

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

大久保 博晃 (株)ワイビーエム

(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)

2023/2/2

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

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2019年7月

終了(予定) : 2024年3月

## 2. 最終目標

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

## 3. 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
- (2)掘削機周辺機器の開発
- (3)地中熱CO<sub>2</sub>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

# 研究開発の背景・目的

## ① 地中熱用のエコキュート(ヒートポンプ)が無い

- 高温出湯が難しい→貯湯タンクが大きくなる
- 給湯用のヒートポンプはあるが、HFC冷媒を使っている→COP21などにより温暖化係数の高いHFC冷媒は使えなくなる流れである。

## ② 地中熱交換器設置コストが高い

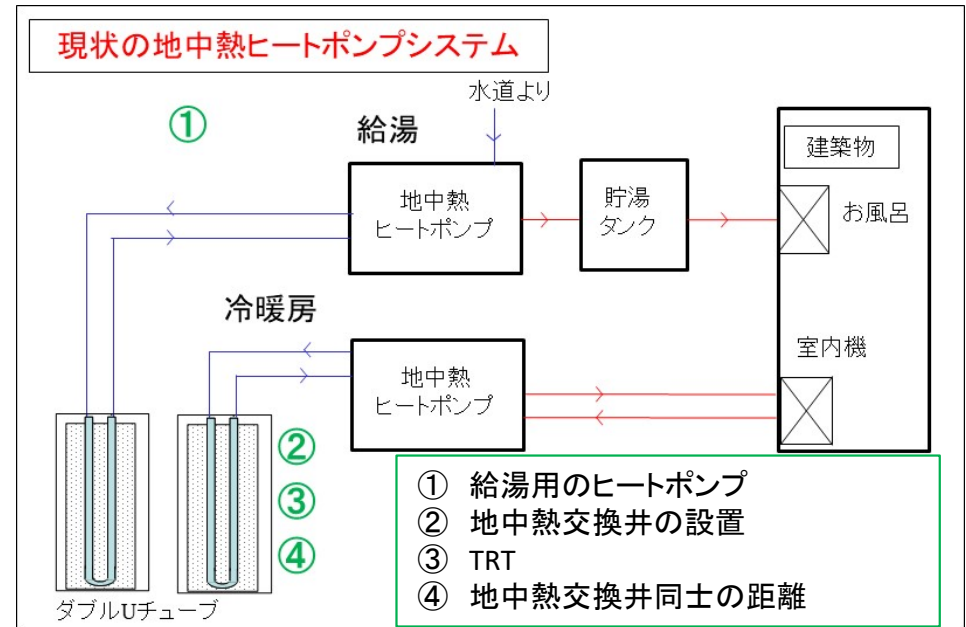
- 掘削に携わる人員が多い→最低でもまだ2人かかる
- 地中熱交換器挿入に携わる人員が多い→最低でもまだ2人かかる
- 地中熱交換器にUチューブが使われる→Uチューブは挿入しづらく、掘削体積に対して地中と接する表面積は小さい。

## ③ 調査にお金がかかる

- 施工までに熱応答試験(TRT)を2回行う→試験のために掘削するコスト+100~200万円/1回の試験のコストがかかる。

## ④ 1次側の配管工事にお金がかかる

- 地中熱交換井同士の距離が4m以上と決まっている→近くてもいい場所でも4m離している。



4個の課題を解決するために6個の研究開発を実施する

# 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

# 研究開発スケジュール

研究開発項目	担当	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
(1)掘削機の開発	ワイビーエム	→				
(2)掘削機周辺機器の開発	ワイビーエム	→				
(3)地中熱CO <sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機の開発	昭和鉄工・佐賀大学	→				
(4)地中熱交換器の開発	ワイビーエム・佐賀大学	→				
(5)新規TRTの開発	ワイビーエム・佐賀大学・産業技術総合研究所	→				
(6)最適な地中熱システムの開発	ワイビーエム・昭和鉄工・佐賀大学・産業技術総合研究所・ライフエンジニアリング	→				

