

# 2023年度成果報告会 プログラムNo. 8

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

発表日：2024年1月31日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

1 / 24

発表者名 鹿島建設株式会社 塩谷正樹

\*団体名（企業・大学名など） 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）

問い合わせ先 鹿島建設株式会社 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）

- ・1年間に亘る運転実績に基づき、SSHPの導入効果の算定を行った結果、汎用の電動ヒートポンプパッケージと比較し、システムCOPは41.5%向上し、1次エネルギー消費量は約29%削減される結果となった。

### 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

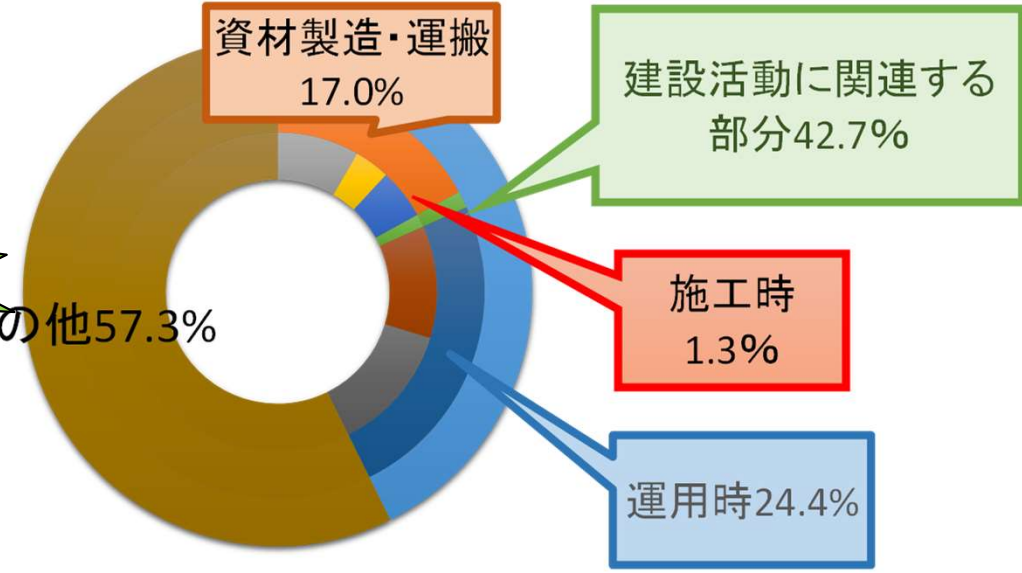
- パリ協定発効を機に、世界的に低炭素化社会実現に向けた動きが活発化している。日本は、2030年までに、2013年比で、温室効果ガス排出量26%削減の目標を掲げてきたが、さらに令和3年4月には第45回地球温暖化対策推進本部で削減目標46%、2050年カーボンニュートラル実現を表明した
- 脱炭素技術の切札として期待される再生可能エネルギーは、現状、太陽光・風力発電など電気利用が主体である。一方、太陽熱や地中熱などの熱利用はその大きな賦存量にも拘わらず、設備導入に係る初期コストが大きいため普及が進んでいない。
- このため再生可能熱エネルギー利用システムの適切な設計手法の確立、量産化により性能を向上させつつ、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	削減対象
 中国	2030年までに <b>60-65%</b> 削減	GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を ※2030年前後に、CO <sub>2</sub> 排出量のピーク
 EU	2030年までに <b>40%</b> 削減	1990年比
 インド	2030年までに <b>33-35%</b> 削減	GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を ※2030年前後に、CO <sub>2</sub> 排出量のピーク
 日本	2030年度までに <b>26%</b> 削減	2013年度比 ※2005年比では25.4%削減
 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

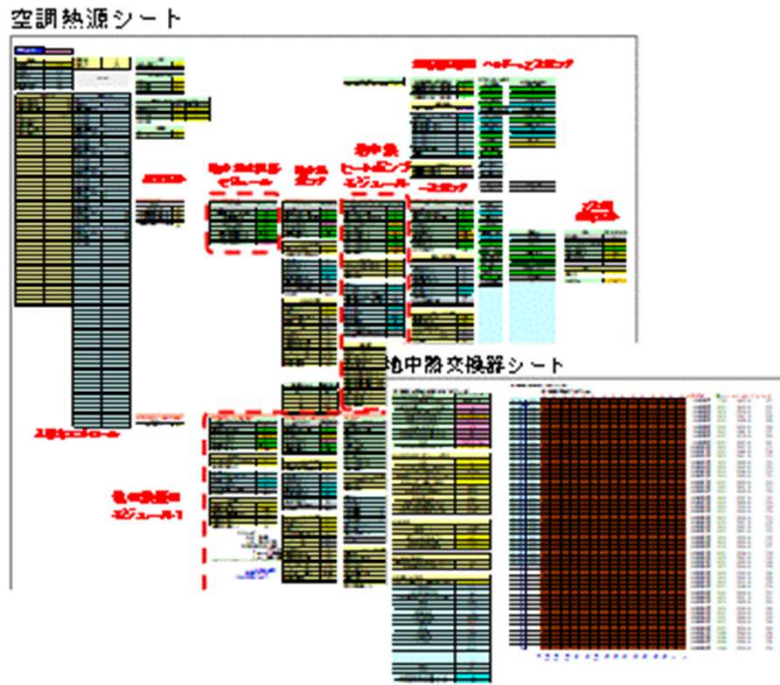
## 2. 1 研究開発の内容

### ①再エネ熱利用システム設計手法の開発（鹿島、日建総研）

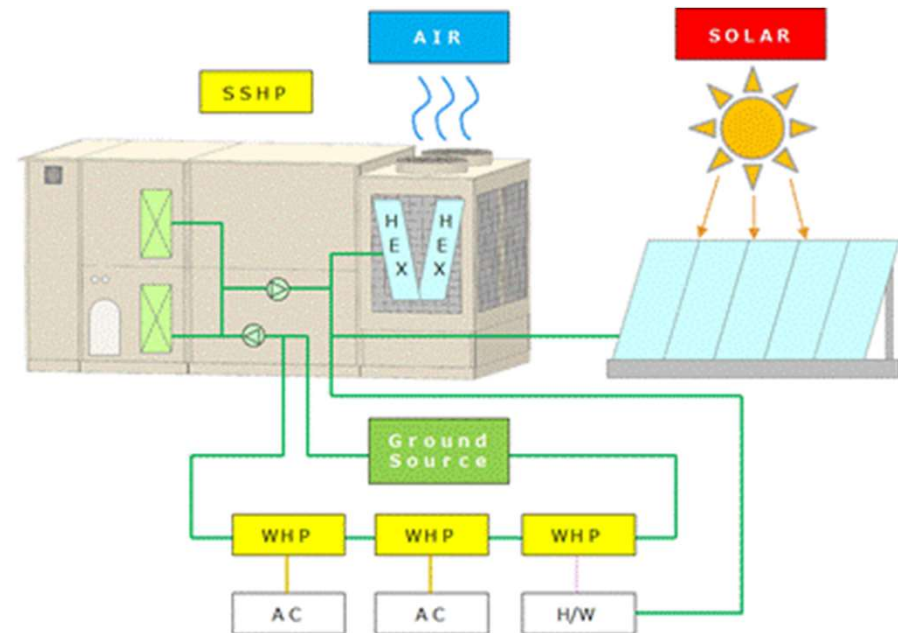
- ・ 地中熱・太陽熱利用を組み込んだシステムシミュレーションツールを開発。
- ・ 作成したツールを活用して、システム導入予定の建物モデルを対象に、適正な運転方法や省エネ性能、さらに実建物での年間運転実績データの分析に基づく開発システムの運転性能を検証。

