

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.1-8

再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた
技術開発/再エネ熱利用システムの低コスト化・高度化
技術実証/
帯水層蓄熱を中心とした面的熱利用による
ZEB及びZEH-Mの運用に係る技術開発

発表：2025年7月17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 黒沼 寛

*団体名（企業・大学名など） 日本地下水開発(株)，ゼネラルヒートポンプ工業(株)

問い合わせ先 日本地下水開発(株) E-mail:webmaster@jgd.jp TEL:023-688-6000

発表内容

1. 研究開発の内容・実施体制
2. 研究開発項目・目標
3. 研究開発の進捗・予定

1. 研究開発の内容・実施体制

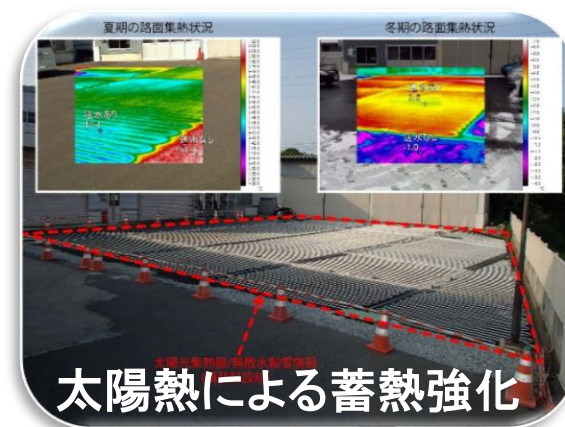
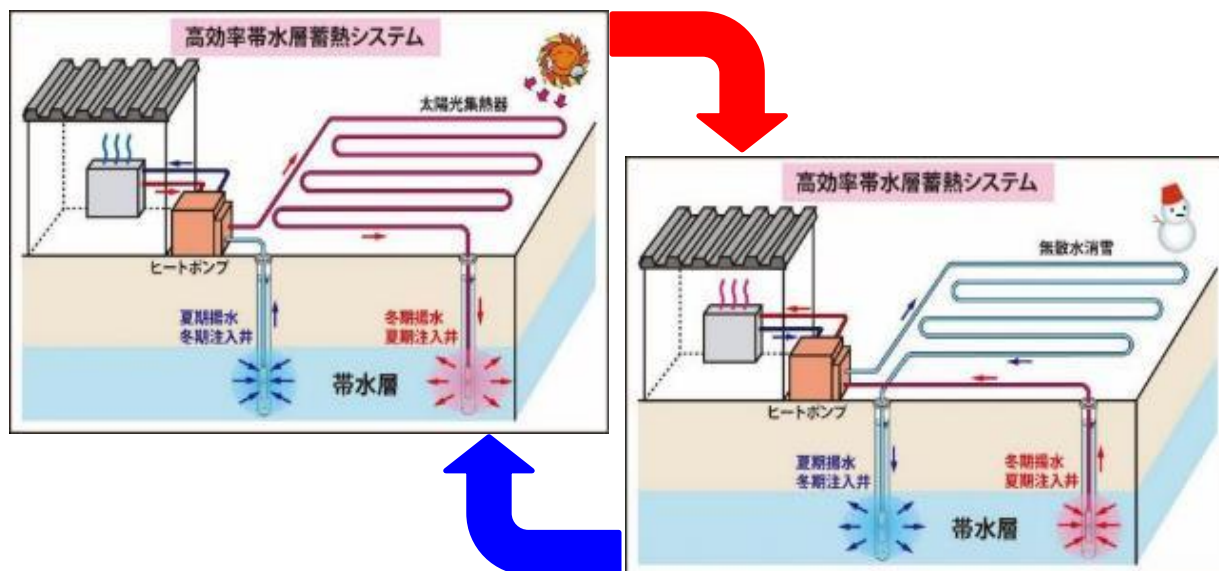
1.1 研究開発の背景・内容(課題など)

2014年度～2018年度

NEDO事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」

○高効率帯水層蓄熱冷暖房システムを実用化

- ・イニシャルコスト 21 %低減
 - ・ランニングコスト 31 %低減
- を実現



1. 研究開発の内容・実施体制

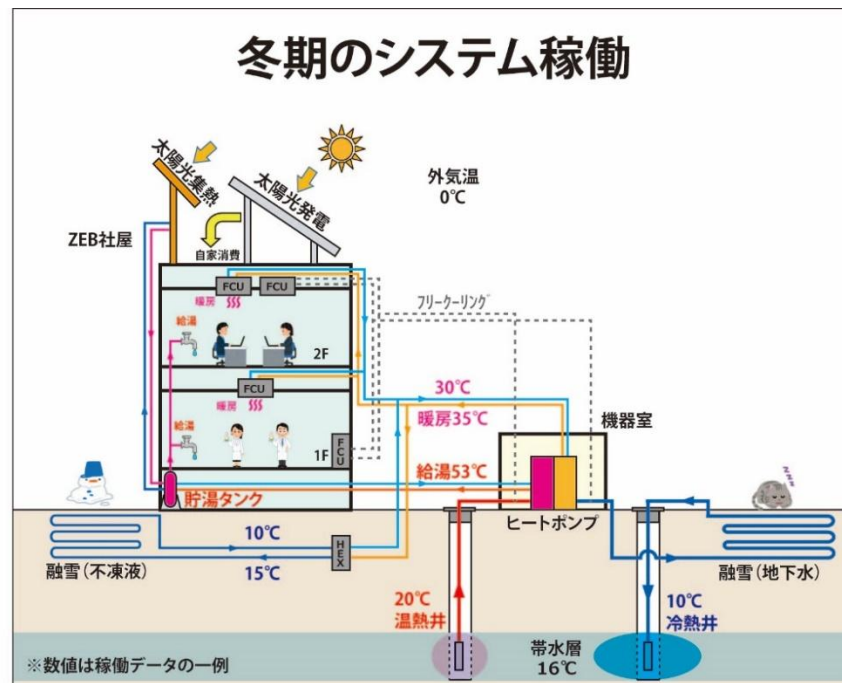
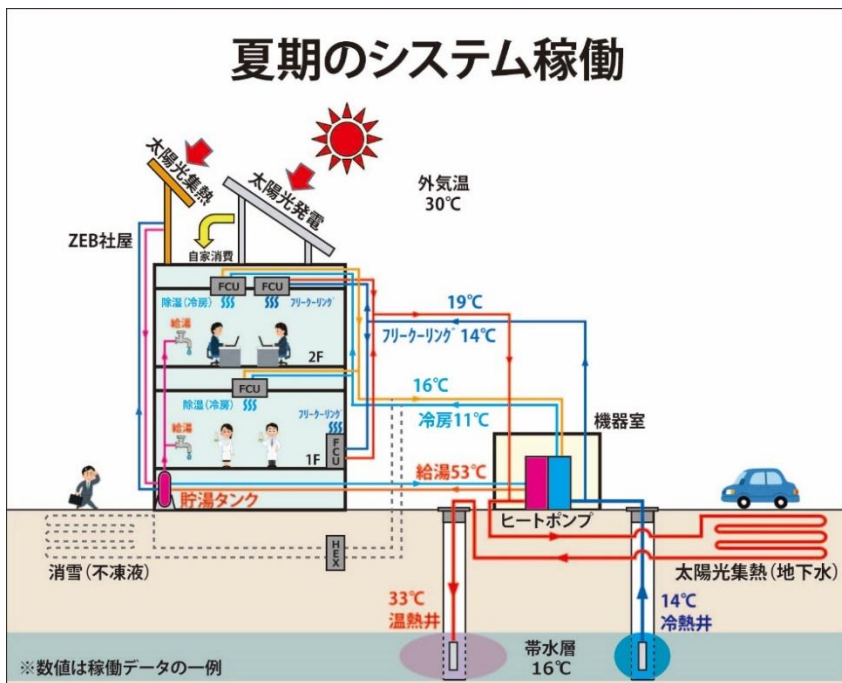
1.1 研究開発の背景・内容(課題など)

