

蒸暑地域における金属屋根の日射遮熱による 温熱環境に関する研究：日射量によるアル ミ屋根と鉄屋根の比較実験

銭谷, 正勝 / PARK, Chanpil / ZENIYA, Masakatsu / 朴, 賛弼

(出版者 / Publisher)

法政大学理工学部・生命科学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学理工学部・生命科学部・デザイン工学部研究集報 / 法政大学理工学部・
生命科学部・デザイン工学部研究集報

(巻 / Volume)

48

(開始ページ / Start Page)

7

(終了ページ / End Page)

12

(発行年 / Year)

2012-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00009005>

蒸暑地域における金属屋根の日射遮熱による温熱環境に関する研究

- 日射量によるアルミ屋根と鉄屋根の比較実験 -

A STUDY ABOUT A THERMAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT BY SOLAR
INSULATING ON THE METAL ROOF IN A HOT AREA.

Comparison between aluminum roof and steel roof experiment

by the quantity of solar insulating

朴賛弼* 銭谷正勝**

Chanpil PARK*, Masakatsu ZENIYA**

Aluminum is light and is durable. It can recycle aluminum again and again. And it is ideal roof materials in consideration for the global environment. Generally, the strength is strong and is light. And it is strong in damage from salt breeze and acid harm and an earthquake, too. However, there are few existing studies that made an effect of the warm temperature environment clear. There is not the study of the experiment in comparison with the metal materials in particular. This study clarifies an effect of the warm temperature environment that solar insulating and the wind velocity give on a metal materials roof. We rode each metal roof on an incline roof. And compared it about warm temperature environment improvement effect and tested it.

We investigated it how indoor warm temperature environment could be improved. An aluminum roof is more effective in the result as warm temperature environment than a steel plate roof and a stainless-steel plate roof. But the ventilation layer aluminum roof had no effect than expectation in spite of the best result because there was little wind. However, We understood that temperature fell as much as the wind velocity.

Keywords: Aluminum, Ventilation layer aluminum, Steel plate, Stainless steel plate, Solar insulating,

Ventilation layer, Wind velocity, Thermal environmental improvement

アルミニウム、通気層アルミニウム、鉄板、ステンレス鋼板、日射量、空隙部、風速、温熱環境

1. はじめに

アルミニウムは軽くて耐久性があり、何度でもリサイクルできる地球環境にも配慮した理想の屋根材料である。一般的に強度は強く、軽い。そして、塩害や酸害、地震にも強い。しかし、温熱環境の効果を明確にした既存の研究は数少ない。特に金属材と比較した実験の研究は見当たらない。本研究は日射量と風速¹⁾が、金属材屋根に与える温熱環境の効果を明らかにすることが目的である。

勾配屋根の上に各金属屋根を載せて温熱環境改善効果について比較実験を行い、室内の温熱環境がどの程度改善できるかを追及した。勾配屋根は沖縄の原風景を継承するためにも重要な要素である。

2. 実験方法

本実験は2011年沖縄県沖縄市で実験小屋をつくり同年7月から実験が行われた。同じ屋根にアルミ、通気層があるアルミ、鉄板（カラーガルバリウム鋼板）、ステンレス鋼板を分けて設置した（写真1）。温度測定は熱電対型デジタル温度記録計（横河電機製DAQ STATION）を使用した。また、この測定器には熱流量と通気層内風速も測れるようにし、大気放射温度

（相当外気温度）がわかるSAT計を設置した。西側には強い西日がさす影響を少なくするために木製板の壁を立てた。各実験体における測定ポイントは屋根表面温度、空隙部温度²⁾、野地板裏表面温度、小屋裏温度、室内側天井表面温度である。温熱環境改善の評価は約2ヵ月間における14時³⁾の散布図、日射量⁴⁾が多い25MJ/m²・day以上の7日間の日中の温度変化、風速と温度の相関関係の結果を分析し総合的に数値で表した。

3. 各試験体における14時の散布図の比較

2011年夏場の56日間の各試験体の測定ポイントに対する14

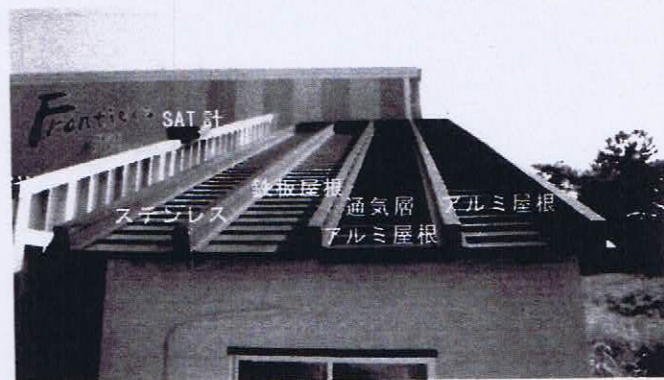


写真1. 実験小屋の屋根（沖縄県沖縄市）

* 法政大学デザイン工学部建築学科

** アルアピア株式会社代表取締役

時の平均温度と外気温を基準にして、各試験体の測定ポイント温度を引いた温度差を表す比較を試みた。

3-1. 屋根表面温度

屋根表面温度における 14 時の平均はアルミ屋根 60.1℃、通気アルミ屋根が 60.2℃であった。鉄板屋根は 62.2℃、ステンレス鋼板屋根が 62.8℃であった。アルミ屋根との温度差はそれぞれ 2.1℃、2.7℃になる。

