

# c-Siセル性能評価においてプローブ影が $I_{sc}$ に与える影響およびその見積方法

志村 陽哉・菱川 善博・吉田 正裕

産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価・標準チーム

## 研究の目的

- ・モジュール化される前の未封止のc-Siセル(ペアセル)を  $I-V$  測定する際には通常電流プローブが複数固定された導電体の板(プローブバー)を用い、セルの照射面側の電極(バスバー)にプローブを接触させる(図3)。この際、プローブバーの厚みがバスバーの幅に対して十分に薄くないとバスバー周辺の発電領域が遮光され  $I_{sc}$  測定値に誤差を生む。
- ・近年c-Siセルのバスバーの細線化が進み、板厚の薄いプローブバーを用いても発電領域が遮光される場合がある。
- ・プローブバーの影による  $I_{sc}$  の誤差を回避するため、影の影響を事前に見積る方法を検討した。実際のc-Siペアセル及びプローブバーを用いた実験結果とのよい一致を得た。

## プローブバーによる減光量の見積

- ・プローブバーの断面を長方形の組み合わせで近似し、全ての頂点の位置  $P_i(x_i, y_i)$  を決定する(図4)。
- ・全ての頂点に対して、セル上の点  $(x, 0)$  と頂点  $P_i(x_i, y_i)$  を通る線と鉛直線のなす角  $\theta_i(x)$  を計算する。

$$\theta_i(x) = \tan^{-1} \left( \frac{-x + x_i}{y_i} \right), \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

- ・得られた角度  $(\theta_1, \theta_2, \dots)$  の最小値から最大値までの範囲がセル上の点  $(x, 0)$  から見て遮光される角度範囲であり、光源の角度分布  $G(\theta)$  (図2) を遮光される角度範囲を除いて  $-\pi/2$  から  $+\pi/2$  まで積分することで点  $(x, 0)$  上の照度  $\varepsilon(x)$  得られる。

$$\varepsilon(x) = 1 - \int_{\theta_{min.}(x)}^{\theta_{max.}(x)} G(\theta) \cdot d\theta \quad (2)$$

- ・バスバー上の光は  $I_{sc}$  に寄与しないため、減光量の見積からバスバーの範囲は除く。
- ・セル幅  $L$ 、バスバー本数  $N$  のセルにおける規格化した光損失  $\delta_{tot}$  は(3)式で与えられる。ここで  $b_1, b_2$  はバスバー端の位置で  $b_1 < b_2$  であり、セル上の位置  $x$  の原点はバスバーの中央に取った。

$$\delta_{tot} = \frac{N}{L - N(b_2 - b_1)} \left\{ \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} (1 - \varepsilon(x)) dx - \int_{b_1}^{b_2} (1 - \varepsilon(x)) dx \right\} \quad (3)$$

- ・使用するプローブバーが位置により異なる形状の場合(図5)、各々の形状について光損失  $\delta_{tot}$  を求め、各形状が占める長さで加重平均することでセルの全面にわたる光損失が得られる。

## 参考文献

[1] 菱川、佐々木、志村、大島, "ソーラシミュレータの性能が太陽電池測定に与える影響と高精度化: 出力光の再反射、時間変動均一性及び平行度" 日本太陽エネルギー学会 太陽/風力エネルギー講演論文集 2014, pp. 219-222, いわき市.

[2] Jochen Hohl-Ebinger, Daniela Grote, Britta Hund, Ansgar Mette, Wilhelm Warta, "Contacting bare solar cells for STC measurements", Proc. of 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp. 2012-2016, 1-5 September 2008, Valencia.

[3] Keith Emery, Tutorial "Rating PV power and energy: cell, module, and system measurements," presented at 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 19-24 June 2011, Seattle, NREL report NREL/PR-5J00-65976, <https://www.nrel.gov/pv/cell-measurements.html>

[4] Ino Geisemeyer, Christopher Kallies, Jochen Hohl-Ebinger, Wilhelm Warta, "Contacting bare silicon solar cells with advanced cell metallisation", Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp. 1202-1207, 22-26 September 2014, Amsterdam.

