

2024年度NEDO再生可能エネルギー一部成果報告会 プログラムNo.14

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12月18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 山谷 睦、駒庭義人

*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 TEL:023-688-6000

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を、全国へひろがるZEB施設へ導入普及促進を図ることで、2050カーボンニュートラル実現に資すること。

2. 期間 2020年1月9日 ～ 2024年3月31日

3. 目標（最終）

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化に極めて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る。それによって、本システム省エネルギー効果により、日本の二酸化炭素排出量の大幅削減に資することが最終目標である。

4. 成果・進捗概要

- 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実証施設で実稼働させた。
- フリークーリング冷房はヒートポンプ冷房よりも70%以上の省エネルギー効果があることを確認した。
- 帯水層蓄熱効果と省エネルギー効果は、延べ3年間継続して『ZEB』（完全ゼブ）達成に寄与した。
- 密閉型井戸構造を活かした井戸井戸洗浄方法を確立し、井戸性能維持への有効性を確認できた。
- 高効率帯水層蓄熱専用ヒートポンプの一次側熱交換器を分解点検しスケール付着のないことを確認した。

背景と目的



社会的背景

- 2016年に発効したパリ協定
↓
地球温暖化対策を加速する必要性

経済産業省の「エネルギー基本計画」
における目標

↓
2030年までに新築建築物の
平均値でZEB実現

技術的成果

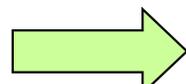
- 2014年度～2018年度のNEDO事業
「再生可能エネルギー熱利用技術開発」
における成果

「高効率帯水層蓄熱冷暖房システム」

↓
イニシャルコスト 21%低減
ランニングコスト 31%低減

本研究開発の目的

- 今後飛躍的に増加するZEBへ適応
- 冷暖房だけでなく、給湯と融雪に対応
- ★「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」を開発
- ★本システムがZEB化に効果的であることを実証



ZEB普及とともに、本システムを広く普及させることが目的

研究開発項目と目標



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"> 1) ZEB実証建物と本システムの適応性評価 2) システム構築とモニタリング 3) フリークーリングによる冷房高効率化 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 <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"> 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) 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) <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モジュール型冷暖房ヒートポンプに給湯機能を付加し、モジュ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



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)モニタリング 3)フリージング 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)モニタリング 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

担当：日本地下水開発（株）



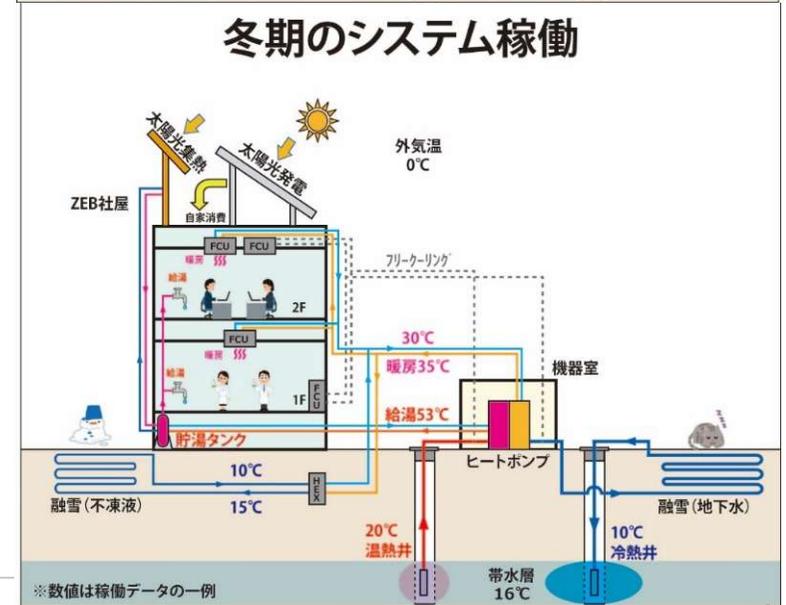
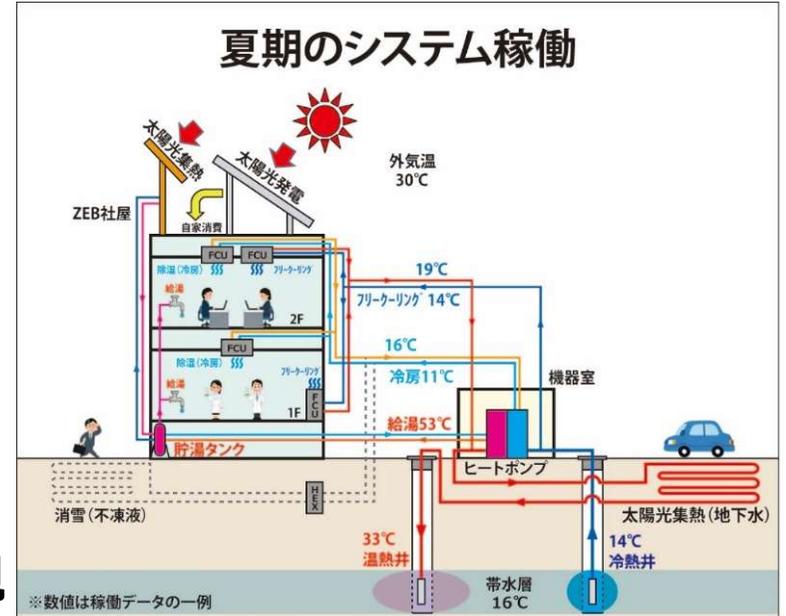
- 建物の3つの熱需要(冷暖房,給湯,融雪)に1システムで対応
- ZEB実証施設に実際に導入し、適応性を実証



