

# 水式天井放射空調の熱移動現象の詳細調査及び在来空調との省エネ性の比較

建築都市デザイン学科 2280120098-6 山本 健太  
(指導教員 近本智行)

## 1. はじめに

既往研究において、放射空調は夏期及び冬期に室内設定温度を緩和しても在来空調に比べて温度分布を生じにくいことから、温熱環境の悪化は見られなかった<sup>文1)</sup>。一方、放射空調室では躯体からの熱損失が問題として推測された。

本研究では、パネル設定温度を変更した環境で実測を行うことで、設定温度が高い放射空調室における損失熱量を把握する。また放射空調室と在来空調室の実測調査を同時に行い、放射空調システムの省エネ性を比較検証する。

## 2. システム概要

天井放射空調は、水熱源式天井放射空調システムで熱源は大学施設内で作られている冷温水を用いる。放射パネルはパンチングメタルである。図1にシステム概要図を示す。天井内に全熱交換器の吹出口、室内側に全熱交換器の吸込口があることにより天井内が正圧、室内側が負圧になり、パンチングメタルからのにじみだしによる対流の効果での空調も期待できる。在来空調は4方向吹出のガスヒートポンプパッケージエアコン（GHP）を使用している。

## 3. 実測対象室

実測は実会議室にて夏期に7日間、冬期に7日間行った。床面積は各室70㎡、天井高は2.6mである。放射空調室の冷水埋設放射パネルは96枚で面積は34.56㎡である。図2に測定箇所、表2に測定項目と凡例を示す。

## 4. 実測概要

表1に実測ケースを示す。実測は冷房時3ケース、暖房時3ケースでパネル送水温度を変更した場合について実測した。各面の放射，対流熱伝達量による熱量を計算し，室内と天井内の対流熱収支が0となる熱量がスリットによる熱移動量、天井内躯体による熱伝達量を損失熱量とみなした。対流熱伝達率は表3の固定値を用いた。

以下に熱量の計算式を示す。

$$\begin{aligned}
 \text{面 } i \text{ の放射熱伝達量 } q_{ri} [W] & \quad q_{ri} = \sigma \times A_i \times \epsilon_i \times \sum g_{ij} |T_i^4 - T_j^4| \\
 \text{面 } i \text{ の対流熱伝達量 } q_{ci} [W] & \quad q_{ci} = ac \times A_i \times (T_i - T_a) \\
 \text{給気による熱量 } q_{ac} [W] & \quad q_{ac} = Cp \times \rho \times V \times (T_{ac} - T_a)
 \end{aligned}$$

$\sigma$ : Stefan-Boltzmann 定数 [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]     $A_i$ : 面  $i$  の面積 [m<sup>2</sup>]  
 $\epsilon_i$ : 面  $i$  の放射率     $T_i, T_j$ : 面  $i, j$  の温度 [K]     $g_{ij}$ : 形態係数  
 $T_a$ : 空気温度 [K]     $ac$ : 対流熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>K]     $Cp$ : 空気の比熱 [J/kg K]  
 $\rho$ : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]     $V$ : 給気風量 [m<sup>3</sup>/s]     $T_{ac}$ : 給気温度 [K]

また各室で同時計測を行い、同等の室温環境温度におけるCOPの比較を行う。COPは熱負荷<sup>注1)</sup>を一次換算エネルギー消費量で除したものとする。

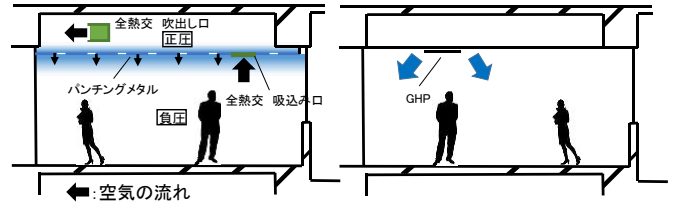


図1 放射空調(左)と在来空調(右)のシステム概要図

表1 実測ケース

空調設定	CASE	放射空調室			在来空調室	
		熱源 (°C)	パネル (°C)	流量 (L/min)	GHP (°C)	風量 (m <sup>3</sup> /h)
冷房	1-1	冷水	20	38		
	1-2	(往)	22	38		
	1-3		24	38	26	840
暖房	2-1	温水	33	38		
	2-2	(往)	31	38		
	2-3		29	38	20	840

表2 測定項目と凡例

凡例	測定項目	測定高さ
△	床表面温度	床面
○	壁表面温度	壁面
◇	空気温度	FL+1.1m
☆	窓表面温度	窓面
◇	パネル面温度	パネル面
□	吸込温度	制気口
■	吹出温度	制気口(在来)
▲	パネル面温度	制気口(放射)
●	壁表面温度	壁面
○	空気温度	FL+3.0m
◆	スラブ面温度	スラブ面

