

壁放射冷暖房システムを利用した室内の温熱環境に関する研究

その7 暖房時の投入熱量について

Study on Thermal Environment of the Room using a Wall Panel Cooling and Heating System

Part 7, On Input Energy for Heating

研究代表者 工学部建築学科 教授 崔 軍
Jun Cui
大学院システム工学専攻 学生 長谷 健
Takeshi Hase
大学院システム工学専攻 学生 加藤 聡
Satoshi Kato

An experiment of wall panel heating and air-conditioner heating was done to examine the energy-saving characteristic of wall panel heating. In the experiment, input energy of wall panel heating and air-conditioner heating was measured when PMV in the laboratory was kept equally. The experiment showed the following result. To keep the PMV of 2.0-2.5m from the wall panel, input energy of wall panel heating is smaller than air-conditioner heating.

Keywords: wall panel heating, air-conditioner heating, PMV, input energy

1. はじめに

近年、優れた快適性能を有する放射冷暖房システムが注目されている。放射冷暖房システムは、夏期では室温が比較的高く（冬期では比較的低く）設定されても快適感覚を得ることができるため、しばしば省エネルギーシステムといわれる。筆者らは、壁放射冷暖房システムの省エネルギー性を検証するため、これまで壁放射冷暖房システムの投入熱量について検討した⁽¹⁾が、本文では、壁放射冷暖房システムの投入熱量について調べる。

2. 実験条件

本文では、壁放射暖房実験およびエアコン暖房実験を行い、実験室内のある特定場所の快適性が同等に保たれた場合において、それぞれの暖房方式の投入熱量を測定した。

実験は放射冷暖房実験室を利用して行う。図1に示すように、放射冷暖房実験室は、近畿大学工学部の研究棟（E館、RC造、3階建て）の1階の北側に位置し内壁に囲まれている。実験室は外界気象条件の影響を受けにくいところにあるが、実験の際、放射冷暖房実験室周辺の部屋の窓や扉を開放し、外界気象条件の影響を受けるように工夫した。

放射冷暖房実験室の詳細は図2に示す。室内には東側、西側、北側、天井、床にそれぞれ4枚、南側に3枚の計23枚の放射パネル(1,600H×600Wmm)が設置されている。実験室の天井高は2.6mで、床放射パネルから天井放射パネルまでの距離は2.2mである。壁パネルの下端は、床面から0.43m、床パネルから0.36m離れている。

今回の放射暖房実験は、東側の4枚のパネルだけを使って行った。他のパネルには温水を流していない。アルミで作られたパネル表面に白色のペイントで塗装されている。

エアコン暖房実験では、T社のインバータ付冷房・暖房兼用型ルームエアコンを使用した。暖房能力は2.2(0.7~3.6)kWである。エアコンは、南パネルの上部、東西パネルの中心に設置されている。吹出し口と吸込み口の高さはそれぞれ1.95mと2.15mである(図2(b))。エアコンからPMV計までの水平距離は約2mである。

放射冷暖房実験室の壁体構成を表1に示す。実験中に実験室東・西側の扉が閉まっているため、隙間風がないものとする。放射冷暖房実験室の熱損失係数は、室内の総合熱伝達率を $9W/(m^2 \cdot K)$ 、壁体の熱貫流率を表1に示した値として計算した結果、3.7

W/(m²・K)となった。

測定項目と測定点は図 1、2 と表 2 に示す。床パネルから高さ 0.5m、東パネルから 2.0m と 2.5m 離れたところに PMV 計 2 台を設置した。室内での快適性 (PMV) は、この 2 台の PMV 計で測定し、その平均値で表す。

