

2021年度成果報告会

分野:再生可能エ  
ネルギー熱利用

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

(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

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2019年7月

終了(予定): 2022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

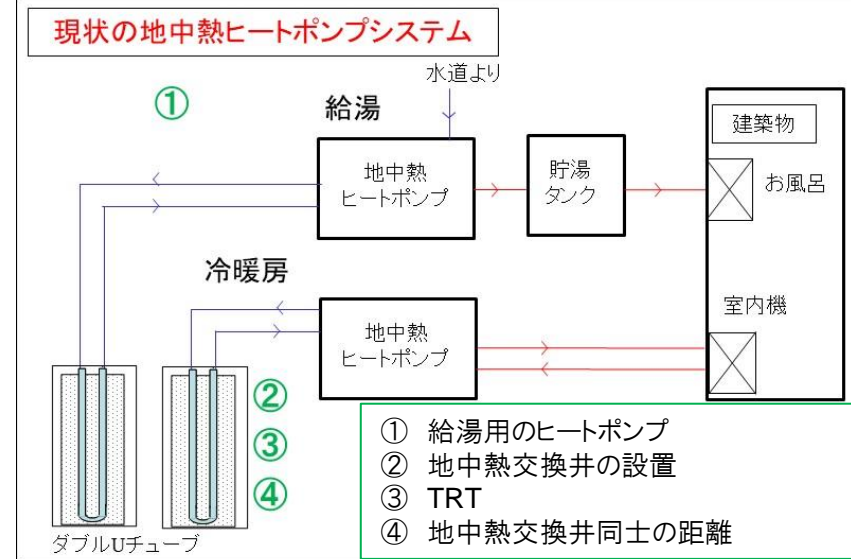
- 掘削に携わる人員が多い→最低でもまだ2人かかる
- 地中熱交換器挿入に携わる人員が多い→最低でもまだ2人かかる
- 地中熱交換器にUチューブが使われる→Uチューブは挿入しづらく、掘削体積に対して地中と接する表面積は小さい。

