

令和6年度沖縄型クリーンエネルギー導入促進調査事業

ゼロ・エミッション指向バイオマスエネルギー計画

(通称：Project ZEE)

調査事業報告書

令和7年3月

株式会社沖縄クリーン工業

一般社団法人地域循環資源エネルギー開発機構

令和6年度 沖縄型クリーンエネルギー導入促進調査事業報告書
ゼロ・エミッション指向バイオマスエネルギー計画（通称：Project ZEE）

目次

0. 序	
0.1 沖縄県におけるバイオマス系廃棄物の現状	・ ・ ・ ・ ・ P4
0.2 沖縄県における再生可能エネルギーの現状と展望	・ ・ ・ ・ ・ P5
0.3 本事業の目的	・ ・ ・ ・ ・ P6
1. 調査概要	
1.1 調査対象（対象となるバイオマス, 対象地域等）	・ ・ ・ ・ ・ P7
1.2 調査内容と調査方法（調査対象項目, 技術, 調査の方法）	・ ・ ・ ・ ・ P8
1.3 調査スケジュール	・ ・ ・ ・ ・ P10
2. バイオマス資源量の調査	
2.1 対象地域の一般廃棄物（金武町, 宜野座村）	・ ・ ・ ・ ・ P11
2.2 対象の産業廃棄物（畜産, 下水, 食品, グリース T, P スラッジ）	・ ・ P14
2.3 エネルギー源としての可能性	・ ・ ・ ・ ・ P18
3. 収集運搬および前処理技術の調査	
3.1 収集運搬方法の現状（金武町, 宜野座村）	・ ・ ・ ・ ・ P21
3.2 バイオマス資源の分別技術	・ ・ ・ ・ ・ P23
3.3 前処理技術の現状と分析	・ ・ ・ ・ ・ P27
4. エネルギー化中核技術の調査	
4.1 乾式メタン発酵技術	
4.1.1 視察調査1（オリックス資源循環株式会社）	・ ・ ・ ・ ・ P28
4.1.2 視察調査2（株式会社富士クリーン）	・ ・ ・ ・ ・ P30
4.1.3 視察調査3（防府市クリーンセンター）	・ ・ ・ ・ ・ P32
4.2 固体燃料関連技術	
4.2.1 炭化（文献, 御笠川浄化センター）	・ ・ ・ ・ ・ P34
4.2.2 油温乾燥（御笠川浄化センター）	・ ・ ・ ・ ・ P36

4.2.3	堆肥化による自然乾燥	P40
4.2.4	視察調査（長崎油飼工業株式会社・ゆがふ製糖株式会社）	P43
4.3	亜臨界加水分解技術	
4.3.1	面談調査1（亜臨界水反応総合技術研究会）	P45
4.3.2	視察調査（長崎油飼工業株式会社）	P48
4.3.3	面談調査（三菱重工業株式会社）	P49
4.3.4	亜臨界加水分解技術のまとめ	P51
4.4	熱分解技術	
4.4.1	文献調査1	P54
4.4.2	文献調査2	P57
4.4.3	視察調査（カラル株式会社）	P60
4.5	調査結果と評価	
4.5.1	技術の適用性	P63
4.5.2	経済性の分析	P65
5.	地域連携に関する調査	
5.1	自治体による事業化1（真庭市）	P68
5.2	自治体による事業化2（笠岡市）	P71
5.3	地域再生推進法人（北中城村）	P73
6.	要素技術の組み合わせによるシミュレーション	
6.1	事業実施シナリオ	P75
6.2	シミュレーションの方法と結果1（事業収支試算）	P77
6.3	シミュレーションの方法と結果2（エネルギー収支と二酸化炭素排出量試算）	P79
6.4	電力販売方法に関する調査	P82
7.	調査結果のまとめと評価	P88
8.	将来展望と課題	P90
9.	終わりに	P93

参考資料

<試験結果報告書>

- ① 乾式メタン発酵ポテンシャル試験報告書（株式会社富士クリーン）
- ② ゼロ・エミッション指向バイオマスエネルギー計画における熱量特性の研究（琉球大学）
- ③ 熱分解による排出物（ガス・オイル・チャー）の分析（株式会社琉球ラボラトリー）

<乾式メタンプラント構成図>

寄居バイオガスプラント（オリックス資源循環株式会社）

0. 序

0.1 沖縄県におけるバイオマス系廃棄物の現状

沖縄県の多くの自治体では、厨芥、紙ゴミ、草木等のバイオマス系一般廃棄物を「燃やせるゴミ」に分類しており、一部の紙ゴミが再生紙の原料になる他は、ほとんどの自治体あるいは事務組合の焼却炉において焼却処分されている。バイオマス系廃棄物は焼却処分されてもそれ自体はカーボンニュートラルとして捉えられるため、温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）の排出はないものとして扱われている。

一方、バイオマスはそれ自体がある程度の熱量を持つカーボンニュートラル燃料であり、それをただ単に焼却灰にするだけでは資源の無駄遣いという見方もできる。一般廃棄物の焼却炉に熱回収装置を付けて廃熱を利用した発電、いわゆるゴミ発電を行っている施設は、沖縄県内では那覇市・南風原町環境施設組合、倉浜衛生施設組合および中部北環境施設組合の3箇所だけである。この3箇所の地域には沖縄県の総人口の約52%の住民が生活しているが、残りの半分近くの人口から排出されるバイオマス系廃棄物は、一般的な焼却炉で焼却され灰になるだけである。間欠運転の焼却炉では立上げ・立下げ時に二酸化炭素排出源となる化石燃料の助燃剤を使用しており、特に厨芥等のバイオマス系廃棄物は水分が多いので、多くの助燃剤を必要とする。

バイオマス系の産業廃棄物である木質建設廃材、畜産廃棄物、食品残渣、剪定枝や刈草等の一部は、木質ペレットや消化ガス発酵によるエネルギー化と、堆肥やマルチング材等として再利用されているが、そのようなリサイクルは地域的にも量的にも限定的である。下水汚泥に関しては、県が管理する那覇、宜野湾、西原、具志川の4箇所の流域下水道浄化センターと名護市及び糸満市の公共下水道浄化センターにおいて消化ガス発酵による発電や熱供給としてエネルギー化が行われている。消化ガス発酵の残渣も堆肥として利用可能であるが、現状では需給の季節変動などの要因により、廃棄物由来の堆肥がすべて有効利用されているとは言い難い。資源ゴミとして回収された一般廃棄物の紙ゴミや、製紙工場や新聞印刷工場等から排出される産業廃棄物の紙ゴミは、再生紙としてリサイクルされるものが多いが、その再生紙の製造過程で排出される製紙スラッジは再度、産業廃棄物の汚泥となる。なお、県内の13の製糖工場ではバガスを燃料として発電しており、うるま市には輸入バイオマスであるパームヤシ殻を燃料とする発電所があるが、これらの燃料は廃棄物ではない。

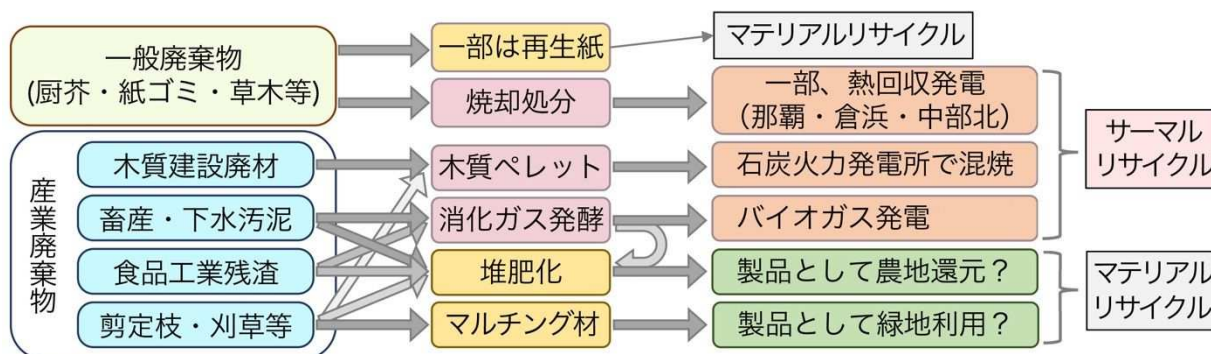


図 0-1 バイオマス系廃棄物のリサイクル

沖縄県内における一部のバイオマス系廃棄物は、熱回収型の焼却炉、木質ペレット、消化ガスとしてのサーマルリサイクルと、再生紙や堆肥等としてのマテリアルリサイクルの資源となっているが、まだそのリサイクル率が低く、助燃剤を使って焼却処分されるものが多い。以上のバイオマス系廃棄物の処理状況の概要を図 0-1 に示す。また、バイオマス系廃棄物と沖縄の生活環境との関係を図 0-2 に示す。

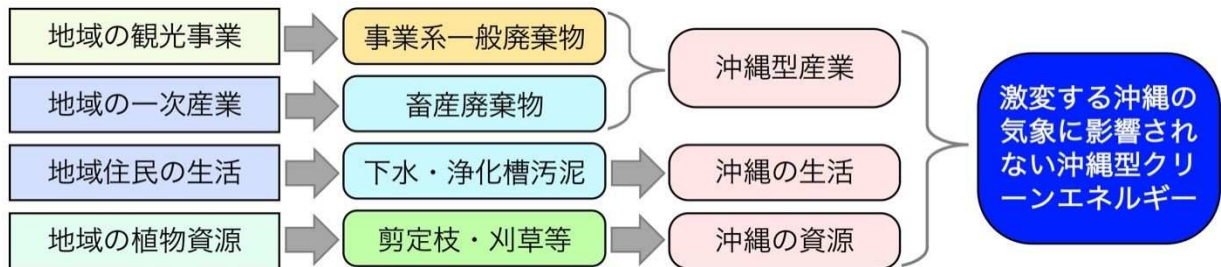


図 0-2 沖縄県の生活環境とバイオマス系廃棄物

0.2 沖縄県における再生可能エネルギーの現状と展望

沖縄県のエネルギーイニシアティブ（2022）によると、2020年時点での電源に占める再生可能エネルギーの割合は総電源供給量約 8TWh の 6.4%に当たる 516GWh であった。その構成は約 80%に当たる 413GWh が太陽光発電であり、バイオマス発電はゴミ発電を含めて約 12%に当たる 63GWh である。2020年はうるま市の輸入バイオマス発電所は稼働していないが、2024年にはこの発電所の発電実績が 31.4GWh であり、バイオマスによる総発電量は約 100GWh となる。そのほかの再生可能エネルギー源による発電には風力と中小水力があるが、これらは合計で約 40GWh であり、再生可能エネルギー電源の約 7.6%に当たる。その他の再生可能エネルギーとして、沖縄では海洋温度差発電や波力発電が期待されるが、まだ実験レベルであり経済性はない。なお、沖縄には実用可能な地熱源はない。

沖縄県のエネルギーイニシアティブでは、意欲的な目標として再生可能エネルギー電源比率を 2030 年には 18%に引き上げ、さらに挑戦的な目標として 26%を目指すこととしている。その目標に向けての可能性として、太陽光発電が技術的には最も容易で経済性も高いが、日周変動や年周変動、天気による変動が大きいことから蓄電等の必要性が問題となる。風力には同様の問題に加えて台風に対する対応の問題が付加される。中小水力発電も沖縄では河川が短く水量の変動が大きいことから、適地が非常に限られる。地熱のない沖縄では海洋エネルギーへの期待があるが、現状では経済的メリットがほとんどない。一方、バイオマスは安定電源となり得るエネルギー源であり、特に地産の廃棄物を活用するバイオマスは、廃棄物の適正処理やリサイクルに通じるもので、環境に対する副次的な効果も期待できる。欠点は、バイオマス資源は広く薄く分布するため、エネルギー密度が低く収集運搬やエネルギー変換設備が大規模で高額になりやすいので経済性の評価が厳しい点と、廃棄物処理の側面を持つため、臭気や排水等の環境対策が非常に厳しい点である。

以上の沖縄県における再生可能エネルギーの分布を図 0-3 に示す。

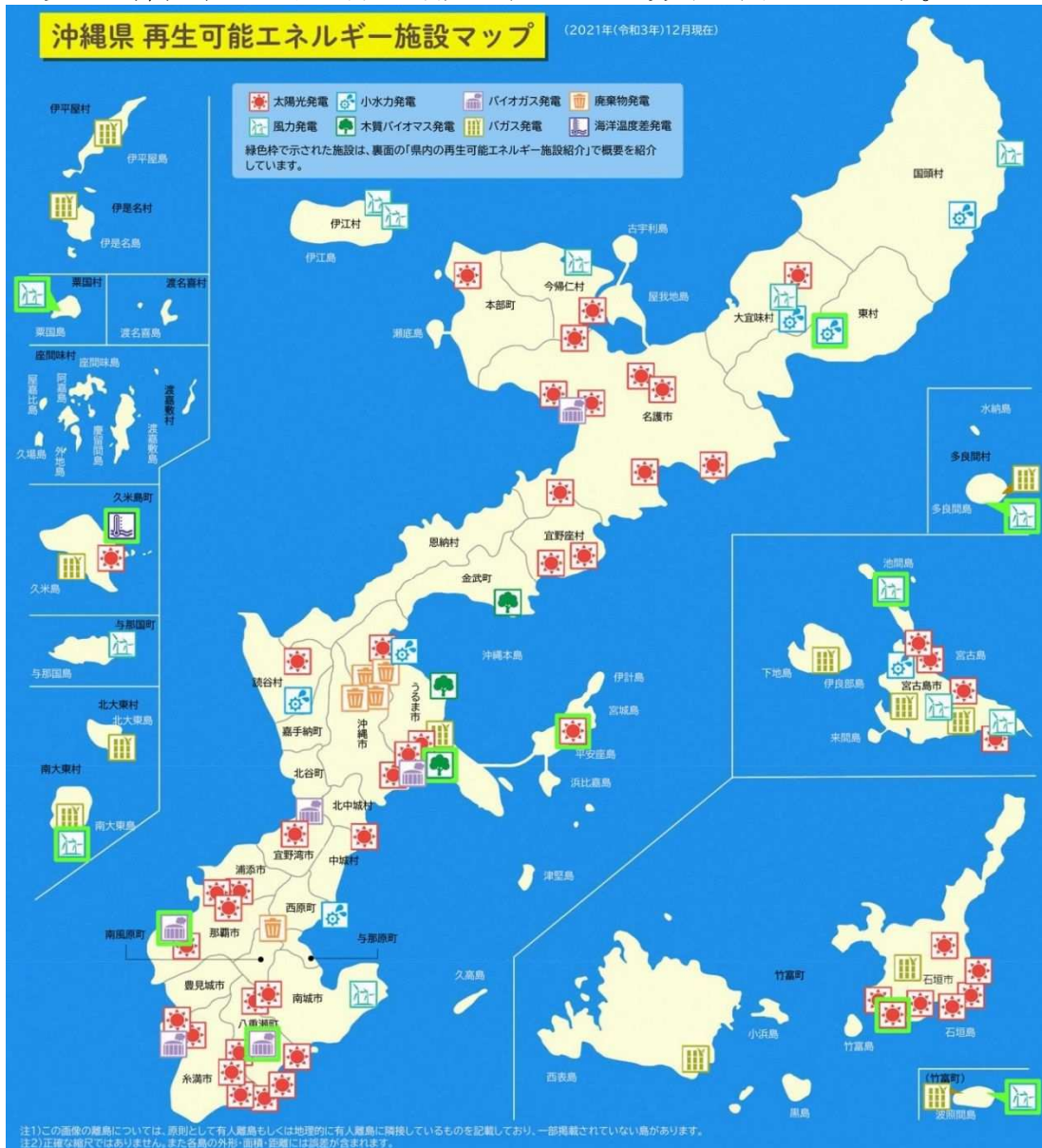


図 0-3 沖縄県の再生可能エネルギー分布（エネルギーイニシアティブより）

0.3 本事業の目的

本事業は特定の地域で排出される多様なバイオマス系廃棄物の完全なエネルギー化を目的として、利用可能なバイオマス資源量、その収集運搬、エネルギー化の技術、残渣処理、焼却灰の処理等に関する調査を行い、その結果をエネルギー、二酸化炭素、経済性及び社会性から評価するものである。この事業には廃棄物の適正処理及びリサイクルという側面も含まれる。対象とする地域はバイオマス原料の収集運搬を考慮して比較的小規模に抑え、小規模離島等への水平展開も視野に入れる。

具体的には、金武町及び宜野座村において発生する畜産廃棄物、下水汚泥等の安定的に排出されるバイオマス資源を主原料として、消化ガス発酵、熱分解による可燃性ガス、亜臨界加水分解、固体燃料化、バイオ灰ラー等のエネルギー化に関わる要素技術の構成を検討し、最適なシステムの提案を目指す。

1. 調査概要

1.1 調査対象（対象となるバイオマス，対象地域等）

本事業の調査対象は大きく分けるとバイオマス資源とエネルギー変換技術の2項目になる。バイオマス資源の調査対象は、主として金武町と宜野座村の両自治体で発生する一般廃棄物と産業廃棄物である。対象とする両自治体の概要を図1-1に示す。

本事業の計画段階では上述の通りであったが、調査過程において産業廃棄物については両自治体以外でも利用可能性があるものに対象を広げた。具体的にはうるま市のゆがふ製糖で発生するバガス、昭和製紙で発生する製紙スラッジ、沖縄クリーン工業が収集したグリーストラップ汚泥や伐採木である。これらを含めて、調査対象とする廃棄物の種類を表1-1に示す。

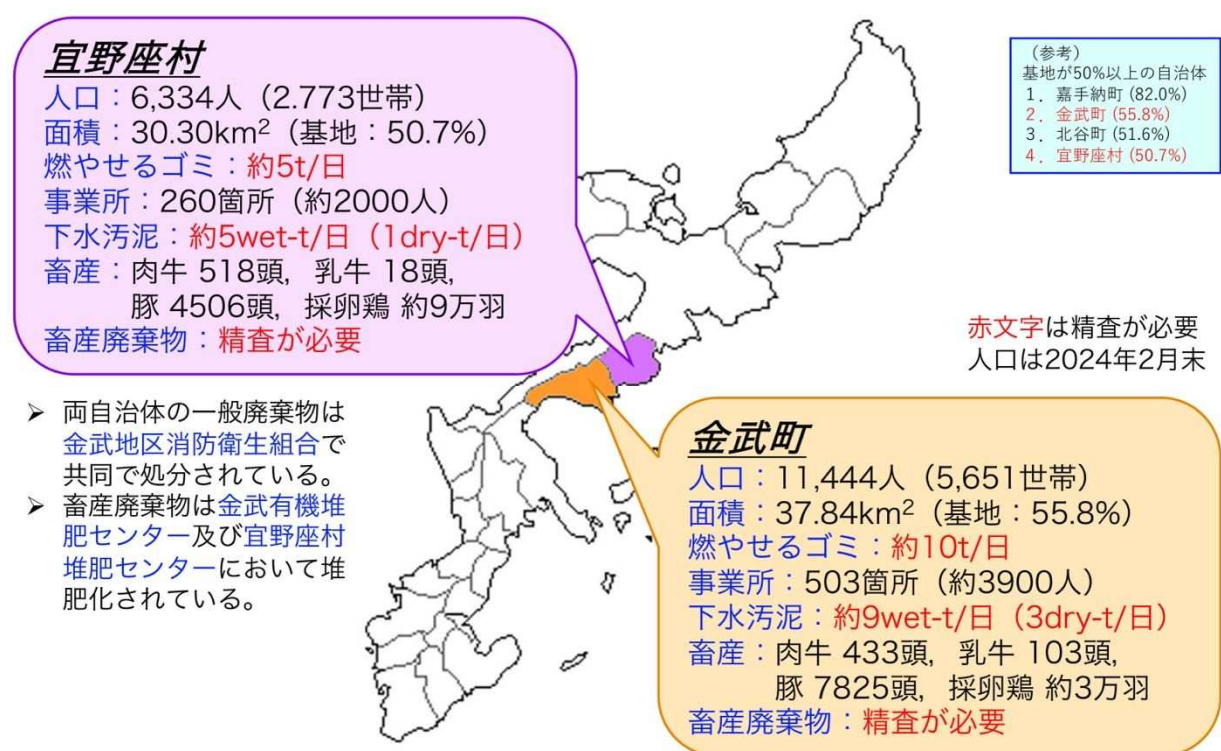


図1-1 調査対象の自治体（金武町，宜野座村）の概要

表1-1 調査対象の廃棄物の種類

地域	一般廃棄物	産業廃棄物
金武町	可燃ゴミ，浄化槽汚泥	畜産廃棄物，余剰堆肥
宜野座村	可燃ゴミ，浄化槽汚泥，伐採木	畜産廃棄物，伐採木，余剰堆肥，農業集落排水汚泥
うるま市		製紙スラッジ，バガス，伐採木，グリーストラップ汚泥

