

2021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)、棟晶(株)、  
北海道電力(株)、(株)イノアック住環境、サンポット(株)

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): 2022年3月

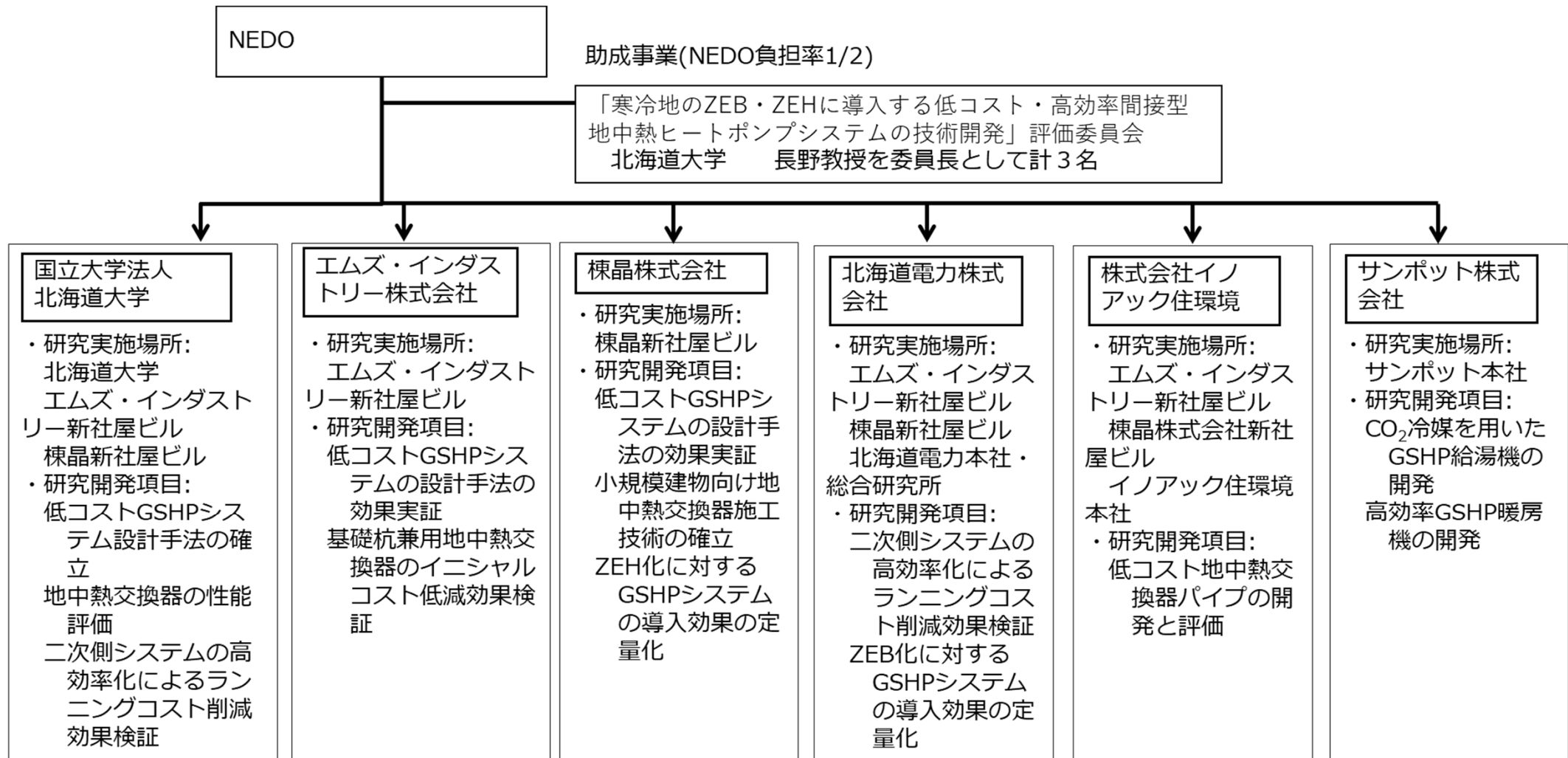
## 2. 最終目標

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新築事務所・既存事務所それぞれに高効率運用が可能な天井放射空調システムを採用した。
- ③住宅建物1件にH型PC杭利用地中熱交換器を用いた地中熱ヒートポンプシステムを導入した。
- ④CO<sub>2</sub>冷媒を用いたヒートポンプ給湯機および高効率暖房機を試作した。

# 事業実施体制



# 全体スケジュール

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)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 棟晶 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				1件施工								1件施工				1件施工			



# 全体スケジュール

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
(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 棟晶 イノアック 住環境	新築事務所(基礎杭兼用方式の施工試験)																			
						設計				施工				実測による 設計の検証							
		<hr/>																			
		既設事務所(H型PC杭利用方式、水平ユニット 方式の施工試験)																			
						設計				施工				実測による 設計の検証							
		<hr/>																			
		住宅				1件施工												1件施工			
														1件施工							

