

令和4年度環境省委託事業

令和4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5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。

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。

令和 4 年度（2022 年度）は以下に述べる 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調達バイオマス量を検討し、それに見合う地域のバイオマス賦存量が存在することを確認した。また、昨年度実施したもみ殻とバークに加えて、竹チップ、家具端材、流木についての利用可能性を検討し、バイオマス発生箇所における情報収集と整理を行った。

加えて、実証試験を実施するにあたり、バーク、もみ殻、竹チップなどを実証用原料として調達した。

### （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。

### （3）熱供給方法の検討

本施設の 2019～2021 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。また、実際に水冷式復水器を導入して、近隣に熱供給している清掃工場を見学・ヒアリングし、取り組み状況や課題を確認するとともに、先進的な園芸ハウスへのヒアリングにより、熱需要家の熱負荷について情報収集した。

オフライン熱供給の方法については各実証事業の情報を収集・整理し、コストの面で課

題があることを確認した。

これらの情報を踏まえ、今後の熱供給の拡大に向けた設備投資と熱供給計画の方向性を検討した。

#### (4) システム全体の検討

昨年度検討したエネルギー分野における地域循環共生圏モデルの全体イメージを具体化するため、本施設の排熱を効率よく周辺に供給するための複合拠点供給や地域防災計画と連携した活用策としてのレジリエンス強化を検討した。

今後は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、CO<sub>2</sub>）の最適な価格帯などを検証し事業性を確認する必要がある。

## 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 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.

In fiscal 2022, 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 procure to ensure the future stable operation of the facility, and we were able to confirm the existence of regions with the potential biomass capacity to meet this need. Also, in addition to the chaff and bark implemented in the previous year, we considered the feasibility of using bamboo chips, waste wood from furniture, and driftwood and collected and organized information from sites of biomass generation. Also, for the purpose of conducting the proof-of-concept tests discussed below, we sourced biomass materials needed for the tests: bark, chaff, and bamboo chips.

### (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.

### (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 2019 through fiscal 2021 and collected and organized the data about the present condition of our thermal energy provision. Also, by touring and conducting a hearing session with waste disposal centers who actually installed a water-cooled condenser, and do provide thermal energy to the local area, we were able to confirm the condition of our current initiative and the issues we can expect to face. At the same time, we were able to hold a hearing session with a state-of-the-art greenhouse to collect information about the energy requirements of those with a demand for thermal energy provision. In regard to offline thermal energy provision methods, we collected and organized data from each proof-of-concept venture, and were able to confirm that there would be issues in terms of cost. With this information, we've considered the capital investment needed and the direction of our thermal energy provision planning, to further future expansion of thermal energy provision.

### (4) Review of Overall System

In order to further solidify the overall image of the energy field's regional circular and ecological model that we envisioned in the previous fiscal year, we have considered a composite-model provision centers to improve more efficient provision of the facility's waste heat to the neighboring area and practical applications to regional disaster preparedness programs as a way of adding increased resilience to our initiative.

In order to ensure the future sustainability of both the facility's waste disposal business and the energy-provision-from-waste-matter business, we see the need to consider the optimum price settings for waste-matter-energy (thermal, electrical, CO<sub>2</sub>) and fully confirm the feasibility of the business.

## 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.....	6
第2章 原料調達の検討.....	7
2-1. 背景.....	7
2-2. 本施設の運用.....	7
2-3. 本市におけるバイオマスの発生状況.....	17
2-4. バイオマスの調達について.....	25
2-5. 調達のサプライチェーンについて.....	27
2-6. バイオマス混焼の法規制について.....	30
2-7. もみ殻混焼時の炉内シミュレーション.....	33
第3章 バイオマス混焼による実証試験.....	44
3-1. 混焼計画.....	44
3-2. 実証と影響評価.....	45
3-3. スートブロワの変更.....	63
第4章 熱供給方法の検討.....	72
4-1. 熱供給の概要と熱利用状況.....	72
4-2. 佐賀市清掃工場廃棄物エネルギー利活用検討のまとめ.....	79
4-3. 今後の計画.....	100
第5章 令和4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）検討会の開催等.....	105
5-1. 令和4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）検討会の開催.....	105
5-2. 令和4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の出席	110
5-3. 令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO <sub>2</sub> 対策普及促進方策検討委託業務ヒアリング等への協力.....	110
第6章 共同実施者との打合せ.....	111
第7章 目標達成度や将来展開.....	113
7-1. 目標設定および達成度.....	113
7-2. 今後のスケジュール.....	114

7-3. 事業の CO <sub>2</sub> 排出量削減効果.....	116
7-4. 事業終了後の横展開の可能性.....	117

## 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4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）。

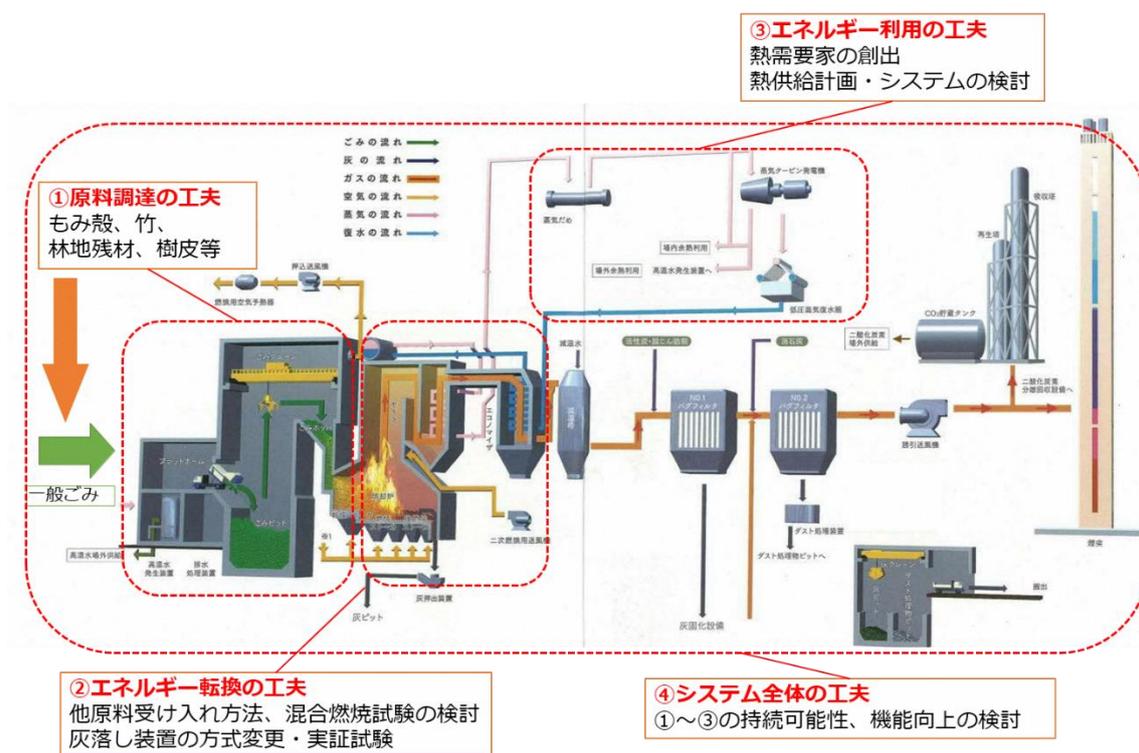


図 1-1 処理フローにおける実証ポイント

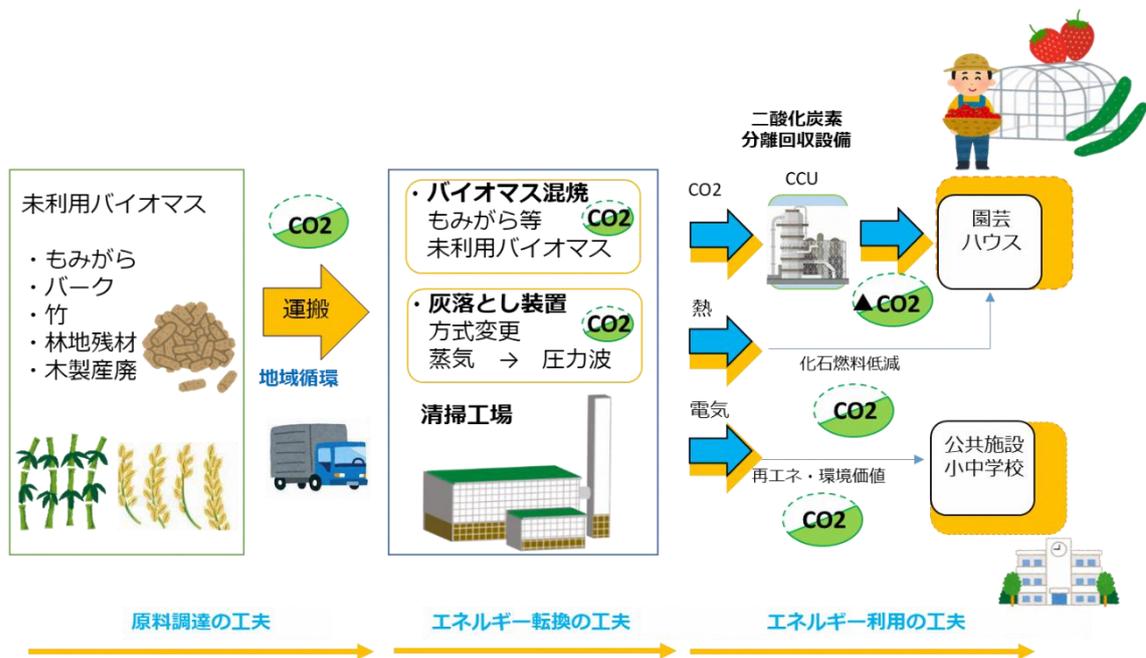


図 1-2 実証フローにおける CO<sub>2</sub> 削減ポイント

(1) 原料調達の検討

- 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した。
- 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）の発生量年次変化を踏まえた調達可能量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。
- 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。
- バイオマス原料の調達方法やコストを検討した。

(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。
- 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。
- 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)
- 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。
- 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。

### (3) 熱供給方法の検討

- 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。
- 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。
  - 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、CO<sub>2</sub>削減コストなど費用対効果を確認した。
- 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、CO<sub>2</sub>)の最適な価格帯を検証し事業性を確認した。
- 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。

### (4) 令和4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) 検討会の開催

業務の円滑な実施のため、令和4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) 検討会を設置し、業務実施期間内において、佐賀市にて2022年7月5日、2022年12月23日、および2023年2月13日の3回にわたり、令和4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) 検討会を開催した。

(5) 「令和4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」への出席

環境省が2023年1月30日に実施した「令和4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。

(6) 令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO<sub>2</sub>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2022年10月5日に実施した「令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO<sub>2</sub>対策普及促進方策検討委託業務」に係る検討会へのオブザーバ出席をした。

(7) 共同実施者との打合せ

本事業は、図1-3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、2023年1月までに計11回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

業務の実施体制を図 1-3 に示す。

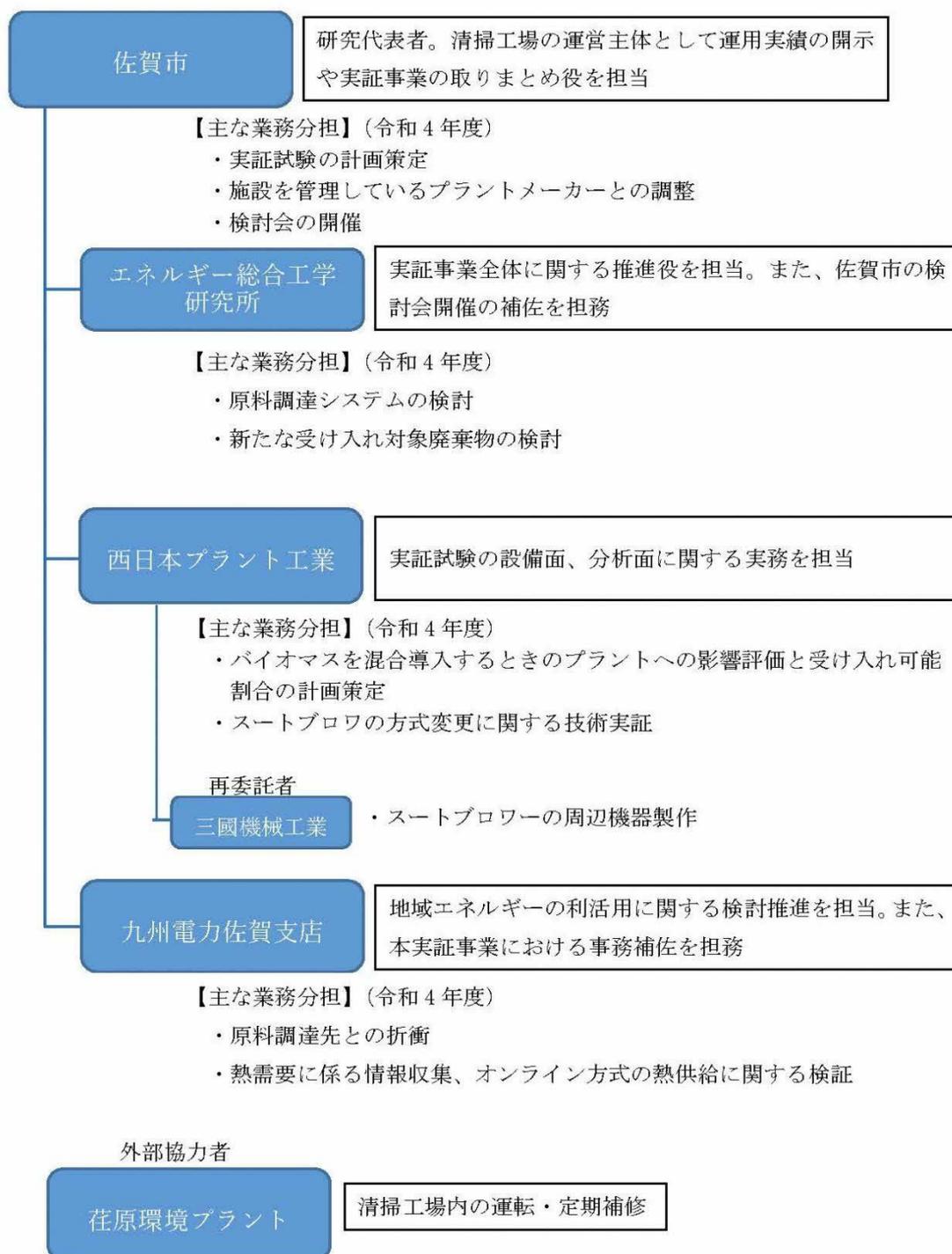


図 1-3 業務の実施体制

### 1-4. 事業スケジュール

本業務は、2022年4月1日の契約日以降、以下に示すスケジュールで実施した。

		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 1-4 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300t/日（100t/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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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<sup>12-1</sup>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76,357t/年であったものが、2018年度（平成30年度）に74,089t/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。

最新の実績<sup>12-2</sup>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11月までの実績と2022年12月～2023年3月の計画値を合計すると、69,333t/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

本施設は前述の通り、計画処理300t/日（100t/日×3基）の全連続燃焼式ストーカ炉において焼却処理を行っている。ボイラで発生した焼却ガスが有する熱エネルギーによって蒸気を発生させ、出力4,500kWの蒸気タービン発電機を回すことによって、発電を行っている。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。

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CO<sub>2</sub>分離回収設備に供され、分離されたCO<sub>2</sub>は近隣に供給される。

図2-1に2021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CO<sub>2</sub>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。なお、9月末に諸事情により1炉運転している期間がある。

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																				
	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	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
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6日				3炉14日				3炉15日																																															
	熔融炉	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				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								16 21 26								21																																											
	2号炉 (256.8日)	17								19				8				2				19				28																																							
	3号炉 (222.0日)					16				15				9				2				20				4				28																																			
	タービン発電機																	2				19																																											
	ゆめファーム蒸気供給																					22																																											
CO <sub>2</sub> 回収装置																	1				21																																												

図 2-1 本施設の運用状況

図 2-2 に過去 5 年間で今年度 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/月程度で推移しているが、徐々に右肩下がりの傾向で減少していることもわかる。

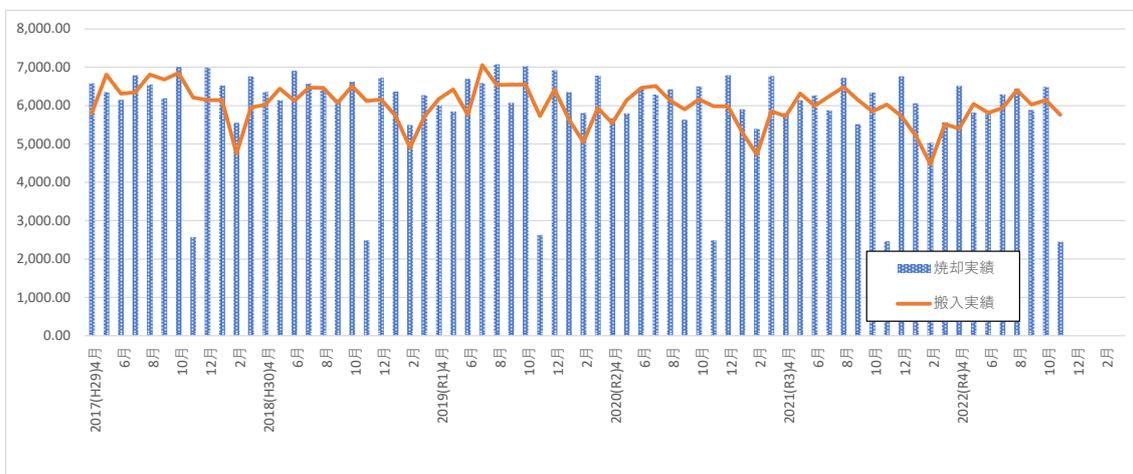


図 2-2 過去 5 年間および今年度のごみ搬入および焼却実績（月別）

図 2-3 に過去 6 年間の年度別ごみ搬入実績を示す。年間で見ると、この 6 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 1,117 t の減少量と見ることができる。

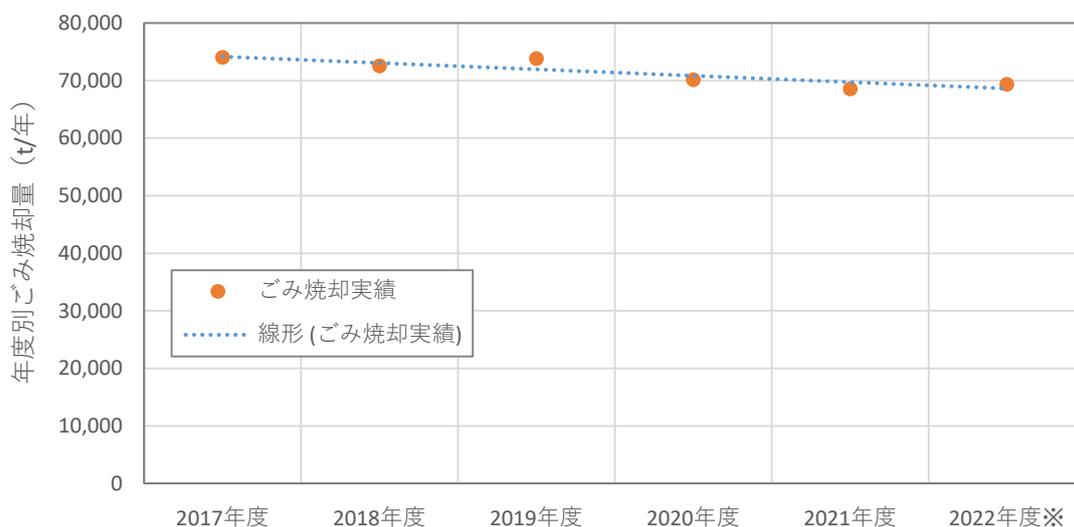


図 2-3 過去 6 年間のごみ搬入実績（年度別）  
（※2022 年度は 12 月分以降計画値を加算した）

直近のデータが揃っている 2021 年度の運転実績から、表 2-1 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とエネルギー収支を計算した。

- 2021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）、放流水の実績データを用い、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、上記インプットとアウトプットとの差分を大気放出される水蒸気とCO<sub>2</sub>とした。
- 水蒸気の大気放出量はインプットであるごみ中の水分と上水の合計から放流水を引いて求めた。残りはCO<sub>2</sub>とした。
- インプットのエネルギーはごみ焼却実績量にごみの発熱量を乗じて求めた。
- 灯油のエネルギーは前述の使用量に発熱量を乗じて求めた。
- その他一部買電量を発熱量に換算してインプットエネルギーとした。
- アウトプットのエネルギーとしては発電電力量、所内利用電力量、売電量を発熱量に換算した。
- 近隣への熱供給量は運転実績から蒸気の重量があったため、120℃の飽和蒸気のエンタルピー2,706kJ/kgを乗じてエネルギー量を求めた。

**表 2-1 物質収支、エネルギー収支の計算パラメータ**

	2021年度	2020年度（参考）
物質収支		
ごみ焼却実績	68,550t	70,113t
ごみ成分分析結果		
可燃分	50.6%	45.9%
水分	43.8%	49.6%
灰分	5.7%	4.5%
インプット		
薬品	490t	505t
灯油	54t	55t
上水	37,555t	37,800t
アウトプット		
焼却灰	6,147t	5,834t
飛灰	1,371t	1,242t
放流水	12,966t	13,021t

エネルギー収支		
ごみの発熱量	8,426kJ/kg	7,646kJ/kg
買電量	510,030kWh	610,190kWh
発電量	30,139,270kWh	30,566,340kWh
電力所内利用	14,599,210kWh	14,642,810kWh
売電量	15,523,720kWh	15,934,050kWh
蒸気供給量	5,850t	6,947t

灯油の密度 0.79g/cm<sup>3</sup>、発熱量 36.49MJ/L

1kWh=0.0036GJ

物質収支とエネルギー収支の計算結果をそれぞれ図 2-4 および図 2-5 に示す。

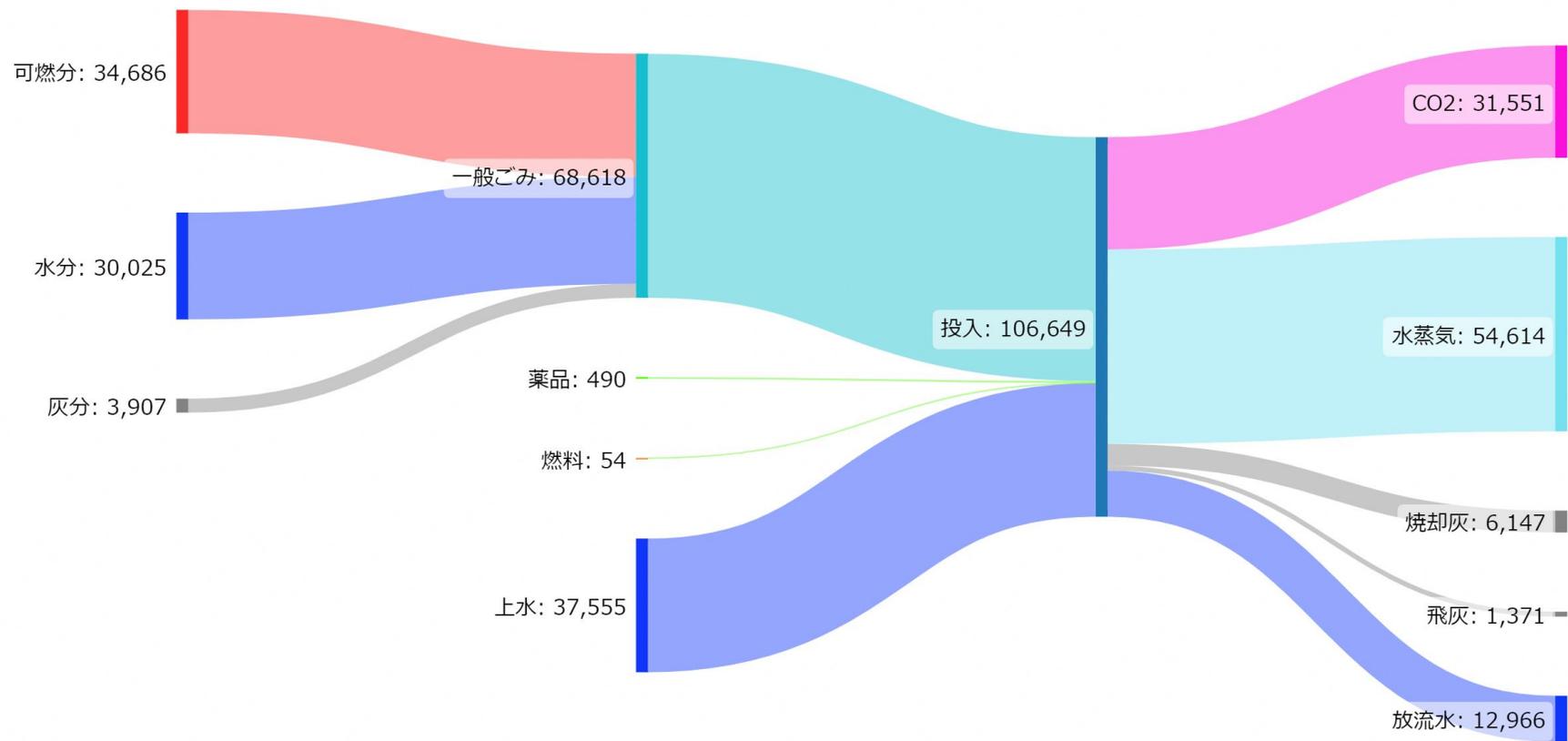


図 2-4 本施設の物質収支 (2021 年度, 単位 : t/年)