本事業の対象となるバイオマス資源が主として有機汚泥であるため、調査対象となるエネルギー変換技術は、一般的に用いられている消化ガス発酵と固体燃料化が中心となる。さらに、それらに関連する技術として、亜臨界水反応による低分子化や水分調整、脱水乾燥技術が挙げられる。廃棄物処理では一般的な破袋、破碎、選別等の技術は、エネルギー化とは直接関わらないので、今回の対象としない。また、バイオディーゼルや SAF 等の液体燃料に関わる技術も資源の違いから調査対象としない。以上の観点から、調査対象技術を種別も含めて以下にまとめる。

- 1) 消化ガス発酵：乾式メタン発酵（縦型，横型），湿式メタン発酵
- 2) 固体燃料化：油温乾燥，炭化，堆肥化による乾燥
- 3) 関連技術：亜臨界加水分解，固体熱分解，バイオボイラー

その他の調査対象として、地域との連携を調査対象とする。バイオマスは非常に地域性の強い資源であり、まさに地産のエネルギー供給となり得る。そのため、地域の自治体や住民、事業者との関係が重要となるので、その事例を調査する。具体的には国内では岡山県真庭市、北中城村、海外ではドイツのシュタットベルケ (Stadtwerke, 都市公社) を対象とする。なお、自治体が行なっている一般廃棄物の収集・処理事業は、ゴミ発電も含めて本事業の調査対象としない。

1.2 調査内容と調査方法（調査対象項目，技術，調査の方法）

金武町、宜野座村のバイオマス資源の調査に関しては、自治体職員へのヒアリングや処理施設の現地調査及びヒアリングにより、データ収集を行う。なお、金武町の畜産廃棄物から堆肥を生産している金武有機堆肥センターは沖縄クリーン工業が管理しているため、自前のデータも活用する。これらの調査の内容は、実際に活用可能なバイオマス系廃棄物の量、堆肥化により有効利用されている量、収集運搬の実態、廃棄物処理方法、処理に必要なエネルギー、残渣の処理方法、最終処分量である。

調査対象となるうるま市の産業廃棄物の中で、グリーストラップ汚泥と伐採木は沖縄クリーン工業が収集、処理を行っているので、自前のデータや処理法がそのまま調査内容になる。製紙スラッジは、昭和製紙を訪問して古紙再生の現場を見学し、その過程で発生する製紙スラッジの量をヒアリングする。バガスは、ゆがふ製糖を訪問してバガスの発生とそれを発電燃料に使用する現場を見学し、バガスの量やその季節変動についてヒアリングする。なお、製糖工場のバイオマスボイラーも調査対象であるので、これについても見学及びヒアリングにより調査する。

エネルギー変換技術は、まず文献調査、実際にはネット上の調査である。多くの先進事例が沖縄県外にあるため、そのほとんどが出張調査となる。沖縄県内では沖縄クリーン工業の伐採木のオガコ製造とゆがふ製糖のバイオマスボイラーである。出張調査できない場合は、オンラインでのヒアリングを行う。

自治体・地域との連携に関しては、真庭市と北中城村を対象とするが、これらの自治体はそこに立地する施設の調査を兼ねて現地調査を実施する。シュタットベルケの

意味（Stadt：都市，Werke：仕事，工場，設備等）は、ドイツやオーストリア等で行われている一種の自治体公社であり、エネルギー供給や廃棄物処理だけでなくインフラや公共交通の維持管理等も行っているところもある。ネット上の情報検索に加えて、本事業とは別件でドイツ出張の際に現地調査を行う。

以上の調査内容と調査方法の概要を表 1-2 に示す。

表 1-2 調査内容と調査方法

	調査対象	調査内容	調査地・事業者
資	金武町一般廃棄物	排出量，分別状態	金武町役場担当課
資	金武町浄化槽汚泥	排出量，処理状態	金武町役場担当課
資	金武町畜産廃棄物	排出量，堆肥化量	金武町役場担当課
資	金武町余剰堆肥	処理量，余剰量，季節変動	金武有機堆肥センター
資	宜野座村一般廃棄物	排出量，分別状態	宜野座村役場担当課
資	宜野座村下水汚泥	排出量，処理状態	宜野座村役場担当課
資	宜野座村伐採木	排出量，処理状態	宜野座村堆肥センター
資	宜野座村余剰堆肥	処理量，余剰量，季節変動	宜野座村堆肥センター
資	製紙スラッジ	排出量，処理状態	昭和製紙
資	バガス	排出量，処理状態	ゆがふ製糖
資	伐採木オガコ	処理量，利用状態	沖縄クリーン工業
資	グリーストラップ汚泥	収集量，処理・利用状態	沖縄クリーン工業
技	縦型乾式メタン発酵	施設規模，処理システム，残渣処理，消化ガス利用	オリックス資源循環，富士クリーン
技	横型乾式メタン発酵	(同上)	防府市クリーンセンター
技	湿式メタン発酵	(同上)	かぶとバイオファーム，真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合，EM 研究機構
技	油温乾燥	運転状態，固体燃料製品	福岡県御笠川浄化センター
技	炭化	運転状態，固体燃料製品	福岡県御笠川浄化センター
技	堆肥化乾燥	堆肥水分量，処理過程	金武有機堆肥センター
技	亜臨界加水分解	施設規模，処理システム，残渣処理，製品用途，消費エネルギー	オートレム，(一社) 亜臨界水反応総合技術研究会，長崎油飼工業
技	固体熱分解	処理システム，前後処理	カラル
技	バイオボイラー	施設規模，熱利用法	長崎油飼工業，ゆがふ製糖
連	市，農家，JA の協力	事業推進体制，施設整備等	真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合
連	地域再生推進法人	地域再生推進法人の事業	EM 研究機構
連	シュタットベルケ	事業項目，推進体制	ドイツの複数都市

注) 資：バイオマス資源，技：エネルギー関連技術，連：自治体・地域との連携

1.3 調査スケジュール

調査全体のスケジュール感を図 1-2 に示す。ここには前述の調査対象以外に本事業全体に関わるシステムのシミュレーションや将来検討を含むものである。また、当初の予定なので、進捗により変化する可能性がある。

事業内容/月	2024 (令和6) 年									2025 (令和7) 年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 資源量調査	→											
(2) 収集運搬調査	→											
(3) 前処理技術		→										
(4) エネルギー化		→										
(5) 製品販売検討			→									
(6) シミュレーション			→									
(7) 効果の評価			→									
(8) 将来展望検討									→			
(9) 成果報告書										→		

図 1-2 調査スケジュール

2. バイオマス資源量の調査

2.1 対象地域の一般廃棄物（金武町，宜野座村）

1. 調査対象地域の概要

本調査の対象地域は、金武地区消防衛生組合（構成：金武町、宜野座村）である。当該地域は循環型社会の構築を目指し、3R（リデュース、リユース、リサイクル）を基盤とした廃棄物処理計画を策定している。令和6年度の計画は中間見直しとして、現状の廃棄物発生状況、処理能力、資源化の可能性を評価することを目的とする。

2. 一般廃棄物の現状

(1) 廃棄物排出量

- 1人1日あたりのゴミ排出量は全国平均（890g）、県平均（881g）を超えている。
 - 金武町：1,040g
 - 宜野座村：1,012g
- 特に生活系ゴミの排出量が多く、食品廃棄物が大きな割合を占めている。

(2) リサイクル率

- 令和3年度のリサイクル率は15.9%（全国平均19.9%）であり、改善の余地がある。
- 焼却灰の再資源化（325トン）が行われているものの、分別・回収率の向上が課題となっている。

(3) 最終処分場の状況

- 焼却残渣や不燃物の埋立処分場の容量が限界に近づいている。
- 新たな最終処分場の整備が必要であり、計画が進行中である。

3. 生ゴミ・食品残渣の処理状況

(1) 現状

- 生ゴミや食品残渣は生活系ゴミの中で大きな割合を占める。
- 現在は焼却処理が中心であり、熱回収によるエネルギー利用が行われている。
- 水分含有量が高く、燃焼効率の低下やコスト増加の要因となっている。

(2) 課題と改善策

- 水切りの徹底：家庭・事業者での水切り作業の推奨（家庭ごみ1世帯あたり20～40g/日削減目標）。
- 食品ロス削減運動：住民啓発（賞味期限管理、てまえどり運動）、飲食店と連携した3010運動の推進。
- 堆肥化・飼料化の推進：
 - 現在、剪定枝の堆肥化が実施されているが、生ゴミの堆肥化計画は未定。
 - 一部地域での試験導入の可能性について検討中。

4. 収集・運搬体制

(1) 収集方法と頻度

- 収集対象：金武町・宜野座村全域（収集率100%）
- 収集方式：
 - 生活系ゴミ：各家庭から「もやせるゴミ」「もやせないゴミ」「資源ごみ」「粗大ごみ」を分別収集
 - 事業系ゴミ：許可業者との契約による収集・運搬
- 収集頻度：
 - もやせるゴミ：週2回
 - もやせないゴミ：週1回
 - 資源ごみ：月2回
 - 粗大ごみ：有料申込み制

(2) 課題と改善策

- 高齢者・障害者向けの収集支援体制の検討。
- 「小型家電」「プラスチック容器包装」の分別品目追加。
- 事業系ゴミの分別徹底とリサイクル促進。

5. 廃棄物処理費用

(1) 費用の現状

- 令和3年度の総費用：2億4,380万円（前年度比増加）。
 - 内訳：
 - 中間処理費（焼却・リサイクル）：72%
 - 収集運搬費：変動あり
 - 最終処分費（埋立・焼却残渣処理）
- 1人あたり年間13,763円、1世帯あたり29,584円の費用負担。

(2) 費用削減策

- リサイクル率向上による最終処分費の抑制。
- 収集・運搬体制の効率化によるコスト削減。
- 国・県からの補助金活用、料金見直しの検討。

6. バイオマス資源化の可能性

(1) 現状

- 剪定枝や木材の一部が宜野座村堆肥化センターでリサイクルされているが、生ゴミや食品残渣の堆肥化・バイオガス化の計画は明記されていない。
- 焼却による熱回収が中心となっている。

(2) 今後の方向性

- 生ゴミの堆肥化の可能性：農業活用に向けた試験導入を検討。
- バイオガス発電：現時点では具体的な計画はないが、可能性の調査を進める方針。

7. まとめ

本調査により、金武地区消防衛生組合の一般廃棄物処理の現状、課題、および今後の改善策が明らかになった。特に、生ゴミの排出量削減と資源化が課題であり、今後の堆肥化・バイオガス化の可能性について引き続き検討が求められる。また、リサイクル率の向上と処理費用削減の両立を図り、持続可能な廃棄物処理システムの構築を目指す。

2. バイオマス資源調査

2.2 対象地域の廃棄物（畜産，下水，食品，グリストラップ，ペーパースラッジ）

1. 調査の目的

本調査は、沖縄県におけるクリーンエネルギー導入促進を目的とし、金武町および宜野座村における廃棄物処理・資源循環の実態調査を行い、持続可能なエネルギー活用の可能性を探るものである。地域の課題を把握し、最適な技術導入の方向性を示す。

2. 調査方法

2.1. 文献調査

- 地域の廃棄物処理計画、温暖化対策実行計画、下水道事業戦略を精査し、現状の課題と政策の方向性を分析。
- 国・県・自治体が公表する環境・エネルギー政策に関する資料を収集し、事前調査レポートを作成した。金武町の下水道事業要約、第2次金武町温暖化対策実行計画要約、金武地区消防衛生組合の令和6年ゴミ処理計画要約、宜野座村下水道事業経営戦略要約、宜野座村の地球温暖化対策の骨子と対策要約。

2.2. フィールドワーク

- 6月以降、金武町及び宜野座村の関連部署や施設を訪問し、バイオガス発電に活用可能な廃棄物のデータを収集。
- 現地のし尿処理施設、廃棄物処理場、堆肥化施設を視察。
- 昭和製紙工場の見学を通じて、ペーパースラッジの処分課題を確認。
- 沖縄クリーン工業で扱うグリストラップの油脂、伐採木、刈草から製造されたオガ粉のバイオガス燃料利用の可能性を検証。
- 収集データに基づいて金武消防衛生の二酸化炭素排出量報告、豚糞尿汲み取り状況報告書、豚の糞尿処理工程調査レポート、宜野座村堆肥センターの課題、宜野座村し尿処理調査レポート、および原料調査結果報告書を作成した。

3. 対象地域

- 金武町
- 宜野座村
- その他

4. 調査対象の廃棄物

調査対象とした廃棄物は以下の通りである。

1. 事業系一般廃棄物（食品残渣、紙ゴミ）
2. 畜産廃棄物（家畜糞尿、廃棄畜舎敷料）
3. 農業集落排水・合併浄化槽の下水汚泥
4. 一般及び産業廃棄物の植物資源（剪定枝・伐採木・刈草等）

5. 調査結果

5-1. 事業系一般廃棄物

金武町と宜野座村では、食品残渣と紙ゴミは家庭ゴミ及び事業系一般廃棄物として一緒に燃やせるゴミとして焼却されている。食品残渣と紙ゴミだけを分別回収することは困難であり、焼却施設の担当者は、プラスチックとビニールゴミが多く火力調整剤として食品残渣を焼却場で必要としているため、原料としての利用は難しい状況である。

5-2. 畜産廃棄物

宜野座村では豚の糞尿が堆肥化されず、活性汚泥法の浄化設備で固液分離しているが、液体は浄化後放流、固体は処理に困っている。村は運搬費用を負担しており、浄化設備の老朽化も課題である。村からはバイオガスプラントの原料として利用してほしいとの要望が強く寄せられている。

金武町では、株式会社金武有機堆肥センターが牛糞や豚糞を原料とした良質な完熟堆肥を製造している。この堆肥は、地元のメイクマンやJAなどで販売され、地域の農業や家庭菜園に活用されている。豚の糞尿は豚舎で脱水され、固形物は金武有機堆肥センターに搬入され、液分は数カ所の貯蔵タンクに貯蔵されて液肥として利用されている。

宜野座村でも同様に、宜野座堆肥センターにおいて牛糞および鶏糞を原料とした堆肥製造が行われている。一方で、豚の糞尿に関しては引き続きバイオガスプラントでの資源化を模索する必要がある。

5-3. 下水汚泥

宜野座村内の6地区（漢那、城原、惣慶、宜野座、福山、松田）を対象に、4つの処理場で下水処理を実施。

総事業費は約85億円、処理区域人口は6,039人、接続率は97.8%。

下水道使用料金は県内平均より若干高いが、全国基準（20m³/月 3,000円）には届かず。

民間活力の活用は限定的で、主に太陽光発電による売電収入を得ている。

金武町には3つの処理地区があり、下水道普及率は85.7%（令和2年度）。

接続率は29.5%と低く、今後の改善が必要。

現在、隣接するうるま市の浄化施設へ搬入し、処理を委託している状況。
また、バイオガスプラントの原料としての活用について、強い要望が寄せられている。

5-4. 植物資源

金武町では植物資源の堆肥化・オガ粉製造施設がない。一方、宜野座村では国の補助金で植物資源をチップ化する設備があるが、産業廃棄物処理の許可がなく無料処理しており運営費の一部を村が負担していることが判明した。

5-5. ペーパースラッジ

昭和製紙が排出するペーパースラッジはバイオガスプラントの原料として利用可能であることが調査で判明した。

6. 結論

調査の結果、バイオガスプラントの原料として利用可能な廃棄物は以下の通りであることが明らかになった。

- 金武町：し尿
- 宜野座村：豚の糞尿
- 沖縄クリーン工業：グリストラップから回収した油脂、植物資源（廃棄物）から製造したオガ粉
- 昭和製紙：ペーパースラッジ

	搬入量 (t)	含水率 (%)	乾物量 (t)	水分量 (t)
豚糞尿	1,000	90	100	900
し尿・汚泥	1,600	90	160	1440
グリストラップ	300	85	45	255
オガコ	1,680	50	840	840
ペーパースラッジ	100	60	40	60
合計	4,680			

これら 5 つの原料を対象に、今後はメタンガス発生量試験を行い、バイオガスプラントの実現可能性をより詳細に検証していく。

2. バイオマス資源調査

2.3 エネルギー源としての可能性

1. はじめに

本調査では、金武町および宜野座村におけるバイオマス資源をエネルギー源として活用する可能性について検討した。対象地域の一般廃棄物および産業廃棄物の調査結果をもとに、バイオガス発電や堆肥化、燃料化などのエネルギー利用の可能性を評価する。

2. バイオマス資源の特性と課題

本調査で確認されたバイオマス資源の種類と特性を以下に示す。

(1) し尿・下水汚泥

- 発生源：金武町および宜野座村の下水処理施設、し尿処理施設
- 処理方法：活性汚泥法により処理、一部は放流
- 課題：含水率が高く、燃料化には乾燥工程が必要
- エネルギー利用の可能性：メタン発酵によるバイオガス生産が有望

(2) 畜産廃棄物（豚の糞尿）

- 発生源：宜野座村の養豚場
- 処理方法：現在は活性汚泥法による浄化处理
- 課題：固液分離後の固体処理に課題あり
- エネルギー利用の可能性：メタン発酵によるバイオガス生産、堆肥化

(3) 食品残渣・紙ごみ

- 発生源：事業系一般廃棄物（飲食店、食品加工業など）
- 処理方法：現在は金武地区清掃センターで燃やせるゴミとして焼却処理
- 課題：既存の収集運搬体制では分別回収が困難
- エネルギー利用の可能性：バイオマス資源としてのポテンシャルはあるが、現状の体制ではバイオガス発電所の原料としての回収は不可能

(4) グリーストラップ汚泥

- 発生源：飲食店、食品工場など
- 処理方法：産業廃棄物として処理
- 課題：高油脂含有による処理コスト増加
- エネルギー利用の可能性：バイオディーゼル燃料化、バイオガス化

(5) ペーパースラッジ

- 発生源：昭和製紙工場
- 処理方法：琉球セメントのセメント材料として再利用されているが、全量を処理できない状況

- 課題：水分調整が必要
- エネルギー利用の可能性：メタン発酵試験でバイオガス発生量が期待される

3. バイオマスエネルギーの活用方法

本調査では、対象地域で発生するバイオマス資源を以下の方法でエネルギー利用する可能性を検討した。

(1) メタン発酵によるバイオガス発電

メタン発酵技術を用いたバイオガスプラントの導入を想定し、発生するバイオガス量を試算した。本試算のメタン発生量は、主に一般的な文献値を基にした想定値であり、地域での実測データではない点に留意する必要がある。

原料	搬入量 (t)	含水率 (%)	乾物量 (t)	想定メタン発生量 (Nm ³ /t)
豚糞尿	1,000	90	100	50
し尿・汚泥	1,600	90	160	45
グリーストラップ	300	85	45	60
オガ粉	1,680	50	840	30
ペーパースラッジ	100	60	40	25
合計	4,680	-	1,185	50,000 Nm ³

※ 想定メタン発生量は一般的な文献値をもとに試算。

(2) 堆肥化による農業利用

し尿・糞尿の固体部分や食品残渣を堆肥化し、地域農業に還元する計画を検討。宜野座村堆肥センターの活用が鍵となる。

(3) バイオ燃料としての利用

- グリーストラップ汚泥をバイオディーゼル燃料に変換し、自治体の公用車や農業機械での利用を検討。
- ペーパースラッジを固形燃料化し、ボイラー燃料としての活用を想定。

4. 課題と今後の展望

本調査で明らかになった課題は以下の通りである。

- 含水率の高さ：し尿や糞尿、食品残渣の含水率が高く、乾燥設備が必要。
- 施設の老朽化：宜野座村のし尿処理施設、堆肥センターの設備更新が必要。

- コストと採算性：バイオガスプラント導入の初期投資と運用コストをどう確保するか。
- 食品残渣・紙ごみの分別回収が不可能：現行の収集運搬方法では分別が現実的でなく、バイオガス発電の原料としての利用は難しい。

今後は、

1. 乾燥設備の導入や補助金の活用を検討する。
2. 既存施設の改修・新規施設の建設計画を進める。
3. 企業・自治体・研究機関が連携し、最適な技術導入を検討する。

5. 結論

本調査の結果、金武町および宜野座村では、メタン発酵によるバイオガス発電、堆肥化、バイオ燃料化といったエネルギー利用の可能性が示された。ただし、食品残渣・紙ごみについては、現状の収集・運搬方法では分別回収が困難であり、バイオガス発電所の原料としての回収は不可能であることが確認された。また、ペーパースラッジについては琉球セメントのセメント材料として再利用されているが、全量を処理できないため、メタン発酵試験でのバイオガス発生量に期待が持てる。本報告書のメタン発酵試算は一般的な文献値を基にしており、今後、バイオガス発生量試験結果データを反映した詳細な検討が必要である。

