

「エア・ウォーター健都」における健康と脱炭素に向けた取り組み

Initiatives for Health and Decarbonization at “AIR WATER in KENTO”

株式会社 竹中工務店
Takenaka Corporation

三木 僚子
Ryoko Miki

キーワード：ABW (Activity Based Working)、生体情報(Biometric Information)、
地中熱(Ground Source Heating and Cooling)、太陽集熱(Solar thermal system)、
AI 熱源制御(AI Heat Source Control)、

1. はじめに

本建物は、エア・ウォーター㈱の自社ビルとして新築したイノベーションオフィスであり、ウェルネスに関わる新事業の創造、開発、発信の拠点となっている。地域市民が利用可能な施設を内包し、「企業と市民・地域が“つながる”ことで“健やかな暮らし”を体験・共有する場をつくる」を施設コンセプトに掲げ、人々の健康と地球の健康（脱炭素）を実現する環境価値の高いイノベーションに取り組んだ。建物概要を表1に示す。



図1 外観写真

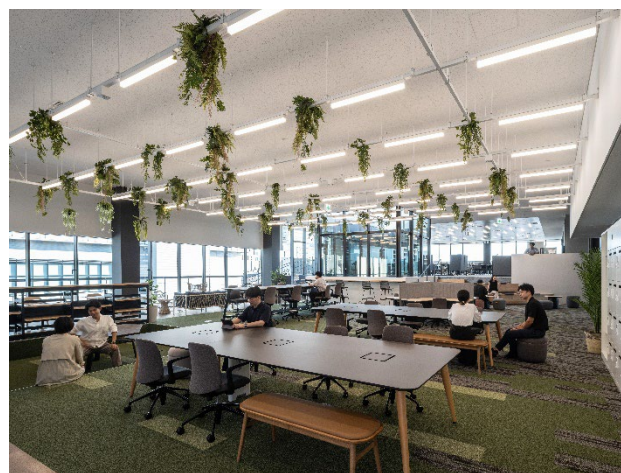


図2 内観写真

表1 建物概要

建 築 主	エア・ウォーター㈱
建 築 地	大阪府摂津市
主 要 用 途	事務所、飲食店・クリニック
敷 地 面 積	3,663.61㎡
建 築 面 積	1,937.69㎡
延 床 面 積	4,741.23㎡
構 造	S造
規 模	地上4階
最 高 高 さ	19.300m
工 期	2022年6月1日～2023年6月30日
設 計 ・ 施 工	㈱竹中工務店

2. 建築計画

本建物はスキップフロアを採用し、吹抜けを介して 1～3 階がひとつながりとなる空間を構築した（図 3, 4）。1 階に一般市民が利用できるクリニック・カフェ・ヘルスケアスタジオ、2 階にイベントが開催できるセミナースタジオ、協業企業との交流ができる共創スタジオ、事業を紹介する展示スペース、3 階にオフィスという構成となっている。

本建物には、執務者が自身の好みに応じて最適な場所を選択して執務することで知的生産性の向上を図る ABW の考え方を取り入れており、3 階オフィスの 4 つのプロジェクトルームにそれぞれ異なる空間テーマを設けて計画した。3 階オフィスの平面図を図 5、断面図を図 6 に示す。

