

脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

(第8報) 冬期運用実績と冷熱源システム最適計算プログラムの効果検証

福井 雅英 (新菱冷熱工業)
矢島 和樹 (新菱冷熱工業)
羽鳥 大輔 (三菱地所設計)
田辺 新一 (早稲田大学)

坂本 裕 (新菱冷熱工業)
山川 莉加 (新菱冷熱工業)
平須賀 信洋 (三菱地所設計)
赤司 泰義 (東京大学)

はじめに

本件は、イノベーション施設の新築建替、並びに既存熱源設備の改修にあたり、データとデジタル技術、BIMを最大限活用しながら大幅な省エネルギー化と脱炭素化に取り組み、BELSにおいて『ZEB』を取得している計画の検証を行うものである。

本報では、2024年1月～4月における運用実績および本プロジェクトにて考案・導入した3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの最適計算プログラムの効果検証について報告する。

1. 建物・設備概要

敷地概要図を図-1に、建築概要を表-1に、施設本館の外観を図-2に示す。本施設は、茨城県つくば市にある環境エンジニアリング企業のイノベーション施設である。敷地内に建物は複数棟あり、今回はその中の研究活動を行うイノベーションハブ本館（以下、本館）の新築建替、並びに敷地全体にエネルギーを一括で供給するエネルギーセンター内の熱源設備の改修を行った。建替・改修工事は2023年11月に竣工し、2024年1月から本格的な運用を開始している。

本プロジェクトでは、「2030年、研究開発活動からのCO₂排出実質ゼロ」を目標として掲げている。まずは、本館においてBELSで『ZEB』を取得し、敷地からのCO₂排出量を2009年（本施設の削減目標基準として定めた年）の排出量から50%削減する。その後、改善を続け2030年に敷地全体の研究活動からのすべてのCO₂排出実質ゼロを目指す。

また、本館は、ABW+e（Activity Based Working + environment）を働き方のコンセプトとし、仕事の内容、こことからだの状態に合わせて働く環境（空気・温湿度・照明・屋内外・空間の広さ・什器など広い意味での環境）を選べるワークスペースを目指している。ABW+eを実践するためには、執務者が選ぶことができる多様な空調環境を提供することが重要であり、本館の空調システムには開発した空調技術を導入した。本施設に導入した空調技術を図-3に示す。

また、本プロジェクトでは、設計から運用に至るまで、BIMによる新たな業務プロセスを試行している。

なお、プロジェクトの概要、導入技術の詳細・特徴、BIM活用の概要などは、既報¹⁾で述べている。



図-1 敷地概要図

表-1 建築概要

所在地	茨城県つくば市
敷地面積	34,676m ²
建築面積	2,391m ²
延床面積	4,807m ²
構造	S造、一部RC造
階数	地上3階



図-2 本館の外観

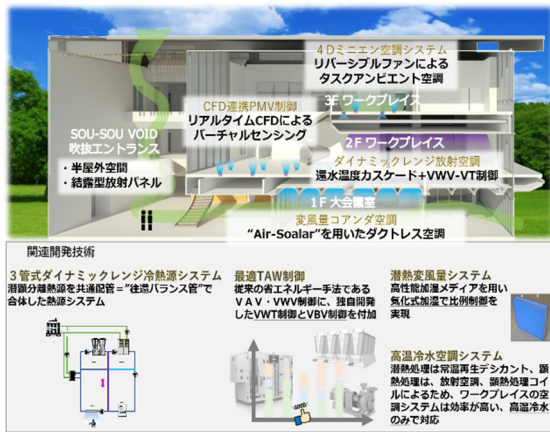


図-3 本施設に導入した技術

2. 冬期運用実績

本館運用開始後の2024年1月～4月における敷地全体のCO₂排出量と本館の『ZEB』に対する評価を行った。なお、本報で用いるエネルギー消費量は一次換算エネルギーとし、一次エネルギー換算係数、および、CO₂排出量換算係数を表-2に示す。

表-2 換算係数一覧

	電力	ガス	灯油
エネルギー消費量	8.64 MJ/kWh	45 MJ/Nm ³	37 MJ/L
CO ₂ 排出量	0.376 kg/kWh	2.21 kg/Nm ³	2.51 kg/L

2.1 敷地全体のCO₂排出量実績

敷地全体(図-1)のエネルギー源別のCO₂排出量と構成比について、1月～4月の2009年(削減目標基準年)と2024年の比較を図-4に示す。2024年のCO₂排出量は、2009年と比較して、50%の削減であった。外皮断熱性能の向上、開発した空調システムの省エネルギー効果などによる削減と考えられ、効果の詳細については今後分析を予定している。なお、2024年のCO₂排出量に影響を及ぼした事項として、太陽光発電からの電源供給が停止した不具合(2週間程度)、および、VOC対策のための一部エリアの24時間空調・換気稼働が挙げられる。

