長期実測による太陽熱利用天井放射暖房システムの評価 ASSESSMENT OF CEILING RADIATION HEATING SYSTEM USING SOLAR HEAT BASED ON LONG-TERM MEASUREMENT

瀬 沼 央^{*1}, 武 田 仁^{*2}
Hiroshi SENUMA and Hitoshi TAKEDA

The ceiling radiation heating system having solar power as a heat source and joint system of air conditioning and floor heating were installed in a highly airtight and adiabatic house. In this report, data obtained from the long-term measurement were analyzed, and comfortableness and energy-saving depending on operating methods (use of air conditioning alone, joint use of air conditioning, panels and floor heating, and use of panels alone) under the same outside air conditions were studied with such figures as COP, PMV and SET^{*}. In addition, it was examined what impact ceiling radiation panels had on indoor thermal environments before and after panels were in operation. The reliance on electric and natural energy was also investigated in order to find how effective the use of solar power was. It has been found that the use of panels alone made the distribution of vertical temperature more uniform than the joint use of panels and air conditioning and that the intermittent use of both panels and air conditioning saved energy and kept indoor environments comfortable. The outcome that the reliance on natural energy stood at between 20 and 40 percent has shown that the use of solar power was effective. It has been discovered that the ceiling radiation system using solar power was more effective than the conventional heating system in terms of energy-saving and comfortableness.

Keywords : Radiant Heating, Solar heat, Comfortableness, COP, Long-Term Survey

放射暖房, 太陽熱, 快適性, COP, 長期実測

1. はじめに

現在、住宅において行われている暖房方式は、電気によるエアコン暖房、灯油・ガスによる温風暖房など空気を暖める方式が主流である。一方、住宅を中心に普及している床暖房システムなど放射暖房システムの採用が増加している。筆者らは放射暖房は省エネルギーと快適性から有用と考え、太陽熱利用天井放射暖房に注目した。

筆者らはこれまでに文献^{1), 2), 3)}において、天井放射暖房システムとファンコイルユニットの併用運転、ファンコイルユニットのみ運転（暖房）および天井放射のみ運転（暖房）の実験室実験の結果報告を行っている。さらに、宮永ら^{4) 5)}による理論解析に関する報告、李ら⁶⁾、咸ら⁷⁾による太陽熱を利用した放射床暖房に関する報告、武田ら⁸⁾による井水を利用した天井放射冷暖房に関する報告がある。天井放射暖房は、実験室レベルでは室内垂直温度分布が均一になり、床表面温度が天井放射の影響で上昇する等の快適性向上と省エネルギー性が確認されている。

本報告においては、熱源に太陽熱を利用した天井放射暖房とエアコン・床暖房の併用システムを高気密高断熱の住宅に導入し、長期の実測データを解析し、ほぼ等しい外気条件下における運転方法の違いによる快適性と省エネルギー性をCOP、PMV、SET^{*9)}等の数値により比較する。さらに、天井放射パネルの室内温熱環境に及ぼす影響をパネル運転前後で確認する。また、電気エネルギーと自然エネルギーの依存度を求めて、太陽熱利用の有効性を検証し、有効利用するための運転方法を検討する。尚、天井パネルを第一と考え、床暖房は経済性を無視し、計測し易い電気式を選定した。

2. 実験住宅

実験住宅は、千葉県柏市の敷地面積 363.4 m² に建つ木造在来工法の延床面積 162.3 m² で、冷暖房負荷を低減するために、高断熱高気密（外壁：グラスウール 100mm、屋根：ポリスチレン 150mm、床：ポリスチレン 140mm、開口部：複層ガラス）となっている（図 1）。

図 1 実験住宅 1 階平面図（単位：mm）

^{*1} 東京理科大学理工学研究科建築学専攻 博士後期課程

^{*2} 東京理科大学理工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, Dr. Eng.

