

技術センターSOU センター棟における空気熱源チラーと水熱源チラーの運転状況の比較

Comparison of air-source and water-source chiller operation status at the Technology Centre
SOU

キーワード

ヒートポンプ、デューレーションカーブ、
COP、負荷率

鈴木 泰樹*, 森口 拓生*, 菊田 道信*,
花房 万由子**, 野部 達夫***

研究概要

TABS を採用し、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、主要な熱源機器である空気熱源チラーと水熱源チラーのそれぞれに優先運転とする期間を設け、運転状況の比較を行った。その結果、空調時では、どちらのチラーを優先するかによって運転状況が異なること、蓄冷・蓄熱時では、どちらを優先しても同様であること、チラーの COP は、空気熱源であれば負荷率 0.3 以上で、水熱源であれば負荷率 0.4 以上で定格 COP よりも高い値となることが確認できた。また、空気熱源チラーの COP では、外気温の影響が大きく、水熱源チラーの COP では、熱源水温度が影響しているが、温度幅が狭いことから比較的影響は小さいことが確認できた。

1 はじめに

技術センターSOU センター棟は、TABS を全面的に採用し、設計・実績において、Nearly ZEB を達成している¹⁾。既報²⁾では、さらなる省エネルギー促進の検討の一環として、エネルギー消費量の占める割合が大きい空調熱源機器の運転状況の分析を行った。その結果、ある程度の負荷率であれば空気熱源チラー、水熱源チラー共に定格 COP 以上であることなどが確認できたが、特に水熱源チラーの運転時間が短く、分析においてはデータが不十分であることがわかった。そこで、本報では空気熱源チラーと水熱源チラーにそれぞれを優先運転とする期間を設け、その期間における運転状況の比較を報告する。

2 熱源システムの概要

センター棟の空調システムの概要を図-1に示す。TABS を採用しており、埋設配管を用いてスラブに蓄冷・蓄熱している。熱源システムからの冷温水は、夜間を主として躯体の蓄冷・蓄熱に用いられ、日中は空調機(外調機)へ供給される。そのため、熱源は昼夜の運転となり、稼働時間は長くなるが、出力は平準化されることになる。

熱源システムの主な機器は、空気熱源チラーと地中からの熱源水を利用する水熱源チラーである。各チラーの供給熱量定格値とその時の COP を表-1に示す。水熱源チラーの COP は、補機である冷温水ポンプと熱源水ポンプを含めた数値である。熱源システムの運転モードとしては、①

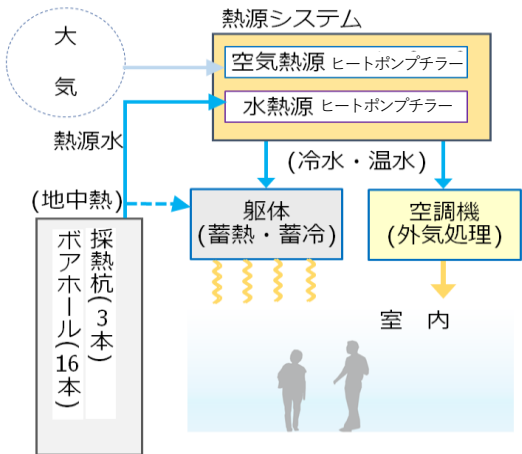


図-1 空調システムの概要

表-1 熱源機器と運転モード

	空気熱源 ヒートポンプチラー	水熱源 ヒートポンプチラー
型番	UWXY118FA (ダイキン)	ZQH-25W25d-R-C-Inv (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)*
運転モード		
空調 (主に外気処理、日中)	○	○
蓄冷 (スラブへ冷水供給、 主に夜間)	○	—
蓄熱 (スラブへ温水供給、 主に夜間)	○	○