図 1 は 14 時に外気温を基準にして、各試験体の表面温度を引いた温度差を表す。アルミ屋根と通気アルミ屋根はまったく同じ回帰直線になっている。回帰直線の傾きはアルミ屋根と通気アルミ屋根、鉄板屋根、ステンレス鋼板屋根という順に小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時にはアルミ屋根と通気アルミ屋根が 35℃であった。また、鉄板屋根は 38℃、ステンレス鋼板屋根が 39℃であった。アルミ屋根との温度差はそれぞれ 3℃、4℃になる。この結果ではアルミ屋根と通気アルミ屋根はほぼ同じで、一番低くステンレス鋼板屋根が一番高い結果となった。

3-2. 空腔部温度

空腔部温度における 14 時の平均はアルミ屋根 48.1℃、通気アルミ屋根 49.1℃、鉄板屋根は 52.3℃、ステンレス鋼板屋根が 52.7℃であった。その温度差は一番低いアルミ屋根を基準としてそれぞれ 1.0℃、4.2℃、4.6℃になる。

図 2 は 14 時に外気温を基準にして、各試験体の空腔部温度を引いた温度差を表す散布図である。回帰直線の傾きはアルミ屋根、通気アルミ屋根、鉄板屋根、ステンレス鋼板屋根という順に傾きが小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時にはアルミ屋根 20.0℃、通気アルミ屋根が 21.0℃であった。鉄板屋根は 25℃、ステンレス鋼板屋根が 25.5℃であった。アルミ屋根との温度差はそれぞれ 5.0℃、5.5℃になる。ここでは屋根表面温度と同じでアルミ屋根が一番低く、ステンレス鋼板屋根が一番高い結果となった。

3-3. 野地板裏表面温度

野地板裏表面温度の 14 時の平均は通気アルミ屋根 44.3℃、アルミ屋根 45.9℃、鉄板屋根は 48.0℃、ステンレス鋼板屋根が 49.0℃であった。その温度差は一番低いアルミ屋根を基準

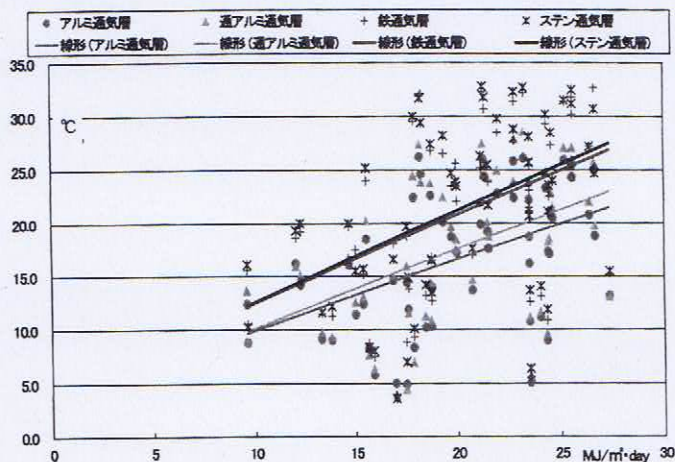


図 2. 14 時の空腔部温度散布図

としてそれぞれ 1.6℃、3.7℃、4.7℃になる。

図 3 は 14 時に外気温を基準にして、各試験体の野地板裏表面温度を引いた温度差を表す散布図である。各試験体を比較した結果、回帰直線の傾きは通気アルミ屋根、アルミ屋根、鉄板屋根、ステンレス鋼板屋根という順に傾きが小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時には通気アルミ屋根 15.5℃、アルミ屋根 17.5℃、鉄板屋根は 20.0℃、ステンレス鋼板屋根が 21.5℃であった。通気アルミ屋根との温度差はそれぞれ 4.5℃、6.0℃になる。この結果ではステンレス鋼板屋根が一番高温で、通気アルミ屋根が一番いい結果になった。

3-4. 小屋裏温度

小屋裏温度の平均は通気アルミ屋根 36.3℃、ステンレス鋼板屋根が 36.6℃、鉄板屋根は 36.9℃、アルミ屋根 37.5℃、であった。その温度差は一番低いアルミ屋根を基準としてそれぞれ 0.3℃、0.6℃、1.2℃になる。

図 4 は 14 時に外気温を基準にして、各試験体の小屋裏温度を引いた温度差を表す散布図である。各試験体を比較した結果、回帰直線の傾きは通気アルミ屋根、ステンレス鋼板屋根、鉄板屋根、アルミ屋根という順に傾きが小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時には通気アルミ屋根 5.7℃、ステンレス鋼板屋根が 6.3℃であった。鉄板屋根 6.7℃、アルミ屋根 7.2℃である。この結果ではアルミ屋根が一番高温で、

