

令和5年度環境省委託事業

**令和5年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム
実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場
の持続可能な運用システムの実証）
委託業務**

成果報告書

令和6年3月

佐賀市
一般財団法人 エネルギー総合工学研究所
西日本プラント工業株式会社
九州電力株式会社 佐賀支店

要約

佐賀市では平成 15 年（2003 年）に供用開始した計画処理 300t/日（100t/日×3 基）の佐賀市清掃工場（以下、本施設）において、可燃ごみの焼却処理を行っている。

今後、人口減少によるごみ処理量の減少や可燃ごみ中のプラスチックごみが減少することによる発熱量減少が課題として考えられており、本施設の将来的な安定運用が懸念されている。

一方で、地域課題として、林業や製材業において発生するバーク（樹皮）や木くずの処理、農業関連において発生するもみ殻の処理、および荒廃竹林の問題などからバイオマスの処理が求められている。

令和 3 年度（2021 年度）から開始した本事業では、本施設における課題と地域課題を同時に解決する方策として、地域資源である未利用のバイオマスを清掃工場の燃料として活用すること、および本施設の安定運用によって得られた熱エネルギーを地域に供給することを実証し、持続可能な本施設運用システムを検討・構築することを目的として行われた。本事業の結果、以下に述べる 4 つの検討項目について成果が得られた。

（1）原料調達の検討

将来における本施設の安定運用に必要なバイオマス量を検討し、地域において発生する木質系バイオマス（バークや木くず）、農業系バイオマス（もみ殻等）および竹の発生時期、調達可能量、性状を調査するとともに、事業系ごみ等、他原料の調達可能性も調査しつつ、本施設の安定運用に必要な収集・運搬も含めた調達システムを検討した。

さらに、本施設においてこれらバイオマスを受け入れるための法規制上の課題や手続きを整理した。

また、木質系・農業系バイオマス原料投入時におけるストーカ炉内燃焼シミュレーションを通じて、各バイオマス原料のストーカ炉内における燃焼挙動（燃えやすさ等）を評価した。

加えて、実証試験を実施するために、地域に賦存するバイオマスを実証用原料として調達した。

実証で得られた結果から、コスト、調達時期、調達量等を考慮した、バイオマス調達計画を策定した。

（2）バイオマス混焼による実証試験

前記実証用原料バイオマスを本施設において試験的に受け入れ、ごみと混合して焼却炉に導入する実証試験を実施した。また、混合割合や混焼時間などの実証試験の条件設定を行い、混合処理における本施設の運転パラメータの変化や処理後の灰分などを確認することによって安定的な実証試験を行う前段階としての確認などを行った。

さらに、昨年度製作した圧力波式スートブロワを設置し、スートブロワの方式を蒸気式

から圧力波式へ変更することによる熱回収量アップの実証を行った。

実証による成果として、バイオマス混焼が熱回収量向上に有用であるということが確認できた。

また、バイオマス原料の最適な炉への投入方法、燃焼管理、機器損耗への影響を確認し、バイオマス混焼時の運転マニュアルを作成した。

さらに、圧力波式スートブロワの運用コストと創熱への有効性を確認した。

（３）熱供給方法の検討

本施設の 2020～2022 年度のエネルギー回収、利用状況等について実績値を集約し、現状における熱供給の情報を収集・整理した。

現状の設備での供給可能量を復水器の水冷化による創エネ（6GJ/h）、低圧蒸気の追加可能な利用可能量（9GJ/h）に加え、運用によるピークシフト等を検討した。

復水利用は、地下水の給水加熱など通年で低温での加熱の効果が高いことが確認され、国の補助金を利用した施設整備を行うことで、事業性有と評価した。事業化については需要家側と協議中である。

至近の園芸ハウスの進出に対して、バイオマス原料を追加するランニングコストを売熱価格に転ずることで、熱供給の事業性があることを確認した。

（４）システム全体の検討

発生した蒸気を発電へ用いた場合と熱として供給した場合、熱で供給したほうが得られる収入は発電より優位であることが再確認された。市内設備への電力供給は、エネルギーの地産地消の観点から必要だが、今後、熱供給の需要家が増える場合に発電出力を下げ高圧蒸気から熱供給をすることも電力供給の運用によっては可能であると判断された。

事業で得られた成果を踏まえ、エネルギー供給計画を作成し、熱供給設備の基本設計を行うための基礎データや整備の方向性を示すことができた。

今後の方針

清掃工場の多面的価値化を継続的に追及することとし、エネルギー事業体（地域新電力会社）の設立を見据え、既存のCCUや高品質バイオ燃料事業との相乗効果による脱炭素モデル施設への発展の追求を図る。

成果の実践として、新規熱需要家との設計協議においても複数企業の新規引き合いを事業化に進展させることとしている。

「清掃工場の基幹改良工事」、「ごみ処理基本計画」への反映することとし、バイオマス混焼の妥当性、取引価格設定・手数料見直し、リサイクル高度化へ展開する。

また、基幹改良工事では、「省・創エネ」、「省CO₂」、「防災・レジリエンス」をコンセプトにより清掃工場の多面的価値化を推進する。

Summary

In Saga City in 2003, the Saga Waste Disposal Factory (referred to below as “the facility”) began operation with a disposal plan of 300 tons per day (three incinerators at 100 tons per day each), and is carrying out the incineration of combustible waste, as per that plan.

Due to diminishing population and the resulting reduction in the quantity of combustible waste as well as the reduction of the amount of plastic products included in combustible waste, we expect to deal with the challenge of a reduction in thermal energy generation in years to come and are concerned about the stable operation of the facility in the future.

At the same time, there is a need to dispose of bark and wood chips generated in the lumber and forestry industries, the chaff generated in relation to agriculture, and there is the growing problem of ruined bamboo forests. Due to these factors, meeting the demand for disposal of biomass is being raised as a regional issue.

This project, which was begun in fiscal 2021, was carried out with the goal of considering and enacting a sustainable operation system for the facility, and has resulted in a plan to solve both the problems faced by the facility and the aforementioned regional issue by using the local resources of unused biomass as fuel for the waste disposal factory, which will in turn ensure the ability to provide local areas with the thermal energy generated by the stable operation of the facility.

As a result of this project, we made accomplishments in the following four areas of consideration:

(1) Review of ability to procure raw materials

We reviewed the amount of biomass we would need to ensure the future stable operation of the facility, and while researching the generation of tree-based biomass (bark and wood chips), agricultural biomass (rice or wheat chaff, etc) as well as the growth season of bamboo, we looked into the amount and characteristics of the biomass we would be able to procure and

while simultaneously researching the industrial garbage and other possible sources of material, we examined the creation of a collection and transportation system that would allow for the stable operation of the facility.

Additionally, we ensured that we had a clear picture of the issues and procedures required by law for the facility to be able to accept and handle biomass.

Also, using an internal stoker furnace combustion simulation of the introduction of tree-based and agricultural biomass, we evaluated the combustion behavior (combustibility, etc) of each type of biomass.

Furthermore, we sourced existing local biomass materials as fuel for proof-of-concept tests.

Based on these tests, we formulated a biomass procural program, taking into account the costs, the period of time for procurement, and the amount available to be procured, etc.

(2) Proof-of-Concept Tests of Biomass Mixed Waste Combustion

We received raw materials in the form of biomass at the facility and used it, mixed with waste, in the incinerator to carry out the aforementioned proof-of-concept test. Also, we set the conditions of the tests, such as biomass-to-waste ratio and length of incineration time to reflect changes to operation parameters of the facility during mixed combustion and changes in the ash content post combustion, as a preliminary step in confirming the facility's ability to run a stable proof-of-concept test.

Additionally, we installed the pressure wave soot blower that we manufactured during the previous fiscal year, and by switching our soot blowing system from steam method to pressure wave, we were able to verify an improvement in thermal recycling.

As a result of the proof-of-concept test, we were able to confirm that mixed combustion with biomass was beneficial in increasing the amount of energy yielded. Additionally, we verified the most suitable method for introducing biomass material to the furnace, as well as the impact this had on combustion management and equipment wear, and we produced a manual for operating with mixed combustion.

Furthermore we were able to confirm the cost of operation for the pressure

wave soot blower, and the efficiency of heat production.

(3) Review of Method of Thermal Energy Provision

We've compiled our track record on the facility's energy recovery and the application of that energy from fiscal 2020 through fiscal 2022 and collected and organized the data about the present condition of our thermal energy provision.

As potential new sources of energy for energy provision, we considered, the amount of energy our facility currently creates during water cooling via condenser (6GJ/h), and the amount from low pressure steam that could be added to the usable amount (9GJ/h), and also considered what the peak shifts, etc, would be during operation.

We confirmed that throughout the year, it would be highly effective to use low heat to heat up the water supply obtained from underground water, and by applying government subsidies to outfit our facilities with the equipment needed to do so, we assessed this path as viable for the business. In terms of commercializing it, we are in negotiations with demand-side customers.

In terms of expanding into the market for nearby greenhouses, we determined that by shifting the additional running costs of using biomass materials onto the selling price of thermal energy, the plan has business potential.

(4) Review of Overall System

In the case that the produced steam is used for electrical generation or the case that it's then provided as thermal energy, we were able to reconfirm that providing it as thermal energy contributes more to revenue than using it for electrical generation. Supplying power to city facilities is important to consider from a "produce local, consume local" standpoint, but we were also able to determine that if, in the future, demand for thermal energy increases and decreasing the output of electrical energy generation and switching from high pressure steam to thermal energy provision for energy provision would also be a feasible option.

Based on the business successes we've seen in this area, we've drawn up

an energy provision plan, and have gathered the basic data necessary to create the preliminary outline for thermal energy provision facilities, and have identified the course of action to put them in place.

Future Course of Action

In our attempts to continuously pursue a multifaceted commodification of the Waste Disposal Factory, we've set out sights firmly on the establishment of an energy provision business (a new regional power company), and are planning to develop into a model decarbonization facility, making use of the synergy between existing CCU and high quality biofuel projects.

We are making use of our positive results thus far in planning discussions with new thermal energy clients, to make progress in growing the interest in becoming customers from multiple companies into a solid business.

As it reflects on our "Waste Disposal Factor) Constant Improvement Construction" and our "Basic Waste Disposal Plan", we're working on the verifiability of mixed biomass combustion, rethinking transaction price settings and fees, and upgrading our recycling.

Also, as part of our efforts for Constant Improvement, we're using "Energy Reduction and Creation," "CO₂ Reduction," and "Fire Resistance/Resilience" as our concepts in taking steps forward towards the multifaceted commodification of the Waste Disposal Factory.

目次

要約	1
Summary	3
第 1 章 実施概要	1
1-1. 業務目的	1
1-2. 事業の全体像	1
1-3. 事業実施主体、実施体制、役割分担	5
1-4. 事業スケジュール	8
第 2 章 原料調達の検討	11
2-1. 背景	11
2-2. 本施設の運用	12
2-3. 本市におけるバイオマスの発生状況	33
2-4. 原料バイオマスの調達実績	66
2-5. バイオマス調達のサプライチェーンについて	80
2-6. バイオマス混焼の法規制について	88
2-7. もみ殻混焼時の炉内シミュレーション	98
2-8. まとめ	106
第 3 章 バイオマス混焼による実証試験	116
3-1. 混焼計画	116
3-2. 実証と影響評価	117
3-3. スートブロワの変更	136
3-4. まとめ	150
第 4 章 熱供給方法の検討	151
4-1. 本市清掃工場のエネルギー利活用状況	151
4-2. 熱供給の概要と熱利用状況	164
4-3. 佐賀市清掃工場廃棄物エネルギー利活用検討	175
4-4. 熱供給検討のまとめ	207
4-5. まとめ	212
第 5 章 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会の開催等	216
5-1. 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会の開催	216
5-2. 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業審査等委員会への出席	221
5-3. 廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO ₂ 対策普及促進方策検討委託業務ヒアリング等への協力	221
第 6 章 共同実施者との打合せ	222

第 7 章	目標達成度や将来展開.....	223
7-1.	目標設定および達成度	223
7-2.	事業の CO ₂ 排出量削減効果.....	224
7-3.	事業の投資回収年数について	225
7-4.	事業終了後の横展開の可能性.....	226

第1章 実施概要

1-1. 業務目的

佐賀市清掃工場（以下「本施設」という。）の課題として、人口減少とプラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律により原料ごみが減少し、ごみの発熱量減少が問題となっている。また、地域課題として、製材工場残材であるバーク（樹皮）や木くずの発生、農業関連として、もみ殻や荒廃竹林整備による竹の未利用の問題がある。

本施設における課題と地域課題を同時に解決する方策として、本事業では地域資源である未利用のバイオマスをもみ殻や荒廃竹林整備による竹の未利用の問題がある。本施設における課題と地域課題を同時に解決する方策として、本事業では地域資源である未利用のバイオマスを本施設の燃料として利活用すること、および本施設の安定運用によって得られた熱エネルギーを地域に供給することを実証し、持続可能な運用システムの検討・構築することを目的とする。

1-2. 事業の全体像

令和3～5年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）委託業務仕様書に基づいて、下記の内容を実施した（図 1-1 および図 1-2 参照）。

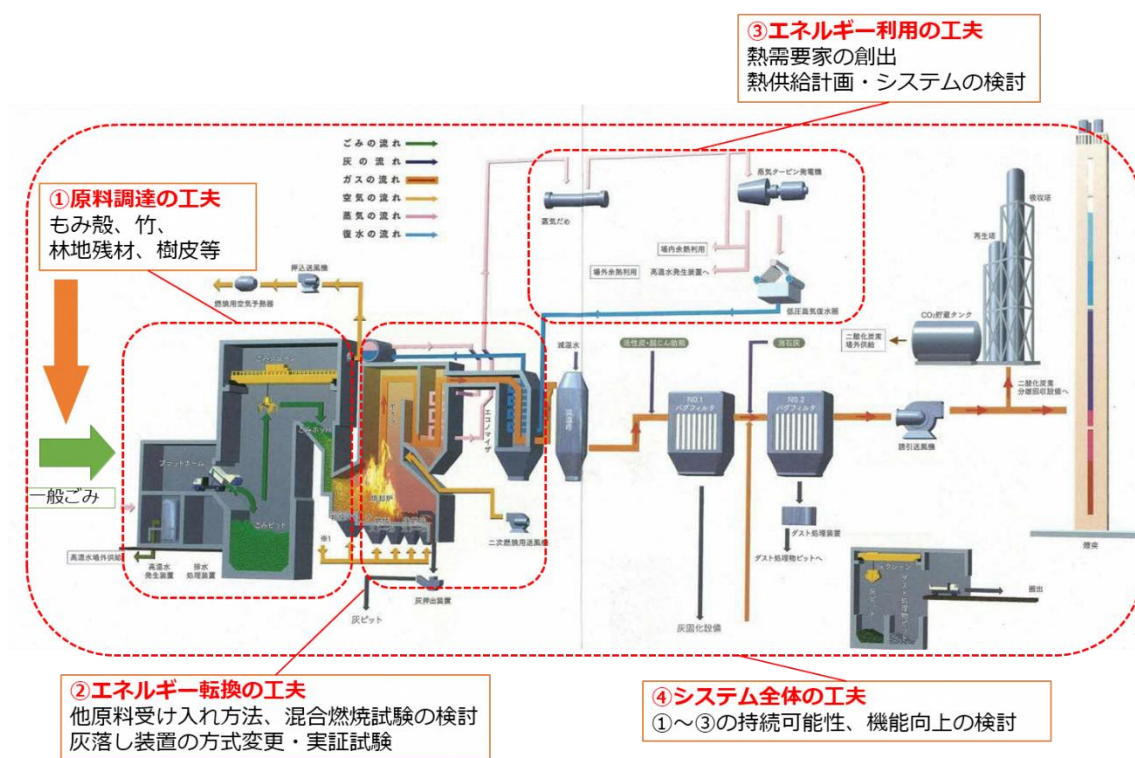


図 1-1 処理フローにおける実証ポイント

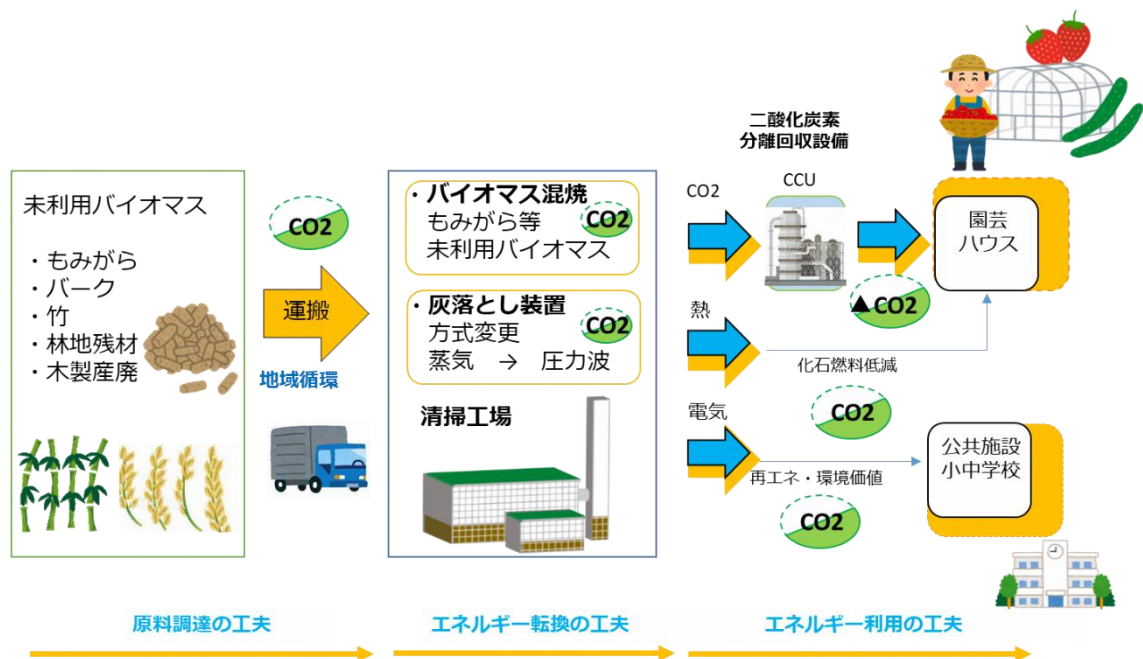


図 1-2 実証フローにおける CO₂ 削減ポイント

(1) 原料調達の検討

- 検討のベースとなる本施設の運用状況を確認し、将来の人口動向やごみ成分の変化を予測することによって、清掃工場の安定運用に必要な原料発熱量を検討した。(R3～R4 年度)
- 地域において発生する木質系バイオマス（バークや木くず）、農業系バイオマス（もみ殻等）および竹の発生時期、調達可能量、性状を調査するとともに、事業系ごみ等、他原料の調達可能性も調査しつつ、本施設の安定運用に必要な収集・運搬も含めた調達システムを検討した。(R3～R5 年度)
- 将来のごみ処理量の月間変動予測に対して、本施設の安定運用に必要なバイオマス原料発生量の季節変動や不足分を補うことができるバイオマス原料の調達を検討すること。(R5 年度)
- 清掃工場において新たな対象廃棄物を受け入れるための法規制上の課題を調査した。(R3～R5 年度)
- バイオマス原料の調達方法やコストを検討した。(R4～R5 年度)
- 木質系・農業系バイオマス原料投入時におけるストーカ炉内燃焼シミュレーションを通じて、各バイオマス原料のストーカ炉内における燃焼挙動（燃えやすさ等）を評価した。(R5 年度)

(2) バイオマス混焼による実証試験

- 本施設においてバイオマスを混合導入するときのプラントへの影響と受け入れ

可能割合についてメーカーと協議を行い、実証試験の計画を策定した。(R3～R5年度)

- 計画についてはもみ殻のみならず、バークや竹など地域で調達可能なバイオマス種を考慮した。(R3～R5年度)
- 実証試験に必要なバイオマス原料を調達し、ごみと混焼することで、最適な炉への投入方法、燃焼管理、主灰・飛灰の量的質的变化、機器損耗の変化などの影響を評価した。(R3～R5年度)
- R3年度に製作した圧力波式スートブロワ本体の設置に加え、制御盤等の周辺機器を設計、製作し1号炉に設置した。(圧力波式スートブロワ本体と周辺機器を合わせて圧力波式スートブロワと呼ぶ)(R4年度)
- 圧力波式スートブロワを実装し、使用蒸気の削減と新たな熱量の創出を図った。(R3～R5年度)
- 圧力波式スートブロワの制御に関する周辺機器製作業務、運用に関する評価は、共同実施者である西日本プラント工業から三國機械工業に再委託した。(R3～R5年度)
- 混焼する際の留意点について整理した。(R5年度)

(3) 熱供給方法の検討

- 事業の持続性の確保のために必要な本施設周辺の熱需要家の需要パターン分析をR3年度から継続して行い、導管によるオンライン方式の熱供給に関する合理性、効率性、有効性の検証を行った。(R3～R5年度)
 - 1) 熱需要データの収集・分析
 - 2) 熱需要の月別(季節別)変動の把握
 - 3) 熱需要の時間別変動の把握
- 蓄熱媒体によって市内の他地域へ熱供給する場合の技術、コストを調査・検討し、オフラインによる熱供給の事業化可能性を検討すること。また、CO₂削減コストなど費用対効果を確認した。(R3～R4年度)
- 新規創出した熱の効率的かつ効果的な供給・利用方法の検討を実施し、既存の方法との連携を検討した。(R4～R5年度)
- 本施設の廃棄物処理事業、廃棄物エネルギー供給事業を持続可能なものとするために、廃棄物エネルギー(熱、電力、CO₂)の最適な価格帯を検証し事業性を確認した。(R3～R5年度)
- システム全体の工夫として、本施設から創出されるエネルギー(電力と熱)の活用策について調査し、事業環境、供給方法の比較・検討とともに、地域防災計画との連携について検討した。(R4～R5年度)

(4) 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会の開催

業務の円滑な実施のため、脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会を設置し、業務実施期間内において、佐賀市にて計 8 回（R3 年度：2 回、R4 年度：3 回、R5 年度：3 回）にわたり、検討会を開催した。

(5) 「脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業審査等委員会」への出席

環境省が実施した「脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 審査等委員会」へ出席し、業務報告を行った。

(6) 廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO₂ 対策普及促進方策検討委託業務ヒアリング等への協力

環境省が実施した「廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO₂ 対策普及促進方策検討委託業務」に係る検討会へ計 5 回予定（R3 年度：3 回、R4 年度：2 回、R5 年度：1 回予定）オブザーバ出席した。

(7) 共同実施者との打合せ

本事業は、図 1-3～図 1-5 に示す体制で実施し、業務実施に当たっては、必要に応じて環境省担当官と打合せを行った。その他、共同実施者である佐賀市、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、西日本プラント工業株式会社、九州電力株式会社と図 1-1 に示した項目①～④の研究について、計 38 回予定（R3 年度：10 回、R4 年度：14 回、R5 年度：14 回予定）の打合せを実施した。

(8) 報告書の作成

業務の内容についての最終的な取りまとめを行い、業務報告書を作成し、提出した。

(9) 技術開発・実証の目標設定

本事業の目標を設定し、工程表に従って実施した。

1-3. 事業実施主体、実施体制、役割分担

R3 年度、R4 年度、および R5 年度の業務の実施体制をそれぞれ、図 1-3、図 1-4 および図 1-5 に示す。

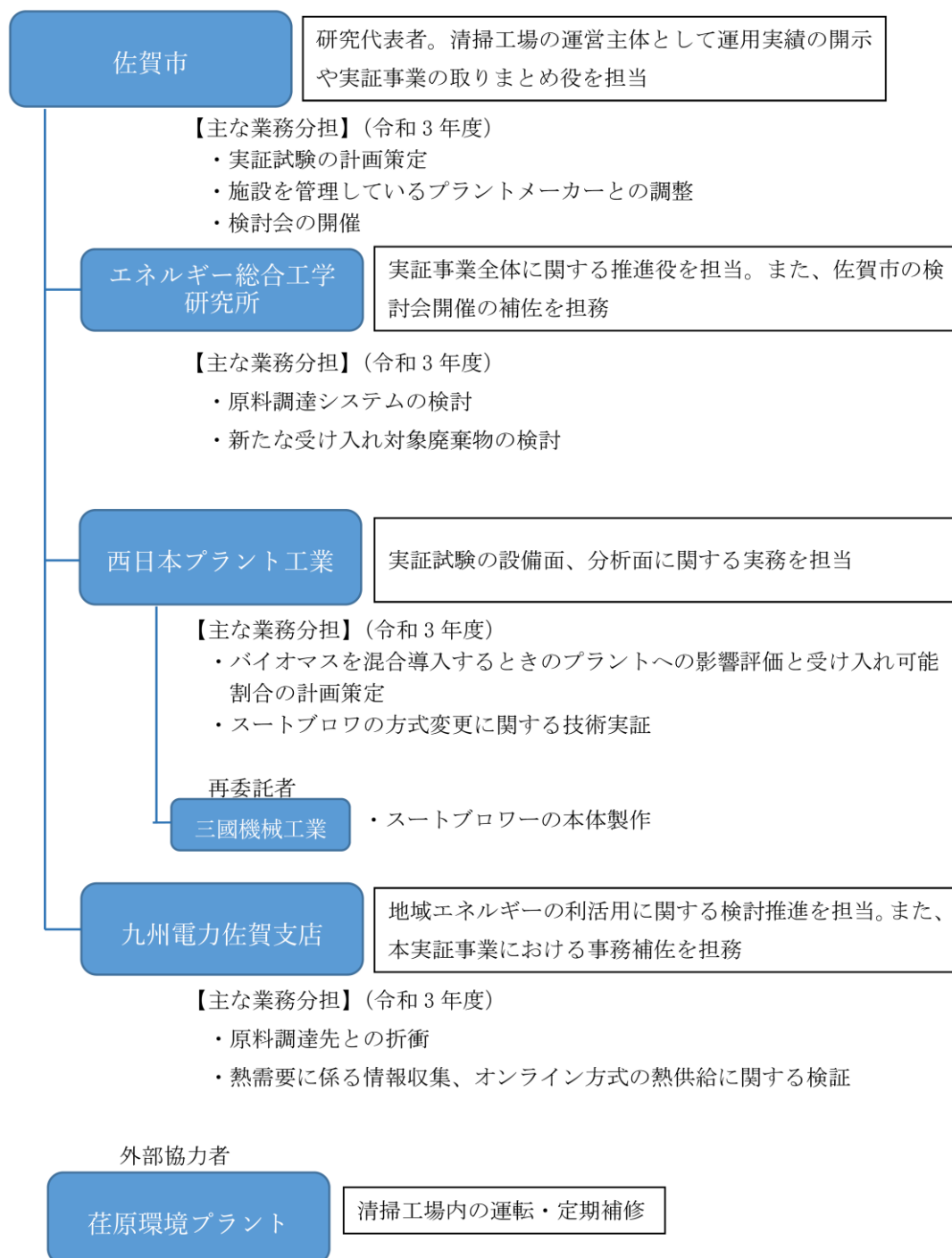


図 1-3 R3 年度業務の実施体制

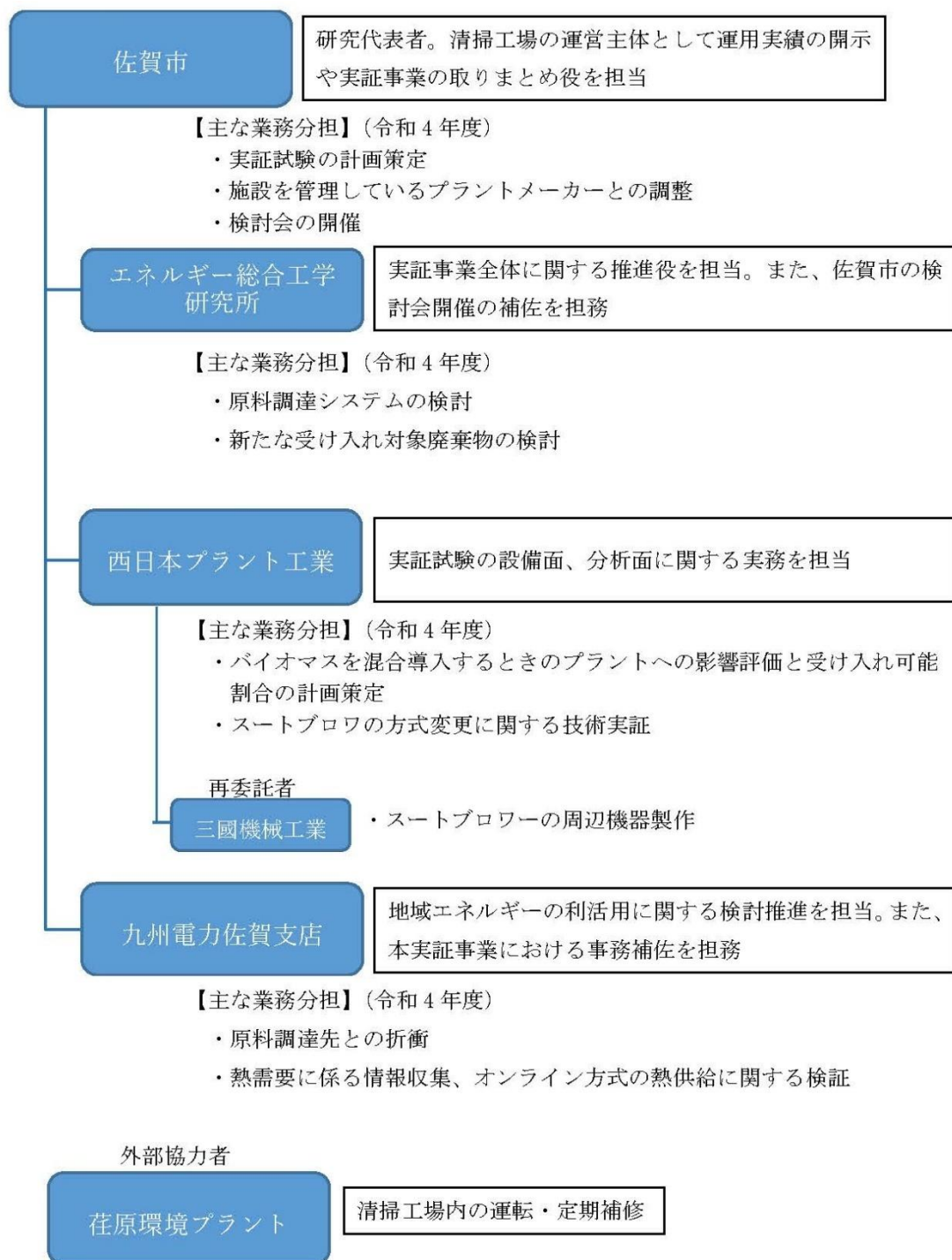


図 1-4 R4 年度業務の実施体制

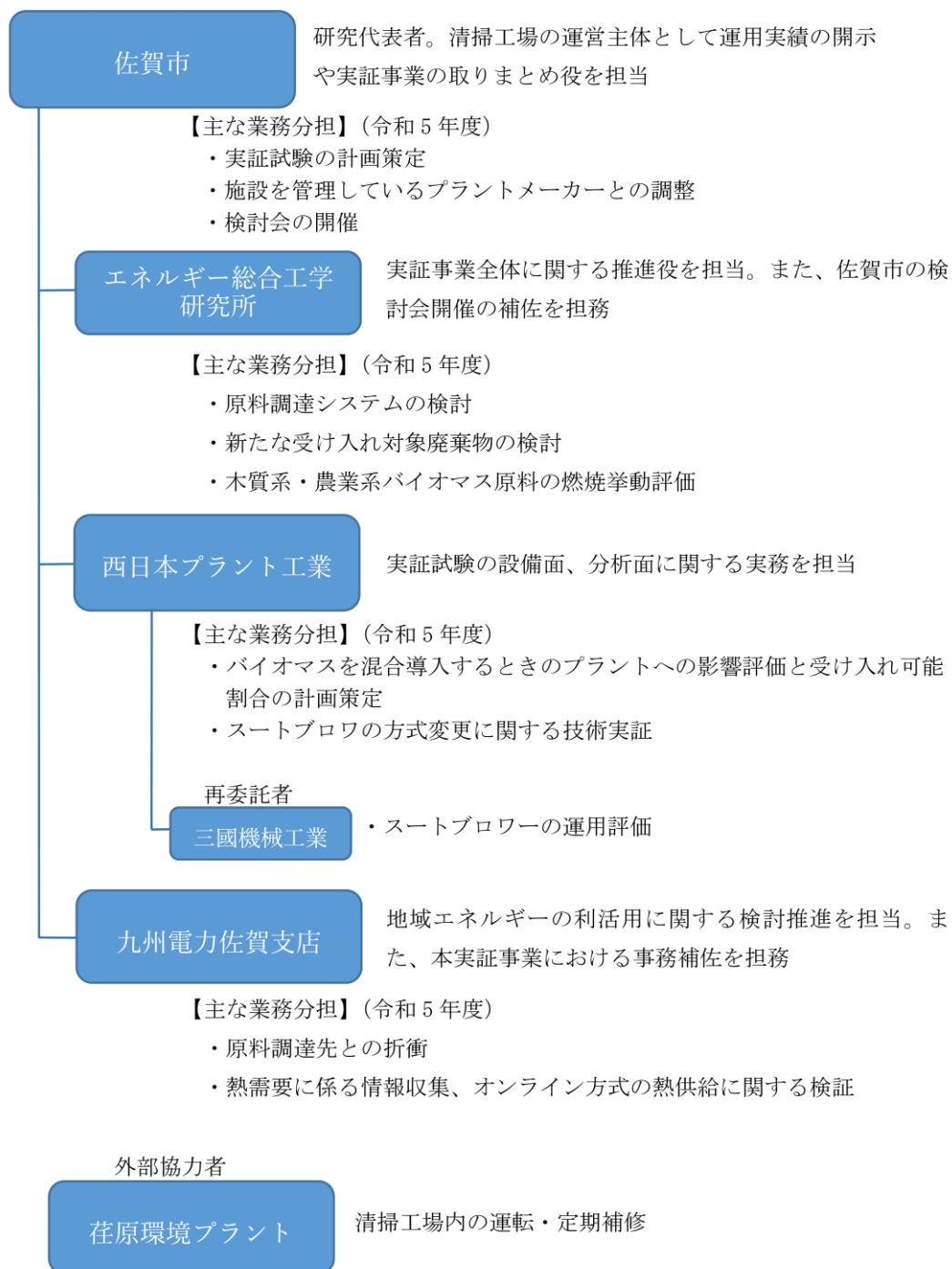


図 1-5 R5 年度業務の実施体制

1-4. 事業スケジュール

本業務は、2021年11月30日の契約から2024年3月25日までの間、以下（図1-6～図1-8）に示すスケジュールで実施した。

	R3			
	12月	1月	2月	3月
バイオマス運搬	バイオマス運搬・投入(もみがら)			
混焼実験		バイオマス混焼実験(断続的に混焼)		
灰落とし装置	SSB（圧力波式スートブロワー）の製作			★納入
炉内影響調査		実証前調査、混焼データの収集・整理・評価		
ごみ質分析	★12/10		★1月中	
灰組成分析	★12/27		★1月中	
成果報告書				★3月末
審査	★2/10:第2回審査等委員会			
検討会	★12/17:第一回		★2月中:第二回	
1号炉稼働状況	休止	運転		

図 1-6 R3（2021）年度実証事業のスケジュール

	事業メニュー	R4年度	
業務内容	1号炉の操炉計画	6/15~10/21 運転	12/25~3月末 運転
①原料調達の検討	バイオマス運搬	バーク、チップ、家具端材、農業系ガラ等	もみがら、バーク、竹チップ、流木等
	バイオマス調査	調達システムの検討（種類、量、収集運搬、貯留、コスト等の調査・検討・評価）	
②混焼による実証試験	混焼実験	1号炉稼働時をメインとした断続的な混焼 → 混合比、燃焼管理、排ガス・灰処理等の段階的トライ＆エラー 混焼マニュアルの確立	
	灰落とし装置	SSB（圧力波式スートブロフ）の設置、運用	効果の確認、改善等
	炉内影響調査	実証前調査、混焼データの収集・整理・評価 → 前年度比較、諸データの蓄積、混焼実験への反映	
	各種分析	★組成 ★ごみ質 ★灰 バーク成分分析(6/30) ごみ質(7/18/19/2) 麦殻・竹チップ成分分析(9/9) 飛灰分析 (9/12)	★組成 ★ごみ質 ★灰 ※分析中 ごみ質(1月) 組成X線・成分分析 (1月) 流木成分分析(2月) 飛灰熱しゃく減量(1月)
③熱供給方法の検討	熱供給方法の検討	需要家の設定、供給パターン毎の実現可能性調査	
検討会		★第1回(7/5)	★第2回 (12/23) ★第3回(2/13)

図 1-7 R4（2022）年度実証事業のスケジュール

	事業メニュー	R5年度			
業務内容	1号炉 操炉計画	4～6月		7～9月	
		4/25	6/15	10/24	12/25
		運転	運転	運転	運転
①原料調達 の検討	バイオマス運搬	パーク、家具端材、流木、竹チップ、支障木等 ⇒調達可能な時期や量を排出者と適宜調整			もみがら、パーク、災害木等 (R6.1月中旬まで)
	排出事業者 ヒアリング	・家具振興組合 ・県産業廃棄物所管課 ・森林組合 ・ダム管理事務所			・JAさが（農協） ・庁内（森林整備課、農業振興課等）
	調達システム	・現状調査（R5年版）、処理ルート等の整理			・調達システム構築 ・法規制の課題整理 ・採算性等のシステム評価
	ごみ質等分析	・混焼割合20-30%を想定（バイオマス比率の調査）			・混焼割合10-30%（もみ殻は10-20%混焼を目途）
②混焼による 実証試験	混焼実験	・1号炉運転時に断続的に実施（混合比率、燃焼方法の段階的トライ&エラー、排ガス、灰等の挙動把握） ・前年度成果のフィードバック（クレーン操作、混合割合、燃焼管理、灰サンプルの運転反映等） ・運転員ミーティング⇒・各種改善⇒・操作要領、混焼マニュアルの作成実行			
	灰落とし装置 (圧力波式S/B)	装置の運用、データ収集整理、改善等 (長期混焼による運転影響確認)			・効果の総合検証、安定運用の立案、撤去作業
	炉内影響調査	実証前調査、混焼データの収集・整理・評価 (前年度比較、諸データ蓄積、混焼実験への反映)			実証後調査、混焼データ収集・整理・評価、まとめ 燃焼シミュレーション（パーク、もみ殻）の反映
	各分析、測定	・灰の組成分析（他号炉比較） ・DXN類分析（灰、排ガス） ・作業環境測定（結晶性シリカ）			
③熱供給方法 の検討	熱供給方法の 検討	・需要家の設定、供給パターン毎の実現可能性調査 (需要家候補との具体的な供給条件の協議) ・熱と電気の需給バランスの再検討			・エネルギー供給計画の策定（細目、方策の提示） ・横展開を意識した清掃工場モデル案の提言 ・地域防災計画との連携（非常時の措置、レジリエ ンス強化）
④検討会	検討会の開催	★第1回 (7/27)			★第2回(12月) ★第3回(2月)

図 1-8 R5（2023）年度実証事業のスケジュール

第2章 原料調達の検討

2-1. 背景

佐賀市（以下、本市）では 2003 年（平成 15 年）に供用開始した計画処理 300 t/日（100 t/日×3 基）の本施設において本市の可燃ごみの焼却処理を行っている。

本施設では、発電した電力を市立の小中学校へ供給、発生した熱の一部を隣接のプールへ供給、さらに発生した CO₂ を分離回収して民間藻類培養施設へ供給するといった取り組みにより、エネルギーや CO₂ の有効利用を図っている。

本市の一般廃棄物処理基本計画^[2-1]によると、ごみの排出量は本市 3R 施策効果や将来人口の減少に伴い、減少傾向となることが予測されており、本施設で処理される燃えるごみの量は、2013 年度（平成 25 年度）に 76,357 t/年であったものが、2018 年度（平成 30 年度）に 74,089 t/年まで減少しており、2024 年度（令和 6 年度）には 66,242t/年まで減少することが予想されている。

本施設のごみ焼却量について最新の実績^[2-2]を見ると、2021 年度（令和 3 年度）は 68,550t/年、2022 年度（令和 4 年度）は 68,560t/年、2023 年度は 11 月までの実績と 2023 年 12 月～2024 年 3 月の計画値を合計すると、66,590t/年となっている。

また、2022 年 4 月 1 日に「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」（以下、プラスチック資源循環促進法）が施行されることによって、燃えるごみに含まれる高カロリーのプラスチックが減少することも予想される。本施設の安定運転と発生エネルギーの有効利用を将来にわたって行うためには、不足する分の原料調達が必要となっている。

2-2. 本施設の運用

2-2-1 本施設運用の現状

本施設の概要を図 2-1 に示す。プラントは全連続燃焼式ストーカ炉で前述の通り、計画処理 300 t/日（100 t/日×3 基）となっている。

ごみの流れとしては、プラットホームに到着したごみ収集車がごみピットに一般廃棄物を投入し、ごみクレーンによってごみピット内で攪拌されたごみが一定速度（時間あたり一定回数）でごみホッパに投入され、焼却炉で燃焼される。焼却ガスは各種ガス精製設備を通った後、煙突より大気に放出されるが、一部は CO₂ 分離回収設備に供され、分離された CO₂ は近隣に供給される。ごみの燃焼によって発生する灰分の内、焼却炉底部に発生するボトムアッシュは灰押出装置から排出され、焼却ガスに同伴される細かい灰はバグフィルタで捕集され、排出される。

エネルギーの流れとしては、ボイラで発生した熱エネルギーで蒸気が発生し、出力 4,500 kW の蒸気タービン発電機を回すことによって、電力に変換される。一部の蒸気は場内余熱利用や場外の熱需要家に熱エネルギーとして供給される。

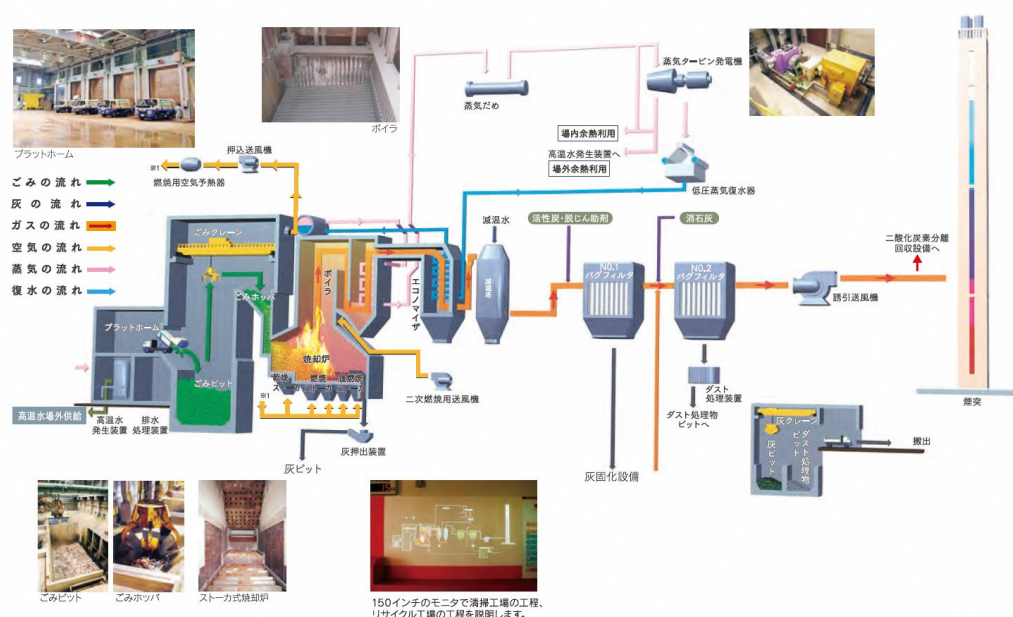


図 2-1 本施設の概要図^[2-3]

(1) ごみ処理量

図 2-2～図 2-4 に 2021 年度から 2023 年度における本施設の運用状況を示す。本施設は 11 月に 15～20 日間の全炉停止期間があり、それ以外の期間では蒸気タービン発電機、近隣への蒸気供給と CO₂ 回収装置が連続運転を行っている。焼却炉は一部 3 炉運転が重なる期間を設けつつ、最低 2 炉運転を維持している。

月		4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
日		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	28	5	10	15	20	25	31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
搬入量 (t)	計画	6177.46																															6449.94																															6527.26																															7073.70																															6777.61																															6401.97																															6166.59																															6089.28																															5847.09																															5875.46																															4994.80																															5918.91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	実績	5720.93																															6314.12																															5995.96																															6243.09																															6481.55																															6147.20																															5849.71																															6024.27																															5722.17																															5207.10																															4476.85																															5517.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
焼却量 (t)	計画	6015 (2炉:190 3炉:285)																															5890 (2炉:190)																															6365 (2炉:200 3炉:285)																															6200 (2炉:200)																															6577 (2炉:200 3炉:291)																															5571 (1炉:100 2炉:204)																															6566 (2炉:200 3炉:291)																															2533 (2炉:200)																															7130 (2炉:200 3炉:288)																															6366 (2炉:194 3炉:288)																															5461 (2炉:194)																															6014 (2炉:194)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	実績	5805.85																															6138.45																															6267.38																															5878.58																															6722.79																															5512.82																															6340.54																															2461.23																															6767.52																															6060.13																															5031.91																															5562.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
月末ピット残量(t)	計画	1256.00																															1816.00																															732.00																															1109.00																															928.00																															1252.00																															853.00																															4409.00																															3126.00																															2636.00																															2169.00																															2074.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	実績	1009.09																															884.76																															613.34																															871.71																															630.47																															1264.85																															774.02																															4337.06																															3291.71																															2438.68																															1883.62																															1838.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
運転概要	焼却炉	3炉4日																															3炉9日																															3炉5日																															3炉14日																															3炉15日																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	溶融炉	1号(中間清掃、休炉整備)																															2号(中間清掃、休炉整備)																															2号定修工事																															1号・共通系定修工事																															3号定修工事																															2号定修工事																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
焼却炉	1号炉 (259.7日)	20																															12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</																														

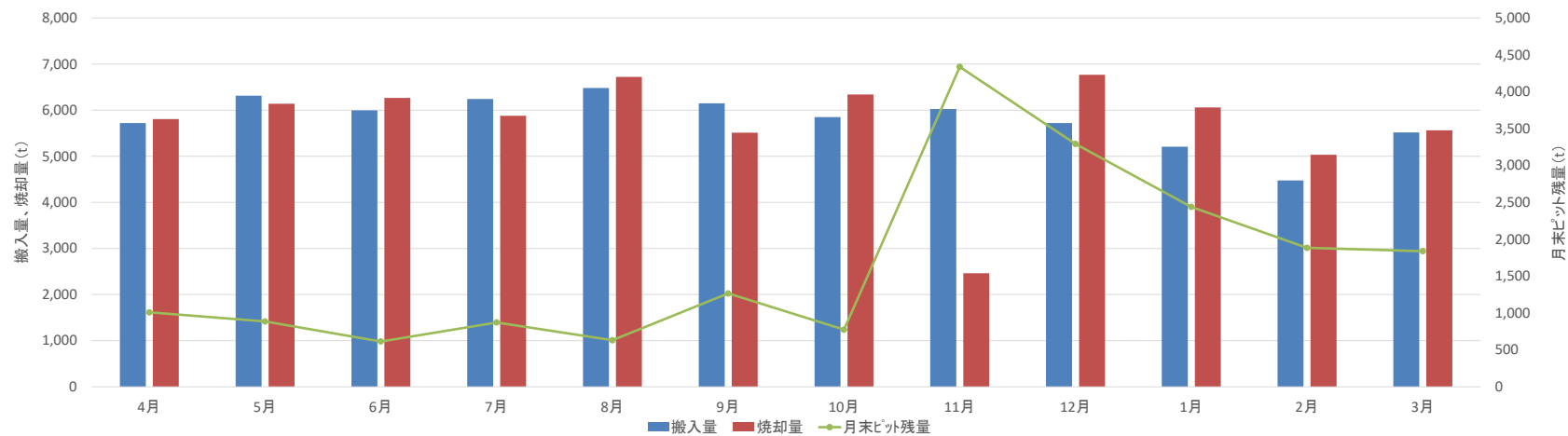


図 2-2 本施設の運用状況 (2021 年度)

月		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
日		5 10 15 20 25 30	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 30	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 30	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 30	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 31	5 10 15 20 25 28	5 10 15 20 25 31
搬入量 (t)	計画	5644.72	6750.63	6016.17	5963.77	6575.54	6328.91	5945.09	5734.16	5642.20	5491.07	4472.05	5485.06
	実績	5399.88	6043.93	5810.05	5936.97	6403.46	6026.17	6143.74	5757.35	5743.01	5227.45	4556.25	5403.71
焼却量 (t)	計画	6585 (2炉:190 3炉:285)	5890 (2炉:190)	5737 (2炉:190)	6156 (2炉:190 3炉:291)	6523 (2炉:200 3炉:291)	6000 (2炉:200)	6550 (2炉:196 3炉:288)	2469 (2炉:194)	6512 (2炉:194 3炉:288)	5890 (2炉:190)	5320 (2炉:190)	5921 (2炉:190)
	実績	6515.29	5818.25	5802.69	6294.61	6438.36	5888.31	6484.66	2448.13	6450.60	5384.81	5313.46	5723.96
月末ヒット残量(t)	計画	898.00	1759.00	1132.00	940.00	991.00	1320.00	548.00	3814.00	2944.00	2545.00	1697.00	1261.00
	実績	722.85	948.53	1055.89	698.25	753.35	891.21	550.29	3859.51	3151.92	2994.56	2237.35	1917.10
運転概要	焼却炉	3炉10日	1号(中間清掃、休炉整備)	3号(中間清掃、休炉整備)	3炉7日	2号定修工事	3炉6日	1号・共通系定修工事	3炉6日	3号定修工事	2号(中間清掃)		
	タービン発電機	19		15			21			25			
焼却炉	1号炉 (238.7日)												
	2号炉 (240.8日)	10			4			16	2	19		3	
	3号炉 (242.0日)			15		29			2	20	30		2
	タービン発電機							2		21			
ゆめファーム蒸気供給								2		22			
CO ₂ 回収装置								1		21			

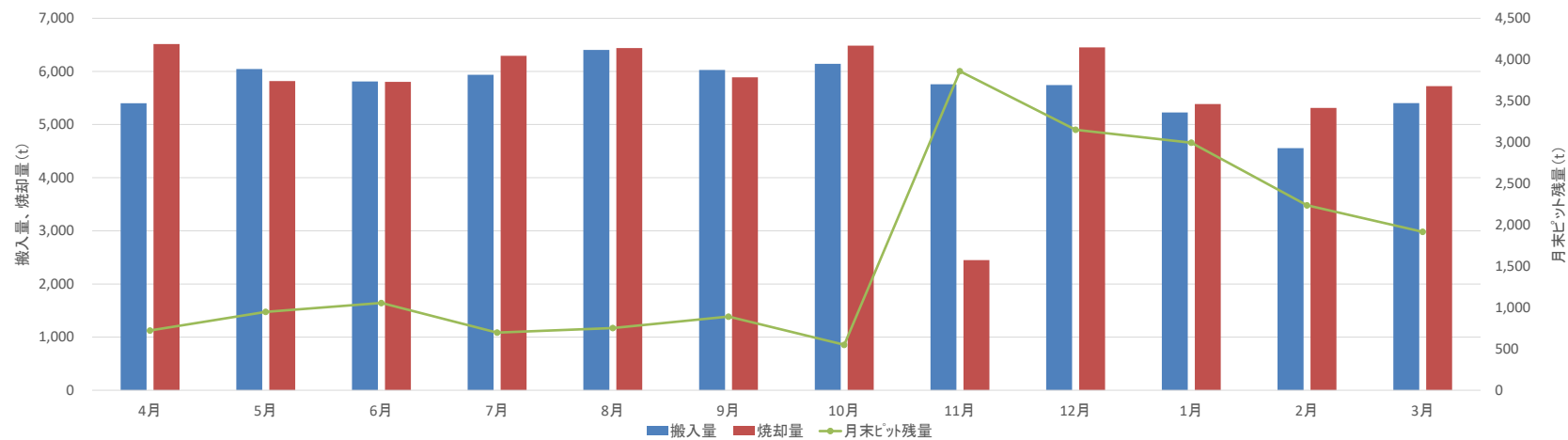


図 2-3 本施設の運用状況 (2022 年度)

月		4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月								
日		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	28	5	10	15	20	25	31
搬入量 (t)	計画	5153.03			6137.24			5982.80			6035.30			6291.56			5817.81			6437.58			5654.02			5508.37			5311.19			4759.53			5161.07								
	実績	5025.51			5905.42			5766.49			5747.80			5762.34			5497.62			6026.21			5683.18																				
焼却量 (t)	計画	6395(2炉:190 3炉:285)			5890(2炉:190)			5737(2炉:190)			5927(2炉:190)			6076(2炉:196)			5880(2炉:196)			6826(2炉:196 3炉:288)			2469(2炉:194)			6392(2炉:194 3炉:288)			5704(2炉:184)			5336(2炉:184)			5741(2炉:184)								
	実績	6034.61			5813.69			5816.05			5947.83			5756.50			5712.06			6072.74			2264.46																				
月末ピット残量(t)	計画	675.13			922.37			1168.17			859.35			1074.91			1012.72			624.30			3809.32			2925.69			2532.88			1956.41			1350.99								
	実績	908.00			1099.73			1050.17			850.14			855.98			641.54			795.01			4213.73																				
運転概要	焼却炉	3炉8日			1号(中間清掃、休炉整備)			3号(中間清掃、休炉整備)			2号定修工事			3炉9日			1号・共通系定修工事			3炉5日			3号定修工事			2号(中間清掃)																	
	タービン発電機																																										
焼却炉	1号炉 (252.7日)	24			15									18						24																							
	2号炉 (235.8日)	17						31						15			2			18									7														
	3号炉 (236.0日)				15			31									2			19			28						7														
	タービン発電機																2			20																							
ゆめファーム蒸気供給																	1						21																				
CO ₂ 回収装置																	1						21																				

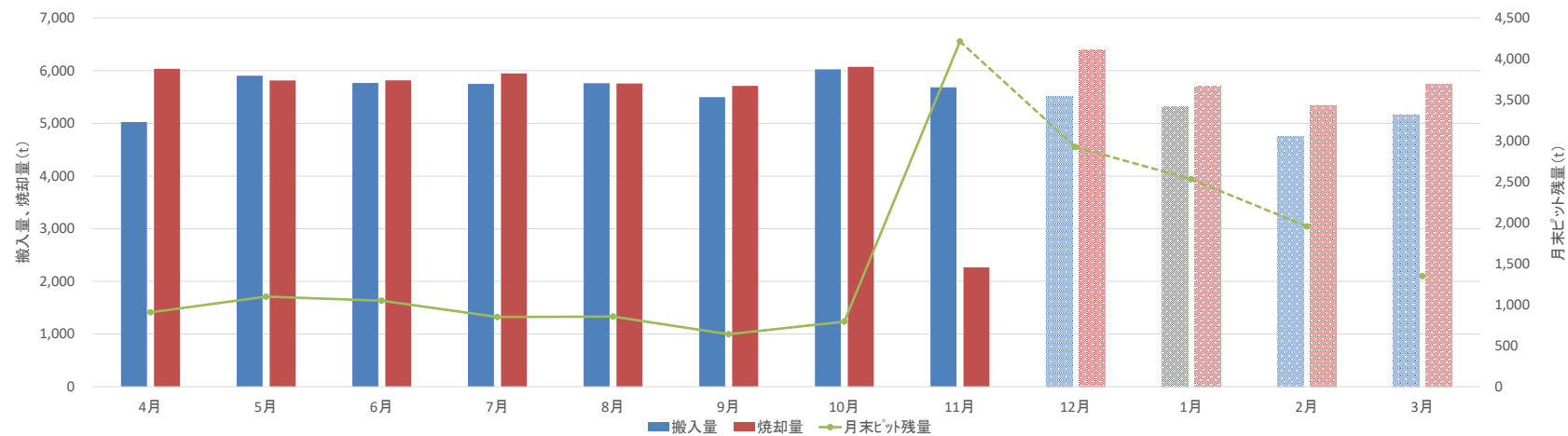


図 2-4 本施設の運用状況 (2023 年度実績と計画 (破線やドット))

ごみ搬入量は、年度前半を中心に 200t/日をやや上回るペースで推移しており、3 炉運転を断続的に組み込むかたちで稼働している。

年間日数に占める稼働日数（稼働率）はタービン発電機で 95%、焼却炉は 61～71% である。年間稼働日数に対する 1～3 炉稼働日数とともに表 2-1 に示す。

表 2-1 本施設の設備稼働率

		稼働（運休）日数	稼働率
2021 年度	タービン発電機	348（17）	95%
	1 号炉	259.7	71%
	2 号炉	256.8	70%
	3 号炉	222.0	61%
	1 炉運転	14	4%
	2 炉運転	287	79%
	3 炉運転	47	13%
2022 年度	タービン発電機	346（19）	95%
	1 号炉	238.7	65%
	2 号炉	240.8	66%
	3 号炉	242.0	66%
	1 炉運転	0	0%
	2 炉運転	317	87%
	3 炉運転	29	8%
2023 年度	タービン発電機	347（18）	95%
	1 号炉	252.7	69%
	2 号炉	235.8	65%
	3 号炉	236.0	65%
	1 炉運転	0	0%
	2 炉運転	325	89%
	3 炉運転	22	6%

図 2-5 に過去 6 年間で最新 2023 年度の 11 月までの月別ごみ搬入および焼却実績を示す。ごみ搬入実績は概ね 6,000 t/月程度で推移し、徐々に減少傾向にある。年内の変動を見ると、毎年 7 月もしくは 8 月にピークを迎え、2 月に最小値となっている。焼却実績を見ると、こちらも概ね 6,000t/月であり、定期点検がある 11 月には 2,500t/月程度になっている。

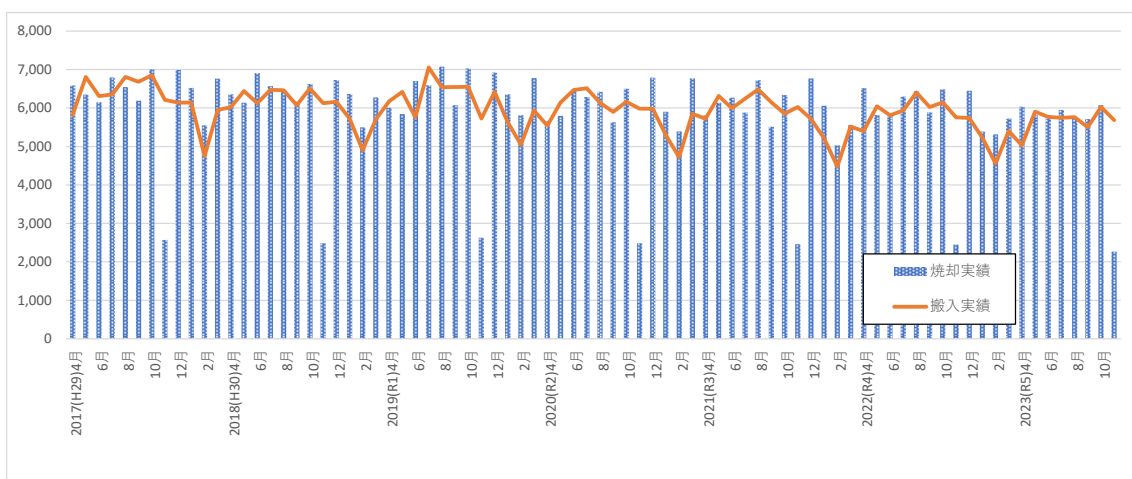


図 2-5 ごみ搬入および焼却月別実績の推移

図 2-6 に過去 7 年間の年度別ごみ搬入実績を示す。年間で見ると、この 7 年間で徐々に搬入実績が減少していることがわかる。回帰分析の結果からこの期間で毎年 1,268 t の減少量と見ることができる。

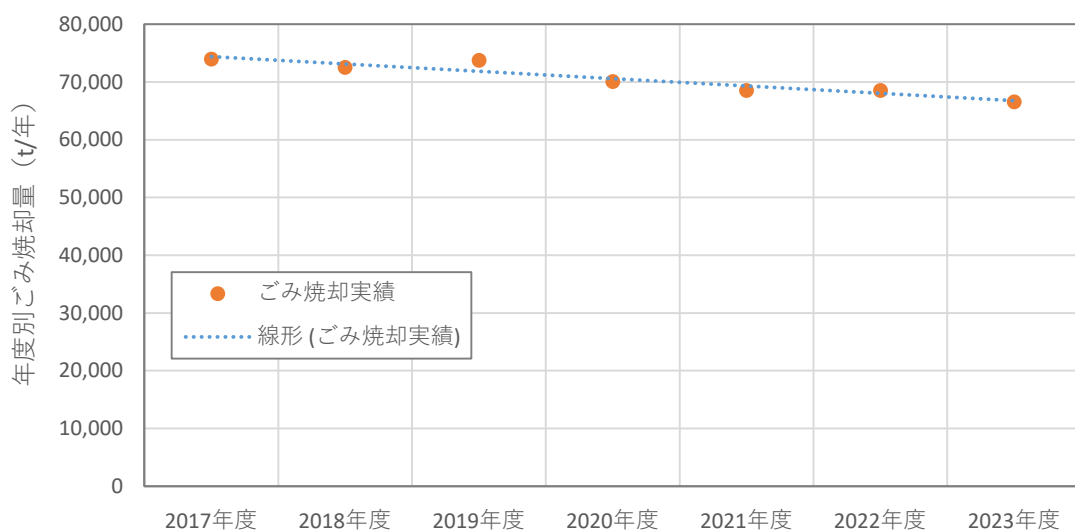


図 2-6 過去 7 年間のごみ焼却実績（年度別）
（※2023 年度は 12 月以降計画値を加算した）

（2）ごみ質

ごみの組成、成分、発熱量について、月単位のデータを整理した。以下に、2021～2023 年度（11 月まで）のごみの性状に関する整理結果を示す（なお、分析結果は毎月 2 点の結果について平均をとったものである）。

表 2-2 ごみ質実績 (2021 年度)

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均値
単位容積重量	k g/m ³	120.0	193.0	141.0	109.0	120.5	140.0	126.0	120.0	99.5	143.0	123.5	129.5	130
水分	%	42.8	42.8	43.3	42.4	44.4	45.7	43.8	44.7	40.1	47.2	45.6	42.6	43.8
ごみ	紙類	42.8	41.2	34.4	26.1	26.2	40.7	34.6	29.6	34.9	31.8	36.9	35.7	34.6
	布類	10.9	10.8	10.4	14.1	7.2	8.1	11.5	15.1	9.5	5.4	7.5	9.6	10.0
	ビニール系	21.3	18.3	19.3	32.6	27.9	27.0	20.1	19.5	23.4	25.7	22.0	26.1	23.6
組成	木・竹・わら類	14.7	16.0	24.1	19.8	26.3	12.5	18.0	22.8	20.6	9.2	11.9	9.5	17.1
成分	ちゅう芥類	9.5	13.0	10.4	4.0	1.4	7.7	8.0	7.8	7.1	17.0	14.3	14.8	9.6
	不燃物類	0.0	0.0	0.2	0.8	4.5	0.0	0.5	3.1	0.7	3.2	2.5	1.3	1.4
	その他 (ふるい通過)	0.9	0.8	1.4	2.8	6.6	4.2	7.5	2.2	3.9	7.8	5.0	3.2	3.8
灰分	紙類	11.5	11.6	8.1	12.3	9.5	7.8	12.5	9.3	8.9	8.6	13.5	9.8	10.3
	布類	1.1	0.5	3.7	1.6	2.8	1.1	1.9	1.6	2.2	0.9	1.3	1.2	1.6
	ビニール系	4.2	4.7	3.5	3.1	3.1	8.2	6.2	4.1	13.4	9.9	4.7	2.3	5.6
	木・竹・わら類	4.7	4.7	4.1	9.4	9.7	13.5	7.6	12.8	11.3	7.3	8.4	5.8	8.3
	ちゅう芥類	11.7	13.1	21.2	10.6	4.9	10.2	11.5	5.2	17.5	7.0	6.9	12.9	11.0
	その他	34.3	43.6	48.6	18.9	30.8	30.9	53.4	30.0	22.4	21.1	23.2	29.4	32.2
	乾燥ごみの灰分	8.1	8.5	7.9	8.0	12.6	9.3	12.5	11.3	11.5	11.7	11.7	8.7	10.1
	生ごみの灰分	4.7	4.9	4.4	4.7	6.9	5.1	7.0	6.2	6.9	6.3	6.3	5.1	5.7
	可燃物	52.6	52.4	52.3	53.0	48.8	49.3	49.3	49.2	53.1	46.6	48.2	52.4	50.6
	低位発熱量 (計量値)	kJ/kg	8,830	8,790	8,765	8,915	8,075	8,135	8,180	8,140	8,995	7,595	7,905	8,426
	低位発熱量 (実測値)	kJ/kg	9,605	10,985	10,145	11,945	10,275	9,455	9,270	9,855	11,130	9,355	10,020	10,231

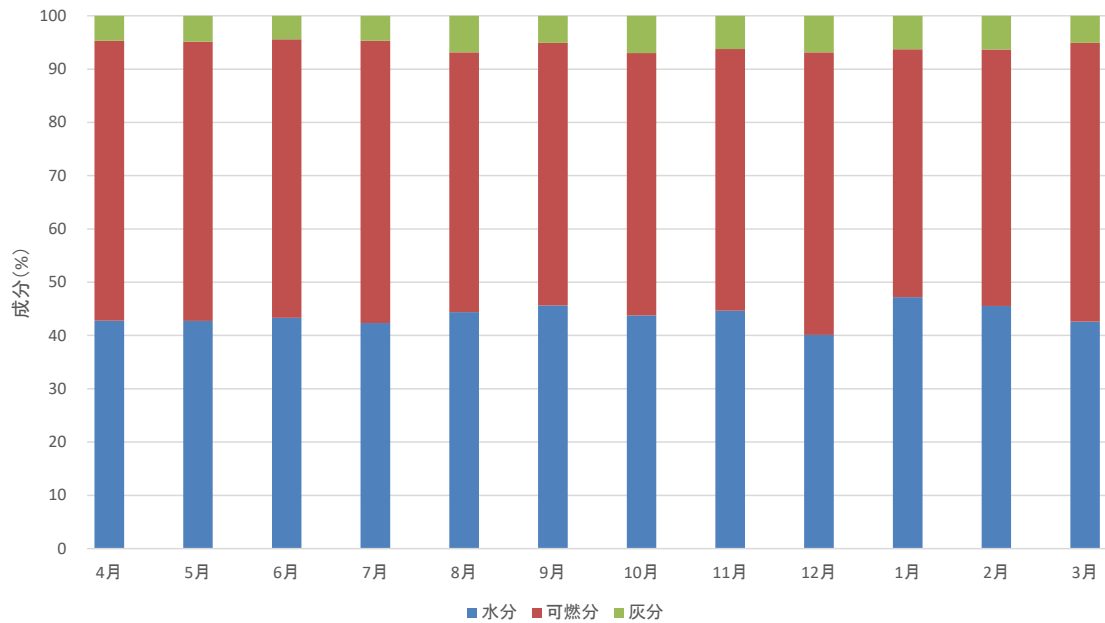


図 2-7 月別ごみ成分の推移 (2021 年度)

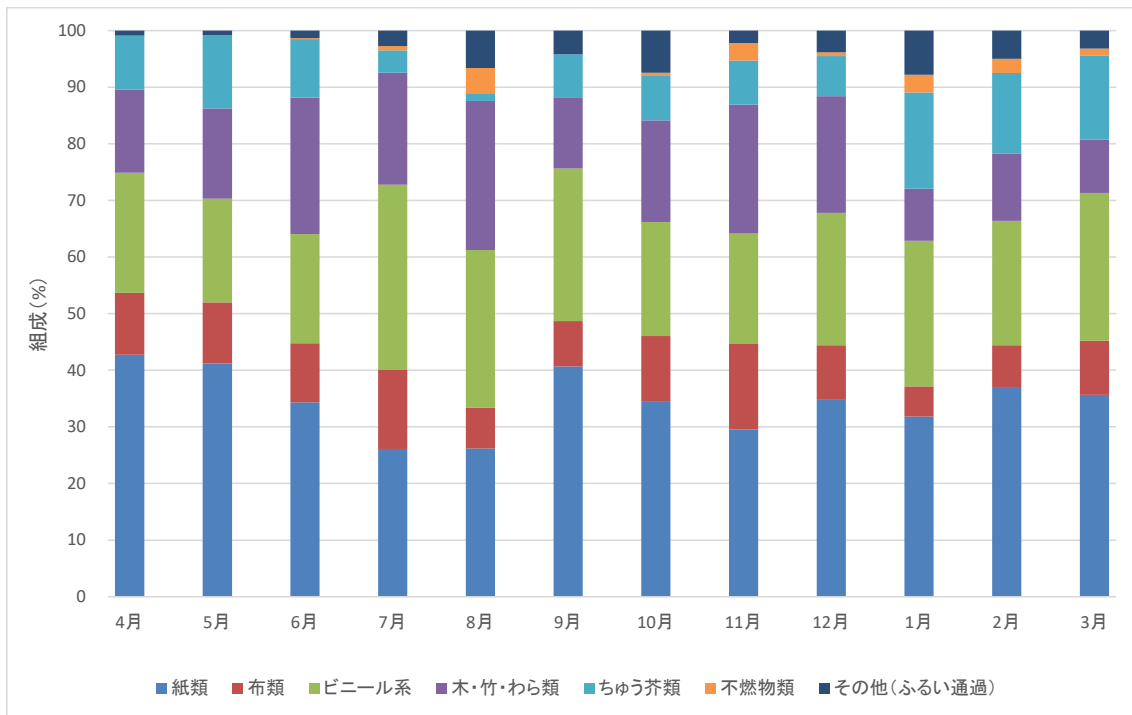


図 2-8 月別ごみ組成の推移 (2021 年度)

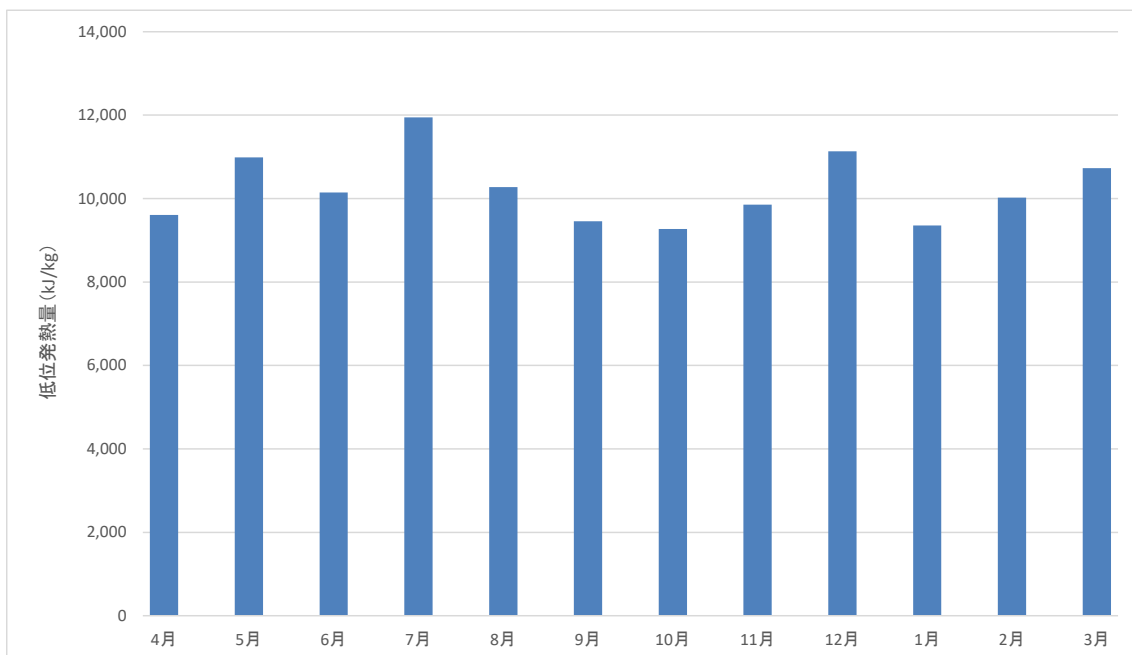


図 2-9 月別ごみ発熱量の推移 (2021 年度)

表 2-3 ごみ質実績（2022 年度）

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均値
単位容積重量	k g/m ³	128.5	194.0	145.5	133.0	150.0	140.5	117.0	119.0	113.5	101.5	105.5	113.5	130
水分	%	46.9	44.7	45.6	46.2	51.2	52.0	46.1	49.5	45.2	36.7	41.2	42.4	45.7
ごみの組成	紙類	33.8	33.4	37.8	26.3	33.0	35.4	32.6	24.1	35.4	41.4	40.5	32.3	33.8
	布類	11.7	11.7	8.8	6.0	6.6	6.2	7.7	14.3	7.8	15.5	3.9	10.2	9.2
	ビニール系	26.6	21.7	28.5	22.0	23.9	23.1	29.2	26.0	26.1	24.9	33.4	23.0	25.7
	木・竹・わら類	14.6	16.6	16.3	28.4	27.2	22.4	17.1	16.5	15.5	6.3	12.1	19.2	17.7
成分分析	ちゅう芥類	4.8	6.5	3.7	5.6	3.3	7.8	9.2	13.9	10.6	6.3	5.7	9.1	7.2
	不燃物類	2.2	5.8	1.9	3.6	1.2	1.6	1.6	2.5	1.1	3.5	1.8	1.0	2.3
	その他（ふるい通過）	6.3	4.4	3.0	8.1	4.8	3.6	2.7	2.6	3.5	2.2	2.5	5.2	4.1
	灰分	7.1	9.0	9.4	7.8	7.0	7.1	6.8	7.3	10.2	9.0	7.6	7.9	8.0
灰分中の成分	紙類	1.3	1.2	2.6	1.0	0.8	1.0	1.1	1.1	1.5	1.2	0.7	1.1	1.2
	布類	5.6	5.6	8.8	6.2	6.6	6.6	5.4	4.5	5.0	5.9	5.1	4.5	5.8
	木・竹・わら類	11.9	13.0	10.2	6.0	10.4	7.6	10.6	8.1	8.1	8.0	9.1	7.0	9.2
	ちゅう芥類	9.1	20.3	11.8	9.2	11.2	9.9	8.9	16.8	11.9	21.3	16.2	9.5	13.0
生ごみの灰分	その他	58.0	47.3	53.4	29.5	63.7	56.1	55.2	45.0	41.8	27.8	35.8	33.8	45.6
	乾燥ごみの灰分	12.0	15.5	11.8	11.7	11.5	10.2	9.7	10.5	10.3	11.2	9.7	8.8	11.1
	生ごみの灰分	6.3	8.6	6.4	6.3	5.6	4.9	5.2	5.3	5.6	6.9	5.7	5.0	6.0
	可燃物	46.7	46.7	47.9	47.5	43.2	43.1	48.7	45.2	49.2	56.5	53.1	52.6	48.4
低位発熱量（計量値）		kJ/kg	7,615	7,655	7,865	7,780	6,840	6,820	8,015	7,260	8,115	9,705	8,975	7,956
低位発熱量（実測値）		kJ/kg	10,940	9,625	9,895	10,000	7,305	7,425	9,540	8,330	10,080	10,960	10,775	9,568

