

2022年度成果報告会

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

(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

2023/2/2

問い合わせ先
葛 隆生(国立大学法人北海道大学)
E-mail: katsura@eng.hokudai.ac.jp
TEL:011-706-6284

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年1月

終了(予定): 2023年3月

2. 最終目標

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。

3. 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た。
- ②基礎杭兼用の地中熱交換器、PC杭利用地中熱交換器、水平ユニット方式地中熱交換器の性能評価を実施した。
- ③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。

事業実施体制

NEDO

助成事業(NEDO負担率1/2)

「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」評価委員会
北海道大学 長野教授を委員長として計3名

国立大学法人
北海道大学

- ・研究実施場所:
北海道大学
- ・研究開発項目:
低コストGSHPシ
テム設計手法の確
立
地中熱交換器の性能
評価
二次側システムの高
効率化によるラン
ニングコスト削減
効果検証

エムズ・インダス
トリー株式会社

- ・研究実施場所:
エムズ・インダスト
リー新社屋ビル
- ・研究開発項目:
低コストGSHPシス
テムの設計手法の
効果実証
基礎杭兼用地中熱交
換器のイニシャル
コスト低減効果検
証

北海道電力株式
会社

- ・研究実施場所:
エムズ・インダス
トリー新社屋ビル
棟晶新社屋ビル
- ・研究開発項目:
二次側システムの高
効率化による
ランニングコス
ト削減効果検証
ZEB化に対する
GSHPシステム
の導入効果の定
量化

株式会社イノ
アック住環境

- ・研究実施場所:
エムズ・インダス
トリー新社屋ビル
棟晶株式会社新社
屋ビル
イノアック住環境
本社
- ・研究開発項目:
低コスト地中熱交
換器パイプの開
発と評価

21年度で終了した事業者

サンポット株式会社

CO₂冷媒を用いた
GSHP給湯機の開発
高効率GSHP暖房機
の開発

全体スケジュール

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022			
		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)GSHPシステムの 設計・評価手法の確立	北海道大学 エムズ・イン ダストリー 北海道電力	新築事務所															
						設計				施工				実測による 設計の検証			
		既設事務所															
						設計				施工				実測による 設計の検証			
		住宅															
						施工				実測による 設計の検証				シミュレーションに よる設計の検証			

全体スケジュール

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022			
		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
(2)低コスト地中熱交換器の開発	北海道大学 エムズ・イン ダストリー イノアック住 環境	新築事務所 設計: 2019 Q4 → 2020 Q1 施工: 2020 Q2 → 2021 Q4 実測による設計の検証: 2021 Q1 → 2022 Q4															
		既設事務所 設計: 2019 Q4 → 2020 Q1 施工: 2020 Q2 → 2021 Q4 実測による設計の検証: 2021 Q1 → 2022 Q4															
		住宅 施工: 2019 Q4 → 2020 Q1 実測による設計の検証: 2020 Q2 → 2021 Q4 シミュレーションによる設計の検証: 2021 Q1 → 2022 Q4															

全体スケジュール

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022			
		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
(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	北海道電力 北海道大学 (サンポットは21年度で事業終了)	ヒートポンプ給湯機(21年度終了)				試作機評価試験				実証機導入・評価				最終実証機導入・評価			
		ヒートポンプ暖房機(21年度終了)				試作機評価試験				実証機導入・評価				最終実証機導入・評価			
	二次側運用技術												計測(最適運転方法の検討・評価)				
	新築事務所																
	既存事務所												計測(最適運転方法の検討・評価)				

成果・進捗








(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

建物名	建物概要	ZEB・ZEH化技術
建物① 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	・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
建物② 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	・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
建物③ 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	・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

