関西電力病院における
地中熱利用ヒートポンプシステムの
計画と長期的評価

令和7年11月26日

再生可能エネルギー熱「地中熱」
に関する懇談会

株式会社日建設計
環境コンサルティング室

髙橋　直樹

本日の内容

１．建物概要

２．建物計画及び運用状況

３．地中熱利用HPシステムの計画

４．初期の運用検証・評価

５．長期的な運転検証と運用改善

６．おわりに

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

1 建物概要･設備概要

表１　建築概要・設備概要

建築概要	敷地面積	9,664㎡
	建築面積	4,429㎡
	延床面積	（Ⅰ期）33,753㎡、（Ⅰ＋Ⅱ期）40,116㎡
	構造	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ造、一部鉄骨造、免震構造
	階数	地下2階、地上18階、塔屋1階
	病床数	400床
設備概要	熱源	空気熱源ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟﾁﾗｰ、水冷ｽｸﾘｭｰﾁﾗｰ、
		地中熱利用ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟﾁﾗｰ、水蓄熱槽
	空調	病棟／外気処理ｴｱｺﾝ＋個別ﾊﾟｯｹｰｼﾞｴｱｺﾝ方式
		外来診療／単一ﾀﾞｸﾄ＋ﾌｧﾝｺｲﾙ方式、
		又は単一ﾀﾞｸﾄ＋ﾚﾋｰﾀｰ方式
	給水設備	病棟／重力給水方式、一部加圧
		外来診療／加圧給水方式
	給湯設備	ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ給湯ｼｽﾃﾑによるｾﾝﾄﾗﾙ給湯方式
	排水設備	汚水、雑排水、厨房排水、高温排水、
		滅菌排水、中和排水、RI排水


