

令和5年度シンポジウム  
資源循環分野における脱炭素・循環経済に係るシンポジウム  
資料

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について  
(環境省：脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業)

2024年3月6日  
エスエヌ環境テクノロジー株式会社  
中尾 毅

- ❖ はじめに(背景)
- ❖ 実証事業について
  1. 概要
  2. 成果と課題について
  3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)
- ❖ おわりに

## はじめに（背景）

- 2018年4月に閣議決定した第五次環境基本計画では、国連「持続可能な開発目標」（SDGs）や「パリ協定」といった世界を巻き込む国際な潮流や複雑化する環境・経済・社会の課題を踏まえ、複数の課題の統合的な解決というSDGsの考え方も活用した「地域循環共生圏(Local SDGs)」が提唱されました。
- ごみ焼却施設から生み出される熱の地域活用は、施設の概ね隣接場所で行われています。一方、オフライン熱利用技術である熱輸送は、以前からあるものの実例(実証を含む)が少ないものでした。近年、従来に比べて蓄熱密度及び熱利用温度の高い化学蓄熱材の出現により、熱輸送が脱炭素化技術として再び注目され、余熱利用を行っていない施設、特にその割合が多い小規模ごみ焼却施設において、排熱の有効利用につながるものとして期待されています。
- 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の中にある資源循環関連産業の項目に、今後の取り組みとして、ごみ焼却施設からの遠方への熱輸送が挙げられており、令和3年度において環境省の委託業務である脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業の一つとして、「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」が採択されました。

# 1. 概要

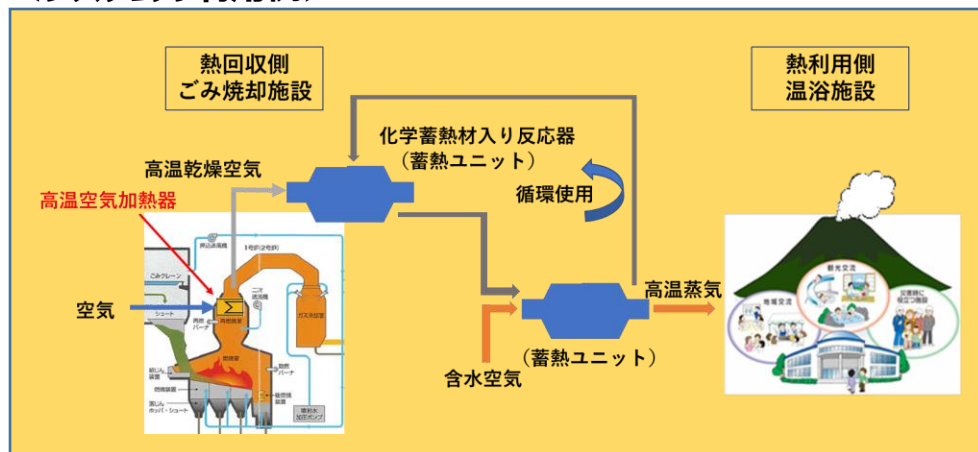
## ➤ 目的 (狙い)

従来の潜熱方式に比べ**5倍の蓄熱量/単位容量**をもつMg系化学蓄熱材を用い、**排熱源としてのごみ焼却施設での場外熱利用**を行う。

## ➤ 期待される効果：

1. 輸送当たりの熱量を増加させることにより、**輸送コストの低減化が可能**となる
2. ごみ発電(BTG)の設置が困難な**中小規模のごみ焼却施設でのエネルギー回収が可能**となる
3. BTG付き施設におけるエネルギーの**カスケード利用も可能**となる
4. 熱利用を通じて**ごみ処理システムを中心とした地域循環共生圏形成が期待**できる

## <システムの利用例>



水和反応 (放熱)



脱水反応 (蓄熱)

# 1. 概要

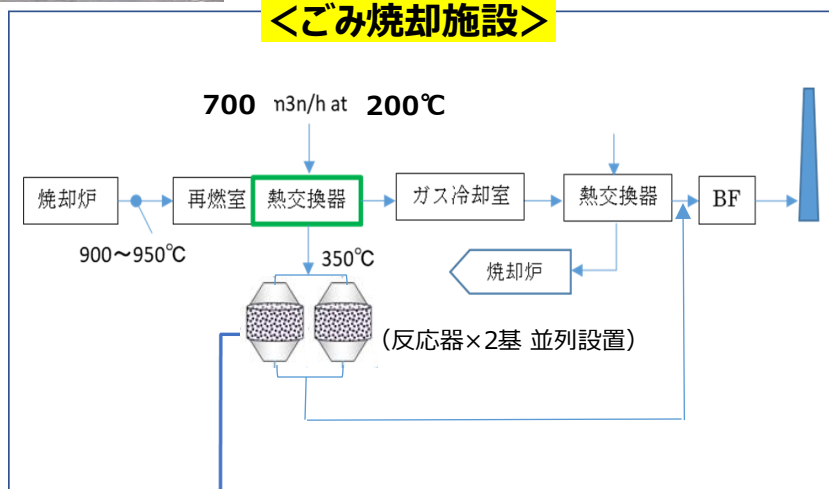
## ➤ 実証事業の全体像

所在：長崎県南島原市  
 名称：南有馬グリーンセンター  
 規模：**30t/16h**×2炉（水噴射方式）  
 竣工：2000年3月

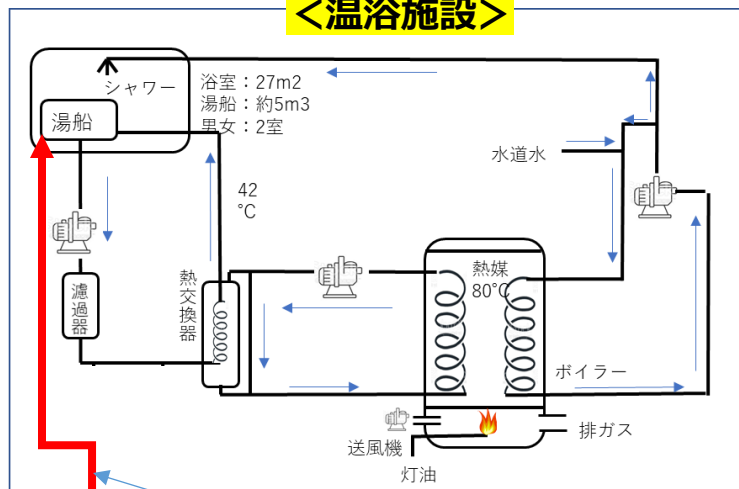
所在：長崎県南島原市  
 名称：希望の里(市の温浴施設)  
 灯油使用量：平均45l/日(**1.75GJ/日**)  
 位置：ごみ焼却施設から約13km



