

再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発/  
太陽熱等利用システムの高度化/  
天空熱源ヒートポンプ(SSHP)システムのライフサイクルに  
亘るコスト低減・性能向上技術の開発

鹿島建設(株) 塩谷 正樹

鹿島建設(株)、ゼネラルヒートポンプ工業(株)  
(委託先:(株)日建設計総合研究所  
(国)東京大学、(国)名古屋大学)

2023年2月2日

問い合わせ先  
鹿島建設(株)技術研究所  
塩谷正樹  
E-mail: shioyam@kajima.com  
TEL: 090-7716-8678

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2019年7月

終了(予定): 2024年3月

## 2. 最終目標

本事業の最終目標である「投資回収年数を2023年までに14年以下、2030年までに8年以下」を達成するため、

地中熱、太陽熱などの多角的な再生可能エネルギーを集放熱源とするヒートポンプを用いて、冷暖房や給湯などの多目的な熱需要に対応する、低コスト、高効率な要素機器及びシステム技術の開発を行う。

## 3. 成果・進捗概要

### ①再エネ熱利用システム設計手法の開発(鹿島、日建総研)

・LCEMベースの設計用シミュレーションツールのプロトタイプを完成し、実建物を対象に「天空熱源ヒートポンプ(Sky Source Heat Pump、以下 SSHP)」の導入効果を検討。

### ②低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発(鹿島、ゼネラルヒートポンプ工業)

・小型実証機による熱源水加熱性能を評価。加熱時の定格COP目標値を達成。

### ③実建物における運転性能の実態検証(鹿島、名古屋大学、日建総研)

・実証準備として、既存建屋エネルギー消費量計測及び地中熱交換器TRT試験を実施。



### ④再エネ熱利用システムの最適運転制御技術

・最適制御アルゴリズム完成。シミュレーションで実験結果を高い精度で再現。

# 1. 背景と目的

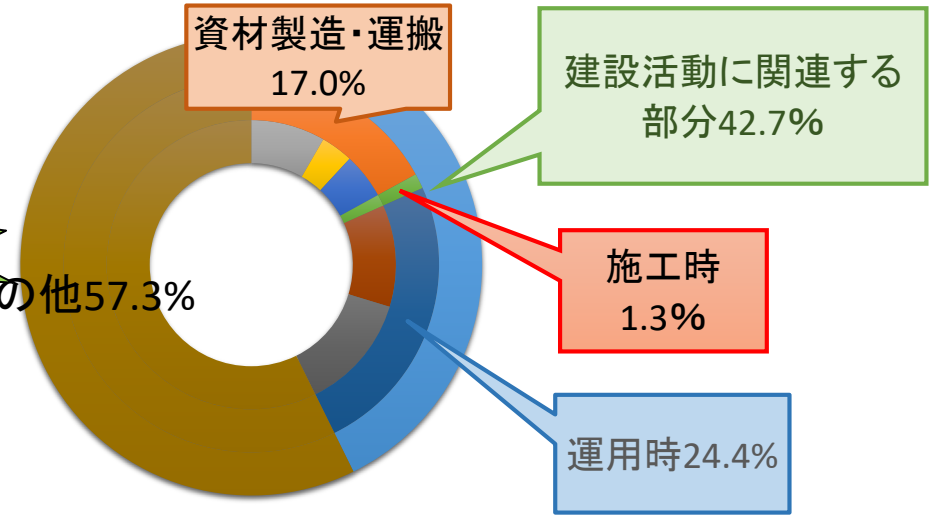
- パリ協定発効を機に、世界的に低炭素化社会実現に向けた動きが活発化している。日本は、2030年までに、2013年比で、温室効果ガス排出量26%削減の目標を掲げてきたが、さらに令和3年4月には第45回地球温暖化対策推進本部で削減目標46%、2050年カーボンニュートラル実現を表明した
- 脱炭素技術の切札として期待される再生可能エネルギーは、現状、太陽光・風力発電など電気利用が主体である。一方、太陽熱や地中熱などの熱利用はその大きな賦存量にも拘わらず、設備導入に係る初期コストが大きいために普及が進んでいない。
- このため再生可能熱エネルギー利用システムの適切な設計手法の確立、量産化により性能を向上させつつ、低コスト化が必要となる。

各国の温室効果ガス削減目標

国名	削減目標
 中国	2030年までに GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を <b>60-65%</b> 削減 <small>※2030年前後に、CO<sub>2</sub>排出量のピーク</small> 2005年比
 EU	2030年までに <b>40%</b> 削減 2005年比
 インド	2030年までに GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を <b>33-35%</b> 削減 <small>※2030年前後に、CO<sub>2</sub>排出量のピーク</small> 2005年比
 日本	2030年度までに <b>26%</b> 削減 <small>※2005年比では25.4%削減</small> 2013年度比
 ロシア	2030年までに <b>70-75%</b> に抑制 1990年比
 アメリカ	2025年までに <b>26-28%</b> 削減 2005年比

**46%**

その他57.3%



出典:「産業連関表を利用した建設業の環境負荷推定」日本建築学会計画系論文 文集第549号 漆崎昇、酒井寛二 2001年11月

# 2. 研究開発の内容・実施体制

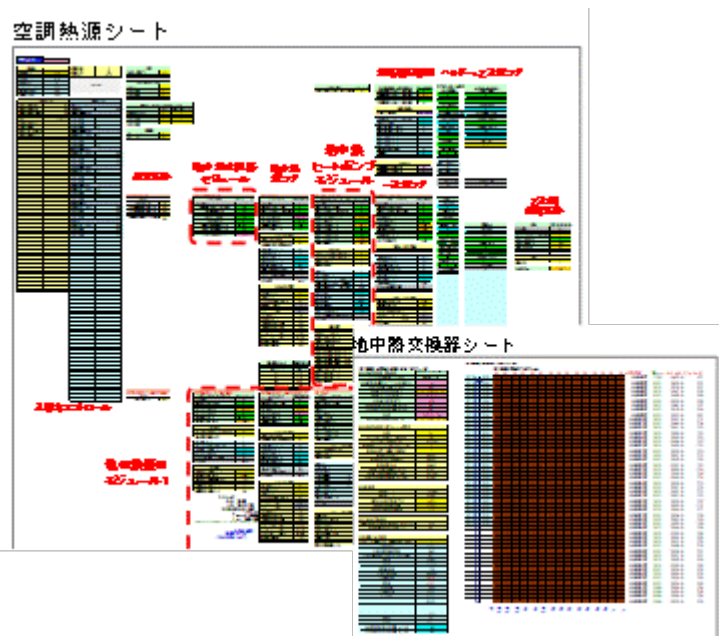
## 2.1 研究開発の内容

### ①再エネ熱利用システム設計手法の開発(鹿島、日建総研)

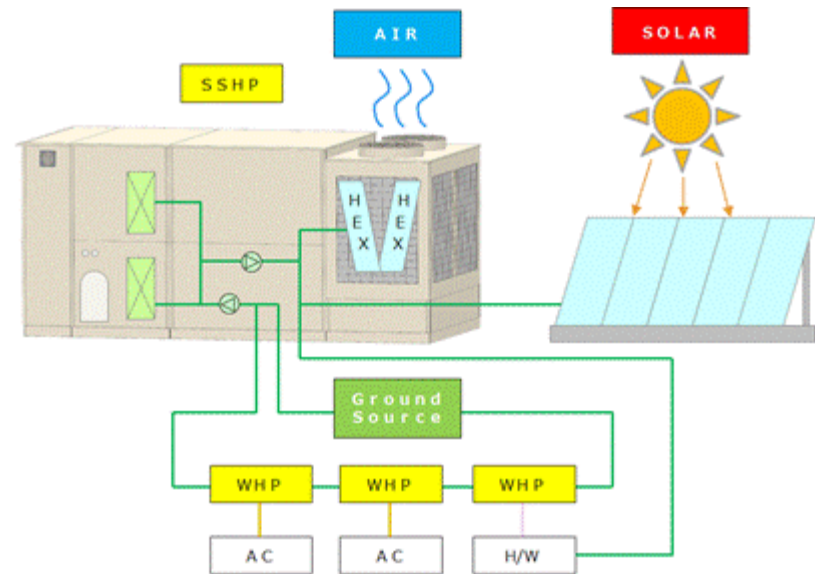
- ・地中熱・太陽熱利用を組み込んだシステムシミュレーションツールを開発。
- ・作成したツールを活用して、システム導入予定の建物モデルを対象に、適正な運転方法や省エネ性能、さらに実建物での年間運転実績データの分析に基づく開発システムの運転性能を検証。