*冷温水ポンプ、熱源水ポンプを含む

* 技術センター 建築研究部, ** 管理本部 人事部, *** 工学院大学

空調, ②蓄冷, ③蓄熱の3モードがあり, それぞれのチャラーの運転モードとの対応を表-1の下部に示した。空気熱源チャラーは3モード全てで利用されるが, 水熱源チャラーは①空調, ③蓄熱だけで, ②蓄冷には使用しない。これは, 設備機器の消費電力量を抑えるために, 蓄冷時には水熱源チャラーの熱源水ポンプを他の用途に当てているためである。

蓄熱・蓄冷の制御は, 送水時間帯の設定と天井表面温度の制限(蓄冷時には下限値, 蓄熱時には上限値)によって行っている。また, 日中の空調は還気制御としている。

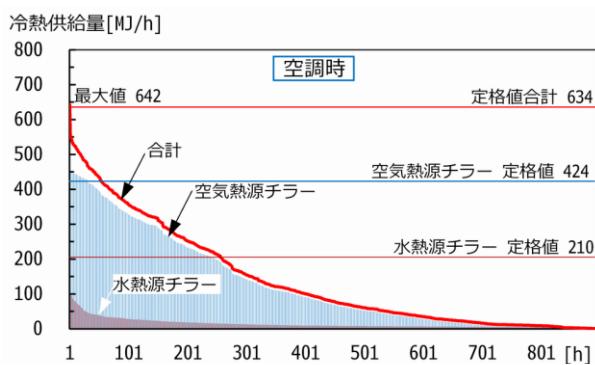
3 分析データ

本報で対象とする空気熱源チャラーを優先とした期間は, 2023年1/1~7/31, 水熱源チャラーを優先とした期間は2024年1/1~7/31である。それぞれの期間において, BEMS から得られた10分間隔の送水出入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。また, 各チャラーの消費電力量も BEMS から得た。消費電力量の計測単位が粗いことから, 供給熱量も含めて1時間当たりのデータに整理し, この値を分析の対象とした。尚, 水熱源チャラーについては, 補機である冷温水ポンプと熱源水ポンプの消費電力量も含めた。

4 熱源供給熱量のデュレーションカーブ

4.1 冷水供給時

冷水供給時の空調モード(冷房)における各チャラーの供給



(a)空気熱源チャラー優先期間(2023 1/1~7/31)

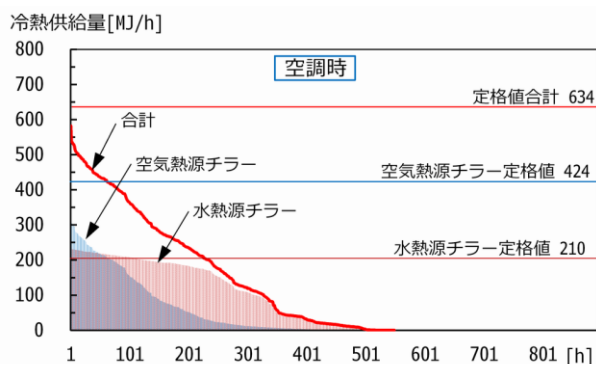
熱量及び合計値のデュレーションカーブを定格値と共に図-2に示す。(a)空気熱源チャラー優先期間においては, 2台のチャラーの合計の最大熱供給量は642[MJ/h]であったが, 定格値を超えたのはこの1データだけであり, 次のデータは553[MJ/h]であった。空気熱源チャラーの熱供給量は, 最大が454[MJ/h]であり, 30データ(0.4%)が定格値を超えている。また, 曲線は平坦部が無く, 大半が部分負荷での運転となっている。水熱源チャラーの熱供給量は極端に少なく, 空気熱源チャラーのみで冷房を賄える可能性がうかがえる。

