

資 料

日射に対する瓦の断熱性能評価

河村 進*・大畑 敬*

1. 目 的

一般に、瓦屋根の家は冬暖かく、夏涼しいのではないかなどと言われることがある。この研究は、瓦屋根の家が夏涼しいと言われることを科学的に確認することを目的としている。

夏、日照による部屋の温度上昇を抑えるために、屋根に求められる性能としては大きく分けて二つ考えられる。その一つは太陽から届く光エネルギーをそのまま反射させることである。そしてもう一つは、太陽光によって熱くなった屋根表面の熱を、何らかの方法で部屋内部に入らないようにする方法である。

光エネルギーを反射させる方法は、最近「遮熱」という言い方をされることもある。その意味としては、太陽光のエネルギーには、目に見える可視光線 43%、および目に見えない近赤外線 52%があるので、最も効率よく反射するには可視光線、近赤外線どちらの反射率も向上させる必要がある。可視光線をよく反射するには、明るく見えるもの、すなわち白い屋根が最適であるが、日本の住宅において白い屋根の需要は多いとはいえない。そこで近赤外線の反射率を選択的に高めた遮熱塗料という製品が市販されており、その性能表示方法として JIS R3106¹⁾ に基づいた日射反射率（太陽光に対するエネルギー反射率）が提示されているものもあるが、一般的には屋根材表面の反射率と屋根材全体の断熱性能を総合的に評価する手法は確立されていない。

一方部屋の温度を上昇させないためのもう一つの方法は、屋根の熱を部屋に伝わらないようにする、すなわち従来から一般的に言われる本来の「断熱」である。屋根構成に断熱材を加え、通気層を設けるなど、いろいろな方法が考えられる。これまで断熱性能を計測する試験として良く知られているのは、JIS A2101²⁾ による熱貫流試験である。隣り合う二つの恒温槽（これは建築物の屋内および屋外を想定したものである）の間に試験体を配置し、屋外側が低い温度に、屋内側が高い温度で定常状態に保たれるようヒーターを加熱する。このときのヒーターの電力量を測定することで、熱の透過性を計算できる。この方法は、冬季の暖房による屋内からの熱の流出を想定したものといえるが、

夏の日射では、可視光線や近赤外線が屋根表面に照射され、表面で熱エネルギーに変わって屋内に伝わる。太陽光エネルギーの吸収率によって表面温度は変わってくるため、冬の熱貫流率を調べることが、そのまま夏の日射に対する断熱性能を調べることと同じにはならないと考えられる。

こうしたことから、我々は「断熱」「遮熱」双方の性能を考慮した試験方法として、二室一体型恒温槽を用いたモデル実験を行ったので、その結果を述べる。

2. 方 法

2.1 二室一体型恒温槽の設定

使用した実験装置は(株)マルイ製の二室一体型恒温槽（以下、恒温槽と略す）である。通常は熱貫流試験を行う目的で製作依頼したものであるが、本装置は赤外線照射ランプを用いて、熱によるドア、壁パネル等の建具の変形を計測することが可能な特注仕様となっている。

今回の実験では、熱貫流試験と同様に二つの恒温槽の間に、屋根の模型を想定した試験体を縦に配置し、試験体の裏を内寸 600mm × 600mm × 200mm の断熱材で作った箱で囲った。試験体の一例を図 1 に、また試験体を恒温槽内に配置した例を図 2 に示す。

夏の気温変化を再現するため、1 サイクルを 24 時間とし、うち 8 時間は試験体の横から赤外線照射ランプ（東芝ライテック製、赤外線乾燥用電球 IR200V375WRH）23 球で光を当てて試験体表面を加熱した。照射中の二室の温度は 30℃ に設定し、照射を行わない時間は 20℃ に設定した。断熱材で作った箱内の温度制御は行わず、瓦表面、野地板裏面の温度を各 9 箇所、合計 18 箇所に貼り付けた T 熱電対を用いて計測した。実験はおおむね 3 サイクル（72 時間）繰り返して行い、瓦表面、野地板裏面それぞれ 9 点の温度データを平均し、さらに各サイクルのデータを 24 時間毎に平均して、1 サイクルのデータとして比較した。

