

# 太陽熱のパッシブ利用に関する研究 (その3)

——潜熱蓄熱体とウォーターウォールの性能評価——

岡 建 雄

## Passive Systems for Solar Heating and Cooling (Part 3)

——Evaluations of Performances of Phase Change Heat Storage Rods and Water Wall——

Tatsuo Oka

### Abstract

Evaluations of passive solar systems such as phase change heat storage rods and a water wall installed in a revolving air-conditioning test room are described in this paper. The evaluation method for performances of passive systems is to obtain overall heat conduction of the room for the incident solar energy by regression analysis. The overall heat conduction shows the performances in solar heat collection, which were approximately 80~90% in the experiments with the phase change heat storage rods and the water wall. These passive systems keep the room air temperature 4~5°C lower during the daytime and 2~4°C higher during the nighttime in comparison with when the passive systems are not provided. These analyses showed that a simple thermal model may be adapted to passive solar systems which usually exhibit very complicated thermal behaviors.

### 概 要

本報告は回転実験室内に潜熱蓄熱体およびウォーターウォールを設置して、実験を行ない、パッシブ効果の性能評価を行なったものである。性能評価の方法は日射を熱入力として、熱入力に対する室内の総括熱貫流率を求め、日射がどれ程室温上昇に寄与しているかによりパッシブ効果を定量化した。潜熱蓄熱体やガラス管ウォーターウォールの集熱効率はいずれも高く、80~90%の値を示し、パッシブシステムの無い場合に比べ、日中の室温を4~5°C 降下させ、夜間の室温を2~4°C 高く保つ働きがある。本実験の解析により、熱的には極めて複雑なパッシブシステムも単純な室内の熱モデルにより表現できることが判明した。

### 1. はじめに

パッシブシステムは稼働部分がないという点から、建物の一部として考えることが必要である。本報告で行なった性能試験では、熱容量と総括熱貫流率によりパッシブシステムの性能評価が可能であると考え、実験結果の回帰分析からこれらの実験定数を把握した。性能評価は日射を熱入力として、熱入力に対する室内の総括熱貫流率を求め、日射がどれ程室温上昇に寄与しているかによりパッシブ効果を把握したものである。本報告では潜熱蓄熱体やウォーターウォールの測定を行なったが、これらはいずれもトロンプ壁に比較して、室内に入射する光量が多い利点があるものの、十分な蓄熱作用を有するかどうか問題点として指摘される。今回の実験により、

従来から提案されており、かつ広く使用されているこれらのパッシブシステムの性能を定量的に把握できたと考える。

### 2. 実験装置

回転実験室は  $H \times D \times W = 2 \times 4 \times 4$  m の大きさで南面は全面一重ガラス、他は 12 cm 厚のコンクリートに囲まれている。コンクリート表面には厚さ 40 mm の断熱材を貼り、合板で仕上げた。回転実験室内に試作したパッシブシステムは写真-1、図-1 に示される4例であり、トロンプ壁と比較して、いずれも採光状態が良いことがわかる。この4例の他に解析上の理由から窓際に何も置かない場合の実験を行なった(ダイレクトゲイン)。但し、この場合も各種パッシブシステムを支える鉄骨構

