水蓄放熱床をもつ太陽熱床暖房システムの性能に及ぼす建物構成要素の影響に関する研究

STUDY ON THE EFFECT OF BUILDING AND SYSTEM FACTORS ON THE THERMAL PERFORMANCE OF THE SOLAR HEATING SYSTEM WITH WATER FLOOR

咸 哲 俊*, 須 永 修 通**, 堀 祐 治***

Zhejun XIAN, Nobuyuki SUNAGA and Yuji HORI

The purpose of this study is to clarify the effect of building and system factors on the thermal performance of the solar floor heating system with Water Floor (water heat-storage floor) by simulation analysis. The examined building and system factors are the heat capacity of Water Floor, the material of heat-storage floor, the thickness of thermal insulation of building envelope, climate etc. From the results, it was found that Water Floor can raise generally 20% of comfortable time rate and is effective to raise thermal environment level, comparing to the concrete floor and plywood floor, and so on.

Keywords: *water floor, thermal storage, solar heating, floor heating, building and system factor, simulation*

水蓄放熱床、太陽エネルギー、床暖房、建物構成要素、シミュレーション

1. はじめに

建築の室内環境調整において、有効に自然エネルギーを利用するには断熱性などの建物の性能を高めるとともに適切な蓄熱量を付加することが重要である。一方、室内快適性向上と高齢者などのヒートショックをなくすためには住宅内の温度差を小さくすることも求められている。これらの要求から、筆者らは自然エネルギー利用と熱的バリアフリー空間の形成を目指して提案された太陽エネルギー利用水蓄放熱床暖房システムについて研究を行ってきた。

既報¹⁾では、実大実験住宅を用いた二冬にわたる実験結果から室内温熱環境の形成状況や水蓄放熱床の蓄放熱性能などについて検討を行った。その結果、太陽熱だけで冬季の室温が15℃～25℃に維持されるなど本システムの省エネルギー効果および快適性が示された。また、建物構成要素の影響については、床下ダクトを設置することにより日中の水蓄放熱床の集熱量に対する蓄熱量の割合を10%程度増やすことができるなどの結果を得た。しかし、その他多くの建物構成要素の影響およびその程度についてはまだ明らかになっていない。

この建物構成要素の影響については、中村ら²⁾による床部分に蓄熱体がない太陽熱空気集熱床暖房住宅における集熱部、建物方位などの影響に関する検討がある。また、渡辺ら³⁾は計算により蓄熱部位としてべた基礎より床部分の方が適していることを指摘し

た。しかし、床部分に蓄熱体がある場合における各部分の影響について検討した研究例は見当たらない。

そこで、本研究では、建物や水蓄放熱床の断熱性や熱容量がシステムの性能にどのように影響するかを明らかにすることを目的として、シミュレーションにより検討した。

2. 対象モデル住宅およびシステムの概要

計算対象は、東京都八王子市南大沢の都立大学のキャンパス内に建設された在来軸組工法の木造平屋建、床面積66.25 m²の実大実験住宅とした。屋根と外壁は高性能断熱材100mm ($\lambda = 0.02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)で、基礎、土間床コンクリートは発泡ポリスチレン100mmで断熱されている。図1に断面図、図2に平面図を示す。

実験住宅の屋根面は、アモルファスタイプの太陽光発電パネルと一体となった金属板葺屋根と高温集熱用ガラス屋根とで構成されている。冬の集熱時、棟部分の集熱空気温度が設定温度（ここでは30℃）に到達したら床下空間に設置したハンドリングボックス内のファンが作動し、外気取り込みを始める。軒先から取り込まれた外気はまず太陽電池パネルを取り付けた鋼板の裏側を通りながら予熱される。その後、集熱ガラス部分で高温に加熱され、床下ダクトに運ばれる。床下ダクトに運ばれた外気は床下空間に吹

* 東京都立大学院工学研究学科建築学専攻 大学院生・工修

** 東京都立大学院工学研究学科建築学専攻 助教授・工博

*** 建築研究所 工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., M. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
Building Research Institute, Dr. Eng.

