

## 技術センターSOU センター棟における空調熱源機器の稼働状況の分析

### Analysis of the operation status of air conditioning heat source equipment in the Center building of the Technology Centre SOU

#### キーワード

ヒートポンプ、デュレーションカーブ、COP、負荷率

菊田 道宣\*, 花房 万由子\*\*,  
鈴木 泰樹\*, 坪田 修一\*\*\*

#### 研究概要

設計・実績において Nearly ZEB を達成している技術センターSOU センター棟において、省エネ促進の検討の一環として、空調熱源機器の稼働状況に関する分析を行なった。その結果、主要な熱源機器である2機のヒートポンプについて、蓄熱・蓄冷時は高負荷率を維持して良好な稼働状況であること、日中の空調時は低負荷率で稼働しており2機の分担も含めて運用の検討が必要なことなどがわかった。各ヒートポンプのCOPは、ある程度の負荷率であれば空気熱源ヒートポンプでCOP4~5程度、水熱源ヒートポンプで4程度と、定格COP以上の効率の良い運転となっていた。また、空気熱源ヒートポンプでは外気温が、水熱源ヒートポンプでは熱源水温度が影響していることが確認できた。

#### 1 はじめに

技術センターSOUは2022年2月にオープンし、その中のセンター棟については、設計時に Nearly ZEB の認証を受け、2022年度の実績においても Nearly ZEB を達成している。今後もさらなる省エネルギーを目指し、運用の改善を行なっていくためには、エネルギー消費の実態を把握する必要がある。エネルギー消費においては、空調に要するエネルギー消費量が最も多く、その中でも熱源システムのエネルギー消費量が大きい。したがって、エネルギー消費量の削減には、熱源システムをいかに効率的に運用するかがポイントと言える。

そこで、今後の運用改善に資するデータを得ることを目的として、熱源システムの稼働状況を分析することとした。本報では、最初のステップとして、熱源機器の実際の供給熱量と定格値との関係、エネルギー消費効率を示すCOPの算出結果を報告する。

#### 2 センター棟の空調熱源システム

センター棟の空調は、床スラブに埋設した配管に冷温水を送ることで蓄冷・蓄熱し、放射による冷暖房を主体とする TABS を採用している。センター棟の空調システムの概要を図-1に示す。熱源システムによって供給される冷温水は、主に夜間、躯体に供給して蓄冷、蓄熱を行なう。日中は、空調機に送られ、外気と還気を調整して室内に送風する。このため、熱源システムは昼・夜とも稼働することになり、長時間の運転となることが特徴の一つである。

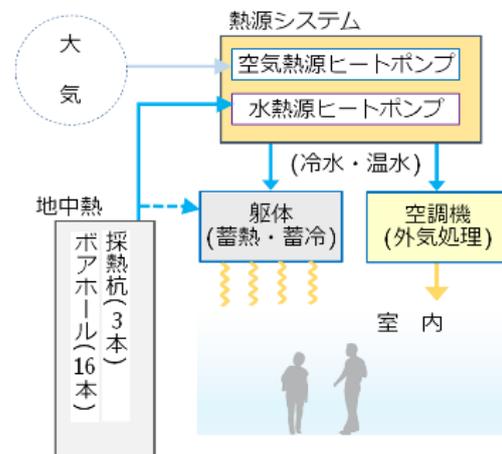


図-1 センター棟の空調システムの概要

働することになり、長時間の運転となることが特徴の一つである。

熱源システムの主な機器は、大気を熱源とする空気熱源ヒートポンプと地中からの熱源水を利用する水熱源ヒートポンプの2機である。各ヒートポンプの定格値と定格時COPを表-1に示す。実際の運用では、これら2機のどちらを優先させるか、どのように分担させるかが大きな課題となっている。

