

エネルギー自立型サステナブル研究施設 —空調システムの夏期・冬期性能評価と最適化への提言—

柴田克彦・平原美博・清水昭浩
木村健太郎・羽鳥大輔^{*1}・武藤友香^{*1}
滝澤知史^{*1}・田辺新一^{*2}

Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center Performance Evaluation of an Air Conditioning System in Summer and Winter Operations and Recommendations for Optimization

Katsuhiko Shibata・Yoshihiro Hirahara・Akihiro Shimizu
Kentaro Kimura・Daisuke Hatori^{*1}・Yuka Mutoh^{*1}
Tomofumi Takizawa^{*1}・Shin-ichi Tanabe^{*2}

高砂熱学イノベーションセンターの空調システムは、ミニマム設計の実証の場として計画された。室内の空気質維持と潜熱負荷を外調機からの給気で処理し、顕熱負荷の未処理分を放射空調で賄う潜熱分離空調システムからなる。さらに個人の温熱感への対応として個別空調機を備えている。施設の運用開始時から、空調システムの特徴を把握しながらトライアンドエラーで運転方法を最適化し、夏期・冬期における空調システムの性能を評価してきた。さらに、ZEB 建築としての熱的特性や従来熱負荷からの変化に対して、空調システムの特徴を生かした運転方法や設計に関する新たな知見を得ている。

1. はじめに

高砂熱学イノベーションセンターでは、地球環境負荷削減と知的生産性向上を両立したエネルギー自立型のサステナブル研究施設を目指してシステム実証に取り組んでいる。これまでに施設概要（以下、本施設と呼ぶ）と設計計画を報告した¹⁾⁹⁾。特に、二次側の空調方式は、ミニマム設計の実証として外調機により空気質の維持とベース負荷を処理し、顕熱の不足分を放射空調や個別空調の組合せで処理する潜熱分離空調システムを採用している。

本報では、夏期運転データから潜熱分離空調システムの外調機の除湿性能と放射空調の冷却能力を評価し、それらの組合せについて考察したので報告する。

2. 潜熱分離空調システムの評価方法

2.1 外気負荷

近年の ZEB 化に伴い、排熱の有効活用が進行している。その適例が、CGS の排熱を再生熱に利用したデシカント空調機である。高分子吸着剤の開発により低温再生が可能となってきている一方で、除湿性能の確保には、吸着剤からの脱着を十分に行う必要があり、温熱源の確保が鍵となる。本施設では、自立型電源としてバイオマスガス化発電機があるため、この排熱を温熱源として活用できる。

※本論文は、2021 年度空調冷凍連合講演会講演論文¹⁰⁾、空気調和・衛生工学会大会講演論文^{11),14)}を加筆修正したものである。

*1 株式会社三菱地所設計 *2 早稲田大学

他方、除湿器入口の空気温度で出口温度がほぼ決まるため、給気温度制御には予冷が重要である。本施設では、**図 1** に示す還気と取入外気との全熱交換器をデシカントロータの前段に組み込んだデシカント外調機を採用した。また、外調機からの給気と放射空調を併設した執務室向けには、冷熱源の地下水熱や排熱供給が停止しても除湿できるように**図 2** に示す全熱交換器組込型冷却除湿の外調機を採用した。両者の仕様は既報の通りである⁴⁾。ここでは、除湿方式の異なる両者の除湿性能、ならびに外調機に組み込んだ全熱交換機の効率について評価した¹⁰⁾。また、外調機からの給気と放射空調を併設した執務室向けには、冷熱源の地下水熱や排熱供給が停止しても除湿できるように**図 2** に示す全熱交換器組込型冷却除湿の外調機を採用した。両者の仕様は既報の通りである⁴⁾。ここでは、除湿方式の異なる両者の除湿性能、ならびに外調機に組み込んだ全熱交換機の効率について評価した¹⁰⁾。

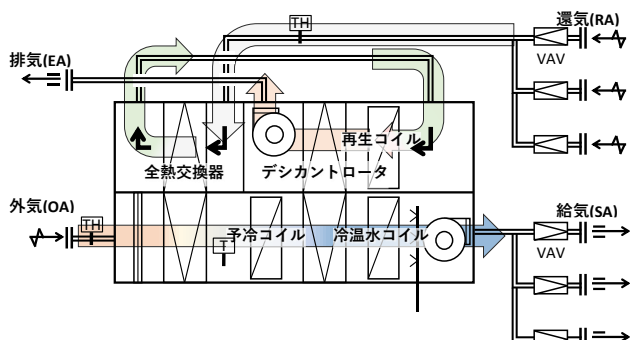


図 1 全熱交換器組込型デシカント外調機

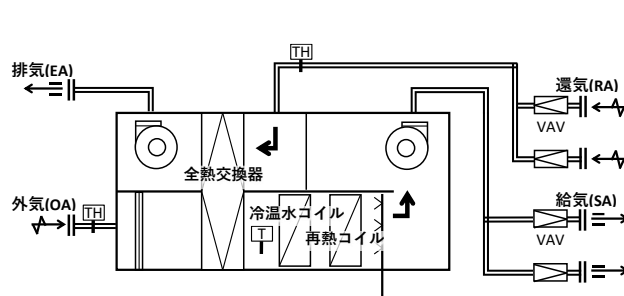


図 2 全熱交換器組込型冷却除湿外調機

2.2 空調システム

本施設の空調システムは、多様な空調方式から働き方に呼応した組合せが可能なタスク&アンビエント型の潜顕分離空調を採用している。本報では、フリーアドレス制で運用している二階主執務室(床面積623.5m²)の空調システムを評価対象とする。**図 3**に、空調システムの概要を示す。室内温湿度は、人体・内部発熱負荷、北側ガラス面・屋根面からの外皮負荷と、外調機からの給気、放射パネルとの熱・物質収支で成立する開ループ型である。なお、放射パネルは、執務室の長手方向両端を定流量、内部を電動弁の開閉でパネル表面が所定の温度となるように変流量制御している。