### ②低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発(鹿島、ゼネラルヒートポンプ工業)

- ・SSHP,空気-水熱交などをユニット化した統合型SSHPを実用化し、実建物で実証する。
- ・水熱源ビル用マルチ、給湯用ヒートポンプ実用機を完成し、実建物で実証する。



シミュレーションツールのイメージ



ユニット型SSHPの基本構成

# 2. 研究開発の内容・実施体制

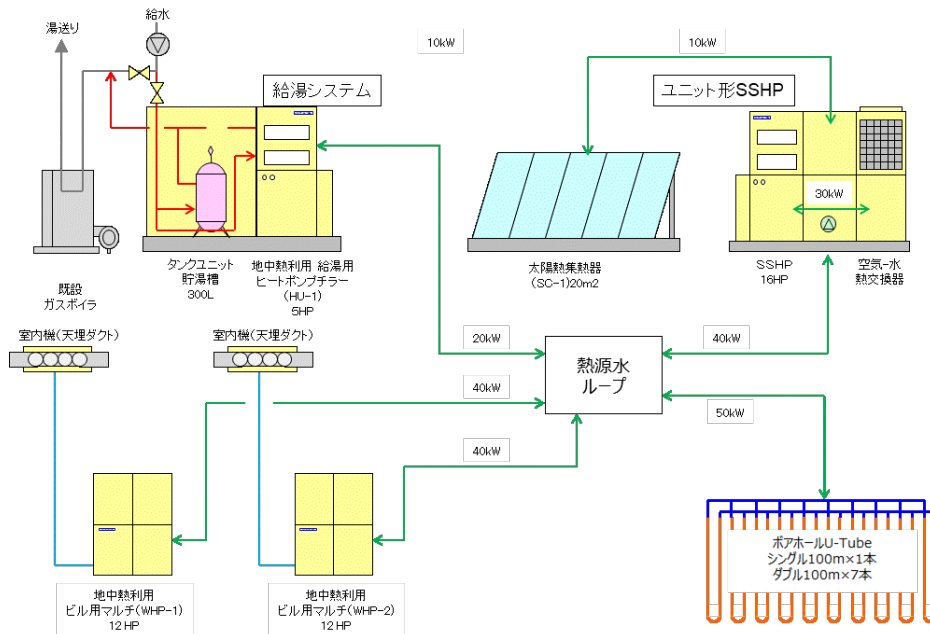
## 2.1 研究開発の内容

### ③実建物における運転性能の実態検証(鹿島、名古屋大学、日建総研)

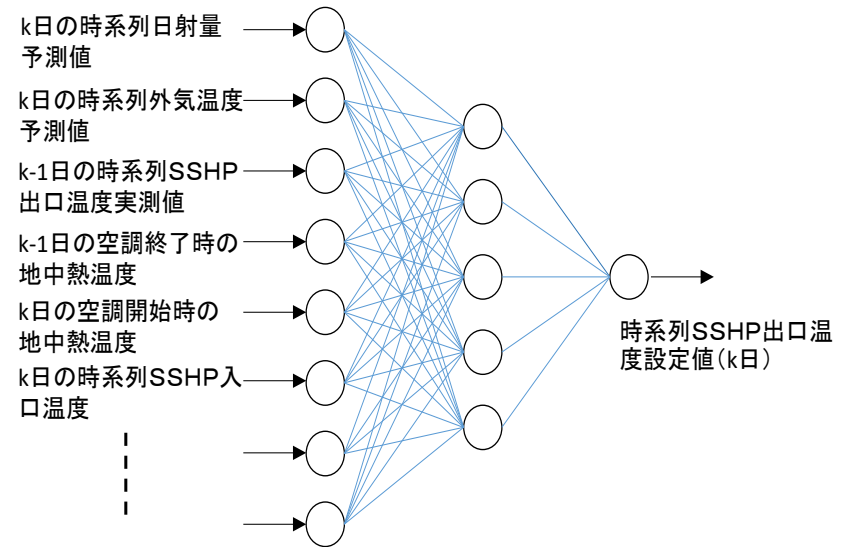
・早期の市場投入を図るため、実建物運用での変動負荷時の性能検証を行う。

### ④再エネ熱利用システムの最適運転制御技術(鹿島、東京大学)

・機械学習などのAI等を活用した、太陽熱+地中熱を活用する最適制御アルゴリズムを構築し、実用的な運転制御手法を開発する。

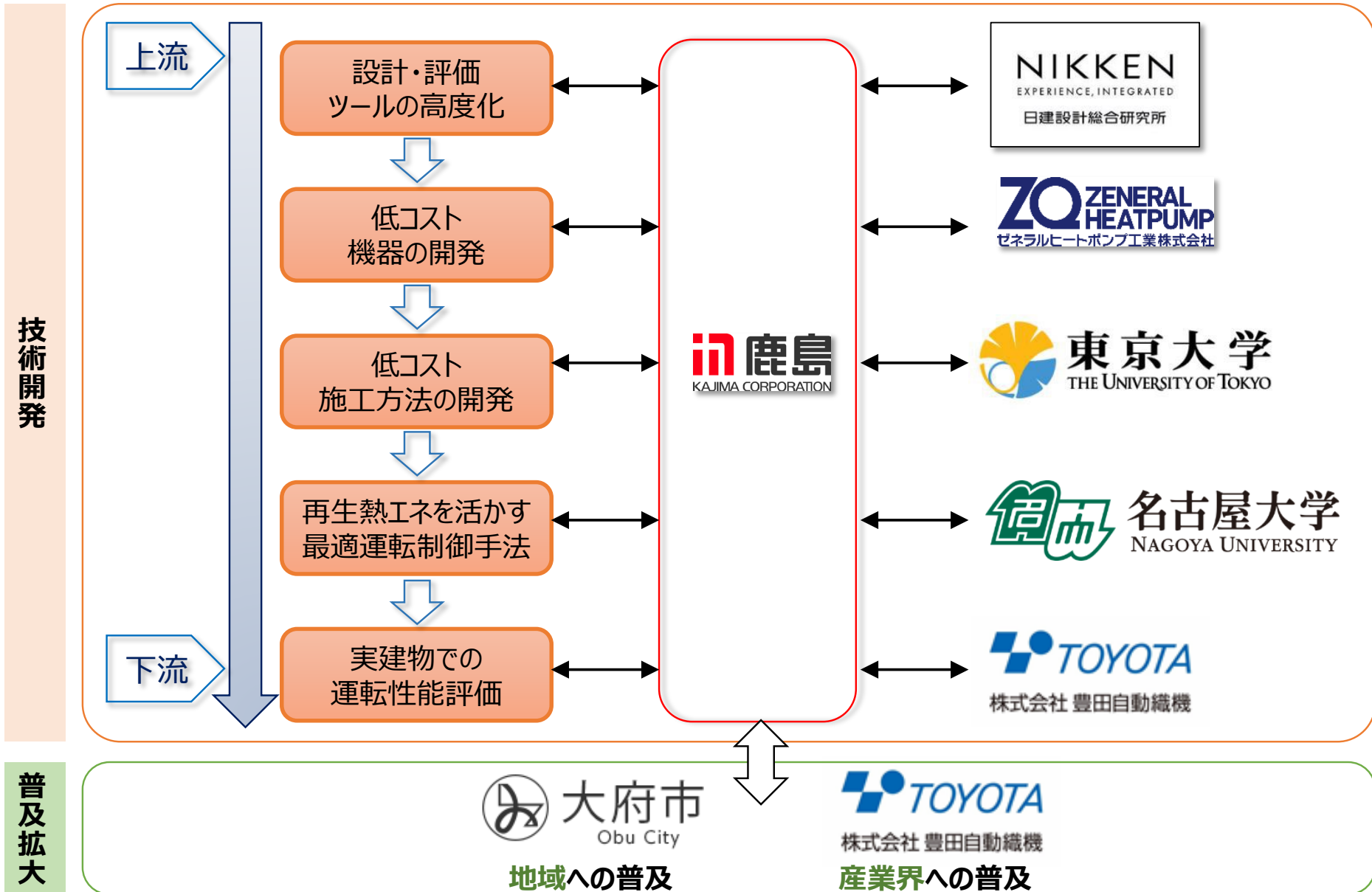


導入システムのイメージ



最適制御のイメージ

## 2.2 研究開発体制



# 3. 研究スケジュール

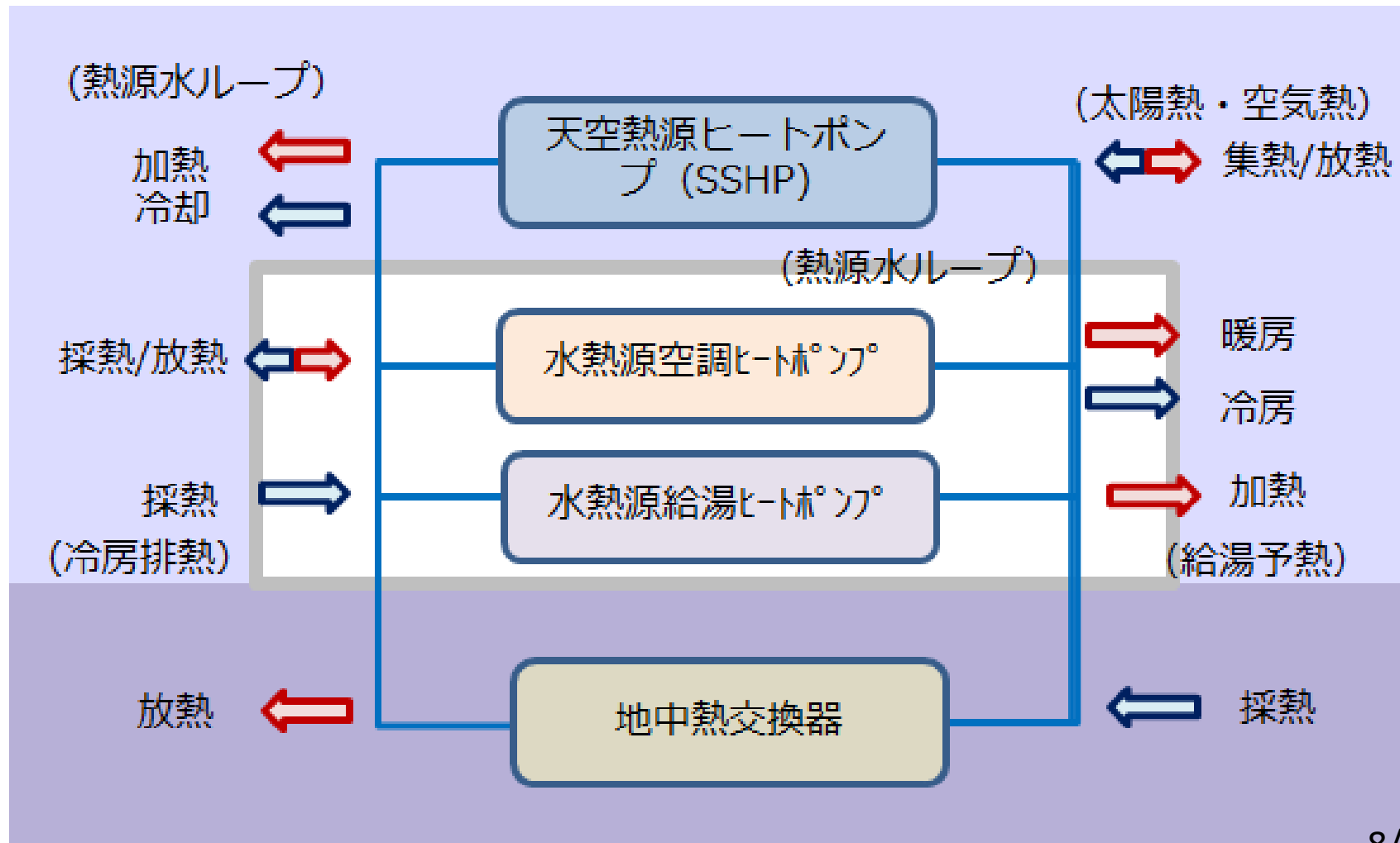
→ 当初計画  
 → 実施済  
 → 実施中