南東からの外観


病棟4床室


病棟1床室

1 建物概要

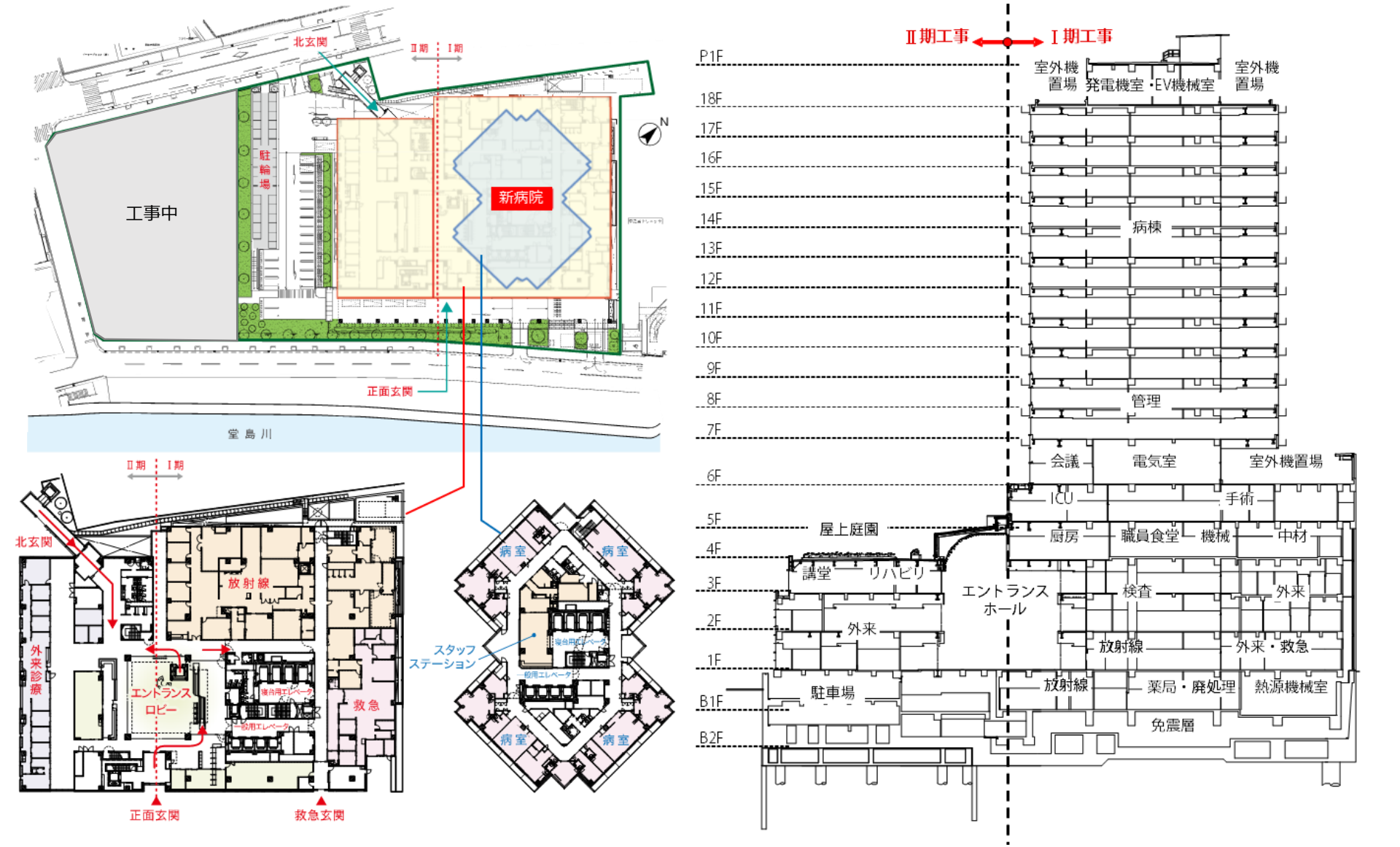


図２　建物配置図・平面図・建物断面図

1 設備概要

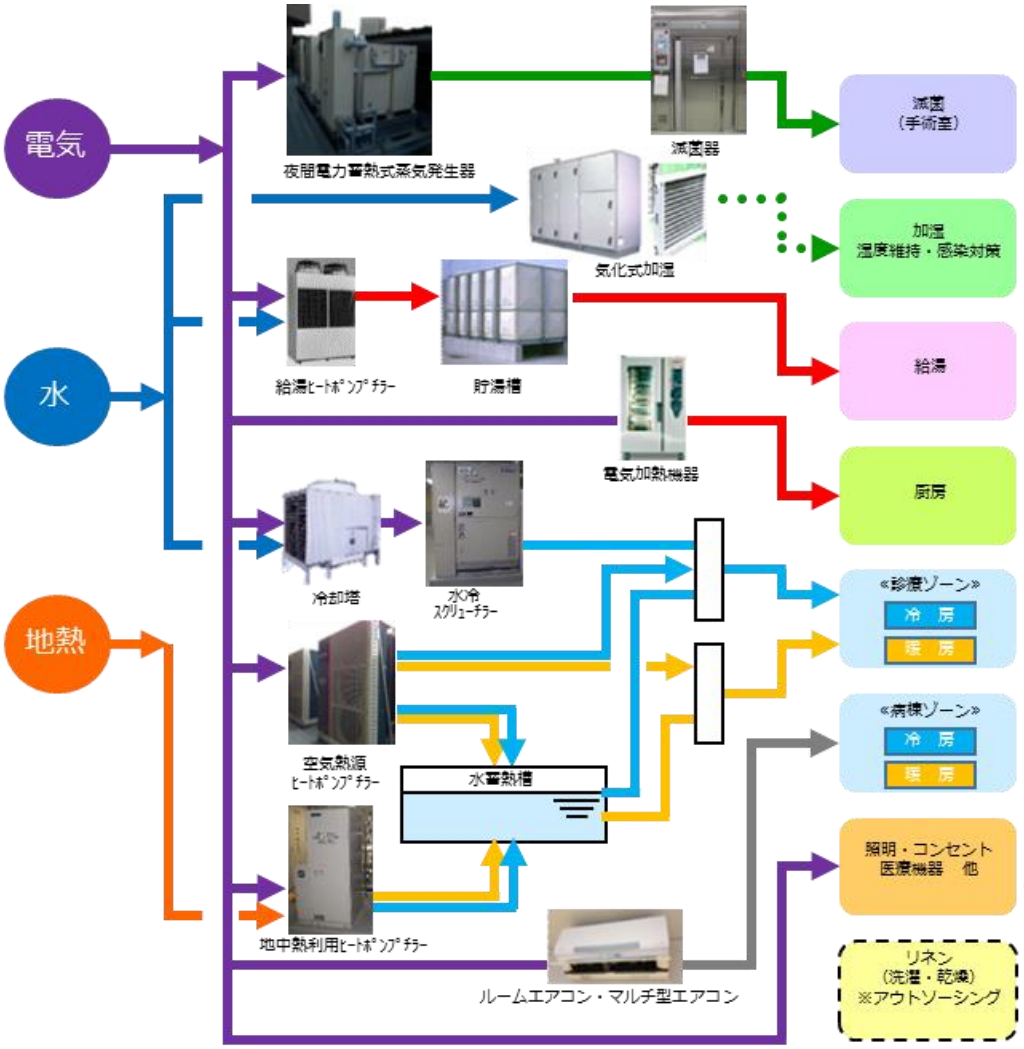


図３　熱源システムフロー図

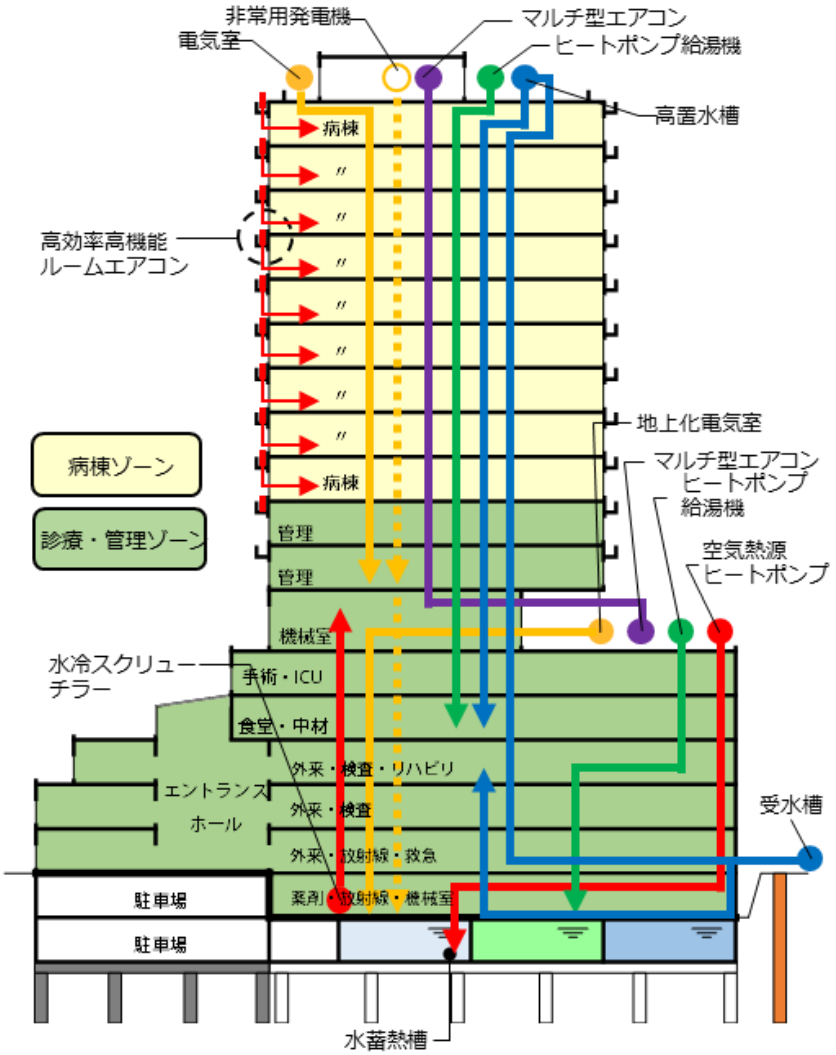


図４　設備インフラの概要

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

2 計画意図

地球環境への“負荷”を低減し、治癒環境の“質”を向上させる都市型病院

1)コンフォートホスピタル comfort

患者生活環境の快適性および治癒環境の向上

- 高断熱ガラスと深い庇の組み合わせによる空調負荷低減
- 病室の空調要求に対して柔軟に対応できる高機能ルームエアコンの採用

2)グリーンホスピタル green

地球環境に配慮した施設計画

- 自然エネルギー等の活用（太陽光･地中熱）
- 水蓄熱システムの採用
- 異なる３つの地中熱利用システムの採用
- 十分な加湿能力を備えた気化式加湿システムの採用
- 空気熱源ヒートポンプシステムの採用
- 高効率換気、照明、ヒートポンプ給湯システム
- 雨水・排水再利用システムの採用

3)レジリエントホスピタル resilient

安全で信頼性の高いインフラ・施設計画

- 免震構造の採用
- 熱源・電源設備の分散配置
- ３回線スポットネットワーク受電
- 電気室地上化による浸水対策
- 蓄熱式空調システムの採用（コミュニティータンク）
- ピーク電力の抑制･負荷平準化（蓄熱、高効率機器）
- 緊急時冷水供給システム

4)スマートホスピタル smart

高機能かつ維持管理性の高い施設計画

- 徹底した省エネルギー性能･制御の追求
- 中央式･個別分散式併用空調システムの採用と維持管理の省力化
- BEMS計測ポイントの細分化並びにLCEMの活用による徹底した資源･エネルギーマネジメント

