

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減
技術開発/
共通基盤技術の開発(太陽光発電システムの信
頼性評価技術等)/
太陽電池性能高度評価技術の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (AIST)

国立大学法人 岐阜大学

国立大学法人 宮崎大学

学校法人 東京理科大学

学校法人 立命館

一般財団法人 電気安全環境研究所 (JET)

2019年10月18日

問い合わせ先：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 e-mail: rcpv-info-ml@aist.go.jp

事業概要

1. 期間 : 開始:2015年5月 終了:2020年2月

2. 最終目標 : 2020年に14円/kWh、2030年に7円/kWhを目指す太陽電池の高効率化、低コスト化を推進するための共通基盤技術として、NEDOプロジェクトで開発される太陽電池等、従来は測定技術が明確化されていない新型太陽電池の正確な性能測定、および屋外設置状態での迅速・低コストな高精度測定を実現するための性能評価技術を開発する。屋内測定では $\pm 0.5\%$ (1σ)、屋外測定では $\pm 1.0\%$ (1σ) 以内の測定精度を目標とする。高効率化、低コスト化に伴い進展する産業界の性能評価ニーズに迅速に responding フィードバックするために、産総研、一般財団法人、大学が各サブテーマを担当、連携して開発を実施すると共に、NREL, ISE等海外主要評価機関との測定技術整合性を検証しつつ、産業界のニーズの把握、成果のフィードバックを密に行い研究を実施する。また標準化への技術的貢献を行う。太陽光発電が着実に社会に定着するための性能評価の共通基盤技術を開発する。

3. 成果・進捗概要 : 新型太陽電池性能評価技術開発、屋外高精度性能評価技術開発、共に実施計画に基づき予定通り進捗しており、最終目標達成の見込みである。

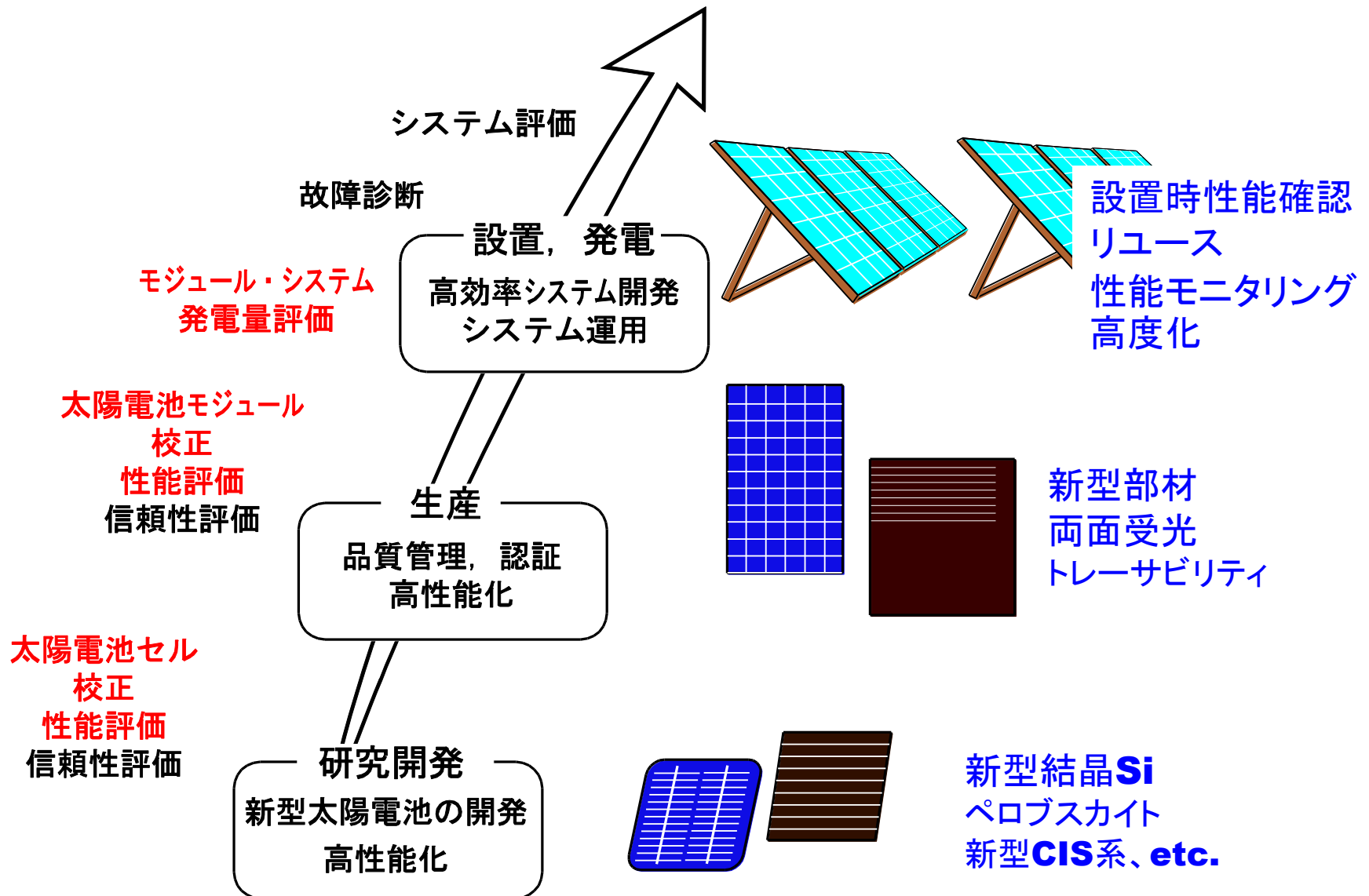
・新型太陽電池性能評価技術: シリコン、CIGS、ペロブスカイト等各種新型太陽電池で高精度測定技術を開発し、実証中。一次基準太陽電池校正技術については超高温定点黒体輻射基準の実用化とスペクトル測定技術の高精度化により、拡張不確かさの改善を果たすとともに、WPVS根幹ラボ並びに主要生産国を含むアジアのラボを中心とした国際比較の実施により国際整合を推進中である。

・屋外高精度性能評価技術については、高速IV測定+PV日射計測等の技術によって従来よりも大幅な高精度化が可能であることを確認し、様々な条件・太陽電池で検証中。高精度温度測定、日射変動補解析、高速スペクトル補正技術によって精度目標を達成すると共に、オンサイト性能測定、システム性能測定手法への展開のための要素技術も開発する。

以上の研究成果の標準化等による実用化も進行中である。今後引き続き研究開発を推進すると共に成果の普及、実用化を推進する。

研究開発の背景

太陽電池開発・生産・使用の幅広い分野で性能評価の高度化が重要



◆開発概要

6機関による共同研究

PV屋外性能高度評価技術

太陽電池評価技術研究会
(研究実施者、産業界、学会)

