

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
（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からの
エネルギー回収高度化実証）

報告書

令和5年3月

株式会社 エックス都市研究所
国立研究開発法人国立環境研究所
株式会社東海クリーン
公益財団法人廃棄物・3R研究財団

概要

本実証は、廃棄物処理施設からの熱供給事業を実証するものである。実施体制は、株式会社エックス都市研究所が代表事業者を務め、国立研究開発法人国立環境研究所、株式会社東海クリーン、及び公益財団法人廃棄物・3R研究財団の3者の共同事業者と、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、株式会社アクトリー、アイフォーコム・スマートエコロジー株式会社、及び株式会社早稲田環境研究所の4者の再委託者で構成される。実証フィールドである産業廃棄物処理施設は、株式会社東海クリーンが所有し、茨城県那珂郡東海村の平原南部工業団地に立地する。

本実証は、各参画事業者の特性を踏まえ、システム理論の検討・整理のパート、フィールド実証のパート、自治体への展開検討のパートに区分し、これらを互いに連携させる構成で実施するものとした。この構成は、廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏の実効性を具体的に高めることを意図している。以下、本業務の概要を実施項目別に記載する。

（１）産業への蒸気安定供給システムの基本設計

蒸気供給システムの基本構成を示し、構成を成立させるための基本概念を設計した。システムの評価方法の検討を行い、設計した概念を評価した。評価指標は、費用対効果・CO2削減効果とし、特定のケースを設定した上で評価を実施した。

また、ポテンシャルの拡大推計として、令和3年度に化学コンビナートの蒸気利用状況調査を3つの工場で実施していたが、蒸気供給対象となる残り1つの工場のデータを追加収集した。さらに、Rカーブ解析と工場診断を行った。その結果、蒸気圧が高い方が蒸気共同利用の効果は大きくなるが、焼却施設で蒸気製造設備の初期投資や運転費用を勘案すると、中圧蒸気（1～2 MPaG）程度の蒸気供給でも十分な効果が期待できることが分かった。その他の省エネの工夫の検討を行った。加えて、概念設計の一環として、配管敷設構想において検討すべき事項について、技術的課題と非技術的課題を整理した。

（２）地域の熱供給需給管理システム実証

工業団地に立地する焼却施設として、株式会社東海クリーンを実証フィールドとして選定した。周辺のアスファルトプラント、リサイクル施設、鋳造工場など3社の熱需要家の協力を得て、詳細調査を実施した。実証全体では、需要家調査を行って需要規模を調査するとともに、システム導入した場合の熱の需給予測を行って安定的に蒸気を供給できるようにするための、エネルギーマネジメントシステムを作成することを計画している。

令和4年度は、IoT・AIによる熱需給管理システムの構築に向けた要件定義を完了させた。また、近隣の3つの工場の熱需要・電力需要を詳細調査し、実データに基づく熱需要解析を行い、傾向から課題を把握し、必要となる各種計画データを抽出した。また、どの種類の燃料計器からもデータを取得できるように方法の検討を行った。それらを基に、令和5年度のEMSの開発に向けて、システム機能の定義と仕様・設計を行った。

詳細調査で得られた電力・熱需要の結果から、EMS を導入して熱需要を平準化させる場合と、EMS を導入せず計画調整がなされない場合の利用率を比較した。結果、EMS を導入した場合は EMS を導入しない場合と比較して、エネルギー効率が 4.6 倍に増加し、EMS 導入による利用効率の向上効果が確認できた。

（３）自治体における展開可能性の検討

令和３年度に行った自治体向けアンケート調査の集計結果について、分類を行い、検討対象の絞り込みを行った。また、先行事例である横浜市と恵庭市及び民間の事業者を対象としたヒアリング調査を行い、事業案件の成立までの経緯や運営に関する情報を収集した。これらの情報を基に、プラントメーカー５社の参加する意見交換会を２回開催し、熱供給事業の普及展開に係る課題抽出を行ったところ、海外での熱供給事例や、熱供給の事業主体に関して関心が集まった。なお、第２回の意見交換会では、事業の計画段階から立地を踏まえた立案や、熱供給の推進における国の役割の重要性も指摘された。

加えて、実施主体に着目し、ごみ焼却施設からのエネルギー回収に係る PFI 事例を収集整理し、示した。

（４）工業団地及び水平展開時の CO₂ 削減費用対効果拡大推計

将来人口予測及び廃棄物発生状況を整理し、廃棄物組成と家計消費の紐づけを行った上で、これら２つのデータで推移予測を行い、結果をデータベース化した。

また、株式会社東海クリーンでの実証で得た理論検討の成果について、妥当性を確認し、工業団地での拡大推計実施に向けた考え方、留意点を考察した。さらに、化学コンビナートの熱需要の推計を行い、化学コンビナート別の熱需要量を示し、輸送コストの算定と、拡大推計に向けた質的・量的な推移シナリオを特定した。これらを基に令和５年度は、工業団地、化学コンビナートそれぞれでの CO₂ 削減効果について、全国展開した場合の拡大推計の結論を出す予定である。

（５）課題の整理

株式会社エックス都市研究所が、上記のパート間の連携調整を行うとともに、各項目から得られた知見を整理して、廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオに関する横断的な検討課題を取りまとめた。課題は、設計面、運用面、政策活用面の３つの側面に集約した。これらの課題を解決する方策として、効果的に知見を共有していくことが最も効果的であると考察した。

Summary

This study entails testing the feasibility of using a waste treatment facility to establish a heat-generating operation (i.e., specifically using steam). Overall, the operation will consist of the following stakeholders: EX Research Institute Ltd., which will serve as the representative business operator; additionally, this will be a joint venture between the National Institute for Environmental Studies, Tokai Clean Co. Ltd., the Japan Waste Research Foundation, and four subcontractors, namely, the Institute of Applied Energy Engineering, Actree Co. Ltd., iFORCOM Smart Ecology Co. Ltd., and the Waseda Environmental Institute. The industrial waste treatment facility, which serves as the verification site, is owned by Tokai Clean Co. Ltd. and located in Hiraharananbu Industrial Park in Tōkai-mura, Naka-gun, Ibaraki Prefecture.

Based on the characteristics of each stakeholder, verification will be divided into the following spheres: system theory examination/regulation, field verification, and an examination of deployment to local government, and all these processes will be executed with an interlinked configuration. This configuration is specifically intended to enhance the effectiveness of regional circulation/symbiosis centered around waste treatment facilities. An outline of this process for each action item is presented below:

(1)The basic design of a stable steam supply system for an industrial context

We first presented the basic configuration of the steam supply system and elaborated on basic processes underlying the establishment of the configuration. Next, we estimated the cost-effectiveness and benefits of the steam supplied system.

In addition, to determine the feasibility of the solution at hand, we conducted a survey of steam usage at three facilities in chemical industrial complexes in FY2021, and we also collected additional data for another facility to which steam was to be supplied. Furthermore, through R-curve analysis and factory diagnosis, we found that the higher the steam pressure, the greater the effects of the shared use of steam. Considering the initial investment and operational costs of steam production equipment in the incineration facility, we found that benefits can be expected even with a medium-pressure steam supply (1 to 2 MPaG). We also looked at other energy-saving devices. In addition, part of the conceptual design involved resolving technical and non-technical issues linked to the installation of piping.

(2) Verification of the local heat supply and demand management system

An incineration facility located in an industrial park (i.e., Tokai Clean) was selected as the verification site. A detailed survey was conducted with the cooperation of three major consumers of heat: a nearby asphalt plant, a recycling facility, and a foundry. In addition to conducting consumer surveys to investigate the scale of demand throughout the verification period, we intend to create an energy management system to predict the supply and demand of heat should the system be implemented, to ensure a stable supply of steam.

In FY2022, we finished defining the requirements for building a heating supply and demand management system using IoT and AI. We also conducted a detailed survey of the heat and power demand of three nearby factories.

This was done through an analysis of heat demand based on actual data; this approach yielded insights that can be directly applied towards planning. We also investigated methods for acquiring data from fuel gauges. Overall, we defined system functions and delved into the specifications and designs with a focus on EMS development in 2023. Based on power and heat demand results obtained from detailed surveys, we compared the utilization rate prior to when EMS was introduced and after it was introduced. We found that when EMS was introduced, energy efficiency was 4.6 times greater than that prior to its introduction, confirming that the introduction of EMS resulted in an increased efficiency.

(3) Feasibility of the project through the lens of local governments

We classified the aggregate results of a questionnaire survey of local governments conducted in 2021 and narrowed down the subjects for consideration. We also conducted interview surveys targeting Yokohama and Eniwa-shi, which served as precedents, collecting information on the process leading up to the establishment of the project and its operations. Based on this information, we held two opinion exchange sessions in which five plant manufacturers participated; these plants cited issues related to the spread and development of heating supply operations. At a second such meeting, the importance of generating proposals that are location-specific at the beginning of the project planning stage, and promoting the proposals under government leadership was emphasized.

In addition, with a focus on the implementing bodies, we also collected and presented PFI cases related to energy recovery from waste incineration facilities.

(4) Estimating expanded CO2 reduction cost-effectiveness at industrial parks during horizontal development

After determining future population projections and waste generation conditions and linking waste composition with household consumption, we used these two datasets to predict transitions, with results entered into a database. In addition, we also confirmed the validity of the theoretical study results obtained from the verification conducted at Tokai Clean Co., Ltd., considering opinions and points to be noted when making projections for industrial parks. Furthermore, we also estimated heating demand for chemical industrial complexes; this was done by calculating transport costs and identifying qualitative and quantitative transition scenarios for the projections. Overall, our plan is to draw conclusions regarding benefits of reducing CO2 emissions at industrial parks and chemical industrial complexes, with the aim of using these conclusions to supplement projections of a nationwide expansion in 2023.

(5) Resolving issues

EX Research Institute Ltd. coordinated the parts noted above, while also organizing knowledge obtained from each to summarize cross-sectoral study issues related to dissemination scenarios for advanced heat recovery from waste incineration facilities, with issues summarized in terms of design, operations, and policy utilization aspects. We considered that effective sharing of knowledge is the most effective way to resolve these issues.

目 次

第 1 章	事前準備、作業計画書の作成等	1
第 2 章	産業への蒸気安定供給システムの基本設計	7
2.1	蒸気供給システムの概念設計	8
2.2	ポテンシャルの拡大推計と課題の整理 (熱需要側からの視点・化学コンビナート)	15
2.3	スケジュールの検討	43
別添 2-1	蒸気供給システムの概念設計	47
第 3 章	地域の熱供給需給管理システム実証	51
3.1	システム運用ルールの策定	55
3.2	熱電 EMS の構築	60
3.3	CO ₂ 削減・費用対効果	89
3.4	実証計画の更新	97
3.5	スケジュールの検討	101
別添 3-1	実測調査に関する詳細報告	105
第 4 章	自治体における展開可能性の検討	111
4.1	焼却施設からの蒸気利用の波及に向けた課題の整理	112
4.2	ポテンシャルの拡大推計と課題の整理 (熱供給側からの視点・一般廃棄物焼却施設)	118
2.3	スケジュールの検討	127
第 5 章	工業団地及び水平展開時の CO ₂ 削減費用対効果拡大推計	129
5.1	廃棄物の質的及び量的な推移予測	129
5.2	工業団地での拡大推計	134
5.3	水平展開した場合の拡大推計(全国の化学コンビナート)	136
5.4	スケジュールの検討	141
第 6 章	課題の整理	143
6.1	設計面における論点別の検討	146
6.2	運用面における論点別の検討	155
6.3	政策活用面における論点別の検討	166
6.4	総合面における論点別の検討	170
別添 6-1	熱風供給可能な距離に関する調査結果	181
別添 6-2	設備設計とエネルギーバランス	182
別添 6-3	蒸気価格の設定に関する情報整理	191

第7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（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）検討会の開催	189
第8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 審査等委員会」への出席	194
第9章	令和4年度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	195
第10章	環境省及び共同事業者との打合せ	195

表 0-1 事業者名略称

略称	事業者名
EXRI	株式会社エックス都市研究所
NIES	国立研究開発法人国立環境研究所
IAE	一般財団法人エネルギー総合工学研究所
東海C	株式会社東海クリーン
JWRF	公益財団法人廃棄物・3R 研究財団
IFC	アイフォーコム・スマートエコロジー株式会社
WEI	株式会社早稲田環境研究所

表 0-2 タイトル及び業務項目の通称（番号は仕様書に沿う）

通称	タイトル及び業務項目の正式名称
東海村実証	脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）委託業務
EXRI パート 1	（1）事前準備、作業計画書の作成等
NIES パート 1 ①NIES パート 1 ②IAE パート	（2）産業への蒸気安定供給システムの基本設計 ①蒸気供給システムの概念設計 ②ポテンシャルの拡大推計と課題の整理（熱需要側からの視点・化学コンビナート）
東海C パート	（3）地域の熱供給需給管理システム実証
JWRF パート	（4）自治体における展開可能性の検討
NIES パート 2	（5）工業団地及び水平展開時の CO ₂ 削減費用対効果拡大推計
EXRI パート 2	（6）まとめ及び今後の課題
実証検討会	（7）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（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）検討会の開催
審査委員会	（8）「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
ヒアリング協力	（9）「令和 4 年度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
関係者 MTG	（10）共同実施者との打ち合わせ
報告書	（11）業務報告書の作成

第 1 章 事前準備、作業計画の作成等

本業務の実施項目、実施体制、緊急時の連絡方法、結果の報告要領、その他業務上必要となる事項について記載した作業計画書を策定し、環境省調査職員の下承を得た。また、令和 3 年度の業務の成果を踏まえ、目的及び発展性、業務の基本方針と各パートの目標、業務全体の実施フロー、業務実施体制、業務実施スケジュールを作成した。これらの内容を以下に概説する。

（１）業務の目的及び発展性

廃棄物処理施設で発電が行われている事例は多く存在するが、その発電効率は 20 数%に留まっており、最新のガス火力発電所であれば 60%を越える発電効率であることを踏まえると、効率面では不利である。一方で、廃棄物処理施設で発生する熱を施設周辺工場で利用することで、熱需給のミスマッチが解消され、大きな CO₂削減効果と、高い経済性を期待することができる。

本実証事業は、地域の熱供給需給管理システムについて、システム理論の検討・整理とフィールド実証とを直結させる構成で実施するものである。また、実証を通じて廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめ、廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏の実効性を具体的に高めることを目的としている。

本業務の構成を図 1-1 に示す。

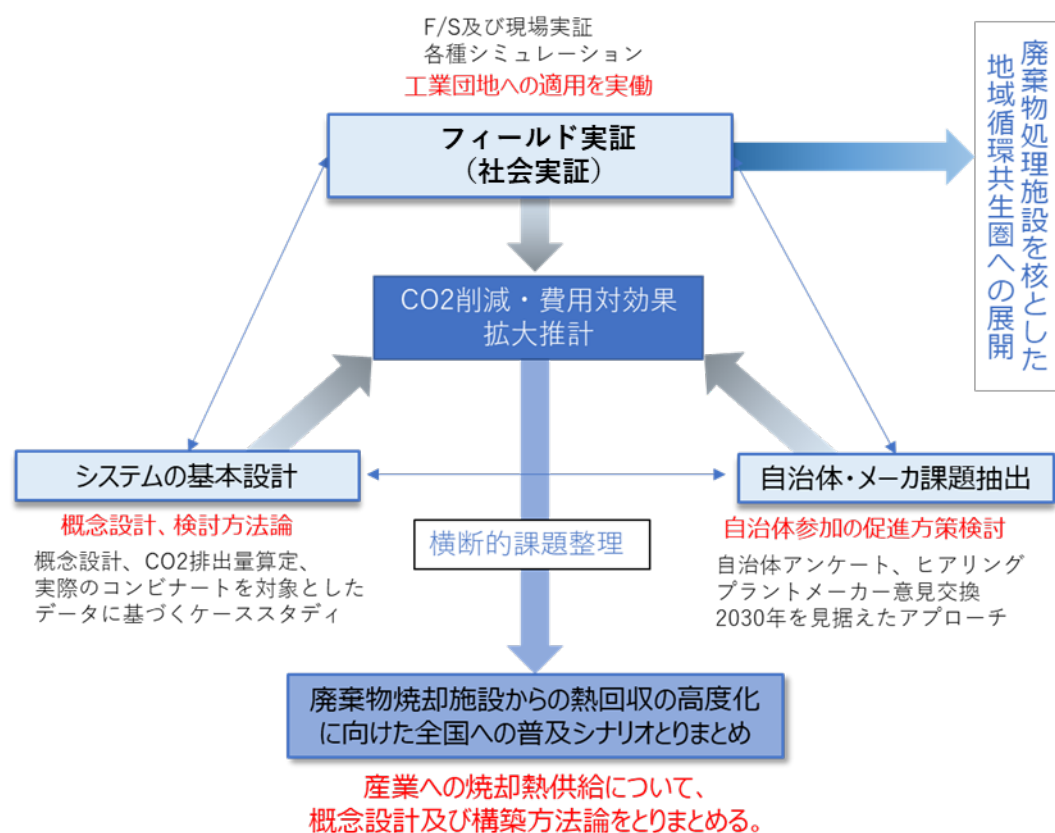


図 1-1 本業務の構成

（２）業務の基本方針と各パートの目標

本業務の基本コンセプトを以下に、各パートの目標を表 1-1 に示す。

＜本業務の基本コンセプト＞

- 全体統括を行い、共同事業実施体制内のコミュニケーションを双方向に行い、概念設計、実証、自治体浸透のそれぞれの検討パートの有機的な情報連携を担保する。
- 工業団地で実証を進めることで、地域連携に必要な条件や障害事項に関するリアリティのある課題を把握する。
- 現在において「蒸気利用をする認識が広まっていないのはなぜか」といった踏み込んだ調査を行って、普及に向けた要件定義につなげる。
- 本事業を通じて関係者への普及啓発を同時に進める。

本業務では、令和３年度の熱需要調査の結果より、供給可能な熱量に対して需要が不足し、収入が十分に確保できず、事業採算が確保できないことから、別途、新規需要の誘致が必要となった。

一方で、別途、令和４年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏構築促進事業）「廃棄物処理施設からの余熱や発電した電力を地域において有効利用するために、熱や電力を利用する設備設置に対する余熱見込量や事業採算性の検討等を行い事業としての実現可能性を調査する事業」が実施されている（以降、ほしいも F/S という）。

ほしいも F/S は、ほしいも残渣の飼料化施設に特化した調査と、ポテンシャル、配管設計、事業採算性、環境性等の調査を実施した。本業務ではその成果も活用して、ほしいも残渣の飼料化施設と既存の需要家候補を含め、事業性及び CO₂ 削減効果を評価した。関連する補助事業採択案件との区分を図 1-2 に示す。

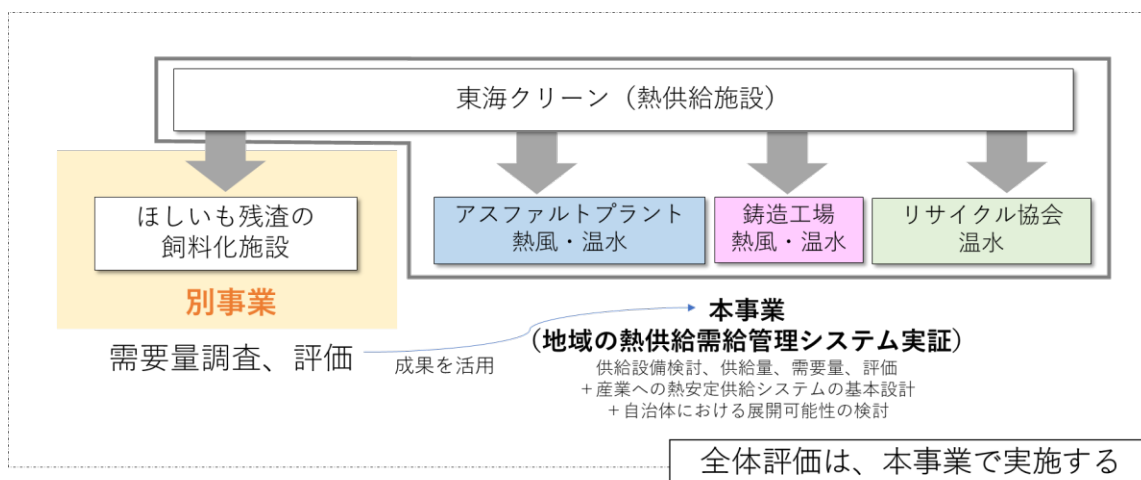


図 1-2 関連する補助事業採択案件との区分

表 1-1 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（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）目標

	項 目	採択時の技術の状況	最終目標	令和 4 年度の目標
0	全体目標	廃棄物処理施設で発電が行われているが、その発電効率は20数%に留まっており、最新のガス火力発電所であれば60%を越える発電効率であることを踏まえると、効率面では不利である。	実証を通して廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめる。	株式会社東海クリーンと近隣の3工場の熱需要調査により、需給管理システムの実施設計と要件定義を行うとともに、実施における熱需給管理システムの実現可能性および課題の整理を具体的に抽出する。これらの知見を活用し、石化コンビナートへの拡大推計及び自治体への普及シナリオに関する課題整理を行う。
1	産業への蒸気安定供給システムの基本設計	焼却炉の蒸気利用は、規模に応じた課題が異なるが、その適用性の情報が十分整理されていない。	大規模な蒸気需要が存在する化学コンビナートを対象に、蒸気供給を行う際の課題を整理し、課題が克服可能なシステム概念を示す。	既存研究や事例等を調査した上で、蒸気供給システムの基本構成を示す。化学コンビナートの蒸気利用状況調査を実施し、化学工場での高温高圧の蒸気条件の要求への対応要件を明確にする。
2	地域の熱供給需給管理システム実証	蒸気産業利用モデルの実証と CO ₂ 削減効果定量把握と費用対効果の検証、他地域への展開に向けた技術的・制度的課題が整理されていない。	一廃・産廃混焼炉である株式会社東海クリーンを核とした廃棄物エネルギーの蒸気産業利用モデルの実証と CO ₂ 削減効果定量把握と費用対効果の検証、他地域への展開に向けた技術的・制度的課題を明らかにする。「廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏」のモデルとなりうる構想を提示。	近隣の3工場の熱需要・電力需要の詳細を調査し、焼却施設からの熱供給の蒸気配管および熱需給管理システムの設計を完了。IoT・AIによる熱需給管理システムの構築に向けた要件定義を完了。熱利用と立地問題も考慮した熱需給管理システムの実現可能性および課題の整理を具体的に抽出する。
3	自治体における展開可能性の検討	自治体の次期廃棄物処理計画における焼却炉の位置づけに、蒸気利用をする認識が広まっていない。	プラントメーカー及び自治体の視点を集約し、焼却施設からの蒸気利用に向けた技術・法制度・データ共有上の課題の整理を行う。	自治体向けアンケート調査を行い、ごみ焼却施設からの蒸気利用の事例を体系的に整理する。また、先行事例及び有識者へのヒアリング調査等を通じてごみ焼却施設からみた技術・法制度・データ共有上の課題整理を行う。
4	工業団地及び水平展開時のCO ₂ 削減費用対効果拡大推計	焼却炉からの蒸気利用に関する実証データないため、CO ₂ 排出削減効果の推計が概算となっている。	実証試験における CO ₂ 排出削減効果を評価。化学コンビナートで蒸気供給を行った場合の費用対効果を評価。また、一般的な焼却施設と製造工場（工業団地）ペアでの CO ₂ 排出削減の費用対効果を示す。化学コンビナートへの大規模な蒸気供給を行うケースで、焼却発電に比べて2倍程度大きな CO ₂ 排出削減効果と経済性が得られることを検証。	今後の廃棄物組成の変化、及び処理対象廃棄物を時系列で整理する。実証で得られたデータや課題、理論検討の成果について、プラントメーカーや自治体からの情報を踏まえ、CO ₂ 削減費用対効果推計を行い、評価・検証を行うが、今年度はそのためのデータ収集を実施する。

(3) 業務の実施フロー

本業務の実施フローを図 1-3 に示す。

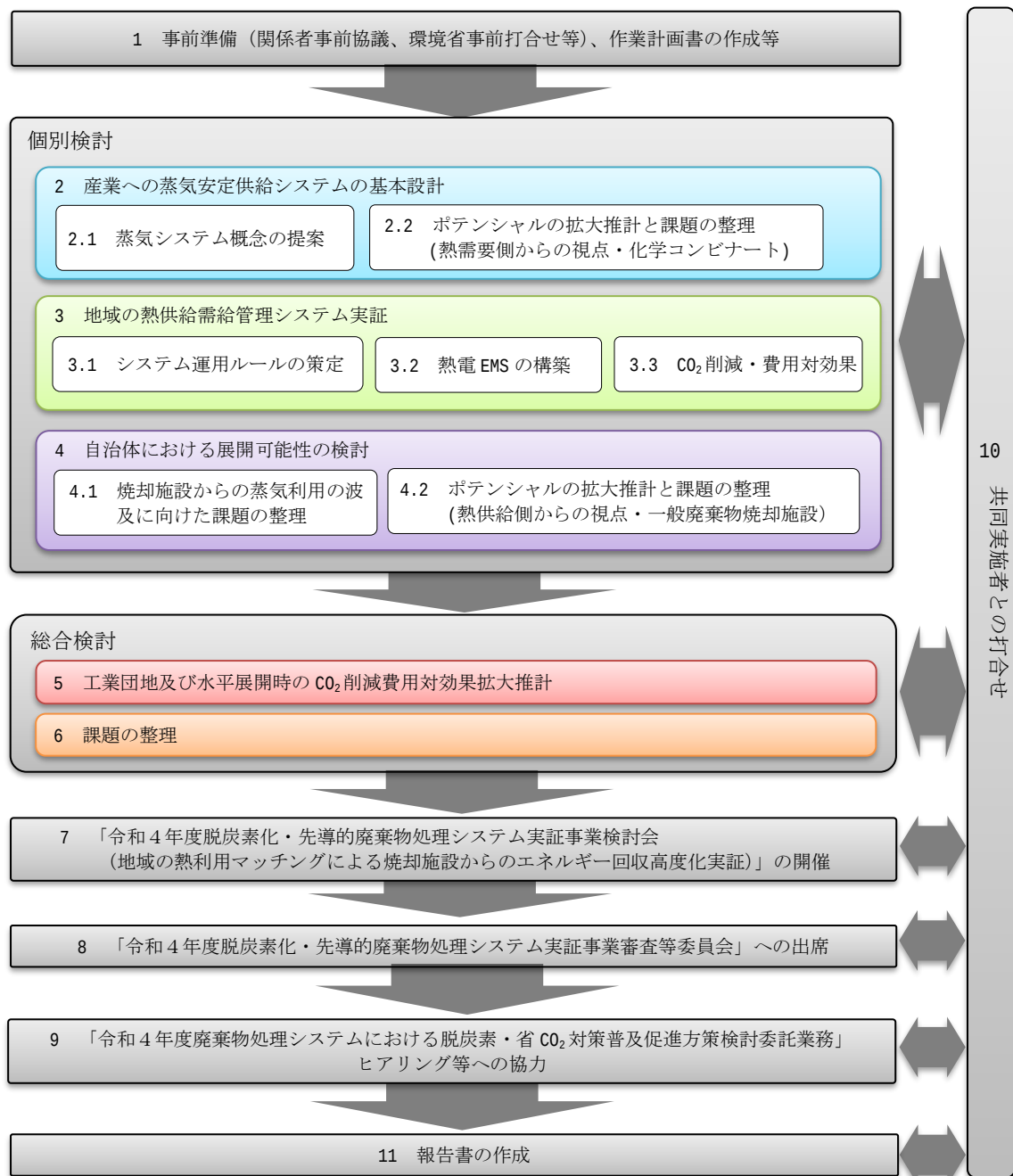


図 1-3 本業務の実施フロー

(4) 業務の実施体制

本業務は、株式会社エックス都市研究所、国立研究開発法人国立環境研究所、株式会社東海クリーン及び公益財団法人廃棄物・3R研究財団の4者を共同事業実施者として行うものである（図1-4参照）。

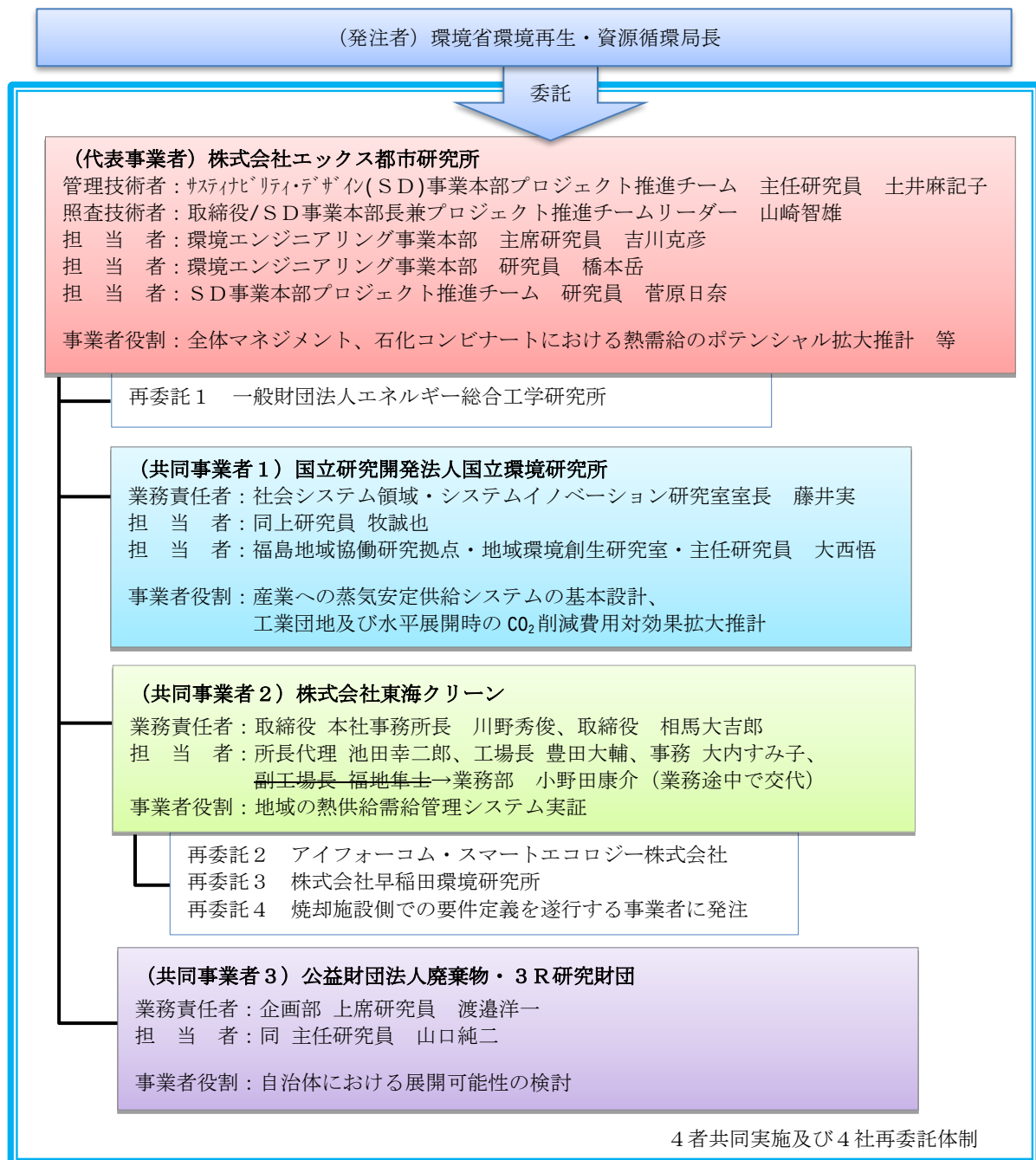


図1-4 本業務の実施体制

(5) 業務の実施スケジュール

本業務の実施スケジュールと実績を表 1-2 に示す。

表 1-2 本業務の実施スケジュールと実績

委託業務実施上の区分	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	摘要
(1) 事前準備、作業計画書の作成等													
・作業計画書の作成等													
・環境省打合せ			5/20				10/26		12/21				
・全体マネジメント													
(2) 産業への蒸気安定供給システムの基本設計													
① 蒸気供給システムの概念設計		システム構成の概念整理			蒸気供給による発電量減少とのトレードオフの検討 費用対効果の評価								
② ポテンシャルの拡大推計と課題の整理(熱需要側からの視点・化学コンビナート)		データ収集				課題の整理					蒸気共同利用検討		
(3) 地域の熱供給需給管理システム実証													
① システム運用ルール策定の策定			項目整理			地元行政への確認				需要家との協議			
② 熱電EMSの構築			需要予測の仕様設計			供給施設運用連携の仕様設計				全体の仕様設計			
③ CO ₂ 削減・費用対効果													
(4) 自治体における展開可能性の検討													
① 焼却施設からの蒸気利用の波及に向けた課題の整理			ヒアリングの整理と考察								データ共有用制度上の課題の整理		
② ポテンシャルの拡大推計と課題の整理(熱供給側からの視点・一般廃棄物焼却施設)						事例収集と整理							
(5) 工業団地及び水平展開時のCO ₂ 削減費用対効果拡大推計													
① 廃棄物の質的及び量的な推移予測						将来人口、廃棄物発生状況の整理							
② 工業団地での拡大推計						廃棄物組成と家計消費の紐づけ					将来推計		
③ 水平展開した場合の拡大推計						東海Cパートの検討結果の拡大推計							
						集約化による施設規模拡大の効果算定	石化コンビナートの蒸気需要量の算定				費用対効果の推計		
(6) 課題の整理													
(7) 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(地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証)検討会の開催		委員レク			第1回		第2回				進捗報告(メールベース)		
		委員レク、委嘱手					第1回				第2回	進捗報告	
(8) 「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											出席		
											1/30		
(9) 令和4年度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							検討会 オブザーブ 10/5				シンポジウム出席		
											検討会		
(10) 共同実施者との打合せ		キックオフ 全体会合 4/12		全体会合 6/17			全体会合 9/27			全体会合 12/27			
		随時個別MTG											
(11) 報告書の作成											素案		
① 業務報告書の作成											素案		
② 業務報告書の提出													末日
③ 業務完了報告書の提出													末日
④ 業務精算報告書の提出													末日

→ 予定 → 実績

第 2 章 産業への蒸気安定供給システムの基本設計

本事業では、産業への蒸気安定供給システムの基本設計として、蒸気供給システムのプロトタイプ設計を行い、評価方法の設定及び評価を実施した。

また、蒸気需要家が事業実施の判断を行う情報の事例作成に当たっての方法論とケーススタディの結果を示すため、Rカーブ解析と工場の省エネ診断を行った。その検討結果を以下に示す。また、焼却炉から産業への蒸気供給を行う際の課題を整理した。

令和 4 年度の業務目標及び達成事項を表 2-1 に示す。

表 2-1 令和 4 年度の業務目標及び達成事項

項目	内容
採択時の技術の状況	焼却炉の蒸気利用は、規模に応じて課題が異なるが、その適用性の情報が十分整理されていない。
本実証の最終目標	大規模な蒸気需要が存在する化学コンビナートを対象に、蒸気供給を行う際の課題を整理し、課題が克服可能なシステム概念を示す。
令和 4 年度の業務目標	2.1 既存研究や事例等を調査した上で、蒸気供給システムの基本構成を示す。 2.2 化学コンビナートの蒸気利用状況調査を実施し、化学工場での高温高圧の蒸気条件の要求への対応要件を明確にする。
令和 4 年度の達成事項	<u>2.1 蒸気供給システムの概念設計</u> 蒸気供給システムを成立させる概念の基本設計を行った。また、システムの評価方法の検討を行い、設計した概念を評価した。評価指標は、費用対効果・CO₂削減効果とし、特定のケースを設定した上で評価を実施した。 <u>2.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理</u> 令和 3 年度に、化学コンビナートの蒸気利用状況調査を、3 つの工場で実施していたが、蒸気供給対象となる残り 1 つの工場のデータを追加収集し、それを基盤としてモデル工場を設定した。その上で、当該コンビナートの立地需要家における蒸気供給の燃料削減効果と CO₂削減効果を把握した。さらに、蒸気圧が高い方が蒸気共同利用の効果は大きくなるが、焼却施設で蒸気製造設備の初期投資や運転費用を勘案すると、中圧蒸気（1 ～ 2 MPaG）程度の蒸気供給で十分な効果が期待できることが判った。加えて、焼却施設からの蒸気を共同利用する際の工夫について検討した。 得られた結果を以下に示す。 ①工場間でのさらなる効率改善の可能性の確認として、蒸気利用後の凝縮水を返送することの効果を確認したところ、CO₂排出量は、焼却側では大きく低減し、需要側は逆に少量の増加となるが、地域としては削減効果を得た。ボイラ給水用の純水の消費量は、増減の変化がプラスマイナスゼロとなり地域として削減効果がない事が分かった。 ②外部から工場へ蒸気を受け入れた上で、自工場での復水ロスを低減した場合、自家発電量の減少分を系統電力の増加で補っても、CO₂排出量を約 25%減少させることができ、復水ロスの低減の効果は大きいことが分かった。 ③概念設計の一環として、配管敷設構想で検討すべき事項として、技術的課題と非技術的課題を整理し、解説した。

2.1 蒸気供給システムの概念設計

本業務では、産業への蒸気安定供給システム概念について、基本設計を行った。概念の基本設計を行うにあたり、実施すべきこととして考えられる事項を、システムの基本設計プロセスとして表 2.1-1 に示す。具体的なシステムの基本設計を行うに当たっては、本事業の内容を表 2.1-1 に示すプロセスに当てはめて、汎用可能な概念として整理することが必要であると考えた。

表 2.1-1 システムの基本設計プロセス

項目	内容
目的の明確化	ビジネス目標や顧客のニーズを把握する必要がある。
ユーザーニーズの把握	市場調査やユーザーインタビューなどの調査を行う。
コンセプトの仮説立案	把握したニーズをもとに、仮説を立てる。
コンセプトの評価	作成したコンセプトを評価し、必要に応じて改善を加える。
コンセプトの決定	最終的なコンセプトを決定し、次の開発フェーズに進む。

※コンセプトの仮説立案と評価は繰り返し実施する。

2.1.1 概念の基本設計

(1) 目的の明確化

一般的に、概念設計とは「技術システムや製品・サービス（以下、事業という。）のコンセプトを定義し、この事業が何を提供するのか、どのように使われるか、どのような価値を提供するか等を明確にすること」である。

本事業のコンセプト化を支える背景と将来性について、「廃棄物焼却施設から特定の熱需要先に向けた蒸気供給における将来の効率性」に関する考え方を「産業への蒸気供給システム・概念設計」として整理した。なお、ここで設定する「特定の需要先」については、コージェネレーション（熱電供給）の場として代表的な位置にある、化学コンビナートとした。

その整理結果を、別添 2-1 に収載した。構成項目を下記に示す。

産業への蒸気安定供給システム（別添 2-1 参照）

蒸気供給が将来においても、効率の高い理想的な方法であることを概念的に示している。

1. 背景と将来性

(1) 廃棄物焼却施設から化学コンビナートへの蒸気供給の将来性と効率性

- 1) 温度帯別の熱供給システム
- 2) 廃棄物焼却熱の効率利用
- 3) 焼却炉からの蒸気供給における将来のゼロカーボン化

（２）ユーザーシナリオの作成

本業務でのユーザーとは、熱の供給・需給管理システムに参画するメンバーを指す。ユーザーが取り入れやすい概念となるようにシナリオを設定する。これにより、ユーザーが事業をどのように取り入れるかを理解し、ユーザーのニーズの明確化や、ユーザーが解決すべき問題点を明確にすることが可能となる。

コンビナートでのケーススタディや株式会社東海クリーンの焼却施設でのフィールド実証を通じ、パターンとして以下のユーザーシナリオを設定した。この分類であれば、更に細かい分岐はあるにせよ 3 MPa、300℃以下の蒸気供給についてはこれですべてのケースが網羅・整理されると想定している。

ユーザーシナリオ

- ①製造工場の熱製造方法：ボイラ/コージェネ
- ②熱供給の安定性担保： 必要/必要なし
- ③最終熱需要の形態： 蒸気/熱風
- ④配管の形態： 設計条件の違い（熱供給量/復水の有無/距離/ルート）

なお、①の製造工場の熱製造方法の評価の方法論は 2.2 項で示し、概念の基本設計に用いる。令和 5 年度は、各ケースに関する評価や選択の方法を整理して示す予定である。

（３）ユーザーツールの設定

本業務でのユーザーツールとは、一般的には、ユーザーインターフェースと言われているものを指しており、利用者が簡単に効果的に事業（システム）に参画できるようにするための、手段のことを言う。ユーザーシナリオは、運用しながらツールを最適化させていく開発手法において、重要な役割を果たす。ユーザーシナリオには、ユーザーが事業参画する状況や目的、環境、感情、ニーズ、問題、欲求などを詳細に反映することとなる。また、ユーザーシナリオは、ユーザーの行動パターンや意思決定プロセス、製品やサービスの機能やツールに対する反応なども表現する。したがって、シナリオはツールの仕様に反映されるとともに、ツールを通じて最適化されることになる。なお、本システムの主要なツールは、エネルギーマネジメントシステム（EMS）に当たると考えられる。

2.1.2 システム概念の評価方法の検討及び評価

システム概念の仮説の評価方法を検討し、特定のケースを設定し、前提条件を設定して、評価を実施した。

(1) 前提条件の設定

廃棄物焼却施設から化学コンビナートのような大きな蒸気需要を持つ製造工場（群）への蒸気供給について、その費用対効果・便益を示すこととした。蒸気を安定供給するシステムについては令和3年度の報告書で既に述べたとおり、図 2.1.2-1 に示すように蒸気配管に加えて、蓄熱槽（蒸気アキュムレータ）及びバックアップボイラから構成されることとした。なお、特定ケースの設定の適切性については、他のありうるケースも踏まえて、今後の検討の余地があることを付しておく。

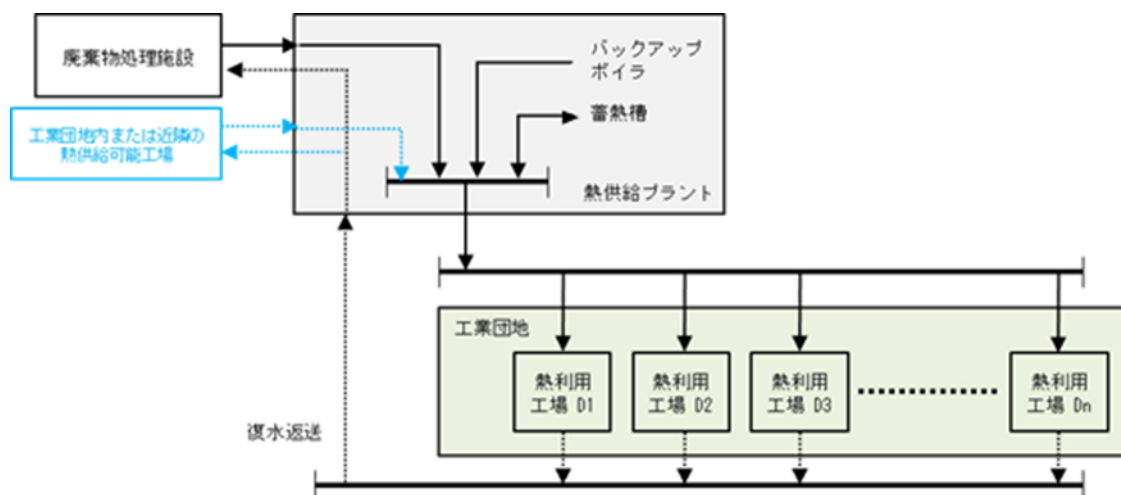


図 2.1.2-1 廃棄物焼却施設から製造工場への蒸気の安定供給の仕組み（モデルケース）

(2) 評価方法の検討

このような仕組み（モデルケース）を評価する上で必要な入力条件の項目を表 2.1.2-1 に示す。

表 2.1.2-1 入力条件

NO.	項目	単位
1	1 日のごみ焼却量	t / 日
2	ごみの低位発熱量	kJ/kg
3	廃棄物焼却施設の年間稼働日数	日
4	廃棄物焼却施設からの熱供給日数	日
5	熱需要先までの距離（導管の長さ）	m
6	熱需要量（蒸気供給量）と蒸気条件	t / h (MPa * °C)

化学コンビナートには、石炭、石油、天然ガスを燃料とするボイラが存在するが、ここでは化石燃料の中で中間的な CO₂ 排出係数を持つ、重油が利用されているケースを想定して評価を行うこととした。評価に利用する燃料や電力に関する各種係数や単価を表 2.1.2-2 及び表 2.1.2-3 に示す。

表 2.1.2-2 評価に用いる電力や化石燃料の CO₂ 排出係数及び効率等

項目	換算係数	単位	備考
電気事業者 CO ₂ 排出係数 (平均) 注 1)	0.000587	t-CO ₂ /kWh	
熱利用の化石燃料換算時の効率注 2)	90	%	ボイラ効率
電力の化石燃料換算時の効率注 3)	46.0	%	発電効率
C 重油の熱量注 4)	0.0418	GJ/ L	
C 重油の CO ₂ 排出係数注 4)	74.0	kg-CO ₂ /GJ	

注 1) 出典：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧，温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 2017 (2015 年度までの直近 5 年の平均値)

注 2) 出典：一般廃棄物焼却施設から熱供給する場合に想定される熱量から設定した規模の鋳鉄製ボイラの能力 (1,000～10,000MJ/h) における最新のボイラ効率(4 社平均値) (カタログ値)

注 3) 資源エネルギー庁，総合資源エネルギー調査会基本政策分科会 第 18 回会合，資料 2-5 (2015) を参考に設定

注 4) 出典：資源エネルギー庁，エネルギー白書 2017

表 2.1.2-3 経済性評価のための単価

種類	仕様	単価	備考
C 重油注 1)	-	58.0 円/L	2014 年度時点の価格 (参考：2011 年度～2020 年度の平均価格は 55.4 円/L)
電力 (売電)	バイオマス相当分 (60%) 注 2)	17 円/kWh	固定価格買取制度 (FIT) (2018～2021 年度) の価格
	非バイオマス相当分注 3)	13.6 円/kWh	特定規模電気事業者 (PPS 新電力) に売電の場合：2013 年調査時の平均的な価格

注 1) 出典：新電力ネット (https://pps-net.org/heavy_oil_ac)

注 2) 出典：資源エネルギー庁，固定価格買取制度 (https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saieue/kaitori/)

注 3) 出典：環境省 (2014) 平成 25 年度廃棄物発電の高度化及び売電支援事業委託業務

モデルケースについては、藤井ほか (2022) ²⁾ に掲載の値 (環境研究総合推進費 3-1905 の成果の一部を含む) を引用して示す。廃棄物焼却施設の規模や熱供給条件 (圧力，温度) などの計算条件を表 2.1.2-4 のように設定する。廃棄物焼却施設は、域内に化学コンビナートを有する、ある自治体が保有する廃棄物焼却施設を参考に設定した。費用対便益・効果の評価は、表 2.1.2-5 に示す算定手順で実施する。手順は以下で構成される。

①製造工場の蒸気需要やその製造条件の確認

②廃棄物焼却施設から蒸気供給を行った場合、発電を停止または削減する必要があるため、その発電量の把握

- ③製造工場での化石燃料消費とそれに伴う CO₂ 排出が削減される一方、廃棄物焼却施設で発電量が低下した分を系統電力から補うことによって CO₂ 排出が増加するため、これらの差分値としての CO₂ 排出削減量の把握
- ④蒸気供給のための追加施設の運転・維持補修に係る経費及び、製造工場での燃料削減や焼却施設での発電の停止や削減に伴う経費など、運転による正味便益（千円/年）の算出
- ⑤蒸気供給に必要なイニシャルの設備費（千円）の算定
- ⑥設備費を正味便益で除することによる、単純投資回収年数の算定

表 2.1.2-4 想定する廃棄物焼却施設及び蒸気供給条件²⁾

項目	単位
1 日のごみ焼却量 ^{注 1)}	660 t / 日
ごみの低位発熱量 ^{注 1)}	11.1 MJ/kg
発電効率（国内の平均的な値） ^{注 2)}	14%
廃棄物焼却施設の年間稼働日数 ^{注 3)}	280 日
廃棄物焼却施設からの熱供給日数 ^{注 4)}	280 日
蒸気需要先までの距離（導管の長さ）（仮定）	2,000 m
蒸気条件 ^{注 5)}	2.3MPa, 280℃
蒸気供給量 ^{注 5)}	87.2 t / h

注 1) 人口規模がある程度大きな産業都市に立地する廃棄物焼却施設を参考に設定

注 2) 出典：環境省「一般廃棄物処理事業実態調査（平成 29 年度版）」2019.3

注 3) 出典：全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の計画・設計要領」2006.6

注 4) 出典：化学工場の稼働日は、日本化学工業協会へのヒアリング（2015.11.17）によると 365 日/年。このため、熱供給日数は廃棄物焼却施設の年間稼働日数になる。

注 5) 同規模の廃棄物焼却施設の実績値を参考に設定。特に、廃棄物焼却施設の蒸気圧力が製造工場側の圧力を下回ると蒸気供給が行えないが、この蒸気条件で利用可能なプロセスが多く存在することを面談で確認した。

表 2.1.2-5 蒸気供給の費用対効果・便益の算定方法²⁾

算定項目	算定方法
①製造工場の蒸気需要	C重油ボイラで蒸気を製造しているケースを想定し、廃棄物焼却施設から供給する蒸気を全量利用可能な需要があるとする。高効率火力発電や再エネ電源の増加等を踏まえて、コジェネレーションを行わない想定とする。
②発電・燃料消費の変化	1日当たりのごみ処理量、ごみの低位発熱量、年間稼働日数から焼却熱量を算定し、これに平均的な発電効率を掛けて、廃棄物焼却施設で発電していた場合の発電量を求める。一方、発電を停止した場合に供給可能な蒸気量は実例を参考に設定する。蒸気供給に伴う製造工場側の化石燃料の削減量は、製造工場のボイラ効率を 90% として求める。
③CO ₂ 排出削減量	製造工場における燃料消費削減量に化石燃料の CO ₂ 排出係数を掛けて算出される CO ₂ 排出削減量から、廃棄物焼却施設における発電の減少量を補償するための電力購入に伴う CO ₂ 排出（電力量に電力の CO ₂ 排出係数を掛けて算出）を引き算して、トータルでの CO ₂ 排出削減量を評価する。
④運転費用	運転経費の削減費（削減できる化石燃料費）と増加分（消費電力の購入費及び発電の停止により失った売電収益）を算出する。運転管理には維持補修費、人件費、管理費（蒸気供給事業の実施に伴う事務所費用等の間接的な経費）が必要であり、年間の維持補修費は設備費（建築費も含む）の 5% と仮定する。 熱供給のために新たに必要となる運転人員は 1 人とし、人件費は 30 万円/月とする。管理費は、正味燃料代削減費用（廃棄物焼却施設の発電時の売電収入の減少を考慮した正味のエネルギー費用削減分）の 10% とする。
⑤蒸気供給付帯設備費	廃棄物焼却施設からの蒸気供給を安定化させる仕組みの考え方には幾つかのパターンが存在し得る。製造工場側が保有するボイラの出力調整によって変動を吸収できる場合もあれば、むしろ製造工場側では既設の古いボイラを撤去し、廃棄物焼却炉側ですべての蒸気供給を安定して行う責任を持つ場合もあり得るが、ここでは廃棄物焼却施設が供給する蒸気についてのみ、製造工場側のボイラに頼ることなく安定供給するケースを想定する。蒸気供給量から、バックアップ設備等の機器容量を決定する。 また、同程度の蒸気供給規模を持つ韓国・蔚山工業団地における蒸気配管敷設単価（工業団地内の敷設場所により建設単価が異なるが、その中間的な値として 30 万円/m と設定、2019 年に現地でヒアリング）及び配管距離から敷設費を試算し、蒸気給のために新たに必要となる設備費を算出する。ここでは配管距離は 2,000m と仮定する。
⑥単純投資回収年数	製造工場の C 重油消費が削減する一方、廃棄物焼却施設で売電ができなくなり、運転のための電力購入費が必要になる。 設備費の初期投資を、これら削減された費用から増加した費用を引き算した年間収益で除して、単純投資回収年を求め、経済性を評価する。

(3) 評価結果の整理

前述の表 2.1.2-5 の③に示す手順で算定される CO₂ 排出削減効果は、50,600t-CO₂/年となった。代替する化石燃料が石炭であるケースや、系統電力の CO₂ 排出係数が低下する将来においては、削減効果はさらに増加することになる。費用対効果の試算結果を表 2.1.2-6 に示す。単純投資回収年は 3.50 年になり、費用対効果は高い。これは廃棄物焼却施設からの蒸気供給による、製造工場側での C 重油の削減費が大きいことが要因となっている。また、廃棄物焼却施設からの蒸気供給量が、化学コンビナート等の蒸気需要に対して十分に小さく、変動が大きな問題にならない場合や、蒸気供給後も製造工場側で既存のボイラが維持され、バックアップの役割を果たす場合においては、バックアップボイラや蒸気アキュムレータを省略することもできる。この場合は投資回収年数をさらに短縮することが可能となる。

表 2.1.2-6 廃棄物焼却施設から製造工場(群)への蒸気安定供給の仕組みの費用対便益²⁾

大項目	項目	単位	試算結果
設備費	バックアップボイラ : a	千円	189,000
	蒸気アキュムレータ : b	千円	355,000
	ドレンタンク : c	千円	1,000
	ドレン返送ポンプ : d	千円	3,570
	設備費合計 : A=a+b+c+d	千円	549,000
	据付け工事費 : B	千円	82,300
	電気計装工事 : C	千円	110,000
	建築費 : D	千円	47,100
	配管敷設費 (返送用配管を含む) : E	千円	600,000
	総建設費 : F=A+B+C+D+E	千円	1,390,000
年間運転・管理費	電気料金 (売電逸失利益+購入分) : e	千円/年	1,980,000
	人件費 : f	千円/年	3,600
	維持補修費 : g	千円/年	69,500
	管理費 : h	千円/年	140,000
	増加分 : G=e+f+g+h	千円/年	2,193,100
	減少分 (C 重油料金) : H	千円/年	2,590,000
	年間経費の総削減額 (正味利益) : I=H-G	千円/年	396,900
経済性評価	単純投資回収年 : F/I	年	3.50

参考文献

- 1) amia A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N.E., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J.I., Mubareka, S., The use of woody biomass for energy purposes in the EU, EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021
- 2) 藤井実, 大西悟, 牧誠也, 岡寺智大, 後藤尚弘, 廃棄物焼却熱の産業での活用を推進するための情報共有と安定需給に関する検討, 環境科学会誌 35 (5) : 282-29, 2022

2.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理（熱需要側からの視点・化学コンビナート）

化学コンビナートでの蒸気供給を想定し、令和3年度に特定したコンビナート内において令和4年度は追加1件の工場の実データを収集し、それを基盤とするモデル工場データを設定した上で、蒸気供給の確認と課題整理を行った。次に、令和3年度に実施した同様の検討3件の成果、及び令和4年度の1件に対して得た検討結果を俯瞰し、個別工場への蒸気供給設備導入における課題を確認し、対策方法の立案を行った。全体スケジュールを図2.2-1に示す。

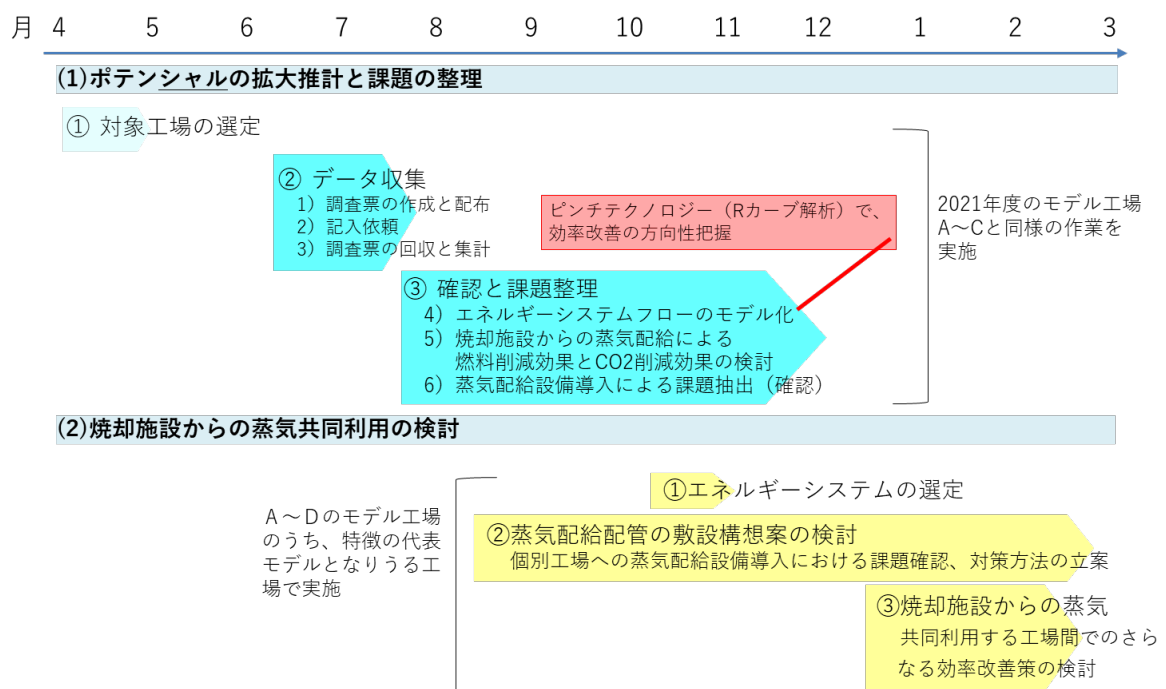


図 2.2-1 全体スケジュール

(1) Rカーブ解析と蒸気受け入れ効果の診断

1) 対象工場の選定

次の要領で調査事業に協力いただく工場を1件選定した。

- a. 対象となる化学コンビナートの選定：令和3年度の検討時に、立地企業の数、事業概要、工場間・設備間の距離、エネルギー共有の実績、焼却施設の有無、空地の有無などを調査し、化学コンビナートを選定し適切な結果を得たので、令和4年度は同じ化学コンビナートを選定
- b. 化学コンビナート内の工場へ協力要請とヒアリング：協力要請の際に必要な説明資料の作成、工場への説明とヒアリングを実施し、令和3年度の検討対象工場の近隣に立地する異業種の工場を選定
- c. 秘密保持契約：協力工場との秘密保持契約書等の作成と締結

なお、化学コンビナート内の対象工場の選定に際しては、次の要件を考慮した。

- ・化学コンビナート内の大規模工場（第1種エネルギー管理指定工場）である
- ・ボイラ、蒸気タービン、ガスタービンなどで構成されるエネルギーシステムを有し、ボイラ蒸気発生量は100トン/h程度以上の規模
- ・高圧、中圧、低圧などの複数の蒸気ヘッダーを有する
- ・燃料ガス、油などを購入し、エネルギーシステムの燃料に使用している

2) データ収集

次の情報や条件に基づく調査票を作成し、対象工場に配布説明を行い、主な項目について、データ収集を実施した。主な項目の提出に当たっては、代表的な1運転ケースを条件として、情報を提出いただいた。代表的な運転データとは、年間を通じて最も長時間の運転を行っている状態である。

■主な提出データ

- ・年間指標（エネルギー消費量、CO₂排出量、購入電力量）
- ・主要なボイラ、蒸気タービン、ガスタービンなど（定格値、通常運転値）
- ・主要な蒸気ヘッダー条件（温度、圧力、送気量）
- ・燃料ガス・油、石炭などの種類、代表的な組成

3) 確認と課題の整理

①エネルギーシステムフローのモデル化

協力工場から入手したエネルギーシステムフローに関する実データを基にして、近似データを作成した。近似データとは、実データを詳細内容まで厳密に模擬するものではなく、主要機器（ボイラ、タービン）や蒸気ヘッダー条件に焦点を当て、サイズが小さい機器やローカルな蒸気ヘッダーは割愛するものである。なお、通例、実データはその熱物質収支において整合化されていないが、近似データでは、熱物質収支の整合化を図り、モデル工場の設定を行った。近似データに基づき設定した工場のエネルギーシステムフローの一例を図 2.2-2 に示す。

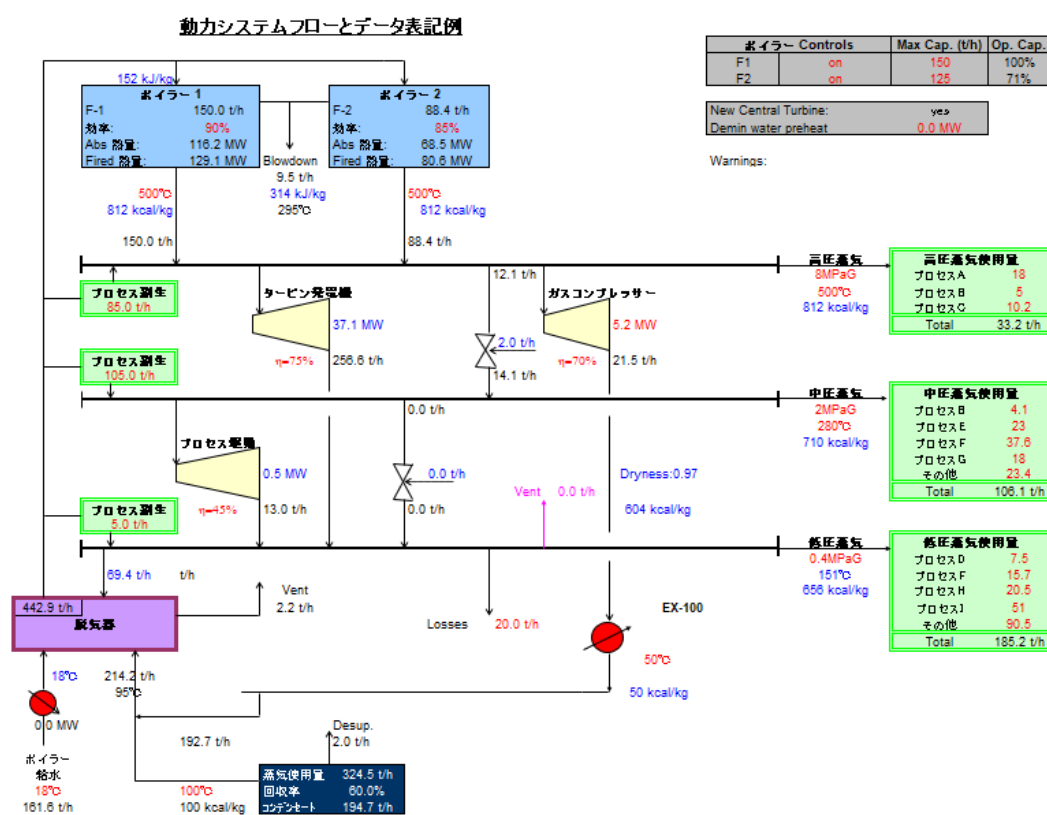


図 2.2-2 近似データに基づき設定した工場のエネルギーシステムフローの一例

②廃棄物焼却施設からの蒸気供給による燃料削減効果と CO₂ 削減効果の検討

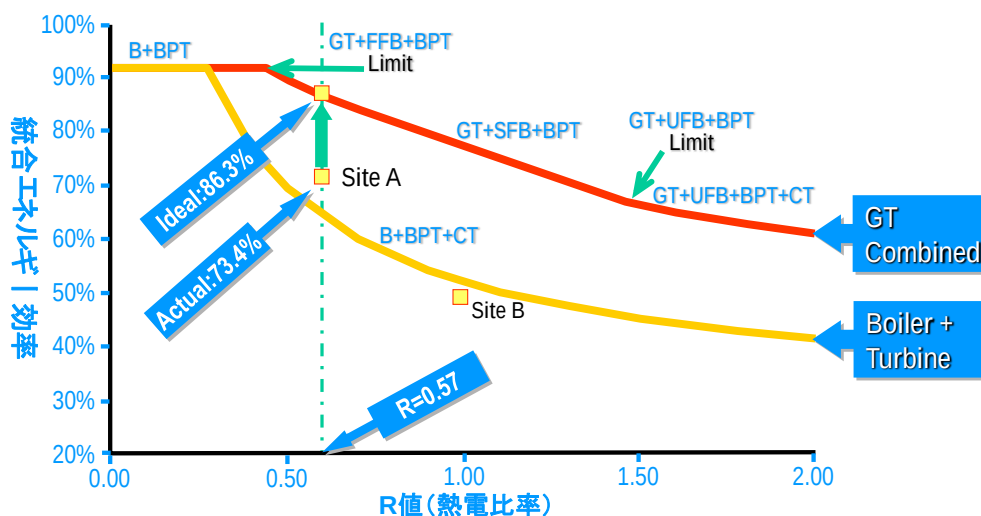
(1)ピンチテクノロジー（Rカーブ解析）で効率改善の方向性把握

従来、工場の効率向上による省エネルギー推進のための検討では、有効な熱利用解析技術であるピンチテクノロジーの適用が行われてきた。ピンチテクノロジーは、工場のデータから線図を描いて、詳細なシミュレーションを実施することなく、現状の位置づけと改善による省エネルギー量の把握を可能とするものである。本調査事業では、ピンチテクノロジーの中でエネルギーシステムの評価に大変有用である Rカーブ解析技術を