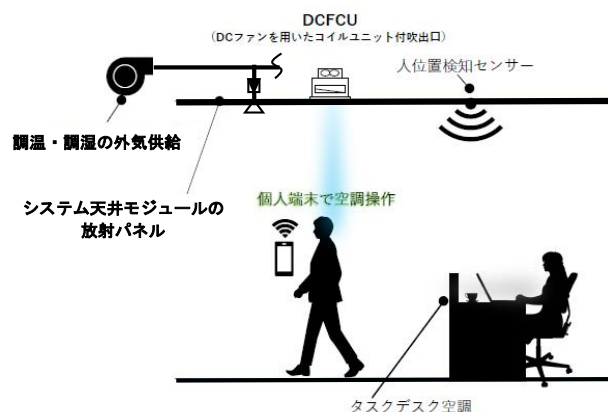


図 3 潜顕分離の二次側空調システム

本施設の運用開始直後から新型コロナウイルスの感染対策として、外調機の運転は居室内の人員や二酸化炭素濃度に関わらず最大風量である 6,850 m³/h で定風量制御を行った。ベース空調として吹出温度は夏期凡そ 21°C、冬期凡そ 38°Cとした。

さらに、執務室 2-1 については冬期北側ガラス面からのコールドドラフト対策として、窓面から 60cm 程度に床暖房を設置した。明け方は建物躯体が冷え切っていることを考慮し、明け方から室内温度が安定するまで天井放射パネルによるウォーミングアップを実施した。

2.3 評価の要点

本施設開ループ型制御の室内温湿度は、外調機からの給気、放射パネルの通水量・温度によって決まる。ここでは、空調システムの性能評価を以下の項目とした。

①外調機の除湿性能

除湿方式による除湿量、制御精度、除湿負荷変動への応答性、および除湿への投入熱量を評価した。

②放射パネルの放熱性能

放射パネルを変流量とすることで、過冷却の抑止や部分負荷に対する熱源水搬送動力の削減効果が期待できる。そこで、電動弁の開閉頻度、パネルへの通水時間、居室への放熱量について評価した。

③空調システムの負荷分担

アンビエント空調としての顕熱処理の内、外調機の給気と放射パネルの負荷分担を評価した。なお、デスク用パーソナル空調機の性能は既報で評価している¹²⁾。

④室内環境の評価

2020/7/27~9/4のお盆休みを除く夏期5週間、2021/1/4~2021/2/5冬期6週間、室内温熱環境とパーソナル空調機の有効性を主眼として集中検証を行い、室内環境快適性と生産性を物理環境とアンケートで評価した^{13),14)}。

3. 外調機の性能評価

3.1 夏期の運転状況

外調機の給気状態は、露点温度と給気温度を制御している。以下、2020年6~9月の夏期除湿性能を評価する。

図4に給気温度と露点温度の推移を示す。冷却除湿方式(OHU-201)は、夏期集中検証での運用変更、ピーク時の顕熱処理で、低めの給気設定温度もあったが、デシカント方式(OHU-101)ともども、ほぼ設定温度を維持していた。図5に除湿量の推移を示す。外気状態や露点温度設定により除湿量が多少変化しているものの、両者ともほぼ同量の除湿能力を発揮していた。