### <ごみ焼却施設>

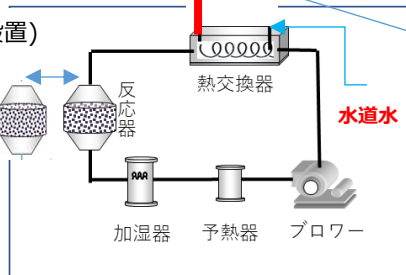


### <温浴施設>



トラック移送

(反応器×2基設置)  
切替使用



**湯は、温浴施設の男風呂浴槽へ供給する。**

### 【実証運転計画】

熱回収設備（蓄熱装置）側

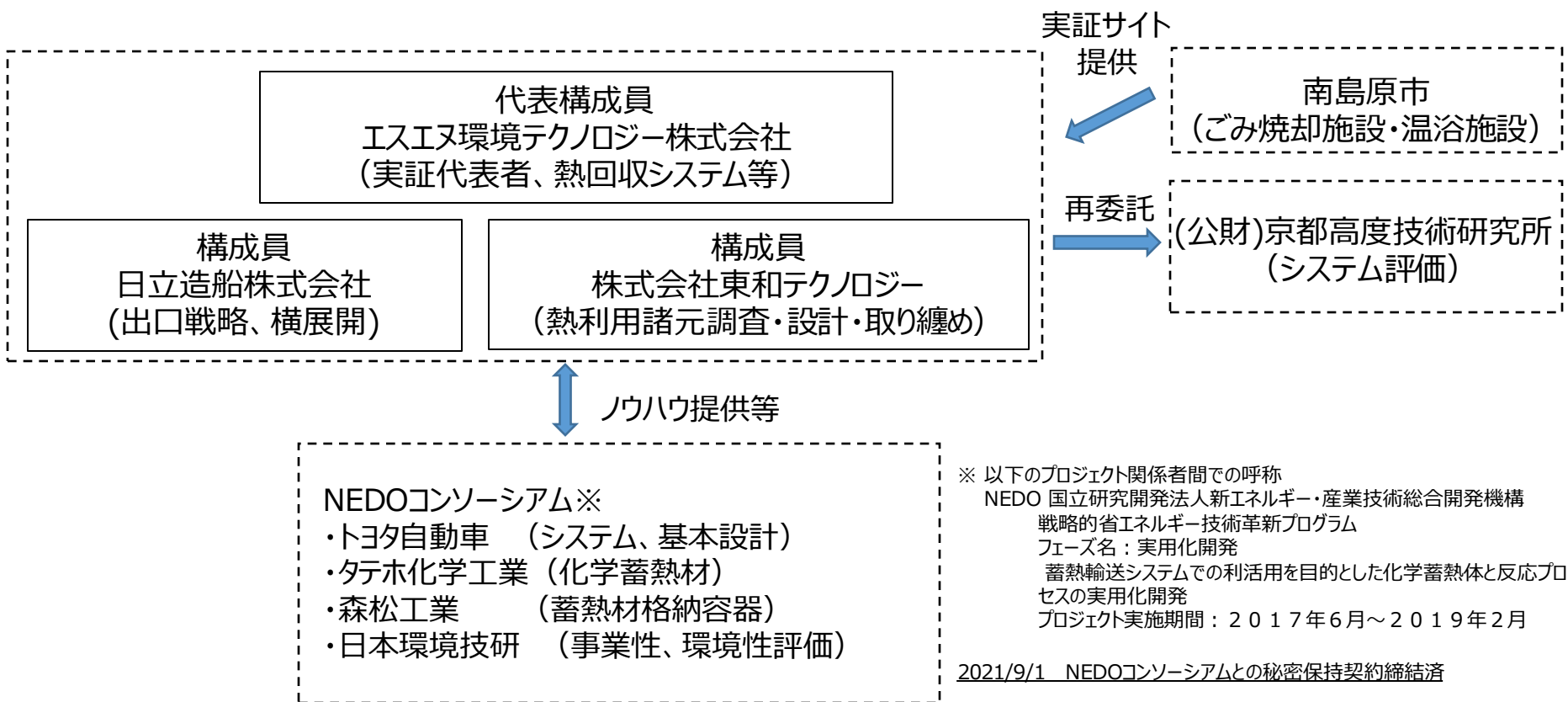
1日5時間で0.25GJの熱回収

熱利用設備（放熱装置）側

1日8時間で、0.25GJの熱を放熱させ、湯船のお湯はりの一部(2m<sup>3</sup>)に使用する。

# 1. 概要

## ➤ 事業の実施体制



熱輸送は、域内モデルを想定し、地元の建設会社に依頼

# 1. 概要

## ➤ 実証スケジュール

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	—	—	—

## ➤ 実証タスク

### 令和3年度

1. ごみ焼却施設からの熱回収システム設計
2. 蓄熱技術の課題抽出と対応
3. 熱利用先の拡大に向けた調査
4. 採算性への課題抽出と対応

### 令和4年度

1. 熱回収/熱利用システム設計製作、一部据付

### 令和5年度

1. 熱回収/熱利用システム設計製作、据付
2. 実証運転
3. 実証まとめと課題の抽出

# 1. 概要

## ➤ 本事業で用いる化学蓄熱材（酸化マグネシウム系）の特徴

	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 <sup>3</sup>	0.59GJ/m <sup>3</sup>	0.20GJ/m <sup>3</sup>
利用温度	200~250°C	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

(1) 水と反応しない限り、放熱は無い。

- ・熱を長期間保管できる。(非常用の熱源となり得る。)
- ・長距離移送が可能である。(地域循環共生圏の拡がりを期待。)

(2) 原材料は国内に無尽蔵にある。(酸化マグネシウムは海水より製造。)

- ・国産の蓄熱材である。

(3) 他の蓄熱材と比較して蓄熱密度が大きい。

- ・輸送コストの低減化が見込める。

(4) 利用温度が他の蓄熱材と比較して高い。

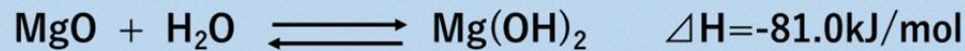
- ・熱需要家の選択範囲が広い。



蓄熱材充填状況

表は、・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「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）より作成  
<https://www.nedo.go.jp/content/100906320.pdf>

水和反応（発熱）



脱水反応（吸熱）

この蓄熱材は、多くのメリットがあるものの、発熱反応には、常に水蒸気が消費される。



# 1. 概要

## ➤ 本事業での現地状況



高温AH外周り



反応器取付け後の状態



放熱ユニット



反応器取付け口



反応器運搬(2t車)



浴室(男用)に温水供給

特殊なものは可能な限り使用せず、地元企業の方の協力も得て、設置及び運用

## 2. 成果と課題について

### 蓄熱装置の管理項目と管理目標値

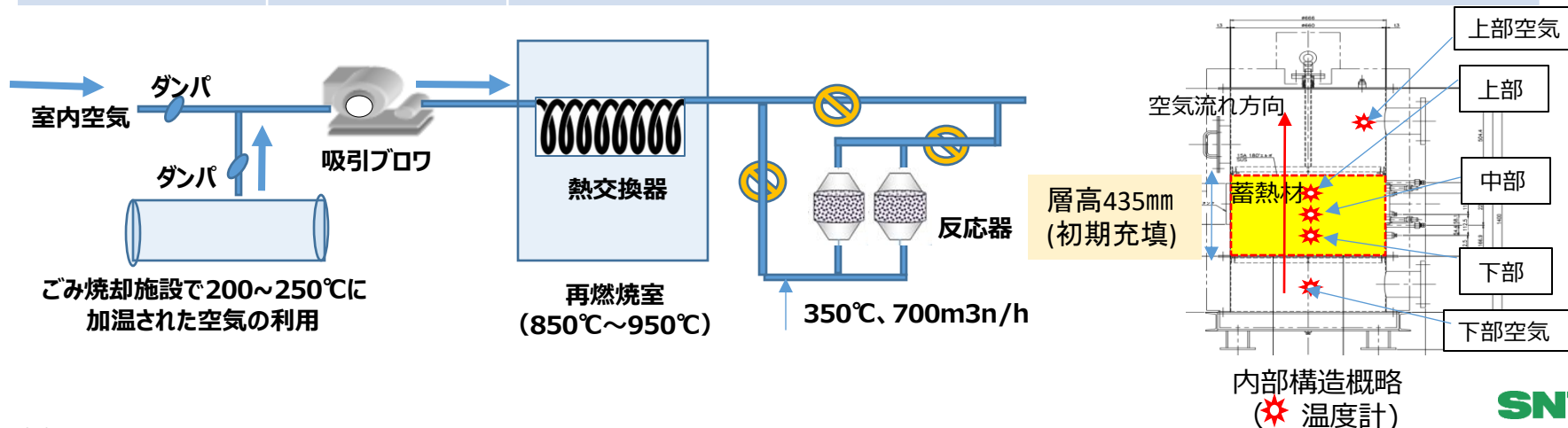
蓄熱装置での目標

- ① **高温空気加熱器で、化学蓄熱材の今回設定の熱容量0.25GJの蓄熱反応に必要な高温空気を作成すること。**
- ② **高温空気加熱器で作られた高温空気で、0.25GJの蓄熱を行うこと。**