3年連続で
『ZEB』実現

ZEB実証施設 (JESC-ZEB棟)
建築物省エネルギー性能評価表示制度(BELS)で☆ 5

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



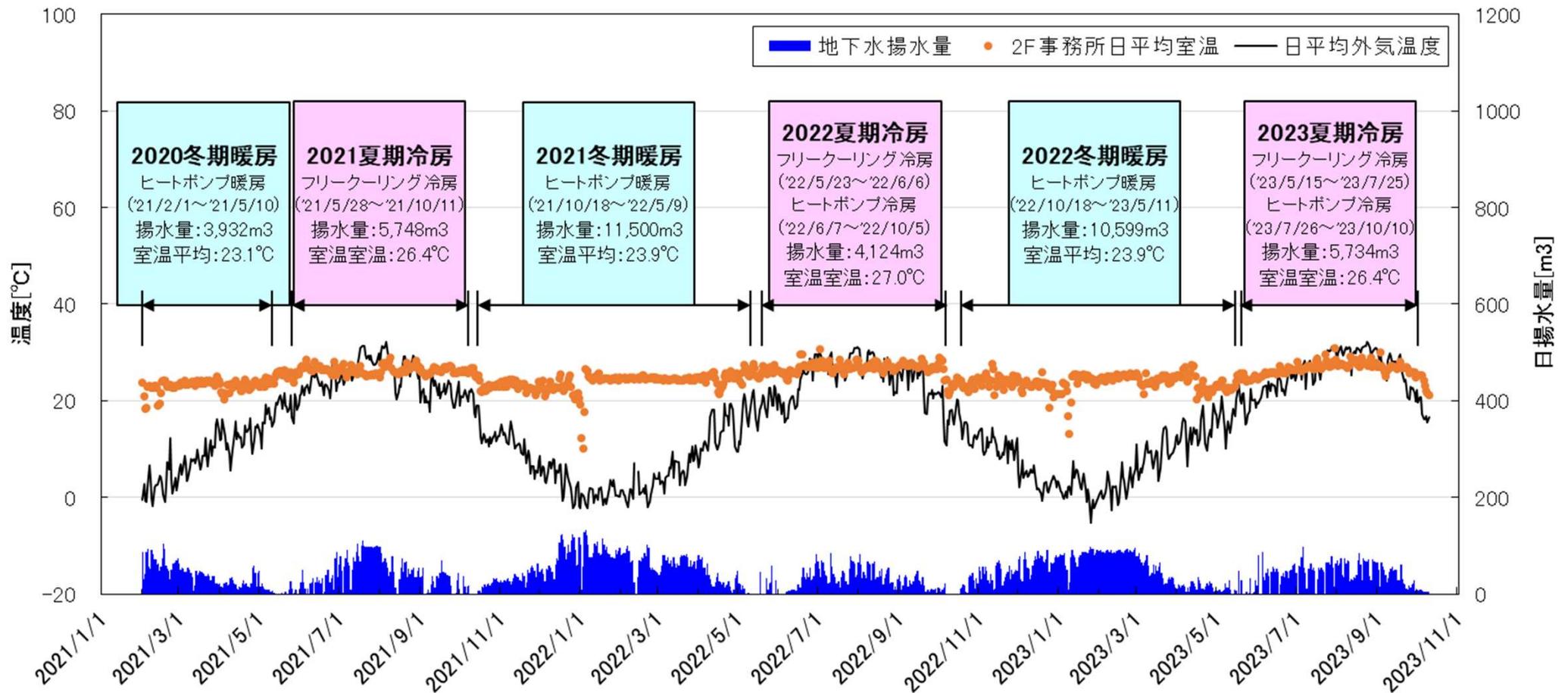
研究開発成果

担当：日本地下水開発（株）



○冷暖房で安定した室温維持を実現

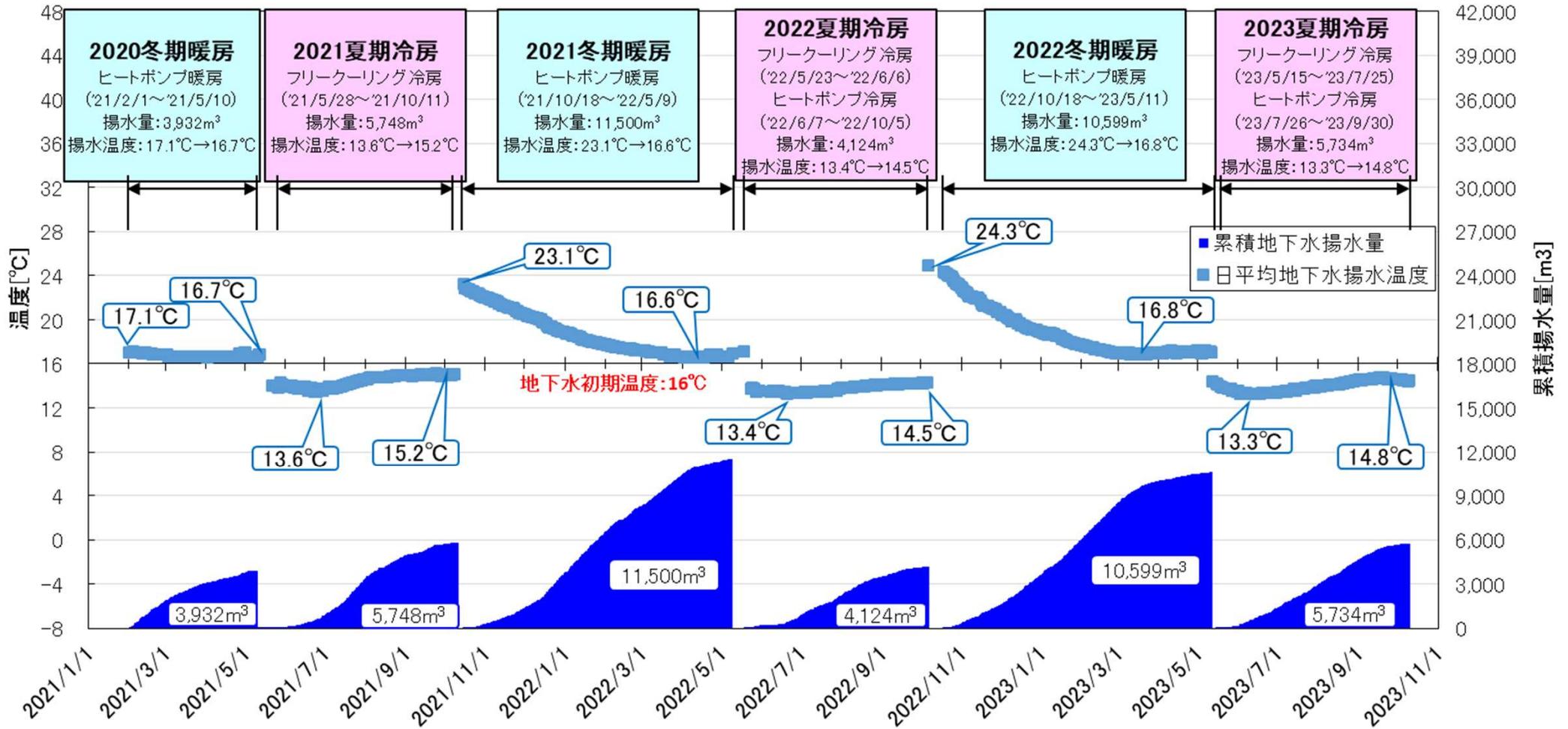
- ・2021年度 冷房：フリークーリング冷房 / 暖房：ヒートポンプ暖房
