

新型太陽電池セル・モジュールの 性能評価技術

国立研究開発法人 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

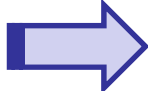
吉田正裕・志村陽哉・上田孝・山越憲吾・
杉本和則・佐々木あゆ美・菱川善博

本発表のアウトライン:

- 評価・標準チームの概要
- 新型太陽電池セル・モジュールの性能評価
技術開発
 - ～高精度性能評価に向けた取り組み～
 - ・高効率結晶Si太陽電池(セル・モジュール)
 - ・両面受光型太陽電池
 - ・ペロブスカイト太陽電池
 - ・CIGS化合物太陽電池
- 本発表のまとめ

評価・標準チーム

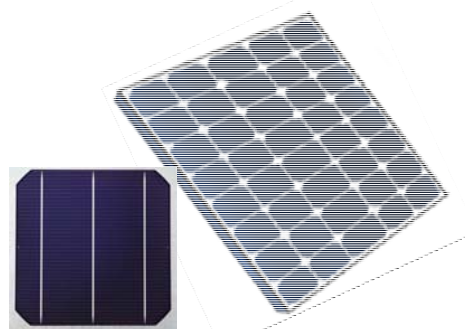
- ◆ 基準太陽電池校正技術の開発と高度化
- ◆ 新型太陽電池の発電性能評価技術の開発
- ◆ 屋外高精度性能評価技術の開発


 太陽電池発電性能評価に関するこれら**共通基盤技術**の**開発**、及び、その**標準化**を推進し、太陽電池の高効率化・低コスト化、また、太陽光発電システムの普及に貢献する。