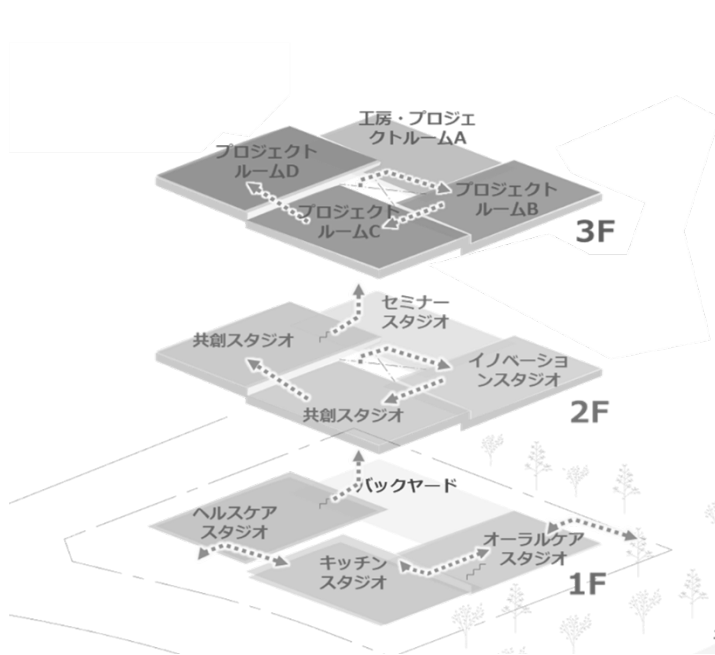


図 3 建物構成概念図

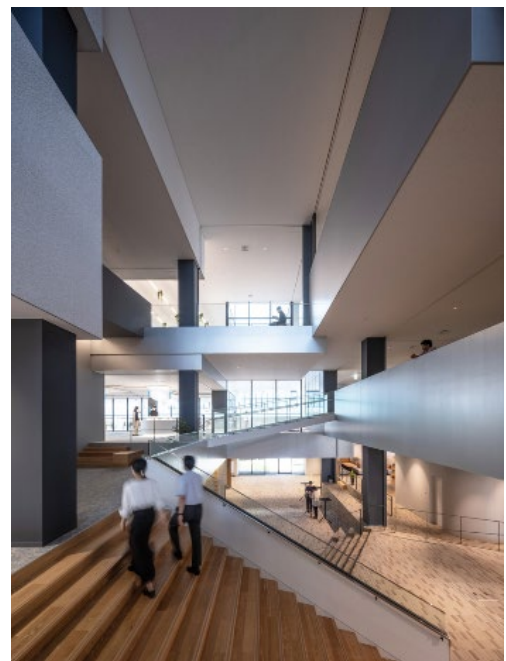


図 4 中央吹抜け



図 5 3 階オフィス平面図
(プロジェクトルーム B)

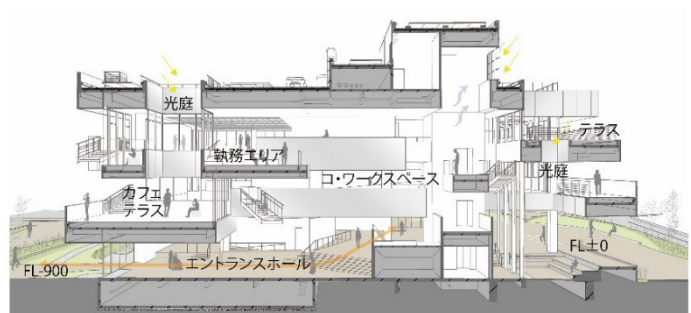


図 6 断面図

3. 環境コンセプトと設備計画概要

本建物では、環境コンセプトとして「健康・快適性」と「脱炭素」の両立を掲げた。環境・設備計画の全体概念図を図7に示す。「執務者の心と体を整える健康オフィス」「自然エネルギーを有効活用した空調・熱源システム」「脱炭素に貢献する省エネルギー・省資源」に関する各種の取り組みにより、コンセプトの実現を目指した。

