃棄食品や一般家庭で発生する生ごみ等がある。

投入するバイオマスから、バイオガスの発生量、利用熱量等を計算するため、表3.3.1に示す全蒸発残留物(TS、固形物量の指標)、強熱減量(VS、有機物量の指標)等の項目を把握する必要がある。利用するバイオマス全てを対象に分析することが望ましいが、費用、労力を考えると、ある程度の割合でサンプリングし、分析することも可能である。ただし、食品廃棄物の場合、複数の食品工場から搬入する際には、工場ごとに分析を行うことが、後々の搬入量の変動などに対応しやすくなる。

表3.3.1 地域資源調査での原料の分析項目

分析項目				目的
①	pH	potential of hydrogen	水素イオン指数	消化液の酸性・アルカリ性の度合い
②	TS	Total Solids	全蒸発残留物	固形物量の指標、移送、固液分離の有無、液肥の性状、メタン発酵槽への投入濃度の検討
③	VS	Volatile Solids	強熱減量	有機物量の指標、ガス発生量、メタン発酵槽容量の計算
④	T-N	Total Nitrogen	全窒素	液肥散布量、メタン発酵槽への投入濃度の検討
⑤	T-P	Total Phosphorus	全リン	液肥散布量の検討
⑥	T-K	Total Potassium	全カリウム	液肥散布量の検討
※	BOD	Biochemical Oxygen Demand	生物学的酸素要求量	水処理する場合の指標
※	COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量	VS より正確なガス発生量が算出できる。分析方法により COD _{cr} (クロム) と COD _{Mn} (マンガン) がある。VS を測り COD _{cr} の代替指標とすることが多い。

②投入バイオマス量の決定

メタン発酵を安定的に行うためには、投入バイオマスのTSを調整する必要がある。TSが大きくなるとポンプでの搬送に支障をきたしたり、メタン発酵槽に沈殿物が堆積したり、スカムが発生し、施設の稼働停止に至る場合がある。食品廃棄物の場合、一般的にTS20～25%と固形濃度が高いため、希釈水や濃度の低い汚泥等により濃度調整を行い、5～10%程度の濃度で設計される例が多い。

③施設規模の決定

施設規模の設定にあたっては、利用するバイオマス資源の量、施設用地、用水などの必要資源量、エネルギー需要量（熱、電力）などを調整する。そのうち、中核となるメタン発酵槽の容量は、投入バイオマスの処理に必要とされる滞留日数に一日あたりの投入量を乗じて決定する。

④バイオガス量の推定

バイオガスの発生には、VSとVS分解率が関係するため、バイオマスごとに発生量は異なり、同じバイオマスでも一律ではない。食品廃棄物の場合は、VSやVS分解率が比較的大きいため、バイオガスは汚泥等に比べて多くの発生量が見込める。（図3.3.1）

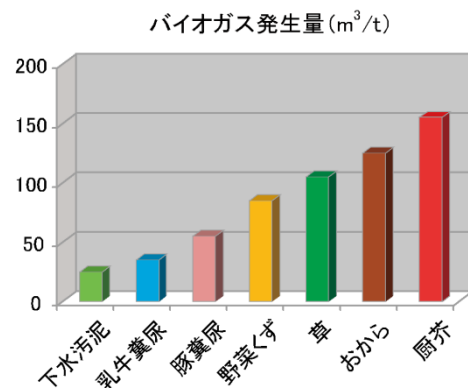


図3.3.1 原料別バイオガス発生量
（バイオガス事業推進協議会資料）

⑤堆肥・消化液量の推定

メタン発酵後の消化液の性状は、有機物の分解により固形物が減量し、性状も安定化している。また、バイオガス発生量と同様に、有機物の分解率も発酵温度やバイオマスの種類によって異なる。本手引きでは、引き抜かれた消化液は、そのまま液肥として利用するシステムを前提としている。しかし、周辺に十分な農地面積がない場合には、消化液を固液分離し、固形分を堆肥化、液分を水処理して河川放流や下水道放流する。メタン発酵過程でメタン発酵槽からバイオガスが発生するが、メタン発酵槽に原料とともに投入された水分は、処理後も変化なくほぼ同量の消化液として発生する。

⑥関係者による協議会の設立

バイオマスの収集や施設の建設、メタン発酵後の堆肥・液肥の利用には、様々な関係者の理解と協力が必要である。そのため、事業者が立案する内容について、お互いの立場で話し合うことや、それぞれが所有する情報を持ち寄る場を設立することが望ましい。その中で、施設の建設だけではなく、建設後の運営も見据えて、地域の活性化など将来展望を含めた話し合いをすることが不可欠である。

3.3.2 収集運搬計画

バイオマスの発生場所、発生量、搬入頻度等を調査検討し、関係者の理解が得られる運搬計画を作成し、そのコストを算出する。

①メタン発酵施設の建設

集排施設内の空き地や隣接地を想定している。収集・運搬の効率については、輸送距離が短いこと、輸送路として幅員が広く、かつ円滑な運行が確保できる公道に接していることが望ましい。収集予定の食品廃棄物発生地点と液肥等の肥料が利用できる農地との距離、周辺環境などを考慮して慎重に選定する必要がある（図3.3.2）。また、メタン発酵施設は、地域の廃棄物処理に欠かせない施設であることから、災害等に対する安全性を検討する。一方で、発電設備を有する施設の場合、独立電源として災害時の避難施設としての機能も期待されており、その点についても考慮して施設計画を作成する必要がある。

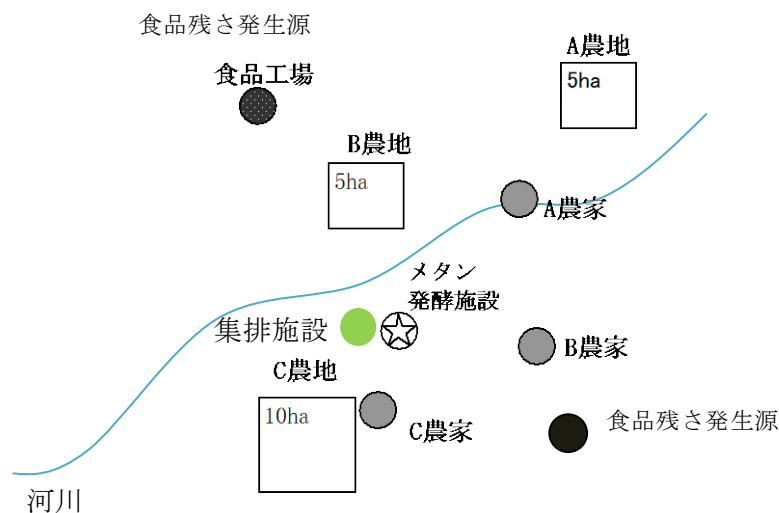


図 3.3.2 メタン発酵施設位置と関連情報の把握

②バイオマスの搬入方法

バイオマスの搬入方法はトラック、バキューム車などがあり、その種類、容量、台数などで受入設備の仕様が大きく変わってくる。想定している搬入車両の大きさに応じた搬入道路や原料受入設備の整備が必要になってくる。また、バキューム車では収集が困難な家畜排せつ物のトラックでの運搬や、臭気が強い幌なしオープントラックの運搬では、輸送中に近隣住民に迷惑がかかることもある。農家や食品工場等の事業者が、自家用トラック等で搬入に協力できるかどうかを確認し、適切な搬入システムを検討することが重要である。

③収集運搬費用の算定

収集運搬には、施設運営者が収集する場合と、他者が収集したものを受け入れる場合がある。収集運搬費用として、運搬費用、車両の維持管理費用、作業員の人件費を積算することとし、他者が収集したものを受け入れる場合は、先方と費用負担を調整する。

④バイオマス処理料金の算定

バイオマスの排出者から徴収する受入処理料金はメタン発酵施設の主要な収入源であり、その徴収は重要な事項である。徴収方式としては、バイオマス原料の重量に課金する廃棄物処理費用方式のほか、施設のランニングコストを参加人数ないし団体で按分し、必要経費として徴収するという考え方もある。排出事業者の経済的な事情を考慮しつつ、環境保全を促進できるよう話し合いを行い、双方が納得できるよう適正な料金体系を設定することが重要である。アンケート及び既存資料を見ると、表 3.3.2 のとおり、事業系食品廃棄物で 1 トンあたり、概ね 2,000 円から 18,000 円となっており、それ以上の受入単価の場合もある。これら受入処理料金は、施設運営の観点や同種の周辺施設の料金等から設定されている。原料受入料金の設定にあたっては、施設の経済性や周辺施設の価格を考慮したうえで設定する必要がある。

表 3.3.2 原料別受入単価

原料	受入処理単価
事業系食品廃棄物	2,000～18,000 円／t
家庭生ごみ	5,000～20,000 円／t
牛ふん尿スラリー	500～1,000 円／t
汚泥類	8,000～20,000 円／t

出典：消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引（平成 28 年 3 月）一般社団法人 地域環境資源センター

3.3.3 バイオガス利用計画

バイオガスは燃料として利用でき、必要な装置を整備することにより、発電、熱利用が可能となる。場内利用や場外利用など、地域のエネルギー利用状況と施設の立地条件を考慮して検討する。

①利用用途の決定

メタン発酵技術には湿式と乾式があり、湿式は TS10%程度の比較的高水分の生ごみ、汚泥、家畜排せつ物などを原料とするのに対し、乾式は TS15%以上の比較的低水分の原料を対象としてメタン発酵を行うという特徴がある。

湿式、乾式に明確な定義はないが、湿式における発酵原料の移送には汎用ポンプが使用できるのに対し、乾式の原料移送はピストンポンプ等、水分が低い物質を移送するための設備となることが多い。メタン発酵により発生するバイオガスはボイラーやガスエンジンなどで熱や電力に変換し、メタン発酵施設場内や近隣施設で利用できるほか、近年では FIT 制度による売電などが行われている。

②熱利用

熱利用には、場内利用または隣接する施設への供給が考えられる。場内利用では、メタン発酵槽の加温や事務室等の建物の暖房などが考えられる。また、場外利用では、隣接する公共施設、ビニールハウス等が考えられる。供給規模や範囲に応じて熱供給事業法、都市計画法等が関わってくるので、関係機関との協議が必要である。

③電力利用

電力も場内電力に用いる場合と、隣接施設への供給、FIT 制度を活用した売電が考えられる。場内利用では、場内機器や電灯等に利用できる。また、施設に隣接する事業所（食品工場、用水機場、集排施設等）があれば、そこに電力を供給することができる。ただし、施設点検時などには、電力供給が一時的に停止することも考えられるので、リスク管理として通常の電力系統も配線しておくべきである。

3.3.4 堆肥・液肥利用計画

堆肥・液肥の利用のためには、農地還元先の面積、作物種類、それら作物に対する散布時期、散布可能量等を把握し、液肥利用計画を作成するとともに、堆肥や液肥の貯留設備の規模等を決定する。

消化液等は毎日生産される一方で、それを散布するほ場では、散布量、時期が限られていることに留意しなければならない。また、散布のための運搬経費や人件費がかかるため、経済性を考えると、より近く、安定的に散布できるようなほ場を探す必要がある。そのためには、地元自治体や農家、農協などの協力が不可欠であり、堆肥・液肥の利用に関する協議会を設立し、利用を促進している地域もある。生産量と利用量の差が少ないほど、貯留槽や水処理のためのコストが抑えられることから、施設運営の経済性にも大きな影響がある。

3.3.5 水処理計画

本手引きでは想定していないが、メタン発酵で発生した消化液の全量を農地還元することが、資源循環および経済性の観点から望ましい。困難な場合には、排水先の水質基準等に従い水処理を行い放流する必要がある。

①施設規模決定

メタン発酵後に発生した消化液のうち液肥として農地還元できない分は、処理を行い放流先に適切に放流しなければならない。全量を水処理する場合は、一日あたりの処理水量は発生するメタン発酵消化液量と等量以上になる。

処理水の水質基準は放流先によって異なる。河川放流の場合は水質汚濁防止法と各地域の上乗せ基準が適用される。このとき一日あたりの排水量の大きさによって、さらに異なる基準が適用されることもあるので留意が必要である。

また、下水道放流のように河川以外に放流する場合も基準値は異なってくる。

②水処理施設でのインプット・アウトプット

水処理計画の例を図 3.3.3 に示す。水処理施設では水（上水や井戸水）を希釈水や洗浄水、薬品の溶解などのプロセス用水として使用することがあるので、その確保ができる場所に施設を建設することが望ましい。

また、水処理で発生する余剰汚泥は脱水されてから水処理施設系外に排出される。この脱水ケーキの発生量と処分方法も検討しておく必要がある。

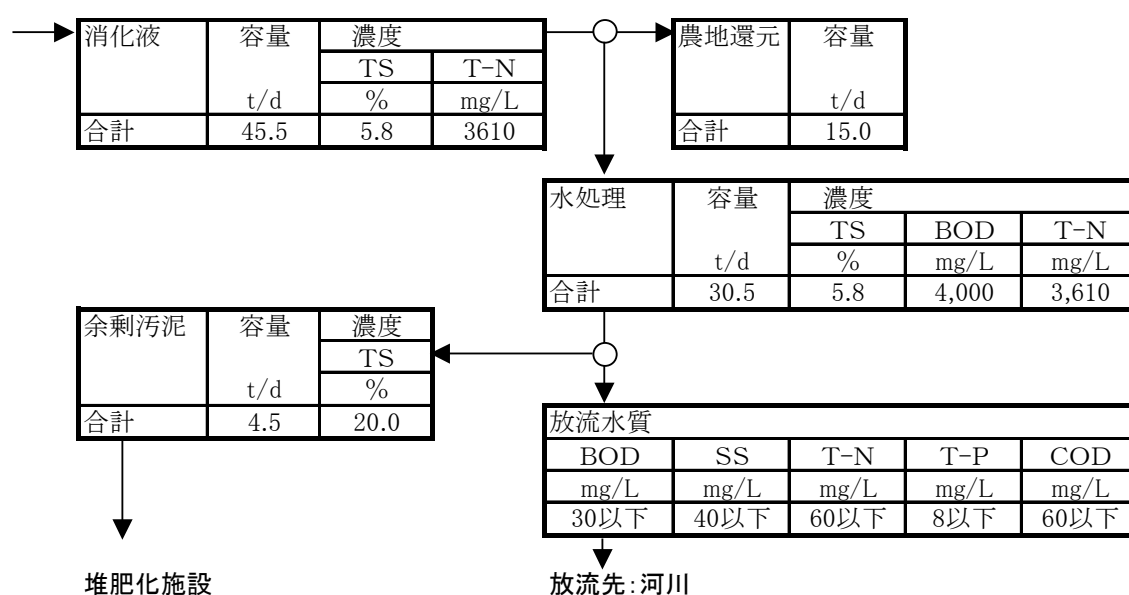


図 3.3.3 水処理計画例

3.3.6 法規制への対応

メタン発酵施設を建設、運営するためには、法令等が各種あるため、施設の規模、内容等に応じて届出等必要な手続きを行わなければならない。

特に、事業系食品廃棄物（一般廃棄物と産業廃棄物がある）の活用にあたっては、これらのバイオマス処理を業として営む際に適用を受ける法令・制度や、処理施設建設時の関係法令、施設運転時の関係法令等、多種・多様なものがある。対象とする事業系食品廃棄物の種類や量、または市町村での一般廃棄物処理計画やバイオマスについての条例等により手続き上の特例措置が設けられている場合もある。

メタン発酵施設におけるバイオガス利用の際の法的規制を表 3.3.3 に示す。消化液を肥料利用するためには、肥料法に基づく届出または肥料登録を行う必要があり、第 4 章に詳細を示す。

表 3.3.3 メタン発酵施設法的規制一覧

	法律名	特記事項等	備 考
環境面	廃棄物処理法	一定規模以上の処理施設の設置に許可が必要	
	大気汚染防止法	ガスエンジンにて燃料を 35L/h(重油換算)以上利用する場合、またはボイラーで伝熱面積が 10m ² 以上の場合は、ばい煙排出の遵守が必要となる。	
	水質汚濁防止法	公共用水域へ放流する場合に適用する。 自治体によって上乘せ基準が設定されている。	
	下水道法	処理水を公共下水道へ排出する場合に適用する。	
	騒音規制法	空気圧縮機及び送風機(原動機の定格出力が 7.5kW 以上のものに限る)は、本法の特定施設に該当し、知事が指定する地域では規制の対象となる。	
	振動規制法	空気圧縮機及び送風機(原動機の定格出力が 7.5kW 以上のものに限る)は、本法の特定施設に該当し、知事が指定する地域では規制の対象となる。	
	悪臭防止法	本法においては、特定施設制度をとっていないが、知事が指定する地域では規制を受ける。	
安全面	消防法	重油タンク等は危険物貯蔵所として本法により規制される。	
	労働安全衛生法	ボイラー利用設備に対し、ボイラー技士が必要となるが、伝熱面積が 6m ² (蒸気ボイラー)、28m ² (温水ボイラー)未満の場合は不要となる。	ボイラー種別：小型ボイラー、取扱資格：事業者による特別教育受講者以上
	肥料法	肥料について届出や品質表示が必要となる。	液肥の成分分析により法基準を満たすことを確認し、届出する必要がある。
	建築基準法	建築物を建築しようとする場合、建築主事の確認が必要である。	
事業面	電気事業法	特別高圧(7,000V 以上)で受電する場合。 高圧受電で受電電力の容量が 50kW 以上の場合 自家用発電設備を設置する場合及び非常用予備発電装置を設置する場合。	
	ガス事業法	ガスの製造能力または供給能力のいずれか大きいものが 300m ³ /日以上である場合、メンブレンガスホルダーはガス事業法技術基準への適合・維持義務が課せられる。	
	高圧ガス保安法	高圧ガスの製造、貯蔵等を行う場合。	
	熱供給事業法	複数の建物(自家消費は除く)へ熱を供給し、加熱能力の合計が 21GJ/h 以上の熱供給者が対象。	

3.3.7 環境影響検討

メタン発酵施設で発生する排ガス、騒音、振動、悪臭の生活環境影響については、事前に調査を行う必要がある。自治体の条例または要綱に沿って実施する場合は、日照障害や電波伝搬障害等の事項についての調査の実施、施設の稼働のみならず工事による影響についての調査も求められることがある。事前の検討を十分に行うよう留意する必要がある。

3. 4 農村バイオマス

農村バイオマスは、集排施設からの集排汚泥のほか、生ごみ、食品廃棄物、農産加工残さ等があり、メタン発酵の原料が農村地域に豊富に賦存している。

【解 説】

3. 4. 1 農村バイオマスの種類

農村バイオマスには、集排汚泥のほか、一般家庭からの生ごみ、食品廃棄物や農産物の非食部、農産加工残さ、家畜ふん尿などがある。

3. 4. 2 集排汚泥

集排汚泥は、污水处理過程で污水からの固液分離により発生した浮遊物質等の固形物と、生物反応工程より生成した排水中の有機物分解に関与した微生物及びその死骸等を主とした集合体との混合物である。

この集排汚泥について、平成 10 年度に(社)日本農業集落排水協会(現在の(一社)地域環境資源センター)が実施した成分の分析整理の結果は表 3. 4. 1 の通りである。肥料としての効果が期待できる窒素、リン酸の含有割合が大きく、エネルギー源である有機物も含まれている。また、微量であるが、多くの種類の金属元素を含んでおり、メタン発酵の必須金属元素の供給源として期待できる。

生物膜法で発生した集排汚泥の方が、金属元素の濃度がやや高くなる傾向があり、これは、浮遊生物法よりも生物膜法の方が集排汚泥の分解が進み、発生する集排汚泥の量が少なくなるためと考えられる。

集排汚泥を肥料、エネルギー源として利用することで、地域の振興が図られることになる。集排汚泥を地域資源としてとらえ利活用していくことが望まれる(図 3. 4. 1)。

表 3.4.1 集排汚泥の成分

区分	項目	単位	平 均 値				全データ数
				生物膜法		浮遊生物法	
有機物関連	強熱減量	%	71.5	67.5	<	76.8	91
	T-C	DS%	36.0	34.8	<	37.7	89
	T-N	DS%	5.67	4.85	<	6.68	89
肥効成分	C/N	DS%	6.9	7.6	>	5.9	89
	P ₂ O ₅	DS%	5.27	5.33	>	5.14	89
	K ₂ O	DS%	0.549	0.421	<	0.704	89
重金属類	ヒ素	mg/DSkg	4.17	4.82	>	3.28	91
	カドミウム	mg/DSkg	2.06	2.38	>	1.61	91
	水銀	mg/DSkg	0.75	0.82	>	0.67	91
	ニッケル	mg/DSkg	20.9	23.9	>	16.8	91
	クロム	mg/DSkg	25.8	31.1	>	18.5	89
	鉛	mg/DSkg	41.0	54.8	>	22.1	89
	銅	mg/DSkg	384	450	>	297	91
	亜鉛	mg/DSkg	831	1015	>	586	91
	鉄	mg/DSkg	6,690	7,370	>	5,950	49
	六価クロム	mg/DSkg	<2.0	<2.0		<2.0	50
	カルシウム	mg/DSkg	12,300	13,400	>	11,300	89
	マグネシウム	mg/DSkg	3,150	2,870	<	3,470	89
	アルミニウム	mg/DSkg	24,100	31,900	>	16,200	49
その他	pH	—	6.9	7.0	>	6.9	89
	水分	%	97.8	97.6	<	98.1	91

平成10年度までに(社)日本農業集落排水協会が分析した延べ91処理施設(実数として66処理施設)の集排汚泥(濃縮汚泥)の成分を整理したもの。(DS:乾燥汚泥)

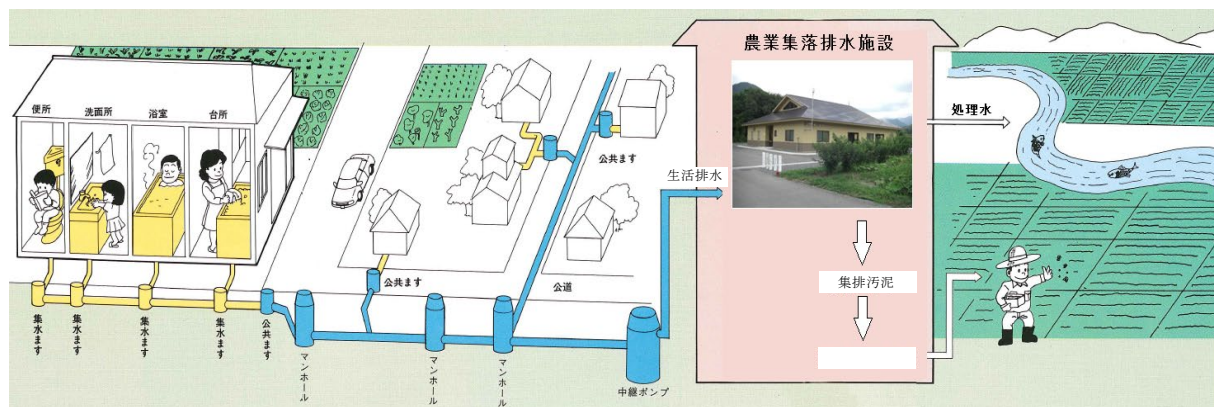


図 3.4.1 生活排水の発生から処理・利活用に至る過程 (イメージ)

近年、報告された 436 施設における集排汚泥の肥料成分は下記の表の通りである。カリはあまり含まれていないが、窒素が最も多く、次いでリン酸が多く含まれ、肥料として必要な成分を豊富に含んでいる。

表 3.4.2 肥料の成分

	T-N (DS%)			P ₂ O ₅ (DS%)			K ₂ O (DS%)		
		生物膜法	浮遊生物法		生物膜法	浮遊生物法		生物膜法	浮遊生物法
データ数	103	39	64	69	21	48	41	10	31
最小値	0.01	0.01	0.74	0.10	0.60	0.10	0.03	0.05	0.03
最大値	13.00	13.00	13.00	7.60	6.20	7.60	2.50	2.50	2.50
平均値	5.08	4.84	5.23	3.66	3.04	3.93	0.46	0.40	0.47

※ DS%に換算できない mg/L 等の単位で記入されたものや、不検出等明らかに誤入力と思われるデータについては、分析対象から除外した。

また、集排汚泥は窒素、リン酸、カリを含んでいることに加え、一般的に次のような特徴を有しており、肥料としての利用に適している。

ア. 集落排水に流入する汚水は基本的に生活排水由来を対象とし、重金属等を含む工場廃水等を対象としていない。このため、有害物質を含有する可能性が低く、また、集排汚泥の性状が予測しやすいので、利用上の安全性、一定の品質基準の確保が容易である。

イ. 汚水の収集範囲は近傍集落であり、集排汚泥性状に変動がある場合の原因究明が容易である。

また、バイオ肥料として利用する場合は、汚水の排出者とバイオ肥料利用者が基本的に同一の範囲内である場合が多く、農村地域内完結型の利用が可能である。

ウ. バイオ肥料として利用する場合は、還元の対象となる農地等が周囲に存在することから、小範囲での利用が可能であり、輸送の問題も少ない。

さらに、バイオ肥料を農地還元する場合、①土づくりによる農業生産の改善、②未利用資源の有効利用、③環境への負荷の低減といった効果が生じる。

3. 5 経済性の検討

消化液をバイオ液肥等として肥料利用することにより、経済的に有利なメタン発酵施設となる。

【解 説】

3.5.1 肥料利用を伴うメタン発酵施設の概要

メタン発酵施設を構成する設備に図 3.5.1 のとおり番号を付した。構成設備は、①受入・前処理設備、②メタン発酵設備、③エネルギー利用設備、④固液分離設備、⑤好気性発酵設備、⑥殺菌設備、⑦液肥貯留設備、⑧消化液処理設備等に大別できる。

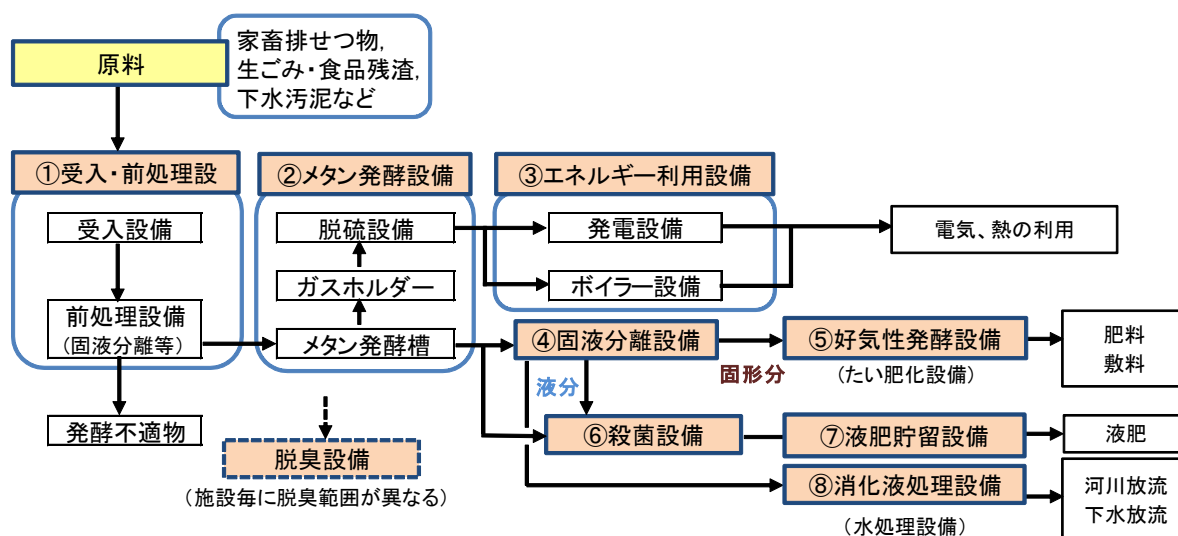


図 3.5.1 メタン発酵施設を構成する設備

消化液の利用ないし処理の方法は、図 3.5.1 を参考として以下の 3 ケースが考えられる。本手引きでは、主にケース 2 を対象として記載している。

（ケース 1）消化液の固形分を肥料利用するケース

メタン発酵後の消化液を固液分離し、固形分を好気性発酵設備で堆肥化した後に堆肥として利用するケース。

（ケース 2）消化液を肥料利用するケース

メタン発酵後の消化液を殺菌し、液肥貯留設備に貯留した後に液肥として利用するケース。

（消化液を固液分離し固形分を堆肥化するとともに、その液分液肥として利用する場合も含む。）

（ケース 3）消化液を肥料利用しないケース

メタン発酵後の消化液を固液分離し、固形分は焼却、液分は水処理するケース。

3.5.2 肥料利用を行っている施設データ

「消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引（平成 28 年 3 月）一般社団法人 地域環境資源センター」において、アンケート調査を行った施設の施設工事費データを図 3.5.2 に示す。

食品廃棄物を対象としたメタン発酵事業は、農林水産省の地域バイオマス産業化整備事業、環境省の廃棄物処理施設整備事業、国土交通省の下水処理施設整備事業、経済産業省の実験事業などで行われているが、本調査でアンケート調査した 47 件のうち、回答を得た 37 件（回答率 78.7%）のメタン発酵施設データは、施設能力最大 140t/日の施設工事費について、数千万円から 65 億円程度であり、工事単価は数百万円/t・日から 3 億 4 千万円/t・日の間に分散している。

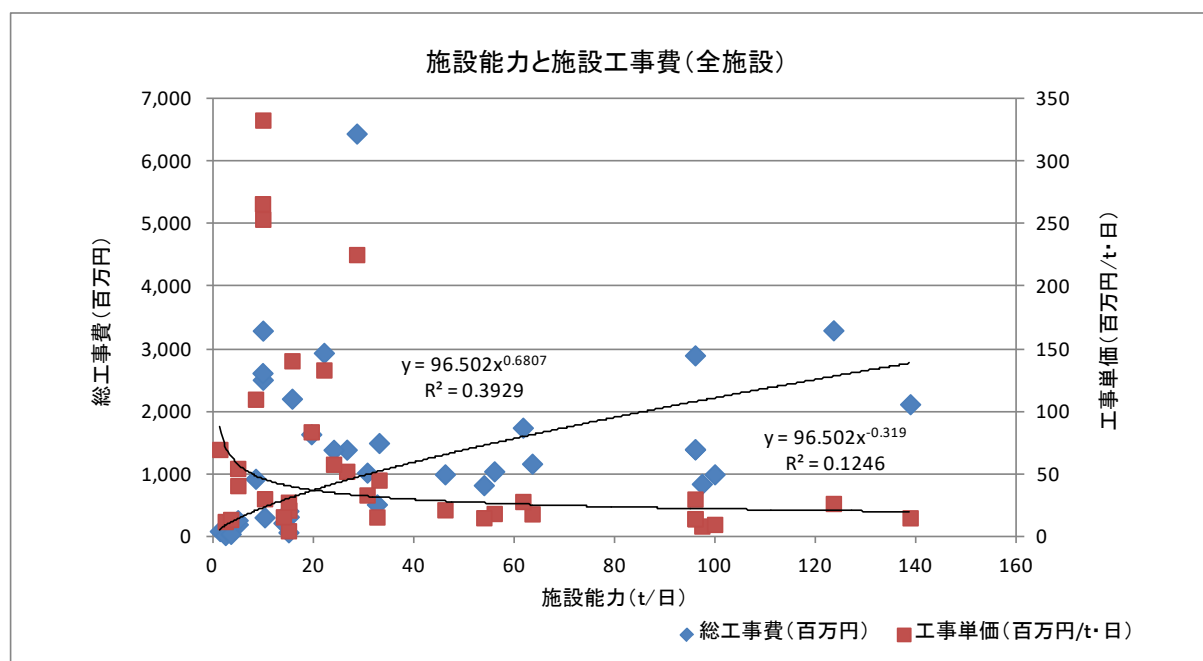


図 3.5.2 メタン発酵施設能力と施設工事費

3.5.3 肥料利用を伴うメタン発酵施設の施設工事費

ここでは、図 3.5.2 に示した調査施設データを、液肥利用している施設と液肥利用していない施設に分類して施設工事費を比較した。

①液肥利用を行っている施設の施設工事費

消化液の水処理を行わずに、消化液を主として液肥利用している施設につき、施設工事費及び施設工事費を処理能力で除した工事単価の関係を図 3.5.3 に示した。

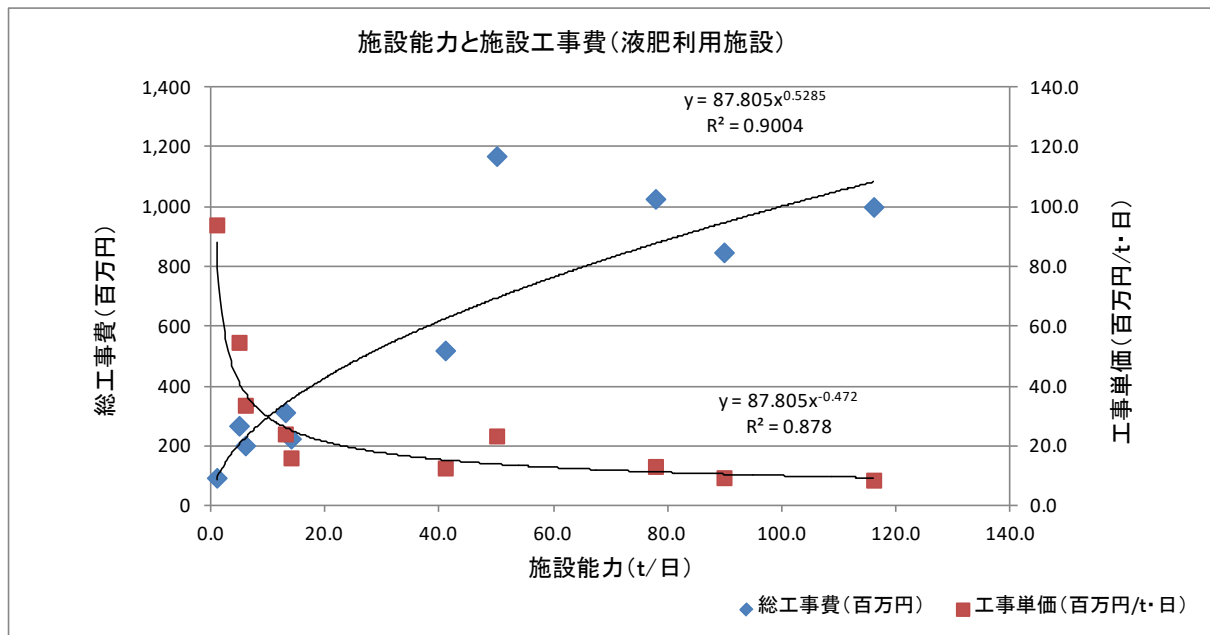


図 3.5.3 液肥利用している施設の施設工事費

図 3.5.3 に示されるように、液肥利用しているメタン発酵施設の工事単価は 1 千万円/t・日から 9 千 5 百万円/t・日の範囲にあり高い相関が見いだせる。また総工事費についても高い相関が見いだせる。

②堆肥として肥料利用を行い、液肥利用を行っていない施設の施設工事費

図 3.5.2 の施設の内、環境省の廃棄物処理事業等では、施設仕様がより複雑であり工事費も高価なものが散見される。従って、登録再生利用事業者の施設情報を対象に、高価な施設工事費データを除外したデータについて、総工事費及び工事単価の関係を図 3.5.4 に示した。

図 3.5.4 より、堆肥として肥料利用しているメタン発酵施設の総工事費は数億円から 33 億円の範囲にあり工事単価には高くはないものの相関が見いだせた。

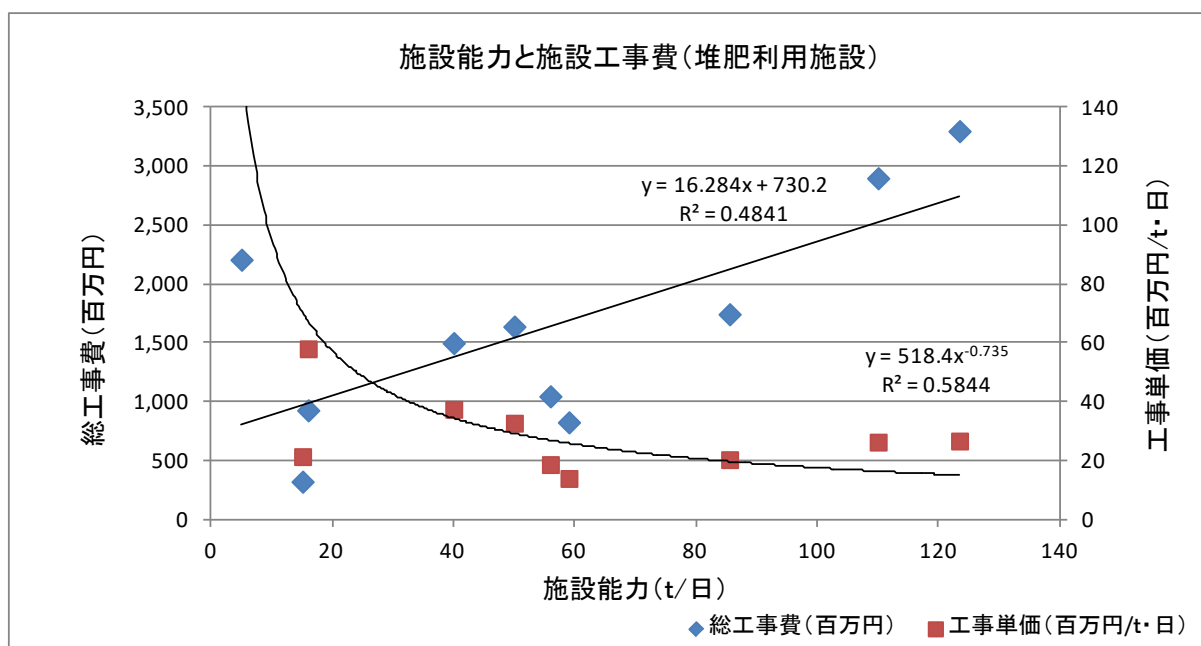


図 3.5.4 堆肥利用している施設の施設工事費

3.5.4 肥料利用を行っている施設の維持管理費

調査した施設の中で維持管理費について回答が得られた施設は少数であった。回答いただいた施設の回答結果の概要は以下である。

①収入

収入として挙げられた費目は以下である。

家畜排せつ物の処理単価：牛ふん尿スラリー；12,340 円/頭・年または 500～1,000 円/t

事業系食品廃棄物の処理単価：2,000～18,000 円/t

汚泥類：8,000～20,000 円/t

また、維持管理費データが得られた事業では、原料の処理収入が収入合計に占める割合は、液肥利用施設で 0～68%、堆肥利用施設で 49～100%であった。廃棄物処理業では全収入が処理費であるケースもある。

FIT による売電を行っている施設の売電収入が収入合計に占める割合は、小規模の施設を除くと、液肥利用施設で 12～68%、堆肥利用施設で 27～55%であり、大きな収入源になっている。

液肥ないし堆肥利用に係る収入は、液肥利用施設で 1～18%、堆肥利用施設では 0.9%が最大である。液肥利用施設では水処理を行わず積極的に肥料利用することを推進している結果であることが伺われる。

②支出

液肥利用を行っている施設の液肥利用に係る経費は 5～7 百万円/年であり、支出合計の 6～12%であった。

3.5.5 液肥利用施設の経済性

図 3.5.3 及び図 3.5.4 を基に液肥利用施設整備のメリットを試算する。

図 3.5.3 の液肥利用施設では、施設工事費 (Y) と施設能力 (X) の間に、 $R^2=0.9004$ (相関係数 $R=0.9489$) という高い累乗相関が見出せた。

一方、図 3.5.4 に示すコストデータは $R^2=0.4841$ (相関係数 $R=0.6958$) であり相関は見出せるものの図 3.5.3 ほど高い相関が見いだせない。

このため、0.6 乗比例による経験則を用いて堆肥化及び水処理を行っている施設のコストを試算する。0.6 乗比例による経験則は、同一仕様で整備された施設であれば、そのコストは、施設規模の 0.6 乗に比例するという経験則である。

【参考】0.6乗比例に係る経験則

化学プラント建設工事の分野では、建設工事価格はプラント規模の0.6乗に比例するという経験則が良く知られている。0.6乗則技法は、同種の機器・装置・設備・プラントの価格が、能力（規模）の0.6乗に比例するという経験則から、ある能力の機器（装置・設備・プラント）の価格が既知の場合に、他の任意の能力の機器（装置・設備・プラント）の価格が推算できることになる。

C_A = A機器（装置・設備・プラント）の建設価格

C_B = A機器と同種のB機器（装置・設備・プラント）の建設価格

S_A = A機器の能力（規模）

S_B = B機器の能力（規模）とすれば、

$$C_B = C_A \times (S_B / S_A)^{0.6}$$

この積算技法によれば、機器（装置・設備・プラント）の能力（規模）を大きくするほど単位能力あたりの価格は割安になり、機器の能力を小さくするほど単位能力あたりの価格は割高になる。実績データや収集したデータのうちから適切なものを用いて、能力－価格曲線を近似し、両者の関係を定量化できれば、その方法によることがより精度の高い積算方法といえる。

(廃棄物処理施設建設工事等の入札・契約の手引きより抜粋し改変)

図 3.5.4 の施設の中から、①登録再生事業施設 A (40t/日、15 億円) と、②登録再生事業施設 B (123t/日、33 億円) を基準として、施設工事費が施設規模と 0.6 乗で相関するとして規模ごとの施設工事費を試算した。施設 A、施設 B とも主な原料は生ゴミである。

その試算結果を図 3.5.5 に示す。

食品廃棄物のメタン発酵施設は比較的高濃度の原料を対象としているが、図 3.5.5 は食品廃棄物を原料として肥料利用及び水処理を行うメタン発酵施設の施設工事費の目安にできる。

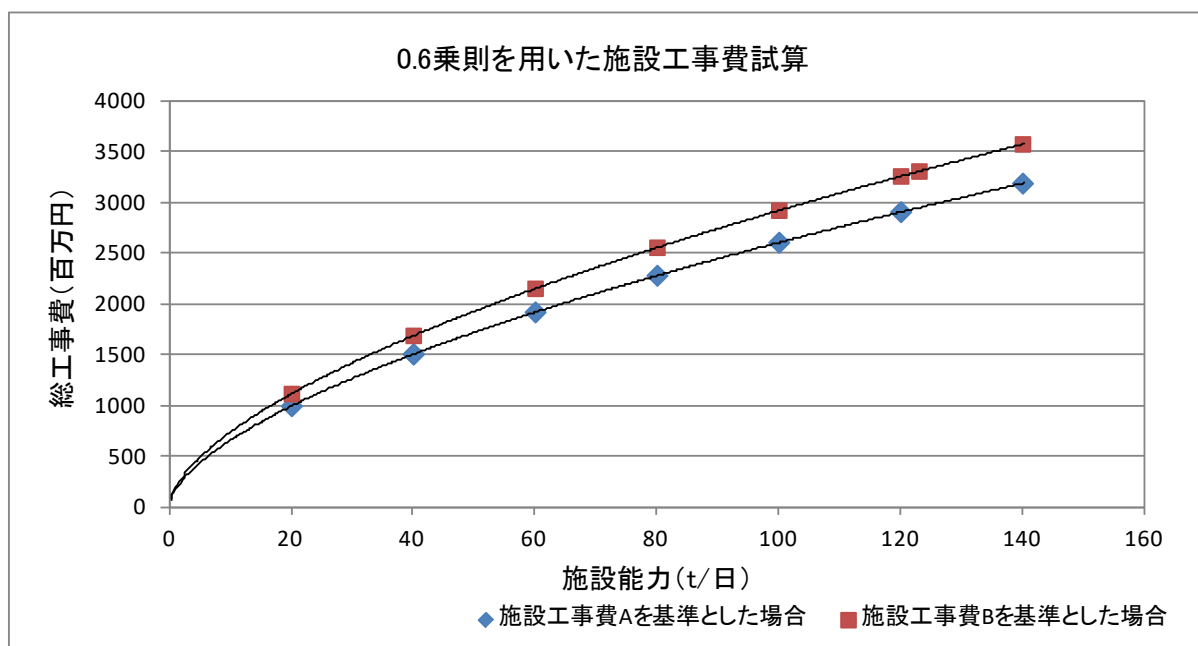


図 3.5.5 堆肥利用を行う施設の工事費の試算

100t/日の施設について図 3.5.3 と図 3.5.5 を比較すると、図 3.5.3 の液肥を利用している施設の施設工事費は 10 億円程度、堆肥利用している施設の工事費は 25 億円強であり、積極的に液肥利用することにより工事費を下げられる可能性が高い。

液肥を利用している施設は原料が家畜排せつ物（特に乳牛ふん尿）である施設に多いこと、及び、施設整備の方針や地域性の違いもあるため、一概に液肥利用すれば施設工事費が安価になるとは言えない。しかし、液肥利用を行わない場合、消化液の固液分離に用いる薬剤費が嵩むなどランニングコストの増大要素もあり、液肥利用を検討することによりイニシャルコスト、ランニングコストの両面でコストを抑えられることとなる。

液肥を利用する施設では液肥利用のための液肥運搬車や液肥散布車が必要であることから、それらの購入コストを鹿追町の車両購入費データを用いて試算した。

鹿追町の車両購入費は 1 億 7 千 4 百万円であり、施設全体の施設工事費 8 億 4 千 8 百万円の 20.5%に相当する。表 3.5.1 では、液肥利用を行う場合、施設規模に比例して施設工事費の 25%の車両購入費が必要であると仮定し、車両購入費を液肥利用施設の施設工事費に加算して比較した。

その結果、液肥利用施設では、液肥運搬・散布車両の購入費を加算しても堆肥化設備や水処理設備等を保有しないことにより、20～140t/日の施設規模について、堆肥利用施設（堆肥化設備や水処理設備を保有）の 50%弱の施設工事費で建設が可能であると試算できた。

建設費は設備仕様によって大きく異なるため詳細な仕様検討が必要であるものの、メタン発酵施設では、液肥利用を検討することにより大きなコストメリットを生じる。

表 3.5.1 堆肥利用と液肥利用の施設工事費の試算

施設規模 t/日	堆肥利用施設工 事費 (百万円) a	液肥利用施設工 事費 (百万円) b	液肥運搬・散布 の車両購入費 (百万円) c	液肥利用施設の 工事費割合 (百万円) (b+c)/a
20	990	428	45	0.48
40	1500	617	89	0.47
60	1913	764	134	0.47
80	2273	890	179	0.47
100	2599	1011	224	0.47
120	2900	1102	268	0.47
140	3181	1196	313	0.47

【参考】ごみ処理施設建設費と施設規模との関係

国内のごみ処理施設の建設費と施設規模の関係は図 3.5.6 のような状況にある。

ごみ処理施設の t/日あたりの建設費は 100t/日規模の場合 5～7 千万円/t・日であり、図 3.5.5 における 100t/日規模のメタン発酵施設工事費 2.5～3 千万円/t・日の 2 倍以上である。

現在、ごみ処理事業においても焼却施設とメタン発酵施設のコンバインド化による効率化が推進されており、今後、食品廃棄物について肥料利用を伴うメタン発酵事業を検討する意義は大きい。

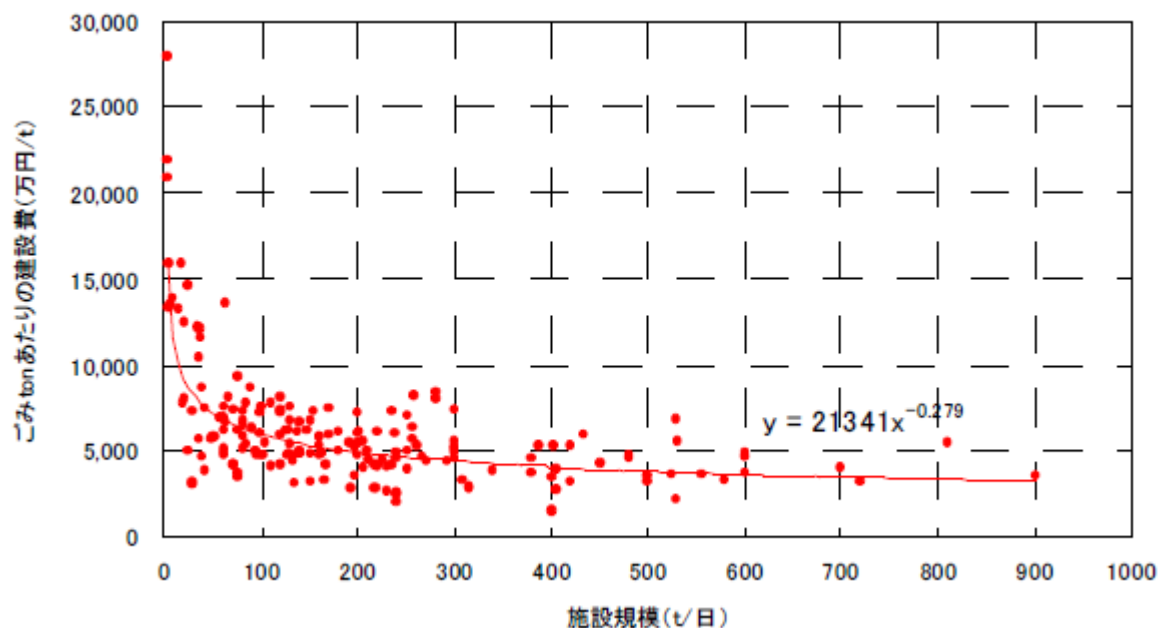


図 3.5.6 ごみ処理施設建設費と施設規模との関係

〈参考資料・文献〉

メタン発酵利活用施設技術指針（案） 社団法人 地域資源循環技術センター（平成 17 年 8 月）

汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版 社団法人 全国都市清掃会議

廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル（詳細版）（案） 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課（平成 27 年 3 月）

バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第 4 版）独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2015 年 9 月）

メタン発酵 野池 達也、李 玉友ら（2009 年 5 月）

バイオガス化マニュアル 一般社団法人 日本有機資源協会（平成 18 年 8 月）

3. 6 グリーン化に向けた可能性

農村地域は、再エネ生産ポテンシャルが高く、都市域とは異なるエネルギー消費形態を有する農村地域ではそれに合わせたシステムの構築が望まれる。小規模メタン発酵システムを導入することにより、地域内の資源循環や地球温暖化防止のみならず、平常時及び非常時に自立分散型エネルギーとしての利用が可能となる。

【解 説】

農山漁村における豊富な地域資源を最大限活用する再エネ生産・利活用については、さらなる低コスト化・効率化に向けた技術開発、農山漁村に適する持続的な地産地消型エネルギーシステム（図 3.6.1）の構築が求められている。

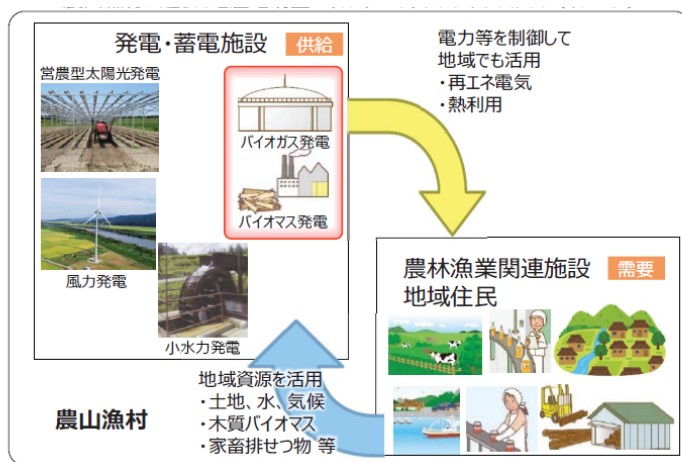


図 3.6.1 農山漁村に適した地産地消型エネルギーマネジメントシステム

（出典：農林水産省 みどりの食料システム戦略 参考資料）

3.6.1 農村地域のグリーン化（地産地消型エネルギーマネジメントシステム）

農林水産省が 2021 年 5 月に取りまとめた、みどりの食料システム戦略では、農山漁村地域の脱炭素化を後押しするため、小水力発電、地産地消型のバイオガス発電施設の導入、バイオ液肥（バイオガス発電の副産物である消化液）の活用推進等、再エネの地産地消の取組を推進する、としている。これにより、再エネ生産だけでなく、地域のバイオマス（生ごみ、作物残さ）を焼却処理からメタン発酵に切り替えること、また、発酵残さの消化液（バイオ液肥）を化学肥料の代わりに利用することによる副次的な温室効果ガス削減効果も見込める。

3.6.2 集排施設の特徴と可能性

集排施設は、本来は污水处理施設であるが、その特徴（立地、土地・建屋、電気関係、汚泥発生等）を考えると、それ以外の活用も考えられる。集排施設の特徴を踏まえ、それに各種技術を組み合わせることにより、実現できる可能性があるシステムとして図 3.6.2 が考えられる。

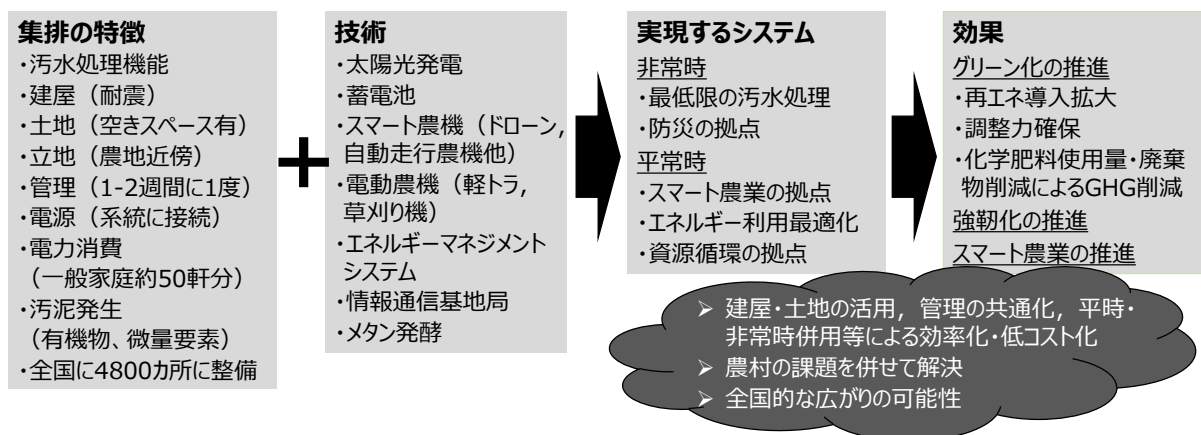


図 3. 6. 2 集排施設の特徴とそれを踏まえた活用の可能性

3. 6. 3 集排施設の強靱化・グリーン化（非常時）

○防災の拠点としての活用

農村地域の生活インフラである集排施設は、緊急時にもその機能が発揮できるよう施設の強靱化を最優先すべきである。集排施設は電源を確保すれば、非常時であっても最低限の処理が継続できる。自立的に運転できる太陽光発電と蓄電池、それらを管理するエネルギーマネジメントシステムの導入によりその達成は可能である。また、可搬式の蓄電池や電気自動車を整備することにより、周辺住民に対して携帯電話の充電等最低限の非常用電源の供給も可能である。

3. 6. 4 集排施設の強靱化・グリーン化（平常時）

①スマート農業の拠点・エネルギー利用最適化システムとしての活用（平常時）

災害用に太陽光発電や蓄電池を整備することは重要であるが、非常時専用の設備にすると費用対効果が低い。利用率向上のためには、平常時での利用を進める必要があり、平常時の利用として、スマート農業機器、電動農機具への利用が考えられる。従来、農地では電源の必要性は低かったが、スマート農業の普及とともに電源を必要とする機器が増えている。また、自動草刈り機等の電動農機具も普及してきている。集排施設は、農地周辺に立地していること、敷地に比較的余裕があること（電動農業機械の駐車、ドローンの基地）、建物が比較的高いこと（情報通信基地局）、系統電源につながっていること、など、今後さらに加速すると思われるスマート農業の拠点として活用可能な施設であると言える。

また、蓄電池、エネルギーマネジメントシステムを活用して、集排施設内のエネルギー利用を最適化（電気料金が安い時間帯での購入、デマンドコントロール）することも可能である。

②資源循環の拠点としての活用（平常時）

集排施設では、水処理過程で污泥が発生し、その処理が維持管理費の約 6 割を占めている。その污泥と地域バイオマス（生ごみ、食品加工残さ、作物残さ）を原料としたメタン発酵の導入が本手引のように考えられる（図 3. 6. 3）。污泥と地域バイオマスとの混合メタン発酵は、再エネ源であるメタンを取り出せ、集排施設の維持管理費削減、地域の廃棄物削

減、CO₂削減を同時に実現できる。さらに、発酵残さである消化液（バイオ液肥）を液肥として利用することにより、化学肥料使用量削減や地域内の資源循環にも貢献する。

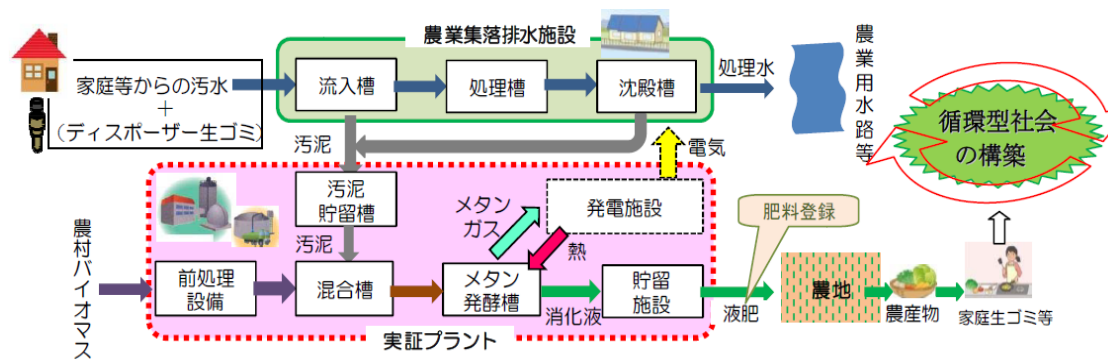


図 3.6.3 集排施設を活用した小規模メタン発酵システム

〈参考資料・文献〉

農林水産省 みどりの食料システム戦略（令和3年5月）

3. 7 肥料の品質の確保等に関する法律（肥料法）

肥料取締法は、肥料の品質の確保等に関する法律（昭和 25 年 5 月 1 日法律第 127 号）（以下、「肥料法」という。）に改正された。これに伴い、肥料の公定規格等が変更されたので、留意が必要である。

【解 説】

3. 7. 1 肥料法の概要

①肥料とは

肥料とは、肥料法において、①植物の栄養に供すること又は植物の栽培に資するため土壌に化学変化をもたらすことを目的として土壌に施される物、②植物の栄養に供することを目的として植物に施されるものと定義されている（図 3. 7. 1）。

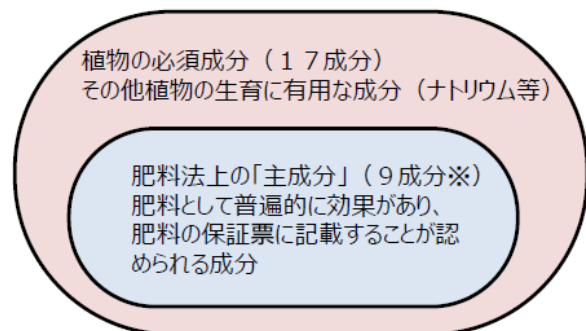
■肥料の定義

○植物の栄養のため土壌に施用されるもの
➡ 窒素肥料、りん酸肥料 等

○土壌の化学性の改善のために土壌に施用されるもの
➡ 石灰質肥料 等

○植物の栄養のため植物に施用されるもの
➡ 葉面散布肥料 等

■植物の必須成分と肥料における主成分の関係



※ N、P、K、Ca、Mg、Mn、Si、B、S
(有効石灰と有効硫黄はR3.12.1に追加)

図 3. 7. 1 肥料の定義と主成分

②肥料制度のしくみ

肥料制度は、図 3.7.2 のとおり、登録・届出制度（汚泥肥料は登録）による事前の品質確認、表示制度による流通時の品質保証、立入検査制度による国・都道府県の定期的な検査によって構成される。

肥料は特殊肥料と普通肥料に大別される。米ぬか、堆肥などの特殊肥料以外のものはすべて普通肥料に分類される。普通肥料は、さらに登録肥料、指定混合肥料及び仮登録肥料に分かれている。

集排汚泥を原料とする肥料は、普通肥料であり、このうち「公定規格の定めのある肥料」となる。

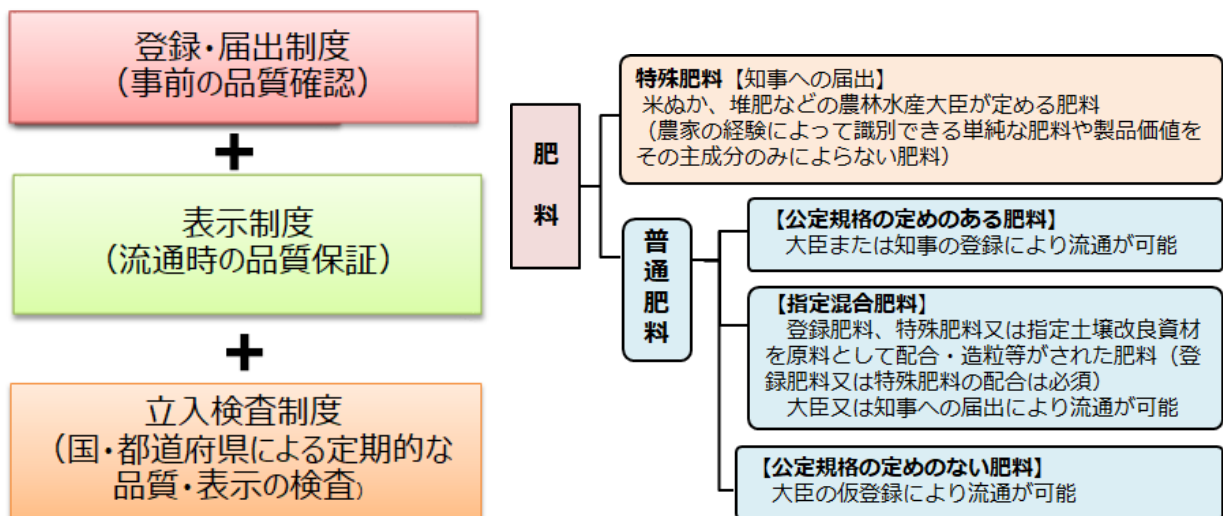


図 3.7.2 肥料制度の仕組み（制度の構成・肥料の区分）

3.7.2 汚泥肥料に係る法改正経緯

汚泥肥料に関する法改正として重要なものは、平成 11 年及び令和元年の法改正であり、以下に経緯を示す。令和元年の肥料法改正については、令和 2 年及び令和 3 年の 2 度に分けて施行された。

①肥料取締法の一部を改正する法律（平成 11 年法律第 111 号）の施行

（平成 12 年 10 月 1 日施行）

- ・し尿汚泥肥料の汚泥肥料は、特殊肥料から普通肥料へ移行
- ・肥料登録申請書の記載事項の指定、生産業者保証票の様式の指定

②肥料取締法の一部を改正する法律（令和元年法律第 62 号）の施行

（令和 2 年 12 月 1 日施行）

- ・法律の題名の変更
- ・肥料の配合に関する規制の見直し（汚泥肥料対象外）

(令和3年12月1日施行)

- ・公定規格の見直し(汚泥肥料対象)
- ・原料管理制度の導入(汚泥肥料対象)
- ・表示基準の整備(汚泥肥料対象)

3.7.3 肥料取締法改正の概要

以下に令和元年の肥料取締法改正の概要と汚泥肥料に係る取り扱いを以下に示す。

① 令和2年12月1日施行

- ・法律の題名の変更

肥料事業者自身による原料管理の義務付けや、届出肥料の拡大に伴い、法律の題名を「肥料取締法」から「肥料の品質の確保等に関する法律」に変更した。

- ・肥料の配合に関する規制の見直し(汚泥肥料対象外)

普通肥料と特殊肥料を配合した肥料や、肥料と土壌改良資材を配合した肥料などの生産が可能となったが、汚泥肥料は対象外となっている。

② 令和3年12月1日施行

- ・公定規格の見直し(汚泥肥料対象)

