

屋外高精度性能評価技術 ～新STC補正法の開発～

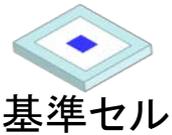
太陽光発電研究センター

評価・標準チーム

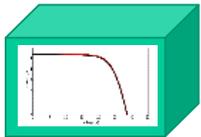
菱川善博, 比嘉道也, 武内貴和、
大島博典、山越憲吾、吉田正裕

太陽電池性能 屋外高精度測定

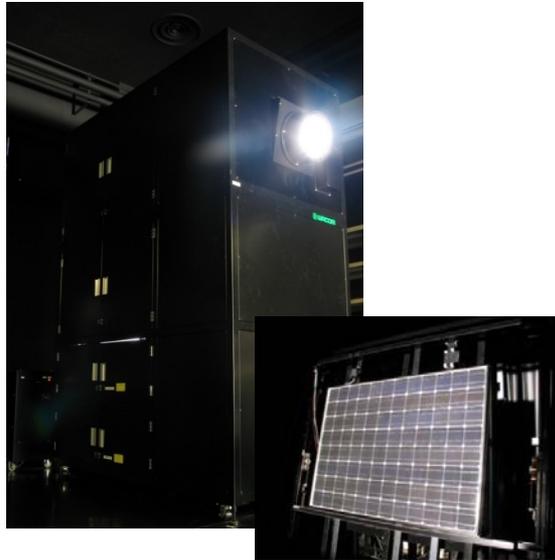
屋内



基準セル

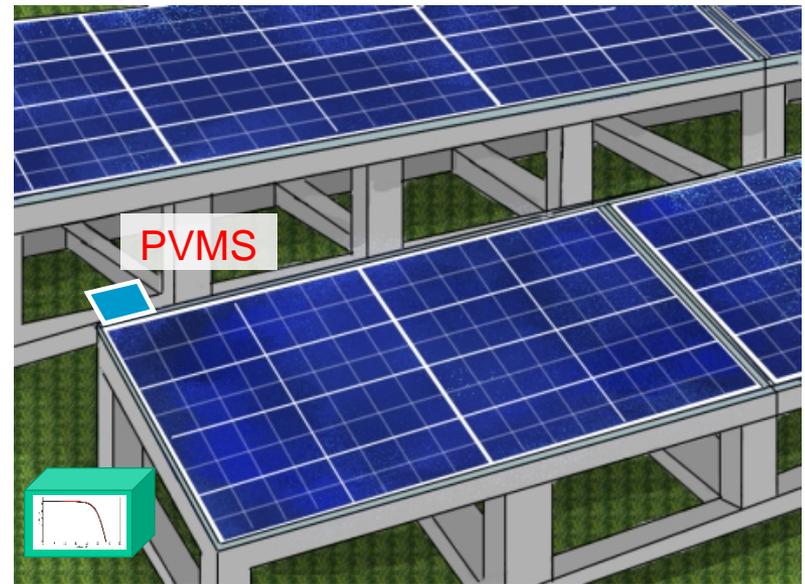
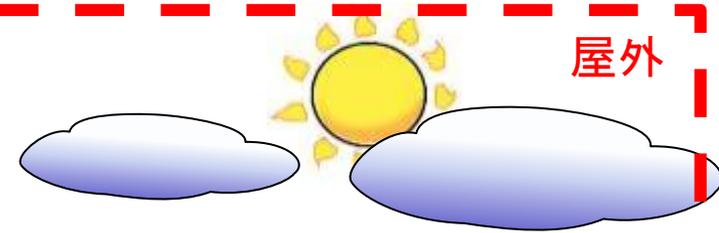


IVテスト



部屋、空調

屋外



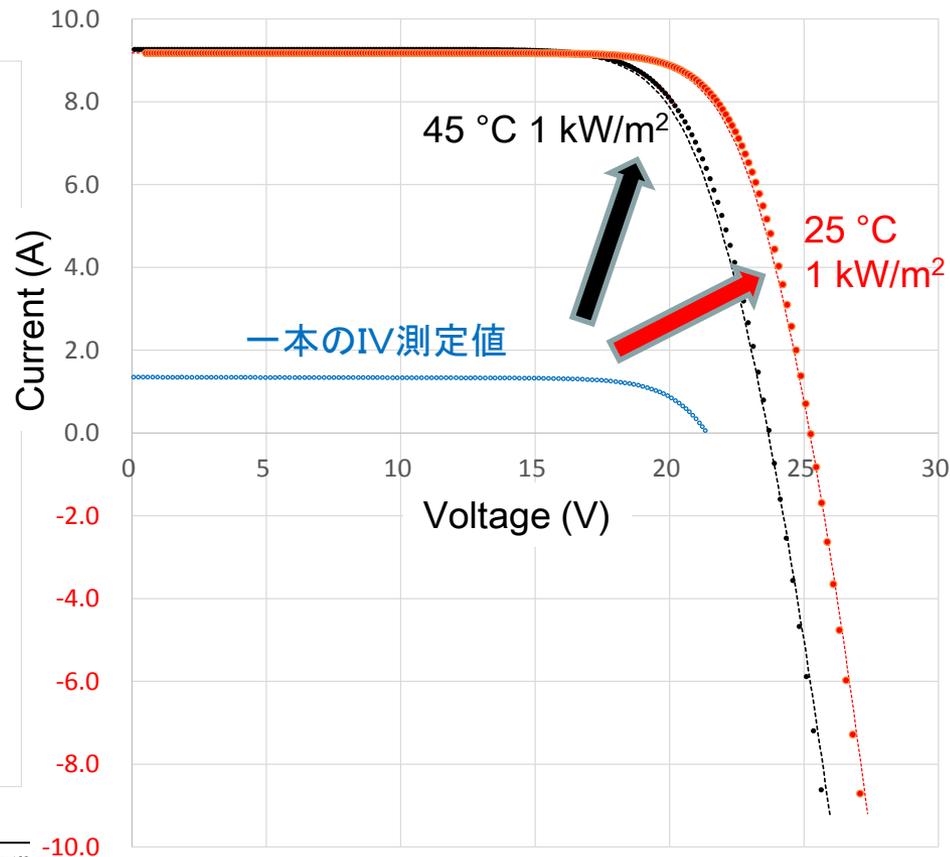
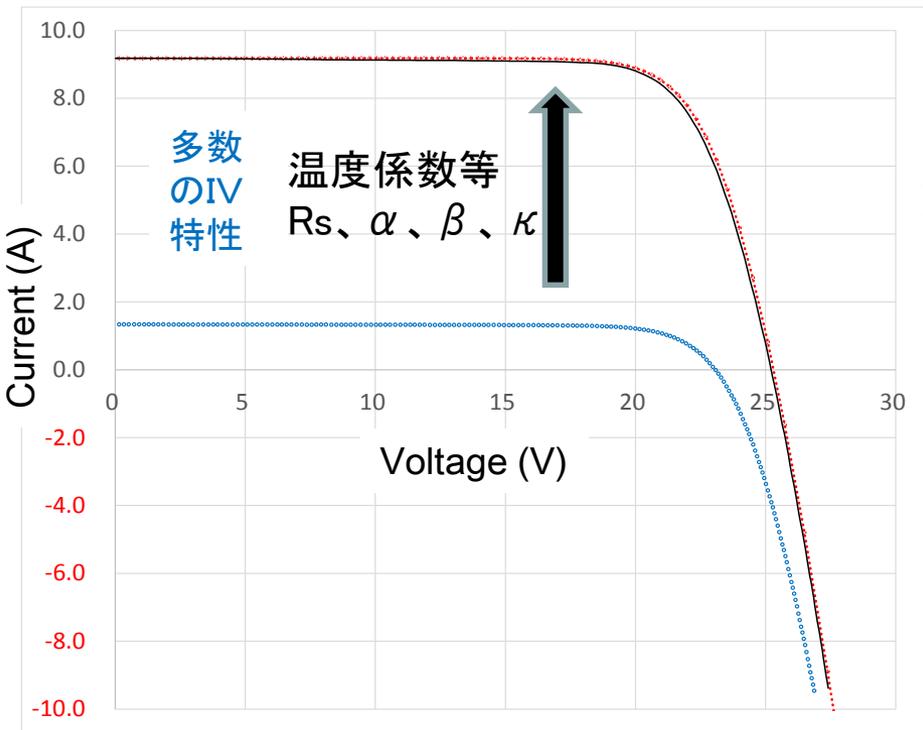
目的: IV特性のSTC補正