日射の強度については、以下のような検討により設定を行った。先にも述べたように、太陽光は、可視光線および近赤外線を含んだものである。しかし、本実験で用いた赤外線ランプのエネルギーは、可視光線よりもむしろほとんどが赤外線領域に集中しており、さらに照射中のランプ表面は高熱となることから、太陽光にはほとんど含まれない熱放射（遠赤外線）の影響も無視できない。その結果、この装置上で太陽光と同じ明るさ（日射量）を設定すると瓦

* 材料技術グループ

の表面温度は 100℃以上にも達し、現実的な天候条件とはいえない。そこで今回の実験では既往の測定結果³⁾を参考に、ランプに掛ける電圧をサイリスタ三相電力調整器(シマデン製, PAC36P)を用いて定格電源電圧(200V)の70%とし、すべての試験体で同一とした。

試験中の試験体の様子を図3, 4に示す。

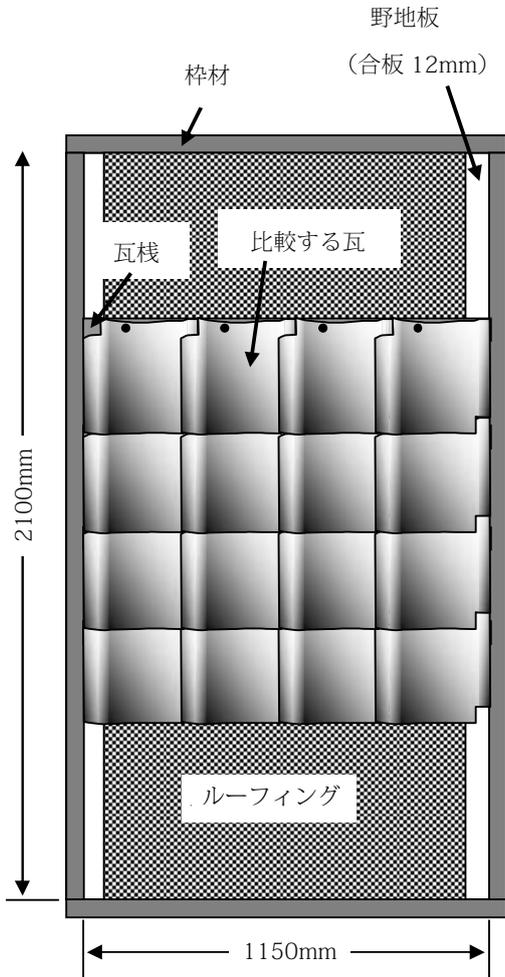


図1 試験体の一例

2.2 試験体

瓦屋根の断熱性能に与える要因としては、釉薬の色、瓦の種類(形状、および瓦以外の屋根材料を用いた場合)、そして施工方法が考えられる。そこで、この研究ではこれらの要因を変化させたモデル屋根を作成して実験を行った。試験体一覧を表1に示す。また、試験に用いた瓦の日射反射率および色を表2に示す。

