

蓄熱床冷暖房システムに関する研究

南, 在成

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

谷口, 和信

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻 : 鹿島建設 (株)

龍, 有二

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

渡辺, 俊行

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

<https://doi.org/10.15017/17273>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 14 (2), pp.225-235, 1992-09-01. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

蓄熱床冷暖房システムに関する研究

南 在 成* ・ 谷 口 和 信**
龍 有 二*** ・ 渡 辺 俊 行***
(平成4年5月29日 受理)

Study on Floor Heating and Cooling Systems with Thermal Storage

Jae seong NAM*, Kazunobu TANIGUCHI**
Yuji RYU*** and Toshiyuki WATANABE***

The purpose of this paper is to consider the availability and problems of floor heating and cooling systems. We measured thermal performance of an experimental house with floor heating and cooling systems and carried out some simulations to clarify the effects of various factors on thermal environment and energy consumption.

As a result of the experiments, we note that the air temperatures in the rooms with floor heating and cooling systems are stable all day through and are distributed uniformly throughout each room. When the slab surface temperature is lower than the indoor dew-point temperature in summer, condensation on the floor surface may occur.

As a result of the simulations, we note that the ratio of PMV (Predicted Mean Vote) from -0.5 to $+0.5$ is mainly effected by building construction, heating or cooling operating time, type of 2nd floor, and window specification. Particularly, an insulated sliding door is effective not only to the indoor environment but also for the supply/extract heat rate.

1. はじめに

現在、床暖房あるいは蓄熱床暖房に関する研究は数多く行われているが、その目的は2つに大別される。すなわち、省エネルギーおよび電力消費の昼夜の平準化を目的とするもの¹⁾²⁾、床面を加熱することによる人体への影響を把握しようとするものである³⁾⁴⁾。

本研究では前者に重点を置き、床を蓄熱(冷)部位とする床冷暖房システムを対象に、床スラブ仕様、冷温水循環時間などの違いが室内熱環境とエネルギー消費量に及ぼす影響を調べる。

まず、既存の省エネルギー実験住宅における夏季および冬季の実測調査と、実験住宅を対象とした数値シミュレーションの結果をもとに、蓄熱床冷暖房システムの有効性と問題点を明らかにする。

次に、集合住宅を想定した基準階室モデルの数値シミュレーションを行い、床冷暖房運転のみの場合と、床冷暖房とファンコイルユニット(以後FCUとする)による除湿運転を併用した場合の室内熱環境、エネルギー消費量およびFCUの除湿効果について検討する。

2. 省エネルギー実験住宅における実測調査

2.1 省エネルギー実験住宅の仕様

実験調査を行った省エネルギー実験住宅⁵⁾⁶⁾は、接床方式木造枠工法(2×4構法)2階建4LDKの断熱気密住宅であり、1985年4月に竣工した。Table 1に建物概要、Fig. 1に建物の平面図、Fig. 2に空調システム系統図を示す。

この実験住宅には、冬季の日射取得のため居間の南面に大開口があるが、夏季の日射遮蔽のため、パーゴラや可動庇、外付け可動ブラインド、白色カーテン、スダレなどが設置されている。また、夏季の昼間に卓越する風(海風)を採り入れるため、1階洗面所の天井および吹抜け北側の上部にも採風窓が設置されてい

*熱エネルギーシステム工学専攻博士課程

**熱エネルギーシステム工学専攻修士課程
(現在 鹿島建設(株))

***熱エネルギーシステム工学専攻

る。さらに、1階のコンクリートスラブは地盤の大きな熱容量を利用するため接地床になっている。

空調方式としては、空気熱源ヒートポンプと水熱源ヒートポンプを2段に組み合わせたヒートポンプ式冷暖房ユニット（以後HP1とする）により比較的廉価な深夜電力を利用してつくられた冷水（夏季）および温水（冬季）を蓄熱槽に蓄え、その冷水および温水を水循環ポンプによって床配管中に流す床冷暖房方式である。また、居間上部の小屋裏には小型のヒートポンプ（以後HP2とする）が設置され、夏季床冷却時の除湿換気と冬季の余熱回収に用いられる。なお、蓄熱槽に蓄えられた冷水および温水を、各室に設置したFCUに送り対流式の冷暖房を行うことも可能である。

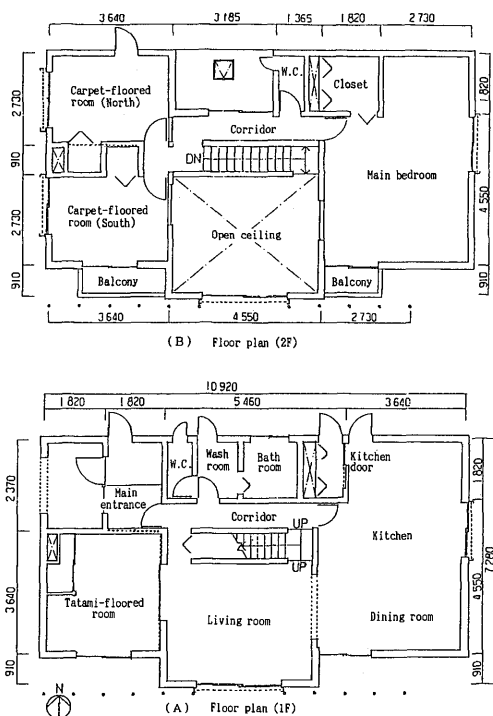


Fig. 1 Floor plan of an experimental house (Unit: m)