3. 天井放射暖房システム

3.1 太陽熱利用システム

図2に天井放射暖房システム系統図⁸⁾を示す。2階屋根上に設置された太陽熱集熱器（平板型、1重ガラス、選択吸収膜、集熱面積2.01 m²）を10枚設置し、蓄熱槽（550ℓ）に水を循環させることにより、集熱・蓄熱する。その時、蓄熱槽内下部水温と太陽熱集熱器の出口水温の温度差を感知し、循環ポンプ（P3）がON-OFFする様になっている。天井放射パネルに温水を供給する時は、蓄熱槽の温水から熱交換器を介して天井放射パネル系統の循環水に熱を供給している。その時、天井放射パネルへの送水温度を一定に保つために送水温度コントローラにより蓄熱槽系統の2方弁を流量制御している。

図2 天井放射暖房システム系統図

3.2 天井放射パネル¹⁾²⁾

図3に天井放射パネルの断面図を、図4に伏図を示す。本体はアルミの押し出し成型板（227W×2,700L）で、100mm間隔でU字型の溝があり、外径8mmの架橋ポリエチレン管をその溝に埋め込み、アルミとの熱伝導性を増すために特殊キャップ（樹脂製）で押えている。パネル裏面には加工した断熱材ポリスチレンがはめ込まれている。また設置後、その上にグラスウール50mmを置いて断熱している。

図3 天井放射パネル断面図

図4 天井放射パネル伏図

各々の放射パネルの架橋ポリエチレン管は、行きと還りのヘッダーに並列に接続されている。

4. 計測システム

4.1 測定項目

各測定ポイントのデータは、3秒間隔2分間平均値をデータロガー（アドバンテスト R7430）を介してパソコン（NEC PC-VA80）により光ディスク（MO）に長期間連続収録した。

エアコンの風量計測は、エアコンのレターン口に合板でフードを製作し、接続部から空気が漏れないように取り付けて行った。ファンがインバータ制御で動いているため、キャリブレーションした風速計のプロープにより計測し、計測値を平均した数値と開口面積の積により風量を求めた。尚、風速は事前に多点計測を行い、平均風速を示す代表点1点を選定し、プロープを設置した。

また、吸込み、吹出し空気温度は熱電対にて吸込み3点、吹出し3点を計測し、それぞれの平均値を空気温度とした。吸込み、吹出し相対湿度は高分子抵抗式湿度計により吸込み、吹出しのそれぞれ1点を計測し、Goff-Gratchの式で重量絶対湿度に変換した（図5）。表1に測定項目、測定機器名と型番、精度と測定点数を示す。

図5 エアコン周りの測定点とエアコンの仕様

表1 測定項目と概要

測定項目	測定機器名と型番	精度	点数
温度	熱電対 (T-CC 熱電対)	±0.1℃	45点 (6)
放射温度	放射温度計 (MINOLTA : 温度計 505)	±2℃	1点
湿度	高分子抵抗式湿度計 (SHINYEI : THT-B110)	±3%	4台 (2)
風速	風速計 (フネマスター風速計 : 6071)	±0.1m/s	2台 (1)
水平面全天日射量	日射計 (材日射計 : MS-42)	±0.3%	1台
流量	流量計 (ローリック流量センサ : ND20)	±2%	3台
電力	トランスデューサ (YOKOGAWA : MODEL2285)	±0.25%	4台 (1)

注) 点数の括弧内の数字は、表示点数中のエアコン廻りの測定点数を示す。

4.2 計算項目と計算方法

エアコン空気廻り加熱熱量、パネル水廻り加熱熱量、エアコン COP およびパネル COP を下記計算方法にて求める。

(1) エアコン空気廻り加熱熱量 Q_T [W]

加熱熱量 Q_T = 顕熱加熱熱量 Q_S

$$Q_S = C_p \times \rho \times V \times \Delta t \quad \dots\dots (1)$$
$$= 1005 \times 1.2 \times V \times (t_2 - t_1)$$

C_p : 乾き空気の定圧比熱 (≒1005[J/kg・K])
 ρ : 空気の密度 (≒1.2[kg/m³])
 V : 風量[m³/s]
 t_1 : 吸込み空気温度[K]
 t_2 : 吹出し空気温度[K]

(2) パネル水廻り加熱熱量 Q_p [W]

$$Q_p = C_w \times R \times \Delta t \dots\dots (2)$$
$$= 4.186 \times 10^3 \times R \times (t_4 - t_3)$$

C_w : 水の比熱 (≒4.186×10³[J/kg・K])
 R : パネルの循環流量[kg/s]
 t_3 : パネルの還水温度[K]
 t_4 : パネルの送水温度[K]

(3) COP (成績係数)

エアコン COP=エアコン加熱熱量[W]／エアコン消費電力[W] …… (3)
パネル COP=パネル加熱熱量[W]／(集熱+循環ポンプ消費電力) [W] … (4)