(b)の水熱源チャラー優先期間においては, 冷房の運用を見直したため, 空気熱源チャラー優先期間よりも極端な低負荷時の稼働は少なくなっている。チャラー合計の最大値は582[MJ/h]であり, 全期間で定格値未満であった。水熱源チャラーは, 定格値付近の運転となっている時間が長く, 50%弱で定格値の70%以上となっていた。水熱源チャラーの最大熱供給量は256[MJ/h]であり, 約16%のデータが定格値以上であった。空気熱源チャラーについては, 平坦部のない右下がりの曲線となっており, 水熱源チャラーとは対照的である。

蓄冷モードにおけるデュレーションカーブを図-3に示す。蓄冷は, 空気熱源チャラーのみで行っており, (a)(b)のどちらの優先期間においても, 80%の時間で定格値を超えており, 理想的な稼働状況と言える。最大熱供給量は, 空気熱源チャラー優先期間では523[MJ/h], 水熱源チャラー優先期間では536[MJ/h]であった。

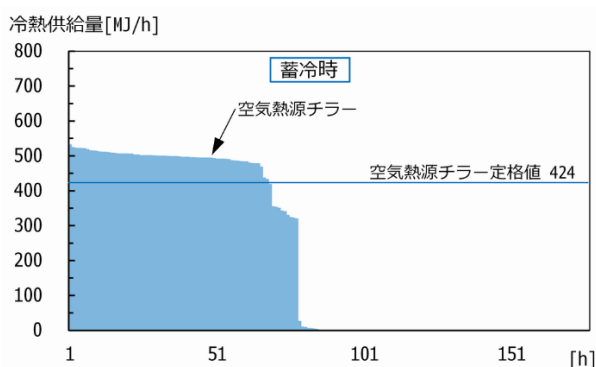
4.2 温水供給時

温水供給時の空調モード(暖房)におけるチャラーの供給熱

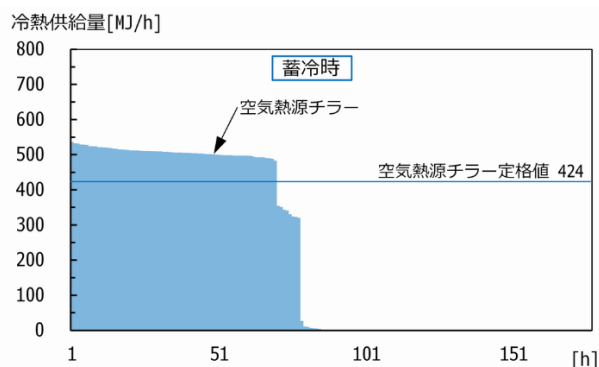


(b)水熱源チャラー優先期間(2024 1/1~7/31)

図-2 冷水供給時 空調モードのデュレーションカーブ

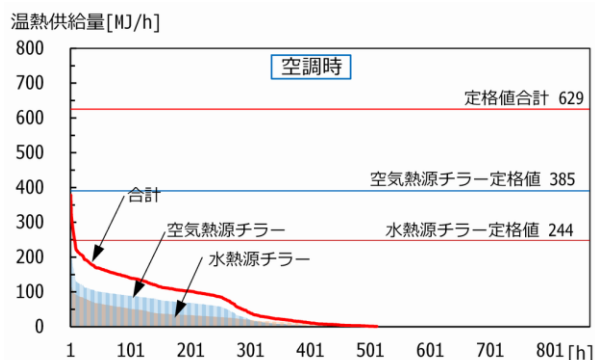


(a)空気熱源チャラー優先期間(2023 1/1~7/31)

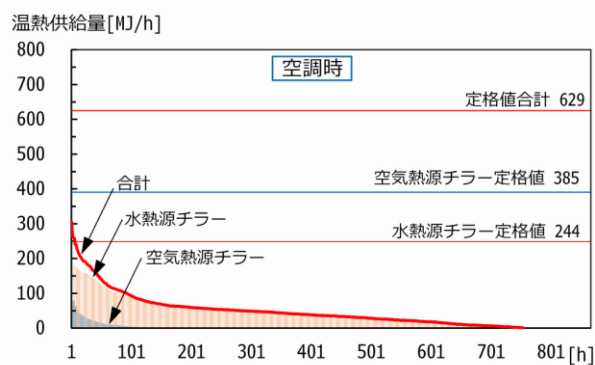


(b)水熱源チャラー優先期間(2024 1/1~7/31)