- ・2022年度 冷房：ヒートポンプ冷房 / 暖房：ヒートポンプ暖房
- ・2023年度 冷房：フリークーリング+ヒートポンプのハイブリット冷房
(モニタリング・データ収集は2023年度冷房で終了)



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

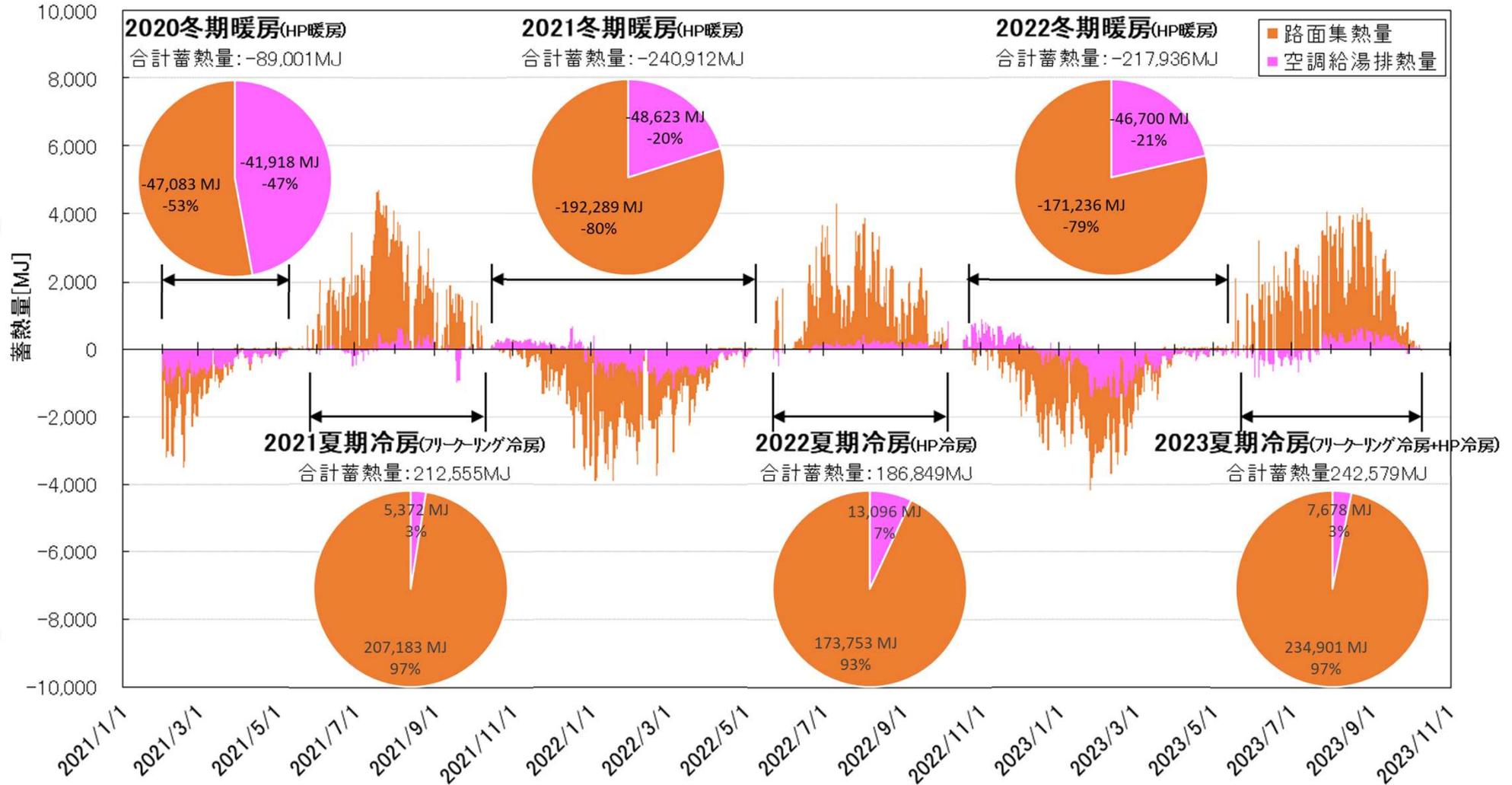
- 累積地下水揚水量に連動して蓄熱メリット(冷温熱)が徐々に消費される
- 各シーズン末で地下水初期温度16℃に至らなかった