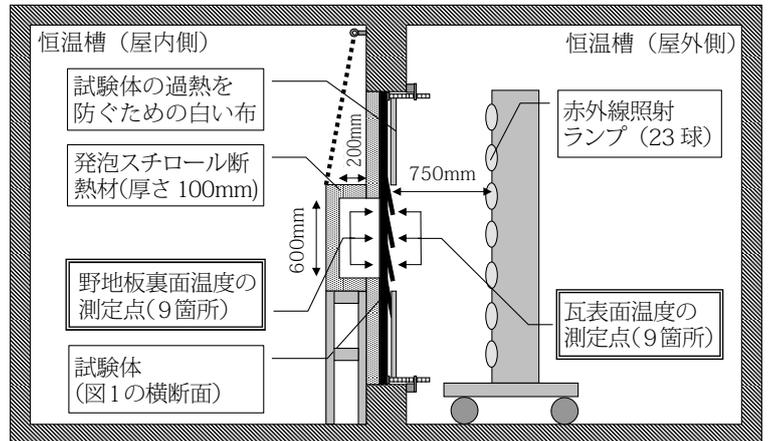


図2 試験体配置図



図3 断熱材裏側を恒温槽(屋内側)から見た状態



図4 瓦表面を恒温槽(屋外側)から見た状態

表1 試験体一覧

| 比較した条件 | | 統一条件 |
|-----------------|---|---------------|
| (1) 釉薬の色 | ・銀黒色 ・来待色 ・白色 | ・J形瓦 ・通風あり |
| (2) 瓦の形状 | ・J形 ・F形 ・S形 | ・銀黒色 ・通風あり |
| (3) その他、使用した屋根材 | ・スレート瓦 ・アスファルトシングル | ・黒い製品色で比較 |
| (4) 施工方法 | ・通風 ・周辺をテープで密閉化 ・水抜きのある瓦棧を使用 ・瓦棧の代わりに発泡スチロール断熱材を接着施工 ・ルーフィング上にアルミ箔を貼付 ・瓦裏面にアルミ箔を貼付 | ・銀黒瓦 ・J形瓦 |

表2 各試験体の色と日射反射率

| | 色 | | | 日射反射率 (%) | |
|-----------------|------------|-------|------|-----------|------|
| | L* | a* | b* | | |
| (1) 釉薬の色 | 銀黒色・J形 | 44.69 | 0.53 | -1.81 | 18.2 |
| | 来待色・J形 | 53.41 | 5.74 | 5.77 | 23.8 |
| | 白色・J形 | 82.49 | 0.31 | 0.61 | 68.0 |
| (2) 瓦の形状 | 銀黒色・F形 | 44.65 | 0.84 | -1.00 | 19.7 |
| | 銀黒色・S形 | 43.32 | 0.63 | -0.69 | 18.6 |
| (3) その他、使用した屋根材 | スレート瓦 | 28.36 | 0.19 | -1.33 | 5.9 |
| | アスファルトシングル | 21.05 | 0.15 | -0.93 | 4.2 |

3. 結果

3.1 釉薬の色による比較

各試験体について、瓦表面と野地板裏面の温度変化を図5～7に示す。いずれの試験体についても、まず瓦表面が急速に温度上昇し、その後野地板裏面の緩やかな温度上昇が観測された。また照射停止後の温度低下は、瓦表面、野地板裏面の順であった。また表面温度、野地板裏面温度いずれについても、銀黒色と来待色ではほとんど同じ温度であり、白色ではそれらと比較して10数℃低い結果となった。

日射反射率を比較すると来待色の方が銀黒色よりも若干高い値であったにもかかわらず本実験では瓦表面の温度にほとんど差が見られなかった。

3.2 瓦の形状による比較

瓦の色を銀黒色として、瓦の形状をF形、およびS形に変えたときの瓦表面と野地板裏面の温度変化を図8、図9に示す。なおJ形での結果については、すでに図5に示した通りである。F形やS形についても、J形における温度変化と同様の傾向が見られた。全体として瓦表面の温度はS形が若干低かったが、野地板の裏面温度には大きな差がみら

れなかった。この実験からは、瓦の種類をJ形やF形、S形に変えても断熱性能の向上はほとんど期待できないと推測された。

3.3 その他の屋根材との比較

アスファルトシングルおよびスレート瓦での試験を行い、銀黒J形瓦のデータとの比較を行った。今回は銀黒色あるいは黒瓦と同様の黒色系の製品を選んで実験を行った。ただし、日射反射率、 L^* （見た目の明るさ）については表2に示すように、銀黒色よりも10%以上低い値であった。

スレート瓦での結果を図10に示す。図5と比較して、スレート瓦では表面温度が100℃を越え、野地板裏面の温度も10℃近く高くなった。

アスファルトシングルでの結果を図11に示す。アスファルトシングルについても表面温度が95℃に達し、野地板裏面温度も高い結果となった。先にも述べたように、今回使用したスレート瓦とアスファルトシングルの試験体は、銀黒瓦より日射反射率が10%以上低い値であったが、今回これらの試験体で屋根表面温度や野地板裏面温度が高くなったのは、日射反射率の影響だけではなく、瓦屋根には野地板との間に通気層が存在するが、これらの試験体にはほと

