

# 外壁・屋根の遮熱性能に関する基礎実験

## Basic Experiment on Solar Shading Performance of Exterior Wall and Roof

小南 和也\*1、小早川 香\*2、鈴木 大隆\*3

### 1. はじめに

我が国の住宅の外壁や屋根の断熱性能は、省エネルギー基準の設計施工指針などに記載されているように全国的に具体的な仕様が定められている。平成11年の省エネルギー基準では、断熱・気密・防露性能の更なる向上が求められ、また来年度には省エネルギー基準の改正が予定されている。

断熱性能の指標としては、窓（サッシ）などの開口部については、熱貫流率及び日射侵入率（ $\eta$  値）の両方を用い、外壁や屋根などの構造躯体については、断熱化されると  $\eta$  値が一般的に小さな値となることから熱貫流率のみが用いられている。特に断熱化された住宅の場合、夏期において窓ガラス等の透明部位からの日射熱の侵入を防止（遮熱）することが重要となることから、 $\eta$  値については各種ガラス類及び遮熱対策のための遮蔽物について、計算もしくは実測により多くのものが評価されている。

一方、温暖地などの夏期の冷房負荷の大きい地域においては、遮熱対策や通風処置により構造躯体の  $\eta$  値を向上させることにより、断熱性向上に寄与できる可能性が考えられるが、これまでは構造躯体の  $\eta$  値と断熱性の関係を定量的に把握した研究はほとんど見当たらない。

そこで、温暖地の夏期を想定した外壁及び屋根構造の遮熱対策の効果を確認するため、構成材の反射特性、通気層の有無、断熱性能の差異及び付属遮蔽物が  $\eta$  値に与える影響を定量的に把握することを目的に実験を行なったので報告する。

### 2. 試験体

試験体は、対象とする温暖地を省エネルギー基準のVI地域（沖縄）として、その地域での代表的な構造躯体であるRC造の外壁及び屋根をモデル化した。なお、今回の実験は遮熱性能の評価に重点を置き、RC造の熱容量及び含水率の影響を排除するため、構造躯体を厚100mmのコンクリートと同程度の断熱性能を有する厚15mmの石膏ボード（PB）に置き換えた。

外壁モデルは、**図-1**に示すように幅455mm×高さ2400mmの大きさとし、躯体相当の石膏ボードに断熱・遮熱処置を施した8仕様（W-1～W-8、**図-2**参照）とした。また、屋根モデルは、**図-3**に示すように幅1950mm×長さ1560mmの大きさとし、躯体相当の石膏ボードに断熱・遮熱処置を施した6仕様（R-1～R-6、**図-4**参照）とした。なお、屋根モデルにおいては、特に沖縄地方で用いられている遮熱ブロック（**写真-1**）を施工した。

外壁及び屋根モデルの使用材料一覧を**表-1**に示す。

表-1 外壁及び屋根モデルの使用材料一覧

部 位	使 用 材 料
構造躯体	石膏ボード（PB） 厚 15 mm
遮熱塗料	白色
外 装 材	けい酸カルシウム板 厚 12 mm
通 気 層	厚 15 mm
断 熱 材	押出法ポリスチレンフォーム保温板（XPS）1種 厚 20 mm
アルミ箔	厚 50 $\mu$ m
遮熱ブロック	軽量コンクリートブロック、 外寸：390 mm×390 mm×厚 100 mm (下部通気層 45 mm)

