

# エネルギー自立型サステナブル研究施設

## —天井放射パネルの個別制御による省エネルギー性と快適性—※

鈴木美穂・相澤直樹・柴田克彦  
清水昭浩・武藤友香 \*1・竹原大暉 \*2

### Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center - Energy saving and comfort by individual control of ceiling radiation panel -

Miho Suzuki・Naoki Aizawa・Katsuhiko Shibata  
Akihiro Shimizu・Yuka Mutoh・Daiki Takehara

本施設内の主執務室では、外気負荷および外皮や照明などのベース負荷に対しては外調機と放射空調で処理し、個人の行動や好みで随時負荷が変化する人体負荷に対してはパーソナル空調機で顕熱処理を行うタスク・アンビエント空調システムを採用している<sup>2)3)</sup>。本報では、ABWを採用している当オフィスにおいて2021年度の夏期における運用結果から個別制御方式の放射空調による省エネルギー性と快適性への影響について考察したので報告する。

#### 1. 放射空調のシステム概要

今回検証対象としたメインオフィスの執務室2-1では図1に示すように放射パネルとDCFCUが同系統となっており、その下流に水熱源ヒートポンプ(PMAC)が連なり地下水のカスケード利用を行っている。放射パネルは図2に示すように南北両端に定流量パネルが、内部の東西に渡り個別制御可能な変流量パネルが配置されている。変流量パネルは20列あり、各列3グループのパネルで構成されている。600×600mmの単体パネル6枚のセットが2セットずつで1グループとし、グループ毎に設けた二方弁で個別にON/OFF制御を行っている。二方弁のON/OFFにはパネル表面温度を用い、予め設定した上下限值により弁を開閉する。設置面積としては執務室天井面の約半分を占めており、負荷の偏在に対応可能である。また、個別に制御することで水搬送動力の削減効果も期待できる。

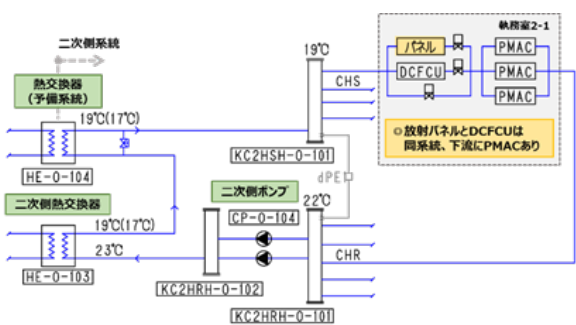


図1 執務室内設備を含む配管系統図

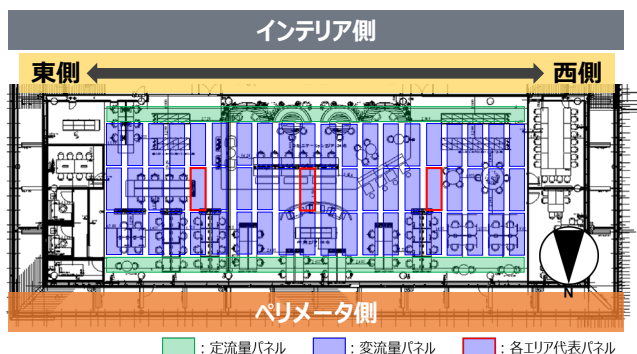


図2 執務室内の放射パネル配置

※本論文は、空気調和・衛生工学会大会講演論文,pp.205~208(2022)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