5. 天井放射暖房とエアコン、床暖房の組合せ運転

5.1 実験概要

2004 年 12 月 1 日から 2005 年 2 月 28 日、2005 年 12 月 1 日から 2006 年 2 月 28 日の暖房期間において、天井放射パネル（送水温度 35～40℃、以下パネルと呼ぶ）、床暖房（6.6 m² 電気ヒーター1, 200W）およびエアコン（暖房）運転を連続して行なった。それぞれの制御は独立している。エアコンは、居住者（夫婦）の意思で運転を行ない、居間を使用しない時間（深夜及び外出時など）は、照明やテレビ等の家電製品の電源を OFF とした。いずれも電力使用状況は、トランスデューサを介しデータロガーに収録した。なお、隣室および 2 階は非空調とした。2004 年度の各運転状況を図 6 に、2005 年度を図 7 に示す。また、各運転方式の設定温度と制御方法を表 2 に示す。

表 2 各運転方法の期間別設定温度と制御方法（括弧内は制御方式）

期 間		2004 年度	2005 年度		
		12/1～2/28	12/1～28	1/1～2/4	2/11～28
設定温度 (℃)	エアコン暖房 (室温 パネル)	22	21	21	21
	床暖房 (室温 ON-OFF)	22	23	22	22
	パネル暖房 (室温 ON-OFF)	22	22	22	23

図 6 エアコン、床暖房とパネルの運転状況（上から 2004/12/1～31、2005/1/1～31、2/1～28）上段：パネル 中段：床暖房 下段：エアコン

図 7 エアコン、床暖房とパネルの運転状況（上から 2005/12/1～31、2006/1/1～31、2/1～28）上段：パネル 中段：床暖房 下段：エアコン

5.2 短期実測結果

(1) ほぼ等しい外気条件下における各運転パターンの比較

各方式の比較のために、外気温度と日射量の日変化が比較的類似した近接する 3 日間を選定した。

図 8～10 に 2006 年 2 月 22、23、25 日の外気温度と水平面全日射量の 24 時間の日変化を示す。

図 8 外気温度と水平面全日射量の日変化

図 9 外気温度と水平面全日射量の日変化

図 10 外気温度と水平面全日射量の日変化

3 日間の外気温度と水平面全日射量がほぼ等しいため、外気負荷条件が等しい日と考え、それぞれ同時時間帯（21:00～22:00）に 2 月 22 日が床暖房＋エアコン運転、2 月 23 日がパネル＋床暖房＋エアコン運転、2 月 25 日がパネルのみ運転が行なわれているので、それぞれの加熱熱量、電力量、COP、室内湿湿度、PMV、SET* 等を求め、性質の違う各暖房方式がエネルギー消費と効率や室内環境に与える影響について比較検討を行う。尚、2/25 は 2 シーズン中最も選定条件に合うが、外気温度が他の 2 日より 3℃程度高い。

i) 加熱熱量

図 11～13 に 2 月 22、23、25 日の加熱熱量の日変化を示す。

図 11 加熱熱量の日変化 (床暖房+エアコン運転 21:00～22:00)

図 12 加熱熱量の日変化 (パネル+床暖房+エアコン運転 21:00～22:00)

図 13 加熱熱量の日変化 (パネルのみ運転 21:00～22:00)

図 14 加熱量の時刻変化 (パネル+床暖房+エアコン運転、21:00～22:00)

2 月 22、23、25 日の 21 時から 22 時の運転状態が、それぞれ床暖房+エアコン運転、パネル+床暖房+エアコン運転、パネルのみ運転であるので、それを同外気条件下での比較対象データとして解析する。

図 14 に 2 月 23 日の 21 時から 22 時の加熱熱量の時刻変化の詳細を示す。エアコン暖房、パネル暖房、床暖房が同時に行われているのが分かる。

ii) 電力量

図 15～17 に 2 月 22、23、25 日の電力量の日変化を示す。

図 15 電力量の日変化 (2006/2/22 の床暖房+エアコン運転)

図 16 電力量の日変化 (2006/2/23 のパネル+床暖房+エアコン運転)

図 17 電力量の日変化 (2006/2/25 のパネルのみ運転)

