

スタンドオフ方式アレイの 太陽電池温度特性と空冷効果

Characteristics of PV Cell Temperature and Cooling Effect on
A Stand - Off Type PV Array

西川 省吾
Shogo NISHIKAWA

Abstract

A stand-off type is a popular installation method of PV array for a pitched roof of residential house. The author studied the temperature rise of PV cell on roof of typical Japanese houses and analyzed possible effects from its surroundings such as irradiance, wind velocity, wind direction, ambient temperature and fluctuation of irradiance through a full-scale field test.

It was clarified that irradiance and wind velocity have much effect on PV cell temperature while other parameters have few effects. Approximation equations were given for estimating the cell temperature rise with high accuracy and evaluated cooling effect by using those equations. It is suggested that the cooling effect by natural convection may have a peak-load-shaving effect in summer.

Key words ; Stand-off type PV array, PV cell temperature, Cooling effect

1. まえがき

「スタンドオフ方式アレイ」とは、住宅などの傾斜屋根面に対し、隙間を設けて平行に設置する太陽電池アレイのことで、既設住宅に太陽電池を設置する場合の、最も一般的な方式である。この方式の特徴として屋根面との隙間を通る風により、太陽電池温度の上昇を抑制する効果がある（空冷効果）。

太陽電池温度上昇（＝電池温度－気温）は、太陽電池の出力電圧・電力に与える影響が大きく、システム設計上重要な因子である。もし設計の段階でこの推定を大きく誤ると、直流回路の過電圧や不足電圧によるシステムの停止、発電量不足、過剰設備になることによるコスト上昇、などが懸念される。

このため太陽電池温度の推定については、これまでも研究が行われているが⁽¹⁾、それらの多くは地上設置形やビルなどの平屋根設置形で、個人住宅の傾斜

屋根についてはほとんど検討が行われていない。

この問題を解決するため、筆者は、異なる屋根材を持つ実規模模擬家屋の屋根にスタンドオフ方式アレイを設置し、電池温度等の長期間の測定を行った。本稿では、フィールド試験結果より明らかにした太陽電池温度特性とともに、空冷効果の出力電圧・発電量などへの影響について示す。

2. 試験方法

2.1 試験設備の概要

(1) 模擬家屋

試験用の模擬家屋はA、Bの2棟建設した。

屋根形状、屋根葺き材は、我が国において一般的なものを選定した。屋根寸法・面積は多種多様だが、平均的な規模の家屋（床面積100㎡、2階建て）を想定した。屋根の傾斜角度は屋根葺き材と関係しており、各屋根葺き材の平均的な値とした。また、屋根の色は2棟同一とし、色の違いの影響が出ないようにした。

具体的な内容は表1に示すとおりである。

原稿受付 平成8年5月17日

(株)関電工 技術研究所

茨城県新治郡千代田町下稲吉西山2673-169

表1 試験用模擬家屋の仕様
Table.1 Specifications of Test Houses

項 目	家屋 A	家屋 B
屋根形状	切り妻	
屋根の方位	南	
屋根葺き材	和 瓦	スレート
屋根の色	茶褐色	
屋根の外形寸法 (屋根の面積)	9.5×3.74m (35.5m ²)	9.5×4.64m (44.1m ²)
屋根の傾斜角度	20°	27°

(2) 設置形態

設置形態による差が出ないようにするため、2棟とも以下に示す条件に合わせた。

- ①モジュールと屋根面との間隔：10cm なお和瓦は形状が凸凹であるため、凸の頂部を基準面として間隔を定めた。
- ②アレイの配置：軒先やけらばなど支持強度が不十分な箇所には設置せず、かつ作業用通路を確保して配置を決定した(図1参照)。なお図中括弧内のアルファベットは設置位置を示すための略号で、EはEast, WはWest, UはUpper, LはLowerを意味する。

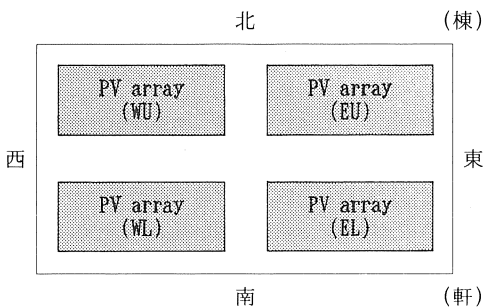


図1 アレイの配置

Fig.1 Arrangement of PV Array

2.2 計測方法

(1) 計測項目 (4項目)