3. 収集運搬および前処理技術の調査

3.1 収集運搬方法の現状（金武町、宜野座村）

ごみの収集品目については、「もやせるごみ」「もやせないごみ」「粗大ごみ」の3種分別に加え、「資源ごみ（有害・危険ごみを含む）」を加えた4種分別収集が行われている。資源ごみには、アルミ缶、スチール缶、ガラスびん、ペットボトル、古紙類（新聞・雑誌、ダンボール、紙パック）、金属類、布類等が含まれ、これらはリサイクル施設にて処理されている。

収集方式は、金武町・宜野座村ともに、もやせるごみ、もやせないごみ、資源ごみは戸別収集方式を採用している。粗大ごみについては、申込み制（有料）で、各町村の粗大ごみ置場へ自己搬入される形となっている。住民が指定のごみ袋を利用して排出する仕組みとなっており、指定ごみ袋の導入後、ごみの排出量は減少傾向にある。

収集・運搬については、生活系ごみは各町村が委託した業者が収集し、事業系一般廃棄物は、対象地域内の一般廃棄物収集運搬業許可業者に委託するか、事業所からの直接搬入となっている。

また、収集・運搬の委託・許可件数は、金武町では収集運搬委託が3件、許可業者が18件、宜野座村では収集運搬委託が1件、許可業者が6件となっている。

収集・運搬体制の整備状況については、金武町では収集車が直営2台、委託業者5台、許可業者77台の計84台（積載量254t）で運営されている。一方、宜野座村では収集車が直営0台、委託業者1台、許可業者5台の計6台（積載量30t）で運営されている。

・食品残渣のバイオマス資源としての活用

現在、金武町・宜野座村のごみ処理において、食品残渣は「もやせるごみ」として扱われているが、発生抑制や資源化の観点から、バイオマス資源としての活用が求められている。食品残渣の堆肥化やバイオガス発電への活用に向け、以下の点が課題となる：

- ・ 収集方法の整備：食品残渣を分別回収するための新たな収集ルールや住民への周知が必要。

- 処理施設の確保：バイオマス資源としての活用には、堆肥化施設やバイオガスプラントの導入・拡充が求められる。
 - コスト負担の調整：分別回収・運搬・処理のコストを誰が負担するのか、行政・事業者・住民の間での調整が必要。
- ・ 紙ごみのリサイクル強化とエネルギー利用

現在、古紙類は資源ごみとして分別回収されているが、回収率の向上とエネルギー資源としての活用が課題となる。

- 回収率の向上：雑がみ（ミックスペーパー）の分別回収を推進することで、リサイクル量の増加を図る。
 - エネルギー利用の可能性：焼却時の熱エネルギー回収を高効率化し、紙ごみを熱回収資源として活用する方法を検討する。
- ・ 高齢者や障がい者へのごみ出し支援
- 戸別回収の導入検討：高齢者や障がい者が重いごみ袋を持ち運ぶのが困難であるため、希望者への戸別回収サービスの導入を検討する。
 - ボランティア支援の活用：地域のボランティアや自治体と連携し、高齢者・障がい者向けのごみ出し支援サービスを提供する。
- ・ 収集・運搬の効率化
- ごみ収集車の適正配置と運行ルートの見直し：収集ルートの最適化を行い、燃料消費の削減と効率的な回収を目指す。
 - ICT技術の活用：収集状況をリアルタイムで把握し、最適な回収ルートを自動計算するシステムの導入を検討する。
- ・ 観光・事業系ごみの管理強化
- 観光客からのごみ増加対策：観光地におけるごみの適正排出を促すため、リサイクルステーションの設置や案内表示の強化を進める。
 - 事業者への分別指導強化：事業系ごみの適正処理を促進するため、事業者への指導や規制の見直しを行う。

3. 収集運搬および前処理技術の調査

3.2 バイオマス資源の分別技術

家畜・下水・食品残渣・グリーストラップ・ペーパースラッジを乾式メタン発酵で材料として使う際の分別技術について下記の内容で調査を行った。

・畜産（豚糞尿）

含水率が高いので固液分離機を使い固形物と液体を分ける方法がある。

固液分離機は汚水中の固形物を分離・除去する装置で畜産糞尿の前処理に使われるほか、下水の余剰汚泥の脱水・濃縮にも使われている。

組成		畜産（豚糞尿）
PH	-	8.10
含水率	wt/%	99.42
灰分	wt/%	0.23
TS（全固形物濃度）	wt/%	0.58
VS（強熱減量）	wt/%	0.35
アンモニア態窒素	mg/kg	0.00
ケルダール達窒素	mg/kg	885.00
全炭素重量	mg/kg	1840.00
VFA	mg/kg	-

・下水（し尿汚泥）

畜産と同様に含水率が高い為、固液分離機を使い固形物と液体を分ける方法がある。固液分離機は汚水中の固形物を分離・除去する装置で畜産糞尿の前処理に使われるほか、下水の余剰汚泥の脱水・濃縮にも使われている。

組成		下水（し尿汚泥）
PH	-	8.09
含水率	wt/%	99.88
灰分	wt/%	0.06
TS（全固形物濃度）	wt/%	0.12
VS（強熱減量）	wt/%	0.06
アンモニア態窒素	mg/kg	616.00
ケルダール達窒素	mg/kg	751.00
全炭素重量	mg/kg	760.00
VFA	mg/kg	-

・食品残渣

食品残渣の種類には、食品加工工場で発生したものやスーパーやコンビニから

発生する賞味期限切れの弁当などがある。

食品加工工場からの残渣はプラスチック類等メタン発酵に不向きとされている物の混入少なく、スーパーやコンビニからの弁当については多くのプラスチック類が含まれており、それらを分別する方法としては破袋分別機が使用されている。

・グリーストラップ

グリーストラップは下水道に直接食用油や残飯、野菜くずなどが流出することを防ぐ阻集器に溜まったもので定期的な清掃で廃棄物として排出されており、分別は特にされておらず処理方法としてはメタン発酵や堆肥化の原料、近年では液体燃料の原料として注目されている。

組成		グリーストラップ
PH	-	4.20
含水率	wt/%	80.59
灰分	wt/%	0.50
TS (全固形物濃度)	wt/%	19.41
VS (強熱減量)	wt/%	18.91
アンモニア態窒素	mg/kg	130.00
ケルダール達窒素	mg/kg	427.00
全炭素重量	mg/kg	59444.00
VFA	mg/kg	-

・ペーパースラッジ

ペーパースラッジは再生紙製造工程で出てくる産業廃棄物で、古紙からトイレットペーパー等を製造する際に、排水中に流れ込んだ繊維や無機物を脱水した物で、ペーパースラッジを分別することはほぼなく、セメントの原料として直接使用されている。

組成		ペーパースラッジ
PH	-	8.37
含水率	wt/%	48.14
灰分	wt/%	32.31
TS (全固形物濃度)	wt/%	51.86
VS (強熱減量)	wt/%	19.55
アンモニア態窒素	mg/kg	0.00
ケルダール達窒素	mg/kg	1458.00
全炭素重量	mg/kg	113317.00
VFA	mg/kg	-

非バイオマス資源の分別技術の導入

バイオマス資源をメタン発酵や堆肥化に活用するためには、混入する非バイオマス資源（プラスチック類、金属類、無機物など）の適切な分別が重要である。以下に、主要な非バイオマス資源の分別技術を紹介する。

- ・プラスチック類の分別 食品残渣の処理において、破袋分別機を活用し、プラスチック包装を除去することで、バイオマス資源の純度を高める技術が導入されている。また、食品加工工場では、金属探知機を併用し、異物混入の防止を図るケースもある。

- ・無機物（ガラス・金属類）の分別 ペーパースラッジの処理では、異物として混入する金属類やガラスを磁気分別装置や振動ふるいを利用して除去する技術が採用されている。これにより、発酵や燃料化の効率を向上させることが可能となる。

- ・油脂類の分別 グリーストラップに含まれる油脂は、バイオマス原料としての利用が可能であるが、過剰な油分は発酵過程に悪影響を及ぼすため、遠心分離機や加圧浮上装置を用いて適切な濃度調整が可能となる。

北中城バイオガスプラントにおける遠心分離機の活用

北中城バイオガスプラントでは、視察により、遠心分離機を用いて固液分離を行っていることが確認された。しかし、遠心分離機のメーカーは、このような使用方法を当初想定していなかった模様。

遠心分離機の一般的な用途

遠心分離機は、遠心力を利用して固体と液体、または液体同士を分離する装置で、フィルタなどの消耗品を必要としないため、ランニングコストの削減や安定した連続運転が可能。そのため、排水処理や食品産業など、さまざまな分野で活用されている。

固液分離への遠心分離機の利用事例

遠心分離機を固液分離に利用する事例は他にも存在する。例えば、工場の排水処理において、遠心分離機を活用することで、環境保全や産廃費用の削減に寄

与している。また、沖縄県の事業報告書では、試料の固液分離に遠心分離機が使用されていることが記載されている。

考察と今後の展望

バイオマス資源の分別技術は、乾式メタン発酵や堆肥化の効率を向上させるために不可欠な要素である。加えて、非バイオマス資源の適切な分別により、発酵の安定化や最終製品の品質向上が期待される。今後は、より高度な自動分別技術の導入やAIを活用した異物検出技術の開発が求められる。

北中城バイオガスプラントでの遠心分離機の使用は、メーカーの想定外であったものの、固液分離において有効に機能していると考えられる。このような柔軟な機器の活用は、プラントの効率化やコスト削減に寄与する可能性がある。

3. 収集運搬および前処理技術の調査

3.3 前処理技術の現状と分析

(1) 廃棄物選別技術の現状

1. 破碎・選別技術

- 破碎機：ごみ袋を破碎し、内容物を均一なサイズにすることで、後続の選別工程を効率化する。
- 高効率ドラム選別装置：破碎後の廃棄物を回転ドラム内でふるい分けし、バイオマス資源と不適物を分離する。

2. 光学選別機

- 近赤外線（NIR）センサーを用いて、プラスチックやビニールなどの材質を識別し、エアジェットで自動的に分別する。

3. 磁力・風力選別機

- 磁力選別機：鉄系金属を磁力で除去する。
- 風力選別機：比重差を利用して、軽量のプラスチックやフィルムを他の廃棄物から分離する。

(2) 破碎・選別機の導入事例

1. 株式会社富士クリーンの乾式メタン発酵プラント

- 高効率ドラム選別装置を導入し、廃棄物からバイオマスを高効率で分別・回収している。
- 縦型乾式メタン発酵施設により、含水率の低い紙ごみも安定的に処理可能で、省スペース化と省エネルギー化を実現している。

2. 株式会社富士クリーンの取り組み

- 高効率ドラム式選別装置を導入し、バイオマスの選別効率を高めている。
- 縦型乾式メタン発酵技術を活用し、多様な廃棄物からバイオガスを回収している。

これらの技術と事例を踏まえ、金武町・宜野座村においても、破碎・選別機の導入によるバイオマス資源の効率的な回収と再利用を検討することが求められる。具体的な導入計画を策定する際には、地域の廃棄物組成や量、既存の処理施設との適合性、経済性などを総合的に評価する必要がある。

4. エネルギー化中核技術の調査

4.1 乾式メタン発酵技術

4.1.1 視察調査1（オリックス資源循環株式会社）

日付：2024年5月22日

場所：埼玉県大里郡寄居町大字西ノ入 3050-23

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、宮城康智、久志進

1. 視察概要

2024年5月22日、埼玉県寄居町にあるオリックス資源循環株式会社の「寄居バイオガスプラント」を訪問し、乾式メタン発酵バイオガス発電施設の調査視察を行った。本施設は、食品廃棄物や紙ごみなどの一般廃棄物をメタン菌によって発酵処理し、生成されたバイオガスを発電燃料として活用する再生可能エネルギー発電施設である。特に、湿式メタン発酵では処理が難しい水分含有率の低い有機物の発酵処理が可能であり、リサイクルの幅を広げている。

施設概要：

- 最大処理能力：100t/日
- 設備容量：1,600kW
- 年間発電量：約9,800,000kWh（一般家庭約3,140世帯分）

本施設の収益構造としては、8割が廃棄物処理料、2割が売電収入となっており、FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）を活用した経済モデルが採用されている。

2. 視察内容

(1) 施設全体の説明と質疑応答

施設担当者から、乾式メタン発酵のメカニズムやプロセスについて詳細な説明を受け、その後、技術的な側面や経済的な収支に関する質疑応答を行なった。

(2) 実機の外観見学

廃棄物の受け入れから電力の販売に至るまでの一連の流れを確認した。特に、前処理設備では、原料ごみの破碎・選別処理が行われ、非バイオマスのごみは圧縮され産業廃棄物として近隣のガス化改質施設（5.参考情報）で処理されていることを確認した。

(3) 発酵残渣の処理

- 発酵残渣は脱水・乾燥され、近隣のガス化改質施設で処理されていることを確認した。沖縄モデルでは発酵残渣の固形燃料化を目指しているため、その点の知見を得られなかったのは残念だった。
- 脱水した水分は浄化設備で処理され放流されている。
- 乾式メタンプラントでは浄化設備が不要と認識していたが、実際には必要であることが分かり、驚きを感じた。

3. 考察

今回の視察を通じて、乾式メタン発酵技術の有効性と、食品廃棄物や紙ごみなどの一般廃棄物の効率的な再資源化の可能性を確認した。特に、湿式メタン発酵では処理が難しい低水分の有機物も処理可能である点や、プラスチックなどの異物が混入していても対応できる点は、廃棄物処理の幅を広げる上で大きな利点といえる。

また、本施設の収益構造は、廃棄物処理料が8割、売電収入が2割という点特徴的であり、発電単独では採算が難しいことが分かった。この点は、沖縄での導入を考える上で重要な要素となる。

さらに、本視察は縦型乾式メタンプラントの仕組みを理解する上で非常に有益だが、沖縄で展開する際にはプラント設備を小規模化できるかどうか、また規模を縮小した場合に収支が合うかどうか課題となると考えられる。沖縄の廃棄物排出量や電力需給に適したスケールで導入可能かどうか、さらに検討が必要である。

4. エネルギー化中核技術の調査

4.1.2 視察調査2（株式会社富士クリーン）

日付：2024年8月5日

場所：香川県綾歌郡綾川町西分字山ノ上 2816 番地

参加者：堤純一郎、久志進、前田裕樹、譜久山剛

1. 視察概要

乾式メタン発酵の調査を行う為、乾式メタン発酵では最も先進的な会社として評価されている、香川県綾歌郡綾川町にある株式会社富士クリーンを訪問し、実用運転中の乾式メタン発酵施設及び発電システムを見学、施設導入時の課題や運営時の注意点などの疑問点に助言を頂く。

2. 視察結果

縦型の乾式メタン発酵施設で、いろいろな廃棄物からメタンガスを回収することができることが特徴で、主に畜産廃棄物や食品残渣・汚泥・紙ごみを受け入れ、発酵に不向きな材料は選別装置で前処理を行っていた。

メタン発酵槽の規模は3,000 m³でバイオガス発生量は約10,000N m³/日、発生したガス濃度を安定させるためLNGと混合し発電機を動かし蒸気ボイラーに使用するなど場内のエネルギーとしても利用されていた。

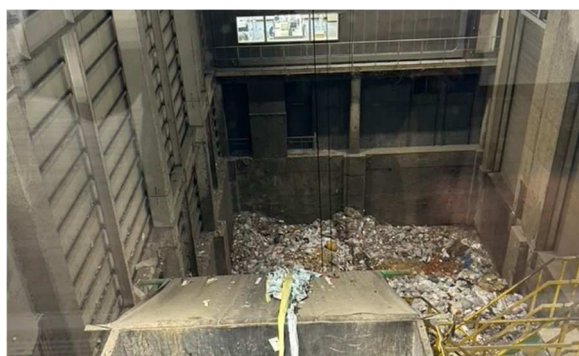
施設は地域の廃棄物を受入処理することで経営が成り立っており、受入能力は73t/日で、施設敷地内には最終処分場・焼却施設が隣接されていた。

当該施設ではガス発生量を確認する試験設備を所有しており、乾式メタン発酵ポテンシャル試験の発注先として発酵試験を引き受けていただくこととなった。

(乾式メタン発酵ポテンシャル試験結果については別紙添付)



【乾式メタン発酵槽】



【原料受入れピット】



【分析装置案内】



【ポテンシャル試験原料】

4. エネルギー化中核技術の調査

4.1.3 視察調査3（防府市クリーンセンター）

日付：2024年8月7日

時間：13:30～15:00

場所：山口県防府市 防府市クリーンセンター

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、久志進

1. 視察概要

2024年8月7日、山口県防府市に所在する防府市クリーンセンターを視察した。本施設は、一般廃棄物を焼却処理するごみ焼却施設に、乾式メタン発酵によるバイオガス化施設を併設した、全国的にも珍しいごみ焼却・バイオガス化複合施設である。視察では、発酵処理の状況や発酵残渣の処理、バイオガスの利用方式、ならびに施設の規模や運用形態についての情報を得た。

2. 視察内容

(1) 施設の概要と特徴

防府市クリーンセンターは、2014年4月より供用開始された施設であり、DBO方式により整備され、川崎重工業が設立した特別目的会社「グリーンパーク防府株式会社」が運営を担っている。ごみ焼却施設（75t/日×2基）に加え、乾式メタン発酵方式によるバイオガス化施設（25.75t/日×2系列）を備えている。

発酵槽は円筒横型（直径6.8m、長さ34m）で、内部温度は55℃の高温発酵を行っている。メタン発酵に供するごみは、機械選別された選別ごみと隣接施設からの下水・し尿汚泥を混合し、ミキサーにより調整されたのち、発酵槽に投入される。

(2) バイオガスと発酵残渣の処理・利用

発酵により得られたバイオガスは、脱硫塔を経て独立過熱器へ供給され、ごみ焼却炉の排熱ボイラーで発生した365℃の蒸気をさらに415℃まで加熱することで、高効率な発電（最大3,600kW）を実現している。発電効率は23.5%に達し、固定価格買取制度（FIT）により売電が行われている。

発酵残渣は脱水処理後、ごみピットに返送され、一般ごみとともに焼却処理される。脱水ろ液は除害処理された後、希釈水として再利用され、余剰分は下水に放流されている。

(3) 技術的課題と対策

視察時には、脱水残渣の含水率のばらつきによる燃焼不安定が一時的に生じたことがあるとの説明があったが、脱水設備の改良とスクリープレスの性能調整により安定運転が実現されている。

また、乾式メタン発酵の設備としては、キルン型の大型円筒を横置きする形式のため、広大な敷地が必要となる。自治体設置型施設としては希少であるが、焼却炉との複合施設としては連携効果が高く、自治体運営には適している一方、単体での民間営業には適さないと考えられる。

3. 考察と結論

防府市クリーンセンターは、全国初のごみ焼却・バイオガス化複合施設として、機械選別による選別ごみと汚泥を活用した乾式メタン発酵技術の導入により、高効率なエネルギー回収と資源循環を両立している先進事例である。

独立過熱器による蒸気の高温度化技術、排ガスの循環利用、発酵残渣の焼却処理など、施設全体の統合設計が緻密であり、将来的なモデルケースとして他自治体にとっても参考になるものである。

一方で、設置面積や処理構成の複雑性、そしてバイオガスの利用方法に関する高度な設計・運転管理が必要であることから、導入に際しては地域特性を踏まえた制度設計と、長期的視点での運用スキームの構築が求められる。

4.2 固体燃料関連技術

4.2.1 炭化（文献，御笠川浄化センター）

はじめに

世界的に下水汚泥の発生量は増加傾向にあり、その処分方法が課題となっている。従来の埋立処分場の容量には限界があり、環境への負荷も懸念されている。このような背景から、下水汚泥を再生可能なエネルギー源として活用する試みが注目されている。下水汚泥は有機物を豊富に含んでおり、適切な技術を用いることでバイオマス燃料として利用可能である。これにより、化石燃料への依存度を低減し、循環型経済の構築に貢献することが期待される。

炭化技術の原理とプロセス

炭化とは、酸素が欠乏した環境下で下水汚泥を加熱することにより、熱分解を引き起こし、燃料として利用可能な炭化物（バイオ炭）を生成する熱化学的プロセスである。炭化温度によって、生成物の特性が異なり、一般的に低温炭化（250～350℃）、中温炭化（400～600℃）、高温炭化（700℃以上）に分類される。反応器の種類としては、ロータリーキルンや流動床などが用いられる。

御笠川浄化センターにおける炭化施設の詳細な検討

背景

福岡県福岡市博多区に位置する御笠川浄化センターは、下水汚泥の燃料化リサイクル事業において、低温炭化技術を用いた固形燃料化施設を導入している。この施設は、下水汚泥を資源として有効活用し、温室効果ガスの排出量削減に貢献することを目的としている。

