

2023年度成果報告会  
プログラムNo.4

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/  
給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒート  
ポンプシステムの研究開発

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

発表者名 (株)ワイビーエム 大久保 博晃

団体名 (株)ワイビーエム、昭和鉄工(株)、(国研)産業技術総合研究所、(国)佐賀大学、ライフエンジニアリング(株)

問い合わせ先 株式会社ワイビーエム E-mail: hookubo@ybm.jp TEL: 0955-64-3881

## 1. 目的

2,000m<sup>2</sup>の給湯需要がある建築物への導入にて、従来の地中熱利用ヒートポンプシステムと比べて、2023年度に20%以上のイニシャルコスト削減、2030年度に30%以上の削減を目標として、4個の課題(地中熱用のエコキュートが無い、地中熱交換器設置コストが高い、調査にお金がかかる、一次側の配管工事にお金がかかる)を解決するために6個の研究課題を実施している。

## 2. 期間

2019年7月～2024年3月

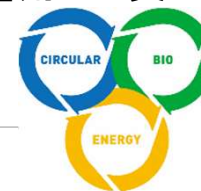
## 3. 目標(最終)

地中熱利用システムのイニシャルコストを2023年に24%、2030年に31%削減すること

## 4. 成果・進捗概要

上記の目標を達成するために、以下の6項目の研究開発を実施している。

- (1)掘削機の開発・・・掘削機、ポンプ、水タンク等の情報をモニタリングし、リモコン操作できる機械を開発した。
- (2)掘削機周辺機器の開発・・・二重管のロッドチェンジャー、地中熱交換器の挿入機を開発した。
- (3)地中熱CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機の開発・・・プロトタイプ試作機を製作し、性能試験を行った。
- (4)地中熱交換器の開発・・・同軸型地中熱交換器を開発した。
- (5)新規TRTの開発・・・地質調査後の穴を用いたTRTについて、複数の場所で試験を行った。
- (6)最適な地中熱システムの開発・・・地中熱交換井離隔距離の検討を行った。地中熱CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機を用いた実証試験を行っている。



# 研究開発背景

地中熱利用ヒートポンプシステムは、ランニングコストが削減できることから導入が進んでいるが、建築物への空調としての導入が多い。



建築物には、事務所・ビルだけでなく、病院、ホテル・旅館などの様々な種類があり、ZEB、ZEHを目指す場合、空調での省エネだけでなく、給湯の省エネも必要となる。



病院、ホテル・旅館と同じような建築物で、給湯の使用量と冷暖房の使用量が多いと想定される建物に老人福祉施設がある。

老人福祉施設全てではないが、例えば養老施設では、昼間の給湯、24時間冷暖房が必要な施設が多いと推定され、エネルギーコストが高い施設と想定される。



高齢者の数が急激に減るとは考えられないことから、2050年までに温室効果ガス排出を全体としてゼロとするためには、養老施設への地中熱導入が必要ではないかと考えられる。

# 研究開発項目・目標・実施内容

研究開発項目	目標	実施内容
(1)掘削機の開発	一人で地中熱交換井を施工する	掘削機、ポンプをリモコン操作。掘削、ポンプ、水タンク等の情報をモニタリング
(2)掘削機周辺機器の開発	一人で地中熱交換井を施工する	二重管ロッドのロッドチェンジャーの開発。地中熱交換器の挿入機の開発
(3)地中熱CO <sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機の開発	空気熱源CO <sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機に比べて15%の削減	地中熱エコキュートの開発
(4)地中熱交換器の開発	地中熱交換器の費用の削減	同軸型地中熱交換器の開発
(5)新規TRTの開発	現状のTRTの解析結果と同様に設計に使えるようにする	2種類のTRTを開発し、実証試験を重ねてデータを提示
(6)最適な地中熱システムの開発	2023年度にイニシャルコストを20%削減したシステムを開発する	地中熱交換井同士の離隔距離の研究開発、最適な地中熱システムの導入検討

# 研究開発目標および研究開発内容イメージ

2,000m<sup>2</sup>の給湯需要がある建築物への導入にて、従来の地中熱利用ヒートポンプシステムと比べて、2023年度に20%以上のイニシャルコスト削減、2030年度に30%以上の削減を目標とする。

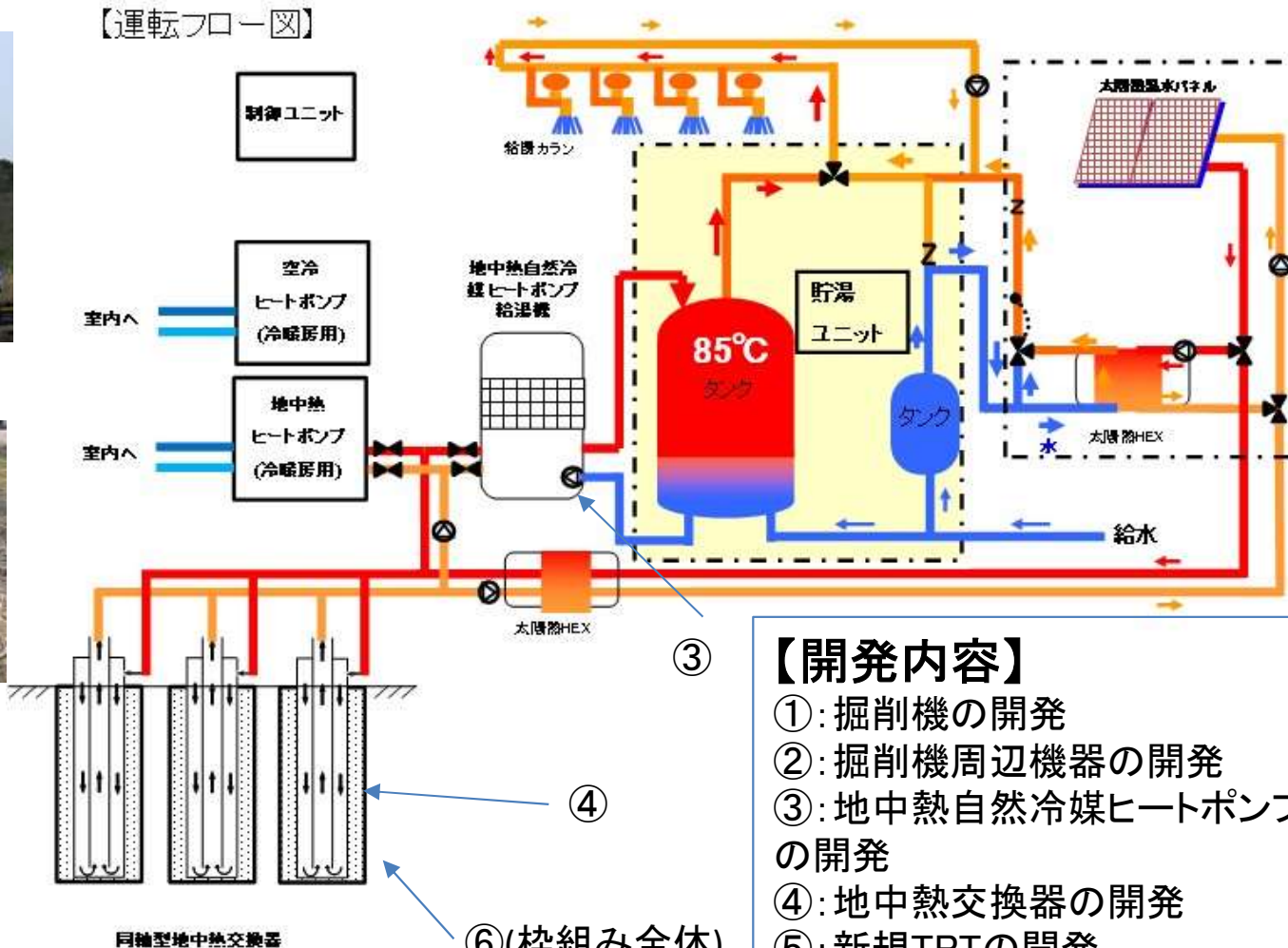


①、②



⑤

【運転フロー図】



## 【開発内容】

- ①: 掘削機の開発
- ②: 掘削機周辺機器の開発
- ③: 地中熱自然冷媒ヒートポンプ給湯機の開発
- ④: 地中熱交換器の開発
- ⑤: 新規TRTの開発
- ⑥: 最適な地中熱システムの開発

