

### 沖縄におけるRC造屋根の日射遮熱に関する研究：屋上緑化、遮蔽ブロック、ソーラーパネル、遮熱塗料の効果について 遮蔽材と遮熱塗料の効果について

伊是, 名久 / IZENA, Hisashi / PARK, Chanpil / 朴, 賛弼

---

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

46

(開始ページ / Start Page)

13

(終了ページ / End Page)

20

(発行年 / Year)

2010-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00006963>

# 沖縄におけるRC造屋根の日射遮熱に関する研究

## - 屋上緑化、遮蔽ブロック、ソーラーパネル、遮熱塗料の効果について -

### ABOUT AN THERMAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT BY SOLAR INSULATING ON THE RC CONSTRUCTION ROOF

On the effect of thermal environment by paint,solar panel,insulating block,green house.

朴賛弼\* 伊是名久\*\*

Chanpil PARK\*, Hisashi IZENA\*\*

The purpose of this study is to find out the effect of thermal environmental improvement by solar insulating on the RC construction in Okinawa. It cover sunlight as the measures. Insulating paint becomes the hige insulating material of the temperature. However, It can expect the surhace temperature. The paint is a wall surface and the roof surface, setting is simple. For the future prospets, I hope to paint the surface of the insulating block. The solar panel becomes hot in the day, and temperature lowers in the night. However, the solar panel can make electric energy so as to be high if surface temperature is high. The green roof can expect an effect in an insulating material most generally. It tends to become the temperature that is lower than the outside temperature and give stable warm temperature environment. Therefore, I made clear that still indoor warm temperature environment was improved by making an air layer thick. It could be proposed as a good system which improved the indoor thermal environment on the existent houses.

*Keywords: RC construction, Solar insulating roof, Thermal environmental improvement, Green house,  
Solar insulating block, Solar panel, Insulating paint*

RC造、日射熱、日射遮蔽屋根、温熱環境改善、緑化、遮蔽ブロック、ソーラーパネル、遮熱塗料

#### 1. はじめに

沖縄は本土に比べて夏季の太陽高度が高く、日射量が極めて大きい地域である。沖縄は戦後コンクリートRCの陸屋根の建物が急激に増え、現在も増え続けている。そのRC造建物は、強い日射によって日中はコンクリートに蓄熱し、夜間にそれを放射して室内気温、特に天井裏気温の上昇を招き、温熱環境を劣悪なものにしている。その対策として建物への日射を遮り、コンクリートの蓄熱を防ぐ事が重要である。

前回の研究論文<sup>1)</sup>では陸屋根における日射遮蔽の効果明らかにした。今まで行った実験結果から、日射遮蔽ブロックと屋根スラブの間の空気層は室内温熱環境の改善に大きな関係があった。

本研究は今までの研究成果<sup>2)</sup>を踏まえて、日射遮熱によって実験対象の室内温熱環境をどの程度改善できるかを実験によって明らかにすることである。その実験は2009年6月18日から同年9月26日までに、同じ屋根の上に、ソーラーパネル、日射遮蔽ブロック、日射遮蔽ブロック+断熱材、日射遮蔽ブロック+緑化、遮熱塗料の効果について明確にした(写真1参照)。また本研究の結果による室内環境の改善が実証されるこ

とにより、冷房機器の使用にかかるエネルギー量の節約や二酸化炭素の削減へとつながる。地球環境の改善が叫ばれ、各国、各地域で省エネ化の動きが進んでいる現代社会において、電力量の省エネ化は環境改善対策の一つのモデルとして広く提案していくことを目的としている。

#### 2. 実験概要

##### 2-1. 温度測定

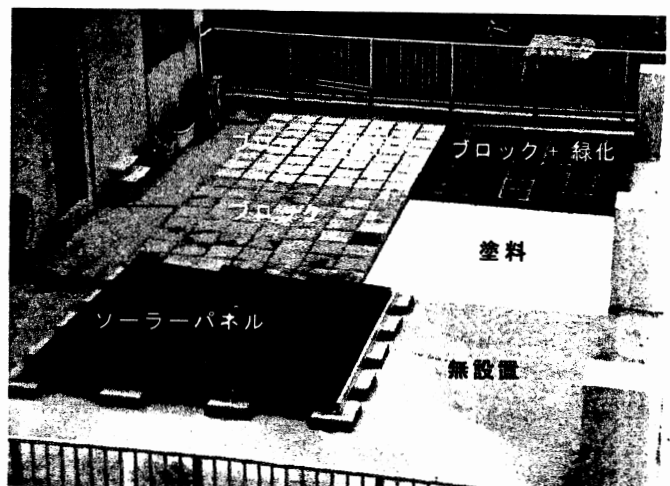


写真1. RC造陸屋根の実験の様子

\* 工学部建築学科

\*\* 株式会社伊是名ブロック工業代表取締役

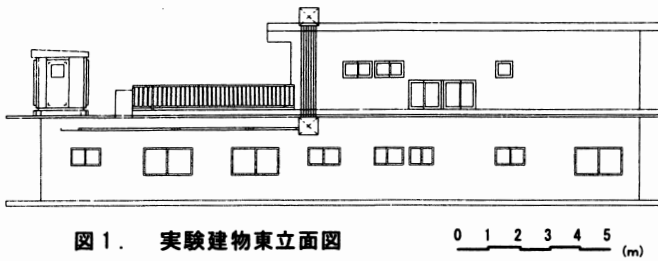


図 1. 実験建物東立面図

熱電対型デジタル温度記録計 (横河電気製 DAQ STATION) を使用した (写真 2)。センサーは銅とコンスタントンの熱電対を使用し、両接点の間に温度差があると電位差 (熱起電力) を生じ環状回路に電流が流れる。熱起電力は両接点の温度差に比例するので、一方の接点温度を基地の温度に保持して熱起電力を測定すれば他方の接点温度を知ることができる。熱電対を使用すると、正確な測定が比較的簡単にできる。この測定器では同時に 30ヶ所の温度を測定することが可能であり、任意に決定した一定時刻ごとの温度測定値を記録することができるものである。

2-2. 実験方法

本実験は沖縄県糸満市西崎にある RC 造の陸屋根の 2 階建物にて行われた。実験概要は以下である (図 19 参照)。各実験体における測定ポイントは①実験体表面温度②実験体裏面温度③実験体空気層温度④屋根表面温度⑤室内天井表面温度である (図 2 参照)。