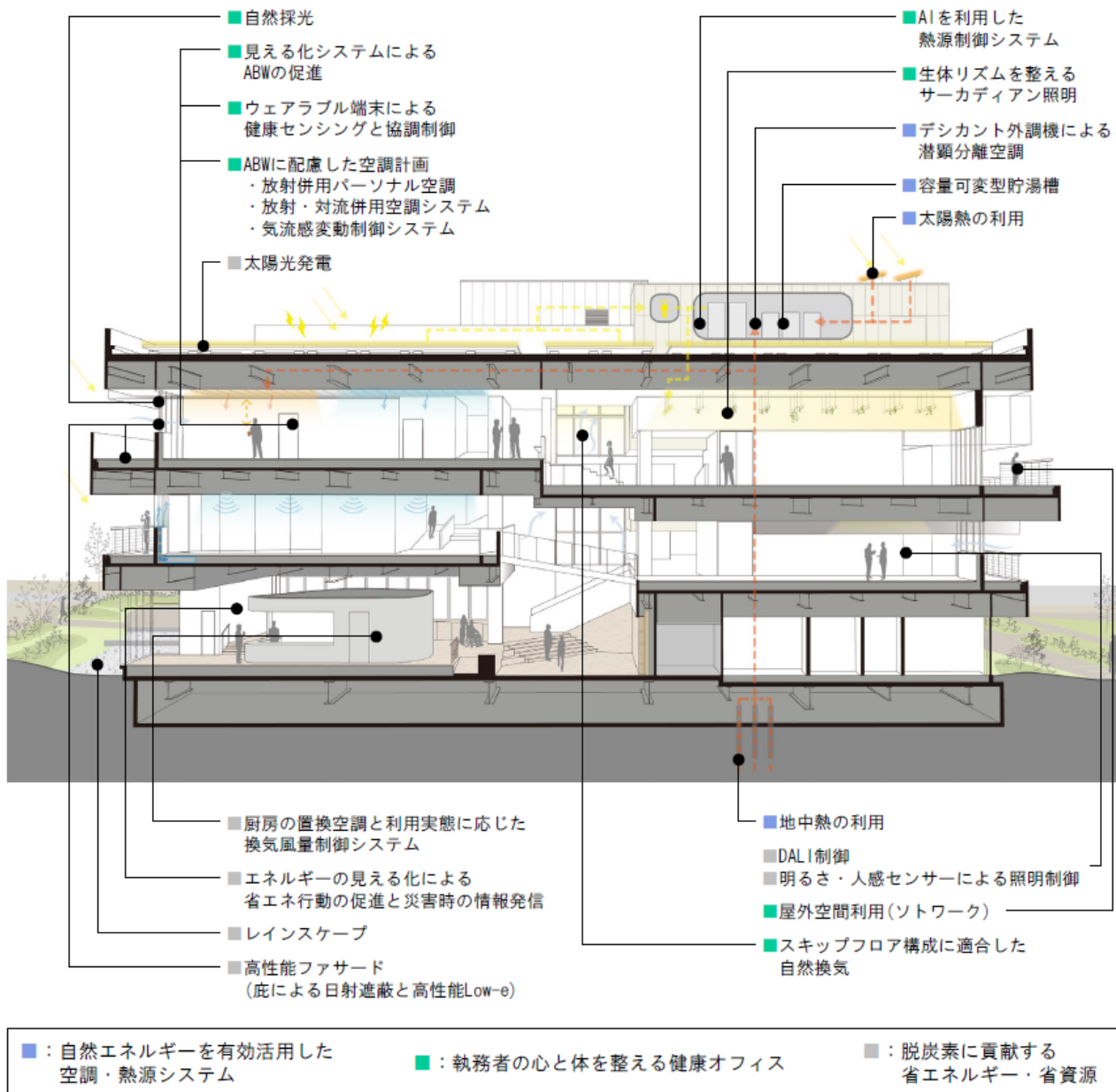


図7 環境・設備計画の全体概念

4. 執務者の心と体を整える健康オフィス

4.1 ウェアラブル端末による健康センシング

本建物では、ウェアラブル端末の活用により、健康と快適性の向上を目指した。建物内の各所に Beacon を配置し、Bluetooth を用いて各ウェアラブル端末と通信を行っている。ウェアラブル端末では、脈波検知・歩数検知・位置測位等が可能であり、これらのデータを活用して心拍数・歩数・消費エネルギー・代謝量・ストレス度・在席位置を可視化する WEB アプリを開発した。

4.2 快適性を向上させる ABW の実現

本建物における ABW では、建築計画に留まらず、空調計画についても各ゾーンで異なる空調方式を採用することで、環境選択性を付加した。プロジェクトルーム A、B で、気流感変動制御システム、プロジェクトルーム C では放射・対流併用空調、プロジェクトルーム D では放射併用パーソナル空調を採用している(図 8)。

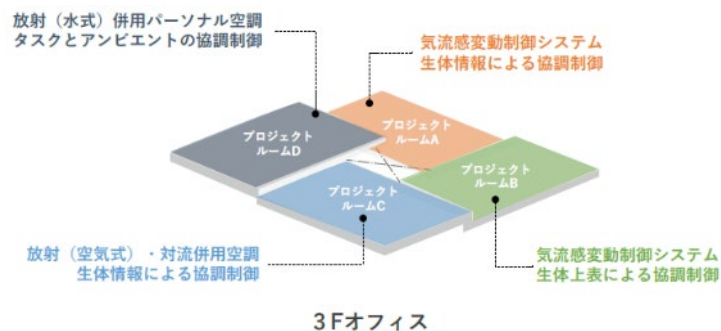


図 8 3 階オフィスの空調方式

4.3 放射・対流併用空調システムの開発と計画

本計画ではプロジェクトルーム C に人の代謝量に合わせて気流感の調整・変動が可能な放射・対流併用空調システムを開発・採用した。一般的な空調方式では、熱負荷が変動しない状態であれば、執務者の状態によらず気流感が一定となる。これに対して、執務者の代謝量によって気流感が変動する放射・対流併用空調システムを開発・採用することで、快適性の向上を図っている。具体的には、パンチングパネルの天井による空気式放射空調とアンビエントファン一体型吹出口による対流空調を併用する方式とした(図 9)。パンチングパネルを介して空調空気を供給する放射用 VAV とアンビエントファン一体型吹出口に空調空気を供給する対流用 VAV の 2 つを有し、執務者の推定代謝量に応じて放射系と対流系の風量分配を変化させる。放射系と対流系の合計風量は、目標室内温度から求められる負荷処理に必要な給気風量となるように制御することで、室内温熱環境の快適性の向上と室内温度補償を両立させている。

