

# 住宅用輻射パネル空調の省エネルギー性と快適性に関する研究

坂井 里綺

## 1. はじめに

日本政府は二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) などの温室効果ガス排出量を「2030 年までに 2013 年比で 46%削減し、2050 年までに排出量実質 0」を目標とすることを宣言した。しかし、2020 年は 2013 年比でわずか 15.8%しか削減できていないため、家庭部門での省エネが重要視されてきており、これまでと比べ、より一層の省エネ行動や、省エネ家電、省エネシステムの開発に尽力すべきである。家庭部門において空調機器は CO<sub>2</sub> 排出量の多くを占めている。そのため空調機器が省エネであれば削減目標に大きく近づくことができ、また、室内環境の快適性も関心が集まっているため本研究では、エアコンに代わる可能性のある住宅用輻射パネル空調（以下輻射空調）を省エネ性や快適性の面から分析する。

## 2. 計測対象

### 2.1. 計測対象建物・計測室の概要

計測対象建物は福岡市南区大橋に位置する建物である。建物概要を表 1 に示す。本建物の室内空調システムはエアコンか住宅用輻射空調のどちらかが設置されている。

エアコン室内機は冷暖兼用壁掛け型ルームエアコンである。輻射空調室内機は図 1 に示すような 6 列スリットを有するパネル、および室外機はヒートポンプ式冷温水熱源機でエアコン室外機と同様の形状である。輻射パネル内部は室外機で製造された冷温水が循環しており、パネル自体を冷却加熱し冷暖房を行う仕組みである。計測は 2 階と 3 階の空き部屋 1 部屋ずつで行なった。

### 2.2. 計測期間および計測方法



図 1 輻射パネル空調外観

計測は無人室と有人室で中間期と夏期および冬の 3 期行なった。運転方法や設定温度、計測期間などを表 2 に示す。間欠運転のスケジュールは中間期が 6 時から 8 時、18 時から 24 時に運転し、それ以外は休止とした。夏期と冬期は 6 時から 12 時、18 時から 24 時に運転し、それ以外は休止とした。また、夏期、冬期にサーモカム

表 1 建物概要

	a) 輻射パネル設置室	b) エアコン設置室
用途	住戸	
住戸数	12戸	41戸
構造	RC造	
建築面積	478.13m <sup>2</sup>	
建蔽率	28.60%	
延床面積	1,549.20m <sup>2</sup>	
容積率	88.35%	

表 2 計測期間と計測条件

計測期	在室状況	運転方法	運転時間	設定温度		計測期間
				エアコン	輻射パネル	
中間期	無人室	連続運転	24h	27°C	27°C	6/22~7/1
		間欠運転	6-8,18-24	27°C	27°C	7/3~8
夏期	無人室	連続運転	24h	27°C	27°C	9/3~9/9
		間欠運転	6-12,18-24	27°C	27°C	9/11~9/17
	有人室	連続運転	24h	居住者任せ	居住者任せ	7/21~7/25
		間欠運転	居住者任せ	居住者任せ	居住者任せ	7/27~8/4
冬季	無人室	連続運転	24h	22°C	27°C	1/31~2/1
		間欠運転	6-12,18-24	22°C	27°C	2/3~2/4
	有人室	連続運転	24h	居住者任せ	居住者任せ	12/1~12/6
		間欠運転	居住者任せ	居住者任せ	居住者任せ	12/8~12/18

表 3 計測項目と使用機器

計測項目	計測機器
壁面温度	熱電対 (TC-T)
放射温度	熱電対 (PT100)、7cmグローブ球
温度ロガー	midi logger GL840-M
温湿度	RTR-503、RTR-505BW
電流計	RTR-505V
粉塵量	KANOMAX Model3342
風速計	Testo 440、無指向性熱ボールプローブ

