

**再生可能エネルギー熱利用技術開発/
地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化/
再生可能熱エネルギー利用のための
水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発**

国立大学法人東京大学
鹿島建設株式会社
(再委託先: 丸和電機株式会社)
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

2019年10月17日

事業概要

1. 期間

開始:2014年7月

終了:2019年2月

2. 最終目標

開発システムの実証試験により、設備費の低減、熱搬送動力の削減、熱交換性能の向上を示し、従来システムと比較して、導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する。

3. 成果・進捗概要

開発機器の試作および単体性能試験、制御ロジックの開発など、順調に進捗している。今年度にはシステム実証実験装置を構築し、システム全体の性能を検証していく予定である。

背景と目的

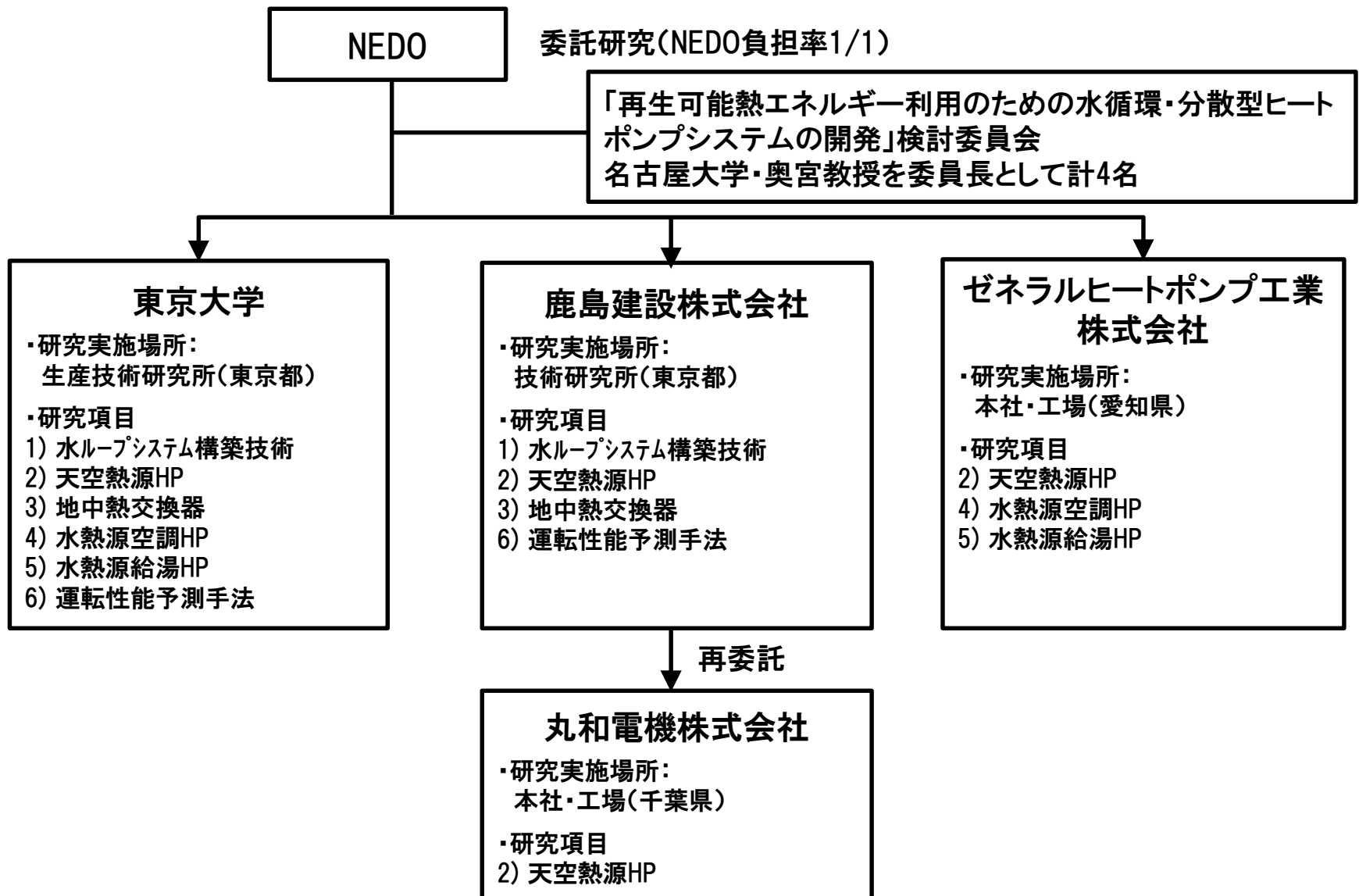
社会的背景

建物における熱供給システムの省エネ方策として地中熱などの再生可能熱エネルギー利用が期待されているものの、導入コストやシステム設計技術、構成機器等に課題があり、普及拡大には至っていない。

事業の目的

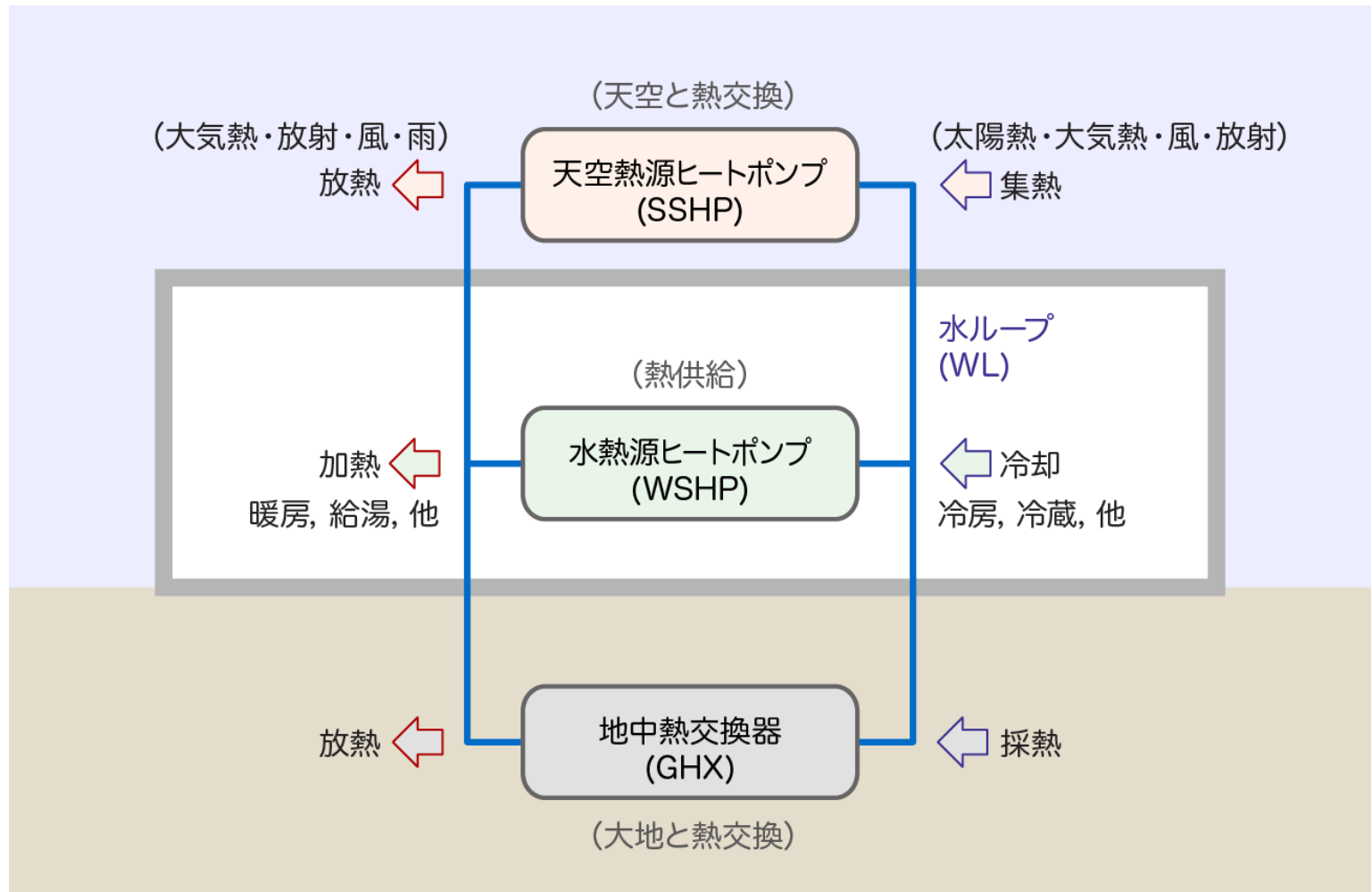
本事業では、水ループを用いて地中熱、太陽熱、河川熱、下水熱等、様々な再生可能熱エネルギーのネットワークを構成し、これを集放熱源とするヒートポンプを用いて冷暖房や給湯などの多目的な熱需要に対応し、コスト低減、高効率な運転を可能にする要素及びシステム技術を研究開発し、従来システムと比較して、導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する。