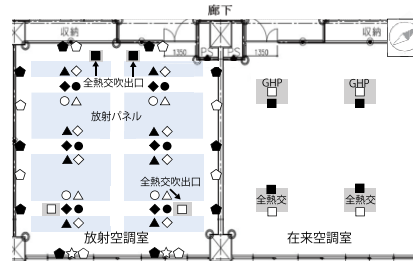


図2 測定箇所

表3 対流熱伝達率

冷暖房	各表面	対流熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> K]
冷房	天井内側	2.8
	室内側	4.8
暖房	天井内側	5.8
	室内側	3.8

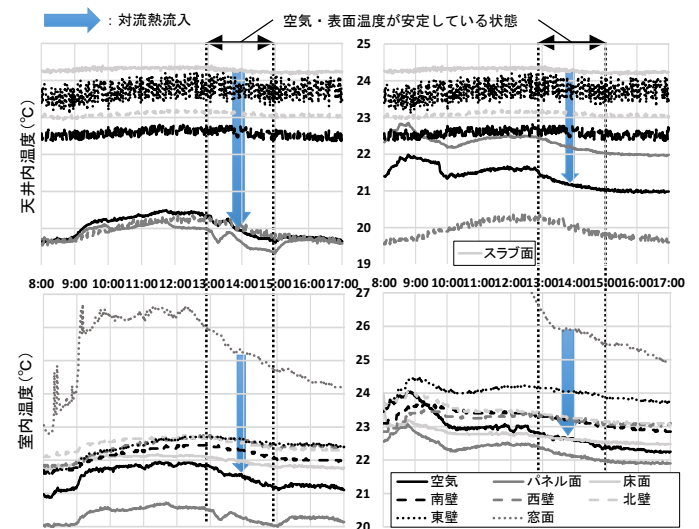


図3 CASE1-1(左)とCASE1-3(右)の空気・表面温度の推移

## 5. 結果と考察

### 5.1 熱移動現象

図3にCASE1-1とCASE1-3の放射空調室の室内・天井内の温度の推移を示す。各ケースの空気温度が安定している状態である13時～15時における空気・表面温度実測値を用いる。冷房時はパネル温度が高いほど天井内の熱流入と室内の放射熱流入が減少する一方で、室内の対流熱流入が増加する傾向が見られた。これは、パネル温度の上昇に伴って室内の躯体表面温度が上昇する一方で、空気温度はほとんど上昇しなかったためだと考えられる。

図4にCASE2-1とCASE2-3の室内・天井内の温度の推移を示す。暖房時はパネル温度が低いほど天井内の熱流入が抑えられる一方、室内の熱流入には変化が見られなかった。これは、パネル送水温度を低くしても、室内空気・躯体表面温度にほとんど変化が見られないためと思われる。

表4、図5に各ケースの天井放射パネル熱交換量と対流熱移動率と熱損失率を示す。放射パネルの各熱伝達量の計算合計値と熱負荷の差は2%未満である。CASE1-1を代表例として述べると、天井内の対流熱は、躯体からの熱流入が1034W、天井パネルによる熱流出が1409Wとなり、これらの総計は-375Wとなる。すなわち室内から天井内へ375Wの熱移動が生じており、天井内側パネルの対流熱伝達量である1409Wの内、375W(27%)の冷熱がスリットにより室内へ熱移動していると考えられる。パネル熱量である3629Wの内、1034Wの対流熱と1014Wの放射熱を合計した2048W(56%)が熱損失していると考えられる。

冷房時はパネル温度が高いほど熱移動量が増加し、その分損失熱量が減少するので冷却効率が上がると考えられる。暖房時は室内から天井内へ熱移動するので対流熱の効果による空調に期待できない。しかし、パネル温度を低くしても室内の環境温度にほとんど影響はない。

### 5.2 省エネ性比較

図6に在来空調と放射空調の熱負荷とCOPの推移を示す。放射空調は熱負荷が比較的安定しているのに対して在来空調はばらつきが見られる。外気温が低温の時に在来空調の暖房負荷が上昇するが、COPは若干低下する。在来空調のCOPと放射空調のCOPを比較すると、冷房時は放射空調の方が高く、暖房時は低いと考えられる。

## 6. まとめ

冷房時放射空調は在来空調より省エネで、パネル温度を上げることで、にじみだし効果により冷却効率を上げることが可能である。しかしながら、放射空調の供給熱量の内、およそ半分の熱損失が見られた。これは通常設計の居室に放射空調を導入しているので、放射空調に対応した必要な断熱が施されていないためであると考えられる。このことから、改修による熱損失への対策は難しいと思われる。