表 4 計測点番号と各計測項目

	番号	場所	機器
壁面温度	壁 1	① FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	壁 2	② FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	壁 3	③ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	壁 4	④ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	壁 5	⑤ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	机下床面	⑥ 床面	熱電対(TC-T)
	中心床面	⑦ 床面	熱電対(TC-T)
空気温度	机上天井面	⑧ 天井面	熱電対(TC-T)
	中心天井面	⑦ 天井面	熱電対(TC-T)
	10cm	⑧ FL+0.10m	熱電対(TC-T)
	65cm	⑧ FL+0.65m	熱電対(TC-T)
	120cm	⑧ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
グローブ温度	175cm	⑧ FL+1.75m	熱電対(TC-T)
	230cm	⑧ FL+2.30m	熱電対(TC-T)
	7cmグローブ温度	⑧ FL+1.20m	7cmグローブ球+熱電対(Pt100)
風速	風速	⑧ FL+1.20m	Testo440+無指向性熱ボールプローブ
	室中央	⑧ FL+1.20m	RTR-503
	窓際	⑨ FL+1.20m	RTR-503
輻射パネル表面温度	机上	⑩ FL+1.20m	RTR-503
	送水側パネル	⑪ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
	還水側パネル	⑪ FL+1.20m	熱電対(TC-T)
エアコン	送水側配管	⑪ 配管表面	熱電対(TC-T)
	還水側配管	⑪ 配管表面	熱電対(TC-T)
	吸込温度	⑫ 空気吸込口	熱電対(TC-T)
	吹出温度	⑫ 空気吹出口	熱電対(TC-T)

ラを用いて空調の立ち上がりから3分おきに90分間室内表面熱画像を撮影した。計測項目と使用機器を表3に、計測点番号と各計測点の場所を表4、図2に示す。

### 3. 実験による運転分析

気温、湿度、放射温度、風速は実測値、代謝量は1met、着衣量は、夏期は0.5clo、冬期は1.1cloとしてPMVを計算した。室中央、窓際のPMV算出に使用したデータは図2中の点番号を用い、表5に示す。すべてFL+1.20m計測している。

#### 3.1. 夏期

代表日は天気が比較的良好く暑かった日とし、連続運転は9月7日、間欠運転は9月16日の計測値をもとに検討を行う。

連続運転、間欠運転を行った際のPMVを図3、図4に示す。連続運転を行った際は、1日を通してPMVをほぼ±0.5以内にすることができているが、両室とも同じ設定温度にしてもエアコンのほうが、PMVは低くなり、経時変化による揺らぎも大きかった。これは、室温変化やエアコンの気流速度の揺らぎによるものである。間欠運転を行った際は、朝6時に空調が起動し冷房を始めた時は、蓄熱負荷も少なく空調機器の差は小さいが、太陽が昇り、室内温度が上昇し始めた7時頃から輻射空調は室内温度の上昇による熱負荷をすぐに処理できずPMVが上昇している。正午に一度空調機器が休止しているため、両室とも蓄熱負荷がある状態で18時に空調機の運転を再開している。その際、図4中の赤枠で囲っているように、エアコン設置室ではPMVが1近くある状態から0に戻るまでに室中央では約5分、窓際でも約30分であったが、輻射空調では、室中央で約2時間、窓際は0になることはなかった。

連続運転、間欠運転を行った際の消費電力を図5、図6に示す。連続運転を行った際の電力消費量は輻射空調で4,920Wh、エアコンで2,720Whとなり輻射空調の電力消費量がエアコンの約1.8倍となった。一方、間欠運転を行った際の電力消費量は輻射空調で2,249Wh、エ

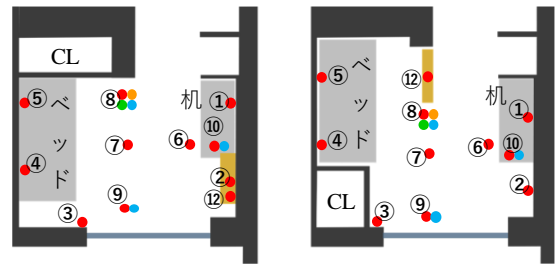


図2 平面略図(各計測点番号あり)

表5 PMVの算出に用いた測定地点番号

	気温	湿度	放射温度	風速	代謝量	着衣量	
						中間期・夏期	冬期
室中央	⑧	⑧	⑧	⑧	1met	0.5clo	0.7clo
窓際	③	⑨	⑧	⑧	1met	0.5clo	0.7clo