新型太陽電池
性能評価技術

AIST

・各種新型太陽電池
性能評価技術

・基準太陽電池校正
技術高度化

PVシステム評価への展開

理科大

・PVモジュールセン
サを用いたアレイ、
システム測定手法

高精度基本技術

モジュール↔アレイ
測定精度検証

宮崎大

・屋外PVモジュール
温度高精度測定・技
術

PV温度高精度評価

岐阜大

・PV測定に及ぼす
屋外高速スペクトル
変動要因の明確化

測定時スペク
トル変動最適化

AIST

・PVモジュールセン
サの最適化
・屋内外比較によ
る高精度検証

基礎技術開発
測定精度検証

高能率測定技術
精度検証

高能率化技術
高精度基本技術

JET

・測定高能率化
・各種太陽電池モ
ジュールによる実証

各種PV高能率計
測実証

立命大

・屋外高速スペク
トル変動測定・補正技
術

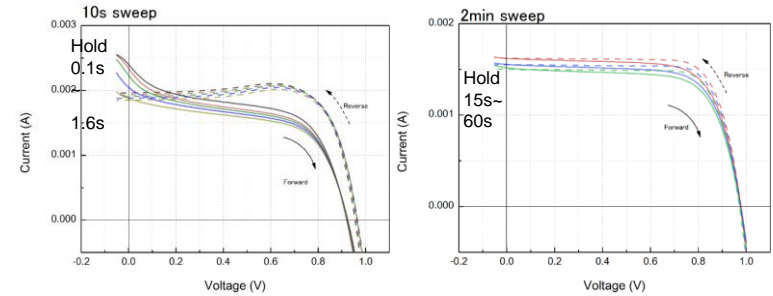
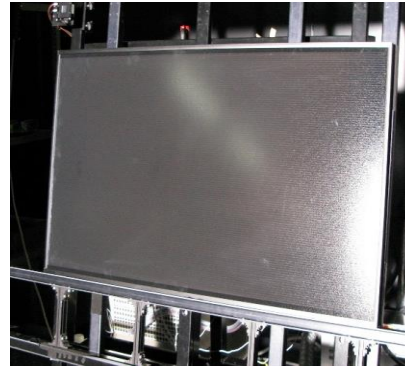
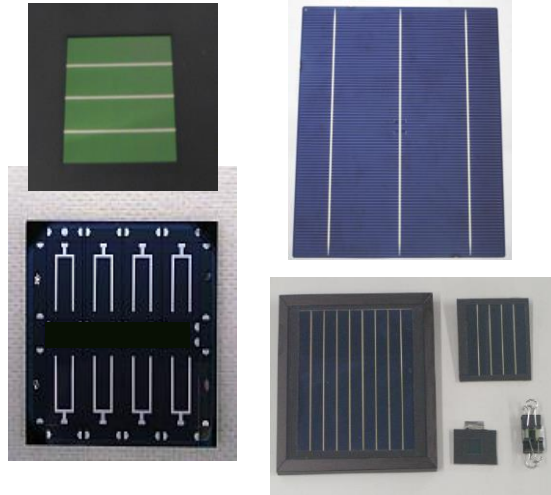
スペクトル影響
定量化、補正

分光スペクトルパ
ラメータ実測、解析

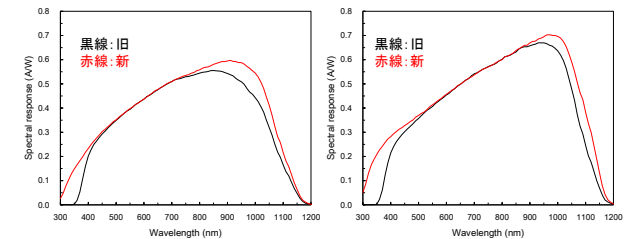
日射スペクトル
変動影響定量化

◆開発概要

新型太陽電池性能評価技術

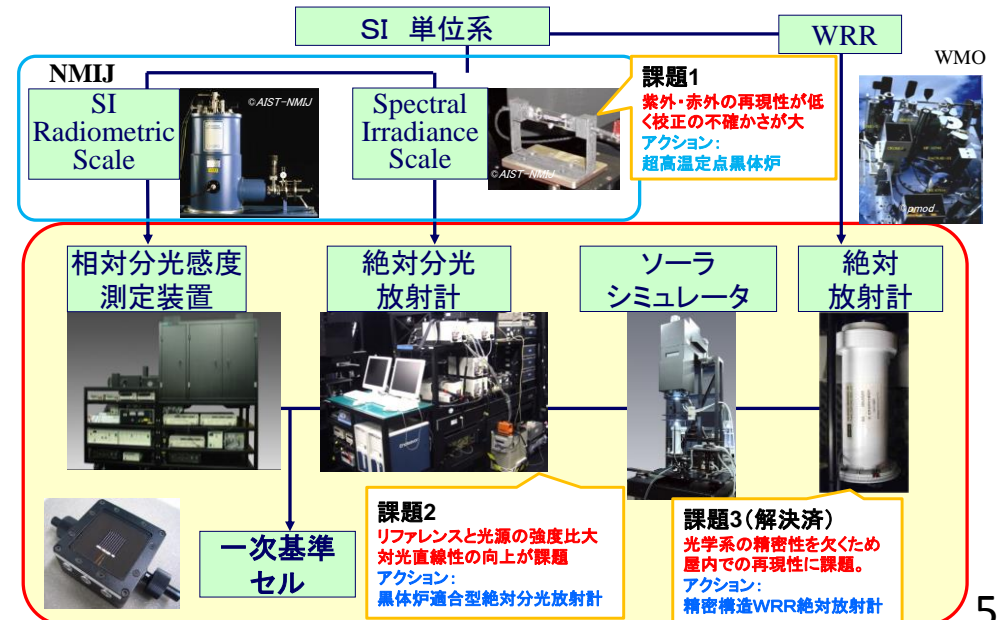
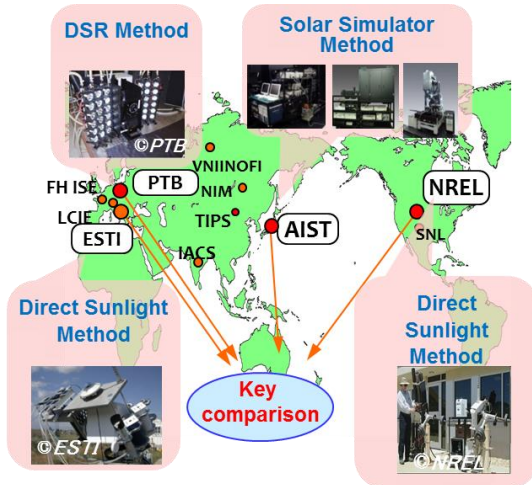