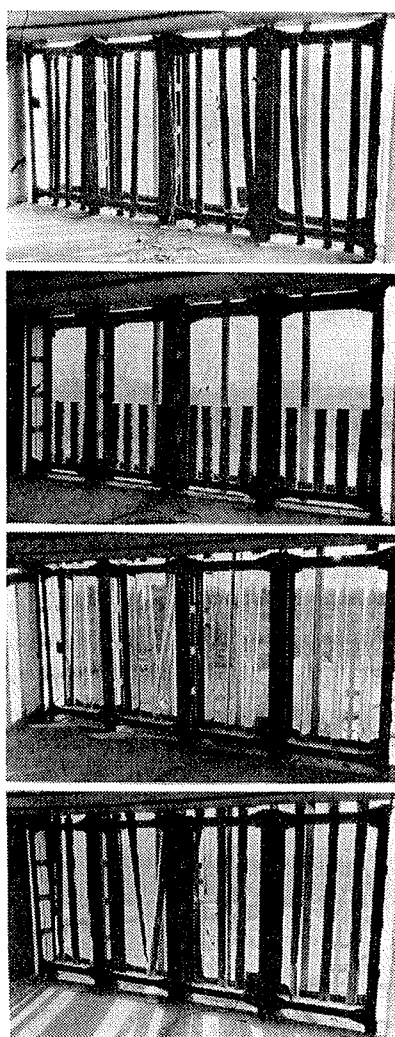


写真-1 室内から見たパッシブシステム4例

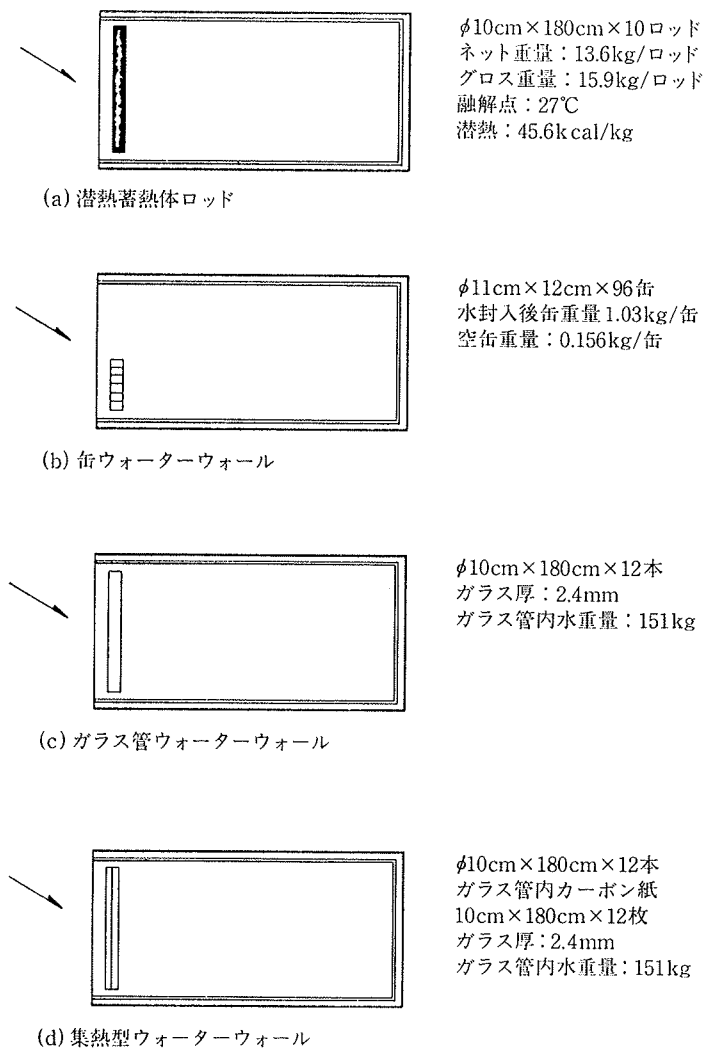


図-1 実験に用いたパッシブシステム4例(断面)

造は窓際に存在している。

実験は1ケース4～5日程度で、2日程度は快晴日が入っているようにした。実験期間は1981年11月11日から12月7日までで、快晴の多い季節であった。

### 3. パッシブシステムの性能評価

#### 3.1. 性能評価のための分析手法

室温を非定常解析するために、重み関数を用いた計算法がある。最も単純な熱的系として、各部材間の表面温度差に比例して熱が移動する室の熱供給に対する室温の重み関数  $\varphi_s(\tau)$  は次式で表現される。

$$\varphi_s(\tau) = \frac{1}{Q} e^{-(W/Q)\tau} \quad \dots\dots\dots(1)$$

(1)式を仮定すると、室温に関して、(2)式が導かれる。

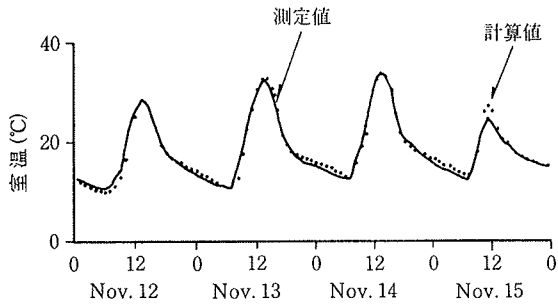
$$\theta_R = \int_0^t \sum_i \theta_i(t-\tau) \varphi_a(\tau) d\tau + \int_0^t S(t-\tau) \varphi_s(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots(2)$$

但し、 $\varphi_s(\tau)$ ,  $\varphi_a(\tau)$ : 熱供給及び外気温に対する室温の重み関数, Q: 室熱容量 (kcal/℃), W: 室の総括熱貫流率 (kcal/℃ h),  $\theta_i$ : 各部材に作用する温度 (℃), S: 室の熱供給量 (kcal/h)