肥料法の定義では、普通肥料は特殊肥料以外のものとされているが、具体的には、種類ごとに規格(公定規格)が定められている。規格数は、現行の169規格から、改正法施行後(令和3年12月1日以降)は138規格になった。

汚泥肥料は規格が減少し、改正前はし尿汚泥肥料、工業汚泥肥料、汚泥発酵肥料等の公定規格が存在したが、改正後は汚泥肥料に統合された。

3.7.4 肥料取締法改正の詳細

汚泥肥料に関する肥料法改正について、項目ごとに詳細を示す。ただし、現時点の法改正の運用を含んでおり、今後見直し等がなされる可能性があるので、ご了解の上、参考としていただきたい。

①肥料の配合に関する規制の見直し(汚泥肥料対象外)

肥料の配合に関する規制の見直しがなされたが、汚泥肥料は対象外となっている。一方、食品廃棄物等を原料とした菌体肥料は対象となっている。したがって、現状及び将来の活用に向けて内容を示す。

これまで、登録済みの肥料のみを配合した肥料は、指定配合肥料として届出制で生産が可能であったが、令和2年12月からは、造粒等の加工を行ったものや、特殊肥料を配合した肥料、土壌改良資材を配合した肥料についても、届出で生産することが可能となった(図3.7.3)。

今回の改正では、汚泥肥料を混合する場合は可能とならなかった。バイオ液肥に化学肥料を混合してNPKを事前に調整して施用することにより、施肥の省力化も可能となるため、今後、混合可能となることが期待される。

■ 指定混合肥料の種類

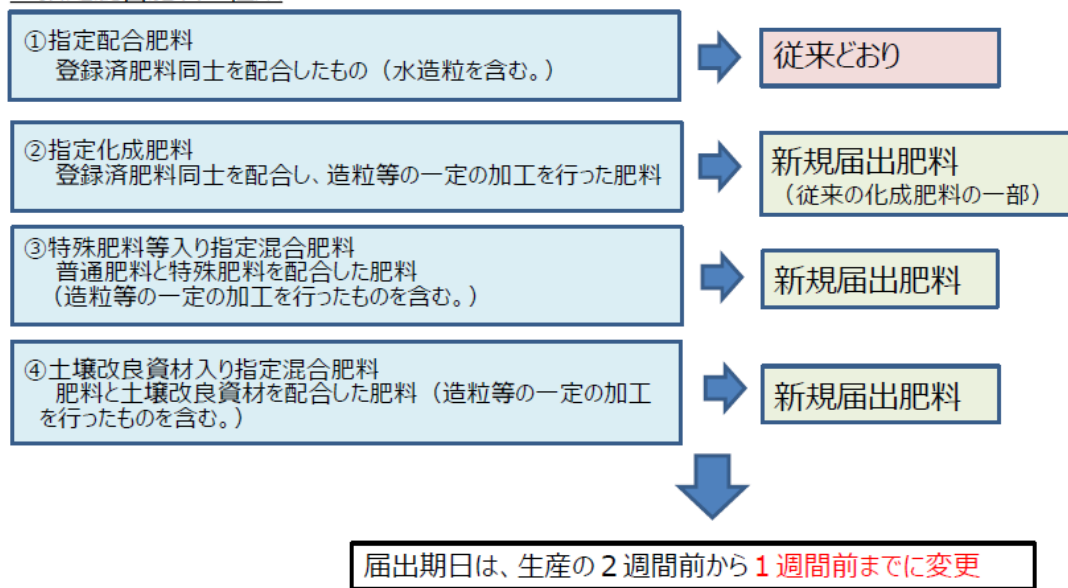


図 3.7.3 指定混合肥料の種類

② 公定規格の見直し（汚泥肥料対象）

汚泥肥料は規格が減少し、改正前はし尿汚泥肥料、工業汚泥肥料、汚泥発酵肥料等の公定規格が存在したが、改正後は汚泥肥料に統合された。また、事例としてはほぼないと思われるが、集排施設の排水等から脱りん工程を経て得られる、リン酸カルシウム等のリン酸化合物は、副産リン酸肥料として整理してきたところだが、施行後は副産肥料となった（図 3.7.4）。

旧規格名	新規格名
下水汚泥肥料	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	
旧規格名	新規格名
副産窒素肥料、副産りん酸肥料、 副産加里肥料他	副産肥料

図 3.7.4 公定規格見直し（汚泥肥料、副産肥料）

工業汚泥肥料のうち、食料品製造業等の廃水を活性スラッジ法により浄化する際に得られる菌体を濃縮、消化、脱水又は乾燥したものを「菌体肥料」として新たな規格とした。また、汚泥灰を熔融したものは、重金属のリスクが小さくなることから、他の熔融したものと規格を統合された（図 3.7.5）。

旧規格名	新規格名
工業汚泥肥料の一部	菌体肥料
旧規格名	新規格名
熔成けい酸りん肥 熔成汚泥灰けい酸りん肥	熔成けい酸りん肥
熔成複合肥料 熔成汚泥灰複合肥料	熔成複合肥料

図 3.7.5 公定規格見直し（食品製造業、汚泥灰関係）

③原料帳簿の備え付け

生産する肥料にかかる帳簿を備え付け、必要な事項を記載することとなっている。令和3年12月からは、原料帳簿の備え付けが新たに追加された（図 3.7.6、図 3.7.7）。

具体的には、生産する肥料について、①その原料等の表示が適正であること②その肥料に適正な副産原料が使用されていることを、事業者自身が確認できるとともに、第3者がこれらの適正性が確保されていることを迅速且つ確実に確認できることを目的に原料帳簿の備え付けが義務付けられた。帳簿の保存期間は2年間である。

（原料帳簿の対象とされた肥料）

- ① 原料、材料、異物を保証票等に記載する肥料
- ② 原料規格のある肥料
- ③ 分析結果による、主成分の含有量表示をしている肥料

（原料帳簿への記載事項）

- ① 使用している原料、材料、異物の種類、名称(異物は除く)、使用量、入手先
- ② 発生工程図や植害試験の結果等、原料規格への適合性を確認できる書類
- ③ 表示の根拠となる分析結果

副産肥料（旧副産りん酸肥料）は、①及び②に該当

汚泥肥料（旧し尿汚泥肥料）は、①、②及び③に該当

図 3.7.6 原料帳簿の対象と記載事項

汚泥肥料（受け入れ量＝原料投入量）の場合の記録



- 生産現場の実態に応じ、受け入れ量、投入量等からその最終製品の原料順位となる原料順序の根拠がわかるような資料を備え付ける。
- 上記の場合、し尿汚泥＞牛ふん＞木くずというように毎日の受け入れ原料の大小関係が変わらないので受け入れ記録を原料帳簿とする。

図 3.7.7 原料帳簿の記載例

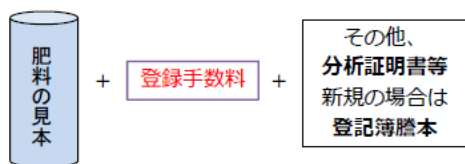
④普通肥料の登録

公定規格に定めのある肥料を生産又は輸入する場合は、銘柄ごとに登録を受ける必要がある（図 3.7.8）。

■肥料登録の手続き

肥料登録申請書（2部）

- 氏名及び住所
- 肥料の種類及び名称
- 保証成分量その他の規格
- 生産する事業場の名称及び所在地
- 保管する施設の所在地
- 植物に対する害に関する栽培試験の成績
- その他農林水産省令で定める事項



■肥料登録等の流れ

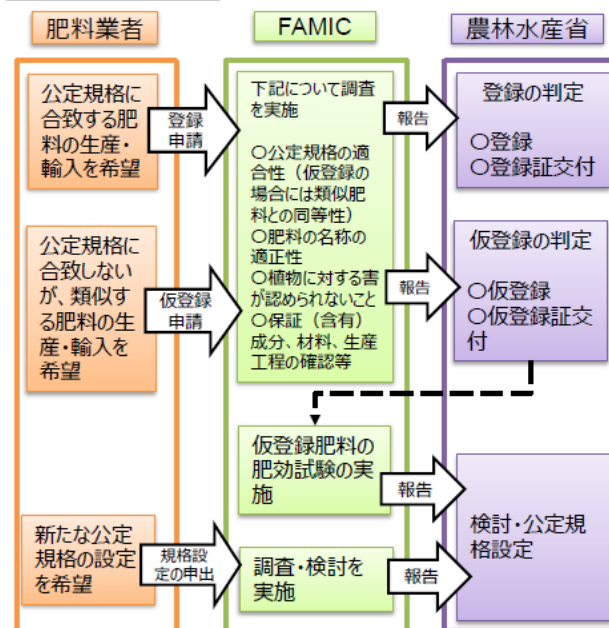


図 3.7.8 肥料登録の手続及び流れ

※FAMIC とは、独立行政法人農林水産消費安全技術センターのこと

⑥登録または届け出書類の提出先

これまで、登録済みの肥料のみを配合した肥料は、指定配合肥料として届出制で生産が可能であったが、令和2年12月からは、造粒等の加工を行ったものや、特殊肥料を配合した肥料、土壌改良資材を配合した肥料についても、届出で生産することが可能となった。

汚泥肥料は以下の「①普通肥料」に原則該当するため、FAMIC に肥料の登録をする必要がある（図3.7.9）。

■ 普通肥料又は特殊肥料の登録又は届出先

肥料の種類		登録又は届出	書類の提出先
普通肥料	① 普通肥料（②を除く）	登録	FAMIC※
	② 有機質肥料、石灰質肥料、 県域を超えない農協等が生産する普通肥料	登録	都道府県知事
	③ 指定混合肥料（④を除く）	届出	国（地方農政局）
	④ 都道府県知事登録肥料のみを原料とする 指定混合肥料	届出	都道府県知事
特殊肥料	⑤ 特殊肥料	届出	都道府県知事

※各都道府県を管轄する独立行政法人農林水産消費安全技術センター本部又は地域センター

■ 普通肥料の登録の手引きの参照先

http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub2_1st/sub2_1st.html

（FAMICのHP [HOME](#) > [肥料・土壌改良資材](#) > [肥料各種申請手続き](#) > [登録の手引き](#)）

図3.7.9 普通肥料の登録及び届出先

⑦各種変更届出書類等の一覧

肥料生産業者は、品質を適正に管理し、肥料法その他の法令を遵守しなければならない。また、登録事項や届出事項に変更が生じた場合は、所定の様式に基づき都道府県又は所管の農政局に届出を提出する必要がある（図3.7.10）。

■ 肥料法に基づく届出等が必要な事項

届出事項	提出する書類	提出先
登録肥料関係	肥料登録事項変更届、肥料登録証書替交付申請書、失効届等	国（地方農政局）
指定混合肥料の届出関係	届出事項変更届、事業廃止届等	国（地方農政局）
特殊肥料の届出関係	事業廃止届等	都道府県
肥料生産事業場略称関係	届出事項変更届等	国（地方農政局）
委託生産関係	委託生産変更届、委託生産廃止届等	国（地方農政局）
肥料販売業務関係	届出事項変更届等	都道府県
外国生産肥料関係	国内管理人変更届、届出事項変更届、事業廃止届等	国（地方農政局）

図3.7.10 肥料法に基づく届出先

⑧保証票の添付義務と様式

普通肥料は、見た目では品質や効果を判断することが困難であることから、保証票の添付が義務付けられている（図 3.7.11）。ただし、事故肥料、輸出用、工業用又は飼料用の肥料は、保証票を添付する必要はない。

■保証票の種類

◆生産業者保証票
登録肥料（污泥肥料等以外）
登録肥料（污泥肥料等）
仮登録肥料
指定配合肥料
指定化成肥料
特殊肥料等入り指定混合肥料
土壌改良資材入り指定混合肥料
◆輸入業者保証票
◆販売業者保証票

■生産業者保証票の様式

○
生産業者保証票
登録番号
肥料の種類
肥料の名称
保証成分量（％）
原料の種類
材料の種類、名称及び使用量
混入した物の名称及び混入の割合（％）
正味重量
生産した年月
生産業者の氏名又は名称及び住所
生産した事業場の名称及び所在地

図 3.7.11 保証票の種類と様式

令和 2 年 1 2 月から、保証票の表示について、一部の表示を簡素化することができることとなった。これにより、多少の原料の使用量等の変動があっても、保証票の印刷を変えなくても良い場合があり、肥料製造のコスト削減が期待される。

⑨肥料法改正後の肥料登録

従前は、肥料で植害試験を行っていたが、副産肥料では、製品での植害試験がなく、一部の原料で行うこととなった。また、汚泥肥料等では、原料又は製品で植害試験を行うこととなった。

改正後の植害試験の対象は以下の3タイプとなる。

したがって、汚泥肥料の場合、汚泥肥料（本手引きではバイオ液肥）または原料となる汚泥について実施すれば良いこととなる（図 3. 7. 12）。

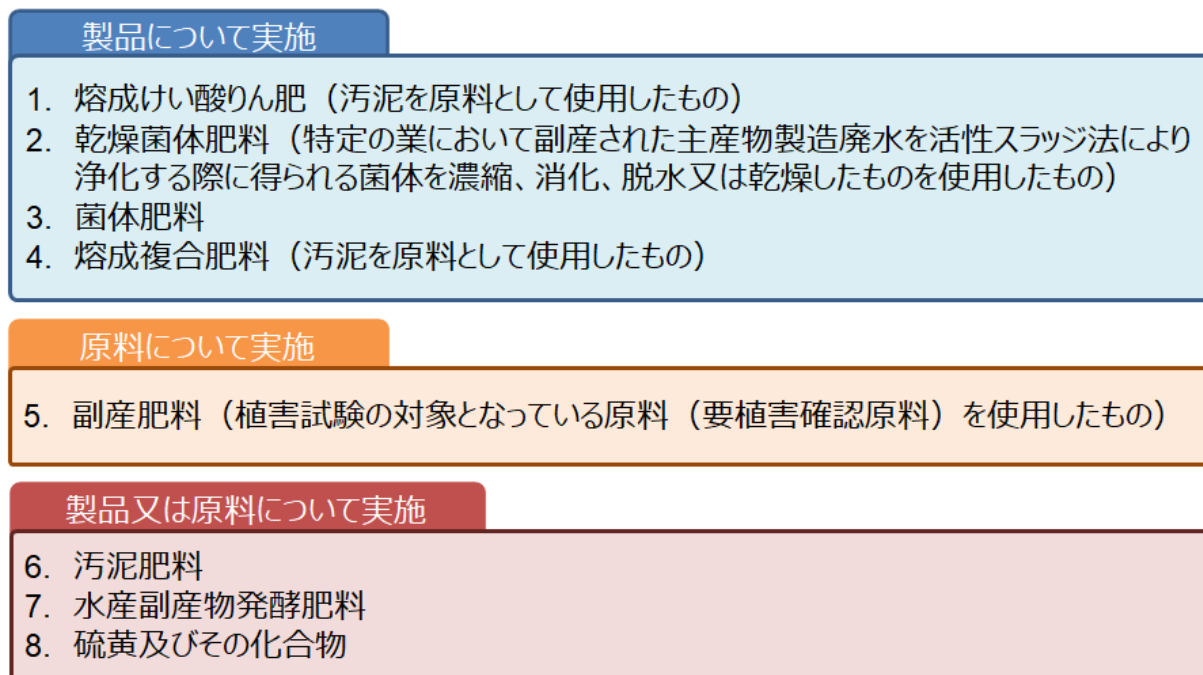


図 3. 7. 12 改正後の植害試験の対象

改正後の大きな変更点は以下である。

(i) 対照区がなくなったこと

対象となる肥料を用いた試験を実施する必要がなくなった。

(ii) 2 倍量、3 倍量、4 倍量といった施肥量を分けることもなくなったこと

同一の施肥量で 8 ポット試験を実施する。

(iii) 供試試料区平均値 < 標準区平均値、かつ、両区の有意差 ($p < 0.05$) がある場合には、異常とする条件を設定したこと

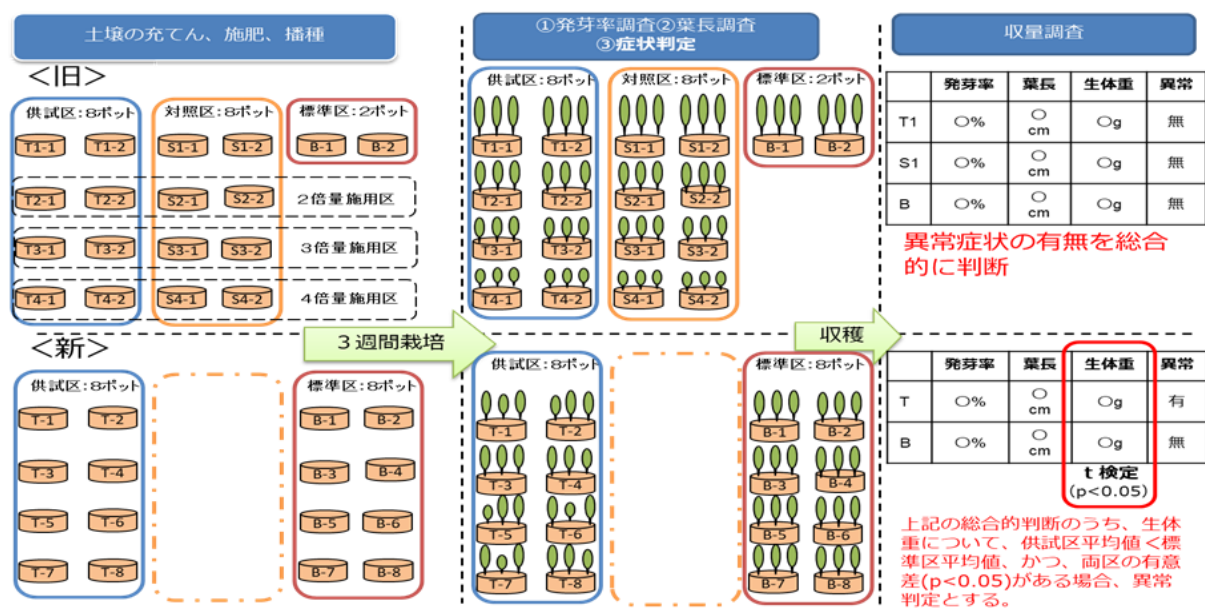


図 3.7.13 改正後の植害試験の変更点

<参考資料・文献>

肥料制度の見直しに関する説明会（農林水産省 令和3年7月）

4. 小規模メタン発酵施設の導入促進（具体的事項）

4. 1 標準的な発酵方式と規模

農村地域向け小規模メタン発酵施設は、主として集排汚泥と地域の生ごみ等を原料とし、発酵方式は中温・湿式メタン発酵方式とする。施設の規模は、複数施設で対象人口 1,000 人程度以上とする。

【解 説】

4.1.1 メタン発酵原料

小規模メタン発酵施設の原料は、集排施設から発生する汚泥と、農村地域の一般家庭から排出される生ごみ類とする。処理区域内または近傍の食品工場、商業施設、公共施設等で発生する食品廃棄物や、農作物の非食部、農産加工残さは原料とできる。

4.1.2 発酵方式

メタン発酵の発酵方式は、大きく分けて発酵温度により中温と高温、固形物濃度により湿式と乾式に区分される。発酵温度による比較を表 4.1.1 に示す。

表 4.1.1 発酵温度による比較

	中温	高温
発酵温度	35～37℃	53～55℃
特徴	・安定性が高く、負荷変動やアンモニア阻害に強い ・有機物の分解速度が遅く、メタン発酵槽の容量が大きくなる ・消化液の液肥利用する際は、殺菌のため別途加温が必要となる	・有機酸の蓄積やアンモニア阻害に弱い ・有機物の分解が速く、メタン発酵槽の容量を小さくできる ・発酵過程で雑草種子の死滅や大腸菌の減少の効果がみられる

湿式と乾式の違いは、発酵槽内の固形物濃度である。湿式は固形物濃度約 15%以下で、原料の移送に一般的なポンプ等が使用できる。一方、固形物濃度 30～40%の乾式メタン発酵では、液状の有機物のほかに紙類や剪定枝等を原料にできるが、原料の輸送に高压ピストンポンプやコンベヤ等が必要になるなど、湿式と乾式とでは原料の輸送機器やその他構成機器の仕様が異なっている。また、乾式のメタン発酵で、紙類や剪定枝等を原料とする場合、分解率を上げるため高温とすることが多い。

集排汚泥と生ごみを発酵する場合は湿式が適しており、農村地域向け小規模メタン発酵施設では、維持管理性も考慮し、中温・湿式メタン発酵方式を基本とする。

4.1.3 対象規模

集排施設から発生する汚泥 1,000 人分の場合の物質・エネルギー収支試算条件の例を表 4.1.2 に示す。

集排汚泥からはバイオガス発生量が少ないため、施設運転のための電力とメタン発酵槽の加温熱量を得るためには、集排施設から発生する集排汚泥に加えて、同人数分以上の生ごみが必要となる。

生ごみの前処理機器や発電機の仕様、建屋、電気設備を考慮すると、ごく小規模の施設の場合には設備費が割高になり、経済的に合わない。そのため、処理対象人口 1,000 人以上の集排汚泥と、1,000 人以上の生ごみ、食品廃棄物、農産加工残さ等を原料としてメタン発酵処理を行うことが望ましい。したがって、平均的な処理規模の集排施設であれば 1～2 地区をまとめた処理区域を想定することが必要となる。試算例は、4.7 経済性の評価において示す。

表 4.1.2 物質・エネルギー収支試算条件の例

項目	単位	数量
集排人口	人	1,000
生ごみ収集人口	人	1,000
家庭生ごみ	t / 日	0.226
事業系食品廃棄物・農産加工残さ	t / 日	1.3
集排汚泥量	t / 日	1.539
集排汚泥 T S 濃度	%	2.0
集排汚泥の V S / T S 比	—	0.80
集排汚泥の V S 分解率	%	15
食品廃棄物（家庭＋事業系）の収集量	t / 日	1.526
食品廃棄物の T S 濃度	%	20 (15～25)
食品廃棄物の V S / T S 比	—	0.90
食品廃棄物中の発酵不適物量	%	10
食品廃棄物の V S 分解率	%	80
メタン発酵槽滞留時間	日	30
メタン発酵槽の V S 負荷	VS-kg / (m ³ ・日)	3.0
分解 V S あたりのメタンガス発生量	m ³ /分解 VS-kg	0.5
バイオガス中のメタン濃度	%	60
発電効率	%	32

4. 2 受益範囲と施設規模

メタン発酵原料の収集範囲と消化液の農地還元先が一致することにより、生ごみの分別収集等で協力を得やすいと考えられる。集排施設の処理区は集落単位で決められていることも多いため、集排施設の処理区に基づいてメタン発酵施設の受益範囲を検討することは有効である。

集排汚泥や生ごみの発生量は、地域や既存の利用先の有無などにより異なるため、実際の原料の発生量や液肥の利用先を考慮した上で、受益範囲や規模を決める必要がある。

【解 説】

4.2.1 受益範囲

①農業集落排水処理区の活用

集排施設の処理区は、集落を基本単位としている。施設の日常管理を行うなど地域社会と結びついた集排施設の処理区を基としており、メタン発酵の原料の供給元と消化液の利用先が一致して資源循環が形成されると、メタン発酵処理施設を受容しやすくなるものと期待される。メタン発酵施設を計画する上で、集排施設の処理区は、受益範囲を考える上での基本単位となり得る。

②メタン発酵施設の配置

メタン発酵施設は、集排施設と隣接または一体とすることを検討する。

集排施設と組み合わせることにより、用地取得が容易になる、汚泥の運搬が容易になる、メタン発酵施設の排水を集排施設で処理できる等の利点がある。

複数の集排施設の中に大規模な施設がある場合には、汚泥運搬の経済性を考慮して、その施設にメタン発酵施設を併設し、そこを中心として汚泥を収集する体系（集約型）とすることが有利となりやすい。また、そのような大規模施設が複数存在する場合には、それぞれに集約する体系（複数集約型）が有利となりやすい。集約型と複数集約型のイメージを図4.2.1に示す。

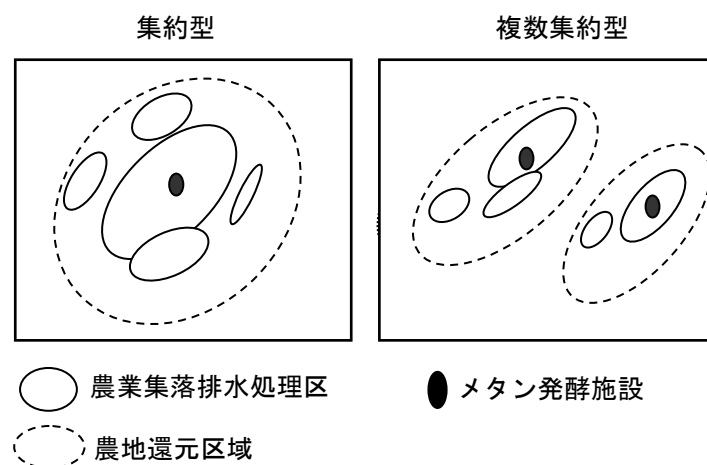


図 4.2.1 メタン発酵施設配置の概念図

4.2.2 規模算定時の留意事項

小規模メタン発酵施設の規模を算定する際に、原料となる集排汚泥と生ごみの収集量以外にも留意する必要がある。

①集排汚泥

(i) 農地還元の実施状況

集排汚泥に限らず汚泥の農地還元が既に実施されている地域では、消化液をバイオ液肥として施用することに対する抵抗感も少ないと考えられる。

(ii) 液肥の施肥許容農地面積

発生する消化液を全量バイオ液肥として施用できない場合には、メタン発酵施設の規模を施肥可能量に合わせて検討することも必要になる。

(iii) 集排施設の供用率

集排施設から発生する汚泥量は、計画通りとは限らない。

供用率が低い場合には汚泥発生量も減少するため、実態および将来の傾向を調査・反映させる必要がある。

(iv) 集排施設の流入水質

集排施設から発生する汚泥量は、計画通りとは限らないため、流入水の BOD 濃度が計画値よりも低い場合も多い。機能強化を実施する地区では、流入水の BOD 濃度の実績があるため、将来大きく変わる見込みがない項目については、実態の数値に基づく計画が必要である。

(v) 集排施設の処理方式

集排施設の設計指針では、処理方式ごとに BOD 除去率と汚泥転換率が定められている。そのため処理方式が異なると、同程度の規模の施設でも汚泥発生量も異なる。

(vi) 集排汚泥の処分方法と処分費

集排施設とメタン発酵施設の組合せによる最大の経済的なメリットは、集排汚泥をメタン発酵の原料とし、さらにバイオ液肥として農地還元することにより、集排汚泥の処分費を削減できることである。そのため、現状での集排汚泥の処分方法と処分費を確認する必要がある。

集排汚泥の処分方法が変わることにより、従来集排汚泥を処理していた施設（例えば汚泥再生処理センター）では、処理量に変化して運転方法に大きな変更が生じる可能性があるため、処分施設関係者との調整も必要である。

②生ごみ

(i) 家庭生ごみ

生ごみはバイオガス発生量の多い、メタン発酵に適した原料である。小規模メタン発酵施設での生ごみ受け入れにより、既存の一般廃棄物処理施設で原料生ごみ量が減少し、運転に支障をきたさないか確認する必要がある。

(ii) 事業系食品廃棄物や農産加工残さの受け入れ

事業系食品廃棄物は安定して大量の原料を確保することができる。既に再利用されている場合、それを止めてメタン発酵の原料にすることは難しい場合が多い。

一方、農作物の非食用部などの農産加工残さは有効利用されずに処分されている場合も多く、生ごみよりも比較的、原料として入手しやすい。

地域内におけるメタン発酵に適したバイオマスの賦存量を調査し、メタン発酵の原料として積極的に利用することが望ましい。

4. 3 バイオマスの収集

集排汚泥は重力濃縮装置で得られる固形物濃度 1.5～2%程度の濃縮汚泥を基本とする。複数の集排施設の汚泥を利用する場合等は、機械濃縮後の汚泥を運搬することが有利な場合もある。一般家庭から生ごみを収集する場合は、分別収集を行うことが望ましい。

【解 説】

4.3.1 集排汚泥

汚泥濃縮槽等の重力濃縮装置で得られる濃縮汚泥は固形物濃度 1.5～2%程度であるため、本手引では濃縮汚泥の固形物濃度を 2%とする。

メタン発酵施設と集排施設の距離が遠い場合や、施設間の交通状態がよくない場合には、機械濃縮後の汚泥を運搬することが有利な場合もある。また、規模が小さい地区が多数ある場合には、車載の機械濃縮装置を使用して、各集排施設を巡回する方法もある。

4.3.2 生ごみ

家庭から排出される生ごみをメタン発酵の原料に用いる場合は、分別収集を原則とする。

収集する生ごみの分別状態が悪いと、異物を取り除くための機器が必要となって前処理設備に高額の設定投資が必要となるばかりでなく、前処理機器の故障による施設稼働率の低下や、部品の交換等により多大な維持管理費を要することになる。

生ごみの分別収集計画に当たっては、ごみの排出方法、収集場所、収集頻度、収集料金などの検討が必要である。地域の特性が強く影響する内容であるため、他地区の調査事例をそのまま引用することは難しく、実態調査に基づいた計画作成と、住民、事業者の協力を得る必要がある。

4. 4 小規模メタン発酵施設の構成設備

小規模メタン発酵施設について、基本フローを示すとともに、構成設備とその内容について示す。

【解 説】

4. 4. 1 小規模メタン発酵施設の基本フロー

小規模メタン発酵施設の基本フローを図 4. 4. 1 に示す。

メタン発酵施設は、前処理設備、メタン発酵設備、エネルギー利用設備等で構成される。消化液の液肥利用を行うためには、消化液（バイオ液肥）利用設備が必要となる。液肥利用を全量に行えない場合などには、水処理設備を設けたり、堆肥化施設を併設したりする場合もある。

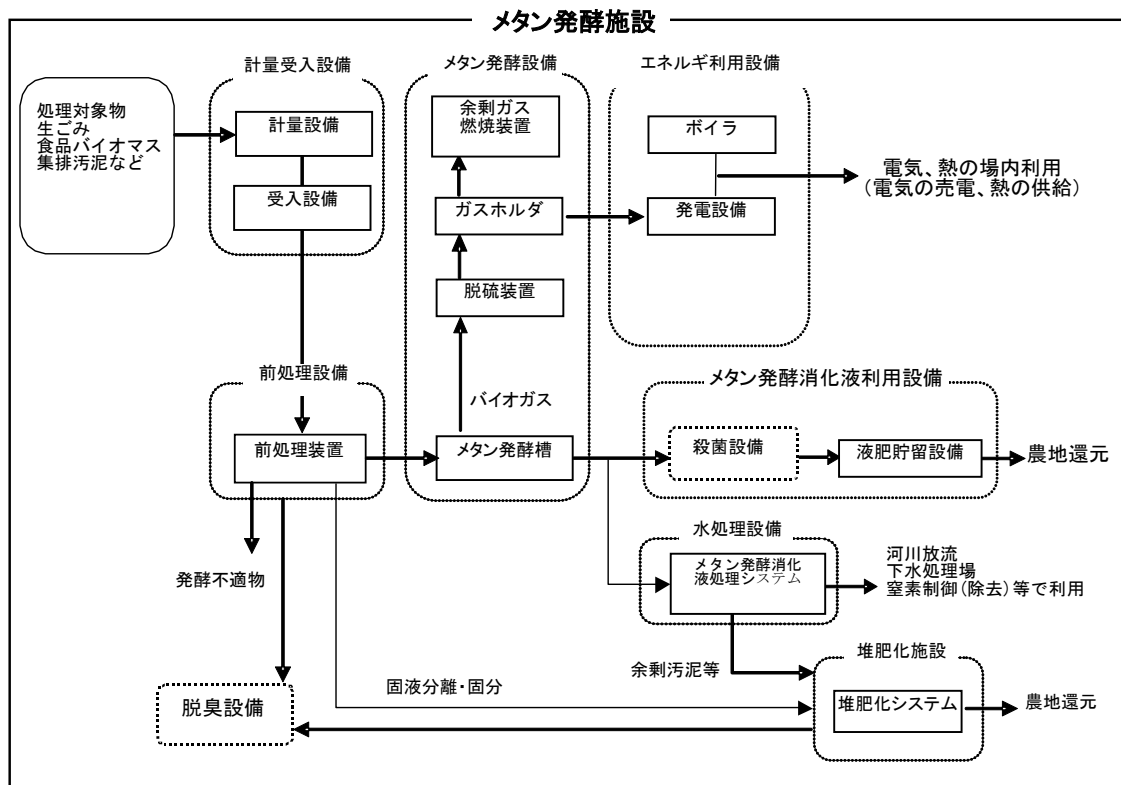


図 4. 4. 1 小規模メタン発酵施設の基本フロー図

4.4.2 前処理設備

前処理設備は、ビニールや金属等の発酵不適物を分別除去し、メタン発酵槽へ投入する原料の量と質を均等化するためのものである。

①前処理設備の役割

(i) 発酵不適物の分別除去

一般家庭から排出される生ごみには、ビニールや金属等の有機物以外のものが含まれる場合があり、それらはメタン発酵の原料に適さない。そのため、それらを取り除いてやる必要がある。

生ごみの破碎分別装置としては、高速回転破碎分別機、スイングハンマーブレード式破碎分別機、油圧式分別装置等がある。

(ii) 原料の調質

混合調整槽において、発酵不適物を除去した生ごみや汚泥を混合均質化させるとともに、含水率や温度を調整し、発酵方式によっては更に酸発酵させることを目的としている。また、混合調整槽からメタン発酵槽へ連続または等間隔で一定量を投入することにより、メタン発酵槽への投入負荷変動を抑制する役割も担っている。

②前処理設備の構成

生ごみ投入装置、生ごみ破碎分別装置、発酵不適物排出装置、汚泥投入装置、混合調整槽等から構成される。

一般的な設備構成を図 4.4.2 に示す。

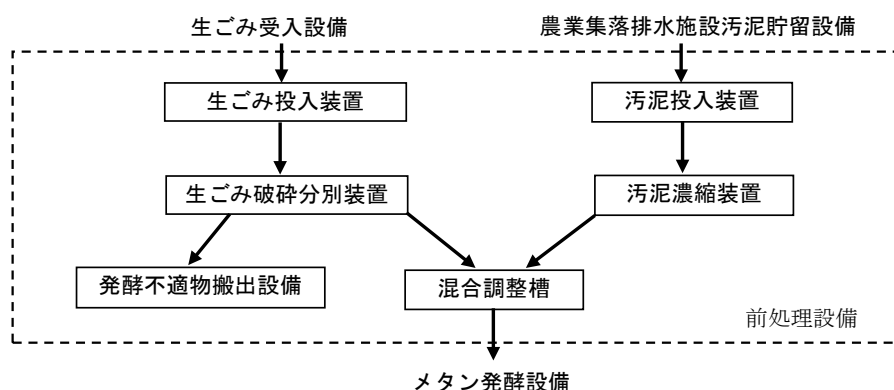


図 4.4.2 前処理設備の構成

③破碎分別装置

破碎分別装置は、生ごみ等の固形のバイオマスに含まれる発酵不適物を分別除去し、メタン発酵しやすい性状にするために設置する。

破碎分別装置は運転不具合が発生する頻度が高い機器であるが、運転不具合の多くは想定外の性状のものが投入されたことに起因する場合が多い。搬入物の性状や発酵不適物の混入割合により適切な破碎分別装置を選定する必要がある。

4.4.3 メタン発酵設備

メタン発酵設備は、生ごみや汚泥等の投入原料を発酵させ、発生するバイオガスを安全かつ効率よく回収することを目的とした設備である。メタン発酵槽、脱硫装置、ガスホルダー、余剰ガス燃焼装置等より構成される。

①メタン発酵槽

(i) メタン発酵槽の材質

メタン発酵槽は、水密性、気密性、耐食性、保温性が高いことが求められる。材質は鉄筋コンクリート造りあるいは鋼板製のものが多く用いられている。

小規模な施設の場合には、工場でプレハブ成型した FRP 性のメタン発酵槽も考えられる。FRP の長所としては、他の材質に比較してかなり安価であり、軽量の割には強度があり、耐蝕性が大きく、熱伝導率が小さく保温性が良いなどの長所がある反面、耐熱性が低く長時間使用をする場合の温度の上限は 70℃～100℃であり、温水などによりメタン発酵槽を加温する場合は注意が必要である。

工場でプレハブ成型して現場へ輸送する場合、1 槽あたりの大きさに制約があるため、小容量のメタン発酵槽に適している。

ア) 気密性及び水密性

メタン発酵槽は水密かつ気密な構造とする必要がある。これはメタン発酵により発生したバイオガスを外部に漏洩させないことはもちろんであるが、メタン発酵を担う細菌は酸素が存在する好気性条件下では生存できない絶対嫌気性細菌であるので、メタン発酵槽内への空気の混入を防止するためである。

イ) 耐食性

メタン発酵により発生するバイオガスには、一般的に数百から数千 ppm の硫化水素が含まれている。

メタン発酵槽が鉄筋コンクリート製や鋼板製の場合には、上部の気相部には耐食性に配慮する必要があり、防食ライニングなどを施す必要がある。一方メタン発酵槽が FRP 製の場合は、耐食性が優れているため、防食ライニングは不要である。

なお、混合調整槽では、酸発酵により有機酸が生成される可能性があるため、有機酸対応のより高度な防食仕様にする必要がある。

ウ) 保温性

メタン発酵の最適温度は中温発酵では 37℃、高温発酵では 53℃程度である。

冬季には、投入原料の温度が低下するとともに、外気温との温度差も大きくなり放熱しやすくなるため、メタン発酵槽内の温度が低下しやすい状況となる。

メタン発酵槽の温度を維持するため、メタンガスから回収した熱で生成した温水等により加温を行うが、メタン発酵槽の保温性が悪いと、加温に必要な熱量が増加し、場合によってはメタンガスから回収できる熱量では不足し、別途、化石燃料等の熱源が必要になってしまうこともある。エネルギーの有効利用という観点からもメタン発

酵槽の保温性は重要である。

メタン発酵槽からの放熱量を少なくするために、熱伝導度の小さい材料などで覆う保温施工を施すことが考えられる。表 4.4.1 に保温材として用いられる物質や鋼板、鉄筋コンクリートの熱伝導度を示す。

表 4.4.1 主な物質の熱伝導率

	熱伝導率 [W/m・K]
鉄筋コンクリート	1.6
炭素鋼 (1%C)	43
SUS304	16.3
FRP	0.3
グラスウール	0.05
水	0.56
空気	0.024

(ii) メタン発酵槽の容量・負荷・滞留時間

メタン発酵槽の容量は、投入する原料の有機物負荷や滞留日数によって決定することが多い。滞留時間は有機物の分解率と運転の安定度に影響を及ぼす重要な指標である。

メタン生成菌の世代時間は、中温細菌で 3～4 日程度である。メタン発酵槽の滞留時間は国内外の実例の経験から、最低でもメタン生成細菌の世代時間の 3 倍は必要であるとされている。したがって最低 12 日程度となるが、実際の施設では余裕を見込んで 20～30 日の滞留日数を確保することが多い。この計算方法では、各種バイオマスの処理に必要とされる経験的な滞留日数に一日あたりの投入量を乗じてメタン発酵槽の容量が決定される。

1 日あたりの投入量は、希釈等により投入物の固形物濃度を調整することで変化するが、従来のメタン発酵では、投入バイオマスの固形物濃度を 5%以下としていたのに対し、最近ではエネルギー生成効率を追求するため、5～12%程度の高い固形物濃度で設計される例が多くなっている。

集排汚泥の固形物濃度は、重力濃縮汚泥は 1.5～2%程度である。また生ごみは、含水率 80%程度、固形物濃度 20%程度である。集排汚泥と生ごみの混合比によって投入原料の固形物濃度が変化することになる。

投入原料の固形物濃度が濃すぎる場合には、希釈等を考慮する必要がある。

一方、投入有機物負荷量からメタン発酵槽の容量を計算する方法もある。有機物量の指標として VS（揮発性蒸発残留物）や COD_{Cr}（化学的酸素要求量）があるが、一般には分析の容易な VS が用いられる。

あくまで目安であるが、中温発酵の場合、生ごみを対象とした場合は、3 kg-VS/（m³・d）程度が使われている。

(iii) メタン発酵槽の攪拌方法

メタン発酵槽では、槽内混合液の均質化や温度分布の均一化による発酵の促進や、スカムの発生を防止するために攪拌を行うことが一般的である。メタン発酵槽の攪拌方式として、機械攪拌方式、ガス攪拌方式、ポンプ攪拌方式等が多く用いられているが、発生ガスの圧力を利用した無動力攪拌等も行われている。また、押し出し流れ方式のメタン発酵では積極的な攪拌を行わない方式もある。

②脱硫装置

バイオガス中には一般的に数百から数千 ppm の硫化水素が含まれる。硫黄成分が多く含まれる原料の場合は更に高くなる可能性もある。硫化水素は無色の気体で腐敗臭が激しく、比重は 1.2（空気比）で、非常に有毒である。湿潤状態では 600ppm の存在で速やかに金属の腐食が進む。

バイオガスをボイラーや発電機の燃料とする際に、バイオガスに含まれる硫化水素は燃烧装置の腐食等の悪影響を及ぼすため、エネルギー利用設備の濃度許容値以下まで除去する必要がある。腐食性および燃烧時の硫黄酸化物の発生を考慮し、50ppm 程度以下にすることが望ましい。

脱硫方式の分類を図 4.4.3 に示す。

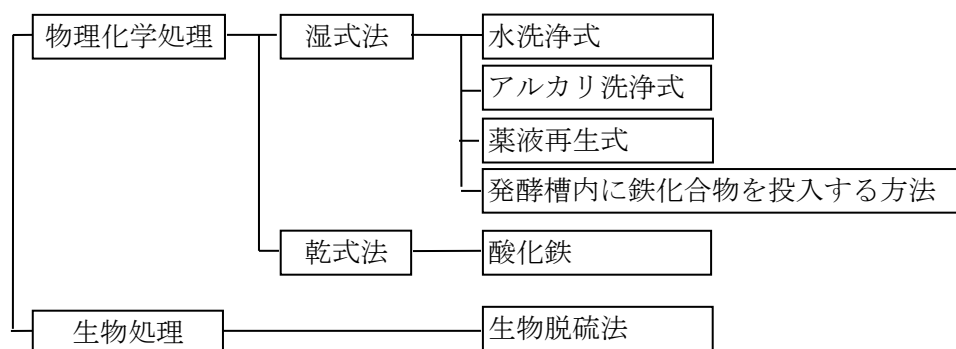


図 4.4.3 脱硫方式

(i) 乾式法

硫化水素と選択的に反応する酸化鉄系の脱硫剤を使用する。鉄粉、粘土などでペレット状にした成型脱硫剤を脱硫塔内に充填し、バイオガスと接触させる。脱硫剤の交換時には危険を伴うほか、使用済みの脱硫剤は産業廃棄物として適正処分する必要がある。

(ii) 生物脱硫装置

ヨーロッパでよく用いられる方法で、メタン発酵槽内に一定量の空気を注入する方法と、生物担体を充填した反応塔内にバイオガスを通過させる方法がある。

一般にメタン発酵槽へ空気を注入する場合、安定的で十分な脱硫が期待できない場合もあるので、乾式法の前処理として用いることが望ましい。

(iii) 発酵槽内に鉄化合物を投入する方法

メタン発酵槽に塩化第一鉄やポリ鉄などの 2 価鉄の鉄化合物を投入し、硫化鉄沈殿物として除去する方法である。硫化水素濃度を数十 ppm 以下に減らすことが可能である。

③ガスホルダー

バイオガスの発生量は、原料バイオマスの種類や投入量により変化し、また投入スケジュールに合わせて変動する。加温や発電等で効果的にバイオガスを利用するためには、バイオガスを一時貯留する設備が必要となる。

(i) 容量

ガス貯留設備の容量は、バイオガス発生量の予測とバイオガス利用設備のガス利用計画を考慮して設計する必要がある。バイオガスは投入バイオマスの量および質によって変動するが、24 時間連続投入とした場合では、ほぼ一定量生成し続けることになる。ガス利用設備が発電装置であり、24 時間連続運転する場合は、ガス貯留設備の容量は1 時間当たりのバイオガス発生量の6～12 時間分とする場合が多いが、利用計画を勘案して決定することが重要である。

(ii) 材質

ガスホルダーの材質はシステムによって変わるが、共通して硫化水素などの腐食ガスの対策に留意する必要がある。ガス事業法、電気事業法、高圧ガス取締法などの関連法規に留意して設計する。

(iii) 配管等

ガスホルダー周りの配管等については、作業性、メンテナンス性およびドレン排出対策に留意し、耐震性等を考慮した配管とする。ガス配管は、腐食、防爆、延焼防止、紫外線等による劣化を考慮したものとする。

(iv) ガスホルダーの形式

小規模メタン発酵施設の場合、内圧が1～3kPa の低圧ガスホルダーが使用される。主要な低圧ガスホルダーの形式を図 4. 4. 4～4. 4. 6 に示す。

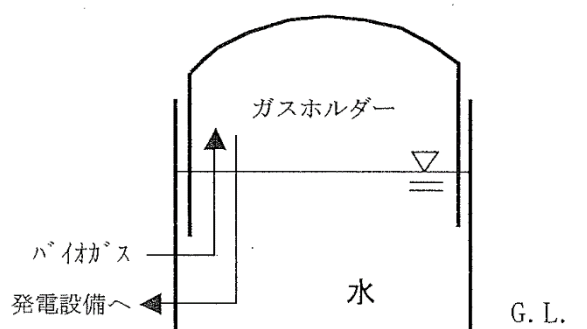


図 4. 4. 4 湿式ガスホルダー

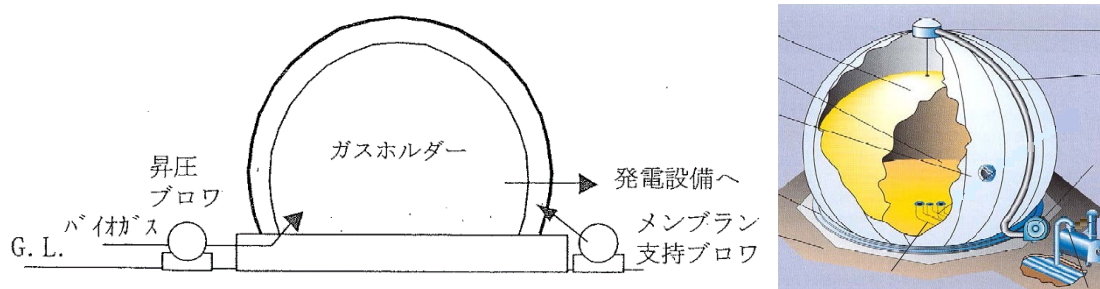


図 4.4.5 二重膜（ダブルメンブレン）式ガスホルダー

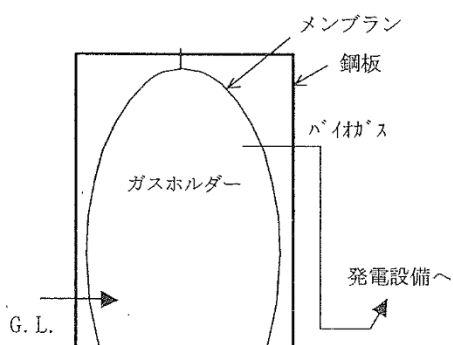


図 4.4.6 鋼製被覆型メンブレン式ガスホルダー

④余剰ガス燃焼装置

余剰ガス燃焼装置は、余剰バイオガスを燃焼して大気中に放散するための装置である。バイオガスと燃焼用空気をドラフト効果により自然通風や強制通風によりバーナに導き燃焼させる。

バイオガス中のメタンは、二酸化炭素を 1 とした地球温暖化係数が 25 と大きいので、発電装置の点検や故障などバイオガスが利用できない場合を考慮し、発生するバイオガスの全量を燃焼できる能力を備えることが望ましい。

余剰ガス燃焼装置のフロー図を図 4.4.7 に示す。ガスホルダー内のガス残量またはガス圧を検知し自動的に運転する。

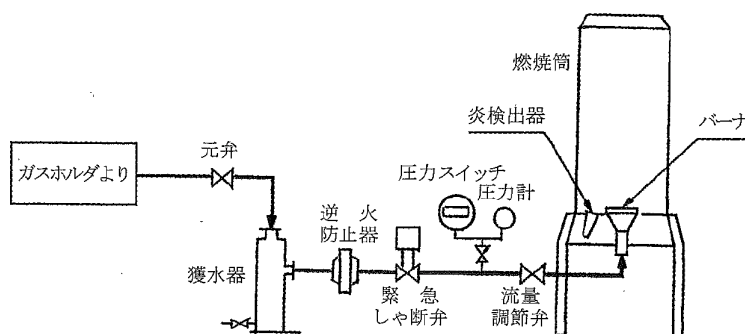


図 4.4.7 余剰ガス燃焼装置

4.4.4 エネルギー利用設備

メタン発酵槽の温度を維持し、また消化液の加温殺菌を行うため、廃熱回収のできる発電装置やボイラー等の熱源が必要である。また、発電設備によりバイオガスを利用した発電を行い、施設で使用する電力とすることができる。

メタン発酵施設では、メタン発酵槽を適温に保つこと、および消化液の加温殺菌のため、熱を必要とする。通常、バイオガスを燃焼させて発電する発電装置の排熱や、温水ボイラー等により発生した熱を利用する。

加温に必要なエネルギーは、地域の気象条件や施設の構造により変化するため、試算の上、必要な熱量をまかなえる設備を選定する必要がある。

①発電設備

発電設備の中で最も多く利用されるのはバイオガス専焼のガスエンジンである。軽油とバイオガスの混合燃料を用いるデュアルフュエルタイプやマイクロガスタービン、燃料電池等も用いられる。

②発電設備に関する注意事項

(i) 発電装置の運転方法

小規模メタン発酵施設の場合、集排施設と合わせると、必要な電力を全量自給することは難しい。バイオガスの発生量と使用する電力量に合わせて発電設備の能力、使用方法を決める必要がある。電力消費の多い時間帯の電力を削減するピークカット運転を行う方法や、24時間連続運転する方法がある。

また、消化液の加温殺菌を行う場合には、熱の需要に合わせて発電設備の運転時期を調整する必要性が考えられる。

(ii) バイオガスの成分

硫化水素、水蒸気、アンモニア濃度など、バイオガスの成分に対応した発電装置を選定する必要がある。発電装置の仕様にあった脱硫装置が必要となる。また、バイオガス中に含まれる水蒸気が凝縮して配管や機器類の運転の障害にならないよう留意する。

(iii) 発電設備点検時の対応

発電設備の点検時等は加温もできなくなるため、ボイラー等の代替の加温手段が必要である。

(iv) シロキサン除去

集排汚泥等の生活排水処理により発生する汚泥が原料の場合、発生するバイオガス中にシロキサンが含まれる可能性がある。シロキサンはガスエンジン内部に酸化ケイ素となって付着し、機器の寿命に影響するため、シロキサンの除去設備を考慮する必要がある。

(v) メンテナンス

ボイラーやガスエンジンは、日常管理とは別に、専門業者による定期点検が必要となる。

4.4.5 バイオ液肥利用設備

バイオ液肥利用設備は、バイオ液肥を使用時期まで一時貯留するための液肥貯留設備と、バイオ液肥を加熱殺菌するための殺菌設備から構成される。

また、液肥貯留設備は、第6章の小規模メタン発酵システム実証のように、既存の汚泥貯留槽を活用し、液肥を貯留することもできる。

① 液肥貯留設備

液肥貯留槽は、バイオ液肥の散布ができない期間、バイオ液肥を一時貯留するためのものである。

(i) 材質

容量が必要となるため、防食処理された鋼板製であることが多い。

(ii) 液肥貯留槽容量

槽容量は、使用対象とする農作物の施肥時期や、冬期等のバイオ液肥が散布できない期間を十分に検討の上で、その施肥計画に応じた容量とする。なお半年以上の長期間貯留する場合、積雪寒冷地などでは降雨降雪を考慮して計画貯留量に安全率の1.2を乗じた容量に設計するか、地域の降水量(mm)を考慮した容量に設計することに留意する。ただし、覆いや屋根構造の場合は、単純に計画貯留量の容量としても問題ない。

(iii) 攪拌装置

貯留槽内でのスカム発生・蓄積や沈殿物の防止、長期貯留に伴う嫌気化による散布時の悪臭発生防止のため、貯留槽内の攪拌ができる攪拌装置を設置することが望ましい。

(iv) 液肥排出口

使用する散布車両の仕様・構造に合わせた排出口を設ける。レセプションピットを設ける場合もある。散布車両によっては、自吸式ポンプを備えていないものもあるので、排出口の構造機器構成に留意する必要がある。

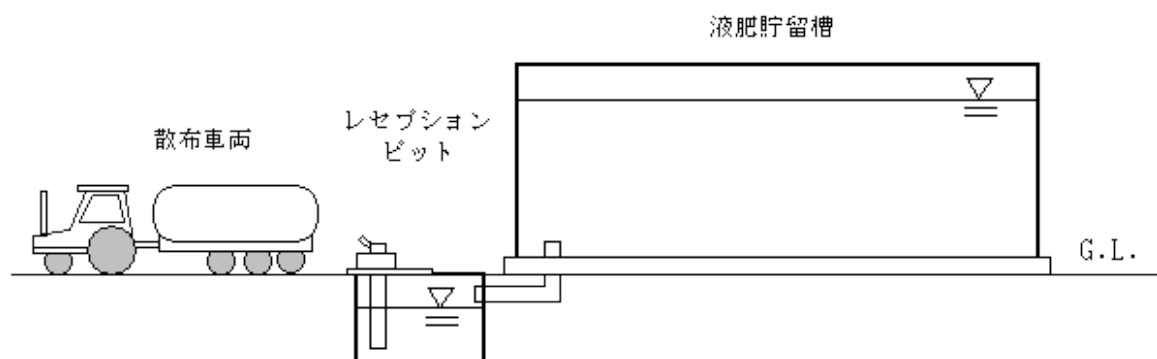


図 4.4.8 液肥貯留槽の例

②殺菌設備

バイオ液肥として利用する場合には、消化液中に含まれる病原菌や病害虫および雑草種子を不活性化させるため、加熱による殺菌設備を設けることが望ましい。

(i) 殺菌方法

中温発酵の場合、メタン発酵槽の温度は 37℃程度と低く、メタン発酵槽内での殺菌効果は期待できない。そのため、消化液を液肥として散布する際の安全性を考慮すると、メタン発酵槽から排出された消化液について、改めて殺菌効果のある温度まで加熱する必要がある。

(ii) 殺菌の基準

殺菌の基準は EU や EPA では定められているが、日本では明確な基準がない。

図 4.4.9 に各種微生物の不活性化のための条件を示す。これを参考に、同程度の性能が認められる殺菌温度と殺菌時間を設定する必要がある。ヨーロッパの基準には国によって、70℃、1 時間と 55℃、8 時間がある。

第 6 章の小規模メタン発酵システム実証の殺菌条件は、55℃、8 時間とした。

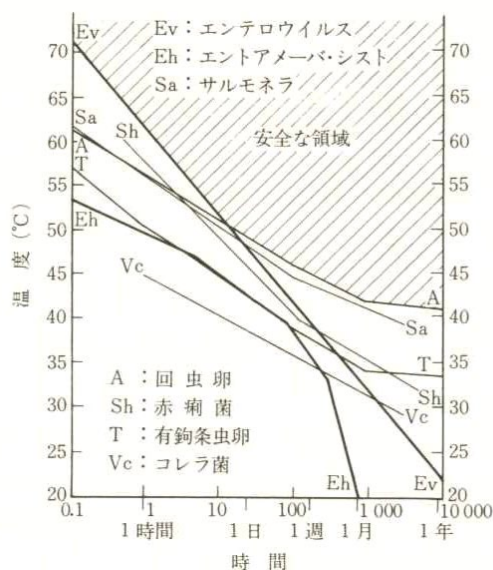


図 4.4.9 各種微生物を不活化する温度と暴露時間

出典：コンポスト化技術 p72

4.4.6 水処理設備

消化液を農地還元できない場合には、消化液を脱水し、脱水ろ液は水処理を行って放流する必要がある。

【解 説】

消化液を液肥として農地還元できない場合には、消化液を脱水し、その際に発生する脱水ろ液について水処理を行い、放流する必要がある。放流先の放流水質基準を満足できる処理設備が必要になる。また、脱水後の固形物は、堆肥化または焼却・埋立処分等を行う必要がある。図 4.4.10 に処理フローの例を示す。

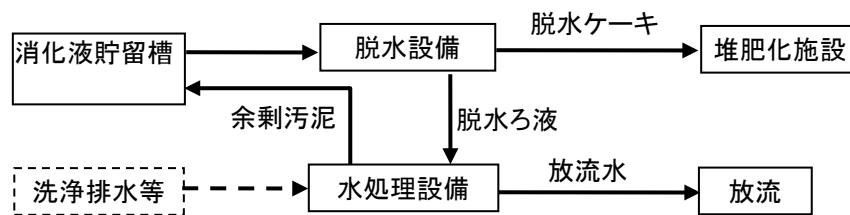


図 4.4.10 消化液の処理フロー

水処理設備の流入水には、脱水ろ液の他に、ごみ汁や前処理設備の洗浄水、脱臭装置の排水等も含まれる。脱水ろ液は高濃度の有機物、アンモニア態窒素、リン等を含み、色度も高いため、放流先の放流基準に応じて高度処理も組み入れて処理する必要がある。

4.4.7 脱臭設備

受入設備、前処理設備では臭気が発生する。異臭が敷地外で生じることのないよう、臭気の捕集や脱臭等の対策を講じる必要がある。

【解 説】

周辺地域の環境保全のため、臭気対策が必要な場合には、適切な脱臭対策を講じる必要がある。

臭気発生源の特性（臭気物質と濃度および発散状況等）、悪臭被害に影響を及ぼす可能性のある周辺環境の状況、悪臭に係る法規制の有無等の情報を事前調査により把握し、それらを総合的に考慮して適切な臭気低減目標を定め、脱臭対策を決定する。

主な臭気発生源は、受入設備、前処理設備および発酵残さ処理設備である。臭気は拡散すると捕集が難しくなるため、臭気が発生する箇所およびエリアは極力密閉構造あるいは負圧構造とすることが望ましく、必要最小限の風量で捕集できるよう考慮する。

消化液貯留槽を開放タンクとした場合、周囲への臭気の拡散が考えられるが、生物分解された後で安定しており、アンモニア臭はあるものの、臭気は比較的弱いと考えられる。

捕集した臭気を除去または軽減する方法には多くの技術があり、条件によっては2種類以上の方法を組み合わせたほうが得策となる場合もあるため、各脱臭方法の原理、特性およびコストなどを把握して検討し、選定することが重要である。

脱臭方法の分類を図4.4.11に示す。

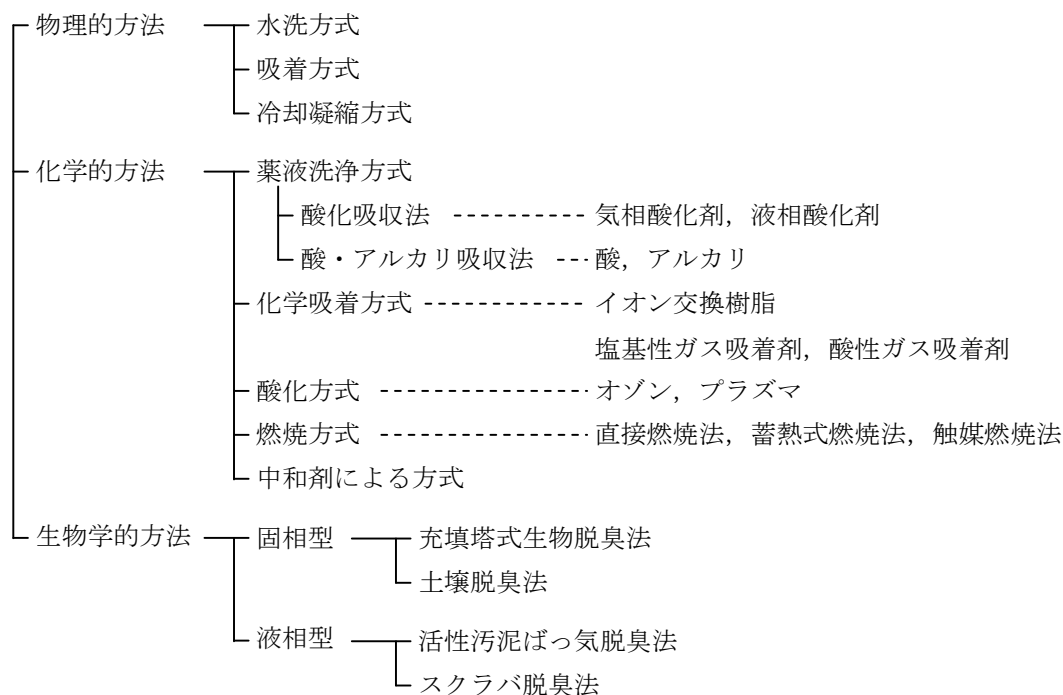


図4.4.11 脱臭方式の分類

4.4.8 電気・計装設備

電気設備の設計においては、関連法規等の規程を遵守し、系統連系を行う際は必要な検討・確認を行う。計装設備の設計においては、安全に最大限注意の上、できるだけ自動運転が可能な仕様とする。

【解 説】

集排施設とメタン発酵施設における操作と監視は集約し、制御は自動化を行うことにより、プラント運転を安定的に、異常時には迅速に情報が伝達され即時対応できるようなシステムにする。原料の搬入量、発酵槽の pH、温度、バイオガス発生量などのデータは、コンピュータを用いデジタル情報として収集、解析、保存することが望ましい。

メタン発酵で発生するバイオガスの中には、硫化水素など腐食を起こしやすい物質が存在するため、機器の防食に留意し、メンテナンスが容易な設計とする。また、メタンガスは可燃性で爆発の危険があるため、ガスホルダーやエネルギー回収設備等、バイオガスに接触する機器類は防爆仕様の電気設備とする。

①電気設備

メタン発酵施設における電気設備としては、受電設備、変電設備、配電設備、電気負荷設備、発電設備などがある。

留意事項を以下に示す。

- ・高調波対策等、周辺環境に十分配慮した設備とする。
- ・発電設備を設ける場合には、系統連系が必要となるため、電力系統連系技術要件ガイドライン（経済産業省資源エネルギー庁監修）に従って検討と確認を行う必要がある。
- ・安全設備として、可燃性ガス検知器、火災報知器などがある。
- ・消火設備には、消火器、屋内消火栓設備、スプリンクラ設備等がある。このうち屋内消火栓設備等は火災時に確実に動作するよう、自動火災報知設備と合わせて消防法に基づき定期的に点検及び報告する必要がある。

②計装設備

計装設備としては、原料計量設備、温度計、レベル計、流量計（液・ガス）、pH 計、ガス濃度測定装置、温度制御装置、攪拌制御装置、流量制御装置などがある。

可燃性ガスを取り扱うため、バイオガスを扱う機器、配管に接する箇所や、該当する機器の設置された室内では、防爆仕様を考慮する必要がある。また、湿気や硫化水素などの腐食性のガスも発生しており、計装機器には苛酷な環境であることに注意する必要がある。

施設の維持管理体制として、常時監視や昼間のみの監視が考えられる。特に昼間のみの監視を行う施設では、可燃性ガスの漏洩の検出など、自動監視装置が必要である。原料投入等のポンプの運転、バルブの開閉、混合調整槽等の液位、メタン発酵槽の pH、ガス発生量、ガス検知器や火災警報等をモニターし、異常時に管理責任者へ通報するシステム設計とする。

4. 5 運転管理上の留意事項

メタン発酵施設を安定して稼働させるため、原料バイオマスの性状や量の監視、各設備の稼働状況の確認など、日常の維持管理において注意すべき事項がある。

【解 説】

4.5.1 前処理設備

原料のバイオマスの季節変動などにより、予期できない TS 濃度変化や異物の混入など、バイオマスの質と量は変化すると考えられる。それが原因となる配管の閉塞や、機器の正常運転を妨げる危険性があることに留意する。

①原料バイオマスの質と量

集排汚泥と生ごみを主原料とする場合、質と量の変化は少ないとは考えられるが、原料バイオマスの質や量について、季節的な変動等が考えられる。想定外の異物の混入や高濃度バイオマスの搬入をチェックし、場合によっては指導を行う必要がある。