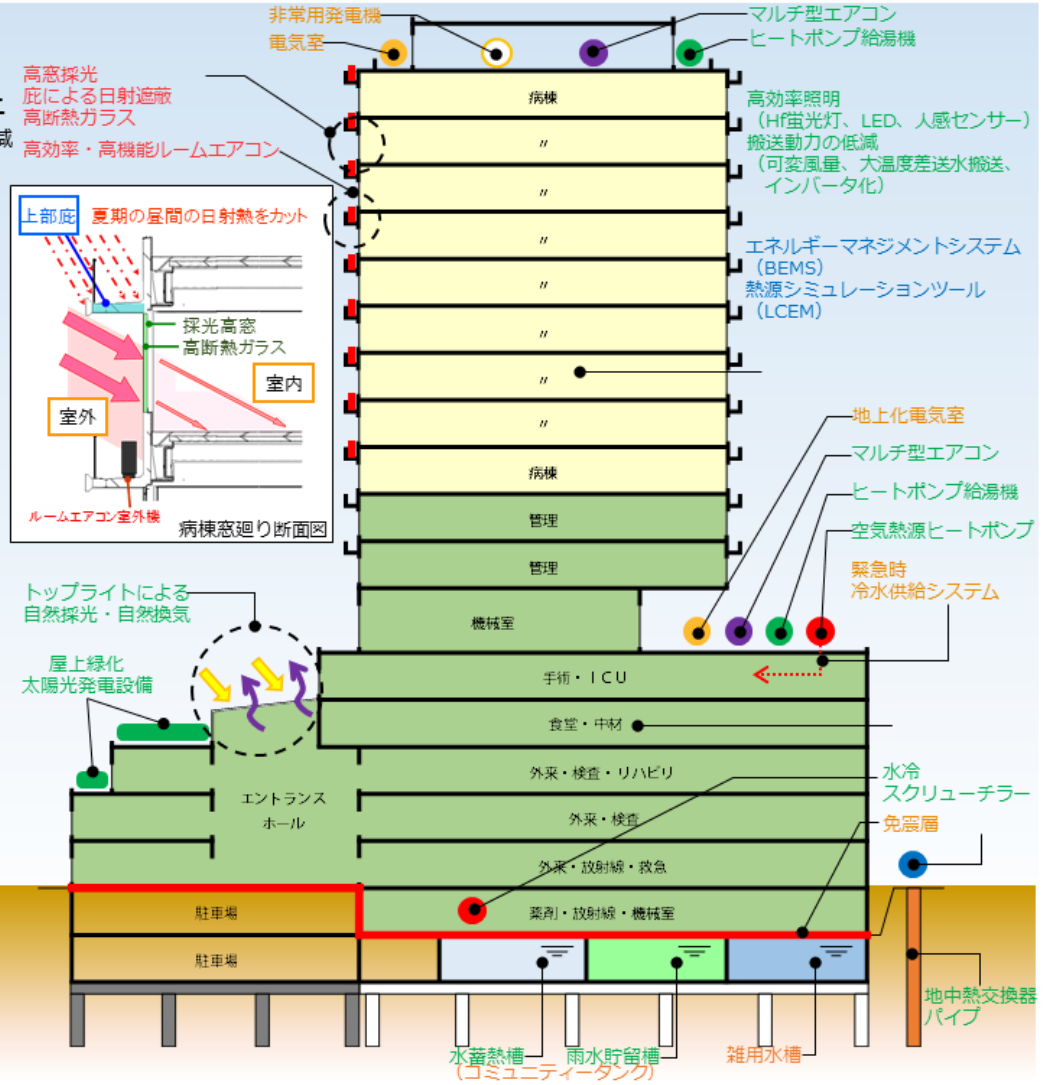


図５　計画意図

2 運用段階の取り組み方針

当初の計画意図は社会的変化に合わせて運用段階の取り組みとして昇華し、再整理した。

「地球環境への“負荷”を低減し、治癒環境の“質”を向上させる都市型病院」の実現

設計段階の計画意図	運用10年間の社会状況の変化	運用段階の取り組み
Comfort 治癒環境の快適性に配慮した計画 ・建築的工夫による空調負荷低減 ・病室に高機能ルームエアコン採用し快適性に配慮 ・病室は間接照明によるやわらかい光環境の創出	新型コロナへの対応	**Comfort and cleanliness** 治癒環境の向上 ・気化式加湿の清浄度評価 ・病室の温湿度・清浄度調査 ・感染症対策を考慮した換気制御
Green 地球環境に配慮した設備システム ・高効率熱源機器の採用や電化の推進 ・病院への気化式加湿の全面採用 ・地中熱ヒートポンプ等の自然エネルギー活用 ・雨水・排水再利用システムの採用	脱炭素化の加速 電化への期待の高まり	**Carbon neutral** カーボンニュートラルの推進 ・気化式加湿のエネルギー効率評価 ・地中熱ヒートポンプの効率評価、運用改善 ・省資源・省エネルギーのための各種取り組み
Smart 機能性と維持管理性の高い施設計画 ・BEMSとLCEMを活用したマネジメントシステム ・徹底した省エネルギー性能･制御の追求	DX,AI技術の発展 デジタルツインの活用	**Digital Transformation** DX技術の活用 ・資源・エネルギー消費量の長期的な原単位管理 ・LCEM[注3)]による実運転データを用いた空調システムのデジタル上での再現・評価 ・AIベースラインエネルギーモデルを用いた評価
Resilient 安全で信頼性の高い施設計画 ・免震構造の採用 ・設備分散配置、蓄熱熱源システムの採用 ・３回線の電力受電	災害激甚化への対応	**Resilient** 安全性の維持 ・大規模災害に備えたBCP計画 ・蓄熱槽や各種設備の適正な点検保守の実施

図６　計画意図と運用段階の取り組み

2 性能検証体制

運用開始以降も導入技術や全電化の採用による省エネルギー効果の検証と運用改善の実施のために性能検証体制を維持し、脱炭素社会への気運の高まり、DX推進による課題解決の志向、新型コロナウイルス感染症の襲来といった社会情勢の変化を踏まえながら省資源・省エネルギー化の取り組みを推進した。

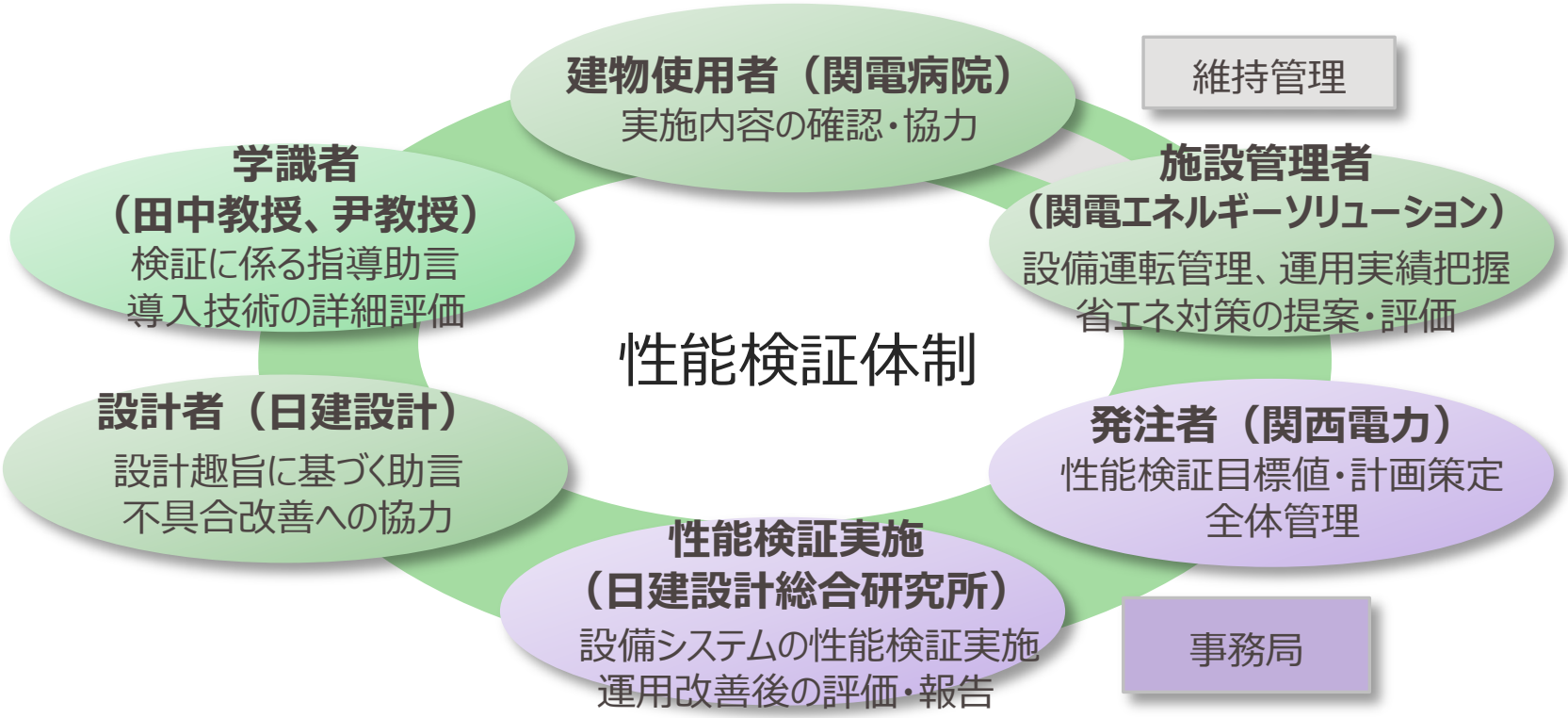


図７　運用開始後の性能検証体制

2 省資源･省エネルギー化の管理指標

省資源･省エネルギーの取り組みについては、水使用量原単位、一次エネルギー消費量原単位を主たる管理指標とし、レファレンスに対して20%削減することを計画目標とした。

