

電力置換熱計測による太陽電池エネルギー変換効率の測定

齋藤研究室 1116203 阿部大和

1. 背景・目的

現在様々なタイプの太陽電池が実際に使用され、日々性能向上の為に開発が続いているが、その為に最も重要な評価項目としてエネルギー変換効率の測定が欠かせない。そこで、太陽光発電パネル自体で日射量を測定することによって、誰でもどこでもエネルギー変換効率を求めることができる新たな手法を提案し開発している。それは、光入力を遮った状態で太陽光発電パネルへ順方向に通電し、太陽電池をヒーターとして外部から電力を加え、始めの温度と同じになるよう電力を調整することにより、熱を電力で置換する。すなわち、その電力が吸収した放射束として求められるという手法である。

本研究では、この手法が実現可能かどうか、次に、その結果が妥当かどうかを検証することを目的とした。

2. 測定原理・解析方法

太陽電池に吸収される放射束が P_a [W]、太陽電池の発生電力が P_e [W] のとき、内部エネルギー変換効率 ε_{int} は次式で定義される。

$$\varepsilon_{int} = P_e / P_a$$

P_a は、太陽電池の発電電力と熱となっている。これらを測定するために、同型の太陽光パネルを2基設置し、片一方の太陽光パネルには、太陽光を当てその際の発生電力を測定する。もう一方は、太陽光を遮断し隣の太陽光パネルと同じ温度になるよう、電源から電力を供給する。このようにして、熱を電力で置換することにより P_a が求まるので、まず内部エネルギー変換効率を直接求めることができる。

一方、外部エネルギー変換効率 ε_{ext} は、入射放射束を P_i [W]とすると、次式で与えられる。

$$\varepsilon_{ext} = P_e / P_i$$

吸収率を τ とすると、 $P_a = \tau P_i$ であるので、

$$\varepsilon_{ext} = \tau \varepsilon_{int}$$

となる。吸収率は放射率に等しいので、これを赤外線カメラにより測定し、 ε_{ext} も求めた。

入力の光を放射束ではなく光子束で評価すると、量子効率が求められる。吸収光子束を Φ [1/s]、短絡電流を I [A]、電子の素電荷を e [C]、太陽電池セル数を N 個とすると内部量子効率 η_{int} は、

$$\eta_{int} = N I / (e \Phi)$$

平均光子エネルギーを E [eV]とすると、 $\Phi = P_a / (e E)$ であるので、次のようになる。

$$\eta_{int} = N I E / P_a$$

一方、外部量子効率 η_{ext} は、次のように求まる。

$$\eta_{ext} = \tau \eta_{int}$$

3. 実験

3.1. 実験方法

実験場所：東北工業大学八木山キャンパス中庭

実験日：2015年10月25日 天気概況：快晴

太陽電池方角：南向き 太陽電池傾斜：60度

- 太陽光パネルを2基用意し、太陽光に当てた。ここで温度計測は赤外線カメラ、熱電対を用いた。温度、太陽電池電流、電圧はデータロガーにより収録した。
- 片方のパネルには太陽光を当て、もう一方のパネルは太陽光を遮断する。遮断にはポリスチレン素材の板に、太陽電池からの放射熱が戻らないようアルミシートを接着した物を用いた(写真1.右)。この際に遮断板を太陽電池に密着させず、30度の傾斜をつけ設置した。
- 遮断したパネルの温度が低くなり、かつ一定の温度になったらそのパネルに電力を加える。
- 赤外線カメラの温度を目視で確認し、太陽光の遮断を行っていないパネルの温度と等しくなるように、マニュアルで電源の電圧、電流を上げていく。
- 同じ温度に達したら数分待ち、データロガーで収録した数値からエネルギー変換効率を解析した。



写真1. 左：実験時の様子、右：光の遮断板

3.2. 測定対象

表1の仕様の太陽電池を測定対象とした。

表 1. 三洋電機製 HIT 型太陽電池モジュール

メーカー	三洋電気	形式	HIP-63S1
最大出力電力	63 W	最大出力動作電流	3.49 A
最大出力動作電圧	18.1 V	セル数	32

3.3. 測定器材

実験には、以下の器材を使用した。

- ・電源 (GW Instek, PSW 80-27)
- ・データロガー (GRAPHTEC, midi LOGGER GL900)
- ・Solar Module Analyzer (株式会社 佐藤商事、PROVA 200)
- ・赤外線カメラ (Avio, Neo Thermo TVS-600)
- ・熱電対 (株式会社ナルセ, K 型熱電対)
- ・黒体テープ (放射率 0.95)
- ・テスター (FLUKE, 179TURE RMS MULTIMETER)
- ・電流クランプ (GW Instek, GCP-100)