# 全体スケジュール

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
(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	サンポット 北海道電力 北海道大学	ヒートポンプ給湯機				→				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				→				試作機評価試験				→				実証機導入・評価			
										→				→				最終実証機導入・評価			
		新築事務所								→				→				計測(最適 運転方法の 検討・評価)			
		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

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 <sup>2</sup> 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"> <li>・地中熱ヒートポンプシステム (基礎杭兼用地中熱交換器)</li> <li>・高断熱仕様外皮、高断熱Low-Eペアガラス</li> <li>・全熱交換換気装置</li> <li>・空気式放射空調システム(2階に設置)</li> <li>・太陽光発電</li> </ul>
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 <sup>2</sup> 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"> <li>・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)</li> <li>・高断熱改修工事、Low-Eトリプルガラス内窓</li> <li>・全熱交換換気装置</li> <li>・パイプ式放射空調システム(3階に設置)</li> <li>・太陽光発電</li> </ul>
物件③ 棟晶モデル ハウス (住宅)		建設地: 札幌 延床面積: 97.82m <sup>2</sup> 階数: 地上2階 構造: 木造 2020年9月計測開始	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> <li>・高断熱仕様外皮、高断熱Low-Eトリプルガラス</li> <li>・全熱交換換気装置</li> </ul>

# 成果・進捗

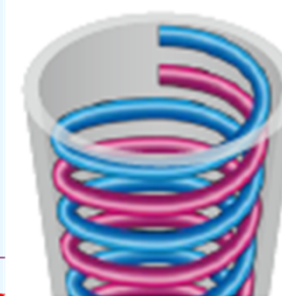
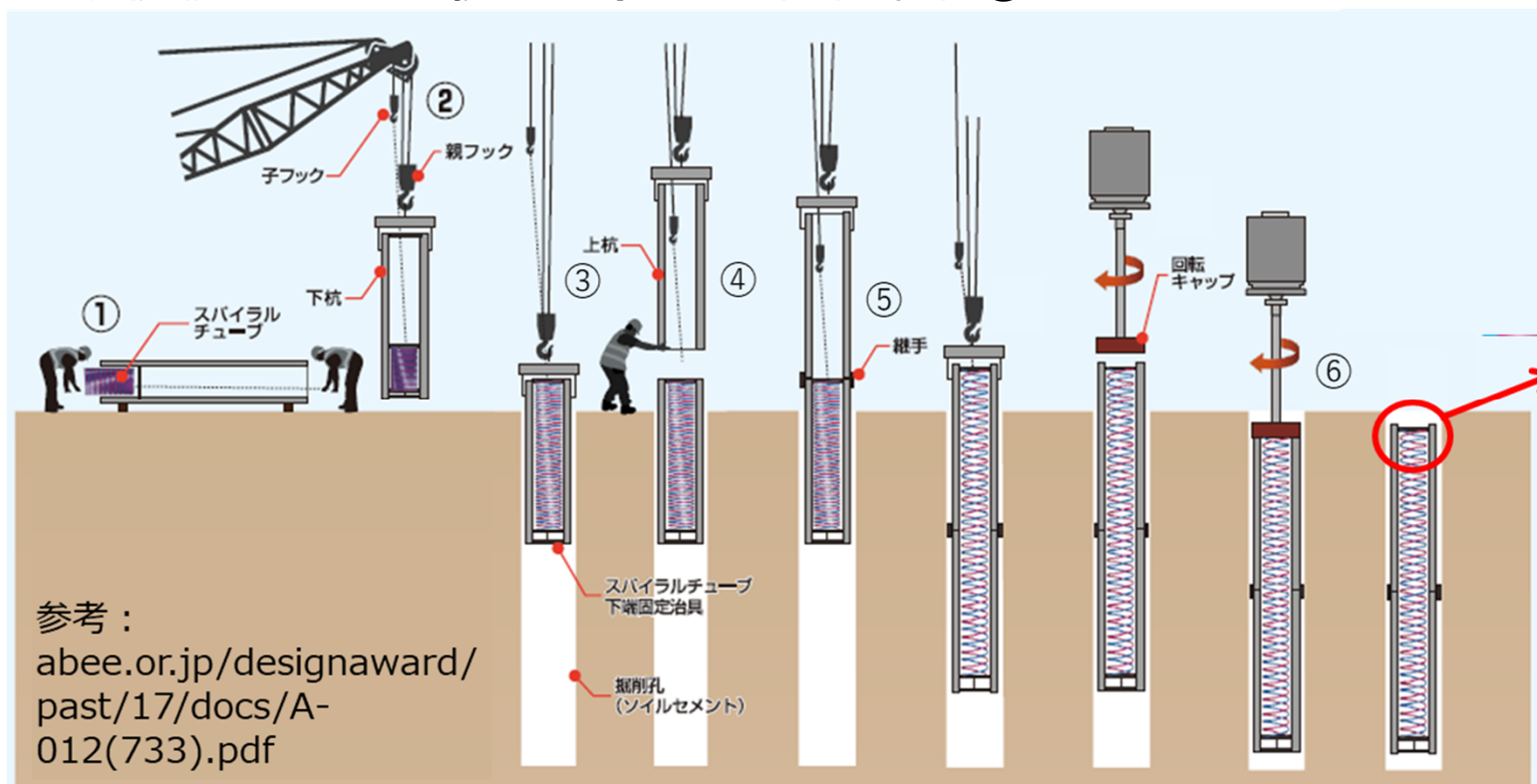
## (1) ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立