パネルは循環ポンプ(図 2 中の P2+P3+P4)の電力量が 24 時間低い値で推移している。エアコンは圧縮機の ON-OFF により電力量が発生している。床は発熱抵抗体への電流の ON-OFF により電力量が発生している。パネルの電力量だけが i) の加熱熱量と比例していない。

iii) 室内温度

図 18 に 2 月 22、23、25 日の室内温度の日変化を示す。

図 18 室内温度の日変化 (2006/2/22、23、25)

2 月 22、23 日の 21～22 時の床暖房+エアコン暖房とパネル+床暖房+エアコン暖房は室温が 26℃と高く、2 月 25 日のパネルのみ運転は室温が 22～23℃と低くなっている。これは、外気温度が 2～3℃程度低いと思われる (図 8～10 参照)。

iv) 室内相対湿度

図 19 に 2 月 22、23、25 日の室内相対湿度の日変化を示す。

図 19 室内相対湿度の日変化 (2006/2/22、23、24)

21～22 時の相対湿度は、2 月 23 日のパネル+床暖房+エアコン暖房が 25%程度と最も低くなっている。

v) PMV

図 20 に 2 月 22、23、25 日の室内の PMV の日変化を示す。2/25 が 21:00～22:00 で最も低いのは、外気温の影響と思われる。

図 20 PMV の日変化 (2006/2/22、23、25) (clo 値 : 1.0、met 値 : 1.0)

加熱量の無い 2 月 22 日の 0～6 時、14～19 時、2 月 23 日の 9～21 時、2 月 25 日の 0～5 時、13～18 時が低い値を示している。

vi) 垂直温度分布

床暖房+エアコン (2006 年 2 月 22 日)、パネル+床暖房+エアコン (2006 年 2 月 23 日)、パネルのみ (2006 年 2 月 25 日) 運転時の室内垂直温度分布を図 21 に示す。

図 21 室内垂直温度分布

(2) 天井パネルへの通水前後の状況 (2 月 22 日 18:00～24:00)

図 22 に 2 月 22 日の 18:00～24:00 の運転状況を示す。19 時過ぎに床暖房とエアコンがほぼ同時に稼動し、併用運転をしている。21:58 頃エアコンが能力を下げはじめ、22:26 頃天井パネルが稼動をし、23:42 頃までエアコン、床暖房、天井パネルの併用運転が行われた。

図 22 エアコン、床暖房、パネルの加熱熱量の時刻変化

図 23 室温・グローブ温度・天井表面温度・相対湿度の時刻変化

図 23 に室温、グローブ温度、天井表面温度、相対湿度の時刻変化を示す。20℃程度であった室温が、エアコン+床暖房により 23℃程度まで上昇した。また、グローブ温度も室温+2℃程度に上昇した。相対湿度は、室温の上昇に伴い下っている。

さらに、22:26 頃天井パネルが稼動するとパネル表面温度が急激に上昇し、それに伴いグローブ温度も上昇している。エアコン+床の時のグローブ温度は室温+2℃であったが、天井放射の影響で室温+4℃程度に差が大きくなっている。

図 24 SET* の時刻変化 (clo 値 : 1.0、met 値 : 1.0)

SET* 値の時刻変化を図 24 に示す。SET* 値が 23℃であったものがエアコン+床の稼動により 26℃となり、エアコン+床+パネルの稼動で 28℃まで上昇している。

5.3 長期実測結果

2004 年 12 月 1 日～2005 年 2 月 28 日 (以下 2004 年度とする) と 2005 年 12 月 1 日～2006 年 2 月 28 日 (以下 2005 年度とする) の冬期 2 シーズンのデータから下記の内容の解析を行った。

- ① 太陽熱集熱量の長期変化。
図 25 に 2004 年度、図 31 に 2005 年度のグラフを示す。
- ② 天井パネル、床暖房、エアコンの加熱量の長期変化。
図 26 に 2004 年度、図 32 に 2005 年度のグラフを示す。
- ③ 天井パネル、床暖房、エアコンの暖房寄与率の長期変化。
図 27 に 2004 年度、図 33 に 2005 年度のグラフを示す。
- ④ 太陽熱集熱量と放熱量 (天井パネル) の長期変化。
図 28 に 2004 年度、図 34 に 2005 年度のグラフを示す。
- ⑤ 室内側放熱量をエアコン放熱量と放射暖房放熱量 (天井パネル+床暖房) に分け、放射を全て太陽熱でまかになった場合の太陽熱集熱量と放射暖房放熱量の割合の長期変化。
図 29 に 2004 年度、図 35 に 2005 年度のグラフを示す。
- ⑥ エアコン+床暖房の加熱量を電気エネルギー依存熱量、パネルの加熱量を自然エネルギー依存熱量とし、合計を 100%とした時のそれぞれの割合の長期変化。
図 30 に 2004 年度、図 36 に 2005 年度のグラフを示す。

