

電力置換による太陽電池の変換効率および量子効率の測定

齋藤研究室 1216129 龍田宗明

1. 研究の動機・目的

現在様々な種類の太陽電池が存在し、その最重要評価項目として、特に内部エネルギー変換効率がある。それを知るためには、太陽光の放射パワーを正確に計測する必要があり、太陽光に対し垂直であることなど標準条件の下、標準検出器ないし標準太陽電池を使用することが求められ、さらに反射率測定も必要となり簡単ではない。

そこで本研究では標準太陽電池を必要とせず、内部エネルギー変換効率を直接求められる電力置換方式という新しい測定方法を開発し、その妥当性を検証することを目的とした。

2. 測定原理

吸収放射束 P_a を入力とする内部エネルギー変換効率 ε_{int} は、発生電力を P_e すると以下のようになる。

$$\varepsilon_{int} = P_e / P_a \quad (1)$$

本研究ではパネルに発生した熱を、同じ温度上昇をもたらす電力 P_s に置き換え、吸収放射束を次式で決定する。

$$P_a = P_e + P_s \quad (2)$$

入射放射束 P を入力とする外部エネルギー変換効率 ε_{ext} は、エネルギー吸収率を τ_e とすると次式で与えられる。

$$\varepsilon_{ext} = \varepsilon_{int} \times \tau_e \quad (3)$$

内部量子効率は太陽電池のセル数 N と短絡電流 I_{sc} 、素電荷 e (1.6×10^{-19} C)、吸収光子束 Φ を用い以下の式で求める。

$$\eta_{int} = N \times I_{sc} / e / \Phi \quad (4)$$

吸収光子束は吸収放射束を平均光子エネルギーと素電荷の積で割った値である。平均光子エネルギーは、標準太陽光が 1 mm 厚の Si 基板で吸収されると仮定し 1.87 eV を用いた。

内部量子効率 η_{int} は外部量子効率 η_{ext} の関係は光子吸収率を τ_p とすると次式から求められる。

$$\eta_{ext} = \eta_{int} \times \tau_p \quad (5)$$

吸収率については、1 mm の厚さの結晶 Si 太陽電池の吸収率を数値計算した結果より τ_e は 0.791、 τ_p は 0.614 となりそれを算出に用いた。

3. 実験方法

3.1. 抵抗負荷がある場合 (2015/11/13)

- (a) 太陽光パネルを 2 台用意し、2 台とも可変抵抗を取り付け太陽光に当て、パネルの温度が一定になったら片方の参照用パネルには光を当て続け、もう片方のパネルは太陽光を遮断する。(図 1)

- (b) 遮断したパネルの温度が低くなり安定したら、パネルに外部電源より電力を加える。
(c) 通常発電側パネルと同じ温度になるように、手で電源の電力を上げていく。
(d) 同じ温度に達したら通電を終了する。



図 1. 太陽光を遮蔽の際の様子

3.2. 開放状態の場合 (2015/11/19)

実験方法は 3.1 と同じ。ただし開放状態のため抵抗負荷がないため、(2)式で $P_e = 0$ 。

※なお、パネル裏の温度むらが少なくなるようにパネル裏にアルミシートを貼った。

3.3. 短絡状態の場合 (2015/12/09)

実験方法は 3.1 と同じ。3.2 と同じく抵抗負荷が 0 のため(2)式で $P_e = 0$ 。

3.4. 測定対象

本研究では以下の仕様の(株)ケー・アイ・エス製の単結晶 Si 型太陽電池 (GT833-TF) を使用した。

表 1. 単結晶 Si 型太陽電池 (GT833-TF) 仕様

公称最大出力 (P_{max}) [W]	7
公称短絡電流 (I_{sc}) [A]	0.45
公称短絡電圧 (V_{oc}) [V]	21.1
セル数 (N)	34
モジュール面積 (S) [m ²]	0.0693
セル面積 [m ²]	0.0012

4. 結果・考察

4.1. 抵抗負荷がある場合 (2015/11/13)

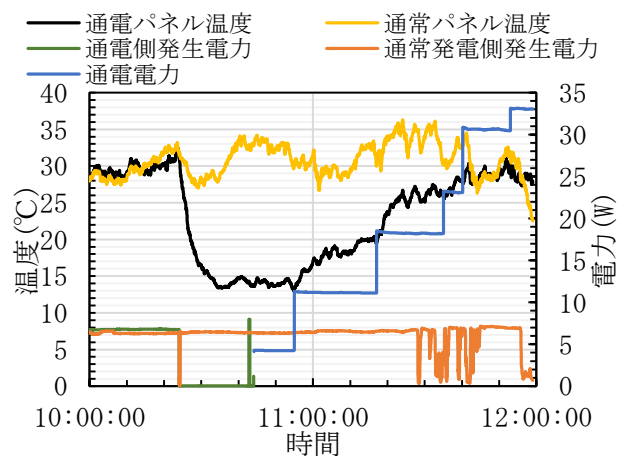


図 2. 抵抗負荷の場合の電力、温度の時間変化測定結果として計算に使用するデータ

時刻	11:45:35	
通常発電側発生	電流【A】	0.39
	電圧【V】	18.17
	電力【W】	7.08
通電	電流【A】	1.30
	電圧【V】	23.53
	電力【W】	30.59