- ①傾斜面日射強度 (各屋根の傾きと同一)
- ②気温 ③風速・風向 ④太陽電池温度

(2) 計測方法

電池温度の計測は、セルに直接接触させた熱電対で行った。また、設置位置の影響を把握するため、和瓦屋根 (A棟) には、各アレイの中心付近に熱電対を取

り付けた。スレート屋根 (B棟) については、西側の2アレイ (WU, WL) の中心付近に取り付けた。

気温については、屋根の輻射熱の影響を受けない位置で、アレイとほぼ同一の高さの値を測定した。

データの計測サンプリングは1分間隔で行ったが、電池温度の変動は、日射強度や風速の変動に比べると遅いため、解析には10分間の平均値を用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 太陽電池温度特性

ここでは、日射強度や風速を中心とした各種パラメータが、太陽電池温度に与える影響を示す。

(1) 日射強度の影響

風速の強弱の影響を取り除くため、データを風速 (V) 別に分類し、日射強度 (I) と電池温度上昇 (Tr) の関係を調べた。例として、風速 $0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($V < 0.5$)、 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($2.5 \leq V < 3.5$) 及び $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($4.5 \leq V < 5.5$) の場合の日射強度と電池温度上昇の関係を図2 (和瓦, WL) に示す。

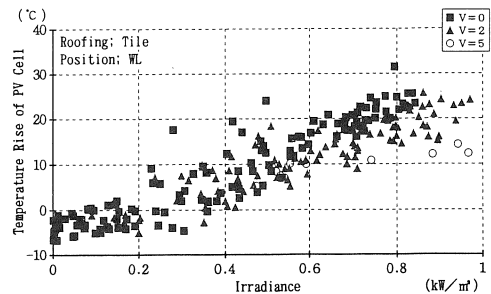


図2 日射強度-電池温度上昇特性 (和瓦, WL)

Fig.2 Characteristics of I - Tr (Tile, WL)

何れの風速においても、日射強度と電池温度上昇の相関係数 (R) は0.9以上であり、比例関係にあるとみなしても大きな問題は無い。この傾向は和瓦屋根の他のアレイ、及びスレート屋根でも同様である。

このことから、日射強度と太陽電池温度上昇を、式(1)で示すこととする。

$$Tr = a + b \cdot I \quad (1)$$

ここに Tr: 太陽電池温度上昇 ($^{\circ}\text{C}$)

I: 日射強度 ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$)

a, b: 風速で決まる任意の定数

(2) 風速の影響

日射強度を独立変数、温度上昇を目的変数として、各風速毎に回帰分析を行うことにより、式(1)の定数

a, bが定まる．和瓦屋根のアレイWLについて，明らかにした回帰式(1)を図3に示す．

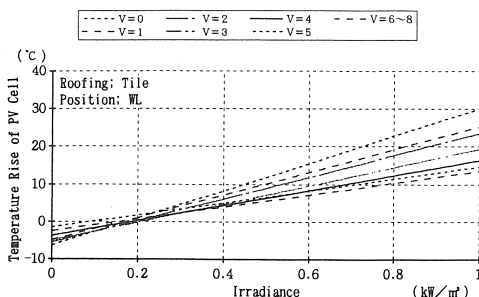


図3 風速の電池温度上昇への影響 (和瓦, WL)

Fig.3 Effect on Tr of PV cell by wind velocity (Tile, WL)

図3から分かるとおり，低日射領域（約 $0.2 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \leq I$ ）では太陽電池温度は気温よりも低く，電池温度上昇が負値である．無風状態において最も太陽電池温度が低く，風速が強くなるにつれて太陽電池温度が高くなる．これは低日射領域では，放射冷却作用が働いてモジュールの熱が奪われ，太陽電池温度が低下するためと考えられる．

日射強度が上昇すると，低日射領域とは逆の傾向になり，無風時に最も電池温度が高く，風速が大きいほど電池温度は低くなる．これは風速が大きい方が，空冷効果が大きいのである．