(1) 2004/12/1～2005/2/28 の測定結果

図 25 太陽熱集熱量の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28)

図 26 床暖房、天井パネル、エアコンの加熱量の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28)

図 27 エアコン、床暖房、天井パネルの暖房寄与率の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28)

図 28 集熱量と放熱量 (天井パネル) の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28)

図 29 集熱量と放熱量 (天井パネル+床暖房) の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28)

図 30 電気エネルギー依存熱量と自然エネルギー依存熱量の比率の長期変化 (2004/12/1～2005/2/28) (12月12日、1月2日、2月21～23日は欠測)

(2) 2005/12/1～2006/2/28 の測定結果

図 31 太陽熱集熱量の長期変化 (2005/12/1～2006/2/28)

図 32 床暖房、天井パネル、エアコンの加熱量の長期変化 (2005/12/1～2006/2/28)

図 33 エアコン、床暖房、天井パネルの暖房寄与率の長期変化 (2005/12/1～2006/2/28)

図 34 集熱量と放熱量（天井パネル）の長期変化（2005/12/1～2006/2/28）

図 35 集熱量と放熱量（天井パネル+床暖房）の長期変化（2005/12/1～2006/2/28）

図 36 電気エネルギー依存熱量と自然エネルギー依存熱量の比率の長期変化（2005/12/1～2006/2/28）（12月4～11日、29～31日、2月4～11日は欠測）

6. 考察

6.1 短期計測結果

床暖房+エアコン、パネル+床暖房+エアコン、パネルのみ運転の3パターンにおける加熱熱量、電力量、COP、室内温湿度、グローブ温度、グローブ温度－室温、PMVの比較を表3に示す。気流は、いずれも0.1m/sec以下であり、気流によるPMV・SET*への影響はない。

表 3 各運転パターンの比較（21:00～22:00の平均値）

		床暖房 +エアコン	パネル +床暖房 +エアコン	パネル のみ
加熱熱量 (Wh)	パネル	—	2,087	1,365
	床	1,167	849	—
	エアコン	1,887	1,922	—
	合計	3,054	4,858	1,365
電力量 (Wh)	パネル	—	125	126
	床	1,167	849	—
	エアコン	1,122	1,229	—
	合計	2,289	2,203	126
COP	パネル	—	16.1	10.8
	床	1.0	1.0	—
	エアコン	1.7	1.6	—
室温 (℃)		23.1	22.0	21.2
相対湿度 (%)		28.7	25.3	27.5
グローブ温度 (℃)		25.6	26.6	24.0
PMV		0.14	0.08	-0.35

(clo 値:1.0 met 値:1.0)

(1) 加熱熱量に関しては、パネル+床暖房+エアコン運転の加熱熱量合計が4,858Whと最も大きいのは、8:00頃から20:40頃まで床暖房が2時間程度稼動しただけで、パネルとエアコンは停止状態であったため、暖房立ち上がり時に大きい加熱熱量になったと考えられる。また、パネル加熱量がパネルのみの時に1,365Whと小さいのは、14:15頃から床暖房が稼動し、さらに17:30頃からパネルも稼動していたため、室内設定温度を一定に保つための加熱熱量が減少したものと考えられる（図12、13参照）。

(2) 加熱熱量と電力量から求めたCOPに関して、床暖房+エアコン運転時は床暖房が1.0、エアコンが1.7、パネル+床暖房+エアコン運転時もそれぞれ1.0と1.6であり、運転パターンによって大きな違いはない。パネルのCOPは、パネル+床暖房+エアコン運転時が16.1、パネルのみ運転時が10.8と高い値となっているが、電力量が常に一定であるため、負荷の大きな時の方がCOPが大きくなることが分かる。