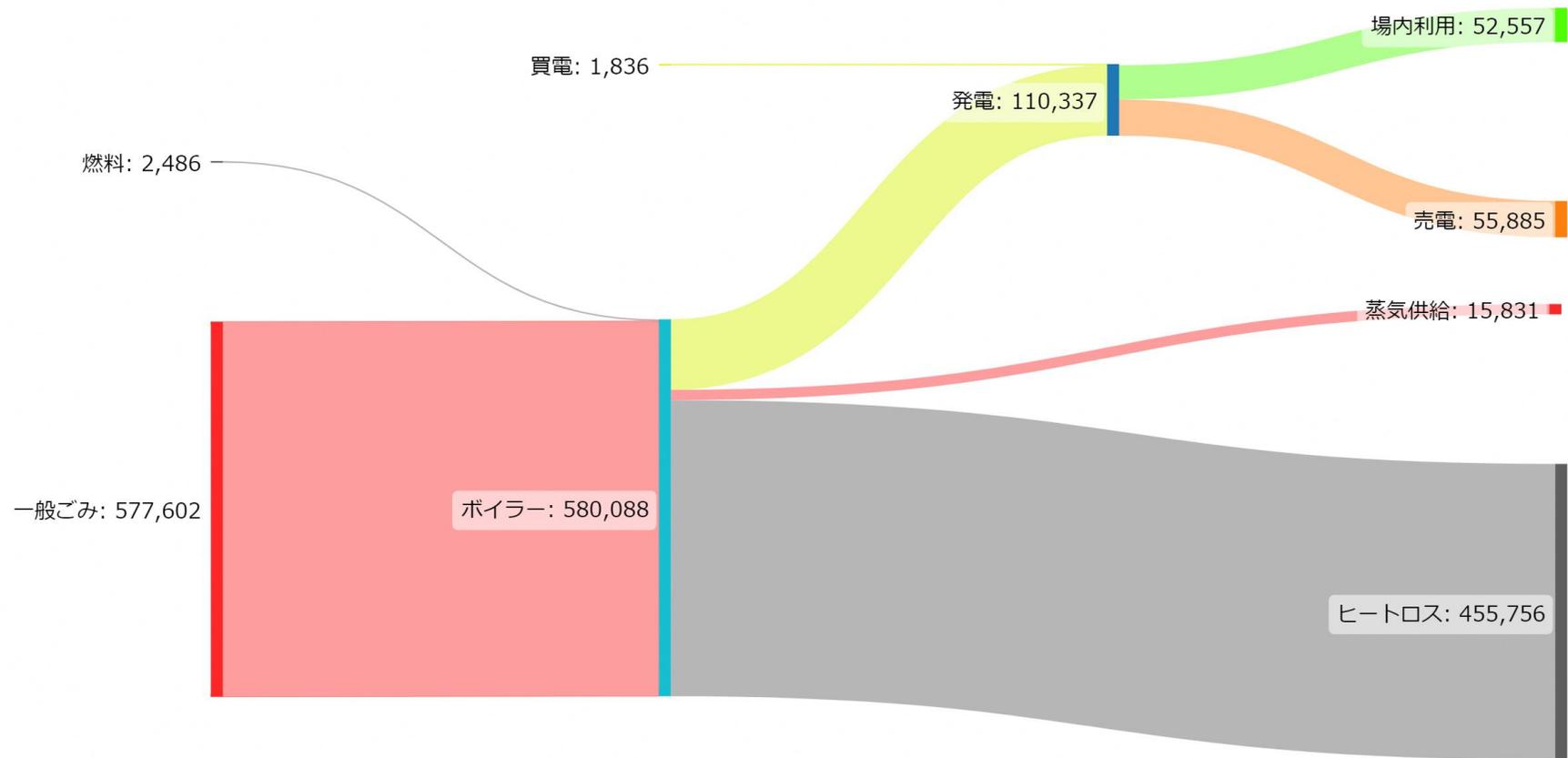


図 2-5 本施設のエネルギー収支 (2021 年度, 単位 : GJ/年)

## 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。

昨年度の報告書においてすでに述べたが、各焼却炉の100t/日定格運転と、タービン発電機の運転には2炉の焼却炉運転が必要という前提条件を設定し、2024年度のごみ発生量減少時の本施設に与える影響を想定した。

その結果、66,400 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/年の運転日数で十分になり、1炉しか運転できない日が30日増えたため、タービンの稼働日数が340日から310日に減少することがわかった。

昨年度報告書において示した2024年のごみ処理量が減ったときの物質収支とエネルギー収支の計算におけるパラメータを2020年度から2021年度に変えてをそれぞれ図2-6と図2-7に示す。

図2-6の物質収支は以下の方法により求めた。

- 2024年度のごみ処理予測量66,242 tをごみのインプットとした。(図2-6では66,308tとなっているが、これはごみの組成分析結果の誤差による)
- ごみの成分は2021年度と変わらないと想定した。
- 薬品使用量と上水はごみ処理量に比例して変化させ、補助燃料としての灯油使用量は2021年度と一緒とした。
- アウトプットとしての焼却灰、飛灰、放流水はごみ処理量に比例して変化させた。
- その他のアウトプットは図2-4と同様に計算した。

図2-7のエネルギー収支は以下の方法により求めた。

- ごみの単位発熱量および買電量は2021年度と変わらないと想定した。
- アウトプットのエネルギーとしての発電電力量は2021年度の実績に対し、タービン発電機の運転日数比例で310/340を乗じた。
- 電力の所内利用量は2021年度と一緒とし、残りの電力を売電するとした。
- 近隣の熱利用量も2021年度と一緒として、残りの熱をヒートロスとした。

発電電力量は2021年度の30,139MWhから27,480MWhに約9%減少し、所内利用電力を一定としたため、売電量は15,524MWhから12,881MWhに約17%減少した。

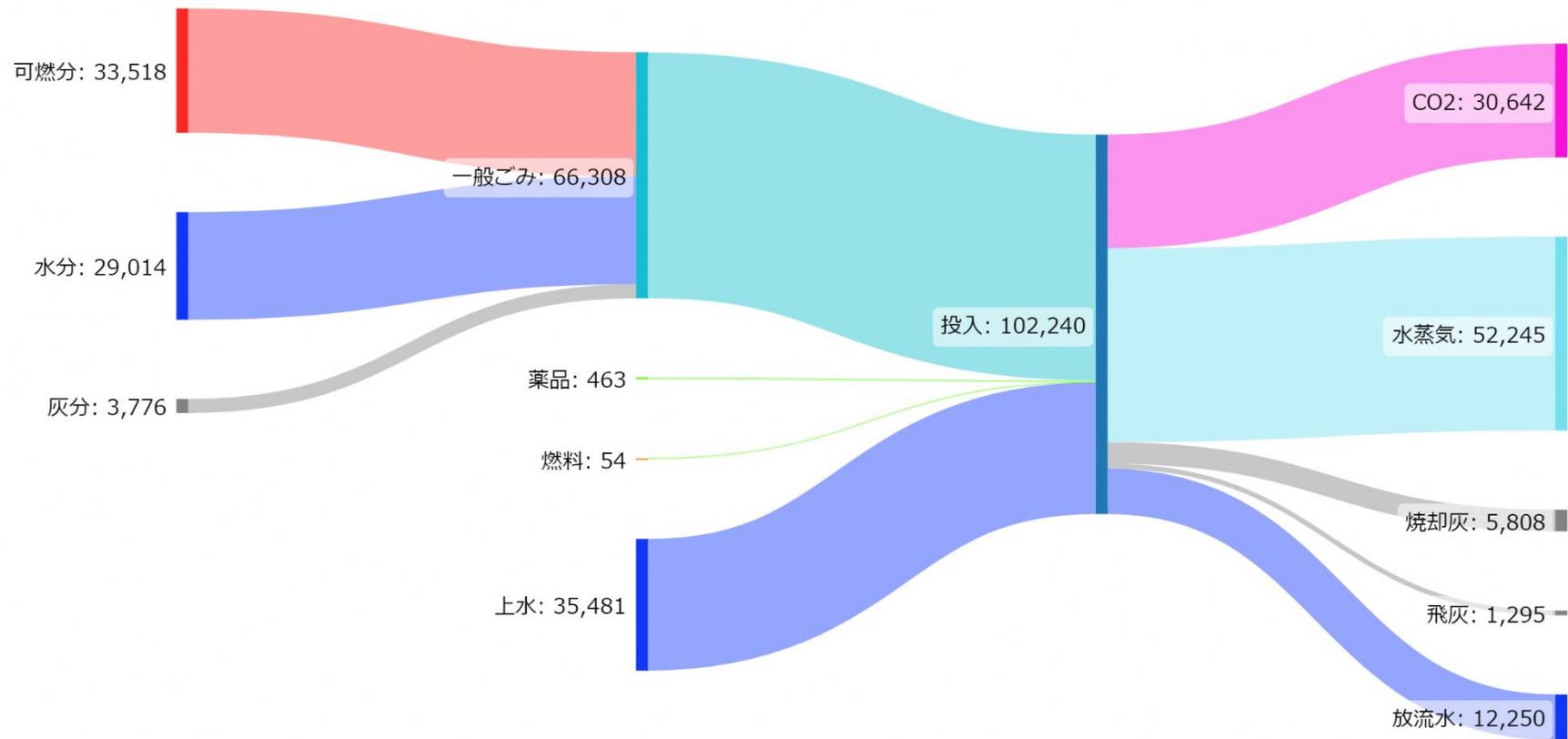


図 2-6 本施設の物質収支 (2024 年度想定, 単位 : t/年)

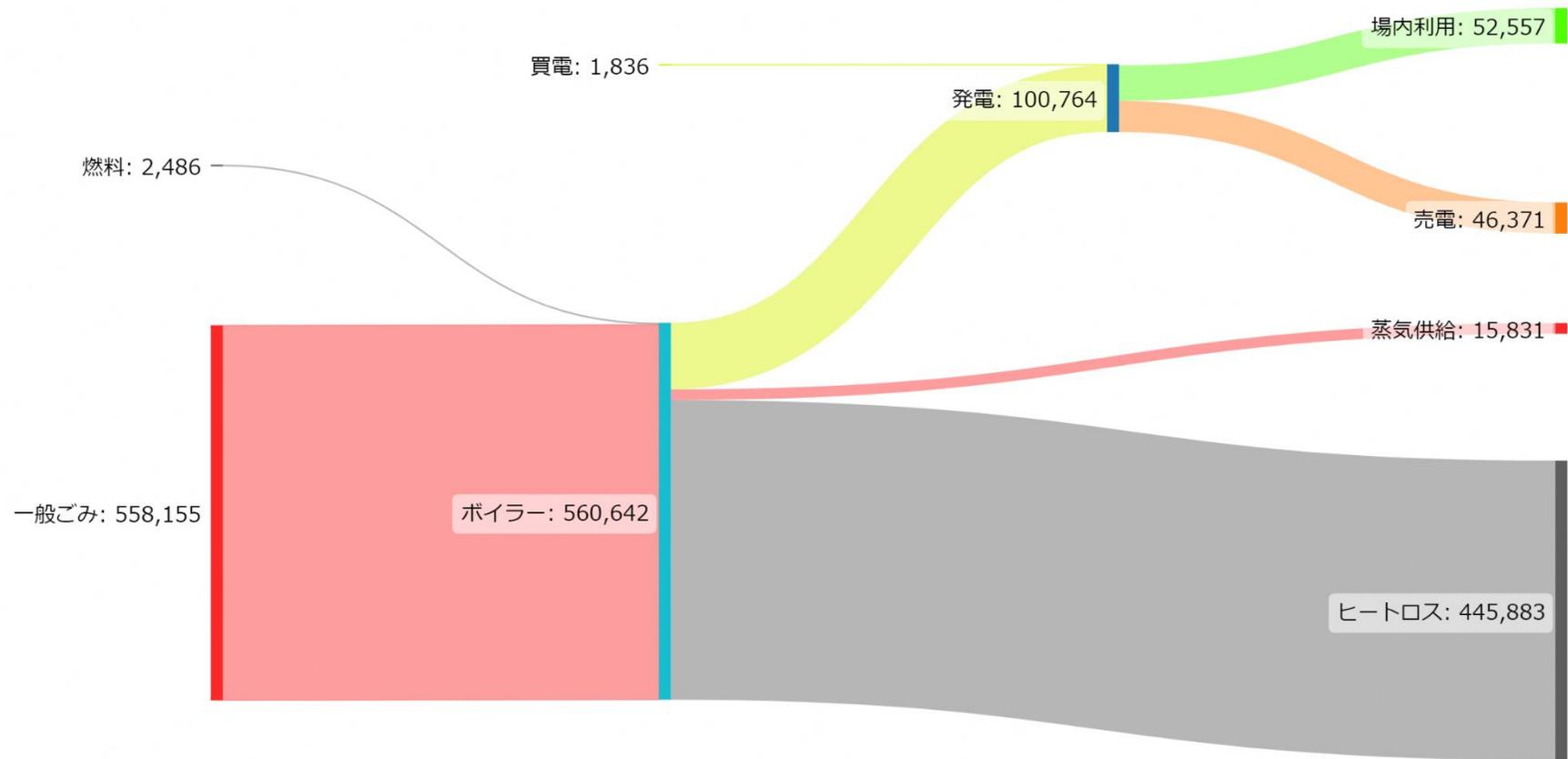


図 2-7 本施設のエネルギー収支 (2024 年度想定, 単位 : GJ/年)

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。

### 2-3. 本市におけるバイオマスの発生状況

本市が平成26年度（2014年度）にバイオマス産業都市<sup>[2-3]</sup>に選定された際に提出したバイオマス産業都市構想<sup>[2-4]</sup>で示されている当時のバイオマス発生・利用状況を一部集約して表2-2に示す。

表 2-2 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 <sup>※</sup>	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 <sup>※</sup>	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）<sup>[2-4]</sup>

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。

## 2-3-1 佐賀市における各バイオマスの発生・利用状況

### (1) もみ殻

昨年度の報告書において詳細を述べたため、ここでは割愛する。

### (2) バーク

昨年度の報告書において述べた通り、佐賀県森連木材共販所で年間 250t 程度、木材供給センターで年間 900t 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、昨年度と同様に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状況は変わらない。

木材供給センターで発生しているバークについては 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 2-8 および図 2-9 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すべて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。

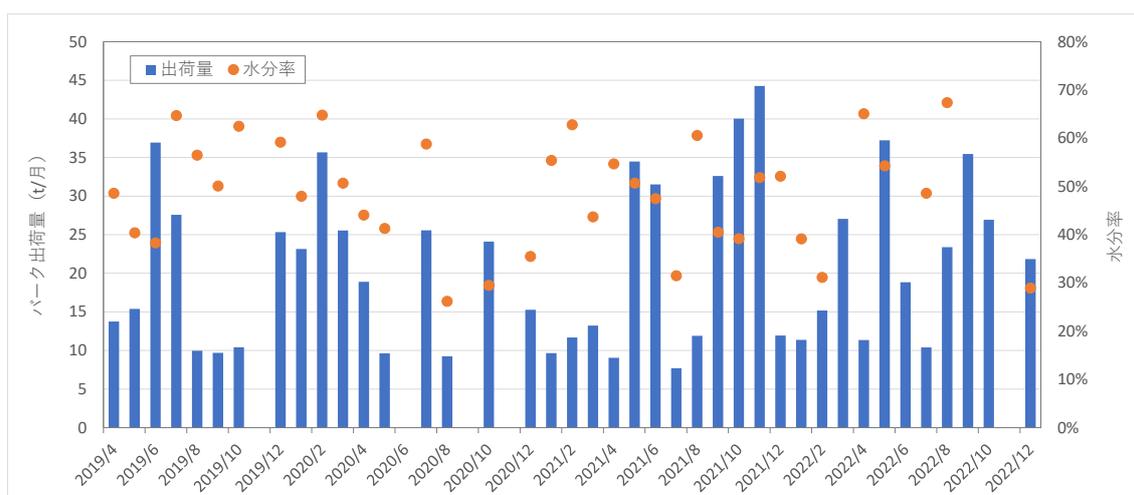


図 2-8 佐賀県森連木材共販所におけるバークの月別出荷量および水分率推移

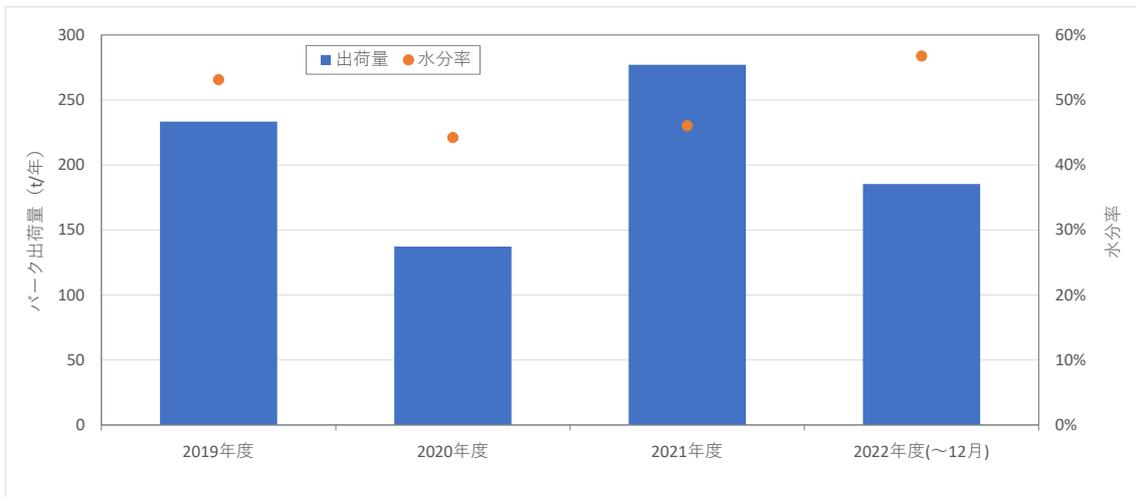


図 2-9 佐賀県森連木材共販所におけるパークの年度別出荷量および水分率推移

### (3) 流木

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<sup>[2-5]</sup>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 2-10 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、それ以外は経費が発生するものの、その回収手段があまり期待できない。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。

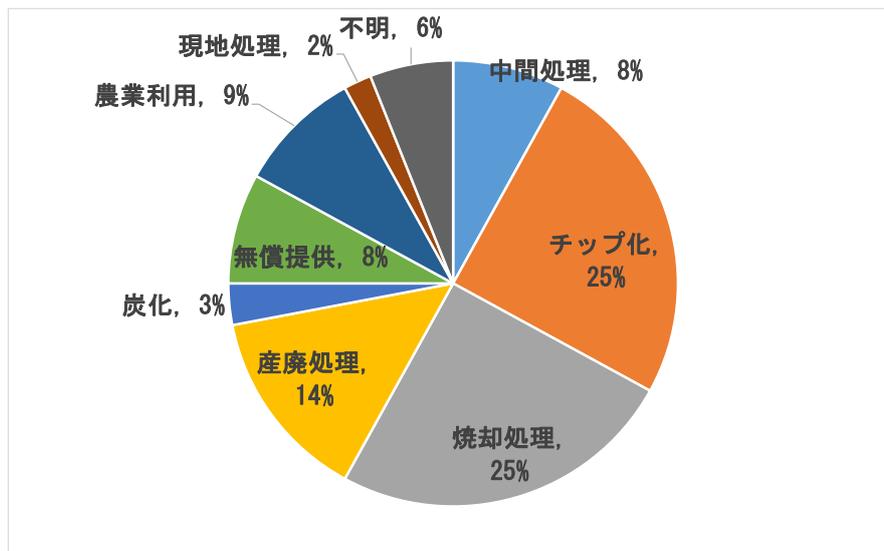


図 2-10 流木の処理方法<sup>[2-5]</sup>

前述の通り、本市の北側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 128.4km<sup>2</sup>、総貯水容量 7,100 万 m<sup>3</sup>（有効貯水容量 6,800 万 m<sup>3</sup>）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<sup>[2-6]</sup>。

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 400～1,400m<sup>3</sup> 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 2-11 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 2-11 嘉瀬川ダム流木処理の様子**

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 2-12 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。ヒアリングでは、伐採した竹材を清掃工場で焼却可能であれば、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 2-12 嘉瀬川ダム周辺の放置竹林の様子

#### (4) 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<sup>12-7)</sup>。

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<sup>1</sup>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



(c) 工芸品端材

図 2-13 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、産廃処理業者に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。

---

<sup>1</sup> 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。

## (5) その他

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。

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<sup>2</sup>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はあるが、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。

今年度までに調査した各種バイオマスの状況を実施者の主観に基づいて表2-3に整理する。パークについては発生量も多く、あまり利用されていないこと、無償引き取りが可能ということからも有望な原料と考えられる。

その他の原料については本当に引き取り可能な量がどの程度か、今後精査が必要と思われる。

表 2-3 調達可能バイオマスのまとめ

	発生量	未利用率	安定調達	清掃工場との距離	無償引き取り <sup>※2</sup>	調達見込み <sup>※3</sup>
パーク	○	◎	○	△～○	◎	1,100t
家具端材	△	△～○	◎	△	○	100t
木質チップ	◎	△	◎	◎ <sup>※1</sup>	×	
流木	△～○	○	×～△	△	○	300t
支障木	○	△～○	○	△	○	
竹チップ	△	◎	×	◎ <sup>※1</sup>	×	
もみ殻	○	×～△	×～△	◎	◎	<400t

※1 取り扱い事業者との距離で、発生場所とは異なる

※2 ○は破砕など加工が必要

※3 現在の想定で、今後ヒアリングにより精度を高める

<sup>2</sup> 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）

## 2-4. バイオマスの調達について

本施設の安定運用に必要なバイオマスの収集・運搬も含めた調達システムを検討するために、今年度はバークを中心に混焼のためのバイオマスを調達した。

表 2-4 に本施設の運転計画とバイオマスの調達実績（11 月まで） および計画を並べて示す。バイオマス混焼実証に利用する焼却炉は 3 つある炉の中でも 1 号炉である。1 号炉は 5 月前後と 11 月前後に停止期間を設けている。

バイオマスの調達については 1 号炉の 5 月停止期間が明ける時期を見据えて、5 月から開始した。秋口まではバークを中心に調達し、前述の麦殻やもみくずを途中で調達した。11 月以降はもみ殻を中心に調達した。もみ殻の発生が少なくなる 2 月以降は前述の家具端材や流木について調達する計画となっている。

表 2-4 令和 4 年度清掃工場運転計画とバイオマス調達実績および計画

年度		令和4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
焼却炉	1号炉 ( 251.7日 )												
	2号炉 ( 246.8日 )												
	3号炉 ( 242.4日 )												
	タービン発電機												
調達可能バイオマス	木質チップ												
	竹												
	バーク												
	もみがら												
	その他												
混焼実証	1号炉混焼テストへの調達		バーク			麦殻、 竹チップ	もみくず			もみ殻	もみ殻を中心として竹チップや家具端材	バークともみ殻	バーク流木家具端材等

2022 年 12 月 1 日までのバイオマスの調達実績を図 2-14 に示す。なお、本図においてももみくずは 5 日間の合計調達量のデータしかなかったため、輸送回数はプロットせず、一日平均の調達量として示した。

今年度最もデータが多いバークの実績について分析すると、一回当たりの輸送量は平均で 3.9 トン、一日当たりの調達量は往復回数によって変化するが、最大で 27 トン、最小で 8.8 トン、平均で 16 トンとなっている。調達にあたっては積載量 10 トンのトラック 1 台で行っており、年間稼働日数を 200 日とすると、200 日×16 トン=3,200 トンと

なることから、今回実証で利用しているシステムは本事業で目標としているバイオマス年間 2,000 トンを運搬可能なシステムであるといえる。

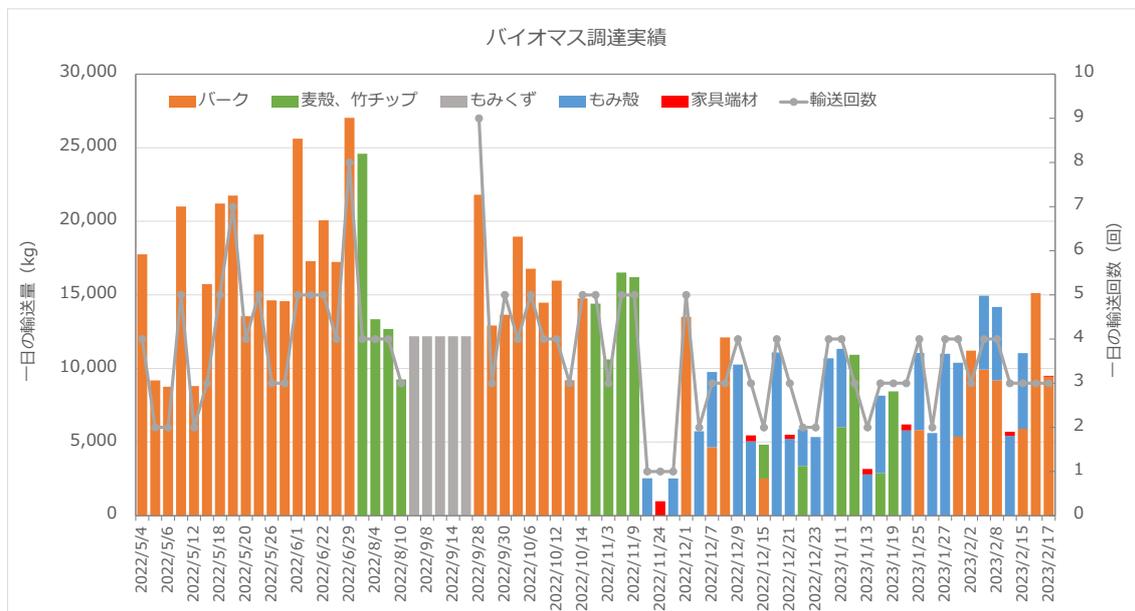


図 2-14 バイオマスの調達実績

図 2-15 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 2-11 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 2-15 バーク調達の様子

## 2-5. 調達のサプライチェーンについて

### 2-5-1 輸送コスト試算

表 2-5 に今年度バークを調達した実績に基づく輸送コスト試算の前提条件を示す。一回のトラックへの積載量は前述の平均 3.9 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 2-5 バーク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	22	本施設-木材供給センター道のり
	(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	3.9	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	%	56%	
	(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	2022/1 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	0.0736	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	

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 4 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 3.9 トン/回×4 回/日×200 日/年=3,120 トン/年と試算される。

表 2-6 および図 2-16 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 680 万円程度となった。これを前述の年間輸送量 3,120 トンで割ると、1 トンのバイオマス輸送コストは 2,140 円/t と試算される。また、CO<sub>2</sub> 排出量も軽油の使用量から計算することができ、年間で 13.2t-CO<sub>2</sub>、バイオマス輸送量当たりになると、4.24kg-CO<sub>2</sub>/t-原料となる。