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022				2023				
		1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	
(1)再エネ熱利用システム設計手法の開発	鹿島、日建総研					導入効果算定	モデル建物での検証							実運転データを用いた導入検討ツールの検証								
(2)低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発	鹿島、ゼネラルヒートポンプ工業					試作機完成	実証実験															
(3)室建物における運転性能の実態検証	鹿島、名古屋大、日建総研					実証機設置	I 期工事	II 期工事						実運転データに基づく導入効果の検証								
(4)再エネ熱利用システムの最適運転制御技術	鹿島、東京大学					最適制御アルゴリズムの構築																

# 4. 研究開発成果

## 4.1 天空熱源ヒートポンプ (SSHP)システムの基本コンセプト

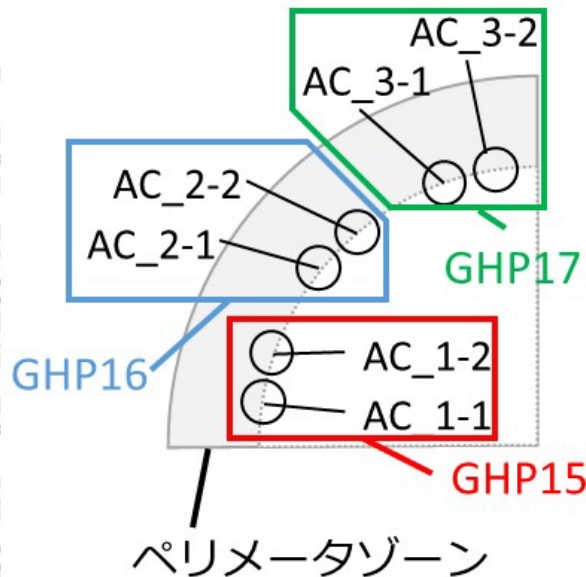
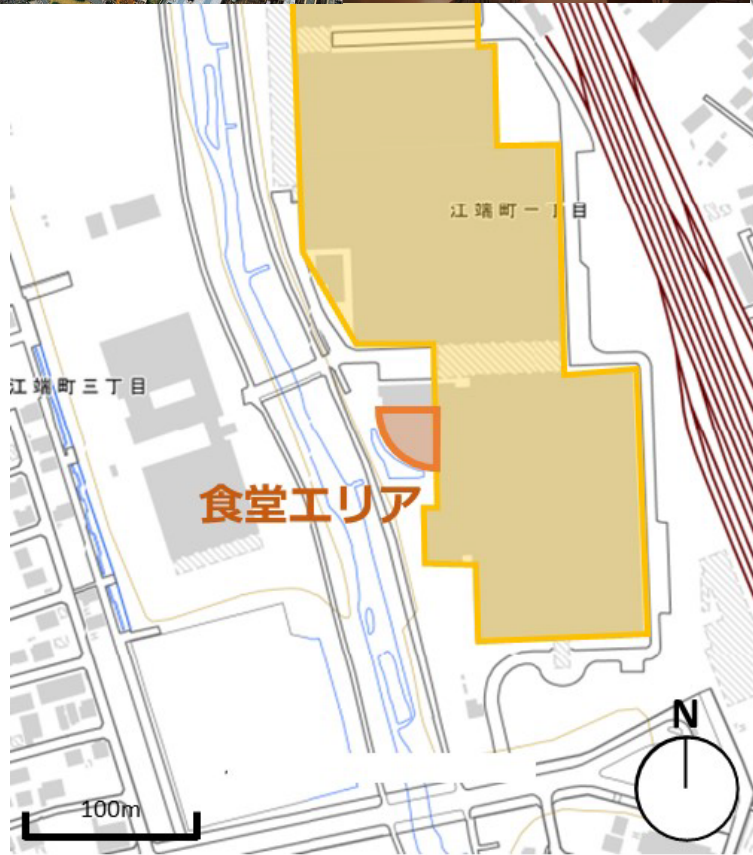
SSHP (Sky Source Heat Pump)は、  
多様な再エネ熱を熱源水ループで連結する水熱源ヒートポンプシステムである。