事業実施体制



研究内容

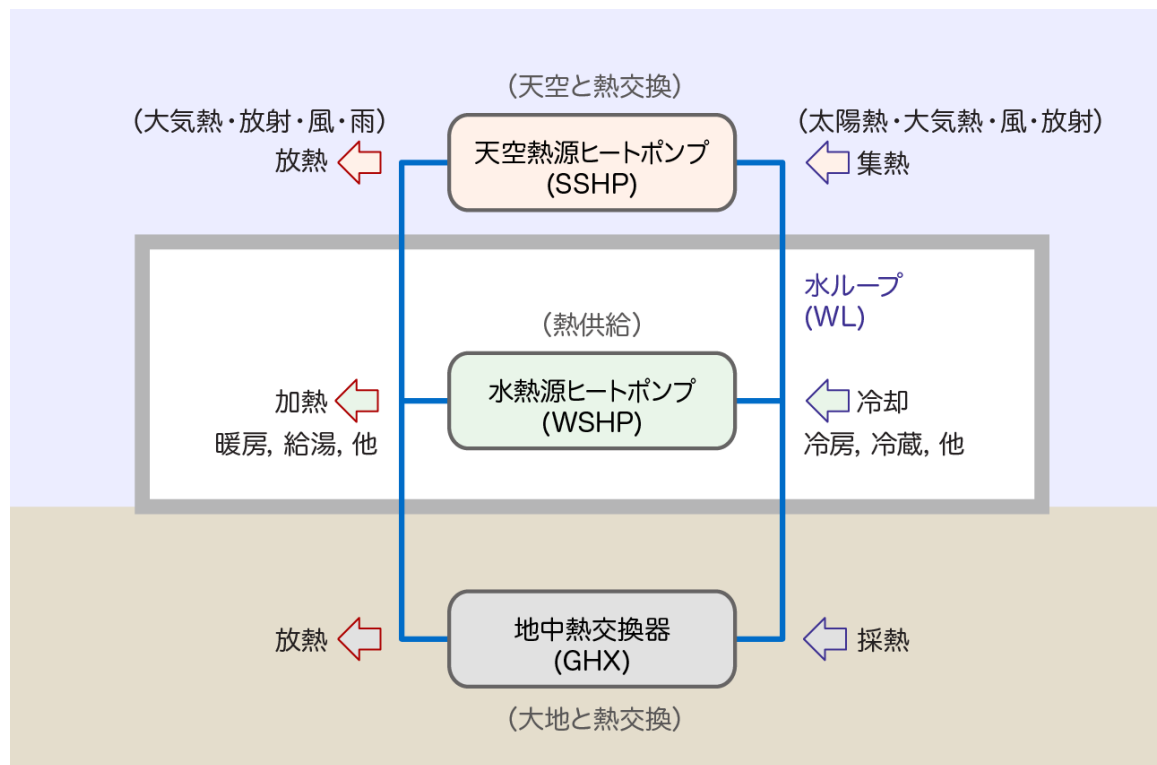
多様な再生可能エネルギーを多目的に熱利用



再生可能エネルギーの補完的利用

太陽熱	集熱	量は十分, 間歇的 & 変動性 (フロー)	天空熱源HP (SSHP)
地中熱	集放熱	温度は安定, 利用量に制約 (ストック)	地中熱交換器
地球放射	放熱	夜間に顕在化 (フロー)	天空熱源HP
空気熱	集放熱	利便性は高いが建物負荷と逆特性	天空熱源HP
風	集放熱	空気熱交換能力を改善	天空熱源HP
雨(散水)	放熱	水の蒸発潜熱で放熱能力が向上	天空熱源HP
排熱	集放熱	温冷排熱の相互利用と非同時性の解消	水ループと土壌
太陽光発電		系統と連携, ヒートポンプ動力	PV天空熱源HP

要素技術とシステム構成



- 1) 水ループシステムは、地温を基準に安定なヒートポンプ熱源水を供給し、排熱の回収利用を可能にする。
- 2) 天空熱源ヒートポンプは、太陽熱利用や大気との熱交換を行い、地中熱利用の熱量制限を解消する。
- 3) 地中熱交換器は、地中熱利用と蓄熱機能を有する高密度型で敷設面積を減らし、掘削コストを低減させる。
- 4) 水熱源ヒートポンプは、水ループと熱交換して空調や給湯の熱を供給し、通年安定して高いCOPを実現する。

■ 分散型ヒートポンプによる熱のネットワーク利用システム

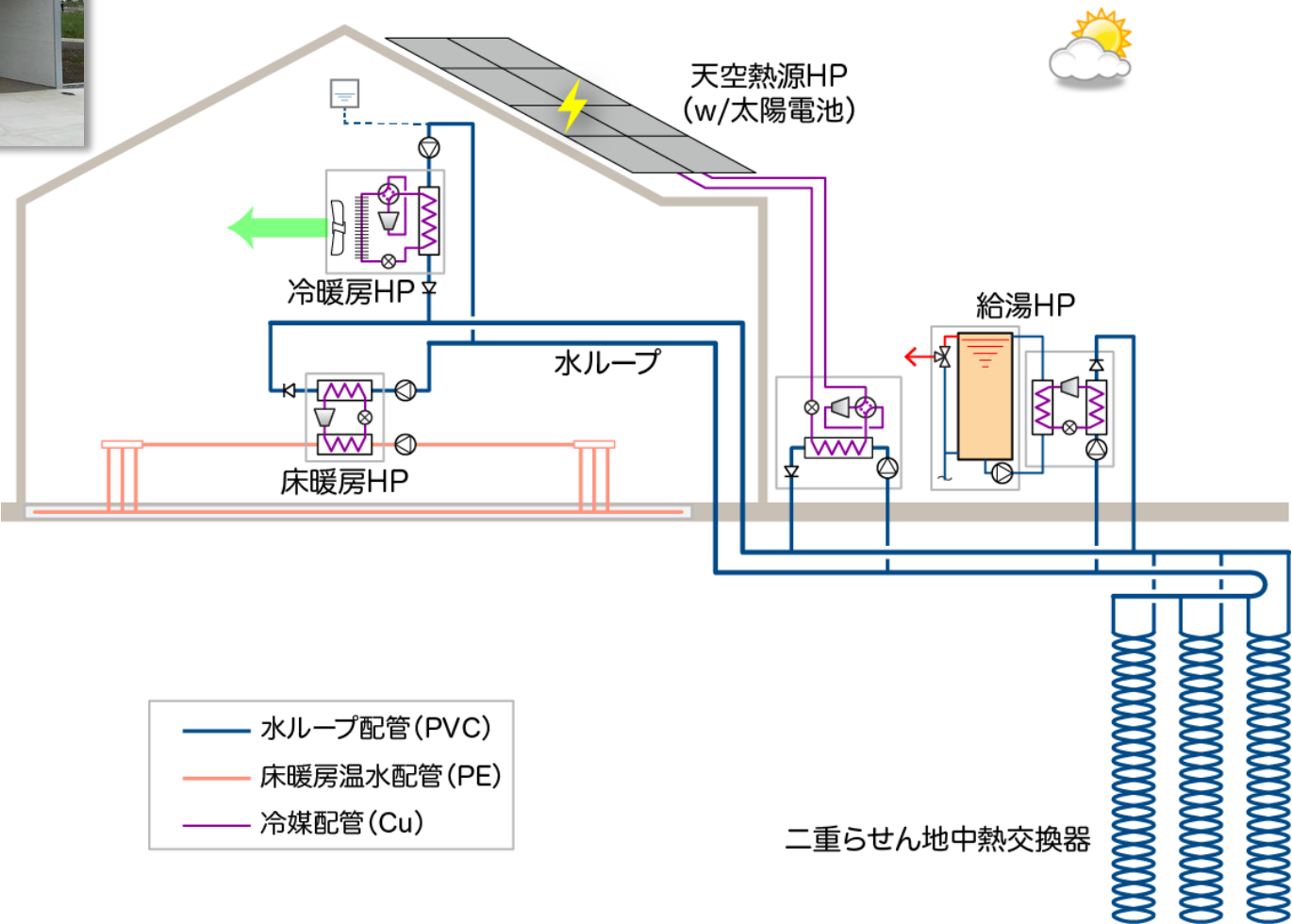
- 規模の拡張性が高い(住宅, ビル, 将来は地域熱源も)
- 用途の自由度が高い(冷房, 暖房, 給湯, 将来は冷凍も)
- 電力削減とピークシフト(デマンドレスポンス適合)

(1)住宅規模向け ①再生可能エネルギー環境試験建屋(REハウス)のシステム



- 要素技術を開発してシステムを構築(下図)
- 二重らせん地中熱交換器の埋設法を考案試行

(床面積60m², 千葉県柏市)



今後の計画

- 運転試験と評価
- 改良技術開発
- 成果の公開

(1) 住宅規模向け ② 天空熱源ヒートポンプと二重らせん地中熱交換器



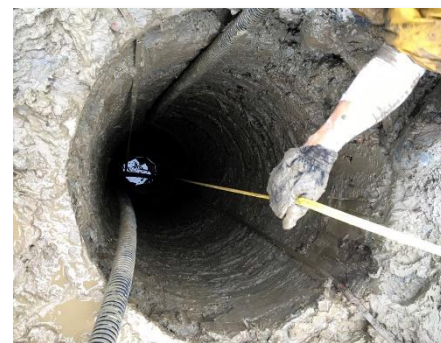
天空熱源ヒートポンプ屋外集放熱パネル

- (1) 【集熱】太陽熱利用, 大気熱, 自然通風
- (2) 【放熱】夜間放射, 自然通風, 雨水蒸発
- (3) 集熱能力 6 kW(冷媒R-32蒸発)
- (4) 放熱能力 6 kW(冷媒R-32凝縮)
- (5) 設置面積 8 m², 太陽光発電 1.2 kW



二重らせん地中熱交換器

- (1) 長尺管を二重らせん巻
- (2) シュルユニット化して搬送
- (3) 縦孔を掘削して埋設
- (4) 縦孔上部より検尺



(1) 住宅規模向け ③水熱源ヒートポンプ熱供給設備(REハウスの試作機)



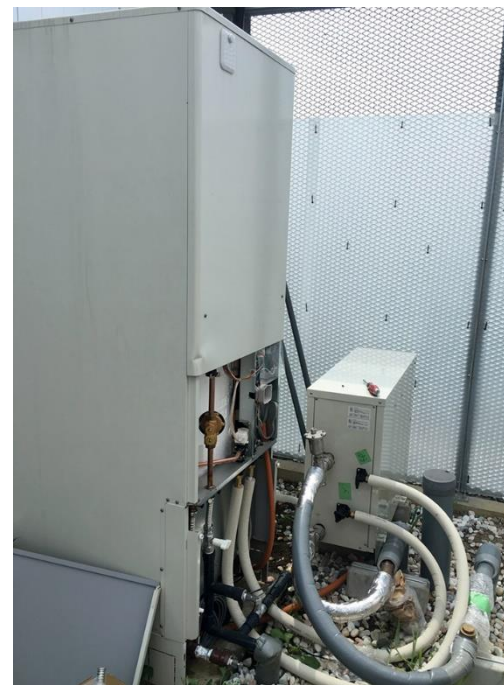
冷暖房用水熱源ヒートポンプ(5 kW)
(全館空調を想定したダクト送風式)