＜上記目標達成のためのシステム管理項目と目標値＞

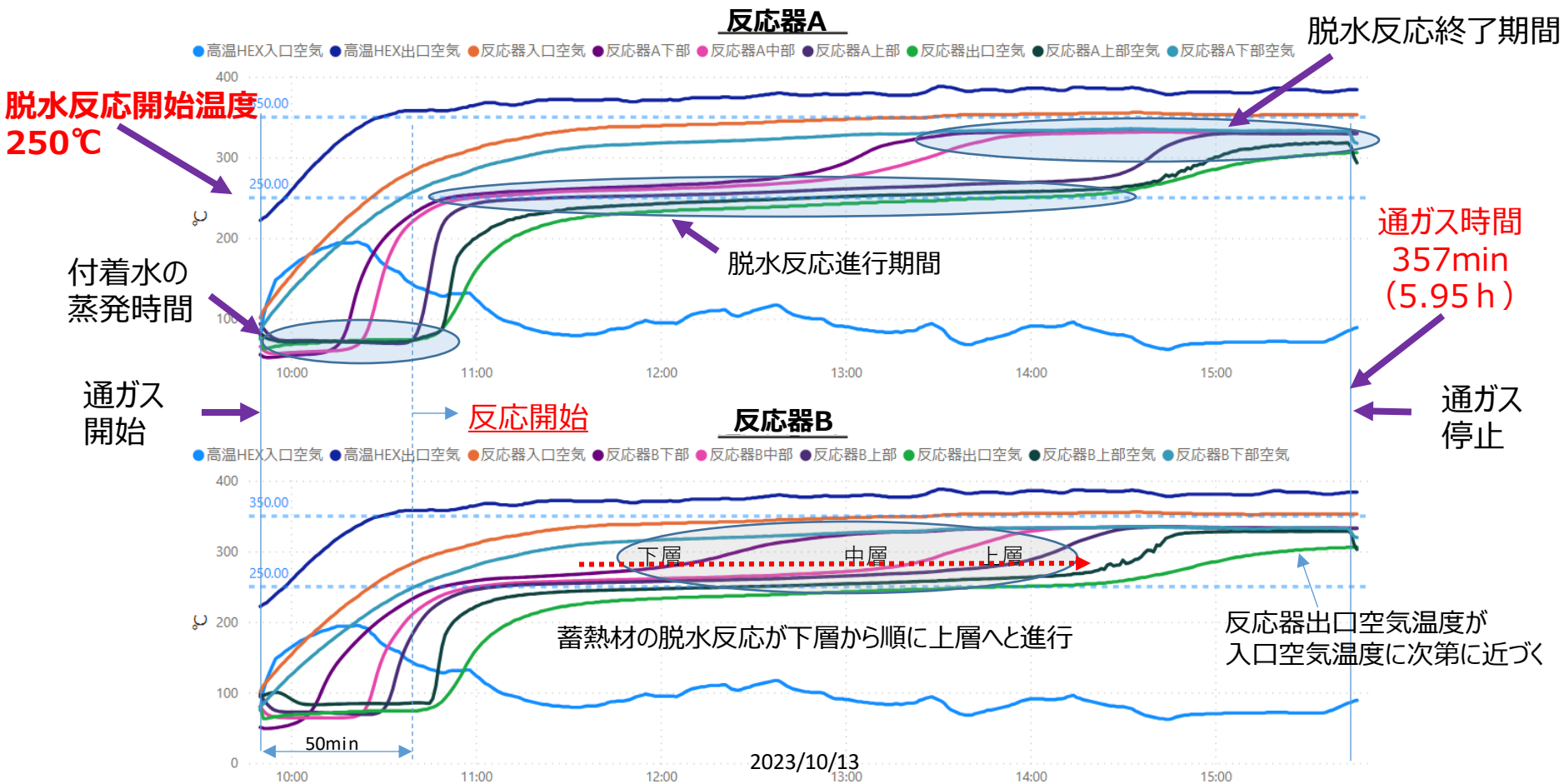
※ 実証事業計画時において、NEDOコンソーシアムから提示された条件

管理項目	管理目標値	目標設定の考え方
反応器入口 空気温度	<b>350℃</b>	化学蓄熱材1GJを2hで反応させるために必要とされる空気温度※
反応器入口 空気流量	<b>700m<sup>3</sup>n/h</b>	化学蓄熱材1GJを2hで反応させるために必要とされる空気流量5,400m <sup>3</sup> n/h※を元に、今回の規模（0.25GJ）を5hで蓄熱するために必要な空気流量（蓄熱時間が流量に逆比例する知見※からスケールダウン<同条件(温度,材量)において>） 必要流量 = 5,400 × 蓄熱量 / 1GJ × (2h / 反応時間) × 余裕率 (1.3) 5,400 × (0.25 / 1) × (2 / 5) × 1.3 ≒ 700
反応時間	<b>5h</b>	高温空気加熱器の規模決定のために設定した値



## 2. 成果と課題について

### 蓄熱装置運転データ



蓄熱の反応過程は下層から順に起こり、再現性が高い。  
実蓄熱反応（乾燥を除く）の時間は、計画どおりで、安定した反応

## 2. 成果と課題について

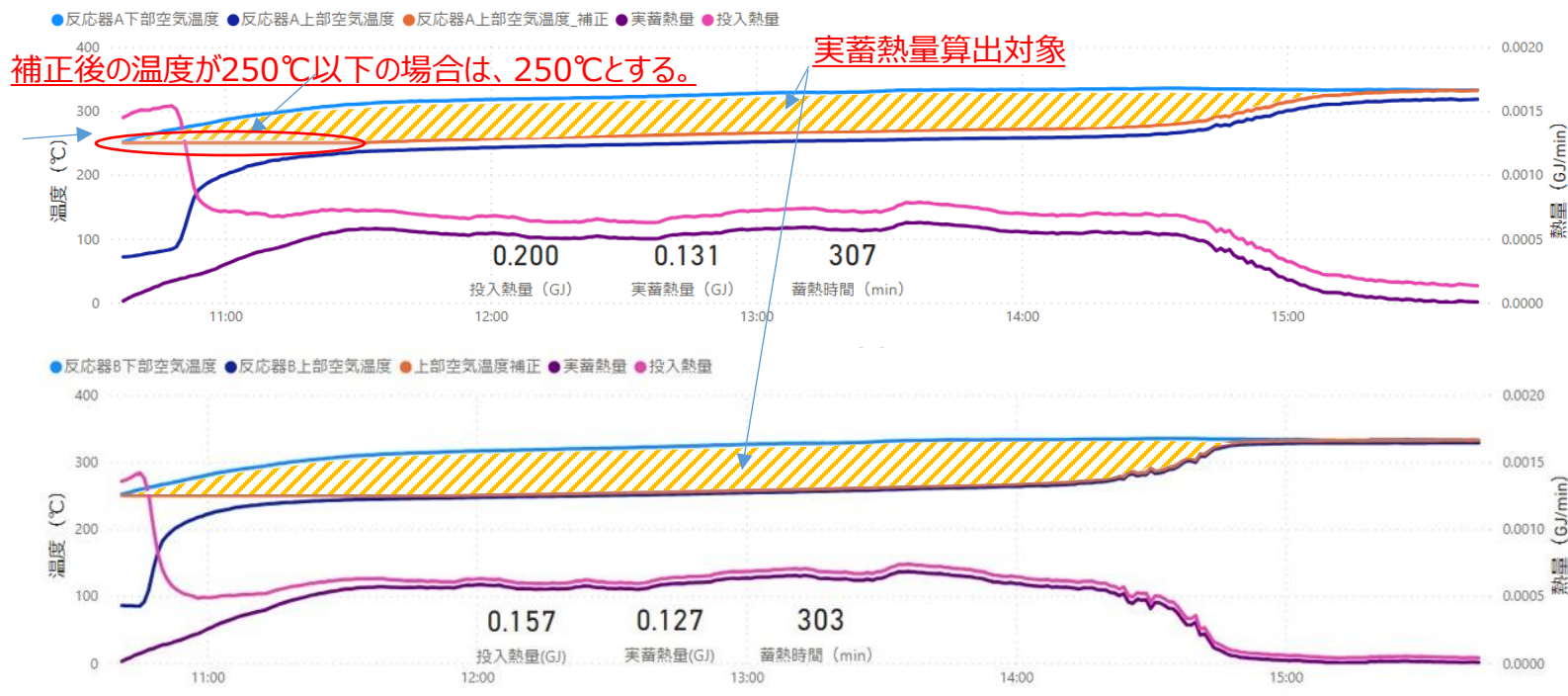
### 蓄熱材への投入熱量と実蓄熱量

$$\text{投入熱量} = \Sigma (\text{反応器下部空気熱量} - \text{反応器上部空気熱量})$$

$$\text{実蓄熱量} = \Sigma (\text{反応器下部空気熱量} - \text{反応器上部空気熱量} - \text{補正})$$

$$\text{反応器上部空気温度}_{\text{補正}} = \text{反応器上部空気温度} + \text{反応終了時点での温度差}$$

反応開始  
温度条件  
250℃



$$\text{実蓄熱量(GJ)} = 0.131 + 0.127 = 0.258$$

$$\text{蓄熱時間(h)} = 307 / 60 \div 5$$

蓄熱量ならびに蓄熱時間は、当初の目標を達成

## 2. 成果と課題について

### ➤ 蓄熱装置 運転結果のまとめ

管理項目	単位	管理目標値	実証 平均値	運転結果
反応器入口 空気温度	℃	350	325	焼却炉の運転状況にもよるが、立上げ約1時間後で高温空気熱交換器(以下、高温AH)出口における空気は、350℃～370℃まで昇温し、以降安定した温度を維持できたものの、反応器までの放熱が大きく影響した。
反応器入口 空気流量	m3n/h	700	769	焼却炉の余熱空気(約220～250℃)を高温AHに通す場合(高温AH出口温度が350℃以上になるまで)は、700Nm3/を下回る場合もあるが、350℃での定常状態では、700～850Nm3/hを保持している。
蓄熱時間 (乾燥除く)	h	5	5	安定的な空気温度、空気流量となるまでの1時間弱は、蓄熱材への吸着水脱水が起こり、その後約5時間の安定的な通気により、蓄熱反応は終了した。乾燥時間は、焼却炉立上時の温度上昇カーブの影響を受けており、炉定常運転時には約0.5h程度に短縮されている。この結果、通ガス時間は、5.5～6hとなっている。
蓄熱量	GJ	0.25	0.26	0.21～0.29の範囲。目標蓄熱量に余裕を持たせた初期充填量としており、その範囲内である。