### 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

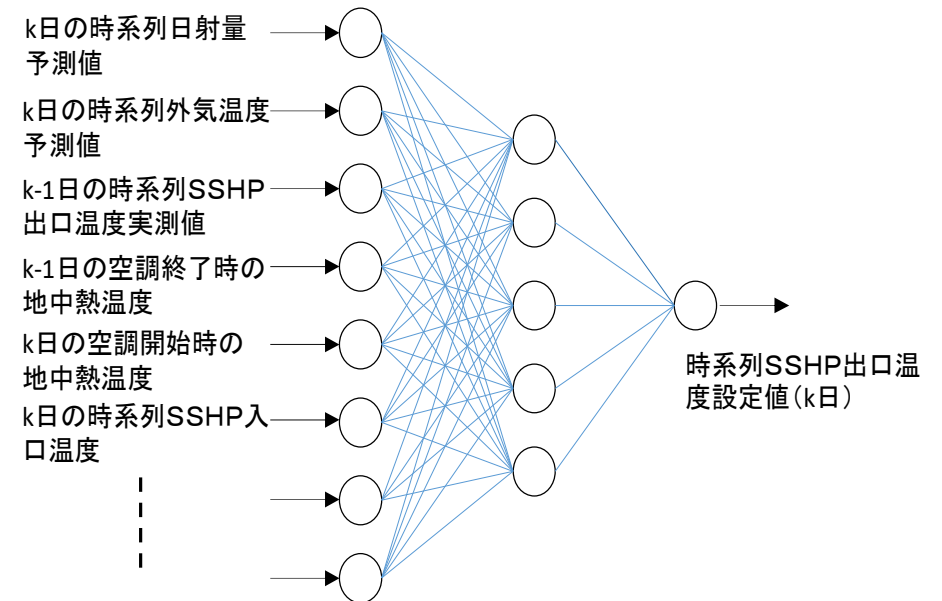
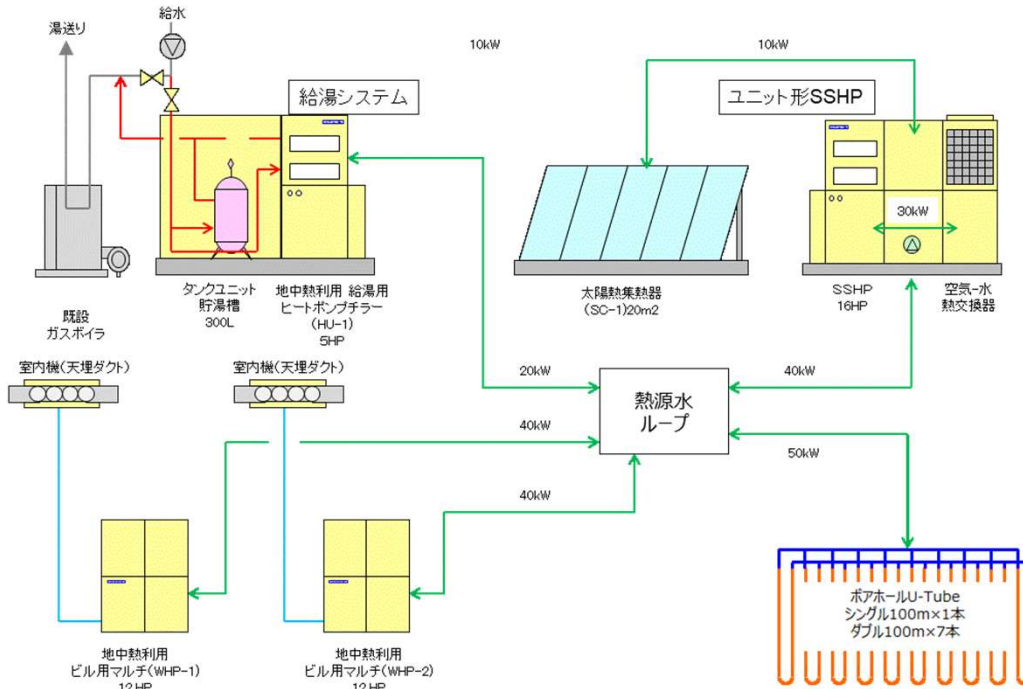
## 2. 1 研究開発の内容

### 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）

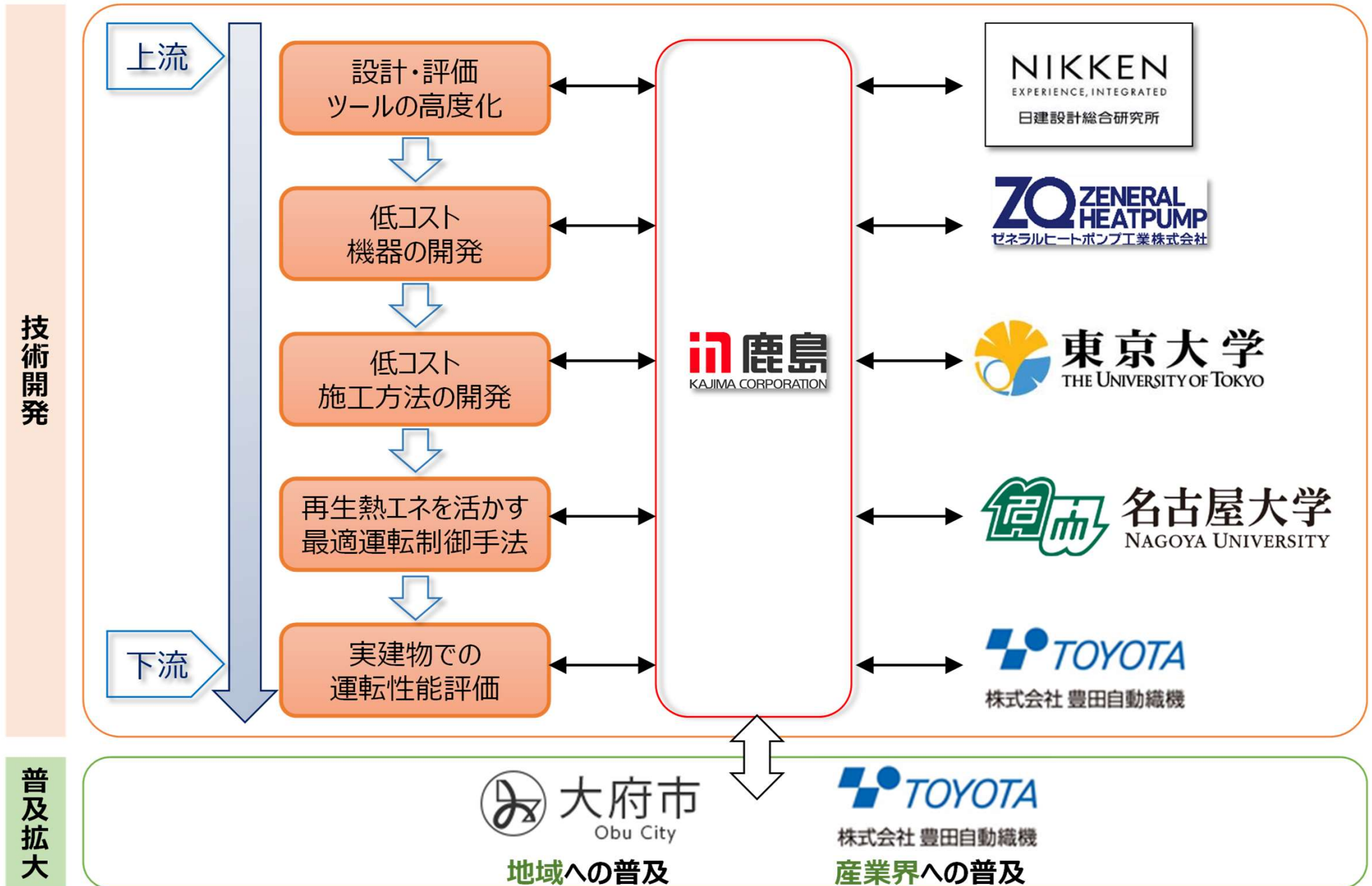
- ・ 機械学習などのAI等を活用した、太陽熱+地中熱を活用する最適制御アルゴリズムを構築し、実用的な運転制御手法を開発する。