適用し、工場のエネルギーシステムフローを対象に、まずは現状の位置づけを把握し、効率向上の方向性とそれを実現するために導入すべき高効率設備の規模感を把握した。

1) Rカーブ解析とは

Rカーブ解析は、前述の図 2.2-2 のようなエネルギーシステムフローを対象に、図 2.2-3 のような線図を作成する。縦軸が統合エネルギー効率、横軸がR 値（熱電比率）である。この図中に2本の線がある。上の線（赤線）はガスタービンコンバインドシステムの理想的な限界線（統合エネルギー効率の理論上限）を示し、下の線（黄線）はボイラ・タービンで構成されるシステムの理想的な限界線を示している。



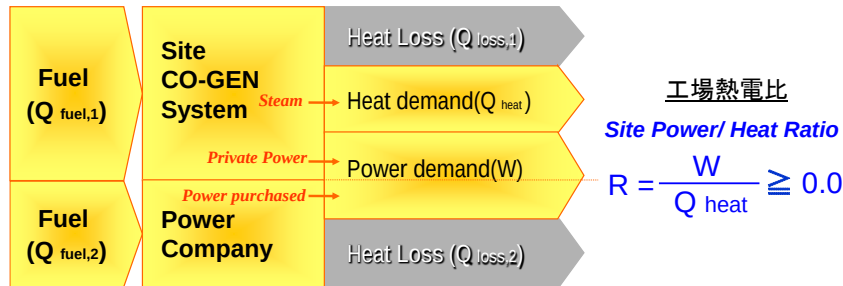
B：ボイラ、BPT：背圧タービン、FBT：排気再燃ボイラ（フル）、SFB：部分排気再燃ボイラ、UFB：排熱回収ボイラ、CT：復水タービン、GT：ガスタービン

図 2.2-3 Rカーブ解析

縦・横軸の統合エネルギー効率とR 値の定義を次頁の図 2.2-4 を用いて説明する。ある工場は熱需要 Q_{heat} と電力需要 W にて操業しており、コジェネレーションシステムから必要な熱 Q_{heat} が供給されている。またコジェネレーションから電力 W の供給を受けているが不足分があり、それは発電所からの買電で補っている。コジェネレーションシステムの運転に必要な燃料量は $Q_{\text{fuel},1}$ である。当該買電分を発電所が供給するに必要な燃料量は $Q_{\text{fuel},2}$ である。

図 2.2-3 の縦軸の統合エネルギー効率は、工場操業に必要なエネルギー消費量 $W+Q_{\text{heat}}$ をコジェネレーションシステムと発電所が必要とする燃料量の総計 Q_{fuel} ($=Q_{\text{fuel},1}+Q_{\text{fuel},2}$) で除したものである。次に、横軸のR 値とは、工場のエネルギー需要の熱電比率であり、 W/Q_{heat} で示す。例えば、ある工場が熱需要のみで、電力需要がない場合は、R 値はゼロになる。概して、製油所や石油化学工場は熱需要が多く、R 値は 0.5～1.0 程度になる。しかし、近年、工場の電力需要は増加しており、R 値も 1.0 を超えるケースが

増えている。統合エネルギー効率は、必ず 1.0 より小さくなる。これは、図 2.2-4 内に示すとおり、コジェネレーションシステムや発電所において熱ロス（排ガス熱 $Q_{loss,1}$ や復水発電ロス $Q_{loss,2}$ ）が存在するからである。



$$Q_{fuel} = Q_{fuel,1} + Q_{fuel,2} = Q_{heat} + W + Q_{loss,1} + Q_{loss,2}$$

$$\text{Integrated Energy Efficiency} = \frac{W + Q_{heat}}{Q_{fuel}} < 1.0$$

統合エネルギー効率

図 2.2-4 統合エネルギー効率と R 値の定義

図 2.2-3 で、ガスタービンコンバインドシステムの理想的な限界線と、ボイラ・タービンで構成されるシステムの理想的な限界線はいずれも右方向へ下がっている。これを説明する。ボイラ・タービンで構成されるシステムの理想的な限界線において、R 値が 0～0.3 程度までは、熱需要が多いので、ボイラ効率 92% 程度がそのまま適用できる。電力需要比率が高まる（R 値が増加する）と、ボイラで発生した熱（蒸気）を復水タービンで電力へ変換することが必要になる。復水タービンを使い始めることはいわゆる復水ロス発生と称する効率減少を引き起こすので、図中のカーブが右肩下がりとなる。ガスタービンコンバインドシステムは、化石燃料のもつエネルギーをまず燃焼でパワーに変換できることと、排ガス熱をボイラへ投入する際に残存酸素濃度をギリギリまで利用するフル追い焚きによる排気再燃ボイラ運転を行うので、R 値が 0.5 付近まで統合エネルギー効率を高く維持できる。電力需要が高まる（R 値が大きくなる）とガスタービンコンバインドシステムの排気再燃ボイラは運転負荷を落とす部分負荷運転となるので、統合エネルギー効率は、低下する。さらに電力需要が多くなると排気再燃ボイラの部分負荷運転も停止し、排熱回収ボイラ運転となりさらに効率が下がる。そしてさらに熱需要が下がり、電力需要が高まる（R 値が大きくなる）と、排熱ボイラからの回収スチームを復水タービンで電力へ変換する運転となり、復水ロスを引き起こす。こうして R 値が大きくなるに従い、統合エネルギー効率は低減する（カーブは右肩下がりとなる）。なお、R カーブ解析の 2 本の線の形状は工場のエネルギーシステムの構成（内容）毎に変化する。

次に、図 2.2-3 R カーブ解析の使い方を工場での検討結果を用いて説明する。ある工場 SiteA の R 値を計算すると、0.57 である。これは電力需要より熱需要が大きい工場であることを示す。次に、統合エネルギー効率を求めると、73.4% である。この工場はエネ

2) Rカーブ解析技術の適用とその検討結果（効率改善の方向性把握）

表 2.2-1 Rカーブ解析結果のとりまとめイメージ

		工場	
		工場	
現 状	エネルギー消費量、 年間原油換算、kL	*****	
	統合エネルギー効率、%	**	
	R値	**	
	年間CO ₂ 排出量、トン	*****	
改 善 策	導入すべき理想的なGTシステム のサイズ、MW	**	
	改善統合エネ効率、%	**	
	改善効果、省エネ量、 年間原油換算、kL	*****	
	年間CO ₂ 排出量、トン	*****	

この結果、従来の化石燃料を使用するボイラを中心とするエネルギーシステムに対して、天然ガス焚ガスタービンコンバインドシステムの導入移行により、いずれも大きな効率向上の余地とCO₂排出削減の余地があることが分かった。

(2) 廃棄物焼却施設からの蒸気供給による燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果

化石燃料などを用いるボイラを中心として構成される従来のエネルギーシステムに対して、廃棄物焼却施設から蒸気を供給した場合の受け入れ工場側の燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 焼却施設からの蒸気供給による燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果

	供給蒸気量 供給蒸気圧	10 t / h	20 t / h	50 t / h
工場の燃料削減効果 ^{注1)} MW	高圧	5.43	10.85	24.44
	中圧	4.33	8.66	21.65
	低圧	4.01	8.02	20.06
工場の CO ₂ 排出削減 効果 ^{注2)} t-CO ₂ /h	高圧	1.82	3.63	8.17
	中圧	1.45	2.90	7.24
	低圧	1.34	2.68	6.71

注1) 買電の発電効率は、39.6%

注2) CO₂ 排出係数は次を採用

- ・石炭・・・92.9kg-CO₂/GJ-LHV 【自動車工業会 2005 年の燃料定数】
- ・RPF・・・61.1kg-CO₂/GJ-LHV 【日本 RPF 工業会ホームページ情報に基づき設定】
- ・系統電力・・・0.470t-CO₂/MWh 【環境省指定】
- ・焼却施設からの供給蒸気には、CO₂ は含まず

この結果から工場側では次のようなことが分かった。

- ・蒸気の受け入れは燃料削減（省エネ）効果や、CO₂ 排出削減効果がある
- ・蒸気受入量と省エネ効果は比例関係にある
- ・高圧蒸気の入受はある程度までは、タービン抽気量の減少で対応するが、それ以上は中圧に減圧され、発電量を維持するため復水量を増加。
- ・中圧蒸気、低圧蒸気を受け入れた場合、該当するタービンの抽気量を減らす但、発電量を維持するため復水量を増加。
- ・蒸気の受け入れ効果は、高圧蒸気、中圧蒸気、低圧蒸気の順に低下する。
- ・中圧蒸気 1 t / h を受け入れた場合の CO₂ 排出削減効果は、LNG 焚き GT システム 0.1MW 導入に相当する

(2) 廃棄物焼却施設からの蒸気共同利用の検討

1) エネルギーシステムの選定

令和 3 年度及び令和 4 年度に検討を行った合計 4 工場について、廃棄物焼却施設からの蒸気供給による燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果を取りまとめた結果をそれぞれ図 2.2-5、図 2.2-6 に示す。全般に、供給する蒸気圧が高い方が燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果が大きくなるが、2 MPaG を超えた蒸気の供給では、いずれの効果もさほど大きくならない。

焼却施設で高圧蒸気（5～6 MPaG）を製造するための初期投資や運転費用を勘案すると、中圧蒸気（1～2 MPaG）程度の蒸気供給で十分な効果が期待できると分かった。

前述の結果から対象となる工場、すなわちエネルギーシステムの選定を行い、後述する2)での検討対象に設定した。

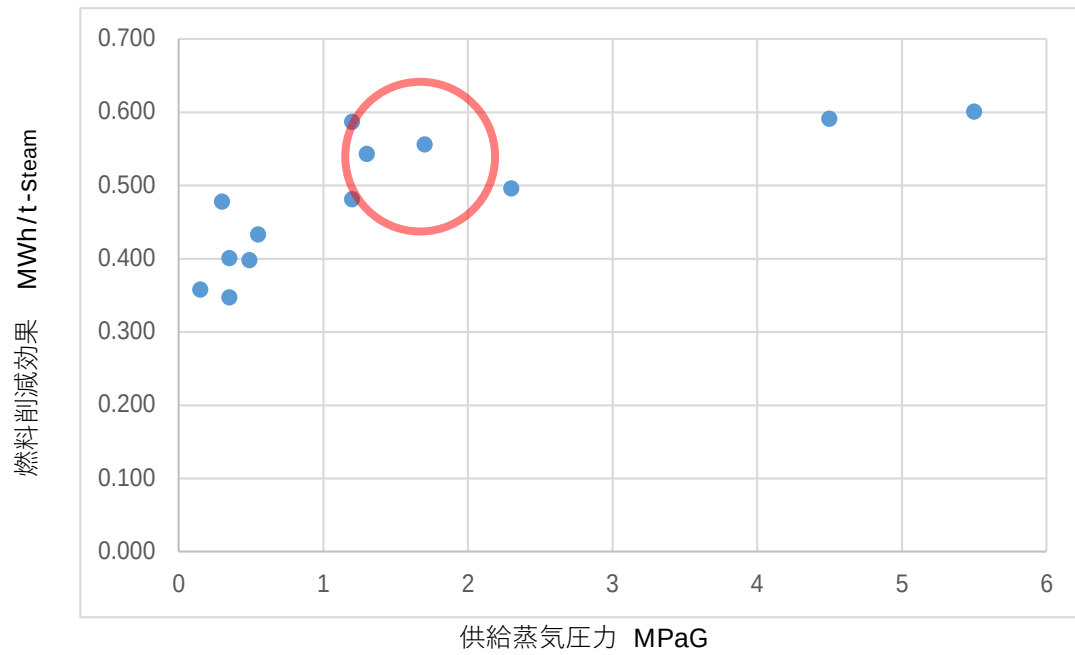


図 2.2-5 燃料削減効果

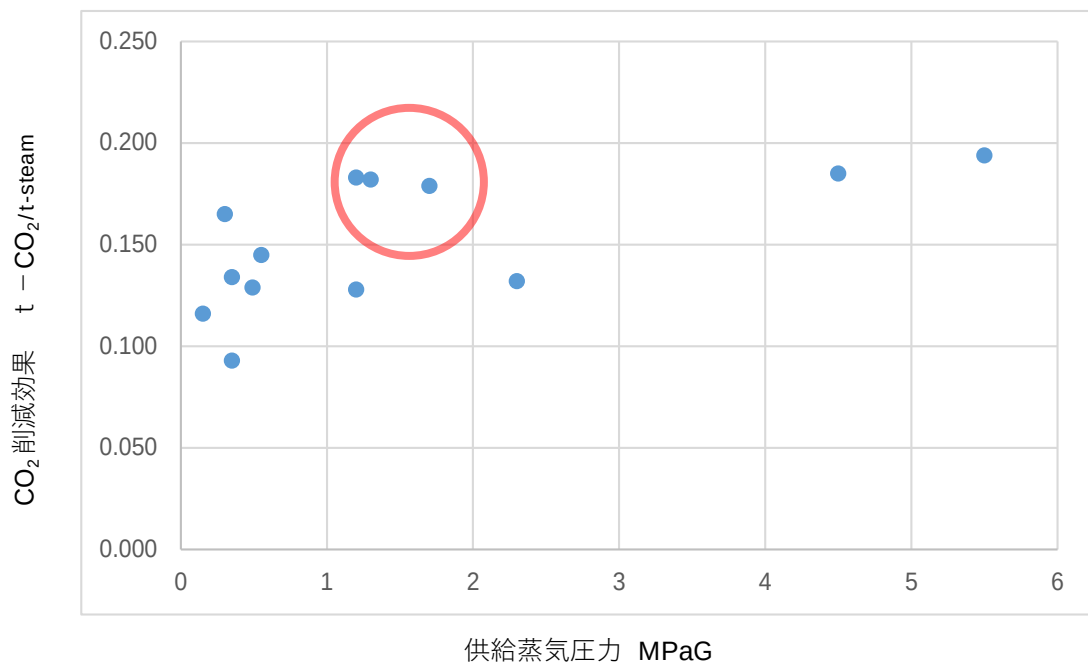


図 2.2-6 CO₂削減効果

2) 廃棄物焼却施設からの蒸気を共同利用する工場間でのさらなる効率改善策の検討

①工場からの回収凝縮水を廃棄物焼却施設へ返送する場合の節水効果やエネルギー削減効果の算定

(1)目的

エネルギーシステムを持つ工場は、自社で製造した蒸気はプロセス工程で利用した後、一部を回収凝縮水として高温のままボイラ給水として利用している。これは、熱回収による省エネ効果の観点だけでなく、水の再利用による節水効果とボイラ給水に必要な清缶剤の削減効果も考えているためである。本検討では、焼却施設からの蒸気を受給する工場との間で、さらなるエネルギー効率の改善を図るため、工場が受給した蒸気相当分の回収凝縮水を焼却施設へ返送する場合のエネルギー削減効果と節水効果を確認する。図 2.2-7 に、検討範囲を示す。

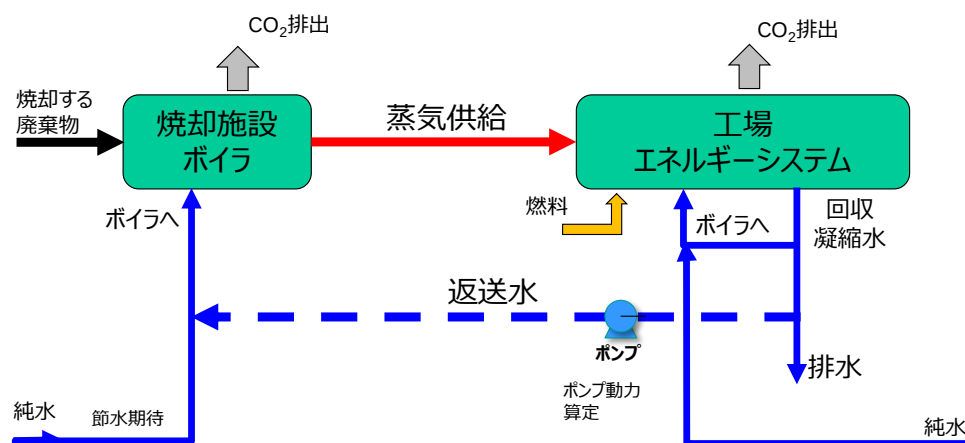


図 2.2-7 検討範囲

(2)検討条件

- ・ 焼却施設は、蒸気発生のみで、発電設備を持たない。
- ・ 4 工場から選定した 1 工場のエネルギーシステムフローをベースケースとする。
- ・ 工場が蒸気を受給しても、エネルギーシステムの発電量は、蒸気を受給がない場合と同じとする。
- ・ 焼却施設から工場へ供給する蒸気は、工場の高圧蒸気と同じ条件とする。
- ・ 工場の給水仕込み温度は、58℃とする。
- ・ 工場での回収凝縮水の内、焼却施設へ戻す返送水量は、焼却施設から工場へ供給する蒸気量と等量とする（10, 20, 50 t/h の 3 ケース）。
- ・ 一般的に回収凝縮水の温度は、微加圧状態で高温であることから、工場からの回収凝縮水の温度も高温の 95℃とする。回収凝縮水は、純水（fresh water、20℃）と混合し、ボイラへ給水する。

- ・純水装置は、焼却施設及び工場に設置する。理由は、焼却施設は工場のボイラ給水に依存する可能性は低く、独立で運転する可能性があると考えからである。
- ・焼却施設のボイラへの給水温度は、返送水を受け取る前の条件では 20℃とする。fresh water (20℃) が純水装置を経由してそのままの温度でボイラへ給水するため。
- ・工場が回収凝縮水の一部を焼却施設へ戻す場合は、工場のボイラへの給水量がその分だけ減少するので、fresh water を補填する必要がある。これにより、fresh water (20℃) は純水装置で製造され、給水仕込み温度 58℃まで昇温してボイラに供給する必要があるため、その加熱に必要な熱量が増加する。
- ・工場から回収凝縮水を焼却施設へ返送するための返送水ポンプの馬力(エネルギー消費量)を算定する。ポンプ入口圧は常圧、吐出圧は 0.2MPaG、すなわちポンプ差圧は 0.2MPa とする。

(3)検討結果

工場からの回収凝縮水の一部を廃棄物焼却施設へ返送する場合の検討を行い、次のような結果が得られた。(表 2.2-3 及び表 2.2-4 を参照)

- ・焼却施設では、エネルギー削減効果、CO₂ 排出削減効果が得られる。
- ・工場では、反対にエネルギー消費量、CO₂ 排出量が増加する。この理由は、純水 (20℃) の供給量(消費量)が増加し、脱気器入口温度が下がり、脱気器用の低圧蒸気の使用量も増加し、その結果、ボイラ負荷が増加するためである。
- ・焼却施設のボイラ負荷は減少し、工場のボイラ負荷は増加する。両施設でのボイラ負荷の収支を取ると、エネルギー削減となるが、各ボイラの燃料源が異なるので、エネルギー消費量の評価よりも CO₂ 排出量での評価が重要と考える。
- ・焼却施設と工場での CO₂ 排出量については、焼却施設で処理する廃棄物原料の CO₂ 排出係数が、工場の燃料のそれに比べて大きいので、地域として、CO₂ 排出量は削減する。
- ・工場では、返送水ポンプの設置が必要になり、新たなポンプ動力の消費が発生するが少量なので、両施設で燃料の燃焼に伴う CO₂ 排出量の変化に比べると微小である。
- ・節水効果は、焼却施設及び工場での純水消費量を総合的に評価すると、増減はプラスマイナスゼロとなり、地域としては期待できない。

表 2.2-3 焼却施設でのエネルギー削減効果（ボイラ負荷削減）、CO₂ 排出削減効果

蒸気供給量	ボイラ負荷、MW 返送水なし	ボイラ負荷、MW 返送水あり	差分、MW ボイラ負荷削減	CO ₂ 排出削減量 *1、t/hr
10t/h	8.90	8.41	0.49	0.65
20t/h	17.81	16.83	0.98	1.30
50t/h	44.52	42.07	2.45	3.25

表 2.2-4 工場でのエネルギー削減効果（ボイラ負荷削減）、CO₂ 排出削減効果

蒸気供給量	ボイラ負荷、MW 返送水なし	ボイラ負荷、MW 返送水あり	差分、MW ボイラ負荷削減	CO ₂ 排出削減量 *2、t/hr
10t/h	181.91	182.15	-0.24	-0.08
20t/h	176.24	176.72	-0.48	-0.16
50t/h	161.94	163.14	-1.20	-0.40

注）負荷削減効果や CO₂ 排出量の削減効果でのマイナス表示は増加を意味する

②CO₂ 排出削減効果の最大化の検討

(1)目的

CO₂を大量に排出する大規模な化学工場は、エネルギーシステムを所有しているが、概して CO₂ 排出係数が高い化石燃料を用い自家発電を行い、熱電の需要を満足させている。供給電力が不足する場合は系統電力からの買電で補っている。その工場が近隣の焼却施設から CO₂ 排出係数がゼロと勘定される蒸気を受け入れ、熱需要の一部を補填できた場合、CO₂ 排出削減効果が得られる。

次に、それら工場のエネルギーシステムの多くには復水タービンが存在し、そこでは復水ロスが発生し、エネルギーシステムの効率を押し下げ、その分、化石燃料の消費量が増加し、結果的に CO₂ 排出量の増加の要因となっている。

従って、CO₂ 排出削減効果を最大化するには、工場内の熱需要をまかなう蒸気供給負荷の一部を CO₂ 排出係数がゼロと勘定される蒸気で代替するだけでなく、復水ロスを低減することも重要と考えられる。本項目では、工場の CO₂ 排出削減効果の最大化を目指して、近隣の焼却施設からの蒸気を受け入れることによる CO₂ 排出量の削減効果の検討、及び復水ロスを低減した場合の CO₂ 排出量の削減効果の検討を行った。図 2.2-8 に検討対象とした選定エネルギーシステムの復水部分を示す。

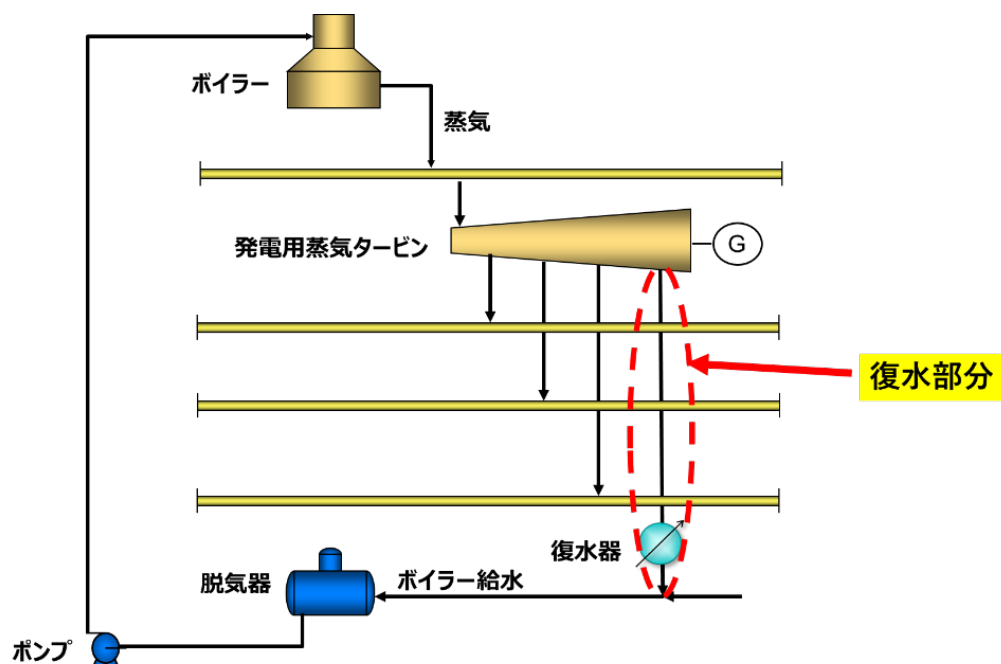


図 2.2-8 選定エネルギーシステムの復水部分

(2)検討条件

- ・選定した工場のエネルギーシステムフローをベースケースとする。図 2.2-8 参照。
- ・焼却施設から受け入れる蒸気は、高圧蒸気で 50 t/h とする。
- ・工場のボイラ燃料は、現状では石炭と RPF の混焼である。検討では、CO₂ 排出係数が高い石炭の使用量の節減を行い、RPF の使用量は現状と同じ量で固定とする。
- ・CO₂ 排出係数の設定
- ・焼却施設からの受け入れ蒸気：排出係数はゼロ
- ・石炭：92.9 kg-CO₂/GJ LHV
- ・RPF：61.1 kg-CO₂/GJ LHV
- ・2030 年の電力（買電）の CO₂ 排出係数は、次の 2 つの条件とする。
 - a. 0.370kg-CO₂/kWh ・ 2015 年 7 月の「電気事業における低炭素社会実行計画」（電気事業連合会）より設定
 - b. 0.234kg-CO₂/kWh ・ 2021 年 7 月の「2030 年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」（経済産業省）に基づき試算し設定

(3)検討ケース

- ケース 1) 焼却施設からの蒸気受け入れによるボイラ蒸気発生量の節減で、直接的な CO₂ 排出削減効果を把握するため、高圧蒸気 50 t/h 受け入れにより、タービン抽気量は減らす、復水量は変化させない条件でのエネルギーシステムのバランスを検討する。タービン抽気量減少により、自家発電量は減少するので、その減少分は買電量の増加で補う。この場合の CO₂ 排出削減効果を算定する。
- ケース 2) 復水ロス低減のため、ケース 1) の運転条件に加えて、タービンの復水量をゼロにする条件でのエネルギーシステムのバランスを検討し、CO₂ 排出削減効果を算定する。なお、この場合も自家発電量は減少するので、その減少分は買電量増加で補う。

(4)検討結果

工場が近隣の焼却施設からの蒸気を受け入れる場合の CO₂ 排出量の削減効果の検討、及び復水ロスを低減した場合の CO₂ 排出量の削減効果は次のとおりとなった。

- ・焼却施設から高圧蒸気 50 t/h を受け入れて、ボイラ蒸気発生量を低減させることは、ボイラの燃料である石炭の使用量を減らす効果があり、自家発電量の減少分を CO₂ 排出係数の低い系統電力からの買電で補っても、CO₂ 排出量を 24-26% 程度低減できる。
- ・復水量をゼロにする場合、ボイラ蒸気発生量の低減が大きくなり CO₂ 排出量を 49-55% 低減できる。復水量の低減は CO₂ 排出削減に大きな効果がある。
- ・復水量をゼロにする場合、蒸気受け入れ量、復水量、及び減温水の削減となり、ボイラ蒸気発生量が 147 t/h 減少するので、復水ロスの影響度の大きさが確認できた。

検討結果サマリーを表 2.2-5 に示す。

表 2.2-5 検討結果サマリー

	ベースケース	ケース 1 (焼却施設から高圧 蒸気 50 t/h 受入)	ケース 2 (ケース 1 + タービン 復水量ゼロ)
ボイラ発生蒸気量、 t/h	227.19	162.13	80.30
系統電力			
買電量、kW	3,509	11,770	31,932
CO ₂ 排出係数、kg-CO ₂ /kWh	0.370 / 0.234	0.370 / 0.234	0.370 / 0.234
CO ₂ 排出量、 t -CO ₂ /h	1.3 / 0.8	4.4 / 2.8	11.8 / 7.5
合計 CO ₂ 排出量			
時間単位、t-CO ₂ /h	61.9 / 61.4	47.0 / 45.4	31.8 / 27.5
年間単位、t-CO ₂ /yr 8,000hr/yr	495,200 / 491,200	376,000 / 363,200	254,400 / 220,000

3) 蒸気供給配管の敷設構想案の検討

廃棄物焼却施設から工場への蒸気供給事業を構想するに当たり、蒸気供給配管の敷設には、技術的課題（設定すべき項目）だけでなく、非技術的課題への対応も必要になる。本項では、技術的課題（設定すべき項目）11項目（表 2.2-6）と非技術的課題8項目（表 2.2-7）を抽出し、抽出したその背景を説明し、それらへの対応策を検討した。

表 2.2-6 技術的課題（設定すべき項目）

No.	設定すべき項目
1	供給蒸気条件 （供給側と受給側での温度・圧力・流量、変動許容幅など）
2	スーパーヒーターの必要性の検討
3	配管敷設ルートを選定、決定、策定 （埋設方式、架台方式など）
4	蒸気供給配管の形状
5	配管サイズ
6	敷設配管系での許容圧力損失
7	配管の保温条件
8	緊急遮断弁の設置位置
9	バックアップボイラの要否とその能力
10	スチームアキュムレーターの設置
11	工事費の把握

表 2.2-7 非技術的課題

No.	課題項目
1	設備管理範囲の定義
2	配管敷設工事費用の負担条件の設定
3	供給蒸気取引量の確認要領の設定
4	蒸気受給側の蒸気購入コストの考え方の整理
5	蒸気輸送中の消失ロス負担要領の設定
6	ドレンの管理者設定
7	蒸気供給が途絶した時（緊急時、定期修理時など）への対応要領の設定
8	関係先への説明と了解取り付け

①検討の前提条件

検討に当たっての前提条件を、次に示す。

- ・ 廃棄物焼却施設で発生した蒸気を既存の化学コンビナート内の工場に供給する。
- ・ 蒸気供給設備は新設する。
- ・ 蒸気受給側：化学コンビナート内の工場とする。
- ・ 化学コンビナート内の工場は、高圧、中圧、低圧の蒸気ヘッダーを有しており、廃棄物焼却施設から供給される蒸気供給は、工場のこれら蒸気ヘッダーの運転条件に適した蒸気である必要がある。工場では蒸気の受け入れにより、既存のボイラの燃料を削減し、CO₂排出量を削減することが期待される。
- ・ 化学コンビナート内の工場では低圧蒸気は余剰気味であるので、受給する蒸気は中圧

もしくは高圧とする。

- ・ 蒸気供給配管の管理範囲は、蒸気供給側と蒸気受給側の責任範囲を定める境界（バッテリーリミット）で蒸気配管の費用分担、管理範囲、所有権などを区分する。

注記) バッテリーリミットとは、工場のプラントの設備境界や工場自体の敷地境界を示し管理範囲を定めるものである。本件では、廃棄物焼却施設から工場に蒸気配管により蒸気供給が行われるので、焼却施設や工場の境界を指している。

②エネルギーシステムの解説

工場は、プロセスシステムとユーティリティシステムで構成される。プロセスシステムは付加価値のある製品を製造する。ユーティリティシステムは、熱電のエネルギー供給及び窒素や酸素などの物質を供給し、プロセスシステムの運転を支援する。熱電の供給を行う部分は、エネルギーシステムと呼ばれる。エネルギーシステムの仕組みは、ボイラで燃料を燃焼してその熱で蒸気を製造し、蒸気タービンを駆動して発電を行うとともに、熱を必要とする工場のプロセスシステムにその蒸気を供給する。化学コンビナートの工場の多くは、自社でこうしたエネルギーシステムを所有して運転している。エネルギーシステムのフローの一例を図 2.2-9 に示す。

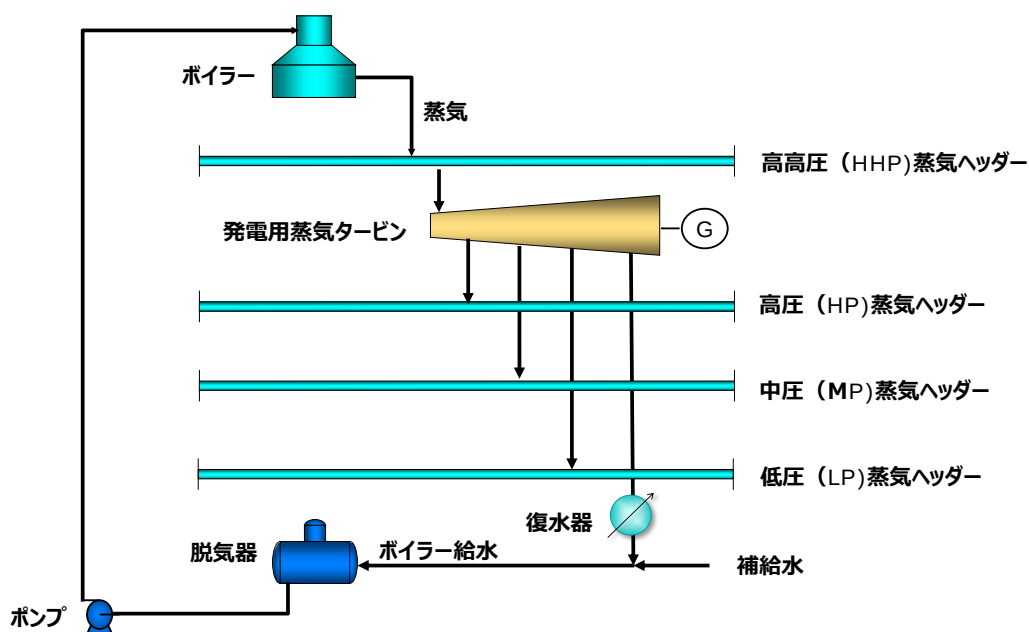


図 2.2-9 エネルギーシステムフローの一例

エネルギーシステムの主要な機器は、図 2.2-9 に示すとおり、ボイラ、(発電用や動力回収用の) 蒸気タービン、蒸気ヘッダー、復水器、脱気器、ポンプである。このほかにガスタービンと排熱回収ボイラにて構成されるガスタービンシステムを装備する工場も近年は増えている。図 2.2-9 では、機器は各 1 台のみを記載しているが、実際の工場では、複数台数を所有している場合も多い。

図 2.2-9 のとおり、ボイラで発生した高高压蒸気は、高高压蒸気ヘッダーに入る。高高压蒸気ヘッダーからの蒸気は、蒸気タービンに入り、タービンの内部から高压蒸気、中圧蒸気、低压蒸気を取り出され(抽気され)、それぞれ高压蒸気ヘッダー、中圧蒸気ヘッダー、低压蒸気ヘッダーに送られる。蒸気タービンの最後段から取り出された蒸気は復水器に入り、凝縮水となる。この凝縮水と外部からの補給水が合わさって、ボイラ給水となり、脱気器に入る。脱気器では、ボイラ給水に含まれる酸素分を除去し、機器や設備の腐食対策を行っている。脱気器で処理されたボイラ給水はポンプでボイラへ送られる。

ここで、蒸気ヘッダーとは、プロセスシステムを構成する機器に適正な蒸気を効率よく供給することを目的として、ボイラからの蒸気を一か所に集めて複数の機器へバルブ操作で分配するものである。工場内のプロセスシステムから要求される蒸気量や時期・時間はそれぞれ異なり、それに対応するボイラを複数台設置することは不経済となるため、蒸気を 1 箇所にまとめて、効率的に分配するものである。ここで、蒸気ヘッダーの代表的な運転条件を表 2.2-8 に示す。

表 2.2-8 蒸気ヘッダーの代表的な運転条件

種類	運転条件	
高高压蒸気ヘッダー	12-13MPaG	500-550℃
高压蒸気ヘッダー	2.5-4.5MPaG	270-290℃
中圧蒸気ヘッダー	1.0-1.20MPaG	200-220℃
低压蒸気ヘッダー	0.3-0.35MPaG	140-170℃

蒸気ヘッダーの運転条件は、飽和温度より高い温度(過熱状態)に維持される。これは飽和温度近辺で運転すると、ヘッダー内の蒸気が容易に凝縮し、圧力変動が生じるためである。つまり蒸気の運転圧を安定させて運転するためには過熱状態が求められる。なお、低压蒸気ヘッダーについては飽和条件近辺で運転を行う場合もある。

③技術的課題と対応策の解説

本節では、配管敷設にあたっての技術的課題（設定すべき項目）と対応策を具体的に提示する。これは概念設計上、初期に本節のプロセスを踏むことになる。ここで把握された課題を基に、基本設計、詳細設計に向けた必要な検討を進めていく。

(1)供給蒸気条件（供給側と受給側での温度、圧力、流量、変動許容幅など）

背景：

工場の蒸気ヘッダーの運転条件は、そのほとんどが過熱蒸気状態である。すなわち、蒸気ヘッダーの圧力条件での飽和温度より高温で（過熱状態で）運転されている。

受給側（工場）で必要な蒸気条件を設定し、蒸気供給配管内での放熱による温度低下や配管の圧力損失による圧力低下分を想定して、供給側（廃棄物焼却施設）の蒸気条件を設定する必要がある。なお、蒸気流量が少なく、輸送距離が長い場合は、放熱による温度の低下が大きくなり、蒸気受給側の蒸気条件が飽和蒸気、またはそれに近い条件となり、過熱蒸気を供給することが難しくなる。

対応策：

蒸気受給側は、蒸気受け入れ条件として、蒸気圧力、蒸気条件（飽和蒸気または過熱蒸気）、蒸気流量の変動許容幅を蒸気供給側へ開示する。

蒸気供給側は、蒸気受給側の蒸気受け入れ条件を満足するように、配管サイズ、保温条件を検討する。蒸気供給側は、蒸気受給側の蒸気受け入れ条件の確認により、過熱蒸気の供給が必要であれば、蒸気供給側で製造する蒸気の圧力や温度をより高めることができるかを検討する。高めることが不十分な場合は、蒸気供給側でのスーパーヒーターの設置を検討する。それでも不十分な場合は、蒸気受給側でのスーパーヒーター（蒸気過熱器）設置もしくは減圧することでの対応を検討する。スーパーヒーターもしくは減圧バルブを、蒸気受給側に設置する場合は、受給側が希望する受給蒸気の運転条件を確保するためなので、蒸気受給側自身でそれらを管理運転することになる。

(2)スーパーヒーターの必要性の検討

背景：

コンビナートにおける蒸気受給側の工場には通常、蒸気ヘッダーがあるので受給蒸気は蒸気ヘッダーに供給される。蒸気ヘッダーは、原則として過熱蒸気条件に維持されている。蒸気供給側からの蒸気供給配管による蒸気輸送距離が長い場合は、放熱による温度の低下が大きくなり、蒸気受給側の蒸気条件が飽和蒸気となる可能性が高い。その場合は、受給側の過熱蒸気条件を満足するため（飽和蒸気を過熱蒸気にするため）、スーパーヒーターを設置する検討が必要となる。

対応策：

蒸気供給側は、供給側の範囲内にスーパーヒーターを設置するだけで、受給側の要求条件を満足できるかを検討し、蒸気供給側がスーパーヒーターの仕様を決定し、設置する。

蒸気受給側においては、蒸気供給配管中での放熱により、ドレンが生成し飽和蒸気となって到達することもあり得る。蒸気受給側での配管接続（つなぎこみ）の位置を最適化する検討を行い、できるだけ過熱蒸気条件を維持できるようにする。不十分な場合は減圧バルブにて減圧し過熱蒸気とする検討を行う。それでも不十分な場合、蒸気受給側にスーパーヒーターの設置を検討するが、蒸気受給側にとってスーパーヒーター運転用に別途エネルギーが必要になるので、蒸気受給側でのスーパーヒーターの設置はできるだけ回避することが望ましい。

(3)配管敷設ルートを選定、決定、策定（埋設方式、架台方式など）

背景：

配管ルートが長くなると配管敷設費が高くなるとともに、放熱により蒸気が凝縮し、ドレンが発生して蒸気損失が多くなる。敷設に当たっては、工場内、工場外（歩道や車道などの公道、私道など）を使用するので、それぞれに適する敷設方法を検討する必要がある。

敷設方法には2つの方法（埋設と架台）があり、埋設の場合、配管の熱膨張による熱応力の緩和が必要となるので、埋設配管の長さを極力短くする必要がある。架台の場合、熱応力を緩和のために、配管に曲がり部を設置することもあるが、これを熱膨張ベント（図2.2-10）という。



図 2.2-10 熱膨張ベントの一例

道路横断部に配管を埋設敷設するためのトンネルをカルバートという。建設コストはかさむが、配管を交換する等のメンテナンス時に道路工事なしで行えるため、敷設後のメンテナンスが容易である。道路横断部にカルバートを用いた埋設方式の地下断面図の例を図2.2-11に示す。

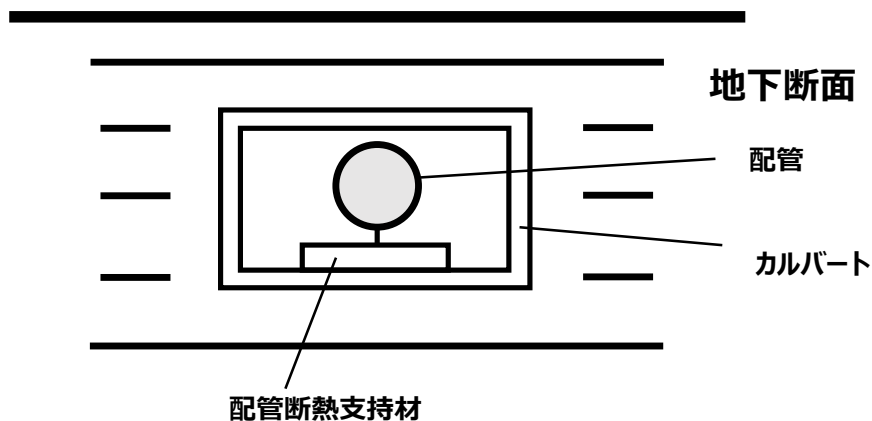


図 2.2-11 道路横断部にカルバートを用いた埋設方式の地下断面図の例

対応策：

蒸気配管の敷設を架台方式とするか埋設方式とするかの検討を行う。高温蒸気を輸送する配管なので、配管の熱膨張を考慮すると、道路沿いは熱膨張ベントが設置しやすい架台を選択するのが望ましい。しかし、図 2.2-12 に示すように、架台方式の配管が工場周囲の車道を跨ぐように横切る形状となる場合、将来新たな大型機器（塔槽類）の搬入のために、その機器を乗せた車両が通過する際には、その箇所が機器搬入の障害となる可能性がある。架台方式の配管が道路の上部を跨ぐ形状よりも、埋設方式を選択するのが良い。埋設方式の場合には、配管の保守点検や配管敷設工事の簡便さを考慮して、カルバートを採用するのが望ましい。

また、監督官庁によっては、埋設管を二重管にするように指導される場合もあるので確認が必要となる。

以上のことを勘案し、配管敷設の際には、工事費や維持管理費の節減のため、蒸気配管が最短距離となるように配管ルートを選定する。

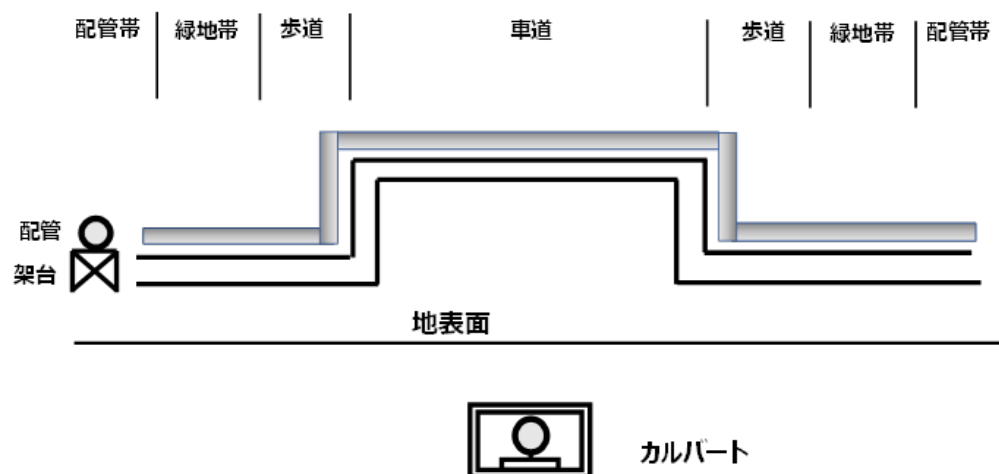


図 2.2-12 道路及び敷設配管の断面図

(4)蒸気供給配管の形状

背景：

蒸気配管が下方に凸となる部分（ポケット部）があると、停止時に蒸気がたまり、冷えて凝縮水となる。これが再起動時（蒸気配管内に蒸気を送り始める時）にウォーターハンマーを引き起こし、配管の破裂・破損を引き起こす可能性がある。

対応策：

配管の形状としてポケット部を極力減らすか、蒸気溜まりが見込まれる箇所には、たまった液（ドレン）を抜くバルブもしくはスチームトラップを設ける。

(5)配管サイズ

背景：

配管サイズは適切な流速となるように、およそのサイズを仮に決め、圧力損失が大きすぎるようならば配管サイズを大きくする。流速が速すぎると配管の振動が大きくなる等の支障が生じる。流速が遅すぎると滞留時間が長くなり、放熱により過熱蒸気が飽和蒸気になってしまう。

対応策：

蒸気受給側の蒸気受け入れ条件を満足するように、配管サイズ、保温条件を検討する。必要最小限のサイズにすることにより、コスト削減につながるとともに放熱ロスを最小限に抑えることができる。

(6)敷設配管系での許容圧力損失

背景：

蒸気供給配管では、圧力損失が必ず発生する。よって許容圧力損失を加味した蒸気条件を設定する必要がある。

対応策：

蒸気受給側の蒸気受け入れ条件を満足するように、配管サイズ、保温条件を検討しつつ、圧力損失の計算値から許容圧力損失（許容値）を設定して、蒸気供給条件を許容値分だけ高目に設定する。

(7)配管の保温条件

背景：

放熱により過熱蒸気が冷えて飽和蒸気になり、液滴が発生して蒸気と液の混相流となり、圧力損失が大きくなり過ぎる恐れがある。蒸気圧力が低く、距離が長い場合には、たとえ保温材の厚みを大きくしても自然放熱冷却により液滴が発生し圧力損失が大きくなり過ぎることがある。

対応策：

背景に示すような懸念がある場合には、許容圧力損失の値を大きめに設定し、蒸気供給圧を高くする。受給蒸気圧が高めで、受給側の受け入れ設定圧力に対して余裕があれば、蒸気を受け入れ時に減圧することで過熱蒸気が得られ、放熱冷却による液滴発生危険性を低減することができる。

(8)緊急遮断弁の設置位置

背景：

トラブル発生時には緊急遮断弁が必要になるが、緊急遮断弁の設置コストは比較的高価である。

対応策：

蒸気供給側の敷地境界（バッテリーリミット）に緊急遮断弁を1組設置し、トラブル対策とする。設備コストを最小とする（抑える）ためには、遮断弁を1組だけ設置することで十分である。蒸気受給側は、蒸気停止をしたい場合には、蒸気供給側に連絡して停止してもらえば良い。

(9)バックアップボイラの要否とその能力

背景：

蒸気供給側のボイラが停止し、蒸気供給が停止した場合、蒸気受給側においてボイラの焚き増しで対応できる可能性がある。

対応策：

蒸気受給側の既設のボイラの焚き増しで対応が可能かどうか、増設が必要かどうかをそれぞれ検討し、判断する。蒸気受給側での既設のボイラ以外のバックアップボイラの設置と運転は蒸気価格に反映されるので、その要否は蒸気受給側が判断する。

(10) スチームアキュムレーターの設置

背景

蒸気供給が停止した時には、既設のボイラの焚き増しやバックアップボイラを起動する等の対策が講じられるが、ボイラの焚き増し運転が整うまでやバックアップボイラが起動するまでの時間を稼ぐ必要がある場合には、スチームアキュムレーターが有用となる。

対応策：

スチームアキュムレーターは通常、必要な蒸気量（使用量）が最大 30 分程度供給できる設備が多い。ドラム型ボイラなら容量が大きいので蒸気アキュムレート機能がある。ドラムの容量 V と蒸気の運転圧力 $P1$ と最低圧力 $P2$ の差から、どの程度のアキュムレート時間 T があるかを計算することができる。

アキュムレート時間の計算式は、以下のとおりである。

$$T = (P1 - P2) / P2 * V / F$$

T (hr), $P1$ (運転圧力, MPaA)、 $P2$ (最低圧力, MPaA)、 V (ドラム容量, m^3)、 F (蒸気供給量, m^3/hr)

(11) 工事費の把握

背景：

蒸気供給配管の設置プロジェクトを計画する場合、概算工事費を把握する必要がある

対応策：

概算工事費を把握したい場合は、配管のサイズと配管距離をパラメータとして、直近の蒸気配管設置プロジェクトの情報を参考にし、比例計算で推算する。より精度が高い推算を必要とする場合は、エンジニアリング会社に見積もり依頼する。

④非技術的課題

(1)設備管理範囲の定義

背景：

蒸気供給側と蒸気受給側の蒸気配管について、バッテリーリミット（境界）と呼ぶ管理責任範囲を定める必要がある。

なお、焼却施設からの蒸気供給配管を、受給側の蒸気ヘッダーに接続するに当たり、その接続（つなぎこみ）点は、受給側の責任と費用の下で最適な場所を検討する必要がある。

対応策：

管理範囲を定める要領（方法）は、以下の3ケース想定できる。なお、バッテリーリミットA及びBの位置については図2.2-13を参照。

- ケース1) 蒸気供給側の管理範囲をバッテリーリミットAまでとする。従って、蒸気受給側の管理範囲はバッテリーリミットAの下流となる。

ケース2) 蒸気供給側の管理範囲をバッテリーリミットBまでとする。従って、蒸気受給側の管理範囲はバッテリーリミットBの下流となる。

ケース3) 蒸気供給側の管理範囲をバッテリーリミットAまでとし、バッテリーリミットAからBの管理を別の「配管管理会社」の管理範囲とする。そして蒸気受給側の管理範囲はバッテリーリミットBの下流とする。

ケース1は、蒸気受給側が蒸気供給配管のコストも負担することになり、蒸気受給側がこの事業に参加する動機付けが弱くなる。

ケース2は、蒸気供給側にバッテリーリミットBまでの供給責任があり、その管理責任範囲ができるだけ広がることは、蒸気受給側の管理範囲が狭くなる。これは蒸気受給側にとって、応分の費用負担と理解できるので、この事業へ参加する動機付けが高まる。ケース2の国内事例は多数ある。

ケース3は、蒸気供給側、蒸気受給側の両者にとって費用負担が低くなり、事業参加への動機付けが高まる。ケース3の国内事例は、鹿島コンビナートの「鹿島共同施設（株）」、川崎コンビナートの「川崎スチームネット（株）」がある。

通常はケース2を採用しているケースが多いため、以降の課題項目の評価では、ケース2を採用する前提で、記述した。

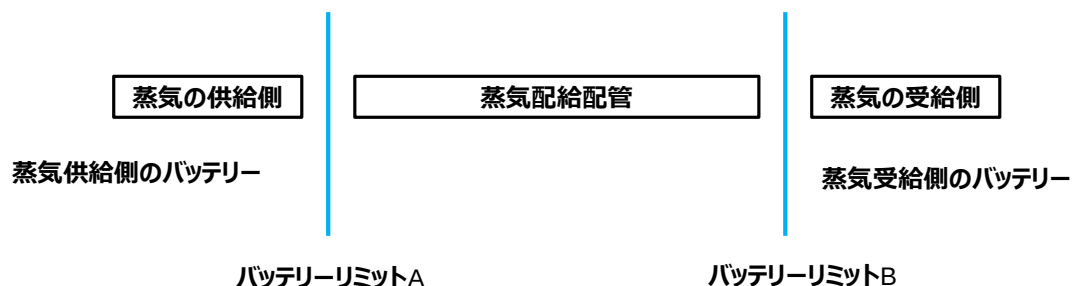


図 2.2-13 蒸気供給側と蒸気受給側の蒸気配管について管理責任範囲

(2)配管敷設工事費用の負担条件の設定

背景：

配管敷設工事費用について、蒸気の供給側と受給側の負担割合を決める必要がある。

対応策：

蒸気供給側と受給側はその責任範囲に応じて費用負担する。責任範囲と費用負担の範囲が同じとなる。したがってケース2では以下のとおりである。

- ・ 蒸気供給側はバッテリーリミットBの上流部分の配管敷設費用を負担
- ・ 蒸気受給側はバッテリーリミットBの下流部分の配管敷設費用を負担

(3)供給蒸気取引量の確認要領

背景：

蒸気供給側と受給側が蒸気の取引量を確認する必要がある。計量する計器での確認要領を定める必要がある。

対応策：

蒸気量の取引量を確認するために計器（流量計と圧力計）を設置する必要があるが、複数台を設置する場合、どの計器の数値を「取引のための真値」とするかを決めておかなければならない。また計器はズレ（測定誤差）が生じるので、その精度や公差はいかほどかを事前に調べた上で、計器の公差の確認やメンテナンスの要領・頻度を定め、関係者で確認しておくことが重要である。なお、蒸気取引のための計器は蒸気受給側バッテリーリミットBに設置することが多い。

(4)蒸気受給側の蒸気購入コストの考え方の整理

背景：

蒸気取引価格は蒸気供給側、受給側ともメリットがあるように設定する必要がある。

対応策：

焼却施設からの蒸気は炭素係数ゼロ（CO₂フリー蒸気）として扱えることを考慮し、蒸気供給側、受給側ともメリットがあるように蒸気価格を設定する必要がある。受給側にとってコストダウンになることが重要であるが、そうならないならば、将来の炭素税等の追加コストを考慮するような検討が必要となる。具体的には、蒸気受給側が通常購入している蒸気価格に、将来の蒸気製造コスト（将来の蒸気コストには炭素税等の追加コストが上乗せされる可能性がある）を加味した蒸気総価格と、今回の取引価格とを比較して、蒸気受給側にとってより安価な蒸気価格になっているか（メリットがあるか）を検討する。

(5)蒸気輸送中の消失ロスの負担要領の設定

背景：

消失ロスとは、圧力損失による圧力低下や、ドレンによる蒸気量の減少のことであり、これは必ず発生する。ロスの量は流量計や圧力計で把握できる。消失ロスの負担要領については、蒸気の供給側と受給側で事前に決めておく必要がある。

対応策：

バッテリーリミットBに設置する流量計や圧力計の数値で蒸気取引をする（蒸気受給側が蒸気を購入する）ので、バッテリーリミットBの上流における蒸気輸送中の消失ロスは蒸気供給側が負担することとなる。

(6)ドレン管理者の設定

背景：

ドレンの配管は蒸気配管の附属設備であり、その管理者を決めておく必要がある。

対応策：

ドレン配管は蒸気配管の附属設備という観点から、蒸気配管を管理する側がドレン配管の管理者となるのが適当である。蒸気配管からのドレンの発生量は比較的少量なので、回収することなく側溝等に廃棄されることが多い。ドレンの水質は管理をきちんとすることで危険のない状態にすることができる。なお、ケース2の場合、バッテリーリミットBを境界として、上流側を供給側、下流側を受給側が蒸気配管を管理することになるので、それに従ってドレン配管も管理対象とする。

(7)蒸気供給が途絶した時（緊急時、定期修理時など）への対応要領の設定

背景：

蒸気供給が途絶した場合、そのトラブルの原因の洗い出しや対応策を早急に進める必要がある。蒸気供給が途絶した時の対応方法については、蒸気供給側、受給側ともメリットがあるように事前に十分協議しておく必要がある。

対応策：

蒸気供給が途絶するのは、次のような状況である。

- a. 蒸気配管の破損時
- b. 供給側ボイラの破損時
- c. 定期点検修理時

これらの状況について、事前に双方から課題を抽出し、検討の上、対応策の策定を行う。トラブル時の対応方法、連絡方法、定修時の蒸気再開手順についてマニュアル化しておく。

(8)関係先への説明と了解取り付け

背景：

配管敷設ルート上で関係する敷地の所有先、公道の場合は管理先を正確に把握し、事業内容を説明し了解をとる。

関係先に本事業の内容と安全性を丁寧に説明し、将来の道路利用においても問題が発生しないような対策を施していることを理解してもらい、本事業に対する信頼性と安心感を得ることが重要である。想定される主な質問を後述する。

対応策：

関係者から想定される質問とその回答例を表 2.2-9 に示す。

表 2.2-9 関係者からの想定される質問とその回答例

想定される質問	回答例
蒸気配管が万一配管の腐食等で漏れが生じて大丈夫か？	蒸気配管なので、万一配管腐食等で漏れが生じた場合、漏れる物質は水蒸気である旨を説明する。高温高圧の水蒸気である旨の掲示方法を協議する。
ボイラ水にはスケールの付着防止や防錆のために清缶剤が添加されるが、人体や環境性に対する悪影響はないか？	清缶剤の使用については、近年その使用量を削減または制限するための機器類が開発・普及しており、清缶剤の使用量（残留量）が少なくなっており、蒸気中に残留する清缶剤成分の濃度管理を徹底することで人体や環境への危険性が無いことを説明する。例えば、ヒドラジン系の清缶剤を使用する場合、残留ヒドラジン濃度を 0.5～1.0mg/KL 以下への濃度管理を徹底することで、発生するドレンについて人体への危険がない旨を説明する。
将来の事業計画、例えば将来、工場の機器を入れ替える際に、道路地下の蒸気配管は問題にならないか？	蒸気配管が道路を横断する箇所においては、その道路を大型機器のような重量物を載せた車両が通過することを想定してカルバートを設置することを検討する。カルバートの設計は、将来、重量物である塔槽類の搬出入する作業に支障がないようにする目的であるので、運搬車両の輪荷重の許容値を明確化して、道路地下の蒸気配管敷設ルートを踏み越えられるように検討を行う。

(3) 令和5年度の実施項目

次項を想定する

- ・廃棄物焼却施設から蒸気を工場へ供給するシステムについて、これまでに蓄積した検討結果から、他のコンビナートの化学工場へ同システムを適用・展開するための情報を整理する
- ・受給管理システムの機能検証を支援し、より実現可能な受給管理システムの概念設計を提供する

2.3 スケジュールの検討

ポテンシャルの拡大推計と課題の整理における、令和3、4年度の実績及び令和5年度のスケジュールを以下に示す。

表 2.3-1 令和3年度、4年度の実績及び令和5年度のスケジュール（赤線：実績、黒線：予定）

		令和3年度							令和4年度												令和5年度											
調査内容		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3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	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2.1 産業への蒸気安定供給システムの基本設計									概念設計												費用対効果の算定											
2.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理																																
(1) Rカーブ解析と蒸気受け入れ効果の診断																																
	①データ収集																															
	②確認と課題の整理																															
(2) 焼却施設からの蒸気共同利用の検討																																
①個別工場への蒸気供給設備導入における課題確認、対策方法の立案																																
②異なる焼却施設・製造工場へ適用可能な形で整理																																
③需給管理システムの機能検証を支援																																

第2章 別添

別添 2-1 蒸気供給システムの概念設計

システム概念の検討結果

蒸気供給システムの概念設計

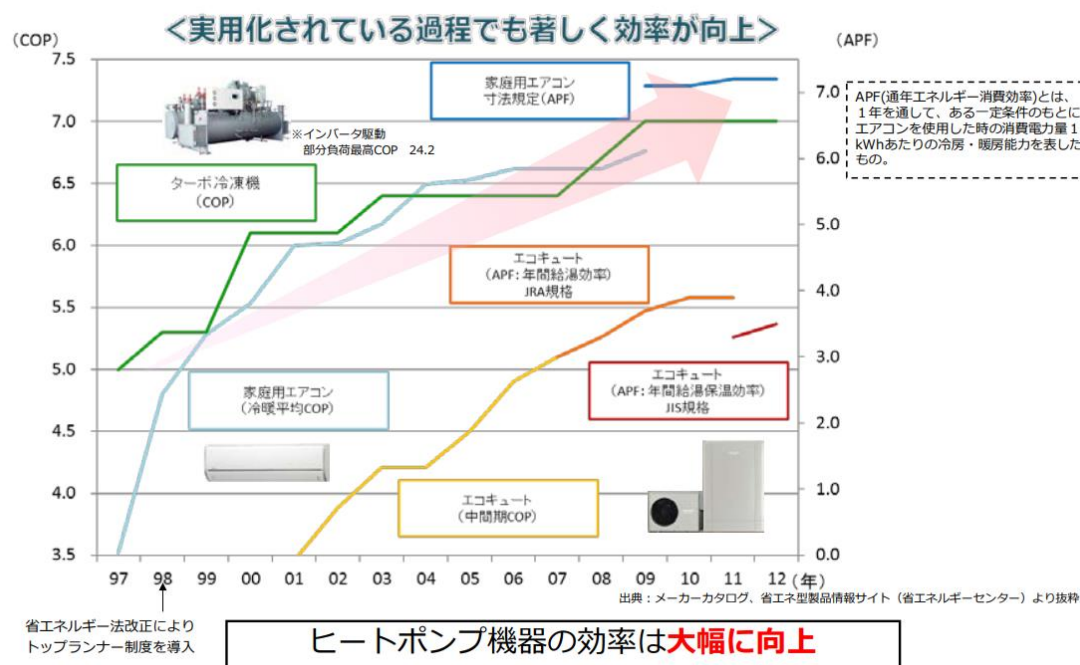
1. 背景と将来性

(1) 廃棄物焼却施設から化学コンビナートへの蒸気供給の将来の効率性

1) 温度帯別の熱供給システム

社会のカーボンニュートラル化の早期実現が求められている。熱供給の分野では、効率化と熱源の変さらによって、最終的にカーボンニュートラルを達成することが、重要な対策となる。効率的な熱供給の方法は、熱需要の温度帯によって大きく異なることになる。暖房や給湯に利用する最終的な温度が 20°C ～ 60°C 程度の低温の温熱需要に対しては、ヒートポンプにより極めて効率的に熱供給を行うことができる。ヒートポンプの効率は、供給する温度と熱源の温度（外気温や利用できる廃熱の温度など）との温度差に反比例するような形になるが、ヒートポンプに投入する電力の4倍から7倍程度の熱をくみ上げて供給することができる。火力発電所の発電効率が、高効率な複合サイクルによるガス火力発電であれば60%に達しているため、発電時の熱損失を考慮しても、火力発電所で投入した化石燃料の200～400%程度の熱供給が可能になる。

ヒートポンプの効率の推移を別図 2.1-1 に示す。



別図 2.1-1 ヒートポンプの効率の推移

一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター「ヒートポンプの将来像分析及び普及見通し調査」2017年8月

加えてカーボンニュートラルを目指す上では、ヒートポンプが電力で駆動することと、低温の温熱はお湯として容易に貯蔵できることから、不安定な太陽光発電や風力発電等の再生可能な電源（再エネ電源）の電力を直接利用し、蓄熱によって安定して熱供給することができるため、非常に効率的である。従って、低温温熱の熱需要に対しては、今後は再エネ電源、ヒートポンプ、蓄熱を組み合わせた仕組みにシフトすることが望ましい。

一方、化学コンビナート（製紙工場など他の素材工場が含まれる場合もある）のように高温、高圧の蒸気を大量に消費しているような場所では、熱源（外気）の温度と蒸気との温度差が大きいためヒートポンプの適用が難しいか、適用できたとしても効率が大きく低下する。また、ヒートポンプでは熱交換器の伝熱部に大面積が必要になることもあり、広い設置スペース、低下するエネルギー効率、装置の大型化による経済性の悪化等の観点で難点が多い。このため、化学コンビナートへのエネルギー供給を、再エネ電源を用いてカーボンニュートラル化することの難易度は非常に高いと言える。蒸気供給のための燃料としてバイオマスである木材を使用することは、100年超といった長期的な視点ではカーボンニュートラルとみなして差支えないが、欧州委員会等で議論されているように¹⁾、短期的には例えば石炭を継続して燃料利用するケースと比べても、一時的により多くのCO₂が大気に放出される可能性もある（伐採する木の状態、植林する木の種類や利用方法等によって影響は変動する）。