\*1 KOMINAMI Kazuya：(財)日本建築総合試験所 試験研究センター 建築物理部 環境試験室 室長

\*2 KOBAYAKAWA Kaori：(財)日本建築総合試験所 試験研究センター 建築物理部 環境試験室

\*3 SUZUKI Hirotaka：北海道立北方建築総合研究所 環境科学部 主任研究員・博士（工学）

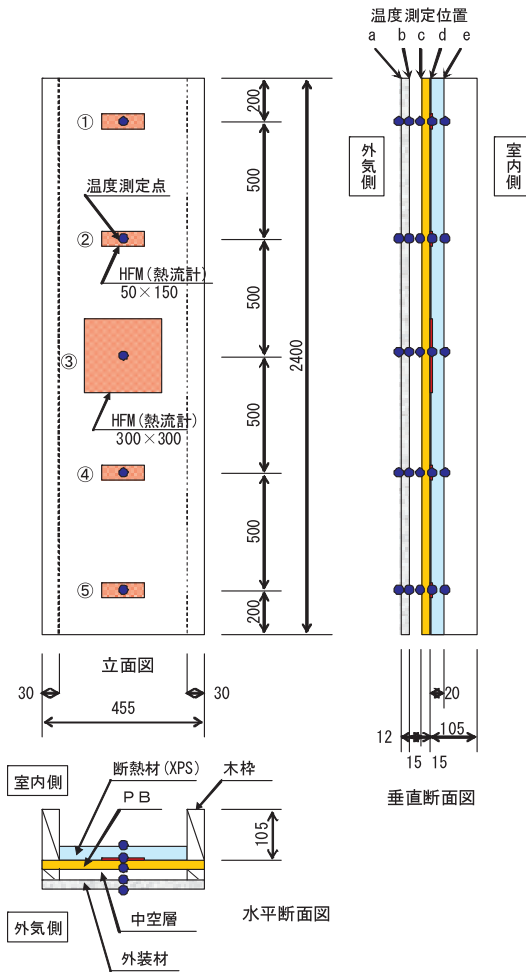


図-1 外壁モデルの構造・寸法 (寸法単位: mm)

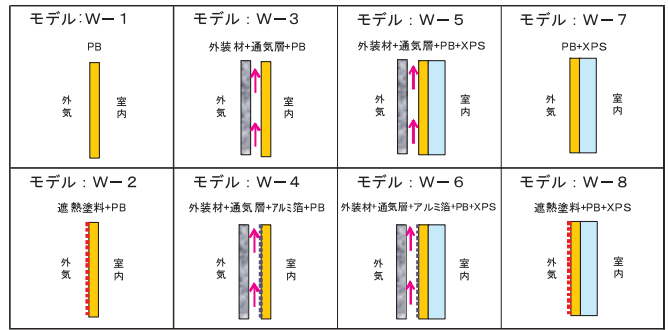


図-2 外壁モデルの仕様一覧

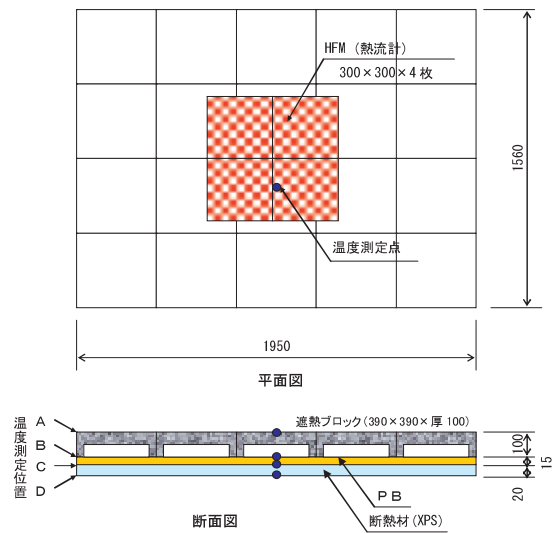


図-3 屋根モデルの構造・寸法 (寸法単位: mm)

### 3. 試験方法

#### 3.1 試験装置

試験装置は、外壁モデルには環境制御ツインチャンバーを用い、その両室の界壁部分に試験体を垂直に設置し、屋根モデルには第1及び第3熱実験室を用い、その両室の界床部分に試験体を水平に設置した。

また、試験体に日射相当の放射熱を与えるため、試験体外気側に放射熱照射装置 (赤外線ランプ) を設置した。試験状況を写真-2及び写真-3に示す。

#### 3.2 試験条件

試験条件は、外壁及び屋根ともに沖縄の夏期を想定し、外気温度は図-5に示す日変化、室内温湿度は22℃、60% RHの定常状態とし、外壁の通気層を有するモデルについては、通気層内の風速を0.1m/sec及び0.3m/secの2条件となるように上方から強制排気した。また、放射熱は図-6に示す1時間ごとのステップ加熱とした。