従来: 多数の低照度IVを基
に導出した、温度係数等を
用いてSTC IVを推定。
実用性が不十分であった。

これも開発要素あり。
IEC規格改定審議中

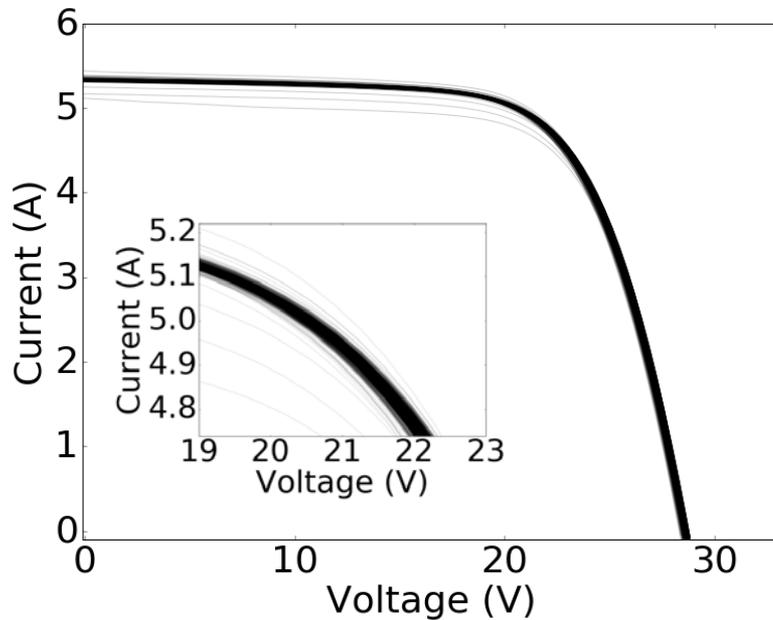
一本の低照度IV ($I_{sc} \sim V_{oc}$)
からSTC IVを推定

従来は高精度化は困難とされていた
⇒ 高精度低コストな手順の開発
⇒ 市販計測器での使用を目指す

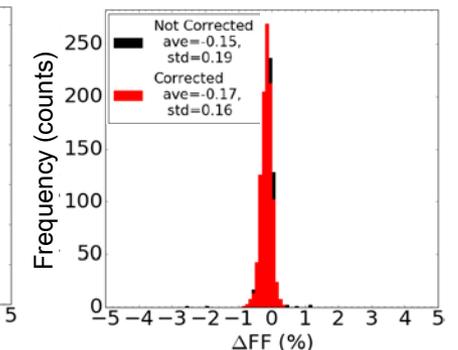
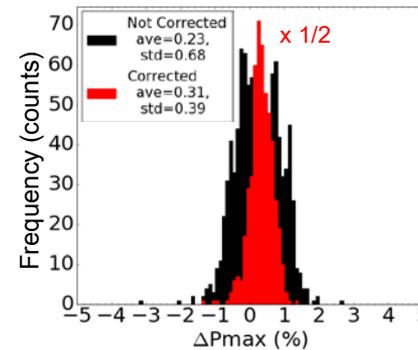
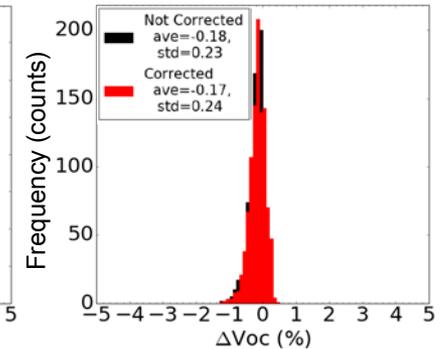
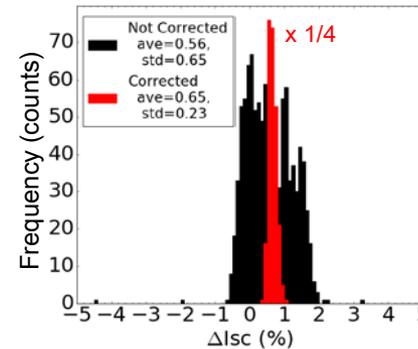


要素技術1: 屋外高精度測定 (IV特性)

PVMSによる照度測定、高精度モジュール温度測定



一回毎のIVを高精度測定
 $< \pm 0.5\%$ 程度



Y. Hishikawa, T. Doi, M. Higa, K. Yamagoe, H. Ohshima, T. Takenouchi, and M. Yoshita, "Voltage-Dependent Temperature Coefficient of the I-V Curves of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules", IEEE J. Photovol. 8-1 (2018) 48-53.

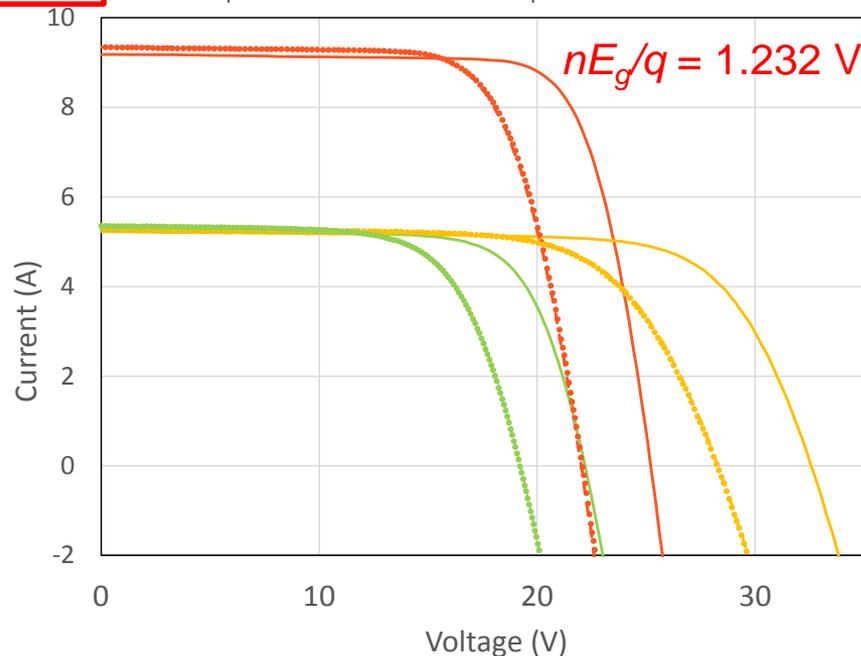
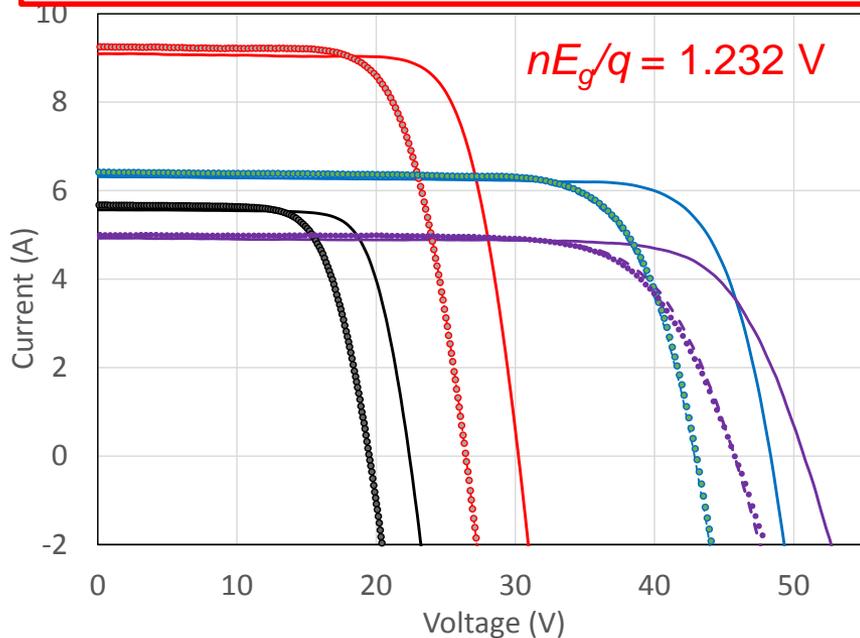
要素技術2: 温度特性の新補正式(昨年開発)

$$TC_{cell} = \frac{v_2 - v_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{T_1} \left(v_1 - \frac{nE_g}{q} \right)$$

25°C ⇒ 65°C IV補正時の P_{max} :
 多くのモジュールで < 0.5 ~ 1% の一致

$$TC_{cell} = \frac{\partial V}{\partial T} = \frac{1}{T} \left[V - \frac{nE_g}{q} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-qV}{nkT}\right) \right\} \right]$$

- 1 24.9°C exp. - - - N15A01 64.5°C exp. ● N15A01 64.5°C calc.
- 2 24.9°C exp. - - - NE132AR 63.5°C exp. ● NE132AR 63.5°C calc.
- 2 24.9°C exp. - - - SCS1002 65.7°C exp. ● SCS1002 65.7°C calc.