特に生ごみの分別は、施設運転前からメタン発酵施設に投入できるバイオマスについて十分な説明を行い、理解を得ることが重要である。運転初期には分別の理解が不十分のため、魚鳥骨、貝殻等の発酵不適物も搬入されると予想されるが、これらについても分別されるように理解を求めていく必要がある。

②破砕分別装置等の操作

発酵不適物は装置に重大な障害をきたす場合があるため、計画外の発酵不適物が混入しないよう、搬入の管理を徹底する必要がある。

適切な運転管理を行うことが安定的な運転を維持するのに必要であり、受入の停止、予定外の修理、補修費の増大等が起らないように使用条件をよく理解したうえで運転操作することが重要である。

③ポンプ等移送の操作

バイオマスの移送には、一軸式ポンプなど、ある程度の固形物や粘度に対応できる仕様になっていることも多いが、ポンプの能力にも限界があり、例えば TS 濃度が高すぎる場合など、まったく稼働しないということも考えられる。どのような条件が限界点であるか、また限界時に操作する場合には、水による希釈など、どのような処置をしなければならないかを把握する必要がある。TS2%程度の集排汚泥を原料とする場合には、汚泥を希釈水の代わりに使用することができる。それにより、発酵槽容量増加の防止、消化液の肥料成分濃度の向上につながる。

4.5.2 メタン発酵設備

メタン発酵槽の運転管理指標、バイオガスの捕集および貯留設備の管理指標、バイオガスの危険防止対策、点検整備項目などを整理して、維持管理を行うことが重要である。

定期的に投入バイオマスやメタン発酵槽内液を分析し、運転状況を把握することが一般的に行われている。立上げから試運転の期間は、各項目を定期的に監視する必要があるが、ある程度定常運転を確認できた後は、簡易的にバイオガス発生量、投入バイオマスの TS 濃度、メタン発酵槽内液のアンモニア態窒素濃度、温度管理程度の監視で安定運転を行うことが可能である。

①メタン発酵槽運転管理指標

(i) 温度

中温発酵は 37℃前後、高温発酵は 53℃前後が最適温度である（図 4.5.1）。

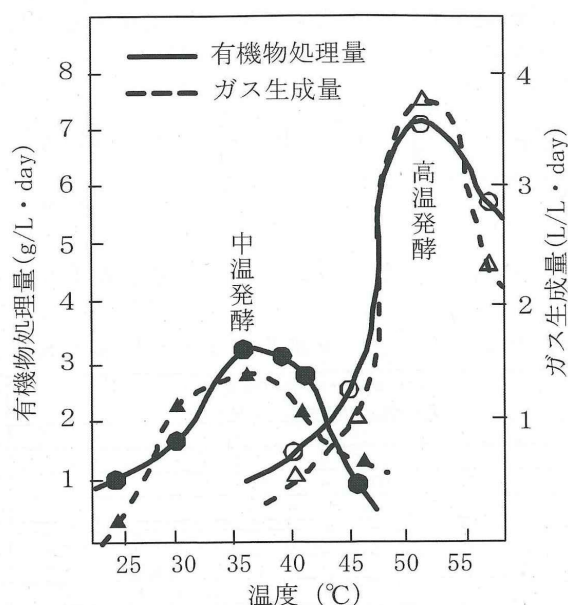


図 4.5.1 メタン発酵温度とガス発生量

出典：バイオガス化マニュアル P10

(ii) pH

メタン生成細菌群はほぼ中性付近の pH 条件を好み、一般的にメタン発酵の最適 pH は 6.8～7.6 である。良好に運転されているメタン発酵槽の pH は概ね 6.5～8.2 の範囲にある。汚泥や生ごみなどの固形廃棄物のメタン発酵においては、アンモニア態窒素濃度が比較的高いので、pH は一般的に 7.2～8.2 といった高い範囲にある。

(iii) 揮発性有機酸濃度

メタン発酵の中間生成物として酢酸、プロピオン酸、酪酸などの有機酸が生成するが、メタン発酵が順調に進んでいる場合、生成した有機酸は速やかにメタン生成細菌

に利用されるので、有機酸の濃度は低く保たれる。

(iv) アンモニア態窒素濃度

生ごみや汚泥などの有機性廃棄物のメタン発酵では、たんぱく質の分解に伴いアンモニア態窒素が生成する。良好なメタン発酵にとって不可欠な成分であるが、アンモニア態窒素濃度が高すぎるとメタン発酵の阻害が起こる。(有機酸の蓄積とメタン生成速度の低下)

例えば、汚泥再生処理センターでの高濃度メタン発酵プロセスにおける安定運転の目安は、中温発酵で 3,000mg/L 以下、高温発酵で 2,500mg/L 程度と考えられている。

(v) アルカリ度

アルカリ度はアルカリ性物質の量を示す指標であり、メタン発酵プロセスの安定性に関わる。汚泥や生ごみのメタン発酵においては原液にアルカリ度がほとんどないので、主に発酵の代謝物に由来し、投入物の TS 濃度とたんぱく質含有率に比例して増大する。

一般的に投入物の TS 濃度が 10%程度で総アルカリ度は 6,000～10,000mg/L 程度である。

(vi) 滞留時間

滞留時間は有機物の分解率と運転の安定性に影響を及ぼすだけでなく、投入負荷とも連動する重要な指標である。

メタン発酵槽の安定運転のためには、メタン生成細菌の保持と過負荷の防止が重要である。単純に菌体維持の観点から考えると、メタン生成細菌世代時間の 3 倍以上の滞留時間を確保しようとする、中温発酵では 12 日以上、高温発酵では 6 日以上が必要となる。

実用技術としては、滞留時間を、高温発酵では 15 日以上、中温発酵では 20 日以上とすることが一般的である (図 4.5.2)。

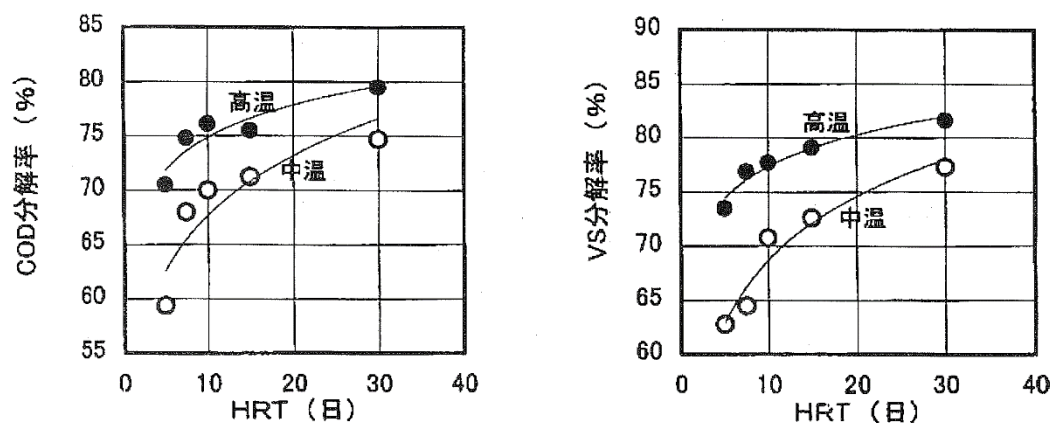


図 4.5.2 滞留時間と有機物分解率

出典：メタン発酵利活用施設技術指針(案) P4-21

(vii) 硫化水素濃度

メタン発酵において、原料中の硫黄成分から硫化水素が生成する。硫化水素の発生は硫酸塩の還元とたんぱく質の発酵に由来するので、原料中の硫酸塩濃度とたんぱく質濃度に影響される。バイオガス中の硫化水素濃度は数百から数千 ppm の範囲で変化する。硫化水素が多くなるとバイオガスの品質を低下させるだけでなく、メタン発酵に阻害を及ぼす場合もあり、このような場合には鉄塩注入や希釈水の投入等の対応が必要になる。

②ガスホルダー

(i) メタンガス濃度

バイオガス中のメタンガス濃度は 60%前後であり、メタンガス濃度が低下すると発電設備の運転に支障が生じることがある。メタンガス濃度はガス濃度計で計測可能であり、メタン発酵の状態確認および発電機のトラブル防止のため、メタンガス濃度の確認を行うことが望ましい。

(ii) ガスホルダー

近年、バイオガスの貯留には膜構造のガスホルダーが多く設置されている。

貯留したガスが漏洩しないためには、設置施工時の確認が必要であると同時に、膜の損傷を防止する措置、および漏洩がないか点検することが必要である。

③脱硫設備

(i) 乾式脱硫方式

鉄化合物の担体に硫化水素を吸着させる方式であるため、吸着量が破過した段階で交換する。硫化水素の濃度及びバイオガス発生量によって交換頻度は大きく変化する。

(ii) 生物脱硫装置

気液接触塔を用いた脱硫方式の場合、脱硫塔内で硫黄分が蓄積するので、詰まりがないよう硫黄を除去する必要がある。

メタン発酵槽内に空気を注入する方式の場合、硫化水素濃度によって空気量を調整する必要があるが、精密な制御は難しいと考えられる。

(iii) 発酵槽に鉄化合物を投入する方式

鉄系の脱硫剤（ポリ鉄等）を使用する。脱硫剤を定期的に補充する必要がある。

4.5.3 エネルギー利用設備

①発電設備

バイオガス発電設備は、発電システム全体のエネルギー効率を高めるために発電排熱の回収も行い、回収排熱をメタン発酵槽の加温、温室の保温等に用いる等、発電量と利用回収熱量の利用比率を上げて効果的なエネルギー利用を図ることが重要である。このため、関連設備の点検を行うことが重要である。

バイオガスには 40%程度の二酸化炭素が含まれているため、天然ガスに比べて燃焼性が悪く、点火プラグの選定及び点検は特に重要である。

通常、バイオガス供給配管には、緊急遮断弁、逆火防止器を設け、また発電機室には可燃性ガス検出器を設置して安全対策が取られているが、1日に1回以上の巡視点検を行うことが望ましい。

運転時間を目安にして、点火プラグの清掃、ガasket等劣化部品の取り替えを定期的に行うほか、潤滑油についても定期的に交換を行う。

②加温設備

発電機排熱の回收利用設備、ボイラー設備等の熱利用設備の運転管理に当たっては、常時メタン発酵槽内の温度を目標値範囲内に保ち、メタン発酵槽の正常な運転管理が継続できることを前提として熱利用設備の管理を行うことが重要である。

メタン発酵槽内の温度を維持するために、温水ボイラーや蒸気ボイラーを用いている。メタン発酵槽は一年間のほとんどを連続運転するため、加温設備は連続運転するのが普通である。ただし、バイオガスを利用した加温設備はメンテナンス、不慮の事故等で停止期間が生じることがあるので、外部燃料を利用する非常用の加温設備を設置する必要がある。その燃料として重油等を使用する場合は、その補充に留意する必要がある。

ボイラーの運転管理に当たっては、労働安全衛生法「ボイラー及び圧力容器安全規則」により定期自主検査を行い、性能検査を受検する。

ボイラーは小さいものから、簡易ボイラー、小型ボイラー、ボイラーに区分される。温水ボイラーの規模は最高使用圧力と伝熱面積で、上記ボイラーの規模は最高使用圧力と伝熱面積、および胴の内径と長さで規定されている。小規模メタン発酵施設で使用されることが多いと推定される簡易ボイラーは誰でも取り扱うことができるが、小型ボイラーであれば特別講習を受講した者が、ボイラーはボイラー取扱技能講習修了者が取り扱う必要がある。

使用中のボイラー設備（簡易ボイラー、小型ボイラーを除く）は、年1回、労働基準監督署（都道府県のボイラ協会の代行でもよい）によるボイラー性能検査が義務付けられている。

4.5.4 バイオ液肥利用設備

バイオ液肥利用設備については、第5章液肥利用の導入促進（具体的事項）に詳細を記載しているため、概要を示す。

①液肥貯留槽

貯留槽内のバイオ液肥の水位を定期的に点検するほか、攪拌装置がある場合は定期的に攪拌することが望ましい。

②散布車両

散布車両は、施肥時期に使うため年間では使用する時期が限られることが多い。したがって、使用するとき故障に気づくことがないよう、事前に正常に作動するか確認することが望ましい。

4. 6 経済性の評価

農村地域向け小規模メタン発酵施設は、主として集排汚泥と地域の生ごみを原料とし、発酵方式は中温・湿式メタン発酵方式とする。

施設の規模は、対象人口 1,000 人程度以上とする。

【解 説】

4.6.1 検討条件

集排施設の機能強化時に、メタン発酵施設を併設する場合の検討例を示す。また、汚泥含水率は 98% とする。

集排施設 2 地区をそれぞれ地区 A、B とし、地区 A にメタン発酵施設を併設する。メタン発酵施設では、集排施設（地区 B）で発生する汚泥も集約処理する。また生ごみについては、集排施設 A と集排施設 B の処理対象区域から収集するものとする。集排施設 A 及び B の処理方式 JARUS-XIV_G 型とする。

集排施設

JARUS-XIV_G 型（処理人口 500 人）×2 施設

メタン発酵施設

集排施設に併設して設置する。

受入バイオマス

集排汚泥 処理人口 1,000 人分

生ごみ 収集人口 1,000 人分

事業系食品廃棄物 1.3t/日

農地還元

消化液は全量をバイオ液肥として農業利用する。

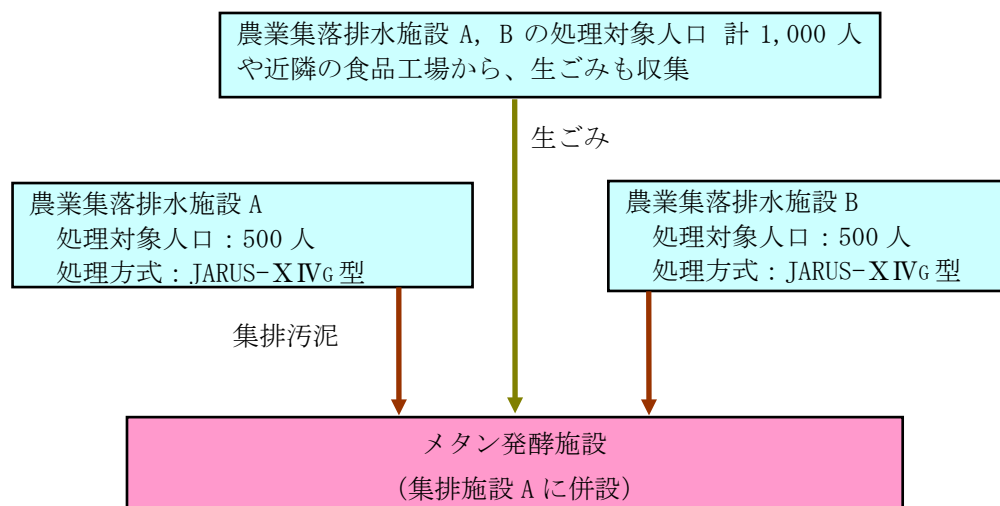


図 4.6.1 集排施設の検討例

4.6.2 検討結果

メタン発酵施設の設備容量計算結果を次頁に示す。前提として、バイオ液肥として全量利用する場合、消化液を水処理する場合（消化液の処理に消化液処理設備が必要となる場合）の2パターンを算定し、以下の2パターンを試算するため、計4パターンとする。

表 4.6.1 のとおり、事業効果を発現させるためには、以下の2点が重要である。

- ・消化液を液肥利用する等、安価に処理・利用できること
- ・生ごみの削減分が、生ごみ処理費の削減として効果に計上できること

表 4.6.1 経済性評価 概要

	①処理人口 1,000 人 (汚泥 1.5 t/日、生ごみ 1.5 t/日) 生ごみのうち事業系食品廃棄物 1.3t/日		②コンテナ型施設を導入 日量 1.5 t/日 (汚泥 1.1 t/日、生ごみ 0.4 t/日)	
	液肥利用	水処理	液肥利用	水処理
汚泥投入量	1.539 t/日		1.1 t/日	
生ごみ・事業系 食品廃棄物	1.526 t/日		0.4 t/日	
バイオガス	168 Nm ³		45 Nm ³ (発電には最低 168 Nm ³ 必要)	
発電電力量 (余剰分)	256 kW/日		— (発電しないため計上しない)	
消化液生成量	2,711 kg/日		1,406 kg/日	
総事業費 円	1 億 5,870 万円	2 億 3,698 万円	6,000 万 (うち、メタン 発酵施設 5,000 万円)	1 億 613 万円
運転費 円/年	1,393 万円/年	2,154 万円/年	394 万円/年	1,550 万円/年
投資効率	1.33	0.54	1.20	-0.58
(参考) 発電による CO ₂ 削減量 t-CO ₂ /年	44 t-CO ₂ /年		— (発電しないため)	
(参考) 肥料削減効果 円/年	83 万円/年	— (液肥利用しない ため)	43 万円/年	— (液肥利用しない ため)

【検討の詳細】

①処理人口 1,000 人

(i) 原料

集排汚泥は重力排水することにより、含水率 98%とする。

集排汚泥発生量：1.539 t /日

(集排汚泥の乾燥重量 1,000 [人/日] $\times$ 0.054 [kg/人・日] $\times$ 0.95 (除去率)
 $\times$ 0.6 (汚泥転換率) = 30.78 [kg/日])

集排汚泥の含水率 98%から TS 濃度 2%とすると、 $30.78 / 0.02 = 1.539$ t/日)

生ごみ発生量 : 1.526 t /日

(家庭からの生ごみ 1,000 [人] $\times$ 0.226 [kg/人・日] = 226 [kg/日])

食品工場からの生ごみ 1,300 [kg/日] と仮定)

(ii) バイオガス発生量

有機物の分解率とそれに対するガス発生量から、

ガス発生量 168 Nm³/日

(メタンガス濃度を 60%とすると、メタンガス 101 Nm³/日)

(iii) 発電

メタンガスの発熱量 8,550 kcal/m³から、

発電用熱量 861 Mcal/日 (101 [Nm³/日] $\times$ 8,550 [kcal/m³])

発電効率 32%、熱量換算値 860 kcal/kWh とすると、

発電電力量 320kWh/日 (861 [Mcal/日] $\times$ 32% $\div$ 860 [kcal/kWh])

施設内で消費する電力を減じた、余剰電力量は、

256kWh/日 (320 [kWh/日] $\times$ 80 [%])

※施設内での消費電力割合 20%とした。

(iv) 消化液

消化液生成量 2,701 [kg/日]

(v) 経済性

- ・ バイオ液肥として利用する場合

総事業費 1 億 5,870 万円、投資効率 1.33

- ・ 消化液を水処理する場合

総事業費 2 億 3,698 万円、投資効率 0.54

(vi) 環境

各電力事業者の発電に係る炭素量発生係数 ($\text{t-CO}_2/\text{kWh}$) ($0.000470 \text{ t-CO}_2/\text{kWh}$ (代替値)

R 1 実績)を乗じて、削減した二酸化炭素の算出が可能

さらに、地球温暖化対策税 (2016 年度から 289 円/t-CO_2) 乗じることで、貨幣価値換算し、効果として計上可能

1 年間の余剰電力量 $93,576 \text{ kWh/年}$

$(256 \text{ [kWh/日]} \times 365 \text{ 日})$

二酸化炭素削減量 $44 \text{ t-CO}_2/\text{年}$

$(93,576 \text{ [kWh/年]} \times 0.000470 \text{ [t-CO}_2/\text{kWh]})$

地球温暖化対策税の削減 13 千円/年

$(44 \text{ [t-CO}_2/\text{年]} \times 289 \text{ [円/t-CO}_2])$

消化液をバイオ液肥として肥料利用することにより、化学肥料を削減し、肥料単価を乗じて、削減した化学肥料費用の算定が可能である。

バイオ液肥の肥料成分を N; 1.1kg/t 、P; 0.8kg/t 、K; 1.3kg/t とすると、

化学肥料削減量 N; 3.0 kg/日 、P; 2.2 kg/日 、K; 3.5 kg/日

化学肥料削減効果 N; 196 円/kg 、P; 496 円/kg 、K; 171 円/kg

から 826 千円/年

②コンテナ型の小規模メタン発酵施設を導入

小規模なメタン発酵施設を導入するにあたり、設置や維持管理がしやすいよう、工場生産の汎用性があるコンテナ型施設を導入することを検討。

(i) 原料

集排汚泥は重力排水することにより、含水率 98%とする。

受け入れ可能な原料を 1.5t/日と仮定。家庭からの生ごみを全量受け入れ、生ごみと汚泥の合計が 1.5t/日となるように受け入れ。

集排汚泥発生量：1.1t /日

生ごみ発生量：0.4t /日

(ii) バイオガス発生量

有機物の分解率とそれに対するガス発生量から、

ガス発生量 45 Nm³/日

(メタンガス濃度を 60%とすると、メタンガス 27 Nm³/日)

(iii) 発電

発電用のガスエンジンのうち、現状、最小のものは定格出力 25kW であり、必要なバイオガス量は約 14m³/h であり、24 時間当たり 336m³/日となる。少なくとも毎日 12 時間運転する場合は、半分の 168 m³/日のバイオガス量が必要となる。したがって、この場合では発電しない想定とする。

(iv) 消化液

消化液生成量 1,406 kg/日

(v) 経済性

総事業費については、コンテナ型施設購入・設置が 5,000 万円、その他 1,000 万円と仮定。

- ・ バイオ液肥として利用する場合

総事業費 6,000 万円、投資効率 1.20

- ・ 消化液を水処理する場合

総事業費 1 億 613 万円、投資効率 - 0.58 (導入すると赤字)

ただし、定格出力が小さい発電機が今後普及した場合には投資効率が改善する余地がある。

(vi) 環境

消化液をバイオ液肥として肥料利用することにより、化学肥料を削減し、肥料単価を乗じて、削減した化学肥料費用の算定が可能である。

バイオ液肥の肥料成分を N;1.5 kg/t、P;1.1 kg/t、K;1.8 kg/t とすると、

化学肥料削減量	N;1.6 kg/日、P;1.1 kg/日、K;1.8 kg/日
化学肥料削減効果	N;196 円/kg、P;496 円/kg、K;171 円/kg
から 428 千円/年	

4. 7 地球温暖化防止効果の検討

地球温暖化防止に向け、小規模メタン発酵システムを導入し、地域内の資源循環を図ることについて、定量的または定性的な効果を示す。

【解 説】

4. 7. 1 地球温暖化防止効果の考え方

生ごみや集排汚泥をメタン発酵に用いることにより、これらの焼却が不要となるため、焼却等により処理する際に発生する CH_4 や N_2O の発生を削減することができる。なお、「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4. 7」によると処理する際の CO_2 は設定されておらず、植物がカーボンニュートラルであることや各生産工程で CO_2 が算定されていることが理由であると想定される。

表 4. 7. 1 における「下水、し尿等の処理」は、生活排水等の処理自体で排出する温室効果ガスである。一方、「廃棄物の焼却もしくは製品の製造の用途への使用・廃棄物燃料の使用」は、生ごみ等の一般廃棄物や、汚泥等の産業廃棄物の焼却で排出する温室効果ガスであるため、メタン発酵の際は、この項目を対象として効果を試算する。

なお、地球温暖化係数は CO_2 を 1 とすると、 CH_4 は 25、 N_2O は 298 であり（表 4. 7. 2）、 N_2O の削減が大きく貢献することが分かる。なお、全量バイオ液肥として利用する前提としており、水処理や下水放流をしない前提となっている。

表 4. 7. 1 活動の種類と対応する温室効果ガス
(温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4. 7)

活動分野	活動の種類	温室効果ガス						
		CO_2 (非エネ)	CH_4	N_2O	HFC	PFC	SF_6	NF_3
農業	家畜の飼養（家畜の消化管内発酵）		3.3.10					
	家畜の排せつ物の管理		3.3.11	3.4.6				
	稲作		3.3.12					
	耕地における肥料の使用			3.4.7				
	耕地における農作物の残さの肥料としての使用			3.4.8				
	農業廃棄物の焼却		3.3.13	3.4.9				
廃棄物	廃棄物の埋立処分		3.3.14					
	工場廃水の処理		3.3.15	3.4.10				
	下水、し尿等の処理		3.3.16	3.4.11				
	廃棄物の焼却もしくは製品の製造の用途への使用・廃棄物燃料の使用	3.2.17	3.3.17	3.4.12				

〈参考資料・文献〉温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4. 7

表 4.7.2 地球温暖化係数（温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4.7）

温 室 効 果 ガ ス			地球温暖化係数
1	二酸化炭素	CO ₂	1
2	メタン	CH ₄	25
3	一酸化二窒素	N ₂ O	298
4	ハイドロフルオロカーボン	HFC	—
	トリフルオロメタン	HFC-23	14,800
	ジフルオロメタン	HFC-32	675
	フルオロメタン	HFC-41	92
	1・1・1・2・3・4・4・5・5・5-デカフルオロペンタン	HFC-43-10mee	1,640
	1・1・1・2・2-ペンタフルオロエタン	HFC-125	3,500
	1・1・2・2-テトラフルオロエタン	HFC-134	1,100
	1・1・1・2-テトラフルオロエタン	HFC-134a	1,430
	1・1・2-トリフルオロエタン	HFC-143	353
	1・1・1-トリフルオロエタン	HFC-143a	4,470
	1・2-ジフルオロエタン	HFC-152	53
	1・1-ジフルオロエタン ^{*1}	HFC-152a	124
	フルオロエタン ^{*1}	HFC-161	12
	1・1・1・2・3・3・3-ヘプタフルオロプロパン	HFC-227ea	3,220
	1・1・1・2・2・3-ヘキサフルオロプロパン ^{*1}	HFC-236cb	1,340
	1・1・1・2・3・3-ヘキサフルオロプロパン ^{*1}	HFC-236ea	1,370
	1・1・1・3・3・3-ヘキサフルオロプロパン	HFC-236fa	9,810
	1・1・2・2・3-ペンタフルオロプロパン	HFC-245ca	693
	1・1・1・3・3-ペンタフルオロプロパン ^{*1}	HFC-245fa	1,030
	1・1・1・3・3-ペンタフルオロブタン ^{*1}	HFC-365mfc	794
5	パーフルオロカーボン	PFC	—
	パーフルオロメタン	PFC-14	7,390
	パーフルオロエタン	PFC-116	12,200
	パーフルオロプロパン	PFC-218	8,830
	パーフルオロブタン	PFC-31-10	8,860
	パーフルオロシクロブタン	PFC-c318	10,300
	パーフルオロペンタン	PFC-41-12	9,160
	パーフルオロヘキサン	PFC-51-14	9,300
	パーフルオロデカリン ^{*2}	PFC-91-18	7,500
	パーフルオロシクロプロパン ^{*2}		17,340
6	六ふっ化硫黄	SF ₆	22,800
7	三ふっ化窒素 ^{*3}	NF ₃	17,200

*1：平成 27 年度から追加された HFC

*2：平成 27 年度から追加された PFC

*3：平成 27 年度から追加されたガス

4.7.2 メタン発酵施設導入に係る諸係数

メタンガスによる発電を行うことにより、発電に必要な CO₂の発生を削減することができる。CO₂の削減量は、電気事業者の発電に要する量とした。これに炭素税を乗じることにより、費用対効果に換算することもできる。ここでは、代替値である 0.000470 を用いて試算する（表 4.7.3）。

また、CH₄及び N₂O については、別表 表 4.7.4 及び表 4.7.5 の係数を乗じて、排出量を求めることができる。これらに前述の地球温暖化係数を乗じることにより、CO₂に換算した排出量を求めることができる。

さらに、メタン発酵槽の加温について、回収した熱で足りない場合は、必要な熱量を A 重油や電気量に換算し、CO₂の発生量を求めることもできる。

表 4.7.3 電気事業者別排出係数一覧 抜粋

（環境省 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧）

https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf

代替値	0.000470
-----	----------

登録番号	電気事業者名	基礎排出係数 (t-CO ₂ /kWh)	調整後排出係数 (t-CO ₂ /kWh)	各事業者の把握率 (%)	把握できなかった理由
A0001	(株)F-Power	0.000448	メニューA	37.37	係数が代替値の事業者からの受電のため
			メニューB		
			メニューC(残差)		
			(参考値)事業者全体		
A0002	イーレックス(株)	0.000385	(残差)	—	
A0003	リエスパワー(株)	0.000445	(参考値)事業者全体	100.00	
A0004	エバーグリーン・リテイリング(株) (旧：イーレックス・スパーク・マーケティング(株))	0.000780	メニューA	100.00	
			(参考値)事業者全体		
A0006	エバーグリーン・マーケティング(株)	0.000308	メニューA	100.00	
			メニューB		
			メニューC(残差)		
			(参考値)事業者全体		
A0007	(株)SEウイングズ	0.000371		100.00	
A0008	(株)イーセル	0.000470		100.00	
A0009	(株)エネット	0.000391	メニューA	99.70	係数が代替値の事業者からの受電のため
			メニューB		
			メニューC		
			メニューD		
			メニューE		
			メニューF		
			メニューG		
			メニューH(残差)		
A0011	須賀川瓦斯(株)	0.000501	(参考値)事業者全体	87.44	係数が代替値の事業者からの受電のため
A0012	出光興産(株)	0.000406	メニューA	90.08	係数が代替値の事業者からの受電のため
			メニューB		
			メニューC(残差)		
			(参考値)事業者全体		

表 4.7.4 CH₄の排出係数（温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4.7）

別表12 廃棄物等の焼却及び原燃料としての使用に関する排出係数			
対象となる排出活動	区分	単位	値
一般廃棄物の焼却	連続燃焼式焼却施設	tCH ₄ /t	0.00000095
	准連続燃焼式焼却施設	tCH ₄ /t	0.000077
	バッチ燃焼式焼却施設	tCH ₄ /t	0.000076
産業廃棄物の焼却	汚泥	tCH ₄ /t	0.0000097
	廃油	tCH ₄ /t	0.0000056
工業炉等における廃棄物の焼却もしくは製品の製造の用途への使用	セメント焼成炉における廃ゴムタイヤの焼却もしくは製品の製造の用途への使用	tCH ₄ /t	0.00025
	セメント焼成炉における廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却もしくは製品の製造の用途への使用	tCH ₄ /t	0.00036
	その他の工業炉（ボイラーを除く。）における廃ゴムタイヤの焼却もしくは製品の製造の用途への使用	tCH ₄ /t	0.00025
	その他の工業炉（ボイラーを除く。）における廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却もしくは製品の製造の用途への使用	tCH ₄ /t	0.00036
工業炉等における廃棄物燃料の使用	セメント焼成炉におけるごみ固形燃料（RPF）の使用	tCH ₄ /t	0.00035
	セメント焼成炉におけるごみ固形燃料（RDF）の使用	tCH ₄ /t	0.00022
	その他の工業炉（ボイラーを除く。）におけるごみ固形燃料（RPF）の使用	tCH ₄ /t	0.00035
	その他の工業炉（ボイラーを除く。）におけるごみ固形燃料（RDF）の使用	tCH ₄ /t	0.00022

【根拠条文】算定省令第4条第24項～第28項及び別表第12～別表第14

表 4.7.5 N₂Oの排出係数（温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4.7）

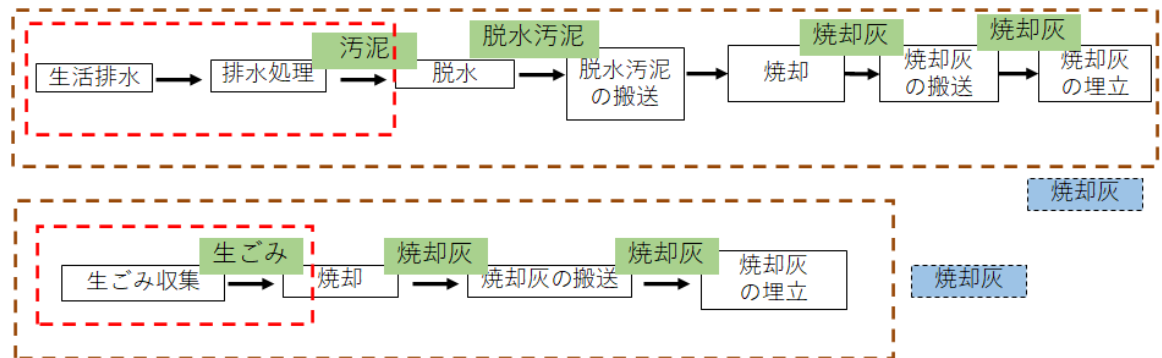
別表19 廃棄物等の焼却及び原燃料としての使用に関する排出係数			
対象となる排出活動	区分	単位	値
一般廃棄物の焼却	連続燃焼式焼却施設	tN ₂ O/t	0.0000567
	准連続燃焼式焼却施設	tN ₂ O/t	0.0000539
	バッチ燃焼式焼却施設	tN ₂ O/t	0.0000724
工業炉等における廃棄物の焼却もしくは製品の製造の用途への使用	常圧流動床ボイラーにおける廃ゴムタイヤの焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.0011
	常圧流動床ボイラーにおける廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.0016
	ボイラーにおける廃ゴムタイヤの焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000012
	ボイラーにおける廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000017
	セメント焼成炉における廃油の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000046
	セメント焼成炉における廃ゴムタイヤの焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000014
	セメント焼成炉における廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000019
	その他の工業炉における廃油の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000046
	その他の工業炉における廃ゴムタイヤの焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000014
	その他の工業炉における廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却又は製品の製造の用途への使用	tN ₂ O/t	0.000019
廃棄物の焼却	下水汚泥（高分子凝集剤を添加して脱水したもの）の流動床炉での焼却（通常燃焼）	tN ₂ O/t	0.00151
	下水汚泥（高分子凝集剤を添加して脱水したもの）の流動床炉での焼却（高温燃焼）	tN ₂ O/t	0.000645
	下水汚泥（高分子凝集剤を添加して脱水したもの）の多段炉での焼却	tN ₂ O/t	0.000882
	下水汚泥（石灰系凝集剤を添加して脱水したもの）の焼却	tN ₂ O/t	0.000294
	その他の下水汚泥の焼却	tN ₂ O/t	0.000882
	汚泥（下水汚泥を除く。）の焼却	tN ₂ O/t	0.00045
	廃油の焼却	tN ₂ O/t	0.0000098
	廃ゴムタイヤの焼却	tN ₂ O/t	0.00017
	廃プラスチック類（廃ゴムタイヤを除く。）の焼却	tN ₂ O/t	0.00017
	紙くず又は木くずの焼却	tN ₂ O/t	0.000010
	繊維くずの焼却	tN ₂ O/t	0.000010
	動植物性残渣又は家畜の死体の焼却	tN ₂ O/t	0.000010
	ごみ固形燃料（RDF）の焼却	tN ₂ O/t	0.00017
	ごみ固形燃料（RPF）の焼却	tN ₂ O/t	0.00017

4.7.3 メタン発酵施設導入の効果試算

小規模メタン発酵施設を導入した場合の温室効果ガス削減効果を試算する。施設建設時・廃棄時の温室効果ガス算定が困難なことから、施設運転時のみを対象とする。これは、後述する下水道温暖化対策推進計画と同様の考え方である。

小規模メタン発酵施設を導入した場合と導入しない場合のフローを以下に比較する。集排施設における汚泥処理フローは同様のため、表 4.7.6 のとおり、脱水汚泥及び生ごみの処理、メタンガス発電、消化液の輸送・散布が両者の差異となっている。

①一般的な場合（集排汚泥及び生ゴミを焼却する場合）



②小規模メタン発酵施設導入（メタン発酵し，消化液を液肥利用する場合）

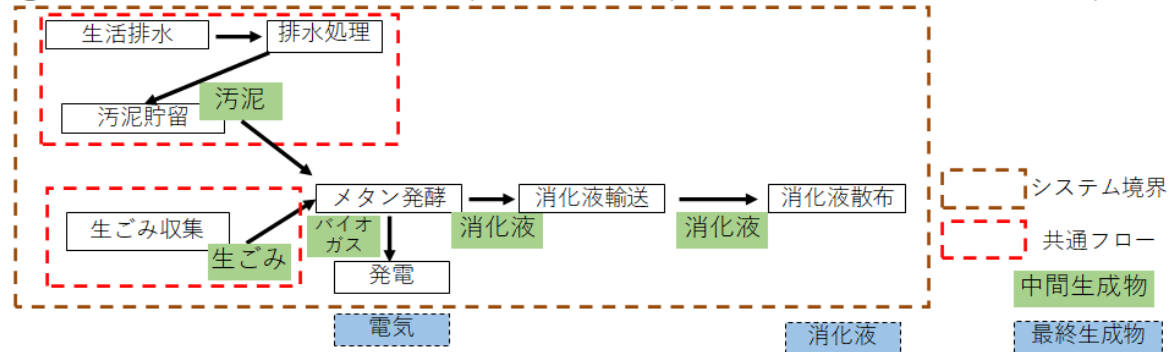


図 4.7.1 小規模メタン発酵施設導入の前後のフロー

表 4.7.6 小規模メタン発酵施設導入有無の違い

	①一般的な場合	②小規模メタン発酵施設導入
集排汚泥焼却	脱水汚泥の（搬送・）焼却 （焼却灰の搬送・埋立）	
生ごみ焼却	生ごみの焼却 （焼却灰の搬送・埋立）	
メタン発酵		メタンガス発電
消化液の液肥利用		（消化液輸送・散布）

※上記の（）内は表 4.7.7 の試算の対象外としている。

4.6 経済性の評価の「①処理人口 1,000 人」のケースを基に試算してみる。

以下の算定から年間で削減できる温室効果ガスは、二酸化炭素換算で 117 t-CO₂/年である。このうち大部分を N₂O の削減が占めている。

(4.6.2 検討結果の表 4.6.1

①処理人口 1000 人（汚泥 1.539 t/日、生ごみ 1.526 t/日）、
生ごみのうち事業系食品廃棄物 1.3 t/日 を基に試算）

表 4.7.7 小規模メタン発酵施設導入効果の試算結果

項目	年間発生量	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	合計
集排汚泥	562 t/年		0.0054 t-CH ₄ /年	0.2528 t-N ₂ O/年	
生ごみ	557 t/年		0.0005 t-CH ₄ /年	0.0316 t-N ₂ O/年	
発電	93,576 kWh/年	44.0 t-CO ₂ /年			
合計		44.0 t-CO ₂ /年	0.0060 t-CH ₄ /年	0.2844 t-N ₂ O/年	
合計 (CO ₂ 換算)		44.0 t-CO ₂ /年	0.1494 t-CO ₂ /年	84.7 t-CO ₂ /年	128.9 t-CO ₂ /年

なお、本試算では、脱水汚泥や焼却灰の搬送・埋立、消化液の輸送・散布については、地区毎に異なることや温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4.7 に排出係数が見当たらないため、試算の対象外としている。

しかしながら、使用車両や距離等を基に実績値を計上することや、文献値（例えば、対象規模は大きい、「LCA 手法を用いたメタン発酵施設によるふん尿処理・利用方式の環境影響の評価（菱沼ら）」、「バイオ資源・廃棄物の賦存量分布と温室効果ガスの視点からみた厨芥利用システム解析（酒井ら）」等）を用いることにより、脱水汚泥や焼却灰の搬送・埋立、消化液の輸送・散布の効果について計上することは可能である。

4.7.4 バイオ液肥の利用に係る効果

バイオ液肥の利用を行うことにより、化学肥料の生産に係る CO₂ の発生を削減することができる。ただし、消化液散布に係る運搬や散布に係る車両の CO₂ の発生量を考慮する必要があるため、ここでは定性的な効果として記載するにとどめる。

4.7.5 下水道温暖化対策推進計画における算定方法

「下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説（平成 28 年 3 月環境省・国土交通省）」の下水道温暖化対策推進計画に基づく、下水道における温暖化対策の算定方法を示す。集排施設における算定の参考になると考えられる。

①温室効果ガス排出抑制等指針の背景

地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年 10 月 9 日法律第 117 号）第 20 条の 5 及び 6 において、事業者に対して

- ・ 事業活動に伴う温室効果ガスの排出抑制等
- ・ 日常生活における排出抑制への寄与

という 2 つの努力義務が定められている。

従来までに策定されていた業務部門、廃棄物処理部門、産業部門（製造業）、日常生活部門に加え、この度、上水道・工業用水道部門及び下水道部門が策定された。

②排出量の目安

終末処理場等における処理下水量当たりの温室効果ガス排出量の実績値は、次の式により算出される（表 4.7.8）。

$$I = (A + B + C + D) / E$$

表 4.7.8 下水道部門の温室効果ガス排出抑制等指針パンフレット（環境省）抜粋

I: 排出実績値[kg-CO₂/m³]	終末処理場等における処理下水量当たりの温室効果ガス排出量
A: エネルギー起源CO₂排出量 [kg-CO₂]	当該施設において1年間に使用された電気及び化石燃料等のエネルギーの使用に伴って排出されたCO ₂ 排出量。ただし、施設内で製造し、使用したものは除く。
B: N₂O排出量[kg-CO₂-eq]	当該施設において1年間に下水の処理及び汚泥の処理に伴って排出された一酸化二窒素(N ₂ O)排出量(単位はCO ₂ 排出量に換算したもの)。
C: CH₄排出量[kg-CO₂-eq]	当該施設において1年間に下水の処理及び汚泥の処理に伴って排出されたメタン(CH ₄)排出量(単位はCO ₂ 排出量に換算したもの)。
D: CO₂削減効果[kg-CO₂]	当該施設において1年間に当該施設の外部へ供給した電気若しくは熱若しくは当該施設において生じた下水汚泥を原材料として製造された燃料によるCO ₂ 削減効果。
E: 処理下水量[m³]	当該施設における1年間の処理下水量

③下水道における地球温暖化対策マニュアル

下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説～（平成 28 年 3 月 環境省・国交省）において、下水道温暖化推進計画に基づく対応の詳細を示している。

図 4.7.2 のとおり、温室効果ガスは 4 区分の排出源を対象、CO₂、CH₄、N₂O の 3 種類の温室効果ガスを対象としている。

1.5 下水道温暖化対策推進計画の対象

下水道における温室効果ガスの排出は、施設建設時、施設運転時及び廃棄時に大別されるが、本マニュアルでは、施設運転時を対象とする。ただし、その削減対策には、運転方法・管理の工夫だけではなく、設備等の設置・改築・更新も含む。

施設運転時の温室効果ガス排出源、対象とする温室効果ガス、対策の対象は次のとおりとする。

1) 温室効果ガス排出源

本マニュアルでは以下に示す排出源を対象とする。

下水道事業から排出される温室効果ガスの排出抑制対策に直接的に資する取組。

- ① 電気、燃料（石油、ガス）等のエネルギー消費に伴う排出
- ② 施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出

下水道事業から排出される温室効果ガスの排出抑制対策に直接的に資する取組ではないが、社会全体で見て温室効果ガスの総排出量を減じる効果があるもの。

- ③ 上水、工業用水、薬品類の消費に伴う排出
- ④ 下水道資源の有効利用による排出量の削減

2) 対象とする温室効果ガス

温対法では 7 種類の温室効果ガスが規定されているが、下水道温暖化対策推進計画では、下水処理場でほとんど発生しないものを除いた次の 3 種類の温室効果ガスを中心に記載する。

- ① 二酸化炭素（CO₂）
- ② メタン（CH₄）
- ③ 一酸化二窒素（N₂O）

ただし、①のうち、生物処理に伴う二酸化炭素、嫌気性消化過程で生成されるメタンの燃焼に伴う二酸化炭素、污泥焼却に伴う二酸化炭素など、生物起源の二酸化炭素は、温室効果ガスの増加に該当しないため、対象に含めないものとする。

3) 対象とする施設

- ① 場外ポンプ場（中継ポンプ場、雨水ポンプ場等）
- ② 下水処理場（場内ポンプ場、水処理施設、污泥処理施設等）
- ③ その他（污泥再資源化施設、管理用施設等）

図 4.7.2 下水道における地球温暖化対策マニュアル
（平成 28 年 3 月 環境省・国交省）P8

また、図 4.7.3 のとおり、本計画では施設運転時を対象とし、建設時及び廃棄時は対象外としている。下水処理場における CO₂排出量は、その 8 割以上が施設運転時における排出となっている。

本マニュアルにおいては、処理場・ポンプ場施設では温室効果ガス排出の割合は施設運転時が主要な範囲であること、施設建設時・廃棄時は、温室効果ガス排出量の正確な把握などが困難であることから、下水道温暖化対策推進計画の範囲は施設運転時とし、建設時及び廃棄時は対象外とする。

ただし、建設時から廃棄時までを含めた LCCO₂ としての考え方は重要であり、管路施設までを含めたケースを含め、今後、施設の設置や改築更新において検討や取組が必要な分野である。

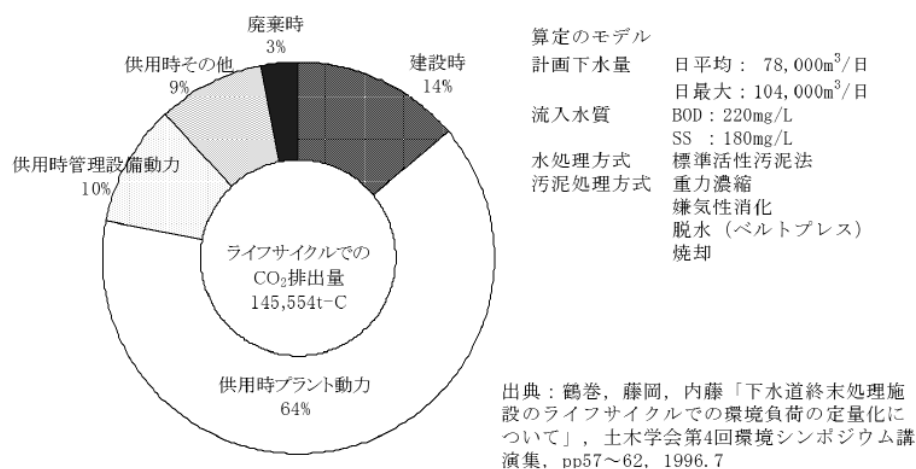


図 1-1 下水処理場における LCCO₂ の例

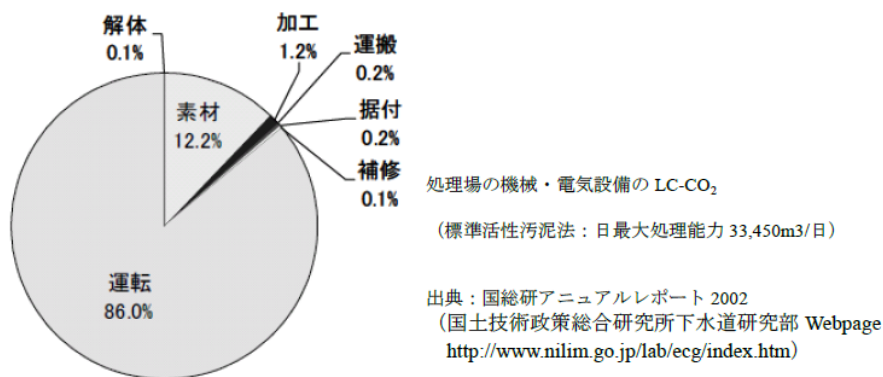


図 1-2 処理場設備の LCCO₂ 試算例

図 4.7.3 下水道における地球温暖化対策マニュアル
(平成 28 年 3 月 環境省・国交省) P9

以上のマニュアルにおける記載のとおり、下水道温暖化対策推進計画では、先述のとおり主な排出活動を4区分としている。また、メタン発酵施設における発電等は、内部利用（施設内でのエネルギーに使うこと）により、施設でのエネルギー消費が削減されるため、別途計上しないこととなっている。内部利用しない場合は、「地域単位でみた温室効果ガス総排出量削減への貢献」として評価する。

表 4.7.9 下水道における地球温暖化対策マニュアル（平成 28 年 3 月 環境省・国交省）P22

温室効果ガスの種類 対象とする活動	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	備考
①電気、燃料等のエネルギー消費に伴う排出				
a)他人から供給された電気の使用	○	—	—	可能な限り処理施設別に算定
b)他人から供給された熱の使用	(—)	—	—	電気、燃料起因の熱
c)燃料の燃焼, 燃料の使用				
重油,灯油,軽油,等	○	△	△	
LPG,LNG,都市ガス等	○	△	△	
一般炭,コークス等	○	△	△	
木炭,木材等	—	△	△	
d)自動車の走行	—	○	○	CO2排出は, c)の項で算定
②施設の運転に伴う処理プロセスからの排出				
下水の処理	—	○	○	
下水汚泥の処理処分				
焼却	—	○	○	
埋立処分	—	○	—	
その他(コンポスト, 燃料化等)	—	※	※	実測等により把握
③上水,工業用水,薬品類の消費に伴う排出	※	—	—	
④下水道資源の有効利用に伴う排出量の削減	※	—	—	効果分を差し引く

- 対象
 — 該当なし
 (—) 通常の下水道事業においては, 該当なし
 △ 燃料を燃焼する機関の形式により対象の有無, 排出係数が異なる
 ※ 対象(ただし, 算定・報告・公表制度では対象外)

4) 下水道資源の有効利用による排出量の削減³

下水熱や消化ガス, 下水汚泥固形燃料等の利用, 空間利用としての再生可能エネルギー(太陽光発電, 風力発電等)の導入など, 下水道資源を有効利用することで, 下水道施設における電気, 化石燃料の使用量や他事業者の温室効果ガス排出量を削減できる。

現状において下水道施設内で内部利用しているものについては, 1)の電気, 燃料等のエネルギー消費に伴う排出の削減として反映されているため, 改めて算定する必要はない。一方で, 内部利用ではなく下水処理場の外部にエネルギーや再生水等を供給し, 他事業者が利用する場合は, 下水道資源を活用した「地域単位でみた温室効果ガス総排出量削減への貢献」という位置づけで推進していくべき取組である。ただし, 地方公共団体実行計画など地域全体で評価する場合, 下水道管理者と他事業者がそれぞれ削減量としてカウントすることで二重計上の恐れが生じることから, 削減量について必要に応じて分けて記載することが望ましい。

図 4.7.4 下水道における地球温暖化対策マニュアル
 (平成 28 年 3 月 環境省・国交省) P23

温室効果ガス排出量は、次の計算式により算定する。

$$\begin{aligned}(\text{各温室効果ガスの排出量}) &= \Sigma \{ (\text{活動の種類ごとの排出量}) \} \\ &= \Sigma \{ (\text{活動量}) \times (\text{排出係数}) \}\end{aligned}$$

各温室効果ガスの排出量の算定方法は、政令により定められており、温室効果ガスの種類ごと、温室効果ガスを排出する活動の種類ごとに排出量を算定し、合算することにより求められる。

排出係数（及び単位発熱量）は、政令または算定奨励に定められている値を用いることを基本としている。

下水道の施設運転時における排出は以下が主なものである。

- ・下水の処理に伴う排出
- ・汚泥の焼却に伴う排出
- ・脱水汚泥の埋め立てに伴う排出
- ・その他（コンポスト化など）

マニュアル P34 によると、下水道施設は、流入下水中の有機物を分解し CO₂へと変換している施設であるが、カーボンニュートラルの考え方に従い、発生する CO₂については算定に含めないものとされている。ただし、CH₄、N₂O については、活動区分に応じて排出量に含める必要がある。

マニュアル P39 によると、再生水・消化ガス等の有効利用や太陽光発電の導入など、下水道事業として資源の有効利用を進める場合の算定について留意が必要である。

下水道事業として利用する場合は、電気、燃料等のエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量の削減分として反映される。下水道事業以外で利用する場合についても、温室効果ガス排出量の削減量を算出することはできるが、他事業における排出量算定とダブルカウントになっていないか確認することが必要である。

マニュアル P40 に排出削減量の計算例があるため、参考に示す。

【解説】

再生水・消化ガス等の有効利用や太陽光発電の導入など、下水道事業として資源の有効利用を進め、循環型社会の一翼を担っていくためには、これらの有効利用による効果を定量化して把握することは大きな意義がある。具体的に外部への供給が想定される下水道資源の例としては、電力（消化ガス、太陽光、風力、小水力等）、固形燃料、消化ガス、再生水、焼却排熱、下水熱、敷地空間（太陽光発電設備など）等が考えられる。

例えば、消化ガスを外部に供給し、供給先にて蒸気ボイラー等の燃料として利用している場合には、重油等の化石燃料を代替しているものとして、供給した消化ガス発熱量に相当する重油等化石燃料消費量にその排出係数を乗じた量を削減分として評価することが考えられる。

また、再生水利用については、ビル内のトイレ用水として供給している場合には、水道水を代替しているものとして、当該地域の水道事業の排出係数を再生水利用量に乘じた量を削減分として評価することが考えられる。

下水道資源の有効利用の形態としては、資源の供給先、すなわち有効利用の便益の受け手の種類によりいくつかのパターンに分類でき、パターン別に削減量のカウントの考え方が異なる点に留意が必要である。

表 3-8 有効利用の便益受け手によるパターン

有効利用便益の受け手の種類	効果の把握における留意点
同一処理場内での利用	下水道資源の有効利用の効果が、電気、燃料等のエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量の削減分として反映される。
下水道事業ではあるが、異なる処理場・施設での利用	
下水道事業以外であるが、当該地方公共団体の他の事業での利用	下水道資源の有効利用の効果が、基準年度における温室効果ガス排出量としては現れていないため、その効果を温室効果ガスの削減量として定量化して基準年度の温室効果ガス排出量から減じるものとする。 その際、他事業における排出量算定とダブルカウントになっていないかを確認することが必要。
当該地方公共団体の事業以外（民間等）での利用	

また、上記のような下水道資源の有効利用事業について、民間事業者が実施主体となる場合や、固形燃料や再生水等の利用者が民間事業者である場合等、複数の主体が関わる場合のCO₂排出削減量のカウントについては、実施主体や下水道資源利用者と下水道管理者との間の協定等に基づき按分する等、その考え方は事業形態等により様々である。

図 4.7.5 下水道における地球温暖化対策マニュアル

（平成 28 年 3 月 環境省・国交省）P39

計算例

○消化ガスの化石燃料代替としての利用

余剰消化ガス量：1,000m³/日＝365 千 m³/年の利用

消化ガス発熱量：365 千 m³/年×22 GJ/千 m³＝8,030 GJ/年

消化ガス発熱量：20～25 MJ/m³N → ここでは 22 MJ/m³ (GJ/千 m³) と仮定

温室効果ガス排出削減量 (【重油換算】 2.71 t-CO₂/kL)

消化ガス熱量の A 重油換算：8,030 GJ/年÷39.1 GJ/kL＝205kL/年

温室効果ガス換算：205kL/年×2.71 t-CO₂/kL＝557 t-CO₂/年

注：ガス会社への販売，自動車燃料としての利用などの場合，消化ガスの精製，貯留等に要するエネルギー（温室効果ガス排出量）を勘案しなければならない。

○自然エネルギー(太陽光発電)の導入

太陽光パネル設置面積：1,000m² の場合

太陽電池出力(kW)＝1/15×パネル設置面積(m²)÷5＝1/15×1,000m²÷5＝72kW

年間発電電力量(kWh/年)＝

太陽電池出力(kW)×最適角平均日射量(kWh/m²・日)÷標準状態における日射強度(kWh/m²)×総合設計係数 (≒0.7) ×日数(日/年)

(平均日射量は，NEDO 資料を参考に仮定した年間平均値)

＝72 kW×4.1 kWh/m²・日÷1 kWh/m²×0.7×365 日/年≒75,400kWh/年

温室効果ガス排出削減量 (【電気換算】 0.555 t-CO₂/千 kWh)

75.4 千 kWh/年×0.555 t-CO₂/千 kWh＝41.8 t-CO₂/年

なお，算定式，係数は下記資料を参照した

1)下水道における新エネルギー技術の導入・評価に関する技術資料，2007.3，下水道新技術推進機構

2)NEDO 新エネルギーガイドブックの最的確年平均全天日射量マップ

図 4.7.6 下水道における地球温暖化対策マニュアル

(平成 28 年 3 月 環境省・国交省) P40

4. 7. 6 LCA（ライフサイクルコストアセスメント）による算定

「循環型社会」を実現するためには、天然資源の消費や環境負荷の排出を抑えるような資源循環のシステムを選択していく必要がある。システム全体での環境負荷量などを把握する手法として、「ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment: LCA）」が注目されている。ライフサイクルは「生涯」、アセスメントは「評価」のことである。

図 4. 7. 7 のうち図 1 はある製品のライフサイクルの例で、二酸化炭素（CO₂）の排出に着目している。製品に関連する CO₂ の排出量を把握・削減する場合、まず思い浮かぶのが「生産」工程だが、その上流には「原料生産」、「資源採掘」という工程、下流には製品の「消費」、廃棄物の「処理・処分」という工程がつながっている。これら全体がライフサイクルのシステムであり、各工程から CO₂ が排出される可能性がある。生産での CO₂ が小さくとも、上流や下流での CO₂ が大きい場合もあり、これを見逃さないのが LCA である。

図 2 は、機能が同じ製品 A と B に関連する CO₂ 排出量を、LCA を用いて比較した例である。生産段階のみに着目すると、製品 B の CO₂ 排出量は A より少ないが、ライフサイクル全体を通してみると、逆に製品 A の CO₂ 排出量が B より少ない。このようにして、LCA は、製品・サービスのライフサイクル全体での環境負荷を明らかにすることにより、より環境に配慮した製品・サービスを検討するための有用なデータを提供する。

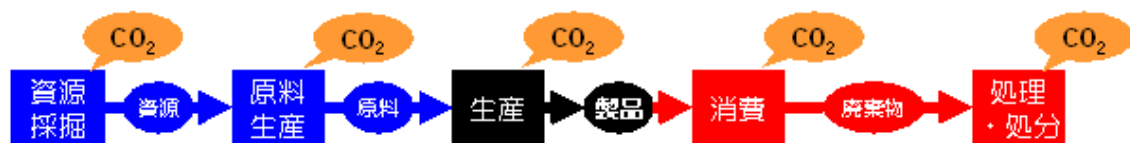


図1. 製品のライフサイクル

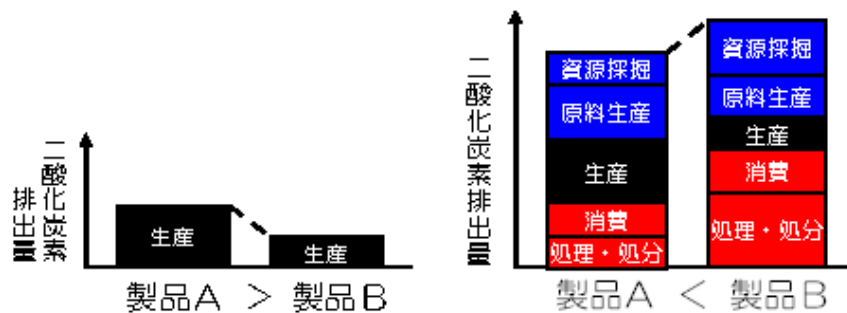


図2 製品に関連する CO₂ 排出量の比較（例）

（左：生産工程での排出、右：ライフサイクルでの排出）

図 4. 7. 7 LCA のイメージ（国立環境研究所 HP）

LCA では、集排汚泥及び生ごみの処理、メタンガスによる発電のみでなく、施設の導入や消化液の運搬散布に至るまでのサイクルで排出する温室効果ガスを算定する。

4. 8 小規模メタン発酵施設の過去事例

小規模メタン発酵の過去事例について、施設概要やバイオガス発生量等の結果について紹介する。

【解 説】

地域資源循環技術センター（現 一般社団法人 地域環境資源センター）として、過去に小規模メタン発酵を実施したことがあるため、施設の概要や運転結果を記載する。この事例では集排汚泥を機械濃縮により TS を 3～5%にして用いることを想定している。この点が、重力濃縮で生成した TS2%の汚泥を用いる本手引きが想定しているシステムとは異なるところである。

4.8.1 実証試験施設概要

メタン発酵実証試験施設の外観を写真 4.8.1 に、主要設備の仕様を表 4.8.1 に示す。



写真 4.8.1 メタン発酵実証試験施設の全景

表 4.8.1 実証試験施設の主要設備仕様

主要設備	設備仕様
生ごみ破碎分別機	破碎能力：0.5～1.0t/h, 200V×5.5kW
メタン発酵槽	有効容量：4.5m ³ , 横軸攪拌機：200V×0.2kW
ガスホルダー	有効容量：1.46m ³
加圧ガスホルダー	有効容量：4.0m ³ , 最大貯留圧力：0.6Mpa
ガスエンジン発電機	最大発電能力：6kW, 系統連携運転
液肥貯留槽	有効容量：20m ³ （投入量の 100 日分）

4.8.2 バイオガス発生量

実証試験において、原料の集排汚泥と生ごみの混合比率（TS 比率）を RUN1=1:3, RUN2=1:2, RUN3=1:1 と 3 段階に変えて運転を行った。運転状況を表 4.8.2 に、得られたメタン発酵槽の有機物負荷とガス発生量の相関検討結果を図 4.8.1 に示す。

表 4.8.2 メタン発酵槽の運転状況

RUN	投入量 (m ³ /日)	集排汚泥 TS (%)	生ごみ TS (%)	混合原料 VS (%)	メタン発酵槽		バイオガス発生量 (m ³ /m ³ 槽/日)
					負 荷 (kg-VS/m ³ 槽/日)	滞留日数 (日)	
1	0.13	4.58	27.5	8.12	3.09	34.3	2.00
	0.11	5.12	20.7	7.59	2.90	45.6	1.29
	0.16	5.61	22.1	8.85	3.98	28.0	1.98
	0.19	5.28	20.6	9.93	4.64	24.4	2.51
	0.19	6.50	21.6	10.95	5.00	24.6	2.85
2	0.13	5.35	19.7	6.59	2.70	35.9	1.50
	0.18	5.82	23.2	7.94	3.93	25.7	1.77
	0.22	5.55	21.9	7.89	4.88	20.4	2.22
	0.26	5.37	21.8	8.21	5.63	17.1	2.42
	0.37	5.25	20.4	7.64	7.48	12.3	3.39
3	0.32	2.85	20.8	3.91	3.13	14.3	1.23
	0.39	2.70	21.1	3.43	3.96	11.6	1.41
	0.44	3.01	20.7	3.67	4.53	10.2	1.93
	0.48	3.09	24.6	3.50	5.13	9.5	1.96
	0.55	3.44	22.4	3.49	5.93	8.3	2.32
	0.62	3.55	22.2	3.52	7.11	7.3	2.62
	0.72	3.18	22.8	3.54	8.10	6.2	3.06

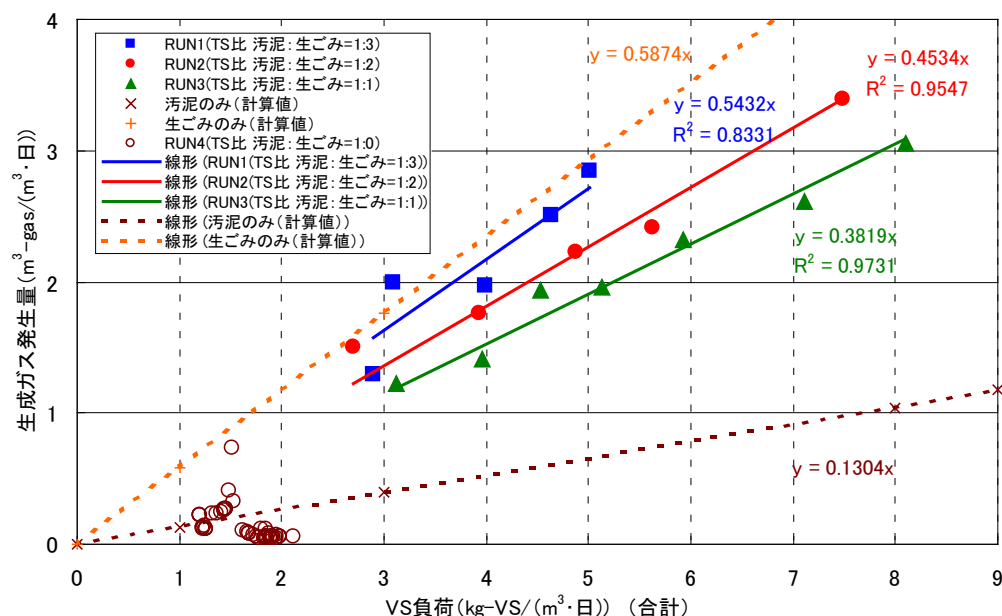


図 4.8.1 メタン発酵槽の VS 負荷とバイオガス発生量

各 RUN とも、VS 負荷の上昇に伴い生成ガス発生量も直線的に増加しており、順調にバイオガスが発生していると考えられる。

各 RUN の近似曲線の傾きの差から集排汚泥と生ごみそれぞれのバイオガス発生量を計算すると以下ようになる。

集排汚泥由来のバイオガス発生量： $0.13 \text{ m}^3 / \text{kg-投入 VS}$

生ごみ由来のバイオガス発生量： $0.59 \text{ m}^3 / \text{kg-投入 VS}$

4.8.3 有機物分解率

バイオガス中のメタンガスの割合を 60%とし、原料の COD_{Cr} と VS（強熱減量）の比、分解有機物あたりの理論ガス発生量を使用して、各原料の有機物分解率を求める。