図-3 冷水供給時 蓄冷モードのデュレーションカーブ

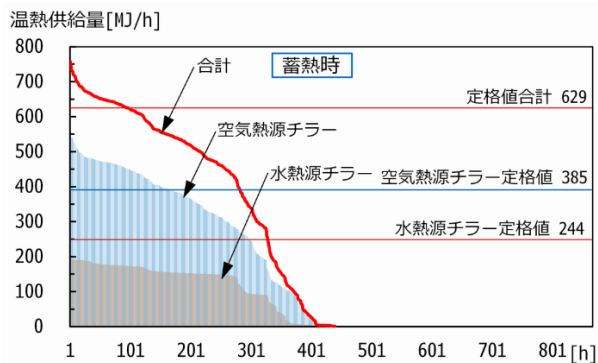


(a)空気熱源チラー優先期間(2023 1/1～7/31)

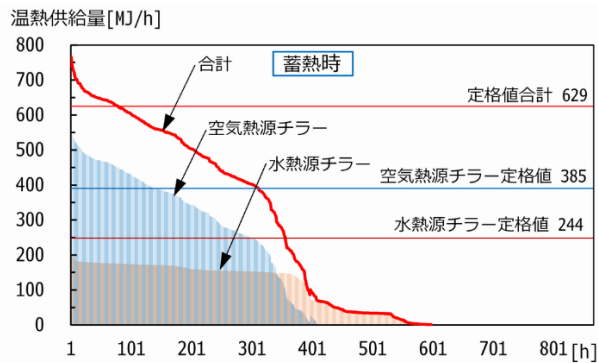


(b)水熱源チラー優先期間(2024 1/1～7/31)

図-4 温水供給時 空調モードのデューレーションカーブ



(a)空気熱源チラー優先期間(2023 1/1～7/31)



(b)水熱源チラー優先期間(2024 1/1～7/31)

図-5 温水供給時 蓄熱モードのデューレーションカーブ

量のデューレーションカーブを図-4に示す。(a)空気熱源チラー優先期間において、空気熱源チラーに対して水熱源チラーによる熱供給量が比較的大きいのは、ヘッダーの不備により水熱源チラーが強制的に稼働してしまったためである。2台のチラーによる最大熱供給量は378[MJ/h]と定格値の60%であり、空気熱源チラーの定格値よりも小さい。95%強が200[MJ/h]以下となっており、極端な低負荷での運転となっている。この状態で空気熱源チラーの最大熱供給量は264[MJ/h]であった。(b)水熱源チラー優先期間においては、ほぼ水熱源チラーだけの稼働となっており、2台合計の熱供給量の最大値は304[MJ/h]であった。水熱源チラーの最大熱供給量は201[MJ/h]であり、定格値に達していない。約70%が70[MJ/h]未満の熱供給となっており低負荷での稼働がほとんどであった。

蓄熱モードのデューレーションカーブを図-5に示す。優先期間による差は小さく、同じような形状を示している。空気熱源チラーによる熱供給は定格値を超えることもあるが、水熱源チラーの供給熱量は、優先運転期間であっても定格値に満たない200[MJ/h]程度となっている。2台の合計の最大熱供給量は、空気熱源チラー優先期間で758[MJ/h]、水熱源チラー優先期間で766[MJ/h]と定格値を超えている。定格値を超えた時間はそれぞれ、17%、20%であった。

