

2023年度成果報告会 プログラムNo.5

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/地中熱利用システムの低コスト化技術開発/寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

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

発表者：国立大学法人北海道大学 葛 隆生

提案法人名：(国)北海道大学、エムズ・インダストリー(株)、北海道電力(株)、(株)イノアック住環境、(株)長府製作所(当時：サンポット(株))

問い合わせ先

国立大学法人北海道大学 E-mail: katsura@eng.hokudai.ac.jp TEL: 011-706-6284

1. 目的

本研究開発では、寒冷地においてZEB やZEHを目標とする建築物に採用できる低コスト・高効率な間接型GSHPシステムの技術開発を行うことを目的とする。

2. 期間

2020年1月 ～ 2023年3月

3. 最終目標

- ・従来地中熱交換器との比較で設置コスト20%以上削減できる地中熱交換器を開発する。
- ・給湯用ヒートポンプ、暖房用ヒートポンプを実用化する、また、二次側運用技術との組み合わせで従来の地中熱ヒートポンプシステムからランニングコスト20%以上削減を実現する。
- ・トータルコスト20%以上の削減を可能とする設計手法を確立する。

4. 成果・進捗概要

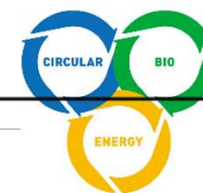
- ①新築事務所において基礎杭兼用の地中熱交換器を、既存事務所にPC杭利用地中熱交換器および水平ユニット方式地中熱交換器を用いた地中熱ヒートポンプシステムの導入施工を実施し、設置コストの評価を行い、20%以上削減可能なことを確認した。
- ②給湯用ヒートポンプ、暖房用ヒートポンプの開発を行った。また、パイプ式放射空調システム、空気式放射空調システムの性能評価と性能向上のための運転方式の検討を実施した。
- ③上記コスト削減技術と設計手法の組み合わせでトータルコスト20%以上の削減を実現した。

(1) ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立



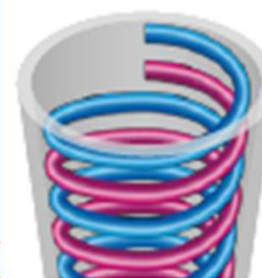
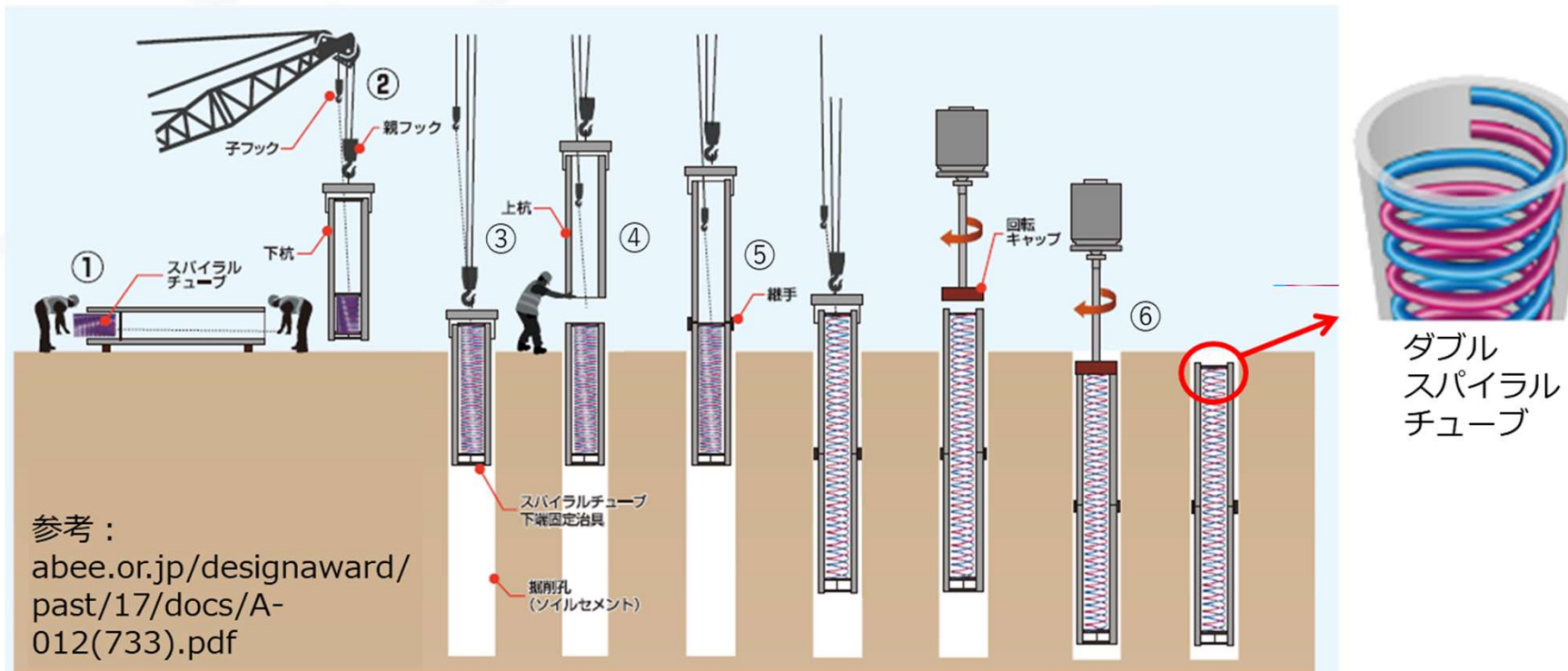
ZEB・ZEHを考慮した地中熱ヒートポンプシステムの設計・導入・評価

物件名	外観	建物概要	ZEB・ZEH化技術
物件① エムズ・イン ダストリー 新社屋ビル (新築事務 所)		建設地: 札幌 延床面積: 650.85m ² 階数: 地上3階 構造: 木造 Nearly ZEBを取得 2021年7月運用開始	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプシステム (基礎杭兼用地中熱交換器) ・高断熱仕様外皮、高断熱Low-Eペアガラス ・全熱交換換気装置 ・空気式放射空調システム(2階に設置) ・太陽光発電
物件② 棟晶新社屋 ビル (既存事務 所)		建設地: 札幌 延床面積: 432.75m ² 階数: 地上3階 構造: S造 既存建物をZEB化改修 2020年9月運用開始	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプシステム (H型PC杭利用、水平ユニット地中熱交換器) ・高断熱改修工事、Low-Eトリプルガラス内窓 ・全熱交換換気装置 ・パイプ式放射空調システム(3階に設置) ・太陽光発電
物件③ 棟晶モデル ハウス (住宅)		建設地: 札幌 延床面積: 97.82m ² 階数: 地上2階 構造: 木造 2020年9月計測開始	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプシステム (H型PC杭利用地中熱交換器) ・高断熱仕様外皮、高断熱Low-Eトリプルガラス ・全熱交換換気装置 ・太陽光発電

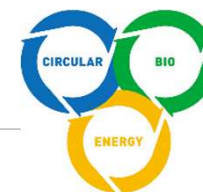


(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な 低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の導入施工試験(物件①)