継続的な取り組みの結果、10年目の水使用量原単位、一次エネルギー消費量原単位は計画目標に対し、それぞれ21%、17%の削減を実現した。

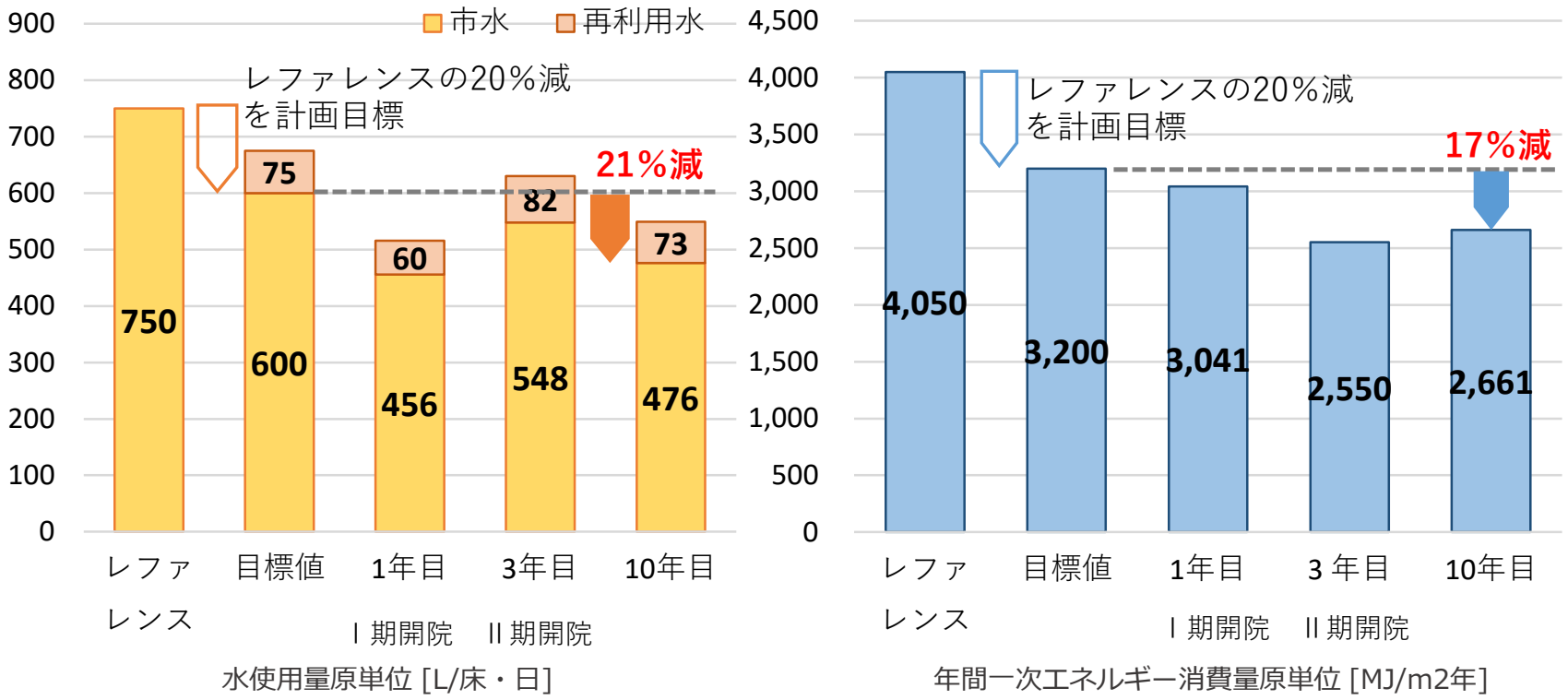


図８　省資源・省エネルギー化の管理指標

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

3 地中熱利用ヒートポンプシステムの概要

- 空調排熱の削減による都市のヒートアイランド対策と熱源システムの効率向上を目的として地中熱HPを導入。
- 敷地が狭隘な都市型立地への導入と地中熱交換器の初期投資費の削減を目指して、専用のボアホール型のほか、連壁利用型および杭基礎利用型の3方式の熱交換器を併用。
- 設計段階では、期待される交換熱量をシミュレーションにより推定しそれに見合う地中熱HPを選定。

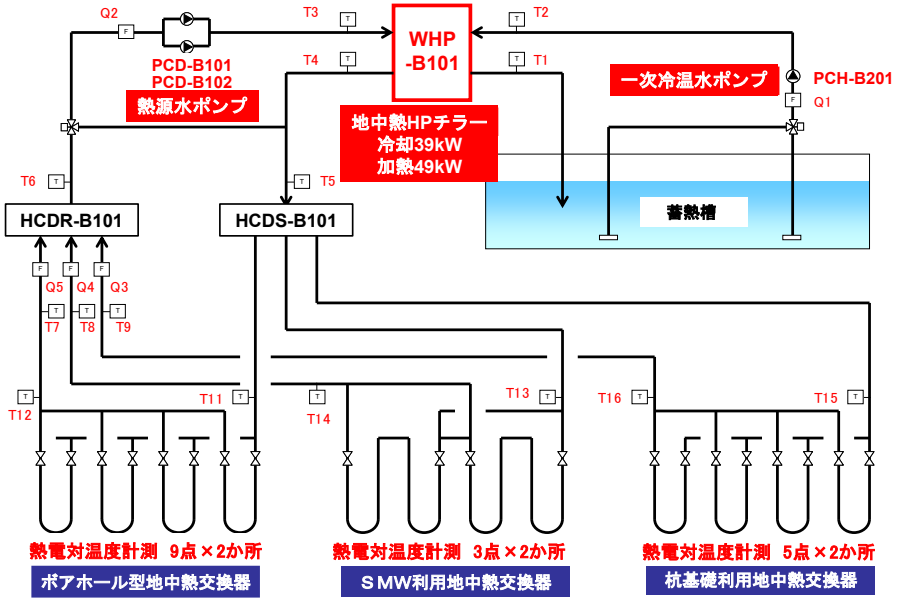


図９　地中熱HPシステム系統図

表２　地中熱HPシステム機器表

機器番号	機器名称	機器仕様	容量(kW)
WHP-B101	地中熱利用 水冷ヒートポンプチラー	冷却能力39ｋW 冷水 14℃ → 6℃,71L/min 冷却水 30℃ → 35℃,142L/min 加熱能力49kW 温水 38℃ → 46℃,88L/min 熱源水 12℃ → 7℃, 106L/min	10.21 12.56
PCH1-B201	一次冷温水ポンプ	32φ × 94L/min × 15mmAq	0.75
PCD-B101,102	冷却・熱源水ポンプ	32φ × 150L/min × 25mmAq	2.2

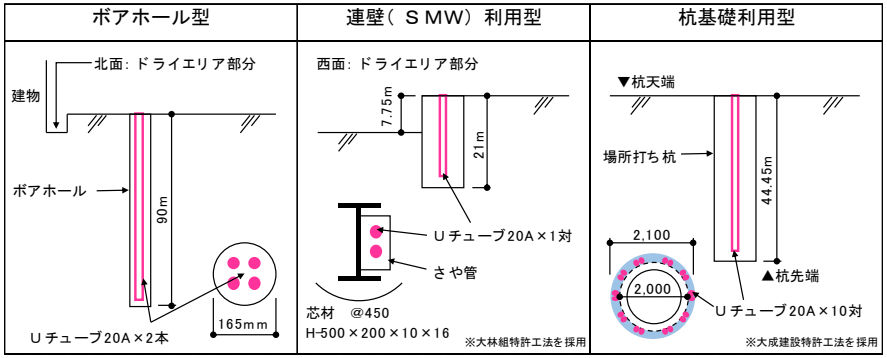


図10　各地中熱交換器断面図

・設計段階において、LCEMツールを用いた地中熱システムのシミュレーションモデルを構築。
・年間システム運転性能把握により、地中熱交換器を混合採用する際の適正な組み合わせを決定する合理的な設計手順および選定チャートを構築。目標とする年平均システムCOPを達成できる組み合わせを検討し、計画に反映