# 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。

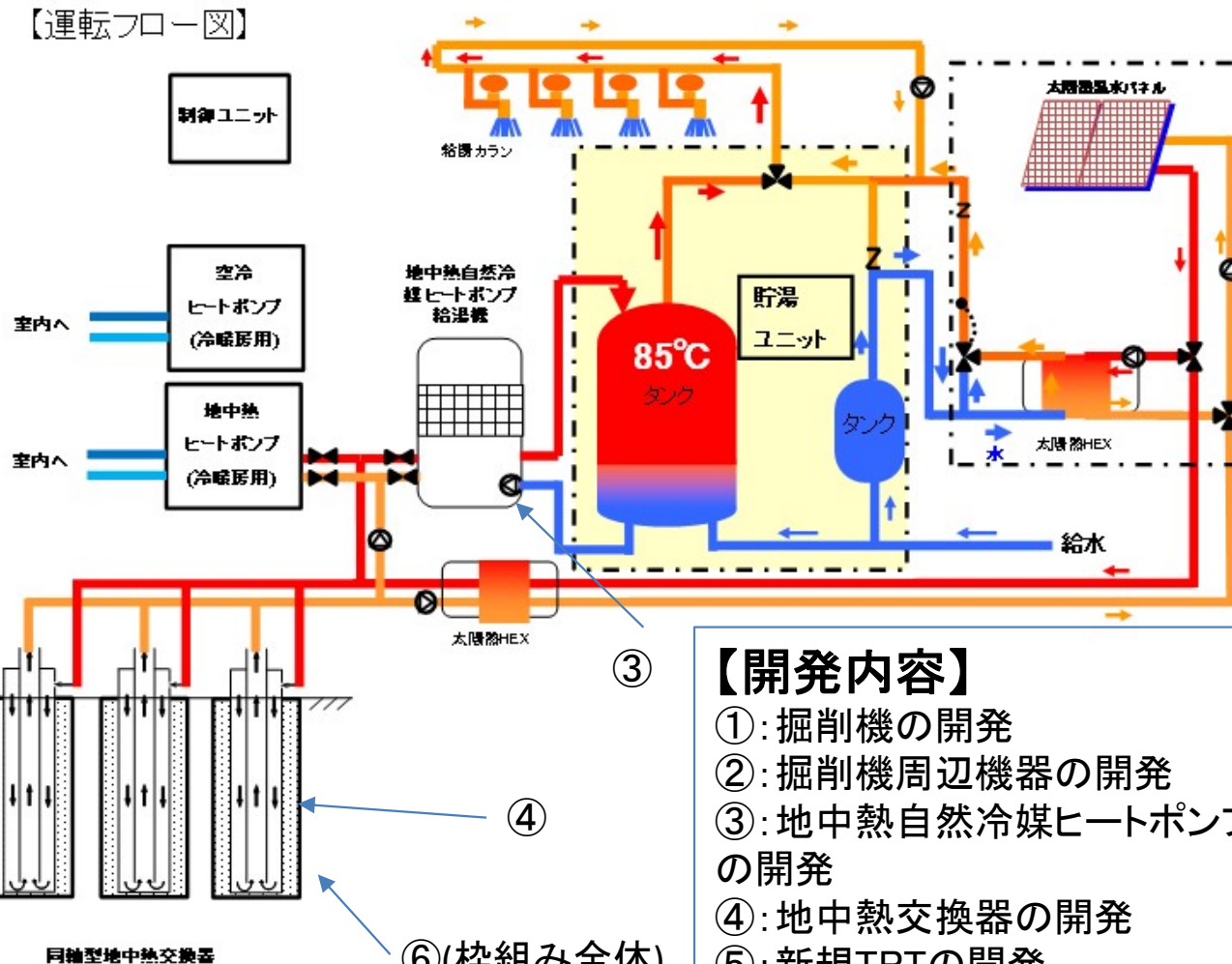


①、②



⑤

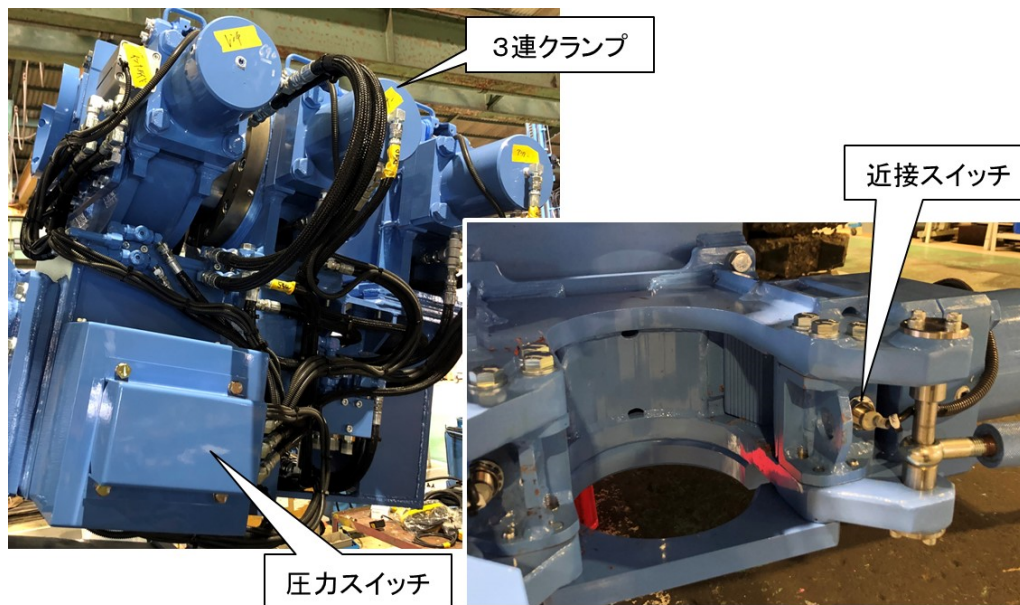
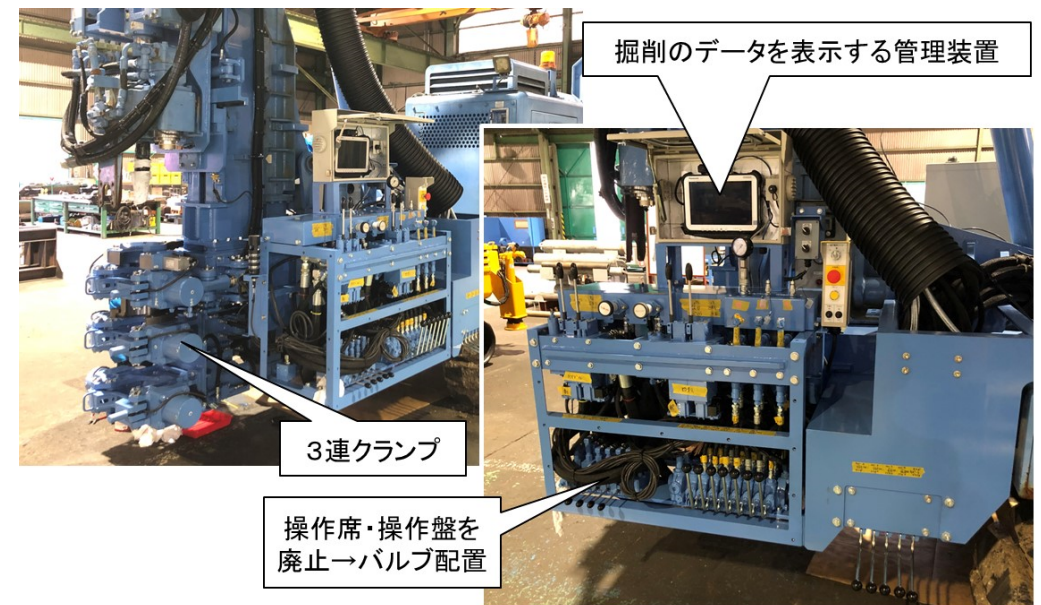
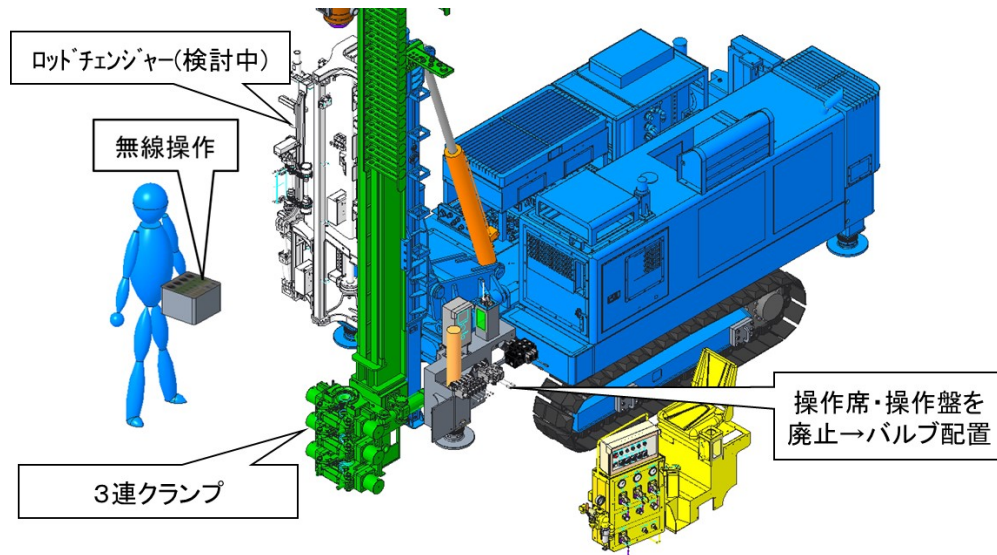
【運転フロー図】



