



太陽電池パネルのヒートアイランド抑制効果に関する研究

森山, 正和
竹林, 英樹
松本, 卓也
一谷, 匡陞

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 8:371-376

(Issue Date)

2004-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00422497>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00422497>



太陽電池パネルのヒートアイランド抑制効果 に関する研究

Study on the Effect of PV System on UHI Prevention

森山 正和¹⁾

Masakazu Moriyama

竹林 英樹²⁾

Hideki Takebayashi

松本 卓也³⁾

Takuya Matsumoto

一谷 国隆⁴⁾

Kyohei Ichitani

概要: 本論文は、太陽電池パネルを設置することによる建築物への影響として考えられる効果のうち、夏期の省エネルギー効果とは別にヒートアイランド抑制効果について考察したものである。ここでいうヒートアイランド抑制効果とは太陽電池パネルを屋上面に設置することによって設置しない場合に比べてどれだけ顕熱流を抑制することができるかということである。そこで都市安全研究センター屋上に設置した太陽電池パネル実験施設において短期間の測定と数値解析を行い、太陽電池パネルの熱収支モデルを用いてパネル面からの顕熱流を計算した。また夏期における太陽電池パネルを設置することによる顕熱流の変化について、夏期気象条件を用いて計算を行いヒートアイランド抑制効果について考察した。

キーワード: 太陽電池、ヒートアイランド、顕熱流

1. 研究目的

近年、石油などの化石燃料の枯渇や大気汚染物質・温室効果ガスの増大などエネルギー源を化石燃料に頼ることには様々な問題が生じている。そこで自然エネルギーの利用を促進することが重要であり、建築分野における太陽光発電設備の設置もその1つの方法として世界各国で普及が進んでいる。また、エネルギーの集中的消費に伴う人工排熱の増加や地表面のコンクリート・アスファルト化による蓄熱効果によって、東京や大阪などの大都市ではヒートアイランド現象が起こっている。そのような中でヒートアイランド現象を緩和し、建物の冷房負荷を減少させる効果があるという屋上緑化や高反射性塗料などが注目されている。本来、太陽電池パネルを建築物の屋根面に設置する目的は発電により電力を得ることであるが、それ以外にも建築物に対する影響があるのではないかと考え、太陽電池パネルを設置することによってヒートアイランド抑制効果があるのではないかと考えた。ここでいうヒートアイランド抑制効果とは太陽電池パネルを屋上面に設置することによって設置しない場合に比べてどれだけ顕熱流を抑制することができるかということであり、短期間の実測と数値解析によって太陽電池パネルの熱収支モデルからパネル面からの顕熱流を算定し、また夏期気象条件における太陽電池パネル設置による顕熱流の計算を行いヒートアイランド抑制効果についての考察を行う。

2. 太陽電池パネル実験施設概要

本実測は、2003年夏期に神戸大学都市安全研究センターの屋上に施工された太陽電池パネル実験施設において行った。この建物は神戸大学構内に位置しており、RC2階建てで屋上にペントハウスがある。建物の東側を道路が走り西側は切り立った崖になっていて樹木が生い茂っている。太陽電池パネルはペントハウス壁面と屋上面東側に、それぞれ可動型(0度から90度)、固定型(30度)のものが南東向きに設置されておりそこで実際に発電を行っている。都市安全研究センター屋上平面図、太陽光発電システム概要、施工の様子などを以下に示す。

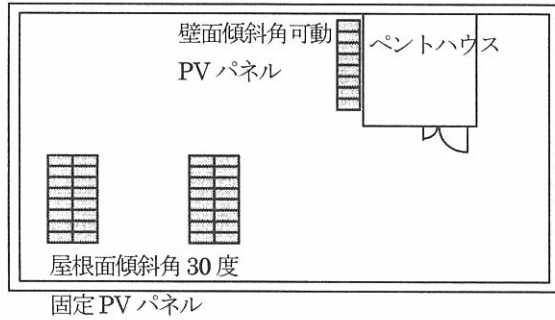


図1 都市安全研究センター屋上平面図

表1 太陽光発電システム概要

太陽電池	最大出力	壁面 939.2W 屋根面 1878.4W
	基盤	多結晶シリコン 太陽電池モジュール
	方位	南東
	仰角	壁面 可動(0~90度) 屋根面 固定(30度)
蓄電池	容量	1920Wh
	種類	密閉シール形鉛蓄電池 寿命2~3年