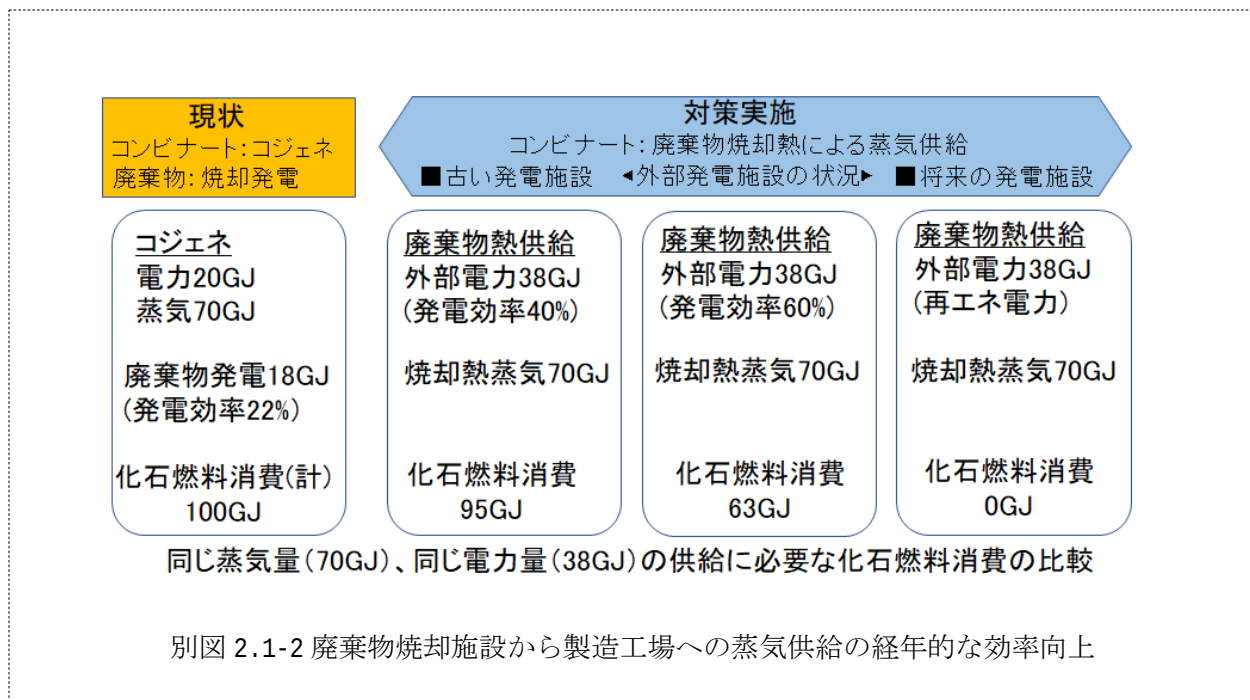
2) 廃棄物焼却熱の効率利用

前述の議論を踏まえると、暖房や給湯のための熱供給は、将来再生可能な電力が主流化した際には、これを利用して高いエネルギー効率で経済的にカーボンニュートラル化を達成しやすいことから、廃棄物焼却熱を暖房や給湯の用途に用いることは、廃棄物の利用と再エネ電源との協調的な利用を考えた際に、今後は非効率可すると言える。廃棄物焼却施設では、廃棄物中の塩素分の存在に伴うボイラ配管の腐食が主な阻害要因となり、製造する蒸気温度は200℃後半程度から、高くても450℃程度に抑制する必要がある。これは、発電するには好ましい条件とは言いがたいが（石炭火力発電の蒸気温度は600℃、ガス火力発電のガスタービン温度は1,600℃であり、ずっと高温）、化学工場や製紙工場のプロセス（蒸留、乾燥等）で利用するには十分な温度（100数十℃～300℃程度）を有している。ヒートポンプの適用が難しい高温の蒸気を廃棄物焼却施設から供給することは、今後、再エネ電源が普及・拡大する局面においても、高い競争力を持つ（すなわちCO₂排出削減効果の高い）対策であると言える。

3) 焼却炉からの蒸気供給における将来のゼロカーボン化

化学コンビナートへの蒸気供給において、現時点で課題があるとすれば、コンビナートの熱供給施設は、蒸気をカスケード利用して行う、発電と蒸気供給のコージェネレーションプラントになっている点である。まず発電を行うために、高温高压（500℃以上、10 数 MPa 以上が一般的）の蒸気をボイラで製造し、これをタービンで発電に利用した後に温度、圧力が低下した蒸気をプロセスに供給することで、エネルギー効率の向上を図っている。このように高温高压の蒸気がカスケード利用されている状況下で、廃棄物焼却施設から 300℃程度の蒸気を供給した場合、蒸気のカスケード利用にアンバランスをもたらすことになるため、化学コンビナート側では製造する蒸気を抑制する必要がある、結果的に発電量も低下することになる。効率的なコージェネレーションが部分的に行えなくなるため、廃棄物焼却施設からの蒸気供給による化石燃料節約効果が低下することを意味する。このような効率低下を回避するために、廃棄物焼却施設側で対策を施すことも考えられるが、本稿ではその対策については扱わない。ここでは、周辺技術の改善とともに、コンビナートへの蒸気供給が次第に高効率化していくことについて以下に述べる。

近年、火力発電所の発電効率が向上しており、前述のようにガス火力発電所ではガスタービンの温度が 1,600℃に達するものも出てきており、発電効率 60%程度の高効率発電が行われている。石炭火力発電所は 40%超の効率に留まるが、CO₂排出量の多い石炭火力は次第に減少すると考えられる。また、再エネ電源が普及・拡大し、さらに電気自動車の普及等に伴って蓄電容量が増大し、再エネ電気の安定利用が可能になるにつれて、電気は再エネ電源を優先利用し、高効率なガス火力が不足を補うような形で利用されつつ、次第にガス火力も減少していくことが考えられる。このような推移において、廃棄物焼却施設から蒸気供給を行った場合の、コンビナート及び外部電源を含めた化石燃料消費の変化を別図 2.1-2 に示す。図ではコンビナートではある時間内に 100GJ の化石燃料から 20GJ の電力と 70GJ の蒸気が製造されている状況（上限に近い高効率な状況）を想定している。この 70GJ の蒸気を廃棄物焼却施設から供給する対策を実施した場合に、合計 38GJ の電力と 70GJ の蒸気供給に必要な化石燃料消費を、外部電源を含めて記載している。廃棄物焼却施設では、82GJ の廃棄物を焼却して発電効率 22%で 18GJ の電力を発電している現在の状況から、70GJ の蒸気をコンビナートへ供給する形に変更している。火力発電の効率が 40%程度の古いガス火力発電施設や石炭火力発電が外部電源である場合、コンビナートにおけるコージェネレーションの優位性が高く、蒸気供給の効果は限定的（化石燃料消費の削減効果が小さい）であるが、ガス火力発電や再エネ電源が主力化するにつれて削減効果が大きくなり、蒸気供給の優位性が高まることになる。



第3章 地域の熱供給需給管理システム実証

本実証では、需要家の熱需要状況のリアルタイム見える化、供給計画の共有、需要予測といった機能により、熱需給のエネルギー利用を効率化することを目的としてエネルギーマネジメントシステム（EMS）を構築する。開発は、需要家の燃料使用実績を計器で取得できる仕組みを作ると共に、運用ルールを定めて、プログラムの設計要件を作成する。その上でプログラミングしてウェブ上（クラウド上）に構築し、関係者がアクセスできるツールを作成する。

令和3年度には、計測対象とするデータの選定を行い、需要家との交渉を経て順次計器の取り付けを開始、システム要件の頭出しを行った。令和4年度には、要件定義を完成させて外部設計を行い、外部設計書に取りまとめた。令和4年度の業務目標及び達成事項を表3-1に示す。なお、外部設計書は業務資料（電子版）として提出した。

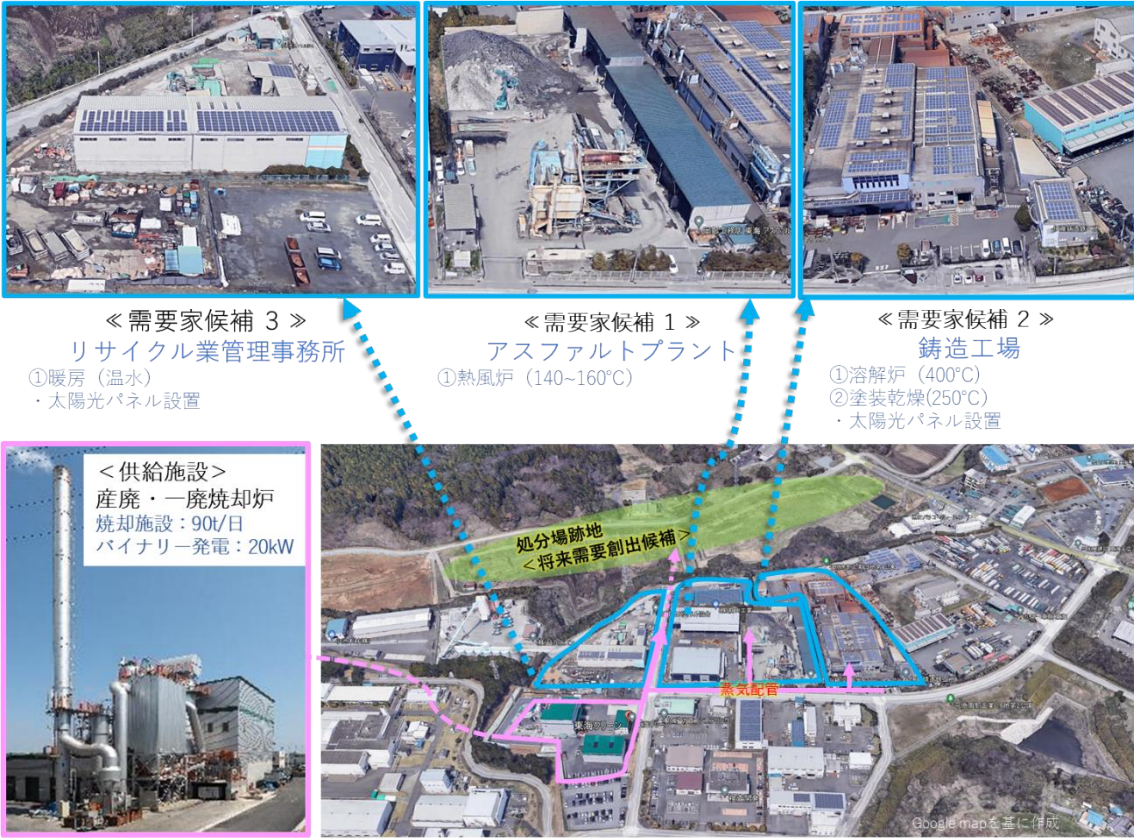
※外部設計書：システムの開発において、主に外部から見た機能や動作をまとめた文書。システムの利用者がどのような機能を必要としているか、どのように操作するのか、どのようにシステムが動作するのかを明確に定義し、その後の内部設計（詳細設計）やプログラムコードの作成につながる基本事項であり、要件定義の成果となる。

表 3-1 令和4年度の業務目標及び達成事項

項目	内容
採択時の技術の状況	蒸気産業利用モデルの実証と CO ₂ 削減効果定量把握と費用対効果の検証、他地域への展開に向けた技術的・制度的課題が整理されていない。
本実証の最終目標	平原南部工業団地に立地する一廃・産廃混焼の焼却施設を核とした廃棄物エネルギーの蒸気熱産業利用モデルの実証と CO ₂ 削減効果定量把握と費用対効果の検証、他地域への展開に向けた技術的・制度的課題を明らかにする。「廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏」のモデルとなりうる構想を提示。
令和4年度の業務目標	近隣の3工場の熱需要・電力需要の詳細を調査し、焼却施設からの熱供給の蒸気配管および熱需給管理システムの設計を完了。IoT・AIによる熱需給管理システムの構築に向けた要件定義を完了。熱利用と立地問題も考慮した熱需給管理システムの実現可能性及び課題の整理を具体的に抽出する。
令和4年度の達成事項	3.1 システム運用ルールの策定 IoT・AIによる熱需給管理システムの構築に向けた要件定義を完了させた。 3.2 熱電EMSの構築 近隣の3工場の熱需要・電力需要の詳細を調査し、実データをもとに熱需要解析を行い、傾向から課題を把握し、必要となる各種計画データを抽出した。どの種類の燃料計器からもデータを取得できるよう方法の検討を行った。EMSの令和5年度の開発に向けて、システム機能の定義と仕様・設計を行った。 詳細調査で得た電力・熱需要の結果からEMSがあり熱需要を平準化させた場合とEMSが無く計画調整できない場合との利用率を比較した。その結果、エネルギー効率は4.6倍に増加し、EMS導入による利用効率の向上を確認した。 3.3 CO₂削減・費用対効果 3.4 実証計画の更新

本実証では、株式会社東海クリーンの焼却施設から周辺に位置する需要家候補の3つの

事業者（以下、需要家という。）への熱供給体制を構築することを目的としている。実証エリア周辺企業の立地状況と想定する協力体制を図 3-1 に示す。



＜茨城県那珂郡東海村村松 平原南部工業団地＞

図 3-1 実証エリア周辺企業の立地状況と想定する協力体制
※記載の需要温度帯は当初想定。

表 3-2 令和 4 年度実施スケジュール

項目	R3 年度	R4 年度	R5 年度
供給設備・配管・需要側構造の設計	→		
熱電 EMS の構築			
(1) エネルギーに関わる情報項目の選定	→		
(2) 関連情報のデータ化検討（熱需要の実測調査）	→	→	
(3) 需要予測に関わる要件定義と仕様設計		→	
(4) 供給側施設運用との連携に関する要件定義		→	
(5) 熱と電力の統合管理システムの検討			
(6) システム全体の仕様設計		→	
(7) プログラム化			→
CO ₂ 削減・費用対効果の算定			→
実証計画の策定			→

地域の熱需給管理システムの実証フローを図 3-2 に示す。

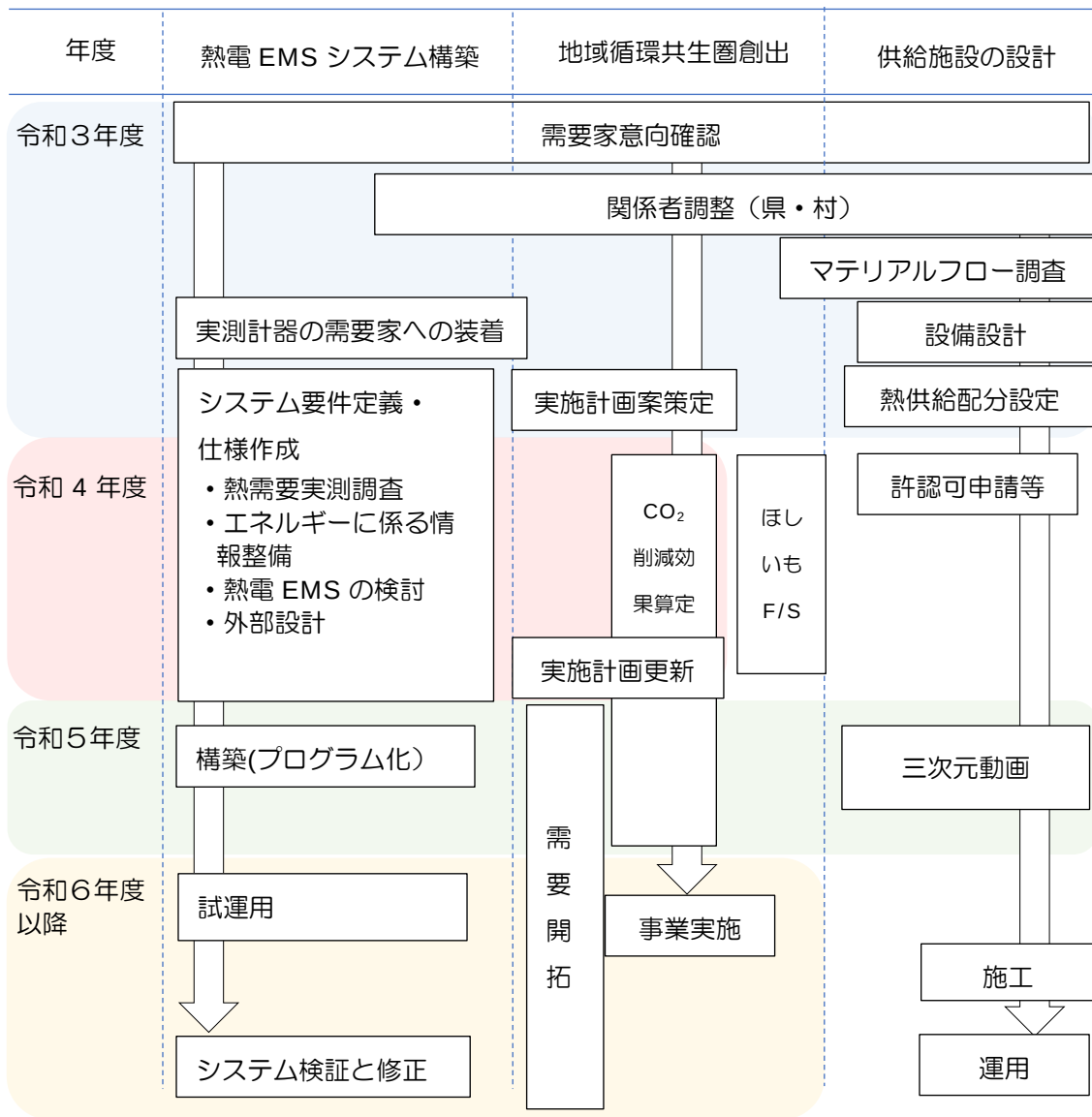


図 3-2 地域の熱需給管理システムの実証フロー

＜EMS の概念整理＞

本章で扱う用語の定義として、EMS の関係性のイメージを図 3-3 に、EMS 呼称の定義を表 3-3 に示す。

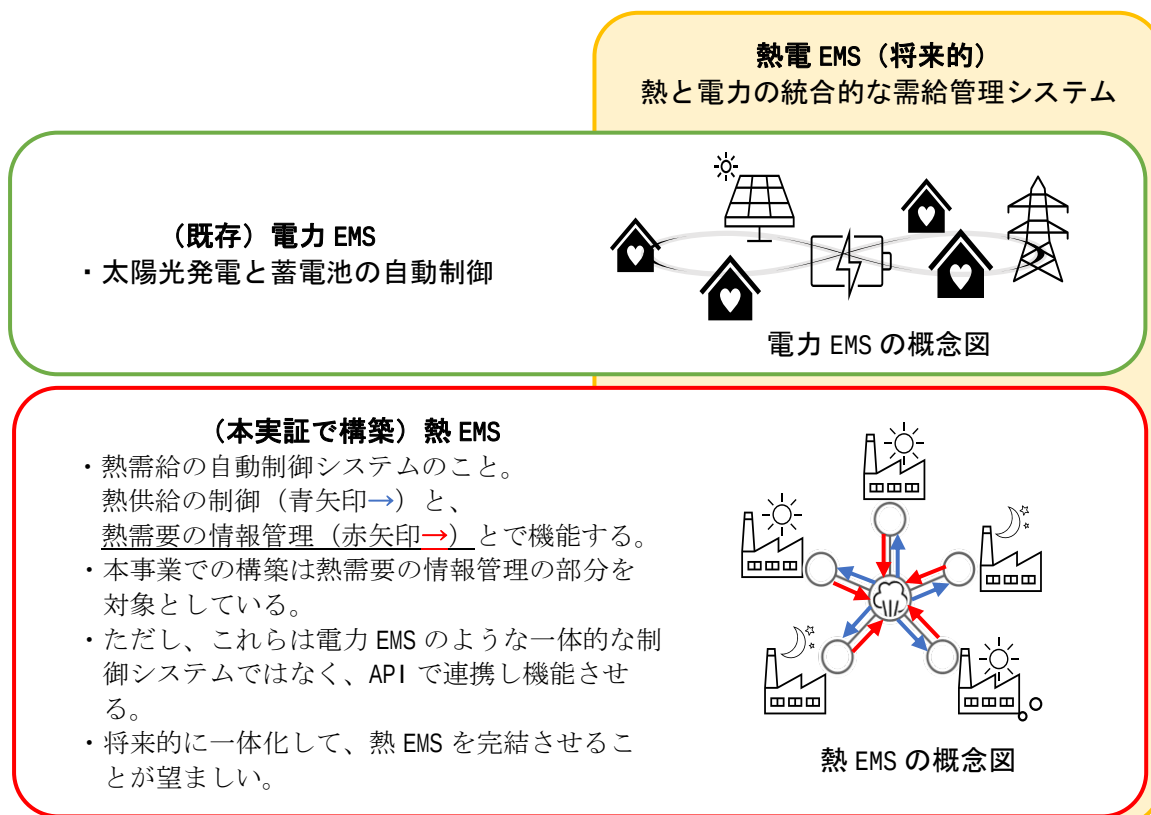


図 3-3 EMS の関係性のイメージ

表 3-3 EMS 呼称の定義

呼称	内容
熱供給システム	焼却施設側が保有する熱供給を制御するシステムのこと。将来的には、熱 EMS の一部となる。 東海村実証においては、需要家がシステムを利用することで、需要調整を行う用途を想定するが、将来的には熱供給システムの自動制御と連携し、熱供給・需給管理システムとする。
需給管理システム	需給調整によるエネルギー利用の効率化を目的としたシステム。供給量及び需要量の実測、データ蓄積、需要予測、供給計画共有などの機能を持つ。＝エネルギーマネジメントシステム「EMS」
電力 EMS	（既存）電気エネルギー利用の効率化を目的としたシステム。 これまで、主に太陽光発電・蓄電池の自動制御を行うシステムとして使われてきた。 本章における電力の EMS には、電力負荷設備の自動制御も含まれる。
熱 EMS	（新規）熱エネルギー利用の効率化を目的としたシステム。 本実証で、新たに開発しているものであり、焼却炉から回収した熱に関するエネルギーマネジメントを行うもの。熱電 EMS を作成する過程で、確立が必要な概念。将来的に熱供給システムを含めて熱 EMS という。
熱電 EMS	（新規）熱と電力の両方を統合的に管理する MES であり、本実証で開発中の新たな概念である。将来的な「EMS」と同義であり、開発過程において必要な概念。広義の EMS と同義であるが、本章では、敢えて熱電 EMS と記載する場合がある。＝将来的な「EMS」と同義であり、開発過程において必要な概念。

3.1 システム運用ルール of 策定

EMS 構築におけるシステムの要件定義に当たり、システムの運転管理に関する運用ルールを設定した。運用ルールは、需給の効率化を目的としながら、需給計画策定業務と計画に基づく平常時の需給運用業務および事故等による異常時の需給運用業務に適用するものである。供給エリア内の需要者に熱供給するに当たり、必要となる需給計画を策定し供給量と需要量を監視することで、安定的な需給運用を実現する。また、エネルギー供給として必要な運転予備力の確保、監視・記録、異常時の運用などの項目に関するルールも設定した。

需要家業務に支障をきたす状況となることを回避し、供給エリアにおける安定供給を維持するための、運用における重点ポイントを以下に示す。また、運用ルール項目を表 3.1-1 に示す。

- ・実証対象リアの需要合計に対し、常に供給力が下回らないことを維持する。
- ・計画に基づく供給停止については事前にその時期を連携し、需要家が円滑に代替の熱供給方法へ切り替え可能であるとする。
- ・事故等の異常発生時に、需要家業務への影響が最小限になるような手順を運用とする。

表 3.1-1 運用ルール項目

タイトル
供給計画
需要計画
熱供給
運転予備力
運転瞬動予備力
需給ひっ迫時の措置
優先供給指令
監視及び記録
異常時、事故発生時の供給運用
検針と請求
保安業務

(1) 供給側が提出すべき計画内容の検討

熱供給者は供給計画を策定した後、熱需給管理システムを通じて需要者へこれを共有し、計画に基づいた供給業務を行う。供給計画は、計画断面ごとに指定の期限までに作成することが必要となる。年間・月間計画については、手入力で登録することを想定するが、翌日・当日計画については高頻度の計画作成が必要となるため、作業効率化の観点から需要実績や供給実績に基づいた予測からシステムにて自動算出することを可能とする。週間計画は、自動化を元に手入力で確定するといった半自動化を検討する。

更に長期的な運用により需給実績データが蓄積されることによって、年間・月間計画についても自動化することを見据える。

熱供給の計画断面を表 3.1-2 に示す。5 段階とし、対象期間と策定期限案を定めた。計画

内容は次のとおり、各計画断面における供給計画と停止計画となるが、断面によって粒度が異なる。翌日計画、当日計画については、30分ごとの熱供給量を作成する必要があるため、「需給管理システムに内包される需要予測機能」によって自動作成を行う。

表 3.1-2 計画の対象期間と策定期限

計画断面	計画対象期間	策定期限	計画策定箇所
年間計画	第1～第2年度	毎年3月25日	熱供給者
月間計画	翌月、翌々月	毎月25日	
週間計画	翌週、翌々週	毎週金曜日（月曜始まり）	
翌日計画	翌日	毎日17時50分	
当日計画	当日	随時	

年間計画、月間計画

提出対象：年間：各月平休日別、月間：各週平休日別

供給計画：最大値及び最小値発生時の供給熱量

停止計画：供給停止開始日時、終了日時、停止内容

週間計画

供給計画：最大値及び最小値発生時の供給熱量と予想時刻

停止計画：供給停止開始日時、終了日時、停止内容

翌日計画、当日計画

供給計画：30分ごとの供給熱量 ... 熱需給管理システムからの出力を元に自動作成

停止計画：供給停止開始日時、終了日時、停止内容

計画の策定者（熱供給者）は、需給運用に影響を与える諸元に変更が生じた場合、あるいは熱供給システム設備の故障や作業停止など、供給エリアの安定運用に支障を与える事由による調整で変更が生じた場合、速やかに変更した計画を登録する。変更された計画は、必ず需要者への通知を伴うものとして、熱需給管理システムの機能として盛り込む。

計画変更の通知方法

- ・熱需給管理システムの機能（システム上の自動通知機能）
- ・その他、個別での連絡（電話、メール等）

※変更通知は原則、熱受給管理システム上で行うが、システムトラブル時の経路として個別の連絡代替も確保する。

計画変更の提出期限（原則）

年間計画：随時

月間計画：末日の前日まで

週間計画：前週日曜日正午まで

翌日計画：前日22時まで

（２）需要家が提出すべき計画内容の設定

需要家は利便性の観点から需要計画を提出する運用としないが、熱需給管理システムによる需要予測を可能とするため、以下のデータの提供が求められる。

必須データ

- ・熱需要量実測データ（自動計測による提供）
- ・屋内外の温湿度実測データ（自動計測による提供）

※温湿度については空調負荷を含む熱負荷の予測を目的としたもの

推奨データ

以下は、高精度の需要予測において非常に有用なデータとなるが、需要家が提供可能な場合に限り提供する。データの提供方法についても需要者と協議の上、決定する。

営業日（カレンダー）

システムへの連携方法は、システムへの手入力やファイルアップロード、Web API を活用した自動連携等を想定。

設備稼働スケジュール・生産計画

提供可能である場合、需要予測精度が非常に高くなることが見込まれる。

（営業に関わるデータとなるため、閲覧権限の設定、セキュリティの担保が必要）

（３）熱供給者が確認すべき事項

熱供給の運用の確認事項について表 3.1-3 に示す。確認事項に運転予備力の確保、運転瞬動予備力の確保、出力の抑制があるが、東海村における運用としては、システム保全を目的としたもの以外については、供給出力の抑制については行わない。汎用化を見据えた場合については必要と想定されるため、別途検討が必要となる。

表 3.1-3 熱供給の運用に関する確認事項

運用項目	平原南工業団地における運用	汎用化を見据えた場合
運転予備力の確保	必要	必要
運転瞬動予備力の確保	不要 (廃棄物焼却による熱供給では不可能)	必要 別途要検討
供給出力の抑制(1) (システム保全目的)	必要 別途検討	必要 別途要検討
供給出力の抑制(2) (受給バランス目的)	不要 (常時供給が需要を上回る計画とする)	必要 別途要検討
供給出力の抑制(3) (熱製造コストを考慮)	現時点では想定しない	必要 別途要検討

(4) その他の項目

運用ルール項目(表 3.1-1)に挙げた項目のうち、(1)～(3)で触れなかったその他の項目について、検討内容を表 3.1-4 に示す。

表 3.1-4 運用ルール項目の検討内容

項目	検討内容
熱供給システム	<u>運転制御</u> 発停制御：スケジュール管理：熱供給システムの仕様による 手動制御方法：熱供給システムの仕様による 出力調整制御： スケジュール制御方法：熱供給システムの仕様による 手動制御方法：熱供給システムの仕様による <u>問い合わせ窓口の仕様</u> ・電話による受付：平日 9:00～18:00 など ・メールによる受付：24 時間 365 日受付（翌営業日以降回答） 契約関係、技術的な課題や質問 緊急時、トラブルへの対応
バックアップボイラ及び蓄熱槽	東海村における実証については想定しないが、汎用化を見据えた運用方法として令和 5 年度の検討課題とする。
運転予備力	以下の項目を考慮し、原則として、当該日の需要合計に対して、あらかじめ 15%以上の運転予備力の確保に努める。予備力の根拠としては以下を考慮したものとする。 ・廃棄物焼却による蒸気供給の変動幅を 10%とする。 ・気温予測の誤差などにより生じる空調負荷の予測差を考慮する。 ・熱需要予測からの乖離や、需要者の計画外の熱需要の発生を考慮する。 ・需要家側に太陽光発電が導入され、熱エネルギーの代替として利用可能となる場合。(将来的に電熱エネルギーバランスを考慮したマネジメントを行う)
運転瞬動予備力	廃棄物焼却による熱供給においては、運転瞬動予備力の確保は行わないものとする。
需給ひっ迫時の措置	廃棄物焼却による熱供給においては、供給力の調整を行うことを想定しない。基本的には需要家側での需要量の調整を負担いただくことが前提となるため、需給ひっ迫することが想定される場面の洗い出しと、ひっ迫時の措置については、その実現性を含めて次年度の検討課題とする。
優先供給指令	本実証事業においては、優先供給指令を行うことを想定しないが、前項の需給ひっ迫時の措置と関連して必要に応じて、供給の優先度を設定することも検討する。

監視及び記録	熱供給システムの運転監視運用ルールについて、表1に示す。また、熱供給システムの記録については、運転日誌の作成など、熱供給システムの運用に準拠する形で決定する。 表1 熱供給システムの運転監視の運用ルール <table> <tr> <th>項目</th><th>運用ルール</th></tr> <tr> <td>責任者</td><td>熱供給管理監視運用者（運用管理者）</td></tr> <tr> <td>体制</td><td>常時2名以上にて監視</td></tr> <tr> <td>時間</td><td>24時間365日</td></tr> <tr> <td>方法</td><td>システムによる監視、目視による監視</td></tr> <tr> <td>対象</td><td> a) 焼却炉：焼却炉監視システム b) 熱供給システム（熱供給点） 熱供給監視、熱供給管理システム計測、 データ（往還温度、往還流量、蒸気圧力など） </td></tr> </table>	項目	運用ルール	責任者	熱供給管理監視運用者（運用管理者）	体制	常時2名以上にて監視	時間	24時間365日	方法	システムによる監視、目視による監視	対象	a) 焼却炉：焼却炉監視システム b) 熱供給システム（熱供給点） 熱供給監視、熱供給管理システム計測、 データ（往還温度、往還流量、蒸気圧力など）
項目	運用ルール												
責任者	熱供給管理監視運用者（運用管理者）												
体制	常時2名以上にて監視												
時間	24時間365日												
方法	システムによる監視、目視による監視												
対象	a) 焼却炉：焼却炉監視システム b) 熱供給システム（熱供給点） 熱供給監視、熱供給管理システム計測、 データ（往還温度、往還流量、蒸気圧力など）												
異常時、事故発生時の供給運用	想定される異常事態と事故発生のパターンを洗い出し、対応手順を決定する。トラブル等発覚後、現在の想定では1時間程度は熱供給が継続可能であるが、復旧にこの時間を超える場合の対応手順については、熱供給の代替手段を含めて検討する必要がある。												
検針と請求	検針と請求の運用ルールを表2に示す。 表2 検針と請求の運用ルール <table> <tr> <th>項目</th><th>運用ルール</th></tr> <tr> <td>検針方法</td><td> - 検針用計量については熱供給管理システムと連動した自動検針を可能とする。 - 通信遮断等による欠損発生を考慮して、現地での目視検針を定期的（年1回程度）に実施する。（設備の保守点検時と合わせるなどして実施） </td></tr> <tr> <td>検針項目</td><td> - 熱需要量：検針日までの積算需要量 - 最大需要量：デマンドによる料金算出を行う場合に必要 </td></tr> <tr> <td>検針日の設定</td><td> - 需要者ごとに設定できるものとし需給契約に記載するものとする。 - 熱供給管理システムに検針日を登録することで、指定月の熱需要量の集計や請求額の算出を可能とする。 </td></tr> <tr> <td>料金の算出</td><td> - 料金の算出方法は別途検討課題。 - 熱供給管理システムにより自動算出可能とする。 </td></tr> <tr> <td>請求方法</td><td>別途検討する</td></tr> </table>	項目	運用ルール	検針方法	- 検針用計量については熱供給管理システムと連動した自動検針を可能とする。 - 通信遮断等による欠損発生を考慮して、現地での目視検針を定期的（年1回程度）に実施する。（設備の保守点検時と合わせるなどして実施）	検針項目	- 熱需要量：検針日までの積算需要量 - 最大需要量：デマンドによる料金算出を行う場合に必要	検針日の設定	- 需要者ごとに設定できるものとし需給契約に記載するものとする。 - 熱供給管理システムに検針日を登録することで、指定月の熱需要量の集計や請求額の算出を可能とする。	料金の算出	- 料金の算出方法は別途検討課題。 - 熱供給管理システムにより自動算出可能とする。	請求方法	別途検討する
項目	運用ルール												
検針方法	- 検針用計量については熱供給管理システムと連動した自動検針を可能とする。 - 通信遮断等による欠損発生を考慮して、現地での目視検針を定期的（年1回程度）に実施する。（設備の保守点検時と合わせるなどして実施）												
検針項目	- 熱需要量：検針日までの積算需要量 - 最大需要量：デマンドによる料金算出を行う場合に必要												
検針日の設定	- 需要者ごとに設定できるものとし需給契約に記載するものとする。 - 熱供給管理システムに検針日を登録することで、指定月の熱需要量の集計や請求額の算出を可能とする。												
料金の算出	- 料金の算出方法は別途検討課題。 - 熱供給管理システムにより自動算出可能とする。												
請求方法	別途検討する												
保安業務	<u>供給者施設</u> 熱供給事業者は、法・施行規則・技術上の基準を定める省令に基づき保安規程を作成し、保安業務を遂行する。 <u>需要者施設</u> 熱需要施設については、保安業務を別途検討する（法定点検の実施等など）。												

3.2 熱電 EMS の構築

本実証では熱の需給管理システムについて検討する。その上で、将来の熱電 EMS の構築に資するように務める。

本業務では、実測データを用い、システムで利用するデータ特性を分析し、システムで利用するデータを選定した。これらの実測データの分析に基づき、仕様検討と予測の試行までを実施した。

(1) エネルギーに関わる情報項目の選定

エネルギーに関わる情報項目の選定結果を表 3.2-1 に示す。調査検討段階では、実際の熱供給はまだ運用されていないため、代替対象となる各需要家における A 重油や LPG の実測を行い、そのデータに対して需要分析を行った。

熱供給システムが稼働する際には、熱量計測を行う必要がある(表 3.2-1 左列の「実測」▲が対象)。熱量計測については、蒸気及び気体流量と配管内の往還温度を計測するセンサーを持ち、内部で熱量演算を行う計測器を用いることで、熱電 EMS とのデータ連携を円滑に行うことを可能とする。また、計測器は、瞬時熱量をアナログ出力(4-20mA)もしくは積算熱量をパルス出力し、この信号は通信器(ゲートウェイ)を経由することでクラウド上の EMS へ連携することを可能とする。

表 3.2-1 エネルギーに関わる情報項目の選定結果

実測	種類	計測対象	計測器設置場所	利用用途
○	電力	主に空調使用電力需要量	検針用メーター付近にサービスパルス計測機を設置して計測	空調負荷の予測
○	A 重油	アスファルトプラントにおけるサブバーナー重油需要量	A 重油の配管へ流量計を設置して計測	※熱供給システム未利用時 熱需要の予測 熱需要実績の把握 (リアルタイム)
△	LPG	乾燥炉におけるガス需要量※今回計測せず	ガス配管へ流量計を設置	
▲	熱量	熱需要量(蒸気提供する場合)	需要家敷地内の蒸気配管に熱量計を設置して計測(蒸気流量、往還温度計測)	※熱供給システム利用時 熱需要の予測 熱需要実績の把握 (リアルタイム)
▲	熱量	熱需要量(熱風提供する場合)	需要家敷地内の熱風配管に熱量計を設置して計測(気体流量、往還温度計測)	

○：今回実測できたもの、△：今回実測ができていないもの、▲：熱供給開始後に計測するもの

1) 実測のための計測値及び通信機の設置

既存の熱量を実測するため計測器(子機)及び通信器(親機)を設置した。工事内容を表 3.2-2、設置した計測器・通信器の写真を図 3.2-1 に示す。また、工事の概要を以下に示す。工事の詳細状況は別添 3-1 に収載した。

表 3.2-2 計測器（子機）及び通信器（親機）の工事内容

事業者	工事場所	工事内容
アスファルトプラント	A重油	令和4年1月13日に現場調査を実施の上、2月22日に施工を実施した。該当需要家においては、A重油の需要は2系統（メインバーナー、サブバーナー）存在する。熱量に切替え対象となるサブバーナーの既存流量計については、パルス出力が存在しないものであったため、令和4年7月27日にパルス出力タイプへの換装を行った。 メインバーナーについても重油流量計からの外部出力（使用量の積算パルス）を取得する予定であったが、既存の出力配線生産管理設備へ接続されていることが判明したため、パルス出力信号を分配する必要が生じた。出力信号の分配は、中央監視システムなどが導入されている場合、電気やガス計測でも同様に必要な問題となり、今回重油計測においても課題が明確となった。
	電気計測（受電量）	令和4年2月22日に計測装置の設置を完了。検針用計量器より積算パルスを連携する施工（電力会社による）を3月1日完了し、計測開始した。
	温湿度計測	令和4年7月27日に屋内屋外にそれぞれ温湿度計を設置し、計測開始した。
リサイクル業管理事務所	電気計測（受電量）	アスファルトプラント同様、2月22日に計測装置の設置を完了。3月1日より計測開始した。
	温湿度計測	令和4年7月27日に屋内屋外にそれぞれ温湿度計を設置し、計測開始した。

※既存熱量の実測工事日程

- 令和4年1月13日：計測検討のための現場調査（令和3年度業務）
- 令和4年2月22日：電気計測工事（令和3年度業務）
- 令和4年3月1日：電力会社によるサービスパルス出力工事（令和3年度業務）
- 令和4年7月27日：A重油計測工事、温湿度計測工事（令和4年度業務）

アスファルトプラント（電気・重油・屋内温湿度・屋外温湿度）



リサイクル業管理事務所（電気・屋外温湿度・屋内温湿度）



図 3.2-1 設置した計測器・通信器の写真

2) 需要特性の分析

アスファルトプラント、及びリサイクル業管理事務所の両施設において計器による実測データが得られたため、熱量及び空調由来の電気需要について、それぞれ分析し、需要特性を考察した。結果を以下に示す。

①アスファルトプラントの需要特性

(1) A重油需要（サブバーナー）

アスファルトプラントのA重油の実測グラフを図 3.2-2 に、需要特性の考察を以下に示す。

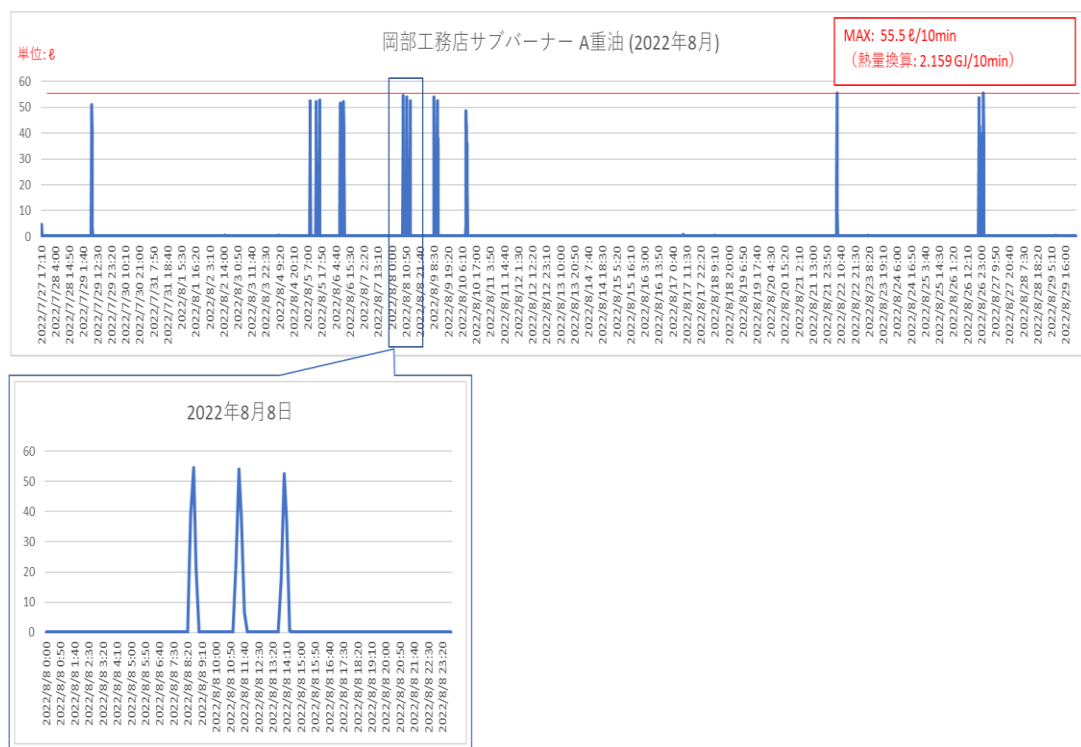


図 3.2-2 アスファルトプラントA重油の実測グラフ(令和4年8月)

【アスファルトプラントにおけるA重油の需要特性の考察】

- ・A重油は、アスファルトプラントにおける再生骨材を対象にしたサブバーナーでの利用となり、30分単位でのプロットではスパイク形状の需要となった。
- ・該当期間の使用量の最大値は 55.5 L /10 分となり、熱量換算としては 2.159 GJ /10 分と想定した。
- ・A重油利用発生時、最大値の到達率はすべての使用時点で 93%を超える（A重油利用時の需要容量の変動は少ない）ことを見込んだ。

(2)電気需要（生産設備及び空調利用分）

アスファルトプラントの気温・湿度・消費電力(令和4年8月)を図3.2-3に、アスファルトプラントの営業日・休業日別の消費電力を図3.2-4、及び需要特性の考察を以下に示す。

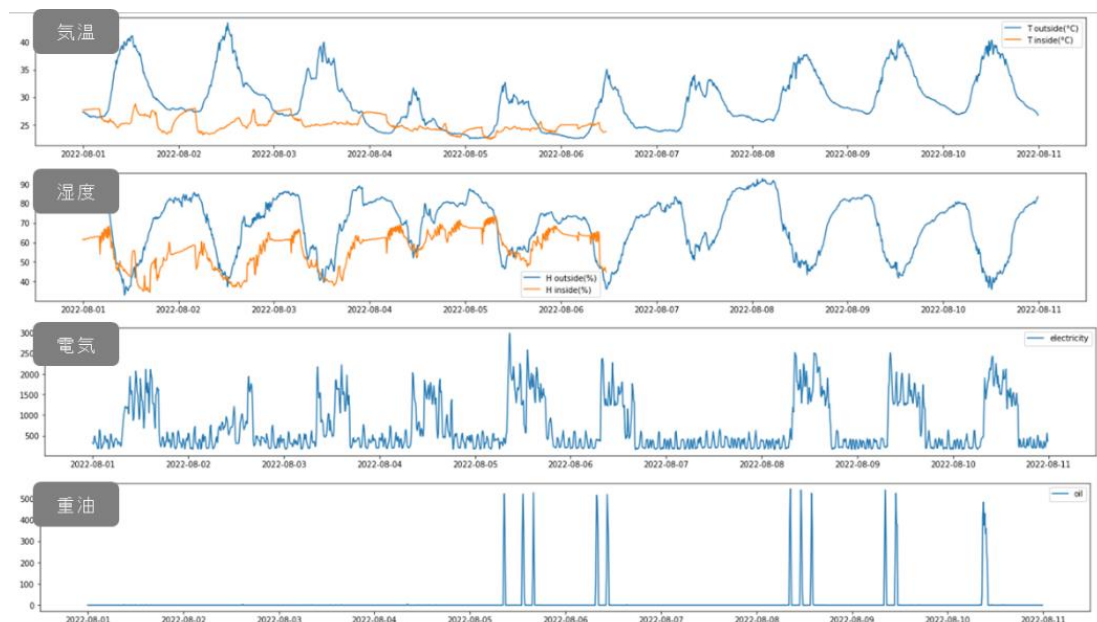


図 3.2-3 アスファルトプラントの気温・湿度・消費電力(令和4年8月)



図 3.2-4 アスファルトプラントの営業日・休業日別の消費電力

【アスファルトプラントにおける電気の需要特性の考察】

- ・実測された電力需要量は受電量であり、ベルトコンベアーなどの工場生産設備と事務所の電力の合計となる
- ・事務所の電力想定容量は、50kW 程度を想定（空調、照明、コンセントなど）した。
- ・空調設備に限定した容量については、最大 30kW 程度（冷房時）と想定した。
- ・空調のみの熱量換算：0.199GJ（199MJ）/30 分と見込んだ。

②リサイクル業管理事務所の需要特性

(1)電気需要（空調利用分）

リサイクル業管理事務所の気温・湿度・消費電力の実測グラフを図3.2-5に、営業日・休業日別の消費電力を図3.2-6、及び需要特性の考察を以下に示す。

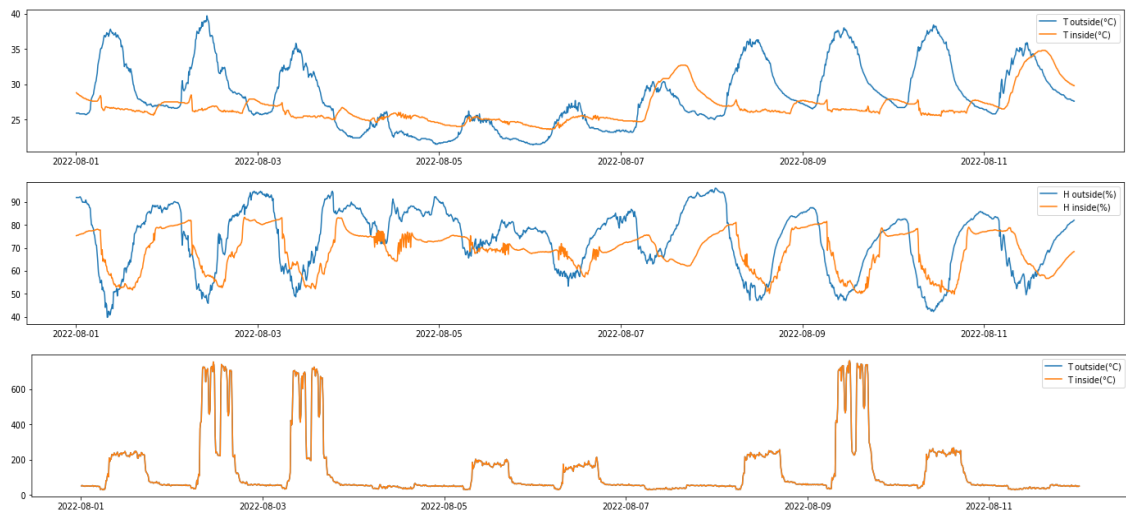


図 3.2-5 リサイクル業管理事務所の気温・湿度・消費電力の実測グラフ



図 3.2-6 リサイクル業管理事務所の営業日・休業日別の消費電力

【リサイクル業管理事務所における電気の需要特性の考察】

- ・実測した電力需要量は受電量となり、工場生産設備と事務所の電力の合計となる。
- ・事務所の電力想定容量は20kW未滿を想定（空調、照明、コンセントなど）した。
- ・空調設備容量については12kW程度（冷房時）と想定した。
- ・熱量換算：0.0995GJ（99.5MJ）/30分と想定した。

(2) ピーク電力の発生曜日分析

ピーク電力の発生に関する分析を行った結果を図 3.2-7 に、また、ピーク電力の発生傾向を以下に示す。

- ・ ピーク電力が発生する日は曜日による傾向がある可能性が高いと考察した。
- ・ ピーク電力が発生しない日については、事務所のみ電力利用があると分かった。
- ・ 日曜日は休業日であるが、週によっては他曜日にも休業日と想定される日あると分かった。

日	月	火	水	木	金	土
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3

= 700 (事務所 + 工場)
 = 200 (事務所)
 = 0

図 3.2-7 リサイクル業管理事務所電力ピーク発生曜日の傾向

3) 合計熱需要

前述の2)の実測データより、需要家の熱需要と空調電気需要を合計した熱需要の分析を行った。

その結果、平原南工業団地の需要家においては、重油や空調電力の代替として利用する熱需要の負荷率が非常に低いことが明らかになった。前頁の「重油用+空調用」で示される赤色部分が想定される需要量となり、この需要を満たすためには、「熱供給合計」となる橙色部分が必要となる。想定される需要全体イメージを図3.2-8に示す。

しかし、廃棄物処理による熱供給では基本的に供給量の調整をしないため、熱実需要の存在しない(利用されない)時間帯が長期間発生することが想定される。これに対して需要の発生時間を高精度に予測することが可能になれば、該当の時間帯でほしいも残渣乾燥に熱利用を充てることが可能になる。更に、追加の熱供給需要家を誘致することも可能となり、熱供給の利用の効率化(利用率の向上)が見込める。これが電熱EMSの主な目的となる。

合計の最大需要量：6.7755GJ/30分

- <内訳>
- ・アスファルトプラント(A重油)：6.477GJ(全体に対する寄与度：95.6%)
 - ・アスファルトプラント(空調電力)：0.199GJ(全体に対する寄与度：2.9%)
 - ・リサイクル業管理事務所(空調電力)：0.0995GJ(全体に対する寄与度：1.5%)

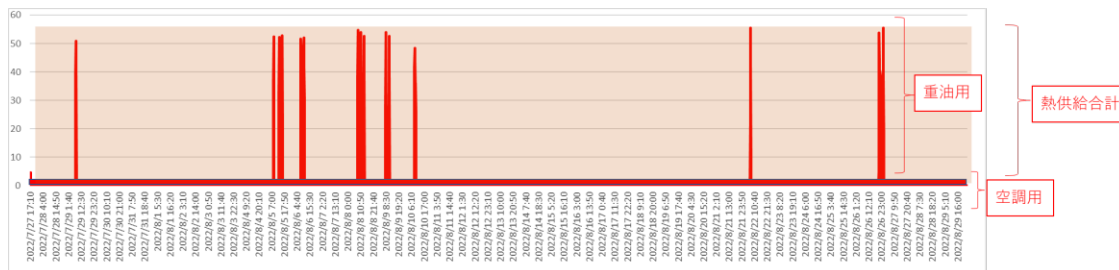


図3.2-8 想定される需要全体イメージ

今回、A重油及び電力計測のみの計測となったが、熱供給へ代替の可能性がある他のエネルギーも含めて洗い出し、それぞれの計測方法検討し、次項に示す。

4) エネルギー種類別熱量計測方法の検討

エネルギー種類別熱量計測方法を検討した。

中圧・高圧メーターは一般的にはデマンド計に接続されているため、パルス出力を分配する必要がある。低圧メーターについてはパルス出力がないため、パルス出力装置を別途設置する必要がある。パルス出力の計測方法として光学式などが存在する。都市ガスメーターは、N型メーターという共通仕様である。

これらの状況を踏まえてエネルギー種類別の熱量計測方法の検討結果を取りまとめた。検討結果を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3 エネルギー種類別の熱量計測方法の検討結果

エネルギーの種類	計測方法
a. 都市ガス	中圧・高圧メーターの場合は積算パルス出力あり。一般的にはデマンド計に接続されているため、パルス出力を分配する必要がある。低圧メーターについてはパルス出力がないため、パルス出力装置を別途設置する必要がある。パルス出力については光学式などが存在する。なお、都市ガスメーターは、N型メーターという共通仕様である。
b. LPG	・メーターが存在する場合 パルス出力が存在する場合はパルス分配を行う。パルス出力が存在し名場合は、メーターの交換を検討する。 ・メーターが存在しない場合 別途、パルス出力機能式の流量計を設置する必要がある。機械式、電子式、超音波式流量計など。
c. A重油	一般的には重油においては液面計が設置されていることが多く、流量計の計測を別途追加する必要がある。流量計よりすでに信号が出力されている場合はパルス分配を行い計測する。
d. 地域熱供給	地域熱供給の場合、瞬時熱量信号が出力されている場合が多く、パルス変換を行うことで、正確な計測が可能となる。
e. 蒸気熱量	今回の供給対象となる蒸気の計測については、往環温度及び流量計測センサーを配管に設置し、熱量換算機能を持つ熱量計にて計測する。同様に熱量積算パルスを出力とすることで汎用的なインターフェースとすることが可能となる。
f. 電気計測	電気計測にについて、受電計測、個別計測のどちらかで対応する。一般的には個別計測を行い、高粒度のデータを取得する方が、需要予測の精度は上がるが、導入コストは上昇する。そのためエネルギー需要の主要設備のみに絞ることが望ましい。
g. 受電計測	施設全体の需要（デマンド）の計測を行う。主な計測インターフェースは下記のとおり。 ・検針用計量器から取得される積算パルスの利用 ・スマートメーター（Bルート）の利用
h. 個別計測	変圧器や分電盤単位での低圧計測。

なお、前述のとおり、各計器に合った方法で検針を行うことにより、特定のエリアや系統、設備単位の計測が可能となる。直接電力量計を設置、積算パルス出力を行う。高圧饋電単位などは多くの場合既設メーターが設置されているため、CT/VT の二次計測を行うこととした。一方、低圧部（三相三線、単相三線、単相二線）について、既設のメーターが存在しない場合に、電力量計を設置することとした。

熱供給に切り替え可能なエネルギー対象は多岐にわたるが、図 3.2-9 のようにセンサーと通信器を分離し、パルス・アナログ両方に対応したセンサーを利用することで、汎用的な計測が可能となるようにした。熱計測選択チャートと計測手法パターン）を、令和3年度業務から抜粋して、次頁に示す。

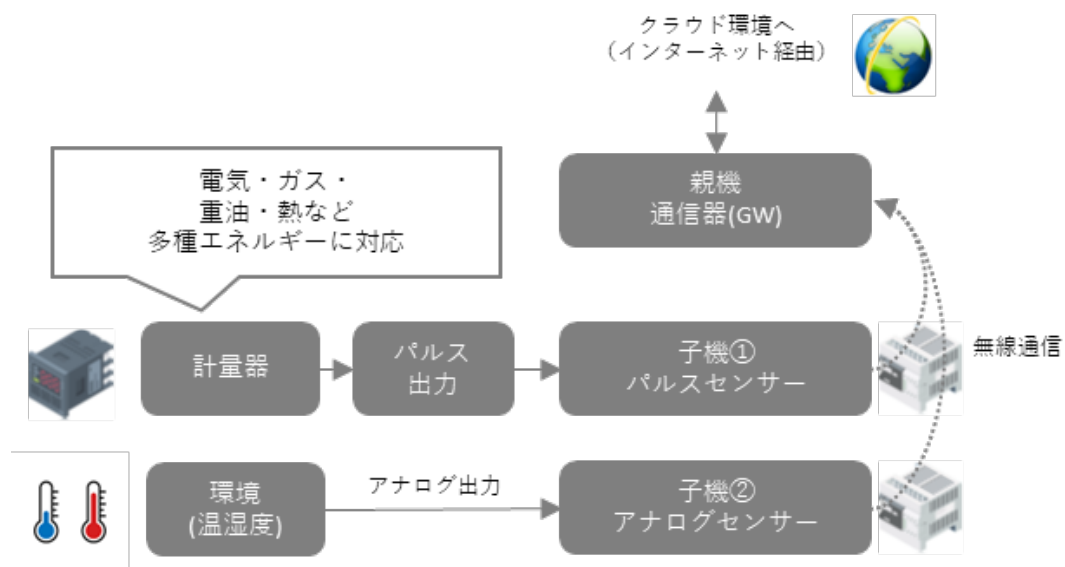


図 3.2-9 汎用的な計測システム構成概念図

< 熱計測選択チャートと計測手法パターン（令和3年度業務報告書からの抜粋） >

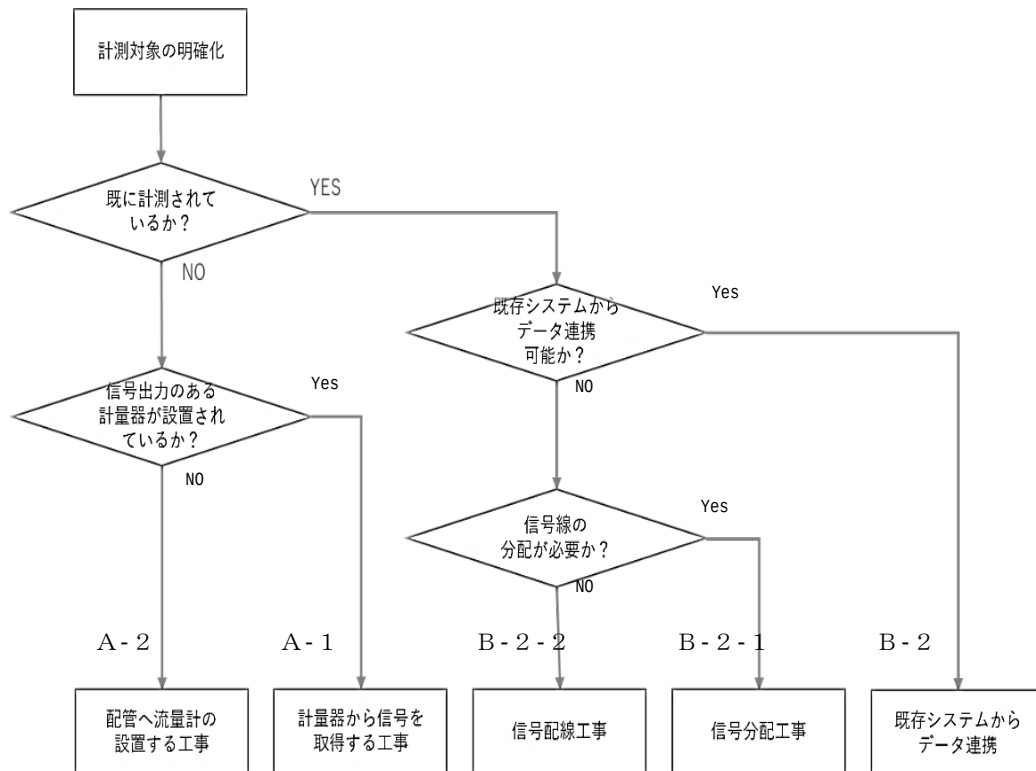


図 3.2-10 LPG やA重油計測設置の際の検討フロー標準（案）

表 3.2-4 計測手法パターン（案）

パターン	計測手法パターン	必要工事 (配線／信号仕様)	必要設備 (メーカー／型式)
A	配管への流量計の挿入必要	-	-
A - 1	計測信号の設置が必要	配管挿入工事	流量計
A - 2	計測信号の設置が不要	-	-
B	配管への流量計の挿入不要	-	-
B - 1	既存計量器の交換必要	計量器交換工事	計量器
B - 2	既存計量器の交換不要	-	-
B - 2 - 1	計測信号の分配が必要	信号分配工事	信号分配機器
B - 2 - 2	計測信号の分配が不要	信号配線工事	-

（２）関連情報のデータ化検討

エネルギー使用に影響を与えると想定される情報と、実測された需要に対する影響を分析した。今回は実測可能な室内外の温室度のみでの分析とし、営業日以下各需要家の情報についてはシステム開発フェーズにおいて、提供の可否と、可能な場合は具体的な連携実現方法を検討した。室内外温湿度が実熱需要量に与える影響は、次項（３）「需要予測に関わる要件定義と仕様設計」にて記載した。

各情報のデータ化について、エネルギー使用に影響を与えると想定される情報を表 3.2-5 に示す。

表 3.2-5 エネルギー使用に影響を与えると想定される情報

取得	情報の種類	データ粒度	実装時に想定 の入手元	補足事項
実測	環境	室内外の 温湿度	事務所内、建物外壁面に計測器を設置し実測	・30 分単位データとして取得する（エネルギー計測と同じ粒度） ・室内外の温湿度：主に空調負荷の予測へ利用、必要に応じて次の計測を追加する。 ・CO₂ 濃度：施設における換気と連動しており、空調負荷予測に利用 ・照度：主に電気需要の予測に活用、空調負荷の予測にも活用可能
外部連携	気象	地域の天候	気象庁データベース 気象協会サービス	・実績値は、気象庁データベースから 60 分単位データとして取得 ・予測値は、気象協会サービスより連携（仕様については下記のとおり） ・30 分単位データとして取得、72 時間先までのデータを取得 ・3 時間更新、1 km メッシュデータ
需要家提供	営業日 出社率・出社 人数	日単位	カレンダー情報 勤怠管理システム 勤務シフト表など	・需要家の営業日／休業日といった情報。基本的には、0,1 といったフラグデータを想定するが、稼働率や出社率が得られる場合は、小数点以下データとして活用する。需要家からの提供方法としては、既存の基幹システムなどで管理されているデータであれば、システム間の自動連携を検討する（Web API やファイル転送などの自動化システムが必要）。 ・自動化が困難な場合、GUI 画面を利用した手入力が必要とする。自動化システムが存在している場合も、GUI 画面があることで計画修正を容易にすることが可能となる。
	生産計画	時間単位 ／日単位	生産管理システム 基幹システム	・産業施設のエネルギー予測を行う上で特に有効となる情報。多くの場合、需要家の生産管理システムで管理されている。機密・営業情報と位置付けられるため、提供の可否の確認や取り扱いに注意する必要がある。上記と同様、システム自動連携または手入力でのデータ連携が考えられる。
	施設予約情報	時間単位 ／日単位	予約表・システム	・民生施設で特に有効となる情報。予約情報と実績情報を対で入手することが望ましい。システム自動連携または手入力でのデータ連携が考えられる。
	設備の稼働計画	時間単位	設備運用計画表 設備監視システム	・需要家における設備稼働情報や稼働計画データが存在する場合に、何らかの方法で連携する。電力需要の比重の高い主要設備の稼働設備を抽出して利用することを想定するが、設備稼働情報が存在しない場合、業務計画（工場における生産計画など）で代用する。熱需要の実測データとの相関を分析した上で、利用データを決定する。設備稼働情報については、汎用化を考慮する必要がある。
	空調設定温度	時間単位 ／日単位	設備運用計画表 設備監視システム	・空調負荷の予測に効果的となる。需要家側で必ずしもシステム的に管理されている情報ではないため、データ化には空調システムや勤怠システムなどからの連携を検討し、難しい場合は手入力を検討する。

(3) 需要予測に関わる要件定義と仕様設計

需要予測に向けて、空調による電気需要と温湿度の関係性を分析した。

空調設備の熱量予測方法に関する仕様については、実測した電力需要量及び室内外の温湿度データより仕様設計を検討した。電力需要量は受電量の計測となっているため、まず生産設備と空調設備の需要量を分離させた。リサイクル業管理事務所における室内外の温湿度と電気需要量を図 3.2-11 に示す。令和 4 年 7 月の冷房負荷が高い時期のリサイクル業管理事務所の電気需要量の推移が図 3.2-12 であり、空調設備の需要量を分離したものが下の図 3-2-13 である。電気需要量を営業日と休業日で分けたグラフは、前項「関連情報のデータ化検討（熱需要の実測調査）」、アスファルトプラント（図 3.2-4）、リサイクル業管理事務所（図 3.2-6）を参照のこと。