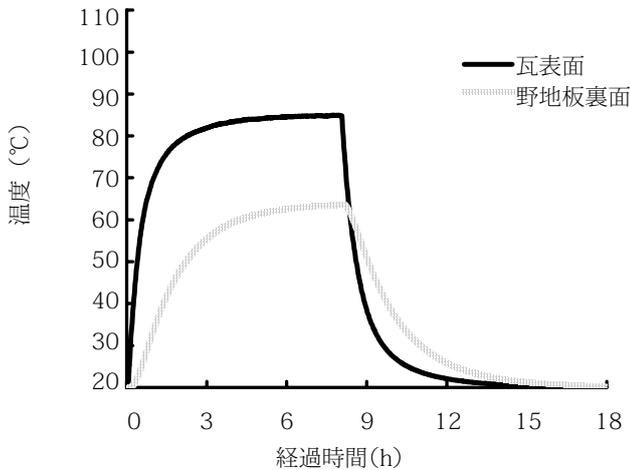


図5 瓦表面／野地板裏面の温度変化（銀黒色・J形）

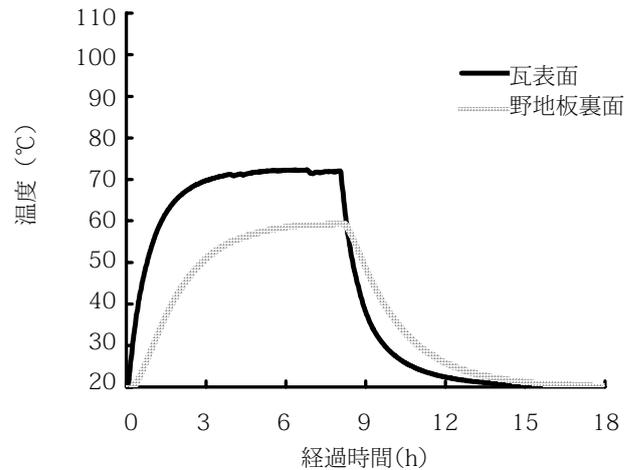


図7 瓦表面／野地板裏面の温度変化（白色・J形）

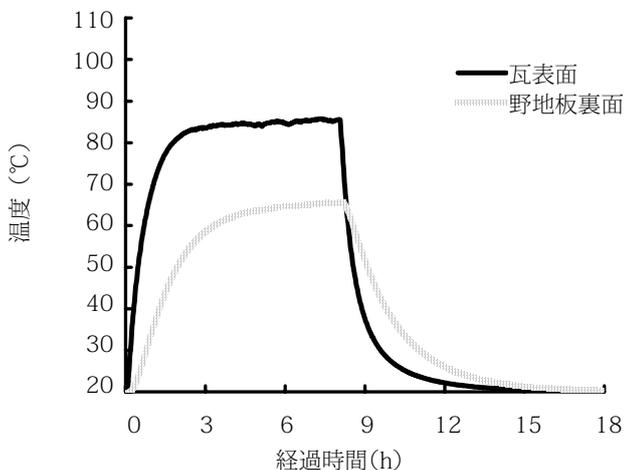


図6 瓦表面／野地板裏面の温度変化（来待色・J形）

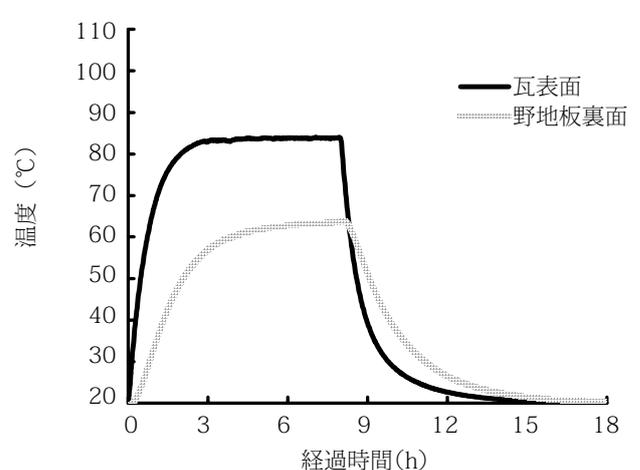


図8 瓦表面／野地板裏面の温度変化（銀黒色・F形）

んど存在しないことも大きな原因として考えられる。

3.4 瓦の施工方法による比較

これまで述べてきた試験では、モデル屋根の周辺から空気が自由に入出入りする試験体を作って試験したが、実際の瓦屋根では雨の侵入を防ぐために上部や横は密閉されている。そこで、より実際の瓦屋根に近づけた試験体として、瓦屋根の上部、両側面の3周をアルミテープで塞ぎ、空気の入出りを防いだ状態で試験体の温度変化を測定した。

また、現在一般的に断熱工法として提案されている以下の二つの工法についての比較を行うこととした。その一つは瓦棧を使わないで野地板上に発泡スチロール断熱材を置き、瓦を載せて接着した工法である。もう一つは放射率の低いアルミニウムを利用する工法である。アルミニウムを利用する工法については、実際に販売されている建材そのものを使用した試験ではなく、その原理を確認するため、普通のルーフィングの上と瓦棧の間にアルミ箔を貼った場合、また瓦の裏面にアルミ箔を貼った場合の2通りについての試験を行った。