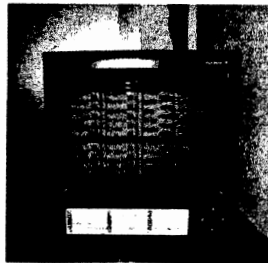


写真 2. 熱電対型デジタル温度記録計 DAQ STATION

1. 無設置: 厚さ 150 mm のコンクリートスラブ。沖縄ではほとんどの陸屋根。
2. 遮蔽塗料: 下塗り時所要量 0.2 kg / m<sup>2</sup>、仕上げ時所要量 0.4 kg / m<sup>2</sup>、熱伝導率 0.40 W / m · k、0.15 mm の厚さで塗る。
3. 日射遮蔽ブロック + 緑化: 350 mm × 350 mm × 125 mm、重量は 9 kg ± 1 kg。軽量土に芝で緑化、

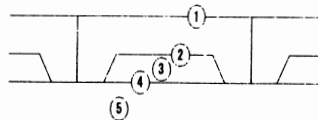


図 2. 測定ポイント

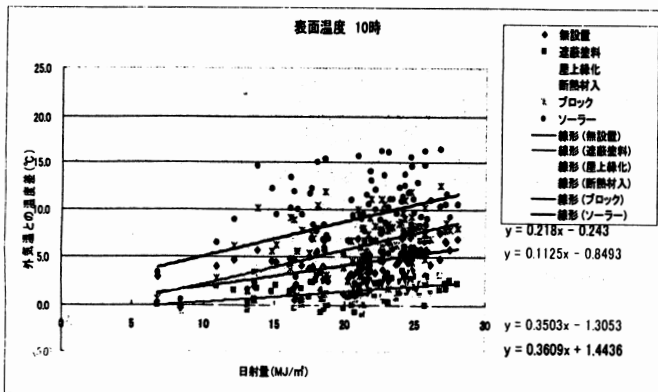


図 3. 表面温度の 10 時の散布図

空気層は 25 mm。

4. 日射遮蔽ブロック + 断熱材: 350 mm × 350 mm × 125 mm、重量は 16.5 kg ± 1 kg。ブロックの裏側に厚さ 35 mm 押出法ポリスチレンフォームを付着。空気層は 35 mm。
5. 日射遮蔽ブロック: 350 mm × 350 mm × 125 mm、重量は 9 kg ± 1 kg。空気層は 65 mm。
6. ソーラーパネル: 最大電力 60 W、開放電圧 91.8 V、短絡電流 1.19 A、外形寸法 990 mm × 990 mm × 40 mm、重量は 13.5 kg。太陽電池が影の影響による発電能力低下が生じにくいように、角度は 5 度に設置することによって空気層は最大 200 mm。

3. 表面温度

3-1. 10 時における散布図の比較 (100 日間)

図 3 は 10 時における各実験体の表面温度と外気温との温度差の散布図である。ソーラーパネルが飛び抜けて高い数値を示している。外気温との温度差では 15℃ 越えるのはソーラーパネルしかなく、8 日間も計測された。次に外気温との温度差が大きいのはブロックである。傾きはソーラーと比べほぼ平行であるが、約 3℃ ほど低くなっている。こちらもソーラーパネルと同様、表面温度においては高温である。そのブロックから若干傾きが緩やかになり順に、断熱材入、無設置となる。この時間帯で効果が表れていると言えるのが、遮蔽塗料と屋上緑化である。共に傾きが小さく外気温との温度差が 5℃ を超えることはほとんど無い。特に屋上緑化は最も効果が表れている。具体的に言えば、外気温との温度差がマイナスになっていることが多く、一次関数のグラフも X 軸と 15 MJ / m<sup>2</sup> 付近で交わっている。このことから屋上緑化は 15 MJ / m<sup>2</sup> 以下であれば外気温を下回る確率が高く、25 MJ / m<sup>2</sup> 以上であっても外気温より 1 ~ 2℃ 高いのみで、平均すれば日射量の大小に左右されることはあまり無いという結果となった。

3-2. 14 時における散布図の比較 (100 日間)

図 4 は 14 時における各実験体の表面温度と外気温との温度差の散布図である。14 時には今まで最も外気温との温度差が大きかったソーラーパネルと入れ替わり、断熱材入がトップになった。傾きも増し、切片も小さくなったことから日射量の影響を強く受けていると言える。以下ソーラーパネル、ブロックの順に続く。これら 3 つの遮蔽材を比較すると、外気温との温度差が約 1℃ ずつ異なる。それ以外は傾きや切片も概ね似てい

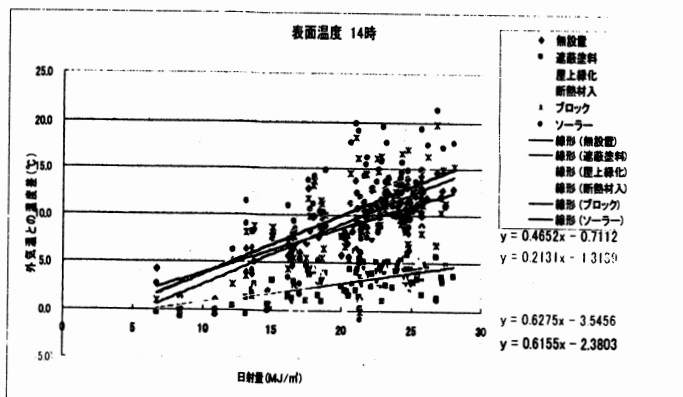


図 4. 表面温度の 14 時の散布図

ると言える。続いて無設置だが、これも12時から外気温との温度差が1~2℃程上昇した以外は大きな変化は無い。14時の段階では遮蔽塗料と屋上緑化はほぼ重なっているため、どちらが優れているとは一概には言えない。一日の中で最も気温が高いとされる14時において、外気温との差が5℃前後におさまっている屋上緑化と遮蔽塗料は表面において確かな日射遮熱効果が期待できる。

### 3-3. 20時における散布図の比較(100日間)

図5から20時ではほとんどの無設置を除いて外気温との温度差がなく、ほぼX軸と平行である。他の遮蔽材は外気温との温度差がマイナスになる時間帯があることに対し、無設置は全部プラスになっている。日射量が25MJ/m<sup>2</sup>前後であれば外気温との温度差は5℃前後まで上がる。その他の遮蔽材は外気温との温度差がマイナスであるが、言えば遮蔽塗料と断熱材入はプラスになることも少なくない。しかし、20時では日も落ち外気温も下がってきた状態であるため、外気温以上の温度を保つとすれば蓄熱しかない。

### 3-4. 日射量が多い日における24時間の比較

図6は計測期間日射量が多かった日(16日間:25.0MJ以上)における1日の表面温度を比較しグラフ化したものである。各遮蔽材が1日を通して最も温度が高くなる時間帯はだいたい14時前後である。また、一日の最低温度も明け方の朝6時前後と共通している。しかし、日中から翌日の朝にかけての温度の下がり具合には大きな違いが表れている。まず、6つの中で高