反応条件

御笠川浄化センターの炭化施設では、消化ガスを熱源とする蒸気加熱方式を採用し、250℃から300℃の低温で炭化処理が行われている。消化汚泥を原料としており、処理能力は約100t（脱水汚泥）/日である。施設の建設費用は約38億円であった。消化ガスを熱源として利用することで、外部からの燃料投入を抑制し、エネルギー効率を高める試みが見られる。下水処理過程で発生するバイプロダクト（副次的に生成される有用な産物）を有効活用するこの統合的なアプローチは、廃棄物処理における循環型経済の原則を示唆している。

生成物の特性

御笠川浄化センターで製造される燃料化物は、高位発熱量が14.1 MJ/kgの固形燃料である。この燃料は、J-POWERの石炭火力発電所において、石炭との混焼利用を目的として供給されている。比較的高い発熱量を有することから、化石燃料の代替燃料としての可能性が示唆される。既存の石炭火力発電所の設備をそのまま利用でき

るため、新たな燃焼インフラの整備が不要となり、導入の障壁を低減できる可能性がある。

運転状況

御笠川浄化センターの炭化施設は、設計・施工期間を経て2019年4月1日から20年間のDBO方式（公共が資金調達を負担し、設計・建設、運営を民間に委託する方式）で運営されている。年間の計画汚泥処理量は約30,000t（脱水汚泥）で、燃料化物製造量は年平均約3,800tである。この規模の施設が長期にわたり稼働していることは、下水汚泥の炭化技術が産業レベルで応用可能であることを示している。長期の運営契約は、技術の信頼性と経済的な持続可能性に対する一定の保証を与えると考えられる。

炭化技術の利点と欠点

利点

炭化技術の主な利点として、下水汚泥の容積を大幅に削減できる点が挙げられる。また、生成される炭化物は安定しており、臭気が少なく、生の汚泥と比較して取り扱いや保管が容易である。さらに、石炭のような化石燃料の代替として利用することで、直接的な石炭燃焼と比較して温室効果ガスの排出量を削減できる可能性がある。炭化によって生成されるバイオ炭は、土壌改良材としても利用できる可能性があり、さらなる資源の有効活用につながる。

欠点

一方、炭化プロセスにはエネルギー投入が必要であり、特に汚泥の乾燥工程でエネルギーを消費する。ただし、御笠川浄化センターのように、バイオガスなどの廃棄物や排熱を有効活用することで、エネルギー消費量を低減できる場合がある。炭化プロセスにおいて、適切な排ガス処理を行わないと、大気汚染を引き起こす可能性がある。また、生成される炭化物の品質は、原料となる汚泥の性状や炭化条件によって変動する。さらに、炭化物は空気中の酸素と反応して自己発熱する特性を持つため、保管や取り扱いには注意が必要となる。

4.2 固体燃料関連技術

4.2.2 油温乾燥（御笠川浄化センター）

油温乾燥技術の原理とプロセス

油温乾燥技術は、脱水された下水汚泥を高温の油（多くの場合、廃食用油）と混合し、減圧下で加熱することで、汚泥中の水分を効率的に蒸発させる技術である¹⁵。この原理は、天ぷらなどの揚げ物調理と類似している。御笠川浄化センターでも、この油温減圧式乾燥技術が導入されている。

乾燥条件、エネルギー効率、生成物の特性

乾燥条件

油温乾燥は、減圧条件下で行われるため、水の沸点が低下し、比較的低い温度（御笠川では約 85～90℃）で効率的な乾燥が可能となる。御笠川浄化センターでは、1 バッチあたり約 2 時間で 10t の脱水汚泥を処理できる。

エネルギー効率

油温乾燥は、迅速かつ均一な乾燥が可能であるため、高いエネルギー効率が期待できる。下水処理場内の他のプロセスから発生する廃熱を乾燥工程に利用することで、さらなる効率向上が可能となる。

生成物の特性

油温乾燥によって得られる乾燥汚泥は、含水率が非常に低く、油分含有量が高く、高発熱量（御笠川では固形物あたり約 22 MJ/kg-DS）を示す。製品は、取り扱いを容易にするためにペレット化されることが多い。炭化汚泥よりも高い発熱量を持つことは、エネルギー回収の観点からは有利である。

運転状況

御笠川浄化センターでは、下水汚泥の減量化と有効利用のために油温減圧式乾燥技術が導入されており、平成 12 年度（2000 年）から稼働している。この技術は、下水汚泥と廃食用油を混合し、80～90℃に加熱しながら攪拌した後、油混合汚泥を油温減圧式乾燥装置に投入し、120～140℃で加温、さらに減圧を行うことで汚泥中の水分を蒸発させるものである。

具体的な運転状況としては、減圧下で約 85℃の乾燥温度で、1 日あたり 30t の脱水汚泥を 8 時間運転で処理している。この施設で発生する乾燥汚泥は、固形燃料として発電所などで有効活用されている。

油温乾燥技術の利点と欠点

利点

油温乾燥技術の主な利点は、非常に高い乾燥度が得られ、汚泥の容積を大幅に削減できることである。また、減圧下での乾燥により、エネルギー効率が低い。乾燥汚泥は油でコーティングされるため、臭いが軽減され、取り扱い性も向上する。廃食用油を熱媒体として利用できる可能性があり、コスト削減と持続可能性に貢献できる。

欠点

油温乾燥技術の欠点としては、乾燥汚泥に油分が含まれるため、特定の用途には適さない可能性があることや、特定の燃焼技術が必要となる場合があることが挙げられる。また、プロセス中に油が損失する可能性があり、油の回収や補充が必要となる。油温乾燥システムの初期投資コストは高い傾向がある。

沖縄県における下水汚泥の性状と技術の適合性評価

含水率の高い沖縄県の下水汚泥の場合、油温乾燥技術は、直接油と接触し、減圧下で乾燥させるため、エネルギー効率よく水分を除去できる可能性がある。一方、炭化技術では、事前に十分な乾燥が必要となるため、エネルギー消費量が大きくなる可能性がある。しかし、炭化技術で生成された燃料は、既存の石炭火力発電所での利用実績があるため、導入のハードルが低い可能性がある。

臭気対策は、観光産業が重要な沖縄県においては特に重要であり、油温乾燥技術は、油で汚泥をコーティングすることで臭いを抑制する効果が期待できる。環境負荷低減の観点からは、どちらの技術も従来の処分方法よりも優れていると考えられる。沖縄県では廃食用油の回収も行われているため、油温乾燥技術において地域資源を有効活用できる可能性がある。

環境への影響の比較評価

表 1: 炭化技術と油温乾燥技術のコスト比較

コスト項目	炭化技術	油温乾燥技術
初期投資コスト	比較的低い～中程度	中程度～高い
運転コスト	エネルギー消費量（乾燥）、人件費、メンテナンス費	エネルギー消費量、人件費、メンテナンス費、油の補充費
メンテナンスコスト	比較的低い～中程度	中程度
主なコスト要因	乾燥エネルギー、排ガス処理	油のコスト、真空維持、油分分離

沖縄県においては、島嶼地域であるため、設備の輸送コストや人件費などが本土と異なる可能性も考慮する必要がある。施設の規模や処理能力も、コストに大きく影響を与えるため、具体的な導入計画においては詳細な経済性評価が不可欠である。

表 2: 炭化技術と油温乾燥技術の環境影響比較

環境影響	炭化技術	油温乾燥技術
温室効果ガス排出量	削減の可能性、N ₂ O 排出の可能性	削減の可能性
廃棄物発生量	灰	油の残渣
大気質への影響	粉塵、排ガス処理	VOC、臭気
水使用量	乾燥工程で必要	比較的少ない
臭気	比較的少ない	油で抑制

どちらの技術も、適切な管理を行うことで環境負荷を低減できる可能性がある。沖縄県の環境規制や目標に合致した技術を選択することが重要である。

参考資料

- 参考資料編 - 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/common/001132523.pdf>
- 下水汚泥エネルギー化技術 ガイドライン -改訂版-
<https://www.mlit.go.jp/common/001132522.pdf>
- 「福岡県御笠川浄化センター消化ガス発電施設」の供用開始
<https://www.pref.fukuoka.lg.jp/press-release/press-releasemikasa-shoukagashatsudenhtml.html>
- 下水道管理センターのご案内 - 公益財団法人 福岡県下水道管理センター
<https://fukuoka-smc.jp/profile/>
- 下水汚泥の安定処理と有効利用に向けて - 一般社団法人 九州地方計画協会
<https://k-keikaku.or.jp/%E4%B8%8B%E6%B0%B4%E6%B1%9A%E6%B3%A5%E3%81%AE%E5%AE%89%E5%AE%9A%E5%87%A6%E7%90%86%E3%81%A8%E6%9C%89%E5%8A%B9%E5%88%A9%E7%94%A8%E3%81%AB%E5%90%91%E3%81%91%E3%81%A6/>
- 食用油トリプル利用研究開発 - 研究成果 | 福岡県リサイクル総合研究事業化センター <https://www.recycle-ken.or.jp/achievements/detail/55>
- 御笠川那珂川流域下水道御笠川浄化センター下水汚泥固形燃料化事業の概要 - 電源開発 https://www.jpower.co.jp/news_release/pdf/news190328_1-2.pdf
- 油温減圧式乾燥(天ぷら法)技術 <https://fukuoka.unhabitat.org/wp-content/uploads/2021/12/egm08-1.pdf>

4.2 固体燃料関連技術

4.2.3 堆肥化による自然乾燥

堆肥は、主に家畜の糞尿を発酵させたものであるが、良質な堆肥を作るためには発酵前に含水率75%程度に水分調整を行い、好気性発酵を促す必要がある。好気性発酵は、微生物が有機物を分解する際に発生する発酵熱が高いのが特徴であり、有機物分解と同時に水分を蒸散させることで良質な堆肥が作られる。

処理方法による差はあるが、約60日間の発酵処理を経ることで、含水率75%程度の原料は発酵後に含水率50%以下となり、外部からの熱エネルギーを投入することなく乾燥が可能となる。また、一部の堆肥センターでは、家畜糞尿に動植物由来の廃油を高カロリー発酵助材として少量混合することで、急速発酵を促し、約30日間で含水率30%以下にすることが可能であると報告されている。

金武有機堆肥センターと宜野座村堆肥センターの好気性発酵作業の違い

金武有機堆肥センターでは、自動攪拌装置を導入し、堆肥の切り返しを自動化することで、均質な水分調整と発酵の促進を実現している。これにより、微生物の活動が最適化され、安定した発酵環境が維持される。また、発酵ラインの温度や酸素供給の管理がシステム化されているため、効率的な好気性発酵が可能である。

一方、宜野座村堆肥センターでは、ユンボ（油圧ショベル）を使用して切り返し作業を行っており、この工程のノウハウは作業員の熟練度に依存している。切り返しの頻度や深さ、発酵温度の管理などは作業員の経験と技術に左右されるため、発酵プロセスの均質化が課題となっている。特に、切り返しのタイミングによっては発酵ムラが生じる可能性があり、乾燥効率や最終的な堆肥の品質に影響を与えることが考えられる。

考察と今後の展望

金武有機堆肥センターの自動攪拌技術は、発酵プロセスの均一化と効率化に寄与し、短期間で高品質な堆肥を生産する上で有利である。一方、宜野座村堆肥センターの手動攪拌方式は、作業員の熟練度に依存するものの、柔軟な対応が可能であり、特定の条件下では最適な調整が可能となる場合がある。

今後、宜野座村堆肥センターにおいても、自動攪拌技術の導入や作業員の技術継承のための研修プログラムを強化することで、発酵プロセスの安定化と堆肥品質の向上が期待される。また、高カロリー発酵助材の活用による発酵期間短縮の可能性についても、さらなる研究と試験が求められる。

4.2.3.1 堆肥化による自然乾燥の応用可能性

堆肥化による自然乾燥技術は、以下の2つの分野での応用が期待される。

1. 乾式メタン発酵における水分調整および多様な原料の均質化

乾式メタン発酵は、原料の固形物濃度を15～40%程度に水分調整した後にメタン発酵処理を行う方式である。このプロセスでは、原料の水分含有率が高い場合、適切な水分調整が必要となる。堆肥化による自然乾燥技術を活用することで、原料の水分を効果的に調整し、乾式メタン発酵に適した状態にすることが可能である。また、多種多様な原料を混合し均質化することで、発酵プロセスの安定性と効率性を向上させることが期待される。

2. 発酵残渣の燃料化工程での活用

メタン発酵後に残る発酵残渣は、そのままでは高い水分含有率を持つため、燃料として利用するには乾燥が必要である。堆肥化による自然乾燥技術を適用することで、発酵残渣の水分を効果的に除去し、燃料化に適した状態に加工することが可能である。これにより、発酵残渣のエネルギー利用が促進され、資源の有効活用につながる。

関連事例の紹介

1. 乾式メタン発酵における水分調整の事例

環境省の「メタンガス化施設整備マニュアル」では、乾式メタン発酵において、原料の固形物濃度を15～40%程度に水分調整することが推奨されている。この水分調整において、堆肥化による自然乾燥技術を活用することで、効率的な水分調整が可能となり、発酵プロセスの安定化が期待される。

2. 発酵残渣の燃料化の事例

兵庫県の事例では、メタン発酵後の発酵残渣を堆肥化し、農地還元を行っている。また、発酵残渣を乾燥させることで、燃料としての利用も検討されている。

る。このように、堆肥化による自然乾燥技術は、発酵残渣の燃料化工程においても有効に活用されている。

考察と今後の展望

堆肥化による自然乾燥技術は、乾式メタン発酵における水分調整や原料の均質化、さらに発酵残渣の燃料化工程において有用な手法である。今後、この技術のさらなる普及と最適化を図ることで、資源循環型社会の実現に寄与することが期待される。

4.2 固体燃料関連技術

4.2.4 視察調査（長崎油飼工業株式会社・ゆがふ製糖株式会社）

日付：2024年9月17日

場所：長崎油飼株式会社 長崎県諫早市下大渡野町 2041-1

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、宮城康智、久志進

1. 視察概要

長崎県諫早市の長崎油飼工業株式会社を訪問し、有機系廃棄物を燃料とする固形燃料ボイラーの実機を見学する。また、それらの運用実績やコスト等に関する情報を収集する。

2. 視察結果

対象とした施設は鶏糞を燃料とするバイオマスボイラーで、場内へ水蒸気を供給するための設備となっており、自然の気乾状態の鶏糞を燃料としてそのまま燃焼させていた。

原料の鶏糞に関しては有償で受け入れ、バイオマスボイラーで作られた水蒸気を亜臨界加水分解装置などの蒸気を熱源とする機器に使用することで、重油を使用するよりコストが低く抑えられており、通常の産業廃棄物処理業では、処理費を頂いて経営が成り立っていく仕組みだが、長崎油飼工業では有償で買い取りをしても経営が成り立っていた。

バイオマスボイラーは6.5億円の先進的省エネルギーの補助金を受けているが、総額はその2倍以上のかなり高価なものであった。



【バイオマスボイラー】



【原料：鶏糞】

日付：2024年9月25日

場所：ゆがふ製糖株式会社 沖縄県うるま市字川田 330 番地の 1

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、宮城康智、久志進、大浜浩志

1. 視察概要

ゆがふ製糖株式会社を訪問し、サトウキビから糖分を取り出した後に残るバカスを原料としたバイオマスボイラー実機を見学、またそれらの運用実績に関する情報を収集する。

2. 視察結果

ゆがふ製糖株式会社ではバイオマスボイラーにバガスを投入し、蒸気タービンを回し発電し得られた電気は場内利用、廃熱に関しては製糖工程で利用されていた。

以前はサトウキビ生産が盛んで、重油等の燃料も安価だったため余剰バカスがあったが、近年ではサトウキビ生産減と燃料高騰もあり、バガスは全量バイオマスボイラーに使用されているという事であった。



【原料燃焼施設】



【蒸気タービン・発電機】

4.3 亜臨界加水分解技術

4.3.1 面談調査1（亜臨界水反応総合研究会）

面談日：2024年11月15日

参加者：

- 一般社団法人 亜臨界水反応総合技術研究会
 - 代表理事
 - 理事
- 一般社団法人 地域循環資源エネルギー開発機構
 - 久志進

1. 面談の目的

亜臨界水処理技術の動向および実用化に向けた技術的課題と解決策について意見交換を行うとともに、具体的な導入可能性を探る。

2. 議題と主な内容

(1) 亜臨界水処理技術の現状と課題

- 研究・開発の進捗
 - 亜臨界水処理技術は、高温・高圧の水環境を活用して有機物を分解し、資源化する技術であり、肥料・飼料・メタン発酵前処理などに応用されている。
 - 現在の商用化事例は一部に限られるが、液肥製造やメタン発酵前処理において一定の成果が確認されている。
 - プラスチックの分解可能性についても試験が進められているが、分解過程の詳細なメカニズムは未解明の部分が残る。
- 技術的課題
 - 既存の処理設備のスケールアップとコスト削減が課題。
 - 原料ごとの適切な処理条件（温度・圧力・時間）の最適化が求められる。
 - プラスチック分解の完全性や安全性を証明するデータの蓄積が必要。
 - 肥料・飼料としての利用に関する法的規制の整理と適合が必要。

(2) 実績および具体的な処理事例

- 下水汚泥の処理
 - 亜臨界水処理を活用した最初の実績として、下水汚泥の燃料化およびスーパーの食品残渣の肥料化が実現されている。

- 軽脱水後の下水汚泥は、処理開始から分解、乾燥、脱塩、排出までを約3時間で完了する。
 - 医療廃棄物・紙オムツの再生燃料化
 - 感染性・非感染性の紙オムツを処理し、高カロリー燃料（24 MJ/kg 以上）としてバイオマス発電・ボイラー燃料に活用。
 - 感染性医療廃棄物の処理も可能で、従来の焼却処理と比較し、より環境負荷の低い処理方法として注目されている。
 - メタン発酵の前処理
 - 亜臨界水処理により、有機物の低分子化を促進し、従来30日を要するメタン発酵を5～10日程度に短縮。
 - 発酵残渣の減少（従来の1/2～1/5）およびメタンガス発生量の増加が確認されている。
- (3) コストおよび事業性
- 設備費用
 - 3m³以下の処理装置は製造実績がなく、5m³未満の容器は製作していない。
 - 新規製作する場合、最小でも5m³の装置となり、基本的な設備構成を含めた場合の概算費用は約3億3,000万円。
 - 運用コスト
 - 1バッチあたりの平均処理コスト（水道・電気・灯油・消耗品等を含む）は約2万～2万5,000円。
 - 具体的な処理効率や経済性については、秘密保持契約の締結後に詳細データの開示が可能。

3. まとめと今後の展開

- 技術面
 - 既存の実績を活かし、肥料化・飼料化・メタン発酵前処理における実証試験を拡充する。
 - プラスチックの分解過程の解明と、安全性の検証を進める。
 - 原料の多様化に対応するため、温度・圧力の最適条件を確立。
- 事業性
 - 初期投資が大きいと、補助金や公的支援制度の活用を検討。
 - 廃棄物処理・再資源化を希望する事業者との連携を強化し、商用化の可能性を探る。
 - メタン発酵事業者と連携し、発酵効率向上に向けた共同研究を推進。

- 法規制対応
 - 飼料・肥料としての活用に向けた法的課題の整理。
 - 関係機関と協議し、規格設定および安全性試験を実施する。

- 4. 次回のアクション
 - 具体的な導入案件に関する技術支援の可能性を検討。
 - 実証事業実施に向けた検討を進める。
 - 関連企業・自治体との協議を行い、適用可能な廃棄物の選定を進める。

4.3 亜臨界加水分解技術

4.3.2 視察調査（長崎油飼工業株式会社）

日付：2024年9月17日

場所：長崎県諫早市下大渡野町 2041-1

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、宮城康智、久志進

1. 視察概要

長崎県諫早市の長崎油飼工業株式会社を訪問し、亜臨界加水分解装置の運用実績やコスト、施設導入に関する許可条件等に関する情報を収集する。

2. 視察結果

長崎油飼工業株式会社はリサイクルを中心に行っている会社で、食肉、食鳥、魚類の残渣等を幅広く扱い、産業廃棄物ではなく有価物として搬入する企業から原料を購入し製品化をしている為、産業廃棄物処理業の許可申請する必要がない事が分かった。

搬入された原料は亜臨界加水分解装置にかけられ高温高圧処理され、牛の血液や豚の炊き骨は粉状加工し肥料として販売、鶏の羽根はタンパク質を多く含むことから肥料や飼料の原料としても販売されている。

維持管理に関しては、大きな故障はないが圧力容器の定期点検を必ず実施する事と、ボイラー技士の資格保有者がいた方が望ましい。



【亜臨界加水分解装置】



【処理前：鶏の羽根】



【処理後：鶏の羽根】

4.3 亜臨界加水分解技術

4.3.3 面談調査（三菱重工業株式会社）

日付：2024年5月22日

時間：9:00～11:00

場所：三菱重工業株式会社本社

参加者：

- 一般社団法人地域循環資源エネルギー開発機構：久志進、宮城康智

1. 面談概要

2024年5月22日9時から11時まで、三菱重工業株式会社本社にて、Ad Bio(Waste to Biomass)バイオマス高効率回収資源化システムに関する技術説明および意見交換を実施した。本システムの目的、技術的特徴、導入計画、ビジネス展開について三菱重工業株式会社側からの説明を受け、今後の適用可能性について議論を行った。