## 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。

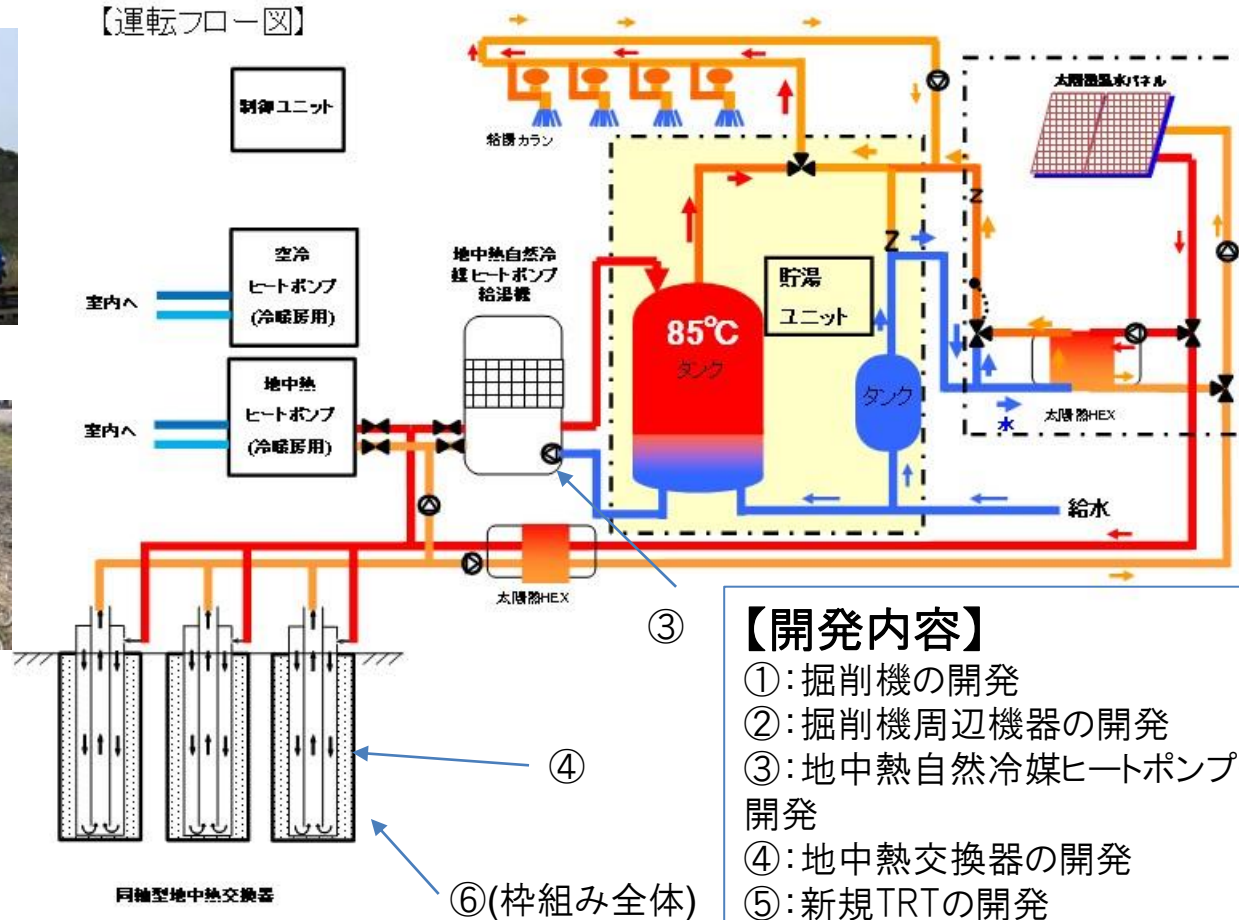
【運転フロー図】



①、②



⑤

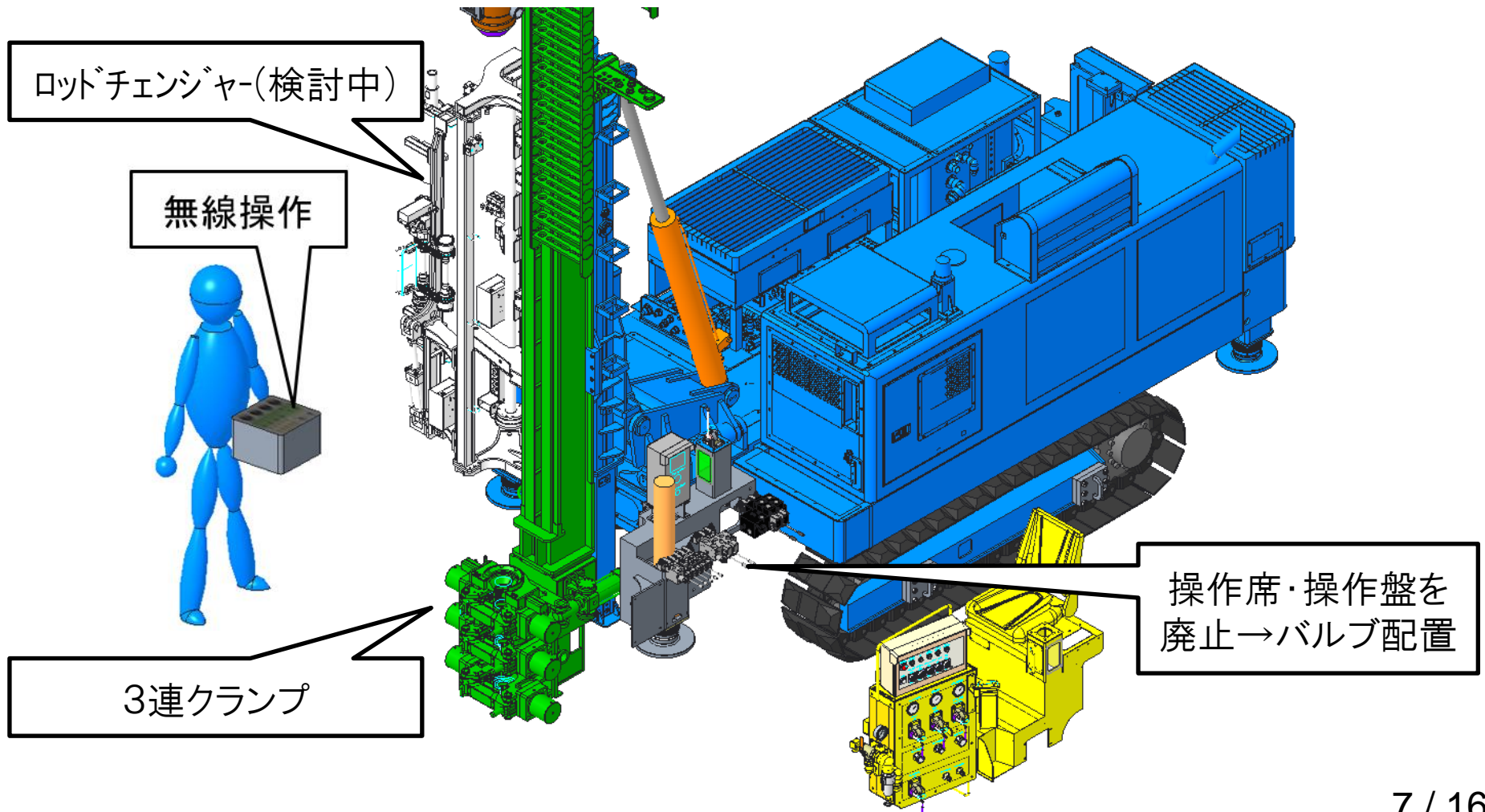


## 【開発内容】

- 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

# 研究成果(1)掘削機の開発(2)掘削機周辺機器の開発

地中熱交換井を一人で施工するために、掘削に関わる操作(掘削作業、掘削機の走行・姿勢制御、ポンプ)を無線リモコンで操作する。