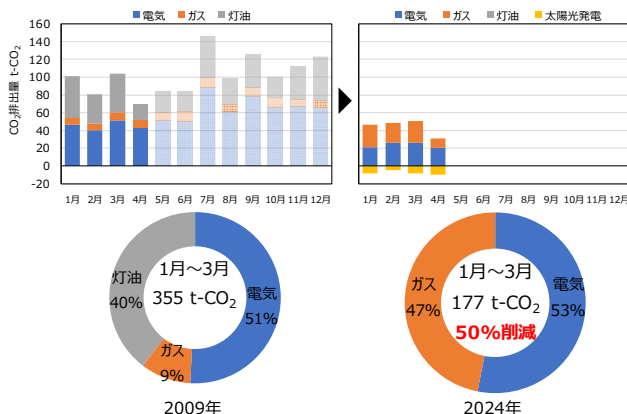


図-4 エネルギー源別のCO₂排出量と構成比

2.2 『ZEB』に対する運用実績

本館のオフィスエリアを対象としたBELSの『ZEB』に対する運用実績でZEBの評価をした。評価対象としたエネルギー消費量の概念を図-5に示す。なお、空調用冷熱源・温熱源エネルギー消費量は、式(1)にて按分した値を用いた。

$$\text{熱源エネルギー消費量[MJ]} \times (\text{ZEB評価対象消費熱量[MJ]} \div \text{全製造熱量[MJ]}) \dots \text{式(1)}$$

2024年1月～4月の用途別単位面積当たりのエネルギー消費量を図-6に示す。創エネルギー量/エネルギー消費量の比率は、1月が98%、2月が75%、3月が129%、4月が233%であり、1月～4月の合計では122%であった。1月～4月の限定的な評価ではあるが、運用実績において、本館のオフィス用途のエリアの『ZEB』を達成していることを確認した。今後、中間期・夏期の運用実績を評価する。

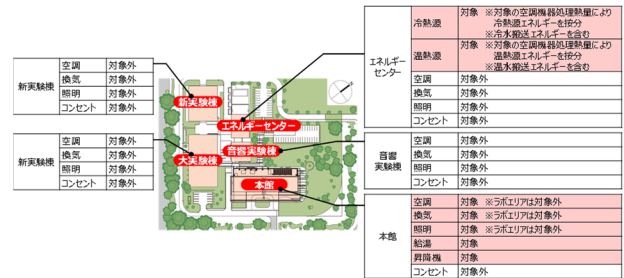


図-5 『ZEB』の評価対象としたエネルギー消費量の概略図

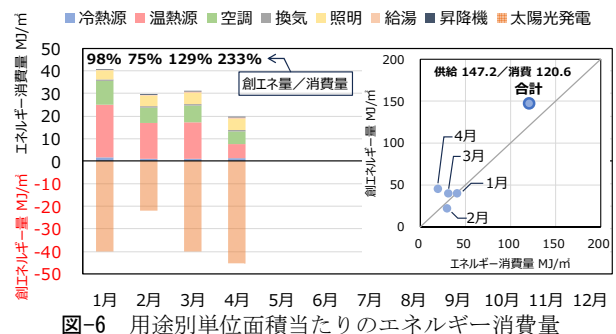


図-6 用途別単位面積当たりのエネルギー消費量

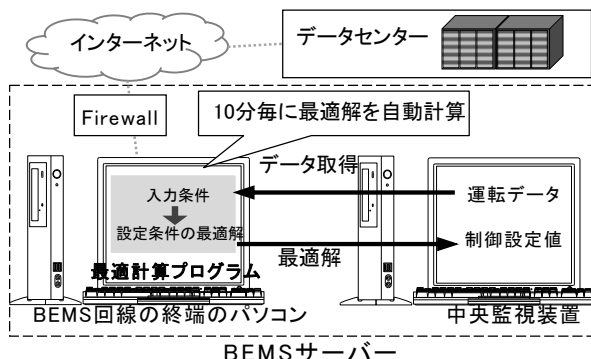
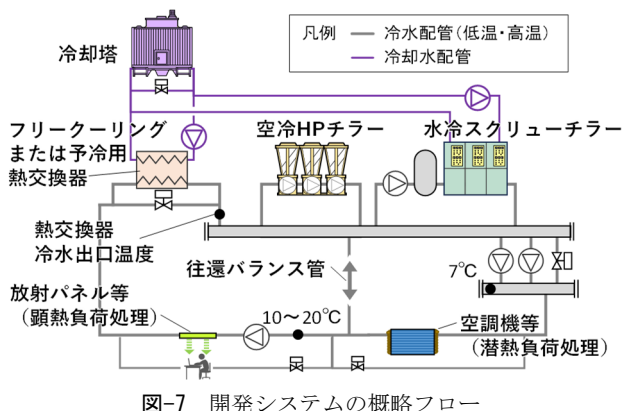
3. 3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの運転状況