2019年度～2023年度NEDO事業

「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」

○高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システムへの適応性を実証

・イニシャルコスト + ランニングコスト 30 %低減 **を実現**



・2020年度冬期、2021年度、2022年度、2023年度夏期まで3年連続で『ZEB』実現を確認

1. 研究開発の内容・実施体制

1.1 研究開発の背景・内容(課題など)

- 令和3年10月に閣議決定「エネルギー基本計画」では「2030年以降の新築される建築物全てでZEH・ZEB基準の水準の省エネルギー性能を確保することを目指す」とされている。2025年4月からは改正建築物省エネ法が施行され、住宅および非住宅すべての建物に対して省エネ基準適合が義務付けされる。

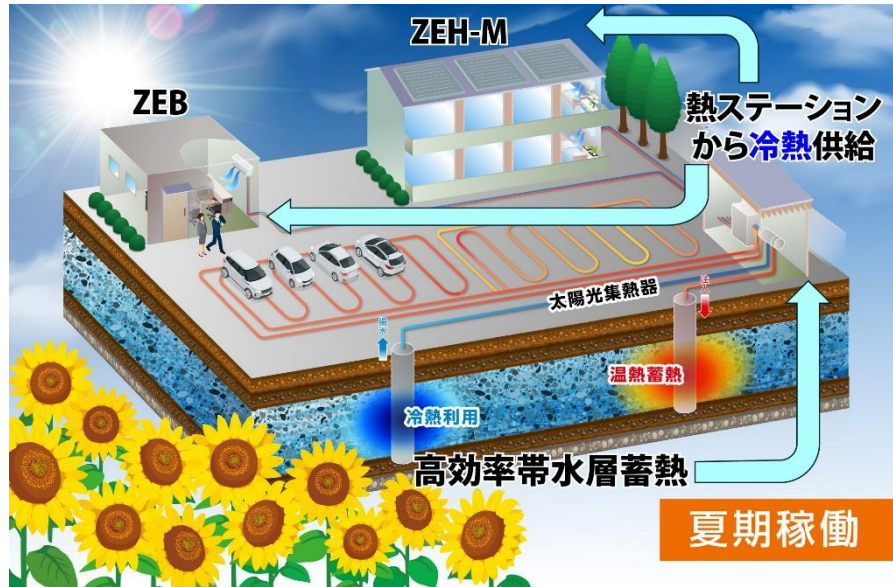
→ 今後、ZEBおよびZEHが飛躍的に増加する見込み

- 令和7年2月に閣議決定「エネルギー基本計画」では再生可能エネルギーの課題として「再生可能エネルギー熱について、熱供給設備の導入支援を図るとともに、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことで、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す」と挙げられている。2050カーボンニュートラルを達成するためには、再生可能エネルギー熱の面的利用の課題解決が求められている。

→ 高効率帯水層蓄熱を中心とした面的熱利用をZEBおよびZEH-Mで実証し、面的熱利用による優位性を示すことで、本システムの普及拡大を図る

1. 研究開発の内容・実施体制

1.1 研究開発の背景・内容(課題など)



- 社員寮ZEH-Mの構築(木造2F、15戸、延床面積626m²)
- 既存事務所のZEB改修(鉄骨造1F、延床面積222m²)
- 高効率帯水層蓄熱を中心とした面的熱利用システムの構築
- 太陽熱集熱器による高効率化(給湯、温水、蓄熱での利用)
- 冬期間の冷熱を利用したフリークーリングの実施
- 小型給湯ヒートポンプの開発

➡ 面的熱利用によるイニシャルコストの低減と、システムの高効率運転と熱負荷を平準化することでランニングコストの低減を目指す。

1. 研究開発の内容・実施体制

1.2 研究開発実施体制

研究開発責任者(PL)
日本地下水開発株式会社:黒沼覚

日本地下水開発株式会社

総額:353百万円(NEDO助成額:176百万円)

- ・高効率帯水層蓄熱を中心とした面的利用システムの開発
- ・地下水の直接供給フリークーリングによる高効率化
- ・太陽熱集熱器による高効率化

(主任研究者)黒沼覚・企画開発部次長
(全体統括)山谷睦・取締役企画開発部部长
(高効率帯水層蓄熱面的利用システムの開発・データ解析担当)
加藤渉・企画開発部補佐、鳥越雄太郎・企画開発部係
(高効率帯水層蓄熱の地下シミュレーション解析・データ解析担当)
井上純・環境調査部技師長、大沼隆・環境調査部補佐
(高効率帯水層蓄熱を中心とした面的利用システムの設備設計担当)
福井秀樹・設計部部長、今田和彦・設計部担当部長、
川井陸・設計部係、石塚悠月・設計部係、
柿崎有希・設計部係
(高効率帯水層蓄熱を中心とした面的利用システムの設備工事担当)
佐藤弘康・工事部次長、佐藤力・工事部工事長

ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

総額:11百万円(NEDO助成額:5.5百万円)

- ・低GWP冷媒採用の小型給湯ヒートポンプの開発
- ・スケール付着判別の自動化手法の開発

(主任研究者)駒庭義人・再エネ研究所副主幹
(低GWP冷媒採用の小型給湯ヒートポンプの開発担当)
(スケール付着判別の自動化手法の開発担当)
柴 芳郎・再エネ研究所会長、渡邊激雄・再エネ研究所所長、
谷藤浩二・再エネ研究所副所長、正木一郎・再エネ研究所主査、
小倉怜子・再エネ研究所主査、宮平英樹・取締役設計部長、
都田皓彦・設計部主任、
平井千治・取締役製造部長、木下琢也・再エネ研究所主査、
松井貴司・製造部課長、柴洸太・製造部主任、
笠原崇史・再エネ研究所担当

