

太陽電池モジュールの熱的モデルの基礎検討  
Fundamental Study on Thermal Modeling of PV Module

○中濱輝久<sup>1</sup>, 西川省吾<sup>2</sup>

\*Akihisa Nakahama<sup>1</sup>, Shogo Nishikawa<sup>2</sup>

Abstract: The output characteristics of PV module are influenced by heat, and therefore, it is difficult to estimate the exact module temperature because the inside temperature of the module changes frequently. It is also necessary to estimate the inside temperature of the module precisely because the output changes depending on the module temperature. The purpose of this study is to create a thermal model that can be applied in a variety of situations.

1. はじめに

太陽電池モジュールの出力特性は熱の影響を受けやすい性質があり、それゆえモジュール内部の温度が頻繁に変化するため、正確な温度推定が困難である。また電池温度によって出力が変わるため、モジュール内部の温度を正確に推定する必要がある。本研究では、様々な状況でも適用できる熱的モデルを作成する事を目的とする。

本稿では、熱的モデル作成のための基礎検討として、日射強度を 5 パターンに分け、実験値と計算値を比較し、求めた熱的モデルの精度を検証したので報告する。

2. 熱抵抗, 熱容量及び温度応答の計算方法<sup>[1]</sup>

式(1)よりセル 1 枚の熱抵抗を求める。

$$R = \frac{L}{Ks \times A} \quad [K/W] \quad (1)$$

ただし、R:熱抵抗[K/W], Ks:熱伝導率[W/(m・K)] A:表面積[m<sup>2</sup>] L:厚さ[m]とする。求めた抵抗を並列に合成する事でモジュール全体の抵抗となる。熱容量は式(2)で求める。

$$C = \frac{T}{R} \quad [J/K] \quad (2)$$

となる。ただし、C: 熱容量[J/K] R:熱抵抗[K/W] T: 時定数[s]とする。また、温度上昇は

$$T_1 = (T_o - T_i) \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (3)$$

であり、温度下降の式は温度上昇の式を変形し

$$T_2 = (T_o - T_i) \times (e^{-\frac{t}{RC}} - 1) \quad (4)$$

となる。ただし、T<sub>1</sub>:モジュール温度の上昇値[°C], T<sub>2</sub>:モジュール温度の下降値[°C], T<sub>o</sub>:モジュール温度[°C], T<sub>i</sub>:周囲温度[°C]とする。今回はモジュール中央と端での時定数は同じ値とし、時定数は実験値から求める。また、T<sub>o</sub> と T<sub>i</sub> は日射強度によって変化する。Figure 1 は等価熱回路、Table 1 はモジュールの仕様である。

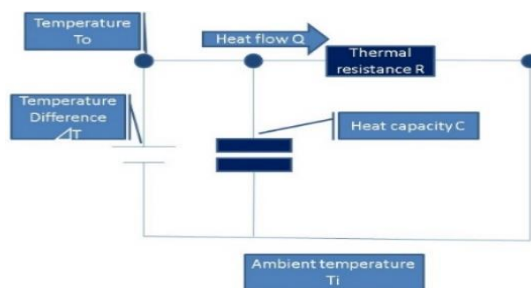


Figure 1. Equivalent heat circuit

Table 1. Specification of module

Item	value
Nominal maximum output	180W
Nominal open voltage	29.4V
Nominal short-circuit current	8.21A
Nominal maximum output operating voltage	23.8V
Nominal maximum output operating current	7.57 A
Dimensions	1290(W) × 990(L) × 36(D)mm
Area(Shape)	1.277m <sup>2</sup>
Number of cells	48
Single cell(Glass included)	155(W) × 149(L) × 4.5(D)mm
Thermal conductivity(Multi crystal, Glass, Plastic)	149W/(m・K) 1W/(m・K) 0.46W/(m・K)

3. 時定数, 熱抵抗及び熱容量の算出<sup>[2]</sup>

温度上昇は、ピーク時の温度の 63.2%の時間から日射を当てた時の時間を引いた時間が時定数となる。温度下降は、ピーク時の温度の 36.8%における時間が時定数となる。熱抵抗は式(1)より求め、5.04×10<sup>-3</sup>K/W で一定とした。時定数, 熱容量の値を以下に示す。(Table2~3, Figure2~3 参照)

Table 2. Time constants

Solar intensity [W/m <sup>2</sup> ]	Open		Short	
	Rise[s]	Down[s]	Rise[s]	Down[s]
300	315	338	300	390
400	220	384	270	426
600	221	337	282	350
800	203	767	339	469
900	374	330	296	400

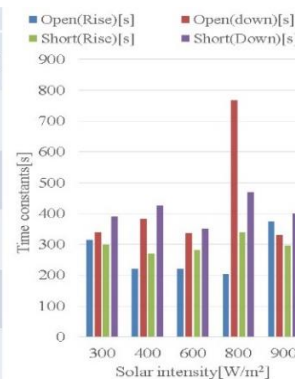


Figure 2. Time constants

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・教員・電気

Table 3. Heat capacity

Solar intensity [W/m <sup>2</sup> ]	Open		Short		Heat capacity[kJ/K]
	Rise [kJ/K]	Down [kJ/K]	Rise [kJ/K]	Down [kJ/K]	
300	62.5	67.0	59.5	77.3	
400	43.6	76.1	53.5	84.5	
600	43.8	66.8	55.9	69.4	
800	40.2	152.1	67.2	93.0	
900	74.2	65.4	58.7	79.3	