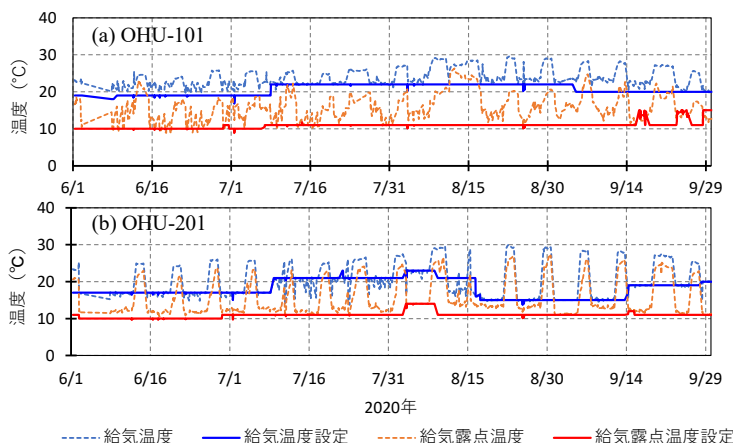


図4 夏期給気温度と露点温度

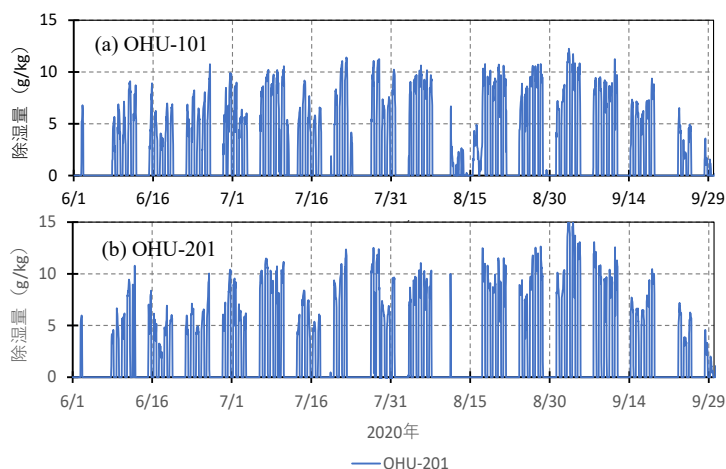


図5 夏期除湿量

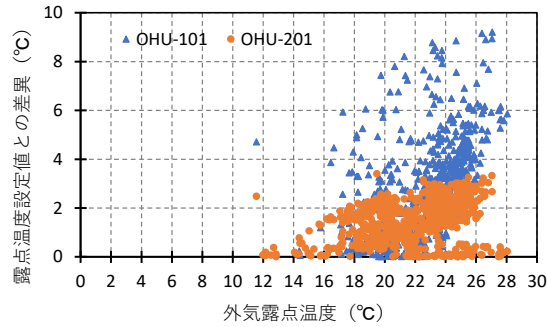


図6 外気露点温度と露点温度設定値の差異

図6に外気露点温度と給気露点温度の設定値と状態値との差異を示す。これは、除湿制御の応答性の評価を意図したものである。図より、OHU-101はピーク時に近い外気露点温度24°Cにおいて差異が幅広く分布し、制御目標値に至るまでに時間を要していたと思われる。一方、OHU-201は、ピーク時においても差異が3°C程度に収まり、制御応答性が良好であったと考えられる。

3.2 冬期の運転状況

図7に冬期代表週の給気温度と給気露点温度の推移を示す。OHU-101の設定値は、給気温度が28°Cで露点温度が15°Cと、低温高湿での運転であった。一方、OHU-201の設定値は、給気温度38°Cで露点温度が11°Cと、高温低湿での運転であった。両機器とも給気温度はほぼ設定値通りに制御されていたが、露点温度は、気化式加湿のためOHU-101で設定値より低い状態となっていた。図8に加湿量の推移を示す。給気露点温度で見られた通り、OHU-101が1~2g/kg程度少なめであった。

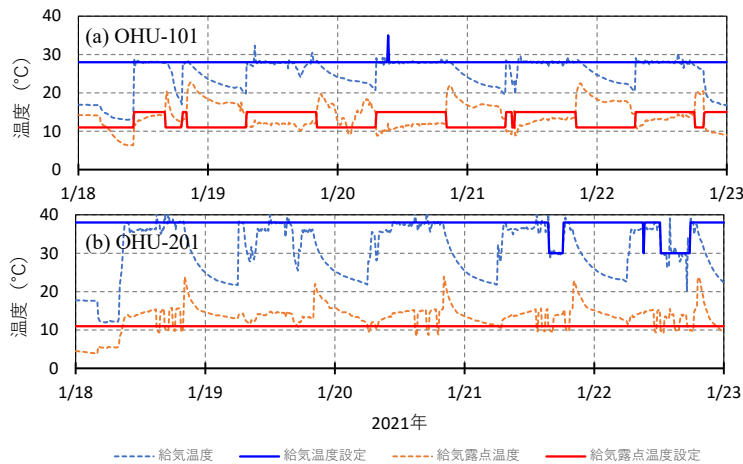


図7 冬期給気温度と露点温度

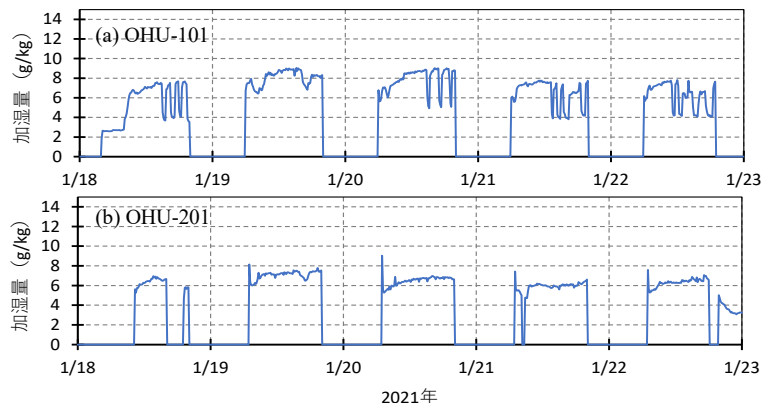


図8 冬期加湿量

3.3 エネルギー効率

外調機に投入している熱エネルギーは次の通りである。

・デシカント方式：予冷+冷却+再生 ・冷却除湿方式 ：冷却+再熱

単位除湿量当たりの投入した熱量を算出することでエネルギー効率が評価できるが、排熱からの温熱、地下水からの冷熱がある場合は、その分省エネルギーとなる。図9に、除湿量と投入熱量の相関を示す。図中の縦軸の熱量は、コイル水側の出入口温度差と流量から算出した熱量を風量で除した値である。デシカント方式(OHU-101)では、冷熱量と温熱量がほぼ同じであった。これは、デシカント方式に全熱交換器を組込むことで、デシカントロータへの予冷を凝縮手前までの設計とし、湿分の吸脱着に必要な加熱と、それに見合う冷却で熱収支が取られた結果と思われる。一方、冷却除湿方式では、除湿量に伴い冷熱量は増加するが、ピーク時の給気温度を低くしたことで再熱がほぼ一定となり合計熱量の変化が小さい。除湿量10g/kgにおける合計熱量を見ると、OHU-101で46.5kJ/kg(冷熱24.1kJ/kg、温熱22.4kJ/kg)、OHU-201で34.3kJ/kg(冷熱29.7kJ/kg、温熱4.6kJ/kg)であった。熱量では冷却除湿方式のOHU201が少ないが、冷熱製造に熱源機の動力を必要とするため、一概に省エネルギーとは言えない。