計画に対して、概ね良好な結果を得られ、  
蓄熱装置の規模を拡張するためのデータ検証を終えた。

## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱装置システム管理項目と管理目標値

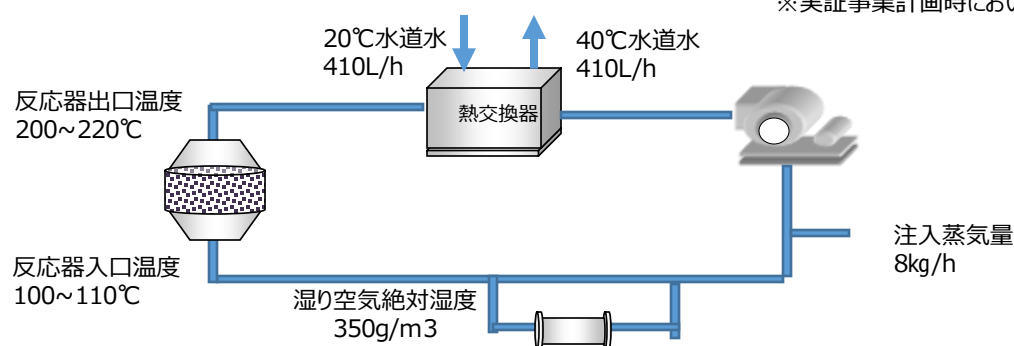
#### 放熱装置での目標

- ① **8時間の化学蓄熱材における放熱反応で0.25GJの熱を発生させること。**
- ② **発生させた0.25GJの熱で、温度20℃の水から40℃のお湯2m3を作成すること。**

#### <上記目標達成のためのシステム管理項目と目標値>

システム管理項目	管理目標値	目標設定の考え方
反応器入口温度	100~110℃	蓄熱材反応は85℃程度から開始※。湿り空気中の水蒸気の凝縮が起こらない100℃以上の設定値
反応器出口温度	200~220℃	蓄熱材からの放熱反応により取り出せる湿り空気の最高温度域※
湿り空気の湿度	350g/m <sup>3</sup>	提供される化学蓄熱材に対する放熱反応に必要な湿り空気の絶対湿度※（85℃の飽和蒸気相当量を含む湿り空気）
湿り空気流量	400m <sup>3</sup> /h	提供される化学蓄熱材に対する放熱反応に必要な湿り空気の流量※
蒸気投入量	8kg/h	反応器1基から0.125GJを4hで放熱させるために必要な時間平均水蒸気量（理論上の時間平均水蒸気量 約28kg/4h=7kg/h※）
温水流量	410 ℓ /h	温水熱交換器最大通水量（上記、混合気体の条件にて）

※実証事業計画時において、NEDOコンソーシアムから提示された条件



## 2. 成果と課題について

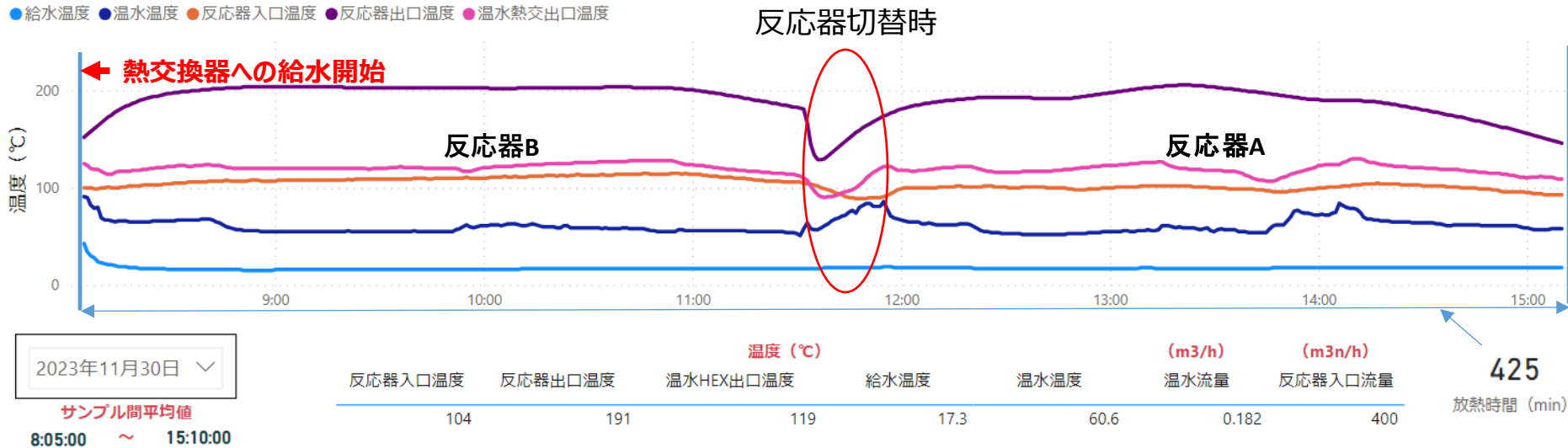
### ➤ 放熱装置運転データ



放熱反応でも蓄熱と同様、下層から順に起こり再現性は高い。  
反応時間は計画どおりで、安定した反応

## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱装置（放熱時温度推移と反応器放熱熱量、温水交換熱量、温水作成量）



$$\begin{aligned} \text{反応器有効放熱熱量} &= \Sigma(\text{反応器出口熱量} - \text{反応器入口熱量}) \\ &= 0.242\text{GJ} \end{aligned}$$

$$\text{反応器有効放熱熱量} / \text{目標放熱熱量} = 0.242 / 0.25 = 0.97$$

$$\begin{aligned} \text{温水回収熱量} &= \Sigma(\text{温水流量}(\text{m}^3/\text{min}) \times (\text{温水温度}(\text{°C}) - \text{給水温度}(\text{°C}))) \\ &= 0.234\text{GJ} \end{aligned}$$

$$\text{温水回収熱量} / \text{反応器有効放熱熱量} = 0.234 / 0.242 = 0.97$$

$$\begin{aligned} \text{温水作成量} &= \text{時間当たりの平均温水流量}(\text{m}^3/\text{h}) \times \text{放熱時間}(\text{min}) / 60 \times \text{平均温水温度差}(\text{°C}) / \text{目標温水温度差}(20\text{°C}) \\ &= 0.182 \times 425 / 60 \times (60.6 - 17.3) / 20 \\ &= 2.79\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{温水作成量} / \text{目標温水量} = 2.79 / 2 \approx 1.4$$

計画に対し、反応器有効放熱熱量、温水回収量とも概ね目標値を達成



## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱装置 運転結果のまとめ

※ 最適条件値

管理項目	単位	管理目標値	実証平均値	運転結果
反応器入口温度	℃	110	100	96～108℃で運転している。
反応器出口温度	℃	200	189	最高温度は200℃強まで達するが、反応の進行により、温度は徐々に降下する。運転時間内の平均は約190℃程度となっている。
湿り空気の湿度	g/m <sup>3</sup>	350	304	290～320g/m <sup>3</sup> で、設定値より低い。投入蒸気量の低減によるもの。この条件でも安定した放熱反応を行っている。
湿り空気流量	m <sup>3</sup> /h	400	400	目標値を安定的に保持できている。
投入蒸気流量※	kg/h	8	<b>12</b>	蓄熱材の吸湿水、温水HEXでのドレン水発生のため、消費される水分が増加した。
温水温度※	℃	40	60.6	55～61℃の温水を作成。温度差は30～44℃で、目標温度の40℃、温度差(20℃)を超えた。
温水流量※	l/h	410	182	0.18～0.33の範囲で、目標に対して33%。温度差が大きくとれたため、必要とする温水作成量は確保。
温水作成量※	m <sup>3</sup>	2	2.79	計画温水温度差(20℃)換算で、目標の湯量を確保。
有効放熱量※	GJ	0.25	0.242	目標の97%で、ほぼ予定どおりの放熱量を確保。
放熱時間※	h	8	7	放熱反応は、目標値以内。立上げを考慮して8h以内。

計画に対して、蒸気使用量が多いものの、概ね良好な結果を得られた。  
放熱装置の規模を拡張するためのデータ検証を終えた。

## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱装置における投入エネルギーと反応器出力について(実証設備\_専用ボイラ設置)

(単位 : kW)