給湯用水熱源ヒートポンプ
(CO₂冷媒, 貯湯式370L)

床暖房用水熱源ヒートポンプ(6 kW)

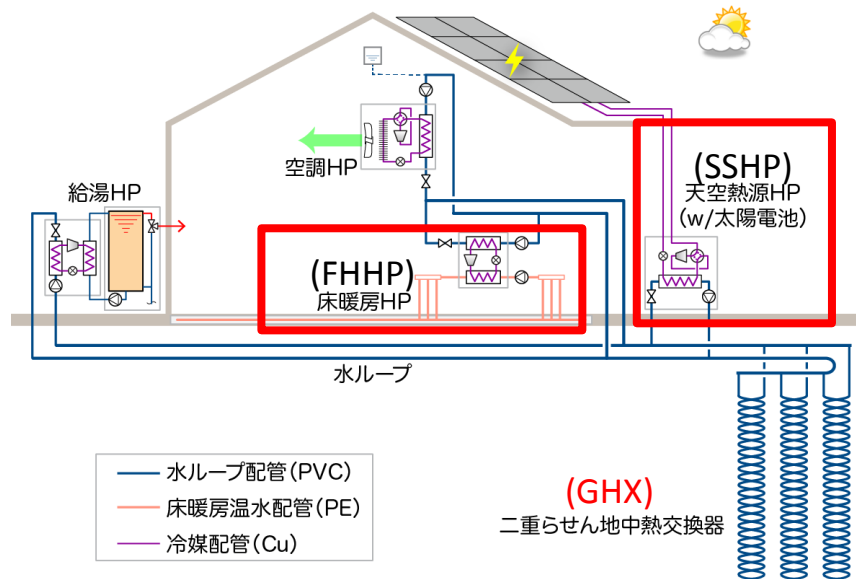


給湯負荷設備

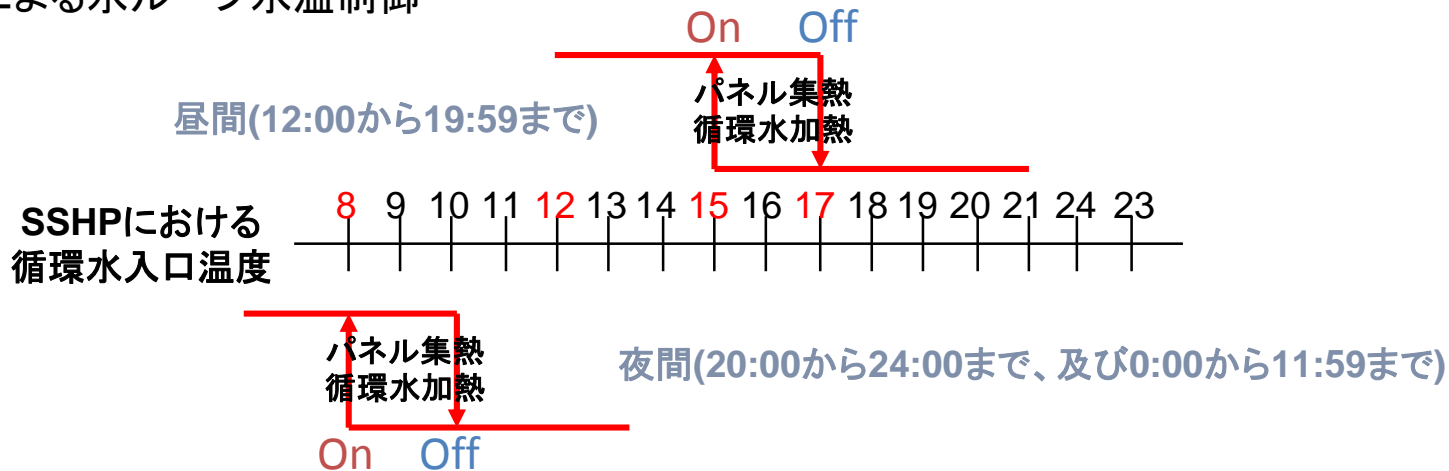


冬期運転試験概要

- 運転期間: 2018年3月1日～3月31日(1ヶ月間)
- 稼働機器: 天空熱源ヒートポンプ(SSHP)→集熱運転
床暖房ヒートポンプ(FHHP)→暖房運転: 温水供給温度を24℃～27℃に保つ
- 水温サンプリングのために、SSHPの水ポンプを30分間隔で3分間運転した後で停止

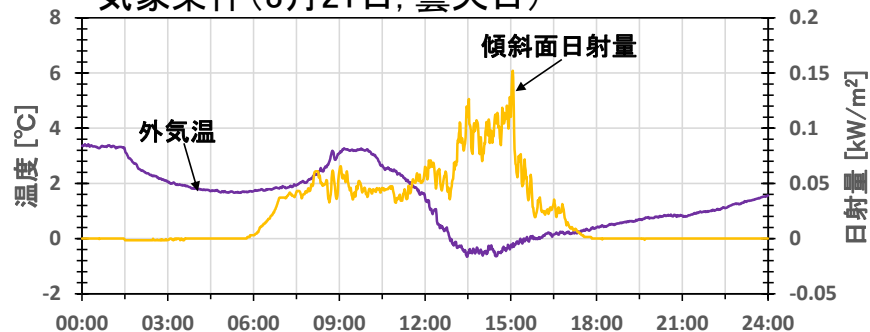


- ## ■ SSHPによる水ループ水温制御

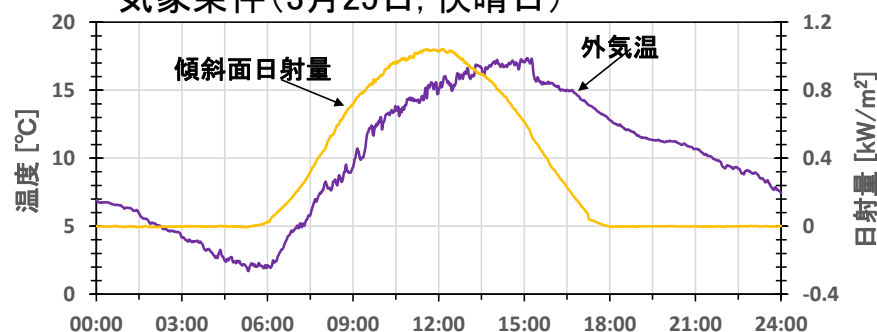


代表日の実測結果

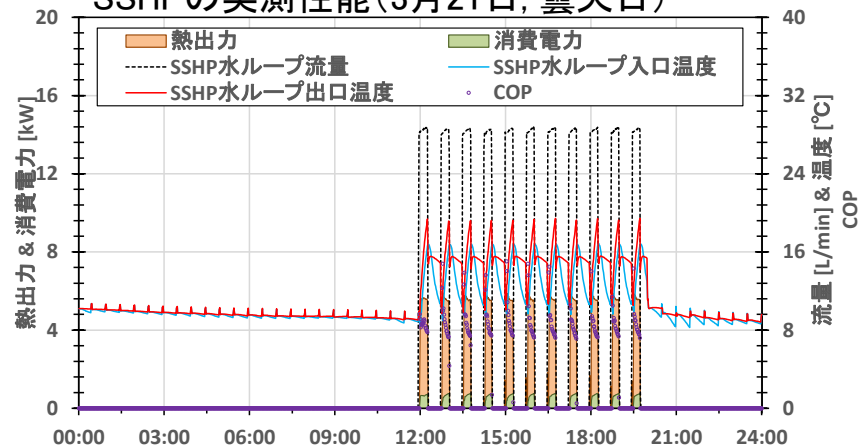
気象条件(3月21日, 曇天日)



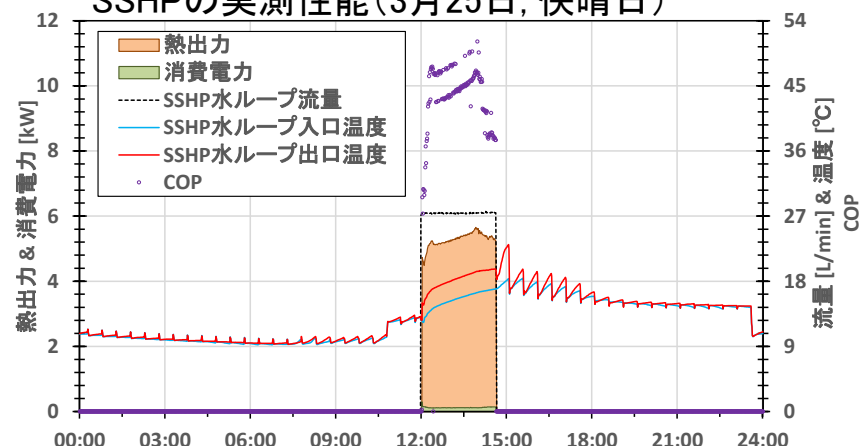
気象条件(3月25日, 快晴日)



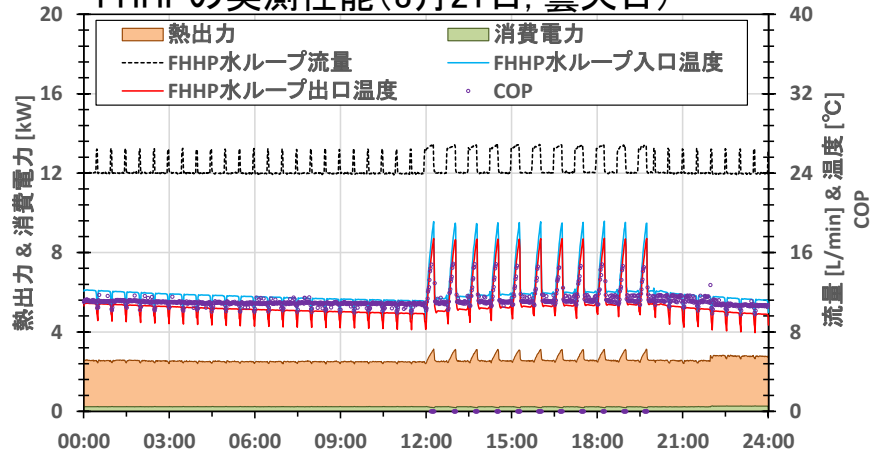
SSHPの実測性能(3月21日, 曇天日)