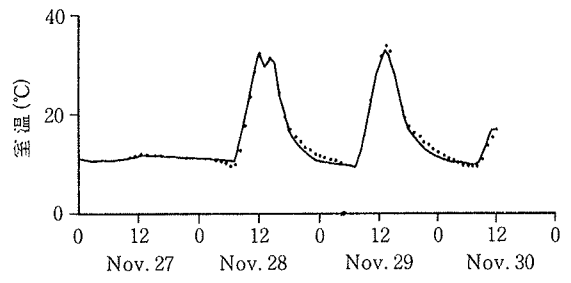
計測されたデータを(2)式に与え、回帰分析の手法によって総括熱貫流率W, 熱容量Qを算出し、室に対する熱供給量Sが室温上昇に寄与する割合によって、性能評価を行なうものである。すなわち入射日射量をSとすればWが大きい程、熱損失が大きく、同一のSに対して室温の上昇は小さいことになる。従って、同じ室であれば集熱効率が低くなると考えられ、Wから集熱効率が算出される。

#### 3.2. 測定結果に基づく回帰分析

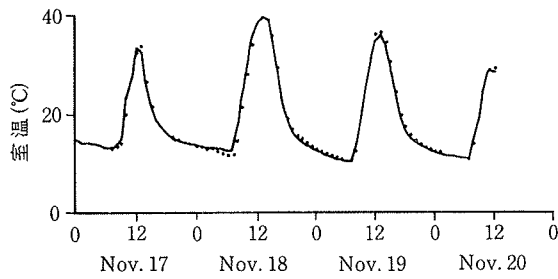
回転実験室は下表に示すような熱貫流率の構成であるために、入力として窓面から透過する太陽日射量、ガードルーム空気温、外気温及び室温を用いた。室温予測の要因は3成分である。



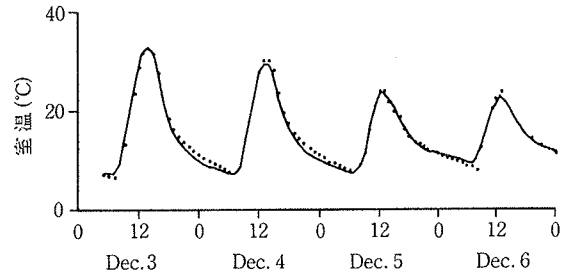
(a) 潜熱蓄熱体ロッド



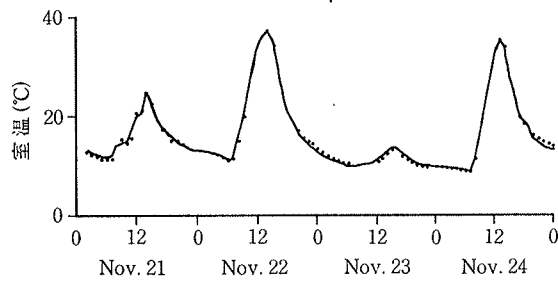
(d) ガラス管ウォーターウォール



(b) ダイレクトゲイン



(e) 集熱型ウォーターウォール



(c) 缶ウォーターウォール

図-2 入射日射量, 外気温, ガードルーム空気温を要因とした場合の計算室温と測定室温の比較

	総括熱貫流率 (kcal/°Ch)	室熱容量 Q(kcal/°C)	分析誤差 $\sigma(^{\circ}\text{C})$	集熱効率 $\epsilon(\%)$
潜熱蓄熱体	173	320	0.093	79
ダイレクトゲイン	136	251	0.062	100
缶ウォーターウォール	152	346	0.048	89
ガラス管ウォーターウォール	146	385	0.053	93
集熱型ウォーターウォール	151	420	0.061	90

表-1 入射日射量, 外気温, ガードルーム空気温を要因とした場合の総括熱貫流率, 室熱容量, 分析誤差および集熱効率 (集熱効率はダイレクトレインを100%とした場合の値)

ガラス面 (8 m <sup>2</sup> )	46 kcal/h°C
内 壁 (56 m <sup>2</sup> )	72 kcal/h°C

ガードルームの影響は無視できない程度の大きさとなり, かつ回帰式の性格上, 定常伝熱として扱うために精度を減少させる原因となっている。図-2は測定室温と

回帰式による計算室温の比較であるが、いずれも良好に一致している。この比較により3成分による評価法は充分精度は高く、潜熱蓄熱体のような複雑な機構をもつシステムでも建物内に組み入れられると単純な熱的系で表現できると考えられる。