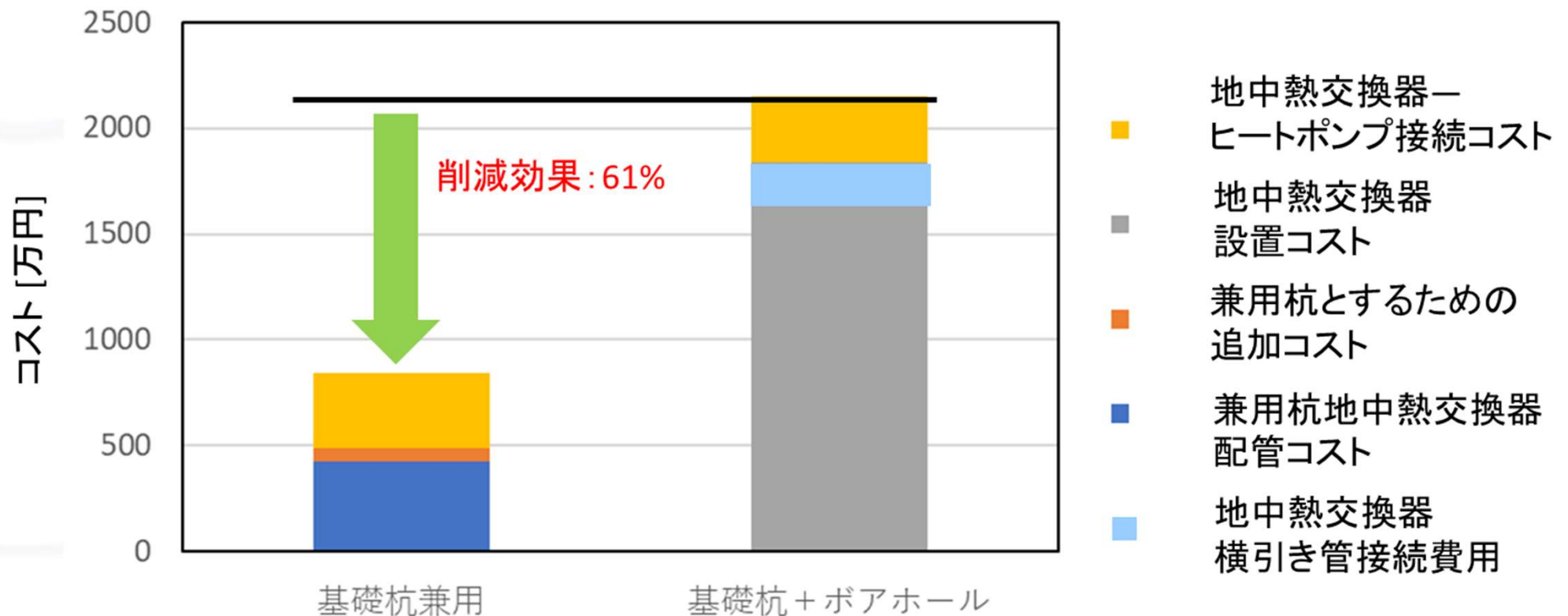
ダブル
スパイラル
チューブ



(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の導入による施工コスト削減効果(物件①)

従来方式(基礎杭+ボアホール型地中熱交換器)と比較した地中熱交換器設置コスト



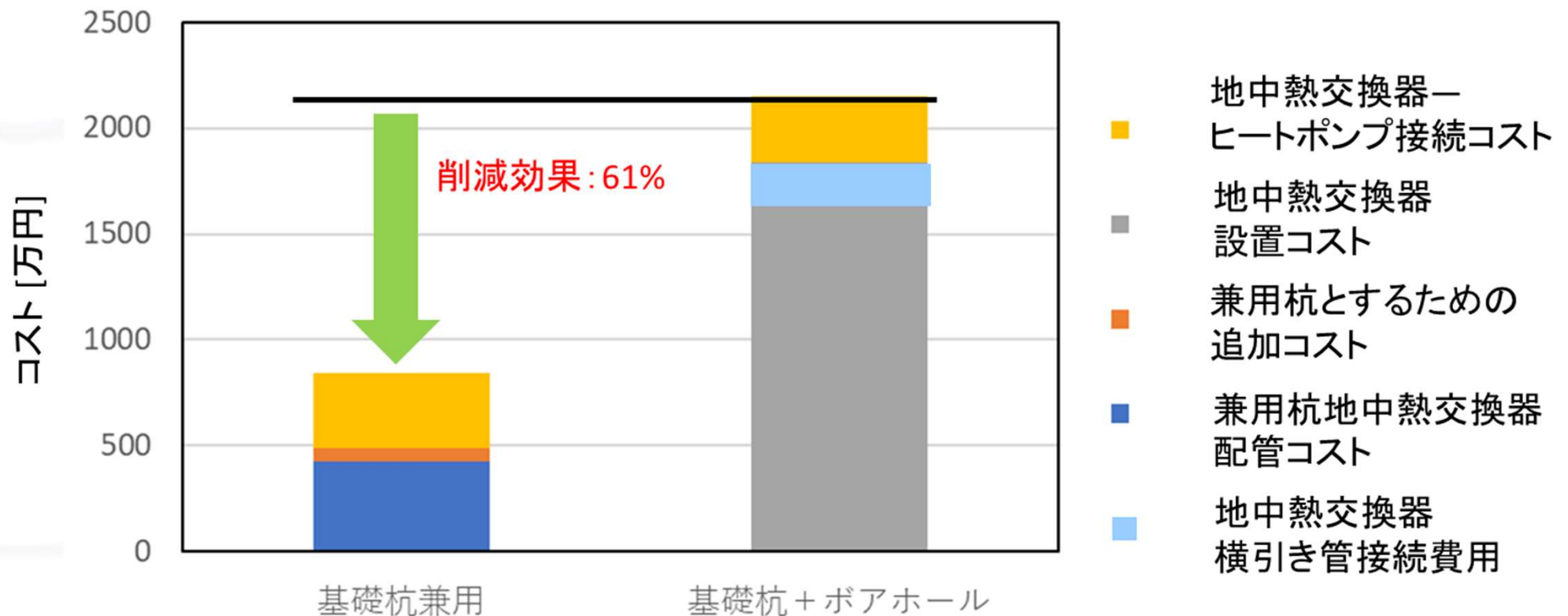
前提条件

- ・基礎杭(24本)の設置費用は同じ(1,200万円)、上記コストには含まれない
- ・兼用杭のコストは今回の施工試験より算定
- ・ボアホールは本建物にダブルUチューブ、100m×8本の導入を想定して見積もりを実施

(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

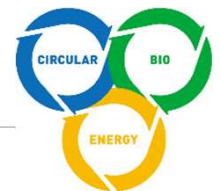
基礎杭兼用地中熱交換器の導入による施工コスト削減効果(物件①)