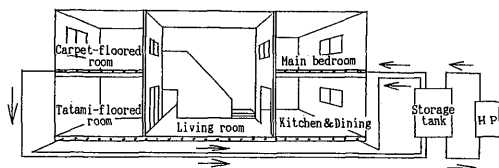


Fig. 2 Floor heating and cooling system

2.2 実測調査の方法

省エネルギー実験住宅における実測調査は、1990年8月に1ヵ月間、1991年2月に10日間行われたが、解

Table 1. Summary of an experimental house

Location	2-1-47, Siobaru, Minami-ku, Fukuoka
Structure	Wooden build., two-storied house, 4LDK
Floor area	Building area : 85.30m ² Total floor area: 142.42 (1F:80.32m ² , 2F:62.10m ²) Cooling area : 111.78 (1F:65.41m ² , 2F:46.37m ²)
Heat capacity	Thickness of slab (1F): 150mm, Gravel: 300mm Thickness of slab mortar (2F): 50mm
Heat insulation	Ceiling (2F) : Glass wool: 300mm External wall : Form polystyrene: 30mm : Glass wool: 90mm Foundation (1F): Form polystyrene: 50mm Window : Double glazing
Ventilation	0.4c/h
Specific heat loss coefficient	2.5kcal/m ² h°C
Cooling and heating equipment	Air-cooling/heating heat pump Cooling: 7050kcal/h, Heating: 8900kcal/h Storage tank: 1000ℓ, Cushion tank: 300ℓ

Table 2. Experimental condition in summer

Experimental period	Aug. 18, 19, 1990
Setting temp. of slab surface	18°C
Operating time of HP1	22:00~6:00
Operating time of HP2	9:00~17:00
Under-floor water supply	Full operation
Heat insulating curtain	All day open
Heat insulating shutter	All day open
Illumination	All day off

Table 3. Experimental conditions in winter

Experimental period	Feb. 18, 1991	Feb. 19, 1991
Setting temp. of slab surface	35°C	35°C
Operating time of HP1	23:00~7:00	23:00~7:00
Operating time of HP2	All day off	All day off
Under-floor water supply	23:00~7:00	23:00~7:00
Heat insulating curtain	0:00~23:00	7:00~23:00
Heat insulating shutter	0:00~23:00	7:00~23:00
Illumination	17:00~23:00	17:00~23:00

析対象日として、夏季は8月18, 19日, 冬季は2月18, 19日を選んだ。夏季はHP1により深夜電力を利用してつくられた冷水を終日床配管中を循環させる。冬季はHP1により深夜電力を利用してつくられた温水を夜間(23:00~7:00)のみ床配管に循環させる。**Table 2**に夏季実測条件, **Table 3**に冬季実測条件を示す。なお, 実測期間中, 開口部は人の出入りはあるものの原則として終日閉鎖されている。

2.3 実測結果

2.3.1 夏季実測結果⁷⁾

Fig. 3~Fig. 7に夏季実測結果を示す。8月18日の午前中に小雨が降ったものの, それ以外は快晴であった。両日も水平面全天日射量は最大約800kcal/m²h, 外気温度も最高37℃となっている。

各居室の空気温度は, 床冷房が行われているため, 和室, 居間で28℃, 洋室で31℃までしか上昇していな

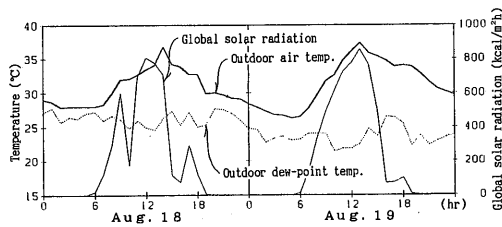


Fig. 3 Weather data (Summer)