(3) 気温の影響

気温の影響を定量的に見るため，日間データより，当該日の式(1)の定数a, bを求め，それらの値が日間平均気温により，どのように変化するかを調べた．

a. 無風日の影響

終日無風，またはそれに近い日の，日間平均気温と定数a, bの関係を，各々図4, 図5に示す．

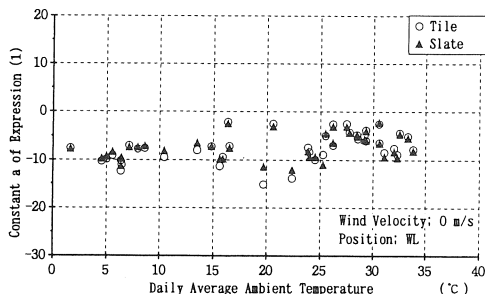


図4 平均気温一定数a特性 (無風日)

Fig.4 Characteristics of I - a (calm day)

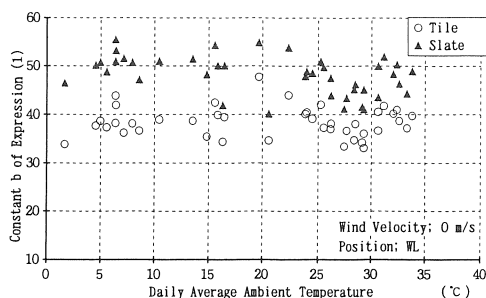


図5 平均気温一定数b特性 (無風日)

Fig.5 Characteristics of I - b (calm day)

定数aはばらつきがあるものの，何れの屋根葺き材においても気温による影響はほとんど見られない．

これに対して定数bは，和瓦ではほとんど一定であるが，スレートの場合には平均気温が 25°C 以上で，気温の上昇に伴い低下する傾向がある．しかしながら，平均気温の差が 25°C (5°C と 30°C)でも，定数の差は約5で，この差を温度上昇に換算すると，日射強度が $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ でも 5°C に止まる．年間の平均日射強度が， $0.5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 未満であることを考えると，定数の差の影響は 2°C 程度であり，これを無視しても本検討の目的である出力電圧・電力を推定するという観点では，事実上，問題無いといえる．

b. 有風日の影響

風の吹く日についても，前項と同様の分析を行ったが，何れの屋根葺き材においても気温と定数a, bの間に相関関係は見られない．

(4) 風向・設置位置の影響

和瓦屋根の各アレイについて，各風向毎に式(1)に示す回帰式を求め風向と設置位置の影響を検討した．例として日射強度が $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 時の風速 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ における和瓦屋根での結果を図6～図7に示す．

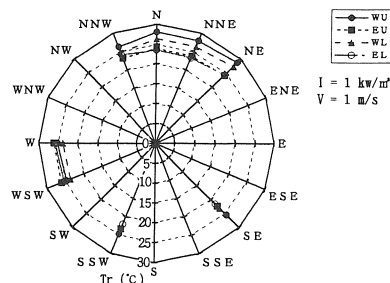


図6 風向・設置位置の影響 ($V=1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 和瓦)

Fig.6 Effect on Tr of PV cell by wind direction and position ($V=1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, Tile)

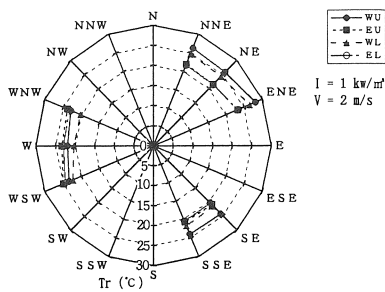


図7 風向・設置位置の影響 ($V=2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 和瓦)
Fig.7 Effect on Tr of PV cell by wind direction and position ($V=2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, Tile)

これらの結果より、風上側にあるアレイの方が、風下側にあるアレイよりも、電池温度が低いことが分かる。これは、風上側の方が、アレイ面上の風速が大きく、空冷効果も大きくなるためと考えられる。

しかしながら、日射強度が $1\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ の場合でも、電池温度の差は高々 $5\sim 6^\circ\text{C}$ 程度であることから、平均的日射強度で考えると、電池温度の差は $2\sim 3^\circ\text{C}$ 程度であると思われる。従って空冷効果のばらつきの出力への影響は、無視できるほど小さいことが予想される。