2. 面談内容

(1) Ad Bio(Waste to Biomass)システムの概要

- 本システムは、廃棄物の分別等の省力化・効率化を目的として開発された。
- 特に、原料となる有機系廃棄物の微細化（低分子化）を実現するために、独自の「反応装置」を採用。
- 廃棄物処理の効率向上を図ることを目的としており、湿式メタンプラントの原料供給にも適用可能である。

(2) 技術的特徴

- 加水分解の技術は使用せず、圧力鍋のような「まろやかな高温・高圧技術」を用いると説明された。
- 詳細な技術内容については非公開とのこと。
- この技術を用いることで、紙ごみやセルロース系廃棄物の低分子化が可能となり、湿式メタンプラントの原料として活用できることが実証されている。

(3) 今後の導入計画

- 本システムは夏頃に長崎県の自治体へ設置し、稼働予定。

- 国内外の導入実績については言及されなかったが、今後の展開が注目される。

(4) ビジネスモデルと価格設定

- ビジネス展開においては、100t/日規模の処理能力を想定。
- 価格についての質問には、回答できないとの説明を受けた。

3. 考察と結論

今回の面談を通じて、三菱重工業株式会社が開発した Ad Bio(Waste to Biomass)システムは、有機系廃棄物の処理効率を向上させる可能性があることが確認できた。特に、セルロース系廃棄物の低分子化により、湿式メタン発酵の適用範囲を広げる技術的優位性を持つと考えられる。

しかし、技術の詳細や価格についての情報開示が制限されており、事業化の実現性や採算性についての検討が必要である。今後は、長崎県での稼働状況を確認し、技術の実効性および導入における課題を精査する必要がある。

また、本技術を導入することで、沖縄県におけるバイオマス資源化プロジェクトへの適用可能性があるかについて、さらなる調査と実証試験が求められる。今後の情報収集と追加の面談を検討する。

4.3 亜臨界加水分解技術

4.3.4 亜臨界加水分解技術のまとめ

1. 亜臨界水処理技術の概要

- 定義：亜臨界水（100℃・0.1MPa～374℃・22.1MPa）を利用し、高速加水分解反応で有機物を効率的に分解する技術。
- 特性：
 - 水のイオン積が257℃付近で最大となり、H⁺とOH⁻の濃度が常温時の30倍以上に増加 → 有機物の加水分解が加速。
 - バッチ式：多様な有機物が処理可能だが、蒸気の加温・排出が必要。
 - 連続式：24時間運転が可能でエネルギー消費が少ないが、スラリー状の原料に限定される。

2. 入口（原料）と出口（製造物）、先行事例

- 入口（原料）：
 - 食品廃棄物、家畜排せつ物、木質バイオマス、下水汚泥など。
- 出口（製造物）：
 - 飼料、肥料、メタン発酵原料、有害物質の除去、プラスチックの減容化など。
- 先行事例：
 - 液肥製造（商用化）：鮭の加工残さを原料にアミノ酸含有量5.3%の液肥を製造。化学肥料の1.6倍の収量。
 - 木質飼料（実用化段階）：亜臨界水処理で木質チップを牛用飼料化、副産物としてフルボ酸生成。
 - メタン発酵前処理（実用化段階）：亜臨界水処理により発酵時間を30日から10日へ短縮、効率向上。

3. 亜臨界水処理技術の可能性と導入が期待される分野

- 有機物の循環利用が可能：
 - 骨や脂肪などの難分解物も処理可能。
 - 食品廃棄物や家畜排せつ物の飼料・肥料化が可能。
 - メタン発酵の前処理で発酵効率向上、ガス化効率増。
 - プラスチックの分解試験も進行中（目視では液化するが分解過程は未解明）。
- 期待される導入分野：
 - 液肥化：既に商用化実績があり、付加価値が高い。

- 肥料化：動物性・植物性廃棄物を利用可能、発酵日数短縮。
- 飼料化：高温処理により安全性が向上、輸入飼料の代替も視野。
- メタン発酵：発酵効率向上、発酵槽の縮小、コスト削減。

4. 既存制度との整合性と課題

- 飼料の安全性確保法：
 - 亜臨界水処理で製造された飼料は前例がなく、安全性検証が必要。
 - BSE 防止のため動物性たん白質の制限あり。
 - 飼料として登録するためには栄養価の分析と規格設定が必要。
- 肥料取締法：
 - 亜臨界水処理肥料の公定規格が未設定 → 新たな規格整備が必要。
 - 有害成分の分析、栽培試験の実施が求められる。
 - プラスチック混入の可能性がある場合、適切な処理方法の確立が必要。

5. 総括

<メリット>

1. 廃棄物の資源化
 - 食品廃棄物、家畜排せつ物、木質バイオマスなどを飼料・肥料・メタン発酵原料として有効活用できる。
 - 骨や脂肪など、従来の方法では難しかった有機物の処理も可能。
2. 環境負荷の低減
 - メタン発酵の前処理を行うことで、発酵時間を従来の 30 日から 5～10 日に短縮できる。
 - 発酵残渣の量が削減され、処理コストが低減。
 - 肥料化・飼料化による循環型社会の形成が期待される。
3. エネルギー効率の向上
 - 連続式処理により、24 時間稼働が可能でエネルギー消費を抑えられる。
 - メタン発酵と組み合わせることで、バイオガスの発生量が増加し、発電にも活用可能。
4. プラスチック分解の可能性
 - 亜臨界水処理でビニール等の汎用プラスチックが液化することが確認されており、今後の技術進展によってプラスチック処理技術としての活用が期待される。

<デメリット>

1. コストが高い
 - 設備投資（初期コスト）が高く、導入には多額の資金が必要。
 - エネルギー消費が高温高压条件での処理により増加する可能性がある。
2. 技術的課題が多い
 - 亜臨界水処理によるプラスチックの分解過程が未解明であり、最終的な分解物の安全性が不明。
 - 異なる原料ごとに適切な温度・圧力・処理時間を調整する必要があり、標準化が難しい。
3. 法規制への適合が必要
 - 飼料・肥料としての活用には安全性の検証や成分規格の設定が求められる。
 - BSE 防止のため、動物性タンパク質を含む飼料の使用には制限がある。
 - プラスチックを含む食品廃棄物を処理する場合、法的な適合性の確認が必要。
4. 市場受容性の課題
 - 亜臨界水処理で製造された飼料や肥料の市場価値が明確でなく、既存製品との競争力を確保する必要がある。
 - 農家や畜産業者にとってのコストメリットが不明確であり、実証試験や普及活動が必要。
5. メタン発酵施設との統合が必要
 - メタン発酵の前処理としては効果的だが、従来のメタン発酵設備との統合が必要であり、追加の設備投資が求められる。
 - プラスチックの処理によるガス発生量の増加が確認されていないため、メタン発酵プロセス全体への影響が不明。

6. まとめ

亜臨界水処理技術は、食品廃棄物やバイオマスを効率的に資源化し、環境負荷を低減する可能性を持つ技術である。特に、液肥化やメタン発酵の前処理としての活用が期待され、商用化に向けた実績も増えてきている。一方で、設備投資の高さ、法規制の適合、市場受容性などの課題があり、これらをクリアしなければ広範な導入は難しい。今後は、プラスチック分解の安全性の検証、コスト削減、商用化の促進が求められる。

4.4 熱分解技術

4.4.1 文献調査 1

1. はじめに

熱分解ガス化装置は、バイオマスや廃棄物を高温で熱分解し、可燃性ガスを生成する技術である。この技術は、廃棄物の減量化、エネルギー回収、環境負荷の低減など、多岐にわたる利点を持つ。本報告書では、熱分解ガス化装置の概要と国内外の導入事例について調査し、その現状と課題を整理する。

2. 熱分解ガス化装置の概要

熱分解ガス化装置は、主に以下のプロセスで構成される。

1. ガス化：廃棄物を約 450～600℃の低酸素環境で加熱し、可燃性ガス（CO、H₂、CH₄など）と炭素分を多く含むチャーに分解する。
2. 溶融：生成されたガスとチャーを 1200～1300℃以上の高温で燃焼させ、その熱で灰分や不燃物を溶融し、スラグとして回収する。

この技術は、従来の焼却炉と比較してダイオキシン類の生成が少なく、排ガス量も抑えられるため、環境負荷の低減が期待されている。

3. 導入事例

(1) 国内の事例

中外炉工業株式会社の取り組み 中外炉工業株式会社は、木質バイオマスエネルギーによるガス化発電システムの研究開発を進めている。2005年には山口県山口市に実証試験施設（5t/日、180kW）を設立し、500時間の連続運転とエネルギー変換効率60%（電気20%、熱40%）を達成した。さらに、2013年2月には秋田県横手市に「バイオマスガス化トリジェネレーション発電システム」（7～9t/日、180kW）を建設し、発電、熱利用、燃料生産を同時に行うシステムの実証試験を実施している。

小規模ガス化発電の普及 再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）の改定により、未利用木質バイオマスを燃料とした2MW未満の小規模発電が注目を集めている。2021年11月時点で、国内で累計298基の導入が進んでおり、その95%がガス化発電である。これらの装置は、小型でも高い発電効率を持ち、20kW程度の超小型でも20%以上、200kW以上では30%程度の効率を実現している。

食品加工業への導入 食品加工業者では、磁気熱分解装置を導入することで、廃棄コストの削減とエネルギーの再利用を実現している。具体的には、廃

棄物を分解した際に得られたエネルギーを温水や電気として再利用することで、廃棄物処理の効率化とコスト削減を図っている。

(2) 国外の事例

廃プラスチックの熱分解 Biogreen 社は、熱分解装置を用いて廃プラスチックをガス化し、発電用ガスエンジンの燃料として利用するシステムを開発している。このシステムは、ゼロエミッションを実現し、環境問題の解決に寄与している。

下水汚泥の熱分解ガス化 同じく Biogreen 社は、有機汚泥を熱分解し、ガスと炭化物を生成する技術を開発している。生成されたガスは燃料として利用可能であり、炭化物は土壌改良剤としての利用が検討されている。

4. おわりに

熱分解ガス化装置は、廃棄物の有効利用とエネルギー回収の観点から、今後ますます重要性を増す技術である。国内外の導入事例を通じて、その有効性が確認されている一方で、いくつかの課題も浮き彫りになっている。

(1) 技術的課題

- ガス化効率の最適化：原料の種類や含水率によってガス化の効率変動し、安定したガス生成のための前処理技術が必要となる。
- 異物混入対策：プラスチックや金属、ガラスなどの不純物が含まれる廃棄物を適切に処理するための選別・分別システムの高度化が求められる。
- 装置の耐久性：高温処理による装置の摩耗が避けられず、長期運用に向けた耐久性の向上とメンテナンスコストの低減が課題となる。

(2) 経済的課題

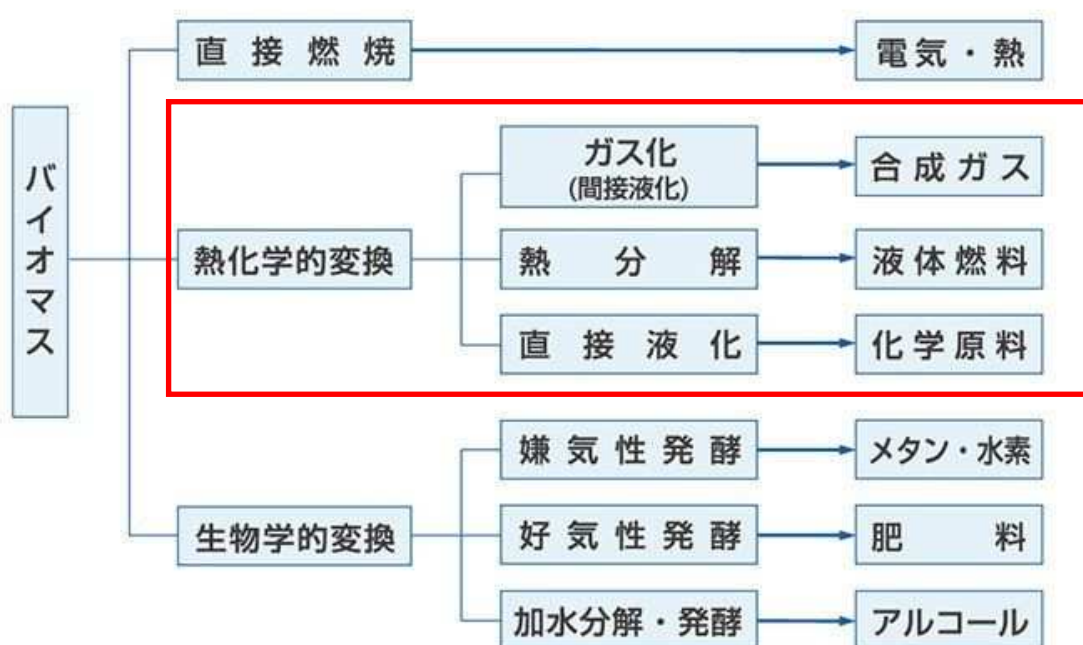
- 初期投資の高さ：ガス化装置の導入には高額な設備投資が必要であり、特に小規模事業者にとっては導入のハードルが高い。
- 運用コストの最適化：一部のシステムでは、廃棄物の収集・運搬コストが高くなり、経済的に採算を取るためには効率的な物流・処理ネットワークの構築が不可欠となる。
- 収益性の確保：売電やガス販売の価格変動によって収益性が左右されるため、安定した市場確保が求められる。

(3) 社会的・政策的課題

- 規制と認可：熱分解ガス化装置の運用には環境規制や排ガス基準を満たす必要があり、各国の法制度に適合するための調整が必要。

- 普及のためのインセンティブ：再生可能エネルギー政策の強化や、税制優遇、補助金制度の充実によって、導入を促進する政策的支援が求められる。
- 地域との連携：廃棄物の安定的な供給と処理のために、自治体や産業界との協力体制の構築が不可欠である。

これらの課題を克服するためには、技術革新とともに、廃棄物の適正管理、政策支援、事業モデルの最適化が必要となる。今後、さらなる研究開発と官民連携による実証プロジェクトを進めることで、熱分解ガス化技術がより実用的で持続可能な形で普及することが期待される。



独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

4.4 熱分解技術

4.4.2 文献調査 2

1. 調査の目的

本調査は、鹿児島県大崎町にあるカラル株式会社が導入している株式会社みやこ総研の熱分解ガス化装置の運用状況および技術的特徴を確認することを目的とする。また、装置の開発者である A 氏が同席予定であるため、技術面の詳細についてもヒアリングを行う。

さらに、2024年4月21日に訪問したエナブレス社の熱分解ガス化装置についても A 氏が関与している可能性があり、同装置との技術的関連性を調査する。

2. 調査対象施設

2.1 カラル株式会社（鹿児島県大崎町）

(1) 施設概要

- 導入装置：YAMATO-YBG 再生エネルギー変換装置（みやこ総研販売）
- 処理対象：食品廃棄物、バイオマス、プラスチック廃棄物等
- 処理能力：48t/日（2t/時間）
- 主要技術：無酸素超高温熱分解ガス化技術
- 出力：メタンガス（ CH_4 ）、シリカ（ SiO_2 ）

(2) 技術的特徴

- 超高温（500～800℃）で無酸素熱分解
- CO_2 やダイオキシン類を発生させず、クリーンなガス化が可能
- 生成ガスは発電用や燃料供給として利用
- 残渣はシリカとして回収され、建築資材などに再利用可能
- 40ft コンテナ型で移動可能なシステム

(3) 調査ポイント

1. 装置の稼働状況（連続運転の安定性、運転コスト）
2. 排ガスの組成（ダイオキシン類・ CO_2 の抑制効果）
3. 生成メタンガスの利用状況（発電・売電・燃料化）
4. 装置の耐久性とメンテナンス頻度
5. 施設の収益モデル（導入コスト・運転コスト・売電収益）

2.2 エナブレス社の熱分解ガス化装置

(1) 訪問日時

- 2024年4月21日
- 設置場所：有限会社産直グループこだわり村

(2) 技術的概要

- 超高温ガス化プラント
- 廃棄物の選別・破碎前処理は未導入
- 開発者：A氏との関連性がある可能性
- 株式会社みやこ総研の装置との技術的類似点が多い

(3) 調査ポイント

1. カラル株式会社の装置との技術的相違点
2. A氏の開発関与の有無
3. 特許や権利関係の確認
4. 排ガス処理技術の比較
5. コストパフォーマンスの比較

3. 視察予定のヒアリング項目

(1) A氏へのヒアリング

1. 熱分解ガス化技術の開発経緯
2. エナブレス社との関係性
3. カラル株式会社向けに最適化した点
4. 他の導入事例と比較した特徴
5. 今後の技術開発の展望

(2) カラル株式会社へのヒアリング

1. 装置の導入経緯（選定理由、初期コスト）
2. 運用状況（実際の稼働率、発電効率）
3. ガスの販売状況（需要、収益性）
4. メンテナンス体制（故障頻度、保守コスト）
5. 運用上の課題（改善すべきポイント）

4. 予想される調査成果

- カラル株式会社の熱分解ガス化装置の運用実績を明確にする
- エナブレス社の装置との技術的比較を行い、開発者の関与を確認
- A氏の技術的見解を取得し、今後の導入可能性を評価
- 熱分解ガス化装置の市場性や収益性を検討し、導入モデルを構築

5. 調査後の次のステップ

1. カラル株式会社の視察結果をもとに、運用状況の評価をまとめる
2. エナブレス社との関連性を明確にし、技術特許・権利関係を調査
3. A氏への追加ヒアリングを行い、今後の事業展開に活かす
4. 熱分解ガス化技術の普及可能性を検討

4.4 熱分解技術

4.4.3 視察調査（カラル株式会社）

日付：2024年6月27日

時間：10:00～12:00

場所：カラル株式会社（鹿児島県大崎町）

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、久志進

1. 視察概要

2024年6月27日10時より、鹿児島県大崎町にあるカラル株式会社に設置された熱分解ガス化装置の視察調査を実施した。視察では、同装置の技術的特徴や運用状況について、開発者であるA氏からの説明を受けるとともに、装置の構成、稼働状況、環境負荷などについて詳細な調査を行った。

2. 視察内容

(1) 視察実施の詳細

2024年6月27日午前10時から12時まで、カラル株式会社に設置されている熱分解ガス化プラントを視察した。開発者のA氏より、プラントの構成や機能について説明を受けた。

カラル株式会社は、農業用マルチの廃棄物処理を主な事業としている。廃棄された農業用マルチを洗浄し裁断した後、ペレット化装置の代替として熱分解ガス化プラントを導入している。同プラントはインドネシア、マレーシア、ネパールで多数の導入実績があり、現在も稼働中とのことである。国内では本装置が2号機であり、前回の東京出張で訪問したエナブレス社のプラントが1号機であることが判明した。

また、熱分解ガス化プラントをメタンプラントの代替設備として使用できるか、特に発酵残渣の処理に適用可能かどうかについての調査が必要である。さらに、実証事業として導入する場合には、国内外のプラントを調査し、比較検討を行うことが不可欠である。

しかし、開発者のA氏が高齢であること、プラントの構成やスペックが変更されていることが不安材料として残った。特に、ガス化プラントのスペックに関する質問状への回答が得られなかった点は、今後の検討課題として挙げられる。

(2) 熱分解ガス化装置の構成と技術的特徴

本装置は、二段階の加熱プロセスを採用している。

1. 最初の加熱ガス化工程：直接ガス化溶融炉に近い方式で加熱を行い、原料をガス化する。
2. 次の加熱分解工程：ロータリーキルン型の考え方にに基づき、さらに加熱分解を進める。

このプロセスにより、可燃性ガスが生成され、その主成分は一酸化炭素(CO) であると考えられる。

(3) 燃焼効率と環境負荷

本装置の効率面については評価できる点が多い。特に、農業用マルチの廃棄物処理として導入されていることから、資源循環の一環としての有効性が確認された。

しかしながら、以下の問題点が指摘された。

1. 排出ガス処理が行われていないため、大気汚染リスクが懸念される。
2. 燃焼炉と見なされる可能性が高いことから、法規制の適用範囲が広がる可能性がある。

これらの点については、装置の導入を検討する際に慎重な対応が求められる。

(4) 今後の検討課題

- 排出ガス処理システムの導入：NO_x やダイオキシンなどの有害物質の排出管理が不可欠。
- 国内外での導入事例の比較：インドネシア、マレーシア、ネパールでの運用事例を参考に、日本国内での適応可能性を精査。
- メタン発酵施設との代替性：本装置がメタン発酵設備の代替となり得るか、特に発酵残渣の処理方法についてさらなる調査が必要。