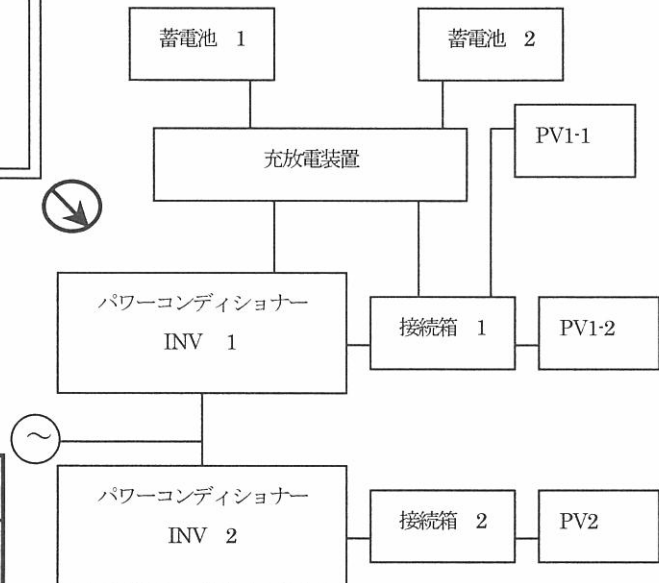


図2 太陽光発電システム概略図

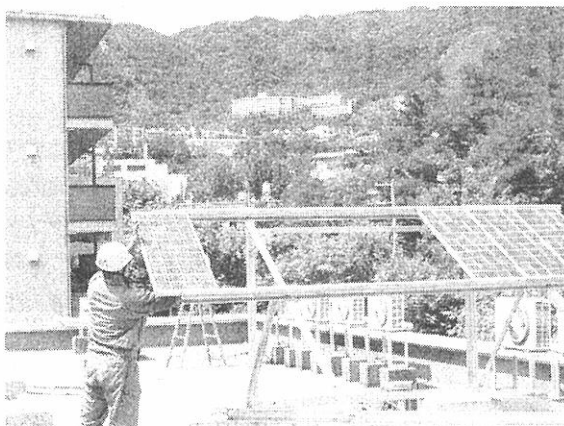


写真1 施工の様子

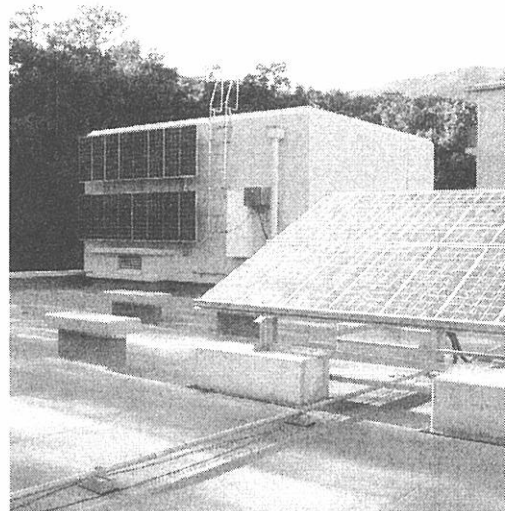


写真2 太陽電池パネル

2. 測定方法

(1) 測定の概要

設置工事完了の関係で、2003年12月2日～6日の5日間測定を行った。測定項目及びその使用機器を図3、表2に示す。

(2) 気温及び太陽電池パネル表面温度の測定

気温測定点は床面から約2mの高さにし、太陽電池表裏面温度測定点は、8時から16時まで（太陽電池に日射があたる時間帯）1時間ごとに赤外線放射カメラで撮影し、温度分布がほとんどないことを確かめた上で決定した。

(3) 放射量の測定

2つの放射収支計をパネルの表裏面に配置してパネル表裏面での放射量を測定した。測定点の高さは、魚眼レンズを用いた撮影により形態係数を算出し、20cmとした。表3に高さと形態係数の関係を示す。

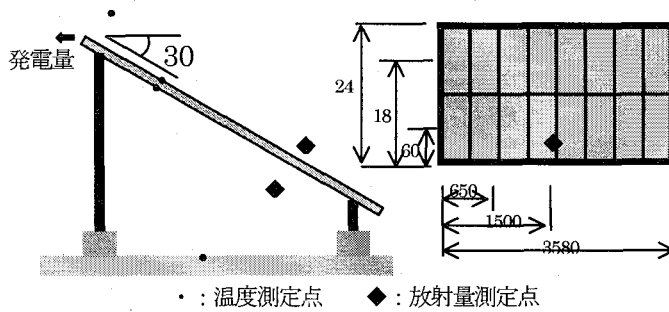


図3 太陽電池パネル側面

表2 測定項目と使用機器

測定項目	使用機器
気温・パネル表面温度	熱電対 データロガー (SOLAC-V)
発電量	PCレコーダ (MSR128)
放射量 (4成分)	放射収支計 (CNR1) データロガー (SOLAC-V)