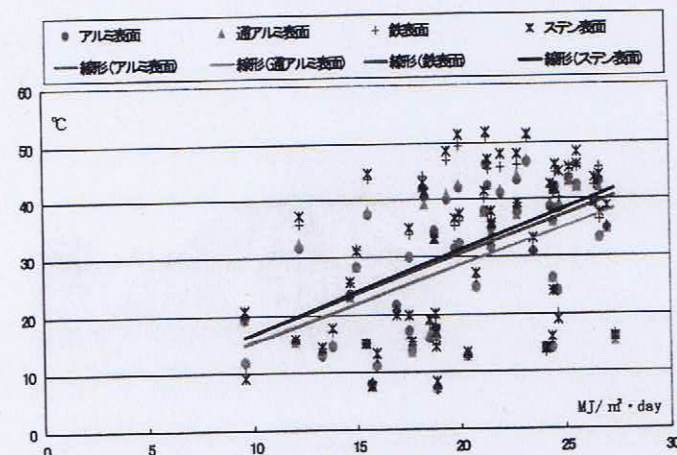


図 1. 14 時の屋根表面温度散布図

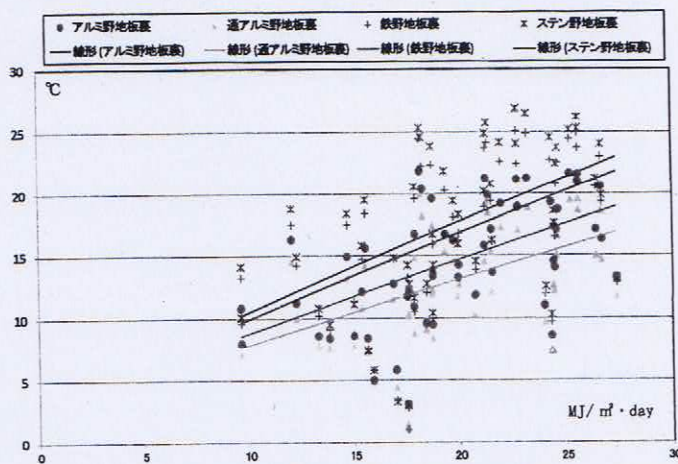


図 3. 14 時の野地板裏表面温度散布図

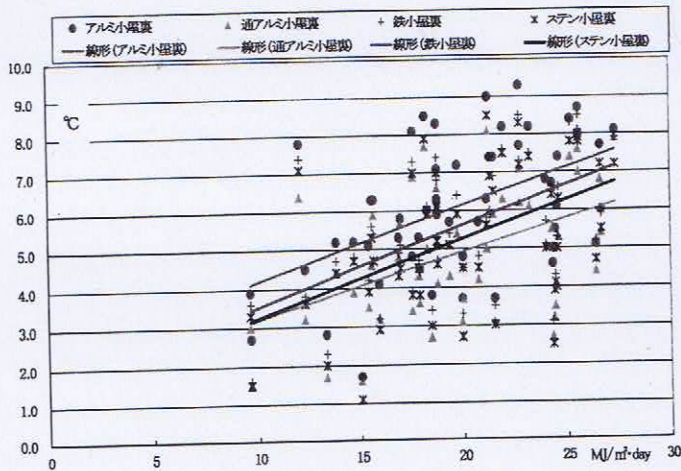


図 4. 14 時の小屋裏温度散布図

通気アルミ屋根が一番いい結果になった。

3-5. 天井表面温度

天井表面温度の平均は通気アルミ屋根 30.7℃、アルミ屋根 31.5℃、ステンレス鋼板屋根 31.7℃、鉄板屋根は 32.1℃であった。その温度差は一番低い通気アルミ屋根を基準としてそれぞれ 0.8℃、1.0℃、1.4℃になる。

図 5 は 14 時における外気温を基準にして、各試験体の天井表面温度を引いた温度差を表す散布図である。各試験体を比較した結果、平均値と違い、回帰直線の傾きは通気アルミ屋根、アルミ屋根、ステンレス鋼板屋根、鉄板屋根という順に傾きが小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時には通気アルミ屋根 -0.2°C 、アルミ屋根 $+0.6^\circ\text{C}$ 、ステンレス鋼板屋根が $+1.0^\circ\text{C}$ 、鉄板屋根は $+1.5^\circ\text{C}$ であった。通気アルミ屋根との温度差はそれぞれ 1.2℃、1.7℃になる。この結果も通気アルミ屋根が一番よく、鉄板屋根が一番高温となった。

4. 日射量が多い日の 24 時間の各試験体温度変化

実験期間中に日射量が多い日 (日射量が $25 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 以上) を記録した日の中で、各試験体の温度変化を 7 日間の時間別平均温度をそれぞれ 24 時間のグラフにした。日中の最高気温となる 14 時における各試験体の測定場所の温度を明らかにする。さ