ペロブスカイト太陽電池のIV特性の例



新旧比較: 太陽電池モジュールの分光感度スペクトル

太陽電池測定の実験的整合性検証と標準化推進



開発概要

新型太陽電池性能評価技術

・各種新型太陽電池性能評価技術
・基準太陽電池校正技術高度化
(AIST)

新型デバイスへの対応

屋外高精度評価技術

屋外高精度評価技術の開発
(AIST)

日射変動解析技術の開発
(岐阜大)

スペクトルを考慮した屋外実性能評価技術
開発(立命大)

太陽電池温度の高精度測定技術開発
(宮崎大)

日射変動測定機会

屋外実性能高能率測定技術の開発
(JET)

スペクトル補正
(薄膜等)

高精度温度計測
(有風時等)

PV日射計測によるシステム性能測定手法開発
(理科大)

高能率測定
オンサイト性能測定

高精度・低コスト屋外IV評価装置、手順明確化

高精度
システム診断

屋外性能評価技術

新型太陽電池開発
PVモジュール高性能化

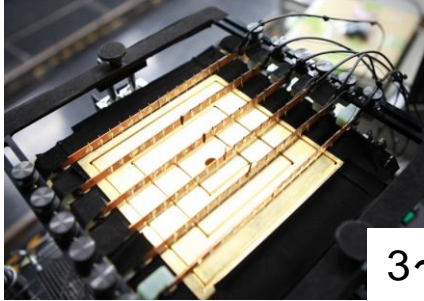
高精度PVモジュール屋外、オンサイト測定的大幅な低コスト化

システム性能の高速高精度計測、不具合の早期検出

新型太陽電池評価技術の開発(AIST)

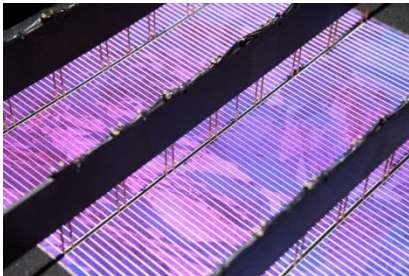
◆ 新型高効率結晶Si太陽電池ベアセル

1. 多数バスバー構造への対応

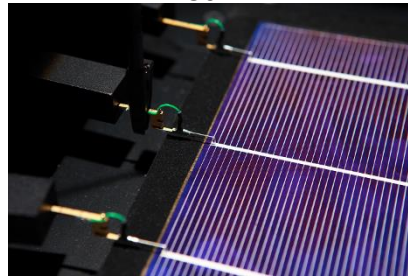


3～6本まで対応可能

2. プローブバーの影による照度(I_{sc})への影響



・ 影あり測定



・ 影なし測定

◆ 結晶Si太陽電池モジュール

1. 大型・高出力モジュール

2. 両面受光型モジュール

3. PVパラメータ温度特性

- ・ 大電流(> 10 A)、高出力(> 420 W)対応
- ・ 温特測定の大規模モジュール(幅 ~ 2 m)対応

◆ ペロブスカイト太陽電池

定常状態の性能評価手順の開発

1. V_{pm} 電圧固定法による P_{max} 評価

2. MPPT法による P_{max} 評価手順

各種ペロブスカイト太陽電池に適用し、手順の有効性を検証

◆ CIGS系太陽電池

出力にサブ%レベルの

- 遅い時間応答(秒オーダー)
- ヒステリシス が存在する場合あり

定常状態での性能評価法との組み合わせにより、サブ%レベルの高精度評価が可能

◆ タンデム(多接合)太陽電池

各種組み合わせ構造への対応

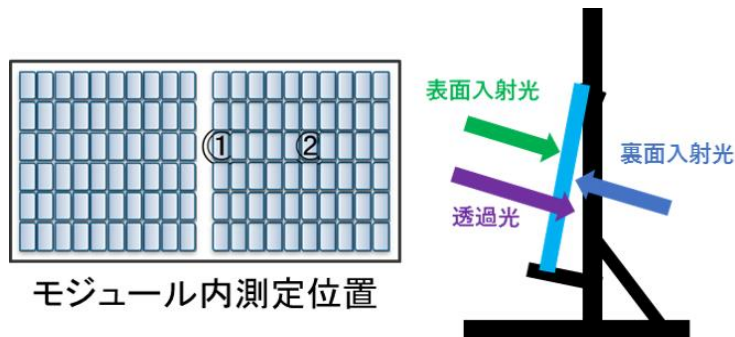
- ・ III-V系
- ・ III-V / Si
- ・ PSC / Si, PSC / CIGS, PSC / PSC, OPV,,, etc.

両面受光型太陽電池モジュール性能評価技術の開発

- IEC TS 60904-1-2 (両面受光モジュールのI-V測定) (2019.1 発行)
- 国際比較測定 …… 国際研究・試験機関による検定試験(12カ国、22機関)
(AISTは2019夏(実施中))

評価技術開発とIEC TS 60904-1-2の技術検証

- ◆ 各面での高精度1Sun STC測定のために
⇒ 裏面入射光量 $< 3 \text{ W/m}^2$ ($< 0.3\%$ Suns))



モジュール内測定位置

	裏面入射光 (カーテン無し)	裏面入射光 (カーテン有り)
位置①	0.98%	0.17%
位置②	0.87%	0.12%

cf. TS 60904-1-2

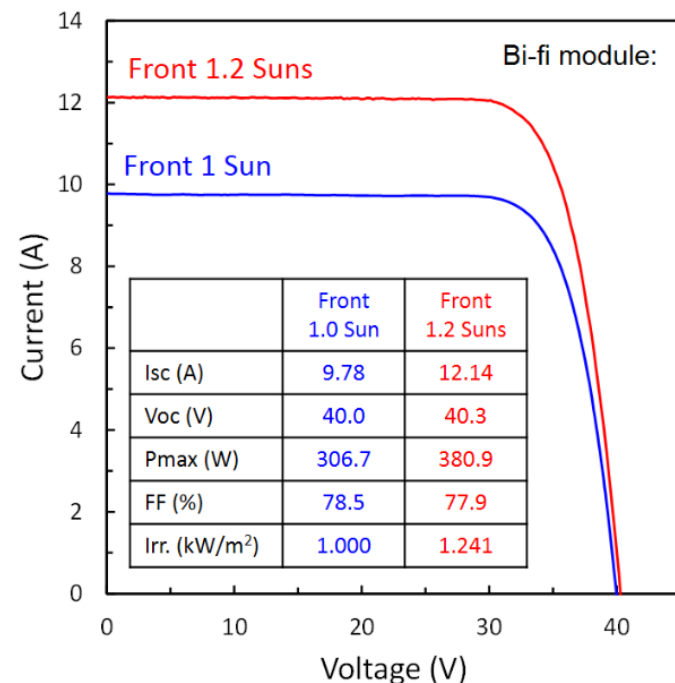
background $< 3 \text{ W/m}^2$ (Sun換算 0.3 %)

