

# 2023年度成果報告会 プログラムNo.6

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/  
ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル  
熱供給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 日本地下水開発(株) 営業本部企画開発部 黒沼 覚

団体名 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 日本地下水開発株式会社 E-mail: [webmaster@jgd.jp](mailto:webmaster@jgd.jp) TEL: 023-688-6002

## 1. 目的

高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムが建物のZEB化に効果的であることを実証することにより、今後、経済産業省の示したロードマップに従って普及が加速されるZEBに本システムを広く普及させ、二酸化炭素排出量の削減に資することを目的とする。

## 2. 期間

2020年1月 ～ 2024年3月

## 3. 目標

2023年度までにシステム全体のトータルコストを20%以上低減

## 4. 成果・進捗概要

- ZEB 実証施設における高効率帯水層蓄熱トータル熱供給システムの稼働モニタリングを行い、最適稼働設定の検討・実施と『ZEB』への寄与評価を行った。
- 密閉式井戸構造を有効利用した井戸洗浄方法の検討とコストの算定を行った。
- 高効率帯水層蓄熱トータル熱供給システム専用ヒートポンプの性能検証を行った。
- スケール付着度合いの評価手法の検討を行った。

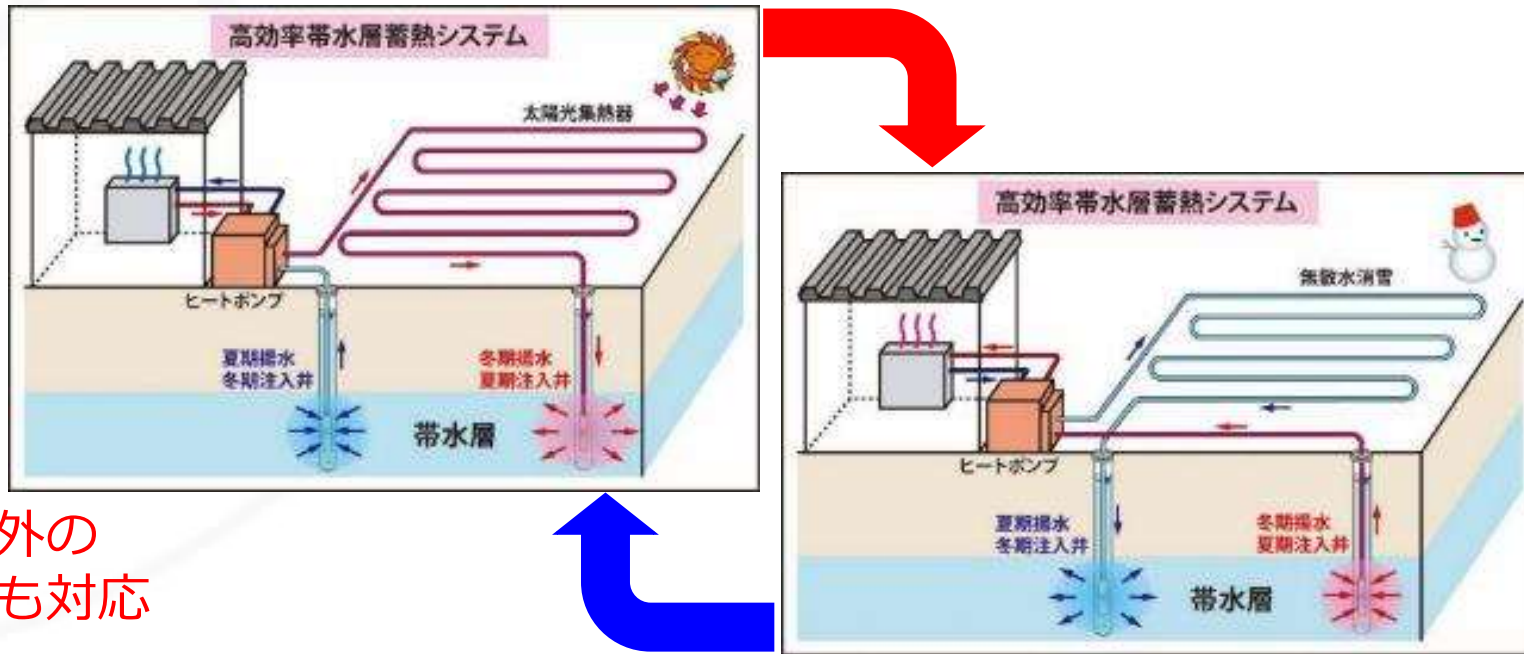
# 研究開発の背景・目的



2014～2018年度のNEDO「再生可能エネルギー熱利用技術開発」の成果

## ○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



冷暖房以外の  
熱需要にも対応

- 異なるエネルギー源を統一（トータル熱供給システム）
- 1) 冷暖房システム（従来型：オープンループ冷暖房システム）
  - 2) 給湯システム（従来型：ガス給湯器）
  - 3) 無散水消融雪システム（従来型：地下水方式）

# 研究開発の背景・目的



2016年に発効したパリ協定

→ 日本として地球温暖化対策を加速する必要性

■ 「第5次エネルギー基本計画」

→ 2030年までに新築建築物の平均でZEB実現

■ 「第6次エネルギー基本計画」

→ 2030年以降の新築建築物ではZEB水準の省エネを実現



今後、**ZEB**が飛躍的に増加する見込み



★ 本研究で高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのZEB適応性を実証し、ZEBの普及に合わせて本システム普及を図る

# 研究の内容・実施体制



研究開発責任者  
日本地下水開発株式会社：山谷 睦

## 日本地下水開発株式会社

総額：124百万円

- ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発

### 技術検討委員会

- ・森谷祐一，東北大学大学院教授
  - ・内田洋平，産総研総括研究主幹
  - ・榎 裕一，山形県エネルギー政策推進課長
  - ・笹田政克，地中熱利用促進協会理事長
- 外部有識者：藤井 光，秋田大学大学院教授  
外部有識者：吉岡真弓，産総研 地下水研究グループ長

## ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

総額：7百万円

- ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発

(専用ヒートポンプの開発)

(スケール付着防止機構の有効性検証)

- 柴 芳郎・再エネ研究所会長、渡邊澁雄・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、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、駒庭義人・再エネ研究所副主幹
- 笠原崇史・再生可能エネ研担当、柴光太・製造部担当
- 津谷駿介・再生可能エネ研主査

(業務全体総括・PL) 山谷 睦・取締役企画開発部部長

(高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの構築・稼働・調整)

(フリークリングと太陽光集熱器による高効率化)

佐藤弘康・工事部次長、佐藤浩之・工事部主査

(高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの効率的稼働のモニタリング・シミュレーション・評価)

井上 純・環境調査部部長、黒沼 寛・企画開発部補佐、加藤 渉・企画開発部補佐

(ZEB建物への高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの適合性検討・評価)