図1 断面図

図2 平面図

き出され、その後各室の周囲に設けられた吹き出し口から室内に開放されるが、その間、床下ダクトでは水蓄熱体に、また床下空間では土間床コンクリートへの蓄熱が行われる。なお、太陽光発電システムは系統連携されている。

3. 計算方法概要

本研究ではシステムの構成要素の影響を検討することを目的にするため、床上側の居住域と床下空間をそれぞれ一つの部屋として計算を行った。計算プログラムは宇田川⁴⁾の天井裏空間を給気チャンバとした場合の二室計算モデルプログラムを参考に作成した。壁体の非定常熱伝導の計算は後退差分を使用した。室内表面の総合熱伝達率は $9.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とし、その中で放射熱伝達と対流熱伝達割合は55%と45%にした。床下空間の天井と土間床スラブ表面の熱伝達率は、熱流方向が上向の時は $11.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とし、下向の時は $6.98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とした⁵⁾。室外表面総合熱伝達率は $23.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ と設定した。各表面の輻射率は0.9とし、室内表面での相互放射熱伝達は表面間の形態係数、放射熱交換係数などから計算した。換気による熱損失量の計算においては、日中の集熱時間帯の換気量は集熱風量と同じとして、また、集熱時以外は換気回数を用いて計算を行った。計算時間間隔は1時間、気象データはアメダスの標準年気象データを使用した。

3.1 水蓄放熱床モデル

システム性能に重要な影響を与える水蓄放熱床については、図3のようなモデルで計算した。実大実験住宅の水蓄放熱床は、厚さ0.125mmの多層ラミネート材の袋に水を入れたウォーターバッグ(9cm×25cm×2.7m)を床の根太間に設置したものであるが、太陽熱集熱空気により一部を加熱しても水の自然対流によりバッグ全体がほぼ均一(加熱時であっても最大2℃以内)になることが実験¹⁾から明らかになった。そこで本研究では、計算を簡略化するため、根太がなく、床全面に一つの水蓄熱体が設置されていると仮定した。水蓄熱体は厚さ0.1mmのビニール袋に熱が完全拡散する完全混合水が入っているものとし、水蓄熱容量は実験住宅と同じく 3.6 kWh/K とした。集熱を行うときの完全混合水蓄熱体の熱平衡式を式(1)に示す。

$$\frac{RM_w(T_3 - T_3^*)}{\Delta t} = A_{\text{上}} \alpha_{\text{上}} (T_2 - T_3) + A_{\text{下}} \alpha_{\text{下}} (T_4 - T_3) + A_{\text{集}} K_c (T_{\text{co}} - T_3) \quad \text{式(1)}$$

表1 外壁体構成

外気側	λ (W/mK)	厚さ
鋼板	53	2mm
空気層	0.09 (n ² K/W)	
合板	0.18	9mm
高性能フェノールフォーム	0.02	100mm
石膏ボード	0.17	12mm

表2 土間床構成

床下空間側	λ (W/mK)	厚さ
コンクリート	1.6	150mm
発泡ポリスチレンフォーム	0.034	100mm
土	1.5	3m

表3 窓とドアの熱貫流率

	窓	ドア
熱貫流率 (W/m ² K)	2.91	4.07

図3 水蓄放熱床モデルの説明図

図4 集熱器モデルの説明図

表4 集熱器モデルの構成

金属板(太陽光発電) 葺屋根構成				高温集熱器部分構成			
	厚さ	日射吸収率	放射率	ガラス	厚さ	日射吸収率	放射率
亜鉛鍍鉄板	0.6 mm	0.7	0.7	ガラス	3 mm	入射角の関数	0.84
集熱空気層	40 mm	—	—	選択吸収板	0.4 mm	0.9	0.1
断熱材	100 mm	—	—	集熱空気層	40 mm	—	—
合板	12 mm	—	—	断熱材	100 mm	—	—
				合板	12 mm	—	—

但し、 RM_w : 水蓄熱体熱容量、 T_m : 現時点節点 m の温度、 T_m^* : Δt 時間前の節点 m の温度、 T_{co} : 集熱空気温度、 $A_{\text{上}} A_{\text{下}} A_{\text{集}}$: 完全混合水との熱交換を行う各部分面積、 $\alpha_{\text{上}} \alpha_{\text{下}}$: 自然対流による熱伝達率、 K_c : 床下ダクト内集熱空気から完全混合水までの熱貫流率、 K_{nc} : 集熱を行わない時の床下ダクト空気から完全混合水までの熱貫流率