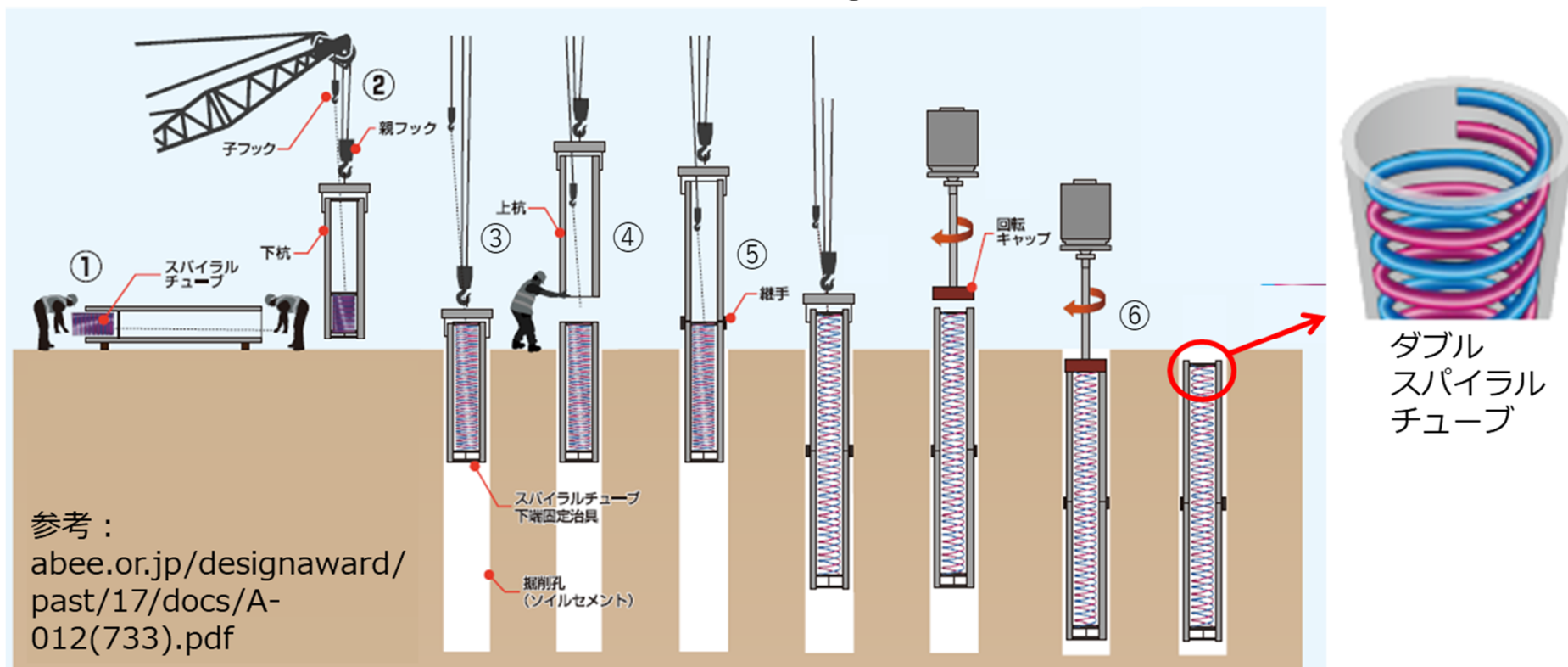
成果・進捗

(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

	地中熱ヒートポンプシステム仕様	地中熱ヒートポンプシステム関連機器等外観
建物 ①	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプ ヒートポンプチラータイプ定格出力10kW×3台 ・地中熱交換器 基礎杭兼用方式 20m×24本(うち空調用14本) ・二次側システム 空気式天井放射システム、ファンコイルユニット ・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100% 	 <p>天井放射パネル</p> 
建物 ②	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプ ヒートポンプチラータイプ定格出力5.5kW×1台 ダクトエアコンタイプ定格出力8.0kW×2台 ・地中熱交換器 H型PC杭利用方式 8m×35本(うち空調用21本) 水平ユニット方式 10m×5基 ・二次側システム パイプ型天井放射システム、ダクトエアコン ・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100% 	<p>パイプ式放射空調</p>   <p>空調ダクト</p>
建物 ③	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプ ダクトエアコンタイプ定格出力8.0kW×1台 ・地中熱交換器 H型PC杭利用方式 6m×10本 ・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100% 	  

成果・進捗

(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(建物①)

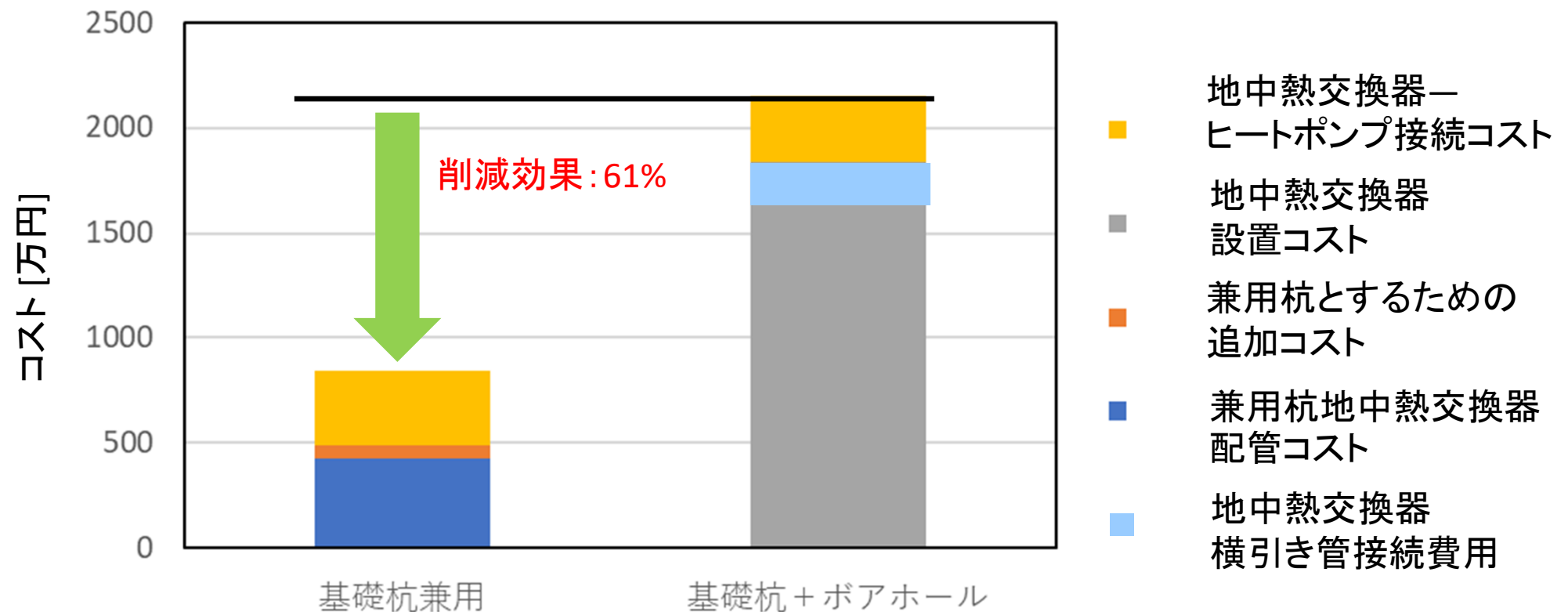


成果・進捗

(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(建物①)