Y. Hishikawa, T. Doi, M. Higa, K. Yamagoe, H. Ohshima, T. Takenouchi, and M. Yoshita, "Voltage-Dependent Temperature Coefficient of the I-V Curves of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules", IEEE J. Photovol. 8-1 (2018) 48-53.

要素技術3: 1ダイオードモデル採用 (+ α)

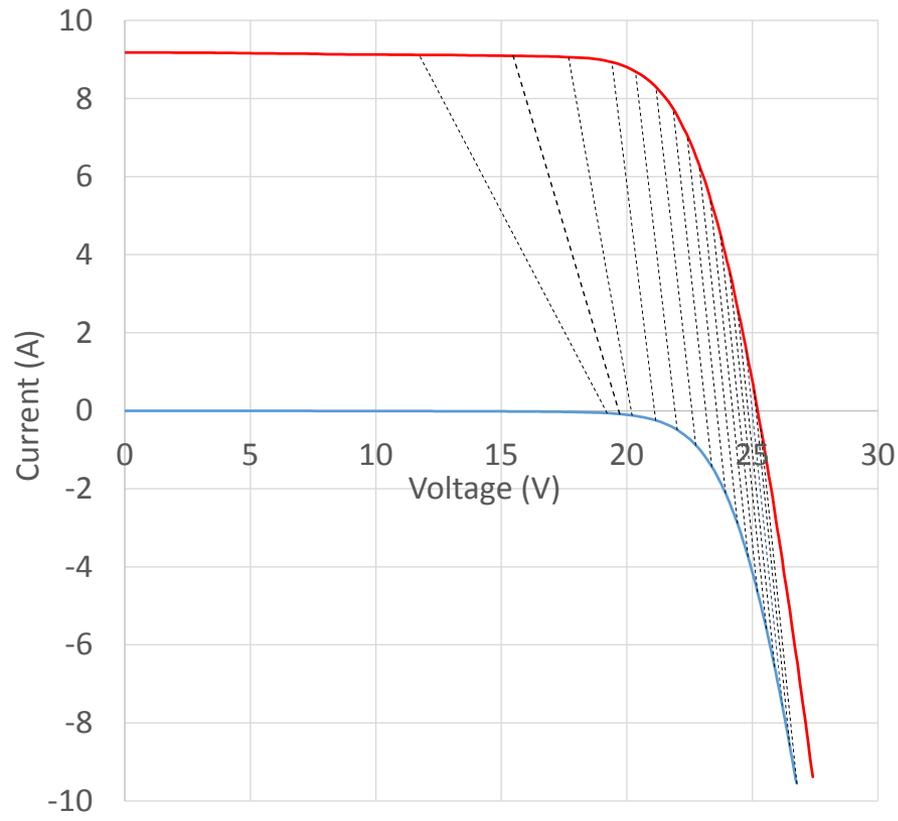
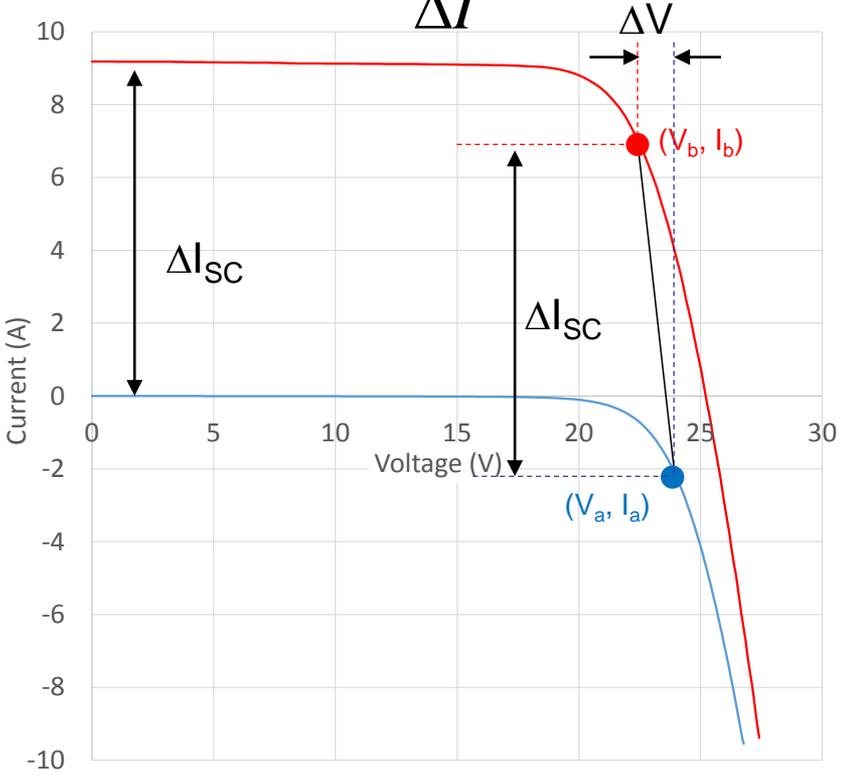
$$\begin{aligned}
 I &= I_L - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_S I)}{N_C n k T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \\
 &\cong I_{SC} - A \exp \left\{ \frac{q}{N_C n k T} \left(V + R_S I - \frac{N_C n E_g}{q} \right) \right\} - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \\
 &\approx I_{SC} - A \exp \left\{ \frac{q}{N_C n k T} \left(V + R_S I - \frac{N_C n E_g}{q} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

- ・ V_{oc} , P_{max} は主に高電圧側
- ・ 「1つのIV特性を基に」が目標

要素技術4: 実デバイスの直列抵抗 (R_s)

$$R_s = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

一定ではない! ⇒ 要考慮



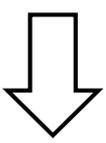
本研究：一つの低照度IV特性から R_S (n, I_0) 導出

従来のパラメータ抽出法

- R_S, R_{SH}, n 等、IV特性のパラメータ抽出に関する数多くの方式が報告されている。
- 従来はセル特性評価用の解析が主目的であり、照度温度補正を伴うモジュールでのSTC補正の手順、精度は明らかではなかった。

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_S I)}{N_c n k T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_S I}{R_{SH}}$$

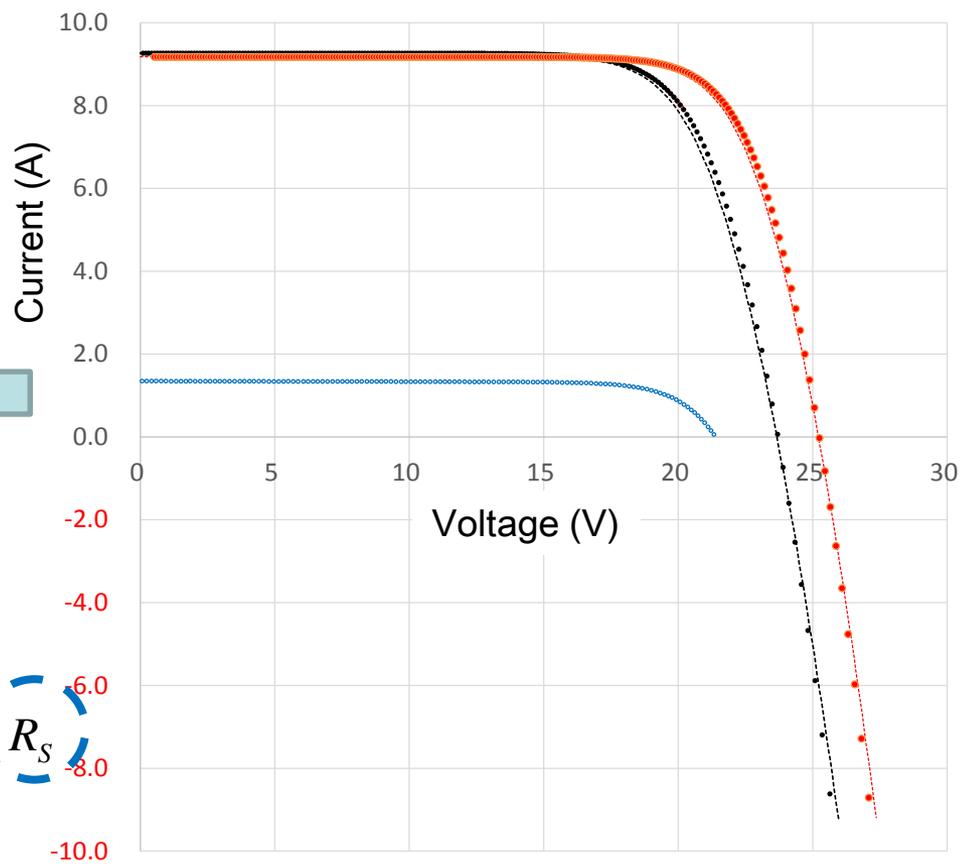
$$-\frac{\partial V}{\partial I} = \frac{nkT}{q} \frac{1}{I_{SC} - I} + R_S$$



K. Nishioka *et al.*, Solar Energy Materials and Solar Cells 90 (2006) 1308-1321.
 K. Ishibashi *et al.*, J. Appl. Phys. 103, 094507 (2008).