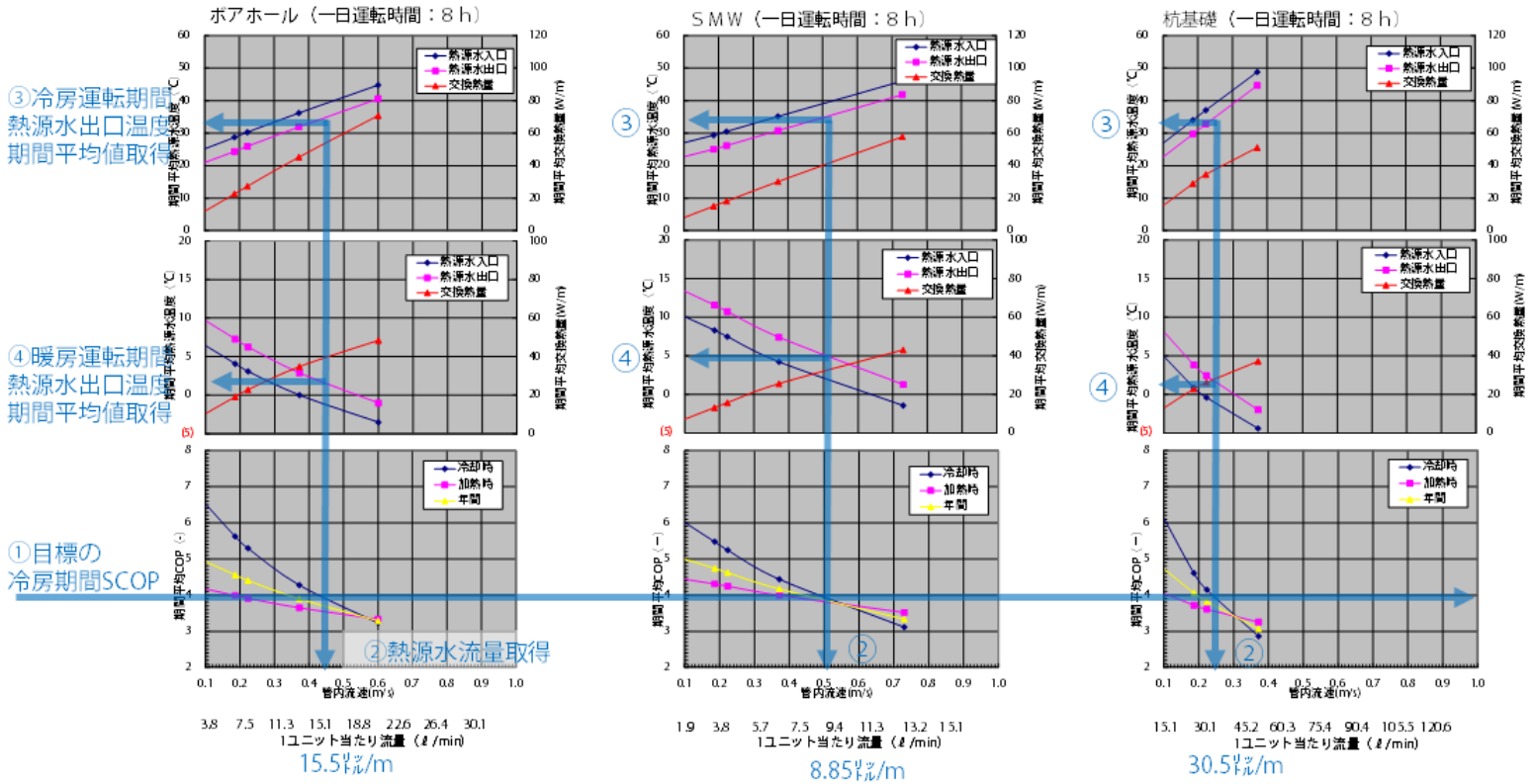


図11　計画選定チャートおよび選定例示

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

4 初期の運用検証・評価

①冬期：各熱交換器還温度は低下
　　期間平均システムCOPは3.7
②夏期：各熱交換器還温度は上昇
　　期間平均システムCOPは3.5

表３　各地中熱交換器の期間平均採熱・放熱量

		ボアホール	SMW	杭基礎
断面図				
仕様	Uチューブ	20A× 2対	20A× 1対	20A× 10対
	深さ	90 mH	20 mH	45 mH
	本数	3.0 本	4.0 本	4.0 本
	実長	270 m	80 m	180 m
実長さあたり採熱量（冬期）		31.4 W/m	13.9 W/m	155 W/m
実長さあたり放熱量（夏期）		53.7 W/m	20.0 W/m	188 W/m