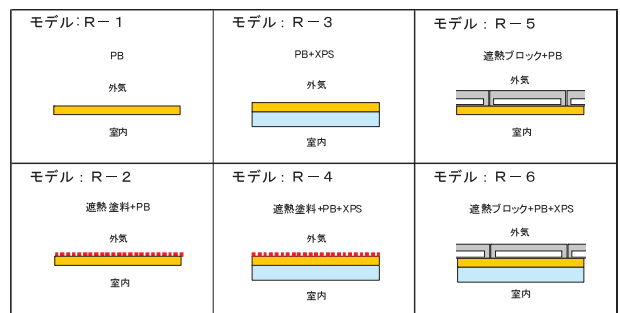


図-4 屋根モデルの仕様一覧

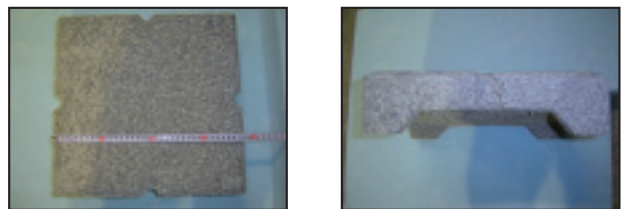


写真-1 遮熱ブロックの外観

試験体両側の気流条件は、表-2に示すように外壁については室内外ともに自然対流、屋根については外気側が強制気流、室内側が自然対流とした。なお、屋根モデルの遮熱ブロックを施工したもの（R-5及びR-6）では、ブロック下部の通気層での風速は約1.7m/secであった。

表-2 室内外の気流条件

試験体		表面熱伝達率
外壁モデル	外気側	約 8W/(m <sup>2</sup> ·K) [風速：約 0.2m/sec]
	室内側	約 8W/(m <sup>2</sup> ·K) [風速：約 0.2m/sec]
屋根モデル	外気側	約 20W/(m <sup>2</sup> ·K) [風速：約 2.2m/sec]
	室内側	約 8W/(m <sup>2</sup> ·K) [風速：約 0.2m/sec]

### 3.3 測定項目

温度は、外壁モデルについては図-1のa～eの位置で、屋根モデルについては図-3のA～Dの位置で、断面方向にT熱電対（φ0.2mm）により測定し、貫流熱量は構造躯体に熱流計（HFM、英弘精機株式会社製、MF-140及びMF-160）を貼り付けて測定した。また、輻射熱量は精密全天日射計（英弘精機株式会社製、MS-801）により測定し、あらかじめ試験体表面で所定の値になるように調整した。

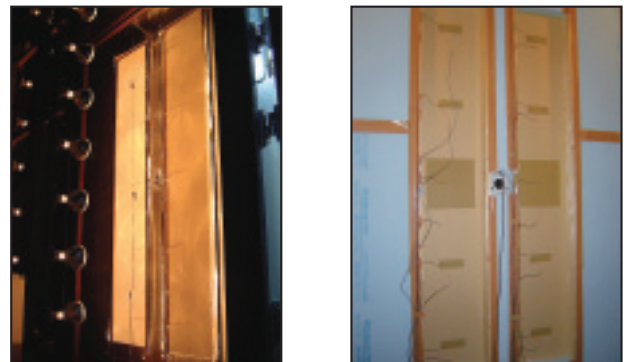
### 4. 試験結果及び考察

温度測定結果について、外壁モデルの断面方向を図-7に、屋根モデルの断面方向を図-8に示す。また、室内表面温度と貫流熱量の各モデルの比較を図-9～図-12に示す。

なお、空気温度及び輻射熱量については、すべての試験条件で設定値の±3%以内の範囲であったので、各測定値を直接比較することとし、外壁モデルの通気層仕様（W-3～W-6）における通気量の変化（0.1m/sec及び0.3m/sec）については、いずれのモデルでも明確な差は認められなかったため、比較の図中では0.1m/secのみを掲載した。また、試験の繰り返しによる熱容量の影響については、各モデルが夜間に一定温度で安定していることが確認でき、今回のモデルでは熱容量による影響は認められなかった。

各モデルの比較結果より、図-9～図-12の室内表面温度及び貫流熱量の高い順は、外壁モデルではW-1、W-2、W-3、W-7、W-8、W-4、W-5及びW-6となり、屋根モデルではR-1、R-2、R-3、R-5、R-4及びR-6となった。