# 最適な地中熱システムの検討手順について

## 対応している開発項目について

### 最適な地中熱システムの検討手順

- ① 2,000m<sup>2</sup>の佐賀の福祉施設の空調負荷、給湯負荷を推定する。
- ② 空調負荷と給湯負荷を合わせた熱負荷を作成し、地下への熱負荷を推定する。
- ③ 地下への熱負荷から、地中熱交換器本数を推定する。
- ④ 地中熱交換器本数から掘削コストを推定する。
- ⑤ 配管コスト等を推定する。

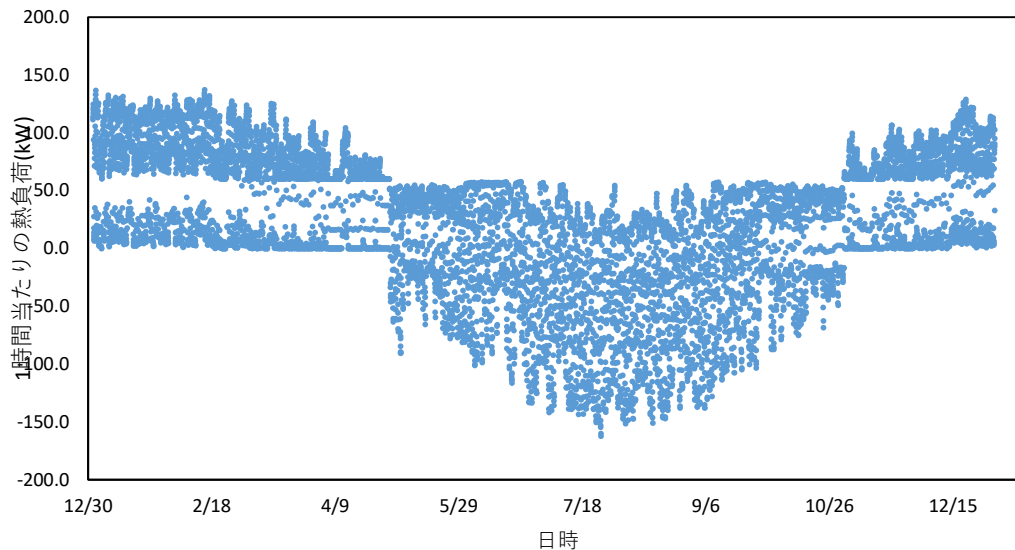
(6)-B最適な地中熱システムの導入検討  
・福祉施設の負荷検討

(3)地中熱エコキュートの開発  
・機械の仕様  
(6)-B最適な地中熱システムの導入検討  
・実証試験(同じ地中熱交換井群で空調、給湯が可能か実証中)  
(5)新規TRTの開発)