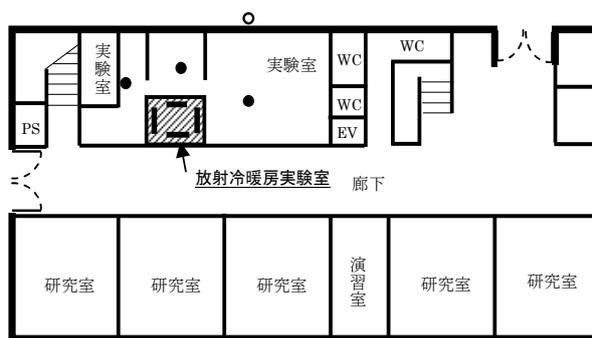
放射冷暖房実験室の暖房システム系統図を図 3 に示す。電気温水器からの温水と放射パネルからの還りの温水が電動三方弁で混合され東パネルへ送水される。今回使用した暖房システムは、放射パネルの表面温度を直接制御するものではなく、放射パネルへの送水温度を電動三方弁で制御することによって間接的にパネル表面温度を制御する方式をとっている。そのため、実験の途中にパネル表面温度が変動する場合がある。その場合は、送水温度設定値を変更させることによってパネル表面温度の安定を図る。

エアコン暖房実験では、通常のエアコン使用実態に近い状態で実験を行うため、エアコン吹き出し口の自動スイング機能を使い、吹き出し風量をエアコンの自動制御系に任せている。

壁放射パネルによる投入熱量の測定に熱流計を用いた。放射パネルの表面と裏面に貼付した熱流計の出力電圧を測定し、それを各熱流計特有の感度係数で除してパネルの放熱量 (投入熱量) を求めた。エアコン暖房の投入熱量は、吹出空気温度と吸込空気温度および吸込風速を測定して算出した。吸込風速を正確に測定するため、吸込口に約 10cm のダクトを取り付け、風速計 2 台で平均風速を測った。

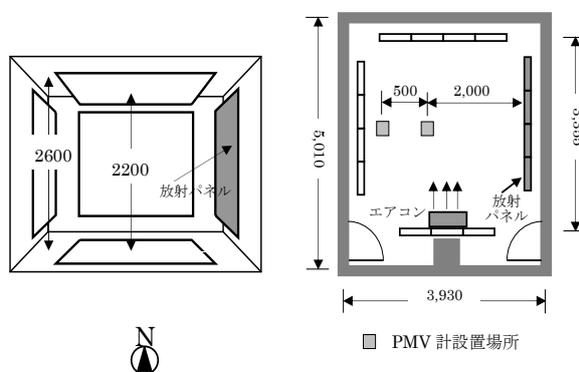
3. 実験結果および考察

今回は、壁放射暖房の投入熱量を調べるため、放射暖房実験とエアコン暖房実験を行った。その詳細



○ : 外気温度測定点 ● : 放射実験室周辺空気温度測定点

図 1 放射冷暖房実験室の位置



(a) 放射パネルの配置 (b) 測定点の配置

図 2 放射冷暖房実験室 (単位: mm)

は表 3 に示す通りである。室内の快適性は 2 台の PMV 計の平均値で表すこととした。本文では、室内の PMV が比較的に近い、以下の 3 ケース (Case1: PA-40×AC-22, Case2: PA-45×AC-26, Case3: PA-50×AC-26) について検討する。

3.1 Case1 (PA-40×AC-22) について

表 1 放射冷暖房実験室の壁体構成と熱貫流率

壁			天井			床		
構成 (室内側から)	厚さ mm	熱伝導率 W/(m・K)	構成 (室内側から)	厚さ mm	熱伝導率 W/(m・K)	構成 (室内側から)	厚さ mm	熱伝導率 W/(m・K)
石膏ボード	21	0.174	石膏ボード	9	0.174	タイル	3	0.19
モルタル	10	1.512	半密閉空気層	—	0.069 (抵抗)	モルタル	20	1.512
半密閉空気層	—	0.069 (抵抗)	コンクリート	200	1.4	コンクリート	150	1.4
モルタル	10	1.512	タイル	3	0.19	グラスウール保温板	25	0.042
石膏ボード	21	0.174	半密閉空気層	—	0.069 (抵抗)	防湿シート	0.15	0.209
カネライトフォーム	50	0.04	鉄板	3	45.0	砂利	150	0.616
			絨毯	5	0.08			
熱貫流率=0.557 W/(m ² ・K)			熱貫流率=1.579 W/(m ² ・K)			熱貫流率=0.831 W/(m ² ・K)		