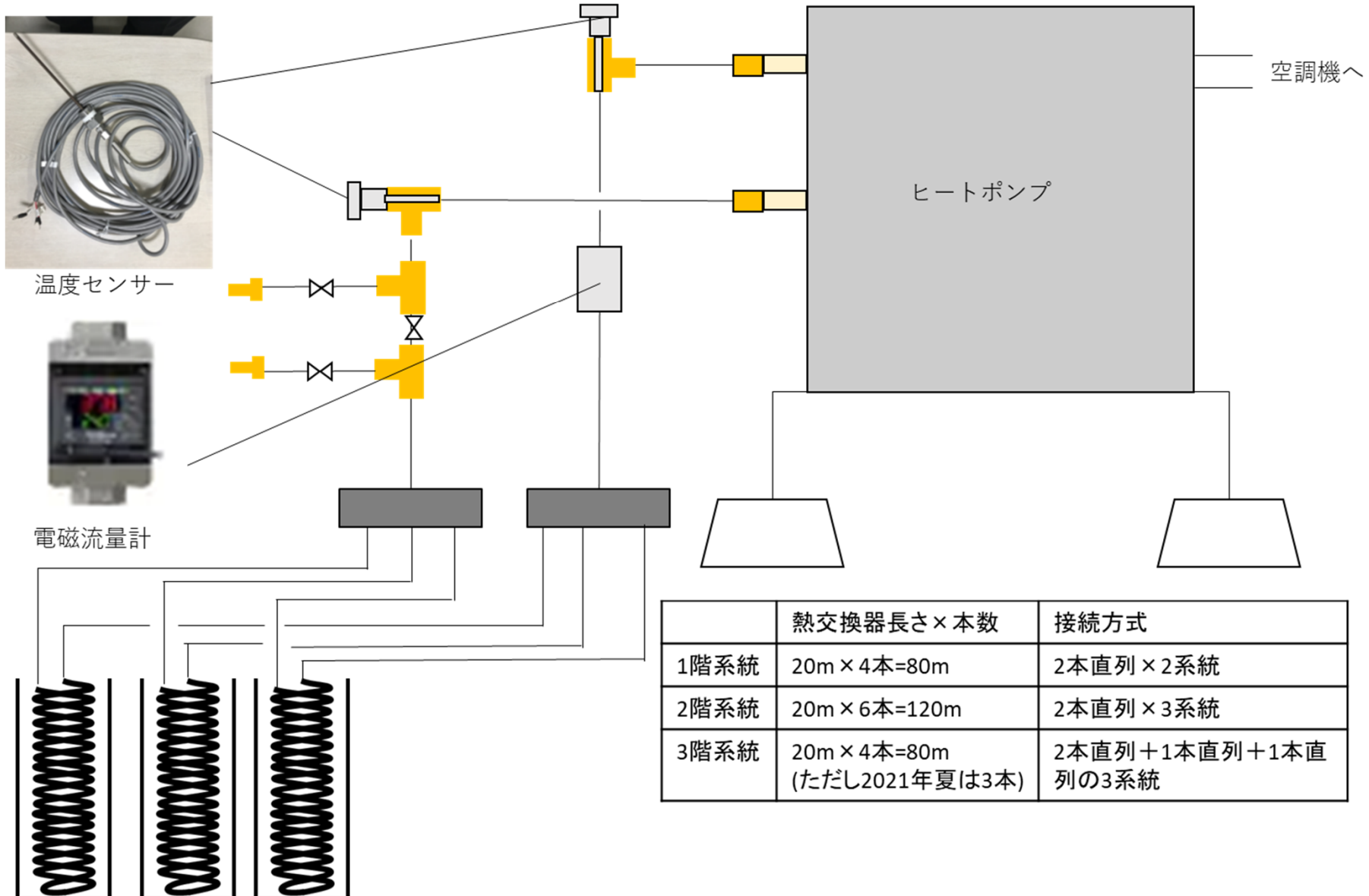
従来方式(基礎杭+ボアホール型地中熱交換器)と比較した地中熱交換器設置コスト



- 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

成果・進捗

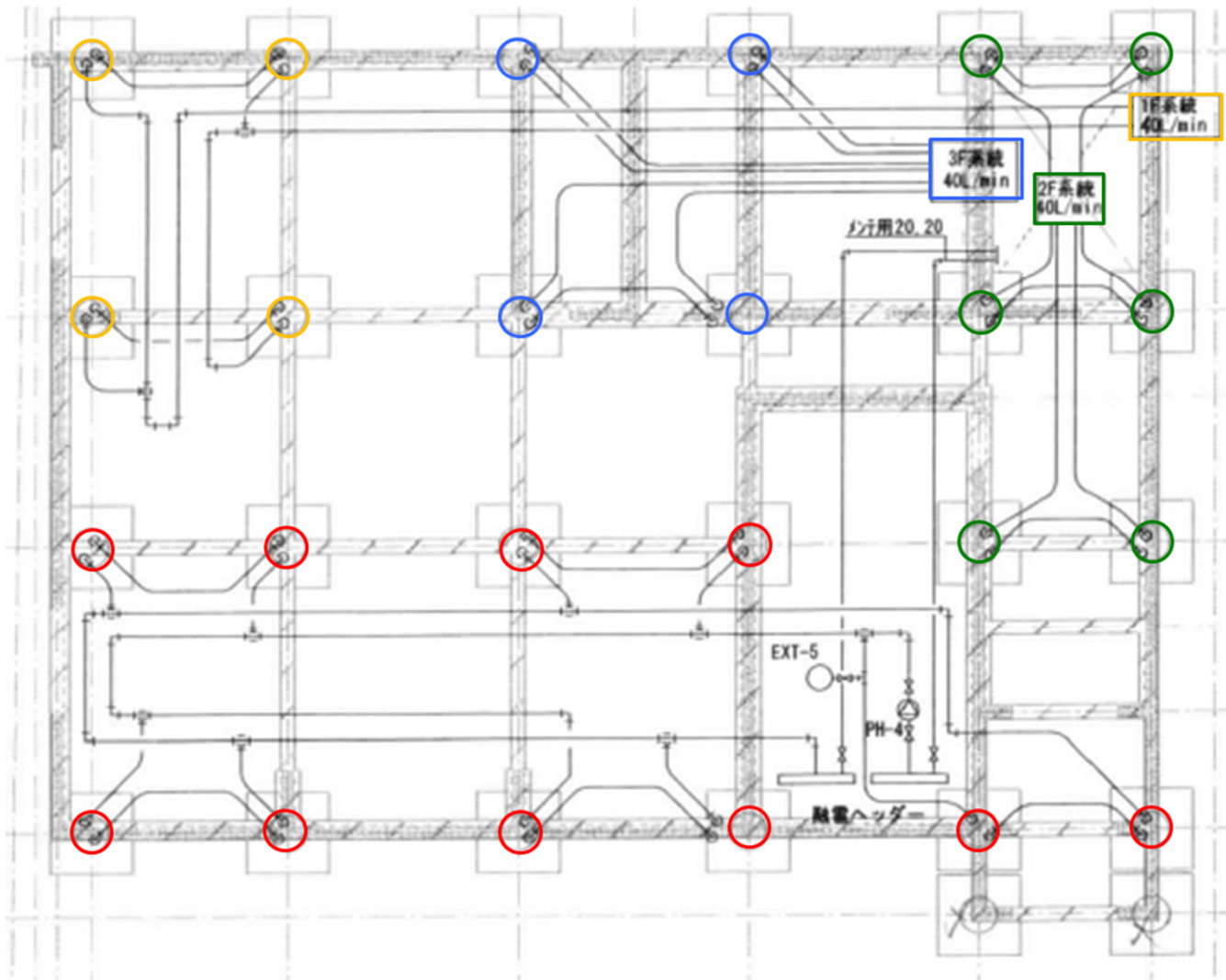
(2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発 基礎杭兼用地中熱交換器の性能評価(建物①)



成果・進捗

(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(建物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