## 2. 放射パネルの個別制御における運転実績と省エネ性

### 2.1 放射パネルの能力評価

放射パネルの能力評価をするために、放射パネル廻りの計測データを用いて解析を行った。図3は、放射パネル廻りの熱量のデュレーションカーブで、放射パネル熱量を大きいものから並べた上、下流に接続する水熱源ヒートポンプユニット(PMAC)の処理熱量も合わせて表記している。データとしては冷房期間(2021年4月～11月)の就業時間に相当する9時から17時までの中央監視の記録データ積算値の時間差分を用い、その数値を横軸にとっている。放射パネルの処理熱量は熱交換器からの送水温度と放射パネルからの還り温度の温度差および送水流量より算出した。放射パネルの処理熱量の最大値は22.9 kWで設計仕様の21.7 kWとほぼ同等であり、放射パネルの面積当りに換算すると73 W/m<sup>2</sup>であった。この数値は放射パネルの居室側と天井裏への放熱量の合算(その比率については文献<sup>4)</sup>参照)であり、居室側への放熱量は同比率を用いると床面積当りで24.6 W/m<sup>2</sup>となる(室内負荷の詳細は続報<sup>5)</sup>参照)。なお、図2に示したように放射パネルと並列に執務室2-1用DCFCUも設置されているが、DCFCUは期間中の稼働がごく少数であったため今回は算出した熱量の全量を放射パネルの処理熱量として扱った。

図4に、図3の条件での冷水温度の出入口温度差を示す。放射パネルの出入口温度差は平均で1.9℃差、PMACを含めると平均で3.0℃差となっており、設計時の想定値とほぼ同等で熱のカスケード利用の効果が表れている。

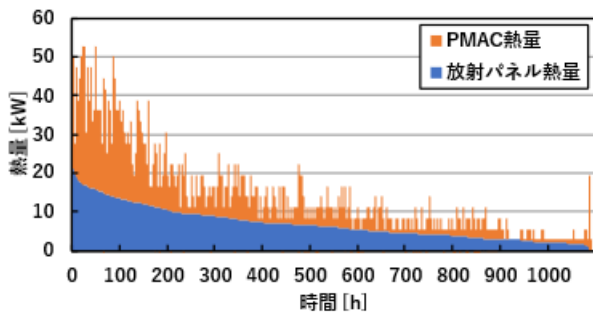


図3 放射パネル廻りの熱量のデュレーションカーブ

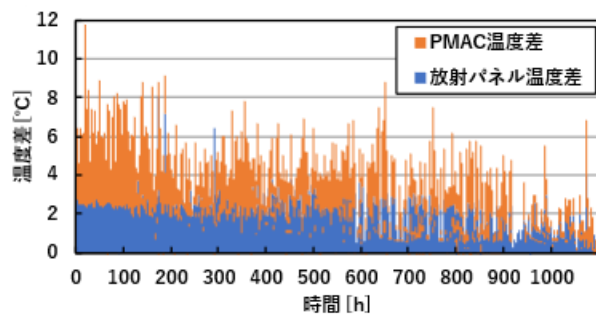


図4 放射パネル廻りの温度差

### 2.2 放射パネルの個別制御の省エネ性の評価

本システムにおいて放射パネルを個別制御するための二方弁は合計で60個設けられている。個別制御による省エネ性を評価するため、図5に二方弁が開の状態の個数と放射パネルに係るポンプ動力の関係を示す。放射パネルに係るポンプ動力は、2台の冷水二次ポンプCP-O-104で計量された電力を各系統の流量、熱量で按分した数値である。冷水二次ポンプ自体は定格7.5 kW×2台のインバータ制御であるが、放射パネルに係る動力としては約0.1 kWと非常に小さな値であるとともに、二方弁開の個数増加に伴って動力も増加しており、設計時に想定した放射パネルの個別制御の省エネ性を確認できた。

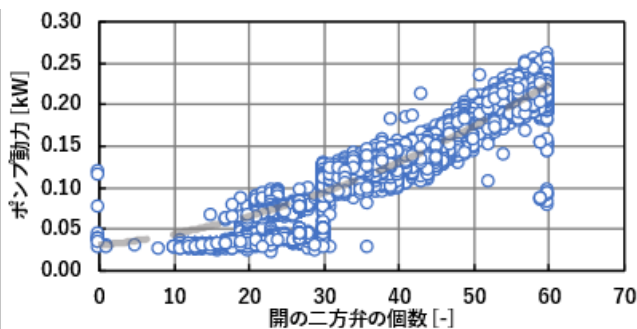


図5 稼働パネル数とポンプ動力の関係

表1 比較条件一覧

各設定項目		条件1	条件2
執務環境条件		均一空間	平面温度分布付与
実測代表日		8月3日	8月20日
アンケート対象期間		8月2日～8月3日	8月19日～8月20日
外調機	吹出エリア	全面	西側のみ
	給気温度	14℃	14℃
	風量	2,500CMH	625CMH
放射パネル	東側 パネル表面温度SP	25℃	30℃
	二方弁	制御許可	制御許可
	西側 パネル出口温度SP	25℃	-
共通	二方弁	制御許可	強制閉
共通	送水温度	19℃	19℃