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

- シーズン毎蓄熱量に占める空調給湯排熱は少ない
- 路面集熱（無散水融雪施設／太陽光集熱器）による集熱量の割合が大半を占める

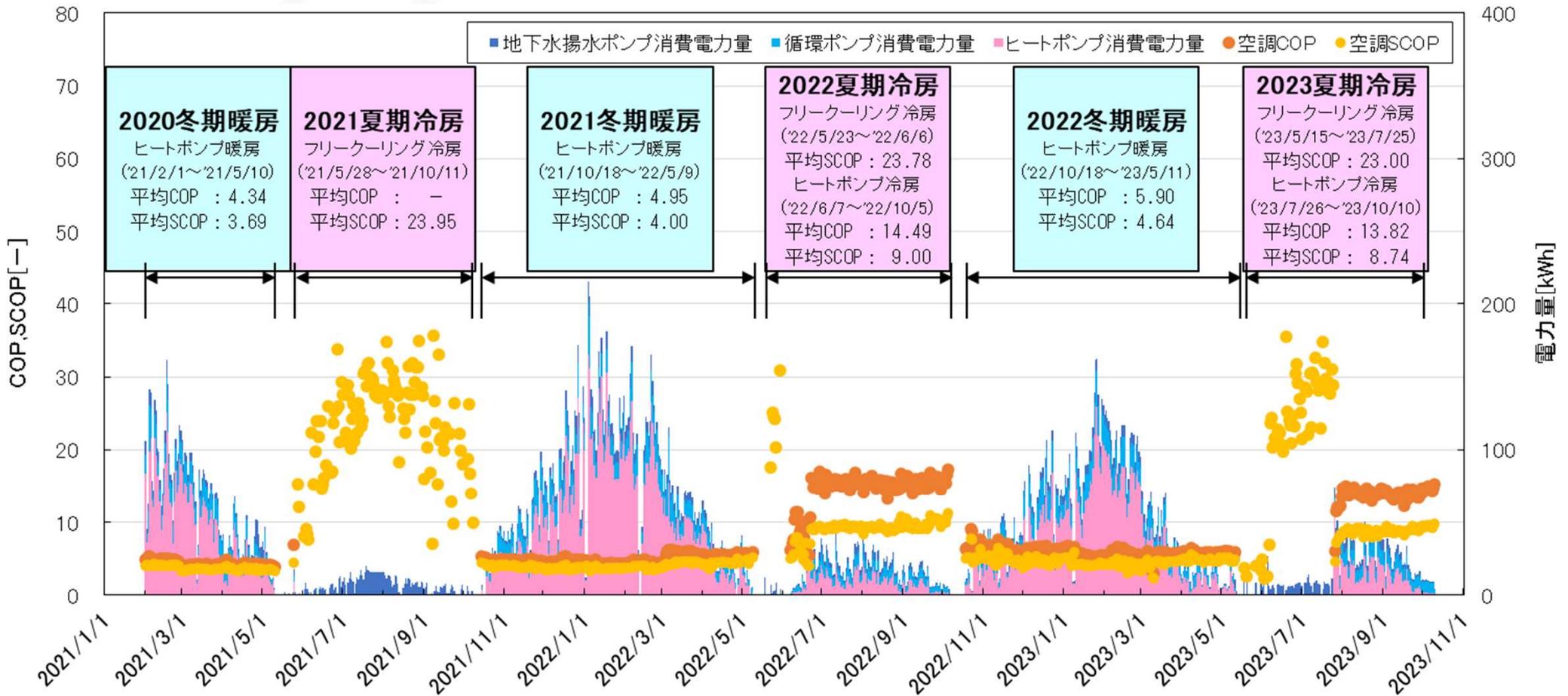


※冷熱はマイナス、温熱はプラスで表記
 ※帯水層への還元温度が16℃(地下水初期温度)以下で冷熱蓄熱、16℃以上で温熱蓄熱となる

日蓄熱量の変動と、シーズン毎蓄熱量の空調給湯排熱と路面集熱の割合

研究開発成果

- 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

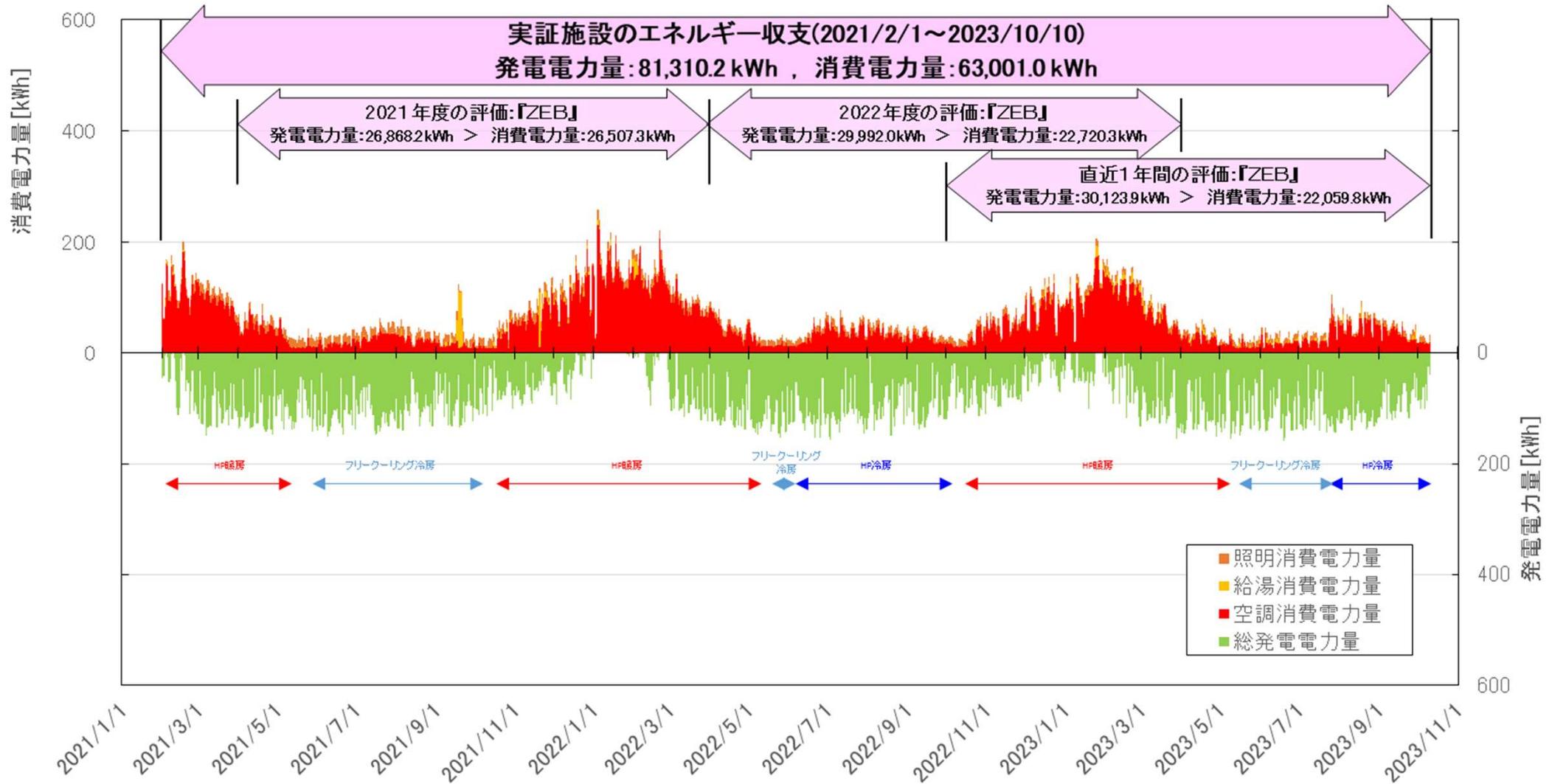


※空調COPはヒートポンプ消費電力量のみ、空調SCOPはヒートポンプと地下水揚水ポンプ、循環ポンプの消費電力量合計から算定

日平均COPとSCOPの変動

研究開発成果