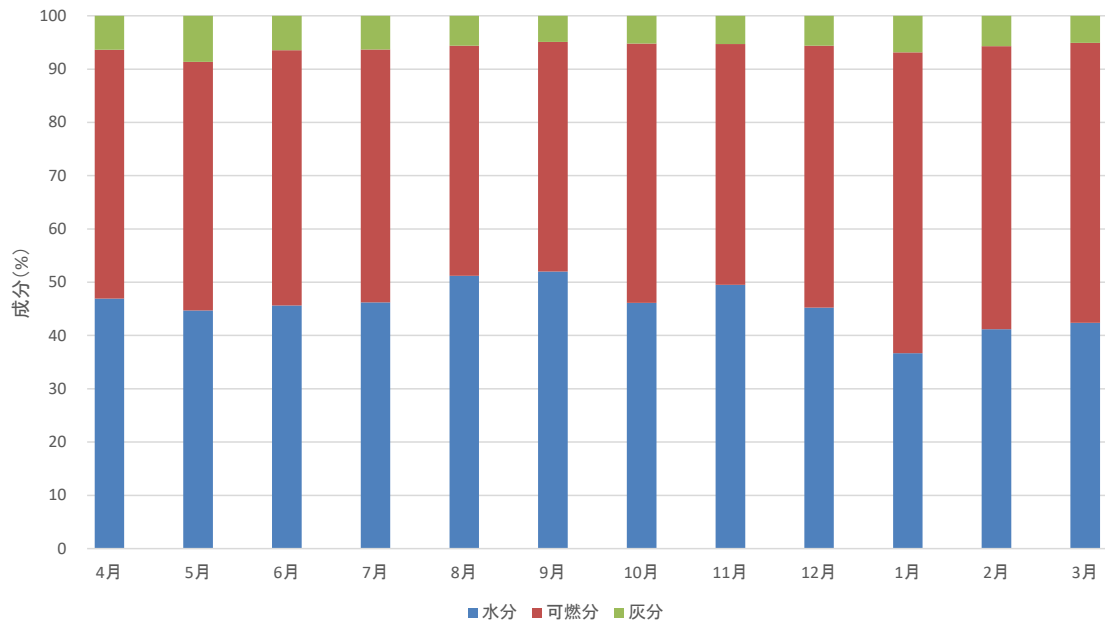


図 2-10 月別ごみ成分の推移（2022 年度）

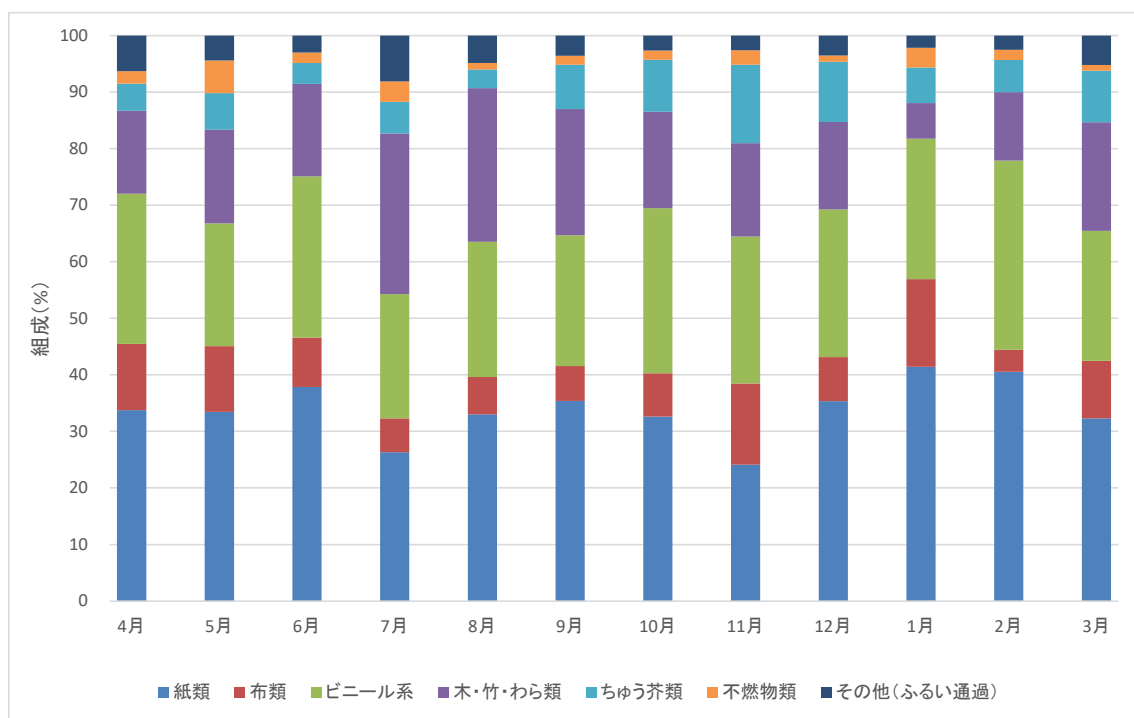


図 2-11 月別ごみ組成の推移 (2022 年度)

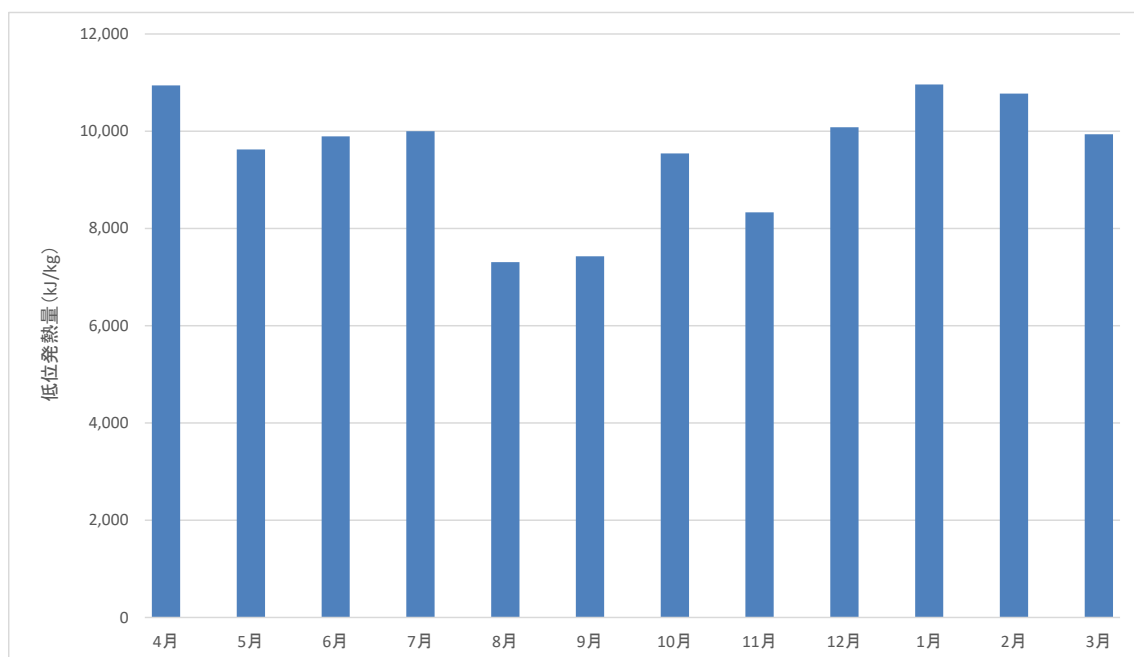


図 2-12 月別ごみ発熱量の推移 (2022 年度)

表 2-4 ごみ質実績（2023 年度）

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均値
単位容積重量	k g/m ³	166.0	137.0	148.0	135.5	129.5	141.5	121.0	123.5					138
水分	%	48.7	42.0	44.9	52.1	49.4	46.9	41.9	44.4					46.3
ごみの組成成分	紙類	31.9	28.3	25.8	32.6	26.1	33.9	27.4	28.3					29.3
	布類	7.6	26.5	16.7	10.4	18.1	5.0	15.8	6.1					13.3
	ビニール系	23.7	20.7	24.0	28.0	20.2	27.2	23.1	27.4					24.3
	木・竹・わら類	19.0	10.8	26.6	16.9	22.9	21.8	22.1	27.5					20.9
成分	ちゅう芥類	14.2	10.2	4.2	7.0	6.5	7.4	7.9	5.2					7.8
	不燃物類	1.7	2.2	1.3	2.7	1.7	2.8	0.8	2.9					2.0
	その他（ふるい通過）	2.0	1.3	1.4	2.3	4.5	1.9	3.0	2.5					2.4
	紙類	11.2	8.6	9.7	7.8	9.3	10.6	11.5	9.6					9.8
灰分	布類	1.4	0.9	1.9	1.1	2.6	0.9	3.2	2.2					1.8
	ビニール系	4.9	4.3	3.6	6.4	4.3	5.5	4.0	3.8					4.6
	木・竹・わら類	12.1	10.2	9.8	9.6	12.3	11.9	12.0	15.4					11.6
	ちゅう芥類	18.1	23.3	14.5	8.3	9.1	11.1	11.2	7.9					12.9
生ごみの灰分	その他	47.6	43.2	51.5	25.6	46.4	26.3	42.4	43.2					40.8
	乾燥ごみの灰分	12.6	9.9	8.9	10.0	10.8	11.9	10.3	12.6					10.9
	生ごみの灰分	6.5	5.7	4.9	4.8	5.5	6.3	6.0	7.0					5.8
	可燃物	44.8	52.3	50.2	43.1	45.2	46.8	52.1	48.6					47.9
低位発熱量（計量値）		k J/kg	7,220	8,785	8,705	7,325	7,260	7,615	9,060	8,600				8,071
低位発熱量（実測値）		k J/kg	8,330	10,100	9,915	8,995	8,265	8,390	10,380	10,020				9,299

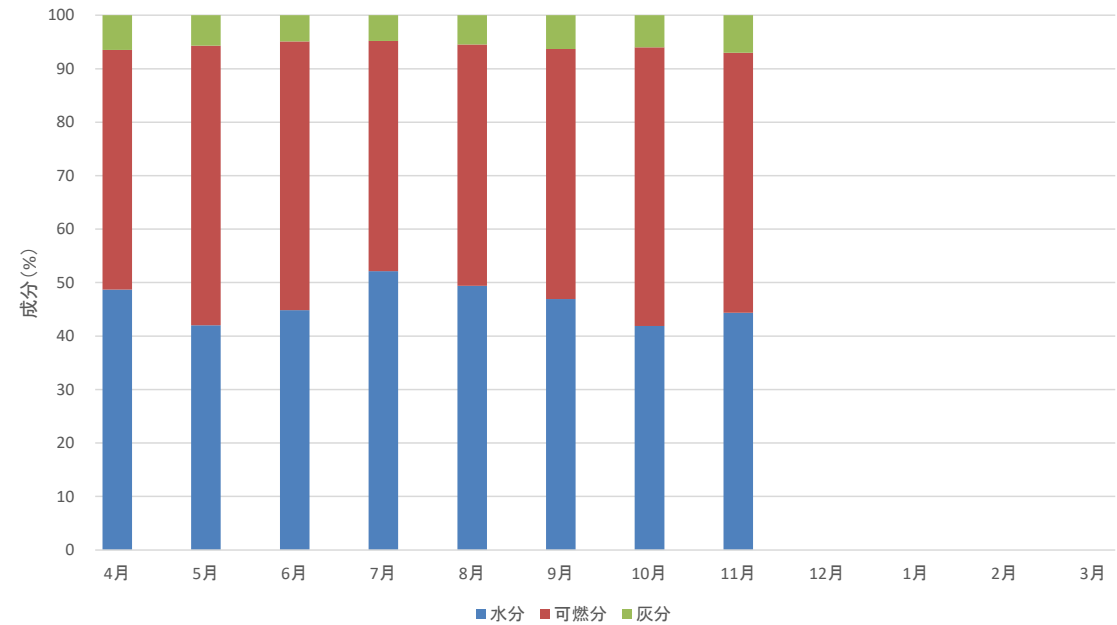


図 2-13 月別ごみ成分の推移（2023 年度）

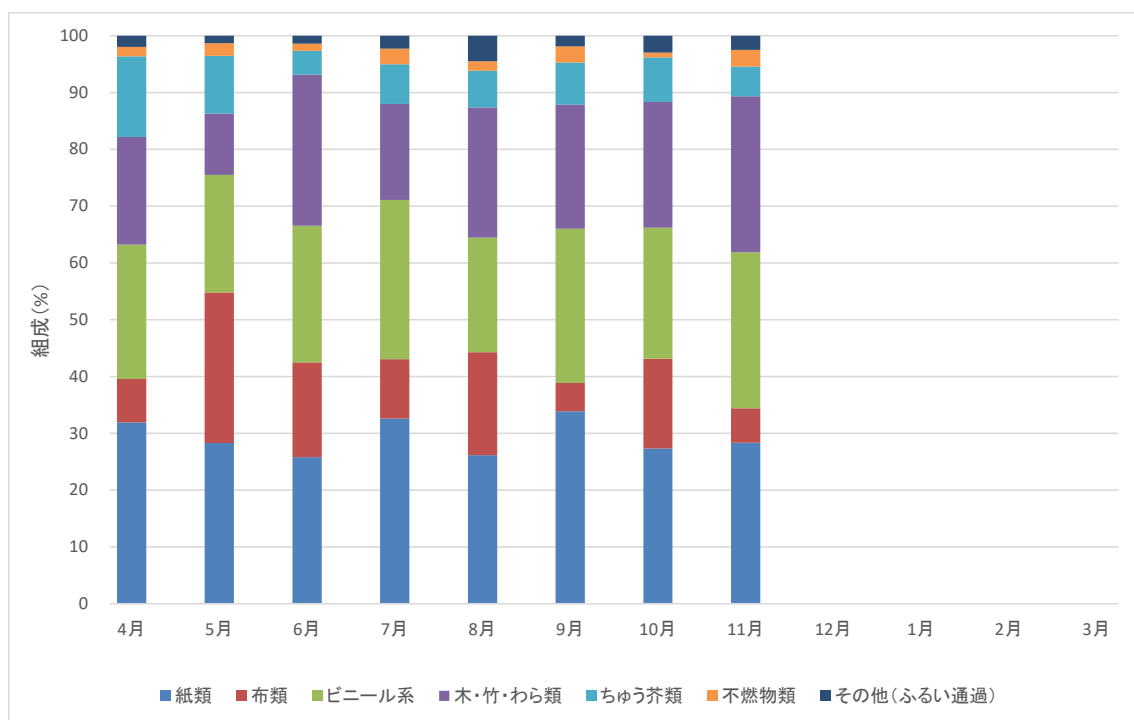


図 2-14 月別ごみ組成の推移 (2023 年度)

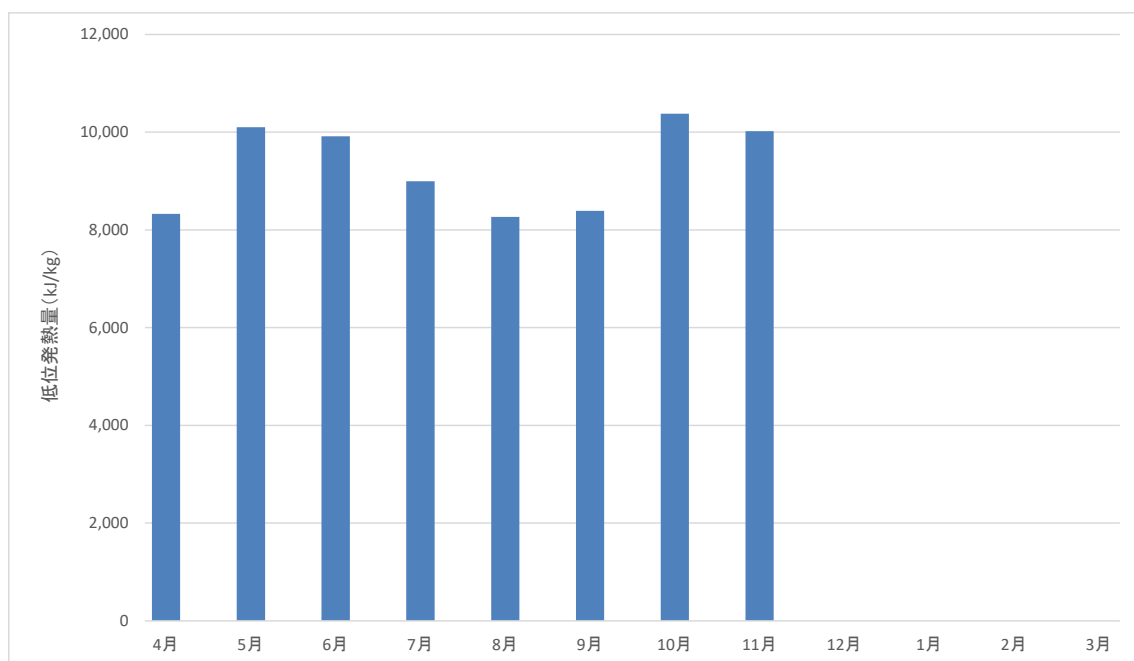


図 2-15 月別ごみ発熱量の推移 (2023 年度)

ごみ成分(水分、可燃分、灰分)の年間変動を見ると、大きな変化は無いものの、概ね夏場(7~9月)に水分が高く、冬場(12~2月)に水分が低くなっている。組成(紙類、布類、ビニール系など)について、月別の傾向はあまり見られず、ある程度の幅で

変動している様子が伺える。

発熱量の推移を見ると、年によって傾向が少し変わるが、8～10月に極小値を持ち、12～1月に極大値になるように見受けられる。これは主に、ごみ成分のところで説明した水分の変化の影響を受けている。発熱量は乾燥したごみを分析している。したがって、分析結果から、ごみに含まれていた水分および水素を燃焼して発生する水蒸気の蒸発潜熱を引いて低位発熱量を求めていることから、水分が多いごみの発熱量は相対的に小さくなる。

次に、ごみの組成、成分、発熱量について、年平均値の推移を整理した。2014年度から2023年度（2023年11月まで）までのごみの成分、組成、および発熱量の推移をそれぞれ、図 2-16、図 2-17、および図 2-18 に示す。

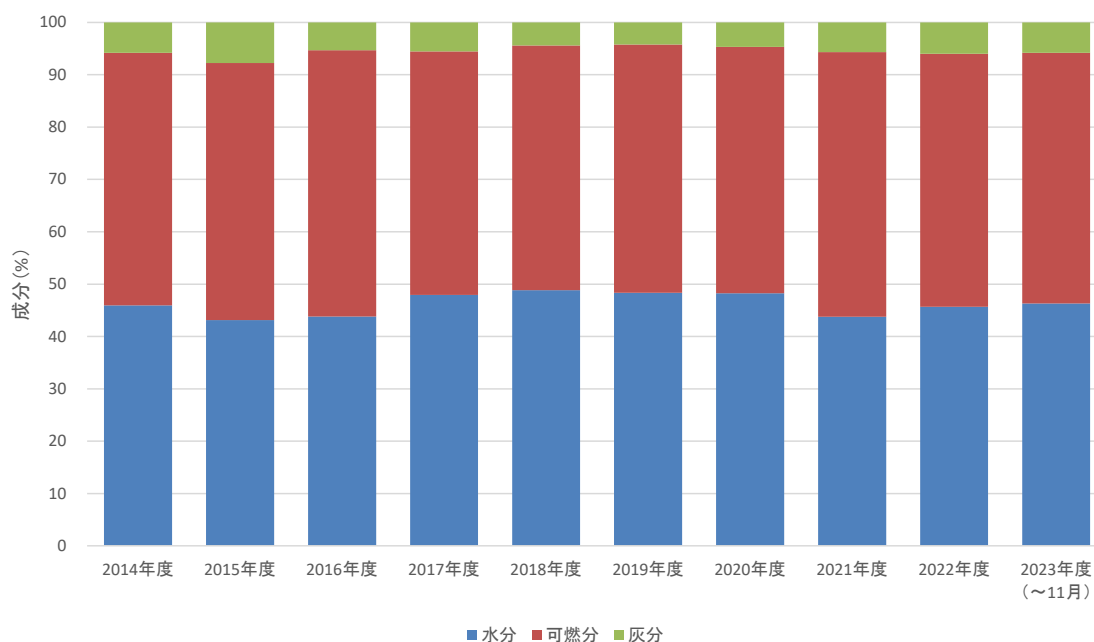


図 2-16 ごみ成分の推移（年平均データ）

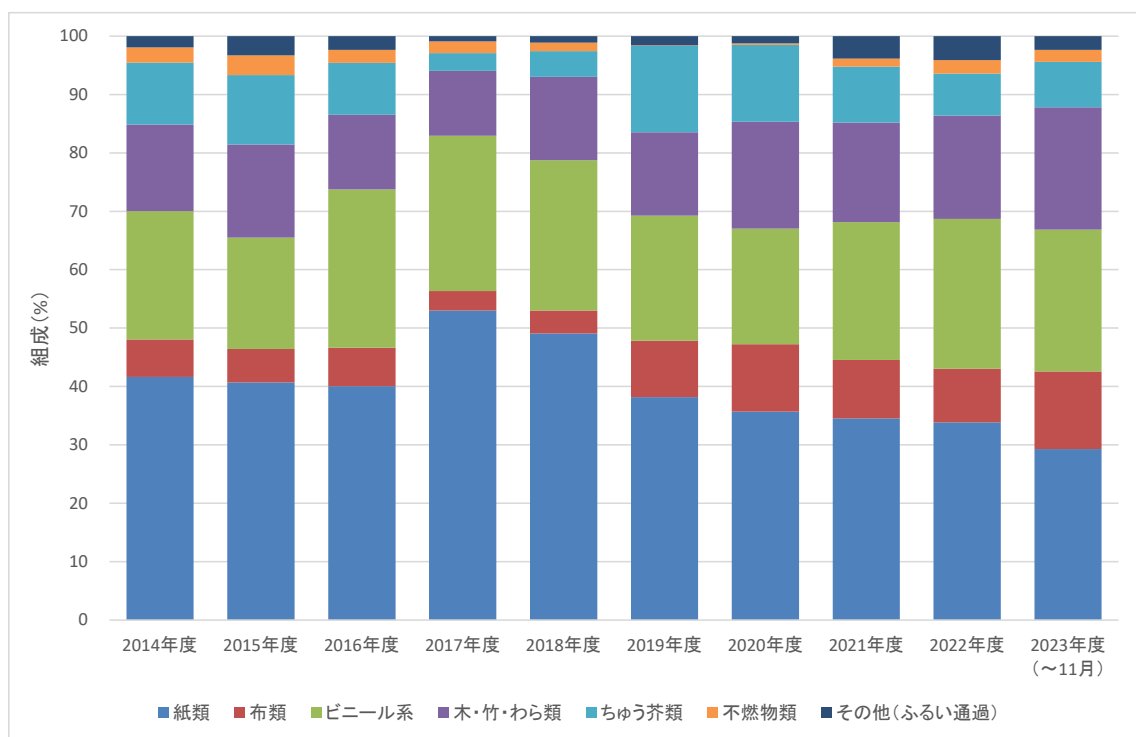


図 2-17 ごみ組成の推移（年平均データ）

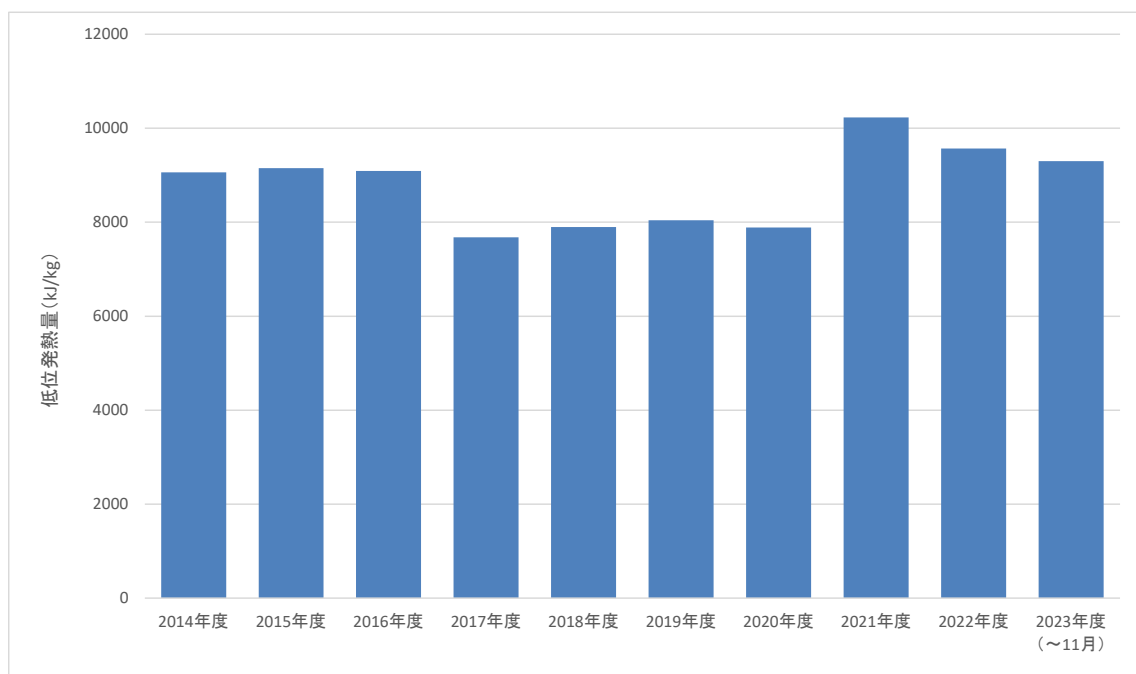


図 2-18 ごみ発熱量の推移（年平均データ）

図 2-16 のごみ成分の推移を見ると、2017～2020 年度に水分が少し多い傾向が見ら

れる。前述の通りこの傾向は同時期の発熱量低下にも現れている。

図 2-17 の組成の推移を見ると、2017 年度以降、紙類が減少し、布類と木・竹・わら類は増加傾向にある。近年はデジタル化の推進などで、紙の需要が減っているため¹²⁻⁴⁾、その傾向が現れているように見える。

図 2-18 の発熱量は、前述の通り、2017～2020 年度にやや低い値となっている。年平均の最小値は 2017 年度の 7,680kJ/kg、最大値は 2021 年度の 10,231kJ/kg である。

ごみの発熱量について、本施設設計時の基準ごみは 7,950kJ/kg、高質ごみは 11,720kJ/kg となっているため、2017、2018 および 2020 年度のごみは基準ごみよりも少し低質で、2021 年度のごみは高質ごみに近いものとなっている。

今後、「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」への対応で、ごみ組成として、ビニール系の割合が減少したり、そのため、発熱量が減少することも想定される。本実証事業で行っているバイオマスの導入による効果として、発熱量の安定化にも期待がかかる。

(3) 物質収支

直近のデータが揃っている 2022 年度の運転実績から、表 2-5 に示すパラメータを用いて、以下の前提条件で本施設の物質収支（年間総量）を計算した。

- ・ システムとして大きくごみの焼却とボイラにおける水の循環に分け、熱交換器において熱エネルギーを授受する表現に単純化した。
- ・ 2022 年度のごみ焼却実績をごみのインプットとし、ごみの成分分析結果から、可燃分、水分、灰分の量を求めた。
- ・ その他本施設に導入される物質としては薬品（尿素水、石灰石、活性炭、脱塵助剤）、補助燃料としての灯油、ボイラ等で利用される上水がある。
- ・ アウトプットとしては焼却灰、飛灰（活性炭や脱塵助剤を含む）の実績データを用い、放流水のデータについては参考とした。
- ・ インプットには空気を考慮していないこと、微量元素はカウントしないこととして、焼却側インプットとアウトプットとの差分を大気放出される処理ガスとした。

表 2-5 物質収支、エネルギー収支の計算パラメータ

	2022 年度	2021 年度（参考）	2020 年度（参考）
物質収支			
ごみ焼却実績	68,563t	68,550t	70,113t
ごみ成分分析結果			
可燃分	48.6%	50.6%	45.9%
水分	45.7%	43.8%	49.6%
灰分	6.0%	5.7%	4.5%
インプット			
薬品	459t	490t	505t
灯油	67t	54t	55t
上水	37,295t	37,555t	37,800t
アウトプット			
焼却灰	5,072t	6,147t	5,834t
飛灰	1,851t	1,371t	1,242t
放流水	11,459t	12,966t	13,021t
エネルギー収支			
ごみの発熱量	9,568kJ/kg	10,231kJ/kg	7,890kJ/kg
買電量	556,370kWh	510,030kWh	610,190kWh
発電量	30,227,840kWh	30,139,270kWh	30,566,340kWh
電力所内利用	14,461,500kWh	14,599,210kWh	14,642,810kWh
売電量	15,753,880kWh	15,523,720kWh	15,934,050kWh

灯油の密度 0.79g/cm³、発熱量 36.49MJ/L

1kWh=0.0036GJ

ボイラ部分の物質収支計算結果を図 2-19 に示す。2022 年度には 68.57 千トンのごみから 201.81 千トンの蒸気を作り出したことがわかる。

ここで、投入ごみのエネルギーが蒸気エネルギーに転換されたときのエネルギー収支からボイラ効率は以下のように計算できる。

蒸気エネルギー (201,809t/年×3,180MJ/t) ÷ ごみの発熱量 (68,563t/年×9,568MJ/t
=656,011GJ/年) =97.4%

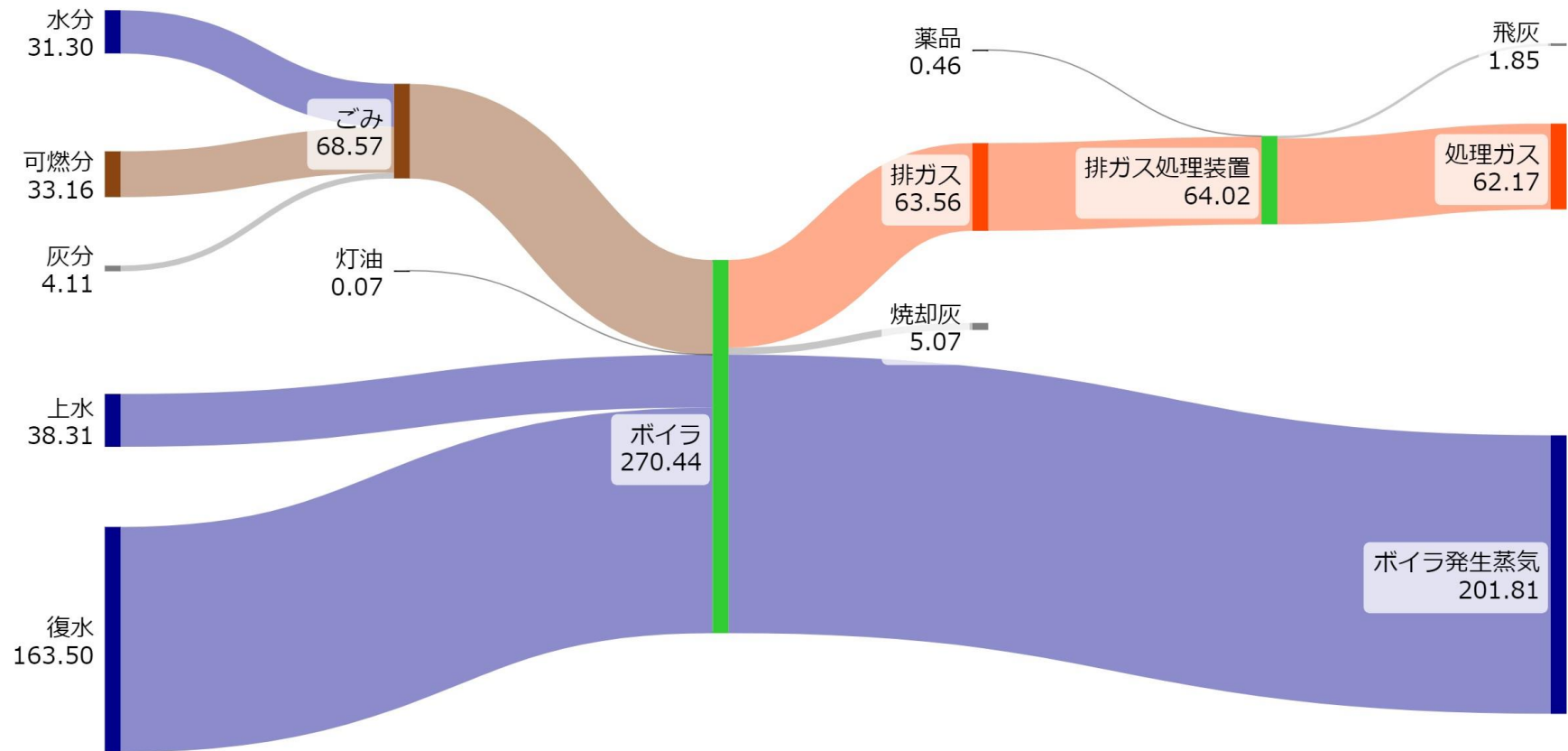


図 2-19 本施設の物質収支（2022 年度，単位：千 t/年）

次に発生蒸気の利用部分に関する物質収支（間接的にエネルギー収支を表す）試算結果を整理する。

図 2-20 に示すように、ボイラにおいて発生した高圧蒸気はいったん高圧蒸気溜めを経て、発電のために蒸気タービンに供給される。一部の高圧蒸気は場内で利用される。場内外への熱供給は基本的に蒸気タービンから抽気された低圧蒸気で行われる。

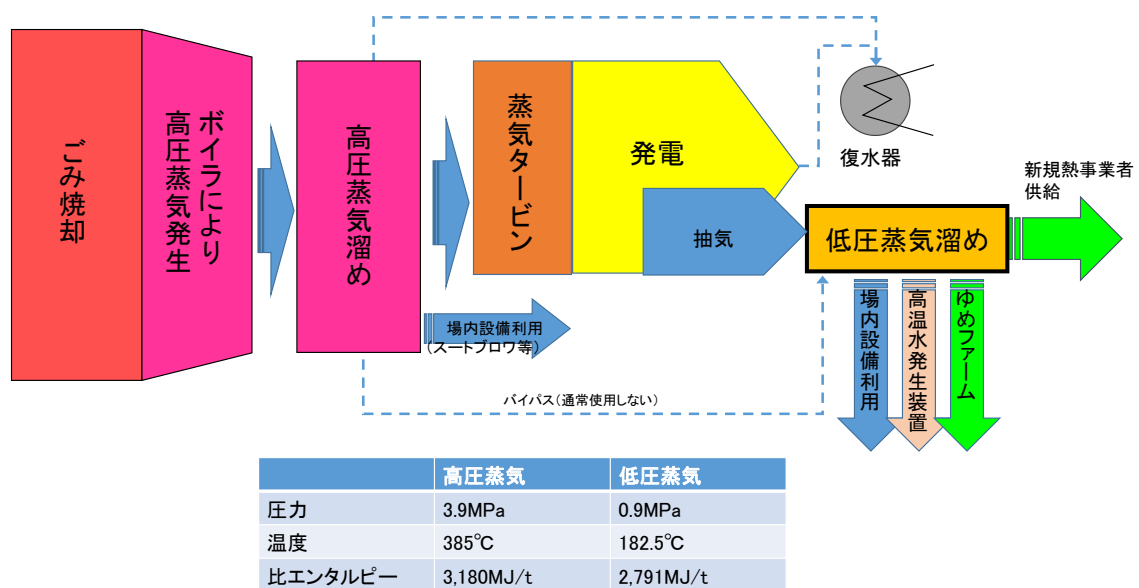


図 2-20 ボイラ発生蒸気の経路と用途

蒸気の物質収支計算結果を図 2-21 に示す。蒸気の質量見ると、発生した 201.8 千トンの蒸気の内、161.6 千トンの蒸気が発電に供され、場内外の熱利用のために、37.0 千トンの蒸気が抽気されたことがわかる。

エネルギーバランスの詳細については 0 において説明する。

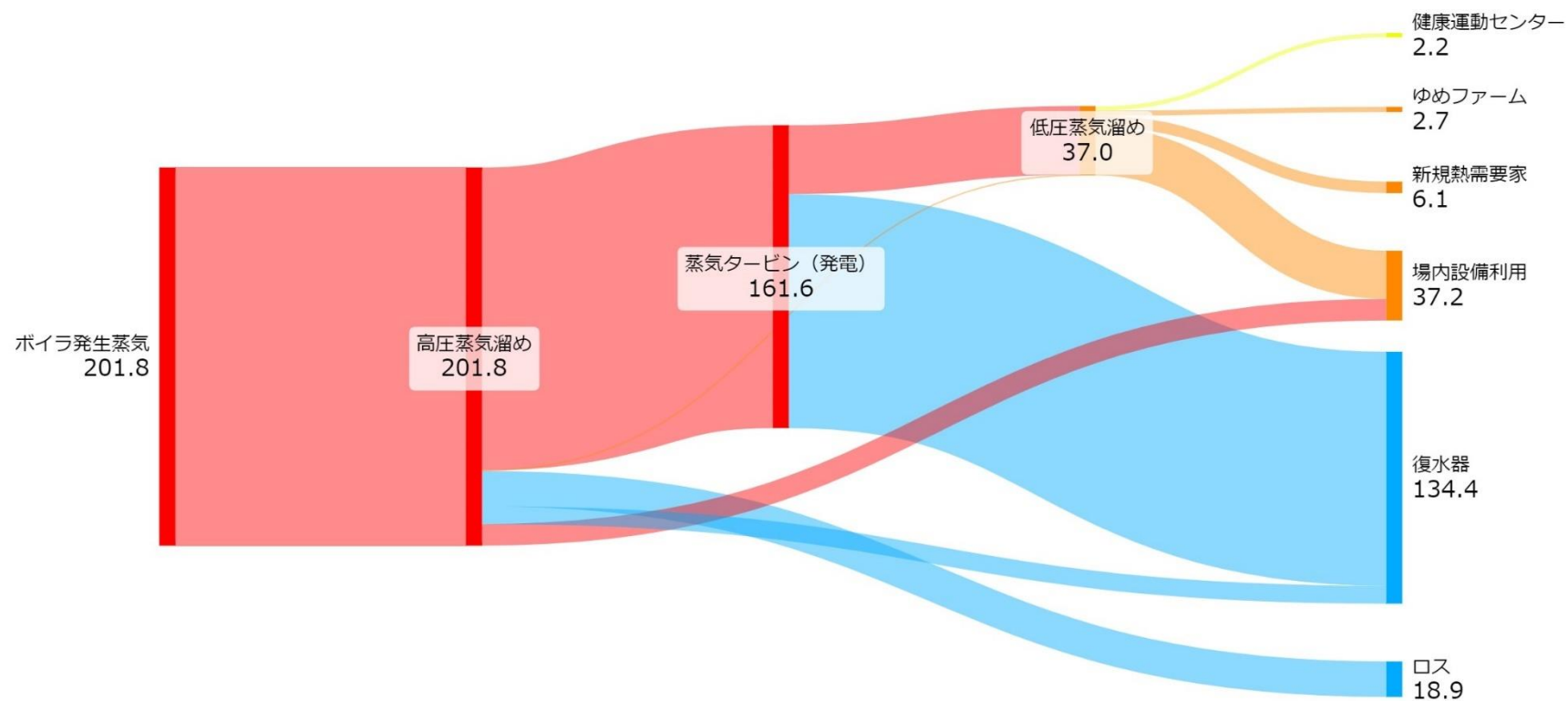


図 2-21 ボイラ発生蒸気の収支（2022 年度，単位：千 t/年）

2-2-2 本施設運用の予測

前述の通り、本市においては将来の人口減少に伴って、2024 年度には燃えるごみの発生量が 66,242 t/年まで減少することが予想されている。

ここで、ごみ量の減少が本施設の運用にどのような影響を与えるかについて考察する。

想定に用いた条件は以下の通りである。

- 3つの焼却炉はそれぞれ 100t/日で定格運転とする。
- タービン発電機が運転するためには 2 炉以上の運転が必要。
- 定期点検のため、年間の内、15 日間焼却炉とタービン発電機を停止する。

66,242 t の燃えるごみを処理するために、3 つの焼却炉が平均 220 日/年（ $66,242\text{t} \div 3 \text{ 基} \div 100\text{t/日}$ ）の運転をすることになる。3 つの焼却炉をできるだけ 2 炉運転が重なるように（3 炉運転は出ないように）計画することを考えると、15 日間の運休期間以外に、50 日間の 1 炉運転期間が発生することがわかった（検討イメージを図 2-22 に示す）。これは、表 2-1 に示したタービンの運転日数（2021 年度：348 日、2022 年度：346 日）と比較すると、46～48 日間、タービン運転日数が減ることになる。

設備	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1号炉	220日											
2号炉												
3号炉												
タービン												

図 2-22 タービン運転日数の検討イメージ

タービン運転日数と発電量が比例関係にあることを前提として考えると、2024 年度には発電量は 11,565,265kWh まで低下（2021 年度および 2022 年度の 86%程度）し、電力の所内利用量が変わらないとすると、売電量は 11,565,265kWh まで低下（2021 年度および 2022 年度の 73～74%）することになる。

ボイラ部分の物質収支計算結果を図 2-23 に示す。蒸気発生量は 2022 年度の 201.81 千トンから 197 千トンまで低下した。

実際には 2024 年の燃えるごみ発生量が減少することに加えて、プラスチック資源循環促進法の適用により、ごみの発熱量も低下することが予測されるため、本施設の安定運用にはバイオマス等の代替燃料の調達が重要となる。

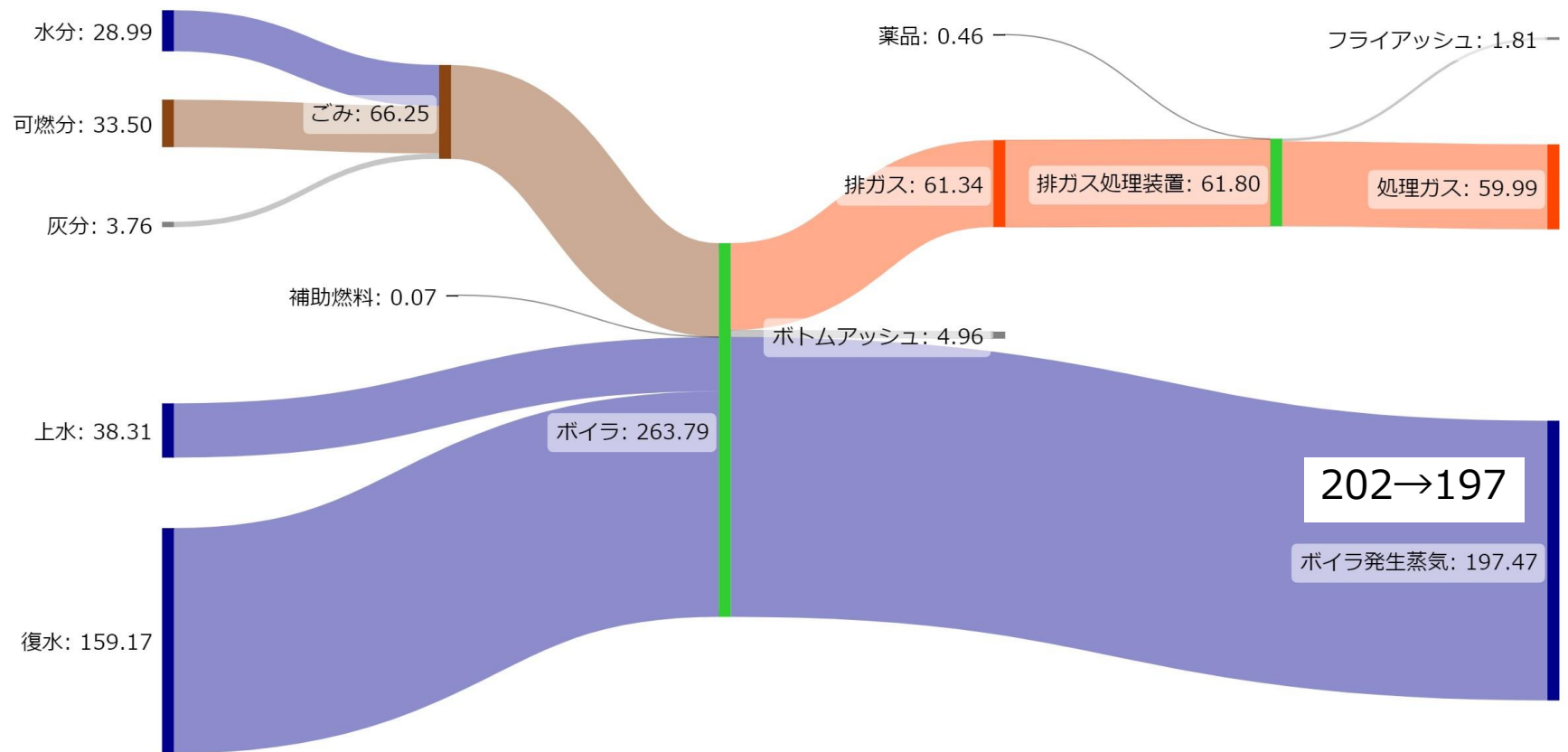


図 2-23 本施設の物質収支 (2024 年度想定, 単位 : 千 t/年)

2-3. 本市におけるバイオマスの発生状況

「バイオマス産業都市」とは地域に存在するバイオマスを原料に、収集・運搬、製造、利用までの経済性が確保された一貫システムを構築し、地域のバイオマスを活用した産業創出と地域循環型のエネルギーの強化により地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち、むらづくりを目指す地域のことで、平成 25 年度から、関係 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が共同で選定し、バイオマス産業都市構想の具体化に向けた取組を推進している^[2-5]。

本市は平成 26 年度（2014 年度）にバイオマス産業都市に選定され、バイオマス産業を軸とした地域づくりを目指している。



図 2-24 「バイオマス産業都市さが」におけるバイオマス循環利用イメージ^[2-6]

本市が提出した計画であるバイオマス産業都市構想^[2-6]に記載されている選定当時のバイオマス発生・利用状況を一部集約して表 2-6 に示す。

表 2-6 2014 年度本市におけるバイオマスの発生・利用状況

			賦存量 (t/年)	利用率	未利用量 (t/年)	備考
廃棄物系	家畜排せつ物		83,186	100%	0	たい肥利用
	食品廃棄物	生ごみ、食品残渣	85,110	26%	62,574	家庭系は清掃工場で焼却
		廃食用油（植物性）	319	36%	204	一部燃料化
	汚泥		10,843	67%	3,530	下水処理場でメタン発酵
	製材工場等残材	製材所端材	1,894	62%	714	未利用、有望
		木くず	789	100%	0	敷料、エネルギー利用済
		おが粉	327	100%	0	敷料、エネルギー利用済
		パーク（樹皮）	2,447	32%	1,667	未利用、有望
	木材工業系残材	木くず	623	10%	558	未利用、有望
		おが粉	361	71%	103	敷料利用済
		建設発生木材	9,297	100%	0	チップ化利用済
	水産系		287	3%	278	一部土壌改良剤、含水率多い
	その他ごみ		37,560	77%	8,710	清掃工場で焼却
未利用系	農業系	稲わら	38,538	93%	2,856	すきこみ利用済
		麦わら	26,537	84%	4,170	すきこみ利用済
		もみがら	7,865	99%	48	敷料利用済
	木質系	林地残材	4,514	0%	4,514	未利用だが、収集・運搬困難

出典：佐賀市，佐賀市バイオマス産業都市構想（2014）^{〔2-6〕}

表によると、家畜排せつ物が約 83,000 t/年発生し、そのすべてが農地還元によって利用されている。食品廃棄物については約 85,000 t/年発生し、家庭系生ごみの発電・熱利用や事業系食品残渣の堆肥化などにより、約 27%が利用されている。

汚泥は約 10,000 t/年発生し、ほとんどが農地還元されている。水産系のバイオマスはこれらの廃棄物より少なく、287 t/年発生、約 30%が土壌改良剤に利用・販売されている。

製材工場や木材工場で発生する端材、木くず、おが粉、パークといった木質系廃棄物は約 16,000 t/年発生し、8 割が畜産敷料、製紙用、無償譲渡などで利用されている。

未利用系バイオマスの稲わらや麦わらについて見ると、合計で 65,000 t/年発生しており、そのほとんどが農地に鋤き込む方法で農地還元されている。もみ殻は約 7,900 t/年発生し、農地還元や畜産敷料としての無償譲渡されている。また、林地残材は 4,500 t/年程度発生し、ほとんど利用されていない。

これらバイオマスの中で、燃焼する際に保有発熱量として期待できるか、未利用量は多いか、という観点で有望な原料を黄色でハッチングした。

主に木質系の廃棄物は発熱量も高く、現在発生源で処理に困っているものは清掃工場へのインプットとして有望と考えられる。また、収集運搬の課題はあり、全国でも利用例は少ないが、林地残材も収集システムを検討する価値はあると考えられる。

この他にも本施設には事業系（建設廃材、パレット・木枠、家具端材等）バイオマスの処分、嘉瀬川ダムにおいて発生する流木や周辺の竹林に関する相談なども多くあり、ここ

に挙げた以外の有効活用可能なバイオマスも存在する。

これらポテンシャルデータの確認のため、NEDO（国研 新エネルギー・産業技術総合開発機構）が 2010 年に実施したバイオマス賦存量推計調査の結果^[2-7]を比較として図 2-25 に示す。

概ねバイオマス産業都市構想で示されている数値と同程度であることがわかり、林業系のバイオマスと農業系のバイオマスの賦存量（＝発生量）が大きいと言える。

本市における林業系および農業系バイオマスの賦存量をそれぞれ図 2-26 および図 2-27 に周辺地域と比較して示す。用いたデータは図 2-25 と同等のものである。

本市の林業系バイオマス賦存量は 12,500 t/年で唐津市の 13,800 t/年よりやや少ないものの、県内では第二位になっている。一方、本市の農業系バイオマス賦存量は 58,200 t/年で県内でも第一位の賦存量である。

この他にも本施設には事業系（建設廃材、パレット・木枠、家具端材等）バイオマスの処分に関する相談なども多くあり、ここに挙げた以外の有効活用可能なバイオマスも存在する。

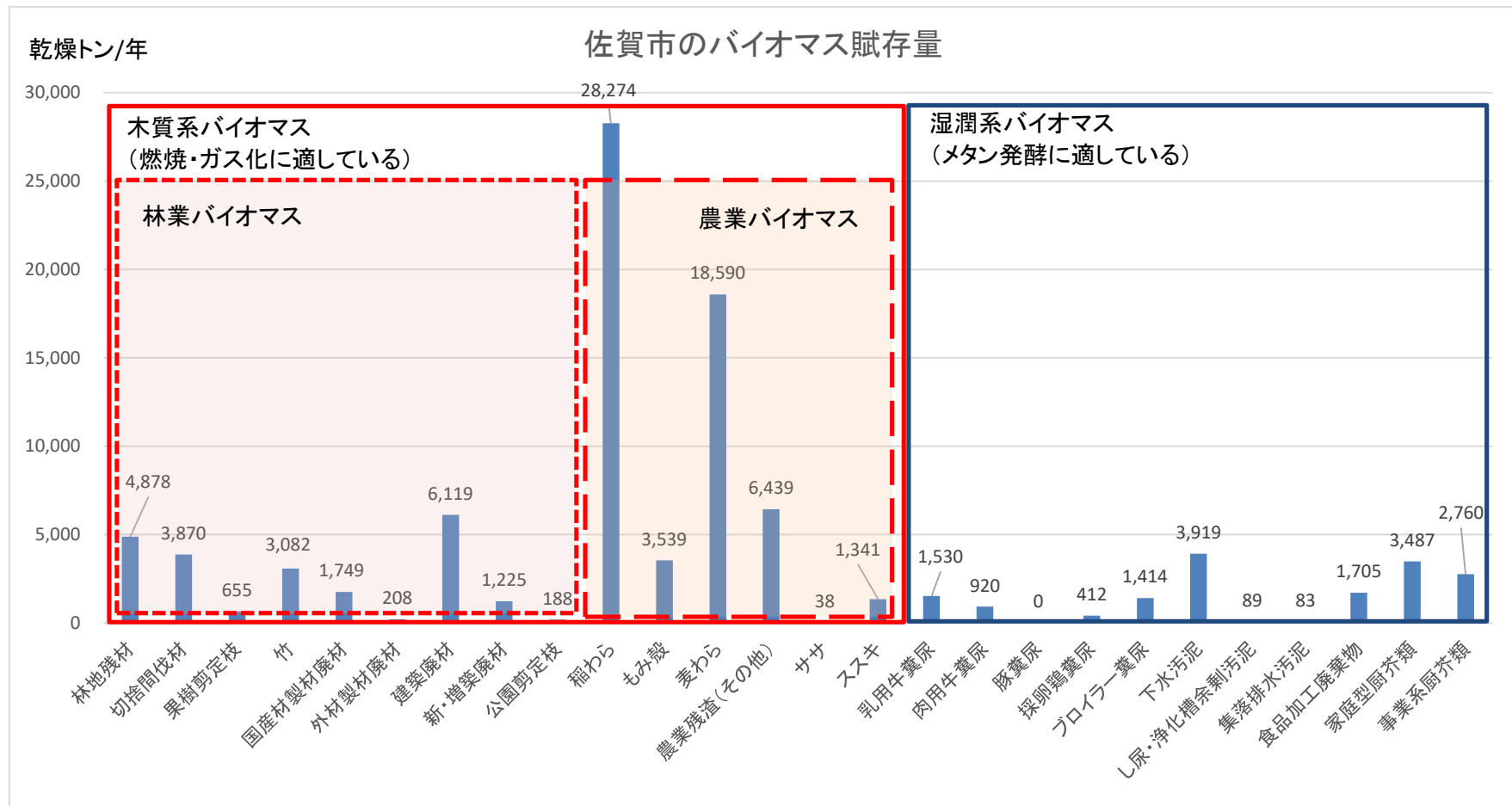


図 2-25 NEDO バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計（現在は公開終了）から算出した本市のバイオマス賦存量

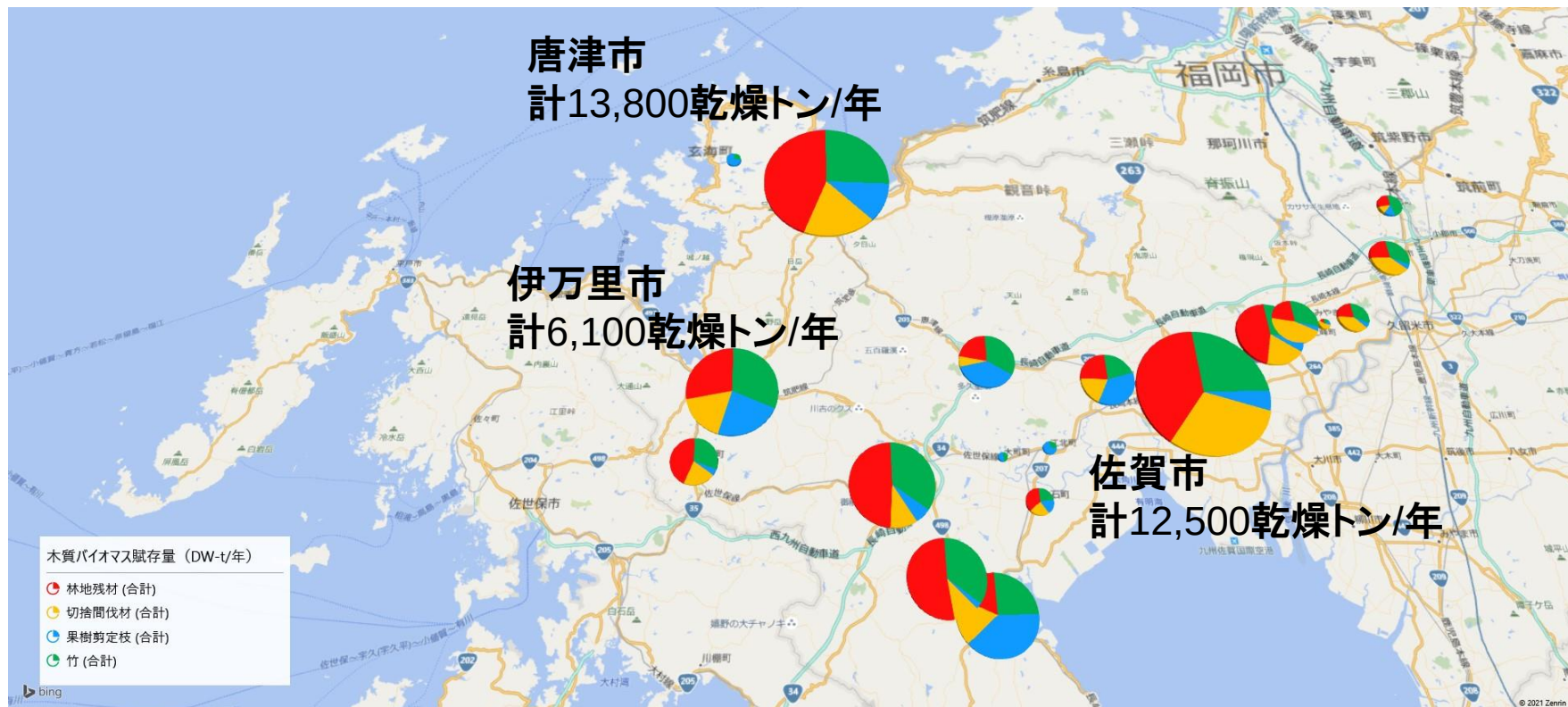


図 2-26 林業系バイオマスの賦存量に関する本市と周辺地域の比較

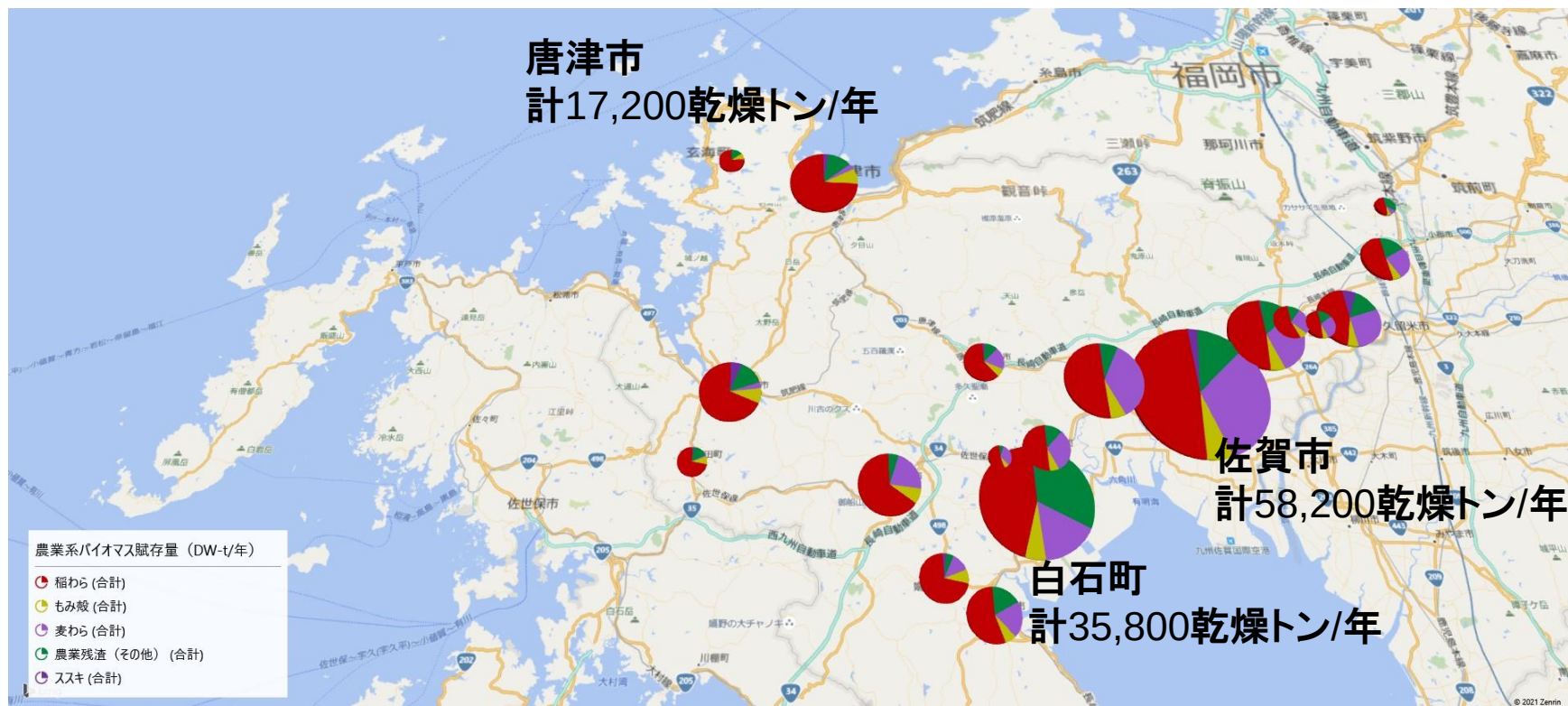


図 2-27 農業系バイオマスの賦存量に関する本市と周辺地域の比較

2-3-1 もみ殻

(1) もみ殻の発生状況

本市の農業系バイオマス賦存量が多いことは前述の通りであるが、佐賀県は全国と比べてもお米の生産に重要なライスセンター（以下「RC」）およびカントリーエレベーター（CE）の普及率が高い（図 2-28 参照）。県内にはライスセンターが 98 施設、CE が 27 施設あり、普及率は 80%にも達している。本市内について見ると、RC が 3 施設、CE が 9 施設存在する。

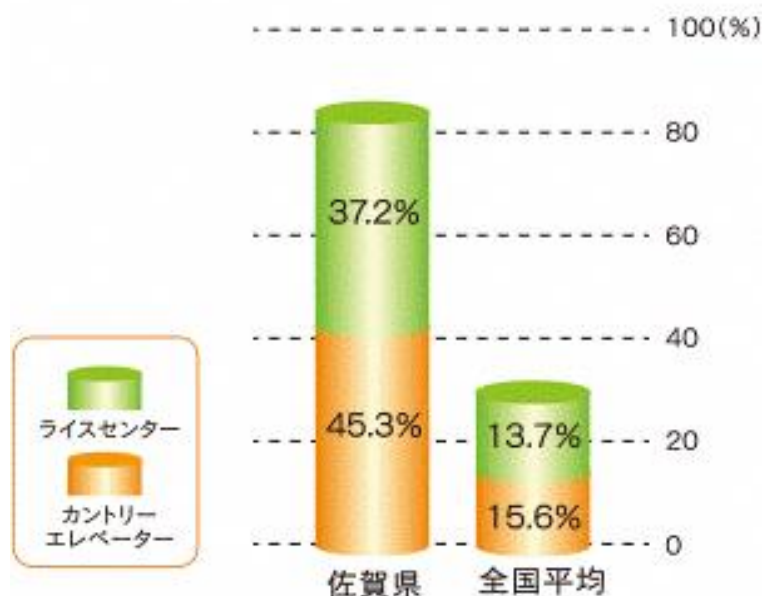


図 2-28 共同乾燥調整施設の普及率^[2-8]

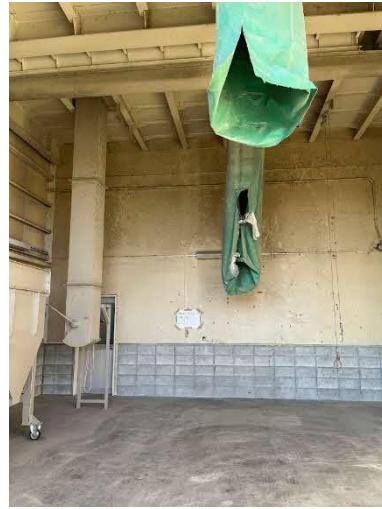
もみ殻の発生状況に関する利活用の状況を佐賀県の農産課にヒアリングしたところ、「もみ殻の処分先は積年の課題で、過去に検討したが妙案は無かった」とのことであった。

また、JA さがへもみ殻の発生・利用状況についてヒアリングしたところ、以下の情報が得られた。

- 各 CE の合計で年間約 4000 t のもみ殻が発生している。
- もみ殻は引取先に無償（一部有償）で提供しており、用途は畜産敷料であるが、畜産農家減少で将来の引取量に不安がある。
- 過去に処分先が無く処理施設の確保に奔走したこともあった。
- 本施設でバイオマス进行处理するというコンセプトの本事業に期待している。
- 本施設も引渡し先の選択肢となれば安泰、手数料負担も検討できる。
- 現状 CE における発生量の 10%（410 t）を出すことで検討しているが、具体的な要望量があればそれよりも多い受け渡し可能量を検討できると思う。



CE 外観



もみ殻排出口



もみ殻

図 2-29 CE の様子

図 2-30 に本施設を中心として、CE およびパークの発生箇所を示す。

CE は本施設を中心として 15km 圏内に 11 施設ある。一般的に木質バイオマス発電における燃料調達で採算が見込める範囲は 30km 圏内と言われているため^[2-9]、本条件はバイオマスの発生箇所と利用箇所が集約されて効果的であると言える。

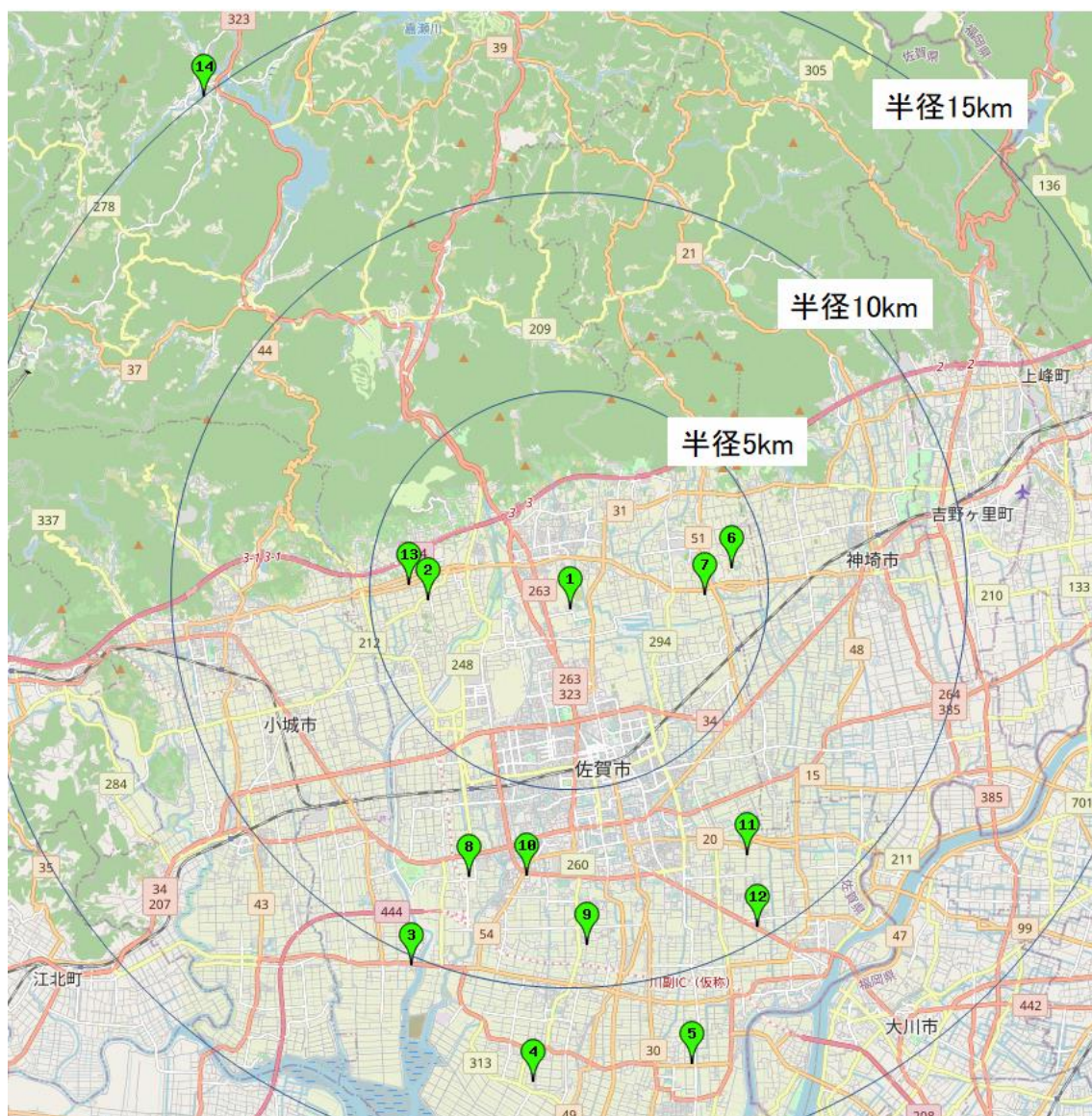


図 2-30 カントリーエレベーターおよびパーク発生箇所の配置
(1 : 本施設、2~12 : カントリーエレベーター、13, 14 : パーク発生箇所)

次に、これら CE で発生するもみ殻の量を表 2-7 に示す。各 CE で発生量は異なるが、合計で約 4,000 t/年のもみ殻が発生している。

表 2-7 各 CE におけるもみ殻発生量（2019 年（令和元年）実績）

地域	名称	もみ殻発生量 (t/年)
佐城北部	大和 CE	163
佐城南部	久保田 CE	434
	東与賀 CE	580
	川副中部 CE	1027
佐城中部	北部 CE	230
	久保泉南部 RC	107
	嘉瀬 CE	322
	本庄 CE	271
	西与賀 RC	165
	東部 CE(北川副)	341
	諸富町 CE	454
合計		4,094

これらもみ殻の発生に関する季節変動性についてヒアリングしたところ、CE の操業は 11 月から翌年 2 月までの 4 カ月で、年間取扱量を 4 カ月で押しなべて行うため、ほぼ一定量の年間発生量÷4 の量が毎月発生する量となる。

一方、3 月から 10 月まではもみ殻の発生が無いため、本施設に安定的にバイオマスを供給するためには、この期間に発生する別のバイオマスを調達する必要がある。

図 2-31 に近年の本市における米の収穫量推移を示す。2019 年度には記録的な雨が佐賀県内各地を襲った 8 月 28 日の「佐賀豪雨」の影響により、米の収穫量が減少した。もみ殻の発生量は米の収穫量と相関があり、米の収穫量が少ない年にはもみ殻の発生量も少ないため、後述の既存の用途に影響を与えないよう、調達には留意する必要がある。

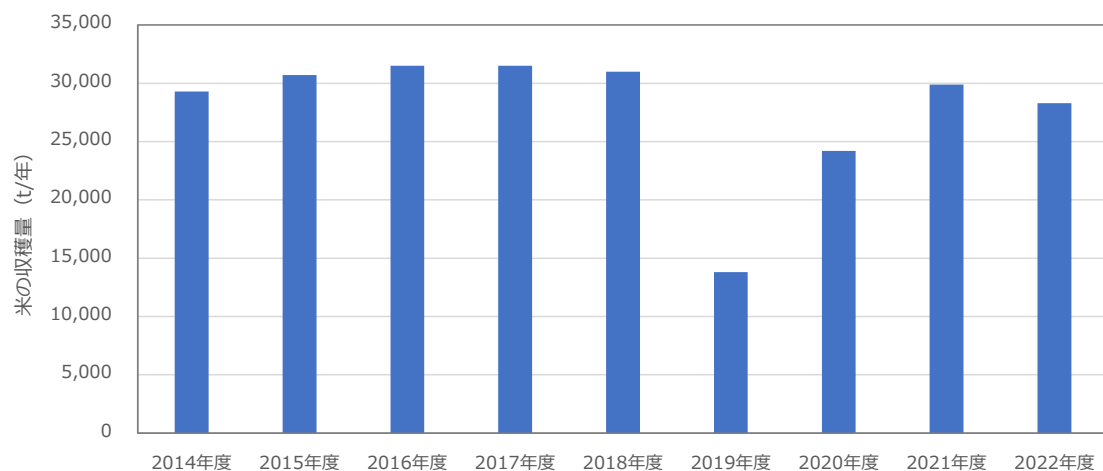


図 2-31 佐賀市における米の収穫量推移^[2-10]

(2) もみ殻の性状

もみ殻の組成は、産出地域によって差が見られるが、平均的には表 2-8 に示す通りである。もみ殻のかさ密度は 0.1kg/m^3 と小さく、発熱量（低位）は約 $3,600\text{kcal/kg}$ で容積あたりの熱量が木質系バイオマスと比べて小さい。その組成には不燃性のシリカ (SiO_2) が 13～29%含まれている。

表 2-8 もみ殻の組成^[2-11]

成分	組成	備考
シリカ (SiO_2)	13～29%	焼却灰として残る
リグニン	20～34%	可燃成分
セルロース	24～39%	〃
ヘミセルロース	18～26%	〃
脂肪分及びワックス類	～2%	〃

(出典：「ファインセラミックス原料の省エネルギー的製造技術に関する研究」北海道工業開発試験所)

もみ殻を完全燃焼すると SiO_2 含有率が多い灰となるが、その性状は燃焼方法によって以下のように異なる。

- 穏やかな条件で灰化（燃焼）させると、細胞構造がケイ酸質骨格として残るため比表面積の大きな反応性の高い無定型シリカとなる。
- 燃焼温度が高くなると比表面積が減少し、クリストバライトなどの結晶が生成する。
- もみ殻を高温炉に入れて急速に加熱すると灰粒子の中に未燃焼物が残存する。組成分析の際にはこの未燃焼物の影響を避けるため、予め 500°C で 2 時間焼成した灰を使うことが一般的である。灰の組成分析結果を表 2-9 に示す。もみ殻

灰の 93%wt%を SiO₂が占めている。

表 2-9 もみ殻燃焼灰の組成^[2-12]

(wt%)										
sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ig. loss
Tosu ¹⁾	92.96	0.14	0.05	0.01	0.45	0.19	0.29	2.38	0.29	2.99

1) Sampled in Tosu-shi.

Prepared condition: Rice husk was first let smouldering for a few minutes on a pan using a gas burner and charred rice husk ash was further heated at 600°C for 15 minutes.

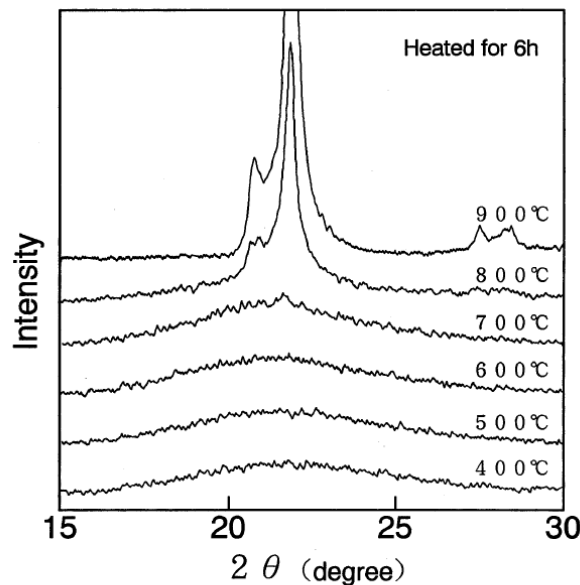
もみ殻燃焼時の浮遊粉塵中の直径 7 μm 以下の結晶性シリカは、発がん性があり規制されている。安全データ資料 (SDS) ^[2-15]によると、結晶質シリカ (クリストバライト) によれば、生殖細胞変異原性、発がん性、および呼吸器への特定標的臓器毒性について健康に対する有害性が指摘されている。

推奨使用上の制限では“クリストバライト分析用標準資料のみに使用できる”とされている。なお、トリジマイトもクリストバライトと同様である。

以下にもみ殻の燃焼によって発生するクリストバライトの研究論文を整理する。

もみ殻灰の X 線回折結果を図 2-32 に示す。井上ら^[2-12]によると、熱処理温度が 700°C までは無定形のままであったが、800°C 以上ではクリストバライトの生成が認められ、900°C 以上ではその回折線が著しく高くなったことが確認されている。

井上らは、D.M.Ibrahim、J.James らの結果を踏まえて図 2-32 中の 2θ ≒ 20 付近のスペクトルがクリストバライトの(111)面と一致することにより結晶子サイズを求め、700°C までは約 1nm、800°C 以上では熱処理温度と共に大きくなっているとしている。500°C で熱処理した灰の電子回折パターンがリング状を示していることから無定型もみ殻灰が 5nm 以下の微細クリストバライトからできていると報告している。



X-ray diffraction patterns of rice husk ash heated at various temperatures.