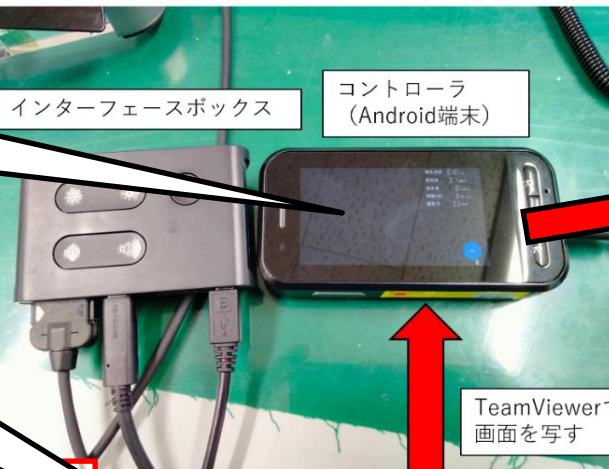




# 研究成果(1)掘削機の開発(2)掘削機周辺機器の開発

地中熱交換井を一人で施工するために、掘削のデータ(掘削機の回転数、ポンプの流量、水タンクの水量など)を管理装置に集約し、ARグラスなどを使って確認する。

スマートグラス用  
コントローラ



掘削機へ搭載された端末



削孔深度 0.42 (m)  
送水圧 0.1 (MPa)  
送水量 0 (L/min)  
回転トルク 0 (N・m)  
圧力 0.0 (kN)