熱源システムの運転モードとしては、前述したように、①空調、②蓄冷、③蓄熱の3モードとなる。熱源機器と運

\* 技術センター 建築研究部, \*\* 技術センター ICT 推進部, \*\*\* 東北支店

転モードの対応を表-1の下部に示す。空気熱源ヒートポンプは3モード全てで利用されるが、水熱源ヒートポンプは①空調、③蓄熱だけで、②蓄冷には使用しない。これは、ZEB 認証取得時に機器の消費電力量を抑えるため、水熱源ヒートポンプに付随するポンプを、蓄冷時には他の用途に当てているためである。

### 3 分析の対象としたデータ

分析の対象としたのは、施設オープン後間もなくの2022年4月1日から2023年12月31日までの1年9ヶ月分のBEMSによって10分間隔で収集されたデータである。その中から、空気熱源および水熱源ヒートポンプの、送水の出入り口温度と流量から供給熱量を算出した。その際、流量が流量計の最小流量未満となっているなど、明らかにノイズと判断できるデータは除外している。各ヒートポンプの消費電力量については、積算値の記録なので差分を取ってその時刻のデータとした。また、水熱源ヒートポンプについては、補機である熱源水ポンプの消費電力量も含めている。

消費電力量は kWh 単位で記録されており、10分間隔では0のデータが頻発したため、1時間当たりのデータを用いることとし、時間毎に再集計を行なった。こうして得られた1要素につき 15,360個のデータを分析の対象とした。

## 4 熱源供給熱量のデュレーションカーブ

### 4.1 空調モード

空調モード時の熱源供給熱量のデュレーションカーブを、冷水・温水別に定格値とともに図-2に示す。冷水供給時では、供給熱量が熱源定格値を超えたのは1データ(1時間)だけで642GJ/hであった。その他は定格値より小さく、大半が定格値の50%以下となっている。空気熱源ヒートポンプを優先としていた期間が長いこともあって、稼働時間は空気熱源ヒートポンプの方が圧倒的に長くなっている。水熱源ヒートポンプは、逆に稼働時間が極端に少なく、かつ非常に小さな供給熱量に留まっており、アンバランスな状態と言える。水熱源ヒートポンプの供給熱量が小さいことから、運用条件の緩和などで、空気熱源ヒートポンプだけで賄える可能性があることがわかる。

温水供給時では、水熱源ヒートポンプを優先にしたこともあって、冷水供給時に比べて稼働時間の差は小さくなっている。大部分の時間が定格値の30%以下の供給となっていること、空気熱源ヒートポンプだけの供給では2%ほどの時間が不足となること、水熱源ヒートポンプだけでは大幅に供給能力不足となること等がわかる。冷水供給時も含めて、需要が小さい時間が長く、それに対応した運用方法の検討が必要である。

### 4.2 蓄冷・蓄熱モード

蓄冷モード時のデュレーションカーブを図-3に示す。約8割の時間帯で定格値以上の供給熱量となっており、

表-1 熱源機器仕様と運転モード

	空気熱源ヒートポンプ	水熱源ヒートポンプ
型番	UWXY118FA (ダイキン)	ZQH-25W25d-R-C-1mv (ゼネラル)
供給熱量定格値[kW] (定格COP)	冷水 118.0 (3.7)	58.2 (3.2)
	温水 107.0 (3.2)	67.8 (3.0)
空調(主に外気処理, 日中)	○	○
蓄冷(躯体に冷水供給, 主に夜間)	○	—
蓄熱(躯体に温水供給, 主に夜間)	○	○

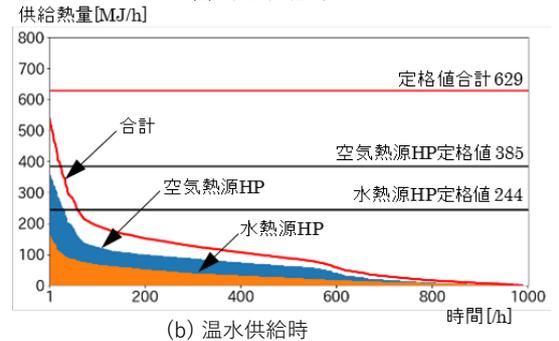
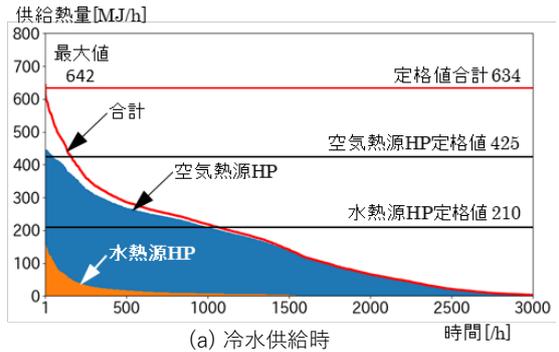