Figure 3. Heat capacity

温度上昇, 温度下降共に時定数が変化した。風や開放や短絡を行った事が影響していると考えられる。今回使用したモジュールの時定数はおよそ 200~450s, 熱容量はおよそ 40~80kJ/K と考えられる。

4. 実験内容

日射強度は 300, 400, 600, 800, 900W/m<sup>2</sup> の 5 パターンを 1 秒毎に計測した。実験概要を以下に示す。

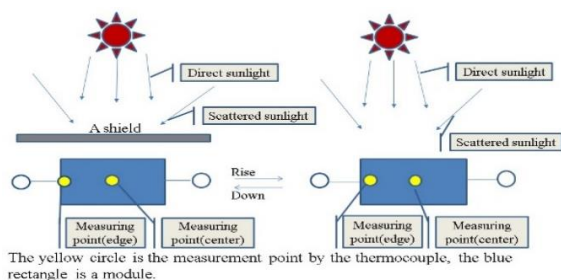


Figure 4. Experiment overview

モジュール全体を遮蔽物で覆い影を作り, 遮蔽物を移動させる事により日射を当てている状態にし, 温度が一定になったのならば, 再び遮蔽物で影を作り, 温度一定になるまで測定を行う。測定点はモジュールの中央及び端であり, 測定の際モジュールの端子を開放または短絡にし, 日射強度を変えて繰り返し実験を行う。

5. モデル式の精度検証

例として日射強度 900W/m<sup>2</sup> の検証結果を以下に示す。

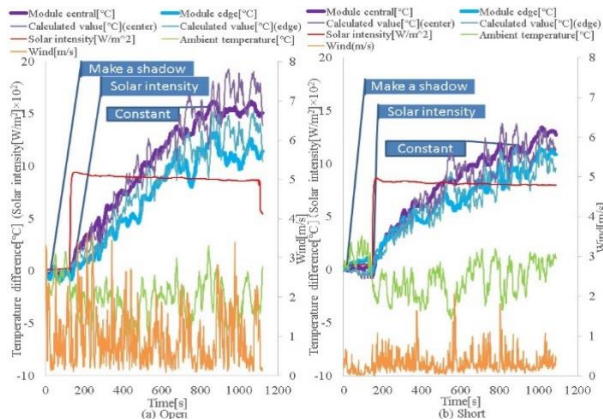


Figure 5. Solar intensity 900W/m<sup>2</sup> (temperature rise)

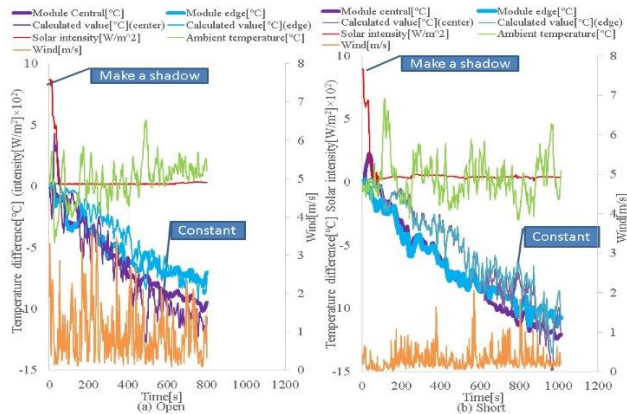


Figure 6. Solar intensity 900W/m<sup>2</sup> (temperature down)

温度上昇, 温度下降共に実験値と計算値とで誤差が生じてしまった。実験値に比べ, 計算値の方が高くなった。これはモデル式自体が間違っている, もしくは風による冷却が原因として考えられる。また誤差を以下に示す。

Table 4. Error

Solar intensity [W/m <sup>2</sup> ]	Open				Short				Temperature[°C]
	Rise (Center) [°C]	Rise (Edge) [°C]	Down (Center) [°C]	Down (Edge) [°C]	Rise (Center) [°C]	Rise (Edge) [°C]	Down (Center) [°C]	Down (Edge) [°C]	
300	1.28	1.24	1.05	1.18	1.14	0.953	0.486	0.409	
400	0.558	0.513	1.19	1.19	2.02	2.08	0.862	0.810	
600	1.48	1.43	1.35	1.26	0.630	0.637	1.15	1.34	
800	1.90	1.89	1.57	1.17	1.03	1.27	3.66	3.02	
900	1.08	1.24	1.36	1.25	0.920	0.986	1.71	1.75	

Figure 7. Error

全体的に 0.4~3.6°C の誤差が発生した。温度上昇, 温度下降, 開放及び短絡における時定数が中央と端で, ほとんど差がないように見える。日射強度が高いほど誤差が大きいように見えるのは, 温度差があるほど風の影響を受けやすいと考えられる。

6. まとめ

今回は 5 パターンの日射強度における温度変化を自身で求めた式とで比較を行った。温度上昇と温度下降, 短絡と開放共に誤差が生じてしまった。また, 風による温度下降を考慮しきれていなかった。よって, それを踏まえて誤差を減らすために式や計算方法を見直していきたい。

7. 参考文献

[1] 伝熱工学: 牧野州秀著 コロナ社 P215~233  
 [2] 熱力学: 井上剛良著 日本機械学会 P163~176