(4)地中熱交換器の開発  
・シミュレーションモデルの作成

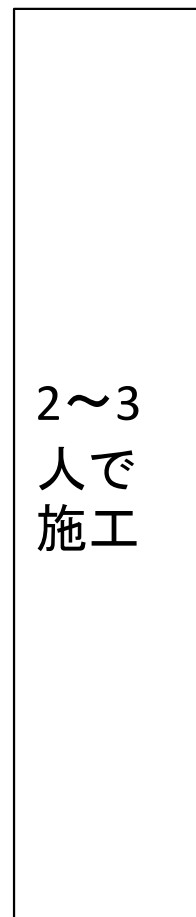
(1)掘削機の開発、(2)掘削機周辺機器の開発

(6)-A地中熱交換井離隔距離の検討



# (1)掘削機および(2)掘削機周辺機器の開発 地中熱交換器設置の流れ

従来



掘削機械、資材の搬入



二重管にて掘削



インナーロッド抜管



地中熱交換器挿入

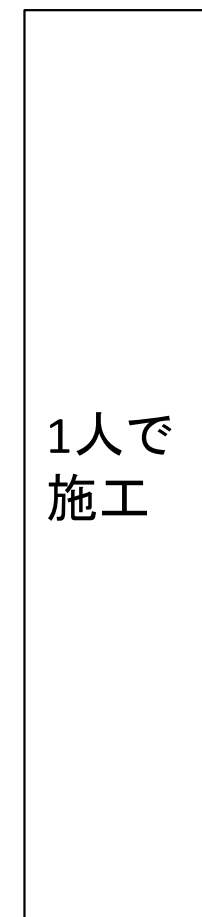


珪砂投入  
アウターロッド抜管



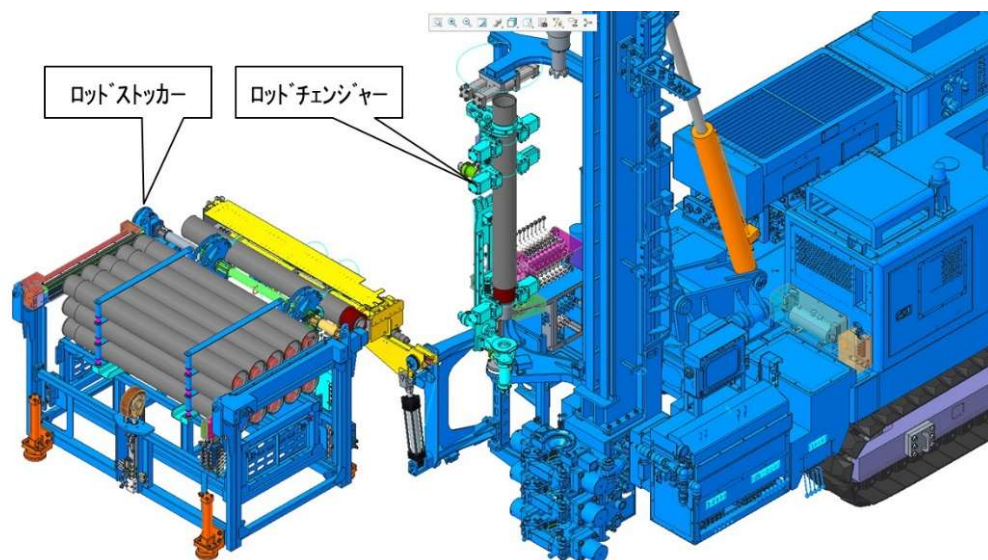
掘削機械、資材の搬出

開発機械





# ロッドチェンジャーについて



二重管掘削方式に対応するためにアウターロッド、インナーロッドそれぞれを接続できる仕組みを持つロッドチェンジャー、ロッドストッカーを開発した。

ロッドは、ロッドストッカーにセットしそのロッドをロッドチェンジャーに移動して、掘削機のロッドと接続する。

掘削時の二重管の継ぎ足し、インナーロッドの引抜き、アウターロッドの引抜きを1人で行えた。



# アウターケーシング抜管について



坑井から抜管

ねじ切り

ロッドチェ  
ンジャー  
への設置

ロッドストッカーへの移動

上の写真は、アウターロッドの引抜の様子であり、左から坑井から抜管、ねじ切り、ロッドチェンジャーへの設置、ロッドストッカーへの移動の様子である。

他の二重管の継ぎ足し、インナーロッドの引抜の工程についても同様にロッドチェンジャー、ロッドストッカーで抜管できるようになった。

これらのシーケンスは、リモコンに付いているボタンを押すことにより実施可能であり、リモコンを用いて一工程毎に実施することも可能である。



### (3) 地中熱CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機の開発 モニター用試作機の製作

- ・本プロト試作機で環境条件別性能試験を完了
- ・品質評価のための基本試験を実施中



# 能力試験結果

## JRA試験条件のヒートポンプの性能試験結果

出湯温度 [°C]	80				65			
熱源水温度 [°C]	15				15			
条件	着霜期	冬期	中間期	夏期	着霜期	冬期	中間期	夏期
給水温度 [°C]	5	9	17	24	5	9	17	24
加熱能力AVG(G) [kW]	31.4	30.6	29.3	27.2	31.2	30.8	29.1	26.3
冷却能力AVG(G) [kW]	22.7	22.1	20.6	18.6	23.5	23.2	21.3	18.5
消費電力AVG(G) [kW]	8.93	8.73	8.70	8.59	7.62	7.55	7.56	7.46
加熱COP AVG(G)	3.5	3.5	3.4	3.2	4.1	4.1	3.8	3.5
日数(一般地)	26	92	113	134	26	92	113	134
年間加熱効率(一般地)	3.5				3.8			
日数(寒冷地)	61	112	59	133	61	112	59	133
年間加熱効率(寒冷地)	3.3				3.9			
EV過熱度AVG [°C]	8.1	4.7	0.9	-0.3	7.9	5.1	0.5	-0.7
高圧AVG [MPa]	11.3	11.1	11.1	11.1	9.7	9.7	9.8	9.7
低圧AVG [MPa]	3.9	4.0	4.2	4.3	3.8	3.9	4.1	4.3
高低圧差AVG [MPa]	7.4	7.1	6.9	6.7	5.9	5.8	5.6	5.5
GC出口温度AVG [°C]	11.1	17.0	26.2	33.8	8.7	14.1	23.7	32.8
蒸発温度AVG [°C]	5.5	6.7	8.9	10.1	4.7	6.3	8.4	10.3

※採熱用循環ポンプの消費電力は除く。

# 能力試験結果

## 地中熱側給水温度別のヒートポンプの性能試験結果

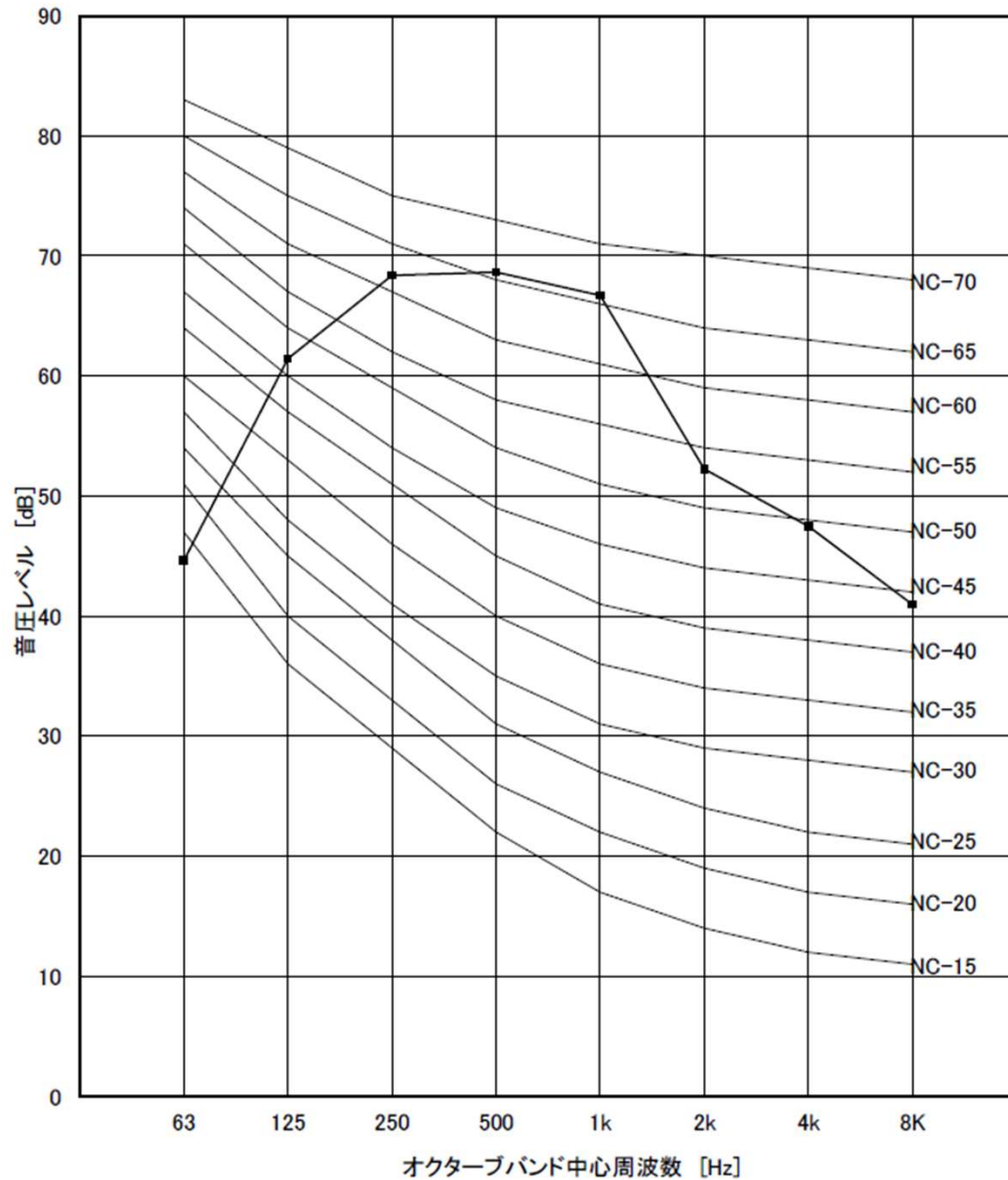
給水条件		項目		地中熱給水温度[°C]						地中熱給水温度[°C]							
				5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30		
夏期	24	加熱能力	kW	65[°C]	23.4	24.2	24.9	25.2	25.6	27.9	80[°C]	25	24.1	24.1	24.3	24.1	27
		加熱COP	-			3.2	3.3	3.3	3.4	3.7			2.7	2.8	2.8	2.8	3.1
中間期	17	加熱能力	kW			26.2	28.3	27.1	27.2	27.1			25.6	27	28.7	28.5	28.2
		加熱COP	-			3.5	3.7	3.5	3.6	3.5			2.9	3.1	3.3	3.3	3.1
冬期	9	加熱能力	kW			27.1	29.9	31.4	33.8	30.9			31.6				
		加熱COP	-			3.2	3.7	3.9	4.2	4.3			2.9	3.2	3.4	3.5	3.5
着霜期	5	加熱能力	kW	26.3	28.8	30.8	32.3	34.4	26	29	29.9	31.4	32.9				
		加熱COP	-	3.8	3.8	4	4.2	4.3	3	3.4	3.4	3.5	3.6				

