

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

(ごみ焼却施設の排熱を熱源とする化学蓄熱材を用いた熱輸送技術の実証事業)

委託業務

成果報告書

令和5年3月

エスエヌ環境テクノロジー株式会社

日立造船株式会社

株式会社東和テクノロジー

要 約

本委託事業は、エネルギー起源 CO2 排出量の削減および地域循環共生圏造りへの貢献に向け、一般廃棄物焼却処理施設での廃熱を利用したオフライン熱輸送の実現を目指した実証事業である。

具体的には、化学蓄熱材としての水酸化マグネシウムと酸化マグネシウムとの間での吸熱脱水反応と水和発熱反応に着目し、吸熱脱水反応に必要な熱量は一般廃棄物焼却処理施設での廃熱を利用し、吸熱状態である酸化マグネシウムを熱利用施設までオフラインにて輸送し、熱利用施設では酸化マグネシウムの水和発熱反応により発生する熱を利用する。熱利用施設にて熱を発生した後に生成する水酸化マグネシウムを一般廃棄物焼却処理施設に戻すことにより、吸熱と放熱を繰り返し行う。

本委託事業において実施する実証事業では、自治体の一般廃棄物焼却処理施設に熱回収装置を設置し、またこの施設から離れた温浴施設に熱利用装置を設置し、この間で化学蓄熱材を輸送し熱利用することによる一般廃棄物焼却処理施設の廃熱利用についてのシステムとしての評価を行うことを目的として行うものである。

令和4年度は、事業の2年目であり、主な成果は以下のとおりである。

1. 実証実験設備の具体化

1. 1. システム設計の見直し

令和3年度の計画では、熱回収設備は、化学蓄熱材 ($MgO/Mg(OH)_2$) を充填した反応器と呼ばれる装置と、この反応器内に乾燥した高温の空気を流入させる装置から構成し、1GJの熱を4日間(8時間/日)で回収できる熱回収設備及び、この回収した1GJの熱を1日(8時間)で放熱させる放熱設備を製作することを計画した。

本年度はこの計画を見直し、0.25GJの熱を1日(5hr)で回収し、この熱を放熱設備側にて1日(8時間)で放熱させる計画とした。

その主な理由は、以下の2点である。

- ① 1GJの熱の回収には4日間が必要であり、一方、放熱は1日で終了することから、熱回収と放熱との時間的な差が生じることによる熱回収側でのロスが生じること。
- ② 1GJの放熱設備には、約500kgの酸化マグネシウムを充填させる大きさの反応器が必要であること、また設備の運転には約60Nm³/minの循環ガス量を送風させるブロワが必要であり、全体的に大きな設備となる。予算的な面及び、設備を設置する敷地面積が課題。

このため、本年度の計画では、放熱設備の構成として0.125GJの熱を放熱する反応器を2基並列に並べ、バルブの切り替えにより片方の反応器のみに循環ガスを4時間流通させ、反応終了後にバルブを切り替えて、残りの反応器を4時間放熱させ、合わせて8時間の放熱とする計画とした。

これにより、循環ガス量は6Nm³/minとなり、放熱設備の小型化が可能となった。

熱回収設備の能力としては、0.25GJ/日であり、昨年度計画の1GJ/4日と同条件である。

1. 2. 熱回収設備の製作及び一部据付

ごみ焼却炉の上部に位置する再燃焼室内に高温熱交換器を取り付け、この高温熱交換器に清浄な空気を通気させることで水酸化マグネシウムの脱水反応（蓄熱）に必要な高温（350℃）の乾燥空気を作り出す。高温熱交換器に通気される清浄空気は予め、ごみ焼却施設の排ガスの熱を利用し200℃程度まで昇温する。高温熱交換器を出た清浄な高温の空気は水酸化マグネシウムが充填された反応器に通気され、脱水反応により酸化マグネシウムへと化学変化する。

本年度は、高温熱交換器を除く周辺配管の敷設までを実施した。

1. 3. 放熱設備の設計

放熱設備は、酸化マグネシウムを充填した反応器、反応器内の酸化マグネシウムに発熱反応を起こさせるための水分を含んだ90℃程度の空気を送り込むためのブロワ、水分を含んだ空気を調整するための蒸気ボイラ、酸化マグネシウムの発熱により200℃程度まで昇温された空気の熱により温水を作り出す熱交換器および反応の開始時のみの使用であるが、反応器に送り込む90℃の空気を作り出すためのヒータより構成される。

本年度は、放熱設備での熱収支を検討のうえ、各機器の仕様を決定した。また、実証実験を行う温浴施設の現地調査を行い、設備の配置計画を行った。

2. 検討委員会の実施

令和4年10月および令和5年3月に検討委員会を開催し、各委員から実証実験に向けての指導を受けた。

以上

Summary

This project aims to develop an off-line heat transport technology using waste heat generated at municipal solid waste (MSW) incineration plants, with the goal of reducing CO₂ emissions from energy use and creating a regional circular and ecological sphere.

We are targeting magnesium hydroxide Mg(OH)₂/ magnesium oxide (MgO) as a chemical heat storage system, focusing on their endothermic and exothermic reactions by dehydration and hydration.

Waste heat at MSW incineration plants is used for dehydration of Mg(OH)₂, and the transformed high-energy MgO is transported to other facilities for use.

These facilities utilize heat generated by the hydration of MgO, and after heat generation, the converted Mg(OH)₂ is returned to the MSW incineration plants. The cycle of heat absorption and dissipation is repeated.

To evaluate the system for practical use, we will conduct a demonstration test to place exhaust heat recovery equipment at MSW incineration plants and heat utilization equipment at spa facilities in distant areas. The chemical heat storage materials will be transported between the two locations.

This is the second year of this project, which started in the third FY of Reiwa.

The main results of the fourth FY of Reiwa are as follows.

1. Implementation plan for demonstration test equipment

1.1 Review of the system design

In the first year, we designed heat recovery equipment consisting of a reactor filled with chemical storage materials (MgO/Mg(OH)₂) and a high temperature dry air inflow device to recover 1 GJ of heat in four days (8 h/day). We also designed a heat-radiating system to release the recovered heat in one day (8 h).

In the second year, we revised the plan to recover 0.25 GJ of heat in one day (5 h) and also release the recovered heat in one day (8 h). The major reasons for the change are as follows.

- (1) Recovery of 1 GJ of heat requires four days, while the heat release is completed in one day, resulting in a loss on the heat recovery side due to the time difference between the two.
- (2) To release 1 GJ of heat, the scale of the heat-radiating system would have to be huge, with a reactor large enough to hold about 500 kg of MgO and a blower for approximately 60 Nm³/min of circulating gas. These requirements would entail a large cost and a large site area for installation.

In the revised plan, there are two reactors, each with a heat dissipation capacity of 0.125 GJ. They are placed in parallel, and the circulating gas is provided to one of the reactors for 4 h,

and when the reaction is completed in that reactor, a valve is switched to provide gas to the other reactor for 4 h, giving a total of 8 h of heat dissipation. The amount of circulating gas is thereby reduced to 6 Nm³/min, enabling the scale of the heat-radiating system to be downsized. The heat recovery of 0.25 GJ/ day remains the same as that of the original plan (1 GJ in four days).

1.2 Design and partial installation of the heat recovery system

A high temperature type gas-air heat exchanger is to be installed on the upper part of the secondary combustion chamber of a MSW incineration plant; clean air can be fed into it to produce dry high-temperature air at 350 °C, which is needed for dehydration of Mg(OH)₂ (heat storage). The clean air fed into the exchanger is first preheated to about 200 °C using heat from exhaust gas generated at the plant. The heated air from the exchanger is sent to the reactor filled with Mg(OH)₂ to convert it to MgO by dehydration.

To date, the project has been completed up to the installation of peripheral piping, excepting the high-temperature heat exchanger.

1.3 Design of the heat-radiating system

The heat-radiating system consists of the following parts: a reactor filled with MgO, a blower to feed 90 °C air containing moisture to cause an exothermic reaction with MgO, a steam boiler to adjust the humidity of the air, a heat exchanger to warm water using air heated to about 200 °C by the exothermic reaction of MgO, and a heater that is only used at the start of the reaction to warm the air fed into the reactor to 90 °C.

The specification of each device was determined in consideration of the system's heat balance. We visited a spa facility, where a demonstration test is to be conducted, to plan for the installation of the equipment.

2. Technical review meetings

We held technical review meetings in October 2022 and March 2023 to receive advice from committee members about the demonstration test.

目 次

1. はじめに.....	1
2. 事業概要.....	1
2.1. 目的.....	1
2.2. システムの原理.....	2
2.3. 事業計画.....	4
2.4. 実施場所.....	4
2.5. 実施体制および実施内容.....	5
2.6. 実施工程.....	6
3. 令和3年度 実施結果.....	7
3.1. 熱事情調査.....	7
3.2. 実証試験の対象施設の調査.....	7
3.2.1. 熱回収施設.....	7
3.2.2. 熱利用施設.....	7
3.3. 熱回収・熱利用の市場調査.....	8
3.4. 本システムの経済性評価.....	8
3.5. CO ₂ 削減効果.....	9
4. 令和4年度 実施内容.....	10
4.1. 本システムの実証設備の具体化.....	10
4.1.1. 熱回収設備の製作・設置.....	10
4.1.1.1. 設計基本計画.....	10
4.1.1.2. 熱回収装置の設計.....	11
4.1.2. 放熱装置の設計.....	32
4.1.2.1. 放熱装置の設計基本計画.....	32
4.1.3. 本実証設備の有効性.....	42
4.1.3.1. 実証試験設備規模の変更の影響.....	42
4.2. 検討会の開催.....	44
4.3. 「令和3年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 審査等委員会」への出席.....	55
4.4. 「令和3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」.....	55
5. 熱輸送に関連する情報.....	56
5.1. 蓄熱材に関する動向.....	56

5.1.1.ハスクレイ／ゼオライト	56
5.1.2.硬殻マイクロカプセル化蓄熱材	59
5.2.ごみ焼却施設の将来予想.....	61
5.3.海外の状況	67
6. 次年度の予定	71
7. 実施内容のまとめ	72
7.1. 実証実験設備の具体化	72
7.1.1. システム設計の見直し	72
7.1.2. 熱回収設備の製作及び一部据付	72
7.1.3. 放熱設備の設計	72
7.2. 検討委員会の実施	73

1. はじめに

本報告書は、ごみ焼却施設の排熱を熱源とする化学蓄熱材を用いた熱輸送技術の実用化に向け、長崎県南島原市にあるごみ焼却処理施設および同市内の温浴施設に熱回収及び放熱設備を設置し、両施設間にて化学蓄熱材を繰り返し輸送することによりごみ焼却施設にて回収した排熱を温浴施設にて熱利用するシステムの実証事業を行い、本システムの評価を行うことを目的として令和3年度よりの3年間をかけて実施するもので、令和4年度での実施内容についての報告を行うものである。

2. 事業概要

事業概要を次の6項目に分けて述べた：2.1. 目的、2.2. システムの原理、2.3. 事業計画、2.4. 実施場所、2.5. 実施体制・実施内容、2.6. 実施工程。

2.1. 目的

2050年カーボンニュートラル社会の実現及び地域循環共生圏の形成に向けて、ごみ焼却施設における排熱を利用したエネルギーの効率的かつ有効な活用が喫緊の課題となっている。今日のごみ焼却施設においては、ごみの減量化、無害化及び二次公害の防止という基本機能に加え、ごみ焼却に伴う排熱の回収を通じて、地域の独立エネルギー源としての役割が期待されており、さらに回収されたエネルギーを地域経済等に役立つ方法で活用していくための横断的なシステム構築及びその導入が有効と考えられている。

廃棄物の焼却に伴って発生する熱(余熱)は、燃焼ガスという形態をとっているが、直接の利用により又はエネルギー変換を通して、事業所内外の様々な用途に利用されている(3.4.3. ごみ焼却処理施設での熱利用)。エネルギー変換方式としては、熱交換器により燃焼ガスの熱から温水を作る方式や廃熱ボイラによって得た蒸気を用いて蒸気タービンで発電する方式があり、燃焼ガス、温水、冷水、空気、動力、電力といったエネルギー形態がある。

廃棄物発電は、廃棄物の焼却により発生した燃焼ガスから廃熱ボイラによって蒸気を作り出し、蒸気タービンによって電力を得る余熱利用の一形態である。発電した電力は、焼却施設や管理事務所等の事業所内にて利用するほか、余剰分を電力会社に売電することも可能であり、近隣に熱需要がない場合においても広く廃棄物エネルギーの利用が図られる。

焼却施設における発電設備の導入には、最低でも処理量が100t/日以上であること及び24時間連続運転であることが条件となっており(環境施設 No.107、2007年、P2～20)、発電設備の停止時においても安定的に電力を供給できるような体制づくりが必要である。

このように、廃棄物焼却施設の排熱の利用方法としては大型の焼却施設では施設内外への電気と温水・蒸気の供給が可能で、小型の焼却施設では温水・蒸気の供給が主と

なる。

廃棄物焼却施設からの排熱の利用率の向上に対しては、現状 15～20%程度にとどまっている発電効率を向上させることや、小型焼却炉への発電設備の導入なども検討はされているが、本事業では、小型炉から大型炉まで幅広く適用できる技術としての熱の直接利用を検討することとした。

ごみ焼却施設からの一般的な熱供給方法である導管方式には、熱損失が大きいことから供給エリアに制限があること、導管敷設に際しての障害があること、施設移転等により導管の利用期間が制約的になることなどの課題がある。

これに対して、廃熱を蓄熱材に溜め、この蓄熱材を熱利用施設まで輸送した上で、熱を放出させ利用する、熱のオフライン輸送方式も古くから検討はされてきている(5.1. 蓄熱材に関する動向)。

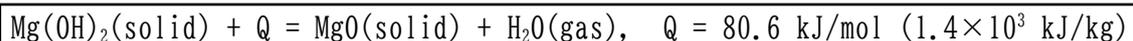
一部実用化はされているが、蓄熱材の単位重量・容積当たりの熱量が小さいために輸送単位当たりの熱量が少なく、また蓄熱材に蓄えられた熱は潜熱・顕熱の形での蓄熱が一般的で、自然に放熱するため輸送車は特別な保温が必要なことなどからコスト高となり普及が遅れている。

本事業では、以上の課題を踏まえ、蓄熱容量が大きく、自然放熱を起こさない化学蓄熱材による熱輸送システム(以下「本システム」という。)を用いた熱利用システムの有効性を実証することを目的とした。

2.2. システムの原理

本システムでの熱の蓄熱と放熱の原理は、以下に示したように、酸化マグネシウムに水を反応させることで水酸化マグネシウムへと化学変化させ、この水和反応の際に熱が発生する。

熱を発生し終えた水酸化マグネシウムを加熱すると、脱水反応により元の酸化マグネシウムへ化学変化し、この反応の際に熱を吸収する。この反応は可逆反応と呼ばれ、繰り返し何度でも行うことが可能である。吸熱量と放熱量は、酸化マグネシウムの 1 モル当たりに 80.6kJ と等量である。脱水反応は 300℃程度から始まり、水和反応は 50℃程度から始まる。



本システムを用いた実証実験の流れは、図 2-1 のとおりである。放熱し終えた水酸化マグネシウムは、ごみ焼却施設の排熱により調整された高温(350℃)の空気により加熱され酸化マグネシウムに変換する(熱回収)。この酸化マグネシウムを運搬車両に積み込み、熱利用施設まで輸送し熱利用施設に設置した熱利用設備内で含水空気による水和反応を行い放熱させ利用する(熱利用)。

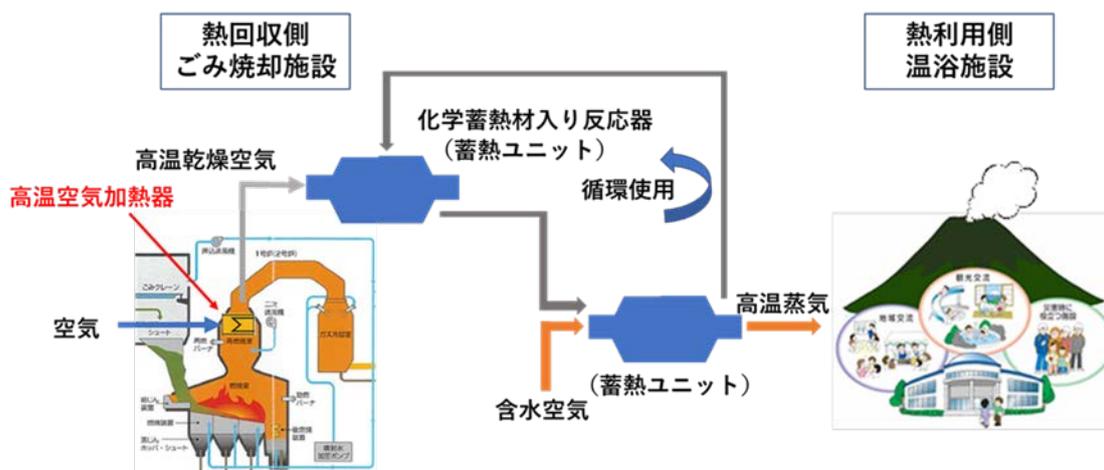


図 2-1 実証実験の流れ

本事業に用いる蓄熱材である酸化マグネシウム系の特徴は、蓄熱材の単位重量・容量当たりの蓄熱量が従来使用されてきた蓄熱材に比べて 2~5 倍大きいこと、自然放熱が起らないこと、原料は海水で国内調達が可能であること等の利点があることから、システム全体としての経済性が高まること、すなわち一度に輸送できる熱量の増大、断熱対策などが不要なため特殊車両が不要なことからコストの低減が図れること、また熱を長期に保管できることから長距離移送も可能なため、地域偏在や季節変動への対応も容易であること、さらには熱の保管により災害等での緊急対応策の一つとしての熱供給も期待される。

従来の蓄熱材との違いを図 2-2 にまとめ、これまでに検討されてきた熱輸送システムについては「5.1. 蓄熱材に関する動向」で述べる。

	化学蓄熱 (提案技術)	吸着系蓄熱材 NEDOニュースリリースより	潜熱蓄熱 (既存技術/事業化)
蓄熱材	Mg系	ゼオライト等	エリスリトール、酢酸Na等
蓄熱量	1GJ/m ³	蓄熱量向上 0.59GJ/m ³	蓄熱量向上 0.20GJ/m ³
利用温度	200~250°C	対応温度の差 80~120°C	60~120°C
熱媒 (安全性)	熱媒油 (第4石油類) の輸送を伴わない (安全性向上)	熱媒油 (第4石油類) の輸送を伴わない (安全性向上)	熱媒油 (第4石油類) の輸送を伴う

図 2-2 Mg 系化学蓄熱材と従来型蓄熱材の相違の概要

内容の出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構「ENEX 2020」開催報告「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」(2020年3月30日) (<https://www.nedo.go.jp/content/100906320.pdf>)

2.3. 事業計画

本事業における課題、各課題に対する最終目標及び令和4年度の目標を図2-3に示す。

	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	各要素技術は、ほぼ確立されているが、全体システムとしては未完	全体システムとして機能することを確認し、経済性をより高める	実証実験設備の設計・一部施工 ・システム設計（R3計画の確認見直し） ・熱回収装置の施工・一部据付 ・放熱設備の設計
1	経済性の向上	蓄熱・放熱および熱移送に係る設備費用及び運転費用が割高	現行の熱エネルギーコストとの競争力を持つ価格帯とする	設備の熱バランスを考慮した最適な設計
2	市場性の確認	類似の熱輸送では湯の供給に留まっている	熱需要先の利用方法に応じた熱供給システムの構築	技術動向の継続的調査
3	実証試験装置の設計・施工	協力企業での運転実績はあるも、運転条件の違いへの対応は不明	各設備の運転条件の違いに対して迅速に対応可能な設計手法の確立	ごみ処理施設及び温浴施設の条件に対応した実証実験設備の設計と施工

図2-3 本事業の課題と解決に向けた方策

2.4. 実施場所

本事業の実証実験は、熱回収と熱利用の各1施設で実施する。具体的には、ごみ焼却施設で排熱を回収し、その回収熱は、温浴施設で利用する。各施設の概要は以下のとおりである。また、各施設の位置を図2-4に示す。

①ごみ処理施設

所在：長崎県南島原市南有馬町戊1751

施設名称：南島原市南有馬クリーンセンター（旧南高南部衛生福祉組合ごみ処理施設）

規模：30 t/16h×2 炉（水噴射方式）

竣工：2000年3月

施工：エスエヌ環境テクノロジー株式会社

②温浴施設

所在：長崎県南島原市加津佐町己3521番地2

施設名称：南島原市加津佐総合福祉センター「希望の里」

所有者：南島原市

灯油使用量：平均 45 リットル/日

位置：ごみ焼却施設から 15.7km（直線距離 9.5km、トラックの走行時間約 23 分、消費燃料は運搬物の重量による、普通の乗用車であれば 1.2L）



図 2-4 実施場所の位置図

地図の出典：国土地理院 電子国土 Web

2.5. 実施体制および実施内容

本事業は、図 2-5 に示すとおり、エスエヌ環境テクノロジー株式会社(以下、SNT と記す。)が代表実施者とし、日立造船株式会社(以下、Hitzと記す。)および株式会社東和テクノロジー(以下、東和と記す。)の 2 社が共同実施者となり、東和は公益財団法人京都高度技術研究所(以下、ASTEMと記す。)を再委託先とした企業群により、実施する。また実証実験を実施する施設は、南島原市よりご提供いただいた。