図 2-32 もみ殻燃焼灰の X 線回折結果^[2-12]

中田ら^[2-13]によると、800℃以上で燃焼したもみ殻灰中の SiO_2 は非晶質であるが、2～5 μm の小さい粒子が集まってできた約 20 μm の集合体となっている。900℃以上の燃焼温度では灰中の SiO_2 は、クリストバライトと少量のトリジマイトから成っている。灰中のカリウムが SiO_2 粒子表面を熔融して非晶質 SiO_2 からクリストバライトへの結晶化を促進させている。

奥谷ら^[2-14]によると、800℃以上で燃焼したもみ殻はクリストバライトに結晶化し、灰には SiO_2 (95.4wt%) と K_2O (1.96wt%) が含まれ、燃焼灰中の 10.8%はクリストバライトに結晶化している。

奥谷ら^[2-14]によると、4kg のモミガライトの 199min の燃焼による 3.8 m^3 の燃焼ガスの 7 μm 以下の浮遊粉塵は 4.55mg であり、クリストバライトなどの結晶性シリカは含まれていなかった。これは非晶質 SiO_2 とカリウム (KCl 、 K_2O) が共存している箇所です。クリストバライトが生成し、カリウムの作用で燃焼時に SiO_2 が熔融し、その後、凝固するので浮遊粉塵になることは無いと考えられる。一方、もみ殻のまま流動床燃焼や浮遊旋回流動床では、もみ殻粒子同士が衝突し、細かい粒子になり、クリストバライトは浮遊粉塵に含まれると考えられる。

(3) もみ殻の利用状況

前述のとおり、本市において 11 か所の CE があり、合計で年間約 4,000 t のもみ殻

が発生している。

これらのもみ殻は畜産農家における敷料、暗渠に充填する疎水材、土壌改良剤などに用いられている。CE で発生したもみ殻は、もみ殻タンクが一杯になる前に収集・利用している業者が引き取っている。もみ殻を引き取る業者は県内では杵島郡白石町や嬉野市、県外では福岡県糸島市や長崎県島原市と広域に存在する。

図 2-30 で示した本施設ともみ殻やバークの発生箇所、もみ殻やバークの利用先を加えて図 2-33 に示す。

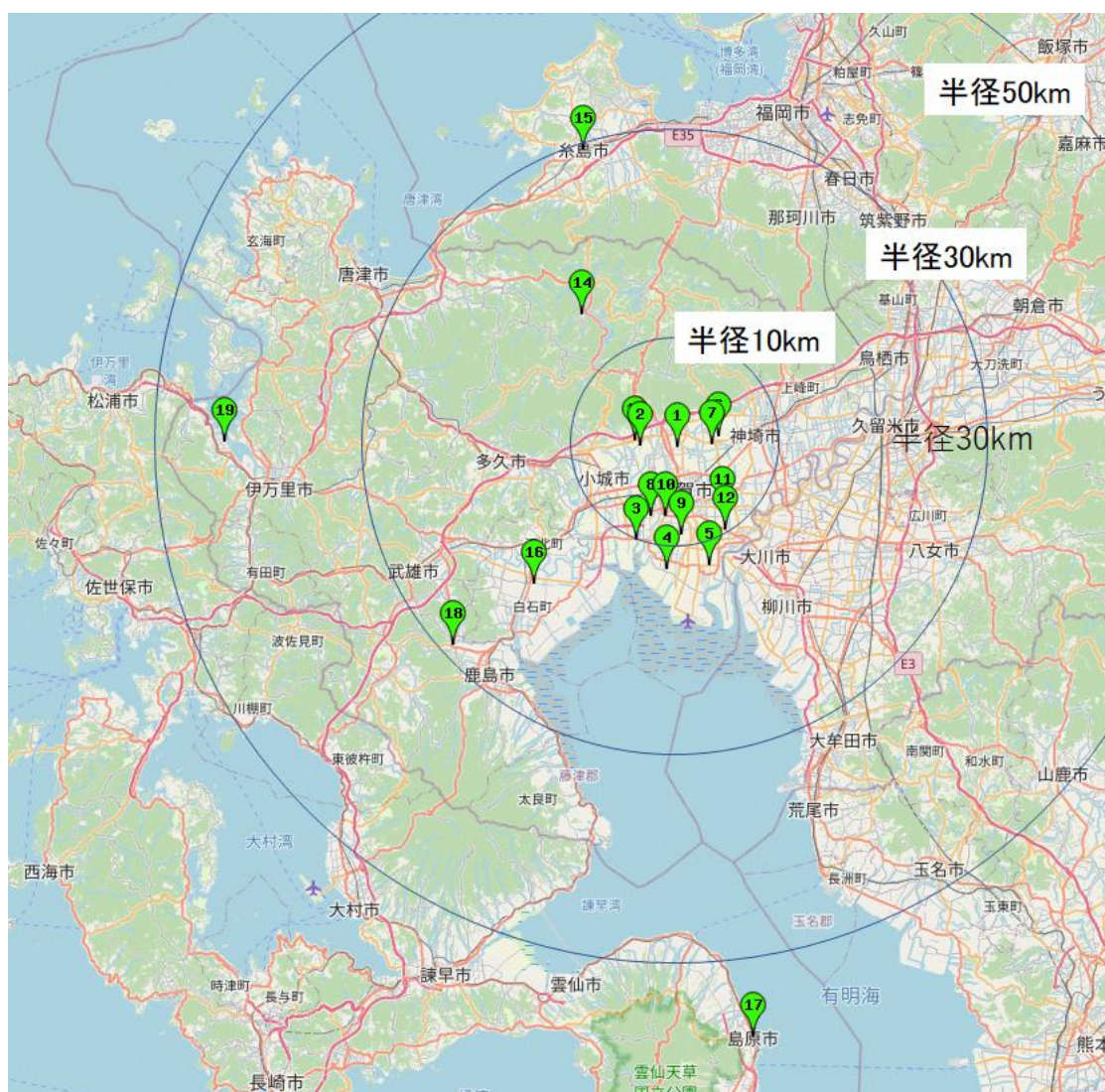


図 2-33 本施設を中心としたもみ殻およびバーク発生箇所を利用箇所を加えたもの
(数字の1は本施設、2～12はもみ殻発生箇所、13, 14はバーク発生箇所、15～18はもみ
殻利用箇所、19はバーク利用箇所)

CE からほとんどの引き取り先の距離は本施設までの距離に比べて遠いため、輸送に

関わる CO₂ の発生量を考えると、本取り組みの実施により、CO₂ 排出削減効果が見込まれる。

表 2-10 にもみ殻の調達先を本施設に変更した場合の CO₂ 排出削減量算出結果を示す。算出にあたっては改良トンキロ法^[2-16]の原単位を用い、輸送方法は 4t トラックに 1.2 t のもみ殻を積載した実際の調達の結果を適用した。

表から明らかなように、これまでもみ殻の輸送のために 1 t あたり 3.2～45kg の CO₂ が排出されていたものが、2.0～7.2kg に低減される。

CE から排出される年間 4,000 t のもみ殻の内、10%の 400 t を本施設に導入した場合、合計で 8.7 t/年の CO₂ 排出量が削減できると試算された。

表 2-10 もみ殻の輸送に関わる CO₂ 排出量の試算

	名前	もみがら発生 量(トン/年)	清掃工場との 距離(km)	CO2排出量 (kg/トン)	現状引き取り 先	現状輸送距離	CO2排出量 (kg/トン)	CO2排出削減 量(kg/年)
佐城北部	大和CE	163	5.2	2.40	糸島市	44.2	20.38	293.1
佐城南部	久保田CE	434	15.2	7.01	白石町	29.6	13.65	288.2
	東与賀CE	580	13	5.99	島原市	93	42.88	2139.6
	川副中部CE	1027	13.7	6.32	嬉野市	44.3	20.43	1449.1
	北部CE	230	5.3	2.44	白石町	29.6	13.65	257.7
佐城中部	久保泉南部RC	107	4.3	1.98	白石町	29.6	13.65	124.8
	嘉瀬CE	322	9.6	4.43	島原市	90.1	41.55	1195.3
	本庄CE	271	9.1	4.20	島原市	92	42.42	1035.9
	西与賀RC	165	11.4	5.26	諸富町	7	3.23	-33.5
	東部CE(北川副)	341	12.5	5.76	島原市	97.5	44.96	1336.6
	諸富町CE	454	15.7	7.24	嬉野市	44.3	20.43	598.7
		10%(409トン)調 達すると想定						8,686

次に、嬉野市にあるもみ殻の引き取り先の一つを視察し、利用状況などをヒアリングした。この業者は CE にてもみ殻が発生する秋頃から自社の保管場所（図 2-34）にもみ殻を集約し、長崎県島原市を主とする畜産農家にもみ殻を販売している。



図 2-34 もみ殻の保管状況

また、一部のもみ殻については自社の炭化装置でくん炭（図 2-35）を製造し、土壌改良剤として JA などに販売している。



図 2-35 くん炭

ヒアリングの結果、2021 年度はもみ殻の発生量が少なく、収集に苦労しているとのことであった。もみ殻を本施設に導入するにあたって、現状の利用を妨げないように、発生量と余剰量をよく把握することが必要であることがわかった。

2-3-2 樹皮（バーク）

（１）バークの発生状況

佐賀市内においては、佐賀県森連木材共販所で年間 250 t 程度、木材供給センターで年間 900 t 程度のバークが発生している。

佐賀県森連木材共販所で発生しているバークについては、現状伊万里市のバイオマス発電事業者が引き取りに来ているが、清掃工場への引き渡しは可能という回答を得ている。

木材供給センターで発生しているバークについては従来無償であったものの、2022 年 12 月から有償で他社へ提供をすることになったため、今後引き取り量と価格についての交渉が必要になると思われる。

佐賀県森連木材共販所における月別および年度別のバークの他社（および清掃工場）出荷量（発生量と同義）をそれぞれ、図 2-36 および図 2-37 に示す。

バークの出荷量と水分率の変化に月別の傾向はほとんど見られなかった。基本的に出荷量は共販所におけるバークの発生量と他社および清掃工場が引き取りにくる頻度などに依存すると考えられる。また、水分率について、バークは発生箇所で野積みされているため、外気温・湿度や天候の影響を大きく受ける。

年度別の出荷量については、佐賀県森連木材共販所へのヒアリングによると、コロナ禍の影響が大きかった 2019 および 2020 年度は発生量が少なく、それ以外の年度は 250t/年程度が定常的に発生量しているとのことであった。

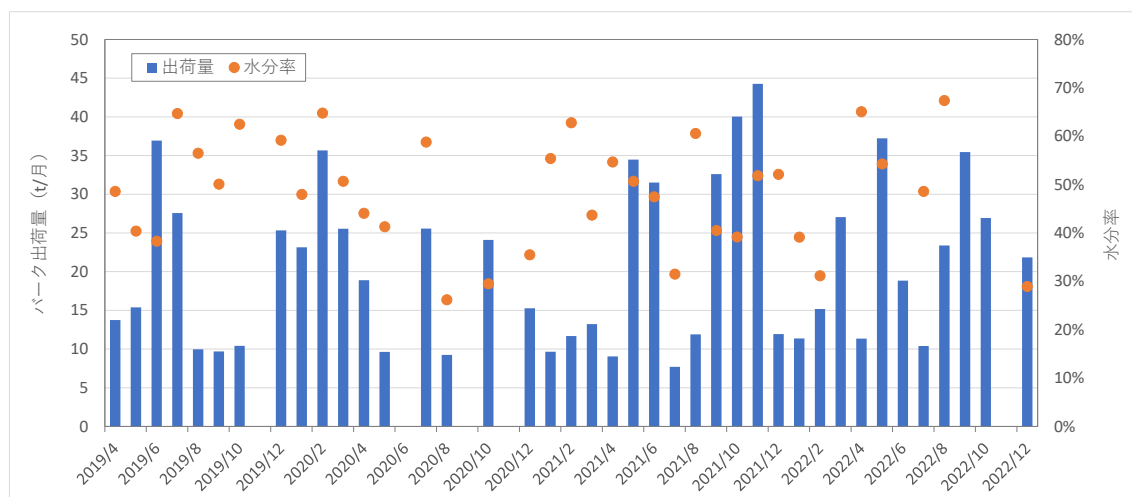


図 2-36 佐賀県森連木材共販所におけるバークの月別出荷量および水分率推移

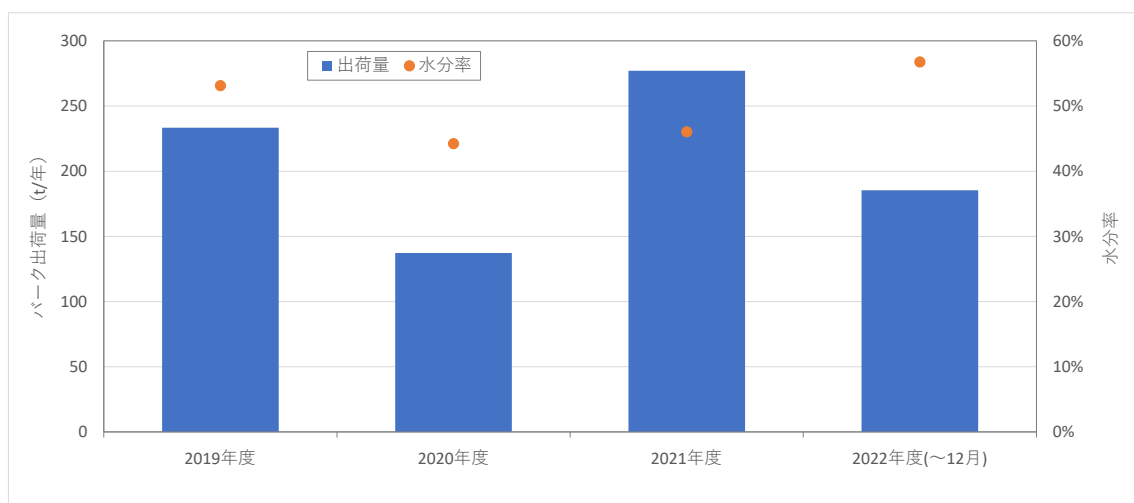


図 2-37 佐賀県森連木材共販所におけるパークの年度別出荷量および水分率推移



パーク付き丸太



パークが積まれた状態

図 2-38 パーク発生箇所の様子

(2) パークの性状

木質バイオマスの皮付き材の比重、樹皮率および材・樹皮別発熱量（絶乾ベース、無水高位発熱量と同義）は以下の通り^[2-17]である。樹皮率は固体、採取部位、生育地などによる変動が大きい。

気乾比重	0.36～0.95 kg/m ³	平均 630 kg/m ³
樹皮率	3.5%～27.2%	平均 11.9 %
材部発熱量	19.35～21.0 MJ/kg	平均 19.81 MJ/kg
樹皮発熱量	16.9～23.35 MJ/kg	平均 20.23 MJ/kg

材部の化学組成は、主要 3 成分 C : 50%、H : 6%、O : 44% (N を除く) で樹種による変動がほとんど無いが、樹皮にはタンニン、スベリン、ロウ、テルペン類、ポリフ

ェノール類、色素、アルカロイド、サポニンなど多くの物質が含まれて複雑である。阿部氏の研究^[2-17]による樹皮の主要 3 成分の平均値（試料数 $n=38$ ）は、C : 47.81%、H : 5.59%、O : 41.22% (N : 0.72%) であり材部と大きな差は見られない。38 種の早生樹およびその他の広葉樹の樹皮工業分析の平均値は、以下の通りである。

水分	9.45%
灰分	4.13%
揮発分	73.27%
固定炭素	13.15%

木質系バイオマスの燃焼灰の化学組成について、いくつかの文献から得られた結果を以下に整理する。

林産試だより^[2-17]によると、

- 全木の燃焼灰は、重量ベースで原料の 1wt% であるが、樹皮込の燃料では数倍に増加し、未燃の無機物は樹皮に多く含まれている。
- 無機物を主体とした燃焼灰は、水を混ぜると一部が溶解して強いアルカリ性と高電気伝導度を示す。燃焼灰と水を 1 : 10 の比率で混合すると pH : 12~13、電気伝導度 : 10~20mS/cm 程度となる。

高橋ら^[2-18]による結果では、5 種の試料における燃焼灰の化学組成分析結果を以下のように整理している。これらの成分はいずれも肥料成分として利用できるものである。

酸化マグネシウム	3~7wt%
二酸化ケイ素	22~49wt%
リン酸	2~5wt%
酸化カリウム	12~23wt%
酸化カリシウム	14~27wt%
酸化マンガン	1~5wt%
酸化マグネシウム	3~7wt%

重金属類については、ステンレスが使用されている燃焼装置からの燃焼灰において酸化クロムが 0.1% 以上検出され、一部の試料からは酸化ニッケルも検出された。しかしアルミナ溶射した燃焼装置による燃焼灰での検出量は少なく、燃焼装置による影響が考えられる。

溝口ら^[2-19]による結果を以下に示す。

- 樹皮ペレットの燃焼灰の化学組成と X 線回折結果を図 2-39 に示す。
- 杉の樹皮を一時破砕してロータリーキルンで乾燥した後、ハンマーミルでクリンカ生成防止剤粉末を配合(MgO を原料の wt1%、灰分量に対して 25wt%相当)して 1200℃で 2hr 保持した試料を使用。
- 燃焼灰の示差熱分析によると、1240℃で結晶物質が融解したと考えられる吸熱ピークが現れている。これは結晶物質 $K_4CaSi_3O_9$ の融点に近い値である。
- 燃焼灰中には、もみ殻燃焼灰で問題となる SiO_2 が 18.8wt%が含まれている。

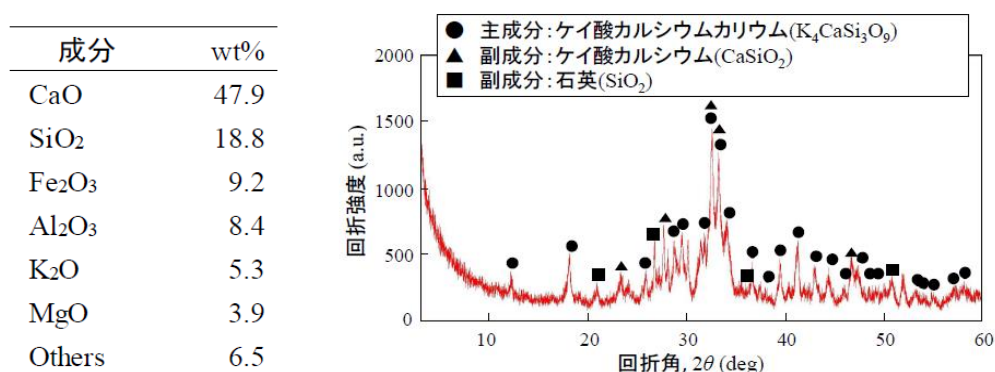


図 2-39 杉樹皮にクリンカ生成防止剤を配合したペレット燃焼灰組成と X 線回折スペクトル

土屋ら^[2-20]による結果を以下に整理する。

- 木質バイオマスとして利用が見込まれる主要木材を対象に灰中に含まれる無機成分を定量するとともに溶出性を調べた。試料は以下の通り。
 - ・ 燃焼灰組成の測定では、針葉樹（スギ、アカマツ、カラマツ）と広葉樹（コナラ、シラカバ、クリ）を対象に樹皮と木質部に分けて 6 樹種 15 サンプルを 600℃で灰化。
 - ・ 溶出性能の測定では、針葉樹 3 樹種 8 サンプルを灰化。
- 木質灰に含まれる無機成分は、カルシウムとカリウムで全無機成分の 80%程度を占め、木材と木質灰との成分比は概ね一致し灰化による大きな影響は見られない。
- 環境省告示第 46 号に準拠した溶出試験の結果、8 サンプル中 6 検体で規制対象となっているホウ素とセレンが土壤環境基準（基準値は 1.0mg/l、セレン 0.01mg/l 以下）の数十倍の高濃度で検出された。
- 溶出液中の主な陽イオンはカリウムとナトリウムである。

樹皮の燃焼に関する調査結果は以下の通り。

- 樹皮の発熱量は平均 20.23MJ/kg であり、材部 (19.8MJ/kg) より若干多いが、化学組成 (C,H,O,N 量比) は材部と比べて大きな差がない。
- 樹皮には材部に比べて無機物の量比が多いため、樹皮燃焼灰分量は全木部より数倍多くなる。
- 樹皮および材部の燃焼灰は、水と混ぜると pH12~13 の強いアルカリ性を示す。
- 樹皮および材部の燃焼灰の化学組成には各種の酸化物が含まれているが、何れも肥料成分として利用可能なものである。
- 樹皮および材部の燃焼灰中の SiO₂ 含有率が 22%~49wt% である。もみ殻燃焼灰で見られた非晶質 SiO₂ の分析結果が報告されていないので、クリストバライト生成の可能性は不明。
- 木質燃焼灰中の無機成分のうちホウ素とセレンが土壌環境基準の数十倍と検出されている。その後の詳細検討は報告されておらず、詳細は不明。
- 樹皮および材部 (未加工品) の燃焼灰中の六価クロム溶出量は 0.01mg/l 以下で、「産業廃棄物に含まれる有害物質判定基準値」規制値 (1.5mg/l 以下) より低い。
- 木質バイオマスの加工品であるペレットやおが粉などの燃焼灰中の六価クロム溶出は、加工装置の材質であるステンレスに起因して多少溶出されているが、「産業廃棄物に含まれる有害物質判定基準値」の規制値 (1.5mg/l 以下) と同等もしくはそれ以下である。
- 加工装置もしくは測定用燃焼皿のステンレスが高温となる条件では、ステンレスの高温腐食の影響により 3~3600mg/l 溶出する結果が得られ、規制値を大幅に超える可能性がある。

(3) バークの利用状況

表 2-11 にバークの調達先を本施設に変更した場合の CO₂ 排出削減量算出結果を示す。算出にあたっては前述と同様に改良トンキロ法^[2-16]の原単位を用い、輸送方法は 4t トラックに 2.2t のバークを積載した実際の調達の結果を適用した。なお、木材供給センターのバークは現在引き取り手がいないため、仮に共販所と同じく伊万里に提供することを想定した。

表から明らかなように、これまでバークの輸送のために 1t あたり 15kg 程度の CO₂ が排出されていたものが、6.6 kg 以下に低減される。

本市で発生する年間 1,150 t のバーク全量を本施設に導入した場合、合計で 11 t/年の CO₂ 排出量が削減できると試算された。

表 2-11 バークの輸送に関わる CO₂ 排出量の試算

	バーク発生量 (トン/年)	清掃工場との 距離(km)	CO ₂ 排出量 (kg/トン)	現状引き取り 先	現状輸送距離	CO ₂ 排出量 (kg/トン)	CO ₂ 排出削減 量(kg/年)
佐賀県森連木材共販所	250	5.1	1.44	伊万里	54.8	15.51	3,516
富士大和森林組合 佐賀市 木材供給センター	900	23.2	6.56	伊万里	53.9	15.25	7,818
	すべて調達すると想定						11,334

次に、伊万里市にあるバークの引き取り先である中国木材のバイオマス発電所を視察した。当該発電所は出力 9,850kW で、年間 9 万 t の木質バイオマスを原料としている。原料の内、50～55%はバークや端材であり、その内 2 割が近隣の木材事業協同組合から調達したバーク、1 割は社内で発生する端材で残りは外部からの調達である。



図 2-40 バークの保管状況
(奥の色が濃いものがバークで手前は木質チップ)

当該設備に対する本市からのバークの寄与はわずかであるが、本施設での利用にあたっては、現状の利用を妨げないよう気を付ける必要がある。

2-3-3 流木

(1) 全国のダム流木の状況

従来ダム貯水池に流入する流木は、ダム管理上の障害となるため、適宜引き上げられ、焼却等により処分されてきた。一方で、バイオマス・エネルギーや地域エネルギーという観点で見ると、木質バイオマスである流木は有望なエネルギー資源であり、処分の課

題と価値ある資源の利用がかみ合えば有効利用が図れると期待される。

田中ら^[2-21]は国土交通省、内閣府（沖縄県）および都道府県の建設行政機関（対象機関数は合計 442）が回収、処理している流木の回収量と処理費について、2000 年から 2004 年の 5 年間の実績をアンケート方式で調査した。

図 2-41 はアンケート結果の内、国土交通省の地方整備局から得られた流木の処理方法の回答を整理したものである。図から流木の処理方法として、チップ化、焼却処理、産廃処理が多いことがわかる。処理方法の内、チップ化、炭化と農業利用は加工品を有償で提供することによって収入が見込めるが、それ以外は経費の回収手段が期待できない。少なくとも焼却処理、産廃処理、現地処理を合わせた 41%程度は無償引き取りを行うことによって、処分する側にもメリットがあると考えられる。

また、アンケート結果から全国の流木回収量を 222,817t/年と導き出しており、含水率想定 36.2%と乾燥時の発熱量 10,390MJ/t を乗じてエネルギーとしての賦存量を 148 万 GJ/年と想定している。

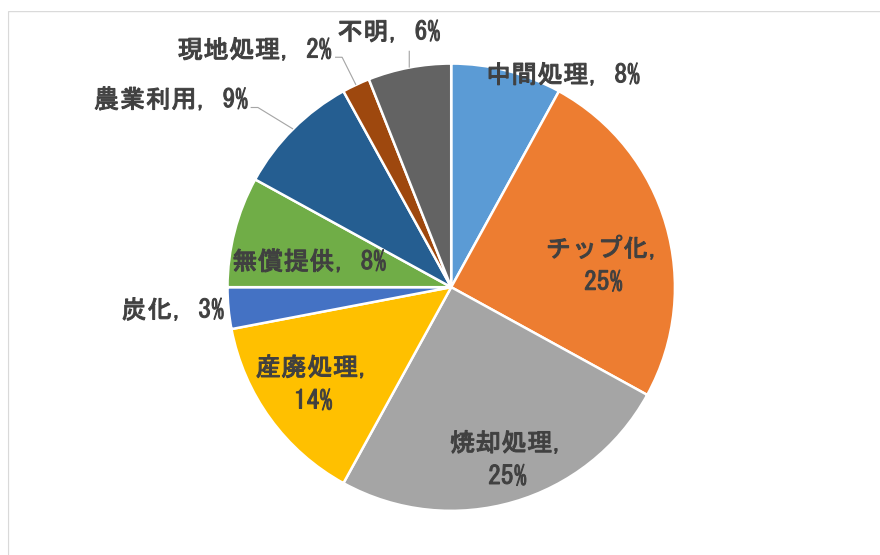


図 2-41 流木の処理方法^[2-21]

（２） 嘉瀬川ダム流木の発生・利用状況

本市の北部に位置する嘉瀬川ダムにおいても流木が発生しており、その処理が課題となっている。

嘉瀬川ダムは堤高 99m、堤頂長 456m の重力式コンクリートダムであり、集水面積約 128.4km²、総貯水容量 7,100 万 m³（有効貯水容量 6,800 万 m³）と九州でも有数の規模を誇る大きさである。

機能としては洪水調節、河川の維持用水の補給、かんがい用水の補給、都市用水の供

給、さらに最大出力 2,880kW の水力発電所を備えている[2-22]。

ヒアリングによると、嘉瀬川ダムでは平成 30 年度（2018 年度）以降、毎年 400～1,400m³ 程度の流木を収集しており、集積、運搬、処理（チップ化など）に処分費用がかかり、その削減を検討している。一部無償譲渡も行っているが、それだけでは発生した流木を処理しきれない状況にある。

嘉瀬川ダムにおける流木の処理の様子を図 2-42 に示す。流木の状態は伐採した樹木と比較して形状がいびつで、運搬などを考えたときにかさ密度が低く、輸送効率が悪くなることが推定される。ヒアリングではこのように保管している流木については引き取り手が無いので無償譲渡が可能とのことであった。ただし、トラックに積載する際には重機が必要であったり、輸送効率を考えるとチップ化も必要なため、清掃工場までの処理の方法を検討する必要がある。



(a) 集積状態



(b) 集積場所全景



(c) 運搬後処理の様子

図 2-42 嘉瀬川ダム流木処理の様子

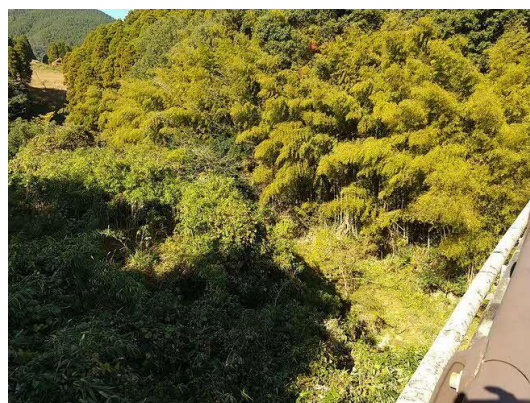
2-3-4 竹チップ

(1) 嘉瀬川ダム周辺の放置竹林の状況

また、嘉瀬川ダム管理支所ではダム周辺の放置竹林も問題となっている。竹林の様子を図 2-43 に示す。周辺道路の見通しなどに影響している竹も多くなっており、伐採の処理が必要となっているが、上記流木のように伐採後の竹材の処分（場所や経費）が問題となる。嘉瀬川ダム管理支所へのヒアリングでは、伐採した竹材を清掃工場で焼却処分できれば、清掃工場までの運搬を含めて無償で対応可能とのことであった。



竹林の様子 1



竹林の様子 2



竹林の様子 3 (道路わき)

図 2-43 嘉瀬川ダム周辺の放置竹林の様子

(2) バイオマス原料としての竹チップの入手

本施設から直線で 2～3km 北東に位置する(株)ウッドライフは森林整備、木くず専門の廃棄物処理、および有機肥料製造販売を生業としている^[2-23]。

(株)ウッドライフでは竹チップを発酵させることによって、乳酸菌を増殖させた、土壌改良剤「かぐやひめ」を製造販売している。竹材を扱っている佐賀市内の事業者は(株)ウッドライフのみで、竹は自社で伐採することもあるが、個人、土木事務所、国

土交通省など他社からの持込みもある。処理量の過去3年平均実績は約500t/年。過去3年は災害が多く発生したためとのこと。最低量としては100t/年程度であった。

今回（株）ウッドライフより、竹チップを購入し、混焼実証試験の燃料として調達した。



たい肥化前の竹



たい肥「かぐやひめ」

図 2-44 竹チップおよびたい肥

2-3-5 木質チップ（木くず）

（株）ウッドライフのグループ会社である江里口造園のホームページによると、木くずなどの中間処理実績は約6.5万m³/年（内、自社持ち込みが4.7万m³/年程度）となっており、それらをバイオマス燃料、薪、農業用敷き藁、たい肥や木質チップの生産に活用している量は約4.4万m³/年となっている[2-24]。

ここでは、燃料としての木質チップ（形状が整ったバイオマス発電などで使われるものではないため、以降、木くずと記載）が4～5千トン/年発生しており、九州内では受け入れ先が無い場合、中国地方の業者へ安価で引き渡しているとのことであった（図2-45）。

将来的な入手可能性について、金額は交渉次第であるが、比較的安価で引き渡すことができるとのことであった。



図 2-45 木くずの様子

2-3-6 家具端材

佐賀市の南東部にある諸富町周辺は筑後川をはさみ隣接する大川家具とともに発展してきた家具産地である諸富家具が展開しており、約 60 社の家具工場が操業している。諸富家具・建具は伝統的な工芸品として、1993 年より佐賀県指定伝統的地場産品の指定を受けている。

組合員数 37 社からなる諸富家具振興協同組合は、組合員の相互扶助の精神に基づき、組合員のために必要な共同事業を行い、もって組合員の自主的な経済活動を促進し、かつ、その経済的地位の向上を図ることを目的として、木製家具の新商品デザインなどの共同開発を行っている^[2-25]。

これらの木材加工工場では操業に伴って、廃棄物である家具端材が発生している。佐賀市が諸富家具振興協同組合の組合員に家具端材の発生状況についてアンケートを行ったところ、8 社から回答があり、工場の規模によっても異なるが、工場当たり 1.2～800t/年¹の端材が発生しているとのことであった。

また、発生した端材の処理として、おがくずのようなものは敷料などの畜産用途で引き取るケースが多く、それ以外は自社で持っている焼却炉で処理するか、産廃業者に処分を依頼しているとのことであった。



(a) 家具端材



(b) 自社焼却炉

¹ アンケートでは発生量を m^3 や kg で答えたものがあつたため、 $1m^3=1t$ と仮定した。
また日量で回答があつたものは 200 日/年を乗じた。



(c) 工芸品端材

図 2-46 諸富家具における家具端材の様子

家具端材については工場の操業によって定常的な発生が見込めるものの、その発生量は工場当たりで見ると多くは無いため、効率的な集約が必要である。また、産廃処理事業者処理を委託している分については産廃処理の事業に影響を与えないように調整をする必要がある。

【トピック】

◎ 立川木工所の協力的取組

端材提供に協力いただいた企業の1社から、本実証を契機に端材の産廃処理や自家焼却処理をやめ、再資源化に取り組むたいとの意向を示された。

再資源化とは、家具端材を破砕してペレットにできる造粒機を導入し、ペレットはバイオマスボイラーの燃料として売却し、おが屑はブリケット化して清掃工場の助燃剤として試験提供するものである。

このことは、本事業を契機として新たな地域資源循環の可能性が芽生えた好事例であり、排出事業者全体の環境意識の醸成や行動変容につながるものとして期待される。本市も積極的な支援を継続し、端材が地域エネルギーとして循環する仕組みへと発展させたい。



2-3-7 麦殻、もみくず

その他、カントリーエレベーターで発生する麦殻や集塵装置で回収されるもみくずなども廃棄物系バイオマスとしての利用可能性がある。カントリーエレベーターの工夫で、これら廃棄物のたい肥化などにも取り組んでいるが、切り返しなどの労力が発生したり、需要が確保できていないため、十分に捌けていない。

以降、原料の分析における説明を除き、麦殻、麦殻くず、もみくずをまとめて“麦殻等”と呼ぶ。



(a) 麦殻



(b) もみくず

(赤枠部分がフィルター洗浄ででた廃棄物で、高含水率)

図 2-47 麦殻、もみくず

2-3-8 支障木

また、電線や電柱の邪魔になる支障木の発生・処理状況について九州電力送配電(株)へヒアリングしたところ、支障木の伐採・運搬・処分を業務委託で行っているとのことであった。佐賀配電事業所管内²で約 180t/年の支障木伐木処理を行っており、その内一部を廃棄業者へ持込み有料で処分しているとのことであった。

こちらも清掃工場が無償引き取りの可能性があるが、直径が大きいものがあるため、一部破砕が必要であること、発生場所によっては清掃工場と距離があることから今後詳細な検討が必要である。

² 佐賀市、神埼市、小城市、多久市、神埼郡、三養基郡上峰町(一部)、杵島郡江北町(一部)、久留米市(一部)、福岡県大川市(一部)

2-3-9 まとめ

これまでに説明してきた、佐賀市に賦存する各種バイオマスの発生状況や利用状況をまとめて表 2-12 に示す。

もみ殻およびパークについては市内において処分に困っている状況が見られたため、有望な原料候補として、長期混焼試験の中心に据えた。木くずについても発生量が多く、安定調達が可能と考えられるが、有償での取引であるため、テストとして一部調達し、混焼試験を行った。その他のバイオマスは量も少なく、発生頻度も多くないため、適宜試験調達をした。

表 2-12 各種バイオマスの発生状況

	発生量 t/年	現状用途	調達可能量 t/年	季節変動	調達の留意点
もみ殻	約4,000	敷料	400	秋から冬に発生	既存の用途への影響
パーク	1,350	発電	1,350		有償化の傾向あり
流木	200～700	譲渡	100～350	年変動が大きい	かさ密度が低い、現地での粉砕が必要な場合がある
竹チップ	不明	伐採していない	—		伐採計画が必要
木くず	約30,000	たい肥化、発電	3,000		有償
家具端材	約1,000	産廃、自家処理	120		既存の産廃業者への影響
麦殻等	100～200	譲渡、産廃	60	夏から秋に発生	—
支障木	63	産廃	16		かさ密度が低い、現地での粉砕が必要な場合がある

次に、今回の実証試験で調達した各種バイオマスの物性を表 2-13 にまとめて示す。

水分を見ると、パークやもみくずが多くなっていることがわかる。これは、パークが発生場所で野積みされていることから天候や外気湿度の影響を大きく受けること、もみくずはフィルター洗浄の水分を多く含むことに起因する。パークについては原料の性状を一定にするためには、保管方法や乾燥工程を考える必要がある。なお、パークについては比較的水分が低い状態のものを再度分析したところ、水分・発熱量ともに多くなっていることが分かった。

灰分を見ると、もみ殻が 21%と最も多く、次いでもみくずや竹チップの 7%台となっている。灰分が多いということは、可燃分が少なくなるということを意味し、原料の発熱量が低いことの要因にもなる。

可燃分を見ると、家具端材が 94%と最も高く、次いで流木（84%）、麦殻（81%）、2 回目のパーク（79%）となっている。

バーク、竹チップ、木くず、家具端材については乾燥基準の元素分析を行っており、炭素が 45～53%、酸素が 39%程度、水素が 5～6%となっている。バイオマス種によって元素分析値に多少の差異はあるものの、概ね炭素と酸素が多いという一般的なバイオマスの傾向を表している。

表 2-13 各種バイオマスの分析値

			もみ殻	バーク	バーク 2回目	流木	竹チップ	木くず			家具端材※	麦殻	もみくず
採取日			2023/1/31	2022/6/30		2023/2/7	2022/9/9					2022/9/9	2023/1/31
かさ比重		g/cm ³	0.13	0.14	0.18	0.24	0.12	0.25			0.22	0.27	0.31
水分		%	10.92	48.41	19.65	13.67	23.07	34.64			5.54	12.91	63.69
灰分		%	21.16	2.19	1.49	2.43	7.69	4.52			0.94	6.48	7.89
可燃分		%	67.92	49.40	78.86	83.90	69.24	60.84			93.52	80.61	28.42
元 素 分 析	C	%-dry			53.20		44.90	47.90			49.20		
	H	%-dry			5.70		5.70	6.10			6.50		
	O	%-dry			38.71		38.72	38.43			39.27		
	N	%-dry			0.49		0.69	0.67			4.03		
低位発熱量（Dry）		kJ/kg-dry	13,230	17,960	18,670	17,680	16,520	16,950			18,260	16,280	14,360
低位発熱量（Wet）		kJ/kg-wet	11,785	9,266	15,001	15,263	12,709	11,079			17,248	14,178	5,214
採取日			2023/1/30	2023/1/31			2022/8/19					2022/8/19	
蛍 光 X 線	K	%	9.1	5.7			20.3	29.8	24.0	13.0	9.5	36.6	
	Si	%	87.4	29.6			71.8	—	8.6	22.4	7.5	33.5	
	Ca	%	1.5	23.1			—	63.8	46.3	28.8	20.9	19.0	
	P	%	—	—			4.8	2.0	2.2	1.5	—	5.1	
	S	%	0.4	2.6			0.7	2.0	2.1	1.2	3.1	2.4	
	Fe	%	0.2	22.8			0.3	—	7.4	20.9	24.5	2.3	
	Mn	%	0.6	1.5			<0.1	2.4	2.5	1.0	2.7	<0.1	
	Zn	%	—	—			0.2	—	—	0.2	—	<0.1	
	Al	%	0.9	12.7			1.8	—	6.8	8.8	—	—	
	Ti	%	—	1.9			—	—	—	2.3	32.0	—	

※家具端材を粉碎してブリケット状にしたもの

次に、発熱量について考察する。発熱量は原料によって多少差異が見られ、含水状態の発熱量について、大きなものから順に、家具端材、流木、2 回目のバーク、麦殻、竹チップ、もみ殻、バークとなっている。発熱量の分析は乾燥状態の試料を燃焼させることによって実施する。含水状態の発熱量は、得られた発熱量の結果から水分の影響を考慮して計算によって求めるため、水分と関係していることが明らかである。

一方、乾燥状態の発熱量を見ると、先ほどとは順位が異なり、大きなものからバーク、家具端材、流木、竹チップ、麦殻、もみ殻となっている。乾燥状態のバイオマスの発熱量は第一に可燃分、第二にその元素組成中の炭素が影響する。

分析したバイオマスの可燃分と発熱量の関係を図 2-48 に整理して示す。分析した各種バイオマスの湿潤状態の可燃分 (%) と発熱量 (kJ/kg-wet) を青プロットで示し、乾燥状態の可燃分 (%) と発熱量 (kJ/kg-dry) を赤プロットで示している。

図からわかるように、バイオマスの可燃分と発熱量には直線関係がある。

エネルギー収支の観点で考えると、バイオマスの含水状態の発熱量が高い方が、より燃焼による熱エネルギーを多く得ることができ、その後の発電や熱利用へのエネルギー

一出力を高めることができる。

一方で、乾燥時の発熱量は高いが、含水量も高いバークと乾燥時の発熱量は低いが、含水率が低いもみ殻を比較すると、ストーカ炉内で乾燥後、バークの方が良く燃えるという違いが現れると予想される。

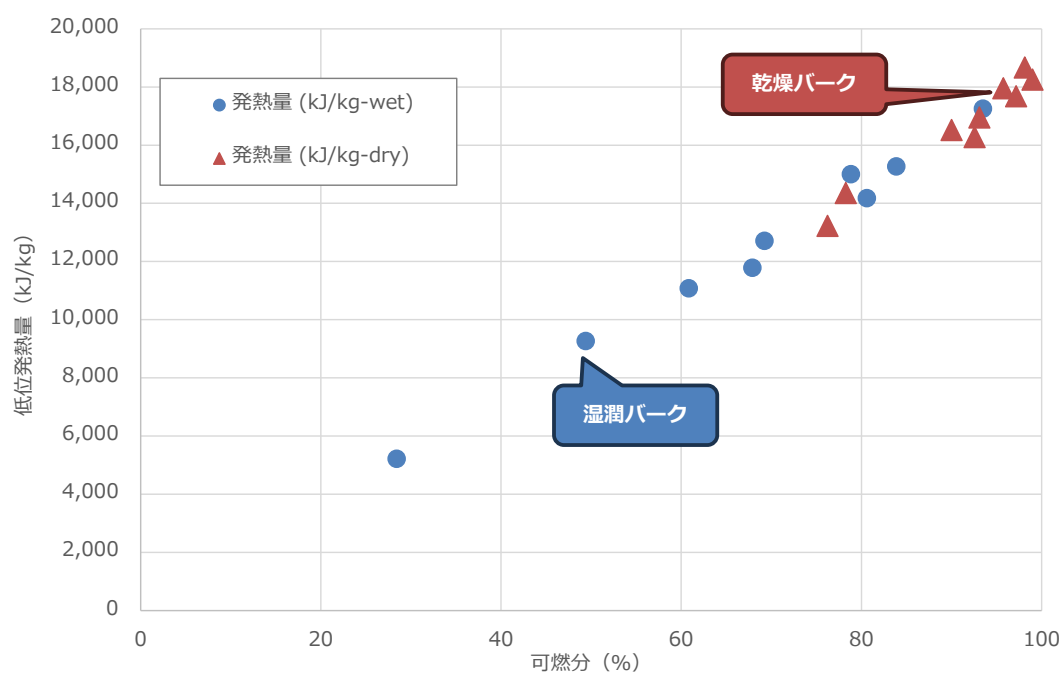


図 2-48 バイオマスの可燃分と発熱量の関係

2-4. 原料バイオマスの調達実績

図 2-49、図 2-50、および図 2-51 にそれぞれ、2021 年度、2022 年度、および 2023 年度のバイオマス調達実績を示す。2021 年度はもみ殻を中心に調達、混焼実験をした。年度の終わりにバークの調達を行った。

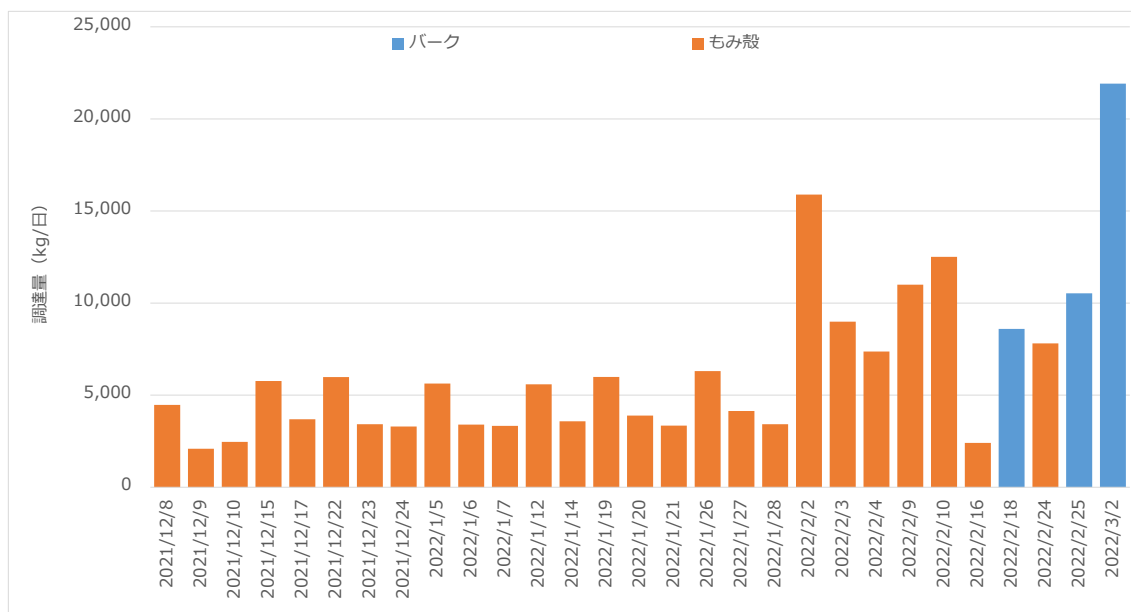


図 2-49 バイオマスの調達実績（2021 年度）

2022 年度はバークを中心に調達し、秋ごろからもみ殻を調達した。さらに多様な原料の試験を実施するため、麦殻等、竹チップ、家具端材についても調達を行い、年度の終わりには、調達の手配（運搬や破砕）ができたため、流木も調達した。

2023 年度についても調達の傾向は同様に、木くずを一定期間、支障木を 1 回調達した。

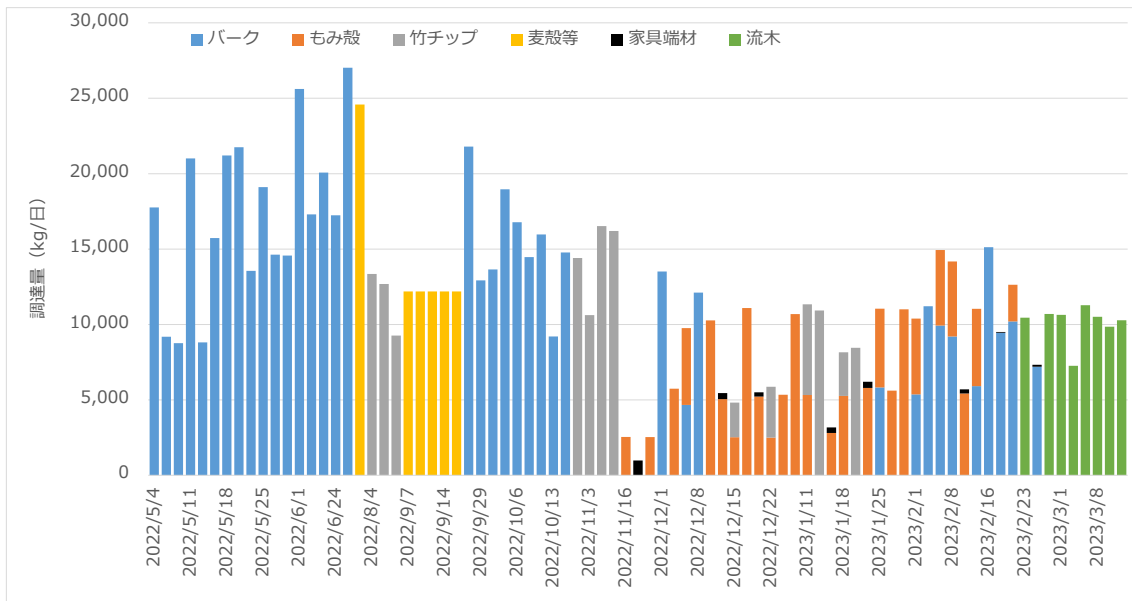


図 2-50 バイオマスの調達実績（2022 年度）

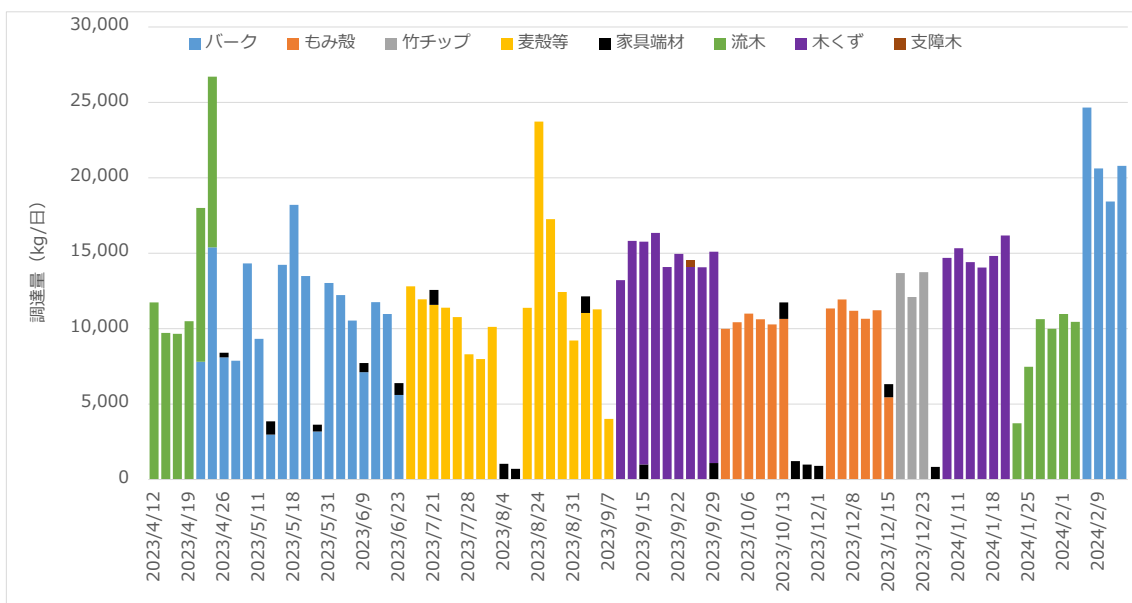


図 2-51 バイオマスの調達実績（2023 年度）

図 2-52 には全事業期間のバイオマス調達実績を示す。全体で 2,145,180kg（2,145 トン）のバイオマスを混焼試験のために調達した。一日当たりの調達量は最大で 27,030kg、最小で 710kg、平均すると 11,058kg となった。

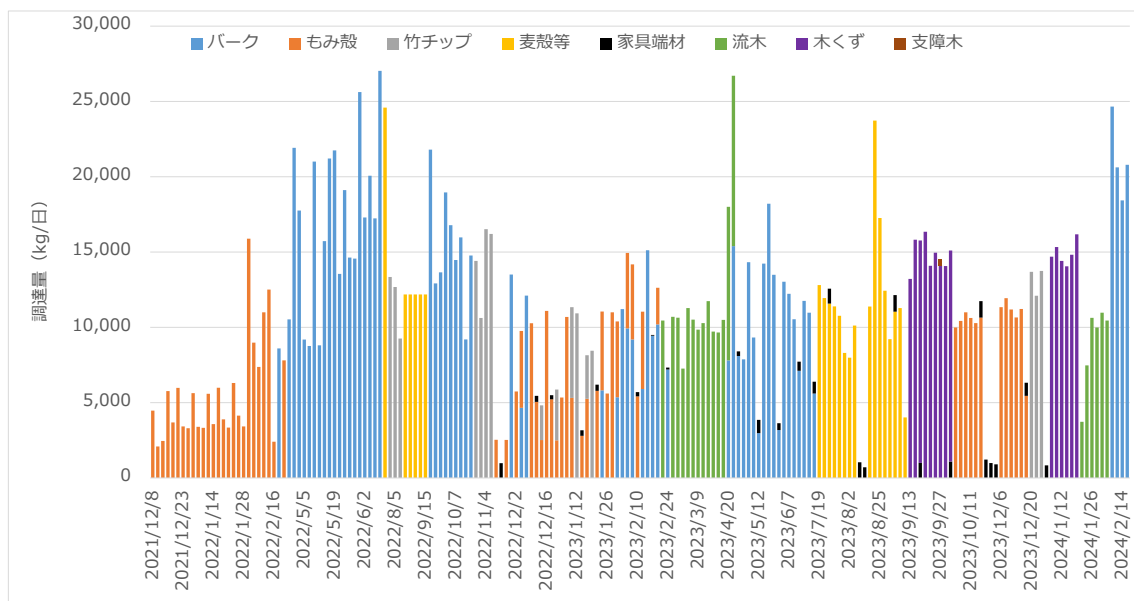


図 2-52 バイオマスの調達実績（全期間）

表 2-14 には全期間の調達量をバイオマス種別を示している。

表 2-14 各種バイオマスの調達量（全期間）（単位：kg）

バーク	もみ殻	竹チップ	麦殻等
863,280	408,160	166,540	270,790
家具端材	流木	木くず	支障木
17,780	197,350	220,870	410

2-4-1 もみ殻

もみ殻調達の様子を図 2-53 に示す。2021 年度の調達開始時に、もみ殻を 4t トラックで調達した。2022 年度からは輸送効率アップのため、10t トラックを用いた。



(a) カントリーエレベーター内のもみ殻の保管



(b) トラックへのもみ殻の積み込みの様子



(c) もみ殻の運搬の様子

図 2-53 もみ殻調達の様子

もみ殻の調達実績を図 2-54 に示す。2021 年度は 2021 年 12 月から 2022 年 2 月まで、2022 年度は 2022 年 11 月から 2023 年 2 月まで、2023 年度は 2023 年 10 月から

12月まで、前述の通り秋から冬にかけて発生する時期に調達した。

全期間を通じて 408t 調達し、年度別内訳を見ると、2021 年度に 146t、2022 年度に 138t、2023 年度に 125t となっている。

10t トラックを使ったときのデータから、一日あたりの調達量は最大 11,940kg、最小 2,430kg、平均 7,091kg であった。トラック往復回数は CE から本施設までの距離や CE でのストック量など状況によって異なるが、1～4 回/日で、平均 2.72 回/日であった。

一回あたりの輸送量はトラックのサイズによって異なるが、4t トラックを利用した 2021 年度の結果では平均 1,200kg/回、10t トラックを利用した結果では平均 2,674kg/回となった。トラックの荷台容積は 4t トラックが 6.3m³、10t トラックが 24m³であるため、かさ密度に換算すると、4t トラックで 191kg/m³、10t トラックで 111kg/m³となっている。

目標とする 2,000t/年のバイオマス調達システムは、以下の式から 250 日/年の稼働で成立することがわかる。

$$3 \text{ (回/日)} \times 2.674 \text{ (t/回)} \times 250 \text{ 日/年} = 2,005 \text{ t/年}$$

輸送効率を向上させるにはもみ殻の密度を向上させる必要があるが、密度を上げるためのブリケット化などはコストがかかるため、短い輸送距離の調達先に対して改質コストなどをかけることは現実的ではないと思われる。

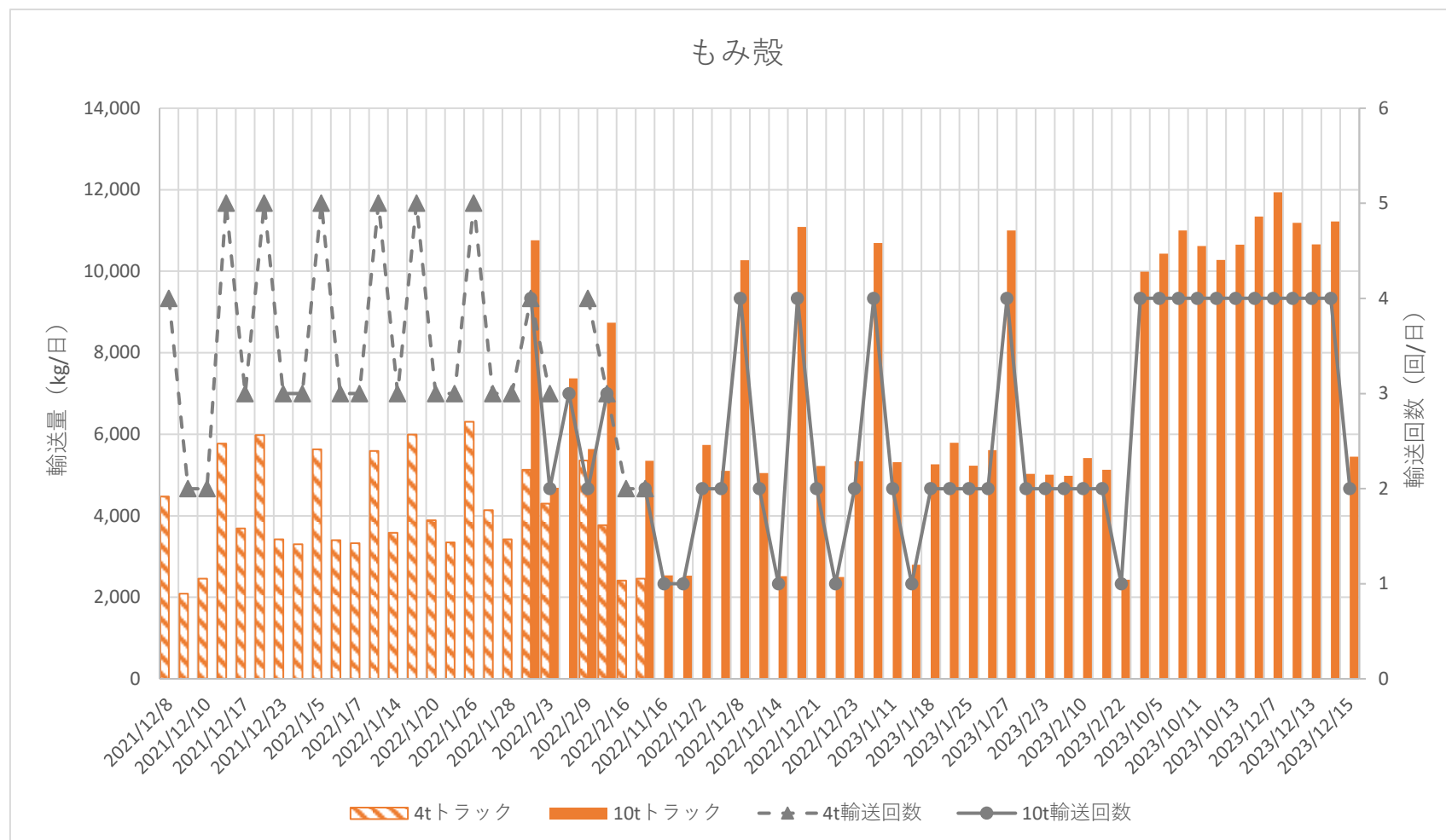


図 2-54 もみ殻調達実績

2-4-2 バーク

図 2-55 にバークの調達の様子を示す。本施設の受け入れ基準に照らし合わせると、直径 10cm、長さ 1m 以内までのサイズのバイオマスであればごみピットを経て直接焼却炉に投入可能であるが、図 2-42 に示した流木のように、それ以上のサイズになる場合は事前の破碎が必要になる。



(a) つかみ取る様子



(b) トラックへの積み込み

図 2-55 バーク調達の様子

バークの調達実績を図 2-56 に示す。2021 年度は 2022 年 2 月に 4t トラックと 10t トラックを使って数日調達を実施した。2022 年度と 2023 年度には季節に関わらず調達が可能であった。

全期間を通じて 779t 調達し、年度別内訳を見ると、2021 年度に 41t、2022 年度に 552t、2023 年度に 271t となっている。

10t トラックを使ったときのデータから、一日あたりの調達量は最大 27,030kg、最小 2,560kg、平均 12,660kg であった。トラック往復回数は 1～9 回/日で、平均 3.42 回/日であった。

一回あたりの輸送量はトラックのサイズによって異なるが、4t トラックを利用した 2021 年度の結果では平均 2,128kg/回、10t トラックを利用した結果では平均 3,706kg/回となった。トラックの荷台容積は前述の通りであり、かさ密度に換算すると、4t トラックで 338kg/m³、10t トラックで 154kg/m³ となっている。

目標とする 2,000t/年のバイオマス調達システムは、以下の式から 180 日/年の稼働で成立することがわかる。

$$3 \text{ (回/日)} \times 3.706 \text{ (t/回)} \times 180 \text{ 日/年} = 2,001 \text{ t/年}$$

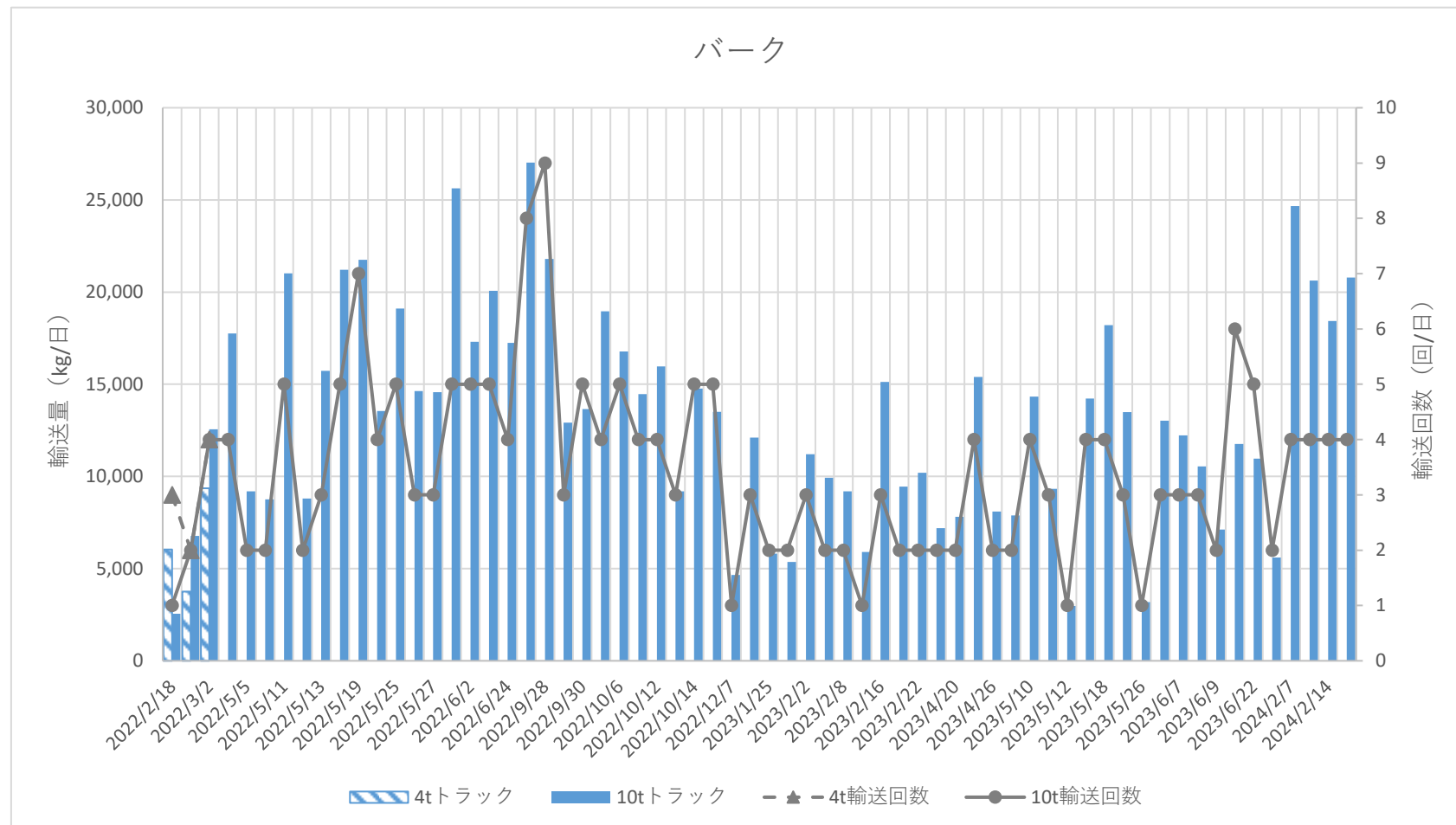


図 2-56 バーク調達実績

2-4-3 流木

図 2-57 に流木の調達の様子を示す。本施設の受け入れ基準（直径 10cm、長さ 1m 以内）に照らし合わせると、破碎が必要と考えられる。



図 2-57 流木調達の様子

図 2-58 に流木の破碎の様子を示す。破碎には本施設にある二軸式の破碎機を用いた。破碎後の流木は本施設の受け入れ基準に適するようになった。



(a) 破碎の様子



(b) 破碎後の形状

図 2-58 流木破碎の様子

流木の調達実績を図 2-59 に示す。調達は本事業期間内で 20 日間実施し、合計調達

量は 197t であった。

調達には 4t トラックを利用し、一日当たりの平均調達量は 10,293kg、往復回数は 3～7 回で、平均 3.64 回/日となった。一回あたりの輸送量は、平均 2,825kg/回となった。かさ密度に換算すると、448kg/m³ となった。

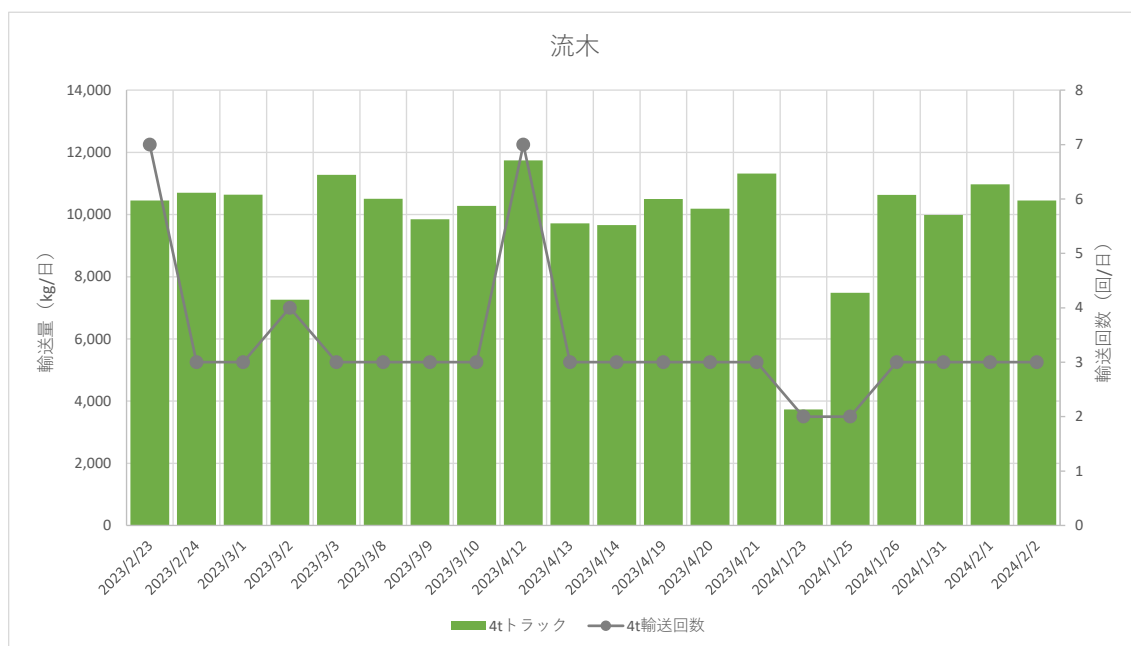


図 2-59 流木調達実績

2-4-4 竹チップ

図 2-60 に竹チップの調達の様子を示す。この竹チップは 2-3-4 で述べたように、(株) ウッドライフより購入し、混焼実証試験の燃料として調達したものである。



(a) 保管の様子



(b) トラックへの積み込み

図 2-60 竹チップ調達の様子

竹チップの調達実績を図 2-61 に示す。調達した竹チップは合計で 167t であった。調達には 10t トラックを利用し、一日当たりの調達量は最大 16,520kg、最小 2,300kg、平均で 10,400kg であった。往復回数は 1～5 回で、平均 3.25 回/日となった。一回あたりの輸送量は、平均 3,202kg/回となった。かさ密度に換算すると、133kg/m³ となった。

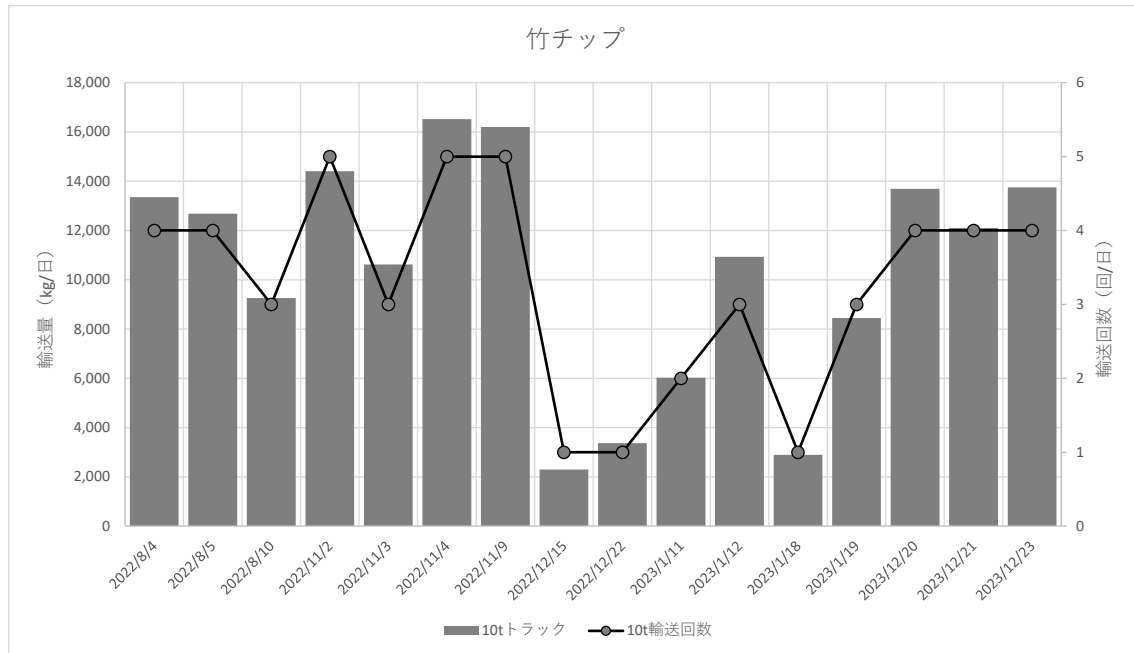


図 2-61 竹チップ調達実績

2-4-5 木くず

木くずの調達実績を図 2-62 に示す。調達した木くずは合計で 221t であった。調達には 10t トラックを利用し、一日当たりの調達量は最大 16,350kg、最小 13,200kg、平均で 14,599kg であった。往復回数は 4 もしくは 8 回で、平均 4.44 回/日となった。一回あたりの輸送量は、平均 3,285kg/回となった。かさ密度に換算すると、137kg/m³ となった。

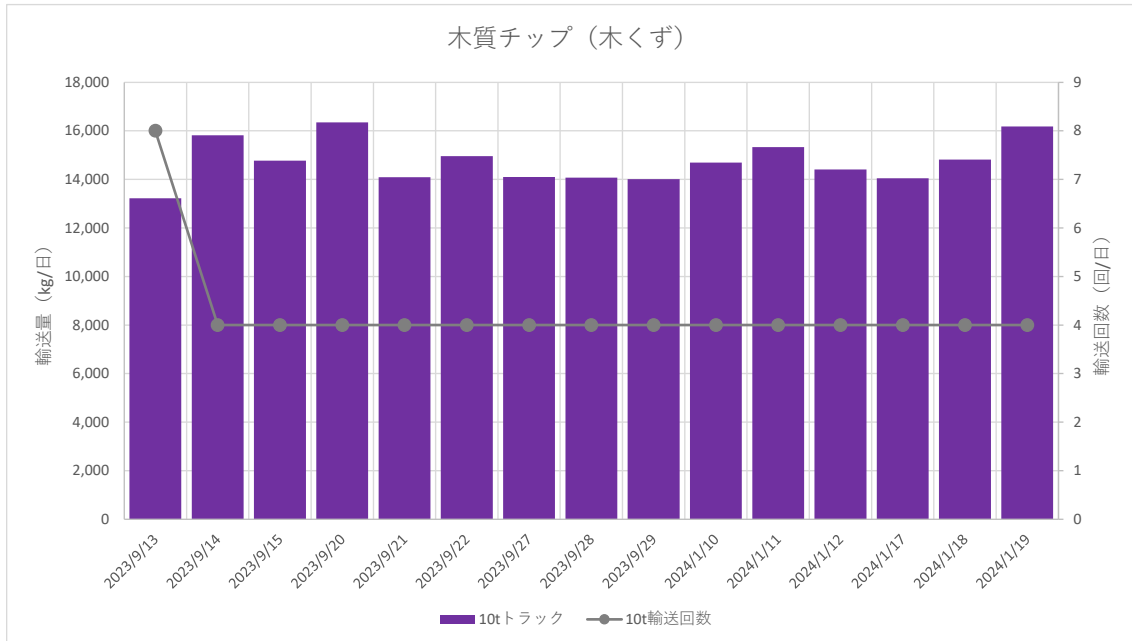


図 2-62 木くず調達実績

2-4-6 家具端材

家具端材の調達実績を図 2-63 に示す。調達した家具端材は合計で 18t であった。

調達には 2t トラックと 4t トラックを利用し、一日一回の輸送で、一回あたりの輸送量は、2t トラックで平均 456kg/回、4t トラックで平均 988kg/回となった。

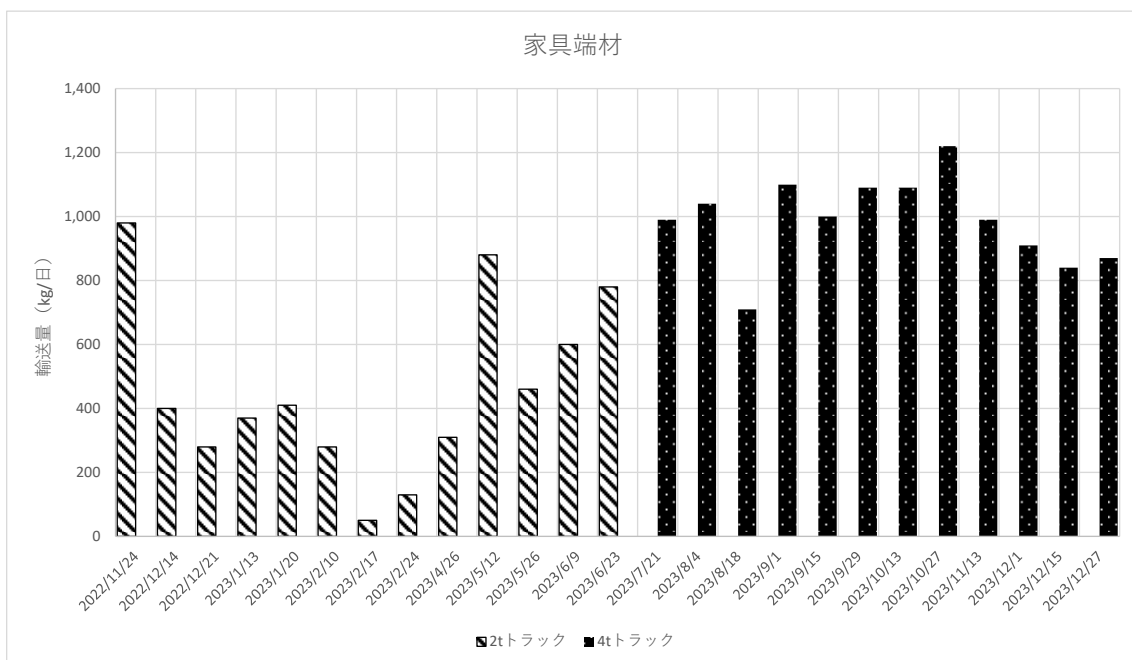


図 2-63 家具端材調達実績

2-4-7 麦殻等

麦殻等の調達実績をそれぞれ図 2-64 に示す。麦殻等の調達は 22 日間で、271t となった。

一部 2t トラックを利用したものの、基本的には 10t トラックを利用して調達した。一日当たりの調達量は平均で 12,345kg、往復回数は 3~4 回であった。一回あたりの輸送量は平均 3,331kg/回となった。かさ密度に換算すると 139kg/m³ となった。