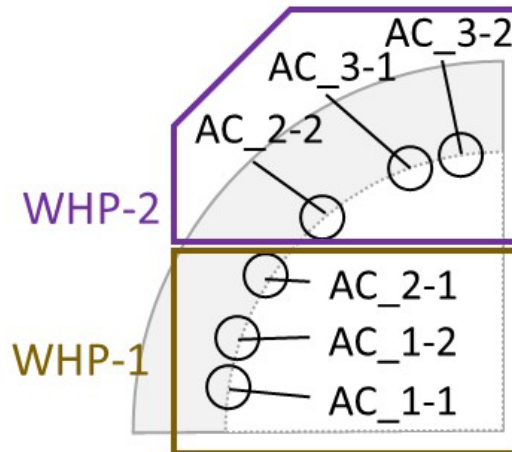
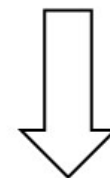
# 4. 研究開発成果

## 4.2 実証建物概要



更新前システム  
(GHP: ガスHP)

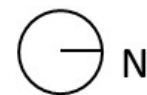
室外機1台につき  
室内機2台の3系統



本システム  
(WHP)

室外機1台につき  
室内機3台の2系統

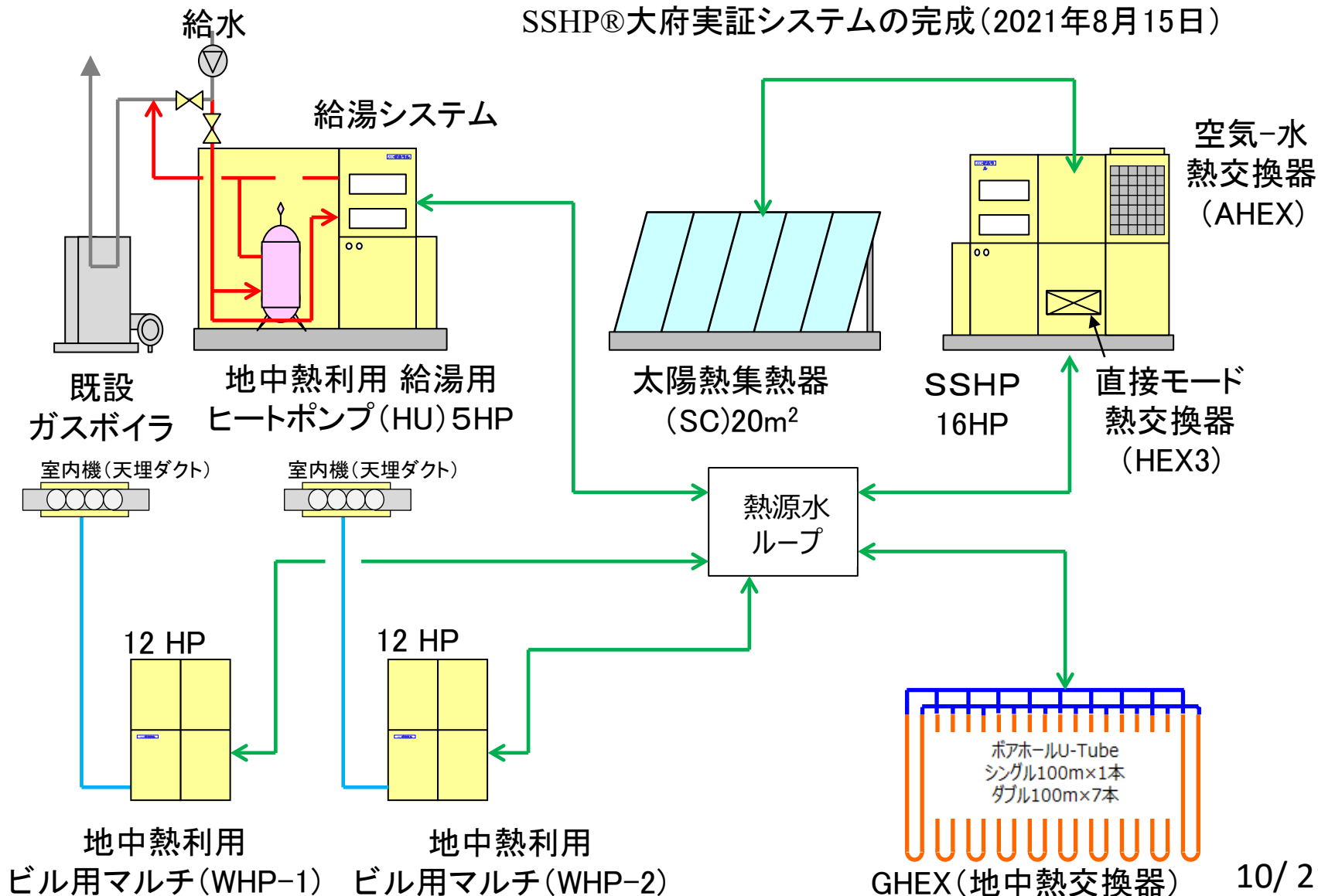
室内機吸込口測定機器取付位置(食堂平面図)



# 4. 研究開発成果

## 4.3 実証システム概要

SSHP®大府実証システムの完成(2021年8月15日)



# 4. 研究開発成果

## 4.4 実証装置外観



給湯ヒートポンプ



ユニット型SSHP



太陽熱集熱器



熱源水ループ配管



地中熱交換器



# 4. 研究開発成果

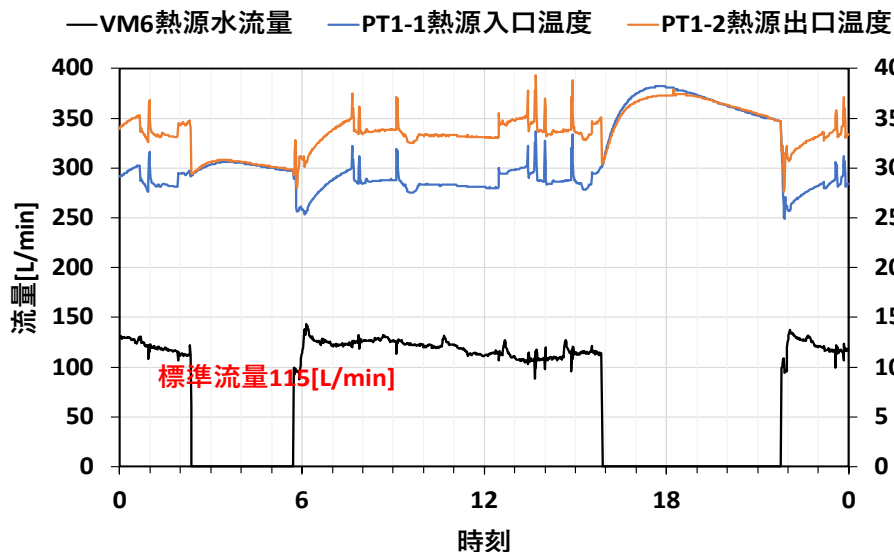
## 4.5 ユニット型SSHP運転モード

- ▶ ユニット型SSHPは空気-水熱交換器(AHEX)、太陽熱集熱器(SC)と接続し、零次側としてブラインが循環。
- ▶ 熱交換器(HEX3)を介してこれらのヒートソースを直接的な加熱源として用いるか、SSHPのヒートポンプ運転の熱源に用いるか選択できる。