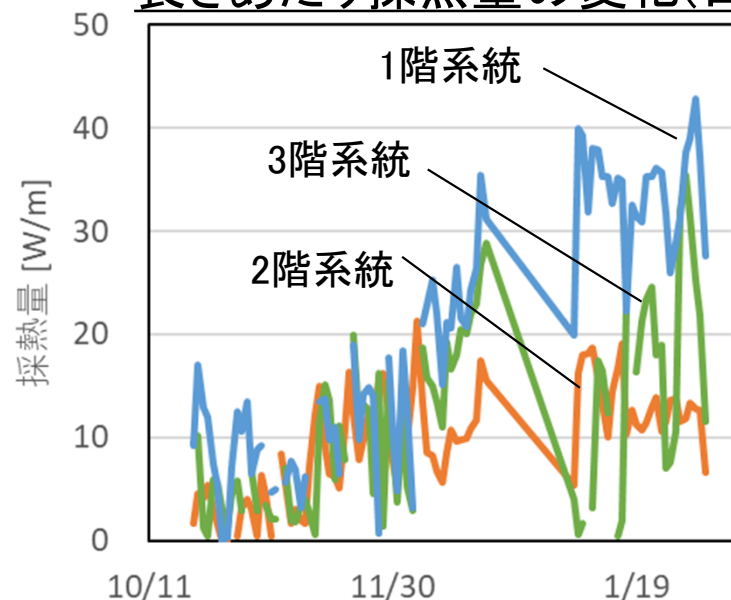
- 1階系統：4本
(2本直列×2系統
(リバースリターン))
- 2階系統：6本
(2本直列×3系統(ヘッ
ダー方式))
- 3階系統：4本
(1本+1本+2本直列、
3系統(ヘッダー方式))
- 融雪用

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)

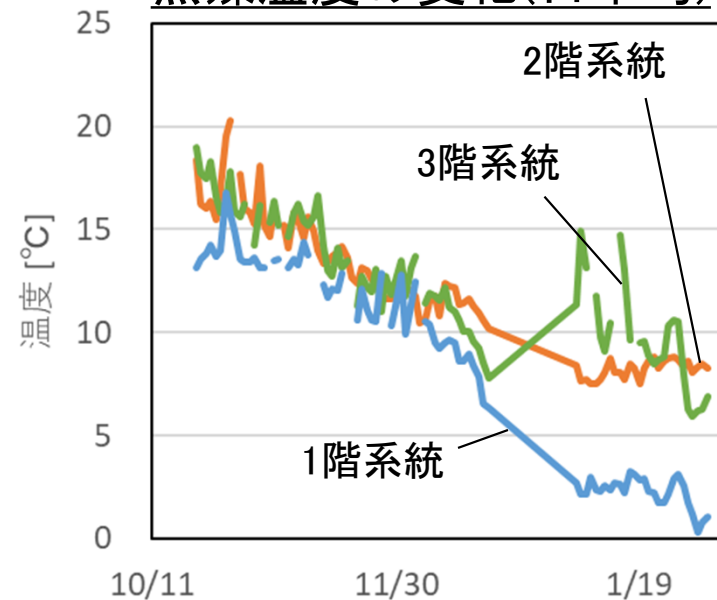
成果・進捗

(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(建物①・冬季)

長さあたり採熱量の変化(日平均)

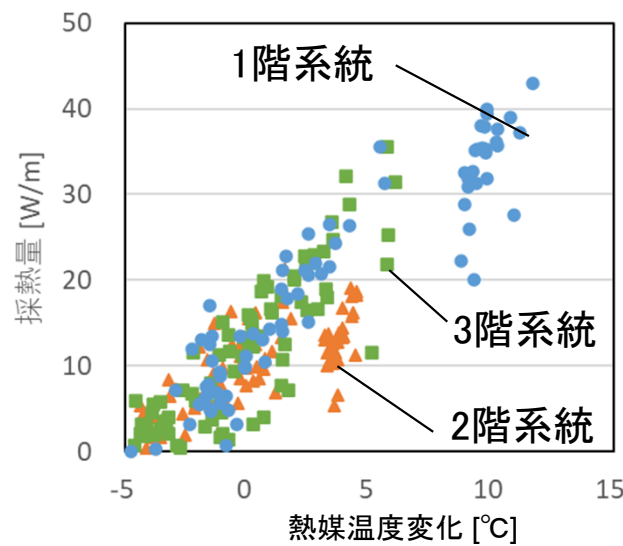


熱媒温度の変化(日平均)



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)

成果・進捗

(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
(建物②、建物③)

プレカット加工品による横引配管施工試験
(別建物)

H型PC杭利用方式

建物②(既存事務所)
1階・2階の空調と、建物
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



掘削(左)と熱交換器設置(右)

