



## 最小誤差を実現する太陽電池モジュール温度計測方法の検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2021-11-04 キーワード (Ja): キーワード (En): Photovoltaic module, Measurement, Temperature, wind, Irradiance 作成者: 前田, 進行, 西岡, 賢祐, Maeda, Michiyuki, Nishioka, Kensuke メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/00010301">http://hdl.handle.net/10458/00010301</a>

# 最小誤差を実現する太陽電池モジュール温度計測方法の検討

前田 進行<sup>a)</sup>・西岡 賢祐<sup>b)</sup>

## Examination of solar cell module temperature measurement method to realize the minimum error

Michiyuki MAEDA, Kensuke NISHIOKA

### Abstract

Instead of measuring the backsheet temperature, the temperature of the solar cell in a PV module structure should be known because the solar cell temperature determines the temperature characteristics of the PV module. As the backsheet temperature is easily obtained, it is generally used as the module temperature; however, it is significantly affected by wind and does not accurately indicate the solar cell temperature inside the PV module. By covering a thermocouple for measuring the backsheet temperature with a polyethylene foam, the effect of wind on the measured temperature can be suppressed significantly.

**Keywords:** Photovoltaic module; Measurement; Temperature; wind; Irradiance

### 1. はじめに

太陽光発電システムの設置は世界中で急速に進歩している<sup>1-4)</sup>。太陽電池モジュールは通常、標準のテスト条件(STC: 1000 W/m<sup>2</sup>の放射照度、1.5Gの気団のスペクトル、25°Cのセル温度)で定格が定められているが<sup>5-7)</sup>、実際の太陽電池モジュールはさまざまな気象条件で動作する必要がある。したがって、実際の屋外環境で太陽電池モジュールを正確に評価することが重要である。屋外で太陽電池モジュールを正確に評価および診断するには、さまざまな気象条件下で動作する太陽電池モジュールの電流-電圧特性をSTCに変換する必要がある<sup>8-12)</sup>。太陽電池モジュールの効率は温度に大きく影響されるため、温度を正確に測定すると、正確な評価を行うことが可能である<sup>13-19)</sup>。屋外での太陽電池モジュールの正確な測定と評価は、日射量や風速などの不安定な気象条件のために高い注意が必要である<sup>20)</sup>。一般に、太陽電池モジュールのバックシートに固定された熱電対により、太陽電池モジュールの温度が測定される。ただし、バックシートに固定された熱電対は、太陽電池モジュール外部のバックシート温度を測定するため、モジュール構造内の太陽電池の温度よりも低い温度を検出する<sup>21)</sup>。太陽電池モジュールの温度特性はバックシートの温度ではなく、モジュールの内部温度に依存するため、モジュール構造内の太陽電池の温度を正確に測定することが重要となる。本研究では、モジュールの内部温度を直接測定するために、内部熱電対を備えた太陽電池モジュールを用いて温度測定を行った。また、風速の微妙な変化の影響を緩和するために、熱電対をアルミニウムテープとポリエチレンフォームの二重構造でバックシートに固

定し、モジュール内の太陽電池と同様の状況でバックシートの温度を測定を行った。

### 2. 実験方法

図1に本実験に使用した太陽電池モジュールを示す。図1の太陽電池モジュールは、実際のモジュール内の温度 $T_m$ を直接測定するために、内部熱電対を挿入し製造された。この太陽電池モジュールを使用することで内部温度の測定を可能とした。図2に太陽電池モジュールの概略図を示す。熱電対はタイプT熱電対(林電工株式会社製 TC-T-F-0.2-C1、0.2mmφ)が太陽電池モジュールのすぐ下に挿入されている。太陽電池モジュールは、カバーガラス、多結晶シリコン太陽電池(セルサイズ: 15.6cm×15.6cm)、エチレン酢酸ビニル(EVA)、封止材(厚さ: 450μm、速硬化タイプ)、およびバックシート(合計厚さ: 326μm、ポリフッ化ビニル(38μm)/ポリエチレンテレフタレート(250μm)/ポリフッ化ビニル(38μm))から構成されている。