従来方式(基礎杭+ボアホール型地中熱交換器)と比較した地中熱交換器設置コスト



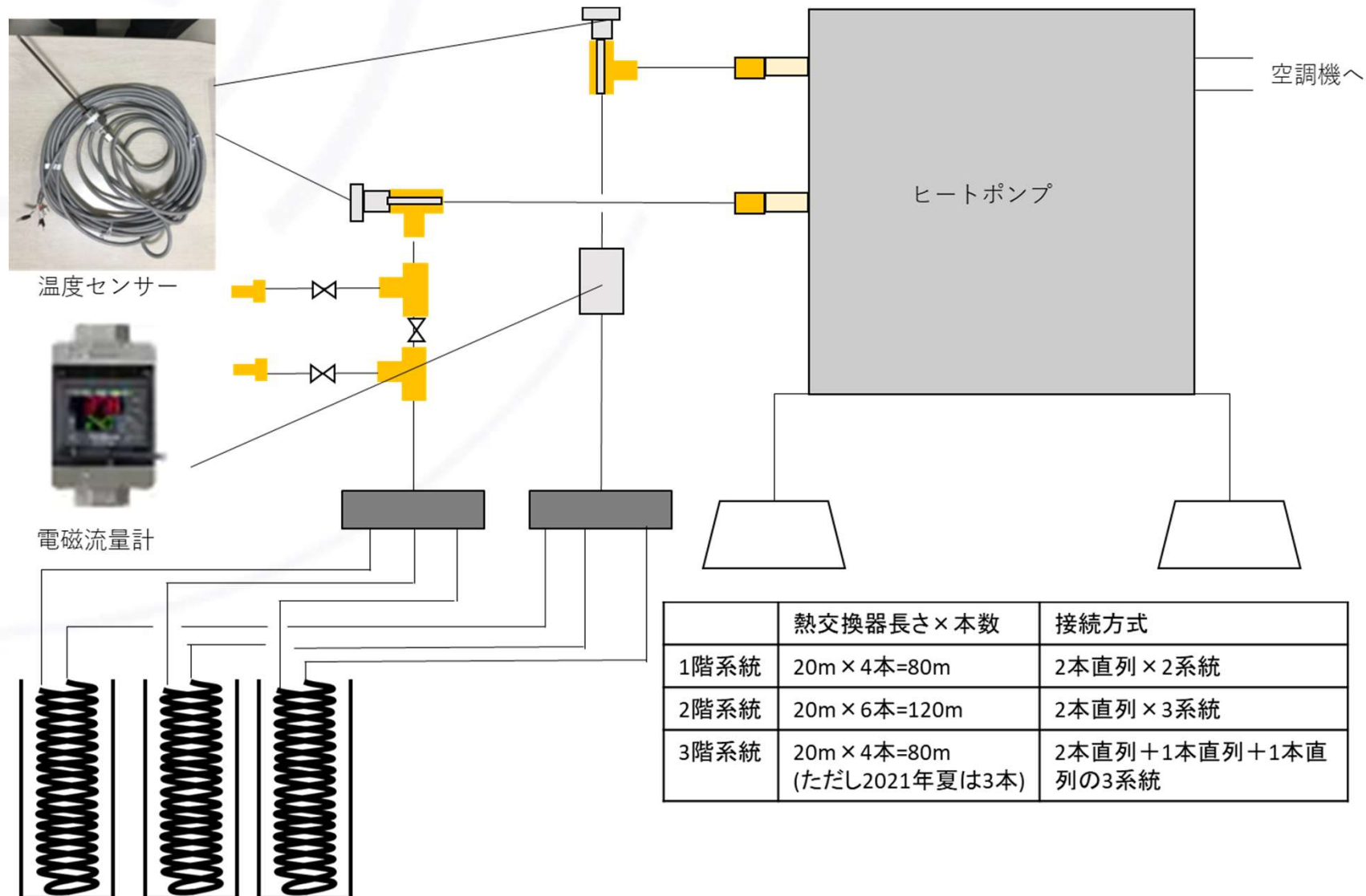
前提条件

- ・基礎杭(24本)の設置費用は同じ(1,200万円)、上記コストには含まれない
- ・兼用杭のコストは今回の施工試験より算定
- ・ボアホールは本建物にダブルUチューブ、100m×8本の導入を想定して見積もりを実施



(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の性能評価(物件①)



温度センサー

電磁流量計

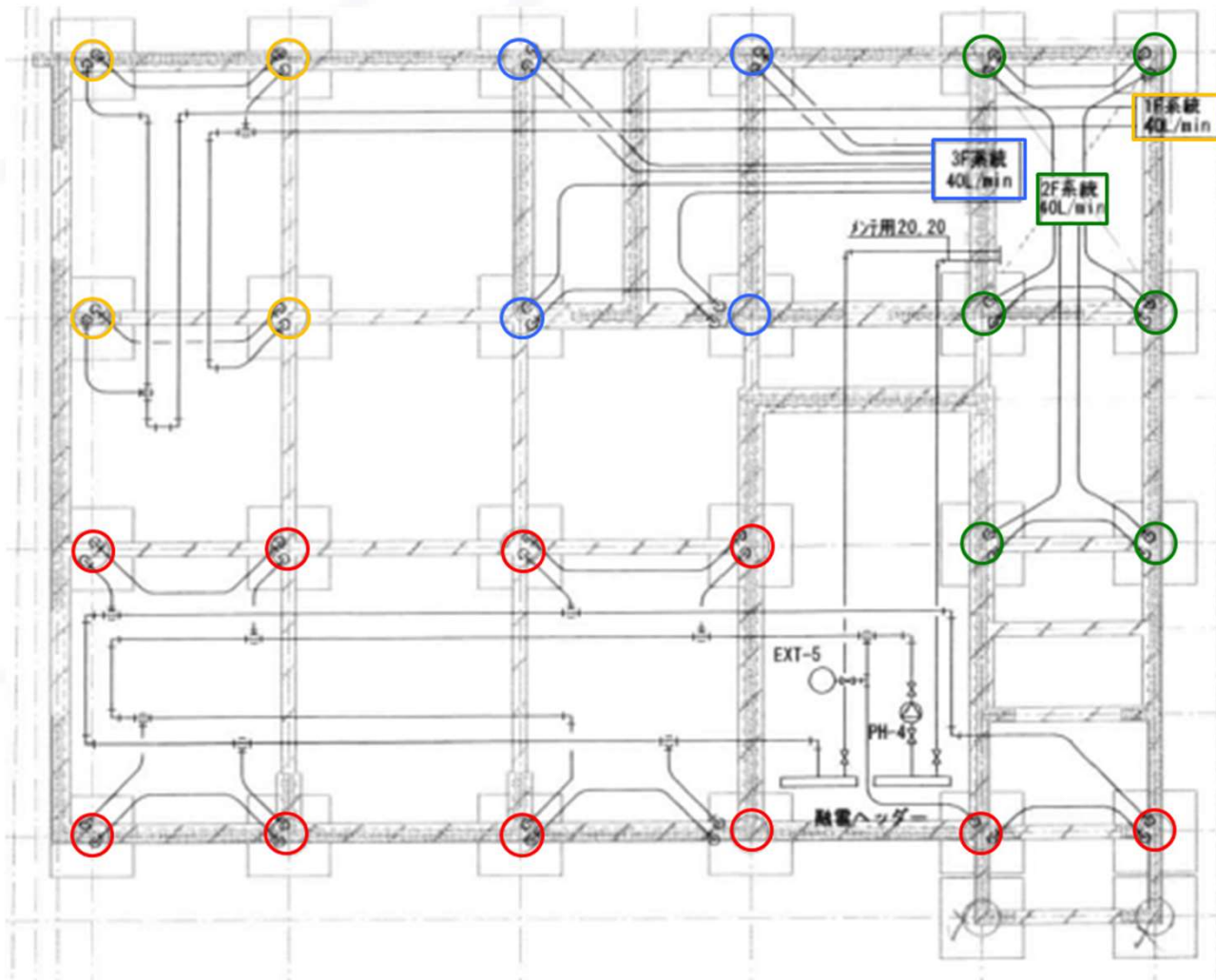
空調機へ

ヒートポンプ

(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な 低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の性能評価(物件①)

平面図(杭伏図)