2. 研究開発項目・目標

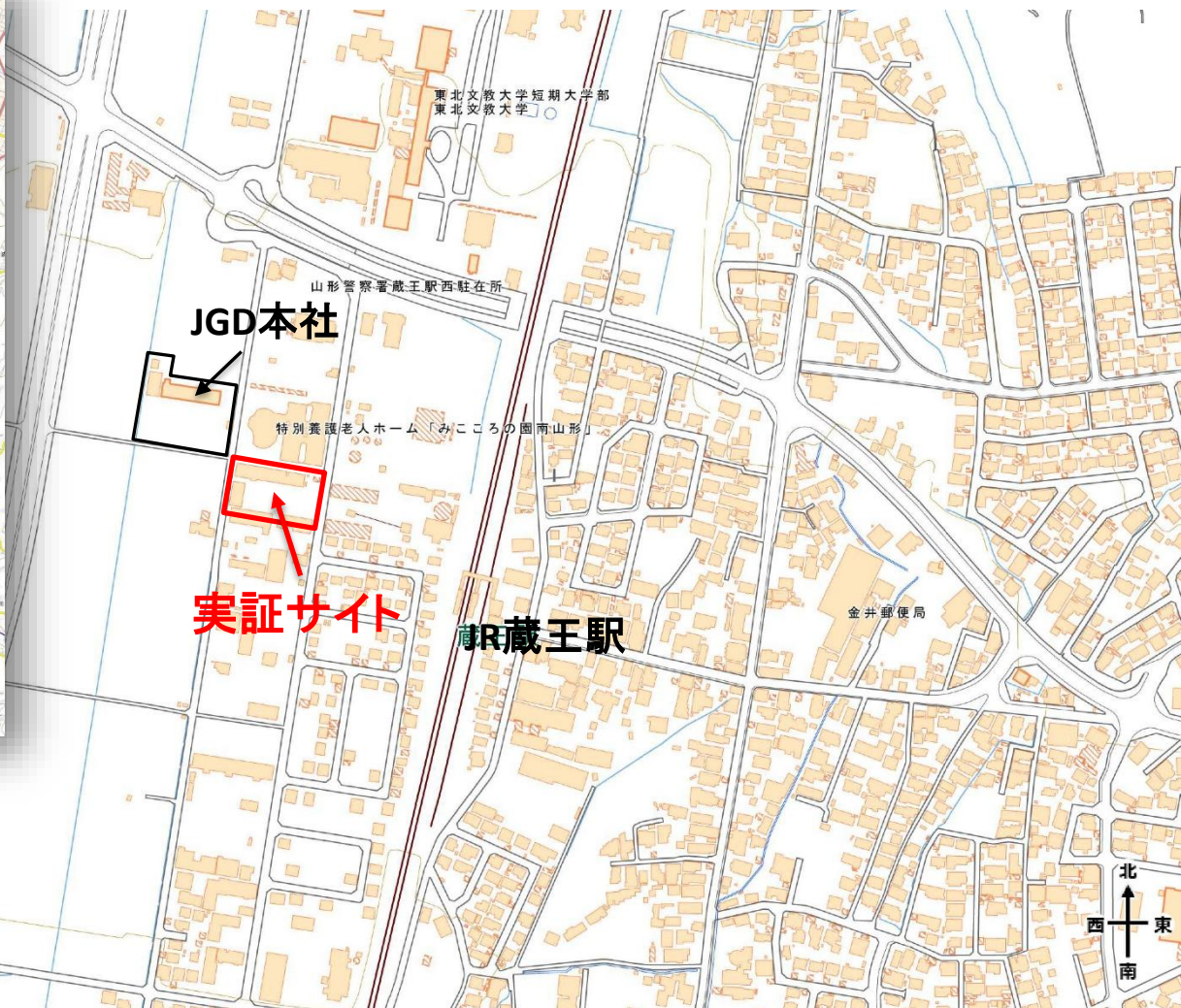
研究開発項目	項目毎の目標	全体目標
①集合住宅ZEH-M建築	冷温水熱供給による冷暖房の構築 地下水フリークーリングの構築 ガス、エコキュート、熱供給の3種類の給湯における比較試験の実施	イニシャルコスト25%低減 ランニングコスト25%低減 (2024年度比)
②既存事務所ZEB化	ZEB改修でBEI (Building Energy Index) 0.49以下	
③帯水層蓄熱を中心とした面的利用システム構築とモニタリング	高効率帯水層蓄熱を中心とした面的利用システムの構築 高効率稼働を維持する最適化	
④地下水フリークーリングによる高効率化	冷房に係るランニングコストを30%削減	
⑤太陽熱集熱器による高効率化	帯水層への温熱蓄熱量10%増加 暖房に係るランニングコスト5%削減	
⑥給湯専用小型ヒートポンプの開発	ヒートポンプ性能 給湯COP=2.7~3.1以上 (給湯55℃→60℃、地下水15℃→10℃)	
⑦スケール付着判別の自動化手法の開発	ヒートポンプ内外で取得するデータに基づき自動的に判別・通知する手法の開発してメンテナンスコスト削減	

3. 研究開発の進捗・予定

研究開発項目	担当	2024				2025				2026			
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①集合住宅ZEH-M建築 1)設計・準備 2)建築工事	日本地下水開発（株）												
②既存事務所ZEB化	日本地下水開発（株）												
③面的利用システム構築とモニタリング 1)熱源井戸掘削 2)システム構築 3)モニタリング	日本地下水開発（株）												
④フリージングによる高効率化	日本地下水開発（株）												
⑤太陽熱集熱器による高効率化	日本地下水開発（株）												
⑥給湯専用小型ヒートポンプの開発 1)機器設計 2)機器製作 3)運転調整・機能改善	ゼネラルヒートポンプ工業(株)												
⑦スケール付着判別の自動化手法の開発 1)自動化手法の検討・予備試験 2)フィールド試験	ゼネラルヒートポンプ工業(株)												

3. 研究開発の進捗・予定

3.1 熱源井戸の掘削



掘削位置図

3.1 熱源井戸の掘削



3. 研究開発の進捗・予定

3.1 熱源井戸の掘削

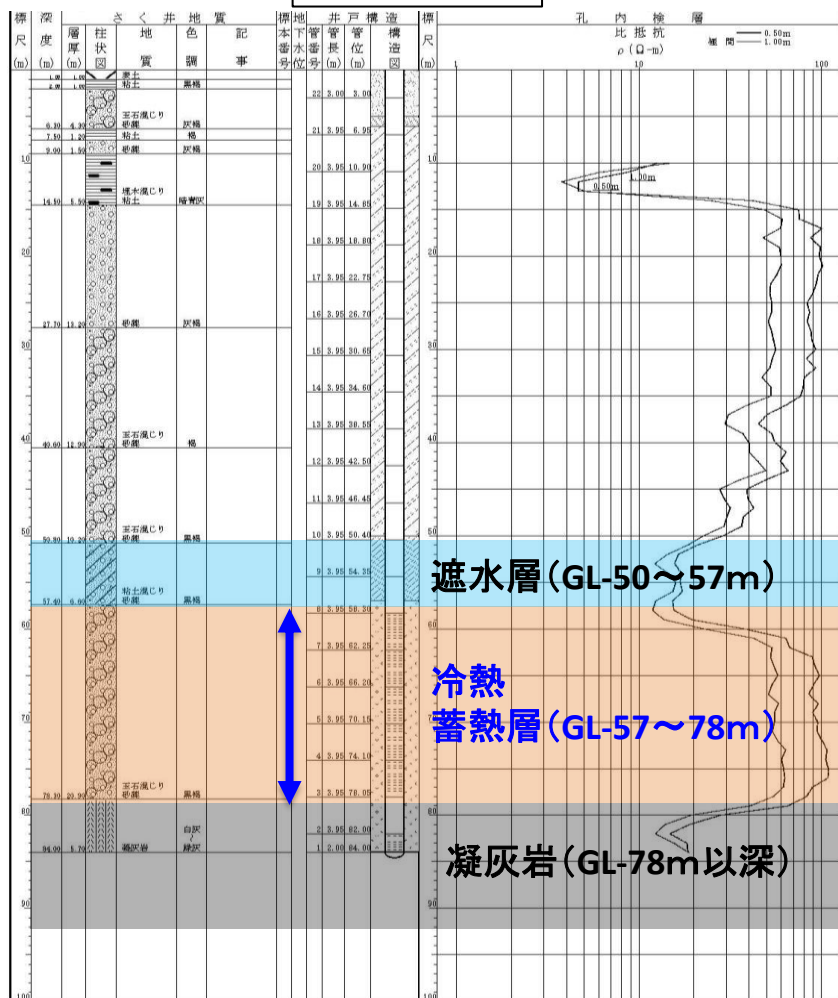


2/27 井戸掘削状況全景(敷地北西側からドローンで撮影)