※採熱用循環ポンプの消費電力は除く。



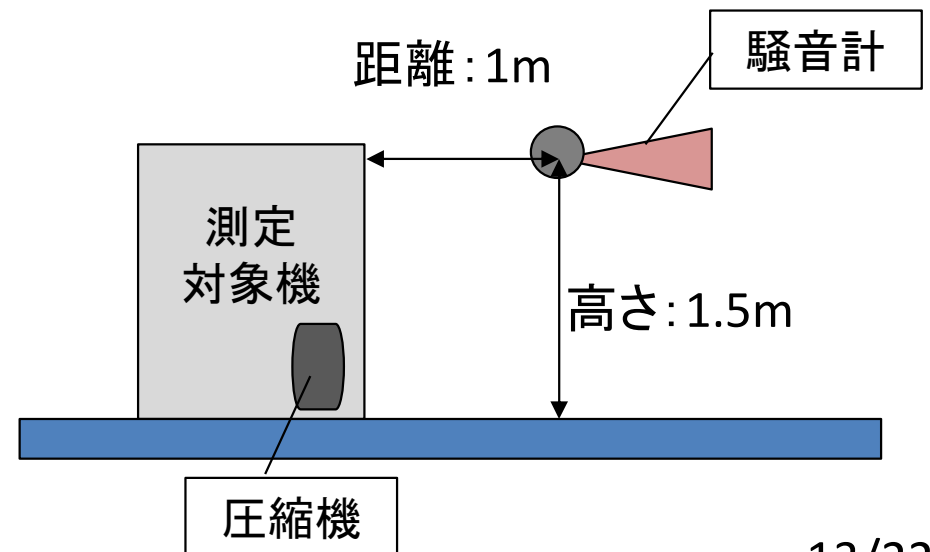
# 運転騒音試験結果

## ヒートポンプの騒音測定結果



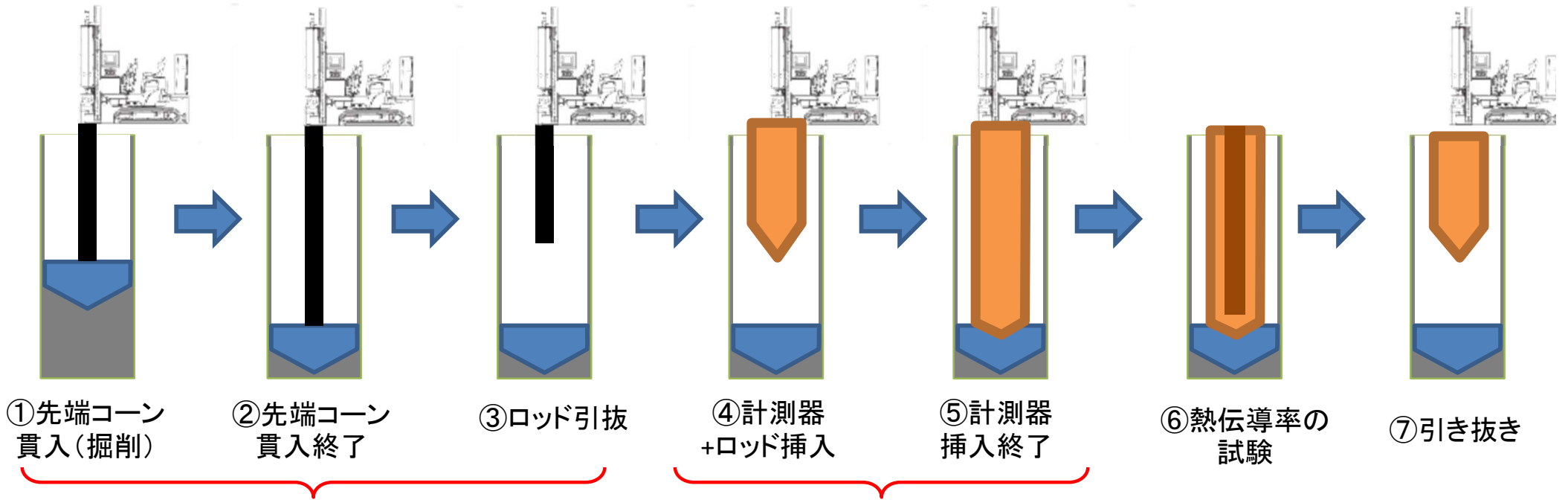
測定条件: 中間期標準貯湯温度条件  
出湯温度: 65°C  
地中熱温度: 15°C  
圧縮機回転数: 3600rpm(定格)

**A特性: 73dB**



# (5)地質調査後のTRT(C-TRT)試験手順

動的コーン貫入試験機を用いて、調査した後の穴(40mm程度)を用いてTRTを実施する方法

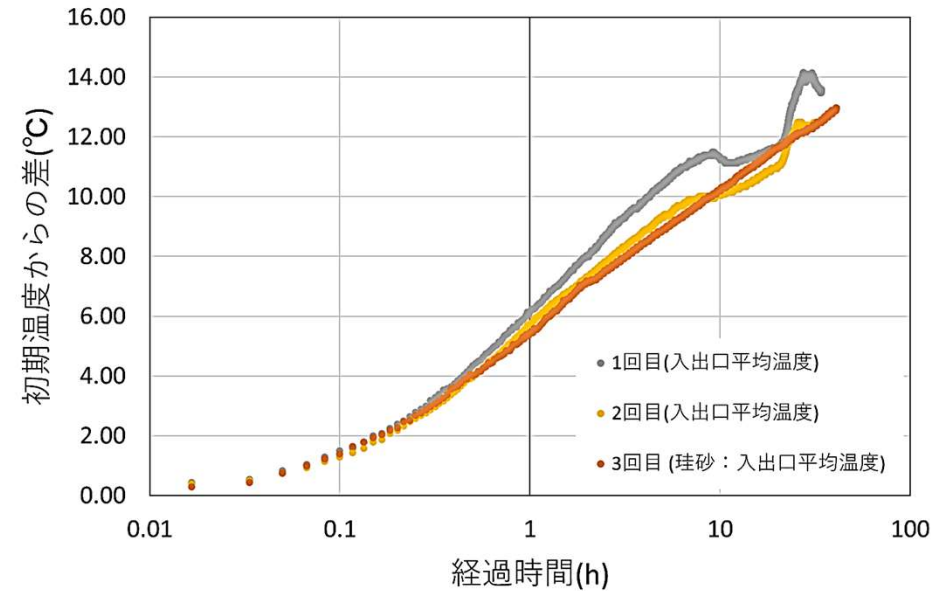
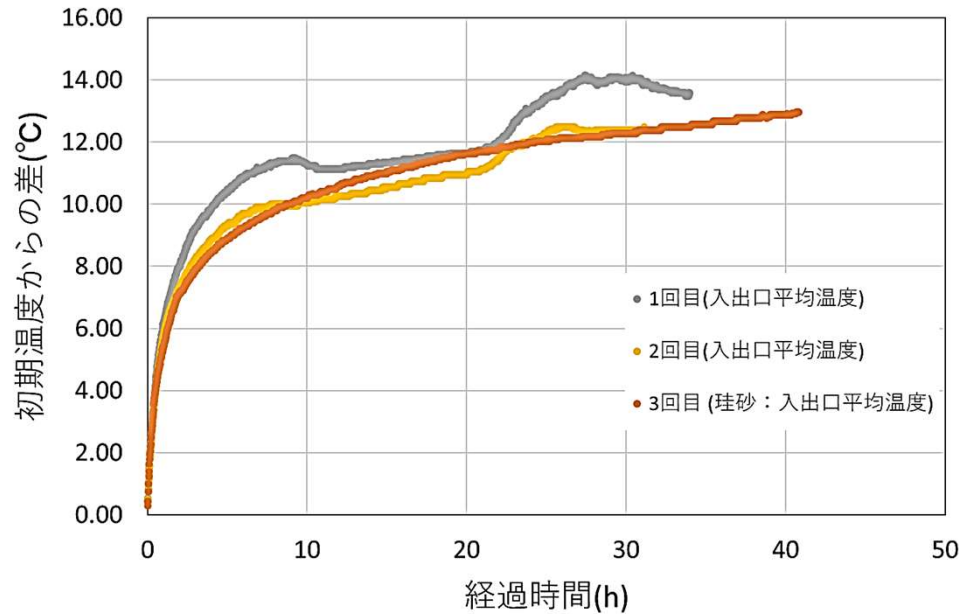