酸化マグネシウム系を用いた熱輸送は、過去に経済産業省が主導する『戦略的省エネルギー技術革新プログラム』にて、トヨタ自動車、タテホ化学工業、森松工業、日本環境技研等の体制で、実証実験が行われている。当該各企業には、本事業が必要とするノウハウおよび資材、機器の提供を、お願いしているところである。

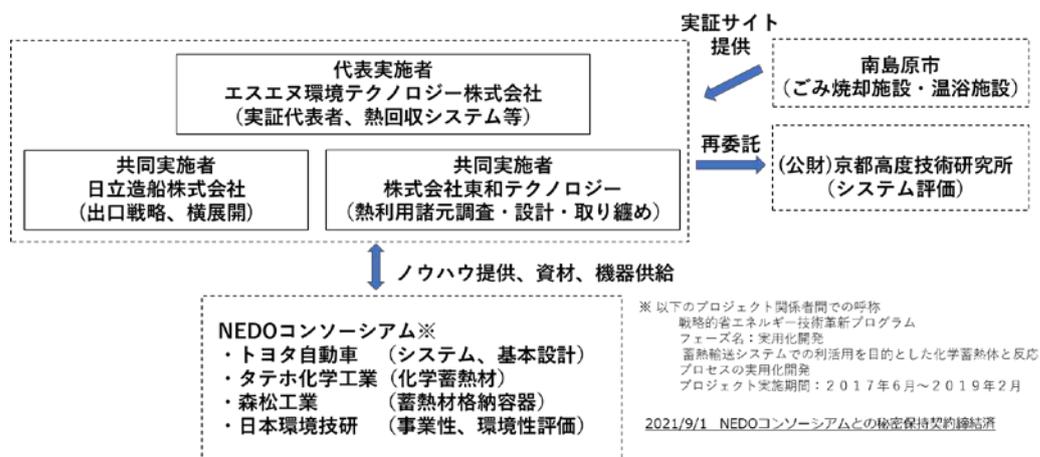


図 2-5 実施体制

次に、本事業における各企業の分担を、図 2-6 に示す。

	業務内容	エスエヌ環境テクノロジー	日立造船	東和テクノロジー	京都高度技術研究所
1	本システムの有効性評価	蓄熱・放熱に係る費用試算		システムモデルの構築	有効性評価について助言指導
2	技術的、制度的な課題の抽出と対策立案	蓄熱・放熱に関わるもの			
3	市場性の調査		大規模焼却施設への適合性検討	中小規模施設の実態調査 熱利用先の実態調査	
4	本システムの実証設備の設計施工	蓄熱・放熱設備の設計施工		放熱設備の概念設計	

図 2-6 各企業の分担

2.6. 実施工程

本事業は、令和 3～5 年度の 3 年間で、図 2-7 に示す工程で実施する予定である。

主なタスク	令和3年度	令和4年度	令和5年度
熱回収システムの設計	■		
熱利用システムの設計	■		
機器の製造、設置		■ 熱回収	■ 熱利用
熱輸送実証設備の運用			■
システム評価	■	■	■
出口戦略・横展開計画	■	■	■

図 2-7 スケジュールの概要

3. 令和3年度 実施結果

3.1. 熱事情調査

・国内15業種での熱投入量の8%程度は排熱として放出されている。

3.2. 実証試験の対象施設の調査

3.2.1. 熱回収施設

表3-1 熱回収施設の概要

施設名称	南島原市南有馬クリーンセンター (南島原市)	
所在地	南島原市南有馬町戊 1751 番地	
竣工年月	平成12年3月	
公称能力	ごみ焼却炉 60t/日 (30t/16h×2 炉) 焼却残渣溶融炉 14t/日 (14t/24h×1 炉)	
処理方式	准連続燃焼式焼却炉+焼却残渣溶融炉	
主要設備概要	受入供給設備	ピットアンドクレーン方式
	燃焼設備	ストーカ式
	ガス冷却設備	水噴射式
	集じん設備	ろ過式集じん器
	灰溶融設備	バーナ式表面溶融方式
運営管理	直営	

3.2.2. 熱利用施設

表3-2 熱利用施設の概要

施設名	南島原市加津佐総合福祉センター
施設概要	社会福祉活動の拠点施設
所在地	〒859-2601 南島原市加津佐町己 3521 番地 2
開館時間	8時30分～22時00分 浴場 11時00分～19時00分
施設名	南島原市加津佐総合福祉センター
施設概要	社会福祉活動の拠点施設
所在地	〒859-2601 南島原市加津佐町己 3521 番地 2
開館時間	8時30分～22時00分 浴場 11時00分～19時00分

3.3. 熱回収・熱利用の市場調査

- ・国内のごみ処理施設は1,082施設（平成30年調査）あり、熱利用が全くされて無い施設が334施設ある。
- ・本事業で計画するごみ焼却施設から半径20km圏内には公共施設79か所あり、熱利用先として期待される。

3.4. 本システムの経済性評価

本システムで熱供給を行ったときの単位熱量当たりのコストを試算した。試算に当たっては、図3-1に示す条件を適用した。即ち、次の5条件を設定し、これを基に単位熱量当たりのコストを算出した結果を、表3-3に示した。

- ①熱回収施設であるごみ焼却施設のごみ処理能力を48t/日(24t/日×2炉)として、この施設全体から一日(24h)当たり67GJの熱を回収する。
- ②回収した熱は、4tトラックにて20km離れた3か所の熱利用施設に輸送する。
- ③熱利用設備の価格は、1セット5千万円で、各3か所に設置するため1億5千万円となる。
- ④蓄熱材の運搬は2GJ用の蓄熱容器34個を準備し、熱利用施設3施設にそれぞれ2~4GJを1回(往復1時間)あたり輸送し、1施設におよそ20GJを送り届ける。
- ⑤輸送車両は4tトラックとし、年間40万円/台のリースとする。

試算結果については表3-4に示すとおり、設備建設費を加えて7.92円/MJとなった。

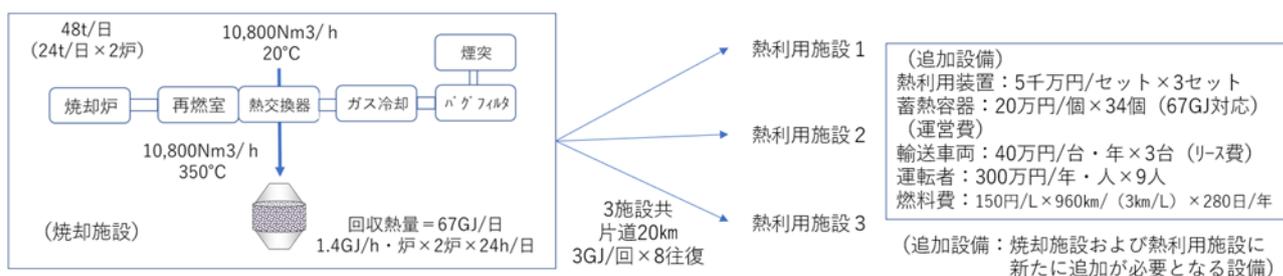


図3-1 熱供給コストの試算条件

表 3-3 コスト試算結果

	費目	単価	個数	費用
設備費	蓄熱容器	20万円/個	34個	680万円
	放熱設備	5,000万円/セット	3セット	15,000万円
合計				15,680万円

	費目	単価	数量	年間費用
運営費	熱回収用電気代	20円/kwh	68Mwh/年	136万円
	熱利用用電気代	20円/kwh	201.6Mwh/年	403万円
	材料費その他			8,040万円
	車両リース費	40万円/台・年	3台	120万円
	運転者費用	300万円/人・年	9人	2,700万円
	燃料費	150円/L	268,800km/年	1,344万円
	メンテナンス費			600万円
合計				13,343万円

表 3-4 熱量当たりの単価

	年間経費項目	年間経費 (円/年)	熱量当たりのコスト (円/MJ)
1	設備費 (10年償却) + 運営費	149,110,000	7.92
2	運営費	133,430,000	7.09

3.5. CO₂削減効果

本システムを 100t/日未満の処理能力を持つ焼却施設に順次適用させた場合での CO₂削減量を図 7 に示した。

2050 年度で 164 施設に設置した場合、年間で約 34 万トンの CO₂削減と試算された。

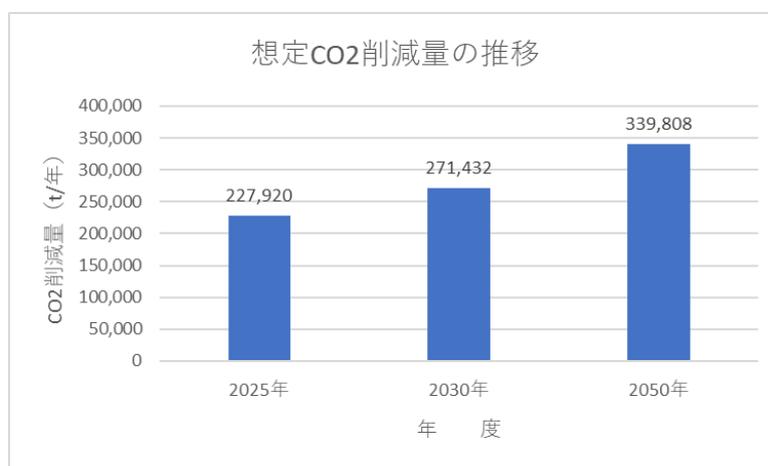


図 3-2 本システムの適用による CO₂削減量の推移

4. 令和4年度 実施内容

4.1. 本システムの実証設備の具体化

昨年度の成果をもとに、次年度以降での本システムの実証実験に向けて必要な準備を行った。具体的には、焼却施設からの高温空気加熱器を含む熱回収設備、回収した熱を化学蓄熱材に吸熱させるための蓄熱装置及び蓄熱された化学蓄熱材から熱を放出させるための放熱装置について以下のとおりに進めた。

4.1.1. 熱回収設備の製作・設置

実証試験に用いる熱回収設備（0.25GJ/日（5時間）の熱回収能力をもつ高温熱交換器の製作を行った。

また、高温熱交換器と接続するための風道とその付帯設備を製作し、焼却施設に据付を行った。

4.1.1.1. 設計基本計画

熱回収設備は、化学蓄熱材（ $MgO/Mg(OH)_2$ ）を充填した反応器と呼ばれる装置と、この反応器内に乾燥した高温の空気を流入させる装置から構成される。

昨年度の計画では、1GJの熱を4日間（8時間/日）で回収できる熱回収設備を計画し、この1GJの熱を放熱設備にて1日（8時間）で放熱させることとした。

本年度の計画では、昨年度の計画を一部変更し、0.25GJの熱を1日（5hr）で回収することとし、この熱を放熱設備側にて1日（8時間）で放熱させる計画とした。

その主な理由は、

①1GJの熱の回収には4日間が必要であり、放熱が1日で終了することから、熱回収と放熱との時間的な差が生じることによる熱回収側での運転員等の無駄が生じること。

②1GJの放熱設備には、約500kgの酸化マグネシウムを充填できる大きさの反応器が必要であり、さらに約60Nm³/minの循環ガス量を送風することのできるブロワなど、全体的に大きな設備が必要となり、予算的な面及び、設備を設置する敷地面積が課題。

昨年度からの変更点を表4-1にまとめた。

表4-1 熱回収量・放出量の変更点

	昨年度計画	本年度計画
熱回収量	1GJ/4日 = 0.25GJ/日（8時間）	0.25GJ/日（5時間、反応器2基/並列同時）
熱利用量	1GJ/日（8時間）反応器1基	0.25GJ/日（8時間、反応器2基/切替）

昨年度は、4日間で1GJを回収する計画としたが、本年度は、1日（5時間）の稼働で0.25GJを回収する計画とした。回収熱量的には4日間の稼働で1GJを回収することとなり昨年度の計画からの違いはない。

この理由は、熱回収のために送風する350℃のガス量を昨年度では400Nm³/hとして計

画したが、本年度では700Nm³/hまで増量できると試算されたことによる効果である。一方、放熱設備に関しての昨年度の計画では、4日間で回収した1GJの熱を1日（8時間）で放熱させるものであった。これを反応器を2基とすることで、1基あたり0.125GJの熱を4時間で放熱させ、反応器を切り替えることにより、さらに0.125GJの熱を4時間放熱させる計画とした。

これにより、1日8時間で0.25GJの熱を放出することとなる。本実証実験では、反応器を2基とするが、反応器をさらに増設させることで、例えば6基とすると24時間連続的な熱の放出も可能となり、放出熱量は0.125GJ/基×6基=0.75GJとなる。

1GJの熱を8時間で放出する昨年度の計画から、0.125GJの熱を4時間で放出する設備とすることにより、酸化マグネシウムの発熱反応に必要な循環ガス流量は昨年度の60Nm³/minから6Nm³/minと10分の1の規模にまで小さくすることができ、設備全体を小さくすることができた。

なお、規模は小さくしたが、ガス流量、ガス温度、電力量等の計測により、実装置の設計に必要なデータを得ることができる。

本年度の計画では、放熱設備の構成として0.125GJの熱を放熱する反応器を2基並列に並べ、バルブの切り替えにより片方の反応器のみに循環ガスを4時間流通させ、反応終了後にバルブを切り替えて、残りの反応器を4時間放熱させ、合わせて8時間の放熱とする計画とした。

これにより、循環ガス量は6Nm³/minとなり、放熱設備の小型化が可能となった。熱回収設備の能力としては、0.25GJ/日であり、昨年度計画の1GJ/4日と同条件となる。

4.1.1.2. 熱回収装置の設計

熱回収装置のシステムフローを図4-1に示す。

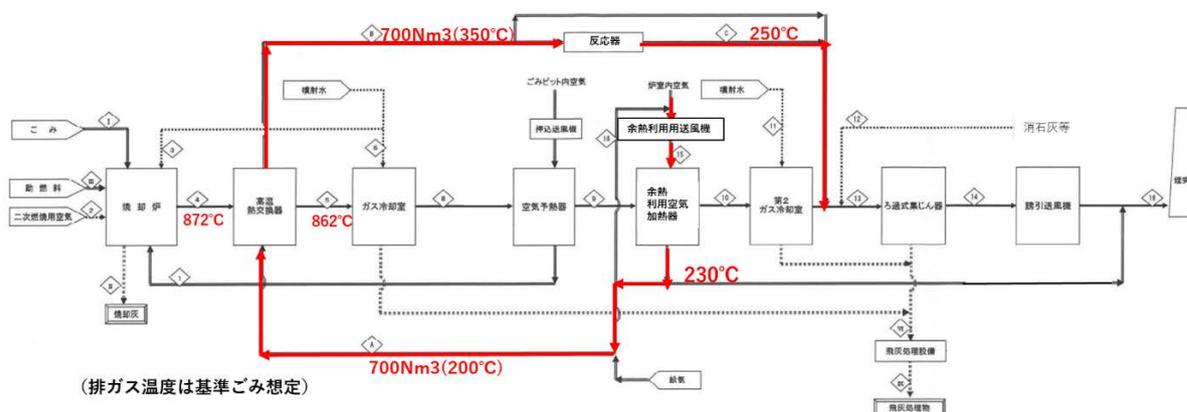


図4-1 熱回収装置のシステムフロー

本実証試験では、上記のとおり、1日5時間で0.25GJの熱の回収を計画しており、このためには酸化マグネシウム(MgO)は以下のとおり約125kg必要となる。

MgO 発熱量： $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \Delta\text{H}$ (81.0kJ/mol)

0.25GJ=250,000kJ

0.25GJ 発熱させるために必要な MgO 量=250,000kJ/81kJ/mol=3,086mol

MgO モル分子量=40.3g

3,086mol の MgO 重量=40.3g/mol×3,086mol=124.4 kg

この酸化マグネシウムは放熱設備にて水と反応し水酸化マグネシウム(Mg(OH)₂)となるため、重量は181kgとなる。

この水酸化マグネシウムの脱水反応には、これまでの実験結果より350℃の空気を700Nm³/hr 送り込む必要がある。

ごみ焼却施設にての燃焼排ガス温度は850℃程度以上となることから、この燃焼排ガスを直接使用できれば良いが、燃焼排ガスには塩酸、硫化水素さらには重金属などの有害物質が含まれており、さらには水分や炭酸ガスも含まれていることから、水酸化マグネシウム(Mg(OH)₂)の脱水反応を効率的に起こさせることが難しく、燃焼ガスを直接使用することはできない。

このため、実証実験に必要な350℃の清浄な空気を700m³/hr ごみ焼却施設内で新たに作り出す必要がある。

このため、本計画では既設ごみ焼却炉での燃焼排ガスを「ろ過式集じん器」に流通させる前段階に設置された「ガス減温器」により約230℃に加熱された清浄な空気の一部を取り出し、ダンパ制御により約200℃に調整した清浄空気を焼却炉上部の「再燃焼室」に本事業により新たに設置する「高温熱交換器」に流通させる。

この「高温熱交換器」の出口ガス温度が約350～360℃となるように計画した。

「高温空気加熱器」の計画図を図4-2に示した。

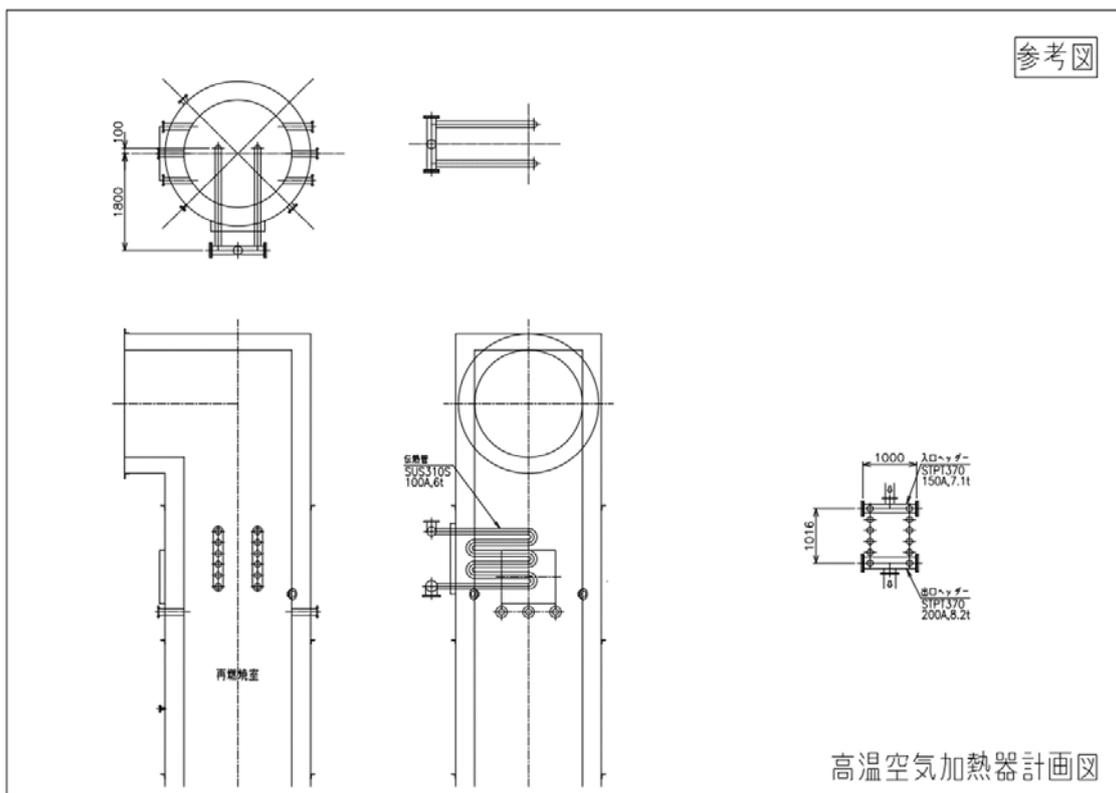


図 4-2 高温空気加熱器計画図

「高温空気加熱器」の設計諸元を表 4-2 に示した。

表 4-2 高温空気加熱器の設計諸元

諸元	仕様
型式	耐火被覆チューブ型
	管外ガス/管内空気
設計温度	排ガス： 850～950℃ 空気： 350～370℃
設計流量	排ガス： 12,600Nm ³ /hr 空気： 700Nm ³ /hr
材質等	伝熱部： SUS310S 100A t=6 mm