表 2-6 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	6.3
	(23)	燃料消費量	L/年	5,683
	(24)	燃料費	円/年	863,876
年間輸送費	(25)	年間輸送費	円/年	6,773,116
	(26)	輸送原単位	円/t	1,930
CO2排出	(27)	年間排出量	tCO2/年	14.9
	(28)	輸送原単位	kgCO2/t-原料	4.24



図 2-16 バーク輸送コストの試算結果

ただし、これらの試算において、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。

同様の手法で昨年度実施したもみ殻の輸送コストを試算した。表 2-7 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、輸送距離を 15km と仮定した。もみ殻はバークと比べてかさ密度が低いため、積載量は 2.6t とバークに比べて劣る。

表 2-7 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	15	
	(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	2.6	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	%	37%	
	(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	2023/1 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	0.1027	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 2-17 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 2500 円/t と試算され、バークと比べて少し高くなることがわかった。



図 2-17 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で契約しているため、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、2,600~8,000 円/t であった。

## 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 2-18 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ることから、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 2-18 森林系バイオマス資源の輸送に係るイメージ図<sup>[2-8]</sup>

## 2-6. バイオマス混焼の法規制について

### 2-6-1 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。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り、本事業の成果の活用が期待される。

(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。

### 2-6-2 もみ殻利用の健康影響について

昨年度の報告書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。

### 2-6-3 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出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。

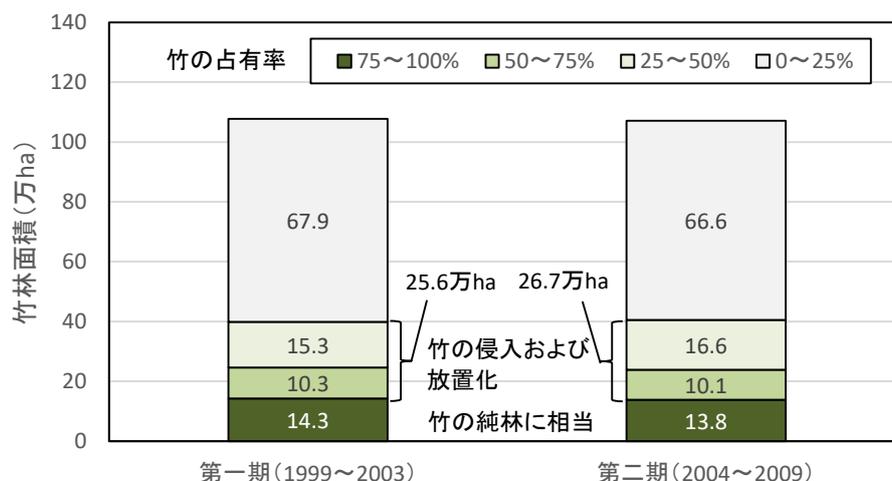


図 2-19 竹が侵入している森林における竹の占有区分別の面積（推計値）<sup>[2-9]</sup>

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<sup>[2-10]</sup>。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

昨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 2-20 が、昨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。

シミュレーションモデルでは、(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・評価できるようにする。



もみ殻混焼あり

もみ殻混焼なし

図 2-20 飛灰内の未燃もみ殻と見られる黒い粒<sup>[2-11]</sup>

### 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 2-21 の右側に示される「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にする。

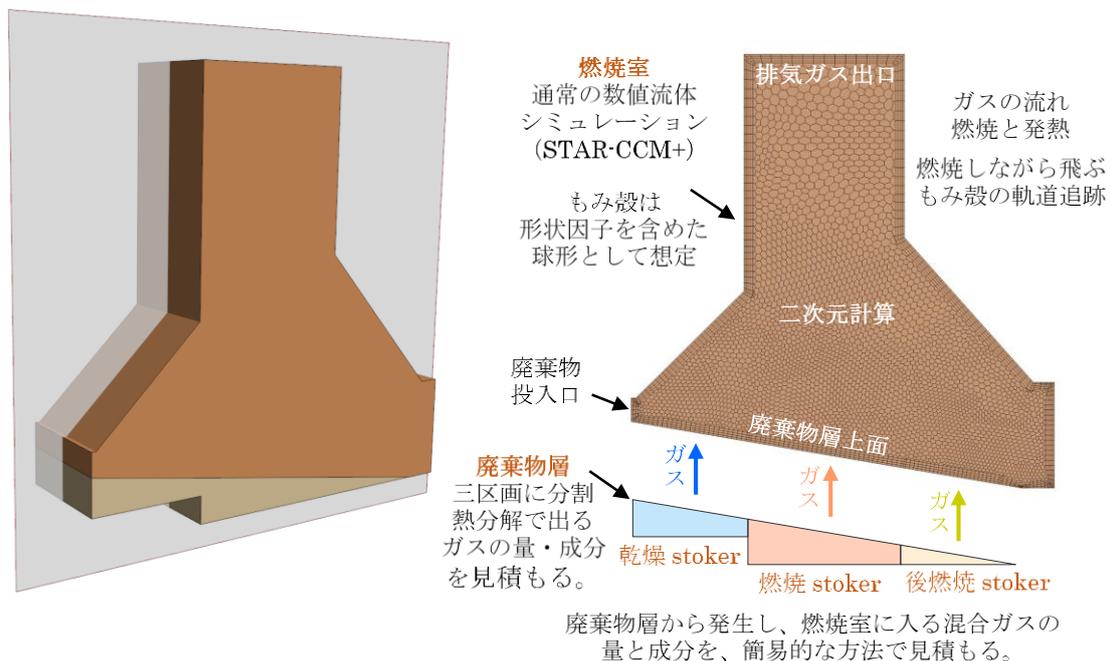


図 2-21 計算モデルの概要

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。すなわち、図 2-21 の左側に示される灰色の平面で、焼却炉を切った断面に対してメッシュを作成し、その断面上で流動と燃焼の計算を行う。空気および熱分解で発生したガスは、図 2-21 に示される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<sup>[2-12]</sup>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。

## (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 2-22 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、すなわち酸素を消費する。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。このモデルのうち、

乾燥木材の熱分解の部分は、基本的には論文<sup>[2-13],[2-14]</sup>に記述される木材の熱分解モデルであるが、ここでは、以下三点の簡略化と変更をした上で使うようにした。

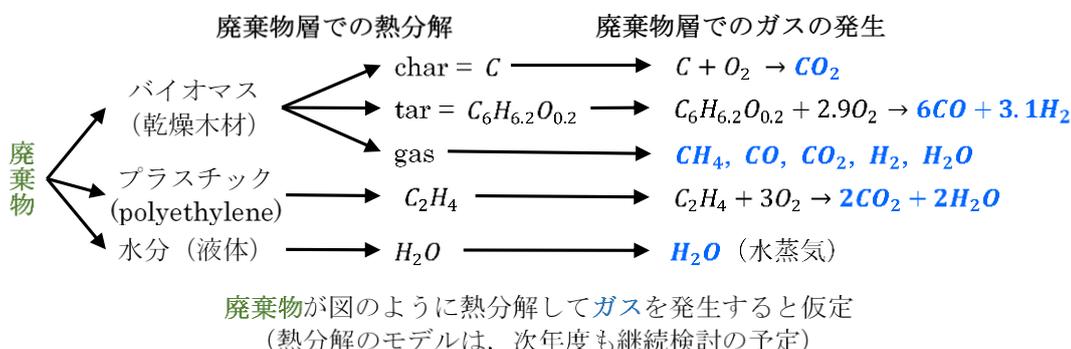


図 2-22 廃棄物の熱分解とガス化のモデル

- 1) 論文<sup>[2-13]</sup>では、**char** は酸素だけでなく、二酸化炭素や水蒸気とも反応する。これらの反応の速度は、酸素・二酸化炭素・水蒸気の分圧に依存するが、今回のモデルでは、廃棄物層における気体の分圧を計算していないため、反応速度を決めることができない。そこで、**char** と二酸化炭素・水蒸気との反応は、省略することにした。
- 2) また同じく論文<sup>[2-13]</sup>のモデルでは、揮発した **tar** がガスとして燃焼室に入るとしている。しかし、**tar** の物性値や生成熱などを正確に決めるのが難しいと思われたため、酸化した後のガス（一酸化炭素と水素）が燃焼室に入る、という扱いに変更した。
- 3) 廃棄物の成分データでは、可燃物（＝乾燥木材）の重量と水分の重量とが分けて与えられる。論文<sup>[2-13]</sup>のモデルでは、木材から水蒸気が出るので、可燃物重量（＝乾燥木材の重量）を木材の重量としてモデルに与えると、水蒸気が余分に発生することになってしまう。そこで木材の重量としては、モデルで発生する水分の量を引き算すると、与えられた乾燥木材の重量となるような値を、計算して使うようにした。

乾燥木材の熱分解とその反応速度を表す式やパラメータが、表 2-8 にまとめられている。表に示される常微分方程式と速度定数  $K_{1\sim 3}$  から、乾燥木材に由来する **char**, **tar**, **gas** の割合を、以下のように定めることができる。廃棄物層の体積を  $V [\text{m}^3]$ 、乾燥木材の処理ペースを  $W [\text{kg/s}]$  とすると、廃棄物層における質量バランスは、表 2-8 の常微分方程式から、

$$\partial_t(\rho_{\text{wood}}V) = -K_1(\rho_{\text{wood}}V) - K_2(\rho_{\text{wood}}V) - K_3(\rho_{\text{wood}}V) + W,$$

と書かれる。ここで  $\rho_{\text{wood}}$  は、廃棄物層における乾燥木材のかさ密度であり、空間的に一様であると仮定されている。定常状態を仮定して時間微分を 0 とすると、

$$\rho_{\text{wood}} = W \{ (K_1 + K_2 + K_3) V \}^{-1},$$

が得られる。熱分解時の温度を仮定すれば（後述の 2-7-3 章の計算例では 350°C と仮定）、定数  $K_{1\sim 3}$  の値が決まり、与えられた  $W$  とあわせて  $\rho_{\text{wood}}$  が決まるので、char, tar, gas の発生ペース  $K_{1\sim 3}(\rho_{\text{wood}}V)$  [kg/s] が分かる。

表 2-8 廃棄物の熱分解とその反応速度<sup>[2-13], [2-14]</sup>

熱分解・反応式	常微分方程式	前因子	活性化エネルギー [J/mol]
Wood → Char	$\partial_t \rho_{\text{wood}} = K_1 \rho_{\text{wood}}$	$3.17 \cdot 10^6$	$111.70 \cdot 10^3$
Wood → Tar	$\partial_t \rho_{\text{wood}} = K_2 \rho_{\text{wood}}$	$1.08 \cdot 10^{10}$	$148.00 \cdot 10^3$
Wood → 0.031CH <sub>4</sub> + 0.156CO + 0.271CO <sub>2</sub> + 0.021H <sub>2</sub> + 0.521H <sub>2</sub> O	$\partial_t \rho_{\text{wood}} = K_3 \rho_{\text{wood}}$	$4.38 \cdot 10^9$	$152.70 \cdot 10^3$
Tar + 2.9O <sub>2</sub> → 6CO + 3.1H <sub>2</sub>	-	-	-
C(s) + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	-	-	-

今回の計算では、熱分解時の発熱・吸熱は考慮されていない。C(s) は Char に由来する炭素を表す。速度定数の定義は、 $K_n = (\text{前因子}) \cdot \exp\left(-\frac{(\text{活性化エネルギー})}{RT}\right)$ ,  $R = 8.314 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right]$ ,  $T$  は絶対温度。

他の分岐を含まないガス化については、ガス化前の物質の処理ペースと、ガス化前後で質量が保存するという条件から、ガス化後の流量を決めることができる。まず発生した char は炭素 C(s) とみなし (s は solid の略)、char の発生ペース [kg/s] と反応式  $C(s) + O_2 \rightarrow CO_2$  から、CO<sub>2</sub> の流量と O<sub>2</sub> の消費量が計算される。次に tar については、反応式  $\text{tar} + 2.9O_2 \rightarrow 6CO + 3.1H_2$  から、tar を C<sub>6</sub>H<sub>6.2</sub>O<sub>0.2</sub> という（仮想的な）分子とみなした上で、tar の質量から仮想分子 C<sub>6</sub>H<sub>6.2</sub>O<sub>0.2</sub> のモル数を計算すれば、反応式と合わせて発生する CO, H<sub>2</sub> の流量と O<sub>2</sub> の消費量を計算することができる。gas については、発生ペース  $K_3(\rho_{\text{wood}}V)$  [kg/s] が分かったとして、

$$\beta(0.031 \text{ CH}_4 + 0.156 \text{ CO} + 0.271 \text{ CO}_2 + 0.021 \text{ H}_2 + 0.512 \text{ H}_2\text{O}),$$

の質量が  $K_3(\rho_{\text{wood}}V)$  [kg/s] · 1 [s] と等しくなるように定数  $\beta$  を決めれば、各成分 CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O の質量流量 [kg/s] が定まる。プラスチックと水分についても同様の考え方で、ガス化後の気体の流量と、酸素の消費ペースが計算される。

### (3) 燃焼室における流動と燃焼

廃棄物から発生したガスは、下から導入される空気と混ざりあった後に、燃焼室へ流

入する。図 2-21 に示される廃棄物層上面が、計算上の流入口になっている。流入する気体は、熱分解によって廃棄物から発生した一酸化炭素・メタン・水素・水蒸気と、空気の主成分である窒素・酸素が混ざったものであり、計算上、理想気体として扱われる。

一酸化炭素・メタン・水素は、それぞれ酸化して熱を発生する。計算に用いられる酸化の化学反応式および反応の速度が、表 2-9 にまとめられている。反応速度、すなわち単位体積・単位時間当たりの反応回数が、濃度のべき乗と速度定数  $K_n$  の積の形をしたべき乗則で表されている。燃焼室内で酸化によって発生する熱の量は、STAR-CCM+ に備えられている各分子の生成熱のデータから、ユーザー側で設定することなく自動的に計算される。

表 2-9 ガスの燃焼とその速さ<sup>[2-13]</sup>

気体	反応式	反応速度 [kmol/(m <sup>3</sup> ·s)]	前因子	活性化エネルギー [J/mol]
CO	$CO + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2O$	$K_5[CO][O_2]^{0.25}[H_2O]^{0.5}$	$2.24 \cdot 10^{12}$	$167.36 \cdot 10^3$
CH <sub>4</sub>	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	$K_6[CH_4]^{0.7}[O_2]^{0.8}$	$11.58 \cdot 10^{13}$	$202.5 \cdot 10^3$
H <sub>2</sub>	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	$K_7[H_2][O_2]$	$2.19 \cdot 10^9$	$109.2 \cdot 10^3$

濃度  $[X]$  の単位は  $\left[\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}\right]$ 。  $K_n = (\text{前因子}) \cdot \exp\left(-\frac{(\text{活性化エネルギー})}{RT}\right)$ ,  $R = 8.314 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right]$ ,  $T$  は絶対温度。

#### (4) もみ殻粒子のモデル

もみ殻の粒子が、燃焼室内の気体に押し流される様子を知るには、気体の流れが粒子に及ぼす力を計算する必要がある。粒子の表面の形状を正確に表し、そこに加わる力を面上で数値積分するモデルは、計算コストが非常に高くなるので、粒子を一点とみなし、その点に流体が及ぼす力、すなわち抗力の大小によって、形状の影響を考慮するモデルを選択した。

抗力は、流れの速度と粒子の速度の差、すなわちすべり速度  $\mathbf{v}_s$  を使って、一般に、

$$\mathbf{F}_d = 1/2 \cdot C_d \rho A_p |\mathbf{v}_s| \mathbf{v}_s, \quad \rho: \text{気体の密度}, \quad A_p: \text{粒子の投影面積},$$

と書かれる<sup>[2-15]</sup>。この式の右辺にある  $C_d$  が抗力係数と呼ばれる因子であり、粒子の形状の影響は、この因子によって計算に反映される。係数  $C_d$  は、粒子レイノルズ数<sup>[2-15]</sup>、

$$Re_p = \rho |\mathbf{v}_s| D_p / \mu, \quad D_p: \text{粒子の直径}, \quad \mu: \text{気体の粘性係数},$$

の関数として書かれるが、STAR-CCM+ で利用可能な式のうち、球形でない粒子にも適用可能な Haider and Levenspiel の式<sup>[2-15]</sup>、

$$C_d = \frac{24}{Re_p} (1 + A Re_p^B) + \frac{C}{1 + D/Re_p},$$

を選択することにした。ここで  $A, B, C, D$  は、「球形度」(sphericity) の関数として定義される定数である。球形度 “sphericity” は、粒子の形状がどのくらい球に近いかを表すパラメータであり、

$$\phi := \pi^{\frac{1}{3}} (6 \cdot \text{粒子の体積})^{\frac{2}{3}} / (\text{粒子の表面積}),$$

と定義される。粒子が球形のとき  $\phi = 1$  であって、粒子の扁平度が増すにしたがって値が小さくなり、例えば厚みのない円板のとき  $\phi = 0$  となる。

廃棄物層の上面に置かれたもみ殻粒子には、下向きに重力が、上向きに抗力が作用する。二つの力が釣り合う条件は、粒子の質量が  $m$ 、重力加速度が  $g$  のとき、

$$\frac{\pi \mu^2}{8} \left\{ 24(1 + A Re_p^B) Re_p + \frac{C Re_p^3}{Re_p + D} \right\} - \rho m g = 0,$$

と書かれる。この条件式から定められる粒子の質量密度とすべり速さ  $|v_s|$  の関係が、図 2-23 に示されている。もみ殻粒子が静止しているならば、縦軸に示されるすべり速さは、気体の流速（の上下方向成分）と解釈される。粒子の各球形度に対応したグラフ上の曲線より気体の流速が下回れば、重力が勝るため粒子は静止したままであり、流速が曲線より上回れば、重力に勝る抗力によって、粒子が上方向に押し流されることになる。

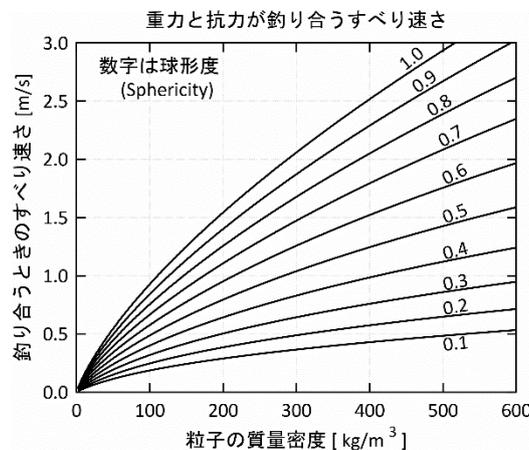


図 2-23 抗力と重力のつり合い

## 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。この計算における廃棄物の組成と処理量、および空気の流量に関する仮定が、表 2-10 にまとめられている。昨年度の報告書<sup>[2-11]</sup>に基づき、廃棄物の総処理量は全部で 100 トン/日とした。また、それを燃やすために廃棄物層下部から導入される空気の総流量は 16000 Nm<sup>3</sup>/h と設定した。廃棄物は乾燥木材・プラスチック・水分からなるとみなし、その比率は重量で考えて 4:1:5 と仮定している。廃棄物と空気の乾燥・燃焼・後燃焼ストーカーへの配分は、同じく重量で考えて、水分が 7:3:0、それ以外が 2:7:1 となっている。(これらの設定は、テスト計算を行うための仮のものであり、測定データなどを補うことによって、今後修正・精緻化していく必要がある。)

表 2-10 廃棄物と空気の流量の設定

廃棄物の流量			stoker別流量				
設定値	単位	空気	乾燥	燃焼	後燃焼	単位	
		40.0	トン/日	7886.1	27601.2	3943.0	m <sup>3</sup> /時
乾燥木材	40.0	トン/日	乾燥木材	8.0	28.0	4.0	トン/日
プラスチック	10.0	トン/日	プラスチック	2.0	7.0	1.0	トン/日
水分	50.0	トン/日	水分	35.0	15.0	0.0	トン/日

燃焼室には、空気だけでなく熱分解によって廃棄物から発生したガスも流入するが、そのガスの組成と流量は、2-7-2 章(2)で記述された簡易モデルを使って別途計算し、その結果をシミュレーションの境界条件として設定するようにした。熱分解が発生するときの温度は、350℃と仮定している。

表 2-11 には、燃焼用の空気と熱分解由来のガスを合わせた混合気体の流入量が、ストーカーごとに示されている。流入時の気体温度は、燃焼が容易に発生するように 450℃とした。この温度に対応する空気流量は 39430 m<sup>3</sup>/h となる(表 2-10 における stoker 別空気流量の合計値)。流入口以外の燃焼室壁面は 350℃と設定した。

表 2-11 各ストーカーでの流量と流速

	ストーカー			単位
	乾燥	燃焼	後燃焼	
質量流量	1.6188	4.4215	0.6068	kg/s
モル流量	66.4459	163.4965	21.9799	mol/s
体積流量	3.9429	9.7018	1.3043	m <sup>3</sup> /s
上下方向流速	0.6513	1.2082	0.2155	m/s

もみ殻粒子の直径は  $0.764 \text{ mm}$ <sup>[2-16]</sup>、球形度は 0.5 から 1.0 までとし、密度は  $100 \text{ kg/m}^3$ 、比熱は  $1510 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ <sup>[2-17]</sup>とした。密度が真密度ではなく、かさ密度相当になっているのは、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られるためである。今回の計算では、もみ殻自体の燃焼は扱われないので、最初に設定された粒子の直径・球形度・密度などが、計算中に変化することはない。

## (2) 計算結果

以上のような条件で、気体だけのシミュレーションを行った結果が、図 2-24 に示されている。気体の流れと成分同士の化学反応が計算され、それに伴う発熱による温度上昇がとらえられている。この流れ・温度・濃度の定常場の中を、廃棄物層の上面に置かれたもみ殻粒子が、どのように移動していくかを次に計算した。

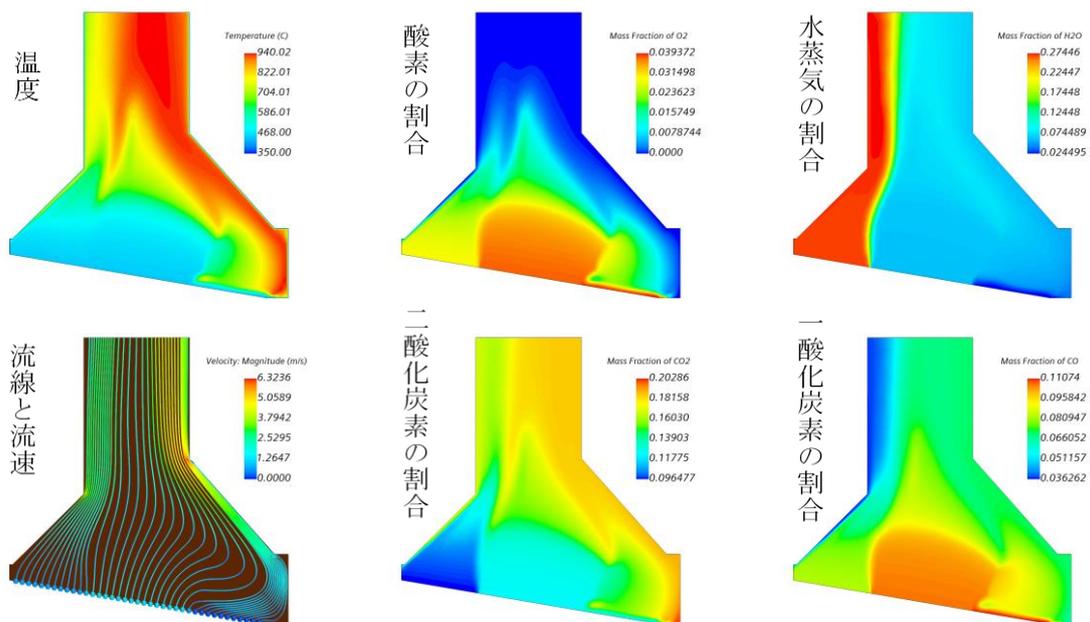


図 2-24 計算されたガスの流動と燃焼

球形度が 0.5 から 1 の場合について、計算されたもみ殻粒子の軌道が、図 2-25 に描かれている。ここに示される計算上の粒子の振舞いは、図 2-23 の抗力と重力のバランスを用いて次のように解釈される。(図 2-23 は、この計算例の条件にもとづいて作られており、気体の密度や粘性係数としては、シミュレーションで得られた平均的な値  $\rho = 0.5 \text{ kg/m}^3$ 、 $\mu = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  が用いられている。)

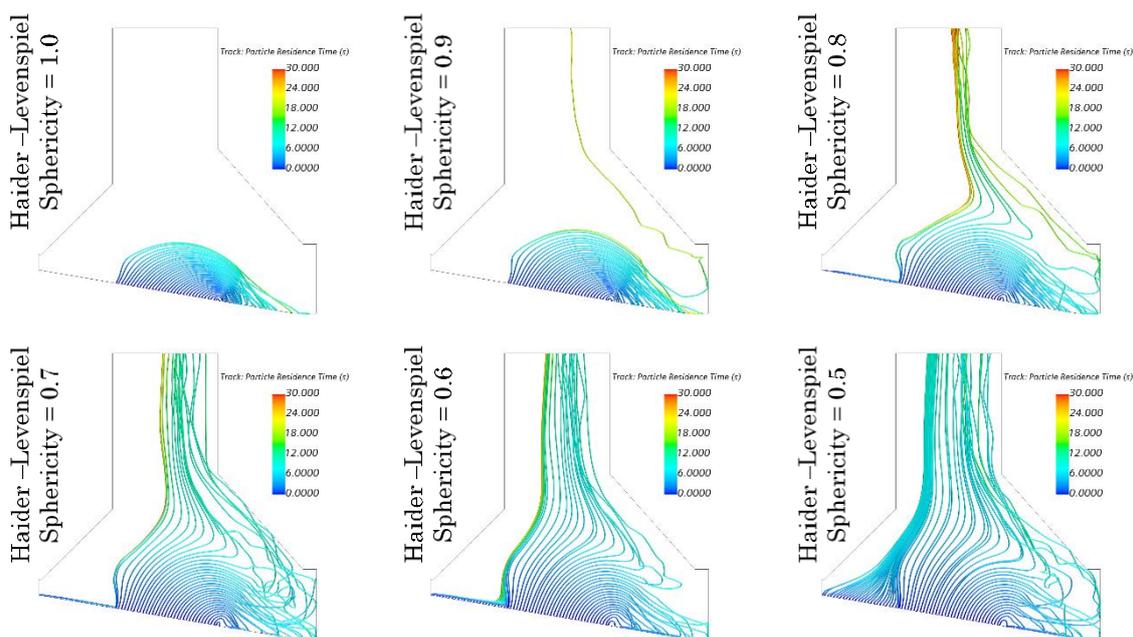


図 2-25 もみ殻粒子の軌道計算例 (密度 100 kg/m<sup>3</sup>)