これらの結果、全熱交換器組込型のデシカント方式は除湿負荷に応じた同量の冷温熱が必要で、排熱や地下水熱があれば省エネルギー運用が可能となる。冷却除湿方式はピーク負荷時に給気温度を低くすることで投入温熱量を低く抑えることが可能となる。ただし、本施設では冷却除湿の冷熱に冷凍機の動力が必要な事から、今後水搬送動力を加味した省エネルギー性検討を行う予定である。

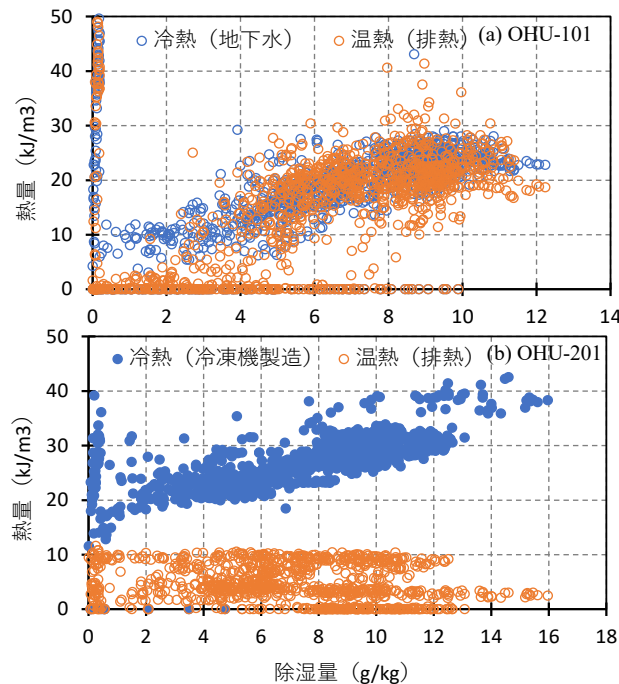


図9 除湿量と投入熱量

3.4 全熱交換機の交換効率

(1) 運転状況

図10に冷却減湿型外気調和機 OHU-201 の夏期ピーク時の運転データを示す。外気調和機はウォーミングアップの7時から夜間20時まで運転していた。還気風量、給気風量はほぼ同じで、式(1)に示す風量比 R_a が1.0に近い運転であった。還気温度は28°C程度で推移し、外気的全熱交換器出口温度は外気温度に応じて変化しているものの、ほぼ還気温度まで低下していた。式(2)に示す顕熱の交換効率 η は、起動時から午前中に高い値を示し、外気と還気との温度差が小さくなる夕刻にかけて徐々に低下している。

$$Ra = Vsa/Vra \quad (1)$$

$$\eta = (Tsa - Toa) / (Tra - Toa) \times 100 \quad (2)$$

ここに Ra : 風量比、V : 風量(m³/h)、η : 交換効率、T : 空気温度(°C)、
添字 oa : 外気、ra : 還気、sa : 給気

図 11 に冬期の運転データを示す。冬期も夏期と同様の運転スケジュールであるが、給気風量過多の運転で、風量比 Ra は 1.05~1.15 で日によって異なっていた。これは、室内環境の検証時期と重なり、日々運転条件を変更していたことも一因としてある。還気温度は 21°C 程度で推移し、外気的全熱交換器出口温度は外気温度に関わらずほぼ還気温度近くまで昇温していた。交換効率は、風量比および外気と還気の温度差に応じて変動している様子が観察できる。

なお、図示はないがデシカント方式の OHU-101 も同様の運転状況であった。

(2) 交換効率による性能

全熱交換器の性能を顕熱の交換効率で表す。図 12 に OHU-101 の還気と外気の温度差と交換効率の相関を風量比で区別して示す。ここで、夏期とは 2020 年 6 月 1 日~9 月 30 日、冬期とは 2020 年 12 月 1 日~2021 年 1 月 29 日の期間である。図より、夏期、冬期ともに風量比 Ra が大きくなると交換効率が減少し、夏期平均で 5.6%、冬期平均で 4.4% の減少が確認できた。図 12(1) 夏期の場合は、温度差の拡大に伴い交換効率が上昇し、温度差が 8°C 程度で交換効率 η が 80% 程度に達している。なお、温度差が小さい時に交換効率が低下するのは全熱交換器エネメントの熱容量の影響と思われる。一方、図 12(2) 冬期の場合は、温度差に関わらず交換効率 η は 90% 程度を示している。冬期の交換効率が安定しているのは、夏期に比べ温度差が付いているためと思われる。

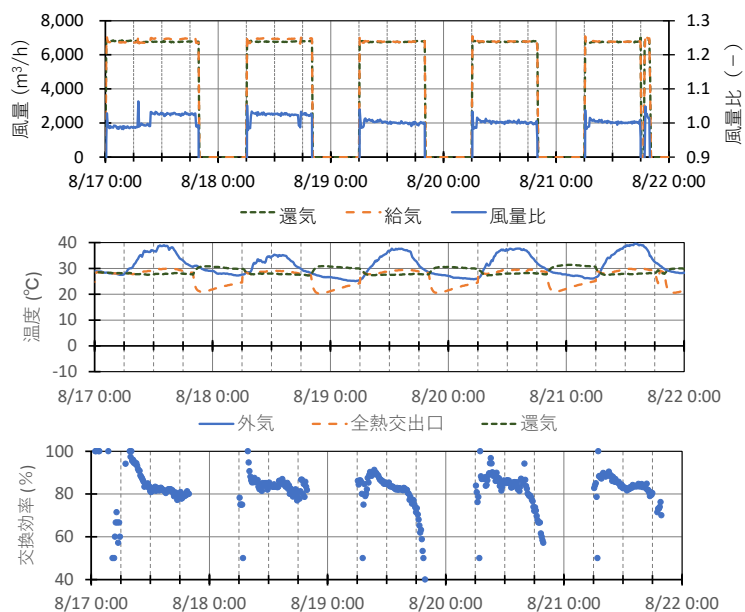


図 10 夏期ピーク時の運転状況(2020/8/17-8/21)