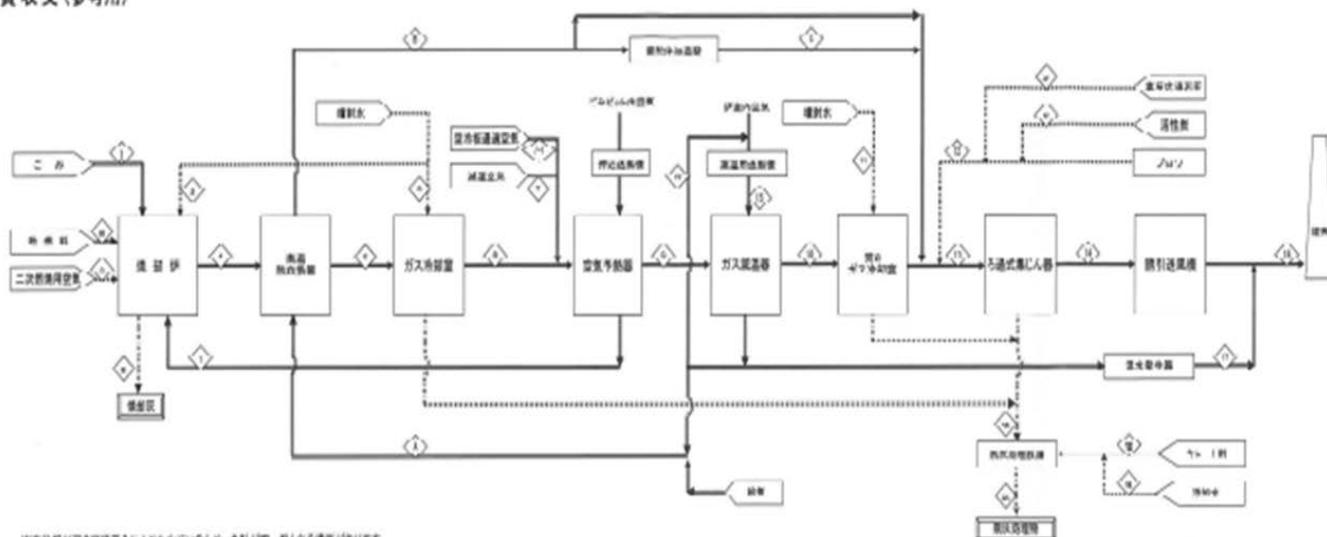
「高温熱交換器」を出た 350℃・700Nm³/hr の高温空気は、「反応器」に流入し、反応器内に充填された水酸化マグネシウムの脱水反応に使用され、酸化マグネシウムへと変化し蓄熱を行う。

蓄熱のために反応器に流入した空気は、蓄熱により減温されたのち反応器を出る。この空気は、昨年度の計画では外気に直接放出することを計画したが、空気温度は 250℃と高温であること、また、水酸化マグネシウムあるいは酸化マグネシウムなどの微粉末が混入していることも考えられることから、本計画では以下のとおりとした。

反応器にて水酸化マグネシウムの脱水反応のため熱を奪われた空気は、約 250℃まで減温され、この空気は、既設ごみ焼却炉の「第 2 ガス冷却室」の出口へ戻し、「ろ過式集じん器」を通過したのちに「煙突」より排出する。
通常、「ろ過式集じん器」には 170℃の燃焼排ガスが 10,000~20,000Nm³/hr で流入しており、本実証実験では化学蓄熱材にて蓄熱により、250℃の空気が流入するが、その空気量は 700Nm³/hr(dry)と少量のため、「ろ過式集じん器」への影響はない。

図 4-3 には熱回収設備での物質収支を示した。
図 4-4 には熱回収設備の概略フローを示し、図以降の図は、ごみ焼却施設の各フロアでの熱回収設備の配管等の配置を示した。

物質収支(参考用)



※換気扇以下は排煙室にパルペーターにて入れ、直引方式。熱交換機は取り出す

	原料数量 (単位:kg)		ごみ (kg)		焼却灰 (kg)		灰化炉 (kg)		活性炭 (kg)		揮発物 (kg)		燃焼排ガス (Nm ³)		二次燃焼排ガス (Nm ³)		燃焼室冷却水 (kg)		燃焼室冷却水 (kg)		燃焼室冷却水 (kg)		燃焼室冷却水 (kg)		燃焼室冷却水 (kg)		燃焼室冷却水 (kg)	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
高 速	10,048	3.430	3,183	243.81	0.00	16.78	1.00	48.40	14.54	2.42	65.42	10,426	100	5,341	20	0	10	17,587	830	17,587	884	330	200	790	308	772	250	
燃 焼	7,110	1,790	2,140	166.47	0.04	12.71	8.74	24.48	13.34	1.70	46.55	7,718	100	2,960	30	0	10	12,040	935	12,040	649	330	391	391	518	713	561	
燃 費	2,190	900	2,182	91.64	0.04	1.85	8.89	28.29	9.90	1.91	21.20	4,294	200	4	20	0	10	6,787	660	6,787	647	700	200	790	310	778	230	

燃焼室冷却水																													
kg/hr	%	kg/hr	%																										
1,087	16	0	0	0	0	31,684	444	51,606	238	51,606	350	1,910	16	180	30	58,168	170	58,168	165	18,900	30	0	0	18,300	230	40,475	185		
1,138	12	0	0	0	0	15,080	490	15,908	430	15,908	250	308	10	180	20	17,300	170	17,300	168	16,170	30	0	0	13,670	230	30,040	184		
845	15	0	0	0	0	1,819	582	1,819	480	1,819	230	42	10	180	20	9,000	110	9,000	100	11,800	20	0	0	10,701	230	20,000	184		

図 4-3 熱回収設備マスバランス

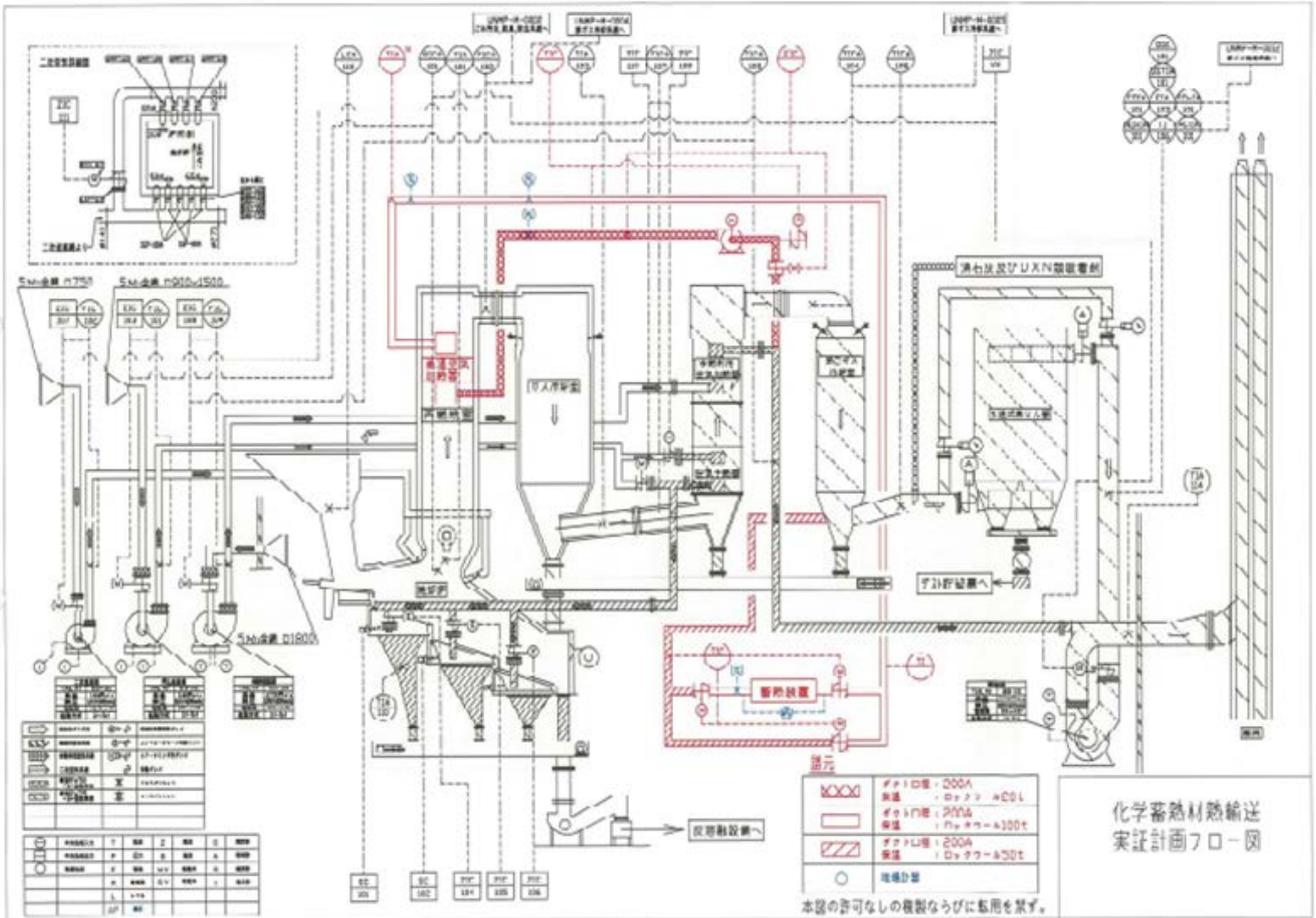


図 4-4 熱回収設備概略フロー

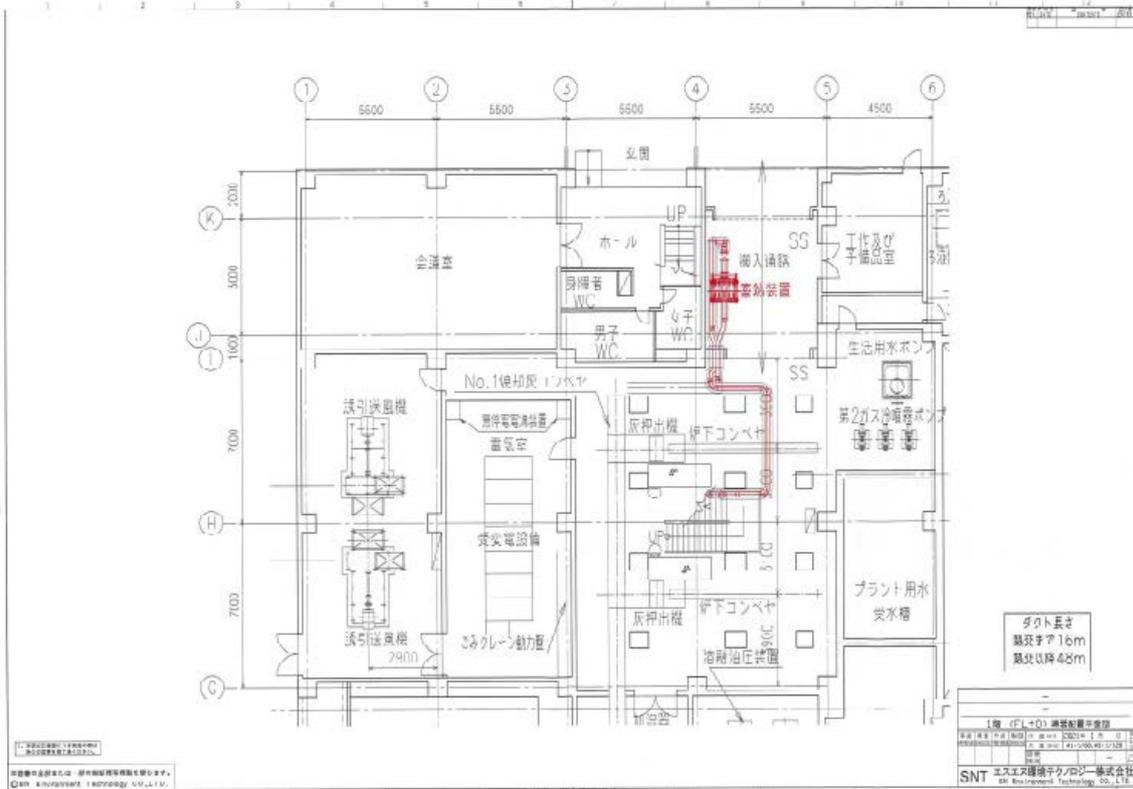


図 4-5 熱回収設備配置図 (1階 FL+0)

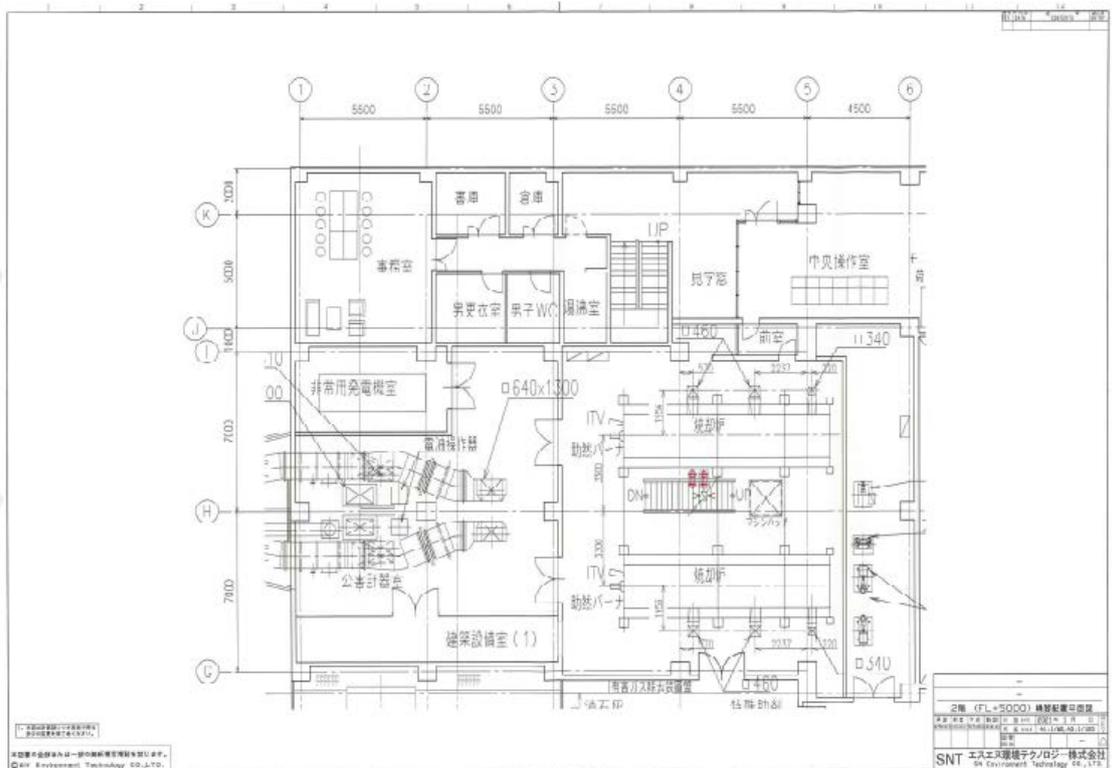


図 4-6 熱回収設備配置図 (2階 FL+5000)

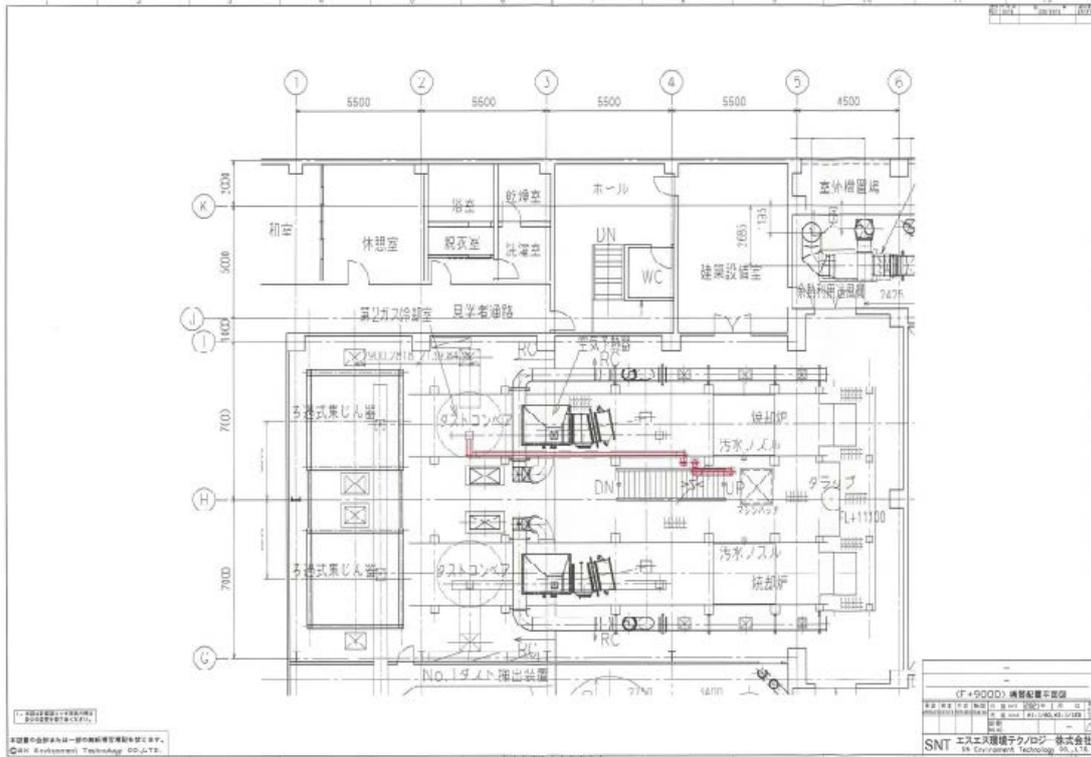


図 4-7 熱回収設備配置図 (FL+9000)

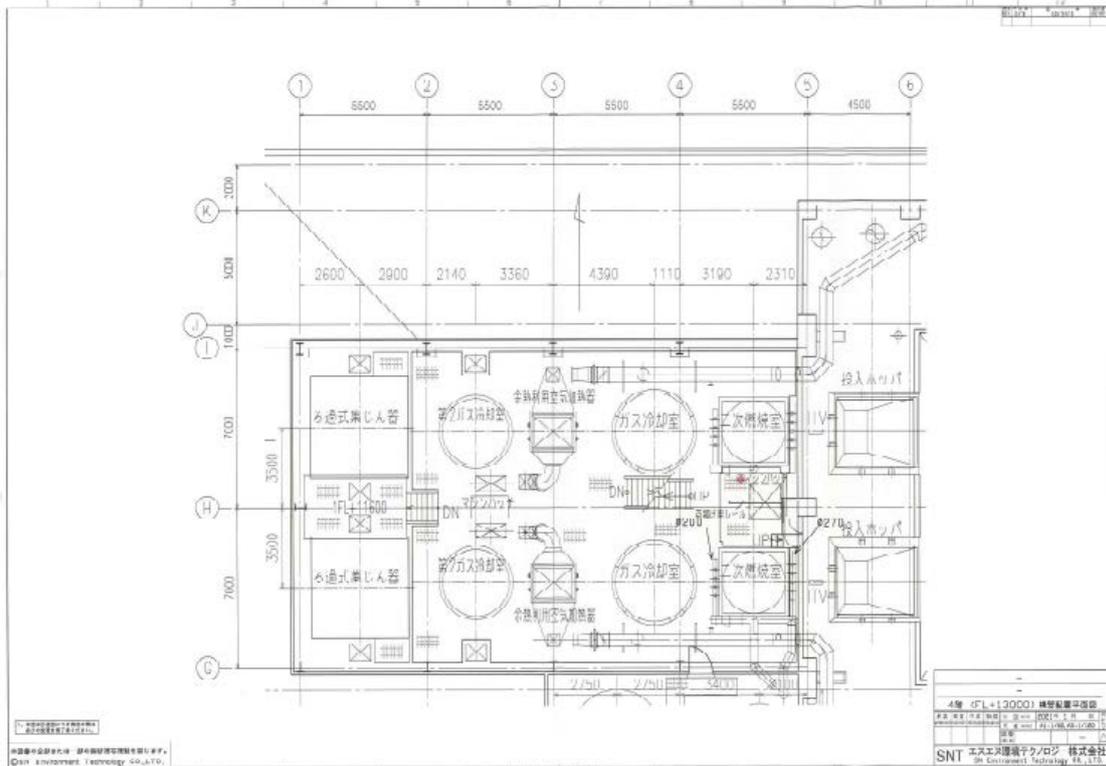


図 4-8 熱回収設備配置図 (4 階 FL+12000)