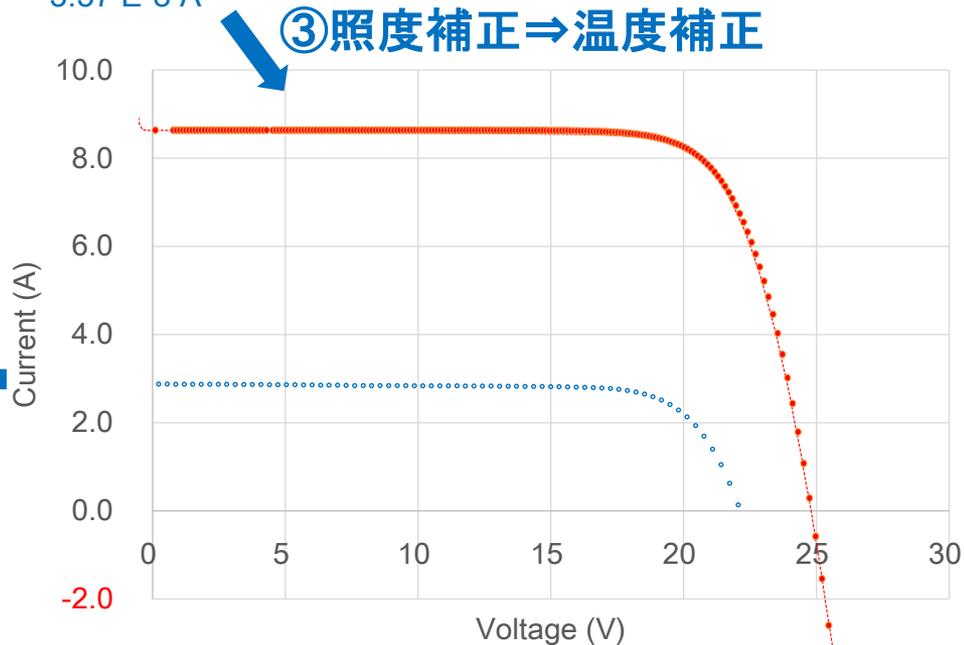
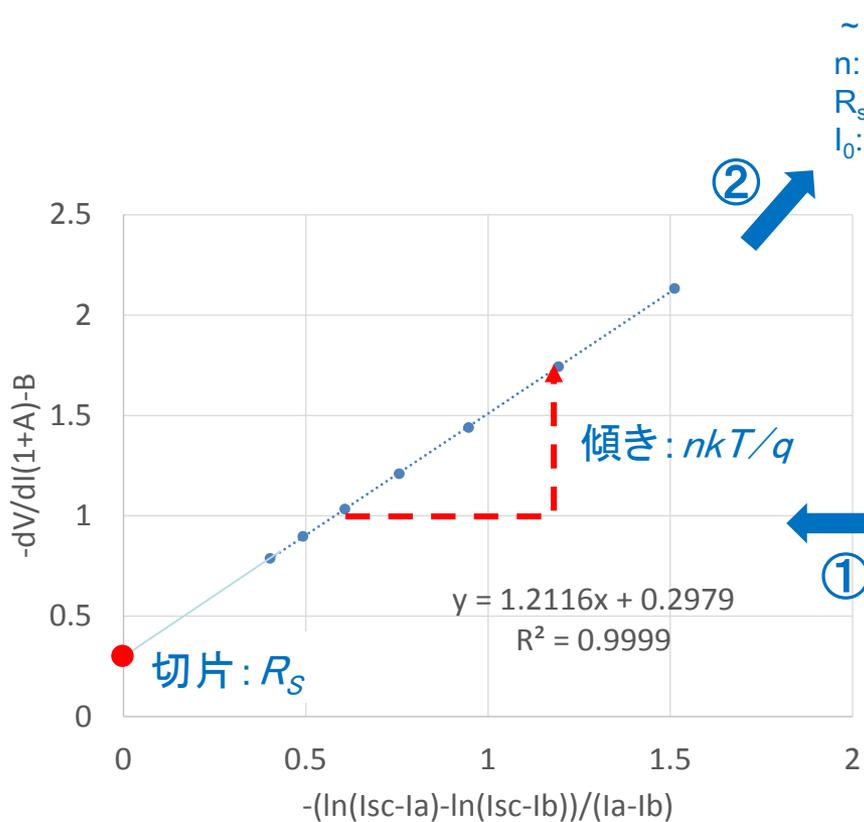
$$-\frac{V_a - V_b}{I_a - I_b} = \frac{nkT}{q} \frac{\ln(I_{SC} - I_a) - \ln(I_{SC} - I_b)}{I_a - I_b} + R_S$$

G. M. M. W. Bissels *et al.*, Solar Energy Materials and Solar Cells 130 (2014) 605-614.
 M. K. El-Adawi and I. A. Al-Nuaim, Vacuum 64 (2002) 33-36.

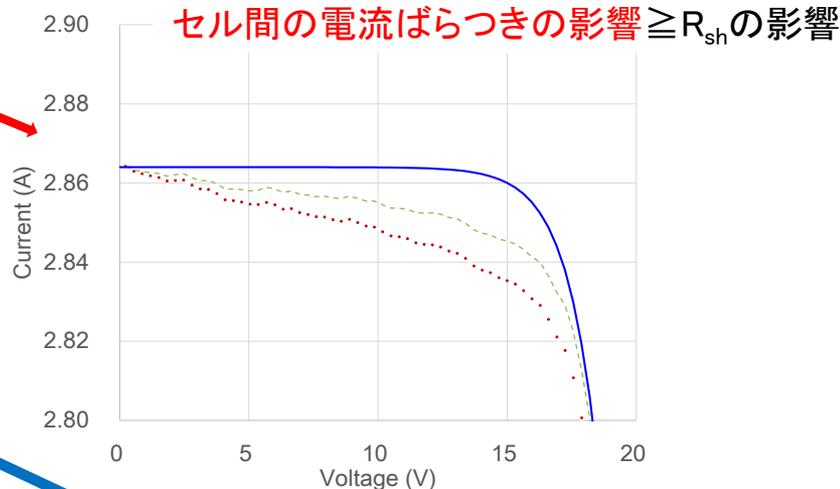
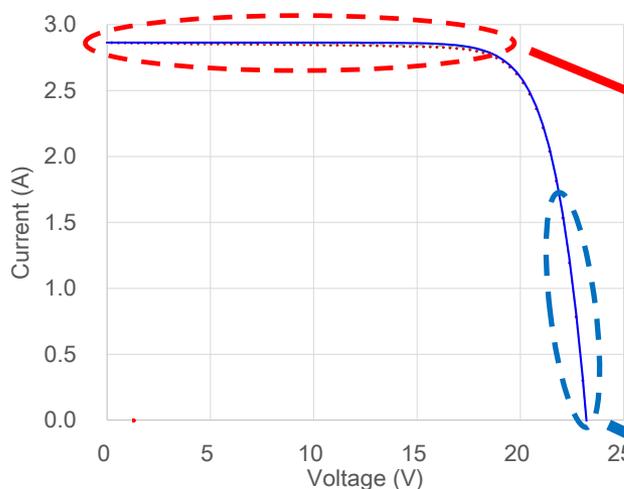


$$-\frac{V_a - V_b}{I_a - I_b} = -\frac{nkT}{q} \frac{\ln(I_{SC} - I_a) - \ln(I_{SC} - I_b)}{I_a - I_b} + R_s$$

$$I \approx I_L - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{N_c nkT} \right\} - 1 \right]$$