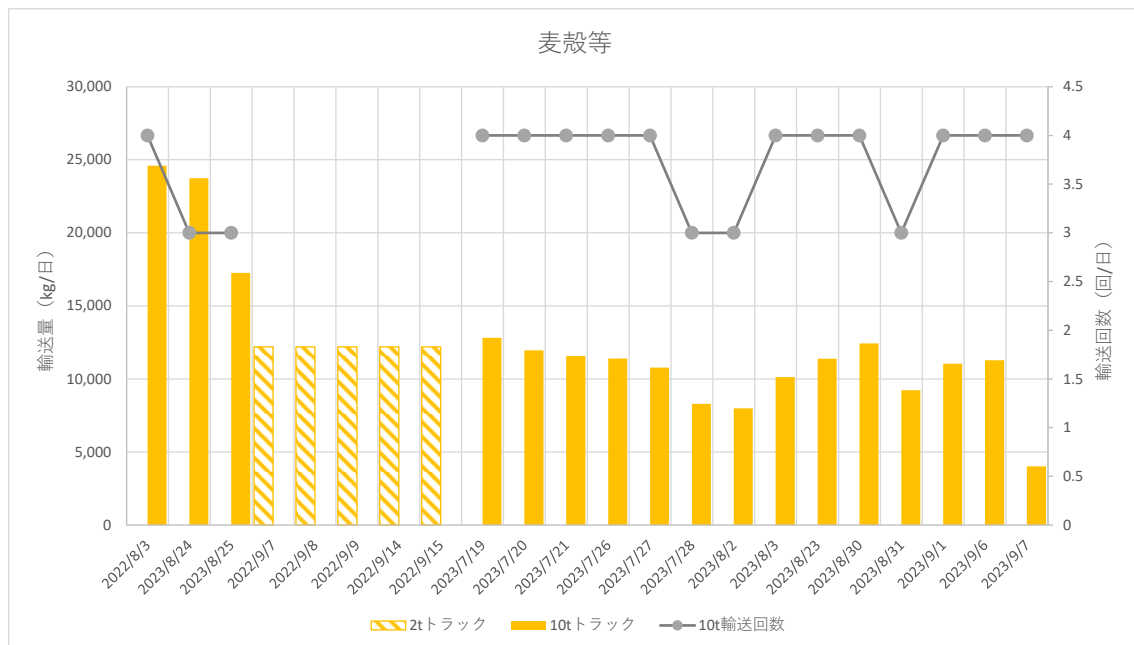


図 2-64 麦殻調達実績

2-4-8 支障木

支障木は試験的に一回 (410kg) 調達した。図 2-65 に本施設への搬入の様子を示す。写真からわかる通り、長尺なものが多く、ごみピットに搬入する前には粉砕が必要なが想定される。



図 2-65 支障木調達の様子

2-5. バイオマス調達サプライチェーンについて

2-5-1 輸送コスト試算

バークを調達した実績に基づく輸送コスト試算（モデル計算）の前提条件を表 2-15 に示す。一回のトラックへの積載量は前述の平均 3.7 トンを用いた。輸送距離は本施設から栗並地区にある木材供給センターまでの道のりを用いたが、佐賀県森連木材共販所までの道のりを用いると距離がもっと短くなる。

表 2-15 バーク輸送コストの前提条件

項 目	単位	数値	備考・計算方法
トラックの購入単価	円/台	13,000,000	
トラックの耐用年数	年	5	
輸送距離(片道)	km	15	
積み込み時間	分	20	
荷下ろし時間	分	20	
1台当たりの積載能力	t/台	3.706	10tトラック実績値
トラック最大積載量	t/台	7	
積載率	%	53%	
トラックの平均速度	km/時	40	
運転手労務費	円/年・人	3,309,240	2021年 福岡一般工職賃金 JETRO
燃料単価	円/L	152	2022/10 九州地区小売価格
輸送トンキロ当たり燃料使用量	L/t・km	0.0736	改良トンキロ法7t最大積載を想定
CO2排出係数	tCO2/kL	2.62	改良トンキロ法記載
年間作業日数	日/年	200	

これら前提条件からトラック輸送一往復にかかる時間を計算し、一日 8 時間の労働時間を考慮すると往復可能回数は 5 回と試算された。したがって、本システムでバイオマス原料を調達した場合、年間輸送量は $3.7 \text{ トン/回} \times 5 \text{ 回/日} \times 200 \text{ 日/年} = 3,700 \text{ トン/年}$ と試算される。

表 2-16 および図 2-66 にバーク輸送コストの試算結果を示す。トラックの減価償却費、トラック運転手の労務費、軽油の使用による燃料費を合計して得られる年間必要経費は 650 万円程度となった。これを前述の年間輸送量 3,700 トンで割ると、1 トンのバイオマス輸送コストは約 1,800 円/t と試算された。また、CO₂排出量も軽油の使用量から計算することができ、年間で 10.7t-CO₂、バイオマス輸送量当たりになると、2.89kg-CO₂/t-原料となった。

表 2-16 バーク輸送コストの試算結果

減価償却費	(19)	減価償却費	円/年	2,600,000	
労務費	(20)	運転手数	人	1	
	(21)	労務費	円/年	3,309,240	
燃料費	(22)	一回あたり燃料消費量	L/回	4.1	
	(23)	燃料消費量	L/年	4,091	
	(24)	燃料費	円/年	621,896	
年間輸送費	(25)	年間輸送費	円/年	6,531,136	
	(26)	輸送原単位	円/t	1,762	
CO2排出	(27)	年間排出量	tCO2/年	10.7	
	(28)	輸送原単位	kgCO2/t-原料	2.89	

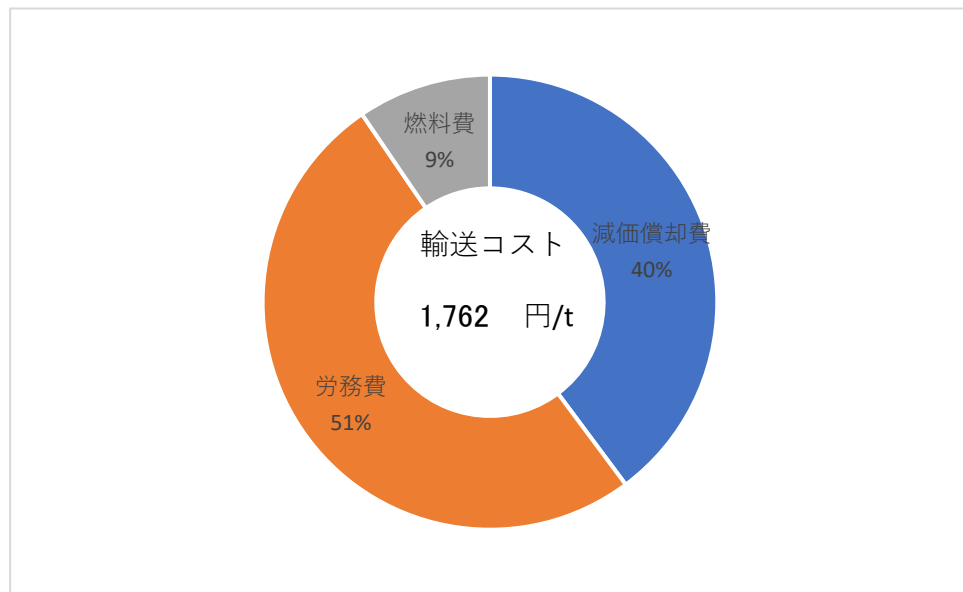


図 2-66 バーク輸送コストの試算結果

本試算では、トラック運転手の経費は考慮しているものの、現場でのトラックの積み込み作業員の経費は見込んでいない。また、トラック利用については効率を最大としているため、発生場所や本施設で待ち時間が生じることは考慮していない。

同様の手法で、もみ殻の輸送コストをモデル計算を実施した。表 2-17 にもみ殻輸送コストの前提条件を示す。カントリーエレベーターは市内各所にあるため、平均的な輸送距離として 10km を仮定した。もみ殻はバークと比べてかさ密度が低いいため、積載量は 2.67t とバークに比べて劣る。

表 2-17 もみ殻輸送コストの前提条件

費用	番号	項 目	単位	数値	備考・計算方法
入力項目	(1)	トラックの購入単価	円/台	13,000,000	
	(2)	トラックの耐用年数	年	5	
	(3)	輸送距離(片道)	km	10	
	(4)	積み込み時間	分	20	
	(5)	荷下ろし時間	分	20	
	(6)	1台当たりの積載能力	t/台	2.674	10tトラック実績値
	(7)	トラック最大積載量	t/台	7	
	(8)	積載率	%	38%	
	(9)	トラックの平均速度	km/時	40	
	(10)	運転手労務費	円/年・人	3,309,240	2021年 福岡一般工職賃金 JETRO
	(11)	燃料単価	円/L	152	2022/10 九州地区小売価格
	(12)	輸送トンキロ当たり燃料使用量	L/t・km	0.1004	改良トンキロ法7t最大積載を想定
	(13)	CO2排出係数	tCO2/kL	2.62	改良トンキロ法記載
	(14)	年間作業日数	日/年	200	

図 2-67 にもみ殻輸送コストの試算結果を示す。もみ殻の輸送コストは約 1,800 円/t と試算され、バークとほぼ同等であった。これはもみ殻の輸送距離が短いメリットを一回当たり積載量が少ないデメリットで相殺したことによると考えられる。

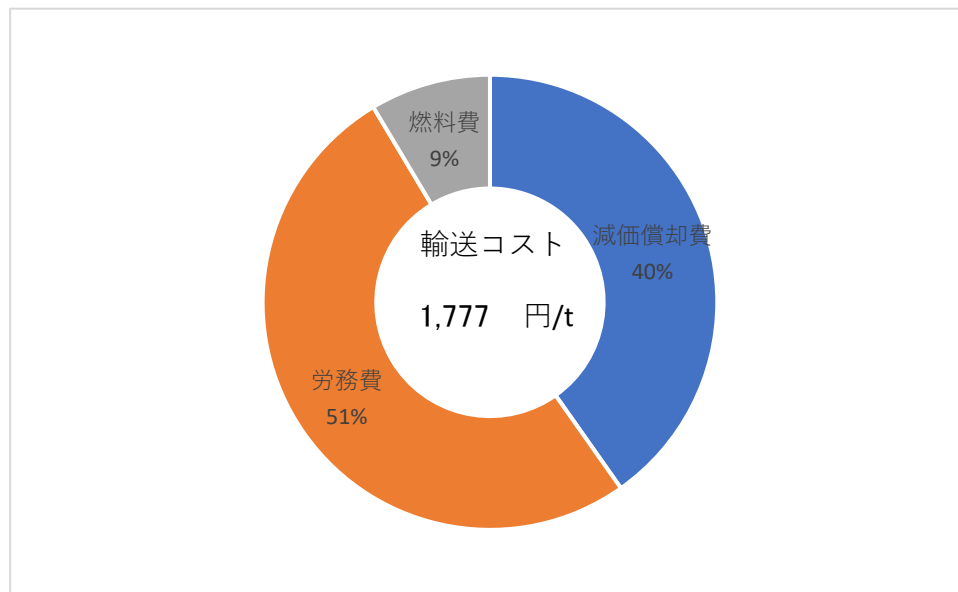


図 2-67 もみ殻輸送コストの試算結果

一方でこのような輸送コストを実績に基づいて計算することもできる。本事業において、トラックおよび運転手については一日当たりの料金 (70,000 円) で契約してい

た。ため、その料金を一日の輸送量で除すことによって算出すると、バークで約 5,500 円/t、もみ殻で約 9,400 円/t であった。

ここまでに、トラックによってバイオマス原料を輸送する場合のモデル計算で 2,000 円/t 以下の輸送コストが試算され、委託費の実績から 5,000～10,000 円/t の輸送コストが試算された。バイオマス調達による本施設の経費増加を考えると、幅があるものの、400 万円～2,000 万円と見込まれる。

さらなるコストダウンを目指すため、本市の車両を利用してバイオマスの収集運搬をすることを考えた。極力コストダウンを目指し、運搬に関わる人件費と車両代を除くと、燃料費だけの計算になる。すなわち、モデル計算結果の内、燃料費のみを取り出すと、300 円/t 程度となった。

2-5-2 輸送効率向上のための検討

バイオマス原料の輸送は本施設において原料を受け取るまでにかかる経費（原料単価と見ることもできる）に大きく影響を与える要因の一つであり、輸送効率を上げる等によって輸送コストを下げることは重要である。

図 2-68 は枝条、梢端、チップおよび丸太の輸送時のイメージ図であり、各原料の形状によって密度が異なるため、輸送効率は異なる。2.4 において示したバイオマスの種類でも、特に流木や家具端材などはかさ密度が低いこと、焼却炉に投入する前には破砕が必要なことから、トラックに積み込む前に現地で破砕するか、本施設の敷地内で破砕するか、サプライチェーン全体で考えて最適化を図る必要がある。

バイオマス収集・運搬の問題点

<かさ密度>

林業バイオマスは種類によって、形、大きさ、重さ、体積が異なる。
また、部位によって含水率のばらつきが大きい。



図 2-68 森林系バイオマス資源の輸送に係るイメージ図^[2-26]

2-5-3 各バイオマス原料の調達に関するサプライチェーン検討

これまで述べてきたように、市内のバイオマスは種類ごとに発生量、発生状況、利用もしくは処分状況が異なる。バイオマスの性状を見ても、水分が多いもの、長尺なものなど、本施設で処理するには前処理が必要なものもある。

表 2-18 にこれらバイオマスの調達条件をまとめて示す。現状の利用状況を鑑みて、もみ殻やバークのように無償もしくは有償で発生場所に引き取りに行くことで受け取れるバイオマスを「調達」と記載した。処分に困っていて、産廃業者に処理を頼んでいるような場合には本施設までバイオマスを持ち込んでもらえると考え、「持ち込み」と記載した。また、原料の前処理に乾燥があった方がいいもの、粉砕が必要なものなどは 2-3 で説明した内容をまとめて記載した。

表 2-18 バイオマス種ごとの調達条件

バイオマス種	調達/持ち込み	乾燥	粉砕
①もみ殻	調達	不要	不要
②バーク	調達	水分変動注意	不要
③流木	持ち込み	不要	要
④竹チップ	持ち込み	—	不要
⑤木質チップ（木くず）	調達	—	不要
⑥家具端材	持ち込み	不要	要
⑦麦殻等	持ち込み	不要	不要
⑧支障木	持ち込み	—	現場では必要

2-5-4 バイオマス原料調達コストの検討

次に、これまで述べてきた輸送コストと原料入手のコストを合算することで、バイオマス原料調達コストを検討した。原料入手のコストについては、無償で引き取るか、原料費を払って有償で手に入れるか、もしくは処理費ももらうことによって逆有償で手に入れられるかの違いが考えられる。

現時点での整理を表 2-19 これらのコストについては確定したものではない。具体的に発生箇所と直接交渉をしておらず、今回の事業実施期間に見られたように、従来無償で取引されていたバークが、需要増加により、現在では有償になっている。

表 2-19 バイオマス原料調達コスト検討結果

	コスト (円/トン)			調達量 (トン/年)	
	原料費 (処分 手数料)	運搬費 (市 営)	合計調達費用	発生量	調達可能量
①もみ殻	0	330	330	4,000	400
②バーク	790	360	1,150	1,350	1,350
③流木	0	0	0	200~700	100~350
④竹チップ	0	0	0		
⑤木質チップ (木くず)	500	120	620	20,000<	3,000
⑥家具端材	-12,000	0	-12,000	1,000	120
⑦麦殻等	-12,000	0	-12,000	144	60
⑧支障木	-12,000	0	-12,000	63	16

※現時点で調査した結果をもとにしており、今後の情勢によって変わる可能性がある

さらに、調達可能なバイオマスを整理して、平均のバイオマス調達コストを算定した。表 2-19 を見てわかるように、バイオマスの種類によって、-12,000 円/t もの処分手数料をもらえるものや、調達するために 1,150 円/t を支払わなければいけないものがある。安いバイオマスから順に確実に手に入ることが理想であるが調達リスクも踏まえて、少しコスト高であっても安定的に入手できるバイオマスを優先するという考え方もある。

そこで、表 2-20 に示すように、3 つのケース分けを行った。ケース 1 は安い順に確実にバイオマスが入手できる場合、ケース 2 は逆有償なものは既存の産廃業者への影響を含めて手に入らず、無償なものから順に手に入る場合、ケース 3 は購入可能なバイオマスのみ手に入る場合である。

表 2-20 バイオマス原料調達ケース検討

ケース	状況	調達優先順位
1	輸送は市営、安価な原料（逆有償なもの）が十分に手に入る	⑥家具端材> ⑧支障木> ③流木> ①もみ殻> ⑤木質チップ> ②バーク
2	輸送は市営、安価な原料が手に入らない（もみ殻も既存の用途がある）	③流木> ⑤木質チップ> ②バーク> ⑧支障木> ⑥家具端材> ①もみ殻
3	輸送は市営、有償な原料しか手に入らない（もみ殻も既存の用途がある）	⑤木質チップ> ②バーク> ⑧支障木> ⑥家具端材> ③流木> ①もみ殻

ケース 1～3 の調達イメージを図にすると、図 2-69 のようになる。図の縦軸はバイオマスの単価（円/t）、横軸はそれぞれの調達可能量である。2,000t/年のバイオマスを集めようとする、家具端材、支障木、麦殻等といった逆有償のバイオマスを手入れし、次に流木を手入れする。これらを合計しても 500t/年以下にしかならないため、運搬コストをかけて、もみ殻を調達し、さらに原料費を払って、木くずを手入れする。これによって、2,000t/年や 3,000t/年のバイオマスが入手可能となる。

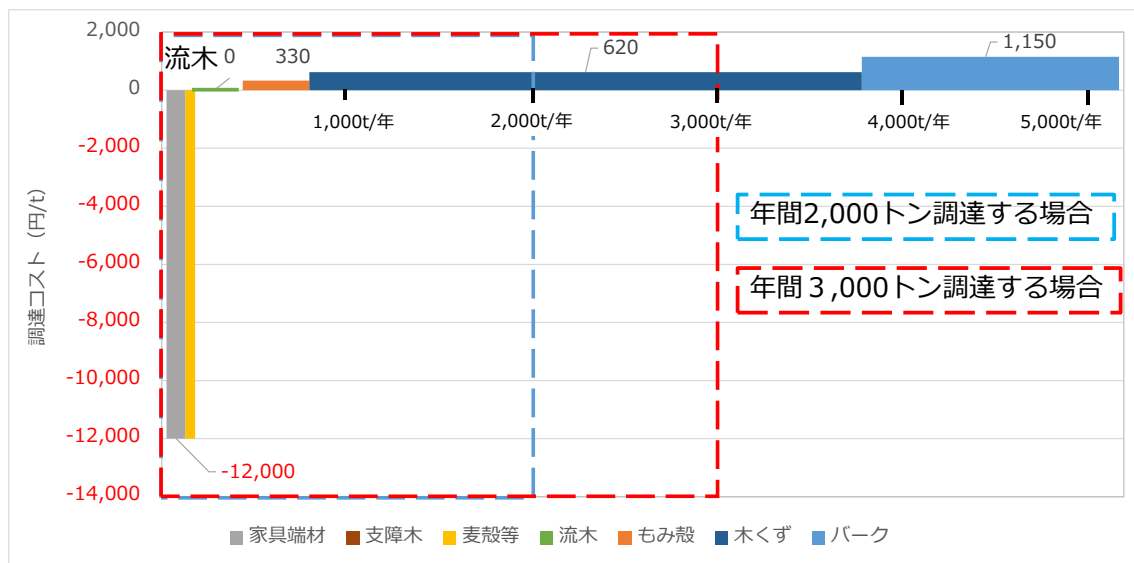


図 2-69 ケース 1 の時のバイオマス調達イメージ

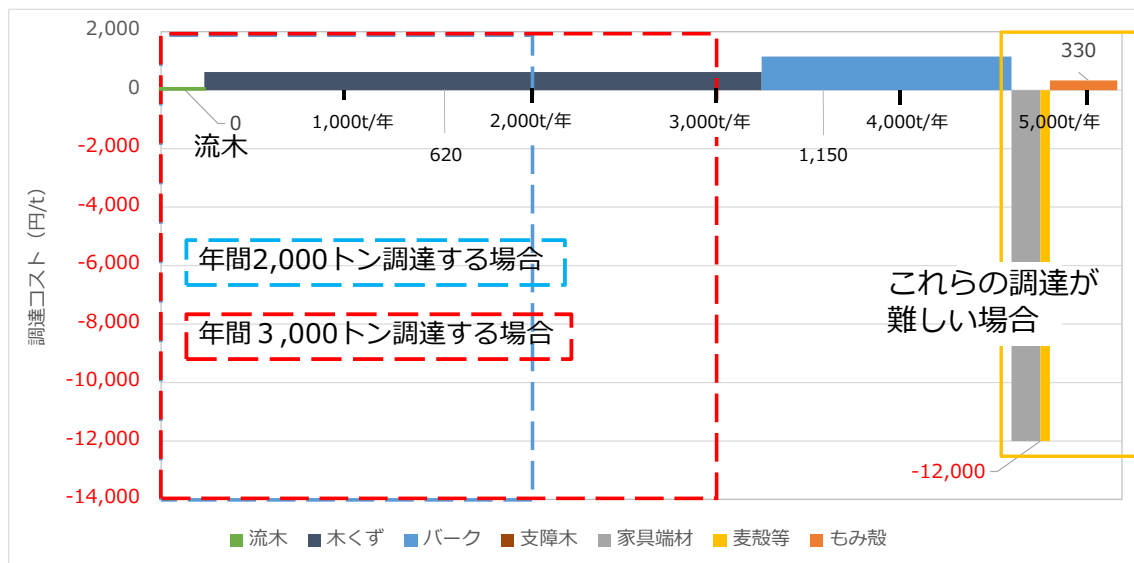


図 2-70 ケース 2 の時のバイオマス調達イメージ

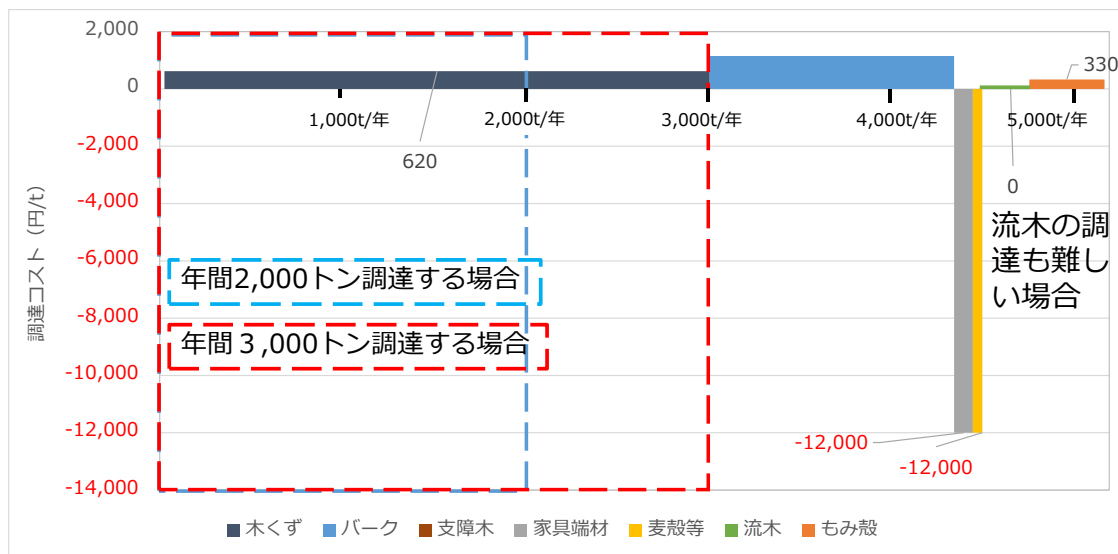


図 2-71 ケース 3 の時のバイオマス調達イメージ

これらのバイオマスは逆有償のものや有償のものが混ざっているため、平均すると、表 2-21 の通りとなった。

表 2-21 ケース別バイオマス原料平均コスト

調達量 (t/年)	調達コスト (円/t)		
	ケース1	ケース2	ケース3
2,000	-754	550	620
3,000	-290	574	620

2-6. バイオマス混焼の法規制について

2-6-1 現状の取り組み

本市におけるバーク（樹皮）、竹、もみ殻といったバイオマス利用の状況（平成 24 年度）は表 2-22 のとおりとなっている。

表 2-22 バイオマス利用の状況（2012 年度(平成 24 年度)）^[2-6]

バイオマス			変換・処理方法	利用・販売	利用率
廃棄物系バイオマス	製材工場等 残材	バーク（樹皮）	植栽基盤材	有償引取	32%
	その他	ごみ（木、竹、わら類）	サーマルリサイクル	発電・熱利用	77%
未利用バイオマス	農業系	もみ殻	畜産敷料、マルチ材等	農地還元、無償譲渡	99%

バークの利用率が 32%と他バイオマスと比較して低いのが、これは年間を通じた安定的な供給が困難であること、収集体制が確立していないこと、利用に際し採算性の確保が困難であるためである。主に植栽基盤材で有償引取されるなどしている。一方、もみ殻の利用率は 2012 年度においては 99%と非常に高くなっており、その多くは鋤き込みや粗飼料など農業用途に利用されていた。ただし近年では、JA 佐賀県農業協同組合 佐城エリア 佐城北部宮農経済センターによると、もみ殻の処理に悩む事業者からの処理相談も多いと聞く。

このような処理が難しい廃棄物系バイオマスや未利用バイオマスを一般廃棄物処理場である本施設で受け入れることができるのかという点について整理する。

まず、本施設で処理できるものは以下の表 2-23 のとおりである。

表 2-23 本施設で処理できるもの^[2-27]

区分	内容
燃えるごみ	・一般家庭から排出される生ごみ、木くず、廃プラスチック及び再生不可能な紙くず並びにこれらと質的に同等なもの ・事業活動から排出される一般廃棄物で、一般家庭から排出されるものの処理に支障のない質及び量のもの
燃えないごみ	・一般家庭から排出される金属類、陶磁器、ガラス製品及び小型電化製品並びにこれらと質的に同等なもの ・事業活動から排出される一般廃棄物で、一般家庭から排出されるものの処理に支障のない質及び量のもの

資源物	・一般家庭から排出されるビン・缶類、紙・布類及びペットボトル ・事業活動から排出される一般廃棄物で、一般家庭から排出されるものの処理に支障のない質及び量のもの
廃食用油	・一般家庭から排出される植物性油 ・事業活動から排出される植物性油で、一般家庭から排出されるものの処理に支障のない質及び量のものとして、市長が搬入を認めるもの
電池類	・一般家庭から排出される乾電池、コイン電池、ボタン電池、充電式電池（モバイルバッテリー含む）及び電池一体型3品目（電気シェーバー、電動歯ブラシ、電子タバコ）
蛍光管・水銀体温計等	・一般家庭から排出される蛍光管及び水銀体温計
粗大ごみ	・一般家庭から排出されるもので市が指定する指定袋に入らない大きさの大型家具、寝具、電化製品及び自転車並びにこれらと質的に同等なもの ・事業活動から排出される一般廃棄物で、一般家庭から排出されるものの処理に支障のない質及び量のもの
動物の死体	・犬、猫及びこれらに類する小動物の死体。ただし、畜産業から排出される死体（産業廃棄物）を除く。

一方で、本施設において、処分できないものは以下表 2-24 のとおりである。

表 2-24 本施設において処分できないもの^[2-27]

区分	内容	
処理困難物	有害性のあるもの 危険性のあるもの 著しく悪臭を発するもの	ガスボンベ類、石油類、火薬類、農薬、塗料、バッテリー、工業薬品、在宅医療に伴う針類等
その他の適正処理が困難なもの	タイヤ、自動車（部品を含む）、バイク（50cc超のもの）、耐火金庫、ピアノ、仏壇、消火器、薬品類、建築廃材、塩化ビニール製品、木の根、土砂類等	
排出禁止物	一般廃棄物のうち、再生資源の利用促進を図るため、再生利用の必要が認められるもの	パーソナルコンピュータ、パソコン用モニター 家電4品目（テレビ、エアコン、洗濯機、冷蔵庫等）
特別管理一般廃棄物	一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるもの	
産業廃棄物	事業活動から排出される燃え殻、廃油、廃アルカリ、廃プラスチック類等その他法令で定めるもの。ただし、市長が搬入を認めるものを除く。	

産業廃棄物については、本施設においては処理することができないとされているが、廃棄物処理法第 11 条には以下のように記載されている。

(事業者及び地方公共団体の処理)

第十一条 事業者は、その産業廃棄物を自ら処理しなければならない。

2 市町村は、単独に又は共同して、一般廃棄物とあわせて処理することができる産業廃棄物その他市町村が処理することが必要であると認める産業廃棄物の処理をその事務として行なうことができる。

3 都道府県は、産業廃棄物の適正な処理を確保するために都道府県が処理することが必要であると認める産業廃棄物の処理をその事務として行うことができる。

産業廃棄物は、まず第 1 項にあるとおり排出事業者が自ら処理するのが基本原則であるが、それができない排出事業者については、処理業者等への処理委託が認められている。次に、第 2 項にあるとおり市町村は、一般廃棄物とあわせて処理することができる産業廃棄物の処理を事務として行うことができるとあるため、パーク（樹皮）、竹、もみ殻といった産業廃棄物（廃棄物系バイオマス、未利用系バイオマス）と一般廃棄物をあわせて本施設において処理できると考えられる。

本市においては、今後、パーク（樹皮）、竹、もみ殻といった産業廃棄物（廃棄物系バイオマス、未利用系バイオマス）を事業者から受け入れるため、本市条例や一般廃棄物処理基本計画の整理・改正等を検討する必要がある。

2-6-2 バイオマス受け入れのための法規制

昨年度の報告書にも記載した通り、廃棄物処理法第 11 条（下記）の記述を踏まえると、第 2 項において、市町村は、一般廃棄物とあわせて処理することができる産業廃棄物の処理を事務として行うことができる。

また、佐賀市では「佐賀市廃棄物の減量推進及び適正処理等に関する条例」において、本市の産業廃棄物処理として、「(第 11 条) 廃棄物処理法第 11 条第 2 項の規定により市が処理する産業廃棄物は、一般廃棄物の処理と併せて処分することができ、かつ、一般廃棄物の処理に支障のない範囲内で市長が別に定めるものとする。」としており、同条例施行規則において、(市が処分する産業廃棄物として、「(第 5 条) 条例第 11 条の規定により市が処分する産業廃棄物は、公益上市が処分する必要があると認める産業廃棄物のうち、次に掲げるものとする。

- (1) 紙くず (2) 木くず (3) 繊維くず (4) ガラスくず及び陶磁器くず
- (5) 前各号に掲げるもののほか、市長が特に認めるもの」と定めている。

したがって、産業廃棄物に該当するバイオマス原料の調達については、本市条例に基づく所定の手続きを経たうえで運用することに留意する必要がある。

また、産業廃棄物に関する行政事務は佐賀県の所管事務となるため、バーク（樹皮）、竹、もみ殻といった産業廃棄物（廃棄物系バイオマス、未利用系バイオマス）と一般廃棄物をあわせて本施設において処理するため、本市条例や一般廃棄物処理基本計画の整理・改正等を検討する必要がある、本事業の成果の活用が期待される。

1 産業廃棄物

佐賀県の所管部署へ産廃の種類や搬入する場合の手続き等を確認した。

- ・産業廃棄物は、家具製造業の家具端材、木材製造業のバークが該当する。
木製パレットも産廃に該当。その他のバイオマスは一廃に該当する。
- ・ただし、燃料として受入れる場合は産廃に該当しない。（根拠：環境省H17通知）

産業廃棄物名	内容（抜粋）	具体的例示
木くず	建設業に関するもの（工作物の新築等に伴って生じたものに限り）	建設業関係の廃木材、木製品製造業の廃木材、おがくず、バーク類、板切れ、木チップ、木パレット等 ※流通業の木材は一廃
	木材または木製品製造業（家具製造業を含む）に係るもの	

2 廃棄物処理法（※合わせ産廃処理の根拠条文）

第11条（事業者及び地方公共団体の処理）

1. 事業者は、その産業廃棄物を自ら処理しなければならない。
2. 市町村は、単独に又は共同して、一般廃棄物とあわせて処理することができる産業廃棄物その他市町村が処理することが必要であると認める産業廃棄物の処理をその事務として行なうことができる。

3 佐賀市条例（※市が処分する産業廃棄物の根拠条文）

市が処分する産業廃棄物は、公益上市が処分する必要があると認める産業廃棄物のうち、次に掲げるもの。

- （1）紙くず、（2）木くず、（3）繊維くず、～（5）市長が得に認めるもの

2-6-3 もみ殻利用の健康影響について

2-3-1 において述べたように、もみ殻を 800℃以上で燃焼すると、燃焼灰中にクリストバライト（結晶性シリカ）などの結晶が生成する。安全データ資料（SDS）によれば、クリストバライトについては健康に対する有害性が指摘されている。

労働安全衛生法において、結晶性シリカには管理濃度と許容濃度が定められている。結晶性シリカの管理濃度 E は以下の式から求められる。

$$E = 3.0 / (1.19Q + 1)$$

E: 管理濃度 (mg/m³)

Q: 当該粉じんの遊離けい酸含有率 (%)

日本産業衛生学会（2015 年度版）では、吸入性結晶質シリカの許容濃度を 0.03mg/m³ と定めている。

このように労働衛生の観点から、もみ殻の混焼を進めていくためには、本実証において、もみ殻混焼時のボイラ内、バグフィルタ付近等の結晶性シリカ濃度測定を実施する必要がある。測定結果については第 3 章において述べる。

2-6-4 プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（プラスチック資源循環促進法）

（１）背景

プラスチックごみ問題、気候変動問題、諸外国の廃棄物輸入規制強化等への対応を契機として、国内におけるプラスチック資源循環を促進する重要性が高まっている中で、政府は、2019 年 5 月に図 2-72 に示す「プラスチック資源循環戦略」（2019 年 5 月 31 日消費者庁・外務省・財務省・文部科学省・厚生労働省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省）を策定し、3R+Renewable の基本原則と、6 つの野心的なマイルストーンを目指すべき方向性として掲げた。

プラスチック資源循環戦略（概要）

令和元年5月31日

背景

- ◆廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチック等による環境汚染が世界的課題
- ◆我が国は国内で適正処理・3Rを率先し、国際貢献も実施。一方、世界で2番目の1人当たりの容器包装廃棄量、アジア各国での輸入規制等の課題

重点戦略

基本原則：「3R+Renewable」

【マイルストーン】

リデュース等	- ワンウェイプラスチックの使用削減(レジ袋有料化義務化等の「価値づけ」) - 石油由来プラスチック代替品開発・利用の促進	<リデュース> ① 2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制
リサイクル	- プラスチック資源の分かりやすく効果的な分別回収・リサイクル - 漁具等の陸域回収徹底 - 連携協働と全体最適化による費用最小化・資源有効利用率の最大化 - アジア禁輸措置を受けた国内資源循環体制の構築 - イノベーション促進型の公正・最適なリサイクルシステム	<リユース・リサイクル> ② 2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに ③ 2030年までに容器包装の6割をリユース・リサイクル ④ 2035年までに使用済プラスチックを100%リユース・リサイクル等により、有効利用
再生材 バイオプラ	- 利用ポテンシャル向上（技術革新・インフラ整備支援） - 需要喚起策（政府率先調達（グリーン購入）、利用インセンティブ措置等） - 循環利用のための化学物質含有情報の取扱い - 可燃ごみ指定袋などのバイオマスプラスチック使用 - バイオプラ導入ロードマップ・静脈システム管理との一体導入	<再生利用・バイオマスプラスチック> ⑤ 2030年までに再生利用を倍増 ⑥ 2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入
海洋プラスチック対策	- プラスチックごみの流出による海洋汚染が生じないこと（海洋プラスチックゼロエミッション）を目指した - ポイ捨て・不法投棄撲滅・適正処理 - 海岸漂着物等の回収処理 - 海洋ごみ実態把握(モニタリング手法の高度化) - マイクロプラスチック流出抑制対策(2020年までにスクラップ製品のマイクロビーズ削減徹底等) - 代替イノベーションの推進	
国際展開	- 途上国における実効性のある対策支援（我が国のソフト・ハードインフラ、技術等をオーダーメイドパッケージ輸出で国際協力・ビジネス展開） - 地球規模のモニタリング・研究ネットワークの構築（海洋プラスチック分布、生態影響等の研究、モニタリング手法の標準化等）	
基盤整備	- 社会システム確立（ソフト・ハードのリサイクルインフラ整備・サプライチェーン構築） - 技術開発（再生可能資源によるプラ代替、革新的リサイクル技術、消費者のライフスタイルのイノベーション） - 調査研究（マイクロプラスチックの使用実態、影響、流出状況、流出抑制対策） - 連携協働（各主体が一つの旗印の下取組を進める「プラスチック・スマート」の展開） - 資源循環関連産業の振興 - 情報基盤（ESG投資、エシカル消費） - 海外展開基盤	

- ◆アジア太平洋地域をはじめ世界全体の資源・環境問題の解決のみならず、経済成長や雇用創出 ⇒ 持続可能な発展に貢献
- ◆国民各界各層との連携協働を通じて、マイルストーンの達成を目指すことで、必要な投資やイノベーション（技術・消費者のライフスタイル）を促進

図 2-72 プラスチック資源循環戦略の概要^[2-28]

2021年6月には、プラスチック使用製品の設計からプラスチック使用製品廃棄物の処理まで、プラスチックのライフサイクルに関わるあらゆる主体におけるプラスチックの資源循環の取組を促進するための措置を盛り込んだ「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」が成立した。

（2）主な措置内容

プラスチックの資源循環の促進等を総合的かつ計画的に推進するため、「プラスチック廃棄物の排出の抑制、再資源化に資する環境配慮設計」、「ワンウェイプラスチックの使用の合理化」、「プラスチック廃棄物の分別収集、自主回収、再資源化等」の事項等に関する基本方針が策定された。図 2-73 に個別の措置事項、図 2-74 に制度の概要を示す。



図 2-73 個別の措置事項^[2-28]

ライフサイクル	法での措置事項（概要）	対象	対象者	主務大臣
設計・製造	プラスチック使用製品設計指針	プラスチック使用製品	プラスチック使用製品製造事業者等	経産大臣、事業所管大臣 （内閣総理大臣、財務大臣、厚労大臣、農水大臣、経産大臣、国交大臣）
販売・提供	特定プラスチック使用製品の使用の合理化	特定プラスチック使用製品（12品目）	特定プラスチック使用製品提供事業者（小売・サービス事業者等）	経産大臣、事業所管大臣 （厚労大臣、農水大臣、経産大臣、国交大臣）
排出・回収・リサイクル	市区町村による分別収集・再商品化	プラスチック使用製品廃棄物	市区町村	経産大臣、環境大臣
	製造・販売事業者等による自主回収・再資源化	自らが製造・販売・提供したプラスチック使用製品	プラスチック使用製品の製造・販売・提供事業者	経産大臣、環境大臣
	排出事業者による排出の抑制・再資源化等	プラスチック使用製品産業廃棄物等	排出事業者	経産大臣、環境大臣、事業所管大臣※（全大臣）

※再資源化事業計画に関する事項を除く

図 2-74 制度の概要^[2-28]

(3) 法律施行による主な影響

本市におけるプラスチックごみの分別の検討・スケジュールを図 2-75 に示す。

プラスチック資源循環促進法施行後はプラスチックごみを分別して収集する必要があり、本市においては 2024 年（令和 6 年）以降、ペットボトル、トレイ、およびプラスチック製品・プラ製容器包装を分別することを想定している。

このように、これまで燃えるごみとして処理していたプラスチックごみを分別して収集する必要があることから、本市においては、分別の方法、収集事業者の選定、中間処理施設（減容、保管施設）の建設、市民への周知等を検討する必要がある。

プラスチックの分別・資源化により、これまでサーマルリサイクルとしてしていた清掃工場での熱回収も転換点を迎えることとなる。

プラスチックは高カロリーごみであることから、分別によりごみの発熱量は低下することが予想され、発電や熱回収の面では不利である。一方、プラスチックが可燃ごみ中から減ることで、可燃ごみ全体のバイオマス割合は相対に上昇し、再生可能エネルギーとしての環境価値は高まり、更に地域未利用バイオマスを活用することでプラスチックに代わる発熱量を維持することも可能である。

これらにより、本市が行っている「ごみ発電の地産地消事業」やグリーン電力証書（自家消費分の再エネ価値化）等の脱炭素に向けた取組も持続可能なものとなることから、プラスチック分別を好機と捉えて検討していくことが重要である。

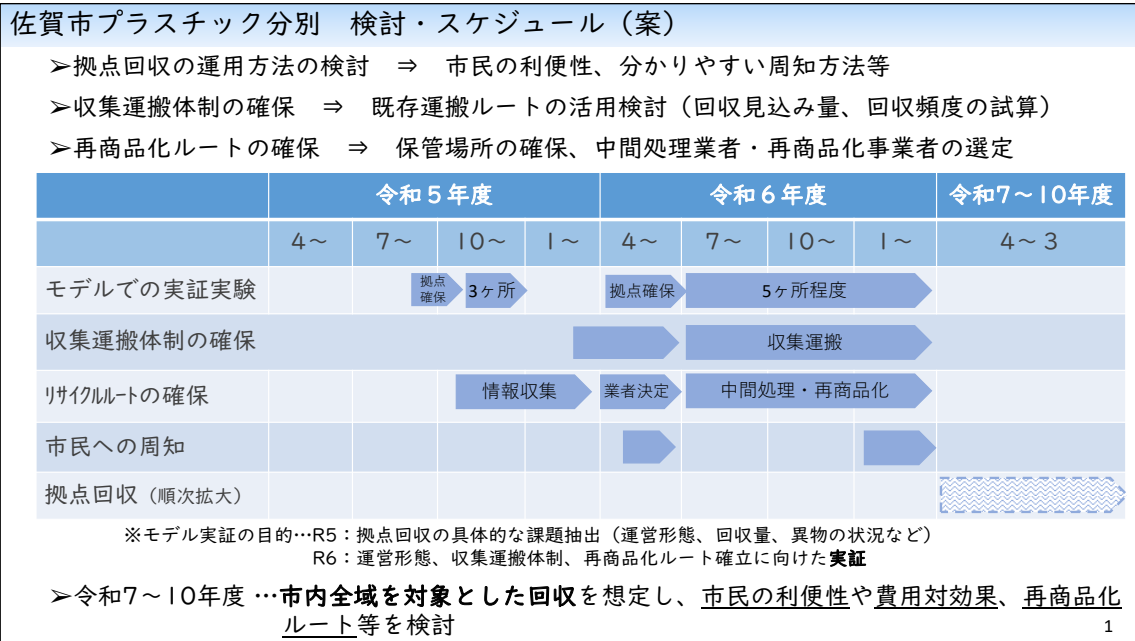


図 2-75 法施行後の本市における分別の検討^[2-29]

2-6-5 竹の受け入れに関する参考資料

竹は、日本各地に広く分布し、昔から身近な資材として生活に利用されてきた。しかし、近年、竹材については人々の生活が洋風化したことやプラスチック等代替材が登場したこと、タケノコについては安価な輸入品が増加したことなどにより、両製品の国内生産量は減少傾向にある。その結果、管理不足の竹林、いわゆる「放置竹林」が多く見られるようになった。

放置竹林によって生じる問題については、農林水産省が実施した「森林資源モニタリング」（平成 22 年度から「森林生態系多様性基礎調査」に名称変更）の調査結果で一部の現状が示されている。当該モニタリング調査では、日本全国約 1 万 6 千点の調査を行い、森林に対する竹の侵入度合を調査している。竹の占有率が 75～100%の地域は竹の純林に相当する。一方、竹の占有率が 25～75%の地域は森林に竹が相当量侵入しており、放置化が起こっている地域である。このまま放置しておくと、放置竹林の拡大および森林の減少につながるため各自治体においては問題視されている地域である。これらの地域は管理竹林の約 2 倍の面積にもなっている。

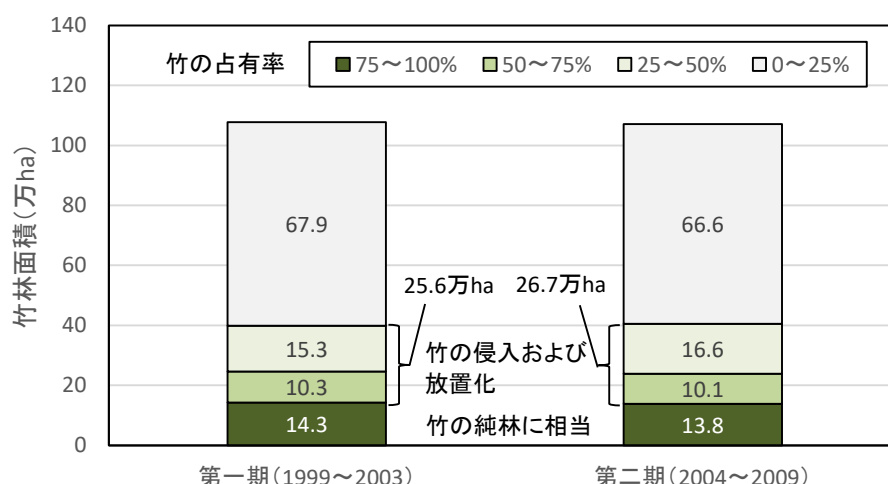


図 2-76 竹が侵入している森林における竹の占有区分別の面積（推計値）^[2-30]

放置竹林問題を抱えている自治体では竹バイオマスの有効的な利活用計画を掲げているところが多い。政府関係 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）では、経済性が確保された一貫システムを構築し、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指す地域として、「バイオマス産業都市」を推進しており、令和 3 年度選定地域を含めると、97 市町村を選定した^[2-5]。その内、香川県三豊市、兵庫県洲本市、栃木県茂木町、島根県飯南町などは計画の中に竹バイオマスの利用を盛り込んでいる。

また、一部の自治体では農家が持ち込んだ竹を買い取る取り組みも実施している。

福岡県八女市では 2011 年頃（現在はホームページ等に記述無し）竹の買い取りを行っており、竹を持ち込んだ農家に 7 円/kg を支払っていた。その内訳としては市からの補助金が 2 円/kg、竹の利用者が原料費として 5 円/kg 支払っていた。

京都北部では京都府宮津市など関係 8 団体からなる宮津バイオマス・エネルギー事業地域協議会が竹バイオマスをガス化し、発電やメタノール製造を行う「宮津バイオマス・エネルギー製造事業所」を運営していた（現在は稼働状況確認できず）。

原料調達については宮津市による竹材の買い取りを行っていたが、2011 年頃のヒアリングによると買い取り価格が 4～7 円/kg 程度と安いため、竹林所有者からすると採算が合わないこと、および伐採の必要性が低いこと（タケノコ産地ではないため）から買い取り量は伸びていなかった。

竹の買取価格と実際に調達するためにかかる経費に差異があることから竹の利活用はあまり進んでおらず、高効率・低コストな竹の調達方法が求められている。

2-7. もみ殻混焼時の炉内シミュレーション

2-7-1 背景と目的

R3 年度に実施されたもみ殻混焼の実証試験において、サンプルされた飛灰の中に、未燃もみ殻と思われる黒い粒が多く見られた。図 2-77 が、R3 年度の報告書に掲載された飛灰の写真であり、左側が混焼ありのケースに対応している。この問題の原因とその対策について検討するため、数値シミュレーション用のモデルを作成する。

R4 年度は、(a) 熱分解によって廃棄物層から発生するガスの成分と流量を見積もり、(b) 廃棄物層の上面から燃焼室に入るガスの流動と燃焼の計算をした上で、(c) そこに投入されたもみ殻粒子の挙動、すなわち粒子の軌道や温度上昇、燃焼室内に滞留する時間などを、計算によって追跡・評価できるようにした。



もみ殻混焼あり

もみ殻混焼なし

図 2-77 飛灰内の未燃もみ殻と見られる黒い粒^[2-31]

R5 年度においては、木質系・農業系バイオマス投入時の燃焼シミュレーションを通じて、バイオマスの燃焼挙動を評価する。本評価を通じて、もみ殻をはじめとするバイオマスの温度上昇と熱分解を扱う計算モデルを改良し、二次燃焼空気を導入した上で、焼却炉に投入されたバイオマス燃料の挙動（燃えやすさ）に関する知見を得ることを目的とする。

2-7-2 ストーカ炉のシミュレーションモデル

(1) モデルの全体構成

ストーカ式焼却炉の内部を、廃棄物が積み重なっている部分と、その上の空間の部分とに分けて考える。図 2-78 に示される「廃棄物層上面」の下側を廃棄物層、その上をガスが燃焼する空間すなわち燃焼室とする。ここでは、積み重なった廃棄物を、廃棄物層というひとまとまりのものとみなして扱うことにした。すなわち、廃棄物層の組成と温度を仮定した上で、そこから熱分解によって発生するガスの平均的な流量と成分を、

質量保存則が守られるように計算する。ただし、廃棄物が乾燥ストーカから燃焼・後燃焼ストーカへと移動するのに伴い、水分や可燃分の割合が変化するので、三つのストーカは区別し、ストーカ毎に発生するガスの量を見積もることとする。

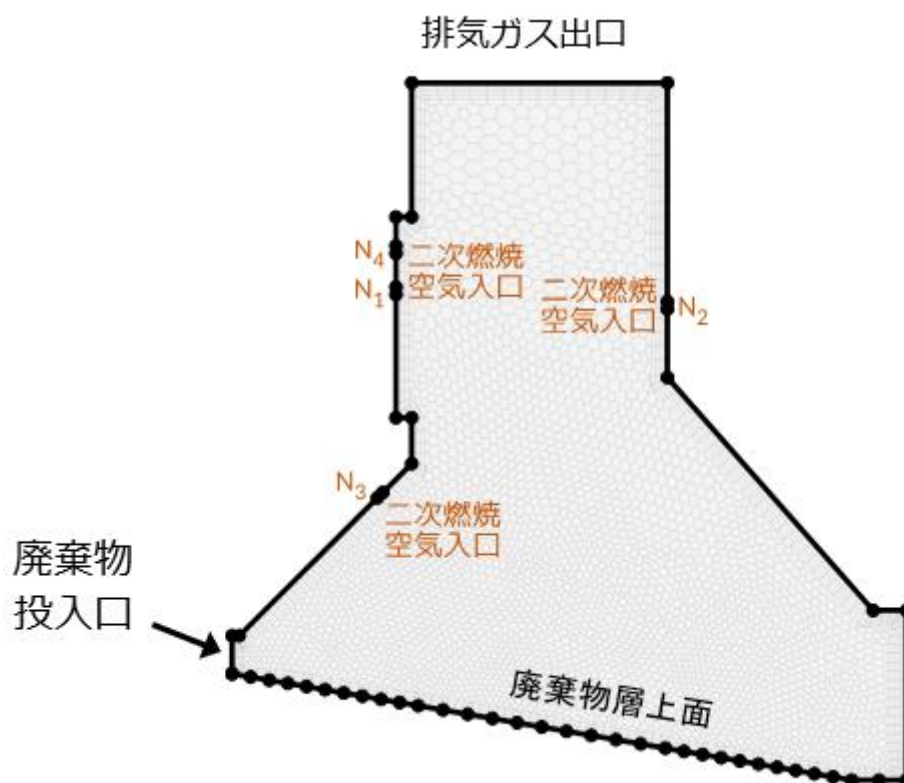


図 2-78 計算モデルの概要

廃棄物層の上側の燃焼室については、有限体積法を用いた通常の数値流体シミュレーション（＝CFD シミュレーション）を行う。すなわち、廃棄物層から発生したガスが空気と一緒に流入し、燃焼しながら流れていく体系を、CFD 用のソフトウェア STAR-CCM+ によって計算する。燃焼とそれに伴う輻射伝熱の扱いには計算時間がかかるため、二次元系として計算をすることにした。

図 2-79 には計算モデルの境界条件を示す。空気および熱分解で発生したガスは、廃棄物層上面から燃焼室に流入する。このように、廃棄物層と燃焼室を分けて扱うモデル化は、焼却炉の数値計算に関するレビュー論文^[2-32]にも記述されており、一般的なアプローチの一つになっている。もみ殻は乾燥および燃焼ストーカの廃棄物層表面に粒子として配置した。もみ殻成分はセルロース・ヘミセルロース・リグニン・シリカで構成されているものとし、それぞれの割合は 31%、21%、27%、21%とした。

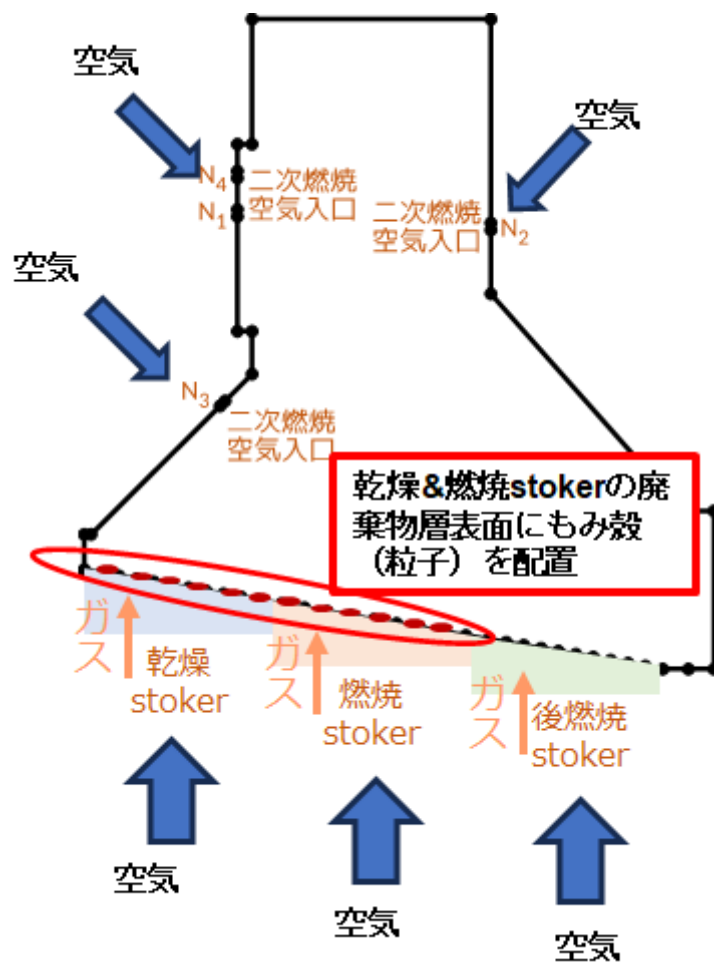


図 2-79 計算モデルの境界条件

(2) 廃棄物の熱分解とガス化

今回のシミュレーションで用いられる廃棄物の熱分解とガス化のモデルが、図 2-80 に示されている。廃棄物がバイオマス・プラスチック・水分から成るとみなせるため、バイオマスは乾燥木材で、プラスチックはポリエチレンで代表した。乾燥木材の熱分解モデル^{[2-33],[2-34]}では、熱によって char, tar, gas の三つに分解したのちに、メタン・水素・二酸化炭素・一酸化炭素などのガスになる。その際、char と tar は酸化反応を経る。char と二酸化炭素・水蒸気との反応は省略する。ポリエチレンは、分解したのちに酸化され、二酸化炭素と水蒸気になると仮定される。これらの酸化反応に際して発生する反応熱は考慮されない。

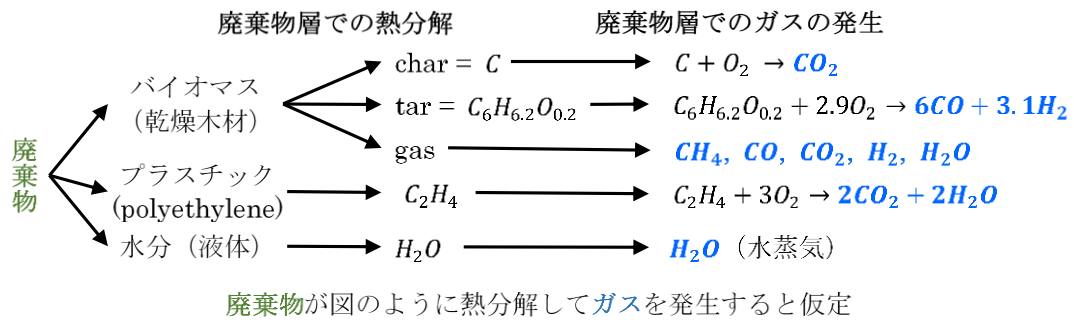


図 2-80 廃棄物の熱分解とガス化のモデル

(3) もみ殻の燃焼モデル

図 2-81 にはもみ殻の燃焼モデル^[2-35]を示す。本熱分解モデルはカールスルーエ工科大学の研究者グループによってストーカ炉のシミュレーションモデルとして提案されたものであり、燃焼実験用の施設“KLEAA,” 廃棄物発電の実証プラント“TAMARA”(7.2 t/d), 実用プラント“MHKW Frankfurt”(552 t/d)で得られた測定データと比較することにより、妥当性が確認されている。KLEAA と TAMARA における実験では、松の木や廃棄物固形燃料“SRF”(Solid Recovered Fuel) など、セルロース・ヘミセルロース・リグニンを主成分とするものが用いられており、KLEAA の実験では、燃焼室内のガス温度は 850℃程度であり、佐賀市焼却炉と同等な条件となっている。以上より、本熱分解モデルは佐賀市焼却炉の炉内シミュレーションモデルに適用可能であると考えられる。

本図に示される各熱分解は、成分のかさ密度 ρ_i を変数とする以下の線形常微分方程式に従って進行すると仮定している。 R は気体定数、 T は温度である。右辺の係数 k_i に含まれる前指数因子 A_i および活性化エネルギー E_i は表 2-25 に示す。

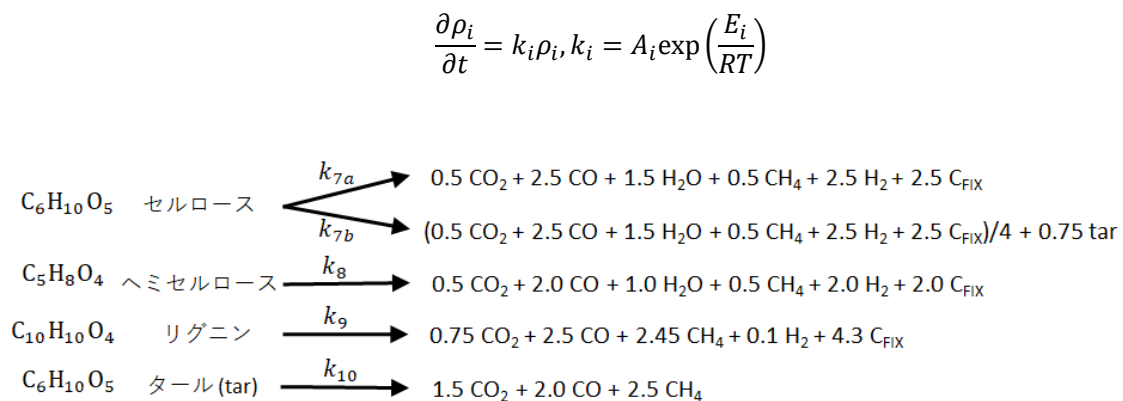


図 2-81 もみ殻の熱分解モデル

表 2-25 熱分解の速度定数に含まれる定数

成分	係数	A_i [sec ⁻¹]	E_i [kJ/mol]
セルロース（上側の経路）	k_{7a}	$2.0 \cdot 10^8$	132
セルロース（下側の経路）	k_{7b}	$3.0 \cdot 10^{13}$	195
ヘミセルロース	k_8	$1.0 \cdot 10^7$	105
リグニン	k_9	$1.5 \cdot 10^{14}$	192
タール	k_{10}	$2.0 \cdot 10^7$	122

2-7-3 シミュレーションの試計算結果

(1) 計算条件

前章までに記述されたモデルを用いて、CFD シミュレーションを行った。2022 年 7 月 3 日 1 号炉運転日報^[2-31]に基づき、廃棄物の総処理量は全部で 91 トン/日とし、その構成はもみ殻 10 トン、乾燥木材 17.1 トン、プラスチック 5 トン、水分 50 トン、その他 11 トンと仮定した。廃棄物層表面に存在するもみ殻量は 100kg/day とした。廃棄物層下部から導入される空気流量は 1 次が 10428Nm³/h、2 次が 1801Nm³/h と設定した。廃棄物量、空気流量の各 Stoker に対する配分は表 2-26 に示した通りである。

計算結果の妥当性について、本条件にて出口空気温度が 888.36℃(870℃～950℃)酸素濃度が 8.89% (7～10%) になることを確認した。カッコ内は 2023 年 7 月 28 日に実施した清掃工場におけるヒアリング結果をベースに設定した目標値であり、本解析結果はその目標値内に収まっていることが確認できる。

表 2-26 廃棄物量、空気流量の各 Stoker に対する配分

	乾燥	燃焼	後燃焼
1 次燃焼空気 (%)	10.5	64.5	25
可燃物 (%)	10	80.0	10
水分 (%)	70	30	0
廃棄物層表面のもみ殻 (%)	50	50	0

もみ殻粒子の直径は 0.764mm^[2-37]、球形度は 0.25 とし、比熱は 1501J/(kgK)^[2-38]とした。密度について、もみ殻がその内側に抱えている空気と一緒に移動すると考え、かさ密度相当(100kg/m³)とした。

(2) 計算結果

表 2-27 には燃えやすさ評価結果（各領域の廃棄物層表面に存在するもみ殻に関する飛散・燃え残り割合）を示す。乾燥ストーカの廃棄物層表面に存在するもみ殻は 73.33% が燃焼室出口に到達し、全体の 5.12%のチャーが燃え残るという結果となった。燃焼ス

トーカの廃棄物層表面に存在するもみ殻は 97.5%が燃焼室出口に到達し、全体の 0.88%のチャーが燃え残るという結果となった。

表 2-27 各領域の廃棄物層表面に存在するもみ殻に関する飛散・燃え残り割合

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	73.33	97.5
燃え残り割合 (%)	5.12	0.88

(3) 感度解析結果

今後のオペレーションの参考情報として、1次燃焼空気量、2次燃焼空気量、廃棄物層表面のもみ殻量（もみ殻投入量）についてのパラメータを変更し、燃えやすさを評価した。1次燃焼空気量は乾燥ストーカ領域から投入する1次燃焼空気量を半分に制限し、炉内全体に投入される酸素量を減らさないために、乾燥ストーカで減らした空気量の分だけ、燃焼ストーカから投入する空気量を増加させた。2次燃焼空気量は $\pm 50\%$ とした。廃棄物層表面は 1kg/day、10kg/day、50kg/day とした。また、もみ殻をバークの組成（セルロース 25.2%、ヘミセルロース 30.3%、リグニン 44.5%）^[2-39]に変更した場合における燃えやすさを評価した。

表 2-28 には乾燥ストーカ領域の1次燃焼空気を半分にしたケースの燃えやすさ評価結果を示す。乾燥ストーカの廃棄物層表面に存在するもみ殻の飛散割合は 20%に低下し、燃え残り割合は 0.88%に低下するという評価結果を得た。本解析結果は1次燃焼空気量を減らすことで、もみ殻の飛散割合を減少させ、結果として燃え残りを減らす効果が示唆している。

表 2-29 には2次燃焼空気量（ $\pm 50\%$ ）に関する燃えやすさ評価結果を示している。2次燃焼空気-50%の場合、飛散割合の低下し、ガス温度は上昇するため、燃え残り割合が低下する（図 2-82 左）。2次燃焼空気+50%の場合、飛散割合は上昇している。これは、乾燥ストーカ上部領域での流速が上がり圧力が下がった結果、乾燥ストーカ領域での上昇速度が増加したことが要因と考えられる。一方、ガス温度が高い中心部を通るもみ殻量が増えるため、結果として、燃え残り割合が低下する（図 2-82 右）。

表 2-28 乾燥ストーカ領域の1次燃焼空気を半分にしたケースの燃えやすさ評価結果

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	20.0	90.0
燃え残り割合 (%)	0.88	0.0

表 2-29 2次燃焼空気量に関する燃えやすさ評価結果

(a) -50%変化させた場合

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	66.67	97.5
燃え残り割合 (%)	3.57	0.0

(b) +50%変化させた場合

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	76.67	97.5
燃え残り割合 (%)	2.75	0.0

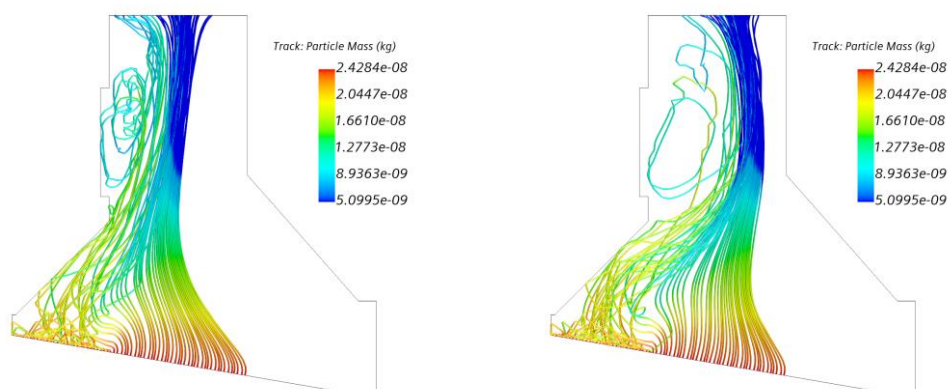


図 2-82 もみ殻の熱分解モデル一つのもみ殻粒子に含まれるチャーの質量
(乾燥/燃焼ストーカの廃棄物層表面に配置された粒子の挙動)

表 2-30 には廃棄物層表面に存在するもみ殻量を変化させたケースの燃えやすさ評価結果を示している。本感度解析では廃棄物層表面に存在するもみ殻量に対する燃えやすさ依存性は確認できなかった。これは、もみ殻の燃え残る要因が、局所的な酸素不足によるものではなく、もみ殻が飛散する経路に影響（炉内の温度が十分高くない領域を通過する）を受けているためと考えられる。

表 2-30 廃棄物層表面に存在するもみ殻量を変化させたケースの燃えやすさ評価結果

(a) 1kg/day

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	70.0	97.5
燃え残り割合 (%)	5.22	0.29

(b) 10kg/day		
	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	63.33	100.0
燃え残り割合 (%)	3.92	0.64

(a) 50kg/day		
	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	73.33	97.5
燃え残り割合 (%)	3.47	0.88

(b) 100kg/day		
	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	73.33	97.5
燃え残り割合 (%)	5.12	0.88

表 2-31 にはバークの組成を用いたケースの燃えやすさ評価結果を示している。バークともみ殻は同じ形状（直径:0.764mm、球形度:0.25）・密度（100kg/m³）のため飛びやすさに大きな変化は見られないが、バークの方が 2 倍程度もみ殻より燃えやすいという結果が得られた。バークは最も分解しやすいリグニンが多く含まれ、各粒子の発熱が多くなり、粒子単体の温度が上昇した結果燃焼が促進されると考えられる。温度上昇幅はもみ殻：856K、バーク：1410K と評価された。同じ形状でバークの真密度相当（700kg/m³）を用いた場合、飛散・燃え残り割合は 0% という解析結果が得られた。

表 2-31 バークの組成を用いたケースの燃えやすさ評価結果

	乾燥	燃焼
飛散割合 (%)	80.0	97.5
燃え残り割合 (%)	2.96	0.45

2-7-4 まとめ

R5 年度においては、木質系・農業系バイオマス投入時の燃焼シミュレーションを通じて、バイオマスの燃焼挙動を評価する。本評価を通じて、もみ殻をはじめとするバイオマスの温度上昇と熱分解を扱う計算モデルを改良し、二次燃焼空気を導入した上で、焼却炉に投入されたバイオマス燃料の挙動（燃えやすさ）について検討した。本解析結

果より、乾燥ストーカの廃棄物層表面に存在するもみ殻が飛散した場合、燃焼室出口に到達し、チャー燃え残る可能性があることが示唆された。

感度解析結果より、1 次燃焼空気量を減らすことで、もみ殻の飛散割合を減少させ、結果として燃え残りを減らす効果が示唆された。また、2 次燃焼空気を操作することで、燃え残りが減らせる可能性が示唆された。もみ殻投入については、燃え残り割合という観点からは影響がないことが示唆された。

清掃工場におけるもみ殻混焼時のオペレーションの工夫として、1 次燃焼空気および 2 次燃焼空気の最適化が挙げられる。1 次燃焼空気量を減らすことで、もみ殻の飛散割合が減少し結果として不完全燃焼を減らすことから、例えば 1 次燃焼空気の温度を可能な限り上げることで、乾燥効果を減らすことなく 1 次燃焼空気量を減らすなどの工夫が考えられる。また、2 次燃焼空気を再調整し、できる限り多くの飛散したもみ殻が燃焼室中央部を通るようにすることでもみ殻の不完全燃焼を減らせる可能性がある。

2-8. まとめ

本章の最後に本施設へのバイオマス調達の考え方をまとめる。

バイオマスの調達は、ごみ処理という本施設の本来の機能を損なわないように考える必要がある。一方で、これまで述べてきたようにバイオマスの燃料としての性質にはごみの補助燃料として有効と考えられる面もある。

したがって、

- ① 清掃工場の運用状況を考慮する
ごみ処理量やごみピット残量への負荷を増やさないようにする
- ② ごみ質（発熱量）を考慮する
ごみ質が低質なときにバイオマスでカロリーアップを図る
- ③ 高発熱量であるバイオマスの性質を有効活用する
低質なバイオマスと高質なバイオマスを見極め、上記カロリーアップに資する保管や乾燥で高質バイオマスへの改善可能なものは、保管場所を考慮する
- ④ バイオマス発生箇所における処理課題の解決も考慮する
処理に困っているバイオマスも可能な限り受け入れる

という基本的な考え方を元にバイオマスの受け入れ時期や量について整理する。

- ① 清掃工場の運用状況を考慮する
図 2-83 に R4 年度の本施設の設備稼働状況、月別のごみ搬入・焼却量、およびごみピットの残量を並べて示す。
例年 11 月には設備の定期点検のためにすべての炉やタービン発電機を停止している。

この影響により、11月の焼却量は少なくなっており、ごみピット残量も最大値になる。
また、その前後、10月と12月にはごみピット残量を調整するために焼却量が多くなっていることがわかる。

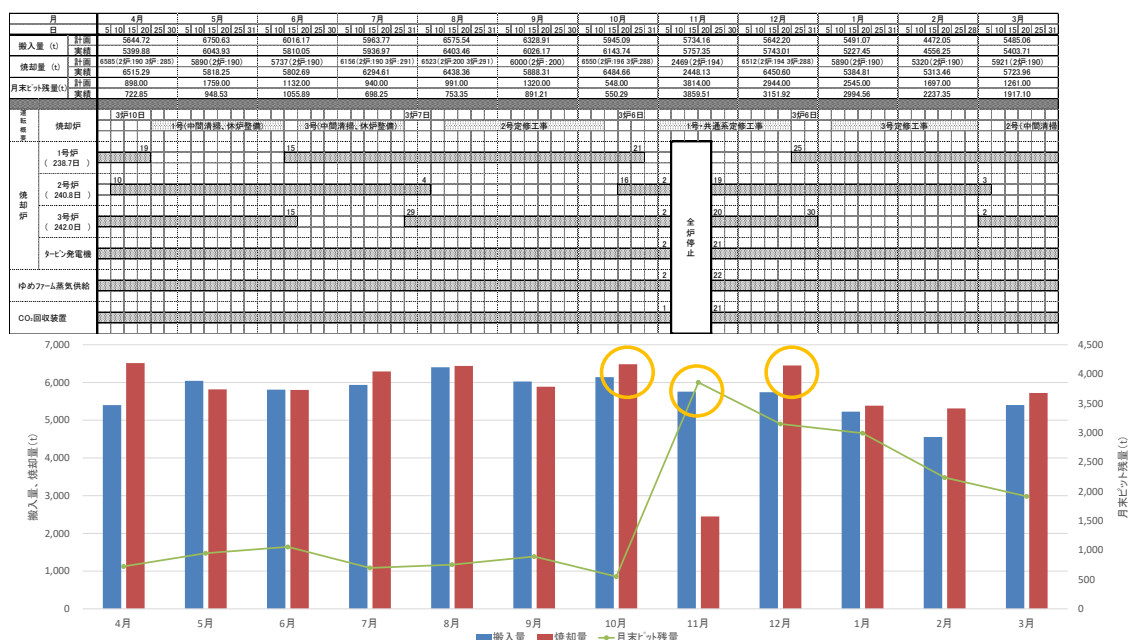


図 2-83 本施設の運用状況 (R4 年度)

このような状況から、10～12月には本施設の本業であるごみ処理機能のため、大量のバイオマス調達や混焼は避けるべきである。

② ごみ質（発熱量）を考慮する

図 2-84 に R3 年度からのごみの発熱量の分析結果を示す。前述の通り、本施設設計時の基準ごみは 7,950kJ/kg、高質ごみは 11,720kJ/kg となっている。ごみの発熱量は概ね設計基準値の範囲内ではあるものの、R4 年度の 8 月と 9 月には基準ごみを下回る発熱量が見られたり、R3 年度の 7 月には高質ごみを上回る発熱量になっているように、変動が見られる。

関係者へのヒアリングによると、例年夏季にはごみ質が低下する傾向があるとのことで、実際にデータを見ると、R3 年度は 9、10 月、R4 年度と R5 年度は 8、9 月に相対的に発熱量が低くなっている。

これに対し、バイオマスの発熱量は表 2-13 で述べたように、湿潤ごみのもみくずを除き、10,000～17,000kJ/kg と高いため、ごみ質が低いときの補助燃料としての役割が期待できる。

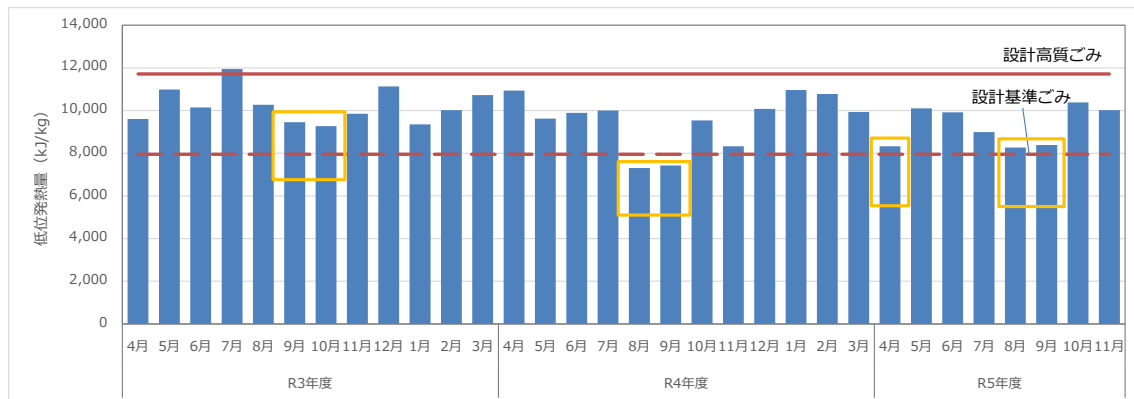


図 2-84 ごみ質（発熱量）の変化

③ 高発熱量であるバイオマスの性質を有効活用する

表 2-32 に発熱量や水分を中心に抜粋した各バイオマスの分析値を示す。湿式で得られるもみくずは例外的に発熱量低いが、それ以外のバイオマスの発熱量は 10,000～17,000kJ/kg で設計高質ごみの発熱量と同等かそれ以上である。

仮に、設計基準ごみの発熱量を下回った 7,300kJ/kg のごみと概ね安定的に得られる発熱量である 10,000kJ/kg のごみに対して、バイオマスを混合した場合、発熱量の増加効果がどの程度得られるのかを計算で示した結果を図 2-85 に示す。

混合するバイオマスは比較的発熱量が低い高水分のバーク（9,266kJ/kg）と流木（15,263kJ/kg）を想定した。

表 2-32 各バイオマスの分析値（表 2-13 から抜粋）

		もみ殻	パーク	パーク 2回目	流木	竹チップ	木くず	家具端材※	麦殻	もみくず
採取日		2023/1/31	2022/6/30		2023/2/7	2022/9/9			2022/9/9	2023/1/31
かさ比重	g/cm ³	0.13	0.14	0.18	0.24	0.12	0.25	0.22	0.27	0.31
水分	%	10.92	48.41	19.65	13.67	23.07	34.64	5.54	12.91	63.69
灰分	%	21.16	2.19	1.49	2.43	7.69	4.52	0.94	6.48	7.89
可燃分	%	67.92	49.40	78.86	83.90	69.24	60.84	93.52	80.61	28.42
低位発熱量 (Dry)	kJ/kg-dry	13,230	17,960	18,670	17,680	16,520	16,950	18,260	16,280	14,360
低位発熱量 (Wet)	kJ/kg-wet	11,785	9,266	15,001	15,263	12,709	11,079	17,248	14,178	5,214