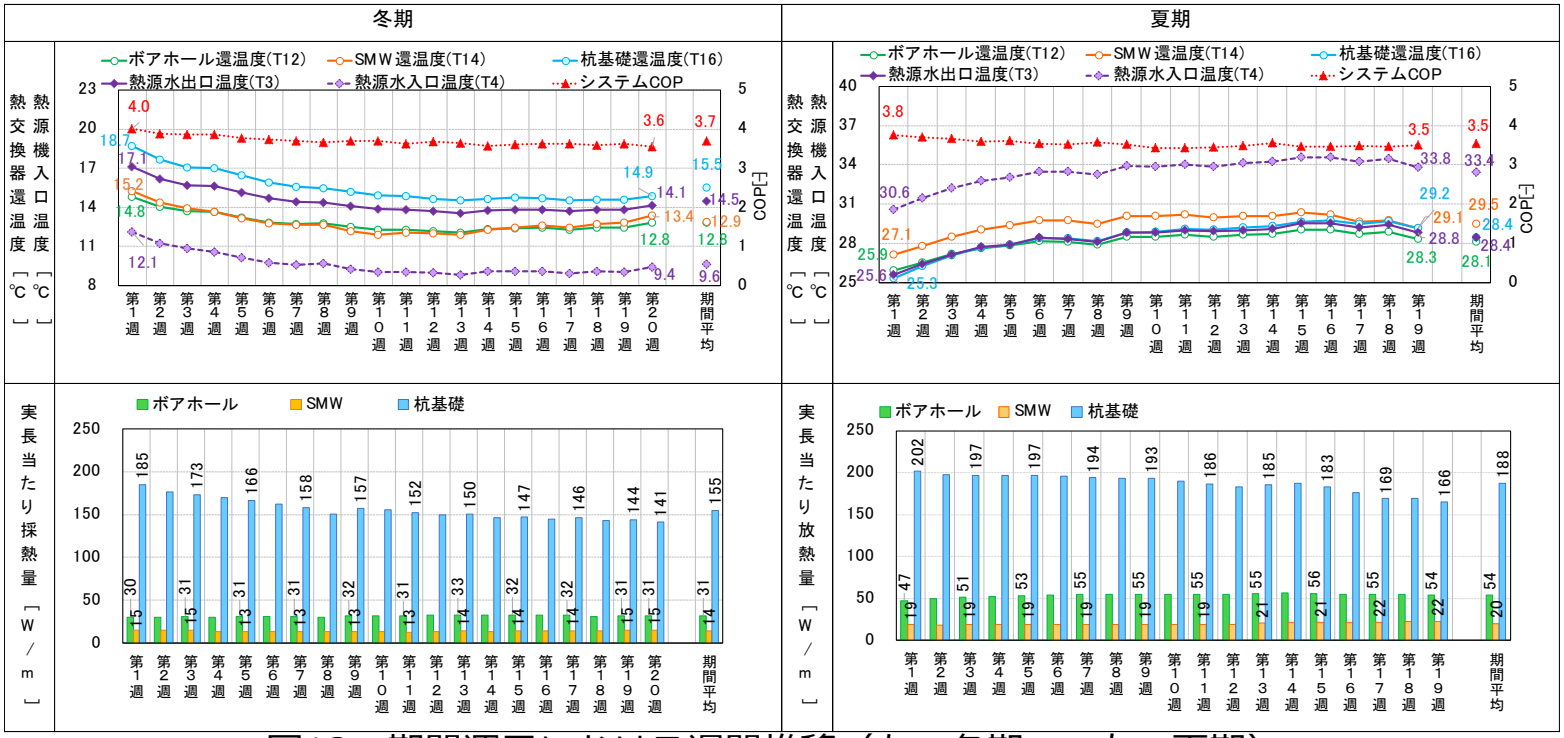


図12　期間運用における週間推移（左：冬期　　右：夏期）

4 シミュレーションを用いた性能検証・評価

・熱源水入口温度特性からは入口温度の変化に伴うCOPの低下、部分負荷特性からは定格点付近での運転が大半となっていることが確認。

・実運転はシミュレーション結果に概ね一致。機器単体としての所定性能（COP）が得られていることを確認。

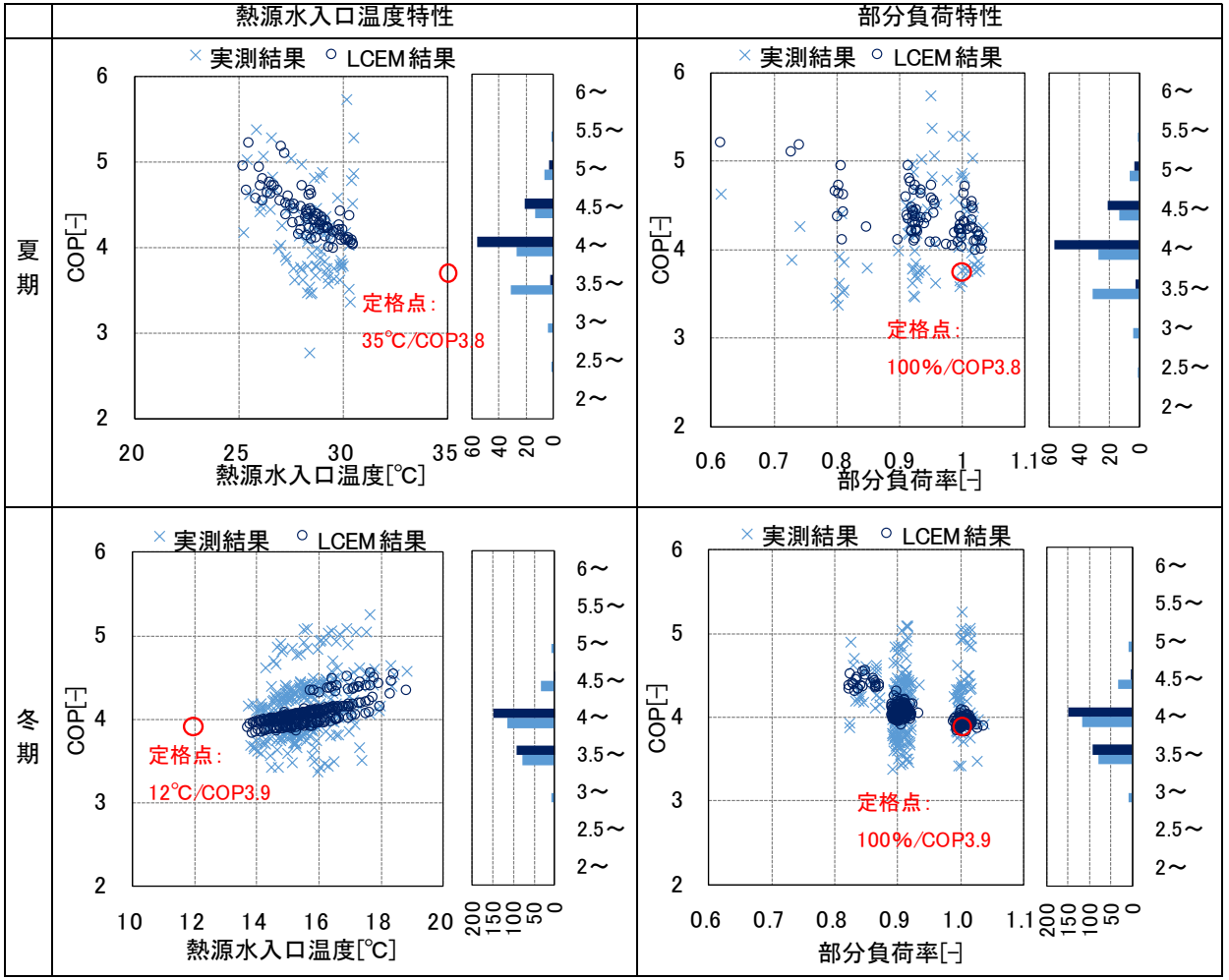
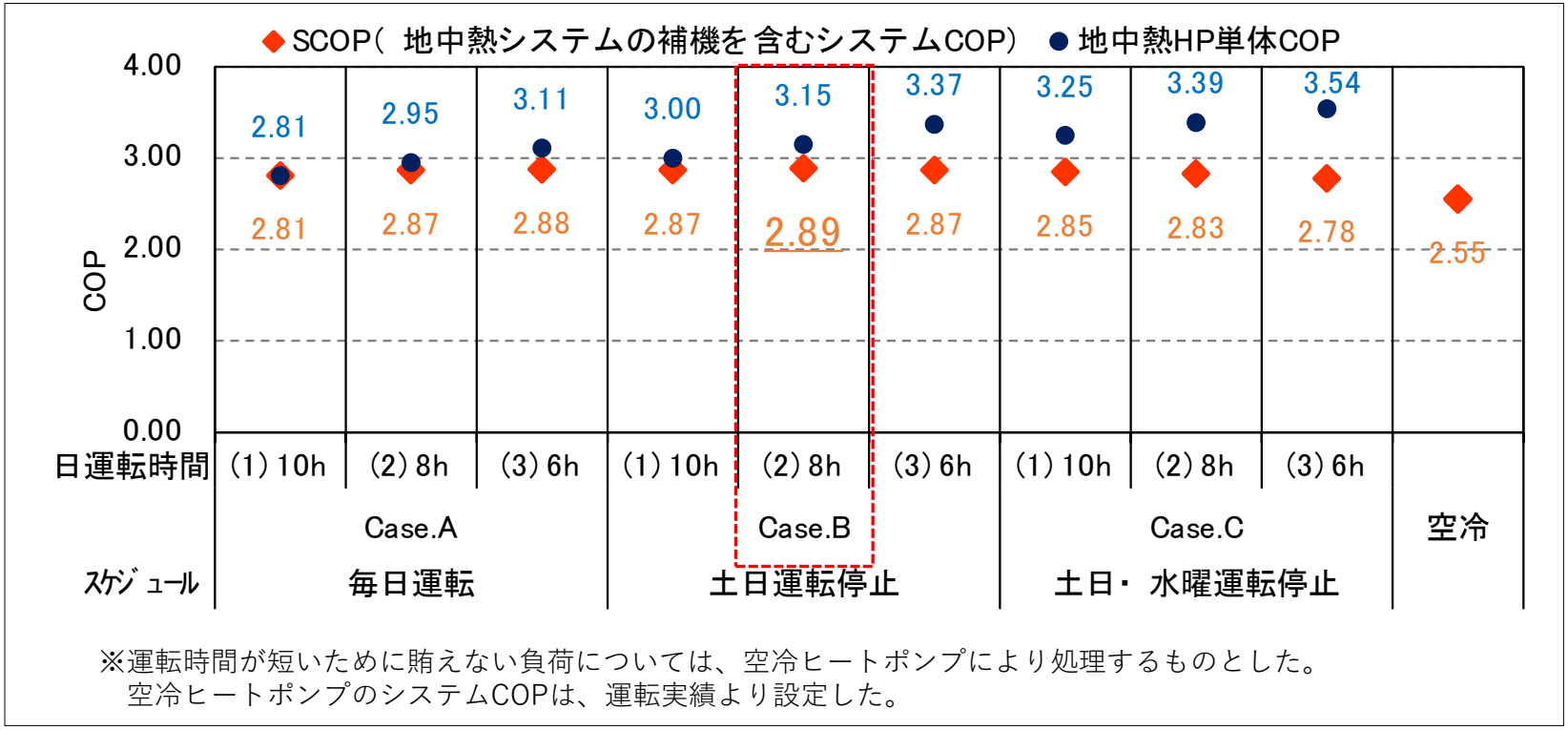


図13　熱源単体性能の比較（WHP-B101）

4 シミュレーションによる適正な運用方法の検討

・地中熱システムの長期運用にあたり、シミュレーションによる適正な運転設定を検討。

・一週間の運転スケジュールおよび一日の運転時間を組み合わせて検討した結果、年間システムCOPは、土日運転停止、8時間/日（CaseB(2)）が最も高い結果を示す。実際の運用に反映。



※運転時間が短いために賄えない負荷については、空冷ヒートポンプにより処理するものとした。
空冷ヒートポンプのシステムCOPは、運転実績より設定した。

図14　ケーススタディによる最適運転検討結果

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

5 長期的な運転状況と運転目標

・冷房運転期間は概ね6月末から11月初めまで、暖房運転期間は11月末から翌年4月末までとし、その他の期間は運転停止。
・事前のシミュレーション結果を踏まえて運転日は平日。
・採放熱量のバランスを考慮して概ねの運転時間は、冷房時は一日8時間程度、暖房時は一日10～12時間。
・年ごとに試験的に熱源水量配分割合を変更させて最適な運用方法を探る。

・熱源水の管理目標温度は、既往文献文を参考に地中熱利用に伴う地中温度の環境リスクを考慮して設定。
・現地の不易層温度20℃程度に対して熱源水の利用温度差を15℃とし、これにピーク時を考慮して2℃程度を加算して、熱源水温度の最高値を37℃、最低値を3℃に収めることを目標。

表３　地中熱交換器の熱源水量配分割合

		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
冷房期	BHE	※1	29%	20%	20%	40%	29%	35%	40%	27%
	FND	※1	66%	75%	75%	48%	66%	60%	55%	68%
	SMW	※1	5%	5%	5%	12%	5%	5%	6%	5%
暖房期	BHE	36%	11%	11%	49%	36%	※2	※2	26%	34%
	FND	59%	83%	83%	41%	59%	※2	※2	71%	52%
	SMW	5%	6%	6%	9%	5%	※2	※2	3%	14%

※1：試験運転期間　※2：データ欠測

表４　地中熱温度変化が与える環境リスク

	地中温度低下時	地中温度上昇時
物理的リスク	地中水分凍結による凍上	土壌の乾燥化による収縮、極度の温度上昇による軟弱な粘土層の圧密・沈下、岩石の熱膨張
化学的リスク	物質の溶解度変化による物質濃度上昇、化学成分析出による帯水層や還元井の間詰まり	物質の溶解度変化により溶存ガス類の揮発とそれによる帯水層などの目詰まり、化学反応速度の上昇による有害化学成分の溶出
生物的リスク	報告例なし	微生物活動の活発化