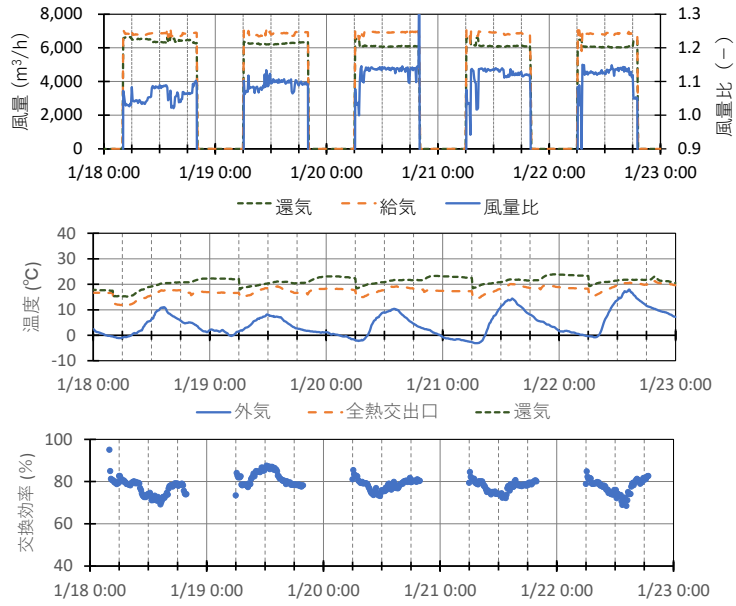


図 11 冬期ピーク時の運転状況(2021/1/18-22)

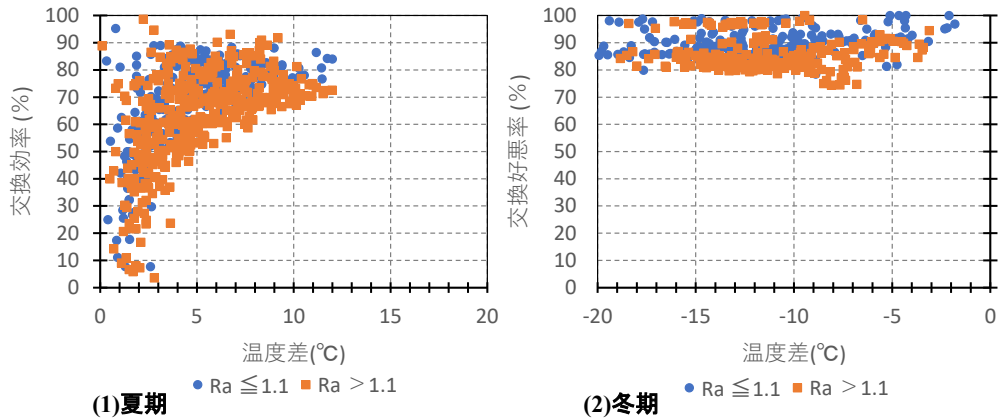


図 12 温度差と交換効率の相関(OHU-101)

図 13 に OHU-201 の温度差と交換効率の相関を示す。OHU-201 は、夏期において風量比 Ra がほぼ 1.0 の運転であったため、図 13(1)夏期の風量比区分のみ 1.02 とした。図より、風量比 Ra による交換効率の差異は、OHU-101 に比べ僅かであり、特に冬期において交換効率の差異は見られない。温度差と交換効率の相関では、図 13(1)夏期の場合で OHU-101 と同様に 8°C 程度で安定し 85% 程度に達している。また、図 13(2)冬期の場合は、温度差の拡大に伴う交換効率の安定が OHU-101 より顕著であり、ほぼ 80% 程度に収束している。

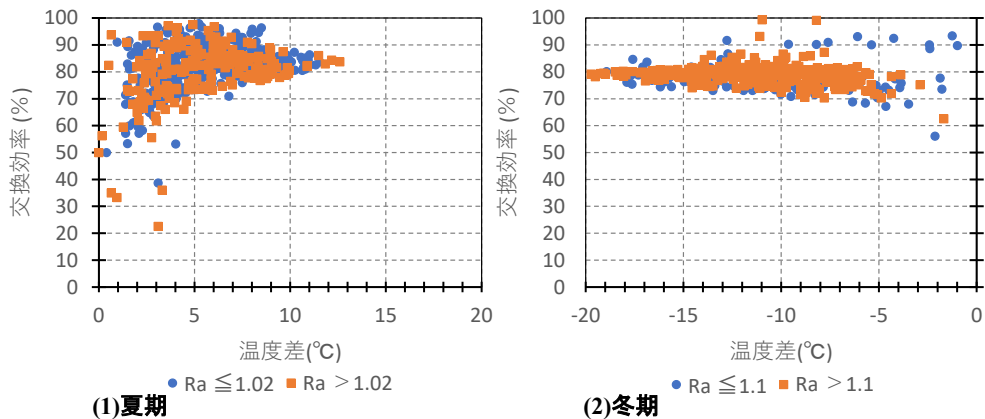


図 13 温度差と交換効率の相関(OHU-201)