5 負荷率と COP

5.1 冷水供給時

冷水供給時の負荷率と COP の関係を、(a)空気熱源チラー

優先期間、(b)水熱源チラー優先期間別に図-6に示す。空気熱源チラーの空調モード(冷房)における COP は、(a)優先運転の期間では、同じ負荷率でも大きくばらついているが、概ね負荷率0.3以上であれば定格 COP よりも高い4程度で稼働していることがわかる。負荷率0.3以下でも、COP の極端な低下は見られない。(b)水熱源チラー優先期間では、負荷率は1に達していないが、(a)空気熱源チラー優先期間と同様の分布となっており、COP は定格 COP よりも高い値となっていることが多い。蓄冷モードにおいては、両期間とも、負荷率1.1～1.2、COP4～5の範囲に運転が集中しており、非常に効率的な運転と言える。

同様に水熱源チラーの負荷率と COP の関係を図-7に示す。水熱源チラーについては、空調モード(冷房)だけの運転であり、(a)空気熱源チラー優先期間においては、運転時間は極端に短く低負荷率の稼働であったことが示されている。(b)水熱源チラー優先期間も含め、低負荷率で直線状の分布が目立つが、この部分は ON/OFF を繰り返す稼働状態であったと考えられる。(b)の優先運転期間では、負荷率0.4～1.1程度で定格 COP3.2と同程度での稼働状態となっている。特に負荷率0.8以上のところに集中しており、負荷率の上昇とともに COP も上昇している様子がうかがわれる。

5.2 温水供給時

温水供給時の負荷率と COP の関係を、(a)空気熱源チラー優先期間、(b)水熱源チラー優先期間別に図-8に示す。空気熱源チラーの空調モード(暖房)においては、(a)優先運転されている期間であっても負荷率0.4以下で、定格 COP よ

りも低い COP での運転が多い。(b)水熱源チラー優先期間では、負荷率はさらに下がり、COP は定格 COP に達していない。蓄熱モードにおいては、(a)(b)の両期間とも、負荷率は0.2~1.5まで幅広く分布し、ばらつきが大きいものの負荷率が上昇するにつれて COP も明確に上昇している。COP の値は、負荷率1で定格 COP をやや超える程度で、最大6程度となっている。

水熱源チラーの負荷率と COP の関係を、同様に図-9に示す。(a)の空気熱源チラー優先期間も強制的に稼働してしまっており、空調モード(暖房)においては、負荷率は0.1~0.5程度で、COP は1.5~7超までばらついていて、低負荷率で直線状の分布が目立っており、頻繁な間欠運転となっていたものと推測される。(b)水熱源チラー優先期間においても、負荷率の最大は0.8程度であり、1に達してはいない。COP は負荷率0.1以上で定格 COP3.0を超えているデータが多い。蓄熱モードにおいては、(a)(b)両期間で同様の分布となっており、負荷率0.6~0.8の範囲に運転が集中し、そのときの COP は定格 COP3.0よりも高い4~6となっている。

6 外気温・熱源水温度と COP

6.1 外気温と COP

対象期間中の両チラー優先期間における空気熱源チラーの COP と外気温の関係を、冷水・温水供給時別に図-10に示す。ここでは、低負荷率時のばらつきを除外するため、COP が安定する負荷率0.3以上のデータを用いており、空調モードと蓄冷・蓄熱モードも併せて示す。尚、外気温は時間平均温度である。(a)冷水供給時には、空調モード(冷房)と蓄冷モードともに外気温の上昇に伴って COP が明確に低下している。具体的には、外気温30℃程度を超えると定格 COP3.7を下回るデータが多く見られた。同外気温でも COP はばらついてはいるが、蓄冷モードの方が空調モードよりもやや高いCOPを示していることから負荷率によるばらつきと推測できる。外気温と COP の相関係数は-0.75であった。

(b)温水供給時には、空調モード(暖房)のデータが全体の3%と極端に少なく、大半が蓄熱モードのデータである。(a)冷水供給時とは対照的に外気温の上昇に伴って COP が明確に上昇していることがわかる。外気温が同温度でもばらつきが大きいのは、負荷率の差によるものであるが、外気温5℃程度以上で定格 COP3.2を概ね上回っている。相関係数は0.70である。