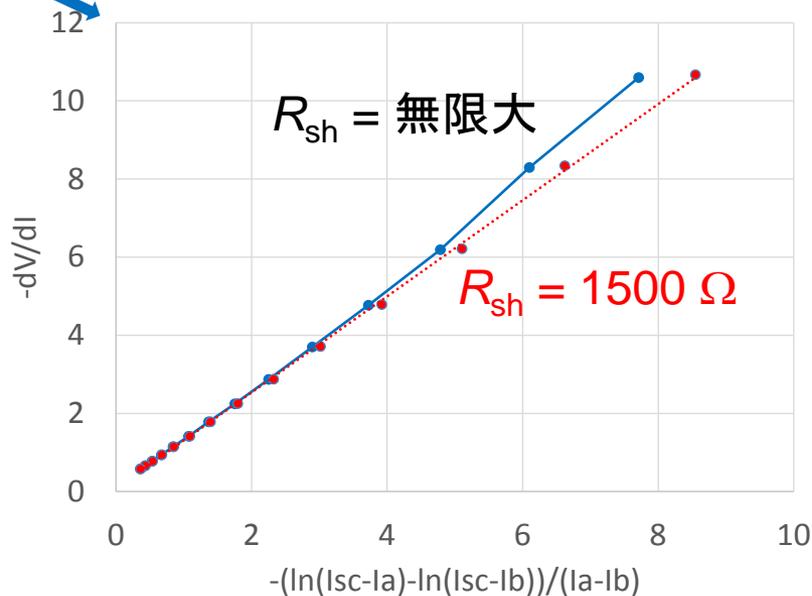


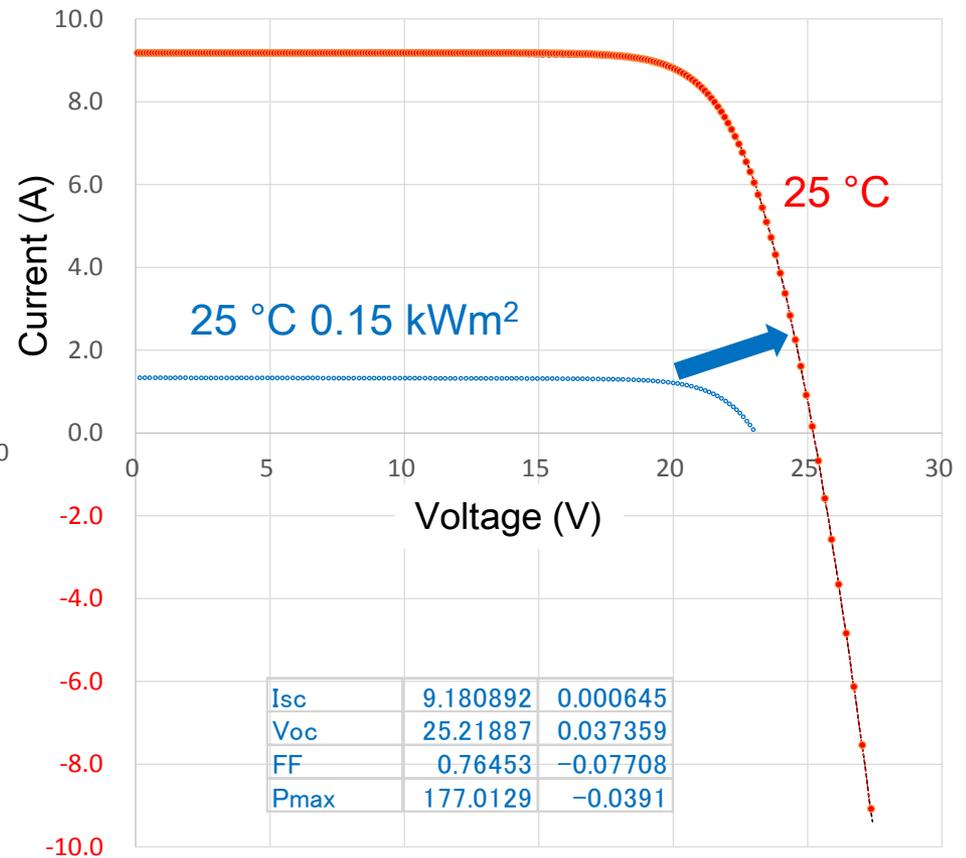
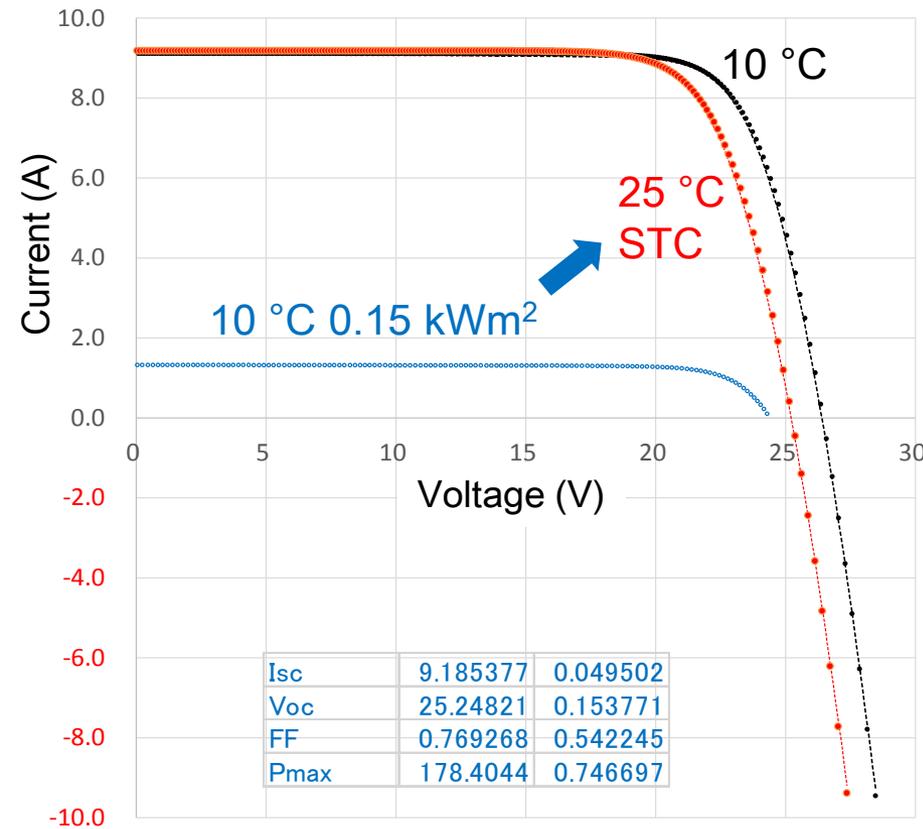
R_s, n 抽出の高精度化