注: 1) 外壁がないため、総合熱伝達率を 9W/(m²・K) とする。隙間風がないものとして、熱損失係数は 3.7 W/(m²・K) となる。

表 2 測定項目

測定項目	測定点	位置, 測定機器, 測定時間間隔等
外気温度	1点	室外, T型熱電対, φ0.32mm, 測定間隔 10秒
周辺室温	3点	建物内, おんどとり, 測定間隔 1分
室温	2点	実験室内, PMV計, 測定間隔: 1分
PMV	2点	実験室内, PMV計, 測定間隔: 1分 (着衣量: 1.0clo, 代謝量: 1.0met)
エアコン吹出温度	2点	エアコン吹出口, T型熱電対, φ0.32mm, 測定間隔 10秒
エアコン吸込温度	2点	エアコンの吸込口, 風速計 (testo435), 測定間隔 1分
エアコン吸込風速	2点	
パネルの表面熱流	9点	表面・裏面, 熱流計 (MF-180: 4点, MF-190: 2点, MF-200: 3点), 測定間隔 10秒

表 3 実験パターン

実験名	暖房方式	パネル・室温設定値	備考
PA-35	放射 パネル	パネル目標温度 35℃	2011/12/14, 9:00~18:00
PA-40		パネル目標温度 40℃	2011/12/19, 9:00~18:00
PA-45		パネル目標温度 45℃	2011/12/15, 9:00~18:00
PA-50		パネル目標温度 50℃	2011/12/16, 9:00~18:00
AC-20	エアコン	室温設定値 20℃	2011/11/25, 9:00~18:00
AC-22		室温設定値 22℃	2011/11/28, 9:00~18:00
AC-24		室温設定値 24℃	2011/11/29, 9:00~18:00
AC-26		室温設定値 26℃	2011/11/30, 9:00~18:00

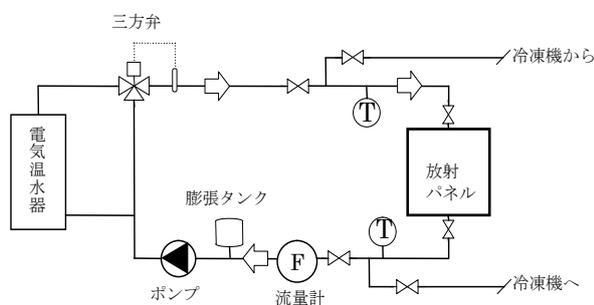


図 3 放射冷暖房実験室の暖房システム系統図

このケースでは、PA-40の目標温度を40℃としたが、パネル表面温度の日平均値(実験時間帯)は41.1℃となった。AC-22では、設定室温を22℃としたが、室温の日平均値は22.5℃となった。

室内のPMV(2台のPMV計の平均値)を図4に示す。図4から、AC-22のPMVは、9時から13時までPA-40より若干高いが、13時以降はPA-40とほぼ同じであることがわかる。PMVの日平均値は、PA-40の場合-0.52, AC-22の場合-0.42, 体感上大差がないと考えられる。