集熱を行わない時は T_{co} と K_c の代わりに床下空気温度 T_y と熱貫流率 K_{nc} を代入する。完全混合水とビニール間の熱交換は水の自然対流のみによる熱交換とし、その熱伝達率は水平正方形平板の自然対流伝達相関式から計算を行った。代表寸法は実験住宅の水蓄熱体幅と同じ25cmとして計算した。

床下ダクトは実験住宅と同じ断面面積を持つ3つのダクトがあり、床下ダクト内の空気はダクト断面に均一に分布して流れると仮定した。床下ダクト内の集熱空気と水蓄熱体の熱交換面積(6.9m²)は実験住宅と同じであり、対流熱伝達率はダクト内の空気速度からユルグスの式により計算した。集熱を行うとき、床下ダクトは完全断熱とし、集熱を行わない時の床下ダクト内空気温度は床下空気温度と同じとした。

3.2 集熱器モデル

実験住宅の集熱器は金属板葺屋根部分(44.54m²)とガラス高温集熱部分(20.25m²)で構成されており、集熱風量は648m³/hで、傾斜角は26.6°である(集熱量と屋根面日射量の関係は参考文献1を参照)。集熱器計算モデルは実験住宅と同じ構成とし、説明図を図4、集熱屋根の構成を表4に示す。集熱器計算は1時間間隔で、図のように流れ方向に6分割して、6接点目の空気温度を集熱器空気出口温度とした。軒先から入った外気は厚さ40mmの空気層を均一に流れながら集熱板などと熱交換を行う。集熱空気と集熱板の熱伝達率は空気速度などからユルグスの式により計算した。集熱器ガラスの日射垂直入射時の透過率は0.86、吸収率は0.05と設定した。集熱空気から外気までの熱貫流率は3.76W/m²K、室内までの熱貫流率は0.2W/m²Kである。なお、室外側の熱伝達率は23.0W/m²・K、室内側の熱伝達率は9.3W/m²・Kとした(室内側空気温度は定温20℃として計算)。

3.3 地中温度の計算方法

地中温度は深さ3.0mの温度を計算し、2次元後退差分法で計算を行った。計算を行う時の土壌の熱伝導率は1.5W/mKで、熱容量は1500KJ/Kとした⁶⁾。土壌表面と外気側の総合熱伝達率は23.0W/m²・Kとした。

3.4 計算条件

本計算では、家族構成は夫婦二人が生活するとし、室内の生活発熱スケジュールは住宅における生活スケジュール発生プログラム⁸⁾から計算して表5のように仮定した。室内の家具などによる熱容量は4.55MJ/Kと計算した(住宅用標準問題提案⁷⁾の4.5Kcal/m³Kから)。

4. 実測値による計算プログラムの検証

実大実験住宅の2001年度および2003年度冬季実測データを用いて、計算プログラムの有効性を検証した。図5～図8にその検証結果の一部である2003年12月2日から8日間の集熱温度、室温、水蓄熱体温度と床下空間温度の計算値と実測値を示す(気象データは実測値を1時間毎に平均して使用した)。図5に外気温と日射量の推移を示す。計算助走期間は1週間とし、この一週間の気象条件は12月2日と同じ条件として繰り返し計算を行った。

図6に集熱空気温度の実測値と計算値を示す。計算値は屋根の集熱器出口温度であるのに対し、実測値は室内の集熱ダクト内温度であるためファンが回っていない夜間や曇天日には計算値よりかなり高い温度になっている。それ以外の集熱時をみると、計算値の最高温度が実測値より最大で8℃程度高くなる時もあるが、全体的にほぼ一致していることが分かる。

図7、図8に室温、床下空気温度と水蓄熱体温度の実測値と計算値を示す。全体的に誤差は少なく、ほぼ同じ変動をしていることがわかる。しかし、曇った日と夜間の明け方において水蓄熱体の計算値が実測値より最大で2℃近く低くなっている。これは水蓄熱放熱床モデルでは根太が無く根太の部分まで水蓄熱体があると仮定して計算を行っているため、実際より室温や床下空気温度の影響を受けやすくなっていることが原因と考えられる。しかし、システムの構成要素の影響を検討するには十分な精度を持っていると判断し、以下の検討を行った。