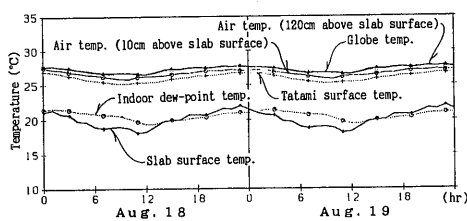


Fig. 4 Temperatures of tatami-floored room

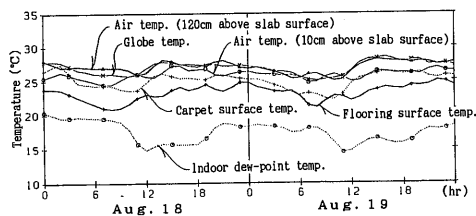


Fig. 5 Temperatures of living room

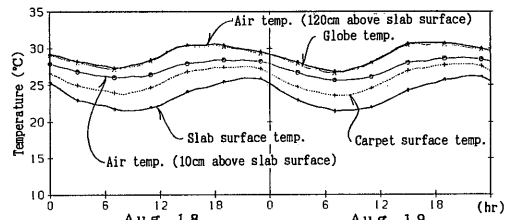


Fig. 6 Temperatures of carpet-floored room

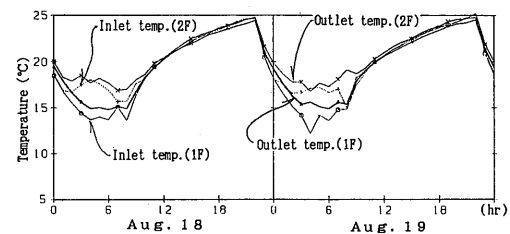


Fig. 7 Under-floor water temperatures

い。また, 実測期間中を通して室温の変動幅は2~4℃と小さくなっている。

和室の床スラブ表面温度は18~22℃と低くなっているが, 畳表面温度は約25℃までしか低下していない。これは畳が断熱材として働くためである。その結果, 空気温度も約26℃までしか低下していない。和室の空気温度の変動が, 居間や洋室に比べて小さいのは, 接床床になっているため1階床の熱容量が大きいこと, 床からだけでなく天井からの冷輻射の影響も受けていることなどが考えられる。また, 8月18日の午前12時から午後1時の間, 8月19日の午前1時から午後1時の間は床スラブ表面温度が室内露点温度より低く, 床スラブ表面で結露する危険性がある。

居間の空気温度の変動が和室や洋室に比べて激しいのは, 和室や洋室は人の出入りがほとんどなかったのに対し, 居間には頻繁に人が出入りしていたためである。なお, 居間の露点温度が午前9時頃低下し, 午後5時頃上昇するのはHP2による除湿換気の影響によるものである。

床入口水温はHP1の運転開始直前は約25℃であるが, HP1運転と同時に低下しはじめ, 午前3時頃の1階床入口水温は約15℃, 2階床入口水温は約18℃となる。HP1の運転停止後, 循環水温度は床からの吸熱によりおよそ25℃まで上昇する。

2.3.2 冬季実測結果⁸⁾

Fig. 8～Fig. 12 に冬季実測結果を示す。2月18日は昼間降雪があったため水平面全天日射量は最大180kcal/m²hと小さく、外気温度も最高8℃である。2月19日は昼間降雪があったものの、最大450kcal/m²hの水平面全天日射があった。しかし、外気温度は日中約5℃で夜半には3℃近くまで低下した。

和室空気温度は、18℃程度で終日一定である。床スラブの表面温度は23～26℃と高いが、畳が断熱材として働くため、畳表面温度は空気温度とほぼ等しく18℃程度である。

2月18日の居間の床上10cmの空気温度は、夜間断熱シャッターを閉じていないため、床上120cmの空気温度よりも約2℃低くなっている。午後12時以降は外気温度の上昇ともない居間空気温度が上昇している。PMV (Predicted Mean Vote: 予測平均投票: +2, +1, 0, -1, -2はそれぞれ warm, slightly warm,

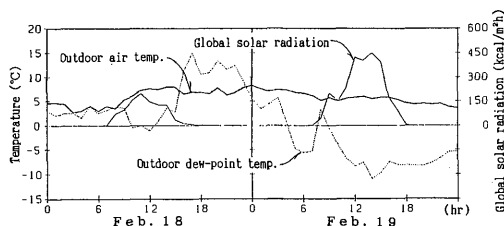


Fig. 8 Weather data (Winter)

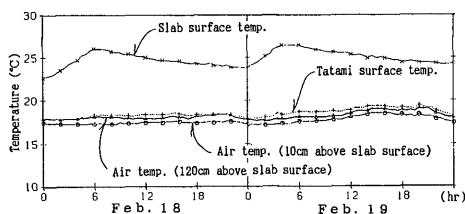


Fig. 9 Temperatures of tatami-floored room

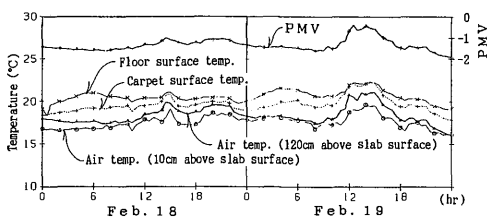


Fig. 10 Temperatures of living room

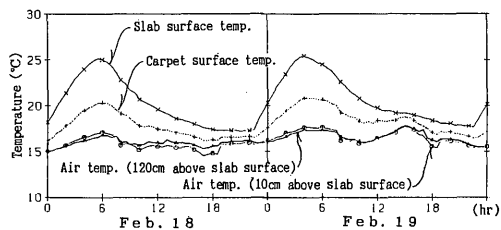


Fig. 11 Temperatures of carpet-floored room

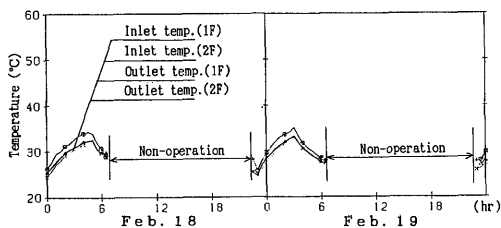


Fig. 12 Under-floor water temperatures

neutral, slight cool, cool という温冷感を表す)は終日-1を下回る。居間の床フローリング表面温度は、地盤の大きな熱容量のため20℃程度で大きな変動はない。2月19日は、夜間断熱シャッターを閉じたため、2月18日にみられたような朝方における居間の床上10cmと床上120cmの空気温度の差はほとんどない。居間のPMVは日射のある時間帯は-0.5程度である。2月19日の午後12時頃から午後6時頃までの床表面温度は、南面にある大開口から日射の影響を受けて上昇している。

洋室空気温度は床表面温度の影響を受けて変動している。2月19日の午後12時頃から午後6時頃までは、居間と同様に日射の影響を受け、空気温度、床表面温度が上昇している。また、洋室床表面温度は熱容量が小さいため日較差が約8℃と大きくなっている。