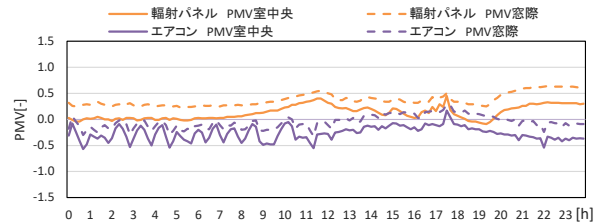


図3 夏期 連続運転時のPMV

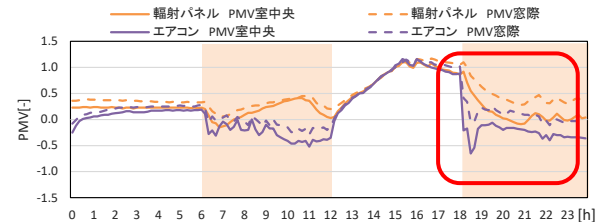


図4 夏期 間欠運転時のPMV

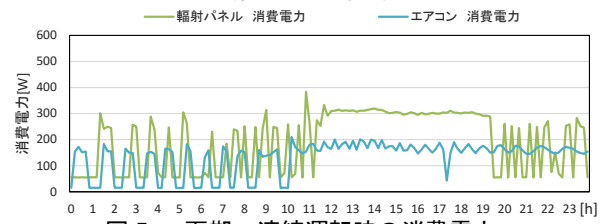


図5 夏期 連続運転時の消費電力

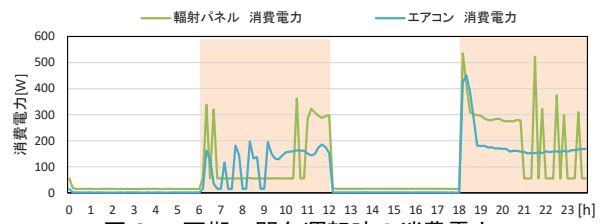


図6 夏期 間欠運転時の消費電力



空調方式	直後	3分後	9分後	30分後	1時間後
輻射パネル					
エアコン					

図7 冷房起動開始からの熱画像

エアコンで 1,826Wh となり輻射空調の電力消費量がエアコンの約 1.2 倍となった。また、運転再開時の消費電力が 6 時と 18 時で大きく異なることから、昼間の蓄熱負荷が空調機器の起動時の消費電力に大きく影響していると考えられる。

各空調の起動からの熱画像を図 8 に示す。輻射空調は起動後 1 時間経過してもパネル付近、床面付近のみの冷却にとどまり、天井面や窓面は冷却できていない一方でエアコンは起動 30 分後には窓面を除くほぼすべての面を冷却しており、1 時間後には窓のさっしを除くすべての部分が冷却されている。

### 3.2. 冬期

代表日としては、連続運転は 2 月 1 日、間欠運転は 2 月 4 日の計測値をもとに検討を行う。

連続運転、間欠運転を行った際の PMV を図 8、図 9 に示す。連続運転時において、エアコンは夏期同様に経時変化による PMV の揺らぎが大きい結果となった。また、間欠運転時においても輻射空調は夏期同様に PMV の上昇速度が遅く、暖かい空間となるまでに時間がかかった。

連続運転、間欠運転を行った際の消費電力を図 10、図 11 に示す。連続運転を行った際の電力消費量は輻射空調で 14,375Wh、エアコンで 16,412Wh となり輻射空調の電力消費量がエアコンの約 0.8 倍となった。一方、間欠運転を行った際の電力消費量は輻射空調で 8,174Wh、エアコンで 10,800Wh となり輻射空調の電力消費量がエアコンの約 0.8 倍となった。夏期同様、運転再開時の消費電力に差が出ているが、暖房時には、昼間の蓄熱負荷は有利になるため、朝 6 時に起動する方が起動時消費電力は大きくなっている。