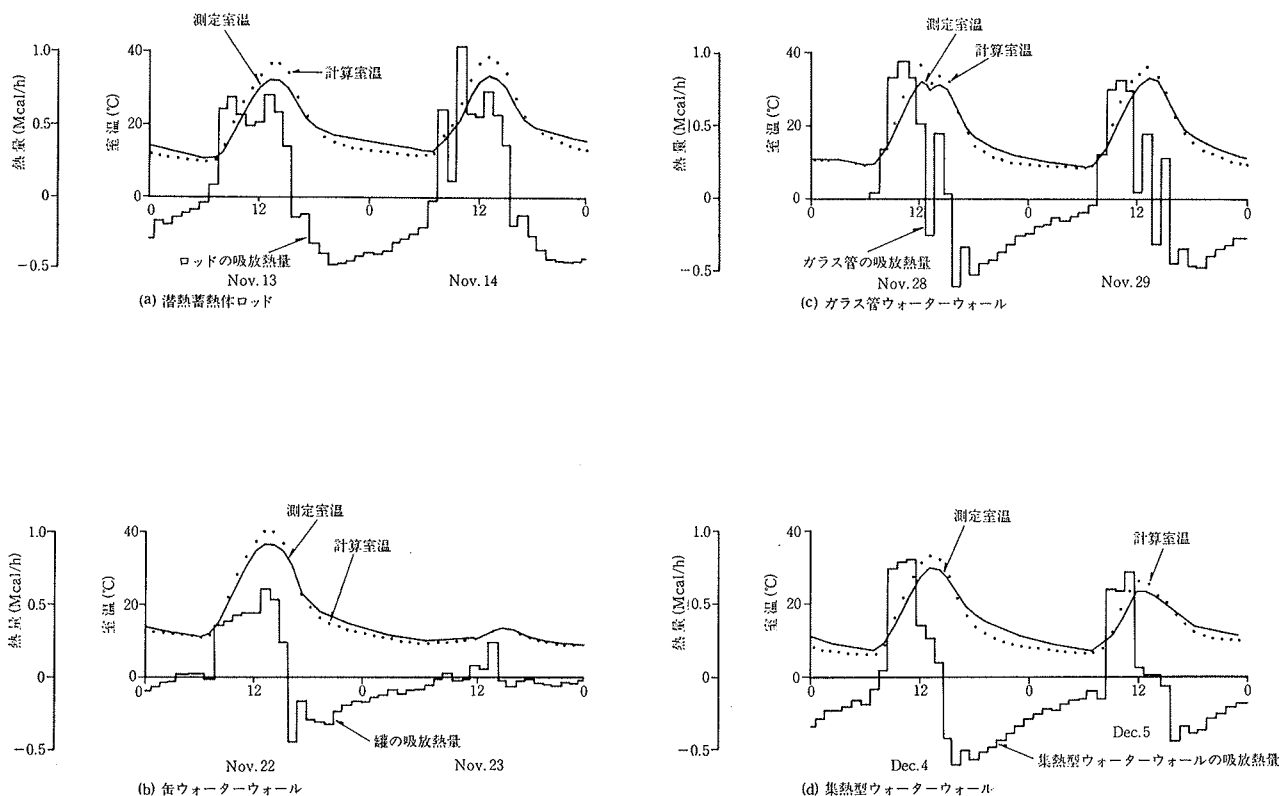
### 3.3. 性能評価

表一は回帰分析を行なった場合の各実験定数である。総括熱貫流率 $W$ はダイレクトゲインが最小であり、潜熱蓄熱体が最大である。これは潜熱蓄熱体の場合、黒色のロッドであるために、窓際の温度が上昇して太陽熱の室温に対する寄与率が減少すると考えられる。この観点から、缶ウォーターウォールも同様 $W$ が大きいことになる。またガラス管ウォーターウォールは透過日射が大きいために窓際の空気温が高くならずに $W$ が小さくなると考えられる。集熱効率を $W$ から計算すれば、潜熱蓄熱体79%、缶ウォーターウォール89%、ガラス管ウォーターウォール93%、集熱ウォーターウォール90%となる。一方、熱容量 $Q$ はダイレクトゲインを251 kcal/°Cとすると、パッシブシステムを取りつけたことによる熱容量の増加は、潜熱蓄熱体191 kgで69 kcal/°C、缶ウォーターウォール99 kgで95 kcal/°C、ガラス管ウォーター