また、無風時における設置位置の影響については、各アレイ毎に式(1)の定数 a , b を求め比較したが、差はほとんど見られなかった。

以上のことより、平均的規模の屋根の場合には、風向や設置位置の違いによる出力への影響は、実質上無視できるほど小さいといえる。

(5) ヒステリシス特性の影響

太陽電池の温度上昇は、モジュール（特にガラス）の持つ熱容量により、同一日射強度でも、日射強度が増加する時（主に午前）と、減少する時（主に午後）で値が異なるヒステリシス特性を示す⁽²⁾。

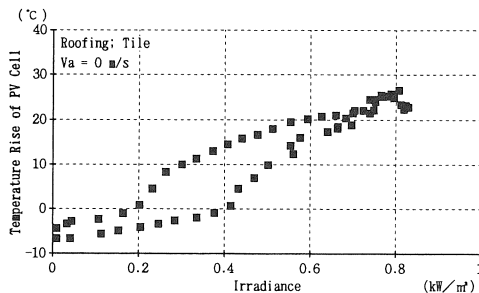


図8 電池温度上昇のヒステリシス特性（無風日）
Fig.8 Hysteresis characteristics of I - Tr of PV cell (calm day)

図8 は和瓦屋根に設置した太陽電池の、日照条件の良い無風日の例である。当然のことながら、ヒステリシス特性は日射強度が大きい日ほど著しくなり、この日の場合は、最大で 10°C 以上の差がある。

日射強度が $0\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ でも、電池温度上昇に差があるが、これは日照時にモジュール内に蓄えられた熱の放散速度が、日射強度の低下よりも遅いためである。夜間の変化を見ると、電池温度上昇は日射が無くなった後も僅かながら低下し、夜明け前に最低になり日の出前後から再び上昇するというパターンを繰り返す。このため同一日射強度でも、夜と夜明け前では電池温度上昇の値が異なり、図8 のような特性が見られる。

従って、前日と同じ気象条件であれば、任意時刻の電池温度上昇の値は、前日の同時刻における値とほとんど等しくなっている。このことは、本計測システムの精度が保証されていることを示している。

ヒステリシス特性は、風速にも影響される。日間の平均風速 V_a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) が、0, 1.1, 3.1 の場合の例を図9に示す

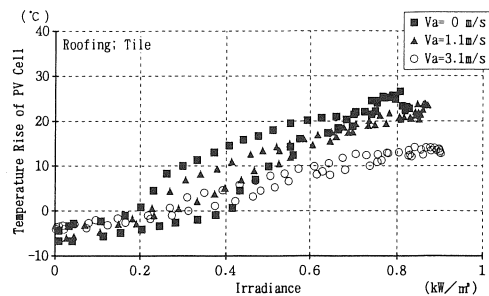


図9 ヒステリシス特性への風速の影響
Fig.9 Effect on hysteresis characteristics of I - Tr of PV cell by wind velocity

図に示した日は日射条件が類似しており、日射強度の最高値は $0.8\sim 0.9\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ で安定した変化になっている。これより、風速が強いほどヒステリシス特性は抑制され、平均風速が $3.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の日には、同一日射強度における電池温度上昇の差は、最大でも 5°C 未満であり、無風日の半分以下であることが分かる。

(6) 日射強度・風速変動の影響

式(1) は、日射強度と電池温度上昇の相関係数 R が高いほど高精度なものになる。 R に影響を与えるものとして、日射強度や風速の変動が考えられる。

ここでは、日射強度のみが変動する場合と、日射強度と風速の両方が変動する場合について、それらが R に与える影響を定量的に評価した。

具体的には、日射強度の変動の度合いを定量的に示すため、日射強度の日間カーブについてフーリエ分析を行い、日射強度変動（以下「日射強度歪み率」とする）とRの関係を明らかにした。

a. 日射強度のみが変動する場合

日射強度歪み率だけの影響を明らかにするため、無風日における各屋根葺き材毎の、日射強度歪み率（総合）とRの相関関係を、図10に示す。

これより、歪み率が大きくなるとRが低下する傾向にあることが分かる。但し、Rの最低値は0.9以上であり、日射強度だけが変動する状態では、式(1)は妥当である。

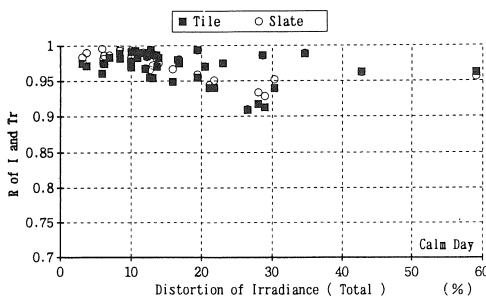


図10 日射強度歪み率（総合）－R特性（無風日）
Fig.10 Characteristics of total distortion of I - R (calm day)