図12~16に各工法での温度変化を示す。

図12, 13は通気状態の違いについて比較した結果である。

図5と比較して、気密化されることで、瓦の表面温度・野地板裏面の温度は若干高めの値を示した。瓦棧に水抜き穴がある場合、ない場合を比較したところ、大きな差はみられなかった。

瓦棧を使わずに断熱材を施工した試験体(図14)では、これまで述べてきた試験体のいずれよりも野地板裏面の温度は低下したが、逆に瓦の表面温度は非常に高くなった。これは断熱材によって瓦から屋根裏への熱の移動が妨げられたことが原因であると考えられる。ただし、日射に対する野地板裏面温度の上昇を抑えられた反面、日射停止後は保温効果によって温度低下が遅くなった。

一方、アルミ箔を用いた試験体(図15, 16)でも、断熱材施工の瓦屋根と同様に瓦表面の温度は高くなり、野地板裏面の温度上昇は小さくなった。特に瓦裏面にアルミ箔を貼付した試験体では、断熱材施工の試験体に次いで野地板裏面の温度が低くなった。その理由として、瓦裏面に熱放射率の低いアルミ箔を貼付することにより、瓦の熱が瓦の裏面から放射されにくくなり、瓦と野地板の間は低い温度に保たれたと考えられる。また断熱材の場合と比較して、アルミ箔を施工する場合は日射停止後の温度低下が早く

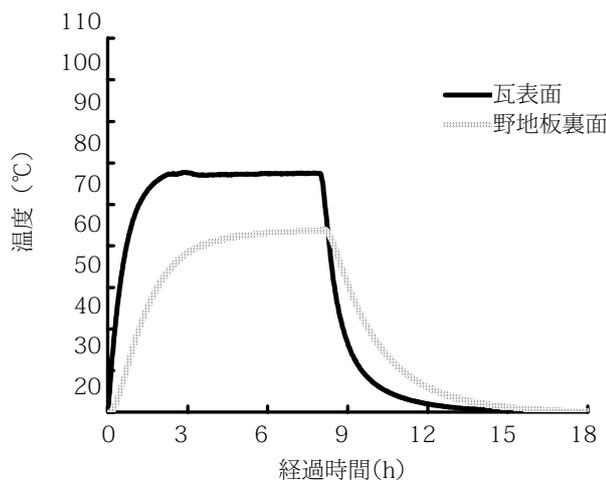


図9 瓦/屋根裏の温度変化(銀黒色・S形)