福井秀樹・設計部部長、今田和彦・設計部担当部長、伊藤健大・設計部主任、新宮紫苑・設計部係

(井戸洗浄方法検討) 大沼 隆・環境調査部補佐

# 研究開発項目・目標



研究開発項目	目標(具体的、数値、設定条件)
<p>(1)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発</p>	<p>【目標値】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ZEB実証建物と本システムの適応性評価</li> <li>2) システム構築とモニタリング</li> <li>3) フリークーリングによる冷房高効率化</li> <li>4) 給湯システムの高効率化</li> <li>5) 井戸洗浄方法の開発</li> <li>6) システムの技術評価手法確立</li> </ol> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">イニシャルコスト 30%低減 ランニングコスト 30%低減</p> <p>【設定条件】 2019年時点での、オープンループ冷暖房システム+業務用ガス給湯器+地下水利用無散水消融雪システムと、本システムの比較で設定</p>
<p>(2)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発</p>	<p>【目標値】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)専用ヒートポンプの開発 ヒートポンプ性能 給湯COP=4.3 (給湯17℃→60℃、地下水15℃→10℃) 総合COP=7.1 (給湯17℃→60℃、冷水12℃→7℃) (冷房+給湯同時運転時)</li> <li>2)スケール防止機構有効性検証 (進行度合いの推定手法検討も)</li> </ol> <p>【設定条件】 前事業で完成した地下水と冷媒が直接熱交換できるEジール型冷暖房ヒートポンプに給湯機能を付加し、Eジール型冷暖房給湯ヒートポンプを開発</p>



# 研究開発スケジュール

→ 当初計画  
 → 実施済  
 → 実施中



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		
ZEB実証建物 設計・準備 建築工事	日本地下水 開発 (株)				→	→	→	→	→														
(1)高効率帯水層蓄熱を利用したト-外熱供給システムの開発 1)実証建物とシステム適応性評価 2)エネルギー 3)リ-クリーニング冷房高効率化 4)給湯システムの高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6)システムの技術評価手法確立	日本地下水 開発 (株)				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
(2)高効率帯水層蓄熱を利用したト-外熱供給システム専用ヒートポンプの開発 1)設計 2)製作・性能試験 3)山形フィールドへ設置・調整 4)エネルギー 5)スケール防止機構有効性検証	ゼネラル ヒートポン プ工業(株)				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	

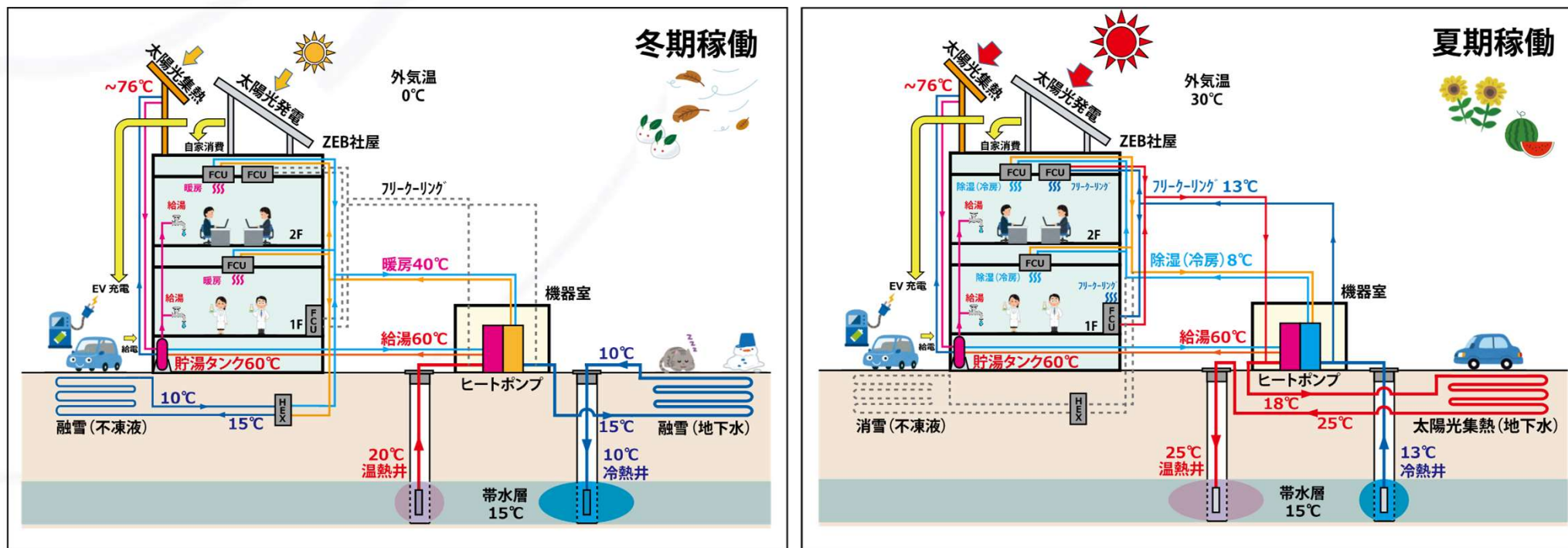
# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