3. 考察と結論

本視察を通じて、熱分解ガス化技術の実用性と課題が明確になった。装置の技術的特徴として、二段階の加熱プロセスによる高効率な燃焼が挙げられるが、環境負荷の観点からは未解決の問題も多い。特に、排出ガス処理の欠如と法規制上のリスクは、導入を検討する上での大きな課題となる。

今後は、他の熱分解ガス化プラントとの比較を進め、以下の点を重点的に検討する必要がある。

- 排出ガス処理技術の追加
- 燃焼炉認定のリスク回避策
- 発酵残渣の処理適性

以上の課題を踏まえ、今後の実証事業への導入可否を慎重に検討する必要がある。



【熱分解加熱装置】

4.5 調査結果と評価

4.5.1 技術の適応性

本調査では、対象地域および他地域で発生する廃棄物を活用したバイオマスエネルギー技術の導入可能性について、視察および文献調査に基づき技術的適用性を評価した。その結果、以下の技術が候補として挙げられた。

【乾式メタン発酵技術】

- ・幅広い有機性廃棄物が原料として使用可能である。（畜産廃棄物、下水、食品残渣、グリーストラップ、ペーパースラッジ、紙ごみや草木類など）
- ・発酵残渣の水分が少ないため水処理が不要であり、排水処理コストが削減される。
- ・発酵残渣は堆肥化や燃料化が可能であり、エネルギー回収と資源循環の両立が図れる。

【固体燃料化技術（炭化・油温乾燥）】

- ・御笠川浄化センターの事例により、下水汚泥の固形燃料化には炭化技術と油温減圧乾燥技術が有効であることが確認された。
- ・炭化技術は、250～300℃の低温蒸気加熱による処理方式で、消化汚泥から高位発熱量 14.1 MJ/kg の炭化物を生成する。既存石炭火力発電所における混焼用燃料として使用可能である。
- ・油温乾燥技術は、廃食用油などを熱媒体とし、80～90℃の加熱下で真空減圧乾燥を行う。処理後の乾燥物は 22 MJ/kg-DS の発熱量を有し、ペレット化して燃料として供給されている。
- ・炭化燃料は販売価格が 1t 当たり 300 円と低価格であり、収益は主に処理費に依存している。
- ・油温乾燥は処理時間が短くエネルギー効率が高いものの、施設内臭気が強いいため、導入にあたっては臭気対策が不可欠である。
- ・両技術とも、導入には一定の設備投資が必要だが、廃棄物資源の有効活用および補助的燃料供給手段として有望である。

【バイオマスボイラー技術】

- ・長崎油飼工業株式会社およびゆがふ製糖株式会社の事例では、鶏糞およびバガスを燃料とした熱供給および発電が行われており、地域バイオマスの直接燃焼による活用可能性が示された。

- ・これらの燃料は発酵残渣や乾燥汚泥を含めたバイオマス由来の固形燃料に置き換えることで、地域資源循環の強化が図られる。

【亜臨界加水分解技術】

- ・高温高圧領域における水処理技術であり、有機物を分解してメタン発酵効率を向上させる効果がある。
- ・一方で設備コスト・ランニングコストが高く、処理対象の性状や処理単価の設定によっては採算性が課題となる。

【熱分解技術】

- ・高温加熱により原料を気化・分解する方式であり、油化や合成ガス化が可能とされているが、カラル株式会社での試験結果では期待されたガス収量が得られず、実用段階には至っていない。

結論として、実証プラント建設に向けての技術選定では、まず乾式メタン発酵を基本構成とし、処理対象の特性や地域事情に応じて、以下の技術導入を検討することが適当である。

1. 発酵残渣や下水汚泥のエネルギー化手段としての固体燃料化技術
(炭化・油温乾燥)
2. 発酵残渣等の補助的燃焼・熱源供給を担うバイオマスボイラー
3. 多様な有機物処理に対応する前処理技術としての亜臨界加水分解

特に固体燃料化技術は、地域における臭気規制や利用用途、燃料の輸送可否など複数の条件を考慮したうえでの適応が求められるため、導入にあたっては詳細な設計および制度整備が必要である。

4.5 調査結果と評価

4.5.2 経済性の分析

1. はじめに

本調査では、沖縄型クリーンエネルギー導入促進に向けた各技術（亜臨界加水分解装置、乾式メタン発酵プラント、熱分解ガス化装置、バイオマスボイラー、固体燃料化設備）の経済性について評価を行った。本章では、それぞれの技術に関する初期投資コスト、運用コスト、収益性を詳細に分析し、投資回収期間や経済的指標を用いて事業の実現可能性を検討する。また、技術の適用に伴うリスクや不確実性についても言及し、持続可能な事業モデルの構築に向けた課題を明確にする。

ただし、固体燃料化設備、熱分解ガス化プラントおよびバイオマスボイラーについては、視察調査では初期投資費用やランニングコストの具体的な情報が一部不足しており、現時点での経済性評価には限界がある。そのため、今後の調査による設備費や収益モデルの確立が必要である。

2. 初期コスト

本事業において導入が検討される技術について、初期投資コストの概算を以下に示す。

技術区分	初期投資額（概算）
乾式メタン発酵プラント	約 4～5 億円
亜臨界加水分解装置	約 5 億円
熱分解ガス化装置	（未確定）
バイオマスボイラー	約 6～10 億円（規模による）
固体燃料化設備（炭化）	約 38 億円（御笠川事例・DBO 含）
固体燃料化設備（油温乾燥）	約 5～8 億円（推定）

※炭化設備は大規模施設の場合の事例であり、小規模施設での導入には規模縮小および設備仕様見直しによるコスト最適化が必要である。

3. 運用コスト

技術区分	年間運用コスト（概算）
乾式メタン発酵プラント	約 3,000 万～3,500 万円
亜臨界加水分解装置	約 2～2.5 億円
熱分解ガス化装置	（未確定）
バイオマスボイラー	高圧蒸気運用により燃料・保守費が高い
固体燃料化設備（炭化）	高温加熱・排ガス処理等による高コスト
固体燃料化設備（油温乾燥）	中温処理だが臭気対策コストが想定される

4. 収益性

技術区分	年間収益の構造と評価
乾式メタン発酵プラント	売電+処理収入 約 4,383 万円/年(黒字化可能)
亜臨界加水分解装置	処理対象・副産物による（精査中）
熱分解ガス化装置	未確定
バイオマスボイラー	自家消費型：燃料費節約、導入先施設のエネルギー依存度に依存
固体燃料化設備（炭化）	燃料販売：300 円/トン（御笠川）→販売収益小、処理費収入が主構造
固体燃料化設備（油温乾燥）	高発熱量（22 MJ/kg）による燃料販売可能だが、販路・数量に課題あり

5. 経済的評価指標

- 投資回収期間（Payback Period）
 - 乾式メタン発酵プラント：初期投資 5 億円に対し、年間黒字額約 997 万円 → 単純回収年数は約 50 年
 - 補助金 3 億円を活用した場合（自己負担 2 億円）：単純回収年数は約 20 年
 - バイオマスボイラー：補助金活用を前提としなければ長期回収が想定されるため、導入判断には熱需要・使用頻度との連動が鍵となる。

- 補助金活用の影響
 - バイオマスボイラーは、特に補助金の有無で導入可否が左右される高額設備である。

6. まとめ

- 初期投資コスト：固体燃料化設備、バイオマスボイラーおよび亜臨界加水分解装置は高額。乾式メタン発酵が最も導入しやすい。
- 運用コスト：乾式メタン発酵が低コスト。バイオマスボイラーは熱効率と導入規模次第。
- 収益性：乾式メタン発酵は売電・処理収入モデルで黒字化可能。バイオマスボイラーは自家消費型の熱需要施設との連携次第で導入効果が見込まれる。炭化・油温乾燥ともに、高品質な燃料が得られるが、販売収益は小さい
- リスク：バイオマスボイラーは燃料確保と使用頻度に依存し、維持管理コストにも留意が必要。

結論：現時点で経済性が最も明確に確保されているのは乾式メタン発酵プラントであるが、熱利用の必要な施設や工場においては、バイオマスボイラーの導入も有力な選択肢となり得る。今後は熱需要施設とのマッチング調査や、エネルギー自給モデルとしての実証が期待される。

5 地域連携に関する調査

5.1 自治体による事業化1（真庭市）

日付：2024年8月24日

時間：9:00～11:00

場所：岡山県真庭市、真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合バイオガスプラント

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、久志進

1. 視察概要

2024年8月24日、岡山県真庭市にある真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合が運営するバイオガスプラントを視察した。視察では、同施設の運営体制、技術的特徴、資源循環の仕組みについて調査を行った。

当初、受付が「真庭アグリガーデン」で行われていたため、施設訪問に若干の戸惑いがあったが、実際には、持続可能な資源循環型社会の理想的なモデルとして機能していることが印象的であった。

2. 視察内容

(1) 施設の概要と資源循環モデル

- 真庭アグリガーデンは、地域の農家が生産した米、野菜、果物などを販売するショップとして運営されており、レストランも併設されている。施設内は活気があり、多くの来場者が利用していた。
- 湿式メタン発酵プラントで排出される消化液（発酵残渣）は、無料で市民に提供されており、農地への循環利用が進められている。
- 本プラントは、生ごみから液肥と燃料ガスを生産する国のモデル事業として採択され、現在も実証実験が進められている。

(2) 廃棄物の収集・処理システム

- 真庭市と連携し、久世町地区（約4,200世帯）で収集された生ごみを、し尿や浄化槽汚泥と混合し、日量5tの原料として投入している。
- 家庭系一般廃棄物の生ごみを回収し、下水汚泥や畜産汚泥とともに湿式メタン発酵を行うシステムであり、収集方式や事後処理に特徴がある。
- これまで独自のバケツ型容器を使用した生ごみ収集システムが採用されていたが、近々、新しい方式へ変更予定との情報を得た。

(3) 技術的特徴

- 湿式メタン発酵技術および発電システムは、一般的な技術が採用されており、特に目立つ特徴は見受けられなかった。
- しかし、発酵残渣の活用方法には独自の循環型モデルが確立されている点が評価できる。

(4) 発酵残渣の利用と農業への還元

- 発酵残渣は液肥として農地に還元されており、環境負荷の低減と地域農業の活性化に貢献している。
- この液肥を活用して生産された野菜や花卉（かき）が、真庭アグリガーデン内のレストランやショップで販売されており、地域経済の循環が確立されている。
- 消化液そのものをペットボトルに入れて陳列されており、市民が手軽に利用できるようになっている。

3. 考察と結論

本視察を通じて、真庭市のバイオガスプラントは、地域資源の循環型利用を実現する理想的なモデルの一つであることが確認された。特に、

1. 生ごみ、下水汚泥、畜産汚泥を組み合わせた資源循環システム
2. 発酵残渣の液肥利用と、農産物・食品販売との統合
3. 市民や農業従事者への積極的な還元システム

といった要素が特徴的であり、単なる廃棄物処理施設ではなく、地域全体を巻き込んだ資源循環型社会の構築が実現されている点が印象的であった。

一方で、湿式メタン発酵や発電技術自体は特筆すべき新規性がないため、今後の発展としては、より高度な消化液処理技術や、新たな収集方式の効果検証が求められる。

また、バイオガスのさらなる活用方法（発電以外の用途）についても検討の余地があり、今後の事業展開に注目すべき点である。

総括すると、真庭市のバイオガスプラントは、単なる廃棄物処理施設ではなく、資源循環型社会を具現化した実践的なモデルであり、その運営手法や市民参画の仕組みは他地域においても参考となる可能性が高い。



【消化液を液肥として利用】



【ペットボトルにて配布】

5. 地域連携に関する調査

5.2 自治体による事業化2（笠岡市）

日付：2024年8月6日

時間：16:00～17:00

場所：岡山県笠岡市 かぶとバイオファーム合同会社 バイオガスプラント施設

参加者：堤純一郎、前田裕樹、譜久山剛、久志進

1. 視察概要

2024年8月6日、岡山県笠岡市において、かぶとバイオファーム合同会社が建設したバイオガス発電施設を視察した。本施設は、畜産業から排出される牛糞を主原料とした湿式メタン発酵を行う発電施設であり、地域資源を活用した循環型社会の実現を目指すモデルケースとして注目されている。

視察時点では施設は竣工済であったが、地元由来の菌を用いた予備発酵の段階であり、本格稼働は未開始の状況であった。とはいえ、地域における畜産廃棄物のエネルギー化、および臭気・処理負担の軽減といった観点から、高いポテンシャルを持つ施設であると感じられた。

2. 視察内容

(1) 施設の概要と地域背景

本施設は、岡山県笠岡市の児島湾干拓地に位置し、敷地面積9,975㎡、処理能力250t/日、発電出力1,427kWを有する。事業主体は、かぶとバイオマスプラント有限責任事業組合（かぶとLLP）であり、総事業費は約55億円（うち国庫補助約4.7億円、ふるさと融資約10億円を含む）とされている。

施設は、1万頭を超える乳牛が飼育される広大な牧場地帯から排出される牛糞を活用し、地域課題となっていた畜産廃棄物の処理と臭気の抑制に取り組むとともに、再生可能エネルギーの生産を行うものである。

(2) 消化液の課題と解決策

バイオガスプラントから排出される消化液については、以下のような課題が存在していた：

1. 肥料として使用される機会が少なく、需要が限られていること。
2. 水処理を行う場合、設備維持費および人的負担が大きいこと。
3. 液肥の輸送・散布に高コストと多大な労力を要すること。
4. 散布後に発生するアンモニア由来の臭気問題。

これらの課題に対し、シン・エナジー株式会社が開発した消化液濃縮技術を導入することで対応が図られている。濃縮技術により液肥の体積を削減し、輸送・散布の効率化と同時に成分濃度の向上を実現している。

(3) 技術的特徴と環境・経済効果

施設には、脱臭装置、液体分離・濃縮装置、水再利用システム等が導入されており、環境への負荷を低減する設計が施されている。また、発電による売電収入は年間約4億3千万円、運営経費は約1億7千万円、CO₂削減効果は年間約6,000tとされており、経済・環境両面での効果が期待されている。

さらに、災害時には非常用電源としての活用も想定されており、地域防災への貢献も見込まれる。

3. 考察と結論

笠岡市のかぶとバイオファーム合同会社による本施設は、地域の畜産業とエネルギー政策を連携させた先進的な事業であり、廃棄物処理と再生可能エネルギー創出を統合した地域循環モデルとしての価値を有している。

視察時点では本格稼働前であったが、課題への技術的対応が明確であり、今後の安定稼働と成果の発信に大いに期待が持たれる。また、導入技術の選定、資金スキーム、地域調整等における具体的なプロセスは、他地域での導入を検討する上でも重要な参考資料となり得る。

本施設は、単なるバイオガス発電設備に留まらず、地域の課題解決と持続可能な社会づくりに寄与する多機能なインフラとして、今後の展開が注目される。

5. 地域連携に関する調査

5.3 地域再生推進法人（北中城村）

1. はじめに

近年、地球温暖化対策やエネルギー安全保障の観点から、再生可能エネルギーの導入が国を挙げて推進されている。中でも地域資源を活用したバイオマス発電は、エネルギーの地産地消と地域経済の活性化を同時に実現する手段として注目されている。

本章では、地域再生法人制度の概要とその活用方法、地域バイオマス発電事業との関係性について整理し、沖縄県北中城村での実践事例を紹介する。その上で、制度活用による可能性と課題、そして現在我々が金武町・宜野座村で構想しているプロジェクトとの関連性について考察する。

2. 地域再生法人制度の概要と活用方法

地域再生法人制度とは、地域再生法に基づき、地域再生計画に定められた事業を推進するために地方公共団体がNPO法人等を「地域再生推進法人」として指定する制度である。この制度により、地域の実情に応じた主体的な再生事業の展開が可能となる。

対象法人には、特定非営利活動法人、一般社団・財団法人、公益法人、農業協同組合、商工会、学校法人、森林組合などが含まれ、指定を受けることで以下のようなメリットを得ることができる。

- 地域再生事業の担い手としての公的地位の付与
- 特定地域再生事業費補助金の交付対象となる
- 地域再生計画に記載された事業用地取得に関する法的優遇措置
- 国の農村漁村振興交付金の直接交付対象となる

バイオマス発電事業との関連においては、資金調達や土地確保、地域合意形成、行政連携において制度の利点が活かされ、持続可能なエネルギー事業の基盤強化が期待される。

3. 北中城村の事例

沖縄県北中城村では、株式会社EM研究機構が地域再生推進法人として指定され、村の総合戦略「まち・ひと・しごと創生推進計画」に基づき、EMユニバーサルビレッジの整備と運営を推進している。

同施設では、村内で発生する生ゴミをバイオガス化し、発電と堆肥・液肥化を同時に実現しており、生成電力は自家消費されるほか、非常時の電源確保としても活用されている。また、隣接する学童農園では、村内小学校の児童が生ゴミ資源循環や食育学習を体験しており、教育・福祉・エネルギーの統合モデルとして機能している。

本事業では、沖縄振興特別推進交付金および沖縄振興特定事業推進費などの補助制度が活用され、EM 研究機構と北中城村が協働する形で実現している。

4. 金武町・宜野座村との関連性と展望

我々が現在、金武町および宜野座村において構想している地域バイオマス発電事業においても、北中城村の取組は重要な示唆を与えている。本調査で得られた知見を踏まえ、両村における事業についても、地域再生推進法人制度の活用を検討すべきである。

特に、自治体との共同事業体制を構築し、地域再生推進法人として指定を受けることで、以下の効果が期待できる。

- 補助金活用による初期投資リスクの軽減
- 公的主体との協働による住民理解の促進
- 将来的な村全体での展開を視野に入れた制度基盤の整備

また、地域再生法人制度を通じて、金武町・宜野座村におけるバイオマス発電プロジェクトを、地域福祉・教育・観光と連携する形で統合的に推進することも可能であり、モデル的な地域エネルギー政策の構築が期待される。

課題と対処

北中城村の事例においても明らかとなったように、臭気対策、スケール設定、採算性の確保などが課題となる。これらの課題に対しては、以下のような対策が有効である。

- EM 菌など地域に適した臭気抑制技術の導入
- 段階的な施設整備とゴミ発生量とのバランス設計
- 自家消費モデルに加えた地域活用型電力・肥料利用モデルの併用

5. 結論

地域再生法人制度は、再生可能エネルギー事業を地域主導で推進するための強力な制度的枠組みであり、北中城村の事例はその有効性を具体的に示している。金武町および宜野座村においても、地域再生推進法人制度を積極的に活用し、自治体と連携しながら補助金制度を基盤とした持続可能な地域エネルギー事業を構築していくことが求められる。

6. 要素技術の組み合わせによるシミュレーション

6.1 事業実施シナリオ

本節では、沖縄県金武町および宜野座村を対象に、地域で発生する有機性廃棄物を活用したバイオマスエネルギー事業の導入シナリオを検討する。

乾式メタン発酵を中核とする処理・発電プロセスを軸に、3つの導入ケースを想定し、その技術構成、原料想定、段階的展開の可能性について整理する。

本節の内容は、次節以降に示す「事業収支試算（6.2）」および「エネルギー収支と二酸化炭素排出量試算（6.3）」の前提となる技術構成および処理フローの全体像を示すものである。

■ ケース（1）：乾式メタン発酵（基本構成）

原料の事前処理として堆肥化の手法を応用した自然乾燥を行い、水分を調整した混合原料を乾式メタン発酵槽へ投入する。生成されたバイオガスは発電に用いられ、発酵残渣は再度堆肥化処理を施して農地などに還元する。

構成がシンプルであり、実証事業の初期段階に適している。

※このケースの収支シミュレーションは、株式会社富士クリーンから提供を受けた事業収支基礎データに基づいて実施している。

※投入原料量は日量 11.7t（年間約 3,510t）であり、以下の廃棄物を想定している。

- し尿（7.0t/日）
- 豚のふん尿（4.3t/日）
- ペーパースラッジ（0.4t/日）
- オガコ（2.2t/日）

※ただし、以下の費用項目は収支シミュレーションに含まれておらず、結果の活用にあたっては留意が必要である。

- 自然乾燥工程における堆肥化設備費
- 原料混合設備費
- 発酵残渣堆肥化設備および運用費

■ ケース（2）：固形燃料化・熱利用の導入

ケース（1）に加え、発酵残渣を乾燥・固形燃料化し、バイオマスボイラーで熱供給に活用する構成。地域農業や温浴施設などと連携したエネルギーの多段階利用が可能となる。

※本調査では、バイオマスボイラーおよび固形燃料化に関する設備費・建築費・運用費の基礎データを取得できていないため、ケース（2）についての収支シミュレーションは未実施である。

■ ケース（3）：亜臨界加水分解による原料多様化対応

高含水廃棄物や混合廃棄物への対応を目的に、前処理として亜臨界加水分解装置を導入する構成。処理可能原料の拡大を図り、地域内における多様な資源循環型エネルギー施設を目指す。