図-2 空調モード時のデュレーションカーブ

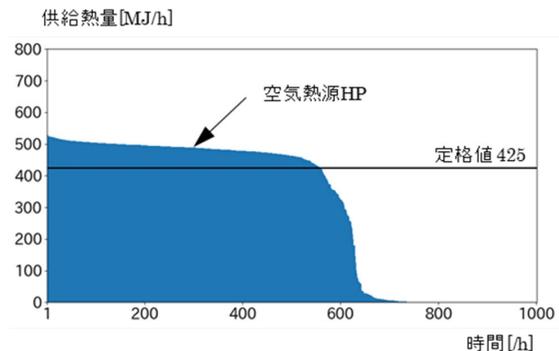


図-3 蓄冷モード時のデュレーションカーブ

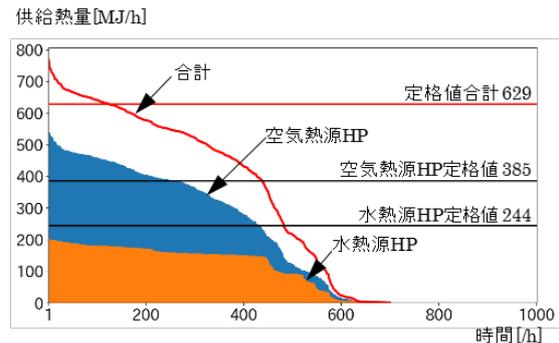


図-4 蓄熱モード時のデュレーションカーブ

ヒートポンプの動作としては、理想に近い形と言える。供給熱量が定格値より大きいのは、外気温の低い夜間に稼働していることが多いためと考えられる。

蓄熱モード時のデュレーションカーブを図-4に示す。空気熱源ヒートポンプの供給熱量が定格値を超えている時間が200時間ほどあり、想定以上の能力が発揮されている。逆に水熱源ヒートポンプは、優先的に運転させても全時間が定格値未満となっている。熱源全体としては、定格値に近い稼働の時間が長く、概ね良好と考えられる。

## 5 ヒートポンプの COP

### 5.1 COP の度数分布

算出した各ヒートポンプの COP の度数分布を、冷水供給、温水供給別に図-5に示す。縦軸の度数の単位は時間である。空気熱源ヒートポンプの冷水供給時の最多頻出 COP は、空調モードで4.1、蓄冷モードでは4.9と、定格 COP よりも高い。また、分布形状としては最多頻出 COP の周囲に集中しており、大半の時間が定格 COP よりも高い状態で運転していて効率的に運転していると言える。温水供給時については、蓄熱モードでは定格 COP よりも大きな3.9を中心とした分布形状となっているが、空調モードでは過半の稼働時間で定格 COP よりも低く改善が必要と言える。

水熱源ヒートポンプについては、冷温水ともに、COP が広い範囲に分布し、分布形状に凹凸が目立つ。冷水供給時(空調モード)では、定格 COP よりも低い1.5程度での運転が多い。温水供給時の COP 分布は、空調モードでは明瞭なピークが表れず、蓄熱モードでは、定格 COP よりも高い状態で運転している時間が多いが、4.4と4.9にピークが現れている。これら分布の特徴は、一般的な分布形状とは異なっており、全体に稼働時間が少なかったことから安定した運転のデータが十分には得られていない可能性がある。