PA-40とAC-22の投入熱量を図5に示す。PA-40

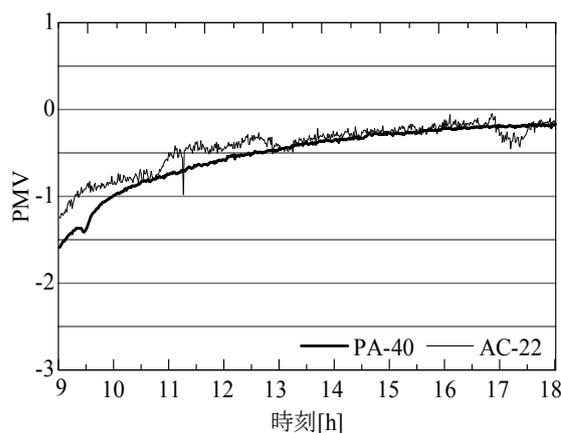


図 4 壁放射暖房時とエアコン暖房時のPMV

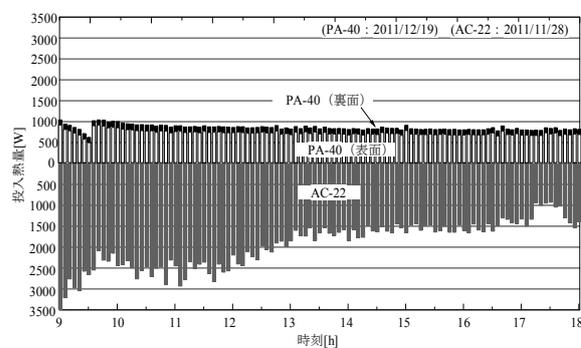


図 5 壁放射暖房とエアコン暖房の投入熱量

の場合、投入熱量は、9:00に約1,000W程度で、9:30ごろに一時500Wまで下がったが、その後、ほぼ1,000W~700Wで推移している。投入熱量の日平均値は約862Wである。AC-22の場合、投入熱量は、9:00に3,600Wを上回っており、その後徐々に低下していくが、900Wを下回ることがなかった。投入熱量の日平均値は、約1,942Wで、PA-40より2倍以上大きかった。

一定の快適性が維持されたときの暖房投入熱量は、暖房方式のみでなく、実験室外の気象条件にも影響される。今回のPA-40とAC-22の室外気象条件は図6と図7に示す。図6と図7より、PA-40の周辺気温が5℃~10℃の範囲内で推移しているのに対し、AC-22の場合は、周辺気温が12℃~14℃の範囲内で変動していることがわかる。これにより、PA-40とAC-22の実験室周辺気温が同じの場合、PA-40とAC-22の投入熱量の差はもっと大きくなると推測できる。

3.2 Case2 (PA-45×AC-26) について

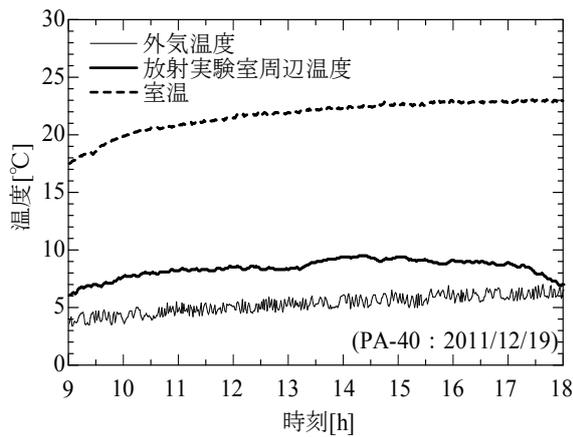


図6 壁放射暖房時の気象条件 (PA-40)

PA-45 では、パネルの目標温度を 45°C としたが、パネル表面温度の日平均値は 45.6°C となった。AC-26 では、設定室温を 26°C としたが、室温の日平均値は 25.2°C となった。

AC-26 の PMV は、全体的に PA-45 より若干高い (図 8)。PMV の日平均値は、PA-45 の場合 0.20、AC-26 の場合 0.36、体感上大差がないと考えられる。

PA-45 と AC-26 の投入熱量を図 9 に示す。PA-45 の投入熱量は、実験開始から終了までほぼ 1,000W 程度に安定しているが、AC-26 の場合は、投入熱量が 1,000W~3,000W と大きく変動している。投入熱量の日平均値は、PA-45 では 1,004W で、AC-26 では 1,754W である。AC-26 の投入熱量は、PA-45 より 70%以上大きかった。

今回は、壁放射暖房実験 PA-45 とエアコン暖房実験 AC-26 の間に約 2 週間空いていた。PA-45 の実験室周辺気温が 9°C~12°C の範囲内で推移しているのに対し、AC-26 の場合は、周辺気温が 13°C~16°C の範囲内で変動している (図 10, 図 11)。これにより、PA-45 と AC-26 の実験室周辺気温が同じの場合、PA-45 と AC-26 の投入熱量の差がさらに大きくなると推測できる。

3.3 Case3 (PA-50×AC-26) について

壁パネル表面温度を 50°C (日平均温度 51.0°C) とした PA-50 の PMV を図 12 に示す。実験開始 1 時間後 (10:00) から、AC-26 より PA-50 の方は PMV が大きくなっている。PMV の日平均値は、AC-26 の 0.36 に対し、PA-50 の場合は 0.54 に達している。