燃焼ストーカでは、気体の上下方向流速が 1.2 m/s であり (表 2-11 参照)、図 2-23 に示される  $\phi = 1$  に対する曲線より上にあるので、球形度が 0.5 から 1 のいずれについても抗力が重力より強く、もみ殻粒子は気体の流れによって上方向に押し流される。後燃焼ストーカでは、気体の上下方向流速が 0.2 m/s 程度であり (表 2-11)、 $\phi = 0.5$  に対する曲線より下にあるので、この計算の範囲内では重力が抗力より常に強く、気体に押し流されることはない。燃焼ストーカから上方向に移動したのちに、後燃焼ストーカの方に流されてきた粒子も、重力によって落下している、乾燥ストーカでは、気体の上下方向流速が 0.65 m/s 程度であり (表 2-11)、図 2-23 より、球形度が 0.6 程度以下まで下がったとき、はじめて抗力が重力より強くなって、押し流されるようになることが分かる。

#### 2-7-4 まとめと今後の課題

廃棄物の熱分解、燃焼室内の流動と燃焼、およびそこを移行するもみ殻粒子の軌道や温度などを計算する、シミュレーションモデルを作成した。計算されたもみ殻粒子の軌道は、粒子の密度や球形度、空気の流量やその配分を反映して変化しており、とくに、廃棄物層上面付近におけるもみ殻粒子の軌道とその球形度依存性は、抗力と重力のバランスから考えて、妥当であることが確認された。

今後の課題としては、空気の流量や各ストーカへの配分、熱分解時の廃棄物の温度、もみ殻の密度や形状などについて、利用できる情報に基づいて計算の設定を精緻化することが挙げられる。従って、来年度、モデル自体の改良・機能追加や、モデルを使っ

た感度解析などにより、もみ殻をはじめとするバイオマス燃料の焼却炉内における挙動について、検討を進めることにより、もみ殻などを投入した際の適切な焼却炉運転方法の検討に資する知見を得る。

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] 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](https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_sangyo_toshi/b_sangyo_toshi.html)
- [2-4] 佐賀市, 佐賀市バイオマス産業都市構想, (2014),  
[https://www.city.saga.lg.jp/site\\_files/file/2018/201801/p1c4vmmllimvt99613od1unffc64.pdf](https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/2018/201801/p1c4vmmllimvt99613od1unffc64.pdf)
- [2-5] 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)
- [2-6] 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/>
- [2-7] 諸富家具振興協同組合, <https://www.morodomikagu.or.jp/>
- [2-8] 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](https://www.chisou.go.jp/tiiki/kankyo/idea/neo_sankou2.pdf)
- [2-9] 農林水産省, 森林資源モニタリング調査
- [2-10] 農林水産省, バイオマス産業都市について, (2021)  
[https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_sangyo\\_toshi/attach/pdf/b\\_sangyo\\_toshi-3.pdf](https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_sangyo_toshi/attach/pdf/b_sangyo_toshi-3.pdf)
- [2-11] 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)
- [2-12] 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
- [2-13] 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)
- [2-14] Colomba Di Blasi and Carmen Branca, Kinetics of Product Formation from Wood Pyrolysis, *I & EC Research*, Vol. 40, PP. 5547-5556, (2001)
- [2-15] Siemens Digital Industries Software, Simcenter STAR-CCM+ User Guide, (2020)
- [2-16] 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)
- [2-17] 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)

### 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	もみ殻、樹皮（バーク）、麦殻、竹チップ
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）
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

## 3-2. 実証と影響評価

### 3-2-1 実証の実績

#### (1) バイオマス投入・ハンドリング性能確認

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。

投入状況を図 3-1～図 3-5 に示す。

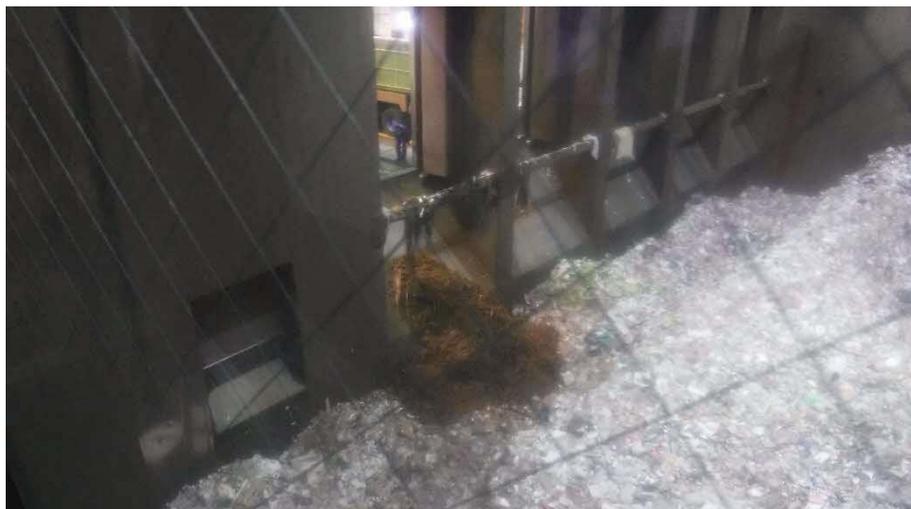


図 3-1 パークのごみピットへの投入状況



図 3-2 パークのごみピットへの投入状況



図 3-3 竹チップ・一般ごみ投入状況



図 3-4 麦殻・一般ごみ投入状況



図 3-5 竹チップクレーン掴み状況

## (2) バイオマス投入実績

2022年6月22日～2023年2月20日までに、バーク、麦殻、竹チップを投入した。1号炉ごみ投入ホッパへの投入回数は計1,600回、投入量は790tであった。また、1日当りの投入量は10t/日を基準とし、バークについては20t/日、30t/日と混焼割合を増加させ実証を行った。混焼割合についてはR3年度の実績を上回る10～30%を実現し、その実績をエラー!ブックマークが自己参照を行っています。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 3-1 バイオマス投入実績

バイオマス種別	投入炉	投入期間	投入量	投入回数	混焼割合
バーク	1号炉	2022年6月22日～7月3日 10月14日～10月18日 (延べ17日)	390t (10～30t/日)	680	10～30%
麦殻	1号炉	2022年8月20日～8月22日 (延べ3日)	30t (10t/日)	120	10%
竹チップ	1号炉	2022年8月25日～8月27日 2023年1月6日、20日～21日 (延べ6日)	90t (10t～20t/日)	240	10～20%
もみ殻 (+家具端材)	1号炉	2022年12月29日～2023年1月5日 2月2日、2月16日～20日 (延べ14日)	280t (20t/日)	560	20%

### 3-2-2 実証の評価

#### (1) バイオマス投入方法（ハンドリング）について

R3 年度報告に加え以下項目を追加する

- 通常のごみ投入に比べバイオマス原料を一般ごみと攪拌（混ぜ込む）必要があるため、一般ごみの投入に比べ2倍の時間がかかる
- もみがら混焼中は、投入ホッパ周辺にもみがらが多量に散乱し、給じん装置の戻りごみが増加するため、日ごろの清掃に時間がかかる

#### (2) 燃焼管理について

混焼前後において排ガス温度、排ガス流量、ボイラ蒸気圧力、蒸気流量及び発電電力量の大きな変化は見られなかった。(図 3-6、図 3-) また、混焼割合による炉内燃焼温度（二次燃焼室排ガス温度）の関係と影響を確認したが相関は見られなかった。

(図 3-8)

一方、バイオマス混焼割合が増すと同時に No.2 バグフィルタ出口 CO 濃度が高く推移する傾向がみられたため、燃焼空気や混焼との因果関係について引き続き調査を実施する。(図 3-9)

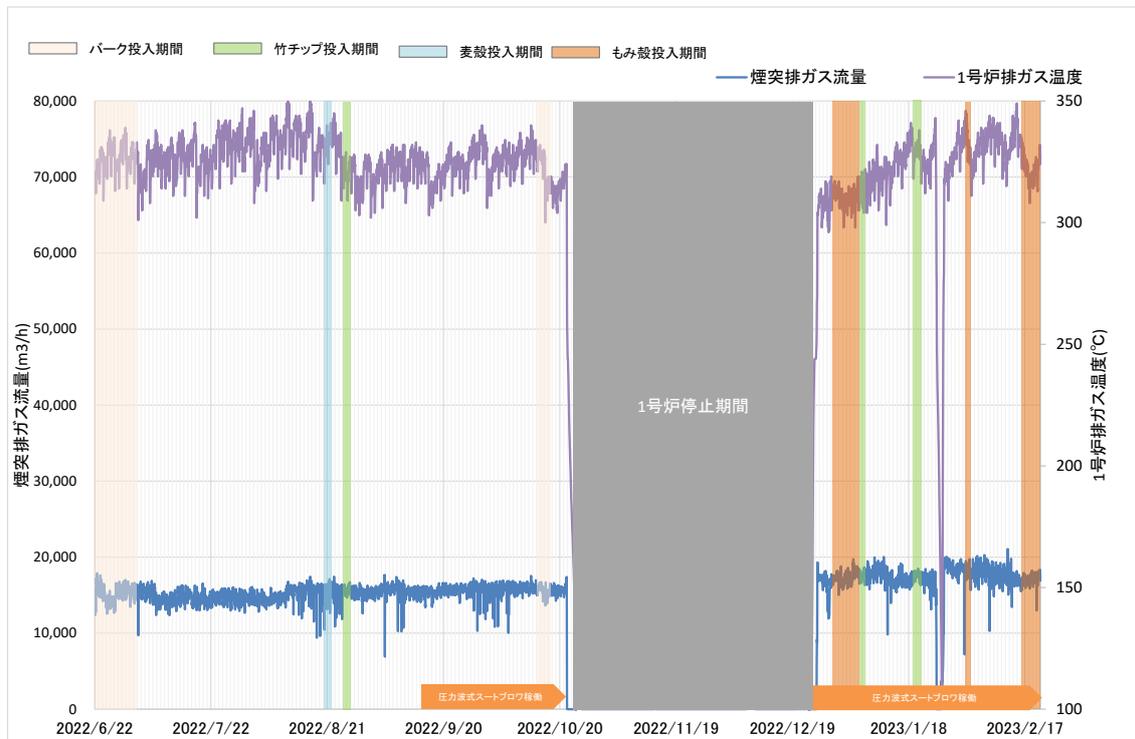


図 3-6 混焼前後運転データ（煙突排ガス流量/1号炉排ガス温度）

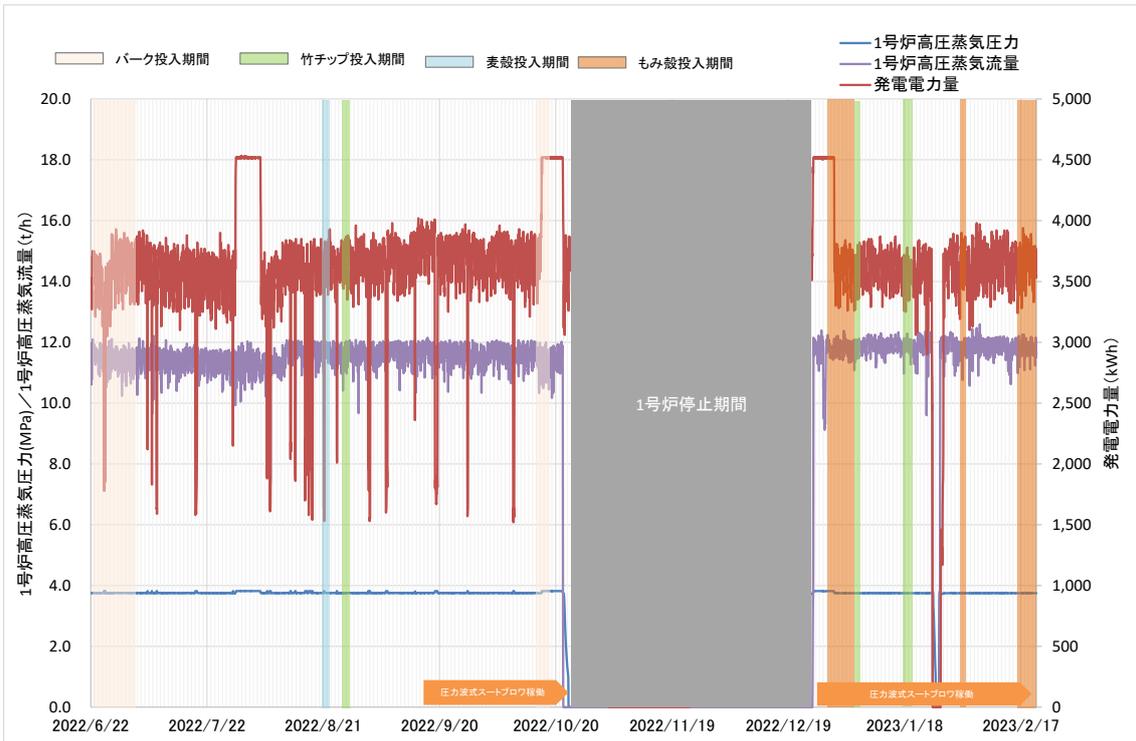


図 3-7 混焼前後運転データ (1号炉高圧蒸気圧力/流量/発電電力量)

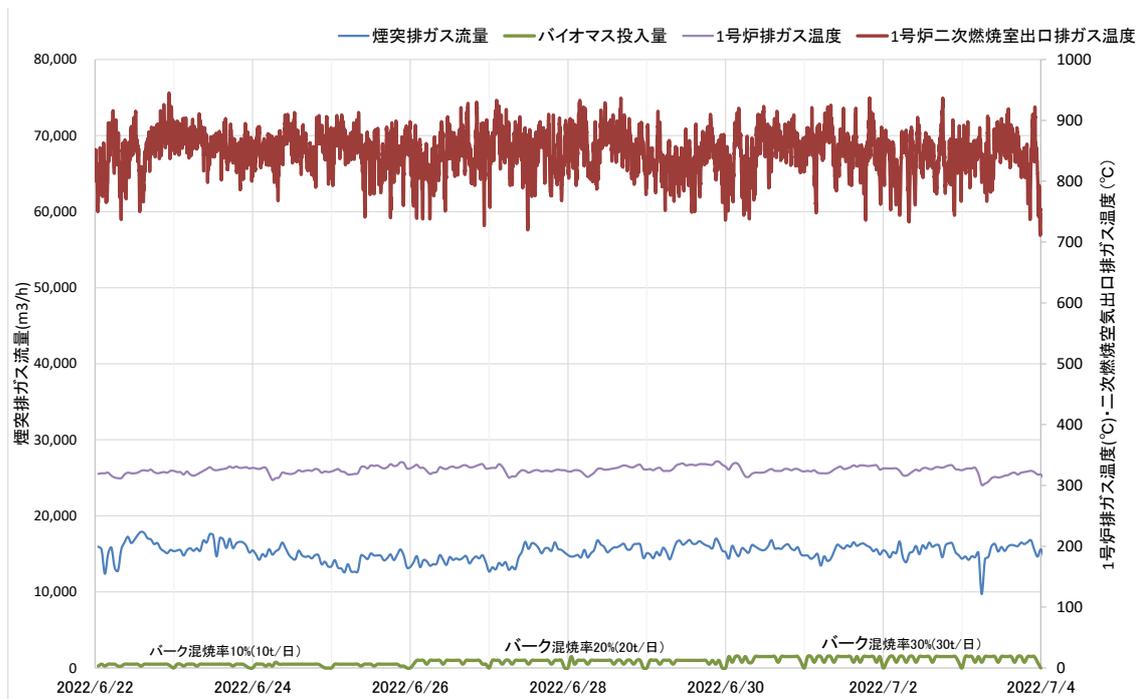


図 3-8 混焼時後運転データ (煙突排ガス流量/1号炉排ガス温度/1号炉出口排ガス温度)

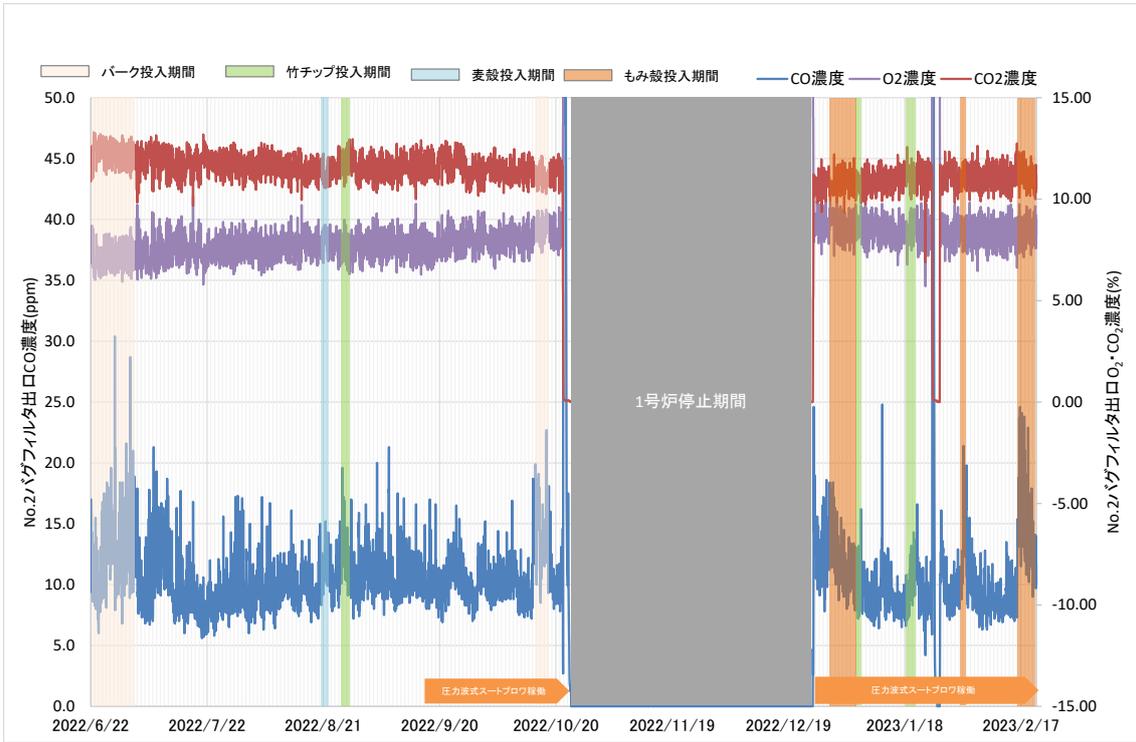


図 3-9 混焼前後運転データ (No. 2 バグフィルタ出口 CO 濃度/O<sub>2</sub> 濃度/ CO<sub>2</sub> 濃度)

### 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。

バーク、麦殻及び竹チップ共に可燃ごみに比べ単位重量当たりの発熱量が高いため高カロリー化による燃焼の変動や燃焼制御については注意が必要である。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。

表 3-2 ごみ質及びバイオマス分析結果一覧

測定結果	試料名	採取月 (2022年)			
		7月	8月	9月	10月
低位発熱量 (kJ/kg)	可燃ごみ	10,590	8,080	7,780	10,040
	樹皮(バーク)	17,960	—	—	—
	麦殻	—	—	16,280	—
	竹チップ	—	—	16,520	—
灰分 (w/w%)	可燃ごみ	5.66	5.19	4.78	4.61
	樹皮(バーク)	4.25	—	—	—
	麦殻	—	—	7.44	—
	竹チップ	—	—	9.99	—

表 3-3 ごみ質測定分析結果（採取日：2022年7月1日）

22-ご-0255 -1/3  
2022年7月20日

測定結果報告書

株式会社微研テクノス 様

2022年7月1日 御依頼の測定結果を  
次の通り報告いたします。

計量証明事業奈良県知事登録  
測定第26号・熱量第50号  
野村製炭株式会社  
ヤマド環境センター  
〒633-2204  
奈良県宇陀市箕田野大澤55番地  
TEL 0745-84-2822 FAX 0745-84-4075  
環境計量士：五十嵐

1. 試料名 可燃ごみ 45-22
2. 採取日 2022年7月1日
3. 採取場所 佐賀市清掃工場
4. 採取者 株式会社微研テクノス
5. 測定の方法 昭和52年11月環整第95号の別紙2に定める方法
6. 測定結果

分析項目		測定結果	単位
ごみの種類組成	紙類	26.93	w/w%
	布類	5.45	w/w%
	ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	20.14	w/w%
	木・竹・わら類	18.86	w/w%
	木の皮	13.32	w/w%
	厨芥類(動植物性残さ・卵殻を含む)	5.25	w/w%
	不燃物類	2.38	w/w%
	その他(孔径寸法5mmのふるいを通過したもの)	7.67	w/w%
	単位容積重量	106	kg/m <sup>3</sup>
3成分	水分	45.98	w/w%
	灰分	5.46	w/w%
	可燃分	48.56	w/w%
発熱量	低位発熱量(計算値)※環整第95号の式	1910	kcal/kg
		7990	kJ/kg
	低位発熱量(実測値)	2530	kcal/kg
		10590	kJ/kg
	高位発熱量(総発熱量)	3060	kcal/kg
		12800	kJ/kg
水素(湿ベース)	4.69	w/w%	

表 3-4 ごみ質測定分析結果（採取日：2022年8月1日）

22-ご-0351 -1/3  
2022年8月24日

測定結果報告書

株式会社微研テクノス 様

2022年8月2日 御依頼の測定結果を  
次の通り報告いたします。

計量証明事業奈良県知事登録  
 繰度第25号・熱量第50号  
 野村興産株式会社  
 ヤマト環境センター  
 〒633-2204  
 奈良県宇陀市菟田野大澤55番地  
 TEL 0745-84-2822 FAX 0745-84-4075  
 環境計量士：五十嵐 亨

1. 試料名 可燃ごみ 57-22
2. 採取日 2022年8月1日
3. 採取場所 佐賀市清掃工場
4. 採取者 株式会社微研テクノス
5. 測定の方法 昭和52年11月環整第95号の別紙2に定める方法
6. 測定結果

分析項目		測定結果	単位
ごみの種類組成	紙類	38.75	w/w%
	布類	5.50	w/w%
	ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	18.45	w/w%
	木・竹・わら類	26.60	w/w%
	厨芥類(動植物性残さ・卵殻を含む)	4.16	w/w%
	不燃物類	1.52	w/w%
	その他(孔眼寸法5mmのふるいを通過したもの)	5.02	w/w%
単位容積重量		167	kg/m <sup>3</sup>
3成分	水分	54.69	w/w%
	灰分	5.19	w/w%
	可燃分	40.12	w/w%
発熱量	低位発熱量(計算値)※環整第95号の式	1480	kcal/kg
		6190	kJ/kg
	低位発熱量(実測値)	1560	kcal/kg
		6530	kJ/kg
	高位発熱量(総発熱量)	2060	kcal/kg
	8620	kJ/kg	
水素(湿ベース)		3.21	w/w%

表 3-5 ごみ質測定分析結果（採取日：2022年9月2日）

22-ご-0441 -1/3  
2022年9月20日

測定結果報告書

株式会社微研テクノス 様

2022年9月3日 御依頼の測定結果を  
次の通り報告いたします。

計量証明事業奈良県知事登録  
濃度第26号・熱量第50号  
野村興産株式会社  
ヤマト環境センター  
〒633-2204  
奈良県宇陀市葛田野大澤55番地  
TEL 0745-84-2822 FAX 0745-84-4075  
環境計量士：五十嵐



1. 試料名 可燃ごみ 74-22
2. 採取日 2022年9月2日
3. 採取場所 佐賀市清掃工場
4. 採取者 株式会社微研テクノス
5. 測定の方法 昭和52年11月薬整第95号の別紙2に定める方法
6. 測定結果

分析項目		測定結果	単位
ごみの種類組成	紙類	41.40	w/w%
	布類	5.02	w/w%
	ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	21.65	w/w%
	木・竹・わら類	20.62	w/w%
	厨芥類(動植物性残さ・卵殻を含む)	6.61	w/w%
	不燃物類	1.18	w/w%
	その他(孔眼寸法5mmのふるいを通過したもの)	3.52	w/w%
単位容積重量		157	kg/m <sup>3</sup>
3成分	水分	51.82	w/w%
	灰分	4.78	w/w%
	可燃分	43.40	w/w%
発熱量	低位発熱量(計算値)※薬整第95号の式	1640	kcal/kg
		6860	kJ/kg
	低位発熱量(実測値)	1860	kcal/kg
		7780	kJ/kg
	高位発熱量(総発熱量)	2360	kcal/kg
	9870	kJ/kg	
水素(湿ベース)		3.45	w/w%

表 3-6 ごみ質測定分析結果（採取日：2022年10月7日）

22-ご-0532 -1/3  
2022年10月26日

測定結果報告書

株式会社微研テクノス 様

2022年10月8日 御依頼の測定結果を  
次の通り報告いたします。

計量証明事業奈良県知事登録  
濃度第26号・熱量第50号  
野村興産株式会社  
ヤマト環境センター  
〒633-2204  
奈良県生駒市菟田野大澤55番地  
TEL 0745-84-2822 FAX 0745-84-4075  
環境計量士：五十嵐

1. 試料名 可燃ごみ 89-22
2. 採取日 2022年10月7日
3. 採取場所 佐賀市清掃工場
4. 採取者 株式会社微研テクノス
5. 測定の方法 昭和52年11月環整第95号の別紙2に定める方法
6. 測定結果