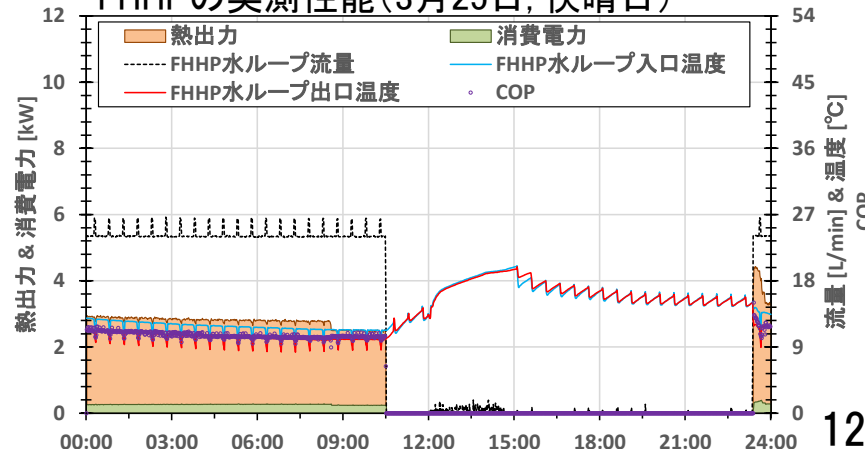
SSHPの実測性能(3月25日, 快晴日)



FHHPの実測性能(3月21日, 曇天日)

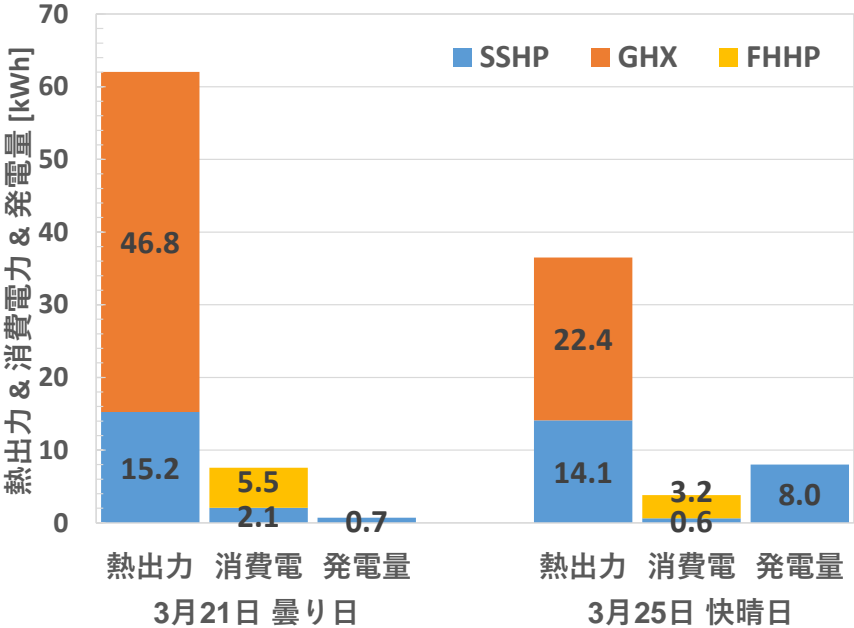


FHHPの実測性能(3月25日, 快晴日)

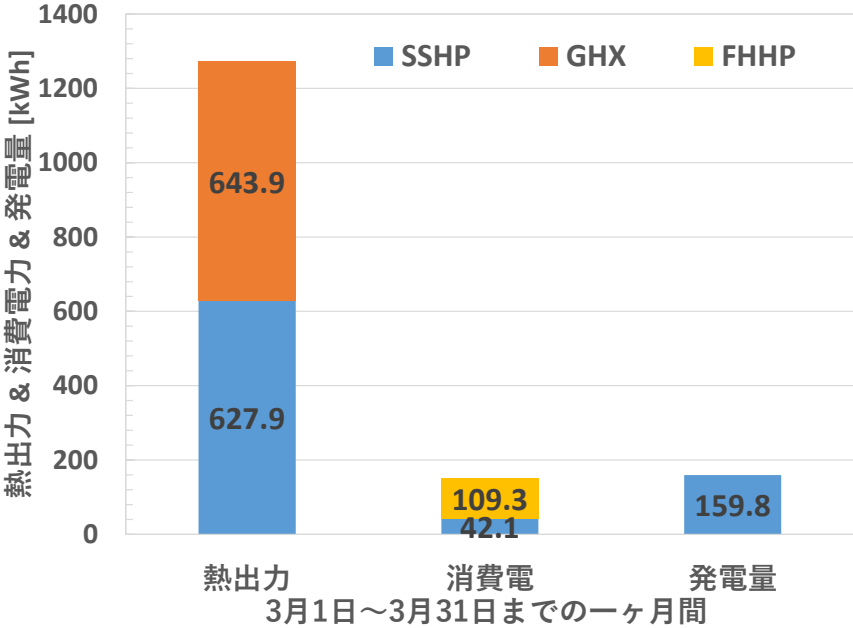


代表日の実測結果

代表日の熱出力,消費電力,発電量



1ヶ月間の熱出力,消費電力,発電量



各機器及びシステム全体のCOP

		3月21日(曇り)	3月25日(晴)	3月1日-31日
期間平均	SSHP	7.4	23.2	14.9
	FHHP	11.3	11.4	11.6
	System*	8.2	9.6	8.4
実運転中 (圧縮機作動中)	SSHP	8.3	42.9	-

