Estimation of Solar Cell Output Power subjected to the Differences of Its Inclined Angles and Directions

○学 山下 英一^{*1} (鹿大工) 正 矢野 利明^{*1} (鹿大工)

正 鳥居 修一^{*1} (鹿大工) 赤坂 裕^{*2} (鹿大工) 曾我 和弘^{*2} (鹿大工)

Eiichi YAMASHITA, Toshiaki YANO, Shuichi TORII, Hiroshi AKASAKA, Kazuhiro SOGA

^{*1} Department of Mechanical Engineering, Kagoshima University 1-21-40, Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan

^{*2} Department of Architecture & Architectural Engineering, Kagoshima University 1-21-40, Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan

Key Words: solar modules, output, module temperatures

1. はじめに

現在、化石燃料の枯渇問題や、地球の環境問題などから、新しいエネルギーが必要となっている。そこで注目されるのがクリーンエネルギーである。これは再生可能エネルギーとも言い、太陽光発電、風力、バイオマス、コージェネレーションといったものがある。中でも特に注目されている太陽光発電は太陽の光エネルギーを直接電気エネルギーに変換する仕組みで、従来の火力発電における CO₂ 等の排出物を出さないクリーンな発電方法である。

現在太陽電池のほとんどが、年間で最も日射量を得られる南向きの最適傾斜角度（鹿児島では約 30 度）に設置されている。今後太陽電池を普及していくには、さまざまな方位、傾斜角度、例えば高層ビルの壁面などに設置されることが望まれる。そこで我々の研究では、25 枚の太陽電池モジュールを 8 方位にそれぞれ 3 つの傾斜角度と水平面に設置し、それぞれの出力、太陽電池モジュール温度、水平面全天日射量、法線面直達日射量と水平面天空日射量の測定を行った。それぞれの太陽電池モジュールの温度と出力の推定を行い、実験で得られたデータと比較を行った。

2. 実験装置及び実験方法

本研究で使用した太陽電池モジュールは京セラ㈱製の多結晶シリコン (PSA150-011) で縦 200、横 200 の正方形であり T 型熱電対により太陽電池モジュールの裏面の温度を測定している。Table1 に太陽電池モジュールの仕様を示す。この太陽電池モジュールを 8 方位（方位角 0 度、±45 度、±90 度、±135 度、180 度）に 3 つの傾斜角度（30、60、80 度）の 24 枚と平面の 1 枚を鹿児島大学工学部共通棟屋上に設置した。太陽電池モジュールの出力は切替測定

用スキャナーを介して小出力用に改造した I-V カーブトレーサーを用いて測定した。25 枚全ての出力の測定時間間隔は 2 分で、太陽電池モジュール温度の測定時間間隔 1 分である。

また、気象データとして全天日射、直達日射、天空日射と外気温度を測定した。これらの測定時間間隔は全て 1 分おきである。

日没後に毎日太陽電池モジュール及びその他の実験装置の表面の清掃を行った。

3. 斜面日射量

水平面における全天日射量は、法線面直達日射量と水平面天空日射量を用いて (1) 式のように表すことができる。

$$I_G = I_b \sin h + I_d \quad (1)$$

ここで、 I_G は水平面全天日射量、 I_b は法線面直達日射量、 I_d は水平面天空日射量、 h は太陽高度である。斜面日射量は、観測により得られた法線面直達日射量と水平面天空日射量を斜面日射量に変換し、地表面反射率を加えて得られる。(2) 式は斜面日射量の式である。

$$I_{TG} = I_{Tb} + I_{Td} + I_{Tr} \quad (2)$$

ここで、 I_{TG} は斜面全天日射量、 I_{Tb} は斜面直達日射量、 I_{Td} は斜面天空日射量、 I_{Tr} は地表面反射日射量である。

斜面日射量は天空日射量を一樣な天空日射量、準直達日射量、地平線付近からの天空日射量に分ける Perez のモデルを用いて計算した。¹⁾

Table1 Specifications of solar cell modules

	Standard	Minimum	Maximum	Average
Open circuit voltage (V)	0.59 ±10%	0.591	0.609	0.598
Short circuit current (A)	7.4 ±10%	7.44	7.58	7.51
Maximum output (W)	2.3	2.51	3.03	2.92
Maximum output voltage (V)	0.37	0.377	0.450	0.428
Maximum output current (A)	6.2	6.6	7.0	6.83