表面入射光を100%として

- ◆ 高照度測定(1光源SS測定時)

$$G_E = 1000 + 200\phi \text{ W/m}^2 \text{ (IEC TS)}$$

(ϕ : bi-faciality factor)

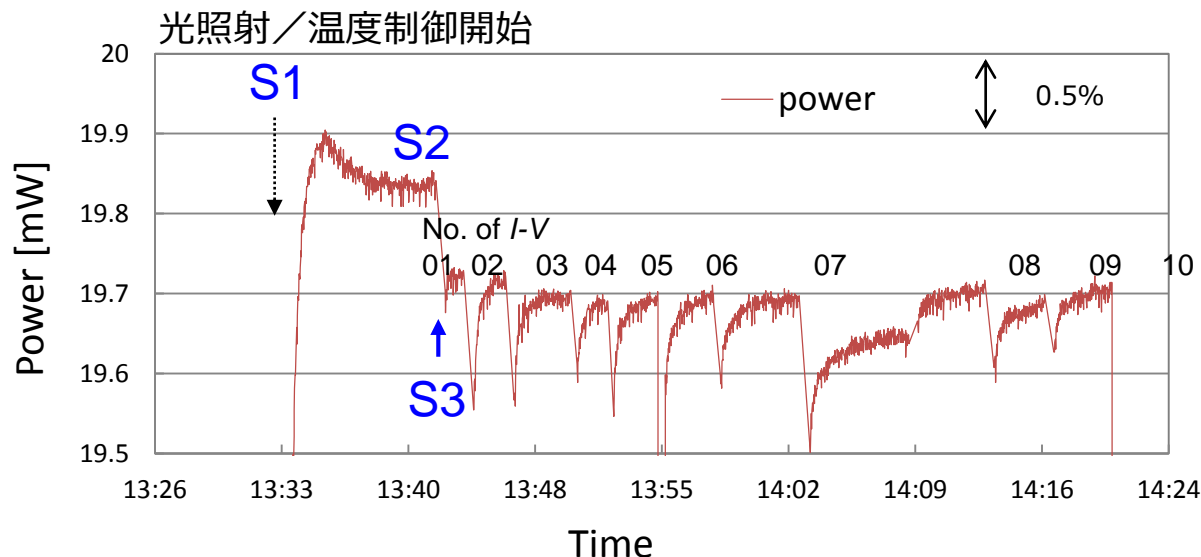


ペロブスカイト太陽電池性能評価手順開発

最大電力点追従(MPPT)法を用いた発電性能評価手順

- Step 0: 事前準備 (V_{pm} , I_{pm} 概算値の算出)
- Step 1: 光照射開始。同時に、MPPT制御開始(温度制御も合わせて)
- Step 2: 出力(P_{max})、 V_{pm} , I_{pm} をモニターし、所定の時間、出力安定性を確認(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)

MPPT output(手順による測定結果一例)

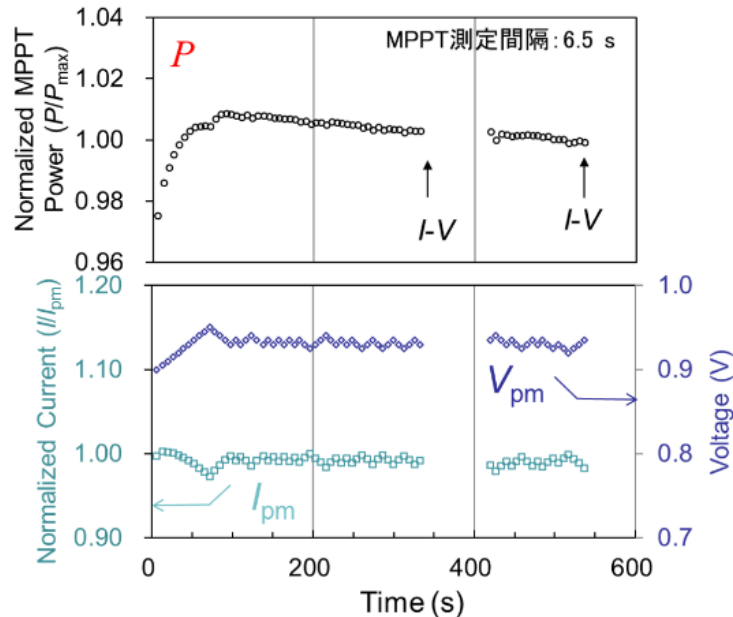


- 各種ペロブスカイト試料に適用し、手順の有効性を検証
- PIP Eff. Tables共著者に提案。測定結果の掲載。

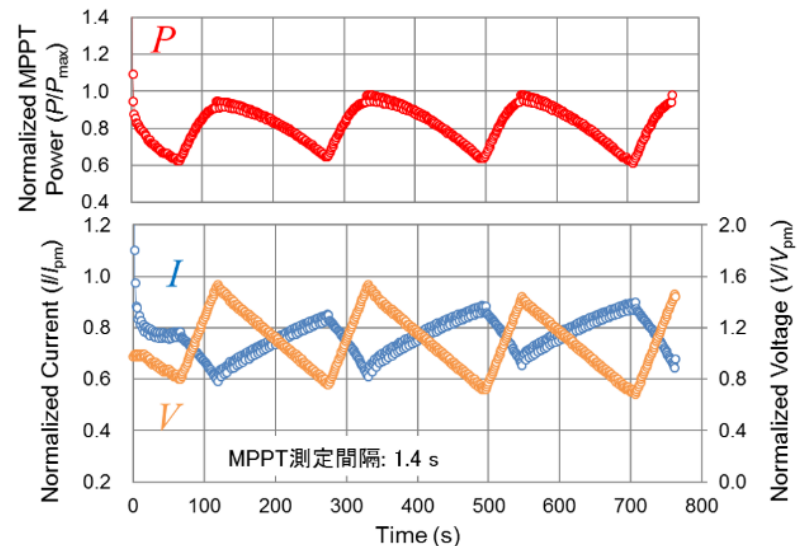
ペロブスカイト太陽電池性能評価手順開発

MPPT法を使用したペロブスカイト太陽電池性能評価の際のMPPT制御パラメータの影響について検討

i) MPPT制御パラメータ設定が適切



ii) パラメータ設定が不適切



顕著な電流過渡応答を示す試料:

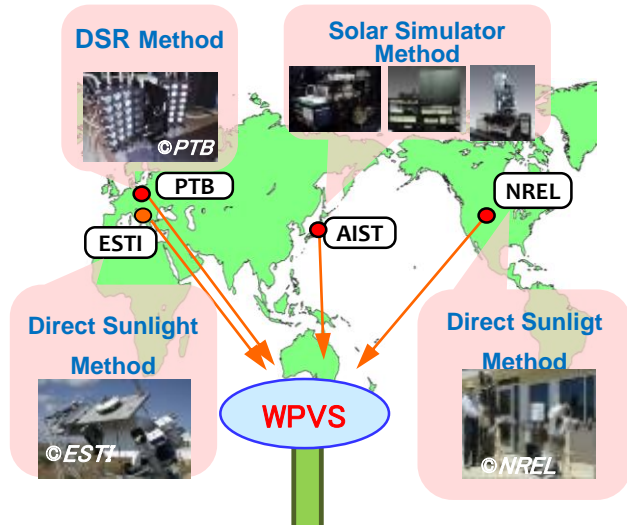
- ・ MPPTパラメータ設定が不適切だと、MPPT出力が変動
- ・ シミュレーションにおいて同様の現象を再現

ペロブスカイト太陽電池の電気応答は、**変化電圧幅・変化方向・バイアス電圧値に強く依存**

→ MPPT測定では、その電気応答に応じた適切なパラメータ設定が重要

新型太陽電池評価技術の開発(AIST)

NREL,PTB,ESTIとの基幹比較に続き、国際比較：技能試験を実施



“Proficiency Testing for PV Calibration Labs



ISO/IEC 17043 (2010) の付属書Bに記載された統計手法のうち、 E_n 数により評価する。

$$E_n = \frac{X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}}{\sqrt{U_{\text{Lab}}^2 + U_{\text{Ref}}^2}}$$

X_{Lab} : 各Labの校正值

X_{Ref} : AISTの校正值

U_{Lab} : 各Labの拡張不確かさ

U_{Ref} : AISTの拡張不確かさ

$E_n \leq 1$: 校正值と不確かさの推定が満足なレベル

$E_n > 1$: 不満足なレベル(不確かさの推定に問題)

WPVS基幹ラボ間の E_n 数は結晶Si、GaAでは1未満(満足)。比較前後の器物の安定性を考慮し、フィルタ型疑似セルの数量・種類を追加して継続中

アジアを中心とした国際比較は複数回付一斉比較で実施し、 E_n 数が1以上(不満足)の場合は是正後の再比較を促す。

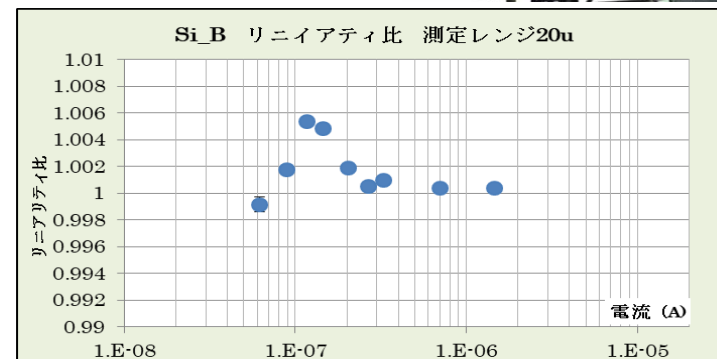
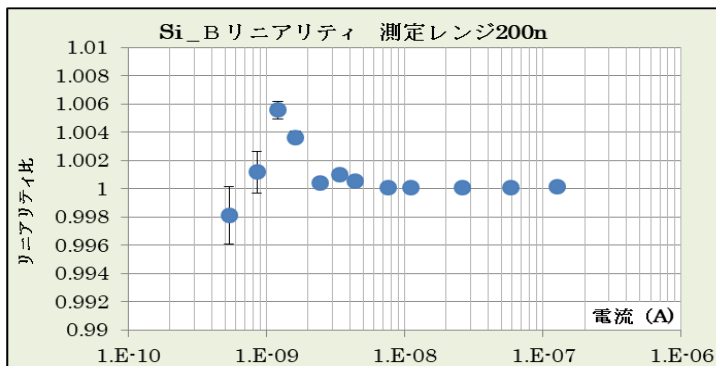
開始:2019年10月までに終了

新型太陽電池評価技術の開発(AIST)

分光放射計のSiフォトダイオードの非直線応答領域の詳細測定

測定レンジよりも低い電流領域にリニアリティ比のピークが現れる。これには規則性があり、ディテクタそのものの非直線応答ではなく、ピコアンメータの非直線応答の可能性が高い。

回路ゲイン	測定レンジ	リニアリティ比のピーク	ピーク/測定レンジ
ゲイン2	200n(200E-09)	1n(1.0E-09)	5.0E-03
ゲイン3	20u(20E-06)	0.1u(1.0E-07)	5.0E-03



ピコアンメータの非直線応答の確定

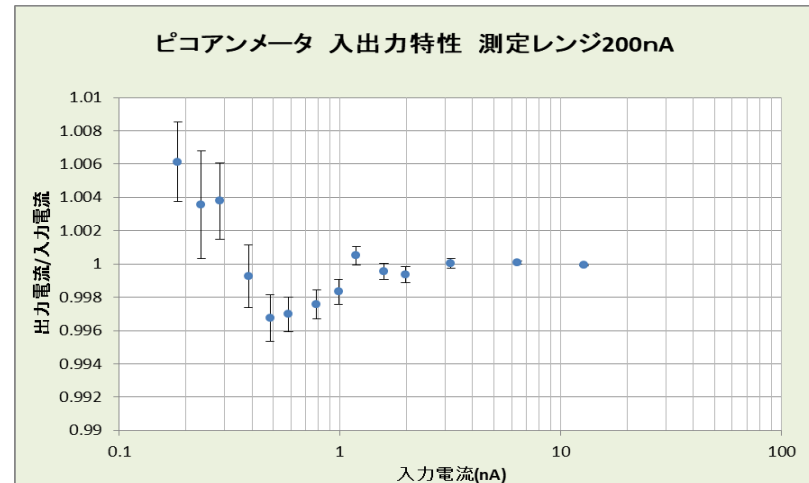
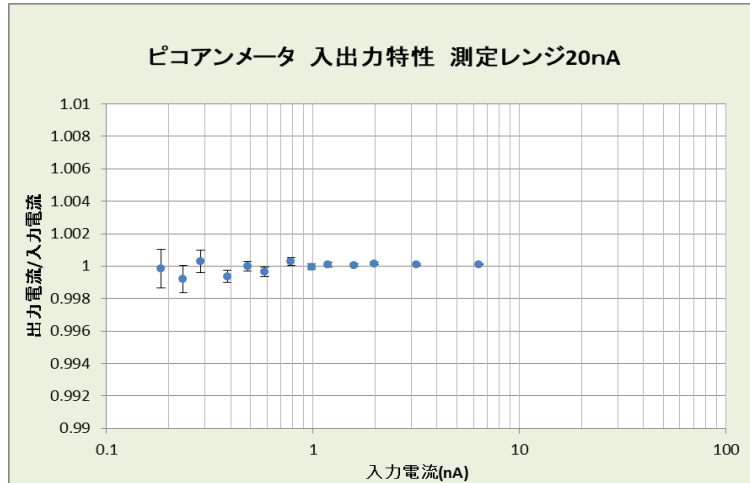
直流電圧電源の出力を基準抵抗で電流に変換し、ピコアンメータに入力して測定することで、非直線応答の有無を評価した。