①集排汚泥の有機物分解率

実証試験時の濃縮汚泥の分析結果では、 COD_{Cr} と VS の比は 1.41 であった。

集排汚泥の有機物分解率は、分解有機物あたりのメタンガス発生量 $0.35 \text{ Nm}^3 / \text{kg-COD}_{\text{Cr}}$ より、

$$0.13 \text{ m}^3 / \text{kg-VS} \times 0.60 \div 1.41 \text{ kg-COD}_{\text{Cr}} / \text{kg-VS} \div 0.35 \text{ m}^3 / \text{kg-COD}_{\text{Cr}} = 15.8\%$$

②生ごみの有機物分解率

表 2.4 に示す生ごみの性状例より COD_{Cr} と VS の比を求めると 1.22 となる。

生ごみの有機物分解率は、

$$0.59 \text{ m}^3 / \text{kg-VS} \times 0.60 \div 1.22 \text{ kg-COD}_{\text{Cr}} / \text{kg-VS} \div 0.35 \text{ m}^3 / \text{kg-COD}_{\text{Cr}} = 82.9\%$$

以上より、計画時に使用する有機物分解率は、集排汚泥 15%、生ごみ 80%とする。

4.8.4 メタン発酵槽容量（滞留日数）

表 4.8.2 よりメタン発酵槽の有機物負荷（VS 容積負荷）の最大値と、滞留日数の最小値を整理したものを表 4.8.3 に示す。

表 4.8.3 メタン発酵槽の運転結果

RUN NO.	RUN1	RUN2	RUN3
最大 VS 容積負荷 (kg-VS/m ³ -発酵槽)	5.00	7.48	8.10
最小滞留日数 (日)	24.6	12.3	6.2

集排汚泥と生ごみの濃度は大きく異なるため、原料の混合比率が変化すると混合原料の VS 濃度も変化する。メタン発酵槽の設計にあたっては、有機物負荷（VS 容積負荷）を滞留日数とともに指標とする必要がある。

実施設における安定運転を考慮したうえで、基準となる滞留日数を検討する。

汚泥と生ごみの TS 比を 1:1 とした RUN3 では 6.2 日間の滞留日数でも安定運転を確認できた。よって RUN3 での結果に対し約 1.5 倍の安全率を見込んで、滞留日数 10 日以上を設計基準の最小とする。また RUN2 では VS 負荷 $7.5 \text{ kg-VS} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の条件で安定運転を行っ

たことから、滞留時間と同様に約 1.5 倍の安全率を見込んで、VS 負荷最大 $5\text{kg-VS}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ を設計基準とする。

上記の滞留日数と VS 容積負荷に関する設計基準を両方満たす条件（AND 条件）で用いれば、実証試験で安定運転を確認した汚泥と生ごみの TS 混合条件について、実施設計が計画できる。

なお、上記の設計条件を用いる場合、滞留日数 10 日となるのは集排汚泥：生ごみ＝1：1 のように分解可能な有機物の少ない場合であり、生ごみ等の分解可能な有機物が多い VS 負荷の高い場合には、滞留日数が長くなる。

投入原料の濃度が高くなると、同一の VS 負荷条件であっても、演算結果では滞留時間が長くなる。設計 VS 負荷と滞留時間の関係を試算した例について、集排汚泥濃度 3% の場合を図 4.8.2 に、集排汚泥濃度 5% の場合を図 4.8.3 に示す。

集排汚泥を一定量として生ごみの量を増減させた場合、生ごみの比が多い方は、投入量が多く、また有機物も多くなるため、同一負荷条件では、集排汚泥：生ごみの比が 1：1 よりも 1：2、さらに 1：3 の場合の方は、滞留日数が長くなる。また、図 4.8.2 と図 4.8.3 を比較すると、集排汚泥の投入濃度を上げたほうが、同一負荷条件での滞留日数が長くなる。

検討条件

集排汚泥濃度	3%または5%
集排汚泥 VS/TS 比	0.75
生ごみ含水率	80%
生ごみ VS/TS 比	0.85
汚泥と生ごみの TS 比	1：1, 1：2, 1：3

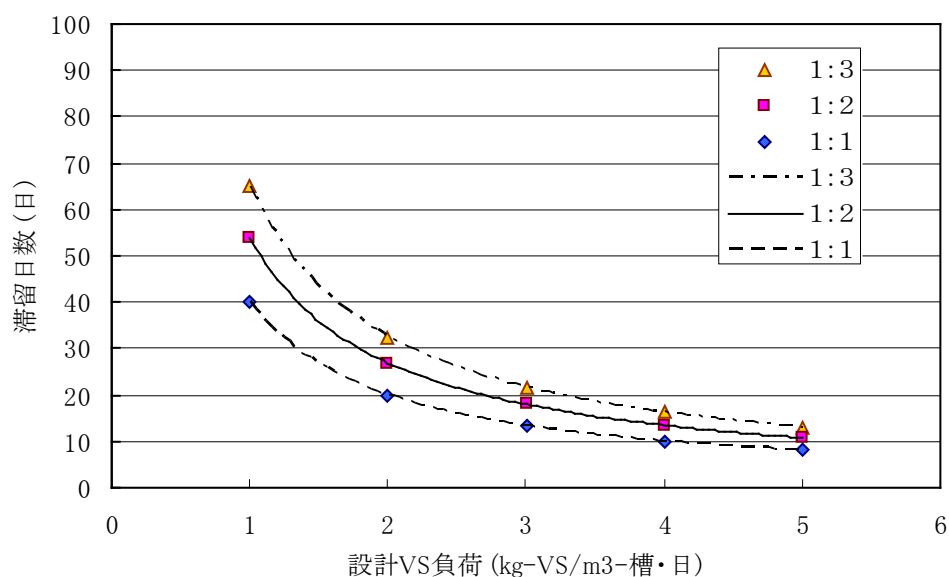


図 4.8.2 設計 VS 負荷と滞留日数（集排汚泥濃度 3%）

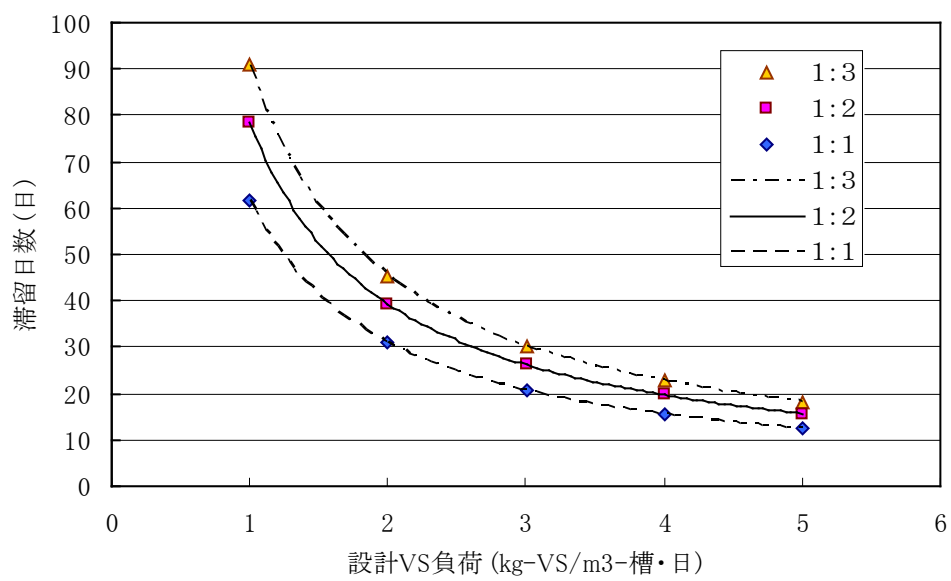


図 4. 8. 3 設計 VS 負荷と滞留日数（集排汚泥濃度 5%）

5. 液肥利用の導入促進（具体的事項）

5.1 肥料について

肥料とは、植物の土に栄養を施すもの、土に化学変化をもたらすもの、植物に栄養を施すものであり、化学肥料と有機質肥料に分けられる。また、利用にあたっては、肥料法において、登録先や届出先が定められている。

【解 説】

5.1.1 肥料とは

肥料とは、肥料法第2条第1項において、「植物の栄養に供すること又は植物の栽培に資するため土壌に化学的变化をもたらすことを目的として土地にほどこされる物及び植物の栄養に供することを目的として植物にほどこされる物をいう」とされており、肥料を利用する際には、肥料の特徴を踏まえたうえで、対象作物に適切な量を施肥することが必要である。

なお、肥料法上の「主成分」は9成分（N、P、K、Ca、Mg、Mn、Si、B、S）である。「主成分」とは、肥料として普遍的に効果があり、肥料の保証票に記載することが認められる成分のことである。

【肥料の三要素、窒素（N）、リン酸（P）、カリ（加里）（K）の主な働き】

窒 素：植物（主に葉）の成長
リ ン 酸：開花結実
カリ：根の発育を促す

【二次要素、カルシウム、マグネシウム、硫黄の主な働き】

カルシウム：植物による肥料成分の吸収を容易にする
マグネシウム：植物の新陳代謝を活発にする
硫 黄：葉緑素の生成に資する働きがある

5.1.2 肥料の種類

肥料は化学的に製造された「化学肥料」と動植物の有機物が原料である「有機質肥料」に大別される。化学肥料が窒素、リン酸、カリの比率を調整可能なのに対し、有機質肥料は、土壤中で分解され植物に吸収されるため、遅効性という特徴があり、原料の特性により3要素のバランスが異なる点に注意が必要である。

表 5.1.1 主な肥料の種類（農林水産省 生産局 肥料をめぐる情勢 令和3年4月）

〔主な肥料の種類〕

	分 類	主な肥料	参考
化学肥料 (化学的に製造)	窒素質肥料	尿素、硫酸、塩安、石灰窒素	石灰窒素は、農業効果も期待できる。
	りん酸質肥料	過りん酸石灰、熔成りん肥	熔成りん肥は、りん成分が土壤中に緩やかに溶出することなどから土づくりに利用しやすい。
	加里質肥料	塩化加里、硫酸加里	速攻性の肥料であり、単肥よりも化成肥料や配合肥料の原料となる。
	複合肥料	高度化成肥料、普通化成肥料、配合肥料	N、P、Kのうち2成分以上の肥料成分を含む。
	石灰質肥料	炭酸カルシウム肥料、消石灰	主に土壤の酸度矯正を目的とするアルカリ性の肥料。
	その他肥料	ケイ酸質肥料、苦土肥料	ケイ酸質肥料は、イネ科の植物の耐病、耐虫性等を高める。
有機質肥料 (動植物性の有機物が原料)	堆肥	牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥	土づくりににも使用される。
	動植物質肥料	魚粕粉末、菜種油粕、骨粉	動物の肉・骨や魚、草本性植物の種子等から、圧搾等により水分・脂肪・油を搾った後の粕やその粉末。
	有機副産物肥料	汚泥肥料	下水道処理場等から回収した有機副産物を基に生産。

注：家畜ふん堆肥の中で最も肥料成分が高い鶏ふん堆肥で、N:3%、P:7%、K:4%(千葉県農業総合研究センター調べ)。
一般的な化学肥料である高度化成肥料は、N:14%、P:14%、K:14%。

5.1.3 農業経営費に占める肥料費

世界的な穀物相場の高騰を背景に肥料需要が旺盛となっている中、石油価格に加えリン鉱石・硫安などの各原材料も高騰していることから、窒素、リン酸、カリともに大幅に価格上昇している（図 5.1.1）。「2. 資源の循環利用をめぐる情勢」の通り、窒素の 96%、リン酸及びカリは全量輸入している状況にあり、各国の環境保護政策による採掘量増産が困難であったり、食料安全保障上、輸出規制が行われる場合もあったりするため、国内での安定的な供給が危ぶまれる状況にある。

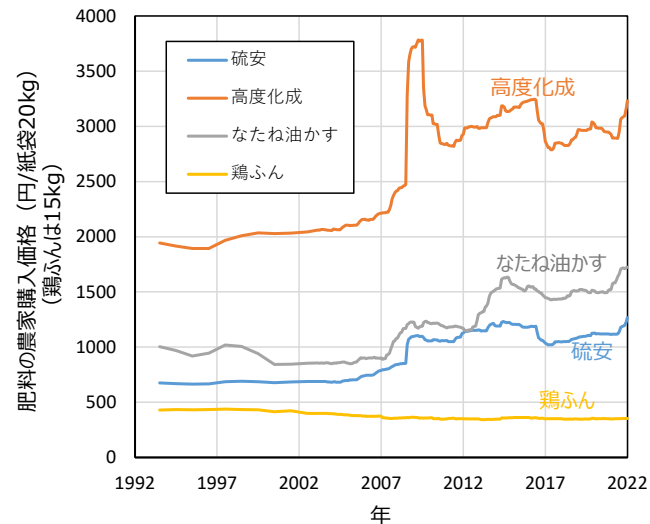


図 5.1.1 肥料価格の推移（肥料経済研究所ホームページ）

営農類型別の経営費に占める肥料費の割合は、全体で 7%、経営別で 7～16%である。米生産費においては、近年 7%前後（約 9 千円/10a）と横ばいで推移している（図 5.1.2）。原材料の高騰は、肥料の販売価格まで反映されていないが、農協等がその高騰分を負担しており、肥料の販売価格が上昇する可能性がある。

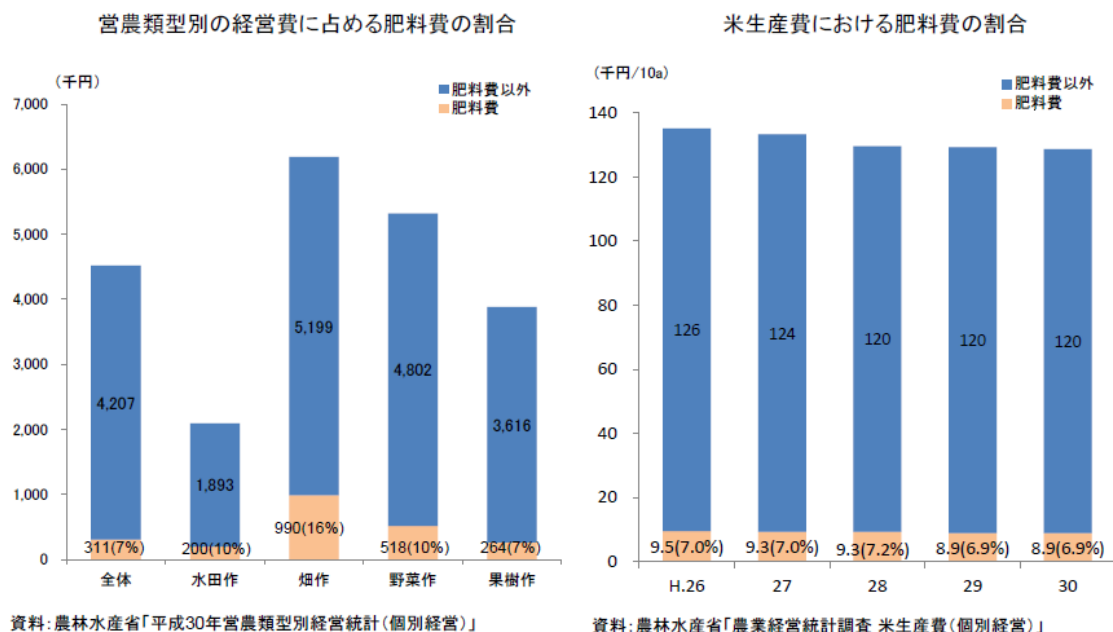


図 5.1.2 農業経営費に占める肥料費（農林水産省 生産局 肥料をめぐる情勢 令和 3 年 4 月）

5.2 バイオ液肥の特徴

バイオ液肥は、速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素を含み、化学肥料の代わりに利用できる肥料である。対象地域の農業の特徴（作物、土壌等）を考慮して、適切な施肥設計により、化学肥料と同等の収量、食味が期待できる。

【解説】

5.2.1 バイオ液肥とは

メタン発酵では、バイオガスを回収した後に、原料とほぼ同量の消化液が生成される。消化液は、窒素、リン酸、カリ等の肥料成分を含み、化学肥料の代わりに利用できる有機質肥料であることから、近年では消化液は「バイオ液肥」と呼ばれている。バイオ液肥を地域で適切に利用することができれば、再生可能エネルギーの生産に加え、地域に賦存する資源を有効利用する循環型社会の形成や温室効果ガス排出量の削減に貢献できる持続可能性の高い取組となる（図 5.2.1、中村、2020）。また、消化液をバイオ液肥として利用することは排水処理することによって低コストである（浅井、2020、3.5.5 液肥利用施設の経済性を参照）ため、バイオ液肥を散布可能な農地が多い農村地域においては、液肥利用は有力な選択肢である。

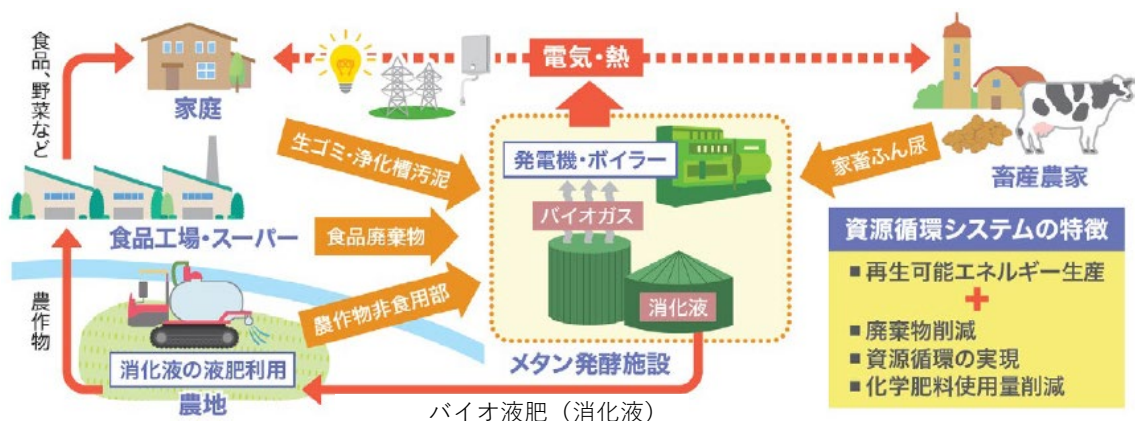


図 5.2.1 メタン発酵を中核としたメタン発酵システム

5.2.2 バイオ液肥の利用プロセス・経済性

バイオ液肥の一般的な利用プロセスを図 5.2.2 に示す。一時的に貯留槽で貯留した後、バキューム車などでは場まで運び、液肥散布車で水田、畑地、牧草地に散布する。バイオ液肥の輸送、散布作業は、一般的にメタン発酵事業者が担い、散布サービス込みで耕種農家に提供される。また、事業者は液肥利用を採用することにより、コストダウンを見込めることから、バイオ液肥の提供価格は通常の肥料に比べて安価に設定される。その料金は、液肥料金及び運搬・散布料金を含めて、概ね 500 円/t~1,500 円/t となっており、化学肥料に比べて安く、利用農家にとっては、肥料代の節減のみならず、散布労力の大幅な削減というメリットがある。一方、事業者にとってみると、輸送に要する車両、散布に係る機械、人件費等が必要なものの、



写真 5.2.1 バイオ液肥

バイオ液肥を排水処理することと比べると経済性を著しく損なうことはない。排水処理に要する経費が5,000 円/t なのに対して、液肥利用の場合は2,000 円/t となるという報告もある（浅井、2020）。

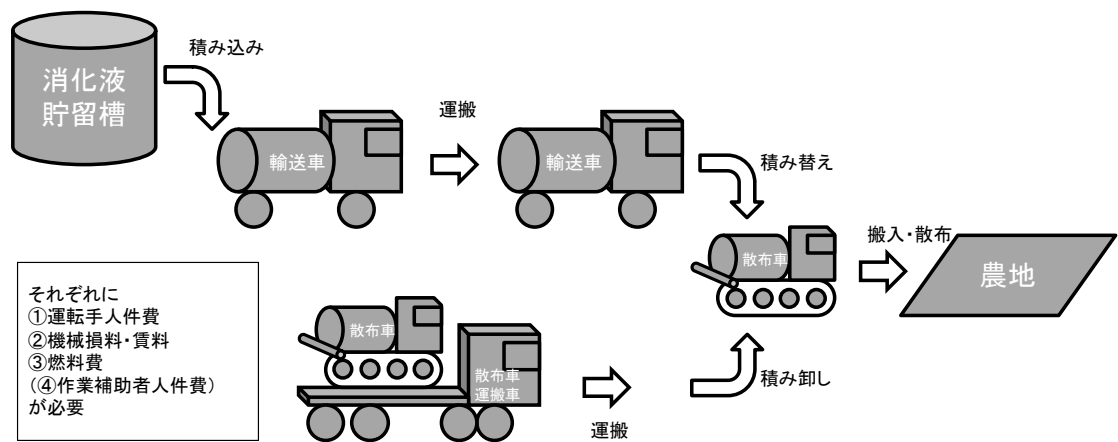


図 5.2.2 バイオ液肥の利用プロセス

5.2.3 肥料としての特徴

様々な原料由来のバイオ液肥の成分を表 5.2.1 に示す。バイオ液肥成分の特徴は、含有窒素の約半分が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素であることである。このため、硫酸などの速効性の化学肥料と同様の利用が可能である。また、メタン発酵において、原料に含まれる肥料成分の窒素、リン、カリウムは、ほぼ全量がバイオ液肥に移行するため、その成分はメタン発酵原料の成分組成を反映する。例えば、乳牛ふん尿が主原料の場合、乳牛ふん尿の成分を反映して、窒素やカリに対してリン酸の含有量が少ないバイオ液肥となる。集排汚泥と生ごみ等を原料とする本実証試験のバイオ液肥は、速効性の窒素成分であるアンモニア態窒素、リン酸、カリの濃度の差が小さく、窒素、リン酸、カリのバランスが比較的良いバイオ液肥と言える。当然のことながら、肥料成分濃度が低い原料から生成したバイオ液肥は肥料成分濃度が低くなり、使いにくいバイオ液肥となる。一方、原料由来の有害物質（重金属、塩分等）はバイオ液肥に移行するので、原料中のそれらの濃度が問題ないレベルかを確認しておく必要がある。

表 5.2.1 様々な原料のバイオ液肥の肥料成分の例

	単位	施設 A	施設 B	施設 C	施設 D	施設 E	本実証 試験 1	本実証 試験 2
主な原料		乳牛 ふん尿	乳牛 ふん尿	生ごみ	食品加工 残さ・生 ごみ	生ごみ、 し尿、浄 化槽汚泥	集排汚 泥、生ご み	集排汚泥、 生ごみ、お から
含水率	%	94.7	95.9	98.2	97.4	98.0	98.0	98.1
pH	-	7.8	7.7	8.0	8.1	8.3	7.5	7.9
全窒素	%	0.37	0.34	0.27	0.16	0.27	0.23	0.29
アンモニア態 窒素	%	0.19	0.17	0.16	0.10	0.19	0.11	0.19
硝酸態 窒素	%	定量下限 値以下	定量下限 値以下	定量下限 値以下	定量下限 値以下	定量下限 値以下	定量下限 値以下	定量下限値 以下
リン酸 (P ₂ O ₅)	%	0.12	0.12	0.07	0.05	0.13	0.08	0.09
カリ (K ₂ O)	%	0.33	0.39	0.14	0.23	0.11	0.13	0.14

「窒素」、「リン酸」、「カリ」は肥料の三要素であり、そのうち「窒素」は、生育、収量に最も影響する成分である。施用された窒素は、そのすべてが作物へ吸収されるわけではなく、利用されずにガスとして大気へ揮散するもの、地下へ溶脱するものなどがある。堆肥やバイオ液肥などの有機質資材の窒素の組成は化学肥料とは異なるので、それらの施用後の動態を理解した上で、作物要求量に極力合わせて施用量を決定することが重要である。

バイオ液肥の場合、含まれる窒素の約半分がアンモニア態窒素、残りが有機態窒素である。バイオ液肥を土壌表面に施用すると、バイオ液肥中のアンモニア態窒素の一部が揮散する。揮散量は施用後数時間が特に多くなる。しかし、施用後速やかに土壌と混和する、土中に施用するなど、アンモニア揮散を抑制できる施用方法（揮散抑制型施用方法）を採用することにより、バイオ液肥に含まれるアンモニア態窒素の多くを速効性成分として利用でき、アンモニア態窒素を基準とした施肥設計が可能である（図 5.2.3）。一方、メタン発酵過程で原料由来の易分解性の有機態窒素は無機化しアンモニア態窒素になっているため、バイオ液肥に含まれる有機態窒素の無機化量は少なく、施肥設計上は無視することができる（6.5.4 無機化試験を参照）。

施用された窒素の土壌中での動態を調査した実験結果からは、バイオ液肥由来のアンモニア態窒素の動きは、硫酸など、化学肥料由来成分の窒素の動きと大きな差異はないことが示されている。作物による窒素吸収量に対する溶脱量の割合がバイオ液肥と硫酸で同等であることから、化学肥料をバイオ液肥で代替しても作物の要求量に合った適切な施用量であれば、地下水への負荷を増加させる懸念は小さいといえる。

また、バイオ液肥を多量に施用すると、土壌に浸透し切らず、施肥ムラが生じるため、一度の施用量は 5t/10a 程度が上限である。アンモニア態窒素が 0.15%のバイオ液肥の場合、5t/10a 施用すると 10a あたり 7.5kg の窒素が施用されることになる。水稻や麦の場合は、一般的な施肥量を一度に施用することができるが、野菜などの施肥量が多い作物は、バイオ液肥にプラスして、不足分を化学肥料等で補充する対応が必要となる。

このように、バイオ液肥の肥料効果や利用に伴う環境影響については基本的な情報は整理されてきている（中村、2013、経済産業省資源エネルギー庁、2022）。バイオ液肥をそれぞれの地域で利用していくためには、上記のような特徴を踏まえて、その地域の農業の特徴（作物、土壌等）に合うようにアレンジしていくことが重要である。

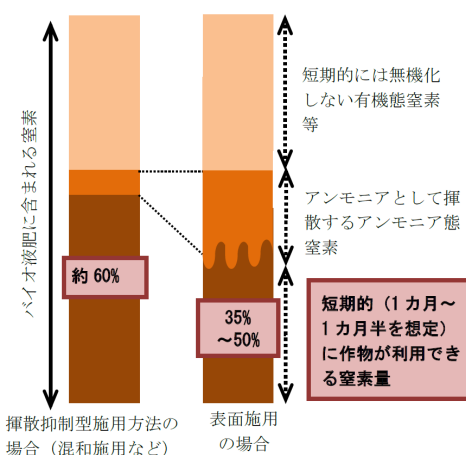


図 5.2.3 バイオ液肥由来窒素の利用可能割合

5.3 バイオ液肥の施肥設計

バイオ液肥の各作物への施用量は、施肥基準とバイオ液肥の肥料成分濃度から決定することができる。バイオ液肥の使い方を組み込んだ、栽培ごよみを作成すると、農家にとってもわかりやすく、利用しやすくなる。

【解 説】

適正な施肥を行うためには、都道府県の「施肥基準」に則した施肥を行うほか、定期的に土壌分析を行い、その結果を「土壌診断基準値」と照らし合わせては場の状態を把握し、肥料の種類や施肥量を検討する。

5.3.1 施肥基準

都道府県において、施肥基準が定められている。作物の種類、土壌区分、作型等ごとに基準収量を設定し、標準的な窒素・リン酸・カリの施肥量等が示されている。この標準的な施肥量からバイオ液肥の施用量を決定できる（図 5.3.1）。

都道府県施肥基準等（農林水産省 HP）

https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/

5.3.2 施肥設計

5.2 で述べた通り、バイオ液肥の窒素については、アンモニア態窒素の成分量が速効性成分の目安である。液肥に含まれるアンモニア態窒素量と都道府県の施肥基準を元に、液肥の散布量を算出することができる。その時、リン酸、カリの施用量が施肥基準に対して不足する場合は化学肥料等で補うことを検討する必要がある。集排汚泥と生ごみや農村バイオマスを原料とするバイオ液肥は、アンモニア態窒素とカリの濃度がほぼ同等、リン酸は少なめである。このため、バイオ液肥の施用量を決めるときは、窒素に着目して決めるのが一般的である。

具体的には、バイオ液肥のアンモニア態窒素が、施肥基準の窒素に対して同等～2割増程度（アンモニアの揮発分を考慮）となるように施用量を決める。施肥基準に満たない分のリン酸やカリについては、土壌診断等を踏まえつつ、不足分のリン酸やカリを化学肥料で補うのが基本的な考え方である。

施肥設計例として、6.5.5 ほ場試験（試験ほ場）のコマツナ及びリーフレタスの栽培試験の際の施肥設計を図 5.3.2 に示す。栽培試験では、アンモニアの揮発を踏まえ、この2割増のバイオ液肥を施用している。

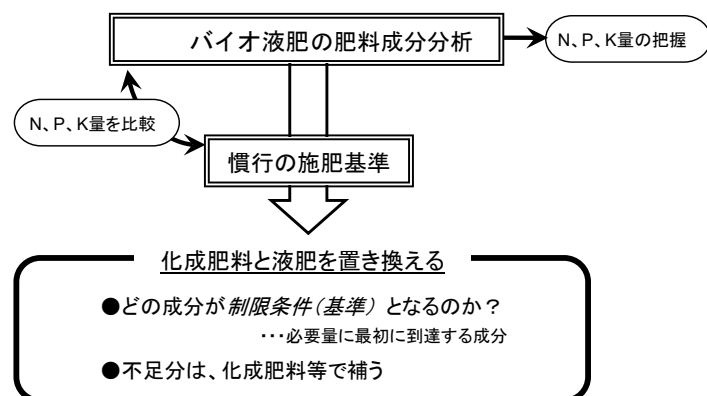


図 5. 3. 1 施肥設計の基本的考え方

コマツナ・リーフレタス施肥設計 (R3.10)

		コマツナ	リーフレタス	備考
栽培面積	m ²	7.5	7.5	1.5 × 5.0m

成分

アンモニア態窒素	mg/L	1808	1808	
リン酸	mg/L	820	820	
カリ	mg/L	1446	1446	

基肥

窒素施肥基準量	g/m ²	10	26	徳島県主要作物施肥基準
リン酸施肥基準量	g/m ²	10	22	徳島県主要作物施肥基準
カリ施肥基準量	g/m ²	10	24	徳島県主要作物施肥基準
バイオ液肥施用量	L/m ²	5.53	14.38	窒素合わせ
不足分(窒素)	g/m ²	0.0	0.0	
不足分(リン酸)	g/m ²	5.5	10.2	
不足分(カリ)	g/m ²	2.0	3.2	
硫安施肥量	g/m ²	0.0	0.0	硫安中窒素21%
過リン酸石灰施肥量	g/m ²	31.2	58.3	過リン酸石灰保証成分16.5-20.2%
塩化カリウム施肥量	g/m ²	3.3	5.3	塩化カリウム保証成分60.0%
バイオ液肥施肥量	L	41.5	107.9	
硫安施肥量	g	0.0	0.0	
過リン酸石灰施肥量	g	234.2	437.4	化学肥料により補う
塩化カリウム施肥量	g	24.8	39.7	化学肥料により補う

図 5. 3. 2 施肥設計例

農家向けには、施肥設計、施肥時期、その他栽培管理等をまとめた栽培ごよみ（図 5.3.3）を自治体や営農普及センター等が作成し、配布している。栽培ごよみは、栽培試験等の結果を踏まえて、その地域の品種や土壌に合わせて作成されている。農家は栽培ごよみを利用することで、バイオ液肥について詳しく知らなくてもバイオ液肥を利用できる。

水稻の場合、液肥を 5 月代掻き時の元肥施用や 7 月出穂前の穂肥施用を行う場合が一般的である。水稻栽培で基肥としてバイオ液肥を用い、追肥（穂肥）の際は化学肥料を用いることも可能である。追肥は肥効調整型肥料（肥効を持続させるために肥料成分の溶出を調節した化学肥料）を用いて、基肥と同時に施用することにより、現行の省力化された栽培体系にも沿う農家の散布労力を増加させない方法もある。

また、農家の自給用野菜、家庭菜園での利用を促進するため、各集落に液肥スタンド（図 5.3.4）を設置する取組や家庭菜園用のマニュアル（図 5.3.5）を作成し、広く市民に活用いただく取組も行われている。

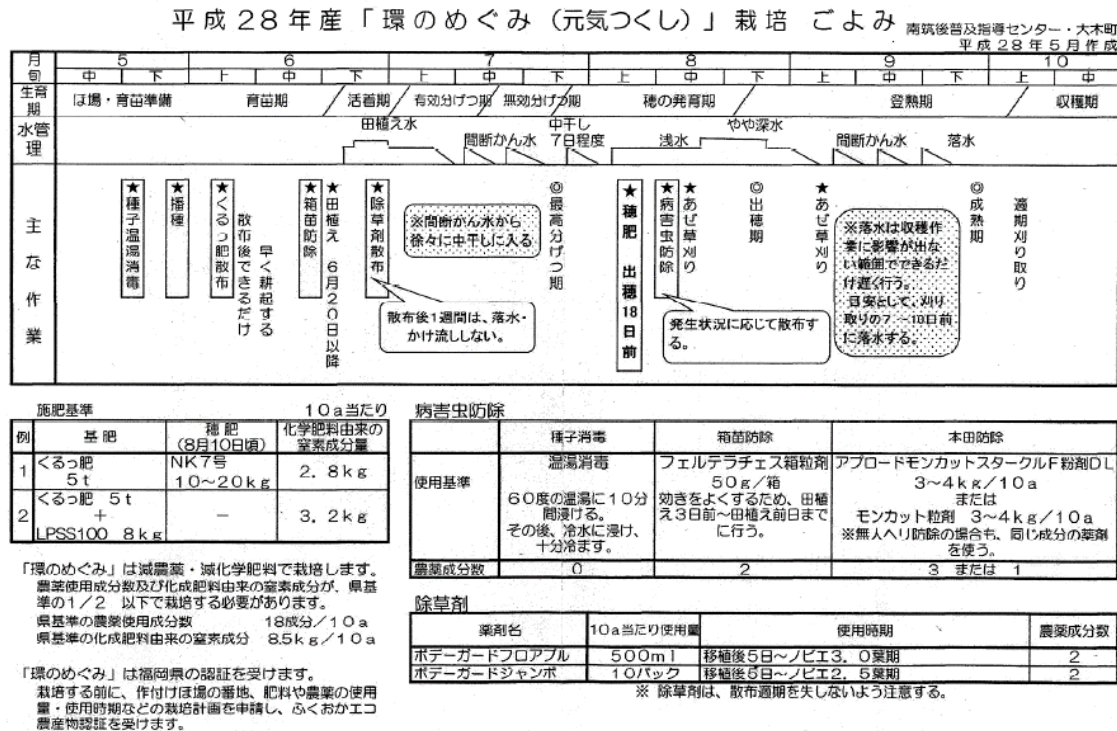


図 5.3.3 バイオ液肥を用いた水稻栽培の栽培ごよみ
（「くるっ肥」・・・この地域のバイオ液肥の愛称）



図 5.3.4 液肥スタンド（真庭市）



図 5.3.5 家庭菜園用利用マニュアル

5. 4 バイオ液肥の品質管理

肥料としてバイオ液肥を利用するためには、安心・安全なものでなければならぬ。作物の生育や農作業を阻害する異物等を取り除き、農業者が利用しやすいものとなるよう努める必要がある。

【解 説】

バイオ液肥を肥料として利用する際には、施肥設計により窒素、リン酸、カリの量を決定している。一方、バイオ液肥の成分は原料に依存するため、原料の構成や季節などにより肥料成分が変動する。そのため、事業者は、メタン発酵施設への投入原料をある程度一定に保つことが望ましい。特に、食品廃棄物のほか、農作物残さなど多様なバイオマスを利用する際には、それぞれの投入量の変動に気をつけなければならない。また、緻密な施肥設計を行っている利用者の背景を考慮したうえで、バイオ液肥の成分を定期的に分析するなどの対応が望ましい。

また、多量の塩分や重金属が混入しないよう、投入原料の管理や定期的な分析が必要である。原料によっては、雑草種子やサルモネラ菌などの病原体が混入する懸念もある。液肥の利用にあたっては利用者の意向を踏まえ、バイオ液肥の殺菌を行う必要がある。実際のメタン発酵施設における液肥成分の分析頻度等について、表 5.4.1 に示す。

表 5.4.1 メタン発酵施設の原料と肥料関連情報

		おおき循環センター	日田市 バイオマス資源化センター
原料		生ごみ、し尿、浄化槽汚泥	生ごみ、豚ふん尿、集排汚泥、農産加工物残さ
肥料登録		普通肥料	普通肥料
肥効成分	分析項目	全窒素、アンモニア性窒素、リン、カリウム、鉄	全窒素、リン、カリウム、C/N 比、銅、亜鉛、石灰、含水率
	分析頻度	年 2 回	年 2 回
含有を許される有害成分	分析項目	砒素、カドミウム、水銀、鉛	砒素、カドミウム、水銀、鉛、ニッケル、クロム
	分析頻度	年 12 回	初年度 1 回

5. 5 バイオ液肥の貯留・運搬・散布

バイオ液肥の肥料成分は、化学肥料と比較すると約 100 分の 1 程度の濃度であるため、肥料として施用量は約 100 倍の量となる。このため、地域の事情に応じた効率的な運搬・散布体系を選択し、導入する必要がある。

【解 説】

5.5.1 貯留

施用対象とする農作物の種類を組み合わせ、通年でバイオ液肥を利用できるようにするのが望ましい。バイオ液肥を施用する時期が一年間のうちの特定の時期に限られる場合は、バイオ液肥を液肥貯留槽に貯留しておく必要がある。

液肥貯留槽の例を図 5.5.1 に示す。液肥貯留槽の貯留容量は、バイオ液肥の発生量と施用できない期間を考慮して決定する。また、液肥貯留槽に貯留されたバイオ液肥からアンモニア等のガスが揮散するため、臭気に注意する必要がある。集排施設にメタン発酵施設を設置する場合、汚泥は日々原料として使われるので貯留容量は小さくて済むので、汚泥貯留槽が複数ある場合はその一部を液肥貯留槽として利用することが可能である。



図 5.5.1 液肥貯留槽の例

5.5.2 輸送

液肥の輸送にあたっては、メタン発酵貯留槽から、バキュームカーやタンクを積載したトラックによりほ場まで運搬する方法がある。表 5.5.1 にバイオ液肥輸送車両の比較を示す。どちらも長所・短所があり、地域の利用状況に応じて輸送車両を導入する必要があるが、導入実績等をみると、バキュームカーを用いている例が多く見られる。

表 5.5.1 バイオ液肥輸送車両の比較

輸送車両	長所	短所	留意点
バキュームカー	・バイオ液肥の積み込みや移送に付属するポンプが使える。 ・バイオ液肥を積んだ状態での走行も安定している。	・通常のトラックより高価	・汚物や廃棄物を運んでいるという先入観があるため、明るい色にして「バイオ液肥」と記載するなど工夫。
トラック	・トラックの荷台に市販の2m³程度のポリタンクを載せ、バイオ液肥の積み込み運搬ができる。	・タンクをしっかりと固定する必要。 ・ほ場まわりで散布車へバイオ液肥を移送する場合は、可搬式ポンプや動力が必要。	



写真 5.5.1 バキュームカー

5.5.3 散布

散布方法は様々あり、利用農地の土地利用形態、規模等により導入機械を検討する必要がある。牧草、水田、畑地等により施用方法が異なる。大きく2種類に分かれ、専用の散布機械を使用する機械施用と、主に水稻の追肥として（機械が入れない小さなほ場では水稻の基肥としても）行われる、流し込み施用（かんがい水とともに水口から流し込む）の2つが挙げられる。

表 5.5.2 にバイオ液肥（液肥）の施用方法の概要を示す。これらのうち、対象となる作物により、適切な方法を選択する必要がある。

表 5.5.2 バイオ液肥（液肥）の施用方法の概要（2010 年時点）

	施用手法	概要	適用	特徴	技術的課題	実施例	
牧草地等	大型スラリースプレッダ	10t程度～25t程度の家畜ふん尿用スラリースプレッダを使用	大規模な牧草地、畑地	広大な農地に効率的な施用が可能	吐出口が拡散する形状のため、民家等への飛散に注意が必要。狭小な農地には適用不可	北海道他	16地区程度
	小～中型スラリースプレッダ（バキュームカー）	5t程度の家畜ふん尿用のスラリースプレッダを使用	牧草地、畑地	我が国の一般的な牧草地に比較的効率的な施用が可能	吐出口が拡散する形状のため、民家等への飛散に注意が必要	全国の牧草地等	
	肥培かんがい施設（牧草、畑）	メタン発酵液肥を用水と混合し、かんがい用パイプラインを用いてほ場まで送水。ほ場ではリールマシン等により施用	大規模な牧草地、畑地	広大な農地に効率的な施用が可能	狭小な農地には適用不可	北海道他	
水田	改良小型スラリースプレッダ	家畜ふん尿用のスラリースプレッダの吐出口を下向きに改良し、クローラダンプ（回転式）の荷台に載せた機械を使用	水田の元肥（代掻き前）	我が国の一般的な整備済み水田に効率的な施用が可能。吐出口が下向きのため、液肥が飛散しにくい。	水稻の追肥には適用不可	九州他	5地区程度
	バキュームローリーによる流し込み	水田の水口より、バキュームローリーを停車させ、用水と同時に液肥を供給	水田の元肥（代掻後）、追肥	我が国の一般的な水田に適用可能	ローリーに運搬と施肥の2つの機能を持たせるため、効率が悪い	九州他	
	肥培かんがい施設（水田）	牧草地における肥培かんがいを参考に、液肥貯留槽、ポンプ、用水・液肥混合槽、パイプラインを用いて水田の水口より用水と合わせて液肥を施用	（実証試験） 水田の元肥（代掻後）、追肥 転作畑において畝間かんがいの手法が適用可能	我が国の一般的な整備済み農地に効率的な施用が可能。施肥の時期の自由度が高まる。	区画内の液肥の濃度差を生じさせない用水・肥培管理が必要。	実証試験	—
畑地等	改良小型スラリースプレッダ	水田用と同様	麦の元肥、追肥施用、菜の花の元肥等	我が国の一般的な整備済み転作水田や畑に効率的な施用が可能。吐出口が下向きのため、液肥が飛散しにくい。	不整形の畑には小型機械の適用が必要。作物が生育してから追肥には適用困難（麦踏み兼ねた追肥を除く）	九州他	5地区程度
	畝間かんがいの手法	畑の畝間に液肥を流し込む方法	キャベツ、レタス、スイートコーン等	我が国の一般的な畑地に効率的な施用が可能	区画内の畑地における液肥の濃度差が生じさせない肥培管理が必要。畑の土質により適用困難な場合がある。	全国各地	
	畑地用マイクロかんがいチューブ	液肥タンク、ポンプ、フィルターを通した液肥を畑地かんがい用チューブを用いて施用	（実証試験中、一部実施例あり） アスパラ、キュウリ等のハウス野菜	自由度の高い施肥管理が可能。ハウスや樹園地等の付加価値の高い作物への適用が可能	畑地用マイクロかんがいチューブのエミッターの目詰まり対策のため固液分離が必要	九州他 実証試験	1地区

出典：メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル（岩下・岩田、2010）

①水田

i) 改良型スラリースプレッダ

スラリースプレッダの液肥吐出口に塩ビパイプを加工したものを接続し、下向きに均等に液肥を吐出させる。

写真 5.5.2 は福岡県築上郡築上町で使用されている散布機械であり、建設機械の不整地運搬車両の荷台を、スラリートankに換装したもので、車体上部が走行部に対して 360° 自由に旋回することが可能である。したがって、ほ場端から前進で散布作業を行いながら移動し、反対側のほ場端まで到達すると車体上部を 180° 旋回させて反対方向に散布しながら車体長だけ移動する。これにより、ほ場端から反対側のほ場端まですべてバイオ液肥が散布されるため、この機械では枕地作業が存在しない効率的な作業が可能となる。公道の走行は不可能であり、集落間の移動などは専門の運送業者により行われる。バイオ液肥は、散布機械 1 台当たり 2 ～ 4 台程度のパキュームカーにより運搬され、補給される。



写真 5.5.2 築上町の改良型
スラリースプレッダ



写真 5.5.3 南丹市の改良型
スラリースプレッダ

写真 5.5.3 は京都府南丹市で使用されている散布機械である。スラリートankは築上町のものと同等のものであるが、走行部は農業機械であり、車体上部は走行部に固定され自由に旋回することができない。したがって、ほ場端に到達すると 180° 旋回しなければならないが、時間がかかる、クローラーがほ場を乱すなどの理由から、前進で反対側のほ場端まで到達すると、散布幅分横に移動させ、後退で散布するという方法が採られることが多い。反対側のほ場端では車体長分の未散布部分（枕地部分）が残るため、最後にその部分を散布する。集落間の移動は一般的なキャリアカーを使用して行う。バイオ液肥は築上町の場合と同様に 1 台当たり 2 ～ 4 台程度のパキュームカーで運搬して補給する。

これらの散布機械で問題となるのは、液肥の補給が間に合わなくなり、散布機械に遊び時間が発生することである。築上町の場合、最も効率のよい作業が可能なほ場では 1 回の補給作業でのバイオ液肥を約 3 分程度で散布することができる。パキュームカーから散布機械への補給作業、およびメタン発酵施設での貯留槽からパキュームカーへの補給作業は約 5 分程度かかる。これらから計算すると、 n 台のパキュームカーで運搬・補給作業を行うとき、散布機械に遊び時間を発生させずに作業するためには、片道の運搬時間は $4n - 5$ (分) 以内である必要がある。つまり片道の運搬時間が 15 分であれば、パキュームカーは 5 台必要となる。

ii) バキュームカー

水稻の追肥では、水張り後の水田に施用するため、改良型スラリースプレッダではほ場に入ることができない。このためバキュームカーをほ場の水口近くに停めて、灌漑用水と同時に液肥を直接流し込む手法も多く用いられている（写真 5.5.4）。また、機械が入れない小さなほ場では水稻の基肥としても用いられている、タンクをほ場の脇に設置して、バイオ液肥を流し込む手法もある。

流し込み手法においては、ほ場内の用水路側と排水路側で液肥の濃度差を生じさせないような施肥管理が必要となる。先行地区の経験則として、以下が行われている。



写真 5.5.4 バキュームカー
による流し込み

- ①代掻きを丁寧に行いほ場の均平度を向上させる
- ②用水と液肥を流し込む前にほ場の水を落とす
- ③ある程度の量以上の灌漑用水と同時に液肥を流し込む
- ④用水量に合わせて時間を掛けて液肥を流し込む
- ⑤灌漑用水が少ない場合は溝切りを行う

なお、流し込み施用に必要な時間は用水量に依存する。水路が広く、用水量が十分に確保できる時には、バキュームカー 1 台分のバイオ液肥を流し込むのに必要な時間は 15 分程度であるが、水路が狭く十分な水量が確保できない場合、3 時間以上かかるような事例もある。

②畑地（牧草地等）

本州の畑地では、水田と同様に改良型スラリースプレッダにより散布されることが一般的である。九州の二毛作地帯では秋の麦の基肥への利用、千葉県香取市では年間を通して20種類以上の畑作物への利用が行われている。本州や九州などにおける牧草への施用は牧草地が狭小などのため、小～中型のスラリースプレッダを利用している（写真 5.5.5）。スラリースプレッダでは、基本的に空中に拡散させる形で施用するため、民家等が近くにある場合などは適用できない。また、散布ムラが大きくなる。

一方、北海道等の広大な牧草地等におけるバイオ液肥（液肥）の施用は、大型の液肥散布機械（写真 5.5.6）を用いて、あるいは、肥培かんがい施設を用いて行っている。鹿追町ではバイオ液肥は牧草地や畑地で使用されており、20～30tのタンクにバイオ液肥を入れ、大型のトラクタで公道をけん引してほ場まで移動し、ほ場ですべての液肥を散布後、公道を走行してメタン発酵施設まで戻り、バイオ液肥を補給して再びほ場まで移動して散布するという作業を繰り返す。走行部が車輪であるため、十分な速度で移動可能である。



写真 5.5.5 スラリースプレッダ(1～10t)



写真 5.5.6 スラリータンカー(12t)

5. 6 バイオ液肥普及の取組

バイオ液肥の利用に向けて、農家や地域の理解を得る必要がある。各地で液肥利用の取組を参考に記載する。

【解 説】

5.6.1 バイオ液肥普及のプロセス

バイオ液肥の利用は、2000 年頃までは牧草地への散布を中心として取り組まれている例が多く、水田や畑地での利用は限定的であった。しかし、ここ 15 年間ほどで各地において水田や畑地での利用が進んでおり、そのような地区では、栽培暦の作成、液肥利用者協議会（バイオ液肥の利用技術の普及や利用調整等を行う組織）の設立など、耕種農家がバイオ液肥を利用しやすくする工夫が行われている。また、近年では、バイオ液肥を地域で有効利用するための取組を支援する農林水産省の事業もあり、栽培試験や研修会のための経費が補助の対象となる。

バイオ液肥の利用計画・普及促進策の例を表 5.6.1 にまとめる。普及促進策を進めるにあたっての留意点としては、農業関係の専門家でもバイオ液肥のことを知らない場合がある点があげられる（バイオ液肥の知名度はそこまで高くない）。関係者に対して、先行事例や可能であればメタン発酵ラボ試験で生成したバイオ液肥を用いたポット栽培試験の結果等を活用しつつ、丁寧に説明して、協力いただくことが重要である。また、営農普及センターや市町村は、農家に的確な指導をする責任があるため新しい肥料の導入に慎重になる場合がある。農業関係者に普及のすべてを任せるのではなく、メタン発酵事業者が主体的に取り組むことも重要である。

表 5.6.1 バイオ液肥の利用計画・普及促進策の例

計画段階～プラ ント建設前	・ 文献調査、専門家に相談 ・ 原料の組成からバイオ液肥肥料成分を推定、地域の農地面積等確認 ・ 先進地域視察 ・ メタン発酵ラボ試験で生成したバイオ液肥を用いて、ポット栽培試験を実施 ・ 液肥利用準備組織の設立（関係組織との関係構築、役割分担） ・ 液肥輸送・散布車両の導入台数、貯留槽の容量等を決定
プラント建設中	・ 市町村など関係者に協力依頼（協力農家や都道府県普及組織の紹介を依頼等） ・ 近隣のメタン発酵プラントのバイオ液肥で栽培試験 ・ 勉強会（栽培試験結果の報告、専門家の講演） ・ バイオ液肥利用詳細計画（機器の運用、利用ルール・料金）
プラント完成後	・ 肥料登録 ・ 農林水産省事業の活用（栽培試験、用途を広げる） ・ 栽培暦・マニュアル等作成

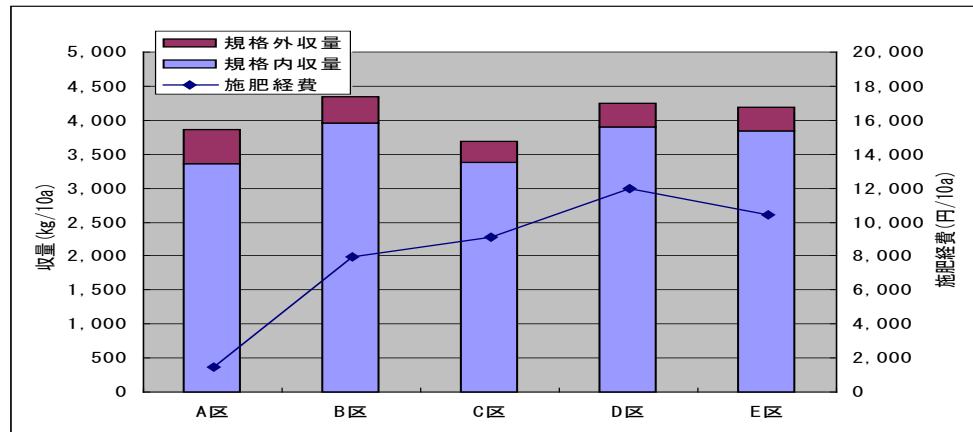
5.6.2 各地の取組

①北海道の畑作酪農地域(鹿追町中鹿追地区)

鹿追町では、2007 年からバイオ液肥の利用が行われている。バイオガスプラント建設前は、バイオ液肥ではなく、生スラリーが散布されていたが、雑草種子の残存、臭気の問題などがあり、耕種農家ではあまり使われず、畜産農家所有の牧草地に過剰施用される状態となっていた。プラント稼働後はバイオ液肥になったことで肥料成分が安定し、雑草種子や臭気の問題も軽減され、耕種農家での利用が増えた。2008 年頃に肥料価格が高騰したことも耕種農家の利用が増える要因となった。また、鹿追町では家畜排せつ物を排出している酪農家が、バイオ液肥の利用においても責

任を持つ取り決めになっており、それがバイオ液肥の利用が進んだ一因となっている。

図 5.6.1 は、北海道鹿追町での馬鈴薯の栽培試験の結果である。バイオ液肥のみを用いた A 区とバイオ液肥と化学肥料を用いた B～D 区、化学肥料のみの E 区で収量比較をした。結果は、バイオ液肥と化学肥料を併せて用いた B 区が最も収量が多くなった。一方、施肥経費をみると、バイオ液肥のみの A 区が他区に比べて著しく安価であるため、農家にとっては、出荷による収入と肥料代の支出を総合的に判断する必要があると思われる。



A 区：バイオ液肥のみ、 B 区：バイオ液肥＋肥料（磷安）、
C 区：バイオ液肥＋肥料（重焼燐）、D 区：バイオ液肥＋肥料（N650）、E 区：肥料（N650）のみ

図 5.6.1 馬鈴薯の収量比較（鹿追町資料より）

②北海道以外の水田作中心の地域（南丹市、大木町、みやま市、真庭市、南三陸町等）

北海道以外では、水田を中心にバイオ液肥の利用が進んでいる。これらの地域では、個々の農家の耕作面積が小さく、多くの農家にバイオ液肥の使い方を周知する必要がある。そのため、バイオ液肥版の栽培ごよみを作成するなど、農家にとってわかりやすい形での情報提供が行われている。また、これらの地域は水田の基肥での利用が多く、春先に利用が集中する傾向にあり、それを平準化するため、麦への利用、秋に施用する稲わら腐熟用の石灰窒素の代替、家庭菜園での利用などが行われている。

<参考資料・文献>

中村真人(2020):農研機構技報, 農村地域におけるメタン発酵を中核とした資源循環システムの構築、4、30-33

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/naro_technical_report/134176.html

浅井真康(2020):家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用、令和2年度畜産環境シンポジウム資料

中村真人(2013):メタン発酵消化液の液肥としての利用、『最新農業技術 土壌施肥 vol.5』、農文協

岩下幸司・岩田将英(2010):メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル大土井克明(2021): 消化液散布の効率化に向けた取組、季刊 JARUS、127、34-37

経済産業省資源エネルギー庁:メタン発酵バイオガス発電における人材育成テキスト(2022)

6. 小規模メタン発酵システム実証

6. 1 小規模メタン発酵システム実証の概要

集排施設を核とした小規模な資源循環（汚泥と農村バイオマスを原料としたメタン発酵消化液のバイオ液肥としての利用）について、現地実証を行った。

【解 説】

6.1.1 概要

集排施設に小規模メタン発酵施設を設置してバイオガスを取り出し、残さである消化液（バイオ液肥）を肥料利用するシステム（図 6.1.1）の実現可能性を検証するため、実証試験を行った。特に、集排施設へのメタン発酵技術やバイオ液肥利用の適用を考えた時にクリアしておくべき、下記の課題を検討した。

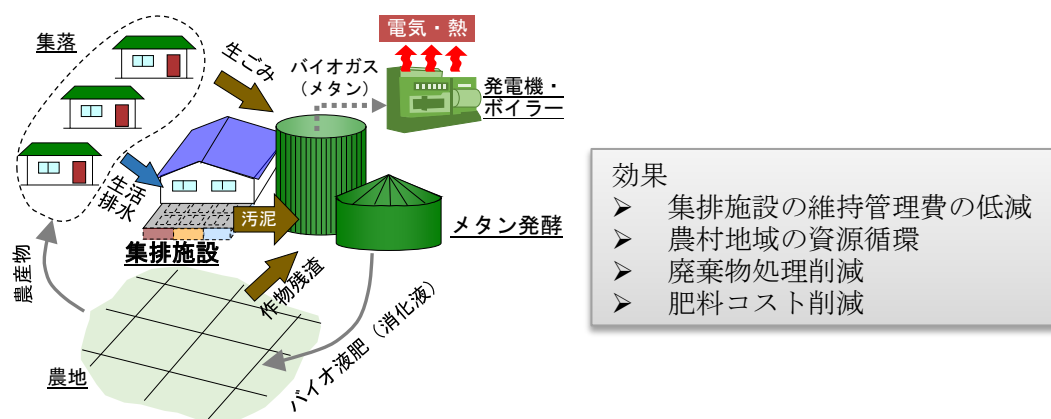


図 6.1.1 集排施設における小規模メタン発酵システム

〔実証内容と検討課題〕

① 現地メタン発酵試験

徳島県佐那河内村の集排施設に小規模メタン発酵施設を設置し、現地の集排汚泥に加えて、地域で発生する生ごみ、農産加工残さ等を原料としたメタン発酵試験を行った。

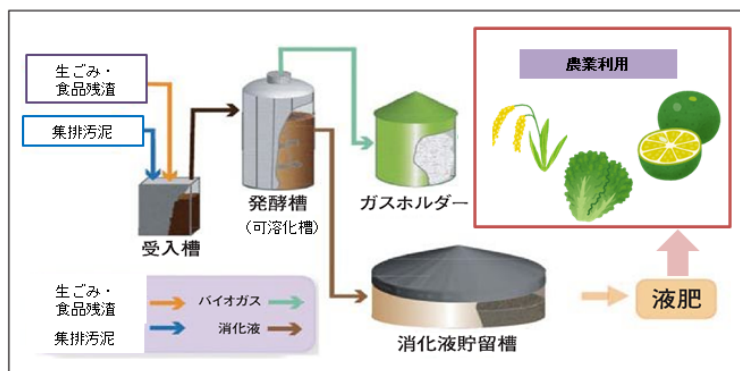


図 6.1.2 集排施設における小規模メタン発酵システムのイメージ



写真 6.1.1 現地メタン発酵施設（徳島県佐那河内村）

〔検討課題〕

- ・ 現地の原料がメタン発酵の安定性、生成する消化液（バイオ液肥）の肥料成分に及ぼす影響
- ・ 集排施設に併設した小規模メタン発酵施設の運転・管理作業の評価
- ・ 生ごみ、農産加工残さ、食品廃棄物の収集方法・性状の評価

②発生した消化液（バイオ液肥）の評価

現地メタン発酵試験や室内試験で発生した消化液（バイオ液肥）について、肥料成分の評価、栽培試験、輸送・散布システムの検討を行った。

〔検討課題〕

- ・ 集排汚泥と食品廃棄物等を原料とする消化液（バイオ液肥）の肥料成分の評価
- ・ 栽培試験によるバイオ液肥の肥料効果の検証（水稻、すだち、コマツナ、リーフレタス）
- ・ 小規模施設に適したバイオ液肥の輸送・散布システムの実証

③室内メタン発酵試験

①の現地メタン発酵試験で実施する試験条件を決定すること、現地では実施できない詳細な発酵条件についての検討を行うため、農研機構農村工学研究部門において室内メタン発酵試験を行った。

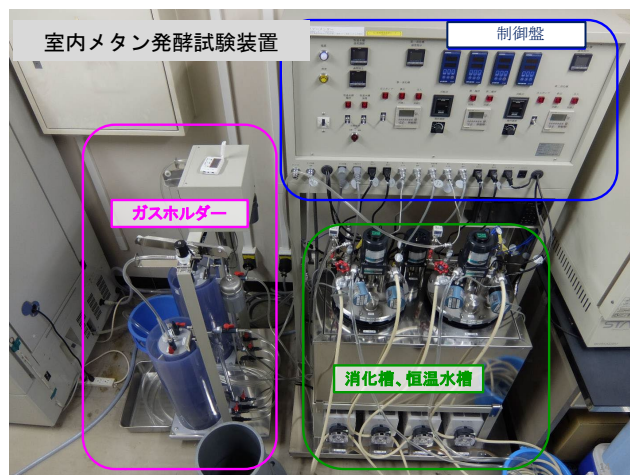


写真 6. 1. 2 室内メタン発酵試験装置（茨城県つくば市）

[検討課題]

- ・ 集排汚泥のメタン発酵における微量元素添加の必要性
- ・ 集排汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵の立ち上げ
- ・ 集排汚泥と高 C/N 比原料（柑橘搾汁残さ等）の混合割合の検討
- ・ 集排汚泥と低 C/N 比原料（おから等）の混合割合の検討
- ・ 集排汚泥の混合割合を小さくした場合の影響評価

④本実証における対象事項

本実証は、メタン発酵施設を集排施設に併設した時に生じる課題に重点的に取り組んだものである。なお、本実証を行った集排施設の敷地に制約があり、設置できる設備の規模に制約があったため、実規模での実証ではない。

また、バイオガスを用いた発電、熱利用等の実証は、予算や敷地面積の制約、それらの技術はすでに普及段階にあることから実施しなかった。

6.1.2 経緯

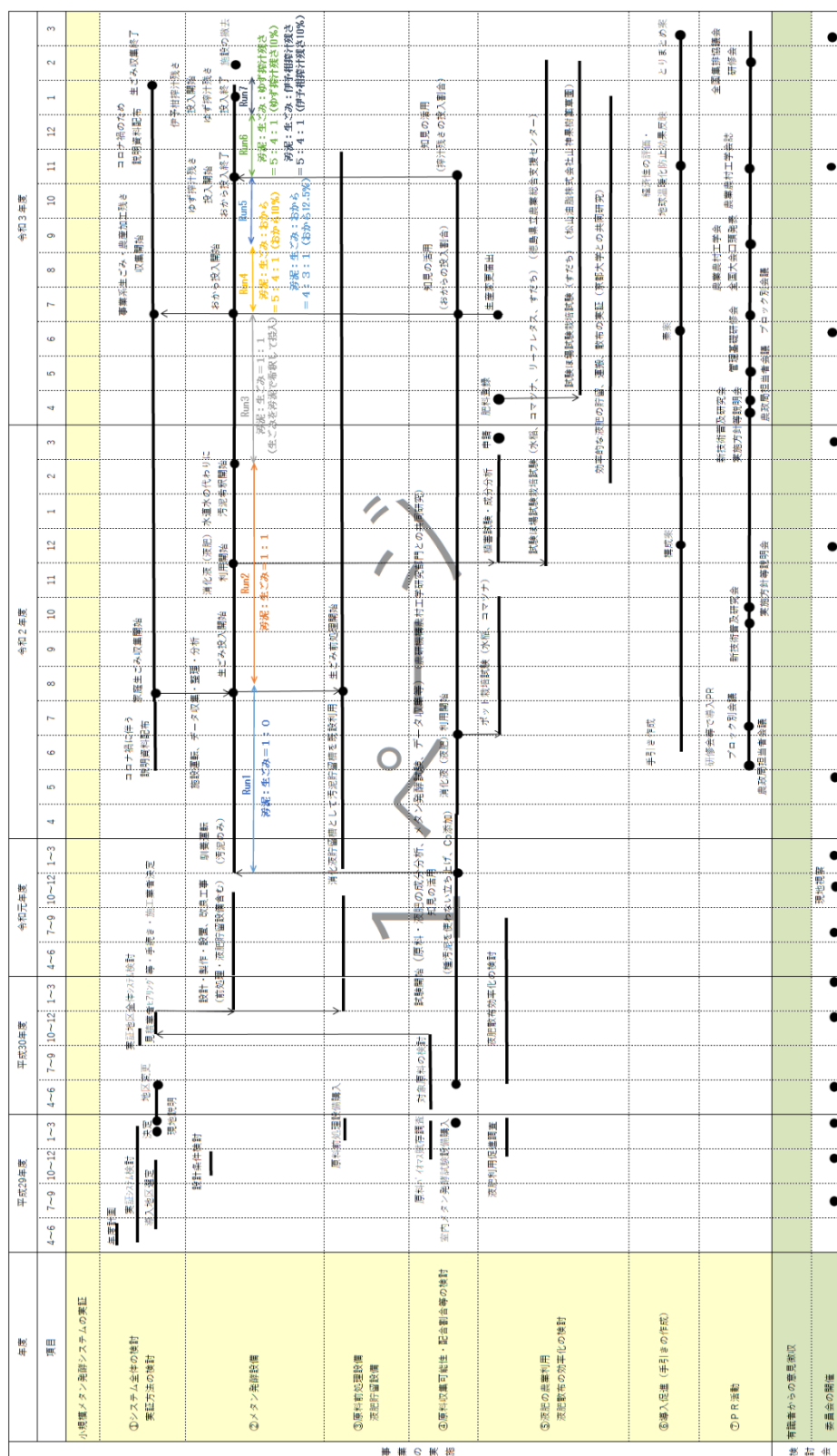


図 6.1.3 5 か年の経緯

6.1.3 地域概況

農村型メタン発酵施設の実証実験を実施した、徳島県佐那河内村の状況を示す。

①佐那河内村の状況

佐那河内村の令和3年12月時点での人口の状況は以下のとおりである。

- ・総面積 : 42.28 km²
- ・人口 : 2,376 人（世帯数 946 戸）
- ・集排施設数 : 4 施設
- ・汚泥発生量（濃縮汚泥ベース）：約 250 m³/年