	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
物件 ①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・地中熱交換器 基礎杭兼用方式 20m × 24本(うち空調用14本)</li> <li>・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</li> <li>・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100%</li> </ul>	 <p>天井放射パネル</p> 
物件 ②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100%</li> </ul>	<p>パイプ式放射空調</p>   <p>空調ダクト</p>
物件 ③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・地中熱交換器 H型PC杭利用方式 6m × 10本</li> <li>・建物の全負荷に対する地中熱の割合:100%</li> </ul>	  



# 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(物件①)



ダブル  
スパイラル  
チューブ

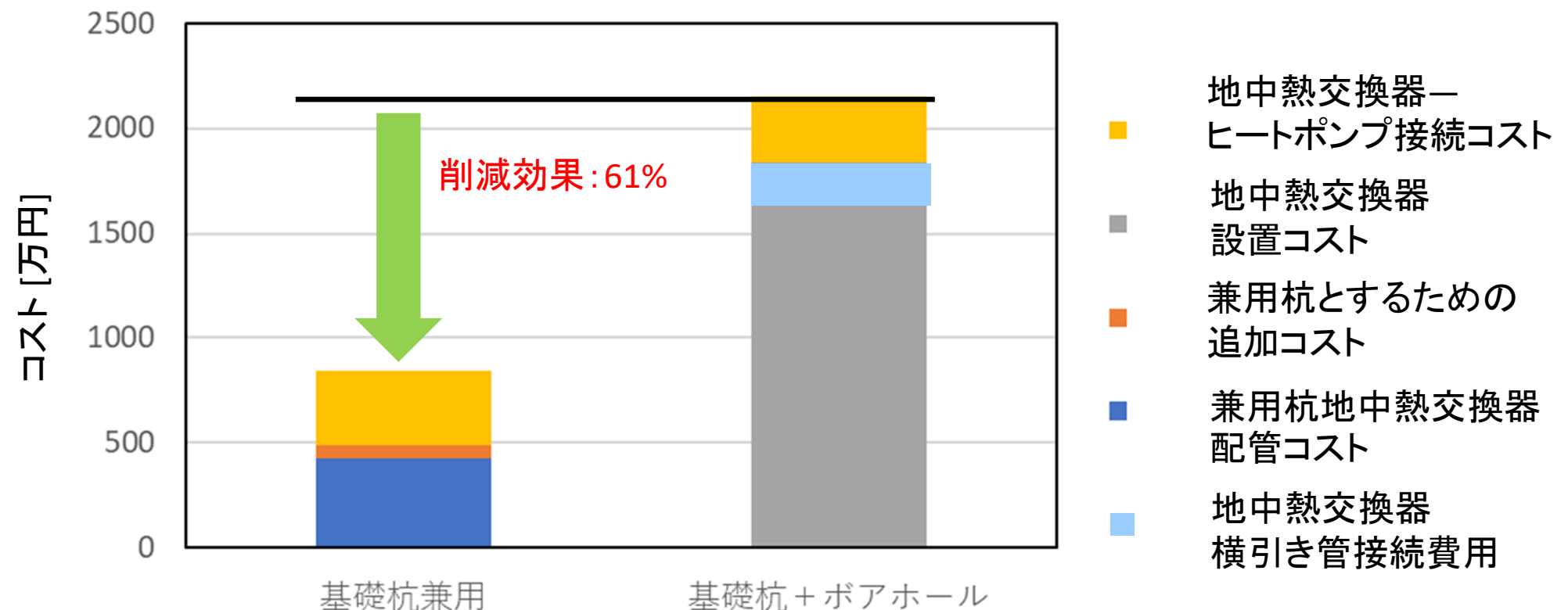