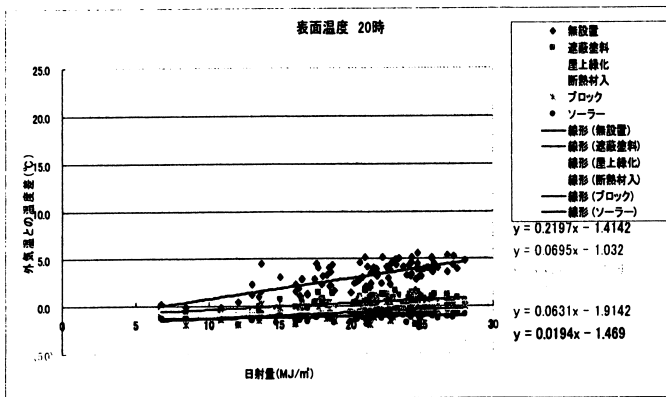


図5. 表面温度の20時の散布図

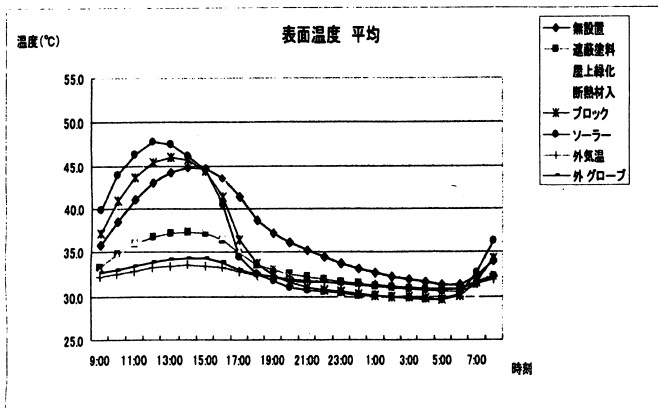


図6. 表面温度の1日の温度変化

い温度を示している遮蔽材はソーラーパネルと断熱材入である。この両者の違いとしてはソーラーパネルの表面温度のピークが12時頃なのに対し、断熱材入はそれより1~2時間ほど遅れている点である。また波形も似ているため、夕方になってもその時間差を保ったまま温度が変化していく。断熱材入とブロックでは、午前と夜の温度はほぼ同じになるが、日中の温度に2~3℃ブロックの方が低くなっている。無設置は、15時頃にピークを迎え、緩やかに温度は下降していく。夕方から翌日の明け方まで関しては、最も熱い。最後に屋上緑化と遮蔽塗料だが、日中は屋上緑化の方が1℃程高く、日が暮れた18時頃からは遮蔽塗料の方が1~2℃程高い。

## 4. 空気温度の結果及び考察

### 4-1. 14時における散布図の比較

図4は14時における各実験体の空気層での外気温との温度差の散布図である。14時においても外気温との温度差が最も大きかったのはソーラーパネルとなった。続いてブロック、断熱材入の順に外気温との温度差は少なくなっていく。ブロックは切片も約0.5違うのみになっている一方、断熱材入はブロックに比べ傾き、若干下回っている。しかし、これら3種の遮蔽材は日射量が25MJ/m<sup>2</sup>以上であっても平均で1℃以上の温度差がつくことなく等しい。唯一、外気温との温度差をマイナスに保っているのが屋上緑化である。傾き、切片が共にマイナスであり、日射量の大小に関らずマイナスを保ち続けている。10時、12時と傾きがマイナスにならなかったのに対し、日射量が最も多い14時にこのような結果になったことは、非常に特殊である。屋上緑化は空気層での遮熱効果が著しく優れている結果となった。

### 4-2. 20時における散布図の比較

図8から20時では今までより更に密集した一次関数のグラフとなった。全てのグラフが日射量25MJ/m<sup>2</sup>以上であっても温度差が1~2℃以内におさまっている。その中で最も外気温との温度差が大きかったのは断熱材入で、14時とほぼ変わらぬ一次関数のグラフを示していた。次はブロックだが、14時に比べ傾きが若干減少している以外は大きな変化は見られない。そしてソーラーと屋上緑化だが、ほとんど重なった一次関数のグラフとなった。14時からの比較をしたとき、まずソーラー

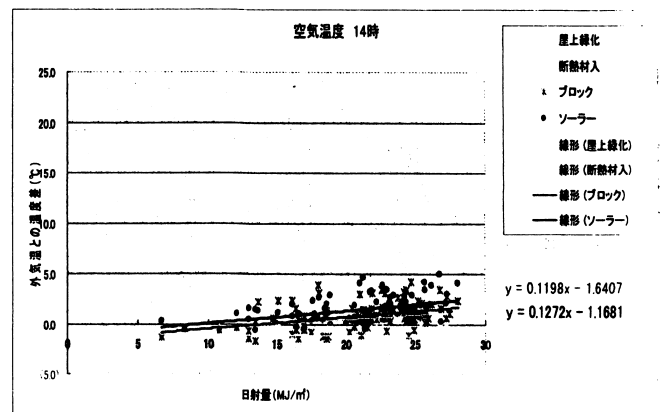


図7. 空気温度の14時の散布図

は4つの遮蔽材の中で最も傾きが減少している。切片はほぼ一緒なので、傾きのみが減少したことになる。外気温の温度差は日射量の大小に関らずほぼ0に等しい。逆に20時になって唯一傾きが大きく変化するのが屋上緑化である。14時では傾きがマイナスであったのに対し、20時ではプラスに変化している。つまり、日中に蓄え吸収した熱を徐々に発散していると考えられる。

4-3. 日射量が多い日における24時間の比較

図9は計測期間(6月18日~9月26日)の中で日射量が多かった日(16日間:25.0MJ以上)における空気層温度と各遮蔽材、外気温、外のグローブ温度を比較しグラフ化したものである。全体的に全ての遮蔽材が似た軌道を描いたグラフになっている。特に17時以降は外気温との温度差もほとんど生じていない。日中に関して言えば、ソーラーパネルが他の遮蔽材より1~3℃程高く、屋上緑化は若干低い温度を保っている。温度のピークが1~2時間程早くなっている。17時以降は外気温との温度差もほとんど生じていない。日中はソーラーパネルが他の遮蔽材より1~3℃程高く、屋上緑化は若干低い温度を保っている。全ての遮蔽材と外気温も含めたグラフがほぼ重なっていることが見てとれる。外気温との温度差が格段に少なくなっていることがわかる。