分析項目		測定結果	単位
ごみの種類組成	紙類	32.13	w/w%
	布類	7.22	w/w%
	ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	28.63	w/w%
	木・竹・わら類	16.90	w/w%
	厨芥類(動植物性残さ・卵殻を含む)	11.67	w/w%
	不燃物類	1.02	w/w%
	その他(孔眼寸法5mmのふるいを通過したもの)	2.43	w/w%
単位容積重量		103	kg/m <sup>3</sup>
3成分	水分	47.40	w/w%
	灰分	4.61	w/w%
	可燃分	47.99	w/w%
発熱量	低位発熱量(計算値)※環整第95号の式	1880	kcal/kg
		7870	kJ/kg
	低位発熱量(実測値)	2400	kcal/kg
		10040	kJ/kg
	高位発熱量(総発熱量)	2870	kcal/kg
		12010	kJ/kg
水素(湿ベース)		3.46	w/w%







## (2) 灰分析結果について

R3年度実施のもみ殻混焼有無時にサンプリングした飛灰の元素分析を実施したところ、混焼無しの場合の飛灰中の炭素は2.9%であったが、混焼時は6.6%と3.7ポイント高いことが分かった。未燃炭素の増加は不完全燃焼の発生が予想されると同時にエコノマイザーやバグフィルタ入口ダクト等に付着・残留する恐れもあるため継続して観察が必要である。なお、混焼との相関についても分析を継続して確認する。

一方、主灰については大きな変化が見られなかったため分析は実施していない。

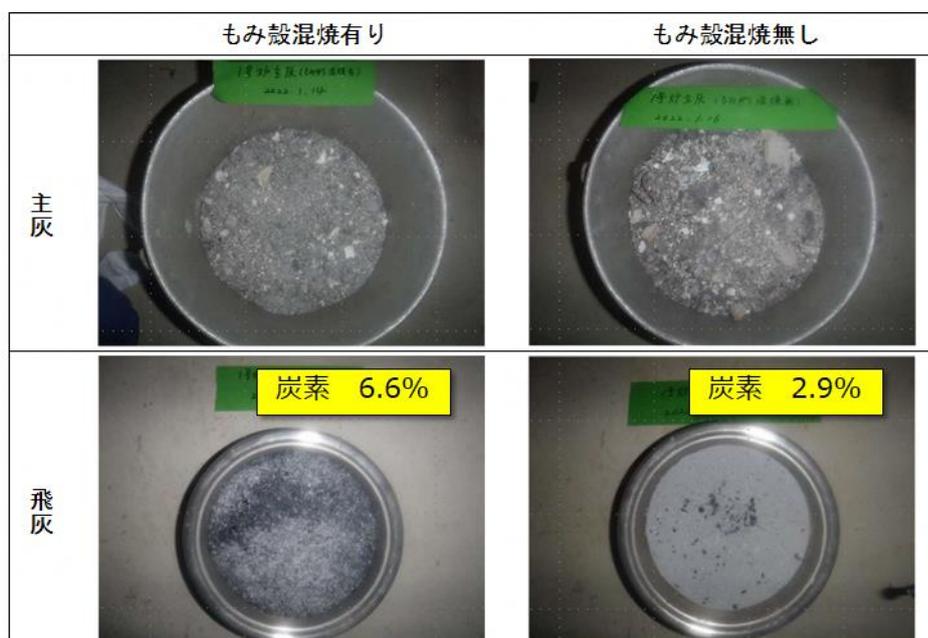


図 3-10 燃焼灰サンプル（主灰、飛灰）





### (3) ダイオキシン測定結果

令和3年度及び令和4年度に実施した排ガス中のダイオキシンの測定結果を表3-12に示す。

表 3-12 ダイオキシン類測定結果

単 位	測定日	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	測定日	ng-TEQ/m <sup>3</sup>
国の基準		0.1		0.1
清掃工場基準		0.1		0.1
年度	令和3年度		令和4年度	
1号焼却炉	令和3年7月6日	0.0034	令和4年8月1日	0.00077
2号焼却炉	令和3年7月6日	0.00017	令和4年7月29日	0.00088
3号焼却炉	令和3年7月6日	0.00015	令和4年8月2日	0.00089

### 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。

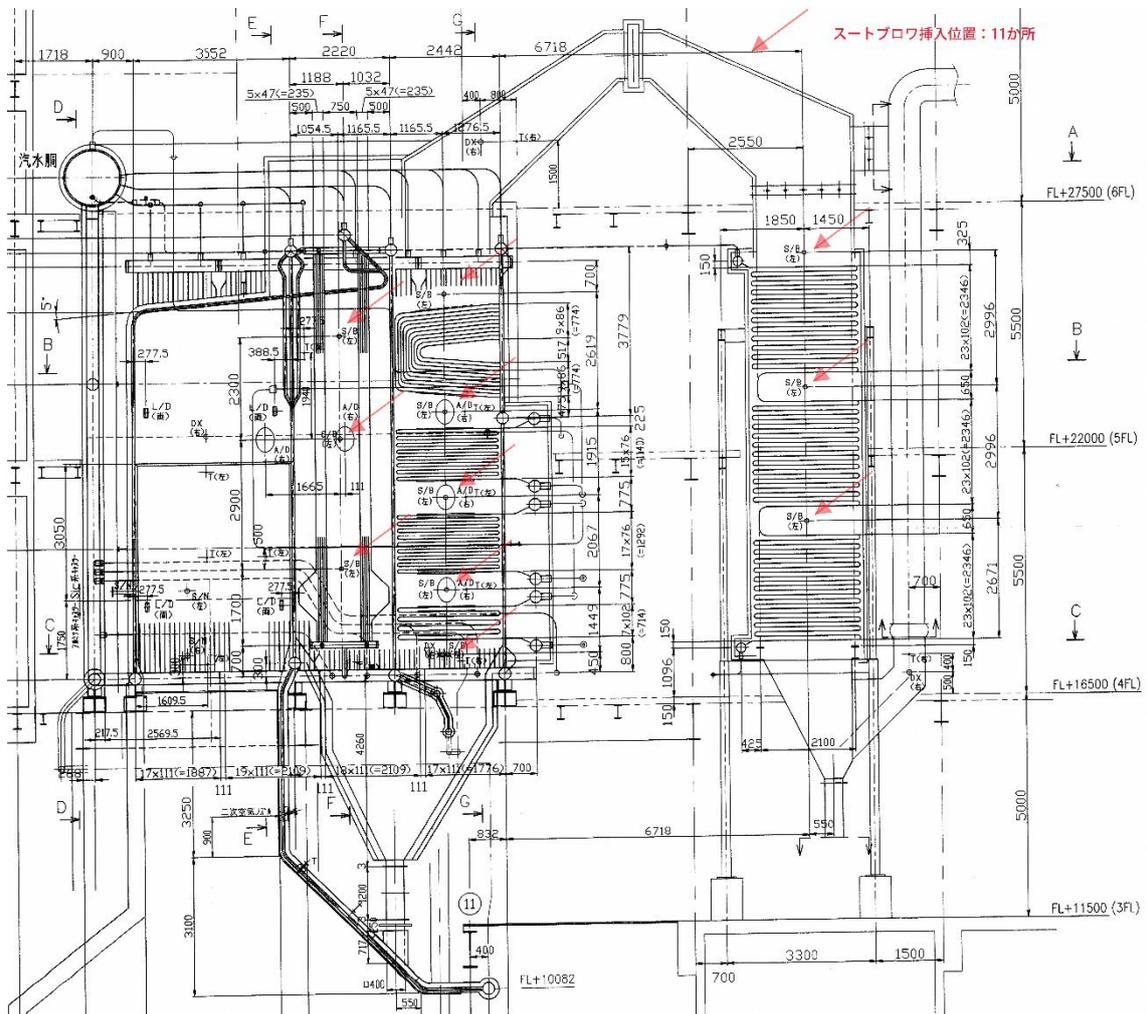


図 3-11 ボイラ構造図 (スートブロワ設置個所)

### 3-3-3 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 年度製作済みの圧力波式スートブロウ (本体) 1 基と本年度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。

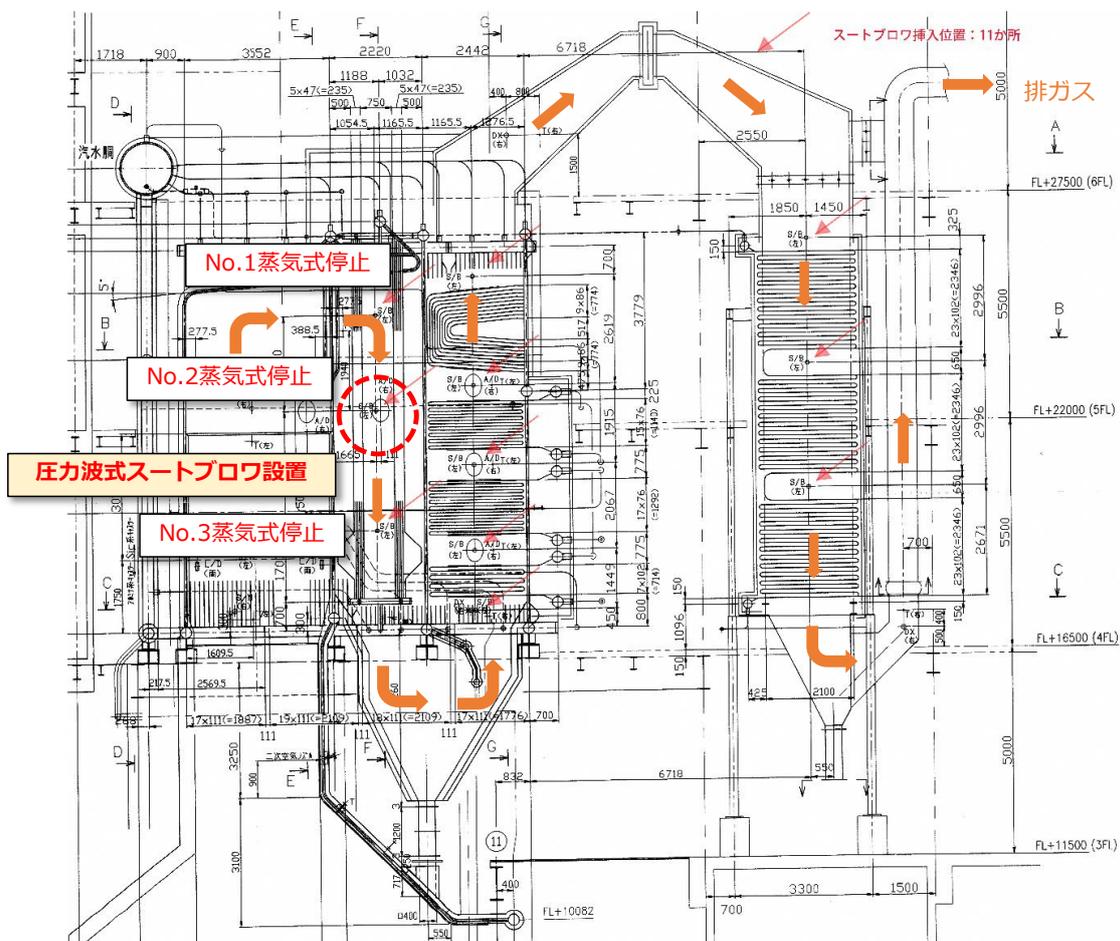


図 3-12 ボイラ構造図 (スートブロウ設置個所)



図 3-13 圧力波式スートブロワ設置状況（スートブロワ本体）



図 3-14 圧力波式スートブロワ設置状況（制御盤）



図 3-15 圧力波式ストロブ装置状況（駆動用ガス）



図 3-16 遠隔監視画面

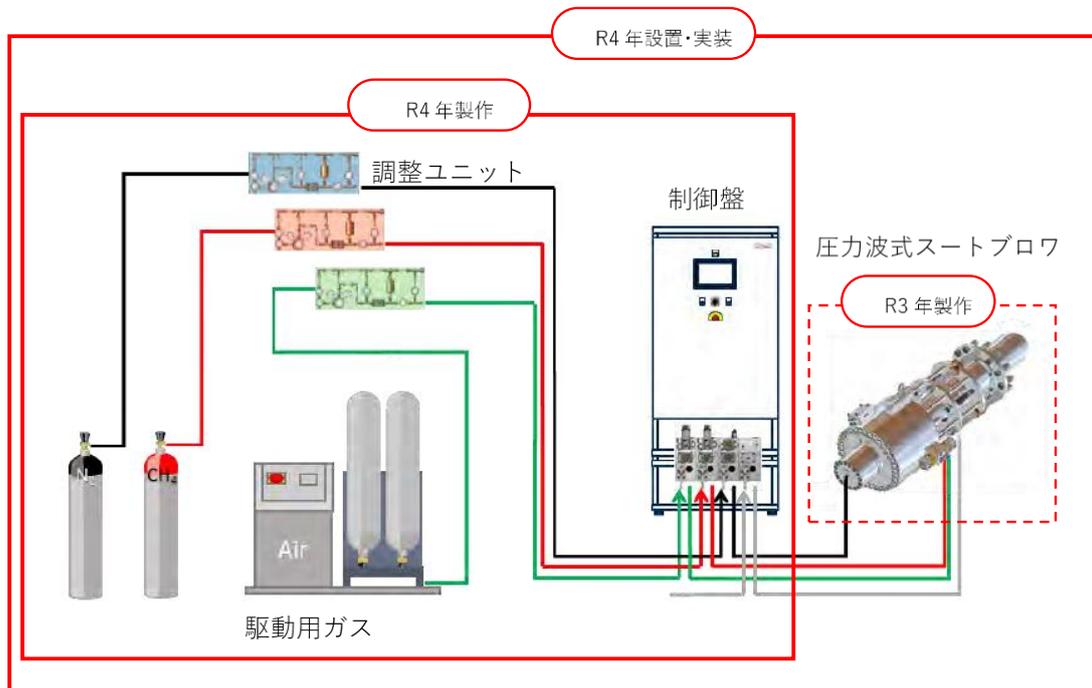


図 3-7 圧力波式スタートブロウ本体および付帯設備フロー図

## (2) スートブロウ稼働状況

2022年9月より圧力波式スートブロウ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ウは、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ウを停止し運転状況を行ったところ、高圧蒸気を約1~3t/日削減することができ、創出したエネルギー量は1日当たり約2.8~8.4<sup>3</sup>GJ/日となった。（表3-、図3-8）

今後、年間を通して圧力波式スートブロウを稼働した場合の創エネ量は720~2,100GJと想定される。（年間稼働日数を260日と仮定、年間創エネ目標は4,777GJ）

表 3-13 スートブロウの稼働状況

	スートブロウ稼働基数		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

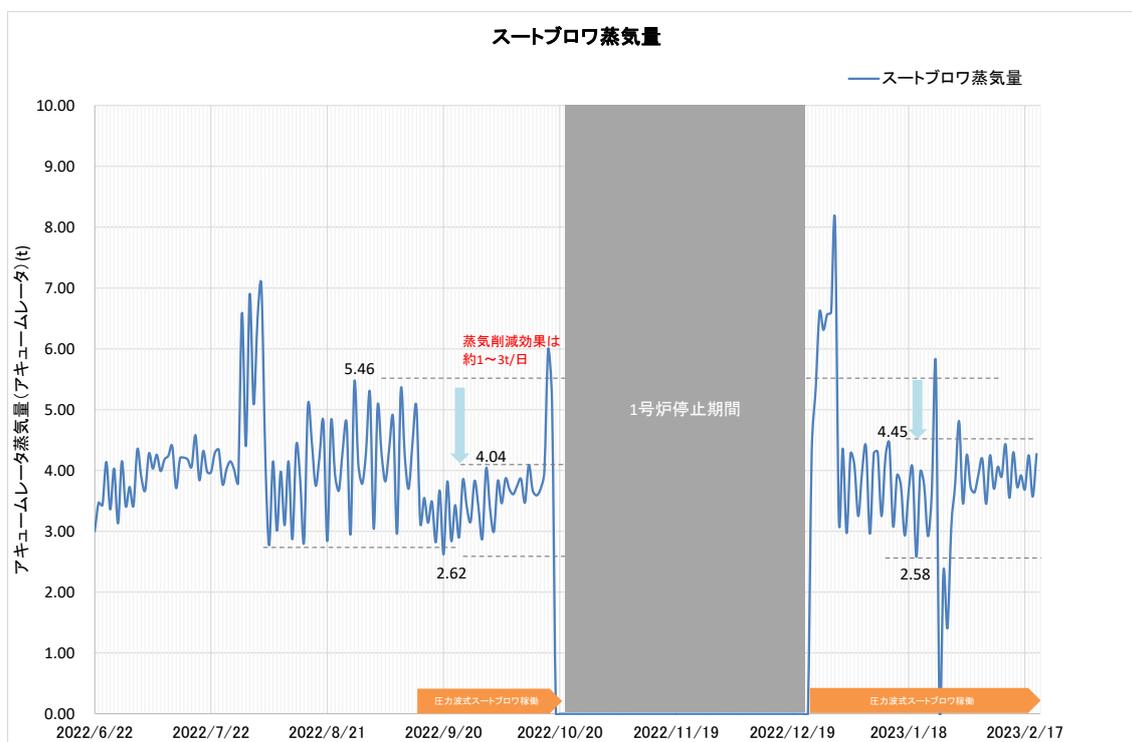


図 3-8 スートブロウ蒸気量の推移

3 蒸気 1t 当りの熱量を 2.79GJ/t とした場合

### (3) 実証後炉内確認

2022年11月の全炉停止に合わせ全炉の炉内確認を実施し、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ったものと考えられるが、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引き続き監視が必要である。



図 3-9 1号炉内確認（スートブロワ取付位置より）

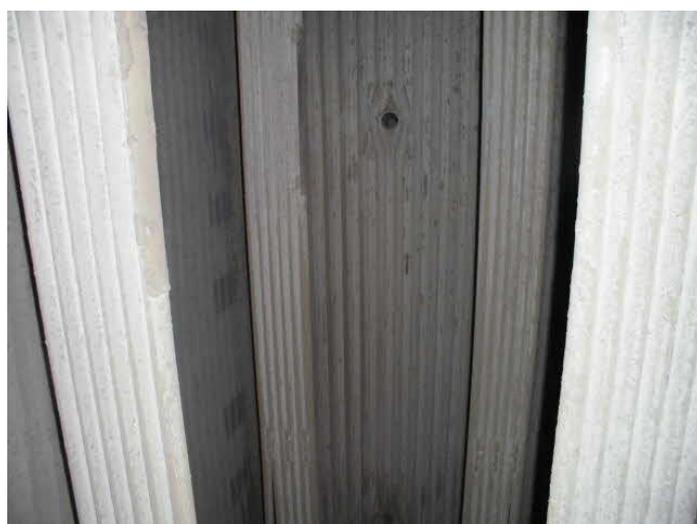


図 3-20 2号炉内確認（1号炉同位置より）



图 3-10 3号炉内確認 (1号炉同位置より)

## 第4章 熱供給方法の検討

### 4-1. 熱供給の概要と熱利用状況

新規創熱した熱量の効率的かつ効果的な供給方法の検討、設備比較を実施し、既存設備との連携方法を検討する。

#### 4-1-1 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。

「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（令和2年2月：以降前回報告書と略す）」<sup>[4-1]</sup>で想定された熱供給事業化モデルを図4-1に、位置関係は図4-2のとおりである。熱供給需要家を表4-1に示す。熱供給フロー（計画案）を図4-3に示す。

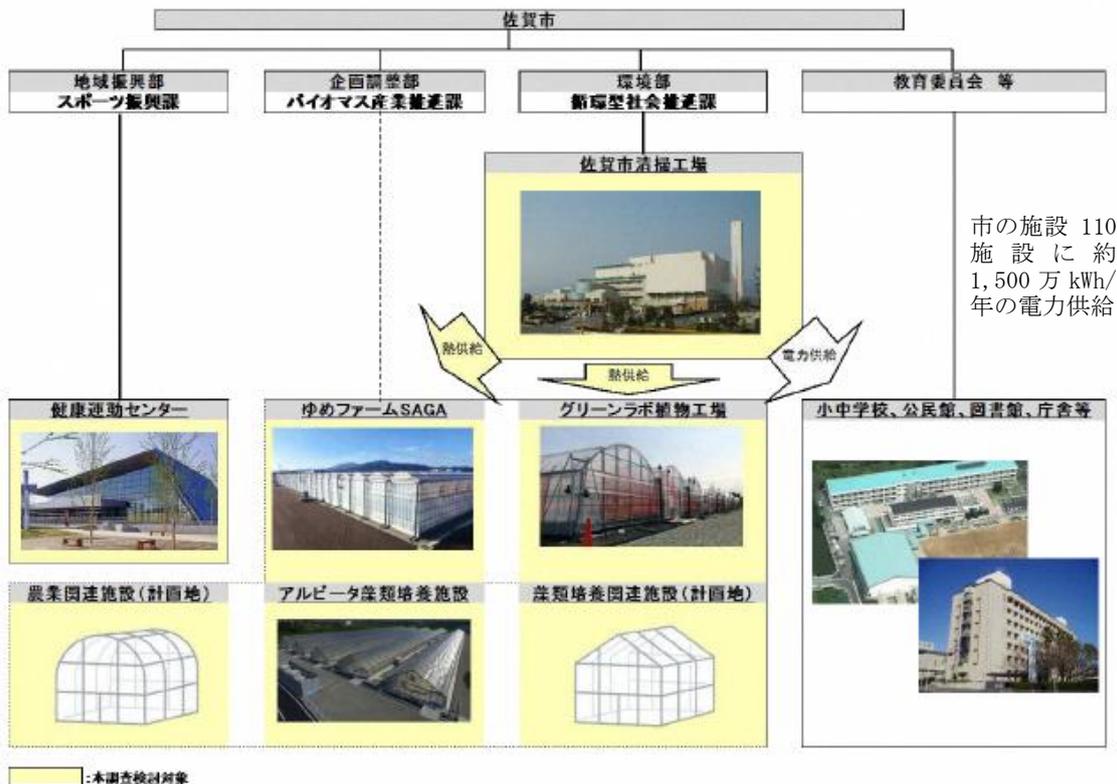


図 4-1 佐賀市清掃工場熱供給事業化モデル

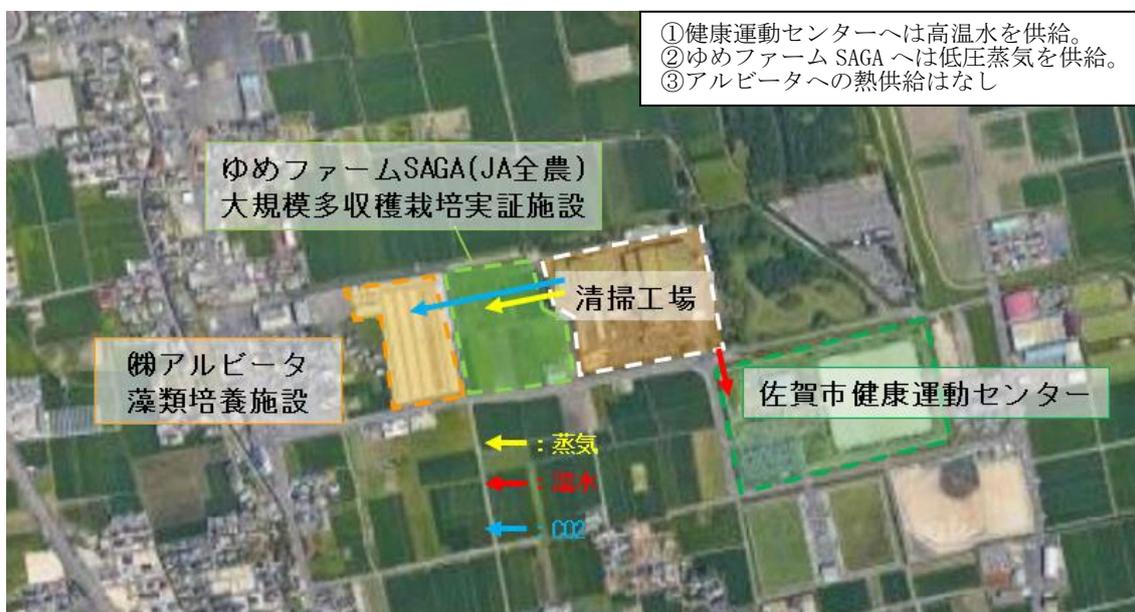


図 4-2 現在の熱供給状況

表 4-1 前回報告書での想定供給先の概要

熱需要施設	アルビータ藻類培養施設	藻類培養関連施設 (計画地)	ゆめファームSAGA	グリーンラボ植物工場	農業関連施設 (計画地A・B)	健康運動センター
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構アルビータによる藻類培養施設。</li> <li>・清掃工場からのCO2供給を受けて、藻類(ヘマトコッカス藻)を培養実施中。</li> <li>・培養プール1棟300m<sup>3</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルビータ藻類培養施設と同様の施設を想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JA全農によるキュウリのハウス栽培施設。</li> <li>・清掃工場からの蒸気供給を受け、2019.12から稼働。</li> <li>・14連棟×1棟。作付面積1ha。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンラボ棟によるバジルの縦型水耕栽培施設。</li> <li>・清掃工場からのCO2供給を受ける配管工事済み。</li> <li>・3連棟×4棟。2020年度にさらに4棟増設予定。ハウス面積約4,800m<sup>2</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンラボ植物工場と同様の施設を想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・佐賀市による余熱利用施設</li> <li>・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。</li> </ul>
需要の量と質(熱の条件)						
エネルギー需要量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・培養適温は、25℃。</li> <li>・近隣上水道の水温測定値との差分の昇温を熱需要と仮定すると、最大12GJ(2月)。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハウス内温度維持(16~17℃以上)のため、最大4GJ/hを想定。</li> <li>・清掃工場から供給される2GJ/hに加え、16~17GJ/hの温風暖房機を併用予定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハウス内温度維持(10~20℃以上)のため、1棟当たり最大0.167GJ/hを想定。</li> <li>・当面はヒートポンプとダルマストーブで対応。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温水プール、浴室、給湯、空調用途として、年間最大3.7GJ/h</li> </ul>
うち外部熱供給で代替可能性があると考えられる量(燃料使用量など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状、自前の熱源により運営されている。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温風暖房機の熱量は、外部からの蒸気又は温水で代替可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全ての熱源を外部からの蒸気又は温水で代替可能。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・清掃工場から温水を供給中</li> </ul>
蒸気条件	—	・同上	・低圧蒸気	—	・同上	—
利活用条件						
需要側受入設備	・不明	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸気配管(2GJ/h想定)の口径)</li> <li>・プレート式熱交換器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未定(ハウス内温水配管は敷設済み)</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレート式熱交換器 給湯用120℃→80℃ プール・浴室用120℃→80℃ 冷凍機用120℃→100℃ 暖房用120℃→80℃</li> </ul>
輸送距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数百m程度(清掃工場西側ゆめファームSAGAを挟んで隣接)</li> </ul>	隣接(清掃工場北側)	隣接(清掃工場西側)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数百m程度(清掃工場南西)</li> </ul>	隣接(清掃工場南側)	隣接(清掃工場南東側)
需要頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上水道水温との差分の昇温を熱需要とすると、2月最大、9月最小とした曲線状の需要となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルビータ藻類培養施設と同様の施設を想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・12~4月に最大需要を想定。特に夜間~早朝の冷え込み時にピークを想定。</li> <li>・5~11月は湿度対策での加温あり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冬場に最大需要を想定。</li> <li>・春~秋は湿度対策での加温あり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンラボ植物工場と同様の施設を想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4~5月 : 1.5~2GJ/h</li> <li>・6~10月 : 1.3~1.5GJ/h</li> <li>・11~3月 : 2~4GJ/h</li> </ul>
焼却施設停止に伴う熱供給停止への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自前の熱源により対応可能と想定される。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・11月の全炉停止時は温風暖房機で対応。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・11月はダルマストーブで対応。その他の停止時も連絡を受けて適宜対応。</li> </ul>	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温水利用設備の休止</li> </ul>