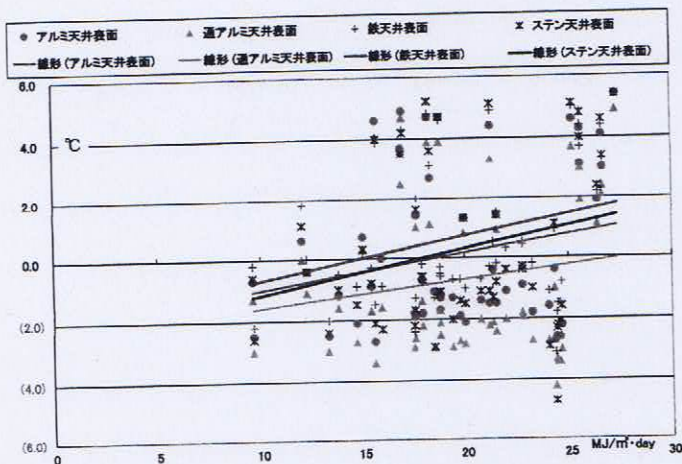


図 5. 14 時の天井表面温度散布図

らに、外気温より低くなる時間帯の長さで 8 時から 19 時まで各試験体の平均温度を明らかにする。

4-1. 屋根表面温度

図 6 からは 14 時の外気温 32.8°C 、グローブ温度 33.2°C であった。このときの SAT 計は 61.7°C を測定した。試験体のアルミ屋根 70.1°C 、通気アルミ屋根 69.7°C 、鉄板屋根 76.4°C 、ステンレス 73.2°C であった。最低気温を記録した通気アルミ屋根と最高気温を記録した鉄板屋根の温度差は 6.7°C になる。

すべての試験体は日没の 19 時から翌朝の 8 時までの半日以上 13 時間、外気温より低くなっている。この結果から 8 時から 19 時まで外気温より高い 11 時間の各試験体の平均温度はアルミ屋根 55.8°C 、通気アルミ屋根 55.4°C 、ステンレス鋼板屋根 57.4°C で、鉄板屋根 58.0°C であった。最低気温の通気アルミ屋根と最高気温の鉄板屋根の温度差は 2.6°C になる。

4-2. 空疎部温度

図 7 からは 14 時の試験体のアルミ屋根 54.8°C 、通気アルミ屋根 55.8°C 、鉄板屋根は 60.5°C 、ステンレス鋼板屋根 60.5°C であった。最低気温を記録したアルミ屋根と最高気温を記録した鉄板屋根・ステンレス鋼板屋根の温度差は 5.7°C になる。

外気温より低くなる時間帯はアルミ屋根の場合、一日中外気温より高くなっている。通気アルミ屋根は朝 7 時から 7 時 30 分まで 30 分間、鉄板屋根は朝 7 時から 8 時まで 1 時間、ステンレス鋼板屋根は夜中 3 時から朝 8 時 30 分まで 5 時間 30 分である。この結果からはステンレス鋼板屋根がいい結果となった。しかし、グラフからみると外気温より低くなっている時間帯は各試験体の温度差が少なく、同波形になっている。8 時から 19 時まで各試験体の平均温度はアルミ屋根 45.7°C 、通気アルミ屋根 46.4°C 、鉄板屋根 49.6°C 、ステンレス鋼板屋根 49.3°C であった。最低気温の通気アルミ屋根と最高気温の鉄板屋根の温度差は 2.6°C になる。

4-3. 野地板裏表面温度

図 8 からは 14 時の試験体のアルミ屋根 51.6°C 、通気アルミ屋根 49.7°C 、鉄板屋根 54.4°C 、ステンレス鋼板屋根 55.3°C であった。最低気温を記録した通気アルミ屋根と最高気温を記

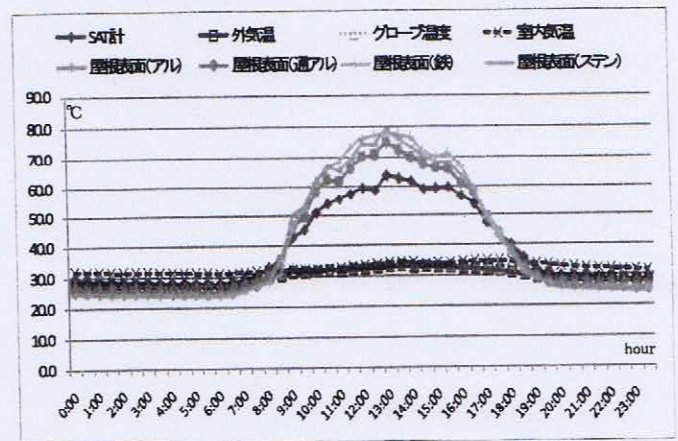


図 6. 一日中の屋根表面平均温度の変化

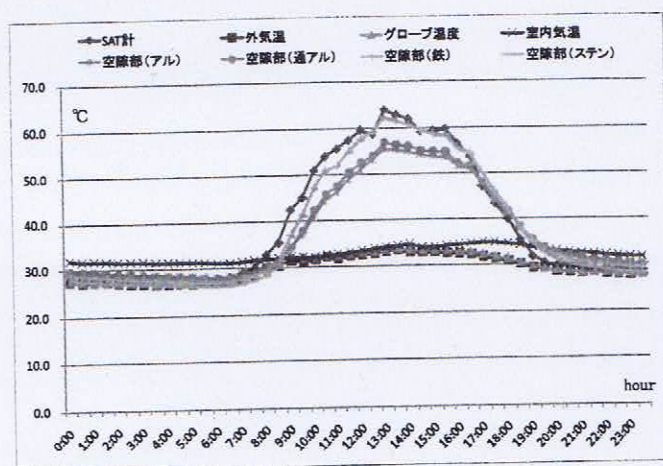


図 7. 一日中の空隙部平均温度の変化

録したステンレス鋼板屋根の温度差は5.6℃になる。

外気温より低くなる時間帯はステンレス鋼板屋根の30分間だけを除いてすべてが一日中外気温より高くなっている。しかし、ステンレス鋼板屋根もわずか0.1℃低い。8時から19時まで各試験体の平均温度はアルミ屋根43.9、通気アルミ屋根42.7℃、鉄板屋根は45.4℃、ステンレス鋼板屋根45.7℃であった。最低気温の通気アルミ屋根と最高気温の鉄板屋根の温度差は3.0℃になる。