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

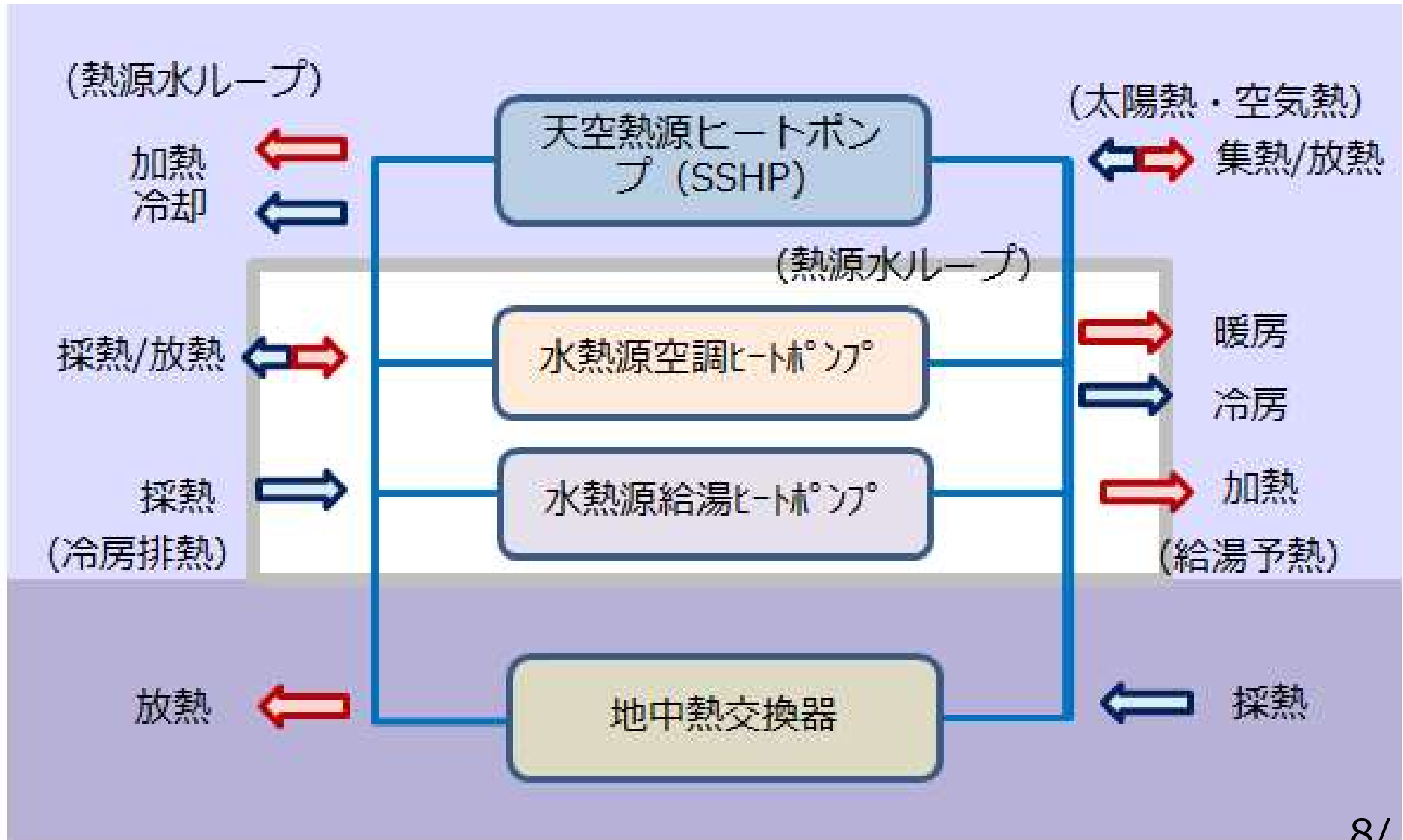
→ 当初計画  
 → 実施済  
 → 実施中

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				工場試験											
(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

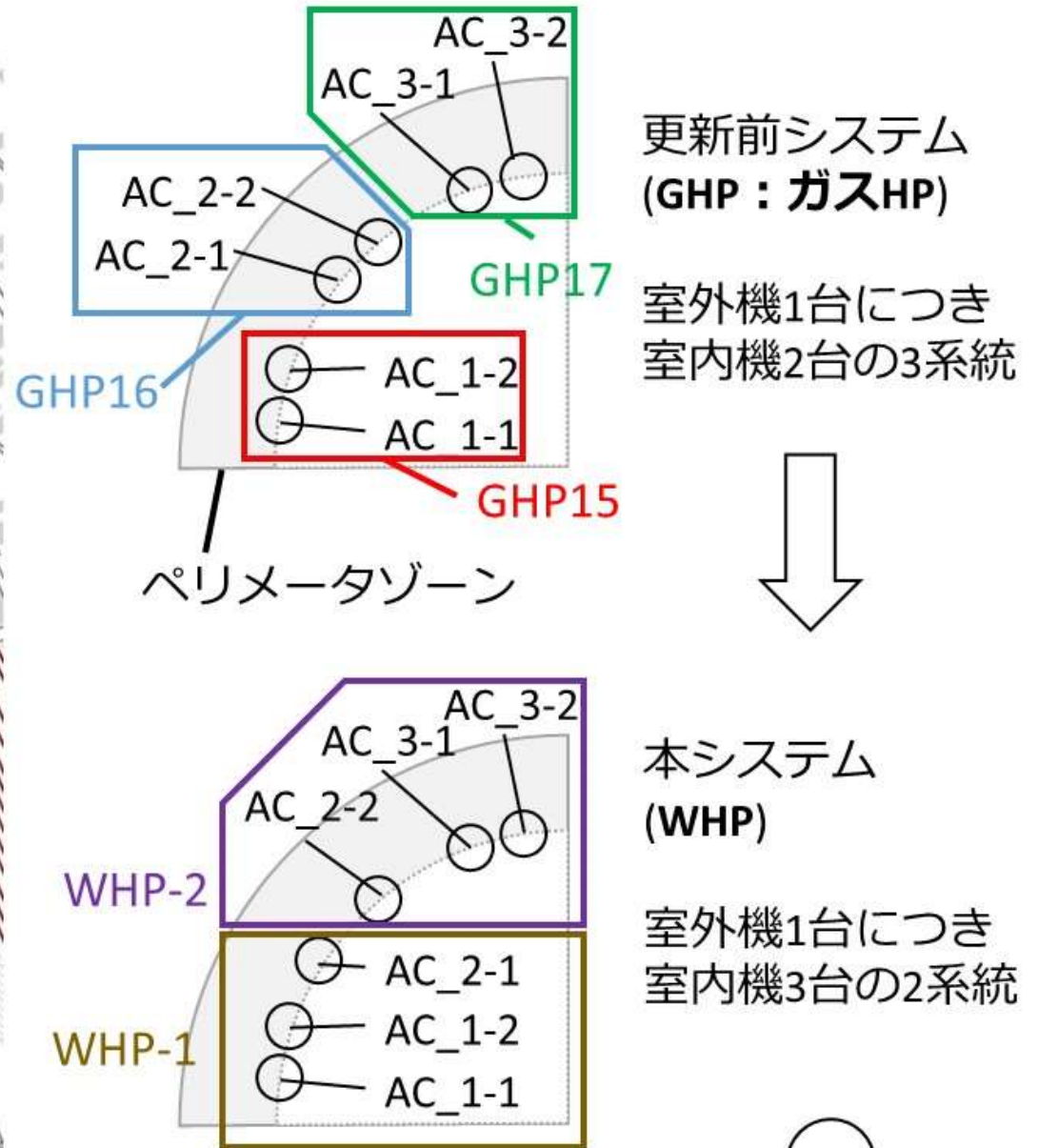
SSHP (Sky Source Heat Pump)は、多様な再エネ熱を熱源水ループで連結する水熱源ヒートポンプシステムである。