結果を以下に示す。

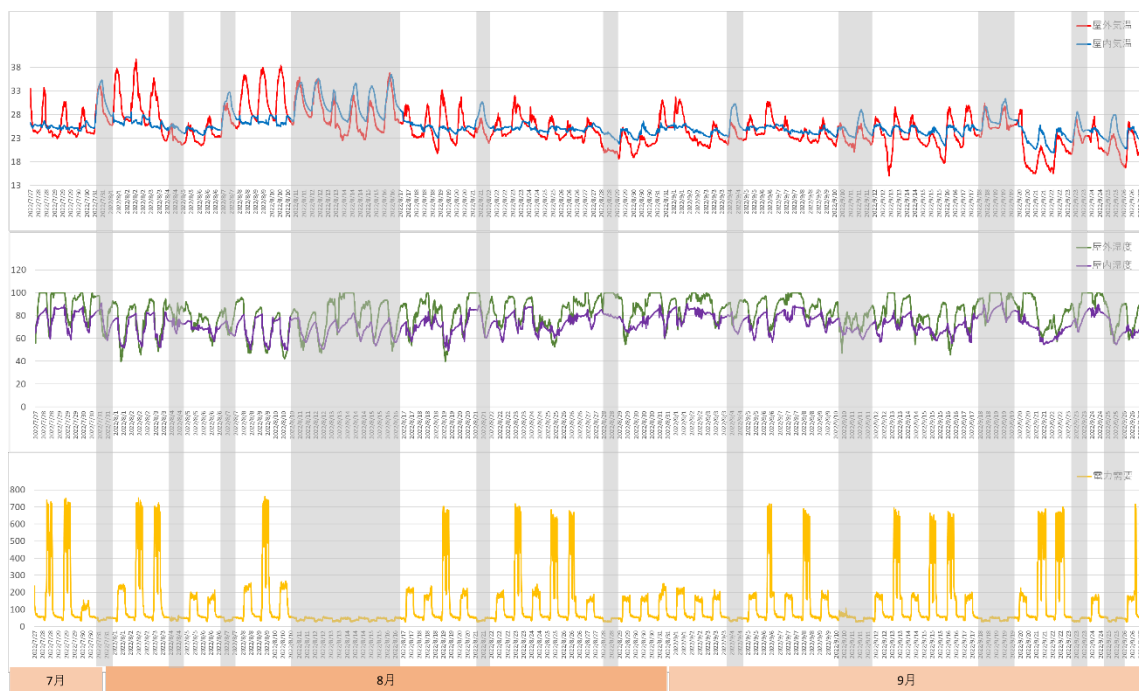


図 3.2-11 リサイクル業管理事務所における室内外の温湿度と電気需要量

- ・上段グラフ：屋外気温（赤色）、室内気温（青色）
 - ・中段グラフ：屋外湿度（緑色）、室内湿度（紫色）
 - ・下段グラフ：電気需要量（黄色）
- ※灰色の背景の時間帯は休業日

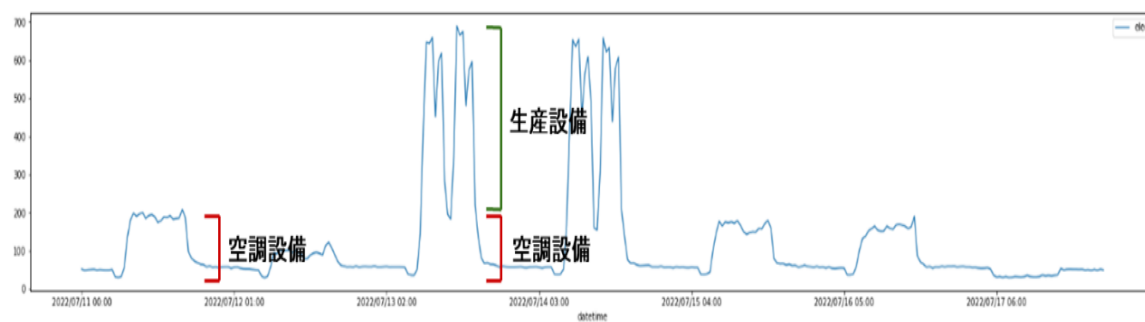


図 3.2-12 リサイクル業管理事務所電気需要量

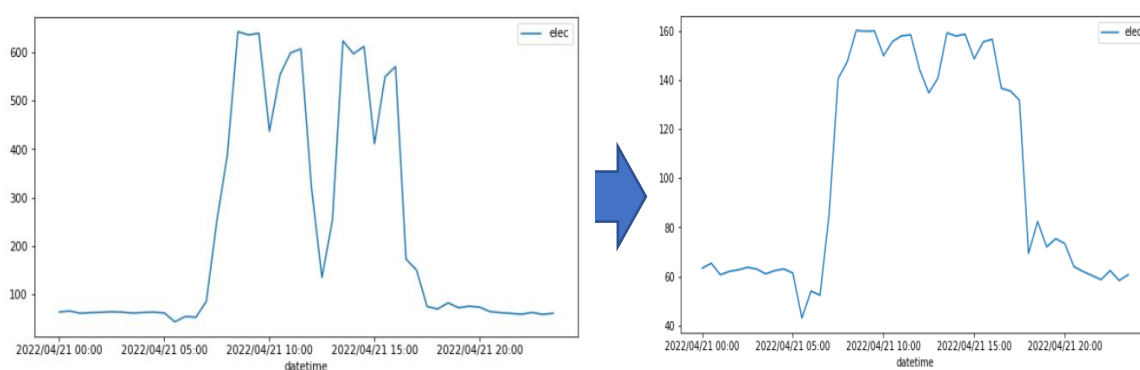


図 3.2-13 空調のみの電気需要へ分離

1) 電力需要と温湿度の相関分析

①空調設備の熱量予測方法の検討

疑似的な空調負荷の算出方法として、室内と室外の温度差異については、ほぼ空調利用によって発生したと考えることができることから、室内・室外で実測した温湿度のデータを利用して算出した。室内と室外の実測データと温度の差のグラフ（例）を図 3.2-14 に示す。図 3.2-14 の下段にある緑色の線グラフが室内と室外の温度差に該当するが、最終的にはこれに営業時間を「1」、休業時間を「0」といった補正値を乗じたものが空調負荷に対して非常に高い相関を持つデータとして利用することができ、疑似的な空調負荷とみなすことができる。

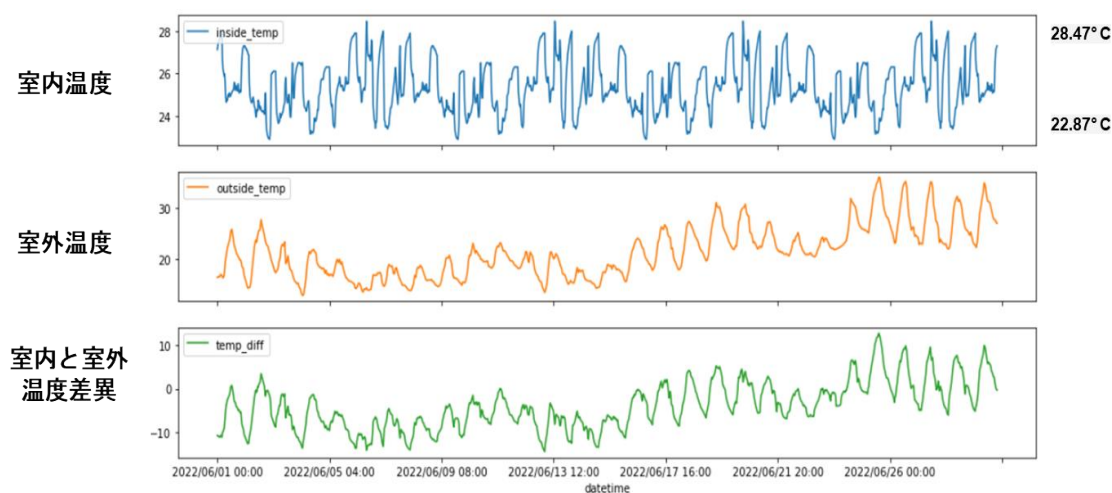


図 3.2-14 室内と室外の実測データと温度の差（例）

②結果の分析

アスファルトプラントの集計結果を図 3.2-15 に示す。営業日において、外気温、温度差異共に電気需要量との正相関が大きいことが分かり、空調負荷の高い時期に顕著となる。また湿度差異については逆相関をとる日が確認できるが、現時点では原因は不明。偶然的な結果または需要家に依存した特性である可能性がある。

また、リサイクル業管理事務所の集計結果を図 3.2-16 に示す。アスファルトプラント同様、外気温、温度差異共に電気需要量との正相関が大きく、空調負荷の高い時期に顕著となっている。また、室内温度との相関が低い日が存在している。湿度差異について相関はほぼ無いものとみなせる。

参考として、リサイクル業管理事務所の電力需要量と気温差異との比較グラフを図 3.2-17 に示す。

アスファルトプラント

	7月				8月					
	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6
外温度	0.8	0.58	0.15	0.2	0.84	0.44	0.67	0.56	0.84	0.66
外湿度	-0.6	-0.59	-0.13	-0.2	-0.83	-0.46	-0.68	-0.53	-0.82	-0.74
内温度	-0.4	-0.44	-0.12	-0.1	0.02	-0.1	-0.43	-0.14	0.22	-0.27
内湿度	-0.79	-0.26	-0.15	-0.19	-0.65	-0.57	-0.67	-0.47	-0.7	-0.5
温度差異	0.67	0.63	0.15	0.2	0.79	0.41	0.65	0.52	0.83	0.72
湿度差異	0.44	-0.62	-0.01	-0.17	-0.64	-0.2	-0.54	-0.34	-0.6	-0.76

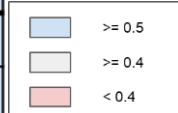


図 3.2-15 電気需要量と気温及び湿度の差異との相関（アスファルトプラント）

リサイクル業管理事務所

	7月		8月								
			1週間						2週目		
	28	29	1	2	3	4	5	6	8	9	10
外温度	0.68	0.76	0.69	0.75	0.71	-0.37	0.68	0.78	0.83	0.78	0.82
外湿度	-0.61	-0.78	-0.72	-0.72	-0.74	0.36	-0.57	-0.68	-0.86	-0.78	-0.81
内温度	-0.44	0.15	-0.52	-0.49	-0.51	-0.01	0.87	0.52	-0.61	-0.51	-0.83
内湿度	-0.67	-0.70	-0.95	-0.81	-0.74	0.27	-0.52	-0.71	-0.88	-0.75	0.94
温度差異	0.74	0.76	0.74	0.76	0.74	-0.35	0.51	0.68	0.85	0.78	0.85
湿度差異	0.57	-0.17	-0.15	-0.21	-0.25	0.15	-0.35	-0.46	-0.48	-0.22	-0.24

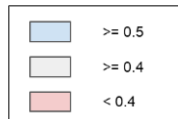


図 3.2-16 電気需要量と気温及び湿度の差異との相関（リサイクル業管理事務所）

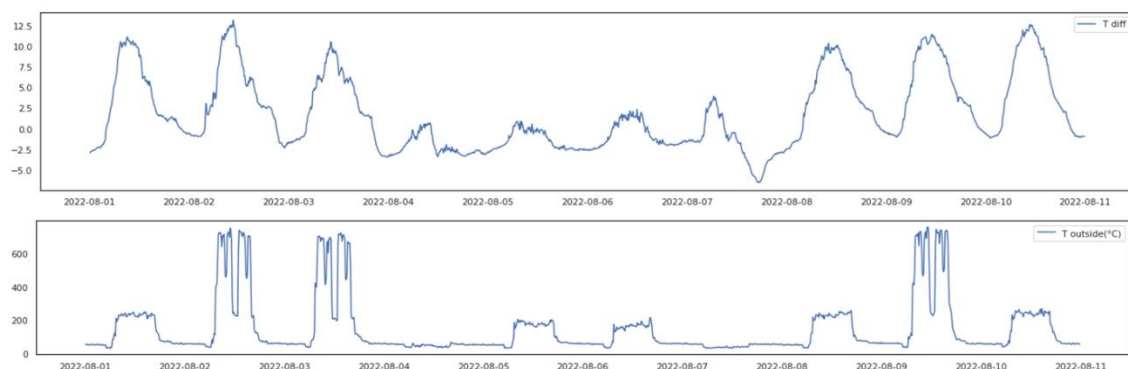


図 3.2-17 リサイクル業管理事務所の電力需要量と気温差異との比較グラフ

2) 機械学習予測モデルの仕様

まず、空調電気の需要予測のため機械学習モデルの仕様を表 3.2-6 に示す。プロトタイプを作成し、実際の予測を試行した。

機械学習モデルについては、時系列データとしての学習モデル (StatefulLSTM) と需要波形を 2 次元図形情報として扱う波形パターン学習モデル (多層 AttentionResidualNet) を組み合わせ、モデルを独自開発した。学習モデル構造イメージと入力データを図 3.2-18 に示す。①学習データを用いて、機械学習モデルを学習した後、学習済モデルに②入力データを投入することで予測結果を出力する仕様となっている。

今回はプロトタイプ試行として、学習パラメータの調整 (チューニング) は実施しないこととした。本予測では、ある予測処理実行日 (N 日) に、予測対象日 (N+1 日) の 24 時間分以上の予測を可能とするが、入力データとして利用できる実測データは、N 日以前のものとなる。そのため一旦出力した予測値を再度、学習モデルに投入するといった再帰的な予測を行うことで、まとまった期間の予測を行う (図 3.2-19)。

予処理実行時に存在する過去の実績データを用いて、次の 30 分のデータを予測し、更にその予測値を入力データと利用して、次の 1 時間のデータを予測する。これを再帰的に繰り返すことで、24 時間以上分の予測が可能となる。

表 3.2-6 空調電気の需要予測のため機械学習モデルの仕様

項目			説明
学習データ	入力データ	電気需要量実測データ	予測対象日より前日以前のデータ
		気象実績データ	予測対象日のデータ
		室内外気温/室内外湿度	予測対象日のデータ※室外温湿度から室内温湿度を減じ営業日に乗じた「疑似的な空調負荷」として利用
	教師データ	電気需要量実測データ	予測対象日のデータ
	入力データの期間：過去 1 週間、同曜日過去 3 日分 学習データとしての期間：1 か月分		
予測データ	入力データ	電気需要量実測データ	予測対象日より前日以前のデータ
		気象予報データ	予測対象日のデータ
		気象予報データデータから算出した疑似的な空調負荷予報値	予測対象日のデータ
	入力データの期間：過去 1 週間、同曜日過去 3 日分		

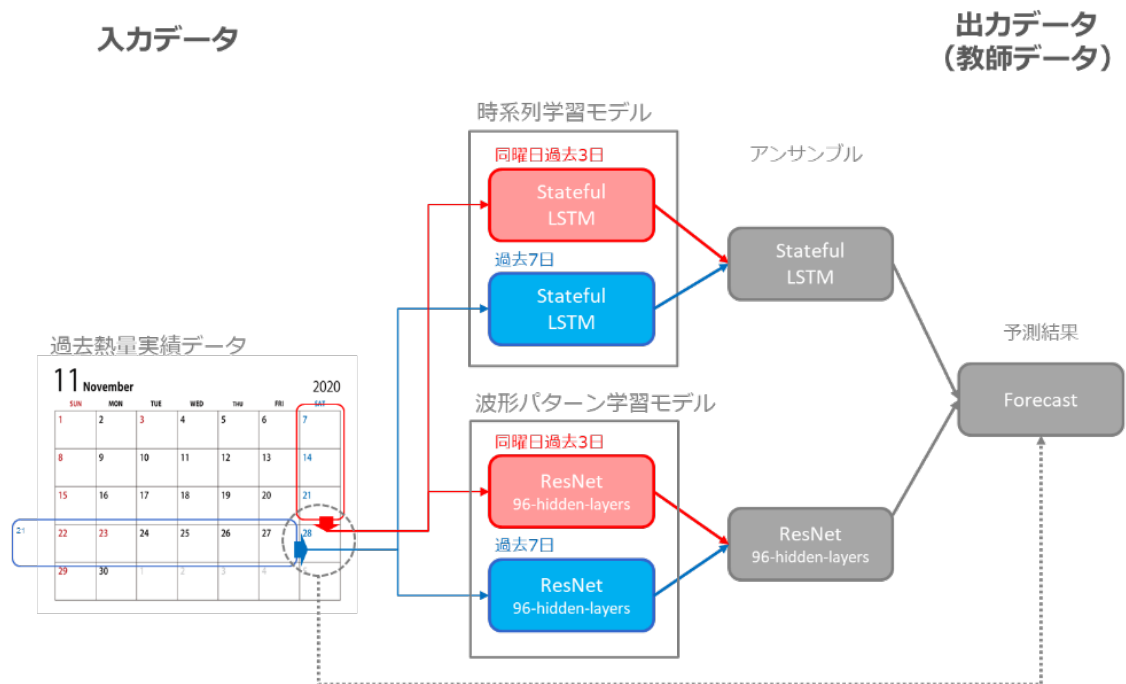


図 3.2-18 学習モデル構造イメージと入力データ

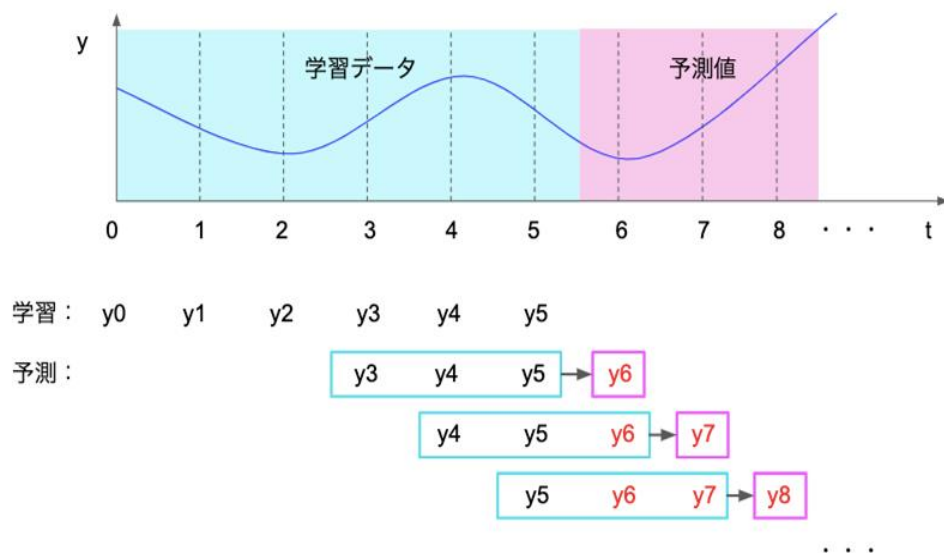


図 3.2-19 再帰的な予測

3) 予測試行の結果

上記の機械学習モデルを用いて予測を試行した。8月の1か月分のデータを学習させた後の、アスファルトプラントの結果を図3.2-20に、リサイクル業管理事務所の結果を図3.2-21にそれぞれ示す。青線が予測値、橙線が実績値となり、9月6日以降の10日間～20日間を抽出した予測試行結果となる。

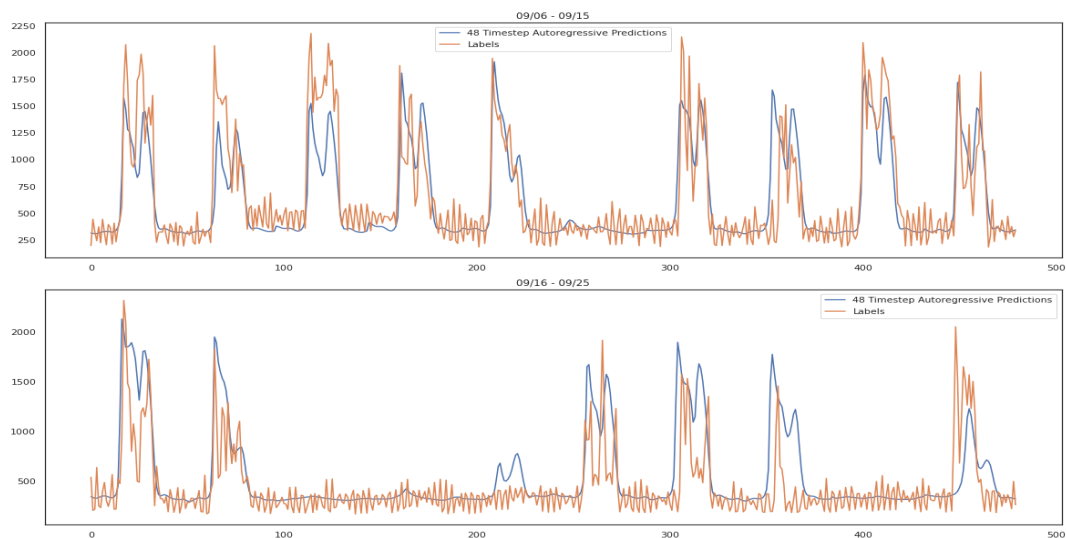


図3.2-20 アスファルトプラント(電気) 予測試行結果 9/6～9/15(上)、9/16～9/25(下)

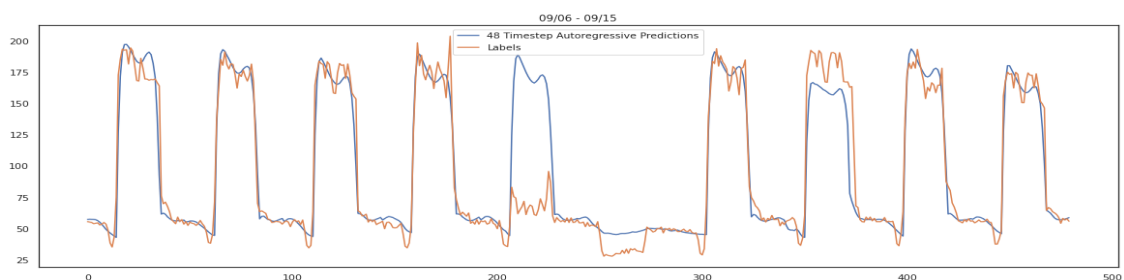


図3.2-21 リサイクル業管理事務所(電気) 予測試行結果 9/6～9/15

試行の結果より、空調負荷予測については、アスファルトプラント、リサイクル業管理事務所ともに全体的なトレンドを捉えた予測が可能であることが示された。これは、本学習モデルでは、空調負荷予測が、気象データ・環境データ(温湿度)だけでも十分な予測精度が期待できることを意味する。一部、予測と実績に乖離のある日が存在するが(リサイクル業管理事務所の5日目)、これは、営業日と休業日情報が無い条件となり、正確な情報が得られる場合は充分改善されると考察した。

しかし、需要のメインとなる生産設備の熱予測を高精度に実施するには、気象データ・環境データ(温湿度)だけでは難しいことが想定される。そのため、本開発フェーズにおいては、生産計画や設備稼働計画などのデータとの連携を調整した上で進めることが求められる。

（４）供給側施設運用との連携に関する要件定義

供給側施設の計測対象とインターフェースについて表 3.2-7 に記載する。基本的に熱需給管理システムにおいては、供給熱量を必要とするため熱量積算値を連携することとした。熱量は一般的に、1 流量、2 圧力、3 温度の計測信号を熱量演算器に集約させることで取得される。

1～3については、熱供給システムにおける監視対象となるため信号を分配する必要がある。演算結果となる熱量出力は、アナログ瞬時値を熱供給システム側、パルスを熱需給管理システム側へ連携することが望ましい。

熱量瞬時値や圧力の監視については、熱供給システム側で実施し、熱需給管理システム側としては、供給計画と実際の供給状況の差異やリアルタイムの需要との監視を行う。監視対象を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-7 供給熱量に関する計測対象と熱需給管理システムへの連携

	計測器	入力	出力	需給管理 連携対象
1	流量計センサー	配管へ設置	アナログ（瞬時値）	-
2	圧力センサー	配管へ設置	アナログ（瞬時値）	-
3	温度センサー（Pt100）	配管へ設置	アナログ（瞬時値）	-
4	蒸気熱量演算器 （過熱蒸気用）	1 流量、2 圧力、3 温度を入力 内部で熱量演算を行う	アナログ（瞬時値） または パルス（熱量積算値）	○

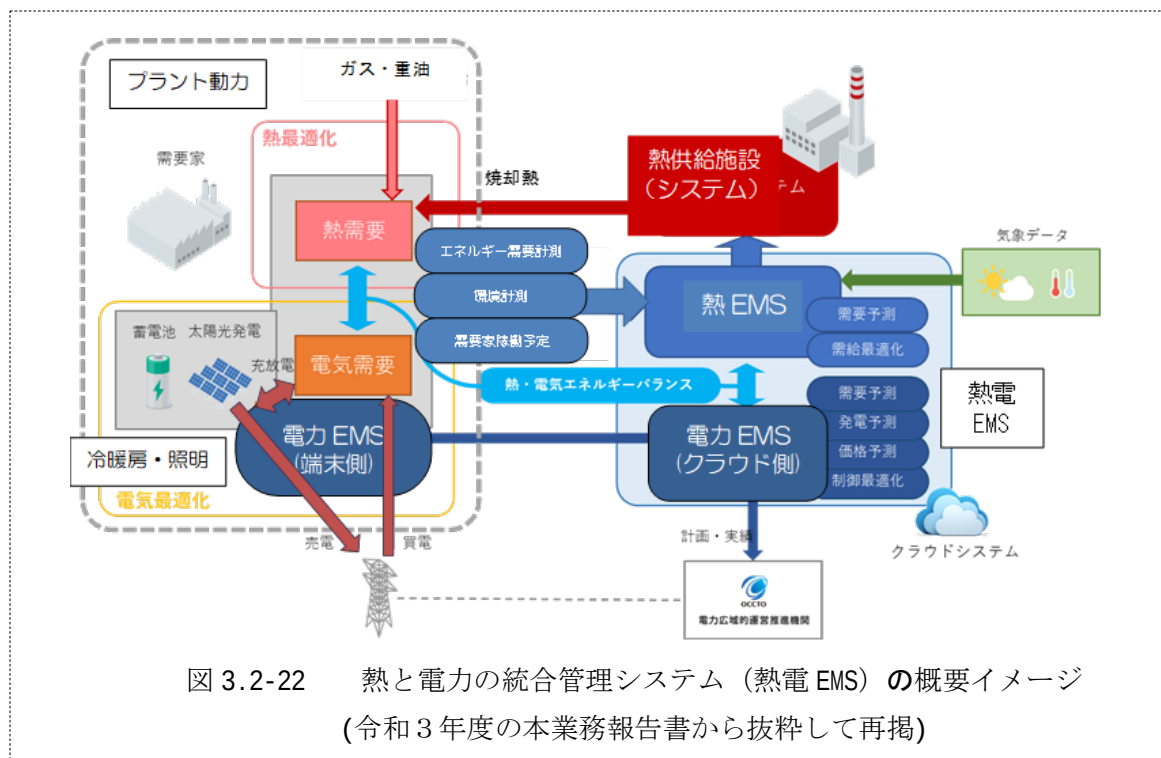
表 3.2-8 監視対象

計測器	監視対象	異常時の対応
熱供給システム	流量、圧力、温度の瞬時値監視 ・適正值の監視（異常値の監視）	熱供給運用ルール従う
熱需給管理システム	10 分単位の積算熱量の監視 ・供給計画との差異 ・需要超過の差異など	熱需給管理システム上で通知

（５）熱と電力の統合管理システム（熱電 EMS）の検討

本事業で構築するのは、熱の需給管理システムであり、熱の EMS についてプログラミングまで行うが、地域のエネルギーセンターとしての管理機能にまで高めるには、熱と電力の統合管理システム（熱電 EMS）を構築することが必要となる。本業務では、今後これらの開発を見込みつつ、熱の EMS を構築していくことが適切と考えられるため、その必要性について説明する。

熱と電力の統合管理システム（熱電 EMS）の概要イメージを図 3.2-22 に示す。熱需給管理システムと電気管理システムを統合することで、熱と電気の融通、コスト・CO₂排出量の最小化が達成でき、地域のエネルギーセンターとして機能するものである。具体的に最適化される項目を以下に概説する。



a. 熱と電気の融通

蓄熱システムが存在する場合、ある同一の効果をもった設備が熱でも電気でも動作可能といった、熱と電力を相互に融通可能な場合（多くの場合、空調設備となる）がある。このケースには、統合の効果が特に高く発揮される。また、需要家独自で購入しているガスや重油などのエネルギーを含めて計測・管理することで、施設としてのエネルギーロスの最小化を目指すことを可能とする。

b. コストの最小化

熱・電力の需要予測に、各コスト情報（単価や市場価格予測）を加えることで、コスト最適となる熱需給計画や蓄電放電・売電買電制御を行うことが可能となる。

c. CO₂ 排出量の最小化

上記のコスト情報に、CO₂排出係数等の情報を加えることで、CO₂排出量が最小となる条件にも対応できる。

d. エネルギーデータの統合と地域としてのエネルギー管理

各需要家のエネルギーデータは、クラウドシステム（データプラットフォーム）へと集約される。需要家単体の最適化のみならず、該当地域におけるエネルギー管理としての役割を担える可能性がある。これまで熱 EMS についてのみ説明してきたため、ここで、熱 EMS と統合させる電力 EMS について次頁に説明する。

＜電力 EMS の説明＞

電力 EMS の構成イメージを図 3.2-23 に示す。もともと EMS とは電力の管理に用いるために開発されてきた経緯があり、EMS イコール電力の EMS であった。そのため、図中では、単に EMS と記載されている。したがって、緑色の部分が、電力 EMS 部分となる。これは、需要家側に設置する「コントローラー」と、クラウド上の「データプラットフォーム」で構成される。

【EMS コントローラーの主な役割】

- ・エネルギーの発電量、蓄電量、蓄電量を計測
- ・計測データを、データプラットフォームへ転送
- ・データプラットフォームから受信する設備の運用計画データを制御信号に変換し、蓄電池やパワーコンディショナー、負荷設備などに対して出力

【EMS データプラットフォームの主な役割】

- ・コントローラーから受信した計測データを蓄積
- ・計測データや外部連携で蓄積したデータを利用し需要・発電予測を行う
- ・予測したデータに基づきエネルギー効率が最適となる運用制御計画を導出
- ・制御計画データをコントローラーへ送信

通常、太陽光発電及び蓄電池を導入する場合には、「売電優先」、「蓄電優先」などといった単純な条件で、売買電や充放電を制御する装置が導入されることが多いが、本事業で検討するエネルギーマネジメントでは、外部の気象予報データや電力の市場価格データと連動させて、需要と発電を高精度に予測するシステムを目指している。それにより、予測に基づいた運用計画で各種制御を行うことで、単純な条件制御と比較してエネルギー効率の大幅が図れる可能性があり、従来よりも拡張されたものとなる。

更に、売買電と蓄放電の制御だけではなく、効果的なタイミングで負荷設備を制御（エネルギー消費そのものを制御）することで、高いエネルギー効率の運用を実現することが可能となる。

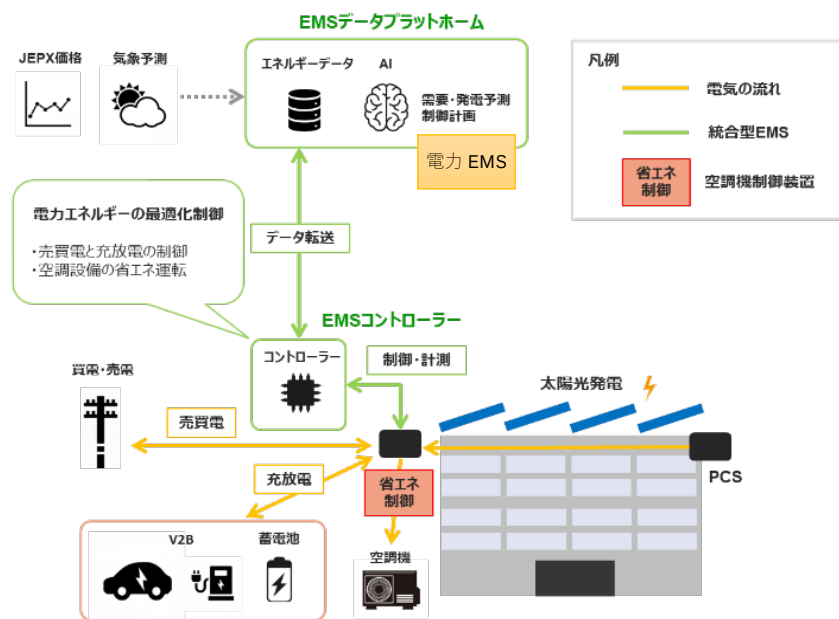


図 3.2-23 電力 EMS の構成イメージ

(6) システム全体の仕様設計

1) 機能の定義

電熱 EMS の構築のため、各機能を下図のとおりブロック化し、各機能について外部設計を行った。EMS は、大きくは計測データ受信部、データ蓄積部、AI による需要予測部、データの見える化（グラフィカルユーザーインターフェース）、その他データ連携部（Web API）の集合で構成される。電熱 EMS システムブロック図（機能の定義化）を図 3.2-24 に示す。

2) 外部設計

前述の 3.1 で策定した運用ルールに基づいて、外部設計を次のとおり作成した。外部設計書とはシステムの開発において、主に外部から見た機能や動作をまとめたものである。

システムの利用者がどのような機能を必要としているか、どのように操作するのか、どのようにシステムが動作するのかを明確に定義し、その後の内部設計（詳細設計）やプログラムコードの作成につながるものとなる。は、。熱の需給管理システム外部設計一覧（目次）を表 3.2-9 に示し、本体は業務資料（電子版）とした。

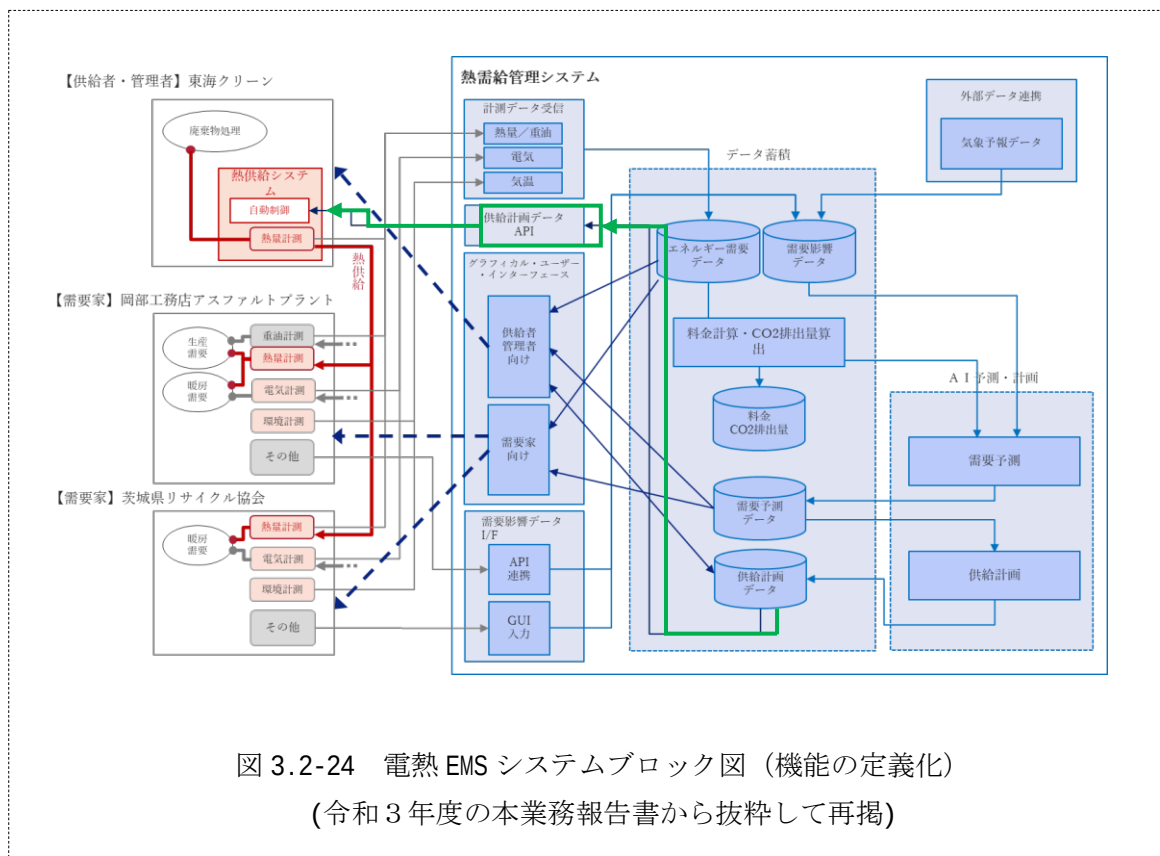


表 3.2-9 熱の需給管理システム外部設計一覧（目次）

項番	タイトル	システム機能分類
1.	計測データの受信と蓄積	
1-1.	計測対象	Sensor/Measure
1-2.	計測機器構成	IoT/Network
1-3.	計測データ受信	IoT/Batch
1-4.	計測データ蓄積	Database
2.	熱需要予測	AI-Forecasting
2-1.	欠損データ補完	Machine-Learning
2-2.	目的変数と説明変数	Machine-Learning
3.	熱供給計画	
3-1.	供給計画の自動算出	Calculation
3-2.	供給計画の手動登録	User-Interface
3-3.	停止計画	User-Interface
3-4.	計画情報の共有（閲覧・通知機能）	GUI/Notification
4.	需給状況の見える化	
4-1.	供給者向け見える化	User-Interface
4-2.	需要家向け見える化	User-Interface
5.	熱需給状況の監視	
5-1.	供給状況の監視	Monitoring
5-2.	供給状況異常時の通知	Notification
5-3.	需要実績乖離時の通知	Notification
6.	熱料金計算	
6-1.	熱料金の自動算出	Calculation
6-2.	算出条件の登録	User-Interface
7.	削減 CO ₂ 排出量計算	
7-1.	削減 CO ₂ 排出量の自動算出	Calculation
7-2.	算出条件の登録	User-Interface
8.	検針	
8-1.	検針日設定	User-Interface
8-2.	請求額の算出	Calculation
9.	電熱エネルギーバランシング	
9-1.	電熱設備の管理機能	
9-2.	買電、再生可能エネルギー、蓄電池を考慮した電気 EMS との連携	
9-3.	電気需要、発電データの連携	
9-4.	電熱エネルギーの最適制御計画の作成	
9-5.	設備制御との連携	

(7) EMS の効果の見える化

1) 供給余力増加の視点

平原南部工業団地においては、熱供給能力に対する特定需要家の最大需要量が大きく占める条件であるため、前述の例では需給管理による熱供給余力の増加分が少なく表現されている。ここでは参考として、熱供給能力に対して既存の需要家の最大需要量が低い場合、需給管理によって供給余力が大きく増加することを説明する。

EMS の効果を説明する概念図を図 3.2-25 に示す。需要家 1 の生産設備需要量が供給上限（供給能力）に対して、50%程度の条件としたものである。

図 3.2-25 の右側が EMS を利用しない場合であり、供給上限を超えない範囲で、ほしいも残渣飼料化工場が使える熱量が緑色の部分となる。左側が EMS を利用して、既存の需要家の需要が無い時間帯にほしいも残渣飼料化工場に供給を行う場合であり、需要家の需要が発生する時間帯を外してほしいも残渣飼料化工場に供給することで、供給余力を大きく増加させることができる。このように EMS の利用によって、供給量のロス削減と供給能力（余力）を増加することが可能となる。

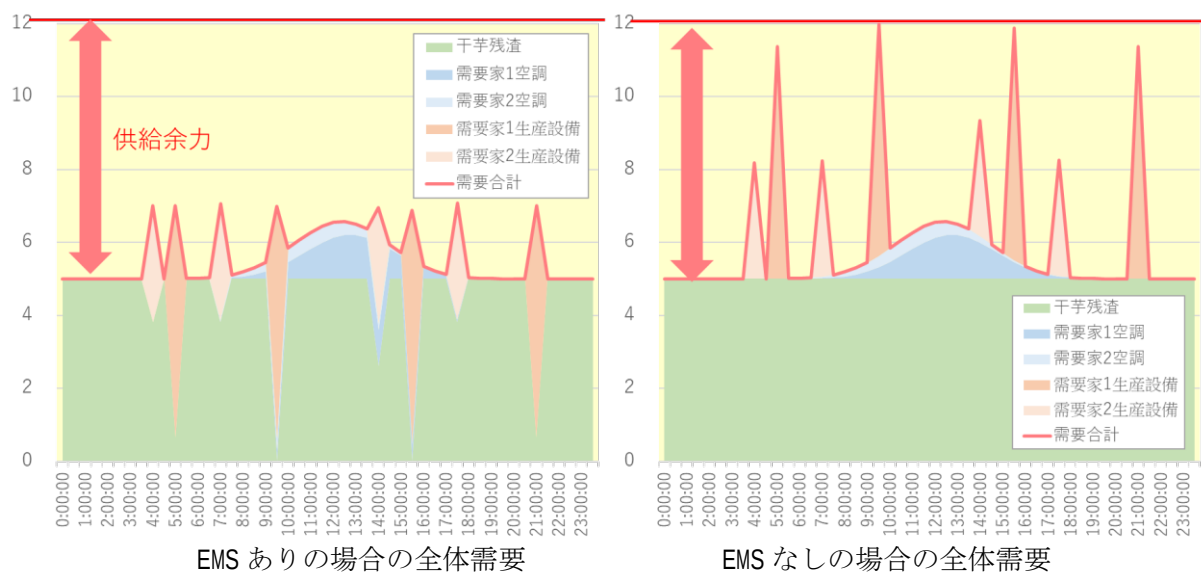


図 3.2-25 EMS の効果を説明する概念図

2) 試算基準となる需給

令和4年度より計測を継続している実測データに基づき、1日当たりの需要曲線を図3.2-26のように想定した上でEMS効果を試算した。

熱需要は、生産設備由来か空調設備由来かで特性が大きく異なるため分離してデータを作成し、最終的に需要量や最大需要量を合算した。なお、供給及び需要データはデマンド時限を考慮して30分単位とし、時間平均に対して1/2の値をとる。

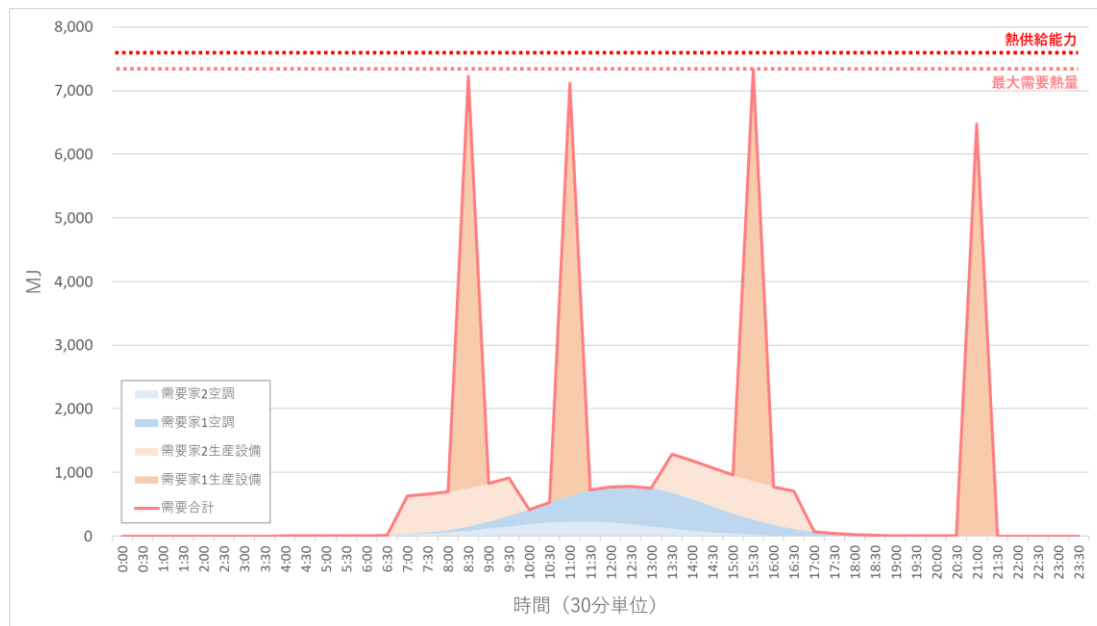


図 3.2-26 需要曲線

< 需要曲線の作成条件 >

【供給能力／主たる需要】

- ・ 熱供給能力: 7,596MJ/30分 (15,192MJ/h)
- ・ 需要家1の生産設備熱需要: 6,477MJ/30分 ... アスファルトプラントバーナー
- ・ 需要家2の生産設備熱需要: 600MJ/30分 ... 鋳造炉補助乾燥熱風
- ・ 最大需要量(需要家1、2の合算): 7,336MJ/30分
- ・ エネルギー利用率(供給総量に対する需要量): 11.5%

【前提条件】

- ・ 需要家2は実計測ができていないため想定される需要とした
- ・ 空調由来の熱需要量については、生産設備と比較して非常に小さいため、試算においては季節変動を考慮しないものとした
- ・ 需要家1の実測データについては、図3.3-3を参照
- ・ 本試算においては、予備力を考慮しないものとした

生産設備としての熱供給対象となる重油は、アスファルトプラントのサブバーナーとなり、短時間にスパイク形状の大きな需要をとる。対して空調負荷は、電気（エアコン）に含まれる形となる。明確に電力需要全体から空調負荷を分離することができないが、営業時間帯に稼働することや一般的な空調負荷のトレンドを採用してシミュレーションを行った。

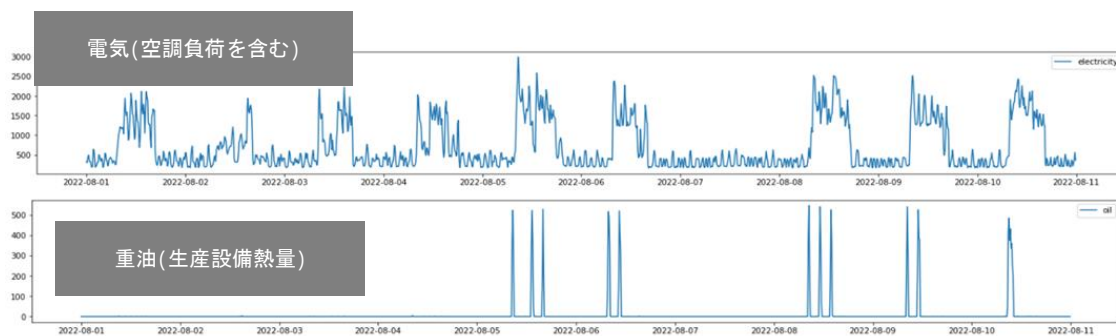


図 3.2-27 実測データ（アスファルトプラント）

3）ほしいも残渣飼料化工場の需要あり・EMS なしの場合

試算基準となる需給状況に対して、ほしいも残渣飼料化工場の需要を加える場合、需要家 1 の突発に発生する需要量が大きいため、全需要家が休業であることが確実な時間帯のみに稼働することができる。ほしいも残渣飼料化工場の需要あり・EMS なしの需要曲線を図 3.2-28 に示す。

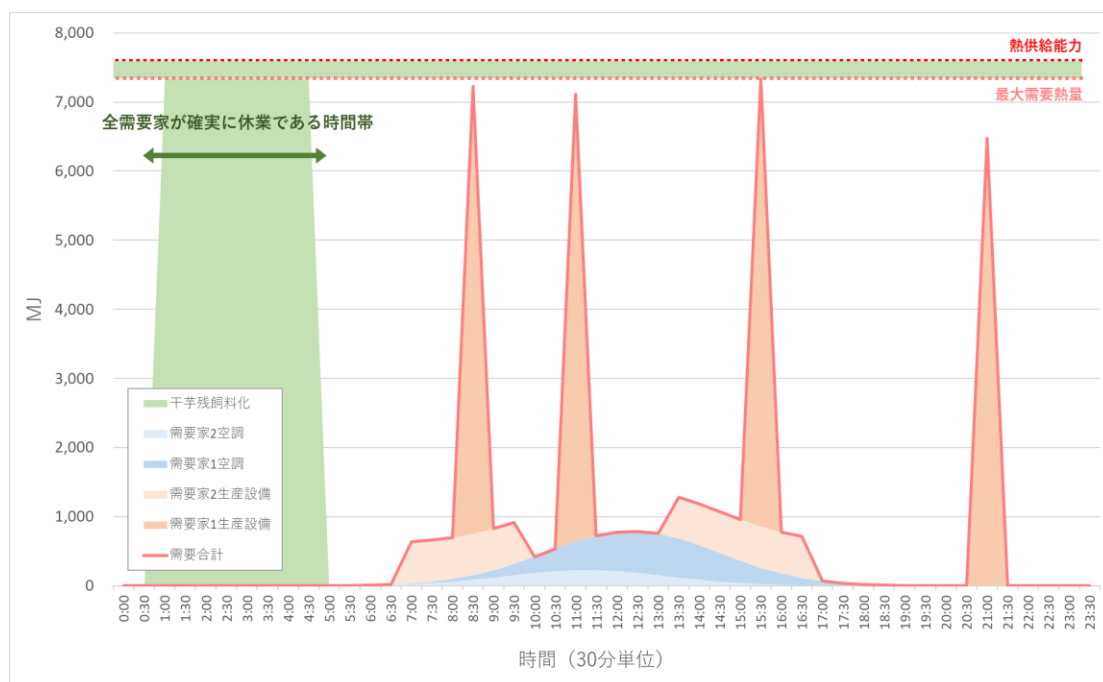


図 3.2-28 需要曲線(ほしいも残渣飼料化あり・EMS なしの場合に使える余力分)

【試算条件】

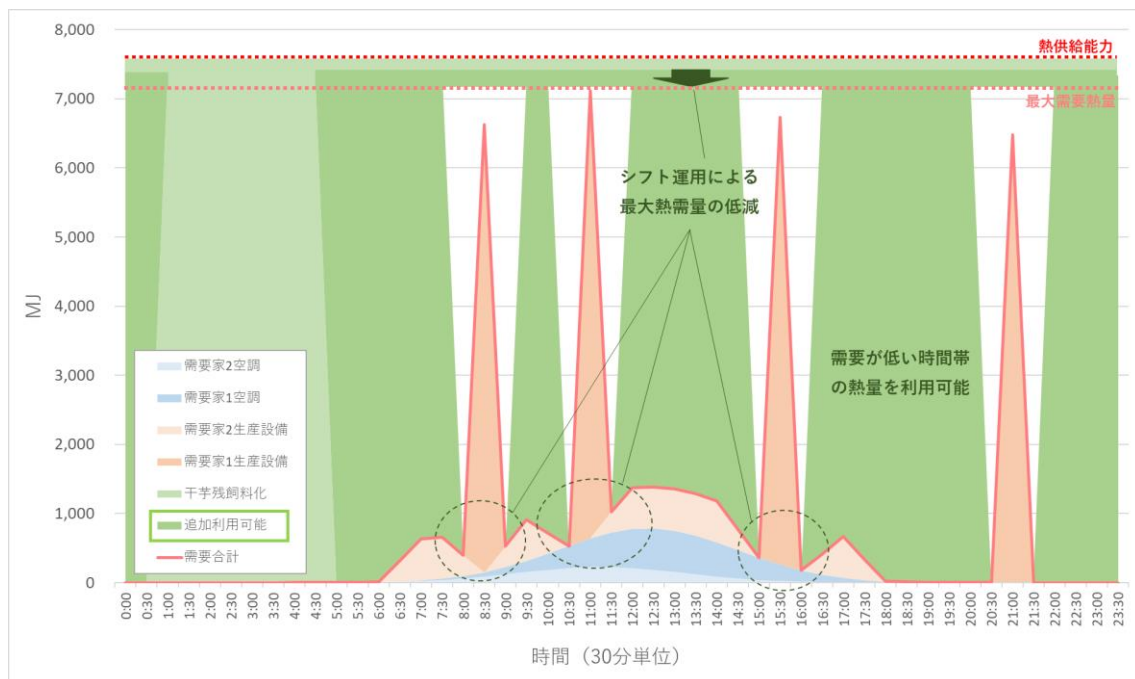
- ・0:30～5:00 の時間帯でほしいも残渣飼料化工場が稼働
- ・供給量能力を超えない余力分（最大需要熱量からの差分）を 24 時間利用

【効果】

- ・エネルギー利用率(供給総量に対する需要量):11.5%（1）→31.1%（2）へ増加

4) ほしいも残渣飼料化工場の需要あり・EMS ありの場合

EMS を利用する場合、下図の濃緑部分のように既存の需要タイミングに被らないようにほしいも残渣の乾燥を長時間実施することができる。また、需要家間の需要タイミングのシフトにより、最大需要熱量を低減することができる。ほしいも残渣飼料化工場の需要あり・EMS ありの需要曲線を図 3.2-29 に示す。



【試算条件】

- ・ 0:30～5:00 以外の時間帯でもほしいも残渣乾燥を利用
- ※但し、既存需要の前後 30 分は余裕時間として利用しない
- ・ 最大需要熱量の低下分を 24 時間利用

【効果】※グラフの濃緑の部分が追加

- ・ 最大需要熱量の低下: 7,336MJ/30 分 → 7,114MJ/30 分
(最大需要熱量の低下率は、熱供給能力に対する需要家の最大需要熱量の割合に依存)
- ・ エネルギー利用率(供給総量に対する需要量): 31.1% (2) → 86.5% (3) へ増加
- ※但し、これは最大効率(理論値)であるため、補正率 40% を乗じたものを効果とした。

図 3.2-29 需要曲線(ほしいも残渣飼料化あり・EMS ありの場合に使える余力分)

5) 熱需要のまとめ

前述の2)～4)の結果をまとめた1日当たりの熱需要の比較表を表 3.2-11 に示す。

表 3.2-10 1日当たりの熱需要の比較表

パターン	供給 熱量	1日当たり熱需給量					
		全需要家の 熱需要量	ほしいも 残渣飼料 化の熱需 要量	追加利用可 能熱需要量	合計 熱需要量	エネル ギー利 用率	備考
ほしいも残渣 なし	364,608MJ	42,041MJ	-	-	42,041MJ	11.5%	
ほしいも残渣 あり(EMSなし)			71,187MJ	-	113,229MJ	31.1%	
ほしいも残渣 あり(EMSあり)				202,208MJ	315,437MJ	86.5%	最大効率 (理論値)
ほしいも残渣 あり(EMSあり) ※補正後				80,883MJ	194,112MJ	53.2%	※理論値 に対して 40%補正

EMSによる年間のCO₂排出量削減量については、次のとおり算出した。

【EMSによる効果(1日当たり)】

- ・エネルギー利用率:31.1%→53.2% (+71.1%向上)
- ・追加の熱需要量:80,883MJ/日

【EMSによる効果(年間280日計算)】

- ・利用される熱量:22,647GJ/年
- ・削減CO₂排出量:549.41t-CO₂/年(0.02426 t-CO₂/GJで換算)
※換算係数については、次のエネルギー割合として算出
A重油(0.0189 t-CO₂/GJ) 95%、電気(0.126 t-CO₂/GJ) 5%
- ・CO₂クレジット価格:33,229,086円/年
(第13回J-クレジット(再エネ)平均価格 3,278円/t-CO₂で計算)

3.3 CO₂削減・費用対効果

(1) CO₂削減効果の算定

1) 評価ケースの設定

表 3.3-1 に示す 4 ケースを検討対象とした。第 2 章で EMS の導入効果について検討されているが、本項では EMS を活用しない場合、全量のうち 50% が活用可能、EMS 導入することで全量が活用可能、と想定した。また、本項では 7,000 円 / t で蒸気を販売する想定である。

表 3.3-1 評価ケース一覧

ケース	1	2	3	4
概要	既存施設 (焼却施設のみ)	プラン A (熱風供給)	プラン B (蒸気供給)	プラン B + EMS (蒸気供給)
熱供給先	—	飼料化施設	アスファルトプラント、鋳造工場、 リサイクルリサイクル業管理事務所、 飼料化施設	
備考		熱風供給の場合、 飼料化施設以外への 熱融通が配管長の 問題で不可能。	全供給可能熱量 のうち 50% を 活用する想定	全供給可能熱量を 活用する想定

2) 供給施設の諸元

供給施設に関する諸元を表 3.3-2～表 3.3-5 に示す。なお、プラスチックの年間消費量は、環境省指定によるものとし、以下に示す。

< 環境省指定の条件 >

①単純焼却、②従来式、③提案式の 3 パターン提示 ※1

※1 算出条件

- ・電力係数 0.453tCO₂/MWh、プラ焼却に伴う CO₂ 排出係数 2.77 t CO₂/ t
- ・ごみの組成：生ごみ比率 40%、紙ごみ 31%、プラスチック 10%

①の算出にあたっては、プラスチック類の焼却と施設稼働に伴う電力に伴う CO₂ 発生量※2 を足し上げ

- ・施設能力 50 t / 日、稼働日数 280 日 / 年、稼働時間 24 h / 日、焼却ごみ中のプラの割合：10%

②の算出にあたっては、施設稼働に伴う電力使用量とプラスチック類の焼却に伴う CO₂ 発生量※2 を足し上げたものから、現状のシステムに伴う CO₂ 削減量をマイナス。

③の算出にあたっては、施設稼働に伴う電力使用量とプラスチック類の焼却に伴う CO₂ 発生量※2 を足し上げたものから、提案するシステムに伴う CO₂ 削減量をマイナス。

※2 プラ焼却に伴う CO₂ 発生量は 50 t / 日 × 280 日 / 年 × 10% × 2.77 t CO₂ / t = 3,878 t CO₂ / 年とする。

表 3.3-2 焼却施設の諸元

プラスチックの年間処理量	1,400 t
施設における年間消費電力量	1,916,070 kWh

表 3.3-3 各種設定条件の諸元^{注1)}

			プランA	プランB
イニシャルコスト	熱回収設備		312,548,387 円	1,845,000,000 円
	配管		56,773,145 円	303,550,000 円
	合計		369,321,532 円	2,148,550,000 円
収支表	廃棄物	総量	3,746 kg/h (100%)	
		生ごみ	1,498.4kg/h (40%)	
		紙ごみ	1,161.3kg/h (31%)	
		プラスチック ^{注1)}	374.6kg/h (10%)	
		その他	711.7kg/h (29%)	
	燃料	A 重油	-	4kg/h
供給熱	熱風	温度	250℃	-
		熱風量	12,735N m ³ /h	-
		熱量	1,074kW	-
	蒸気	温度	-	225℃
		絶対圧力	-	2.5 MPa
		蒸気量	-	6,800 kg/h
		潜熱 ^{注2)}	-	3,469 kW

注1) メーカーから提示された情報を基に作成

注2) プラスチック処理量が環境省指定条件と異なるため、本項においてはまず環境省指定条件にて評価を実施し、次いで参考として実態に即した評価を実施する。

注3) 潜熱については、別途実施しているほしいも FS と同条件に設定した。

表 3.3-4 熱風供給施設の運用に関する諸元^{注1)}

項目		値	係数	h/D	稼働 日数	年間 使用量	単価 円/kW	年間 コスト
電力	予冷ポンプ	2.2 kW	0.6	24	280	8,870	13	115,315
	熱交ファン	30 kW	0.6	24	280	120,960	13	1,572,480
	灰出スクレパ	3.7 kW	0.6	24	280	14,918	13	193,939
	制御電源	5 kW	0.6	24	280	20,160	13	262,080
	予備電源	10 kW	0	24	280	0	13	0
	需要家側ファン	30 kW	0.6	24	280	120,960	13	1,572,480
	TOTAL	-	-	-	-	285,869	13	3,716,294
用水	予冷器	2889 kg/h	1	24	280	19,414,080	0.05	970,704
メンテナンスコスト								12,000,000
TOTAL								16,686,998

注1) メーカーから提示された情報を基に作成

表 3.3-5 蒸気供給施設の運用に関する諸元^{注1)}

項目		値	係数	h/D	稼働 日数	年間 使用量	単価	年間 コスト
電力	ボイラ給水ポンプ	45 kW	0.6	24	280	181,440	13	2,358,720
	脱気器給水ポンプ	11 kW	0.6	24	280	44,352	13	576,576
	薬注ポンプ	0.4 kW	0.6	24	280	1,613	13	20,966
	復水ファン	45 kW	0.6	24	280	181,440	13	2,358,720
	スートブロウ用 ファン	3.2 kW	0.6	24	280	12,902	13	167,731
	スチームエア ヒーターファン	75 kW	0.6	24	280	302,400	13	3,931,200
	シールファン	0.4 kW	0.6	24	280	1,613	13	20,966
	クーリングタワー	3.7 kW	0.6	24	280	14,918	13	193,939
	灰出コンベヤ	7.4 kW	0.6	24	280	29,837	13	387,878
	需要家側ファン	30 kW	0.6	24	280	120,960	13	1,572,480
用水	クーリングタワー	400 kg/h	1	24	280	2,688,000	0.05	134,400
	ブロー給水	200 kg/h	1	24	280	1,344,000	0.05	67,200
薬剤	ボイラ処理剤	0.01583 kg/h	1	24	280	106	11,000	1,170,154
	清缶剤	0.002375 kg/h	1	24	280	16	1,100	17,556
メンテナンスコスト								25,000,000
TOTAL								37,978,487

注1) メーカーから提示された情報を基に作成

3) 需要側の諸元

エネルギーを供給する各需要家の対象エネルギー使用量を表 3.3-6 に示す。飼料化施設のエネルギー使用量について、県内に処理対象となる干し芋残差の賦存量が十分に存在するため、他事業所への熱供給がないプランAにおいては供給可能な熱をすべて活用する需要を想定した。また、プランBについてはEMS 導入効果を踏まえ、EMS 無しの場合は供給可能熱量のうち 50%を、EMS ありの場合は 100%を全体で消費するように設定した。

表 3.3-6 需要側のエネルギー使用量

事業者名	燃料種類	用途	年間需要量	単位
アスファルトプラント	A 重油	乾燥	164,000	L/年
	電気	暖房のみ	88,536	kWh/年
鑄造工場	LPG	乾燥	91,601	kg/年
リサイクルリサイクル業 管理事務所	電気	暖房のみ	12,942	kWh/年
飼料化施設 (ケース 2)	電気	乾燥	6,312,710	kWh/年
飼料化施設 (ケース 3)	電気	乾燥	8,725,750	kWh/年
飼料化施設 (ケース 4)	電気	乾燥	21,132,550	kWh/年

※配管経路による損失を 1 割、熱交換における機器効率を踏まえた損失を 2 割とした。
ただし暖房についてはロスではなく 4.5 割増とした (機器効率=暖房能力/消費電力)。

4) CO₂削減効果

以上の値より計算した、各ケースにおけるCO₂排出量及び削減効果を表3.3-7、図3.3-1に示す。ケース4におけるCO₂削減効果が最大で、年間5,747t-CO₂の削減となる。

表 3.3-7 CO₂削減効果

CO ₂ 排出量評価 t-CO ₂ /年		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
プラントにおけるCO ₂ 排出量	焼却	4,746	4,746	4,827	4,827
	追加の買電	0	129	404	404
熱供給によるCO ₂ 削減量	熱供給	0	-3,677	-5,038	-10,978
CO ₂ 削減効果		4,746	1,199	193	-5,747
CO ₂ 削減量		0	3,547	4,553	10,493

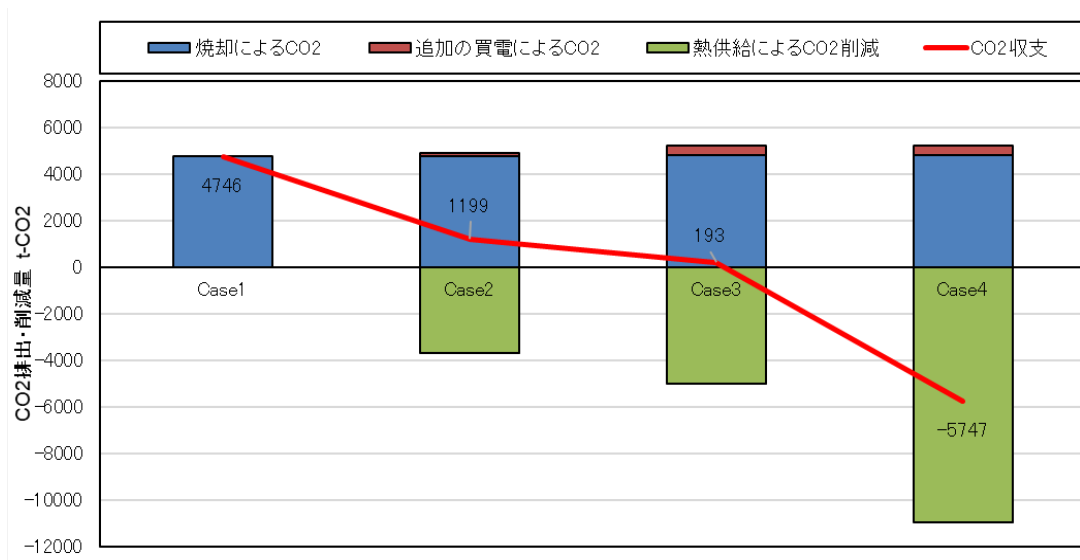


図 3.3-1 CO₂削減効果（環境省指定条件の廃棄物組成に基づき計算）

上記は、環境省側から設定された、効果評価の方法論で集計した結果であるが、これに、株式会社東海クリーンにおける廃棄物組成のうち廃プラスチックの含有割合をもとに計算した評価結果を表 3.3-8、図 3.3-2 に示す。