4-4. 小屋裏温度

図9からは14時の試験体のアルミ屋根40.3℃、通気アルミ屋根39.5℃、鉄板屋根は40.2℃、ステンレス鋼板屋根40.1℃であった。最低気温を記録した通気アルミ屋根と最高気温を記録したアルミ屋根の温度差はわずか0.8℃しかない。この結果から小屋裏ではグラフからみてもわかるようにほぼ同じ波形で重なっている。

外気温より低くなるのはステンレス鋼板屋根が1時間30分、鉄板屋根1時間、アルミ屋根と通気アルミ屋根は一日中外気温より高くなっている。8時から19時まで各試験体の平均温度はアルミ屋根37.3、通気アルミ屋根36.9℃、鉄板屋根37.0℃、ステンレス鋼板屋根36.7℃であった。最低気温の通気アルミ屋根と最高気温のアルミ屋根の温度差はわずか0.4℃である。

4-5. 天井表面温度

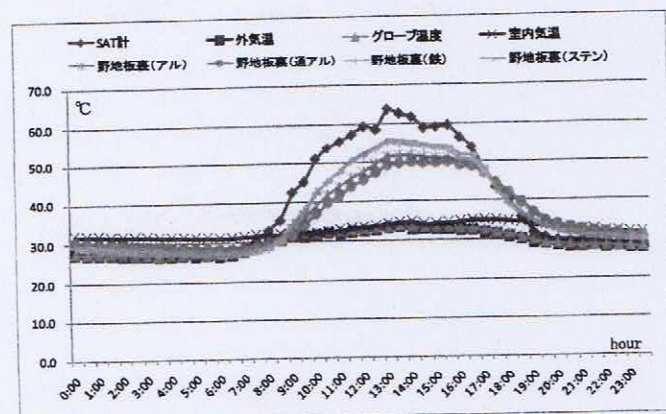


図 8. 一日中の野地板裏平均温度の変化

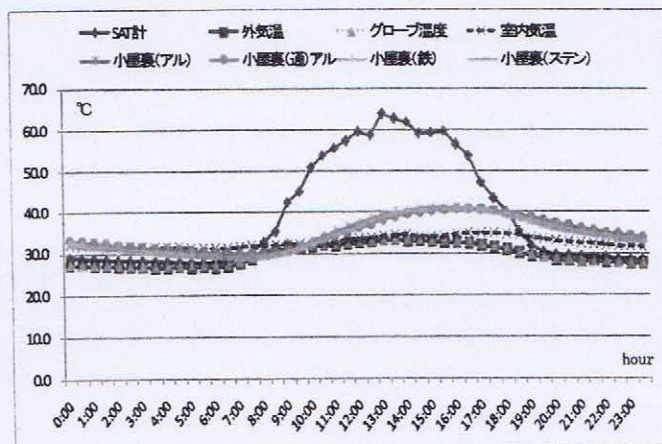


図 9. 一日中の小屋裏平均温度の変化

図10からは14時の試験体のアルミ屋根36.6℃、通気アルミ屋根35.6℃、鉄板屋根37.2℃、ステンレス鋼板屋根37.1℃であった。最低気温を記録した通気アルミ屋根と最高気温を記録した鉄板屋根の温度差はわずか1.6℃である。この結果から室内ではエアコンで室内温度をコントロールしているのにかかわらず温度差が出ることは屋根からの垂直温度の熱移動による影響と考えられる。小屋裏では空気層のため温度差がそれほどなかったのはやはり放射熱による熱移動である。

外気温より低くなる時間帯はステンレス鋼板屋根と鉄板屋根が朝8時ころ30分だけである。アルミ屋根と通気アルミ屋根は一日中外気温より高くなっている。

8時から19時まで各試験体の平均温度はアルミ屋根34.8℃、通気アルミ屋根34.2℃、鉄板屋根34.8℃、ステンレス鋼板屋根34.7℃であった。最低気温の通気アルミ屋根と最高気温のアルミ屋根・鉄板屋根の温度差はわずか0.6℃である。

5. 空隙部風速と測定温度の相関関係

実験期間中に気温がもっとも高い日射量が多い日(25MJ/m²以上)を記録した7日間の各試験体の測定ポイントの温度と通気層内風速との相関関係をグラフにした。通気層があるアルミ屋根は風速(=以下通気層内の風速)による温度の変化を期待する。