# 成果・進捗

## (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(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

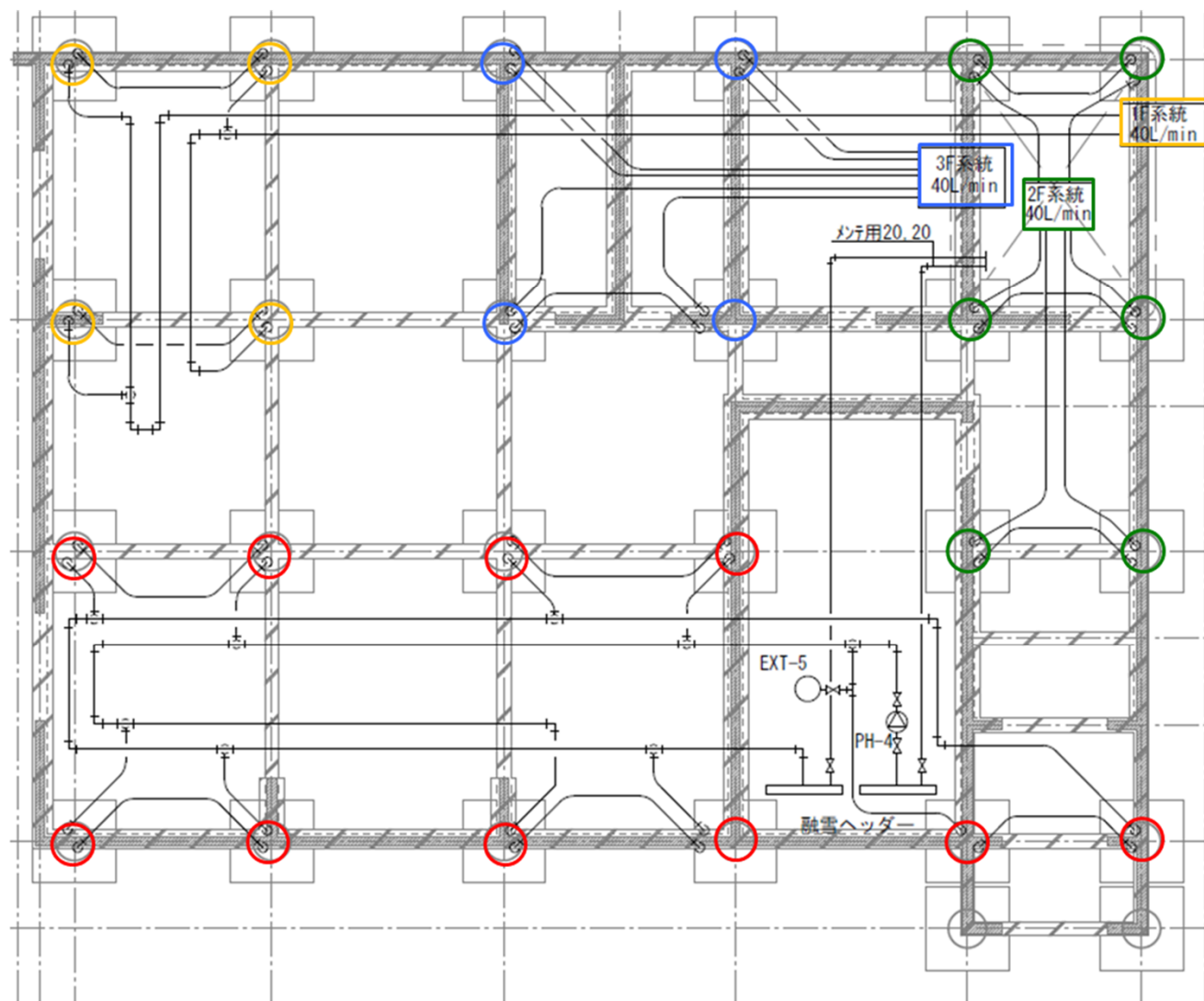


- 前提条件
- ・基礎杭(24本)の設置費用は同じ(1,200万円)、上記コストには含まれない
  - ・兼用杭のコストは今回の施工試験より算定
  - ・ボアホールは本建物にダブルUチューブ、100m×8本の導入を想定して見積もりを実施

# 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 実測による地中熱交換器の性能検証(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  
杭は外径約600mm  
内径約400mm

- 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

H型PC杭利用方式、水平ユニット方式の採放熱性能評価

実際の建物に導入された地中熱交換器について実測を行い、性能を評価

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  
(写真は既存事務所のもの)



熱交換器外観



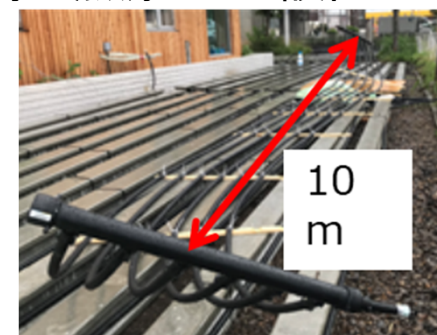
掘削(左)と熱交換器設置(右)