改善対象

※ 最終運転条件設定時

エネルギー収支		計画 ※	実証	実証/計画	考察
入力	蒸気	5.76	8.71	1.51	温水回収時のドレン及び蓄熱材の吸湿により蒸気の消費が増加
	消費電力(ブロウ、ポンプ他)	2.68	2.12	0.79	放熱の最適化条件により、負荷率が下がり、電力量が減少
	入力合計	8.44	10.83	1.28	蒸気量増加と消費電力減少の相殺はあるものの3割弱の入力増
出力 (反応器)	温水回収	9.42	9.16	0.97	放熱の最適化条件により、温水HEXの入出の熱量差が下がったことにより、温水回収量が減少、但し目標量は、達成。
	熱損失等	0.45	1.47	3.27	反応器等の放熱量が多いことによる
	出力合計	9.87	10.63	1.08	温水熱回収が少ないものの放熱分を含む放熱は計画とおり
出力/入力		1.17	0.98	0.84	
出力/蒸気入熱		1.71	1.22	0.71	
温水回収/蒸気入熱		1.64	1.05	0.64	
プロセス代表平均値					
反応器入口湿り空気温度(℃)		110	104		
反応器出口湿り空気温度(℃)		200	191		最大206℃
温水HEX出口湿り空気温度(℃)		115	119		
反応器入口湿り空気流量(m <sup>3</sup> /h)		400	400		化学蓄熱材メーカーの最適化条件による
反応器入口湿り空気湿度(g/m <sup>3</sup> )		350	302		プロセスの全体最適化による
反応時間(h)		(6.72)	7.1		3h(200℃以上)、5h(190℃以上)、5.8h(180℃以上)
反応器差圧(kPa)		3.0	2.33		最大2.72

平均温度が191℃、200℃以上の湿り空気、蒸気入熱の1.2倍の出熱を化学蓄熱材から得ることができた。

このシステムは、ケミカルヒートポンプで、反応には、常に水蒸気が消費される。反応に無効な蒸気量を抑える事がエネルギーゲイン向上につながる。

## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱装置における投入エネルギーと反応器出力について（プロセス蒸気の利用の場合）

(単位：kW)

改善対象

※ 最終運転条件設定時

エネルギー収支		計画 ※	実証	実証/計画	考察
入力	蒸気	5.18	7.84	1.51	温水回収時のドレン及び蓄熱材の吸湿により蒸気の消費が増加
	消費電力(ブロウ、ポンプ他)	2.61	2.02	0.77	放熱の最適化条件により、負荷率が下がり、電力量が減少
	入力合計	7.79	9.86	1.27	蒸気量増加と消費電力減少の相殺はあるものの1割弱の入力増
出力 (反応器)	温水回収	9.42	9.16	0.97	放熱の最適化条件により、温水HEXの入出の熱量差が下がったことにより、温水回収量が減少、但し目標量は、達成。
	熱損失等	0.45	1.47	3.27	反応器等の放熱量が多いことによる
	出力合計	9.87	10.63	1.08	熱損失が多いものの反応器出力としては、ほぼ計画値となった。
出力/入力		1.27	1.08	0.85	
出力/蒸気入熱		1.91	1.36	0.71	
温水回収/蒸気入熱		1.82	1.17	0.64	
プロセス代表平均値					
反応器入口湿り空気温度(°C)		110	104		
反応器出口湿り空気温度(°C)		200	191		最大206°C
温水HEX出口湿り空気温度(°C)		115	119		
反応器入口湿り空気流量(m <sup>3</sup> /h)		400	400		化学蓄熱材メーカーの最適化条件による
反応器入口湿り空気湿度(g/m <sup>3</sup> )		350	302		プロセスの全体最適化による
反応時間(h)		(6.72)	7.1		3h(200°C以上)、5h(190°C以上)、5.8h(180°C以上)
反応器差圧(kPa)		3.0	2.33		最大2.72

平均温度が191°C、200°C以上の湿り空気、蒸気入熱の1.3倍の出熱を化学蓄熱材から得ることができた。

エネルギーゲインを高めるためには、蒸気の他に投入電力の削減も有効で、改善の余地はある。

## 2. 成果と課題について

### ➤ 放熱反応時の反応器前後におけるエネルギー収支について

(単位：kW)

※ 最終運転条件設定時

エネルギー収支		計画 ※	実証	実証/計画	考察
入力	湿り空気	12.45	11.79	0.95	反応器入口温度の差による。
	消費電力(ブロウ、ポンプ他)	2.61	2.02	0.76	放熱の最適化条件により、負荷率が下がり、電力量が減少
	入力合計	15.06	13.81	0.92	補充蒸気量は増加も、運転条件調整にて計画より低減
出力 (反応器)	湿り空気	21.94	20.75	0.95	反応器出口温度が計画よりも低いことによる
	内温水回収分	9.42	8.01	0.86	2.44m <sup>3</sup> (ΔT=20℃換算)、実回収との差はドレンからの熱回収
	熱損失等	0.37	0.52	1.41	反応器での熱損失が大きいことによる
	出力合計	22.31	21.27	0.95	熱損失が多いものの反応器出力としては、ほぼ計画値となった。
出力/入力		1.48	1.54	1.04	
出力/湿り空気入力		1.79	1.80	1.01	
湿り空気出力/湿り空気入力		1.76	1.76	1.00	
プロセス代表平均値					
反応器入口湿り空気温度(℃)		110	104		
反応器出口湿り空気温度(℃)		200	191		最大206℃
温水HEX出口湿り空気温度(℃)		115	119		
反応器入口湿り空気流量(m <sup>3</sup> /h)		400	400		化学蓄熱材メーカーの最適化条件による
反応器入口湿り空気湿度(g/m <sup>3</sup> )		350	302		プロセスの全体最適化による
反応時間(h)		(6.72)	7.1		3h(200℃以上)、5h(190℃以上)、5.8h(180℃以上)
反応器差圧(kPa)		3.0	2.33		最大2.72