(3) 相対湿度に関しては、25～29%と運転パターンの違いによる差は認められない。

(4) PMVに関しては、床暖房+エアコン運転が0.14、パネル+床暖房+エアコン運転が0.08、パネルのみ運転が-0.35と何れも快適範囲に入っている。床暖房+エアコン運転とパネル+床暖房+エアコン運転を比較すると、室温が23.1℃と22.0℃で床暖房+エアコン運転が高いが、グローブ温度は25.6℃と26.6℃で床暖房+エアコン運転が低くなっている。そこで、表4に示す様に床暖房+エアコンの室温、相対湿度、グローブ温度はそのままとし、パネル+床暖房+エアコン運転の室温はそのまま、相対湿度とグローブ温度を床暖房+エアコン運転のそれと同じにした場合のパネル+床暖房+エアコン運転のPMVを算出すると-0.03となる。これにより、PMVが0.08を得られたことは、床暖房+パネルの放射の影響が現れているものと考えられる。また、パネルのみの場合はPMVが-0.35であるが、同じ21.2℃の室温でパネル放射の影響がないグローブ温度を21.2℃にした場合、PMVは-0.68となり、快適範囲から寒い方に移行する。したがって、室温21.2℃であってもパネル放射の影響で快適範囲に保たれていることが分かる。

表 4 PMVの予測値による比較

	床暖房 +エアコン	パネル+床暖房+ エアコン	パネルのみ
室温 (℃)	23.1	22.0	21.2
相対湿度 (%)	28.7	(28.7)	27.5
グローブ温度 (℃)	25.6	(25.6)	(21.2)
PMV	0.14	(-0.03)	(-0.68)

(clo 値:1.0 met 値:1.0)

(5) 垂直温度分布に関しては、過去の実験室での計測データ³⁾と同様にエアコンが併用で稼動している時は温かい軽い空気が上昇し、上下の温度差が大きくなるが、パネルのみ運転の場合は上下温度差が小さくなり、床上 500mm の点で約 2℃の差があり、床上 2,000mm の点では約 4℃の差になっている (図 21 参照)。

6.2 長期計測結果

2004 年 12 月 1 日～2005 年 2 月 28 日の太陽熱集熱量の長期変化のグラフによると、集熱量は 4,000～6,000 (W) (200～300W/㎡) の瞬時値を示している(図 25 参照)。室内暖房負荷に対してエアコン、床暖房、天井パネルにより熱が供給されているが、それぞれの加熱量と寄与率から約 70%をエアコンが、残りの約 30%を放射暖房である床暖房と天井パネルが受け持っていることが分かる(図 27 参照)。

2005 年 12 月 1 日～2006 年 2 月 28 日の太陽熱集熱量の長期変化のグラフによると、集熱量は前年より多少多いが 4,000～6,000 (W) の瞬時値を示している(図 31 参照)。エアコン、床暖房、天井パネルの寄与率は、12 月 1～28 日ではエアコン暖房が 0～50%、放射暖房(床暖房+天井パネル)が 46～100%、1 月 1 日～2 月 4 日ではそれぞれ 18～78%、22～82%、2 月 11～28 日ではそれぞれ 20～77%、23～80%を示しており、期間により違いがある(図 33 参照)。さらに、自然エネルギー依存率は 2004 年度が平均約 2.9%であったが、2005 年度は平均約 23%に増加している。これは、エアコンの設定温度をパネルの設定温度よりも下げたためと考えられ(図 30、36 参照)、エアコンが設定温度に達し停止してもパネルは稼動するためである。

表 5 に 2004 年度と 2005 年度のエアコン暖房と放射暖房(床暖房+パネル暖房)の寄与率および自然エネルギー依存率とその時のエアコン暖房、床暖房、パネル暖房の設定温度を示す。各暖房方式の設定温度の違いが寄与率に大きく影響している。

表 5 寄与率と設定温度

期 間		2004 年度	2005 年度			
		12/1～2/28	12/1～28	1/1～2/4	2/11～28	
エアコン寄与率 (%)		32～84 (70)	0～54 (20)	18～78 (60)	20～77 (52)	
放射暖房寄与率 (%)		16～68 (30)	46～100 (80)	22～82 (40)	23～80 (48)	
自然エネルギー依存率 (%)		(2.9)	(22.9)	(13.9)	(23.0)	
設定温度 (℃)	エアコン暖房	22	21	21	21	
	床暖房	22	23	22	22	
	パネル暖房	22	22	22	23	