(3) 交換効率の性能評価

全熱交換器の交換効率をメーカーカタログ値と比較し、実測で得られた性能を評価する。図 14 にメーカーカタログ値と設計時の計算値、および今回の運転実績を示す。図中、今回の実測値は風量比で区分した交換効率の内、JISB8639 の熱交換効率の測定^{**7)}に準じて、夏期は温度差 8°C 以上、冬期は温度差 -10°C 以下の平均値である。図より、設計時の計算値は、カタログ値とほぼ同様の値を示しているものの、運転実績では設計値を上回る高い性能が得られた。また、全熱交換器のロータ面風速の上昇に伴う交換効率の減少も、設計性能と同様の結果を得た。OHU-201 の冬期実測値(図中の■記号の橙塗りつぶし)を除くと、面風速と交換効率に負の相関が見られる。OHU-201 夏期実測値の相関が他のデータと異なる理由については引き続きの解析と、潜熱を加えた全熱交換効率についての性能評価で考察する。なお、風量比 1.0 で懸念される空気質については、夏期集中検証で行った執務者へのアンケート調査から、居室のニオイなど空気質の悪化を示す回答が無いことを確認している。

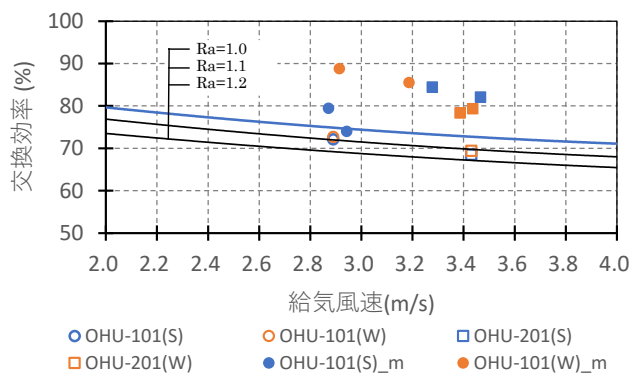


図 14 顕熱交換効率の特性

4. 放射空調の性能評価

4.1 冷水流量制御の特性

主執務室内側の放射パネルは、6 枚のパネルを 1 セットとして表面温度で電動弁を開閉する変流量制御である。図 15 に、パネル表面温度と電動弁開閉動作の一例を示す。図より、起動後の高負荷時には電動弁開閉後の温度上昇が早いので開閉の間隔が短く、低負荷時には開閉の間隔が長くなっている。放射パネルの稼働状態を、一日当たりの弁開時間と動作回数の弁開閉頻度で表す。図 16 にサーバ機器などがある高負荷エリアとロッカーなどがある低負荷エリアの稼働状態を示す。図より高負荷エリアでは弁開時間が長く弁開閉頻度が大きい。低負荷エリアでは弁開時間が短く弁開閉頻度が小さくなり、負荷分布に見合った変流量制御が行われていた。

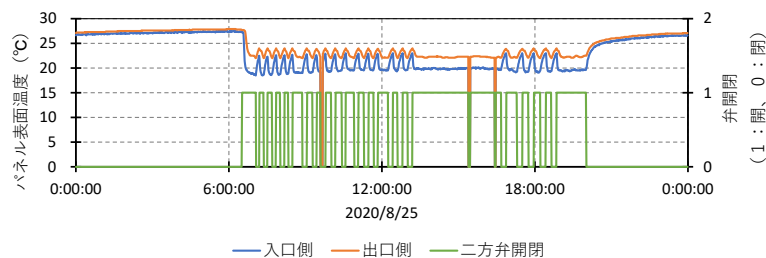


図 15 変流量放射パネルの制御動作

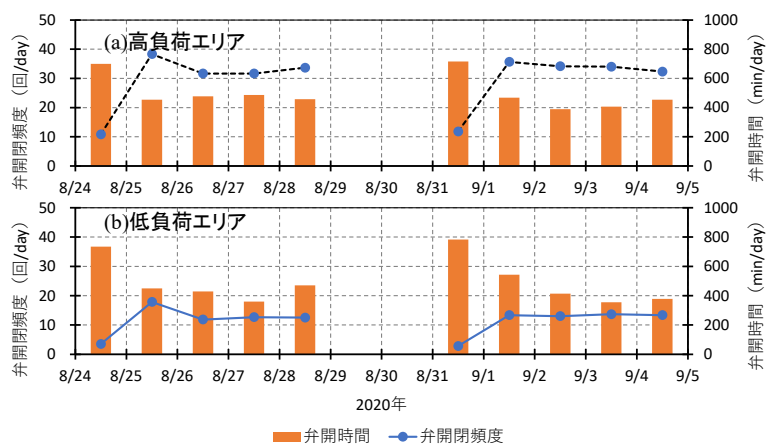


図 16 放射パネルの弁開閉頻度と開時間

4.2 パネル熱量

今回採用した放射パネルの仕様は、天井裏面に断熱が無いタイプであることから、天井裏への放熱を含めてパネル放熱量となる。本タイプの放熱量については、既往の実験から凡そ 70w/m^2 であり⁵⁾、その3割程度は天井裏へ放熱していると想定される。そこで、以下の仮定のもと、放射パネルの放熱量を推算した。

①放熱量

放射パネルシステムの冷水出入口温度と通水量から算出

②居室内への放熱量

対流成分は ASHRAE の簡易式から熱伝達率 α_c を算出し、放射成分は既往の研究から熱伝達率 $\alpha_r = 5.5\text{w/m}^2/\text{K}$ とする。

$$\text{居室への放熱量} = \alpha_c \times (T_a - T_s) + \alpha_r \times (T_r - T_s) \quad (2)$$