水平ユニット方式

物件②(既存事務所)3階空調の熱源として設置



電気融着による接続



熱交換器外観



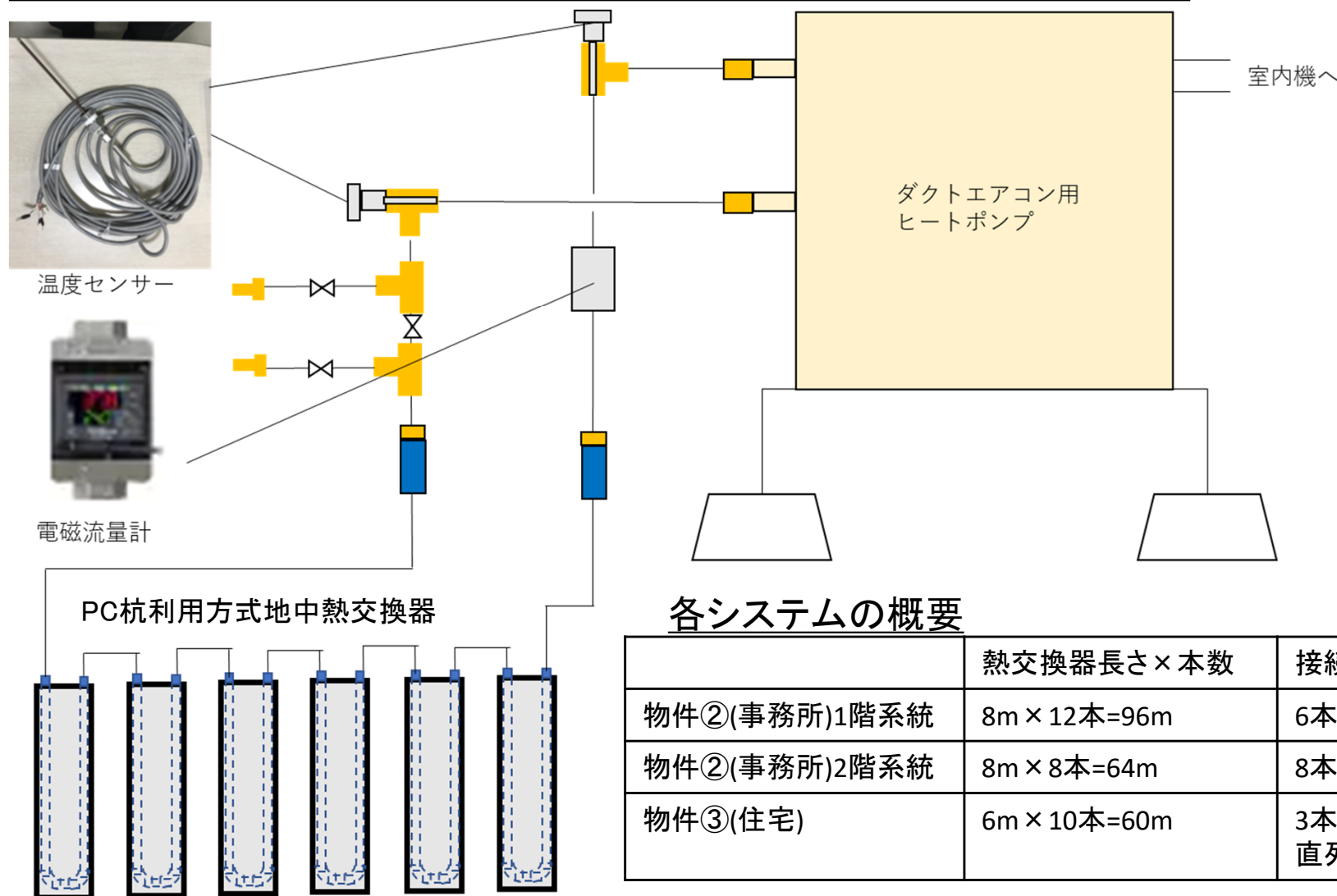
熱交換器の埋設



# 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

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)