表3 放射収支計のパネルからの距離と形態係数の関係

パネルからの距離	10cm	20cm	30cm	40cm
形態係数	0.96	0.92	0.88	0.83

3. 測定結果

(1) 温度の測定結果

パネル表裏面温度に関しては、測定期間を通してほぼ同じ挙動を示しパネル裏面温度の方が表面温度よりも若干高くなっており、日射の影響の大きい正午過ぎ頃には約3℃の温度差がみられた。また、最高気温が13～15℃の12月初旬の時期でも表裏面の温度は35℃前後に達している。

(2) 発電量の測定結果

図4に発電量の測定結果を示す。一日の変化を見てみると朝6時過ぎから始まった発電が、14時過ぎから激減し16時頃にはほぼ0になっている事が分かる。これは太陽電池が南東向きであること、また実験施設の西側が樹木の生い茂った崖になっていて昼からの日射が遮られたことが原因だと考えられる。

(3) 放射量の測定結果

図4に日射量、図6に長波長放射の測定結果を示す。ここでは計算対象にした、晴天日の続いた12/3～12/5の3日間のデータを示す。日射量のピークは正午付近で、750～850W/m²を示した。長波長放射は一日中変化なく、300～400W/m²を示した。

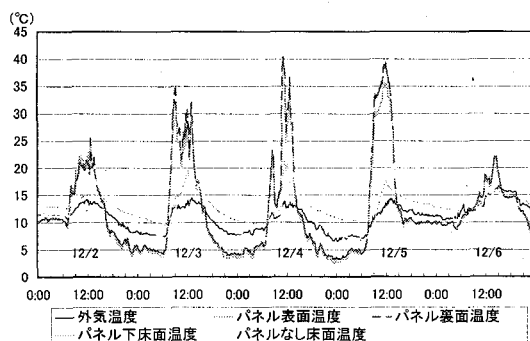


図4 温度の測定結果

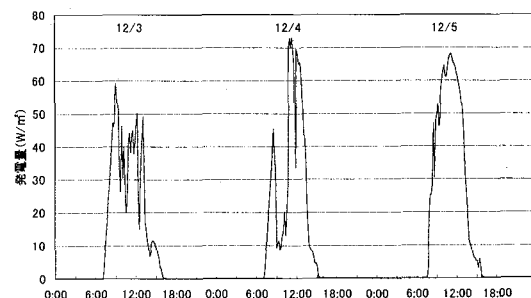


図5 発電量の測定結果

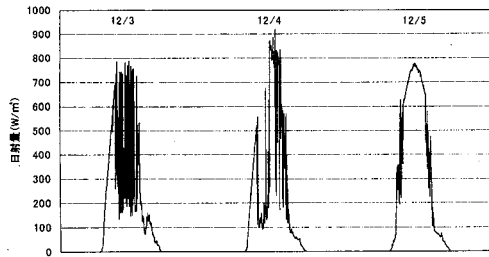


図6 日射量の測定結果

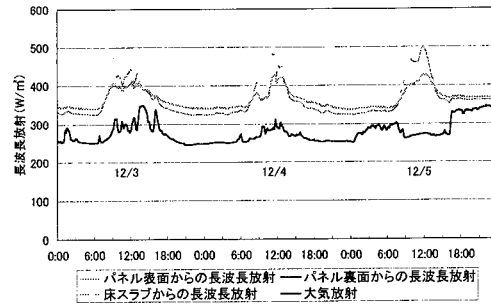


図7 長波長放射の測定結果

4. 太陽電池パネルの熱収支に関する考察

(1) 太陽電池パネル熱収支モデル

$$(1-A)I + J - \varepsilon_{pf}\sigma T_{pf}^4 - \varepsilon_{pb}\sigma T_{pb}^4 + \varepsilon_w\sigma T_w^4 - H_p - C_p\rho_p d_p \frac{dT_p}{dt} - P = 0 \quad (1)$$