5. 屋根表面温度の結果及び考察

5-1. 10時における散布図の比較

図10から表面と同様に無設置が外気温との温度差が最も大

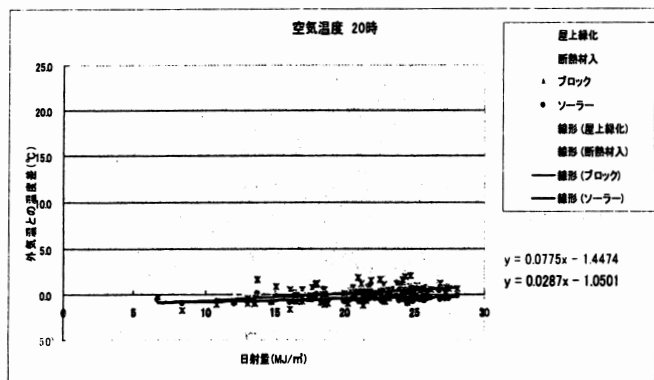


図 8. 空気温度の20時の散布図

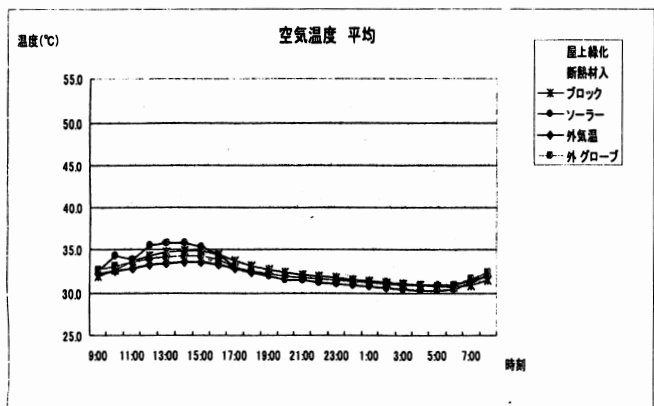


図 9. 空気温度の1日の温度変化

きい。日射量が25MJ/m²以上であれば外気温の温度差は5℃を超える値を示す。また、傾きも6つの遮蔽材の中で最も大きいため、日射量との比例関係も強いといえる。次に外気温との温度差が大きいのは遮蔽塗料である。傾きは無設置の半分程であるが、2番目に大きな値を示している。日射量が大きくなるに従い、最大で外気温を平均3℃前後上回っている。続いてソーラーパネルだが、X軸とは日射量が20MJ/m²のところまで交わっている。また、傾きが非常に小さいため、日射量が25MJ/m²を超えても、平均で外気温との温度差が1℃を超えることは無い。そこからほぼ重なった一次関数のグラフでブロック、断熱材入、屋上緑化と続く。この3つの遮蔽材には大きな差は無く、外気温との温度差もマイナスになることが多い。また、屋上緑化は他の2つに比べ傾きが少ない。そのため日射量の大小に左右されず、常に高い水準での日射遮蔽が期待できる。

5-2. 14時における散布図の比較

図11から14時でも10時、12時に引き続き最も外気温との温度差が大きいのは無設置であった。12時と比べ、傾きと切片が共に大きくなったため、相対的に外気温との温度差は大きくなった。次は遮蔽塗料であるが、こちらは12時と大きな変化は無い。依然として20MJ/m²で3℃前後、25MJ/m²以上で4~5℃程外気温を上回る結果となった。続いてソーラーパネルも同じく12時と大きな変化は見られない。ブロックと断熱材入も重なるほど拮抗している。12時からの変化の仕方も似ており、傾きが若干小さくなり、切片が大きくなった。ここで注目すべきは屋上緑化である。日中の最も暑い時間帯に傾きが大きくマイナスに傾いている。日射量が20MJ/m²では約1℃、25MJ/m²以上であれば外気温を2℃下回る結果となる。14時における全体的な考察として、10時、12時と比べ、グラフが扇形に広がっていることがわかる。これは6つの各実験体がそれぞれの特徴を、時間を追う毎に表わしているからである。特に屋上緑化は非常に良い日射遮蔽を期待できる結果となった。

5-3. 20時における散布図の比較

図12から20時でも無設置が最も外気温との温度差が大きいという結果になった。しかし、日も暮れたため外気温との温度差が5℃を上回ることはほとんど無くなった。外気温との温度差は、日射量が20MJ/m²であれば3℃前後、25MJ/m²以上であ

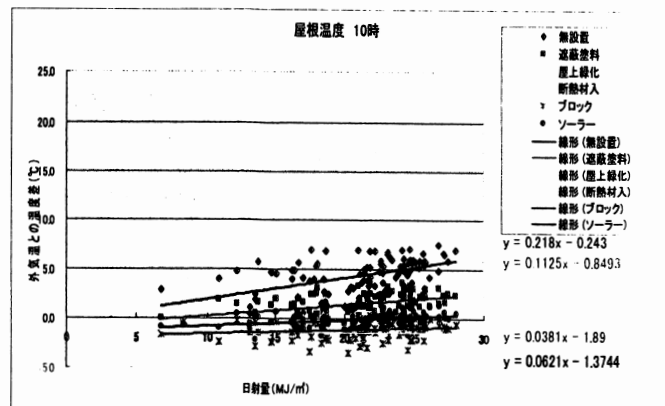


図 10. 屋根表面温度の10時の散布図

れば4~5℃程度に抑えられている。次に外気温との温度差が大きいのは、断熱材入とブロックである。この2つの遮蔽材はほぼ等しく、グラフで見ても重なっている。この両者は無設置には最大で3~4℃下回るなど、比較した場合に大きな開きがある。その後、若干の傾きの違いがあつてソーラーパネル、遮蔽塗料と続いていく。断熱材入とブロックは日射量が25MJ/m<sup>2</sup>以上であっても温度にして0.5℃の差があるかどうかといった程度なので、ほぼ差は無い。最後に屋上緑化は、唯一外気温との温度差をマイナスに保っている。傾きが微量で、ほぼX軸に平行しているが、日射量が25MJ/m<sup>2</sup>以上であっても外気温を上回することは少ない。14時の段階より傾きが大きくなっている点は、屋上緑化の蓄熱性の影響であると考えられる。全体を通して見ると、全ての時間帯において、屋上緑化が最も外気温との温度差が小さいという結果になった。

5-4. 日射量が多い日における24時間の比較

図13のグラフをみると他の遮蔽材を大きく引き離して、無設置が最も温度の高い。最高温度は14時の44.8℃である。無設置の特徴である蓄熱性の大きさから、緩やかに温度が下降していくため、他の遮蔽材と同等の温度になるのは明け方の5時前後のみである。遮蔽塗料は最高温度が13~14時の37.2℃であるため、14時には無設置とは7.6℃の差があつた。続いてソーラーパネルは最高温度が15時の35.2℃で以下、ブロックと断熱材入は33.9℃、屋上緑化の31.8℃と続く。ブロックと断熱材入は波形も非常に似通っていて、最低温度も9時の31.3℃と一緒であつた。屋上緑化は最低温度が31.2℃と最高温度