※家具端材はブリケット化したもの

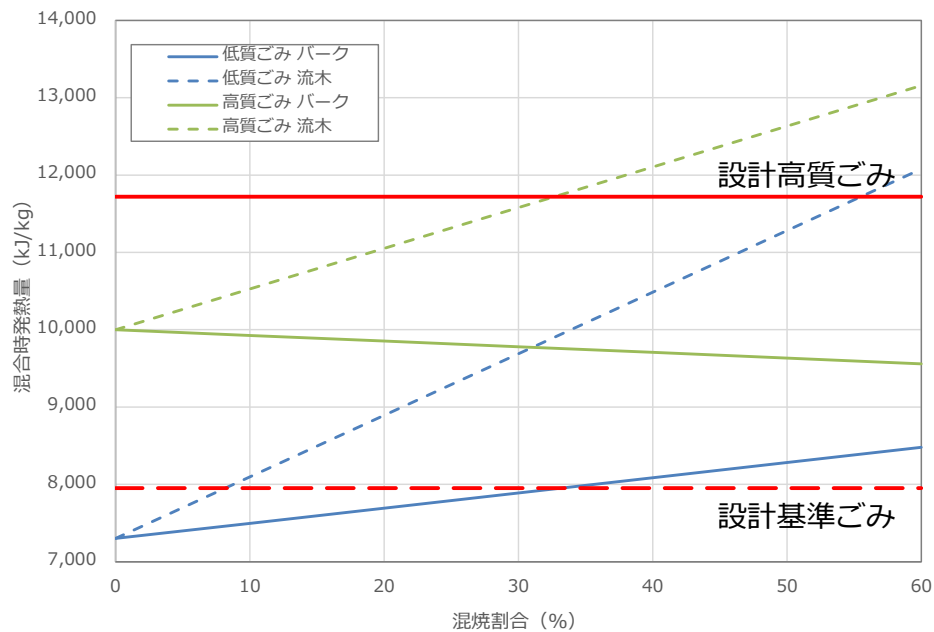


図 2-85 バイオマス混合による発熱量の変化

この結果から、ごみ質が低い場合、バイオマスを 10～30%導入することによって、基準値以上の発熱量になることがわかった。一方、ごみ質が高い場合には、発熱量が高いバイオマスを多く混合すると、設計高質ごみ以上の発熱量になるので、注意が必要である。

次に、これらバイオマスの管理基準について考える。図 2-48 ではバイオマスの可燃分割率が発熱量と相関することを示したが、バイオマスの可燃分割率を求めるためには工業分析が必要で、現場ですぐに結果を見ることは難しい。そこで、図 2-86 にバイオマスの水分と発熱量の関係を整理して示す。

この図から、もみ殻を除いてバイオマスの発熱量は水分と相関があることがわかる。

もみ殻は前述の通り、他のバイオマスに比べて灰分が多いため、乾燥しても可燃分が少ないことが分かっている。

したがって、もみ殻以外のバイオマスについては水分を指標として発熱量が推測できると言える。バイオマスの発熱量は、水分 40%以下で 10,000kJ/kg 以上、水分 30%以下で 12,000kJ/kg が見込まれる。

このことから、野ざらしで保管されているバークのような原料については屋根付きのストックヤードなどで水分が増加しないように管理することも重要と言える。

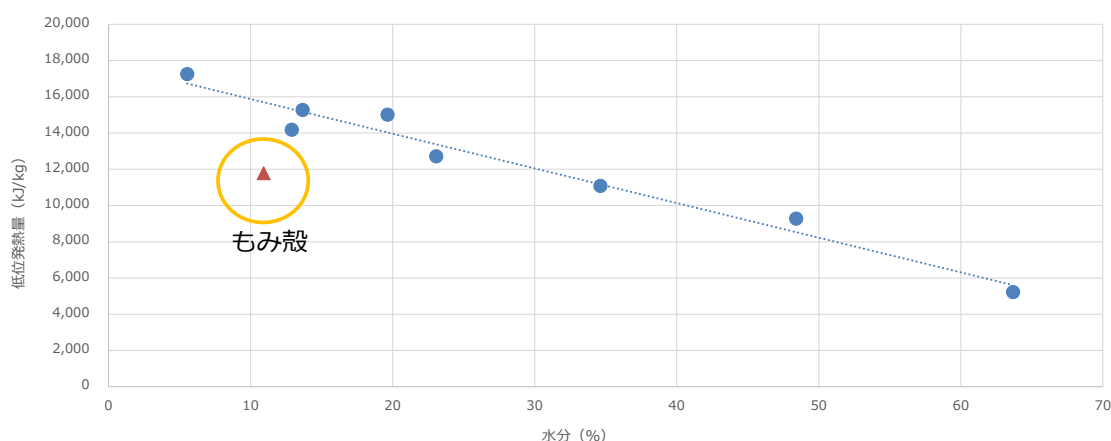


図 2-86 バイオマスの水分と発熱量の関係

④ バイオマス発生箇所における処理課題の解決も考慮する

これまでの考察に基づいて、図 2-87 に本施設へのバイオマス調達のイメージを示す。本施設の運用に対して、効果的にバイオマスを混焼するには、以下の指針が考えられる。

- ごみピットの処理の観点から、10～12 月はバイオマスの混焼を行わない
- 夏季のごみ質低下時に発熱量が高いバイオマスを混焼する（10%混焼で 600t/月程度）
- それ以外の時期はごみ質と量によって、適宜地域課題のバイオマスを受入れる（発熱量の調整範囲から 20%以下程度）

また、将来的にはプラごみの減少によるごみ質低下やごみ量の減少を補うために積極的にバイオマスを混焼することも考えられる。

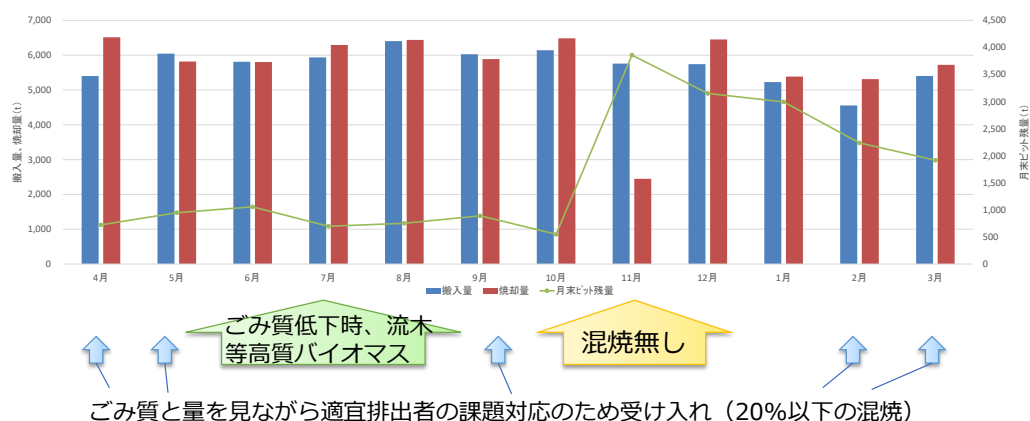


図 2-87 本施設へのバイオマス調達のイメージ

① バイオマス調達・運転計画

図 2-87 のバイオマス調達イメージを受けて、図 2-88 に、新規に作成した「バイオマス調達・運転計画」を示す。

当該計画では、本実証事業の成果を実際に運用している運転計画に反映し、R6 年度以降のバイオマス搬入を効率的かつ効果的に実施できるよう工夫している。

バイオマス調達・混焼をタイムリーに行うことで、2 炉の定格運転（200 トン／日）が安定的に可能であり、ごみピット残容量を一定程度確保できることのできることから梅雨時期や夏季のごみ質低下による燃焼悪化を回避できる。

具体的には、春から夏にかけて、木くずを中心にバイオマスを調達・導入し、流木、もみ殻、家具端材等も 10～20 トン/月受け入れることとしている。

この取組みにより、焼却炉の低負荷運転や 1 炉運転することが回避でき、焼却プラントの省エネ等、効率的運用につながる定格運転を継続できるとともに、外部への発電や熱の供給の安定化を図ることができると考える。

【令和6年度】佐賀市清掃工場 バイオマス調達・運転計画

rev.6

2023年12月5日最新版

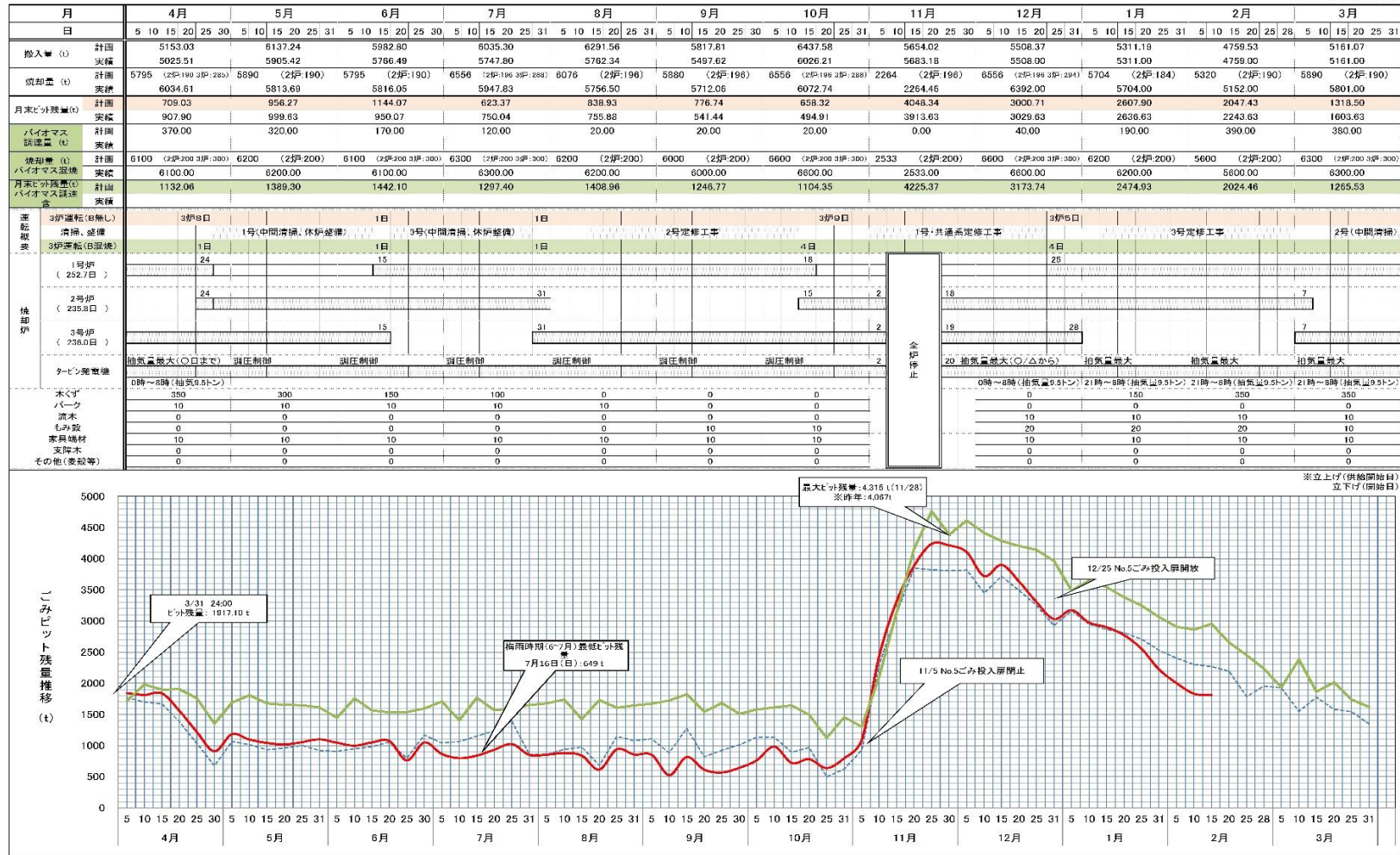


図 2-88 バイオマス導入による本施設の運用イメージ

参考文献

- [2-1] 佐賀市，佐賀市一般廃棄物処理基本計画【改定版】，(2020)
- [2-2] 佐賀市清掃工場からの提供情報
- [2-3] 佐賀市清掃工場パンフレット
- [2-4] 日本製紙連合会，紙・板紙 需要推移，
<https://www.ipa.gr.jp/states/paper/index.html>
- [2-5] 農林水産省，バイオマス産業都市の取組，
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_sangyo_toshi/b_sangyo_toshi.html
- [2-6] 佐賀市，佐賀市バイオマス産業都市構想，(2020)，
<https://www.city.saga.lg.jp/main/7639.html>
- [2-7] NEDO，バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計（現在は公開終了）
- [2-8] JA さが，佐賀米生産取組，(2021)（現在は公開終了），
<http://www.saganet.ne.jp/jasaga/nosan/torikumi02.html>
- [2-9] 農林水産省，小規模な木質バイオマス発電の推進について，(2015)，
https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/018_02_00.pdf
- [2-10] 農水省，作物統計調査
- [2-11] （株）三菱総合研究所，エネルギーの地産地消を推進するための社会システム導入可能性調査業務報告書，(2020)
- [2-12] 井上耕三、原尚道，もみがら灰の加熱条件とその性状，無機マテリアル Vol.3, Jul., 312-318, (1996)
- [2-13] 中田ら，粃殻からの SiO₂ の製造及びその性状，北海道工業開発試験所技術資料，第 14 号，資源リサイクル研究特集号，(1992)
- [2-14] 奥谷ら，モミガライト燃焼灰分析，分子・物質合成プラットホーム利用報告書，S-16-CT-0076
- [2-15] 一般社団法人・日本繊維状物質研究協会，安全性データ資料（SDS），結晶質シリカ（クリストバライト），(2020 改訂)
- [2-16] 経済産業省、国土交通省，物流分野の CO₂ 排出量に関する算定方法ガイドライン
- [2-17] 阿部房子，森林バイオマスの熱化学的研究，林産技報，No.352，(1988)
- [2-18] 高橋ら，木質系バイオマス燃焼灰の安全性評価および有効利用，廃棄物学会，第 19 回廃棄物学会研究発表会，C5-11，(2008)
- [2-19] 溝口ら，バークペレット燃焼時におけるクリンカの生成と防止に関する研究，一般財団法人日本エネルギー学会，第 13 回バイオマス科学会議（ポスター発表），(2018)
- [2-20] 土屋陽子，木質バイオマス燃焼灰の安全性評価（その 2），電力中央研究所報

- 告, V07016, (2008)
- [2-21] 田中博通, 稲味智也, 高根大海, 全国主要河川の流木発生量と河川・流域特性に関する研究, *水工学論文集*, 52, pp.667-672, (2008)
- [2-22] 国土交通省九州地方整備局, 嘉瀬川ダム管理支所,
<https://www.qsr.mlit.go.jp/kasegawa/>
- [2-23] (株) ウッドライフ, <https://saga-woodlife.com/>
- [2-24] (株) 江里口造園, <https://e-woodlife.com/>
- [2-25] 諸富家具振興協同組合, <https://www.morodomikagu.or.jp/>
- [2-26] 陣川雅樹, 木質バイオマスの収集・運搬技術及び地域利用システムの開発動向, https://www.chisou.go.jp/tiiki/kankyo/idea/neo_sankou2.pdf
- [2-27] 佐賀市, 佐賀市一般廃棄物処理実施計画, (2021)
- [2-28] 環境省, プラスチック資源循環, <https://plastic-circulation.env.go.jp/>
- [2-29] 佐賀市環境部循環型社会推進課, プラスチック資源循環促進法の概要, (2021)
- [2-30] 農林水産省, 森林資源モニタリング調査
- [2-31] 環境省, 令和3年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証) 委託業務成果報告書, (2022)
- [2-32] Q. N. Hoang, M. Vanierschot et al., Review of numerical studies on thermal treatment of municipal solid waste in packed bed combustion, *Fuel Communications*, 7, (2021), 100013
- [2-33] Mohammad Mohseni, Bernhard Peters et al., Conversion analysis of a cylindrical biomass particle with a DEM-CFD coupling approach, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 10, pp. 343-356, (2017)
- [2-34] Colomba Di Blasi and Carmen Branca, Kinetics of Product Formation from Wood Pyrolysis, *I & EC Research*, Vol. 40, PP. 5547-5556, (2001)
- [2-35] H.Mätzing, H.-J. Gehrman, H. Seifert, D. Stapf, Modelling grate combustion of biomass and low rank fuels with CFD application, *Waste Management*, Vol. 78, pp. 686-697, (2018).
- [2-36] Siemens Digital Industries Software, Simcenter STAR-CCM+ User Guide, (2020)
- [2-37] 北野 裕樹、今田 雄司, もみ殻混焼バーナの開発, *Nikko Technical Report*, No.003, (2022)
- [2-38] 繆 冶煉, 流動層におけるセルロース系物質の熱分解特性, 筑波大学農学部, 博士論文, (1990)
- [2-39] Y. Okumura, Quantitative analysis of primary tar yields volatilized from biomass (effect of heating rate and biomass type on tar components), J.

第3章 バイオマス混焼による実証試験

3-1. 混焼計画

3-1-1 混焼計画

本施設においてバイオマスを混合導入するときのプラントへの影響と受け入れ可能割合について、本施設内の設計、運転および定期補修を行っている荏原環境プラント㈱との協議を行い、実証試験の計画を策定した。

計画項目	内容
混焼対象炉	1号炉※
混焼バイオマス	もみがら、樹皮（バーク）、木くず、 流木、麦殻、竹チップ 等
投入量	5t/日以上
混焼割合	5%以上
混焼時間	24 時間
分析項目	ごみ質測定分析 蛍光 X 線分析（主灰、飛灰） ダイオキシン測定 等
評価項目	バイオマス投入方法（ハンドリング） 燃焼管理 ・排ガス温度 ・排ガス組成 ・ボイラ蒸気圧力 ・蒸気流量 ・発電電力量 各種分析結果

※操炉状況により他号炉での混焼も実施

表 3-3-1 実証試験計画表

年度		R3 年度 1 2 月～	R4 年度		R5 年度	
バイオマス 運搬計画		もみがら	バーク、チップ、家具端材、農業系殻等	もみがら、バーク、竹チップ、流木等	バーク、チップ、家具端材、農業系殻等	もみがら、バーク、流木、木製パレット等
混焼による 実証実験	混焼実験	1号炉稼働時をメインとした断続的な混焼 →混合比、燃焼管理、排ガス・灰処理等の段階的トライ&エラー 混焼マニュアルの充実				
	灰落とし装置	SSB（圧力波式ストプロウ）の製作	SSB（圧力波式ストプロウ）の設置、運用	効果の確認、改善等	前年度成果のフィードバック	安定運用の確立
	炉内影響調査	実証前調査、混焼データの収集・整理・評価	実証前調査、混焼データの収集・整理・評価 →前年度比較、諸データの蓄積、混焼実験への反映		実証前調査、混焼データの収集・整理・評価 →前年度比較、諸データの蓄積、混焼実験への反映	

3-2. 実証と影響評価

3-2-1 ハンドリング・バイオマス投入

(1) ハンドリング実績

一般ごみ搬入口からごみピットへバイオマスを投入し、熱量の均一化とハンドリング性能を向上するため一般ごみと攪拌の後、1号炉へ投入した。

例としてバイオマスの一種である木くずを混焼する際の過程を図 3-1～3-5 に示す。

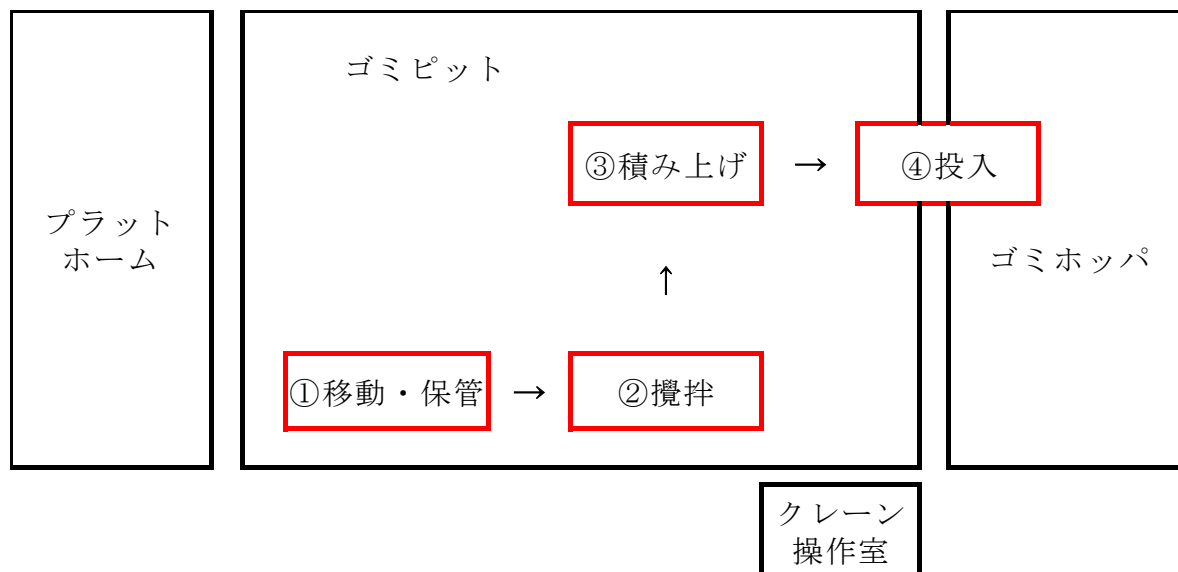


図 3-1 バイオマス混焼手順の簡略図



図 3-2 ①移動・保管（木くず）



図 3-3 ②攪拌（木くず）



図 3-4 ③積み上げ（木くず）



図 3-5 ④投入（木くず）

(2) バイオマス投入実績

2021年12月22日～2024年2月23日の間、各種バイオマス燃料を投入した。
 ごみ投入ホッパへの投入回数は計 5,355 回、投入量は 1,864t であった。また、1 日当りの投入量は 6～30t/日を基準とし、年度を増すごとに混焼割合と混焼回数を増加させ実証を実施した。混焼の実績と混焼率を表 3-2、図 3-6～3-8 に示す。
 なお、混焼割合については、バイオマスの投入目標量をクレーンで掴むと同時に計量し、一般ごみとの重量割合で管理した。

表 3-2 バイオマス投入実績

バイオマス 種別	投入・混焼期間	延日数	投入量	投入回数	混焼割合
バーク	2022年2月18日～2月20日 2022年2月25日～2月26日 2022年6月22日～7月3日 2022年10月14日～10月18日 2023年7月3日～7月9日 2024年2月21日～2024年2月23日	32日	706.6t (6～30t/日)	1090回	10～30%
麦殻	2022年8月20日～8月22日 2023年9月6日～9月12日	10日	238.5t (28.5～30t/日)	295回	10～30%
木くず	2023年9月30日～10月4日 2024年1月21日～1月23日	8日	240t (30t/日)	320回	30%
もみがら	2021年12月22日～12月24日 2022年1月5日～1月7日 2022年1月12日～1月15日 2022年1月19日～1月22日 2022年1月26日～1月31日 2022年2月2日～2月19日 2022年2月24日～2月28日 2022年12月29日～2023年1月5日 2023年2月2日 2023年2月16日～20日 2023年10月8日～10月18日 2023年10月28日～10月29日 2023年12月14日～12月23日	80日	393.9t (8～20t/日)	3150回	10～20%
流木	2023年4月21日～4月23日 2024年2月4日～2月5日	5日	120t (24t/日)	200回	20%
竹チップ	2022年8月25日～8月27日 2023年1月6日 2023年1月20～1月21日 2023年12月25日～12月26日	8日	165t (10～30t/日)	300回	10～30%
合計	2021年12月22日～2024年2月23日	143日	1,864t (6～30t/日)	5,355回	10～30%

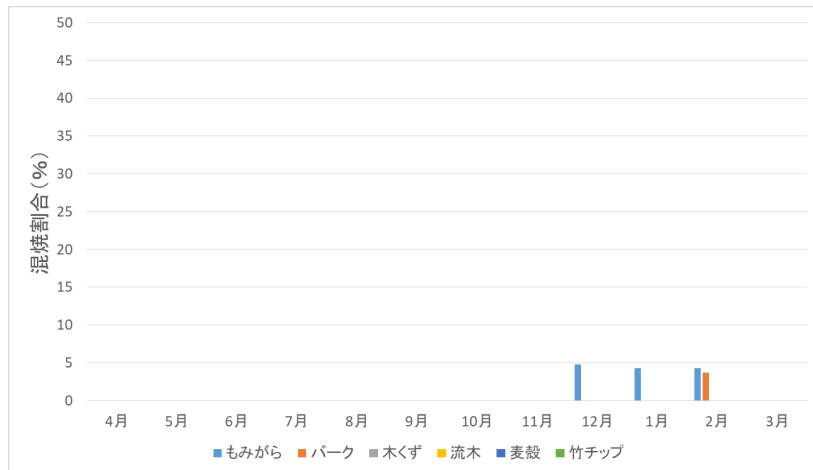


図 3-6 各種バイオマス燃料の混焼割合実績（R 3 年度）

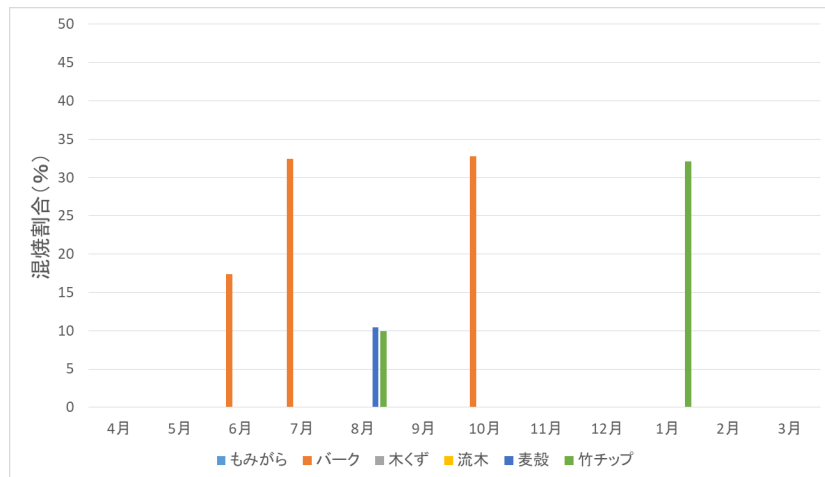


図 3-7 各種バイオマス燃料の混焼割合実績（R 4 年度）

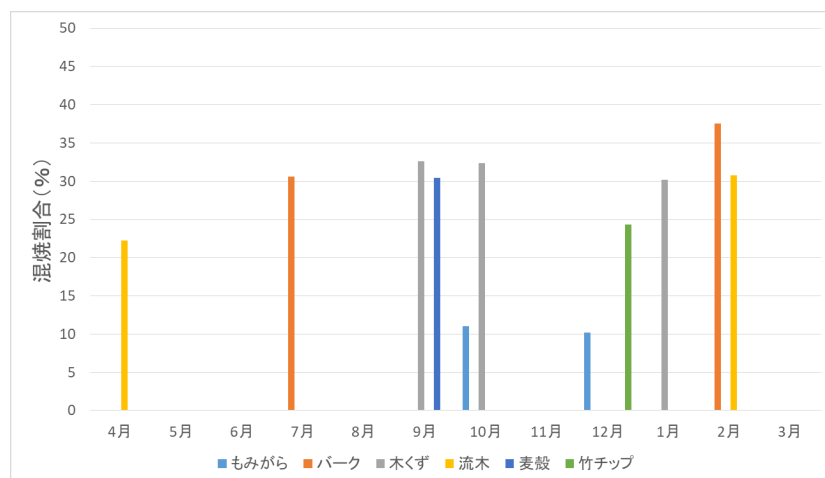


図 3-8 各種バイオマス燃料の混焼割合実績（R 5 年度）

(3) ハンドリング・バイオマス投入評価

もみがらはクレーンで掴みにくく運搬に時間がかかることに加えて空中に舞ってしまい視界不良を引き起こす事があるため、運転員にはあらかじめ注意喚起をするなどの安全対策が必要である。加えて、投入ホッパ周辺にもみがら等が散乱することで、給じん装置の戻りごみが増加し、清掃にかかる時間が増加する事象が報告された。

また、バイオマス混焼時はバイオマスを一か所に集めて乾燥させ、その後一般ごみと混ぜて燃焼する。その為、通常のごみ投入に比べると、バイオマスを一般ごみと攪拌（混ぜ込む）させる手順が必要となり、約2倍近くの時間が必要となった。

しかし、今回実施したバイオマス投入のプロセスは実証試験に限り行っている為、今後恒久的にバイオマスを搬入・混焼する上では一般ごみの搬入・投入と作業性に大きな変化はないと考えられる。

一方、引き続きバイオマスを投入の際には飛散等に注意する必要がある。

3-2-2 燃焼管理

(1) 燃焼管理実績

混焼前後において発生蒸気量、発熱量の上昇を確認できた。

特にバークは燃えが良く、破碎可燃物と同様にごみ質が悪い時や燃焼効率が下がる水草等の混焼時に助燃効果があった。

一方、バイオマス混焼割合が増すと No.2 バグフィルタ出口 CO 濃度が高くなる傾向にあるが、CO 濃度を低下させる運転がマニュアルに基づいてなされていた為、基準値以下の数値となっている。(図 3-9～3-12)

表 3-3 各バイオマス燃料のCO濃度、発熱量の特徴（一般ごみ比）

バイオマス種	CO濃度	発熱量	留意点
バーク	高	高	燃えやすく発熱量も高い為、温度管理に注意する必要がある
麦殻	高	高	燃えやすいが湿気を含んでいる事もある為、しっかり乾燥しているか確認する必要がある
木くず	高	高	燃えやすく発熱量も高い為、温度管理に注意する必要がある
もみがら	高	高	風によって散らばりやすい為、風の影響等を考慮する必要がある
流木	同	高	海や川で長期間水に浸かっていることが多い為、事前にしっかり乾燥させる必要がある
竹チップ	高	高	燃える際に強い熱を発生させることがある為、温度管理に注意する必要がある

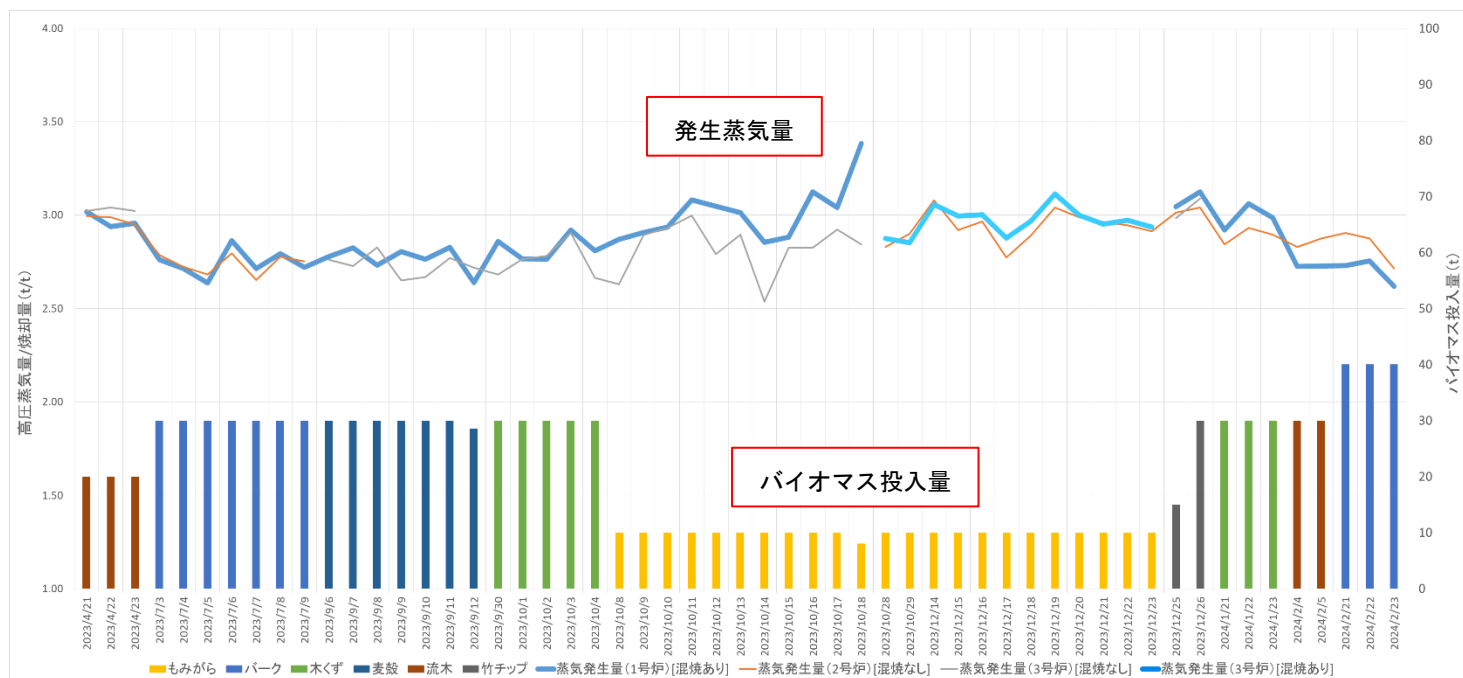


図 3-9 発生蒸気量

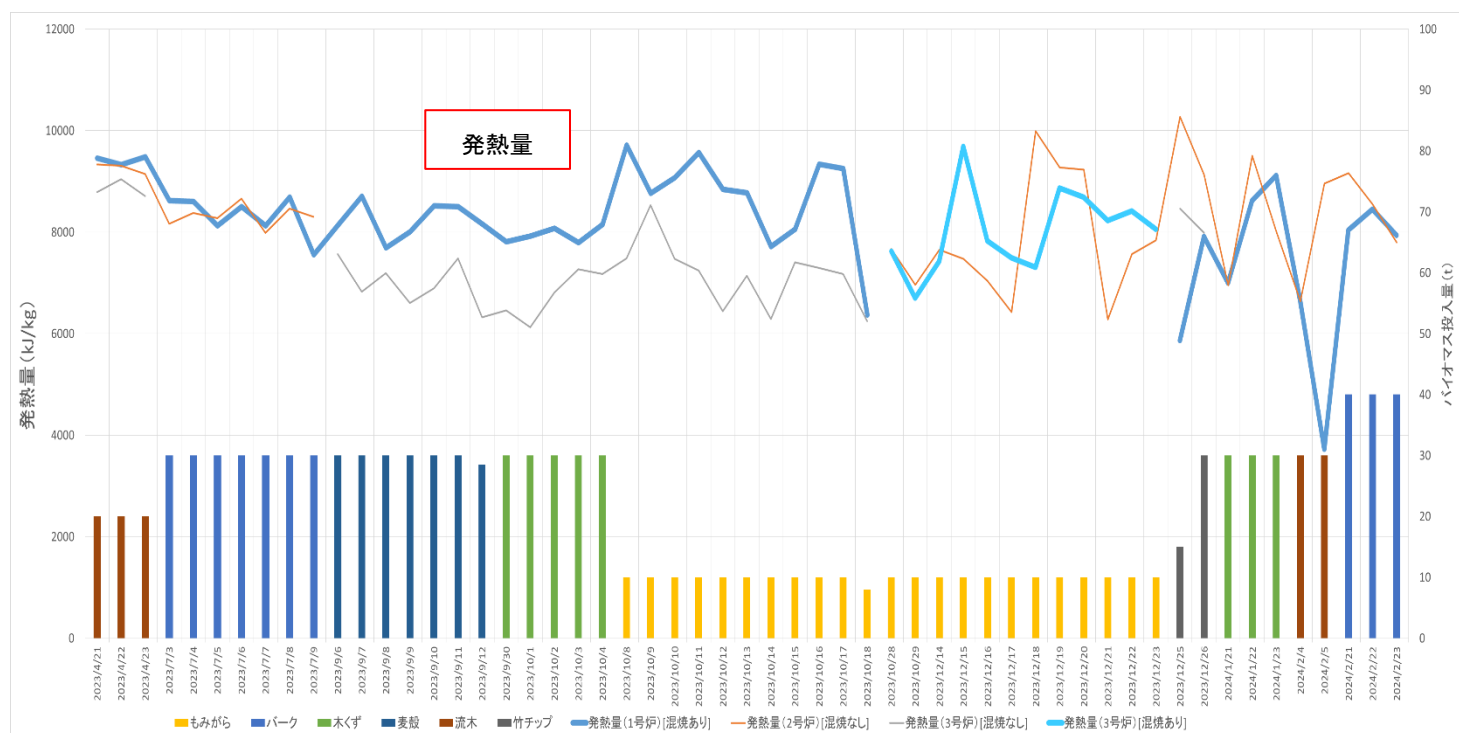


図 3-10 発熱量

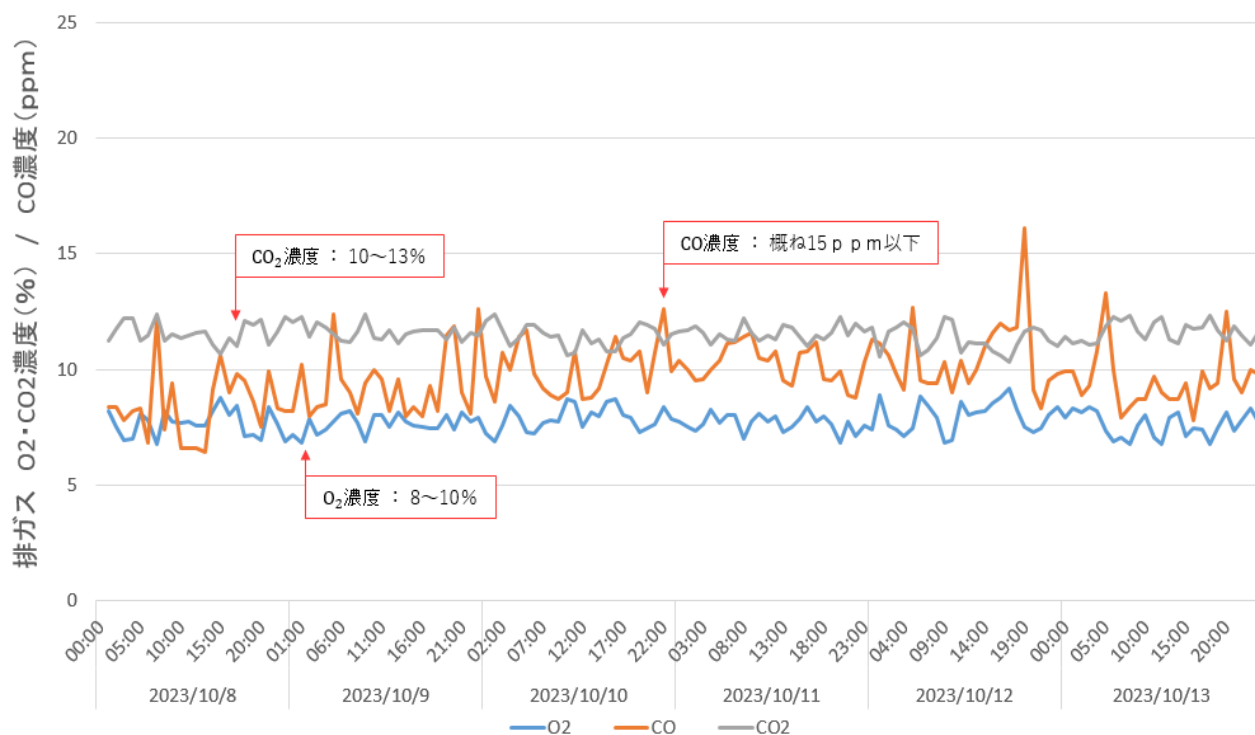


図 3-11 一般ごみ燃焼時の排ガス

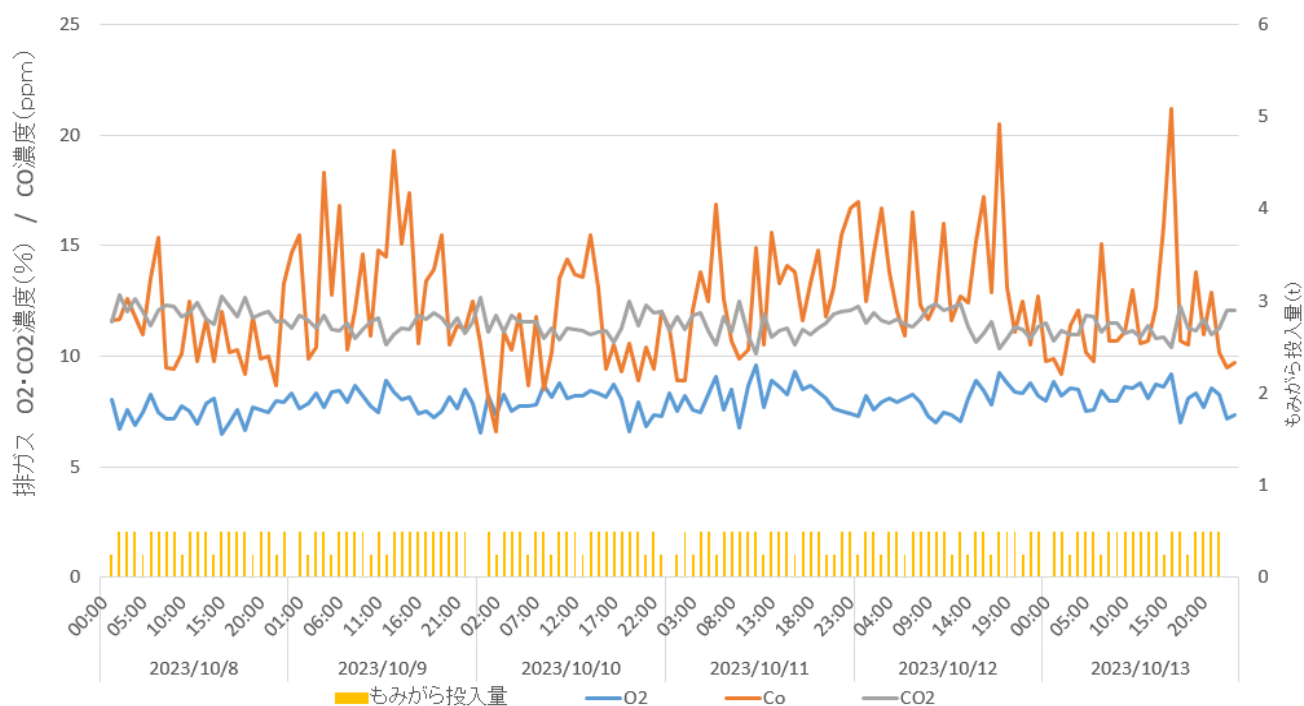


図 3-12 もみから投入量と排ガス

(2) 燃焼管理の評価

もみがらは燃焼効率が良く発熱量も高い。しかし、非常に軽く燃焼の際に舞ってしまうことから不燃となり CO 濃度が他より高くなってしまふ為、適切な焼却で完全燃焼させる必要がある。

バークは一般的に燃焼効率が良く発熱量も高い。混焼時は、炉の温度上昇に注意し、温度管理することで効果的な燃焼を実現できる。

麦殻は燃焼効率と発熱量が高いが湿気を含んでいると燃えにくくなる為、混焼前に乾燥させる必要がある。

木くずは燃焼効率が良く、発熱量も高い。しかし、サイズや湿度によって燃焼効率が変わる。

流木は海や川で長期間水に浸かっていることがある為、水分を多く含んでいると考えられる。混焼の際は事前に乾燥させてから燃焼させる事が必要である。

竹チップは燃焼効率が良く、熱量も高い。しかし、乾燥すると非常に軽くなる為、飛び散らないよう運搬の際は注意する必要がある。

(3) 蒸発量設定値を上昇させた運転の状況

炉の運転では、あらかじめ設定された蒸発量とその時期のごみの発熱量からごみの焼却量が決まる仕組みとなっており、蒸発量は設定値前後で推移するプログラムとなっている。そのため、蒸発量を上げたい場合は設定値を上昇させる必要がある。

1月21日から木くずを80t程度混焼させることに伴い、混焼に使用する1号炉について、蒸発量の設定値を上げて運転を行った。混焼前時点では1号炉と2号炉が稼働しており、共に蒸発量設定は11.5t/h、ごみ焼却量は92t/日の設定であった。

定格の焼却量は100t/日であるため、8t/日の余力があり、その余力分を使用して搬入した木くず80tを焼却させると考えれば、10日間は定格能力で焼却が行える計算である。

このため、1月21日から30日までの10日間、蒸発量設定値を11.5t/hから12.5t/hに上昇させた。

10日間で2号炉に比べ、蒸気発生量は約209t、焼却量は約41t増加した。(表3-4)木くず搬入量80tからすると、増加した焼却量が少ないため、まだ蒸発量設定値を上げる余地があると考えるが、蒸発量設定値12.5t/hの時点で、排ガスの過熱器入口温度が警報値に達することが何度もあり、これ以上の設定値上昇は炉を痛める可能性が高い。そのため、バイオマス混焼時に蒸発量の設定を上昇させる際は、炉に影響が出ない程度の負荷で長い期間運転させることが一番効率の良い運転方法であると考える。

この10日間の売電量をこの前後の期間と比較すると約40MWh増加しており、売電単価を13円/kWh程度と仮定とすると売電金額が520,000円の増額、木くず調達金額を差し引くと、約270,000円の増収となった。

表 3-4 蒸発量設定値を上昇させた運転の結果

	1号炉蒸発量設定	蒸気発生量(t/日)			焼却量(t/日)		
		1号炉	2号炉	差(1号-2号)	1号炉	2号炉	差(1号-2号)
1月21日	11.5t/h⇒12.5t/h	298.15	276.86	21.29	102.11	97.41	4.7
1月22日	11.5t/h⇒12.5t/h	295.27	277.03	18.24	96.49	94.51	1.98
1月23日	11.5t/h⇒12.5t/h	297.17	276.67	20.5	99.54	95.55	3.99
1月24日	11.5t/h⇒12.5t/h	297.48	275.85	21.63	102.17	100.56	1.61
1月25日	11.5t/h⇒12.5t/h	291.91	274.25	17.66	102.86	98.49	4.37
1月26日	11.5t/h⇒12.5t/h	295.65	274.28	21.37	103.89	100.3	3.59
1月27日	11.5t/h⇒12.5t/h	298.1	275.46	22.64	104.21	98.28	5.93
1月28日	11.5t/h⇒12.5t/h	296.69	273.76	22.93	101.53	95.82	5.71
1月29日	11.5t/h⇒12.5t/h	295.56	274.91	20.65	97.33	92.82	4.51
1月30日	11.5t/h⇒12.5t/h	297.17	275.1	22.07	100.76	95.93	4.83
合 計		2963.15	2754.17	208.98	1010.89	969.67	41.22

3-2-3 各種分析結果

(1) ごみ質及びバイオマス測定分析について

混焼時のごみ質及びバイオマスの測定分析を実施した結果を以下に示す。

(図 3-13～3-14)

各バイオマス燃料共に可燃ごみに比べ単位重量当たりの発熱量が高く、高カロリーな為、燃焼の変動や燃焼制御について注意する必要がある。また、バークの灰分については可燃ごみに比べ低い、麦殻、竹チップについては可燃ごみに比べ高いため、多量に混焼した際の燃焼機器への影響やメンテナンスに及ぼす影響についても考慮する必要がある。

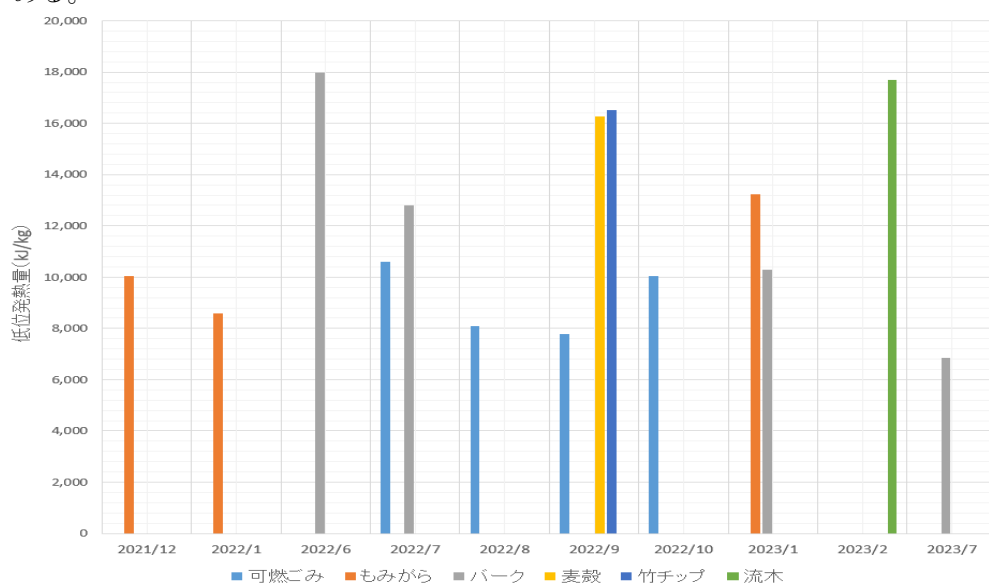


図 3-13 ごみ質及びバイオマス分析結果（低位発熱量実測値）

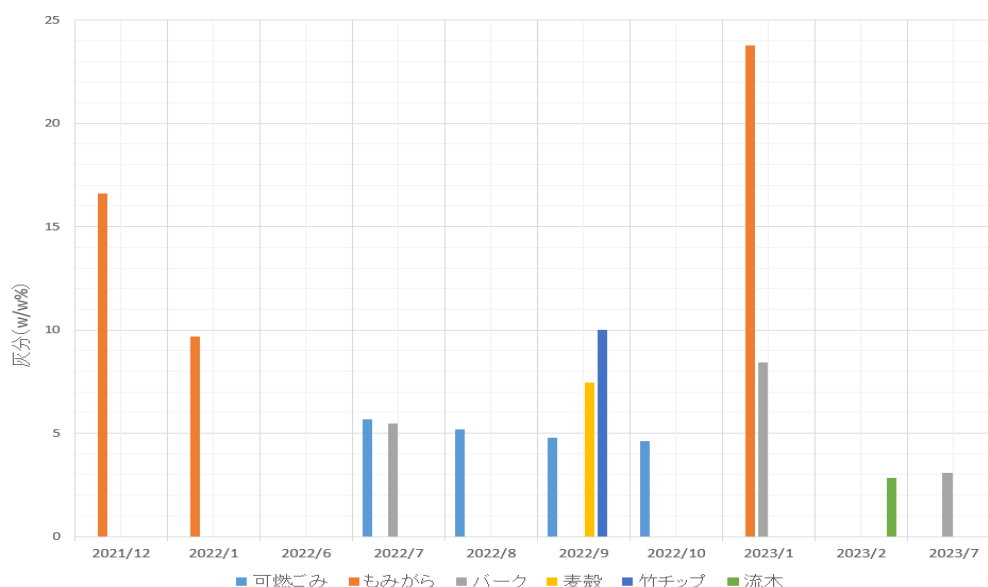


図 3-14 ごみ質及びバイオマス分析結果 (灰分)

(2) 灰分析結果について

各バイオマス混焼時にサンプリングした主灰の元素分析を実施したところ、もみがらのシリカ分が他のバイオマスより高いことが分かった。(表 3-5)

微細な結晶質シリカを吸入し、肺の中まで到達した場合、人体に影響を及ぼす可能性があるため、測定義務対象ではないが、労働安全衛生法第 65 条に準じた遊離ケイ酸含有量及び粉じん濃度測定を行った。その結果、もみがら混焼の有無での違いは特に見られず、作業環境の管理区分も変化は無かった。(表 3-6)

混焼による飛灰成分への顕著な影響は特に見られなかった。(表 3-7)

溶融点の分析では、一番低いもみがらの軟化点で 1305℃と、炉に影響が出る値ではないことが分かった。もみがら混焼灰が他のバイオマスに比べ融点が下がっているが、これはもみがら混焼灰の Ca の値が低く、塩基度が低くなっており、融点を下げる効果があったものと思われる。(表 3-8)

表 3-5 バイオマス中灰分の分析値 (主灰)

蛍光X線分析										単位 (%)	
元素	K	Si	Ca	P	S	Fe	Mn	Zn	Al	Ti	
①もみがら	9.1	87.4	1.5	—	0.4	0.2	0.6	—	0.9	—	
②パーク	5.7	29.6	23.1	—	2.6	22.8	1.5	—	12.7	1.9	
③竹チップ	4.2	25.0	37.3	2.4	0.2	18.1	0.4	0.5	6.1	—	
④麦殻	36.6	33.5	19.0	5.1	2.4	2.3	<0.1	<0.1	—	—	

採取日： ①2023/1/30 ②2023/1/31 ③2023/12/25 ④2022/8/19

表 3-6 遊離ケイ酸含有率及び粉じん濃度の測定

測定場所	混焼	各所堆積物 遊離ケイ酸含有率			合計 Q ①+②+③	粉じん許容濃度 E(mg/m ³) E=3.0/(1.19Q+1)	各所粉じん測定濃度 (mg/m ³)		評価結果	管理 区分
		①石英	②クリストバライト	③トリジマイト			第1評価値EA1	第2評価値EA2		
炉内 ストーカ	もみがら	<0.2%	<0.1%	<0.6%	0.9%	1.4	2.61	0.73	EA1≧E≧EA2	2
	混焼なし	0.5%	<0.1%	<0.6%	1.2%	1.2	2.61	0.73	EA1≧E≧EA2	2
ボイラー 内部	もみがら	<0.2%	<0.1%	<0.5%	0.8%	1.5	4.12	1.69	EA2>E	3
	混焼なし	<0.2%	<0.1%	<0.6%	0.9%	1.4	4.12	1.69	EA2>E	3
バグ内部	もみがら	0.3%	<0.1%	<0.6%	1.0%	1.4	39.29	14.38	EA2>E	3
	混焼なし	0.5%	<0.1%	<0.6%	1.2%	1.2	39.29	14.38	EA2>E	3
コンベア室	もみがら	0.8%	<0.1%	<0.5%	1.4%	1.1	0.16	0.07	EA1<E	1
	混焼なし	0.7%	<0.1%	<0.5%	1.3%	1.2	0.16	0.07	EA1<E	1

表 3-7 バイオマス混焼灰（バグフィルタ）の分析値

蛍光X線分析		単位 (%)						
元素	Ca	Cl	K	Si	S	Al	Fe	
①混焼無し	32.2	31.1	13.8	7.1	3.7	2.8	2.6	
①流木	34.9	30.1	13.2	6.6	3.3	2.9	2.6	
②パーク	36.4	28.5	13.8	5.9	3.2	2.3	2.5	
③麦殻	30.1	28.4	18.5	8.1	3.6	2.2	2.7	
④木くず	49.2	16.4	7.4	7.9	3.8	4.1	4.1	
⑤もみがら	15.9	43.1	23.7	3.9	2.9	9.0	0.3	
⑥竹チップ	38.2	30.1	12.5	5.7	3.0	1.9	2.2	

元素	Zn	Ti	P	Br	Pb	Mn	Cu	
①混焼無し	2.8	1.8	0.5	0.6	0.4	—	0.2	
①流木	2.4	2.0	0.5	0.5	0.3	0.2	—	
②パーク	2.0	3.5	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	
③麦殻	2.2	1.9	0.6	0.5	0.2	0.2	0.1	
④木くず	1.6	3.1	1.2	0.2	0.2	0.3	0.1	
⑤もみがら	0.4	—	0.9	0.1	—	—	—	
⑥竹チップ	2.4	2.1	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	

採取日：①2023/3/10 ②2023/7/7 ③2023/9/8 ④2023/10/3 ⑤2023/10/11 ⑥2023/1/6

表 3-8 バイオマス混焼飛灰溶融点分析

				単位 °C
分析対象（飛灰）	軟化点	融点	溶流点	分析方法
①パーク	1370	1370	1370	JIS M8801(2008)-12 (酸化性雰囲気)
②木くず	1360	1385	1400	
③もみがら	1305	1320	1330	

採取日：①2023/7/7 ②2023/10/3 ③2023/10/11

(3) ダイオキシン測定結果

3 か年において実施したダイオキシンの測定結果を表 3-9～3-10 に示す。

いずれの測定値も基準値以下であった。

竹チップの混焼飛灰において、他の混焼飛灰より値が高く出ているため、関連を調査したが、竹チップの燃焼がダイオキシン類の発生に影響を及ぼすとの論文は無く、他市町村施設でも竹チップの混焼が問題になった事例は特に無かった。引き続き調査を行いたい。

表 3-9 ダイオキシン類測定結果（排気ガス）

単 位	ng-TEQ/m ³	令和 3 年度		令和 4 年度		令和 5 年度	
国の基準	0.1						
清掃工場基準	0.1	採取日	毒性等（当）量	採取日	毒性等（当）量	採取日	毒性等（当）量
1 号焼却炉		7 月 6 日	0.00340	8 月 1 日	0.00077	10 月 16 日	0.00500
2 号焼却炉		7 月 6 日	0.00017	7 月 29 日	0.00088	7 月 21 日	0.00042
3 号焼却炉		7 月 6 日	0.00015	8 月 2 日	0.00089	8 月 25 日	0.00130

表 3-10 ダイオキシン類測定結果（焼却灰）

単位	ng-TEQ/ g	一般ごみ		もみがら		麦殻	
		採取日	毒性等（当）量	採取日	毒性等（当）量	採取日	毒性等（当）量
主 灰		—	—	2023年10月16日	0.0011	2023年9月8日	0.0042
飛 灰		2023年12月15日	1.1	2023年10月16日	1.2	2023年9月8日	1.3
基 準 値 ※1			3.0		3.0		3.0
単位	ng-TEQ/ g	竹チップ		木くず			
		採取日	毒性等（当）量	採取日	毒性等（当）量		
主 灰		2023年12月25日	0.2100	2024年1月22日	12.0000		
飛 灰		2023年12月25日	5.2	2024年1月22日	1.2		
基 準 値 ※1			3.0 ※2		3.0		

※1 飛灰については、固化物のため基準適応外

※2 竹チップ混焼時の飛灰の数値が高くなっているが固化処理前に測定した為、環境への影響はない

(4) 各種分析結果の評価

各バイオマス燃料は可燃ごみに比べて高い発熱量を持ち、高カロリーである為、燃焼時の温度管理には注意する必要がある。

もみ殻混焼時の飛灰の元素分析結果では、主灰については大きな変化が見られなかったが飛灰については、混焼無しの場合と比べて炭素の含有量が高くなっていることが確認できた。この増加は不完全燃焼の発生を示唆しており燃焼方法の更なる改善が必要である。

灰分についてバークは可燃ごみに比べて低い、麦殻や竹チップは可燃ごみに比べて高い数値を表している。そのため、これらのバイオマスを多量に混焼する場合は、燃焼機器への影響やメンテナンスについても考慮する必要がある

排ガス中のダイオキシンを 3 か年に渡って測定してきたが、いずれの結果も測定値が基準値以下であると示している。

(5) バイオマス混焼マニュアル

バイオマス混焼時の燃焼管理は各種バイオマスの特性に応じて適切な処理が求められる場合があるので、バイオマスの取り扱いに特化した「佐賀市清掃工場バイオマス混焼マニュアル」を作成した。

佐賀市清掃工場 バイオマス混焼マニュアル

【バイオマス混焼のコンセプト】

- バイオマス混焼により定格処理を行い、効率的な施設運用を行う。
- 蒸気発生量及び発電量を補い、発電や熱供給量を向上する。
- 焼却炉へ支障のない範囲で、安全かつ安定に運用する。
- 1 炉運転による非効率な運転を防止する。
- 夏季に低下傾向にある、ごみ質（発熱量）を改善する。

【バイオマスの活用方法】

- ごみ搬入量が少ない、ごみ質が悪い等の理由で焼却量を抑えている時

➡ バイオマス搬入分によって、
ピット残量の減り方が計画より緩やかになることを確認。

- ➡ 蒸発量設定を上昇させ、ピット残量を調整する。

※ 3 炉運転による過度なピット調整は避ける。

【各バイオマスのデータ】

測定項目、単位	家具端材	流木	パーク	麦がら	竹チップ	木くず	もみがら	麦殻くず
全水分	wt%-到着	5.54	13.67	19.65	12.91	23.07	34.64	10.92
灰分	wt%-無水	1.00	2.82	1.86	7.44	9.99	9.61	23.75
高位発熱量	kJ/kg-無水	19,730	19,130	19,960	17,690	17,810	18,330	14,360
低位発熱量	kJ/kg-無水	18,260	17,680	18,670	16,280	16,520	16,950	13,230
かさ比重	g/cm3-到着	0.22	0.24	0.18	0.27	0.12	0.25	0.13
水分を考慮した低位発熱量 kJ/kg		17,248	15,263	15,001	14,178	12,709	11,079	5,214

- パーク：発熱量が高く、炉温が上がりやすい。
- 流木：搬入時の長さに注意。発熱量が高い。
- もみがら：散らばりやすい。飛びやすい。混焼時 CO 濃度が上昇しやすい。
- 竹チップ：塩素成分を多く含む。

○発熱量の高いバイオマスでも雨で濡れてしまうと燃えやすさが低下する。

測定項目、単位	パーク（水分多）
全水分	wt%-到着
灰分	wt%-無水
高位発熱量	kJ/kg-無水
低位発熱量	kJ/kg-無水
かさ比重	g/cm3-到着
水分を考慮した低位発熱量 kJ/kg	9,266

左は雨に濡れ、水分を多く含んだ
パークのデータ

通常時に比べ発熱量が低下している。

【バイオマスの搬入】

○搬入ペース想定

1日4～5台（4t、10t車）

※運搬委託都合上、1日搬入可能性がまとめて入る。

（参考目安）

- ・もみがら（少量ずつ）（10～15t/日）
- ・流木（10.5～14t/日）
- ・パーク（14t/日）
- ・木くず（14～21t/日）
- ・麦がらくず（12～18t/日）
- ・家具端材（1t/日）

○バイオマスは1 番扉からの投入とする。

○搬入したバイオマスは、基本的にその日搬入されたごみに混ぜ込む。

○もみがらを搬入する場合は混焼比率を下げるため、家庭ごみの収集曜日に搬入を行う。もみガラ搬入量は他のごみの10%以内に収まるように制限する。

※排出者から搬入の依頼があった場合、その旨調整が必要。

○流木、バーク等のカロリーの高いものは必要に応じ、破碎可燃物ストック場所に貯留する。

【クレーン操作時の注意事項】

○もみがらは、とてもクレーンから零れ落ちやすいため、他のごみを下に敷き、共に掴むこと。

○もみガラ搬入後、多量のかたまりができないようにクレーン操作で広範囲に拡散させて混ぜ込むこと。

○流木搬入時、長尺のものが混じっていないか注意する。

【バイオマス混焼比率について】

○もみガラ：10%以内

※多量に混焼するとCO 濃度が上昇しやすくなる。

○竹：10%程度目安

※ダイオキシン濃度が上昇しやすくなる懸念がある。

○その他バイオマス：30%程度目安

※発熱量の高いものは炉温の上昇を考慮した混ぜ込みを行う。

通常ごみのごみ質が良く、炉温の上昇が懸念される場合、

バイオマスを破碎可燃物ストック場所に移動させる等の調整を行う。

【混焼時の注意事項】

バイオマス混焼全体的な留意点

○混焼時は以下のパラメータについて特に留意すること。

混焼時に異常値が出た場合は、混焼比率の見直しが必要となる。

・ 炉温：850～950℃

発熱量の高いバイオマス混焼時は温度が上がりやすい。

・ 過熱器入口温度：630℃以下

蒸発量設定が高い時は注意。

・ CO 濃度：0.0030%以下

CO 濃度が高いとダイオキシン濃度が上がる。

もみから混焼時に上昇しやすい。

・ O₂ 濃度：8～12%

空気量不足時：O₂濃度低下、CO 濃度上昇

○もみから混焼時は O₂が規定値内であっても CO 濃度が上昇する傾向がある。

➡O₂濃度が規定値内で CO 濃度上昇が見られた場合、次回の焼却炉投入分から、もみからの混焼比率を下げる。

○高負荷運転（蒸発量設定高）になると過熱器入口温度が上がりやすく、炉への負担が大きくなってしまう。

バイオマス混焼時に蒸発量設定を上げる場合は 12 t/h を上限とする。

【混焼灰の確認】

○もみから混焼時、未燃分の黒灰が多く混じっていないか、点検時に留意する。

3-3. スートブロウの変更

3-3-1 目的

現在、本施設内のボイラ伝熱面に付着する煤やダストを除去し、ボイラの熱交換効率を維持する目的として、高圧の蒸気を使用する「蒸気式スートブロウ」を設置し運用を行っている。今後、熱回収量をアップする（創エネ）ために、蒸気式から蒸気を使用しない圧力波式への方式変更を検討し、実証試験を行うこととして計画を進めてきた。

スートブロウの方式変更には、圧力波式と炉形式とのマッチングやすす吹き効果が最大となる配置プランの検討が必要になり、バイオマス混焼の影響も踏まえると、もみ殻はシリカ成分が多く、一般的な都市ごみと比較しても灰分の割合が高い。

そのためこれら実証試験等を通じて、「もみ殻混焼×圧力波式スートブロウ」の導入等実現可能性について幅広く検証し、実用化のノウハウを構築することによって全国への水平展開を図ることを目的としている。

3-3-2 蒸気式スートブロウ（現状）の仕様

本施設における蒸気式スートブロウの数は、1 炉当り 11 基、3 炉合計すると 33 基であり、年間に使用する蒸気量は熱量 4,777GJ であることから、蒸気を使用しない圧力波式スートブロウへの方式変更によるプロセス蒸気の削減により年間 4,777GJ の創エネが見込まれることとなる。

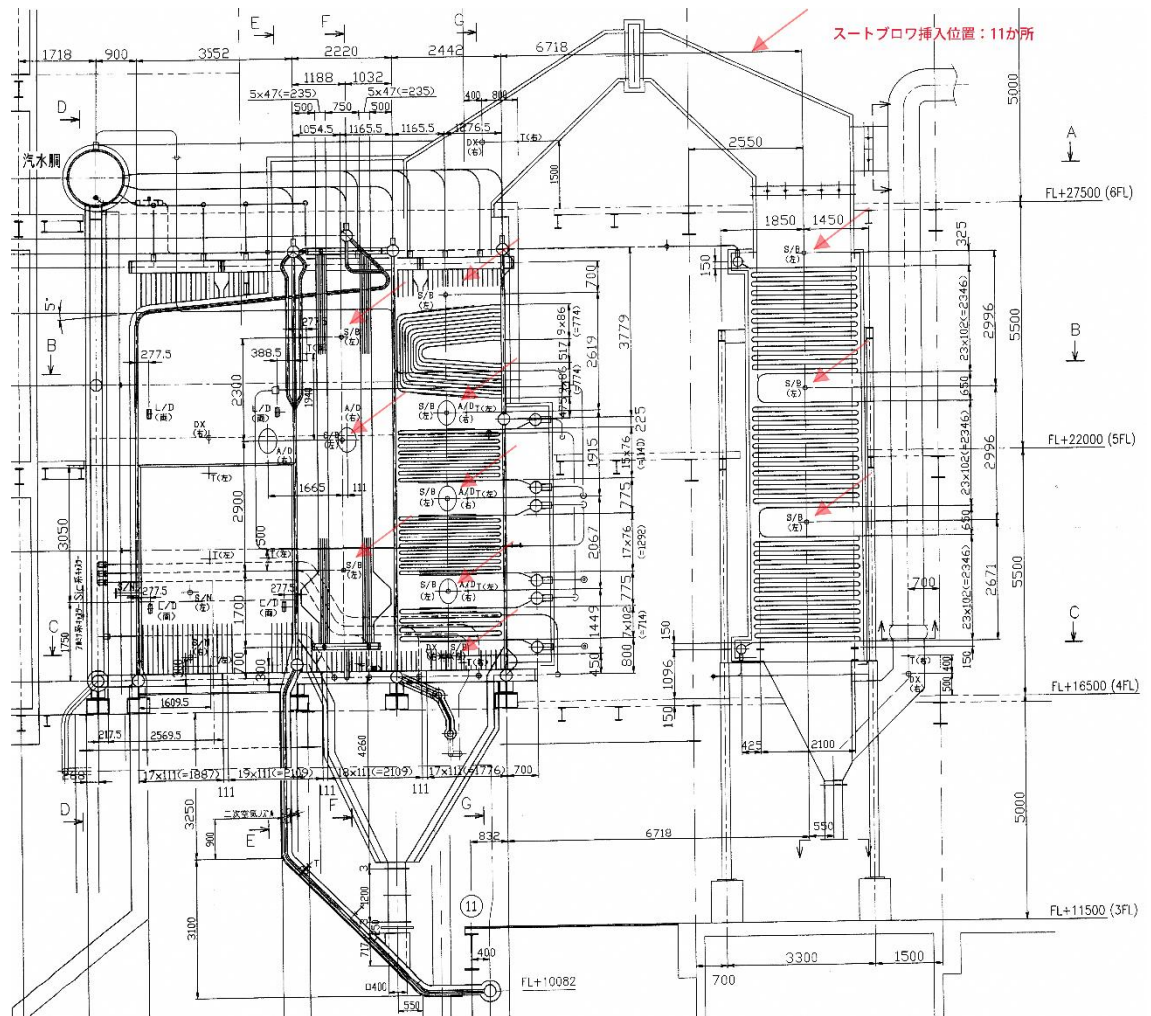


図 3-15 ボイラ構造図 (スートブロワ設置個所)

3-3-3 スートブロフ方式の比較

方式	蒸気式	圧力波式
イメージ図		
機能	・ボイラにて発生した高圧蒸気をボイラ水管に吹き付け煤、ダストを除去	・燃焼シリンダー内のメタンガス燃焼時に発生する圧力波（衝撃波）による衝撃振動により煤、ダストを除去
メリット	・歴史的に確立された技術（方式）であり信頼性が高い	・従来蒸気の不要により、蒸気の有効利用が可能（創エネ効果） ・蒸気式に比べクリーニング効果が高い ・ドレンアタックによるボイラチューブの摩耗が無い ・従前モデルにおいて日本で190基以上（20か国以上で700基以上）の実績有
デメリット	・ボイラ高圧蒸気を使用することにより発電効率が低下 ・ドレンアタックによるボイラチューブの摩耗	・方式変更に伴いボイラの改造が必要

3-3-4 実装および効果の確認

(1) スートブロウの実装

バイオマス混焼を実施する 1 号炉内において、水管の煤、灰付着が著しいスーパーヒーター部（2 パス）に R3 年度製作を行った圧力波式スートブロウ（本体）1 基と R4 年度に製作を行った制御盤及び駆動ガス調整ユニットをボンベ類（窒素、メタン、空気）と共に実装した。なお、圧力波式スートブロウの専用の取り付け口が無いため、既存のアクセスドアを改造し、専用の取り付けノズルを製作・設置を行った。

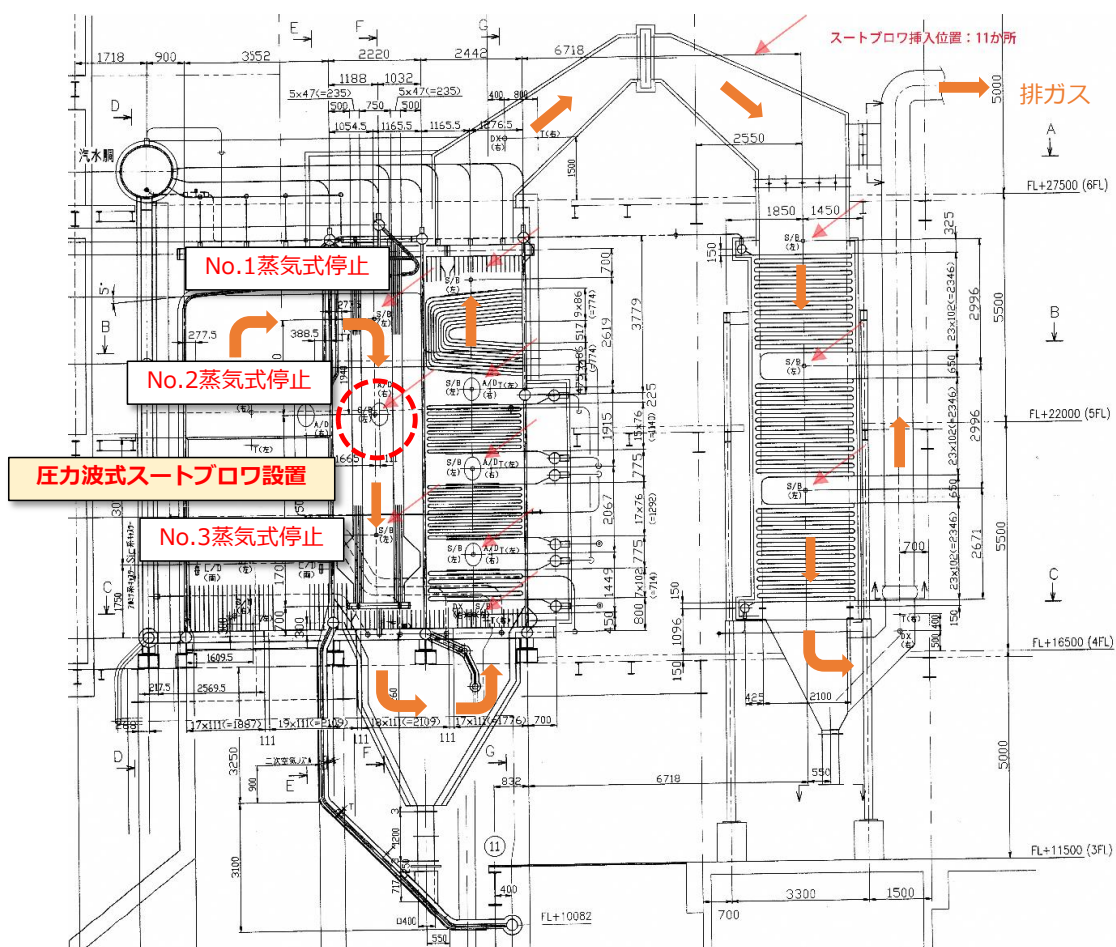


図 3-16 ボイラ構造図（スートブロウ設置箇所）



図 3-17 圧力波式スートブロワ設置状況（スートブロワ本体）



図 3-18 圧力波式スートブロワ設置状況（制御盤）



図 3-19 圧力波式ストブロウ設置状況（駆動用ガス）

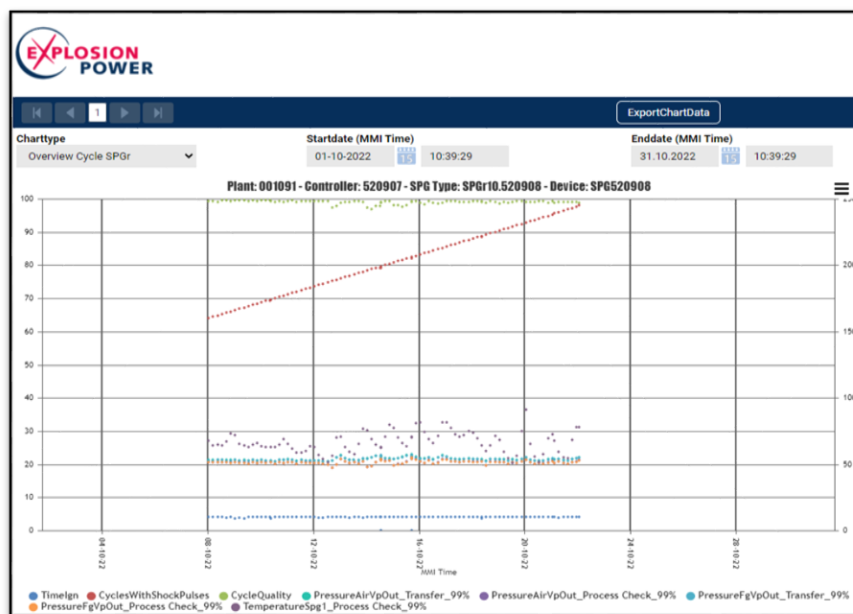


図 3-20 遠隔監視画面

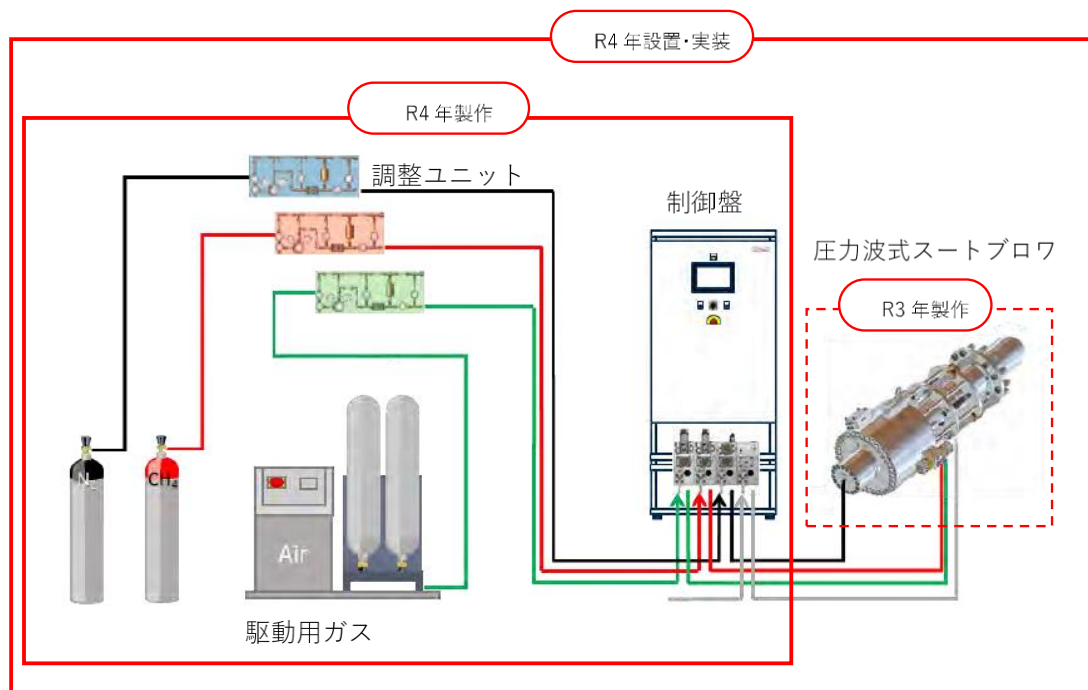


図 3-21 圧力波式スートブロワ本体および付帯設備フロー図

(2) スートブロワ稼働状況

2022 年 10 月 8 日から 2023 年 10 月 19 日（総稼働日数：246 日）の期間に圧力波式スートブロワを稼働し効力を確認すると共に、炉への影響や蒸気削減効果（創エネ）量について確認を行った。