HP1 運転開始直前の床入口水温は25℃程度であるが、HP1の運転と同時に上昇しはじめ、午前3時頃最高35℃程度となる。その後は床への放熱により循環水温度は低下し、HP1運転が停止する午前7時には30℃以下となる。

3. 実測値と計算値の照合⁹⁾

3.1 計算モデル

省エネルギー実験住宅西側の1階和室と2階南側洋室を対象として計算を行うために、Fig. 13に示すよ

うに建物をモデル化した。床面積は 12.96m² (3.6m×3.6m)、天井高は 2.4m であり、南側に窓と庇がある。隣室との境界は間仕切り壁とし、空間換気を考慮した。1階和室西側の押入れおよび2階洋室西側の窓は計算上無視したが、窓については窓面積を考慮して西壁の熱伝導抵抗を小さくした。

3.2 計算条件

夏季8月18・19日、冬季2月18・19日を対象に実測値と計算値の照合を行った。Fig. 14 に省エネルギー実験住宅の各部位の構成、Table 4 に実測結果と照合する際に使用した計算条件を示す。外界気象、隣室空気温度、床入口水温は実測値をそのまま入力した。計算時間間隔は20分であり、入力値は1時間毎のデータ

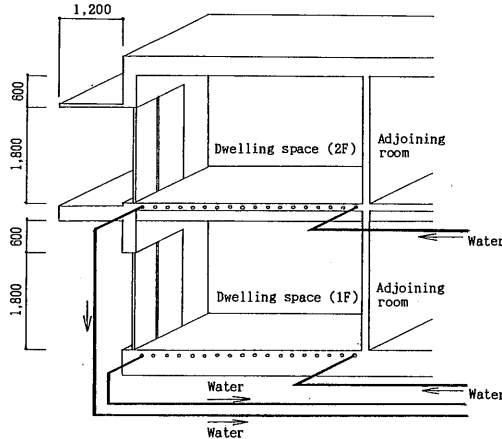


Fig. 13 Model for calculation (Unit: mm)

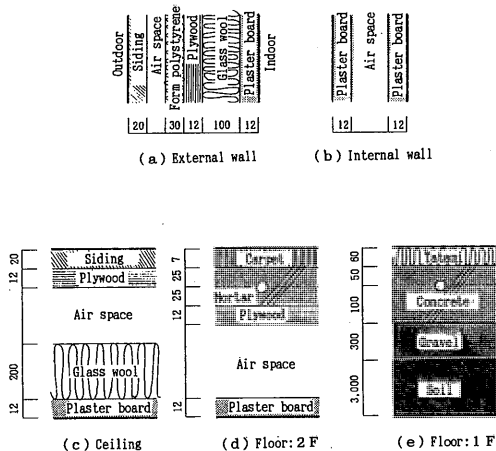


Fig. 14 Building element structures (Unit: mm)

を直線補間した。なお、地中温度はコンクリート上表面から 45cm の深さの実測値を用いた。

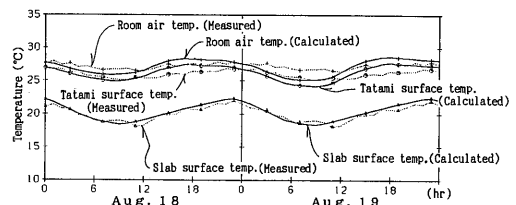
3.3 計算結果

3.3.1 夏季計算結果

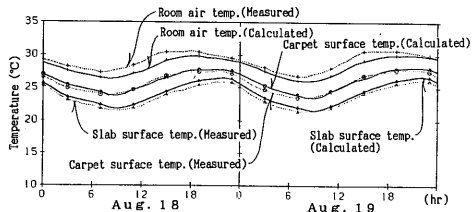
Fig. 15 に夏季の照合結果を示す。1階床スラブ表面温度の計算値は実測値によく一致しているが、室内空気温度の計算値は実測値に比べてやや変動が大きい。これは和室西側の押入れを無視したこと、室内空気の熱容量を過小評価したことがその一因と考えられる。畳表面温度も空気温度の影響を受けて同じ傾向を示している。

Table 4. Calculating conditions

Weather data	Measured data
Calculating interval	20 minutes
Atmospheric radiation	Summer : 350kcal/m ² h Winter : 250kcal/m ² h
Outside convective heat transfer coefficient	10kcal/m ² h°C
Ventilation	1F : 0.4c/h (Outdoor) 0.5c/h (Adjoining room) 2F : 0.4c/h (Outdoor) 0.3c/h (Adjoining room)
Water flow rate	1F : 4.1 l/min 2F : 4.7 l/min
Piping	Pitch : 200mm Outside diameter : 20mm Inside diameter : 13mm



(a) 1F



(b) 2F

Fig. 15 Comparison of estimated values with measured ones (Full-day operation in summer)

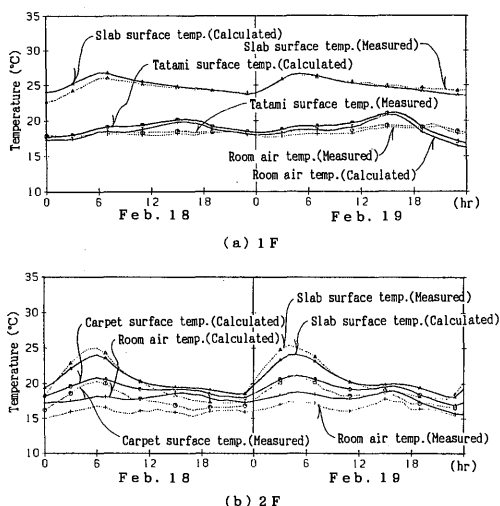


Fig. 16 Comparison of estimated values with measured ones (Late-night operation in winter)