# 4. 研究開発成果

## 4.2 実証建物概要

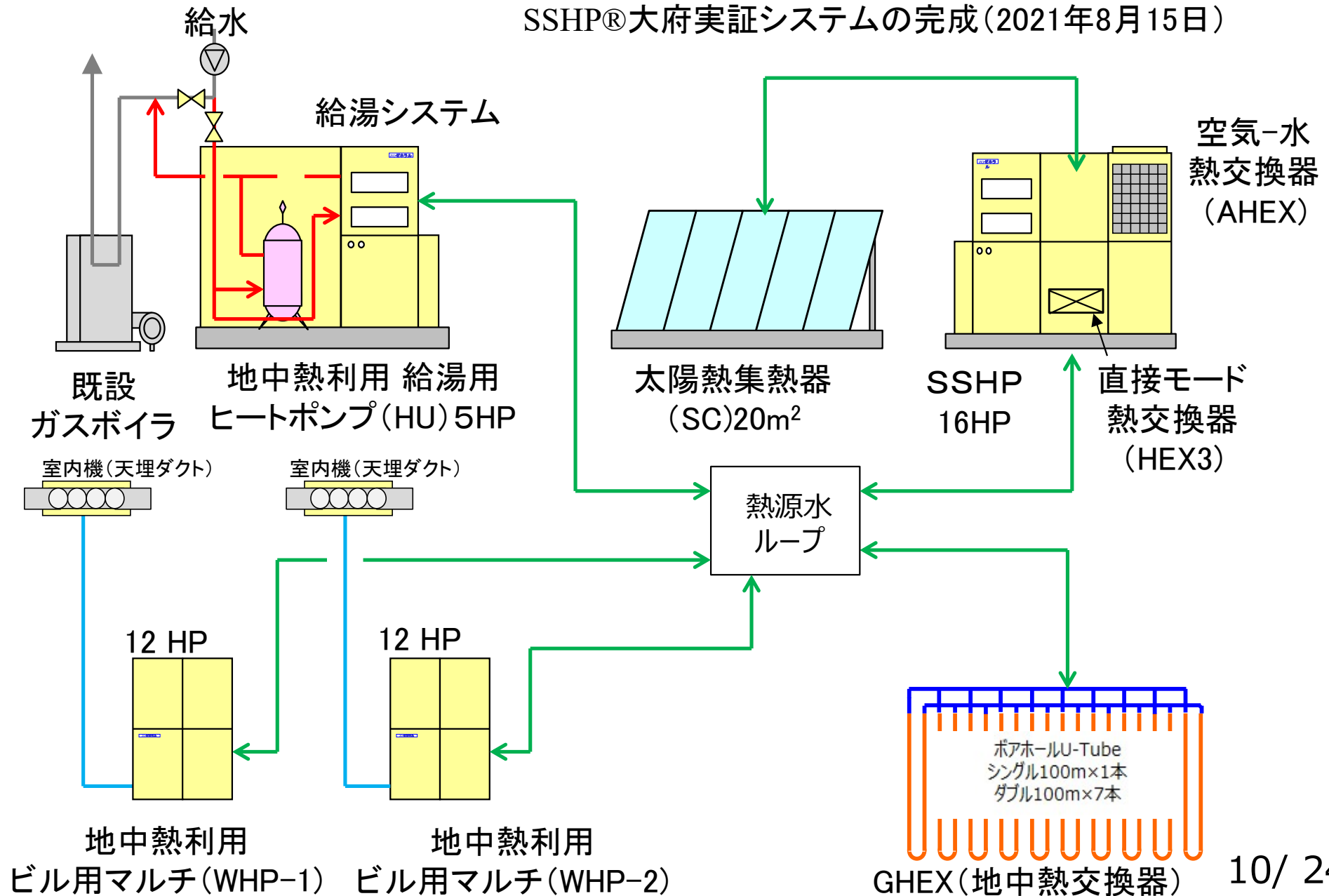


室内機吸込口測定機器取付位置(食堂平面図)

# 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	空気熱を利用したHP加熱 <b>冷房</b>	冷却	ON	OFF	OFF	ON
2	空気熱を利用したHP加熱	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 <b>暖房</b>	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 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）

### ①SSHP導入効果(算定方法)

SSHPシステムのエネルギー消費実績を、電気式ビル用マルチパッケージ型空調システム（以下、**汎用EHP**）と**比較**するため、シミュレーションで評価を行う。

検討期間：2021/11/27～2022/11/26

各エネルギー消費項目	汎用EHP	SSHP
室外機電力消費	シミュレーション値	—
WHP圧縮機電力	—	実測値
WHPポンプ	—	実測値
SSHP + GHEX電力※1	—	実測値
HU予熱分ガス消費※2	<b>HU予熱負荷/0.91</b>	—
HU給湯・熱源ポンプ電力	—	実測値
HU圧縮機電力	—	実測値

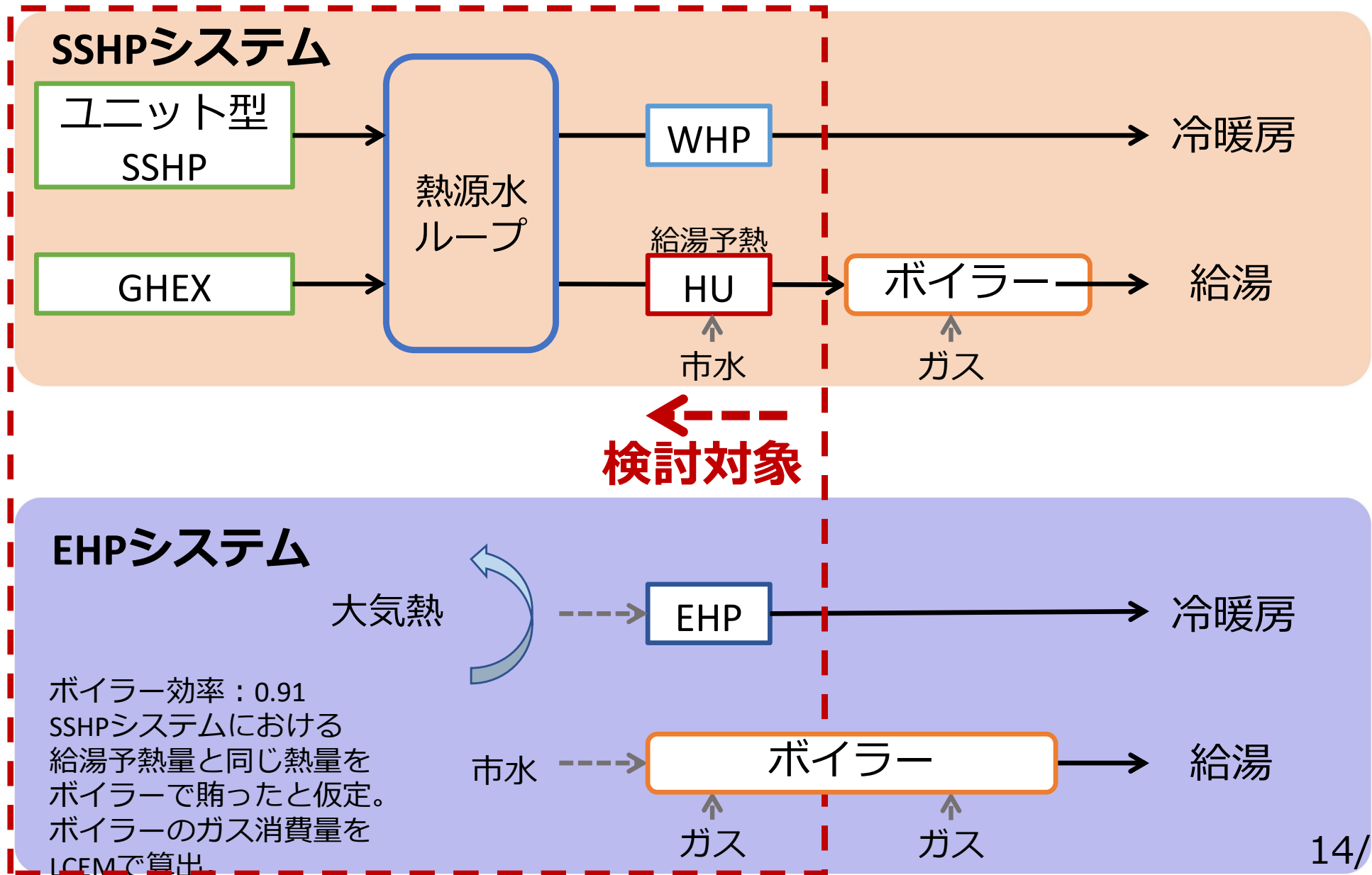
※1：内訳は、SSHP圧縮機消費電力+SSHP内ポンプ動力+地中熱ポンプ動力+AHEXファン動力

※2：SSHPシステムに給湯が含まれているため、**給湯予熱分をEHPシステムではガスで賄うもの**とし、SSHPシステムでのHU給湯能力を**ボイラ効率(0.91)**で割り戻して加算した。