● ガラス・太陽電池の境界における熱収支式

$$\tau_g a_c J + \frac{2\lambda_c}{L_2}(\theta_3 - \theta_2) + \frac{\lambda_g}{L_1}(\theta_1 - \theta_2) - E_p = 0 \quad (2)$$

● セル内部における熱収支式

$$L_2 \cdot C_s \cdot \gamma_s \cdot \frac{\theta_3 - \theta_3'}{\Delta t} = \frac{2\lambda_c}{L_2}(\theta_2 - \theta_3) + \frac{2\lambda_c}{L_2}(\theta_4 - \theta_3) \quad (3)$$

I : 短波長放射 J : 長波長放射 ε_n : 放射率 σ : ステファンボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) T_n : n での表面温度
 H_p : パネルからの顕熱流 $C_p \rho_p$: パネルの容積比熱 d_p : 太陽電池パネル厚さ P : 発電量 n は pf : パネル表面 pb : パネル裏面 w : 床スラブ表面をそれぞれ表す。

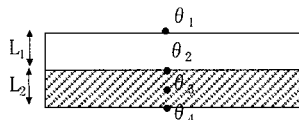


図8 太陽電池パネル断面

表4 太陽電池セル断面の各物性値

	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/m・K)
樹脂	0.0016	0.116
セル	0.00035	168
バックシート	0.0001	0.17
ガラス	0.0032	1

(2) 計算結果とその考察

計算は測定の後半期間中で比較的気象条件の良かった12月3日から5日の測定値を10分平均した値を用いて行った。図9に示すとおり計算結果では、冬期ということで表面温度の上昇も小さかったため、パネルからの顕熱流は200~300[W/m²]となっている。また、日射量の少ない時期であり発電量は正午頃でも70[W/m²]と小さかったため、発電量が顕熱流に与える影響は小さかった。顕熱流の値は基本的には放射収支の上下動に従って推移しているが、パネル内蓄熱量の値が大きく変化している時はその影響も大きく受けている。

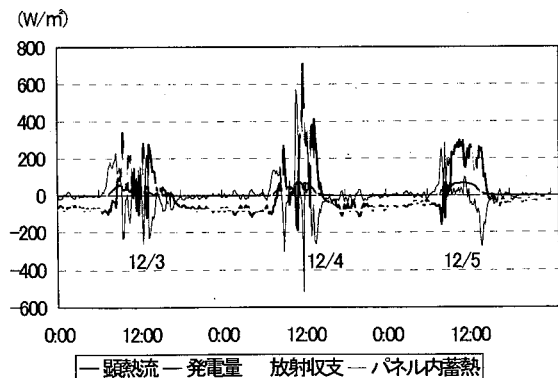


図9 測定による顕熱流計算結果

5. 夏期気象条件における顕熱流の計算

(1) 概要

2003 年夏期（8 月）の神戸大学自然科学研究棟 3 号館屋上における気温、日射量、風速の測定データを都市安全研究センターの条件に合わせて用い、顕熱流の計算を行った。顕熱流の計算はヒートアイランド抑制効果の考察を行うために太陽電池パネルがある場合とない場合の 2 通り計算し、その比較を行った。

(2) 計算方法

夏期における顕熱流の計算方法を以下に示す。

$$\text{顕熱流} = \alpha_0 (\theta_s - \theta_0) \quad (4)$$

α_0 : 表面熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) はパネル表面、裏面、パネル下床面でそれぞれ以下のように決めた。

α_{of} : パネル表面熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) は風速の測定値からユルゲスの式により算出した値を用いた。また、パネルがない場合の床面における熱伝達率も等しい値とした。

α_{ob} : パネル裏面熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) は風速の測定値の考察から平均して $7 (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ の一定値であるとした。また、パネル下床面における熱伝達率も等しい値とした。 θ_0 : 外気温度 ($^{\circ}\text{C}$) は測定値を用い、パネルの上下で等しい値であるとした。

θ_s : 表面温度 ($^{\circ}\text{C}$) はパネル表面、裏面、床面などの各点温度をパネル面とパネル下床面における熱収支式より以下のように求めた。

● ガラス表面における熱収支式

$$a_g \cdot J + \frac{\lambda_g}{L_1} (\theta_2 - \theta_1) + \alpha_0 (\theta_0 - \theta_1) = 0 \quad (5)$$