## 【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

# (1)掘削機の開発内容



地中熱交換井を一人で施工するするために、3連クランプの設置、操作盤の撤去、無線操作用のリモコン、各種計測器を取りつけた。

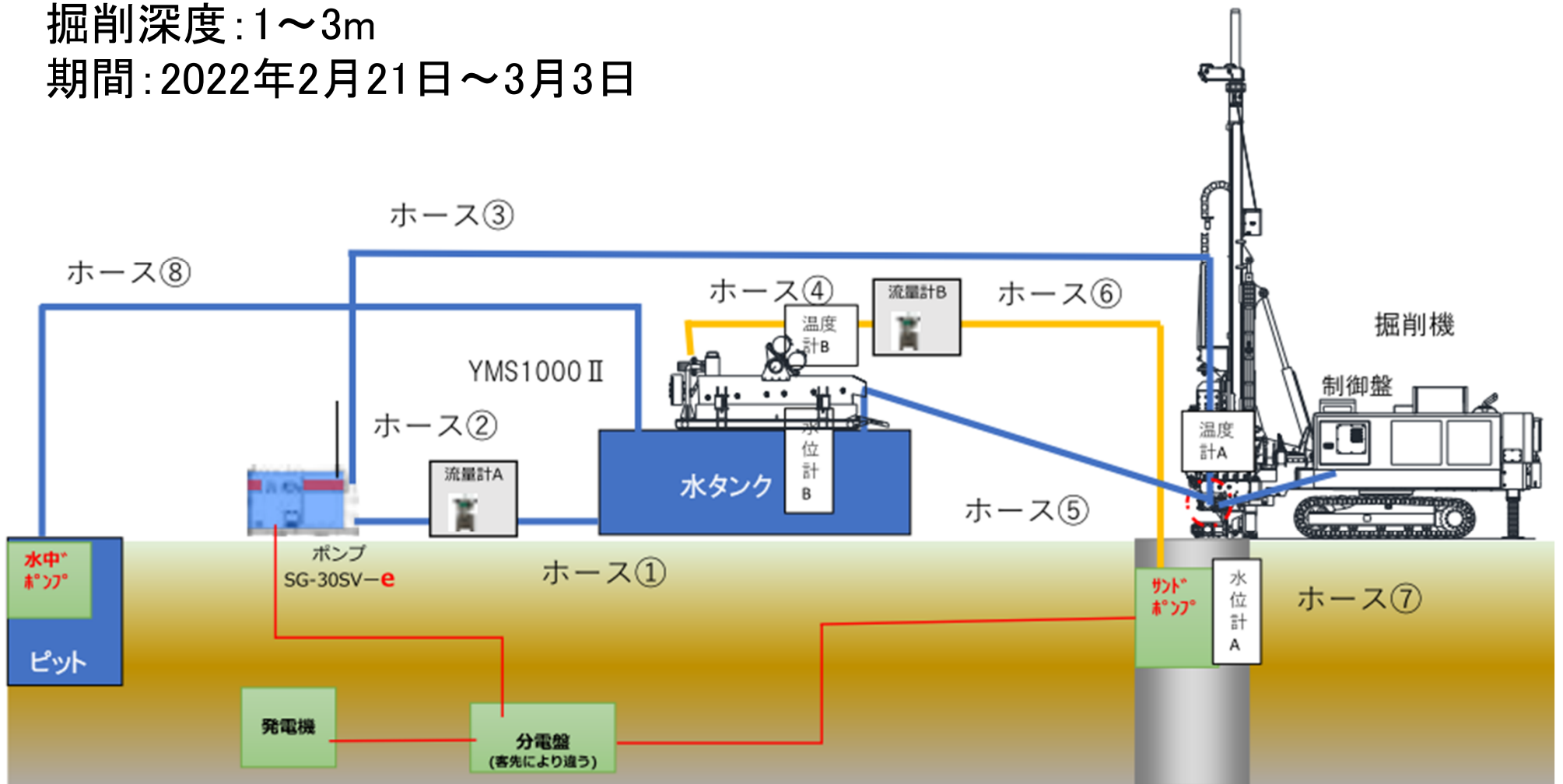
# 掘削機を用いた試験

掘削操作(掘機の走行、姿勢制御、掘削作業、ポンプ操作)を無線リモコンにて行い、掘削作業を一人で実施するための検証、調整を行った。

掘削径 :  $\Phi 165$

掘削深度 : 1~3m

期間 : 2022年2月21日~3月3日



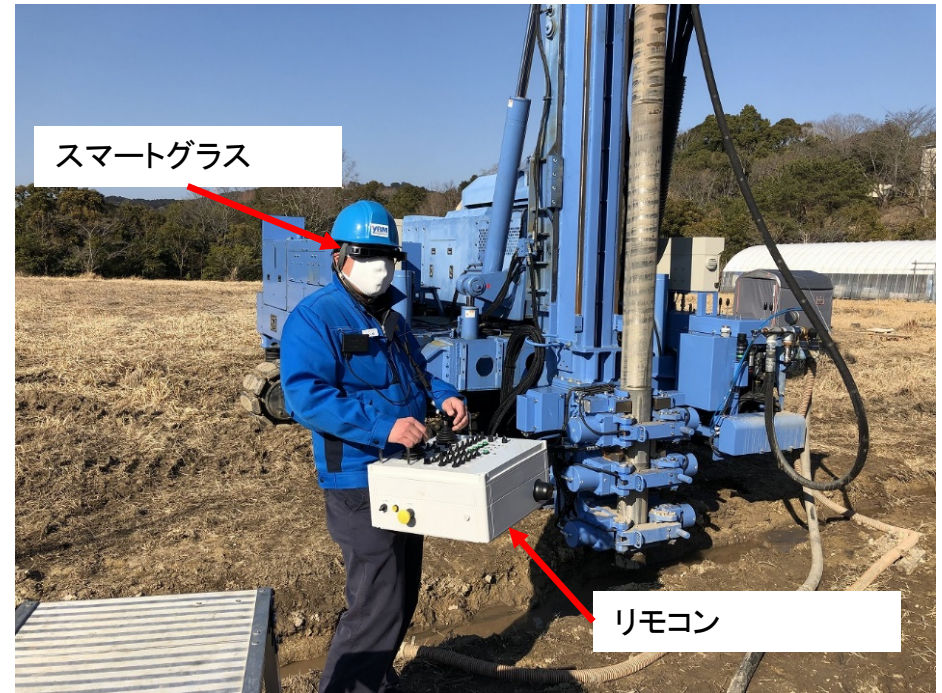


# 掘削機の走行について



- ・掘削ポイントを一人で調整しやすくなった。
- ・無線リモコンでの操作により、前後左右の確認がしやすくなり、安全性が増した。

# 掘削実験



施工管理装置画面例



スマートグラス画面例

開発した掘削機を使って、一人で掘削可能かを実験した。