圧力波式スートブロワは、蒸気式に比べ効果が広範囲に渡るため、近傍の 3 基の蒸気式スートブロワを停止し運転状況を行った

実証試験終了までの総稼働回数は 1577 回となり、メタンガス（47L）計 3 本、合成空気（47L）計 61 本を使用した。（1 回当りメタン 9g, 圧縮空気 160g）

費用は合計 235,250 円（1 回当り約 149 円）となった。

表 3-12 スートブロワの稼働状況

	スートブロワ稼働基数		備考
	蒸気式	圧力波式	
1号炉	8基	1基	バイオマス混焼対象
2号炉	11基	－	通常運用
3号炉	11基	－	通常運用

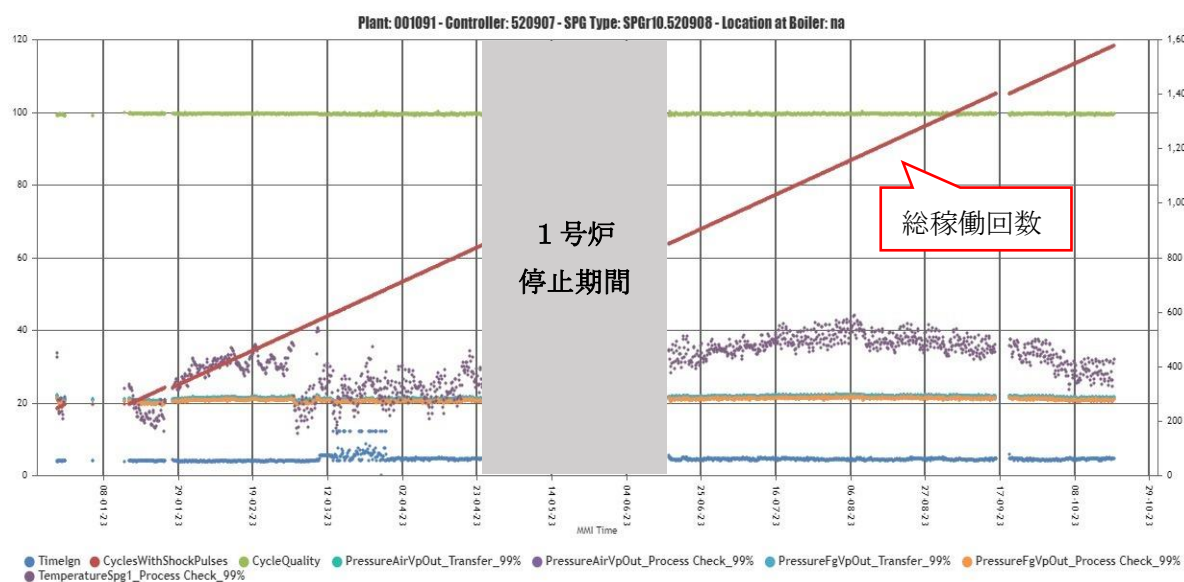


図 3-22 スートブロワ稼働データ

(3) 実証後炉内確認

炉停止に合わせ炉内確認を実施し、圧力波式スートブロワの効力や影響の有無について調査を行った。灰の付着状況については、各号炉共に大きな差は無く蒸気式と同様の効果を得られた。ただし、圧力波式スートブロワ稼働によるメリットは確認できなかったが、圧力波式スートブロワ稼働中は、回収灰の量が増えたとのコメントもあり一定の効果があつたものと考えられる。しかし、多量の灰によりボイラ下部ホッパシュートダンパが全閉できない事象も散見されており継続して運用する際は監視が必要である。



図 3-23 1号炉内確認（2021年11月）



図 3-24 1号炉内確認（2022年11月）



図 3-25 1号炉内確認 (2023 年 12 月)

(4) スートブロウ方式変更による効果検証

圧力波式スートブロウ 1 基を稼働することにより高圧蒸気を約 1～3t/日削減することができる。

蒸気 1t 当りの熱量を 2.79GJ/t とした場合、実証期間内（246 日）で削減できた高圧蒸気は約 246～738t で創エネ量は 689～2,066GJ と推計され、熱量単価を 1,200 円/GJ と仮定すると創エネコストは

$$\begin{aligned} & 686 \sim 2,059 \text{ (GJ)} \times 1,200 \text{ (円/GJ)} \\ & = 823,200 \sim 2,470,800 \text{ (円)} \end{aligned}$$

となり、ガスコスト 235,250 (円)を大きく上回る結果となるので圧力波式スートブロウによる費用対効果があると考えられる。

また、圧力波式と蒸気式の炉内温度・蒸気圧力を比較ではどちらも大きな差異はなく安定した蒸気の供給ができていた。(図 3-26)

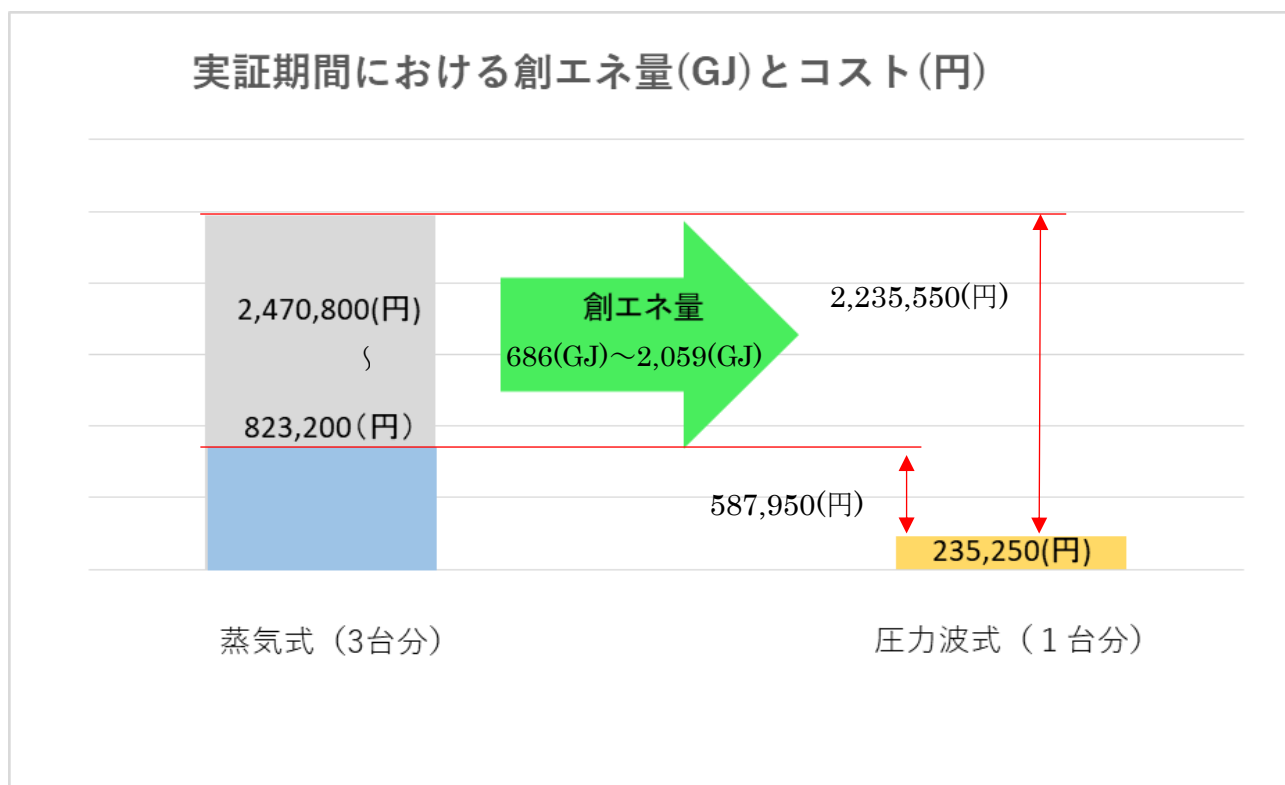
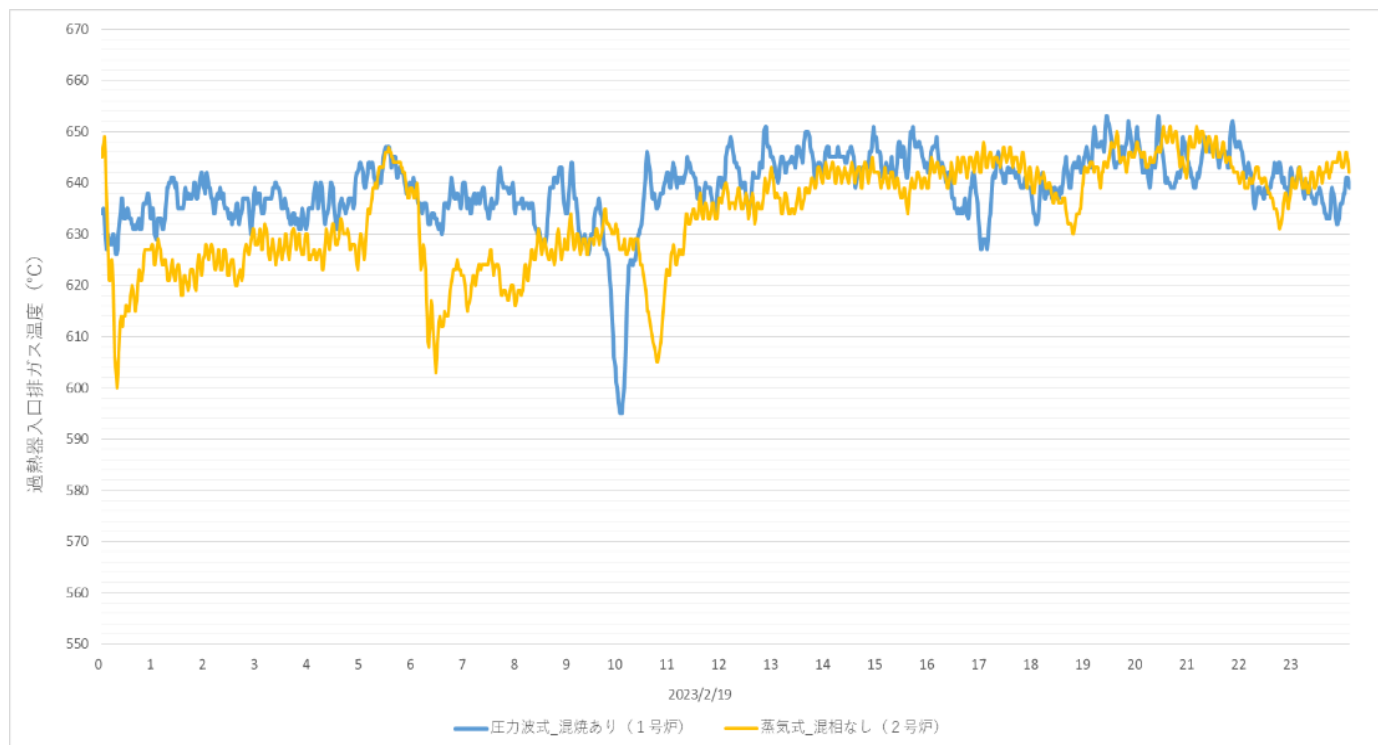
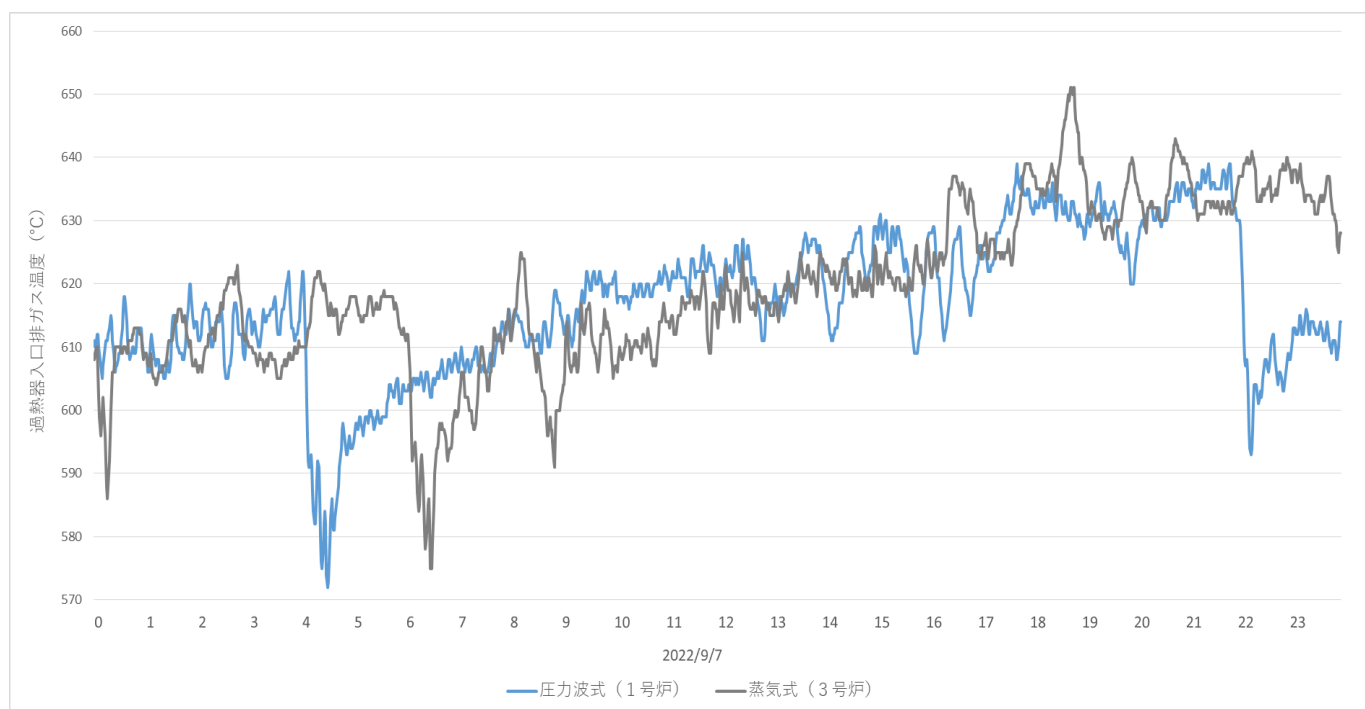


図 3-26 創エネ量とコスト



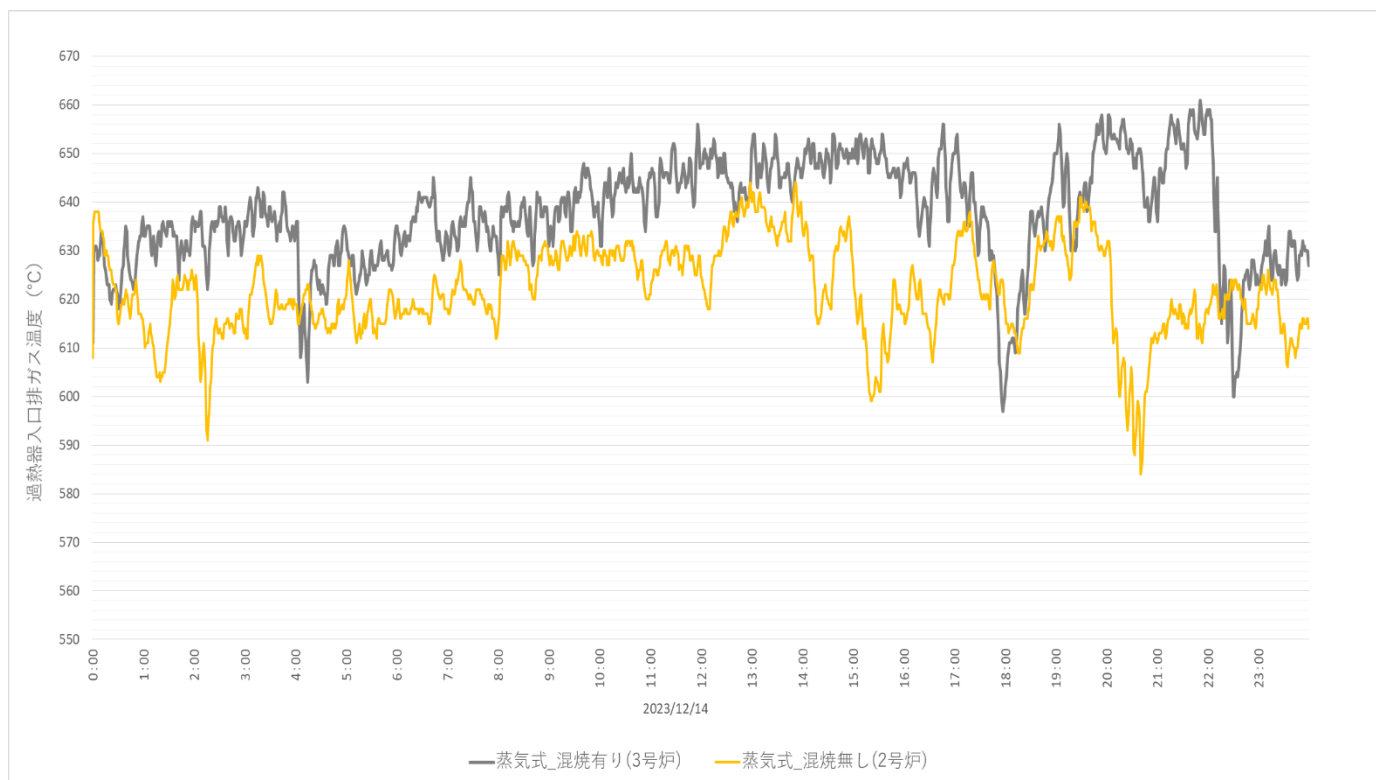


図 3-29 (蒸気式のみ) 混焼の有無による過熱器入口排ガス温度比較
(2号炉_混焼なし/3号炉_混焼あり)

(5) 実証実験評価

圧力波式スートブロワは、蒸気式に比べて効果が広範囲に渡るため、近傍の 3 基の蒸気式スートブロワを停止し、今回の実証実験を行った。

性能に関しては、炉内確認を実施し、圧力波式スートブロワの効力や影響の有無について調査したが灰の付着状況に大きな差はなく、蒸気式と同様の効果を確認した。

実証期間内（246 日）での創エネ量は 686～2,059GJ となり、圧力波式の費用対効果がガスコスト 235,250 円を大きく上回る結果なった。

しかし、圧力波式を使用する事で一回当たりの回収灰の量が大きく増加し、ボイラ下部ホップシュートダンパが全閉できなくなる事象も確認されているので継続して運用する際は監視が必要だと考えられる。

以上の情報から、圧力波式スートブロワ効力と削減効果の確認と、費用対効果が高いという結果を得ることができ、実証実験は成功したと考えられる。

3-4. まとめ

(1) まとめ

バイオマス混焼については、ごみ質・ごみ量の問題が改善される反面、投入時の攪拌やバイオマス種によっては運搬に時間がかかり、また清掃作業も増加するなど、効率性には課題があると考えられる。また、各種バイオマス燃料の燃焼特性については、燃焼効率や発熱量の高さが確認される一方で、湿度や物質の性質による燃焼効率の変動や、不完全燃焼による CO 濃度の増加等の問題が観察された。

各種分析結果からは、各バイオマス燃料が可燃ごみに比べて高い発熱量を持つこと、燃焼時の温度管理の重要性、不完全燃焼による CO 濃度の増加が確認された。しかし、排ガス中のダイオキシンについては基準値以下を維持していた為、混焼による影響は問題ないと思われる。

圧力波式スートブロワの実証実験では、圧力波式スートブロワが広範囲に効果を発揮し、蒸気式と同等の効果があることが確認された。また、創エネ量と費用対効果の面でも優れた結果を示した。しかし一方では、灰の回収量の増加が報告されている為、運用を継続する際は監視が必要である。

以上の結果から、バイオマス混焼はごみ処理の新たな選択肢となり得る一方で、種類によって効率性や運用面に課題が残ること、そして圧力波式スートブロワの導入は費用対効果が高いと考えられるが、運用面での注意も必要であることが考えられる。

第4章 熱供給方法の検討

4-1. 本市清掃工場のエネルギー利活用状況

本施設の運転データに基づき、高圧蒸気、低圧蒸気、高温水等の形態別エネルギー利用の状況を図表やグラフ等に整理した。各エネルギーの回収・利用設備はボイラ、タービン発電機、高温水発生装置等を想定し、蒸気発生量に対する全体利用量のほか、エネルギー形態毎の利用状況（年度別、季節別、稼働炉数別）も整理した。

4-1-1 過去5年間の概況

(1) 蒸気利用

過去5年間の蒸気利用の状況を下図表に示す。

表 4-1 蒸気利用実績（過去5か年）

項目				2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
ごみ	①	ごみ焼却量		t/年	72,561	73,802	70,113	68,550	68,563
蒸気 利用	②	高圧蒸気	発生蒸気	t/年	208,178	213,940	208,169	203,954	201,809
			場内利用 (空気予熱他※ ¹)	t/年	12,016	12,366	12,969	12,282	11,750
			タービン入口	t/年	165,940	168,137	161,911	161,629	161,584
			タービンバイパス	t/年	9,863	11,786	14,391	12,882	9,510
	③	低圧蒸気	場内利用 (脱気器他※ ²)	t/年	24,973	25,572	24,426	24,130	23,571
			高温水発生	t/年	2,377	2,799	2,424	2,191	2,155
			CO ₂ 回収設備	t/年	2,022	2,502	2,279	2,249	2,189
			ゆめファーム	t/年	—	1,528	4,523	3,659	2,652
ごみ焼却量当たりの発生蒸気量				t/t	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9

※1) 空気予熱器、低圧蒸気溜、空機抽出器、アキュームレータ

※2) 脱気器、純水装置、建築設備

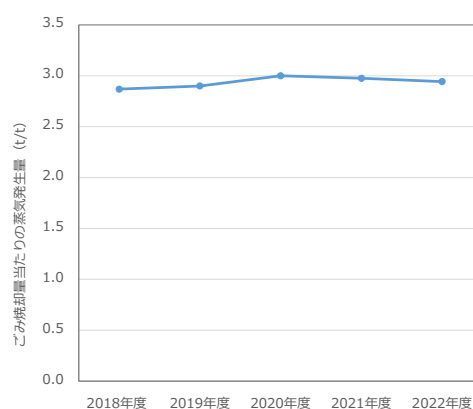
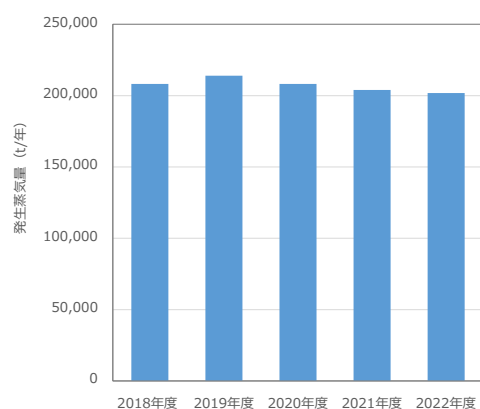


図 4-1 発生蒸気量の推移（過去5か年）

（左：発生蒸気量、右：ごみ処理量当たりの発生蒸気量）

発生蒸気は 200～214 千 t/年程度が得られており、この 4 年間で少し減少している。ごみ焼却処理量当たりの発生蒸気量は、2.9～3.0t/t 程度とあまり変化は無い。

発生蒸気量に対して、約 8 割がタービン発電機に流入され、残りが空気予熱器等の場内利用に充てられている。また 3 炉稼働時の余剰蒸気はタービンバイパスで処理されている。低圧蒸気はタービン抽気からのものがほとんどである。

(2) 発電電力利用

過去 5 年間の発電電力利用の状況を下図表に示す。

表 4-2 電力利用実績（過去 5 か年）

項目			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
ごみ	①	ごみ焼却量	t/年	72,561	73,802	70,113	68,550	68,563
発 電	②	発電電力量（蒸気タービン）	MWh/年	32,035	32,283	30,566	30,139	30,228
		（小水力）	MWh/年	96	－	－	－	－
	③	場内使用電力量	MWh/年	13,415	13,354	13,357	13,442	13,014
		プラント動力	MWh/年	5,347	5,514	5,636	5,644	5,542
		建築動力	MWh/年	2,067	1,928	1,918	2,041	1,945
		照明	MWh/年	1,226	1,222	1,188	1,161	1,105
		灰溶融	MWh/年	415	305	303	299	130
		非常動力	MWh/年	4,360	4,386	4,311	4,297	4,292
	④	場外供給電力量	MWh/年	18,409	18,608	17,220	16,680	17,201
		リサイクルプラザ	MWh/年	401	396	444	602	655
		売電	MWh/年	16,993	17,327	15,934	15,524	15,754
		健康運動センター	MWh/年	1,015	885	842	555	793
⑤	買電電力量	MWh/年	383	311	610	541	556	
ごみ焼却量当たりの発電電力量			kWh/t	441.5	437.4	436.0	439.7	440.9

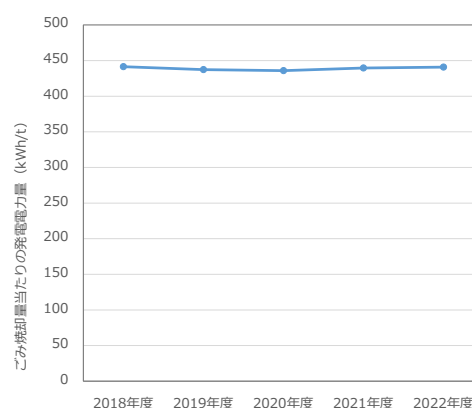
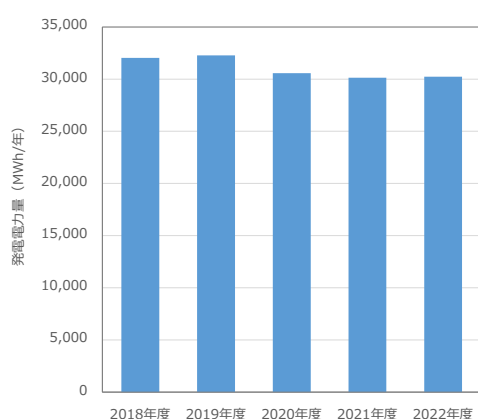


図 4-2 発電電力量の推移（過去 5 か年）

（左：発電電力量の推移、右：ごみ焼却量当たりの発電電力量）

発電電力量は、2018 年度、2019 年度と 32GWh/年程度であったものが、それ以降

30GWh/年程度まで低下している。焼却処理量当たりの発電電力量は、440kWh/t ほぼ一定である。

発電電力量の利用先について、場内利用は 41～45%、売電を含む場外への供給は 54～57%となっている。

以上（１）と（２）（１）より、過去５年間の蒸気利用、発電電力利用状況については、ごみ焼却量に対して安定的に蒸気利用、発電を維持しており、特に焼却処理量当たりの発電電力量（440kWh/t）は、全国的に見ても高い水準を維持している。（2021(R3)年度全国平均 320kWh/t^[4-1]）。

（３） エネルギー全体

本施設においてごみの焼却によって得られたエネルギーの供給先を図 4-3 に概念図として再掲する。ボイラにおいて発生した高圧蒸気はいったん高圧蒸気溜めを経て、ほとんどが発電のために蒸気タービンに供給される。一部の高圧蒸気は場内でプロセス用の蒸気として利用される。場内外への熱供給は基本的に蒸気タービンから抽気された低圧蒸気で行われる。低圧蒸気溜めから、場内の設備、高温水発生装置を経て健康運動センター、およびゆめファーム SAGA へと供給される。

新規熱需要家への熱供給を考えると、発電からの抽気量を増やして供給する必要があるため、供給余力を把握することが必要になる（詳細は 4-3 にて説明する）。

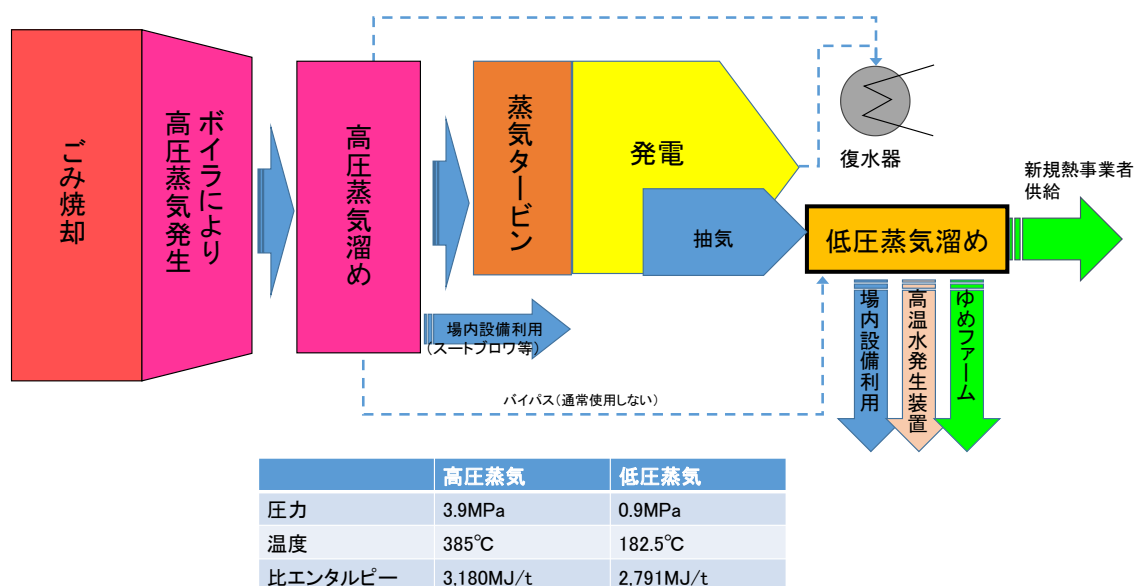


図 4-3 ボイラ発生蒸気の経路と用途（図 2-20 の再掲）

本施設におけるエネルギー利用とこれに伴う CO₂ 削減状況の全体を見るため、上記（１）における蒸気利用量、上記（２）における発電電力量を熱量換算して集計し、CO₂

削減量と併せて整理したものを下図表に示す。

なお、蒸気量の熱量換算にあたっては、高圧蒸気は 3.75MPa、393℃、低圧蒸気は 0.81MPa、177℃の比エンタルピを各蒸気量に乗じて算出した。（本調査において、以下同じ。）

表 4-3 エネルギー利用状況及び CO₂ 削減状況（過去 5 か年）

項目			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	備考	
ごみ	①	ごみ焼却量	t/年	72,561	73,802	70,113	68,550	68,563	年報より
	②	ごみ入熱量	GJ/年	665,747	677,134	643,289	628,946	629,067	①×9,175kJ/kg(基準ごみ熱量)
発電	③	発電電力量	MWh/年	32,035	32,283	30,566	30,139	30,228	年報より
	④	所内使用電力量	MWh/年	13,415	13,354	13,357	13,442	13,014	プラント動力、建築、照明、灰溶解、非常用
	⑤	売電電力量	MWh/年	16,993	17,327	15,934	15,524	15,754	年報より
	⑥	発電効率	%	17.3	17.2	17.1	17.3	17.3	③*3.6/②
	③'	発電電力量	GJ/年	115,326	116,219	110,038	108,500	108,821	③～⑤をGJ換算
	④'	所内使用電力量	GJ/年	48,294	48,074	48,085	48,391	46,850	
	⑤'	売電電力量	GJ/年	61,175	62,377	57,362	55,886	56,714	
熱 （燃料） 利用	⑦	内部熱利用量 （建築設備）	GJ/年	476	476	530	459	404	低圧蒸気(0.81MPa,177℃)として比エンタルピ*を算出(2,784kJ/kg)
	⑧	外部熱供給量	GJ/年	12,247	19,012	25,688	22,548	19,476	
		（健康センター）	GJ/年	6,618	7,792	6,749	6,101	5,999	
		（CO ₂ 回収）	GJ/年	5,629	6,967	6,346	6,260	6,094	
		（ゆめファーム）	GJ/年	—	4,253	12,593	10,187	7,383	
⑨	熱利用率	%	0.9	1.3	1.9	1.7	1.5	(⑦+⑧)×0.46/②	
エネルギー全体	⑩	エネルギー回収率	%	18.2	18.5	19.0	18.9	18.8	⑥+⑨
	⑪	CO ₂ 削減量	tCO ₂ /年	10,219	11,105	11,157	8,921	12,061	③*CO ₂ 排出係数

ごみからの入熱量に対するエネルギー回収率は 18.2～19.0%であり、年度による大きな変化はない。回収されたエネルギーは、8 割がタービンでの発電に利用され、残り 2 割が高温水発生装置、CO₂回収設備等で熱利用されている。

エネルギー回収に伴う CO₂ 削減量は、年間約 11 千 tCO₂ と試算される。

次に、本施設のエネルギー利用状況について、2022 年度の熱量ベースでの収支を図 4-4 に示す。

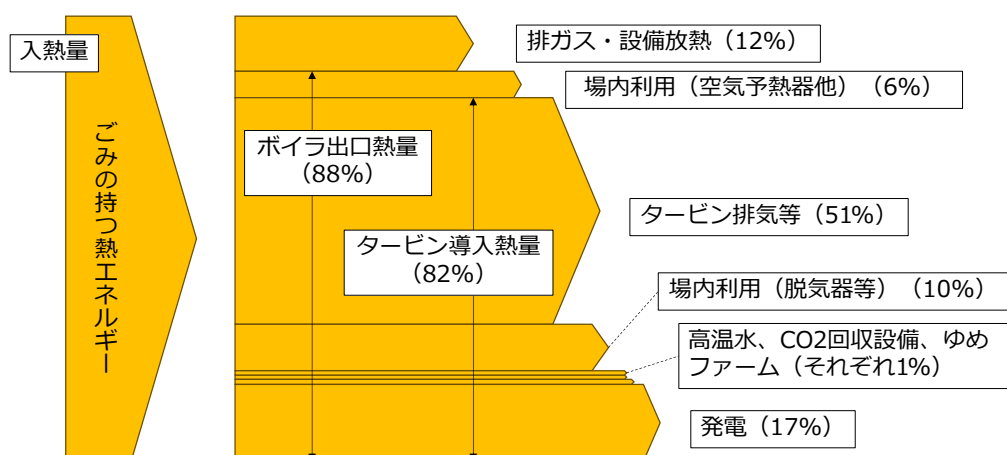


図 4-4 エネルギー収支イメージ（熱入出図）（2022 年度）

これらの状況をエネルギーの各利用先まで含めて、総熱量で整理したものを図 4-5 に示す。

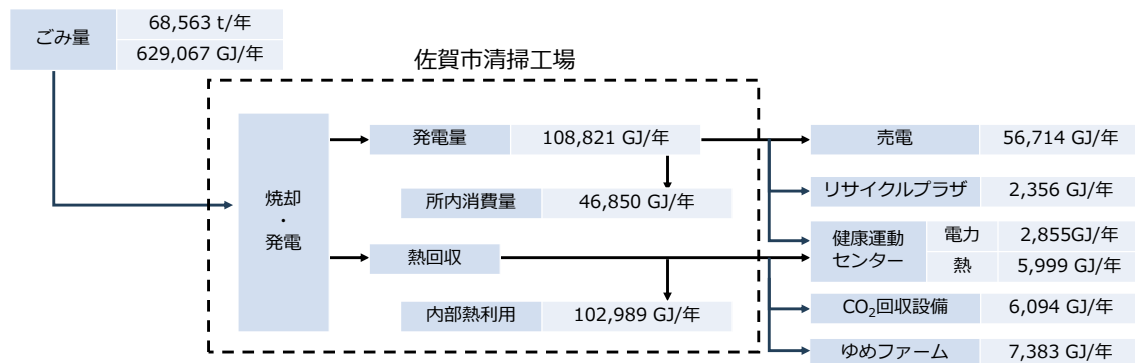


図 4-5 エネルギー利用の全体像 (2022 年度)

以上より、本施設のエネルギー回収率は、5 か年平均で 18.7%と全国的に見ても高い水準にあるものの、ごみの入熱量に対する排ガスや設備放熱による熱ロスが 12%割、タービン排気等による熱ロスが 5 割あることから、これらの未利用熱の更なる有効活用について検討していく必要がある。

4-1-2 2020 (R2) 年度の状況

本実証事業本施設のエネルギー利用の詳細を見るため、ゆめファームが本格稼働した実証事業開始の前年度 (2020 年度) から 3 年分のエネルギー利用詳細の状況を整理した。

(1) 蒸気利用

本施設における 2020 年度の蒸気利用実績を下図表に示す。

表 4-4 蒸気利用実績（2020 年度）

項目		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ごみ	① ごみ焼却量	t	5,666	5,799	6,462	6,287	6,422	5,628	6,502	2,486	6,792	5,904	6,770
蒸気利用	② 高圧蒸気												
	発生蒸気	t	17,400	17,941	18,939	16,844	18,274	16,690	19,845	7,332	20,725	17,753	20,508
	場内利用 (空気予熱他※ ¹)	t	883	937	1,108	1,353	1,057	922	966	435	1,073	1,927	1,204
	タービン入口	t	14,379	14,783	14,472	13,932	14,535	13,756	15,264	6,129	15,243	11,245	14,936
	タービンバイパス	t	81	147	1,556	163	968	447	1,452	91	2,485	4,130	2,870
	③ 低圧蒸気												
	タービン抽気	t	3,501	3,510	3,602	2,893	3,098	2,930	3,770	1,401	4,276	2,919	3,362
	場内利用 (脱気器他※ ²)	t	2,056	1,925	2,129	1,960	2,103	1,976	2,308	821	2,451	2,221	1,987
	高温水発生	t	183	105	122	71	69	46	136	98	463	468	301
	CO ₂ 回収設備	t	221	213	187	166	198	230	254	68	226	156	210
	ゆめファーム	t	396	411	467	238	113	245	463	178	632	572	415
ごみ焼却量当たりの発生蒸気量		t/t	3.1	3.1	2.9	2.7	2.8	3.0	3.1	2.9	3.1	3.0	3.0

※1) 空気予熱器、低圧蒸気溜、空機抽出器、アキュムレータ

※2) 脱気器、純水装置、建築設備

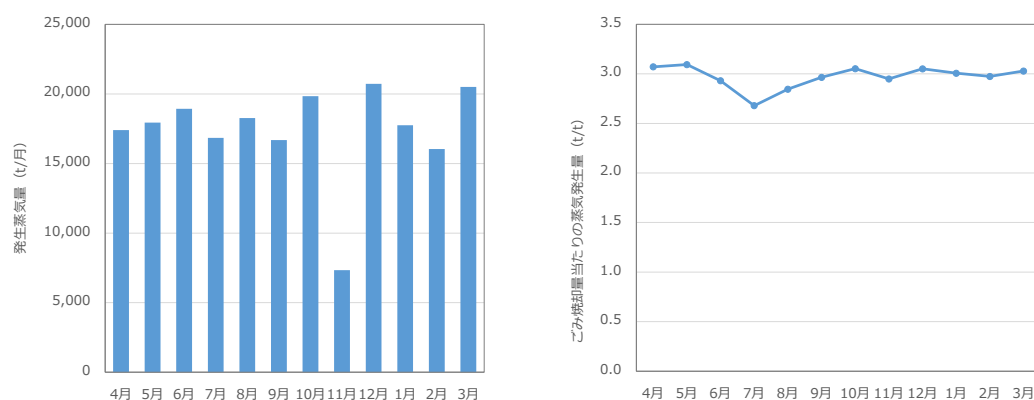


図 4-6 蒸気発生量の推移（2020 年度）
（左：発生蒸気量、右：ごみ処理量当たりの発生蒸気量）

発生蒸気量は、11 月（全炉停止点検）を除いて 16～20 千 t/月となっており、月間で最大 5 千 t 程度の変動がある。

ごみ焼却処理量当たりの発生蒸気量は、平均で 3.0t/t 程度であり、夏季にやや平均を下回る時期がある。

発生蒸気は、タービン発電機に 8 割が配分され、場内利用（空気予熱器他）に数%が配分されている。主に 3 炉稼働時に余剰分として発生するタービンバイパスは通常月には数%で 12 月には 12%、1 月には 23%となっている。高圧蒸気を直接低圧蒸気だめに入れている量はほとんどなく、低圧蒸気のほとんどはタービン抽気由来である。

低圧蒸気の配分は、脱気器等の場内利用が 50～70%に上り、その他の高温水発生装置（健康運動センター向け）、CO₂ 回収設備に対して数%ずつの供給、ゆめファーム SAGA に 10～15%の供給となっている。

(2) 発電電力利用

本施設における 2020 年度の電力利用実績を下図表に示す。

表 4-5 電力利用実績 (2020 年度)

項目			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備考		
ごみ	①	ごみ焼却量	t	5,666	5,799	6,462	6,287	6,422	5,628	6,502	2,486	6,792	5,904	5,394	6,770		
発電	②	発電電力量	MWh	2,752	2,838	2,779	2,535	2,764	2,546	2,954	1,121	2,894	2,099	2,467	2,818		
	③	場内使用電力量	MWh	1,086	1,150	1,201	1,160	1,266	1,144	1,221	779	1,151	1,039	965	1,195		
			プラント動力	MWh	487	499	486	466	479	448	498	340	523	476	419	516	
			建築動力	MWh	134	166	198	198	251	211	193	91	109	96	112	159	
			照明	MWh	97	100	98	101	103	100	102	97	103	97	92	98	
			灰溶融	MWh	24	25	24	25	24	26	25	23	28	23	25	30	
			非常動力	MWh	344	360	395	370	409	360	403	227	388	347	318	392	
	④	場外供給電力量	MWh	1,609	1,631	1,526	1,328	1,450	1,354	1,674	670	1,703	1,258	1,451	1,567		
			リサイクルプラザ	MWh	30	35	45	41	53	41	38	28	34	36	31	33	
			売電	MWh	1,526	1,542	1,411	1,207	1,317	1,237	1,560	618	1,570	1,154	1,338	1,454	
			健康運動センター	MWh	53	54	71	80	80	76	76	23	98	68	82	80	
	⑤	買電電力量	MWh	0	0	0	0	1	0	0	350	18	241	0	0		
ごみ焼却量当たりの発電電力量			kWh/t	486	489	430	403	430	452	454	451	426	355	457	416	②×1000/①	

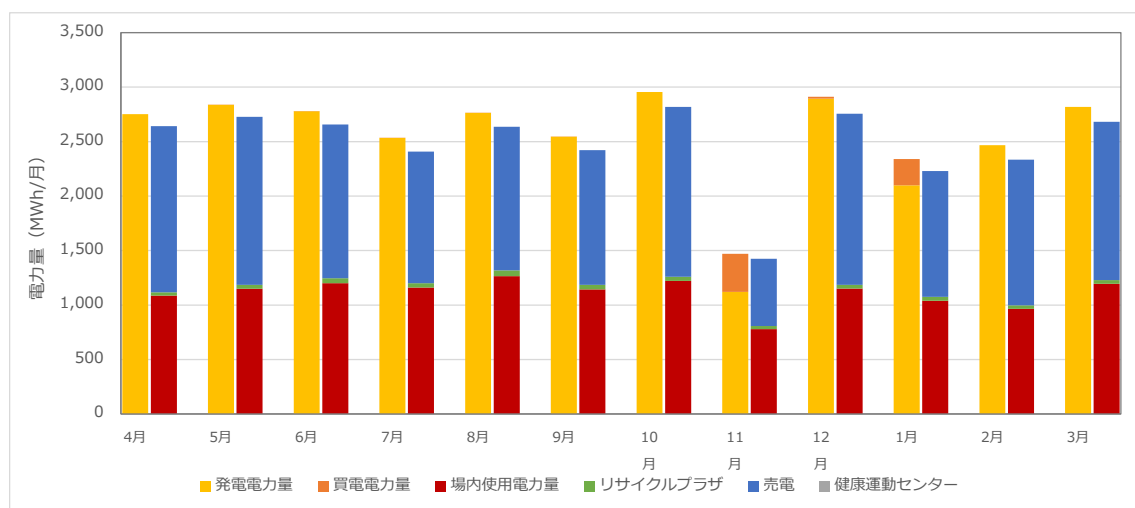


図 4-7 発電電力量の利用内訳の推移 (2020 年度)

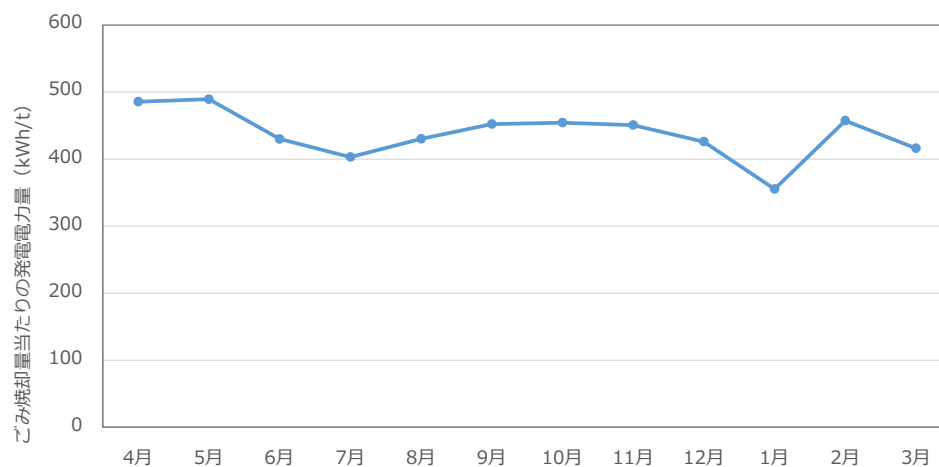


図 4-8 ごみ焼却量当たりの発電電力量の推移 (2020 年度)

発電電力量は、年間 30,566MWh であり、ごみ焼却量当たりの発電電力量は平均 438kWh/t となっており、夏季にやや低い傾向を示している。

発電電力量のうち、約 4 割を場内利用、約 6 割を場外供給している。

4-1-3 2021 (R3) 年度の状況

(1) 蒸気利用

本施設における 2021 年度の蒸気利用実績を下図表に示す。

表 4-6 蒸気利用実績 (2021 年度)

項目			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
ごみ	①	ごみ焼却量	t	5,806	6,138	6,267	5,879	6,723	5,513	6,341	2,461	6,768	6,060	5,032	5,563		
蒸気利用	②	高圧蒸気	発生蒸気	t	17,859	17,505	17,673	16,889	18,629	15,507	19,048	7,448	20,897	18,865	15,802	17,833	
			場内利用 (空気予熱他※ ¹)	t													
			タービン入口	t	1,000	1,137	1,098	1,180	1,316	990	990	433	1,056	1,012	891	1,179	
			タービンバイパス	t	13,868	14,436	13,972	14,035	14,249	13,209	14,453	6,106	15,539	15,080	13,208	13,475	
			タービン抽出	t	1,496	129	1,130	267	1,764	287	2,749	145	2,341	827	158	1,590	
	③	低圧蒸気	タービン抽出	t	3,499	3,271	3,095	2,962	3,208	2,777	3,627	1,503	4,219	3,984	3,307	3,386	
			場内利用 (脱気器他※ ²)	t													
			高温水発生	t	2,113	1,884	2,014	1,995	2,119	1,754	2,227	859	2,511	2,414	2,015	2,224	
			CO ₂ 回収設備	t	222	107	70	55	113	68	241	134	321	350	216	295	
			ゆめファーム	t	215	183	176	183	183	171	155	68	209	243	220	243	
ごみ焼却量当たりの発生蒸気量			t/t	423	339	243	242	190	218	329	135	442	386	347	364		
ごみ焼却量当たりの発生蒸気量			t/t	3.1	2.9	2.8	2.9	2.8	2.8	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2		

※1) 空気予熱器、低圧蒸気溜、空機抽出器、アキュムレータ

※2) 脱気器、純水装置、建築設備

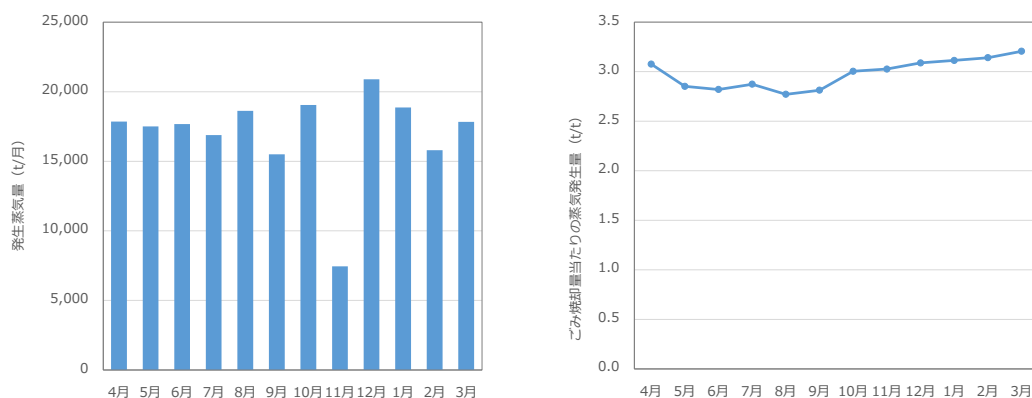


図 4-9 蒸気発生量の推移 (2021 年度)
(左：発生蒸気量、右：ごみ処理量当たりの発生蒸気量)

発生蒸気量の傾向は基本的に 2020 年度と同様であるが、2021 年度の場合、16 千 t/月を少し下回り、9 月と 2 月には蒸気発生量 15 千 t/月程度になった。

ごみ焼却処理量当たりの発生蒸気量は、2020 年度と同様に平均で 3.0t/t 程度であり、夏季にやや平均を下回る時期がある。

発生蒸気の配分も 2020 年度と同じく、タービン発電機に 8 割が配分され、場内利用（空気予熱器他）に数%が配分されているが、タービンバイパスへの配分が 2020 年度よりも低下している。年間の量で見ると、2020 年度は 14,391t/年であったものが、2021 年度には 12,882t/年に低下している。これはごみ焼却量の減少による 3 炉運転期間の減少に起因すると考えられる。

低圧蒸気の配分は、脱気器等の場内利用が 50～70%に上り、その他の高温水発生装置（健康運動センター向け）、CO₂ 回収設備に対して数%ずつの供給、ゆめファーム SAGA に 6～12%の供給と 2020 年度より減少している。

(2) 発電電力利用

本施設における 2021 年度の電力利用実績を下図表に示す。

表 4-7 電力利用実績（2021 年度）

項目			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備考		
ごみ	①	ごみ焼却量	t	5,806	6,138	6,267	5,879	6,723	5,513	6,341	2,461	6,768	6,060	5,032	5,563		
発電	②	発電電力量	MWh	2,615	2,747	2,658	2,590	2,648	2,320	2,577	1,121	2,999	2,860	2,456	2,549		
	③	場内使用電力量	MWh	1,116	1,155	1,184	1,208	1,255	1,127	1,207	794	1,179	1,132	1,012	1,074		
		プラント動力	MWh	484	483	468	466	487	452	492	364	526	500	448	474		
		建築動力	MWh	152	181	207	231	231	204	191	89	142	146	131	136		
		照明	MWh	93	97	97	99	103	96	101	94	98	97	89	97		
		灰溶融	MWh	27	27	27	27	28	24	24	22	28	28	25	12		
		非常動力	MWh	359	366	385	386	406	351	399	226	386	361	319	354		
	④	場外供給電力量	MWh	1,476	1,539	1,426	1,337	1,347	1,182	1,355	672	1,763	1,673	1,397	1,513		
		リサイクルプラザ		MWh	40	46	52	63	60	53	51	34	52	55	45	51	
			売電	MWh	1,372	1,429	1,309	1,200	1,241	1,099	1,276	628	1,681	1,581	1,313	1,394	
			健康運動センター	MWh	64	63	65	75	46	30	29	10	31	37	39	68	
	⑤	買電電力量	MWh	28	0	0	0	0	29	32	366	0	0	0	86		
ごみ焼却量当たりの発電電力量			kWh/t	450	447	424	441	394	421	406	455	443	472	488	458	②×1000/①	

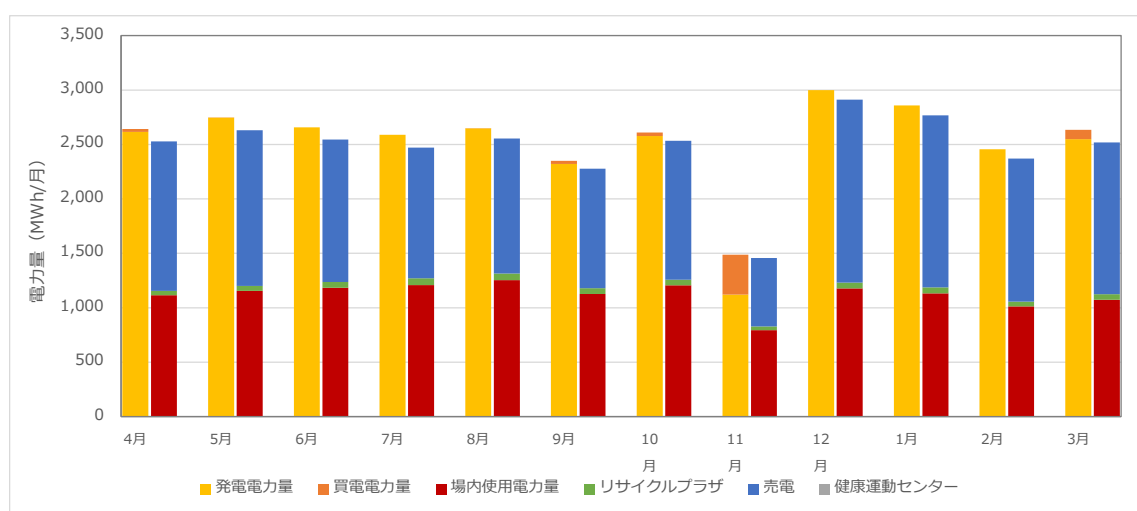


図 4-10 発電電力量の利用内訳の推移（2021 年度）

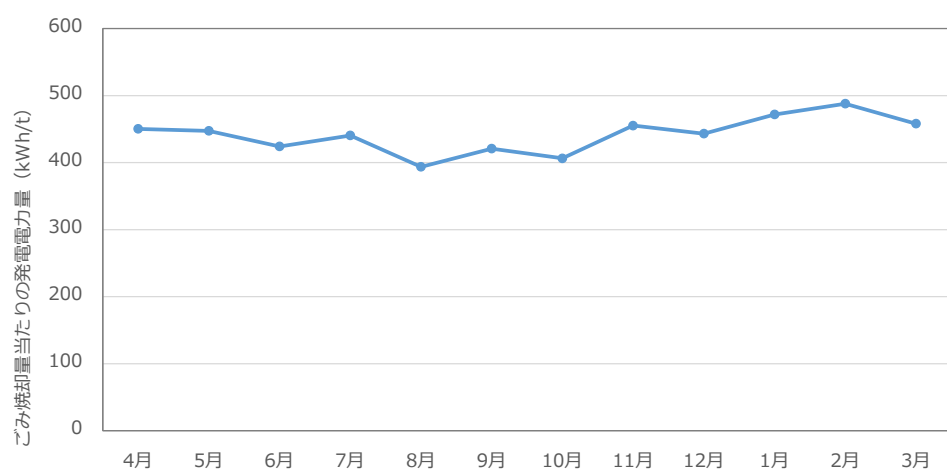


図 4-11 ごみ焼却量当たりの発電電力量の推移（2021 年度）

発電電力量は、年間 30,139MWh であり、ごみ焼却量当たりの発電電力量は平均 442kWh/t となっており、夏季にやや低い傾向を示している。

発電電力量のうち、約 4 割を場内利用、約 6 割を場外供給している状況は 2020 年度と変わらない。

4-1-4 2022（R4）年度の状況

（１）蒸気利用

本施設における 2022 年度の蒸気利用実績を下図表に示す。

表 4-8 蒸気利用実績（2022 年度）

項目			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
ごみ	①	ごみ焼却量	t	6,515	5,818	5,803	6,295	6,438	5,888	6,485	2,448	6,451	5,385	5,313	5,724		
蒸気 利用	②	高圧蒸気	発生蒸気	t	20,048	17,334	16,591	17,599	18,345	16,857	18,919	7,275	19,164	16,230	15,865	17,581	
			場内利用 (空気予熱他 ^{※1})	t													
					995	947	1,013	1,107	1,083	921	935	696	1,139	1,039	929	946	
			タービン入口	t	14,892	14,479	13,767	14,295	14,345	13,821	14,914	4,649	15,064	13,565	13,279	14,515	
			タービンバイパス	t	2,274	0	219	679	1,318	467	1,118	2,050	1,001	65	0	320	
	③	低圧蒸気	タービン抽気	t	3,673	2,898	2,787	2,918	2,989	2,740	3,220	998	3,952	3,527	3,374	3,629	
			場内利用 (脱気器他 ^{※2})	t													
					2,375	1,821	1,806	2,047	2,084	1,905	2,146	837	2,263	2,078	2,019	2,191	
			高温水発生	t	195	76	44	59	60	40	97	97	406	414	398	269	
			CO ₂ 回収設備	t	210	205	153	165	194	182	194	51	221	192	214	208	
			ゆめファーム	t	298	218	203	52	47	41	228	86	428	401	325	323	
ごみ焼却量当たりの発生蒸気量			t/t	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1		

※1) 空気予熱器、低圧蒸気溜、空機抽出器、アキュムレータ

※2) 脱気器、純水装置、建築設備

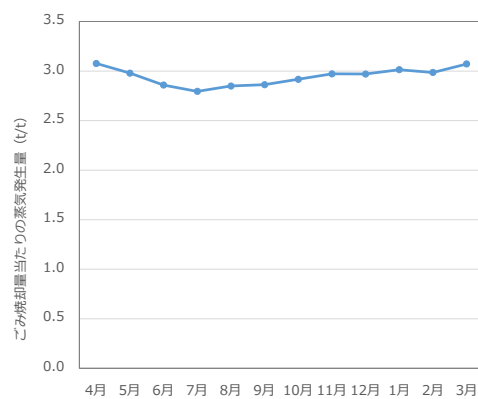
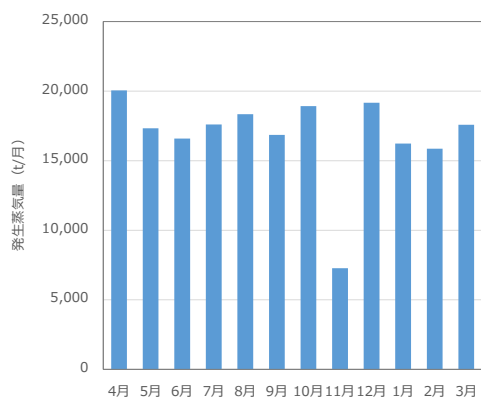


図 4-12 蒸気発生量の推移（2022 年度）

（左：発生蒸気量、右：ごみ処理量当たりの発生蒸気量）

発生蒸気量の傾向は概ね 2020 年度および 2021 年度と同様である。

ごみ焼却処理量当たりの発生蒸気量は、2020 年度および 2021 年度よりも少し低下し、平均で 2.9t/t となった。

発生蒸気の配分も 2020 年度および 2021 年度と同じく、タービン発電機に 8 割が配

分され、場内利用（空気予熱器他）に数%が配分されている。タービンバイパスへの配分は 2022 年度ではこれまでよりさらに低下し、9,511t/年となった。

低圧蒸気の配分の傾向は、概ね 2020 年度および 2021 年度と同様である。

（２） 発電電力利用

本施設における 2022 年度の電力利用実績を下図表に示す。

表 4-9 電力利用実績（2022 年度）

項目			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備考		
発電	①	ごみ焼却量	t	6,515	5,818	5,803	6,295	6,438	5,888	6,485	2,448	6,451	5,385	5,313	5,724		
	②	発電電力量	MWh	2,892	2,732	2,558	2,685	2,682	2,589	2,846	833	2,825	2,462	2,455	2,669		
	③	場内使用電力量	MWh	1,136	1,123	1,133	1,196	1,243	1,118	1,177	783	1,100	1,031	910	1,065		
		プラント動力	MWh	498	482	462	455	484	429	499	365	512	474	409	474		
		建築動力	MWh	149	175	201	235	245	217	185	93	115	111	90	130		
		照明	MWh	90	94	94	96	99	93	94	87	91	93	84	91		
		灰溶融	MWh	11	11	11	11	11	11	11	9	12	12	10	11		
		非常動力	MWh	388	362	366	399	405	368	387	229	371	341	317	359		
	④	場外供給電力量	MWh	1,703	1,559	1,381	1,445	1,396	1,428	1,619	500	1,617	1,397	1,600	1,556		
		リサイクルプラザ	MWh	51	53	62	73	68	62	54	22	0	0	152	57		
			売電	MWh	1,588	1,444	1,250	1,304	1,265	1,298	1,496	461	1,534	1,322	1,373	1,419	
			健康運動センター	MWh	65	62	68	67	63	69	69	17	83	75	75	80	
	⑤	買電電力量	MWh	0	0	0	0	0	0	0	492	0	64	0	0		
	ごみ焼却量当たりの発電電力量			kWh/t	444	470	441	427	417	440	439	340	438	457	462	466	②×1000/①

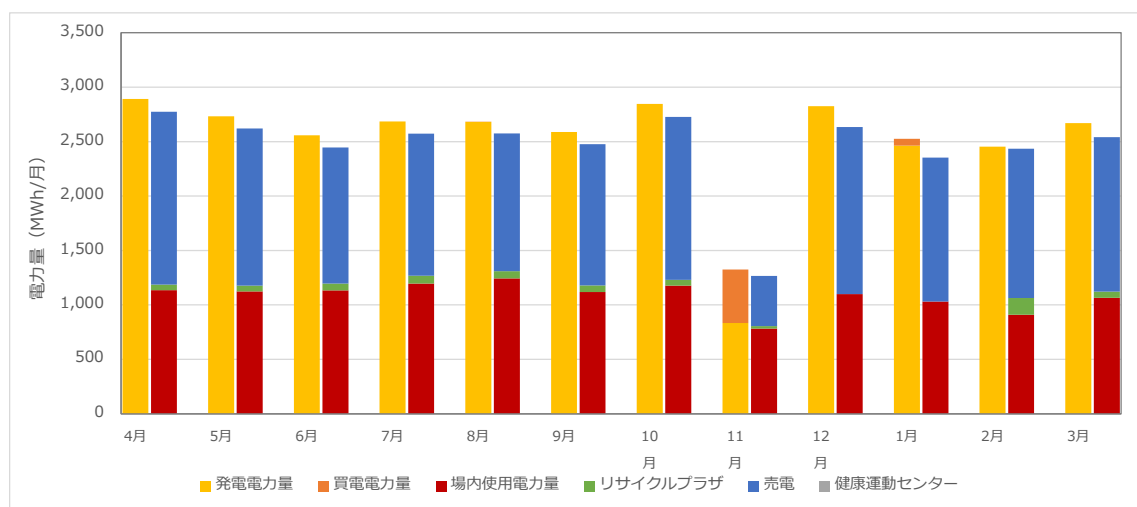


図 4-13 発電電力量の利用内訳の推移（2022 年度）

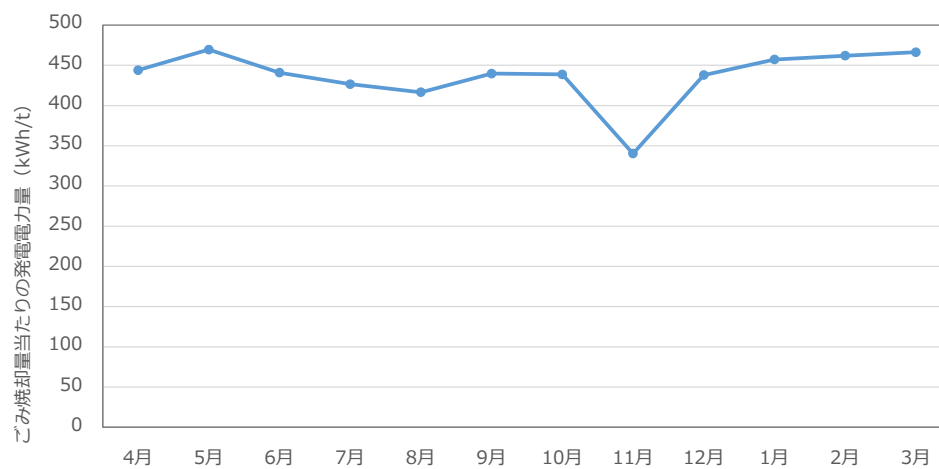


図 4-14 ごみ焼却量当たりの発電電力量の推移（2022 年度）

発電電力量は、年間 30,228MWh であり、ごみ焼却量当たりの発電電力量は平均 437kWh/t となっており、夏季にやや低い傾向を示している。

発電電力量のうち、約 4 割を場内利用、約 6 割を場外供給している状況はこれまでと変わらない。

4-2. 熱供給の概要と熱利用状況

本実施項目の目的である、新規創熱した熱量の効率的かつ効果的な供給・利用方法の検討を実施し、既存の方法との連携に先立ち、既存の熱需要家への熱供給状況や供給データの整理を実施した。

4-2-1 熱供給の概要

本施設は、平成15年3月より運転を開始しているが、立地先の選定過程では、地域住民からの合意形成を得るために、様々な努力を重ねてきた。

現在においても、ごみ処理施設としての拒否感や嫌悪感、処理過程で発生する排ガス等による環境汚染など地域住民との共存のため、細心の注意を払い運転を継続している。

一方で、本施設は防災拠点機能や地域のエネルギー供給拠点機能としての側面も有しており、地域と連携した施設の整備計画の立案や地域エネルギー政策の立案が求められている。

本施設から生み出されるエネルギーは、本市における地域エネルギー政策において、地域の特性に応じてその価値を活かすことができるエネルギー源の一つとして捉えることができ、本施設のエネルギーを有効活用することで環境的な貢献、経済的な貢献に加え住民生活の向上に寄与できると考えている（図4-15参照）。

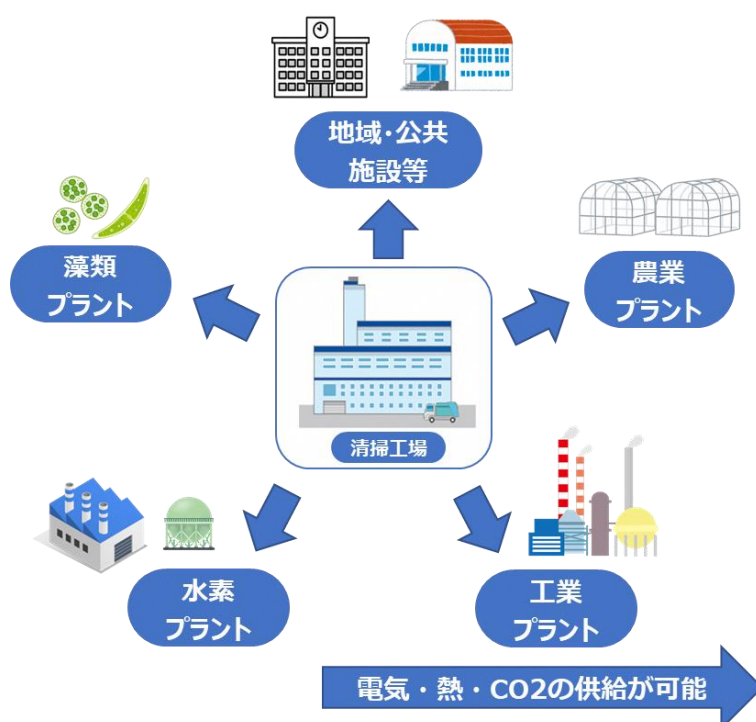


図 4-15 本施設のエネルギー供給拠点イメージ

本施設からの現在の供給状況を表 4-10、図 4-16、図 4-17 に示す。

表 4-10 想定供給先の概要

熱需要施設	施設概要	備考
アルビータ藻類培養施設	・(株)アルビータによる藻類培養施設 ・本施設からのCO₂供給を受けて、藻類（ヘマトコッカス藻）を培養実施中 ・培養プール1棟300m³	2016 年 10 月操業開始
アルビータ事業用地	・(株)アルビータによる事業用地 ・関連施設（取得用地は21ha）	2022 年秋竣工
グリーンラボ植物工場	・グリーンラボ(株)によるバジルの縦型水耕栽培施設。 ・本施設からのCO₂供給。 ・3連棟を4棟。さらに4棟増設予定 ハウス面積約4,800m²。	2019 年冬操業開始
本庄ファーム	・いちご ・本施設からのCO₂供給	2021 年冬操業開始
健康運動センター	・佐賀市による余熱利用施設 ・屋内施設として温水プール（25m他）、浴室、トレーニングルーム等を配備。	・本施設と同時期に建設、本施設からの蒸気供給を受ける
ゆめファーム SAGA	・JA全農によるキュウリのハウス栽培施設 ・間口8m×14連棟 奥行84m 奥行84m 軒高5m ・作付面積1ha。本施設からのCO₂供給	・本施設からの蒸気供給を受け、2019.12から稼働。
進出計画 需要家 A	・農業関連施設（園芸ハウス） ・アルビータ藻類培養施設内に1.8haを予定	R5 事業性調査 R6 施設整備 R7 操業開始
進出計画 需要家 B	・農業関連施設（園芸ハウス） ・アルビータ藻類培養施設内に7haを予定	R5 基本計画 R6 事業性調査 R7 施設整備 R8 操業開始
需要家 C	・飲料工場 ・工業用水の15→35℃程度の加熱の事業性を確認	今後事業化検討
大型商業施設	供給に距離があり、検討は断念	
その他	今後進出等があった場合に検討	

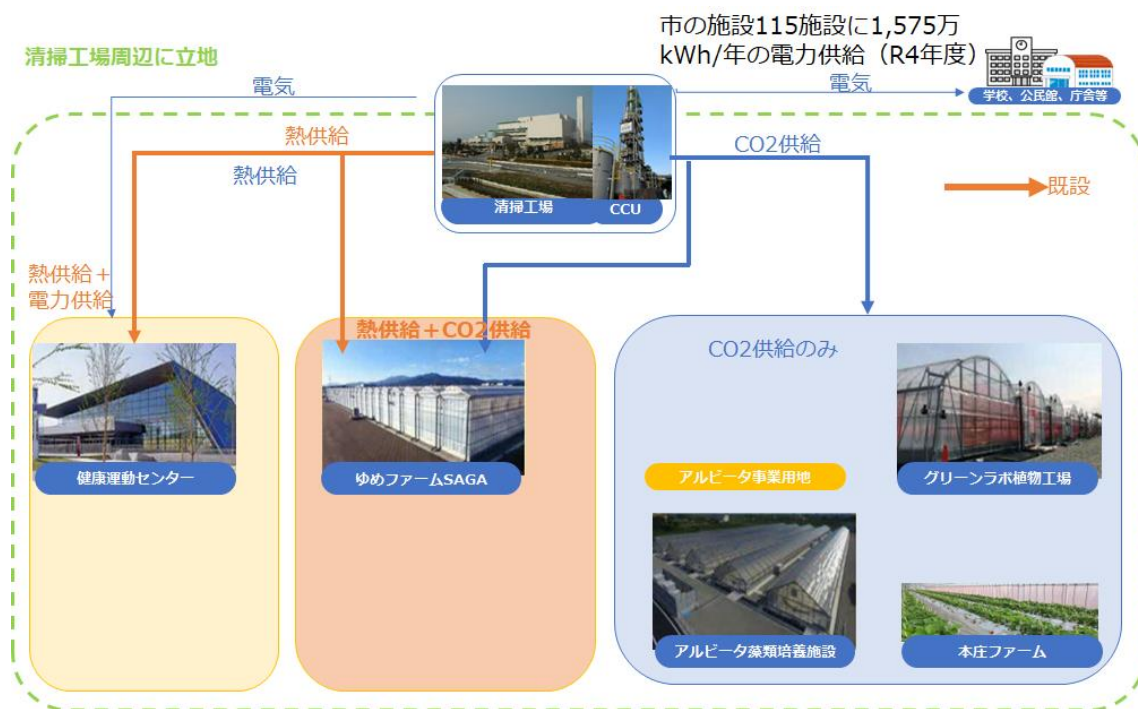


図 4-16 現在の供給の概要



図 4-17 現在の熱供給状況

以降、現状の熱需要家についての概要を記す。

(1) ゆめファーム SAGA

JA 全農が展開する高度環境抑制型園芸施設の設備概要を表 4-11、外観を図 4-18 に示す。

表 4-11 ゆめファーム SAGA 施設概要

項目	内容
施設	ダッチライト型鉄骨ハウス（硬質フィルム展張） 間口 8m×14 連棟 奥行 84m 軒高 5m
面積	施設面積 10,176 m ² （土耕区 4,704 m ² ロックウール区 4,704 m ² 管理室 768 m ² ） 栽培面積 8,650 m ² （土耕区 4,130 m ² ロックウール区 4,400 m ² ）
設置時期	2019 年(令和元年)12 月
要員体制	常駐職員：4 名 パート：18 名（2021.9 時点）
特徴	・土耕栽培とロックウール養液栽培の営農モデルの実証 ・清掃工場より供給の余熱と CO₂ を利用 ・最新の天窓材、カーテン駆動装置を導入 ・Ridder 社製環境・灌水制御装置 HortiMaX の導入
栽培品目	きゅうり専作



図 4-18 ゆめファーム SAGA 外観

(2) 健康運動センター（温水プール）

健康運動センターの設備概要を表 4-12、温水プールと健康運動センター外観を図 4-19 に示す。

表 4-12 健康運動センター（温水プール）の施設概要

項目	内容
面積	施設面積(屋内・屋外) 90,575.45 m ² 施設延床面積 4769.23 m ² (健康運動館) 431.78 m ² (サッカー・ラグビー場管理棟) 温水プール 460 m ³ (25m プール) 150 m ³ (可動床プール(流水プール)) 7.5 m ³ (子どもプール) 6 m ³ (ジャグジー)
整備時期	2004 年(平成 16 年)：健康運動館 2014 年(平成 26 年)：サッカー・ラグビー場
熱交換器	給湯用（プレート式×2 基 120℃→80℃、1 次側 172L/min (10.32kL/h)） プール・浴室用 （プレート式×1 基 120℃→80℃、1 次側 448L/min (26.88kL/h)） 冷凍機用（プレート式×1 基 120℃→100℃） 暖房用（プレート式×1 基 120℃→80℃） ※2021 年 8 月の記録的大雨の影響で浸水し、設備復旧中のため復旧 前の情報を記載



図 4-19 温水プールと健康運動センター外観

なお、2019年8月の「佐賀豪雨」の影響により、健康運動センターでは温水プールと浴槽が利用停止状態にあった。一部の設備復旧により、2020年3月より温水プールが復帰したが、2023年11月～2024年3月に本格復旧工事を実施しており、再び利用停止の状態にある。