全杭本数：26本
地中熱兼用杭本数：
24本
杭長は全て20m

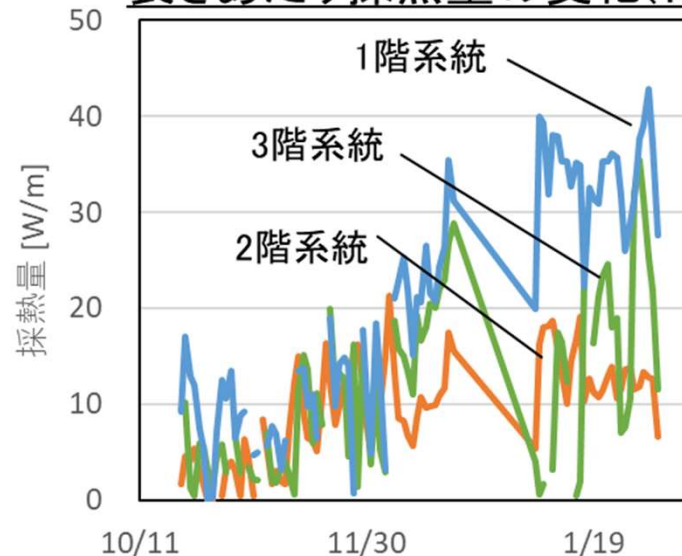
- 1階系統：4本
(2本直列×2系統
(リバーシタターン))
- 2階系統：6本
(2本直列×3系統(ヘッ
ダー方式))
- 3階系統：4本
(1本+1本+2本直列、
3系統(ヘッダー方式))
- 融雪用

接続方法の違いによる採放熱性能
の違いを検証する
(2021年7月より計測実施)

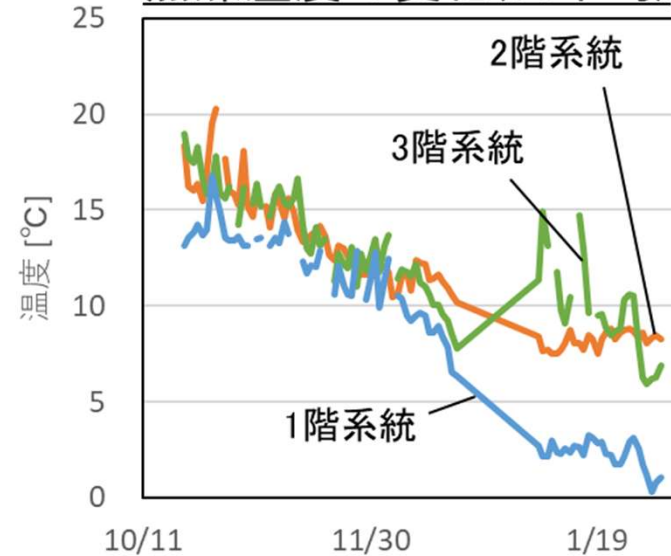
(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の実測結果(物件①・冬季)

長さあたり採熱量の変化(日平均)

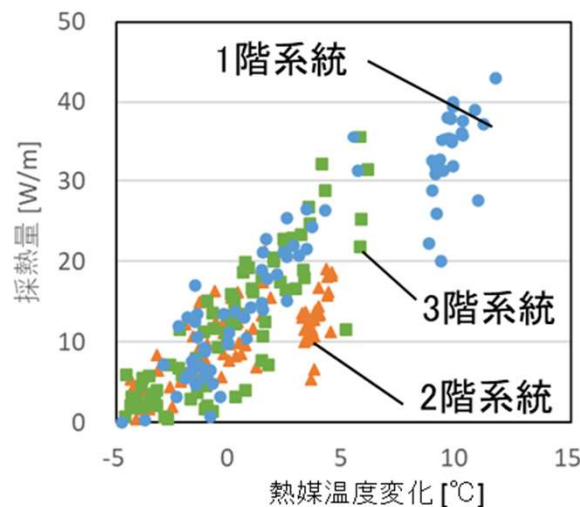


熱媒温度の変化(日平均)



熱媒温度変化
-長さあたり採
熱量の関係
(右図)

熱媒温度変化
= 熱媒温度 -
初期地中温度
(12°C)



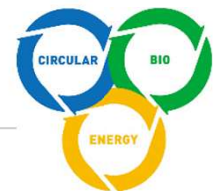
〈考察〉

1階系統の採熱量(負荷)が大きく、熱媒温度も0°C近くまで低下している。

1階~3階系統の熱媒温度変化に対する長さあたりの採熱量の傾きはほぼ同じとなっている。

→接続方法による地中熱交換器の性能差はないことが伺える

基礎杭兼用地中熱交換器の採放熱係数
(左のグラフの赤線の傾き): 4.0 W/(m・K)



(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な 低コスト地中熱交換器の開発

H型PC杭利用方式の導入施工試験
(物件②、物件③)

プレカット加工品による横引配管施工試験
(別物件)

H型PC杭利用方式

物件②(既存事務所)
1階・2階の空調と、物件
③(住宅)の熱源として設置
(写真は既存事務所)