両者の投入熱量を図 13 に示す。室内の PMV は PA-50 の方が高いが、投入熱量は PA-50 の方が低い。

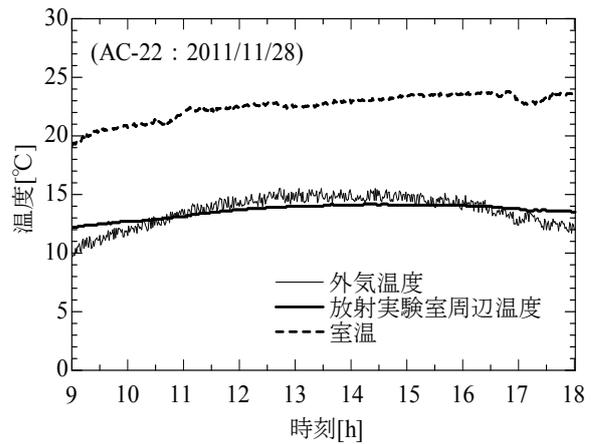


図7 エアコン暖房時の気象条件 (AC-22)

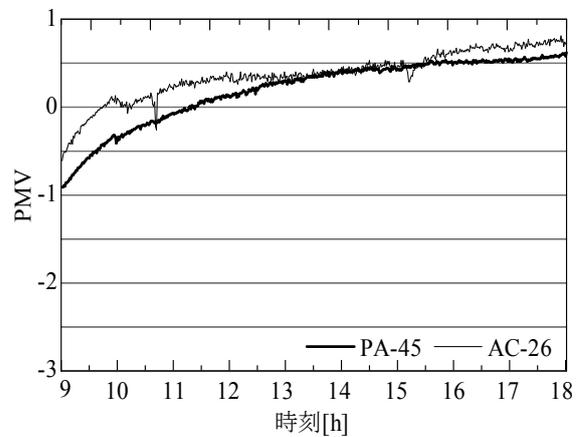


図8 壁放射暖房時とエアコン暖房時の PMV

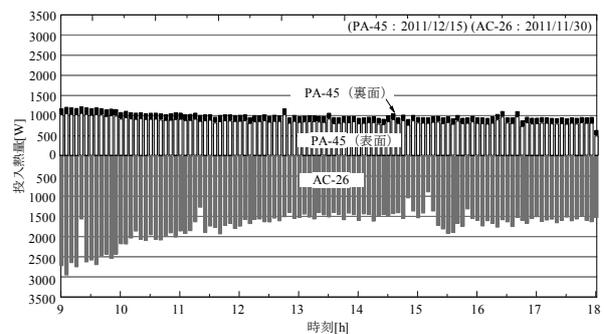


図9 壁放射暖房とエアコン暖房の投入熱量

PA-50 の投入熱量を一日平均すると約 1,246W であるのに対し、AC-26 のそれは 1,754W に達し、PA-50 より約 40%大きい。

PA-50 の実験室周辺気温 (図 14) が 9°C~6°C の範囲内で推移しているのに対し、AC-26 の場合 (図 11) は、周辺気温が 13°C~16°C の範囲内で変動している。これにより、PA-50 と AC-26 の実験室周辺

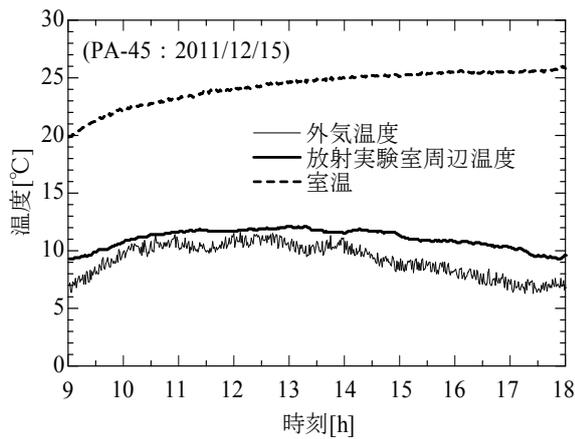


図 10 壁放射暖房時の気象条件 (PA-45)