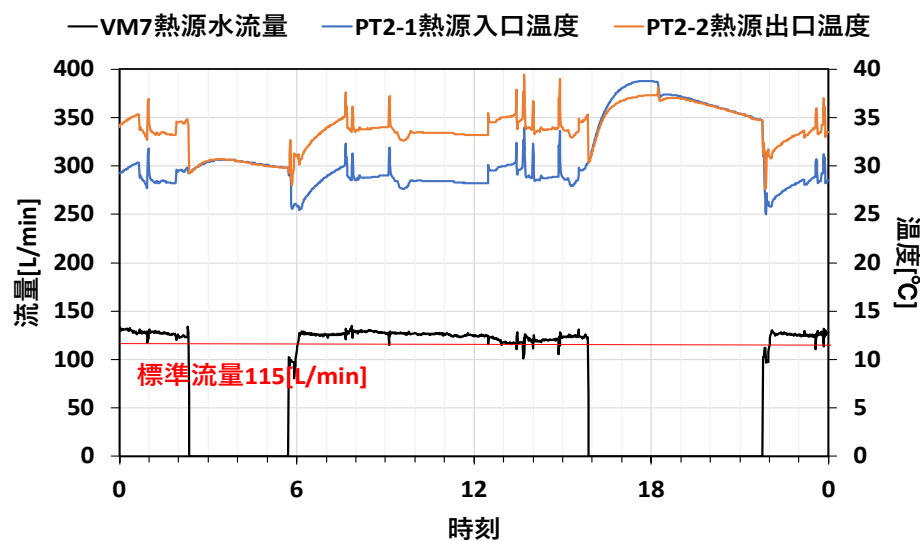
モード		一次側	SSHP	HEX3	SC	AHEX
1	空気熱による冷却	冷却	ON	OFF	OFF	ON
2	空気熱による冷却	冷却	OFF	ON	OFF	ON
3	太陽熱を利用したHP加熱	加熱	ON	OFF	ON	OFF
4	空気熱を利用したHP加熱	加熱	ON	OFF	OFF	ON
5	空気熱を利用したHP加熱	加熱	ON	OFF	ON	ON
6	太陽熱による直接加熱	加熱	OFF	ON	ON	OFF
7	空気熱による直接加熱	加熱	OFF	ON	OFF	ON
8	空気熱、太陽熱による直接加熱	加熱	OFF	ON	ON	ON