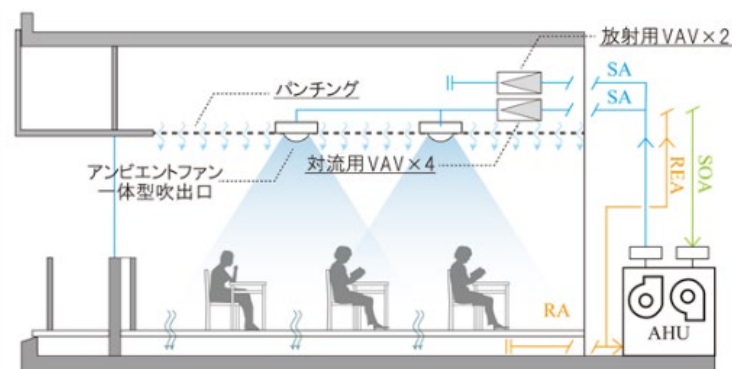


図 9 放射・対流併用空調システム概念図

4.4 環境性とデザイン性を両立した自然換気

4.4.1 自然換気計画の概要

本建物は、連続的にスパイラルアップするスキップフロア構成で、中央ボイドを介して空間がつながっている。このプランニングとの適合性が高く、自然エネルギー利用を最大化する自然換気を計画した。外周部には手動の自然換気窓、ボイドトップには自動の自然換気窓を設けて、風の流れを形成した。窓の配置や大きさは、解析によって最適化を行った。解析には、屋外 CFD 解析によって得られた建物表面風圧係数を用いた。自然換気の適切な運用を促進するため、「半開」「全開」「閉鎖」の3つのパターンをサインにて表示する計画とした(図 10)。



図 10 自然換気サイン

4.4.2 実運用における換気経路の検証・室内環境実測・居住者評価

実運用下では気象条件によって様々な自然換気経路が形成され得る。そのため、自然換気検証の第一ステップとして、竣工後に各室の開口部においてトレーサーガスのインパルスを与え、他室での濃度応答の計測を行った。どの窓から流入が見られる気象条件であっても各室代表点に流入外気が分配されていることが確認できた。実運用下での室温・風速分布の長期測定及び居住者アンケートを 2023 年秋季と 2024 年春季の計 2 回行った。2023 年秋季は窓開度全開で、2024 年春季は窓開度を調整した条件で実施した。窓開度全開の条件下では局所的に大きい風速が見られ、室温も 21~23℃と低めで、寒いという申告も多かった(図 11)。一方、窓開度を調整した条件下では、風速分布は概して 0.3m/s 以下、温度分布は 23~25℃で推移し、自然換気時でも空調条件と大きな差異がなく一様な室温・風速分布となった。また、2024 年には、居住者の方に窓開閉を委ねた条件も行ったが、サイン点灯中に窓開け行為が見受けられ、快適範囲内の環境が実現されていた。アンケートをみると、2024 年の温冷感申告においては、自然換気時も空調のみの運用と同程度の申告結果となった(図 11)。また、窓開度調整によって自然換気の総合的な満足度が大きく改善されることが確認された(図 12)。