● ガラス・太陽電池の境界における熱収支式

$$\tau_g a_c \cdot J + \frac{2\lambda_c}{L_2} (\theta_3 - \theta_2) + \frac{\lambda_g}{L_1} (\theta_1 - \theta_2) - E_p = 0 \quad (6)$$

● セル内部における熱収支式

$$L_2 \cdot C_s \cdot \gamma_s \cdot \frac{\theta_3 - \theta_3'}{\Delta t} = \frac{2\lambda_c}{L_2} (\theta_2 - \theta_3) + \frac{2\lambda_c}{L_2} (\theta_4 - \theta_3) \quad (7)$$

● バックシート表面における熱収支式

$$\frac{2\lambda_c}{L_2} (\theta_3 - \theta_4) + \alpha_i (\theta_5 - \theta_4) = 0 \quad (8)$$

● 屋上床スラブ表面における熱収支式

$$\frac{2\lambda_3}{L_3} (\theta_6 - \theta_5) + \alpha_{pb} (\theta_0 - \theta_5) + \alpha_r (\theta_4 - \theta_5) = 0 \quad (9)$$

● 屋上床スラブ内部における熱収支式

$$L_3 \cdot C_c \cdot \gamma_c \cdot \frac{\theta_6 - \theta_6'}{\Delta t} = \frac{2\lambda_3}{L_3} (\theta_5 - \theta_6) + \frac{2\lambda_3}{L_3} (\theta_7 - \theta_6) \quad (10)$$

● 室内天井表面における熱収支式

$$\frac{2\lambda_3}{L_3} (\theta_6 - \theta_7) + \alpha (\theta_8 - \theta_7) = 0 \quad (11)$$

表 5 その他の各物性値

a_g	ガラス日射吸収率 [-]	0.2
a_c	セル日射吸収率 [-]	0.9
τ_g	ガラス日射透過率 [-]	0.8
$C_s \gamma_s$	太陽電池容積比熱 [$\text{Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$]	561.722
α_r	放射熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]	4.65
α	室内側総合熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]	7

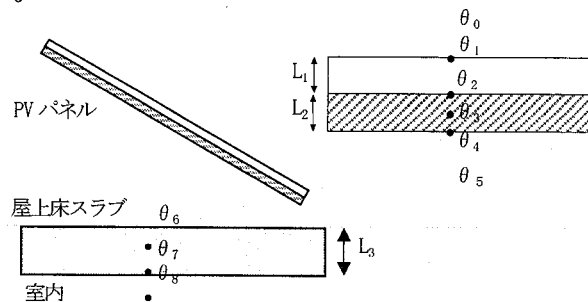


図 10 太陽電池パネル及び床面断面図

(3) 計算に用いた夏期気象条件

気温、風速、大気からの長波長放射は測定値をそのまま用いることとし、日射量については、3号館屋上での測定値を都市安全研究センター屋上の条件に合わせて直散分離を行い、南東向き・傾斜角30度の面に入射する日射量の値に変換して用いた。計算に用いた測定値を図11～12に示す。

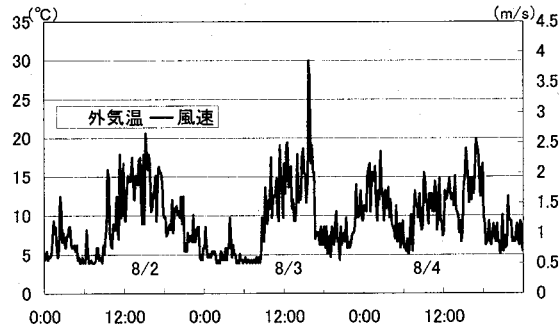


図11 3号館屋上における外気温と風速(2003年8月)

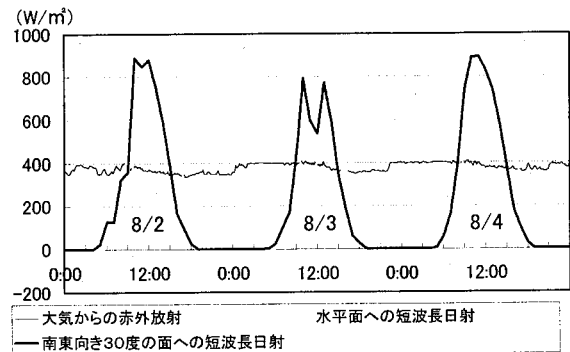


図12 3号館屋上における日射量(2003年8月)