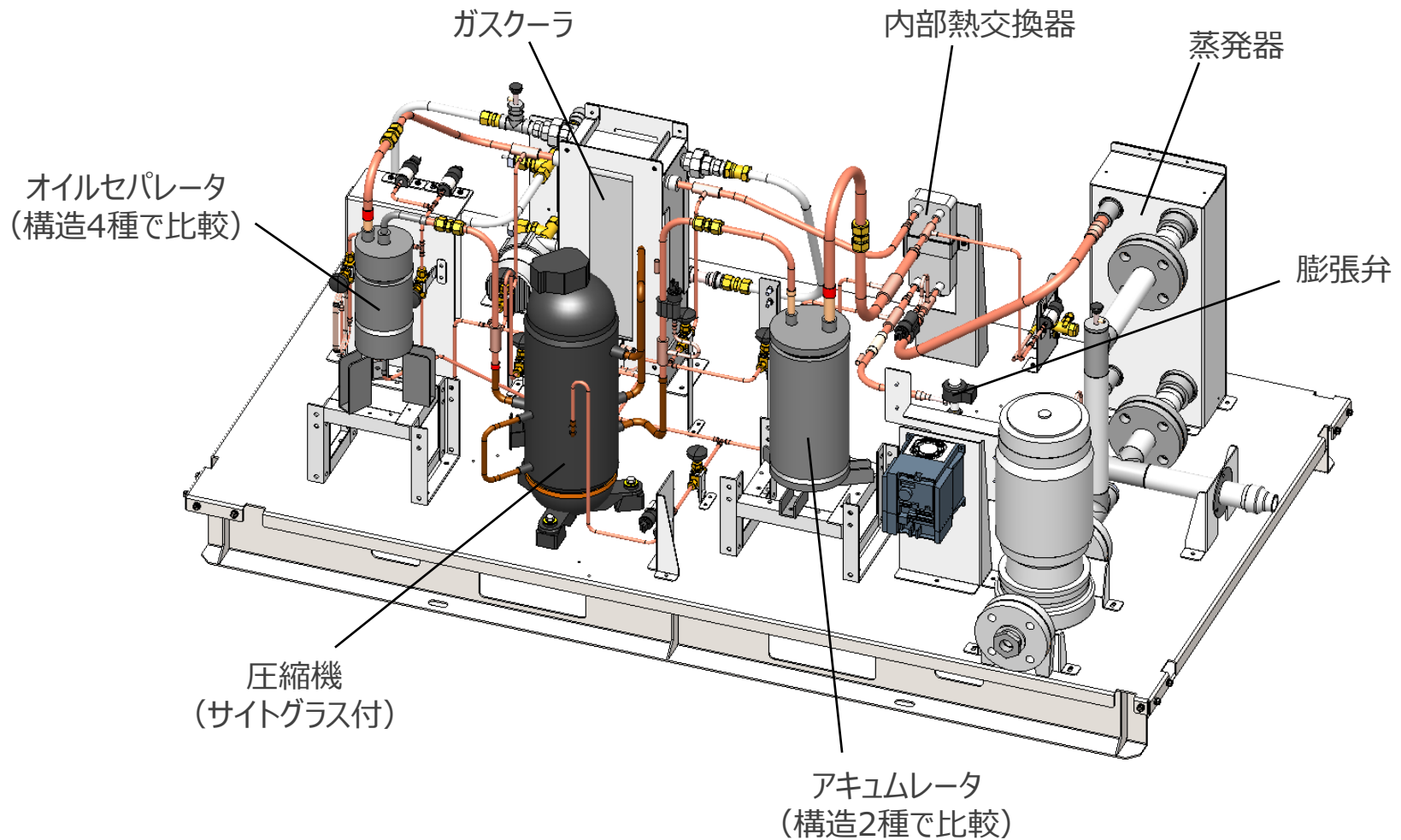


# 研究成果(3)地中熱自然冷媒ヒートポンプ給湯機の開発

- 本研究開発コンソーシアム内での協議・検討から、地中熱CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機の地中熱吸熱側熱交換器を再設計した。
- 装置の各構成部品の評価のために基礎試験装置を製作した。
- 基礎試験装置にて一部構成要素の比較検討評価を実施した。
  - ・ガスクーラー、蒸発器、オイルセパレータ、アキュムレータ
- ポンプの内蔵設計を見直し、ポンプは外置きで設計変更した。制御回路は内蔵予定。
  - ・地中熱交換器側の大型ポンプは外置きとし、設置面積の最小化を図った
- 基礎試験装置の試験結果をもとに装置仕様を決め設計した
  - ・オイルセパレータおよびアキュムレータは基礎試験装置の結果から、その効果とコスト、その他要素を総合的に検討し、選定した

# 基礎試験装置

各設計要素を評価するための基礎試験装置の外観



# プロトタイプスペックの構想

電源		3Φ200V（50/60Hz）	
ヒートポンプ装置	圧縮機呼称出力		7.5kW
	冷却用熱交換器（蒸発器）		プレート熱交換器（SUS製シングルスキン）
	冷却用冷媒制御装置		電子膨張弁
	冷媒	種類	R744（CO2） ODP:0 GWP:1 （有資格者点検不要）
		封入量	2.5kg(仮)
	過負荷保護装置		自動復帰型（13.5 + 0.5MPa）
	設計圧力		高圧：14.0MPa 低圧：8.5MPa
	安全装置		過負荷保護、温度上昇保護、圧力保護、凍結保護
加熱用熱交換器（ガス冷却器）		プレート熱交換器（SUS製シングルスキン）	
ヒートポンプ性能	定格能力		30kW
	目標年間加熱量（65℃/90℃）		148,772kWh / 158,388kWh(仮)
	目標年間COP（65℃/90℃）		4.0 / 3.4(仮)
	運転保証外気温度		-15℃～43℃
外形寸法	高さ		1372mm(仮)
	幅		936mm + 46mm （設地最大幅1006mm）（仮）
	奥行		806mm + 46mm(仮)