※メーカーから提供された数値は参考値であり、正式な見積もりではなく、事業収支評価を行うための十分な精度を持っていない。

※加熱分解ガス化装置およびバイオマスボイラーに関しても、視察調査にとどまり、定量的な経済評価に用いるデータは取得できていない。

【事業シナリオにおける想定条件】

項目	条件
対象地域	金武町・宜野座村および近隣地域
想定処理能力	11.7t/日（実測投入量ベース）
想定原料	し尿、豚のふん尿、ペーパースラッジ、オガコ、グリストラップ油脂（予定）
稼働日数	年間 300 日
想定期間	初期導入後 10 年間
売電制度	FIT 制度非活用。公共施設向け直接供給を想定
補助金の想定	活用・非活用の両シナリオで収支評価予定

6. 要素技術の組み合わせによるシミュレーション

6.2 シミュレーションの方法と結果1（事業収支試算）

本節では、6.1 節で検討したバイオマスイエネルギー事業シナリオ（ケース1）に基づき、事業収支の試算を行う。

株式会社富士クリーンから提供を受けた処理量・発電量・運転コスト等のデータをもとに、初期投資、年間収支、投資回収年数などの経済性評価を実施している。

なお、本節では売電収入および廃棄物処理収入を主な収益源とした試算を行っており、地域における事業化可能性の判断材料とすることを目的としている。

※以下の工程・設備費は今回の試算に含まれていない。

- 原料混合設備
- 自然乾燥（堆肥化）設備および運用費
- 発酵残渣堆肥化設備および運用費

● 主なシミュレーションパラメータと前提条件

項目	内容
対象地域	金武町・宜野座村および近隣地域
想定投入原料	し尿（7.0t/日）、豚ふん尿（4.3t/日）、ペーパーズラッジ（0.4t/日）、オガコ（2.2t/日）
原料投入量	11.7t/日 × 300日 = 3,510t/年
バイオガス発生量	82Nm ³ /t（VS ベース） → 約 287,000Nm ³ /年
発電量	64.2kWh/日、54.9kWh/日（売電可能分）
売電価格	35 円/kWh
年間売電収入	約 1,383 万円
廃棄物処理収入	約 3,000 万円（し尿、グリストラップ、ペーパーズラッジ、オガコ）
年間支出合計	33,860,000 円（設備償却・人件費・維持費等）

● シミュレーションの結果

(1) 年間発電量と売電収入

- 売電量：54.9kWh × 300日 = 16,470kWh/年
- 売電収入：13,832,438円

(2) 廃棄物処理による収益

- 合計：30,000,000円(し尿、グリストラップ、ペーパースラッジ、オガコ)

(3) 年間総収入

- 43,832,438円

(4) 年間支出

- 33,860,000円

(5) 年間収支

- 黒字額：9,972,438円

(6) 投資回収年数

- 初期投資：5億円 → 単純回収年数：約50年
- ※補助金3億円を活用(自己負担2億円)した場合、単純回収年数 約20年

(7) 考察と留意点

- 売電単価・処理単価は将来的な契約次第で変動あり
- 自然乾燥・混合・残渣堆肥化設備は試算に含まず
- ケース(2)・(3)は基礎データ未取得のため、収支評価未実施
- 本モデルでは、売電収益以上に「廃棄物処理による収益」が事業収支の柱となっており、今後の持続可能性を評価する際には、これら処理単価の安定性・契約継続性の検討が重要である

乾式メタン発酵を用いた地域エネルギー事業は、初期段階として経済性と持続可能性の両立が期待されるが、今後の詳細設計段階においては、補完データの取得と設備仕様の具体化が求められる。

6. 要素技術の組み合わせによるシミュレーション

6.3 シミュレーションの方法と結果2（エネルギー収支と二酸化炭素排出量試算）

本節では、6.1 節で検討した乾式メタン発酵シナリオを基礎に、システム全体のエネルギー収支および温室効果ガス（CO₂）排出量の試算を行う。

消化ガスの発生量、発電効率、消費電力量、原料運搬に伴う排出量などを定量的に算出し、事業導入による環境面での貢献度を評価している。

本節の結果は、バイオマス事業の環境的持続可能性を検討するための基礎データとして活用されることを想定している。

本節ではバイオマス資源をエネルギー化する方法を想定し、今後の実証及び実務に活かしていくために、その効果を事前に予測して事業性や環境性等について検討しておく必要がある。いわゆる机上のシミュレーションを行うのであるが、そのシミュレーションのベースとなるシステム設定、つまりシナリオを設定する。

バイオマス資源として安定的に供給される可能性がある主原料は、金武町及び宜野座村における畜産廃棄物（牛糞、豚糞尿、鶏糞）と下水汚泥（農業集落排水、合併浄化槽）であり、そこに余剰堆肥が季節変動を伴って加えられる。さらに、水分調整材としてのオガコと発熱量を増加させるグリーストラップ汚泥を補助材料として加えることが考えられるが、これらは対象2自治体外からの搬入になるので、とりあえず主原料だけのエネルギー化を検討する。

乾式消化ガス発酵システムを想定して、以下のような仮定に基づいてシミュレーションを行う。

1) 消化ガス発酵槽の仕様

- ・縦型乾式消化ガス発酵を主要技術として導入する。
- ・発酵に要する発酵槽内の滞留時間は最大3日間と仮定する。
- ・投入原料の水分量を50%程度、発酵槽内では70%程度になるものと想定する。
- ・発酵槽内では内容物を垂直循環して空気との接触と均質化を図る。
- ・前処理のための混合攪拌機を設置し、一部は発酵槽からの戻し原料を入れる。
- ・1日の原料投入量を12t/日、発酵槽の容量を50tと想定する。
- ・装置全体の消費電力量を240kWh/日とする。

2) 原材料の搬入

- ・装置全体の立地は宜野座村堆肥センター内を仮定する。
- ・宜野座村で発生する畜産廃棄物は従来通りなので輸送は考慮しない。
- ・宜野座下水処理施設から約2.5kmの距離を日量2tの脱水汚泥を輸送する。
- ・金武有機堆肥センターから約10kmの距離を日量6tの原材料を輸送する。
（畜産廃棄物、余剰堆肥、隣接する金武並里下水処理施設からの下水汚泥の合計）

3) メタンガス発生から発電までのエネルギー

- ・発生する消化ガスを $950\text{Nm}^3/\text{日}$ 、メタン含有率を 50% とする。
- ・発電機の発電効率を 30% として仮定して、発電量は約 $1,573\text{kWh}/\text{日}$ と仮定する。
(メタンの高位発熱量を $0.89\text{MJ}/\text{mol}$ として、 $950 \times 0.5 / 22.4 \times 0.89 / 3.6 \times 0.3 = 1,573$)

4) 施設稼働日数

- ・年間施設稼働日数は 300 日とし、残りの日数は施設停止状態で点検等に充てる。

以上のシナリオに基づいて、エネルギー収支と二酸化炭素排出量収支を求める。なお、金武町及び宜野座村における各施設の配置状態を図 6-1 に示す。

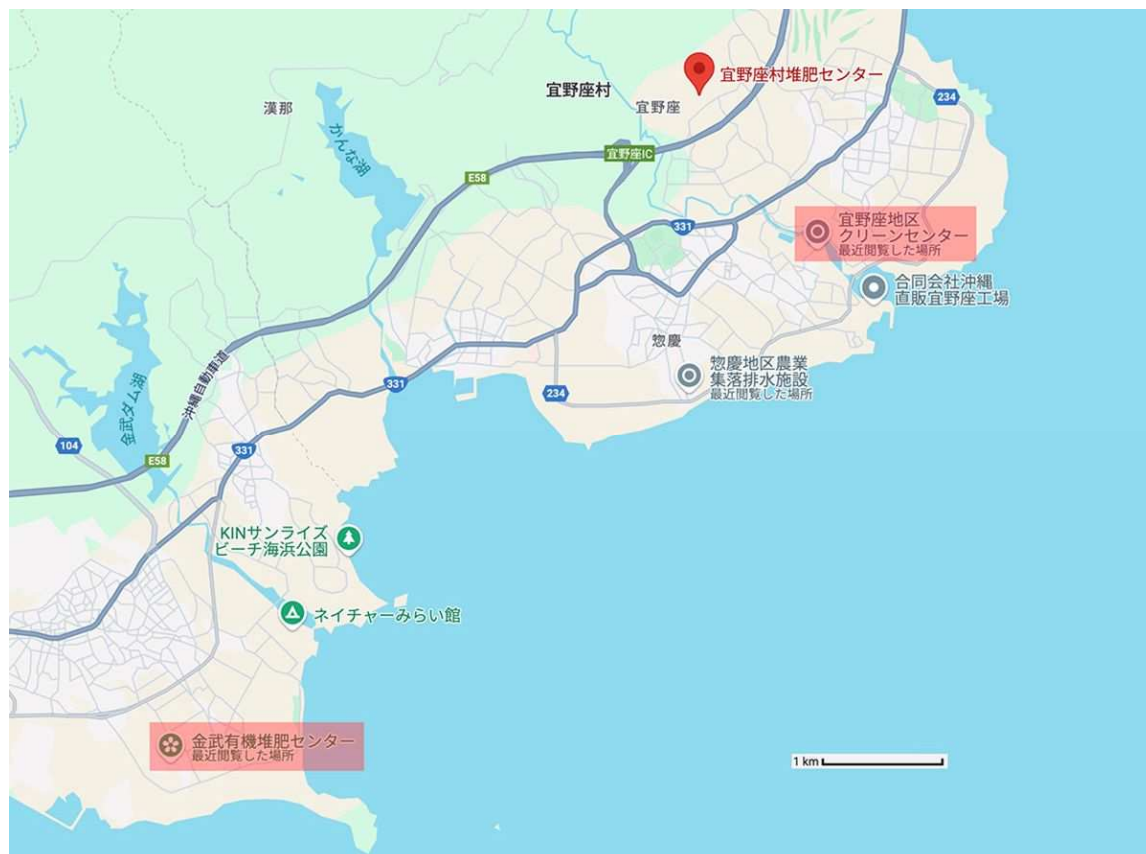


図 6-1 宜野座村堆肥センターと金武町・宜野座村の農業集落排水処理場の配置

6.2 シミュレーションの方法

前述のシナリオに基づいて、発電量、外部供給電力、場内消費電力、 CO_2 排出量、 CO_2 削減量を求める。 CO_2 削減量は沖縄電力の排出係数 $0.73\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ を用いて、これを再生可能エネルギーに転換した量として評価する。 CO_2 排出量は原材料の輸送による発生として改良トンキロ法により算定する。4t 車 80%積載で金武町からは 2 往復、宜野座村からは 1 往復とし、 CO_2 排出原単位は $0.272\text{kg-CO}_2/\text{t} \cdot \text{km}$ とする。

6.3 シミュレーションの結果

シミュレーションの結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 温室効果ガス排出量による評価

バイオマスの消化ガス発酵によるエネルギー化のシミュレーション結果

	日量	年間
発電量	1,573kWh	471.9MWh
場内消費電力	240kWh	72MWh
外部供給電力	1,333kWh	399.9MWh
二酸化炭素排出量	35.36kg	10.6t
二酸化炭素削減量	973.1kg	291.9t

6. 要素技術の組み合わせによるシミュレーション

6.4 売電スキームの検討

1. 再エネ導入の手法について

各事業のスキームの比較を表 6-2 に示す。

	特徴	メリット	課題
①自家発電	自社所有で発電設備を設置	長期的な電気料金削減効果の最大化が可能	電力使用場所が離れる場合、自営線敷設が必要
②オンサイト型 PPA	敷地内に他社所有の発電設備を設置	初期費用を抑えつつ電気料金削減が可能	電気料金の削減幅が①と比較すると小さくなる
③自己託送	敷地外に自社所有の発電設備を設置し、自社で需給管理を実施	需要場所と離れた場所からの再エネ調達が可能	発電量と需要量の計画一致が必要
④自己 PPA	敷地外に自社所有の発電設備を設置し自社で消費	需要場所と離れた場所からの再エネ調達が可能。調達費用は⑤よりも低くなる可能性あり	小売電気事業者との協議が必要
⑤フィジカル PPA (相対契約)	敷地外に他社所有の発電設備を設置し自社で消費	初期費用を抑えつつ、需要場所と離れた場所からの再エネ調達が可能	小売電気事業者との協議が必要 調達価格が④よりも高くなる可能性あり
⑥バーチャル PPA	環境価値購入の契約を締結	初期費用を抑えつつ、需要場所と離れた場所からの環境価値の調達が可能	電気料金の削減メリットがない

表 6-2 各事業スキームの比較

① 自家発電

需要家が投資し、発電設備だけでなく配電設備（自営線）を自己所有する。

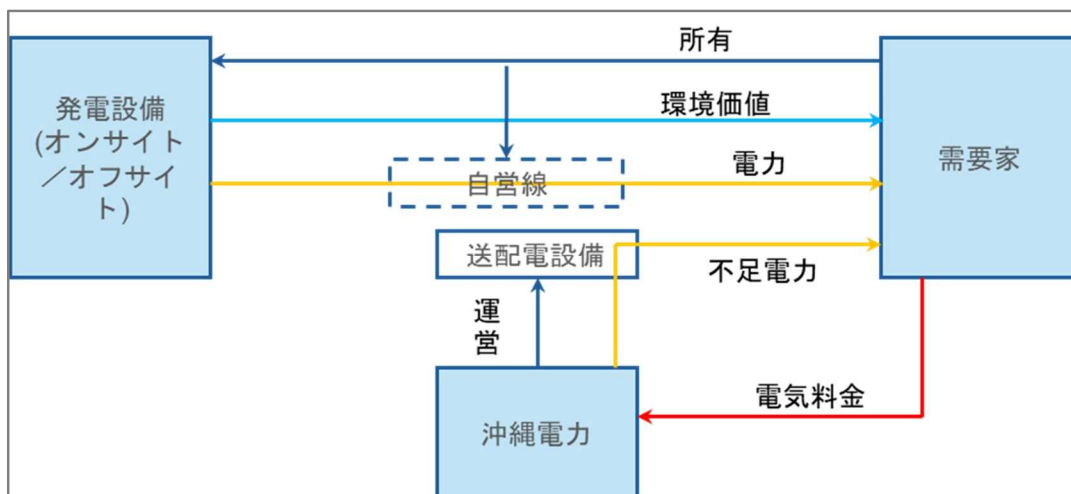


図 6-2 自家発電のスキーム図

→ 本事業予定地には需要設備が周辺にはないため難しい

② オンサイト型 PPA

発電事業者が投資し、オンサイトに発電設備を設置する。

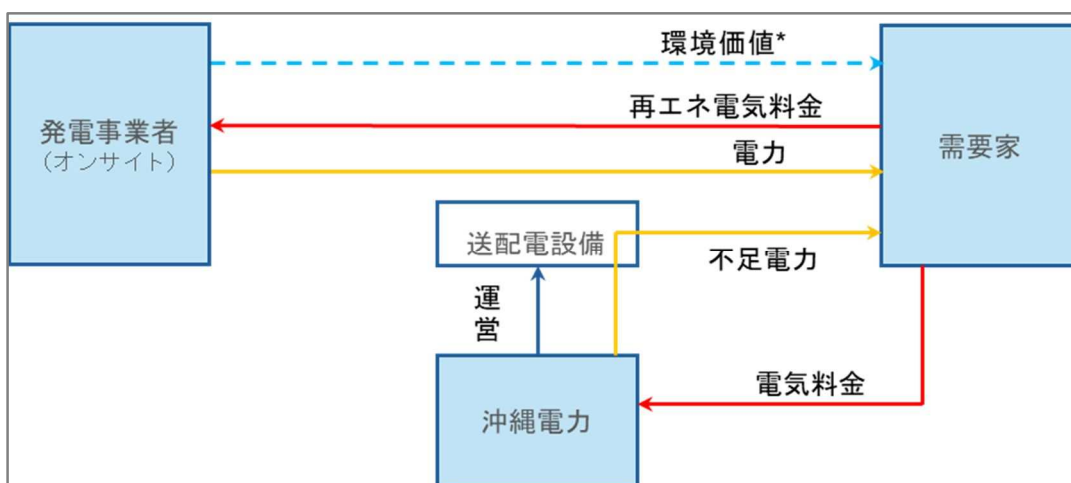


図 6-3 オンサイト型 PPA のスキーム図

→ 本事業予定地には需要設備が周辺にはないため難しい

③ 自己託送（事業スキーム）

需要家が投資し、設備を自己所有する。遠隔地の発電設備の電力を自社に託送（沖縄電力に委託して送電）することで、仮想的に自家消費する（小売電気事業者を介さない）。

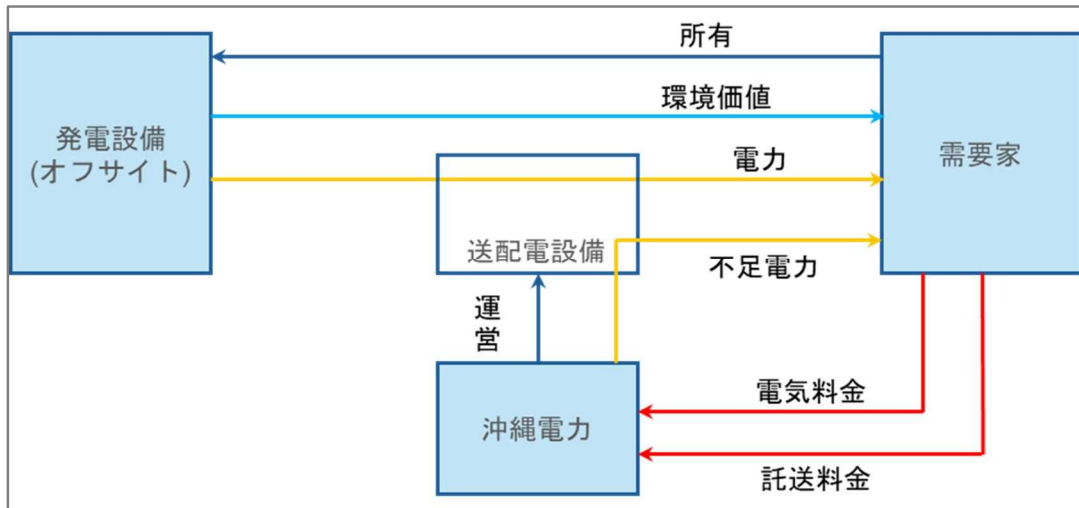


図 6-4 自己託送の事業スキーム図

- 需要家のニーズがあれば実施可能（再エネ賦課金の削減にもなる）
- 小売電気事業者の協力が必要
- 発電・需要に関する計画値同時同量を実施すること等ハードルが存在

④ 自己 PPA（事業スキーム）

需要家が投資し、遠隔地にある設備を所有する。日本ではオフサイト PPA では原則として、小売電気事業者が介在する必要がある（自己託送の場合は不要）。自己設備であるが、小売電気事業者と託送を行う沖縄電力が介在する形で電力調達を行う。

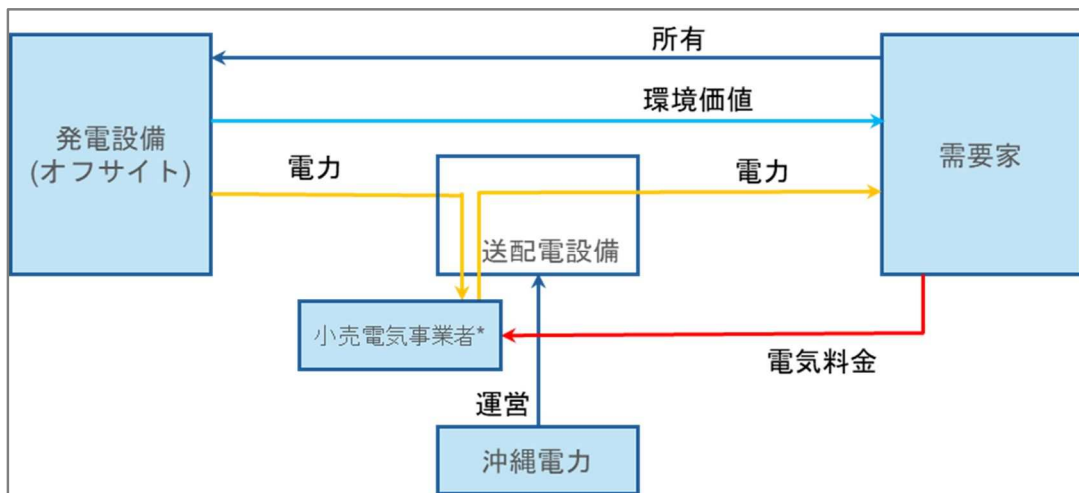


図 6-5 自己 PPA の事業スキーム図

- 資金調達の一手法としてオフサイト PPA とは別に検討することが可能（需要家が出資して建設）
- 小売電気事業者の協力が必要

⑤ フィジカル PPA (事業スキーム)