ここで、 T_a : 室内空気温度、 T_s ; パネル表面温度、 T_r : 室内放射温度、室内放射温度はインテリア部代表点における PMV 計での計測値、パネル表面温度は、室内全パネルの冷水入口側と出口側表面温度の平均値

図 17 に夏期集中検証期間で放射パネルが稼働していた 2020/8/24~9/4 の室内放熱量の内訳を示す。8/24 の週は外調機の給気風量を設計値、8/31 の週は外調機の給気風量を設計値の 50% に削減していた。設定値の変更で吐出している時間があるが給気風量に関わらず、放熱量の対流成分はほぼ同様であった。放射パネルの熱量収支から、居室内と天井裏の放熱量の割合を算出すると、67:33 となり、既往の研究とほぼ一致したことから放熱量の推算が妥当と考えられる。以上の結果、放射パネルの居室への放熱量は約 31W/m^2 となり、ほぼ設計値 35W/m^2 の能力を發揮していた。

4.3 冬期の運転状況

図 18 に年始の温熱環境経時変化を示す。1月4日は、明け方の室内温度は 12°C 程度となっており、4時より放射空調の稼働を行った。9時の室内温度は 16.5°C 程度であり、目標温度である 22°C になったのは 11時半頃であった。スラブ表面温度は天井内温度とほぼ同じ温度で推移していた。

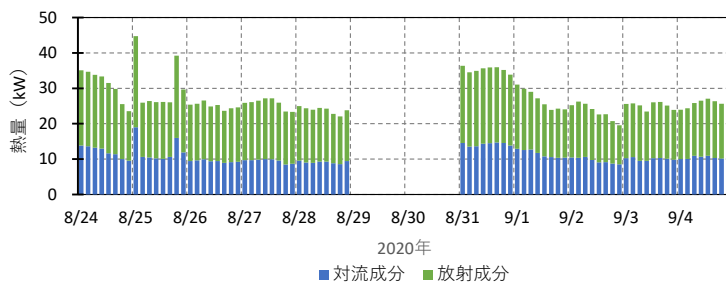


図 17 放射パネルの室内側冷却熱量(9:00~17:00)

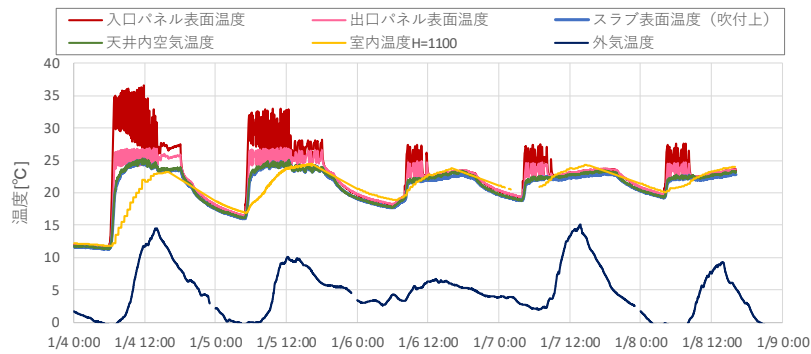


図 18 年始の温熱環境

5. 潜頭分離空調システムの負荷分担と高効率化

5.1 居室冷却能力の寄与率

外調機の顕熱量と前章で推算した放射パネルの居室内放熱量から、室内冷却能力の負荷分担を評価する。図 19 は、両者の冷却能力の推移である。設計意図通り、外調機がベース負荷を処理し、不足分を放射パネルが処理している様子が確認できた。また、評価時の運転条件では、外調機と放射パネルの冷却能力の平均寄与率は、48:52 となっていた。本施設では、地下水熱とバイオマスガス化発電の排熱を活用していることから、今後、搬送動力を含めて空調システムの消費エネルギーを評価する予定である。

5.2 天井裏放熱の影響

天井裏放熱は、還気を冷却することから有効との意見があるものの、空調機負荷の削減効果は不明である。そこで、放射パネルの稼働有無における室内温度と天井裏温度の温度差から、外調機負荷の削減効果を考察する。図 20 は、居室と天井裏温度の推移を示す。図より、外気温度の違い、かつ非定常ではあるものの、放射パネルの起動により天井下と天井裏の温度差が 0.1℃ほどの低下であり、外調機負荷の削減効果は僅かと思われる。

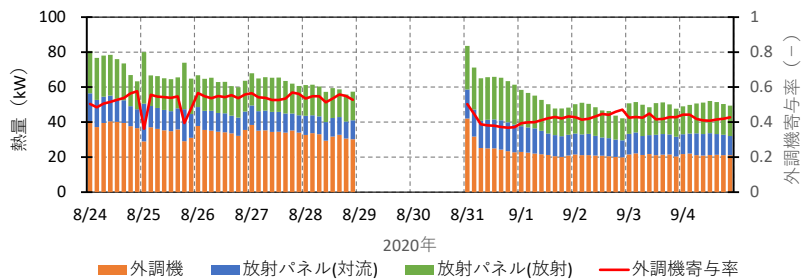


図 19 外調機給気と放射パネルの冷却能力(9:00~17:00)