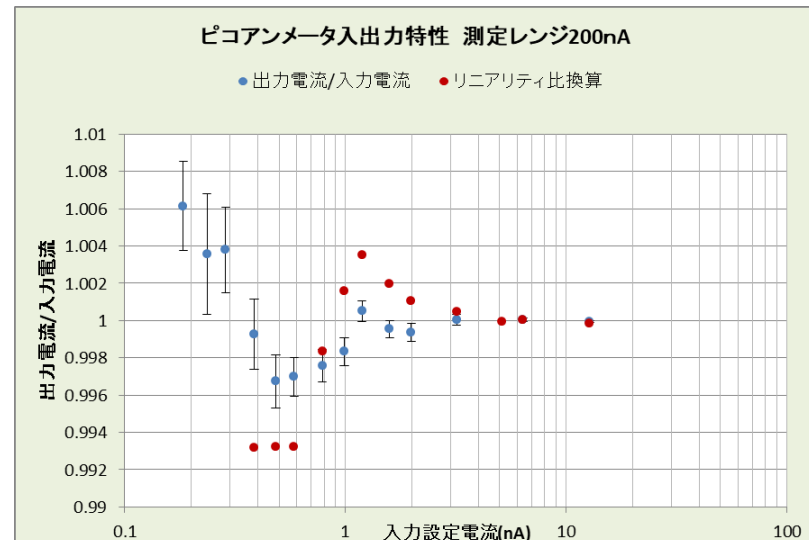
新型太陽電池評価技術の開発(AIST)

ピコアンメータの計測の非直線応答性

測定レンジを20nAから200nAに変更すると
入出力特性が電流0.5~1.0nAで減少する。

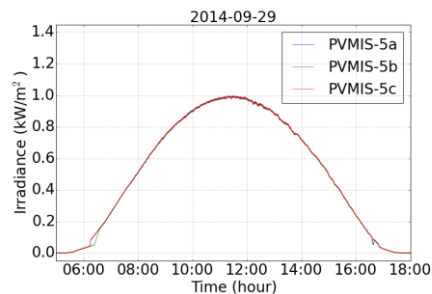


ピコアンメータの任意の入力電流の(出力電流/入力電流)の値と、その1/2の入力電流時の出力電流/入力電流の比を図示すると SiPD のリニアリティ比の結果と同等の曲線となった。つまり、SiPDで観察された非直線応答はピコアンメータそのものの特性であり、選択したSiPDは超高温定点黒体炉の照射下相当の電流領域でも非直線応答をしないことが確認できた。

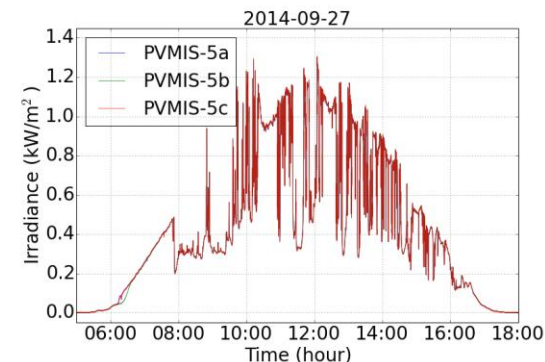
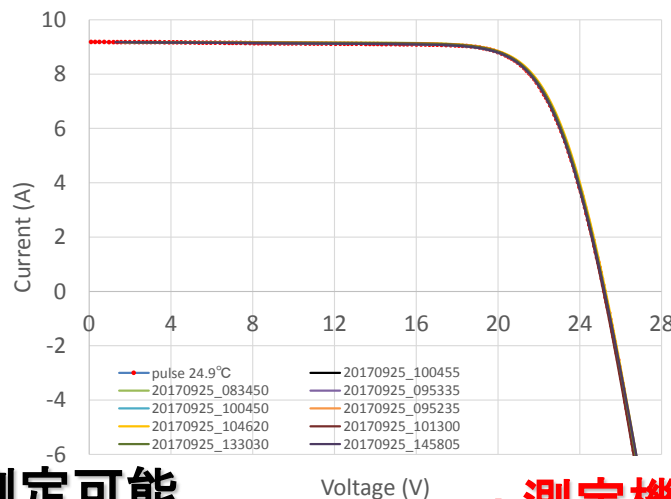


屋外高精度評価技術の開発(AIST)

従来: 快晴日のみ



本研究: 日射変動日でも高精度測定



原理的には高精度測定可能
(⇔ 高度な装置、技術が必要)