A: 地中熱交換器挿入  
B 電気ヒータ付きケーブル設置



# C-TRTの試験結果

ワイビーエム敷地内にて、同じ穴で複数回のTRT試験を実施し、ヒストリーマッチング法等で解析を行った。

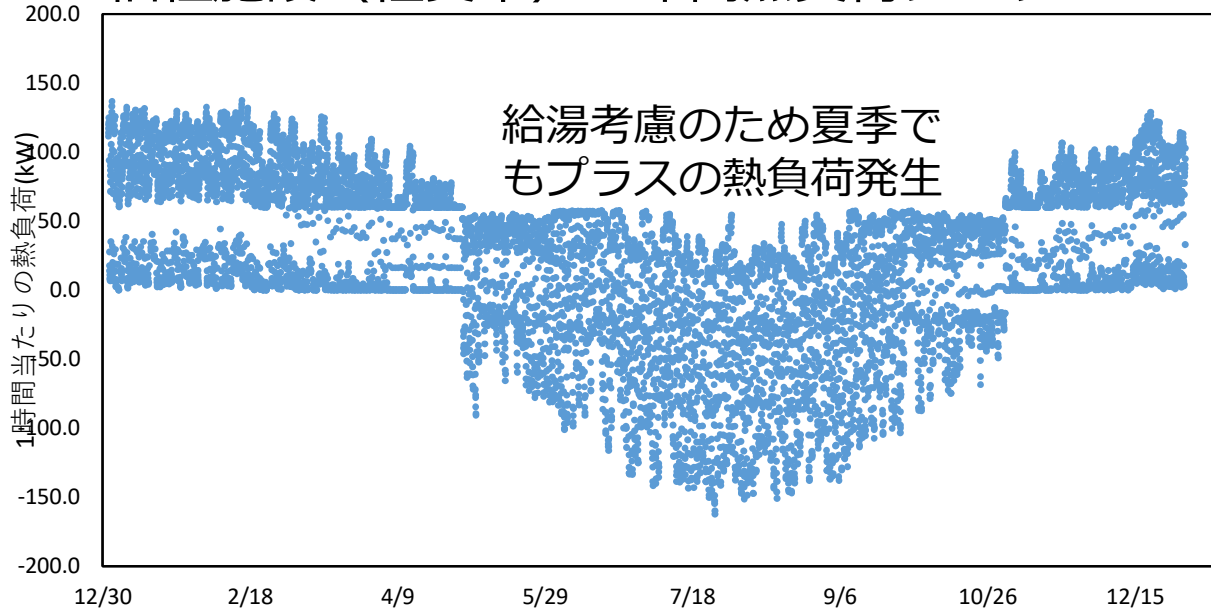


	深度 (m)	珪砂	コーン径 (掘削 径)(mm)	地中熱 交換器 設置後	ヒストリーマッ チング法の結 果(W/(m・K))	循環 時法 (参考)	近くの試験解析 結果
1回目	14.6	無し	45	1か月後	4.01	1.98	1.28~1.78 (近くのUチューブ の結果より)
2回目	14.6	無し	45	2か月後	2.71	1.61	
3回目	14.6	有り	45	5か月後	2.80	1.57	

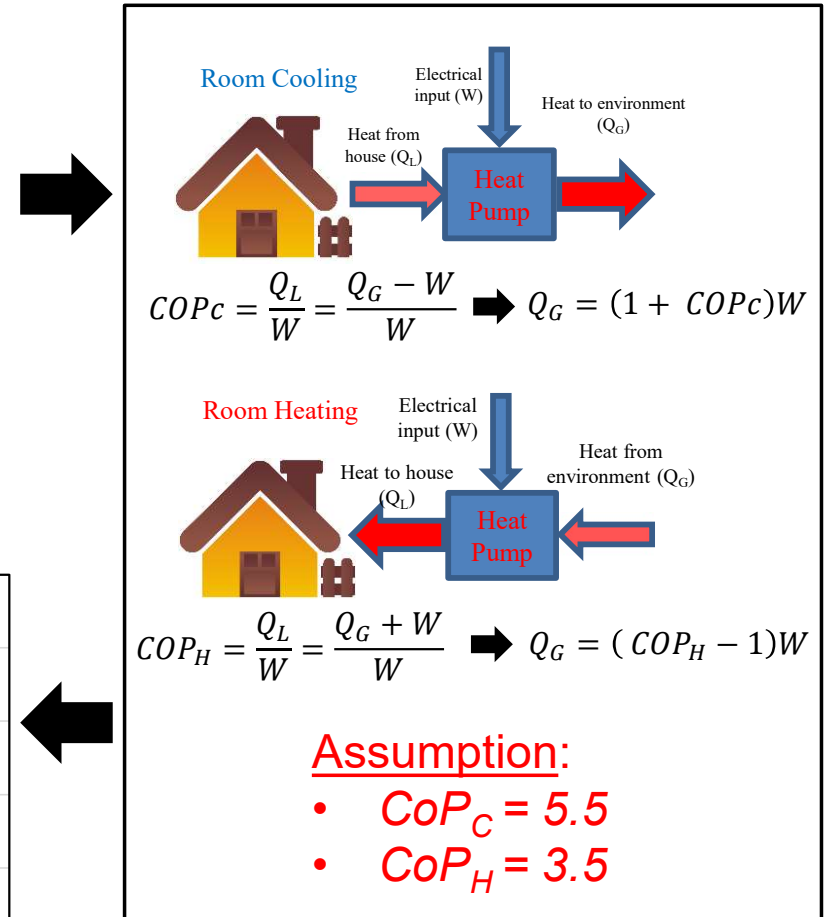
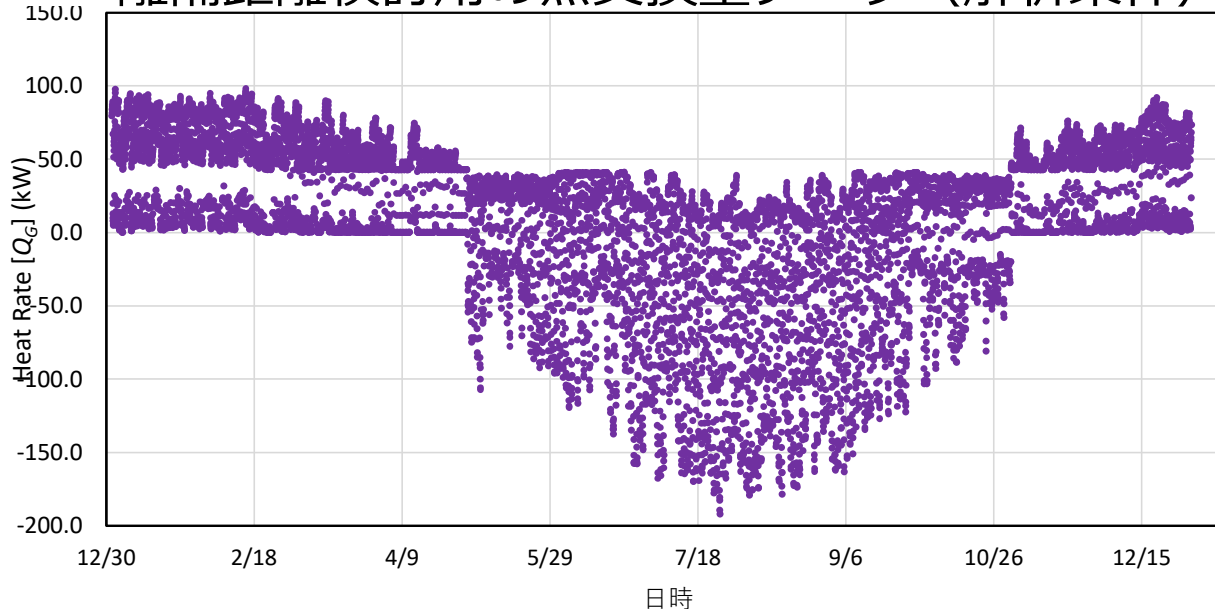
解析データを検証中。