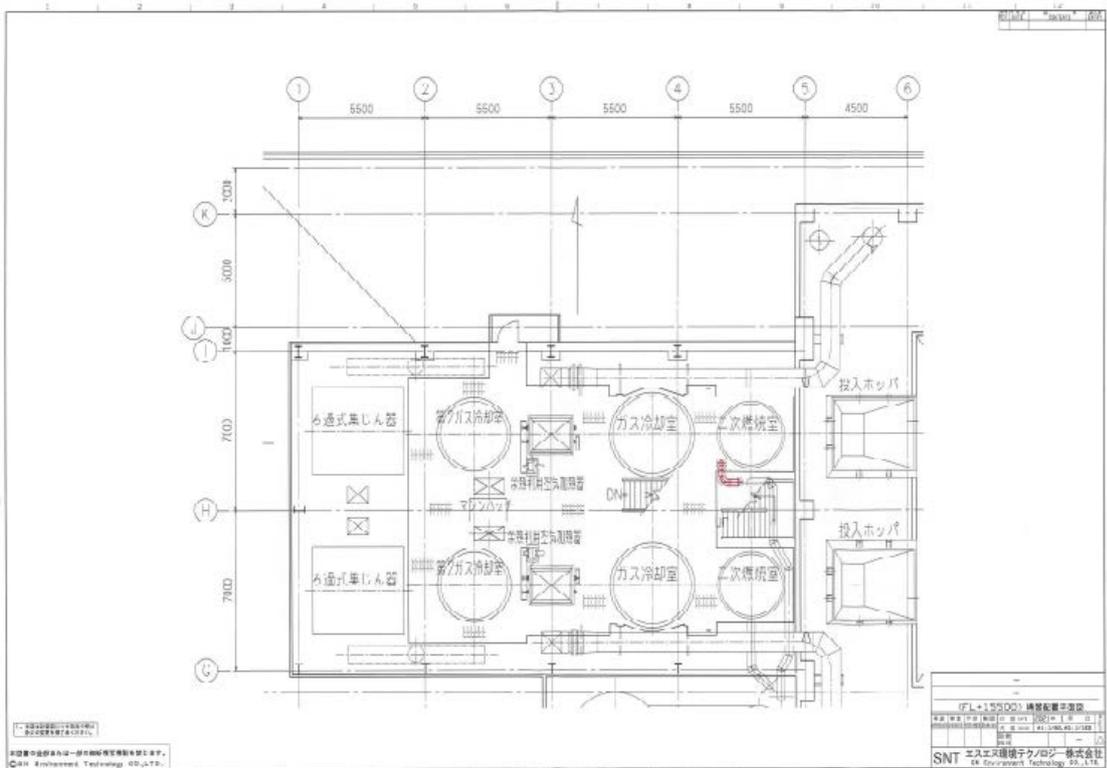


図 4-9 熱回収設備配置図 (FL+1550)

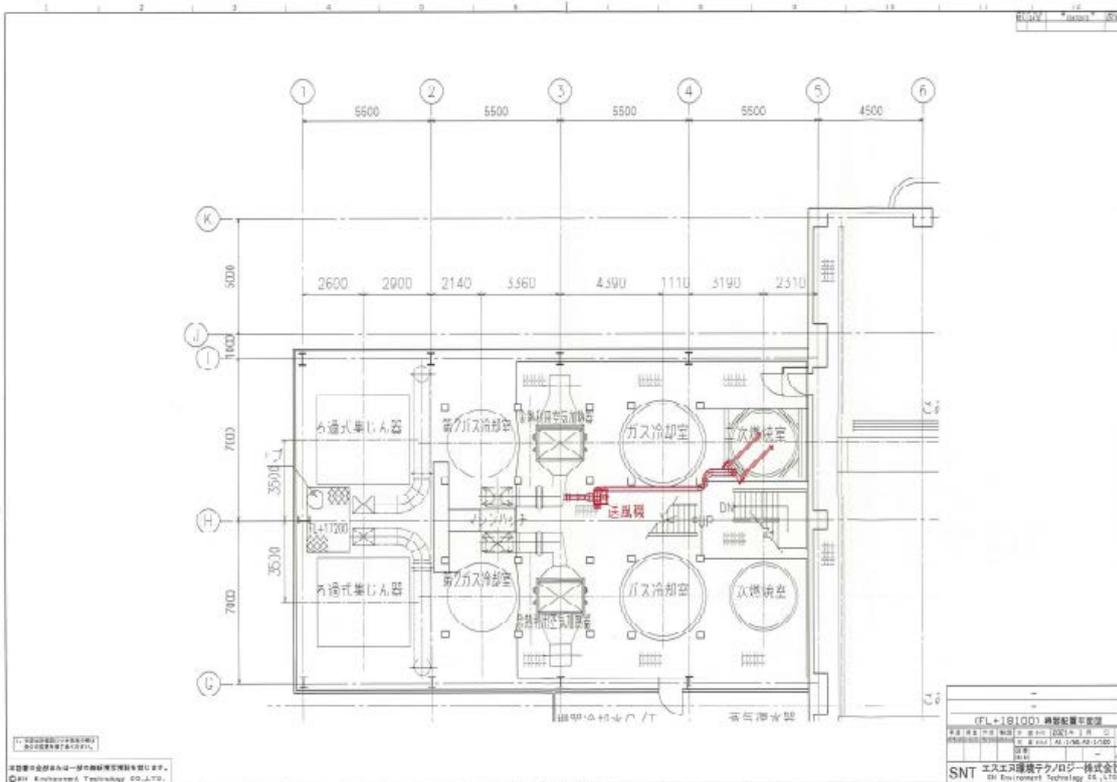


図 4-10 熱回収設備配置図 (FL+1810)

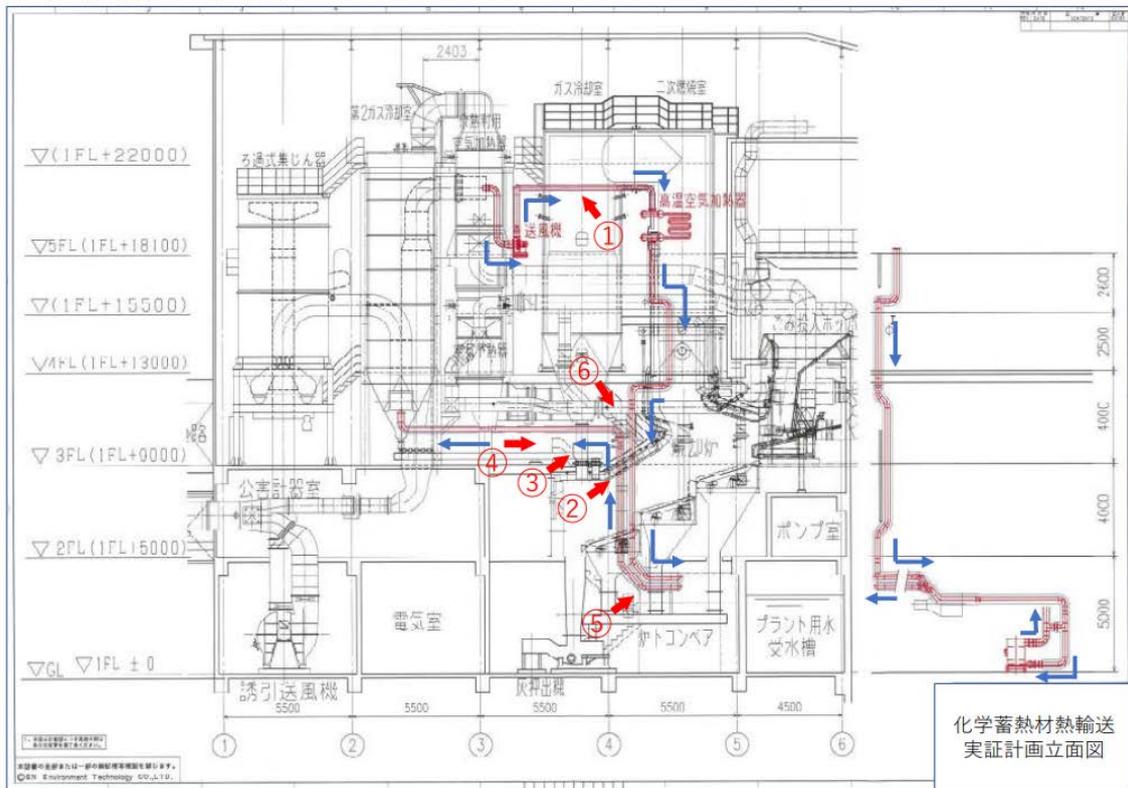


图 4-12 熱回収設備配管写真撮影位置図



①

南有馬クリーンセンター

ダクト

高温熱交換器～送風機



②

南有馬クリーンセンター

ダクト

2F～3F



③

南有馬クリーンセンター

ダクト

3F 第2 ガス冷却室手前



④

南有馬クリーンセンター

ダクト

3F 第2 ガス冷却室手前



⑤

南有馬クリーンセンター

ダクト

1F~2F



⑥

南有馬クリーンセンター

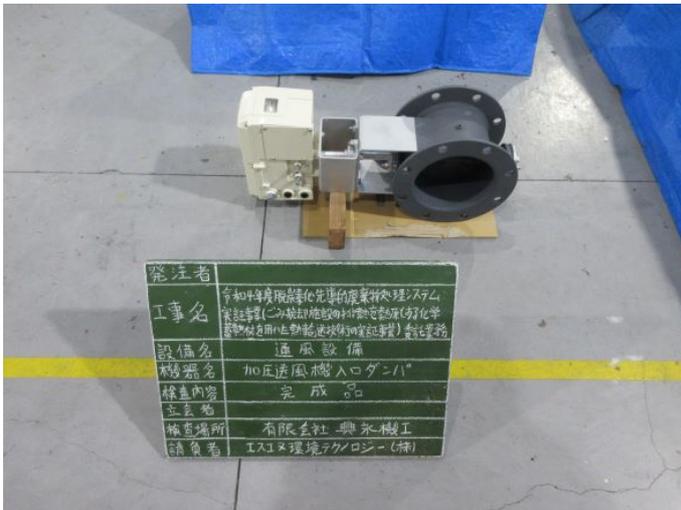
ダクト

3F~4F



ダンパ

バイパスダンパ



ダンパ

加圧送風機入口ダンパ



ダンパ

加圧送風機入口

給気ダンパ



ダンパ

実証装置出口ダンパ



ダンパ

実証装置入口ダンパ



伸縮継手

全4基



温度計

全 2 基



圧力計

4.1.2. 放熱装置の設計

0.125GJの熱量を放熱する反応器を2基並列で備え、反応器を1基毎各4時間運転することにより、1日（8時間）当たり0.25GJの熱を放熱する装置を設計した。

4.1.2.1. 放熱装置の設計基本計画

放熱装置は、化学蓄熱材が充填された「反応器（2基）」と、この「反応器」に水分を含んだ空気を流通させる「ブロワ」、空気に水分を含ませるための「蒸気ボイラ」、反応器内での水との反応による発熱で高温（約200℃）となったガスにより水を加熱させる「熱交換器」および反応器に流通させるガスを高温とするための「ヒータ」により構成される。高温の空気で加熱した温水（約40℃）は貯湯槽にて貯槽し、温浴施設への供給を行う。

昨年度の計画では、「反応器」は1基で1GJの熱を1日（8時間）で放出できる装置を計画した。

一方、熱回収設備は4日間で1GJを回収するため、熱放出設備との不整合さによる時間的なロスが懸念され、また、反応器1基当たり1GJの熱を放出させるために必要となるガス量が60Nm³/minとなることや、反応器に充填する酸化マグネシウムの量が500kgとなることなど、大きな放熱装置が必要となる。

実証実験での予算上の問題に加え、実験場所の敷地の大きさも課題となることから、本計画では、1日（8時間）当たりの放熱量を0.25GJとし、反応器を2基並列とすることで、1基当たりの放熱量を0.125GJとした。これにより、ガス流量を約6Nm³/minと抑えた小型の装置となる。

放熱設備の系統図を図4-13に示し、放熱設備の概略フローを図4-14に示した。

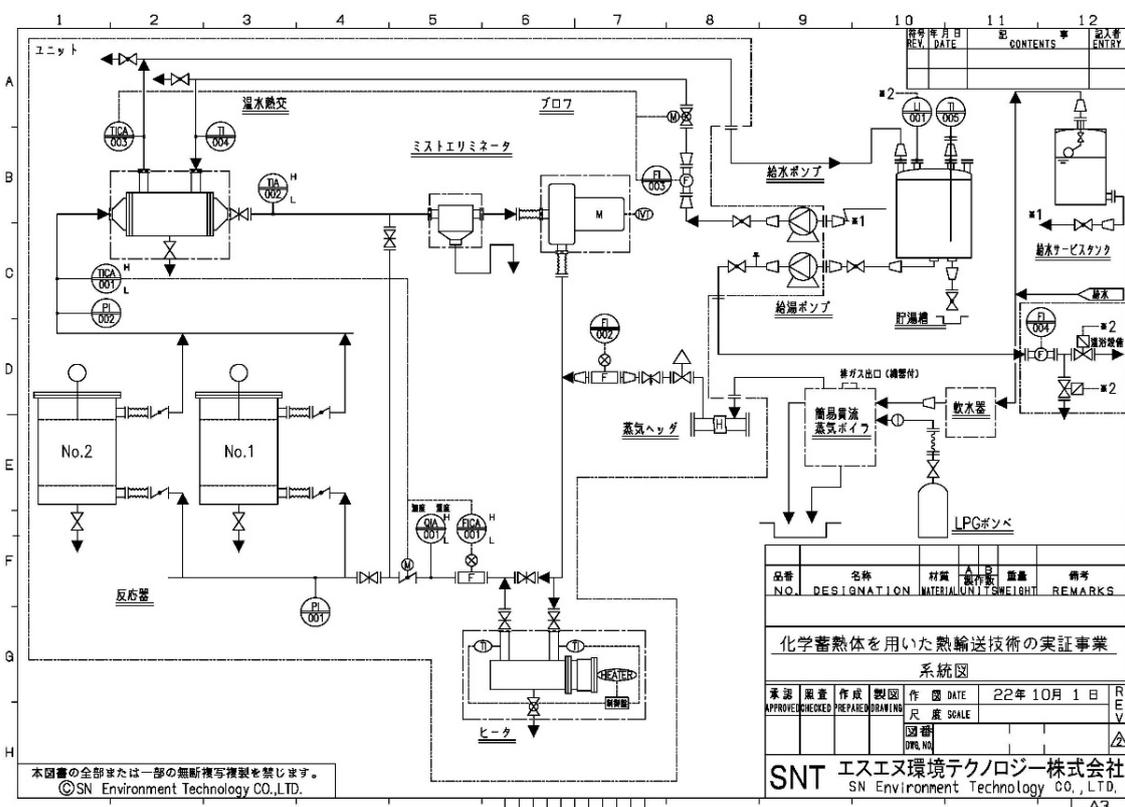


図4-13 放熱設備系統図

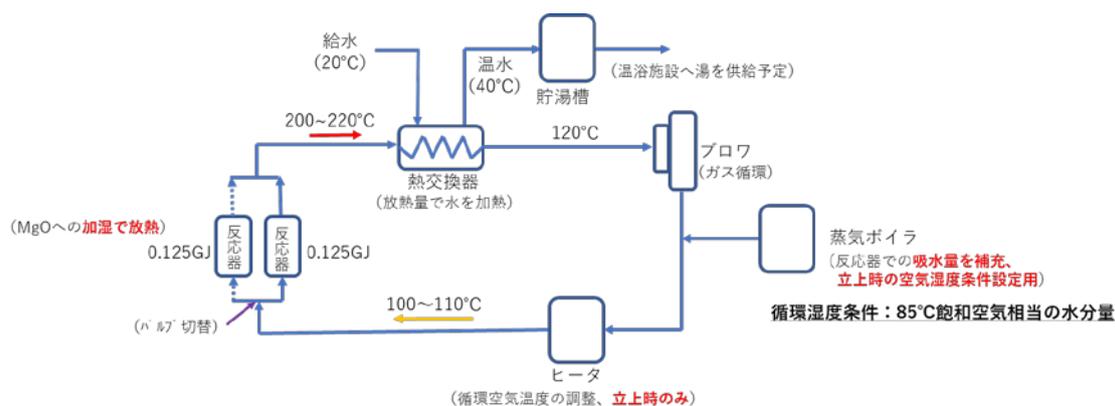


図 4-14 放熱設備の概略フロー図

放熱設備のフローは、以下のとおりである。

加湿空気を循環させたクローズドシステムとなっている。今回使用する化学蓄熱材は、適正な空気の温度かつ湿度条件下において、効率よく発熱（水和）反応するため、温度、湿度の管理に注意を払う必要がある。

まず、循環空気中の水分量として 85℃の飽和空気に含まれる水蒸気相当量を添加する必要がある。循環する空気に加湿を行う方法は、バブリング装置や直接水噴霧などがあるが、今回は、コンパクト化と加湿の安定性等を考慮して「蒸気ボイラ」による加湿方式を採用した。熱源としては、地方において供給しやすいプロパンガスを用いている。この蒸気ボイラは、立上時に循環空気の湿度を設定するために用いた後、化学蓄熱材が放熱の際に循環空気中の水分を吸収するため、その水分量の補充のために用いられる。

なお、水蒸気は、放熱設備を活用する施設がすでに保有する低圧蒸気の一部を活用したり、将来、再生可能エネルギー由来の熱源を用いた発生装置で代用することが可能である。

化学蓄熱材の充填された「反応器」へ送られた加湿空気は、「反応器」の内部で水蒸気と酸化マグネシウムとの水和反応による発熱により加湿空気を加熱する。なお、今回の化学蓄熱材は、85℃以上かつ適正な湿度の加湿空気で行う水和反応を起こすが、循環系内における結露防止とできる限り反応熱の回収量を得るために 100～110℃の程度の温度を循環温度とすることとしている。

反応により加湿空気は、「反応器」出口で 200～220℃まで加熱され、その後段にある「熱交換器」にて、「給水ポンプ」により給水（0.5m³/h）した水（20℃）との熱交換が行われ、水は「温水熱交」の出口で約 40℃の温水となり、「貯湯槽」（容量：2m³）に貯蔵する。「貯湯槽」に貯蔵された温水は、「給湯ポンプ」により温浴施設に給湯される。

給水は「水道水」を用いており、一旦「給水サービスタンク」に貯められ、「蒸気ボイラ」も同じく使用している。

「熱交換器」出口で温水が回収された加湿空気は 120℃となり、「ブロワ」によって加圧され、ふたたび、加湿、反応、熱回収へと送気される。

なお、フローにある「ヒータ」は、冷間時の立上時に使用するが、反応が開始し、「反応器」出口の温度が上昇し、定常運転に入ると停止させる。

実証にて計画している反応器ならび熱交換器での熱物収支の概略は以下のとおりである。

	単位	反応器		熱交換器		
		入口	出口	出口 (空気)	入口 (水)	出口 (温水)
流量	Nm ³ /h or l/h	372	360	360	500	500
温度	℃	100	220	120	20	44
熱量	MJ/h	500	530	478	42	91
	kw	139	147	133	11	25
発生熱量 or 熱回収量	kw	-	8	-	-	14

温度、流量等の数値は、設定値であり厳密な数値を示しているものではない。

放熱設備での定常運転時のエネルギー収支は表 4-4 に示す。

この系への入力エネルギーは、蒸気ボイラ (7kW)、ブロワ (2.5kW)、温水ポンプ (0.5kW)、計器類 (0.05kW) の合計 10.05kW となる。

一方、出力エネルギーは、熱交換器の温水による熱回収量 14kW から系内熱損失 (1kW) が差し引かれ、合計 13kW となり、差し引きの 3kW が放熱設備による獲得熱量と期待される。

なお、出力は、入力に対して約 3 割のエネルギーゲインになる。

また、蒸気ボイラによる投入エネルギーに対して、2 倍の熱エネルギーを得ていることになる。

表 4-4 エネルギー収支

エネルギー収支		kW
入力	蒸気ボイラ	7
	ブロワ	2.5
	温水ポンプ	0.5
	計器類	0.05
	入力合計	10.05
出力	温水回収	14
	系内熱損失	▲1
	出力合計	13
獲得熱量		3
出力/入力		1.29
温水回収/蒸気ボイラ入熱		2