- 3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

密閉式井戸構造を有効利用した井戸洗浄方法の検討

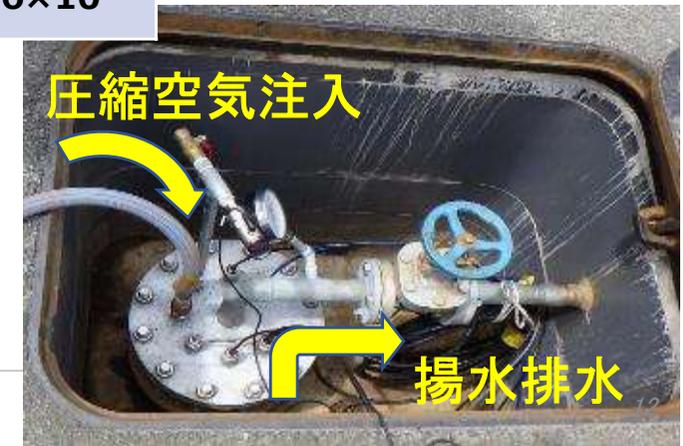
目的：本方式による井戸洗浄方法の開発により井戸のメンテナンスコストを低減
従来工法による井戸洗浄経費 = 1回あたり100万円程度
(従来工法の流れ：ポンプ撤去→スワービング、エアリフト等で洗浄→ポンプ再設置)

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
井戸のアキ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	3.05×10^{-5}	2.65×10^{-5}	3.76×10^{-5}	3.37×10^{-5}	-	-
4号井	3.55×10^{-5}	3.87×10^{-5}	6.80×10^{-5}	3.82×10^{-5}	6.36×10^{-5}	6.06×10^{-5}