# 従来機と比較して

従来機



開発機



○無線リモコンを使うことで、坑口、掘削ザク、泥水の確認が容易になった。見やすい場所でロッドの脱着を確認できるようになった。

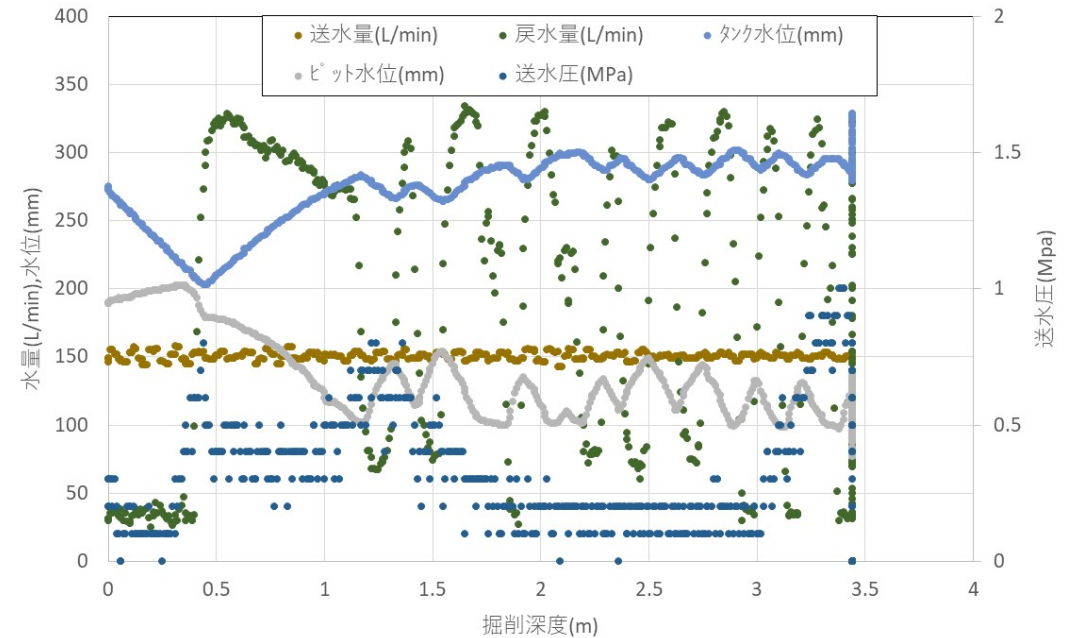
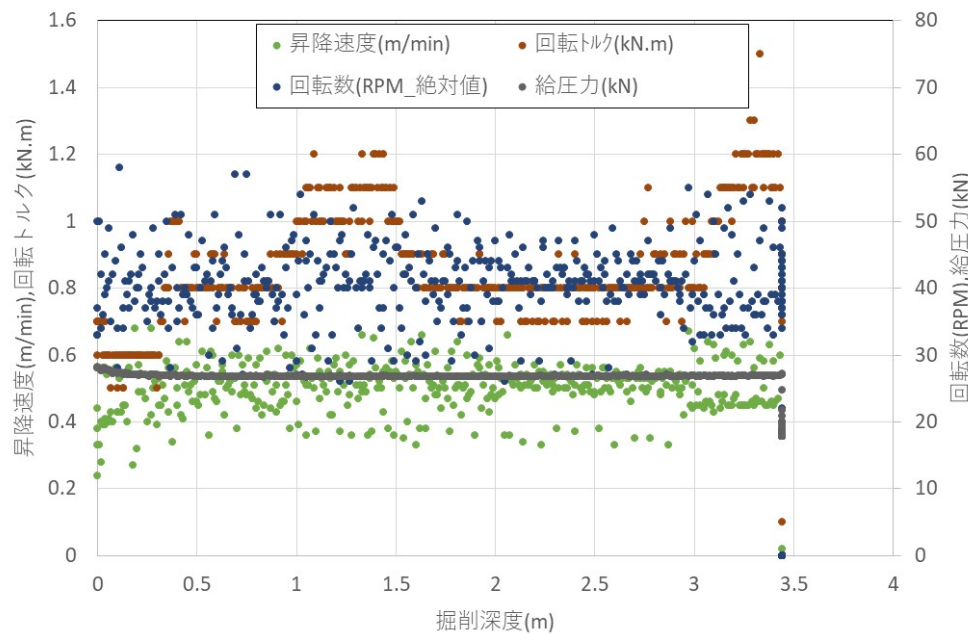
○掘削一定速モード(仮)で異常がない時には、オペレータが掘削操作に専念する必要がなくなった。

○スマートグラスで掘削時の状況が確認できた。また、異常時には赤く表示されるため対応が直ぐ可能となった。

○3連クランプにしたことで、ロッドねじ切りボタンで、誰でもロッドのねじ切りが可能となった。これにより、閉めすぎによるねじの摩耗の減少やロッドの脱落の可能性が減った。

また、人が正面からリモコンでねじ切りをした場合は105秒かかるが、ねじ切りボタンの場合は92秒で時間短縮となった。

# 掘削時のデータおよび今後の予定



掘削時の掘削深度、水位、水量などのデータや機械に関する回転数などのデータを取得出来た。また、そのデータを用いてサンドポンプのon,offなどの制御が可能となった。