# (6)-A地中熱交換井離隔距離の検討 熱負荷条件および地下の条件

福祉施設（佐賀市）の年間熱負荷データ



離隔距離検討用の熱交換量データ（解析条件）



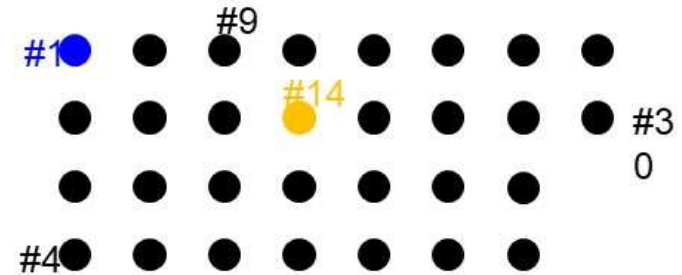
- 100m × 30本のダブルUチューブ方式
- 100m 全層砂質土と仮定



# (6)-A地中熱交換井離隔距離の検討

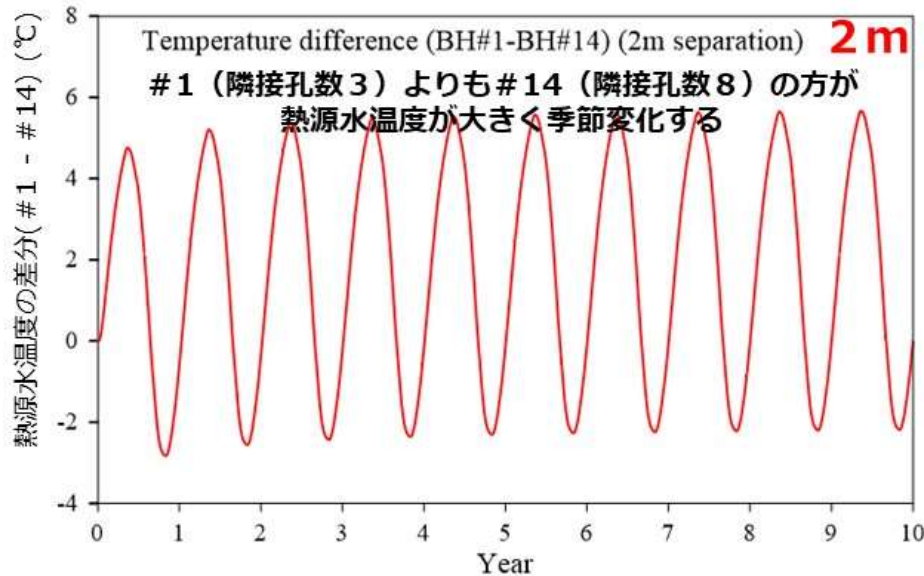
## ●熱干渉の影響

- ・ #1 : 隣接井戸数 3
- ・ #14 : 隣接井戸数 8

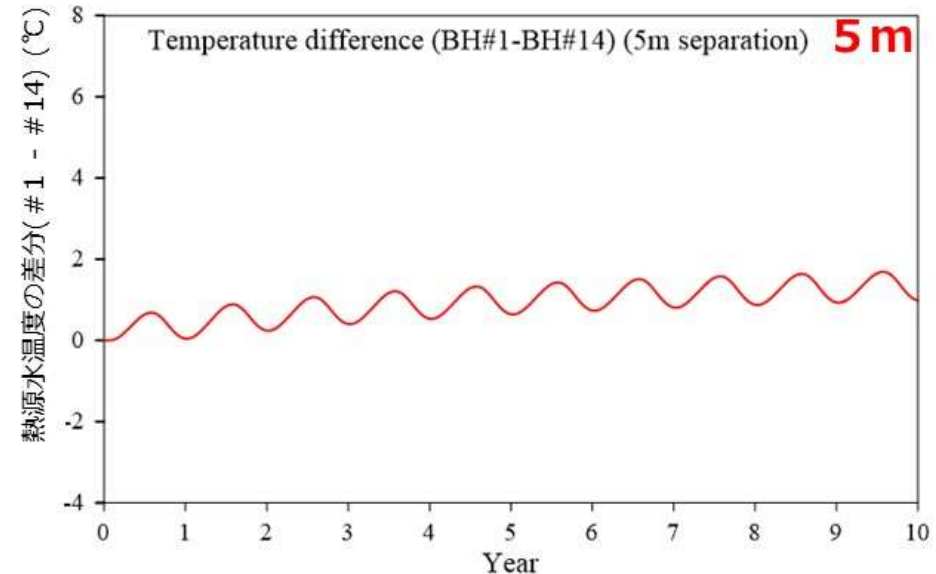


## ●#1と#14で熱源水温度に差が生じる要因は隣接井戸数の違い

⇒ 2井戸の熱源水温度差を、便宜的に「熱干渉の程度を表す指標」として利用



離隔距離 2 m では熱干渉が生じる



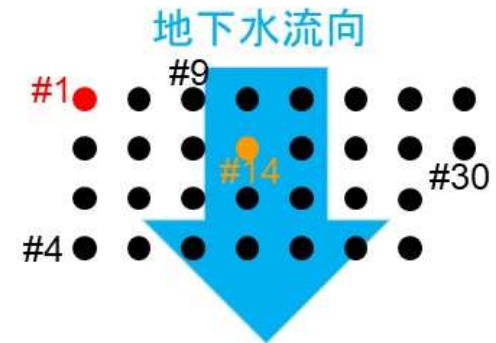
離隔距離 5 m でも熱干渉は生じる？  
ただし影響わずか？

#1と#14の差分の年間変化量 & 10年間変化量は1°C程度

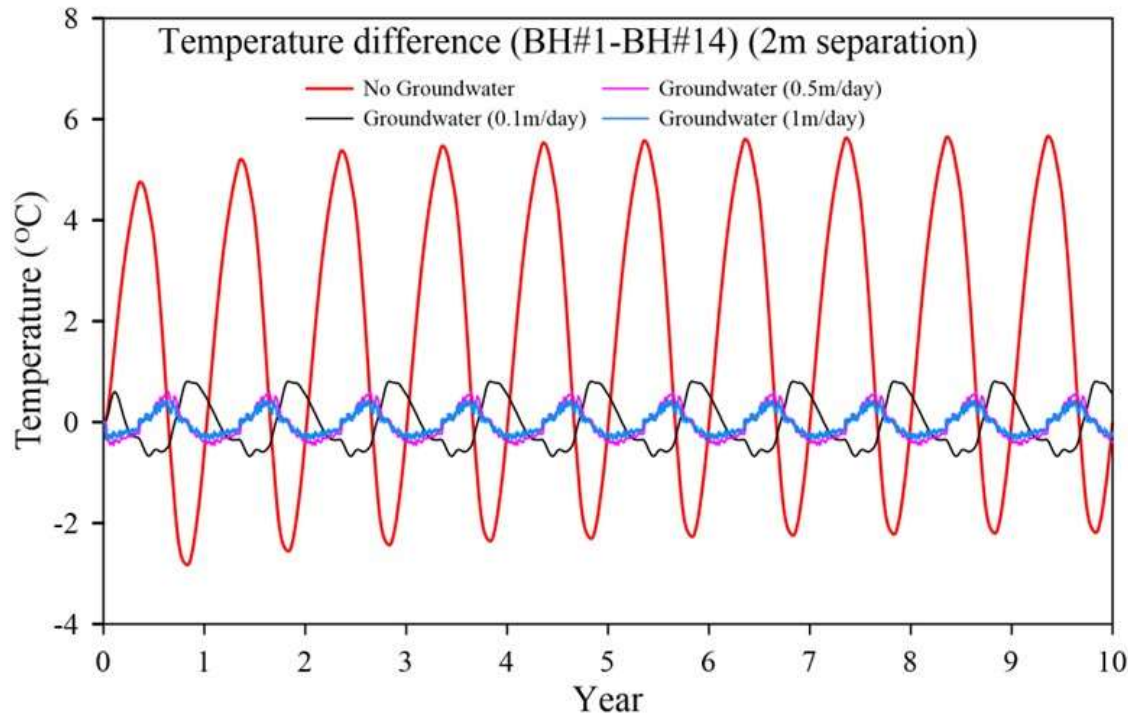