### Front side

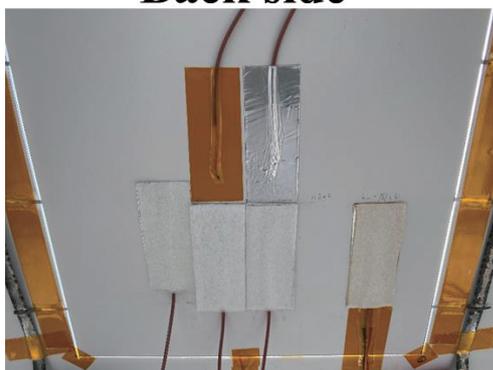


(a) 太陽電池モジュール表面

a) 工学専攻エネルギー系コース大学院生

b) 環境・エネルギー工学研究センター教授

## Back side



(b)太陽電池モジュール裏面

図1 太陽電池モジュール図

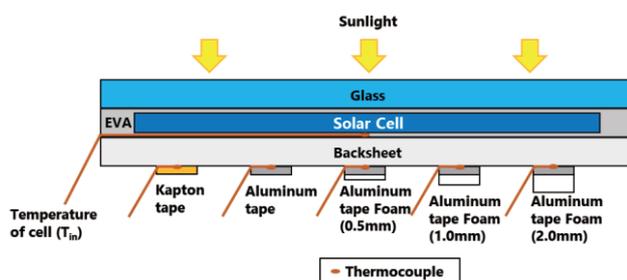


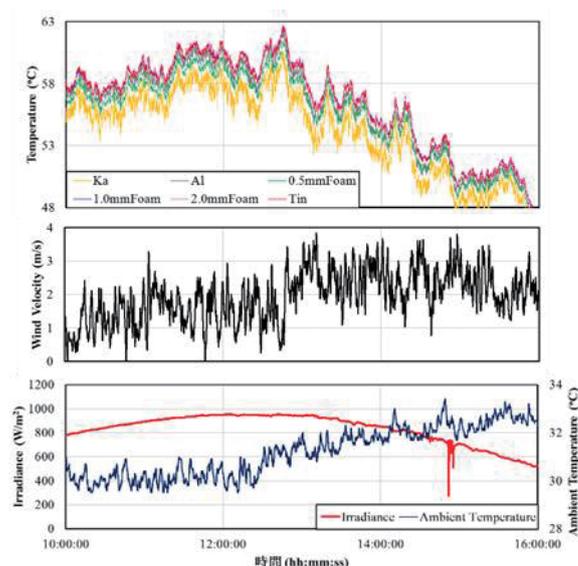
図2 太陽電池中央セル概略図

また、本実験では、内部温度と最も測定誤差の小さい手法を検討するため、カプトンテープ（寺岡製作所、厚さ25  $\mu\text{m}$ ）、アルミテープ（まつうら工業、厚さ100  $\mu\text{m}$ ）に加え、発砲ポリエチレンとアルミテープを組み合わせたテープ（以下フォームと略す）を0.5 mm、1.0 mm、2.0 mmの異なる厚さのフォームの5種類のテープを用いて図2のように熱電対をバックシートに固定し温度測定を行った。フォームは、発泡ポリエチレンとアルミテープを両面テープ（ニチバン株式会社、90 $\mu\text{m}$ ）を用いて接合した。熱電対に固定する際のテープの大きさは、それぞれ、縦50 mm、横20 mmのものを測定に使用した。測定箇所は図1に示すように、太陽電池モジュール中央にある太陽電池セル裏面で測定を行った。地面から太陽電池中央までの高さは0.9 mである。風速と風向は、風速計（Lufft V200 A）を用いて1秒間隔で測定を行った。設置箇所は、太陽電池モジュールの北側に距離6 m、高さ2 mで設置された。日射計は全天日射計（英弘精機株式会社製 MS-411）を用いて、1秒間隔で連続測定を行った。傾斜角度は太陽電池モジュールと同じ30°に設置された。太陽電池モジュールによって吸収された総太陽エネルギーがモジュール内で熱に変換されるよう、電気負荷は接続されなかった。