研究開発成果

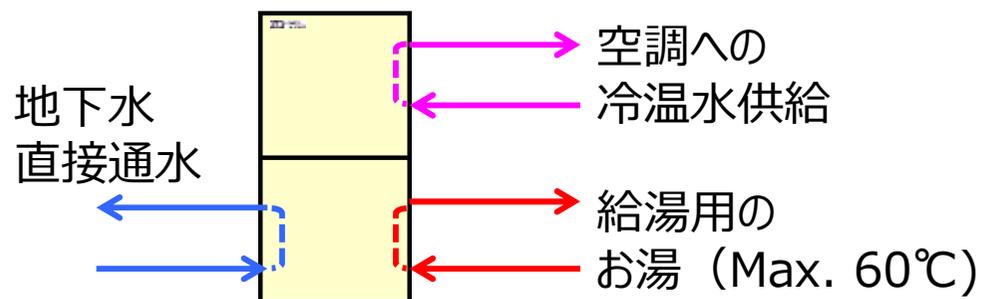
担当：ゼネラルヒートポンプ工業（株）



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

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した。

フィールド試験機、および、試作2号機のいずれの試験機においても、下記の通り開発目標のCOPを達成した。



※冷水 + 給湯運転は、冷水（地下水）をフリークーリング回路へ送ることで実現

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 (フィールドデータ)	給湯 単独	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	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	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%

※空調時の冷却・加熱能力に関しても、前PJと同等の性能であることを工場検査で確認した。

熱交換器内のスケール付着防止機構の有効性検証

地下水との熱交換器におけるスケール付着について、定期的な熱交換器洗浄を行っている別フィールドのデータを用いて、スケール付着度合いの予測手法の妥当性を検証した。

【スケール付着度合いの推定手法】

交換熱量の式

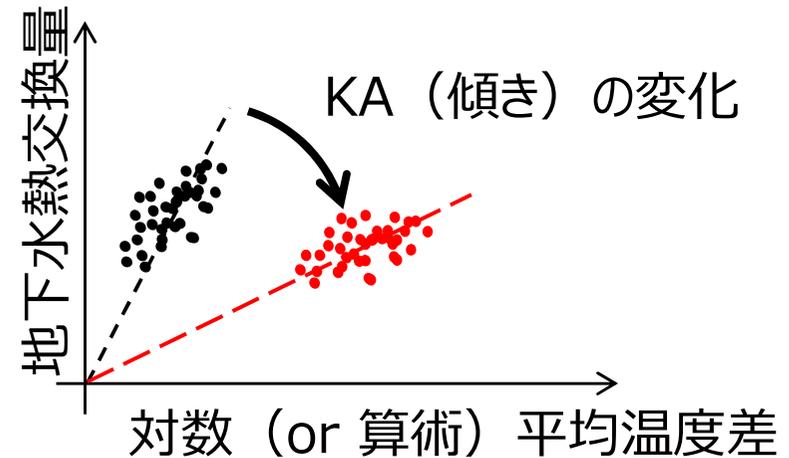
$$q = KA \Delta T \rightarrow KA = q / \Delta T$$

K：熱通過率 [kW/(m²・K)]、

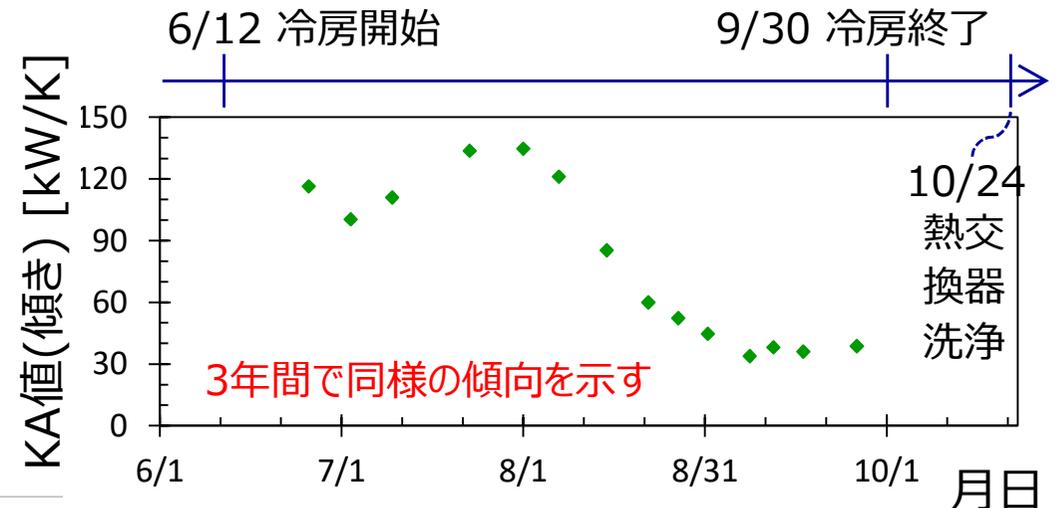
A：熱交換面積 [m²]、

q：地下水熱交換量 [kW]、

ΔT: 対数 (or 算術) 平均温度差 [°C (K)]



推定手法の妥当性確認としてスケール付着が顕著な現場におけるデータを解析した。右図の通り、解析した3年間において秋頃の熱交換器洗浄までにKA（傾き）が低下する傾向を確認した。