b. 日射強度と風速の両方が変動する場合

風の有る日における、各屋根葺き材の日射強度歪み率とRの関係を図11～図12に示す。なお歪み率における高次とは21次以上を指す。

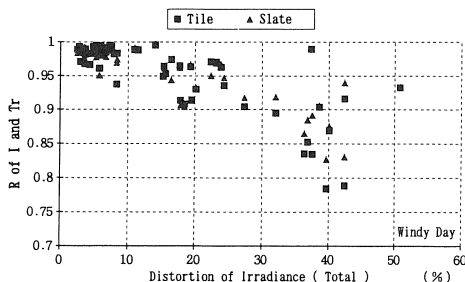


図11 日射強度歪み率（総合）－R特性（有風日）
Fig.11 Characteristics of total distortion of I - R (windy day)

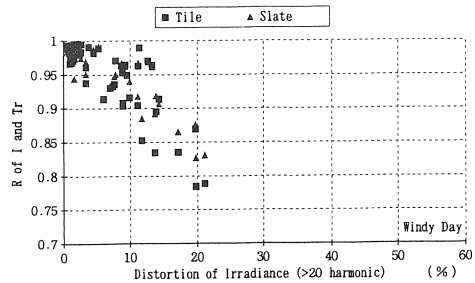


図12 日射強度歪み率（高次）－R特性（有風日）
Fig.12 Characteristics of higher order distortion of I - R (windy day)

以上より、Rは0.8を下回るものがあり、歪み率の増大に伴うRの低下傾向が、無風日に比べると著しく大きく、特に高次においては、その傾向が明瞭なことが分かる。これは、低・中次数の日射変動では変動速度が遅いため、電池温度の変動が日射変動に充分追従するためと考えられる。

c. 風速歪み率の影響

日間の風速歪み率についても、日射強度の場合と同様な評価を行ったが、Rとの間には特に明確な相関関係は見られない。

3.2 太陽電池温度の推定式

3.1 で述べたことから、一般的な家屋に設置したスタンドオフ方式太陽電池アレイの電池温度上昇を推定する場合には、風向や設置位置の違いは無視しても問題なく、日射強度と風速だけが大きな要因であることが明らかである。また、ヒステリシス効果や（風が有る場合の）日射強度変動の影響を数式化することは困難であるため、ここでは式(1)に基づき、各屋根葺き材毎の太陽電池温度の推定式を提案し、その精度についての評価結果を示す。

(1) 屋根葺き材毎の温度推定式

式(1)の定数a, bは風速(V)の関数なので、式(2)のとおり書き換えられる。

$$Tr = f(V) + I \cdot g(V) \quad (2)$$

右辺第1項のf(V)は、日射強度が無い時の風速による電池温度上昇の変化を表し、第2項は日射強度と風速の両方の影響を加味した電池温度上昇の変化を表している。実測データから求めた和瓦屋根における電池温度上昇の推定式Trtを式(3)に、スレート屋根の場合の推定式Trsを式(4)に示す。

$$Trt = -6.85 \exp(-0.16V) + 36.2 I \exp(-0.13V) \quad (3)$$

$$Trs = -6.71 \exp(-0.21V) + 42.2 I \exp(-0.14V) \quad (4)$$

式(3), (4)より、日射強度をパラメータとした風速と

電池温度上昇の関係を、図13～14に示す。

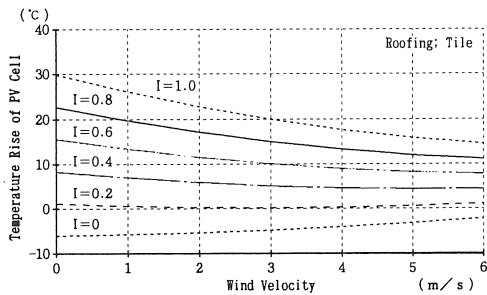


図13 風速－太陽電池温度上昇（和瓦）
Fig.13 Characteristics of V - Tr (Tile)