基準太陽電池

校正技術開発と高度化



新型高効率太陽電池



屋外設置モジュール・ストリング

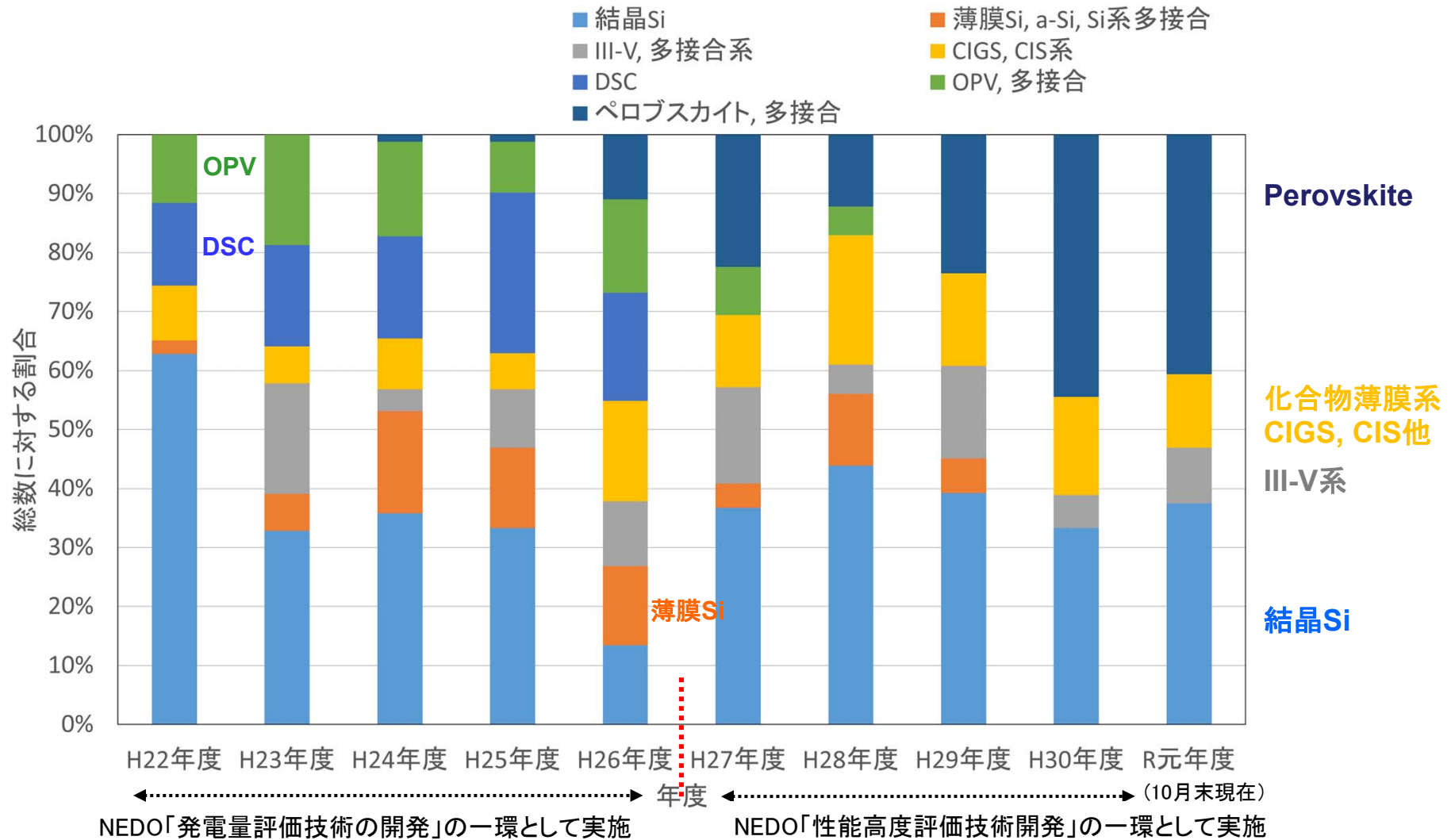
高精度発電性能評価技術の開発

各種新型太陽電池の高精度性能評価技術の開発

◆ 太陽電池の**特徴・特性**に応じた性能評価技術の開発

新型太陽電池(代表例)	特徴・特性	性能評価法開発(実施中)
高効率結晶Si太陽電池 ・PERC ・ヘテロ接合 ・バックコンタクト	・高容量性 → I-Vヒステリシス ・高量子効率 (構造的特長) ・特殊バスバー形状 ・特殊裏面電極構造	・I-V測定掃引速度の最適化 ・分光感度(+反射・透過)の高精度測定 ・多数バスバー対応 ・プローブバー影の影響の検討 ・専用測定ジグの使用
・両面受光型	・両面発電(Bi-faciality)	・表面・裏面照度応答性 ・線形性検証 ・裏面入射光の影響
CIGS化合物系 薄膜系	・光照射効果 ・過渡応答(高速、低速)	・I-V測定掃引速度の最適化 ・ V_{pm} ホールド法の併用
ペロブスカイト 色素増感	・遅い応答時間, I-Vヒステリシス ・不安定性 -- 短/長期安定性 -- 不可逆変化	・低速掃引I-V測定(数秒~数百秒) ・(Quasi-) steady state測定 -- V_{pm} ホールド法/MPPT法/etc.

AISTにおける年度別新型太陽電池測定数(割合ベース)

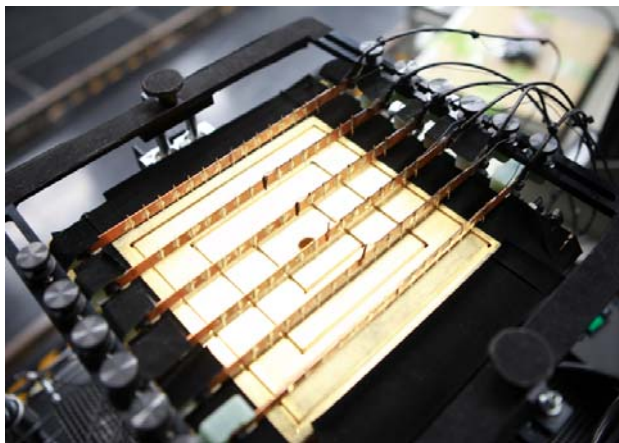


* 弊チームにおける性能評価法に関する研究・開発の一環としてデバイス種類・数を選別した上で実施した測定数です。
 そのため、太陽電池業界の研究開発動向を直接を反映しているわけではなく、あくまで参考としてご覧ください。

新型高効率結晶Si太陽電池の性能評価技術