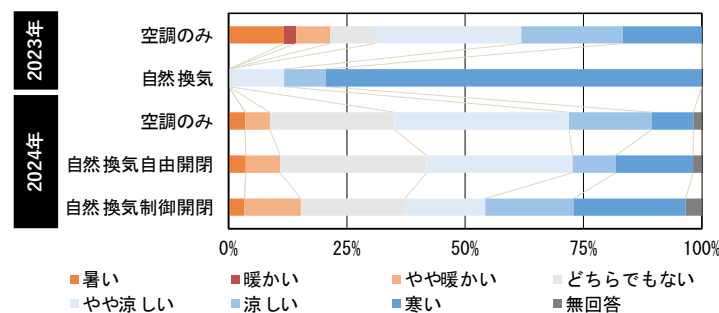


図 11 温冷感申告

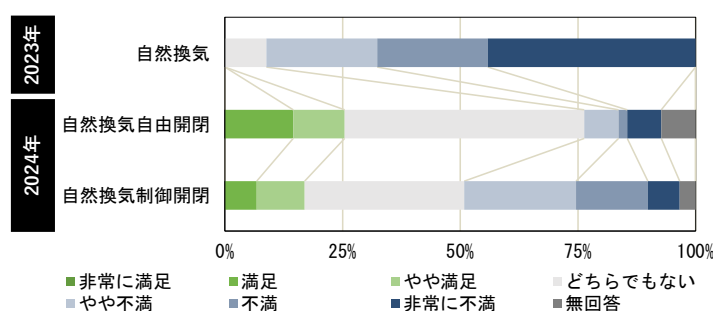


図 12 自然換気の総合的な満足度

5. 自然エネルギーを有効活用した空調熱源システム

5.1 空調熱源システム概要

空調消費エネルギーの最小化を図るためには、空調に使用する熱媒温度帯を室内温度に近づけて省エネルギー化を図ることが重要である。また、熱源の冷水温度レベルを高めたシステムの効率化だけでなく、自然エネルギーの利用や空調２次側システムとの適合性を高めることで、システム全体での省エネルギー化を図る必要がある。本建物では、自然エネルギーとの親和性が高い中央熱源方式を採用し、地中熱と太陽熱を利用した熱源システムを構築している。また、空調２次側を潜頭分離方式とすることで、地中熱や太陽熱の利用範囲が拡大可能な計画としている。熱源システム概要図を図 13 に示す。空冷ヒートポンプモジュールチラー・地中熱・太陽熱で構成し、年間を通して地中熱・太陽熱が利用可能なシステムとした。地中熱はボアホール型のダブルUチューブ方式とし、安定した継続利用を狙いとして、放射パネル等に直送利用する計画とした。太陽集熱パネルは真空二重ガラス管を採用した。運転モード一覧を表 2 に示す。夏期は、太陽熱をデシカント外調機の再生熱に利用し、地中熱を放射パネルとデシカント外調機のアフターコイルで利用が切り替えられる計画とした(図 13_冷房)。冬期・中間期は、太陽熱を空冷ヒートポンプモジュールチラーへの還り温水の昇温に利用し、地中熱をデシカント外調機のプレコイルへ送水して外気のプレヒートに利用する計画とした(図 13_暖房)。地中熱は送水温度、太陽熱は貯湯槽内温度によって使用可否判断を行い、運転モードの切替えを行っている。地中熱・太陽熱が取得できない場合には、空冷ヒートポンプモジュールチラーのみで運転を可能としている。