表 3.3-8 CO₂削減効果（実態）

CO ₂ 排出量評価 t-CO ₂ /年		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
プラントにおける CO ₂ 排出量	焼却	7,841	7,841	7,922	7,922
	追加の買電	0	129	404	404
熱供給による CO ₂ 削減量	熱供給	0	-3,677	-5,038	-10,978
CO ₂ 削減効果		7,841	4,294	3,288	-2,652
CO ₂ 削減量		0	3,547	4,553	10,493

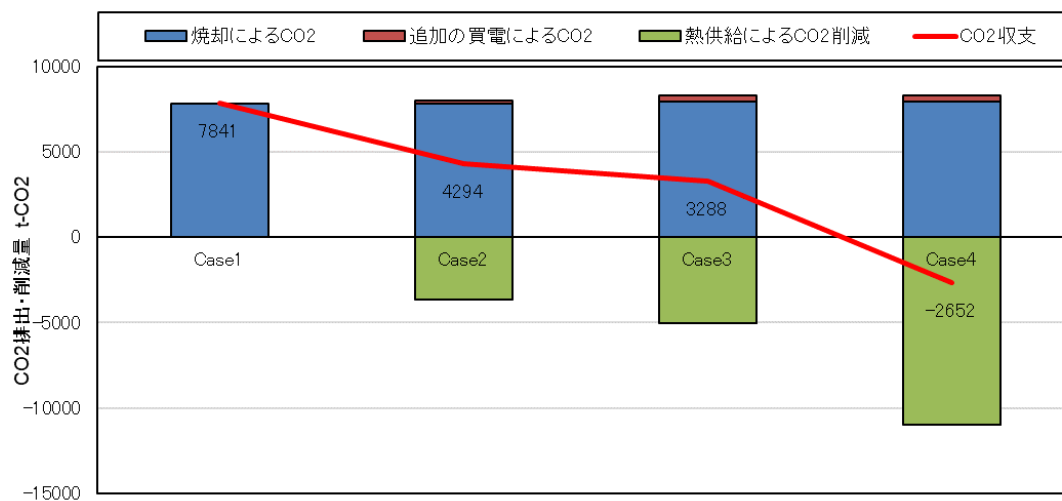


図 3.3-2 CO₂削減効果（株式会社東海クリーンの代表的な廃棄物組成に基づき掲載）

（２）費用対効果の算定

１）CO₂削減コストの算定

続いて、CO₂削減コストを算定した。CO₂削減コストは、下式により算定することとした。

$$\text{CO}_2\text{削減コスト（円/t-CO}_2\text{）} = \text{費用（円/20年）} / \left(\text{CO}_2\text{排出削減量（t-CO}_2\text{/20年）} \right)$$

※耐用年数を20年としている。

各ケースの総事業費負担の場合について、CO₂削減コストを算出した。CO₂削減コストの算定結果を表3.3-9、図3.3-3に示す。ケース2について、CO₂削減コストが9,910円/t-CO₂となり、ケース2、ケース4、ケース3の順にCO₂削減コストが低い。

表 3.3-9 CO₂削減コストの算定結果

ケース	費用 百万円/20年			CO ₂ 削減量 t-CO ₂ /20年	CO ₂ 削減コスト 円/t-CO ₂
	イニシャル	ランニング	合計（20年）		
2	369	17	703	70,944	9,910
3	2,149	38	2,908	91,061	31,936
4	2,149	38	2,908	209,863	13,857

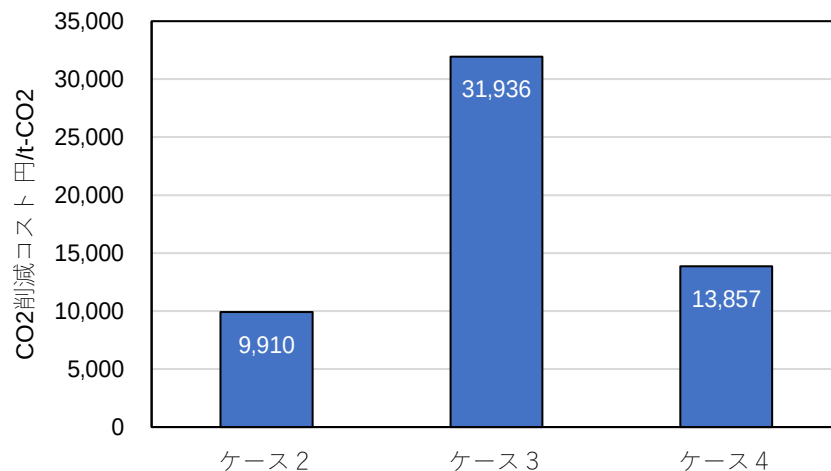


図 3.3-3 CO₂削減コスト

2) 投資回収年数

投資回収年数を算定する。投資回収年数は、下式により算定する。

$$\text{投資回収年数（年）} = \text{投資費用（円）} \div \text{投資によって得られる年間収益（円/年）}$$

先の1)と同様に各ケース総事業費負担の場合について、投資回収年数を算定した。なお、ケース3、4における蒸気の販売価格は、CO₂ 価値を踏まえ 7,000 円/ t と設定した。また、ケース2における熱風の販売価格は、上記と熱量単価を合わせ、0.951 円/N m³と設定した。

ケース2、ケース4、ケース3の順に投資回収が早いという試算結果となった。投資回収年数を表 3.3-10、図 3.3-4 に示す。

表 3.3-10 投資回収年数

投資回収年数	投資金額 百万円		年間収益 (蒸気価格 7 千円) (熱風価格 0.951 円 /N m ³) エネルギー販売益	投資回収 年数
	イニシャル	ランニング		
ケース2 プランA (プロワ)	369	17	89	5.1
ケース3 プランB (ボイラ/EMS なし)	2,149	38	144	20.3
ケース4 プランB (ボイラ/EMS あり)	2,149	38	288	8.6

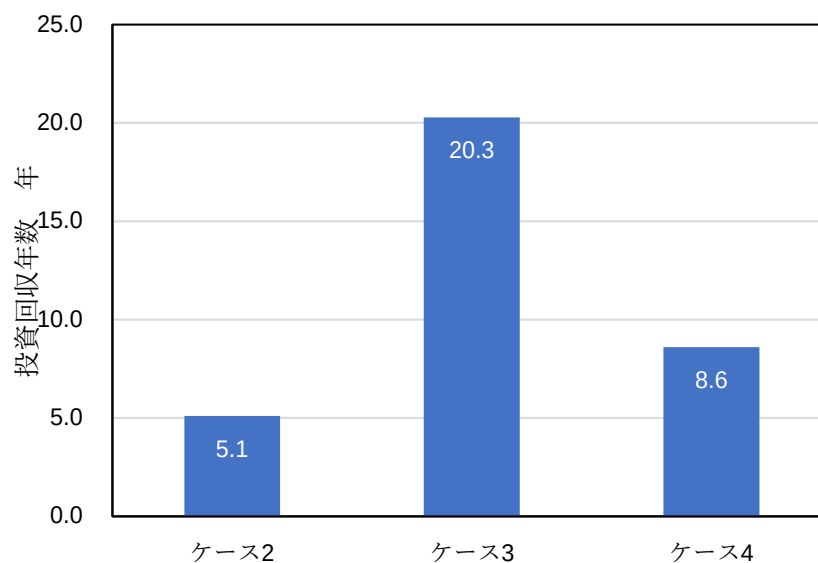


図 3.3-4 投資回収年数

(3) 事業成立条件の検討

1) 熱供給方式に関する条件

今回、これまでの熱風回収システムに加え、蒸気回収システムについても検討を実施したが、以下の課題が律速要件となる可能性がある。

- ・熱風回収システムについては、現状の需要家に対する供給能力が不足する可能性がある。
- ・蒸気回収システムについては、需要家側は蒸気で熱交換可能な設備への変更が必要とする。

2) エネルギー販売額に関する条件

ランニングコストを超えるエネルギー販売益が必須となるため、以下が最低単価条件となる。

プランAでは 16,686,998 円に相当する 14,422,643 m³/年 (51,599 m³/日) の熱風販売単価
プランBでは 37,978,487 円に相当する 5,425 t/年 (19 t/日) の蒸気販売単価

3) 追加需要家の要件

ケース4では発生蒸気すべてが供給可能な場合について検討したが、需要家を追加する場合、以下について考慮する必要がある。

- ・前項3.2でも検討したとおり、現状需要家のみで蒸気の供給能力を占めている。
そのため、追加需要家は定常的に熱を利用し、かつ現需要家の生産設備稼働時には熱供給量の低下を許容できる必要がある。
- ・この場合、追加需要家の蒸気用途は空調が想定される。この場合、熱余りは年間通じて生じているため、夏季にも冷温水器等を導入し、蒸気を冷房利用する工夫が求められる。

3.4 実証計画の更新

(1) 実施要件

①熱風利用と蒸気利用の条件

株式会社東海クリーンに熱風回収設備を設置し、隣接地にほしいも残渣飼料化工場を誘致することにより熱販売収入を得ることができる。この投資回収年数は5年であった。本補助事業で検討した熱風供給設備では、ほしいも残渣飼料化工場が必要とする熱をすべて供給熱で賄うことが可能であった。ただし、それ以上の供給ができないため、他の事業への熱供給を増やして事業を発展させることはできない。

また、蒸気供給設備が設置された場合でも、ほしいも残渣飼料化工場では蒸気を利用した工場の操業可能であるとともに、需要が満たされれば投資回収年数は9年となることが分かった。茨城県のフードロス対策との連携を期待されており、ほしいも残渣の飼料化工場で需要が増えていく可能性もあるため、その場合においては蒸気供給の方が望ましい。

②補助事業の活用の検討

活用可能性のある補助事業として、以下の2件が挙げられた。

廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏構築促進事業

目的：自立・分散型の「地域エネルギーセンター」の整備を支援する。

①廃棄物処理施設で得られるエネルギーを有効活用し、エネルギー起源CO₂の排出抑制を図りつつ、当該施設を中心とした自立・分散型の「地域エネルギーセンター」の整備を進める。

②廃棄物処理施設で生じた熱や電力を地域で利活用することによる脱炭素化や災害時のレジリエンス強化等にも資する取組を支援する。

対象：付金・間接補助事業（交付・補助率 1/2、1/3、差額の 3/4、定額）

廃棄物処理×脱炭素化によるマルチベネフィット達成促進事業

目的：廃棄物エネルギーの有効活用等により、地域循環共生圏構築に資する廃棄物処理事業を支援する。

①廃熱を高効率で熱回収する設備（高熱量の廃棄物の受入量増加に係る設備を含む）の設置・改良（熱や電気を施設外でも確実に利用すること）

②廃棄物から燃料を製造する設備（製造した燃料が確実に使用されること）及び廃棄物燃料を受け入れる際に必要な設備の設置・改良

対象：民間事業者・団体、間接補助事業（補助率 1/3、1/10）

（２）最適な事業スキーム（案）とステークホルダーの求められる役割

前述の検討結果から、現時点での事業モデルとしては、熱風利用であればほしいも飼料化工場のみ、蒸気供給であれば、地域循環共生圏の形成に向かって関係者連携を構築していく価値があると考えられた。蒸気供給においても、全量を供給することができれば採算が合い、CO₂削減に当たってもネガティブにすることができる。既存工場にとどまらず、茨城県、東海村、工業団地自治協議会と連携することによって、今度の周辺事業の誘致を検討することが有用である。最適と考えられる事業スキーム（案）とステークホルダーに求められる役割を図 3.4-1 に示す。

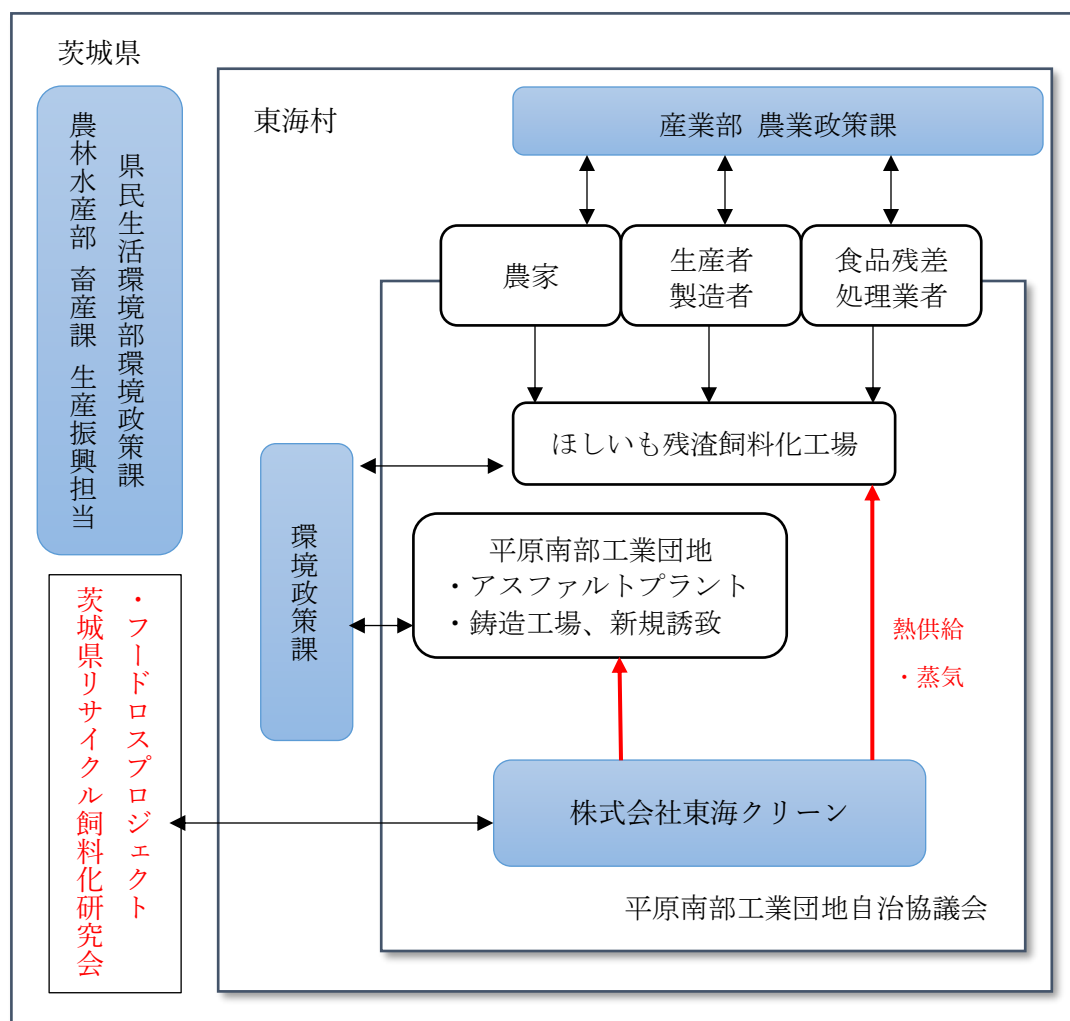


図 3.4-1 熱（蒸気）供給における事業モデルとして最適と考えられる事業スキーム（案）

※ほしいも残渣飼料化工場に関する情報は、ほしいも F/S 報告書の情報をもとに作成。

※熱風供給の場合は、株式会社東海クリーンとほしいも残渣飼料化工場間の連携のみに留まる。

(3) 事業化プロセス・事業化スケジュールの検討

対象事業の事業化に向けた主要プロセス及びスケジュールを検討した。結果を表 3.4-1 に示す。

なお、調整事項の多い案件形成となることを想定し、現段階では、リダンダンシーのあるスケジュールリングとしている。

表 3.4-1 事業化に向けた主要プロセス及びスケジュール（案）

	株式会社東海クリーン		地元関係者			
年度	熱風の場合	蒸気の場合	茨城県	東海村	農家	飼料化
令和4年度 (今年度)	脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証実施中					
令和5年度 (2023年度)	・熱回収側の事業全体の実施判断（株式会社東海クリーンの経営判断含む） ・地域説明会等 ・新規事業の誘致					
令和6年度 (2024年度)	アセス	アセス	補助金申請等 マルチベネフィット ①廃棄物高効率熱回収事業 （調整を擁するため、営業期間を長めに確保） 熱利用者の募集 ボイラ管理士の社内養成・設置準備 マッチング活動、 リサイクル産業等、 事業の新規誘致			
令和7年度 (2025年度)						
令和8年度 (2026年度)						
令和9年度 (2027年度)	試験開業	施工				
令和10年度 (2028年度)	本格開業					
令和11年度 (2029年度)						
令和12年度 (2030年度)		本格開業				

（４）事業性に係る本年度業務のまとめ

令和４年度は、新たな需要候補を含めつつ、供給可能量の全量を賄う需要を創出することを含めて検討を進めた。これは地域連携を創出することで実現できる可能性がある。引き続き、検討し、実証成果をもとに得られたデータを追加して、事業性評価、事業実施計画を更新していく。令和５年度は、実証を通じて知見を更新するとともに、国内外の社会的ニーズを踏まえ、CO₂排出量やコストの低減化につなげる検討を実施していく。

3.5 スケジュールの検討

地域の熱需給管理システム実証の実施スケジュールを表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 地域の熱需給管理システム実証の実施スケジュール（赤線：実績、黒線：予定）

調査内容	令和3年度						令和4年度												令和5年度											
	10月	11月	12月	1月	2月	3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	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
周辺事業者および地元行政との調整																														
・需要家への意向調査																														
・地元行政への許認可事項の確認																														
3.1 供給設備・配管・需要側構造の設計																														
（1）需給に関する設備・配管の設計																														
（2）熱供給パターンの整理																														
（3）許認可申請																														
3.2 需給管理システム設計																														
（1）エネルギーに関わる情報項目の選定																														
（2）関連情報のデータ化検討（熱需要の実測調査）																														
（3）需要予測に関わる要件定義と仕様設計																														
（4）供給側施設運用との連携に関する要件定義																														
（5）熱と電力の統合管理システムの検討																														
（6）システム全体の仕様設計																														
（7）プログラム化																														
3.3 CO ₂ 削減・費用対効果の算定																														
3.4 実証計画の策定																														
3.5 課題のまとめ																														
報告書作成																														

※自治体等との連携・相談は、実証事業に関わらず引き続き実施していく。

第3章 別添

別添 3-1 実測調査に関する詳細報告

実測調査に関する詳細報告

1. アスファルトプラント

(1) A 重油計測、温湿度計測

工事内容を以下に示す。また、工事の状況を別表 3.1-1、別表 3.1-2 に示す。

- ・ A 重油の計測対象は、再生骨材バーナー流量計メーター
- ・ 既存の流量計メーターはパルス出力機能があるものに換装
- ・ 計測器・通信器は共に、アスファルトプラント制御盤内に設置
- ・ 電源 (AC100V) は、制御盤内サービスコンセントより取得
- ・ 流量計用 DC24V 電源も、制御盤内に設置
- ・ 屋外温湿度計は事務所壁面に設置、電源は給湯器用コンセントより取得
- ・ 通信用の LTE 電波強度は問題なし

別表 3.1-1 工事状況① (アスファルトプラント A 重油計測、温湿度計測)

設置場所・設置状況	
再生骨材ドライヤー流量計 作業前	作業後
 工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 再生ドライヤー 作業前	 工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 再生ドライヤー 作業後 新流量計 (パルス出力機能付き) に取替え
計測器 (2 台)、通信器 作業前	作業後
 工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 親機、子機 作業前	 工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 親機、子機 作業後 親機・再生用子機・バージン用子機

別表 3.1-2 工事状況① (アスファルトプラントA重油計測、温湿度計測)

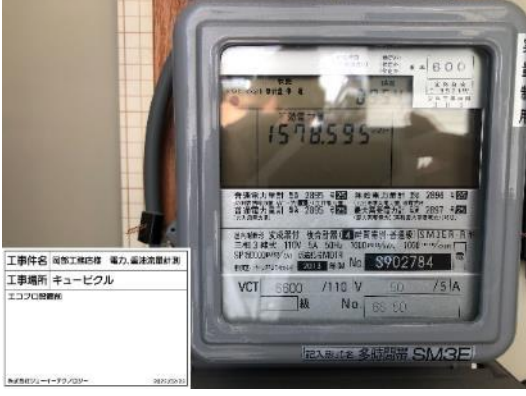
設置場所・設置状況	
流量計用 DC24V・接続端子台	
作業前  工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 親機、子機 作業前	作業後  工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 流量計 親機、子機 作業後 CP・DC24V 電源・端子台
屋外温湿度計子機	
作業前  工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 温湿度計 外 作業前	作業後  工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 温湿度計 外 作業後 AC100V 取得箇所
	(BOX 内)  工事件名 計測装置設置工事 工事場所 株式会社岡部工務店様 温湿度計 外 作業後 温湿度センサーは 底面に設置

(2) 電気計測

工事内容を以下に示す。また、工事の状況を別表 3.1-1-3 に示す。

- ・計測器・通信器は共にキュービクルの電力会社メーターが格納されている盤内に設置
- ・電源 (AC100V) はキュービクル内サービスコンセントから供給
- ・LTE 電波強度問題なし

別表 3.1-1-3 工事状況② (アスファルトプラント電気計測)

設置場所・設置状況	
高圧受電盤  工事件名 同部工務店様 電力、量測装置計測 工事場所 キュービクル エコプロ設備等	
電力メーター  工事件名 同部工務店様 電力、量測装置計測 工事場所 キュービクル エコプロ設備等	T&D 設置前状況  工事件名 同部工務店様 電力、量測装置計測 工事場所 キュービクル エコプロ設備等 計測器・通信器 設置位置

2. リサイクル業管理事務所

(1) 温湿度計測

工事内容を以下に示す。また、工事の状況を別表 3.1-1-4 に示す。

- ・事務所建物北側に、屋外温湿度計測器（子機）設置
- ・電源（AC100V）は、井戸水用ポンプコンセントより取得
- ・親機との接続問題なし
- ・事務所建物 2 階に、屋内温湿度計測器を設置

別表 3.1-1-4 工事状況③（リサイクル業管理事務所温湿度計測）

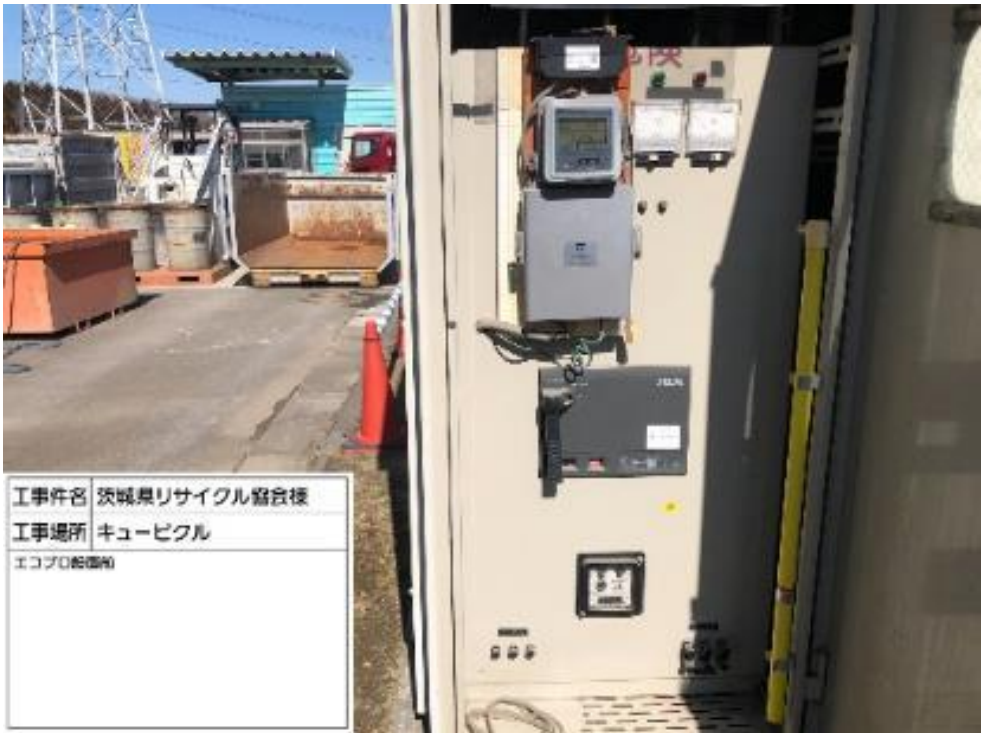
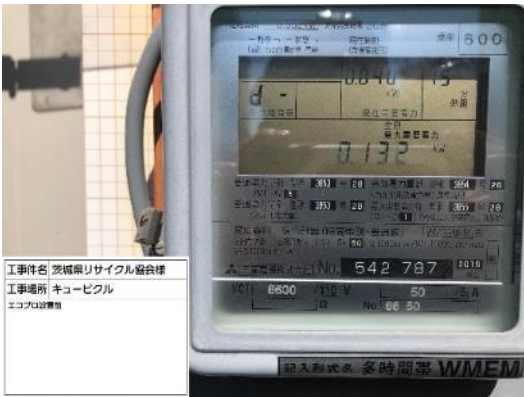
設置場所・設置状況													
再生骨材ドライヤー流量計 作業前	 <table border="1" data-bbox="335 1160 762 1473"><tr><td>工事件名</td><td>計測装置設置工事</td></tr><tr><td>工事場所</td><td>株式会社岡部工務店様</td></tr><tr><td>リサイクル協会 温湿度計 外 作業前</td><td></td></tr></table>	工事件名	計測装置設置工事	工事場所	株式会社岡部工務店様	リサイクル協会 温湿度計 外 作業前							
工事件名	計測装置設置工事												
工事場所	株式会社岡部工務店様												
リサイクル協会 温湿度計 外 作業前													
作業後	<table border="1" data-bbox="247 1780 478 1948"><tr><td>工事件名</td><td>計測装置設置工事</td></tr><tr><td>工事場所</td><td>株式会社岡部工務店様</td></tr><tr><td>リサイクル協会 温湿度計 外 作業後</td><td></td></tr></table> <table border="1" data-bbox="798 1780 1029 1948"><tr><td>工事件名</td><td>計測装置設置工事</td></tr><tr><td>工事場所</td><td>株式会社岡部工務店様</td></tr><tr><td>リサイクル協会 温湿度計 外 作業後</td><td></td></tr></table>	工事件名	計測装置設置工事	工事場所	株式会社岡部工務店様	リサイクル協会 温湿度計 外 作業後		工事件名	計測装置設置工事	工事場所	株式会社岡部工務店様	リサイクル協会 温湿度計 外 作業後	
工事件名	計測装置設置工事												
工事場所	株式会社岡部工務店様												
リサイクル協会 温湿度計 外 作業後													
工事件名	計測装置設置工事												
工事場所	株式会社岡部工務店様												
リサイクル協会 温湿度計 外 作業後													

(2) 電気計測

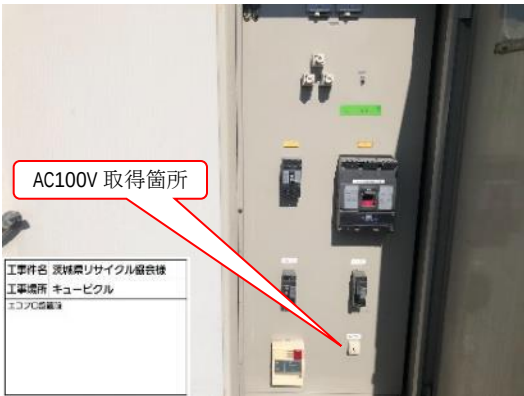
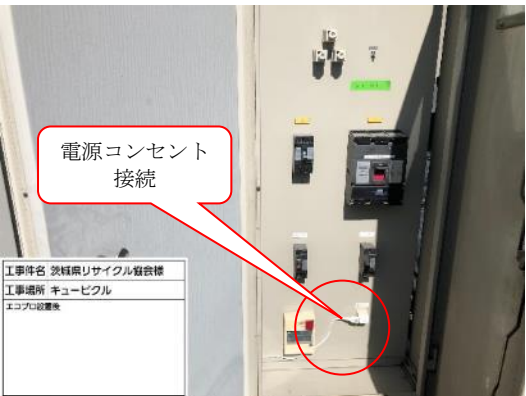
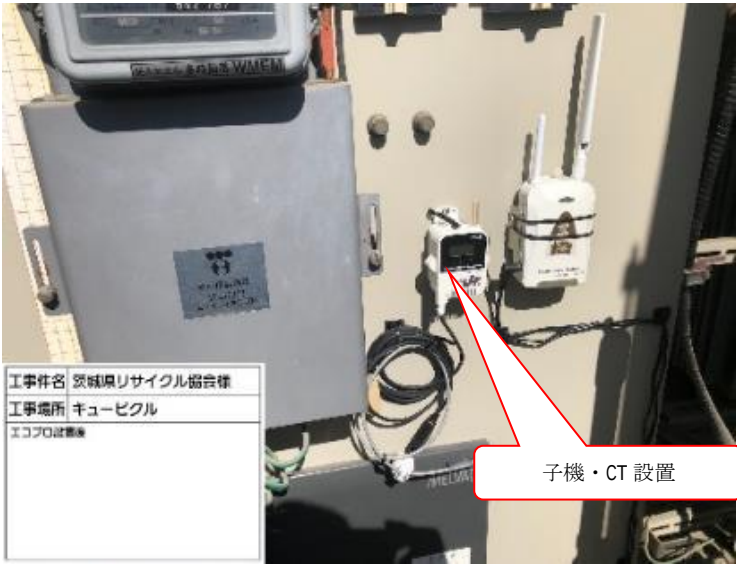
工事内容を以下に示す。また、工事の状況を別表 3.1-1-5、別表 3.1-1-6 に示す。

- ・ 計測器・通信器は、キュービクルの電力会社メーターが格納されている盤内に設置
- ・ 電源 (AC100V) はキュービクル内サービスコンセントから供給
- ・ LTE 電波強度は問題なし

別表 3.1-1-5 工事状況④ (リサイクル業管理事務所電気計測)

設置場所・設置状況	
高圧受電盤	
	
工事件名 茨城県リサイクル協会様 工事場所 キュービクル エコプロ館内	
電力メーター	計測器・通信器設置前状況
	
工事件名 茨城県リサイクル協会様 工事場所 キュービクル エコプロ館内	工事件名 茨城県リサイクル協会様 工事場所 キュービクル エコプロ館内 計測器・通信器 設置位置

別表 3.1-1-6 工事状況④（リサイクル業管理事務所電気計測）

設置場所・設置状況													
電源取得前コンセント	電源接続状況												
 AC100V 取得箇所 <table border="1"> <tr><td>工事件名</td><td>茨城県リサイクル協会様</td></tr> <tr><td>工事場所</td><td>キュービクル</td></tr> <tr><td>エコプロデュース</td><td></td></tr> </table>	工事件名	茨城県リサイクル協会様	工事場所	キュービクル	エコプロデュース		 電源コンセント 接続 <table border="1"> <tr><td>工事件名</td><td>茨城県リサイクル協会様</td></tr> <tr><td>工事場所</td><td>キュービクル</td></tr> <tr><td>エコプロデュース</td><td></td></tr> </table>	工事件名	茨城県リサイクル協会様	工事場所	キュービクル	エコプロデュース	
工事件名	茨城県リサイクル協会様												
工事場所	キュービクル												
エコプロデュース													
工事件名	茨城県リサイクル協会様												
工事場所	キュービクル												
エコプロデュース													
計測器・通信器設置状況													
	 子機・CT 設置 <table border="1"> <tr><td>工事件名</td><td>茨城県リサイクル協会様</td></tr> <tr><td>工事場所</td><td>キュービクル</td></tr> <tr><td>エコプロデュース</td><td></td></tr> </table>	工事件名	茨城県リサイクル協会様	工事場所	キュービクル	エコプロデュース							
工事件名	茨城県リサイクル協会様												
工事場所	キュービクル												
エコプロデュース													
	 通信器設置 <table border="1"> <tr><td>工事件名</td><td>茨城県リサイクル協会様</td></tr> <tr><td>工事場所</td><td>キュービクル</td></tr> <tr><td>エコプロデュース</td><td></td></tr> </table>	工事件名	茨城県リサイクル協会様	工事場所	キュービクル	エコプロデュース							
工事件名	茨城県リサイクル協会様												
工事場所	キュービクル												
エコプロデュース													

第4章 自治体における展開可能性の検討

本事業では、プラントメーカー及び自治体の視点を集約し、廃棄物焼却施設からの蒸気利用に向けた技術・法制度・データ共有上の課題の整理を行う。公益財団法人 廃棄物・3R 研究財団は、主要プラントメーカー等の参加する研究会を主催していることから、その場を利用した。

令和4年度の業務目標及び達成事項を表4-1に示す。

表 4-1 令和4年度の業務目標及び達成事項

項目	内容
採択時の技術の状況	自治体の次期廃棄物処理計画における焼却炉の位置づけに、蒸気利用をする認識が広まっていない。
本実証の最終目標	プラントメーカー及び自治体の視点を集約し、焼却施設からの蒸気利用に向けた技術・法制度・データ共有上の課題の整理を行う。
令和4年度の業務目標	令和3年度に行った自治体向けアンケート調査で抽出した課題について解決に向けた考察を行い、ごみ焼却施設からの蒸気利用の事例を体系的に整理する。また、先行事例および有識者へのヒアリング調査等を通じてごみ焼却施設からみた技術・法制度・データ共有上の課題整理を行う。
令和4年度の達成事項	4.1 焼却施設からの蒸気利用の波及に向けた課題の整理 焼却施設メーカー及び自治体の視点を集約し、焼却施設からの蒸気利用の普及にむけた技術・法制度・データ共有上の課題について整理することを目的として、令和3年度に行った自治体向けアンケート及びヒアリングに対し、課題解決のための考案を行った。また、先行事例である横浜市と恵庭市を対象としてヒアリング調査を行った。 これらの結果より、蒸気利用の普及を図るためには、ガイドラインや事例集、啓発活動が重要になると考え、その項目について、焼却施設メーカーが参加する「意見交換会」の場で発表し、検討を行った。 4.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理 意見交換会は廃棄物・3R研究財団が主催する研究会内に設置し、焼却施設メーカー5社の技術者と有識者2名が参加し、焼却施設からの蒸気利用について、熱供給側からの視点での課題の整理と、ポテンシャルの拡大推計を行うための課題の整理を行った。 その結果、本実証の最終目標である廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめるための基礎的情報を把握することができた。

4.1 焼却施設からの蒸気利用の波及に向けた課題の整理

(1) 自治体向けアンケート及びヒアリングから判明した課題と対策案

令和3年度に行ったアンケートで抽出した課題について解決に向けた考察を行った。また、ヒアリング調査で得られたデータ共有・法制度上の課題の整理を行った。技術課題、政策課題のほか、関係者間の信頼関係が重要であることも挙げられた。アンケート・ヒアリングの結果を表4.1-1に示す。表中のアは、アンケート、ヒはヒアリングを指す。

表4.1-1 アンケート・ヒアリング結果

課題	アンケート・ヒアリング結果 (現状、事実)	回答 件数	課題(あるべき姿)	解決方策(案)
設計面への 対応 ↓ 技術ガイド ライン化	配管設計 ・場外への高温高压な蒸気供給は <u>安全性</u> に気を遣う必要があり、蒸気配管の経路及び復水の扱いに関する安全性の確保面が連携の障壁になっていることが分かった。	ア：5 ヒ：4	安全性を確保するための情報が、配管設計指針としてわかりやすく取りまとめられていて、入手しやすい状況にある。 ・配管材質等の仕様の基本情報。 ・安全性確保のコスト。	・安全性を確保するための情報を探して、必要な人に案内できるようにする。
	運転制御 ・変動する需要に対し、既存の発電と追加する蒸気供給とのハイブリットを行う場合の運転操作について、どのような構成比で実施するのかの検討・実施が難しいと考えられていることが分かった。	ア：2 ヒ：3	電気と蒸気の需給バランスを把握して、供給制御できる仕組みが構築されて、効率的な運用が行える。	・発電と蒸気のハイブリット事例の仕組みの解説資料を作る。
運用面での 対応 ↓ 事例紹介コ ンテンツの 作成	責任分界点の設定 ・事業の責任分界点を、ごみ焼却施設の敷地境界に置く場合、熱供給先の敷地境界に置く場合など、責任分界点設定方法に多様性があることが分かった。	ア：21 ヒ：9	事業実施時に問題が生じていても適切に対処できるように、責任分界点を適正に設定し、需要側・供給側の全体設計を行うことができる。	・責任分界点の設定方向と事業実施状況を事例から、関係法令が求める条件等を整理する。
	既存立地と誘致 ・自治体エリア内に熱供給先が無いという立地の問題が大きい現状がある。	ア：11 ヒ：0	焼却炉側では、自治体エリア内の熱利用可能事業者の存在と蒸気等需要の有無が把握出来ている。 新規に焼却施設を建設する場合には、熱供給の立地を考慮して建設することが当たり前になっている。	・熱需要データベースやマッピングを行う。熱供給の検討に用いる情報を提供できるようにする。
	稼働情報の共有 ・年間の蒸気需要変動への対応、供給停止時のバックアップの考え方、需要側の現在の燃料条件など、事業採算性を算出するが、これを	ア：43 ヒ：0	CO ₂ 削減のインセンティブの課題と算出の方法が定まっており、それに基づき、事業採算とCO ₂ 削減量の算出をすることができる。	・事業実施前に事業採算性とCO ₂ 削減量の算出を詳細に検討するツールを作成する。

	CO ₂ 換算することが難しいとする自治体が多いことが分かった。			
	持続的経営の担保 供給先の事業者が熱利用事業を中止または倒産するリスクがあるなどの経営状況を不安視することが分かった。	ア：1 ヒ：0	需要側、供給側間で密に情報共有することが必要であり、需要側の経営状況により供給停止に至るなどのリスクを回避して事業実施する。	需要側と供給側が良好な関係性を構築している自治体のノウハウを調査する。
	蒸気価格情報 事業者への公平性の問題から、供給単価は秘密情報としており、アンケートやヒアリングでは、実態情報を取得できなかった。	ア：0 ヒ：3	自治体からホームページによる情報公開等、公平性を確保した事業であることが公開されている。	- 熱供給事業を行っている自治体から住民、事業者への公表の手法について事例調査を行う。 - 蒸気価格は秘密情報として取り扱い、統計的な値を出せるようにする。
政策活用面への対応 ↓ ・交付要件への盛り込み ・啓発ウェブサイトの設置	熱供給事業の周知 - 焼却施設では、熱供給事業法があることが知られていない。 - 補助金があるが知られていない - 自分たちの事業が補助金適用に該当することに気が付いていないことが分かった。	ア：83 ヒ：0	熱供給を行おうとする自治体が、事業計画を作成する際に、把握すべき関係法を容易に知ることができる。	熱供給事業法など関係法令のリストを作成し、共有できるようにする。関心のある層での認知状況も確認する。
	啓発 アンケートで事業説明をしたところ、FS 及び設備導入等への補助金の要望が多いことがわかった。		熱供給事業（蒸気、熱風、温水）の補助金が、自治体に認知されている状況になっている。	補助金の適用要件をわかりやすい脱炭素シナリオとして、伝える。
	マッチング - 現状の焼却施設の近傍に需要先が存在しないケースが多い。 - 需要先が存在しても、廃棄物焼却施設の更新計画に熱利用が盛り込まれていないケースが多い。	ア：82 ヒ：3	自治体が焼却施設の更新計画を立てるときに、近傍の需要先が把握できること。現状が難しくとも、更新計画では熱利用が必ず盛り込まれていること。	需要先が存在し、廃棄物焼却施設の更新計画を策定する場合は、熱利用の可能性を確認することを、補助金交付要件に含め、マッチングを推進する。

（２）熱利用実施機関及び計画機関へのヒアリング調査

先行事例実施機関に対し、実施経緯や実施状況を知るため、ヒアリング調査を行った。ヒアリング先の選定条件は、インターネットのニュースや情報により、蒸気供給を行っている、または計画をしている自治体、コンビナート・工場連携の可能性がある事業者とし、3か所の事業者を選定した。なお、3か所中1か所は、新型コロナウイルスの蔓延により現地ヒアリングが困難であったため、Web 会議システムを使用した方式でヒアリングとなり、現地視察は実施できなかった。

以下にヒアリング結果の概要を示す。供給先の民間事業者も関係する内容であることからヒアリング調査詳細は、現時点では非公開とし、先方との交渉を踏まえて可能な範囲で情報を整理して提供することを検討する。

１）横浜市へのヒアリング結果の概要

日時：令和４年７月８日

場所：横浜市

経緯：令和４年３月１６日に横浜市から記者発表資料、翌３月１７日に日本経済新聞記事が公開され、横浜市が鶴見区にあるごみ焼却場の蒸気を、近隣の東亜合成(株)に供給するニュースがあったので７月８日に横浜市資源循環局に出向き、ヒアリングをした。以下は、横浜市コメントである。

結果：・横浜市の資源循環局鶴見工場では、脱炭素を目的として余熱の有効利用を計画していた。鶴見工場近隣の事業者や下水処理場に対し、熱利用を募集するヒアリングを実施したところ、東亜合成（株）から蒸気利用の申し出があった。

・環境省の令和４年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（廃棄物処理施設を核とした地域循環共生圏構築促進事業）に採択され、F/S を実施中である。

質問：・東亜合成との蒸気利用計画のきっかけ

- ・ごみ焼却施設の排熱の熱利の考え方
- ・事業主体は SPC か、横浜市は熱供給事業を計画しているのか
- ・東亜合成（株）の蒸気用途。
- ・ごみ焼却施設から供給できる蒸気仕様との整合の有無。
- ・蒸気配管は埋設か地上か。
- ・設計・建設等及び供給の運転・維持管理者の設定。
- ・蒸気タービンとのバランスのとり方。
- ・バックアップボイラー設置の有無。
- ・CO2 のインセンティブの考え方
- ・他工場での同様の実証試験は計画の有無

2) 製紙会社（民間）へのヒアリング結果の概要

日時：令和4年9月13日

経緯：大規模な工業団地に立地する製紙会社で、複数個所に蒸気供給をしていることを知り、ヒアリングを行った。

結果：・自社で製造している紙の乾燥工程の動力として用いる蒸気に余剰があったため、ボイラの出口、タービンの手前で蒸気を引き抜いている。
・当初、ボイラは場内の発電と、蒸気を自社で製造しているプロセスに利用するために設置したものである。現在行っている外部への蒸気供給は、需要側から持ち掛けられた話である。

質問：・熱供給事業の概要、蒸気供給フロー、蒸気利用用途

- ・現在の燃料の種類と燃料代替材、及びその比率
- ・スラッジ、廃木チップの処理方法
- ・蒸気の安定供給の考え方
- ・蒸気価格決定の方法
- ・供給先での蒸気需要の状況、蒸気用途
- ・蒸気需要家の新規募集の有無

3) 恵庭市へのヒアリング結果の概要

日時：令和4年11月24日（木）13：00～15：30

場所：北海道恵庭市焼却施設、下水終末処理連携メタン発酵設備

経緯：恵庭市下水道事業では、新たに整備されるごみ焼却施設と連携した熱資源の有効利用に取り組むことを公表した。1つ目は、焼却排熱の有効利用による官民連携バイオガス発電事業、2つ目は、焼却排熱による汚泥乾燥（汚泥の減容化、熱資源の循環）であった。セクター横断的な熱利用事例として、ヒアリング調査を実施した。

結果：・北海道の恵庭市が所有する焼却処理場と下水処理場は隣接しており、焼却処理場から発生する蒸気を下水処理場へ送り、施設内空調、汚泥の乾燥、メタン発酵の加温に使用している（図4.1-1 恵庭市両施設フロー参照）。異なる施設間の連携の構築は、トップダウンの指揮と、廃棄物と下水の両方を経験した職員の専門性をもって、中心的に行動したことで実現に至ったとのこと。
・脱炭素の4つの方策の1つであるメタン化処理だけでなく、熱利用を普及展開する場合は、このようなキーパーソンとなれるような人材の存在が重要とのこと。
・恵庭市焼却施設の立地環境を図4.1-2に示す。バイオマス施設、下水処理施設、汚泥乾燥施設、農園と、焼却施設が隣接し、田畑に囲まれた立地環境となっている。

人と自然が共生する「エネルギー循環システム」

恵庭市は札幌市と新千歳空港のほぼ中間に位置し、充実した都市機能と美しい田園など豊かな自然環境を兼ね備えたまちです。下水道事業は昭和43年の当初計画では、既成市街地を主体に処理区域103.4ha、処理人口8,500人の規模でした。その後、市街地の急速な発展に伴い処理区域を拡大し、昭和48年「下水終末処理場」建設に着手、昭和55年に供用を開始しました。さらに、島松、恵み野、黄金地区などの市街地の発展とともに計画の拡大を図ってきました。平成16年度から「し尿・浄化槽汚泥」、平成24年度から「生ごみ」を地域バイオマスとして受入れ、下水汚泥とともに処理することで多くのバイオガスを発生させ、発電によるエネルギーの有効利用をしています。また、令和2年度からは隣接するごみ焼却施設と連携し、蒸気による熱回収(焼却排熱)とその利用、一定の発熱量を有する乾燥汚泥の供給、乾燥施設内臭気をごみ焼却施設へ送り焼却脱臭するなど資源循環・資源融通の取り組みやその上で成り立つ官民連携によるバイオガス発電を開始しました。今後も、下水道事業では廃棄物事業との連携によるエネルギー循環システムの構築を進めます。

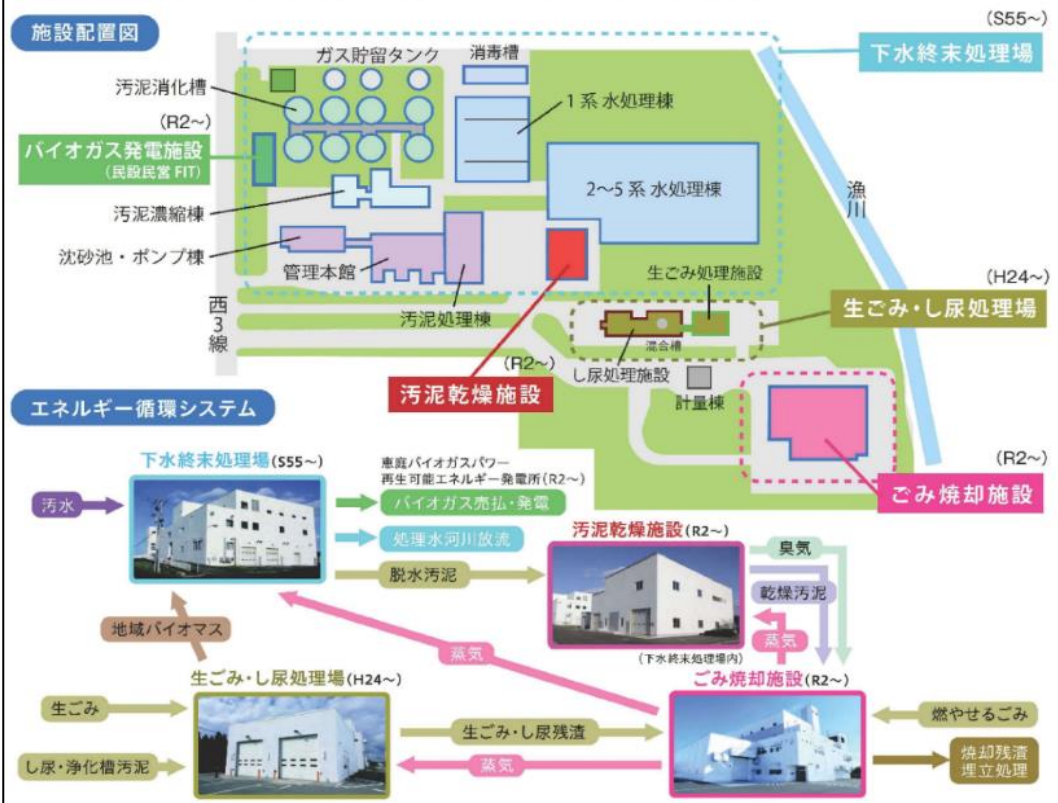


図 4.1-1 恵庭市両施設フローシート



図 4.1-2 恵庭市焼却施設の立地環境

4.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理(熱供給側からの視点・一般廃棄物焼却施設)

本業務では、5社のプラントメーカーの参加する諸客熱の産業への熱供給事業に関する意見交換会を開催し、関心の高かった事業主体のあり方について、焼却施設からの電力供給の事例を収集し、課題を整理した。以下に詳述する。

(1) 意見交換会の開催

廃棄物焼却施設の熱供給側からの視点で、「ポテンシャルの拡大推計と課題の整理」に関して、本事業の作業計画書（令和4年4月）に準じて、（公財）廃棄物・3R研究財団で実施中の共同研究事業「次世代静脈インフラの構築に向けた包括的研究」（以下、共同研究事業という。）のメンバーである有識者2名及び焼却炉メーカーの5社の参加を得て、2回の意見交換会を実施した。また、その会議にオブザーバーで株式会社エックス都市研究所(以下 EXRI)、国立研究開発法人国立環境研究所(以下 NIES)も参加した。以下に結果を記す。

1) 第1回意見交換会の概要

第1回意見交換会を令和4年12月14日に実施した。令和3年度の成果（アンケート及びヒアリングで抽出した課題の解決に向けた考察）を報告した後、議題として EXRI 及び NIES より全国への普及展開方策の検討について、焼却施設に付帯する設備（機能）の共同開発の可能性について説明・意見交換を行った。意見交換の内容を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 第1回意見交換の内容

5社からの意見	コメント
プラントメーカーとして、熱供給事業を行う場合、誰が「事業主体」になるのが重要だと思う。(4社)	事業主体といったときに、いろんな見方ができる。自治体側のキャパビリティは無理だという話と、既存のやり方で一廃だからどうだ、産廃だからはどうだという話が出てしまい、実現は難しい。しかし、メンバーが決まり、いざ具体的に進みだすと今の話は問題ではなくなる。
熱供給は利用先がないと、やりようがない。熱需要 DB があるといいと思う。	熱需要 DB は、脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（本業務）で構築中であり、将来的にはオープンソースにすることを目指している。
海外のセメント会社と連携して 30 施設くらい納めている。そういうこともひとつのやり方。日本では実績がない。(1社)	次回の意見交換会で、海外での熱供給事例を紹介する。

2) 第2回意見交換会の概要

第2回意見交換会を令和5年3月1日に実施した。意見交換の議題として、国立研究開発法人国立環境研究所より「化学等の素材産業のカーボンニュートラル化に向けた廃棄物及び再生可能エネルギーの有効利用」について、株式会社エックス都市研究所より「LCCN) プラント（ライフサイクルカーボンニュートラルプラント、の略で NIES の造語のこと。）の 施策上の位置付け確認について」、財団より前回のフォローアップで事業主体を SPC（SPC とは「Special Purpose Company」の略称で、特別目的会社のことをいう。）で行うことについて説明した。また、有識者より、公民連携の国内と海外の事例について説明いただいた。

第2回意見交換の内容を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 第2回意見交換の内容

5 社からの意見	コメント
熱供給について現状プラントメーカーとしてできることは何か。(1 社)	現状は大規模熱利用の具体的な事が、世間にあまり周知されていない。まずは小さくても事例を作り、そこから啓発することが重要。 プラントメーカーには、安定供給に向けた技術的準備をしておいていただけるといいと思う。
SPC で事業を行う事については、建設費や収入面などの資金面で課題があると思う。(2 社)	焼却設備は補助金が出るが、それ以外の蒸気配管などは補助金の確認が必要。事例として佐賀市で行っている CO ₂ の外部供給はどのように行っているか調査するのもよい。
脱炭素の目標である 2050 年まで時間がない。廃棄物処理大規模化の方針を自治体で判断するのは躊躇すると思う。国主導で行うのが担保もあり良いと思うが、促進するにはどういったスキームがよいか。(2 社)	廃棄物処理大規模化を地方自治体主導で検討させると、安定を求めるため従来方式を選択してしまう。促進するには、ごみ処理側ではなく、民間企業の需要側のモチベーションを上げるのが良いと思う。

（２）廃棄物処理に係る公民連携の事例整理

令和３年度行った自治体向けアンケート及びヒアリング結果では、外部へ熱供給をする場合、技術面、運用面、政策面に対し不安視する意見があり、熱供給事業を行うために解決しなければならない問題が多数抽出された。

第１回目の意見交換会では、熱供給を行う場合、どこが事業主体になるのかが話題となった。廃棄物処理に係る公民連携の事例について調査し、第２回意見交換会で提示した。

結果を以下に示す。

１）事業主体とその業務

事業主体は以下の４パターンが考えられる。

- ・自治体所有の廃棄物処理施設での直営の SPC
- ・公民連携の SPC
- ・民間の産業廃棄物処理施設にて一般廃棄物を処理する SPC
- ・産業廃棄物処理施設を使用した民間事業者のみの SPC

このうち、自治体直営で民間企業へ熱供給事業を行うには、需要家交渉、計画設計、建設、維持管理、事務処理等の業務が多岐にわたり、兼務では多忙が予想される。具体的には次のような業務がある。

- ・設備の設計、建設、維持管理
- ・予備ボイラの設置、メンテナンス
- ・自治体と需要家との交渉
- ・需要家との秘密保持契約
- ・ボイラ技士及びエネルギー管理士の常駐
- ・出資自治体への還元、需要家からの料金徴収

さらに、以下のような調整コストや不確実性もある。

- ・住民に透明性を持って、公平に事業を進めることを求められる一方で、事業者からは秘密保持を求められる
- ・土地の取得に不確実性が高い

このような問題を抱えては、自治体直営での事業化は大変困難である。これらの問題を解決するには公民連携の SPC を作り、上記業務をそこで行うことが必要である。近年では焼却施設からの売電事業等で実施されている例もある。

2) 事業スキーム

公民連携にて SPC を設立した場合の事業スキームを以下に示す。

環境省の「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」では、SPC の設置について、以下の記載がある。

また、「平成 29 年度廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル」には、一般的な事業スキームとして DBO 方式と PFI 方式を挙げている。DBO 方式の体系図を図 4.2-1、PFI 方式の体系図を図 4.2-2 に示す。

＜焼却炉からのエネルギー供給事業における実施体制に関する記載＞

「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」 環境省 より

- ・ ごみ焼却処理施設を新設する場合の交付要件として、地域特性を考慮しつつ、自治体及び民間事業者との連携など、地域全体でのごみ処理の安定化・効率化を図っていくことが重要であり、PFI 等の手法による施設設計の段階からの民間活力の活用等、社会的・経済的な観点も含めて効率的な事業を行う必要がある
- ・ 第3章エネルギー回収型廃棄物処理施設（交付率 1 / 2）の交付要件（1）PFI 等の民間活用にて、新たにごみ焼却施設の整備計画を進めるに当たっては、事業実施方式として、PPP／PFI の導入の検討を行い、VFM を算定する等、定量的評価及び定性的評価により事業方式を評価し、総合的に最も効率的な方法で施設の整備を行うことである。
- ・ PPP／PFI の導入の検討結果について、交付申請書等とともに提出する必要がある。

PPP/PFI については次のホームページに詳しく記載がある。

- ・ 環境省 廃棄物処理分野における PPP/PFI の推進
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kanminrenkei/content/001388171.pdf>
- ・ 国土交通省 官民連携事業（PPP/PFI）のすすめ
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kanminrenkei/content/001449338.pdf>
- ・ 国土交通省 PPP/PFI（官民連携）
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kanminrenkei/index.html>

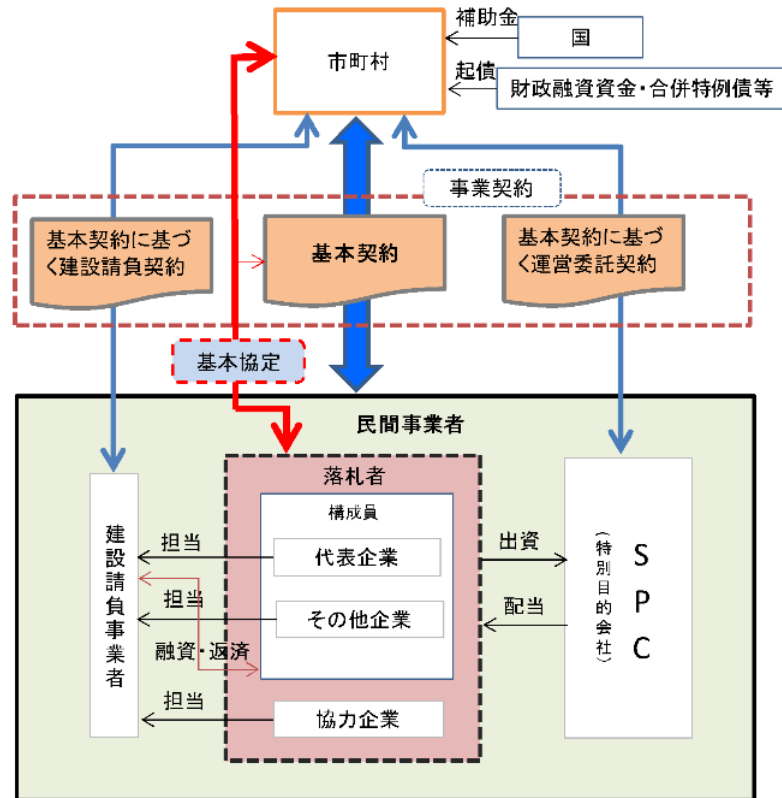


図 4.2-1 DBO 方式の体系図
環境省『平成 29 年度廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル 103 頁』

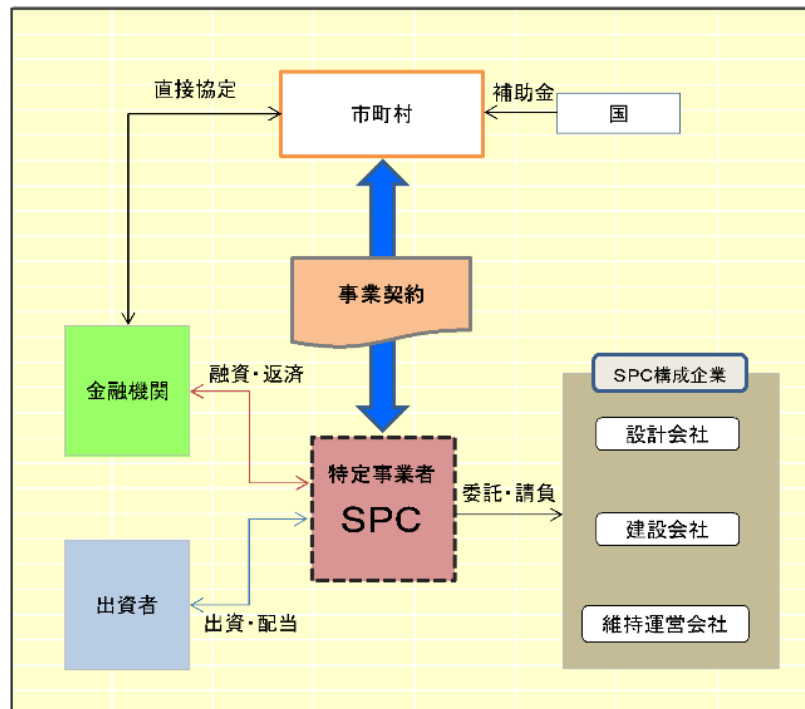


図 4.2-2 PFI 方式体系図
環境省『平成 29 年度廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル 104 頁』

3) 公民連携による SPC 事例

公民連携で熱供給を行う場適切 SPC を設立するのが最適と考えられるが、熱供給で SPC を設立している事例は、現在は存在していない。そのため、廃棄物処理施設でエネルギー事業を実施している SPC の事例を以下に示す。

①兵庫県相生市地域エネルギーセンター計画の事例

相生市は、市内に新たな廃棄物処理施設として（仮称）地域エネルギーセンター（新相生市美化センター）を整備し、運営する事業の推進に向けた公民連携協定を図 4.2-3 の構成で締結している。エネルギーセンターの管理と搬入申請に SPC を設立する計画である。

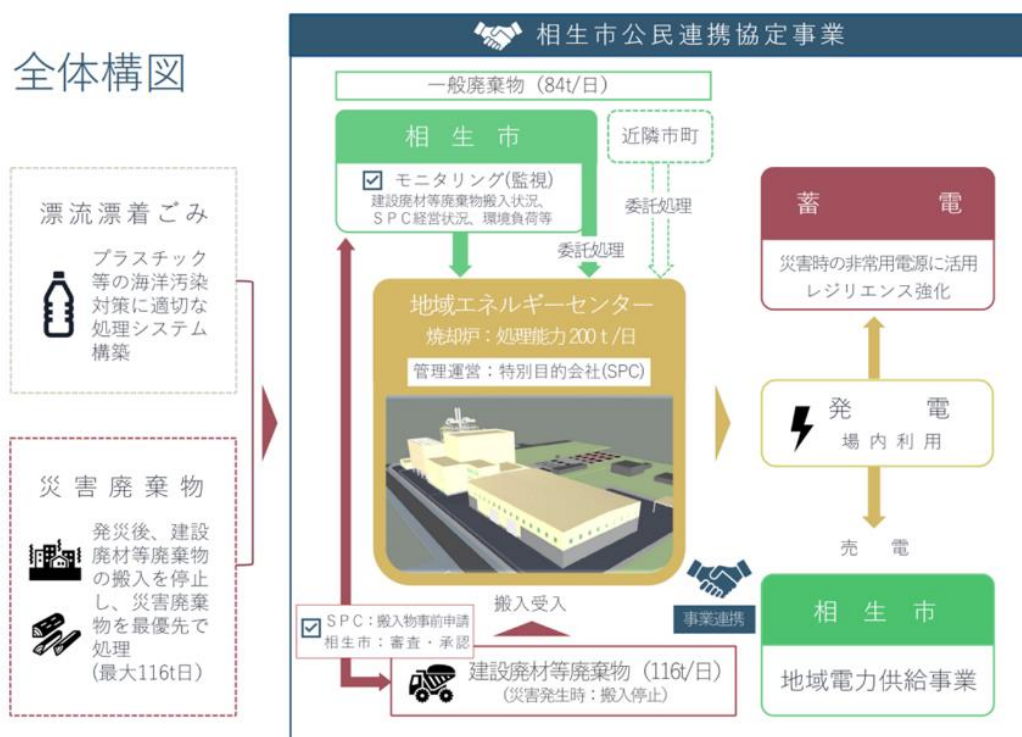


図 4.2-3 兵庫県相生市地域エネルギーセンター構図
https://www.city.aioi.lg.jp/uploaded/life/56972_106636_misc.pdf

②千葉県木更津市、君津市、富津市、袖ヶ浦市の廃棄物処理の事例

木更津市、君津市、富津市、袖ヶ浦市では、民間企業3社と共同出資して、株式会社かずさクリーンシステムというSPCを設立している。SPCでは4市で発生する一般廃棄物と、この4市が条例により受け入れている産業廃棄物等の中間処理を行っている。(図4.2-4)。株式会社かずさクリーンシステムの事業スキームを図4.2-4に示す。

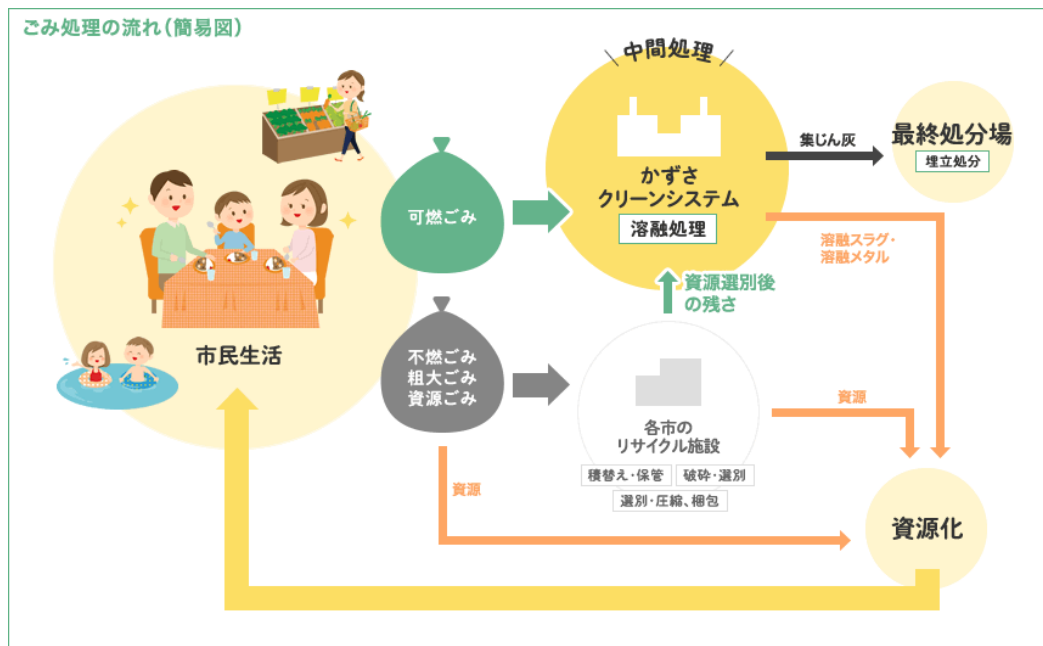


図 4.2-4 株式会社かずさクリーンシステムの事業スキーム
<http://www.kazusa-cs.co.jp/company/>

5) 再エネ発電事業と比較した蒸気熱供給事業特有の課題

電気と蒸気熱を比較した場合、蒸気熱供給にはどのような課題があるか検討した。結果を以下に示す。

①物理特性に係る課題

再生可能エネルギーにて発電された電気は、一般的に送電線へ送られている。敷地内の送電までが再エネ発電事業者の管理範囲で、売電量はメーターで確認する。小売電気事業者は電気の利用者から電気代の徴収、再エネ発電事業者からの受電と電気代の支払い等の管理を行う。それに対し、蒸気を需要家まで送る場合は配管が必要であり、敷地外の配管も管理が必要となる。売蒸気量は需要家ごとにメーターを設けて計測する必要がある。