フィジカル PPA では、需要家は電力と環境価値をセット (一般的に固定価格) で発電事業者から購入する (小売電気事業者が介在)。発電設備は第三者の所有となり、初期投資は不要。

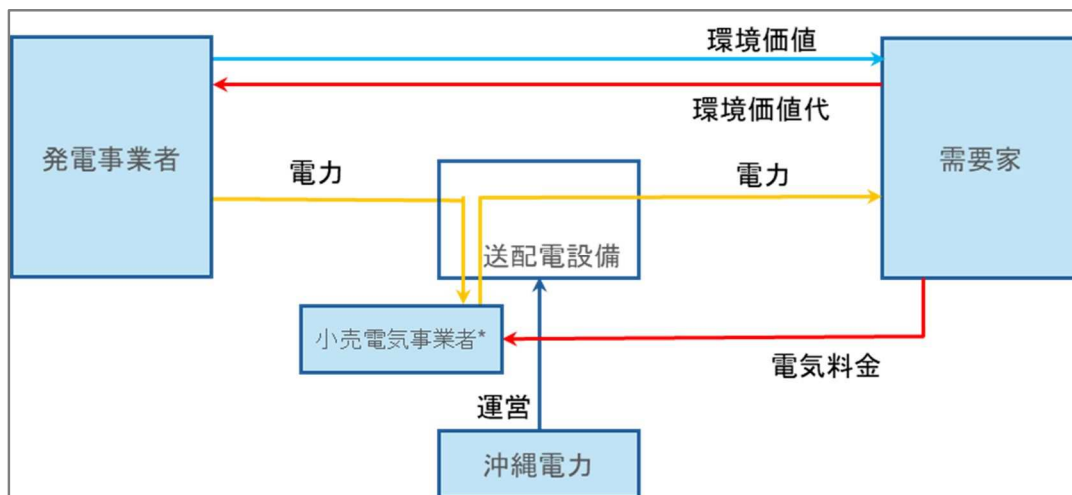


図 6-6 フィジカルの事業スキーム図

- 発電事業者としての資金調達が必要となる (需要家からの資金要請が不要)
- 小売電気事業者の協力が必要 (売電に関する契約等)

⑥ バーチャル PPA (事業スキーム)

電力と環境価値を切り分けて、需要家は環境価値だけを購入する。従来の電力契約を継続した状態で、発電事業者から環境価値を長期購入 (一般的には固定価格) して、電力と環境価値を組み合わせることで自然エネルギーの電力として利用できる。

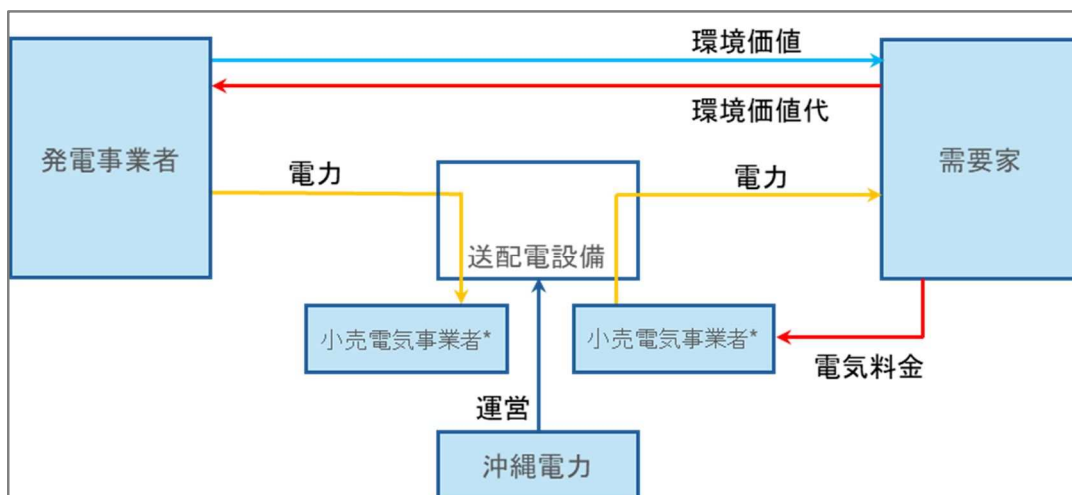


図 6-7 バーチャル PPA の事業スキーム図

- 環境価値のニーズに直接的に対応が可能
- FIT 価格よりも発電事業収入を高めることが可能

2. (参考) FIT/FIP 制度について①

- ・バイオマスについても 2MW 以上は FIP 制度の適用対象(液体燃料の場合は 50kW 以上)
- ・2MW 未満は FIT の活用が可能(沖縄は地域活用要件の対象外)

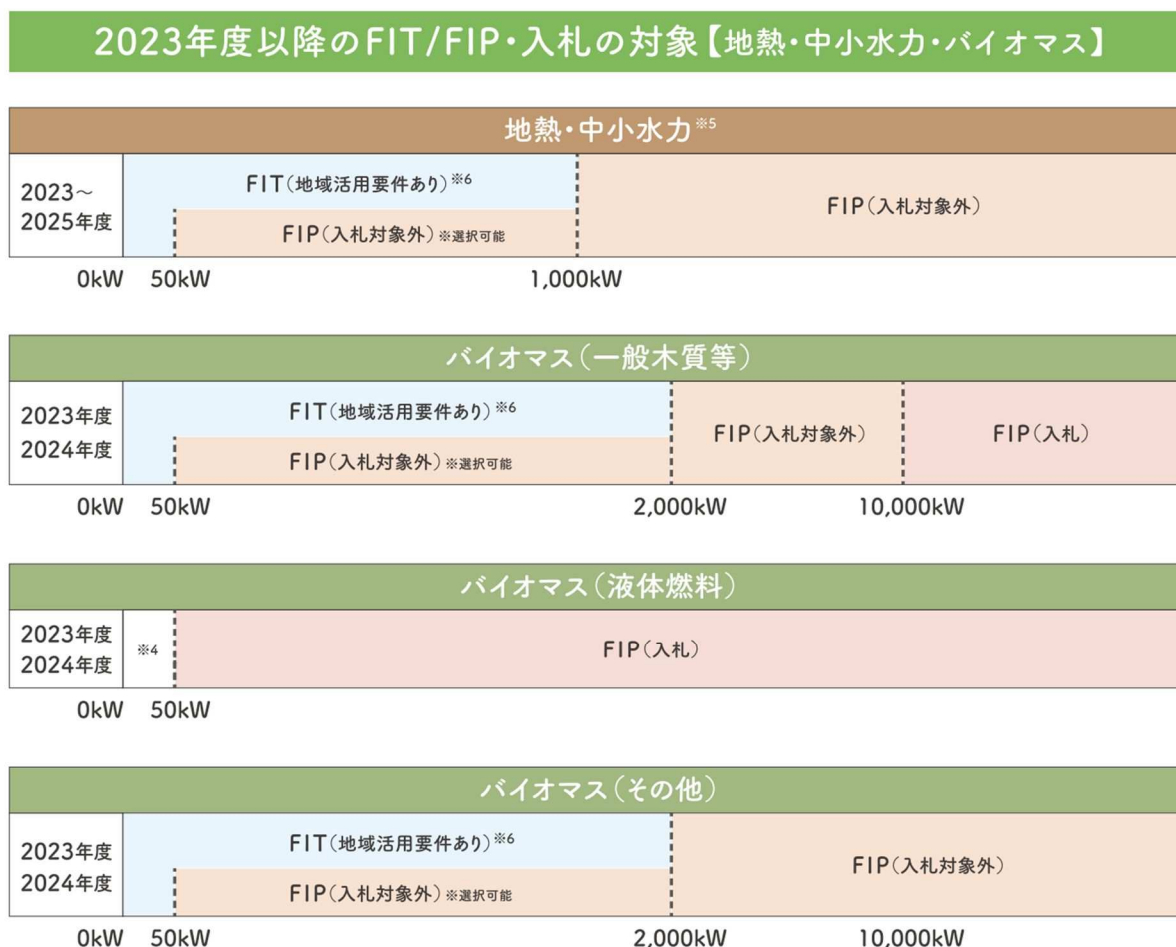


図 6-8 2023 年度以降の FIT/FIP・入札の対象【地熱・中小水力・バイオマス】

3. (参考) FIT/FIP 制度について②

- ・FIT 調達価格は図 6-9 の通り
- ・本事業としては FIT 制度活用することが難しいと予想されるが(補助金が入る事業は基本的に FIT 活用不可)、事業検討においては有用と考えられる。
- ・技術検討と並行して、FIT の場合にはどの区分に対応するかの検討も行う必要があると考えられる。

電源	区分		1kWhあたり調達価格/基準価格 ^{※1}			調達期間/ 交付期間 ^{※2}	
			2022年度(参考)	2023年度	2024年度		
※13 バイオマス	メタン発酵ガス(バイオマス由来) ^{※10}		下水汚泥・家畜糞尿・食品残さ由来のメタンガス	39円	35円		
	間伐材等由来の木質バイオマス	2,000kW以上 ^{※10}	間伐材、主伐材 ^{※11}	32円			
		2,000kW未満 ^{※10}		40円			
	一般木質バイオマス・農産物の収穫に伴って生じるバイオマス固体燃料	10,000kW以上(入札制度適用区分)	製材端材、輸入材 ^{※11} 、剪定枝 ^{※12} 、パーム椰子殻、パームトランク等 ^{※14}	入札制度により決定(第5回18.0円)	入札制度により決定(第6回事前非公表)	入札制度により決定	20年間
		10,000kW未満 ^{※10}		24円			
	農産物の収穫に伴って生じるバイオマス液体燃料(入札制度適用区分)		パーム油、カシューナッツ殻油	入札制度により決定(第5回18.0円)	入札制度により決定(第6回事前非公表)	入札制度により決定	
	建設資材廃棄物 ^{※10}		建設資材廃棄物(リサイクル木材)、その他木材	13円			
廃棄物・その他バイオマス ^{※10}		剪定枝 ^{※12} ・木くず、紙、食品残さ、廃食用油、黒液	17円				

図 6-9 FIT 調達価格

4. 今後の検討項目

- ・需要家ニーズの調査

非化石価値をどれだけ県内企業が求めているか。(太陽光と比べてバイオマスは安定的な供給が可能という強みがある)

Non-FIT の場合は”追加性”のある電源として、国際的な評価も得やすい。この点を考慮すると外資系や金融機関へのヒアリングも有効と考えられる。

- ・FIP 及び PPA 制度の更なる調査

「通常の FIP 制度では価格が 10 円/kWh 前後となるが、バイオマスも同様の扱いなのか」「Non-FIT 売電の場合には、送配電事業者はいくらでの買取が可能か」などの確認が必要。

7. 調査結果のまとめと評価

(1) 調査データの総括

本調査では、沖縄県金武町および宜野座村、ならびにその近隣地域を対象に、地域で発生する有機性廃棄物を原料としたバイオガスエネルギー事業の可能性を検討した。特に、乾式メタン発酵技術の適用を前提とした実証的なシナリオ構築と収支シミュレーションを実施した。

調査により、以下の原料が有望であることが確認された。

- し尿（金武町・宜野座村）
- 豚のふん尿（宜野座村）
- グリストラップ回収油脂（沖縄クリーン工業）
- オガコ（同上）
- ペーパースラッジ（昭和製紙）

日量 11.7t（年間 3,510t）の投入量を想定し、年間約 28.7 万 Nm³のバイオガスを生成可能と試算された。

(2) 技術の適用性と実現可能性

調査対象とした3つの技術のうち、乾式メタン発酵技術（ケース1）が最も導入可能性が高いことが明らかになった。これは、対象となる原料が既に地域内で一定量確保可能であり、導入コストも比較的抑えられるためである。

なお、ケース(2)および(3)に関連するバイオマスボイラーや亜臨界加水分解装置等については、視察・文献調査等により概要を把握したが、設備費・運用費の信頼性のあるデータが不足しており、本調査では収支評価に至っていない。

(3) エネルギー事業としての評価

1. 事業の概要

本調査では、乾式メタン発酵を活用したバイオガス発電事業モデルを構築し、地域における廃棄物処理とエネルギー供給の両立を図ることを目的とした。特に、日量 11.7t のし尿・豚ふん尿・ペーパースラッジ・オガコを混合処理し、発電と売電、加えて廃棄物処理による収益を確保するモデルを想定している。

2. 収支計画と経済的評価（ケース1に基づく）

- 年間売電量：16,470kWh/年
- 売電単価：35 円/kWh
- 売電収入：約 1,383 万円/年

- 廃棄物処理収入：約 3,000 万円/年（し尿・グリストラップ・ペーパー
スラッジ等）
- 年間総収入：約 4,383 万円
- 年間総支出（補助金なし）：約 3,386 万円
- 年間黒字：約 997 万円
- 投資額：5 億円
- 単純回収年数：約 50 年
- ※補助金 3 億円を活用した場合：自己負担 2 億円 → 単純回収年数 約
20 年

※本試算には、原料混合設備、自然乾燥設備、発酵残渣堆肥化設備は含まれておらず、実施設計時には追加費用の発生が見込まれる。

3. 技術的評価と課題

- 利点：
 - 運用コストが比較的低い
 - 廃棄物処理による収益が売電収益を上回る構造で収益安定性が高い
 - 固形残渣の再利用により環境負荷が低い
- 課題：
 - 発酵残渣の水分調整・堆肥化処理の確立
 - 原料供給契約の締結と安定供給体制の構築
 - 設備未含要素（混合・乾燥・堆肥化）のコスト精査
 - 原料の混合処理、自然乾燥、発酵残渣の堆肥化に必要な設備や運用費は今回の収支試算に含まれておらず、実施設計段階での費用見積もりが必要

(4) 持続可能性と地域貢献

本モデルは、廃棄物処理と再生可能エネルギーの創出を同時に実現する持続可能なエネルギー事業として、地域の課題解決に寄与する可能性が高い。また、地元企業・行政との連携による雇用創出や地域経済の循環にも貢献が期待される。

(5) 結論

乾式メタン発酵技術を用いた地域バイオガス事業は、初期段階においても黒字化が見込まれ、特に補助金の活用により投資回収性が高まる。将来的には、堆肥化設備や熱利用技術を段階的に追加導入することで、より高度な循環型エネルギーシステムへと発展する可能性を有する。今後は、事業化に向けた関係機関との調整と、未評価項目の設計詳細化を優先的に進めるべきである。

8. 将来展望と課題

本章では、令和6年度沖縄型クリーンエネルギー導入促進調査事業において実施した現地調査、技術評価、収支シミュレーションの成果を踏まえ、今後の地域バイオガス発電の展開可能性と、実現に向けた課題を明確にする。とりわけ、本年度は金武町・宜野座村およびその近隣地域を対象に、具体的な事業実施シナリオ（ケース1）と日量11.7t規模の乾式メタン発酵モデルを想定し、経済性と技術的持続可能性を明らかにした。

(1) 得られた知見とその意義

本調査で実施した主な取り組みと成果は以下の通りである。

- 金武町・宜野座村を中心とした地域におけるバイオマス資源（し尿、豚のふん尿、グリストラップ油脂、オガコ、ペーパースラッジ）の賦存量・処理経路の可視化
- 株式会社富士クリーンの協力による、日量11.7t投入モデルの乾式メタン発酵プラントに関する収支シミュレーション（収益約4,383万円、支出約3,386万円、黒字約997万円/年）
- FITを活用しない公共施設向け売電モデルの採算性の確認
- し尿やふん尿などを含む混合原料に対して、地域的な収集・搬入スキームの実現可能性
- 廃棄物処理費が売電収入を上回る形で、処理収入を主な収益源とした持続可能な収支構造の提案

これらの成果は、単なる技術検討に留まらず、地域の循環型資源利用の可能性を示すものであり、他地域への横展開にもつながる知見である。

(2) 水平展開の可能性

乾式メタン発酵は、対象となる原料が地域によって柔軟に調整可能であり、再現性の高いモデルである。本事業で示したように、地域に応じた原料構成と処理規模を設定し、設備構成と運営体制をカスタマイズすることで、他の市町村でも事業化の可能性は十分にある。

- 例：農業地域では家畜糞尿中心、都市周辺部では食品廃棄物やし尿中心のモデルに適応可能
- 重要なのは「発電ありき」ではなく、「廃棄物処理の最適化と地域資源の活用」からスタートする構想

また、地域連携のあり方として、地元事業者や自治体が共同運営する「地域エネルギー法人」的な形態も今後の展開の鍵となる。

(3) 今後の課題と留意点

1. 費用計上漏れ項目の補完

本年度の試算では、原料混合、自然乾燥（堆肥化応用）、発酵残渣の堆肥化に関する設備費・運用費は含まれていない。これらの工程は導入初期から不可欠であり、次年度以降の詳細設計段階では、これら費用の精査が必要である。

2. 原料供給契約の確立と長期安定化

グリストラップやし尿などは継続的に発生する一方、制度的・契約的な位置づけが不安定な場合がある。民間・行政をまたいだ供給安定化のスキームが求められる。

3. 残渣処理の地域内循環化

発酵残渣の堆肥化やガス化による利活用は、処分費の圧縮だけでなく、農業施策との連携により「地域のなかでエネルギーと肥料が循環するモデル」へとつなげられる。

4. 小規模施設の採算性

仮に本モデルを縮小して導入する場合、一定の経済規模を維持できるかが課題となる。地域の規模や財政状況に応じた「スモールスタート型モデル」の再設計も検討課題である。

(4) 政策的な方向性と支援の必要性

本調査で得られたモデルは、FIT 非活用下でも黒字化が可能な新しい公民連携型のバイオマスエネルギー事業モデルであり、地域の実情に応じた制度設計と支援が求められる。特に以下のような支援が望まれる：

- 廃棄物処理費を財源とする地域内エネルギー循環の制度設計
- 混合・乾燥・堆肥化工程への補助対象拡充
- 自治体主導型の事業スキームへのモデル化・展開支援
- 公共施設向けグリーン電力の優先調達枠の創設

(5) 結論

本調査により、沖縄の地域資源と制度のもとでも十分に持続可能なバイオガス事業モデルが構築できる可能性が明らかとなった。今後は、まず金武町および宜野座村において実証事業を成功させ、地域に根差した具体的な成果を創出することが重要である。

この成功事例を出発点として、県内の他地域へと段階的に展開し、沖縄全体に広がる循環型エネルギーモデルとして定着を図る。その後、沖縄での複数地域における運用実績をもとに、全国各地への応用・展開を視野に入れること

で、沖縄発の持続可能なバイオガスエネルギー社会の構築に寄与することが期待される。

9. 終わりに

今回、弊社と一般社団法人地域循環資源エネルギー開発機構が提案したゼロ・エミッション指向バイオマスエネルギー計画に関する調査業務において、多大なるご助言をいただきました内閣府沖縄総合事務局経済産業部をはじめ、各プラントの視察および資料提供にご協力いただきました皆様、実証試験に必要な分析試験等にご支援いただきました株式会社富士クリーン様、株式会社琉球ラボラトリー様、琉球大学様に深く感謝申し上げます。皆様のご協力により、実証事業の方向性を見直すきっかけを得ることができ、こうして成果を形にすることができました。

また、本調査事業においては、宜野座村長 當眞淳様ならびに関連部署の皆様、金武町長 仲間一様ならびに関連部署の皆様にご格別のご支援を賜りました。さらに、金武町と宜野座村の関連部署の皆様には、本調査事業に関する合同説明会の場を設けていただき、貴重な意見交換の機会を頂戴しました。加えて、金武町ではし尿のサンプル採取、宜野座村では豚の糞尿のサンプル採取にご協力いただき、調査に必要なデータの収集に大きくご貢献いただきました。この場をお借りして、心より御礼申し上げます。

なお、本事業の実証段階への移行については、令和7年度4月以降の実施を見送る決定をいたしました。主な理由としましては、事業収支計画の不確実性、施設設置候補地の確保に関する調整の遅延、原料供給契約の締結の遅れが挙げられます。収支計画上では補助金なしでも黒字運営が可能と試算されておりますが、実際の運用においては、原料供給契約の未確定、施設建設コストの変動、人件費や維持管理費の増加リスクなど、計画段階では考慮しきれない不確定要素が多く存在しています。特に、施設設置のための地域協議が完了しておらず、設置候補地の確保が未決定であることが、事業開始の大きな障壁となっております。さらに、し尿処理、豚の糞尿処理、ペーパースラッジ処理に関する原料供給契約の締結が完了しておらず、安定した原料供給の確保が課題となっております。これらの要因を総合的に勘案し、4月以降の実施は時期尚早であると判断いたしました。

今後は、事業の持続可能性を確保するために、関係者とのさらなる協議を重ねながら、収支計画の精査、施設設置に向けた調整、原料供給契約の締結を進めてまいります。実証事業の成功に向けて、引き続き関係者の皆様との連携を強化し、適切な実施時期を見極めながら計画を着実に進めてまいります。