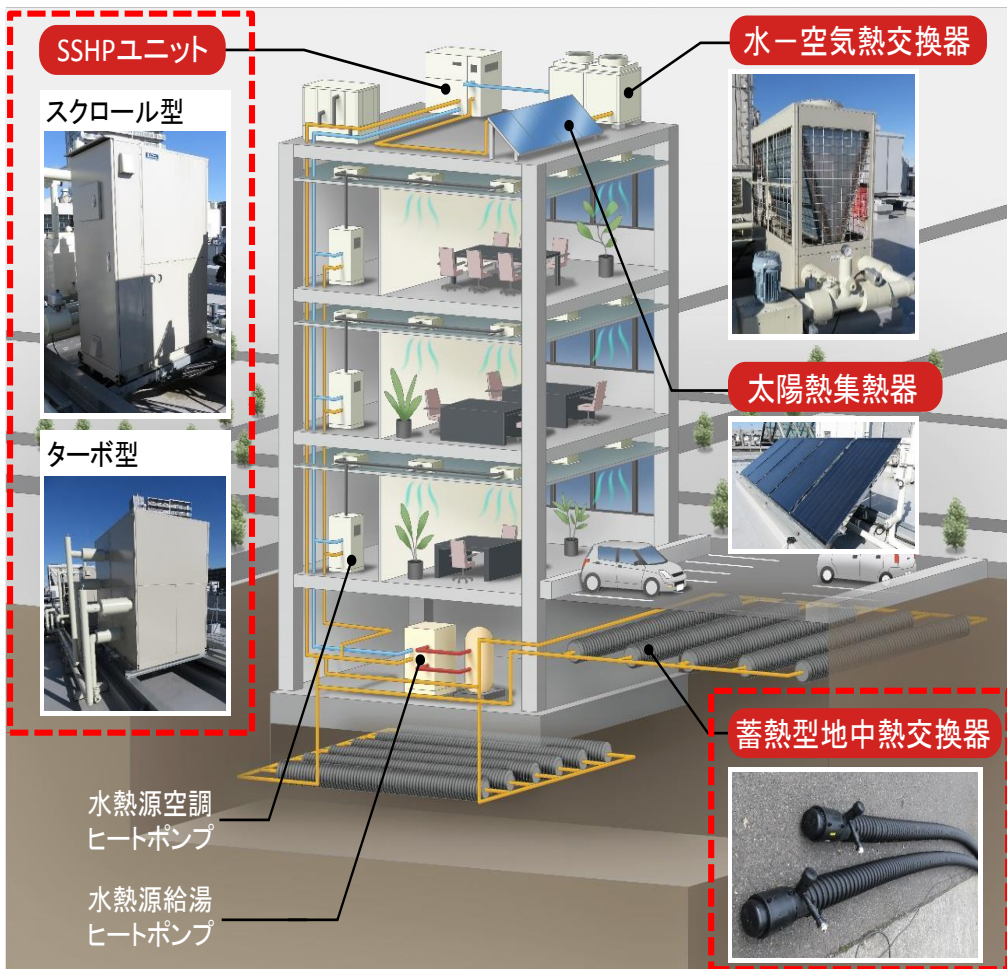
*システム全体COP(SCOP)=冷暖房熱出力合計値/システム合計消費電力

(2) 非住宅大規模向け 実用的技術開発

【開発の狙い】

◆ イニシャルコスト低減・高効率化

◆ 「地球環境負荷の小さい新冷媒型空調システム」の開発



システム全体イメージ

【開発項目】

① 集熱専用ヒートポンプ

- 集熱専用・大容量化による低コスト化
- 環境負荷の小さい新冷媒を使用した小型ターボコンプレッサの開発

② 低コスト地中熱交換器

③ 太陽熱・空気熱・地中熱の最適制御技術

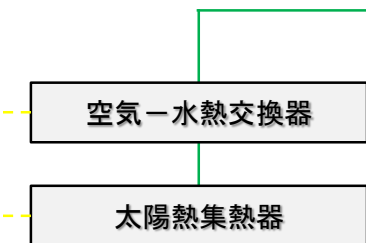
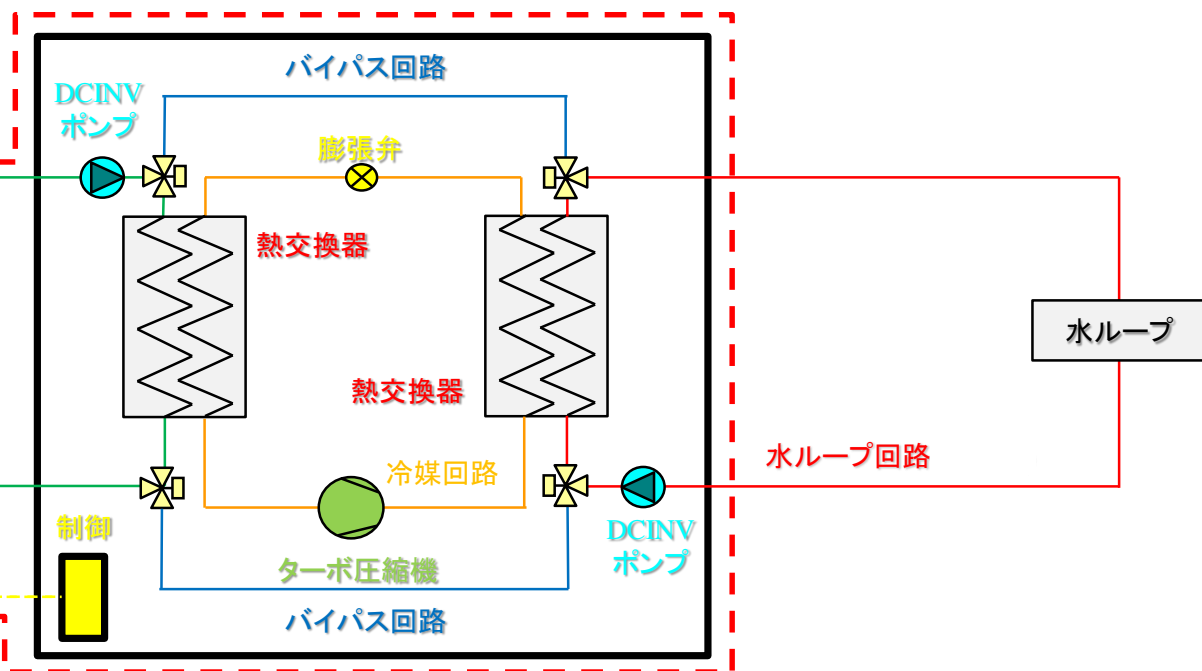
(2) 非住宅大規模向け 集熱専用SSHPシステム



試作した空気－水熱交換器

空気熱集熱ファンによる能力向上。
ブラインループによる冷媒系圧力損失の低減と、
サイズ制約の解消。

集熱専用SSHPシステム



SS熱源回路

空気熱と太陽熱の併用で年間に亘る集熱能力が向上。



太陽熱集熱器

2つのタイプ
を開発

- ・R410A＋スクロール圧縮機(市販品)
→低コスト化を追求
- ・新冷媒(低GWP)＋ターボ圧縮機(開発品)
→低コスト化＋先進性を追求

(2) 非住宅大規模向け 2種類のSSHPの比較結果

SSHP 種類	特長	イニシャル コスト (相対値)	COP [-]	冷媒
既存SSHP (商品名SAHP)	・2010年より商品展開している SSHPの現行機種	100	6	HFC410A (R410A) GWP=2090 不燃
スクロール型 SSHP	・汎用スクロールコンプレッサー を活用した低コスト型汎用機。 ・熱量単価はターボ型と比較して 1/2倍程度。 ・病院などコスト制限がある場合 に適用。	25	8	
ターボ型 SSHP	・地球温暖化係数(GWP)が小さ い新冷媒を使用 ・環境負荷が小さく付加価値が高 い。 ・環境意識の高い顧客に適用。 ・既存SSHPに対し低コスト化。	50	8	HFO1233zd(E) GWP=1 不燃

(2) 非住宅大規模向け 空調用・給湯用水熱源ヒートポンプ

◆ DCインバータ圧縮機及び冷房排熱機能を搭載した給湯用水熱源ヒートポンプの試作機(ビル用マルチとヒートポンプチャラー)を製作した。

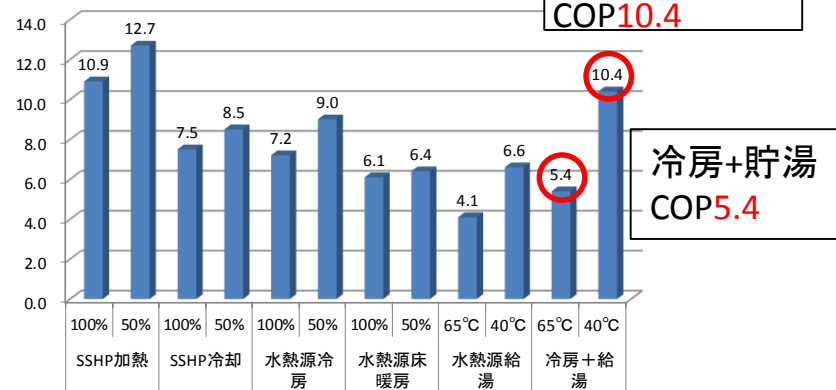
○DCインバータ圧縮機を搭載した給湯用水熱源ヒートポンプ



20馬力



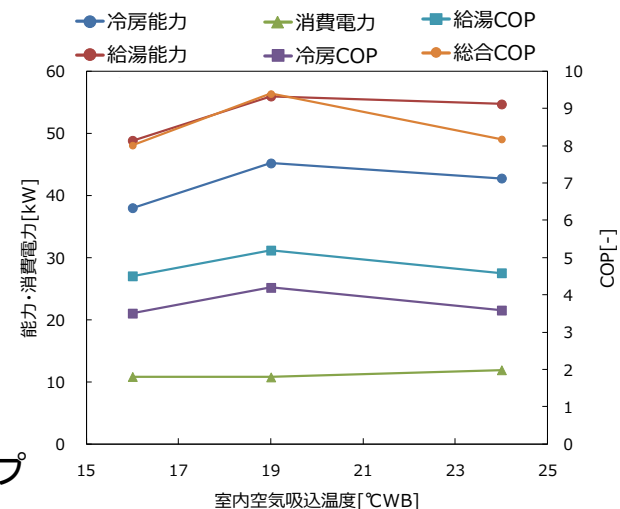
10馬力



○給湯機能を搭載した空調用水熱源ヒートポンプ(ビル用マルチ)

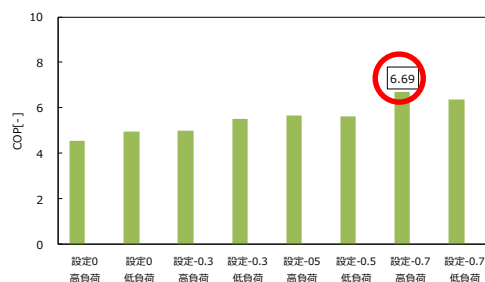
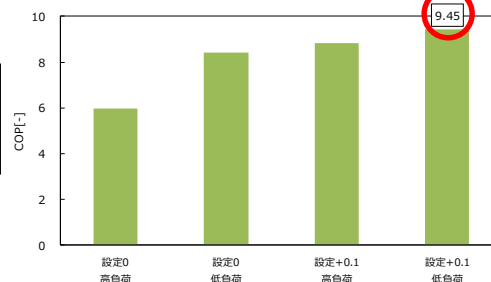


空調用水熱源ヒートポンプ
(ビル用マルチ室外機)