研究開発成果

担当：ゼネラルヒートポンプ工業（株）

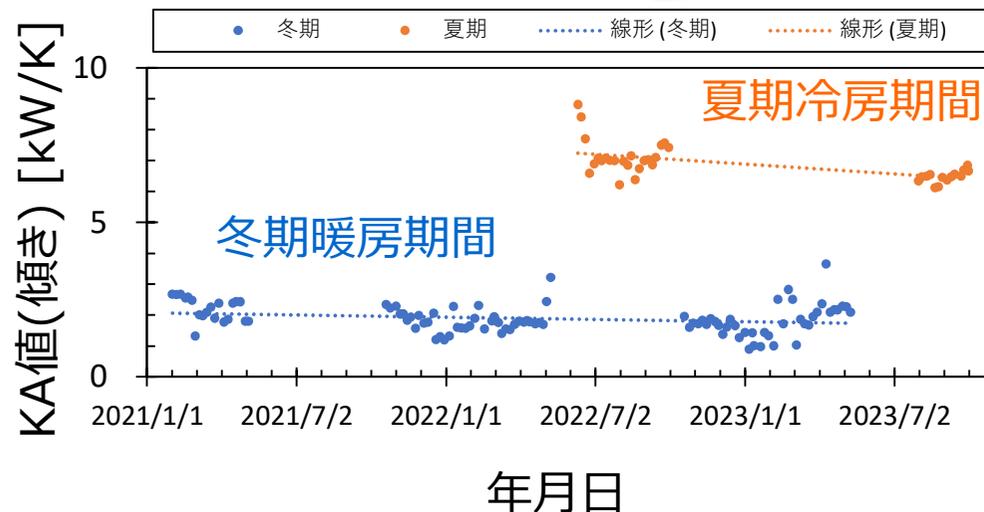


熱交換器内のスケール付着防止機構の有効性検証

JESC-ZEB棟の「運転データ解析によるスケール付着度合いの推定結果」と「熱交換器内部の観察結果」は整合しており、運転データに基づくスケール付着度合いの推定手法を確立した。

【JESC-ZEB棟を対象とした解析】

前頁の推定手法を用いてJESC-ZEB棟における2021年～2023年のデータを解析した。KA値は僅かに減少する傾向を示し、熱交換器内部観察の結果と整合している。



【熱交換器の内部観察】

流路を閉塞させるスケール付着は見られないが、スケールの付着が一部で確認された。
⇒スケール付着防止機構はある程度有効に機能している。

軸方向



周方向



スケール付着無し

スケール付着あり

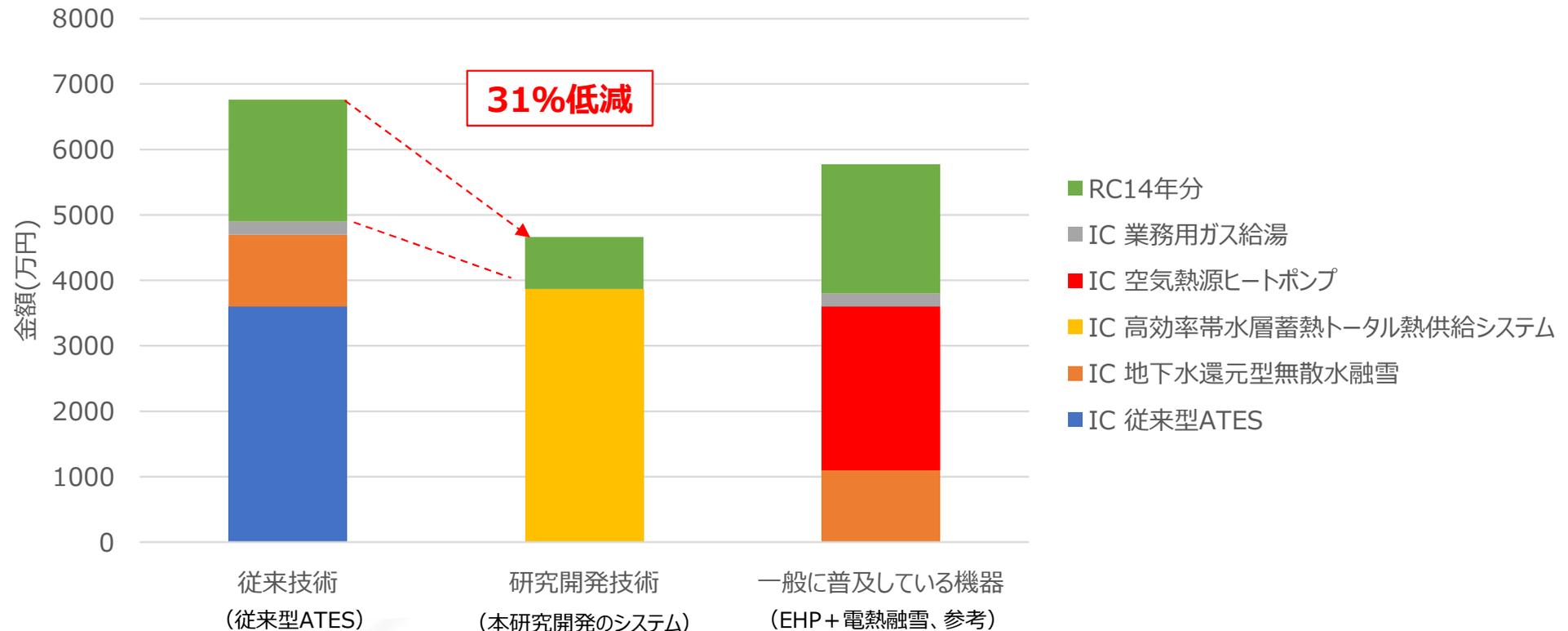
成果一覧表

研究開発項目	研究開発対象	プロジェクトの成果			目標達成
		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利活用したト-外熱供給システムの開発	高効率帯水層蓄熱を利活用したト-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	トータルコスト (IC+RC×14) :31%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年度の目標達成 (ト-外コスト20%以上低減)
(2)高効率帯水層蓄熱を利活用したト-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 ※いずれも試作2号機での結果	