注) 括弧内の数字は平均値を示す。

7. まとめ

エアコン+床暖房と天井放射暖房併用の実物件導入時の運転状況の検証と自然エネルギーの有効性の検証を長期計測データの解析により行った。

床暖房+エアコン運転、パネル+床暖房+エアコン運転、パネルのみ運転時の COP、PMV、SET*をほぼ等しい外気条件下で加熱熱量、電力量、気温、湿度、気流、放射熱から求め比較した。短期データによると、エアコン、床暖房及びパネル暖房では COP が大きく異なり、1.7、1.0 及び 10～16 の数値を示している。パネ

ル暖房の COP が大きいのは、熱量の製造を自然エネルギーに依存していることと、電気エネルギーに依存しているのは、太陽熱集熱システムとパネル循環システムのポンプのみであることによる。このことは、室内の負荷状況によりパネルからの放熱量が増減するが、ポンプ動力が変化しないため、負荷の大きい時は COP が大きくなり、負荷の小さい時は COP が小さくなる特異な状況を作っている。

快適性に関しては、空気を直接加熱するエアコン暖房により室内上部 (F.L+1,500 以上) の空気温度が上昇し垂直温度分布が不均一になること及びグローブ温度の指示値に天井パネル暖房の放射の影響が顕著に現れ、低い室内空気温度で暖かく感じられることを考えると、エアコン暖房主体よりも放射暖房主体にした方が快適性が増すと考えられる。

冬期 2 シーズンの長期データから太陽集熱量、各暖房方式での寄与率と太陽熱依存率を求め、各設定温度を変化させた時の運転状況と照らし合わせた。その結果、エアコンの設定温度を 21℃程度、床暖房を 22℃程度、パネルを 23℃程度にすることが望ましいことが分かった。表 5 から自然エネルギー依存率は平均で 23%であり、制御の方法や状態により、さらに依存率が高くなることも考えられる。

各暖房方式の CO₂ 排出量 (kgCO₂/月) を図 37 に示す。これにより、CO₂ 排出量が最大の方式は電気式床暖房で、最小は天井パネル+エアコン方式である。環境保護から天井パネル+エアコンが望まれる。

図 37 各暖房方式による CO₂ 排出量
注: CO₂ 排出量の換算係数は、環境省温室効果ガス CO₂ 排出係数表から 0.391 [kgCO₂/kWh] を採用

参考文献

1) 世良伸彦, 武田仁, 瀬沼央: 天井輻射冷暖房システムの開発 (その 4 水熱媒暖房システムの構築と従来システムとの比較), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), D 分冊, pp. 1691～1692, 1993. 9
2) 片柳真介, 武田仁, 瀬沼央, 濱野卓哉: 天井輻射冷暖房システムの開発 (その 13 天井輻射暖房実験および室内温熱環境数値解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), D-2 分冊, pp. 843～844, 1996. 9
3) 瀬沼央, 武田仁: 放射冷暖房システムに関する研究 (第 1 報—水熱媒冷暖房システムの構築と従来システムとの比較), 空気調和・衛生工学会論文集, No. 73, pp. 57～63, 1999. 4
4) 宮永俊之, 中野幸夫: 放射冷房による居住熱環境の改善に関する研究 (第 1 報—遮へいを考慮した形態係数の高精度計算法と熱環境解析への応用), 日本建築学会計画系論文集, 第 518 号, pp. 37～44, 1999. 4
5) 宮永俊之, 占部亘, 中野幸夫, 梅干野晃: 放射冷房による居住熱環境の改善に関する研究 (第 2 報—熱放射環境評価のための居室者の簡易型モデル), 日本建築学会計画系論文集, 第 526 号, pp. 51～58, 1999. 12
6) 李小平, 奥宮正哉: 太陽熱利用床暖房システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 539 号, pp. 29～36, 2001. 1
7) 威哲俊, 須永修通, 堀祐治: 水蓄放熱床をもつ太陽熱床暖房システムに関する実験研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 572 号, pp. 39～45, 2003. 10
8) 武田仁, 山本末生: 井戸水利用天井放射冷暖房の有効性と被験者実験による快適性の評価, 日本建築学会計画系論文集, 第 550 号, pp. 31～37, 2001. 12
9) 深井一夫: 標準新有効温度 (SET*) における放射, 湿度, 気流, 着衣の影響の温度換算, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 465 号, pp. 19～26, 1994. 11

(2007年10月10日原稿受理, 2008年2月14日採用決定)