5 長期的な熱源水の状況

※各地中熱交換器への熱源水流量配分は、1年目は設計当初の配分とし、その後は試験的に配分を毎年変更。

・分析期間中の熱源水温度の最高値は運転切り替え時を除くと約39.0℃（2015年11月10日11時）、最低値は約4.1℃（2015年4月13日16時）。
・一時的な熱源水温度の上昇や低下は見られるものの、各熱交換器の熱源水量を適正に設定し管理することで、概ね目標温度内となっていることを確認。

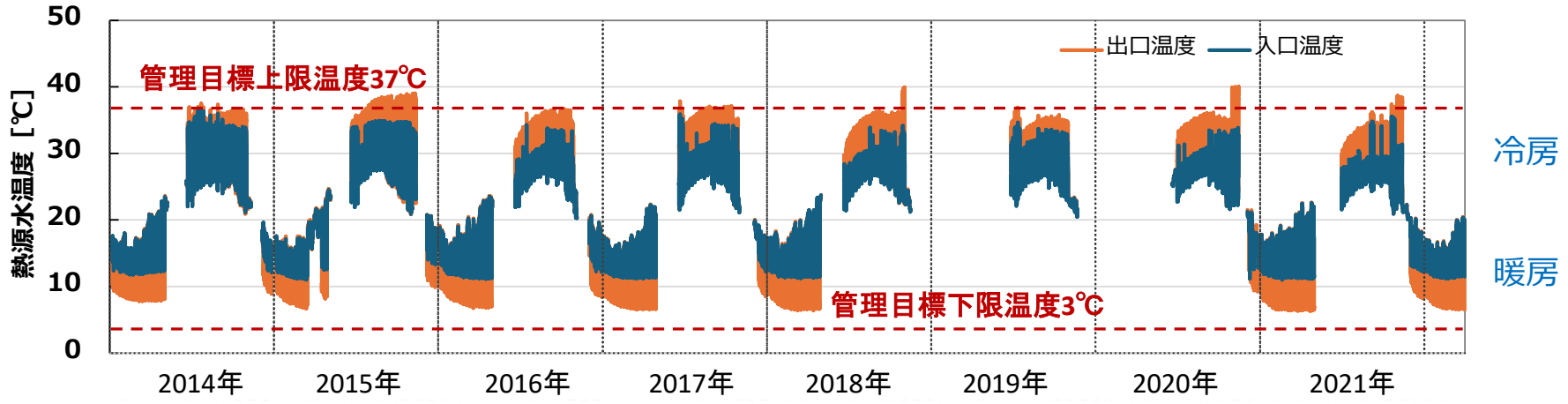


図15　地中熱HPの熱源水出入口水温推移

5 長期運転における採放熱量推移

・すべての地中熱交換器（システム全体）の採放熱バランスは4.5%採熱過多。
・方式別ではBHEの累積放熱量とSMWとFNDの累積採熱量が相殺し、3年目暖房運転期間以後は毎年の採放熱量が概ね釣り合う状態であることを確認。

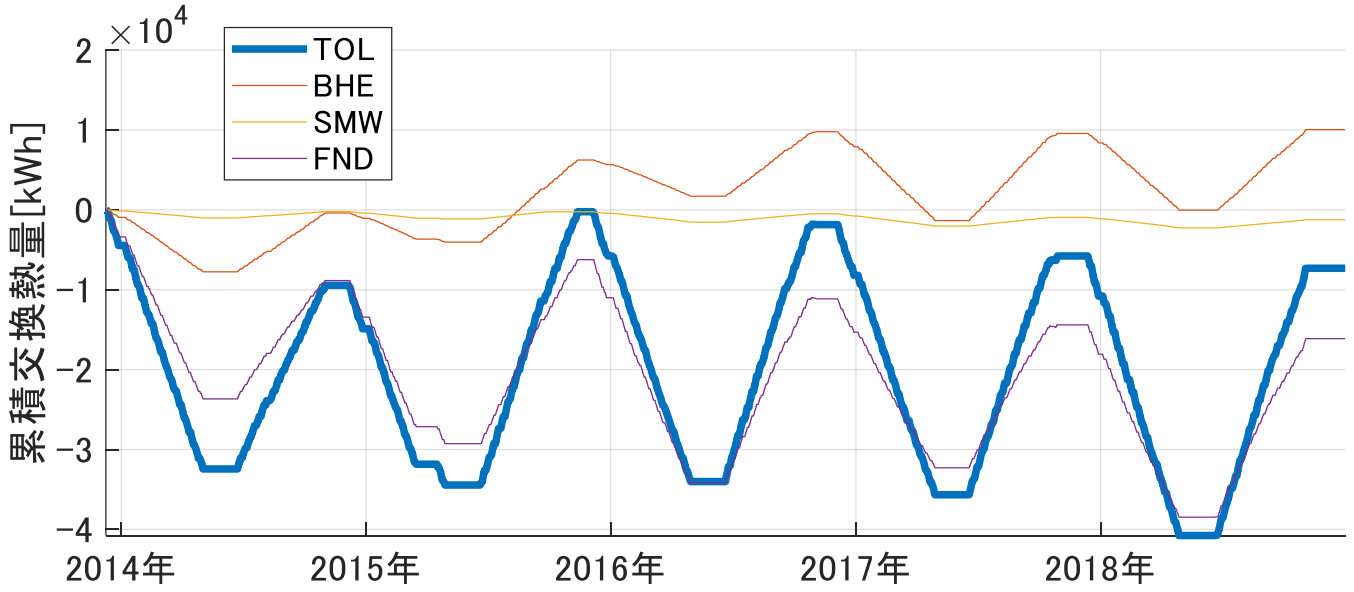
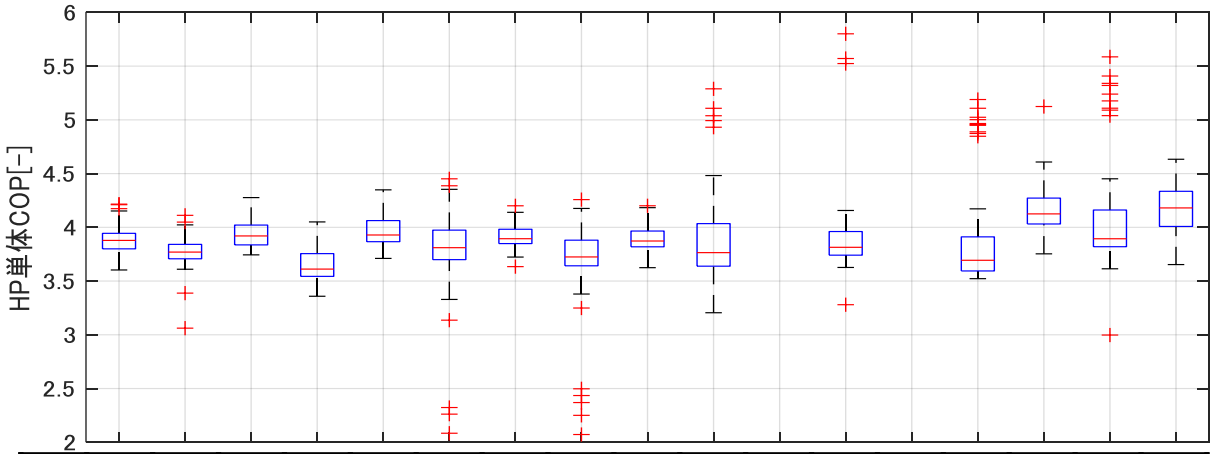


図18　地中熱交換器の累積交換熱量推移

5 長期運転性能

・1年目暖房運転期間におけるCOP中央値は3.88、2年目冷房運転期間では3.77。設計当初の目標性能に対して、暖房運転期間には達成できたが冷房運転期間ではわずかに届かなかった。
⇒採放熱量が期待値より少なかったことや熱源水温度が想定より高く推移したことが原因。
・長期運転性能を見ると、地中熱交換器の採放熱量は運転初年度から安定しており、著しい低下は見られない。
・地中熱HP単体の期間日平均COPをみても運転時間経過とともに低下する傾向は見られない。
⇒長期的に運転性能を維持していることを確認。