図 6.1.4 佐那河内村の位置（出典：佐那河内村HP）

②実証試験を実施した農業集落排水施設高樋地区の概要

- ・型式 : JARUS-XIV型
- ・処理対象人口 : 600 人（受益者約 300 人）
- ・施設設置用地 : 130 m²
- ・汚泥発生量（濃縮汚泥ベース）：20～40 m³
- ・農地面積 : 水田（38 ha）、畑及び樹園地（39 ha）
- ・地区内の生ごみ発生量（想定）： 45 kg/日
（計画対象人口 600 人の 3 分の 1 から 200 人、生ごみ発生量を 226 g/人・日から計算した。）
- ・すだち搾汁残さ : 156 kg/日（57 t/年）
（計画当初は、高樋地区内の農協農産工場から提供を受ける予定だったが、村内に松山油脂株式会社山神果樹薬草園が設立されたため、地域での資源循環の観点から山神果樹薬草園の搾汁残さに変更。）

③村内の事業系食品廃棄物や農産加工残さ

- ・柑橘系搾汁残さ（松山油脂株式会社山神果樹薬草園から提供）
- ・豆腐製造残さ（おから）
- ・弁当製造残さ

6. 2 小規模メタン発酵施設

農村地域向け小規模メタン発酵施設は、主として集排汚泥と地域の生ごみを原料とし、処理方式は中温・湿式メタン発酵方式とした。基本設計及び実施設計後、現地で施工し、運転を行った。

【解 説】

6.2.1 基本設計

基本設計時における農村バイオマス及び施設規模を表 6.2.1、表 6.2.2 に示す。投入原料の半分に集排汚泥を用いることとし、地域の生ごみ発生量がボトルネックとなるため生ごみ発生量のほか、敷地面積（約 130m²）から施設規模を以下のとおり設定した。図 6.2.2 にフローシートを示す。

表 6.2.1 農村バイオマス

原料	発生量
集排汚泥（濃縮）	汚泥 41.65 kg/日
生ごみ	生ごみ 41.65 kg/日
合計	83.3 kg/日

表 6.2.2 メタン発酵槽規模

滞留時間	30 日
メタン発酵槽規模	滞留時間 30 日×原料 83.3 kg/日＝メタン発酵槽 2.5 m ³
有機物負荷率	2.5 VS-kg/(m ³ ・日)
バイオガス発生量	3.8 Nm ³ /日

〈メタン発酵施設設置場所〉

施設の設置場所として、集排施設の敷地内を有効利用することとした。また消化液貯留槽は新設せず、2槽ある汚泥貯留槽のうち1層を消化液貯留槽として既設利用する。

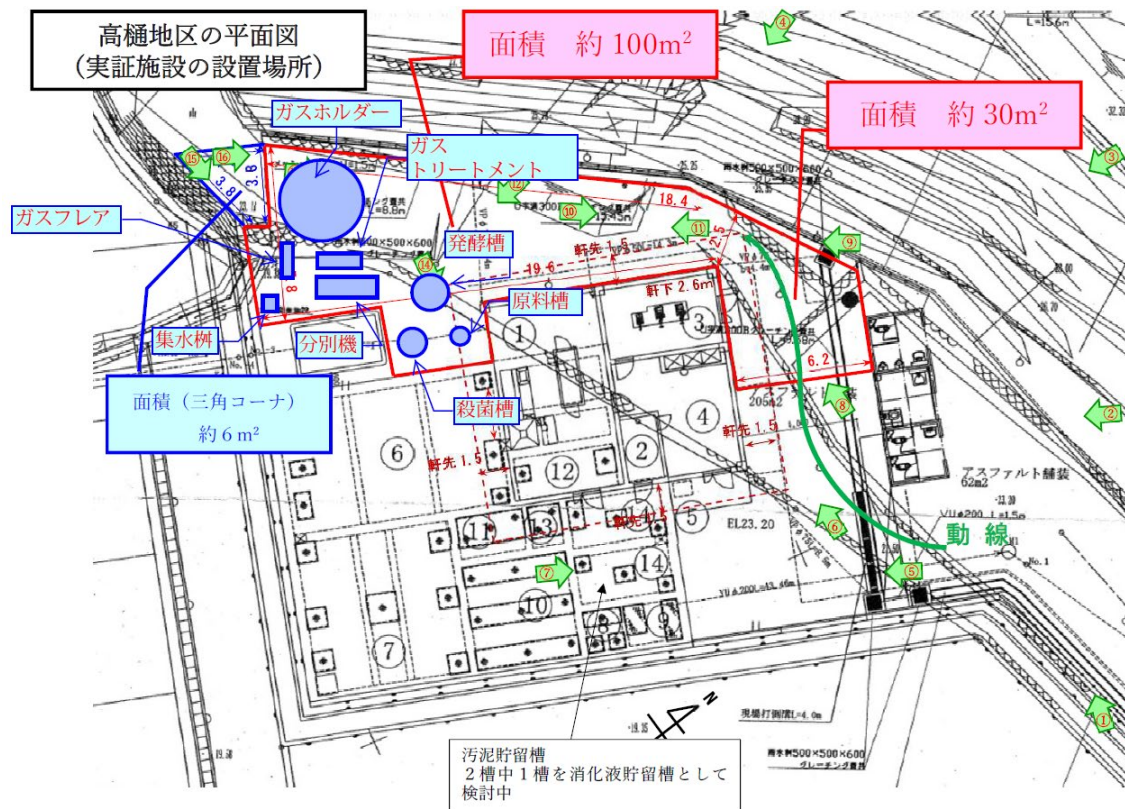


図 6.2.1 設置場所 位置図

〈バイオ液肥生成量及び必要農地面積〉

バイオ液肥は投入した原料とほぼ同量発生するため、83.3 L/日として、1 か月に 2.5 m³、1 年に 30m³発生すると想定した。一般的なバイオ液肥の散布量は、50m³/ha である（一般社団法人 地域環境資源センター、2016）。

表 6.2.3 バイオ液肥散布面積

バイオ液肥生成量	$2.5 \text{ m}^3 \times 12 \text{ カ月} = 30 \text{ m}^3$
バイオ液肥散布に必要な農地面積	$30 \text{ m}^3 / (50 \text{ m}^3/\text{ha}) = 0.6 \text{ ha}$

〈フローシート〉

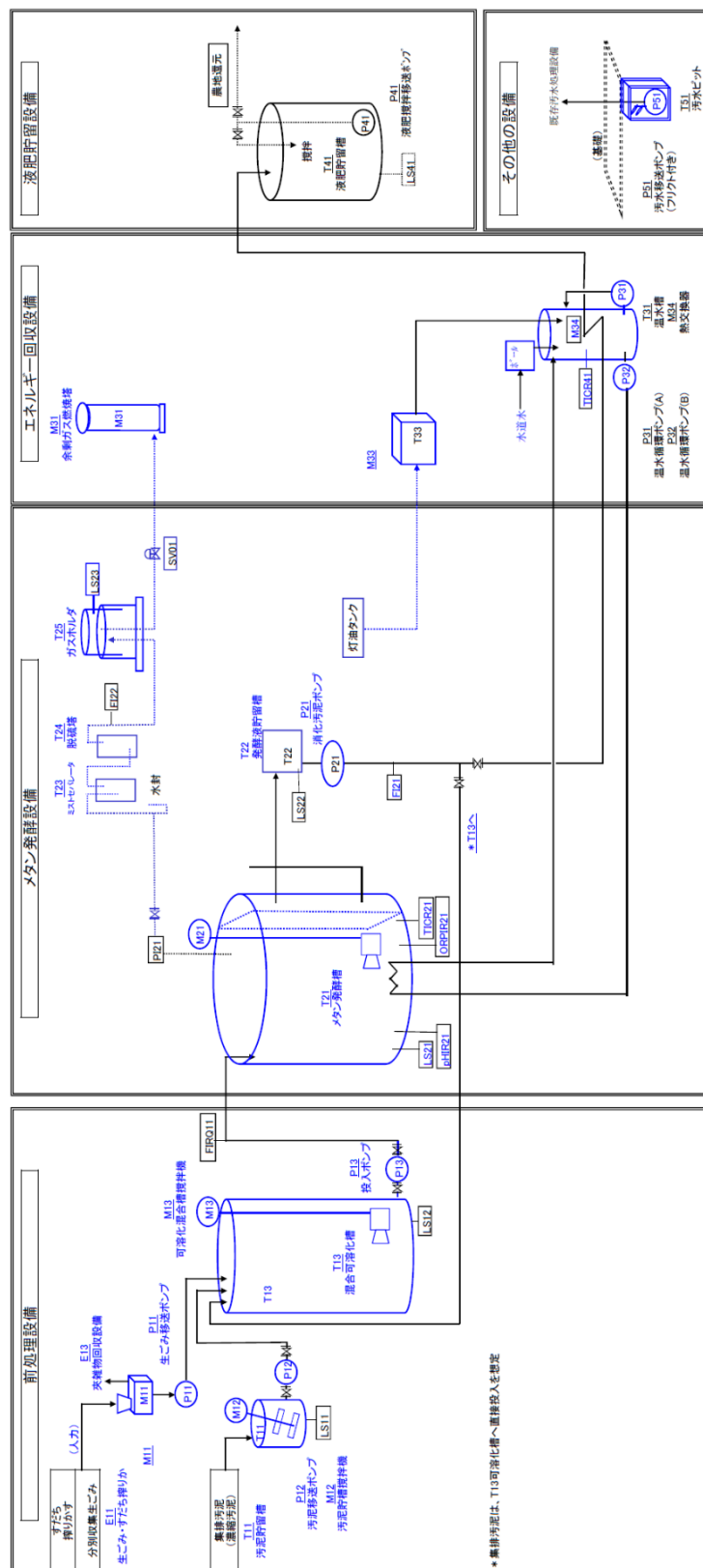


図 6.2.2 フローシート

6.2.2 実施設計

受注者及び村役場担当者と現地照査した後、設計を行った。また、必要となる機器（表 6.2.4、表 6.2.5）の購入・制作も実施した。

高樋地区には汚泥貯留槽が 2 槽あるが、1 槽はそのまま汚泥貯留槽として利用し、1 槽を消化液貯留槽として利用することとした。また、消化液の液肥利用のための消化液殺菌槽（殺菌条件：温度 55℃、滞留時間 8 時間）等を設置した。

詳細設計の共通事項及び機器詳細は以下の通りである。

共通事項

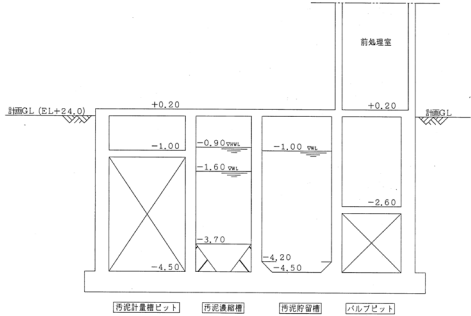
環境：屋外

気温：最低気温 1℃ 最高気温 35℃

供給電源：200V/60Hz/120A

表 6.2.4 機器詳細

No	施設名称	仕様	写真
①	破 碎 分 別 機	処理能力 2.0t/h 分離精度 96.9～99.0% パンチングメタル 14φ	
① -2	生ごみ移 送ポンプ 配管 40A	型式：FG20-S7RC-MC 口径：20A/20A 吐出量：20L/min インペラ材質：NBR 全揚程：6m 電源：0.75kW/200V/60Hz/3P	

②	汚泥貯留槽	既設汚泥貯留槽 : RC 埋設構造+攪拌機付 容量 : 27m ³ 投入量 : 50kg/日 含水率 : 98%	 既設汚泥貯留槽（埋設） 
③ -1	混合調整槽	有効容量 : 1m ³ 加温機能無し（保温無し） 動力機器 : 攪拌機 計装機器 : レベルスイッチ 投入量 : 98.2kg/日 含水率 : 91.6% 温度 : 5.0℃	 混合調整槽
③ -2	原料/循環/滅菌槽移送ポンプ	型式 : VX100-64 口径 : ANSI2" /ANSI2" 吐出量 : 5m ³ /h インペラ材質 : NBR 全揚程 : 20m NPSH : 2.0m 電源 : 3.0kW/200V/60Hz/3P 流量計 型式 : FD-Q60C 取付 : クランプオン式50A 流量レンジ : 25~500L/min	 原料移送ポンプ

			 原料移送ポンプ  超音波流量計
④	メタン発酵槽	(1) 有効容量 2.5m ³ (2) 直径 φ1800×2500 (H) (3) 動力機器 攪拌機 (4) 計装機器 LIS (5) レベル制御 PI-21 (6) 圧力計 pHIR-21 (7) pH 計 ORPIR (8) 酸化還元電位計 TICR (9) 温度計 (10) 安全弁 (11) 加温管	 メタン発酵槽
⑤	ミストセパレーター — 脱硫装置	ハウジング : SFH-01N カートリッジ : CW-10-1L ハウジング : SFH-5V カートリッジ : YCC-1L	  SFH-01N SFH-5V 左 : ミストセパレーター 右 : 脱硫装置

⑥	ガスホルダー	(1) タイプ ダブルメンブレン方式 (2) サイズ $\phi 2.1\text{m} \times 2.3\text{m}$ (H) (中心径：2.8m) (3) 材質 耐腐食性PVC (4) 容量 6m^3 (5) 流量 最大$6.0\text{Nm}^3/\text{h}$ (6) 運転圧力 20mbar (7) 風速設計 $150\text{km}/\text{h}$ (8) 電源 $1.1\text{Kw}/200\text{V}/60\text{Hz}/3\text{P}+\text{N}$ (9) 防爆 ATEX (10) ガス温度 最大40°C (11) 信号 出力信号 ガスレベル ゲージ：4-20mA 出力信号 可燃性ガス検知器：4-20mA 出力信号 圧力センサ：4-20mA (12) 付属 サイトグラス $\phi 230\text{mm}$ フランジサイズ エアブロアー ×1 基	 ガスホルダー
⑦	余剰ガス燃焼装置	(1) サイズ $600 \times 600 \times 2500$ (H) (2) 材質 接ガス部SUS (3) 動力 $0.5\text{kW}/200\text{V}/60\text{Hz}/1\text{P}$ (4) 焼却能力 $50\text{m}^3/\text{h}$ (5) 運転圧力 2.5kPa 以上 (6) 計装機器 UV センサ (7) 制御機器 ソレノイドバルブ フレイムアレスタ	 余剰ガス燃焼装置 (ガスフレア)
⑧	非常用ガス排出装置		 非常用ガス排出装置

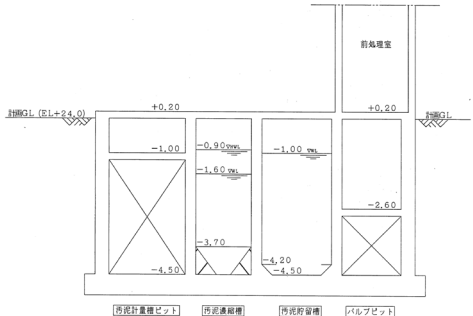
⑨	消化液殺菌槽	投入/排出量 : 92.9kg/d 殺菌温度 : 70℃以上 含水率 : 96.8% TICR-41 : 温度計 P-31 : 温水循環ポンプ	 消化殺菌槽
⑩	消化液（バイオ液肥）貯留槽	既設汚泥貯留槽 : RC 埋設構造+攪拌機付 容量 : 27m ³ (既設汚泥貯留槽 2 槽のうち 1 槽を利用)	 既設汚泥貯留槽（埋設） 

表 6.2.5 水槽容量

項 目	混合調整槽	発酵槽	殺菌槽
有効容量 (m ³)	1.00	2.50	0.25
直径 (mm φ)	1,100	1,800	609.6
設定水位 (mm)	1,100	1,050	800
最高水位 (HHWL) (mm)	1,250	1,200	1,000
最低水位 (LWL) (mm)	350	550	350

(平面図)

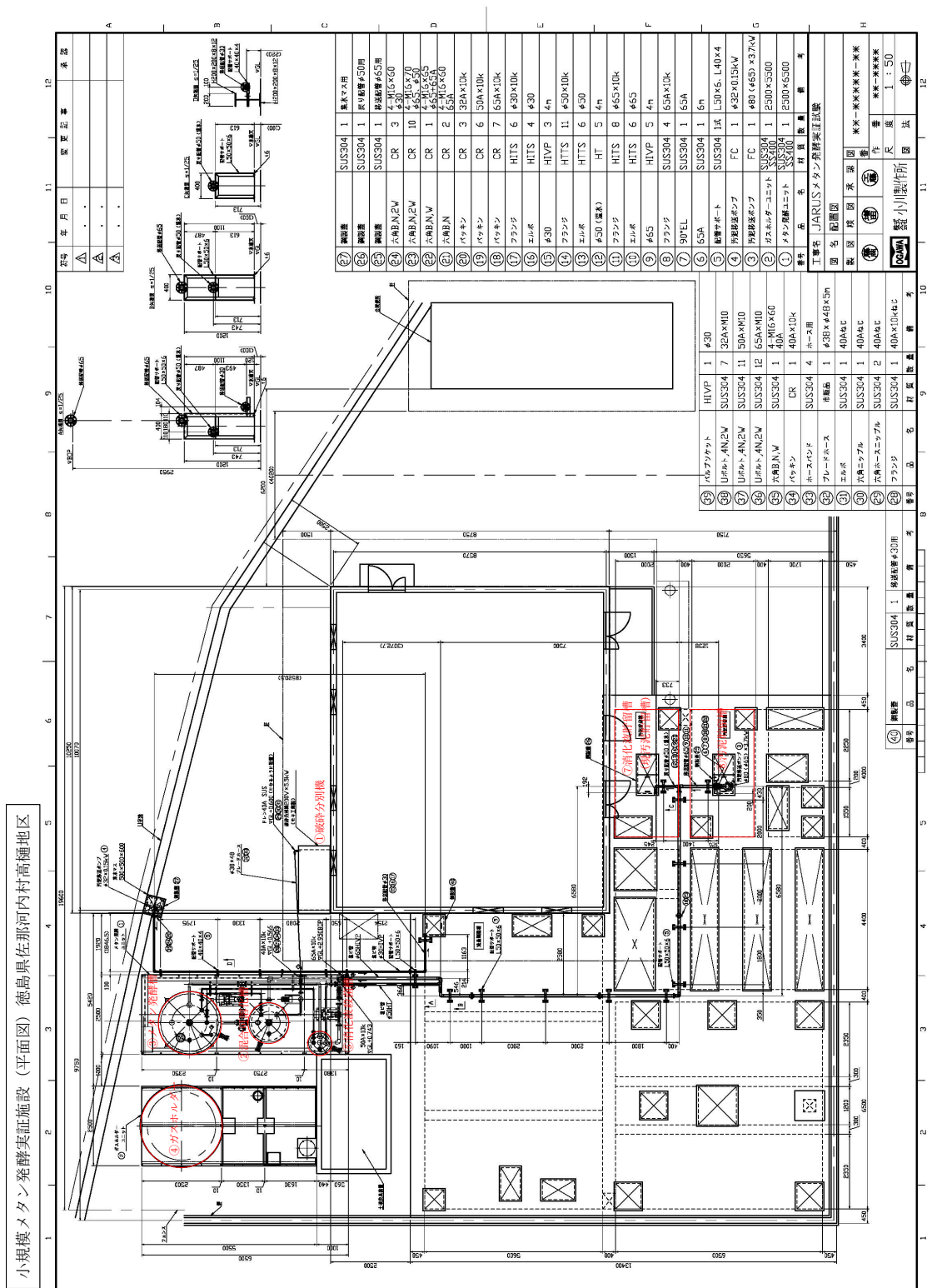


図 6.2.3 平面図

6.2.3 施工

〈本体〉



写真 6.2.1 集排施設全景



写真 6.2.2 設置場所全景



写真 6.2.3 殺菌槽搬入



写真 6.2.4 ベース用桁設置



写真 6.2.5 混合調整槽吊り込み



写真 6.2.6 混合調整槽仮据え付け



左：殺菌槽
中央：混合調整槽
右：メタン発酵槽

写真 6.2.7 施設据え付け完了

〈付帯施設〉



写真 6.2.8 配管

黒配管：汚泥貯留槽から発酵槽へ（原料投入用）

茶配管：発酵槽から汚泥貯留槽への戻り



写真 6.2.9 ガスホルダーユニット



写真 6. 2. 10 ガスフレア



写真 6. 2. 11 左 : ガスホルダー、右 : 緊急ガス放流



写真 6. 2. 12 右 : 脱硫塔、左 : ミストセパレーター



写真 6. 2. 13 ウェブカメラ



写真 6. 2. 14 制御盤

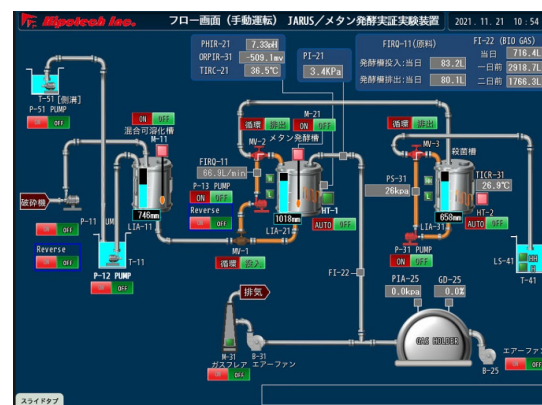


写真 6. 2. 15 制御画面



写真 6. 2. 16 実証施設全景



写真 6. 2. 17 実証施設遠景

6.2.4 施設運転概要

①運転条件

実証施設は、令和2年1月～令和4年1月にかけて、約2年間運転した。原料の混合比率に応じて、運転条件をRUN1～7に分類しており、表6.2.6に示す。試験条件は、6.6室内メタン発酵試験の結果を基に安定的に運転が可能と想定される条件とした。

住民説明が不調に終わったため、対象人口が少ない村内の別地区での実証となった。また、生ごみの収集については、後述の通り、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で住民への周知が直接できず、資料の配布によるものであった。このため、計画通りの量の生ごみを収集できなかったことから、全期間を通じて、投入有機物負荷率が低めであった。また、混合調整槽においてにも有機物の分解が起きていることから、全期間を通じてメタン発酵槽への投入有機物負荷率は設計値よりも低めでもあった。各条件の評価については、比較的計画に近い生ごみを収集することができ、投入有機物負荷率が高い時期におけるデータを用いて行った。

また、室内メタン発酵試験で不足することが確認された、メタン発酵の微量必須元素のコバルトを塩化コバルトとして原料に添加した（添加量原料1kgあたり約0.5mg）。

表 6.2.6 運転条件とその詳細

RUN	時期	原料（重量比）	目的
1	令和2年1月～8月	汚泥：生ごみ＝1：0 （初期は回分運転）	種汚泥を用いない集排汚泥の自己分解によるメタン発酵立ち上げの検討
2	令和2年8月～ 令和3年2月	汚泥：生ごみ＝1：1	集排汚泥と村内の家庭生ごみとの混合発酵の検討
3	令和3年2月～7月	汚泥：生ごみ＝1：1（生ごみを汚泥で希釈して投入）	汚泥による生ごみ希釈方法の効果検証（作業性、VS 負荷、消化液成分への影響）
4	令和3年7月～8月	汚泥：生ごみ：おから＝5：4：1 （おから 10%）	おから混合の影響の検証
5	令和3年9月～10月	汚泥：生ごみ：おから＝4：3：1 （おから 12.5%）	おから混合割合を高めた影響の検証
6	令和3年11月～12月	汚泥：生ごみ：ゆず搾汁残さ＝5：4：1 （ゆず搾汁残さ 10%）	ゆず搾汁残さ（柑橘搾汁残さ）混合の影響の検証
7	令和4年1月	汚泥：生ごみ：伊予柑搾汁残さ＝5：4：1 （伊予柑搾汁残さ 10%）	伊予柑搾汁残さ（ゆずと異なる柑橘）混合の影響の検証

試験期間中、混合調整槽及び発酵槽の pH、NH₄-N、アルカリ度、T-N、T-P、T-K を測定した。ガス発生量については測定機器の不調で計測を行えなかった時期が長かったため、室内発酵試験で得られた、バイオガス発生率 0.6Nm³/kg-投入 VS (6.6.9 を参照) を用いて、推定ガス発生量を算定した。

6.2.5 各運転条件の結果

混合調整槽、発酵槽の水質データ、推定ガス発生量を図 6.2.5～図 6.2.7 に示す。

①RUN 1 (汚泥のみ)

[目的] 種汚泥を使用しない、集排汚泥の自己分解によるメタン発酵立ち上げの検討

[結果]

2020 年 1 月 28 日に濃縮汚泥を発酵槽に投入して回分運転を開始したところ、集排汚泥の自己分解によるメタン発酵立ち上げに成功した室内試験 (6.6.5) と同様に、pH、NH₄-N、アルカリ度が徐々に上昇したことから、立ち上げが順調に進んでいると推察された。その後、3 月 31 日から汚泥の投入を開始し、徐々に投入量を増やしていった。

(新型コロナウイルス感染症拡大の影響で生ごみ収集開始が遅れたため、RUN 1 は想定より長期間になった)

②RUN 2 (汚泥 : 生ごみ = 1 : 1)

[目的] 集排汚泥と村内の家庭生ごみとの混合発酵の検討

[結果]

2020 年 8 月から汚泥と生ごみ混合原料の投入を開始した。原料投入量を徐々に増やしていく過程で pH が一時的に低下したため、投入を一時停止した。その後、原料投入を再開し、徐々に負荷を上げていったところ、pH、アルカリ度は安定し、バイオガスも順調に発生するようになった。

一時的に状態が不安定になったものの、最終的には、負荷を上げることができ、設計通りの定常運転に移行できたことから、汚泥の自己分解での立ち上げが可能であることが実証された。この立ち上げ方法は種汚泥が不要であり、周辺のメタン発酵施設から種汚泥を運搬が不要となるため、コスト削減が可能である。一方、負荷を上げる過程で pH が一時低下したことから、原料を汚泥から、汚泥と生ごみの混合物に切り替える時は、慎重な対応が必要であることが示された。

RUN 2 の段階では、汚泥と生ごみの原料投入ラインが別ラインになっていた。生ごみは含水率が 85%程度と水分が少なく、そのままでは原料投入ポンプでうまく移送できないため、水道水で加水していた。その影響もあり、RUN 2 における消化液の窒素濃度は低く (T-N1500～2000mg/L、NH₄-N600～700mg/L)、消化液をバイオ液肥として利用するには問題があった。

一方、Run2 以降は、混合調整槽の pH は 4 程度まで低下しており、メタン発酵の第一段階

である有機物の加水分解・酸生成が起こっていることが示唆された。

③RUN 3（汚泥：生ごみ＝1：1（生ごみを汚泥で希釈して投入））

〔目的〕 汚泥による生ごみ希釈効果の検証（作業性、VS 負荷、消化液成分への影響）

〔結果〕

生ごみを含水率 98%の汚泥で希釈することにより、生ごみに加水しなくても原料投入ポンプによる移送をスムーズに行うことができ、その結果、原料の TS、VS、T-N 等の濃度が上昇した。原料投入方法の変更により、有機物負荷率は $1.5 \sim 1.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 程度まで上昇したが、試験期間中の pH、アルカリ度は安定しており、発酵の安定性に問題はなかった。また、消化液中の肥料成分濃度、特に、アンモニア態窒素濃度が 1000 mg/L 程度まで上昇し、バイオ液肥として利用しやすい性状となった。



写真 6.2.18 三方弁と汚泥貯留槽

④RUN 4（汚泥：生ごみ：おから＝5：4：1）

〔目的〕 おから混合の影響を検証（おから 10%）

〔結果〕

試験期間中の pH、アルカリ度は安定しており、発酵の安定性に問題はなかった。窒素成分の多いおから混合の影響で、消化液中のアンモニア態窒素濃度は 1500 mg/L 程度まで上昇し、バイオ液肥としてより利用しやすい性状となった。

（2021 年 7 月上旬に pH が一時低下しているが、これは一度に約 10 日分の原料が投入されるトラブルがあったためであり、原料の混合比率変更による影響ではない。その後、原料投入を一時停止することにより、発酵状態は改善した。）

⑤RUN 5（汚泥：生ごみ：おから＝4：3：1）

〔目的〕 おから混合割合を高めた影響の検証（おから 12.5%）

〔結果〕

試験期間中の pH、アルカリ度は安定しており、発酵の安定性に問題はなかったが、期間の後半で VFA の上昇傾向が見られた。

窒素成分の多いおから混合割合を RUN 4 からさらに増やした影響で、アンモニア態窒素

濃度は 1700mg/L 程度まで上昇し、バイオ液肥としてさらに利用しやすい性状となった。一方、おからが吸水しやすいため、混合原料の流動性が低下し、RUN 5 における原料混合割合はポンプで移送可能なぎりぎりの状態であった。作業上の観点から、おからの混合比率 12.5%程度が上限といえる。

⑥RUN 6（汚泥：生ごみ：ゆず搾汁残さ＝5：4：1）

〔目的〕 ゆず搾汁残さ（柑橘搾汁残さ）の影響の検証（ゆず搾汁残さ 10%）

〔結果〕

試験期間中の pH、アルカリ度は安定しており、発酵の安定性に問題はなかった。窒素成分の少ないゆず搾汁残さ混合の影響で、消化液中のアンモニア態窒素濃度は低下した。

⑦RUN 7（汚泥：生ごみ：伊予柑＝5：4：1）

〔目的〕 伊予柑搾汁残さ（ゆずと異なる柑橘）の影響の検証（伊予柑搾汁残さ 10%）

〔結果〕

試験期間中の pH、アルカリ度は安定しており、発酵の安定性に問題はなかった。伊予柑についても安定してメタン発酵したことから、柑橘類全般において原料として利用可能なことが示唆された。窒素成分の少ない伊予柑搾汁残さ混合の影響で、アンモニア態窒素濃度は低下した。

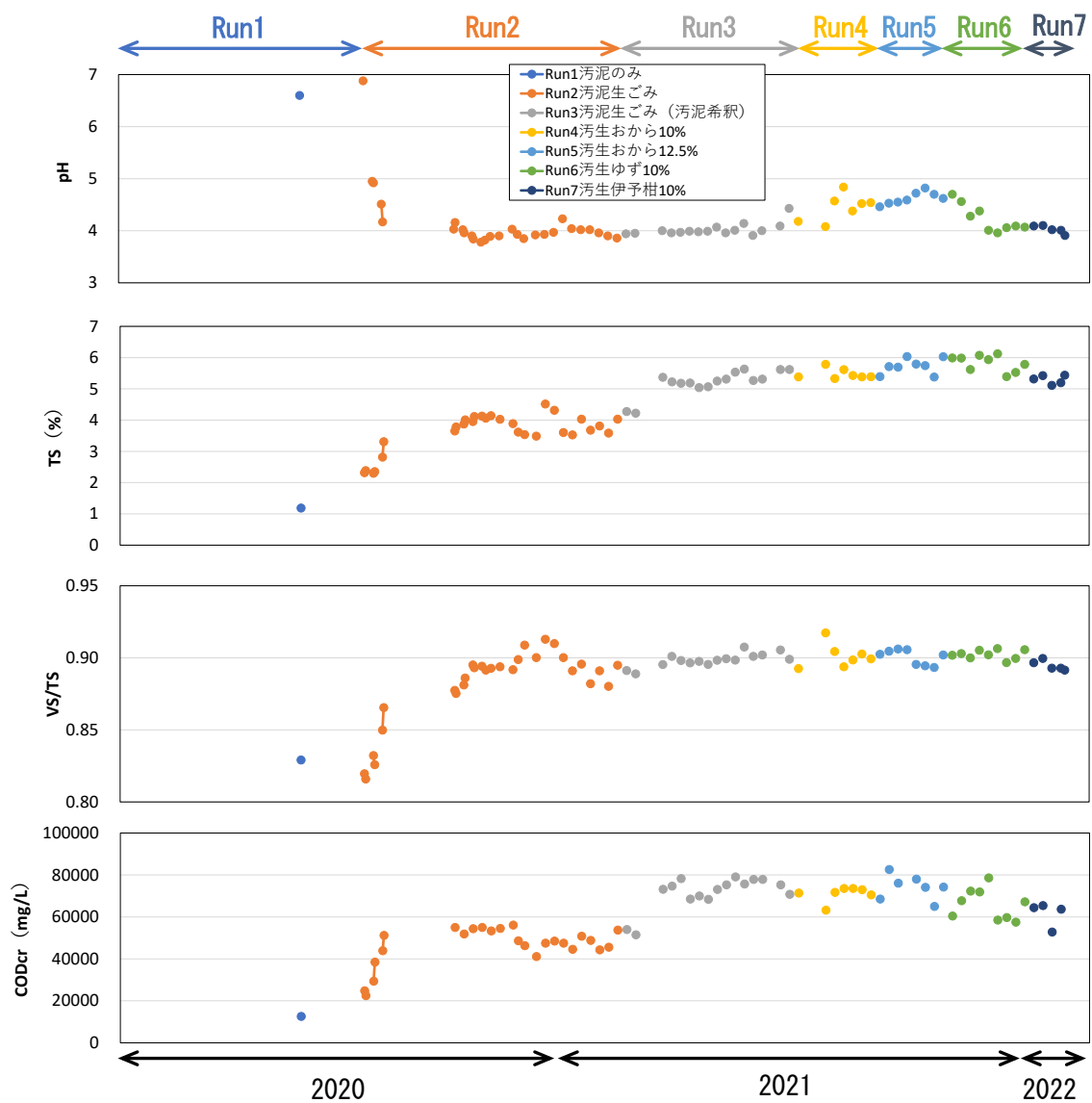


図 6.2.5 混合調整槽の水質 (2020 年 1 月 28 日～)

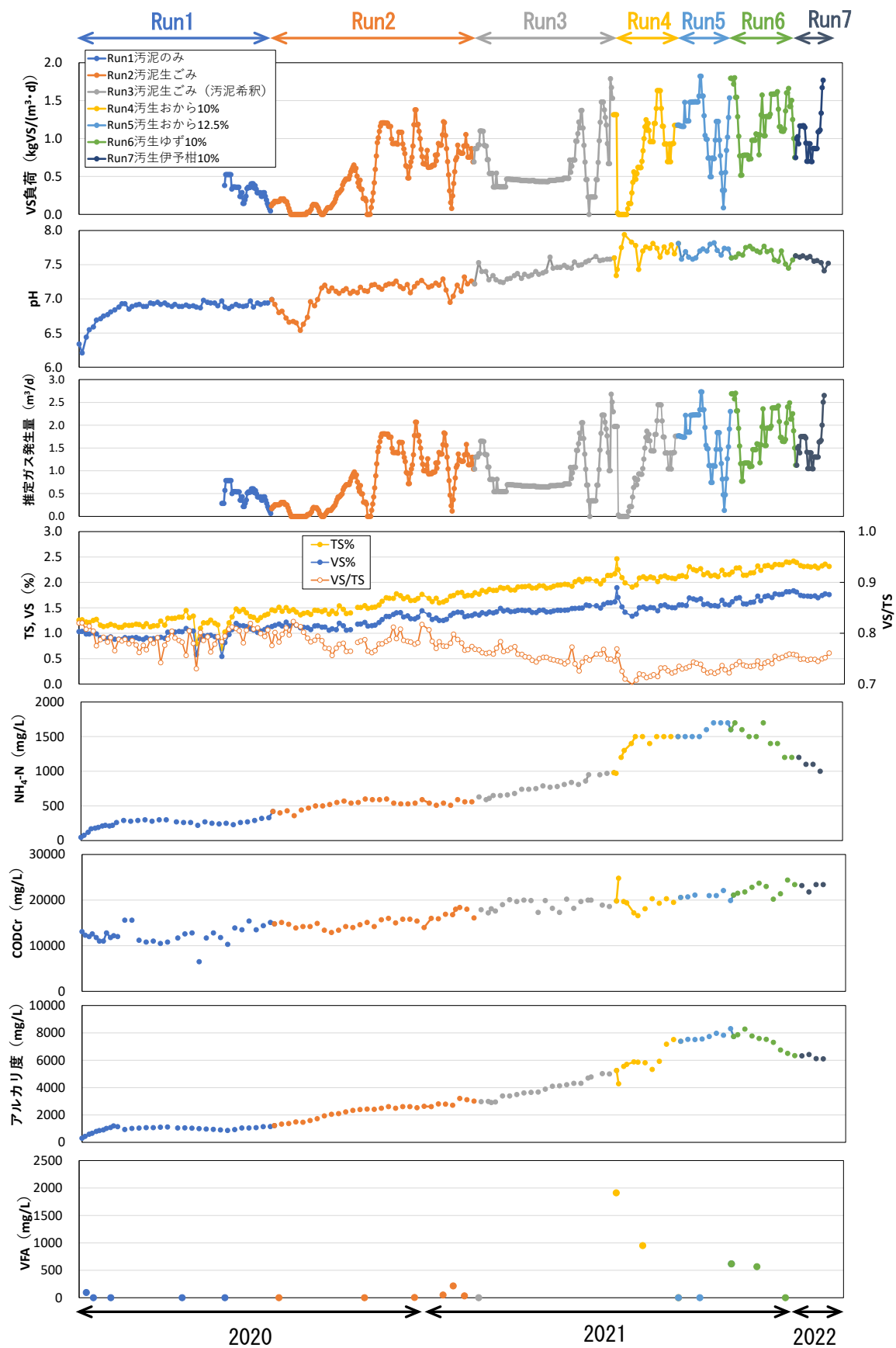


図 6.2.6 発酵槽の水質（発酵安定性関係）、ガス発生量（2020 年 1 月 28 日～）

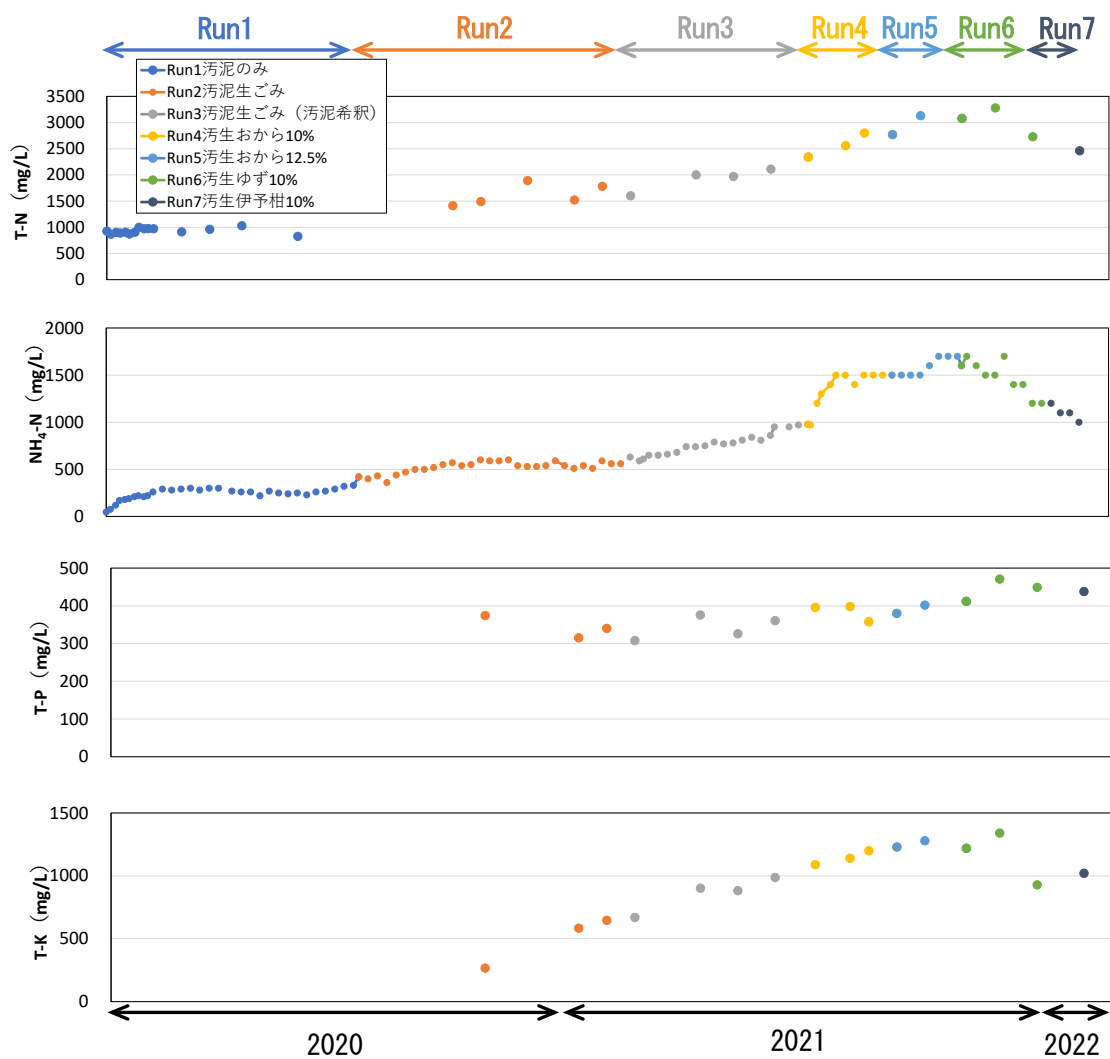


図 6. 2. 7 発酵槽の水質（液肥肥料成分関係）（2020 年 1 月 28 日～）

6.2.6 主なトラブルと対応

実証施設運転中に生じた主なトラブルと対応について、表 6.2.7 に示す。

下記のほか、令和2年7月2日～10月17日において、日射により発酵槽内の温度が中温メタン発酵に求められる 37℃を大幅に上回った。しかしながら、実規模施設でこのようなトラブルは把握していない。したがって、実証施設の発酵槽は、実規模施設の数十分の1の規模であるため、容量に対して表面積が大きく、日射の影響が大きかったためであると考えられる。

表 6.2.7 主なトラブルと対応等

時期	部位	トラブル	対応	影響
令和2年 12月21日	混合調整 槽内 水位計	水位計の異常	1月12日プログラム 修正 (急激な水位変化に よる警報を不検知) 問題解決には至らず	H. H. W. L の警報が多発 自動運転の強制停止 原料投入等を手動運転 に切り替え
令和3年 1月1日	発酵槽内 攪拌機モ ーター	攪拌機モーター故障	1月29日モーター交換	発酵槽内の攪拌が不足 して滞留し、ヒーター 周辺が焦げ付き ヒーターが劣化し、槽 内温度が低下
令和3年 1月20日	発酵槽内 ヒーター	ヒーター故障	1月30日ヒーター交換	発酵槽内にヒーターを 挿入し、直接加温 ヒーターの温度が上昇 し焦げ付いたため、直 接ではなく間接加温が 良いか
令和3年 1月26日	クラウド 方式	データ同期エ ラー	1月27日プログラムの 修正、ルーターの 再起動	データ欠損の可能性
令和2年末 ～令和3年 1月(詳細 不明)	混合調整 槽への投 入ポンプ	生ごみ投入ポ ンプの能力低 下	2月8日投入ポンプ のインペラ交換	混合調整槽への生ごみ 投入が困難 希釈水を大量使用する 必要
令和3年 2月4日	殺菌槽内 ヒーター	ヒーター故障	3月9日ヒーター交換	主電源ブレーカーがトリ ップし、連続データ 欠損
令和3年 2月11日	発酵槽か らのガス ライン	発泡等による ガスライン閉 塞	2月12日凍結・結露 防止対策(水抜き頻 度増加、不凍液・加 温ヒーターの使用)	ガスラインの圧力が上 昇し、発生ガスがリー クし、ガス量の測定が 不能
令和3年 7月6日	発酵槽	一度に約10 日分の原料が 投入(通常は 3～4日分)	7月7日原料投入の 一時停止	pH の一時的な低下 対応後、発酵状態は改 善

6.2.7 試験後の発酵槽内の様子

実証試験終了後、令和4年2月5日～11日にかけて実証施設の撤去工事を行った。この際、施設が稼働している際は不可視部となる発酵槽内について、目視で観察した。

発酵槽の壁面や攪拌機にスケールが生成するとの報告があるが、本実証試験では確認されなかった。また、水位計（発酵槽内に垂直に設置）にゆずの繊維が付着していた。本実証試験においてゆず搾汁残さを使用した期間は2ヶ月程度と短かったため影響は小さかったと思われるが、長期的には繊維の蓄積によるトラブル発生に留意する必要がある。



写真 6.2.19 実証試験終了後の発酵槽内



写真 6.2.20 水位計に付着したゆず繊維



写真 6.2.21 ゆず繊維

参考文献

一般社団法人 地域環境資源センター（2016）：消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施
手引き

6. 3 集排施設併設メタン発酵施設の運転・管理作業の評価

集排施設にメタン発酵施設を併設することによる運転・管理作業の特徴について評価する。

【解 説】

集排施設は通常 1 週間から 2 週間に 1 回の巡回管理を行っている。本実証試験では、週 2 日生ごみを回収し、破碎分別しているため、巡回管理の頻度より多く集排施設に訪れる必要がある。さらに、メタン発酵は通常の集排施設の水処理とは異なるため、メタン発酵に関する基礎的な知識や管理が必要となる。

これらの条件を満たすようであれば、集排施設の通常管理に加えてメタン発酵施設の管理をすることができ、維持管理費を削減することができる

なお、本実証では生ごみ回収及びメタン発酵施設の管理を週 2 回、生ごみ回収ボックスの設置をそれぞれ前日夕方に行っていたため、2 週間で 1～2 回の集排施設の通常管理より頻度は多かった。本実証における作業内容及び保守点検記録表の例を以下に示す。

〈作業内容（例）〉

①実証試験設備の概要

実証試験設備は「中温湿式方式のメタン発酵設備」で、主な機器並びに反応槽は以下のとおりである。

- ・ 破碎分別機
- ・ 混合調整槽
- ・ メタン発酵槽
- ・ 殺菌槽
- ・ ガスホルダー
- ・ 汚泥貯留槽（高樋地区）

②業務内容

実証試験設備に対して、以下の業務を実施する。

- （i）濃縮汚泥の調整（目標汚泥濃度 MLSS=20,000～30,000mg/L）、可溶化槽への移送量の計量
- （ii）原料（生ごみ、農産加工残さ等）の収集、破碎、計量、調整
- （iii）実証試験設備の保守点検作業、保守点検記録票への記入及び担当者への報告
- （iv）原料、消化液等の試料採取及び分析機関への送付
- （v）当センター実施する関連実験の補助作業及び実証調査に伴い行う試料採取

③保守管理及び現地測定

- （i）保守管理及び現地測定等は、2回／週（火、金）実施。
- （ii）原料調整作業、反応槽の保守管理と試料採取業務。
- （iii）当センターが支給する管理機器やガス測定器等の測定機器・簡易測定器（メタン濃度、二酸化炭素濃度、硫化水素濃度等）による測定。
- （iv）管理の具体的な内容は、保守点検記録票に記載する。
- （v）突発的なトラブル発生時の対処等。

④試料採取

- （i）試料は、代表サンプルの採取に留意し、適切な量を所定の容器（ポリ容器、テドラーバック等）に採取する。
- （ii）原料は主に濃縮汚泥と生ごみ及びすだち等のバイオマスであり、それぞれの原料とそれらを混合した混合原料を試料として採取する。
- （iii）消化液は、殺菌槽の前後及び消化液貯留槽で採取する。
- （iv）生成ガスは、ガスホルダー前で採取する。

小規模メタン発酵(実証プラント)の保守点検記録票

				No. 114		
施設名称	高樋地区施設内			点検日	令和 3年 5月 14日	9:00 ~ 15:00
日平均処理量	83.3 L/日	対象人口	278 人	点検者		
天候	曇り	外気温	16 ℃			

ポンプ等	運転状況	運転時間	摘 要
生ゴミ移送ポンプ 【P-11】	○ OFF (停止) OFF (停止) → ON (運転) → 停止 (OFF) ○ Reverse (逆回転) OFF (停止) → ON (運転) → 停止 (OFF)	min. ・ sec.	
汚泥移送ポンプ 【P-12】	○ OFF (停止) OFF (停止) → ON (運転) → 停止 (OFF)	sec.	
投入ポンプ (発酵槽循環) 【P-13】	○ OFF (停止) ON (運転) ○ Reverse (逆回転) OFF (停止) → ON (運転) → 停止 (OFF)	hr. min. ・ sec.	
温水循環ポンプ (殺菌槽循環) 【P-31】	○ OFF (停止) ON (運転)	hr.	
汚水移送ポンプ (側溝) 【P-51】	○ OFF (停止) → ON (運転) → 停止 (OFF)	min. ・ sec.	
発酵槽ヒーター 【HT-1】	○ OFF (停止) AUTO (運転)		
殺菌槽ヒーター 【HT-2】	○ OFF (停止) AUTO (運転)		
ガスホルダーエアファン 【B-25】	○ OFF (停止) ON (運転)	24 hr.	
ガスフレアエアファン 【B-31】	○ OFF (停止) ON (運転)	hr.	

水 槽 (有効容量)	機器類	設定値	摘 要
混合可溶化槽 (1.0m ³) 【T-13】	攪拌機【M-11】	ONタイマー 60 sec. OFFタイマー 20 sec.	運転時間 18.0 hr./日 24時間ON
メタン発酵槽 【T-21】	攪拌機【M-21】	ONタイマー 60 sec. OFFタイマー 20 sec.	運転時間 18.0 hr./日
	バルブ【MV-1】	○ 循環 → 投入 → 循環 投入時間 sec.	
	バルブ【MV-2】	○ 循環 → 排出 → 循環 排出時間 sec.	
	流量計【LIRQ-11】	68.1 L/min.	
殺菌槽 (0.25m ³) 【T-31】	ヒーター【HT-2】	ヒーターOFF温度 56.0 ℃ ヒーターON温度 54.0 ℃	故障

水 槽 (有効容量)	計測機器類	計測値	摘 要
混合可溶化槽 (1.0m ³) 【T-13】	水位計【LIA-11】	730 mm 機械1時間停止後測定	レベルH: 1,050mmで容量1.0m ³
メタン発酵槽 (2.5m ³) 【T-21】	水位計【LIA-21】	1,040 mm 機械1時間停止後測定	レベルH: 1,050mmで容量2.5m ³
	流量計【FIRQ-11】	68.1 L/min.	0.0 L (sec)
	pH計【PHIR-21】	7.11 (-)	計測器数値: pH 7.09
	ORP計【ORPIR-31】	-497.8 mV	計測機数値: ORP -0.5V
	水温計【TIRC-21】	36.7 ℃	計測機数値: Temp 36.6℃
	圧力計【PI-21】	2.1 kPa	
	ガス流量計【FI-22】	196,091.70 L 発生量 0.0 L/日	測定時間 8:55
殺菌槽 (0.25m ³) 【T-31】	水位計【LIA-31】	668 mm 機械1時間停止後測定	レベルH: 860mmで容量0.25m ³
	圧力計【PS-31】	24 kPa	
ガスホルダーユニット 【G-25】	圧力計【PIA-25】	kPa	各機器の水を排水
	ガス検知器計補正值【GD-25】	%	GAS: 21.50 LIQUID: 20.20
汚泥貯留槽 (27.45m ³) 【T-11】	水位計【LS-11】	mm	
消化液貯留槽 (27.45m ³) 【T-41】	水位計【LS-41】	mm	

【特記事項】 (作業内容、次回の予定等)	・前日生ゴミ回収箱設置	・発酵槽サンプリング、生ゴミ	・電力メーターAMS: 53 35872.8Kw
・生ゴミ5/14回収分の残りを冷凍庫で保管	・生ゴミ回収・分別・投入・洗浄・回収 45分	・分別 2.5時間	・投入 1時間
・生ゴミ作業者 2名	・生ゴミ流動性悪い為、貯留槽汚泥で35L希釈		
・5/14昼過ぎにヒーター到着			

図 6.3.1 保守点検記録表 (例)

6. 4 農村バイオマスの収集・投入

集排汚泥と地域の生ごみといった農村バイオマスをメタン発酵の原料とし、収集・投入等を実施した。生ごみは、家庭及び事業系の両方を収集した。

【解 説】

6. 4. 1 農村バイオマスの投入量

実証プラントの設計負荷における原料の投入量は 83.3L/日であり、集排汚泥の投入量はその半分とすると、必要となる農村バイオマス量はその半分量に当たる 41.7kg/日（比重 1 とした場合）となる。農村バイオマスとして、まず、地域で必ず発生する家庭生ごみを対象とし、その後、これに加えて、保育所や弁当屋からの生ごみ、豆腐店からの豆腐製造残さ（おから）、精油や食品および飲料の製造業者からの柑橘搾汁残さ等の事業系食品廃棄物を対象とした。

6. 4. 2 家庭生ごみの収集

①収集に向けた事前準備

令和 2 年 6 月～7 月にかけて、佐那河内村内で地域住民に対して、小規模メタン発酵システム実証事業に関する説明資料の配布と、生ごみ収集への参加意向調査を実施した。説明資料では、生ごみの収集方法や収集場所、収集曜日・時間および、本事業で回収対象とするものおよび分別して除いてほしいものについての詳細を明記した（図 6. 4. 1）。

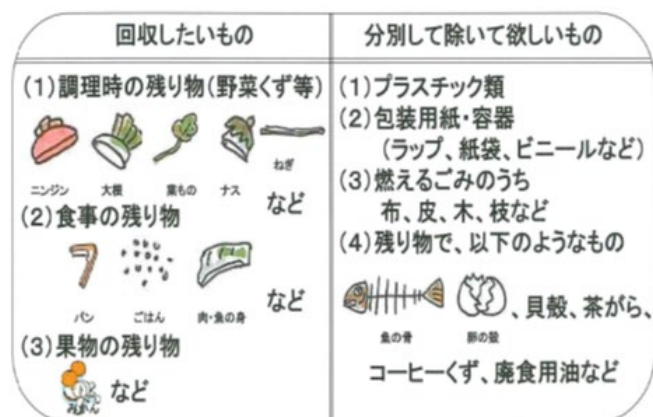


図 6. 4. 1 本事業における生ごみの分別方法についての説明

②収集状況

令和 2 年 7 月 29 日～31 日に、生ごみ収集に協力してくれる 80 世帯（137 世帯中）にバケツ（20L の密閉性があるマルチバケツ）とゴミ袋（ジッパー付き 100 枚/世帯）を配布し、8 月 4 日（火）から火曜日と金曜日の週 2 回の生ごみ収集を開始した。生ごみ収集への協力家庭の割合が 6 割に満たなかった理由として、令和 2 年 2 月からの新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、住民説明会を開催して直接説明することができず、紙資料を配布して協力を呼び掛けることとなったことが挙げられる。

収集場所は佐那河内村内のごみ集積所4ヶ所のほか、高樋地区処理施設の空き用地を含めた計5ヶ所で、収集前日に75Lの大型クーラーボックスを設置し、収集日の朝方（9時～10時）に生ごみを回収した。



写真 6. 4. 1 各世帯に配布したバケツ



写真 6. 4. 2 収集場所に設置するクーラーボックス



写真 6. 4. 3 生ごみの例（令和2年8月11日）



写真 6. 4. 4 生ごみの例（左：令和2年10月23日、右：10月27日）

6.4.3 家庭生ごみの特徴

収集された生ごみの特徴は、以下のとおりであった。

- ・卵の殻や骨、調味料の小袋等の不純物が少なく、事前に配布した生ごみ分別方法が順守されていた。
- ・果物や野菜の割合が全体的に多く、夏はスイカ、メロン、ナス、キュウリ等、秋からはすだち等の柑橘類や葉菜類、果物の柿が目立つ等、季節によって生ごみの組成（構成要素）が変化した。
- ・家庭菜園等で栽培した野菜類で、食されずに廃棄されるものが多くみられた。
- ・実証試験期間中の各月の家庭生ごみの固形物濃度（TS 濃度）、有機物濃度（VS 濃度）、C/N 比はそれぞれ、およそ 11～18%、10～17%、14～28 であった（図 6.4.2）。また、この家庭生ごみと集排汚泥の重量比 1：1 混合物を基本とし、本実証施設で採取した消化液を種汚泥として実施した連続式フラスコ試験（HRT30 日、有機物負荷率 2.64kgVS/(m³・d) 条件）によるバイオガス発生率は、およそ 0.6Nm³/kg-投入 VS であった（6.6.9 参照）。

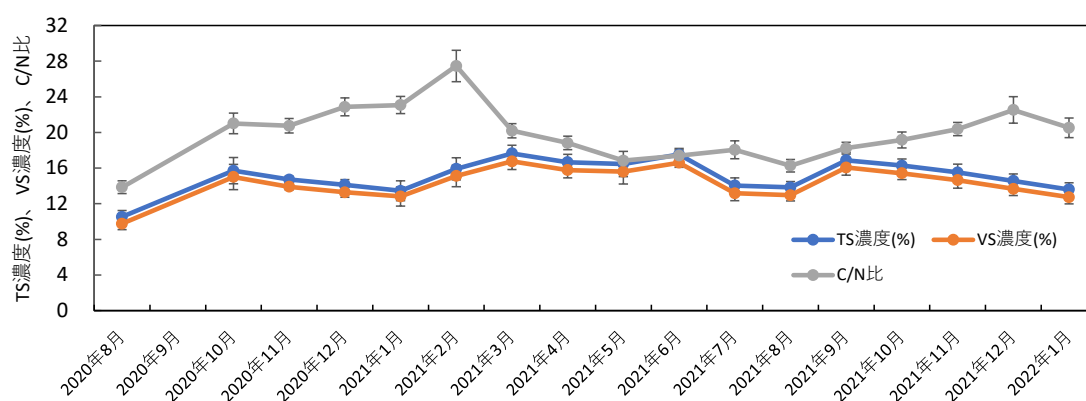


図 6.4.2 家庭生ごみの性状

エラーバーは標準誤差を示す。

③家庭生ごみの破碎分離および混合調整槽への投入

回収した生ごみは、収集場所別にビニール袋に入った状態で計量し、その後中身を取り出した内容物を確認し、目視で卵の殻や骨、調味料の小袋等の不純物を取り除いた。形状が大きなものは包丁で細かくし、破碎しにくいものは他のものと混合させた状態で破碎分別機を通し粉碎した。破碎分別機を通す回数は多くて 2～3 回程度であった。当初は破碎した生ごみを原料として投入する際、ポンプくみ上げに必要な流動性を持たせるため、水道水を利用していたので、バイオガス発生量が減少し、消化液の TS、VS および NH₄-N 濃度が低くなっていた。そこで、水道水の代わりに汚泥を用いて原料に流動性を持たせることにより、バイオガス発生量が増加し、消化液の TS、VS および NH₄-N 濃度も上昇した。



写真 6. 4. 5 破碎分別機 全景

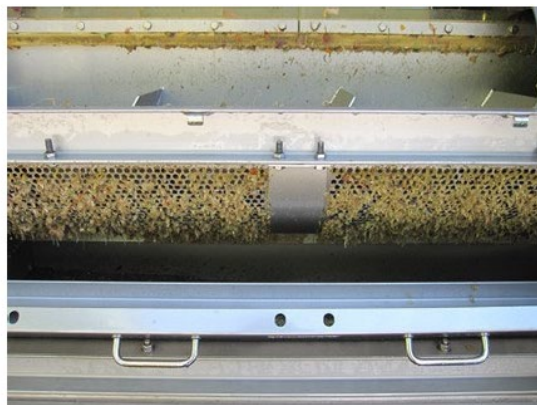


写真 6. 4. 6 破碎分別機 フルイ部分
(パンチングメタル)



写真 6. 4. 7 破碎分別した生ごみ



写真 6. 4. 8 破碎できなかった生ごみ

6.4.4 事業系食品廃棄物や農産加工残さの追加

①原料の追加確保

実証プラントに必要となる生ごみ量は 41.7kg/日（比重 1 とした場合）である。図 6.4.3 に収集した家庭生ごみの混合調整槽への投入量の推移を、図 6.4.4 に 1 日当たりに換算した家庭生ごみ投入量の推移を示す。

収集した家庭生ごみ量は平均で 15.97kg/日と実証プラントで必要とする生ごみ量の 38%であり、不十分な状態が継続していたため、新たな生ごみの収集先を調査した。

結果として、佐那河内村役場近隣に設けている生ごみ集積所（1ヶ所）に集まっている生ごみを使用し、さらに事業系食品廃棄物を追加した。

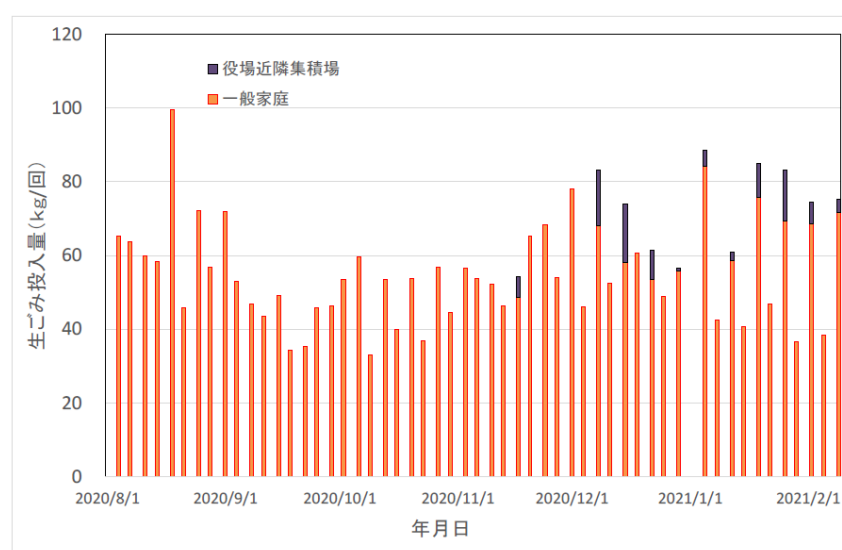


図 6.4.3 混合調整槽に投入した生ごみの推移（週 2 回、1 回当たり）

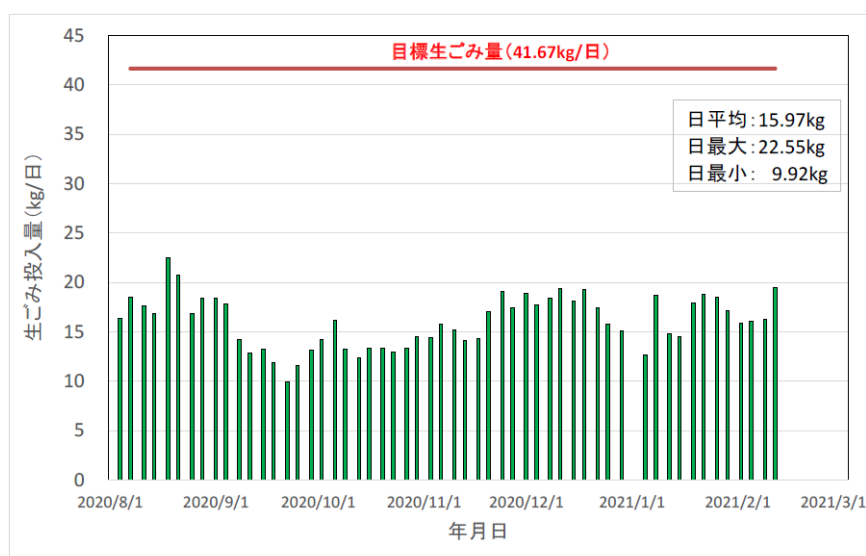


図 6.4.4 混合調整槽に投入した生ごみの推移（1 日当たりに換算）

②事業系食品廃棄物の追加

令和3年7月6日から以下の原料を追加した。事業系食品廃棄物については、堆肥化を進めている松山油脂株式会社山神果樹薬草園以外は、廃棄物として焼却処分されている状況であった。