## ○高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システム実証施設

- ・ 建物の3つの熱需要(冷暖房,給湯,融雪)に1システムで対応
- ・ ZEB実証施設に実際に導入し、適応性を実証



- ・ 2021年度、2022年度、2年連続で運用上での『ZEB』実現を確認



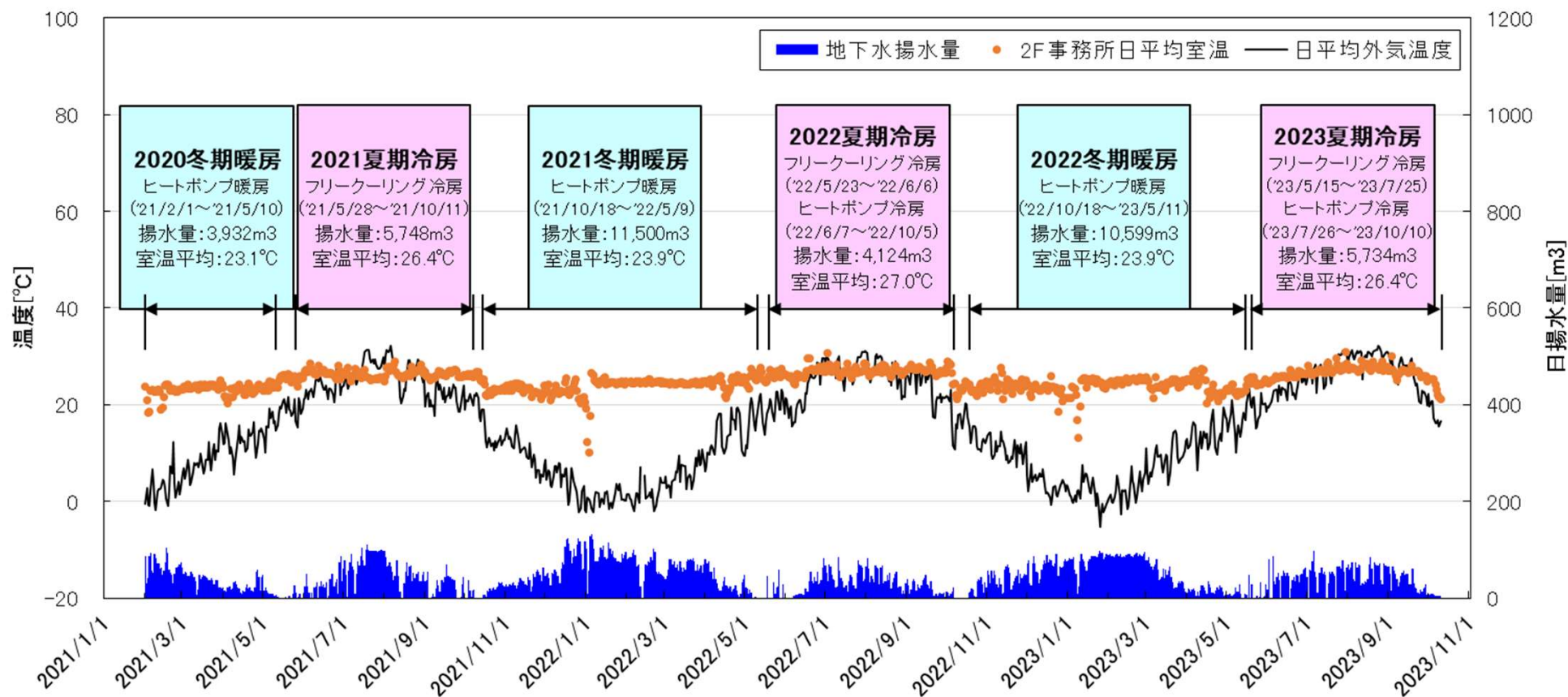
# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

## ○冷暖房で安定した室温維持を実現

- ・ 2021年度 冷房：フリークーリング冷房 / 暖房：ヒートポンプ暖房
- ・ 2022年度 冷房：ヒートポンプ冷房 / 暖房：ヒートポンプ暖房
- ・ 2023年度 冷房：フリークーリング+ヒートポンプのハイブリット冷房