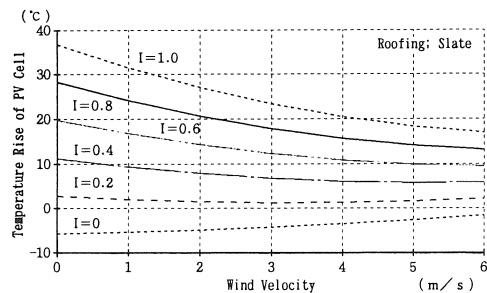


図14 風速－太陽電池温度上昇（スレート）
Fig.14 Characteristics of V - Tr (Slate)

これらより、日射強度が $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ の時の電池温度上昇は、無風時に和瓦屋根で 30°C 、スレート屋根で 40°C 近くにもなることが分かる。

空冷効果については、同一日射強度で、 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の微風でも、約 5°C 温度上昇が抑制されることが分かる。なお風が吹く場合には、屋根葺き材の（輻射熱などの）熱特性の影響は、風により断たれていることが予想される。故に、両者の空冷効果の差は屋根の傾斜角度・表面形状の差（モジュール裏面の空間の体積の差にもなる）などにより、モジュール表裏面の空気の流れに差が生じることが主な原因と考えられる。

(2) 推定式の精度の評価

a. 電池温度推定値の精度評価

式(3)、(4)による計算結果を実測値と比較することにより、これらが電池温度の推定式として、どの程度の精度があるかを評価する。なお誤差の平均を求めるに当たっては、実験値に対して正の誤差（実験値より推定値が高い場合）と負の誤差（実験値より推定値が低い場合）があるので、個々の推定誤差の絶対値の平均を求めた。図15に各風速毎の平均推定誤差を示す。

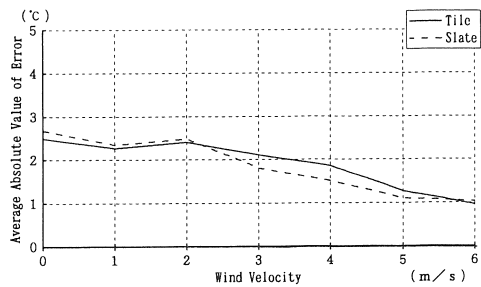


図15 風速－電池温度上昇の平均推定誤差
Fig.15 Characteristics of V - average absolute value of error of estimated Tr

無風から風速 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ までの間はほとんど変化が無く、平均誤差は約 2.5°C である。そして風速が $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上になると値が小さくなり、精度が上がっている。

この原因として、無風時には、既述のヒステリシス効果が考えられる。そして風が有る場合には、風速 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ では風向にばらつきがあるのに対し、強風になるほど特定の方向からの風が多く、風向のばらつきが小さくなっていることが原因と考えられる。

b. 出力推定値の精度評価

式(3)、(4)により求めた電池温度から計算した太陽電池出力の精度についても、電池温度と同様に評価した。なお、出力の計算には、以下の簡易式を用いた。

$$P = I \cdot 1000 \cdot \eta \{1 + \alpha(T - 25)\} \quad (5)$$

ここに P : 太陽電池出力 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

η : 標準状態時の変換効率 (=12%)

α : 出力の温度係数 ($= -0.5\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

T : 太陽電池温度 ($^\circ\text{C}$)

= 気温 + 電池温度上昇 (式(3) 又は式(4)による。)

計算の結果、風速に対する変化の傾向は、電池温度の場合と同じで、無風から風速 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ までの間はほとんど変化が無く、 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上になると値が小さくなることが分かった。

但し、平均誤差は最大で 1.5% と小さく、また出力電圧の温度係数も出力電力とほぼ同じことから、式(3)、(4)は電気系設計を行うための電池温度推定式として、十分な精度があるといえる。

3.3 推定式による発電特性の評価

ここでは、式(3)と(4)を用いて、太陽電池アレイの出力電圧、出力 (kW)、(日間) 積算発電量 ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) についての評価結果を示す。

(1) 出力電圧特性

アレイ出力電圧特性については、インバータの運転範囲を決める上で、電圧変動範囲が重要である。この範囲（上・下限値）を決定するにあたっては、以下の気象条件を考慮した。