◆ 結晶Si太陽電池ベアセル

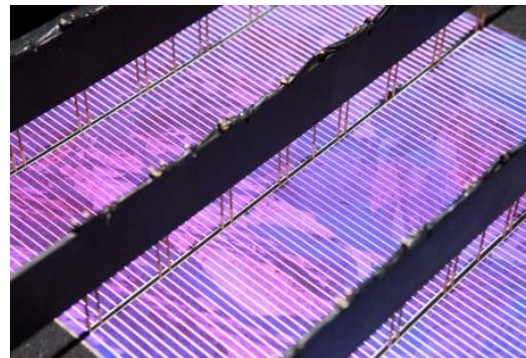
1. 多数バスバー(BB)構造



- ・プローブバーによる測定
⇒ 3~6本まで対応可能
- ・探針ピン間、フローバー間の電位分布補正
⇒ セル単体の性能を正しく評価

2. プローブバー影による照度(I_{sc})への影響

影あり測定



影なし測定



- ・ケルビンプローブを使用した影なし測定
⇒ 照度補正

3. Multi-BB, BB-less, シングルドセル構造への対応(今後の課題)

新型高効率結晶Si太陽電池の性能評価技術

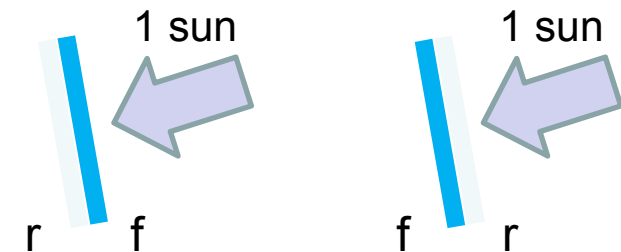
◆ 両面受光型太陽電池モジュール

IEC TS 60904-1-2 *に準拠

- ① 表面(F)、裏面(R) 各面での1 sun, STC測定
 (background level < 3 [W/m²] (< 0.3% suns))

⇒ **Bi-faciality coefficients** : $\phi_{I_{sc}}$, $\phi_{V_{oc}}$, $\phi_{P_{max}}$

$$\phi_{I_{sc}} = I_{sc, rear} // I_{sc, front}, \text{ 他同様}$$



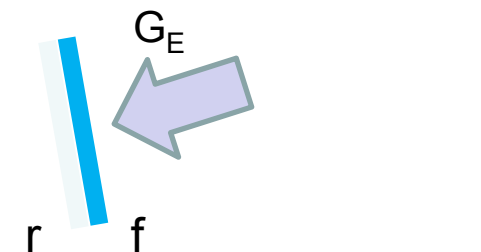
- ② 高照度測定

・単光源シミュレータ使用時

$$I_{sc}, V_{oc}, P_{max}$$

@ $G_E = 1000 + 200 \cdot \phi$ [W/m²]
 $G_E = 1000 + 100 \cdot \phi$ [W/m²]
 (G_E : 等価照度)