# (6)-A地中熱交換井離隔距離の検討

## ●熱干渉の影響

- ・ #1 : 隣接井戸数 3
- ・ #14 : 隣接井戸数 8



- 地下水流速：ゼロ、0.1m/day、0.5m/day、1.0m/day
- 地下水流向：右図のとおり ※複数パターンでケーススタディ実施中
- 熱交換井離隔距離：2 m ※今後、流速・流向・離隔距離の最適組合せを検討

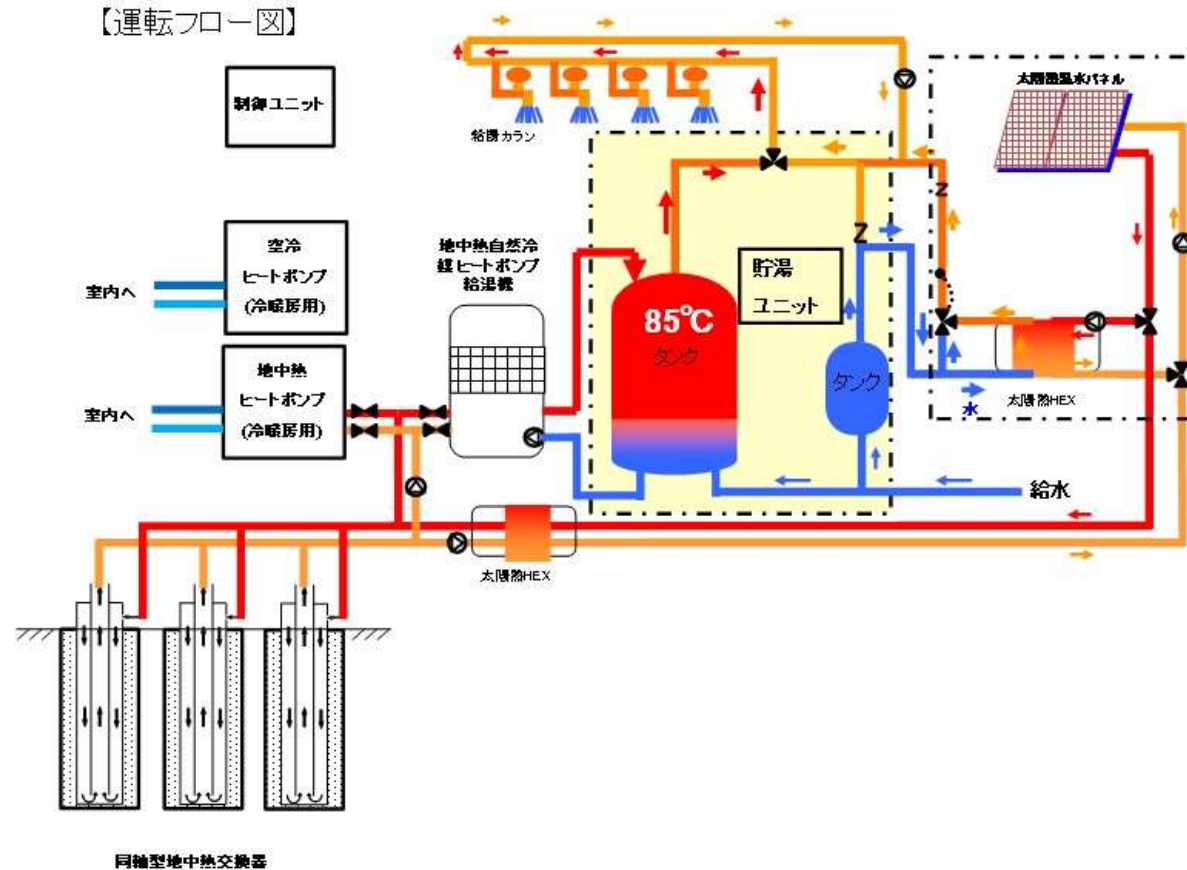


0.5m/dayと1.0m/dayは、熱源水温度差分のピークの発現タイミングが同じ（両者の計算値にほとんど差がないため）

0.1m/dayの熱源水温度差分のピークの発現タイミングがずれたのは移流による熱プリュームの移動による  
⇒ピーク値は小さいため熱干渉少

今回想定した地下水流速条件下では離隔距離5m・地下水流れなしのケースよりも熱干渉の影響は小さい？

## (6)-B最適な地中熱システムの導入検討 開発するシステムの特徴

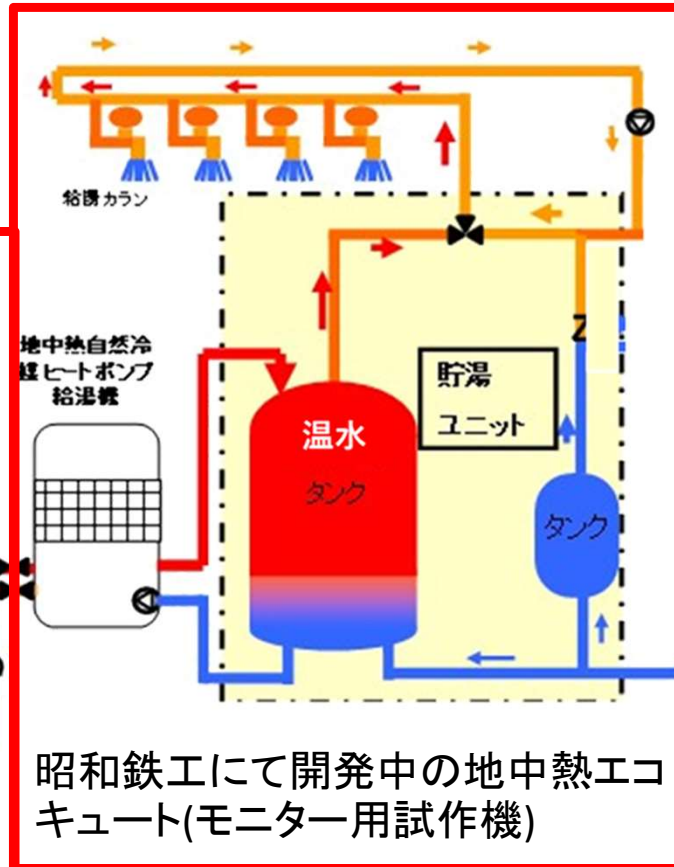
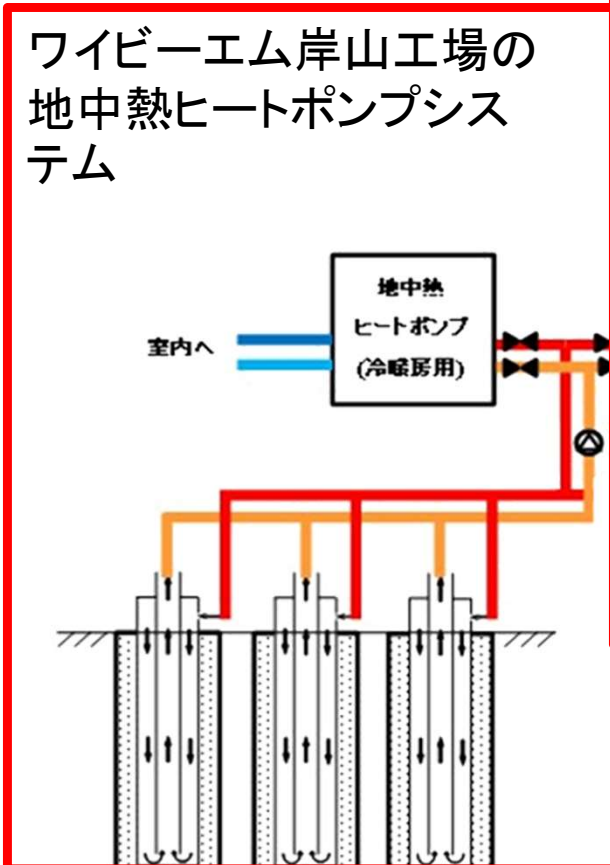