# 4. 研究開発成果

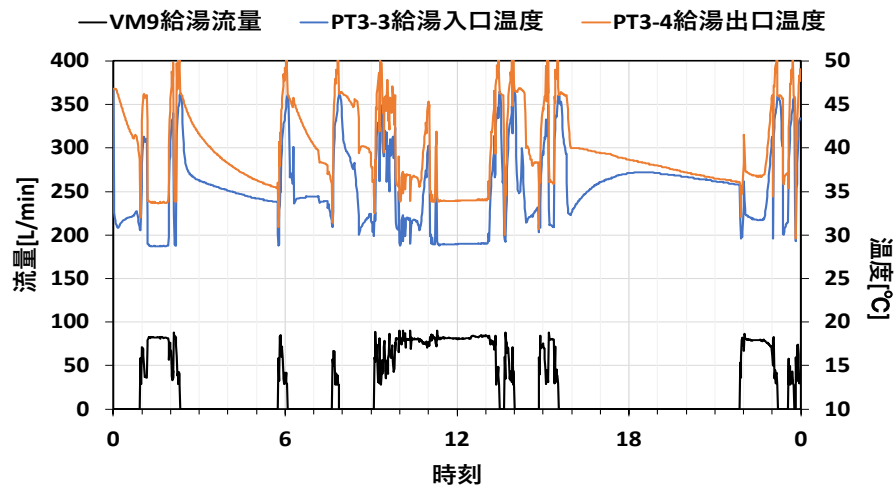
## 4.6 夏期代表日(2022/8/2)の運転挙動



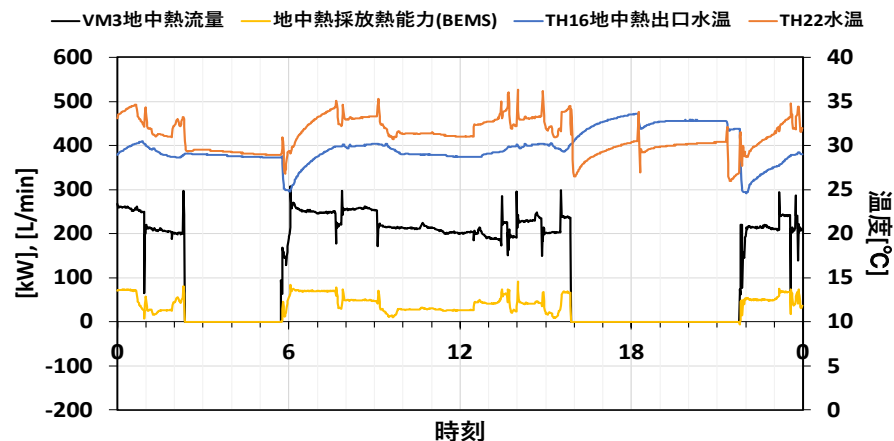
WHP-1時系列運転状況



WHP-2時系列運転状況



HU(給湯側)時系列運転状況

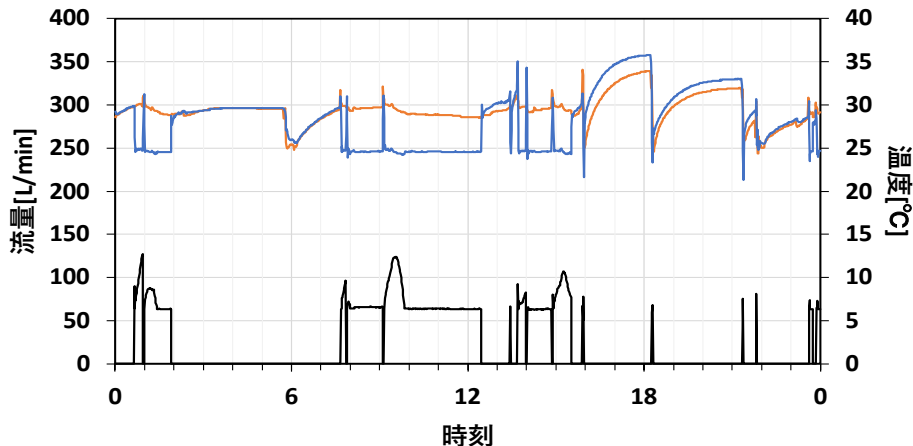


BH運転状況

# 4. 研究開発成果

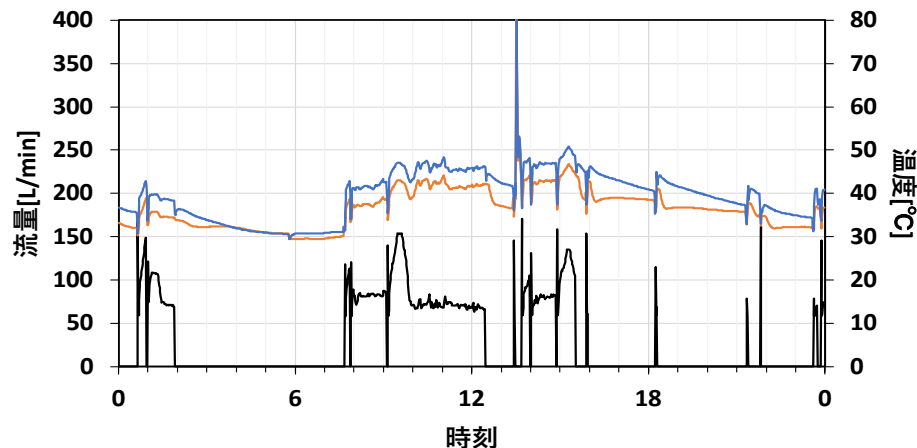
## 4.6 夏期代表日(2022/8/2)の運転挙動

—VM4流量(SSHP ON時のみ) —TH1水温 —TH2水温



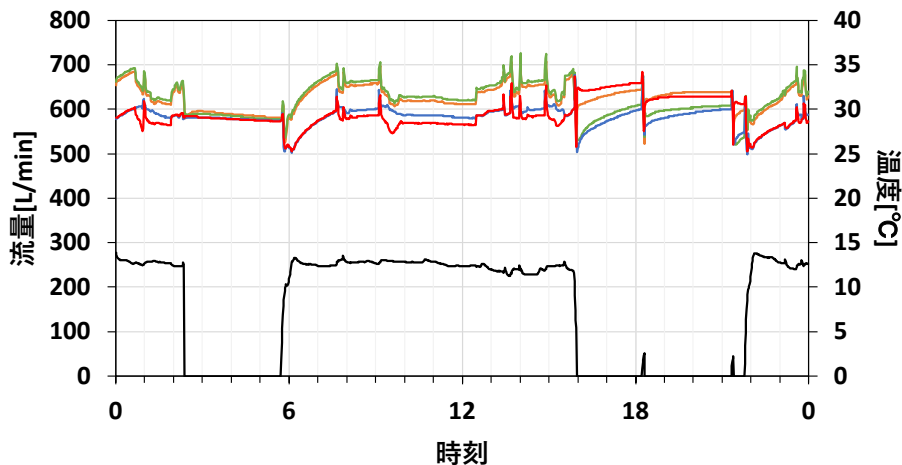
SSHP(1次側)時系列運転状況

—VM5流量(SSHP ON時のみ) —TH7水温 —TH9水温



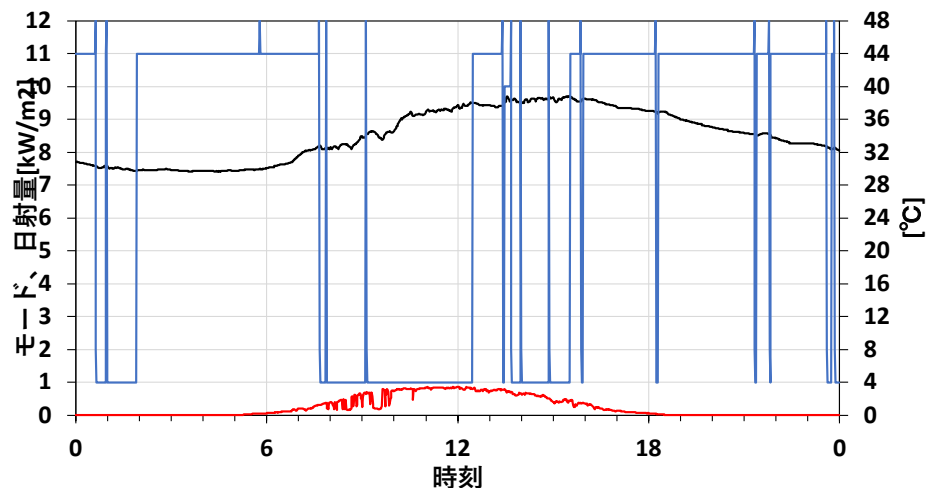
SSHP(0次側)時系列運転状況

—VM1熱源ループ流量 —TH21水温 —TH22水温  
—TH23水温 —TH24水温



熱源水ループ水温・流量状況

—外気温 —SSHPモード —日射量

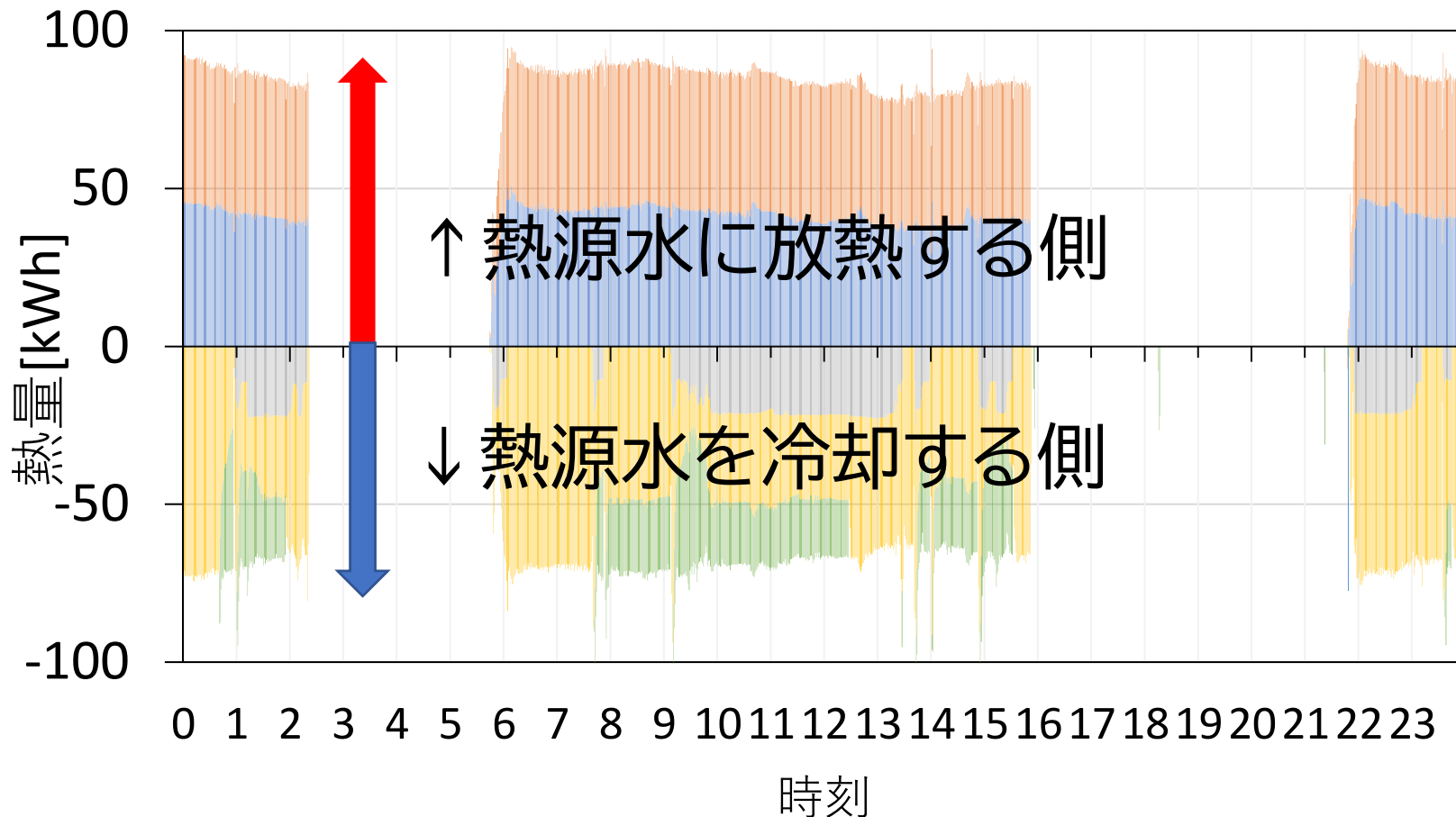


時系列モード、日射量

# 4. 研究開発成果

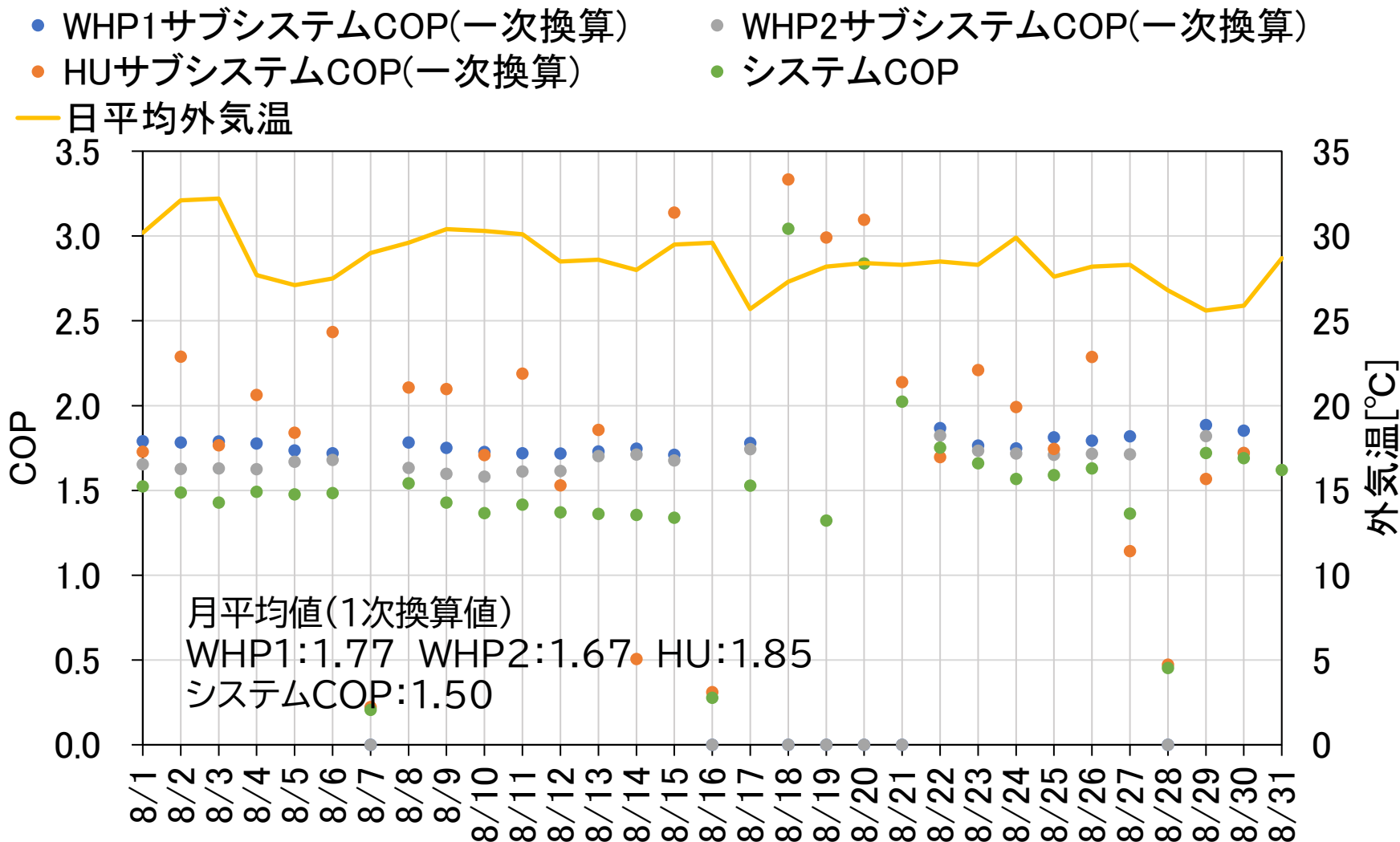
## 4.7 夏期代表日(2022/8/2)の熱源水ループの熱収支

- WHP-1熱源水交換熱量
- WHP-2熱源水交換熱量
- HU-1熱源水交換熱量
- 地中熱交換熱量
- HEX一次側交換熱量
- SSHP



# 4. 研究開発成果

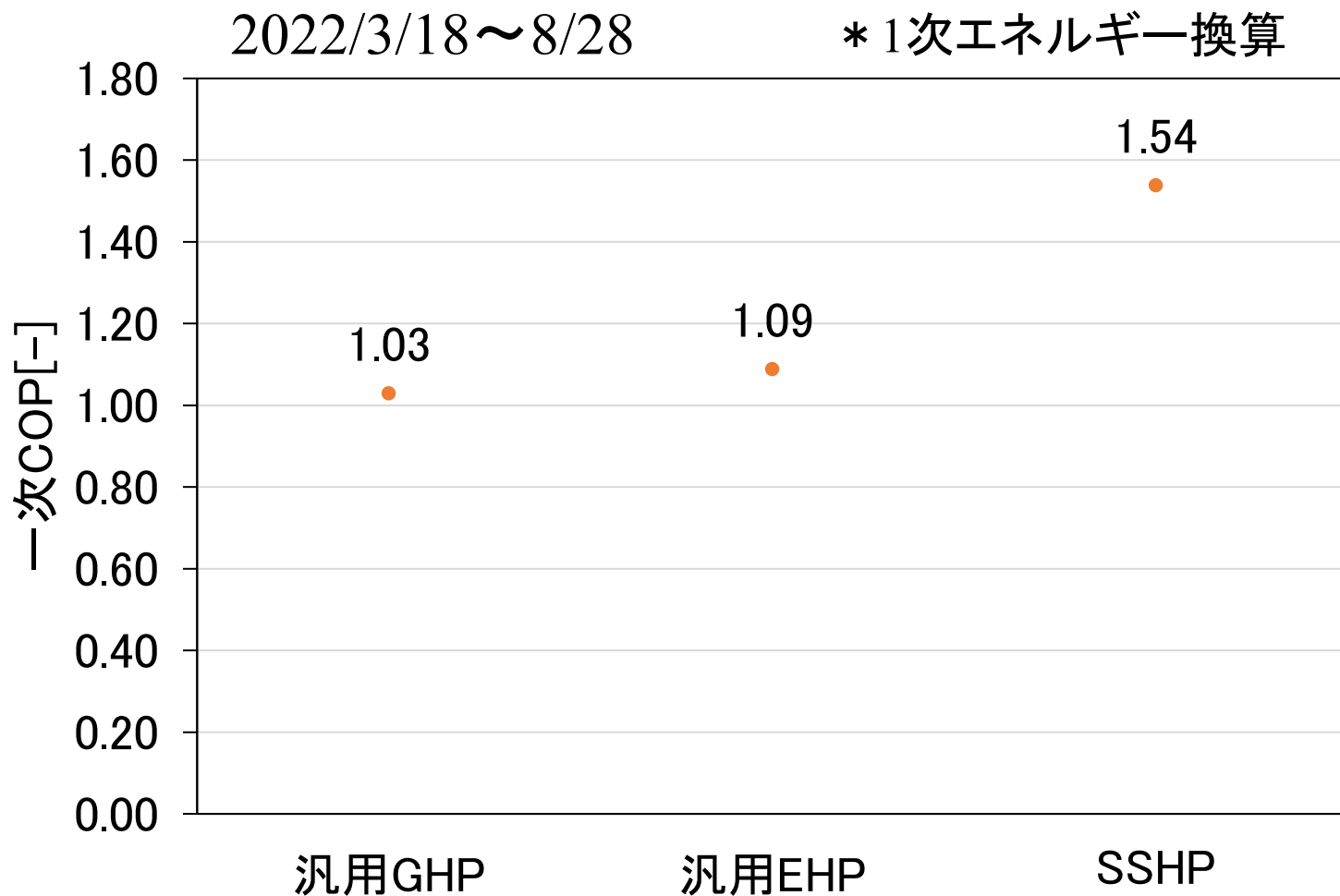