(4) 表面温度の計算結果

太陽電池パネルがある場合とない場合における各表面温度の計算結果を図13に示す。

太陽電池パネルがある場合、パネル表裏面温度は60℃～70℃まで上昇しており、パネル下床面の温度はパネルが日射を完全に遮っていると仮定しているためパネル裏面からの輻射の影響で外気温よりも3℃～4℃高い値となった。パネルがない場合、床面温度は日射が直接当たっている分パネルがある場合の床面温度よりも大幅に高くなっており、パネル表面とほぼ同じくらいの温度にまで達している。しかし、太陽電池パネルよりもコンクリートの方が熱容量の点で大きいいためパネルなし床面の方が温度の低下が遅く、長い時間高温を保っている。

(5) 顕熱流の計算結果

それぞれの場合における総顕熱流の計算結果を図14に示す。パネルがある場合におけるパネル設置単位面積当たりの総顕熱流はパネルがない場合における単位面積当たりの床面からの顕熱流よりも昼間だけで約200[W/m²]大きくなった。1時間当たり顕熱流の合計の差を比較すると表2に示すとおり、パネルがある場合の方がパネルなしの場合よりも100～200[W/m²]大きくなった。

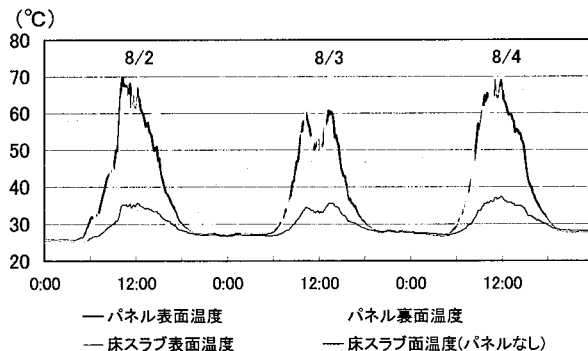


図13 各表面温度の計算結果

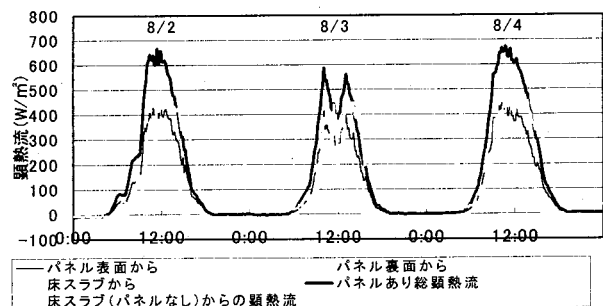


図14 夏期気象条件における顕熱流の計算結果

6. 結論

顕熱流の計算結果によれば、太陽電池パネル設置により屋上面からの顕熱流は下がっておらず、ヒートアイランド抑制効果が得られるとはいえなかった。その理由としてパネルがある場合屋根面への日射が遮られるため、パネルがない場合の屋上床スラブへの伝導熱流の分が顕熱流となっていると考えられる。

今後の課題としては、夏期に測定を行い考察を進める必要がある。また、今回考察の対象に含めなかった①発電によるエネルギー消費量削減効果、②日射遮蔽効果についても考察を進め、これらの要素を含めて太陽電池パネルを屋上面に設置することによる建物への影響について総合的に考察を進める必要がある。

謝辞: 本研究の一部は神戸大学都市安全研究センター及び平成15年度科学研究費補助金基盤研究(B)(代表 重村力)の助成を受けて行われた。特に沖村孝教授には多大なご協力を頂いた。神戸大学21世紀COEプログラム「安全と共生」の支援も受けた。

参考文献 松本卓也・森山正和: 太陽電池を組み込んだ学校建物外日に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003年, D-2, p. 683

Study on the Effect of PV System on UHI Prevention

Masakazu Moriyama

Hideki Takebayashi

Takuya Matsumoto

Kyohei Ichitani

Abstract

This paper considers the Study on the effect of PV system on UHI prevention among the effects considered as influence on the building by installing a solar cell panel. The effect of PV system on UHI prevention here is which can control heat flux from the roof which is installed PV panels compared with the case where it is not installed PV panels in a roof side.

Then, short measurement and numerical analysis were performed in the PV panel experiment institution installed in the Research center for urban safety and security roof, and the heat flux from the panel side was calculated using the heat income-and-outgo model of PV panel. Moreover, about the change of the heat flux by installing the solar cell panel in summer, it calculated using summer weather conditions, and the effect of PV system on UHI prevention was considered.