表5 室内熱量発生スケジュール

時刻	0～5	6	7	8	9	10～11	12	13
(W)	111.0	801.0	1066.5	345.6	377.1	177.0	265.5	705.5
時刻	14～16	17	18	19	20	21	22	23
(W)	177.0	345.5	436.0	1088.5	868.2	853.1	694.0	159.0

図5 比較検討用期間の外気温と日射量(2003年)

図6 集熱空気温度の実測値と計算値

図7 室温と床下空気温度の実測値と計算値

図8 水蓄熱体の実測値と計算値

表6 システム影響要素の水準

断熱材厚さ	25mm	50mm	75mm	100mm	125mm	150mm	
換気回数	0.1回	0.2回	0.3回	0.5回	0.7回	0.9回	1.1回
水蓄熱体熱容量	0MJ	5MJ	10MJ	15MJ	20MJ	25MJ	
水蓄放熱床断熱材	有	無					
床の蓄熱体材料	水蓄放熱床	コンクリート床			合板床		
床下空間高さ	1.3m	0.3m	0.1m				
土間床スラブ厚さ	0mm	50mm	100mm	150mm			
土間床断熱材厚さ	0mm	25mm	50mm	100mm	150mm		
地 域	釧路	盛岡	仙台	東京	鹿児島	新潟市	
構 造	木造	RC造	* 網掛部分が標準				

表7 着衣量と代謝量の設定

	23時～5時	6時～22時
着衣量(clo)	3.0	1.2
代謝量(met)	0.7	1.2

5. システム影響要素の検討結果

表6に検討を行った影響要素と水準を示す（網掛部分が標準）。冬季の計算期間は12月～2月までの3ヶ月とし、計算助走時間は2週間とした。気象データはアメダスの標準年気象データを用いた。

評価は期間平均PMVと期間積算快適時間率を用いて行った^{注1)}。期間平均PMVは全計算期間におけるPMVの平均値であり、期間積算快適時間率は計算期間の間に室内PMV値が-1.0～+1.0間に入った時間数が全時間に占める割合である。PMVを計算するに当たって相対湿度は50%、室内風速は0.15m/sと設定し、着衣量と代謝量は表7のように設定した。

5.1 建物の気密性と断熱性の影響

図9と図10に断熱性と気密性の計算結果を示す。断熱性は壁と屋根の断熱材の厚さで、気密性は1時間の換気回数を用いて検討を行った。計算結果から、断熱性と気密性がシステムの温熱環境に与える影響は大きく、太陽熱を有効に利用する必要条件であることを確認した。本モデル住宅においては、断熱材厚さが100mmを超えると、また換気回数は0.3回/hより少なくなると期間積算快適時間率の変化は少ない。なお、図10で換気回数が0.1回/hの時に0.2回/hより期間積算快適時間率が低いのは、PMV値が+1.0を超える時間数が増えるため快適域に入る時間数が少なくなるからである。

5.2 水蓄熱体熱容量の影響

図11に水蓄放熱床の水蓄熱体熱容量が期間積算快適時間率に与える影響について示す。まず、水蓄熱体がない0MJ（合板床）のときと水蓄熱体がある場合を比較すると、水蓄熱体を設置することにより期間積算快適時間率を20%程度高めることができる。また、期間平均PMVも約0.2高くなる。しかし、水蓄熱体がある場合を比較すると熱容量の違いによる効果はそんなに大きくない。そこで計算期間における時間ごとの平均PMVを計算し、分析を行った。その結果を図12に示す。図より、明け方から集熱を行う直前までは熱容量が少ないほどPMV値も小さいが、集熱終了後から深夜までは水蓄熱体熱容量が少ないほど高くなっていることがわかる。これは、日中の集熱中水蓄熱体熱容量が少ないほど水蓄熱体への蓄熱量は少なくなるが、その分室温が高くなることによって室内および床下コンク