温度及び貫流熱量の結果から、(1)式を用いて算出し



(1) 外気側

(2) 室内側

写真-2 外壁モデルの試験状況



(1) 外気側

(2) 室内側

写真-3 屋根モデルの試験状況

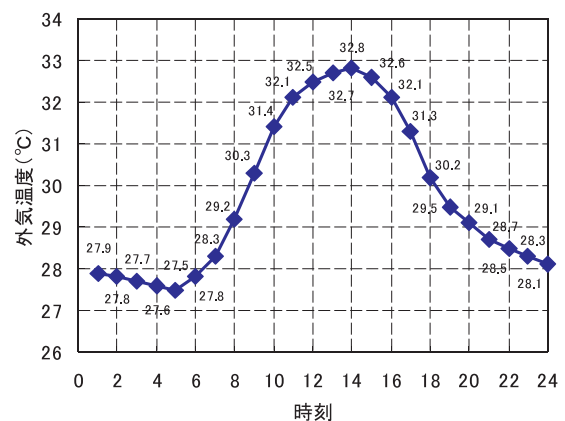


図-5 外気温度条件

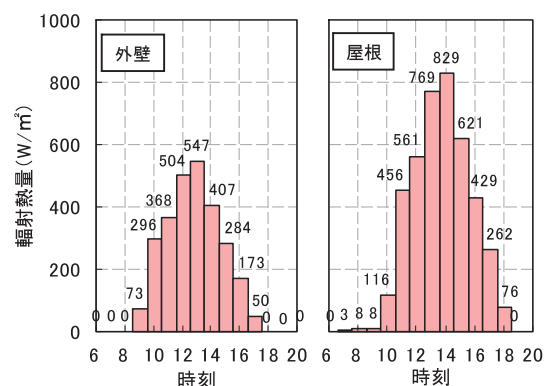


図-6 輻射熱量条件

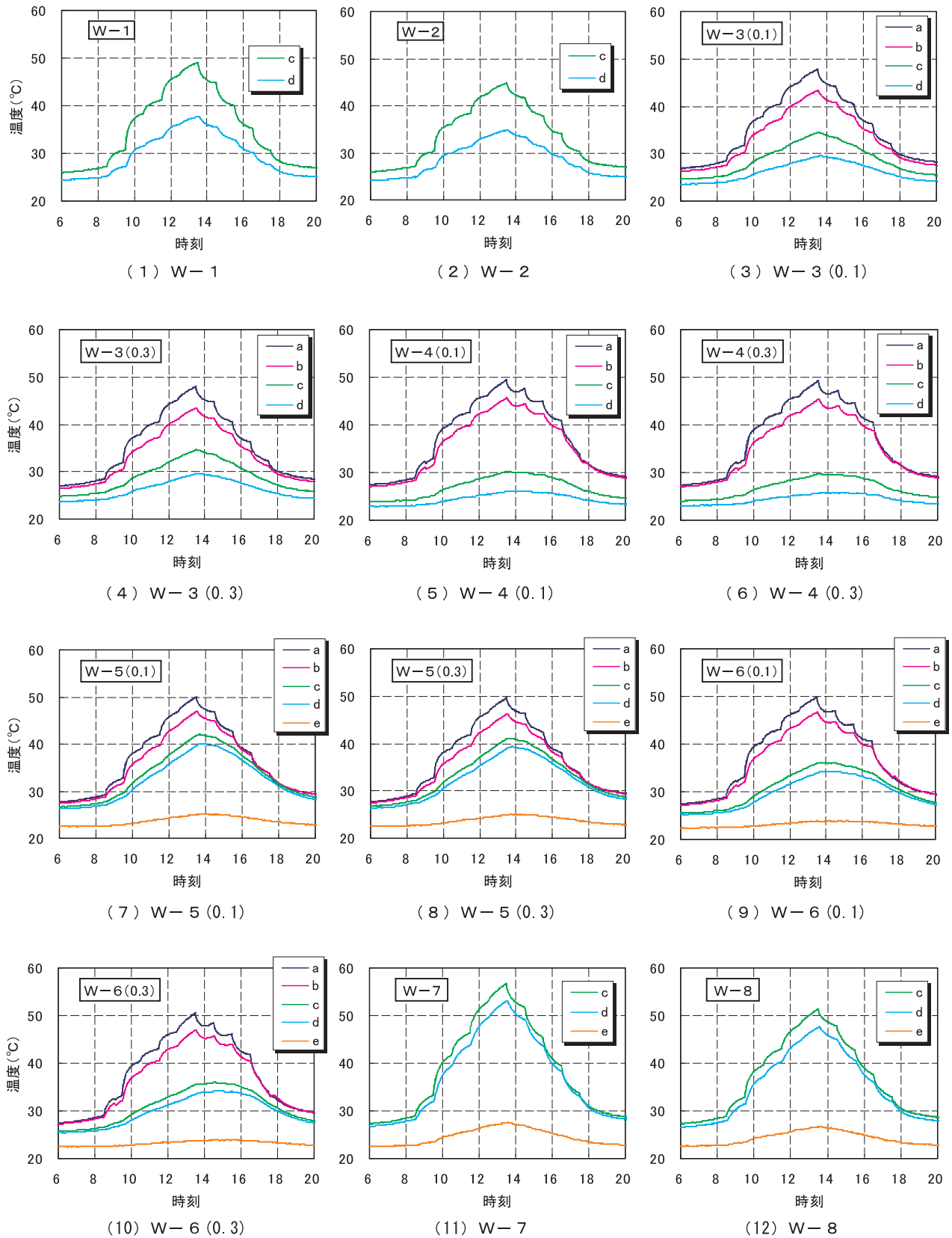


図-7 外壁モデルの断面方向の温度測定結果

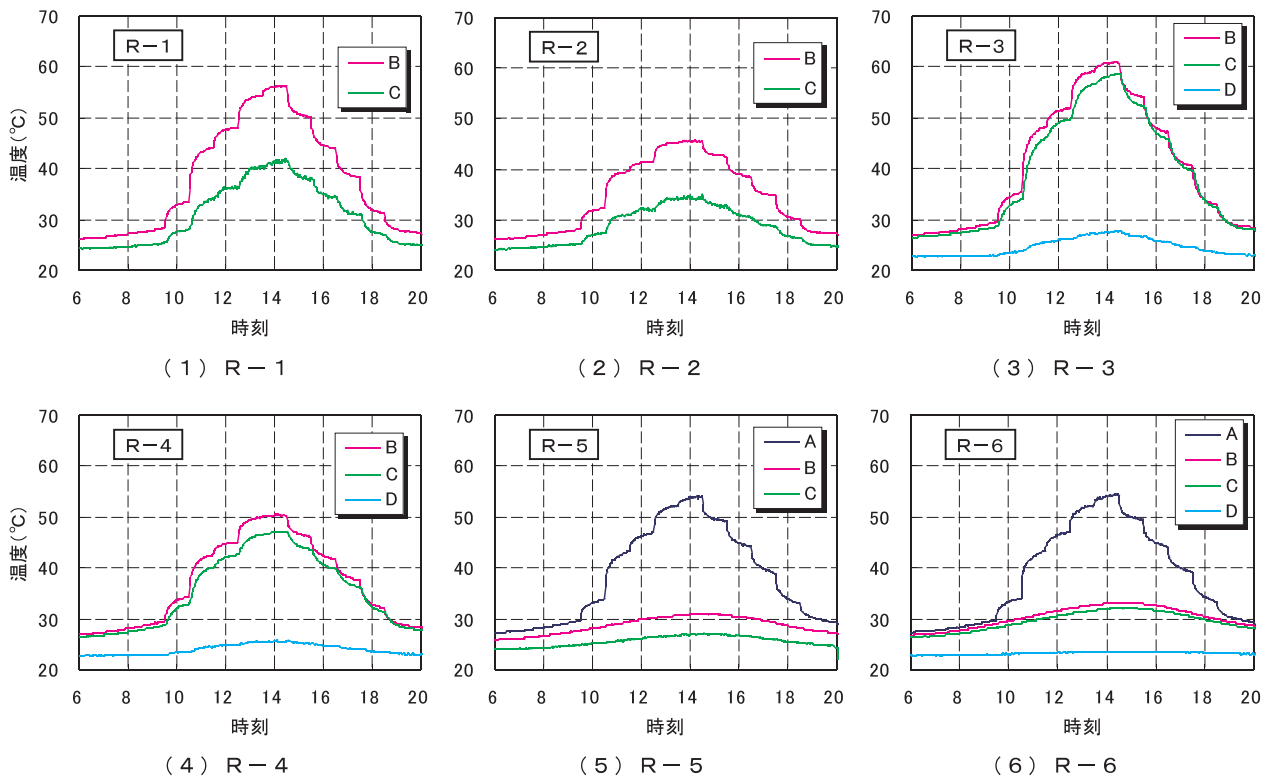


図-8 屋根モデルの断面方向の温度測定結果