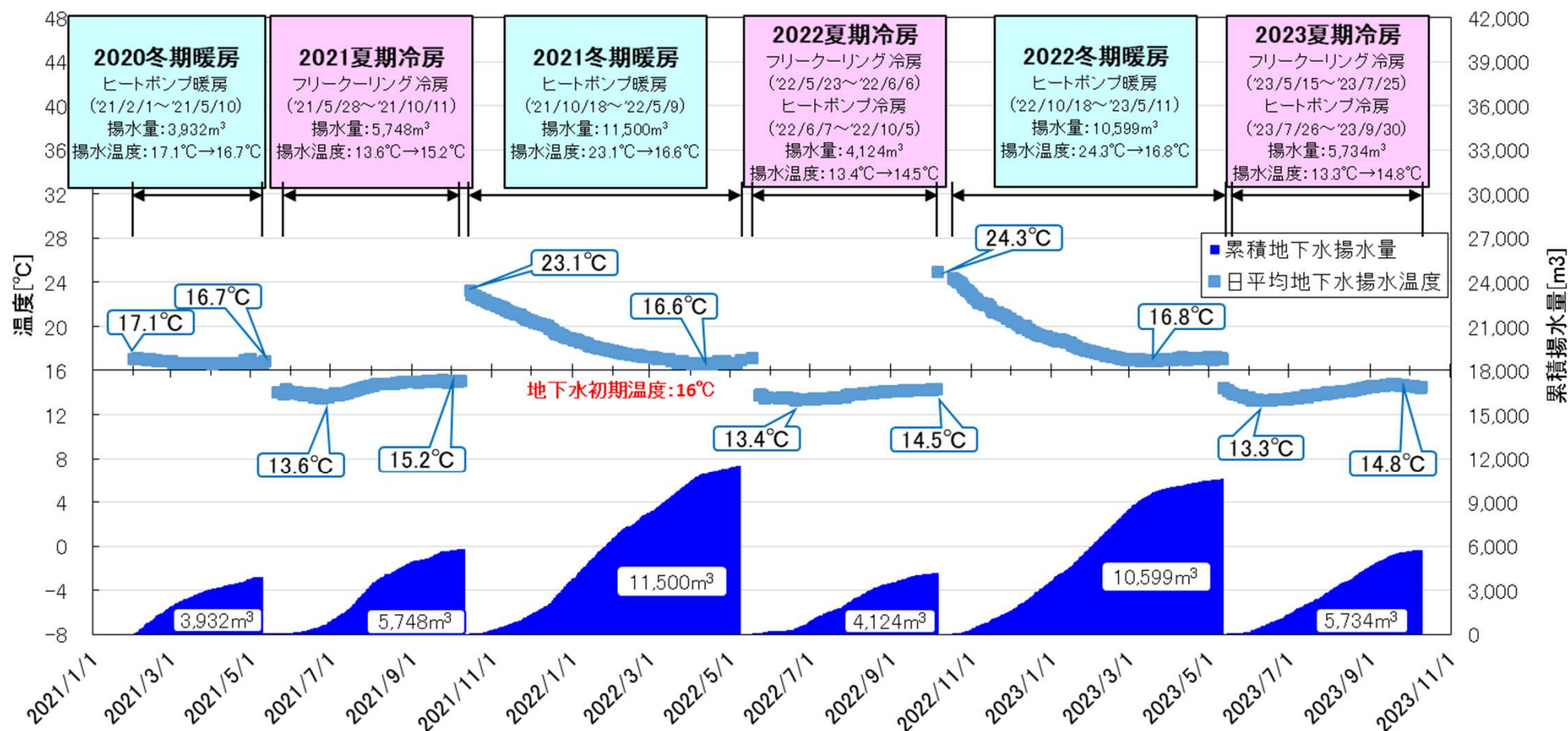
ZEB実証施設における日地下水揚水量と日平均室温、日平均外気温の変動

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

- 累積地下水揚水量に連動して蓄熱メリット(冷温熱)が徐々に消費される
- 各シーズン末で地下水初期温度16℃に至らなかった



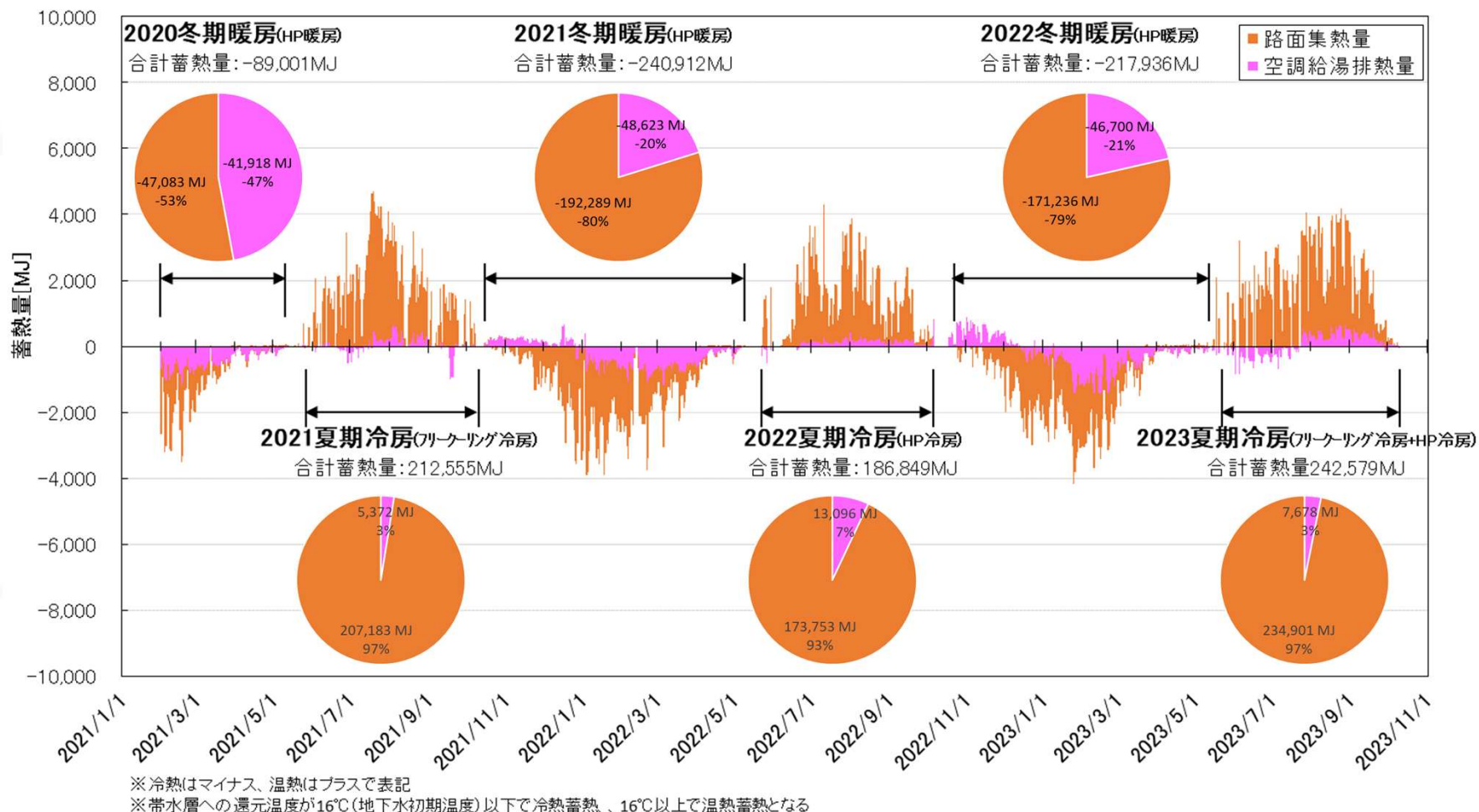
日平均地下水揚水温度の変動と、運用毎の累積地下水揚水量

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

○冬期暖房・夏期冷房共に、蓄熱量全体に占める空調給湯排熱の割合は少なく、無散水融雪施設／太陽光集熱器による集熱が大半を占める



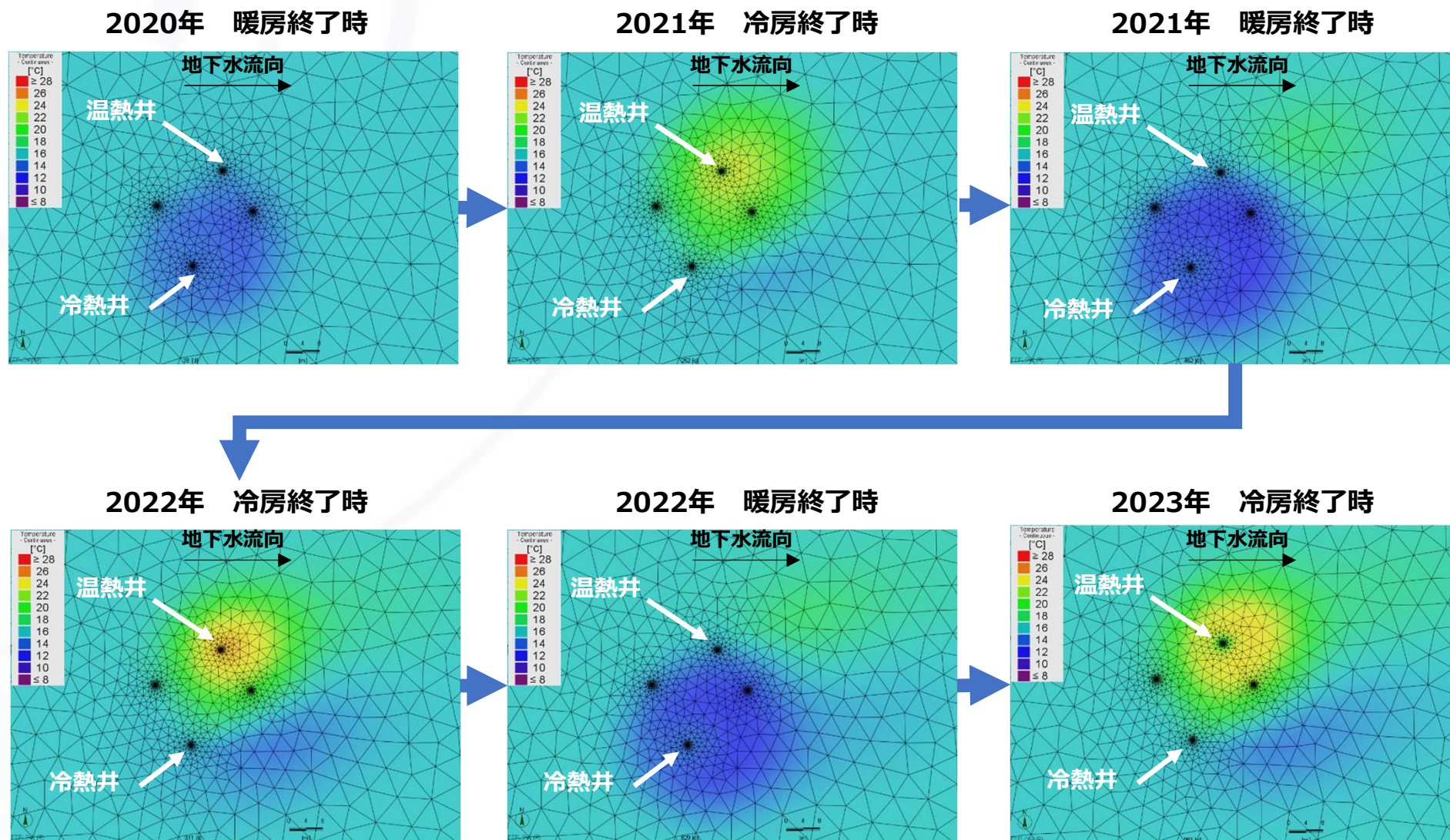
## 日蓄熱量の変動



# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）



シミュレーションによる深度50mの温度分布の推移

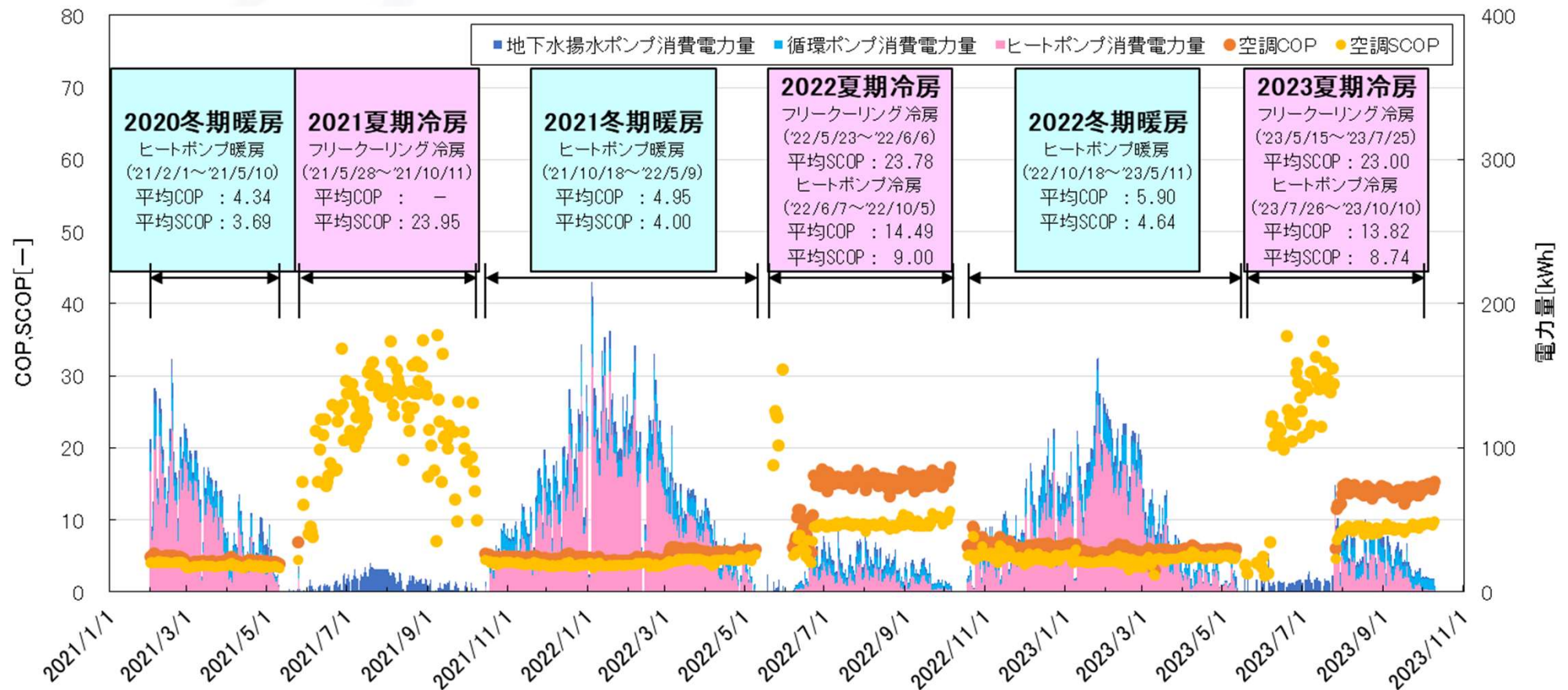


# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

- フリークーリング冷房時のSCOPは高い
- ヒートポンプ冷房/暖房時のCOP,SCOPは、運用序盤に高く緩やかに低下  
→蓄熱メリット（地下水揚水温度）の消費に連動