リートへの蓄熱量が増えるからであると考えられる。なお、23時にPMVが急に高くなるのは着衣量と代謝量が変わるからである。

5.3 水蓄放熱床の下側断熱材の影響

図13に水蓄放熱床の下側断熱材の有無による計算結果を示す。図でcase1は標準モデルにおける水蓄放熱床の下側断熱材がある場合、case2はない場合であるが、結果から見ると断熱材の効果はあまり現れてない。これは標準モデルにおいては、土間床断熱材厚さが100mmあり床下空間からの熱損失が少ないことが原因であると考えられる。そこで、床下空間の熱損失が大きい場合の例として、土間床断熱材が無い場合の水蓄放熱床の下側断熱材の有無による検討を行ったのがcase3とcase4である。計算結果から、水蓄放熱床の下側断熱材があるcase3の快適時間率が断熱材が無いcase4より20%程度高く、期間平均PMVも高くなっている。このように、床下空間の熱損失が少ない時において水蓄放熱床の下側断熱材の効果は小さいが、床下空間の熱損失が多い場合には断熱をした方が効率的であることがわかる。

5.4 床下空間高さや床下ダクトの影響

図14に床下空間の高さと床下ダクトの有無による計算結果を示す。床下空間の高さが低くなればなるほど期間積算快適時間率は高くなるがその差は小さく、特に高さ0.3mと0.1mにおいてはほとんどかわらない。また、床下ダクトの有無について比較すると床下ダクトを設置することにより期間積算快適時間率を約5%、期間平均PMVを0.2近く高められることがわかる。

5.5 土間床スラブの影響

実大実験住宅の実測結果から、集熱を行う時の床下空間温度が高

図12 水蓄熱体熱容量の影響（時間毎の平均PMV）

図9 断熱性の影響

図10 気密性の影響

図11 水蓄熱体熱容量の影響

図13 水蓄放熱床断熱材の影響

図14 床下空間高さの影響

図15 土間床スラブ厚さの影響

図 16 土間断熱材の影響

くなることなどから土間床スラブの蓄熱効果の影響を検討する必要があると考えられる。図 15 にその結果を示す。しかし、計算結果から見ると土間床スラブがある時はスラブがない時に比べ期間積算快適時間率が 5% 程度高くなっているものの、全体的に見て土間床スラブの効果は比較的に小さい。これは夜間において土間床スラブの放熱量が少ないことと、直接室内に放熱しないのが原因であると考えられる。従って、土間床スラブの蓄熱性を有効に利用するためには、夜間に循環用ファンを作動させるなどの何らかの工夫が必要であると思われる。

5.6 土間床断熱材の影響

図 16 に土間床断熱材の厚さによる違いを示す。図から、土間床断熱材の影響は大きく、断熱材が無い場合は標準モデル (100mm) に比べて期間積算快適時間率が約 30% 低く、期間平均 PMV も 0.4 程度低くなっている。また、土間床断熱材の厚さが 100mm を超えると期間積算快適時間率と期間平均 PMV 値の変化が小さくなっている。

5.7 蓄放熱床の蓄熱体材料による検討

図 17 に蓄熱体材料による検討結果を示す。コンクリート床は水蓄放熱床と同じ熱容量のコンクリート (厚さ約 12cm) が蓄熱体としてあるとした。コンクリート床の非定常計算は後退差分法で行った。水蓄放熱床の場合がコンクリート床の場合と比べ期間積算快適時間率が 20% 程度高く、期間平均 PMV 値も 0.2 以上高くなっていることが分かった。これは同じ熱容量でも水蓄熱体の方が伝熱性が高く、蓄熱量が多くなるためである。しかし、コンクリート床の場合を合板床に比べると期間積算快適時間率が 20% 程度高く、期間平均 PMV も高くなっている。これらのことから、床部分に蓄熱体を設置

図 17 蓄放熱床の蓄熱体材料による検討

図 18 木造と RC 造による検討

することは有効であり、また水蓄熱体の方がコンクリート床に比べ効果が高いことがわかる。

5.8 木造と RC 造による検討

室内の熱容量が大きい時の検討として、外断熱 RC 造との比較を行った。図 18 にその計算結果を示す。RC 造のコンクリート厚さは、住宅標準問題⁷⁾の提案を参考に 150mm とした。また、熱損失性能による比較検討も行うために壁断熱材厚さが 100mm, 75mm と 25mm の時の計算も行った。全体的に RC 造の方が木造より効果がよく、また断熱性が弱くなるにつれ RC 造の効果が高くなっていることがわかった。