次頁以降に、計画中の放熱設備外形図、全体配置図（平面図）、全体配置図（側面図）を示す。

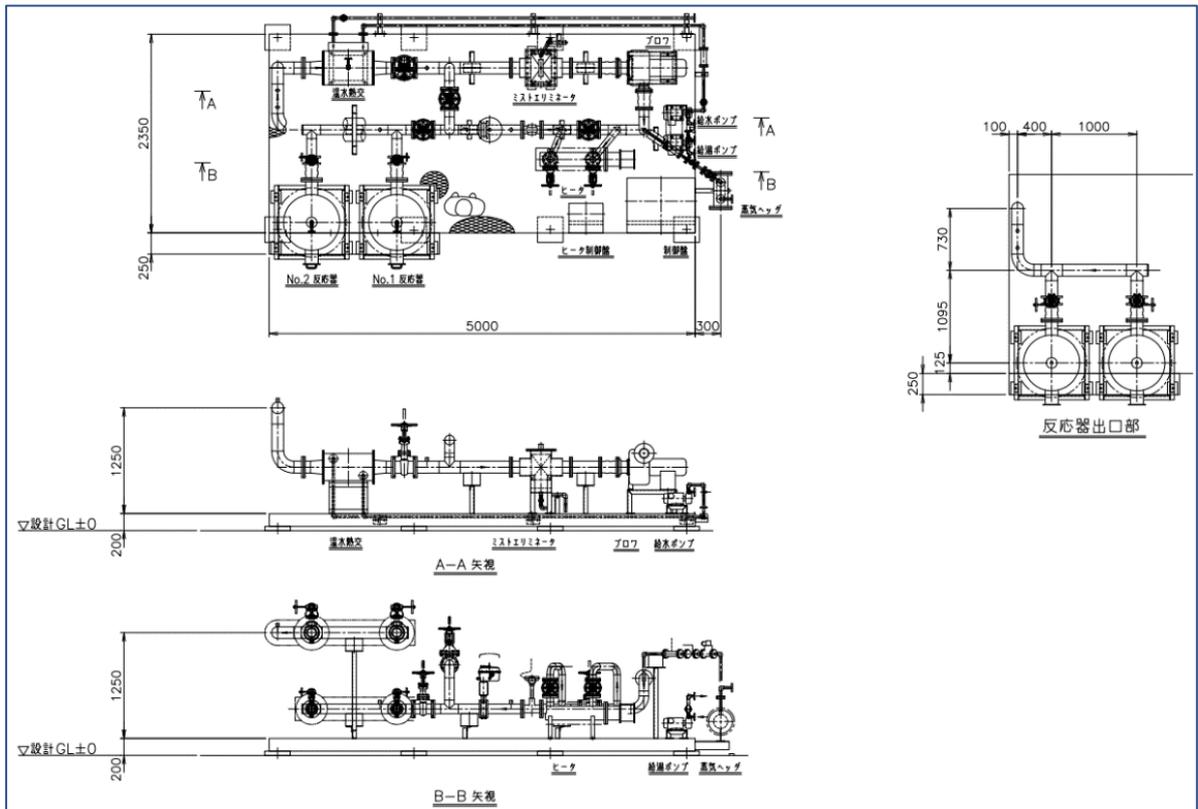


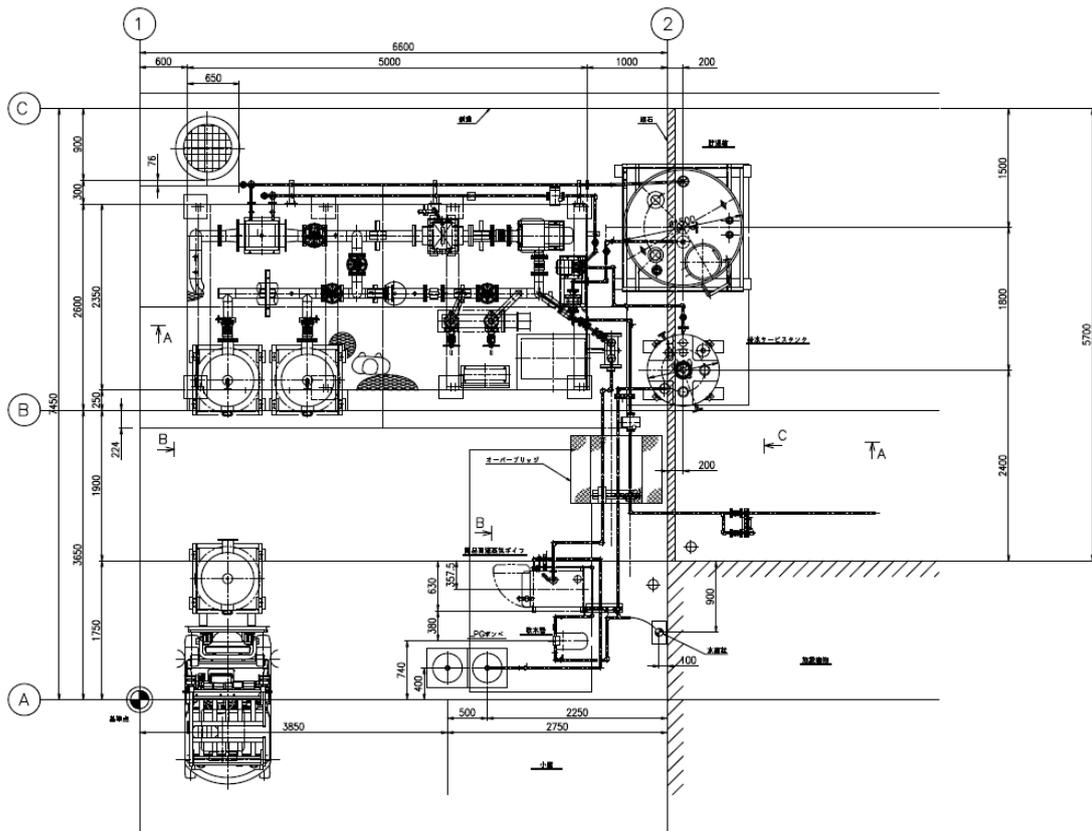
図 4-16 放熱設備外形図

放熱設備本体は、蒸気ボイラ及び給水サービスタンクと貯湯槽などの付属機器を除くと上記のようになっている。2,350mm×5,000mmの共通台盤に設備を搭載している。今回の設備は、0.25GJ/8hとなっているので、0.75GJ/日の設備能力になる。

将来的には、放熱能力の最適化を図った上で、反応槽などの脱着部分を共通台盤から分離し、20フィートコンテナなどへの搭載も検討できる。

ISOで規定された20フィートコンテナの規格は、参考まで以下のとおり。

外寸長さ	6,058mm	幅	2,438mm	高さ	2,591mm
最小内寸長さ	5,867mm	幅	2,330mm	高さ	2,350mm
最大総重量	30,480kg				



4-17 放熱設備全体配置図（平面図）

放熱設備の全体配置としては、今回、熱利用先の「加津佐総合福祉センター希望の里」の建物脇に設置し、放熱設備の雨除け対策として、仮設テントを設置している。

仮設テントの下には、蒸気ボイラとその熱源であるプロパンガスボンベを設置し、図のA通りの部分にカーテンウォールにて、仕切りを設けることとしている。

なお、反応器の出し入れは、図視で示すと、上下に、フォークリフトにて移動させる。

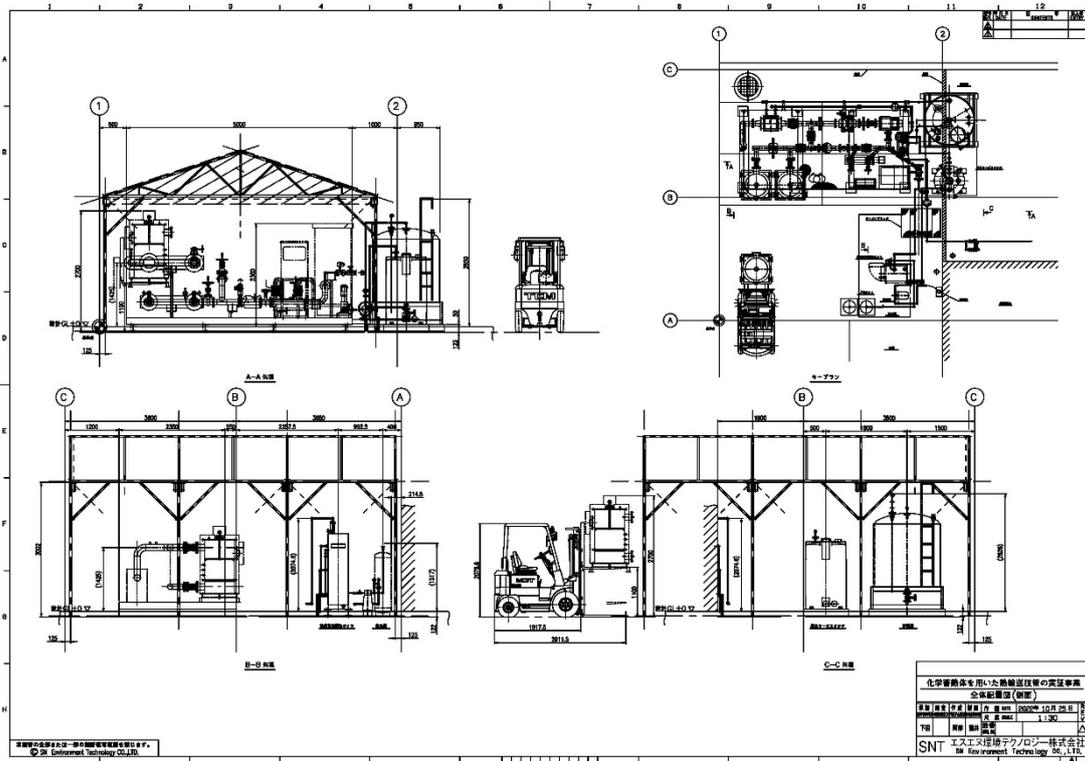


図 4-18 放熱設備全体配置図 (側面図)

図 4-19 に放熱設備の設置場所である「総合福祉センター希望の里」の敷地図面及び航空写真を示す。



図 4-19 温浴施設の平面図および放熱設備の設置予定位置



総合福祉センター希望の里

放熱設備設置予定地

(A方向より)



総合福祉センター希望の里

放熱設備設置予定地

(B方向より)



総合福祉センター希望の里

放熱設備設置予定地

(C方向より)

反応器の搬送

焼却施設にて蓄熱した2基の反応器をフォークリフトにてトラック（2～4t）に載せ、温浴施設まで運搬する。

走行ルートを図4-20に示す。

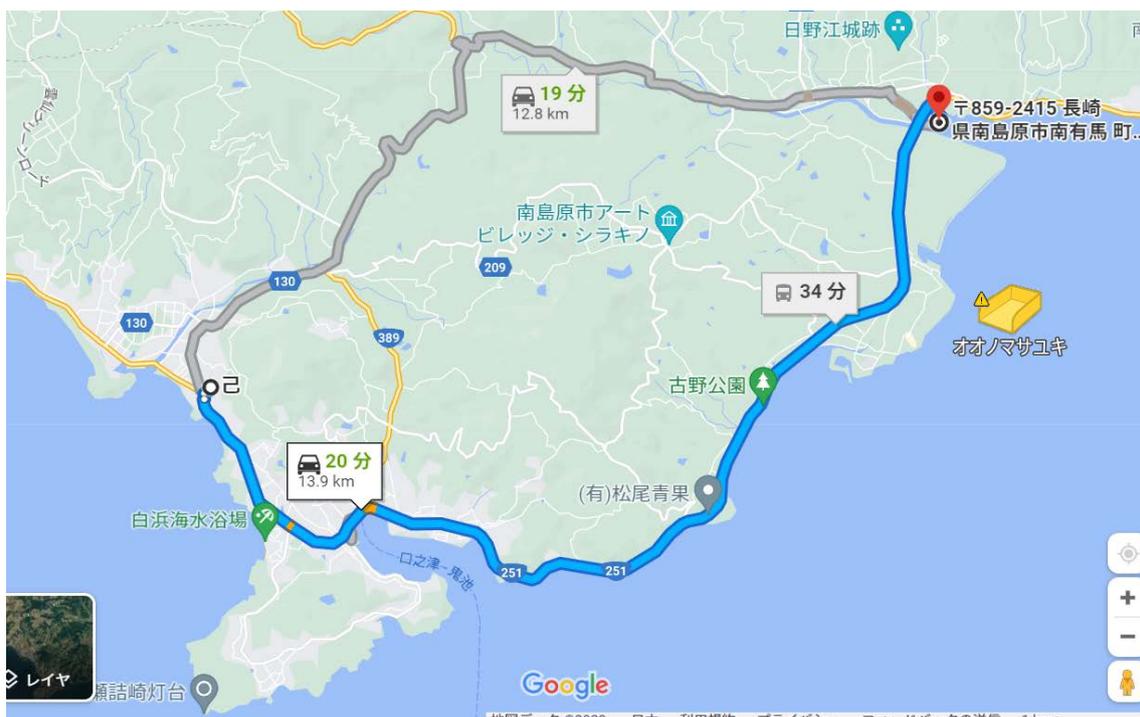


図4-20 反応器の運搬ルート

車で約20分の距離に、ごみ焼却施設と温浴施設は立地している。

まず、反応器は、ごみ焼却施設にある蓄熱設備にて、蓄熱反応をさせたのち、温浴施設にある放熱設備へとトラックで搬送される。

放熱設備にて、放熱反応をさせ熱回収が終了した反応器は、ごみ焼却施設へ搬送され、蓄熱設備へ接続される。この1連の操作は、2日で行う計画となっており、ごみ焼却施設の操業日（月～金）に合わせて、繰り返す。

詳細の工程、および実験スケジュール等の作成は次年度に行う。

4.1.3. 本実証設備の有効性

本年度は、昨年度の成果をもとに、いよいよ実証試験設備の具体的な設計・製作に着手した。実証試験設備は、設置を計画している既存の施設の中に安全に、かつその施設の操業・運営を阻害することなく設置・運転され、実機（商用機）設計に必要なデータを得られなければならない。

このセクションでは4.1.1.および4.1.2に記載の設計計画を振り返り、本実証設備が、より有効に機能するための検討を行った。

4.1.3.1. 実証試験設備規模の変更の影響

当初、実証試験設備は1GJの熱の回収・蓄熱とその利用・放熱を計画していた。1GJの熱を蓄放熱するにはおよそ500kgのMgOを充填した反応器が必要となる。熱回収設備を設置する廃棄物処理施設（30t/16h×2炉の焼却炉）では、蓄熱に350℃の熱風400Nm³/hを用いて4日間（8時間/日×4日）を要する。また、熱利用側の温浴施設（8h営業で毎月1000人程度が利用。約10m³の浴槽のお湯はりだけで0.9GJ程度必要）においては、反応器に60Nm³/minの循環ガスを流しても1GJの放熱に1日（8時間/日×1日）かかる。このため、当初計画では一連の蓄放熱の実証に5日かかり、熱利用（放熱）設備では蓄熱のための待ち時間が発生してしまう。

今年度の設計の見直しにおいて、1日の蓄熱量と放熱量を整合させることを検討した。まず、ごみ処理性能を落とすことなく、熱回収のための送風量を400Nm³/hから700Nm³/hに増量できることが判明し、0.125GJの蓄放熱が可能な反応器2基を並列に設置して同時に5時間/日×1日で0.25GJの熱回収が可能となった。これは1日当たりの熱回収能力としては当初計画と同じである。また、0.25GJの蓄放熱に必要なMgO量は1/4になり、さらにこれを2基で分担するため反応器をコンパクトにでき、取り回しが楽になると考えられる。

一方、放熱（熱利用）設備では、2基の反応器を1基ずつ運転（4時間/基×2基=8時間）することで、1日で蓄熱した0.25GJの熱を1日で放熱する。これにより蓄放熱の日数のアンバランスがなくなり、放熱のための循環ガス流量も約1/10で済むため、ブロワを小さくすることができる。反応器を2基としたことで放熱設備はもとより、実証設備全体をコンパクトで効率的なものにすることが可能となる。

また、コンパクトな複数の反応器による熱輸送は、基数の調整により様々な熱量を必要とする複数施設への熱輸送への展開をしやすいと考えられる。今回、2基の同時蓄熱と1基ずつの切り替え放熱の両方を実証することで、必要に応じて反応器を増設した場合の装置や、連続運転方法の設計も可能になると期待される。

設備規模は小さくとも、ガス流量、ガス温度、消費電力等を計測し、物熱収支を得ることで今回の設計の検証を行い、実機（商用機）の設計が可能となる。

4.1.3.2. 既存施設の操業・運営への影響

本実証設備では、蓄熱用の通風に燃焼排ガスではなく清浄な空気を用いる。

既設の「余熱利用空気加熱器」により加熱された清浄な空気の一部を、焼却炉上部の「再燃焼室」に新たに設置する「高温熱交換器」に通し、350～360℃の高温空気を得る。この高温空気を700Nm³/hの流量で「反応器」に流し蓄熱する。

当初は、反応器を出た空気は直接大気に放出する計画であったが、今の計画では「ろ過式集じん器」の前に戻される。この空気の温度は反応器を出た後で250℃程度であるが、燃焼排ガスの5%ほどの流量しかなく、合流した燃焼排ガスの温度上昇は2℃未満である。したがって「ろ過式集じん器」の性能への影響はないことが、図4-3の物質収支からも確認できる。また、蓄熱材と直接接触することにより、その微粉末が万一混入していたとしても「ろ過式集じん器」によって取り除くことができる。

図4-5～4-12に示したように、焼却炉操業時の人の動線等にもほとんど影響がないコンパクトな蓄熱設備の設計になっている。

熱利用施設に設置する放熱設備は、蓄熱材が充填された「反応器（2基）」と、この「反応器」に水分を含んだ空気を送るための「ブロワ」、空気を加湿するための「蒸気ボイラ」、蓄熱材からの放熱で高温となった空気により水を加熱する「熱交換器」および立ち上げ時に反応器に流す空気を高温とするための「ヒータ」により構成される。

放熱設備では蓄熱されたMgOの水和（発熱）反応で熱を放出するため、反応器に流す空気の温度と湿度を安定して一定に保つ必要がある。その加湿の安定性を保ち、かつ小型の装置として「蒸気ボイラ」を採用している。また表4-4にあるように、定常運転時には、入力に対して出力が約3割のエネルギーゲインになることをエネルギー収支から確認している。

今回の設計で、放熱設備も図4-16～4-18に示すようにコンパクトにまとめ、図4-19に示すように、施設敷地内の隅の建屋外に仮設テントを設け、設置可能となった。ここは施設運営上、人の動線がなく、フォークリフトによる反応器の移動を行っても施設職員や客との接触がなく、安全である。

以上のことから、本実証設備は実機設計データが取得でき、複数の熱利用施設への熱輸送も計画可能となる、コンパクトで効率的、かつ安全な設計が行われていることがわかる。令和5年度の実証試験を通じて本設計を検証し、実証設備の有効性を確認してゆきたい。

4.2. 検討会の開催

第一回検討会

開催日時：令和4年10月20日

開催場所：キャンパスプラザ京都第6講習室（オンライン併用）

出席者

検討会委員（オンライン）

吉岡 敏明 東北大学大学院環境科学研究科 教授

遠藤 光一（公財）産業廃棄物処理事業振興財団 資源循環推進部 部長

加藤 之貴 東京工業大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授

中島 健史 南島原市 環境水道部 環境課 課長（欠席）

有識者（オンライン）

酒井 伸一 京都大学名誉教授

代表実施者

下田 栖嗣 エスエヌ環境テクノロジー（株） 顧問

中尾 毅 エスエヌ環境テクノロジー（株） M&P 室 室長

児玉 基希 エスエヌ環境テクノロジー（株） 統括本部 運営技術部 部長

共同実施者

朝枝 政利 日立造船（株） 環境事業本部 環境営業統括部 担当部長

伴 明浩 日立造船（株） 環境事業本部環境事業推進部 技術情報G 部長代理
(オンライン)

友田 啓二郎（株）東和テクノロジー 代表取締役

大野 正之（株）東和テクノロジー グローバル環境事業部 部長

吉田 直弘（株）東和テクノロジー グローバル環境事業部 課長

長田 守弘（公財）京都高度技術研究所 未来プロジェクト推進室

資源循環研究企画 担当部長

高橋 正光（公財）京都高度技術研究所 未来プロジェクト推進室

脱炭素研究企画 担当部長

環境省（オンライン）

当日の各委員との質疑応答を下記に示す。

委員	規模感が小さくなくてもデータについては問題ないということは理解できた。排ガス処理のために消石灰を投入されているが、この消石灰を使ったところの熱の回収は、少しでも可能性があるのか。
事業者	この消石灰の目的は、HCl あるいは SOx といった酸性ガスを除去するためである。熱回収を行うという用途で使っているわけではない。
委員	その趣旨は理解している。例えば熱回収の対象になり得るかなと思、飛灰処理にはカルシウムが含まれるので、ここで蓄熱することも可能ではないかということで質問した。
事業者	私共ではそこまでの検討はしていない。海外では飛灰が 200℃程度の飛灰となる場合があり、その熱利用を検討したが、熱回収は可能であるが、機械的な問題があった。
委員	その場合も排ガス処理としてはカルシウム系のものを使用していたということか。
事業者	ご理解のとおり。
委員	当初に対して非常にブラッシュアップされて、実力を積んでいると感じた。水酸化マグネシウムは水酸化カルシウムに対して再生温度が 350℃と低いので、反応器の設計に負担がかからないため、新しい蓄熱装置としての可能性があるのではないかと考える。 放熱装置のフローで、200℃の熱がでたあと熱交換器からブロワ、ヒータへ向かうことになっているが、蒸気ボイラとは何か。
事業者	化学蓄熱材は水分を吸って発熱するというような形になっており、その水分をこのボイラで供給するという仕組みである。
委員	ボイラは別の熱源を利用するのか。
事業者	現時点での計画ではプロパンガスの蒸気ボイラを使用する考えである。
委員	そこがカーボンニュートラルの穴になりますから。今後は排熱を使うということで今回は別の熱源をつかっていると説明できるかと考える。それで 85℃になって飽和水蒸気が出るということか。
事業者	90℃で反応器に入り、85℃の飽和空気相当の水分を添加する計画である。1 m ³ あたり 300~350g の水分を添加し、反応器で酸化マグネシウムが水酸化マグネシウムに変わり、ここで水分が吸収される。一つ