との差がわずか0.6℃しか生じなかつた。これらのことから、ソーラーパネル、ブロック、断熱材入、屋上緑化は屋根表面温度に関しては温度の上下が少ないという結果が出た。

5-5. 外気温を0にした24時間の比較

図14からまず、各遮蔽材で外気温と最も開きがあつたのは無設置15時の12.9℃であつた。次に大きな開きは遮蔽塗料が14時の3.8℃。順にソーラーパネル17時の2.6℃、断熱材入20時の2.3℃、ブロック20時の1.8℃、屋上緑化5~6時の0.8℃となつた。波形の特徴をみると、5-4の24時間のグラフと同じであるが、それぞれ個性がよく表れたグラフになっている。まず他の遮蔽材を大きく引き離して、一際大きな山型のグラフを描いているのが無設置である。特徴としては、外気温との温度差の大きさもそうだが、温度の下がり方が緩やかであることにも注目する。この性質のため、夕方や深夜になつても他の遮蔽材よりも明らかに温度は高く、他の遮蔽材と同等の温度になる時間帯は、翌朝の数時間のみである。遮蔽塗料は日中に外気温との温度差も3℃以上開くが、18時には1.2℃までに縮まりその後はほぼX軸と重なるようなグラフになっている。ソーラーパネルはピークが17時と遅く、それに伴い翌朝までが外気温との温度差をプラスに保っている。ブロックと断熱材入は非常に似通つたグラフになっている。両者ともピークは20時と遅く、日中は外気温との温度差がマイナスになっている。最後に屋上緑化は外気温との温度差が日中にマイナス、夜から翌朝まではプラスと日射量と反比例している。また、屋上緑化は外気温との温度差が最大で-1.9℃にもなり、日中は

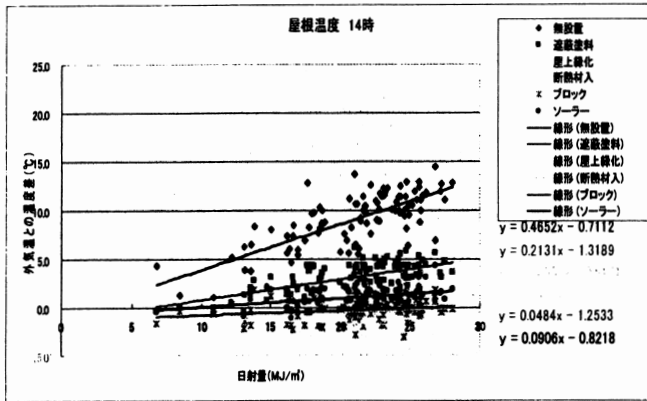


図11. 屋根表面温度の14時の散布図

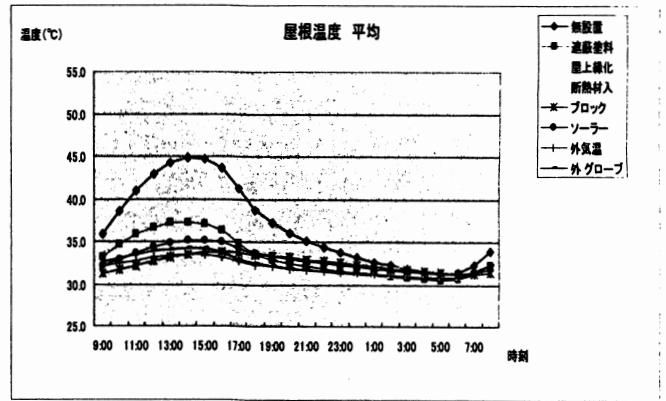


図13. 屋根表面温度の1日の温度変化

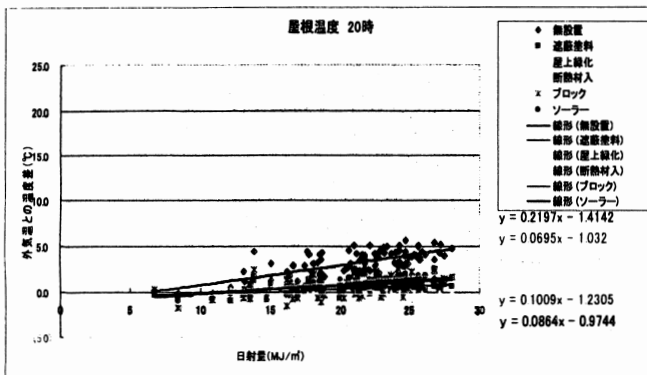


図12. 屋根表面温度の20時の散布図

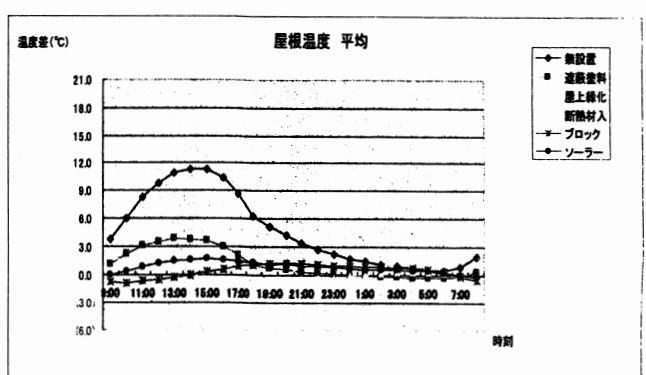


図14. 外気温を0にした屋根表面温度の比較

非常に日射遮蔽効果が期待できる結果となった。

## 6. 室内気温における休日の実験

### 6-1 屋根表面温度と室内気温

図 15 は計測期間 (6 月 18 日～9 月 26 日) の中で休日 (計 14 日間) における各実験体の屋根表面温度と各遮蔽材、外気温、外グローブ温度、室内気温、室内グローブ温度を 24 時間の平均を比較したグラフである。なぜ休日だけ室内温熱環境を評価するかは平日は室内は冷房を入れることからである。

まず、各実験体で外気温と最も開きがあったのは無設置 15 時の 43.3℃であった。次に大きな開きは遮蔽塗料 14～15 時の 37.0℃。順にソーラーパネル 15～16 時の 34.7℃、ブロック 16～17 時と断熱材入 17 時の 33.1℃、屋上緑化 18～21 時の 32.9℃となった。波形の特徴をみると、無設置が一際大きな山型のグラフを描いている。温度の高さはもちろん、下がり方も緩やかであるため、温度が高い時間帯が長くなっている。