②販売収入に係る課題

再生可能エネルギー発電事業者はFIT または FIP により販売収入を得ている例が多い。

図 4.2-5 のように、電気の利用者からは再エネ賦課金を徴収するシステムがあるが、熱利用に対しては、現在はそのような制度がないため、それらに頼らない経営を考える必要がある。

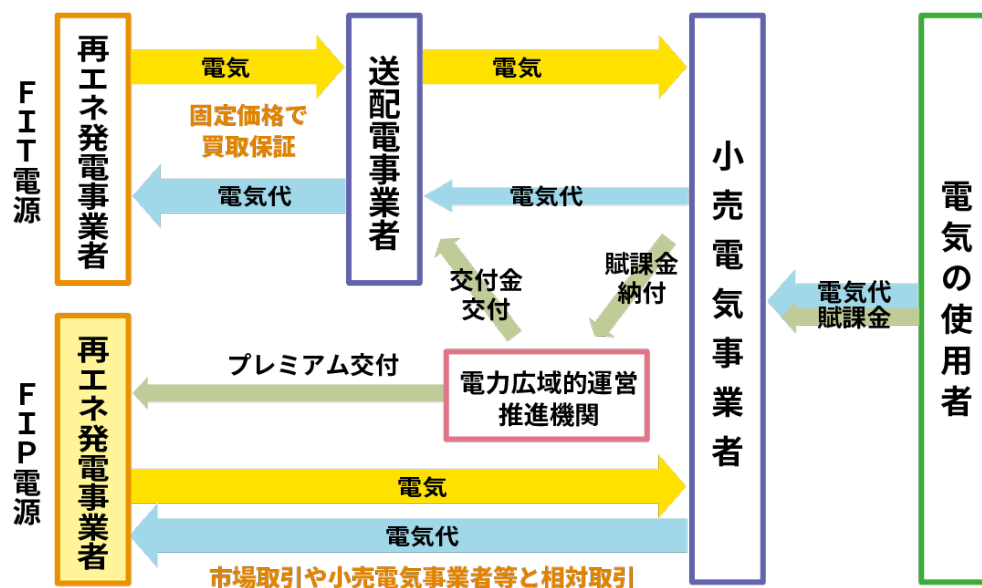


図 4.2-5 再生可能エネルギー発電事業における FIT と FIP 制度

<https://blog.eco-megane.jp/fip/>

(参照：エバーグリーン・マーケティング(株)：2021 年度最新版 FIT 制度と 2022 年 4 月から始まる FIP 制度を分かりやすく解説

https://www.egmkt.co.jp/column/corporation/20200803_7.html#ap_6)

③適用報に係る課題

再生可能エネルギー発電事業では、電気事業法の他に特例措置として「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（再エネ特措法）がある。

蒸気熱供給では「熱供給事業法」があり、次のすべての要件を満たす場合に、「熱供給事業」となり、事業登録が必要となる。1)導管で供給し、一般の需要に応じる、2)複数の建物に供給する、3)加熱され、若しくは冷却された水又は蒸気を熱媒体とする、4)加熱能力 21GJ/h 以上の規模とする。その逆に、1)特定の需要に応じる、2)一つの建物に供給する、3)加熱能力 21GJ/h 未満の規模とするのいずれかであれば、「熱供給事業」に該当しない。全社は明確に再エネの発電事業の促進を目的としたものであるが、後者は必ずしも再エネ供給の促進を目的としたものではない。

なお、設備によって適用法が変わるため、その部分は割愛する。

④主目的の違いに係る課題

太陽光発電、風力発電は発電が主目的であり、官民を問わず同じであるが、廃棄物焼却施設の排熱回収による熱利用や、メタン発酵による発生ガスを利用した発電事業は、目的が官民で異なる傾向があると考えられる。

具体的には、民間では発電目的で設備を作るが、自治体は、地域の廃棄物処理及び下水処理が主目的となりがちであり、発生ガスは処理の過程で出来た副産物との見方が強くなる場合がある。つまり、副産物という視点に立つと、熱回収率の向上を優先した処理が行われにくくなりうる。自治体で廃棄物を焼却した際の熱の利用は、副産物とはいえ、最大の効率や付加価値として扱われることで、新たな収益となりうるとの視点に立てば採用する処理方法にも工夫できることが生まれると推察された。

⑤後処理に係る課題

廃棄物焼却施設においては、ごみを焼却処理すると必ず灰が出る。また、バイオマス进行メタン発酵した後にも、残渣とろ液が発生する。

これらの処理を適切に行えるかどうかは課題である。広域からのごみを集約して焼却処理した場合は、増えた灰の適切な処理についても事前に検討しておく必要がある。

4.3 スケジュールの検討

令和4年度の実施スケジュールを図4.3-1に示す。

表 4.3-1 令和4年度、令和5年度の予定及び実績（黒線：予定、赤線：実績）

調査内容	令和4年度												令和5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	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
4.1 焼却施設からの蒸気利用の普及に向けた課題の整理																								
4.2 ポテンシャルの拡大推計と課題の整理																								

第5章 工業団地及び水平展開時のCO₂削減費用対効果拡大推計

需給マッチング最適化により、社会全体での「資源の量×質」の利用効率向上が理論上可能である。本業務では、実証で得られたデータや課題、理論検討の成果、及びプラントメーカーや自治体からの情報を踏まえ、CO₂削減の費用対効果推計を行い、評価・検証を行う。

本実証の3年間の事業期間を通じて後述の 5.3 に示す内容を実施する予定であるが、令和4年度の本業務では拡大推計をするためのデータベースおよび実態を踏まえた CO₂ 削減の費用対効果推計実施の枠組みを構築した。令和4年度の業務目標及び達成事項を表 5-1 に示す。

表 5-1 令和4年度の業務目標及び達成事項

項目	内容
採択時の技術の状況	・焼却炉からの蒸気利用に関する実証データがないため、CO ₂ 排出削減効果の推計が概算となっていた。
本実証の最終目標	・本実証における CO₂ 排出削減効果を評価。化学コンビナートで蒸気供給を行った場合の費用対効果を評価。また、一般的な焼却施設と製造工場（工業団地）ペアでの CO₂ 排出削減の費用対効果を示す。 ・化学コンビナートへの大規模な蒸気供給を行うケースで、焼却発電に比べて2倍程度大きな CO₂ 排出削減効果と経済性が得られることを検証。
令和4年度の業務目標	・今後の廃棄物組成の変化、及び処理対象廃棄物を時系列で整理する。令和3年度の成果に基づき、工業団地での拡大推計を実施する。 ・実証で得られたデータや課題、理論検討の成果について、プラントメーカーや自治体からの情報を踏まえ、CO₂ 削減費用対効果推計を行い、評価・検証を行うが、双方の妥当性を確認した上で、輸送コストの算定と、拡大推計に向けた質的・量的な推移シナリオを特定する。
令和4年度の達成事項	5.1 廃棄物の質的及び量的な推移予測 ・将来人口、廃棄物発生状況の整理を行い、廃棄物組成と家計消費の家計消費の紐づけを行った上で、これら2つのデータで推移予測を行った結果をデータベース化した。 5.2 工業団地での拡大推計 ・実証で得られた理論検討の成果について、双方の妥当性を確認した。工業団地での拡大推計実施に向けた考え方・留意点を考察した。 5.3 水平展開した場合の拡大推計(全国の化学コンビナート) ・化学コンビナートの熱需要の推計を行い、化学コンビナート別の熱需要量を示した。輸送コストの算定と、拡大推計に向けた質的・量的な推移シナリオを特定した。 ※令和5年度は、上記データをもとに、工業団地、化学コンビナートそれぞれでの CO₂ 削減効果について、全国展開した場合の拡大推計の結論を出す予定。

5.1 廃棄物の質的及び量的な推移予測

本実証では廃棄物の質的及び量的な推移予測を行い、データベースを構築する。令和4年度は、シナリオによるシミュレーションに向けた（１）将来の廃棄物発生状況のシナリオ、一般廃棄物処理実態調査に基づく統計分析に向けた（２）組成情報と家計消費の紐づけを行い、2つのアプローチを用いた推移予測を行い、結果のデータベース化を行った。

一般廃棄物「資源の量×質」のシナリオ特定手法を図 5.1-1 に示す。

(1) 将来の人口、廃棄物発生状況の整理
→シナリオによるシミュレーション

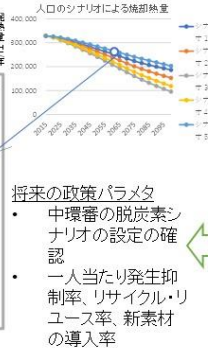
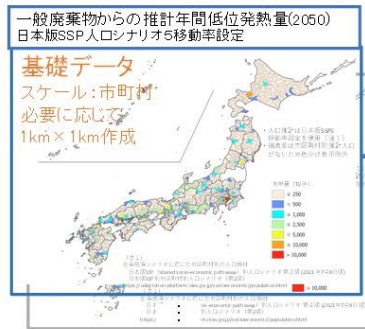
(2) 組成情報と家計消費の紐づけ
→統計分析、コホート分析

廃棄物の推移シナリオ

ステップ1-1: 特定市町村、現状～2040年

廃棄物発生量(自治体、組成) = 人口(自治体、年度) ×
一人当たり発生量(自治体、年度)

ステップ1-2: 対象市町村、現状～2040年、
政策変数の追加



将来の政策パラメタ
・ 中環等の脱炭素シナリオの設定の確認
・ 一人当たり発生抑制率、リサイクル・リユース率、新素材の導入率

家計消費を紐づけた廃棄物の分析

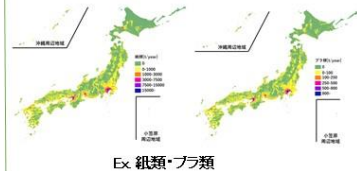
ステップ2-1: 全国3次メッシュ(1km)、単年度

令和3年度
に実施済み

ステップ2-2: 全国3次メッシュ(1km)、
過去～現在

ステップ2-3: 全国or特定地域、過去～現在～
将来コホート分析を用いた推計

- 都道府県・県庁所在地などの家計消費データをもとに日本全国に推計値をメッシュ単位で落とし込む
- 過去のデータから将来の消費傾向を予測



妥当な推計パスを設定

最終目標: 拡大推計にむけた質的・量的な推移シナリオの特定

令和4年度
に実施

令和5年度実施

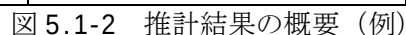
図 5.1-1 一般廃棄物「資源の量×質」のシナリオ特定手法

このステップに基づき、本業務では、一般廃棄物の組成変化と焼却対象廃棄物の時系列推移シナリオの基盤となるデータベースを構築した。これにより「資源の量×質」を考慮した検討システムの拡大推計が可能となる。

令和3年度に実施したステップ1-1では、環境総合研究推進費(2-1805)の成果である地域SSPによる人口シナリオを基に「資源の量×質」を推計し、特定地域の将来廃棄物発生量を組成別に算出した。令和4年度は、ステップ1-2として、地球温暖化対策計画、第四次循環基本計画、プラスチック資源戦略に基づいて、プラスチックと紙に関する一般廃棄物の時間軸、「資源の量×質」推移シナリオを一部、特定した。また、令和3年度には、ステップ2-1として、焼却炉での廃棄物組成と家計消費を紐づけ、過去の傾向から将来を推計する方法を実施した。

令和4年度は、ステップ2-2およびステップ2-3として、パネル分析を行い、消費傾向と廃棄物質の関係を分析し、将来の廃棄物発生量と質を推計した。さらに、令和5年度のシナリオ特定にむけ、コホート分析などの世帯構成と地域性の時系列性を考慮した分析手法を用いて、将来の廃棄物発生量と質の推計を実施する準備を整えた。

将来の利用可能な廃棄物の処理量を特定するために、環境総合研究推進費（2-1805）の成果である「地域 SSP による人口シナリオと現状」に「2021 年度で焼却処理されている組成別（プラ、紙、厨芥、その他）」の情報を乗じることが有効と考えられる。これにより、2030 年、2050 年時点で、焼却処理することが見込まれる可燃性廃棄物の質と量を推計することができる。推計結果の概要（例）を図 5.1-2 に示す。

$$\begin{aligned} & \text{焼却処理量（組成、自治体、年度、政策）} \\ & = \text{人口（自治体、年度、SSP シナリオ）} \\ & \quad \times 1 \text{人当たり処理（組成、自治体、2021 年度、政策シナリオ）} \end{aligned}$$


131

（２）組成情報と家計消費の紐づけ

令和３年度に作成した焼却施設を結合点とする組成情報と、家計消費の紐づけデータセットを分析し、家計消費１単位からの廃棄物発生量を推計した。なお、推計には重回帰分析の１種である Ridge 回帰と Lasso 回帰を用いた。発生源が限定される厨芥類、紙類については Ridge 回帰を、発生源が限定的でないものもしくは不明であるプラ類を含むその他４種については Lasso 回帰分析を用いた。分析結果を表 5.1-1 に示す。

また、表 5.1-1 の結果を基に、日本全国で 1 km メッシュでの厨芥類、紙類、プラ類の３種について発生量を集計した結果を図 5.1-3 に示す。家計消費額の大きさによって廃棄量が大きくなるため、人口の多いエリアで発生量が増える傾向がみられた。

また、１人当たり家計消費１単位当たりからの各組成の発生量を推計したものを図 5.1-4 に示す。こちらからは石川県や山口県で紙類や厨芥類が他よりも大きくなる傾向がみられ、１人当たりでは廃棄物の発生量が地域で異なる傾向がみられることが推定された。

以上の成果は単年度の分析によるものであるが、この結果と過年度の分析結果を基に、家計消費からの各組成の廃棄物発生量の時系列的な傾向を把握することが求められる。そのため、令和４度は上記の分析の自動化とともに、家計消費の過去データを自動的に取得するプログラムの作成を実施した。

令和５年度以降は（１）将来の廃棄物発生状況のシナリオ、（２）組成情報と家計消費の紐づけの分析結果や前提条件を踏まえ、工業団地での拡大推計に向けて妥当な一般廃棄物「資源の量×質」シナリオを特定していく予定である。

※Lasso 回帰分析・Ridge 回帰分析とは、ノルムによる正則化を実施することで多数の変数が存在する回帰式を分析する方法である。

Ridge 回帰分析：L2 正則化という方法を用いて多数の変数の重みづけを決定する重回帰分析を行う方法である。この方法では、従属変数のすべてに係数を分割することができる。

Lasso 回帰分析：L1 正則化と呼ばれる方法を用い、スパース推定を行い多数ある変数の中に 0 を含む重回帰分析を行う方法である。この方法では、Ridge 回帰と異なり、影響が小さい変数について分析の段階で除外することが可能である。

表 5.1-1 Ridge 回帰分析及び Lasso 回帰分析の結果

単位[t/円]	Ridge 回帰分析		Lasso 回帰分析			
	紙類	厨芥類	プラ類	木草類	不燃物	その他
①魚介類	-	9.59E-08	0	0	0	0
②魚加工品	-	8.98E-07	0	0	0	0
③肉類	-	8.18E-08	9.17E-07	5.36E-07	6.61E-07	1.47E-07
④乳卵	-	3.16E-06	0	0	-2.23E-06	0
⑤葉菜	-	8.62E-08	0	0	0	0
⑥野菜果物	-	1.23E-07	0	0	0	0
⑦乾物・加工品類	-	4.16E-07	0	0	0	0
⑧菓子・油類	-	4.13E-07	0	0	0	0
⑨中食	-	2.97E-07	0	0	0	2.74E-07
⑩インスタント等飲料	-	1.69E-07	0	0	0	0
⑪飲料	-	4.44E-07	0	0	0	0
⑫家事用品	3.11E-06	-	0	8.54E-07	0	8.47E-07
⑬ティッシュペーパー	4.73E-05	-	0	-4.31E-05	-4.33E-05	-9.92E-07
⑭トイレットペーパー	8.62E-06	-	0	5.26E-06	3.67E-07	0
⑮薬剤類	9.05E-07	-	2.22E-06	1.80E-07	0	4.34E-10
⑯ポリ袋	1.43E-05	-	1.26E-06	0	0	0
⑰服類	3.25E-06	-	0	0	0	0
⑱保健用品	9.60E-06	-	0	5.68E-07	2.07E-07	2.62E-06
⑲文具等	1.27E-06	-	0	0	0	-2.13E-07
⑳玩具・手芸	3.82E-06	-	8.57E-08	1.14E-06	0	0
㉑動植物	-	2.29E-07	0	0	0	0
㉒紙類	2.66E-06	-	0	0	0	2.33E-07
㉓書籍	6.89E-06	-	0	0	-9.98E-07	0
㉔たばこ	-	-	0	-1.85E-07	0	-3.84E-07

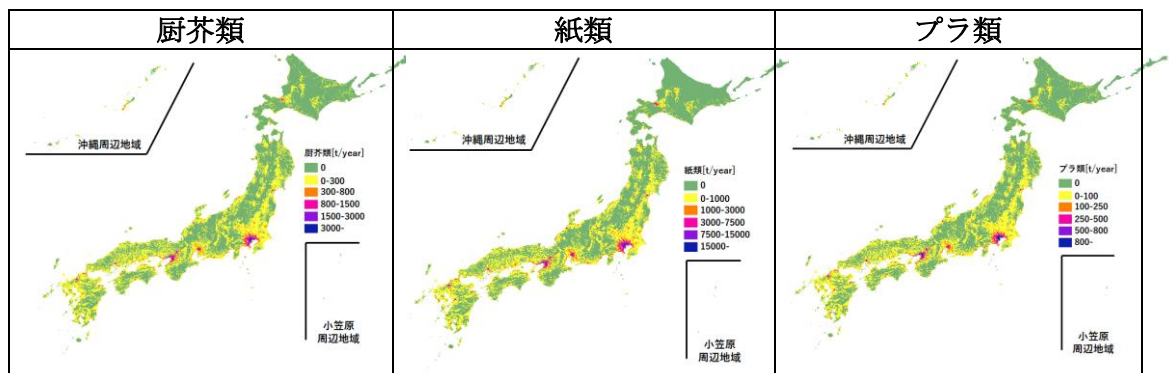


図 5.1-3 日本全国での推計された廃棄物発生量

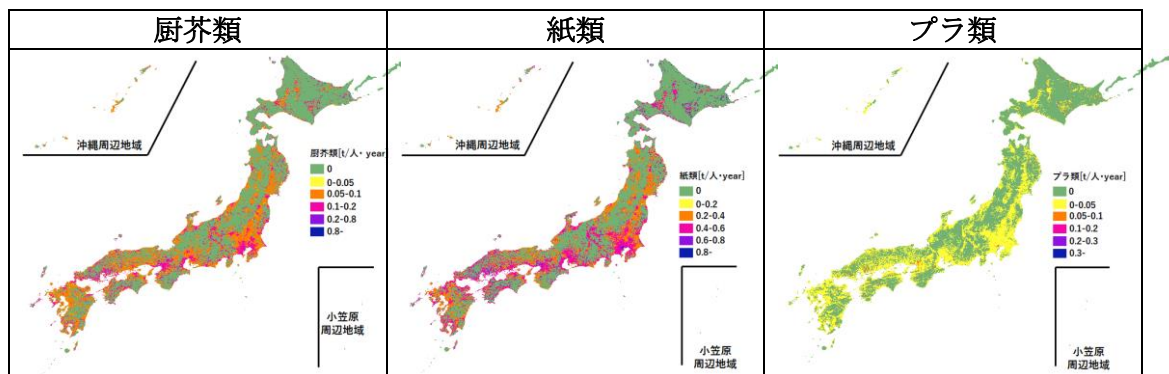


図 5.1-4 日本全国での 1 人当たり推計された廃棄物発生量

5.2 工業団地での拡大推計

工業団地での拡大推計としては、一般的な焼却施設と製造工場（工業団地）ペアでの蒸気供給システムとして、本実証の対象である株式会社東海クリーンの廃棄物処理施設が立地する平原南部工業団地に事業を拡大することを対象とし、検討した。なお、株式会社東海クリーンで実証するシステムを含め、工業団地での産業への熱供給の展開は、環境省の「資源循環分野からの地域循環共生圏モデル」のうち地域製造業連携モデルにあたる。

（１）株式会社東海クリーンの廃棄物処理施設周辺の熱需要のポテンシャルの確認

平原南部工業団地の熱需要を把握するため、ほしいも F/S では、関係者へのヒアリング等が行われた。その結果、現時点で新たな既存熱需要は少ないことが明らかになった。具体的には、もし、本事業と連動して蒸気経由での温水供給がなされるならば、周辺事業所からの接続も検討いただける可能性がある、といった程度であった。（ほしいも F/S での成果）

一方、第４章で記述したように、周辺の用地に空きがある状況であり、産業誘致による需要拡大のポテンシャルはある。具体的には、前述のほしいも残渣の飼料化事業を推進することで熱需要拡大の余地があることは確認できた。

（２）技術的・経済的な課題の検討

令和５年度には、過年度で得られたデータを用いて、一般廃棄物処理施設の焼却炉からの蒸気を工業団地に供給するシステムを検討する予定である。本業務では、それに当たっての留意点を検討した。

費用面を検討すると、本実証における株式会社東海クリーンを対象とした検討では、熱風炉および蒸気ボイラの追加投資が必要となった。一方で、既に発電をしている一般廃棄物処理施設の焼却炉では、**3.0MPa、300℃**あるいは **4.0MPa、400℃**の蒸気ボイラを有する。そのため、その分の初期投資が低減できる可能性がある。

また、一般廃棄物処理施設を新設する場合でも、**3.0MPa、300℃**あるいは **4.0MPa、400℃**の蒸気ボイラを組み込んだシステム開発は、国内メーカーにて十分な実績があることから、炉別にオーダーメイドする必要がない。そのため、焼却炉からの熱回収のみに着目すると、既存のスペックの一般廃棄物処理施設では、産業廃棄物の焼却炉よりも技術的、経済的な課題は少ないと考えられる。

（４）工業団地特定における留意点の検討

工業団地に立地する工場の熱需要特性が熱供給事業の事業性に大きく影響する。そのため、工業団地の熱需要特性を把握し、それに応じた供給システムを検討する必要がある。これは一般廃棄物や産業廃棄物の両方で考慮すべき課題となる。

本業務で検討した平原南部工業団地での検討では、**100℃～400℃**の温度帯域の熱需要が少ないことがアンケートやヒアリング調査で明らかになった。今後、工業団地への水平展開を検討する場合は、工業団地の熱需要を推計し、焼却炉からの供給規模とのバランスを考慮し、候補地を選定することが重要になる。その際に、いくつかの留意点があげられる。

第一に、立地に関する想定を明確にする必要がある。具体例を以下に示す。

①既設焼却炉の改良による熱供給事業を検討する場合、焼却炉と工業団地との道路距離によって配管コストが上昇、及び配管の圧力維持も困難になることから、近接しているペアを抽出する必要がある。

②焼却炉を新設する場合、工業団地内あるいは近接地に計画することも考えられ、その際には可能性は広がる。

いずれにせよ、焼却炉の改良あるいは新設時に工業団地並びに大きな熱需要を有する工場との距離を勘案することで、本事業の熱供給システムを検討することは可能である。

第二に、熱需要特性の把握にはアンケート、ヒアリング調査が有効であるものの、全工業団地で実施するには、時間とコストがかかる。そのため、簡易な推計を基に適切なペアを抽出し、検討の優先順位をつけることが有効である。

第三に、新規事業者の参入についても検討が必要である。新規の熱需要家は、主管からの延長分の配管費用を負担することは、一つの考え方になるが、既存の配管システムのコストを負担している工場との不公平感が生じない工夫が必要となる。平原南部工業団地での拡大推計に向けた配管図（ほしいも F/S での成果）を図 5.2-1 に示す。

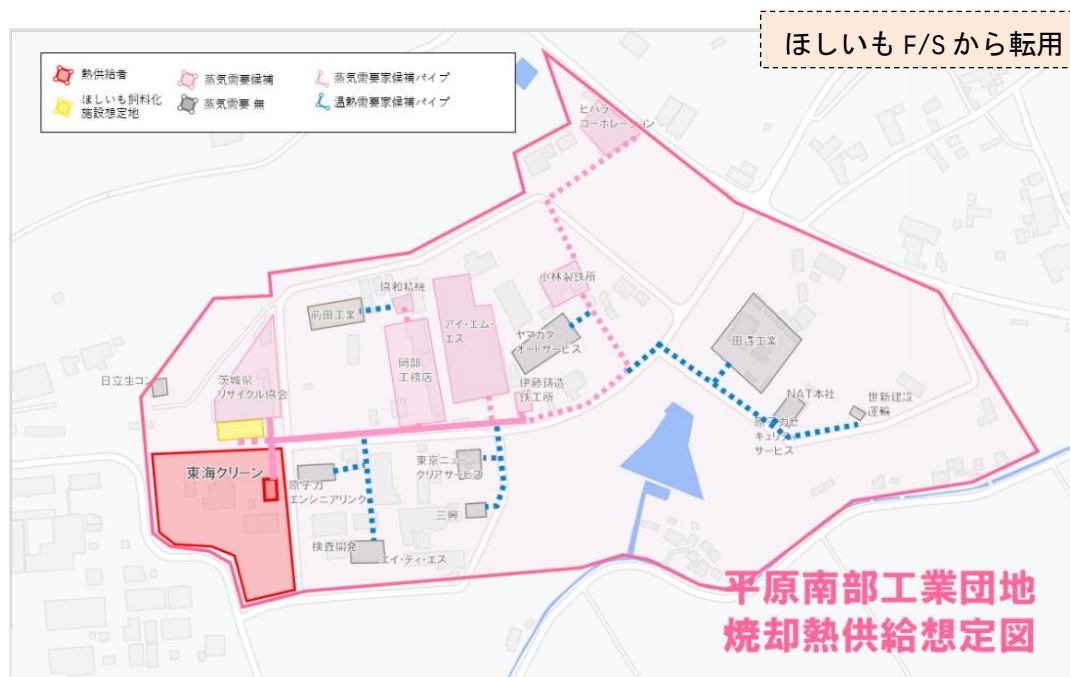


図 5.2-1 平原南部工業団地での拡大推計にむけた配管図（ほしいも F/S での成果）

以上を踏まえ、令和 5 年度には、立地条件や熱需要特性の留意点を踏まえた上で、特定の都道府県の熱需要と焼却炉の分布を分析し、一般廃棄物の焼却炉と工業団地のペアを抽出し、事業性、温室効果ガス削減効果の推計を実施する予定である。

5.3 水平展開した場合の拡大推計(全国の化学コンビナート)

化学コンビナートへの蒸気供給は、石油化学工業協会の定義による国内の石油化学コンビナート 15 箇所を対象となる。本業務では、全 15 箇所を対象に需要推計を実施し、特徴的なコンビナートを対象に、費用対効果の推計、評価の枠組みを検討し、一部試算した。結果を以下に示す。

なお、令和 5 年度に実施する CO₂ の削減効果の費用対効果は、「産業への蒸気安定供給システムの基本設計」で対象としたコンビナートおよび特徴的なコンビナートを実施対象とする予定である。このモデルは、環境省の「資源循環分野からの地域循環共生圏モデル」のうち素材産業連携モデルにあたる。

(1) 化学コンビナートの熱需要の推計方法の検討

令和 3 年度業務にて、全 15 箇所のコンビナートを対象に、コンビナート内に所在する工場ごとの熱エネルギー需要を推計し、熱需要データベースを構築した。令和 4 年度は、これを基に、熱電エネルギー需要の推計を行うこととした。

推計方法は、大西ら (2022) ¹⁾を参考に、「温対法における算定・報告・公開制度 (以下、SHK 制度)」上のエネルギー起源燃料 CO₂ と、エネルギー消費統計を基に算定した産業中分類ごとの原単位 (年間 CO₂ 排出量あたりのエネルギー需要量 (GJ/t-CO₂)) を掛け合わせることで熱電需要量 (GJ/年) を求める手法を採用することとした。

また、そのうち、エチレンプラントを含む化学工場の需要量を把握することとした。エチレンプラントは産業中分類では化学工業に含まれ、SHK 制度の業種情報だけではプラントの特定に至らないため、三井住友銀行の「国内素材業界の動向と今後の展望 ²⁾」の保有企業とその所在を参考に、SHK 制度上のエチレンプラントを含む工場を特定した。特定したエチレンプラントを表 5.3-1 に示す。

これらの熱電需要推計量やエチレンプラント情報を追加し、新たに熱需要推計データベースを構築した。構築した熱需要推計データベースの一部を図 5.3-1 に示す。ただし、記載内容は非公開とし、不明瞭にした。このデータベースを用いて、コンビナートごとや産業中分類ごとの集計が可能となった。

1) 大西悟他, 2022, 産業団地の熱電エネルギー需要の推計手法の開発と福島県地域でのケーススタディ 第 50 回環境システム研究論文発表会講演集, p127-134

2) 株式会社三井住友銀行, 2017 年 4 月, 国内素材業界の動向と今後の展望

https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSDReport011.pdf

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	N	O	P	Q	V	W	X	Y	AA	AC
1																					
2	処理 番号	排出 年度	特定排出番号コード	処理記 号	コンビナート区分	都道府県	地域	所在地	特定排出番号	事業所名	業種(中分類)	エネルギー起源 CO2排出量	熱電発電単 位	熱電エネルギー 量	熱電発電中の蒸気割合から算出した熱電量 (P+Q+T)	蒸気(100~200℃) の熱電量	蒸気(200~500℃) の熱電量	蒸気(500℃より大 さい)の熱電量	電力消費量	熱電量	
3												t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2	GJ/t-CO2
4	2	1975	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	156,564	14.29	2,232,611	109,108	692,999	8,597,718	20,397,454	1,018,190	8,893,388	
5	3	1975	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	1,474,440	14.33	21,430,775	148,100	569,797	8,597,718	9,973,214	1,536,000	27,550,039	
6	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	369,130	14.33	5,307,770	37,447	359,138	1,275,360	2,351,695	369,599	5,307,770	
7	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	107,370	14.33	1,546,900	38,260	48,960	587,599	369,599	1,097,019	4,967,060	
8	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	166,044	14.33	2,387,163	10,178	89,039	508,590	1,188,079	367,760	2,045,160	
9	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	88,006	14.33	1,267,474	18,993	37,008	564,000	367,008	367,008	1,267,474	
10	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	507,368	14.33	7,281,784	106,990	218,970	1,187,141	1,475,019	607,008	7,359,080	
11	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	149,000	14.33	2,147,941	36,973	58,300	559,000	1,090,199	166,000	1,894,000	
12	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	37,000	14.33	530,066	13,636	34,738	346,103	582,100	367,008	501,978	
13	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	242,300	14.33	3,470,337	108,290	567,895	1,200,100	1,678,095	879,100	14,790,233	
14	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	14,190	14.33	205,936	8,924	8,086	20,161	26,119	14,300	274,160	
15	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	12,600	14.33	177,100	2,003	5,183	44,000	27,819	10,700	288,000	
16	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	50,400	14.33	726,167	20,260	20,260	200,173	498,249	369,000	730,000	
17	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	37,350	7.00	529,000	369,599	369,599	0.978	5,600	157,800	174,400	
18	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	7,188	7.00	101,748	28,340	10,719	1,236	1,039	30,200	28,840	
19	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業										
20	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	497,128	8.99	295,000	161,100	11,800	12,900	0	370,300	321,340	
21	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	499,833	14.33	7,200,333	26,267	38,540	988,900	1,090,000	1,090,000	1,359,800	
22	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	497,092	14.33	7,197,560	26,092	38,390	987,567	1,089,600	1,089,600	1,358,700	
23	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	1,737	8.99	58,749	19,247	1,990	4,318	0	37,339	22,340	
24	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,008	8.99	99,902	16,283	7,990	4,770	0	44,100	14,210	
25	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	46,049	10.38	461,989	148,290	887,880	1,100,100	16,828,300	8,781,000	14,369,300	
26	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	49,978	10.38	497,987	143,000	889,000	1,100,100	16,828,300	9,781,000	14,369,300	
27	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	44,379	14.33	632,948	10,700	18,700	169,377	309,600	456,000	456,000	
28	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	11,700	8.98	36,000	37,680	17,758	10,000	0	51,900	59,740	
29	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	9,300	14.33	134,481	1,700	3,840	98,240	65,000	0	108,840	
30	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	13,748	10.35	200,186	3,800	8,800	199,888	28,500	0	208,770	
31	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	107,006	14.33	1,539,000	26,000	18,300	366,708	751,149	108,300	1,808,200	
32	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	9,877	14.33	136,995	1,842	9,400	34,257	67,400	0	139,070	
33	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	361,500									
34	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	297,448									
35	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	297,168									
36	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	297,220	14.33	429,998	8,048	11,000	127,854	204,919	30,500	459,508	
37	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,890	8.98	36,300	18,000	11,000	7,700	1,100	14,900	46,900	
38	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	9,000	8.99	71,870	11,700	28,500	18,000	0	18,000	28,000	
39	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,800	8.98	47,000	26,768	18,248	1,100	1,100	21,000	29,300	
40	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	297,192	7.00	1,998,000	300,000	887,500	266,400	0	888,000	717,000	
41	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,400									
42	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,900	8.98	57,134	15,823	20,000	1,400	1,400	0	87,500	
43	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	11,700	8.98	68,708	18,291	20,000	5,000	0	16,000	14,700	
44	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	3,100									
45	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	22,800	8.98	167,700	0	0	0	0	0	167,700	
46	3	1976	882515560	C84	エネダミカロン	茨城県	茨城県	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	茨城県神栖町東部	化学工業	8,700	8.98	128,000	0	0	0	0	0	128,000	

表 5.3-1 エチレンプラント保有工場一覧

所在地	地域	コンビナート名	所在市町村	エチレンプラント保有工場
茨城県	鹿島	三菱ケミカルコンビナート	神栖市東和田、神栖市奥野谷、神栖市東深芝	三菱化学株式会社 鹿島事業所
千葉県	千葉	出光興産コンビナート	市原市姉崎海岸	出光興産株式会社 千葉工場
千葉県	千葉	丸善石油化学コンビナート	市原市五井海岸、市原市五井南海岸、市原市千種海岸	丸善石油化学株式会社 千葉工場
千葉県	千葉	三井化学コンビナート	市原市千種海岸	三井化学株式会社 市原工場
千葉県	千葉	住友化学コンビナート	市原市姉崎海岸、市原市五位南海岸、袖ヶ浦市北袖	住友化学株式会社 千葉工場
神奈川県	川崎	東燃化学コンビナート	川崎市川崎区浮島町、川崎市川崎区千鳥町、川崎市川崎区夜光、川崎市川崎区扇町	東燃化学合同会社 川崎工場
神奈川県	川崎	ENEOS コンビナート	川崎市川崎区千鳥町、川崎市川崎区夜光、川崎市川崎区浮島町、川崎市川崎区扇町	J X 日鉱日石エネルギー株式会社 川崎製造所
三重県	四日市	三菱ケミカルコンビナート	四日市市霞、四日市市東邦町、四日市市日永東、四日市市三田町、四日市市小浜町、四日市市川尻町	×
三重県	四日市	東ソーコンビナート	四日市市大協町、四日市市霞、四日市市東邦町、四日市市川尻町	東ソー株式会社 四日市事業所
大阪府	堺・泉北	三井化学コンビナート	堺市西区築港浜寺町、堺市西区築港新町、高石市高砂	三井化学株式会社 大阪工場
岡山県	水島	三菱ケミカルコンビナート	倉敷市潮通、倉敷市水島海岸通、倉敷市松江、倉敷市玉島乙島	×
岡山県	水島	旭化成コンビナート	倉敷市潮通、倉敷市児島塩生	三菱化学株式会社 水島事業所
山口県	周南	出光興産	周南市宮前町、周南市開成町、周南市御影町、周南市晴海町	出光興産株式会社 徳山事業所
広島県・山口県	岩国大竹	三井化学コンビナート	山口県玖珂郡和木町、広島県大竹市東栄	×
大分県	大分	昭和電工コンビナート	大分市大字一の洲、大分市大字中の洲、大分市大字鶴崎	昭和電工株式会社 大分コンビナート

(2) 化学コンビナートの熱需要の推計結果

前述の推計方法により、温水・温度帯を含めた蒸気需要、及び電力需要量を推計した。推計結果を図 5.3-2 に示す。この図は日本標準産業分類一覧（中分類）うち、製造業に分類される業種に絞った推計結果であるが、この他にもエチレンプラントの有無、対象とする産業によって、需要量は異なることを確認し、本事業での対象となる需要量を特定した。なお、ここで指す全業種とは、化学コンビナート内に立地する製造業（一部の業種を除く）であり、製造業の熱需要をまとめて化学コンビナートの熱需要とした。全業種に当たる業種一覧を表 5.3-2 に示す。

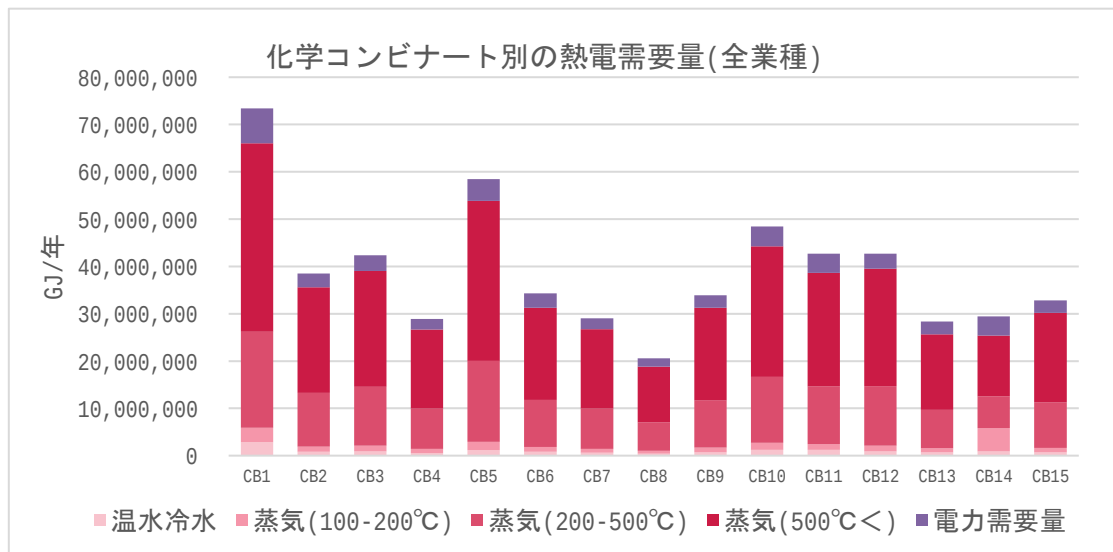


図 5.3-2 化学コンビナート別の熱電需要量（全業種）の推計値

表 5.3-2 熱需要推計の集計対象の製造業一覧

業種(中分類)
食料品製造業
飲料・たばこ・飼料製造業
木材・木製品製造業（家具を除く）
家具・装備品製造業
パルプ・紙・紙加工品製造業
印刷・同関連業
化学工業
石油製品・石炭製品製造業
プラスチック製品製造業（別掲を除く）
ゴム製品製造業
非鉄金属製造業
金属製品製造業
はん用機械器具製造業
電気機械器具製造業
輸送用機械器具製造業

※本実証の熱供給の特徴を踏まえ、日本標準産業分類一覧（中分類）の製造業から窯業・土石製品製造業、鉄鋼業を除いた結果である。

（３）費用対効果の推計、評価の枠組みの構築

１）輸送コストの算定

一般廃棄物の収集・運搬は通常どおりに行い、そこからの化学コンビナートへの平均的な輸送距離による輸送コストおよび二酸化炭素排出量の増分を求めるために、モデルとなるコンビナートを特定し、廃棄物の収集箇所（現状の一般廃棄物処理施設を想定）からの道路距離を算定した。

なお、輸送コストおよび二酸化炭素排出量の算出には、高速道路使用の有無や鉄道・水運など輸送手段の違いがあり、距離のみでは推計できないため、情報を補完した。ただし、トンキロ法を用いるには、さらなる改良が必要となる。輸送コストの推計には、燃料消費に伴うコストのほか、輸送機関使用代金、輸送手段別の時間当たり労働賃金のデータが必要となる。また、二酸化炭素排出量の推計は、速度別・輸送手段別に１トンの物質を１km輸送する際の燃料消費量から求めることになる。よって、今後、現状シナリオおよび比較シナリオの検討の中で、輸送手段に対する上記のデータを整備し、輸送コストの算定枠組みを整理し、解析のシステムをしていく準備を進めた。

２）集約化による施設規模拡大の効果算定

小型～大型の焼却発電施設が超大型蒸気供給プラントに集約されることによる建設、運転経費の変化を概算するために、第２章１項での連携し、基礎的なデータおよびモデルを整備した。

３）化学コンビナートの蒸気需要量の算定

前項で推計したコンビナートの蒸気需要のうち、どの程度の量の廃棄物によって代替可能かを把握し、対象となる廃棄物量を計算するためのデータベースおよび手法を整備した。

令和５年度業務では、結果の妥当性を確認するため、第２章１項でのシステム評価結果との整合性を確認し、各化学コンビナートでの蒸気需要量と焼却熱による代替割合を検討していく。

5.4 スケジュールの検討

令和5年度に予定している調査内容を、以下に示す。

- ①化学コンビナートでのCO₂排出削減効果の推計および費用対効果の分析
- ②一般的な焼却施設と製造工場（工業団地）ペアでの蒸気供給の費用対効果の分析

表 5.4-1 NIES パート2 の令和4年度の実績及び令和5年度のスケジュール（赤線：実績、黒線：予定）

調査内容	令和4年度												令和5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	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. 工業団地及び水平展開時のCO ₂ 削減費用対効果拡大推計																								
5.1 廃棄物の質的及び量的な推移予測	将来人口、廃棄物発生状況の整理												将来推計											
	廃棄物組成と家計消費の紐づけ												廃棄物収集シナリオ特定											
5.2 工業団地での拡大推計	東海Cパートでの検討結果の拡大推計に向けた検討																							
5.3 （化学コンビナートへ）水平展開した場合の拡大推計	輸送コストの試算		集約化による施設規模拡大の効果算定				化学コンビナートの蒸気需要量の算定				費用対効果の推計		特定の工業団地・化学コンビナートの需要推計と一般廃棄物処理施設モデルの特定											
化学コンビナートでのCO ₂ 排出削減効果の推計および費用対効果の分析																							分析	
一般的な焼却施設と製造工場（工業団地）ペアでの蒸気供給の費用対効果の分析																							分析	

第6章 課題の整理

本実証では、廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオの課題を整理する。本業務では、令和3年度に実施した自治体への熱回収に対するアンケートを集約して課題を抽出した。結果を図6-1に示す。

廃棄物焼却施設からの蒸気を、主に民間の熱利用施設に供給するシステムを実現する際の課題として、設計面、運用面、政策活用面の3つの側面に課題が集約された。これらの課題を解決する方策を集約すると、効果的に知見を共有していくことが最も効果的であると考察した。

熱供給実証から得られた課題と解決策

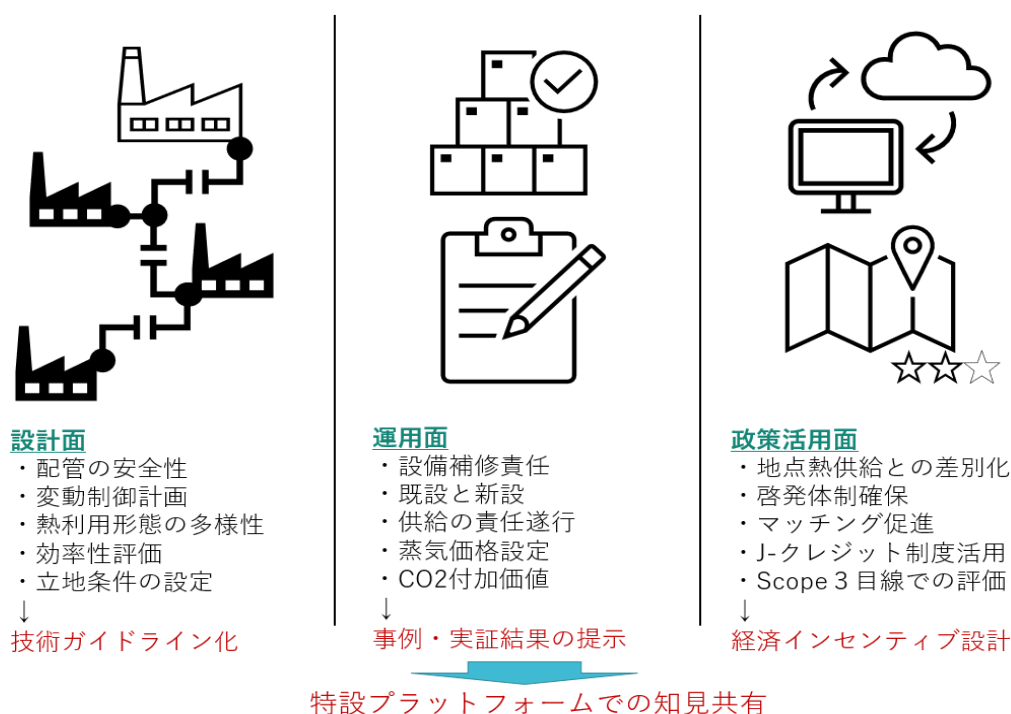


図6-1 令和3年度調査から抽出した課題

令和3年度業務で得られたこれらの知見は、全国の一般廃棄物焼却施設、産業廃棄物焼却施設における熱回収の高度化の実現に向けた普及シナリオ検討の一助となり得る。本業務では、実証事業の内容を肉付けする形で、熱供給事業の全国展開シナリオの実現に向けた調査につなげていくことが有用との仮説を立てた上で、社会実装に向けた本実証事業の成果を活用した対応案を検討した。結果を図6-2に示す。

検討した課題の内容と整理した論点を以下に示す。また、設計面、運用面、政策活用面における論点別の検討内容を次項以降に示す。

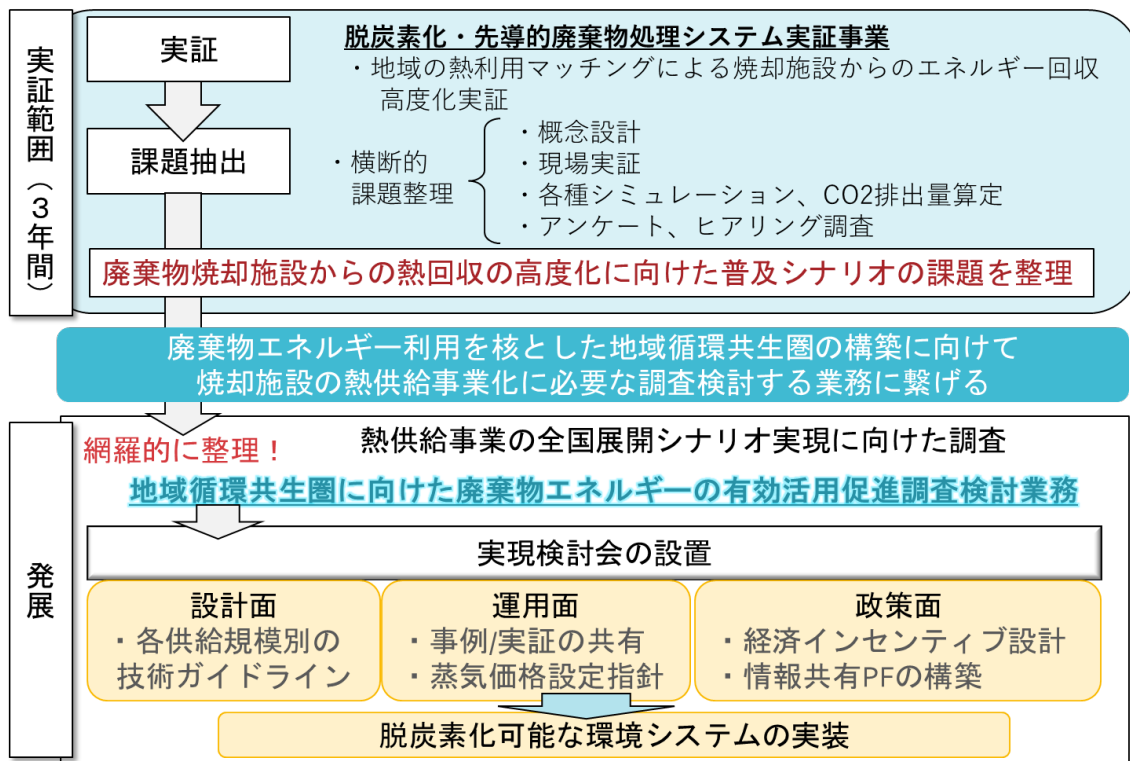


図 6-2 本実証事業の成果を活用した社会実装に向けた対応案

（１）設計面における課題

設計面では、配管から蒸気が漏れないように施工できるのか、蒸気利用に当たり、焼却炉からの熱変動を制御許容できるのか、省エネ効果など熱利用の効率性をどのような方法で評価すればよいのか、立地条件をどのように設定すればよいのか等の意見が自治体から得られた。蒸気を扱うということに対して慣れておらず、どのような技術があるのか分からないといった意見もあった。これらの意見を踏まえ、本実証で得られた情報、成果、方法論を、焼却炉からの熱を産業用の蒸気利用に関する技術ガイドラインとして取りまとめることが有用であると考えた。

（２）運用面における課題

運用面では、供給側と需要側の２者、もしくは供給側に対し需要側が複数存在する場合の共用設備の補償や責任分界点の置き方はどうするか、熱供給といっても既設の設備で熱回収に取り組む場合と、新設して熱回収に取り組む場合とでは対応事項がかなり異なってくるのではないかと、供給側にも焼却炉運転の都合があることから需要側への供給責任をどのように設定し連携的な運用を図っていく方法があるのか、そして、蒸気の価格の設定については、複数の関係者がいる場合にすべての関係者が納得する価格相場の設定や、どのように合意形成すればよいのか、また、炭素税の動向を踏まえつつ長期的な価格設定の考え方を踏まえて WIN-WIN が形成できる価格設定はどのように行えばよいのか、などの考え方について、自治体アンケートでの回答、及び本業務での検討に当たり、課題が挙げられた。このことから、本実証事業を通じて得られた考え方、情報を事例とともに提示していくことが有用であ

ると考えた。

（３）政策活用面における課題

政策面では、まず、廃棄物処理施設で発生する熱を蒸気や温風として産業に供給することと、温水を地域へ供給して冷暖房・給湯を行うことの使用燃料削減効果の規模の違いが、区別して理解されていないということが課題として挙げられた。自治体アンケート結果では、この２つの違いが区別されていないため、地域へ温水を供給している場合は、既に十分な熱利用がなされていると認識されこれ以上の熱利用効率の向上の必要性が認識されにくい状況にあるということが分かってきた。焼却熱を産業に利用する基本的な考え方が、一般的な概念として浸透しておらず、焼却施設からの熱利用の計画化につながっていない可能性がある。こうしたことから、啓発体制、マッチングの促進、経済的インセンティブの活用について具体的方法を考えていく必要があり、取組みの効果を評価できることが重要になってくると考えた。

（４）社会実装に向けて抽出・整理した論点

前述の課題と対策等を踏まえつつ、社会実装に向けた論点を抽出した。結果を以下に示す。

＜本業務において抽出・整理した論点＞

- | | | |
|--------|------|-----------------------------|
| 設計面： | 論点 1 | システムの選択をフローチャートでうまく整理できるか？ |
| | 論点 2 | プラン A（熱風熱回収）かプラン B（蒸気熱回収）か？ |
| | 論点 3 | 熱電 EMS はどういうものか？ |
| 運用面： | 論点 4 | 蒸気価格設定と、その妥当性の提示方法は？ |
| 政策活用面： | 論点 5 | どんなインセンティブを投入すればよいか？ |
| 総合面： | 論点 6 | 産業への焼却熱供給を社会浸透する概念にできるか？ |
| | 論点 7 | 技術ガイドラインの方針と内容は？ |
| | 論点 8 | 焼却熱の有効利用に対する重要性の見せ方は？ |

6.1 設計面における論点別の検討

論点1 システムの選択をフローチャートでうまく整理できるか？

(1) 本論点の抽出経緯

多様な条件における社会実装を考える場合、本実証の経験を踏まえて、焼却施設から熱供給をしようとする事業者がどのような設備を導入する必要があるのかについて、最初に検討すべきプロセスをフローチャート等で分かりやすく整理しておくことが求められた。

(2) 本論点に対する令和4年度の検討内容

検討会ではこの検討プロセスの見える化を提示し、フローチャートの妥当性について検討会等で議論した。第1回検討会で提示した案では、この作業を行うに当たって本実証で扱っていないケースも含めて網羅的な記載を試みたが、選択条件が複雑化し分かりにくくなっているとの指摘を受けた。また、審査会では、フローチャートを分かりやすくできるのでは、との指摘を受けた。そのため、第2回検討会では、立地や保有設備に応じて様々な条件検討の余地があるにしても、本実証で直面した選択肢に絞って表現した資料で討議を行った。その結果、特に異議等はなかった。なお、フローチャート作成に当たっては、検討会の開催前に各委員及び環境省担当職員からの指摘やディスカッションを踏まえて整理した。

令和4年度の整理結果として、本実証過程における導入設備の選択フローチャートを図6.1-1に示す。なお、令和4年度については、本実証で扱ったケースを表現するのみにとどめており、その他のケースの盛り込みについては、令和5年度に実施する予定である。

<補足：一般廃棄物への適用について>

本フローは、第2章、第3章での検討に準じ、産業廃棄物（以下、産廃と略す）処理事業者が検討をするケースとして作成しているが、本実証が一般廃棄物処理（以下、一廃と略す）への展開性を想定しているという観点で進めていることについて以下に補足する。

株式会社東海クリーンは一廃と産廃の処理に関し、業許可を取得しており、一廃も処理対象物として受け入れることが可能である。また、化学コンビナートにおいても、一廃と産廃の混焼が可能な施設の設置を想定しており、処理対象物を産廃に限定していない。前述の第4章で方法を紹介したが、民間側が熱回収に関心を持った場合、必要に応じて公民連携を模索することも必との手段であり、事業者が熱供給に関心を持った際、焼却炉の立地を踏まえて検討することとなる。

図6.1-1は、株式会社東海クリーンの場合は既設の炉での適用、化学コンビナート内での設置については、需要家が共同で利用できる施設を新設する場合を想定して作成した。

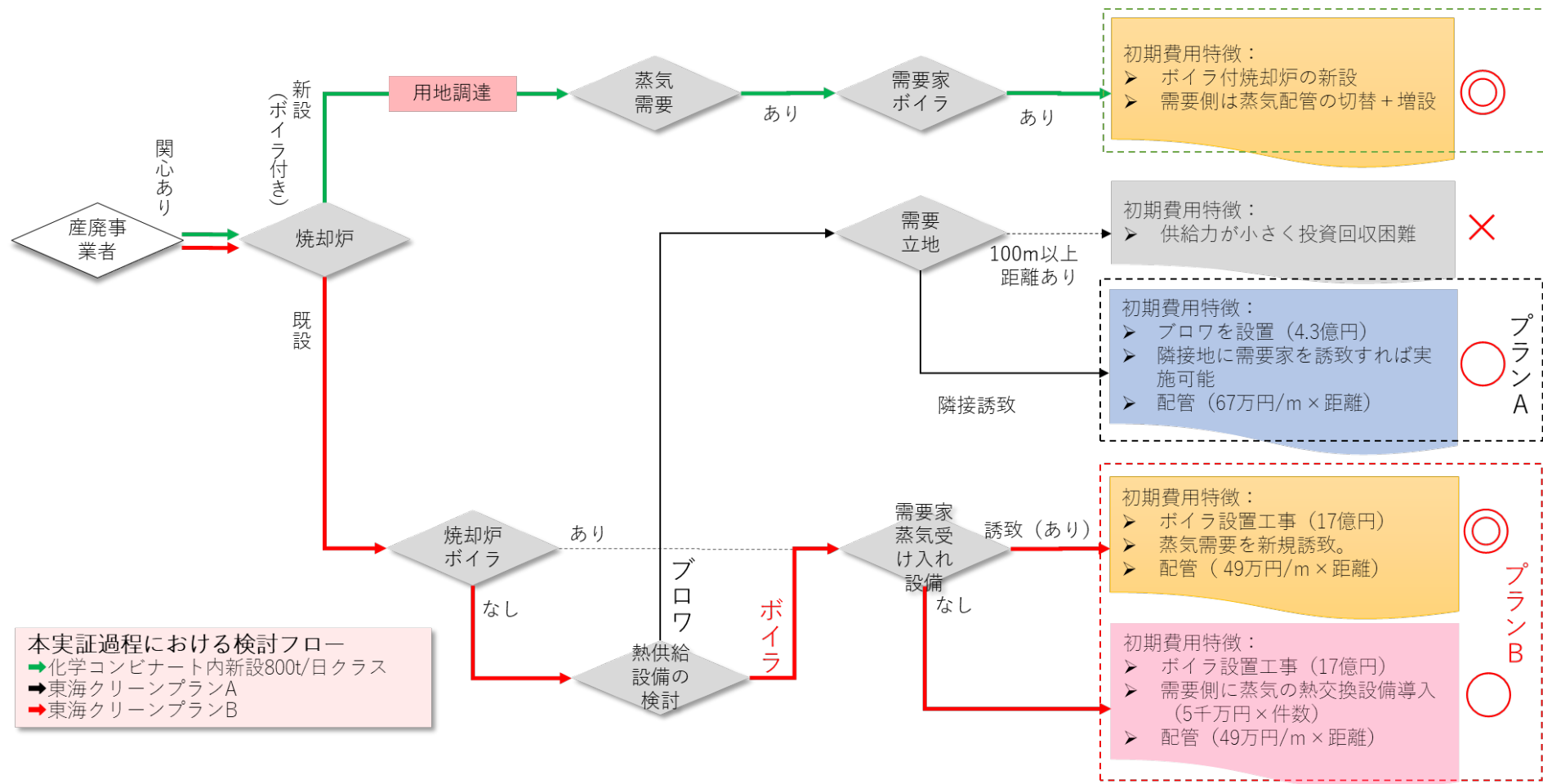


図 6.1-1 本実証過程における導入設備の選択フローチャート（令和4年度の整理結果）

論点2 プランA（熱風熱回収）かプランB（蒸気熱回収）か？

（１）本論点の抽出経緯

廃棄物処理施設から熱供給を行う場合、供給施設側の条件によって必要な対応が異なる。令和３年度に株式会社東海クリーンの廃棄物処理施設からの熱回収方法を検討したところ、蒸気回収案ではボイラの設置に大きな工事が必要となることが分かった。ボイラ設置には費用が掛かりすぎるとの判断から、代案として熱風を回収する案で費用の見積もりを作成した。しかし、その後各方面から助言をいただき、熱風回収案について課題があると認識されたことから、熱風回収案に加えて、蒸気回収案についても見積もりを作成し、両案を比較検討した上で採用する方式を見定めることとなった。このように、令和３年度は熱風による熱回収設備の計画及び配管設計を行ったが、蒸気と異なり冷めやすいため、需要家との距離がある場合への有効性、及び配管が蒸気と比べて太くなるため公道上に設置する規模としての妥当性に懸念が生じたため、蒸気による熱回収設備の計画や積算を実施して比較検討を行い、熱の供給方法を決めるべきということになった。

（２）本論点に対する令和４年度の検討内容

①熱風熱の供給可能な距離の確認

熱風供給可能な距離についてほしいも F/S で文献調査が実施されている。ほしいも F/S の報告書 P44 から文献調査結果を転載し、第６章の別添 6-1 に示す。

熱風の送気距離は 100m 以内と推定され、この結論に伴って、熱風回収想定の場合に、需要家候補であった資料化工場以外の需要家は、今回の需要家候補からは除外する方針とした。

②蒸気供給設備のコスト低減化の検討

ボイラをスペックダウンした場合のコスト低減化効果について、プラントメーカー等から知見をいただき、可能性を確認した。

プラントメーカー等へのヒアリングでは、以下の知見を得た。

- ・ボイラ能力を圧力 3.3MPa から 2.5MPa へスペックダウンしても、設備費はほとんど変わらない。
- ・設備の容積もあまり大きく変わらない。多少変わったとしても、設置工事方針が変わるほどの影響がない。設備費よりも工事費のほうが、規模が大きいため、全体の工事費を下げるにつながらない。

→蒸気供給設備に関し、再積算は行わない。

- ・全体の工事費に対するシェアはそれほど大きくないが、出力の際に配管を 2.5MPa 仕様とすることでコスト削減効果を見込める。

その結果、ボイラのスペックダウンにより費用の削減はできないが、配管のスペックダウンによる費用は削減が可能であったことから、2.5MPa での配管費用を積算した。

③イニシャルコストの整理

検討を通じて熱回収方法（プランAとプランB）と、熱供給先（飼料化工場、鑄造工場、アスファルトプラント、事務所）の組み合わせの設定を特定し、それに合わせてプラントメーカーより提示された費用見積から必要な費用を選定し、配管単価を基に距離別に工事一式費用を算出した。熱回収プラン別のイニシャルコストを表 6.1-1 に、また、表 6.1-1 中に示す配管設置工事一式の費用内訳を表 6.1-2 に示す。そのほか作成したシステムフローやエネルギーフロー等の資料、設計図等の資料は本章末に別添 6-2 として収載した。

④費用対効果の確認

これらの値を用いて、第3章3項にてケース別のCO₂削減効果、CO₂削減費用、投資回収年数の計算を行った。費用対効果及びCO₂削減効果のまとめを図 6.1-2 に示す。投資回収年数はプランAで約5年(5.1年)、プランB（EMS 有り）で約9年（8.6年）となった。

表 6.1-1 熱回収プラン別のイニシャルコスト

項目	プランA 熱風熱回収	プランB 蒸気熱回収
配管＋熱回収設備	369,321,532 円	2,148,550,000 円
熱回収設備	312,548,387 円	1,845,000,000 円
配管※	56,773,145 円	303,550,000 円
配管単価	667,919 円	489,597 円

※プランA熱風供給の配管コストの見積もりはほしいも F/S での成果を採用。
配管内訳は、表 6.1-2 に詳細を示す。

表 6.1-2 配管設置工事一式の費用内訳

配管リンク	管距離	熱風ダクト	蒸気管
東海C→飼料化工場	85 m	56,773,145 円	41,615,726 円
東海C→リサイクル業管理事務所	180 m	-	88,127,419 円
東海C→アスファルトプラント	220 m	-	107,711,290 円
アスファルトプラント→鑄造所	135 m	-	66,095,565 円
合計		85m 56,773,145 円	620m 303,550,000 円
配管単価	1 m	667,919 円	489,597 円

※管距離には引き込み管の距離も含む。

⑤比較評価

これらの結果を踏まえ、両プランの比較評価を行った。両者の比較を表 6.1-3 に示す。

プランA、プランBのいずれも、補助金等の活用や、廃棄物由来の熱の環境価値を反映した価格設定などを行うことで、収益性が改善する余地もある。実施主体がどのコンセプトで実施するかによって、採用するプランが異なるため、地域関係者との関係性を含めて、経営判断すべき事項となる。