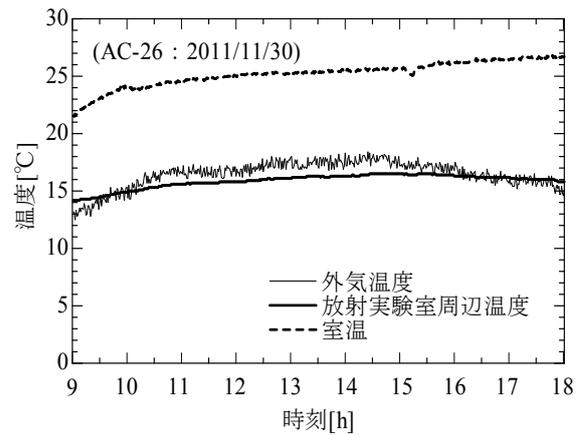


図 11 エアコン暖房時の気象条件 (AC-26)

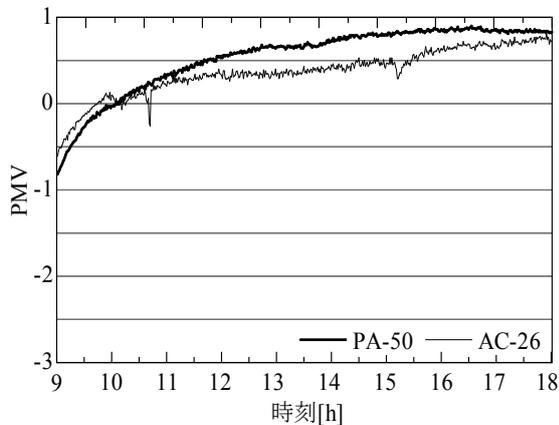


図 12 壁放射暖房時とエアコン暖房時の PMV

気温が同じの場合、PA-50 と AC-26 の投入熱量の差がさらに大きくなると推測できる。

4. おわりに

壁放射暖房の省エネルギー性を検証するため、本文では、壁放射暖房実験およびエアコン暖房実験を行い、実験室内の快適性が同等に保たれた場合において、それぞれの暖房方式の投入熱量を測定し以下の知見を得た。

- 1)放射パネルから 2.0~2.5m 離れている場所での快適性 (PMV) を同等に維持するための投入熱量は、エアコン暖房より壁放射暖房の方が少ない。
- 2)本文でいう「投入熱量」は、対流・放射の形で室内へ放出する熱量のことであり、この投入熱量を作り出す、または搬送するために消費するエネルギー（たとえば、エアコンやポンプの電力消費量等）を含まない。空調システム全体のエネルギー消費量についての検討は今後の課題とする。

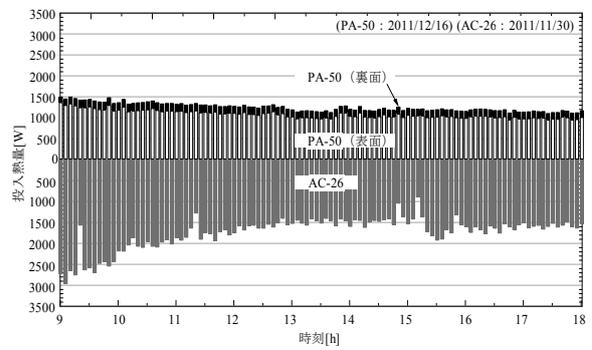


図 13 壁放射暖房とエアコン暖房の投入熱量

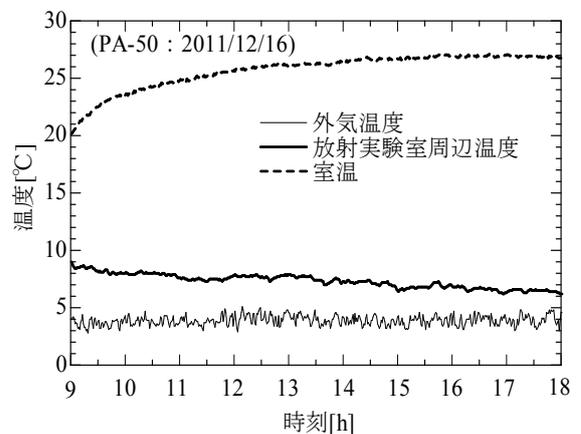


図 14 壁放射暖房時の気象条件 (PA-50)

参考文献

- (1)長谷健, 崔軍, 恩庄亜美, 加藤聡, 山下幸恵, “壁放射冷暖房システムを利用した室内の温熱環境に関する研究 その5 冷房時の投入熱量について”, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第35巻, pp.401-404 (CD-ROM), 2012.3