⇒ P_{max} vs G_E の傾きより**Bi-facial Gain**

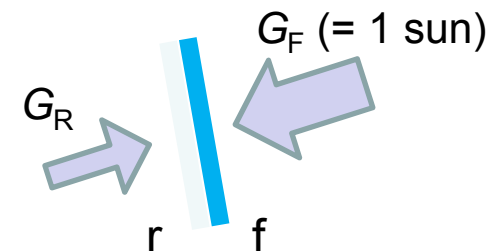


等価照度を表面側から照射

・2光源シミュレータ／屋外測定

$$I_{sc}, V_{oc}, P_{max}$$

@ G_F (1000)
 + G_R (100 or 200) [W/m²]

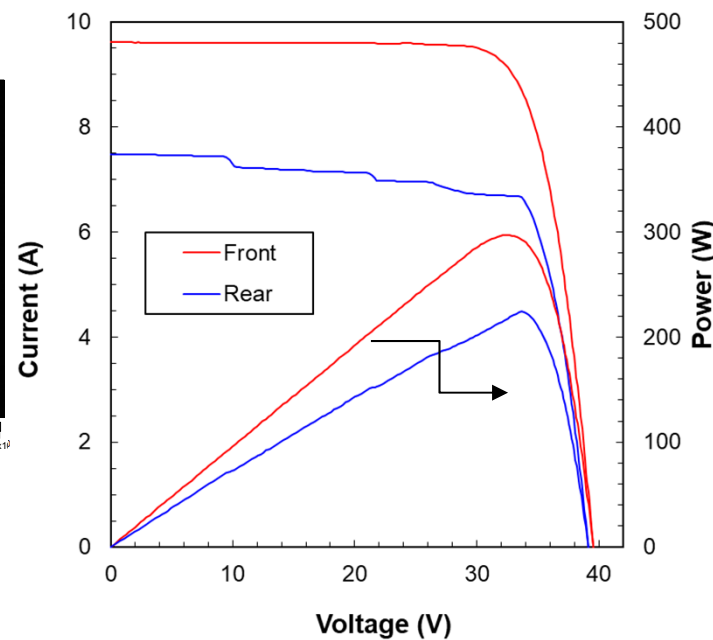
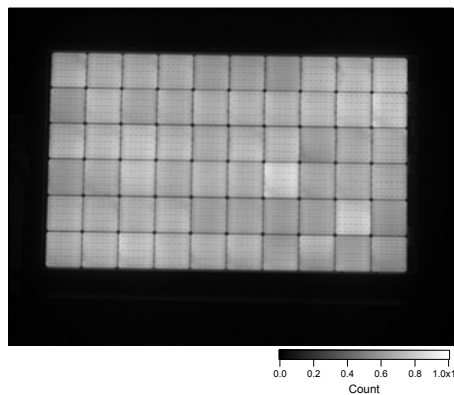


◆両面受光型太陽電池モジュール

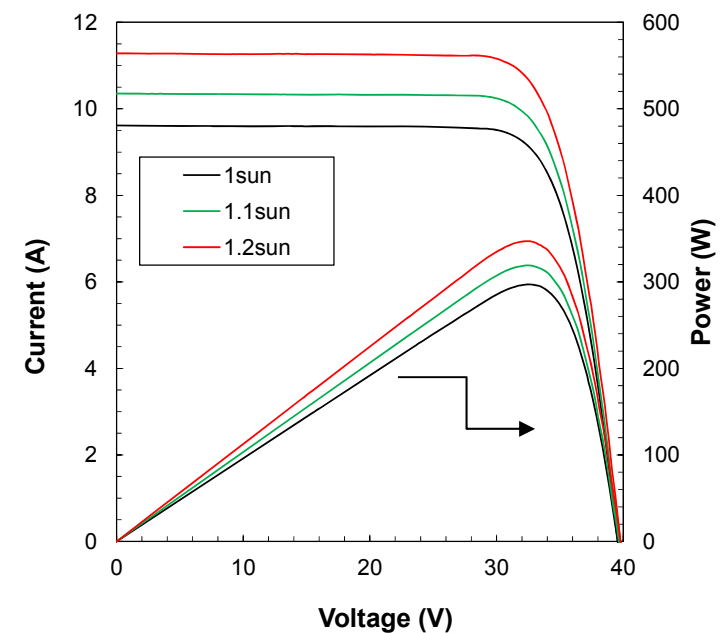
測定結果(1例、60セルモジュール)

①表面・裏面のSTC測定

EL (表面側)



②表面側の高照度測定



◆ペロブスカイト太陽電池の性能評価

“(Quasi-) steady-state”における性能測定・評価

PIP Effi. Tables V52 (June 2018)~

- **Asymptotic法** (又は、Dynamic I-V法とも)