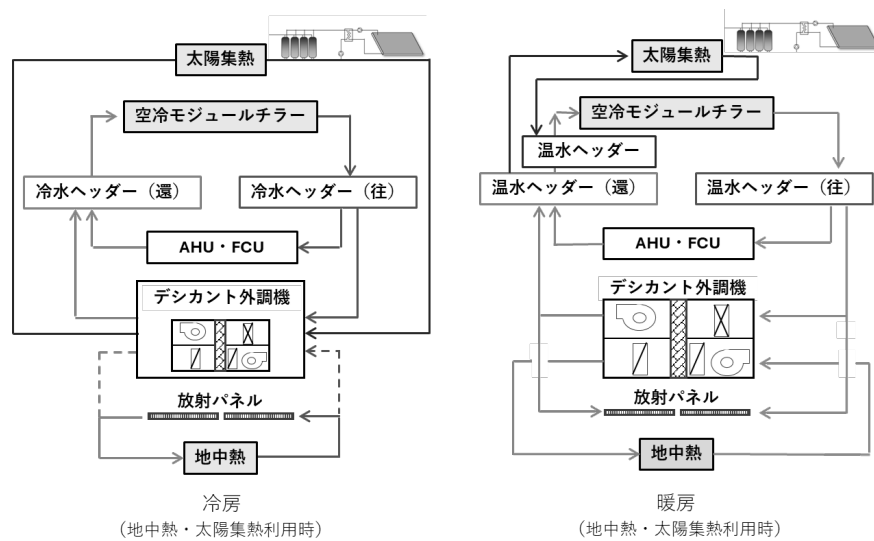


図 13 熱源システム概要図

表 2 熱源運転モード一覧表

	モード	太陽集熱 可否	地中熱 可否	放射パネル	デシカント外調機			空調機・FCU
					再生コイル	プレコイル	アフターコイル	
夏期：冷房	1	可	可	地中熱	太陽集熱	空冷チラー	空冷チラー	空冷チラー
	2	不可	可	地中熱	—	空冷チラー	空冷チラー	空冷チラー
	3	可	可	空冷チラー	太陽集熱	空冷チラー	地中熱	空冷チラー
	4	可	不可	空冷チラー	太陽集熱	空冷チラー	空冷チラー	空冷チラー
	5	不可	不可	空冷チラー	—	空冷チラー	空冷チラー	空冷チラー
中間期 インテリア：冷房・暖房 外気・ベリメータ：暖房	6	可	可	地中熱（冷）	—	空冷チラー（暖）・太陽集熱	—	空冷チラー（冷/暖）・太陽集熱
	7	不可	可	地中熱（冷）	—	空冷チラー	—	空冷チラー冷/暖
	8	不可	可	空冷チラー（冷）	—	地中熱	空冷チラー（暖）	空冷チラー冷/暖
	9	可	可	空冷チラー（冷）	—	地中熱	空冷チラー（暖）・太陽集熱	空冷チラー（冷/暖）・太陽集熱
	10	可	不可	空冷チラー（冷）	—	空冷チラー（暖）・太陽集熱	—	空冷チラー（冷/暖）・太陽集熱
	11	不可	不可	空冷チラー（冷）	—	空冷チラー（暖）	—	空冷チラー冷/暖
冬期：暖房	12	可	可	空冷チラー・太陽集熱	—	地中熱	空冷チラー・太陽集熱	空冷チラー・太陽集熱
	13	可	不可	空冷チラー・太陽集熱	—	空冷チラー（暖）・太陽集熱	—	空冷チラー・太陽集熱
	14	不可	可	空冷チラー	—	地中熱	空冷チラー	空冷チラー
	15	不可	不可	空冷チラー	—	空冷チラー	—	空冷チラー

5.2 熱源システムの運用評価

月別の水搬送効率(WTF)を図14に示す。熱源システムは全てのポンプにINV制御を採用している。6～9月に高い水搬送効率となっており、年間で36であった。6～9月はデシカントの再生熱として太陽熱利用が比較的多く、太陽熱搬送系のポンプが効率的に稼働したためと考えられる。

月別の熱源システムCOP(一次エネルギー基準)を図15に示す。年間システムCOPは2.58で、最も高い4月では5.18となっている。中間期に比較的高く、冬期に低い傾向を示した。中間期は、採用した空冷ヒートポンプモジュールチラーが部分負荷時であっても単体COPが大きく落ちない性能であること等が影響したと考えられる。一方で、日射量の少ない冬期は、太陽熱系統の水搬送が比較的低温で行われていたため、低いCOPになっていると考えられる。今後は、太陽熱系統のチューニングを実施することで、熱源システムの更なる効率向上を図っていく。

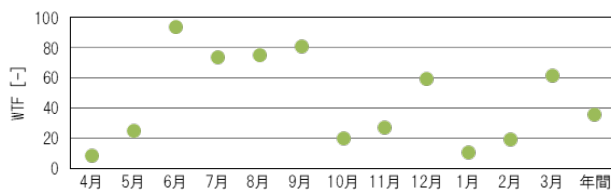


図14 月別水搬送効率(WTF)

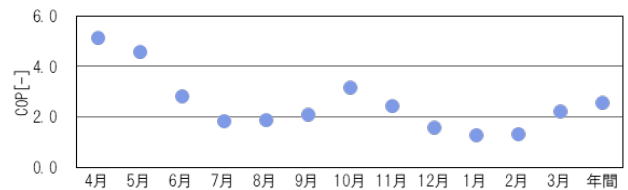


図15 月別の熱源システムCOP
(一次エネルギー基準)

5.3 太陽熱の有効利用を高める容量可変型蓄熱・放熱システム

5.3.1 計画概要

太陽熱はエネルギー変換効率が高いが、気象条件によって変動するため、負荷側システムの必要熱量・温度によっては利用率が低くなるといった課題がある。本建物では、太陽熱の有効利用を目指して、容量可変型蓄熱・放熱システムを開発・採用した。システム図を図16に示す。蓄熱槽は計15 m³の容量を2.5 m³×6槽に分割して構成し、各槽の集熱側と放熱側のそれぞれに切替バルブを設け、集熱槽と放熱槽を1台ずつ切替える計画とした。なお、集熱と放熱が同一槽とならないように槽の選択は放熱を優先とした。また、放熱時には放熱槽内温度が45℃以下となった場合またはそれぞれの槽の温度差が5℃以上となった場合に次の槽に切り替わる制御とした。集熱時は、集熱量が比較的少ない日であっても蓄熱槽内温度が負荷側の要求温度に達しやすく、放熱時はできるだけ高い温度帯で継続的に負荷側に供給する制御としている。