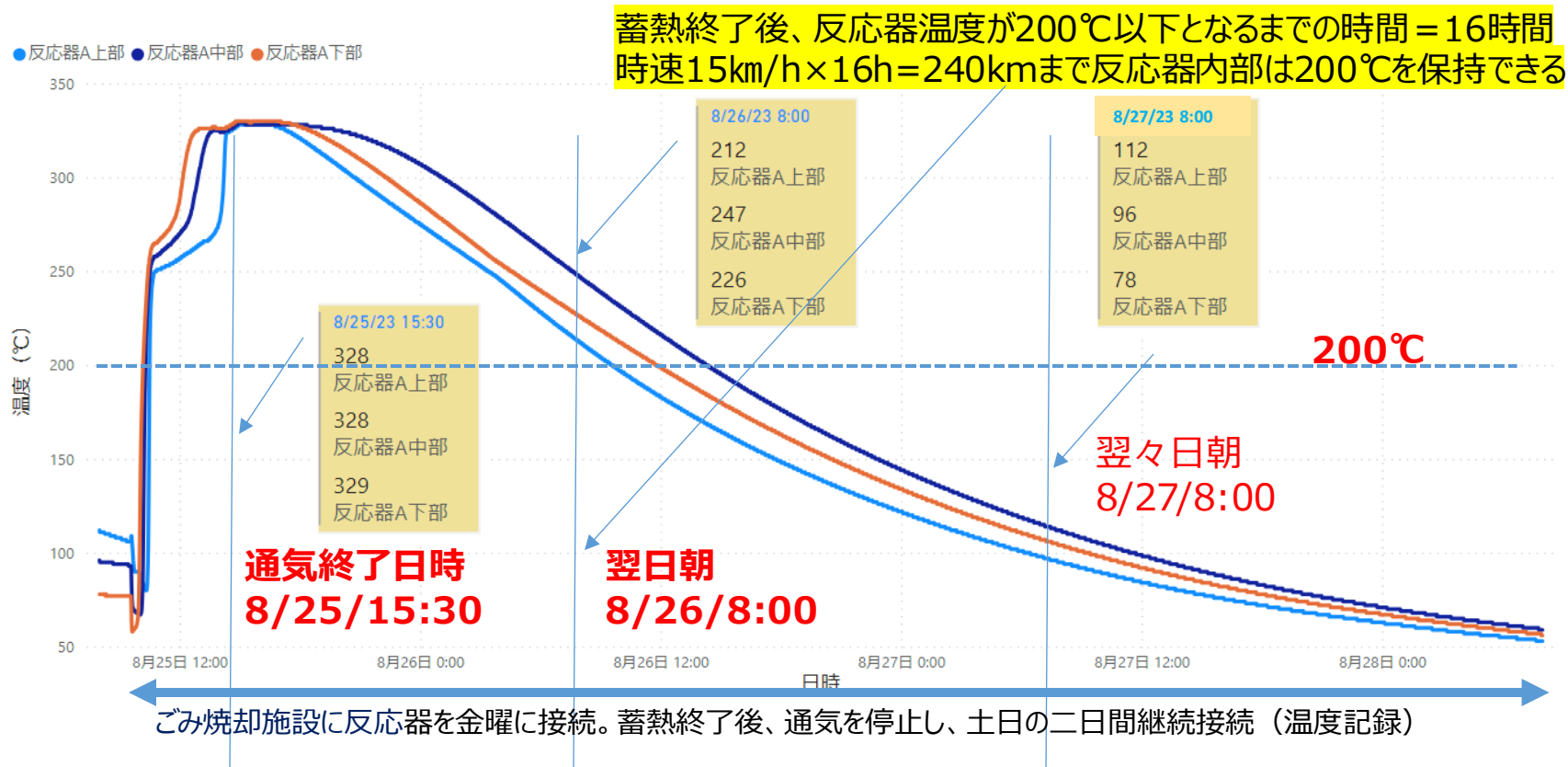
改善対象

平均温度が191℃、200℃以上の湿り空気を発生させ、湿り空気においては、入力に対して約1.7倍の出力を化学蓄熱材から得ることができた。

蒸気供給だけでなく、プロセスで発生する湿り空気を用いたケミカルヒートポンプとして活用可能

## 2. 成果と課題について

### ➤ 蓄熱材の時間経過に伴う顕熱変化について（蓄熱材の温度推移から）

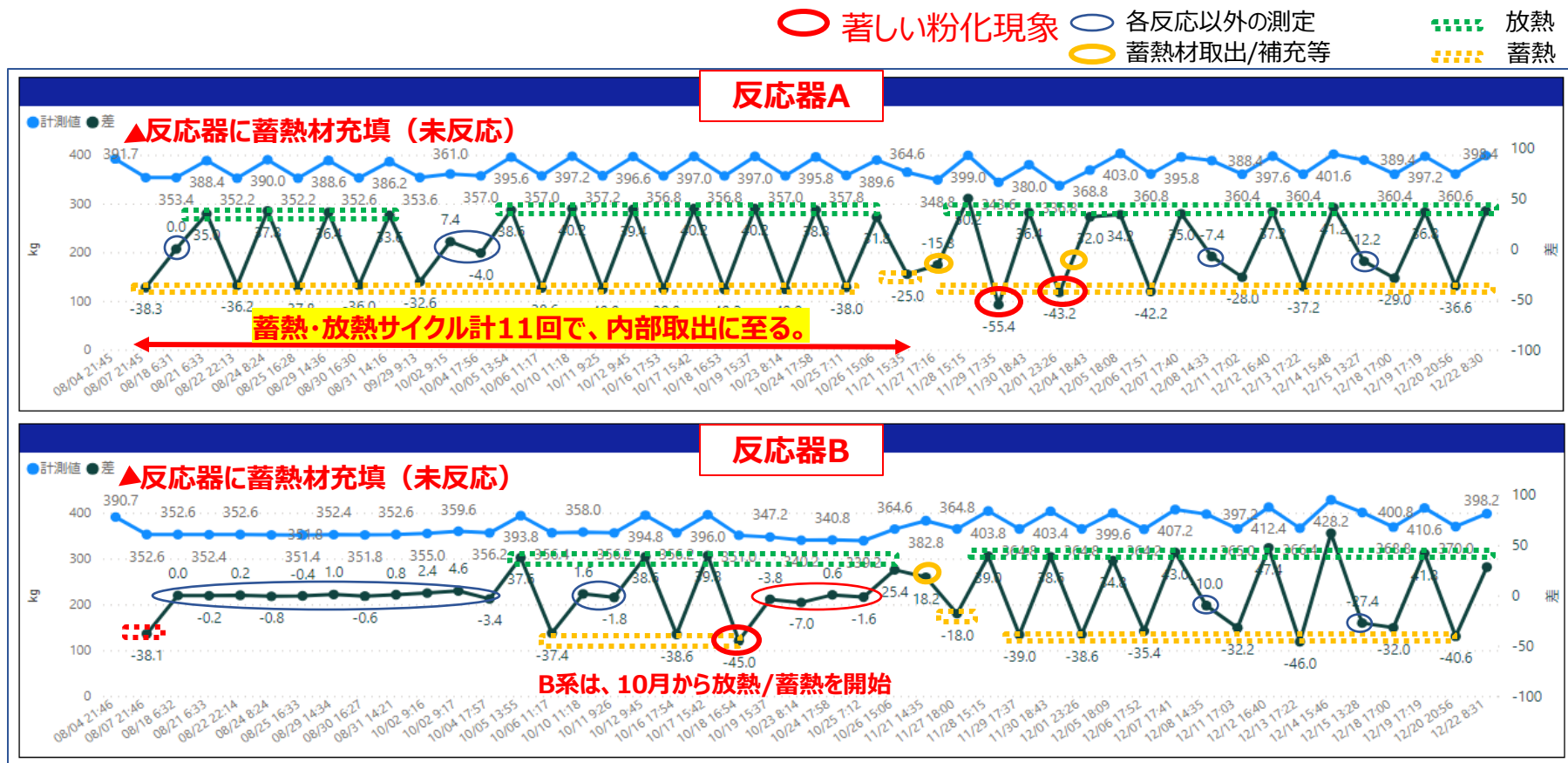


蓄熱終了後、翌朝(約16h後)でも内部温度（顕熱）200℃以上を保持。この顕熱の利用でヒータ加熱時間を短縮。

今回の蓄熱材では、熱の長期保存性はもちろんのこと、顕熱も有効に活用

## 2. 成果と課題について

### ➤ 化学蓄熱材の耐久性について（化学蓄熱材の重量推移からみる実績）



蓄熱と放熱の各重量差（32.6～43.0、一部データ除く）の平均は38.1kg。  
理論上の28kg(125MJ/基)を上回っているが、化学蓄熱材に付着する水分量（以下、付着水分）が含まれる。

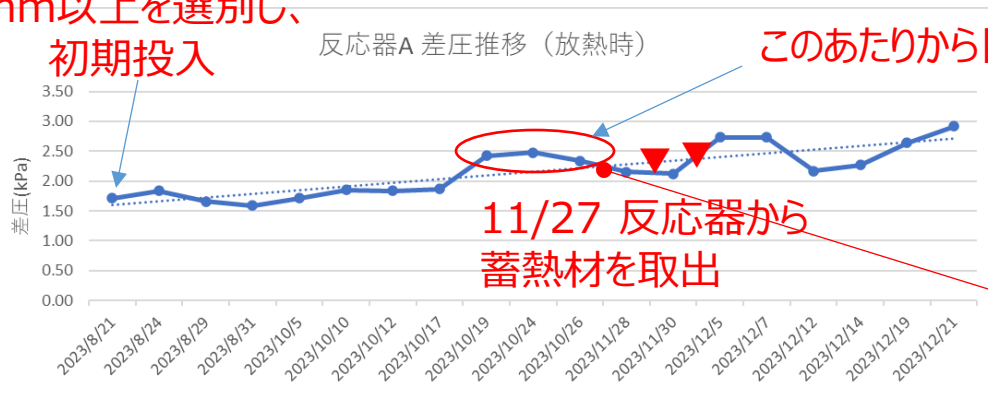
蓄熱・放熱のサイクルは、高い再現性を示す。  
化学反応での膨張・収縮による粉化は避けられないため、受け入れることも重要

## 2. 成果と課題について

### ➤ 反応器の差圧実績から見る耐久性について

2mm以上を選別し、

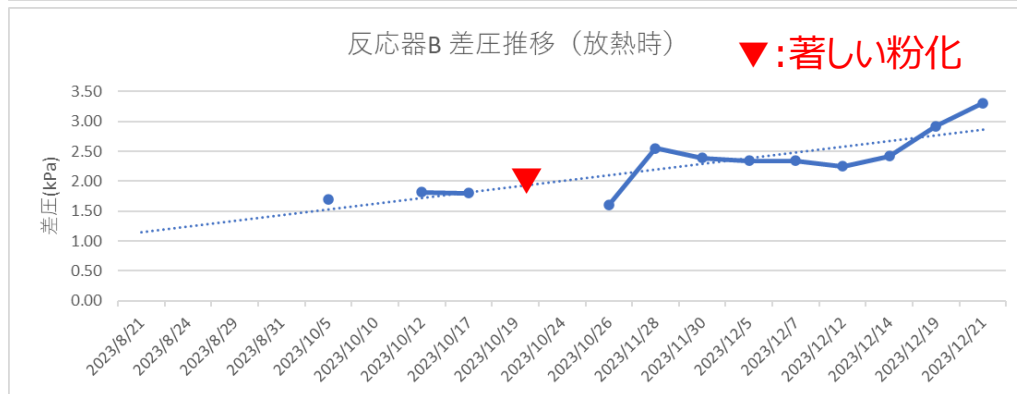
初期投入



このあたりから目詰まりの度合いが大きいと推定

11/27 反応器から蓄熱材を取出

粒度	分布(wt%)	
	充填時	11回終了後
2mm以上	100	86
1mm以上～2mm未満	0	5
1mm未満	0	8



▼:著しい粉化

蓄熱・放熱のサイクルが9回目(10/19)付近から、差圧が2kPaを超過。11回目終了後に蓄熱材の取出し、粒度分布を確認。  
→充填時全て2mm以上の内、1mm未満8% (粉化)、2mm未満13%。