5.9 地域別気象条件の違いによる検討

地域別による気象条件の影響を検討するために I 地域から V 地域までの中で比較的日射が多い釧路、盛岡、仙台、東京と鹿児島を選んだ。また、同じ地域における気象条件の影響も検討するために、日射量が少なく東京と同じ IV 地域に入る新潟市についても計算した。計算結果を図 19 に示す。計算結果から I 地域と II 地域の釧路と盛岡において、外気温が低く、集熱温度が 30℃ 以上になる時間が少なかったため 12 月、1 月と 2 月は期間積算快適時間率はほぼ 0 である。これから I 地域と II 地域においては断熱性を高めるなどの更なる工夫が必要であると考えられる。これに比べて、III 地域の仙台と IV 地域の東京では 1 月でも快適区間に入る時間数が多く、太陽熱だけでも快適域に入る時間が多かった。しかし、東京と同じ IV 地域の新潟市については日射量が少ないため集熱温度が 30℃ 以上になる時間が少ない。本システムを建設する際は外気温だけではなく地域の日射量も充分に考慮する必要があると考える。

図 19 地域別の気象条件の違いによる検討

5.10 水蓄熱体の熱容量と熱負荷係数、集熱面積との関係

本システムにおける適切な水蓄熱体の熱容量は主に建物の断熱・気密性と集熱性能により決まると考えられる。そこで、水蓄放熱床の熱容量が熱損失係数と集熱面積とどのような関係にあるのかを把握するために、本モデル住宅における水蓄熱容量と熱損失係数、集熱面積との関係を調べる。ここでは、熱損失係数と集熱面積を1つの変数にするために式(2)のようにLCR^{注2)}として表現した。なお、集熱面積は一般屋根部分とガラス集熱部分面積の合計とした。熱損失係数は表6の断熱材厚さと換気回数を変更した場合の各ケースについて求めた⁸⁾。図20に水蓄熱体熱容量が0MJ、5MJ、15MJ、25MJの時の計算結果を示す。まず0MJ(合板床)の場合と水蓄熱容量がある場合と比べると1/LCRが約0.3を超えると水蓄熱体があった方が有効であり、また1/LCRが大きくなるにつれその差は大きくなる。また、1/LCRが0.4以上では熱容量が大きい方が有利になる。しかし、1/LCRが0.3以下になると合板床の方が15MJと25MJの場合に比べ時間率が高くなった。これは、熱損失が大きい時は集熱により蓄熱せずに集熱時間帯の快適時間を多くした方が快適時間率が多くなるためと思われる。また、1/LCRが0.4より小さい時は5MJの場合が4つの中で最も快適時間率が高くなった。

6. 結び

本研究では、シミュレーションにより水蓄放熱床をもつ太陽熱床暖房システムの性能に影響する要素について検討を行った。得られた主な知見を以下に示す。

1. 断熱性と気密性がシステムの温熱環境に与える影響は大きく、太陽熱を利用するに当たっての必須条件であることを確認した。
2. 床に水蓄熱体を設置することにより、期間積算快適時間率を水蓄熱体がない合板床と比べて約20%高めることができる。しかし、水蓄熱体熱容量の増減による効果は小さく、本建物では15MJを超えてからは変化が小さかった。
3. 水蓄放熱床の下側断熱材の効果は、床下空間の熱損失性能の影響により異なる。例えば、床下空間の熱損失が少ない標準モデルでは断熱材の有無による効果はあまり見られなかった。一方、土間床断熱材が無い場合(床下空間の熱損失が大きい場合)は、水蓄熱体の下側断熱材があった場合の快適時間率がない場合に比べ約20%高くなり、期間平均PMVも0.2近く高くなった。
4. 外断熱RC造との比較から、壁に熱容量を持たせることにより期間積算快適時間率を5%程度高めることができ、その効果は断熱性が弱くなるにつれ大きくなる。
5. 地域別による気象条件の検討から、寒冷地では断熱性能を高めるなど本システムを建設する際は外気温と日射量の影響を十分に考慮する必要がある。
6. 本モデル住宅における水蓄熱体熱容量と断熱・気密性、集熱面積との関係を把握することができた。ほとんどの場合において水蓄熱体を設置したほうが有利であるが、1/LCRが0.4より大きい時は熱容量が15MJ以上の方が、小さい時は5MJ程度の方が有利であった。また、1/LCRが0.3以下になると合板床の方が15MJと25MJの場合に比べ時間率が若干高くなった。なお、これらは集熱器の効率特性など様々な因子に影響されるので、さらに検討する必要があると考えられる。