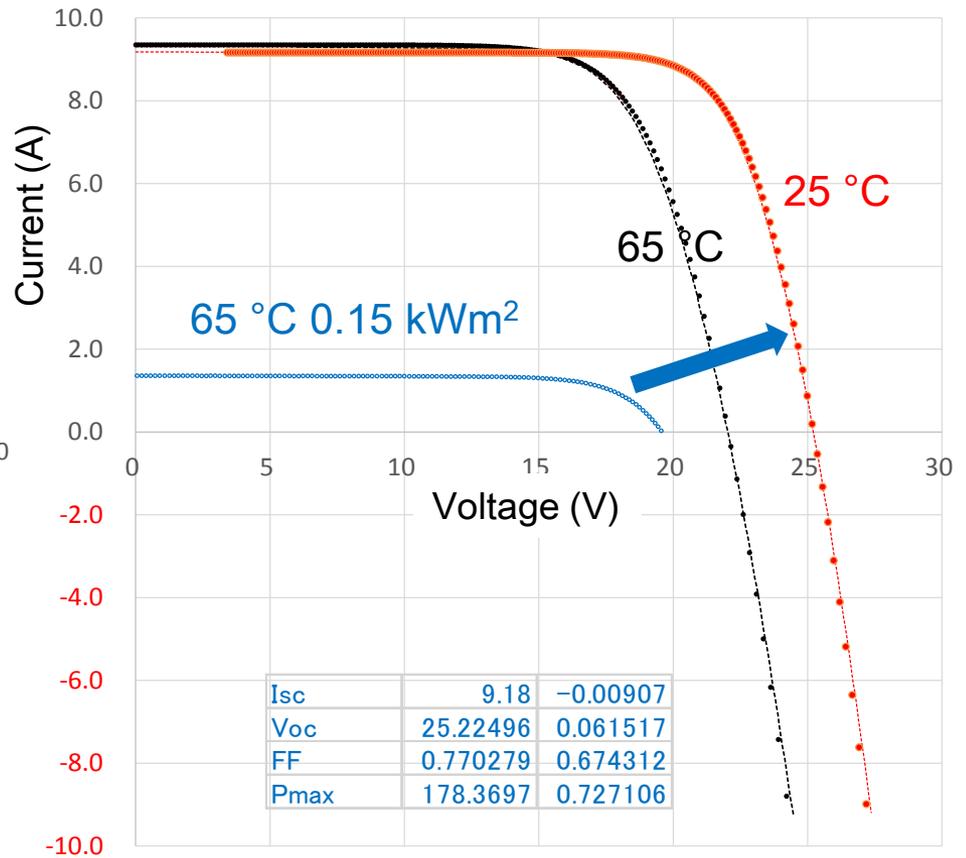
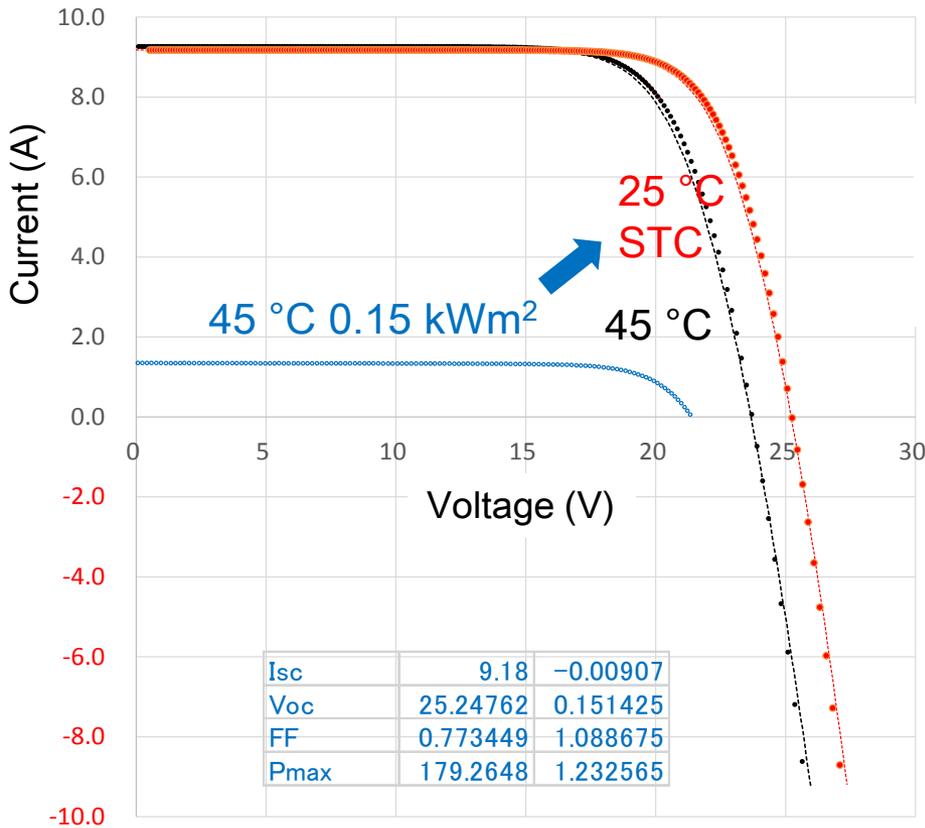


$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{N_C n k T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{SH}}$$

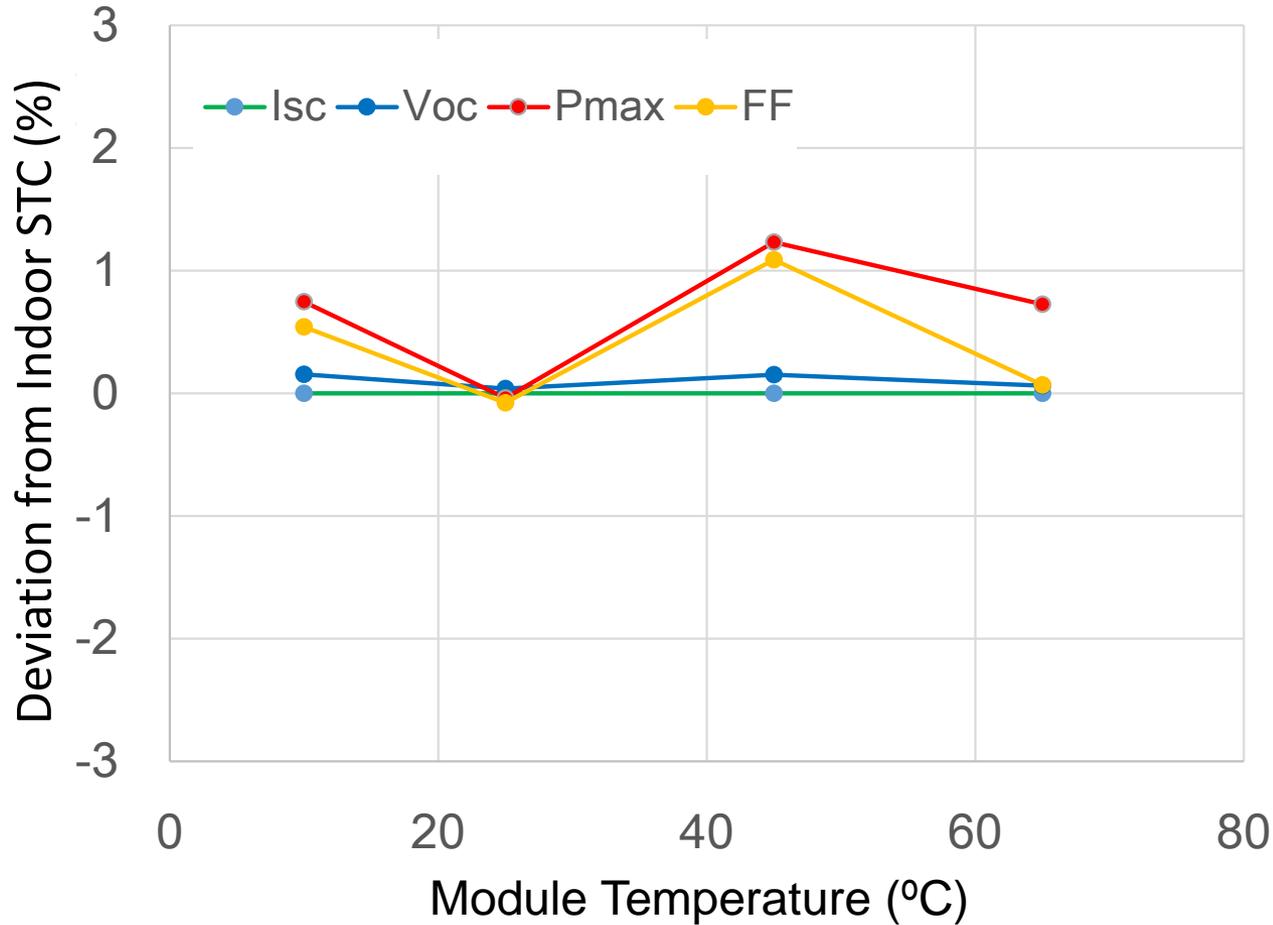
R_s, R_{sh} の両方を正確に考慮して解析するには、逐次近似または特殊関数 (Lambert 関数等) が必要。