4-2-2 課題の整理

既存の熱需要家からのヒアリングの結果、熱供給計画の方向性を検討するうえでの課題を抽出した。

(1) ゆめファーム SAGA

- ハウス内温度維持(16～17℃以上) のため、ピーク時で 4GJ/h 程度の熱が必要
- 今後ハウスを新設したいと思っているが、そこに対しては温水での供給を検討して欲しい。
- 温水であれば温水ボイラのみの設置でよいが、蒸気で供給されると熱交換機等が必要となりイニシャルコストが増える。ゆめファーム SAGA についても供給が蒸気となったことで想定よりイニシャルコストが増えた。
- 本施設側の定修期間の代替熱源に温風暖房機(重油) を使用。
(今年度定修期間(20 日間)の運転費用は約 50 万円。)
- 本施設からゆめファーム SAGA までの輸送ロスがあるのではないか。
- 施設の老朽化により、定修以外でも 2 か月に 1 回程度熱供給が止まる場合がある。
- →定期修繕以外での停止状況を確認し、対応策を検討。

(2) 健康運動センター

- 本施設からの熱供給のみの依存しており、施設では熱源はもっていない。
- 本施設の定修の際は、温水プールは閉鎖している。
- 健康運動センターは、大規模災害の際の救援隊詰め所の機能を担っている。
- 災害時に本施設から電気や熱の供給を受けることができれば、機能の向上につながると思う。
(現状は、施設内の自家発電にて対応。)
- 現在、本施設から 120℃の温水で供給を受けているが、通常は 85℃～90℃程の供給で問題ない。
- 冬場のピーク時の熱供給量を増やしてほしい。

4-2-3 現状の熱供給データ整理

(1) ゆめファーム SAGA

過去 4 か年のゆめファーム SAGA への熱供給量の推移を表 4-13 に示す。ゆめファーム SAGA は前述の通り 2019 年 12 月に運営を開始したため、2019 年度の熱供給量は少ない。2020 年度には 12,593GJ/年と最大の供給量を示し、近年は少し低下している。

表 4-13 過去 4 か年のゆめファーム SAGA への年間熱供給量

項目		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
ゆめファーム	t/年	1,528	4,523	3,659	2,652
	GJ/年	4,253	12,593	10,187	7,383

表 4-14 および図 4-20 にゆめファーム SAGA への月別熱供給量の推移を示す。冬季の 12 月～1 月に供給量が最大を示し、夏季の 7～9 月に最小値を示している。

表 4-14 2021 年度および 2022 年度のゆめファーム SAGA への月別熱供給量

ゆめファーム		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2022年度	t	298	218	203	52	47	41	228	86	428	401	325	323
	GJ	830	607	565	145	131	114	635	239	1,192	1,116	905	899
2021年度	t	423	339	243	242	190	218	329	135	442	386	347	364
	GJ	1,177	944	676	673	528	608	917	377	1,232	1,075	966	1,015

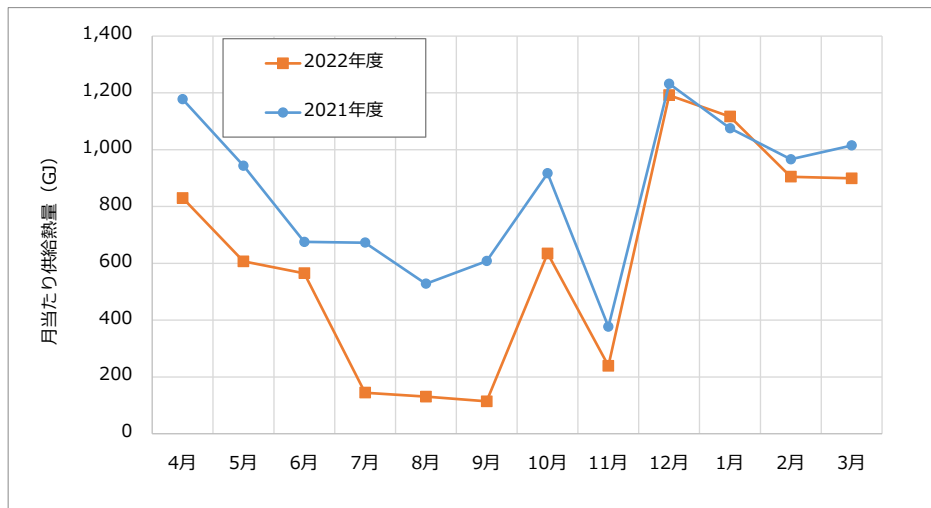


図 4-20 2021 年度および 2022 年度のゆめファーム SAGA への月別熱供給量推移

次に、本施設が定修となっている 11 月を除いて、2022 年度の中で熱供給量が最小の日（9 月 18 日）と最大の日（12 月 29 日）の一日の中での供給量変動を図 4-21 に示す。最小の日は一日を通してほとんど熱供給が無く、最大の日は約 2GJ/h の供給量が 24 時間続いていた。

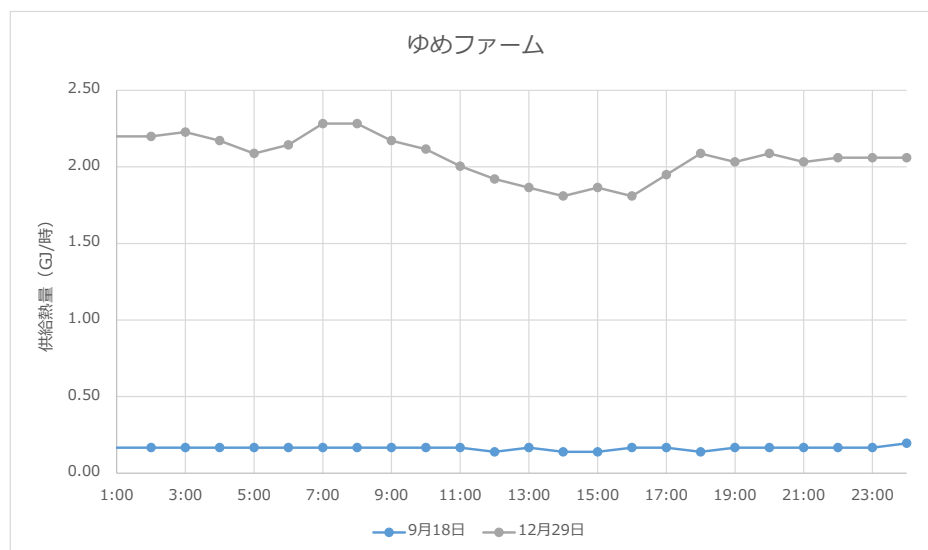


図 4-21 2022 年度のゆめファーム SAGA への最小（9 月 18 日）および最大（12 月 29 日）の熱供給量時間変化

さらに、熱供給量の変動の傾向を見るため、図 4-22 に 2022 年度の中でも熱供給量が多かった 12 月のある一週間の推移を示す。

この一週間での熱供給量は 0.4～1.8GJ/h の範囲で変動しており、平均 1.36GJ/h であった。概ね夜間～正午 12:00 に需要が多くなり、夕方 15:00～20:00 頃に極小値を持つことがわかった。

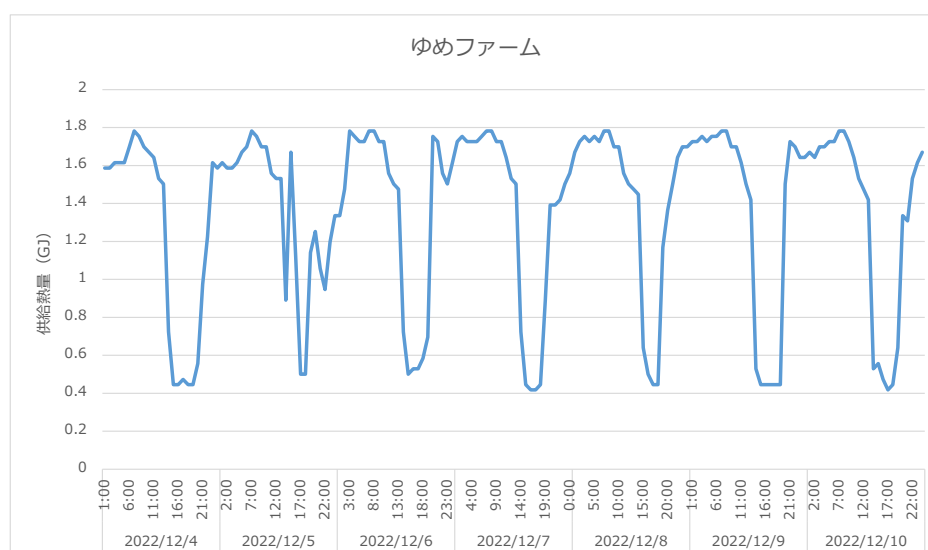


図 4-22 2022 年度のゆめファーム SAGA への熱供給量最大月（12 月）における時間変化

(2) 健康運動センター

過去4か年の健康運動センターへの熱供給量の推移を表4-15に示す。表に示した範囲では熱供給量が年々低下していることがわかる。

表 4-15 過去4か年の健康運動センターへの年間熱供給量

項目		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
健康運動センター	t/年	2,799	2,424	2,191	2,155
	GJ/年	7,792	6,749	6,101	5,999

表4-16および図4-23に健康運動センターへの月別熱供給量の推移を示す。ゆめファームSAGAと同様に冬季に供給量が最大を示し、夏季には最小になっている。

表 4-16 2021年度および2022年度の健康運動センターへの月別熱供給量

健康運動センター		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2022年度	t	195	76	44	59	60	40	97	97	406	414	398	269
	GJ	543	212	122	164	167	111	270	270	1,130	1,153	1,108	749
2021年度	t	222	107	70	55	113	68	241	134	321	350	216	295
	GJ	619	298	194	152	313	189	672	373	894	975	601	822

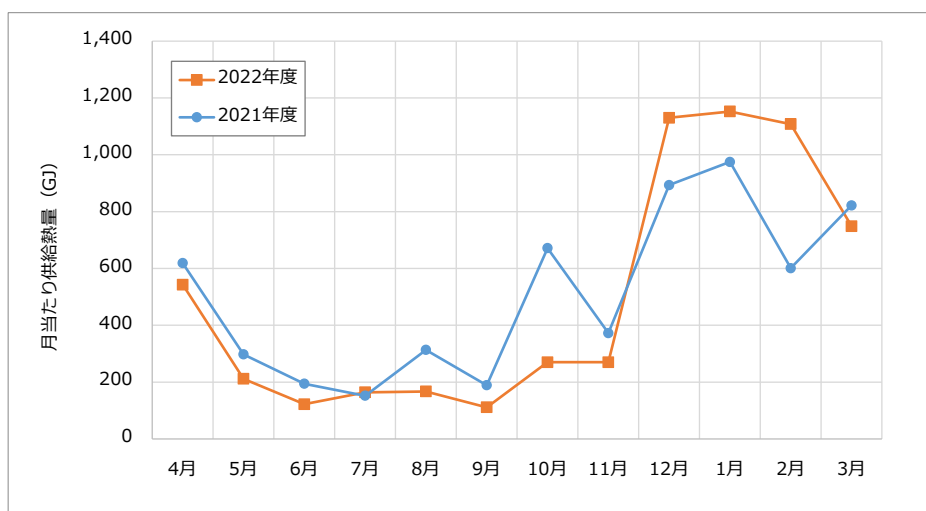


図 4-23 2021年度および2022年度の健康運動センターへの月別熱供給量推移

次に、本施設が定修となっている11月を除いて、2022年度の中で熱供給量が最小の日(9月)と最大の日(1月)の一日の中での供給量変動を図4-24に示す。健康運動センターへの熱供給量の場合、一日の供給量合計が最小の日と一時間当たりの供給量が最小の日に違いがあり、同じく最大の日も異なっているため、4日間のデータを示している。最小の日は一日を通してほとんど熱供給が無く、最大の日の変動があるものの、平均で1.5~2.0GJ/hの供給量であった。

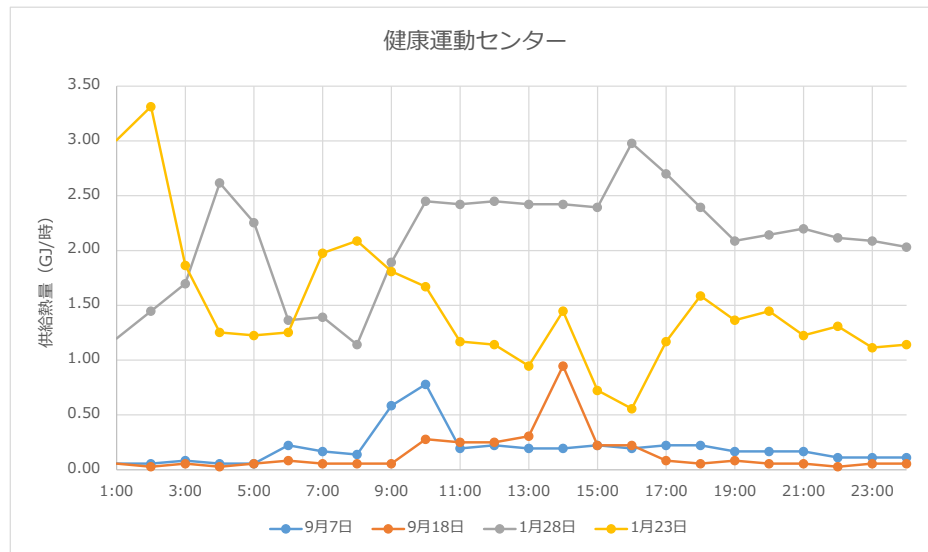


図 4-24 2022 年度の健康運動センターへの最小（9 月 7 日および 18 日）および最大（1 月 23 日および 28 日）の熱供給量時間変化

さらに、熱供給量の変動の傾向を見るため、図 4-25 に 2022 年度の中でも熱供給量が多かった 1 月のある一週間の推移を示す。

この一週間での熱供給量は 1.0～2.5GJ/h の範囲で変動しており、平均 1.55GJ/h であった。概ね 2:00、9:00、14:00、18:00 頃のピークが繰り返されていることがわかった。

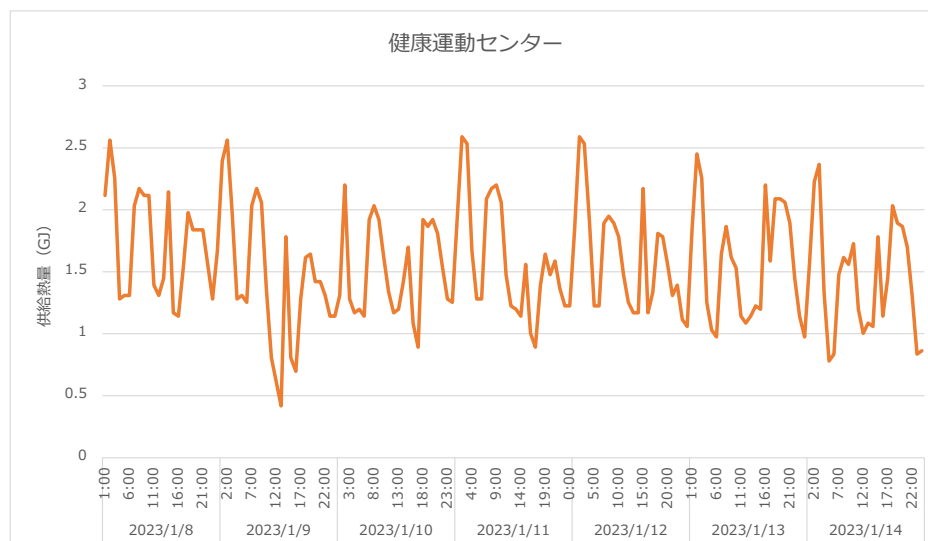


図 4-25 2022 年度の健康運動センターへの熱供給量最大月（1 月）における時間変化

4-2-4 熱供給状況まとめ

熱供給の現状は、健康運動センターもゆめファームも冬季の同時期に需要のピークを迎える。

このため夏季に需要が増えるような新規需要家があればよいが、一般的な熱需要家を見ると、冬季の余剰分の可能性がどの程度かを把握する必要がある。

また、日変動については夜間～明け方にピークを迎えるので、ピークシフトなどの検討の余地がある。

現在進出が予定される開発対象エリアは、図 4-17 に示ように最大 21ha と広大で、低圧蒸気の余力（後述）からは、供給熱量を制限して利用することで供給可能である。

最新の調査では、先進的な園芸ハウスでは $2\text{GJ/h} \cdot \text{ha}$ の熱負荷が必要で、品種によつての熱負荷の差異は少ないと言われている。

また、季節による需要量の変化も大きいこともあり、熱供給をより効果的に利用できるようシステムとしての工夫も考えられる。

本施設から熱供給を受けること前提として、次のように需要家側が備えることが必要である。

- 本施設の休止期間がある（11 月）。このため、必要なバックアップ機器は需要家側で準備する必要がある。
- 熱供給の機器特性等から熱需要変化に対する応答速度は非常に遅いことから、需要家側での追従型での制御が必要

このことから、需要家側では常に全量を本施設側に依存する方式ではなく、熱需要のほぼ半分程度を本施設に依存（ベースロード）し、残りを需要家側で賄う／需要に対する調整を行う方式が望ましい。

このため、需要家側では最大負荷を想定した機器が必要になるが、休止期間の運用計画によっては機器の最大定格を下げることも可能である。これは双方の設備利用率の向上やメンテナンス・操業のしやすさなどからもよい方策になる。

また、蓄熱槽を設けて負荷平準化を図り機器の最大定格を下げる、周辺企業との連携や本施設を含めピークカット、ピークシフトによる創熱をするなど、様々な展開も期待される。

さらに、現在進めている新電力事業にも絡めて発電量を下げて高圧蒸気からの流用した創熱／エネルギーシフトなど、本施設における熱供給の可能性を検討する。

4-3. 佐賀市清掃工場廃棄物エネルギー利活用検討

熱供給の検討を進めるにあたり、前回報告書^[4-2]と直近の情報とあわせ、再整理した。

前回報告書での利活用のポイントとして以下が示されている。

- ① 蒸気タービンの排気復水の冷却に水冷式復水器を追加し、温水を供給
- ② 健康運動センターへの高温水供給後、戻り温水を園芸ハウスへ供給するカスケード利用
- ③ 低圧蒸気の温水変換利用や熱源タンクの利用による熱利用の有効化
- ④ 発電出力を下げて、高圧蒸気を抽気することによる熱供給

現状の周辺施設概要を表 4-17、図 4-26、図 4-27、図 4-28 に示す。

表 4-17 想定供給先の概要

熱需要施設	施設概要	備考
健康運動センター	・佐賀市による余熱利用施設 ・屋内施設として温水プール（25m他）、浴室、トレーニングルーム等を配備。	・本施設と同時期に建設、本施設からの蒸気供給を受ける
ゆめファーム SAGA	・JA全農によるキュウリのハウス栽培施設。 ・間口8m×14連棟 奥行84m 奥行84m 軒高5m ・作付面積1ha。本施設からのCO ₂ 供給。	・本施設からの蒸気供給を受け、2019.12から稼働。
進出計画 需要家 A	・農業関連施設（園芸ハウス） ・アルビータ藻類培養施設内に1.8haを予定	R5 事業性調査 R6 施設整備 R7 操業開始
進出計画 需要家 B	・農業関連施設（園芸ハウス） ・アルビータ藻類培養施設内に7haを予定 ・	R5 基本計画 R6 事業性調査 R7 施設整備 R8 操業開始
需要家 C	・飲料工場 ・工業用水の15→35℃程度への加熱の事業性を確認	今後事業化検討
大型商業施設	供給に距離があり、検討は断念	
その他	今後進出等があった場合に検討	

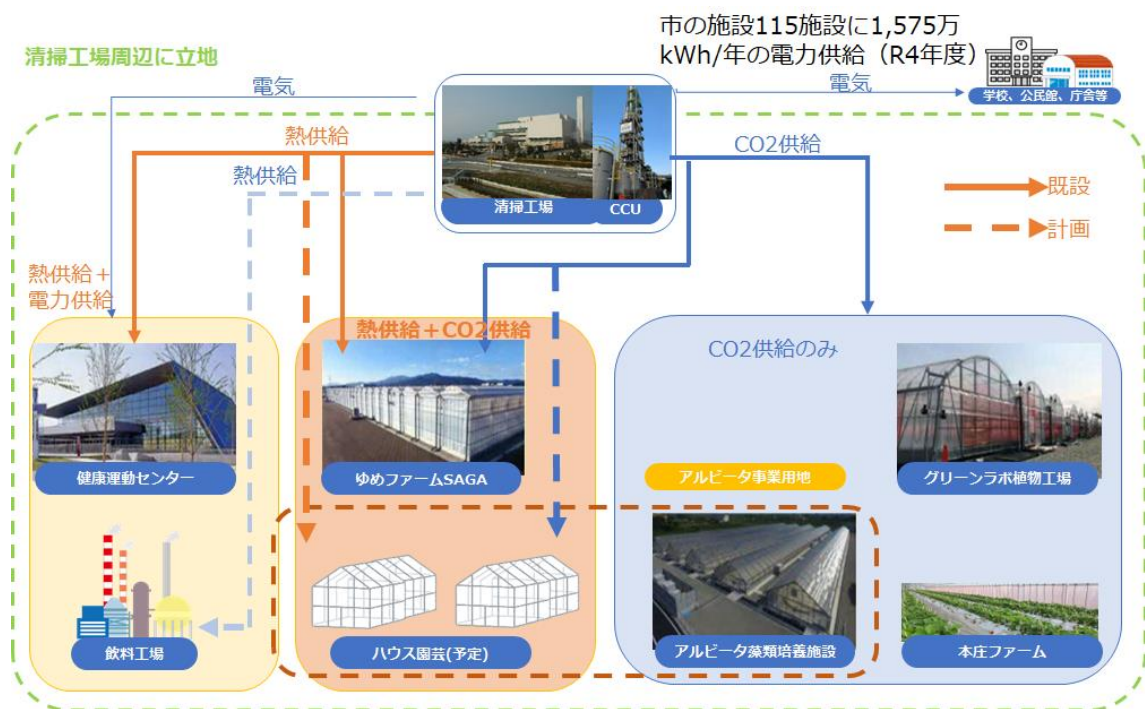


図 4-26 供給計画の概要

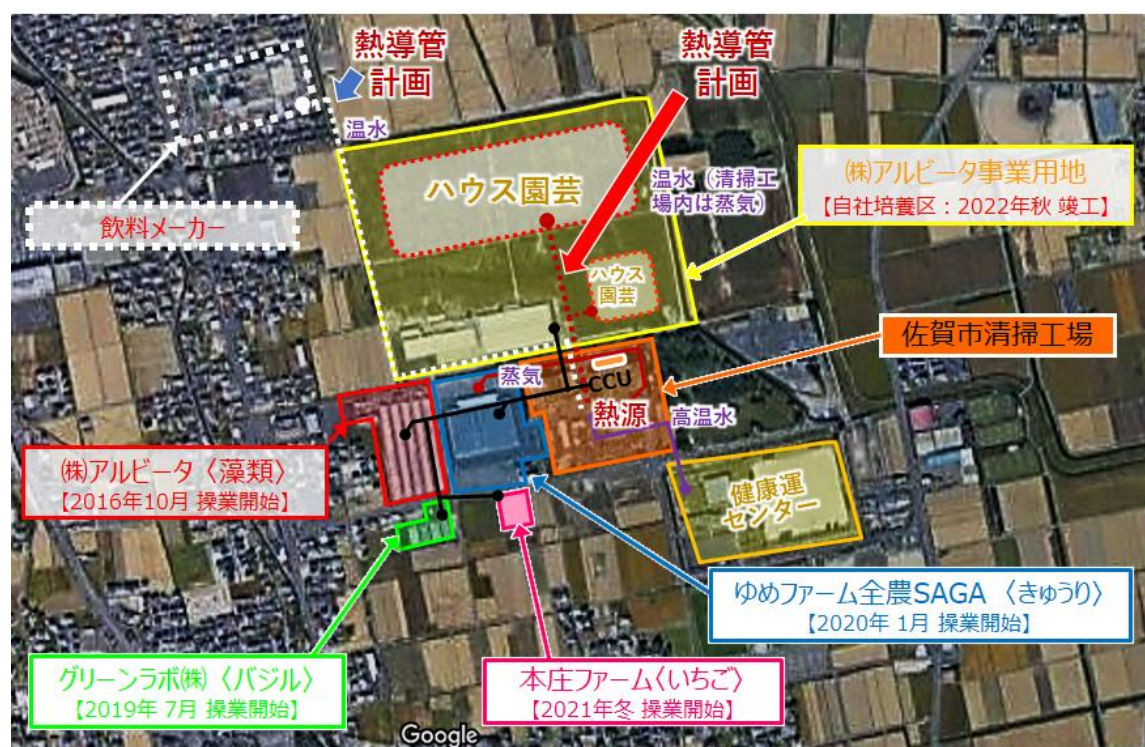


図 4-27 供給計画と周辺状況



図 4-28 本施設の周辺状況

これに対し熱供給を現実的に展開するための課題を次のように再整理した。

- 総熱利用量を増やすためには、復水の冷却を空冷式から水冷式に変更し熱利用の増加を図るべきだが、利用条件を満たす需要家を確保することが課題。
- 低圧蒸気を主として熱利用を行うにあたり、需要家側は 80℃前後の温水供給の要望が高く、熱源タンクの併用など供給方法の協議が必要。
- 現状、市の施設 115 施設に 1,575 万 kWh/年（2022 年度実績）の電力供給をしており、発電出力を下げて、高圧蒸気からの熱供給可能か再確認が必要。

本事業では、水冷式復水器の熱利用と低圧蒸気利用の事業性と将来的な熱供給余力として発電出力を下げ高圧蒸気を利用する方向性について検討した。

検討した蒸気利活用の全体像を図 4-29 に示す。

創熱		媒体/方策	特性	利用用途	備考
A:飲料工場向け復水利用	創熱	蒸気タービン排気復水水冷化	25→40℃：6GJ/h	飲料工場の地下水加熱	今後事業化検討
B:ハウス園芸への熱供給	エネルギーシフト	①蒸気タービン抽気低圧蒸気利用	80℃：9GJ/h	園芸ハウス等加温	事業化を検討中(追加方策②③検討)
		④発電出力を下げ高圧蒸気利用	80℃：(2.7GJ/t)	低圧蒸気に加算可能	将来増強計画

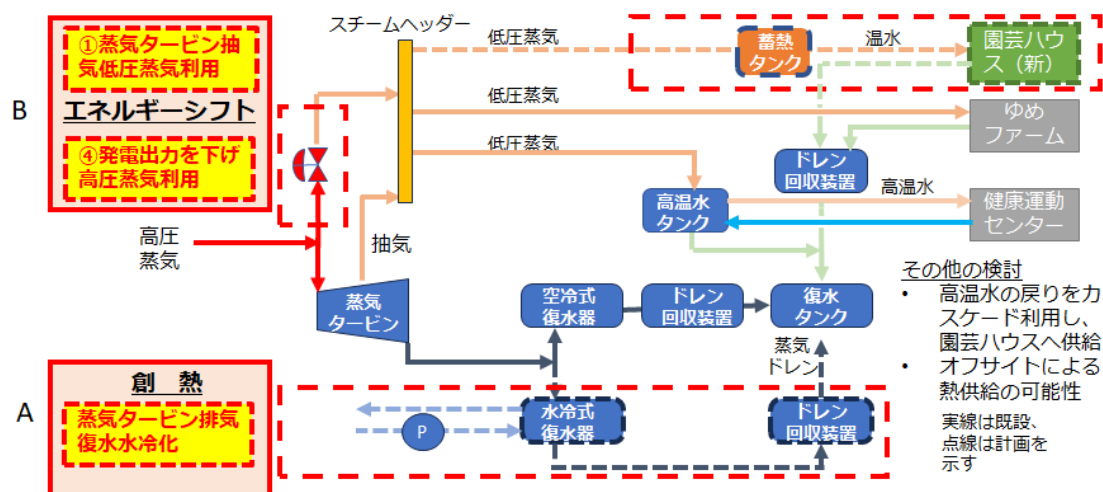


図 4-29 本施設における蒸気利活用の全体像

ここでは、創熱、エネルギーシフトに大別（表 4-18 参照）し、個々の可能性について検討する。

表 4-18 創熱、エネルギーシフトの検討項目

創熱		媒体/方策		備考
A	創熱	蒸気タービン排気復水水冷化		飲料工場向け復水利用
B	エネルギーシフト	蒸気タービン抽気	高温水利用	aバイナリー発電 bカスケード利用
			低温水利用	①抽気最大化 ②運用改善 ③蓄熱追加
		ボイラ高圧蒸気		④高圧蒸気利用
				健康運動センターを経由した展開を想定

以下に検討結果を報告する（検討項目 a、b、①～④を記す）。

4-3-1 復水器の水冷化による熱の有効利用（創熱）

（１） 取り出し温度のポイント

復水器の水冷化による熱の有効利用においては、熱交換機器の取り出し温度が有効利用のポイントである。以下にポイントを示す。

- 水冷式復水冷却で 60℃の温水を供給する場合、発電出力が 500kW 低下する。発電出力を落とさずに供給できる供給温度は 40℃。
- 40℃供給の場合でも、費用対効果を出すには需要家は 25℃まで温度を下げて返送する制限がある。
- 工業用水などの比較的通年安定して低い温度（20℃程度）の加温であれば、水冷式復水器としての有効活用が期待でき、通年を通して定格での利用可能であり、変動する空調負荷等よりも優位である。
- 一般的に熱供給導管の採算がとれる距離は 500m 以内と言われるが、熱源のランニングコストが極小であれば 1,000m 程度でも可能と考えられる。

水冷復水器の機器費、1000m（うち場内 300m）の配管工事費を踏まえるとイニシャルで 3.5 億円との情報を得ている。想定される熱需要（6GJ/h／需要家側 15℃→30℃：供給側 40℃→25℃）に対して、仮に、熱供給単価を化石燃料単価（都市ガス 13A 従量料金：100.88 円/m³（45MJ/m³））の半値程度となる熱量単価 1,200 円/GJ と想定しても、ランニングコストはポンプ動力費があるものの 6 年程度でイニシャルの投資回収が可能である。加えて、国の補助が適用可能であれば、更に投資回収も早めることも可能である。

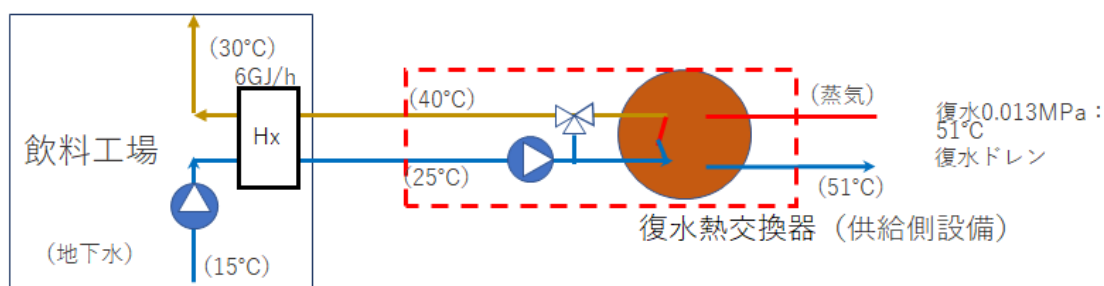


図 4-30 復水器の水冷化による熱の有効利用

表 4-19 配管計画

需要家	交換熱量 (GJ/h)	総延長 (m)	流体	温度 (℃)	圧力 (MPa)	口径 (A)	材質
復水冷水利用	6	1000 (工場内300)	往	温水	40	—	鋼管
			還	温水	25	—	

表 4-20 水冷復水器による単純投資回収の選定条件

水冷式復水器による単純投資回収	
機器費（配管込み）	3.5億円
供給熱量（25→40℃）	6GJ/h
想定根供給単価	1,200円/GJ
年間熱供給量（330日）	47,520GJ/年
年間売り上げ	57,024,000円
投資回収	6.13年

表 4-21 算出に用いた都市ガス料金

業務用選択約款		基本料金				従量料金単価（円/m ³ ）			
		定額基本 （円/月）	流量基本 （円/m ³ ・月）	昼間基本 （円/m ³ ・月）	夜間基本 （円/m ³ ・月）	基準単 位料金	原料費調整 適用後単価	激変緩和対 策政府支援	値引き後原料 調整適用単価
時間帯 別B契約	1種	166,100.00	591.23	4.64	2.09	87.91	115.88	-15.00	100.88

出典 佐賀ガス HP より抜粋^[4-3]

これらを検証するため、実際に水冷式復水器を導入し、併用している事例を調査・確認を行った。次項に示す。

（２） ふじみ衛生組合水冷式復水器使用例

ふじみ衛生組合の施設概要を表 4-22 に、外観を図 4-31 に示す。

運転状況は、最大発電能力は 9,700kW だが、現状 6～7,000kW 程度での運用となっている。運営は民間事業者に委託しており（公設民営）、発電収入はその民間企業に帰属する形をとっている。

タービン排気用に水冷式復水器を併用して、隣接する「三鷹中央防災公園－元気創造プラザ」に電力と合わせ供給している。供給された熱は温水プール等に利用されている。

電気は地中線を引いて供給（自営線）。間に市道を挟むものの、同じ管理者の下での管理との解釈により、自家発自家消費の扱いとしている。1施設1契約のため、廃棄物発電停止時はふじみ衛生組合が電力を購入し、供給している。

表 4-22 施設概要

施設名称	クリーンプラザふじみ	発電能力	9,700kW
所在地	東京都調布市深大寺東町7丁目50番地30	敷地面積	26,289m ²
組織市	三鷹市・調布市	着工	平成22年8月
設備形式	全連続燃焼式ストーク炉	竣工	平成25年3月
焼却能力	288t/日(144t/日×2炉)	総事業費	101億6,400万円(消費税込み)
ごみ処理施設棟	階数：地上5階、地下1階 構造：鉄筋コンクリート造、鉄骨造一部鉄骨鉄筋コンクリート造		
煙突	構造：鉄筋コンクリート造 高さ：100m		

出典：ふじみ衛生組合 HP^[4-4]



図 4-31 ふじみ衛生組合（三鷹中央防災公園・元気創造プラザ）

出典：ふじみ衛生組合 HP^[4-4]

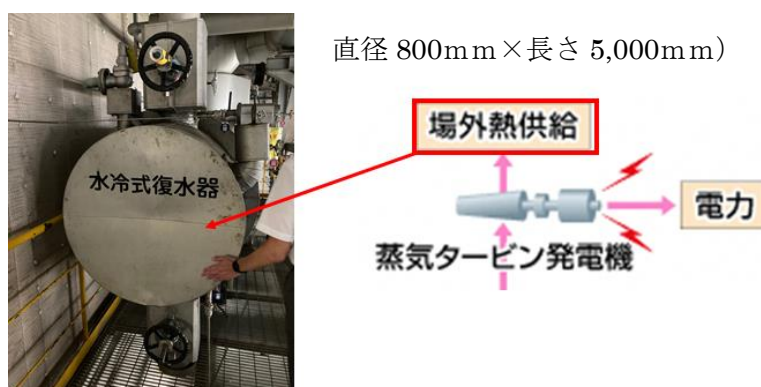


図 4-32 水冷式復水器外観

出典：ふじみ衛生組合 HP^[4-4]

水冷式復水器から取り出された 40℃程度の温水、60t/h を供給、供給先に熱交換器を設置し、温水熱のみを利用、温水は循環させている。

熱供給の制御は、出成りのため、年間を通じて全量熱利用はされておらず、供給 40℃、戻り 20℃で計画していたが、利用量が少ないため、戻り温度が 30℃～40℃になっており、利用量が少ない時は空冷式の復水器が併用運転される。

水冷式復水器の熱利用は、利用条件が冬場のプール加熱や屋内暖房にしか合わず、年間の設備利用率が低下することが分かった。

このことから、水冷復水器を導入する場合は、熱利用を効率的に行うためには工業用水などの比較的低温で安定した被加熱源を想定することが肝要である。

4-3-2 高温水の利用（エネルギーシフト）

（１） バイナリー発電の検討（検討項目 a）

バイナリー発電は、熱水や蒸気の熱で、水よりも沸点の低いアンモニア水やペンタン、代替フロンなどの作動媒体を沸騰させ、その蒸気でタービンを稼働させるシステムである。作動媒体を加熱した熱水や蒸気は熱交換後もとに戻り、沸騰した作動媒体もタービン通過後、冷却して再利用するものである。熱水や蒸気で作動媒体を沸騰させるサイクルと、作動媒体がタービンを回転させるサイクルの 2 つがあることがバイナリー発電の名前の由来である。

健康運動センターに供給されている高温水を用い図 4-33 のようなバイナリー発電も導入可能であるが、発電効率的にはごみ発電の効率が高く、また、健康運動センターの熱消費が少ない場合は低圧蒸気の余力として活用できることから、熱供給全体を考えた場合は、新たにバイナリー発電を導入するメリットは小さいと思われる。

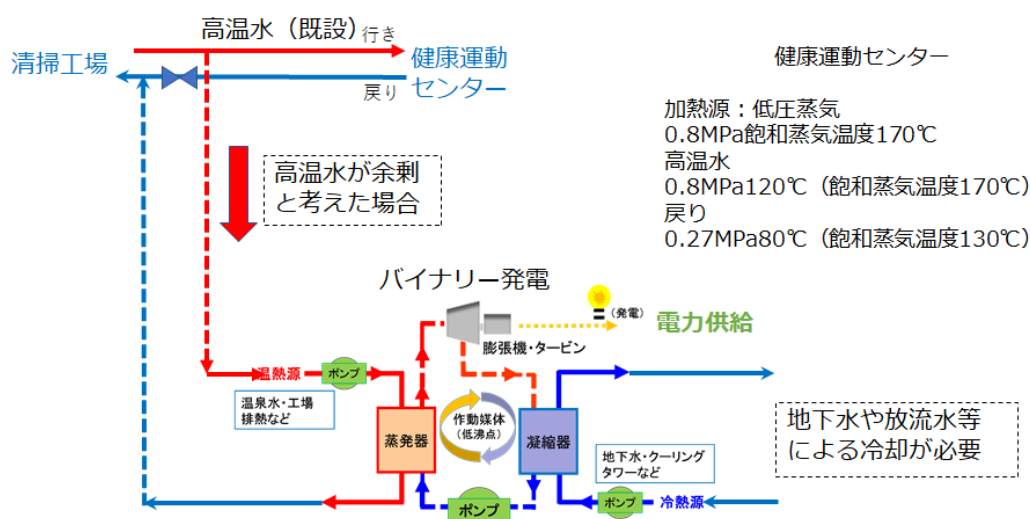


図 4-33 バイナリー発電の検討

(2) カスケード利用（検討項目 b）

前回報告書では、図 4-34 のように健康運動センターで一旦熱利用した後、新たな需要家へ供給することが考えられている。ただし、この場合は利用できる熱量、温度帯に制約が加わり、需要と見合わない可能性がある。

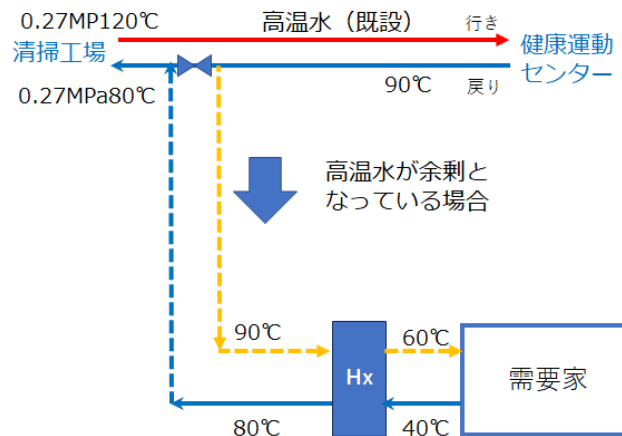


図 4-34 カスケード利用の考え方

今回の検討の結果、健康運動センターからの供給分岐が有利な需要家が想定された場合に再考することとし、カスケード利用を断念した。

総熱供給量を低圧蒸気からできるだけ供給することを念頭に置き、次に示す供給元の低圧蒸気の余力として検討することとした。

また、高温水供給は、系内の機器配管等で労働安全衛生法の第一種圧力容器に該当する機器があることから、年次法定点検などの必要があり、運用面では割高になっている。需要家側での利用温度状況によっては 120℃の高温水であることは必ずしも必要がない。具体的な前述のカスケード利用もないことから他の需要家と同じ 80℃温水供給へ変更して経費を軽減することも今後検討することも考えられる。

(3) 高温水の供給余力

健康運動センターでは供給熱量をほぼ全量を賄っていることから、供給余力を次の二つの方法で利用することができる。

- ・ 健康運動センターの運用改善による運用改善によるピークシフト
- ・ 昼間蓄熱による明け方の余力増大

R4年度の各月にける熱需要の日変化の運転実績を図 4-35 に示す。

健康運動センターは、全熱量を清掃工場からの熱供給で賄うため、高負荷時と最低負荷との差が大きく、営業開始時間に向けてプールや場内の加温をするため、明け方、場合によっては夜間も暖機する必要がある。

昼間は季節や天候に左右されるが、負荷は低くなる。夕刻は給湯利用負荷が高い傾向にある。

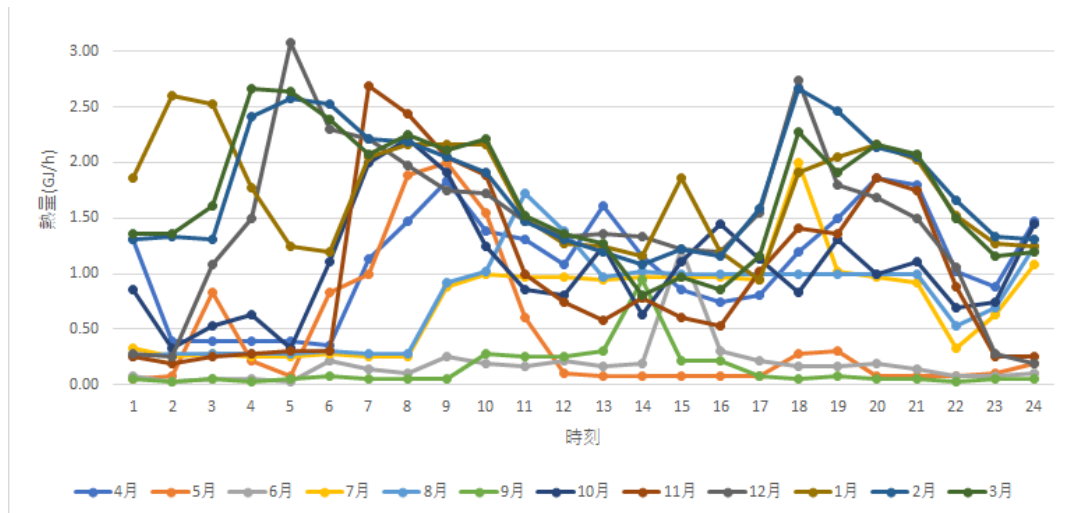


図 4-35 健康運動センターの各月にける熱需要の日変化

ゆめファーム SAGA を同様に検証してみると、図 4-36 に示すように事業者側で必要な熱出力を持っているのでベースロードとして利用、不足分を加温利用していることから、主に明け方 4 時から 8 時の 4 時間の負荷が高く、冬場は夜間 22 時から翌朝 10 時まで高負荷が続く。昼間でも冬場はある程度負荷があり、熱源として余力があるとは言えない。夏場は負荷がほとんどない。

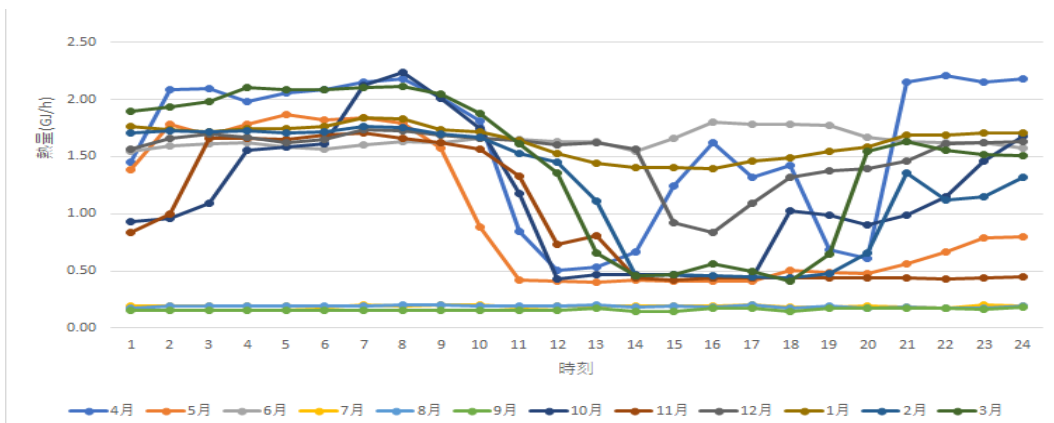


図 4-36 ゆめファーム SAGA の各月にける熱需要の日変化

これらの状況に対し、創熱としては次のように考えられる。

(4) 健康運動センターの運用改善によるピークシフト（検討項目②）

健康運動センターにおける明け方に必要な加熱時間帯を前日からの夜間運転でヒートアップを行い、他施設への供給余力を創熱するもので、運用を改善することで $1.5\text{GJ/h} \times 4\text{h}$ のピークシフトが可能である（図 4-37 参照）。

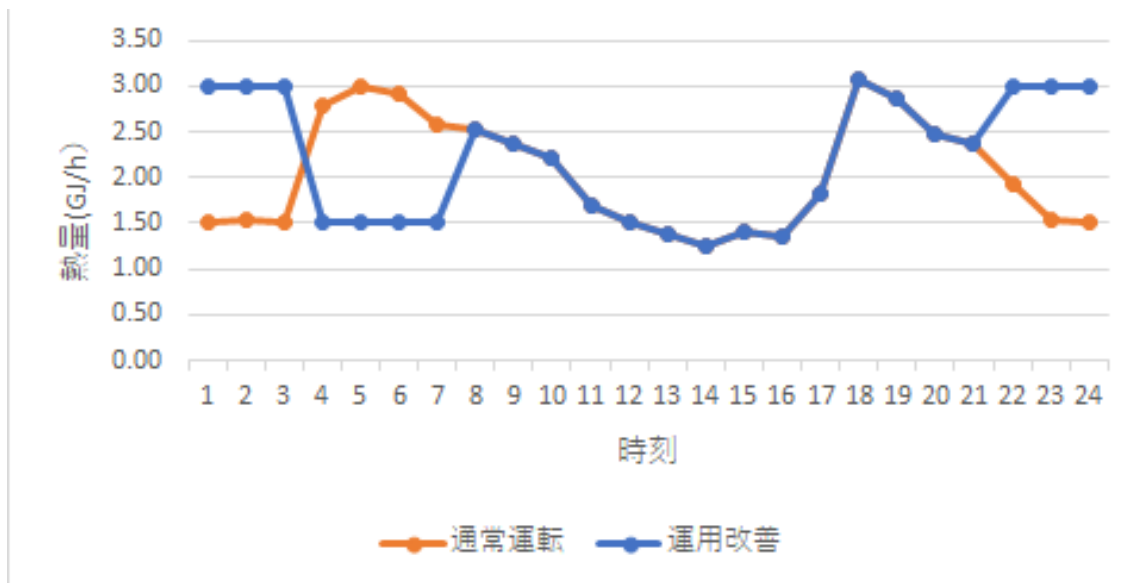


図 4-37 運用改善による運用改善によるピークシフト

(5) 低圧蒸気からの温水蓄熱による利用（検討項目③）

冬季に余力を求める場合、昼間での負荷低減を利用した蓄熱による早朝利用が有効である。

ゆめファームの 1 月では、ほぼ定格での運転（清掃工場からの熱供給をベースロードに事業者側で追い焚き）が続き、余力は少ないことから、確実な余力の見込める健康運動センターの余剰を利用した蓄熱の効果が大きい。この場合 $2\text{GJ/h} \times 4\text{h}$ 分が見込め、創熱効果が期待される（図 4-38 参照）。しかし、蓄熱タンクの新たな導入が必要であり、売熱単価が上昇することが課題である。

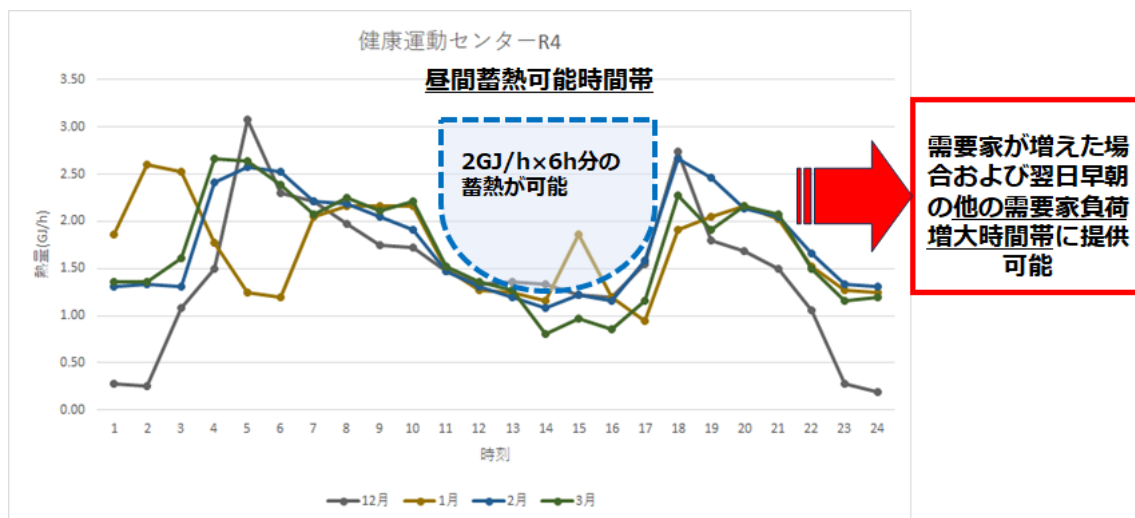


図 4-38 昼間蓄熱による供給余力増大

蓄熱槽の検討については後述する。

4-3-3 低圧蒸気熱供給の検討

(1) 低圧蒸気の最大利用（検討項目①）

低圧蒸気の利用に関して直近のデータで再確認した。（表 4-23 参照）。

表 4-23 抽気蒸気最大時の低圧蒸気の利用熱量実績（R2～R4）

R2年度			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実績	① 低圧蒸気利用量	GJ/h (最大)	17.3	16.0	17.1	16.5	13.2	13.9	17.6	19.5	20.6	20.9	19.0	19.4
	② 内 高温水発生装置	GJ/h (最大)	3.4	3.4	2.4	2.6	1.6	1.1	2.5	4.4	4.1	3.7	3.3	3.8
	③ 内 CO2回収設備	GJ/h (最大)	1.0	1.0	0.8	1.0	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1
	④ 内 ゆめファーム	GJ/h (最大)	3.1	3.1	4.7	4.0	1.7	2.6	4.5	5.0	5.4	5.7	4.4	5.0
	⑤ 内 場内利用（脱気器等）	GJ/h (最大)	9.8	8.6	9.2	8.9	8.6	9.1	9.4	9.0	9.9	10.4	10.2	9.5
余力	⑥ 抽気蒸気量 上限	GJ/h	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
	⑦ 同 余力	GJ/h	9.1	10.4	9.3	9.9	13.2	12.5	8.8	6.9	5.8	5.5	7.4	7.0
R3年度			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実績	① 低圧蒸気利用量	GJ/h (最大)	17.7	13.8	14.5	14.7	21.4	14.7	16.3	15.0	15.2	15.4	16.6	16.3
	② 内 高温水発生装置	GJ/h (最大)	2.9	2.5	2.0	3.1	4.5	3.2	3.7	3.0	2.1	2.2	3.3	3.2
	③ 内 CO2回収設備	GJ/h (最大)	1.1	0.8	1.1	0.8	1.0	0.8	0.6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
	④ 内 ゆめファーム	GJ/h (最大)	4.2	2.1	2.1	2.1	2.6	2.1	2.2	1.9	2.3	2.2	2.1	2.4
	⑤ 内 場内利用（脱気器等）	GJ/h (最大)	9.6	8.4	9.2	8.7	9.0	8.7	9.9	9.1	9.8	9.8	10.1	9.7
余力	⑥ 抽気蒸気量 上限	GJ/h	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
	⑦ 同 余力	GJ/h	8.7	12.6	11.9	11.7	5.0	11.7	10.1	11.4	11.2	11.0	9.8	10.1
R4年度			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実績	① 低圧蒸気利用量	GJ/h (最大)	15.7	13.1	14.4	13.5	11.7	10.9	14.7	16.2	16.3	14.7	15.9	16.5
	② 内 高温水発生装置	GJ/h (最大)	2.2	2.0	1.6	2.0	1.7	0.9	2.2	4.1	3.1	3.0	3.0	3.1
	③ 内 CO2回収設備	GJ/h (最大)	1.0	0.9	1.1	1.1	0.9	0.7	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	1.7
	④ 内 ゆめファーム	GJ/h (最大)	2.3	1.9	2.5	1.6	0.2	0.2	2.2	1.8	2.3	1.9	1.8	2.1
	⑤ 内 場内利用（脱気器等）	GJ/h (最大)	10.2	8.3	9.1	8.8	8.8	9.0	9.4	9.4	9.8	8.9	10.0	9.5
余力	⑥ 抽気蒸気量 上限	GJ/h	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
	⑦ 同 余力	GJ/h	10.7	13.3	12.0	12.9	14.7	15.5	11.7	10.2	10.1	11.7	10.5	9.9

健康運動センターは、R3 年度の出水の影響があることから R2 年度をベースに、ゆめファーム SAGA は R4 年度の運転データが実運用に近いと考え、組み合わせて検討すること

とした（表 4-24）。これにより場内の省エネなどを鑑み、蒸気タービン抽気蒸気からは、約 9GJ/h を最大供給可能量として検討することとした。

表 4-24 抽気蒸気最大時の低圧蒸気の利用熱量集約（R2～R4）

R2～4年度			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実績 (最大)	① 低圧蒸気利用量	GJ/h	16.9	14.5	15.1	14.1	11.5	11.0	14.9	16.5	17.4	15.5	16.2	17.1
	② 内 高温水発生装置(R2)	GJ/h	3.4	3.4	2.4	2.6	1.6	1.1	2.5	4.4	4.1	3.7	3.3	3.8
	③ 内 CO2回収設備	GJ/h	1.0	0.9	1.1	1.1	0.9	0.7	0.8	0.9	1.2	1	1.1	1.7
	④ 内 ゆめファーム	GJ/h	2.3	1.9	2.5	1.6	0.2	0.2	2.2	1.8	2.3	1.9	1.8	2.1
	⑤ 内 場内利用（脱気器等）	GJ/h	10.2	8.3	9.1	8.8	8.8	9.0	9.4	9.4	9.8	8.9	10.0	9.5
余力	⑥ 抽気蒸気量 上限	GJ/h	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
	⑦ 同 余力	GJ/h	9.5	11.9	11.3	12.3	14.9	15.4	11.5	9.9	9.0	10.9	10.2	9.3

＜参考＞スートブロワ方式変更による創エネ効果

本施設における蒸気式スートブロワの数は、1 炉あたり 11 基、3 炉合計すると 33 基であり、年間に使用する蒸気量は熱量 4,777GJ（計画値）であることから、蒸気を使用しない圧力波式スートブロワへの方式変更によるプロセス蒸気の削減により年間 4,777GJ の創エネが見込まれることとなる。2 炉運転として、0.51GJ/h の創熱である。

$$4,777\text{GJ/年} \div 24\text{h/日} \times 260 \text{ 日/年} = 0.76\text{GJ/h}$$

→ 2 炉運転として 2 / 3、0.51GJ/h と見込める

（２） 需要家想定

これまでの成果を纏め、に現時点での供給可能量を示す。現時点での新たな想定需要家を表 4-25 に、定供給先の位置関係図 4-39 に示す。

表 4-25 需要家と今後の候補

熱需要施設	施設概要	備考
進出計画 需要家 A	・ 農業関連施設（園芸ハウス） ・ アルビータ藻類培養施設内に1.8haを予定	R5 事業性調査 R6 施設整備 R7 操業開始
進出計画 需要家 B	・ 農業関連施設（園芸ハウス） ・ アルビータ藻類培養施設内に7haを予定	R5 基本計画 R6 事業性調査 R7 施設整備 R8 操業開始
需要家 C	・ 飲料工場 ・ 工業用水の15→35℃程度への加熱の事業性を確認	今後事業化検討

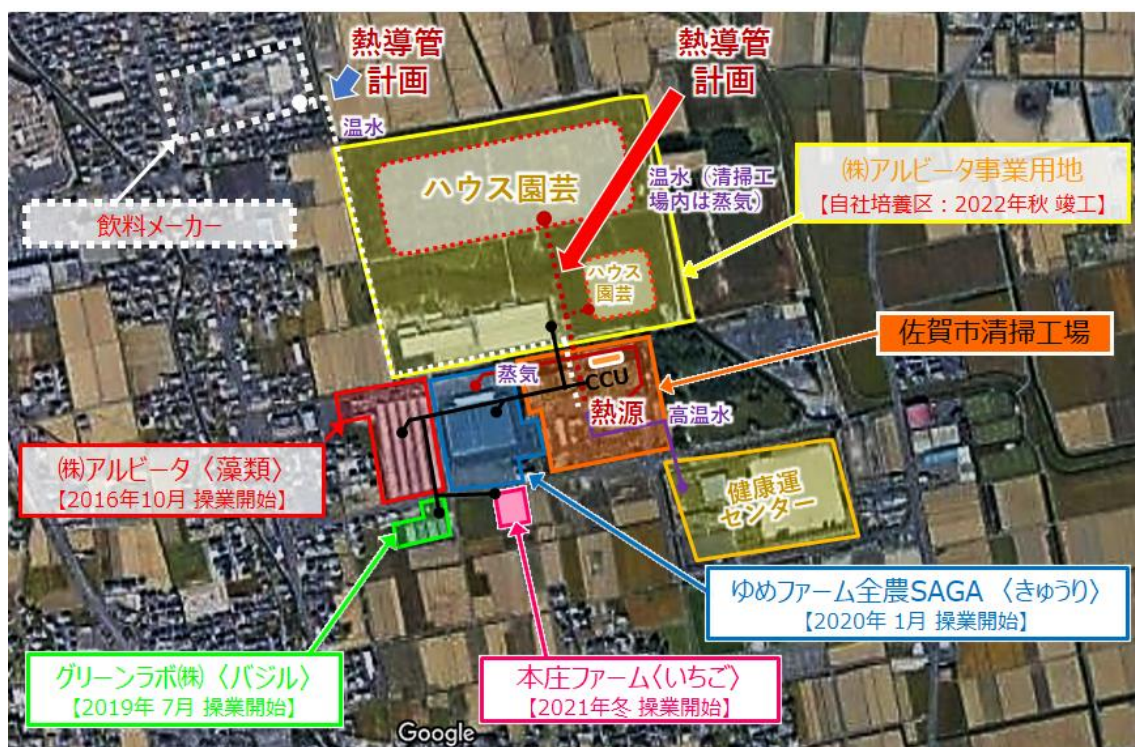


図 4-39 想定供給先の位置関係

(3) 抽気蒸気の最大利用

蒸気タービンにおける抽気蒸気は、出力を 3,700kW としての抽気量の変化（冬場）をみると、抽気量を 6→9.5t/h に増やすと 3,200kW まで出力が低下する（図 4-40 参照）。

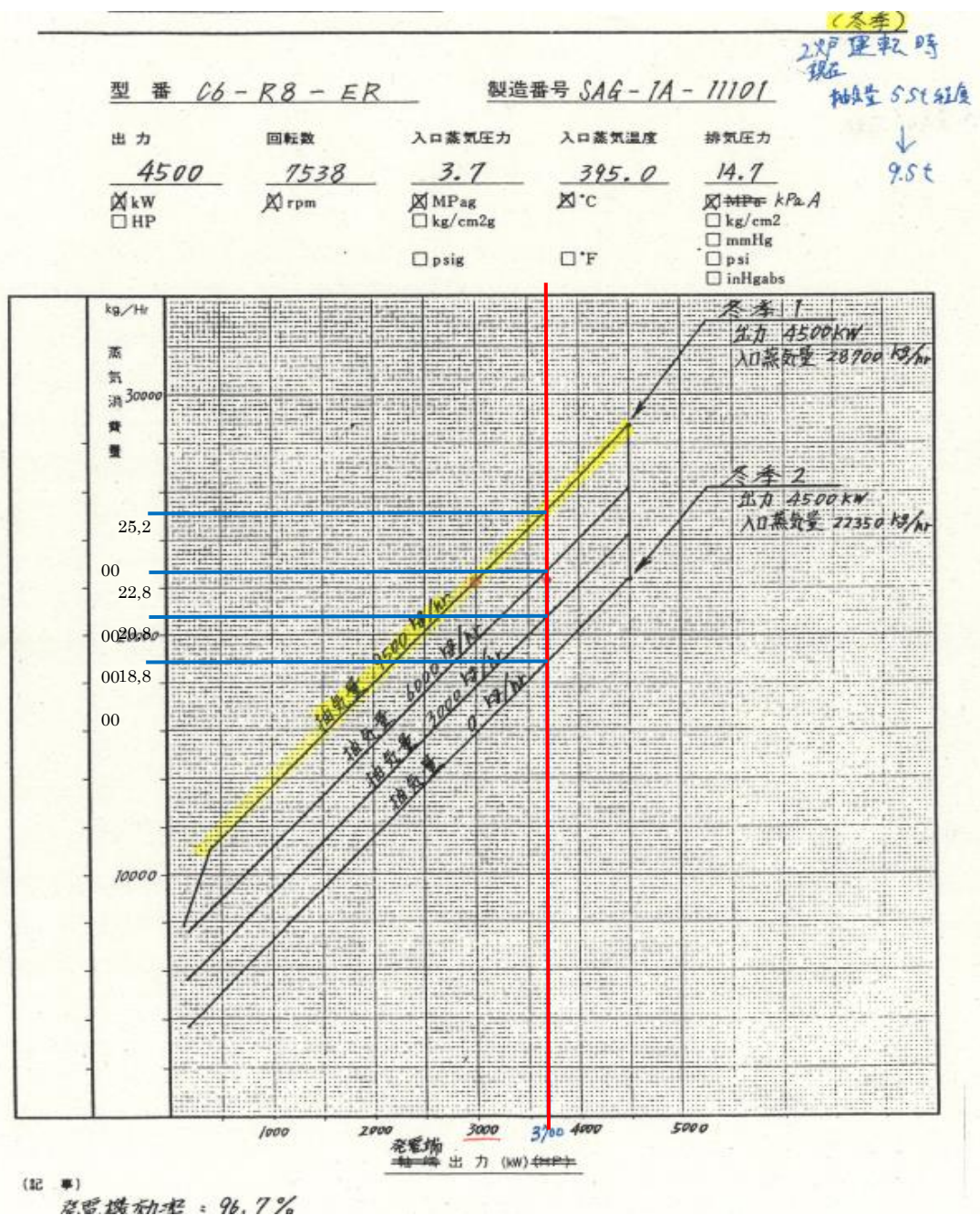


図 4-40 抽気蒸気と発電出力 (冬場)

同様に夏場でも出力を 3,700kW として抽気量を 6→9t/h に増やすと 3,200kW まで出力が低下する (図 4-41 参照)。

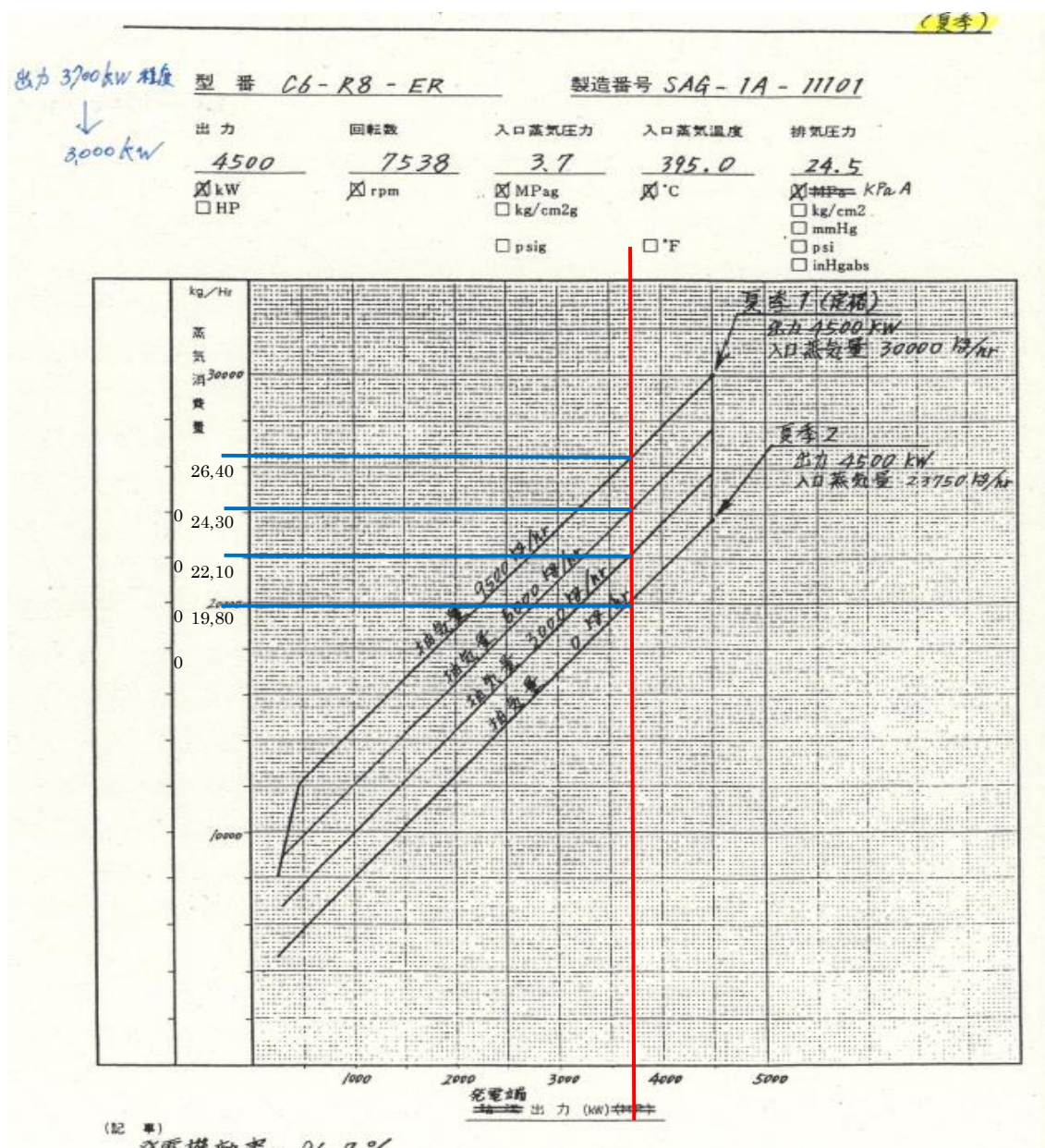


図 4-41 抽気蒸気と発電出力（夏場）

熱利用的には抽気蒸気を最大利用するほうが、電力・熱共に効率が良い。図 4-42 に示すように最大抽気量には通常至っていない日が多い。



図 4-42 抽気蒸気の使用状況

このことから昼夜間を問わず蓄熱することが可能であれば、総合的な利用が可能で、需要家が増えても供給は可能である。

しかしながら、園芸ハウスのような朝方に負荷が一斉に集中、昼間はほとんどいない、夏場の需要もないなど、年間の設備利用率としては低下する。

このため、園芸ハウス等の負荷パターン以外の需要家の開拓や熱の相互利用が可能な需要家との組み合わせなども検討していく必要がある。

熱だけでなく電力需要とのマッチングも考える必要がある。現在進めている新電力事業などもエネルギー全体として相互補完し、バランスをとることで、地産地消のエネルギー利用がより効果的な運用がなされることが期待される。

(4) ハウス園芸への熱供給の検討

本清掃工場とハウス園芸の位置関係（検討中）を図 4-43 に示す。



図 4-43 ハウス園芸の位置関係

検討した熱供給ルート（検討中）を図 4-44 に示す。

従来の工場の東側より CCU を経由して供給するルート（青）より、最短で需要家境
界へ抜けるルートが可能であれば、熱ロス、工事費とも優位である。

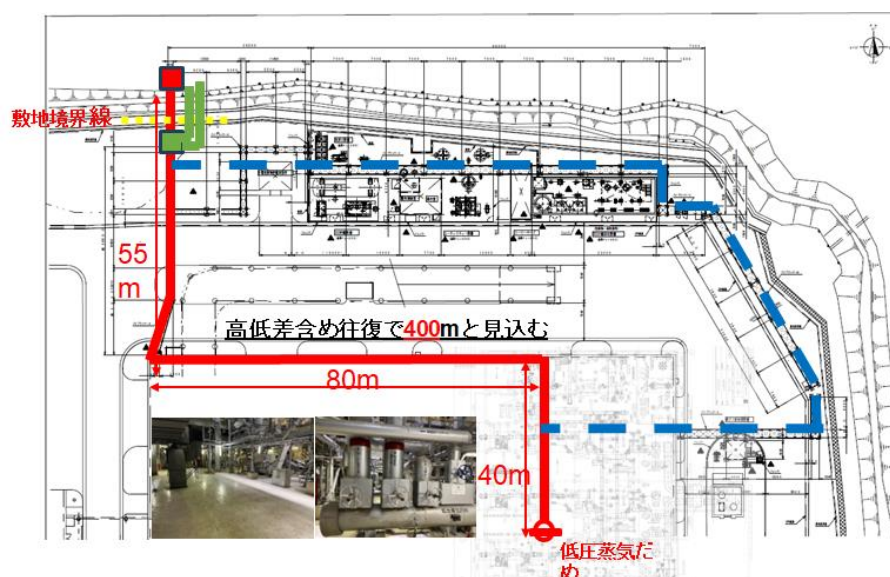


図 4-44 熱供給ルート（検討中）

（５） 売熱単価の考え方

熱供給により得られる売熱収入が、熱供給に必要な追加設備費（イニシャルコスト）に対し、新たに投入するバでオマス原料調達コストを含めたランニングコストを回収するとして試算した（前提条件を表 4-26 に示す）。

原料収集量を 3,000 トン/年とし、総建設費 5 千万円（1/2 補助を見込む）とし、事業性を評価した。

バイオマス調達コストは、バイオマス購入価格（X）＋バイオマス運搬費用（Y）として合算で評価し、キャッシュフローを算出。資料 2-5「原料調達の検討」で算出された調達コストに準じ、売熱単価（Z）との感度分析を行った。

バイオマス調達コストは、「原料調達の検討」で算出された調達コストに準ずるものとし、市中の熱量単価の半分程度を想定して検討した。

想定売熱単価：1,200 円/GJ

現実的な原料調達価格 1,000 円/トン 投資回収年数：7 年

1,500 円/トン 投資回収年数：10 年

有価のバークなどに頼ると 2,800 円/トン：事業性は無い

原料調達コストを出来るだけ抑えるための方策を引き続き検討中である。

表 4-26 前提条件

前提条件		単位	入力値
試算条件	評価年数	年	17
	年間稼働日数	日	300
	設備利用率	%	82.2
	事業年数	年	20
	バイオマス調達量	ton/年	3,000
	バイオマス購入価格（現地渡し）	円/ton	X
	バイオマス運搬費用	円/ton	Y
	バイオマス中灰分	%	10.0
	灰処理費用（※）	円/ton	10,000
	バイオマス発熱量	MJ/kg	9.0
	熱効率（熱量/バイオマス発熱量）	%	90.0
	要求熱量	GJ/年	24,000
	蒸気 1 t あたりの発電低下量	kWh/t	134.46
	蒸気 1 t あたりの熱量	GJ/ton	2.792
建設費	総建設費（補助 1/2）	万円	2,500
間接経費	修繕費（総建設費に対する割合）	%	5
	減価償却方法		定額
	償却年数	年	17
収入	売熱	円/GJ	Z

そのほか前提条件は次のとおりとする（供給の方式は図 4-45 参照）。

償却年数を 17 年（熱供給設備）とする。

※ごみの灰分の平均値は 5.4%程度であるが、本計算ではバイオマスの灰分 10%を追加発生する処理費として計上した。

表 4-27 低圧蒸気供給の配管仕様

需要家	交換熱量 (GJ/h)	総延長 (m)	流体	温度 (°C)	圧力 (MPa)	口径 (A)	
低圧蒸気供給	9	工場内 200	往 蒸気	164	0.3	200	鋼管
			還 ドレン	143	0.3	40	
		HX二次側 100	往 温水	80	—	200	鋼管
			還 温水	60	—	200	

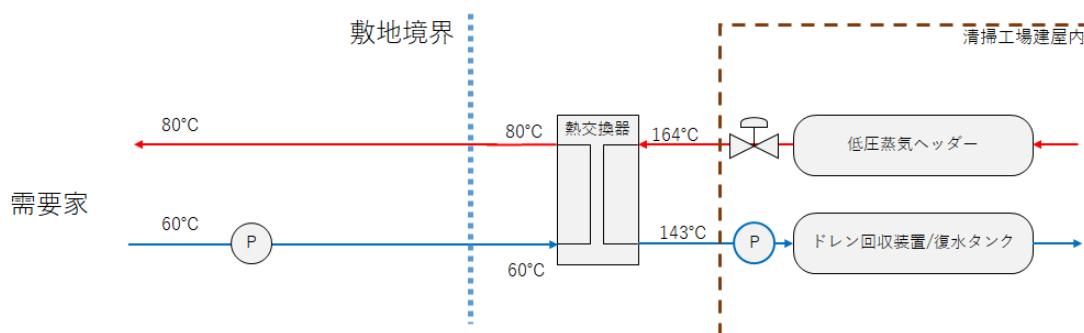


図 4-45 ハウス園芸への熱供給配管方式の検討

蒸気供給、温水供給の得失を検討した結果、場内から敷地境界までは蒸気供給とし、取り合い点付近で熱交換器により温水へ変換したうえで分岐供給することが最も低価格と見込まれる。

その後の進出計画の進展により、需要家候補が現実的になった。現時点での抽気蒸気での加熱の余力は 9G/h であり、需要家の供給要望の最大には合致していないものの、両者の需要の 1/2 程度を供給条件（変動や不足分は自前で追従）とすれば、ほぼ必要量が見合う可能性が出てきた。

しかしながら、新たに想定した需要家 A（1.8ha）および需要家 B（7ha）への場外供給の場合、清掃工場側の供給可能蒸気量／最大抽気蒸気量を上回る月が発生する可能性がある。

このため、エネルギーシフトの考え方から蓄熱槽を設けた場合の検討も行うこととした。

前述の昼間の余力 $2\text{GJ/h} \times 6\text{h} = 12\text{GJ}$ を蓄熱温度差 $\Delta t : 80 - 40 = 40^\circ\text{C}$ として考え蓄熱容量は、71.7t 必要となり、このフローを図 4-46 に。想定コストを表 4-28 示す。

需要家の供給温度条件によっては、最適な蓄熱槽・システムも可能であるが、事業性については詳細に検討したうえで判断する必要がある。事業性を高めるためには、例えば、夏季に冷房用熱源として利用するなど、蓄熱槽の設備利用率を上げることが有効であるため、蓄熱／放熱が利用可能な需要量／温度域を考慮した上で、年間を通じた多様な需要設備の組み合わせを検討する必要がある。

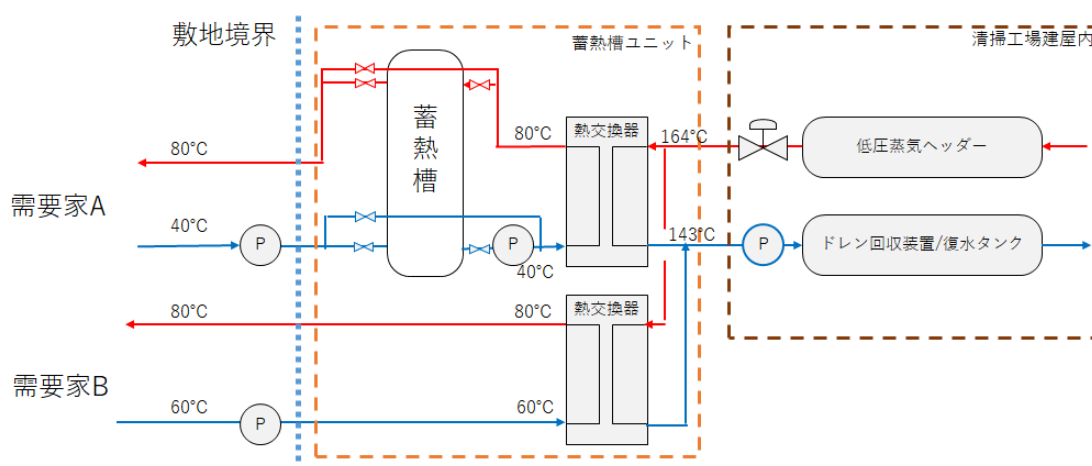


図 4-46 蓄熱槽の概要

表 4-28 蓄熱槽の概算費用

	仕 様	概算費用
1	貯湯槽 形式：温水タンク 数量1基 構造：鋼板製堅型（堅型成層式） 容量：160m3（15%裕度） 温水温度：供給80°C、戻り60°C 寸法：4×4×10m	30百万
2	熱交換器 形式：プレート式	5百万
3	給湯用温水循環ポンプ	3百万
4	機械設備工事費 （機械基礎、据付費、塗装、保温工事含む）	7百万
5	電気計装工事費 （上記機器の制御盤、配線、中央監視装置の改造）	5百万
合計		50百万