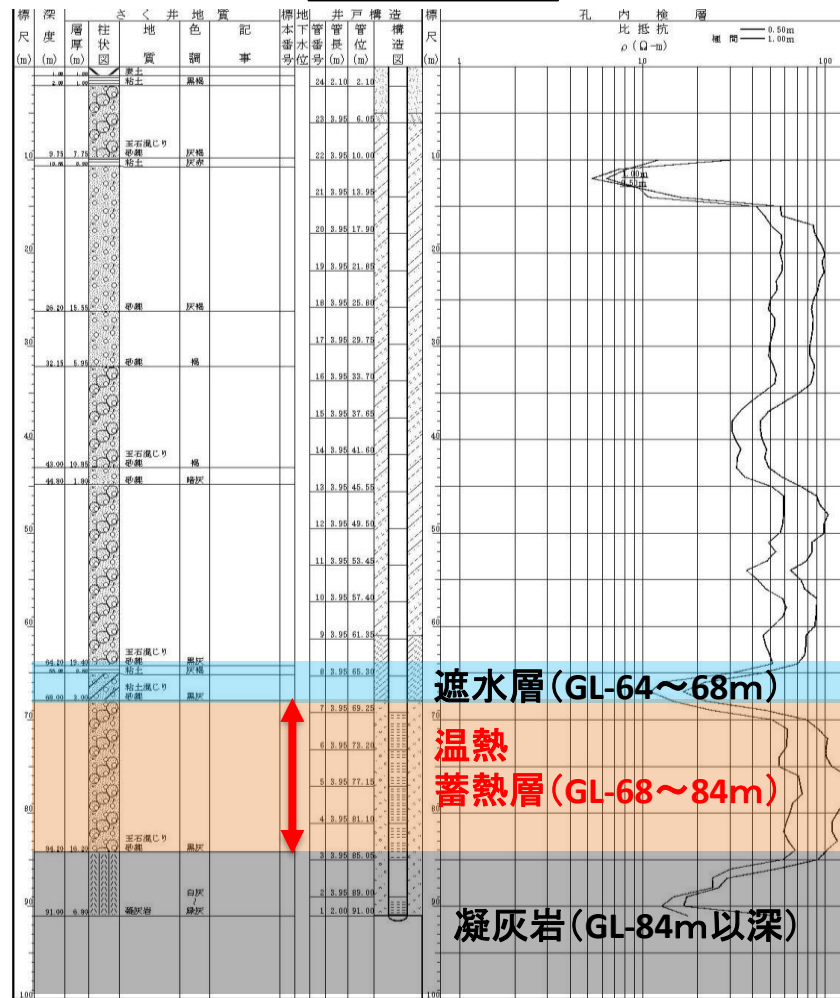
3. 研究開発の進捗・予定

3.1 熱源井戸の掘削

冷熱井



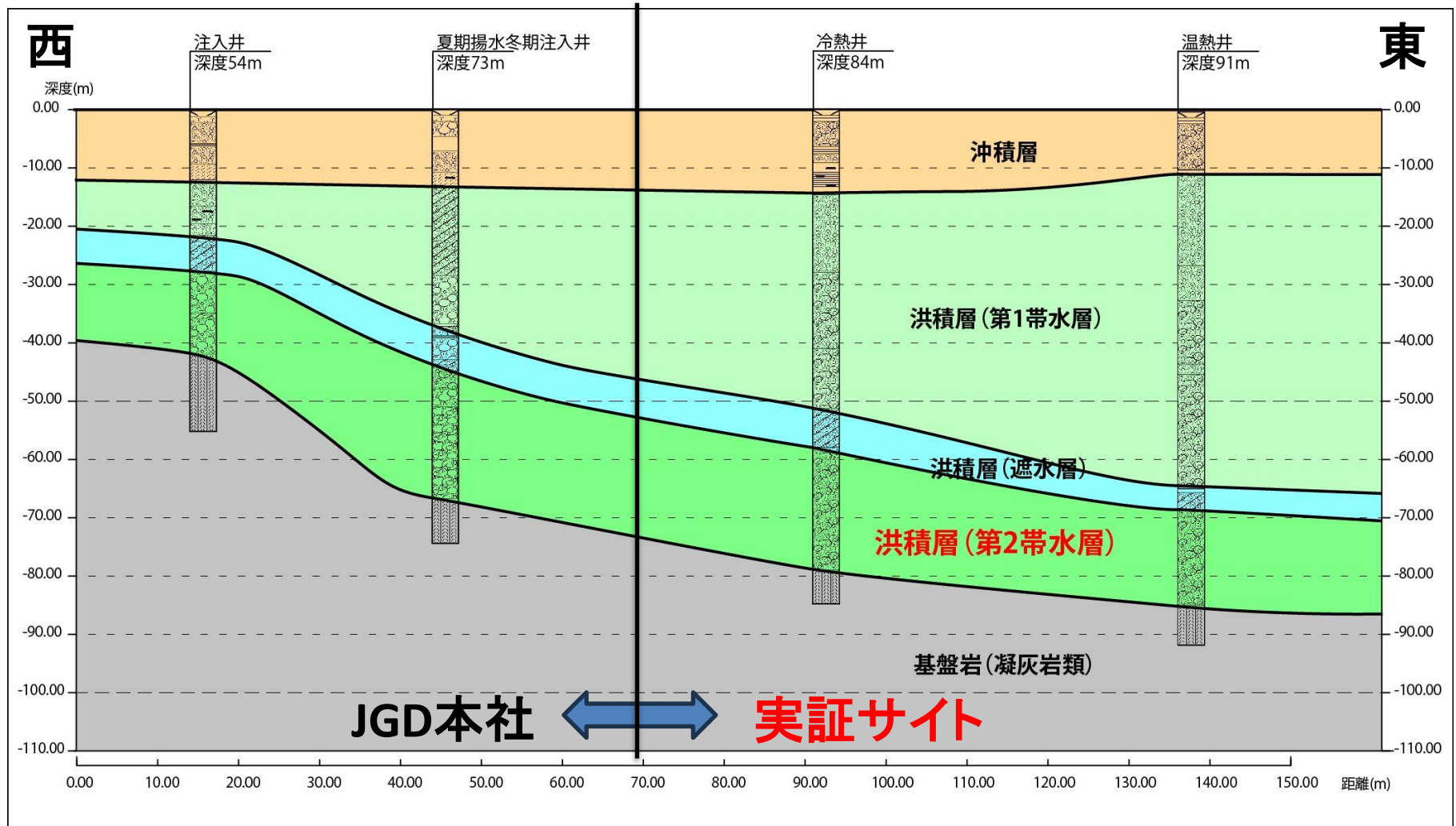
温熱井



さく井柱状図

3. 研究開発の進捗・予定

3.1 熱源井戸の掘削

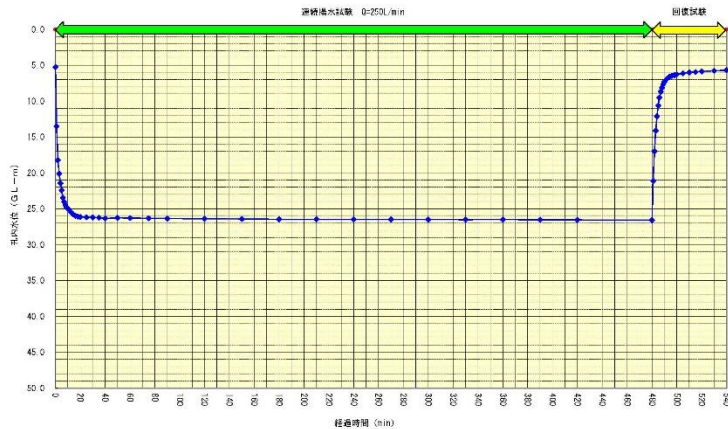


実証サイト周辺の地質想定断面図

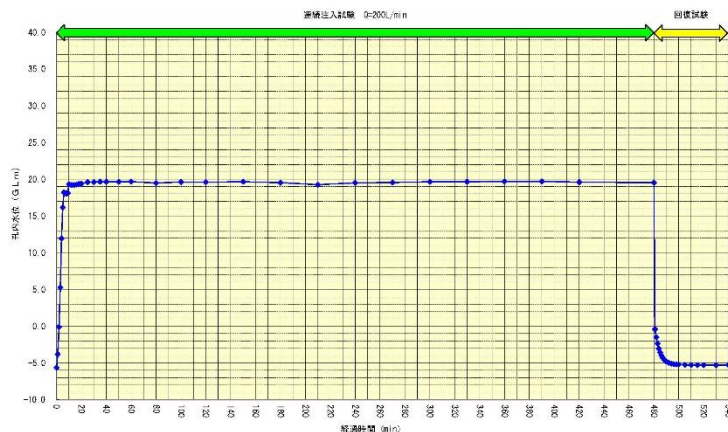
3. 研究開発の進捗・予定

3.2 熱源井戸の揚水・注入試験

冷熱井



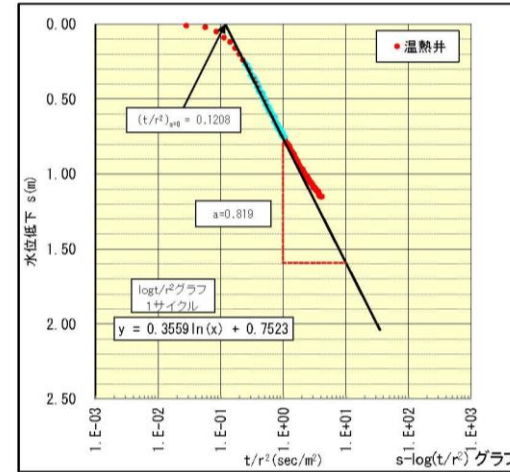
連続揚水試験・回復試験結果図



連続注入試験・回復試験結果図

透水係数: $k=5.8 \times 10^{-5} \text{ (m/s)}$
 貯留係数: $S=2.5 \times 10^{-4}$

●非定常法 $s-\log(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法●
 <連続揚水試験>



$s-\log(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法によると、(出典：地盤調査の方法と解説p535—地盤工学会)

ここで、

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi a}$$

$$k = \frac{T}{b}$$

$$S = 2.25T(t/r^2)_{s=0}$$

T: 透水量係数 (m^3/s) k: 透水係数 (m/s)
 Q: 揚水量 (m^3/s) 245 (L/min) $\rightarrow$ $4.08 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$
 a: $\log t/r^2$ グラフ 1 サイクルに対応する s の差 (m)
 b: 帯水層厚さ (m)
 VP ストレーナ有効長 $L=3.16 \times 5$ 本とする 15.80 (m)
 S: 貯留係数
 $(t/r^2)_{s=0}$: 近似直線の延長と横軸 $s=0$ 軸との交点の座標 (s/m^2)