○佐那河内保育所（調理残さ、食べ残し）



写真 6. 4. 9 佐那河内保育所

○YOME 厨房（弁当屋）（調理残さ、食べ残し）週 40 kg 程度



写真 6. 4. 10 YOME 厨房

令和3年9月6日から、以下の原料を追加した。

○（有）村のおっさん 四代目桑原豆腐店（豆腐製造残さ（おから））



写真 6. 4. 11 （有）村のおっさん 四代目桑原豆腐店



写真 6. 4. 12 店内

令和3年11月から、以下のゆず搾汁残さを原料として追加した。また、令和4年1月からは伊予柑搾汁残さを原料として追加した。

○松山油脂株式会社 山神果樹薬草園（柑橘搾汁残さ）



写真 6. 4. 13 松山油脂株式会社 山神果樹薬草園



写真 6. 4. 14 ゆず搾汁残さ

おから及びゆず搾汁残さの TS、VS、C/N 比は以下の通りである。

表 6. 4. 1 おから及びゆず搾汁残さの成分

	TS (%)	VS (%)	T-C (乾物%)	T-N (乾物%)	C/N 比
おから	27.7	26.2	45.2	4.3	10.6
ゆず搾汁 残さ	19.7	18.9	48.5	1.5	32.3

事業系食品廃棄物及び農産加工残さの投入開始以降の混合原料の TS、VS、C/N 比はおよそ 13～17%、12～16%、13～23 であった（図 6.4.5）。

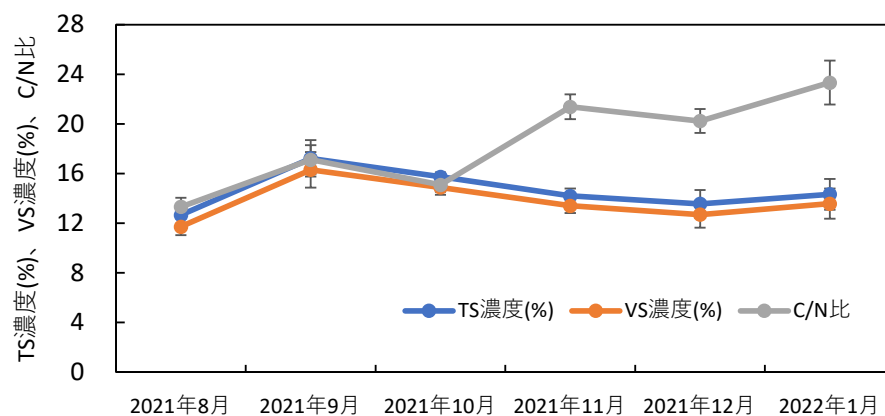


図 6.4.5 混合原料の成分推移

エラーバーは標準誤差を示す。

6. 5 バイオ液肥としての利用

メタン発酵の副生成物である消化液をバイオ液肥として、営農利用することにより、資源循環とともに、トータルコスト削減を図る。このために各種実証を実施した。

【解 説】

6.5.1 バイオ液肥の性状

現地実証試験で作成し、殺菌処理をしたバイオ液肥の肥料成分濃度を表 6.5.1 に示す。メタン発酵原料がバイオ液肥の肥料成分濃度に影響を与えていることが分かる。生ごみを加水して投入していた時期は肥料濃度が薄く、バイオ液肥としての利用に不適であったが、汚泥による生ごみ希釈を開始した、RUN 3 以降は濃度が上昇し、さらに、窒素含有率の高いおからを混合した RUN 4 以降はさらに窒素濃度が上昇し、肥料として使いやすい性状となった。RUN 6 からは、おからに代わり窒素含有率の低いゆず搾汁残さを用いたため、窒素濃度は低下した。

また、バイオ液肥には柑橘の果樹園土壌で欠乏しやすい微量元素である、ホウ素、亜鉛、マンガンも含まれていた。農家の高齢化が進んでおり、果樹園は傾斜があるため、重量の大きい堆肥等の微量元素を含む有機資材を定期的に施用することが難しくなっており、効率的にバイオ液肥を散布できれば、微量元素も施用できるため有用である。

表 6.5.1 殺菌処理後のバイオ液肥の肥料成分濃度

採取日	pH	含水率 (%)	窒素 (mg/L)	アンモニア態窒素 (mg/L)	リン酸 (P ₂ O ₅) (mg/L)	カリ (K ₂ O) (mg/L)	ホウ素 (mg/L)	亜鉛 (mg/L)	マンガン (mg/L)	原料 (Run)
2020/12/15	7.4	98.4	2000	730	726	517	0.81	7.90	2.11	汚泥：生ごみ = 1 : 1 (水で希釈) (Run 2)
2021/2/12	7.31	98.3	1580	680	697	597	1.12	10.60	2.95	
2021/5/6	7.57	98.6	1600	740	667	879	-	-	-	
2021/5/28	7.6	98.3	1840	930	713	1066	-	-	-	汚泥：生ごみ = 1 : 1 (汚泥で希釈) (Run 3)
2021/6/1	7.5	98.1	2080	990	793	1100	-	-	-	
2021/6/25	7.41	98.1	2120	1000	804	1301	-	-	-	
2021/7/2	7.48	98.0	2280	1100	804	1253	-	-	-	
2021/9/14	8	98.0	2780	1500	887	1433	-	-	-	汚泥：生ごみ： おから = 5 : 4 : 1 (Run 4)
2021/10/12	7.88	98.1	2880	1900	944	1361	-	-	-	汚泥：生ごみ： おから = 4 : 3 : 1 (Run 5)
2021/11/2	7.9	98.2	2980	1900	921	1446	-	-	-	
2022/1/4	7.92	97.9	2860	1400	880	1385	-	-	-	汚泥：生ごみ： ゆず搾汁残さ = 5 : 4 : 1 (Run 6)

6.5.2 営農実証概要

営農実証の流れを以下に示す通りであり、5.6.1で述べた普及プロセスの一部を実証する形で行った。具体的には、第1段階として、現地メタン発酵試験の条件設定のために行った、室内メタン発酵試験のバイオ液肥を用いてポット栽培試験を行い、集排汚泥と生ごみを原料としたバイオ液肥の肥料効果を確認した。

その後、第2段階として、ポット試験の結果を用いて現地関係者と調整を行い、現地メタン発酵試験で得られたバイオ液肥を用いた現地栽培試験を実施した。現地栽培試験の実施にあたっては、現地の農業関係機関である徳島県立農林水産業技術支援センターの協力を得て、現地に適した試験作物の選定、試験結果の評価をしていただいた。一方、栽培試験と並行して、肥料法上、肥料の販売・配布に必要な手続きである、肥料登録を進めた。

表 6.5.2 営農実証の流れ

	ポット 栽培試験	ほ場試験 (試験ほ場)	ほ場試験 (現地実証)	バイオ液肥の 散布効率化	肥料登録
令和 2年度	水稻 コマツナ	すだち コマツナ リーフレタス	すだち	散布機製作	植害試験 重金属6項目分析 24項目成分分析 肥料登録申請
令和 3年度		水稻 すだち コマツナ リーフレタス	すだち	散布機実証、 解析	肥料登録 生産工程変更届出

営農実証のうち、栽培試験（作物を栽培する試験）について、以下にとりまとめた。

ポット栽培試験は、室内で実施するため外部要因の影響を極力除いていることから、バイオ液肥の肥料効果を評価しやすい。また、農業関係者の協力がなくても実施可能なため、計画段階で実施し、農業関係者に客観的なデータを説明するための基礎資料とすることができる。ポット栽培試験の作物は、栽培面積が一番大きい水稻、周年栽培が可能な主要な野菜かつ植害試験の対象となっているコマツナを選定した。

また、植害試験を実施して肥料登録を行うことにより、法律を順守するだけでなく、植物への成長阻害、重金属の基準値超過等がないことについて、農業関係者等に説明するための材料として活用できる。

表 6.5.3 営農実証の関係

内容	実施時期	作物	実施場所	バイオ液肥 生成場所	主な調査項目
ポット 栽培試験	令和2年 度	水稻 コマツナ	研究センター （茨城県土浦 市）	室内メタン 発酵試験	生育状況（草丈 等）、収量、無機 成分分析、窒素無 機化試験
ほ場試験 （試験ほ場）	令和2～ 3年度	水稻 すだち コマツナ リーフレタス	徳島県立農林 水産業技術支 援センター （徳島県石井 町）	小規模メタ ン発酵施設	生育状況（草丈 等）、収量、無機 成分分析
ほ場試験 （現地実証）	令和2～ 3年度	すだち	佐那河内村内	小規模メタ ン発酵施設	収量
植害試験	令和2年 2～3月	コマツナ	研究センター （茨城県土浦 市）	小規模メタ ン発酵施設	植物の成長阻害 （発芽率、生体重 指数）

6.5.3 ポット栽培試験

1/5000a ワグネルポット(以下「ポット」という。)を用いた、ガラス温室内における栽培試験である。

①目的

室内メタン発酵試験において生成したバイオ液肥について、ガラス温室内でポットを用いて栽培試験を実施することにより、外部要因の影響を極力除いて、収量等を計測し、肥料の効果を確認する。また、収穫した作物の成分分析、試験後の土壌の成分分析を実施し、化学肥料を用いた慣行栽培と比較することにより、バイオ液肥の影響を定量的に確認する。

②場所

試験場所は以下のとおりである。
茨城県土浦市 研究センター敷地内ガラス温室

③概要

2種類の作物について実施しており、以下に概要を示す。

表 6.5.4 ほ場試験（試験ほ場）概要

供試作物 (品種)	水稻 (あきたこまち)	コマツナ (楽天)
圃場概要	水田	畑
営農実証 時期	令和2年6月～10月	令和2年9月～11月
施肥時期	基肥：6月24日より前 追肥：8月28日	基肥：9月18日より前
施肥方法	茨城県施肥基準に合わせた (肥料は、供試土壌に混合後、ワグネルポットに充填)	
効果等	化学肥料区と同程度以上の収量	

メタン発酵原料の異なる２種類のバイオ液肥「バイオ液肥（すだち無）」、「バイオ液肥（すだち有）」を施用したバイオ液肥区、化学肥料区（化学肥料を用いた慣行栽培）の３条件で実施し、各条件５反復とした。

表 6.5.5 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	バイオ液肥（すだち無） （汚泥：生ごみ ＝50：50）	バイオ液肥（すだち有） （汚泥：生ごみ：すだち搾汁 残さ＝50：30：20）
全窒素	2,880	2,650
アンモニア態窒素	790	570
リン酸 (P ₂ O ₅)	1,208	1,166
カリ (K ₂ O)	1,149	1,361

④水稲

【方法】

（i）供試作物 水稲（品種 あきたこまち）

（ii）試験区の概要

基肥量は、茨城県の水稲栽培基準（窒素、リン酸、カリをそれぞれ 4、8、8 kg/10a）に合わせることとし、ワグネルポットの面積（1/5000a）に応じた、表 6.5.6 の施肥設計とした。バイオ液肥の窒素施肥量は、アンモニア態窒素基準で合わせた。

バイオ液肥中のアンモニア態窒素が栽培基準を満足する施肥設計とし、窒素、リン酸、カリが不足する場合は、化学肥料のいわゆる単肥（硫安、過リン酸石灰、塩化カリウム）で補うこととした。追肥も、バイオ液肥の試験区はそれぞれバイオ液肥、化学肥料区は硫安、塩化カリウムを施用した。

表 6.5.6 水稲基肥の施肥設計

項目		バイオ液肥 （すだち無）	バイオ液肥 （すだち有）	化学肥料区
バイオ液肥	mL	101	140	—
硫安	g	—	—	0.38
過リン酸石灰	g	0.22	—	0.92
塩化カリウム	g	0.07	—	0.27

表 6.5.7 試験区の施肥設計(g、mL/ポット)

試験区	硫安 g	過リン酸 石灰 g	塩化加里 g	バイオ液肥 mL	
				すだち無	すだち有
バイオ液肥（すだち無）区	－	－	－	251	－
バイオ液肥（すだち有）区	－	－	－	－	400
化学肥料区	1.14	1.13	0.40	－	－

(iii) 栽培管理

・栽植密度：1 株/ポット

6 月 24 日 播種

7 月 29 日 移植

8 月 28 日 追肥

9 月 2～7 日 出穂

10 月 22 日 収穫

【結果】

(i) 生育調査結果

草丈、葉色は試験区間で大きな差異はなかったが、生育 5 週における両バイオ液肥区の茎数は化学肥料区に比べて、約 24 %大きかった。

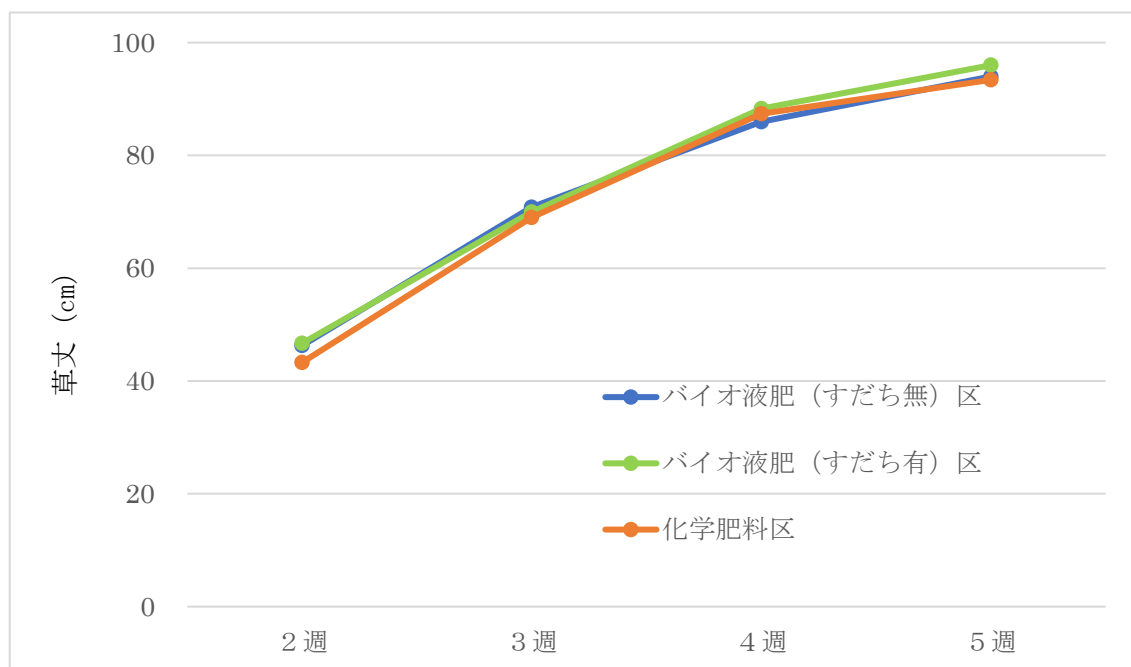


図 6.5.1 水稻草丈推移

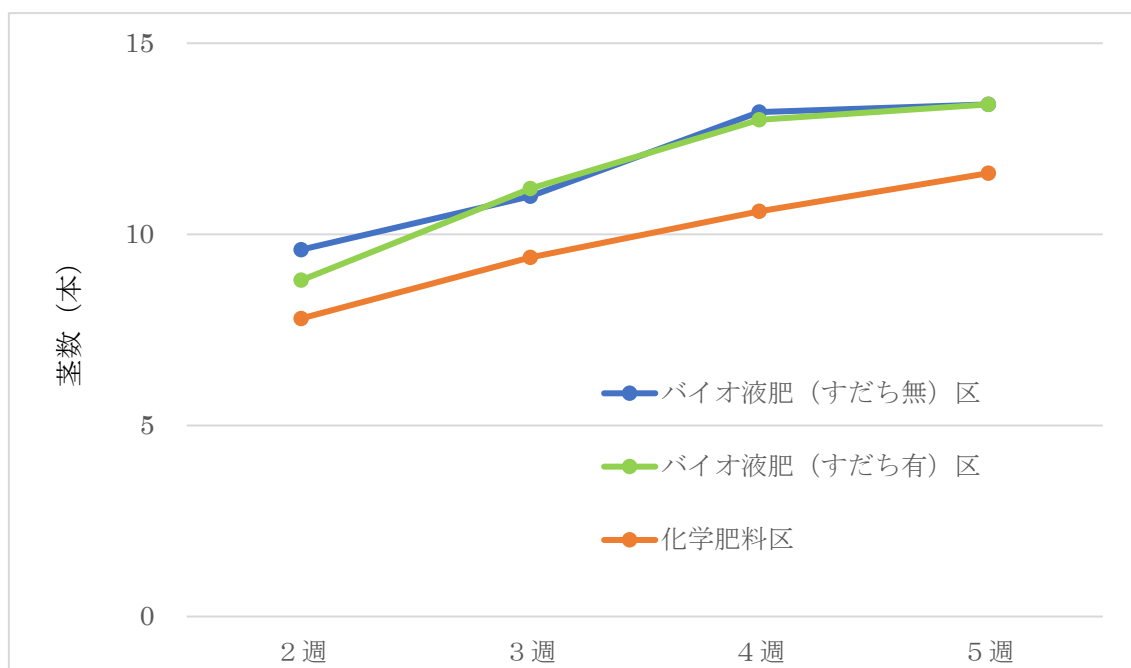


図 6.5.2 水稻茎数推移

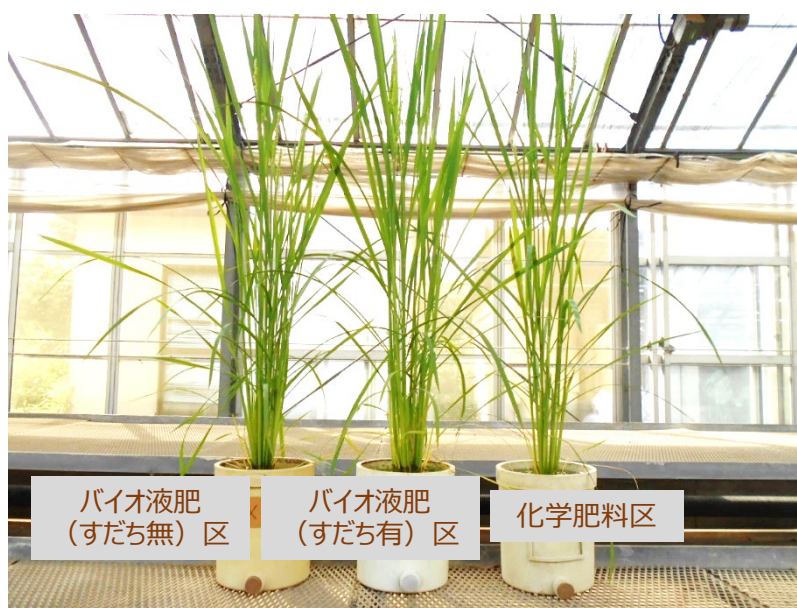


写真 6.5.1 水稻生育状況

(ii) 収量調査結果

収穫時の5株当たりのもみ重は、化学肥料区（92.6 g）と比較して、バイオ液肥（すだち無）は約24 %（114.9 g）、バイオ液肥（すだち有）は約33 %（123.1 g）収量が大きかった。

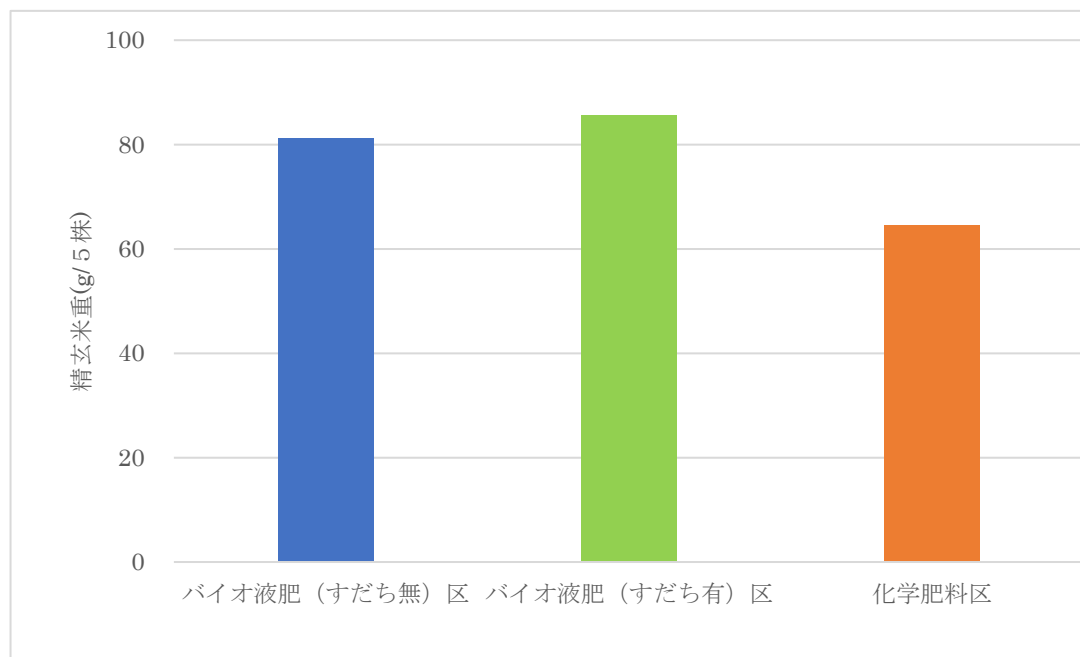


図 6.5.3 水稻精玄米重（5株の合計）

現物当たりのわらの無機成分を分析したところ、各項目で多少ばらつきはあるものの、概ね同程度の値であった。わらの成分分析であり、精玄米重に大きな影響を与える項目はない。

表 6.5.8 わらの成分(現物当たり)の結果

項目	バイオ液肥（すだち無）区	バイオ液肥（すだち有）区	化学肥料区
N %	0.54	0.75	0.61
P %	0.10	0.08	0.06
K %	2.49	2.32	2.25
Ca %	0.26	0.21	0.27
Mg mg/kg	1189	1372	974
Fe mg/kg	857	221	228
SiO ₂ %	10.23	9.56	12.30

⑤コマツナ

【方法】

(i) 供試作物 コマツナ (品種 楽天)

(ii) 試験区の概要

水稻と同様、3種類の施肥条件とし、基肥量は、窒素、リン酸、カリをそれぞれ 12、12、12kg/10a(茨城県の施肥基準)とした(バイオ液肥の窒素施肥量は、アンモニア態窒素基準で合わせ)。バイオ液肥の組成及び施肥設計を以下に示す。

表 6.5.9 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	バイオ液肥 (すだち無)	バイオ液肥 (すだち有)
アンモニア性窒素	955	600
リン酸	1208	1166
カリ	1149	1361

表 6.5.10 試験区の施肥設計 (g、mL/ポット)

試験区	硫酸 g	過リン酸石灰 g	塩化加里 g	バイオ液肥 mL	
				すだち 無	すだち 有
バイオ液肥 (すだち無) 区	－	－	－	251	－
バイオ液肥 (すだち有) 区	－	－	－	－	400
化学肥料区	1.14	1.13	0.40	－	－

(iii) 栽培管理

・栽植密度：1 株/ポット

9 月 18 日 播種

10 月 2 日 定植 (定植時 本葉 2 枚、草丈 8～9 cm)

10 月 9 日 間引き (1 回目)

10 月 16 日 間引き (2 回目)

11 月 6 日 収穫

【結果】

(i) 生育調査結果

草丈は、各区おおむね同様に生育したが、収穫をする定植後5週において、バイオ液肥区が化学肥料区に比べて約1割大きかった。

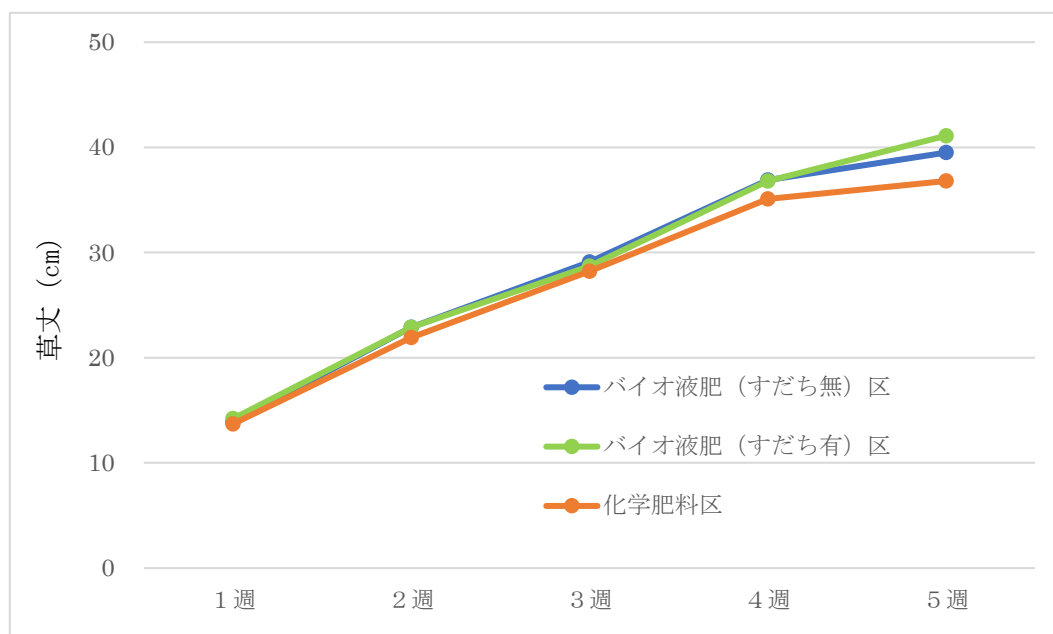


図 6.5.4 コマツナ草丈推移



写真 6.5.2 コマツナ生育状況

(ii) 収量調査結果

収穫時の生体重（収量）は、化学肥料区(79.6±4.1 g)と比較して、バイオ液肥（すだち無）区は約 32 % (105.1±5.5 g)、バイオ液肥（すだち有）は約 67 % (133.1±4.0 g) 有意に多かった。

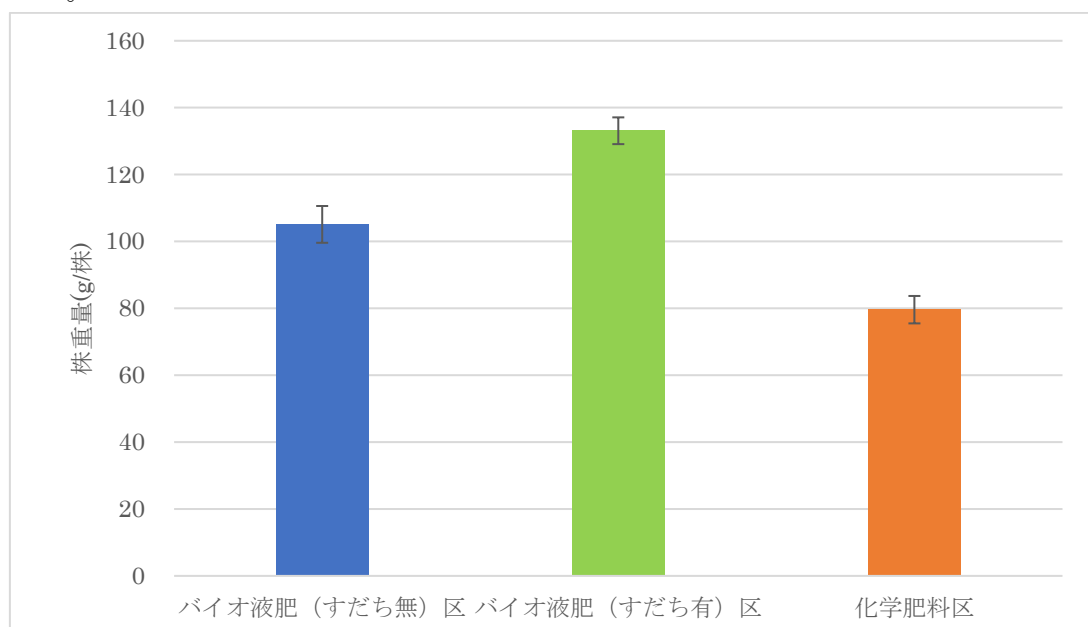


図 6.5.5 コマツナ生体重（5株の合計）

乾物重当たりの無機成分を分析したところ、全窒素（N 全量）は、バイオ液肥区及びバイオ液肥（すだち無）区が化学肥料区よりも有意に大きかった。化学肥料区に比べてバイオ液肥を施用した両区では、畑作物が吸収可能な硝酸態窒素の供給量が多かったことが示唆された（6.5.4 無機化試験を参照）。

表 6.5.11 コマツナ無機成分（乾物重当たり）

項目		バイオ液肥（すだち無）区	バイオ液肥（すだち有）区	化学肥料区
N 全量	%	3.91	4.82	2.75
C 全量		39.8	38.8	40.0
P 全量		0.41	0.39	0.41
K 全量		7.15	7.34	5.99
C a 全量		1.34	1.27	1.27
M g 全量		0.38	0.34	0.33
F e 全量	mg/kg	244	294	281

6.5.4 無機化試験

【方法】

バイオ液肥に含まれる窒素成分のうち、約半分がアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、残りが有機態窒素である（詳細については 5.2 バイオ液肥の特徴を参照）。バイオ液肥が農地に施用された後、どの程度の窒素が肥料として作物に利用可能かを調べるため、無機化試験を実施した。

使用したバイオ液肥は、現地メタン発酵試験のバイオ液肥（殺菌処理前、殺菌済）及び室内メタン発酵試験のバイオ液肥（6.5.3 ポット栽培試験で用いたバイオ液肥（すだち無、すだち有））であり、試験は畑条件（好気条件）で行った。具体的には、写真 6.5.3 のようにポリビンの中に畑の状態を再現して行う。ポリビンに土壌（乾土 40g）とバイオ液肥を全窒素で 20 mg（全窒素 50 mg/100g 乾土に相当）となる量を入れ、土壌水分を最大容水量の 60%になるように調整した上で、30℃の恒温庫に静置した。その後、0、1、2、4、8、12、16 週後にポリビン内のアンモニア態窒素と硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) の量を測定した。



写真 6.5.3 無機化試験（畑地条件）

【結果】

現地メタン発酵試験のバイオ液肥の無機化試験結果を図 6.5.6 に示す。殺菌処理の有無に関わらず、バイオ液肥中のアンモニア態窒素は、土壌に施用後速やかに硝化し、硝酸態窒素に変化した。そして、4～8 週間後には硝酸態窒素量が初期のアンモニア態窒素量とほぼ同量となり、それ以上は増えなかった。すなわち、バイオ液肥中の有機態窒素はほとんど無機化しないこと、アンモニア態窒素分をバイオ液肥の速効性窒素成分としてカウントすることが適当であることが示された。また、殺菌処理の有無で比較すると、殺菌済みのバイオ液肥の硝化速度が若干速かった。つまり、殺菌済みのバイオ液肥の方がより速効性の肥料であるといえる。

室内メタン発酵試験のバイオ液肥の無機化試験結果を図 6.5.7 に示す。現地メタン発酵試験のバイオ液肥の結果と同様、バイオ液肥中のアンモニア態窒素は、土壌に施用後速やかに硝化し、硝酸態窒素に変化した。しかし、最終的な硝酸態窒素量は、現地メタン発酵試験と異なり、初期のアンモニア態窒素量よりも多くなり、有機態窒素の無機化が起こっ

ていることが示唆された。現地試験と室内試験では有機物負荷率が異なる（現地 1.0～1.5 kg/(m³・d)、室内 2.5～2.7kg/(m³・d)）。有機物負荷率が高い室内メタン発酵試験のバイオ液肥では、メタン発酵過程で有機態窒素の無機化が比較的進まなかったため、その分、土壌施用後に無機化が進んだと考えられる。このことが室内メタン発酵試験のバイオ液肥を用いた「6.5.3 ポット栽培試験」で、バイオ液肥区の生育が化学肥料区よりも良好であった要因であると思われる。ただし、最終的に硝酸態窒素になる割合は、現地バイオ液肥と同等のバイオ液肥に含まれる全窒素の 6 割程度であった。このことはメタン発酵の運転条件によらず、汚泥と生ごみを原料とするバイオ液肥では含まれる窒素の最大 6 割程度が速効性肥料成分としてカウントできることを示している。また、以上の結果は、すだち搾汁残さの有無によって大きな違いはなかった。

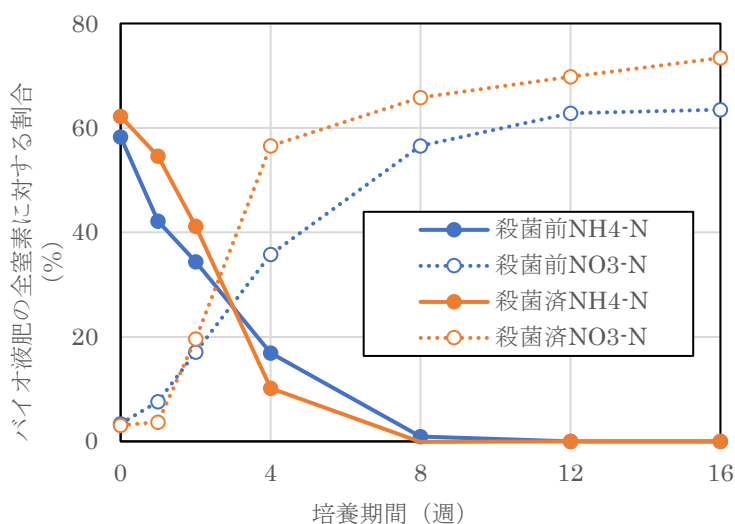


図 6.5.6 無機化試験結果（現地メタン発酵試験のバイオ液肥）

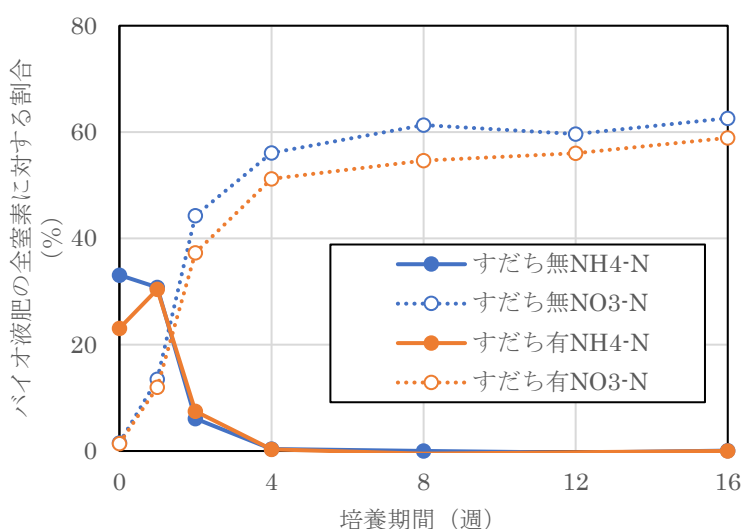


図 6.5.7 無機化試験結果（室内メタン発酵試験のバイオ液肥）

6.5.5 ほ場試験（試験ほ場）

①目的

佐那河内村の小規模メタン発酵実証施設（農業集落排水施設の汚泥及び地域の生ごみを原料としてメタン発酵を実施する）において生成したバイオ液肥について、液肥として利用した際の農作物への施用方法と農作物の生育状況を試験する。

②場所

試験場所は以下のとおりである。

徳島県名西郡石井町

徳島県立農林水産総合技術支援センターほ場

③概要

4種類の作物について実施しており、以下に概要を示す。

表 6.5.12 ほ場試験（試験ほ場）概要

供試作物 （品種）	水稻 （あきさかり）	すだち	コマツナ （みなみ）	リーフレタス （サマーマージ）
圃場概要	水田	果樹園 （旧来は水田）	畑	畑
営農実証 時期	令和3年5月～ 9月	令和2年5月～ 令和3年8月	令和3年11月～ 令和4年1月	令和3年11月～ 令和4年1月
施肥時期	基肥：5月10日 追肥：7月1日	年4回 （2、6、7、 8月頃）	基肥：11月4日	基肥：11月4日
施肥方法	徳島県施肥基準に合わせた （バイオ液肥を施用した試験区の窒素施肥量は、アンモニア態窒素で合わせ、揮発分を考慮して施肥基準の2割増しとした。）			
効果等	化学肥料区と同程度の収量			

④水稲

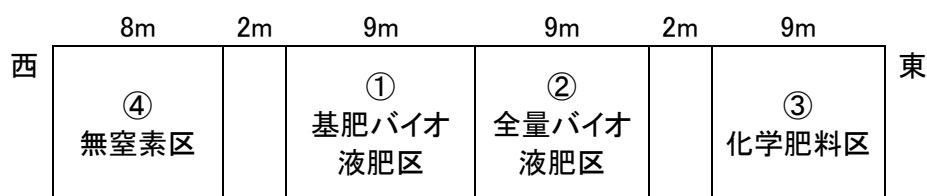
【方法】

(i) 供試作物 水稲 (品種 あきさかり)

(ii) 試験区の概要

試験区は基肥バイオ液肥区、全量バイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区の4条件で実施した。なお、基肥バイオ液肥区は、基肥としてバイオ液肥、追肥として肥効調整型の化学肥料を基肥施用時に併せて施用しており、一発肥料を用いて基肥施用時に追肥も行う、現行の水稲の施肥方法に即したものとした。

バイオ液肥区はバイオ液肥のアンモニアの揮発を考慮し、バイオ液肥のアンモニア態窒素が徳島県栽培基準の窒素の1.2倍量となるよう施用した。



(試験区の間には、あぜなみを設置した)

図 6.5.8 水稲試験区概要

表 6.5.13 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	基肥	追肥
アンモニア態窒素	700	1,206
リン酸(P ₂ O ₅)	750	978
カリ(K ₂ O)	570	1,217

表 6.5.14 各試験区の施肥設計

No.	試験区	基肥 (試験区 54m ² あたり施用量)	追肥 (試験区 54m ² あたり施用量)
1	基肥バイオ液肥区	バイオ液肥 (451 L) +LP70+LPSS100※ ¹ +塩化加里	—
2	全量バイオ液肥区	バイオ液肥 (451 L) +塩化加里	バイオ液肥 (161 L)
3	化学肥料区	一発肥料 ※ ²	—
4	無窒素区	過リン酸石灰+塩化加里	—

※¹ LP70 (42-0-0)、LPSS100 (41-0-0)

※² 一発肥料：ニューイネ完ちゃん (17-14-16)

表 6.5.15 各試験区の施肥量

No	試験区名	面積 m ²	基肥施用量			追肥施用量			合計施用量		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			(kg/10a)			(kg/10a)			(kg/10a)		
1	基肥バイオ液肥区	54	9.0	6.3	6.8	0.0	0.0	0.0	9.0	6.3	6.8
2	全量バイオ液肥区	54	6.0	6.3	6.8	3.6	2.4	3.6	9.6	8.7	10.4
3	化学肥料区	54	8.0	6.6	7.5	0.0	0.0	0.0	8.0	6.6	7.5
4	無窒素区	48	0.0	6.6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	7.5

(iii) 栽培管理

5月6日	バイオ液肥施用、耕耘
5月10日	基肥施用
5月11日	代かき
5月13日	移植
5月19日	除草剤
6月14日～6月23日	中干し
6月24日～9月1日	間断灌水
7月1日	追肥施用
7月27日	出穂
9月1日	収穫

【結果】

(i) 生育調査結果

水稻の生育は、生育初期から概ね順調であった。

草丈は、6月までは基肥バイオ液肥区及び化学肥料区が全量バイオ液肥区よりも高かったが、7月1日のバイオ液肥追肥後に全量バイオ液肥区の草丈が伸長し、8月11日には最も草丈が高くなった（図 6.5.9）。

葉色は、6月までは基肥バイオ液肥区及び化学肥料区が全量バイオ液肥区よりも SPAD 値が高かった。全量バイオ液肥区では、バイオ液肥追肥施用数日後から肉眼で分かるくらい葉色が濃くなったが、収穫時には化学肥料区と同程度になった（図 6.5.10）。

移植後 35 日後に調査した茎数は、全量バイオ液肥区の追肥前だったこともあり、基肥バイオ液肥区＞化学肥料区＞全量バイオ液肥区＞無窒素区となった（表 6.5.16）。

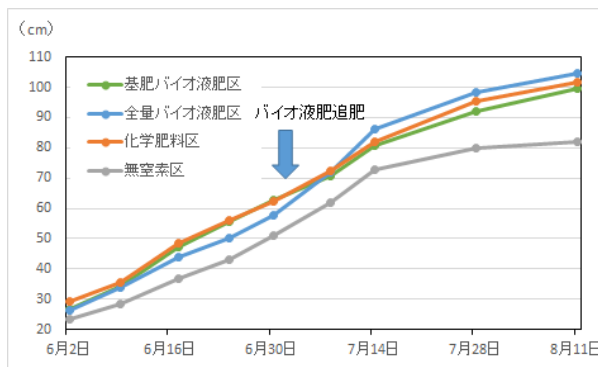


図 6.5.9 草丈の推移 (cm)

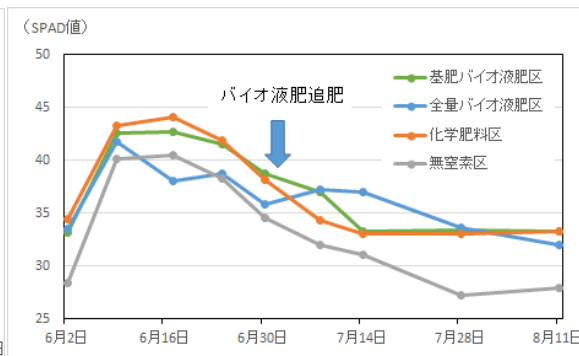


図 6.5.10 葉色の推移 (SPAD 値)

表 6.5.16 生育調査結果 茎数 (本/株)

	基肥バイオ液肥区	全量バイオ液肥区	化学肥料区	無窒素区
6 月 17 日	37.3	27.1	34.9	20.6

(ii) 収量調査結果

収穫直前 (8 月 30 日) の生育調査では、全長は化学肥料区>基肥バイオ液肥区>全量バイオ液肥区>無窒素区となった。全量バイオ液肥区では、化学肥料区や基肥バイオ液肥区より穂数は少ないが、穂長が最も長くなった (表 6.5.17)。全区とも倒伏は見られなかった。

表 6.5.17 生育調査 (8 月 30 日)

試験区名	全長 (cm)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	倒伏程度 (0~4)
基肥バイオ液肥区	90.3	76.4	13.9	29.4	0
全量バイオ液肥区	88.5	72.4	16.1	26.3	0
化学肥料区	91.1	75.5	15.6	29.6	0
無窒素区	79.9	64.7	15.2	20.1	0

収量調査結果より、わら重は化学肥料区で最も重く、もみ重は全量バイオ液肥区が最も重かった (表 6.5.18)。

精玄米重は、慣行栽培である化学肥料区 (667kg/10a) を 100 として、全量バイオ液肥区 101>化学肥料区・基肥バイオ液肥区 100>無窒素区 60 となり、バイオ液肥を施用した区はいずれも化学肥料区並みの収量が得られた (図 6.5.11)。

屑米重は、全量バイオ液肥区で最も多い結果となった。

表 6. 5. 18 収量調査結果

試験区名	わら重 kg/10a	もみ重 kg/10a	精玄米重 kg/10a	化学肥料区 を 100 とした 精玄米重指数	屑米重 kg/10a
基肥バイオ液肥区	741	821	665	100	16
全量バイオ液肥区	695	867	675	101	38
化学肥料区	749	842	667	100	28
無窒素区	439	494	402	60	5

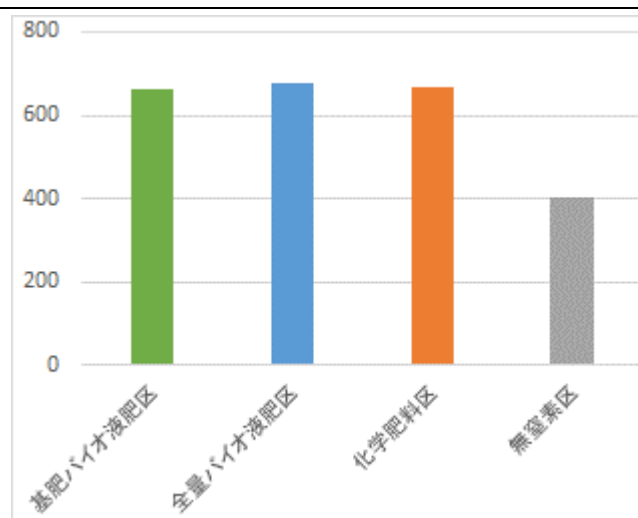


図 6. 5. 11 精玄米重 (kg/10a)

(iii) 品質調査結果

食味に大きく影響を与えるタンパク質含量は、化学肥料区が 7.3%と最も高く、全量バイオ液肥区が 6.8%、基肥バイオ液肥区が 6.7%、無窒素区は 5.5%であった。水分やアミロース、脂肪酸度に大きな差はなかった。

食味の総合評価であるスコアは、無窒素区が 91 点と最も高く、基肥バイオ液肥区、全量バイオ液肥区が 82 点となり、化学肥料区の 78 点を上回る結果となった (表 6. 5. 19)。

無窒素区は、窒素を施肥していないため、タンパク質の値が最も低く食味のスコアが最も高かった一方、他試験区の精玄米重の約 6 割であり、収量がかなり劣る。

表 6. 5. 19 品質調査結果 食味分析値

試験区名	水分 (%)	タンパク質 (%)	アミロース (%)	脂肪酸度	スコア
基肥バイオ液肥区	13.4	6.7	17.3	12	82
全量バイオ液肥区	13.4	6.8	16.7	10	82
化学肥料区	13.3	7.3	17.0	11	78
無窒素区	13.2	5.5	16.9	10	91

穀粒判別機の結果より、整粒は無窒素区で最も多く、全量バイオ液肥区が最も少ない結果となった。全量バイオ液肥区では、青死米が多いため死米が最も多くなった（表 6.5.20）。

表 6.5.20 品質調査結果 穀粒判別機（静岡製機株式会社 ES-1000）計測値

試験区名	整粒 (%)	未熟粒 (%)	被害粒 (%)	死米 (%)	青死米 (%)	着色粒 (%)
基肥バイオ液肥区	66.9	28.5	3.4	0.9	0.6	0.3
全量バイオ液肥区	60.5	33.6	2.5	3.0	2.4	0.3
化学肥料区	63.7	31.6	3.3	1.1	0.8	0.3
無窒素区	71.0	25.6	2.9	0.2	0.2	0.2

(iv) 土壌調査結果

土壌調査結果より、施用前と収穫後の作土の土壌成分には大きな差はなく、バイオ液肥施用処理による影響はみられなかった（表 6.5.21）。

表 6.5.21 土壌調査結果

試験区名	E C mS/cm	p H (H ₂ O)	全窒素	全炭素	可給態 P ₂ O ₅	交換性塩基			
						C a O	M g O	K ₂ O	
			%			mg/100g			
基肥バイオ液肥区	0.10	7.5	0.17	1.63	52.7	223.1	63.1	12.8	
施用前 全量バイオ液肥区	0.11	7.5	0.15	1.52	46.0	216.2	62.0	12.1	
(5/6) 化学肥料区	0.11	7.5	0.20	2.07	83.2	226.4	66.0	20.5	
無窒素区	0.12	7.6	0.13	1.33	44.7	221.9	59.7	13.1	
基肥バイオ液肥区	0.10	7.7	0.16	1.53	52.2	213.2	64.4	11.2	
収穫時 全量バイオ液肥区	0.10	7.6	0.15	1.42	44.9	205.7	62.3	12.3	
(9/1) 化学肥料区	0.11	7.6	0.21	1.97	86.9	230.2	66.7	15.5	
無窒素区	0.12	7.6	0.13	1.24	46.2	207.8	58.9	12.1	

(v) 作物体（わら）中の分析結果（乾物あたり）

わら中の成分は、全窒素は化学肥料区が最も多く、リン、カルシウム、マグネシウムは処理区間で差はなかった。

全量バイオ液肥区では、カリウム濃度が最も高くなった。鉄は、無窒素区で最も濃度が高い結果となった（表 6.5.22）。

表 6.5.22 作物体（わら）中の分析結果（乾物あたり）

試験区名	全窒素	P	C a	M g	K	F e
						ppm
			%			
基肥バイオ液肥区	0.46	0.08	0.21	0.11	1.87	100
全量バイオ液肥区	0.49	0.08	0.21	0.11	2.22	138
化学肥料区	0.54	0.09	0.20	0.11	2.06	120
無窒素区	0.45	0.09	0.23	0.11	1.86	142

【考察】

バイオ液肥を施用した区はいずれも化学肥料区並みの収量が得られ、施用後の土壌成分やわら中の成分含量にはバイオ液肥施用処理による影響はみられなかった。また、玄米タンパク質含量が化学肥料区よりも少なく、食味スコアは化学肥料区を上回った。

以上のことから、収量、品質の面で問題はなく、バイオ液肥の基肥のみの施用、あるいは基肥及び追肥施用による水稻栽培が可能であると考えられる。

全量バイオ液肥区では、追肥のバイオ液肥施用数日後から葉色が濃くなることが目視でも確認されたため、バイオ液肥は速効性の成分が含まれると考えられた。

全量バイオ液肥区は、移植後 35 日後に行った生育調査では化学肥料区に比べて草丈が低く茎数も少なかったが、バイオ液肥の追肥により茎数の増加や穂長の伸長に参与したと考えられた。その結果、収穫時の穂数は少なかったが、一穂もみ数が増加したため、化学肥料区と同程度の玄米収量が得られたと推察された。しかしながら、全量バイオ液肥区では、生育遅れが登熟不良米の増加につながったものと考えられ、くず米や青死米が多く見られた。このことから、水稻の生育に適したバイオ液肥の施用量や時期についてさらなる検討が必要と考えられる。

○生育状況の写真



写真 6.5.4 消化液施用 (5/6)



写真 6.5.5 定植後 (5/14)



写真 6.5.6 生育の様子 (6/17)

左上：基肥バイオ液肥区 右上：全量バイオ液肥区

左下：化学肥料区 右下：無窒素区



写真 6.5.7 全量バイオ液肥区追肥 (7/1)



写真 6.5.8 追肥後の全量バイオ液肥区 (7/6)



写真 6.5.9 生育の様子（7月）

左上：基肥バイオ液肥区 右上：全量バイオ液肥区
左下：化学肥料区 右下：無窒素区



写真 6.5.10 生育の様子（8月11日）

左上：基肥バイオ液肥区 右上：全量バイオ液肥区
左下：化学肥料区 右下：無窒素区

⑤すだち

○方法

(i) 供試作物 スダチ(系統：本田)

(ii) 試験区の概要

試験区は全量バイオ液肥区、半量バイオ液肥区、化学肥料区3条件で実施した。なお、半量バイオ液肥区は、施肥量の半分をバイオ液肥、残り半分を化学肥料施用している。

各試験区のすだち果樹は6本ずつとし、バイオ液肥区はアンモニア態窒素が徳島県栽培基準と同量となるよう施用した。

施肥量算定にあたり、すだち1本当たりの面積は、根冠を3m×3mとし、9m²とした。

表 6.5.23 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	春肥	夏肥 1	夏肥 2
アンモニア態窒素	718	1,006	1,206
リン酸(P ₂ O ₅)	750	978	978
カリ(K ₂ O)	570	1,217	1,217

表 6.5.24 各試験区の施肥量

	全量バイオ液肥区			半量バイオ液肥区			化学肥料区		
	施肥量(kg/10a)			施肥量(kg/10a)			施肥量(kg/10a)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
春肥	7.5	7.8	6.0	7.5	4.2	5.6	7.0	4.2	5.6
夏肥 1	10.5	10.2	12.7	10.5	6.3	8.4	10.5	6.3	8.4
夏肥 2	10.5	8.5	10.6	10.5	6.3	8.4	10.5	6.3	8.4
計	28.5	26.5	29.3	28.5	16.8	22.4	28.0	16.8	22.4

全量バイオ液肥区：バイオ液肥のみ施用

春肥 バイオ液肥 94L/樹、夏肥 バイオ液肥 1 94L/樹、夏肥 2 バイオ液肥 78.4L/樹

半量バイオ液肥区：窒素成分の半量をバイオ液肥で施用し、慣行区と比較して不足分は硫安、過リン酸石灰、塩化カリで補う

春肥 バイオ液肥 47L、硫安 160.7g、過リン酸石灰 14.5g、塩化加里 39g/樹

夏肥 1 バイオ液肥 47L、硫安 225g、過リン酸石灰 61g、塩化加里 30g/樹

夏肥 2 バイオ液肥 39.2L、硫安 225g、過リン酸石灰 105g、塩化加里 46g/樹

化学肥料区：(N:P:K=12:6:9)

スダチ専用配合肥料（商品名：すだち王）

原材料：硫安、植物油かす類、副産リン酸肥料、塩化カリ、尿素、FTE

春肥 525g/樹、夏肥 1 及び 2 788g/樹

(iii) 栽培管理 露地植栽

令和3年2月25日 春肥

令和3年6月10日 夏肥1

令和3年7月1日 夏肥2

令和3年8月25日 収穫

【結果】

(i) 概要

各試験区における果実の大きさに基づく階級別重量について、1本当たりの平均を示す。各試験区ともに2L級の果実が中心であり、概ね同じ傾向であった。合計重量は半量バイオ液肥区が劣っていたが、果樹の個体差があるため、樹容積1m³当たりの収量を次に比較する。

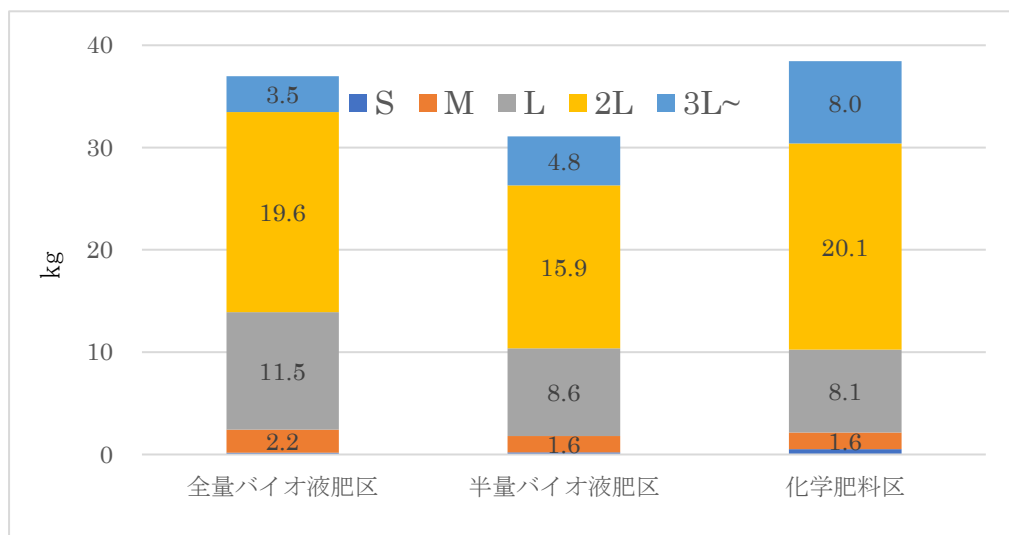


図 6.5.12 すだち階級別重量 (kg) 1本当たりの平均

(ii) 収量 (樹容積1m³当たり)

収穫後、果樹毎に収穫量を計測し、樹容積1m³当たりの収量平均値を算出した。この結果、各試験区に有意差はなかった。

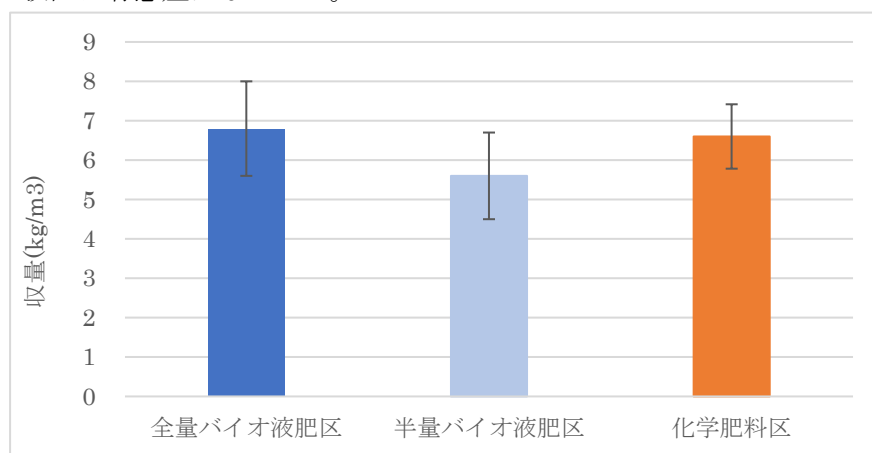


図 6.5.13 すだち収量 (樹容積1m³当たり)

(iii) 階級別割合

図 6.5.12 のすだち階級別重量について、試験区毎に階級別割合を整理した。各試験区ともに 2L 級の果実が中心であり、概ね同傾向であった。

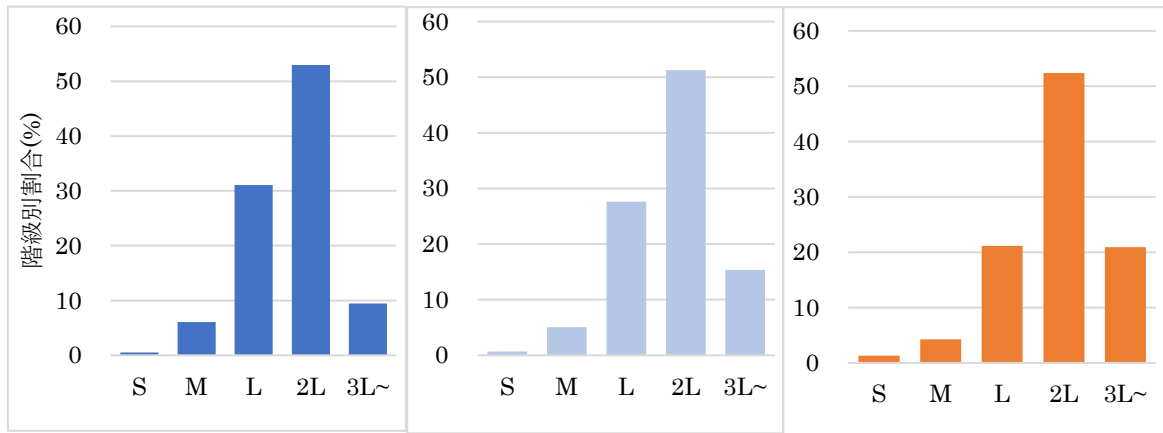


図 6.5.14 すだち階級別割合

左：全量バイオ液肥区、中央：半量バイオ液肥区、右：化学肥料区

(iii) 果皮緑色度

各試験区に大きな差はみられなかった。

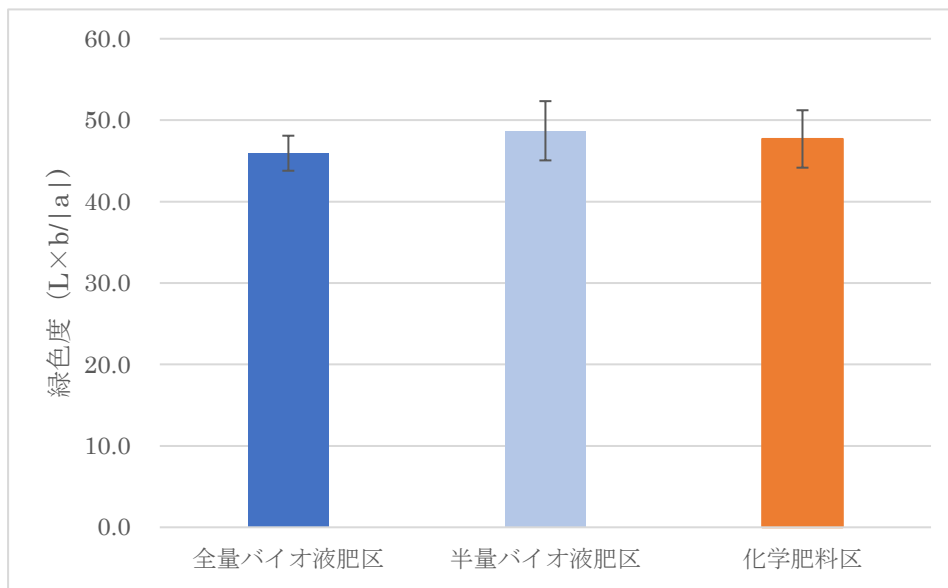


図 6.5.15 すだち果皮緑色度

(iv) 果実中無機成分

各試験区に大きな差はみられなかった。Zn、Mn、Cu、Fe、B といった微量元素は、量が少ないがゆえに成分値に対する標準偏差は大きくなった。

表 6.5.25 果実中無機成分

処理区	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)
全量バイオ液肥区	1.23	0.12	0.61	1.41	0.28	9	22	9	19	18
半量バイオ液肥区	1.21	0.12	0.64	1.26	0.26	8	28	10	18	17
化学肥料区	1.33	0.13	0.61	1.48	0.28	8	16	9	19	20

表 6.5.26 果実中無機成分の標準偏差

処理区	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)
全量バイオ液肥区	0.05	0.01	0.09	0.23	0.03	1.5	6.9	1.2	4.0	2.5
半量バイオ液肥区	0.07	0.01	0.07	0.21	0.02	1.2	7.0	1.2	2.7	2.3
化学肥料区	0.05	0.01	0.08	0.21	0.03	0.9	4.1	0.5	3.0	1.6

(v) 葉中無機成分含有量

各試験区に大きな差はみられず、欠乏や過剰もほぼ同傾向であった。

表 6.5.27 葉中無機成分

処理区	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)
全量バイオ液肥区	2.61	0.14	2.70	1.06	0.34	17	46	129	87	100
半量バイオ液肥区	2.49	0.13	2.90	1.04	0.34	18	52	138	93	95
化学肥料区	2.62	0.14	2.60	0.98	0.30	17	53	98	82	105

表 6.5.28 葉中無機成分の目安

欠 乏	2.5 >	0.10 >	0.8 >	1.5 >	0.3 >	15>	40>	20>	3>	30>
適 量	2.6 ～ 3.0	0.12 ～ 0.20	1.0 ～ 2.0	2.0 ～ 3.5	0.4 ～ 0.6	20 ～ 80	50 ～ 150	30 ～ 100	4 ～ 10	30 ～ 100
過 剰	3.2 <	0.25 <	2.2 <	4.0 <	0.8 <	100 <	200 <	150 <	20<	150 <

(vi) 土壌分析結果

各試験区に大きな差はみられなかった。

全ての試験区において、ほ場試験実施前後を比べると、pH の低下、EC の上昇、可給態リン酸の低下、CaO 及び MgO の低下、NO₃-N の上昇が共通していた。これらの結果から、バイオ液肥と化学肥料について、土壌との化学的反応や果樹への肥料成分の吸収は同様に生じていると推察される。