他の遮蔽材と同等の温度になるのは 22 時頃でピークの 15 時から 7 時間後のことである。次に遮蔽塗料は日中には 35℃以上になるが、19 時の段階では他の遮蔽材と同等の温度に下がりきる。ソーラーパネル、ブロック、断熱材入、屋上緑化はほぼ同じ温度で推移している。室内気温とグローブ温度は日中から翌朝まで 30～35℃の間におさまり、温度が安定している。すなわち、タイムラグ (time lag) の現象が見られないのが明らかになった。

### 6-2 10 時における天井表面温度

図 16 は、10 時における天井での実験体の温度と外気温との温度差の散布図である。

グラフを見ると、日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上の範囲に大半の点が集まっていることがわかる。そのことから単に傾きが少なからぬ良い遮蔽材という訳ではなく、日射量 20MJ/m<sup>2</sup>以上に注目して一次関数の考察を行うことが必要である。その観点で見ると、無設置とソーラーパネルが比較的温度的の高い遮蔽材であることがわかる。この両者は日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上であれば、室内気温との温度差はだいたい -1～-2℃である。次に屋上緑化も同様に日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上であれば室内気温との温度差は -1.5～-2℃である。しかし屋上緑化は傾きが 0.1375 と

小さく、日射量の大小によって室内温度との温度差が生じにくい。逆に言えば、たとえ日射量が少なくても、室内気温を大きく下回ることも少ないという結果になる。遮蔽塗料も同様に傾きが 0.1881 と小さいため、日射量の影響をあまり強く受けていない。次に断熱材入とブロックと続く。断熱材入は 0.3185 と傾きが最も大きく、日射量の影響を強く受けている。ブロックも断熱材入ほどではないが 0.2667 と大きいため、日射量によって室内気温との温度差が上下しやすい、具体的に言えば、断熱材入とブロックは日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上の時、室内気温との温度差が -2～-3℃程度になっている。

### 6-3 14 時における天井表面温度

図 17 から 10 時よりもより無設置とその他の遮蔽材の差が大きくなっていることがわかる。まず無設置だが、傾きが 0.3006 と非常に大きく日射量の影響を強く受けている。無設置の一次関数より、日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上であれば平均で室内気温を 3℃以上上回る計算になり、かなり天井が温められていることがわかる。次に遮蔽塗料とソーラーパネルは日射量が 25MJ/m<sup>2</sup>の時であれば室内気温との温度差が -2℃とほぼ同じであるが、一次関数には違いが生じている。遮蔽塗料は傾きが -0.0197 とマイナスであるため、日射量に比例して室内気温との温度差が増加していく。対してソーラーパネルは傾きが 0.0182 と若干ではあるがプラスであるため、日射量に比例して室内気温との温度差が減少していく。屋上緑化は傾きが -0.071 とマイナスに大きく傾いているため、日射量の増加に伴い、室内気温との差が大きくなっていく。具体的には日射量が 20MJ/m<sup>2</sup>以上であれば、室内気温を -2.7～-3.0℃下回る計算になる。最後に断熱材入とブロックだが、断熱材入は傾きが 0.0051 とほぼ 0 に等しいため、ほとんど日射量の大小に関わらず影響を受けない。平均すると、室内気温との温度差を -3.0～-3.5℃に保っていることになる。対してブロックは傾きが 0.0605 であるため、日射量の大きさに応じて室内気温との温度差が変化している。日射量が 17MJ/m<sup>2</sup>の時であれば室内気温との温度差は -4.0℃まで下がるが、日射量が 25MJ/m<sup>2</sup>の時は -3.5℃と若干上がっている。前述では屋根表面温度では屋上緑化が一番よい結果であったが、室内の天井表面温度では遮蔽ブロックと断熱材の方が室内温熱環境では効果的になる結果となった。す