冷房COP
9.45

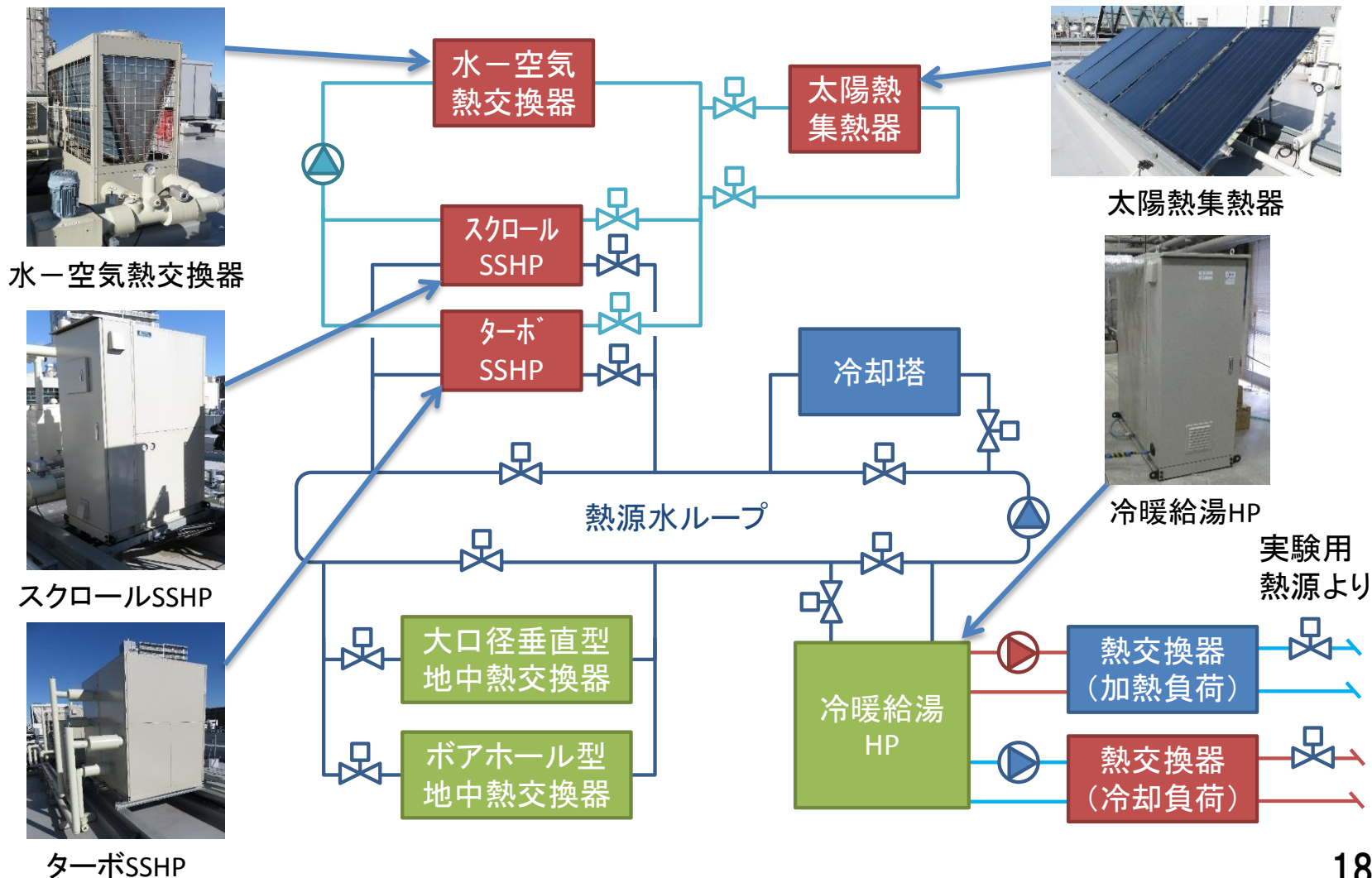
暖房COP
6.69



(2) 非住宅大規模向け 水ループシステムの実証実験

◆ H28年度に構築した実証実験装置を用いて、

①夏期運転実験 ②冬期の最適制御運転及び太陽熱直接利用運転
におけるSSPシステム全体の性能評価を実施。



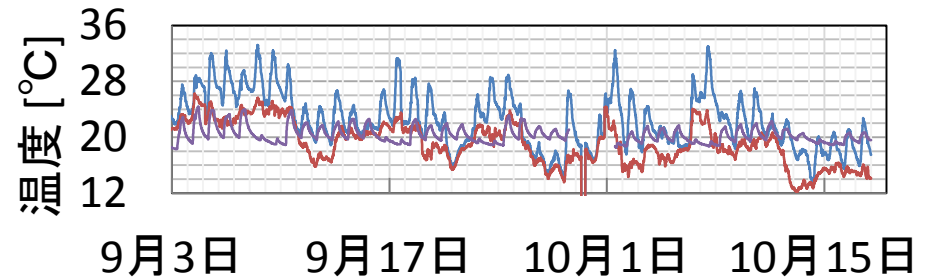
システム実証実験 ①夏期冷房運転時

2018年9月11日～10月17日の期間で夏期冷房運転を実施。WHPのCOPは熱源水温度に依存して4.1～5.2、SSHPシステム全体では2.7～3.1程度となった。

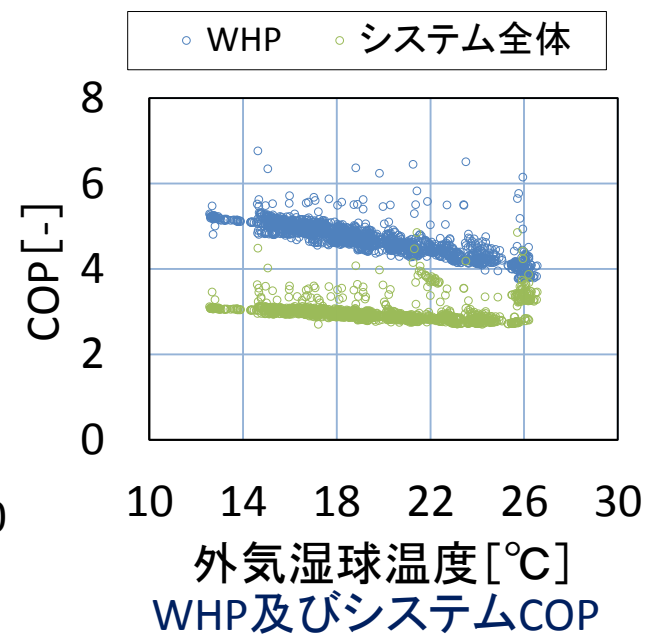
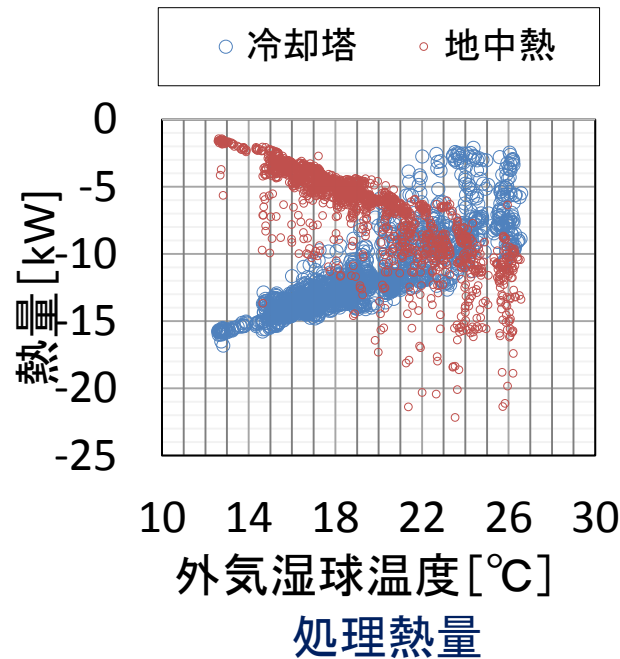
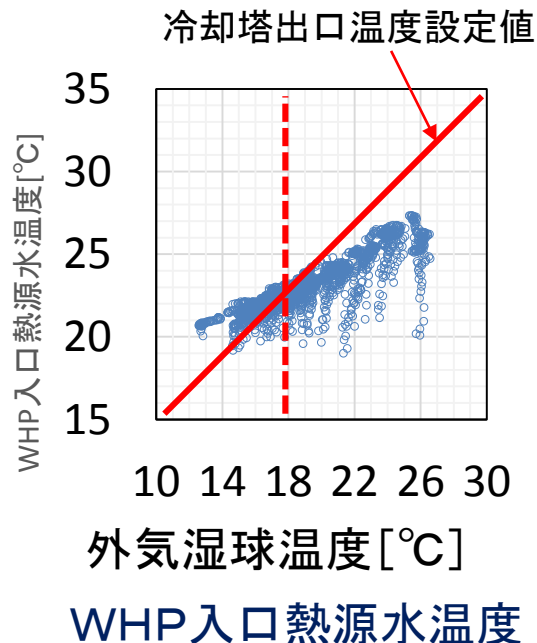
運転条件(SSHPは稼働していない)

測定時間	2018/9/3～2018/10/17(うち数日停止)
熱源運転時間	8:00～17:00 (9時間)
CT-1	出口温度制御 (外気湿球湿度+5℃)
WHP-1	WHP冷水出口温度制御 (7℃)
PHS-1	WHP熱源水温度差一定制御 (5℃)
PC-1	WHP冷水温度差一定制御 (5℃)
模擬負荷	15kW

— 外気乾球 — 外気湿球 — 地中温度(GL-50m)

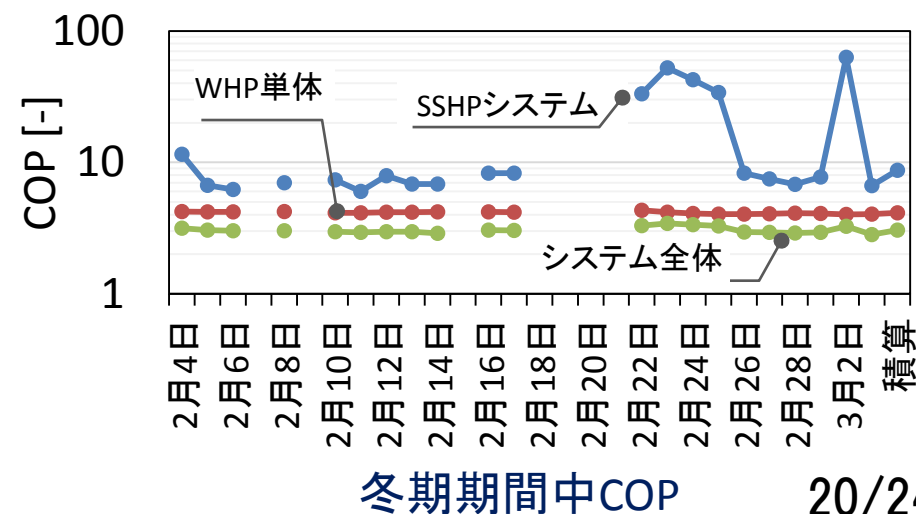
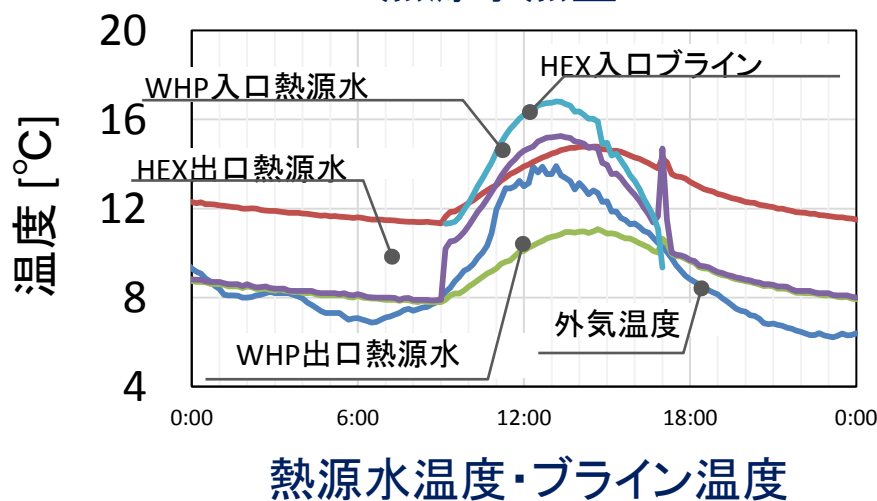
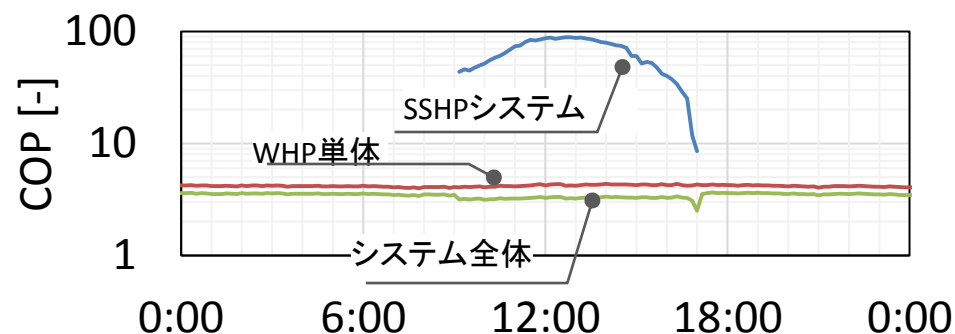
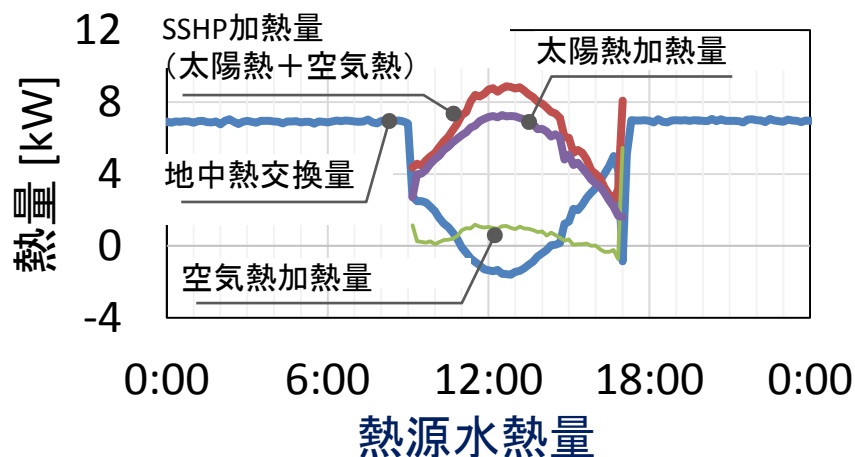