6.2 熱源水温度と COP

空気熱源チラーと同様に、水熱源チラーの COP と熱源

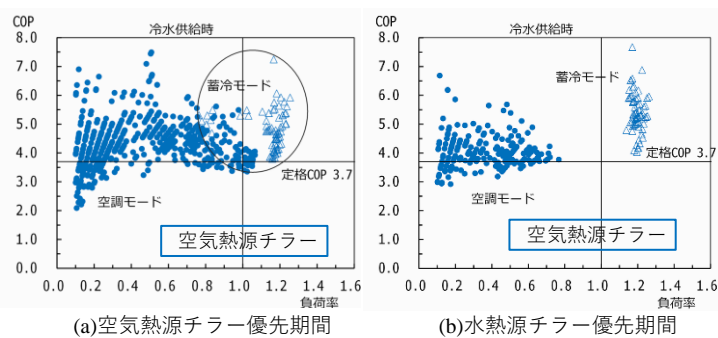


図-6 冷水供給時 空気熱源チラーの負荷率と COP

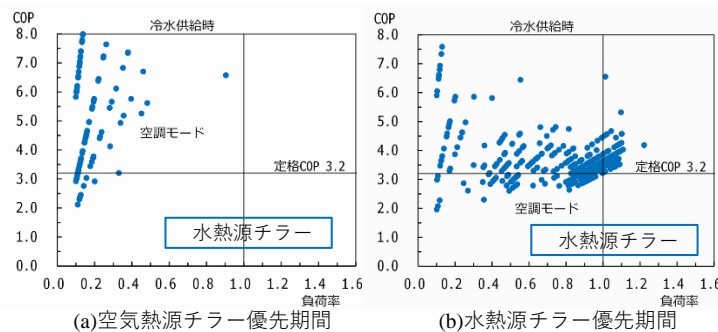


図-7 冷水供給時 水熱源チラーの負荷率と COP

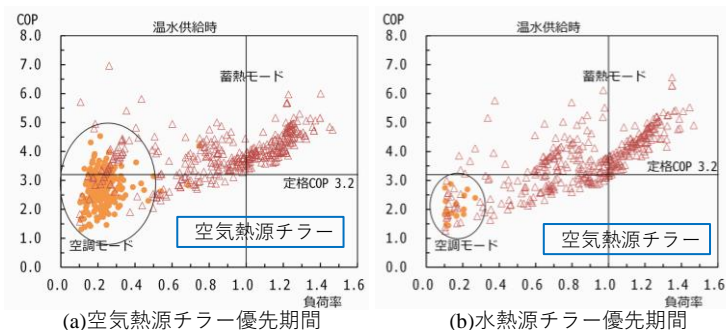


図-8 温水供給時 空気熱源チラーの負荷率と COP

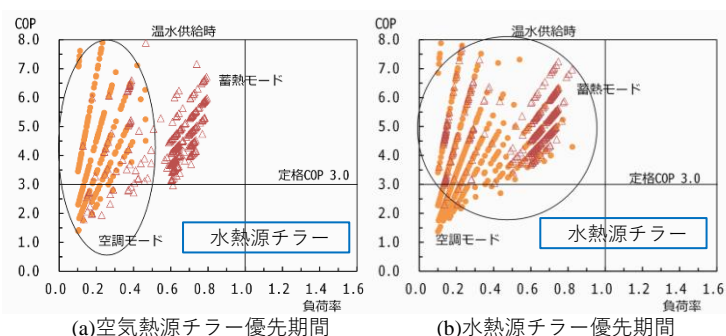


図-9 温水供給時 水熱源チラーの負荷率と COP

水温度の関係を、冷水・温水供給時別に図-11に示す。ここでは、負荷率0.4以上のデータを用いており、熱源水温度は時間平均温度である。(a)冷水供給時は空調モード(冷房)のみのデータである。水熱源チラーでは、熱源水温度の温度幅が20~28℃程度と狭いため、固まった分布となっている。熱源水温度の上昇に伴って、COP が低下している傾向がみられるが、相関係数は空気熱源チラーと外気温の値と比較しても小さい-0.46となった。