5-1. 通気層内の一日の風速変化

図11は日中の時間帯による通気層における風速を表すグラ

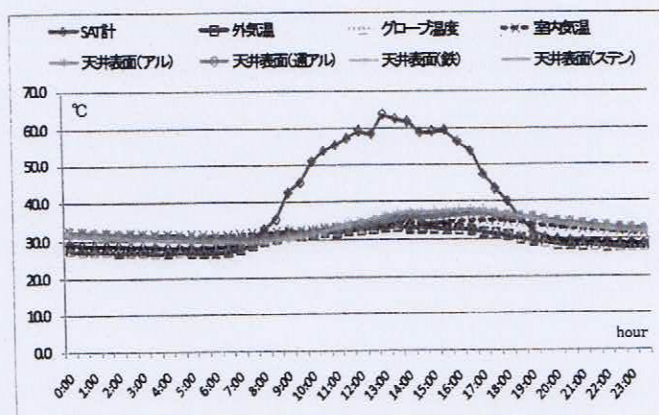


図 10. 一日中の天井表面平均温度の変化

フである。0.02m/s～0.42m/sの範囲であるが、決して風通しが良いとはいいいにくい。この波形からは外気温より試験体の温度変化の波形に似ている。朝8時から19時までが通気になっているが、13時から14時がピークになっている。この風速が早い時間帯は通気層の除熱効果が高いと思われる。夜の19時から朝8時までの風の変化は少ない。すなわち、外気温が上昇することによって通気層の風速も早くなっていることになる。

5-2. 屋根表面温度

図12からアルミ屋根と通気アルミ屋根と全く同じ傾きになっている。次はステンレス鋼板屋根、鉄板屋根の順に傾きが小さい。すなわち、アルミ屋根と通気アルミ屋根が一番よく、鉄板屋根が一番悪い結果となった。各試験体に温度差が出てくるのは風速⁵⁾ 0.08m/sからで時間帯は朝8時ころである。風速のピークは0.41m/sであり、13時から14時である。

この時間帯の平均温度はアルミ屋根72.4℃、通気アルミ屋根が72.1℃であり、鉄板屋根は77.1℃、ステンレス鋼板屋根が75.9℃であった。

5-3. 空腔部温度

図13から鉄板屋根とステンレス屋根と全く同じ傾きになっている。アルミ屋根、通気アルミ屋根、鉄板屋根・ステンレス鋼板屋根の順に傾きが小さい。アルミ屋根が一番よく、鉄板屋根・ステンレス屋根が一番悪い結果となった。各試験体に温度差が出てくるのは風速0.15m/sからで時間帯は朝9時ころである。風速のピークである13時から14時までの平均温度

はアルミ屋根55.2℃、通気アルミ屋根が56.2℃であり、鉄板屋根は61.4℃、ステンレス鋼板屋根が61.3℃であった。

5-4. 野地板裏表面温度

図14から通気アルミ屋根、アルミ屋根、鉄板屋根、ステンレス鋼板屋根の順に傾きが小さい。すなわち、通気アルミ屋根が一番よく、ステンレス屋根が一番悪い結果となった。各試験体に温度差が出てくるのは風速0.15m/sからで時間帯は朝9時ころである。風速のピークである13時から14時までの平均温度はアルミ屋根51.5℃、通気アルミ屋根が49.4℃であり、鉄板屋根は54.7℃、ステンレス鋼板屋根が55.6℃であった。

5-5. 小屋裏温度

図15から各試験体はほぼ同じ傾きになっているが、通気アルミ屋根、ステンレス屋根、鉄板屋根、アルミ屋根の順に傾きが小さい。ここでは各試験体の差は極めて小さい。各試験体に温度差が出てくるのは風速0.25m/sからで時間帯は朝10時ころである。風速のピークである13時から14時までの平均温度はアルミ屋根39.8℃、通気アルミ屋根が38.8℃であり、鉄板屋根は39.6℃、ステンレス鋼板屋根が39.4℃であった。

5-6. 天井表面温度

図16から通気アルミ屋根、アルミ屋根、鉄板屋根・ステンレス鋼板屋根の順に傾きが小さい。すなわち、通気アルミ屋根が一番よく、鉄板屋根・ステンレス屋根が一番悪い結果となった。鉄板屋根とステンレス屋根はほぼ同じ傾きである。各