2階床スラブおよびカーペットの表面温度の計算値は実測値によく一致しているが、空気温度の計算値は最大1.5℃程度実測値よりも低い。これは、実測において屋敷裏に設置された熱回収ヒートポンプが稼働しており、天井裏がかなり高温になっていたこと、実測における天井裏の断熱がグラスウール(厚さ200mm)を敷き並べただけの粗い施工状況であり、計算に比べてその断熱性能が不十分であったことによると思われる。

3.3.2 冬季計算結果

Fig. 16 に冬季の照合結果を示す。冬季の場合も、夏季の場合と同様に1階の室内空気温度の計算値は実測値よりも変動が大きい。2階の室内気温度の計算値は、実測値より最大2℃程度高くなっている。これは夏季と同様に実測における天井裏の断熱が計算に比べて不十分であったためと思われる。

4. シミュレーションによる各種要因の影響評価⁹⁾

4.1 計算条件

1990年度の実測結果により、床の熱容量(特に2階床スラブの厚さ)、床入口水温などの問題点が明らかになった。そこで、実測との照合で使用した建物モデルを対象に、室の構成、床入口水温など9つの項目をそれぞれ3段階に変更して計算を行った。外界気象には福岡標準気象データを使用し、隣室の空気温度は計算対象室の空気温度に等しいものとした。また、運転

時間帯であっても、各居室のPMVの値が0になると機器の運転を停止した。接地床方式の場合、地中温度は地中3mの温度を正弦波で近似した。計算期間は、夏季が6月から9月、冬季が12月から3月である。各部位の構成を Fig. 17, 標準ケースの計算条件を Table 5 に示す。

4.2 シミュレーション結果

各種要因がPMVと期間総除去(供給)熱量におよぼす影響を Fig. 18 に示す(注:▲は標準ケース)。

夏季の場合、期間総除去熱量はいずれの条件でもあまり変わらない。しかし、PMVが-0.5から+0.5の快適範囲に入る割合は建築構造、運転時間、2階床仕様、窓仕様による影響が大きい。特に、窓に断熱障子

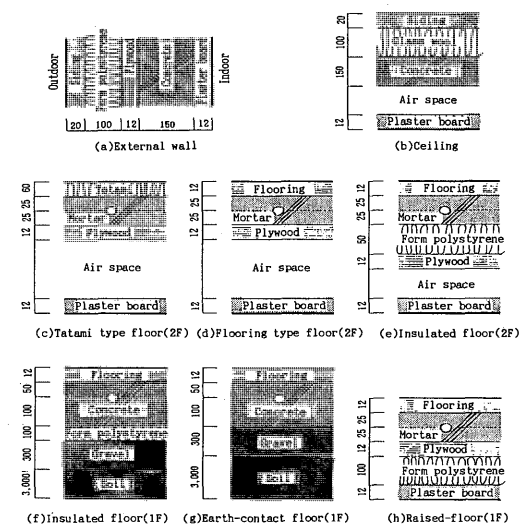


Fig. 17 Building element structures (Unit: mm)

Table 5. Calculating conditions (Standard case)

	Standard
Thickness of 2nd floor slab	5cm
Type of 1st floor	Earth-contact
Structure of roof and wall	Wooden
Type of 2nd floor	flooring
Window	Double glazing
Piping pitch	1F: 20cm 2F: 20cm
Water flow rate	5.0ℓ/min
Inlet water temp.	Summer: 15℃ Winter: 35℃

を施すことにより、快適範囲に入る割合は 1 階が 13%、2 階が 11% 増加する。また、構造を RC 造外断熱 10cm にすることにより、快適範囲に入る割合は 1 階が 12%、2 階が 5% 増加する。

冬季の場合、期間総供給熱量は運転時間、2 階床仕様、配管ピッチ、窓仕様、床入口水温など多くの要因に影響される。特に、窓を断熱障子にすることにより、冬季総供給量は約 30% 減少する。快適範囲に入る割合も夏季の場合と同様に 1 階が 8%、2 階が 32% 増加する。また、冬季床入口水温を 40℃ にすることにより 2 階への供給熱量は 20% 程度増加するが、快適範囲に入る割合は約 70% まで上昇する。なお、RC 造外断熱の場合、冬季に 2 階の環境が悪くなっているが、これは

屋根の断熱が不足しているためであり、これを改善するためには木造と同程度の断熱を施さなければならない。

4.3 各種要因の複合効果

各種要因の評価により、有効である項目を組み合わせ、木造のケース 1、RC 造の場合をケース 2 とした深夜電力利用による蓄熱床冷暖房を前提としているため、機器の運転時間は夜間のみとした。計算条件を Table 6 に示す。各ケースの PMV の頻度分布を Fig. 19 に示す。

夏季の場合、PMV の頻度分布はケース 2 が一番よく、次にケース 1、標準ケースの順となる。特にケース 2 では、標準ケース、ケース 1 に比べて PMV 0.5