## 2.3 運転条件による省エネ性の評価

図6に、夏期運転時における執務室系統の処理熱量と消費電力トレンドの抜粋を示す。各代表日は表1に示す比較条件である。

処理熱量に関しては外調機と放射パネル、その合計を表している。条件1では外調機が定格運転、放射パネルが全面稼働の表面温度25℃設定にて制御しており、時間経過と共に負荷が減り処理熱量の減少が確認できる。処理熱量としては外調機と放射パネルではほぼ同等であった。一方、条件2では条件1と比較して外調機の吹出風量が1/4に減らしておりその処理熱量も3割程度に減っている。放射パネルの稼働量は、条件1の6割程度であり処理熱量としては7割程度に減少していた。

図6の消費電力に関しては、外調機系統に空冷ヒートポンプチラーが含まれ、冷水2次側ポンプが放射パネル系統の電力となっている。外調機系統の消費電力の割合が大きかったため、条件2においては執務室全体で条件1の1/3程度の電力に抑えることができており、放射パネル主体での空調とすることで省エネ性が大きく向上することが確認できた。



図6 夏期運転時における執務室系統の処理熱量と消費電力量

## 3. 個別制御による執務空間の制御と快適性

### 3.1 実測条件と計測概要

放射パネルの個別制御による付加価値の一つとして、同一の執務空間内で温度帯の異なるエリアを形成できる点について、複数の実測条件と執務者アンケートの比較により快適性向上の可能性について検討した。今回の検証では表1の代表日を対象とした。条件1は外調機による吹出エリアが均一で放射パネルの設定温度が全面25℃となっており、基本的な運用条件と言える。条件2は執務室全体の西側半分のみ空調を行うことにより、執務室内の東西でアンビエント域の温度帯を変えることを目的とした。外調機の吹出風量が条件1の1/4程度で吹出し、放射パネルも外調機吹出エリアに合わせて西側半分を開状態での運転とした。

計測点としては図7の各ポイントにおいて、空気温度(H=1,100 mm)およびグローブ温度(H=600 mm)を計測している。執務者アンケートについては、各実測日において図8に示すエリア毎に滞在した執務者の温熱環境満足度の回答結果に基づき考察を行った。

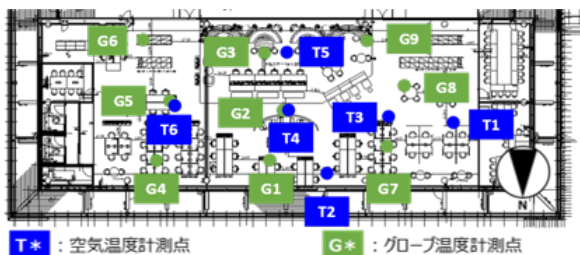
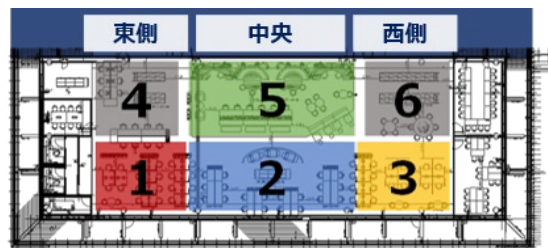


図7 執務室内の計測点一覧



※4・6は中央監視設備、ロッカー配置

図8 執務室内エリア区分

### 3.2 均一条件での運転による執務空間と快適性

条件1による運転を行った場合、対象の執務室においては負荷分布を除外すれば温度の均一な空間が形成される。執務室の負荷分布については人員負荷を除いた場合、中央監視設備のある東側（図8の1・4エリア）の負荷が中央監視設備のある東側（図8の1・4エリア）が高く、ロッカーの設置で座席数の少ない西側（図8の3・6エリア）の負荷が低い傾向にある。