反応器A,Bとも、蓄熱/放熱のサイクルを繰り返すことで、差圧は上昇。想定よりもかなり早く構造的な劣化が始まった。

化学蓄熱材自体は、粉化しても性能は維持され、現時点で製品の目標は1,000サイクル※蓄熱材のメリットを活かすシステム改良が重要であり、その余地は十分にある。

※化学蓄熱材のメーカーヤリングより

## 2. 成果と課題について

### ➤ 運用結果の総括

#### 蓄熱装置：

- ・高温空気加熱器の性能について、目標値は達成し、7月から約半年の期間であるが、清掃、メンテナンスフリーで運転継続。なお、耐久性については、今後の長期運用実績の面で課題はあるものの、実装に向けた知見が得られた。
- ・反応器への蓄熱量は目標値を達成した。更なる反応時間の短縮は十分見込み、実装において、**1GJ/3h**(通ガス時間)が視野に入った。

#### 熱輸送：

- ・反応器の運搬(0.5h)と着脱(0.5h)の合計**1h**は計画通りであったが、反応器接続部が高温のため、作業性の改善を要する。

#### 放熱装置：

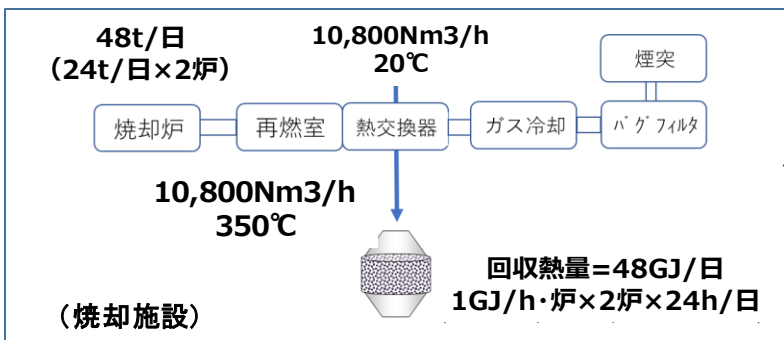
- ・反応器から**200℃以上の湿り空気を安定的に**取り出すことができ、反応時間(**0.25GJ/8h**)も計画どおりであったが、温水回収率及びエネルギー収支については、今後の課題となった。
- ・材料の耐久性について課題はあるものの、性能ポテンシャルを活かす改良につながる各種データを示すことができた。

本実証の結果は、実装に向け十分応用可能



# 3. Local SDG s に向かって(地域の脱炭素化への貢献)

## 小規模ごみ処理施設の蓄熱における地域へのCO2削減効果



熱利用施設1  
熱利用施設2  
熱利用施設3  
熱利用施設4

2施設をミルクラン方式で輸送 (60km/周)  
8GJ/回×6周/日

熱利用施設1 (放熱設備)	年間運転日数：280日/年
熱利用施設2 (輸送)	熱利用装置：12GJ/24h×4セット 蓄熱容器：1GJ/個×44個 (48GJ対応)
熱利用施設3	輸送車両：8t車×2台
熱利用施設4	運転者：2人×4班 (3交代)

(蒸気源もしくは湿り空気が熱需要側に有として)

### <蓄熱>

$$1\text{GJ}/\text{基}/\underline{2\text{h}} \times 2\text{基} \times 24\text{h}/\text{d} = 48\text{GJ}/\text{h}$$

蓄熱操作時間の短縮

蓄熱 → 乾燥

直列に繋ぎ、切り替え

### <放熱>

756-175(電力) = **581 t-CO2/y**の削減  
灯油換算0.77 kl/d(215 kl/y)の削減  
1set当たり約6t/hの温水利用

### <CO2削減寄与>

$48\text{GJ}/\text{d} \div 39.1\text{GJ}/\text{kl}(\text{灯油換算}) = 1.23\text{kl}/\text{d}(344\text{kl}/\text{y})$   
 $1.23\text{kl}/\text{d} \times 2.71\text{ t-CO2}/\text{kl} = 3.33\text{t-CO2}/\text{d}$   
 $3.33\text{t-CO2}/\text{d} \times 280\text{d}/\text{y} = \mathbf{932\text{ t-CO2}/\text{y}}$ の削減

### <輸送後>

$932 - 176(\text{輸送燃料}) = \mathbf{756\text{ t}/\text{CO2}/\text{y}}$ の削減

輸送と入力エネルギーの削減が熱輸送モデルの実現に不可欠 = 過去の課題と共通

### 3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)

#### ➤ CO2削減コストについて

- コストについては、現在の効率の良い簡易ボイラと比較して、イニシャル、ランニングとも到底比較になる状況ではないが、エネルギーゲインの向上が費用対効果につながるものと考えており、まだ改善の余地はある。
- 前頁におけるCO2削減コスト(イニシャル設備費、設置費等含まず)概算は、次のとおり。下記は、仮定条件。
  - 耐用年数を10年とする。
  - 蓄熱設備・・・水噴霧式焼却炉の従来型の各空気加熱器を、高温空気加熱器に置換でコスト相殺。
  - 放熱設備・・・熱輸送時は簡易格納容器を採用。設置場所に、蒸気源もしくは、反応に必要な湿度のある湿り空気があり、それを活用できること。化学蓄熱材は、消耗品として含まず。
  - 熱輸送・・・車両をリース他、需要側として保有として含まず。

CO2削減量※ (t/10年)	イニシャル設備費(4set) (千円:上段) CO2削減コスト (円/t-CO2 : 下段)
5,810※	200,880
	34,575

※CO2削減量 = 年間削減量581(t/年) × 耐用年数(10年) = 5,810 (t/10年)

事業総コストは、事業主体の枠組みに依存し、現在では何らかの支援が必要。  
費用対効果(価値)を高めることは重要であり、その余地はある。

### 3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)

#### ▶ 小規模ごみ処理施設の本システム活用の可能性(実証サイトでの考察)

熱需要側は、負荷に応じて必要な熱量が変化する。一方、供給側の定格能力は、計画最大に合わせるため、**供給側>需要側**になる。そのため、これまでの蓄熱はそのgapを埋めることで、エネルギーの負荷を平均化し、需要側における設備の規模を抑える効果があった。

さらに、**熱の長期保管が可能な蓄熱材**は、季節変動などの**長周期の熱負荷変動を吸収**することができ、**備蓄も可能**になる。

南島原市における公共福祉施設

名称	ごみ処理施設からの距離km	日平均熱量_夏 GJ/d	日平均熱量_冬 GJ/d
加津佐町総合福祉センター 希望の里	12.90	1.41	2.10
北有馬老人福祉センター	1.50	1.41	2.10
天然温泉健寿の湯 湯楽里	13.00	6.56	9.84
有家老人福祉センター	7.90	1.58	2.68
深江町ふれあいの家	15.10	3.95	6.32
西有家保健センター	4.20	3.95	6.32
合計		18.86	29.36