3.1 システム概要

本プロジェクトでは、高効率な冷熱源システムとして図-7に示す「3管式ダイナミックレンジ冷熱源システム」(以下、開発システム)を考案し導入した。既報¹⁾では、エネルギーシミュレーションの機能を含む計算プログラム(以下、最適計算プログラム)と中央監視装置を連携させ(図-8)、冷熱源システムの最適制御を行うことを報告した。最適計算プログラムとは、汎用の表計算ソフト

上で LCEM ツールの計算式や独自の計算式を組み合わせたもので、外気・負荷条件に応じて、熱源の選択や送水温度、往還温度差といった運転条件について最適解を算出することが可能である。

開発システムには、フリークーリング・予冷用の熱交換器（以下、冷却塔熱交）の冷水出口温度（以下、熱交出口温度）に対する最適制御が導入されている。熱交出口温度についても最適計算プログラムにより最適な設定値が算出され、設定値になるよう冷却塔のファンや熱交換器系統の冷却水ポンプの出力、熱交換器の二次側バイパス弁の開度が制御される。



3.2 冬期・中間期の運転状況

本館の運用開始後の2024年1月～4月における冷熱源システムの運転状況について分析した。冬期や中間期ではあるが、低い頻度で実験用の低温冷水系統やオフィス用の高温冷水系統の冷房需要があり、開発システムが稼働していた。期間中に得られたデータ数は少ないものの、制御の妥当性や経時変化の確認が可能である。また、運用初期段階であるため、最適計算プログラムの演算の改善が高い頻度で実施されていた。ここでは、開発システムが稼働し、かつその1日の間で最適計算プログラムの変更が一度も行われなかった日のうち、2024年2月2日、4月19日のデータを代表日として抜粋する。

運用データの冷水負荷の時系列変化を図-9に示す。冷水負荷は二次側の冷水配管系統（実験棟2系統と本館内2系統の低温冷水、本館内2系統の高温冷水）ごとに計測している冷水往還温度と冷水流量の値から演算した熱量を合算した。2月2日は昼間に高温冷水のみを、4月19日は終日で実験用の低温冷水と昼間のみでオフィス用の高温冷水を二次側から要求されていた。最適計算プログラムにより演算された熱源のON/OFF状態を図-10に示す。外気や負荷の条件に応じて、空冷HPチラー（以下、空冷チラー）・冷却塔熱交・その両方といった熱源の選択が適切になされていた。

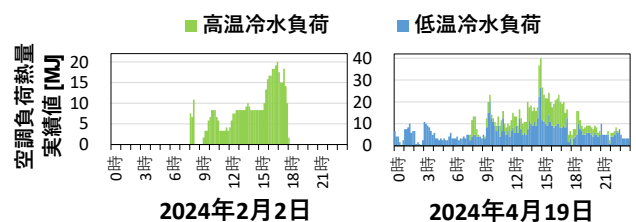


図-9 低温冷水負荷・高温冷水負荷の時系列変化（実績値）

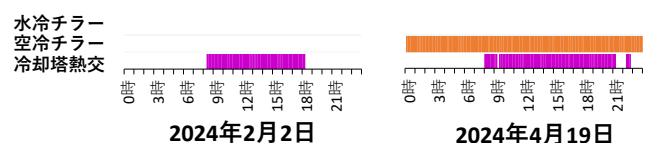


図-10 冷熱源のON/OFF状態

3.3 最適計算プログラムの冬期・中間期の導入効果

冷熱源システムの最適計算プログラムについて、冬期や中間期における導入効果を検証する。代表日2月2日、4月19日の負荷条件（図-9）、外気条件に対して、下記の3つの運用を行った場合の消費電力量を、最適計算プログラム内のエネルギーシミュレーションの機能を用いて算出し、比較する。

- 1) 「最適運用」
最適計算プログラムを用いた運用（図-10）
- 2) 「空冷単独運用」
空冷チラーを単独で運転させる運用
- 3) 「冷却塔熱交優先運用」
フリークーリングや予冷を優先して行う運用

2)と3)は最適計算プログラムを使用せずに自動制御で実現できる運用方法として想定した。3)では可能な限り冷却塔熱交のみで冷水を冷却し、冷却塔熱交のみでは供給熱量が不足する場合には不足する熱量を空冷チラーで製造すること、外気湿球温度が高い場合や高温冷水還流量が小さい場合等、冷却塔熱交による予冷が不可能な条件においては、空冷チラーを単独で運転することとした。