ウォール151 kgで134 kcal/°C、集熱ウォーターウォール151 kgで169 kcal/°Cと算出された。従って潜熱蓄熱体による熱容量の増加は比較的少ないものの、他のシステムは内包する水量とほぼ等しい熱容量の増加を示しており、100%の効果を発揮していると言えよう。本回帰分析では総括熱貫流率は比較的正確に算出されるものの、熱容量や重み関数に関する実験定数は不正確になり易い。この原因の大部分は壁体の熱的遅れに起因すると思われる。

図一3はパッシブシステムによる室温の上昇、下降及びパッシブシステムによる吸放熱熱量を示したものである。実線で示したものは測定室温である。ドットラインによるものはダイレクトゲインを想定した場合の計算室温で前述の回帰式による。従って実線とドットラインの差がパッシブシステムによる室温移動である。いずれも日中は5°C前後、パッシブシステムにより室温が低く抑えられ、夜間は2~4°C高くなっている。缶ウォーターウォールはこの差が小さいものの、他のシステムは概ね同様のものとなっている。

棒グラフで描いてある熱量はパッシブシステムから吸放熱される熱量である。日中は500~1,000 kcal/hの吸



図一3 測定室温とダイレクトゲインを想定した場合の計算室温の比較および各パッシブシステムの吸放熱

熱が行なわれ、日没と共に500 kcal/h程度の放熱が始まることが示されている。熱量的には缶ウォーターウォールが最小で、潜熱蓄熱体と集熱ウォーターウォールが大きい。しかし、いずれも気象条件に左右され厳密な比較を行なうには同一の気象条件を設定して計算する必要がある。

表一1に示される分析結果を用いて、同一の気象条件の場合を想定して計算を行ない、室温変動、吸放散熱量を比較した。この結果によると集熱型ウォーターウォールやガラス管ウォーターウォールは吸放散熱量共に大きく、潜熱蓄熱体は吸熱が非常に大きいことが示された。これは窓際の空気温を高め、結果的に総括熱貫流率の増大を招いていると考えられる。室温変動を見るとガラス管及び集熱型ウォーターウォールは日中の室温を4℃程度下げ、夜間の室温を2～4℃高く保つ働きがある。缶ウォーターウォールは水量が少いせいから、日中3℃、夜間1～1.5℃程度の効果であった。

#### 4. 結 論

回転実験室を用いて潜熱蓄熱体、ダイレクトゲイン、缶ウォーターウォール、ガラス管ウォーターウォール、集熱型ウォーターウォール、の5例のパッシブシステムの性能評価を行なった。結果を要約すると、

(1) 外気温、ガードルーム空気温、日射量の3成分を要因として総括熱貫流率、熱容量などを算出した。いずれも計算値と測定値は良好に一致し、本計算法によりパッシブシステムの熱的性能を表現できると考えられた。

(2) 集熱効率はいずれも高く、ダイレクトゲインを

100%とすれば、潜熱蓄熱体79%、缶ウォーターウォール89%、ガラス缶ウォーターウォール93%、集熱型ウォーターウォール90%である。熱容量の増加は潜熱蓄熱体69 kcal/℃、缶ウォーターウォール95 kcal/℃、ガラス管ウォーターウォール134 kcal/℃、集熱型ウォーターウォール169 kcal/℃であった。

(3) 潜熱蓄熱体、ガラス管ウォーターウォール、集熱型ウォーターウォールでは日中500～1,000 kcal/hの熱を収し、夜間500 kcal/h程度の熱を放散する。その結果室温を日中は4℃程度下げ、夜間2～4℃上げていることになる。缶ウォーターウォールはこれらに比較して、熱的性能は2分の1程度であった。

(4) トロンブ型と比較すると、いずれも効率は高く、入射する太陽日射量から設置されたシステムは100%近い働きをしていると考えられた。潜熱蓄熱体は6,000～7,000 kcalの熱性能があるものの、入射日射量はせいぜいこの半分程度であるから、直径10 cmのロッドを窓際におくのは過大設備であると考えられた。

#### 参考文献

- 1) 松尾 陽: 測定にもとづく室温予測および暖房性能の評価法について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和51. 10)
- 2) 木村建一: 建築設備基礎理論演習, 学献社, (1970)
- 3) 岡 建雄: 太陽熱のパッシブ利用に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 22, (1981), pp. 151～155