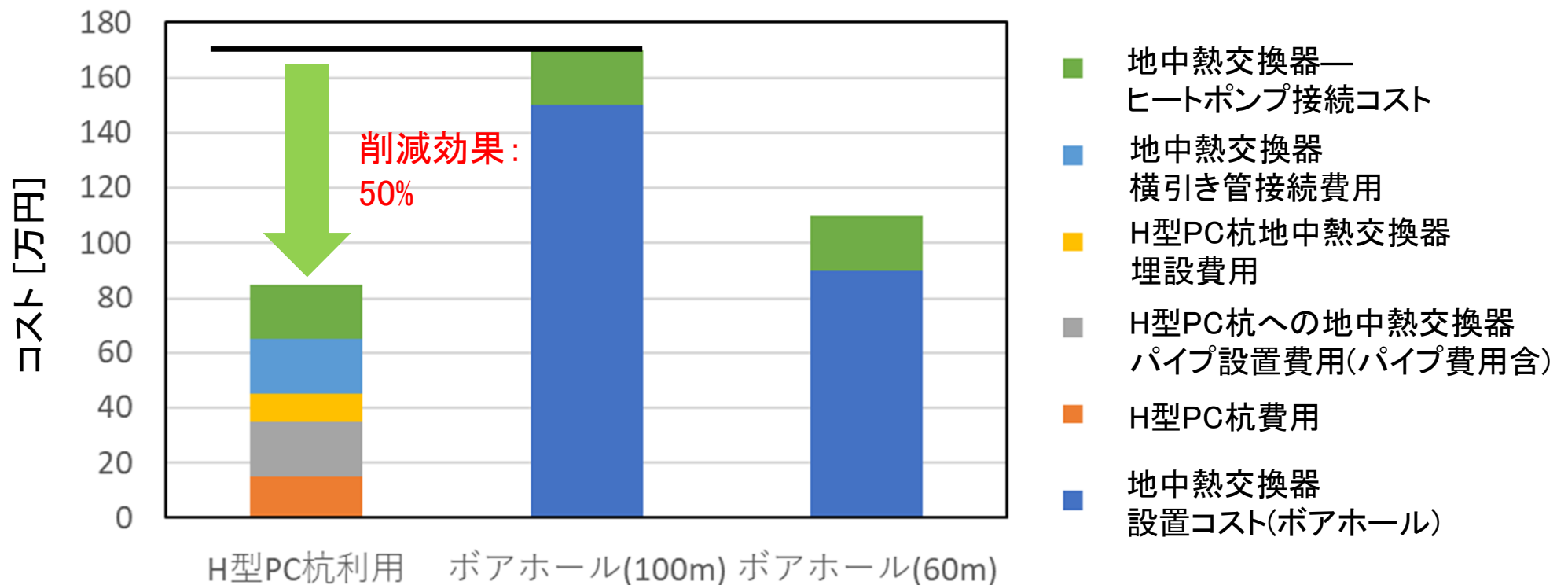


電気融着後の配管とPC杭

成果・進捗

(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

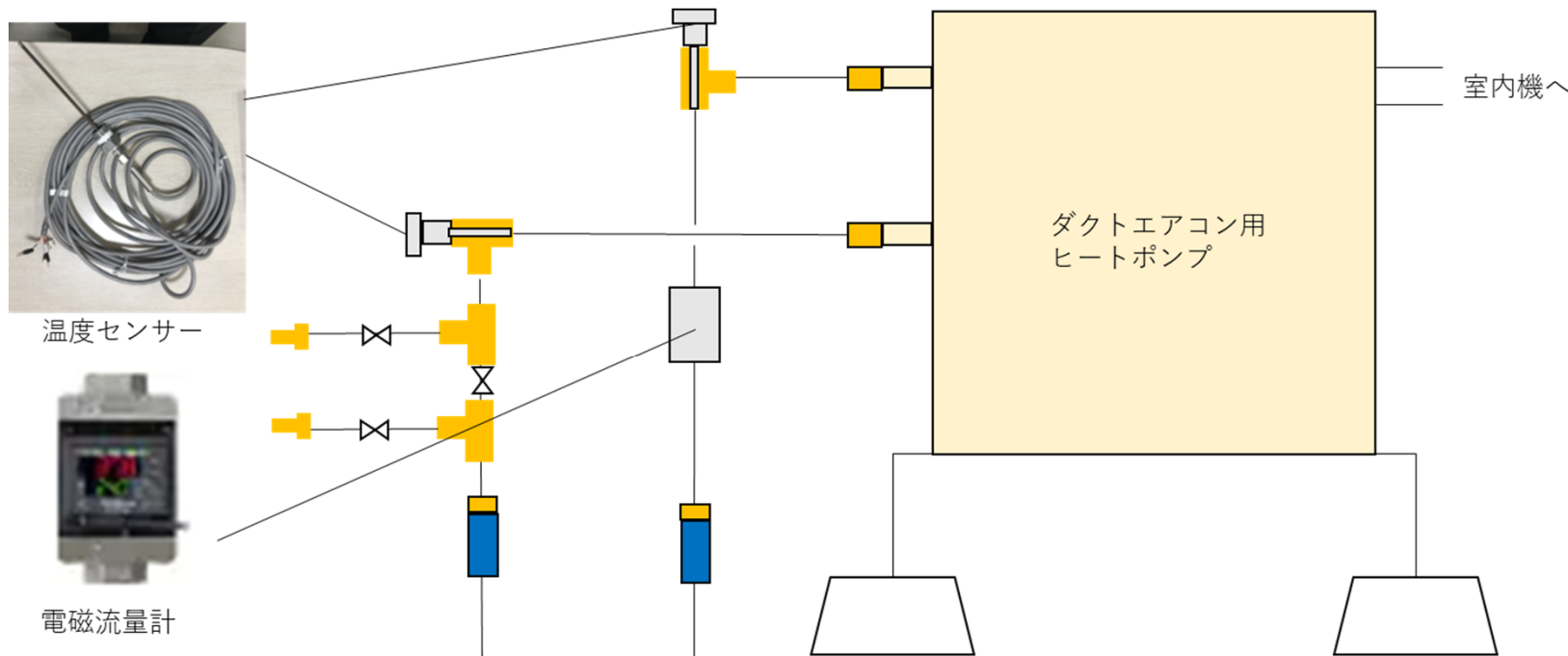


前提条件

- ・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)

成果・進捗

(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(建物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)