## 3. 結果

### 3.1 温度変化の一日推移

図3に高気温時の2日間【(a). 快晴：2020年8月2日、(b). 曇天：2020年8月1日】10:00:00～16:00:00に観測された測定温度（内部温度、カプトン、アルミ、0.5mmフォーム、1.0mmフォーム、2.0mmフォーム）と気象条件（日射量、風速、周囲温度）を示す。測定期間中、気温に大きな変化は見られなかった。一方、風速は変動していた。また、5種類の温度測定結果は、太陽電池モジュール裏面のほぼ同じ位置で測定を行ったものの、互いに異なることが観察された。この時、 $T_{in}$ は太陽電池内部に挿入された熱電対で測定されており、実際の太陽電池温度に最も近い温度であることから $T_{in}$ を基準の温度とする。カプトンテープ、アルミテープ、0.5 mmフォームに関しては、 $T_{in}$ より低い測定結果を示した。アルミニウムは熱放射率が低いため、アルミテープはカプトンテープより高い結果を示したと考える。0.5 mmフォームに関しては、アルミテープとフォームの二重構造となっている。一般的に熱放射率は、光沢のある金属は小さな値をとり、光沢のない金属や非金属は大きな値をとる。そのため、最表面のフォームの熱放射率がアルミテープより高いため、アルミテープより低い測定結果を示したと考える。一方、 $T_{in}$ と近い結果を示した1.0 mmフォームと2.0 mmフォームは、0.5 mmフォームより厚いフォームを用いたため、熱放射率より保温効果の影響が大きくなり、 $T_{in}$ と近い温度を示したと考える。



(a) 快晴時

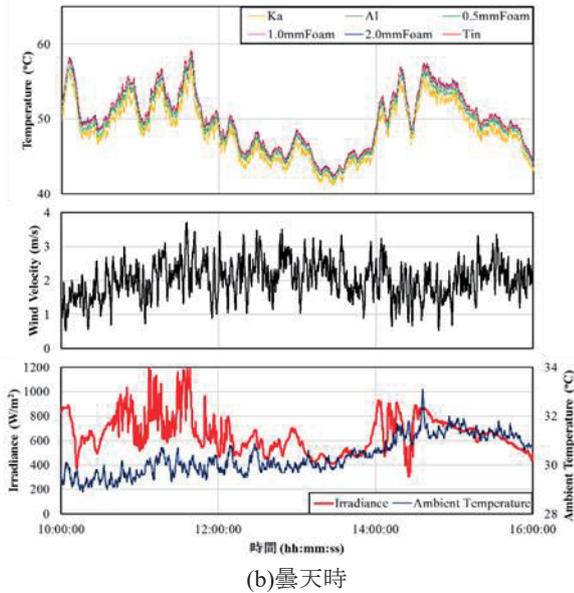


図3 高気温時における測定温度及び気象条件

図3(b)曇天時における太陽電池の温度は、主に太陽放射照度の影響を強く受けることが観察された。太陽放射照度が増加すると共に、太陽電池の温度が上昇し、太陽放射照度が減少すると共に、太陽電池の温度が低下した。図3(a)快晴時における太陽電池の温度は、日射量が安定している場合でも、温度が変化していることが確認された。これは、風速の変化により太陽電池の温度が変化していることが原因である。測定温度に対する風速の冷却効果を明らかにするため、図3(a)に示すよう、測定温度と同日の日射量が安定した時間帯における測定温度と風速との関係を図4に示す。

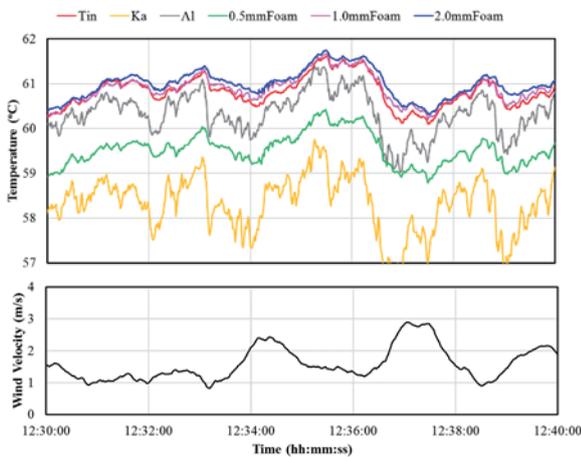


図4 測定温度と風速の関係

図4より、風速の増加に伴い、太陽電池の温度が低下し、風速が減少するに伴い、太陽電池の温度が増加していることが分かる。また、カプトンテープ、アルミテープで測定を行った太陽電池の温度は、わずかな振幅の変化が観測されたが、 $T_{in}$ とフォームで測定を行った太陽電池の温度は、その変化が見られなかった。これは、 $T_{in}$ は、太陽電池モジ

ュール構造内の太陽電池温度であり、わずかな風速の影響を受けず、それと同様に、測定時にフォームを用いることでわずかな風速の影響を受けなかったことが考えられる。一方、カプトンテープ、アルミテープは、それぞれテープでしか覆われていないため、風速のわずかな変化の影響を受けたと考えられる。