- ・ 測定機会少 (~4-49days/year in Japan)
- ・ スペクトル、角度依存等による誤差の恐れ

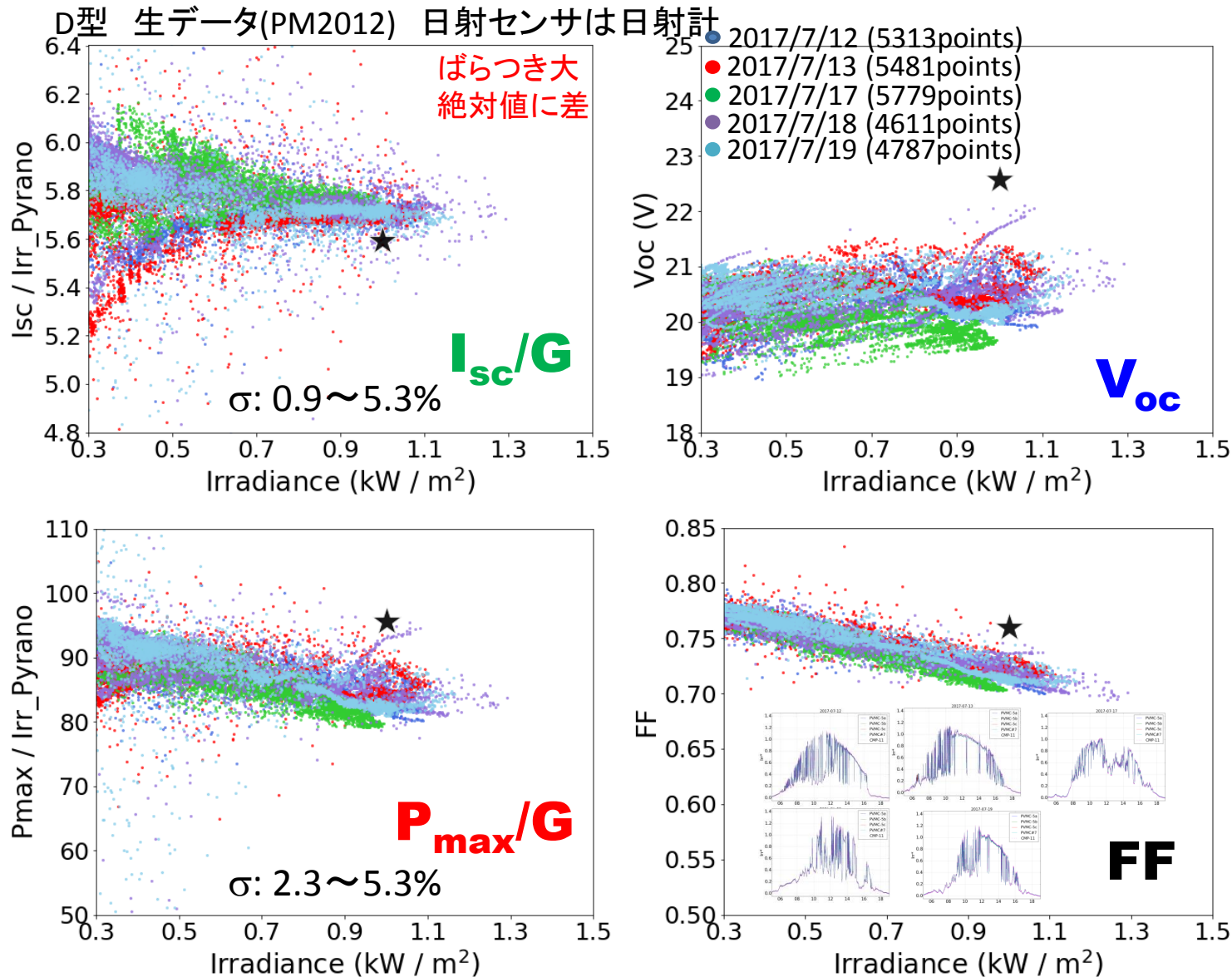
・ 測定機会多 (~160-250 days/year in Japan)

従来技術では測定誤差大であった
→ 新技術開発により、高精度化が可能



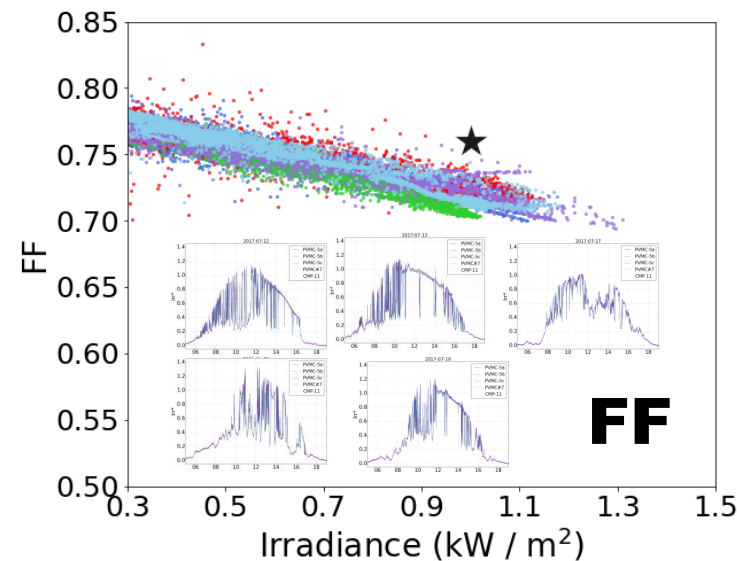
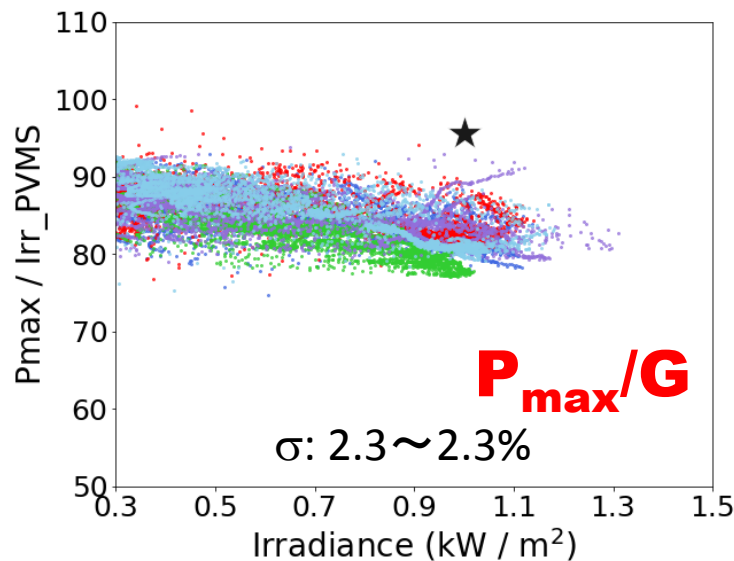
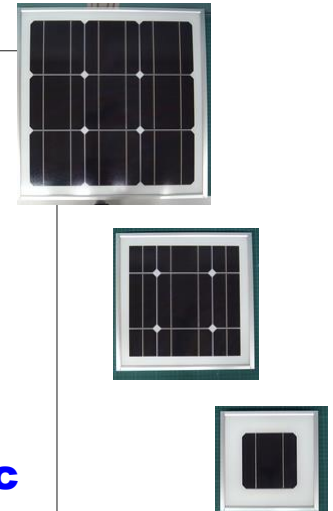
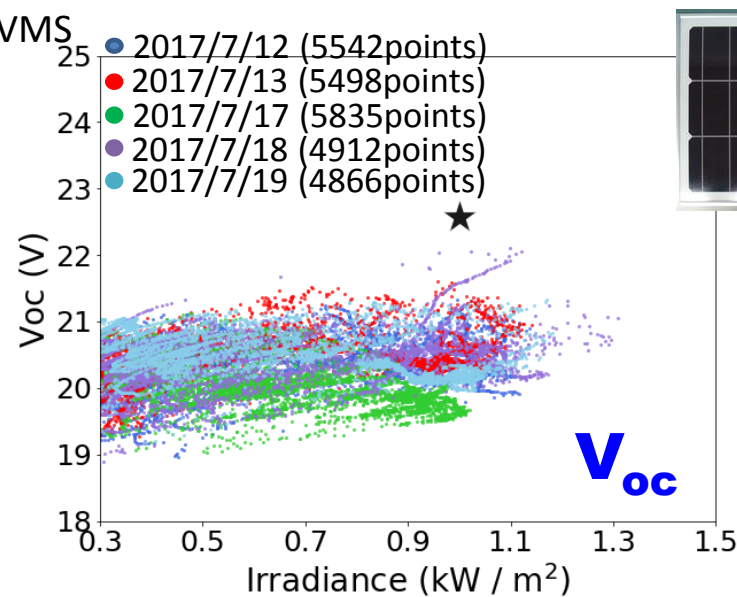
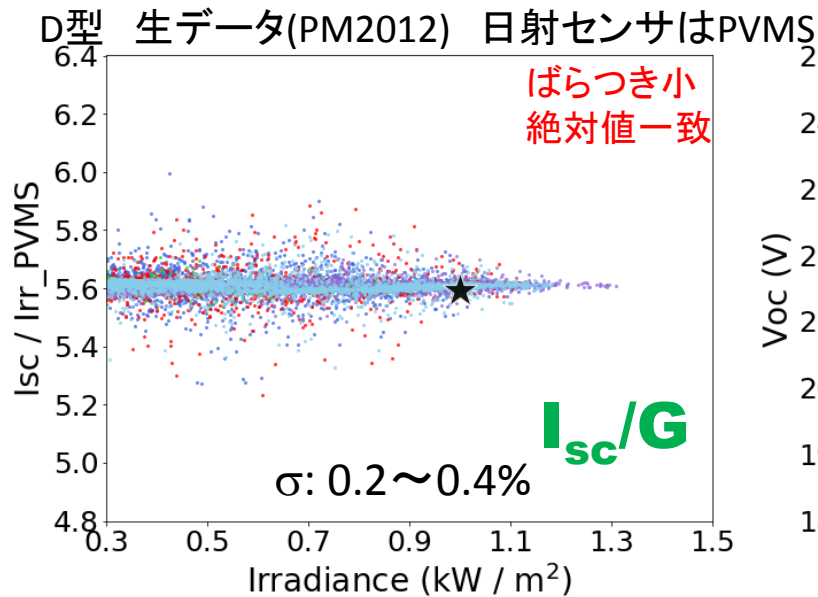
屋外高精度評価技術の開発(AIST)