	<p>の反応器で約 10kg/h 程度の水分が吸収される。そのため、その 10kg を蒸気ボイラで補うというシステムになる。大体目安で言うと 360Nm³/h が循環しているが、おおよそ 50%が空気、50%が水分（蒸気）となる。90℃に設定しているのは、水分率が非常に高いため、飽和してミスト化しない状況で循環させたいため、反応器入り口を 90℃以上～100℃の状況とする計画とした。もっと高い温度にすることも可能だが、出口との温度差をつくらないと反応器から出る熱量が効率よく出ない。そのため、入り口側は低い温度、出口側は反応させて高い温度（200℃～210℃）にする考えとして、今回のシステムを構築した。</p>
委員	<p>了解。フロー図に記載のヒータとは何か。</p>
事業者	<p>ヒータは、スタートアップの際に循環している空気を 20℃から 100℃程度まで昇温してあげる必要があるため、昇温するために設置している。</p>
委員	<p>了解。最後に 90℃で入って反応器を経て 200℃になるということだが、200℃になる根拠はデータとしてあるのか。</p>
事業者	<p>一昨年度トヨタグループ、NEDO が実証されたデータを基にしているが、加えて今年度材料メーカーにも再確認し、この 90℃、200℃、ピークでは 215℃、というデータを確認した。</p>
委員	<p>了解。</p>
委員	<p>90℃に加熱した上で反応を開始するということだが、立ち上げシステムとして、20℃程度の装置全体の温度を 90℃まで立ち上げるまでの時間についてはどの程度を想定されているのか。</p>
事業者	<p>立ち上げ時間については詳細な計算はできていないが、空気の温度のみ昇温する場合で 10 分程度と考えている。金属、蓄熱材などの熱容量を含めると 30 分程度となる見込みである。今後、詳細な計算をしていく考えである。</p>
委員	<p>例えばヒータを使わず、常温でスタートし水分を補給し徐々に反応させ立ち上げて、放熱系だけでクローズするようなシステムの可能性は考えられるか。</p>
事業者	<p>何度かテストしたが、90℃以上という温度にならないと、酸化マグネシウムは反応が起こらなかつた。かつ、水分も、300g/m³～250g/m³ くらいの水分量でないとなかなか反応が起こらない。その結果立ち上</p>

	<p>げ順序としては中の循環空気を 90℃以上、100℃程度に上げて、そこから水分を増やしていくという手順が必要だと考えている。又、発熱が起こると立ち上げは早く、水分との反応によりすぐに 200℃まで昇温する。</p>
委員	<p>本日の検討会で「熱利用側での蒸気ボイラの設置、ヒータの設置」であるとか、このあたりは今回の実証試験用という理解で良いか。 今回の冒頭で経済性の評価（コスト試算）について、見通しを示していただいていますがこの時の熱量設定というのは今日の議論のあったボイラやヒータとの関係はどうなっているのか。</p>
事業者	<p>今回示しているヒータ、ボイラについては実証試験用のものである。熱量設定については、ヒータは検討したが、ボイラ設備は計画から外れている。これについては、排熱を使用できないところは検討したいと思う。</p>
委員	<p>経済性評価の部分については、今回の実証事業においても非常に重要な部分であり、今回このような試算を出していただいたことは結構なことだと思う。今後に向けては既存の熱利用、すでに実装されたもの、三機工業さんからの提供データもあるかと思うので、そういったシステムとの比較、検証をしていただきたい。 委員の先生にお伺いします。ご存知であれば教えていただきたいのですが、最近ゼオライトを利用した低温熱の回収が東大グループ中心でなされているが、システム開発の今後の見通し等がどうなのか、ご存知であればご見解を聞かせていただければ幸いです。</p>
委員	<p>ゼオライトの件は今種子島でやっており、評価すべきシステムだと思っている。パターンはよく似ているが、種子島の例ではサトウキビ工場から出た余りものを燃焼して乾いたゼオライトを運び、運び先で熱をだす、というように熱輸送という観点では基本的には同じようなことをしている。今回の実証事業の良いところは化学蓄熱材を利用しているということ。何が違うかというと、蓄熱密度が基本的には酸化マグネシウムは、ゼオライトと比較してより高いと思われる。おそらく 1.5 倍から 2 倍、もしくは 3 倍くらい高くなるかと思う。一回のトラックで運んだ時の熱の運べる量が違うと思う。あと、温度域について。実際にユーザーとして 200℃程度の温度が今回出るということだが、ゼオライトでは不可能。せいぜい 120～130℃位。今回の実証対象は温浴施設なので、200℃必要ない可能性もあるが、実証事業としては先端的な研究になると考える。ゼオライトよりも高密度、高温であり、今回は基礎試験ではあるが、今後利用先の対象は幅広くなるのではないかと期待している。</p>

委員	<p>極めて的確に蓄熱温度と熱密度の点での両システムの違いを解説いただきました。ありがとうございました。</p>
委員	<p>要は、今、いろいろと初めてのことが多いので、抜けている部分もあるかもしれませんが良い部分だけを見て進めていけばよいと思う。初の化学蓄熱の実証試験になるので、そこは自信を、誇りをもって進めていただければと思う。それで今後ヒータどうするか、水の供給はどうするか、という検討が引き続き出てくると思うが、それは後から進めればよい。まずは実証するというところに価値があるのではないか、と考える。</p>
委員	<p>ありがとうございます。大変心強い見解をいただきましたので是非実証側も自信をもって進めていただければと思います。それと、私が思ったのは既存の三機工業のシステム、種子島の実証のシステム、比較的公開情報も出始めているので、そういったところとの比較を含めた検討をワンセットで進めていただければと思いますので、関係者の方と相談して進めていただければと思います。</p>
委員	<p>先ほどのゼオライトの話というのは昔からヒートポンプ的な素材としての利用についても検討されていたかと思いますので、そういう意味でも蓄熱効果という意味ではマグネシウムに対しての可能性というのは非常に大きいという理解でよいか。</p>
委員	<p>材料ベースでいうとマグネシウムの方が2倍ぐらい高い。ただ、反応器がいるとか、今後の検討課題は多い。材料のポテンシャルとしてはマグネシウムの方が高いと思う。ゼオライトは、ドイツで実績がある。10tトラックにとりあえず詰め込んで脱水し、乾いたものを運びコンサートホールで利用した。今回の蓄熱材の200℃という温度は強烈な出力なので、暖房には合わないが産業用の熱輸送としては新しい分野になる。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

(2) 第二回検討会

開催日時：令和5年3月2日

開催場所：キャンパスプラザ京都第1演習室（オンライン併用）

出席者

検討会委員（オンライン）

吉岡 敏明 東北大学大学院環境科学研究科 教授

遠藤 光一（公財）産業廃棄物処理事業振興財団 資源循環推進部 部長

加藤 之貴 東京工業大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授

中島 健史 南島原市 環境水道部 環境課 課長

有識者（オンライン）

酒井 伸一 京都大学名誉教授

代表実施者

下田 栖嗣 エスエヌ環境テクノロジー（株） 顧問

中尾 毅 エスエヌ環境テクノロジー（株） M&P室 室長

児玉 基希 エスエヌ環境テクノロジー（株） 統括本部 運営技術部 部長

共同実施者

朝枝 政利 日立造船（株） 環境事業本部 環境営業統括部 担当部長

伴 明浩 日立造船（株） 環境事業本部環境事業推進部 技術情報G部長代理
(オンライン)

友田 啓二郎（株）東和テクノロジー 代表取締役）（欠席）

大野 正之（株）東和テクノロジー グローバル環境事業部 部長

吉田 直弘（株）東和テクノロジー グローバル環境事業部 課長

長田 守弘（公財）京都高度技術研究所 未来プロジェクト推進室
資源循環研究企画 担当部長

高橋 正光（公財）京都高度技術研究所 未来プロジェクト推進室
脱炭素研究企画 担当部長

環境省（オンライン）

<傍聴>

渡邊 明日美（一財）日本環境衛生センター 資源循環低炭素化部 企画・再生可能エネルギー事業課 技師（オンライン参加）

当日の議事録を下記に示す。

事務局	<p>【開会】 開会宣言。出席者紹介。出席時間都合上委員よりご意見をいただく。</p>
委員	<p>研究テーマとしての再確認だが、排熱利用は、明確にカーボンニュートラルになるため、活用することが大事である。化学蓄熱材での実施が先導性につながるため、ひきつづき行っていくべきと考える。特に南島原市をベースにして、市町村の協力をいただきながら蓄熱実証ができるということは地域の脱炭素化に貢献することは明らかであると考えられます。次に、実験施設を作って検討されているところで、今回は、熱バランスのデータが出てきますので、より具体的な検討ができる。今後は実証に向け化学蓄熱槽をどうデザインするか、運転するかが非常に大事になる。化学蓄熱がいかに価値があるか、が明確になってくると、この研究のみならず他への普及も大きくなる。材料メーカーとのコラボも進めているとのこと、不具合、懸念事項があれば研究を通して課題を追求していくべき。化学蓄熱を利用したこの温度域での蓄熱、放熱というのは他に事例がないので、数値的な結果より、まずは化学蓄熱が社会上出来たということに価値がある。欲を言えば、性能を高くして、他の蓄熱装置に比べ価値があるということが明瞭にできればさらに良い。フローシートを確認したが、これで良い。今後の実験結果を注目しながら引き続きコメントをしたい。</p>
事務局	<p>ありがとうございました。それでは環境省よりお願いいたします。</p>
環境省	<p>本事業も2年目ということで、先日の審査等委員会の報告もいただき順調にすすんでいる感触を受けている。熱利用というのは環境省としてもこれからの課題であると認識している。一方で横展開がなかなか広がらないという部分がある。蓄熱というのは非常に有用な技術になってくると思う。令和5年度にむけて検討を進めていただきたい。</p>
事務局	<p>ありがとうございます。それでは説明に入ります。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配布資料の確認 1. 令和4年度審査等委員会の報告【資料3】 <ul style="list-style-type: none"> ・事務局より説明 2. 令和4年度第2回検討会説明資料説明【資料4】 <ul style="list-style-type: none"> ・事務局より説明 3. 質疑応答 <p>以上、資料の説明をさせていただきましたが、ご質問をお願いいたします</p>
委員	<p>実証設備は設置前ということですが、全体としてのエネルギー効率は何のくらいになるのか、概算でも出ているか。</p>
事業者	<p>エネルギーゲインとしては1.3倍、約3割（16頁に記載）となる。実装した場合の計算はまだである。</p>

委員	<p>マグネシウムを使ってどのくらいの蓄熱性があるか、というのはこれまでも見積もられていると思うが、どのくらいの蓄熱をして、それを温水、あるいは蒸気回収をして、全体としてエネルギー効率はどのくらいになるか、算出されているか。1.3倍ということは全体で言う何パーセントくらいになるのか。</p>
事業者	<p>小型より大きくなれば、ブロアの比率も低くなってくるので、これより大きくなるかなという期待はある。算出はしていません。</p>
委員	<p>たとえば燃焼設備では、エネルギー効率が何パーセントか、という話がでてくるが、蓄熱をするとそれに加えてどのくらいのエネルギーを利用できるか、ということで全体としてのエネルギー効率が40%にまでいくのか、そういうところですが。</p>
事業者	<p>令和3年度の報告書で蓄熱設備から放熱設備への熱効率、これは輸送のエネルギー効率もいれての試算は出しておりました。これは理想的に、一日何十ギガとれるということを目標にして作ったものです。では、この規模で全体としての熱効率はどのくらいになるか、については、まだ算出しておりません。同じ手法を取り、焼却側の熱効率、輸送と放熱側の熱効率など全体を含めての作成は可能だと思う。規模が小さいのであまり大きな熱効率は期待できない。</p>
委員	<p>審査員との意見交換にもあったが、小型施設から大型施設の間で、どのあたりが発電に対し蓄熱の優位性をだせる施設規模なのか、そのようなことをこの実証事業で示すことは可能でしょうか。</p>
事業者	<p>発電がどの規模まで有効かということ、現在は60t/日～70t/日くらいまでと考えられる。60t/日～50t/日あたりが蓄熱設備の優位性があらわれるポイントだと考える。熱輸送からの観点からの検討は難しい。</p>
委員	<p>熱輸送という観点から見たときに、どのくらいで優位になるのか、というのを今回の事業で検討できないかと考えたので質問いたしました。以上です。</p>
事務局	<p>ありがとうございます。南島原市様いかがでしょうか。</p>
委員	<p>本市は60t/日の熱利用は厳しいと過去言われている中で熱輸送の実証協力を行っているわけですが、計画は熱ユニットが1GJから0.25 GJにサイズダウンしたということが残念だが、実証実験であるということを考えれば致し方ないかと思う。工事の進め方等についてはエスエヌ環境テクノロジーさんが我々や施設管理者へ事前に現場説明をいただいております。焼却施設側も温浴施設側も営業に支障なく順調に進めていただいている。今後ともよろしくお願ひしたい。こちら協力させていただきます。</p>

事業者	ありがとうございます。今後ご協力をお願いいたします。それでは先生、よろしく願いいたします。
委員	各委員のご意見に関連して、コメントをさせていただきます。まず、南島原市さんから、1GJから0.25GJにサイズダウンして残念だというコメントがございました。事務局に確認ですが、回収熱量は当初の予定通りであり、これを1基の蓄熱量あるいは放熱量をサイズダウンすることによって、運転スケジュールをより合理化しようとしているという理解である。すなわち、1GJ、4日で蓄熱という予定を、1日で0.25GJの蓄熱、ということに変えようと。その方が合理的であるという理解で良いか。
事業者	そのとおりです。放熱と蓄熱の時間のずれがあったので、合理的に検討、見直しを図った。
委員	ということで、回収熱量は当初の計画通り進めていますのでご安心ください。
委員	ありがとうございました。
委員	本事業のごみ焼却施設は、ごみ発電が設置されているものではない。この施設に熱輸送を導入することになるので、今ここで示しているエネルギーゲイン3割は積極的な熱利用をされていなかったわけだから、エネルギーゲイン3割はまるまる熱回収につながるという理解で良いのではないかと思う。
事業者	そのとおりで、何もないところからの回収ということで良いかと思えます。
委員	大型で、すでに発電している施設での熱回収蓄熱はありえるか。ありえるのであればどのようなシステムを組めるか。あるいはそれともうひとつ、発電のできない施設規模(60t/日以下)との関係はどうなるかということについての見解を得たと理解しているが、大型発電施設との併設はないと考えてよいか。
事業者	余剰蒸気の排出条件にもよりますが、基本的に発電施設は積極的に発電の為に熱を利用すると思われ、併設は考えづらいです。
委員	そのあたりの整理について、机上でも良いので検討いただきたい。細かいことだが、熱利用側のスライド、15頁に放熱量を0.5GJとの記載だが、0.25GJではないのか。
事業者	0.25GJが正しいです。
委員	蓄熱等の標記バランスから、修正したほうが良い。

委員	報告書【資料5】の最後の方に海外の事例紹介がある。海外での事例調査をしたが資料が見当たらないと記されている。これを一般共通認識として伝えてよいものか。
事業者	日本からの調査団による 2006 年の報告書を上げたが、さらに調査を進めてみる。
委員	調査報告として時間がたっていること、もう少し一般的な熱利用がどのようになっているか。視点をひろげた調査をされたらどうか。熱輸送 PJ ということで、同等の技術がどの程度あるか、どのような事業規模になっているかという基礎情報はあっても良いと思う。
事業者	了解です。
委員	当然熱を得るためのごみ質の問題もあると思う。南島原でのごみ質はどのくらいか。他で出てくる熱利用含め、どのあたりに位置するものか。
事業者	現在南島原のごみ質は基準ごみ質に近いと見立てている。7,100kJ/kg。若干、国内の平均より低い。これから廃プラの回収があればさらに低くなると想定する。そのような中、今回実証させていただくデータは基準の値になるのではないかと思う。
委員	インプットするごみ質の問題もあるが、単純焼却してCO ₂ を排出する場合と比較して、小規模でもガス化して有効活用する際には、燃焼条件が変化することで回収熱量も変わる。そのような点についても、本事業でのデータが役に立つように、どこかに入れ込めばよい。
事業者	南島原市さんで取られているごみ質の分析データがあるので、それを入れさせていただければと思う。
事務局	その他いかがでしょうか。
環境省	スライドの9頁目、反応器から出たガスを施設排ガス系統に戻す理由は何か。
事業者	ガスが高温になるので、排ガス系に戻すということです。
環境省	ありがとうございました。
事務局	そのほかご意見なさそうなので閉会いたします。最後に環境省様おねがいたします。
環境省	来年度引き続き継続ということで内示させていただいた。実装を想定しコスト面と総合的に調査していただければと思う。

委員	資料を拝見し、大分進んでいる印象を持った。熱利用設備では資料の 16 頁のエネルギー収支ということで、出力が期待されているが、蓄熱量というか、排熱回収に対しての熱利用率はどのようなものか。
事業者	資料の 16 頁の表で、反応器の出口に、熱回収量 8 という数字がある。一時間あたりに発生する熱量である。蓄熱設備で蓄熱回収された熱量はそのまま放熱側で利用されている。それが回収側と利用側の熱量バランスである。ただ、放熱設備では蒸気を系内にいれており、水分をいれないと熱が発生しない。蒸気は熱量をもっており、同じ表の中で、熱交換機の出口で 14kW とあるが、一部放熱を除き蓄熱側からの熱量と、加えられた蒸気の熱量を合わせて 14kW となる。すなわち、7 kW 程度の蒸気をいれて 14 kW の熱を回収する。回収した熱はすべて放熱する。100%回収できるという条件である。
事務局	<p>3. その他 【閉会】 以上、第2回検討会を閉会とさせていただきます。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

4.3. 「令和 3 年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 審査等委員会」への出席

環境省が実施する「令和 3 年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 審査委員会」中小廃棄物処理施設における先導的廃棄物処理システム化等評価・検証事業審査等委員会へ出席し、業務報告を行った。

日時：令和 5 年 1 月 30 日（木）10：50～11：20

場所：オンライン会議

内容：本事業内容についての審査等委員会への業務報告

4.4. 「令和 3 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 3 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」に係るヒアリング、シンポジウムにおいて事業説明等に協力した。

5. 熱輸送に関連する情報

5.1. 蓄熱材に関する動向

5.1.1. ハスクレイ／ゼオライト

日本国内における熱輸送の実績については、昨年度の成果報告書 [エスエヌ環境テクノロジー株式会社, 日立造船株式会社, 株式会社東和テクノロジー, 2022] に詳細を記載した。以下にその後の関連情報を記載する。

三機工業㈱は、潜熱蓄熱材（エリスリトール、酢酸ナトリウム三水和物）を用いた熱輸送事業を継続している。しかし、同社の WEB サイト [三機工業株式会社] の導入事例は昨年度の成果報告書に掲載した状態から更新されておらず、2015 年のものを最後までとしたままである。

吸着蓄熱材、化学蓄熱材の魅力は、潜熱蓄熱材と比べ、その蓄熱密度が非常に高いことである。蓄熱密度が高ければ一度に運搬できる熱の容量が大きくなり、経済性が向上すると考えられる。

表 5-1 に代表的な吸着蓄熱材（ゼオライト、ハスクレイ）、化学蓄熱材（マグネシア）を用いた熱輸送の概要を示す。

表 5-1 吸着蓄熱・化学蓄熱材を用いた熱輸送システム

蓄熱材	ゼオライト	ハスクレイ	マグネシア
蓄熱材の蓄熱密度	約 500 kJ/kg	約 1,000 kJ/kg	1,400 kJ/kg
熱交換方式	直接接触	直接接触	直接接触
熱媒	水蒸気	水蒸気	水蒸気
蓄熱側熱源温度	130 ~ 200℃	80 ~ 120℃	300 ~ 350℃
熱利用側供給温度		80 ~ 120℃	200 ~ 250℃

潜熱蓄熱材を用いて熱輸送事業を行っている三機工業も、ゼオライトを用いた蓄放熱システムを検討している [佐々木賢知, 福森幹太, 2016]。

水の吸脱着により蓄放熱を行うゼオライトには種々の型があり、蓄熱密度にも幅がある。もっとも蓄熱密度が高いと言われている Mg 交換 A 型ゼオライトのそれは、およそ 500kJ/kg であり、先述の潜熱蓄熱材エリスリトールの 1.5 倍程度の蓄熱密度を有する。

藤井ら [Fujii, Kanematsu, Kikuchi, Nakagaki, 2016] はゼオライト 13X を用いて種子島の製糖工場の廃熱を秋から冬にかけて蓄熱し、島内の他の産業の工場で、水蒸気吸着による発熱から一年中低圧蒸気を生成・利用する検討を行った。

その結果、このシステムは島内の空間的、時間的ギャップを埋めて未利用エネルギーを有効に活用できることを示した。さらに間接熱交換型の移動床を用いた放熱装置（ゼオライトボイラー）、蓄熱装置（ヒートチャージャー）の設計を行い [Fujii, ほか, 2019]・[Fujii, Thermochemical energy storage and transport system of unused heat from sugar mill utilizing zeolite ad/desorption cycle, 2020]・[藤井, ほか, 2021]、それぞれ 1/200 規模、1/400 規模で実証試験を実施して設計の妥当性を確認した。

従来の開発技術・実証が 100℃以下における給湯・暖房を対象としていたのに対し、この実証は吸着蓄熱材の高い蓄熱密度を活かして、産業界での蒸気利用を対象としているところが注目される。

彼らは高い蓄熱密度を有する化学蓄熱材を用いなかった理由として、不純物に起因する不可逆反応の累積により蓄熱材が劣化すること、反応速度の制御が困難であることを挙げている。その化学蓄熱材であるマグネシアを用いた本実証事業の中で、これらの課題に関して確認してゆきたい。

藤井 [藤井, 廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証, 2022] [藤井, 廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証, 2022]は引き続き、環境省の「地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発」において、令和 3～5 年度にゼオライトの水蒸気吸脱着サイクルによる「廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証」を進めている。