各空調の起動からの熱画像を図 12 に示す。起動 3 分後に、輻射空調は変化がなかったがエアコンはエアコン周辺の温度が少し上昇している。9 分後には輻射パネ

ル表面の温度上昇が確認できるが壁面の温度上昇はしていなかった。起動 30 分後にはエアコンは床面を除きほとんど均一な温度の空間となったが輻射パネルは温度むらが大きく、むらが小さくなるまで時間がかかっていることがわかる。

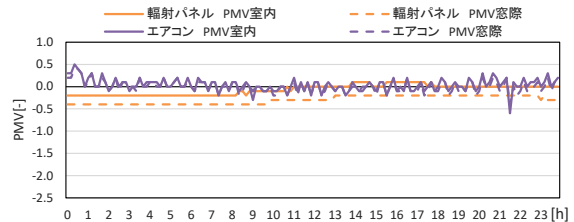


図 8 冬期 連続運転時の PMV

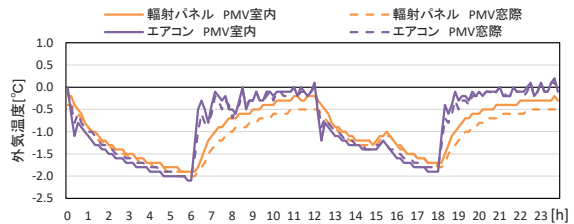


図 9 冬期 間欠運転時の PMV

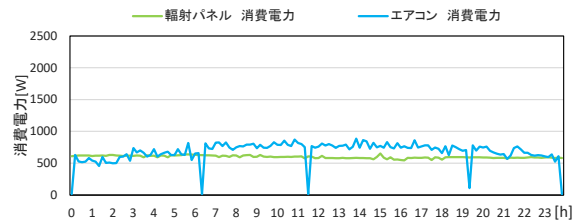


図 10 冬期 連続運転時の消費電力

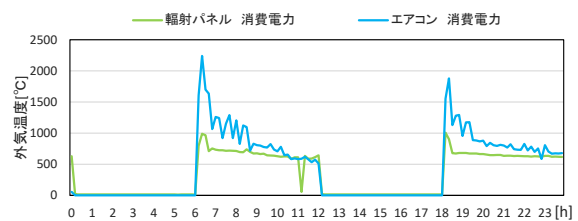


図 11 冬期 間欠運転時の消費電力



空調方式	直後	3分後	9分後	30分後	1時間後
輻射パネル					
エアコン					

図 12 暖房起動開始からの熱画像

## 4. アンケート調査

### 4.1. アンケート概要

計測対象建物の2階と3階（エアコン設置階と輻射空調設置階）の居住者を対象に Google Form を使用しアンケートを行なった。夏期は8月17日に配布し、2階から10名、3階から7名の計17名の回答が得られた。冬期は1月17日に配布し、2階から6名、3階から6名の計12名の回答が得られた。

### 4.2. 運転方法と設定温度

空調機器の運転方法について、アンケートを行なった。その結果、連続運転を行っていた人の割合は夏期においてエアコン設置室では10%であったのに対し、輻射空調設置室では56%であり、冬期においてエアコン設置室では17%であったのに対し、輻射空調設置室では50%であった。設定温度について、夏期におけるエアコン設置室の平均設定温度は24.3℃であったのに対し、輻射空調設置室では23℃と輻射空調設置室のほうが1.3℃低く、冬期におけるエアコン設置室の平均設定温度は25.4℃であったのに対し、輻射空調設置室では27.5℃と輻射空調設置室のほうが2.1℃高かった。

### 4.3. 温冷感

温冷感や満足度についてのアンケート結果を図13と図14に示す。夏期は涼感を得るまで長いと感じる人の割合はエアコン設置室では10%なのに対し、輻射空調設置室では100%であった。冬期は温感を得るまで長いと感じる人の割合はエアコン設置室では16%なのに対し、輻射空調設置室では84%であった。場所による温冷感の違いを感じた人の割合もエアコン設置室では夏期で30%、冬期で50%、輻射空調設置室では夏期で71%、冬期で67%であった。快適な環境を作れているかにつ