NREL, Newport

- **V_{pm} ホールド法**

バイアス電圧を V_{pm} に保持し、 P_{max} (I_{pm}) 測定

AIST

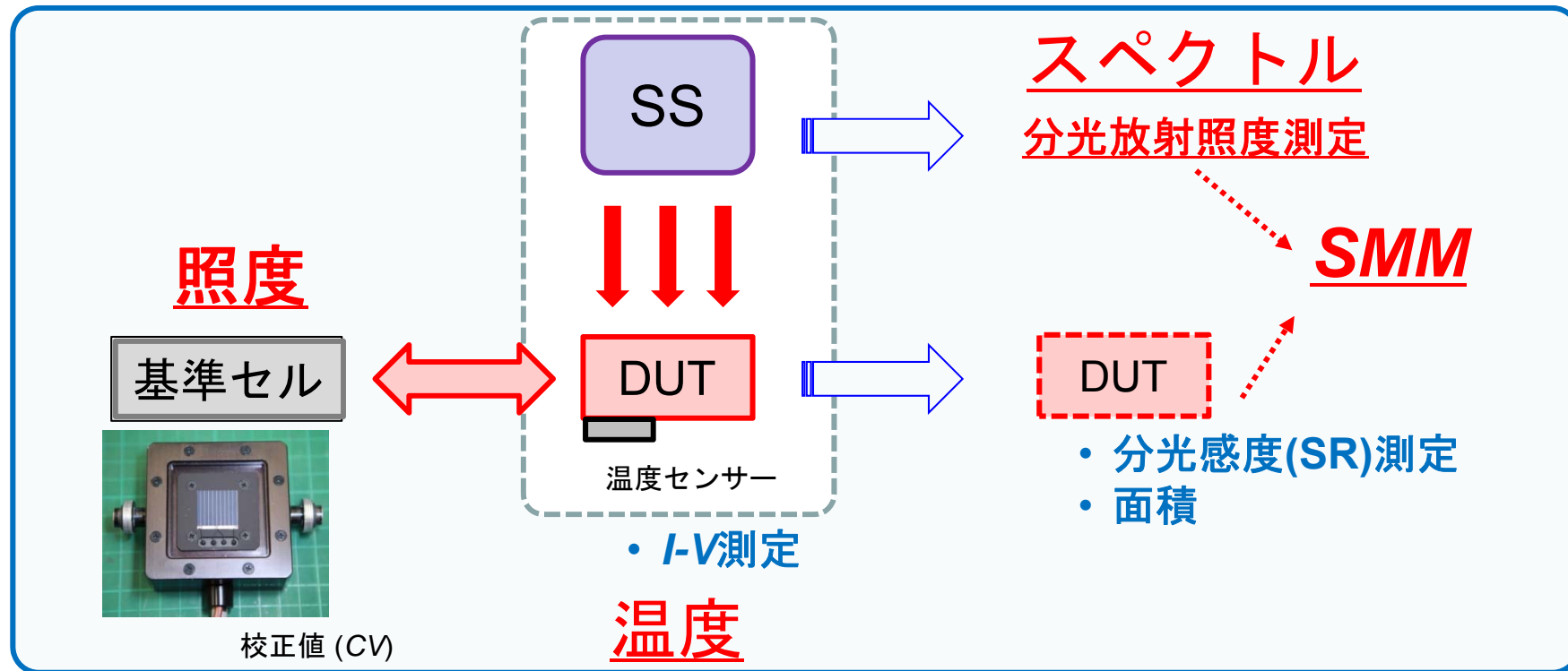
- **最大電力点追従制御**

(Maximum-Power-Point Tracking; **MPPT**)

AIST, JET, FhG-ISE

- Others ? ...

太陽電池性能評価手順……ソーラシミュレータ光



高精度測定技術：

- 照度調整 (基準セル)
- 温度測定
- スペクトル測定

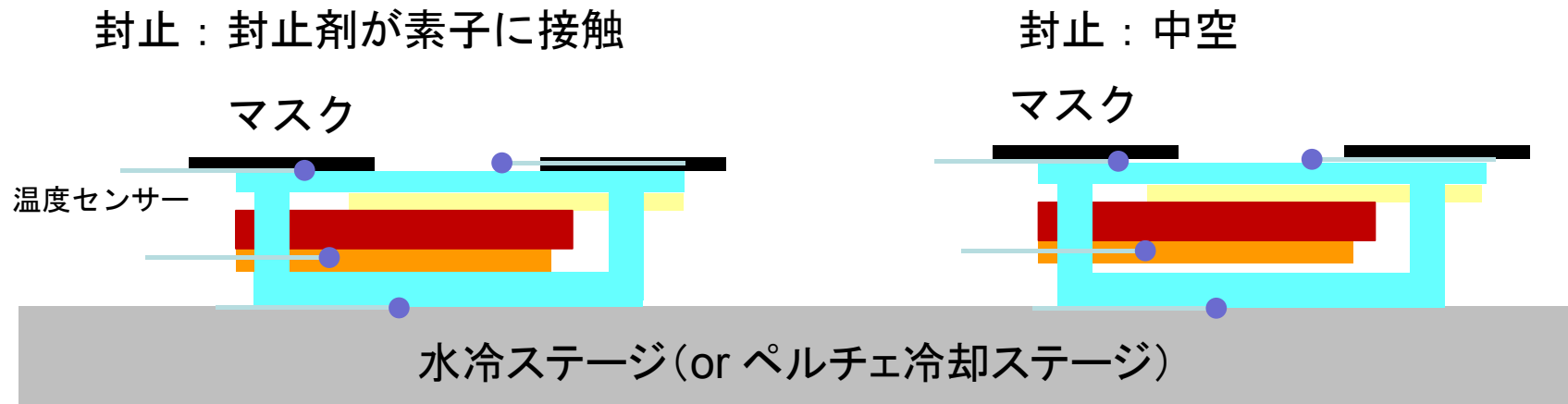
各種補正：

- 照度補正、
- スペクトルミスマッチ (SMM) 補正
- 温度補正
- 反射光補正(両面受光)