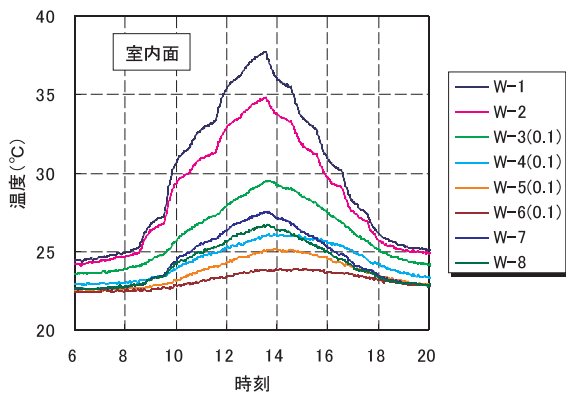


図-9 外壁モデルの室内表面温度の比較

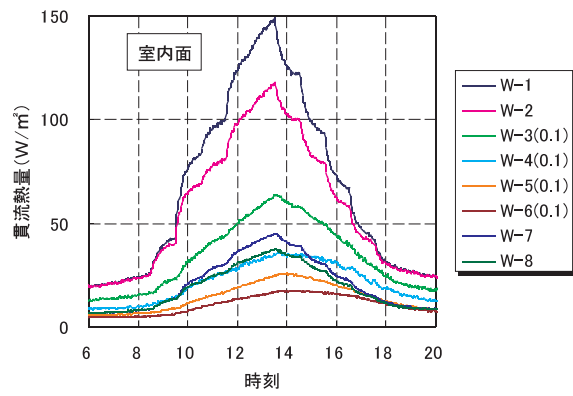


図-10 外壁モデルの貫流熱量の比較

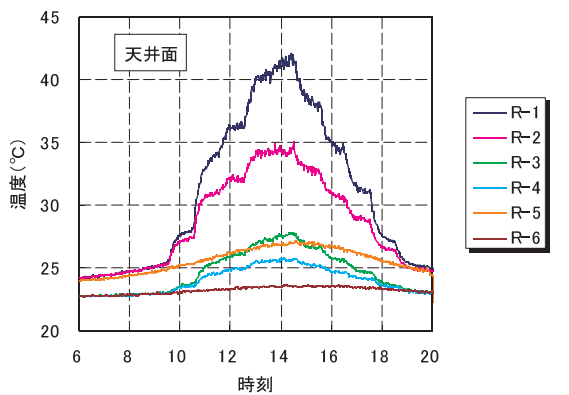


図-11 屋根モデルの室内表面温度の比較

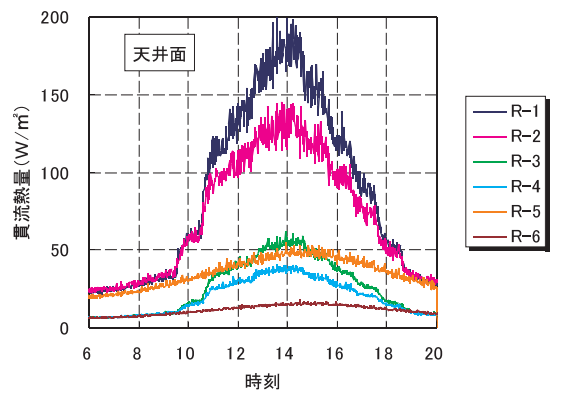


図-12 屋根モデルの貫流熱量の比較



た  $\eta$  値及び熱貫流率を表-3に、また、熱貫流率と  $\eta$  値の関係を図-13に示す。なお、 $\eta$  値は輻射熱量が1時間ごとのステップ加熱のため、ステップ変化させた直後のデータは大きく乱れるため、時間的に安定した時点のデータ(12~13時の平均値)を採用した。

$$\eta = \frac{Q_T - Q_U}{Q_S} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$Q_T$  : 試験体の貫流熱量 (熱流計の測定値) [W/m<sup>2</sup>]

$Q_U$  : 試験体両側空気温度差による貫流熱量 [W/m<sup>2</sup>]

$$Q_U = U \times \Delta \theta$$

$U$  : 試験体の熱貫流率 [W/m<sup>2</sup>·K]