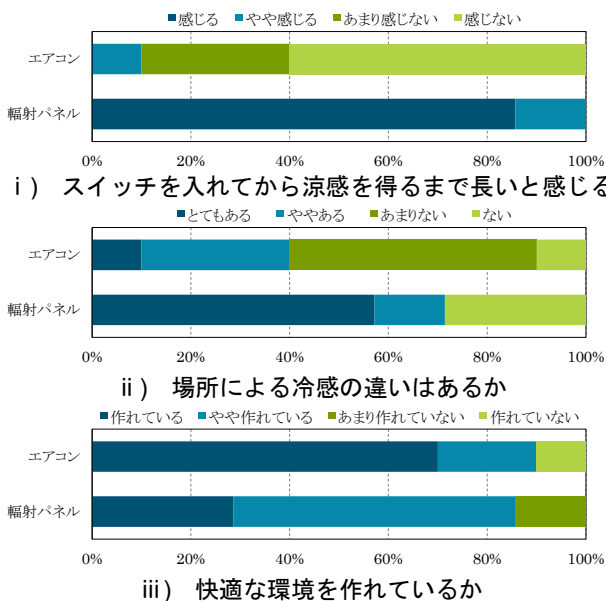


図13 夏期アンケート結果

いて、理由を尋ねたところ、輻射空調設置室では、「気流がない点が良い」などの肯定的な意見もあったが、「すぐに冷えない/温まらない」などの否定的な意見が目立った。一方、エアコン設置室では「涼しい/暖かい環境が作れている」などの肯定的な意見が目立ったが、「ベッドにしていると気流で不快」といった意見もあった。

## 5. おわりに

本報では、住宅用輻射パネル空調の省エネルギー性と快適性をエアコンと比較することで検討した。計測結果とアンケート結果より、省エネルギー性の面では、夏期における冷房運転時において連続運転、間欠運転を問わず、エアコンのほうが省エネルギーであった。冬期における暖房運転時においては連続運転時において電力消費量に大きな差はなく輻射空調の省エネ性は小さかったが、間欠運転時においては輻射空調の電力消費量の方が少なく省エネルギー性が確認できた。快適性の面では輻射空調は気流があまり出ないため不快でないことや急激に室温が変わらないため体への負担が小さい<sup>2)</sup>という長所が確認された。しかし、快適と感じることができる範囲が限定的で、涼感・温感を得るまでに時間がかかるという短所があったが、パネル形状の変更や、大きな部屋への設置、サーキュレーターの併用などによる改善効果が期待できる。

### 【参考文献】

- 1) 経済産業省ホームページ 総合エネルギー統計  
[https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/pdf/gaiyou2020fy\\_r.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/gaiyou2020fy_r.pdf), 2022年1月15日参照
- 2) 福岡義隆他著, 空間移動に伴う急激な温度変化と人体ストレスの可能性について、地球環境研究, Vol.10(2008), 2022年1月15日参照

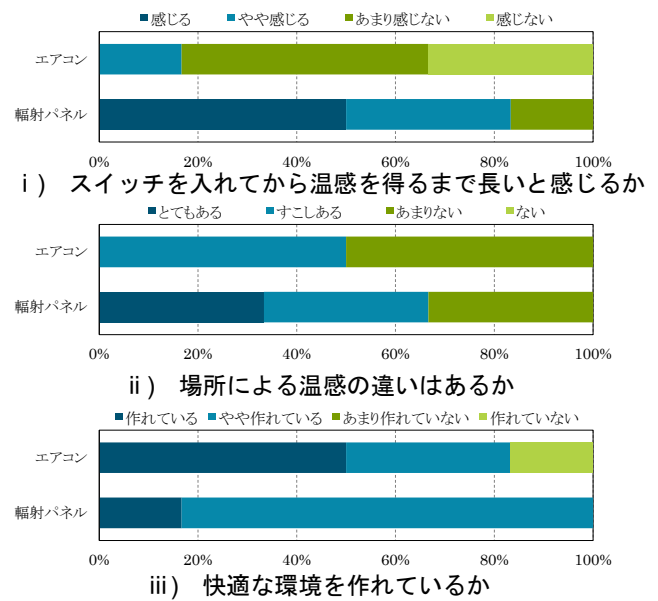


図14 冬期アンケート結果