## 4.8 夏期(2022/8)1か月間の日平均COPの推移





# 4. 研究開発成果

## 4.9 SSHP導入効果(システムCOP\*比較)

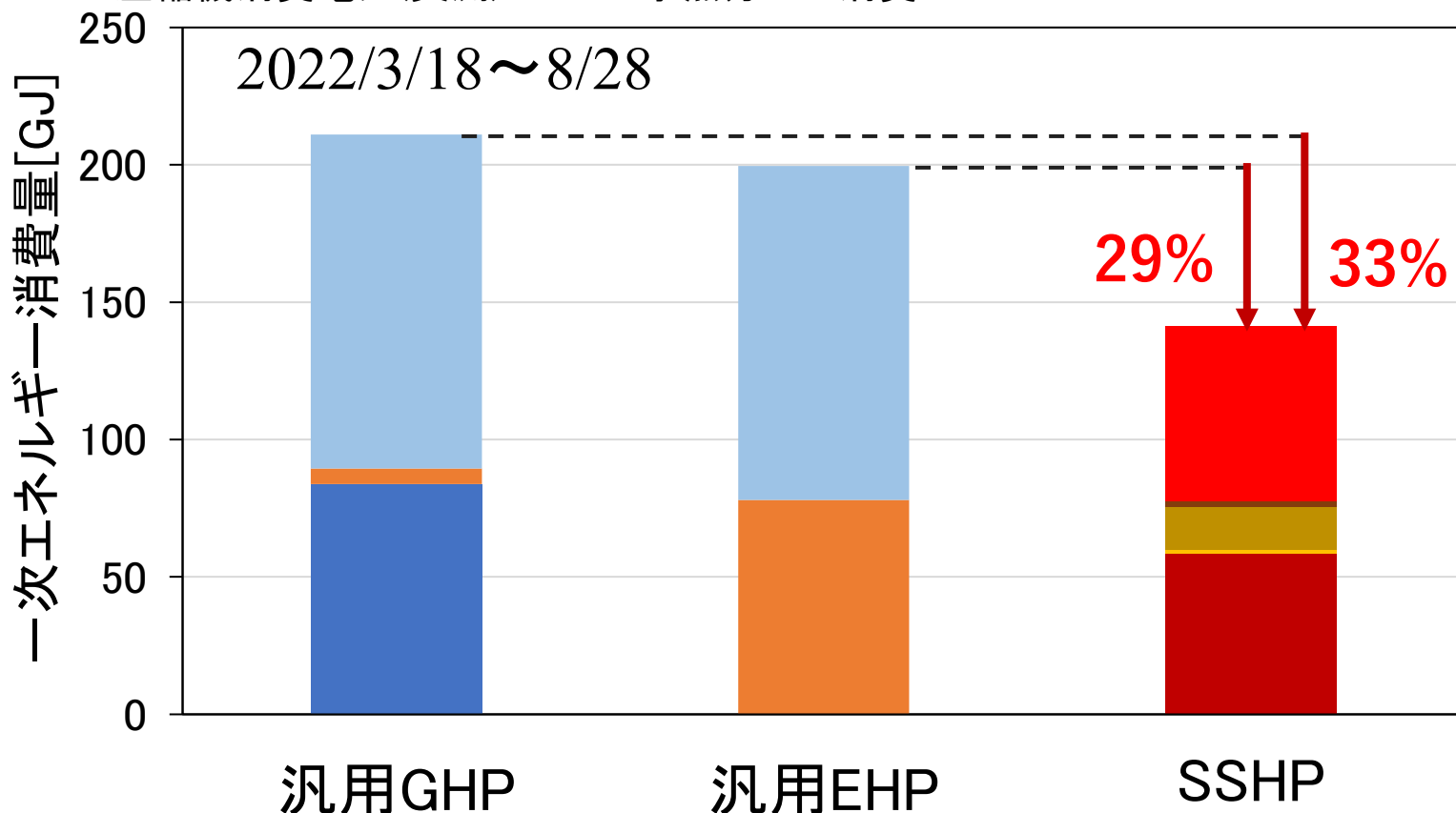


# 4. 研究開発成果

## 4.10 SSHP導入効果(システムCOP\*比較)

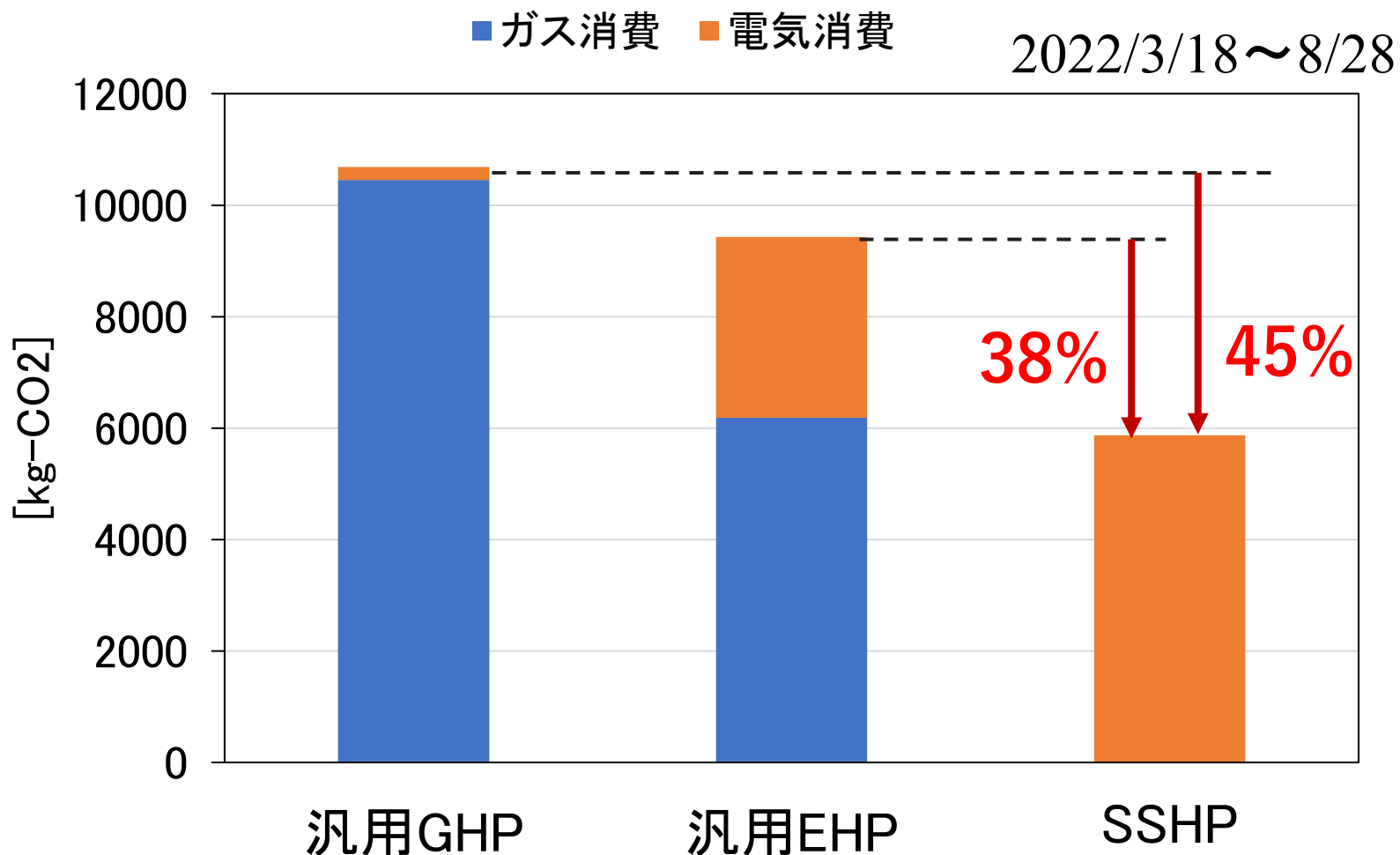
### ⑤SSHP導入効果(一次エネルギー消費量比較)

- ガス消費
- 電力消費
- WHP電力(実測)
- WHPポンプ電力(実測)
- SSHP+GHEX電力(実測)
- HUポンプ電力(実測)
- HU圧縮機消費電力(実測)
- HU予熱分ガス消費



# 4. 研究開発成果

## 4.11 SSHP導入効果(CO<sub>2</sub>排出量 \* 削減効果)



\* CO<sub>2</sub>排出量削減効果の算定にあたって用いたCO<sub>2</sub>排出係数は、都市ガス2.29 [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>] = 0.0509 [kg-CO<sub>2</sub>/MJ]、電力0.406[kg-CO<sub>2</sub>/kWh] = 0.0416[kg-CO<sub>2</sub>/MJ]

## 5. 今後の予定と技術課題

### 5. 1 今後の予定

- 2021年度8月に完成した、SSHP大府実証システムを対象に、年間発生頻度の高い、低負荷運転下でのSSHP運転性能を評価する(継続)。
- 2022年度～2023年度の運転実績をもとにシミュレーションを行い、汎用GHP、汎用EHPに対する省エネ効果、CO<sub>2</sub>低減効果を検証する(継続)。
- 2023年度空気調和衛生工学会大会で2022年度成果を発表。
- 「2023年度までにトータルコスト20%以上低減、2030年までに30%以上低減」達成に向けた行動計画を策定。

### 5. 2 技術課題

特に無し。