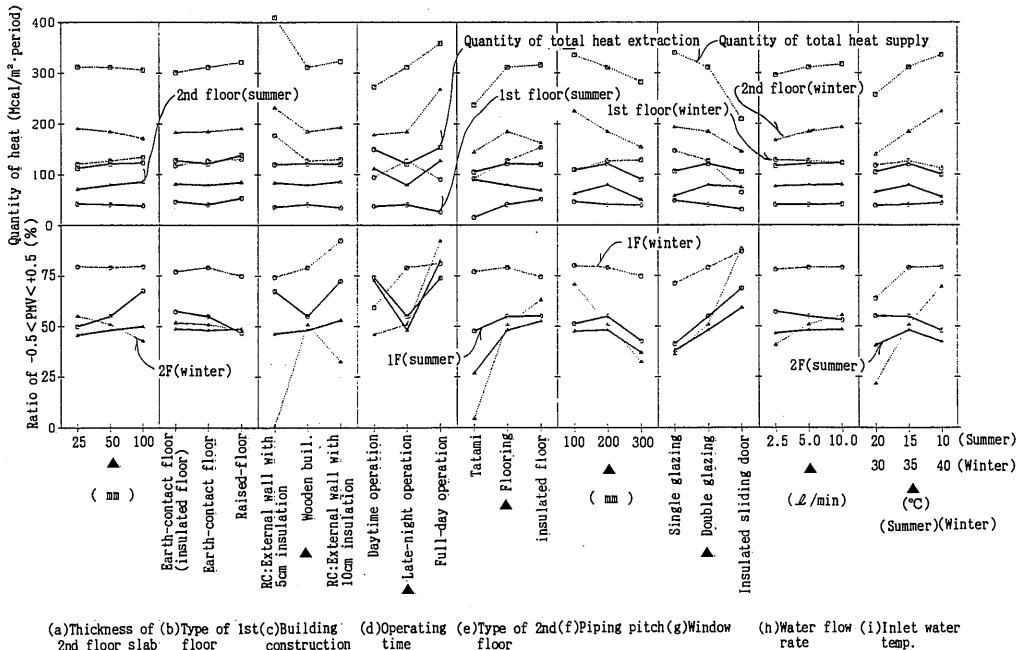


Fig. 18 Effect on PMV and supply/extract heat rate (▲: Standard case)

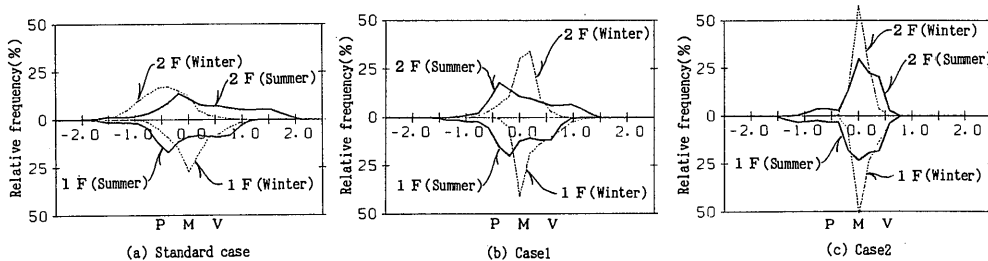


Fig. 19 Frequency distributions of PMV

Table 6. Calculating conditions (Case1, 2)

	Case1 (Wooden)	Case2 (RC)
Thickness of 2nd floor slab	5cm	10cm
Type of 1st floor	Earth-contact	Earth-contact
Structure of roof and wall	Wooden	Reinforced concrete
Type of 2nd floor	Under-insulated	Under-insulated
Window	Insulated sliding door	Insulated sliding door
Piping pitch	1F : 20cm 2F : 10cm	1F : 20cm 2F : 10cm
Water flow rate	5.0ℓ/min	5.0ℓ/min
Inlet water temp.	Summer : 15℃ Winter : 40℃	Summer : 15℃ Winter : 40℃

Table 7. Comparison of standard case with case1 and case2

	Standard case		Case1		Case2	
	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter
Ratio of $-0.5 < PMV < +0.5$ (%) : 1F	55	79	71	80	82	96
Ratio of $-0.5 < PMV < +0.5$ (%) : 2F	48	51	62	93	89	100
Quantity of heat extract/supply (kcal/m ² ·period) : 1F	41,172	126,924	36,465	101,762	33,109	103,622
Quantity of heat extract/supply (kcal/m ² ·period) : 2F	79,575	184,580	71,340	112,469	71,964	118,128
Quantity of total extract/supply heat (kcal/m ² ·period)	120,747	311,504	107,805	214,231	105,073	221,750

以上の頻度が小さくなっており、日中の室内熱環境が改善される。これは、RC造外断熱にしたために室の熱容量が増え、室温変動が緩和されたものと思われる。

冬季の場合も、PMVの頻度分布はケース2が一番よく、PMVは-0.5から+0.5の間にほぼ収まっている。また、夏季に比べて冬季の室内環境がよくなるのは、負荷が大きい時間帯と温水循環時間帯が一致しているためである。

各ケースのPMVが-0.5から+0.5の快適範囲に入る割合および除去(供給)熱量をまとめてTable 7に示す。標準ケースに比べケース1、ケース2は夏季、冬季とも快適範囲に範囲に入る割合、除去(供給)熱量がいずれも改善されている。