現在、ロッドチェンジャー、地中熱交換器挿入機を開発し、一人で地中熱交換器設置を実施予定である。

# (3)地中熱エコキュートの開発状況 基礎試験装置の製作・実験・結果

## ②実施内容・結果

基礎試験機の試験データをもとにプロトタイプ試験機の設計製作

### 目的と方法

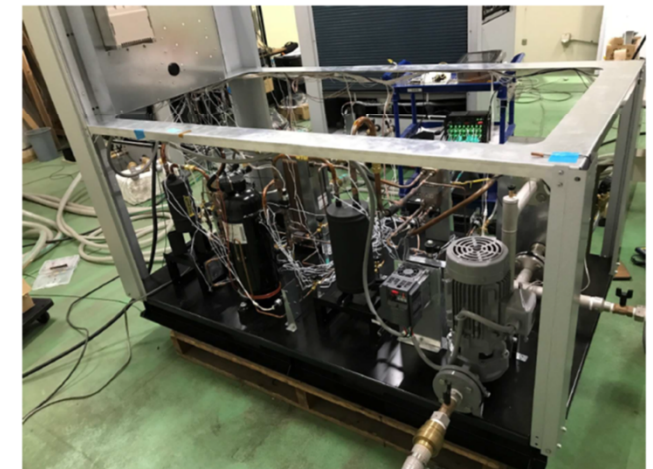
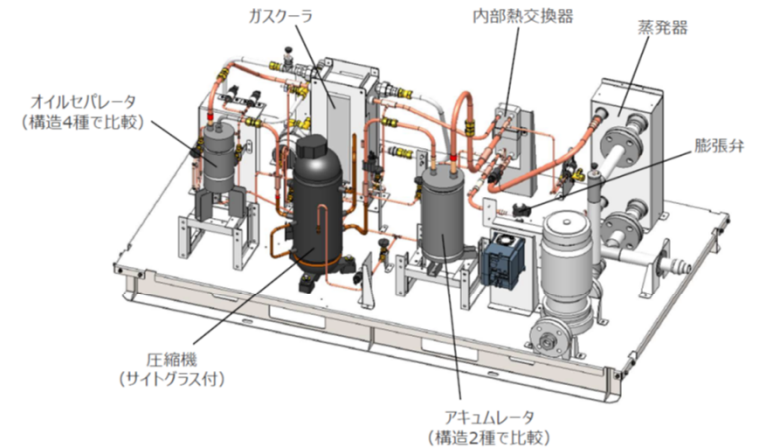
昨年度おこなった基礎試験装置でのデータをもとに最終量産機を見据えたプロトタイプ試験の設計と製作を行い試験を実施した。

- ①オイルセパレーター、アキュムレーターの最終仕様決定。
- ②蒸発器側ブラインポンプ配置と筐体の検討設計。
- ②給湯機制御の検討とポンプ制御検討。
- ③タンクユニットの返湯ポンプ、制御の検討と試験。

### 結果

- ガスクーラー(熱交換器)の枚数再検討
- 使用条件によりコンプレッサーのベーン飛び発生
- 蒸発器側ブラインポンプは現地での設計自由度を上げるため外置き別置。
- 最小化した筐体の再設計、制御仕様を決定。
- タンクユニットを含めた給湯システムと制御を試験中。

各設計要素を評価するための基礎試験装置を製作



# プロトタイプ試験機の設計製作

## 制御概要【基本構成と制御】

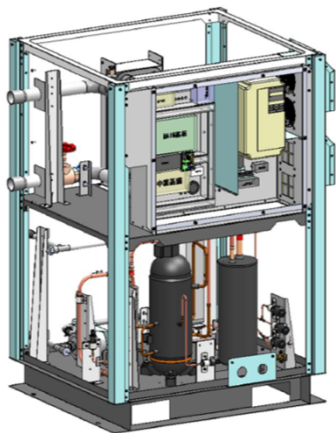
- ・圧縮機 …… 吐出圧力回転制御
- ・膨張弁 …… 吐出温度による制御
- ・給湯ポンプ …… 給湯吐出温度による流量制御

## 外部構成

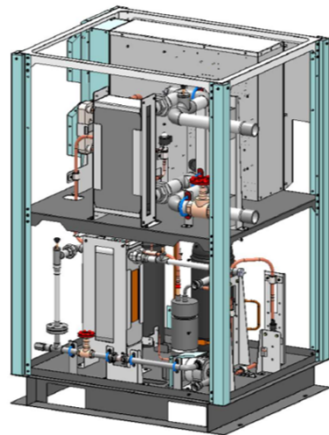
- ・ラインポンプ …… ヒートポンプの運転信号によるON-OFF制御  
(バルブの調整で試運転時に定流量に調整)

## 【基本的な考え方】

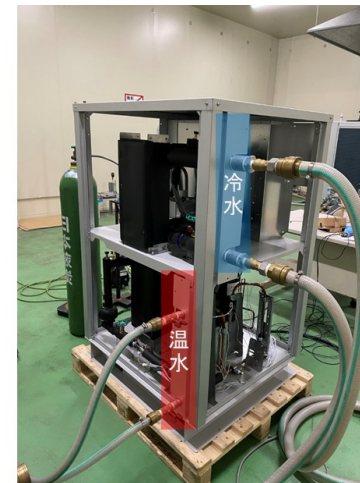
- ・地中熱ヒートポンプは20°C以下の安定した温度のため加熱能力を絞るケースがほとんどないと考えられるので加熱能力は出るだけ出す。
- ・給湯側の入水温度と地中熱側の入水温度によって冷凍サイクルの形が変わる。
- ・主な制御対象は出湯温度と冷媒の吐出温度制御
  - ①過熱度は基本的に仕様内であればマイナスにならない前提で熱交換器を選定。
  - ②環境の変化で高負荷状態となったら回転数抑制、最終的に停止。その他、保護制御を追加
- ・給湯機出湯温度設定 65°C~80°C(5°C刻み)
- ・出力能力制御しない。COMP回転数は3600rpm一定。水温15°C前後で30kWくらいになる。
- ・入水温度が高くなって、高負荷になるようであれば回転数を落とす。
- ・温水出湯温度は流量で制御する。
- ・膨張弁は吐出温度制御。目標温度(出湯温度設定+25°C)加熱保護あり(回転数ダウン)。
- ・ラインポンプは一定流量。詳細制御しない。



