

多結晶シリコン太陽電池モジュールのモデル化

—日射強度と温度変化によるモデル化の精度—

Modeling of polycrystalline silicon solar module

—Accuracy of the modeling due to changes in temperature and irradiance—

○浅野秀天¹, 加瀬亮一², 西川省吾³

*Hidetaka Asano¹, Ryoichi Kase², Shogo Nishikawa³,

Solar cells of various types of silicon-based, compound-based, and organic systems have been developed by many manufacturers and research institutes solar cells. By modeling the solar cells of these types it is possible to simulate the characteristics of the solar cells in a variety of conditions. This paper revealed accuracy of the model by comparing and verifying the data of the experimental by building a model of the polycrystalline silicon solar cell modules and changing the conditions of irradiance and temperature.

1. はじめに

太陽電池にはシリコン系, 化合物系, 有機系などの様々な種類の太陽電池が多くの企業や研究機関によって開発されている。これらの種類の太陽電池をモデル化することにより, 様々な条件における太陽電池の特性をシミュレーションすることが可能となる。本稿では, 多結晶シリコン太陽電池モジュールのモデルを構築し, 日射強度, 温度など条件を変えることによってモデルの精度を実験のデータと比較検証することによって明らかにした。

2. 太陽電池の I-V の一般式

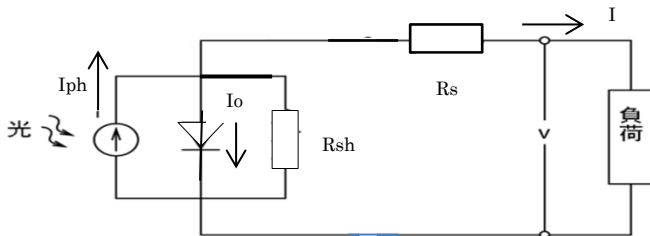


Figure1. Equivalent circuit of a solar cell.

図 1 は太陽電池の等価回路を表しており, この図 1 より太陽電池の I-V の一般式は(1)式のように表される。

$$I = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{m n k T}} - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

ただし, I_{ph} :光起電流 I_o :ダイオード飽和電流 I :出力電流 V :出力電圧 R_{sh} :並列抵抗 R_s :直列抵抗 q :電子の電荷 m :セル枚数 n :ダイオード因子 k :ボルツマン定数 T :モジュール太陽電池の温度を表している。

この(1)式中にある光起電流 I_{ph} , 飽和電流 I_o , 並列抵抗 R_{sh} , 直列抵抗 R_s のモデル式を構築することにより, 太陽電池の I-V 曲線のシミュレーションを行う。また, シミュレーションに用いたのは A 社製と B 社製の多結晶シリコン太陽電池モジュールで

ある。A 社製は定格電流 7.54A, 定格電圧 20.30V, 定格出力 153W, セル数 42 枚である。B 社製は定格電流 7.57A, 定格電圧 23.8V, 定格出力 180W, セル数 48 枚である。

3. モデル式の算定

3. 1 直列抵抗と並列抵抗のモデル式

太陽電池の I-V 曲線から短絡電流 I_{sc} の付近の傾きの逆数を算出して R_{sh} を導出する。同様に, 開放電圧 V_{oc} 付近の傾きの逆数を算出し R_s を導出し, 重回帰分析を行い A 社製と B 社製モジュールの R_s と R_{sh} のモデル式を作成した。A 社製は(2), (3)式, B 社製は(4), (5)式となる。

$$R_s = 0.0000011 I_{rr}^2 - 0.00193 I_{rr} + 1.05 [\Omega] \quad (2)$$

$$R_{sh} = -0.000362 I_{rr}^2 + 0.342 I_{rr} + 5.85 t_a + 51 [\Omega] \quad (3)$$

$$R_s = 0.0000003 I_{rr}^2 - 0.00158 I_{rr} + 1.29 [\Omega] \quad (4)$$

$$R_{sh} = 0.160 t_a^2 - 0.0809 I_{rr} t_a + 2.11 I_{rr} + 42.89 t_a - 913.4 [\Omega] \quad (5)$$

3. 2 光起電流のモデル式

短絡電流 I_{sc} と日射強度 I_{rr} には比例的関係があり, また, (1)式より短絡電流 I_{sc} と光起電流 I_{ph} はほぼ等しい関係性のため, これらの関係性を用いてモデル式を作成すると A 社製は(6)式, B 社製は(7)式となる。

$$I_{ph} \cong I_{sc} = 0.0086 \times I_{rr} - 0.388 \quad (6)$$

$$I_{ph} \cong I_{sc} = 0.0086 \times I_{rr} - 0.389 \quad (7)$$

3. 3 飽和電流のモデル式

飽和電流のモデル式は(1)式に $I=0A$ を代入することにより出力電圧 V は開放電圧 V_{oc} となる。また, 飽和電流 I_o を移行し, (8)式のようなモデル式に表される。

$$I_o = \left(I_{ph} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) e^{\frac{-q V_{oc}}{m n k T}} \quad (8)$$