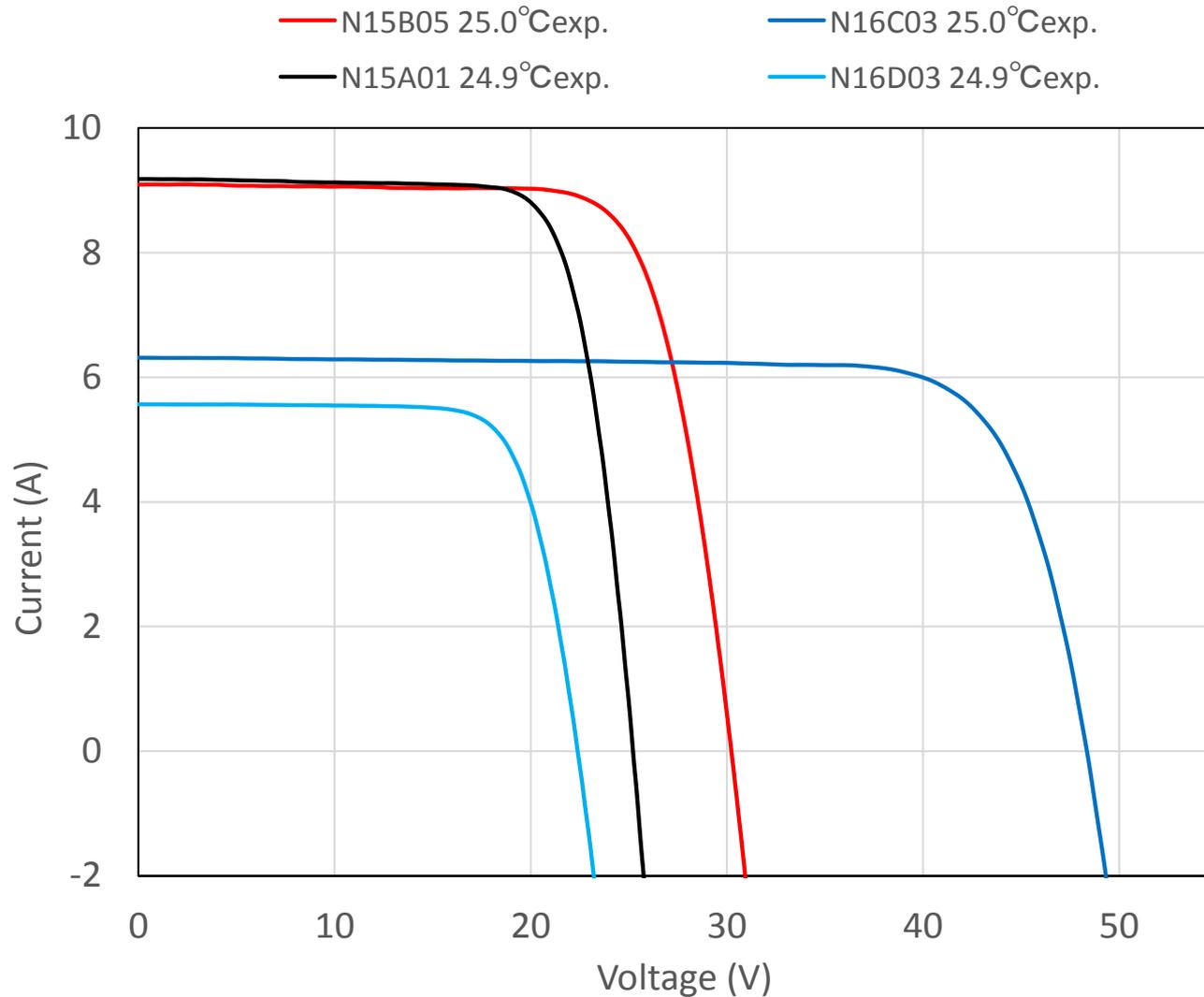
(STC補正 Excel 試算) 屋内データ ($I_{sc} \sim V_{oc}$) 使用 (N15A01)


(STC補正 Excel 試算) 屋内データ ($I_{sc} \sim V_{oc}$) 使用 (N15A01)


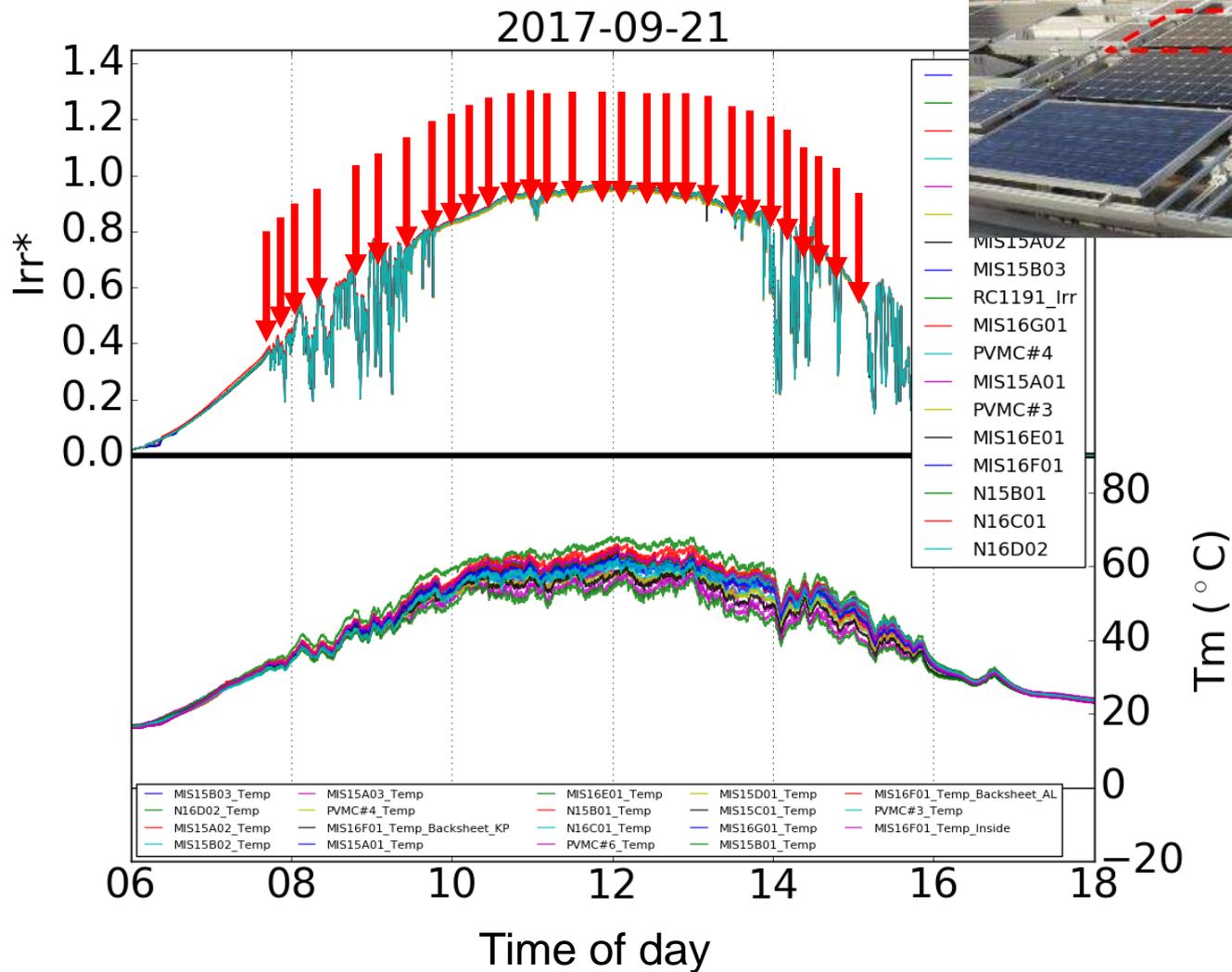
(STC補正 Excel 試算)0.15 kW/m²屋内データ($I_{sc} \sim V_{oc}$)使用
 : 実測STC特性比 1%程度以内の良い一致(N15A01)