実証試験の概念図を図 5-1 に示す。ゼオライトへの蓄熱（右図）および熱需要地での放熱（左図）を表している。

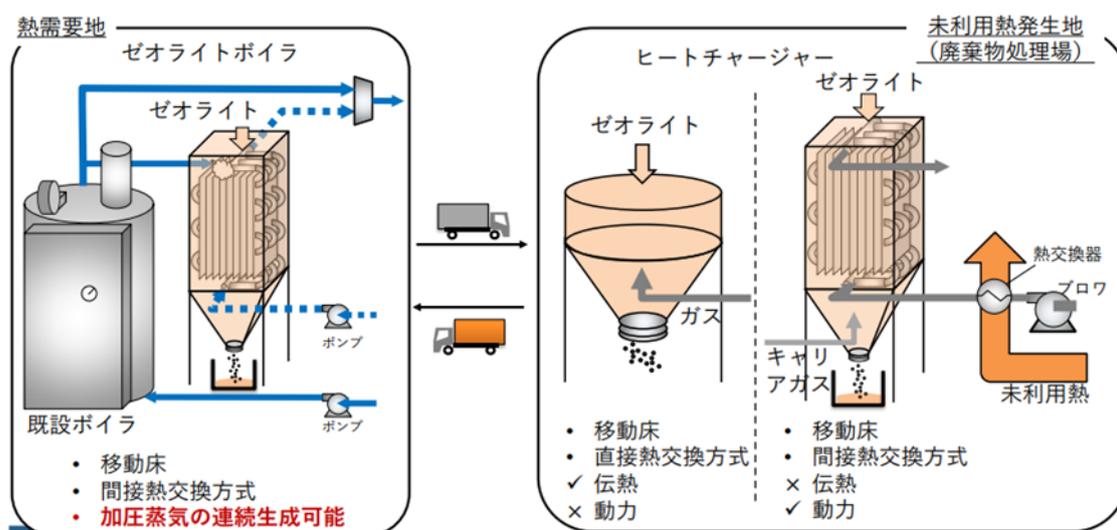


図 5-1 ゼオライトを利用した蓄熱放熱と地域利用

ハスクレイ [東日本機電開発株式会社, 2022]はゼオライト同様の吸着蓄熱材であり、オルトケイ酸ナトリウム (Na_4SiO_4) と塩化アルミニウム 6 水和物 ($\text{AlCl}_3/6\text{H}_2\text{O}$) から合成された非晶質アルミニウムケイ酸塩と低結晶性粘土を用いて産総研が 2008 年に開発した [鈴木, 前田, 犬飼, 2016]。ゼオライトの約 3 倍の水蒸気吸着量と約 2 倍の蓄熱密度を有している点が特徴である。2018 年から 2020 年にかけて、オフライン熱輸送型と定置型の両システムの実証を行った。その後、東京電力エナジーパートナーらが外販に乗り出すとの新聞記事 [一般社団法人 日本電気協会 新聞部, 2021] [松木, 2021] [東電 EP、蓄熱システム商用化 高砂熱学工業と, 2021]が出たが、広告や実績紹介等を見ない。

令和 3 年度の報告書でも記載したが、高砂熱学工業らによる、ハスクレイを用いた熱輸送検証試験についての報告がある。

ハスクレイを用いるシステムでの発熱・吸熱の原理は、本実証実験にて使用する $\text{MgO}/\text{Mg}(\text{OH})_2$ 化学吸着剤での原理、すなわち MgO と水との化学反応による発熱・吸熱システムとは異なり、ハスクレイの粒子表面への水の物理吸着時に発生する吸着熱、吸着した水をハスクレイ表面から脱着させる際の吸熱を利用するものである。

ハスクレイとゼオライトとの比較では、蓄熱密度はハスクレイが優れているが、利用温度ではハスクレイの 80~120℃に対して、ゼオライトでは 130~200℃と高い。両者を利用することにより、適応温度域は広がる。

ハスクレイ及びゼオライトの特性および外観写真を図 5-1 に示す。図 5-1 は、「吸着材蓄放熱運転の計算モデル」(高砂熱学イノベーションセンター報 No.35 2021)より引用した。



図 5-2 ハスクレイ/ゼオライトの外観写真

5.1.2. 硬殻マイクロカプセル化蓄熱材

化学反応を利用した化学蓄熱材とは異なり、潜熱、例えば、常温では固体であるが、熱を加えることで液体となる物質がある。

この液体から固体へと相変化する物体を蓄熱材とし、この蓄熱材に蓄熱し、これを利用先まで輸送して熱を利用する熱輸送方式がある。

この方式の問題点の一つに、放熱により、液体であった物質が固体へと変化する過程で物質が凝集する現象が起り、これにより配管の詰まりが発生する。

この問題の解決手段として、神戸大学の鈴木らは蓄熱材をマイクロカプセル内に閉じ込めることを提案している。

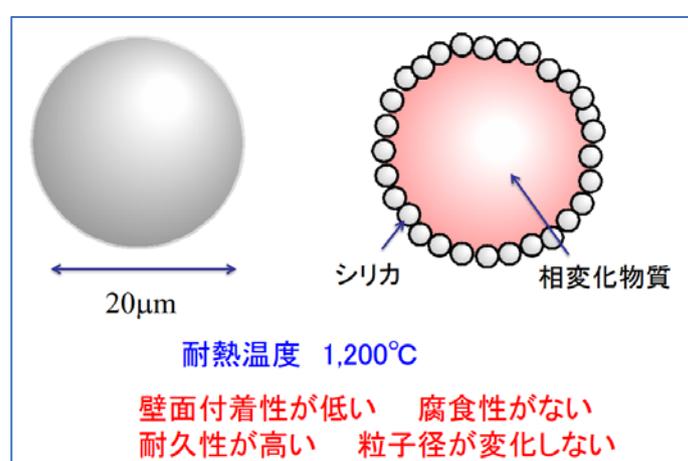


図 5-3 相変化物質のマイクロカプセル化模式図

図 5-4 にも示したように、カプセル化することで凝集作用が抑えられ、また腐食性などを示す相変化物質に対しても閉じ込めにより安全性を高めることが可能となり、さらに、シリカは 1,200 $^{\circ}$ C 程度までの耐熱性を有することから、幅広い相変化物質への対応が可能となることを報告している。（硬殻マイクロカプセル化蓄熱材がもたらす超低炭素社会の実現；未来社会創造事業 2021 年 5 月発表）

同様な研究が北大・能村らにより行われている。

能村らは、Al を含む合金を相変化蓄熱材に用い、この蓄熱材を Al₂O₃ (酸化アルミニウム) で包み込むこむものである。

相変化蓄熱材の蓄熱量は大体 500kJ/kg と、酸化マグネシウム系での 2,000kJ/kg には及ばないが、熱伝導度の高い物質もあり、マイクロカプセル化の技術が確立できれば、熱輸送で用いる蓄熱材としての期待も広がる。

(参考文献)

- (1) エスエヌ環境テクノロジー株式会社, 日立造船株式会社, 株式会社東和テクノロジー, “令和 3 年度 脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 (ごみ焼却施設の排熱を熱源とする化学蓄熱材を用いた熱輸送技術の実証事業) 委託業務 成果報告書,” 2022.

- (2)三機工業株式会社, “熱の宅配便 トランスヒートコンテナ 導入事例,” [オンライン]. Available: <https://www.sanki.co.jp/product/thc/case/>. [アクセス日: 30 1 2023].
- (3)佐々木賢知, 福森幹太, “ゼオライト/水系を用いた一体型吸着蓄熱槽の性能試験,” *空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (2016. 9. 14~16 (鹿児島))*, pp. 201-204, 2016.
- (4)S. Fujii, Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, T. Nakagaki, “Material and Heat Flow Analysis in Thermal Energy Storage and Transport System Utilizing Unused Heat From Bagasse Boiler,” *Mechanical Engineering Journal*, 第 巻3, 第 5, pp. 1-12, 2016.
- (5)S. Fujii, N. Horie, K. Nakaibayashi, Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, T. Nakagaki, “Design of Zeolite Boiler in Thermochemical Energy Storage and transport System Using Unused heat from Sugar Mill,” *Applied Energy*, 第 巻 238, pp. 561-571, 2019.
- (6)S. Fujii, “Thermochemical energy storage and transport system of unused heat from sugar mill utilizing zeolite ad/desorption cycle,” 2020.
- (7)藤井祥万, 宮川大河, 中垣隆雄, 兼松祐一郎, 菊池康紀, 濱田洋輔, “製糖工場の未利用エネルギーを蓄熱する向流接触式ヒートチャージャーのベンチスケール実証試験と設計,” *化学工学論文集*, 第 巻 47, 第 6, pp. 191-199, 2021.
- (8)藤井祥万, “廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証,” 2022.
https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/pdf/kenkyu_gaiyou/3RF-2101.pdf
- (9)藤井祥万, “廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証,” 2022.
https://researchmap.jp/shomafujii/research_projects/32455266
- (10)東日本機電開発株式会社, “吸着式蓄熱材ハスクレイ吸着原理の解析 —地域熱エネルギー循環業の確立—,” 仙台市, 仙台市, 2022.
- (11)鈴木正哉, 前田雅喜, 犬飼恵一, “高性能吸着剤ハスクレイ®の開発,” *Sunthesiology*, 第 巻 9, pp. 154-164, 2016.
- (12)一般社団法人 日本電気協会 新聞部, “低温廃熱の再利用で CO2 を 7 ~ 8 割削減。蓄熱システム販売始まる,” *電気新聞*, 15 2 2021.
- (13)松木喬, “” 排熱 ” が脱炭素につながる! 東電子会社などが開発した蓄熱システムがすごい!,” *日刊工業新聞*, 26 2 2021.
- (14) “東電 EP、蓄熱システム商用化 高砂熱学工業と,” *日本経済新聞*, 7 3 2021.

5.2. ごみ焼却施設の将来予想

本事業は、2050年カーボンニュートラル社会の実現及び地域循環共生圏の形成に向けて、ごみ焼却施設における排熱を利用したエネルギーの効率的かつ有効な活用方法を提案することを目的として進めている。

一方、熱源であるごみ焼却施設の在り方についても目を向けておく必要がある。

令和3年8月に環境省環境再生・資源循環局より「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)」が出された。

資料によると、2019年度の廃棄物分野全体のGHG排出量は約3,970万トンCO₂のことである。

2050年に廃棄物・資源循環分野のGHG排出を実質ゼロ化に向けたシナリオが表5-2に示す通りに想定されている。

表5-2 廃棄物・資源循環分野におけるGHG排出実質ゼロへのシナリオ

廃棄物・資源循環分野で想定するシナリオ	2050年GHG排出量 (千トンCO ₂) 試算結果※			
	非エネ起	エネ起	CCUS	合計
【BAUシナリオ】 ・現況年度(2019年度)付近の対策のままで2050年まで推移することを想定したシナリオ。 ・以下で試算する各シナリオによる削減効果はBAUシナリオのGHG排出量との差分で示す。	29,602	4,367	-	33,968
【計画シナリオ】 ・地球温暖化対策計画、プラスチック資源循環戦略、バイオプラスチック導入ロードマップ、プラスチック資源循環促進法等のGHG削減・資源循環に資する既存の計画・法制度や、業界団体等の目標値に基づき対策導入量を想定するシナリオ。	20,270	1,933	-	22,203
【拡大計画シナリオ】 ・計画シナリオに加え、廃棄物処理施設や収集運搬車両等におけるエネルギー起源CO ₂ 対策を計画シナリオの対策導入強度に準じて導入するシナリオ。	20,270	1,911	-	22,180
【イノベーション実現シナリオ】 ・拡大計画シナリオをベースに、現状の技術開発動向等を踏まえ、各重点対策領域におけるGHG削減技術のイノベーションによる削減量の深掘りを見込むシナリオ。	9,031	1,468	-	10,499
【イノベーション発展シナリオ】 ・イノベーション実現シナリオをベースに、現状の技術水準や技術開発動向では必ずしも十分に担保されない水準まで対策導入量の深掘りを見込むシナリオ。	6,164	0	-	6,164
【実質排出ゼロシナリオ】 ・イノベーション発展シナリオをベースに、廃棄物・資源循環分野のGHG排出量を相殺する量のCCUS(本シナリオではCCSとして想定)導入を廃棄物処理施設で見込むシナリオ。	6,164	0	-6,164	0
【最大対策シナリオ】 ・実質排出ゼロシナリオをベースに、廃棄物処理施設におけるCCUS量を最大限まで見込むシナリオ。	6,164	0	-16,138	-9,975

このシナリオに従って、2050年までのGHG排出量を試算した結果が図5-4である。

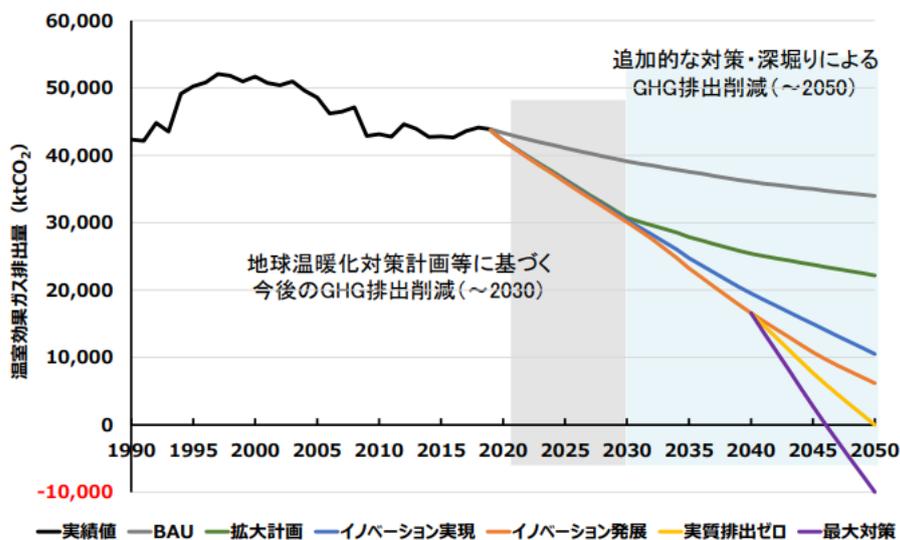


図 5-4 シナリオで想定される GHG 排出量の推移

シナリオに従い、一般廃棄物量の推移を想定したグラフが図 5-5 である。

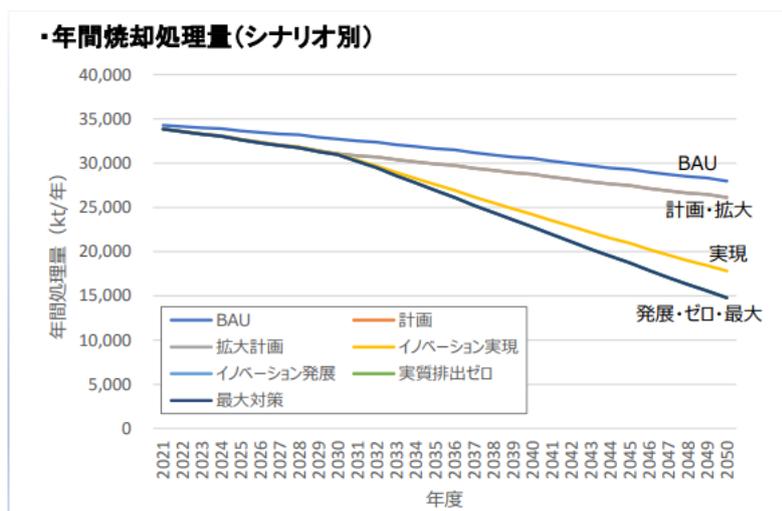


図 5-5 シナリオから想定される年間焼却処理量

年間で約 35,000kt のごみ発生量が次第に減少し、2050 年度には 15,000kt まで低下する予想となっている。

これは、少子化に伴う人口減による廃棄物量の減少もあるが、これまでごみとして焼却していたものから、資源ごみを確実に回収し、再使用、再利用等を行っていくことを計画しているためである。

ごみ焼却施設にとっては、発熱量が見込めるプラスチックの回収が進むことによるごみ発熱量の低下も課題となる。

今後の、国内のごみ焼却施設の在り方については、ごみ量の低下、発熱量の低下という、明らかに現状からの変更が必要であるが、これらの課題に加えて、ごみ焼却施設での CO2 排出量の削減という観点からは、高効率のごみ発電を行うことで、発電会社での石油系燃料の燃焼による GHG 排出量の抑制の期待もある。

しかしながら、今後はしだいに、石油系燃料を用いた発電から再生可能なエネルギーを用いた発電に切り替わっていくため、ごみ発電による CO2 削減効果は薄まっていく。

このあたりについては、ごみ処理関係の専門家による議論がなされ、令和 4 年 2 月に「脱炭素社会に向けたごみ処理について」と題して一般財団法人日本環境衛生センターより報告されている。

ごみ焼却施設を今後計画する上では、ごみ処理量の低下に伴う統合化や、さらに高効率な熱回収、発電設備を備えた大型化施設を作るべきか、あるいは生ごみなどのメタン発酵施設を主体としての小型の焼却施設を作るべきかなどの議論がなされていくものと思われる。

このような状況の中、ごみ処理施設からの排熱を高効率に回収するためには、高温の排ガスを利用しての高効率な発電設備による回収に続き、カスケード的に中温度域の熱を本事業による化学蓄熱材を利用しての蓄熱が担うことになり、さらに低温域についてもこれまでに調査してきた蓄熱材等の利用が考えられる。

2006 年の文献に、すでにごみ焼却炉から排熱を蓄熱材に回収することが提案されている。（「廃棄物発電排熱を利用したオフライン熱供給」（資源環境対策；Vol142, No. 13（2006））

蒸気タービンによる発電後の蒸気を利用するもので、高温排熱、低温排熱の取り出し位置が図 5-6、図 5-7 に示されている。

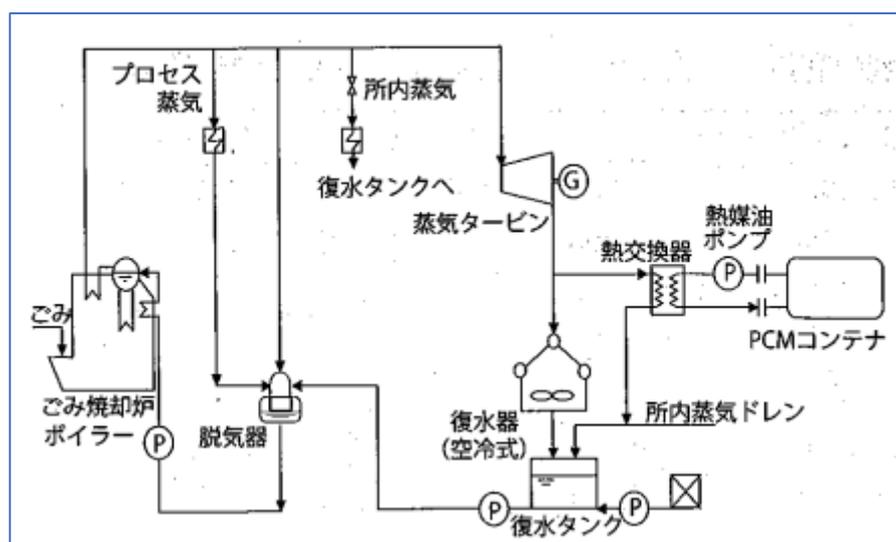


図 5-6 低温排熱の熱回収システムフロー

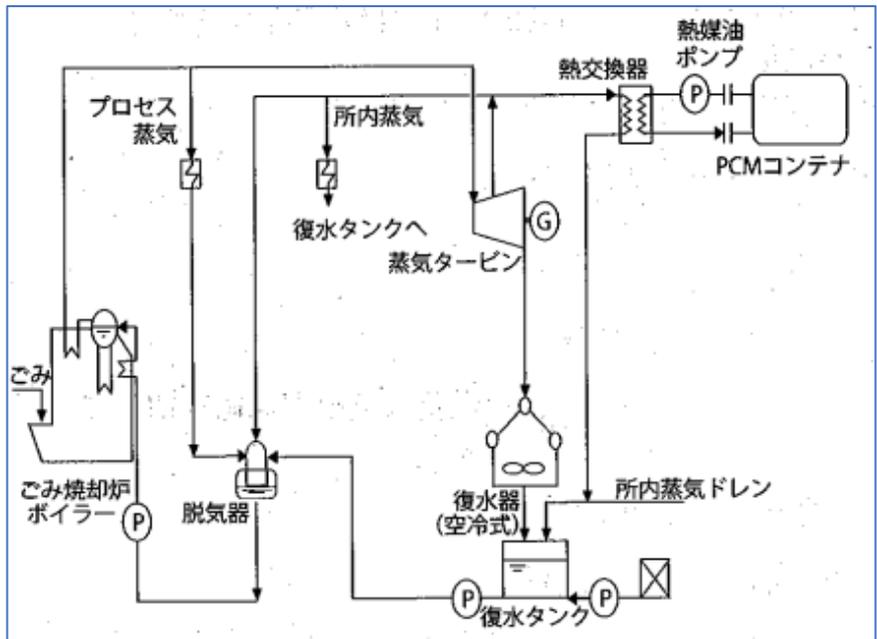


図 5-7 高温排熱の熱回収フロー

本事業で対象とした水噴射式ごみ焼却施設では、高温の排ガスの利用となるが、将来的なごみ処理施設を計画する場合には、ガスタービン及び蒸気タービンが併設されるようなスーパーごみ発電施設から出る蒸気および排ガスの利用を検討していく必要がある。スーパーごみ発電での蓄熱材による熱回収システムの例も示されている。(図5-8)