(赤枠は現行熱供給を開始している箇所)

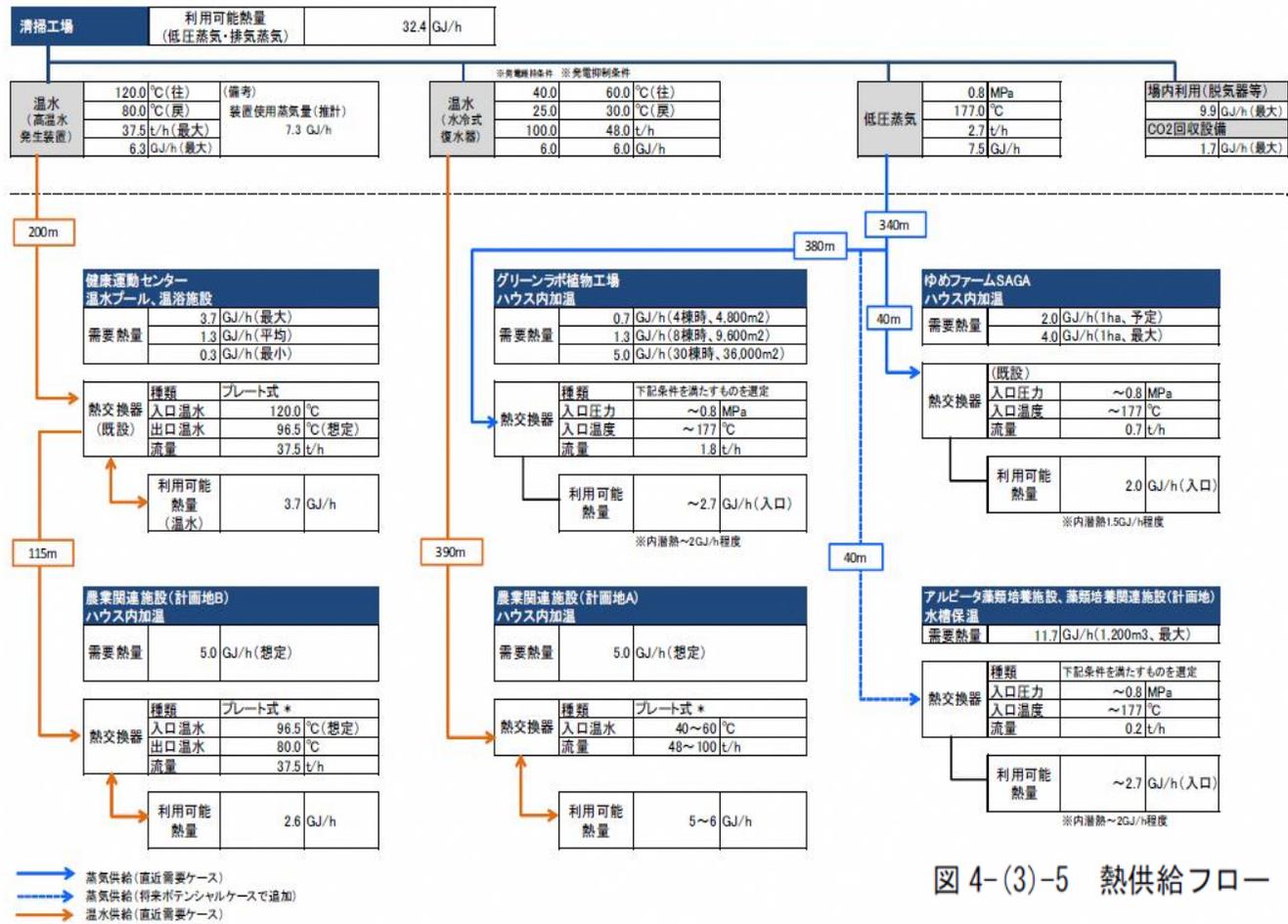


図 4-(3)-5 熱供給フロー

図 4-3 熱供給フロー (計画案)

## 4-1-2 令和4年度の検討状況

4.1-1 で示した前回報告書の時点から、新たな熱供給は開始されていない。今後の需要家の進出に対し、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することとし、表 4-2 に実施内容と調査状況を示す。

表 4-2 実施内容および調査状況

実施内容	調査状況
<p>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、有効性の検証を行う。</p>	<p>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、発電出力を抑え高圧蒸気からの程度熱供給できるかを検討中。</p> <p>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が、効果が高いことが確認された (4-2-1)。</p>
<p>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、CO<sub>2</sub>削減コストなど費用対効果を確認する。</p>	<p>オフライン熱供給については、技術の完成度や新たな追加設備もかかることから、現時点で経済性が見合わない想定されるが、追加検討を次年度に行う (4-2-5)。今年度はオンラインに絞り検討する。</p> <p>CO<sub>2</sub>削減コストなど費用対効果は、確定していない項目があることから、最終年度に算出する。</p>
<p>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、CO<sub>2</sub>)の最適な価格帯を検証し事業性を確認する。</p>	<p>熱エネルギーの有効利用の観点から、低温排熱や未利用熱の利用を検討したが、園芸ハウス等の農業利用だけでは、温度帯と熱量の最適マッチングとは言えない (4-2-3)。産業用熱利用として 170℃程度の熱利用後に空調・給湯への利用が望まれ、将来的な複合拠点構想につなげたい (4-3-1(1))。</p>
<p>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)の利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する。</p>	<p>発生した蒸気を発電へ用いた場合と熱エネルギー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 (4-2-4)。市内設備に電力供給する意義もあり、単純に比較できないが、今後のエネルギー供給の在り方について検討を続ける。また、地域防災計画との連携について検討する (4-3-1(2))。</p>

#### 4-1-3 令和4年度の熱利用状況

調査した各データを以下に示す。

##### (1) エネルギー回収の状況

表 4-3 エネルギー回収の状況

項目		2019年度 (R1)	2020年度 (R2)	2021年度 (R3)	2022年度 (R4)	2023年度 (R5)
ごみ焼却処理量	(t/年) 注1)	73,802	70,113	68,550		
バイオマス資源の混焼量	(t/年) 注1)	—	—			
エネルギー回収量	(GJ/年) 注2)	125,183	122,099	119,085		
ごみ処理量当たりの エネルギー回収量	(GJ/t) 注3)	1.7	1.7	1.7		

注1) ごみ発電施設における直接焼却処理量

注2) 施設のエネルギー回収量 (発電電力量[kWh]×3.6[MJ/kWh]+発電以外の熱利用量(所内利用+所外利用)[MJ])

注3) エネルギー回収量÷ごみ焼却処理量

##### (2) エネルギー利用の状況

表 4-4 エネルギー利用の状況

項目		2019年度 (R1)	2020年度 (R2)	2021年度 (R3)	備考	
ごみ量	① ごみ処理量(焼却量)	t/年	73,802	70,113	68,550 年報より	
	② ごみ入熱量	GJ/年	677,134	643,289	628,946 ①×9175kJ/kg (基準ごみ熱量)	
発電	③ 発電電力量	MWh/年	32,283	30,566	30,139 年報より	
	④ 所内使用電力量	MWh/年	13,354	13,357	13,442 照明、灰溶解、非常用	
	⑤ 売電電力量	MWh/年	17,327	15,934	15,524 年報より	
	⑥ 発電効率	%	17.2	17.1	17.3 ③*3.6/①	
熱(燃料)利用	⑦ 内部熱利用量(建築設備)	GJ/年	476	530	459 低圧蒸気	
	⑧ 外部熱(燃料)供給量	GJ/年	19,012	25,687	22,548 (0.81MPa, 177℃)として比エンタルピーを算出(2784kJ/kg)	
		健康センター	GJ/年	7,792	6,749	6,101
		CO2回収 ゆめファーム	GJ/年	6,967	6,346	6,260
	⑨ 熱利用率	%	1.3	1.9	1.7(⑦+⑧)*0.46/②	
	⑩ エネルギー回収率	%	18.5	19.0	18.9 ⑥+⑨	
エネルギー全体	CO2削減量	tCO2/年	11,945	14,641	11,784	
		電力供給	tCO2/年	11,945	14,641	11,784 ③*CO2排出係数
	⑪	tCO2/年				
	⑫ 地域貢献性					

(3) 蒸気利用の状況

表 4-5 蒸気利用の状況

項目			2019年度 (R1)	2020年度 (R2)	2021年度 (R3)	2022年度 (R4)	2023年度 (R5)	備考
蒸気利用	① ごみ	ごみ焼却量	t/年	73,802	70,113	68,550		年報より
		発生蒸気	t/年	213,940	208,169	203,954		同 上
	② 高圧蒸気	場内利用 (AH等)	t/年	12,366	12,969	12,282		空気予熱、低 圧蒸気溜、空 気抽出、アキム レータ
		タービン入口	t/年	168,137	161,911	161,629		年報より
		(タービン排気)	t/年	11,786	14,391	12,882		年報より
		場内利用 (脱気器等)	t/年	25,572	24,426	24,130		脱気器、純水 装置、建築設 備
	③ 低圧蒸気	高温水発生	t/年	2,799	2,424	2,191		年報より
		CO2回収設備	t/年	2,502	2,279	2,249		同 上
		ゆめファーム	t/年	1,528	4,523	3,659		同 上
		ごみ焼却量当たりの 発生蒸気量	t/t	2.9	3.0	3.0		②(発生蒸気)/ ①

## 4-2. 佐賀市清掃工場廃棄物エネルギー利活用検討のまとめ

昨年度に引き続き熱供給の検討を進めるにあたり、前回報告書における検討内容を直近の情報とあわせ、再整理した。

前回報告書では前述の図 4-3 に示す熱供給フロー（計画案）に基づく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、高圧蒸気を抽気することによる熱供給

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 110 施設に約 1,500 万 kWh/年の電力供給をしており、発電出力を下げ、高圧蒸気からの熱供給可能か再確認が必要。

今年度は、水冷式復水器の熱利用と低圧蒸気利用の現実的な方向性について検討した内容を以下に報告する。

検討した蒸気利活用の全体像を図 4-4 に示す（図中の番号は項目と対応）。

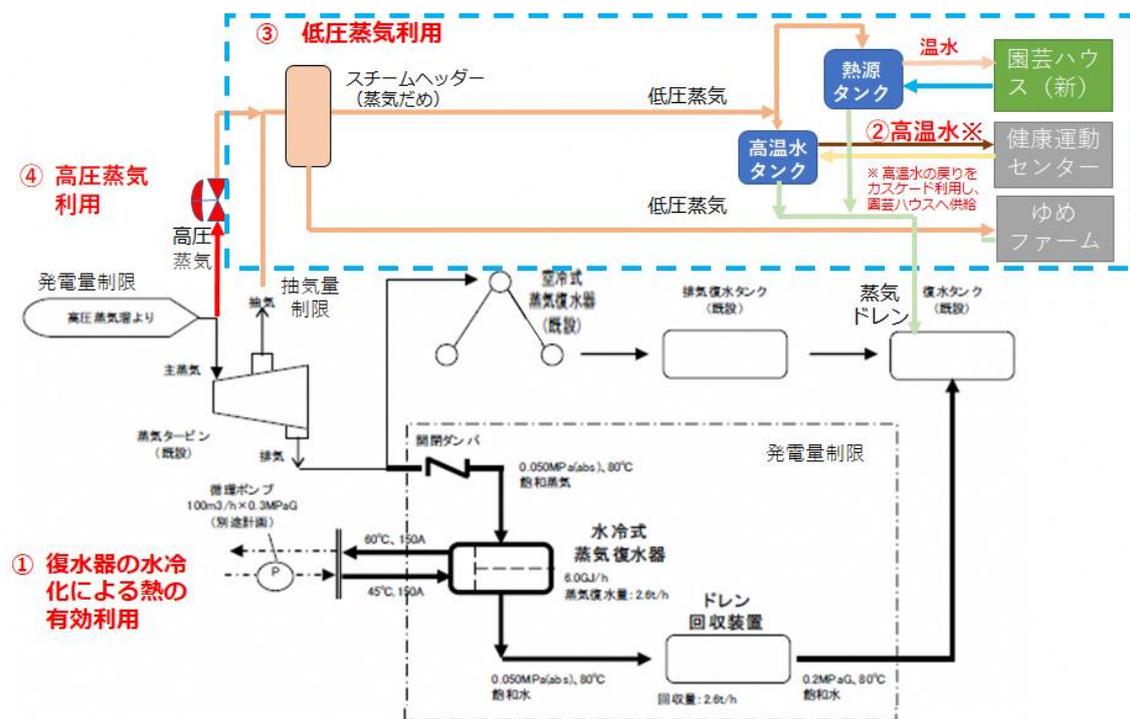


図 4-4 清掃工場における蒸気利活用の全体像

#### 4-2-1 復水器の水冷化による熱の有効利用

##### (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°C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°C。
- 40°C供給の場合でも、費用対効果を出すには需要家は 25°C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°C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る。変動する空調負荷等よりも優位である。

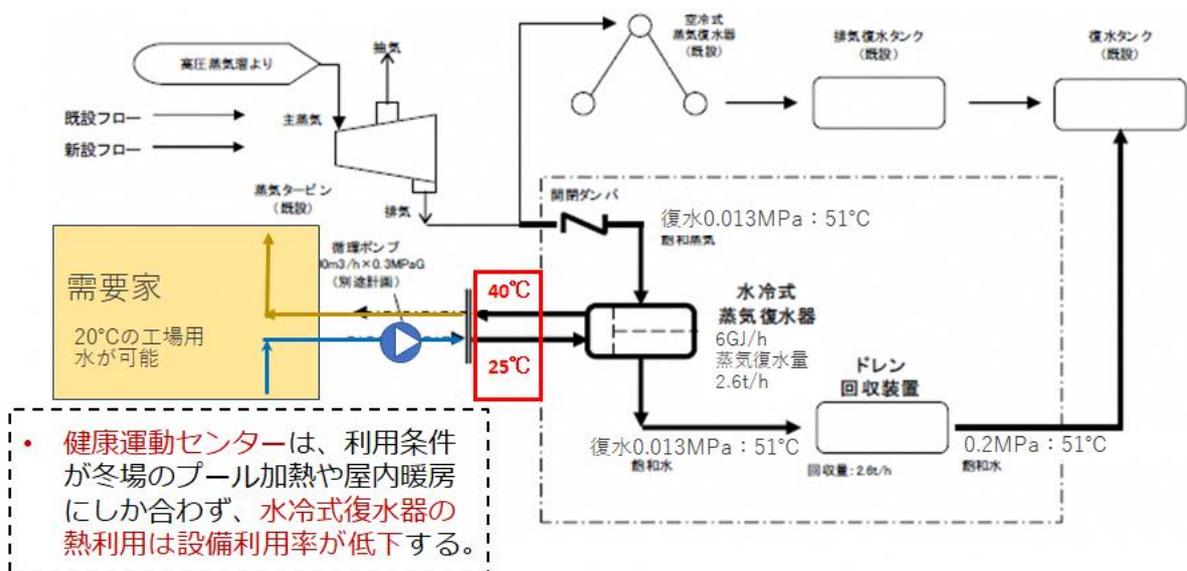


図 4-5 復水器の水冷化による熱の有効利用

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 4-6 に、外観を図 4-6 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「三鷹中央防災公園一元気創造プラザ」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 4-6 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 <sup>2</sup>
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カ炉	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<sup>[4-2]</sup>



図 4-6 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<sup>[4-2]</sup>

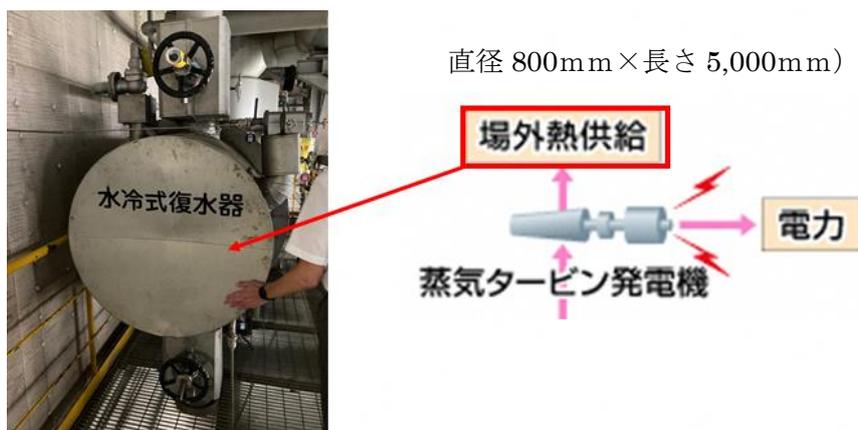


図 4-7 水冷式復水器外観

出典：ふじみ衛生組合 HP<sup>[4-2]</sup>

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。

## 4-2-2 高温水の利用

### (1) バイナリー発電の検討

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 4-8 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。

発展形としてバイナリー後の戻りを園芸ハウスへ供給するカスケード利用が考えられるが、運用に制約条件がかかることから、メーカー側とも協議して今後検討したい。

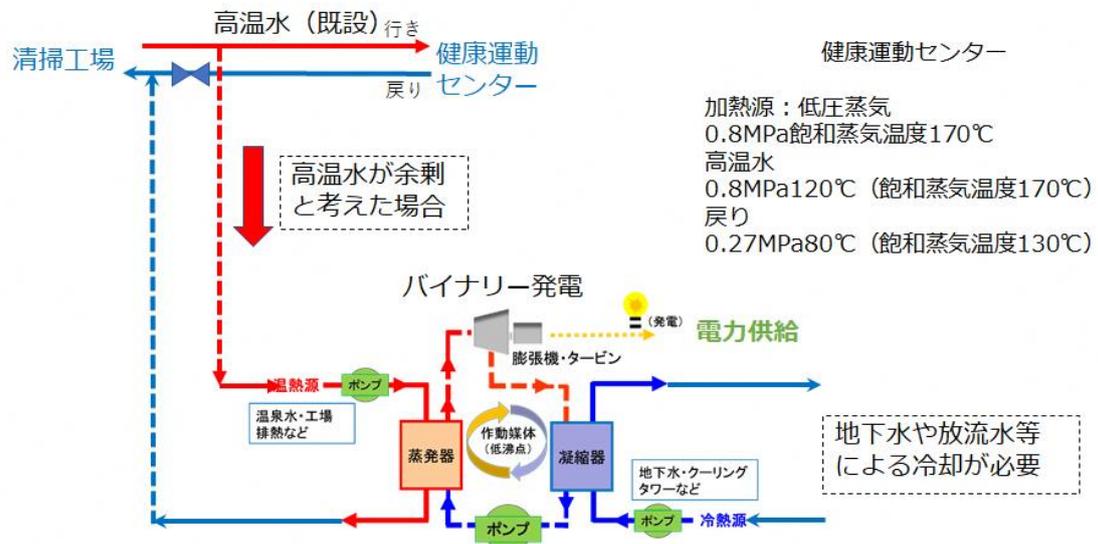


図 4-8 バイナリー発電の検討

## (2) カスケード利用

前回報告書では、図 4-9 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。

ここでは、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、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たい。



図 4-9 カスケード利用の考え方

### 4-2-3 低圧蒸気熱供給の検討

#### (1) 低圧蒸気の最大供給可能量

前回報告書では、低圧蒸気の利用に関して次のように報告されている。

本施設の蒸気タービン発電機の設計上、抽気量の上限は 26.4GJ/h (9.5t/h) とされている (設計・施工メーカーより)。

<中略>

熱供給可能量の整理結果は下表のとおりであり、年間平均で 11GJ/h の追加的に利用可能な熱が捻出可能と試算された。

表 3-(1)-2 抽気蒸気最大時の低圧蒸気利用熱量の試算

		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	
実績等	① 低圧蒸気利用量	GJ/h(最大)	17.3	13.4	13.7	12.7	12.8	13.0	13.5	15.8	16.9	17.4	17.9	17.0	②+③+④
	② 内 高温水発生装置	GJ/h(最大)	3.7	3.3	3.5	2.1	1.7	2.2	2.7	3.4	4.3	4.0	4.3	3.6	2018(2030)年度健康運動センター利用熱量×1.16*
	③ 内 CO2回収設備	GJ/h(10t最大)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	2019(21)年度5-8月実績平均(t/h)×比1.16*
	④ 内 ゆめファームSAGA	GJ/h(予定)	2.0							2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	ヒアリング結果より(2018.12-11月給開始)
	⑤ 内 場内利用(脱気器等)	GJ/h(最大)	9.9	8.4	8.5	8.9	9.4	9.1	9.2	8.7	8.9	9.8	9.9	9.8	2017(2019)年度実績(t/h)×比1.16*
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	8.9/h×比1.16*/1000
	⑦ 同 余力	GJ/h	9.1	13.0	12.7	13.6	13.6	13.4	12.8	10.6	9.5	9.0	8.5	9.4	⑧-①

⑧(2017(2019)年度実績(年平均値)より、低圧蒸気(0.81MPa、177℃)の比1.16\*により熱量に換算。

\*健康運動センターの利用熱量に対する高温水発生装置の低圧蒸気利用量の比率。

1.16=低圧蒸気熱量/(低圧蒸気熱量-凝縮水熱量)=277(kJ/kg÷(2771kJ/kg-379kJ/kg)) 各熱量数値(比1.16\*)は市資料より。

#### 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 (令和2年2月)

年間平均 11GJ/h が利用可能としているが、熱供給の定格条件を考えるうえで、最小の3月の8.5GJ/h、これに本事業による下記に示すストブロー蒸気削減効果0.51GJ/h\*を勘案し、低圧蒸気からは、約9GJ/hを最大供給可能量として検討することしたい。

蒸気式ストブロー (現状) の仕様

本施設における蒸気式ストブローの数は、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トブロー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。

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

→ 2炉運転として2/3、0.51GJ/hと見込む(計画値)

ストブロー方式変更による創エネ効果の検証は、今年度に引き続き次年度で検証する予定である。本施設のポテンシャルを確認のうえ本施設の改修に合わせ、増強の可能性を検討する予定である。

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あまりない（エリア内での平準化は難しい）。

低压蒸気からの約  $9\text{GJ/h}$  では、全域の供給は難しいことから、高压蒸気からの流用など、さらなる熱供給の可能性を検討する必要がある。

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あまりない。

図 4-10 に低压蒸気での供給を想定した場合の園芸ハウス等への現実的な供給イメージを示す。開発対象エリアは最大  $21\text{ha}$  と広大で、これを少しでも補う熱量を確保するためには、発電用に供する高压蒸気の熱利用が考えられる。

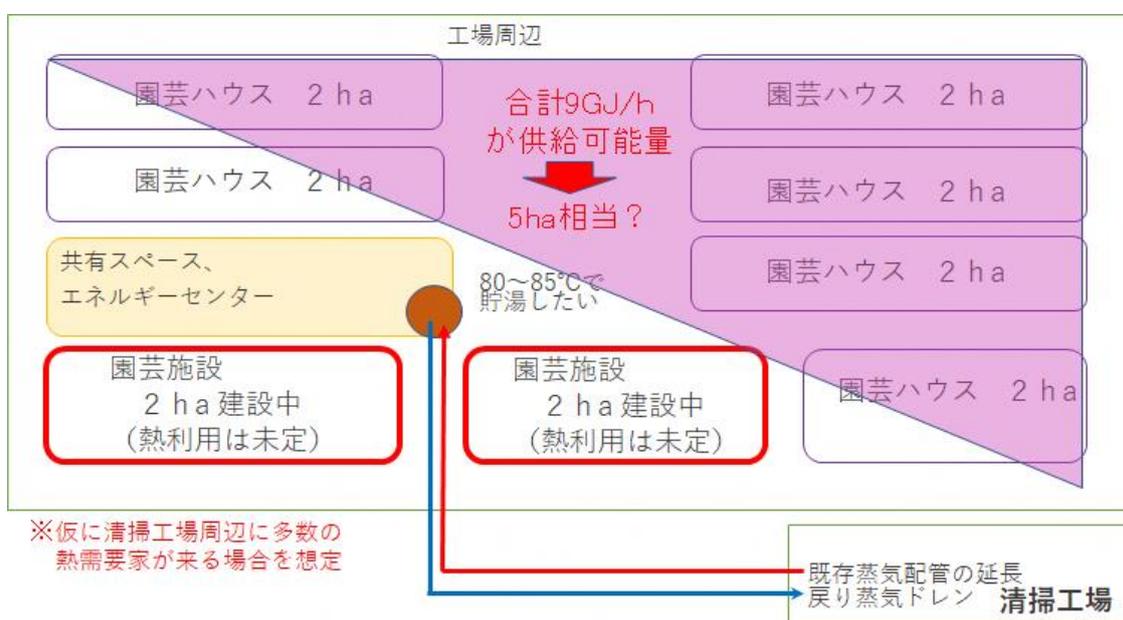


図 4-10 熱供給計画エリアへの熱供給の可能性

## (2) 需要家想定

これまでの成果を纏め、図 4-11 に現時点での供給可能量を示す。現時点での想定需要家を表 4-7 に、定供給先の位置関係図 4-12 に示す。

表 4-7 周辺施設と需要家候補

熱需要施設	施設概要	備考
アルビータ藻類培養施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(株)アルビータによる藻類培養施設。</li> <li>・本施設からのCO<sub>2</sub>供給を受けて、藻類（ヘマトコッカス藻）を培養実施中。</li> <li>・培養プール1棟300m<sup>3</sup>。</li> </ul>	
藻類培養関連施設 (計画地)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルビータ藻類培養施設と同様の施設を想定</li> </ul>	
ゆめファーム <b>SAGA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JA全農によるキュウリのハウス栽培施設。</li> <li>・間口8m×14連棟 奥行84m 奥行84m 軒高5m 作付面積1ha。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本施設からの蒸気供給を受け、2019.12から稼働。</li> </ul>
グリーンラボ植物工場	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンラボ(株)によるバジルの縦型水耕栽培施設。</li> <li>・本施設からのCO<sub>2</sub>供給を受ける配管工事済み。</li> <li>・3連棟を4棟。さらに4棟増設予定。ハウス面積約4,800m<sup>2</sup>。</li> </ul>	
農業関連施設（計画地 A・B）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンラボ植物工場と同様の施設を想定</li> </ul>	
健康運動センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・佐賀市による余熱利用施設</li> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本施設と同時期に建設、本施設からの蒸気供給を受ける</li> </ul>
以降追加検討候補		
大型商業施設	今後調査	
飲料工場	〃	
その他	〃	