# 研究成果

## (4)地中熱交換器の開発

### 実施内容・結果

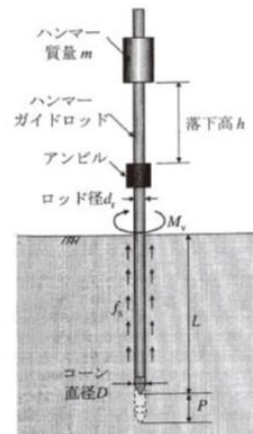
- ・掘削径165mmに設置可能な同軸型地中熱交換器の検討
- ・同軸型地中熱交換器を設置した場合のシミュレーションモデル作成

## (5)新規TRTの開発

複数のTRTについて検討中。

動的コーン貫入調査を実施した後の穴を用いてTRTを行う方法では、調査の後には40mm程度の穴が20m程度出来、その穴を用いて下の2つのTRTの方法が出来ないか検討中

- ①鉄管や鋼管などで製作した地中熱交換器を設置する方法。TRTを実施し解析中。
- ②電気ヒーター付きケーブルを用いた方法で、様々な条件で実験室で確認中。



地盤工学会：新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法より抜粋

# 研究成果(6)最適な地中熱システムの開発

## 佐賀大学に設置した地中熱交換器 モニタリングシステム

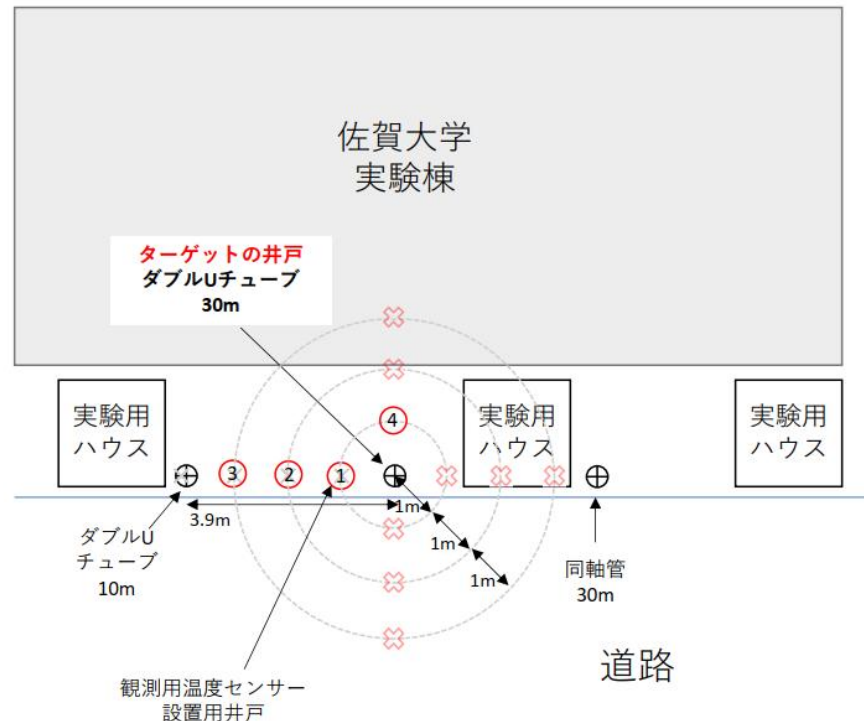
### (6)最適な地中熱システムの開発

#### ①実施内容・結果

- ・佐賀大学での地下温度モニタリング, データ解析