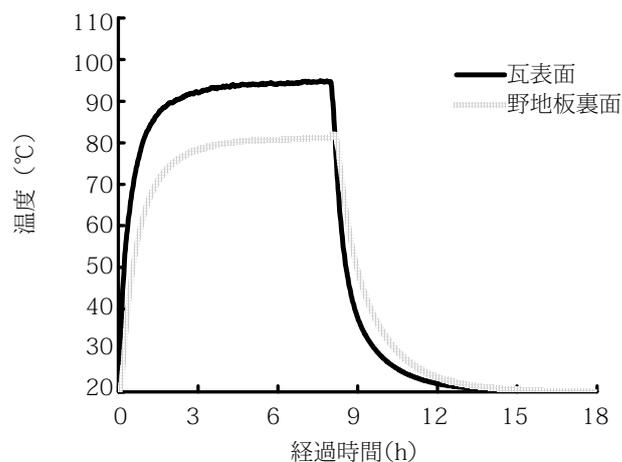


図11 瓦表面/野地板裏面の温度変化(アスファルトシングル)

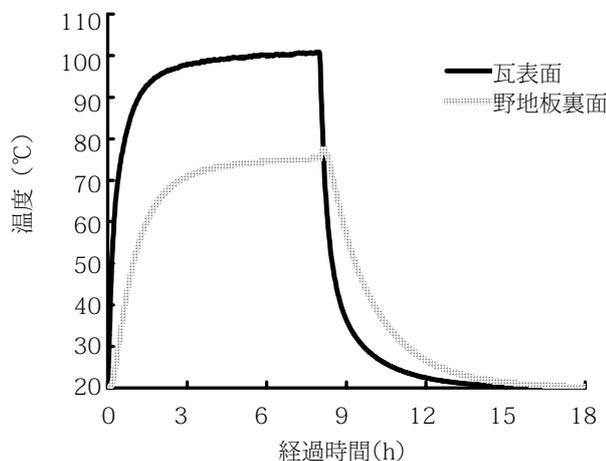


図10 瓦表面/野地板裏面の温度変化(スレート瓦)

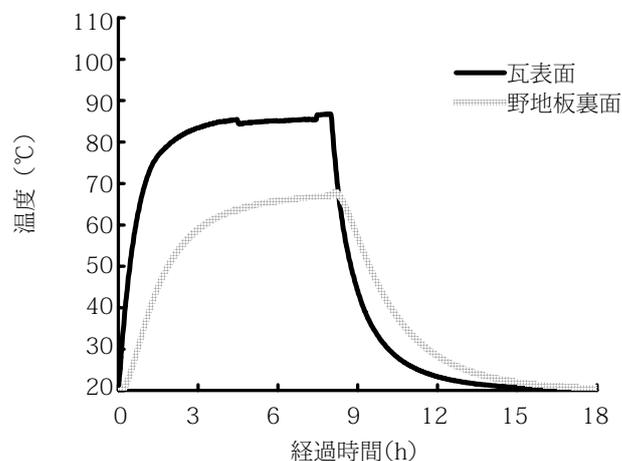


図12 瓦表面/野地板裏面の温度変化(銀黒色・J形・周辺をテープで気密化)

なったが、この原因は瓦裏面に通気層が存在することで瓦が冷却されやすかったためではないかと考えられる。

以上の実験から、瓦裏面の通気層をうまくコントロールすることによって、夏の温度上昇を最小限に抑えることができるのではないかと考えられる。

3.5 最大温度の比較

照射開始後に各試験体が定常状態に達したと考えられる、7～8時間後の温度を平均して比較した結果を図17に示す。瓦表面の温度が最も高かったのはスレート瓦である。アスファルトシングル、断熱材を施工した工法がそれに続く高い表面温度を示した。一方、野地板裏面温度が最も低かったのは断熱材を施工した銀黒瓦屋根であり、またアルミ箔を用いた工法、白色の瓦がそれに続く低い温度となった。しかし野地板裏面温度が高かったアスファルトシングルやスレート瓦を除いて、瓦屋根工法として一般的な6試験体、すなわち銀黒色J形、銀黒色F形、銀黒色S形、来待色、温度差、および周辺の気密化を変化させることによって生ずる温度差は3.4℃であった。測定誤差や試験体によるばらつきを考慮すると、本実験の結果だけからはこれら6試験体の間に差があると判断することは難しい。