5. ファンコイルユニットによる除湿効果

5.1 計算モデルおよび計算条件

今まで計算対象とした2階建モデルでは、1階と2

階の室内熱環境が大きく異なることがわかった。計算対象とする部屋の特性をより一般的に解析するため、集合住宅の基準階室モデルに変更し計算を行った。

Fig. 20に計算の対象とした基準階室モデルを、Fig. 21に部位の構成を示す。床面積は36m²(6m×6m)、階高は3mのRC造であり、南面には窓(1.2m×6m)と庇(幅:6m、庇の出:0.9m)があり、ガラスは3mmの単板透明ガラスで、ブラインド、カーテン等の日照調整物がないものと仮定した。

外界気象には福岡標準気象データを使用し、隣室の空気温度は計算対象室の空気温度に等しいものとした。また、冷温水循環時間帯であっても、室のPMVの設定値が満足されると送水は停止した。床冷房とFCU併用の場合、床スラブ表面温度と露点温度の差が1℃以下になると除湿運転が行われるものとした。その他の計算条件をTable 8に示す。

Table 8. Calculating conditions in summer (Typical floor case)

	Only floor-cooling & Floor-cooling and FCU
Operating time (floor-cooling)	23:00~7:00
Setting value of PMV (floor-cooling)	-0.3
Ventilation	0.2c/h
Heat generation rate	50kcal/m ² h
Inlet water temp. (floor)	15℃
Inlet water temp. (FCU)	-
Water flow rate (floor)	20ℓ/min
Water flow rate (FCU)	5 ℓ/min

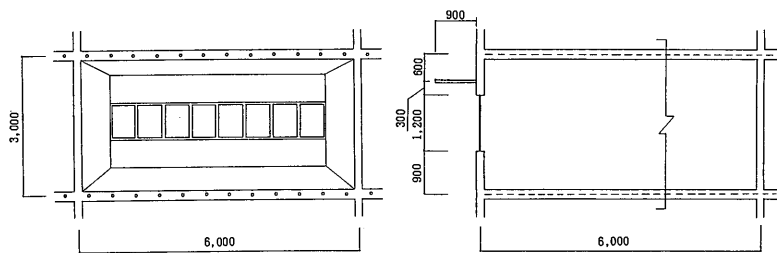


Fig. 20 Model for calculation (Unit: mm)

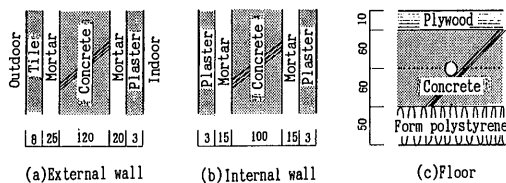


Fig. 21 Building element structures (Unit: mm)

5.2 シミュレーション結果

Fig. 22 に床冷房運転のみの場合の計算結果を示す。8月4日午後11時のPMVは約0.4であり、床スラブ内への冷水の循環が開始する。それにともない床スラブの温度は低下し、MRT (Mean Radiant Temperature: 平均輻射温度: 室内気候で人体に対する輻射熱の影響を考慮した指標の一つ) および室内空気温度も低下する。8月5日の午前3時頃PMVの設定値0.3が満足され、冷水の循環が停止する。その後のPMVも低く、

正午頃までは負の値となる。しかし、日中のPMVはピーク時で0.5程度まで上昇する。室内空気の露点温度は終日25℃前後であるが、冷水循環時間中、床スラブ表面温度は約20℃、床表面温度も約22℃まで低下しており、床スラブ表面および床表面での結露の危険性が大きい。床出口水温は冷水循環開始直後の午後11時頃は18℃であるが床スラブ温度の低下とともに低下し、冷水循環停止直前には17℃となる。床スラブからの除去熱量は床出口水温の低下とともに減少し、午後11時には約130kcal/m²hであったものが午前3時頃には約60kcal/m²hとなる。

Fig. 23 床冷房とFCUによる除湿運転を行った場合の計算結果を示す。8月4日午後11時のPMVは約0.5であり、床スラブ内への冷水循環が始まる。それにともない床スラブ表面温度は低下し、室内空気温度も低下する。床スラブ表面温度の低下にともない、FCUによる除湿運転が行なわれる。床スラブ内への冷水の循環とFCU運転によりPMVは低下し、8月5日の午前2時頃、PMVの設定値が満足され冷水循

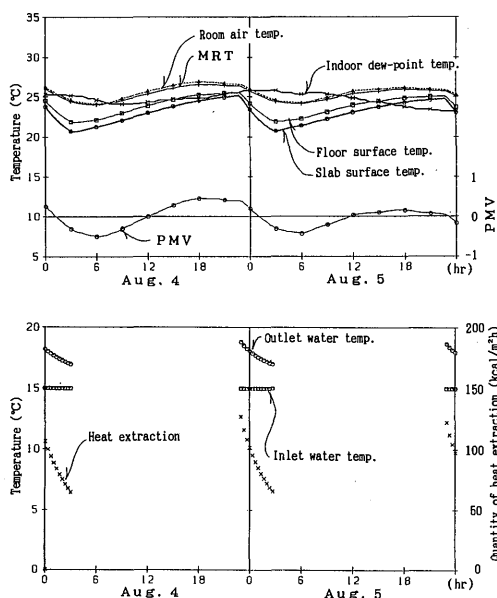


Fig. 22 Results of simulation in summer (Only floor-cooling)