外界気象条件



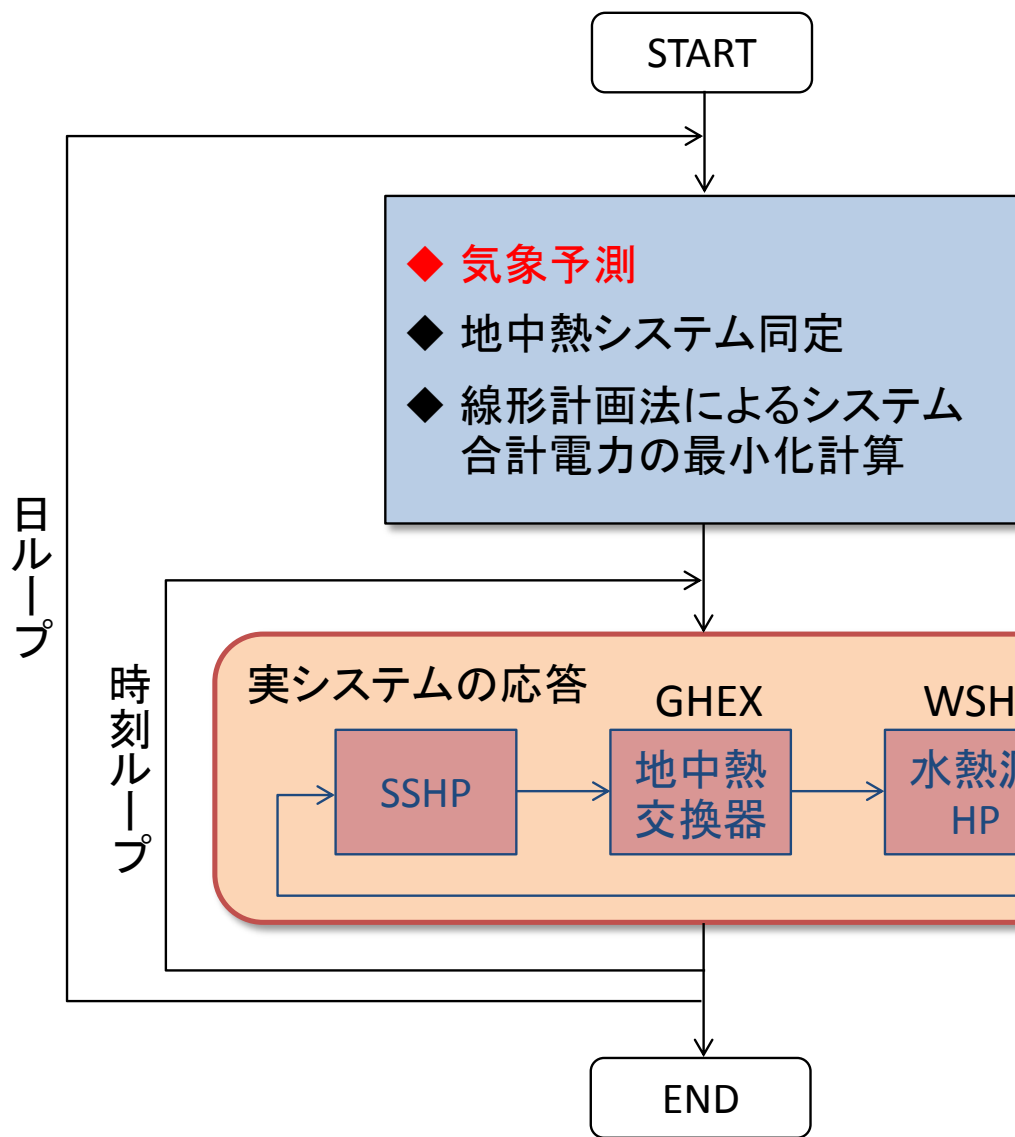
システム実証実験 ②冬期暖房(直接加熱運転)時

- 太陽熱が十分得られる条件下で、SSHPを介さない直接熱源水加熱時の性能を評価。
- 期間積算COPはSSHPシステムで8.72、WHP単体で4.14、システム全体で3.05であった。
- 太陽熱による集熱が特に期待できる場合、太陽熱による熱源水の直接加熱によって、SSHPシステム及びシステム全体の更なる高効率運転が可能であることを示した。



(2) 非住宅大規模向け SSHPと地中熱の最適制御手法の開発

- 2017年度に構築した最適制御手法を改良すると共にSSHPシステムに限定されていた消費エネルギー最小化対象を全体システムに拡張して有効性を検証した。



改良点

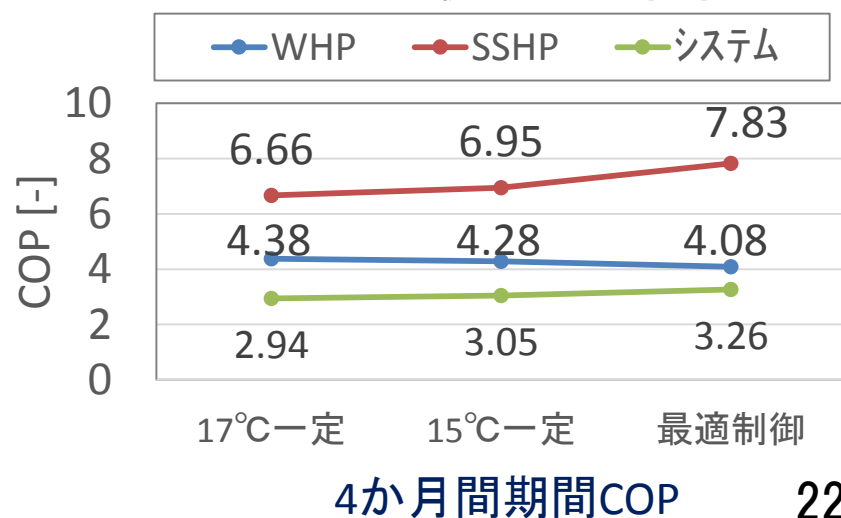
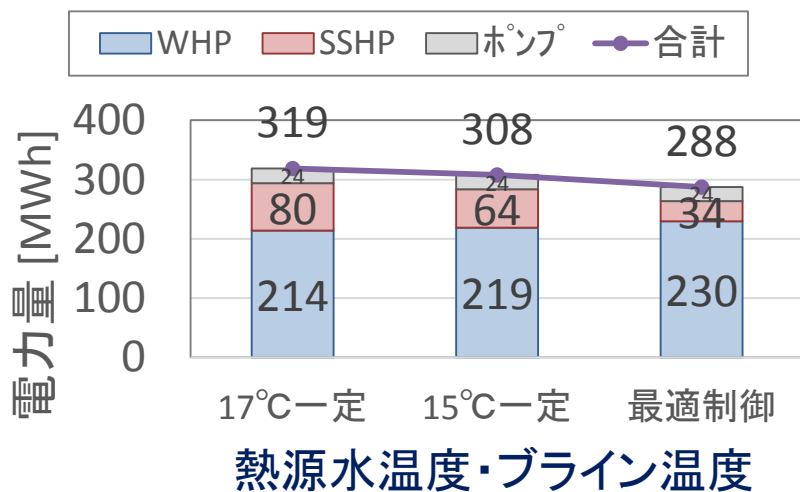
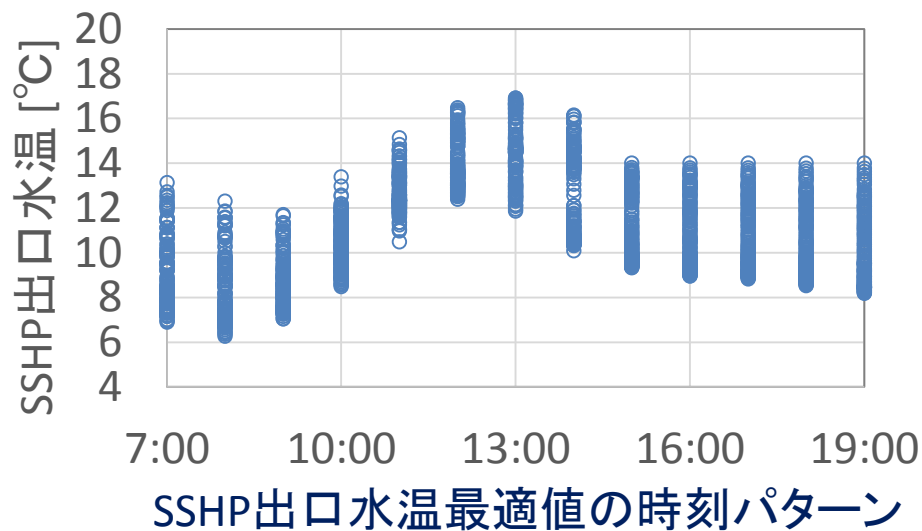
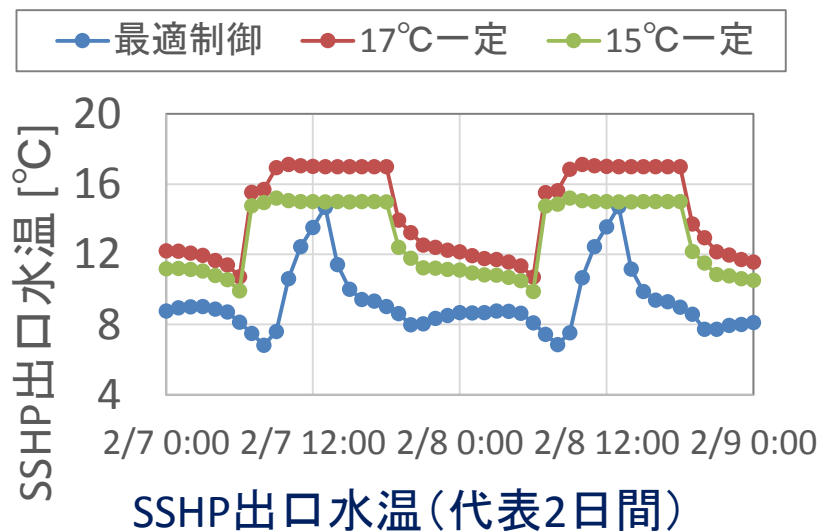
- ① 気象予測モデルの組み込み
 - ・外気温度及び日射量予測モデル
- ② SSHP本体、補機類の回帰モデルの適用範囲の拡張
 - ・実測データとメーカーデータを用いた広範囲なデータで回帰モデルを構築