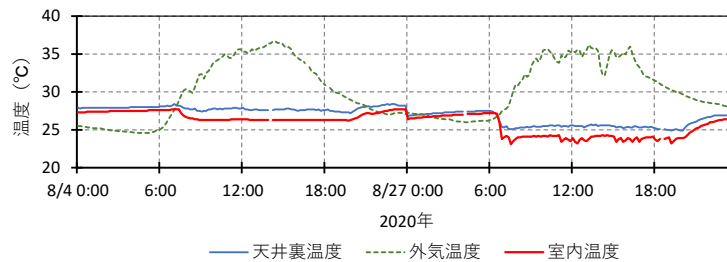


図-20 放射パネル無し(8/4)、有り(8/27)時の室内、天井裏温度

5.3 高効率化への提言

以上の評価結果を踏まえて、空調システムへの投入熱量を効率的に室内環境に反映させるには、①外調機と放射パネルの適正な負荷分担、②放射パネルの天井裏放熱の削減、③放射パネルの変流量の活用が上げられる。さらに、空調システムのライフサイクルで考えると、使用頻度による劣化の影響を受ける制御機器の長寿命化が重要であり、制御幅を維持しながらの電動弁開閉頻度の縮小に対する検討が重要と考える。

5.4 暖房負荷の考え方

本建物は、外調機でベース負荷を処理する計画となっていたが、冬期は外調機に加え放射空調を稼働させることで執務時間中の目標室内温度を確保した。本建物は高断熱となっているにも関わらず、夜間の躯体温度低下により、室内温度が下がり、計算上の暖房最大負荷に対する暖房能力のみでは不足することがわかった。特に外装面積が大きい低層建物において、ミニマム設計をする場合や最上階で天井レタン方式を用いている場合は躯体の蓄熱を含めた必要暖房負荷を検討する必要がある。

5.5 放射パネルでのウォーミングアップ

建物の立上げに放射空調を使用したのが、放射パネル上部に断熱材を敷設していないことから、放射パネルからの上部放熱が大きく、室内の温度上昇までに時差が生じたことが推測される。放射パネル上部に断熱材を敷設することで、早急な暖房立上げができると予測する。一方で、本建物の屋上スラブは外断熱ではなくスラブ室内側にも断熱材を吹付けており、スラブ表面温度と天井内空気温度がほぼ同じ温度で推移している。内断熱を行うことで放射パネルの断熱材がない状態であっても天井裏への熱ロスが少なかったことが推測できる。今後、天井内への放熱や放射空調の適切な稼働時間について検証する必要がある。

6. おわりに

今回の夏期、冬期検証から、外調機の除湿性能について、方式による特性を示した。さらに、放射パネルの放熱特性を実測値ベースで評価し、潜顕分離空調での寄与率を推算した。これらの知見をもとに、方式のさらなる高効率化に向けた提言を示すことができた。

今後、安定した運転データを蓄積し、潜顕分離空調の性能実態を示し、脱炭素化に寄与するシステム設計の一方針としてまとめるつもりである。

文 献

- 1) 武藤ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第1報)全体計画及びコンセプト、空衛学会講論、B-14, pp. 185-188(2019.9)
- 2) 羽鳥ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第2報)ZEBに向けた建築・設備計画、空衛学会講論、J-31, pp. 149-152(2020.9)
- 3) 元田ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第3報)木質バイオマスガス化 CHP を利用したエネルギー自立型自家消費システム、空衛学会講論、J-32, pp. 153-156(2020.9)
- 4) 清水ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第4報)二次側空調システム及びセンシングシステムの概要、空衛学会講論、J-33, pp. 157-160(2020.9)
- 5) 木村ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第5報)二次側空調機器の開発、空衛学会講論、J-34, pp. 161-164(2020.9)
- 6) 鈴木ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第6報)クラウド中央監視システムと無線通信システムの構築、空衛学会講論、J-35, pp. 165-168(2020.9)
- 7) 鈴木ほか、エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第7報)新素材とBIM活用による施工合理化、空衛学会講論、J-36, pp. 169-172(2020.9)

- 8) 湯浅ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第8報)新素材による施工の合理化, 空衛学会講論, J-37, pp.173-176(2020.9)
- 9) 武藤ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第9報)建物環境性能の評価, 空衛学会講論, J-38, pp.177-180(2020.9)
- 10) 柴田ほか, 外気調和機の高性能化に関する研究(その1)全熱交換器の性能評価, 空気調和・冷凍連合講演会, 2, pp.15-18(2021.4)
- 11) 柴田ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第10報)潜顕分離空調の夏期性能評価とシステム最適化, 空衛学会講論, J-49, pp.197-200(2021.9)
- 12) 木村ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第11報)置換空調とパーソナル空調機の性能評価, 空衛学会講論, J-50, pp.201-204(2021.9)
- 13) 竹原ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第12報)夏季におけるパーソナル空調の使用状況と温熱環境満足度, 空衛学会講論, J-51, pp.205-208(2021.9)
- 14) 武藤ほか, エネルギー自立型サステイナブル研究施設の計画と実証評価(第14報)冬期熱源、空調システムと室内環境の評価, 空衛学会講論, J-53, pp.213-216(2021.9)

ABSTRACT

The air conditioning system of Takasago Innovation Center is a minimal design that maintains indoor air quality and processes latent heat load by supplying air from outdoor air conditioning units. Moreover, it is a latent heat separation air conditioning system that covers the untreated portion of the sensible heat load with radiant air conditioning. Furthermore, it is equipped with an individual air conditioner as a response to the feeling of warmth of the individual. From the start of operation of the facility, the operation method was optimized by trial and error while grasping the characteristics of the air conditioning system. Subsequently, the performance of the air conditioning system in summer and winter was evaluated. Consequently, we obtained new knowledge on the method of operation and design that best utilizes the characteristics of the air conditioning system against the changes in the thermal characteristics of the zero energy building (ZEB) and the heat load from the conventional system.