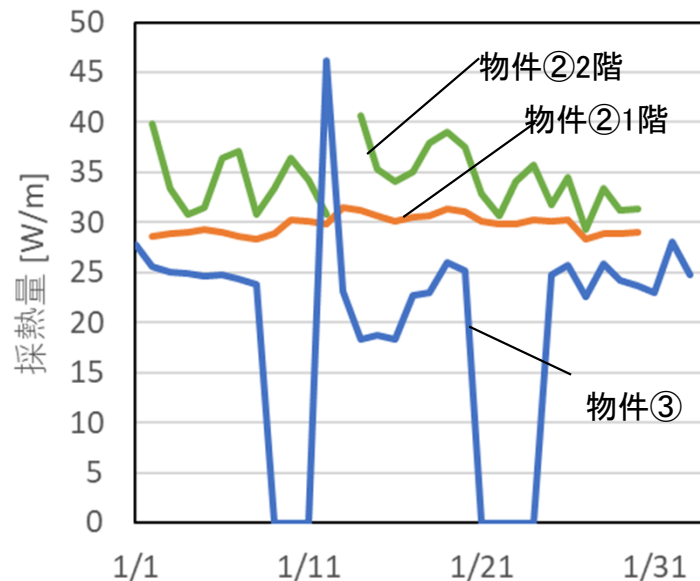


# 成果・進捗

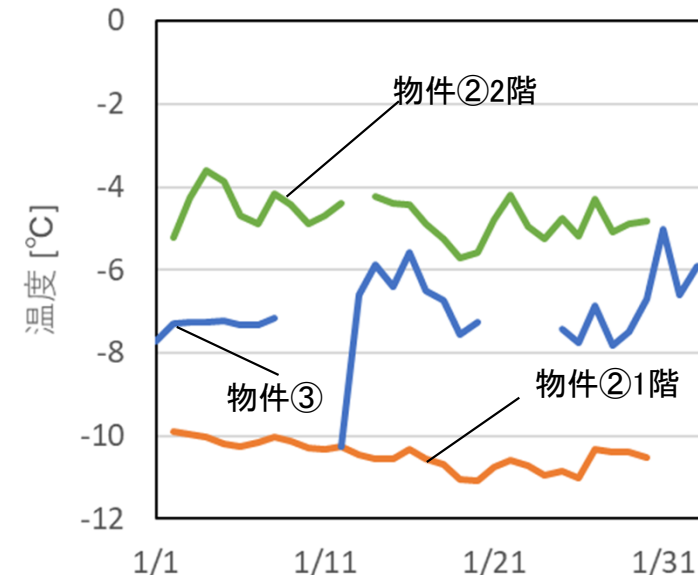
## (2)新築業務用建物・小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

### H型PC杭利用方式の実測結果

長さあたり採熱量の変化(日平均)

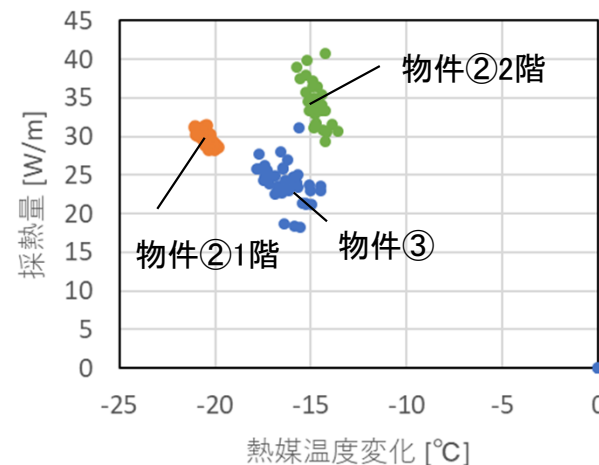


熱媒温度(地中熱交換器出入口平均温度)の変化(日平均)



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  
(10°C)



＜考察＞

物件②2階系統と比較して、物件②1階系統・物件③の採熱量に対する温度変化が大きい  
→物件②1階系統は2系統のうち1系統が循環できておらず、物件③は3系統のうち2系統の循環流量が極端に小さくなっていることが判明した。