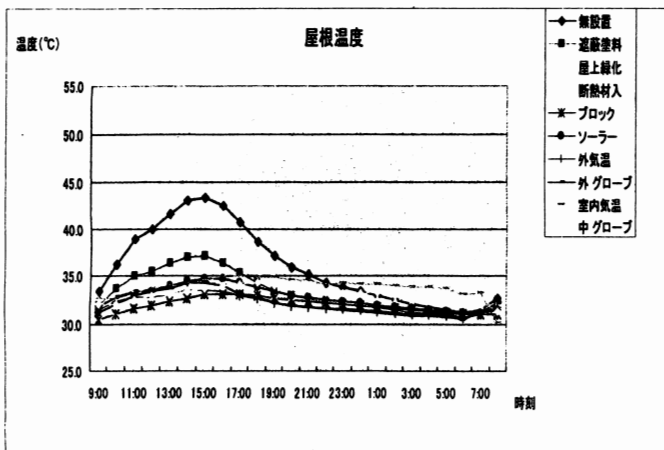


図 15. 休日における屋根表面温度と室内気温

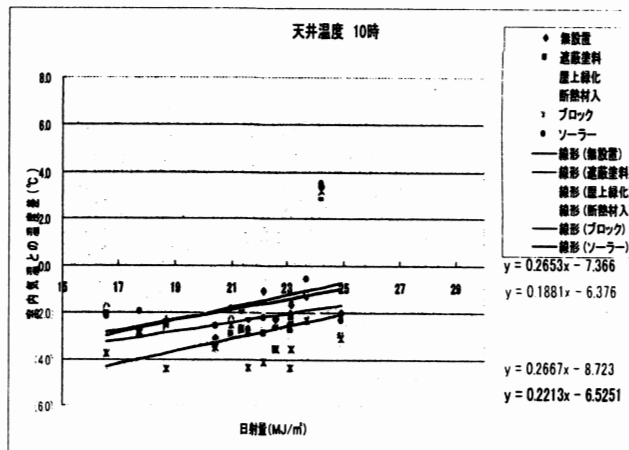


図 16. 休日における 10 時の天井表面温度の散布図



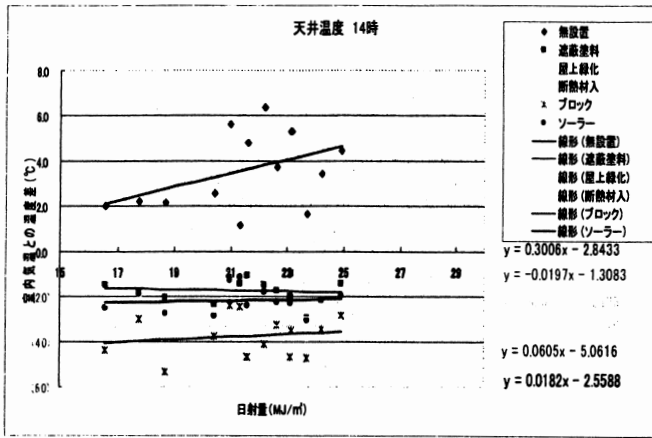


図17. 休日における14時の天井表面温度の散布図

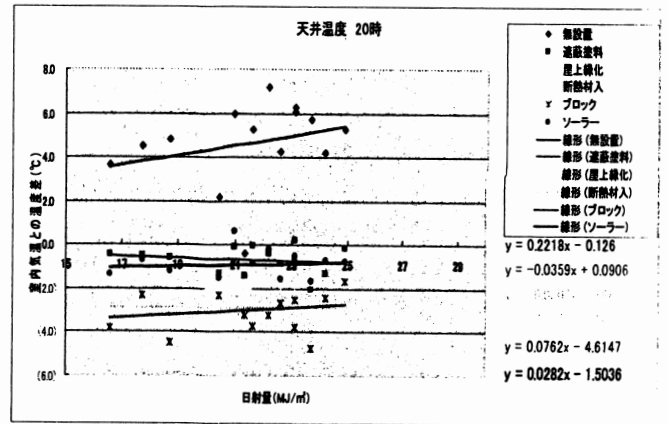


図18. 休日における20時の天井表面温度の散布図

なわち、一番よいとされるのはブロック、断熱材入ブロック、緑化ブロック、ソーラーパネル、塗料、無設置の順になる。ブロックがなぜよい結果となっている理由としては空気層の高さであると考えられる。その空気層の高さはブロックが65mm、断熱材入ブロックが35mm、緑化ブロックが25mmになっている。このような空気層は高ければ高いほど通風がよくなり熱を伝えるエネルギーが弱くなるため天井表面温度が低くなる結論となった(図19参照)。

である。断熱材入は傾きが-0.0007とほぼ0に等しいため、日射量の大小に左右されずに室内気温との温度差を-3.0℃程度でキープしている。最後にブロックは傾きが0.0762と生じているため、日射量が大きくなると若干ではあるが断熱材入と温度差が逆転する。全体を通して、日射量の大きい14時よりも室内気温との温度差が上がっている点は、おそらく日中に温められた遮蔽材が夜になり、熱を発しているためと考えられる。

#### 6-4. 20時における天井表面温度

図18から14時にも増して、無設置が最も室内気温との温度差の大きい。傾きは14時の0.3006から0.2218へ減少したが、切片が-2.8433から-0.126へと増加したため、14時の段階よりも平均して温度差が開いている。日射量が20MJ/m<sup>2</sup>以上であれば、室内気温との温度差は4℃以上であり、かなり温められていることがわかる。次に遮蔽塗料は傾きは-0.0359とマイナスであるが、切片が0.0906とプラスであるため、室内気温との温度差は-0.5~-1.0℃程度である。ソーラーは傾きが0.0282とプラスであり、切片が-1.5036とマイナスであるため右肩上がりのグラフになっている。日射量が25MJ/m<sup>2</sup>であれば遮蔽塗料とほぼ同等の温度差になっているが、以上の点が遮蔽塗料とは異なる。屋上緑化は傾きが-0.0507とマイナスに傾いている。日射量に問わず室内気温との温度差は約-2℃程度

#### 7. 熱貫率による比較計算

熱貫流率を求めることで、遮蔽材それぞれの熱の伝わりやすさを数値的に理解し考察を行うために計算を行った。熱伝達式は下記の式を利用した結果、無設置は4.07 (w/m<sup>2</sup>・k)、遮蔽塗料は3.38 (w/m<sup>2</sup>・k)、ソーラーパネルは2.94 (w/m<sup>2</sup>・k)、遮蔽ブロックは3.04 (w/m<sup>2</sup>・k)、遮蔽ブロック+断熱材は0.63 (w/m<sup>2</sup>・k)、遮蔽ブロック+簡易緑化は2.31 (w/m<sup>2</sup>・k)という

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

この結果からは断熱材入ブロックが熱還流率が一番低く、ブロックより5倍近く低くなっているが6-3、6-4の天井表面温度の結果からみると断熱材の効果はみられない。したがって、

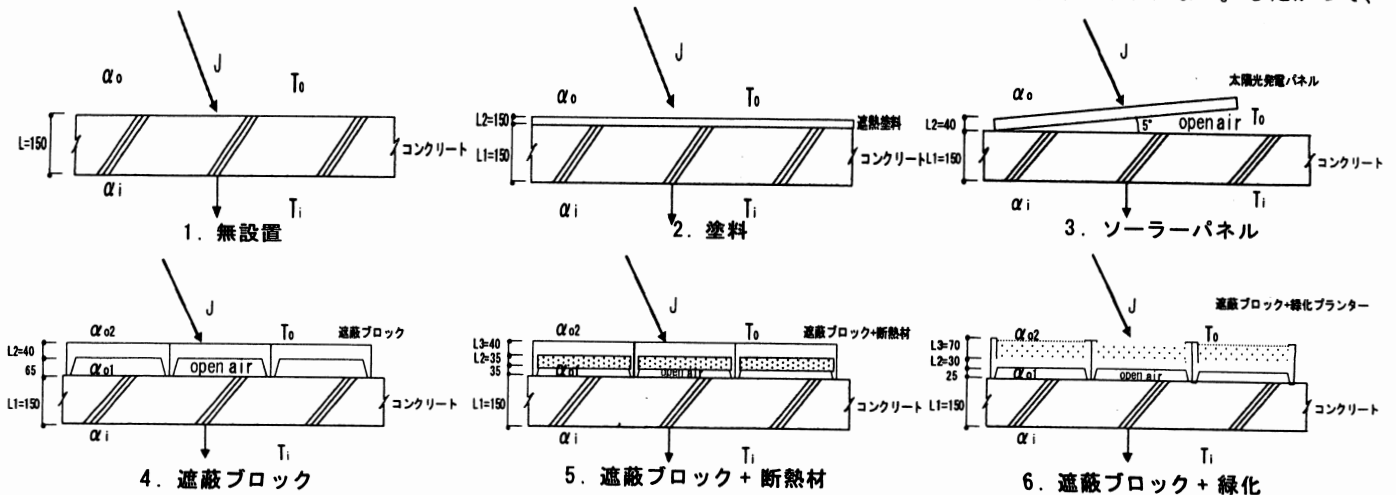


図19. 各実験体の熱伝導率の計算図



屋根から天井への熱の伝わりは熱還流率が低い断熱材より日射遮蔽と遮蔽材と屋根表面の空気層による通風であることが明らかになった。

8. まとめ

無設置の場合、コンクリートの蓄熱性が高い。他の遮蔽材と比較しても日射量の大小に関わらず、長時間にわたり高温を保ち続けている。また温度の下がり方も緩やかであり、他の遮蔽材と同等の温度に至るまでの時間が無設置のみ長いことも特徴である。