表 6.5.29 土壌調査結果（ほ場試験実施前）

		pH (H ₂ O)	EC(1:5) (dS/m)	可給態 リン酸 (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	CaO (g/kg)	MgO (g/kg)	NO ₃ -N (g/kg)	含水率 (%)
全量バイオ液肥区	表層 (1～10cm)	5.8	0.02	0.81	0.57	6.2	0.27	0.000	24.1
	次層 (10～20cm)	5.6	0.03	0.48	0.35	2.5	0.14	0.000	23.1
半量バイオ液肥区	表層 (1～10cm)	5.9	0.03	0.79	0.59	5.9	0.31	0.000	25.2
	次層 (10～20cm)	5.5	0.04	0.59	0.45	2.9	0.16	0.000	20.5
化学肥料区	表層 (1～10cm)	6.0	0.02	0.97	0.60	6.0	0.30	0.000	25.0
	次層 (10～20cm)	5.7	0.05	0.62	0.47	2.7	0.18	0.000	20.8

表 6.5.30 土壌調査結果（ほ場試験実施後）

		pH (H ₂ O)	EC(1:5) (dS/m)	可給態 リン酸 (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	CaO (g/kg)	MgO (g/kg)	NO ₃ -N (g/kg)	含水率 (%)
全量バイオ液肥区	表層 (1～10cm)	5.5	0.12	0.75	0.55	5.8	0.22	0.007	25.7
	次層 (10～20cm)	5.1	0.08	0.51	0.37	2.7	0.11	0.004	24.2
半量バイオ液肥区	表層 (1～10cm)	5.4	0.16	0.69	0.41	5.1	0.30	0.008	27.1
	次層 (10～20cm)	5.2	0.12	0.47	0.50	2.9	0.10	0.005	24.9
化学肥料区	表層 (1～10cm)	5.5	0.13	0.72	0.52	5.5	0.23	0.007	26.8
	次層 (10～20cm)	5.1	0.09	0.54	0.39	2.5	0.15	0.007	25.1

【考察】

全量バイオ液肥区、半量バイオ液肥区、化学肥料区ともに生育は順調で、8月下旬の収穫時には2L 級果中心であり、収量、果皮緑色ともに処理区間差はなかった。すだち果樹の生育期間と比べると短い、約1年間の試験期間であったが、収穫時の果実及び葉中無機成分含有量にも有意な差は見られなかったことから、バイオ液肥は、すだち栽培用の肥料として十分使用可能であることが明らかになった。

一方、1樹当たりの施用量は全量区で最大94Lであった。慣行区のスダチ専用肥料の施用量は788gであった。すだちは中山間地域で栽培されることが多いことから、バイオ液肥を実際に施用する際には、ほ場の立地条件を踏まえた散布効率化の必要がある。

【バイオ液肥施用・生育状況の写真】

樹冠（葉の下）に肥料を吸収する根があるため、直径3mの円周として堀を作り、バイオ液肥を施用した。500Lタンクにバイオ液肥を入れ、運搬機でほ場に搬入した。タンクにノズルとホースをつなげ、バケツで計量しつつ、施用した。

円周部分にバイオ液肥が溜まる部分が見られたが、散布は2時間程度で終了。



写真 6.5.11 バイオ液肥散布の様子（2/25）春肥

左上：バイオ液肥入りタンク、ノズル、ホース、右上：運搬機への積み込み

左下：散布状況、右下：散布後全景



写真 6. 5. 12 バイオ液肥散布の様子 (6/10) 夏肥 1

左上：バイオ液肥散布状況、右上：散布後近景

左下：散布後全景、右下：結実状況



写真 6. 5. 13 収穫前の様子 (8/25)

左：全量バイオ液肥区、中央：半量バイオ液肥区、右：化学肥料区



写真 6. 5. 14 収穫作業の様子 (8/26)

左：収穫作業、右：収穫後



写真 6. 5. 15 収穫後の選果作業の様子 (8/26)

左：選果中、右：選果後

⑥コマツナ

【方法】

(i) 供試作物 コマツナ (品種 みなみ)

(ii) 試験区の概要

試験区は全量バイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区3条件で実施した。なお、半量バイオ液肥区は、施肥量の半分をバイオ液肥、残り半分を化学肥料施用している。

各試験区の畦幅 1.5m、延長 5m の 4 条播きとし、面積は 7.5m²とした。

バイオ液肥区はバイオ液肥のアンモニアの揮発を考慮し、バイオ液肥のアンモニア態窒素が徳島県栽培基準 (窒素 10kg/10a、リン酸 10kg/10a、カリ 10kg/10a) の窒素の 1.2 倍量となるよう施用した。

表 6.5.31 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	バイオ液肥
アンモニア態窒素	1,808
リン酸	820
カリ	1,446

(iii) 栽培管理

露地 無マルチ栽培 畦幅 150 cm、4 条播き 1 区 7.5m²

令和 3 年 11 月 4 日 基肥

令和 3 年 11 月 4 日 播種

令和 4 年 1 月 18 日 収穫及び調査

表 6.5.32 各試験区の施肥量

試験区名	資材	施用量(/m ²)
バイオ液肥区	バイオ液肥	6.6L
	過リン酸石灰	31g
	塩化カリウム	3.3g
化学肥料区	園芸化成(15-15-15)	67g
無窒素区	過リン酸石灰	57g
	塩化カリウム	17g

【結果】

(i) 生育調査結果

バイオ液肥区及び化学肥料区の生育が順調であり、無窒素区は12月22日以降、草丈がほとんど伸びなかった。

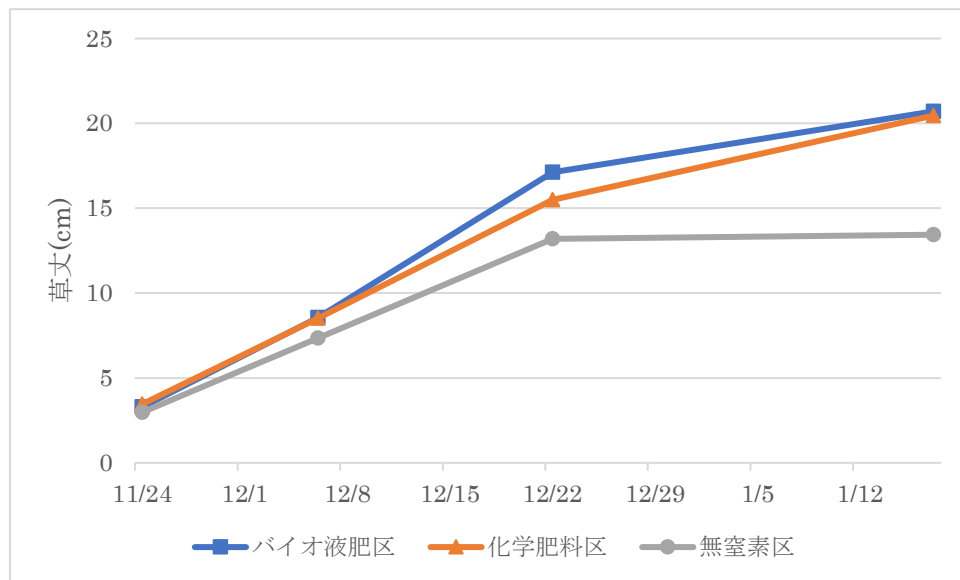


図 6.5.16 草丈の推移 (cm)

(ii) 収穫株数

収穫調査時点で、生育した株数は1m²当たりバイオ液肥区 65 株で最も多く、次いで無窒素区 60 株、化学肥料区 47 株の順であった。

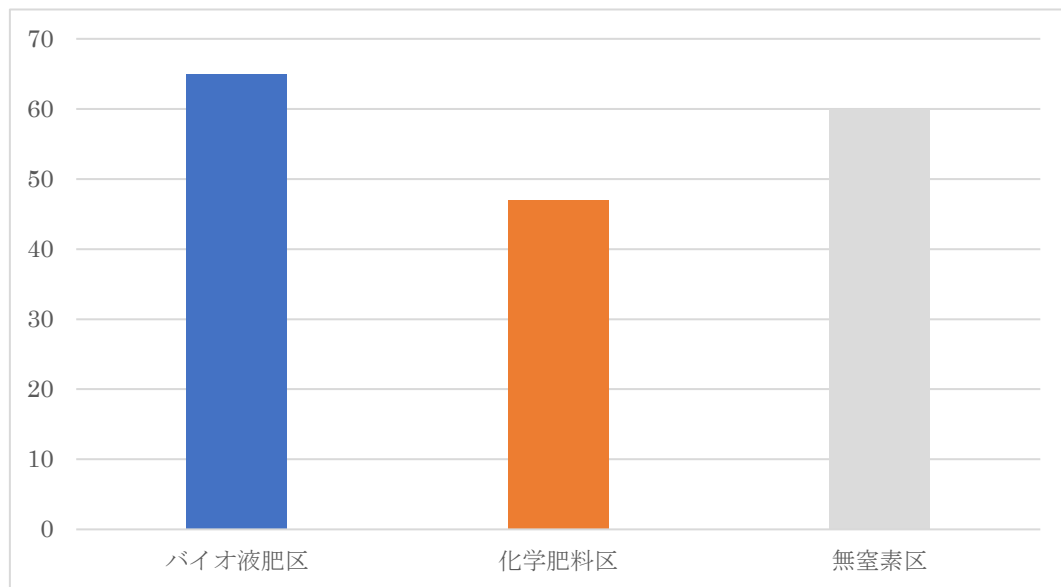


図 6.5.17 収穫株数 (株/m²)

(iii) 収量

収量はバイオ液肥区で2,569g/m²と最も多く、次いで化学肥料区1,676g/m²、無窒素区は378g/m²と少なかった。

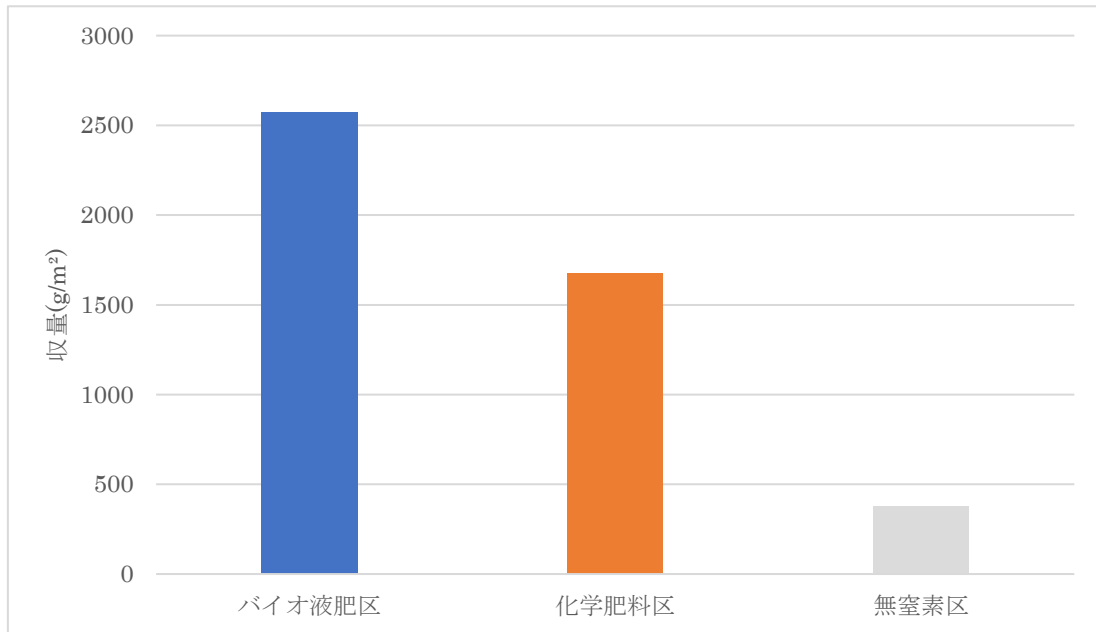


図 6.5.18 収量調査 (g/m²)

(iv) 株重量

収穫時の株あたり重量の平均値は、バイオ液肥区(39.7g/株)、化学肥料区(35.8g/株)、無窒素区(6.2g/株)の順であった。バイオ液肥区と化学肥料区に有意な差はなく、バイオ液肥区と無窒素区には有意な差があった。

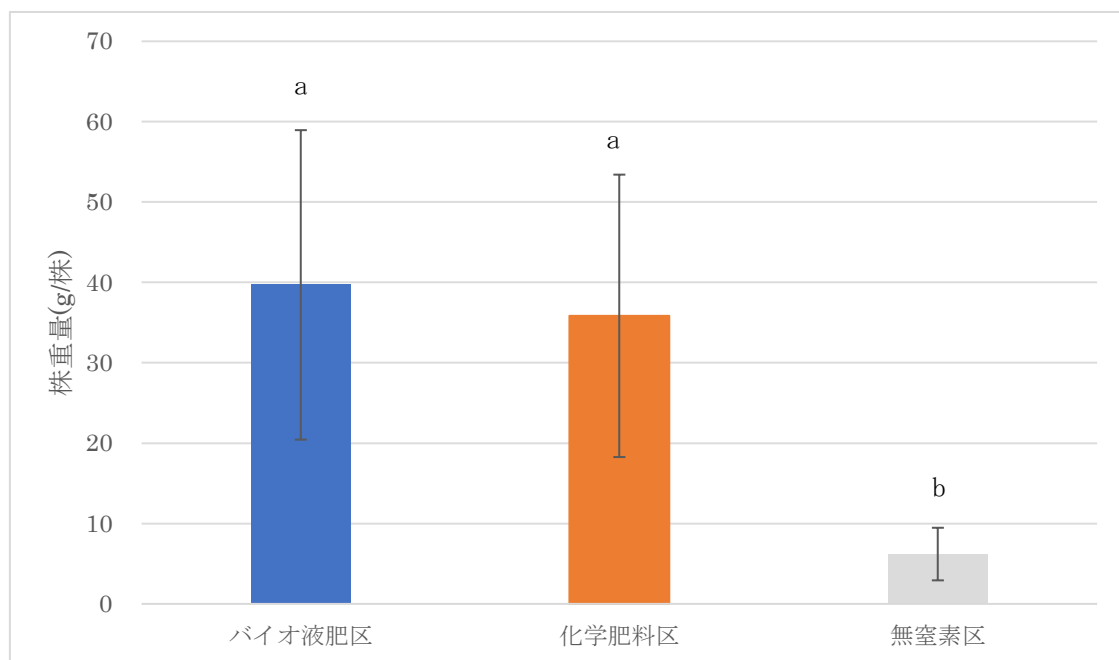


図 6.5.19 株当たり重量 (g/株)

アルファベットの同一文字間に有意差なし (Tukey 法、 $p < 0.05$)。エラーバーは標準偏差。

(v) 土壌調査

各試験区で栽培前後に大きな変化はみられなかった。試験区間で数値に相違があるものの、「可給態 P_2O_5 について、化学肥料区及び無窒素区では、同量のリンを化学肥料で施用したが、栽培前後で前者は増加し、後者は減少していた」、「炭素を施用していない化学肥料区で全炭素の値が高かった」などから、今回の結果は施用した資材の影響というよりも土壌の空間的な誤差の影響が大きかったと思われる。

表 6.5.33 土壌調査結果

試験区		pH (H_2O)	EC (mS/cm)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	可給態 P_2O_5 (mg/100g)	K_2O (mg/100g)
栽培前	各区共通	6.7	0.08	0.11	1.12	16.1	91.7
	バイオ液肥区	6.7	0.10	0.12	1.16	13.5	90.5
栽培後	化学肥料区	6.6	0.09	0.13	1.29	17.5	119.6
	無窒素区	6.9	0.13	0.12	1.17	15.2	71.9

【考察】

収量調査の結果より、収量はバイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区の順となっており、本試験で使用したバイオ液肥はコマツナの収量増加に寄与する可能性が示唆された。また、バイオ液肥区の株当たり重量は無窒素区と比較して有意に大きかった。一方で、化学肥料区と比較してバイオ液肥区の株当たり重量は、有意な差は認められなかったものの、大きくなる傾向は見られた。これらのことを踏まえると、本試験で用いたバイオ液肥は、化学肥料と代替可能な肥料であると考えられる。

【生育状況の写真】



写真 6.5.16 生育の様子 (11/24)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.17 生育の様子 (12/6)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.18 生育の様子 (12/22)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.19 生育の様子 (1/17)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.20 収量調査の様子 (1/18)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区

⑦リーフレタス

○方法

(i) 供試作物 リーフレタス (品種 サマーサージ)

(ii) 試験区の概要

試験区は全量バイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区 3 条件で実施した。

各試験区の畦幅 1.5m、延長 5m の 3 条植えとし、面積は 7.5m²とした。

バイオ液肥区はバイオ液肥のアンモニアの揮発を考慮し、バイオ液肥のアンモニア態窒素が徳島県栽培基準 (窒素 26 kg/10a、リン酸 22 kg/10a、カリ 24 kg/10a) の窒素の 1.2 倍量となるよう施用した。

表 6.5.34 バイオ液肥の組成 (mg/L)

項目	バイオ液肥
アンモニア態窒素	1,808
リン酸 (P ₂ O ₅)	820
カリ (K ₂ O)	1,446

(ii) 栽培概要 露地 マルチ栽培 畦幅 150cm、3条植 1区7.5m²

令和3年11月4日 基肥

令和3年11月4日 植付

令和4年1月25日 収穫及び調査

(iii) 試験区の概要

表 6.5.35 各試験区の施肥量

試験区名	資材	施用量(/m ²)
バイオ液肥区	バイオ液肥	17L
	過リン酸石灰	58g
	塩化カリウム	5.3g
化学肥料区	園芸化成(15-15-15)	147g
	硫安	19g
	塩化カリウム	3.3g
無窒素区	過リン酸石灰	126g
	塩化カリウム	40g

【結果】

(i) 生育調査結果

生育期間中は各試験区間で大きな差はみられなかった。

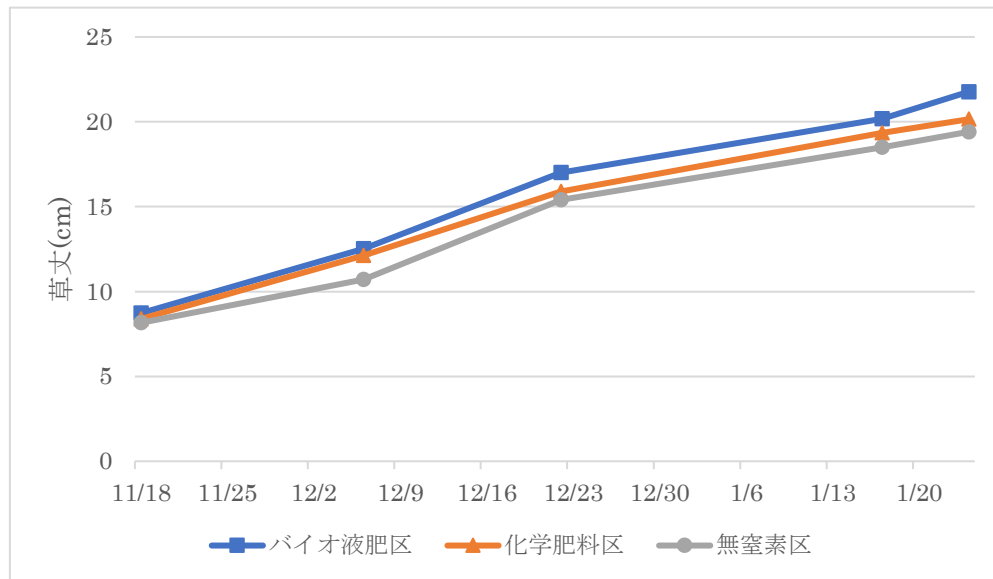


図 6.5.20 草丈の推移 (cm)

(ii) 株重量

収穫時の株当たり重量の平均値は、バイオ液肥区 (315g/株)、化学肥料区 (284g/株)、無窒素区 (227g/株) の順であった。バイオ液肥区と無窒素区の間には有意な差があったが、バイオ液肥区と化学肥料区には有意な差が認められなかった。

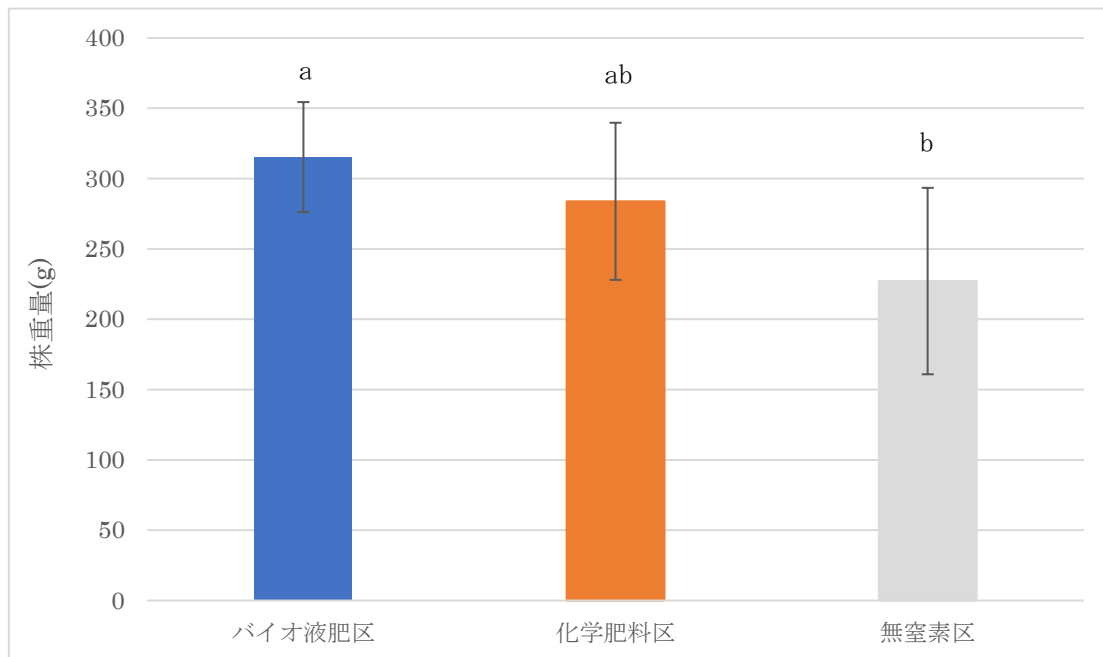


図 6.5.21 株当たり重量 (g/株)

アルファベットの同一文字間に有意差なし (Tukey 法、 $p < 0.05$)。エラーバーは標準偏差。

(iv) 縦径、横径

縦径の平均値はバイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区の順であった。バイオ液肥区と無窒素区には有意な差があったが、バイオ液肥区と化学肥料区には有意な差は認められなかった。

横径の平均値はバイオ液肥区、化学肥料区、無窒素区の順であったが、いずれの区間でも有意な差は認められなかった。

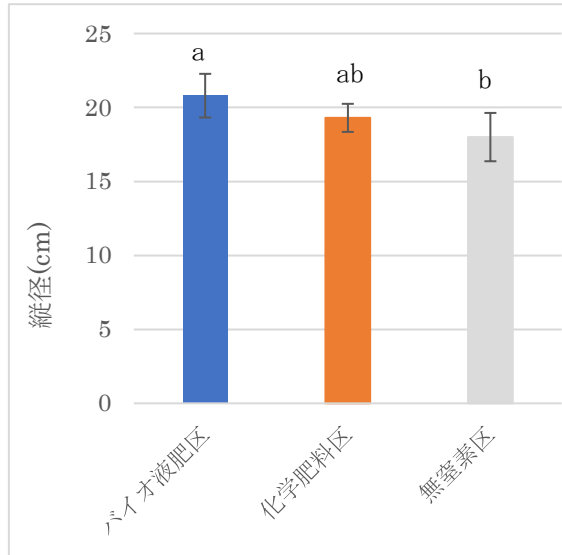


図 6.5.22 縦径 (cm)

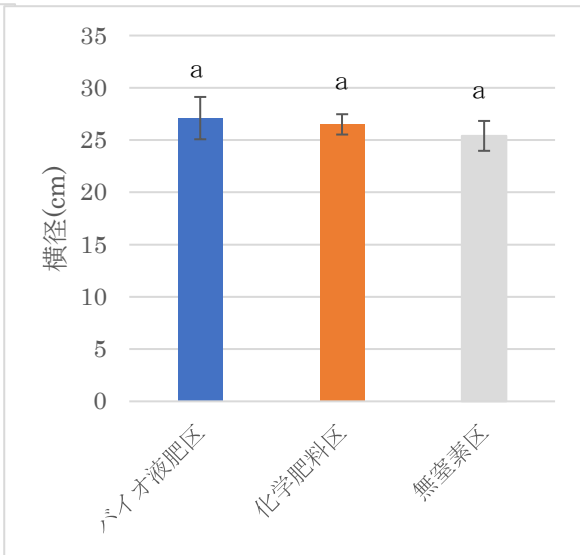


図 6.5.23 横径 (cm)

アルファベットの同一文字間に有意差なし (Tukey 法、 $p < 0.05$)。エラーバーは標準偏差。

(v) 土壌調査

各試験区で栽培前後に施用した資材の影響と見られる大きな変化はなかった。

表 6.5.36 土壌調査結果

栽培	試験区	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)
栽培前	各区共通	6.7	0.08	0.11	1.12	16.1	91.7
栽培後	バイオ液肥区	6.7	0.24	0.13	1.25	16.4	101.6
	化学肥料区	6.4	0.30	0.14	1.26	23.3	121.8
	無窒素区	6.5	0.20	0.11	1.09	16.0	69.9

【考察】

株当たり重量および縦径の結果より、バイオ液肥区は無窒素区と比較して収量が増加し、かつ生育が良くなることが示唆された。一方で、バイオ液肥区と化学肥料区を比較すると、有意な差は認められなかったが、バイオ液肥区の方が収量および生育が良くなる傾向はあった。これらのことを踏まえると、本試験で用いたバイオ液肥は、化学肥料と代替可能な肥料であると考えられる。

【生育状況の写真】



写真 6.5.21 生育の様子 (11/16)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.22 生育の様子 (12/6)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6.5.23 生育の様子 (12/22)

左：バイオ液肥区、中央：化学肥料区、右：無窒素区



写真 6. 5. 24 生育の様子 (1/17)

左 : バイオ液肥区、中央 : 化学肥料区、右 : 無窒素区



写真 6. 5. 25 生育の様子 (1/24)

左 : バイオ液肥区、中央 : 化学肥料区、右 : 無窒素区



写真 6. 5. 26 収量調査の様子 (1/25)

左 : バイオ液肥区、中央 : 化学肥料区、右 : 無窒素区

6.5.6 ほ場試験（現地実証）

徳島県佐那河内村内の松山油脂株式会社山神果樹薬草園において、すだちへのバイオ液肥の施用試験を実施した。

同園では、和柑橘の栽培や有用性を研究しながら、精油や食品・飲料の製造をしており、「担い手不足で収穫できない」、「規格外で出荷できない」などの理由で活用されていない、柚子をはじめとする和柑橘を集め、精油や飲料・食品など価値あるものに生まれ変わらせてすべて使いきるにより、その収益を農家に還元する循環型農業で、里山を元気にすることを目指している。

このような同園の取組と本実証が目指す資源循環がつながる部分もあったことから、現地におけるほ場試験にご協力いただけることとなった。作物は徳島県を代表する柑橘類である、すだちとした。また、本実証において、メタン発酵の原料として、ゆず及び伊予柑の搾汁残さも利用している。

同園では、菜種油粕かす等の有機肥料を用いた栽培を実施しているため、ほ場試験ではバイオ液肥を用いた試験区に対し、対照区は有機肥料区とした。各試験区について、すだち果樹7本で実施し、合計の収量はバイオ液肥区 132kg、有機肥料区 126kg であり、ほぼ同程度の収量となった。約1年間の施肥であったため、果樹の生育年数を踏まえるとわずかな期間ではあるが、少なくともバイオ液肥施用による悪影響はなかったと考えられる。

また、バイオ液肥散布の効率化を図るため、肥料タンクに接続したバルブに超音波式流量計を設置し、リアルタイムで施肥量を把握できるようにした。



写真 6.5.27 薬草園全景（会社 HP）



写真 6.5.28 飲料・加工品（会社 HP）



写真 6.5.29 消化液施用後（右列がバイオ液肥区、左列が有機肥料区）



写真 6. 5. 30 消化液施用状況



超音波式流量計

6.5.7 肥料登録

本実証においてバイオ液肥の肥料登録を行った。なお、令和3年12月の法施行前の手続きであることに留意されたい。

①肥料登録

本実証において、肥料登録を行った。生産工程を踏まえ、肥料分類は「工業汚泥肥料」となり、「消化液JARUS I号」の名称で登録した。

独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）と事前調整した後、令和3年3月25日に農林水産大臣に宛てて肥料登録申請書を提出し、令和3年4月26日付けで肥料登録された。当センターとしての肥料登録は初めてであったため、併せて新規業者として登録されることとなった。

令和3年4月26日付けをもって登録されたもの

登録番号	肥料の種類	肥料の名称	保証成分量(%)	その他の規格	氏名又は名称	住 所
生第 106669 号	工業汚泥肥料	消化液JARUS I号		普通肥料の公定規格中工業汚泥肥料の「含有を許される有害成分の最大量」及び「その他の制限事項」とおり。	一般社団法人地域環境資源センター	東京都港区新橋五丁目34番4号

新規業者（令和3年4月26日付け登録分）

社名	住所
一般社団法人地域環境資源センター	東京都港区新橋五丁目34番4号

図6.5.24 肥料登録状況（農林水産省ホームページ）



写真6.5.31 肥料登録時のバイオ液肥サンプル

本実証試験で登録したバイオ液肥について、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（農林水産省告示第 284 号）に基づく汚泥肥料に係る重金属 6 項目の分析結果を表 6.5.37 に示す。

また、汚泥肥料であることから、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 年総理府令第五号）別表第 1 のうち、「二五 ダイオキシン類」を除く 24 項目についても分析した。なお、表 6.5.38 の分析結果では 25 項目示しているが、省令別表第 1 において「アルキル水銀化合物」及び「水銀又はその化合物」を併せて 1 項目としているため、省令別表第 1 に基づき 24 項目としている。

ベンゼンは基準値内ながらも 0.028 mg/L 検出されている。別ロットのバイオ液肥を分析した結果、0.003mg/L となり、約 10 分の 1 であった。これは、当初分析したバイオ液肥には、タンク洗浄時の洗剤やタンクの腐食に由来するベンゼンが含まれていたと推察される。

なお、24 項目の本分析において、サンプルの溶出量試験は昭和 48 年環境庁告示第 13 号によることとしている。また、濃度の算出は「第三 濃度の算出、四 第三号に掲げる産業廃棄物以外の産業廃棄物」によるものとし、含水率による補正はなしとしている。

重金属	分析値	公定規格基準値	
	mg/kg	mg/kg	%
砒素 (As)	0.5 未満	50	0.005
カドミウム全量 (Cd)	0.2 未満	5	0.0005
水銀 (Hg)	0.1 未満	2	0.0002
ニッケル全量 (Ni)	1.2	300	0.03
クロム全量 (Cr)	1.7	500	0.05
鉛全量 (Pb)	1 未満	100	0.01

表 6.5.37 重金属 6 項目分析結果と基準

表 6.5.38 24 項目分析結果と基準

項目	分析値 (mg/L)	基準 (mg/L)
アルキル水銀化合物	0.0005 未満	検出されない
水銀又はその化合物	0.0005 未満	0.005
カドミウム又はその化合物	0.005 未満	0.09
鉛又はその化合物	0.01 未満	0.3
有機燐化合物	0.1 未満	1
六価クロム化合物	0.1 未満	1.5
砒素又はその化合物	0.005 未満	0.3
シアン化合物	0.1 未満	1
ポリ塩化ビフェニル	0.0005 未満	0.003
トリクロロエチレン	0.001 未満	0.1
テトラクロロエチレン	0.001 未満	0.1
ジクロロメタン	0.001 未満	0.2
四塩化炭素	0.001 未満	0.02
一・二ジクロロエタン	0.001 未満	0.04
一・一ジクロロエチレン	0.001 未満	1
シス一・二ジクロロエチレン	0.001 未満	0.4
一・一・一トリクロロエタン	0.001 未満	3
一・一・二トリクロロエタン	0.001 未満	0.06
一・三ジクロロプロペン	0.001 未満	0.02
テトラメチルチウラムジスルフィド (チウラム)	0.001 未満	0.06
ニクロロー四・六ビス (エチルアミノ) -S-トリアジン (シマジン)	0.001 未満	0.03
S-四クロロベンジル=N・N-ジエチルチオカルバマート (チオベンカルブ)	0.001 未満	0.2
ベンゼン	0.028	0.1
セレン又はその化合物	0.005 未満	0.3
一・四ジオキサン	0.05 未満	0.5

〈肥料登録申請書（例）〉

肥料登録申請書

令和3年3月24日

農林水産大臣 殿

東京都港区新橋五丁目34番4号
一般社団法人 地域環境資源センター
代表理事 印

下記により生産業者として肥料の登録を受けたいので、肥料の品質の確保等に関する法律第6条第1項の規定により肥料の見本を添えて登録を申請します。

記

- 1 氏名及び住所 (略)
- 2 肥料の種類 工業汚泥肥料
- 3 肥料の名称 消化液 JARUS I 号
- 4 含有を許される有害成分の最大量その他の規格
含有を許される有害成分の最大量及びその他の制限事項は、公定規格のとおり。
- 5 生産する事業場の名称及び所在地 (略)
- 6 保管する施設の所在地 (略)
- 7 植物に対する害に関する栽培試験の成績 (別紙のとおり)

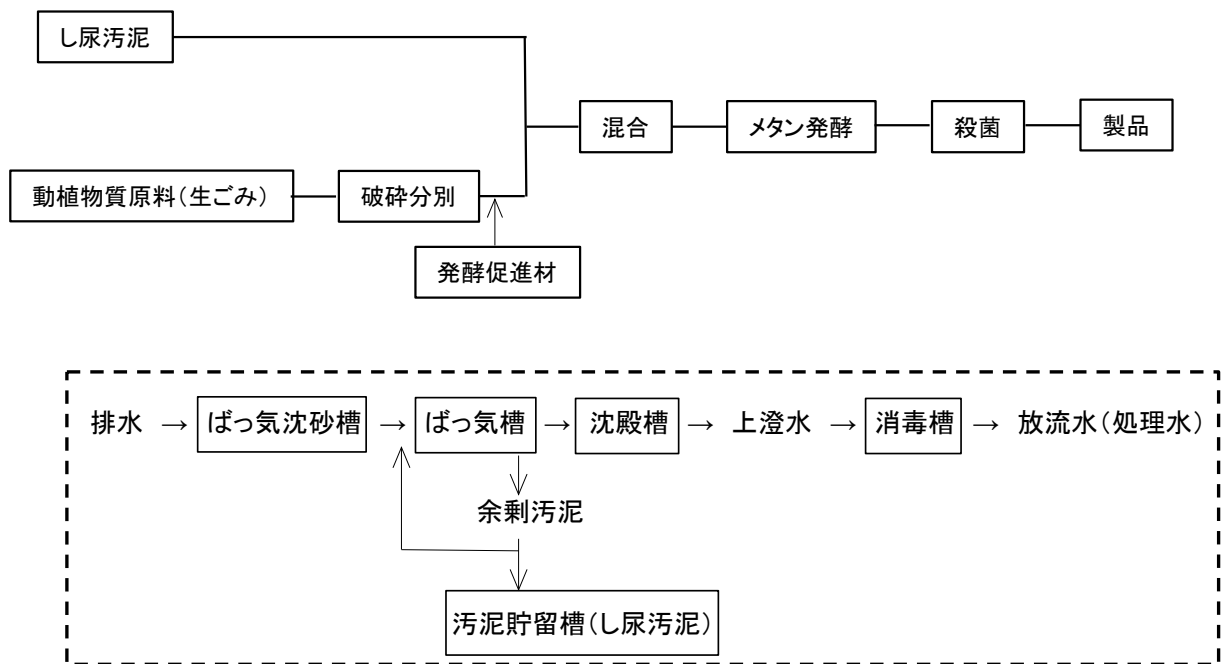
8 肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第1号から第3号までに掲げる事項

肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第1号 該当なし

肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第2号（原料の使用割合及び生産工程の概要）

（1）原料の使用割合	使用割合
し尿汚泥	50%
動植物質原料（生ごみ）	50%

（2）生産工程の概要



備考：1 し尿汚泥は、高樋地区農業集落排水処理施設から生じる汚泥である。

2 動植物質原料（生ごみ）は、徳島県佐那河内村内の家庭から排出される生ごみである。

3 殺菌は加熱消毒（55 度、6 時間）である。

肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第3号（材料の種類、名称及び使用量）

発酵促進材として、塩化コバルトを製品重量当たり 0.00005%以下使用する。

3. 試験の目的

「消化液 JARUS I 号」の施肥によるコマツナの発芽ならびに発芽後の生育への支障の有無及びその程度を知るため、幼植物試験を実施する。

4. 施肥設計

(1) 供試肥料及び対照肥料の種類及び名称並びに分析成績

	肥料の種類	肥料の名称	分 析 成 績 (%)			
			水分	T-N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O
供試肥料	工業汚泥 肥料	消化液 JARUS I 号	98.6	0.16	0.075	0.057
対照肥料		鹿追 1 号	95.5	0.3	0.14	0.41

(2) 供試土壌の土性、沖積土又は洪積土の別等

土性	沖積土又は 洪積土の別	p H	交換 (置 換) 酸度	電気伝導率 mS/cm	陽イオン交換容量 meq/乾土 100g	容積重 g/風乾土 500ml	最大容水量 乾土当たり 重量%
SL	沖積土	6.66	0.3	0.07	23.7	415	102

(3) 供試植物の種類及び品種 コマツナ（楽天）

(4) 試験区及び施肥の設計

試 験 区 No.		施用量 (g/ 鉢)	成 分 量 (mg/鉢)			備 考
			T-N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O	
供 試 肥 料	標準量施用区 T1	25.0	40	19	14	※供試肥料、対照肥料の区に硫酸・過石・塩加を N-P ₂ O ₅ -K ₂ O = 100-100-100 mg/鉢となるように施肥する。 ※標準区は硫酸・過石・塩加で施肥する。
	2 倍量施用区 T2	50.0	80	38	29	
	3 倍量施用区 T3	75.0	120	56	43	
	4 倍量施用区 T4	100.0	160	75	57	
対 照 肥 料	標準量施用区 S1	13.3	40	19	55	
	2 倍量施用区 S2	26.7	80	37	109	
	3 倍量施用区 S3	40.0	120	56	164	
	4 倍量施用区 S4	53.3	160	75	219	
標 準 区 B			25	25	25	

(5) 栽培方法

施 肥	は種 (20 粒/鉢)	収 穫	施 設
2 月 19 日	2 月 25 日	3 月 19 日	温室

5. 管理の状況

土壌充てん	追 肥	農薬散布
2 月 19 日	なし	なし

6. 試験結果

発芽及び生育調査成績

注) 生体重指数は、対照肥料の S 1 の平均値を 100 として計算した。

試験区No		ポット No	発芽調査成績		生育調査成績			
			3 月 1 日	3 月 3 日	3 月 11 日	3 月 19 日		
			発芽率 (%)		葉長 (cm)	葉長 (cm)	生体重 (g/鉢)	生体重 指数
供 試 肥 料	T 1	1	90	95	6. 6	11. 3	19. 6	118
		2	80	90	5. 6	10. 5	17. 1	103
		3	100	100	6. 6	9. 0	14. 2	86
		平均	90	95	6. 3	10. 3	17. 0	102
	T 2	1	100	100	5. 1	9. 9	17. 2	104
		2	50	90	4. 7	10. 2	16. 6	100
		3	95	95	5. 2	10. 0	16. 3	98
		平均	82	95	5. 0	10. 0	16. 7	101
	T 3	1	95	95	5. 3	10. 9	20. 0	120
		2	95	95	4. 5	8. 4	12. 5	75
		3	95	100	4. 4	8. 5	12. 9	78
		平均	95	97	4. 7	9. 3	15. 1	91
	T 4	1	95	95	5. 4	9. 6	16. 4	99
		2	100	100	5. 1	9. 9	18. 9	114
		3	90	100	4. 9	8. 6	12. 6	76
		平均	95	98	5. 1	9. 4	16. 0	96
対 照 肥 料	S 1	1	90	95	5. 5	12. 0	22. 2	134
		2	95	100	5. 7	9. 1	13. 8	83
		3	90	95	5. 2	9. 2	13. 7	83
		平均	92	97	5. 5	10. 1	16. 6	100
	S 2	1	75	85	6. 6	13. 1	22. 2	134
		2	80	95	5. 5	11. 7	20. 9	126
		3	95	100	5. 3	9. 9	15. 9	96
		平均	83	93	5. 8	11. 6	19. 7	119
	S 3	1	95	95	5. 2	9. 4	16. 3	98
		2	90	100	5. 2	10. 1	16. 7	101
		3	95	100	5. 8	9. 0	15. 0	90
		平均	93	98	5. 4	9. 5	16. 0	96
	S 4	1	100	100	4. 3	10. 0	19. 0	114
		2	85	95	5. 5	11. 5	19. 9	120
		3	95	95	4. 1	9. 3	16. 4	99
		平均	93	97	4. 6	10. 3	18. 4	111
標 準 区	B	1	100	100	5. 2	8. 1	9. 9	60
		2	95	100	4. 5	7. 7	9. 0	54
		3	95	100	4. 5	6. 8	7. 3	44
		平均	97	100	4. 7	7. 5	8. 7	52

7. 考察

発芽率……供試肥料区、対照肥料区とも発芽は良好で発芽障害の発生は確認されなかった。

生育調査…発芽後の生育は供試肥料区、対照肥料区とも良好であった。供試肥料区の生体重は、対照肥料区とほぼ同じであった。

②生産工程の変更

本実証において、当初は家庭生ごみのみを収集していたが、必要な食品廃棄物を確保するため、事業系食品廃棄物も収集することとした。このため、生産工程変更の届け出を行った。

具体的な手続きとしては、独立行政法人農林水産消費安全技術センターと事前調整した後、独立行政法人農林水産消費安全技術センターに宛てて生産工程変更の届け出を提出した。

〈生産工程変更の届け出〉

肥料の生産に関する原料、材料、生産工程等の変更について

令和 3 年 7 月 5 日

独立行政法人農林水産消費安全技術センター
理事長 殿

東京都港区新橋五丁目 34 番 4 号
一般社団法人 地域環境資源センター
代表理事 印

下記の登録肥料の原料、材料、生産工程等を変更したいので、お知らせします。

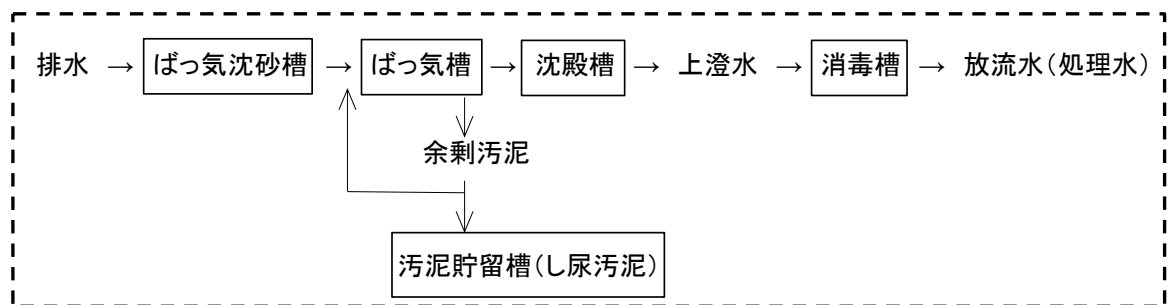
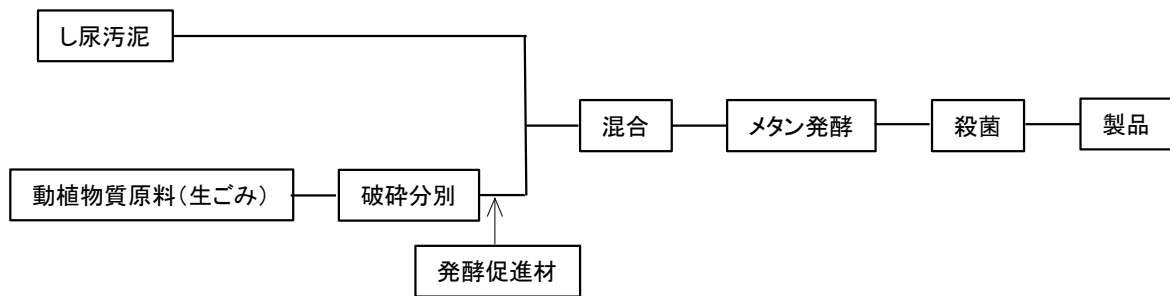
肥料の種類	肥料の名称 (登録番号)	変更予定 年月日	変更する事項	変更する理由
工業汚泥肥料	消化液 JARUS I 号 (生第 106669 号)	令和 3 年 7 月 6 日	原料の追加 (詳細は別紙 1 の とおり)	事業所から排出 される生ごみを 原料とするため

(旧)

肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第2号（原料の使用割合及び生産工程の概要）

(1) (略)

(2) 生産工程の概要



備考：1 (略)

2 動植物質原料（生ごみ）は、徳島県佐那河内村内の家庭から排出される生ごみである。

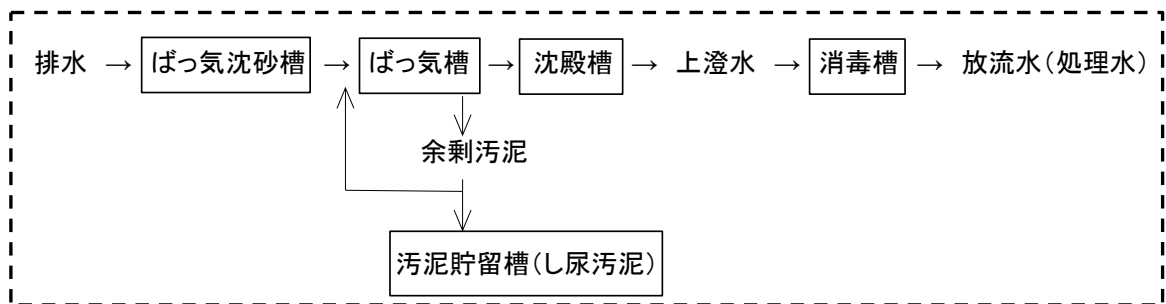
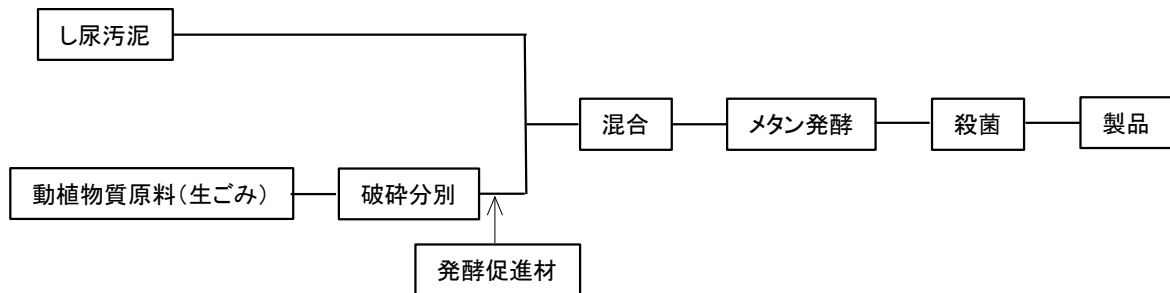
3 (略)

(新)

肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第4条第2号（原料の使用割合及び生産工程の概要）

(1) (略)

(2) 生産工程の概要



備考：1 (略)

2 動植物質原料（生ごみ）は、徳島県佐那河内村内の家庭や事業所から排出される生ごみである。各事業所と、排出される生ごみの内容は以下の表のとおり。

事業所	排出される生ごみの内容
佐那河内保育所	調理残さ、食べ残し
YOME厨房	調理残さ、食べ残し
村のおっさん 四代目桑原豆腐店	調理残さ
松山油脂株式会社果樹薬草園	果実の搾汁残さ

3 (略)

6.5.8 散布効率化

バイオ液肥の散布効率化について、京都大学大学院農学研究科大土井（おおどい）助教と共同研究を実施した。

本実証では、レンタルが可能である建設機械を利用し、必要な時期だけ利用できる散布機械の可能性を調査するとともに、農家が所有するトラクタを利用した散布についても調査した。また、散布の際に旋回すると、作業効率が低下し、ほ場の状態を荒らすことになるため、散布装置を前後に搭載することで欠点を克服することができるか調査した。



写真 6.5.32 実験車両（キャリア・前部）



写真 6.5.33 実験車両（キャリア・後部）

①実験車両

本研究で使用した実験車両を写真 6.5.32～34 に示す。写真 6.5.32、写真 6.5.33 は建設機械に容量 1,000L のローリータンクを搭載したものである。ローリータンク内には汚物用水中ポンプを設置し、2 台の電動ボールバルブで前後から排出できるようにした。

写真 6.5.34 はトラクタに搭載したバケット内に容量 300L のローリータンクを、ローリータンク内に汚物用水中ポンプを設置した。ポンプの ON・OFF の切り替えだけではサイフォン原理でポンプ停止時にもバイオ液肥が排出されるため、電動バルブを使用した。

各実験車両について複数の散布装置を作成した。キャリアでは 4 種類（呼び径 65、散布幅 2 及び 3 m、呼び径 50、散布幅 1.5 及び 2 m）、トラクタでは 4 種類（呼び径 50、散布幅 1.5 及び 2 m、呼び径 40、散布幅 1.5 m 及び 2 m）を作成した。散布孔はいずれも直径 10 mm、間隔 100 mm とした。



写真 6.5.34 実験車両（トラクタ）

②散布効率化試験

(i) ポンプ性能試験

各実験車両の走行速度を決定するためには、散布幅、単位時間当たりの散布量が必要となるため測定した。本来はバイオ液肥にて行う必要があるが、バイオ液肥および散布ほ場が確保できなかったため、水道水により仮の値を決定した。

キャリアでは車体に散布装置一式を組み込んだ状態で測定した。結果を表 6. 5. 39 に示す。呼び径、散布幅によらず、概ね約 200 L/分であった。

表 6. 5. 39 単位時間当たりの散布量

	パイプ	滴下前	滴下後	差	試行時間
1 回目	2m、65A 後	1000L	約 900L	約 100L	30 秒
	2m、65A 前	約 900L	約 800L	約 100L	30 秒
2 回目	3m、65A 後	約 800L	約 700L	約 100L	30 秒
	3m、65A 前	約 700L	約 600L	約 100L	30 秒
3 回目	2m、50A 後	約 600L	約 500L	約 100L	30 秒
	2m、50A 前	約 500L	約 400L	約 100L	30 秒
4 回目	3m、50A 後	約 400L	約 300L	約 100L	30 秒
	3m、50A 前	約 300L	約 200L	約 100L	30 秒

トラクタタイプのキャリブレーションは、ローリータンクに 220 kg の水道水を投入し、負ぶうよう水中ポンプによる排出が完了するまでの時間を測定した。測定後ローリータンクに残った水道水の重量を測定しその差を排出量とした。排出に要した時間は 57.72 s、排出量は 191.402 L であった。これにより仮の散布量を 198.96 L/分とした。

(ii) キャリア走行テスト

液肥散布量を 2 kg/m^2 (10a 当り 2t)、散布装置の性能を 200 kg/分 とすると散布幅が 2 m の時は 3 km/h 、散布幅が 3 m の時は 2 km/h となる。この設定でレーンチェンジに必要な時間、 90° 旋回に必要な時間を計測するため、GPS により走行経路を記録した。表 6.5.40 に結果を示す。

表 6.5.40 計測結果

回数	2m 左旋回 (s)	2m 右旋回 (s)	3m 左旋回 (s)	3m 右旋回 (s)	90 度旋回 (s)
1	13	12	18	13	17
2	13	11	17	13	29
3	10	13	15	12	27
4	12	13	17	13	23
5		11	13	12	24
6		13	16	13	25
7		13		12	24
8		14		12	
9		12		17	
10		13		14	
11		13		14	
平均	12	12.5	16	13.2	24.1

ほ場整備後の標準的な 30a 区画 (短辺 30m、長辺 100m) の水田での作業を想定してシミュレーションを行った。図 6.5.25、6.5.26 は散布幅が 2m、図 6.5.27、6.5.28 は散布幅が 3m の時の作業経路である。これらの図で青線は高速移動、黄線は低速移動、赤線は前進散布、緑線は後退散布を表す。シミュレーションではレーンチェンジに必要な時間として散布幅 2m では 12.5s、散布幅 3m では 13.2s とした。

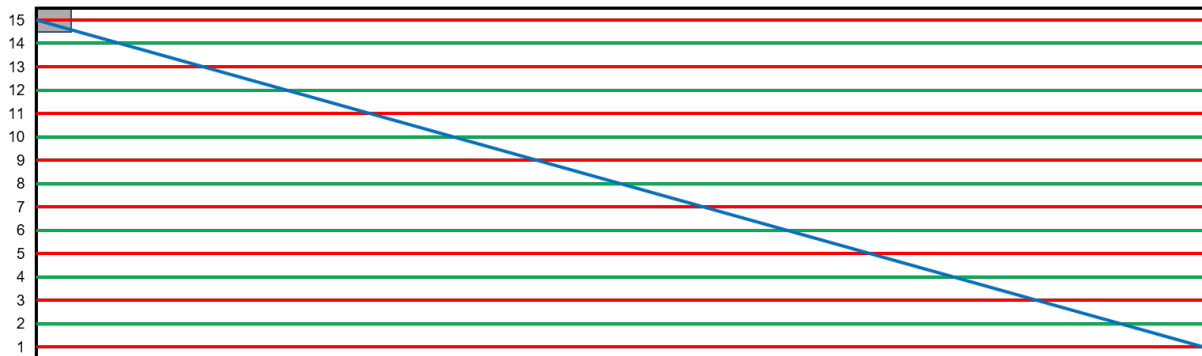


図 6.5.25 前後部に散布装置があるときの作業経路 (散布幅 2 m)

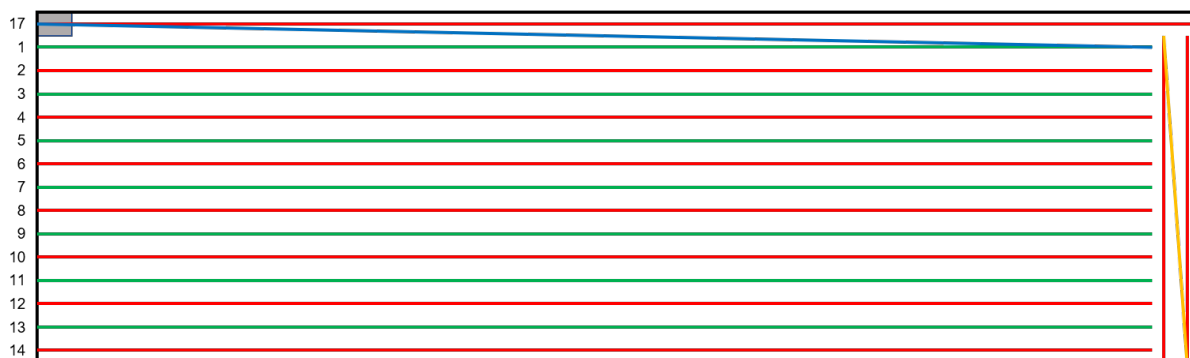


図 6.5.26 後部に散布装置があるときの作業経路（散布幅 2 m）

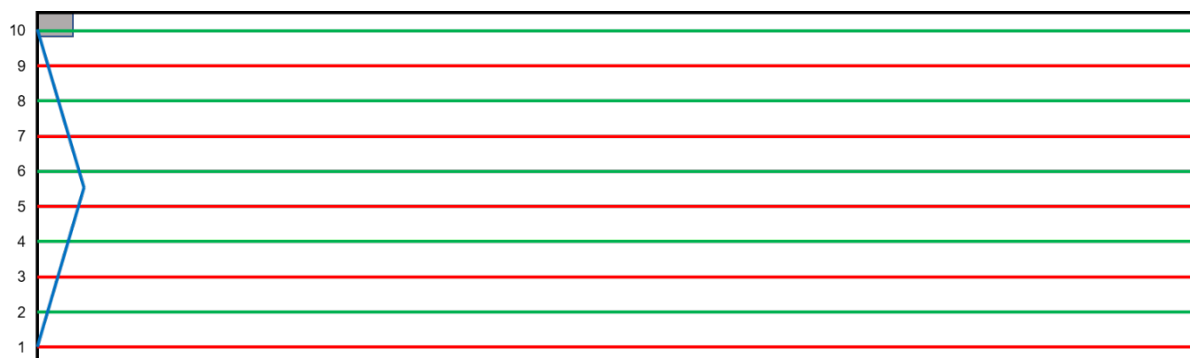


図 6.5.27 前後部に散布装置があるときの作業経路（散布幅 3 m）



図 6.5.28 後部に散布装置があるときの作業経路（散布幅 3 m）

表 6.5.41 にシミュレーション結果を示す。従来の車体後方からの散布と比較して、車両前後から散布した場合は、散布幅 2 m では約 8.2%、散布幅 3 m では約 10.0%の作業時間の短縮が図れることが明らかとなった。

表 6.5.41 シミュレーション結果

散布幅	車両前後から	後方からのみ
2 (m)	2,412 (s)	2,624 (s)
3 (m)	2,192 (s)	2,435 (s)

(iii) トラクタによる散布

トラクタによる散布では、300 L のバイオ液肥しか積載できないため補給回数が増加することで散布効率が低下することが考えられる。前述と同様のほ場で散布する場合、散布幅×200 m の面積で 300 L のバイオ液肥がなくなれば、補給のための空走が発生しない。散布幅は 1.5 m、および 2.0 m のものを設定したため、それぞれの散布量は 1 kg/m^2 (10 a 当り 1 t)、 0.75 kg/m^2 (10a 当り 0.75t) となり、前節で想定したバイオ液肥に対してそれぞれ 2 倍、2.67 倍の濃縮が必要となる。また、濃縮を行わなかった場合は散布幅 1.5 m の場合長辺が 50 m、散布幅 2.0 m の場合長辺が 37.5 m 以上のほ場では空走が生じる。

(iv) 上部固定スラリースプレッダでのシミュレーション

上部が旋回できないスラリースプレッダの車体前部に散布装置を取り付けた場合のシミュレーションを行った。スラリートankの容量は 2,500 L、散布速度を 4.5 km/h、吐出量を 900 L/min、10 a あたりの散布量を 3,000 L としてシミュレーションを行った。散布幅、およびバルブ開閉にかかる時間は実測値でそれぞれ 4 m、13 s であった。図 6.5.29、図 6.5.30 に散布装置が前後にある時と、後部のみの時の作業経路を示す。



写真 6.5.35 上部固定スラリースプレッダ



図 6.5.29 前後部に散布装置があるときの作業経路（散布幅 4 m）

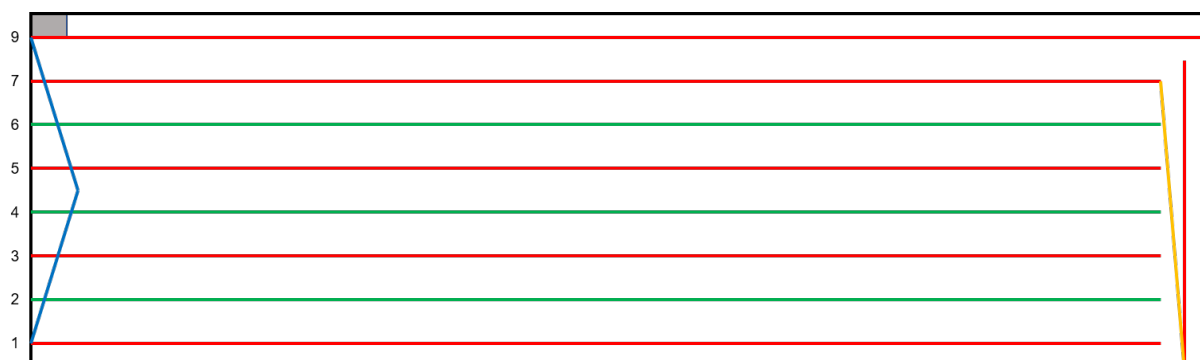


図 6.5.30 後部に散布装置があるときの作業経路（散布幅 4 m）

シミュレーションは液肥の補給にかかる時間を含めて行い、前後に散布装置があるものでは 2,153 s、後部のみに散布装置があるものでは 2,278 s で、約 5.5%の作業時間短縮効果があった。

③まとめ

本研究では、レンタルが可能である建設機械を利用して必要な時期だけ利用する散布機械の可能性、農家が所有しているトラクタでの散布の可能性について調査した。

建設機械での散布は、最大積載量 2.5 t のものに 1 m³のタンクを設置して行ったため、作業方向の距離が 100 m の水田では補給のための空走が生じてしまうことが判明した。シミュレーションではこれらに必要な時間、補給時間を考慮していないが、前後に散布装置があるものが約 10%の作業時間短縮が図れることが分かった。

トラクタによる散布では、搭載できるバイオ液肥の量の制約から濃縮などが必要であることが分かった。また、写真 6.5.36 に示すような方法でバキュームカーからトラクタへホースを直結して散布することでこれらの問題を解決することができると思われる。写真 6.5.36 は沖縄県八重瀬町バイオガスプラントのバイオ液肥を散布している様子で、9t のバイオ液肥を 25 分程度で散布することが可能である。

実際の上部が旋回しないスラリースプレッダとそれに車体前部に散布装置を装着した場合の作業をシミュレーションにより比較した。その結果、補給時間を含め約 5.5%の作業時間短縮が見込めることが判明した。



写真 6.5.36 リールマシンによる散布

6. 6 室内メタン発酵試験

佐那河内村内での実証試験の基礎資料とすることや、実証試験では実施困難な条件で検討するため、室内メタン発酵試験を実施した。

【解 説】

6.6.1 室内試験の目的

室内メタン発酵試験は、佐那河内村での実証試験を実施するにあたり、実証試験計画立案のための基礎資料とすること、また、現地での実証試験では実施困難な条件を検討するために実施した。

6.6.2 検討課題と試験条件

原料の混合条件については、「集排施設にメタン発酵施設を併設することを想定し、集排汚泥の利用を第一に考えていることから集排汚泥（濃縮汚泥）の割合を半分以上にする」、「システムの効率化を考えるとガス発生量が多く、肥料成分濃度が高い、生ごみ、農産加工残さ、食品廃棄物等の割合をできるだけ高めることが望ましい」という 2 つの事情を踏まえ、原料に占める集排汚泥の割合を重量比で 50%に固定することを基本とした。

表 6.6.1 検討課題、試験条件、結果概要

検討課題	目的	結果概要	参考文献 (6-122)
集排汚泥のメタン発酵における微量元素添加の必要性	集排汚泥（濃縮）の含水率は高め（98～99%）であることから、十分な量の微量金属元素が汚泥から供給されない可能性がある。そのため、集排汚泥を原料としたメタン発酵において、一般的に不足しやすいと言われている微量必須元素であるコバルトとニッケルの必要性を明らかにする。	集排汚泥のメタン発酵では Co 欠乏の懸念があり、添加が必要（Ni は不要）。	Nakamura et al. (2020)
集排汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵の立ち上げ	メタン発酵槽を立ち上げる方法のうち、コスト面で有利で小規模施設に適した方法である自己分解法によるメタン発酵槽の立ち上げの可否を検討する。	集排汚泥単独でも自己分解法によるメタン発酵槽の立ち上げが可能。	中 村 ら (2020)
集排汚泥と高 C/N 比原料の混合割合の検討	柑橘搾汁残さ等の C/N 比の高い原料の混合割合が高まると、窒素不足による発酵不良や消化液の窒素濃度の低下が懸念されるため、集排汚泥と生ごみとすだち搾汁残さの混合メタン発酵について、すだち搾汁残さの混合可能割合を明らかにする。	発酵安定化のためには、原料のうち 50%が集排汚泥の場合には、すだち搾汁残さの混合割合を 20%以下にする必要。	中 村 ら (2022)
集排汚泥と低 C/N 比原料の混合割合の検討	おから等の低 C/N 比原料の混合割合が高い場合、アンモニア阻害が生じる懸念があるため、集排汚泥、生ごみ、おからの混合メタン発酵について、おからの混合可能割合を明らかにする。	発酵安定化のためには、原料のうち 50%が集排汚泥の場合には、おからの混合割合を 37.5%程度以下にする必要。	折 立 ら (2021)
集排汚泥の割合を小さくした場合の影響評価	バイオガス発生量を増加させることを考えると、ガス発生量が多い生ごみや農産加工残さ等の割合を高める方が有利であるため、集排汚泥の割合を 40%とした時の発酵の安定性を明らかにする。	汚泥 40%の条件でも、すだちの搾汁残さの割合が大きい条件では安定的に発酵し、ガス量増加が見込める。	