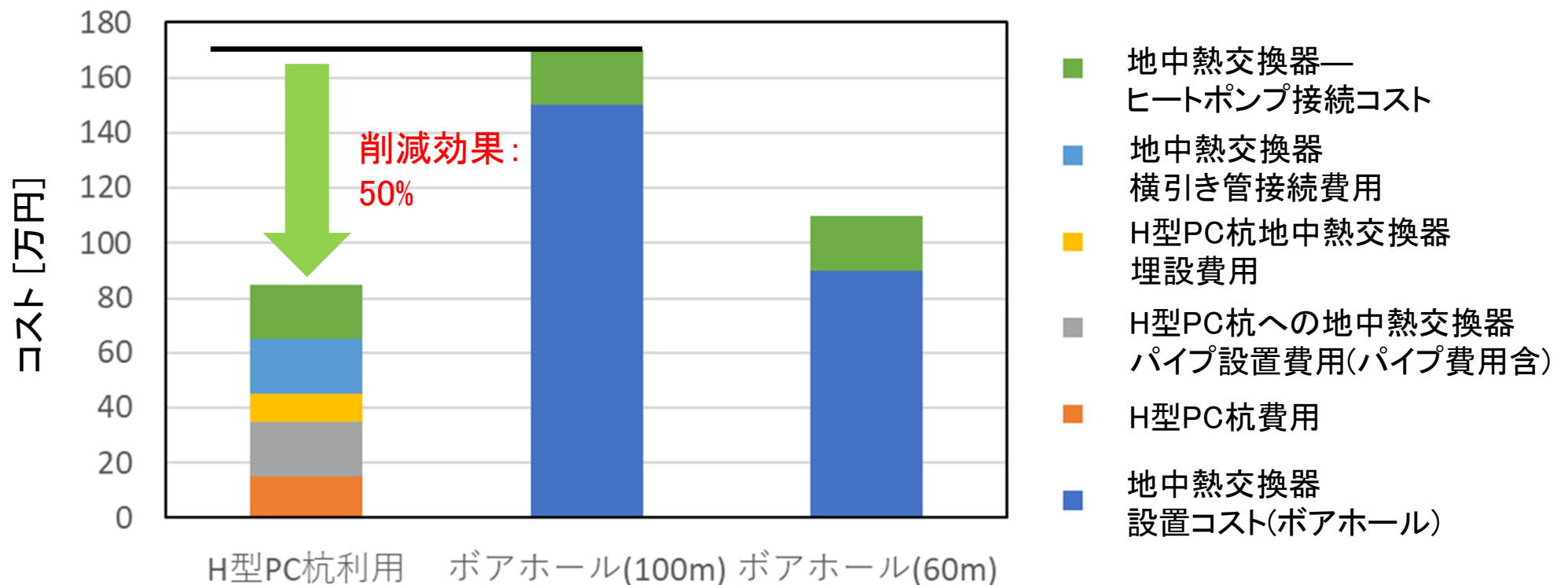
物件②2階系統の結果から熱媒温度変化約-15°Cに対して、採熱量は約30～40 W/mとなった。

# 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

## (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

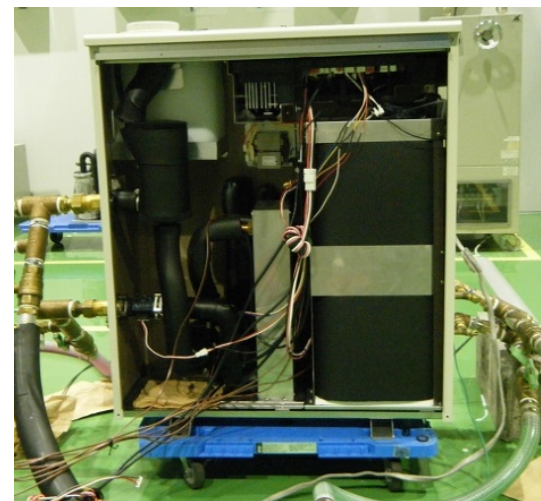
### CO<sub>2</sub>冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機の開発

#### 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℃、給水17℃、出湯65℃)	4.22	4.44	4.38
夏期標準条件 (採熱戻り24℃、給水24℃、出湯65℃)	5.07	5.19	5.35
冬期標準条件 (採熱戻り5℃、給水9℃、出湯65℃)	-	4.10	4.05
冬期高温条件 (採熱戻り5℃、給水9℃、出湯90℃)	3.04	3.24	3.19
寒冷地冬期高温条件 (採熱戻り0℃、給水5℃、出湯85℃)	3.10	3.16	3.15



CO<sub>2</sub>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 <sup>2</sup>
蒸発器	伝熱面積0.656m <sup>2</sup>
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)