遮蔽塗料は無設置と同様に外部では表面温度しか設けられなかったため、屋根表面温度は、無設置の次に温度の高い遮蔽材になっている。しかし、表面温度を見ると屋上緑化に次いで遮熱効果が期待できる。また、ブロックなどと異なり、壁面や屋根面に塗るのみなので設置が簡易であるという長所がある。しかし、劣化も早く、5年で塗り直しをしなければならない。今回の実験で遮蔽塗料には確かな遮熱効果があることがわかった。そして遮蔽塗料の今後の展望としては、遮蔽ブロックの表面に塗るなど、他の遮蔽材との組み合わせを試すことだと考えられる。

ソーラーパネルは日中に無設置以上に熱くなり、夜間にはどの遮蔽材よりも温度が低くなるという特徴がある。また、ソーラーパネルは雨やスコールの影響を受けやすく日射量にも大きく左右される。また、今回扱ったソーラーパネルは厚さが4cmと薄いため表面温度から裏面温度へ熱が伝わりやすく、裏面でも高温を記録した。その影響で屋根表面にも温度が伝わりやすくなったため、屋根表面温度は他の遮蔽材に比べ高い温度を示している。しかしその表面温度が高ければ高いほど、ソーラーパネルは太陽光を利用して電気エネルギーを作ることが出来ることも事実である。表面温度が高ければそれだけヒートアイランド現象を促進させるが、総合的に計算すれば最もエコに貢献すると思われる。

遮蔽ブロックはソーラーパネルと同様に日中は温度が高く、夜間は温度が下がるという傾向であった。また、遮蔽ブロックの空気層は65mmを設けてあるため、表面温度から空気層温度、屋根表面温度、天井表面温度へと温度が順調に下がっていく。

遮蔽ブロックの断熱材入りは表面温度が他の遮蔽材に比べ、高いということがわかった。その要因として、14時で上昇した温度が20時なってもあまり下がらない。それは断熱材がブロック表面から屋根表面への伝える熱を遮り、ブロックの表面への熱が留まる現象であると思われる。また、空気層の容積が小さいために温度が上昇したと考えられる。また、断熱材熱貫流率において最も優れていて、それは屋根表面温度の14時の温度変化を見ても明らかである。しかし20時では逆に断熱作用が高いために、熱を閉じ込めてしまい温度が下がることはなかった。

遮蔽ブロックに簡易緑化を加えたことによって、総合的に見て全ての遮蔽材の中で最も日射遮蔽効果が期待できる結果となった。しかし、今回の実験では土も同時に設置したが、土は熱を蓄熱してしまうため、温度を下げようとするならば使用は極力避けねばならない。また、簡易緑化をする上で手入れも必要な作業の一つである。今回の実験では水遣りは朝方に限定したが、水の影響で温度が下降したということも考慮しなければならない。しかし、総合的に見れば外気温よりも低い温度になることも多く、安定した温熱環境を与える遮熱材であることが明らかになった。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご理解をいただき、協力して下さった建築学科吉田長行先生、吉田研究室の川村正樹さん、小杉勇哉さんには厚く御礼申し上げます。また、株式会社伊是名ブロック工業の大城吉隆さん、屋富祖信尊さん、相互電気の中村弘正さん、長嶺塗料店の長嶺紀宏さん、恒和化学工業の皆様、実験場所を提供して下さいました沖繩生コンクリートの福永正社長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。

【注1】

- ・Chanpil Park (朴贊弼) 「A Comparative Study on the House Warming (Thermal) Environment by Region Built of Wood and RC According to the Measuring Method」 Journal of Advanced Engineering and Technology, The Research Institute of Advanced Engineering Technology Chosun University Korea vol. 1, No. 2, pp. 243 ~ 250, December 2008
- ・法政大学工学部研究集報第44号「沖縄におけるRC造住宅の温熱環境改善に関する研究 - 日射遮蔽ブロック及び瓦を載せて散水による温熱効果について -」 pp. 1 ~ 5, 2008年3月
- ・法政大学工学部研究集報第43号「日射遮蔽による既存RC造住宅の環境改善について - 日射遮蔽ブロックの空気層の厚みによる温熱効果について -」 pp. 35 ~ 40, 2007年3月
- ・法政大学工学部研究集報第42号「日射遮蔽による既存RC造住宅の環境改善について - 沖縄におけるRC建築物の温熱環境改善に関する研究 -」, 2006年3月, p 19- p 25

【注2】

- 日本建築学会大会『学術講演梗概集 E-2 建築計画』2002年~2007年
- その1 遮蔽屋根と断熱ブロックの効果の比較
- その2 遮蔽屋根と断熱材の効果の比較
- その3 学校建築(新城小学校)における日射遮蔽の実験
- その4 ブロックと芝生を併用した日射遮蔽の実験
- その5 遮蔽ブロックと芝生を植えたブロックの温熱改善効果について
- その6 日射遮蔽ブロックの足の長さによる温熱効果の影響について
- その1 日射遮蔽ブロックの空気層の厚みによる温熱効果について
- その2 日射遮蔽ブロックに土を載せた場合の温熱改善効果
- その3 日射遮蔽ブロックの配置の違いと瓦を載せた実験

表 1. 全日程における各実験体の計測温度と評価

	表面温度		裏面温度		空気層温度		屋根面温度		評価 小計	
	時刻	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14時		20時
無設置	時刻	14時	20時					14時	20時	10
	温度	42.1℃	33.6℃					42.1℃	33.6℃	
遮蔽塗料	時刻	14時	20時					14時	20時	10
	温度	36.2℃	31.8℃					36.2℃	31.8℃	
	評価	5						1	4	
ソーラー	時刻	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14時	20時	7
	温度	43.6℃	30.4℃	43.6℃	30.3℃	34.5℃	31.0℃	34.1℃	32.3℃	
	評価	2						2	3	
ブロック	時刻	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14時	20時	9
	温度	42.7℃	30.6℃	38.0℃	31.3℃	33.9℃	31.6℃	32.6℃	32.3℃	
	評価	3						3	3	
断熱材入	時刻	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14時	20時	6
	温度	44.5℃	31.3℃	34.9℃	32.1℃	33.6℃	32.1℃	32.6℃	32.7℃	
	評価	1						4	1	
屋上緑化	時刻	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14時	20時	14
	温度	36.3℃	30.9℃	32.0℃	31.3℃	31.9℃	31.0℃	31.4℃	31.2℃	
	評価	4						5	5	