連続揚水試験結果より、各観測井の a、 $(t/r^2)_{s=0}$ の値は下表のとおりとなる。

観測井	a (m)	$(t/r^2)_{s=0}$
温熱井	0.819	0.1208

上式を用いて各観測井毎にそれぞれ算定すると、下表のとおり求まる。

観測井	T (m^3/s)	k (m/s)	S
温熱井	9.1×10^{-4}	5.8×10^{-5}	2.5×10^{-4}

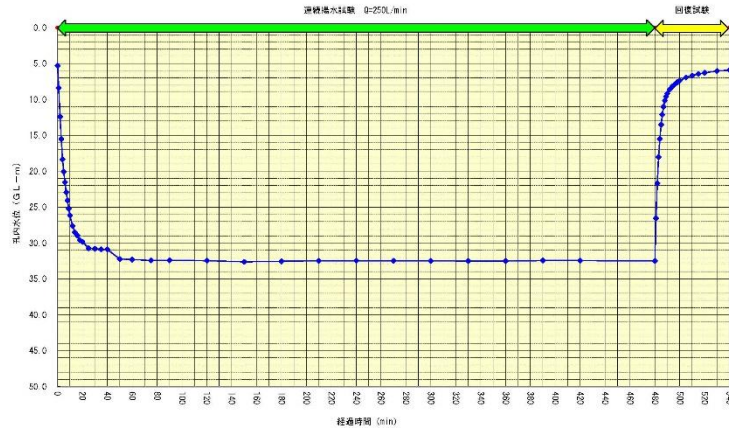
透水性	透水係数 k (m/s)									
	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
実質上不透水	非常に低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い
対応する土の種類	粘土土	微細砂、シルト	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土	砂-シルト-粘土混合土
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験	変水位透水試験
透水係数を間接的に算定する方法	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算	圧密試験結果から計算

図-2.2.1 透水性と土質区分 (地盤工学会¹⁾)

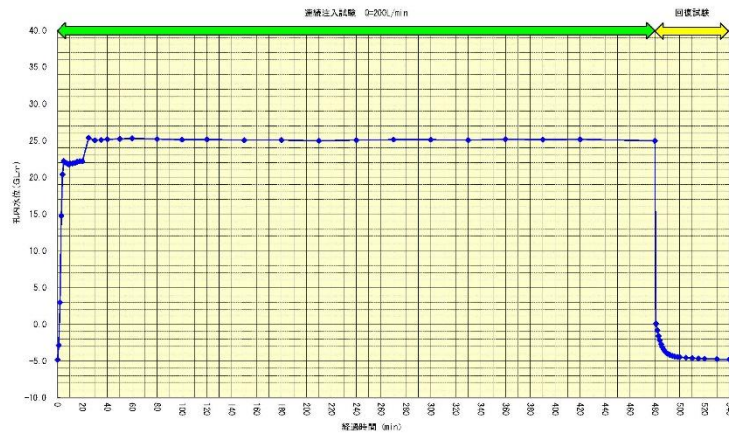
3. 研究開発の進捗・予定

3.2 熱源井戸の揚水・注入試験

温熱井



連続揚水試験・回復試験結果図

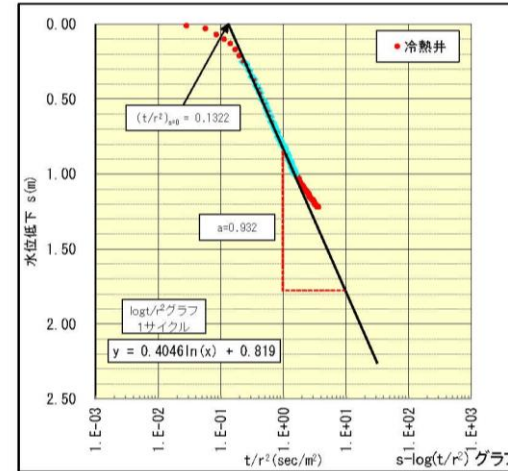


連続注入試験・回復試験結果図

透水係数: $k=5.3 \times 10^{-5} \text{ (m/s)}$

貯留係数: $S=2.5 \times 10^{-4}$

●非定常法 $s-\log(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法●
 <連続揚水試験>



$s-\log(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法によると、(出典：地盤調査の方法と解説p535～地盤工学会)