熱交換器外観



プレカット配管



配管の電気融着

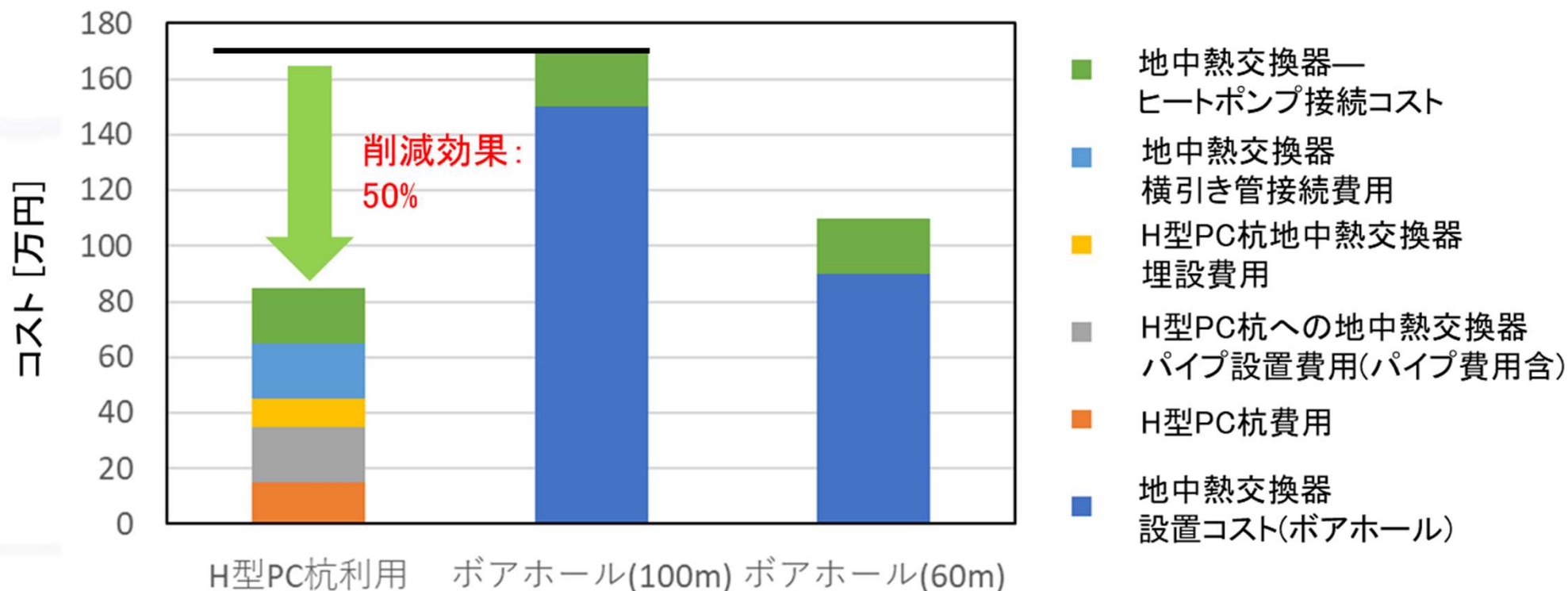


電気融着後の配管とPC杭

(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

H型PC杭利用地中熱交換器の導入による施工コスト削減効果

従来方式(ボアホール型地中熱交換器)と比較した地中熱交換器設置コスト

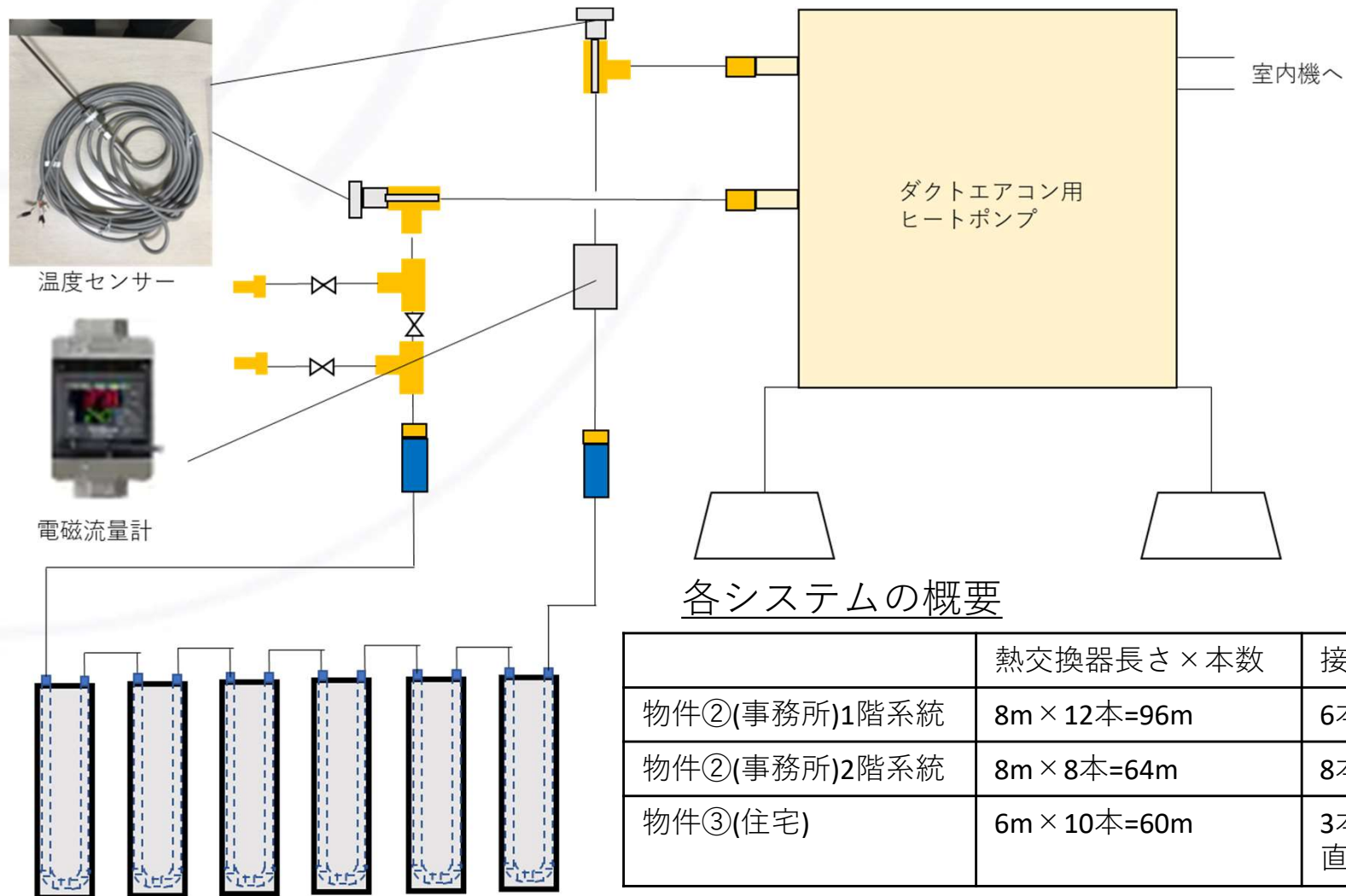


前提条件

- ・ H型PC杭利用方式は6m×10本を想定、今回の施工試験より算定
- ・ ボアホールはダブルUチューブ、設置コストは15,000円/mを想定
(ただし住宅1件にボアホール地中熱交換器を60m1本だけ設置した事例は無いため60mは参考値とする)

(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

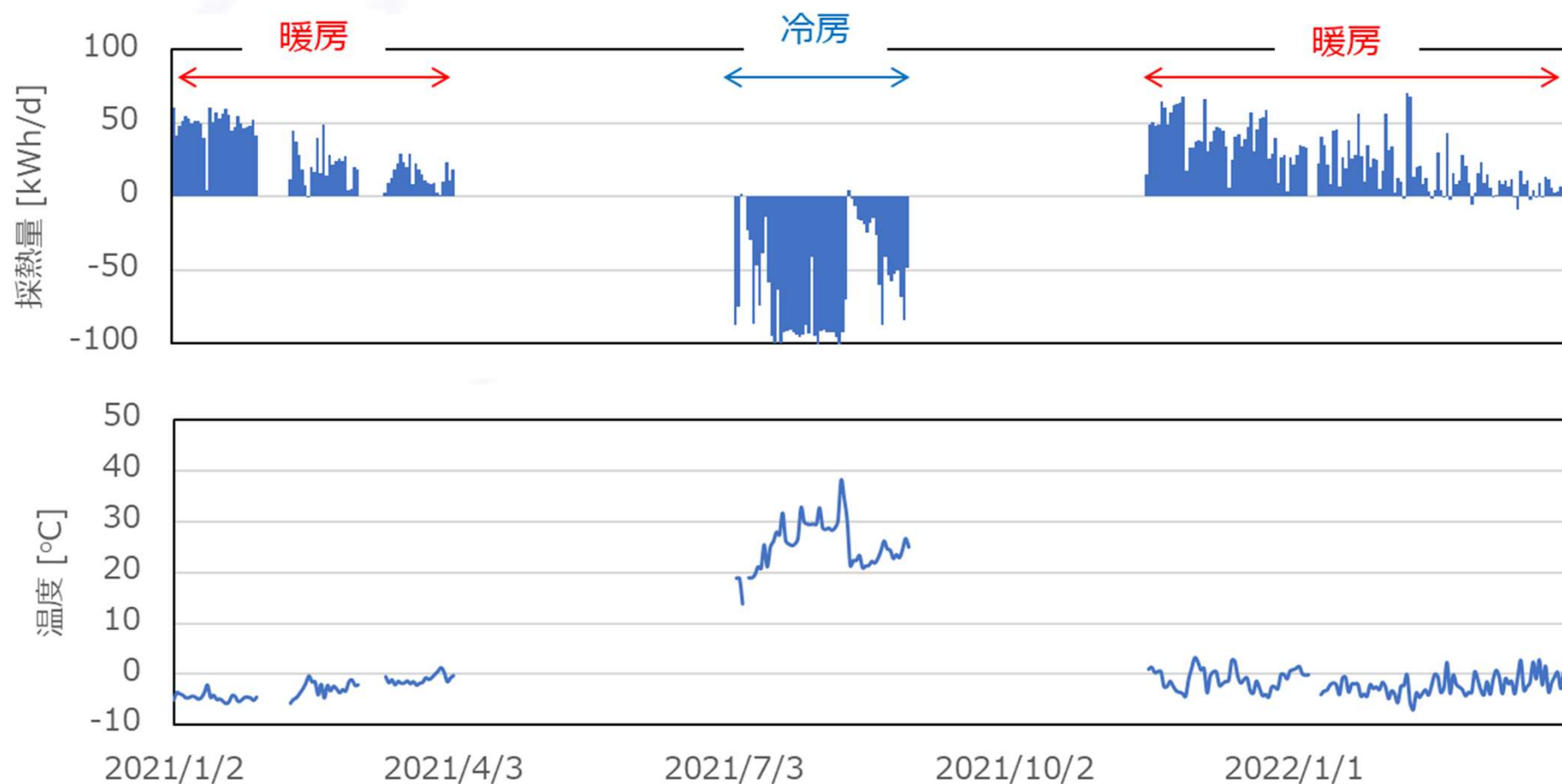
H型PC杭利用方式の実測による採放熱性能評価(物件②)
 システム系統図および計測点(熱交換器の長さとは本数以外の仕様は共通)