さらに、2.0 mmフォームは $T_{in}$ よりも高い測定結果を示し、1.0 mmが $T_{in}$ と最も近い温度を示すことが分かった。これは、2.0 mmフォームは保温効果が大きく、 $T_{in}$ より高い温度を示したと考えられる。その結果、フォームの厚さ1.0 mmを用いた温度測定が内部温度 $T_{in}$ と最も近い温度を測定できることが分かった。

### 3.2 温度と電圧の関係

図5に高気温時 (2020年8月2日 11:00:00~13:00:00)における各測定温度と電圧の関係を示す。それぞれ日射量が $950 \text{ W/m}^2$ 以上のときの温度と電圧のデータを用いた。図5から分かるように、測定温度は異なる値を示した。カプトンテープ、アルミテープの温度と電圧の関係は、広い範囲を示した。一方、フォームを用いた測定方法は、範囲が狭く、内部温度と近い傾向にあることが分かる。これは、カプトンテープ、アルミテープはフォーム等で覆われていないため、風の影響による温度変化が原因だと考える。カプトンテープ ( $25\mu\text{m}$ )はアルミテープ ( $100\mu\text{m}$ )よりも薄く、風の影響を受けやすいため、アルミテープに比べ範囲が広がったと考えられる。また、フォームを用いた測定方法は、熱電対が覆われており、微弱な風の影響を軽減したため、通常の太陽電池モジュール内部温度に近い傾向を示したと考えられる。

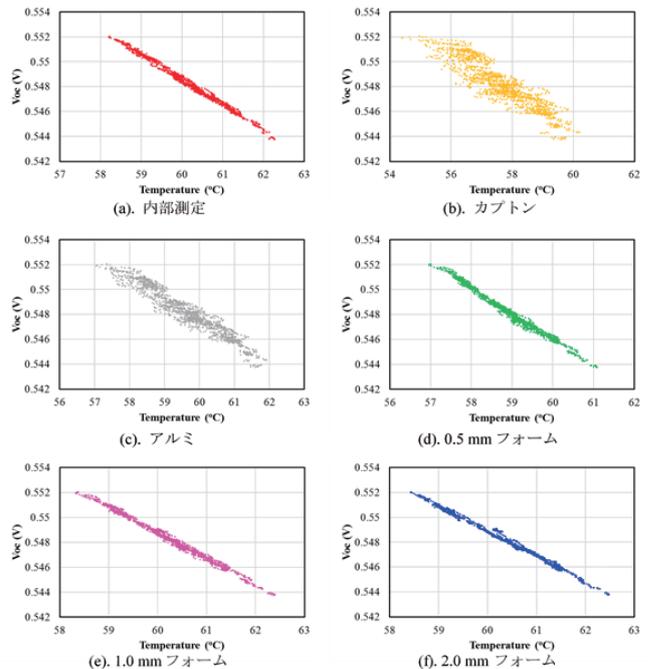


図5 温度と電圧の関係

### 3.3 度数分布

図6に5種類の測定温度と内部温度との温度差を示す。使用データは、2019年12月23日から2020年9月3日のうち、測定を行った81日間のデータ(雨天時以外)を使用した。図6より、カプトンテープ、アルミテープ、0.5mmフォームは内部温度との温度差の変化が大きく、ばらつきが見られる。一方、1.0mmフォームと2.0mmフォームは温度差0°C付近をピークにばらつきが少ないことが分かる。表1に、それぞれ温度差の±0.5°C以内に含まれる割合を示す。表1からも分かるように、カプトンテープが最も低く24.3%であった。一方、1.0mmフォームが97.7%と最も±0.5°C以内で測定可能であることが分かった。このことから、1.0mmフォームはほとんどの測定結果が±0.5°C以内の誤差で測定可能であることが分かった。