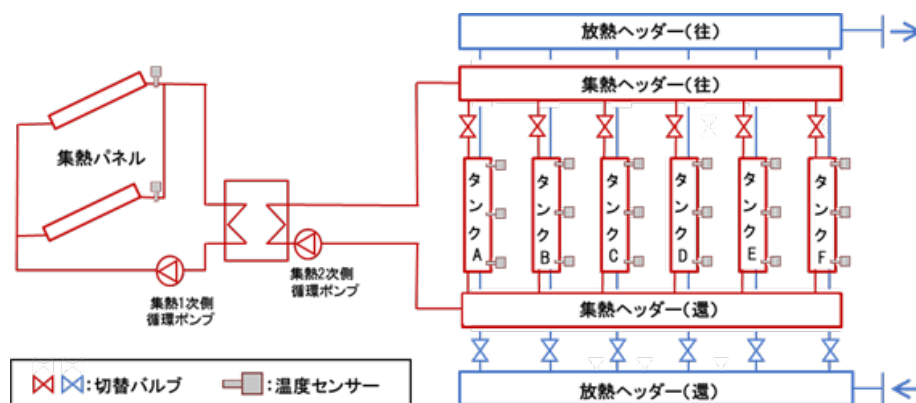


図16 容量可変型蓄熱・放熱システム概念図

5.3.2 容量可変型貯湯槽の運用実績

冬期モードの代表日における容量可変型蓄熱槽の槽内温度の推移を図 17 に示す。熱源運転開始と同時に、放熱槽が順次切り替わりながら槽内温度が低下し、6 槽のタンクが 40℃未満になると放熱運転を停止している。8 時 50 分頃から集熱運転が開始され、槽内温度が上昇している。集熱運転が終了した 17 時の時点で最も低温の槽が 45℃であるのに対し、最も高温の槽は 65℃に達し、限られた集熱量でも利用可能温度まで効率的に集熱されていることがわかる。

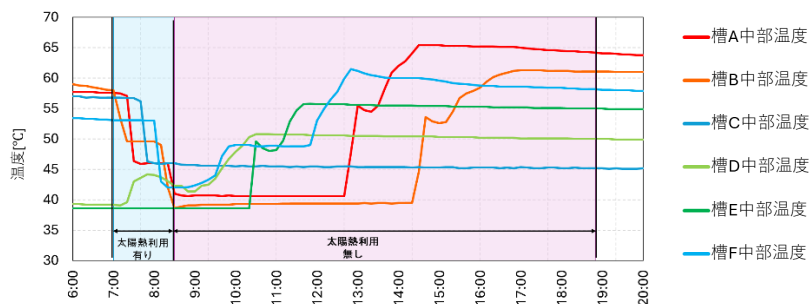


図 17 容量可変型蓄熱槽の温度推移

5.4 AI を利用した熱源制御システム

5.4.1 AI システム概要

自然エネルギーを年間通じて効率的に利用し、熱源システムのエネルギー消費量を削減することを目的として、AI 技術を活用した熱源制御システムを開発・導入した。AI 制御システムの全体概要を図 18 に示す。設備機器の運転状態や温湿度、流量等の各種センサ情報を収集している中央監視システムと、AI の演算処理を担うオンプレミス PC は、BACnet を介して双方向のデータ送受信が可能な構成とした。各種データは 10 分間隔で収集され、30 分ごとに AI 制御システムから運転制御指示を行う。

AI 制御システムは機能面において大きく 2 つの主要コンポーネントに分かれており、第 1 の機能は、建物内外の現在の状態・計測データをもとに、将来の各室内温度、地中熱・太陽熱の貯湯タンク温度、及び各機器の消費電力量を予測する「予測 AI」である。第 2 の機能は、15 種類の運転モードの中から、最も省エネルギー効果が高い最適なモードと各種設定値(熱源送水温度、冷房時の再生熱利用温度、暖房時の太陽熱利用設定熱量)を探索し、中央監視側へ指示を行う「運転制御 AI」である。予測 AI と運転制御 AI の関係を図 19 に示す。本システムでは、自然エネルギーを有効利用するために、30 分先～48 時間先までの状態を予測し、最も省エネルギーとなる運転計画を探索する。予測 AI は、与えられた運転制御パラメータに基づき、現在の状態から 30 分先の状態を予測するモデルであり、それを繰り返すことで 48 時間先までの状態を推定する。一方、運転制御 AI は、30 分ごとの運転制御パラメータをどのように設定すれば最も省エネルギー化できるかを探索するものであり、その探索手法として Random shooting を採用している。