このためには、次項に示す発電出力を下げ高圧蒸気からのエネルギーシフトによる供給熱量の増大も検討に値する。この場合売電の収入は減るが、設備投資がかからないことがメリットである。

4-3-4 高圧蒸気の利用

(1) 佐賀市清掃工場発電電力の地産地消の取り組み

佐賀市地域循環共生圏づくり（図 4-47 参照）の一環で、佐賀市清掃工場の発電（燃料は市域から回収した生ごみなど）を八千代エンジニアリング株式会社が電力に含まれる環境価値を「グリーン電力証書」として発行する取り組みを実施している。

グリーン電力証書の発行規模は年間 5,500MWh 相当（一般家庭 1,000 世帯分を脱炭素化できる量）を見込まれ、設備容量では九州最大、自治体が携わるグリーン電力証書事業としては全国最大規模の発行量である。



図 4-47 佐賀市地域循環共生圏づくりのイメージ

出典：佐賀市 HP^[4-5]

(2) 市内への電力供給の状況

清掃工場で生み出された電気（再生可能エネルギー）を市内の公共施設に供給は以下のとおりである。

電力の地産地消（R4 年度実績）

- ・ 清掃工場で生み出される電力量 ： 3,022 万 kWh/年
- ・ 清掃工場から売却する電力量 ： 1,575 万 kWh/年
- ・ 公共施設で利用する電力量 ： 1,609 万 kWh/年

（内清掃工場からの電力 1,046 万 kWh/年 不足分は買電）

・ 供給施設 115 カ所

- ≫ 小中学校 51 カ所（53 校）
- ≫ 公民館等低圧施設 38 カ所
- ≫ 図書館・本庁舎等高压施設 26 カ所

(3) 高圧蒸気利用の供給熱量の増大（検討項目④）

発電電力の市内設備への供給確保が必要であるが、場内利用の削減等と供給必要量

の検討により、余剰の高圧蒸気を得られれば、これらを熱源として供給熱量の増大が見込める

冬場の夜間から早朝にかけ熱需要が高く、発電出力は昼間の熱需要の少ない時間帯での 3,700kW（抽気 6t/h）から 3,200kW（抽気最大 9.5t/h）に下がって運転することになる。

ここで早朝にさらに熱出力を求める場合、高圧蒸気から低圧蒸気に流用することができるが、発電出力は、190kW/t の割合で低下し、これに代わり 2.771GJ/t の熱供給が可能である。

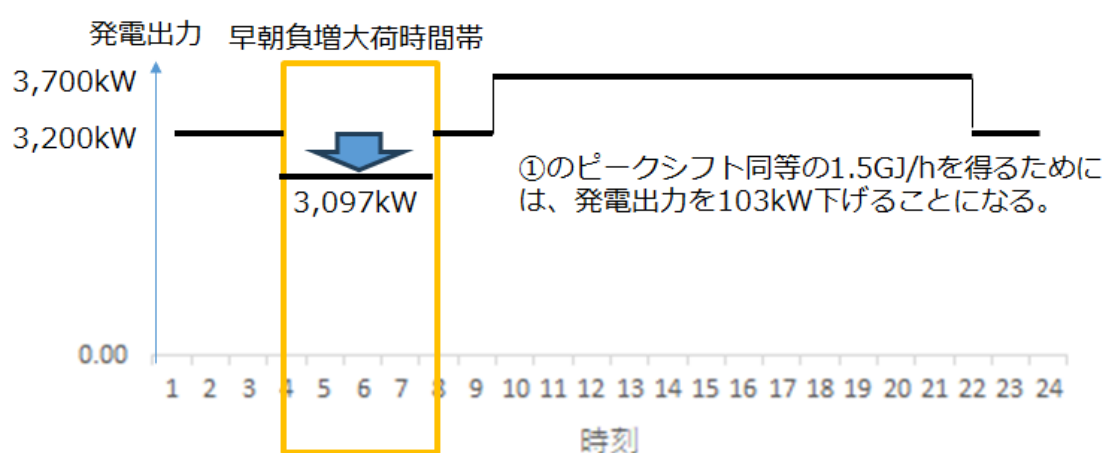


図 4-48 高圧蒸気からの熱供給量の拡大

(4) 売電と売熱の比較

ここで、売電と売熱のエネルギー単価を比較する（考え方を図 4-49 参照）

1. 発生蒸気 1GJ あたりの売電単価

電力量あたりの売電単価：7.8 円/kWh（2,167 円/GJ）←前回報告書の設定

発電効率：0.213 とすると

→熱量あたりの売電単価：2,167 円/GJ-e × 0.213 = 462 円/GJ-th

2. 発生蒸気 1GJ あたりの売熱単価（高圧蒸気を使用する場合）

A 重油の単価：80 円/L←2020 年実勢

A 重油の発熱量：0.0391GJ/L

→熱量あたりの A 重油単価：80 円/L ÷ 0.0391GJ/L = 2,046 円/GJ

ボイラ効率：0.9 とすると

→熱量あたりの売熱単価：2,046 円/GJ ÷ 0.9 = 2,273 円/GJ-th

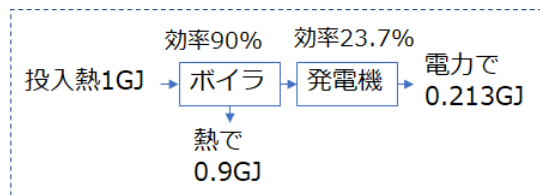


図 4-49 熱効率の考え方

市中の熱量単価の半分で売熱しても 1,000 円/GJ 以上が見込め、熱供給が同じ高圧蒸気から得られる収入は有利である（A 重油と売電価格の変動を図 4-50 に示す）。このことから、外部に供給する発電量をどこまで下げて、高圧蒸気からの熱供給が可能か検討する必要がある。

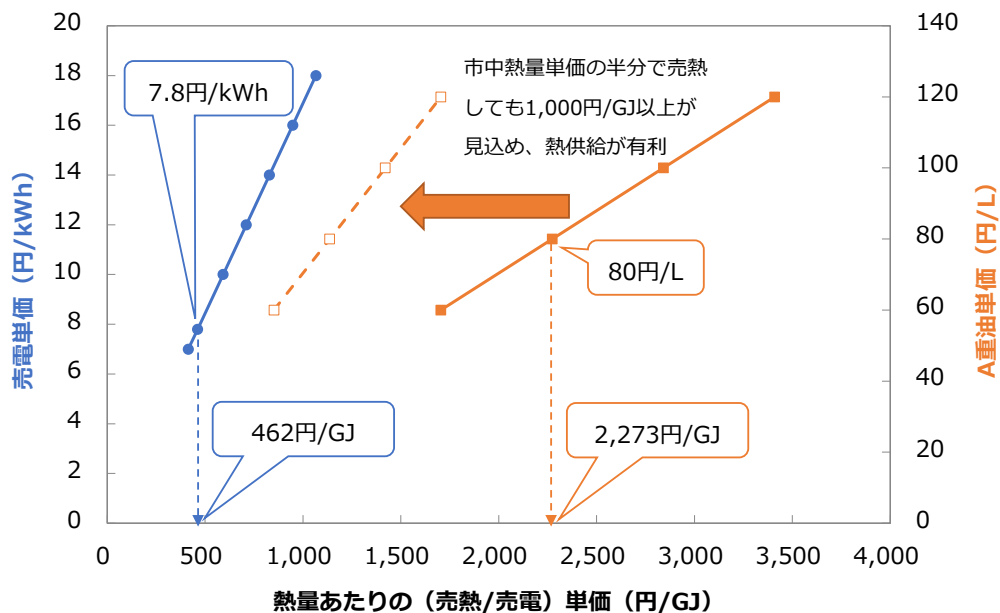


図 4-50 バイオマスを原料とした場合の熱量あたりの売熱／売電単価

エネルギーの価格変動による熱量単価を表 4-29 に示す。直近では、A 重油価格 100 円/L、園芸ハウス暖房に LPG を使用している例では 120 円/kg である。

従来、LPG、A 重油は、熱量等価＋立地条件と言われており、供給が安定してくると熱量単価の価格差は微小と考える。価格変動の傾向は概ね連動している（図 4-51 参照）。価格変動はスポット的か継続的に上昇するのかを見極める必要がある。

表 4-29 A 重油と LPG の販売価格の変動による熱量あたりの価格の関係

単価 (円/kg(L))	A 重油 (円/GJ)	LPG (円/GJ)
60	1,705	1,669
80	2,273	2,226
100	2,842	2,782
120	3,410	3,339
140	3,978	3,895

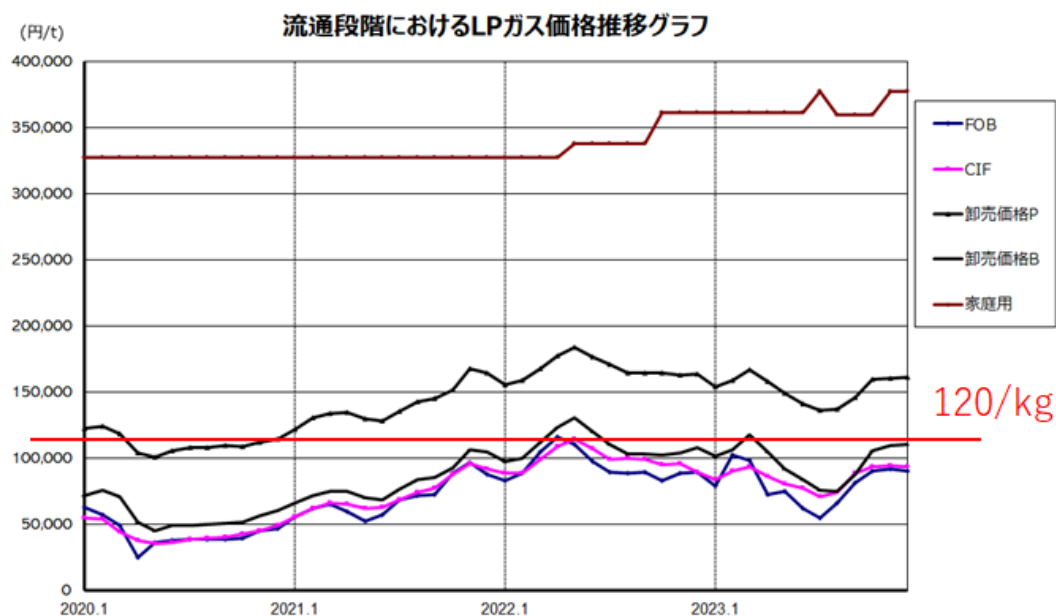
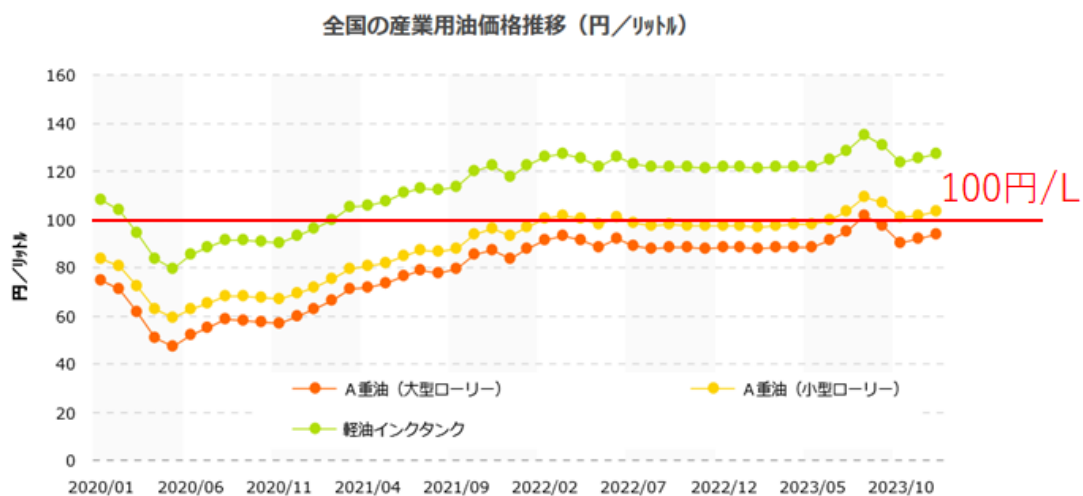


図 4-51 灯油、LPG の価格の推移

各種 HP データより作成

4-3-5 オフライン熱輸送について

熱供給に関しては、オンライン（蓄熱媒体によって市内の他地域へ熱供給する技術）によるものとオフラインによるものがある。オフライン供給について、コストを調査・検討し、オフラインによる熱供給可能性、CO₂削減コストなど費用対効果を確認することによって事業化可能性を検討する。

（１） オフライン熱輸送の現状

実証試験を実施して事業化まで進んだオフライン熱輸送システムには潜熱蓄熱材を使用した三機工業による“トランヒート”と神鋼環境ソリューションによる”サーモウェイ”の２方式がある。他に開発段階にある蓄熱材として”吸着系蓄熱材”と”化学蓄熱”によるものがある。その主仕様を表 4-30 に示す。

表 4-30 蓄熱材の種類

	潜熱蓄熱	吸着系蓄熱材	化学蓄熱
開発レベル	実用段階	実証段階	開発段階
蓄熱材	エリスリトール、酢酸ナトリウム、パラフィン等	ゼオライト、ハスクレイ等	Mg系
蓄熱量	0.12～0.24GJ/m ³	0.59GJ/m ³	1GJ/m ³
利用温度	60～120℃	80～120℃	200～250℃
熱媒	熱媒油との混相輸送	熱媒は不要	

出典：タテホ化学工業 HP を参考に作表^[4-6]

ここでは既に実用化している潜熱蓄熱材 PCM（phase change material）によるオフライン熱輸送について、その利用形態と経済性について報告する。

（２） 潜熱蓄熱材によるオフライン熱輸送

潜熱蓄熱材によるオフライン熱輸送の模式を図 4-52 に示す。熱源施設から排出される 200℃以下の低温排熱をコンテナに充填した PCM に蓄えて熱媒油と共に熱利用施設へトレーラーなどで輸送する。

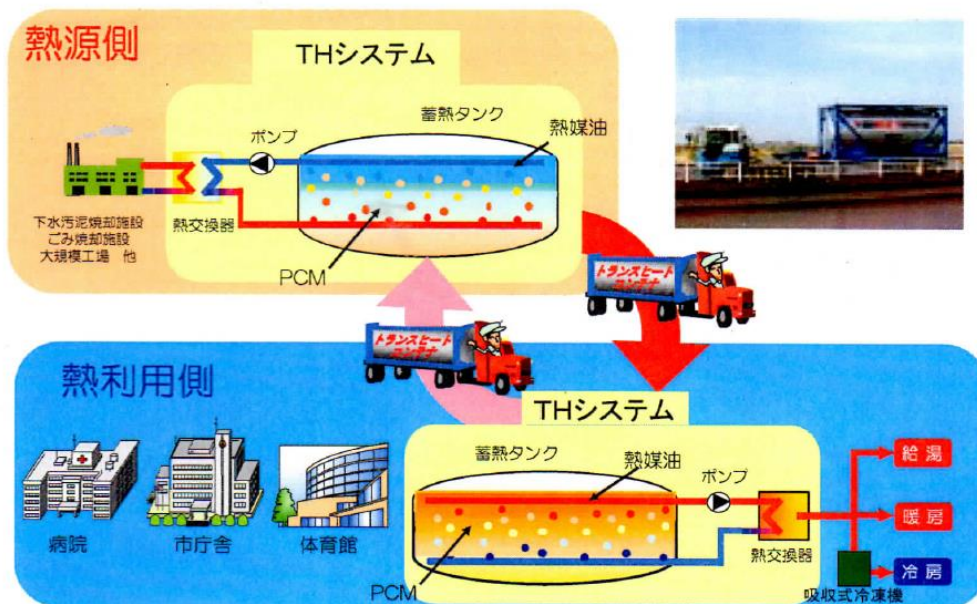


図 4-52 潜熱蓄熱材によるオフライン熱輸送システム^[4-7]

PCM には表 4-31 示す酢酸ナトリウムやエリスリトールもしくはパラフィンなどが使用されている。何れも受熱して液相となり、放熱して固相となる相変化による融解熱を利用している。

酢酸ナトリウムとエリスリトールは、熱の授受に際して中間熱媒体を必要としており、中間媒体である熱媒油（第4石油）との混相流体としてコンテナに充填・輸送される。蓄熱材と熱媒油の密度差によりコンテナ内の下部に蓄熱材、上部に熱媒油が貯められており、直接的な熱授受は熱媒油を介して行われている。表 4-31 に見る充填率約 50%は、蓄熱材と熱媒油の混合比を示している。

酢酸ナトリウムとエリスリトールによるオフライン熱輸送は、ヨーロッパで導入実績が有り、ドイツ・フランクフルト市郊外の例では化学工場の蒸気排熱を約 12km 離れたオフィスビルまで搬送して暖房・給湯に利用している。1 台のコンテナの蓄熱容量は約 3.5MWh/台である。

国内では 2004 年度～2006 年度にかけて環境省地球温暖化対策技術開発事業に採択されて実証試験が実施された。国内向けコンテナは、総重量:18～24 トン、蓄熱容量:1.0～2.0MWh/台である。この結果を受けて、2008 年に青森県八戸市の奥羽グリーンテクノロジー(株)などへ納入された。

一方パラフィンは、液相での素材自体の流動性を利用して熱の授受を行っているので、充填率が 100%となりコンパクト化には有利であるが、実用化された例は少ないようである。

表 4-31 潜熱蓄熱材

蓄熱材	蓄熱温度 ℃	蓄熱密度 GJ/m ³	密度 kg/m ³	充填率 —
酢酸ナトリウム	58	0.157	1300	50%
エリスリトール	121	0.238	1400	50%
パラフィン	44	0.122	780	100%

出典：産業技術総合研究所（2017）^[4-8]

（３） オフライン熱輸送の利用形態と経済性

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」^[4-7]として、オフライン熱輸送開発メーカーの三機工業㈱と㈱神鋼環境ソリューションに FS（Feasibility Study）調査を委託している。両社ともほぼ同一の結果を得ているので、ここでは三機工業㈱の結果を報告する。

FS では、熱利用施設 13 か所の既存サンプル設備による熱需要をオフライン熱輸送システムで代替した場合の、1 年間の稼働日数、既存設備の燃料消費量、必要コンテナ台数、使用機器、熱輸送による機器消費エネルギー量、経費および CO₂ 排出量を試算・比較している。

NEDO 報告書を基にまとめた結果を表 4-32、図 4-53 に示す。

〔経済性評価〕

- ・ 低温排熱を回収して熱需要箇所へ運搬・利用するオフライン熱輸送システムの経済性は低く、事業化するにはハードルが高い。特に既存設備の年間稼働が低い場合には顕著となる。
- ・ 既存設備のエネルギーコストに数千万円かけている設備でないと設備コストの回収が難しい。
- ・ ランニングコストでは“輸送に伴う人件費”が非常に大きなウェイトを占めている。その対策として、複数の熱源施設と複数の熱利用施設をネットワーク化することは経済性向上の手段となる。

〔環境性評価〕

- ・ 排熱利用は CO₂ 排出量削減効果（表 4-32 の A～M の総計で約 3000CO₂ トン/年の削減効果）が大きい。

表 4-32 NEDO によるオフライン熱輸送の FS 調査結果

サンプルケース		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
既存設備	機器名	－	エアコン	ボイラ	コージェネ									
	燃料種類	－	電力	灯油	都市ガス									
	稼働日数 日/年 (日数率)	240 (66%)	365 (100%)	365 (100%)	70 (19%)	252 (69%)	312 (85%)	360 (99%)	40 (11%)	252 (69%)	312 (85%)	252 (69%)	120 (33%)	300 (82%)
	燃料使用量 10 ³ m ³ /年	3,960*1	121*2	97	7	73	89	45	4	68	74	34	15	112
熱輸送	蓄熱材、コンテナ	－	エリスリトール、コンテナ蓄熱容量:7.2GJ/台、輸送距離:10km											
	必要熱量 GJ/年	12	3775	1600	253	121	120	52	138	44	100	58	53	74
	必要コンテナ台数 台/年	5,942	527	219	35	351	437	213	19	126	359	170	75	253
年経費	既存設備削減費 百万円/年	-53.9	-8.7	-7.3	-0.5	-5.5	-6.6	-3.4	-0.3	-2.0	-5.5	-2.6	-1.1	-3.4
	熱源施設動力費 百万円/年	1.8	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
	熱利用施設動力費 百万円/年	1.5	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
	輸送燃料費 百万円/年	4.5	0.5	0.4	0.0	0.4	0.5	0.3	0.0	0.2	0.4	0.2	0.1	0.2
	輸送人件費 百万円/年	30.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	差引 百万円/年	-16.1	-1.7	-0.8	5.5	1.2	0.2	3.1	5.7	4.4	1.2	3.7	5.0	3.1
CO2排出量	既存設備削減量 CO2トン/年	-2036	-301	-202	-15	-152	-184	-93	-8	-55	-153	-71	-32	-93
	熱源施設排出量 CO2トン/年	69	8	5	1	6	7	4	0	3	6	3	1	4
	熱利用施設排出量 CO2トン/年	55	7	4	0	5	6	4	0	2	5	2	1	3
	輸送燃料排出量 CO2トン/年	115	14	8	1	11	12	8	1	5	10	4	2	6
	差引 CO2トン/年	-1797	-273	-187	-13	-130	-159	-78	-7	-45	-132	-62	-27	-80

燃料使用量の単位は、*1:GWh/年、*2:kℓ/年、それ以外は 10³m³/年

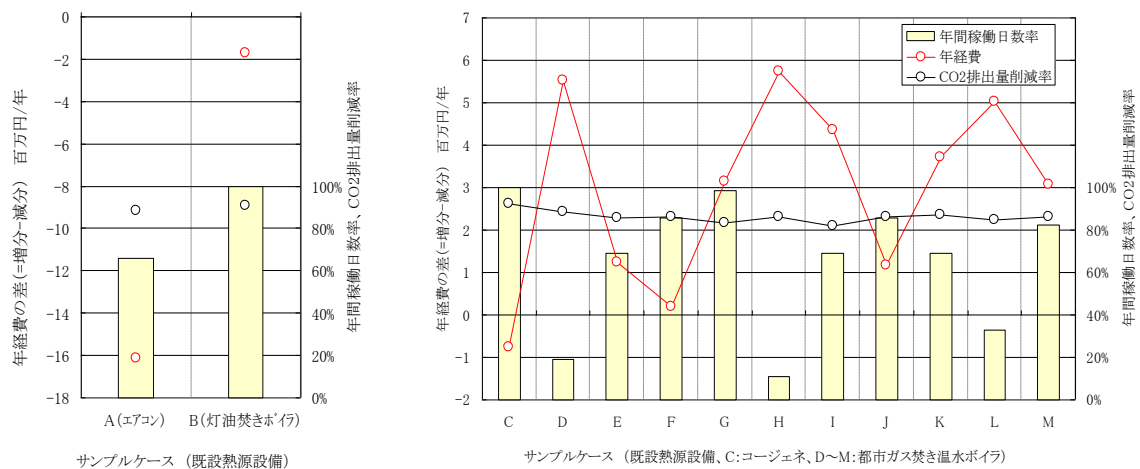


図 4-53 熱輸送による年経費の差、CO₂ 排出量削減率、年間稼働日数率

出典：環境パートナーシップ CLUB・EPOC, 「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」結果報告書、〈第二部〉^[4-7]

(4) まとめ

NEDO による FS 調査報告書では以下のようにまとめている。

低温排熱の利用はこれまで利用されずに廃棄されていた低温排熱を有効に活用することができ、使用する化石燃料の削減と CO₂ の削減に対して貢献することが可能である。EPOC (環境パートナーシップ・CLUB) 会員企業全体での CO₂ の削減に向けて

も、有効なシステムであることがわかった。

FS 調査の結果、いずれの方式においても今後の検討課題としては主に以下のような共通項目が挙げられている。

今後の主な検討課題

1) 技術面の課題

- ・ 蓄熱密度の向上
- ・ 蓄熱装置のコンパクト化 など

2) 事業面での課題

- ・ 輸送に関わる費用の低減
 - ー 熱需要先の拡充、ネットワーク化により輸送人件費を削減
 - ー 既存運行システムへの組み込み

- ・ イニシャルコストの削減

3) 制度・法規制

- ・ CO₂ 排出権の取り扱いについて、熱輸送により熱利用施設で削減された燃料使用量に見合った CO₂ 排出削減量を熱源施設でもカウントできる制度の設定
- ・ 補助金、優遇制度の活用 など

これらについて、技術面での課題については大学を始めとする研究機関での取り組みも進んでいる。

事業面での課題については、今回の調査ではできなかった総合病院やホテル、スーパー銭湯等、年間を通じて 24 時間体制で熱を利用する施設への供給を含めた検討により、さらに効率的なビジネスモデルを構築できる可能性が大きいと考えられる。技術面での課題をクリアすることに伴うイニシャルコストの削減が伴うことも期待できる。

4-3-6 熱供給の方向性

「エネルギー利用の工夫」として、想定される需要家に対し、規模や変動への対応が可能な熱供給システムを検討し、創熱とエネルギーシフトによる実効性のある方策を整理した。

「システム全体の工夫」として、エネルギー供給計画（案）を示し、熱供給設備の基本設計を行うための基礎データや整備の方向性を示すことができた。

蒸気の利用用途は熱需要家が近傍にある場合、熱供給の方が電気より収益面で優位であるが、別途検討している地域新電力事業（エネルギー事業体）のベース電源確保や地域レジリエンスとしての機能も考慮し、総合的な地域エネルギーマネジメントを構築することが望まれる。

これまでに述べたように以下の創熱・エネルギーシフトによる熱供給が可能であるとした（表 4-33 参照）。

表 4-33 創熱とエネルギーシフトのまとめ

創熱方策		発電出力 (kW)	抽気 (t/h)	創熱 (GJ/h)	備考 (コスト等)
A創熱	復水水冷化	3,700	6.0	6	3.5億/事業性有り
	現状	3,700	6.0	－	－
Bエネルギーシフト	①抽気最大化	3,200	9.5	9	発電出力は下がる
	②運用改善			9+1.5(3h)	運用だけで売熱増/制約有
	③蓄熱追加			9+2(6h)	5千万追加要（蓄熱12GJ） （需要家増での対応策）
	④高圧蒸気利用	3,097	9.5	9+1.5(3h)	電力供給維持するため、新電力の再エネ開発も加速する要

A：創熱

- ・ 蒸気タービン排気復水の利用

現状の設備での供給可能量を復水器の水冷化による創エネ（6GJ/h）を検討した。復水利用は、地下水の給水加熱など通年で低温からの加熱の効果が高いことが確認され、設備補助を前提とし事業性有と評価した。事業化については需要家側と協議中である。

B：エネルギーシフト

- ・ ①低圧蒸気による熱供給

蒸気タービンによる低圧蒸気の最大抽気量と既存の熱需要機器の蒸気使用量の調査から、新たな熱需要家に対する供給可能な蒸気量（9GJ/h）を算出した。これにより至近の園芸ハウスの進出に対して、ごみ処理量低下の対策としてバイオマス原料を追加することによるランニングコストを売熱価格に転ずる方式で、熱供給の事業性があることを確認した。

- ・ ②運用によるエネルギーシフト
- ・ 健康運動センターでの運用改善によるピークシフトを検討し、少量の不足であれば大幅な設備投資を必要としない有効な手段であることが分かった。
- ・ ③昼間の余力を蓄熱
健康運動センターに供給している高温水は、冬場の昼間に裕度があり、供給源の

低圧蒸気を余力として用いて蓄熱し、運用時間帯をずらしたエネルギーシフトの効果も大きい。蓄熱槽のコスト増や運用の工夫が必要であり、夏季の熱利用など、需要家とのマッチング次第では年間の設備利用率向上も期待できる。

- ・ ④高圧蒸気の利用

R5年3月末時点で、市の施設115施設に1,575万kWh/年の電力供給をしているが、発生した蒸気を発電へ用いた場合と熱として供給した場合、熱で供給したほうが得られる収入は発電より優位である。一方、市内設備への電力供給は、エネルギーの地産地消の観点から継続する必要があるが、地域未利用バイオマスによりで熱回収量を維持しながら地産地消を更に高めることも可能である。

今後、熱供給の需要家が増える場合には、発電出力を下げ高圧蒸気から熱供給をすることも検討する必要があるが、焼却炉の効率的な運転と熱・電気供給のトータルバランスを考慮して、総合評価を行った上で適切な運用指針を定めるなどのステップアップが必要である。

その他の検討

- ・ 高温水のカスケード利用については、需要先が現時点でないこともあり、むしろ供給元の低圧蒸気利用余力とし、今後の需要増大時点での可能性として考えることとした。

また、オフライン熱供給については、技術の完成度に課題があること、新たな追加設備も相当かかり、現時点で経済性が見合わない判断した。

これまでに述べたように、新たな需要家の進出に対応するためには、最も簡単な方法は、高圧蒸気からの熱利用への拡大であるが、それには現在すでに市内施設へ供給している発電電力の低下を伴う。電力として販売するよりも熱として利用することが有利であることも重要な視点で、地域新電力事業との調和を目指し、エネルギー事業体の検討を進めている。

4-4. 熱供給検討のまとめ

4-4-1 エネルギー供給計画（案）

本施設の廃棄物処理事業、廃棄物エネルギー供給事業を持続可能なものとするために、これまでの検討結果から、エネルギー供給計画（案）を下記に示す。

（１） 平面計画図

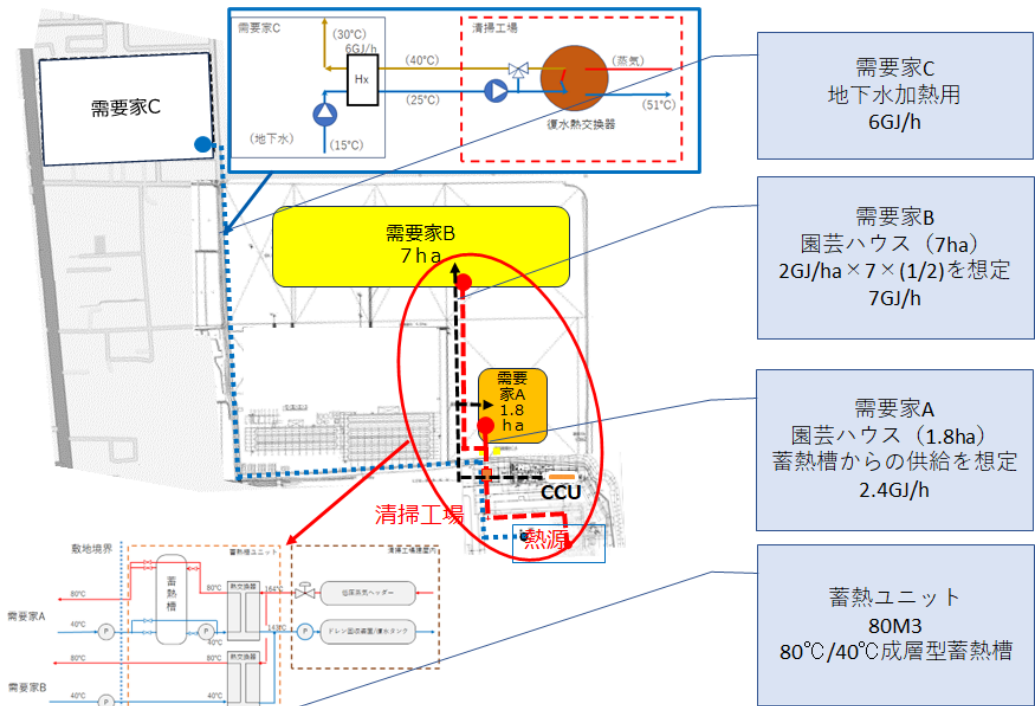


図 4-54 エネルギー供給計画（案）

（２） 構成機器

創熱とエネルギーシフトの構成機器は表 4-34 とおりである。

利用用途		新規導入設備仕様	流体		温度(℃)	圧力(MPa)	口径(A)
A：施設園芸 (ビニールハウス:施設面1.2ha)	LPGボイラの補助熱源として余熱を利用（夏を除く早朝夜間）	温水/温水Hx (2GJ/h)	一次	蒸気/ドレン	164→143	0.3	65/25
			二次	清水	80→40	0.2	100
B：施設園芸 (ビニールハウス:施設面7ha)	LPGボイラの補助熱源として余熱を利用（夏を除く早朝夜間）	温水/温水Hx (7GJ/h)	一次	蒸気/ドレン	164→143	0.3	200/40
			二次	清水	80→60	0.2	200
C：食品工場 地下水 給水加熱用	使用量 96m ³ /h	地下水/復水 冷却水Hx (6GJ/h)	一次	清水	40→25	0.55	125
			二次	地下水	15→25	0.2	125

表 4-34 創熱とエネルギーシフトの構成機器のあらまし

(3) 蓄熱によるエネルギーシフトの有効性

新たに需要家 A (1.8ha) および需要家 B (7ha) への場外供給を想定した場合、最大抽気蒸気量を上回る月が発生する可能性がある。R4年度の抽気蒸気の使用量の実績をベースに、需要家 A、需要家 B の熱需要の予測を加算させた場合を図 4-55 に示す。このように冬場を中心に需要量が若干上回ることが確認された。

この対応策としては、熱需要が上回る時期は限られており需要量も少ないことから、エネルギーシフトを織り込むことが有効である。

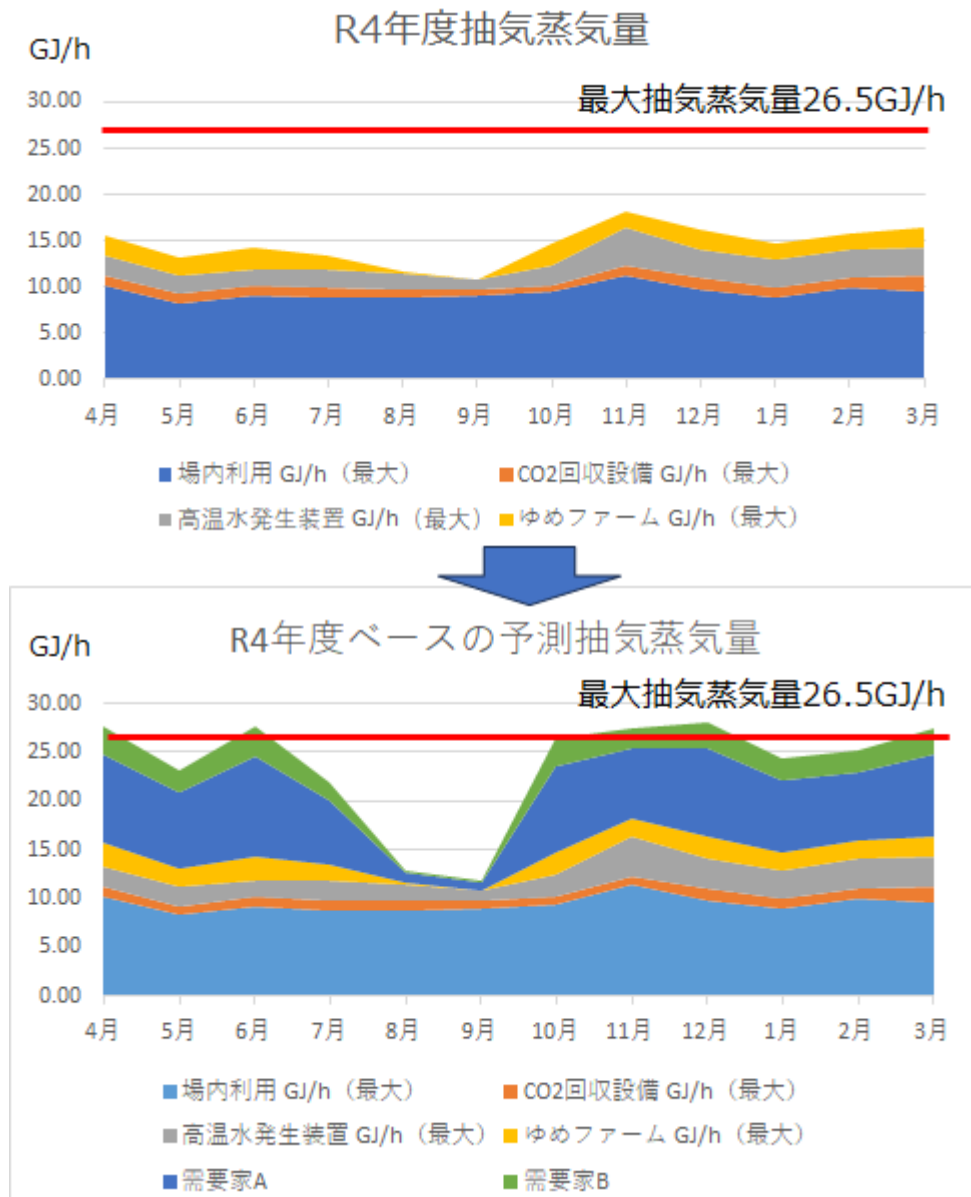


図 4-55 蓄熱によるエネルギーシフトの有効性

(4) スケジュール

現在進出予定の需要家に対し、図 4-56 のように事業化の検討を進める予定である。



図 4-56 具体的な需要家との推進予定

(5) 更なる推進に向けて

現在佐賀市では、総務省「分散型エネルギーインフラプロジェクト」(別途実施中)へ採択され、熱供給に加え地域新電力事業を中心に地域のエネルギー利用の検討を進め、脱炭素化とエネルギー自給向上を目指している(図 4-57 参照)。

また、佐賀市清掃工場の新たな価値創出として「廃棄物エネルギーを起点に環境と経済が両立するまち」を目指し、地域を支えるエネルギーマネジメントプラットホームの構築を目指す(図 4-58)。

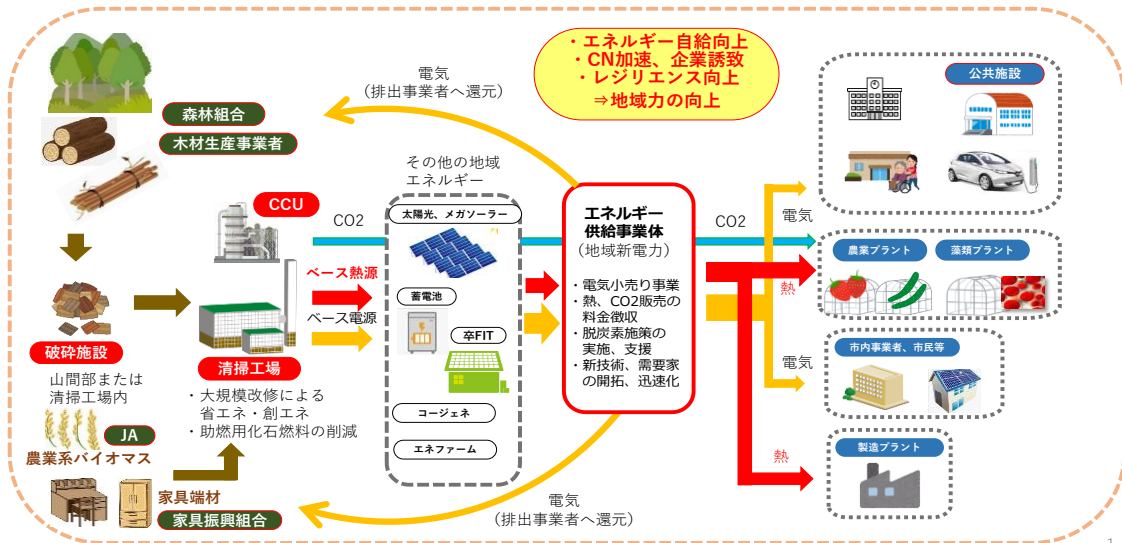


図 4-57 未利用バイオマスによる清掃工場の効率的な運用と地域エネルギー・マネジメントによる持続可能な地域循環共生圏モデル構築事業

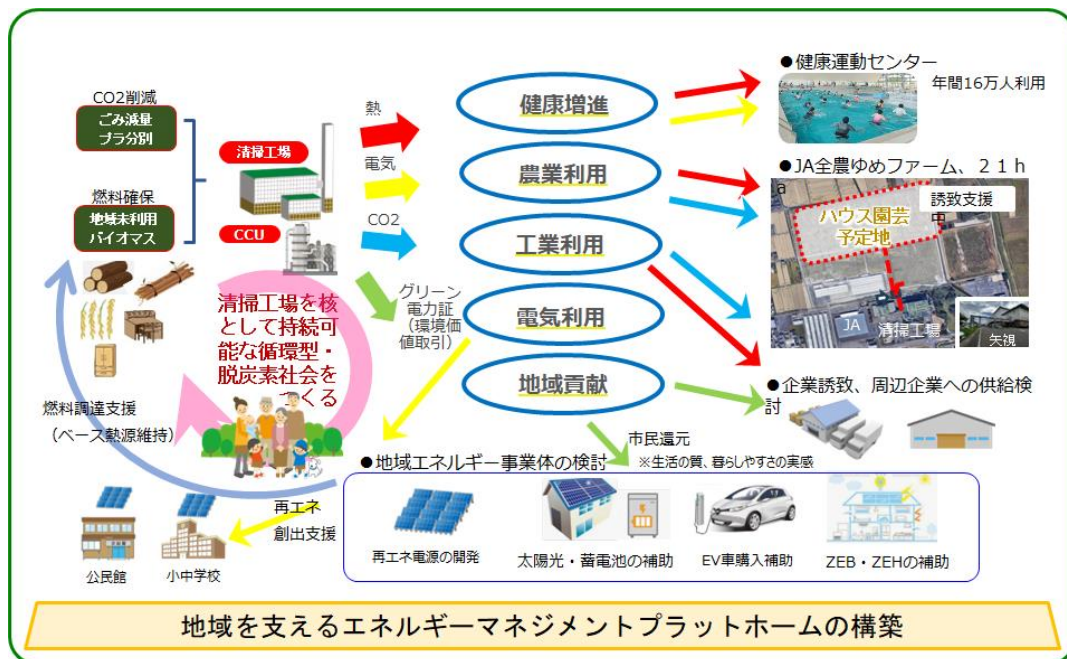


図 4-58 佐賀市清掃工場の新たな価値創出のイメージ
(廃棄物エネルギーを起点に環境と経済が両立するまち)

4-4-2 清掃工場を中心としたエネルギー分野における地域循環共生圏

清掃工場を中心としたエネルギー分野における地域循環共生圏を展開するには、単に新たな熱利用の構築、電力の地産地消を地域エネルギー事業として創出するだけでなく、複合拠点構想とレジリエンス強化の考え方が有効であり、これらについて以下に示す。

(1) 複合拠点供給

需要と供給の関係をベース供給と変動調整を考慮し、新たな需要家を想定した効果的な組み合わせや熱供給のカスケード利用、さらには補助的な供給源を加えたエネルギーの「複合拠点」を視野に入れた展開が重要である（図 4-59 参照）。施設の地理的特性を活用し、新規熱需要家をどのように創出するかである。

エネルギー供給事業体として熱の利用と電力供給のコラボだけでなく、清掃工場を中心としたエネルギー供給計画として、需要家の新たな誘致や熱供給を幅広く熱源や蓄熱などを用い、総合的に進める必要がある。

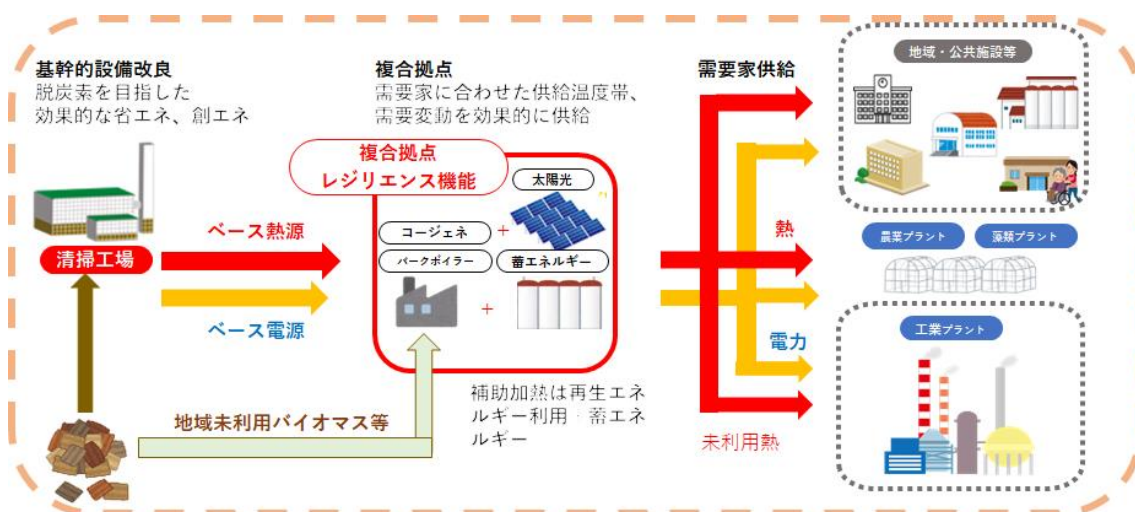


図 4-59 複合供給拠点の考え方

(2) レジリエンス強化

佐賀市清掃工場では、隣接している健康運動センターが災害時のレジリエンス機能を有しているが、さらにこれを増強することも一方策である。防災拠点としての強化やオフグリッドでの電力供給網の構築など地域防災計画と連携した活用策が期待される。

今後計画される焼却プラントの基幹的設備改良事業では、事業コンセプトとして「安全・安心」、「省エネ、省 CO2」、「災害対応、レジリエンス」を掲げられているため、施設の基本的機能の強化も待たれる。

また、新電力事業構想も並行して進んでおり、大規模停電が発生した場合でも本施設

が自立可能な対策、具体的には営農型太陽光発電や太陽光発電の下に駐車場を設けるなどの施策も効果的である。

このように、現在、佐賀市では清掃工場を核として様々な重点事業が検討されており、それらを効果的に組み合わせることで、多面的な機能や価値を相乗的に高めることも可能である。

したがって、地域レジリエンスについても環境・エネルギー分野の事業構想と一体で展開できるよう、各関係主体と様々な角度から検討を重ね、次世代へのビジョンを示していくことが重要である。

災害時の役割や 2023 年 6 月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」を踏まえ、「廃棄物処理施設の創出する価値の多面性に着目しつつ深化」の観点から、清掃工場のレジリエンス機能を多面性の深化として、より柔軟性に富んだ複合拠点構想が期待されている（図 4-60 参照）。

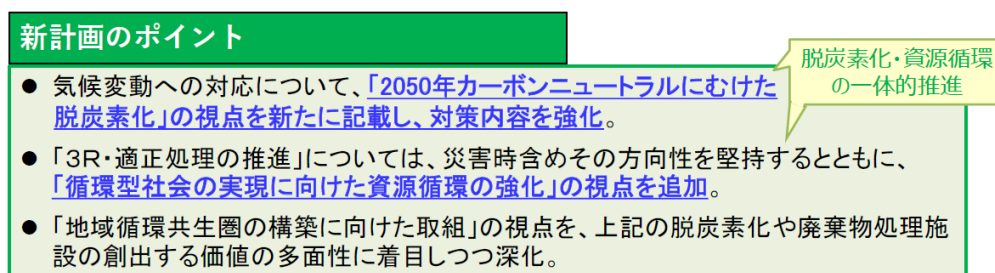


図 4-60 新計画のポイント

出典 環境省廃棄物処理施設整備計画の概要^[4-9]

「廃棄物処理施設整備計画」では、災害対策を強化するため「地域の核となる廃棄物処理施設においては、地震や水害によって稼働不能とならないよう、施設の耐震化、地盤改良、浸水対策等を推進し、廃棄物処理システムとしての強靱性を確保する。これにより、地域の防災拠点として、特に焼却施設については、大規模災害時にも稼働を確保することにより、電力供給や熱供給等の役割も期待できる。」とされている。

4-5. まとめ

「エネルギー利用の工夫」として、想定される需要家に対し、規模や変動への対応が可能な熱供給システムを検討し、創熱とエネルギーシフトによる実効性のある方策を整理した（表 4-35 参照）。

表 4-35 創熱とエネルギーシフトの評価

創熱方策		設備コスト増	評価
A創熱	復水水冷化	有り（未利用熱）	◎
	①抽気最大化	無し	◎
Bエネルギーシフト	②運用改善	無し	○
	③蓄熱追加	有り（供給拡大）	○（需要による）
	④高圧蒸気利用	無し（電力の収入減）	○

清掃工場の安定運転に必要なバイオマス調達コスト（バイオマス購入価格＋バイオマス運搬費用）をランニングコストに含め、新たな熱供給設備のイニシャルコストを売熱単価で償却できるか事業性を評価し、市中の熱量単価の半値程度で事業性があることを確認した。

蒸気の利用用途は熱需要家が近傍にある場合、熱供給の方が電気より収益面で優位であるが、「システム全体の工夫」としては、別途検討している地域新電力事業（エネルギー事業体）のベース電源確保（太陽光発電の開発等）や地域レジリエンスとしてのエネルギーバランスを考慮した取組へと発展させることも重要と考える。

本事業で得られた「清掃工場を中心としたエネルギー分野における地域循環共生圏」の知見を他の自治体へ発展応用するための視点を示す（図 4-61 参照）。

- ①分散型の複合拠点の検討から開始する
- ②清掃工場とのコラボにおいてはベースエネルギーの供給拠点と位置付ける
- ③これまでの成果①、②の需要家のエネルギーマネジメントに着目する

このような考えのもと各地域に合った事業モデルの確立に向けてシステムとしての工夫が必要と考える。さらに、留意点としては下記のとおりである。

- ・ 「新電力事業構想」や「脱炭素先行地域」との連携
- ・ 農業利用だけでなく、周辺の企業での相互の熱需要を複合的に利活用
- ・ 需要家の進出と再エネ等のエネルギー事業者との蓄エネルギーも展開

また、本事業の横展開としては、類似自治体やごみ処理施設へ事業モデル、先行事例として発信することがあげられる。

- ・ 未利用バイオマスの散在や林地荒廃などの地域課題を共有
- ・ 中間処理のあり方や資源・エネルギーの回収方策、利活用などの施設課題を共有
- ・ レジリエンス機能を持たせることで、複合拠点として展開の具体策の共有

横展開に向けて、「新電力事業構想」や「脱炭素先行地域」との連携
農業利用だけでなく、周辺の企業での相互の熱需要を複合的に利活用
需要家の進出と再エネ等のエネルギー事業者との蓄エネルギーも展開

【横展モデルイメージ】

①分散型の複合拠点を徐々に整備

②清掃工場はベースエネルギーを供給

③ ①②と需要家をエネルギーマネジメント

各地域の事業モデルを確立

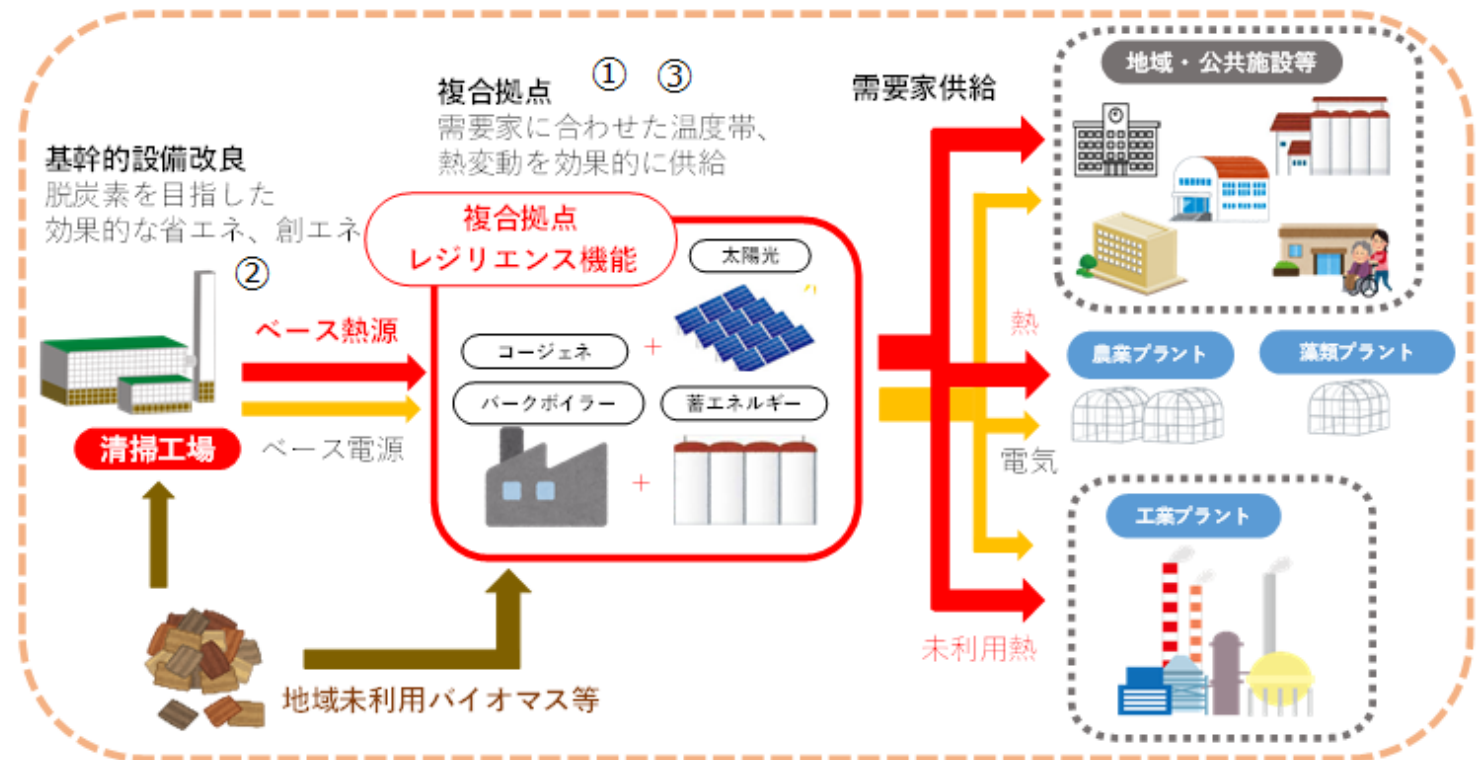


図 4-61 清掃工場を中心としたエネルギー分野における地域循環共生圏（イメージ）

参考文献

- [4-1] 環境省，一般廃棄物の排出及び処理状況等（令和3年度）について（2023），
https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r3/data/env_press.pdf
- [4-2] 佐賀市，佐賀市清掃工場廃棄物エネルギー利活用検討調査業務報告書，（2020）
- [4-3] 佐賀ガス HP、<https://www.saga-gas.co.jp/price.html>
- [4-4] ふじみ衛生組合 HP，<https://fujimieiseikumiai.jp/>
- [4-5] 佐賀市，佐賀市地域循環共生圏とは？HP（2022），
<https://www.city.saga.lg.jp/main/57144.html>
- [4-6] タテホ化学工業 HP，<https://tateho.co.jp/>
- [4-7] 環境パートナーシップ CLUB・EPOC,熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内
利用研究 結果報告書<第二部>，(2008)
- [4-8] 産業技術総合研究所,100℃以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムを開発、産総研マガジン，（2017）
- [4-9] 環境省，環境省廃棄物処理施設整備計画の概要（2023），
<https://www.env.go.jp/content/000140999.pdf>

第5章 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会の開催等

5-1. 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証）検討会の開催

委託業務実施計画書に基づき、本事業の技術的・経済的視点から課題等を検討するため、以下の廃棄物およびエネルギーに関する専門家、学識経験者および行政職員を委員として迎えた検討会を開催した。

	氏名(敬称略)	所属団体・役職	専門分野
委員長	島岡 隆行	九州大学大学院教授	環境社会（廃棄物）
副委員長	岩永 宏平	日本環境衛生センター理事	廃棄物処理施設
委員	大野 伸寛	佐賀県産業労働部再生可能エネルギー総括監	新エネルギー

2021（R3）年度は12月と2022年2月の2回、2022（R4）年度は7月、12月および2023年2月の計3回、2023（R5）年度は7月、11月および2024年2月の計3回検討会を開催した。

以下に2023年度の第1回検討会～第3回検討会の議事録から一部抜粋して記載する。

第1回検討会

開催日時	令和 5 年 7 月 27 日（木）14:00～15:50	
開催方法（場所）	対面（一部 Web）開催（九州電力(株)佐賀支店ビル 2 階ホール）	
出席者（敬称略）	委員：島岡委員長、岩永副委員長、大野委員	
	受託事業者：佐賀市、エネルギー総合工学研究所、西日本プラント工業、九州電力株式会社佐賀支店	
	環境省：日垣課長補佐、北垣係長、後藤専門員、則竹専門員（Web 参加）	
主な質疑応答		
事業分野	質問・コメント内容	事業者回答
原料調達の検討	バイオマス利活用を進めているが、バイオマスは産業廃棄物のため市の条例に基づき受け入れを行っているとされるが、佐賀市の条例にはどのように定められているのか。	廃棄物処理法第 11 条に定められており、一般廃棄物とあわせて処理することができる。また、佐賀市廃棄物の減量推進及び適正処理等に関する条例 11 条にも定められており、バイオマス原料では家具端材や

		バークや製材くずが該当すると考えられる。 産業廃棄物の管轄は県となるため、本格的にバイオマス原料を導入するには県所管箇所に確認して進めたいと考えている。
	もみ殻の熱分解モデルとして、熱分解の分解式として適切かどうか確認をお願いします。また、シミュレーションでは空気比を意識されているが、空気比は燃焼時の大きなファクターであるので、いかに絞るのかなどメーカーと相談し検討してもらいたい。	闇雲に空気を送らないようにしたいと考えている。空気は3箇所から流入できるので細かな分析をしたいと考えている。
バイオマス混焼による実証試験	圧力波式スートブロワ稼働時は回収灰の量が増えたとの運転員コメントがあるが、蒸気式に比べ圧力波式の方が灰の剥離がよかったのか、それともスートブロアの稼働回数が多いことで回収灰が増えたと評価しているのか。	蒸気式の1日に1回稼働と、圧力波式の4時間に1回稼働とで違いが見えづらいので稼働時間を変更するなど定量的な観察を行いたいと考えている。
	圧力波式スートブロアは蒸気を使わずに灰を剥離させているので、バイオマス混焼をしていない時期に1号炉と2号炉で、同じごみ質を焼却した際の蒸気の回収量の分析もしてはどうか。	これまで1号炉のみ観察していたので、2号炉や3号炉との違いについても温度差などを確認したいと思う。
熱供給方法の検討	熱供給方法をCASE1～3で検討するとあるが、最終的にはどの様に評価するのか。	現在、蒸気配管で熱供給している需要家が居るが、新たな需要家には従来どおり蒸気配管で供給するのがいいのか、温水で供給した方がよいか判断したいと考えている。
	水冷式復水器による復水利用を検討しているが、投資のタイミングや、投資回収のタイミングなどが合わずに机上論にならないように意	投資回収やCO₂削減、地域貢献など総合的に判断し進めていきたい。

	識してもらいたい。	
--	-----------	--

第2回検討会

開催日時	令和 5 年 11 月 22 日（水） 10:00～12:00	
開催方法（場所）	対面（一部 Web）開催（九州電力(株)佐賀支店ビル 1F 多目的ルーム）	
出席者（敬称略）	委員：島岡委員長、岩永副委員長、松尾主事（大野委員代理）	
	受託事業者：佐賀市、エネルギー総合工学研究所、西日本プラント工業、九州電力株式会社佐賀支店	
	環境省：日垣課長補佐、則竹専門員（Web 参加）	
主な質疑応答		
事業分野	質問・コメント内容	事業者回答
原料調達の検討	グラフが意味するものは、調達しようとするバイオマスは、排出者の意向や市場性で、有償や逆有償あるいは産廃や有価物であり、量や収集方法は現在の状況であり固定されたものではないということか。	そのとおり。それぞれの調達単価も変わるなど、時系列によって変わり得ること。ケース 1 は 1 番理想的なケースになる。
	市営での運搬回収は現実的に可能なことか。このコストが肝になると考えられる。	実現可能と考えている。通常の運搬業務の中に追加する形になる。市の内部での協議が必要と考えている。また、今後ごみ処理施設の統廃合で委託業務が縮小されていく傾向がある。縮小された業務の余力を他の業務への転換の中でバイオマス調達ができるのではないかと考えている。
バイオマス混焼による実証試験	もみがら混焼時に CO 濃度が高くなっているため、ダイオキシンの発生の可能性があるということ。バイオマスを安定燃焼させることが必要と考えている。今後の改良の中で佐賀市の方で予定されていることはあるか。	飛散の要因として一次燃焼空気の量が多くて、噴出しの圧力が高いのではないかと考えている。大規模改修を控えている中では、火格子の形状を変えて耐久性もある、更に空燃比率を抑えた形にすると飛散を抑える効果があるのではと考えている。
	スートブロアの圧力波式と蒸気式	炉は一定の温度で管理されている。

	の炉の温度の管理はどうなっているか。	運転員からは、通常の一般ごみを蒸気式で運転している時に比べ、温度域が高いとのコメントがあっている。炉の適正温度の上限値に近いとすることで苦慮されている。今後、圧力波式を使用しているから温度が上昇したのか、バイオマス混焼が影響しているか等、スートブローの評価はもっとデータを収集する必要があると考えている。
熱供給方法の検討	調達コストの考え方を教えてほしい。	「原料調達の検討」の中で、運搬費やバイオマス調達コストからケース分けを行い、調達量から調達コストからいくつかの感度分析をしている。
	個人的な意見になるが、海外では清掃工場の熱と電気を利用する時は、季節的に使い分けをするような事例の話を聞いている。今回検討の中での 8.5GJ/h の使い方として、年間など期間が長い中で検討されていると思う。農業の使い方として熱が必要なのが夜間や冬場だけと聞く。年間の必要量に大きな変化がある。発電と熱のバランスについては、季節変動、日間変動の可能性を検討していく必要があると考えている。	コメント承った。

第3回検討会

開催日時	令和6年2月27日（火）14:00～16:05
開催方法（場所）	対面（一部 Web）開催（九州電力㈱佐賀支店ビル 2F ホール）
出席者（敬称略）	委員：島岡委員長、岩永副委員長、松尾主事（大野委員代理）
	受託事業者：佐賀市、エネルギー総合工学研究所、西日本プラント工業、九州電力株式会社佐賀支店
	環境省：日垣課長補佐、則竹環境専門員

	オブザーバ：日本環境衛生センター（西畑）	
主な質疑応答		
事業分野	質問・コメント内容	事業者回答
原料調達の検討	搬入時に車両の積載容量と積載量から比重を出すか、素材自体の水分量を定期的に測ることで、搬入物のカロリーを予測でき運転管理にも利用しやすいと思った。仕組みを作れば、より安定した消費が出来るかと思う。	今回のような指標をうまく使い、搬入前の水分を測っておけば、搬入した時の重さでカロリーが見積もれる。またストックヤードに置き、混焼する前に水分を測ることで、混焼割合の指標にも出来ると思う。水分の計測は簡易的な水分計で一部サンプリングすることでできるため、現場でも使用できている。
	空気の供給の状態によって、もみ殻の飛散や燃え残りの割合がかなり違ってくるという結果が得られている。一次空気を半分にしたというのは、通常の乾燥状態時の空気量を単純に半分にしたということか。	乾燥ストーカからのもみ殻飛散割合を減らすために、一次空気量を半分にするアイデアであるが、現場ヒアリング時に一次空気温度を上げることが可能だとお聞きした。空気温度を上昇させることで乾燥能力を落とすことなく空気量を減らすというのが提言のポイントである。
バイオマス混焼による実証試験	混焼すると蒸気式でも温度が少し上がっている。ダストの除去がやりづらいことを示しているのか。	ダストの観点は断面だけ見ると難しい。温度を定量的に評価したスライドになっている。
	創エネやコスト面で効果が出ているが、実証した面からするとダストの除去効果などにおいては明確に判断しづらいと思った。	運転上の問題などからストブローの有効性は不確かさがあったと思うが、先進的な技術として、創エネ効果があるという背景を持って使用していただければと思う。
熱供給方法の検討	蓄熱槽の右側は佐賀市清掃工場の所掌、左側が事業者の所掌との設定でいいか。	現在は清掃工場内に蓄熱槽を置くことを考えている。
	今回の場合は、売却熱量はどういう情報の捉え方になるか。蓄熱槽から需要家に送った温水の温度と量なのか。	単純にポンプの流量が一定と考えたと、熱交換器のところでも熱量は測れる。きちんと精査して熱量を適正に販売することが合理的かと考

		えている。
各委員の講 評	岩永委員 バイオマスを活用した処理やエネルギー回収は非常に意義のある成果であり、是非他の市町村の参考になる汎用性のあるような形で成果をまとめて公表いただければと思います。 松尾委員代理 バイオマスは中山間地の問題にも直結する部分があると思う。整備をすればバイオマス資源は自ずと出てくると思っていますので、県としても是非取り組んでいながら応援できるかと思っている。引き続きご検討いただければと思います。 島岡委員長 検討すべき基本的なところは検討されたのではなかろうかと思う。事業を環境省にも協力いただきさらに社会実装を推し進めて、日本でも先駆けの皆が注目するバイオマス有効利用の事業になっていけばと切に願っている。	

5-2. 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業審査等委員会への出席

環境省が実施する「令和 5 年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業審査等委員会」へ出席し、業務報告を行った。

5-3. 廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO₂ 対策普及促進方策検討委託業務ヒアリング等への協力

本事業の上位事業である「令和 5 年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO₂ 対策普及促進方策検討委託業務」受託者によるヒアリング調査への協力を行った。

第6章 共同実施者との打合せ

共同実施者とは、R3年度は計10回、R4年度は計16回、R5年度は計13回の打合せを開催し、事業内容の検討、進捗状況について意見交換を行った。以下にR5年度を記載する。

R5年度

	日 時	出席者	主な打合せ内容
1	2023年4月13日 14:00～16:10	佐賀市、IAE、NPC、九電	・R5事業内容の検討 ・R5事業スケジュールについて
2	2023年5月22日 9:30～10:55	佐賀市、IAE、NPC、九電	・各項目の実証内容の検討
3	2023年6月19日 14:00～16:30	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第1回検討会について ・各項目の実証内容の検討 など
4	2023年7月4日 13:30～15:15	佐賀市、IAE、NPC、九電	・R5年度検討会について ・原料調達状況について など
5	2023年7月12日 10:00～11:45	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第1回検討会について
6	2023年7月27日 16:20～16:45	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第1回検討会フォローアップ
7	2023年8月22日 14:00～16:00	佐賀市、IAE、NPC、九電	・バイオマスコストについて ・熱供給の考え方について
8	2023年9月14日 14:00～15:45	佐賀市、IAE、NPC、九電	・熱需要家への供給方法について ・第2回検討会について など
9	2023年10月10日 14:00～16:00	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第2回検討会について
10	2023年11月7日 14:00～16:20	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第2回検討会について ・熱需要家へのヒアリングについて
11	2023年12月4日 14:00～15:40	佐賀市、IAE、NPC、九電	・第2回検討会フォローアップ ・R5年度成果報告書について など
12	2024年1月11日 10:00～12:30	佐賀市、IAE、NPC、九電	・審査等委員会について ・R5年度成果報告書について
13	2024年1月29日 10:00～12:10	佐賀市、IAE、NPC、九電	・審査等委員会について ・R5年度成果報告書について

第7章 目標達成度や将来展開

7-1. 目標設定および達成度

	項目	採択時の技術の状況	最終目標	令和 5 年度の目標	年度末の達成状況
1	原料調達 の工夫	清掃工場では農業系バイオマスを受け入 れていない 国内事例についても下水汚泥炭化物など の例はあるが積極的なバイオマスの受入 や混入可能割合を評価した例はない	新規調達熱量 (創エネ目標量) 28,400GJ/年	2,000 トン/年以上のバイオマス を調達するシステムの検討 ベースとなる原料不足時に対応 可能なバイオマスの検討	バイオマスの発生時季と清掃工場の需要時季 のマッチングを調達システムとして整理した
2	エネルギー転換の 工夫	未利用バイオマスは処理困難物として受 け入れていない →受入れ、貯留、焼却処理のノウハウが ない（プラントへの影響が未確認）	新規余剰熱量 (創エネ目標量) 4,777GJ/年	2,000 トン/年以上のバイオマス を混焼できるシステムの確立 4,777GJ/年の創エネを目標とし た排熱回収システムの基本計画	混焼時の留意点や点検ポイントを整理したバ イオマス運転マニュアルを策定した ・スートブロワの結果を整理し、総合評価を行 った
3	エネルギー利用の 工夫	バイオマス混焼によるエネルギー回収量 の変化が不明瞭である 新規熱需要家の熱需要量が未調査	供給設備のイニシヤ ルコストの回収年目 標…5 年以内	熱供給計画の策定；新規創出熱の 供給・利用方法検討 熱供給技術の比較；熱供給の事業 化可能性を検討。CO2 削減コスト などを確認	集約結果を基に設備投資と熱供給計画の方向 性を整理した
4	システム 全体の工夫	熱需要家の新規動向を踏まえたエネルギ ー（熱・電気）供給計画が未整備	エネルギー（熱・電 気）供給計画の策定	エネルギー（熱・電気）供給計画 の検討	清掃工場を中心としたエネルギー供給計画案 を策定した

7-2. 事業の CO₂ 排出量削減効果

	項目		
①	原料バイオマスの搬送	34.89	t-CO ₂
(1-1)	もみがら t 単位CO ₂ 排出削減量(トラック移動平均)	0.02287	t-CO ₂
(1-2)	もみがら投入量想定	400.00	t
(1-3)	もみがら運搬によるCO ₂ 排出量削減量	9.15	t-CO ₂
(2-1)	木くず t 単位CO ₂ 排出削減量(トラック移動平均)	0.02145	t-CO ₂
(2-2)	木くず投入量想定	1200.00	t
(2-3)	木くず運搬によるCO ₂ 排出量削減量	25.74	t-CO ₂
(3)	CO ₂ 排出削減量 (トラック総移動距離)	34.89	t-CO ₂
②	バイオマスの導入	1479.13	t-CO ₂
(1-1)	流木、家具端材、支障木投入量想定	340.00	t
(1-2)	流木、家具端材、支障木単位発熱量	15.26	GJ/t
(1-3)	流木、家具端材、支障木発熱量年間	5188.40	GJ
(2-1)	麦殻投入量想定	60.00	t
(2-2)	麦殻単位発熱量	5.21	GJ/t
(2-3)	麦殻発熱量年間	312.60	GJ
(3-1)	もみがら投入量想定	400.00	t
(3-2)	もみがら単位発熱量	11.79	GJ/t
(3-3)	もみ発熱量年間	4716.00	GJ
(4-1)	木くず投入量想定	1200.00	t
(4-2)	木くず単位発熱量	9.27	GJ/t
(4-3)	木くず熱量年間	11124.00	GJ
(5)	バイオマス年間発熱量合計	21341.00	GJ
(6)	重油発熱量	39.10	MJ/L
(7)	重油換算	545.81	kL
(8)	重油CO ₂ 発生量原単位	2.71	t-CO ₂ /kL
(9)	年間削減量 (重油換算)	1479.13	t-CO ₂
③	スートブロワの方式変更	270.20	t-CO ₂
(1)	スートブロワ蒸気量実績	1418.23	t
(2)	上記1トン当たりの熱量	2.79	GJ/t
(3)	スートブロワ実績熱量換算	3956.86	GJ
(4)	重油発熱量	39.10	MJ/L
(5)	重油換算	101.20	kL
(6)	重油CO ₂ 発生量原単位	2.71	t-CO ₂ /kL
(7)	年間削減量 (重油換算)	274.25	t-CO ₂
(8)	メタンガス使用量による年間CO ₂ 排出量	4.05	t-CO ₂
(9)	年間削減量合計	270.20	t-CO ₂

7-3. 事業の投資回収年数について

事業に係るイニシャルコスト及び毎年の収入、並びに投資回収年数を以下に示す。

項目		備考
①設備使用事業者負担額	225,581千円 総事業費：350,872千円 補助額：125,291千円	総事業費－補助金額 スートブロワ：300,872千円 熱供給設備：50,000千円 スートブロワ補助率：1/3 熱供給設備補助率：1/2 想定 (総事業費＝補助対象経費)
②投資によって得た便益 (収入－ランニングコスト)	売熱収入 30,357千円 バイオマス調達コスト -3,000千円 スートブロワ起動コスト -2,682千円 設備メンテナンスコスト -4,500千円 年間収支20,175千円	②～③によって得られる収入 1,200円/G J 売熱想定 年間25,298 G J の創熱効果
③設備使用事業者負担額 に対する投資回収年数	12年	①÷②
④総事業費に対する 投資回収年数	18年	総事業費÷② ※補助無しの場合

7-4. 事業終了後の横展開の可能性

本事業は、地域に散在するバイオマスを一般廃棄物処理施設で受け入れて焼却処理し、得られる資源・エネルギーを地域内で循環させる取り組みである。

地域バイオマスは、自立・分散型の資源・エネルギー（再生可能エネルギー）として古くから注目されているものの、収集・運搬コストの問題や発生量が少量であるなどの理由から未利用となっているものも多く、順調に拡大してきたとは言い難い。

一方、一般廃棄物焼却処理施設では、これまでダイオキシン対策に伴う広域化計画のもと施設の集約化が図られ、全連続式の発電付き焼却処理施設が建設されてきたが、今後は、人口減少や脱プラスチックなど資源循環型の社会構造への変革が進むにつれ、施設の稼働率が低下し、定格処理や効率的な運用にも影響を及ぼすことが予測される。

このように、未利用バイオマスの散在や林地荒廃などの地域課題と中間処理のあり方や資源・エネルギーの回収方策、利活用などの施設課題は多くの自治体に共通するものであり、本事業へ取り組む意義や果たすべき役割は大きいと考えている。

また、本事業では「エネルギー転換の工夫」としてバイオマスの混焼とスートブロワの更新を挙げているが、バイオマス混焼は従来の一般廃棄物の燃焼制御の延長線上にあり、炉形状を問わず取り組みが容易である。スートブロワの変更においてもボイラ形状を大幅に変更することなく比較的柔軟に対応することができるため汎用性が高いことも特徴である。

したがって、今回の取組は、地域特性に応じた類似案件へ派生・展開できる要素があり、地域の各主体が関わることで、負のイメージを徐々に減らし、持続可能な清掃工場（ご当地施設）として理解され、更には迎えられていくことにもつながるものである。

実証では、多様なバイオマスの調達に苦慮した。木質系や農業系バイオマスの発生には季節性があり、清掃工場のごみピット残容量やヤードの空き状況を見ながら受入れのタイミングを合わせる必要があるため、関係者との連絡調整に時間を要した。

また、バイオマス種によっては、既定の処理ルートがあり、排出事業者との調整に加え、処理ルートの事業者との調整も重なり、当初の計画どおりに進まないこともあった。

しかし、このような経験ができたことで、地域の実情や仕組みを知り、意見交換の場になり、理解者が増え人脈へとつながった。見かたによっては、これも本実証の成果と言える。清掃工場の関係者は、日頃から日々発生する都市ごみの適正処理に尽力されていると思うが、多様な視点から地域を俯瞰し、可能性があれば試してみることをお勧めしたい。

清掃工場は建設や維持管理において、多額の費用を要する施設でありながら、その運用を適正処理のみにとどめるのはもったいない。近年では環境学習や防災拠点等の付加価値を追求した取組が進んでいるが、今後は、例えば、産業団地併設による経済波及効果、レジリエンス機能を付加した福祉施設や宅地分譲（災害廃棄物の仮置き場や仮設住宅の転用機能）など、域内投資や資金・資源循環などの付加価値の評価、都市づくりの視点等から立地を含めた戦略的な都市計画としての検討が更に求められていくと思われる。

清掃工場が循環型・脱炭素社会のシンボル施設となることは勿論、地域にとって真の持続可能な都市施設になることを切に願います。



リサイクル適正の表示：印刷用の紙にリサイクルできます。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。