上限値：日射強度 $1\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 、無風、気温 40°C

下限値：日射強度 $0.2\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 、無風、気温 0°C

上限値の場合には夏季の日射強度が強い時、下限値については冬季の日射強度が弱い時を想定した。なお日射強度が $0.2\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ では出力電圧は低下するが、小幅なので無視した。また風速については条件が厳しくなるように、上限値では最も電池温度上昇が大きく、出力電圧が低下する、無風状態とした。下限値については、日射強度 $0.2\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ では、風速の違いによる温度上昇の差は微小なので上限値と同じ無風とした。

なおアレイの電気特性は、以下のとおりとした。

最適動作電圧：200V（標準状態時）

電圧の温度係数： $-0.4\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

スレート屋根におけるアレイ出力電圧の上・下限値を以下に示す。（括弧内は太陽電池温度）

上限値：160V（ 75.5°C ）

下限値：219V（ 1.7°C ）

なお寒冷地などでは、日射強度が $0.2\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 時に、気温が 0°C 未満となることも多々あるので、更に出力電圧は上昇することが予想される。

(2) 出力特性（空冷効果の影響）

風速と空冷効果の関係を定量的に把握するため、式(6)を定義した。

$$\text{太陽電池出力比} = \frac{\text{任意風速時の出力}}{\text{無風時の出力}} \quad (6)$$

各風速毎の日射強度－出力比特性について、和瓦の場合を図16、スレートの場合を図17に示す。なお、ここでは風速のみの影響を把握するため、気温は日射強度に関係無く 20°C で一定とした。

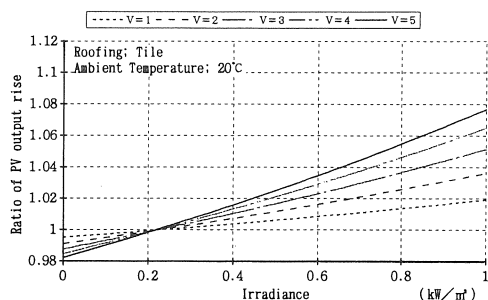


図16 日射強度－太陽電池出力比（和瓦屋根の場合）
Fig.16 Characteristics of irradiance - ratio of PV output rise (Tile)

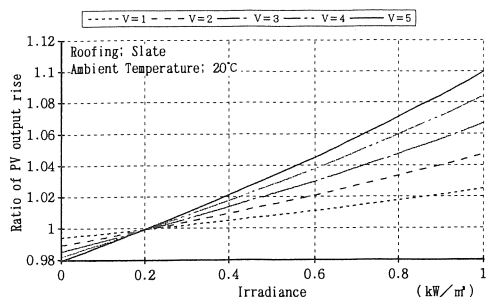


図17 日射強度－太陽電池出力比（スレート屋根の場合）
Fig.17 Characteristics of irradiance - ratio of PV output rise (Slate)

日射強度に比例して出力比は大きくなるが、日射強度が $0.2\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 未満では、無風時に太陽電池温度が最も低くなり、変換効率が最も高くなる。このため、何れの風速においても出力比は1未満となっている。

なお、スレートにおいて日射強度が $1\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ の時には、風速が $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ と弱くても5%、 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ では10%も無風状態より出力が増加している。

また負荷のピークが発生する夏の日射が強い時間帯において、空冷効果により太陽電池出力が上昇することは、配電系統から見た場合に負荷のピークが一部削減されたと同等の効果（負荷平準化効果）があり、電力会社サイドにとってもメリットが期待できる。

(3) 日間積算発電量（空冷効果の影響）

風速と空冷効果の関係を定量的に把握するため、式(7)を定義した。

$$\text{積算発電量比} = \frac{\text{任意風速時の積算発電量}}{\text{無風時の積算発電量}} \quad (7)$$

日間積算発電量を求めるに当たっては、日射強度と気温の実測値を式(5)に代入して計算した。また風速の影響を把握するため、終日同一風速とした。

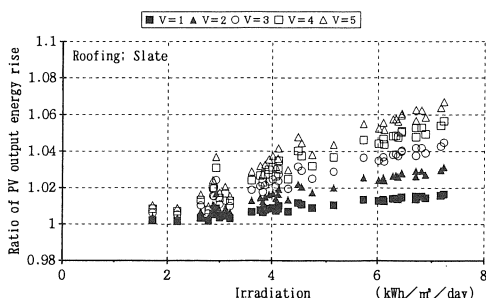


図18 積算日射量－積算発電量比（スレートの場合）
Fig.18 Characteristics of Irradiation - ratio of PV output energy rise (Slate)