<補足事項：第2回検討会資料からの変更点>

費用対効果やCO₂削減効果の集計結果については、前提条件が変われば、結果が変化する。第2回検討会資料ではおおむねの傾向を把握するための暫定値を出しており、その後前提条件を見直しているため、結果の値が変わっている。第2回検討会資料における暫定試算結果と、その後のリバイス版図6.1-2に、リバイス版の前提条件を以下に示す。

- ・蒸気供給設備におけるケース設定は、既存の需要先（鋳造工場、アスファルトプラント、事務所）と、追加の飼料化工場の合計4か所への販売収入を見込んだ計算としていたが、いずれのプランでも、全量を需要家に供給することを前提とした。
- ・EMS を使わず運用する場合、複数の熱源が同時利用されるため余力を大きく残している。EMS を使うと、それらを計画段階で平準化して、利用可能量を最大化させることができ、EMS 導入の有無の違いで、ケース3はプランBを利用率50%の場合、ケース4は100%の場合との2条件に分けることとした。
- ・イニシャル費用では、配管距離設定が長すぎたため、プランAの配管距離を適正な長さに修正した。
- ・処理するほしいも残渣の量の想定を直近の情報とし、ほしいも F/S により処理量を増加させ、エネルギー販売量が増加した。
- ・蒸気潜熱の値を、一般の計算値でなくプラントメーカー提示の数値で更新した。

表 6.1-3 プランAとプランBの比較評価結果

プラン		プランA（熱風熱回収）	プランB（蒸気熱回収）
評価	強み	投資回収年数がより短く、CO ₂ 削減コストもより低い。	複数の需要家への供給を十分満たし、今後の需要家の追加にも対応できる。
	弱み	隣接地への適用に限られ、飼料化工場のみへの供給となる。	蒸気回収するためにボイラを設置すると、工事費や設備費が大きくなる。
供給先		飼料化工場	飼料化工場、鋳造工場、事務所、アスファルトプラント、誘致工場
イニシャルコスト		約 3億7千万円	約21億5千万円
メンテナンスコスト		約 1千6百万円	約 3千8百万円
投資回収年数		5.1年	8.6年
CO ₂ 削減コスト		約1万円/t-CO ₂ (9,910円)	約1万4千円/t-CO ₂ (13,857円)
20年間のCO ₂ 削減量		約7万トン	約21万トン
コンセプト		ほしいも残渣の飼料化工場への熱供給（限定的）	工業団地でのエネルギー拠点化（拡張的）
対策・課題		・J-クレジット制度や補助金などの支援策を活用する。	・余剰蒸気を全量利用するための、事業誘致活動が必要。 →広報や団地のコンセプト化など、自治体と連携を確保する。 →蒸気供給余力を生かした多面的価値の提供を目指す。 ①工業団地への、熱プロセスを利用する企業の誘致 ②地域の防災拠点化 ・J-クレジット制度の活用

論点2 プランA（熱風熱回収）か、プランB（蒸気熱回収）か？

株式会社東海クリーンでのシミュレーションケース
 Case1：既存施設（焼却施設のみ）
 Case2：プランA（温風供給）
 Case3：プランB（既存需要の蒸気供給）
 Case4：プランB+H/EMS（発生蒸気をすべて供給）

実施条件：プランBとし、全量供給できる需要を確保する。
 ➤ イニシャルコストの低減化により競争力が高まる
 ➤ 十分な需要量の確保のための誘導施策の展開が望ましい

表4-1 投資回収年数

投資回収年数		Case1 従来	Case2 Plan A(プロフ)	Case3 Plan B (ボイラ/EMSなし)	Case4 Plan B (ボ イラ/EMSによる全 量蒸気利用)
投資金額	イニシャル	-	433	2,149	2,149
(百万円)	ランニング	-	17	38	38
便益(蒸気価格 7千円)	エネルギー 販売益	-	49	57	267
投資回収年数		-	13	113	9

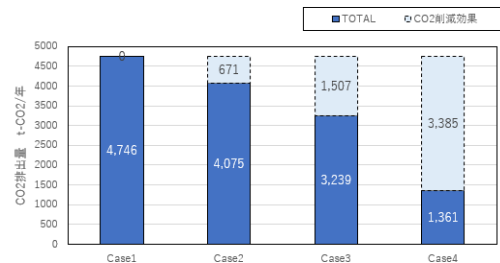


図2-1 CO2排出量

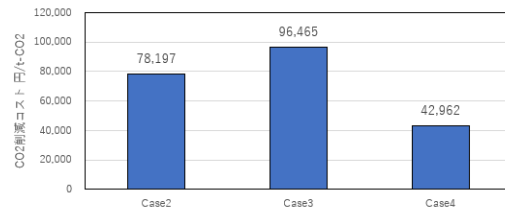


図2-2 CO2削減コスト

7

論点2 プランA（熱風熱回収）か、プランB（蒸気熱回収）か？

リバイス

株式会社東海クリーンでのシミュレーションケース
 Case1：既存施設（焼却施設のみ）
 Case2：プランA（熱風供給）
 Case3：プランB（発生蒸気をすべて供給）
 Case4：プランB+H/EMS（発生蒸気をすべて供給）

条件：プランBとし、全量供給できる需要を確保する。
 ➤ 熱回収分野の市場競争力を高めることで、イニシャルコストの低減化や選択技術の開発を促進する。
 ➤ 十分な需要量の確保のため、熱利用者募集において、誘導的な施策を自治体と共に展開することが望ましい

表4-1 投資回収年数

Case		Case2	Case3	Case4
投資金額 百万円	イニシャル	369	2,149	2,149
	ランニング	17	38	38
便益 (蒸気価格 7千円)	エネルギー販売益	89	144	288
投資回収年数		5	20	9

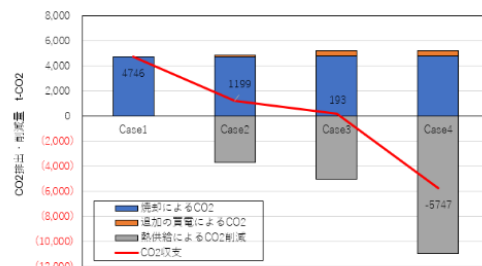


図2-1 CO2排出量

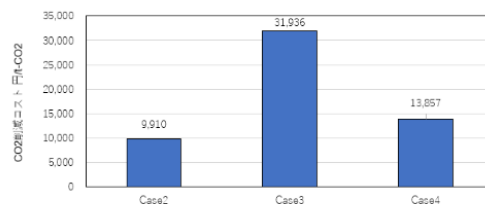


図2-2 CO2削減コスト

8

図 6.1-2 第2回検討会時資料における暫定試算結果（上）とリバイス版（下）

論点3 熱電 EMS はどういうものか？

(1) 本論点の抽出経緯

EMS の開発については、審査会で以下の3つの意見をいただいた。

審査員意見1：EMS では、需要サイドの見える化の意義はわかるが、焼却炉側の供給との関係の説明を追加してほしい。

→計画調整により平準化し、供給側の設備規模範囲内での利用の最大化を図る意義がある。

審査員意見2：構築している EMS は、汎用性があるのか。

→開発者は、もともと電気用の汎用 EMS を開発済みであり、その熱版を作成している。汎用化は前提である。

審査員意見3：そもそもその制御に難しいシステムが必要であるように思えないが、どの点を工夫しているのか。

→熱利用情報を得るための情報取得のあり方、検針機器を工夫している。

上記のとおり、その場で回答したものの、今後の普及展開の際にも分かりやすく説明する必要があると考えられることから、論点に挙げて説明し、本実証の関係者との共通認識を醸成する必要があると考えられた。

(2) 本論点に関する令和4年度の検討内容

EMS の開発については、第3章3項に詳述した。第2回検討会資料としては、EMS 機能のうち3点を中心に説明資料を作成した。検討会に提示した資料とその説明内容を以下に示す。検討会では、特に異論等は出なかった。

①供給可能量の最大化

EMS の機能概要を図 6.1-3 に示す。基本的な機能は EMS によって需要の予測ができることと、計画が策定でき、無駄な使い方をせずにピークを平準化できるため供給可能量を最大化することである。図 6.1-3 は熱供給者と供給運用管理者がいて、制御システムを通じて、需要家に熱を供給するというフローになっているが、本実証の場合は熱供給者と供給運用管理者が同一である。制御システムに熱供給の管理システムとして EMS が情報管理を行うと、需要予測、データの見える化、計画の共有など、図 6.1-3 に示す9つの機能が可能になる。

②稼働調整

導入効果としては、EMS があると基本的にはほしいもの残渣飼料化工場の稼働を弱める時期、強める時期などの稼働調整ができるようになり、供給余力が増加する効果が得られるものになると想定している。EMS の導入イメージを図 6.1-4 に示す。

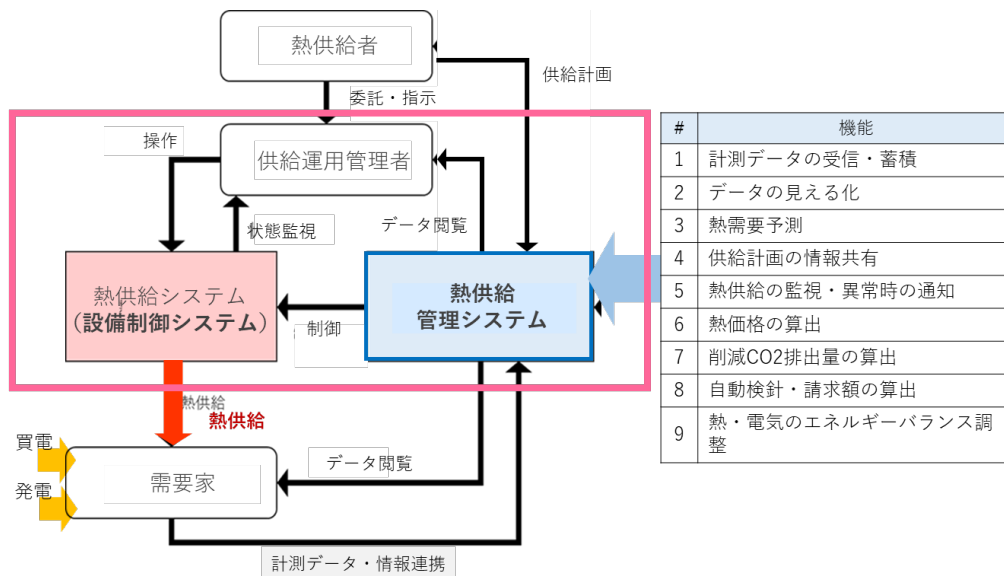
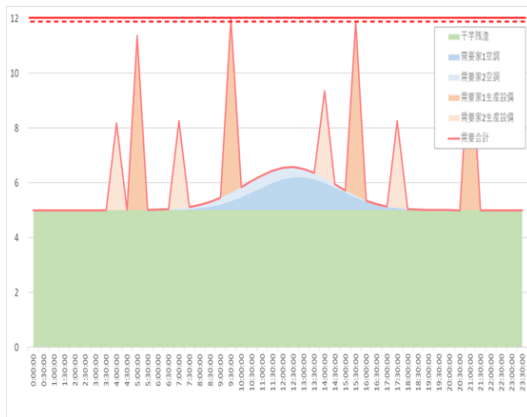


図 6.1-3 EMS の機能概要

EMS無し
(干芋乾燥を常時稼働した場合)



EMS有り
(需要家の需要時間以外に、干芋乾燥を稼働した場合)

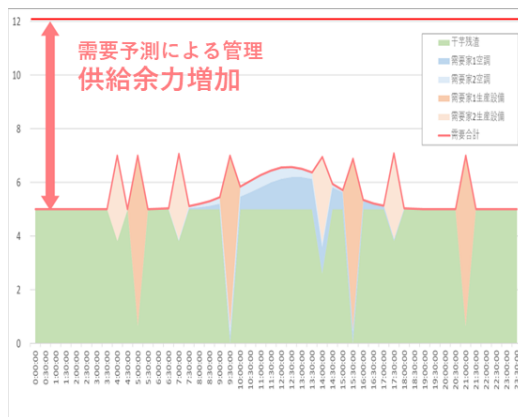
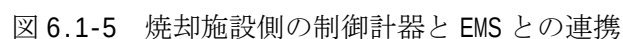


図 6.1-4 EMS による平準化計画と余力増加のイメージ
本機能の数値ベースの説明は、第3章2項に記載した。

焼却施設側の制御計器と EMS との連携された場合のビフォーアフターを図 6.1-5 に示す。供給フローでの EMS 導入前は、各需要家の情報が、各事業で使用する蒸気をオペレーターがマニュアルで分配する仕組みとなっているが、導入後は、コンピュータを介して、人工知能が計画調整を支援するとともに、制御調整を行う。パターンが常に一定で、月単位で稼働が変わるといったような大規模な製造工程の場合であれば、人的操作でも対応できるが、パターンの異なる複数の需要を管理するためには、EMS と分配調整が連動したツールを導入することで労務負担を低減化できる。



6.2 運用面における論点別の検討

論点4 蒸気価格設定とその妥当性の提示の考え方は？

※一般解としての相場を議論することを目的として作成した参照情報であり、確定的な情報値ではないことを付記しておく。

(1) 本論点の抽出経緯

廃棄物焼却炉から産業へ熱供給を行う事業における蒸気の価格設定は、事業性評価の上で重要な要因ではあるが、供給側の都合だけで決まるものではない。需要側が買い取ることのできる価格でなければ、供給が成立せず、長期契約を結ぶこともできない。また、需要側の事業撤退リスクがあることも前提として、双方が WIN-WIN となる価格設定を行う必要がある。なお、価格設定にとどまらず、円滑な連携ができる関係性の確保も必要である。このような課題認識から、蒸気価格設定に係る考え方を整理する必要があると考えた。

(2) 本論点に関する令和4年度の検討方法

蒸気価格の影響因子、価格構造及び事業内の損益通算の考え方を整理した。

第2章で扱う化学コンビナートへの蒸気供給や、第3章で扱う工業団地内への蒸気供給を参考に要因を整理し、実際の数字を使って蒸気価格の相場を探った。

設定方法及びその妥当性の提示方法を論点として、検討会で議論した。

本論点の検討フロー

①情報の整理

- (1) 蒸気価格への影響因子の確認
- (2) 廃棄物焼却熱由来の蒸気価格の構造
- (3) 供給側における蒸気価格の事業間調整

↓

②蒸気価格相場の検討

↓

③妥当性提示の考え方の意見集約

(3) 本論点に関する令和4年度の検討結果

①情報整理

(1) 蒸気価格への影響因子の確認

産業用蒸気の価格は、地域や供給元の企業によっても設定要因が異なり、一概には言えないが、使用される燃料、発電効率、需要と供給、保守費用、税金や規制に影響を受けると考えられる。一般的に産業用蒸気の価格構造に影響を与える主な要因を表 6.2-1 にまとめた。

表 6.2-1 一般的に産業用蒸気の価格構造に影響を与える主な要因

要因	変動要因となる理由	備考
①蒸気の需要と供給	・需要と供給によって、蒸気の価格が変動する。需要が高いほど、価格も高くなる可能性がある。また、蒸気を供給する会社や地域によっても価格が異なる。	・焼却由来という点が環境価値化されれば需要が高まる。
②燃料の価格	・蒸気を生成するために使用される燃料の価格が、蒸気の価格に影響を与える。例えば、石油や天然ガスの価格が高くなると、蒸気の価格も上がる傾向がある。	・円相場のレートと燃料単価の変動をグラフ化した。 →図 6.2-1
③設備効率	・蒸気を発生させるための設備効率が高いほど、蒸気の価格は低くなる可能性がある。	・設備効率は、ボイラは設備効率 90%以上が高効率と分類されている※
④保守費用	・蒸気を供給するために必要な設備の保守費用も、薬剤費等に影響を受け変動する場合があります、その場合蒸気の価格に反映される。	・本実証の事例では 923 円/t であり、千円未満が一般的である。
⑤税金や規制	・国によっては、蒸気を供給する企業に課せられる税金や規制がある場合がある。これらの費用は、蒸気の価格に影響を与える可能性がある。	地域によって異なるが、一般的には下記がある。 ・環境税や排出規制 ・消費税 ・資源税 ・ライセンスや許可手続き

※エネルギー仕様合理化事業者支援補助金の要件に基づく

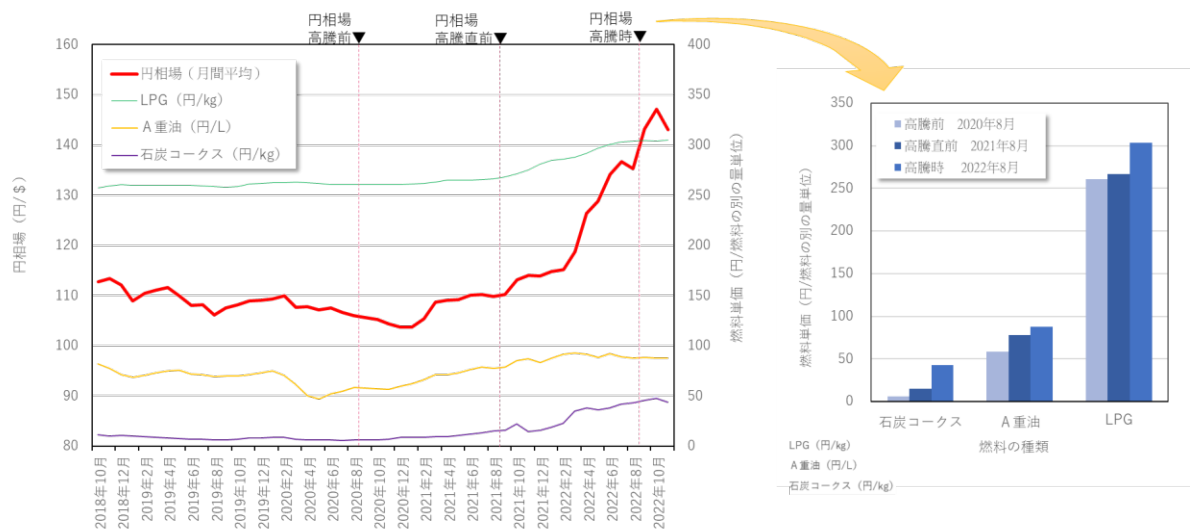


図 6.2-1 円相場と燃料単価推移 (2018/10～2022/12)

(2) 廃棄物焼却熱由来の蒸気価格の構造

一般的な産業用ボイラ由来の蒸気と廃棄物焼却熱由来の蒸気の価格構造を図 6.2-2 に示す。蒸気 1 トン当たりの価格は、表 6.2-1 に示す要因による変動を受け、一般的には、産業用蒸気の価格は、数百円から数千円程度の範囲で設定されることが多い。＊しかし、地域や産業によっては、より単価の高い蒸気が供給される場合があり、一般論としての価格はあくまでも目安に過ぎない。実際には、蒸気の供給元と需要家との個別の協議によって決められている。廃棄物焼却熱由来の蒸気価格についても、需給間の必要な条件に基づき、協議され決めることとなる。価格の基準は原油レートを基準としつつ、需要家の自家蒸気の製造に係るコストとの見合いになる。燃料を使った蒸気製造の代替として、廃棄物処理由来の蒸気供給を成立させるには、通常は燃料を使用した場合の価格を上限として設定することになる。しかし、社会的に事業活動に環境価値を求める動向を踏まえると、燃料を使用して製造した蒸気価格よりも高い値段で、廃棄物処理由来の蒸気が取引されることも有り得ると考えられる。第 2 章 2 項においても、環境価値が廃棄物焼却施設からの蒸気共同利用の検討において、必要な整理事項として取り上げている。

※例えば、熱供給事業便覧：資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課熱供給産業室監修、一般社団法人日本熱供給事業協会発行等が出典として挙げられる。

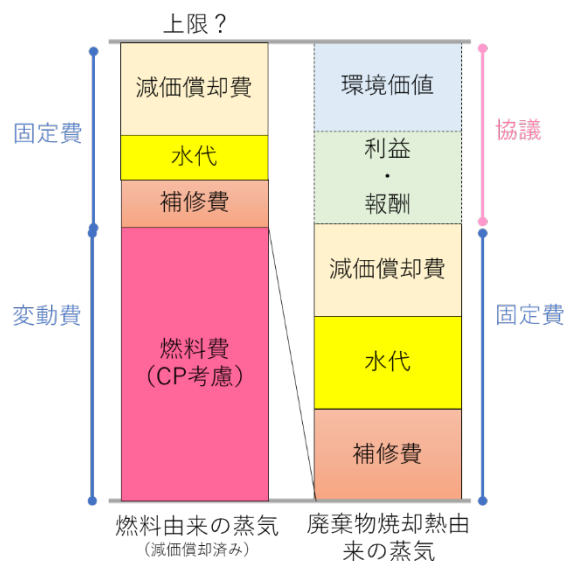


図 6.2-2 燃料由来の蒸気と廃棄物焼却熱由来の蒸気の価格構造の違い

(3)供給側における蒸気価格の事業間調整

産業廃棄物処理事業者の事業の一環として、廃棄物焼却熱による蒸気供給を実施する場合、廃棄物処理収入と蒸気販売収入の2つの収入のある事業となる。さらに、廃棄物焼却施設からの炭素回収の検討が各地域で行われている状況であり、将来的にCCU事業を追加する可能性について検討が進められている。

廃棄物処理施設で脱炭素プラントの実現を目指したとき、廃棄物処理事業と熱供給事業を一体的に管理して価格設定に優位性を持たせていくことを考えると、廃棄物処理施設の事業展開は価格の変動要因となる。

つまり、損益通算とは、複数の所得のうち、黒字になったものと赤字になったものを相殺して、全体の所得を計算する、損益通算である。炭素循環事業における部門横断的な損益通算の価格設定のイメージを図6.2-3に示す。

例えば、焼却炉を新設する場合に一般廃棄物処理であれば収集量が確保されている前提であるが、産廃処理事業については営業活動により、処理量の確保が必要となる。廃棄物収集における価格競争力を持たせるために、蒸気側の収益で委託処理費を補うことなどが考えられる。売上高を一定にした場合の蒸気価格と廃棄物の委託処理価格のシミュレーション例を図6.2-4に示す。

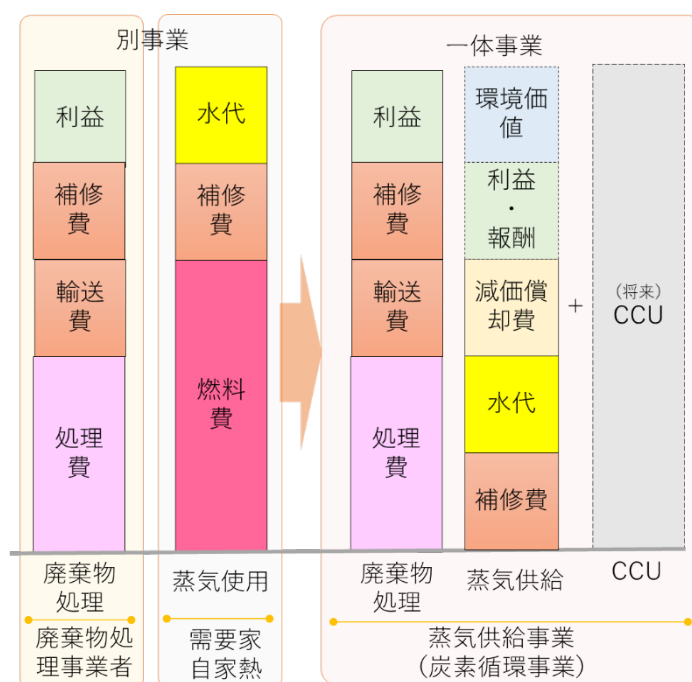


図 6.2-3 炭素循環事業における部門横断的な損益通算の価格設定のイメージ

なお、廃棄物処理施設の収益内訳は、以下のような項目があると考えられるが、収益源の内訳は、廃棄物処理施設の種類や施設が立地する国によって異なる。一般的に、特に欧州における廃棄物処理施設では、環境への影響を最小限に抑えながら、収益を最大化することを目指すものである。

廃棄物処理料金：顧客からの廃棄物処理に対する料金

蒸気収入：施設から発生した蒸気をエネルギー源として利用する際に、蒸気を販売することによる収入

温水収入：施設から発生した温水を再利用する際に、温水販売による収入

再利用可能な資源の販売：廃棄物から再利用可能な資源（例：金属、ガラス、プラスチックなど）を抽出して販売することによる収入

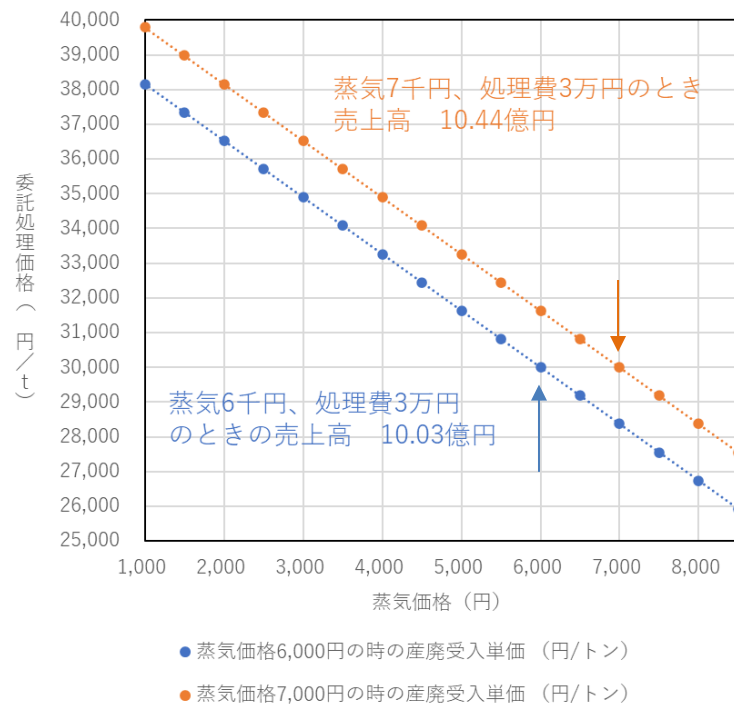
発電収入：施設内で発生したバイオガスや廃棄物をエネルギー源として利用して発電し、発電量に対する料金を販売することによる収入



<参考図>一連の廃棄物処理事業の例

(CORY Group UK <https://www.corygroup.co.uk/>)

①選別、②船舶輸送、③焼却処理、④灰の再利用、⑤熱の再利用＋⑥CCUS（検討中）



蒸気価格	蒸気販売収入	委託処理価格	蒸気価格売上 高 10.03 億円 産廃受入単価	委託処理価格	売上高 10.44 億円の時の産 廃受入単価
円/トン	百万円/年	百万円/年	円/トン	百万円/年	円/トン
1,000	41	962	38,160	1,003	39,792
1,500	62	941	37,344	982	38,976
2,000	82	921	36,528	962	38,160
2,500	103	900	35,712	941	37,344
3,000	123	879	34,896	921	36,528
3,500	144	859	34,080	900	35,712
4,000	165	838	33,264	879	34,896
4,500	185	818	32,448	859	34,080
5,000	206	797	31,632	838	33,264
5,500	226	777	30,816	818	32,448
6,000	247	756	30,000	797	31,632
6,500	267	735	29,184	777	30,816
7,000	288	715	28,368	756	30,000
7,500	308	694	27,552	735	29,184
8,000	329	674	26,736	715	28,368
8,500	350	653	25,920	694	27,552

※廃棄物処理収入＝30,000 円/t × 90 t × 280 日＝7.56 億円

蒸気販売収入＝蒸気供給量 41,126 t/年 × 蒸気価格＝2.47 億円(蒸気価格 6 千円/t)
＝2.88 億円(蒸気価格 7 千円/t)

売上高＝蒸気販売収入＋廃棄物処理収入

10.03 億(蒸気価格 6 千円/t)、10.44 億(蒸気価格 7 千円/t)

価格連動させた場合の廃棄物処理収入＝売上高－蒸気販売収入

図 6.2-4 売上高を一定にした場合の蒸気価格と廃棄物の委託処理価格のシミュレーション

②蒸気価格相場の査定

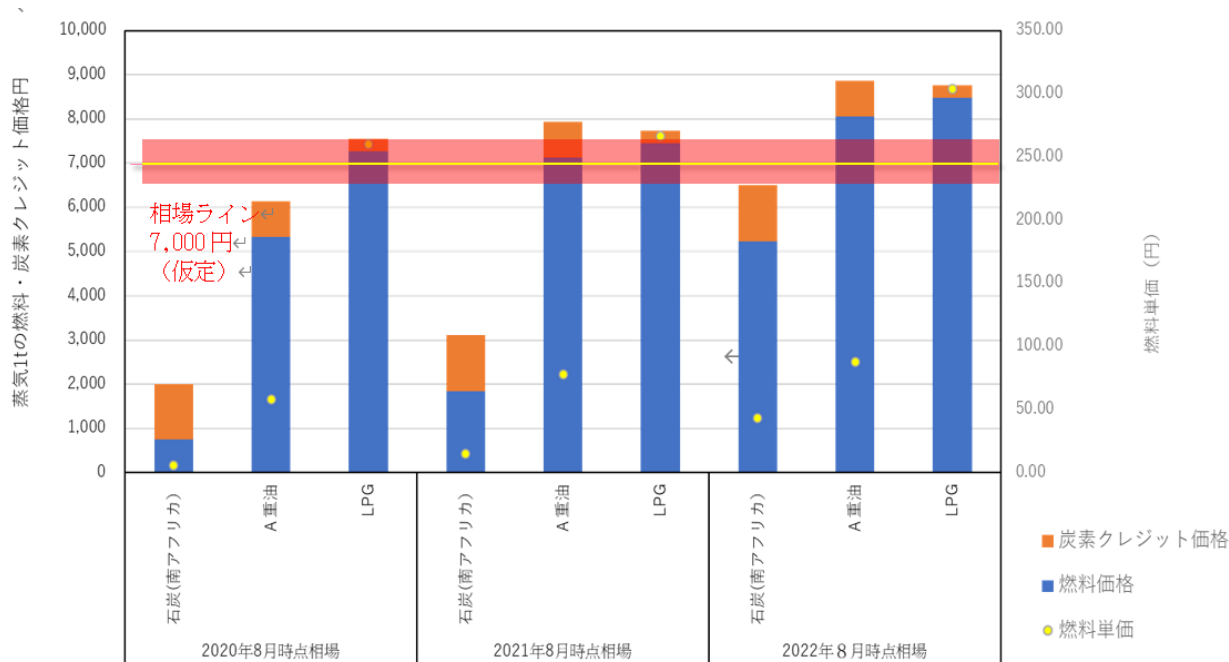
(1)レート変動考慮による価格算段

蒸気価格の相場について、複数の需要家が、それぞれ別の燃料を使っていると想定し、燃料別の蒸気1トン当たりの燃料価格に環境価値を上乗せした価格について試算した。結果を図6.2-5に示す。

環境価値については、現在、海外では複数の国で炭素税・排出量取引・クレジット取引など、さまざまなパターンの仕組みが導入・検討されている。日本では各燃料別の炭素税という形では導入されていないため、現時点で運用されているJ-クレジット制度で取引されている再エネのクレジットの平均価格を採用した。

ただし、J-クレジット（再エネ）の価格は全世界的には、安価な設定となっている。

試算結果から、各燃料によって製造される蒸気の価格が大きく異なることが分かる。また、円相場と燃料単価推移（2018/10～2022/12）（図6.2-1）では、燃料単価の経時変化を示したが、価格変動を受けて、蒸気価格にも影響している。蒸気に転換する場合、蒸気価格は石炭コークスより常に高く、LPGを使うよりは常に蒸気価格よりも安い、そして、A重油の場合はレートの変動次第では蒸気価格よりも安くなる場合もあるし、高い場合もある、というレベルとしては、蒸気価格7千円t/h程度が見込まれた。



■ 蒸気価格算定表

燃料の種類	高騰前 2020年8月		高騰直前 2021年8月		高騰時 2022年8月		将来価格			
	燃料単価	蒸気1tの燃料価格	燃料単価	蒸気1tの燃料価格	燃料単価	蒸気1tの燃料価格	蒸気1tあたりの燃料の量	CO2排出係数	蒸気1tあたりのCO2排出量	炭素クレジット価格
石炭コークス	6.08 円/kg	740 円/t-蒸気	15.15 円/kg	1,843 円/t-蒸気	43 円/kg	5,230 円/t-蒸気	122kg/t-蒸気	3.17 t/CO2	0.3856 t	1,264 円/t-蒸気
A重油	58.3 円/L	5,333 円/t-蒸気	77.9 円/L	7,126 円/t-蒸気	88 円/L	8,048 円/t-蒸気	91L/t-蒸気	2.71 t/CO2	0.2478 t	812 円/t-蒸気
LPG	260 円/kg	7,276 円/t-蒸気	267 円/kg	7,448 円/t-蒸気	304 円/kg	8,484 円/t-蒸気	28kg/t-蒸気	3.00 t/CO2	0.0838 t	275 円/t-蒸気

注釈： 蒸気 1 トンの熱量目安は、2.8GJ/ t、ボイラ効率は 76%とした。
 ガス： 円/mmbtu を 1BTU=1,055.06J、質量 0.8Kg/m³とし、kg あたりに換算した。
 TLV 計算機設定：給水温度 20℃
 炭素価格： 日本の「第 13 回クレジット平均価格」を採用しており、3,278 円/t-CO₂
https://japancredit.go.jp/tender/data/nyuusatsu_kitei_13kai_v2_8.pdf
 なお、フランスでは 2030 年までに炭素税率を 100€まで引き上げる (11,800 円程度)
 スウェーデンで 137 \$) 2021 年 4 月 1 日時点 (18,000 円程度)
 (2023 年 3 月 19 日調べ)

図 6.2-5 燃料別の蒸気 1 トンの燃料価格に CO₂ の炭素クレジット価格を上乗せ価格試算

(2) 蒸気価格構造の見える化

蒸気 1 トン当たりの価格構造を、本事業で得られた数値を使って蒸気価格別に見える化を実施した。イニシャルコストは、投資回収年数によって変わってくるため、設備の耐用年数を踏まえて減価償却年数を 20 年とした場合の値を採用した。ランニングコストはメンテナンス費を供給量で割った値で 923 円/t とした。環境価値の算出の仕方は、他にも考え方には検討の余地があるが、CO₂ 排出削減量に炭素税相当として仮に J-クレジット（再エネ）取引平均価格である 3,278 円/t-CO₂ を使用した。これを排出量に乗じた値を「環境価値」として上乗せした。設定した蒸気価格との差分を収益とし、設定した蒸気価格以内に収まらない場合は損益としてマイナス計上している。収益率を計算すると、蒸気価格が 3,500 円の場合マイナス 37%、7,000 円の場合プラス 31% となった。収益率 0 % の時（損益分岐点）の蒸気価格は 4,764 円で、その時の投資回収年数は 13.6 年となった。

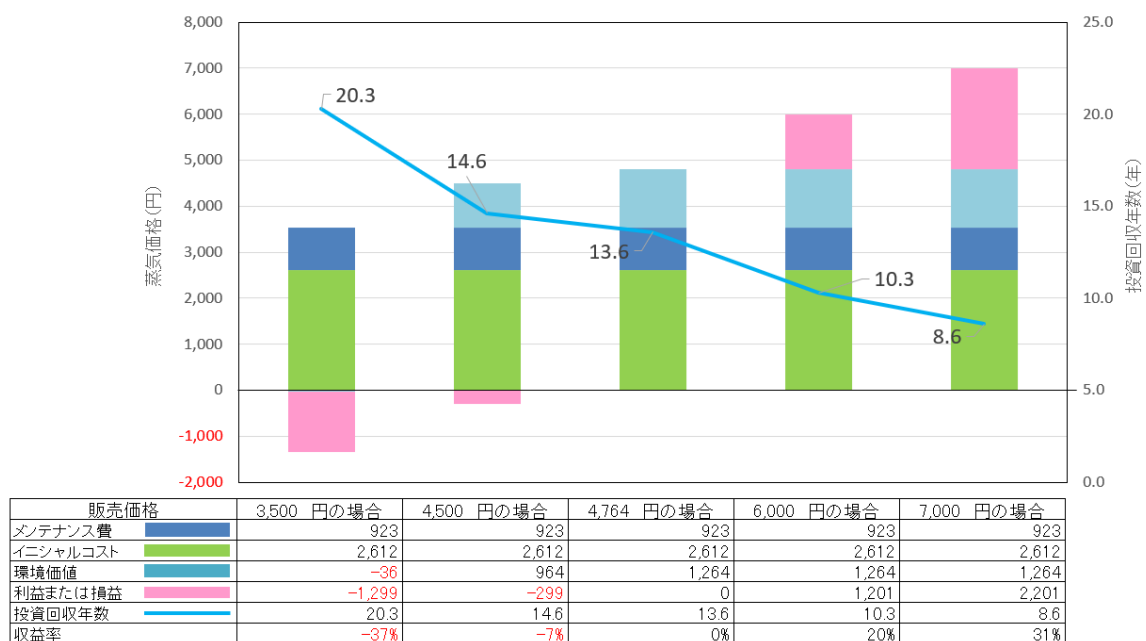


図 6.2-6 蒸気 1 トン当たりの価格シミュレーション（蒸気価格設定による収益変動）

③蒸気価格の妥当性の考え方について

(1)認識整理

焼却熱からの蒸気供給、いわば「スチームネットワーク」の形成では、一廃や産廃が燃料対象となることが考えられる。

そこで、公共性という観点から、蒸気価格の設定において「事業報酬の公正性」や「適切性」をどのように評価するか、蒸気価格の透明性において何が問われることがあるだろうか等、価格の妥当性に関する論点としては、以下が挙げられた。

a. 複数の需要家に対する供給における関係者間合意

蒸気の需要家は、1つの供給事業者に対し複数存在する。需要家側の蒸気製造にかかる費用は個社異なる中で、提供価格は一律になる。そのため、設定共通見解が必要となると考えられる。

b. 一般廃棄物を委託処理する場合の公共性の視点

需要家に蒸気を販売する。この時、蒸気供給施設が民間ではなく公共施設であった場合、蒸気販売収入は市の利益となる。市民に蒸気単価を開示せず、原価で蒸気を販売することは、市が特定の事業者だけに公的支援を行ったとみなされ公平性を欠くことになる可能性がある。収益を含めて蒸気を販売し、自治体の収入につなげる考え方を提示することが妥当であると考えられる。

c. 蒸気供給施設が民間の処理施設である場合の委託審査の視点

蒸気供給施設が民間の処理施設となり、周辺の自治体から、常態的にもスポット的にも委託処理を受ける場合、民間事業者の蒸気販売における価格構造が、公共から民間への委託判断における審査対象となる可能性が考えられる。

<電気事業法に関する参考情報>

参考情報として、電気事業法における関連のポイントを以下に取り上げる。なお、電気事業法での規定等に関しては、「蒸気価格の設定に関する情報整理」として別添 6-3 にも収載した。

- ・電気料金は、電気事業法第 19 条に基づき、「総括原価方式」により算定されていたが、電力自由化に伴い 2016 年に廃止され、電力会社 10 社を含め、自由な料金設定が行われるようになった。一方で、競争原理が浸透するまでの間は経過措置として全国の地域において経過措置料金を存続することになっている。
- ・熱供給事業法第 14 条では、1 つ目に「熱供給事業者等は、需要家に対し当該熱供給に係る料金その他の供給条件について説明しなければならない」、2 つ目に「供給事業者は、需要家に対し、当該熱供給に係る料金その他の供給条件であって経済産業省令で定める事項を記載した書面を交付しなければならない」とされている。

(2)検討会委員の意見の整理

検討会委員の意見の整理結果を表 6.2-2 に示す。

表 6.2-2 第 1 回検討会の検討会委員の意見の整理結果

No.	指摘
1	(産廃事業者の施設から蒸気を供給する施設へ、自治体が委託する場合の、産廃事業者における) 蒸気価格の公平性、適切性については相当難しい。総括原価方式のようなパターンを示していただいたのは理解できる。ただ、示し方として電気事業法から説明するのは、違和感がある。電気は色々な人が色々な所から買えるのに対し、蒸気は売買の関係がほぼ決まってくる。そのとき、どれだけ公平性を求めるのかまで考えないといけないと思う。電気のように売る人、買う人が沢山いて、従来は総括原価方式を採用しつつ、現在は廃止となることが決まり、その経過措置であるところ。蒸気の場合は、需給関係がほぼ 1 対 1 の関係になることが大きな違いであるように見える。
2	電気は色々な人が色々な所から買えるのに対し、蒸気は売買の関係者がほぼ決まってくる。化学コンビナート等を想定した、熱供給事業者が対象ということであれば、電気であるところの特定供給をしているイメージかと思う。
3	総括原価方式は、最後は原価説明が求められつつも、実際のところ説明しきれていないケースが多いと思う。会計処理上、紐づけて説明をつけていても、細目まで突き詰めていくと、原価がいくらかということは当事者でも計算しきれない部分がある。原価として適正な水準かという指摘が出たときに、もしかしたらもっと工夫するという、違う経験を持つ人の見方もあり、結局、線引きが難しい。 事業報酬も、適正利益が何をもって適正か、という点は線引きが難しいことだと思う。アクティビティベースドコストリングという考え方もあるが、それでも限界はあったと思う。何が言いたいかということ、価格については、できれば相対で決められることでよいのではないかということ。契約の際、例えば価格に幅を持たせる形を認めるなど、新しい技術の普及を図る観点から、事業者同士がやりやすい形にすることがよいのではないかと思われた。
4	(自治体の焼却施設から蒸気供給することを考えた場合) 例えば、 <u>一廃は高効率発電をして系統に電気を流して儲かるはずのお金があり、それに対し熱供給をしたときに同等程度の利益があるのであれば、住民説明も成り立つと思う。</u> 民間は、処理費、プラス設備投資で熱供給を含めると、プラス熱供給の設備投資でペイするかどうかという判断になる。
5	総括原価方式だと難しいというご指摘は、その通りかと思う。改めて、具体的な数値を見ながら議論する。

※アクティビティベースドコストリングの限界：コストを活動やプロセスのレベルで追跡するための方法論であり、財務諸表をより詳細に表現することができる。しかし、詳細で複雑であるがゆえに、精度が低下し、費用対効果が低くなるデメリットもある。

令和 4 年度の検討においては、論点の共有を行い、具体的な数値を示して共有した段階である。妥当性の議論は次回以降の課題とした。

6.3 政策活用面における論点別の検討

論点5 どんなインセンティブを投入すればよいか？

(1) 本論点の抽出経緯

産業への熱利用については、実現可能性調査がいくつか行われている状況である。地域循環共生圏モデルとして、素材産業循環型モデル、地域製造業業連携モデルとなり得る事例は公開情報としては見当たらず、本業務においても実証段階である。

蒸気回収や蒸気熱供給の技術は基本的には成熟しているため、事業化に向けたインセンティブが不足していると考えられる。

(2) 本論点に関する令和4年度の検討方法

明確なインセンティブを投入するためにどのようなことが必要であるかを検討し、検討会で議論した。

(3) 本論点に関する令和4年度の検討結果

明確なインセンティブを投入するための事項として、以下①～③の3点を整理した。委員の意見と併せて以下に示す。

- ①CO₂排出削減につながる関係者同士の関連性の見える化と定量化情報の共有
- ②焼却熱の非化石証書の創設
- ③プラスチックの燃焼に伴うCO₂カウントの扱い動向の確認

①排出削減の関連性の見える化と定量化情報の共有

CO₂排出量削減における施設の関連性を示すイメージを図6.3-1に示す。化学コンビナートに適用した場合の国環研で推計された数値を反映した図である。地方の焼却炉を維持管理できないところも出てきたとして、化学コンビナートに集約して処理委託すると、一定の条件で試算すると年間19.3万tのCO₂が廃棄物焼却施設から排出される。

ここで得られた蒸気をコンビナートに送ると、石炭で蒸気を製造していた時と比べて燃料代替により年間38.9万tのCO₂を削減することができる。これらはJ-クレジットや温暖化対策法と違い、こうした形での報告が制度化されているわけではないが、関係者間でこのような情報を共有することにより、二酸化炭素排出量削減への互いの貢献が見える化できることから、政策の推進に有用なツールになると考えられる。

将来的にカーボンニュートラルの対策が進められていく中で大きな課題は、多量排出をしている素材産業からのCO₂排出量を下げる難易度が高いことである。素材産業のCO₂排出量を下げることが社会全体のCO₂排出量を下げることになる、というような全体像を説明していく必要がある。素材産業は大量の熱を使っており、国際競争力を得るため、安価な熱供給が求められており、コストの削減が厳しいなか、焼却熱の供給が有用であると示せるとよい。

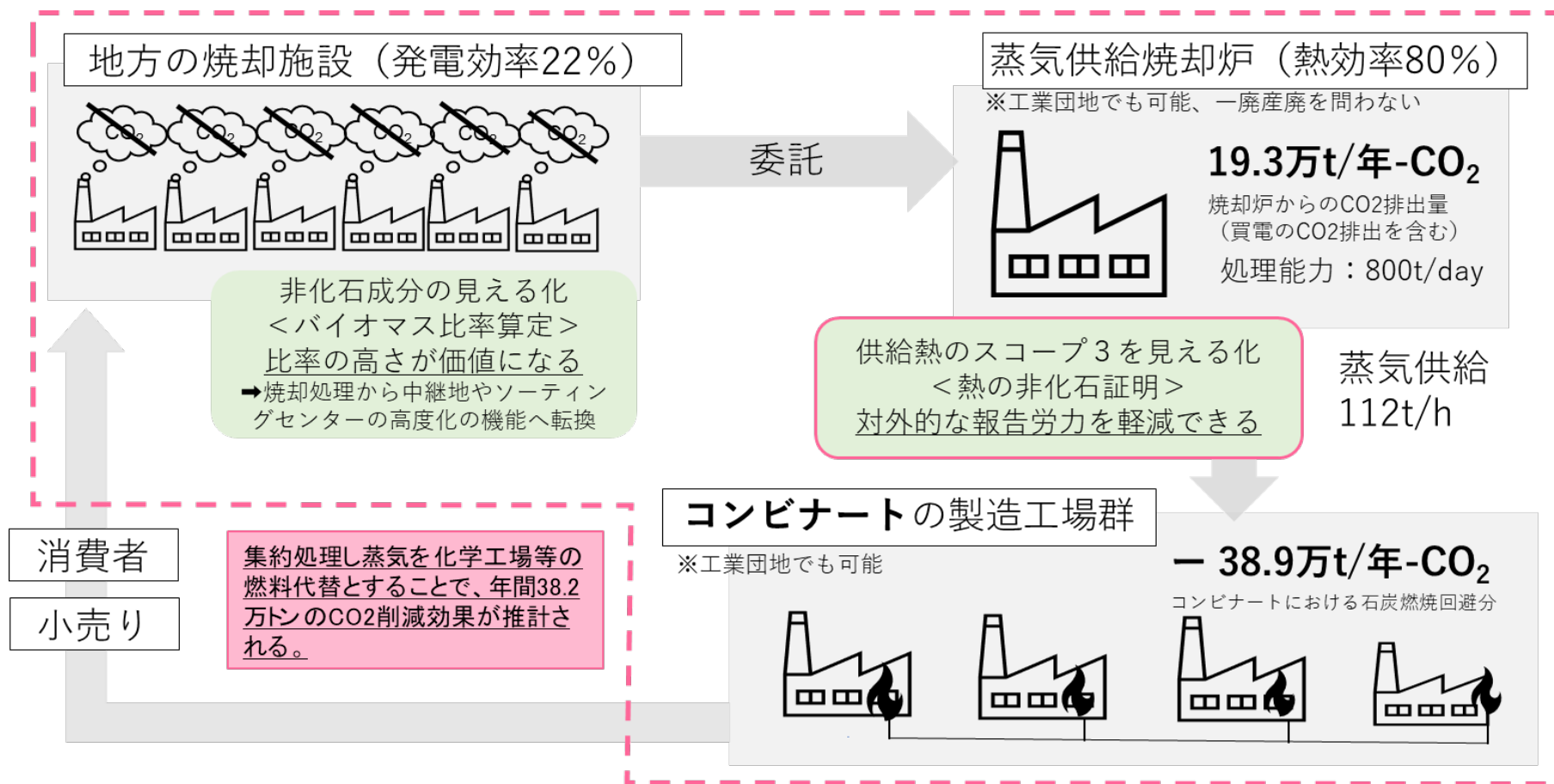


図 6.3-1 二酸化炭素排出量削減における施設の関連性を示すイメージ

②焼却熱の非化石証書の創設

(1)情報整理

焼却の非化石証書があれば、対外的に脱炭素の取り組みが説明しやすくなり、経済的なインセンティブとなる。

CO₂削減貢献証明の種類と焼却の熱利用への適用について表 6.3-1 にまとめた。今のところ削減貢献の話では、J-クレジットとグリーン熱証書、非化石証書がある。

J-クレジットでは燃料削減が目的であるため、本実証のフィールドである株式会社東海クリーンのケースであれば需要家と共同実施体を作り、燃料を削減することはできる。ただ、図 6.3-1 で示すような、広い範囲での社会全体での熱効率の向上といったことはクレジット化されていない。J-クレジット制度の所管は国である。

グリーン熱証書は、再エネ由来の熱と電気のみを扱うものであり、民間の事業者がグリーン電力、グリーン熱について証書を発行しているものである。内容保証をしているのが一般財団法人日本品質保証機構であり、保証された証書の取引を、仲介している民間企業が複数ある。

また、これとは別に非化石証書が存在し、非化石由来の電気について証書が発行されており、日本卸電力取引所が市場を開いている。

熱の非化石証書とは、非化石由来の熱について何らかの証書を与えられないかという考え方であり、この場合こういった場所が所管になり得るのかの想定が必要である。

表 6.3-1 CO₂削減貢献証明の種類と焼却熱利用への適用について

種類	条件	所管
J-クレジット	燃料削減目的 施設間でのプロジェクト登録可能 EN-S-011 未利用排熱の熱源利用 →焼却炉の集約による社会全体での熱効率の向上を評価しうる登録枠は無い。	環境省、経済産業省、 農林水産省
グリーン熱証	再エネ由来、100%由来のみの熱と電気 2023 年 2 月 1 日時点申請者数 グリーン電力 37 事業者 グリーン熱 3 事業者	一般財団法人日本品質保証機構 ・売買の仲介事業者も複数ある →脱炭素エナジー、e-dash など
非化石証書	非化石由来（再エネ以外も含む）電気のみ →熱も対象にできないか	日本卸電力取引所（JEPX） →熱の場合はどの機関で実施するのか？

(2)検討会委員の意見の整理

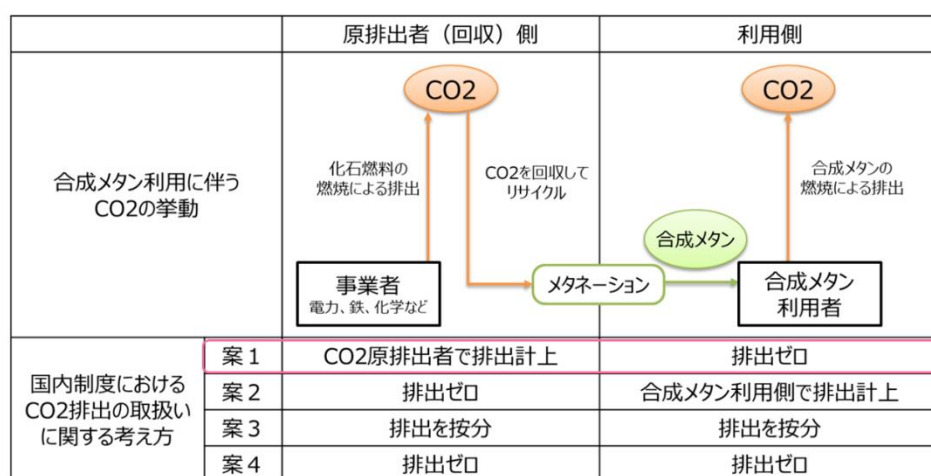
第 2 回検討会での議論の結果、委員よりバイオマスのみを非化石というのかが論点になりうるものが指摘され、廃棄物由来の熱と、バイオマス由来の熱との区別がどのように熱の非化石証書として反映し得るか、情報整理することとした。

③化学品の燃焼に伴い発生する CO₂ の蒸気供給時の CO₂ カウントの扱い（動向）

化学品の燃焼に伴い発生する CO₂ の蒸気供給時の CO₂ カウントの扱いに関連する情報を図 6.3-2 に示す。これは、経産省のメタネーション推進協議会で合成メタンの CO₂ カウントに関する中間報告からの抜粋であり、議論概要を追記したものである。内容は、焼却炉側と需要側でどちらに CO₂ をカウントするかという点が議論されている。現在は、国連のダブルカウントをしないというルールの下で、現排出者側で CO₂ を計上し、利用者側では計上しない「案 1」となっている。需給間で按分する等の案が出ているが、今のところ当該会議では、参加者の中では現状維持を支持する意見が多かった。こちらについては、動向が変わり得ることから引き続き注視することが望まれる。

CCUS に関して、排出量に対して CO₂ がどれだけ削減できたかということは、CCS と植林の吸収以外では国連のレベルでは認められていない。CCU についてはこれからの議論になる。CO₂ カウントは国別、事業別、もしくはコンソーシアム別に議論されている段階で、まだ国連では認められていない。この辺りで日本としてはインセンティブを持ちたいということで議論が進んでいる。将来的には熱の利用についても CO₂ の排出量に対してどう按分されるのか、コンソーシアム別、国別、企業別で取決めを作って提言していく、という方向になることが想定される。

産業戦略としての焼却熱利用は、動脈と連携の可能性がある日本が競争力を持つ領域の一つと捉えることができる。



- 経済産業省のメタネーション推進協議会では、「合成メタン利用の燃焼時の CO₂ カウントに関する中間整理」において、CO₂ ダブルカウント排除の前提で 4 案を想定し議論された。議論の余地はあるが、結論としては、現状維持案への支持が集まった状況。

図 6.3-2 合成メタン供給に伴う CO₂ カウントの扱い（動向）

6.4 総合面における論点別の検討

論点6 産業への焼却熱供給を社会浸透する概念にできるか？

(1) 本論点の抽出経緯

国の政策上の位置付けとして、産業への焼却熱供給はひとつの大きな題目として取り上げられている。しかし、令和3年度のアンケート結果等からも把握されたとおり、自治体側でも、温水利用と蒸気利用の区別は明確でなく、計画段階からの検討がスタンダード化されているとは言い難い。

産業への熱利用について、国は、「2050年カーボンニュートラルに向けた廃棄物分野の脱炭素対策について」令和3年4月6日（環境省環境再生・資源循環局）において、資源循環分野からの地域循環共生圏モデルの中に、「脱炭素産業資源循環連携主導型」として位置づけ、今後向かうべき上位概念として示している。これらを社会浸透する概念にすることが普及促進の要点となると考えられた。

(2) 本論点に関する令和4年度の検討方法

- ①論点整理を行い、検討会において社会浸透する概念にする方法について議論した。
- ②既存のマニュアル等のスコープを確認し、産業熱利用に関するガイドライン（仮称）における情報整備のスコープを確認した。

3) 本論点に関する令和4年度の検討結果

①要点の抽出

委員説明や、検討会等の議論を通じ、以下の事項が得に重要になると整理した。

<社会浸透する概念にするためのポイント>

- a. 国としての導入の優先順位をどこに持つのが明確であること。
- b. 廃棄物処理施設の更新機会には、脱炭素社会に向けたシステム転換の機会として十分活用すること。
- c. 廃棄物の種類によって区別することで、広域循環と地元循環は対立しないこと。
- d. 化学工業、製紙業、製鉄等の熱利用量の多い産業における燃料削減の方向性と連携し、ライフサイクルを通じた脱炭素に貢献する取組みとして廃棄物処理施設整備を捉える必要があること。
- e. 焼却炉の更新や新設にあたっては、立地選定の段階から重化学工業等との連携を検討し、焼却熱の徹底的な有効利用を図る事業について計画すること。
- f. 上位方針を現場に浸透させる施策を行い、誤った先入観や諦念感を払拭していくこと。
 - ・温水と蒸気は価値が同じであり、蒸気供給のために立地を選ぶことはしない。
 - ・広域化はやりつくされており、これ以上の集約はない。
 - ・コンビナートに立地する焼却炉では、一廃は処理できない。
 - ・焼却熱の化学産業利用は海外でできただけであって、日本では無理。
- g. 「産業への焼却熱利用」に、分かりやすく魅力的な呼称・愛称をつけて、概念普及を図ること。

②既存のマニュアル等のスコープ範囲の確認

今後の焼却熱利用において普及促進するための方向性を検討するため、「廃棄物エネルギー利活用計画策定指針」、「廃棄物エネルギー利活用方針の実務入門」のスコープ範囲について、請負で監修した日本環境衛生センターへヒアリング調査を実施した。その結果を以下に示す。

＜既存のマニュアル等のスコープ範囲に関するヒアリング調査結果＞

令和4年12月28日（火）9時15分～10時半実施

- ・実務入門等では、温熱や電気も含めた全般的な熱供給が対象とされた。
- ・地点熱供給と産業熱利用とを、エクセルギーの観点から区別した紹介を狙っているわけではない。既存の刊行物とは別物の整理で、実証の成果の一部としてとりまとめるとよい。
- ・手引きとしては「産業への焼却熱利用」に関する概念設計であることを明確にする
とよい
 - 1) 焼却熱利用の基本設計を現地適用、有効性評価をするまでのプロセスを階層的に表現する。
 - 2) 本実証では、化学プロセスへの蒸気供給の効果をRカーブ解析で確認したことが特徴的であり、評価の方法論とする。
- ・普及展開するためには、よりキャッチーなネーミングがあるとよい。

刊行物：

- ・廃棄物エネルギー利活用高度化マニュアル 平成29年3月
- ・廃棄物エネルギー利活用計画策定指針 平成31年4月
- ・廃棄物エネルギー利活用方針の実務入門 令和3年3月

③今後の課題の検討

ガイドラインの読者想定は、コマーシャルという意味でも自治体に読んでいただくものである。自治体のごみ焼却施設の運用の仕方と、今回考えるような需給を見た場合の運用の仕方では検討結果は違ってくると思われる。

自治体は規模設定の際に280日という稼働日数を基に決めていく。そうすると複数炉あっても1炉運転が1/3程度生じる。需要側に予備のボイラがあるとしても、全炉運転を想定する運用の仕方と実際が大きく異なるということになる。エネルギー施設としての運営の場合、それらの違いを考慮した形でガイドラインの中に入れておくべきである。280日での稼働日設定の考え方が、運用を検討する場合にどのように課題に影響するか、意識して整理することとする。

熱利用に当たっては、一般廃棄物を対象とする処理施設への適用を基本として記述し、自治体にとって役に立つものとして取りまとめることを想定する。取りまとめに当たっ

では、次期廃棄物処理施設整備計画の行方も注視して、必要となる考え方について確認・整理する必要がある。

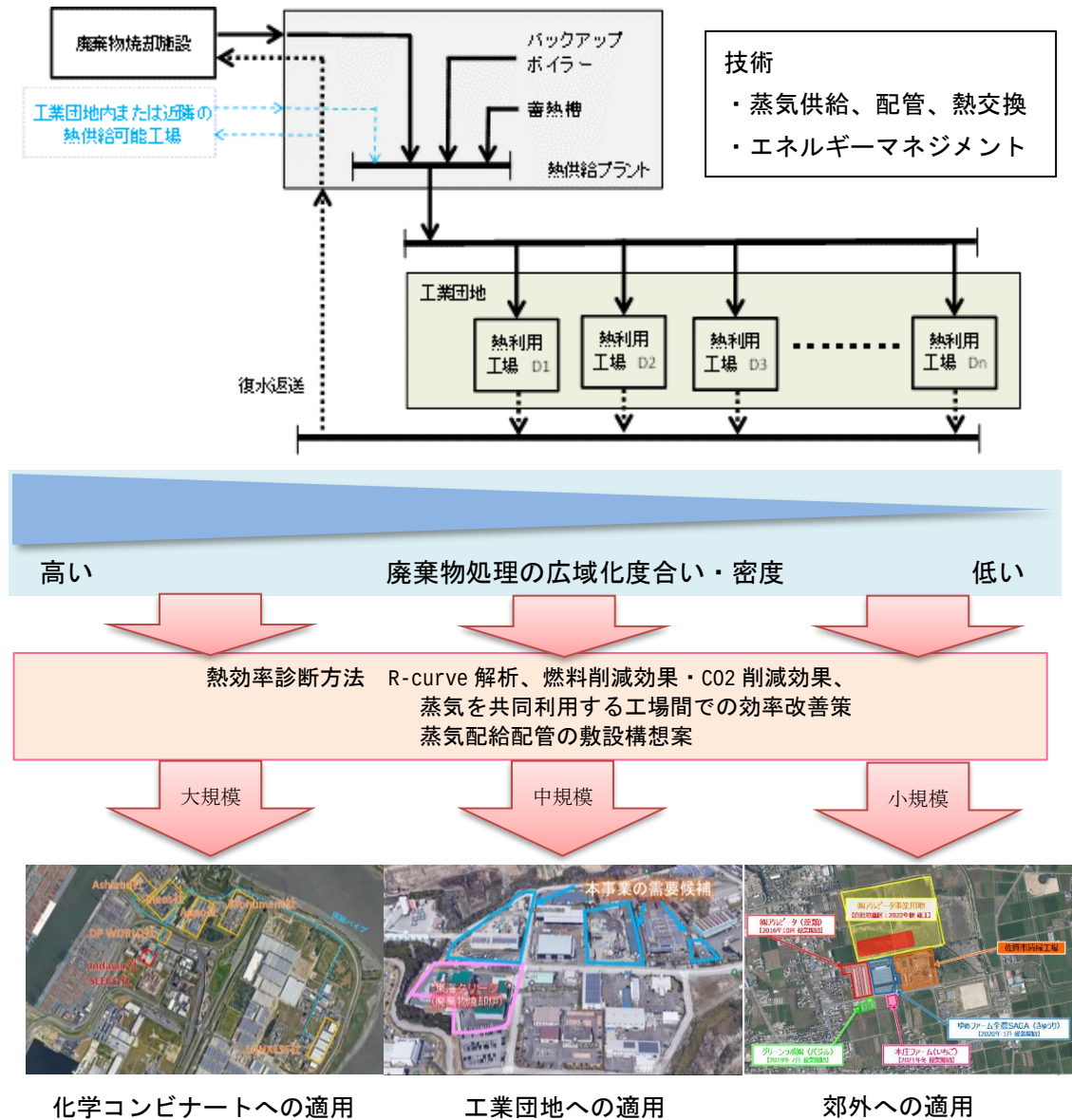


図 6.4-1 概念設計の構成イメージ

論点 7 技術ガイドラインの方針と内容は？

（１）本論点の抽出経緯

第1回検討会では、本実証を通して得られる、課題に対する様々な対応結果について、共有できる形で情報をとりまとめておくこと、特に“産業への熱利用”の面からの情報が不足しており、ガイドライン的なものを作成することの有用性が討議された。そのため、技術ガイドライン（仮称）の方向性をまとめておくことが必要と判断した。

（２）本論点に関する令和4年度の検討方法

事業構成ととりまとめイメージを作成し、検討会でご意見をいただいた。

（３）本論点に関する令和4年度の検討結果

廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた全国への普及シナリオのとりまとめ成果として、産業への焼却熱供給に関する概念設計、構築の方法論を、報告書とは別の know-how 本としてとりまとめることを示した。脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）のアウトプットイメージを図 6.4-2 に示す。

なお、来年度は最終年度であるため、廃棄物焼却施設からの熱回収高度化に向けた、全国への普及シナリオとして、各パートの成果を情報として活用しつつ、know-how 本として整理する。