※空調COPはヒートポンプ消費電力量のみ、空調SCOPはヒートポンプと地下水揚水ポンプ、循環ポンプの消費電力量合計から算定

## 日平均COPとSCOPの変動

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

## 各シーズンのシステム運用まとめ

シーズン	運用方法	地下水揚水量	事前蓄熱量	平均COP	平均SCOP	日平均地下水揚水温度
2020年度 冬期暖房	ヒートポンプ	3,932m <sup>3</sup>	—	4.34	3.69	開始時:17.1℃ 終了時:16.7℃
2021年度 夏期冷房	フリー クーリング	5,748 m <sup>3</sup>	-89,001 MJ	—	23.83	開始時:13.6℃ 終了時:15.1℃
2021年度 冬期暖房	ヒートポンプ	11,500 m <sup>3</sup>	212,555 MJ	4.95	4.00	開始時:23.1℃ 終了時:16.6℃
2022年度 夏期冷房	ヒートポンプ	4,171 m <sup>3</sup>	-240,912 MJ	14.49	9.00	開始時:13.4℃ 終了時:14.5℃
2022年度 冬期暖房	ヒートポンプ	10,013 m <sup>3</sup>	189,849 MJ	5.87	4.19	開始時:24.3℃ 終了時:16.8℃
2023年度 夏期冷房	フリー クーリング	5,734 m <sup>3</sup>	-217,936 MJ	—	23.00	開始時:13.3℃ 終了時:14.8℃
	ヒートポンプ			13.82	8.74	