# 4. 研究開発成果

## 4. 6 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)

### ②SSHP導入効果(対象システム)

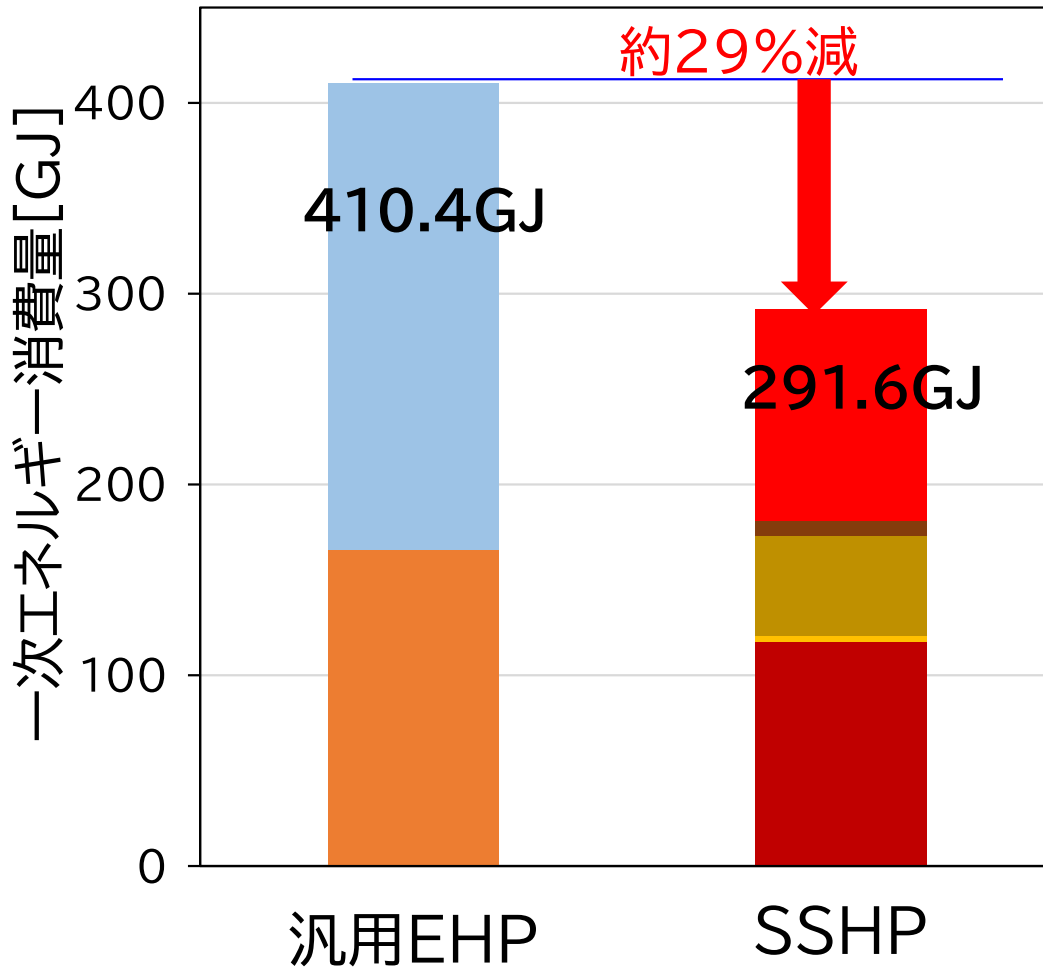


# 4. 研究開発成果

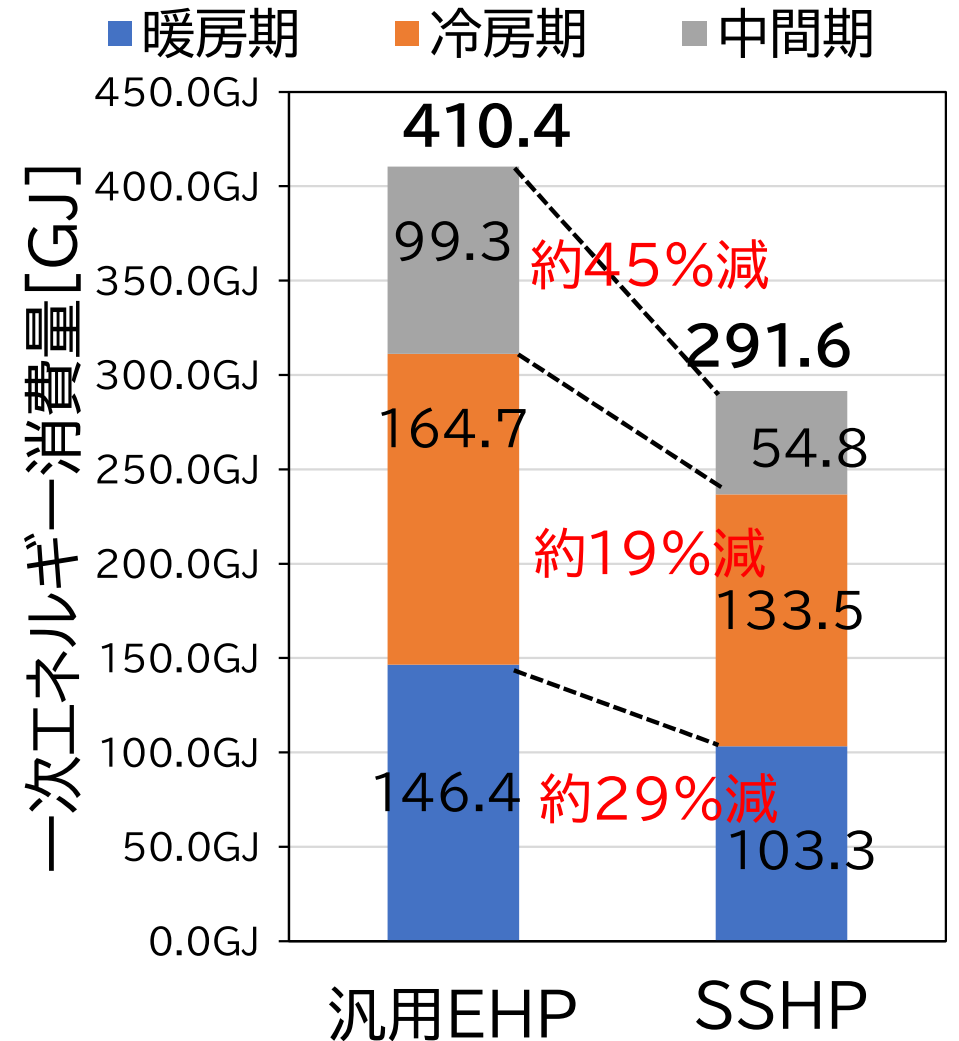
## 4. 6 実建物における運転性能の実態検証 (鹿島、名古屋大学、日建総研)