ユニット正面側



ユニット背面側

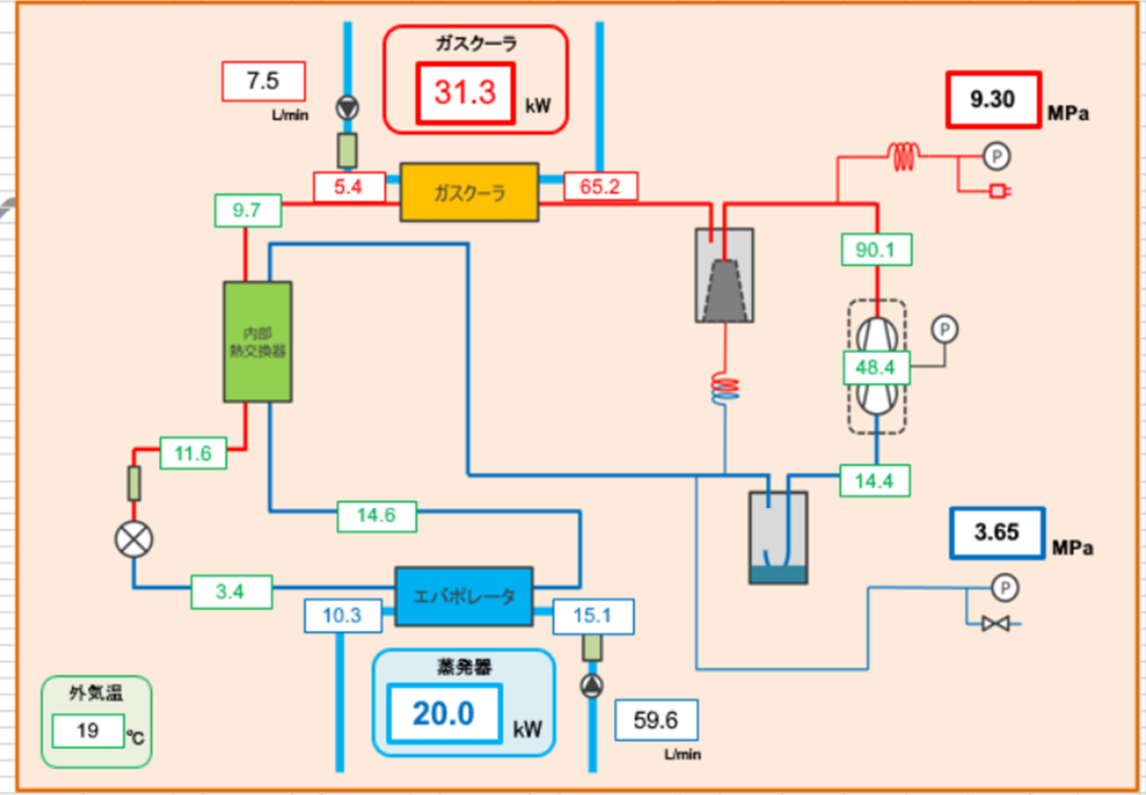
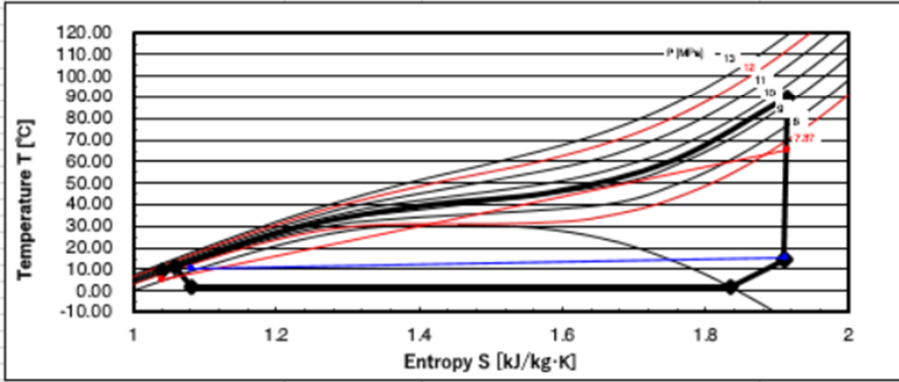
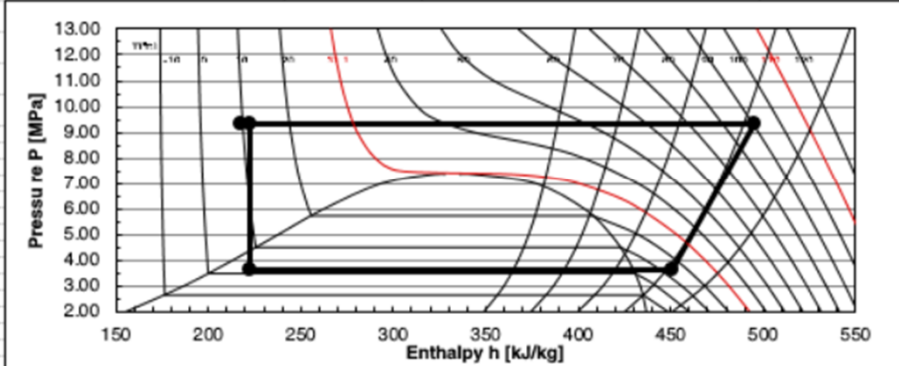