ここで、
 $T = \frac{2.3Q}{4\pi a}$ k : 透水係数 (m^2/s)
 Q : 揚水量 (m^3/s) $255 \text{ (L/min)} \rightarrow 4.25\text{E-}03 \text{ (m}^3/\text{s})$
 $a = \log(t/r^2)_{\text{グラフ}} 194\text{M}$ に対応する s の差 (m)
 b : 帯水層厚さ (m)
 VP ストレナー有効長 $L=3.16\text{m} \times 5$ 本とする 15.80 (m)
 S : 貯留係数
 $(t/r^2)_{S=0}$: 近似直線の延長と横軸 $s=0$ 軸との交点の座標 (s/m^2)

連続揚水試験結果より、各観測井の a , $(t/r^2)_{S=0}$ の値は下表のとおりとなる。

観測井	$a \text{ (m)}$	$(t/r^2)_{S=0}$
冷熱井	0.932	0.1322

上式を用いて各観測井毎にそれぞれ算定すると、下表のとおり求まる。

観測井	$T \text{ (m}^2/\text{s)}$	$k \text{ (m/s)}$	S
冷熱井	$8.3\text{E-}04$	$5.3\text{E-}05$	$2.5\text{E-}04$

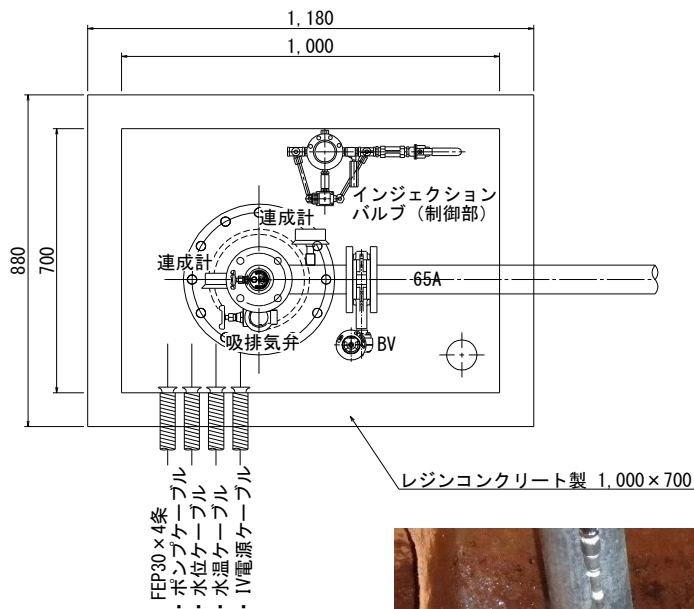
透水性	透水係数 $k \text{ (m/s)}$									
	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
通常に比べ	非常に低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い	低い
対応する土の種類	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土	粘土土
透水係数を算定する方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法	特殊な透水係数算定方法
透水係数を算定する方法	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算	圧縮試験結果から計算

図-2.2.1 透水性と土質区分 (地盤工学会)