### ③SSHP導入効果(一次エネルギー消費量)

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



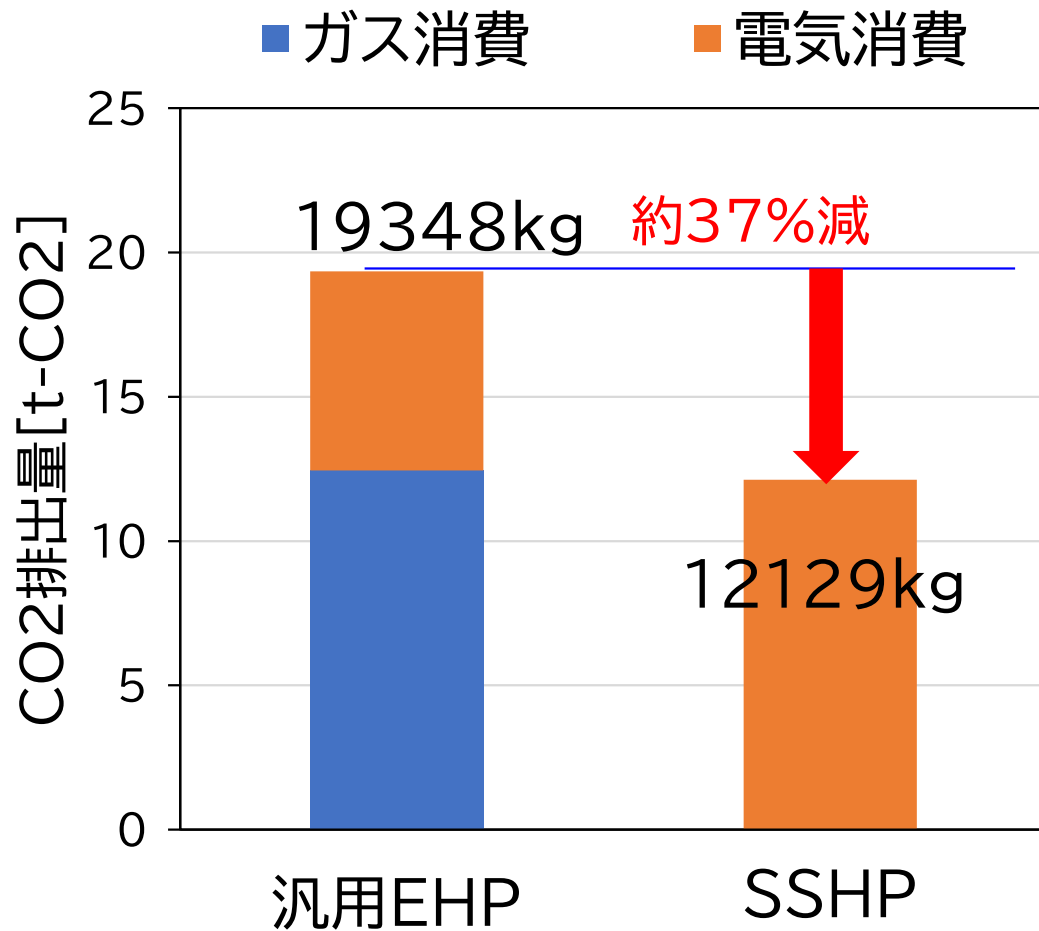
2021/11/27~2022/11/26



# 4. 研究開発成果

## 4. 6 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)

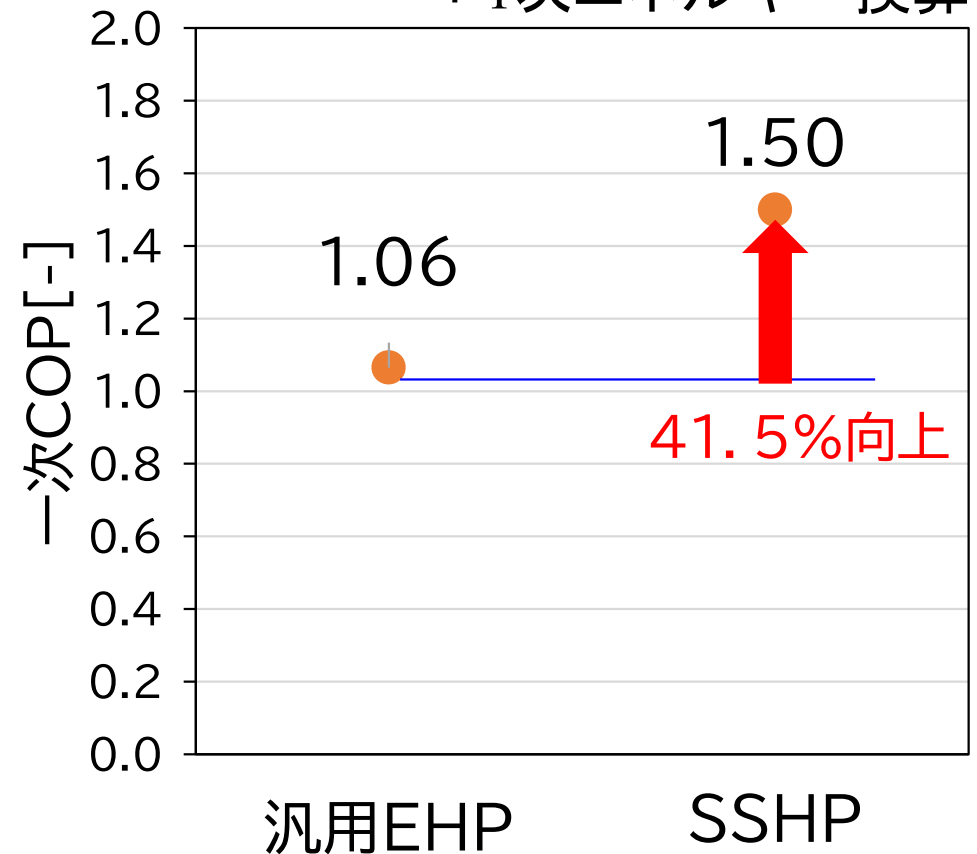
### ④SSHP導入効果(CO2排出量及びシステムCOP比較)



二酸化炭素排出量

2021/11/27~2022/11/26

\* 1次エネルギー換算



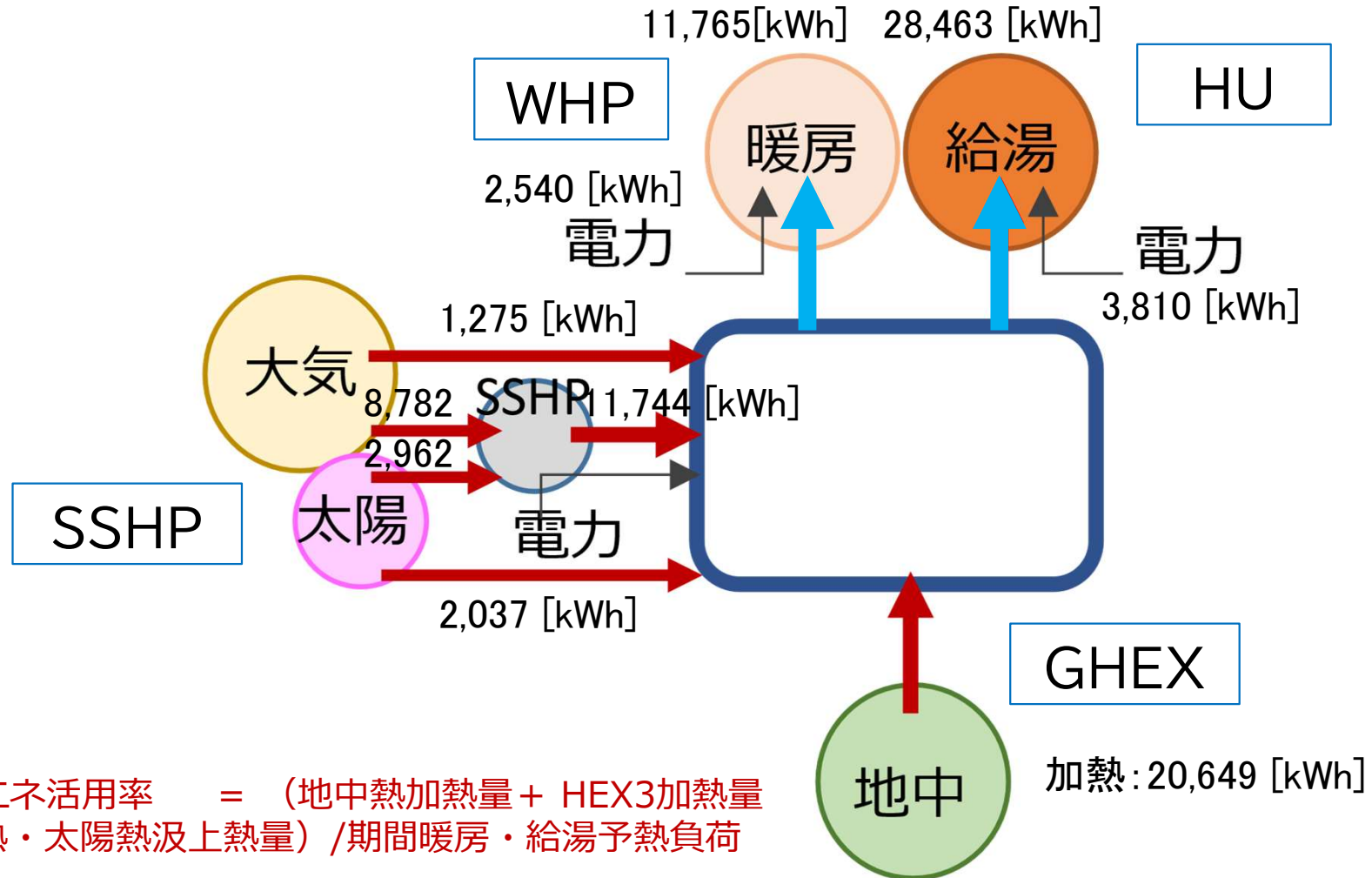
システムCOP(年間)



# 4. 研究開発成果

## 4. 6 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）

### ⑤SSHPシステムのエネルギーフロー：暖房期(2021/11/27～2022/4/21)



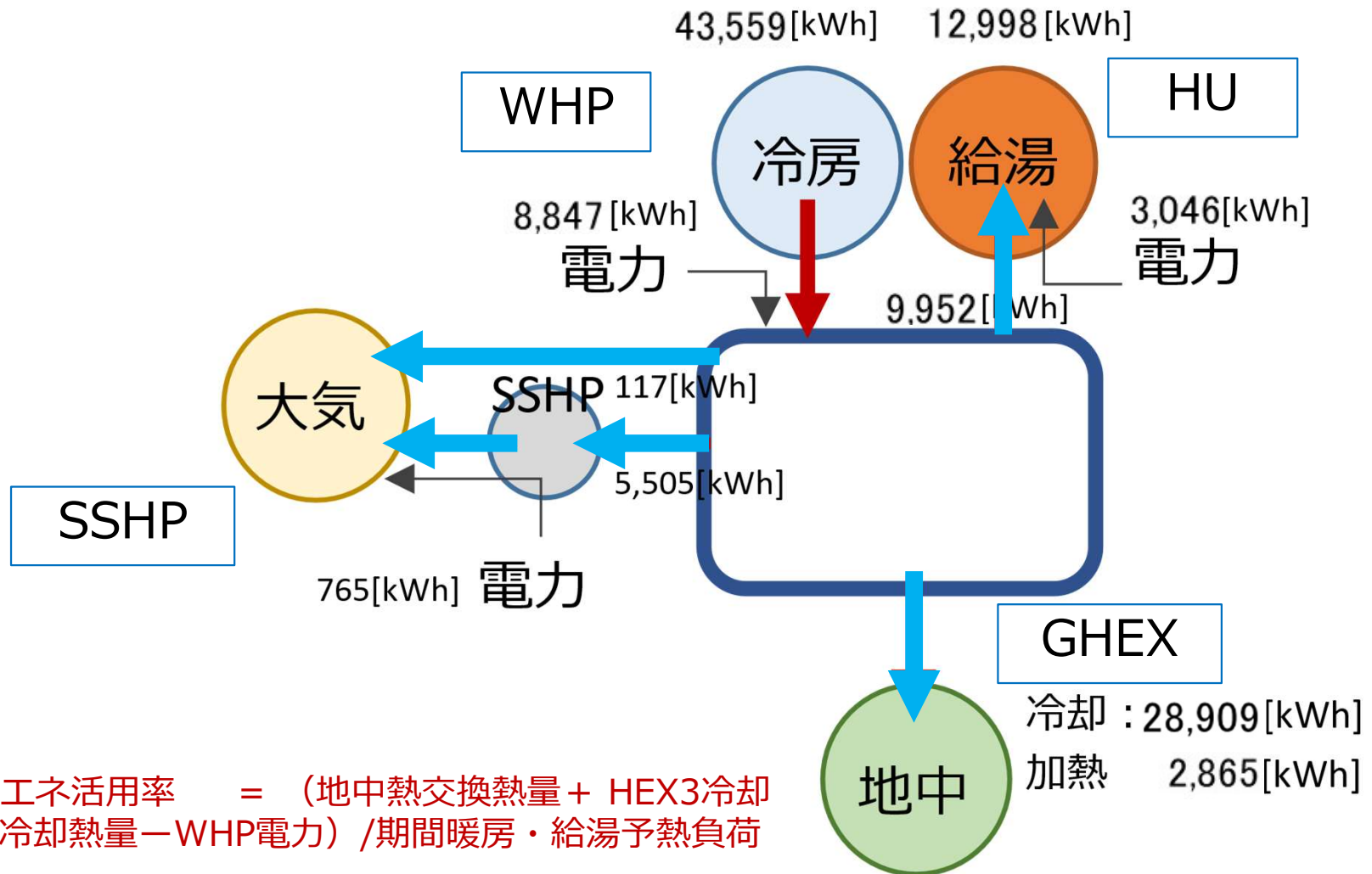
・システム再エネ活用率 = (地中熱加熱量 + HEX3加熱量 + SSHP大気熱・太陽熱汲上熱量) / 期間暖房・給湯予熱負荷