6.6.3 室内メタン発酵試験の方法

①メタン発酵試験に用いた原料

室内メタン発酵試験に用いた原料は、集排汚泥、模擬生ごみ、すだち搾汁残さ、おからである。

原料の成分代表値を表 6.6.2 に示す。集排汚泥は茨城県の浮遊生物法の農業集落排水施設から含水率約 99.5%の返送汚泥を採取し、農研機構農村工学研究部門内で含水率 97%以下まで濃縮し、試験に用いるまで冷蔵庫で保存した。試験では保存した汚泥に水道水を加えて含水率 98%（実施設において調整可能な範囲の中で固形物濃度が高めの濃度）に調整した上で使用した。模擬生ごみの組成（表 6.6.3）は李ら（2003）を参考にして決定し、水道水を加えることにより、含水率を 85%（過去に調査した実績に基づく農村地域の一般的な値）に調整した。すだち搾汁残さは、果汁製造工場ですだちを搾汁した後の果皮等を主成分とするもの、おからは市販のおから粉末を、市販の生おからの含水率の実測値である 85%に調整したものである。

表 6.6.2 メタン発酵原料の成分

	集排 汚泥	模擬 生ごみ	すだち 搾汁残さ	おから
TS (%)	2.0	14.9	17.9	14.9
VS (%)	1.6	14.3	17.0	14.3
T-C (乾物%)	36.4	43.4	40.8	47.2
T-N (乾物%)	6.1	2.59	1.13	3.9
C/N 比	6.0	16.8	36.1	12.2

表 6.6.3 模擬生ごみの成分

組成	湿重含有率 (%)
りんご	10
グレープフルーツ（皮）	5
オレンジ（皮）	5
バナナ（皮）	10
キャベツ	12
ジャガイモ	12
ニンジン	12
挽肉	5
魚（骨付き）	5
卵	4
米飯	10
パン	5
うどん	2.5
中華麺	2.5

②メタン発酵試験

（i）メタン発酵試験装置 1

メタン発酵試験装置 1 は、図 6.6.1 に示す。有効容量 8.6L（10L として利用していた時期もあり）の完全混合型発酵槽である。槽内の攪拌は 100rpm の機械攪拌で行い、発酵槽は恒温水槽に設置し、温度を制御し、中温（37℃）条件とした。発生するバイオガスは、バイオガス中の二酸化炭素の溶解を防ぐため、濃度 2%の硫酸による水上置換法（車ら、1992）により収集し、ガス量測定装置に 1L 貯まるごとにバルブを開放させ、その開放数をカウントすることにより、ガス量を測定した。

(ii) メタン発酵試験装置 2

メタン発酵試験装置 2 では、容量 0.3L (有効容量 0.2L) の三角フラスコをメタン発酵槽としたものである。中温 (37℃) 条件にて連続式試験を行った。ヘッドスペースを窒素で置換した上で、インキュベーターに設置し、振とう器を用いて、100rpm で攪拌した。発生するバイオガスは、三角フラスコに接続したガスバッグで採取し、体積をガラスシリンジで測定した。

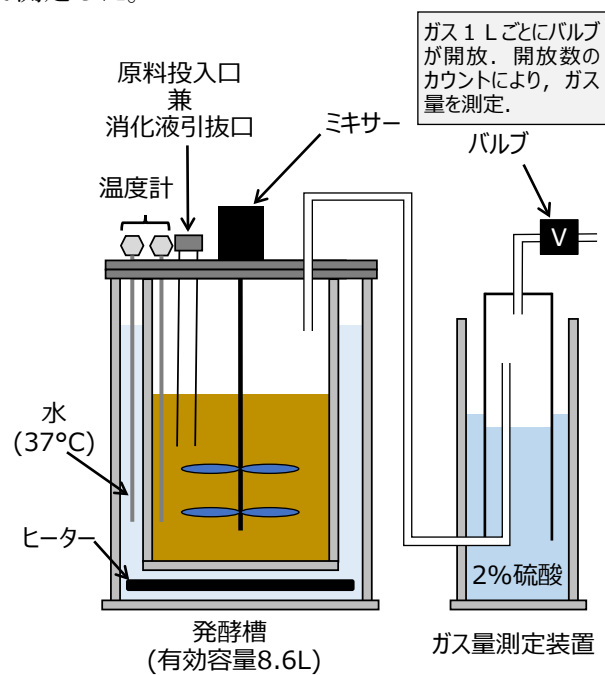


図 6.6.1 メタン発酵試験装置 1



図 6.6.2 メタン発酵試験装置 2

6.6.4 集排汚泥のメタン発酵における微量元素添加の必要性

①はじめに

メタン発酵は微生物を利用する技術であるため、微生物の基質となる原料の元素バランス（栄養素、微量金属元素等）が崩れると、微生物活性が低下し、発酵が不安定となる。一般的には、必須金属元素は汚泥から十分な量が供給されると言われている。しかし、農業集落排水施設は農村地域に立地すること、汚泥脱水機を有していない施設が多いことから汚泥の含水率は高め（98～99%）であることから、十分な量の微量金属元素が供給されない可能性がある。そこで、集排汚泥を原料としたメタン発酵において、一般的に不足しやすいと言われている微量必須元素であるコバルト（Co）とニッケル（Ni）の必要性を明らかにする。

②方法

試験 1

メタン発酵装置 1 を用いて、連続メタン発酵実験を行った。原料は、集排汚泥と模擬生ごみであり、投入条件は表 6.6.4 の通りである。実験は、発酵槽の水理学的滞留時間（HRT）140 日から開始し、最終的に 30 日まで短縮した。実験期間中、バイオガス発生量、発酵槽内の pH 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 、VFA、Co、Ni の濃度を測定した。消化液の引き抜きと原料の投入は週 5 回行った。

表 6.6.4 メタン発酵試験の運転条件

	0～48 日目	49～76 日目	77～101 日目
原料 (混合割合)	生ごみ (100%)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)
HRT (d)	140	70	30
有機物負荷率 ($\text{kgVS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$)	0.76	0.85	2.01

試験 2

試験 2 は、Co または Ni の添加が発酵の安定性に及ぼす影響を確認するために行った。種汚泥として、メタン発酵試験 1 の 104 日目の消化液を用いた。原料は集排汚泥と模擬生ごみを重量比 1:1 で混合したもの、投入条件は表 6.6.5 の通りである。

試験条件として、Co 及び Ni を添加したもの（Co+Ni+）、Co のみを添加したもの（Co+Ni-）、Ni のみを添加したもの（Co-Ni+）、両方ともを添加しないもの（Co-Ni-）を設定した。Co、Ni はそれぞれ CoCl_2 、 NiCl_2 として添加し、添加量は Qiang et al. (2013) を参考に、模擬生ごみの COD_{cr} 1g あたり 6.00mgCo、5.70mgNi とした。原料の投入は週 5 回行い、試験期間中、pH、バイオガス発生量を測定した。

試験 3

全国 5 箇所の集排施設の汚泥について、TS、VS、COD_{cr} Fe、Co、Ni を測定した。

表 6.6.5 メタン発酵試験の運転条件

	0～7 日目	8～42 日目	43～56 日目	57～70 日目
原料 (混合割合)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)	集排汚泥 (50%) 生ごみ (50%)
HRT (d)	60	30	20	15
有機物負荷率 (kgVS/(m ³ ・d))	1.00	2.01	3.02	4.02

③結果および考察

試験 1 について、試験期間中のバイオガス発生量、発酵槽内の pH 及び NH₄-N、VFA、Co、Ni 濃度を図 6.6.3 に示す。HRT が 140 日から 70 日までの期間は、pH は 7.0 前後で安定し、VFA はほぼ検出されていないことから、正常にメタン発酵が立ち上がったと判断された。しかし、HRT を 30 日に変更した 79 日目以降は、pH の低下と VFA の上昇がみられ、発酵不良に陥っていることが確認された。その時の NH₄-N は 1000mg/L 前後と一般的に発酵阻害が起こる濃度よりも低い濃度を維持しており、高 NH₄-N が発酵不良の原因とは考えられない。一方、Qiang et al. (2013) は、本研究と同様の発酵不良が起こり、その原因として発酵槽内の Co、Ni の濃度が低いことをあげている。本研究の Co、Ni 濃度は Qiang et al. (2013) と同程度であることから、本研究の発酵不良の原因は、Co または Ni の不足であることが示唆された。農業集落排水施設では脱水機を所有していない施設が多いことから、排出される汚泥の含水率が高く、それに伴い Co や Ni が低濃度となることがある。そのような汚泥と生ごみのように Co、Ni 濃度が低い原料との混合メタン発酵を行う場合には、Co や Ni を添加する必要があることが示された。

試験 2 について、試験期間中のバイオガス発生量、発酵槽内の pH を図 6.6.3 に示す。Co、Ni を両方添加しない条件では、試験 1 と同様に発酵液の pH 低下、ガス発生量の減少等の発酵不良状態となった (図 6.6.4a)。Ni を添加した場合には HRT30 日条件までは安定した状態を維持するが、原料投入量を増やして HRT を 20 日に短縮すると、pH は低下傾向を示した。さらに、HRT15 日条件では pH が急激に低下し、ガス発生は大幅に減少した (図 6.6.4b)。それに対して、Co を添加した場合には、Ni 添加の有無に関わらず、HRT15 日条件でも pH は安定し、原料投入量に対応したガス発生量を維持した。したがって、Co の添加が必須であるが、Ni は添加を行う必要はないことが示された (図 6.6.4c)。

全国 5 箇所の集排施設の汚泥の TS、VS、COD_{cr} Fe、Co、Ni 濃度を表 6.6.6 に示す。集排汚泥中の Co 濃度は含水率により変動するものの、一般的に本実験に用いた濃度と同程度のオーダーである (表 6.6.6)。また、汚泥の管理方法により同じ施設でも含水率が 97～99.5%まで変動することがあり、それに伴い固形分に含まれる Co 濃度も変化することから、濃縮汚泥を原料とする限り本研究と同様に Co が不足することが懸念される。したがって、Co の添加は農業集落排水汚泥を原料としたメタン発酵を安定的に行うために、共通して必要な対策といえる。

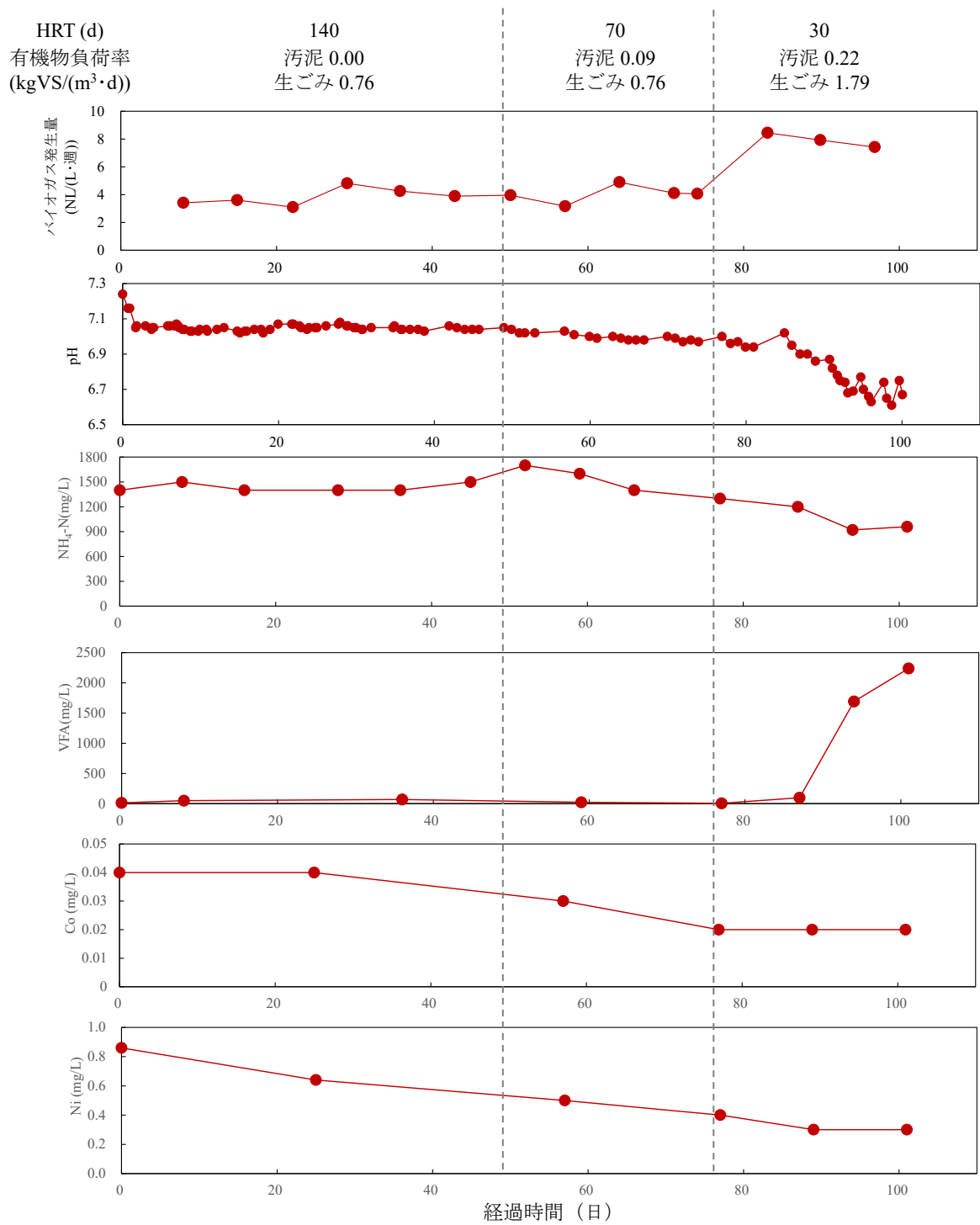


図 6. 6. 3 実験期間中のバイオガス発生量, 消化液の pH, NH₄-N, VFA, Co, Ni

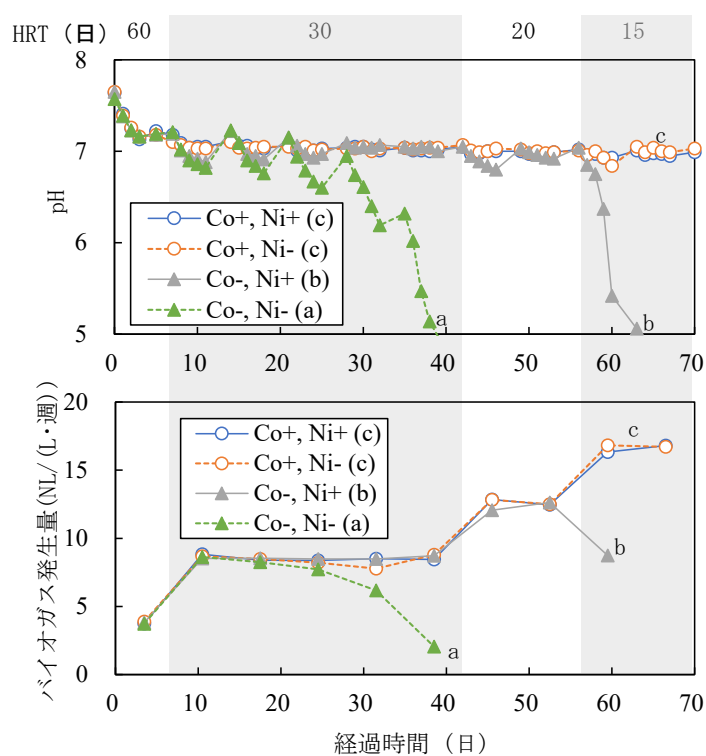


図 6.6.4 集排汚泥と生ごみの混合メタン発酵における pH とバイオガス発生量の推移

表 6.6.6 本研究で用いた集排汚泥と全国の農業集落排水汚泥の成分

	施設 A (本研究で用いたもの)	施設 B	施設 C	施設 D	施設 E	全国 平均
含水率(%)	98.4	98.6	98.1	97.3	98.4	98.1
COD _{cr} (mg/L)	17,400	13,600	20,700	30,900	16,400	—
Fe (mg/L)	139	220	80.5	165	359	112
Co (mg/L)	0.02	0.02	0.05	0.06	0.03	—
Ni (mg/L)	0.21	0.31	0.60	0.71	0.24	0.32

6.6.5 集排汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵の立ち上げ

①はじめに

メタン発酵槽を立ち上げる方法として、稼働中の発酵槽の消化液を輸送して外来植種する方法と原料の汚泥を嫌気培養することで自己分解を進行させ、メタン発酵に関与する微生物群を増殖させる方法（自己分解法）がある。後者は消化液の輸送が必要なく、コスト面で有利であることから、小規模施設に適した方法であり、下水汚泥では実績がある。しかしながら、集排汚泥は、一般的に「水処理過程での汚泥滞留時間（SRT）が長めで下水汚泥よりも分解が進行している」、「集排施設には汚泥脱水機がないことが多く、汚泥の固形物濃度（TS）が低い」など、自己分解法にとって不利な性状である。そこで、集排汚泥について、自己分解によるメタン発酵槽の立ち上げの可否を検討した。

②方法

メタン発酵試験装置2を用いて、メタン発酵立ち上げ実験を行った。メタン発酵の立ち上げ用に用いた集排汚泥は、表6.6.2の集排汚泥と同じ施設から採取したものであるが、集排施設から採取した返送汚泥を一度TS3.2%まで濃縮したもの（表6.6.2）に水道水を加水することによりTSを3、2、1%に調整した3種類の汚泥である。原料には集排汚泥と模擬生ごみの重量比1:1混合物（必須微量元素Co、Ni入り）を用いた。0日目から57日目までは原料を投入せず、集排汚泥のみの回分運転を行い、57日目からは原料投入を開始した。水理学的滞留時間（HRT）800日から始めて、25日間まで段階的に短縮した。実験期間中、発酵液のpH、バイオガス発生量、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、アルカリ度を測定した。

③結果及び考察

試験期間中のpH、バイオガス発生量、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、Mアルカリ度の推移を図6.6.5に示す。pHは、すべての試験区において試験開始から3日程度で一時的に0.1~0.2下降し、その後、回分運転期間中は上昇した。一時的にpHが下降した要因は、立ち上げ用の集排汚泥が分解し、有機酸が生成したためと考えられる。原料投入後は、pHは一時的に低下したものの、時間が経過するとともに上昇に転じ、最終的に、HRT25日という比較的高負荷な条件でも7.2~7.4程度で安定していた。TSの違いで比較すると、全期間を通じて、TSが低い汚泥ほど、pHが相対的に低く推移した。また、TSが低い汚泥ほど原料投入後のpH低下が大きかった。一方、バイオガスに関しては、回分運転時、試験開始直後に立ち上げ用の集排汚泥の自己分解によるとみられるガスの発生が確認された以外は、発生量はごく少量であった。原料投入後は、HRTの短縮（原料投入量の増加）に従って、発生量が増加し、TSによる差はほとんど見られなかった。また、バイオガスからは40~55%程度でメタンが検出され、メタンが生成されていることが確かめられた。 $\text{NH}_4\text{-N}$ とMアルカリ度については、回分運転期間に上昇し、両者ともTSが高い汚泥ほど値が大きかった。

メタン発酵（中温発酵）における標準的なHRTである25日条件において、順調にバイオガスが発生し、その時のpHがメタン発酵に適していると言われる6.5~8.2におさまっていることから、集排汚泥単独でも自己分解法によるメタン発酵槽の立ち上げが可能であることが示された。一方、TSが高い汚泥ほどアルカリ度が高く（pH干渉能が高い）、pHが高めで安定していたことから（TS1%条件では負荷を上げると一時的に下降）、今回のTSの範

囲では TS が高い汚泥ほど、短期間で安定して立ち上がることが示唆された。ただし、TS3%の汚泥は流動性が低く、取扱性が低下することに留意する必要がある。

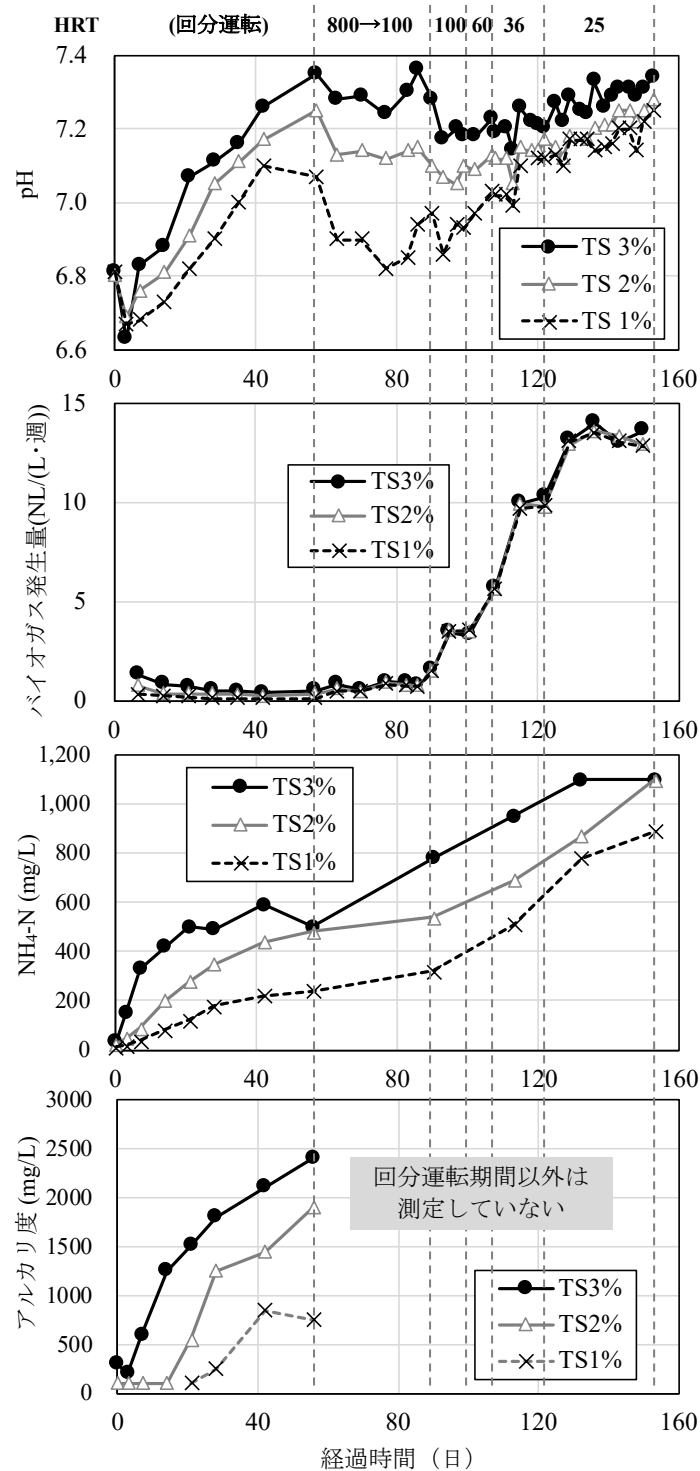


図 6. 6. 5 試験期間中の pH、バイオガス発生量、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、M アルカリ度の推移

6.6.6 集排汚泥と高 C/N 比原料の混合割合の検討

①はじめに

メタン発酵は微生物を利用する技術であるため、微生物の基質となる原料の元素バランス（栄養素、微量元素）が崩れると、微生物活性が低下し、発酵が不安定となる。例えば、発酵阻害を引き起こす要因にはアンモニア、硫化物、金属イオン、重金属の過不足（Chen et al., 2008）があり、窒素（特に、有機態窒素やアンモニア態窒素）が不足する場合には、メタン発酵に必要な微生物が増殖するための窒素源と pH 緩衝能力が不足してしまい、安定的な長期運転が不可能である（朱ら、2020）。一般的には原料の C/N 比（窒素に対する炭素の割合）が高い場合には発酵不良に陥りやすい（Chen et al., 2008）。

集排施設が立地する農村地域では、農業生産が盛んであるため、農産加工残さ、農作物非食部の発生量が多い。農産加工残さや食品廃棄物の C/N 比は、生ごみの C/N 比（模擬生ごみで 16.8）に比べて高いものも少なくない（例えば、すだち、ゆず、みかんの搾汁残さはそれぞれ 36.1、44.8、35.6（中村・柚山，2005）、カンショくず 42.4、コーヒーかす 23.6）。それらの混合割合が高い場合、発酵が順調に進行しない可能性がある。また、原料の C/N 比が高い（窒素含有率が低い）場合、消化液の窒素濃度が低下し、消化液の肥料としての利用に支障をきたす懸念もある。

そこで、集排汚泥と生ごみと、C/N 比が 36.1 と比較的高い農産加工残さであるすだちの搾汁残さを原料としたメタン発酵について、すだち搾汁残さの混合割合が発酵の安定性に及ぼす影響の解明及び発酵不良が生じる場合はその原因の把握を目的として試験を行った。

②方法

メタン発酵装置 1（図 6.6.1）を用いて、原料に占める集排汚泥の割合を重量比で 50%に固定し、生ごみとすだち搾汁残さの混合割合を 6 段階に変えた条件で連続式メタン発酵試験を行った。発酵槽の水理学的滞留時間（HRT）を 30 日とし、その時の有機物負荷率は 2.52~3.04kgVS/(m³・d)であった。実験期間中、バイオガス発生量、発酵槽内の pH、NH₄-N、アルカリ度を測定した。また、不足しやすい微量栄養塩が十分な量供給されるように、Co と Ni を添加して行った。

表 6.6.7 メタン発酵試験の運転条件，混合原料の組成

試験条件	原料（混合割合）	HRT (d)	有機物負荷率 (kgVS/(m ³ ・d))	試験期間 (d)	TS (%)	VS (%)	TN (%)	C/N 比 (汚泥以外の C/N 比)
すだち搾汁残さ 0%	汚泥 (50%) 生ごみ (50%) すだち搾汁残さ (0%)	30	2.52	49	8.05	7.57	0.254	14.2 (16.8)
すだち搾汁残さ 13.3%	汚泥 (50%) 生ごみ (36.6%) すだち搾汁残さ (13.3%)	30	2.53	42	8.04	7.60	0.231	16.0 (19.6)
すだち搾汁残さ 16.7%	汚泥 (50%) 生ごみ (33.3%) すだち搾汁残さ (16.7%)	30	2.64	42	8.36	7.92	0.224	16.7 (20.8)
すだち搾汁残さ 20%	汚泥 (50%) 生ごみ (30%) すだち搾汁残さ (20%)	30	2.71	98	8.67	8.13	0.217	17.3 (21.8)
すだち搾汁残さ 25%	汚泥 (50%) 生ごみ (25%) すだち搾汁残さ (25%)	30	2.74	36	8.79	8.24	0.208	18.3 (23.4)
すだち搾汁残さ 50%	汚泥 (50%) 生ごみ (0%) すだち搾汁残さ (50%)	30	3.04	9	9.75	9.14	0.162	24.8 (36.1)

③結果および考察

試験期間中の pH、バイオガス発生量、NH₄-N、アルカリ度の推移を図 6.6.6 に示す。すだち搾汁残さの割合が 16.7%以下の条件では、pH が 6.8～7.0 程度で安定し、バイオガス発生率は既往の報告（奥野ら，2001；野池，2009）と同等であり、アルカリ度も週により多少の増減があるものの安定して推移したことから、メタン発酵が安定的に進行したといえる。また、すだち搾汁残さ 20%条件においては、初期段階ではアルカリ度や NH₄-N の低下傾向が見られたが、30 日経過後には下げ止まり、100 日程度の長期運転においても発酵不良状態には陥らなかった。ただし、バイオガス発生率は低めであり、NH₄-N も 300 mg/L 程度と低いため、発酵が安定するぎりぎりの条件であったと思われる。一方、すだち搾汁残さが 20%を超える条件では、pH の低下、バイオガス発生率、NH₄-N、アルカリ度が単調減少し、最終的に発酵不良となった。

以上のことから、集排汚泥、生ごみ、すだち搾汁残さの混合メタン発酵を安定的に行うためには、すだち搾汁残さの混合割合に上限があり、原料のうち 50%が集排汚泥の場合には、すだち搾汁残さの混合割合を 20%以下にする必要があることが示された。また、C/N 比が比較的高い原料を用いた条件で発酵不良が生じ、その条件での NH₄-N が減少傾向だったことから、発酵不良の原因は窒素不足であると推察された。

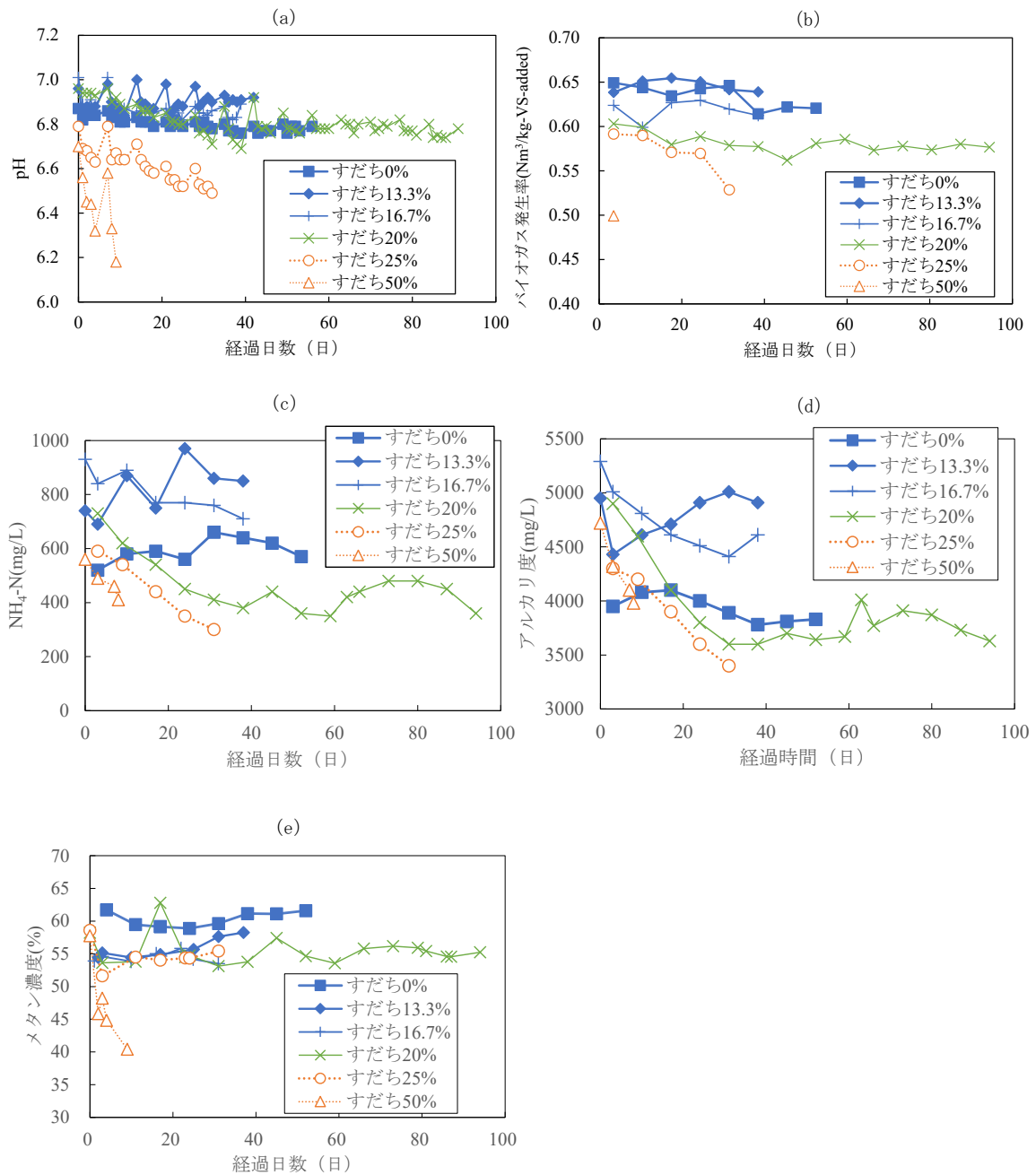


図 6.6.6 試験期間中の pH、バイオガス発生率、TS 濃度、VS 濃度、NH₄-N、アルカリ度、メタン濃度

6.6.7 集排汚泥と低 C/N 比原料の混合割合の検討

①はじめに

C/N 比が低い（窒素含有率が高い）有機性資源をメタン発酵原料として用いる場合には、消化液の窒素濃度が上昇し、消化液の肥料としての利用の面からは有利となる。一方、その混合割合の増加に伴い、アンモニア阻害が生じる可能性も高くなる。アンモニアは水中でアンモニウムイオンと遊離アンモニアの双方で存在するが、この遊離アンモニアの毒性が特に強く、pH が高いほど、また温度が高いほど遊離アンモニアの存在比率が増加する。下水汚泥を原料とする場合には、アンモニア性窒素濃度が 1,500～3,000 mg/L の時、pH が 7.4～7.6 以上で阻害要因になるといわれている（野池ら、2009）。

C/N 比が低い有機性資源のひとつとして豆腐製造工程で排出されるおからがあげられる。おからは含水率が高く腐敗が速いため、飼料等として利用する場合には乾燥を必要とするが、乾燥には多大なエネルギーを要する。また、焼却処理も行われているが、多大なコストと環境負荷がかかる（室山ら、1994；2003）。分解性が高く、年間を通して安定供給が可能なおからは有望なメタン発酵原料候補といえるが、混合割合が高い場合、アンモニア阻害が生じる懸念がある。そこで本研究では、集排汚泥、生ごみ、おからの混合メタン発酵について、おからの混合可能割合を明らかにすることを目的とする。

② 方法

メタン発酵装置 1（図 6.6.1）を用いて、原料に占める集排汚泥の割合を重量比で 50%に固定し、生ごみとおからの混合割合を 4 段階に変えた条件で連続式メタン発酵試験を行った。発酵槽の水理学的滞留時間（HRT）を 30 日とし、その時の有機物負荷率は 2.65 kgVS/(m³・d)であった。実験期間中、バイオガス発生率、バイオガス中メタン濃度、発酵槽内の pH、NH₄-N、VFA を測定した。また、不足しやすい微量栄養塩が十分な量供給されるように、Co と Ni を添加して行った。

表 6.6.8 メタン発酵試験の運転条件、混合原料の組成

試験条件	生ごみとおからの VS 比	原料（混合割合（重量比））	HRT (d)	有機物負荷率 (kgVS/(m ³ ・d))				試験期間 (d)	TN(%)	C/N 比
				汚泥	生ごみ	おから	計			
おから 12.5%	3:1	汚泥 (50%) 生ごみ (37.5%) おから (12.5%)	30	0.27	1.78	0.59	2.65	53	0.279	13.2
おから 25.0%	1:1	汚泥 (50%) 生ごみ (25%) おから (25%)	30	0.27	1.19	1.19	2.65	60	0.303	12.3
おから 37.5%	1:3	汚泥 (50%) 生ごみ (12.5%) おから (37.5%)	30	0.27	0.59	1.78	2.65	54	0.327	11.6
おから 50%	0:1	汚泥 (50%) 生ごみ (0%) おから (50%)	30	0.27	0	2.38	2.65	56	0.352	11.0

③結果および考察

試験期間中のバイオガス発生率、バイオガス中メタン濃度、発酵槽内の pH、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の推移および各条件の試験期間の中盤と後半に測定した VFA の結果を図 6.6.7 に示す。

おからの混合割合が重量比 25%（生ゴミとおからの VS 比 1:1）以下の条件では、pH が約 6.8～7.0 程度で安定し、バイオガス発生率およびメタン濃度は既往の報告（野池、2009）と同程度であり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は 1,200mg/L 未満、VFA の蓄積もみられなかったことから（10mg/L 未満）、メタン発酵が安定的に進行したといえる。おから 37.5%（生ゴミとおからの VS 比 1:3）の条件では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は徐々に上昇して試験終了時に 1,700mg/L となったが、pH は 7.1 程度、バイオガス発生率およびメタン濃度はおから 25%以下の場合と同程度で推移し（メタン濃度は一時低下したが回復）、VFA も 40mg/L 未満だったことから、この条件でもメタン発酵が安定的に進行したと考えられる。一方、おからの混合割合 50%（生ゴミとおからの VS 比 0:1）の条件では、pH の変動が大きくなるとともに、バイオガス発生率とメタン濃度の低下および試験後半での VFA の大量の蓄積（試験終了時は 6,000mg/L 以上）がみられた。おから 50%条件では $\text{NH}_4\text{-N}$ が約 2,000mg/L、pH が試験中盤で 7.4 近くまで上昇したことから、アンモニア阻害が生じた可能性が考えられた。

以上のことから、集排汚泥、生ゴミ、おからの混合メタン発酵を安定的に行うためには、おからの混合割合に上限があり、原料のうち重量比で 50%が集排汚泥の場合には、おからの混合割合を 37.5%（生ゴミとおからの VS 比 1:3）以下にする必要があることが示された。

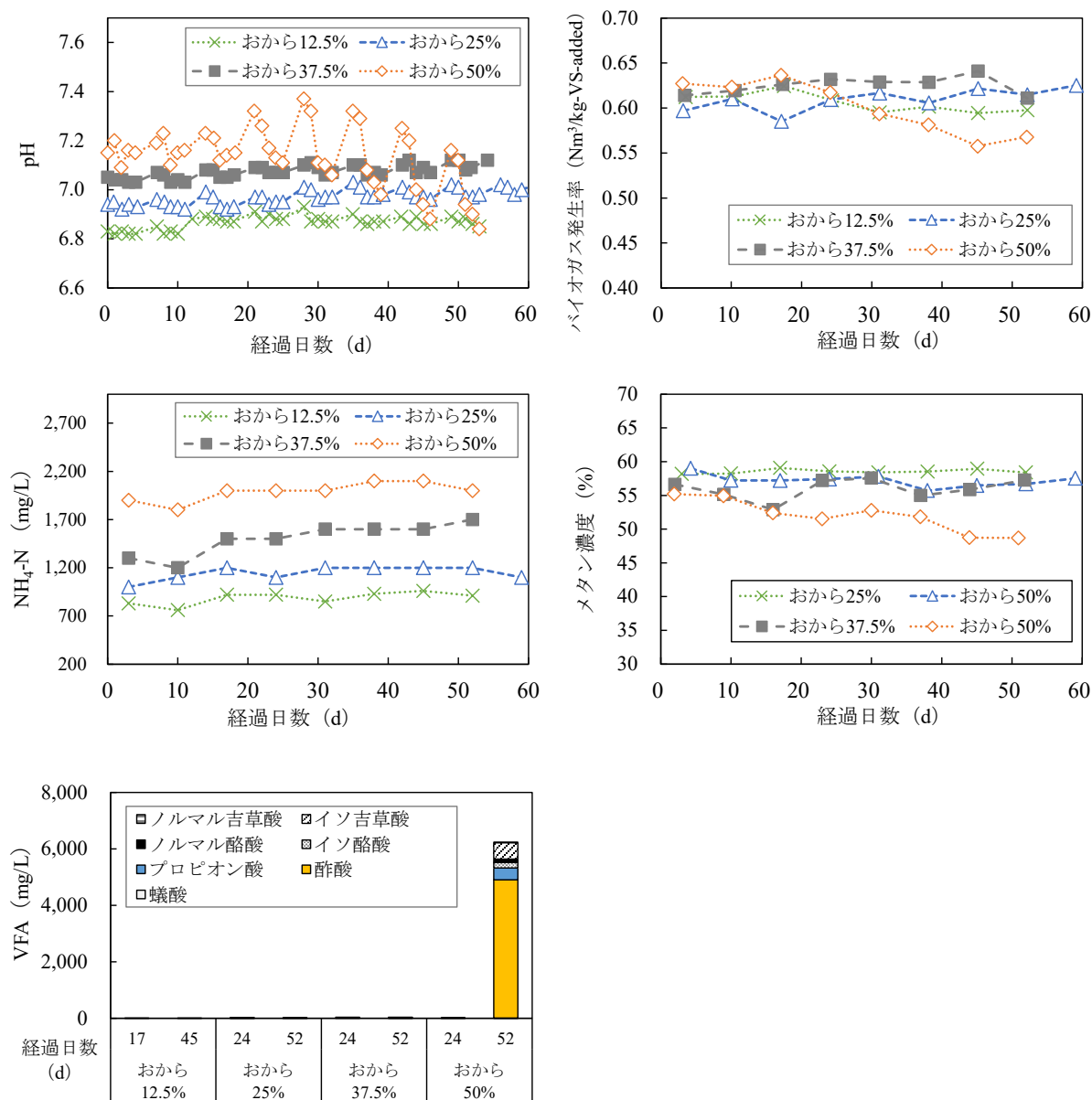


図 6. 6. 7 試験期間中の pH、バイオガス発生率、メタン濃度、NH₄-N、VFA

6.6.8 集排汚泥の混合割合を小さくした場合の影響評価

①はじめに

集排施設にメタン発酵施設を併設することを想定していることから、原料に占める集排汚泥の割合を 50%とすることを基本としているが、バイオガス発生量を増加させることを考えると、ガス発生量が多い生ごみ、農産加工残さ、食品廃棄物等の割合を高める方が有利である。そこで、集排汚泥の割合を 40%とした時のバイオガス発生量の増加分と発酵の安定性を検討した。

②方法

メタン発酵装置 1（図 6.6.1）を用いて、原料に占める集排汚泥の割合を重量比で 40%とし、生ごみとすだち搾汁残さの混合割合を 3 段階に変えた条件で連続式メタン発酵試験を行った。発酵槽の水理学的滞留時間（HRT）を 30 日とし、その時の有機物負荷率は 2.7～3.3kgVS/(m³・d)であった。実験期間中、バイオガス発生量、発酵槽内の pH、NH₄-N、アルカリ度を測定した。また、不足しやすい微量栄養塩が十分な量供給されるように、Co と Ni を添加して行った。

表 6.6.9 メタン発酵試験の運転条件，混合原料の組成

試験条件	原料 (混合割合)	HRT (d)	有機物負荷率 (kgVS/(m ³ ・d))	試験 期間 (d)	TS (%)	VS (%)	TN (%)	C/N 比 (汚泥以外 の C/N 比)
汚泥 40%す だち搾汁 残さ 0%	汚泥 (40%) 生ごみ (60%) すだち搾汁残さ (0%)	30	2.86	42	9.09	8.61	0.280	14.9 (16.8)
汚泥 40%す だち搾汁 残さ 15%	汚泥 (40%) 生ごみ (45%) すだち搾汁残さ (15%)	30	3.00	64	9.52	9.01	0.252	17.0 (19.6)
汚泥 40%す だち搾汁 残さ 20%	汚泥 (40%) 生ごみ (40%) すだち搾汁残さ (20%)	30	3.04	64	9.66	9.14	0.243	17.8 (20.8)

③結果および考察

試験期間中の pH、バイオガス発生量、NH₄-N、アルカリ度の推移を図 6.6.8 に示す。汚泥 40%すだち搾汁残さ 0%、汚泥 40%すだち搾汁残さ 15%の条件では、pH が 6.8～7.1 程度で安定し、バイオガス発生率は他の室内試験と同等であり、メタン発酵が安定的に進行したといえる。生ごみやすだち搾汁残さの割合を高めたことから有機負荷率は汚泥 50%条件よりも 13%高く、その分ガス発生量も増加した。また、汚泥 40%すだち搾汁残さ 15%の条件のように、有機物負荷率が 3.00kgVS/(m³・d)程度でも安定した処理ができることが確認された。一方、汚泥 40%すだち搾汁残さ 20%を超える条件では、pH の低下、バイオガス発生率が単調減少し、発酵不良が懸念された。

以上のことから、集排汚泥、生ごみ、すだち搾汁残さの混合メタン発酵において、汚泥 40%の条件でも、すだちの搾汁残さの割合がそれほど大きくない条件では安定的に発酵が進行し、すだちの搾汁残さの割合 20%以上では発酵不良が生じる懸念があることが示された。

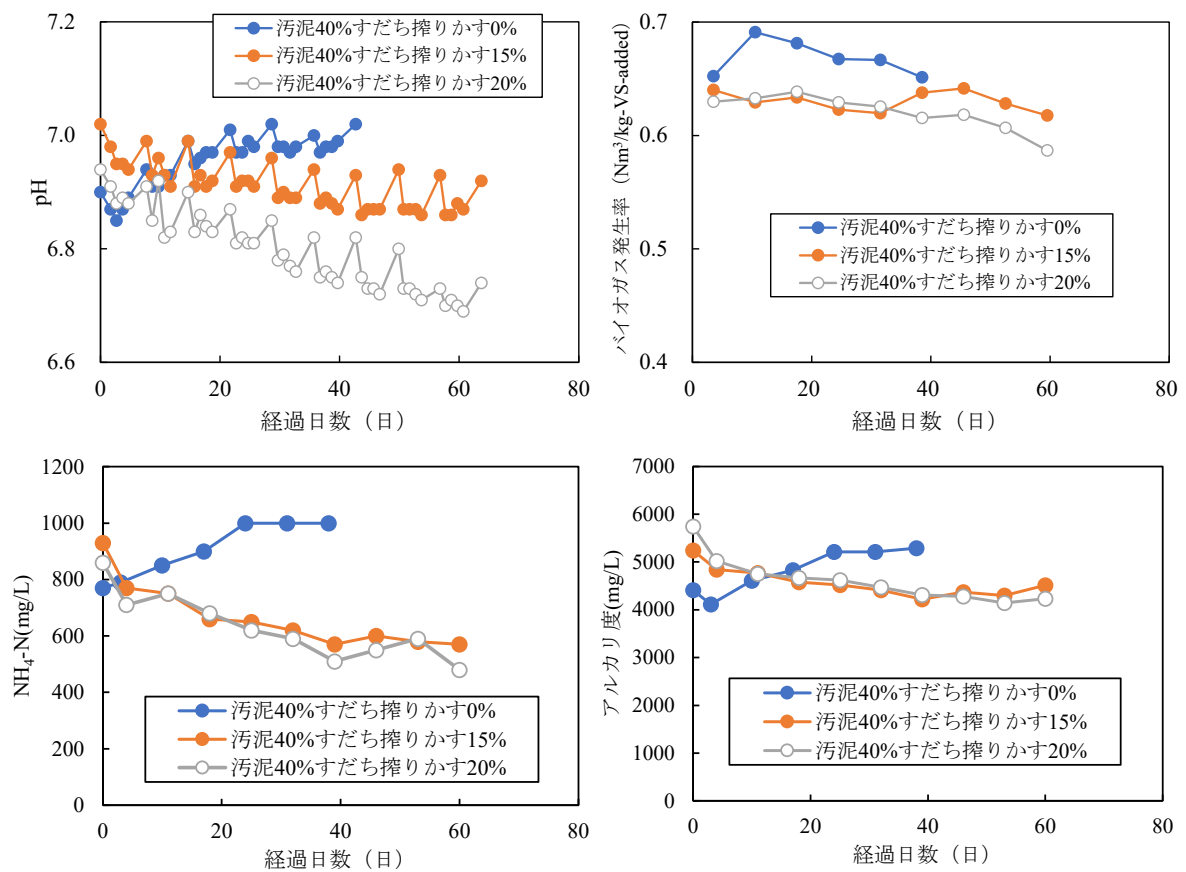


図 6. 6. 8 試験期間中の pH、バイオガス発生率、NH₄-N、アルカリ度

6.6.9 （補足試験）現地汚泥と生ごみを用いた室内発酵試験

①はじめに

現地実証試験では十分な量の生ごみを収集できず、設計の有機物負荷率で運転できなかったため、現地の汚泥と生ごみを用いた室内メタン発酵試験を行い、補足的なデータを取得する。

②方法

メタン発酵装置2を用いて連続式メタン発酵実験を行った。原料として用いた生ごみ、汚泥、種汚泥として用いた消化液の性状を表6.6.10に示す。生ごみは実証施設の生ごみを速やかに冷凍保存したものを試験前に解凍してミキサーで均一化したもの、汚泥は含水率98%に調整したものをを用いた。これら生ごみと汚泥を重量比1：1に混合したものを投入原料とした。原料の投入は週3回でHRT100日/週（0.79kgVS/(m³・d)）から開始し、徐々に負荷を上げていった。試験期間中、バイオガス発生率、発酵装置内のpHを測定した。また主にHRT30条件での値を得ることを目的に、試験開始56日目以降の発酵装置内のNH₄-NとMアルカリ度を測定した。さらに、不足しやすい微量栄養塩が十分な量供給されるように、CoとNiを添加して行った。

表 6.6.10 試験に用いた原料の性状

			含水率 (%)	TS (%)	VS (%)	VS/TS	TN (%)
原料	生ごみ	2020年11月採取分	84.7	15.3	14.5	0.95	
		2021年1月採取分	86.4	13.6	12.9	0.95	
		2021年3月採取分	82.3	17.7	16.9	0.95	
	汚泥	2021年11月採取	97.4	2.65	2.1	0.80	
投入原料	生ごみ：汚泥(1:1)混合物		91.5	8.49	7.92	0.93	0.24
種汚泥	消化液	2021年6～7月採取	98.5	1.48	1.13	0.76	0.22

表 6.6.11 メタン発酵試験の運転条件

	0～20日目	21～34日目	35～48日目	49～62日目	63～104日目	104～110日目
HRT (d) /週	100	60	50	40	30	25
有機物負荷率 (kgVS/(m ³ ・d))	0.79	1.32	1.58	1.98	2.64	3.17

③結果および考察

試験期間中のバイオガス発生率、発酵装置内のpH、および試験開始56日目以降の発酵装置内のNH₄-NとMアルカリ度を図6.6.9に示す。pHは試験開始時の7.7から、負荷の上昇とともに少しずつ低下していったが、HRT30（有機物負荷率：2.64kgVS/(m³・d)）の運転期間中は、約7.4前後で安定していた。また、バイオガス発生率は約0.6Nm³/kg-VS-added（0.60～0.63Nm³/kg-VS-added）で安定しており、6.6.8までの室内試験の結果とほぼ同程度であった。発酵装置内のNH₄-Nは550～700mg/Lであり、6.6.8までの室内試験よりやや低めであったが、アルカリ度は約4,600mg/L（4,470～4,670mg/L）であり、6.6.8までの室内試験の結果と大きく変わらなかった。

以上より、実証施設と同じ原料で設計通りの有機物負荷率で運転した場合でも発酵は安定的に進行し、バイオガス発生率は約 $0.6 \text{ Nm}^3/\text{kg-VS-added}$ であることが示された。

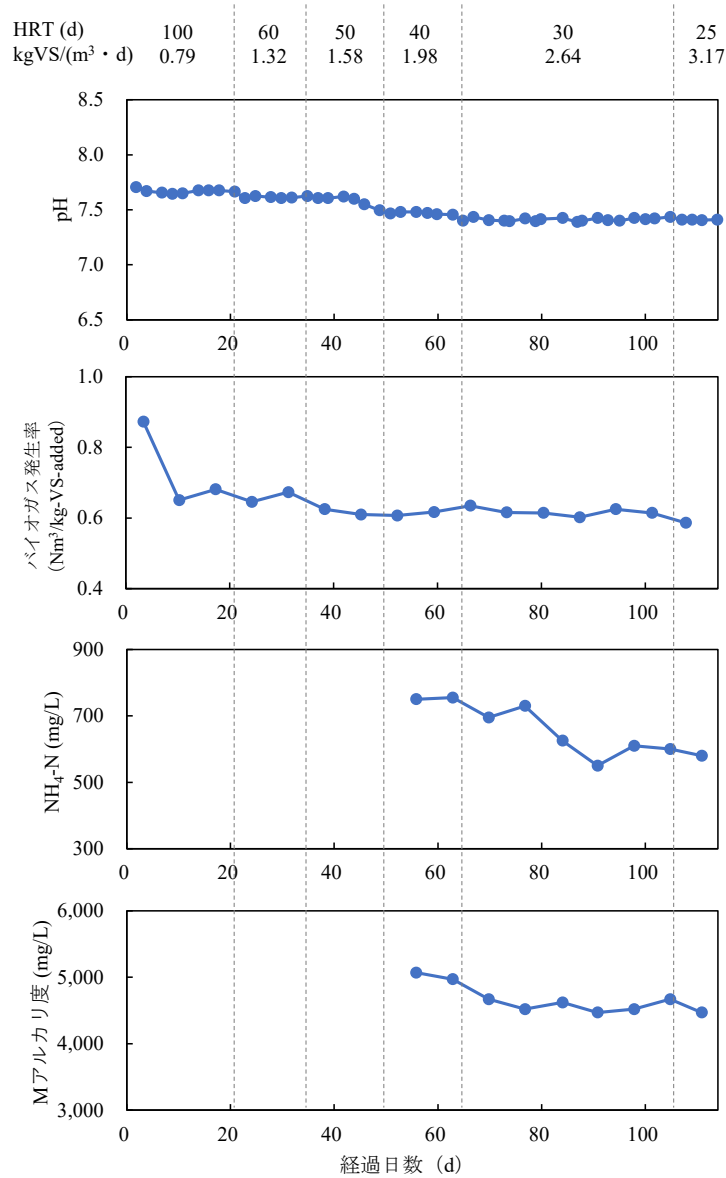


図 6. 6. 9 試験期間中のバイオガス発生率、
発酵装置内の pH、NH₄-N、M アルカリ度

<参考資料・文献>

- 車 基喆、李 玉友、野池達也 (1992) : 低温域における酸発酵特性に及ぼす温度と HRT の影響、衛生工学研究論文集、28、29-37
- Chen, Y., Cheng, J. J. and Creamer, K. S. (2008) : Inhibition of anaerobic digestion process: A review, *Bioresource Technology*, 99, 4044-4064
- 蒲地紀幸、中村真人、大土井克明、折立文子、柴田浩彦、大塚直輝 (2021) : 集排汚泥を活用した小規模メタン発酵による資源循環の実証、農業農村工学会誌、89(11)、27-31
- 李 玉友、水野 修、舩石圭介、山下耕司 (2003) : 二相循環方式高濃度メタン発酵プロセスを用いた生ごみの高速メタン化処理、環境工学研究論文集、40、321-331
- 室山勝彦、太田智久、山出和弘 (1994) : おから懸濁液のメタン発酵に関する研究、環境技術、23(10)、35-43
- 室山勝彦、林卓也、大口宗範、林順一 (2003) : 累積 CO₂排出原単位を指標とした豆腐製造に係わる環境負荷評価、環境科学会誌、16(1):25-32
- 中村真人、柚山義人 (2005) : 各種バイオマス成分のデータベース整備、農業工学研究所技報、203、57-80.
- 中村真人・柴田浩彦・山岡 賢・折立文子 (2020) : 農業集落排水汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵の立ち上げ、2020 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集
- Nakamura M., Shibata H., Yamaoka M. and Oritate F., (2020): Trace metal requirements for anaerobic co-digestion of sewage sludge from rural areas and food waste in Japan, *Water Practice and Technology*, 15(2), 472-481
- 中村真人、柴田浩彦、折立文子、蒲地紀幸、山岡賢 (2022) : 集排汚泥、生ごみ、すだち搾りかすの混合メタン発酵における搾りかすの割合が発酵の安定性に及ぼす影響、農業農村工学会論文集、90(1)、II_43-II_51
- 野池達也 (2009) : メタン発酵、技報堂出版
- 奥野芳男、李 玉友、佐々木 宏、関 廣二、上垣内郁夫 (2001) : 生ごみとし尿汚泥の高濃度メタン発酵に及ぼす滞留時間と発酵温度の影響、環境工学研究論文集、38、141-150
- 折立文子、中村真人、柴田浩彦、蒲地紀幸、山岡賢 (2021) : 農村地域における生ごみのメタン発酵基質としての特性把握、農業農村工学会誌、89(11):33-36
- 折立文子、中村真人、柴田浩彦、蒲地紀幸、山岡 賢 (2021) : 農業集落排水汚泥、生ごみ、おからの混合メタン発酵、2021 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、444-445
- Qiang H., Niu Q. G., Chi Y. Z. & Li Y. Y. (2013) : Trace metals requirements for continuous thermophilic methane fermentation of high-solid food waste. *Chemical Engineering Journal*, 222(15), 330-336
- 朱 愛軍、覃 宇、吳 競、李 玉友 (2020) : 生ごみと紙ごみの中温メタン発酵に及ぼす紙比率と水理的滞留時間の影響、用水と廃水、62(6)、425-434

6. 7 参考となる事例

小規模メタン発酵施設の導入にあたり、ユニット化された施設を導入することも選択肢として考えられる。メリットとしては、ユニット型であり、施設が工場生産されることから、比較的安価かつ維持管理がしやすいことが挙げられる。

【解説】

コンテナ等を用いてユニット化されたメタン発酵施設を導入する事例がある。小規模メタン発酵施設は処理量が少ないため、比較的処理量の割に効果になりやすく、常駐管理できないため、比較的安価かつ維持管理がしやすいユニット化された施設の導入も選択肢として考えられる。

6. 7. 1 野菜加工工場へのユニット化施設の導入

①概要

2019 年、ユーフーズ株式会社徳島工場（徳島県小松島市）において、カット野菜の残さを処理するため、コンテナ型のメタン発酵施設が導入された。図 6. 7. 1 の株式会社ヴァイオス社製の発酵槽 15m³タイプを 2 セット（コンテナは計 4 台）導入し、施工や各種申請は株式会社掛谷（かけや）工務店が実施した。

ガス発生量を踏まえ、発電はしておらず、熱利用を行っている。

処理能力：2 t/日（高温メタン発酵）

発酵槽：30m³（HRT15 日）

施工：2019 年 4 月

総工費：4,900 万円（時期や施工内容によって異なる）

スペック

発酵槽 15m³タイプ (HRT15 日)



処理能力：1m³/日処理

スラリー状にした原料（含水率90%有機分率10%）

ガス発生量：バイオガス30m³/日（濃度55%）

重量：5.0t（発酵コンテナ・設備コンテナ）

20feetコンテナに収納可能な コンパクトサイズ

現地で配管や電気に接続するだけで設置が容易です。



図 6. 7. 1 ヴァイオス製メタン発酵施設

②経緯

ユーフーズ株式会社徳島工場では、キャベツをカット野菜に加工しており、発生する野菜残さの処理に困っていた。メタン発酵による処理方法を知り、関係各者の熱意により施設を導入し、稼働することとなった。

③施工

コンテナは、船舶による国際輸送で用いる、国際規格の海上コンテナを流用している。
コンテナを支える部分については、鉄筋を組み、傾きがないようにしている。



写真 6.7.1 基礎施工状況

クレーンでコンテナを吊り上げ、メタン発酵施設を設置する。



写真 6.7.2 メタン発酵施設設置状況

(左下は混合槽・ガスボイラー、右下はメタン発酵槽)



写真 6.7.3 メタン発酵施設状況（左上 メタンバルーン、右下 脱硫装置）

④効果

野菜残さの廃棄費用 2.8 万円/日（1t 当たり 1.4 万円）が不要となった。

また、ザル等の洗浄水は 100℃の水を用いているが、80℃くらいまでメタン発酵で発生するメタンガスを用いて温めることができ、ガス代が節約できる。なお、冬はメタン発酵槽の加温に熱が多くいるため、洗浄水の加温に使える熱は少なくなる。

⑤維持管理

定期的にユーフーズ株式会社徳島工場の社員が pH 等を計測しており、2 か月に 1 回株式会社ヴァイオスの社員がメンテナンスを行っている。

6.7.2 事業系食品廃棄物を用いた小型メタン発酵装置の導入

SAISEI 合同会社は、福島県郡山市のような中核市を拠点としたバイオガス社会システムの構築を考えている。メタンガス生産のため安定した有機資源確保が見込める中核市郊外に、発生量に準じた大型メタン発酵装置を配置し、バイオガス発電事業や熱利用による温泉事業などを行うだけでなく、中核市近辺の市町村（農村）へ農業生産規模に応じた農業用小型メタンガス発酵装置を配置し、農村への肥料供給事業などを行うとともに、生産される 熱・電気・肥料を活用して農作物を生産することを考えている。



写真 6.7.4 大型メタン発酵装置
処理能力 5～10t/日



写真 6.7.5 小型メタン発酵装置
処理能力 0.3～0.5 t/日

今後、コンビニエンスストアの事業系食品廃棄物等を用いてメタン発酵を行い、消化液のバイオ液肥としての利用、農業用ハウスへの熱利用の実施を進めているところである。

メタン発酵槽は地中に埋設することにより、保温性を良くし、臭気対策にもなる。

これらの取組により、下図のようなバイオガスを活用した農村形成をイメージしている。

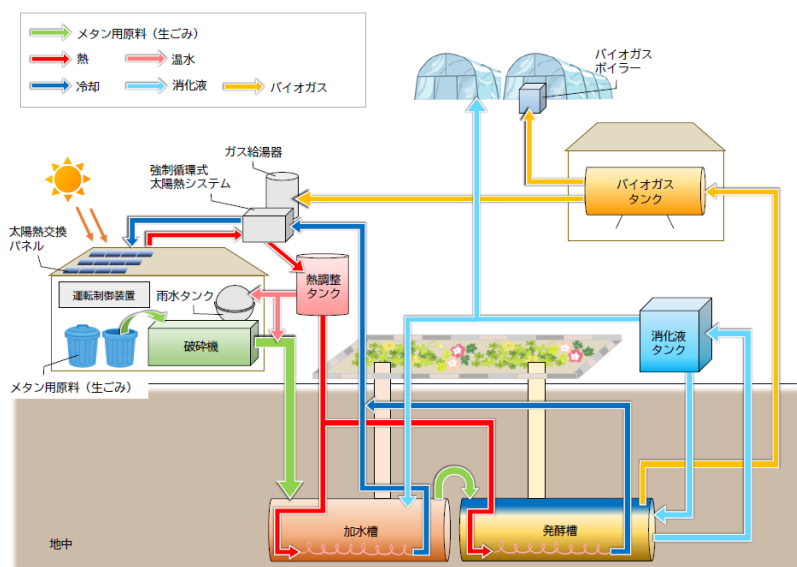


図 6.7.2 メタン発酵施設の導入イメージ

おわりに

メタン発酵の技術自体はかねてから実用化されている技術である一方、集排施設に併設した場合のメタン発酵、バイオ液肥の利用に代表される、小規模施設特有の問題に対処する必要があった。

得られた主な成果は下記の通りである。

- ・ 集排施設に併設した小規模メタン発酵施設の稼働が可能であることを実証
- ・ メタン発酵の立ち上げから原料配合割合を変えたメタン発酵における発酵安定条件の解明
- ・ バイオ液肥の肥料効果を確認し、資源循環や化学肥料削減に貢献可能なことを実証
- ・ 小規模メタン発酵施設導入による経済性の評価及び地球温暖化防止効果算定
- ・ 実証施設稼働による稼働データやトラブル対応等の蓄積

また、規模に関わらず、今まで取組がなされていなかった新しい知見も含んでいる。

- ・ 柑橘類を原料としたメタン発酵、消化液の性状
- ・ 柑橘類の果樹へのバイオ液肥施用
- ・ 加熱殺菌がバイオ液肥の肥料効果に及ぼす影響

得られた知見は集排施設の新たな可能性を示したものとどまらず、下水道事業等でも活用でき、SDGs、COP、みどりの食料システム戦略等に掲げられている持続可能な開発、脱炭素、資源循環、肥料価格高騰に対応できると自負している。

課題は残っているが、今後の農業関係者及び消費者の理解、技術の進展その他創意工夫によって解決していけるものと考えている。

- ・ 小規模施設のため建設費及び維持管理費が割高
- ・ バイオ液肥の施用に関する農家及び消費者の理解
- ・ バイオ液肥の施用等、発生する消化液を安価に処理・利用

謝辞

実証試験の実施について徳島県佐那河内村、バイオ液肥のほ場試験について松山油脂株式会社山神果樹薬草園及び徳島県立農林水産総合技術支援センター、バイオ液肥の散布効率化について京都大学大土井克明先生にご協力いただいた。

実証事業及び本手引きの推進・作成については、愛媛大学治多委員長を始めとし、特に、小規模メタン発酵施設立ち上げ等について東北大学李委員にご協力いただいた。ここに記して、謝意を表す。