$\Delta \theta$  : 試験体両側の空気温度差 [K]

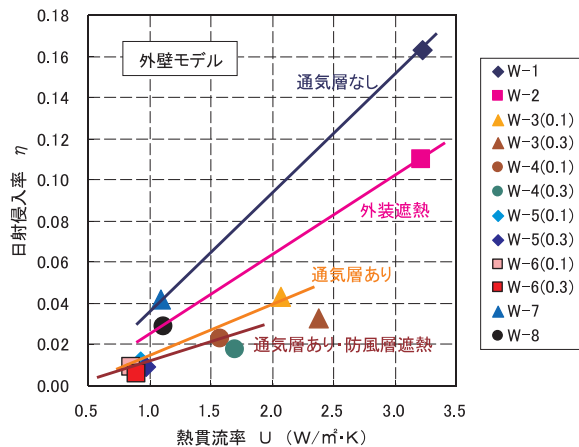
$Q_S$  : 輻射熱量 [W/m<sup>2</sup>]

図-13の熱貫流率と  $\eta$  値の関係から、外壁モデルについて通気層なしの場合 (W-1及びW-7, 図中の通気層なしの線) の  $\eta$  値と比較して、外装面を遮熱処置する (W-2及びW-8, 図中の外装遮熱の線) ことにより約3割低下し、通気層を設ける (W-3及びW-5, 図中の通気層ありの線) ことにより約5割低下する。さらに通気層内の防風層面を遮熱処置する (W-4及びW-6, 図中の通気層あり・防風層遮熱の線) ことにより約6割の低下が認められる。また、外装面を遮熱処置するより、断熱材を施工した方が  $\eta$  値の低減には有効であり、通気層を設ける場合と断熱材 (厚20mm程度のXPS) を施工した場合とでは  $\eta$  値は同程度である。また、屋根モデルの場合も外壁モデルと同様であるが、遮熱ブロックを施工した場合は非常に低減効果があり、ほとんど日射が侵入しない結果

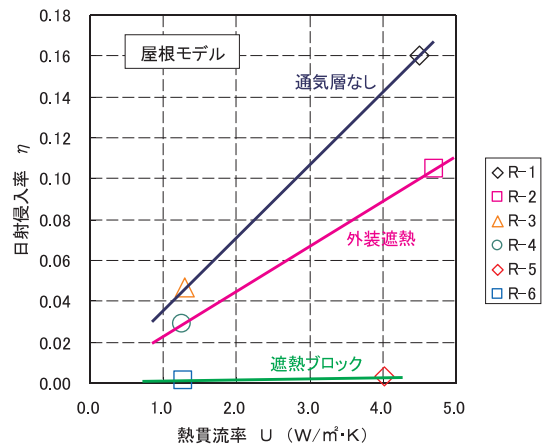
となった。これは、外部相当風が遮熱ブロックの下部通気層にも有効に流れ込んでいるためで、遮熱ブロックが輻射熱で加熱されても、外気に十分放熱されているものと考えられる。

表-3 各試験体の熱貫流率及び  $\eta$  値計算値

試験体	熱貫流率 U [W/m <sup>2</sup> ·K]	日射侵入率 $\eta$ 値	
外壁モデル	W-1	3.22	0.163
	W-2	3.21	0.110
	W-3(0.1)	2.07	0.043
	W-3(0.3)	2.38	0.033
	W-4(0.1)	1.58	0.023
	W-4(0.3)	1.70	0.018
	W-5(0.1)	0.93	0.012
	W-5(0.3)	0.97	0.009
	W-6(0.1)	0.85	0.009
	W-6(0.3)	0.90	0.006
	W-7	1.09	0.042
	W-8	1.11	0.029
屋根モデル	R-1	4.51	0.160
	R-2	4.71	0.105
	R-3	1.29	0.047
	R-4	1.26	0.029
	R-5	4.03	0.003
	R-6	1.28	0.001