瓦表面～野地板裏面への温度勾配は全熱抵抗に対応しており、断熱材のように熱伝導率が非常に小さな材料を用いれば温度勾配は大きくなり、逆にアスファルトシングルの屋根のように、屋根の厚さが非常に小さい、すなわち全熱抵抗が小さな工法では温度勾配が小さくなったものの、それ以外については試験体による差はほとんど見られなかったのではないかと考えられる。

一方、屋根の表面温度は赤外線照射ランプの熱効率にある程度影響されると考えられるが、実際には断熱材施工の屋根やアルミ箔を施工した屋根に見られるように、屋根材の裏側の影響も大きい。こうした問題を考慮に入れた解析を行っていくには、今後瓦裏面の通気層の温度測定や、熱流量の計測なども含め、実験方法を見直していく必要がある。

以上の結果をまとめると、

- (1) 白い瓦は銀黒瓦や来待瓦より屋根表面、屋根裏温度は低くなったが、銀黒瓦と来待瓦での差はほとんど見られなかった。
- (2) 瓦の種類や施工方法を変えることによって、断熱性能は

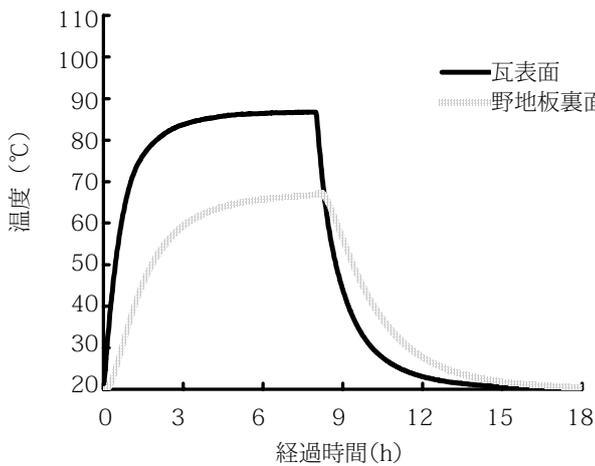


図13 瓦表面／野地板裏面の温度変化
(銀黒色・J形・周辺をテープで気密化・水抜きのある棧)

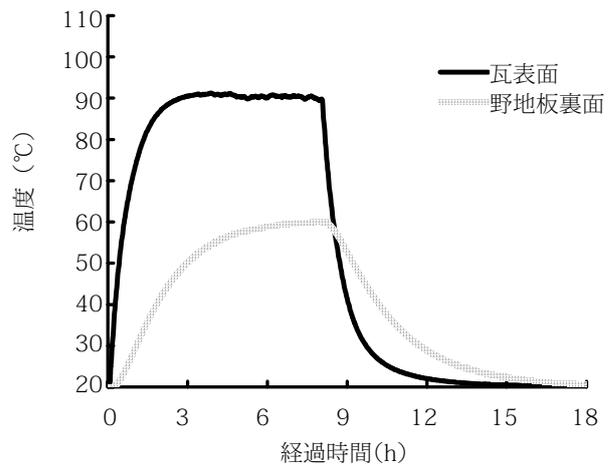


図15 瓦表面／野地板裏面の温度変化
(銀黒色・J形・ルーフィング上にアルミ箔を貼付)

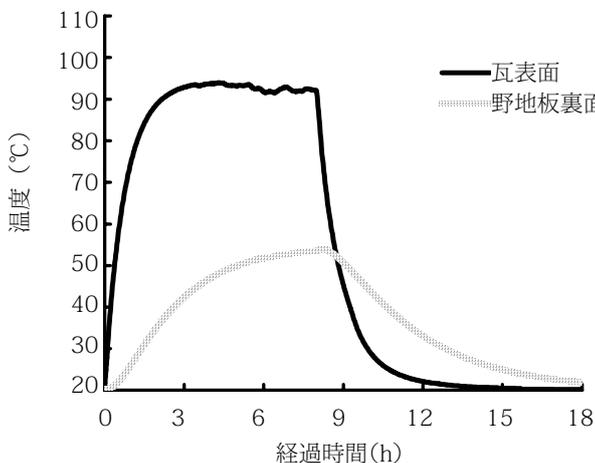


図14 瓦表面／野地板裏面の温度変化
(銀黒色・J形・発泡スチロール断熱材施工)