- ・地中熱交換井離隔距離に関するシミュレーション方法の策定, 実施

#### ②課題: 特になし

#### ③状況: R03年度よりシミュレーション実施中





# 地中熱交換井離隔距離の検討

## 成果イメージ：Output data

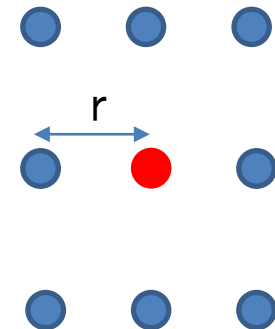
### ①地中熱交換井の熱源水出口温度

- ◆ 例えば、熱交換井本数が9本の例（右図）
- ⇒ 離隔距離 $r$ の違いで中心の熱交換井（赤丸）の熱源水温度がどのように変化するか確認

### ②適正な地中熱交換井の離隔距離

- ◆ 地中熱交換井の熱源水出口温度の変化で評価

## 9本の地中熱交換井のモデル （配置イメージ）



## モデリング

### ①佐賀大学モニタリングデータを利用したモデリング

- ◆ 佐賀大学GSHPシステムの運転データを用いて熱交換井モデルを作成・検証

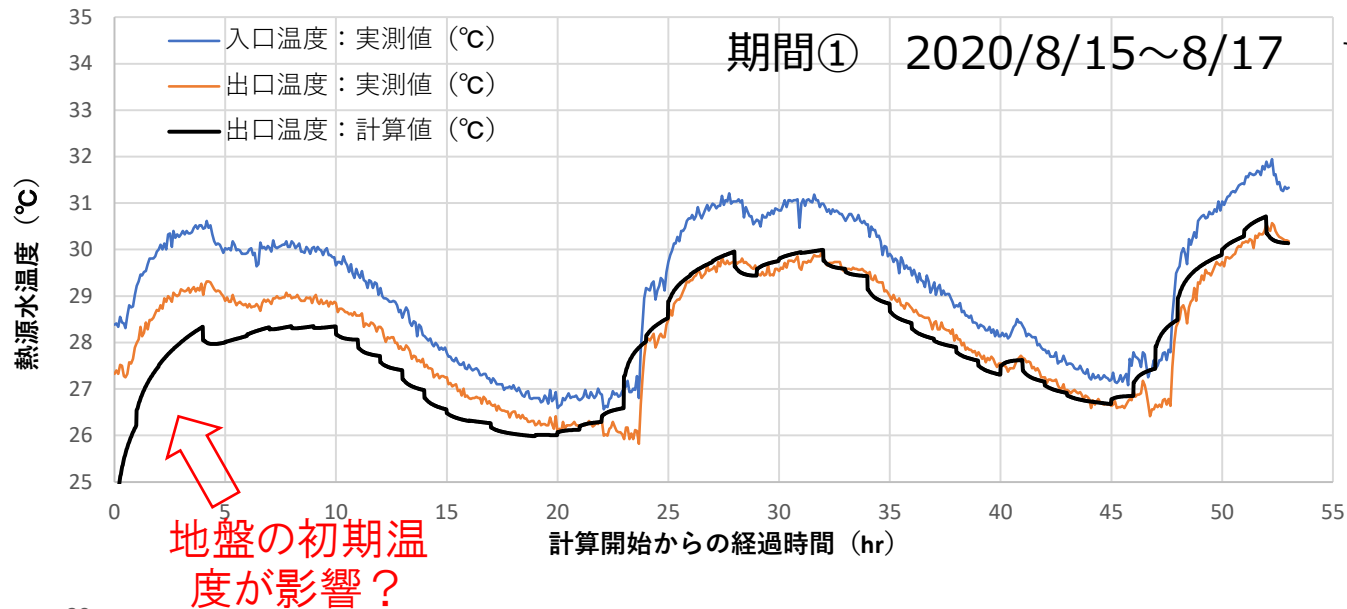
⇒ モデリングは解析解（exact solution）を用いる