エネルギーシミュレーションにより算出した消費電力量の日積算値を図-11に、時系列変化を図-12に示す。

2月2日は外気湿球温度が低く(-3.1~1.0[°CWB])、かつ低温冷水の需要がないため、冷却塔熱交のみで冷水需要を満たせる条件であった。図-11, 12に示すとおり、冷却塔熱交優先運用と最適運用が一致し、両者は空冷単独運用に比較して消費電力量が非常に小さい。

一方、4月19日は外気湿球温度が高く(9.0~13.5[°CWB])、かつ低温冷水の供給が終日必要であり、冷却塔熱交のみでは冷水需要を満たせない条件であった。図-11, 12に示すとおり、4月19日は最適運用、空冷単独運用、冷却塔熱交優先運用の順に消費電力量が小さい。高

温冷水需要がある時間帯に、冷却塔熱交優先運用では冷却塔ファンや冷却水ポンプが最大出力となる上に、不足する熱量を補うために空冷チラーも運転される。一方、最適運用では冷却塔熱交出口温度を最適化することで、冷却塔熱交で冷却する熱量と空冷チラーで製造する熱量のバランスを最適化し、システム合計の消費電力量を最小化することができる。

以上から、開発システムにおいて冬期や中間期にフリークーリングや予冷を優先して行う運用は必ずしも省エネルギーではない。外気・負荷条件に応じ、フリークーリングや予冷を含む最適な熱源を選択し、かつ熱交出口温度の最適制御を行うことが効果的である。

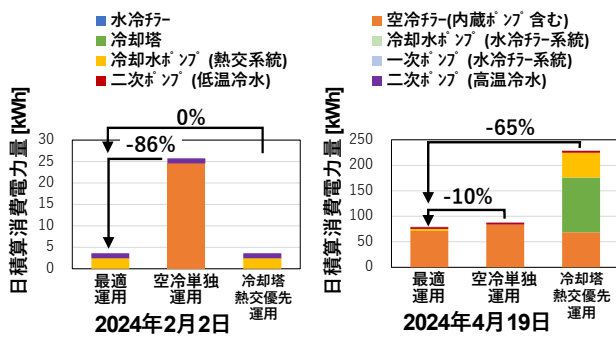


図-11 冷熱源システムの運用方法の違いによる日積算消費電力量の比較

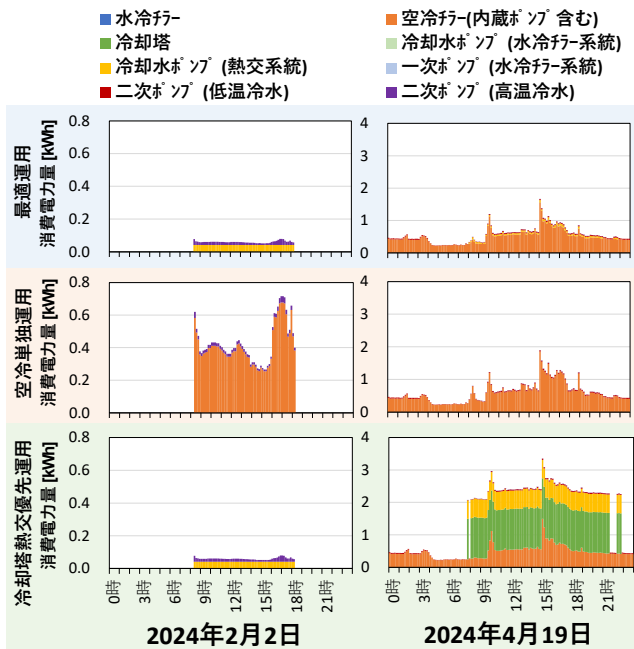


図-12 冷熱源システムの運用方法の違いによる消費電力量の時系列変化の比較

おわりに

本報では、2024年1月~4月における運用実績および本プロジェクトにて考案・導入した3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの最適計算プログラムの効果検証について報告した。

2024年1月~4月における運用実績について、敷地全体における2024年のCO₂排出量は、2009年と比較して、50%の削減であった。また、1月~4月のエネルギー供給量と本館のオフィスエリアのエネルギー消費量の比率は122%であり、限定的な評価ではあるが、運用実績にて本館のオフィス用途のエリアの『ZEB』を達成していることを示した。今後、中間期・夏期の運用実績を評価する。

また、3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムについては、最適計算プログラムの出力条件に従って機器が運転されていることが確認された。最適計算プログラムの熱源選択や熱交出口温度の最適化が適切に行われており、プログラムがない場合と比較して-10%から-86%の削減効果があることをエネルギーシミュレーションにて示した。

今後、運用データの詳細分析などにより、開発技術のさらなる性能向上に注力する予定である。

その他の開発技術の運用実績などについて、次報以上で詳細の報告を行う。

参考文献

- 1) 平須賀 他：脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証(第1報~第7報), 空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2023