4. 結果

実験結果について、各種データの経時変化を図 1 に、赤外線カメラ画像を図 2 に示す。また、電力置換熱測定 (図 1) により 2 基の温度が一致したデータを表 2 にまとめ、解析した結果を表 3 にした。

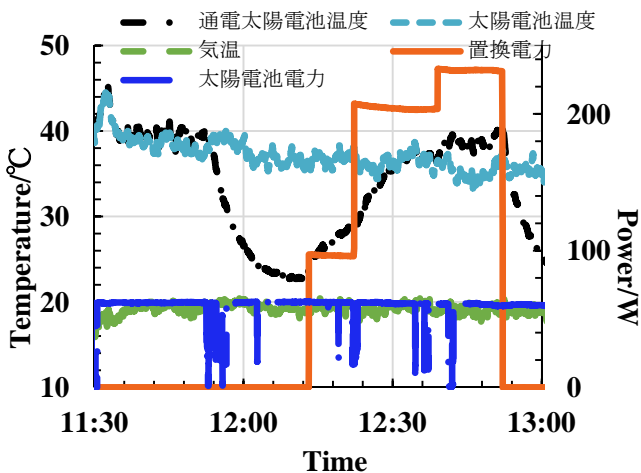


図 1. HIT 太陽電池電力置換熱測定

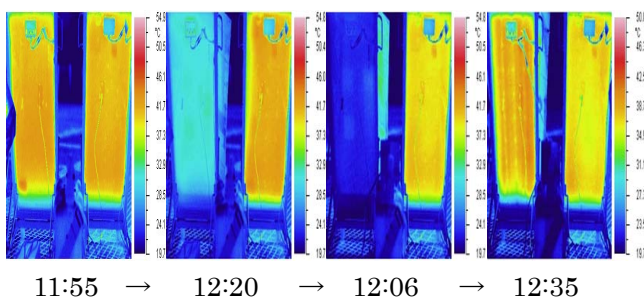


図 2. HIT 太陽電池電力置換熱測定赤外線カメラ画像

表 2. 解析数値

データ数	48		
平均光子エネルギー	2.25 eV	吸収率	0.816
平均気温	19.6°C	平均一致温度	36.9°C
平均発生電力	61.3 W	平均置換電力	203 W

表 3. 解析結果

	解析値	公称値
内部量子効率	0.998	
外部量子効率	0.814	0.768
内部エネルギー変換効率	0.231	
外部エネルギー変換効率	0.189	0.179

5. 考察・まとめ

電力置換熱計測により、太陽電池の内部エネルギー変換効率、内部量子効率を決定した。HIT 太陽電池の内部量子効率はほぼ 1 であることがわかった。さらに赤外線カメラを用いて放射率 (=吸収率) を測定し、これを用いて外部エネルギー変換効率、外部量子効率も決定した (表 3)。これらの結果は、公称値から推定したそれぞれの値と 6% 程度の誤差内で一致した。太陽電池において電力置換による熱測定から吸収放射束を求める手法により、内部エネルギー変換効率、内部量子効率を決定できることを実証した。これらを求める上で通常必要となる反射率測定が不要であることは大きな利点である。

6. 参考文献

- 1) 齋藤, 産業技術総合研究所, きちんとわかる計量標準, 第 10 章, 2008 年.
- 2) T. Inoue and K. Yamamura, "Quantum efficiency measurement of a photodiode based on a calorimetric method", J. Appl. Phys. 54, 6782 (1983).
- 3) T. Saito, "Spectral properties of semiconductor photodiodes", Chapter 1 (pp. 3-24) in "Advances in photodiodes" (ISBN 978-953-307-163-3), Intech, Croatia, March 2011.
- 4) 気象庁
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) 齋藤, 阿部, 佐藤, 武澤: 電力置換法による太陽電池エネルギー変換効率の測定応用物理学会予稿 (2015 年 3 月, 東海大).