## 実験装置

- ・光源はSTC\*における  $I-V$  特性評価に使用するソーラシミュレータ(図1)で、照射範囲  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 、照射光の平行度  $\pm 2^\circ$  以内(図2)。
- ・プローブバーは互いに絶縁された電流プローブと電圧プローブが対になりそれが複数固定されており(図3)、サイズ、形状が異なる3種類を使用した(図8)。

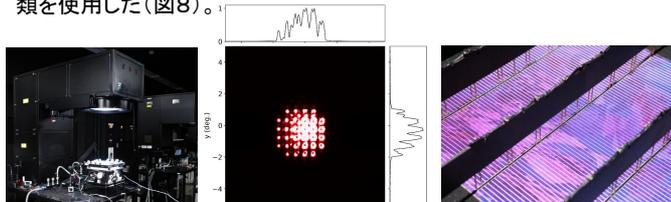


図1 使用したソーラシミュレータ(LACS; WACOM WXS-220S-20 改)

図2 LACS 照射光の角度分布[1]

図3 ソーラシミュレータ照射下におけるバスバー上に生じたプローブバーの影

\*STC (Standard Test Conditions): 照度  $1 \text{ kW/m}^2$ 、分光放射照度 AM1.5G 標準太陽光スペクトル、デバイス温度  $25^\circ\text{C}$  の試験条件

## 見積と測定結果との比較

- ・本手法による  $I_{sc}$  の見積と実際の測定結果のよい一致を確認した。

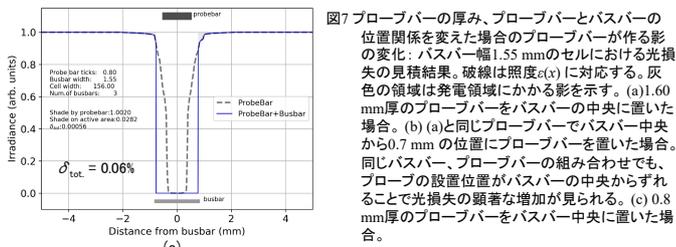
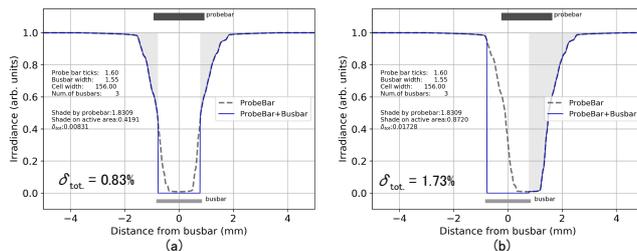


図7 プローブバーの厚み、プローブバーとバスバーの位置関係を変えた場合のプローブバーが作る影の変化: バスバー幅  $1.55 \text{ mm}$  のセルにおける光損失の見積結果。破線は照度  $\varepsilon(x)$  に対応する。灰色の領域は発電領域にかかる影を示す。(a)  $1.60 \text{ mm}$  厚のプローブバーをバスバーの中央に置いた場合。(b) (a)と同じプローブバーでバスバー中央から  $0.7 \text{ mm}$  の位置にプローブバーを置いた場合。同じバスバー、プローブバーの組み合わせでも、プローブの設置位置がバスバーの中央からずれることで光損失の顕著な増加が見られる。(c)  $0.8 \text{ mm}$  厚のプローブバーをバスバー中央に置いた場合。

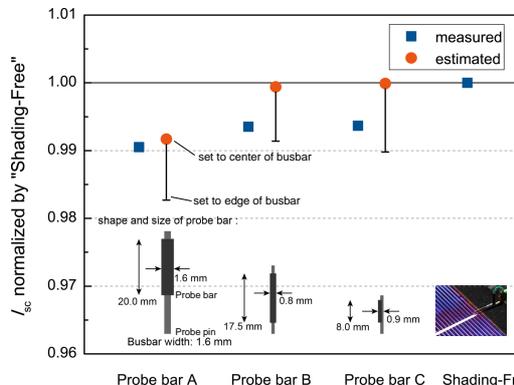


図8 見積結果と測定結果の比較: 丸印はプローブバーがバスバーの中央に置かれた場合の  $I_{sc}$ 。丸印から伸びた線は、バスバー上の設置位置により  $I_{sc}$  が変化する範囲を示す。右端に示した "Shading-Free" の値はプローブバーなしで測定した  $I_{sc}$  [2-4]。

## 結論

- ・プローブバーによる影の影響は光源から来る光の角度分布と、プローブの形状位置関係等の幾何学的パラメータから見積もることができる。
- ・影による光損失の大きさはプローブバーの厚みと同様に、バスバーとの位置関係にも大きな影響を受ける。