◆ ペロブスカイト太陽電池の温度測定

ペロブスカイト素子温度

- 封止構造／封止技術
 - デバイス構造・タイプ(セル、ミニモジュール)
 - 照射光(近赤外領域)透過による加熱
- に依存



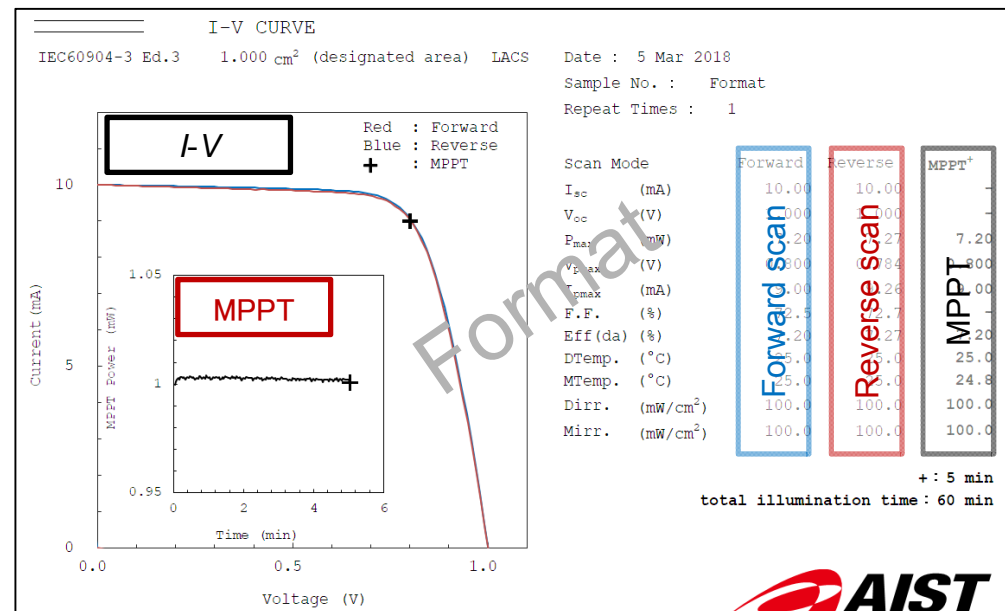
適切な温度測定ポイントは？

最大電力点追従(MPPT)法による発電性能評価手順

測定手順

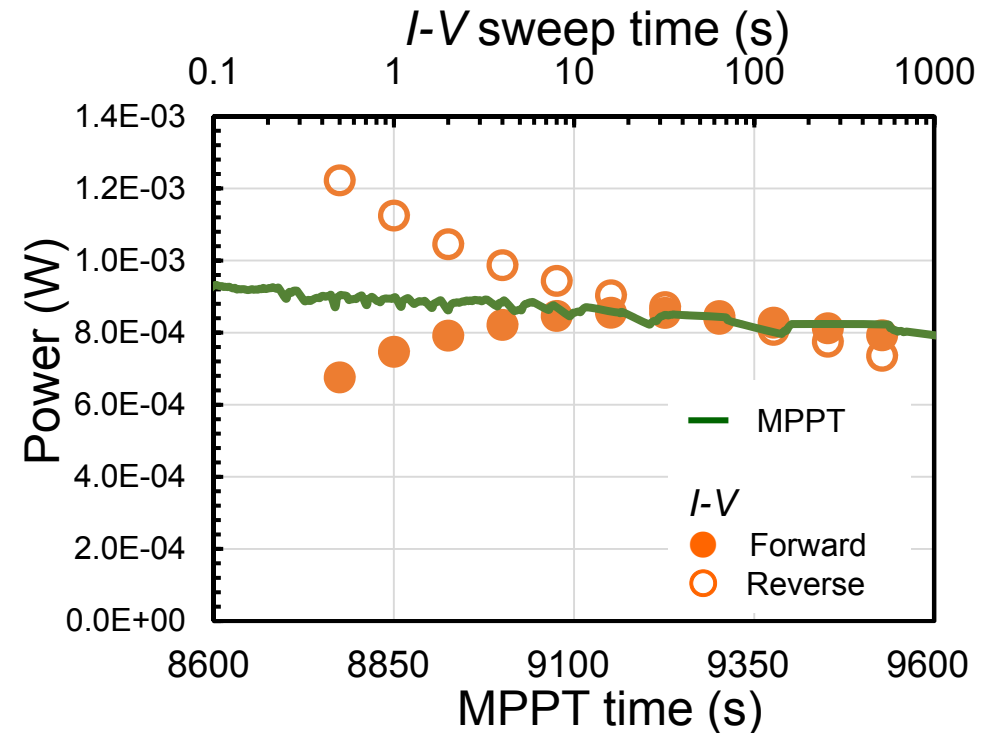
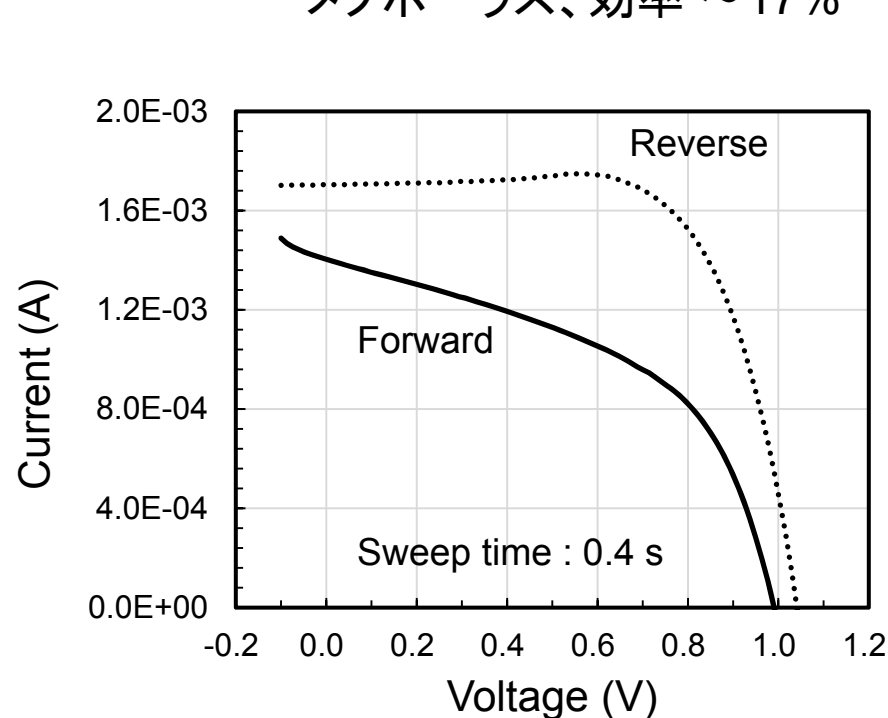
- Step 0: 事前測定 (V_{mp} , I_{mp} 概算値の算出)
- Step 1: 光照射 & MPPT制御開始 (温度制御も)
- Step 2: 出力(P_{max})、 V_{mp} , I_{mp} をモニター
出力安定性の確認 (現状目安として 5 分間)
→ 安定性確認後、 P_{max} 測定
- Step 3: I-V測定(順方向、逆方向)