図20 水蓄熱容量と熱負荷係数、集熱面積との関係

$$\text{LCR} = \frac{\text{熱負荷係数}}{\text{集熱面積}} \quad [\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad \text{式(2)}$$

但し、熱負荷係数=熱損失係数×延べ床面積

注：1) 本研究では、昼と夜の代謝量と着衣量の違いを直接考慮して評価できることと、日中の室温が高くなりすぎ不快になることを評価に入れるために、PMVを用いた期間快適時間率により評価を行った。

2) 本システムの性能に大きく影響する要素は、水蓄熱体と建物の断熱・気密性および集熱特性であると考えられる。そこで水蓄熱体以外の2つの変数を1つの数値で表現できるものとして、パッシブソーラーヒーティングで使用されているLCR (Load Collector Ratio) 法⁹⁾を用いて検討を行った。

[謝辞]

本研究の一部は、東京都立大学21世紀COEプログラム「巨大都市建築ストックの活用・更新技術育成」の一環として行われたものである。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 中村健児・渡辺俊行・他：太陽熱利用空気集熱式床暖房住宅の設計指針 日本建築学会計画系論文集 第516号, pp. 31-38, 1999.2
- 3) 渡辺俊行・他：太陽熱利用空気集熱式床暖房住宅に関する調査研究 その1～その6 日本建築学会大会学術講演梗概集 1994～1996、日本建築学会九州支部研究報告集1995, 1996
- 4) 宇田川光弘著：パソコンによる空気調和計算法
- 5) 渡辺要著：建築計画原論II
- 6) 松本真一：地下室の熱付加シミュレーションと環境設計 日本建築学会環境工学委員会 熱環境小委員会第33回熱シンポジウム pp. 101-106, 2003.12
- 7) 宇田川光弘：標準問題の提案 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム pp. 23-33, 1985.9
- 8) 住宅設備委員会住宅のエネルギーシミュレーション小委員会：「住宅における生活スケジュールとエネルギー消費」 空気調和・衛生工学会シンポジウム 2000.3
- 9) 高間三郎 著：パッシブソーラーハウス入門 pp. 110-115
- 10) 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
- 11) 石原修・他：パッシブエアサイクル住宅の温熱性能に関する研究 その1～その7 日本太陽エネルギー学会第13回研究発表会講演論文集 (1987)、日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会・合同研究発表講演論文集 (1988, 1989, 1990)
- 12) 相良和伸・他：ソーラーハウスの性能評価に関する研究 その1～その4 日本建築学会大会学術講演梗概集 1996, 1997
- 13) 趙雲・他：PCM蓄熱材を利用したソーラーハウスの冬季実測調査 日本建築学会大会学術講演梗概集 1997
- 14) 伊藤直明・堀祐治：蓄熱用アクアバッグを床面に持つ空気集熱・太陽光発電併用のソーラーハウスの冬季熱性に関する研究その1、その2 日本建築学会大会学術講演梗概集 1999
- 15) 須永修通・他：蓄放熱コンクリート床スラブをもつソーラーシステムTMU3の実績 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 553-554, 1981
- 16) 須永修通・他：太陽エネルギーを利用した水蓄放熱床暖房システムに関する研究 その1、その2 日本建築学会大会学術講演梗概集 2001
- 17) N. Sunaga, Y. Hori and Z. Xian, 'Thermal Performance of Solar Heating System with Water Floor', Proceedings of PLEA 2002, pp.297-301, 2002.7
- 18) Z. Xian, N. Sunaga and Y. Hori, 'Thermal Performance of Solar Heating System with Water Floor Part2, Study on the effect of Water Floor and energy-saving performance of this system', Proceedings of PLEA 2003, 2003.11

(2004年5月10日原稿受理, 2004年10月15日採用決定)