- ・熱源水ループ加熱に対する機器別依存率は、ユニット型SSHPで約29%、地中熱で約51%。
- ・暖房期の再エネ熱活用率はWHP + HUの処理負荷合計に対し約84%。（地中熱:約51%、大気熱が約22%、太陽熱が約10%）

# 4. 研究開発成果

## 4. 6 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）

⑥SSHPシステムのエネルギーフロー：冷房期(2022/6/30～9/30)

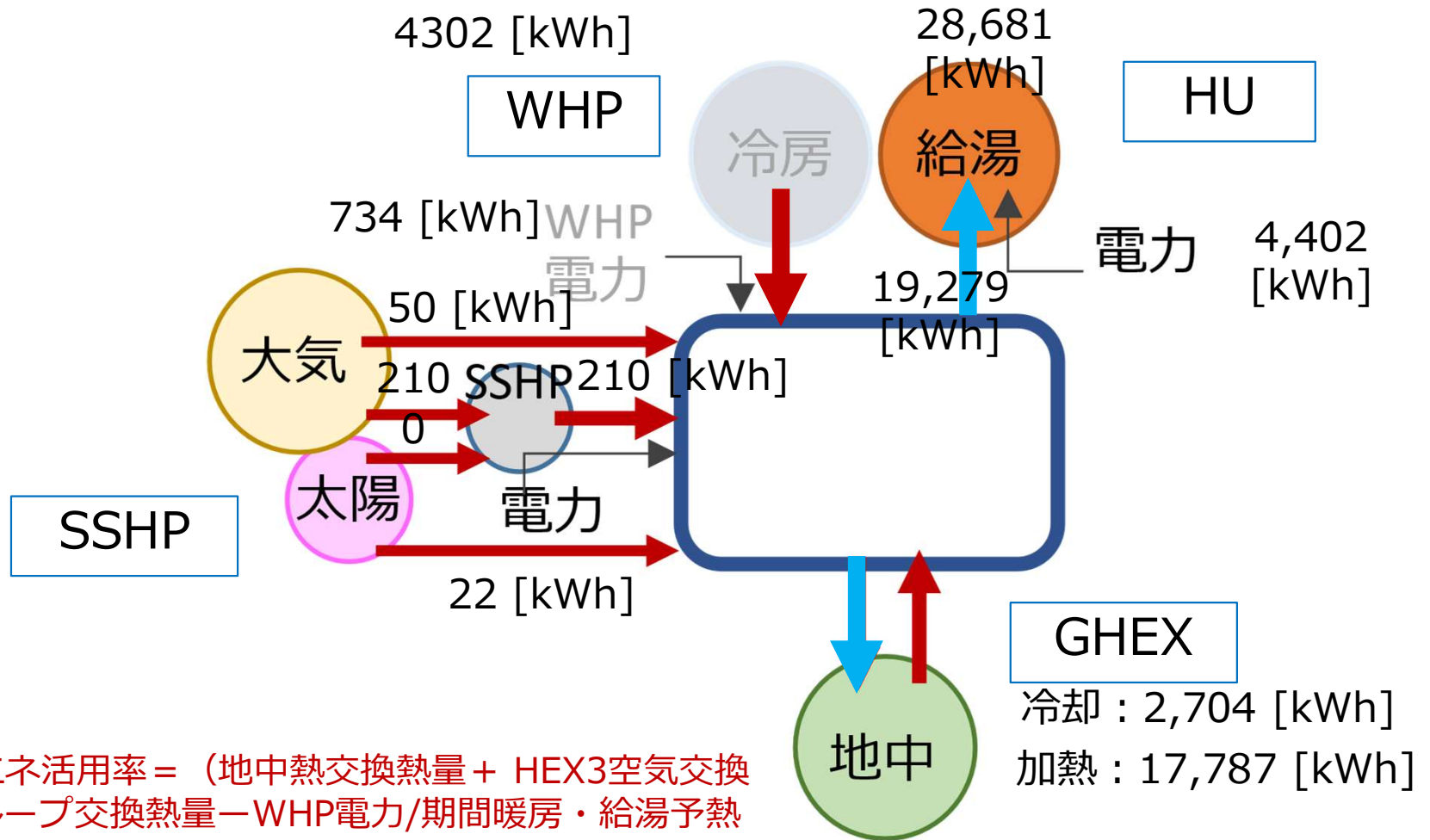


・熱源水ループ冷却に対する機器別依存率は、ユニット型SSHPで約11%、GHEXで約55%、HUで約19%。冷房期の再エネ熱活用率は約59%。（地中熱による冷却量は約50%、大気熱による冷却量は約9%）

# 4. 研究開発成果

## 4. 6 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）

⑦SSHPシステムのエネルギーフロー：中間期(2022/4/22～6/29, 10/1～11/26))



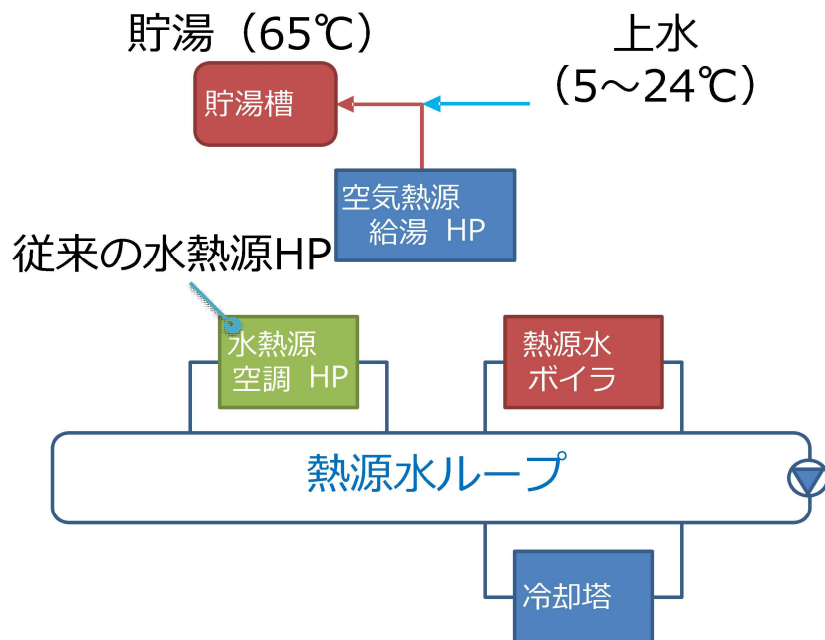
・システム再エネ活用率 = (地中熱交換熱量 + HEX3空気交換熱量 + SSHPループ交換熱量 - WHP電力 / 期間暖房・給湯予熱負荷)

・熱源水ループ加熱（給湯）に対する機器別依存率は、ユニット型SSHPで約1%、GHEXで約71%、中間期の再エネ熱活用率は約72%。（地中熱による冷却量は約71%、大気熱による冷却量は約1%）