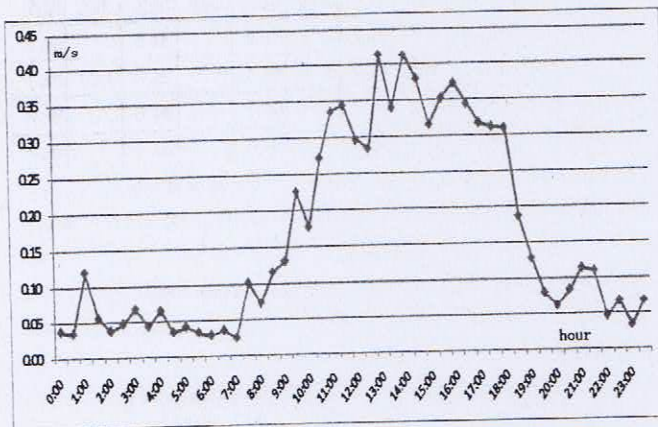


図11. 24時間における通気層風速

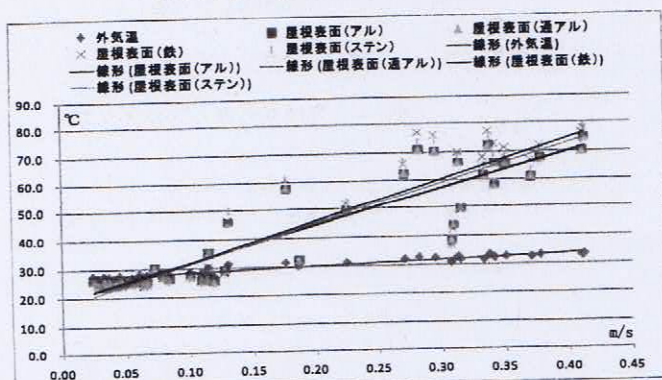


図12. 通気層風速と屋根表面温度

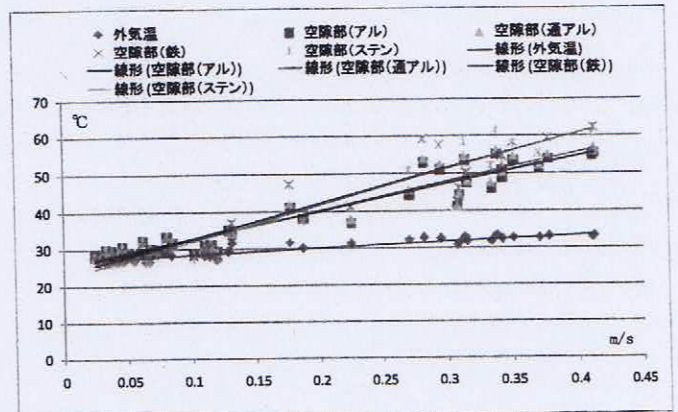


図13. 通気層風速と空腔部温度

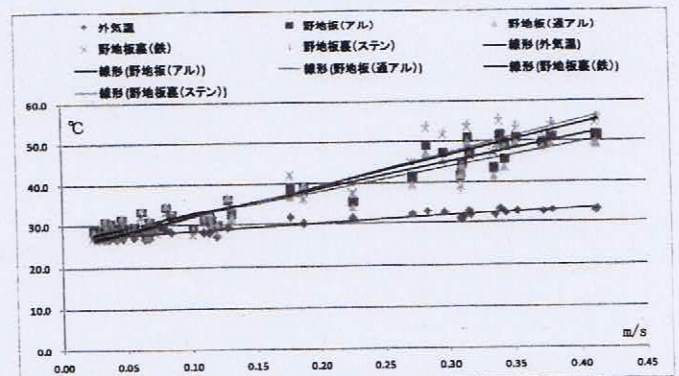


図14. 通気層風速と野地板裏温度

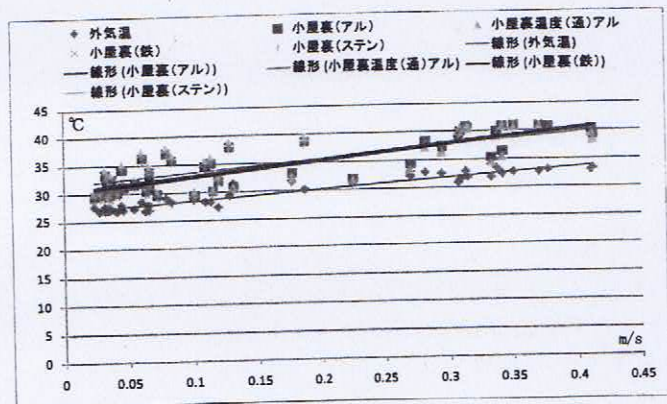


図 15. 通気層風速と小屋裏温度

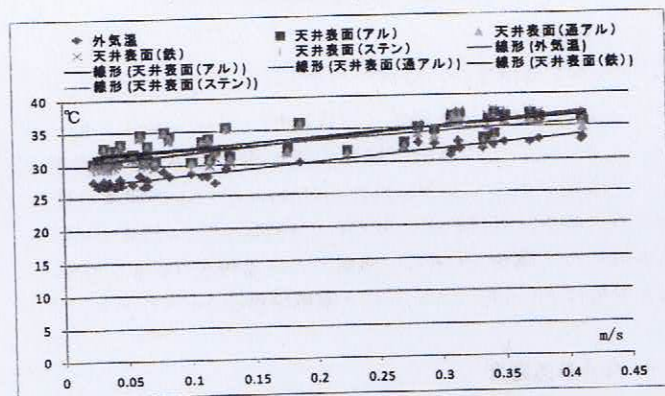


図 16. 通気層風速と天井表面温度

表 1. 14 時における温熱環境の総合評価 (°C)