# 6.まとめ

研究開発項目	中間目標 (2021年度末)	最終目標 *赤字は達成見込み (2023年度末)	成果
①再エネ熱利用システム設計手法の開発	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型SSHP」を開発する。夏期・冬期条件での目標単体COP6以上を達成する。	2021年度～2023年度に実建物(豊田自動織機大府工場)を対象にSSHP導入効果を検討。 <b>順調に推移しており成果達成の見込み。</b>	2019年度に作成した設計用シミュレーションツールを用いて、実建物(豊田自動織機大府工場)及びモデル建物を対象にSSHP導入効果を検討した。
②低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型SSHP」を開発する。夏期・冬期条件での目標単体COP6以上を達成する。	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型SSHP」を開発。夏期・冬期条件での目標COP6以上を達成。 <b>2020年度の工場試験で目標達成</b>	2019年度に完成した小型実証機機でシステム実験を行うとともに、2020年度に大府実証機を製作、工場試験を実施。
③実建物における運転性能の実態検証	2020年度～2023年度にかけて年間発生頻度の高い、低負荷運転下でのSSHP運転性能を検証。	2020年度～2023年度にかけて年間発生頻度の高い、低負荷運転下でのSSHP運転性能を検証。 <b>順調に推移しており成果達成の見込み。</b>	2021年度8月に完成した実建物(豊田自動織機大府工場)での実証装置の運転データを取得し、2022年度の運転性能評価を実施。
④再エネ熱利用システムの最適運転制御技術	再生可能熱エネルギーを複合的に利用する最適制御手法を開発。	再生可能熱エネルギーを複合的に利用する最適制御手法を開発。 <b>2020年度に成果達成。</b>	2019年～2020年に最適制御アルゴリズム完成。シミュレーションで実験結果を高い精度で再現。