26GJ/d以上の蓄熱をごみ処理施設で行えば、上記の施設への**夏備蓄⇒冬活用**の熱供給サイクルが可能。

**小規模施設**でも、地勢を活かし、県外への熱輸送も十分可能であり、**熱供給者としての役割**も期待できる。

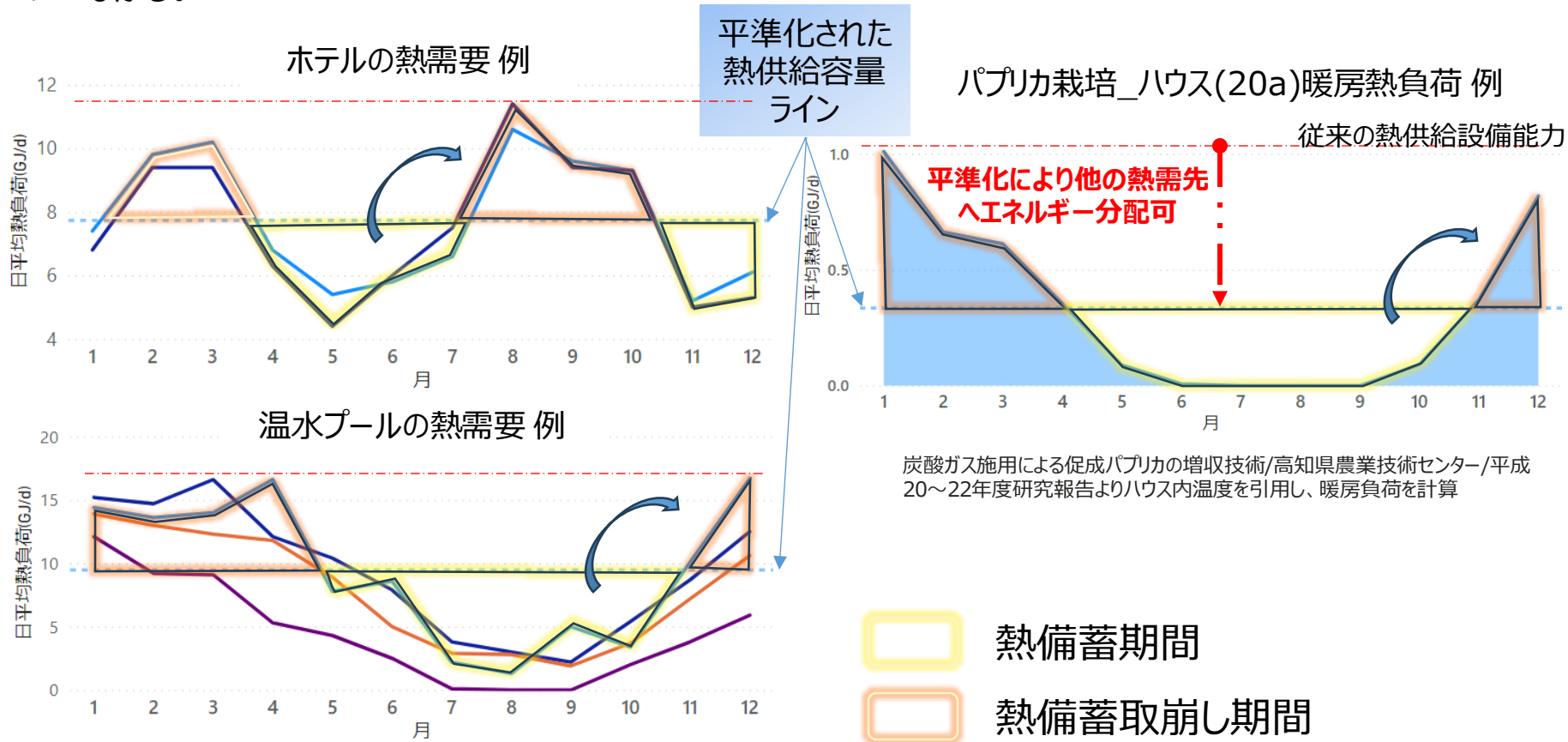


エネルギー消費の平準化による省エネルギーで、地域の脱炭素化に貢献

# 3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)

## ▶ <熱備蓄効果を活かす本システム活用の可能性>

先ほど挙げた福祉施設の他に温水活用が期待できる場所は多くあり、年間を通したエネルギーの平準化につながる。



「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究(その2)」結果報告書  
 < Feasibility Study 編 >  
 /2009年3月31日/環境パートナーシップ・C L U B 温暖化・省エネ分科会

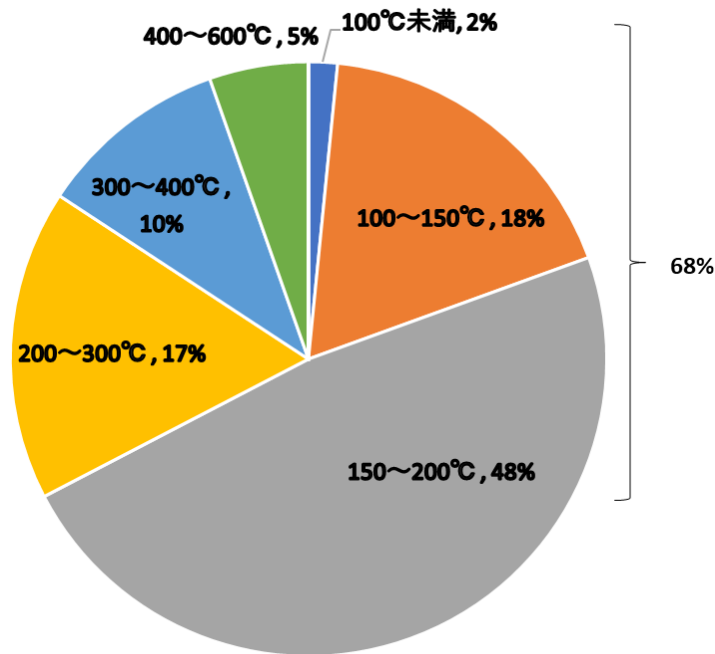
地域の施設、地場産業への省エネルギー化を通じて、地域の脱炭素化に貢献

### 3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)

#### ➤ 本システムの利点を生かした熱利用のあり方

190～200℃の高温空気を得られる本システムは、もっとも利用量の多い150～200℃の蒸気利用場面で活用できる可能性があり、ピークカットや予備熱源としての活用など、用途は広がる。

本実証タイプの反応器の場合、小規模な熱需要先に対応でき、搬送車両のサイズも選べるため、熱需要先自身による搬送など、フレキシブルな運用も期待できる。



比較項目	ヒートテナ※	本実証タイプ <sup>o</sup>
蓄熱材名	エリスリトール	PM-2
蓄熱時間(h)	4	2
放熱時間(h)	4	4
蓄熱容量 (GJ)	5.4	6
蓄熱充填容積 (m3)	26	6
蓄熱密度 (GJ/m3)	0.21	1
搬送車両	ISO20Feet テナ牽引車	10t車

「平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査（熱の需給及び熱供給機器の特性等に関する調査）調査報告書」（三菱総合研究所）に基づき作成した、産業部門、廃棄物処理業の工程で利用される温度帯別蒸気利用量

※「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究（その2）」結果報告書< Feasibility Study 編>  
/2009年3月31日/環境パートナーシップ・CLUB温暖化・省エネ分科会

地域の利用者に合わせた仕組みにより、地域の脱炭素化へ貢献

### 3. Local SDGsに向かって(地域の脱炭素化への貢献)

#### ➤ 廃熱ボイラ付きの中規模～大規模焼却施設への設置可能性検討

現在、廃熱ボイラは、現在50t/dクラスでも設置されており、70t/dクラスでは売電施設もある。本来、70t/d未満のクラスに適合するシステムであるが、発電施設においても、本システムを用いることもできる。1日の処理量が100,150,200 t/dの3つの施設を例として、高温空気加熱器を設置する際の規模を試算した。蓄熱時間は、2h/回とおいた。

4MPa/400°C, Hu=8,600kJ/kg

処理量	高温空気加熱器 空気量	高温空気加熱器 出口温度	高温空気加熱器 出口空気熱量	化学蓄熱材への 蓄熱(1回当り)	化学蓄熱材への 蓄熱(1日当り)
t/d	m <sup>3</sup> n/h/炉	°C	kW	GJ/2h/2炉	GJ/d/2炉
100(50x2)	2,700	350	355	1	12
150(75x2)	4,050	350	533	1.5	18
200(100x2)	5,400	350	711	2	24

廃熱ボイラの計画上、高温熱交換器の設置場所と規模は制限されるが、出力調整などが必要な場合に、本来回収できる廃熱の有効利用としての選択肢も期待できる。

令和3年度から3年間に渡り、小規模ごみ処理施設における廃熱利用として、化学蓄熱材を用いたオフライン熱輸送の実証事業を終え、成果と課題の総括は以下のとおりとなった。

## [成果]

- 化学蓄熱材の蓄熱/放熱サイクルの再現性と安定性を示し、各目標を概ね達成でき、実装に向けた検証を終えた。
- オフサイトでの熱利用例を具現化できた。

## [課題]

- 蓄熱装置における高温熱交換器の長期運用実績
- 放熱装置におけるエネルギー収支の改善
- 化学蓄熱材の欠点を補い、利点を活かす新たな低コストシステムの構築
- 熱輸送、熱利用先を含めた地域連携を含むサプライチェーンの構築

熱の長期間保存を可能とする新たな蓄熱/放熱システムの効果と課題を提示したことで、今後の個々の要素技術の改良・改善、熱利用先のマッチングなど、多くの参入者との共創により、実装へと加速し、地域の脱炭素化に貢献に向けて目指していきたい。

最後に、委託元である環境省、本事業のサイト提供に快く多くの協力を頂いた南島原市及び市内拠点のある地元企業、共に進めてきた株式会社東和テクノロジー、日立造船株式会社、公益財団法人京都高度技術研究所、並びに、先行事例保有のトヨタ自動車株式会社、化学蓄熱材の供給元のタテホ化学工業株式会社の皆様に厚く御礼申し上げます。

X to evryone



ご清聴ありがとうございました。