3. 研究開発の進捗・予定

3.3 揚水注入設備の設計状況

平面図

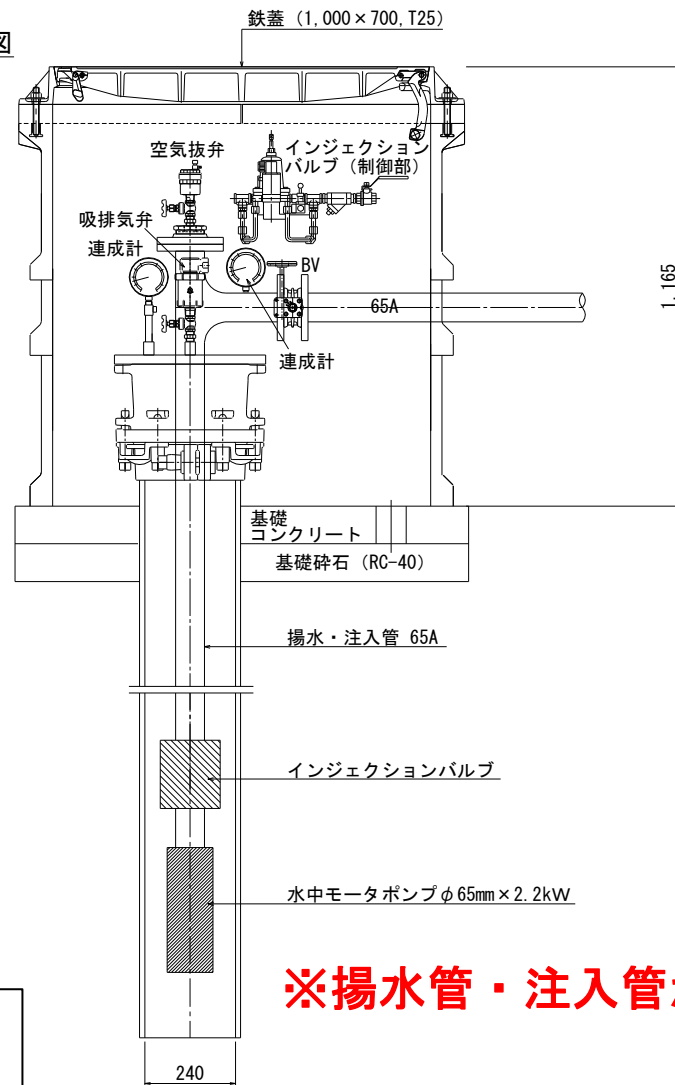


インジェクションバルブ
作動確認の様子



オランダ Melotte 社のインジェクションバルブは
主系統から分流した地下水を利用して開閉する。

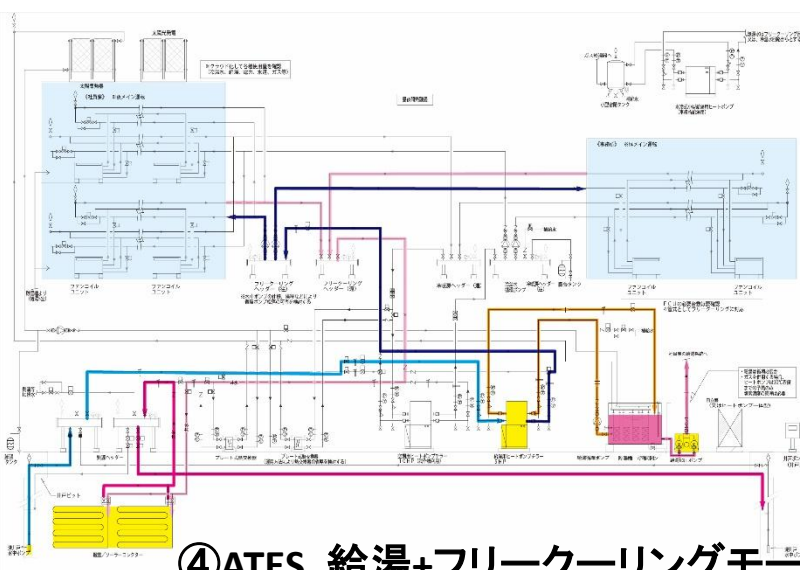
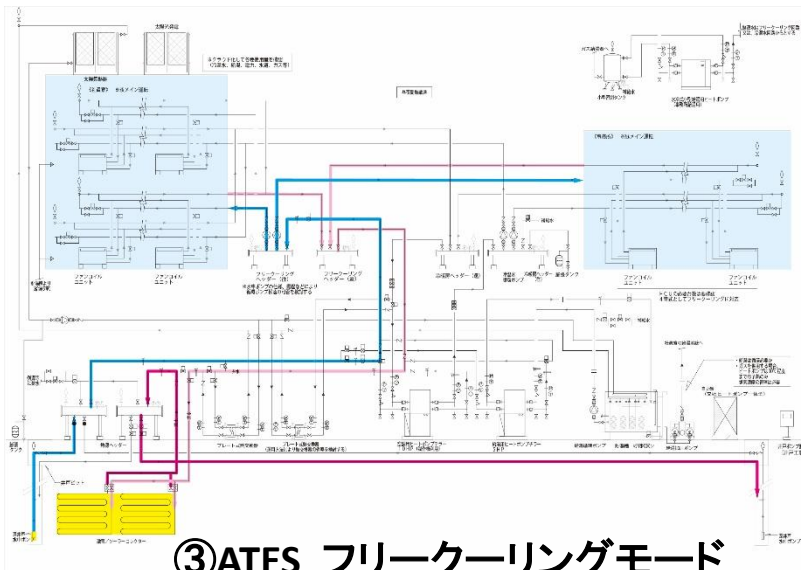
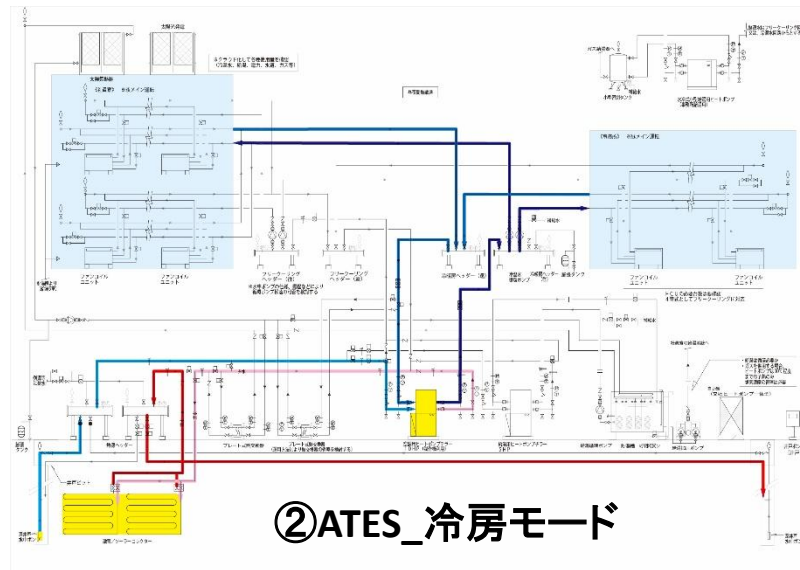
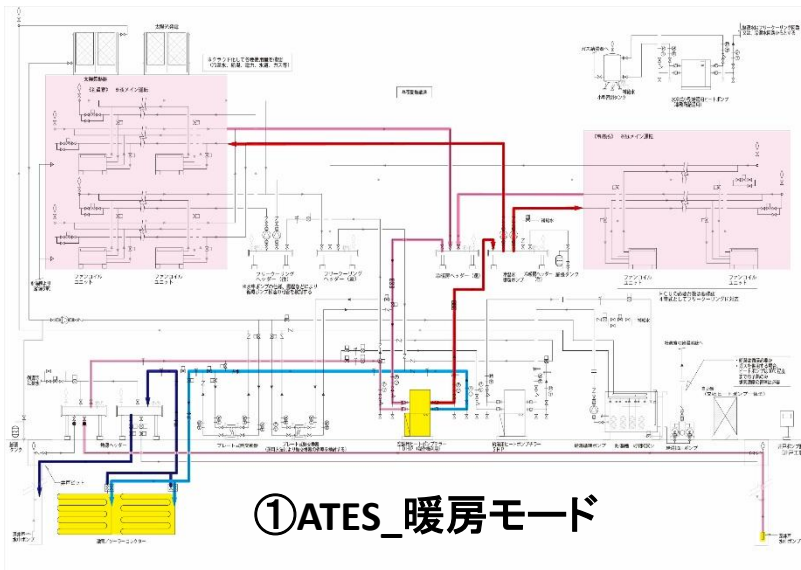
側面図