一般廃棄物処理に携わる自治体職員向けに、産業熱利用の採用を検討していただきやすいよう、有用な情報を収載し、読みやすいものとなるよう工夫する予定である。

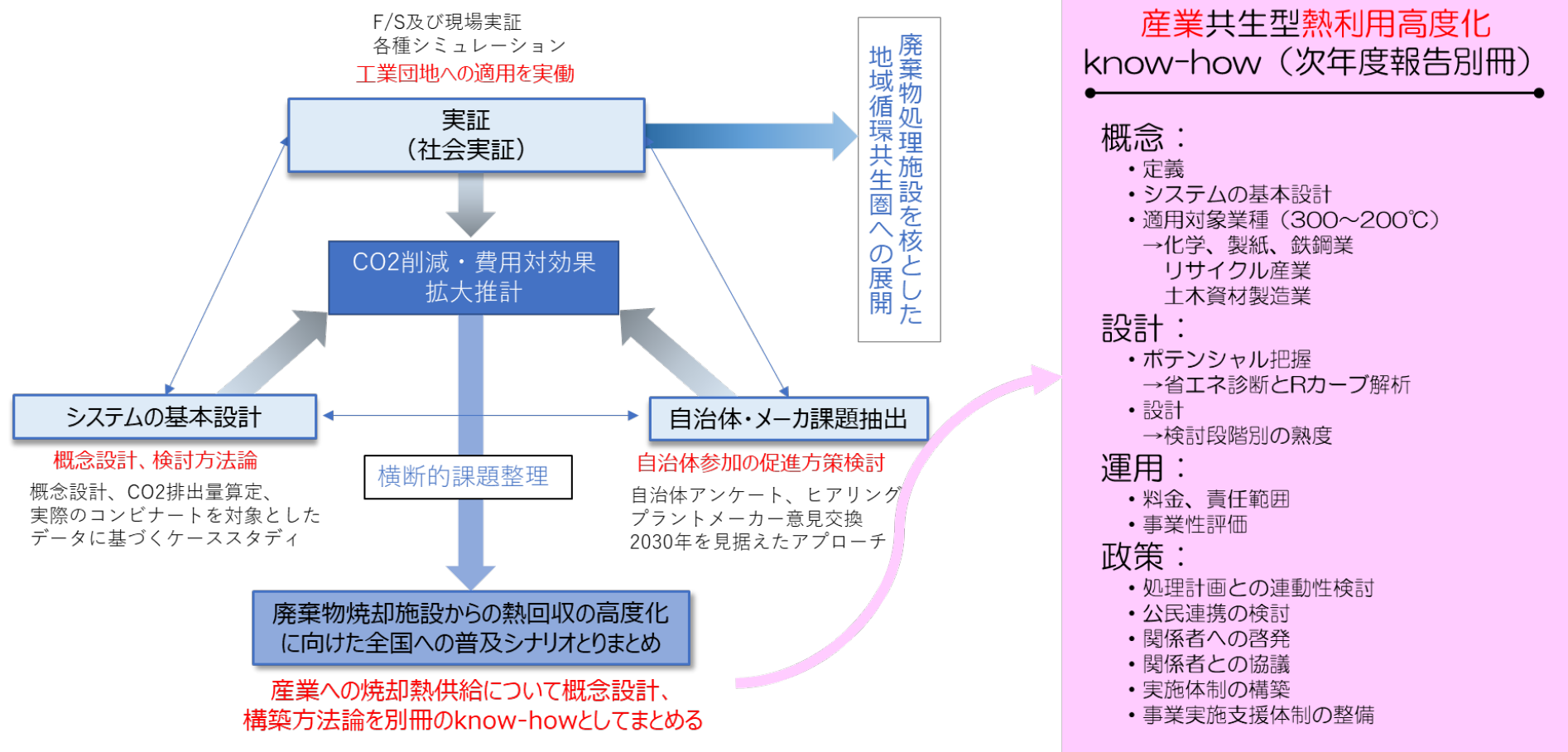


図 6.4-2 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）の構成とアウトプットイメージ

論点 8 焼却熱の有効利用に対する重要性の見せ方は？

(1) 本論点抽出の経緯

焼却熱利用は燃料削減に大きな効果をもたらすが、EU タクソノミーにおける WtE (Waste to Energy) 施設の評価は 2050 年の脱炭素に向けて貢献する技術としては特定されていない。EU タクソノミーとは、「EU の 2050 年カーボンニュートラル目標に貢献する事業」、さらには当該事業への投資意欲促進のためのリストである。

こうした背景も踏まえ、産業への熱供給が、日本における動静脈連携型の炭素循環施設への切り札として、脱炭素化に必要不可欠であることの説明も必要になっている。これらの材料を揃えることが、政策を進める上で求められると考えられる。

(2) 本論点に関する令和 4 年度の検討方法

見せ方の案として、以下の 3 つの方法を挙げ、具体的内容を検討した。

<見せ方の案>

- ①海外での適用事例を示す
- ②熱量の違いで示す
- ③動画で成果を示す

①「海外での適用事例を示す」に関する検討

廃棄物焼却施設から民間工場への蒸気供給事例は、国内では少数事例しか知られていないが、欧州や韓国では、化学工場に対する複数の事例が存在し、新規にも整備されつつあることが整備されつつある。これらの事例では、産業への焼却熱利用の概念が社会に浸透しており、化学工場等のコスト競争力向上と低炭素化が同時に実現していると考えられている。本実証事業では海外情報の収集を行わないが、海外事例をより詳しくわかりやすく紹介することで、概念の普及に役立つと考えられる。

一例として、廃棄物焼却施設から産業への蒸気供給事例を図 6.4-3 に示す。

国	都市	供給先産業	出典
韓国	ウルサン 2008年第1清掃工場 (200t/日×2炉)より 2012年第2清掃工場 (250t/日×1炉)より	化学工場(テレフタル酸製造、トリアセチルセルロース製造等) ・5万tCO ₂ /年 削減	①
ドイツ	ハンブルグ	製油所	②
ドイツ	シュタースフト (2008年竣工)約500t/日×2炉	化学工場(ソーダ生産と発電)	③④他
ドイツ	クナザック	化学工場(化学工業団地)	③④
ドイツ	ベルンベルグ (2010年竣工)500t/日×3炉	化学工場(ソーダ生産と発電) ・15万tCO ₂ /年 削減	⑤
フランス	シャランベ (2023年竣工予定)600t/日×1炉	化学工場(化学原料生産) ・8万tCO ₂ /年 削減(推定)	⑤
ベルギー	アントワープ (2019年蒸気供給開始)	化学工場(複数) ※ECLUSEプロジェクト ・10万tCO ₂ /年削減(ポテンシャル)	⑥
スイス	ヴァインフェルデン	製紙工場	③

出典: ①大西(2019)など ②小野田 ③産業振興財団(2019) ④JESC・POKK(2020) ⑤有識者ヒアリング(2021)、⑥JESC・POKK(2021)

図 6.4-3 廃棄物焼却施設から産業への蒸気供給事例

出典：廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案) 参考資料 p.14

②「熱量の違いで示す」に関する検討内容

(1)「熱量計算による供給熱量の違い」の見える化

熱量計算を行って、蒸気と温水を比較した。

蒸気 1 トン 250℃で 2.5MPa の熱量： 2,799.9 MJ （温水の 9.6 倍）
 温水 1 トン 70℃ の熱量： 293.1 MJ

蒸気との熱量の差を考えると、温水利用は廃棄物エネルギーのうち、わずかしき利用していないことになる。

(2)「熱回収方式による供給熱量の違い」の見える化

本実証の事例では、熱風回収と蒸気回収の 2 種類の熱回収について調査した。設備の違いによる供給熱量の違いを示すことで、熱風を利用することもよいが、蒸気を活用することで得られる熱量の差は非常に大きいことを示すことができる。結果、蒸気回収は熱風回収に比べ、5.4 倍の熱量を得られることを示した。

熱回収の違いによる供給熱量の差を図 6.4-4 に示す。

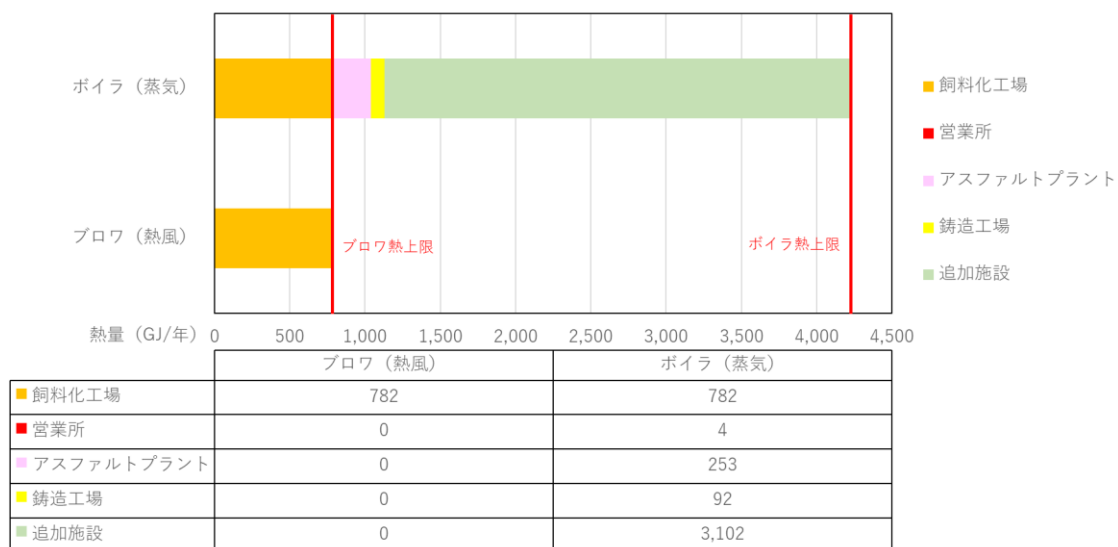


図 6.4-4 熱回収の違いによる供給熱量の差

③「動画で成果を示す」に関する検討内容

本実証の熱回収・配管設備を三次元動画で示すとともに、周辺の設備、工業団地内の配管の熱供給の動画を作成し、工業団地への適用イメージの分かりやすい普及啓発につなげる。

④今後の課題の検討内容

焼却熱の有効利用に対する重要性の見せ方に関しては、国際的な発信力、技術の有効性についてデータに基づいて発信できるかという点、が挙げられる。また、最近では、企業側において自然関連財務情報を含めて情報開示が求められている中で、このようなテクノロジーを使ってカーボンニュートラルに貢献しているということ開示していくことが選択肢の一つにしていけることが望ましい。今回のテーマである、蒸気熱を活用することにより効率を良くすることで、カーボンニュートラルを実現できるという方向で議論し、実証、データを揃えていくことが期待される。これを踏まえ、概念の浸透に向けて、分かりやすい熱利用の質の差を表現できるエビデンスを、実証データから揃えられるよう検討する。

海外の事例について、どのようなコンセプトがあり、どう呼称されているかを調査する。

第6章 別添

別添 6-1 熱風供給可能な距離に関する調査結果（ほしいも F/S 報告書 P44 から転載）

別添 6-2 設備設計とエネルギーバランス

1. エネルギーフロー図

2. エネルギーバランス及び各種設計図面

別添 6-3 蒸気価格の設定に関する情報整理

別添 6-1 熱風供給可能な距離に関する調査結果 (ほしいも F/S 報告書 P44 から転載)

ほしいも F/S での干し芋残差飼料化工場の最適な設置場所の検討に関する内容を、ほしいも F/S 報告書 P44 から転載し以下に示す。

蓬莱ら¹⁾によると「焼却施設の排熱から電気エネルギーを得るよりも、骨材の乾燥加熱に直接この熱を利用した方が合理的に CO₂ の排出量を削減することが出来る。しかし、焼却施設の排熱から回収した熱エネルギーを離れた需要家であるアスファルトプラントに供給するのは極めて困難である。熱エネルギーは、電気エネルギーに比較して、その有効な熱媒体（ヒートキャリア）が存在しないことから、輸送性が極めて劣ることは否めない。したがって、図-14 に示すように、焼却施設と AP とを隣接させることにより、輸送性の短所を補うことが出来る。」とし、今後の焼却炉設置の際には、自治体とタイアップをして、焼却施設に骨材乾燥システムを併設することを提案している。このように、熱風の活用は大きな価値があると考えられるが、隣接する場合に限定されていることが分かった。

次に、「隣接して熱風利用をする事例」として、「前田道路株式会社の木質バイオマスコージェネレーション施設」が確認された。これは、アスファルト混合物製造とがれき類の破砕再生事業を行う工場で、そこで使われた熱の 28.5% を新エネルギーに転換する取り組みが行われており、ダクト距離がおおむね 100m 程度と推計された。都市部で発生する建設廃材等の木くずを利用した熱と電気へのリサイクル利用（赤い矢印が熱風の経路を示す）を図 3.1-1 に示す。

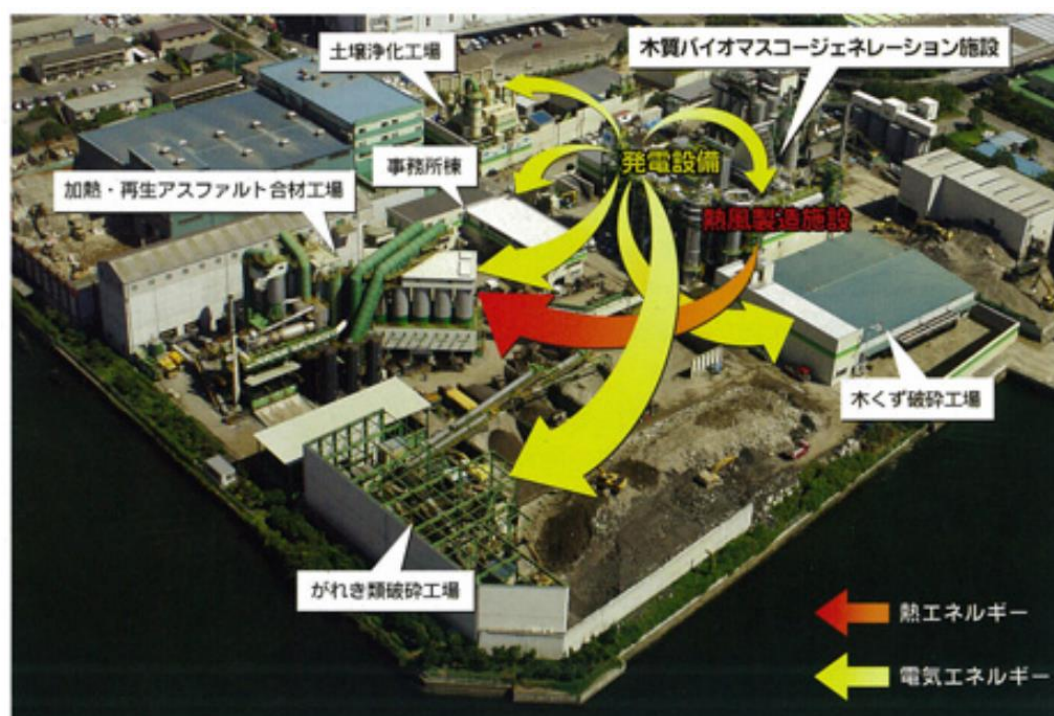


図 3.1-1 都市部で発生する建設廃材等の木くずを利用した熱と電気へのリサイクル利用（赤い矢印が熱風の経路を示す）

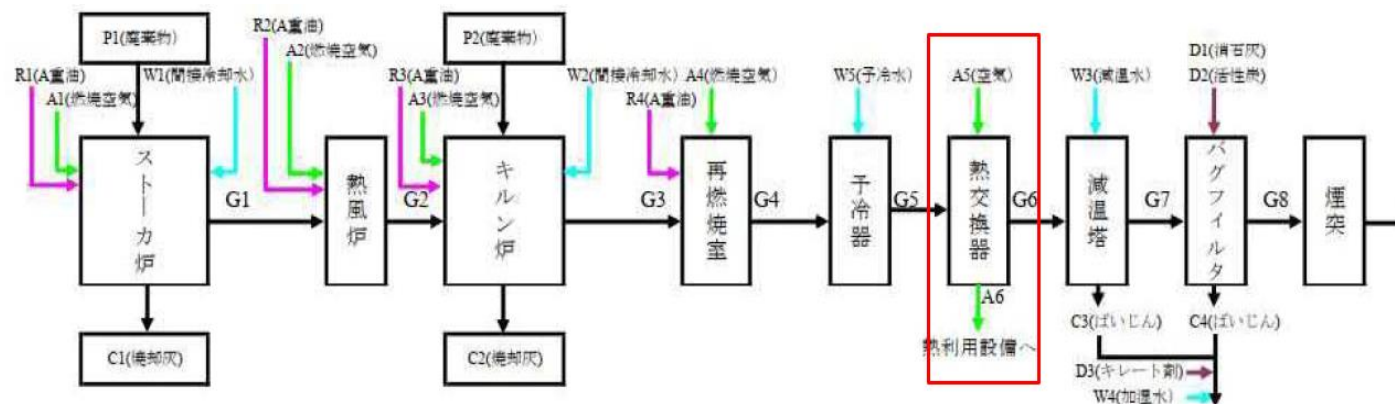
1) 「アスファルトプラントにおける二酸化炭素排出削減技術の変遷と展望」 Nikko technical report 3 7-32, 2022-04

ほしいも F/S から転用

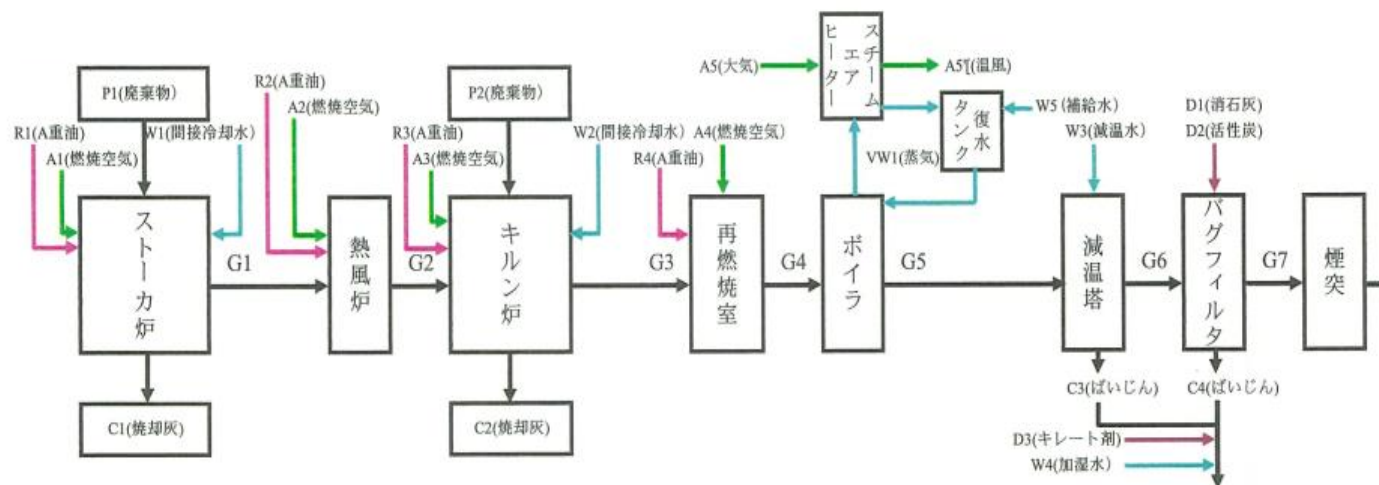
別添 6-2 設備設計とエネルギーバランス

1. エネルギーフロー図

プランA (熱風)



プラン B (蒸気)



2. エネルギーバランス及び各種設計図面

(1) プランA (熱風)

ほしいも F/S から転用

A. 需要側エネルギー仕様

事業会社名	熱仕様	温度補正後温風供給量				高温温風供給熱量			
			°C	Nm³/h	KW	供給温度°C	°C	Nm³/h	KW
③ 干し芋工場	温風		50	100,000	1,686	49	250	12,735	1074
							20	87,265	589
計					1,686			100,000	

B. 供給側エネルギー仕様

排熱回収熱交換器	熱仕様		
	温度°C	温風量Nm³/h	KW
	250	12,735	1,074

C. 配管仕様

業種別	温度仕様 °C		需要側必要 風量 N m³/h	ダクト仕様				参考風速 m/s
				材質	寸法	圧損 Pa/m	距離(m)	圧損 Pa
干し芋 単独利用	高温供給	250	12,735	ステンレス製ダクト	800Φ	0.5	95	48
	温度補正済	49	100,000		1800Φ	0.5		

計算式

$$d(\text{配管内径 m}) = \sqrt{4/\pi \times ms \cdot V / 3600 \cdot v}$$

ms: 蒸気流量 kg/h

l: 配管長さ m

v: 蒸気流速 m/s

μ: 摩擦係数

$$\Delta p(\text{圧力損失 Pa}) = \mu \cdot l \cdot v^2 / 2d \cdot V$$

V: 比容積 m³/kg

D. 配置図案（熱風ダクト）

ほしいも F/S から転用



配置図

(2) プランB (蒸気)

A. 需要側エネルギー仕様

事業会社名	熱仕様	熱負荷(潜熱)				蒸気供給熱量(潜熱)				復水 (ドレン)	
		MPa	℃	N m ³ /h	KW	MPa	℃	Kg/h	KW(1.2)	ℓ/h	回収熱量(KW)
鋳造工場	熱風	2.5	220	6,203	418	2.5	225	984	502	820	28.3
アスファルトプラント	熱風	0.5	150	13,432 Kg/h	589	2.5	225	1,385	707 (KW1.1)	1,154	39.9
飼料工場	蒸気	0.5	150		576	2.5	225		540		
			(全熱)	982.7	750		全熱	1,059	825	983	33.9
事務所	空調(200 m ²)	0.3	80(温水)		30	2.5	225	65	33	59	2.0
計					1,787			3,493	1,782	3,016	104.2

* 熱負荷については、除湿負荷は含まず * 緑色項目欄は潜熱量とする。

B. 供給側エネルギー仕様

排熱回収蒸気ボイラ	熱仕様				熱量 (KW)		
	高圧蒸気	絶対圧力 MPa	温度℃	蒸気量 Kg/h	全熱	顕熱	潜熱
		2.5	225	6,800	5,295	1,826	3,469

C.配管仕様

区間	品名	施工状態	管種	断熱仕様	寸法	外径 (mm)	距離(m)	備考
鑄造工場	蒸気管	架空配管	STPG 黒 Sch80	ロックウール 40 t	80A	180	120	引き管 32A+25A
	還水管	架空配管	STPG 黒 Sch40	ロックウール 40 t	65A	160		
アスファルト プラント	蒸気管	埋設配管	プレハブ 2 重管	けい酸カルシウム 40 t	80A / 250	268	30	
	還水管	埋設配管	CASAFLEX	PIR フォーム 160℃	65A 75/142	142		
飼料工場	蒸気管	埋設配管	プレハブ 2 重管	けい酸カルシウム 30 t	50A / 200	216	130	
	還水管	埋設配管	CASAFLEX	PIR フォーム 160℃	40A 48/111	111		
事務所	蒸気管	埋設配管	プレハブ 2 重管	けい酸カルシウム 30 t	32A / 150	165	75	
	還水管	埋設配管	CASAFLEX	PIR フォーム 160℃	25A 30 / 91	91	85	
引き込み管	蒸気管	埋設配管	プレハブ 2 重管	けい酸カルシウム 30 t	32A/150	165	20×3	立ち上がり部バ ルブ止め
	還水管	埋設配管	CASAFLEX	PIR フォーム 160℃	25A 30 / 91	91	3 か所	

計算式

$$d(\text{配管内径 m}) = \sqrt{4/\pi \times ms \cdot V / 3600 \cdot v}$$

ms: 蒸気流量 kg/h

l : 配管長さ m

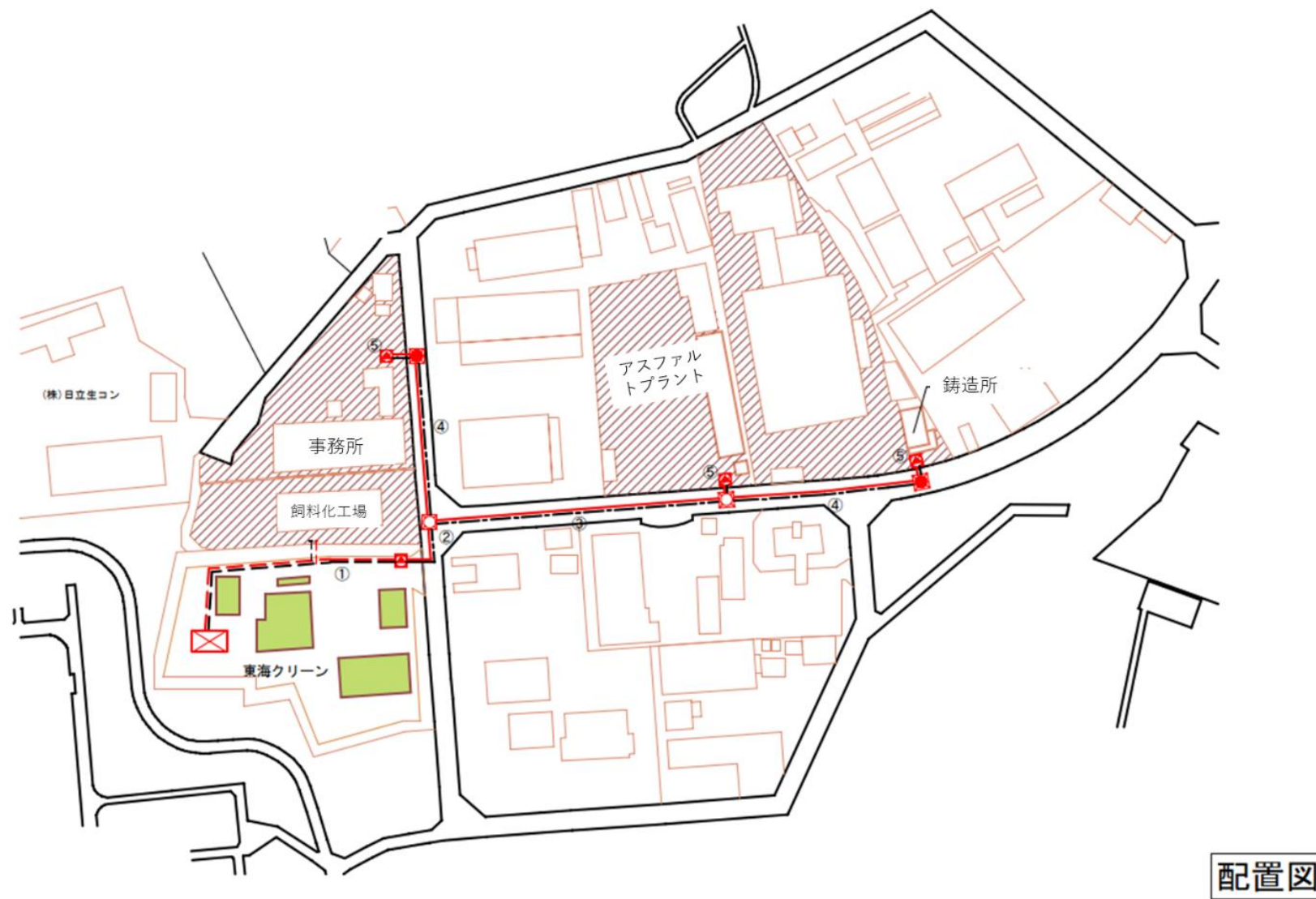
v : 蒸気流速 m/s

μ : 摩擦係数

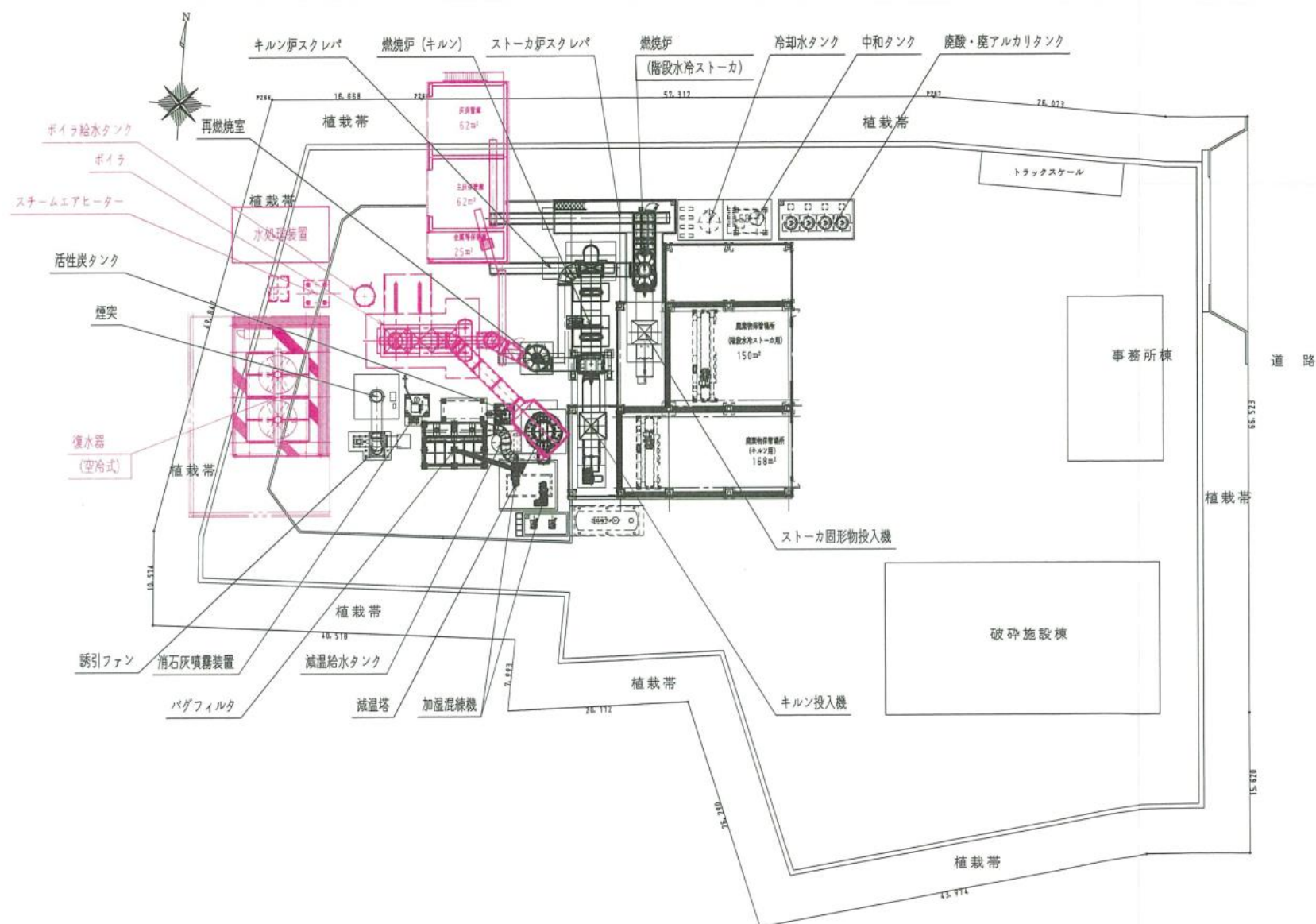
$$\Delta p(\text{圧力損失 Pa}) = \mu \cdot l \cdot v^2 / 2d \cdot V$$

V : 比容積 m³/kg

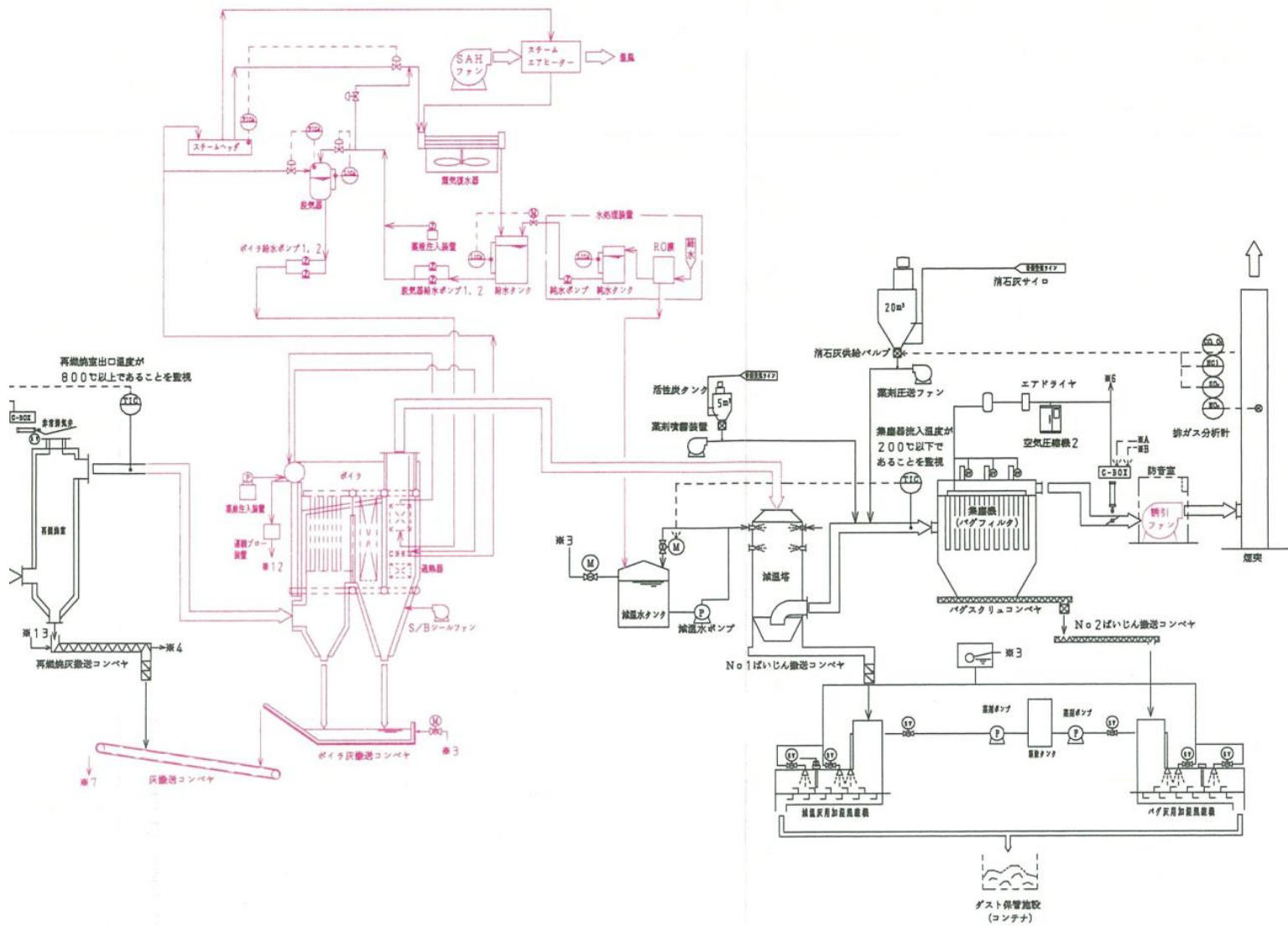
D. 配置図案（蒸気管）



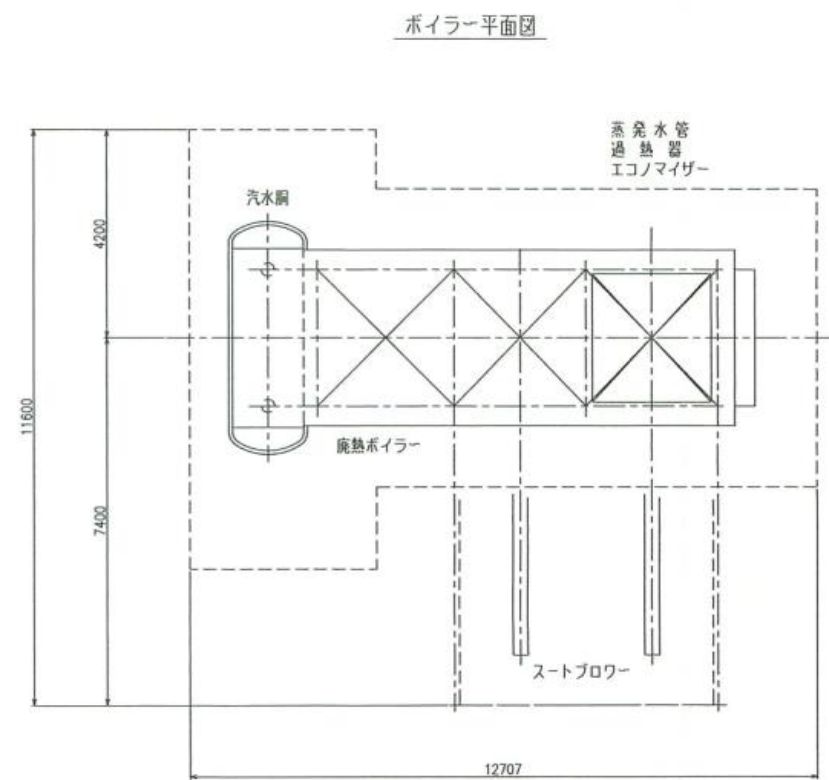
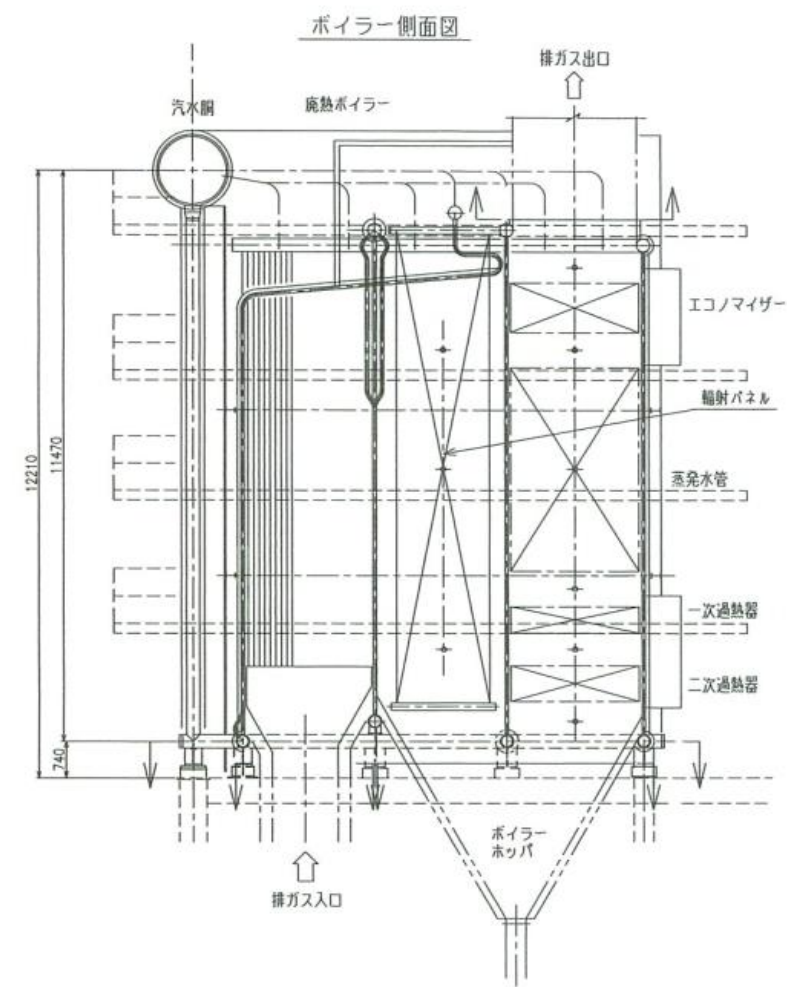
E. 蒸気回収設備の設備設計図



F. 蒸気供給設備の設計図



F. 蒸気供給設備の設計図（ボイラ部分）



別添 6-3 蒸気価格の設定に関する情報整理（第 1 回検討会資料）

事業所から周辺事業者への蒸気供給にあたっては、価格は関係者間の協議で決まるが、自治体施設で事業実施する場合や、民間企業であってもコンビナートに大規模の施設を立地する場合は、公共性の高い事業となり経済産業省への登録が必要となる案件である。このような場合、蒸気価格の設定において事業報酬の公正性や適切性をどのように評価するか、蒸気価格の透明性において何が問われうるだろうか。

そこで、今回は、情報整理を行ったので本資料で報告する。

（１）蒸気価格設定に関する留意点

①公共性に関する事項

- ・ 1 時間あたり 21GJ 以上の熱を供給する事業者は、経産省に登録が必要。
- ・ 電気事業法では、適正価格での提供がなされるよう売買取引の数量及び価格その他経済産業省令で定める事項を公表しなければならない（第九十七条）とされている。
- ・ 蒸気供給事業は、廃棄物は委託処理する廃棄物であると同時に、蒸気供給燃料でもある。
- ・ 自治体の施設で売熱する場合、自治体の収入となるため、利益は排出者に還元されるが、市民の廃棄物を民間施設に委託処理する場合、売電収入は事業者が得ることになる。
- ・ 処理事業者側が、これを見込んで売電報酬を委託処理費に還元し、委託処理費が安くなれば、排出者もそれを教授できる。つまり、一般廃棄物の収集において、自治体が委託処理費を安くできる事業者に委託する動機が生まれ、熱効率の高い施設を選択する動機が市場に生まれる。

②蒸気価格のグリーン枠の見積もり

- ・ 一般的には、燃料費（将来の炭素税）よりも安い価格であれば、購入する意義がある。
- ・ 蒸気価格は燃料費に大きく依存する。ロシア・ウクライナ情勢を受けて燃料価格が高騰している。廃棄物を燃料とすることで価格変動のリスクが低減化される。
- ・ 日本では、1978 年から石油石炭税が導入されており（1983 年までは石油税）、2012 年から温対税が追加されているが、さらなる課税についても検討されている。EU では、国境炭素調整税が 2023 年 1 月までに公示され、2026 年には本格導入される予定。
- ・ 日本企業は、インターナルカーボンプライシングを導入する企業が増えており、熱供給事業が脱炭素に資する事業として、経営判断において高く評価される可能性がある。
- ・ 排出者がバイオマス比率証明付きで排出することで、委託処理費が安くなれば、廃棄物の排出者側にもメリットが生じる。
- ・ バイオマス比率証明があれば、蒸気供給者は非化石証明の熱として販売できる可能性がある。

③廃棄物処理価格の妥当性の担保

- ・ 廃棄物処理費は、自治体ごとに異なる。委託処理費、輸送費、最終処分費を含めて 3 万円から 4 万円程度が相場。

④事業間の価格調整による競争力強化

- ・廃棄物が集まらなければ、燃料を買う必要が出てくる。
- ・廃棄物処理事業（収集運搬・処理・埋立）、蒸気供給事業（インフラ整備と安定供給）
- ・炭素税、国内排出量取引、クレジット取引、インターナルカーボンプライシング

⑤料金構造

- ・基本料金、使用量料金、非化石証明、原油価格リンク（炭素価値として）が考えられる。

（２）蒸気価格の試算

性状が 2.3MPaG である飽和蒸気を 1 トン製造するのに必要な燃料費を、表 1 に示す。

別表 1 2.3MPaG、221℃の蒸気 1 トンを製造するのに必要な燃料費

燃料種類	燃料単価	標準発熱量	ボイラ効率	熱量単価 (TLV 自動計算)	蒸気単位当たり 燃料価格 (TLV 自動計算)	CO ₂ 排出係数
LPG(卸売り)	170 円/kg	50.8 MJ/kg	76 %	4,403 円/GJ	11,967 円/t	3.00 t-CO ₂ /t
LNG	126 円/kg	54.5 MJ/kg	76 %	3,042 円/GJ	8,267 円/t	2.70 t-CO ₂ /t
A 重油	88 円/L	39.1 MJ/L	76 %	2,961 円/GJ	8,048 円/t	2.71 t-CO ₂ /t
石炭コークス	43 円/kg	29.4 MJ/kg	76 %	1,935 円/GJ	5,230 円/t	3.17 t-CO ₂ /t
不特定の場合（低炭素投資促進機構の仮価格）				4,800 円/GJ	12,976 円/t	t-CO ₂ /t

注釈：蒸気 1 トンの熱量目安は、2.8GJ/t

燃料単価（令和 4 年 8 月時点を参照）

- ・LPG：日本 LPG 協会を参考に設定 <https://www.j-lpgas.gr.jp/stat/kakaku/>
- ・A 重油：新電力ネット <https://pps-net.org/industrial>
- ・石炭コークス：新電力ネット <https://pps-net.org/statistics/coal2>
- ・燃料不特定の場合の熱量単価：低炭素投資促進機構 https://www.teitanso.or.jp/cms/wp-content/uploads/2020/02/Reference_materials_1_20160512.pdf

加熱蒸気の熱量計算

- ・標準発熱量；TLV 計算ツール https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon.html

圧力：2.3MPaG

温度：221.825℃

結果：比エンタルピー 2801.54 kJ/kg

比体積 0.0831967 m³/kg

比熱 3.3628 kJ/kg・K

粘度 0.016475mPa s

熱量単価の計算式

- ・熱量単価；TLV 計算ツール <https://www.tlv.com/ja/calculator/energy-unit-cost.php>

H_f：燃料発熱量(低発熱量) (kJ/kg)

C_f：燃料単価 (\$/ton)

η：ボイラ効率 (%)

C_e：熱量単価 (\$/MJ)

$$C_e = \frac{100C_f}{H_f \cdot \eta}$$

（３）価格に係る規定の確認

電気事業は公共性が高いため、一定程度の透明性をもたせつつ利益を加算する総括原価方式がとられている。電気料金の場合の基本的な料金設定の考え方を以下に示す。

※ただし電力自由化に伴い廃止される方向であり、経過措置が取られているところ。

１）電気事業法

基本料金と電力量料金単価の決定は、以下の価格決定の３原則に基づく。

１) 原価主義の原則

料金は、能率的な経営の下における適正な原価に適正な利潤を加えたものでなければならない。

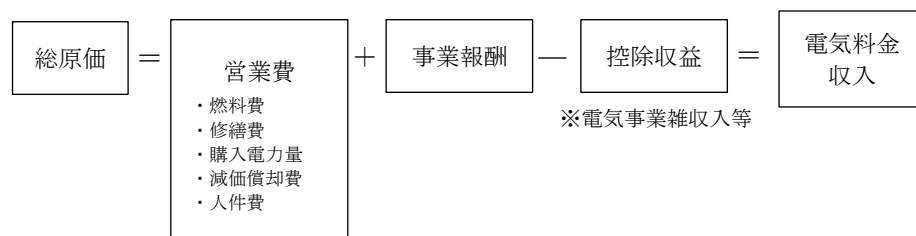
２) 公正報酬の原則

設備投資等の資金調達コストとして、事業の報酬は公正なものでなければならない。

３) 電気の利用者に対する公平の原則

電気事業の公益性という特質上、お客さまに対する料金は公平でなければならない。これにより、熱供給事業法では、需要家に不利益にならないよう需要家への説明や大臣への報告事項が規定されている。

上記 １)の原価主義の原則とは、電気を生産し販売するために必要な費用（総原価）と電気の販売収入が等しくなるように電気料金を決めることである。図 １に電気事業法における総原価の構造を示す。



別図 1 電気事業法における総原価の構造

２）燃料費調整制度

燃料費調整制度は、事業者の効率化努力の及ばない燃料価格や為替レートの影響を外部化することにより、事業者の経営効率化の成果を明確にし、経済情勢の変化をできる限り迅速に料金に反映させると同時に、事業者の経営環境の安定を図ることを目的とし、平成 8 年 1 月に導入された。料金反映までの期間を 1 ヶ月短縮し最短である 2 ヶ月とした上で、3 ヶ月分の平均燃料価格を毎月反映する仕組みとなっており、上限は設定されていない。

３）熱供給事業法

熱供給事業法第十四条の供給条件の説明等の概略を以下に示す。

1) 熱供給事業者等は、需要家に対し当該熱供給に係る料金その他の供給条件について説明しなければならない。

2) 供給事業者は、需要家に対し、当該熱供給に係る料金その他の供給条件であって経済産業省令で定める事項を記載した書面を交付しなければならない。

平成 27 年改正のポイントとして、上記を含む、以下の 3 点が熱供給事業者に課されている。

①料金その他供給条件等を説明し、それらを書面交付すること

②苦情処理体制を整備すること

③需要を充たす必要な供給設備を保有すること等

4) 熱供給事業法施行令

熱供給事業法施行令第六条の報告の徴収の概略（報告させることができる事項）を以下に示す。

①熱供給事業の運営に関する事項

②熱供給契約の締結の媒介、取次ぎ又は代理に関する事項

③財務計算に関する事項

④導管の工事並びに熱供給施設の維持及び運用の保安に関する事項

⑤導管の工事、維持及び運用の保安に関する事項

以上

第 7 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（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）検討会の開催

（１）設置要綱の作成及び委員委嘱

「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（地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証）検討会」の設置要綱を作成し、4 名の有識者に委員委嘱を行った。

（２）検討会の開催

委員の同意を得て、下記日程で検討会を実施した。検討会に当たっては、会場用意、資料作成、司会進行、議事録作成、謝金支払い等を実施した。開催形式は、都内の貸会議室にて対面開催とオンライン併用の開催とし、対面開催の際は感染症対策に留意し、マイクの消毒や参加人数に比して広い会議室の確保等を行った。検討会資料は報告書の業務資料として収載した。

１）第 1 回検討会の開催

事務局からの進捗状況の説明、議論すべき論点の提示等を行い、それに対する検討会委員及び環境省から情報提供や指摘が出され、質疑応答を行った。開催概要を以下に示す。また、指摘事項と対応事項を表 7-1 に示す。

日時：令和 4 年 11 月 8 日（火）15 時～17 時

場所：AP 虎ノ門 11 階 B 会議室（東京都港区西新橋 1-6-15 NS 虎ノ門ビル）

議題：進捗報告、論点（設計面、運用面、政策面、総合面）の議論

次第：1. はじめに（環境省挨拶、座長挨拶）

2. 作業計画と進捗の紹介

3. 論点

（１）設計面（熱回収設備の比較検討）

（２）運用面（蒸気単価設定の考え方）

（３）政策面（削減貢献量の評価に関する検討）

（４）総合面（今後必要となる施策）

4. 総括

5. その他

表 7-1 委員及び環境省からの指摘事項と事業者側の対応方針

論点	指摘事項（発言抜粋）	対応方針
システム選択フローは妥当か？	委員A：これ（熱交換システムの選択チャート）をもしガイドライン等に使用する場合、需要家ボイラーは化石燃料利用を想定したかと思うが、これを廃棄物の熱に置きかえるという点を、分かりやすいように記述すると良いと思った。	・ 廃棄物の熱の利用へ転換することをわかりやすく記述する。
プランA（熱風熱回収）か、プランB（蒸気熱回収）か？	委員A：常識的には熱は隣接地くらいしか適用できなさそうであるが、ここに示されたコスト差が出るならば、ひと区画ふた区画先に送ることも検討してもよいのではと思う。現在の制約を考えると、蒸気で送るほうが汎用的ではあると感じる。100mを埋設するとお金はかかるが、地上設置であれば実現可能性はあるのかと思う。 委員B：熱風も切り捨てるのは少し早いように思う。 委員C：実証であるため、チャレンジングで効率の高いほうを選択してアピールを行うほうが、せっかくの実証が生かされるように思う。 座長D：距離がある場合は蒸気のほうがよいというところだが、距離によっては熱風で送るのもありではということだと思う。 座長D：その点、事務局で議論いただいて、提案または報告をお願いしたい。	・ 両プランでの実現可能性を検証する形でまとめる。
蒸気価格設定と、その妥当性の提示方法は？	座長D：価格の検討は、具体的な数字があるほうが議論しやすい。 委員C：できれば相対で決められて、変動余地もあり、下がりうることも含めて許されるなら、そのほうが、社会に広げる入り口としては、入り易いと思われた。 委員A：（蒸気供給に係るイニシャルコストの減価償却が）需要家の求める上限以下で設定できることが、事業成立条件ではないかと思う。	・ 具体的な数字をもとに議論できるよう資料作成を進める。
インセンティブ設計の導入可能性は？	座長D：太陽熱、地中熱ではグリーン熱証書がある。そこに廃棄物のものが非化石由来として入ってくるという可能性は、議論としてはありなのではと思う。 座長D：勘定（カーボン・アカウンティング）の方法をどう設計していくかは非常に重要なところだと思う。廃棄物燃料を使うと、算定報告制度で需要側は控除できるが、廃棄物処理側は特典がない状況であるため、廃棄物処理側にそういうことを設定することで、メリットがある制度に変えていくことが必要。熱の証書の話は上手く議論すると、上手くいくのではないかと思う。 座長D： <u>焼却熱の非化石証書も、環境省で検討いただけると良いかと思うので、是非お願いしたい。</u> 委員A：電気はプラスチック由来でも外から買えば需要側は非化石でカウントされる。CO ₂ 排出は、廃棄物処理施設に乗っかっている。その代わり、焼却施設から出ていく電気は非化石となる。これを熱にも同じように当てはめるのであれば、図3の右側の絵と同じで、変わらない。そこから出ていく熱は、受け取る側は非化石として受け取ればよいのでは。そういう仕組みづくりがなされればよい。そうすれば、バイオマス比率の算定は、需要家側から見ると意味はなく、処理施設でどれだけエ	・ 廃棄物からのエネルギー回収による「削減貢献量の表現」と、「熱の非化石証書等」の2つを活用することで、廃棄物処理側の特典が見える化し、廃棄物処理事業者が事業を推進するインセンティブが働くパッケージについて検討する。

	エネルギー起源・非エネルギー起源の CO₂を出しているかを確認するためだけなのかなと感じた。 委員 C：削減貢献の見える化が必要ということが大事だということは、異論はない。(中略) 課題意識は高まってきており、カーボンニュートラルの分かりやすい削減パッケージとして社会実装を推進するというのは、旗印としてこの実証が発言力を持って行くうえで非常に重要ではないか。	
社会に浸透しやすい概念にできるか？	委員 A：技術面でガイドラインということがあり、大いに期待するところだが、既に廃棄物エネルギー利活用計画策定指針や、実務入門が環境省でまとめられているので、これとの差別化はどういったところにあるのか、気になった。	・環境省の指針、実務入門については、その請負者である日環センター委員 B と意見交換をさせていただいた。 ・いかにわかりやすく概念を示すかが大事と考える。 ・本実証の成果を体系的にとりまとめる枠組みについて、国の建付けを踏まえつつ、検討を進めたい。
技術ガイドラインの方針と内容は？	座長 D：どのような形かは別としても、<u>ガイドラインの作成、事例提示、経済インセンティブ設計</u>は、いずれも考えていかなければならないことであり、必要な検討かなと思う。	・令和 5 年度の成果として、本実証を産業における焼却熱利用をしようとする人が、利用しやすい読み物となるよう、報告書をまとめる。
焼却熱の有効利用に対する重要性の見せ方は？	委員 C：熱回収、熱利用は重要だが、その説明が求められている時期であるため、<u>説明の材料を揃えていく必要がある</u>。インセンティブ設計とは言えないかもしれないが、政策を進めるうえで非常に重要である。 委員 C：経団連も産業廃棄物の最終処分量を削減してきた。2000 年度実績から 8 割低減化している。その分、焼却で熱回収ということに自然な受け入れであるが、ある意味、課題遂行していくためには、こうした実証で今後の課題解決に使えるデータを蓄積していくこと、思い切った効率性の高さが実証される、など、戦略的な見せ方を考えて工夫する必要がある。なんだかんだ言いながら、EU も焼却を否定しているわけではない。しかし、世界的潮流では、欧州の発信力が強まってきている。 委員 A：先ほどの経産省の処理方法の比率だが、数値だけ見ると日本はエネルギー回収をしているように見えるが、恐らく中身はピンキリがあり、場内で少し給湯に使っているだけのものや、温水プールにしか使っていないものでも、エネルギー回収に含めてしまっていると思う。一方、欧州では、かなり以前に調べたことがあるが、大規模に熱を使っており、ごみ 1 t 当たり千 kWh くらいの熱を供給している事例もある。<u>そこを同列に比較するのはどうか、ということであり、それだけ廃棄物にポテンシャルがあるということをよく皆さんに分かってもらうことにより、熱供給の価値が分かっていたらと思う。</u>	・焼却熱を有効利用することによる熱効率の高さと、削減貢献量として示していく。 ・産業に高圧高温の蒸気を利用している海外における熱回収の活用とその効果を示していくことで、日本での導入が有用であることの説明としたい。

2) 第2回検討会の開催

事務局及び事業者側による業務説明や論点の整理結果等の説明を行い、それに対する検討会委員及び環境省から情報提供や指摘が出され、質疑応答を行った。開催概要を以下に示す。また、指摘事項と対応事項を表 7-2 に示す。

日時：令和5年2月22日（水）15時30分～17時30分

場所：TKP 新橋カンファレンスセンター 13C ホール

（東京都千代田区内幸町 1-3-1 幸ビルディング 13 階）

議題：進捗報告、審査会報告、論点の議論

次第：1. ご挨拶（座長、環境省）

2. 業務説明

（1）前回の指摘事項と対処方針

（2）審査会指摘事項と回答

3. 論点整理

4. 総括

5. その他

表 7-2 委員及び環境省からの指摘事項と事業者側の対応方針

論点	指摘事項（発言抜粋）	対応方針
熱の非化石証書	委員 A：この熱の非化石が証明できれば、グリーン熱認証のような再エネ由来を証明できる。その場合は、バイオマスの対象ということになると思うが、その電気の時の、いわゆる非化石というのか、今回の熱の場合に、バイオマスだけを考えるのか、それ以外の部分も非化石であるという位置づけになるのか、そのあたりを考えていくことになると思う。	・廃棄物由来の熱と、バイオマス由来の熱との区別がどのように熱の非化石証書として反映しうるか、情報整理する。
	委員 A：2050 年で全部再エネ電力になり、CO ₂ 排出ゼロの電力を買えばいいということもあるだろうが、大きくなった時には自力で賄うこともあるのでは。その分タービンを設置することで、イニシャルコストが上がるが、その位置づけを、ガイドライン設計をするにあたって、確認しておいたほうがいいと思う。	・今後の電力供給動向を踏まえて、自家発電をする場合のエネルギー利用の位置づけを整理する。
焼却熱の産業利用に関する手引き	委員 A：ガイドラインの読者を誰に想定するか。コマーシャルという意味でも自治体には当然見てもらう。自治体さんのごみ焼却施設の運用の仕方と、今回考えるような需給を見たときの運用の仕方で多分違ってくるかと思う。今、自治体がやってるのは、その能力決める 280 日という、稼働日数を基に決めていく。そうすると片炉、2 炉、複数炉あっても 1 炉運転が 1/3 くらい出てくる。相手が需要側に予備のボイラーがあるといっても、全炉運転を相当する運用の仕方だと思う。それらの違いもガイドラインの中に入れておくべきと思う。	・280 日での稼働日設定の考え方が、運用を検討する場合にどのように課題に影響するか、意識して整理する。
	職員 B：一般廃棄物処理施設への適応を基本として記述することをお願いしたい。	・その方向で記述する。次期廃棄物処理施設整備計画の行方も注視して、必要となる考え方について確認・整理したい。
概念の浸透に向けて	委員 C：国際的な発信力、技術の有効性についての発信をデータに基づいて発信できるかということと、それから企業側にとっては最近では自然関連財務情報を含めて情報開示が求められていて、そういうなかでこのようなテクノロジーを使ってカーボンニュートラルに貢献しているということ開示していく選択肢の一つになれば良いと思う。今回のテーマである、蒸気熱を使って効率を良くするというで、何とかものにする方向で議論、実証、データを揃えていくことに期待している。	・概念の浸透に向けて、分かりやすい熱利用の質の差を表現できるエビデンスを、実証データから揃えられるよう、検討する。
	座長 D：こういった名称で呼んでいるのかは素朴な疑問であった。わかれば後日でも共有してほしい。	・海外の事例も調査して、どのようなコンセプトがあり、どう呼称されているかを調査する。

第8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審査等委員会」への出席

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に出席し、今年度の成果を発表した。開催概要を以下に示す。また、委員からの指摘事項と回答を表8-1に示す。

日時：令和5年1月30日（月）9時20分～9時50分

場所：Web会議にて実施

表8-1 審査委員指摘事項と本事業としても回答

指摘事項	本事業としての回答
委員A：広域化を実施すると、施設規模は大きくなる。それを設置できる用地が確保できるのか。誘致は良いが、ごみにどれだけ価値を持たせることが出来るかにかかると思う。それは可能と思っているか。	コンビナートに誘致するのは、日処理量が800t～1,000tクラスの焼却炉となる。ステークホルダーにより調整することになるが、例えば需要家工場の敷地の融通もお願いして進めることになる。コンビナートによっては、撤退する事業もあり、その用地が候補にもなり得る。
委員B：熱交換システムの選択チャートが、もう少しわかりやすくなると良い。	熱供給事業を実施するといっても、既存の改良か、新設かの点、既存の場合、もともとボイラーがあるかないかによって、大きく事業費が変わってくる。また、需要家側でもともとボイラーを持っているかどうかにもよる。このような点を、事前に分かりやすく示せるようにしていきたい。
委員B：EMSでは、需要サイドの見える化の意義はわかるが、焼却炉側の供給との関係の説明を追加してほしい。	供給側の上限をどの程度に設定すればよいのか、余力に対する需要誘致の可能性はどの程度について制御可能だと考える。供給ポテンシャルの想定は、需要家の平準化ができるかどうかにかかってくる。
委員D：構築しているEMSは、汎用性があるのか。	EMSを構築しているアイフォーコムスマートエコロジー社は、電気のEMSを開発済みで保有している。熱におけるEMSも、電気で構築したことをベースに開発を進めている。こういったこともあり、汎用性は十分あると考えている。
委員E：EMSを開発しているが、そもそもその制御に難しいシステムが必要であるように思えないが、どの点を工夫しているのか。	関係者の情報を見る化し、需給者間で共有できるという点が特徴となる。電気であれば受信信号が統一化されて決まっているが、重油量やガス量などは、それぞれの計器に合わせて実績データを取得するよう工夫しなければいけないという難しさがある。
委員C：資料から、進捗状況が把握しにくい。線表などになっていないので対比できない。	工程表で線表として整理しているものもあるので、機会が許されるのであればお示しして説明させていただきたい。現在のところ順調に進んでおり、割合で示すのは難しいが、75%は終了しているかと思う。残りの期間で仕上げて参りたい。
委員C：工業団地の数よりも、自治体の数の方が多いのではないか。自治体へのアプローチはどういったものになるのか。	自治体保有の焼却施設を更新する際に、工業団地に焼却炉を建てるようなことを検討してもらえるようにしていきたい。
D委員：自治体への展開はどのように進めようとしているか。（）	前述のとおり
E委員：熱供給においては、公共関与の場合は共同実施事業体をつくることでも一苦労だと思う。そういったことの方法論についても、項目を立てて整理していただけるとよい。	公共の場合は、事業実施に支援がないと進めるのが大変であることや、関係者調整のほうにも多大なコストがかかる。そういったことも含め、次年度のとりまとめにおいて整理していきたい。

第9章 令和4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 方策検討委託業務ヒアリング等への協力

環境省が別途実施する「令和4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」に係る資料作成に協力した。また、検討会及びシンポジウムに参加した。なお、事業説明等は事務局からの協力依頼がなかったため、行っていない。

資料作成協力 令和4年9月30日（金）

第1回検討会 令和4年10月5日（水）10時00分～12時00分

第2回検討会 令和5年1月17日（火）10時00分～12時00分

第3回検討会 令和5年3月6日（月）10時00分～12時00分

第2回シンポジウム 令和5年3月6日（月）13時30分～17時00分

第10章 環境省及び共同事業者との打合せ

（1）環境省との打合せ

本業務を適正かつ円滑に実施するため、環境省調査職員と協議の上、業務全体の進捗等に関する打合せ（主要な調査職員等に対する定例報告）を4回、次年度の業務等に関する打合せを1回行った。報告は、業務の進捗状況及び業務実施過程における課題の発生・処理状況を踏まえ、検討会に向けた事前説明の形で実施した。

作業計画説明 第1回 5月20日（金）10時-12時

検討会事前説明 第2回 10月26日（水）10時-12時

事業内容説明 第3回 12月21日（水）16時30分-18時30分

検討会事前説明 第4回 2月14日（火）14時-16時

次年度業務確認 第5回 3月17日（金）13時-15時

（2）座長・委員との打合せ

検討会の開催前に、検討会の論点について座長及び全委員と打合せを実施した。

第1回検討会の開催前

A座長：令和4年10月22日（金）11時-12時

委員B：令和4年10月25日（火）10時30分-11時30分

委員C：令和4年10月25日（火）9時-10時

D委員：令和4年10月24日（月）9時30分-10時30分

第2回検討会の開催前

A座長：令和5年2月16日（木）15時-16時

委員B：令和5年2月14日（火）11時-12時

委員C：令和5年2月17日（金）10時-11時

D委員：令和5年2月14日（火）10時-11時

（３）共同事業者及び再委託者との打合せ

共同事業者及び再委託者との全体打合せを計４回開催した。開催日程を以下に示す。打合せでは、横断的課題の議論や各パートの進捗共有を行った。なお、業務パート別の各社との個別打合せは適宜実施した。

全体打合せ：令和４年４月１２日（火）１３：００～１４：００
令和４年６月１７日（金）１３：００～１５：００
令和４年９月２７日（火）１４：００～１６：００
令和４年１２月２７日（火）１５：００～１７：１５