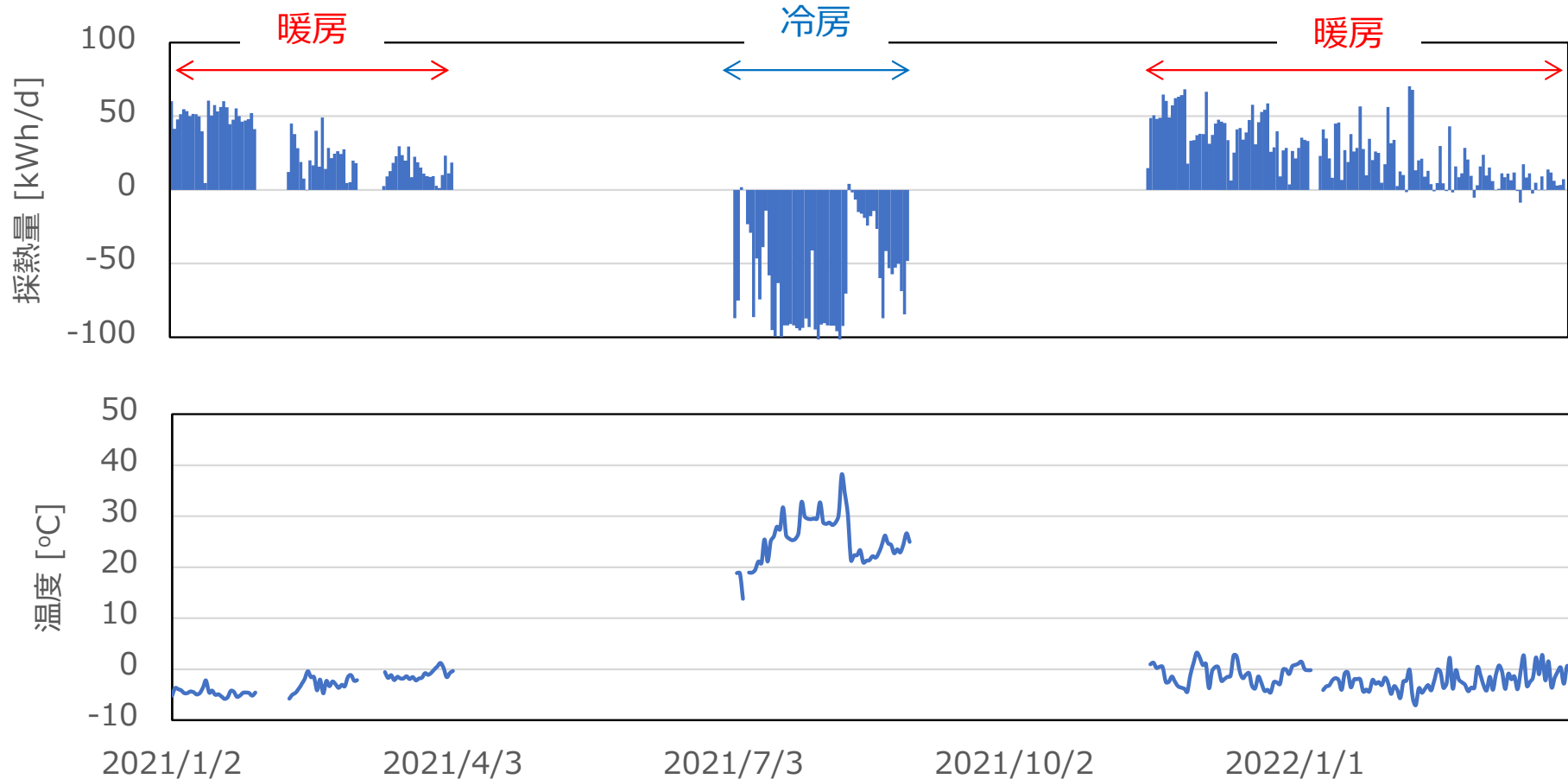
各システムの概要

	熱交換器長さ×本数	接続方式
建物②(事務所)1階系統	8m×12本=96m	6本直列×2系統
建物②(事務所)2階系統	8m×8本=64m	8本直列
建物③(住宅)	6m×10本=60m	3本直列+3本直列+4本直列の3系統

成果・進捗

(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 H型PC杭利用地中熱交換器の性能評価(建物②)

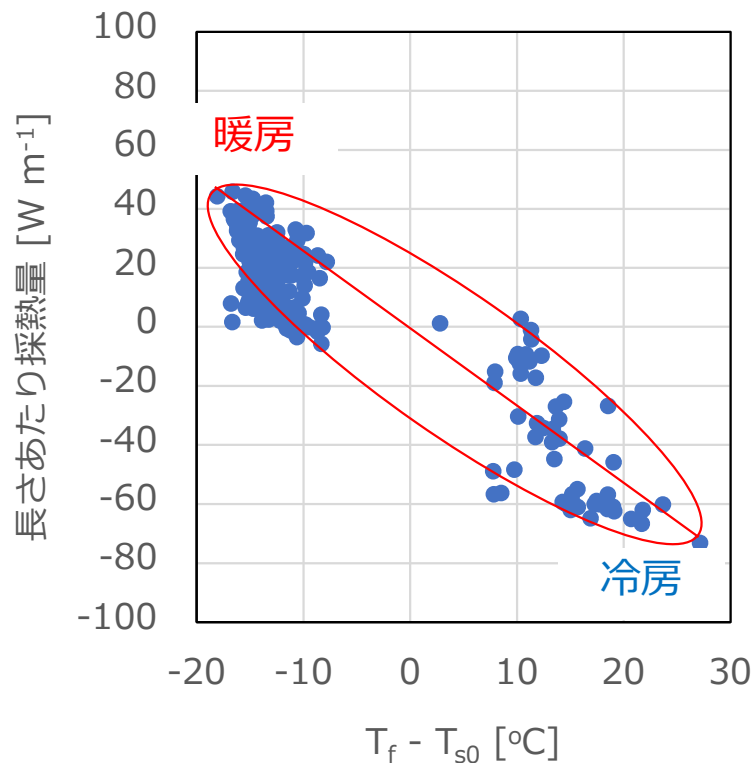
事務所建物に導入したGHEの採熱量とヒートポンプ(GHE)出入口の熱媒平均温度の変化(2021年1月～2022年3月)



成果・進捗

(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 H型PC杭利用地中熱交換器の性能評価(建物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): $2.6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

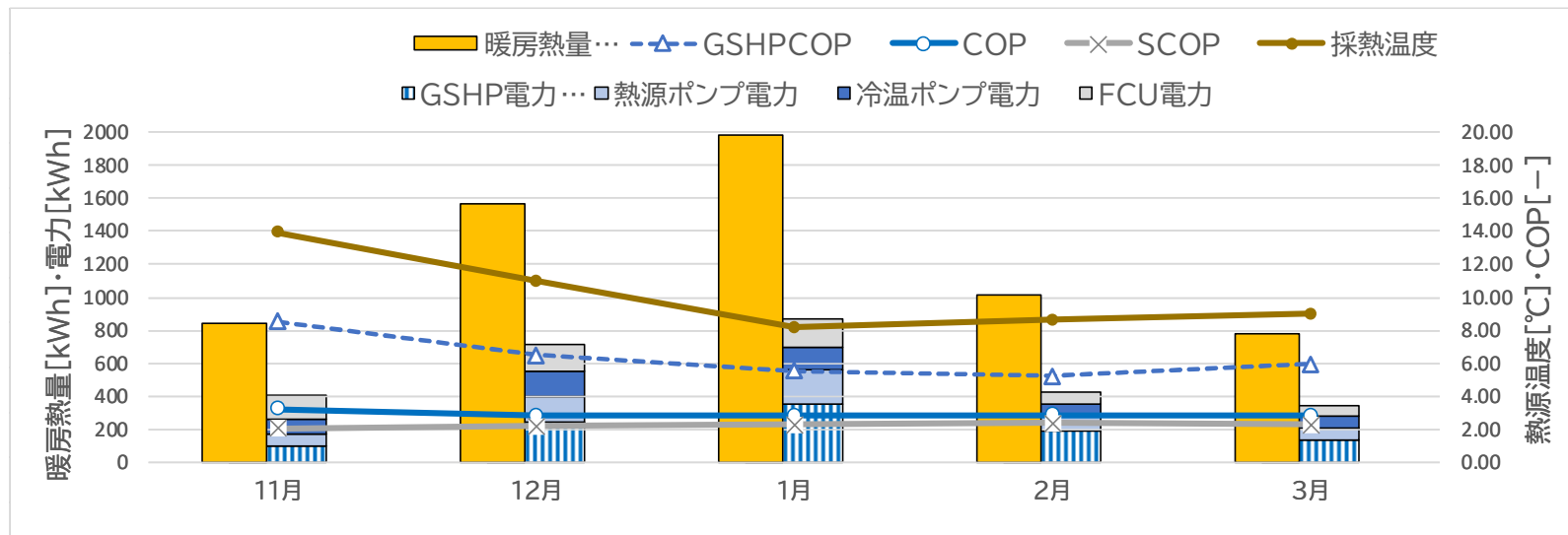
*2021年度は札幌の7~8月の気温は過去最高であり、これ以上の冷房負荷が発生することは考えにくい。