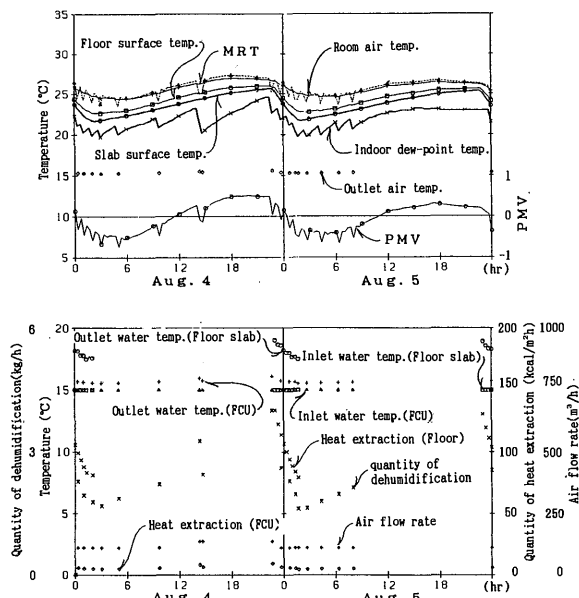


Fig. 23 Results of simulation in summer (Floor-cooling and FCU)

Table 9. Calculated results in summer (Typical floor case)

	Only floor-cooling	Floor-cooling and FCU
Ratio of $-0.5 < PMV < +0.5$ (%)	62	60
Quantity of heat extraction by floor (kcal/m ² ·period)	50,289	47,506
Quantity of heat extraction by FCU (kcal/m ² ·period)	—	1,259
Quantity of total heat extraction (kcal/m ² ·period)	50,289	48,765

環が停止する。しかし、外気との換気により湿度の高い空気が室内に入ると室内の露点温度は上昇し、FCUによる除湿運転が行われる。そのため、午前2時から8時の間にPMVが -0.5 を下回る時もある。

夏季4ヵ月間(6月~9月)計算を行った場合、各運転条件においてPMVが -0.5 から $+0.5$ の快適範囲に入る割合および除去熱量をTable 9に示す。床冷房とFCUによる除去運転を併用した場合、FCUによる除去熱量が期間当たり約 $1,200 \text{ kcal/m}^2$ 増加するものの、床からの除去熱量が約5%減少するため、総除去熱量は約3%減少する。

6. ま と め

省エネルギー実験住宅における実測調査を行い、蓄熱床冷暖房システムの有効性と問題点を明らかにした。また、ヒートポンプと床冷暖房の複合システムを対象とした計算値と実測値との照合を行い、シミュレーションプログラムの妥当性を確認した。さらに、数値シミュレーションにより、室内熱環境に影響を及ぼす要因を明らかにするとともに、エネルギー消費量についても検討を行った。

実測結果およびシミュレーション結果より、以下の

ような知見が得られた。

- 1) 深夜電力を利用して蓄えられた冷水(温水)を床下にまわすことにより、室温変動幅が小さく安定した室内熱環境が得られる。
- 2) 夏季および冬季いずれも室内空気の温度分布は一様であり、冬季においては、人間の身体の一部が接触する床表面が暖かいため、快適な室内熱環境が得られる。
- 3) 畳のように熱抵抗の大きな床表面仕上げ材は床冷暖房の場合不向きである。
- 4) 夏季において床スラブ表面温度が約20℃以下になると、床スラブ表面で結露する危険性がある。
- 5) 2階建モデルの場合、室内熱環境に大きく影響する要因は建築構法、床冷暖房運転時間、2階床仕様、窓仕様などである。特に、床冷暖房する場合には2階床下に断熱を施したほうが良く、断熱障子は冬季だけではなく夏季にも有効である。
- 6) 床冷房とFCUを併用することにより表面結露の危険性は避けられるが、PMVが-0.5を下回ることがある。

今後、建物と熱源機器を含めた計算プログラムを作成し、運転制御方法、ヒートポンプ運転時間、熱源機器などの違いがシステム効率および室内熱環境に及ぼす影響について明らかにする必要がある。また、地域性を考慮した躯体蓄熱システムの最適化について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) 松尾 陽, ほか:蓄熱冷暖房システムに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1035-1040, (1989).
- 2) 宇田川光弘:輻射冷暖房システムの室内熱環境制御と熱負荷, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 101-104, (1989).
- 3) 木村健一, ほか:床冷房パネルの体感効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 731-732, (1988).
- 4) 葉山成三, ほか:躯体熱媒による躯体冷房, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 9, pp. 781-793, (1986).
- 5) 大成建設株式会社:昭和61年度一般住宅蓄熱型冷暖房給湯システムの熱収支バランスの実験及び解析報告書, (1987).
- 6) 九州電力株式会社:昭和62年度実験住宅蓄熱式冷暖房給湯システムの熱収支バランスの実験及び解析報告書, (1988).
- 7) 谷口和信, ほか:省エネルギー実験住宅の蓄熱床冷暖房に関する研究(その1夏季冷房実験), 日本建築学会九州支部研究報告, 32, pp. 137-140, (1991).
- 8) 谷口和信, ほか:省エネルギー実験住宅の蓄熱床冷暖房に関する研究(その2冬季暖房実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1171-1172, (1991).
- 9) 谷口和信, ほか:省エネルギー実験住宅の蓄熱床冷暖房に関する研究(その3シミュレーションによる各種要因の影響評価), 日本建築学会九州支部研究報告, 33, pp. 101-104, (1991).