### 5.2 COP と負荷率の関係

それぞれのヒートポンプにおける COP と負荷率の関係を図-6に示す。空気熱源ヒートポンプについては、冷水・温水供給時ともに、負荷率0.3以上であれば、定格 COP 以上の高い効率で運転している。蓄冷・蓄熱モードでは、負荷率が大きくなると COP も高くなる傾向が見られ、効率的な運用のためには負荷率の確保が重要であるといえる。低負荷率の領域で、極端に大きな COP となっているのは、消費電力量の計測の粗

さによる誤差と考えられる。

水熱源ヒートポンプについては、全データで負荷率が1未満であり、0.2以下の極端に低い負荷率での運転が多くになっている。負荷率が1に達していない、すなわち供給熱量が定格値に達していない原因については明らかではなく、さらに分析・検討が必要と考えている。また、空気熱源ヒートポンプ同様、消費電力量の計測の粗さによる低負荷率で高 COP のデータが現れている。温水供給時の蓄熱モードでは、負荷率が0.6より大きな時には定格 COP よりも高い COP での運転となっている。

### 5.3 COP と外気温との関係

空気熱源ヒートポンプの COP と外気温の関係を、冷水・温水供給時別に図-7に示す。水熱源ヒートポンプは、原理的に外気温と無関係であるが、参考として一緒に示

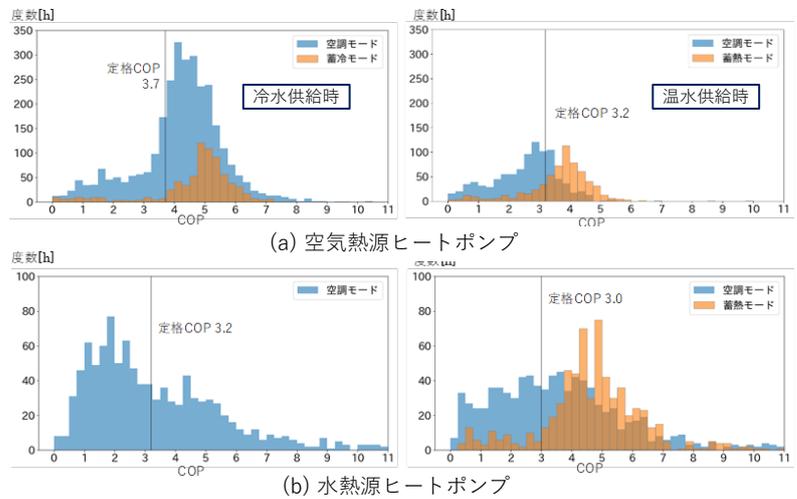


図-5 COP の度数分布

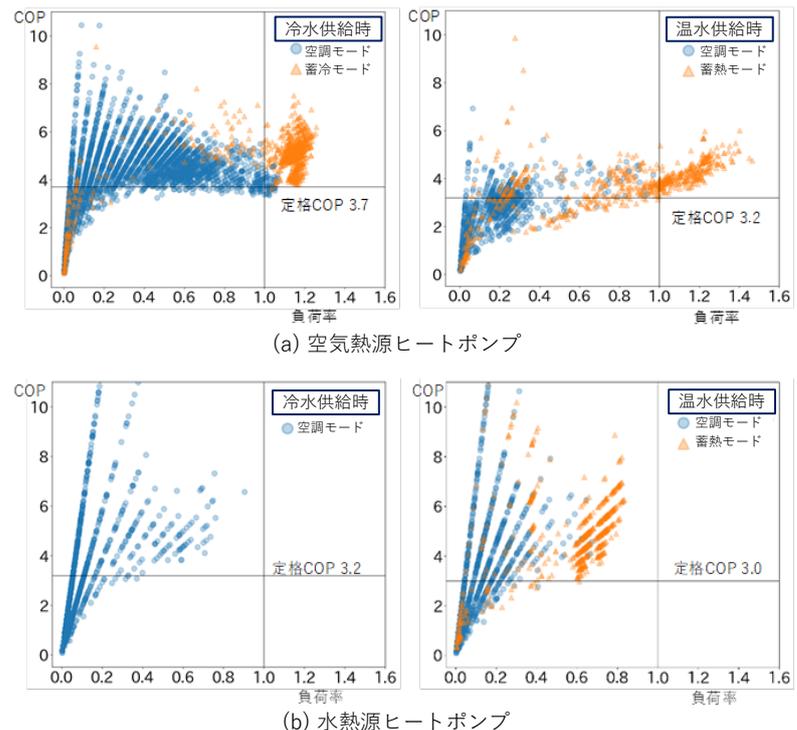


図-6 COP と負荷率の関係

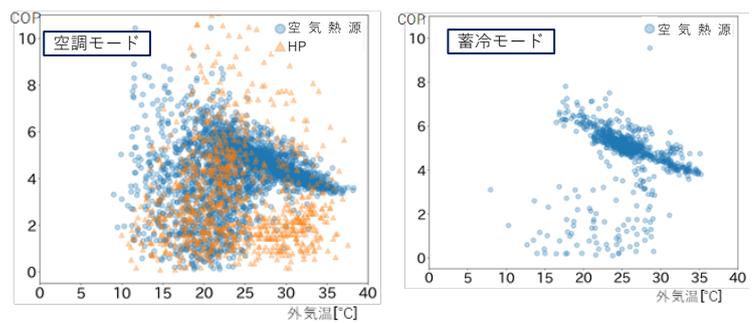
した。空気熱源ヒートポンプの COP は、冷水供給時の空調モードで低い方に大きくばらついているが、高 COP のラインは外気温の上昇とともに下がっていることがわかる。蓄冷モードでは、COP のばらつきは小さく外気温の上昇とともに低下する様子がより顕著である。COP の外気温に対する勾配を算出してみると、外気温1°Cの上昇に対して0.2弱の低下となっている。