4.2. 開放状態の場合 (2015/11/19)

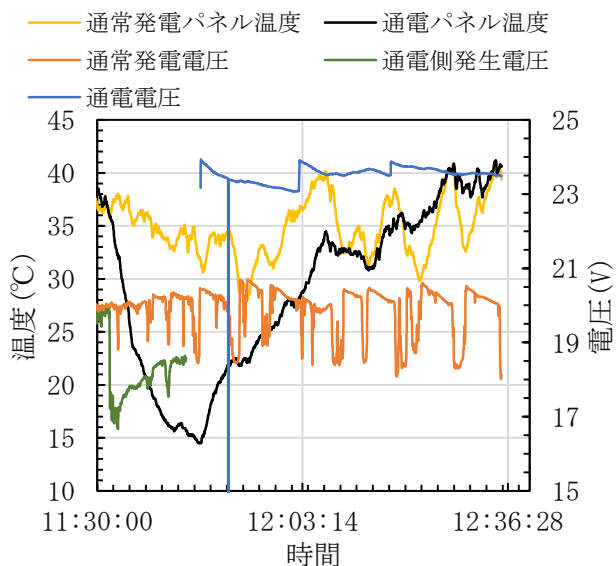


図3. 開放状態の場合の電力、温度の時間変化
測定結果として計算に使用するデータ

時刻	12:27:18	
通常発電側発生	電流【A】	0
	電圧【V】	20.05
	電力【W】	0
通電	電流【A】	1.6
	電圧【V】	23.55
	電力【W】	37.68

4.3. 短絡状態の場合 (2015/12/9)

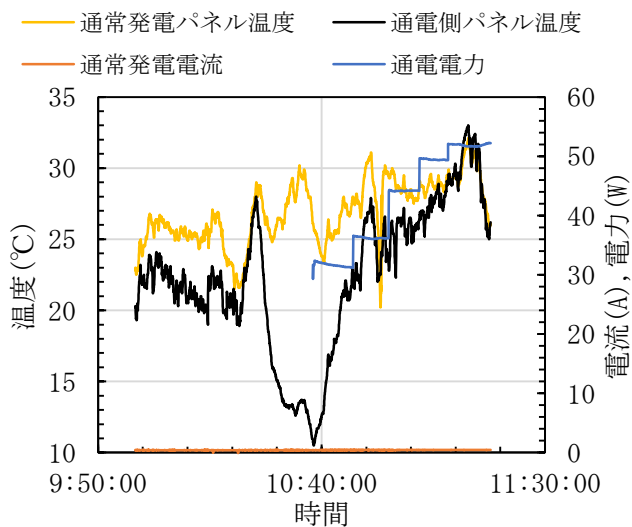


図4. 状態の場合の電力、温度の時間変化

測定結果として計算に使用するデータ

時刻	10:49:04	
通常発電側発生	電流【A】	0.42
	電圧【V】	0
	電力【W】	0
通電	電流【A】	1.5
	電圧【V】	24.25
	電力【W】	36.375

下の表は本実験で得られた結果と公称値から算出した変換効率をまとめたものである。

		ϵ_{int}	ϵ_{ext}	η_{int}	η_{ext}
推定値	モジュール効率	0.128	0.101	0.521	0.320
	セル効率	0.209	0.165	0.852	0.525
測定値	抵抗あり	0.188	0.149	0.722	0.443
	開放状態	0.195	0.155	0.713	0.437
	短絡状態	0.206	0.163	0.734	0.451

公称値を用いた推定値からの測定値の相対誤差(%)を以下に示す。

		ϵ 誤差	η 誤差
抵抗あり	モジュール	47%	39%
	セル	-10%	-15%
開放状態	モジュール	52%	39%
	セル	-7%	-16%
短絡状態	モジュール	61%	41%
	セル	-1%	-14%

5. まとめ

各実験とも測定値はモジュール効率よりセル効率に近い値となった。発電時の光による加熱と通電による加熱の違いを考えると、本測定法はほぼセル効率を与えるものとして理解でき、それが実験により裏付けられた。

実験当日、風による温度低下が多く見られたため、無風での測定をした際、より推定値のセル効率に近づけるか検証が必要と感じた。

参考文献

- 1 T. Inoue and K. Yamamura, "Quantum efficiency measurement of a photodiode based on a calorimetric method", J. Appl. Phys. 54, 6782 (1983)
- 2 T. Saito, "Spectral properties of semiconductor photodiodes", Chapter 1, Apr 22, 2014, p2~21p
- 3 齋藤輝文、佐藤宏樹、阿部大和、武澤港斗、(東北工大、東北工大院)、応用物理学会秋季学術講演会、公称値を用いた太陽電池エネルギー変換効率・量子効率の導出と種類別評価、2015年9月、15p-2k-13
- 4 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、<http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>