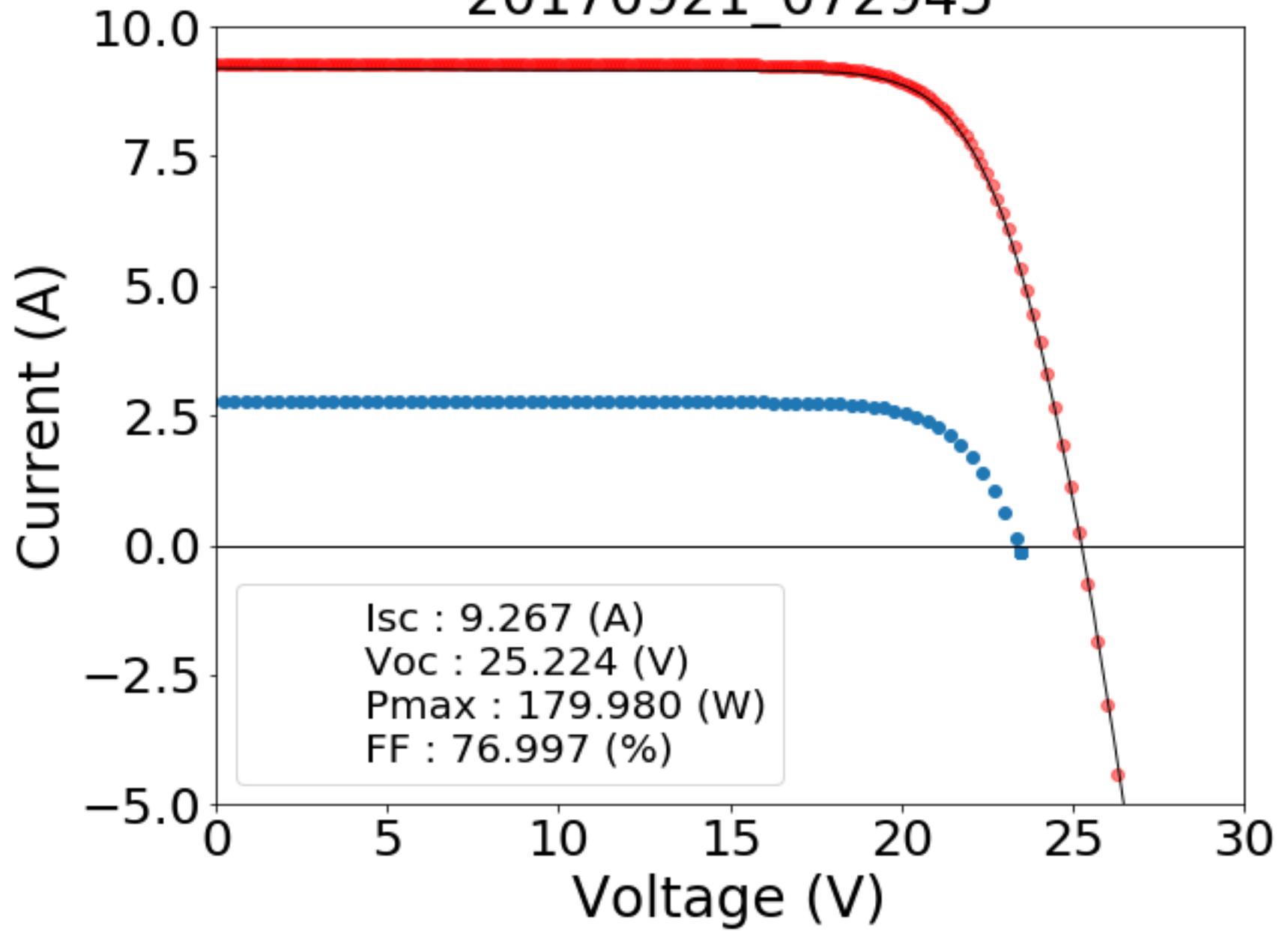
屋外IVからのSTC補正 予備検討結果



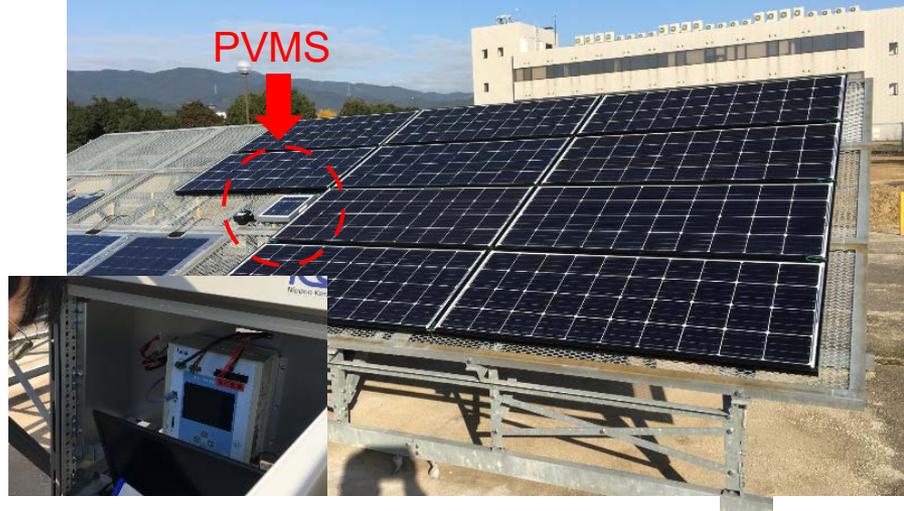
屋外IVからのSTC補正 予備検討結果



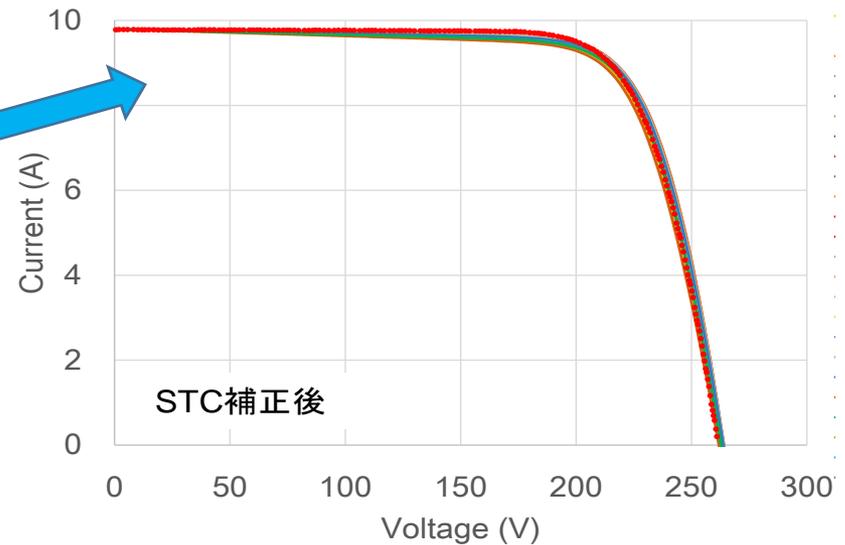
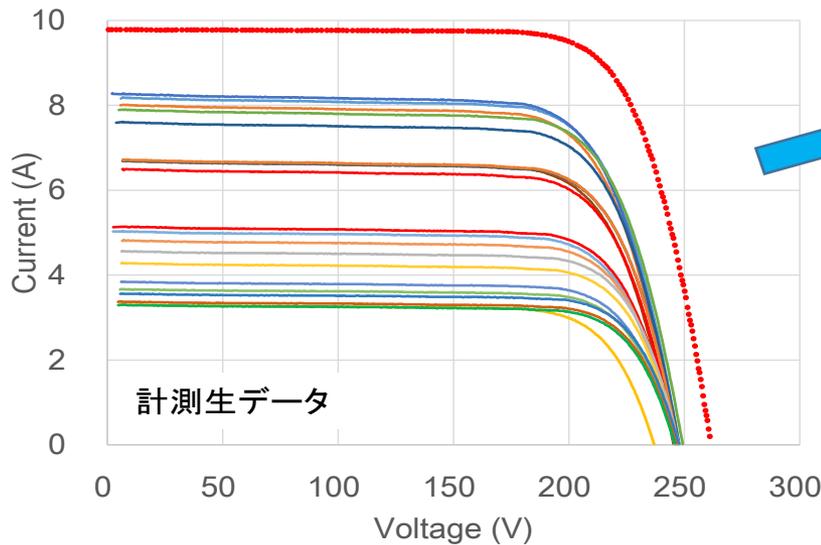
20170921_072945



産総研 九州センター(佐賀県鳥栖市): スtring IV計測
 PV-MA1950MW(三菱電機) × 10枚



モジュールと同じ手順で
 String IV特性の
 STC補正も可能
 (検証中)



結論

- ☀️ 低照度IV特性のSTC補正が実用上重要。従来は高精度化は困難とされていた。
- ☀️ 高精度低コストな手順を開発した。結晶Siモジュール等
 - 屋外高精度測定 (IV特性)
 - 温度特性の新補正式 (昨年度開発)
 - 直列抵抗 (R_s) の正確な推定
- ☀️ 実測IV特性 ($0.15 \text{ kW/m}^2 \sim$ 屋外、屋内) からSTC特性を $\pm 1 \sim 3\%$ 程度の精度で推定できた (種類に依存)。
- ☀️ スtringにも同様に適用可。市販計測器での実用を目指す。SHJ, CIGS等での検証

謝辞

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 委託研究の一環として実施したものであり、関係各位に感謝する。