成果・進捗

(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基本性能計測結果(建物①)

- ・月間のGSHP COPは5～8程度とカタログ値4.0を上回っているが、COPは2.8程度、SCOPは2.2程度
- ・暖房全期間の運転時平均暖房出力が3.3kWと、定格暖房出力10kWより大幅に小さい負荷だったことが相対的にポンプ・FCUの消費電力の割合を高め、COPが低下したと考えられる。



	暖房熱量 [kWh]	GSHP電力 [kWh]	GSHP COP	採熱ポンプ電力 [kWh](対GSHP比)	冷温水ポンプ電力 [kWh](対GSHP比)	COP	FCU電力 [kWh](対GSHP比)	SCOP
11月	838.41	98.09	8.55	77.82 (79%)	84.24 (86%)	3.22	144.78 (148%)	2.07
12月	1563.40	241.32	6.48	158.24 (66%)	152.68 (63%)	2.83	161.18 (67%)	2.19
1月	1982.51	356.81	5.56	204.99 (57%)	136.89 (38%)	2.84	168.29 (47%)	2.29
2月	1010.12	193.24	5.23	94.84 (49%)	63.54 (33%)	2.87	76.87 (40%)	2.36
3月	782.28	131.51	5.95	76.7 (58%)	70.46 (54%)	2.81	65.67 (50%)	2.27

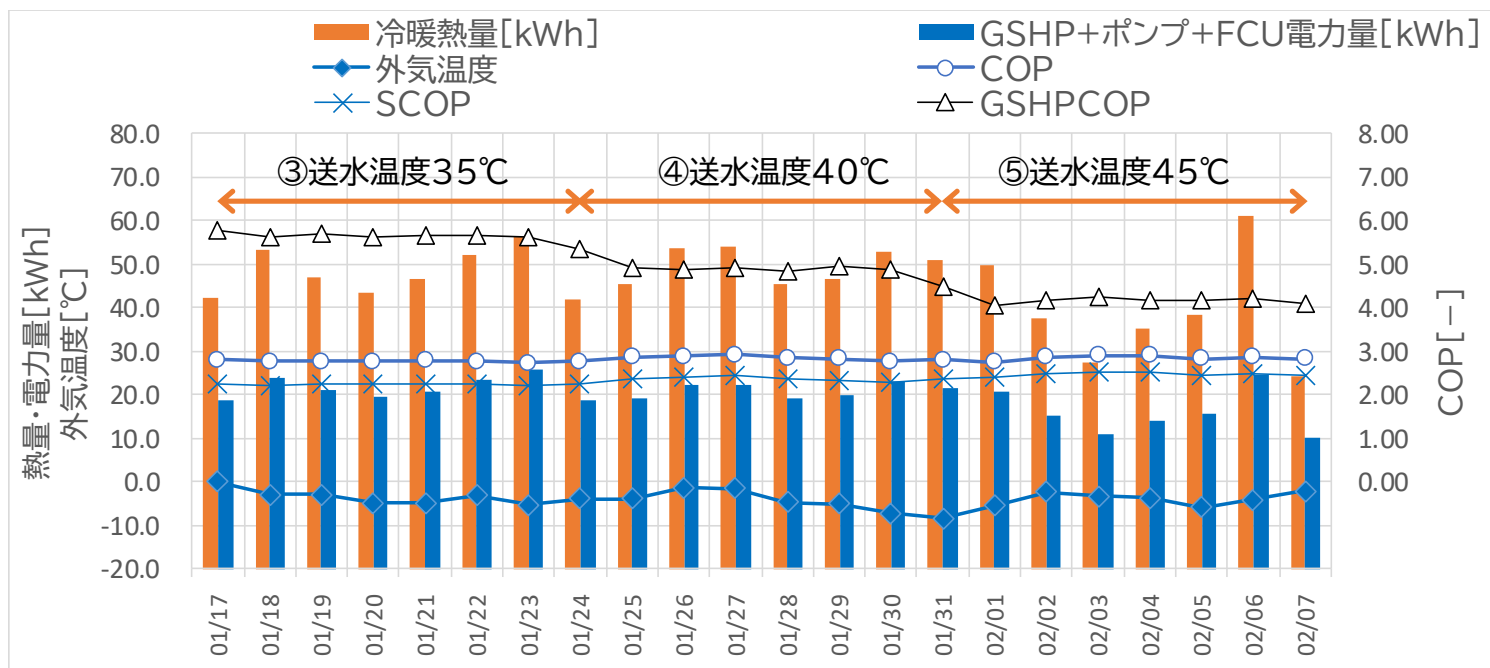
※ GSHP本体のCOPをGSHP COP、ポンプ動力を含めたCOPをCOP、FCUを含めたシステム全体のCOPをSCOPとする。

※ 計測期間中は24時間運転。12月～2月は暖房試験期間を含む。

成果・進捗

(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(建物①)

- ・GSHP冷温水送水温度の変更(35°C、40°C、45°C)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。