(1) 外壁モデル



(2) 屋根モデル

図-13 熱貫流率と  $\eta$  値の関係

参考に、図-13(1)外壁モデルの横軸を熱貫流抵抗に替え、構成材の仕様変更による断熱性の影響を確認した結果を図-14に示す。その結果、通気層を設けることにより熱抵抗が約 $0.2\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 増加し、通気層内の防風層を遮熱することにより熱抵抗が $0.15\sim 0.2\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 増加する。また、通気層の流速が $0.1\text{m}/\text{sec}$ から $0.3\text{m}/\text{sec}$ に増せば、熱抵抗が約 $0.05\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 減少する。なお、断熱材を設置することにより、熱抵抗が約 $0.6\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 増加しており、これは断熱材の熱伝導率から算出した値 ( $0.56\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )と同程度である。

## 5. おわりに

温暖地の夏期を想定して、外壁及び屋根モデルについて、構成材の反射特性、通気層の有無、断熱性能の差異及び付属遮蔽物が $\eta$ 値に与える影響を定量的に把握することを目的に実験を行った。以下に、この実験で得られた知見をまとめる。

- 1) 外壁及び屋根の遮熱対策として、 $\eta$ 値の低減効果のある仕様は下記の順である。
  - ①通気層を設けて、防風層内を遮熱処置する。
  - ②通気層を設ける。
  - ③外装面を遮熱処置する。
- 2) 外装面を遮熱処置するよりは、断熱材を施工した方が $\eta$ 値の低減には有効である。
- 3) 通気層を設ける場合と断熱材（厚 $20\text{mm}$ 程度のXPS）を施工した場合とでは、 $\eta$ 値は同程度となる。
- 4) 遮熱対策として、外壁については通気層の設置または断熱材を施工すれば、 $\eta$ 値は $0.05$ 以下となる。
- 5) 屋根に設置する遮熱ブロックは、ブロック下部の通気層に気流がある程度流れていれば、遮熱効果が非常に優れている。
- 6) 構成材を仕様変更することにより、断熱性（熱抵抗）は変化し、通気層の設置で約 $0.2\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ の増加、通気層内の防風層面の遮熱で $0.15\sim 0.2\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ の増加、通気層の流速が $0.1\text{m}/\text{sec}$ から $0.3\text{m}/\text{sec}$ に増せば約 $0.05\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ の減少が見られた。

なお、今回実施した実験は、現在採用されている遮熱手法を中心とした基礎的な概要を把握した結果であり、試験体の光学特性・熱容量・含水率などの要因、また実験内容の気流条件・輻射熱照射装置の波長特性・輻射熱照射時の空気温度測定などの要因が結果に影響することから、さらに検討する必要があると思われる。

遮熱とは、一般に太陽からの輻射熱を反射させて、室内への熱の侵入を軽減させることで、特に住宅では夏期

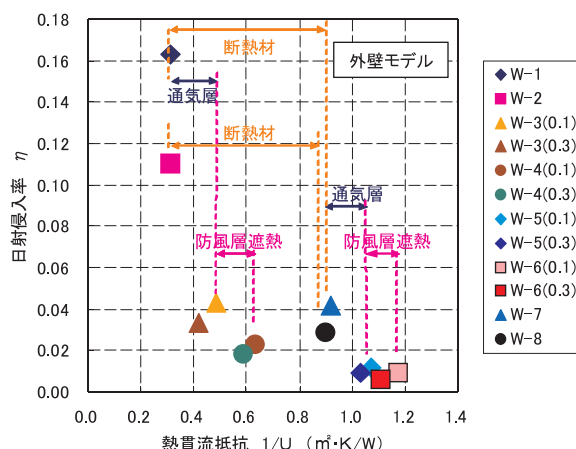


図-14 熱貫流抵抗と日射侵入率の関係

の日中の冷房負荷を低減させるために行う処置を指す。しかし、最近の遮熱ブームによって熱抵抗の小さな薄い遮熱材が、あたかも大きな断熱効果があるように誤認され、間違った用いられ方をしているものが見受けられる。遮熱材または遮熱処置について正しく認識し、有効な部位に適正に使用されることによって、冷房負荷の低減に効果が発揮されることを願うものである。

### 〔謝辞〕

本実験は、(財)建築環境・省エネルギー機構の「自立循環型住宅開発委員会フェーズ2」断熱部会（主査：鈴木大隆）における各委員の協力と助言を得た。関係各位に謝意を表す。

### 【参考文献】

- 1) (財)建築環境・省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説，第1版，2002。
- 2) (財)建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅への設計ガイドライン，第1版，2005。