研究開発成果



コストに関するデータまとめ

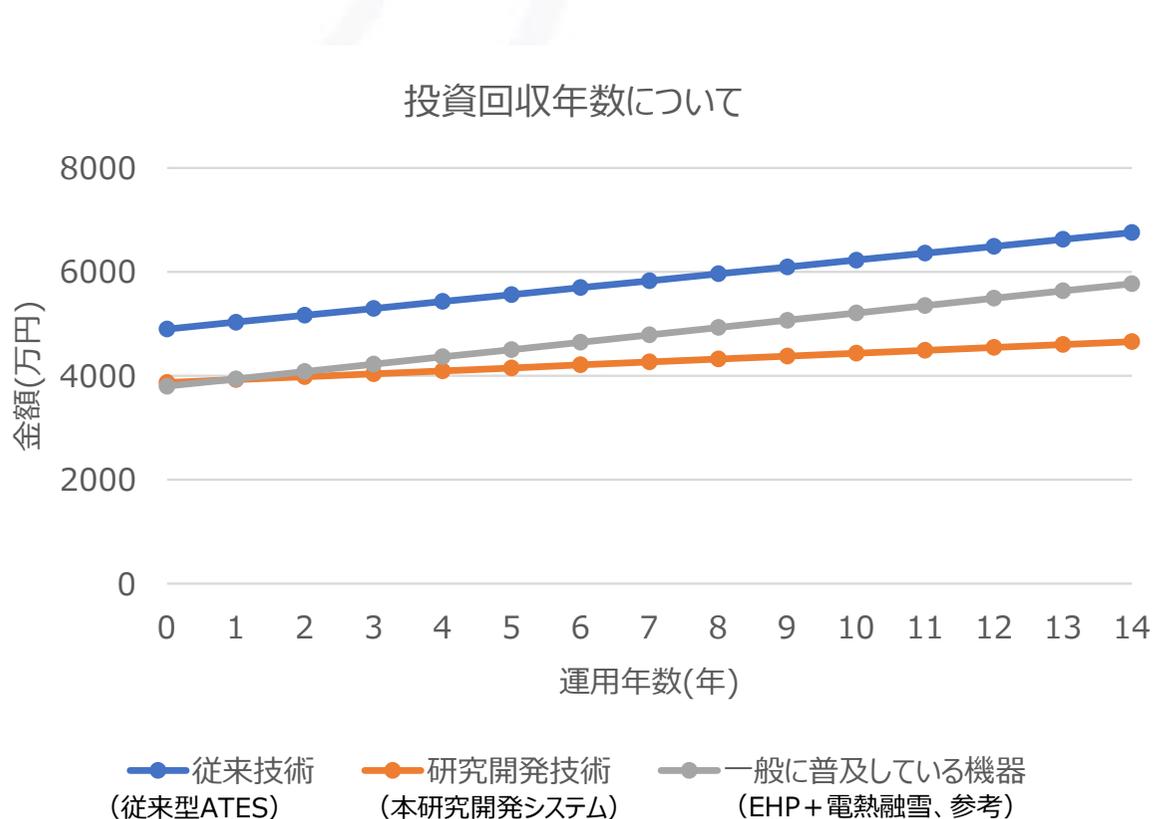


<トータルコストの比較について>

(万円)

積み上げ対象	従来技術	研究開発技術	一般に普及している機器
従来型ATES	3600		0
地下水還元型無散水融雪	1100	(システムに含む) 0	1100
IC 業務用ガス給湯	200		200
高効率帯水層蓄熱トータル熱供給システム	0	3870	0
空気熱源ヒートポンプ	0	0	2500
RC14年分	1859.2	791	1975.4
トータルコスト(IC+RC14年分)	6759.2	4661	5775.4

コストに関するデータまとめ



(万円)

<投資回収年数について>		従来技術	研究開発技術	一般に普及している機器
IC		4900	3870	3800
+RC	1年分	5032.8	3926.5	3941.1
	2年分	5165.6	3983	4082.2
	3年分	5298.4	4039.5	4223.3
	4年分	5431.2	4096	4364.4
	5年分	5564	4152.5	4505.5
	6年分	5696.8	4209	4646.6
	7年分	5829.6	4265.5	4787.7
	8年分	5962.4	4322	4928.8
	9年分	6095.2	4378.5	5069.9
	10年分	6228	4435	5211
	11年分	6360.8	4491.5	5352.1
	12年分	6493.6	4548	5493.2
	13年分	6626.4	4604.5	5634.3
	14年分	6759.2	4661	5775.4
IC		4900	3870	3800
RC1年分		132.8	56.5	141.1

事業化に向けて



- ・ A I S T 開発した帯水層蓄熱システム適応マップを活用（2014年～2018年の事業）
 - ⇒ 津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地の5地域で先行
 - ⇒ 5地域での実績を生かして他地域への展開を図る

- ・ 専用ヒートポンプの製品化・販売
 - ⇒ ZEB実証施設のデータに基づき最適仕様、最適稼働設定で販売可能

- ・ 本システムの特長は、1つのシステムで3つの熱需要に対応可能
 - ⇒ 複数施設への、再エネ熱の面的利用へ展開
 - ⇒ 2024年度から始まるNEDO助成事業で研究開発に取り組む
 - ⇒ 山形県へ働きかけ、県内で地域熱供給モデル地区の構築を提案
 - ⇒ 地中熱利用促進協会を通じて、国内の他地域における地域熱供給事業への展開を図る
 - ⇒ 2030年までに、1件の実績を上げることが目標