温水供給時では、空調モード・蓄熱モードともに、低 COP でばらつきは大きい、外気温の上昇とともに COP も上昇している。データの集中している付近の勾配は、外気温上昇1°Cに対して COP 0.1程度の上昇を示している。水熱源ヒートポンプの COP については、予想通り一様にばらついており、特に傾向等はうかがえない。

#### 5.4 COP と熱源水温度の関係

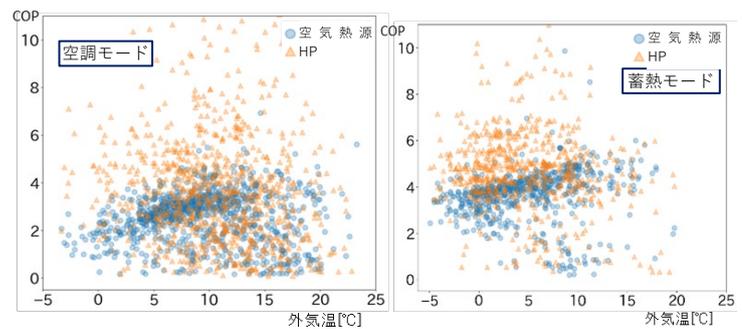
水熱源ヒートポンプの COP と熱源水温度との関係を図-8に示す。冷水供給時、温水供給時ともにばらつきが大きく明瞭な関係は見られない。ただし、冷水供給時の空調モードでは、熱源水温度が22°Cを超えた辺りから高い COP 値が見られなくなっていて、熱源水温度が上昇すると高 COP は得られ難くなると言えそうである。温水供給時では、空調モードでは一様にばらついているが、蓄熱モードでは、熱源水温度が上昇すると COP も高くなる傾向がやや見られる。

#### 5.5 COP の予測式に関する予備的な検討

それぞれのヒートポンプの COP の予測式について検討するために、空気熱源ヒートポンプについては負荷率と外気温、水熱源ヒートポンプについては負荷率と熱源水温度で、COP の3次元表示によって関係を調べた。その一例を図-9に示す。空気熱源ヒートポンプの冷水供給時においては、空調モード、蓄冷モードを通じて COP がある曲面上に分布している様子が窺え、この曲面を数式等で表現できれば予測式として使えることになる。温水供給時も同様であった。一方、水熱源ヒートポンプについては温水供給時の例を示したが、COP は空気熱源ヒートポンプよりも大きくばらついていて、特定の曲面を想定することは困難であった。また、空調モードと蓄熱モードとで分離した分布となっていることも、空気熱源ヒートポンプと異なっていた点である。これらの差異は、水熱源ヒートポンプの安定した運転におけるデータが不足していることによるものと考えられ、データの拡充・精査したうえで再検討を行なっているところである。