# 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

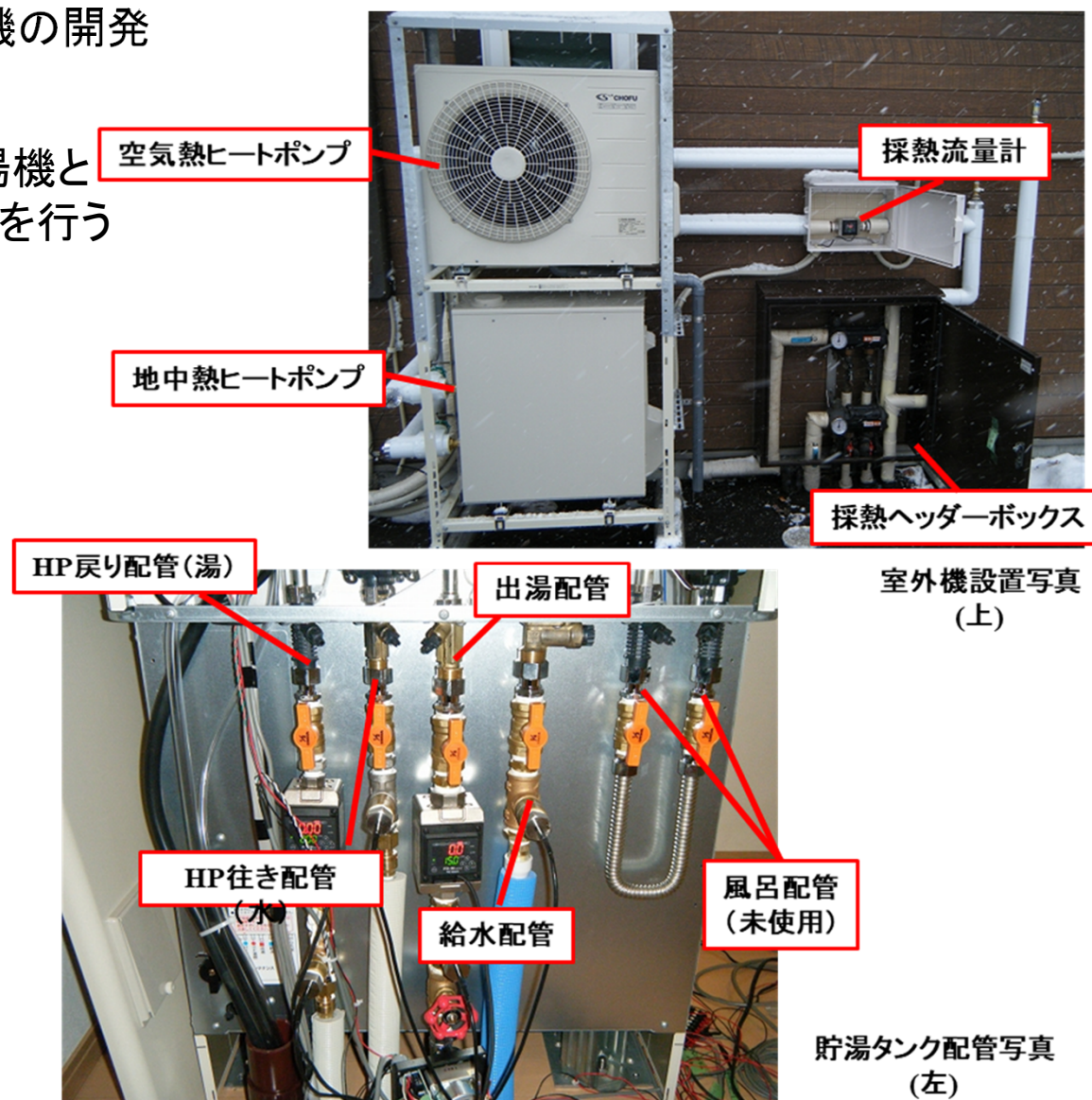
### CO<sub>2</sub>冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機の開発

#### 地中熱ヒートポンプ給湯機の実証試験

花巻市の試験住宅に地中熱ヒートポンプ給湯機と  
空気熱ヒートポンプ給湯機を設置し実証試験を行う

#### 計測項目

地中熱		空気熱	
採熱行き温度	℃	外気温度	℃
採熱戻り温度	℃	外気湿度	%RH
採熱流量	L/min	-	
HP出口温度(湯)	℃	HP出口温度(湯)	℃
HP入口温度(水)	℃	HP入口温度(水)	℃
沸き上げ流量	L/min	沸き上げ流量	L/min
タンク入口(市水)	℃	タンク入口(市水)	℃
タンク出口(給湯)	℃	タンク出口(給湯)	℃
給湯流量	L/min	給湯流量	L/min
HP消費電力	kW	HP消費電力	kW



# 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

### GSHPシステムの高効率化を実現する二次側運用技術の開発

実証結果をもとに、快適性と省エネ性を両立する天井放射空調の採用と効率の良い運用方法を市場に提案していく。

既存事務所(物件②):パイプ式放射空調システム    新築事務所(物件①):空気式放射空調システム



放射空調(放熱パイプ) 外観



放射空調冷温水配管(流量計)



放射空調外観



放射パネル外観



蓄熱材(放射パネル内部に設置)

## 成果のまとめ

- (1) 新築事務所において基礎杭兼用の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、ボアホール型地中熱交換器と比較して**約61%のコスト削減効果**が得られたことを示した。
- (2) 既存事務所にH型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。また、それぞれの地中熱交換器の採放熱量評価を行い、**H型PC杭利用地中熱交換器は熱媒温度変化約 $-15^{\circ}\text{C}$ に対して、採熱量は約 $30\sim 40\text{ W/m}$** という結果を得た。
- (3) 新築事務所・既存事務所それぞれに天井放射空調システムを採用し、高効率な運用方法を提案するための運転を開始した。
- (4)  $\text{CO}_2$ 冷媒を用いたヒートポンプ給湯機および高効率暖房機を試作した。 $\text{CO}_2$ 冷媒を用いたヒートポンプ給湯機については能力試験により、試作した実証機の給湯COPがプロトタイプよりも高い値となることを確認し、**寒冷地冬季高温条件でも3.15の値が得られた。**