図9に、放射パネル廻りの運転トレンドおよび空気温度と作用温度の変化を示す。図内の二方弁開閉については、図2で示した各エリアの代表パネルの状態を表している。図9より条件1における実測では中央エリアの放射パネルが温度制御によりON/OFF動作をしており、他のエリアと比較して負荷が少なかったと想定される。

一方で空気温度では東側から西側に向かって温度が低くなっている。作用温度では高負荷側の東側のみ高い傾向にあり、中央・西側は低めとなった。中央の温度分布のみ、空気温度に比べ作用温度が0.5℃程度低くなっている。他のエリアに比べ放射空調による効果がみられた結果、放射パネルも温度設定値によって制御動作をしていたものと思われる。

図10に、条件1のアンケート対象期間における執務者分布とエリア毎の満足度を示す。実測期間における執務者分布は東側14%、中央54%、西側32%となり、執務室中央エリアに多い傾向となった。またエリア毎の温熱環境満足度は「どちらでもない」を満足側に捉えると西側ほど満足度が高い結果となり、作用温度の分布に伴った結果となった。この時、執務室全体での満足度は76%となり、温冷感の申告は暑い側・涼しい側共にどのエリアにおいても見られた。

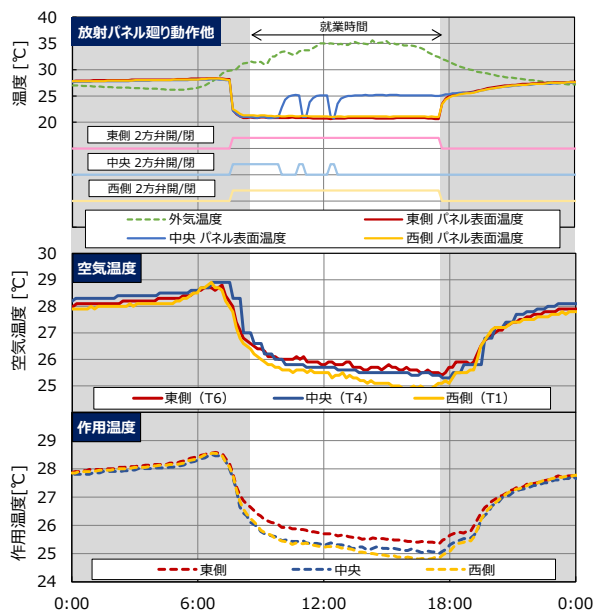


図9 条件1における各種トレンド(8月3日)

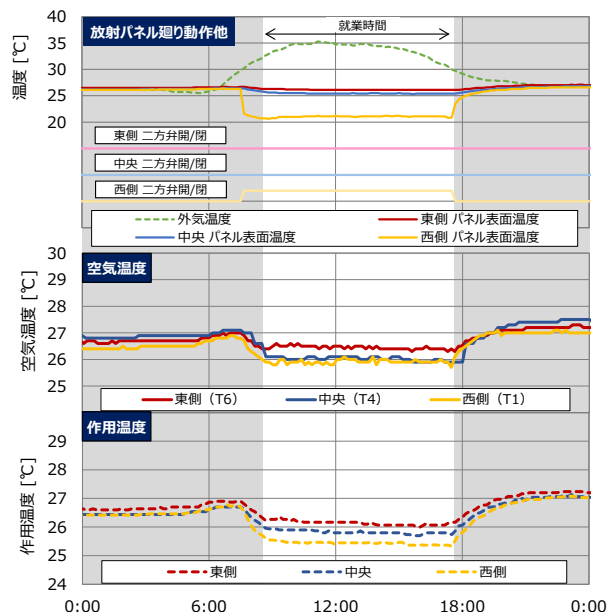


図11 条件2における各種トレンド(8月20日)

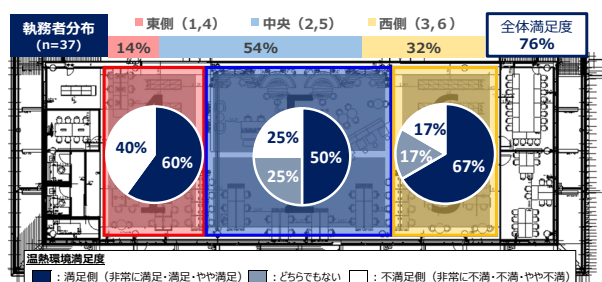


図10 執務者分布と満足度(8月3日)