- ・地中熱交換井を長期的に安定して使うためには、地下の放熱量の年間バランスを取る必要がある。そのために、給湯負荷が足りない場合は太陽熱温水パネル、空気熱源エコキュート、冷暖房についても足りない場合(地下のバランスが悪い場合)は空冷ヒートポンプを加える。
- ・同じ同軸型地中熱交換器で冷暖房と給湯の地中熱ヒートポンプに使う。



# 実証試験

ワイビーエム岸山工場の  
地中熱ヒートポンプシス  
テム



昭和鉄工にて開発中の地中熱エコ  
キュート(モニター用試作機)

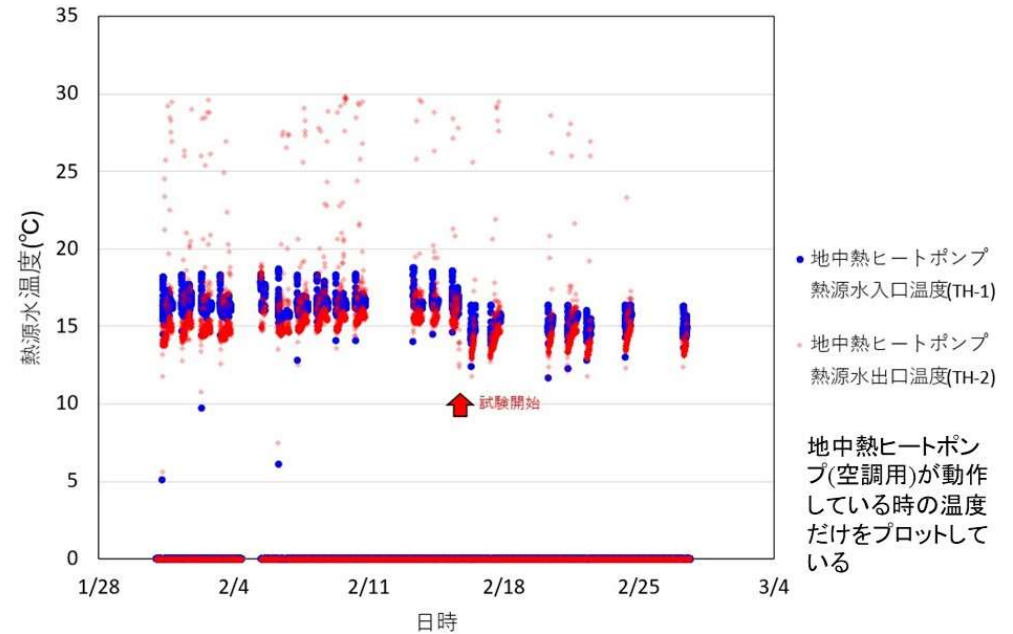
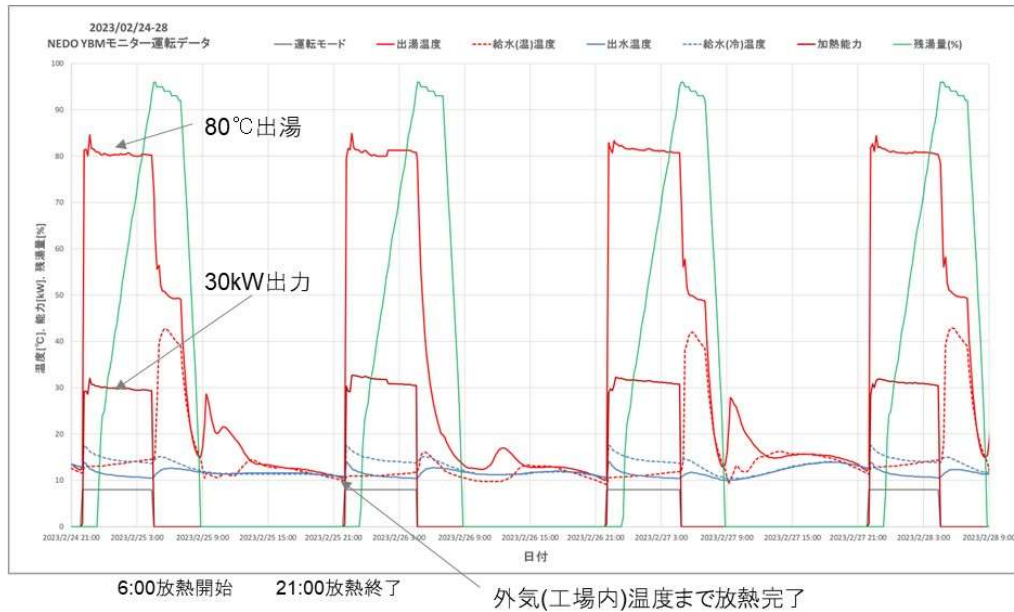
同じ地中熱交換器で、冷暖房、給湯が出来るかについて検証するために実証試験を行う。

そのために、既存のワイビーエム岸山工場の地中熱ヒートポンプシステムに地中熱エコキュートを接続した。



# 2022年度冬季試験の実証試験データ

- ・地中熱エコキュートは、22時～6時まで運転。
- ・タンクに溜まった熱水は、昼間に熱利用。(放熱器で強制冷却)
- ・空調は、昼間に動作。



- ・給湯温度80°C、30kW出力(20kW採熱)で1日6~7時間程度運転
- ・実証試験を開始した後は、夜間に給湯用に地下から熱を取り地下の温度が下がると推定されたため、地中熱ヒートポンプの入口・出口温度が下がっている。

# まとめ

2,000m<sup>2</sup>の給湯需要がある建築物への導入にて、従来の地中熱利用ヒートポンプシステムと比べて、2023年度に20%以上のイニシャルコスト削減、2030年度に30%以上の削減を目標として、地中熱利用ヒートポンプシステムを開発中である。今年度が最終年度であり、来年度以降に研究成果を公開していく予定である。

ご清聴ありがとうございました