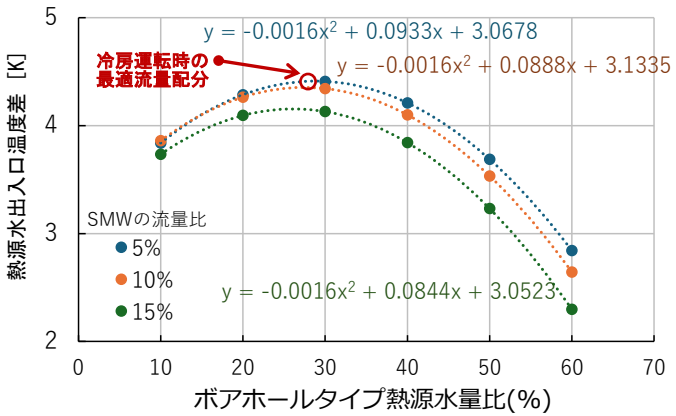
	2013 暖	2014 冷	2014 暖	2015 冷	2015 暖	2016 冷	2016 暖	2017 冷	2017 暖	2018 冷	2018 暖	2019 冷	2019 暖	2020 冷	2020 暖	2021 冷	2021 暖
COP	3.88	3.77	3.92	3.61	3.93	3.81	3.89	3.72	3.87	3.76	ー	3.81	ー	3.69	4.13	3.89	4.18

注）上表中の数値はCOP中央値を示す

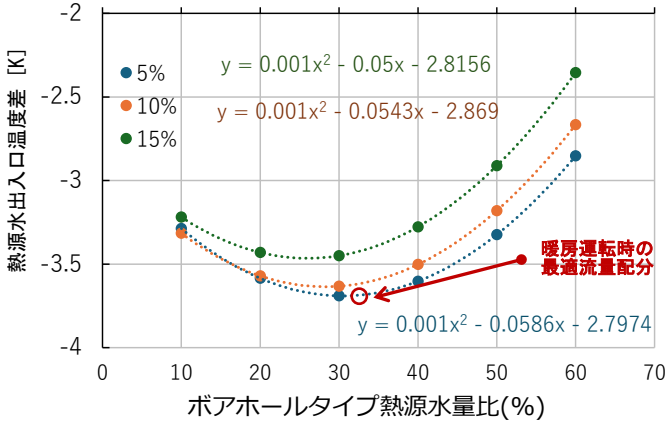
図19　地中熱HP単体の期間日平均COP

5 システムの性能を引き出す熱源水流量配分

・1年目から7年目までの運転実績データを用いて、熱源水出入口温度差を最大化するための各地中熱交換器の熱源水流量配分を分析。
・図20は、SMWの流量比を5%、10%、15%に固定し、BHEへの流量に対する冷房運転時の熱源水出入口温度差の関係を示したもの。
・表５に示す最大化できる熱源水流量配分を導き出した。
⇒各熱交換器の採放熱バランスにおいて、BHEは放熱過多、FNDは採熱過多の傾向であることを考えれば合理的な配分。



冷房運転時



暖房運転時

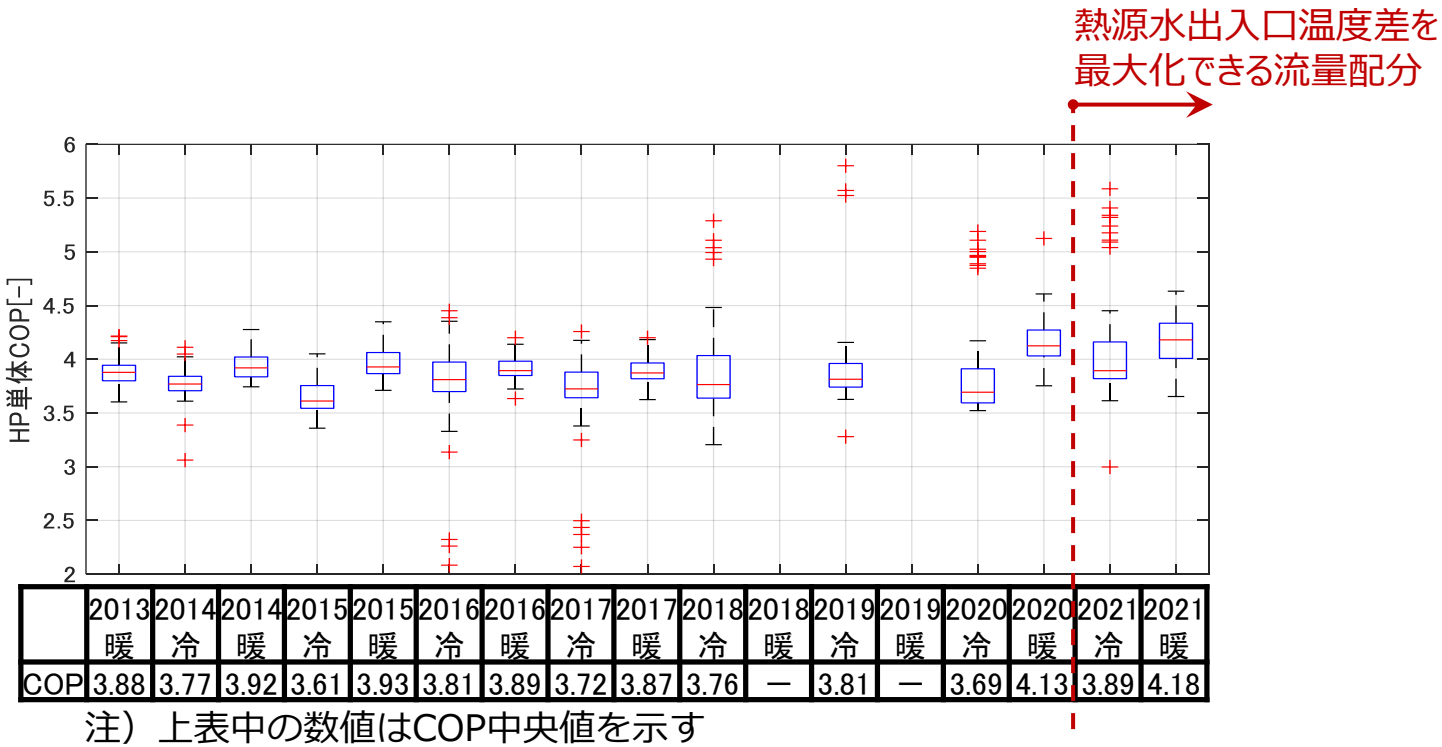
図20　熱源水流量配分の探索に用いた熱源水流量と出入口温度差の関係

表５　熱源水出入口温度差を最大化できる熱源水流量配分

熱源水流量割合[%]	BHE	FND	SMW
冷房運転期間	27.2	67.8	5.0
暖房運転期間	34.0	61.0	5.0

5 システムの性能を引き出す熱源水流量配分

・熱源水出入口温度差を最大化できる流量配分を9年目冷房運転期間より実運転に適用。
・期間日平均COPは9年目冷房運転期間で4%、同じく暖房運転期間で7%程度向上していることを確認。



	2013 暖	2014 冷	2014 暖	2015 冷	2015 暖	2016 冷	2016 暖	2017 冷	2017 暖	2018 冷	2018 暖	2019 冷	2019 暖	2020 冷	2020 暖	2021 冷	2021 暖
COP	3.88	3.77	3.92	3.61	3.93	3.81	3.89	3.72	3.87	3.76	ー	3.81	ー	3.69	4.13	3.89	4.18

注）上表中の数値はCOP中央値を示す

図21　地中熱HP単体の期間日平均COP

本日の内容

1．建物概要

2．建物計画及び運用状況

3．地中熱利用HPシステムの計画

4．初期の運用検証・評価

5．長期的な運転検証と運用改善

6．おわりに

6 おわりに

関西電力病院は、「地球環境への“負荷”を低減し、治癒環境の“質”を向上させる都市型病院」を実現するために、気化式加湿器、変風量システム、高効率熱源システム、地中熱利用ヒートポンプシステムなどの様々な省エネルギー・省資源システムを計画した。

運用段階においては、新型コロナ禍等の社会状況の変化を踏まえた省資源・省エネルギー化のための調査・改善と維持管理の取り組みを継続的に行い、検証・評価した。これらの取り組みを行うことで計画目標からの更なる削減を実現した。

これらの成果は、学会発表や論文投稿、外部講演等により社会への情報発信に努めている。本懇談会では、そのうちの地中熱利用ヒートポンプシステムについて報告している。

本病院の取り組みが、病院をはじめ多くの施設における今後の資源・エネルギーマネジメントの一助になれば幸いである。

なお、本報告の内容については、名古屋大学の田中英紀教授、名古屋市立大学の尹奎英教授、関西電力㈱、㈱関電エネルギーソリューション、㈱日建設計総合研究所など、多くの方々にご協力をいただきました。関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。