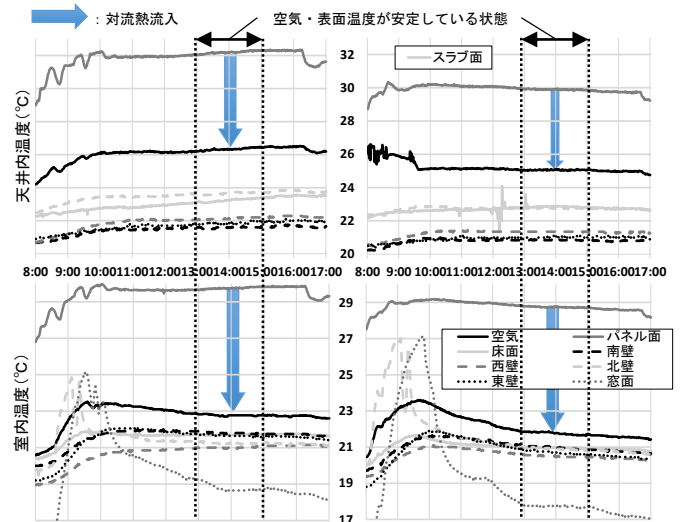


図4 CASE2-1(左)とCASE2-3(右)の空気・表面温度の推移  
表4 スリット対流熱移動率と熱損失率

CASE	パネル熱量[W]		熱流の方向	熱移動量 [W]		パネル対流熱量[W]		スリット熱移動率	損失熱量 [W]	熱損失率
	計算	熱負荷		天井内側	室内側	天井内側	室内側			
1-1	3629	3647	室内→天井内	375	1409	715	27%	2048	56%	
1-2	3230	3215	室内→天井内	580	1424	640	41%	1567	49%	
1-3	2668	2686	室内→天井内	892	1542	451	58%	1103	41%	
2-1	5466	5581	室内→天井内	79	1961	858	9%	2819	52%	
2-2	4804	4720	室内→天井内	25	1728	767	3%	2420	50%	
2-3	4976	4998	室内→天井内	0	1648	873	0%	2282	46%	

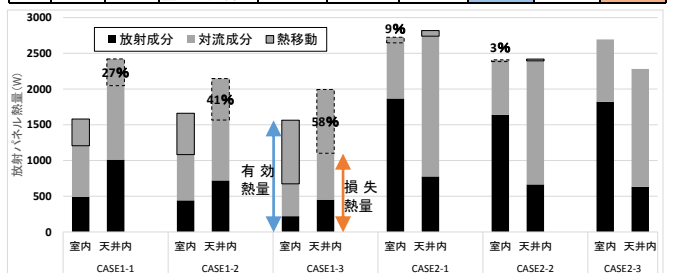


図5 冷房時(左)と暖房時(右)のパネル熱交換量

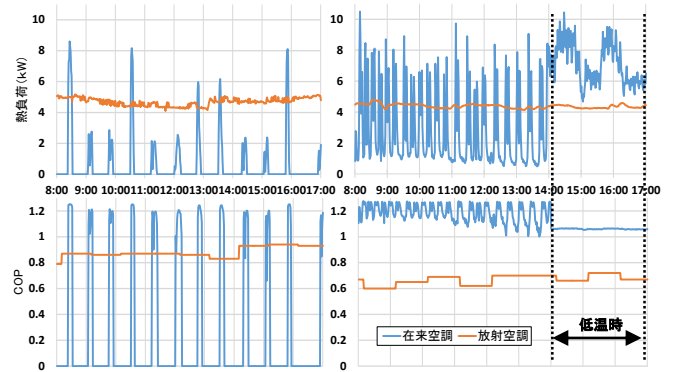


図6 冷房時(左)と暖房時(右)の熱負荷とCOPの推移  
参考文献・注釈

文1) 宮城令、本本智行、岡本茂ら：熱源を選択可能な水式天井放射空調の性能検証及び在来空調との比較、第44回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、2014年

注1) 熱負荷の計算式を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 & \text{在来空調室の熱負荷 } Q_c[W] = \text{顕熱負荷 } Q_s + \text{潜熱負荷 } Q_l \\
 & Q_s = C_p \times \rho \times V \times \Delta t = 1006 \times 1.2 \times V \times (t_1 - t_2) \\
 & \quad t_1: \text{吸込温度 } [^\circ\text{C}] \quad t_2: \text{吹出温度 } [^\circ\text{C}] \\
 & Q_l = \gamma \times \rho \times V \times \Delta x = 2501.1 \times 10^3 \times 1.2 \times V \times (x_1 - x_2) \\
 & \quad \gamma: \text{水の蒸発潜熱 } [J/kg] \quad x_1: \text{吸込絶対湿度 } [kg/kg] \quad x_2: \text{吹出絶対湿度 } [kg/kg] \\
 & \text{放射空調室の熱負荷 } Q_p[W] = C_w \times R \times \Delta t = 4.186 \times 10^3 \times R \times (t_3 - t_4) \\
 & \quad C_w: \text{水の比熱 } [J/kgK] \quad R: \text{流量 } [kg/s] \quad t_3: \text{還水温度 } [^\circ\text{C}] \quad t_4: \text{往水温度 } [^\circ\text{C}]
 \end{aligned}$$