4. 太陽電池モデルの検証

4. 1 シミュレーション結果

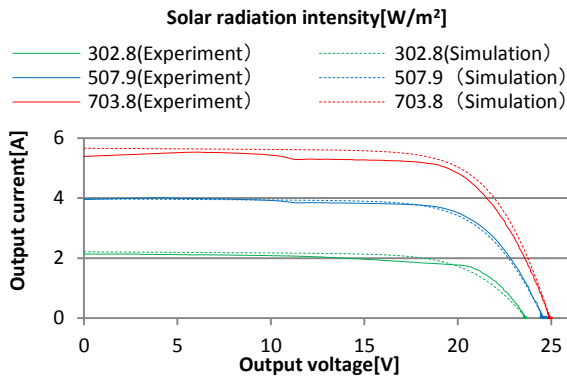


Figure2. I-V curve of various irradiance (A)

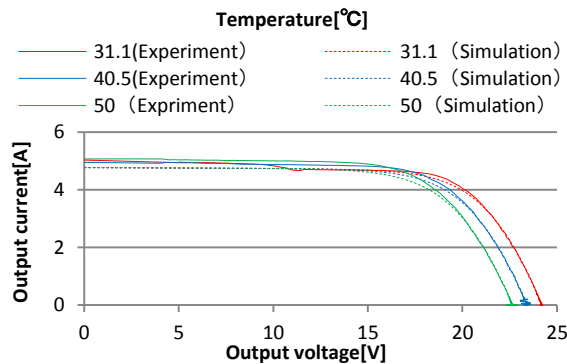


Figure3. I-V curve of various module temperature (A)

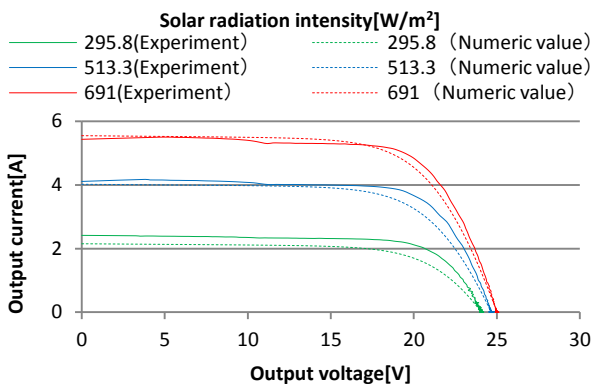


Figure4. I-V curve of various irradiance (B)

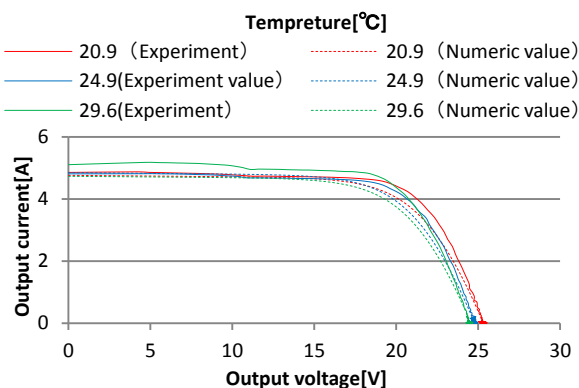


Figure5. I-V curve of various module temperature (B)

図 2 は温度を 25~26℃一定にし日射強度を約 200W/m²ごとに変化させた A 社製の太陽電池モジュールの実験とシミュレーション結果である。

図 3 は日射強度を約 600W/m²一定にし温度を約 10℃ごとに変化させた A 社製の太陽電池モジュールの実験とシミュレーション結果である

図 4 は温度を約 25~26℃一定にし日射強度を約 200W/m²ごとに変化させた B 社製の太陽電池モジュールの実験とシミュレーション結果である。

図 5 は日射強度を約 600W/m²一定にし温度を約 5℃ごとに変化させた B 社製の太陽電池モジュールの実験とシミュレーション結果である。

4. 2 精度評価

太陽電池の主な電気特性について実験値とシミュレーション値を表 1 に示す。これより、実験値とシミュレーション値との誤差率は A 社製において短絡電流が 5.0%と一番高い誤差率が出ており、次に大きい誤差率は最大出力電力で 3.7% 出ている。B 社製においては最大出力電力で 3.1% と一番高い誤差率が出ており、短絡電流、最大出力電圧はそれぞれにおいて約 2.0%の誤差率が出ている。A 社製、B 社製ともに開放電圧の誤差率は 0.20%, 0.12%と誤差率が低く精度が良いことが分かる。これより、開放電圧の誤差率に比べて他の特性の誤差率が大きくなる理由は直列抵抗、並列抵抗、光起電流のモデル式の精度が悪いことが原因として考えられる。

Table1. Electrical characterization of solar cells

Manufacturer	A		B	
Irradiance Irr[W/m ²]	703.8		691	
Temperature T[°C]	25.5		25.7	
	Experiment	Simulation	Experiment	Simulation
Open voltage Voc[V]	24.95	24.9	25.03	25.0
Short-circuit current Isc[A]	5.39	5.66	5.43	5.55
The maximum output voltage V _{pm} [V]	19.45	19.60	19.37	19.0
Maximum output power P _{max} [W]	97.29	100.93	97.25	94.28

5. まとめ

実験とシミュレーションを比較検証することにより、モデル式の精度を確かめたが、最も大きい誤差率で 5.0%も出ている。このような誤差率を下げていくためにどのようにすればモデル式の精度が良くなるのかが今後の課題である。