図18はスレート屋根の場合であるが、これより多少ばらつきはあるものの、日間積算日射量と日間積算発電量比は、強い比例関係にあることが明白なので、各風速毎に回帰直線を求めた。回帰直線を図19（和瓦）と図20（スレート）に示す。

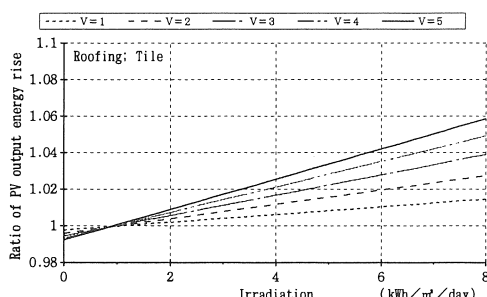


図19 積算日射量－積算発電量比の回帰直線（和瓦）
Fig.19 Irradiation - Regression straight line of PV output energy ratio (tile)

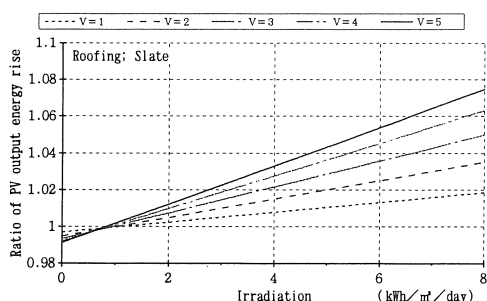


図20 積算日射量－積算発電量比の回帰直線（スレート）
Fig.20 Irradiation - Regression straight line of PV output energy ratio (slate)

これより快晴日には、風速が $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ で2%以上、 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ では5%程度の発電量増加が見込まれる。

また我が国においては、（傾斜角度 $20 \sim 30$ 度での）日間積算日射量の年平均が $3.5 \sim 4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ である地方が多く⁽³⁾、これらの場所では年間を通じると、空冷効果により2～3%の発電量の増加が見込まれる。

4. まとめ

平均的規模の個人住宅屋根に設置したスタンドオフ方式太陽電池アレイについて、実規模のフィールド試験を行い、太陽電池温度（電池温度上昇）特性を把握した。また、試験結果より、精度の高い電池温度（上

昇）の推定式を求め、電気系設計の上で重要な、アレイ出力電圧、出力などについて評価を行った。主な結果は以下のとおりである。

電池温度上昇は日射強度に比例し、日射強度が $1\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 、無風時には、和瓦屋根では 30°C 、スレート屋根では 40°C 近くまで上昇する。そして風速が強いほど温度上昇が抑制されるが、低日射領域（ $0.2 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下）では放射冷却効果の影響により、無風時に最も温度上昇が小さくなる。なお、風向、アレイの設置位置等、その他の要因は大きな影響は与えない。

出力電圧は標準値が200Vの場合、160～219 V程度の範囲で変動する（但し寒冷地以外）。

空冷効果による出力上昇は、スレート屋根で日射強度が $1\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ の時に、風速 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ で10%もある。また日間積算発電量は、快晴日には風速 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ で5%程度ある。

そして我が国の一般的な日照条件のもとでは、空冷効果による出力上昇は、年間を通じると2～3%程度と見込まれる。

本検討において導いた電池温度上昇の推定式は、電池温度のヒステリシス効果などが反映しきれないことから、変化している瞬時の出力を推定するには多少難点があるが、最高温度・最低温度の推定には効果的で直流回路の設計（アレイの動作電圧とインバータの入力回路電圧の整合など）に役立つことが期待できる。また、比較的長期間の積算発電量の推定にも効果的と思われる。

なお本研究は、当社が新エネルギー・産業技術総合開発機構から受託した「太陽電池架台の研究開発」の一環で実施したものである。

参考文献

- (1) 例えば、嶺 他；「モジュール温度上昇と日射強度、風速の関係」、平7 電気学会電力・エネルギー部門大会、No.319
- (2) 例えば、石原 他；「太陽光発電システムの発電効率と影響因子に関する計測・解析」、平5 日本太陽エネルギー学会研究発表会、No.18
- (3) 日本気象協会；S61年度NEDO委託業務成果報告書「発電量基礎調査」