* 機器接続の見直し

GHEXをSSHPの後に配置し、
1) 地中熱出口水温の安定性
2) 現実的な設備配置を図った。

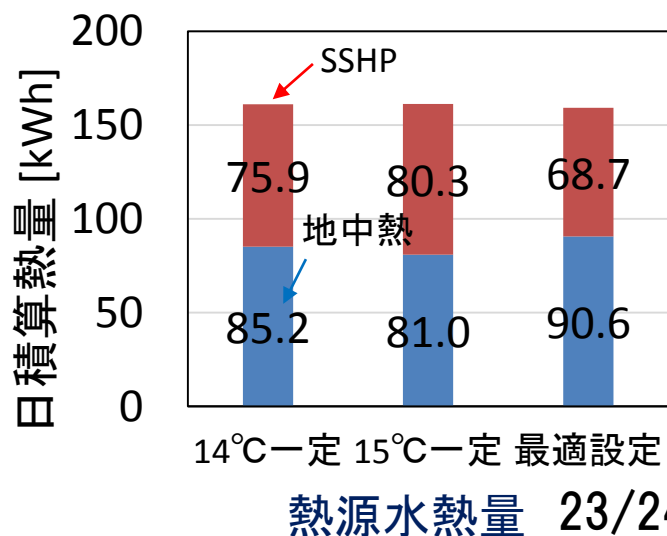
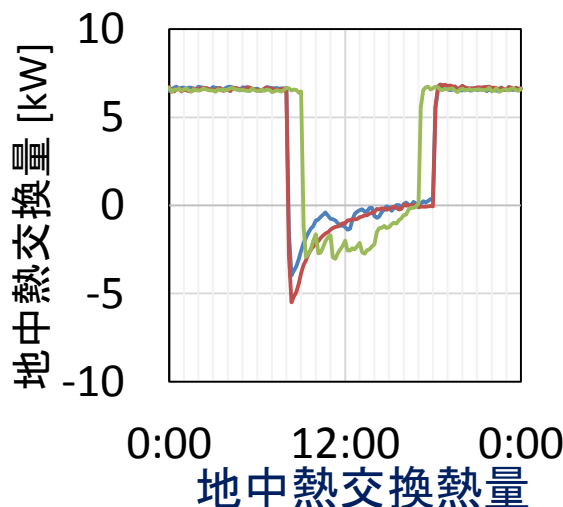
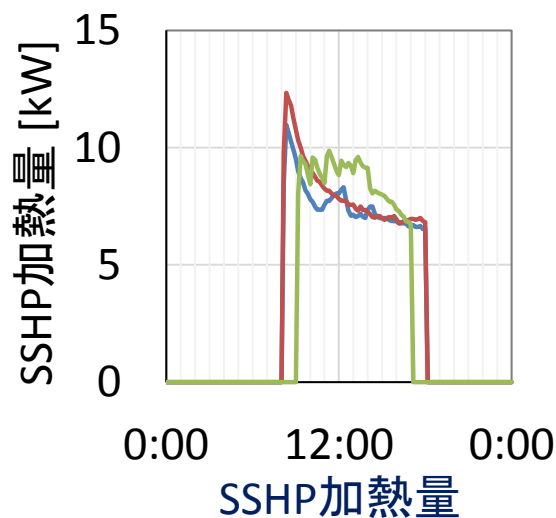
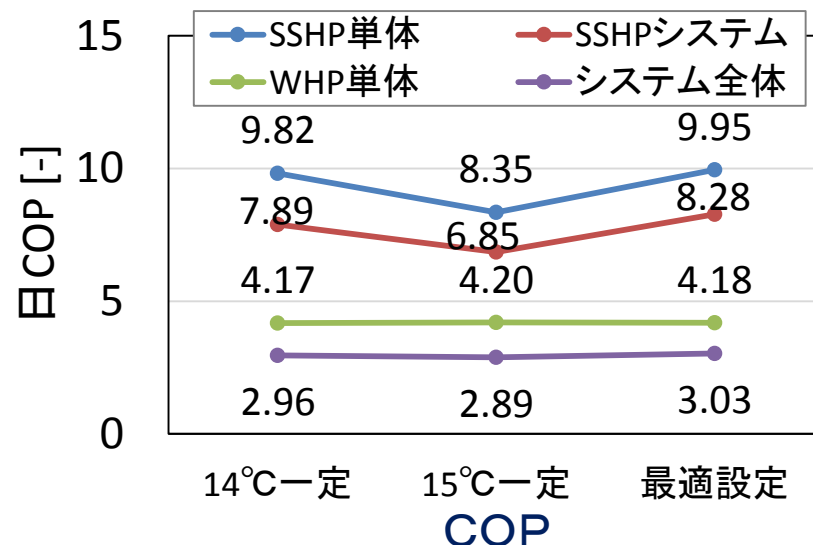
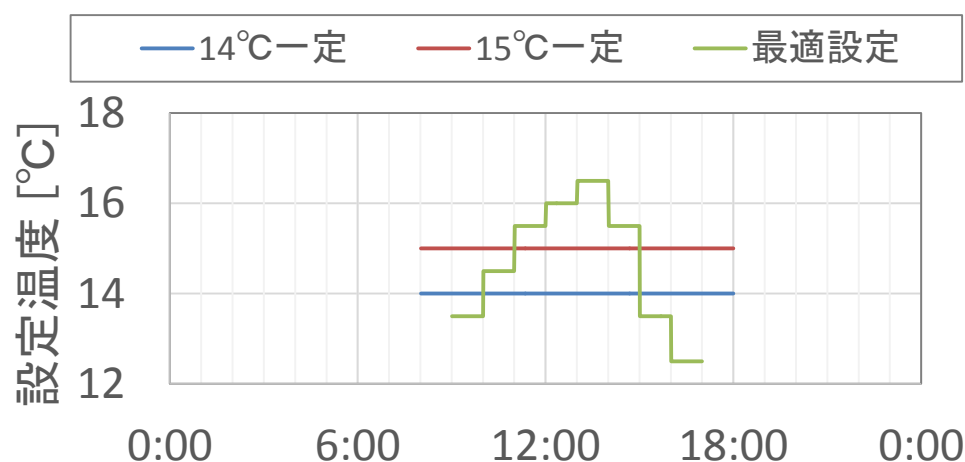
シミュレーションによる最適制御手法の省エネ性評価

- 最適制御ロジック改良の有効性を検証するため、冬期期4ヶ月間を対象にしたシミュレーションを実施した。
- 出口温度一定制御に対しシステム全体で6.5～9.7%の省エネ効果が得られた。



冬期暖房運転における最適制御実証実験

- SSHPと地中熱の組合せシステムにおける最適制御ロジックの有効性を実験で検証。
- 最適設定ケースのCOPはSSHPシステムで8.28、システム全体で3.03であり、いずれも一定ケースと比較して高い効率を得られることが分かった。



研究開発成果のまとめ4

研究項目	目標	成果	達成状況
事業全体	再生可能エネルギー熱のネットワークを構成し、従来システムと比較して、導入コスト18%低減、運用コスト20%低減。	初年度FS検討及び実証実験の結果、コスト、性能目標を達成できる見込みを得た。	○
①水ループシステム構築技術	導入コスト18%減、運用コスト20%	同上	○
②天空熱源ヒートポンプ	熱量単価40%低減 年間COP8	熱量単価75%低減(スクロール) 年間COP8.0達成	○
③高密度地中熱交換器	施工コスト20%低減(蓄熱型)	施工コスト37%低減(駐車場下)	○
④空調用水熱源ヒートポンプ	冷房COP10 暖房COP7	冷房COP9.45 暖房COP6.69	○
⑤給湯用水熱源ヒートポンプ	貯湯COP5. 瞬間給湯7	冷房＋貯湯給湯COP 5.4 冷房＋瞬間給湯COP 10.4	○
⑥運転性能予測手法	性能予測モデル及び制御アルゴリズムの構築	線形計画法とモデル予測制御を組み合わせた最適制御ロジックのプロトタイプを構築。	○