(a) 冷水供給時



(b) 温水供給時

図-7 COP と外気温の関係

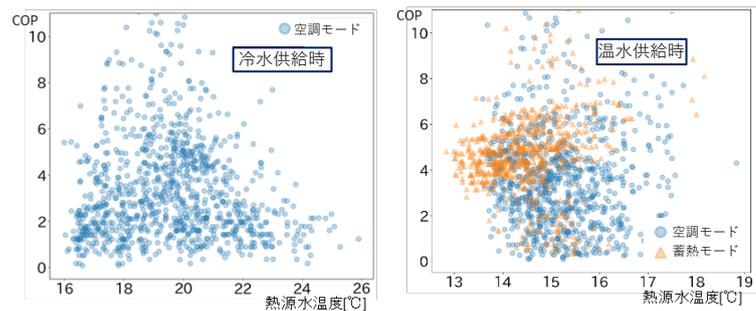
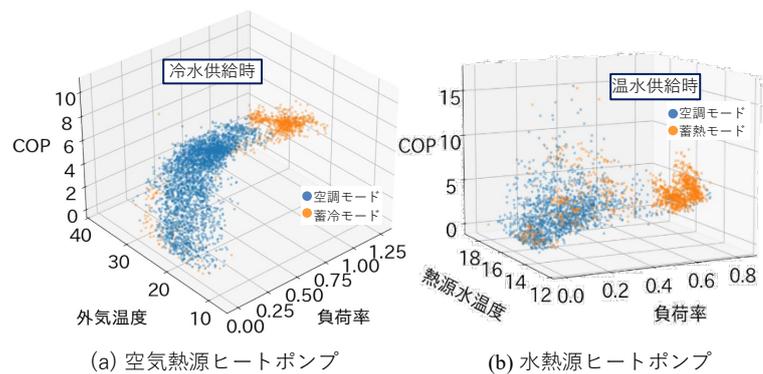


図-8 COP と熱源水温度の関係



(a) 空気熱源ヒートポンプ

(b) 水熱源ヒートポンプ

図-9 COP に関する 3 次元表現の例

## 6 まとめ

技術センターSOU のセンター棟における熱源機器の運用改善の検討に利用すべく、熱源機器である2機のヒートポンプの稼働状況を分析した。分析の結果、蓄熱・蓄冷時は高負荷率を維持して良好な運転状況であること、日

中の空調時は低負荷率で稼働していて2機の分担も含めて運用の検討が必要なことなどがわかった。

ヒートポンプの COP は、ある程度の負荷率であれば定格 COP 以上となっていて、空気熱源ヒートポンプでは COP4~5程度、水熱源ヒートポンプでは4程度で運転していた。また、COP へは、空気熱源ヒートポンプでは外気温が、水熱源ヒートポンプでは熱源水温度が影響していることが確認できた。

しかし、COP の予測式という点では、特に水熱源ヒートポンプについてのデータが不十分と考えられ、さらにデータの拡充とともに分析を充実させ、COP の予測に繋

げたいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 鈴木泰樹, 坪田修一, 菊田道宣, 野部達夫 : Nearly ZEB 認証をうけた技術センターSOUセンター棟の空調設備の概要と竣工後1年間の実績, 佐藤工業技報 No.48, 2023
- 2) 菊田道宣, 鈴木泰樹, 野部達夫 : TABSを採用した Nearly ZEB 認証建物のエネルギー性能に関する研究 (第1報)対象建物の概要とオープン時から1年間の実績, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第10巻, pp.121-124, 2023.9