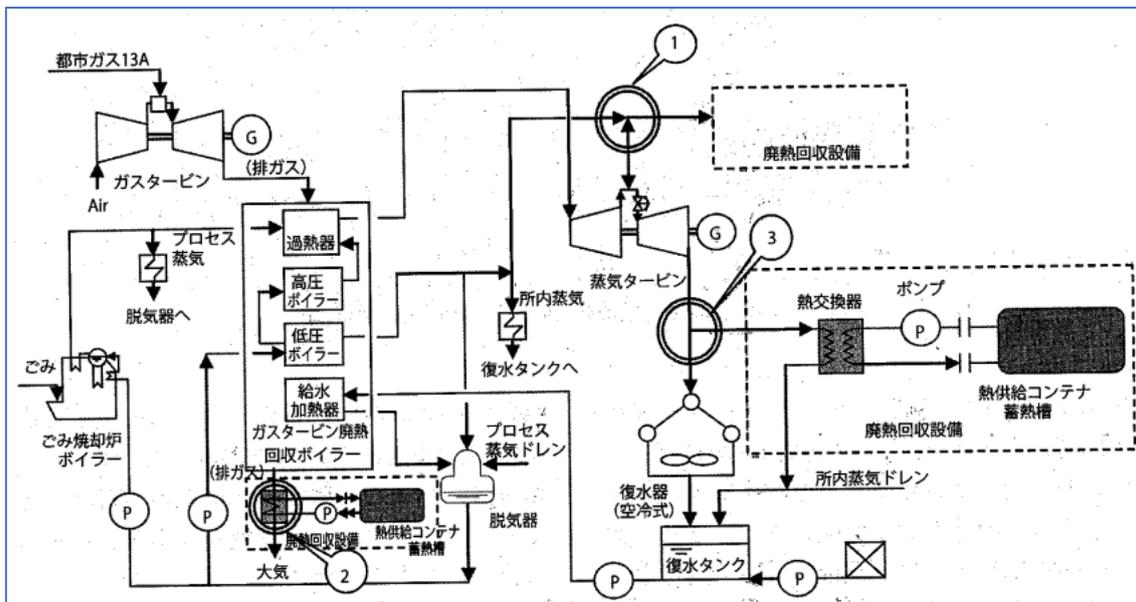


図 5-8 スーパーごみ発電施設での排熱を利用した熱回収

これまで、ごみ焼却施設からの高温の排熱について、化学蓄熱材を利用しての回収

検討を進めてきたが高温の排熱利用として新たな領域も現れてきた。

例えば、カーボンニュートラルを目指す上では、自然エネルギーを利用した発電が必要であり、できるだけ多くのエネルギーを利用するためには、有り余った電気、すなわち余剰電力の貯蔵が求められている。

電力貯蔵技術の代表的なものを表 5-3 に示す。

表 5-3 代表的な電力貯蔵技術の種類

	貯蔵エネルギー	主な用途
二次電池	電気化学エネルギー	負荷平準化、受電電力平準化、発電電力平準化、非常用電源、瞬低・停電補償、その他（移動体用、携帯機器用など）
電気二重層キャパシタ	静電エネルギー	発電電力平準化、瞬低・停電補償、その他（移動体用、携帯機器用など）
フライホイール	運動エネルギー	瞬低・停電補償、電力系統制御、その他（移動体用、携帯機器用など）
超伝導電力貯蔵 (SMES)	電磁エネルギー	瞬低・停電補償、電力系統制御
揚水発電	位置エネルギー	負荷平準化
圧縮空気電力貯蔵	圧力エネルギー	負荷平準化
水素電力貯蔵	電気化学エネルギー	負荷平準化

出典：国立環境研究所 環境技術解説（電力貯蔵技術）

電力の貯蔵を直接電気として貯蔵するものが蓄電池であり、電力を熱に変換したうえで貯蔵することも考えられる。本事業での熱輸送に用いる化学蓄熱材などもそれである。

蓄熱材として溶融塩（常温で個体の塩類を数百度に加熱し液体状態としたもの。）を用いて、電気を熱に変換したうえで、蓄熱材に蓄熱させ、必要な時に再度電気に変換する蓄熱技術が一般財団法人エネルギー総合工学研究所と丸紅（株）によって実証事業が始められた。（丸紅ニュースリリース（2018年10月）

システムの概要は図 5-9 のとおりである。

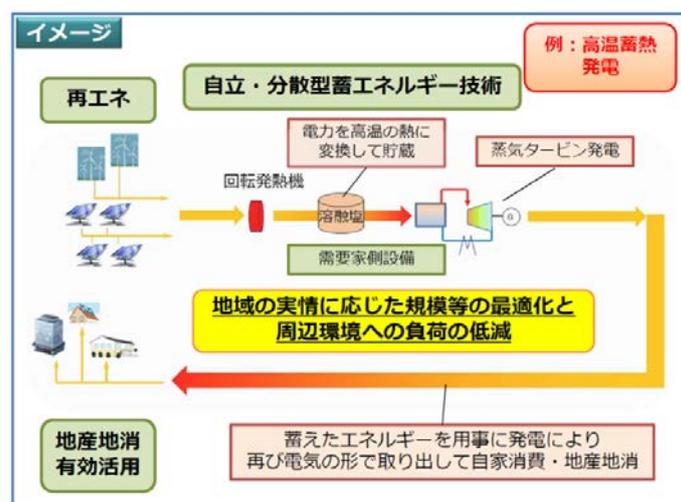


図 5-9 溶融塩を蓄熱材とした蓄エネルギー技術

また、2022年11月に、東芝エネルギーシステムズ（株）は、熱容量として約500kWhの試験設備ではあるが、岩石蓄熱技術を用いた蓄エネルギーサービス事業に関する技術開発・実証を本格的に始めると報道した。

以下にシステムの概略と実験装置の外観を図5-10、図5-11にそれぞれ示す。

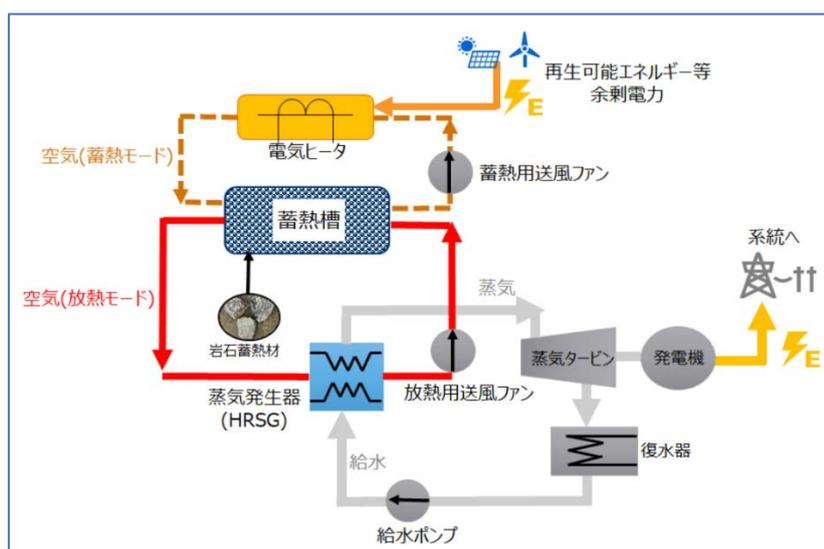


図5-10 岩石蓄熱技術を用いた蓄熱システムフロー



図5-11 岩石蓄熱実証実験設備

このように、蓄熱技術への期待は大きく、回収されるべきエネルギーはいたるところに存在する。本事業では、エネルギーの回収場所として、ごみ焼却施設の排ガスを選定したが、本技術自体はエネルギー回収場所をごみ焼却施設に限定したのではなく、350°C程度のガスが入手できるところであれば利用可能であり、いったん蓄熱した熱は水との接触がない限りは放熱をしないという利点もあり長期保管も可能であることなどからも期待される蓄熱材であると言える。

5.3. 海外の状況

海外での熱輸送に関しては、2022年にポーランドの熱事情と熱輸送に関する総説的な論文が出されている。熱輸送については、実験室規模のものから商業的なものについて表5-4のようにまとめられている。

・ Mobilized Thermal Energy Storage for Waste Heat Recovery and Utilization-Discussion on Crucial Technology Aspects, Marta Kuta, Energies 2022, 15, 8713. <https://doi.org/10.3390/en15228713>

表5-4 Mobilized Thermal Energy Storage Systems

Level of Readiness	Country/ Date	MTES Technology/ Heat Storage Capacity	Heat Source/ Heat Recipient/ Distance	References
Commercial	Poland/currently available on offer	PCM/7GJ	Waste heat/different types of recipients/	[1]
Commercial	Poland/currently available on offer	PCM/n.a.	Waste heat/different types of recipients/	[2]
Pilot research	City of Surrey, Canada/2019-2021	Thermochemical reaction	Waste heat/city energy network	[3]
Pilot research	Germany, Japan/2019	PCM/n.a.	Waste heat/hot water, heating, cooling	[4]
Pilot research	Germany/ Since 2009	PCM/ 2.1-2.5 MWh	Waste heat/hot water, heating, swimming pool supply	[5]
Pilot research	Germany/ 2015	Zeolite/ 2.3 MWh	Industrial waste heat	[6]
Lab. research	China, laboratory/ 2014	PCM/n.a.	Excess, industrial waste heat	
Lab. research	China, laboratory/ 2019	PCM/ 0.000, 125,576 GJ	renewable energy, industrial waste heat	
Lab. research	China, laboratory/ 2016	PCM/n.a.	Industrial waste heat	
Theoretical	Japan/2009	PCM/8.15 GJ	Industrial waste heat/ chemical plant	
Theoretical, design, economical, environmental evaluation	Sweden/2016	PCM/n.a.	Industrial waste heat	
Lab. research	China/2015	PCM/n.a.	Excess, industrial waste heat	
Numerical	China and Sweden/2013	PCM/n.a.	Excess, industrial waste heat	
Numerical	China and Sweden/2016	PCM/n.a.	Excess, industrial waste heat	
Numerical	China and Sweden/2022	PCM/n.a.	Waste heat	
Numerical	Turkey/Brasil/2021	PCM/n.a.	n.a.	
Economical	China/2016	PCM/1.35-5.4 MWh	Waste heat	
Economical	n.a.	PCM/n.a.	Waste heat	
Economical	China/2016	PCM/1.35-5.4 MWh	Waste heat	
Economical	China, Sweden/2013	PCM, water/n.a.	Waste heat	
Economical, technical	Germany/2014	PCM/1.3 MWh	Waste heat	
Economical	Poland/2020	PCM/55 kWh	Geothermal heat	

[1]Enetech. Available online: <https://enetech.com.pl/>

[2]Neo Bio Energy Sp. z o.o. Available online: <http://neobioenergy.pl/>

[3] Integrating Mobile Thermal Energy Storage (M-TES) in the City of Surrey's District Energy

Network: A Techno-Economic Analysis, Appl. Sci. 2021, 11, 1279.

[4]Trans-Heat Container. Available online: <https://www.nedo.go.jp/content/100899763.pdf>

[5] Logistikkonzept für mobile Wärmespeicher in Biogasanlagen (badenova.de)

[6] Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery, Energy Procedia 73 (2015) 272 – 280

研究段階のものが多い中で、ポーランドの民間企業 2 社では、熱輸送 (M-TES : Mobilized Thermal Energy Storage) 事業として商業化している。

[1]EneTech 社の HP ([Mobilne magazyny ciepła \(MMC\) - Enetech](#))によると、24 トンのタンクに蓄熱材 (PCM : Phase Change Material) を充填し、配管を通して熱を蓄熱材に供給する。蓄熱材には約 7 GJ の熱が貯蔵される。

蓄熱したタンクを、30 km程度離れた地域に運び、タンク内に設置した配管内に水を通して蓄熱材との熱交換により水を温水として供給するというものである。

EneTech 社の HP に掲載の熱輸送システムのイメージ図は以下のとおりである。



<蓄熱>



<放熱>

[2]Neo Bio Energy 社の HP (<http://neobioenergy.pl/>) では Mobile Heat Storage という見出しで、移動式の熱の提供を謳っており、短距離での熱の貯蔵と輸送を可能にするモバイル蓄熱器を提供する、とのことであるが詳細は不明である。

パイロット段階とされている 4 つの事業については以下のとおりである。

[3] カナダのブリティッシュコロンビア州のサリー市では地域エネルギーネットワーク (a district energy network (DEN)) を立ち上げ、サリー センター エリアの住宅および商業ビルに、天然ガスボイラーの熱による暖房用温水を供給している。ここに移動式熱エネルギー貯蔵 (M-TES) を利用してはどうか、という検討段階である。

[4]2019 年 10 月 30 日に German-Japanese Environment and Energy Dialogue Forum が開催され、三機工業によるトランスヒートコンテナ (THC) の実証実験についての発表である。

[5] オフエンブルク大学が2011年～2014年に行った実証試験で、バイオガスプラントの排熱を蓄熱材（酢酸トリウム）に蓄熱させ、近隣の学校まで移送させ、プールの水の加温に用いた。システムは、La-Therm 潜熱蓄熱システムと呼ばれており、2.5 MWhの蓄熱が可能。



蓄熱システムを販売する LaTherm Energie AG 社の HP ([Abwärme nutzen, wo sie gebraucht wird: Mobile Wärmespeicher \(cleanthinking.de\)](http://www.la-therm.de)) には、以下の事が記載されている。

コンテナには、約 2.5 MWh（250 リットルの灯油に相当）を蓄熱できる。これは タンクローリーが通常積載できる 16,000 リットルの石油と比較すると、ほとんど競争力がないように見えるが、容器に蓄えた熱を半径 30km 以内に輸送し使用したとしても、約 13 トンの CO2 しか発生させず、CO2 の削減効果は大きい。システムは 2007 年から稼働している。



2012 年に開始されたプロジェクトの一環として、デュースブルク（ドイツ中西部工業地帯）にある屋内プールは、コークス工場からの廃熱を蓄熱させ利用している。

Isernhagen の Helleweg にある学校センターでは、生物学的残留廃棄物処理プラントからの余剰エネルギーの熱コンテナ輸送が 2017 年 9 月に開始された。熱供給業者と顧客の間の 5 キロメートルの輸送は電気トラックを使用した。

[6]ドイツでのゼオライトを用いた移動式熱貯蔵システムの実証事業である。

廃棄物焼却プラントからの抽出蒸気（130℃）により、ゼオライトの脱水による熱回収を行う。14トンのゼオライトがタンクに充填されており、これを7km離れた工業用乾燥プロセスを行うデモプラントまで移送する。乾燥プロセスで発生する60℃、湿度0.09 kg/kgの排気をゼオライトに通気させ、2.3MWhの熱を発生させた。1サイクルあたりに616 kgのCO₂の削減が見込まれ、約1年間のテストでは性能の低下は見られなかった。73 €/MWhのコスト試算も出されている。



以上、ポーランド、カナダ、ドイツにおける熱輸送についての商業ベースおよび実証事業の報告で、蓄熱材にPCMを用いた潜熱・顕熱利用およびゼオライトでの吸着熱利用であるが、いずれも排熱を利用した熱の貯蔵と移送先での熱利用の重要性が謳われており、今後さらなる調査を進め、海外での熱輸送の実態把握を行う。

6. 次年度の予定

次年度は本事業の最終年度である。実証運転に向け実証運転計画の作成と並行して、設備の製作・据付を行う。

試運転により設備が計画通りの性能を出すことを確認した後、実証運転を実施する。

計画通りの実証運転で得られたデータを解析し、本事業の有効性評価を行う。

図6-1にスケジュールを示した。

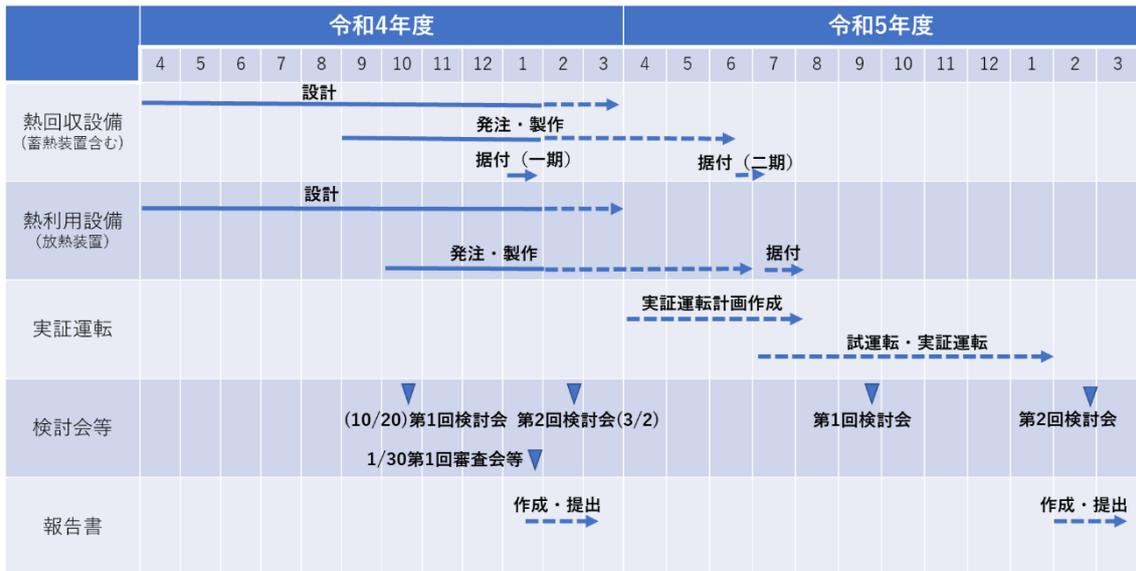


図6-1 次年度スケジュール

7. 実施内容のまとめ

7.1. 実証実験設備の具体化

7.1.1. システム設計の見直し

令和3年度の計画では、熱回収設備は、化学蓄熱材 ($\text{MgO}/\text{Mg}(\text{OH})_2$) を充填した反応器と呼ばれる装置と、この反応器内に乾燥した高温の空気を流入させる装置から構成し、1GJの熱を4日間(8時間/日)で回収できる熱回収設備及び、この回収した1GJの熱を1日(8時間)で放熱させる放熱設備を製作することを計画した。

本年度はこの計画を見直し、0.25GJの熱を1日(5時間)で回収し、この熱を放熱設備側にて1日(8時間)で放熱させる計画とした。

その主な理由は、以下の2点である。

- ① 1GJの熱の回収には4日間が必要であり、一方、放熱は1日で終了することから、熱回収と放熱との時間的な差が生じることによる熱回収側でのロスが生じること。
- ② 1GJの放熱設備には、約500kgの酸化マグネシウムを充填させる大きさの反応器が必要であること、また設備の運転には約 $60\text{Nm}^3/\text{min}$ の循環ガス量を送風させるブロワが必要であり、全体的に大きな設備となる。予算的な面及び、設備を設置する敷地面積が課題。

このため、本年度の計画では、放熱設備の構成として0.125GJの熱を放熱する反応器を2基並列に並べ、バルブの切り替えにより片方の反応器のみに循環ガスを4時間流通させ、反応終了後にバルブを切り替えて、残りの反応器を4時間放熱させ、合わせて8時間の放熱とする計画とした。

これにより、循環ガス量は $6\text{Nm}^3/\text{min}$ となり、放熱設備の小型化が可能となった。熱回収設備の能力としては、0.25GJ/日であり、昨年度計画の1GJ/4日と同条件である。

7.1.2. 熱回収設備の製作及び一部据付

ごみ焼却炉の上部に位置する再燃焼室内に高温熱交換器を取り付け、この高温熱交換器に清浄な空気を通気させることで水酸化マグネシウムの脱水反応(蓄熱)に必要な高温(350°C)の乾燥空気を作り出す。高温熱交換器に通気される清浄空気は予め、ごみ焼却施設の排ガスの熱を利用し 200°C 程度まで昇温する。高温熱交換器を出た清浄な高温の空気は水酸化マグネシウムが充填された反応器に通気され、脱水反応により酸化マグネシウムへと化学変化する。

本年度は、高温熱交換器を除く周辺配管の敷設までを実施した。

7.1.3. 放熱設備の設計

放熱設備は、酸化マグネシウムを充填した反応器、反応器内の酸化マグネシウムに発熱反応を起こさせるための水分を含んだ 90°C 程度の空気を送り込むためのブロワ、水分を含んだ空気を調整するための蒸気ボイラ、酸化マグネシウムの発熱により 200°C 程度まで昇温された空気の熱により温水を作り出す熱交換器および反応の開始時のみ

の使用であるが、反応器に送り込む 90℃の空気を作り出すためのヒータより構成される。

本年度は、放熱設備での熱収支を検討のうえ、各機器の仕様を決定した。また、実証実験を行う温浴施設の現地調査を行い、設備の配置計画を行った。

7.2. 検討委員会の実施

令和 4 年 10 月および令和 5 年 3 月に検討委員会を開催し、各委員から実証実験に向けての指導を受けた。

以上

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。