(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な 低コスト地中熱交換器の開発

H型PC杭利用方式の実測による採放熱性能評価(物件②)

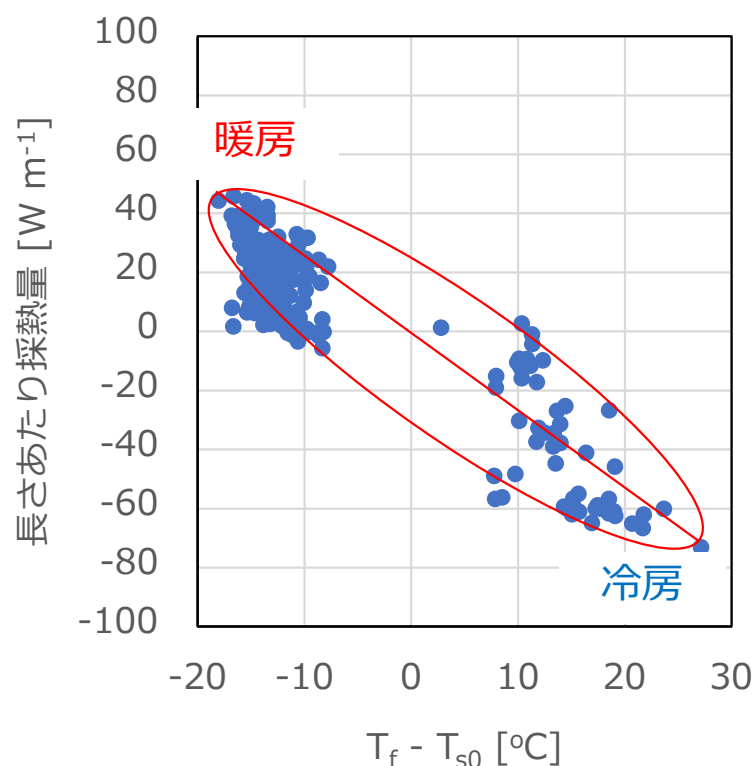
事務所建物に導入したGHEの採熱量とヒートポンプ(GHE)出入口の
熱媒平均温度の変化(2021年1月～2022年3月)



(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な 低コスト地中熱交換器の開発

H型PC杭利用方式の実測による採放熱性能評価(物件②)

初期地中温度 T_{s0} からの熱媒温度 T_f の変化と地中熱交換器の長さあたり採熱量の関係



暖房時・冷房時のいずれも原点から採放熱量が最大となる点を結ぶ傾きの周囲に点があることを確認



H型PC杭利用地中熱交換器の暖房時・冷房時の採放熱量はほぼ同等であり、寒冷地では熱交換器の放熱による土壤の水分や周囲土壤の熱伝導率の低下は発生しないことが示された。

H型PC杭利用地中熱交換器の採放熱係数(左のグラフの赤線の傾き)： $2.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発



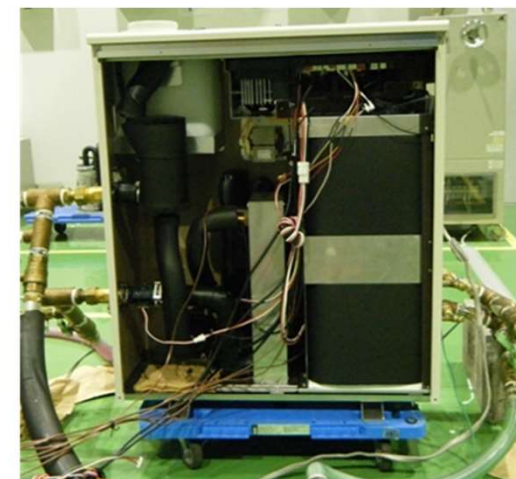
CO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機の開発

実施内容・結果

- 給湯試作機を作製し、能力評価試験を実施
- 給湯実証機を作製し、定格能力試験を実施

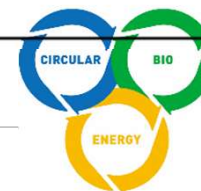
能力試験結果：COP(各条件出力6.0kW)

	プロトタイプ	試作機	実証機
中間期標準条件 (採熱戻り12°C、給水17°C、出湯65°C)	4.22	4.44	4.38
夏期標準条件 (採熱戻り24°C、給水24°C、出湯65°C)	5.07	5.19	5.35
冬期標準条件 (採熱戻り5°C、給水9°C、出湯65°C)	-	4.10	4.05
冬期高温条件 (採熱戻り5°C、給水9°C、出湯90°C)	3.04	3.24	3.19
寒冷地冬期高温条件 (採熱戻り0°C、給水5°C、出湯85°C)	3.10	3.16	3.15



CO₂給湯機(上)とその仕様(下)

	仕様
電圧	単相200V
冷媒	R744
圧縮機	インバーター駆動ロータリー方式
ガスクーラー	伝熱面積1.055m ²
蒸発器	伝熱面積0.656m ²
本体外形寸法	690mm × 300mm × 800mm
給湯出力	6.0kW
COP	4.3(中間期標準条件)