(b)温水供給時は、空調モード(暖房)と蓄熱モードのデータであるが、空気熱源チラーと同様に空調モードのデータ数は全体の11%程度と少ない。熱源水温度の温度幅は大変

狭く、12～16℃程度であるが、COP は概ね3～7程度と定格 COP3.0以上で幅広く見られた。これは、地中熱を利用した熱源水温度は、温水供給時は極端な温度低下がなく、安定しているため、COP も概ね定格値以上となり、効率的な運転であることを示している。相関については、熱源水温度の上昇に伴ってCOP も上昇傾向は見られるが、相関係数は0.24と小さい値となった。

7 おわりに

TABS を採用した技術センターSOU センター棟において、空気熱源チラーと水熱源チラーのそれぞれの優先運転とする期間を設けて、稼働状況を比較した。その結果、空調時においてはどちらのチラーを優先するかによって稼働状況が大きく異なること、蓄冷・蓄熱時はどちらを優先しても同様であること、チラーの COP は、空気熱源であれば負荷率0.3以上で、水熱源チラーは負荷率0.4以上で定格 COP よりも高い値となること等がわかった。また、空気熱源チラーの COP では、外気温の影響が大きい、水熱源チラーの COP では、熱源水温度が影響しているが、温度幅が狭いことから比較的影響は小さいことが確認できた。今後、以上の知見を基に効率的な運用方法を検討する予定である。

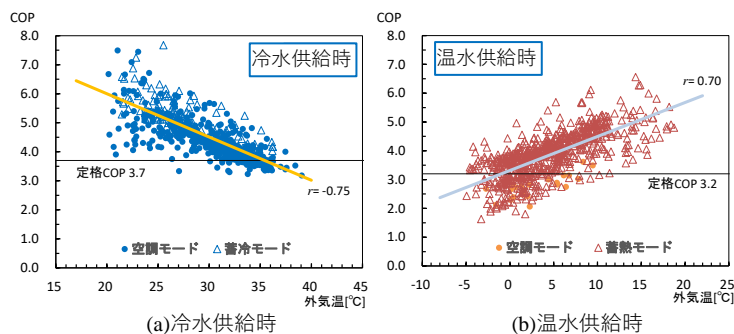


図-10 空気熱源チラーの COP と外気温

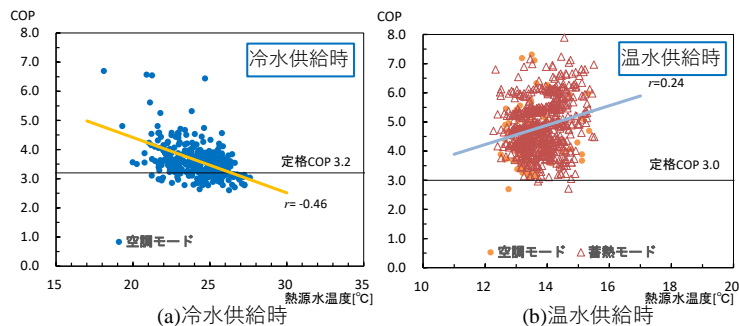


図-11 水熱源チラーの COP と熱源水温度

参考文献

- 1) 鈴木泰樹, 坪田修一, 菊田道宣, 野部達夫: Nearly ZEB 認証を受けた技術センター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, pp82-86, 2023.
- 2) 菊田道宣, 花房万由子, 鈴木泰樹, 坪田修一: 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, 佐藤工業技報, No.49, pp55-59, 2024.