※揚水管・注入管が1本

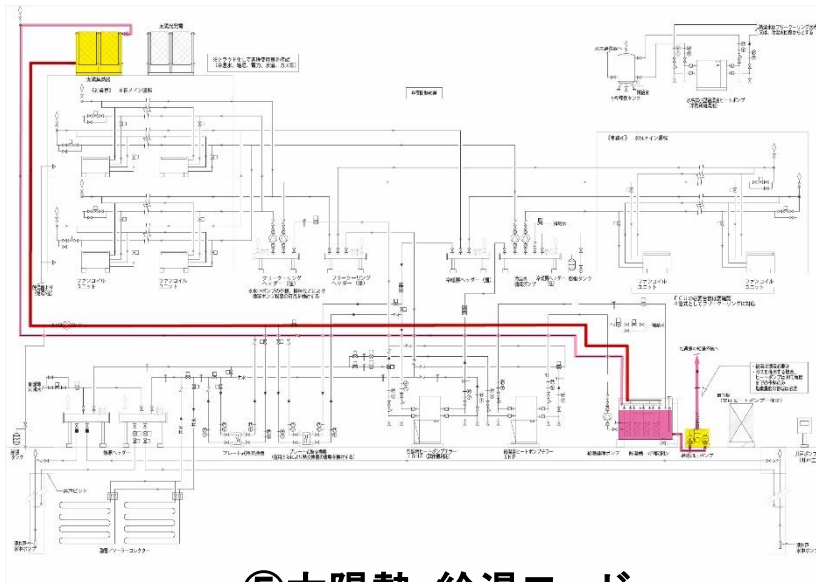
3. 研究開発の進捗・予定

3.4 面的熱利用システムの検討

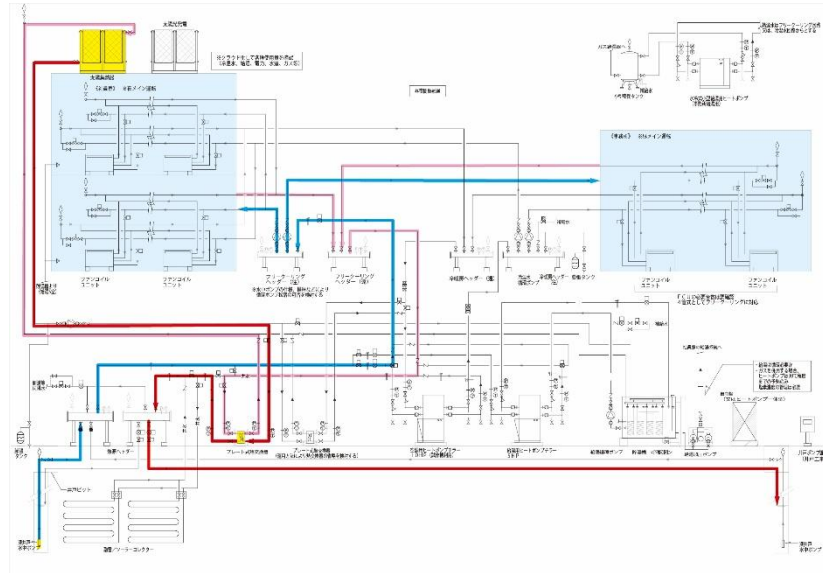


3. 研究開発の進捗・予定

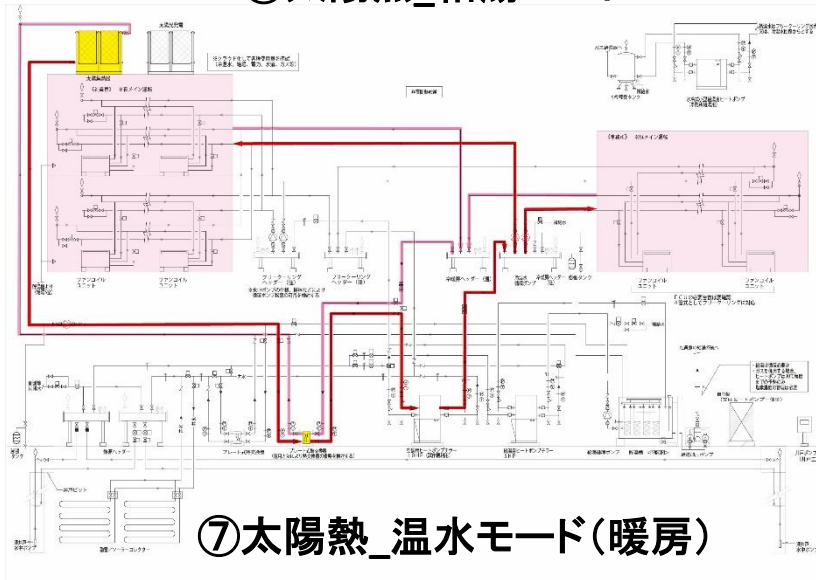
3.4 面的熱利用システムの検討



⑤太陽熱_給湯モード



⑥太陽熱_蓄熱モード(フリークーリング)



⑦太陽熱_温水モード(暖房)

太陽熱集熱器は基本的に給湯に利用
太陽熱の余剰熱を帯水層の蓄熱回路、暖
房時の温水回路に組み込むことで高効率
化を図る

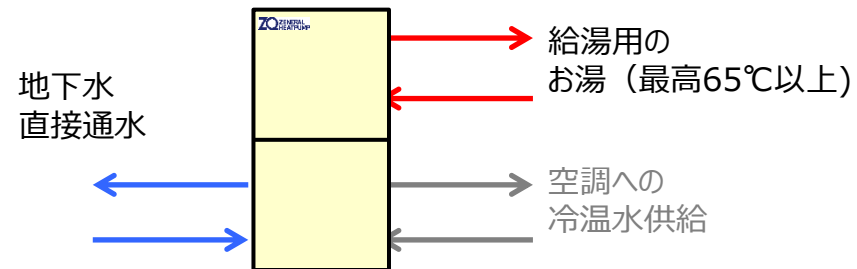
3. 研究開発の進捗・予定

3.5 低GWP冷媒採用の小型給湯ヒートポンプの開発

- ◆ 面的利用における個別分散型給湯への対応
- ◆ 冷媒の地球温暖化係数（GWP） 700 以下（社会的要請）

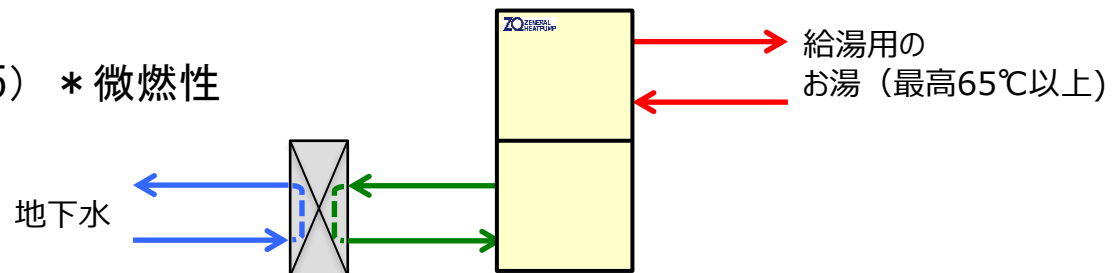
1) 集合住宅ZEH-M建築向け（風呂等の給湯用途）

- ・加熱能力： 15 kW程度
- ・冷媒： R513A（GWP 631 ※AR4） * 不燃
- ・地下水： 直接通水



2) 既存事務所向け（手洗い用途）

- ・加熱能力： 3 kW程度
- ・冷媒： R1234yf（GWP < 1 ※AR5） * 微燃性
- ・地下水： 間接利用



◇加熱COPの目標

2.7～3.1 ※貯湯槽利用を前提 温水 55℃→60℃、地下水（or 熱源水） 15℃→10℃

※システム全体として、空調用ヒートポンプの低GWP化は検討課題

3. 研究開発の進捗・予定

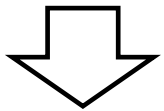
3.6 スケール付着判別の自動化手法の開発

【前PJでの開発】

JESC-ZEB棟、及び、地下水熱源の他フィールドにおける過去データについて、データの一部を目視抽出して解析。

⇒ 地下水との熱交換器へのスケール付着度合い
推定手法の妥当性を確認

問題点：目視でのデータ抽出のため、解析時間がかかるデータ抽出の一貫性確保が難しい。



【本開発】

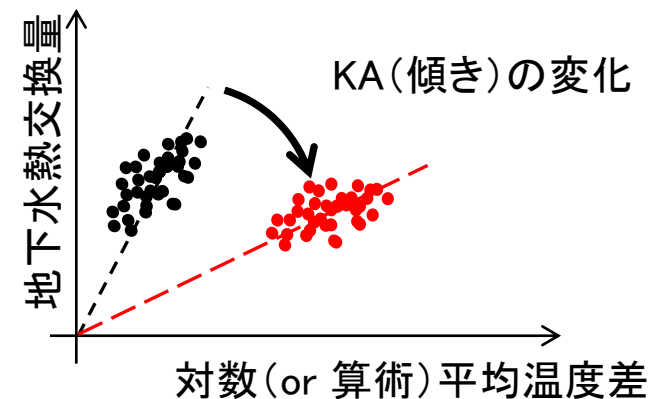
面的利用など広範囲でシステム運用

→ランニングコスト低減のため、自動的に熱交換器へのスケール付着傾向を判定し、メンテナンス等を促す仕組みが必要。

⇒ヒートポンプ内外で取得する時系列データに基づき、自動的にスケール付着を判別・通知する手法の開発

＜スケール付着度合いの推定手法＞
交換熱量の式

$$q = KA \Delta T \rightarrow KA = q / \Delta T$$



3. 研究開発の進捗・予定

3.6 スケール付着判別の自動化手法の開発

【開発プロセス】

- 1) 地下水熱源の複数のフィールドにおける過去の蓄積データに対して、机上計算にてスケール付着判別の自動化手法を検討
- 2) 机上計算にて妥当と考えられたスケール付着判別の自動化手法について、主に蓄積データとして用いたフィールドにて現場実装して検証
- 3) 現場実装した自動化手法を評価し、改善点の有無を検討
- 4) 現場にスケール付着判別の自動化を実装・評価

現在

'25.6
頃
以降

'26.11
以降

〔自動化手法開発の準備〕

スケール付着が顕著な現場における2年分（2015年、2016年）の夏季冷房時、冬季暖房時のデータについて、1日毎にヒートポンプ運転時のKA値を算出した。

※算出間隔、警告の閾値等は今後の検討事項