ペロブスカイト太陽電池の
報告書(例)



各種ペロブスカイト太陽電池での手順検証(結果 その1)

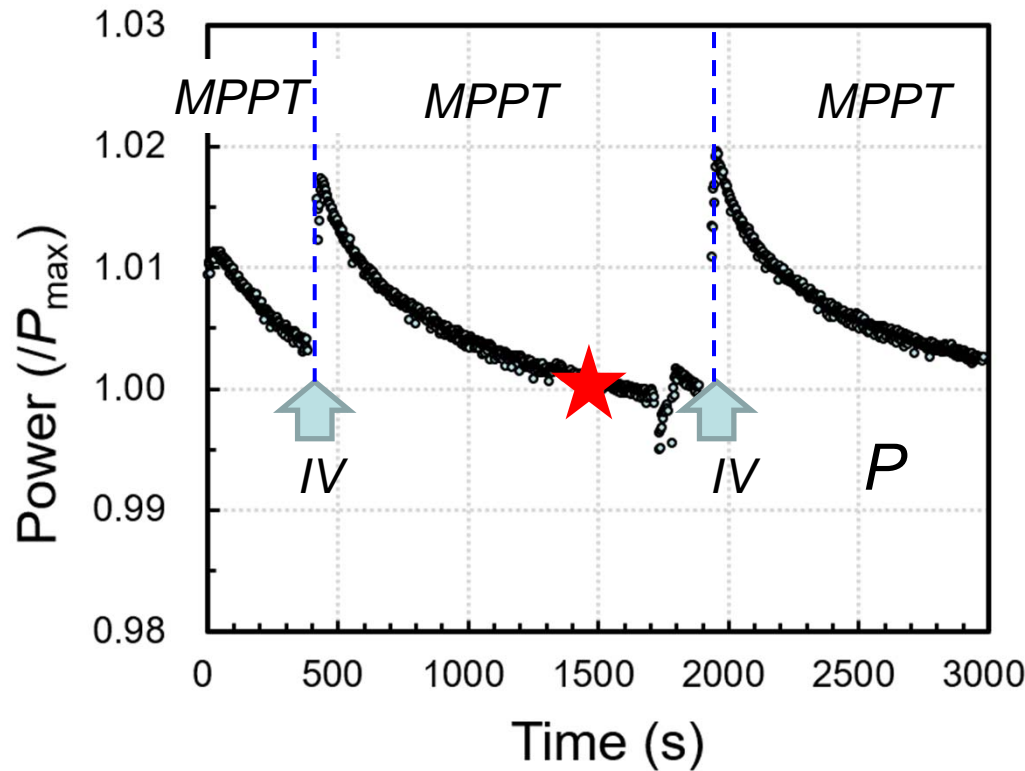
サンプル: ペロブスカイト太陽電池
メゾポーラス、効率 ~17%



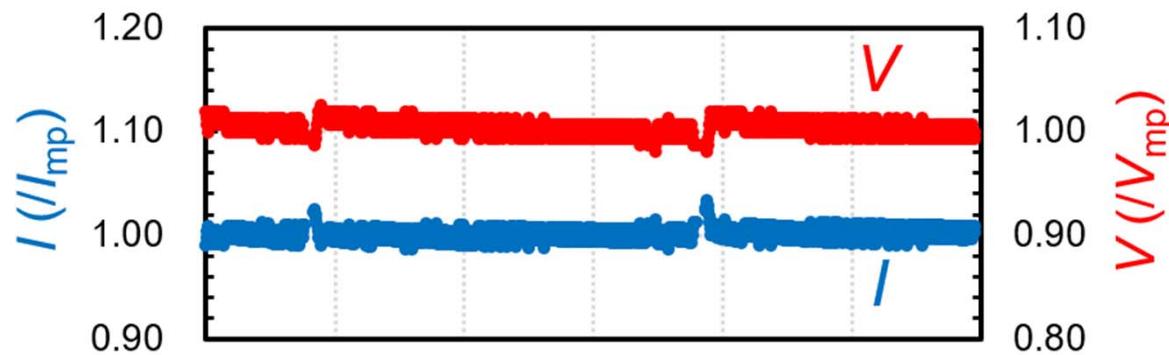
本サンプル:

- ・掃引(sweep)時間によるヒステリシスを示す
- ・ヒステリシスが見えない領域で、 $I-V$ 測定がMPPT測定での P_{max} とよく一致

各種ペロブスカイト太陽電池での手順検証(結果 その2)



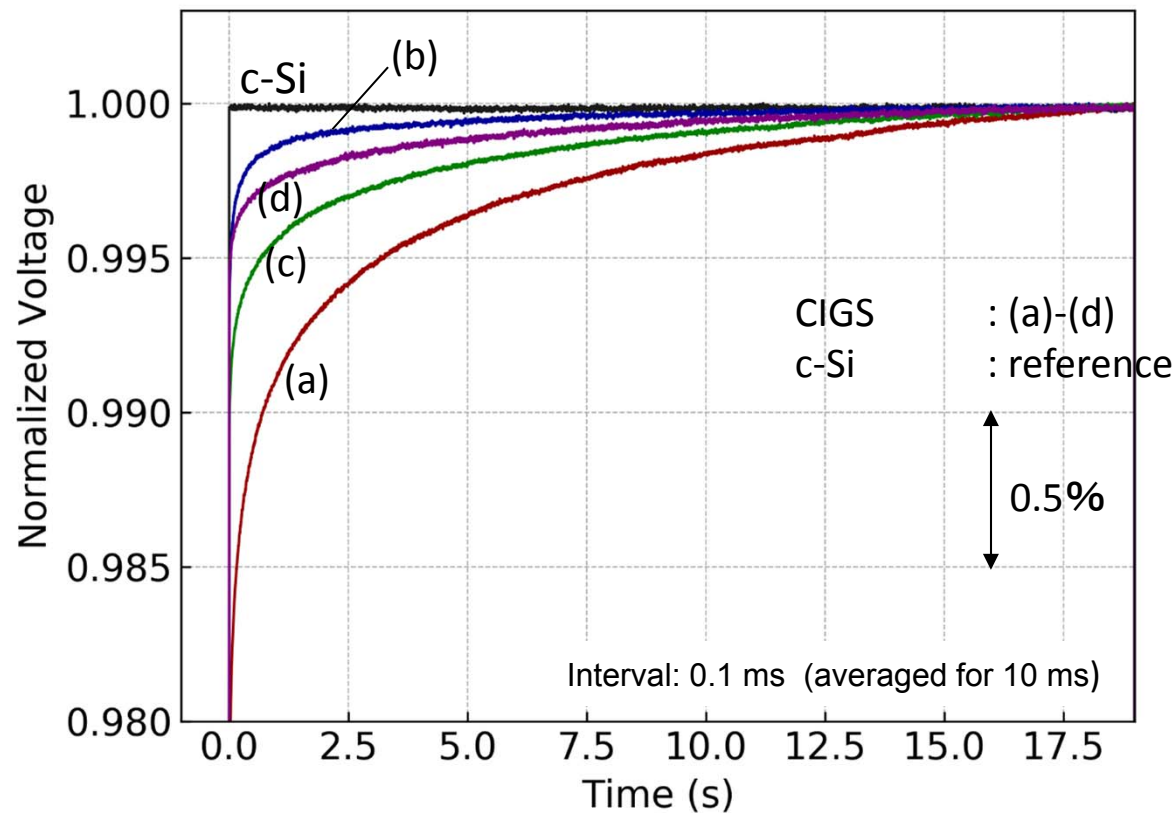
P_{max} の回復現象
(MPPT I-V繰り返し測定時)