(Standard test condition : Module temperature 25℃, AM1.5, Irradiance 1kW/m²)

4. 太陽電池モジュールの出力

太陽電池のモジュールの出力の計算は、京セラ㈱製の結晶系太陽電池 (LA361J51) の計算式を用いた。それを (3) 式に示す。

$$P_m(T_m) = R \times P_m \times (1 + \tau(T_m - 25)) \quad (3)$$

ここで、 $P_m(T_m)$ は測定時の太陽電池モジュールの最大出力 (W)、 R は日射強度 (W/m^2)、 P_m は標準状態 (太陽電池モジュール温度 $25^\circ C$ 、AM1.5、日射強度 $1kW/m^2$) での最大出力 (W)、 T_m は太陽電池モジュール温度 ($^\circ C$)、 τ は温度係数 ($-0.0051 [1/^\circ C]$) である。

5. 太陽電池モジュール温度

出力を求めるには太陽電池モジュール温度を求めなければならない。太陽電池モジュール温度に影響する因子は、日射強度、太陽電池モジュールからの放射熱と風による熱伝達がある。これらの関係を (4) 式に示す。

$$qr = qt + qh \quad (4)$$

ここで、 qr は太陽からの熱流束 (W/m^2)、 qt は熱放射による熱流束 (W/m^2)、 qh は熱伝達による熱流束 (W/m^2) はである。熱伝達による熱流束と熱放射による熱流束を (5) 式と (6) 式に示す。

$$qt = f_{12} \times \sigma \times (T_m^4 - T_a^4) \quad (5)$$

$$qh = \alpha \times (T_m - T_a) \quad (6)$$

ここで、 f_{12} は修正形態係数、 σ はステファン・ボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2K$)、 T_a は外気温度 (K)、 α は熱伝達係数 (W/m^2K) である。²⁾

6. 結果と考察

得られた日射量のデータを斜面日射量に変換し1時間毎の平均値にして解析を行った。まず、理論式を用いて25枚全部の太陽電池モジュール温度の計算をした値と、実験で得られたデータの比較を Fig.1 に示す。

Fig.1 Data obtained on MAY 4.2001

この日は、晴れで雲量 3.3 のである。太陽電池モジュール温度は日射強度に比例することが分かる。また、実験値と推定値は、ほぼ同じ値が得られた。実験値と推定値の誤差を見るため $1^\circ C$ 毎に度数分布をとりグラフにした。その結果を Fig.2 に示す。この図より、太陽電池モジュール温度の推定値が実験値の $\pm 1.5^\circ C$ 以内に入る割合が 71%、 $\pm 2.5^\circ C$ 以内に入る割合が 85%とかなり満足できる結果が得られた。

Fig.2 Frequency profile subject to temperature differences

Fig.3 Data obtained on January 6, 2002

Fig.3は2002年1月6日の全部の太陽電池モジュール出力の実験値と推定値の比較である。これを見ると実験値と推定値はかなり近い値であることが分かる。実験値と推定値の誤差を見るため最大出力の1%毎に度数分布をとりグラフにした。その結果を Fig.4 に示す

Fig.4 Discrepancy of output values obtained from experiments and calculations

Fig.4 より太陽電池モジュールの出力の推定値が実験値の $\pm 1.5\%$ 以内に入る割合が 59%、 $\pm 5\%$ 以内に入る割合が約 90%で満足できる結果が得られた。

7. まとめ

計算式により求めた太陽電池モジュールの出力の推定値は、実験値の $\pm 5\%$ 以内に入る割合が約 90%であり、かなり満足できる結果が得られた。

謝辞

これは九州電力㈱との共同研究である。また、京セラ㈱、英弘精機㈱に測定装置の設計、設置、機器の製作・改造等にご協力いただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 赤坂 裕・曾我 和弘 他; 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会 (2000)
- 2) 湯川 元信 他; 太陽電池モジュール温度上昇の推定, 電気学会論文集 B 116 巻 9 号 (1996)