(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

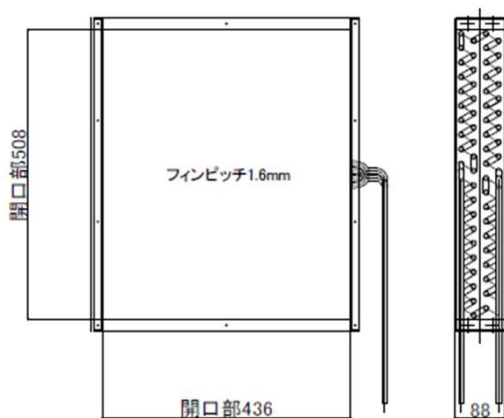


高効率地中熱ヒートポンプ暖房機の開発
ダクトエアコン室内機の小型化・高効率化を実施

- ・最終実証機: 設計・評価
機器構造は実証機Cと同様、熱交換器を新規設計
外形寸法: 幅630mm × 高さ1560mm × 奥行248mm



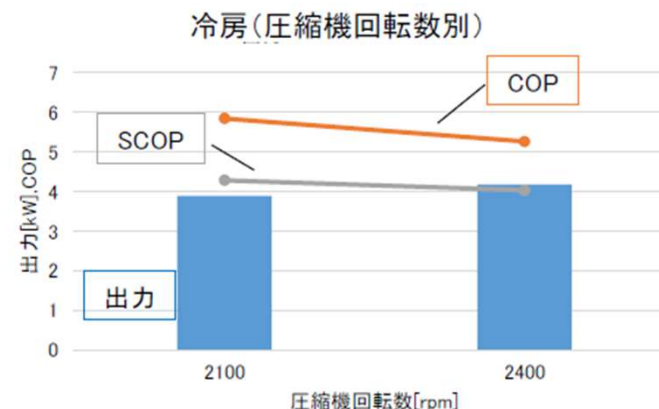
最終実証機外観



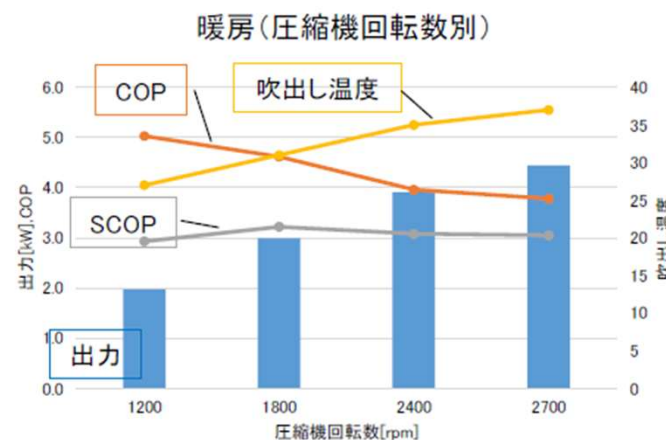
最終実証機熱交換器

暖房: 採熱戻り0°C、出力4kW時COP3.96 SCOP3.08
冷房(参考): 採熱戻り30°C、出力4kW時COP5.84 SCOP4.28

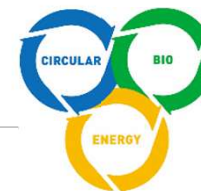
評価試験結果



採熱行き35°C、戻り30°C
吸込空気乾球温度27°C、湿球温度19°C
吹出し風量6m³/min



採熱戻り0°C、採熱流量25L/min
吸込空気乾球温度20°C、湿球温度15°C
吹出し風量7m³/min

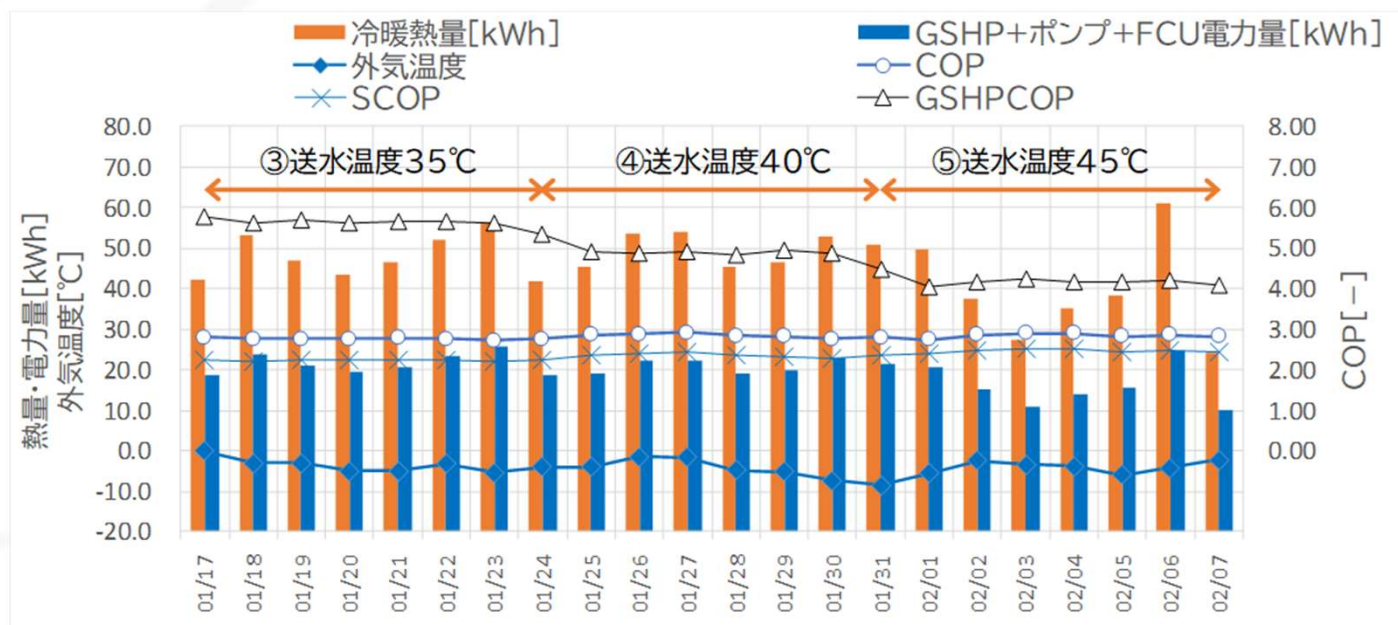


(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

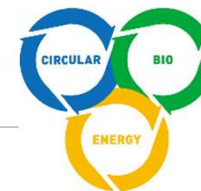


空気式放射空調の暖房時冷温水送水温度変更によるCOP評価(物件①)

- ・GSHP冷温水送水温度の変更(35℃、40℃、45℃)における各COPの変化を確認
- ・GSHPCOPは送水温度が低いほど優位となるが、COPおよびSCOPでは逆の傾向となった。
- ・送水温度が低い場合、FCUの熱交換効率が低下し暖房運転時間も伸びるため、採熱・冷温ポンプおよびFCUの電力消費が増加することが要因と推察される。



	送水温度 [°C]	暖房熱量 [kWh]	GSHP電力 [kWh]	GSHPCOP	熱源ポンプ電力 [kWh]	冷温ポンプ電力 [kWh]	COP	FCU電力 [kWh]	SCOP
試験期間①	35℃	339.54	60.01	5.66	37.64	25.31	2.76	29.82	2.22
試験期間②	40℃	337.34	69.01	4.89	29.88	19.97	2.84	23.91	2.36
試験期間③	45℃	293.55	70.39	4.17	19.50	13.14	2.85	16.04	2.47