# 冬季条件での能力試験

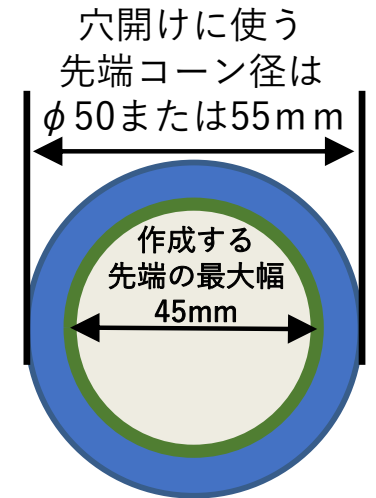
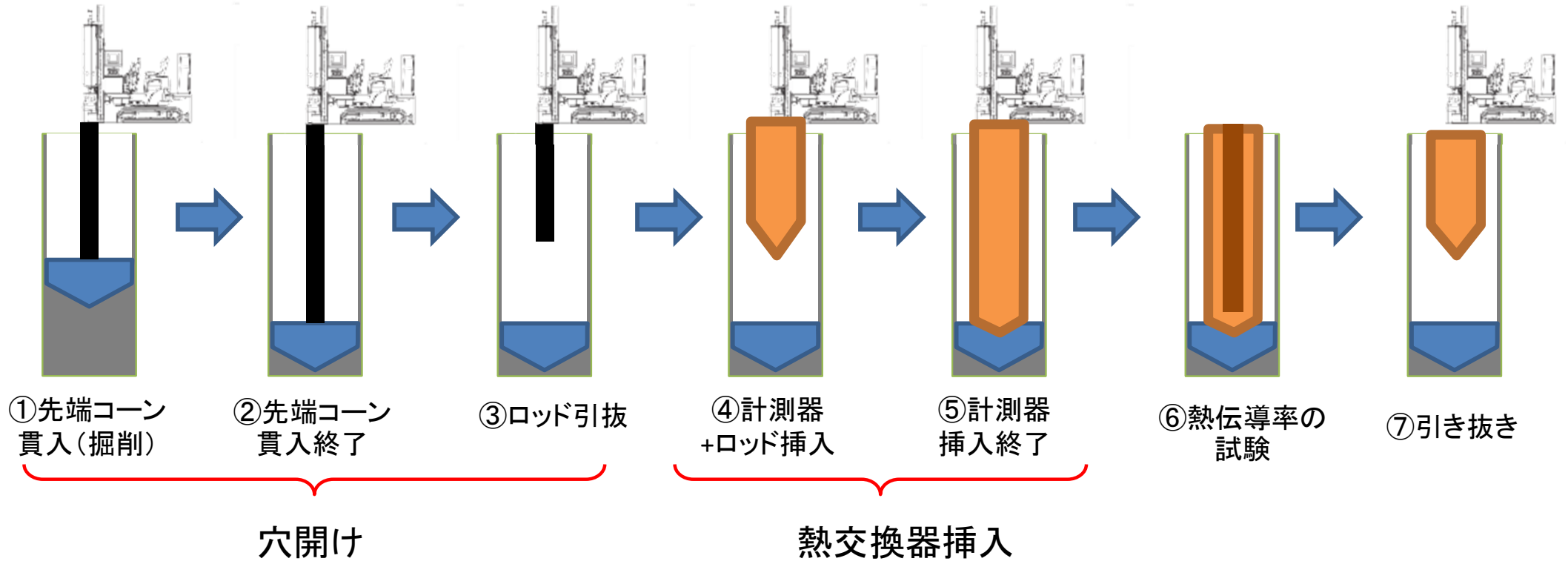
観測時間		16:00:41	
冷媒種類	CO2	データソース	ロガー
高低圧差[MPa]	5.65	冷媒流量[kg/sec]	0.1121
圧縮機周波数[rpm]	3600	圧縮機投入電力[kW]	7.23
水加熱ユニット			
流量[L/min]	7.5	加熱能力[kW]	31.3
水冷却ユニット			
流量[L/min]	59.6	冷却能力[kW]	20.0
膨張弁開度	155	蒸発器過熱度 [°C]	11.2

+1 秒	+10 秒	+1 分	+10 分	リセット
-1 秒	-10 秒	-1 分	-10 分	

運転モード	MAINTENANCE
最大回転数	3600 rpm
加熱 COP	4.33
冷却 COP	2.76
TOTAL COP	7.09



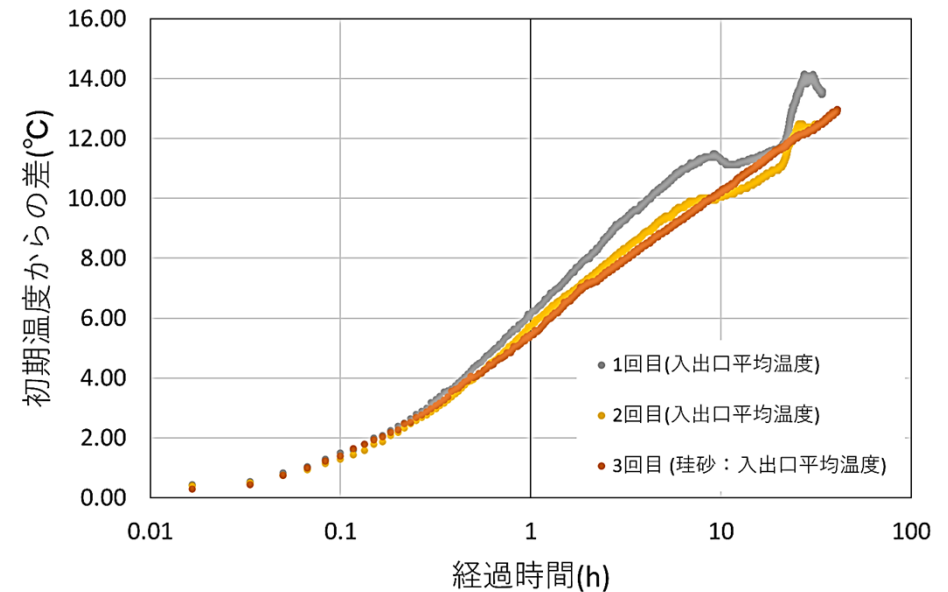
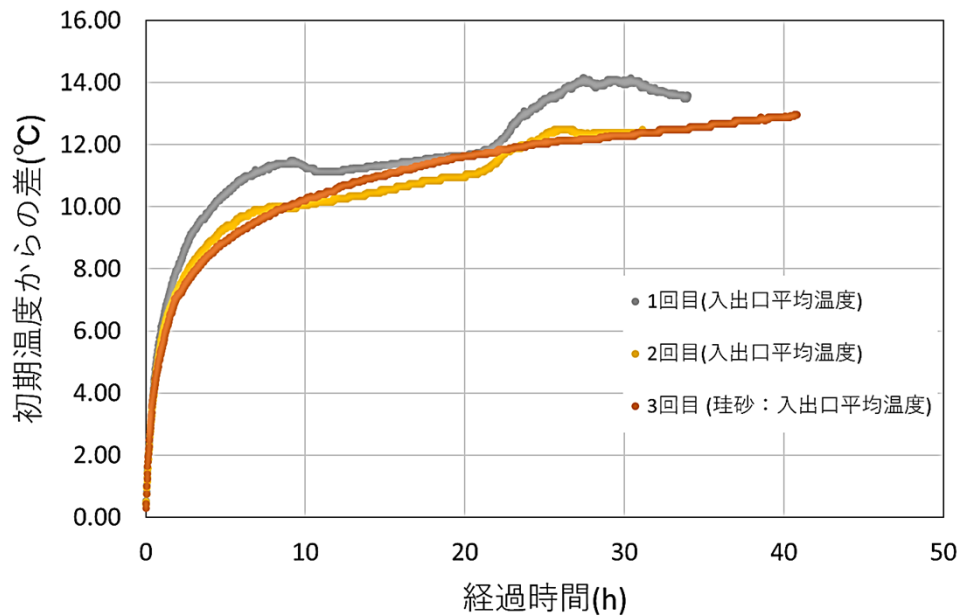
# (5)地質調査後のTRT(C-TRT)試験手順