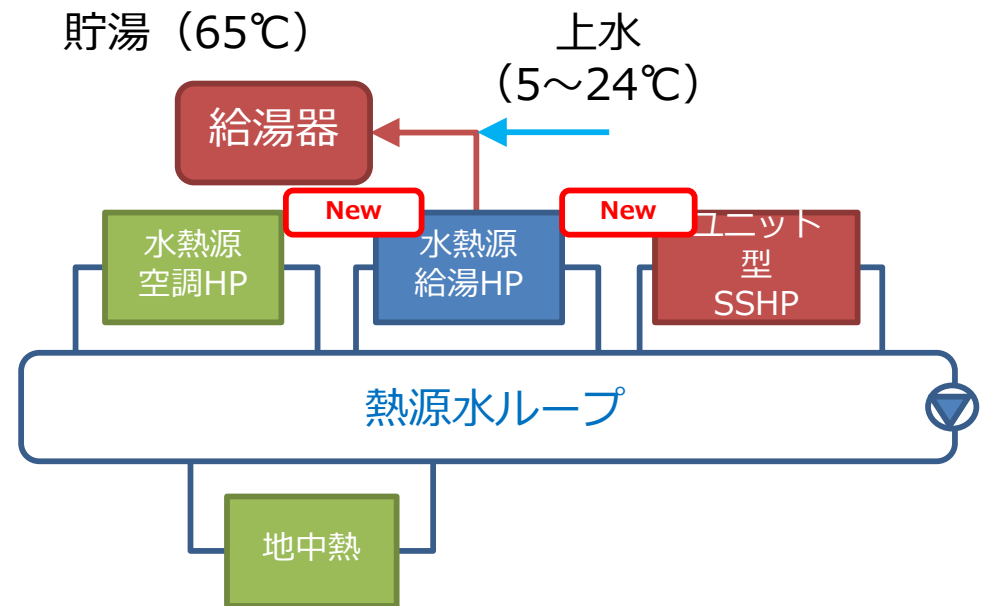
# 4. 研究開発成果

## 4. 7 コストに関するデータ

Case No.	ケース名称	空調システム	給湯システム	備考
Case1	従来システム (水熱源HP)	既存水熱源HP + 熱源水ループ	空冷エコキュート	商品化されている 熱源水ループシステム
Case2	研究開発技術 (新SSHP)	SSHP + 水熱源給湯HP + 地中熱 + 熱源水 ループ		大府実証システム



Case1 従来の水熱源システム



Case2 新SSHPシステム



# 4. 研究開発成果

## 4. 7 コストに関するデータ

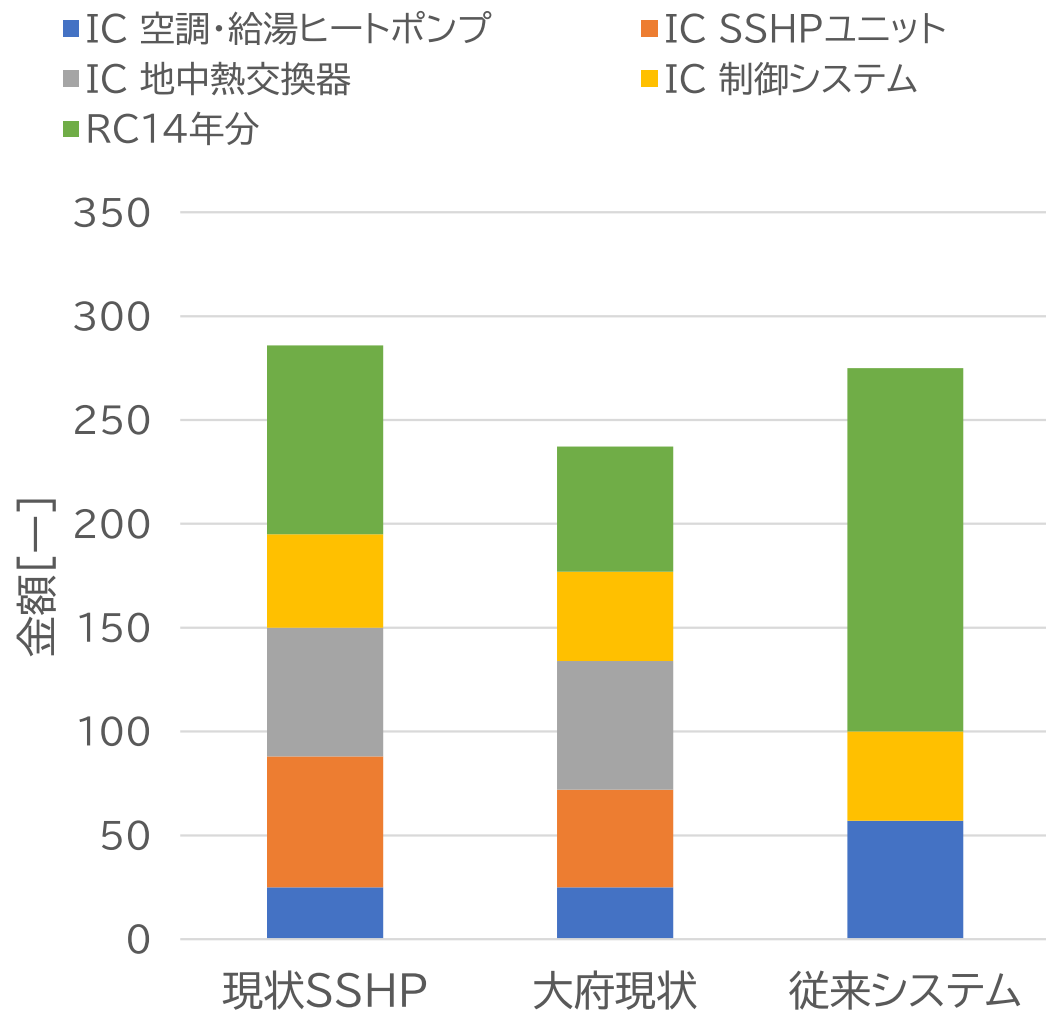
トータルコスト低減の比較対象は、2018年度で終了した、NEDOプロジェクト「再生可能エネルギー熱利用技術開発」で開発した、現状SSHP®システム(Case2)、投資回収年数は汎用的な水熱源HPシステム(Case1)に対するもの。

非住宅建物向け (SSHP® 出力45kW/台)	従来システム (Case1)	現状 SSHP®シ ステム (Case2)	大府現状コスト		2023年度目標 (Case3)		2030年度目標 (Case3)	
			目標値	低減率 [%]*1	目標値	低減率 [%]*1	目標値	低減率 [%]*1
<b>1.イニシャルコスト</b>	100	195	176.8	9.3	155.3	20.4	135.1	30.7
①空調・給湯HP	57	25	25		15.3		10.1	
②SSHP®ユニット	0	63	47		40		24	
③地中熱交換器	0	62	62		60		60	
④配管・計装他	43	45	43		40		40	
<b>2.ランニングコスト</b>	12.5	6.5	4.3	34	4.3	34	4.3	34
<b>3.トータルコスト (1+2)</b>	112.5	201.5	181.1	10.1	159.6	20.8	139.4	30.8
<b>4.投資回収年数</b>	—	15.9	<b>11.6</b>		<b>8.4</b>		<b>5.3</b>	

# 4. 研究開発成果

## 4. 7 コストに関するデータ

トータルコストの比較について



<トータルコストの比較について>		(一)		
積み上げ対象		現状SSH	大府現状	従来システム
IC	空調・給湯ヒートポンプ	25	25	57
	SSHPユニット	63	47	0
	地中熱交換器	62	62	0
	制御システム	45	43	43
RC14年分		91	60	175
トータルコスト (IC+RC14年分)		286	237	275

# 4. 研究開発成果

## 4.8 成果一覧表

研究開発項目	研究開発対象	現状の成果			2023年度目標 (プロジェクト)
		コスト面		性能面	
		個別	トータル	個別	
(1)再エネ熱利用システム設計手法の開発	設計技術	—	9.4%低減 (IC9.3%減、RC10%減) 投資回収年数 12年	2020年度にLCEMベースの設計用シミュレーションツールを完成。	2023年度までにトータルコスト20%以上低減させ、2030年までに30%以上低減の行動計画策定
(2)低コスト・高効率ユニット型SSHP®システムの開発	太陽熱・空気熱利用ヒートポンプ	(当社保有の)太陽熱利用ヒートポンプに対し熱量単価(円/kW)で36%低減		2021年8月に実証機完成。	
(3)実建物における運転性能の実態検証	運転性能実証	—		現時点で従来SSHPシステムCOP3.1から新SSHPシステムCOP4.17に向上	
(4)再エネ熱利用システムの最適運転制御技術の開発	運転制御技術	—		—	

# 5.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。