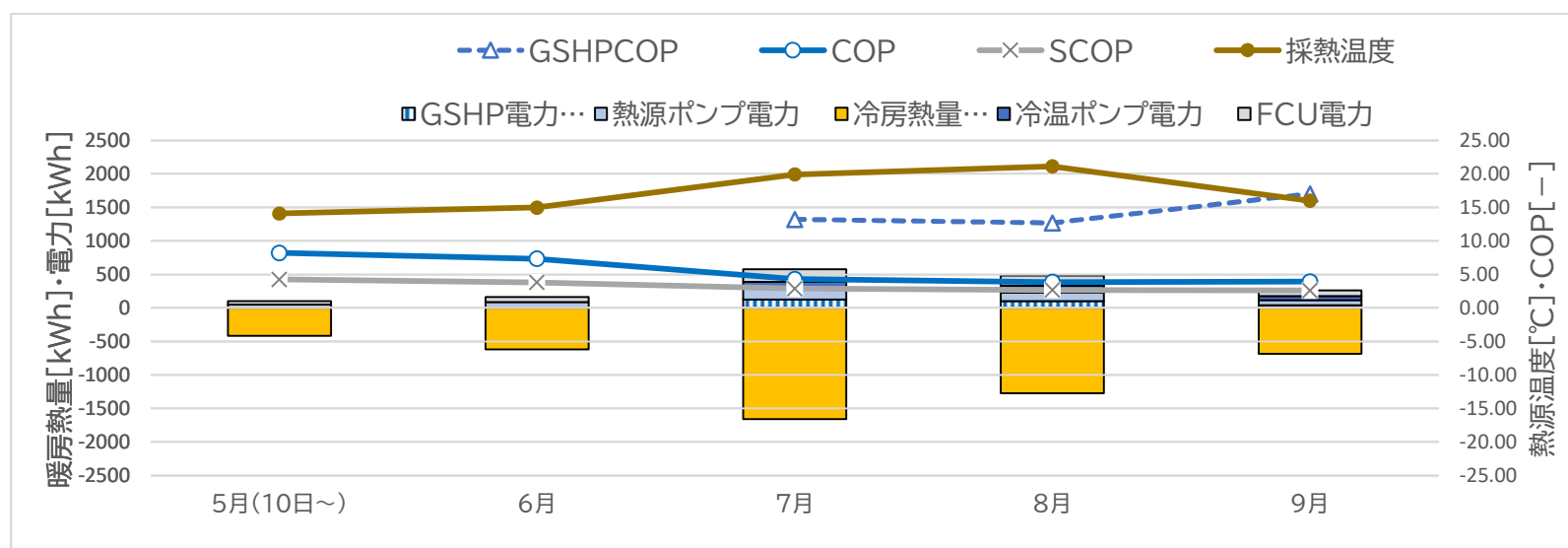
	送水温度 [°C]	暖房熱量 [kWh]	GSHP電力 [kWh]	GSHPCOP	熱源ポンプ電力 [kWh]	冷温ポンプ電力 [kWh]	COP	FCU電力 [kWh]	SCOP
試験期間①	35°C	339.54	60.01	5.66	37.64	25.31	2.76	29.82	2.22
試験期間②	40°C	337.34	69.01	4.89	29.88	19.97	2.84	23.91	2.36
試験期間③	45°C	293.55	70.39	4.17	19.50	13.14	2.85	16.04	2.47

成果・進捗

(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基本性能計測結果(建物①)

- ・5/10～7/7はフリークーリング運転を実施しCOP 4.0程度、フリークーリング期間以外のCOPは3.8程度、SCOPは2.6程度となっている。
- ・冷房全期間の運転時平均の冷温水熱量が3.7kWと、GSHP定格能力10kWより大幅に小さい負荷だったことが相対的にポンプ・FCUの消費電力の割合を高め、COPが低下したと考えられる。



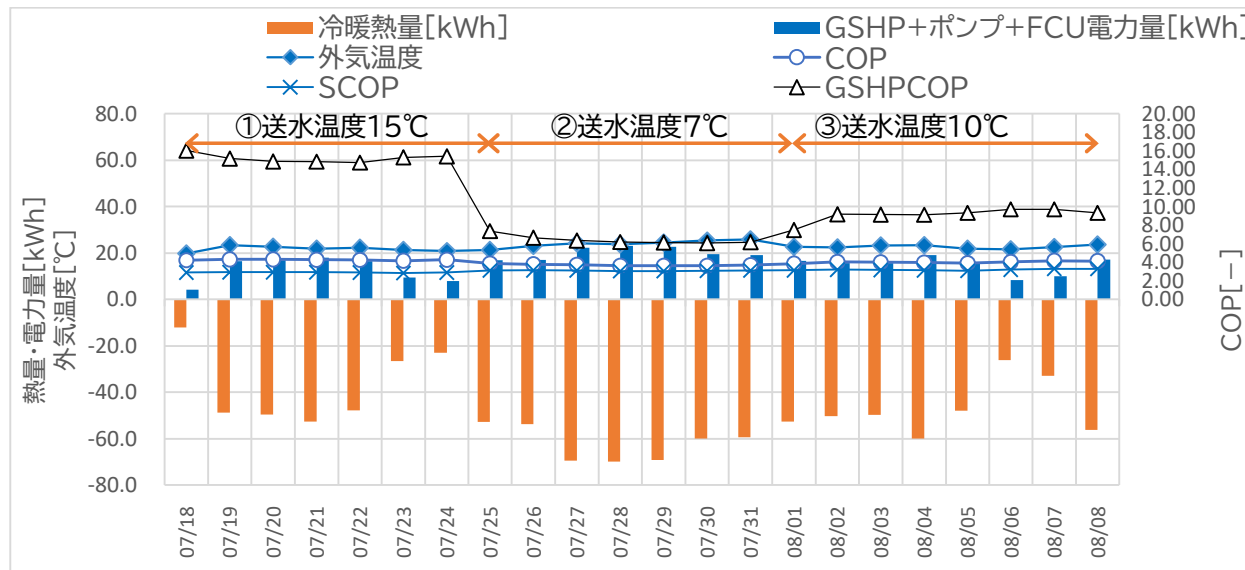
	冷房熱量 [kWh]	GSHP電力 [kWh]	GSHP COP	採熱ポンプ電力 [kWh](対GSHP比)	冷温水ポンプ電力 [kWh](対GSHP比)	COP	FCU電力 [kWh](対GSHP比)	SCOP
5月(10日～)	417.21	0.00		50.78 -	0.00 -	8.22	47.73 -	4.24
6月	621.55	0.00		84.99 -	0.00 -	7.31	77.66 -	3.82
7月	1,665.01	126.12	13.20	169.09 (134%)	93.23 (74%)	4.29	187.08 (148%)	2.89
8月	1,273.51	100.6	12.66	127.78 (127%)	101.76 (101%)	3.86	150.23 (149%)	2.65
9月	685.02	40.25	17.02	74.71 (186%)	59.7 (148%)	3.92	90.23 (224%)	2.59

※ 計測期間中は24時間運転。7月・8月は冷房試験期間を含む。

成果・進捗

(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(建物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

成果のまとめ

- (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%のコスト削減効果が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) 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。