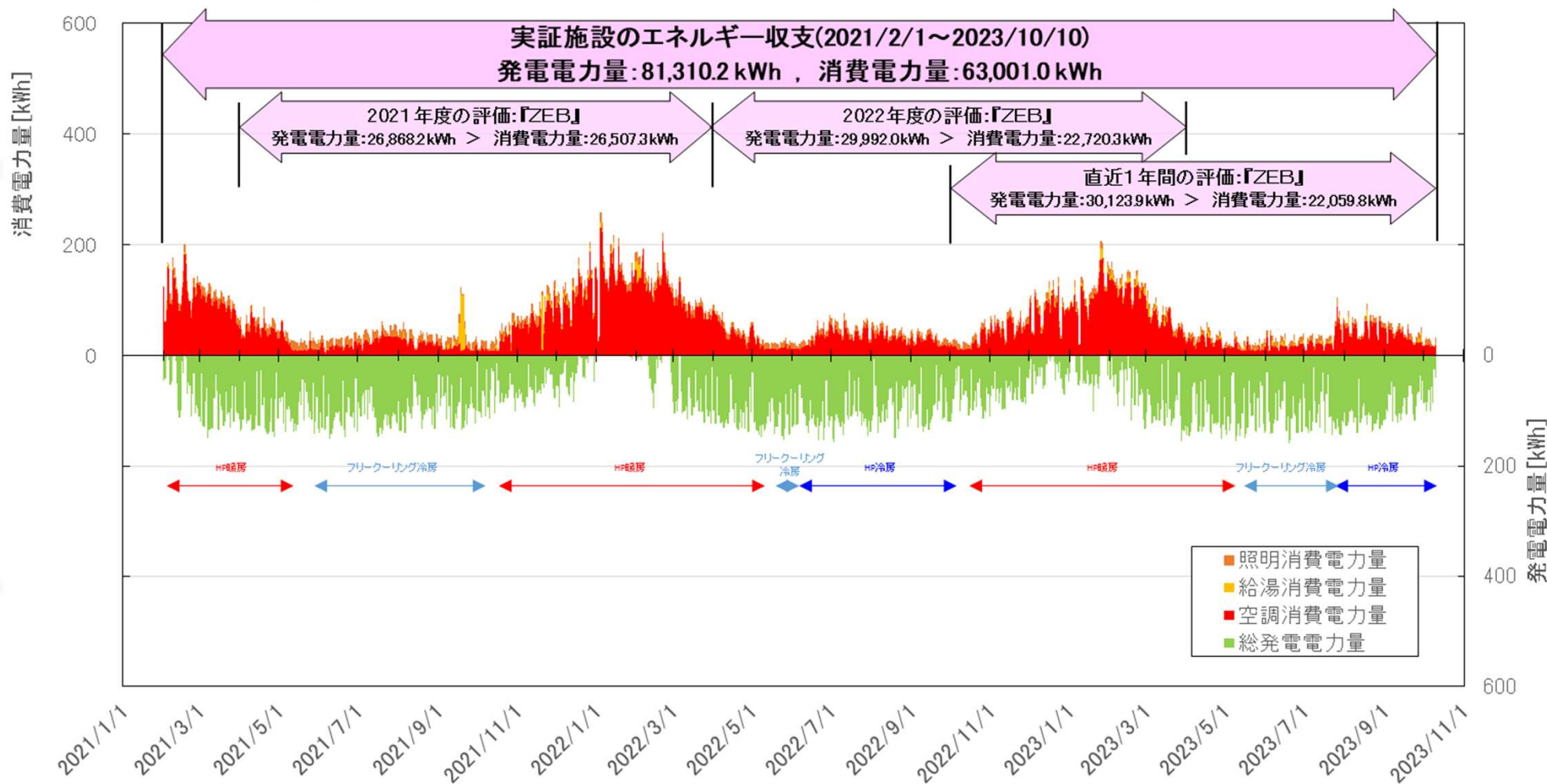


# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

- 2年連続で『ZEB』を達成
- 蓄熱効果によりヒートポンプの稼働効率が高くなり、消費電力を低減

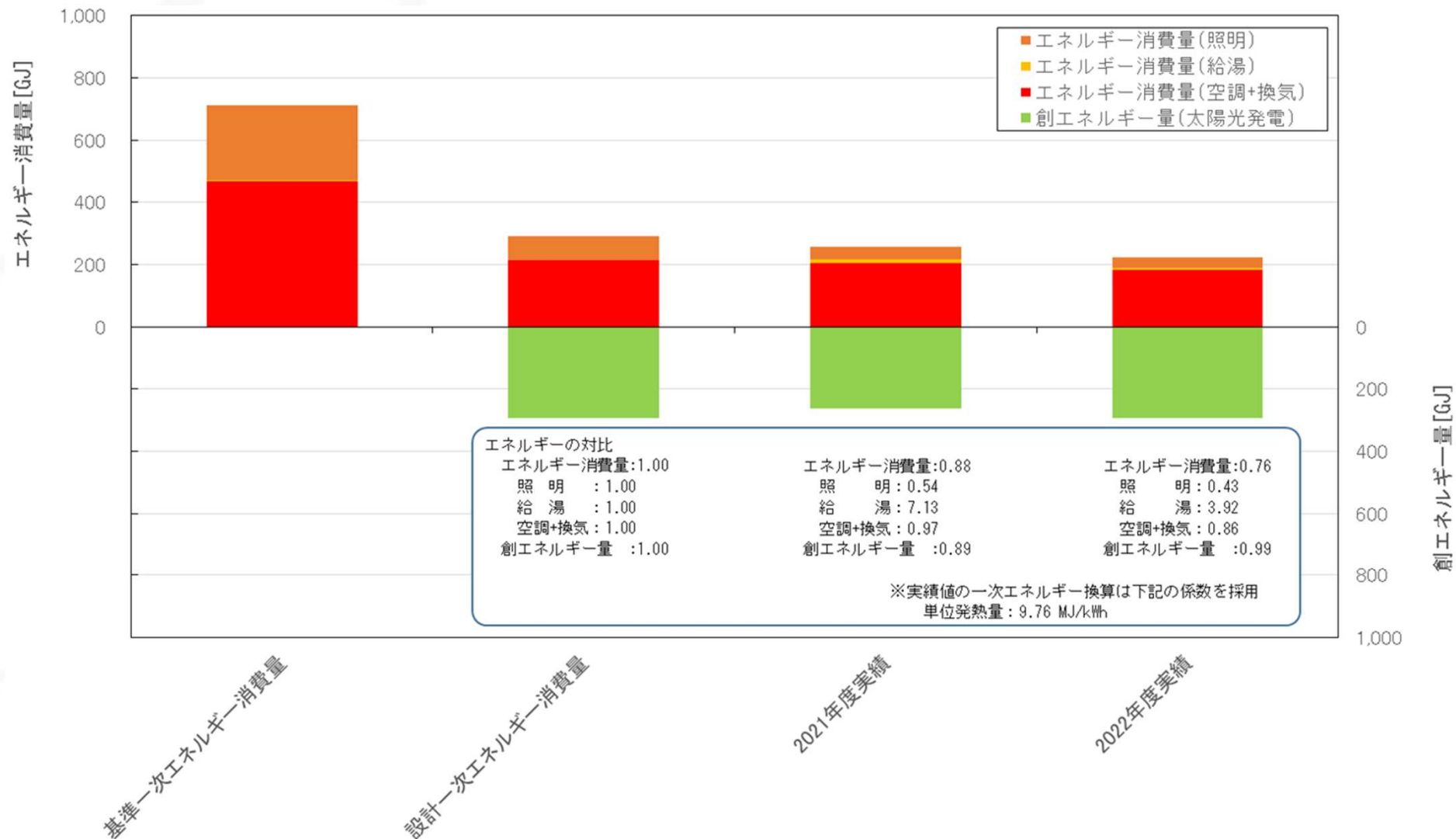


発電電力量と消費電力量の変動(積上グラフ)