太字は熱供給稼働中

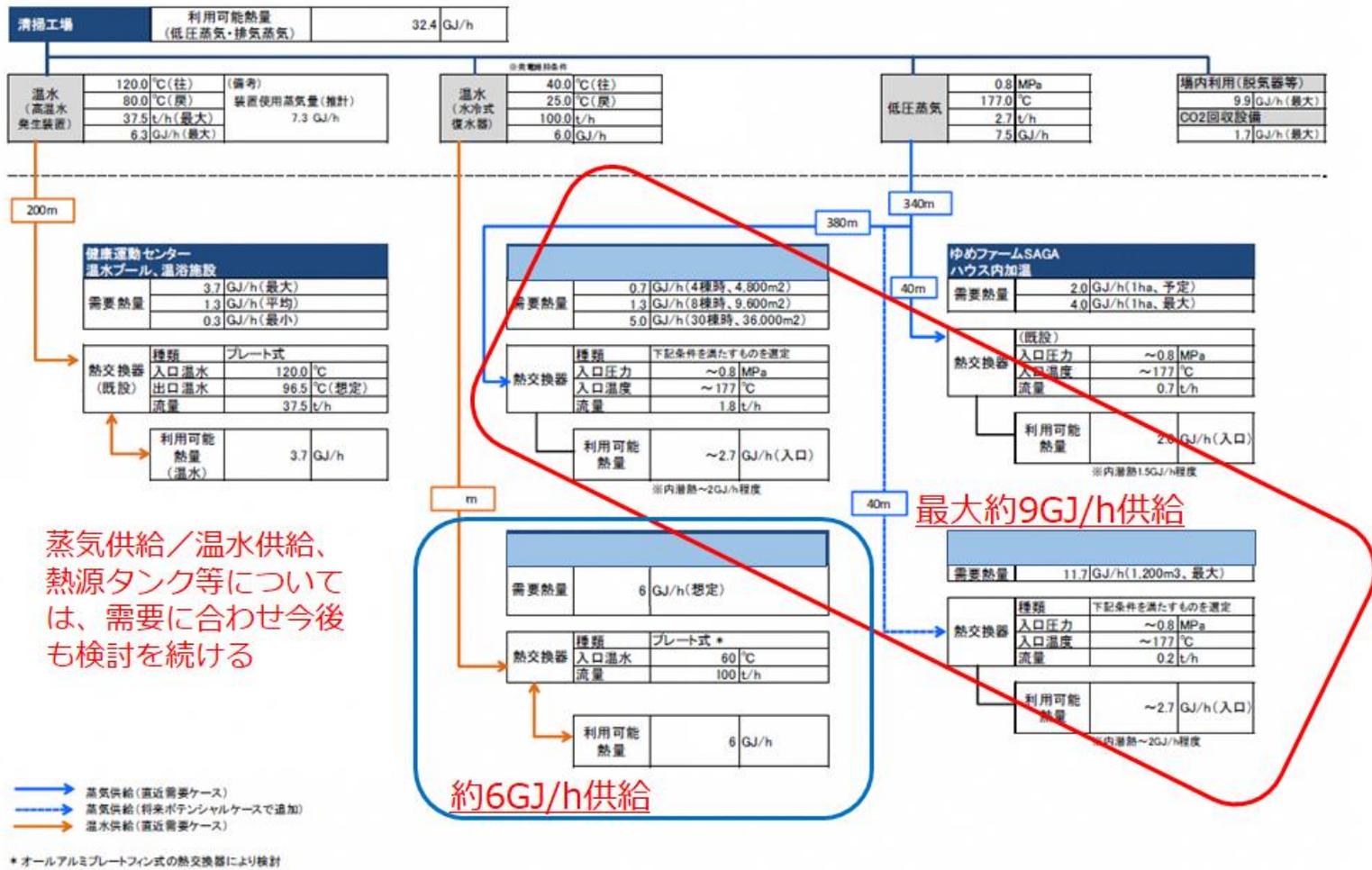


図 4-11 現時点での熱供給可能量

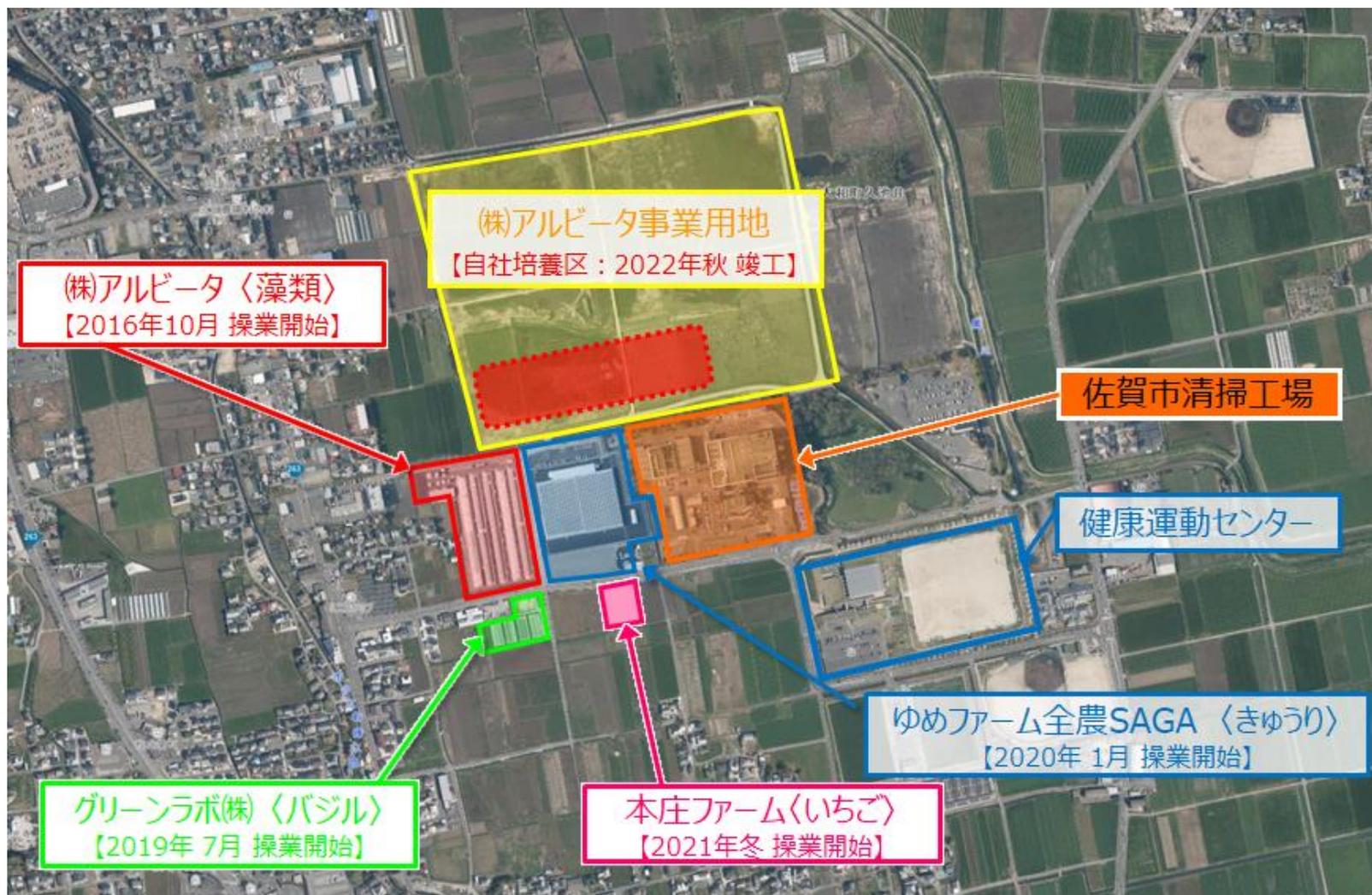


図 4-12 想定供給先の位置関係

#### 4-2-4 高圧蒸気の利用余剰電力の利用状況

##### (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 4-13 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 4-13 佐賀市地域循環共生圏づくりのイメージ

出典：佐賀市 HP<sup>[4-3]</sup>

##### (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（R3 年度実績）

- ・清掃工場で生み出される電力量 : 3,014 万 kWh/年
- ・清掃工場から売却する電力量 : 1,552 万 kWh/年
- ・公共施設で利用する電力量 : 1,642 万 kWh/年

(内清掃工場からの電力 1,487 万 kWh/年 不足分は買電)

- ・供給施設 117 ヶ所
  - ≫ 小中学校 54 カ所 (56 校)
  - ≫ 公民館等低圧施設 37 カ所
  - ≫ 図書館・本庁舎等高压施設 26 カ所

### (3) 供給熱量の増大

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

### (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 4-14 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←令和 2 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

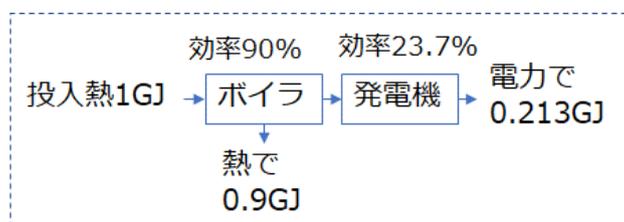


図 4-14 熱効率の考え方

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 4-15 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。

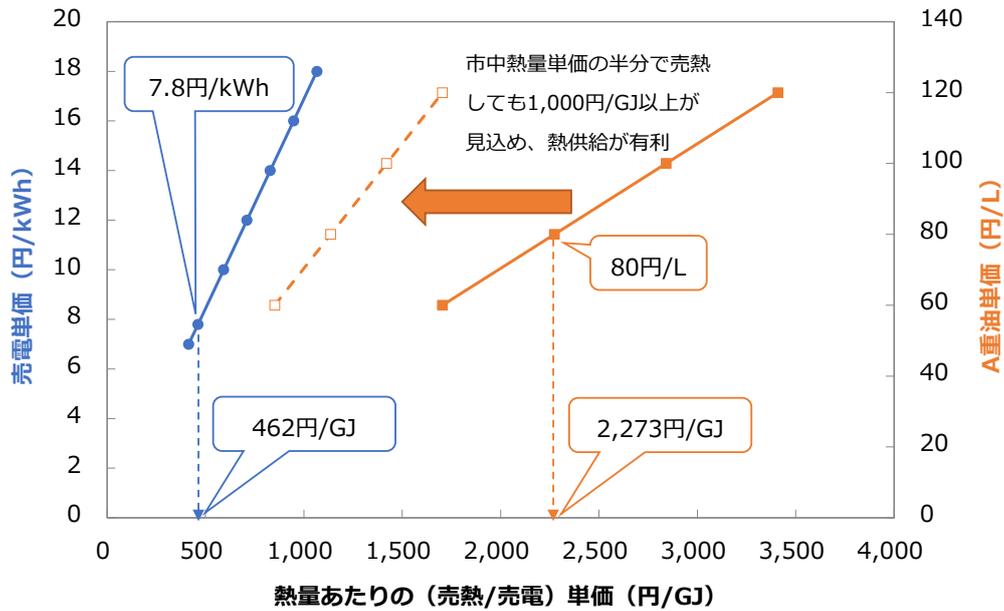


図 4-15 熱量あたりの売熱／売電単価

エネルギーの価格変動による熱量単価を表 4-8 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 4-16 参照)。価格変動はスポット的か継続的に上昇するのを見極める必要がある。

表 4-8 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

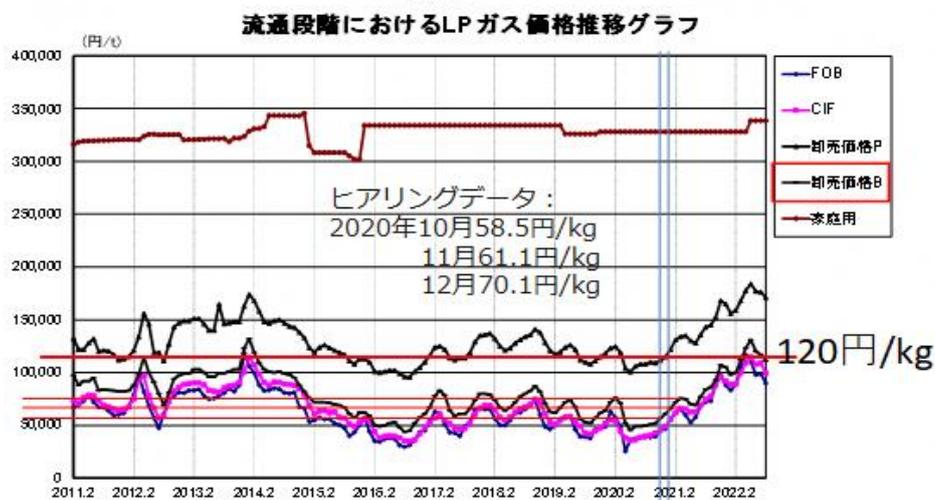
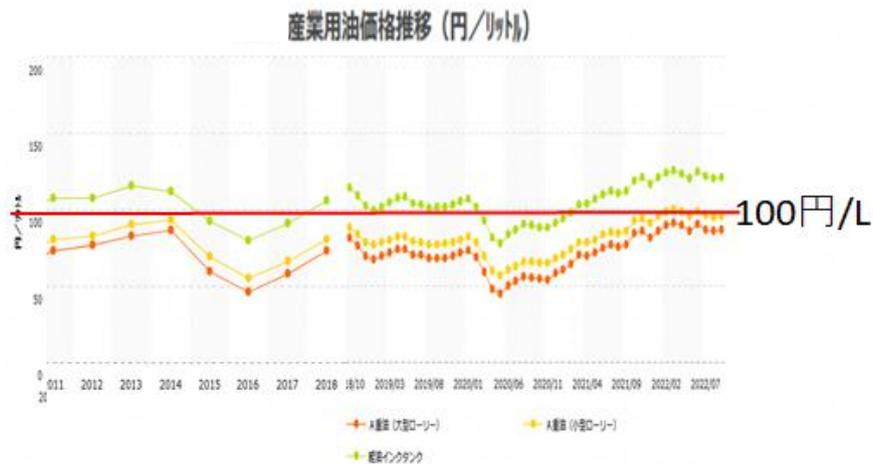


図 4-16 灯油、LPG の価格の推移

各種 HP データより作成

#### (5) これまでのまとめ

ここで本施設周辺の状況を含め再整理する (図 4-17 参照)。

周辺には大型商業施設、飲料工場など熱需要が見込まれ、

- ① 復水器の水冷化による創熱
- ② 蒸気式ストブローアのパルス式への変更による抽気最大利用での低圧蒸気の創熱
- ③ 高圧蒸気による発電量の確保 (2,800kW 以上) を優先した上で低圧蒸気の増大による熱供給を図ることが好ましい。

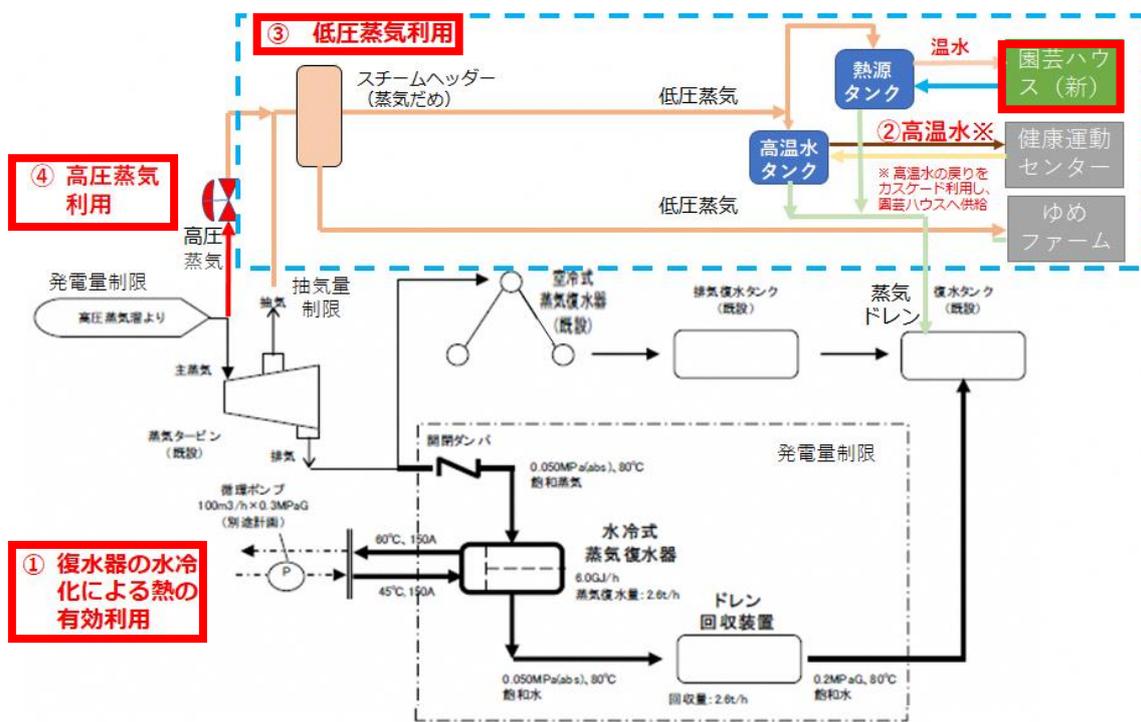


図 4-17 清掃工場における蒸気利活用における創熱

#### 4-2-5 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、CO<sub>2</sub>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 4-9 に示す。

表 4-9 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 <sup>3</sup>	0.59GJ/m <sup>3</sup>	1GJ/m <sup>3</sup>
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<sup>[4-4]</sup>

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モードを図 4-18 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。

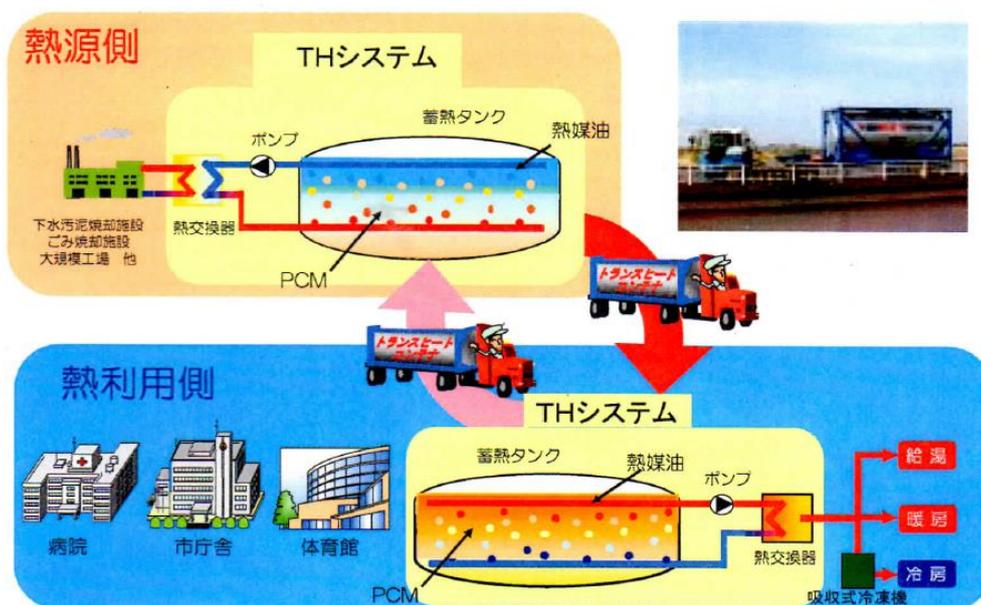


図 4-18 潜熱蓄熱材によるオフライン熱輸送システム<sup>[4-5]</sup>

PCM には表 4-10 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 4-10 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 4-10 潜熱蓄熱材

蓄熱材	蓄熱温度 ℃	蓄熱密度 GJ/m <sup>3</sup>	密度 kg/m <sup>3</sup>	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）<sup>[4-6]</sup>

### （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」<sup>[4-4]</sup>として、オフライン熱輸送開発メーカーの三機工業(株)と(株)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(株)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 CO<sub>2</sub> 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 4-11、図 4-19 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”が非常に大きなウエイトを占めている。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CO<sub>2</sub>排出量削減効果(表 4-11 の A~M の総計で約 3000CO<sub>2</sub> トン/年の削減効果) 大きい。

表 4-11 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	ボイラ								
	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 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /年	3,960 <sup>*1</sup>	121 <sup>*2</sup>	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
CO <sub>2</sub> 排出量	既存設備削減量 CO <sub>2</sub> トン/年	-2036	-301	-202	-15	-152	-184	-93	-8	-55	-153	-71	-32	-93
	熱源施設排出量 CO <sub>2</sub> トン/年	69	8	5	1	6	7	4	0	3	6	3	1	4
	熱利用施設排出量 CO <sub>2</sub> トン/年	55	7	4	0	5	6	4	0	2	5	2	1	3
	輸送燃料排出量 CO <sub>2</sub> トン/年	115	14	8	1	11	12	8	1	5	10	4	2	6
	差引	CO <sub>2</sub> トン/年	-1797	-273	-187	-13	-130	-159	-78	-7	-45	-132	-62	-27

燃料使用量の単位は、\*1:GWh/年、\*2:k0/年、それ以外は 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/年

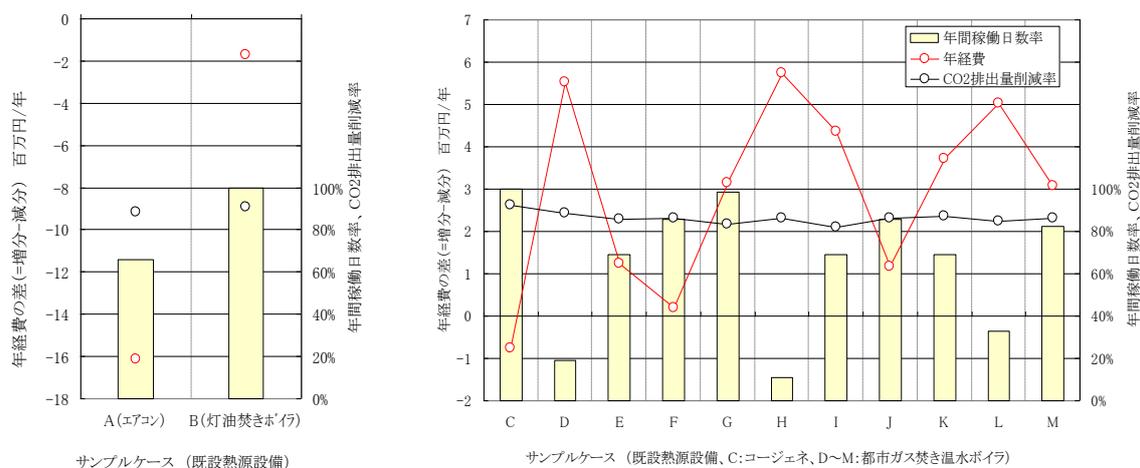


図 4-19 熱輸送による年経費の差、CO<sub>2</sub> 排出量削減率、年間稼働日数率

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〉<sup>[4-7]</sup>

#### (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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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
  - － 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
  - － 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

- ・ CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。

過去の調査について検討してきたが、R5年度に本市における新たな可能性について再考する予定である。

### 4-3. 今後の計画

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、CO<sub>2</sub>）の最適な価格帯を検証し事業性を確認する。

4-2-4(5) これまでのまとめに述べたように以下の創熱による熱供給を進めるために、今後さらに具体的な方策を検討する。

- 蒸気タービン排気復水の利用  
水冷復水器の追加による熱供給は、工業用水などの通年通した加熱に利用することが望ましく、需要側の特性に応じた利用用途を検討する。
- 低圧蒸気による熱供給  
蒸気タービンの抽気（低圧蒸気）は、スートフロア蒸気削減効果0.51GJ/hを加えた約9GJ/hを最大供給可能量として検討する。
- 高圧蒸気の利用  
現状、市の施設117施設に1,487万kWh/年の電力供給をしているが、これらの供給量の見直しと将来的な場内利用の省エネ等により、発電量をどこまで下げ、高圧蒸気からの熱供給が可能かを今後検討する。

次年度に向け、需要家および新規の引き合い企業へのヒアリングを継続し、熱供給量の可能性について検討する。

#### 4-3-1 電力の地産地消等も含めた地域エネルギー事業としての可能性

前回報告書では、主に熱供給に関わる部分の調査検討を行っているが、電力の地産地消事業とあわせて、電力と熱を活用した地域エネルギー事業としての可能性を本工場

は有しているとして、以下のような視座を示している。

「ドイツのシュタット・ベルケに代表される海外事例では、電力、熱、水道など複数の生活インフラを一括して取り扱う事業モデルが確立し、各インフラ間で経営的に相互補完することにより、より安定的な事業運営を進めることが可能とされている。