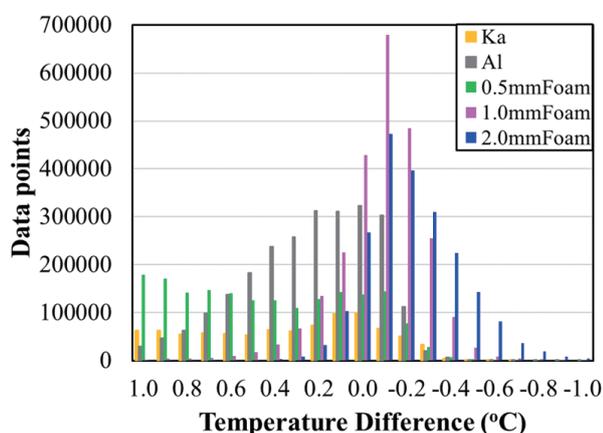


図6 各測定値と内部温度との温度差における度数分布

表1 内部温度との温度差±0.5°Cに含まれる割合

	$\Delta K_a$	$\Delta A_l$	0.5mm フォーム	1.0mm フォーム	2.0mm フォーム
割合	24.3%	82.8%	41.2%	97.7%	92.3%

### 4. 結論

本研究では、実際に屋外で動作する太陽電池モジュールの内部温度と、熱電対を覆う5種類のテープを用いて温度計測を行い、太陽電池モジュール内部温度に近い温度計測方法を調査した。結果として、フォームを用いることで、風速によるわずかな温度変化を抑えることが分かった。また、フォームの厚さ0.5mmでは、十分な防護効果は無く、2.0mmでは、保温効果が大きいことが分かった。1.0mmフォームを用いることで、太陽電池内部温度に最も近い温度測定が可能であることが分かった。さらに、長期間の測定において、内部温度との温度差が±0.5°C以内に含まれる割合として、カプトンテープが最も低く、24.3%、1.0mmフォームが最も高く、97.7%であることから、1.0mmフォームが最も内部温度に近い測定結果を示すことが分かった。

以上のことから、厚さ1.0mmフォームを用いることで、内部温度では見られない風速の影響を抑え、太陽電池内部温度に最も近い温度測定が可能であることが分かった。

### 参考文献

- 1) L. M. Ayompe, A. Duffy, S. J. McCormack, and M. Conlon, *Energy Convers. Manage.* 52, 816 (2011).
- 2) S. Y. Myong, Y. C. Park, and S. W. Jeon, *Renew. Energy* 81, 482 (2015).
- 3) M. Yamaguchi, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 75, 261 (2003).
- 4) N. Kelsey and J. Meckling, *Energy Res. Soc. Sci.* 37, 65 (2018).
- 5) IEC 60904-3:2016 (2016).
- 6) M. Bliss, T. R. Betts, and R. Gottschalg, *Measurement Sci. Technol.* 21, 115701 (2010).
- 7) B. J. Huang, P. E. Yang, Y. P. Lin, B. Y. Lin, H. J. Chen, R. C. Lai, and J. S. Cheng, *Sol. Energy* 85, 388 (2011).
- 8) G. Blaesser, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 47, 167 (1997).
- 9) B. Marion, S. Rummel, and A. Anderberg, *Prog. Photovoltaics* 12, 593 (2004).
- 10) Y. Tsuno, Y. Hishikawa, and K. Kurokawa, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 93, 1070 (2009).
- 11) IEC 60904-5:2011 (2011).
- 12) Y. Hishikawa, T. Doi, M. Higa, K. Yamagoe, H. Ohshima, T. Takenouchi, and M. Yoshita, *IEEE J. Photovoltaics* 8, 48 (2018).
- 13) A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, *Fundamentals of Solar Cells* (Academic Press, New York, 1983), p. 238.
- 14) K. Nishioka, T. Hatayama, Y. Uraoka, T. Fuyuki, R. Hagihara, and M. Watanabe, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 75, 665 (2003).
- 15) K. Nishioka, N. Sakitani, K. Kurobe, Y. Yamamoto, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, and T. Fuyuki, *Jpn. J. Appl. Phys.* 42, 7175 (2003).
- 16) K. Nishioka, T. Takamoto, T. Agui, M. Kaneiwa, Y. Uraoka, and T. Fuyuki, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 85, 429 (2005).
- 17) E. Skoplaki and J. A. Palyvos, *Sol. Energy* 83, 614 (2009).
- 18) Y. Ota, T. Sueto, H. Nagai, K. Araki, and K. Nishioka, *Jpn. J. Appl. Phys.* 52, 04CR03 (2013).
- 19) K. Nishioka, Y. Ota, K. Tamura, and K. Araki, *Surf. Coatings Technol.* 215, 472 (2013).
- 20) IEC 60891:2009 (2009).
- 21) M. Jankovec and M. Topič, *J. Sol. Energy Eng.* 135, 031012 (2013).