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）



ZEB実証施設の一次エネルギー消費量の基準値、設計値、および2021・2022年度実績値

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発（日本地下水開発株式会社）

## 密閉式井戸構造を有効利用した井戸洗浄方法の検討

**目的**：本方式による井戸洗浄方法の開発により井戸のメンテナンスコストを低減  
従来工法による井戸洗浄経費 = 1回あたり100万円程度  
（従来工法の流れ：ポンプ撤去→スワービング、エアリフト等で洗浄→ポンプ再設置）

**方法**：密閉井戸構造を有効利用し、圧縮空気加圧とポンプ揚水により  
井戸のアニュラス部に圧力変化を与え、一般工法と同等の洗浄効果を得る  
⇒ 稼働後の3号井と4号井を使用して洗浄試験を実施

**結果**：洗浄前後の透水係数測定結果より、透水係数のオーダーが変わるような明確な変化は確認されなかったことから、井戸の揚水・注入能力が維持されていると判断

### 洗浄前後の透水係数(m/s)の変化

井戸	2021年		2022年		2023年	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
3号井	$3.05 \times 10^{-5}$	$2.65 \times 10^{-5}$	$3.76 \times 10^{-5}$	$3.37 \times 10^{-5}$	-	-
4号井	$3.55 \times 10^{-5}$	$3.87 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$3.82 \times 10^{-5}$	$6.36 \times 10^{-5}$	$6.06 \times 10^{-5}$



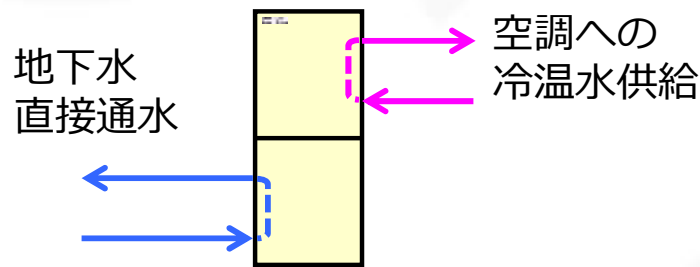
# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発  
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

## 【前PJの内容と目標】

地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房ヒートポンプを開発した

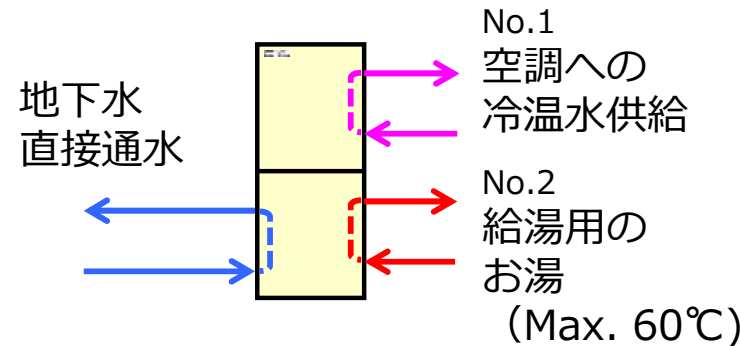


### 前PJの最終目標

- ・冷却COP 6.35  
(冷水12→7℃、地下水15→25℃)
- ・加熱COP 5.80  
(温水30→35℃、地下水15→10℃)  
を達成した。

## 【本開発の内容と目標】

地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房給湯ヒートポンプを開発する



### 本研究開発の目標

- ・給湯COP 4.3 [従来型 + 0.6]  
(補給水17℃→出湯60℃、地下水15℃→10℃)
- ・冷却運転 + 給湯運転の総合COP 7.1 [従来型 + 0.4]  
(冷水12℃→7℃、補給水17℃→出湯60℃)

運転状態	No. 1	No. 2
冷房時	冷水※1	-
暖房時	温水	-
給湯時	-	給湯
排熱回収	-	※2 給湯 + 冷水

※1 冷水は、冷温水回路へ  
※2 冷水は、フリークーリング回路へ

※空調単独に関しては、新規開発要素が無いため目標設定も無し。  
⇒ スケール付着の低減を考慮したヒートポンプを再製作・再評価。

# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発  
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

試作2号機について、本開発の目標を達成しているか工場内の試験装置にて温度を安定させた状態における能力、消費電力を検証した。

対象機	運転状態	本研究開発の目標	達成状況	
フィールド試験機 (工場試験)	給湯 単独運転	給湯COP 4.3 [従来型+0.6] (補給水17℃→出湯60℃、地下水15℃→10℃)	補給水20℃の条件で、給湯COP 4.04	93%
	冷水+ 給湯運転	冷却+給湯運転の総合COP 7.1 [従来型+0.4] (冷水12℃→7℃、補給水17℃→出湯60℃)	補給水20℃の条件で、総合COP 6.86	96%
(フィールドデータ)	給湯 単独運転	給湯COP 4.3 [従来型+0.6] (補給水17℃→出湯60℃、地下水15℃→10℃)	補給水19℃、出湯58℃の条件で、給湯COP 4.6	106%
試作2号機 (工場試験)	給湯 単独運転	給湯COP 4.3 [従来型+0.6] (補給水17℃→出湯60℃、地下水15℃→10℃)	温度条件左記通りで、給湯COP 4.5	104%
	冷水+ 給湯運転	冷却+給湯運転の総合COP 7.1 [従来型+0.4] (冷水12℃→7℃、補給水17℃→出湯60℃)	温度条件左記通りで、総合COP 7.5	105%



# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発  
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

中長期的なスケール付着の予測手法に関してフィールド試験のデータを用いて検討を行った。具体的には、地下水と冷媒の算術平均温度差と地下水熱交換量の関係をグラフ化し、その傾き（KA値）が得られる条件と傾きの値の変化について検討した。

$$q = KA \Delta T$$

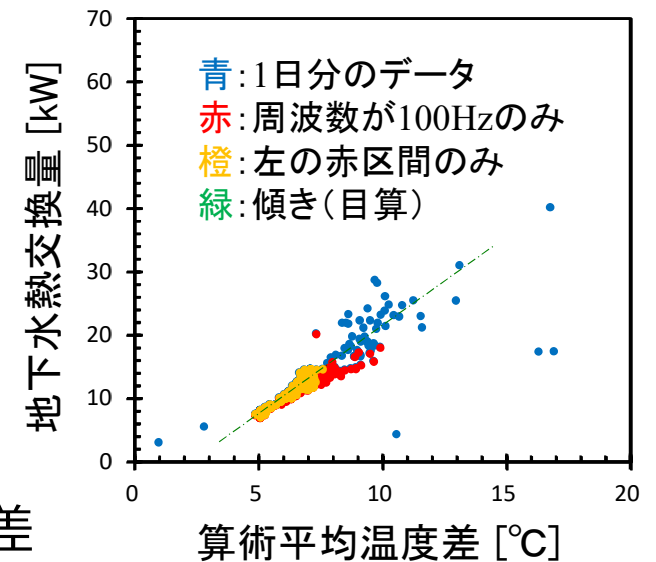
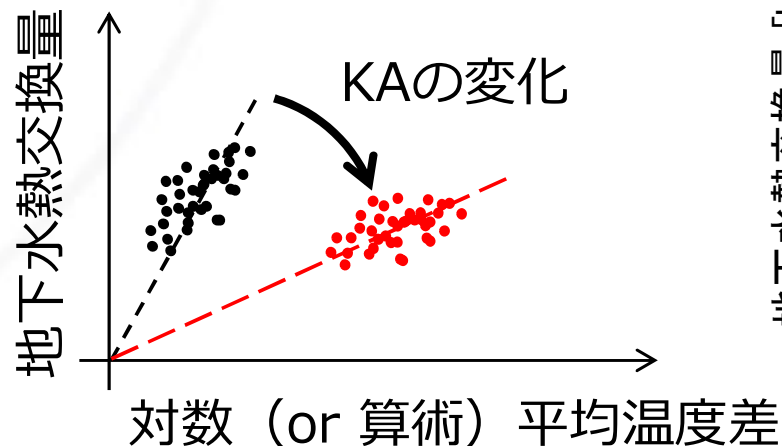
↓