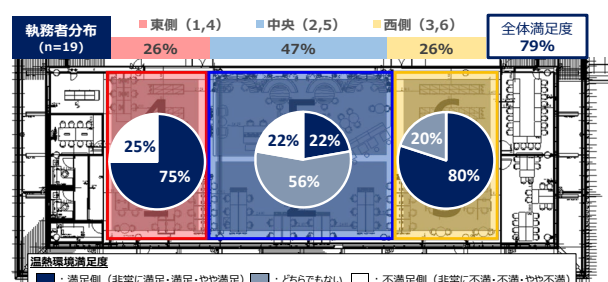


図12 執務室者分布と満足度(8月20日)

### 3.3 不均一条件での運転による執務空間と快適性

条件2では執務室全体の西側半分のみ空調を行っている。条件1と比較して外調機の吹出し風量が1/4程度でパネル運転枚数も半数近く減るため、執務空間のアンビエント環境はやや高い温度帯となる。

条件1と同様に図11にパネル廻りのトレンドおよび空気温度・作用温度の変化を示す。空調を行っている西側において空気温度よりも作用温度が低くなっており、放射空調による効果と思われる。作用温度は条件1と比較して全体的に0.5℃程度高い結果であった。この実測において、執務室の東西で空気温度・作用温度共にパネルの設定値に応じて0.5℃程度の温度差がつき、放射パネルの個別制御により同一空間内で温度帯の異なるエリアを形成できることが確認できた。

また、図12に条件2の実測期間における執務者分布と温熱環境満足度を示す。執務者分布は条件1の時と同様に中央エリアが最も多い結果であった。温熱環境満足度としては執務者の多い中央エリアにおける満足側の申告者が大幅に減ったものの不満足側には至らず、執務室全体での満足度は79%となり、条件1よりやや向上していた。ABWの採用により執務者が自由に環境を選べる点と、執務室内にタスク空調としてパーソナル空調機が設置されていることにより、不満要素の解消につながった可能性が考えられる。アンケート結果からも執務者の行動としてパーソナル空調機を使用した回答があり、エリアよりも個人に偏る傾向が見られたため、今後執務環境の条件と合わせより詳細な確認が必要である。

## 4. おわりに

今回の夏期検証から、放射パネルの個別制御により同一執務空間内で温度帯の異なるエリアを形成可能なことが確認できた。また、放射パネル主体の空調とすることで省エネ性を大きく向上させることが可能である。その場合、条件によってはアンビエント域の室温がやや上昇するが、タスク空調の使用や座席移動により執務環境における温熱環境満足度を大きく損なわずに運用ができると考えられる。

以上より、個別制御方式の放射パネルはABWやタスク空調と組合せることで省エネを図りながら快適性の高い執務環境を再現できる可能性を確認した。

## 文 献

- 1) 武藤友香, 羽鳥大輔, 高西茂彰, 平原美博, 清水昭浩, 木村健太郎, 牧野内絵里, 粕谷文: 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(第1報) 全体計画及びコンセプト, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(札幌)”, 185-188(2019).
- 2) 清水昭浩, 平原美博, 木村健太郎, 柴田克彦, 羽鳥大輔, 武藤友香: 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, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(オンライン)”, 157-160(2020).
- 3) 柴田克彦, 平原美博, 清水昭浩, 羽鳥大輔, 武藤友香, 田辺新一: 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, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(福島)”, 197-200(2021).
- 4) 武藤友香, 羽鳥大輔, 高椋敦士, 木村健太郎, 清水昭浩, 田辺新一: 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19報) 実内部負荷調査に基づくシミュレーションによる運用評価, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(神戸)”, 189-192(2022).

## ABSTRACT

In this innovation center with a task-ambient air-conditioning system, the outside-air conditioner, the radiant air conditioning treats with the building skin load and lighting load, and the personal air-conditioner mainly treats with the human related load which varies dependent upon an individual behavior and preference.

In this report, we report about the effects of individual control type radiant air conditioning system on energy saving and comfort from actual summer data in offices that use ABW.

---