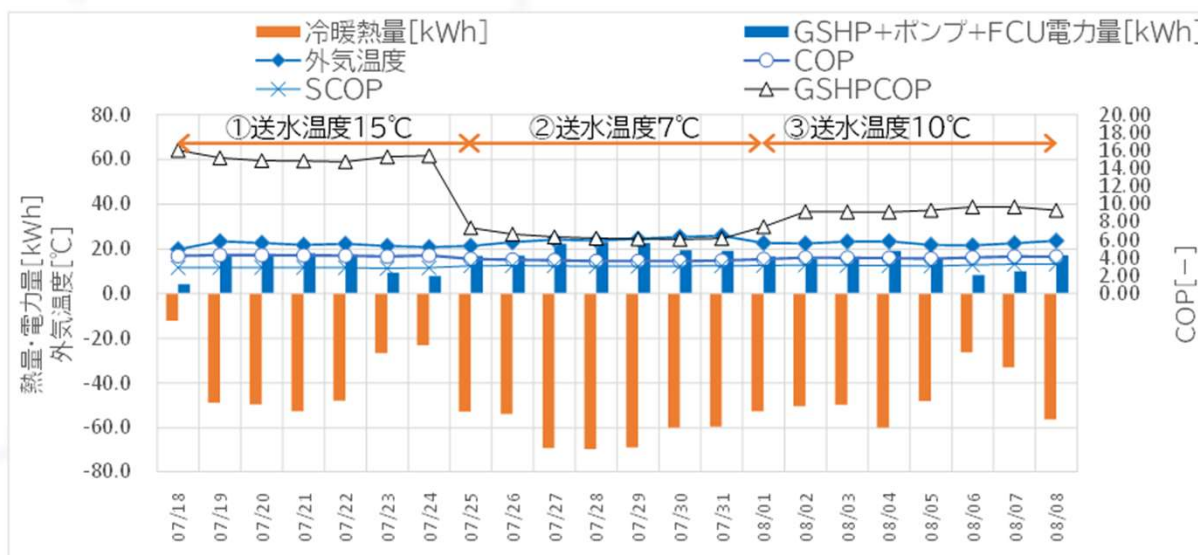


(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

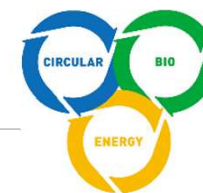


空気式放射空調の冷房時冷温水送水温度変更によるCOP評価(物件①)

- ・GSHP冷温水送水温度の変更(7°C、10°C、15°C)における各COPの変化を確認した。
- ・GSHPCOPは送水温度が高いほど明確に優位。COPは同様の傾向であるが差が縮小された。またSCOPでは一部逆転し10°C>7°C>15°Cとなっている。
- ・送水温度が高い場合、FCUの熱交換効率が低下し運転時間も伸びるため、採熱・冷温ポンプおよびFCUの電力消費が増加することが要因と推察される。



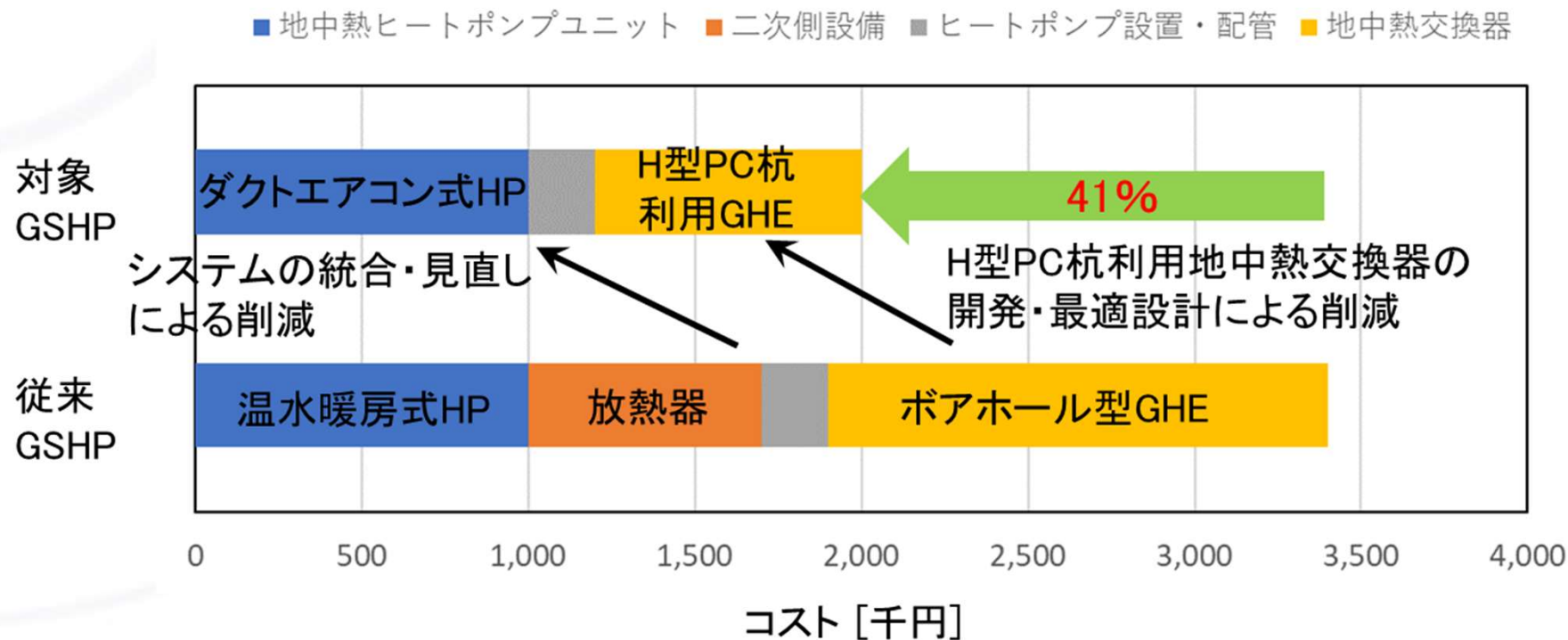
	設定室温 [°C]	冷房熱量 [kWh]	GSHP電力 [kWh]	GSHPCOP [-]	熱源ポンプ 電力	冷温ポンプ 電力	COP	FCU電力 [kWh]	SCOP
②7°C送水	系統1:24°C、系統2:26°C	430.94	68.80	6.26	28.41	19.83	3.68	22.32	3.09
③10°C送水	系統1:24°C、系統2:26°C	297.47	32.04	9.28	24.84	17.15	4.02	19.32	3.19
①15°C送水	系統1:24°C、系統2:24°C	263.18	17.53	15.01	25.88	18.13	4.28	28.95	2.91



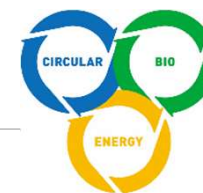
(4)地中熱ヒートポンプシステムのトータルコスト削減評価



住宅への導入を想定した地中熱ヒートポンプシステムの設置コスト評価



- ・対象GSHPはH型PC杭利用GHE+ダクトエアコン式HP
- ・従来は一般的な戸建て住宅(延床面積約120m²)への導入システム(ヒートポンプ10 kW、ボアホール型地中熱交換器100 m)、
- ・地中熱交換器はパイプ、掘削、設置、不凍液を全て含めた値として15,000円/mを想定、
- ・二次側設備はファンコイルユニットを想定



(1) 基礎杭兼用の地中熱交換器、H型PC杭利用地中熱交換器の導入コストを試算し、ボアホール型地中熱交換器と比較したところ、それぞれ約61%、約50%のコスト削減効果を得られたことを示した。

(2) 基礎杭兼用の地中熱交換器について、採放熱量評価を行い、地中熱交換器の接続方式の違いによる比較を行ったが、接続方式の違いによる採放熱量の差は見られなかった。

(3) H型PC杭利用地中熱交換器の横引配管の接続コスト削減のための、プレカット配管を用いた横引配管施工試験を実施し、施工時間を約3分の1～半分減らすことが出来ることを確認した。

(4) 基礎杭兼用の地中熱交換器、H型PC杭利用地中熱交換器の単位採放熱係数はそれぞれ約4.0 W/(m・K)、約2.6 W/(m・K)という結果を得た。

(5) 給湯用ヒートポンプ、高効率暖房用ヒートポンプを開発し、性能評価を実施した。

(6) パイプ式放射空調システム、空気式放射空調システムの性能評価と性能向上のための運転方式の検討を実施した。