$$KA = q / \Delta T$$

K : 熱通過率 [kW/(m<sup>2</sup>・K)]  
A : 熱交換面積 [m<sup>2</sup>]  
q : 地下水熱交換量 [kW]  
 $\Delta T$ : 算術平均温度差[°C (K)]  
 $T_{in}$  : 地下水入口温度[°C (K)]  
 $T_{out}$  : 地下水出口温度[°C (K)]  
 $T_1$  : 冷媒温度 (蒸発温度) [°C (K)]

※算術平均温度差

$$\Delta T = (T_{in} + T_{out})/2 - T_1$$



⇒ 冷媒圧力、運転周波数などが安定した区間のみとすることで直線部は現れやすい。  
しかし、フィールド試験現場ではスケール付着が顕著ではないため、手法の適用性に関する評価が難しい。

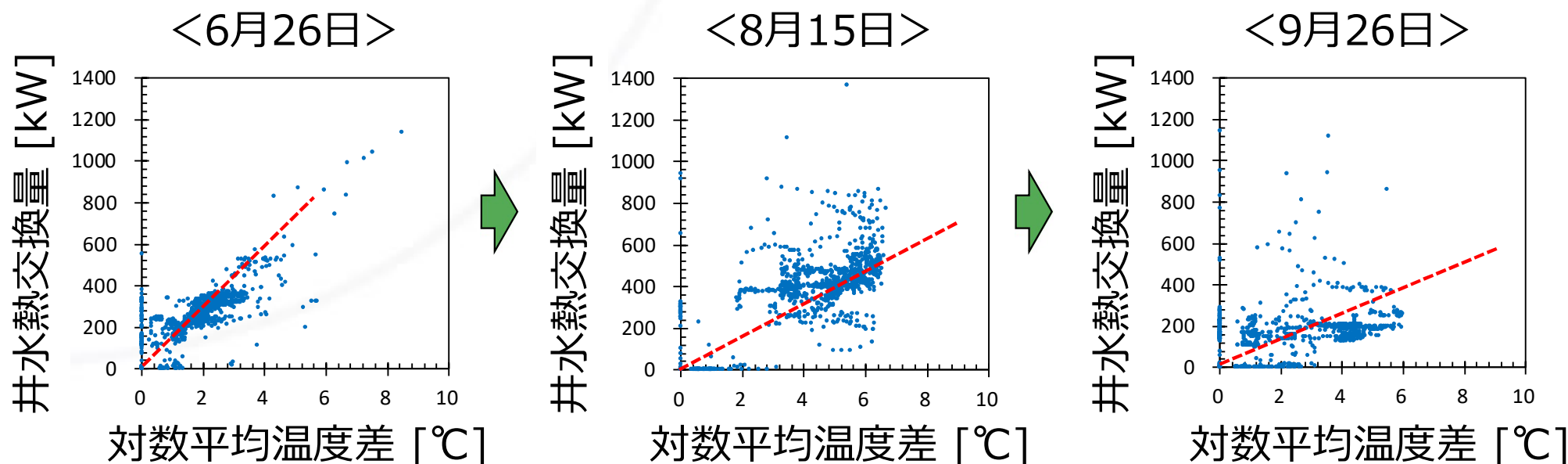
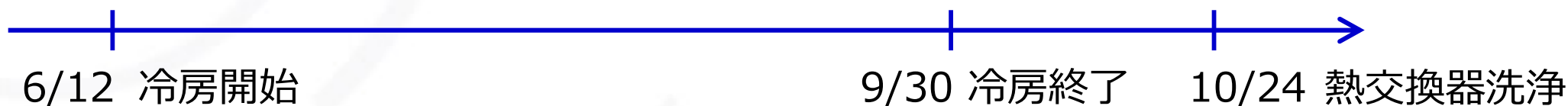


# 研究開発成果



高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発  
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

水-水のプレート式熱交換器にはなるが、熱交換器にスケールが付着し定期洗浄を行っている他フィールドのデータから手法の妥当性を検証することとした。



⇒ 分布全体として同等熱量を得るための対数平均温度差が大きくなっており、手法の検証を行える可能性が高い。

# 研究開発成果



## 研究開発成果一覧表

研究開発項目	研究開発対象	現状の成果			2023年度 目標 (プロジェクト)
		コスト面		性能面	
		個別(RC)	トータル	個別	
(1)高効率帯水層蓄熱を活用したト-外熱供給システムの開発	高効率帯水層蓄熱を活用したト-外熱供給システム	空調：47%低減 融雪：42%低減 給湯：74%低減 洗浄：90%低減	ト-外コスト (IC+RC×14) ：30%低減 IC 21%減 RC 55%減	従来型より蓄熱量増加 温熱：40倍 冷熱：5倍 従来型より消費電力量低減 夏期：74%減 冬期：28%減	2023年度までに トータルコスト 20%以上低減させ、 2030年までに30% 以上低減の行動計 画策定
(2)高効率帯水層蓄熱を活用したト-外熱供給システム専用ヒートポンプの開発	地下水と冷媒が直接熱交換可能な水-水ヒートポンプ(冷暖房+給湯)			・給湯単独運転 給湯COP 4.5  ・冷水+給湯運転 総合COP 7.5	

# まとめ



- ◆ 本システムの導入促進対象地域、主として積雪寒冷地域の地下水の流れが遅い地域（例：北海道地方、東北地方、北陸地方、中部地方、山陰地方など）
- ◆ 積雪寒冷地域に位置する地方公共団体に働きかけ、ZEBの普及促進を図る
- ◆ 市町村庁舎や、中規模までの診療所など一般市民が訪れる機会が多い公共施設（500～1,500m<sup>2</sup>規模）への導入を促進し、省エネルギー性能をアピール
- ◆ 国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）が開発した帯水層蓄熱システム適応マップを活用  
⇒津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地の5地域を重点地域として営業展開
- ◆ ZEBプランナー資格を生かし積極的に営業活動
- ◆ 再生可能熱エネルギーの面的熱利用についても展開も図る
- ◆ ZEB実証施設を公開後、これまでに400名弱の見学を受入れて性能アピール