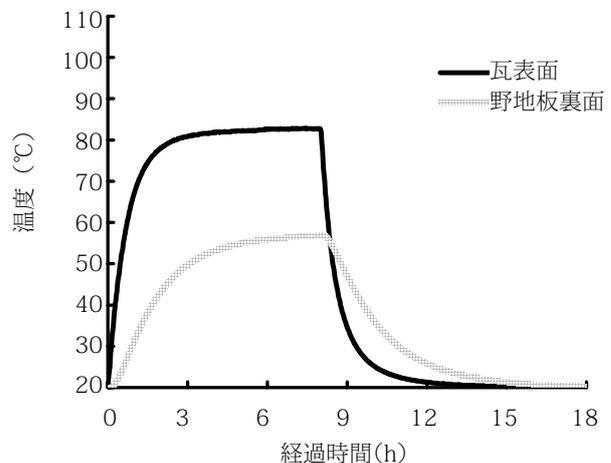


図16 瓦表面／野地板裏面の温度変化
(銀黒色・J形・瓦の裏面にアルミ箔を貼付)

文 献

- 1) JIS R3106 : 1998. 板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法.
- 2) JIS A2101 : 2003. 建築構成要素及び建築部位—熱抵抗—.
- 3) 宮野秋彦. 屋根の物理学. 日本屋根経済新聞社, 2000, p33.

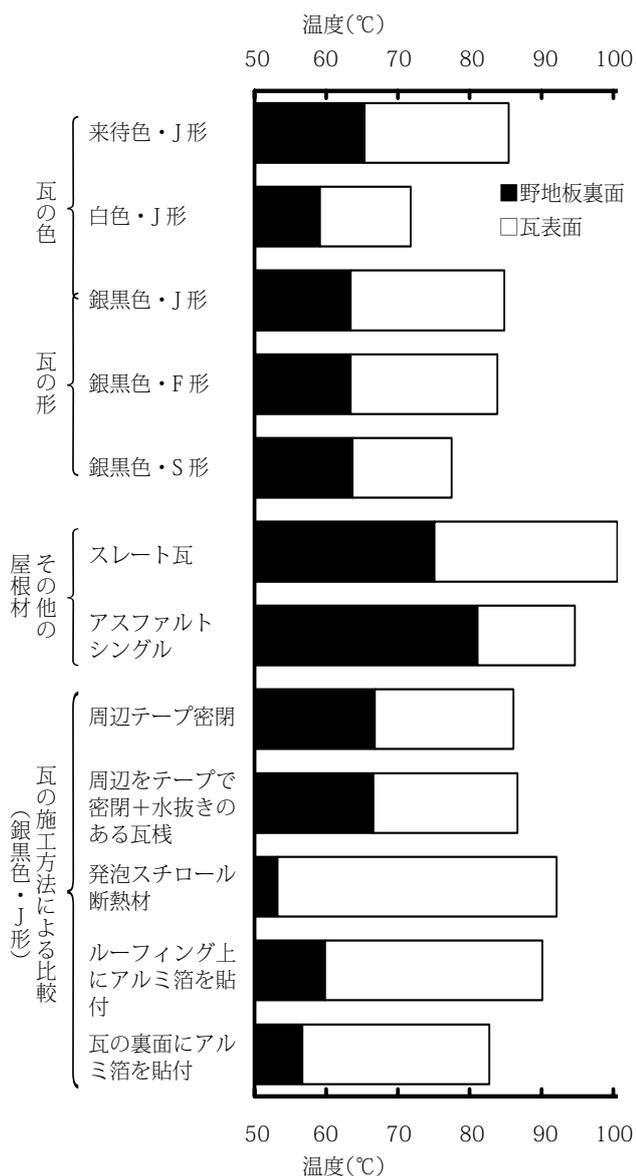


図 17 照射開始7～8時間後の温度

変化するが、アスファルトシングルのように熱抵抗を小さくしたり、断熱材のように熱抵抗を大きくした工法を除いて、その差はわずかであった。

なお、この研究報告は平成16年度および17年度に石州瓦工業組合からの受託研究として行われた成果が一部含まれている。