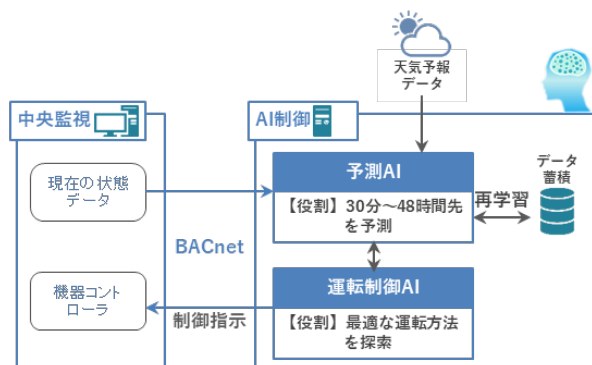


図 18 AI システム構成図

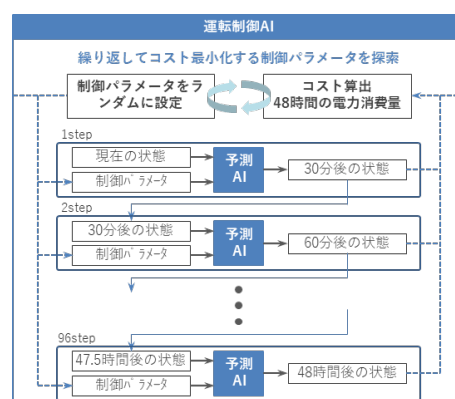


図 19 予測 AI と運転制御 AI の逐次フロー

5.4.2 AI 制御による省エネルギー効果検証

AI 制御の省エネルギー効果を定量的に把握するため、本建物において従来の通常制御との比較検証を実施した。比較対象期間は 2025/1/27～2025/2/23 の 4 週間とし、前半 2 週間を通常制御、後半 2 週間を AI 制御として実施した。通常制御と AI 制御における期間分析比較の結果を図 20 に示す。AI 制御期間の負荷熱量は通常制御期間と比較して約 5% 大きい条件であったにもかかわらず、システム全体の電力消費量は約 7.2% 低減した。

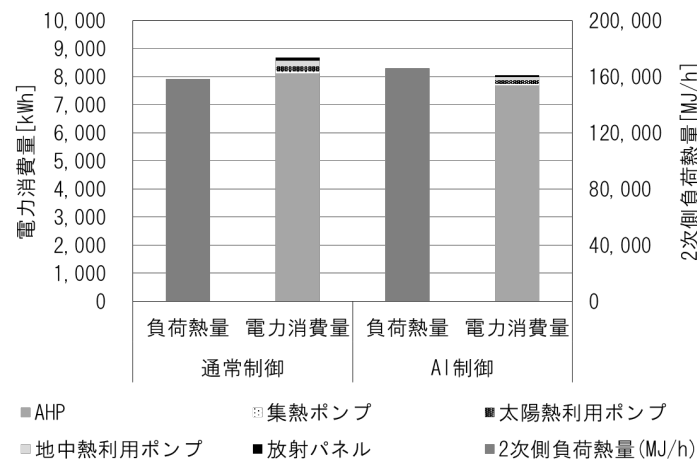


図 20 AI 制御による省エネルギー効果

6. 環境認証

環境認証として CASBEE 建築評価認証 (2021 年 SDGs 対応版) で S ランク (BEE=4.1)、BELS 認証で Nearly ZEB を取得している。エネルギー消費性能計算プログラムの標準入力法による計算値では、BEI (太陽光を含まない) は 0.48、BEI (太陽光を含む) は 0.23 であった。

7. エネルギー消費量の実績

年間一次エネルギー消費量を図 21 に示す。レファレンスとする基準値はエネルギー消費性能計算プログラムの $1,325 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ を用いた。レファレンスに対して 55% の一次エネルギー消費量を削減し、20% の創エネルギーと合わせて、実績としても Nearly ZEB を達成した。

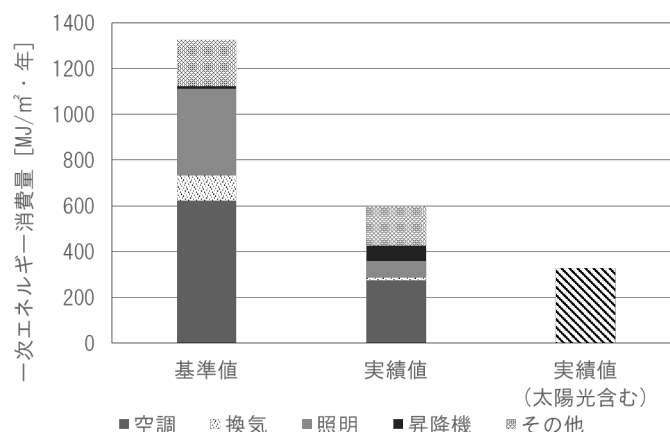


図 21 年間一次エネルギー消費量

8. おわりに

エア・ウォーター健都は、「健康・快適性」と「脱炭素」の両立を実現した高い環境価値を有するイノベーション施設を目指し計画を行った。本稿では、計画概要および導入設備技術と運用実績の一部を紹介したが、今後も継続的なチューニングにより、さらなる環境性能向上に努めていく。