# C-TRTの試験結果

- 1回目：掘削12日後、充填無し
- 2回目：掘削50日後、充填無し
- 3回目：掘削2ヶ月以降、充填(珪砂)投入  
(計算上入る隙間18.1Lに対して、4.6L投入した。)



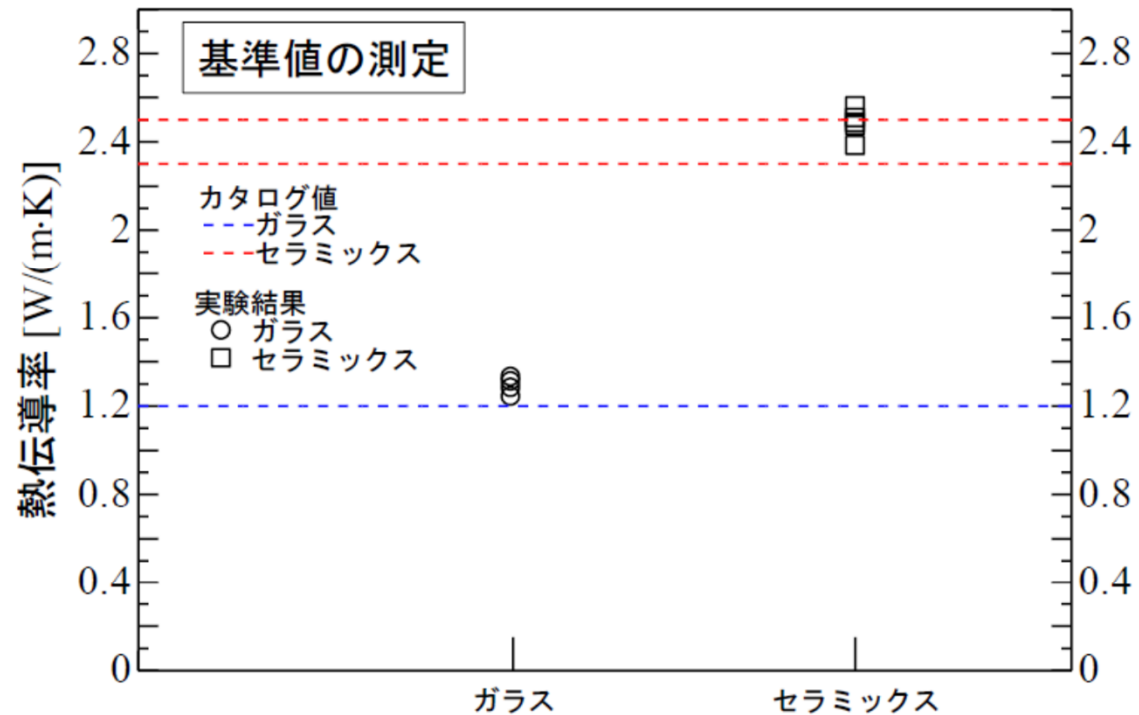
- 珪砂投入により経過時間を対数にしたときの直線性が良くなった。  
→珪砂があった方がTRTの結果の正確性と信頼度が向上する。
- 珪砂ありの場合、珪砂無しの場合でグラフの傾きはあまり変わらない  
→珪砂が無くても熱伝導率の値はそれほど影響を受けない可能性

今後、同軸管設置後、すぐに珪砂充填を行って実験を行う予定である。

# (5)C-TRT～電気ヒータ付きケーブルを用いた方法

## 新型熱応答試験概略

- 従来のUチューブ挿入に代えて、板状熱伝導測定セルを側壁に押し当てて熱伝導率を測定
- 引き上げながら測定を行うため、熱伝導率分布の測定も可能
- 従来より短期間、低コストでの簡易測定を目指す

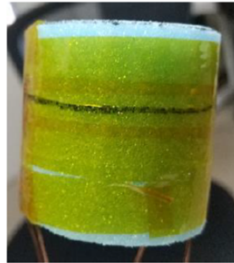


測定対象サンプル

左：テンパックスガラス (1.2 W/m·K)

右：ステアタイトセラミックス (2.3-2.5 W/m·K)

# 電気ヒータ付きケーブルを用いた方法の検討状況



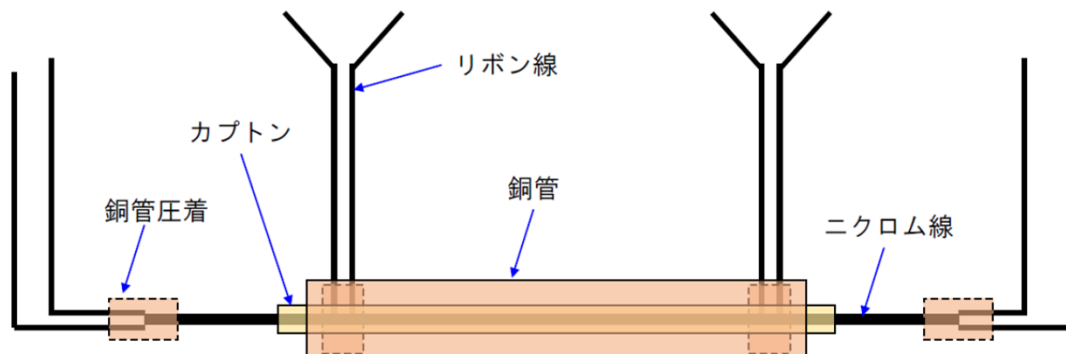
測定センサー  
(Φ45)

地質調査機にセンサーを取り付けて測定。  
ニッケル細線が1.5mで、切れた。



## ①ロッド先端に付ける治具の開発

## ②センサー部改良



- ニクロム線の外側に銅管をかぶせ、平板状に成形
- ニクロム線に電流を流すことにより銅管を加熱し、銅管の電気抵抗測定により熱伝導率を求める
- ガラスおよびセラミックのサンプルの熱伝導率を実験室内で測定

ご清聴ありがとうございました

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP19006)の結果得られたものです。