<中略>

また現時点では、電力と熱の双方を取り扱うエネルギー事業会社（特に清掃工場の廃熱による熱電供給事業会社）は全国でも例がないが、こうした事業会社を想定した場合には、本施設からの売電・売熱料金に、一定の収益率を加味した単価で電力供給・熱供給を行い、得られた収益によって市域の環境対策・産業振興等を拡充するといった展開も、今後の電力価格や燃料価格の動向によっては可能性があると考えられる。今後の電力価格や燃料価格の動向を注視し、関係者による協議を進めることも重要と考えられる。」

これらの視点と COVID19 やレジリエンス強化など脱炭素社会を目指す急激な社会情勢の変化を機に新たな熱利用の構築をもって電力の地産地消等も含めた地域エネルギー事業としての可能性を創出するものとし、複合拠点構想について以下に述べる。

## （１） 複合拠点供給

前回報告書にある熱供給ルートにおいて、熱導管の途中で本施設からの熱供給が停止した場合にも、一定規模の熱供給が可能な温水発生器(熱源タンク)等の設備設置方式に加え複合的な供給拠点での熱供給事業の検討を進める。これにより本施設と需要家での負担を最小限に抑えた仕組み作りが期待できる。

ポイントは、需要家の最大需要に対応したモデル化であると、季節変動、日変動からかなり顕著に需要と供給のアンバランスが直接発電量に影響することから発電量を最大限確保するための最適化制御が必要と考えられる。

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」を視野に入れて検討する(図 4-20 参照)。この上で、本施設の地理的特性を活用し、新規熱需要家を創出することを検討する。

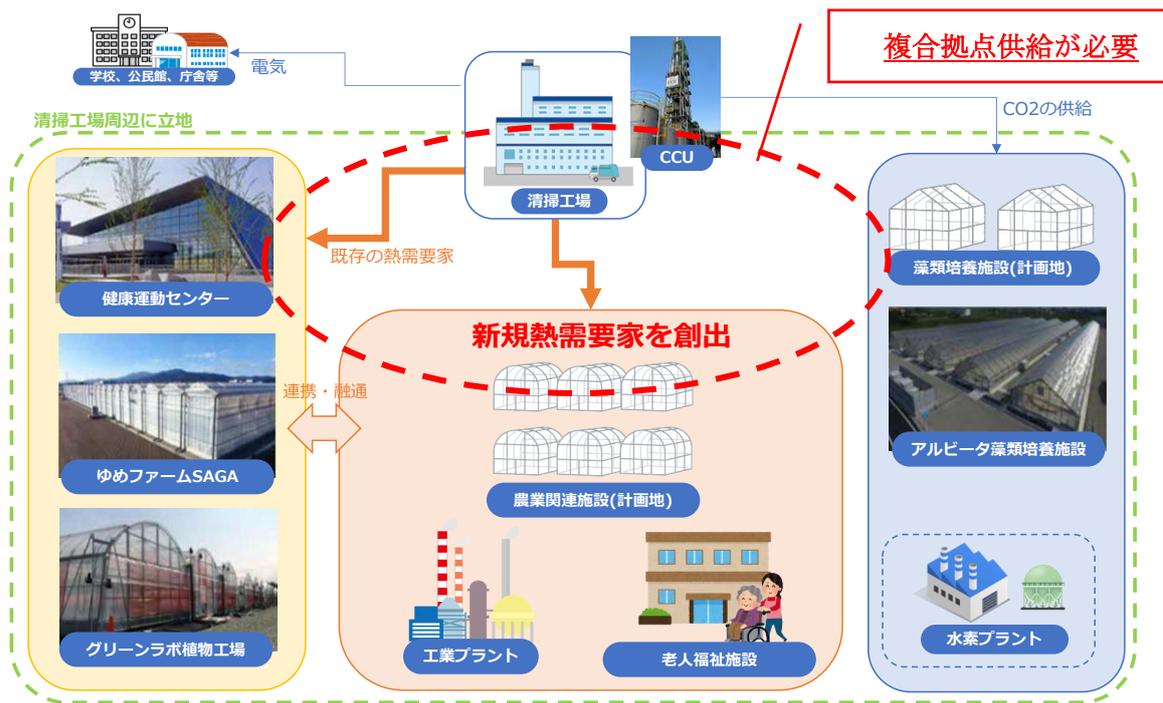


図 4-20 複合供給拠点の検討

## (2) レジリエンス強化

本施設に隣接している健康運動センターの災害時の役割や 2018 年(平成 30 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、本施設を活用した災害へのレジリエンス強化策を検討するため、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の検討を実施する。

上記を踏まえ、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を検討。

「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。

これらを発展させ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イメージを図 4-21 に示す。

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（地域での面的展開）

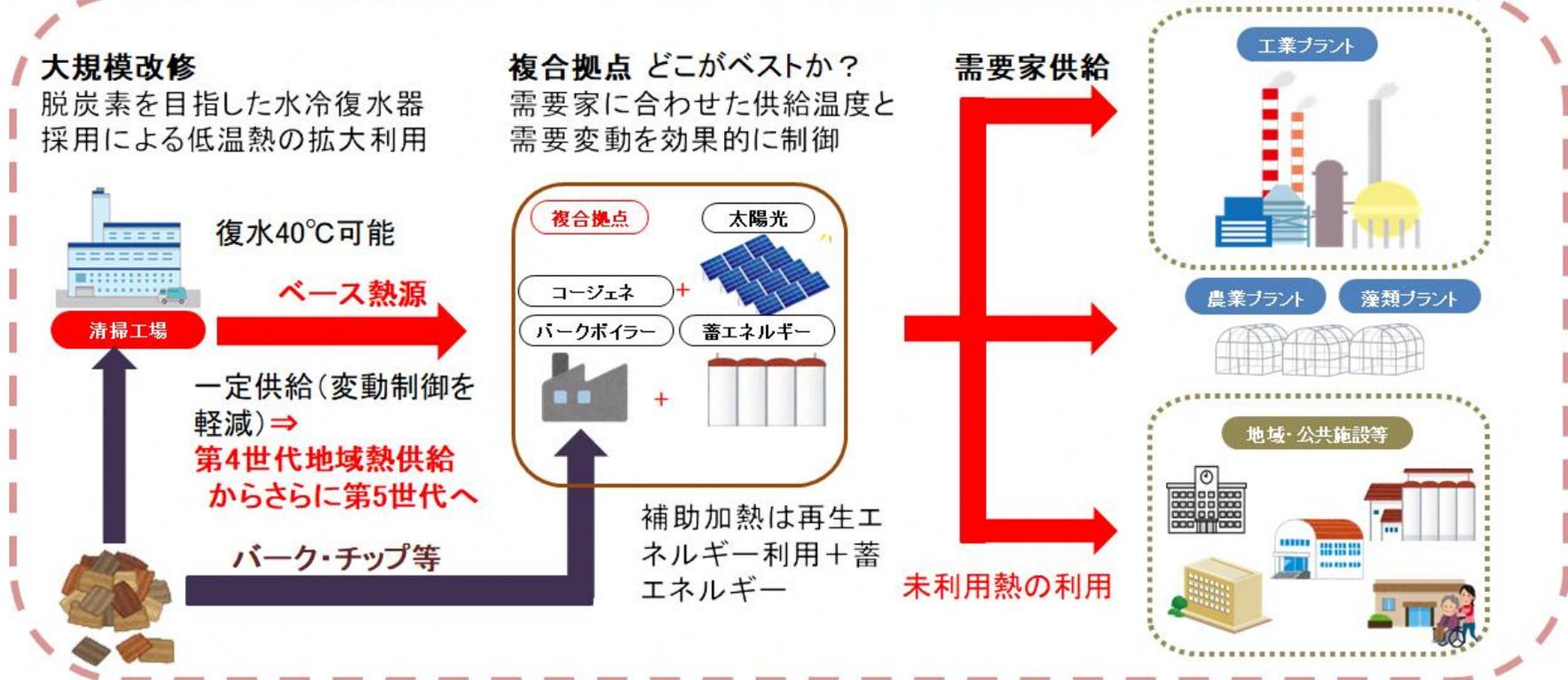


図 4-21 清掃工場を中心としたエネルギー分野における地域循環共生圏（イメージ）

参考文献

- [4-1] 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)
- [4-2] ふじみ衛生組合 HP, <https://fujimieiseikumiai.jp/>, (2023)
- [4-3] 佐賀市、佐賀市地域循環共生圏とは？HP,  
<https://www.city.saga.lg.jp/main/57144.html>, (2022)
- [4-4] タテホ化学工業, <https://tateho-chemical.com/labo/page012.html> を参考に作表
- [4-5] 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) , 熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究,  
[https://www.epoc.gr.jp/katudou\\_old/kenkyukai/200331/pdf/200331\\_03.pdf](https://www.epoc.gr.jp/katudou_old/kenkyukai/200331/pdf/200331_03.pdf), (2008)
- [4-6] 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)
- [4-7] 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)

## 第5章 令和4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）検討会の開催等

### 5-1. 令和4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）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、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による検討会を3回開催した。

	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

以下に第1回検討会～第3回検討会の議事録から一部抜粋して以下に記載する。

#### 第1回検討会

開催日時	令和4年7月5日（火）14:00～16:00	
開催方法（場所）	対面（一部 Web）開催（佐賀市清掃工場管理棟2階大会議室）	
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（森、田中）、エネルギー総合工学研究所（森山、濱田）、西日本プラント工業（秦、林）他	
	協力者：荏原環境プラント（小川、大野）	
	環境省：高橋専門員（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	竹を燃料として考えられているが、どのような状態で清掃工場まで運搬するのか。	地域の課題で竹林が放置されているため、燃料として竹を検討しているものの、日本全国見ても好事例は見当たらない。伐採方法、運搬方法についても今後検討が必要と考える。現在竹チップの調達が可能のため、まずは混焼が可能かどうかも含め調達方法と同様に検討していく。

	丸太の端材は破砕するのが大変なため今後実証するなかで他の廃材と合わせて破砕してはどうか。	破砕方法や破砕機は今後災害木などの受入れも検討した上で、前処理として効率の良いベストな方法や機器を検討していく。
バイオマス混焼による実証試験	R3 年度の主灰と飛灰のダイオキシンデータを載せて頂きたい。	現在もみ殻やバークの混焼でダイオキシンの値が高いといった事はない。 通常行っているダイオキシン測定データを記載していく。(本報告書 3-2-3 にて記載)
	圧力波式スートブロワを SH の 1 段と 2 段の間に取付予定となっているが水管等の腐食が激しい所と認識しているので、取付個所はプラントメーカーと協議して決めた方が安全ではないか。	流量や温度は炉を出た減温する前で測定している。燃烧温度との比較は行っていないが混焼に対する熱やエネルギーの影響をボイラの蒸気流量や発電量での評価をしている。現在 5%の混焼ではエネルギーの観点からみても変化は見られない。 燃烧温度は混焼に対して影響が出る所なので、記載する。(本報告書 3-2-2 にて記載)
熱供給方法の検討	温度差発電については検討されているか。	4 月に嬉野温泉にある温度差発電に視察を行った。 今度メーカーとの打ち合わせを清掃センターで予定しており、具体的にどの場所で温度差発電が可能か検討を進める。
	熱供給先が検討されているが熱バランスについても整理されているか。	清掃センターの運用に合わせた、熱量、熱の種類、供給の時間帯など幅広く検討を進めていく。

## 第 2 回検討会

開催日時	令和 4 年 12 月 23 日 (金) 14:00~16:00
開催方法 (場所)	対面 (一部 Web) 開催 (佐賀市役所 3-2 会議室)
出席者 (敬称)	委員：島岡委員長 (web)、岩永副委員長、大野委員

略)	受託事業者：佐賀市（森、田中）、エネルギー総合工学研究所（森山、手塚）、西日本プラント工業（秦、林）、九州電力株式会社佐賀支店（川内、北原）他	
	協力者：荏原環境プラント（小川、大野、今村）	
	環境省：北垣係長、高橋専門員	
	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	災害廃棄物等の可燃性粗大ゴミを切断する機械が清掃工場にあると思うが、ダム流木や支障木などを清掃工場に運搬し本機械を使って切断してはどうか。	ダム流木や支障木は大きく、かさばるため清掃工場に搬入する前に破砕する必要がある。今後、運搬方法やコスト面を考慮して対応していく。
	原材料の提供元において、本来処分費用が掛かっていると思われる。原材料の輸送費を提供元に負担してもらうことは可能か。	提供元も処分に困っており、輸送費を負担してもらえるかは交渉が必要である。 ダム周辺の放置竹林や支障木は、ダム管理事務所が清掃工場に直接持ち込む予定であるため、ダム流木も合わせて運搬してもらえよう交渉が必要である。
バイオマス混焼による実証試験	すべてのスートブロワを圧力波式に変更した場合の蒸気の削減量については、設計計算で抑えても良いのではなかと思われる。ただし、蒸気使用量は発電の部分にもかかってくるため、全体の蒸気バランスなども検討してもらいたい。	外観的なものは申し上げられないが、小さいと認識している。エネルギーという点ではメタンガスの方が普通なエネルギーであり、蒸気の創エネ量との単位当たりの比較は可能であるが、どういう比較をするのか確認が必要である。 改めて正しい回答をさせていただきます。
	もみ殻混焼時の未燃炭素については、しっかりと燃焼させることでボイラの熱回収量も増えるので、もみ殻などの浮遊物を燃焼させる方法についても検討してもらいたい。	燃焼管理やフィルター管理など混焼の仕方では燃焼の仕方は変わってくる。 もみ殻を燃焼させることに注力する事で、本業の清掃工場のオペレーションに影響が出ない事を大前提

		に、もみ殻を効果的に燃焼させる投入方法などを検討していく。
熱供給方法の検討	復水器の水冷化による熱の有効利用については、空冷式も残置し併用するのか。	水冷式の設備を追加導入し、空冷式の設備と併用する。
	全国的に水冷式の導入事例が増えてきているが、温暖化の影響もあり戻り温度を 20°C以下にすることが難しく、年間通じてのフローや収支が課題となっている。	仮定になるが、清掃工場の近くに飲料メーカーがあり、工場では地下水を毎日汲み上げて加温して利用していることから、地下水を加温する熱源として使えないか検討するほか、清掃工場内のプロセス熱の予備的な加温として使えないか検討していきたいと考えている。

### 第3回検討会

開催日時	令和5年2月13日(月) 14:00~15:40	
開催方法(場所)	対面(一部 Web) 開催(佐賀市清掃工場管理棟2階大会議室)	
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(森、田中)、エネルギー総合工学研究所(森山、手塚、濱田)、西日本プラント工業(林)、九州電力株式会社佐賀支店(川内、北原)他	
	協力者: 荏原環境プラント(小川、濱田、今村)他	
	環境省: 日垣課長補佐、北垣係長、高橋専門員	
	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	バークの水分率が 30%~70%とあるが、佐賀市清掃工場に搬入した時点のバークをサンプリングしているのか。	バークの一部をバイオマス発電所に出荷しており、その出荷時の通知を参考にしている。木材共販所では、バークを野積みしているので雨の次の日は水分率が高くなる傾向がある。水分低減対策としては、受け入れ側の佐賀市清掃工場に対応できないか考えている。

	<p>もみ殻の大きさが3mm程度なので、ピットからの搬出時にグラブバケツからこぼれたもみ殻が、次第にゴミの下に行きピットの下に溜まるのが懸念される。机上で模擬のもみ殻を使って検討してもらいたい。</p>	<p>もみ殻の様に掴めない細かなものはどの様な挙動をするのか読めないため、ゴミの下に溜まることも考えられる。対策には費用が掛かるため実験をしながら対応策を検討したいと思う。</p>
<p>バイオマス混焼による実証試験</p>	<p>バーク混焼時にCO濃度30ppm発生しているのは、バーク混焼率10～30%だけでなく、バークの水分率も影響しているのではないかと。</p>	<p>バークの水分率が高いと燃えにくい、混焼するゴミの水分率でも大きく変わると考えている。今後は、バークを入れる際に攪拌しゴミの均質化し燃焼を促したい。</p>
	<p>バーク水分率も均質化することで、CO濃度の変動が無くなることを期待している。今後は、バークの水分率とゴミの均質化の2段階に取り組んでいただきたい。</p>	
<p>熱供給方法の検討</p>	<p>蒸気を全て発電に回した場合には最大定格3,000kWと理解しているが、最低限確保する必要がある発電量や売電先はあるのか。また、佐賀市清掃工場での電力の自家消費はどの程度か。</p>	<p>場外への売電量は1,500万kWh/年程度であり、公共施設の約110施設に供給している。実際には公共施設は約160施設あるが、佐賀市清掃工場をベース電源にした場合に市場電力に頼らずに済む約110施設に留めている状況である。もともとは、50～60施設に供給していたが、佐賀市清掃工場の電気施設を止めたことで余剰電力が増えたほか、みなし地産地消の考えもあり現在の約110施設に供給先が増えたところである。</p> <p>将来的には全体の発電量が落ちるのに伴い供給先も減らす必要があるため、市の施策を考える必要がある。</p>
	<p>夜間にごみを焼却し発生した電気を蓄電し、昼間に自家消費や売電に</p>	<p>TES(蓄熱)は蓄電池に比べ、設備投資が安い分ロスが大きい。両者を</p>

	<p>回してはどうか。蓄電池容量やタービン発電機の蒸気バランスが下がるなどの課題はあるが、蒸気と売却のレスを電気で調整する方が現実的である。次年度、検討してもらいたい。</p>	<p>比較し、最終的には佐賀市清掃工場との親和性も考慮したうえで、蓄熱するか蓄電するか検討していきたい。</p>
--	--	--

## 5-2. 令和4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の出席

環境省が実施する「令和4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。

日時：令和5年1月30日 11:05～11:35

場所：オンライン会議

内容：本事業内容についての審査等委員会への業務報告

## 5-3. 令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO<sub>2</sub>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4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO<sub>2</sub>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や検討会へのオブザーバ出席をした。

### 5-3-1 検討会出席状況

第一回検討会 令和4年10月5日（オブザーバ参加：web）

第二回検討会 令和5年3月6日予定（オブザーバ参加予定：web）

## 第6章 共同実施者との打合せ

	日 時	出席者	主な打合せ内容
1	2022年4月25日 10:00～12:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・R4 事業内容の検討 ・契約手続きについて など
2	2022年5月16日 13:00～16:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第1回検討会について ・実証内容の検討について など
3	2022年6月8日 10:00～12:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第1回検討会について など
4	2022年7月21日 15:30～18:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第1回検討会の委員コメントに対する対応について ・熱利用に関する確認事項について など
5	2022年8月18日 14:00～16:20	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・オフライン熱供給について ・原料輸送コストについて ・エネルギー検討 など
6	2022年9月28日 14:00～16:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・実証(バイオマス混焼)の状況について ・視察報告について ・第2回検討会について など
7	2022年10月18日 14:00～16:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・原料調達状況について ・第2回検討会について ・上位事業検討会について など
8	2022年11月16日 10:00～12:10	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第2回検討会について ・原料調達状況について ・もみ殻の流動解析について など
9	2022年12月5日 14:00～17:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第2回検討会について など
10	2022年12月23日 16:10～16:50	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・第2回検討会の委員コメントに対する対応・次年度計画について など
11	2023年1月6日 14:00～16:00	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・R5 年度委託業務実施要領 ・R5 年度見積書について ・R4 成果報告書 ・次年度継続審査会について など
12	2023年1月30日	佐賀市、IAE、 NPC、九電	・審査委員会フォローアップ ・R4 成果報告書 ・第三回検討会について
13	2023年2月13日	佐賀市、IAE、	・R4 成果報告書について

		NPC、九電	・熱需要家施設の視察報告
14	2023年2月20日	佐賀市、IAE、NPC、九電	・R4 成果報告書について ・熱供給の考え方

## 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4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	パークを中心として1900トン程度調達可能と 考えられる 家具端材、流木などの調達可能性の精度をアッ プ
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	パークを中心として一炉あたり5t/日以上混焼 可能であることを確認し、スートブロウを 実装した 現在混焼実施中のみ殻の実績を踏まえ検討
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	R3年度のエネルギー回収、利用状況等につい て実績値を集約した オフライン熱供給について検討した 集約結果を基に設備投資と熱供給計画の方向 性を検討
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	エネルギー分野における地域循環共生圏モデ ルの全体イメージを構成した 清掃工場を中心としたエネルギー供給計画を 検討

## 7-2. 今後のスケジュール

		R5年度	
1号炉の操炉計画		運転	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、流木、木製パレット等
	バイオマス調査	調達システムの計画策定、具現化 (種類、量、収集運搬、貯留、コスト等の評価を経た方向性)	
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	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 → 過年度比較、諸データ蓄積、混焼マニュアルへ反映	
	各種分析	★組成 ★ごみ質 ★灰 ★排ガス、灰等のダイオキシン類	★組成 ★ごみ質 ★灰 ★排ガス、灰等のダイオキシン類
③熱供給方法の検討	熱供給方法の検討	熱供給システムの検討、熱供給計画の策定	
検討会		★第1回	★第2回      ★第3回

#### バイオマス運搬について

- ・ バーク、もみ殻を中心に家具端材、流木や竹などの調達を行う予定。

#### ごみ質分析について

- ・ 混焼対象を含めたごみ組成分析を行う。算出された値は混焼率等の試算にも用いる。

#### 混焼実験

- ・ 焼却炉 3 炉中 1 炉で混焼試験の経過観察を行う。

#### 灰落とし装置

- ・ 圧力波式スートブロワの効果の確認を行っていく。下期に撤去工事を予定。

#### 炉内影響調査

- ・ 日常の運転データや炉停止時に内部調査を行い、混焼による影響や灰落とし装置転換の影響を確認する。

#### 灰組成分析

- ・ 混焼による灰分の残留成分の分析を行う。主灰と飛灰の分析を行う。

#### 熱供給方法の検討

- ・ 新たな熱利用方法の机上検討や周辺企業へのヒアリング等の熱供給計画の検討を行う。

### 7-3. 事業のCO<sub>2</sub>排出量削減効果

	項目		単位
①	<b>原料バイオマスの搬送</b>	<b>45.67</b>	<b>t-CO<sub>2</sub></b>
(1)	もみ殻投入量	410.00	t
(2)	CO <sub>2</sub> 排出削減量(トラック移動平均)	9.36	t-CO <sub>2</sub>
(3)	もみ殻投入量最大想定	2000.00	t
(4)	CO <sub>2</sub> 排出削減量(トラック総移動距離)	45.67	t-CO <sub>2</sub>
②	<b>バイオマスの導入</b>	<b>1968.39</b>	<b>t-CO<sub>2</sub></b>
(1)	もみ殻投入量想定	2000.00	t
(2)	もみ殻発熱量	14.20	GJ/t
(3)	もみ殻発熱量年間	28400.00	GJ
(4)	重油発熱量	39.10	MJ/L
(5)	重油換算	726.34	kL
(6)	重油CO <sub>2</sub> 発生量原単位	2.71	t-CO <sub>2</sub> /kL
(7)	年間削減量(重油換算)	1968.39	t-CO <sub>2</sub>
③	<b>スートブロワの方式変更</b>	<b>327.22</b>	<b>t-CO<sub>2</sub></b>
(1)	スートブロワ蒸気量実績	1711.84	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	4776.03	GJ
(4)	重油発熱量	39.10	MJ/L
(5)	重油換算	122.15	kL
(6)	重油CO <sub>2</sub> 発生量原単位	2.71	t-CO <sub>2</sub> /kL
(7)	年間削減量(重油換算)	331.02	t-CO <sub>2</sub>
(8)	メタンガス使用量による年間CO <sub>2</sub> 排出量	3.80	t-CO <sub>2</sub>
(9)	年間削減量合計	327.22	t-CO <sub>2</sub>
<b>合計削減量</b>		<b>2341.29</b>	<b>t-CO<sub>2</sub></b>

## 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、地域の自立・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はいるものの、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トロブロー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、類似施設であれば取り組みが容易である。ストロブローの変更においても処理方式を問わず比較的柔軟に対応することができるため汎用性が高い。

したがって、本事業から事業モデルを構築することが出来れば、持続可能な清掃工場モデルとして有用であり、自治体関係者の共感やモチベーションにもつながるものと期待している。

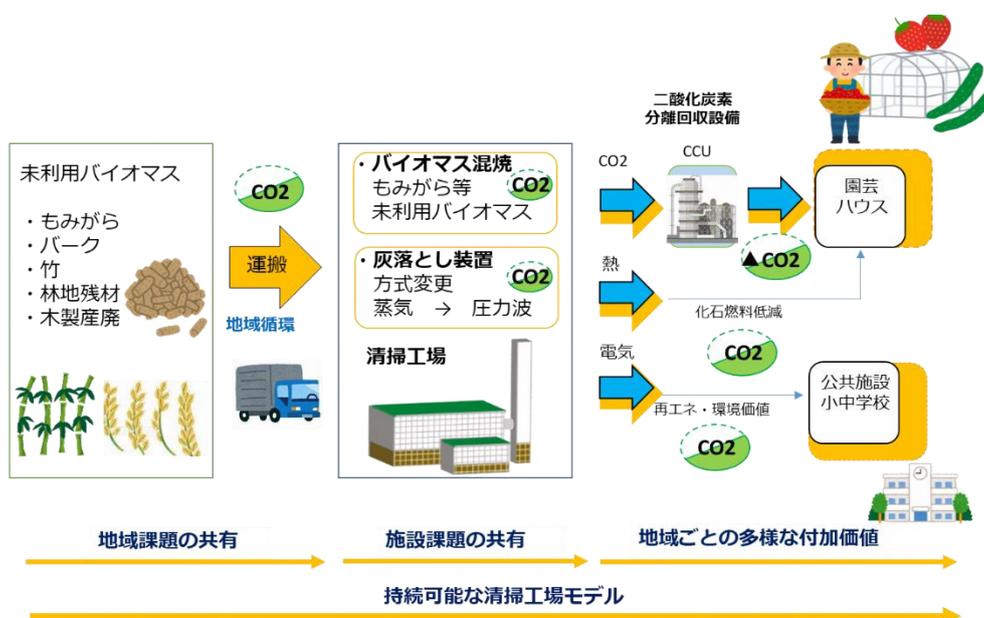


図 7-1 事業の横展開の可能性

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。