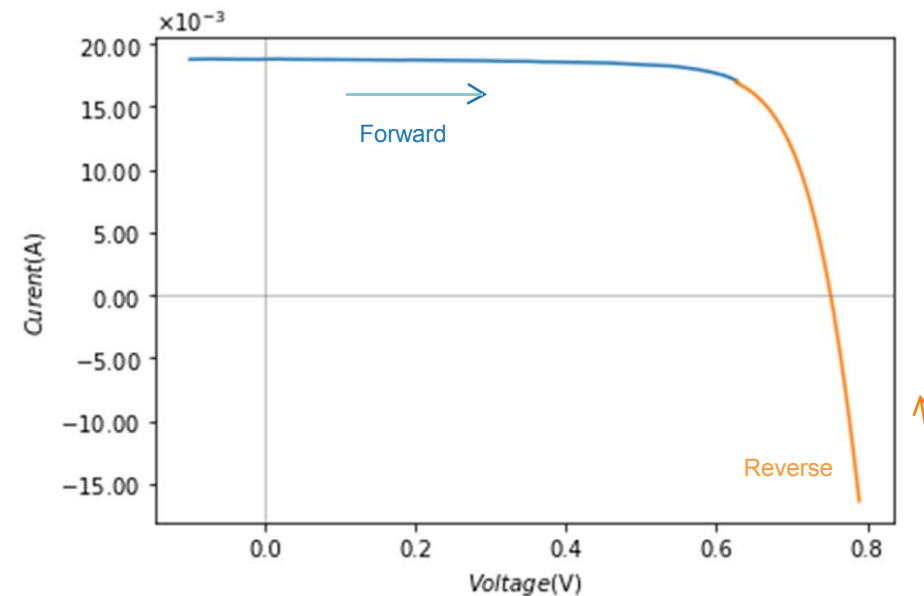
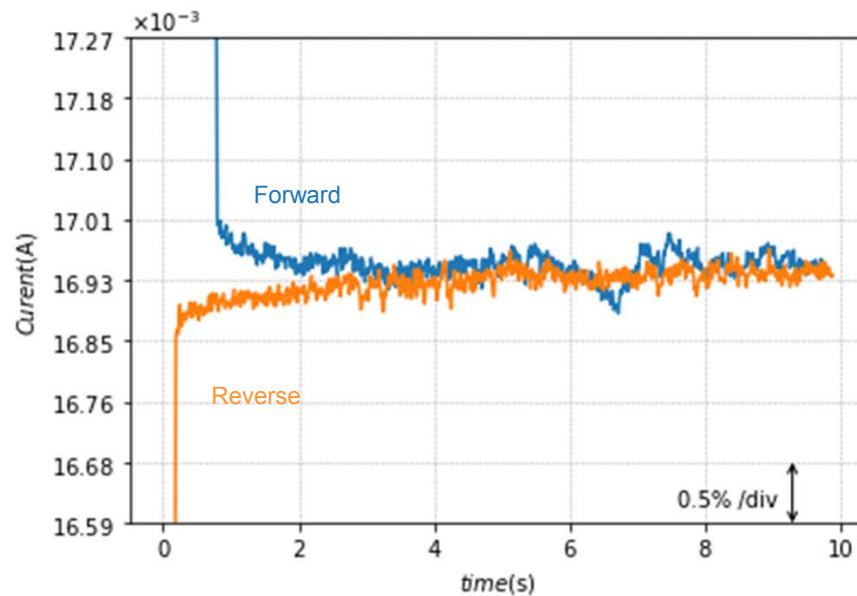
◆ 新型CIGS太陽電池の V_{OC} 過渡時間応答

過渡応答 (typically < 1%)

- ・ 高精度性能評価においては無視できない大きさ



◆ 新型CIGS太陽電池の V_{pm} ホールド法測定



Reproducibility (< 0.5%)の精度を得るには

- V_{mp} 電圧ホールド法
- MPPT法

よる P_{max} 評価が重要

本発表のまとめ

- 各種新型太陽電池セル・モジュールの高精度性能評価技術開発
 - 高効率結晶Si太陽電池ベアセル
 - 両面受光型太陽電池モジュール
 - ペロブスカイト太陽電池
 - CIGS化合物太陽電池
- ペロブスカイト太陽電池の高精度性能評価
 - (Quasi-) steady-stateにおける性能評価が必要
 - MPPT法を用いた性能評価手順開発と検証
 - デバイス電気応答を考慮したパラメータ設定が必要
 - 温度測定、スペクトルミスマッチ補正
- CIGS化合物太陽電池の性能評価
 - 数秒の過渡応答を示す場合がある
 - ⇒サブ%レベルの高精度評価には定常状態での性能評価 (V_{mp} 電圧ホールド法、MPPT法など)が重要

本講演に関する口頭・ポスター発表

口頭発表(+ポスター発表)

菱川 「IV特性の温度・照度依存性に直列抵抗が及ぼす影響」(P 96)

ポスター発表

• 太陽電池性能評価技術の開発(新型太陽電池、屋外高精度測定)

志村 「MPPTによるペロブスカイト太陽電池の性能評価」(P 25)

吉田 「新型太陽電池セル・モジュールの性能評価技術」(P 94)

Seapan 「Temperature and irradiance dependences of the current and voltage at maximum power of crystalline silicon PV modules」(筑波大)(P 95)

菱川 「PVMSを照度センサに用いた屋外高精度性能評価技術」(P 97)

• 基準太陽電池の校正技術の開発

猪狩 「基準太陽電池校正のCMCと今後の技術課題」(P 90)

高瀬 「測光標準としての超高温定点黒体炉利用技術」(P 91)

渡邊 「ディテクタの応答非直線性とピコアンメータの非直線領域」(P 92)

武田 「絶対放射計測の歴史的推移と精度向上の為の技術課題」(P 93)

謝辞

- 本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の受託研究として実施したものであり、関係各位に感謝いたします。
- 研究を実施するに際し、各種新型太陽電池試料をご提供頂いた大学、研究・試験機関、太陽電池関連企業様には感謝いたします。