※地質一様を想定するため三次元モデルである必要がなく、試行的に井戸配置（離隔距離）を検討するためモデリングが容易な解析解を採用

### ②地下水流れを考慮した地中熱交換井離隔距離検討のための解析解

- ◆ 移動線源理論の解析解（MLS）を用いることで地下水流れの影響を評価
- ◆ 佐賀大学GSHPシステムの再現計算は地下水流速はゼロで実施

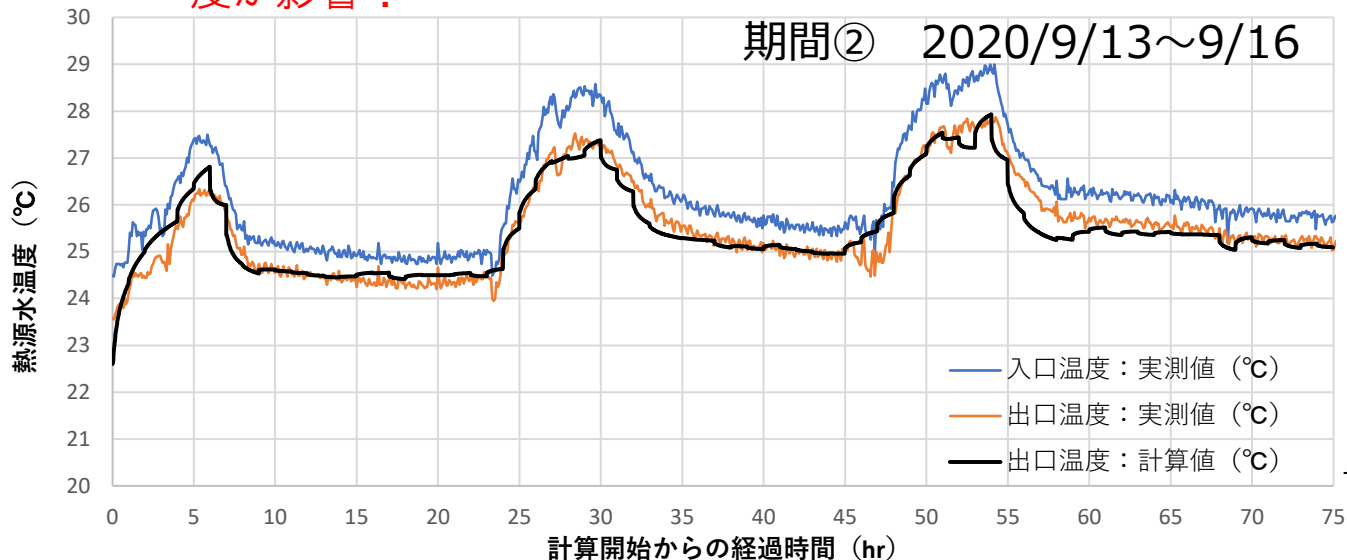
# 再現計算結果(速報値)



解析解による評価  
で熱源水出口温度の  
再現は可能と判断

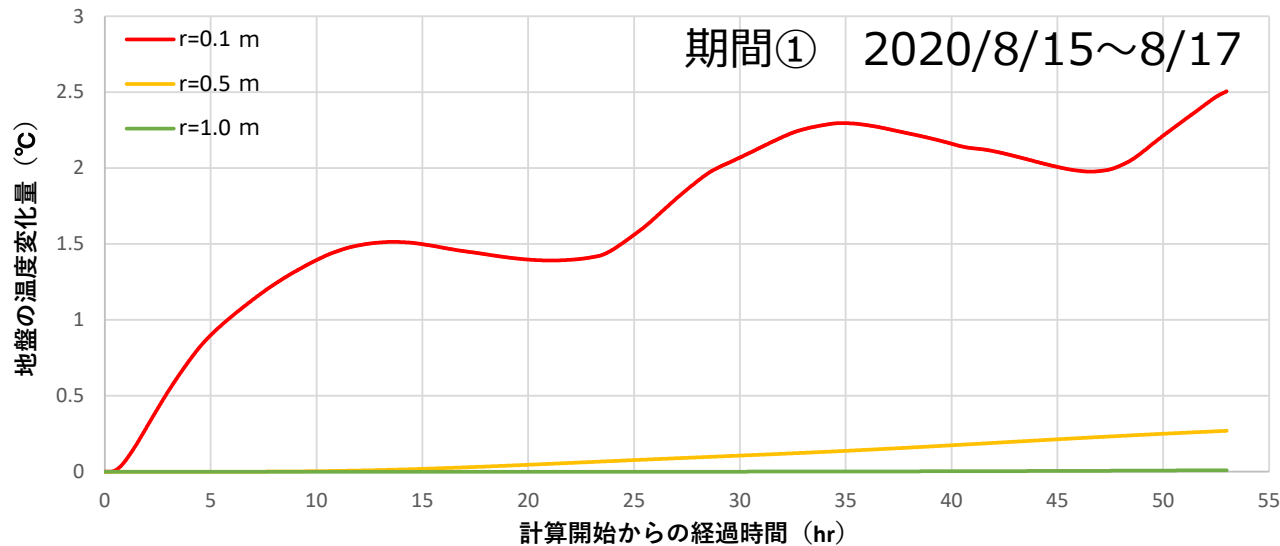


今後、解析解と数値  
解 (FEFLOW) を  
比較して、精度検証



今後の事業展開を見  
据えて、**実務上での  
操作性が高く推定精  
度が保証されたモデ  
ル (MLS) が重要  
& 開発を目指す**

# GSHPシステム運転時の影響範囲(予測計算)



熱交換井から距離 $r$ (m)

0.1 0.5 1.0

● ● ●

熱交換井

GSHPシステムの連続運転日数が2~3日程度であれば、地盤の温度上昇はほとんど見られない



温度観測井のモニタリング結果と比較&結果の妥当性検証