測定部	屋根表面		空隙部		野地板表面		小屋裏空気層		天井表面		合計
	屋根材	25MJ/平均	25MJ/平均	25MJ/平均	25MJ/平均	25MJ/平均	25MJ/平均	25MJ/平均			
アルミ	35	60.1	20	48.1	17.5	45.9	7.2	37.5	0.6	31.5	303.4
通気アルミ	35	60.2	21	49.1	15.5	44.3	5.7	36.3	-0.2	30.7	297.6
鉄	38	62.2	25	52.3	20	48	6.7	36.9	1.5	32.1	322.7
ステンレス	39	62.8	25.5	52.7	21.5	49	6.3	36.6	1	31.7	326.1

* 野地板表面：野地板裏の表面温度を意味する。

試験体に温度差が出てくるのは風速 0.28m/s からで時間帯は朝 10 時 30 分ころである。

風速のピークである 13 時から 14 時までの平均温度はアルミ屋根 36.2°C、通気アルミ屋根 35.1°C であり、鉄板屋根 36.6°C、ステンレス鋼板屋根 36.5°C であった。

6. 結論

以上のように日射量と通気層内風速が金属材屋根に与える温熱環境の効果について数値で明らかにした。評価の方式は表 1 から 14 時における垂直測定ポイント 5 箇所の平均温度と日射量が多い 25 (MJ/m²・day) のときに外気温を基準にして、各試験体の表面温度を引いた温度差を全部合わせた数値で評価した。数値が小さいほど温熱環境に優れていることになる。実験結果では通気層アルミ屋根が一番よく、アルミ屋根、鉄板屋根、ステンレス鋼板屋根順の結果となった。

表 2 から一日中の温度変化による、日中 8 時～19 時までの平均温度と全部合わせた数値で評価した。数値が小さいほど温熱環境に優れていることになる。実験結果では通気層アルミ屋根が一番よく、アルミ屋根、ステンレス鋼板屋根、鉄板

屋根順の結果となった。外気温より低くなっている時間帯はステンレス鋼板屋根が一番長く、アルミ屋根が一番短い結果となった。

表 3 から風速と各試験体における相関関係で、風速がピークの時 13 時～14 時の温度を数値で評価した。この結果では通気層アルミ屋根が一番よく、アルミ屋根、ステンレス鋼板屋根、鉄板屋根順の結果となった。

以上の結果から金属屋根材としてアルミ屋根が鉄板屋根とステンレス鋼板屋根より温熱環境として有効であることが明らかになった。ただ、通気層アルミ屋根は一番良い結果にも関わらず風が少なく期待より効果がなかった。しかし、風速が速くなればなるほど温度が下がることがわかった。今回の研究を踏まえて次回の研究では通気層アルミ屋根を、もっと風通しをよくすることが課題である。

表 2. 一日中の温度変化の総合評価

測定部	屋根表面	空隙部	野地板表面	小屋裏空気層	天井表面
屋根材	日中 時間	日中 時間	日中 時間	日中 時間	日中 時間
アルミ	55.8 13	45.7 0	43.9 0	37.3 0	34.8 0
通気アルミ	55.4 13	46.4 0.5	42.7 0	36.9 0	34.2 0
鉄	58 13	49.6 1	45.4 0	37 1	34.8 0.5
ステンレス	57.4 13	49.3 5.5	45.7 0.5	36.7 1.5	34.7 0.5

* 日中：日中 8 時～19 時の平均温度 (°C)。

* 時間：外気温より低くなっている時間 (hour)。

表 3. 風速と温度の相関関係の総合評価

	測定部	屋根表面		空隙部		野地板表面		小屋裏空気層		天井表面	
	屋根材	風速	温度	風速	温度	風速	温度	風速	温度	風速	温度
	アルミ		72.4		55.2		51.5		39.8		36.2
	通気アルミ	0.08	72.1	0.15	56.2	0.15	49.4	0.25	38.8	0.28	35.1
	鉄		77.1		61.4		54.7		39.6		36.6
	ステンレス		75.9		61.3		55.6		39.4		36.5

* 風速：各試験体に温度差が出てくる通気アルミの通気層風速 (m/sec)。

* 温度：風速ピーク (0.34m/sec～0.45m/sec) の 13 時～14 時の温度。

注

1) 風速の測定は「通気層があるアルミ屋根」の通気層のみ行われた。

2) 屋根材と野地板の間を本実験では空隙部と呼ぶ。

3) 14 時は一日中の最高気温であり、消費電力が一番ピークである時間帯を比較することによって温熱環境の効果が著しく分かる。

4) 日射量は沖縄那覇気象データの「全天日射量」を使用した。

5) 本論で風速は「通気層があるアルミ屋根」の通気層の風速を意味する。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご理解をいただき、協力して下さったアルピア株式会社 銭谷総亮さん、吉田大寿さん、百目鬼友一さん、フロンティアズの伊藤直社長、上本友友さん、建築家の深川良治さんには御協力頂きましたことを末尾ながら記して謝意を申し上げます。

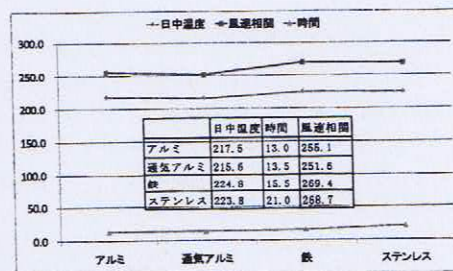


図 17. 空隙部風速と天井表面温度