生データ従来(日射計)



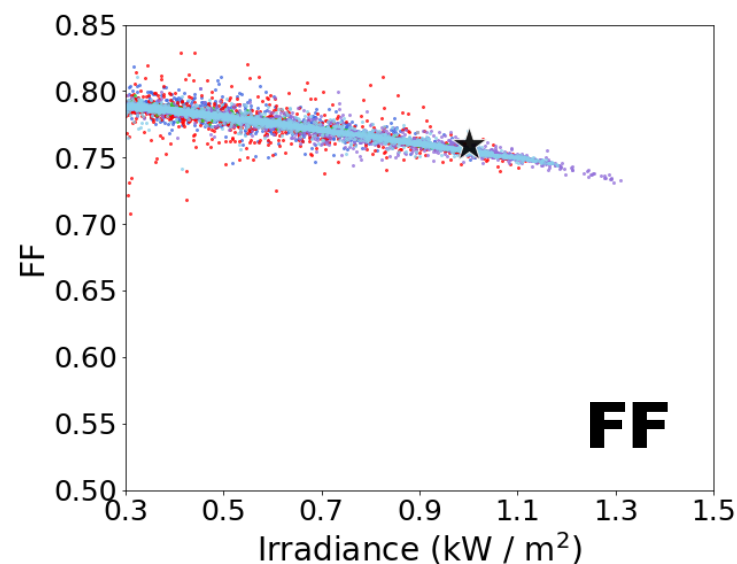
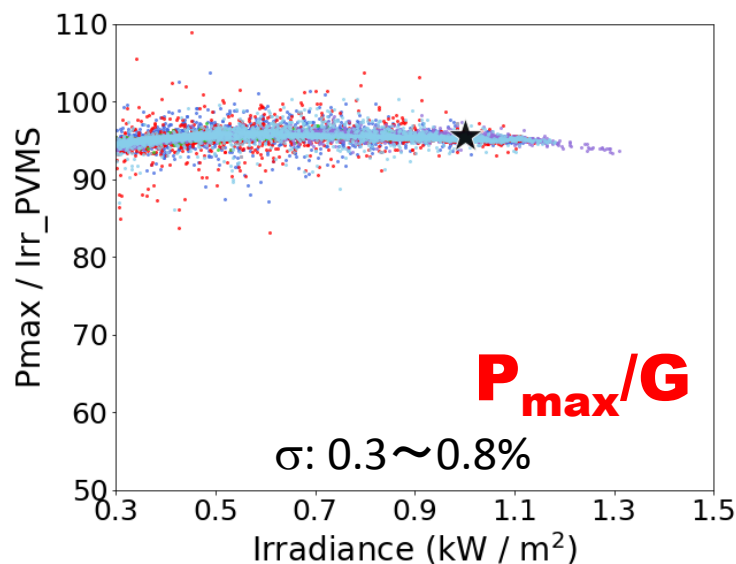
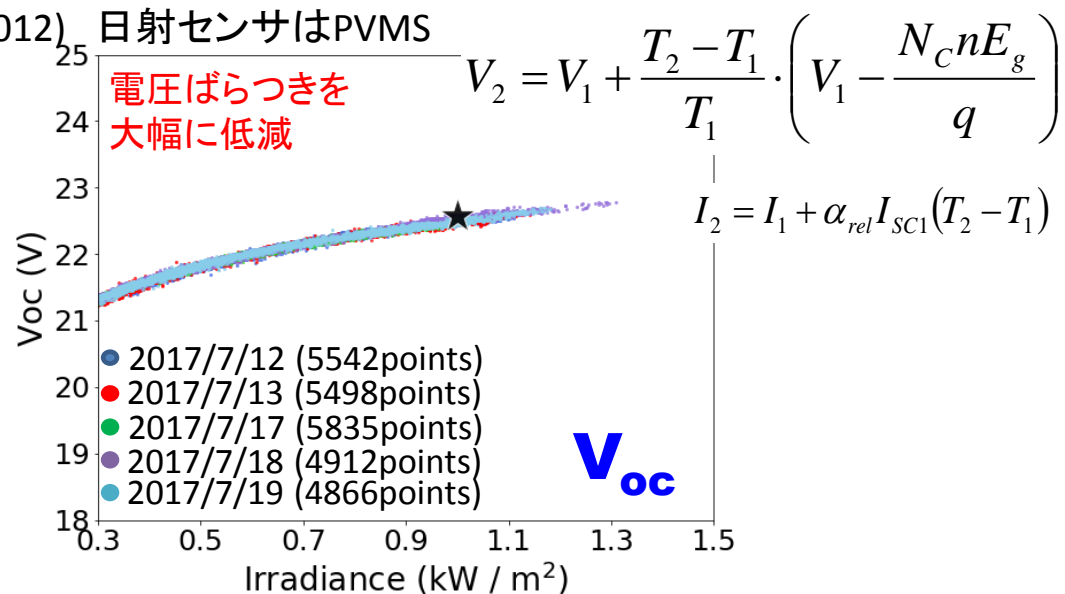
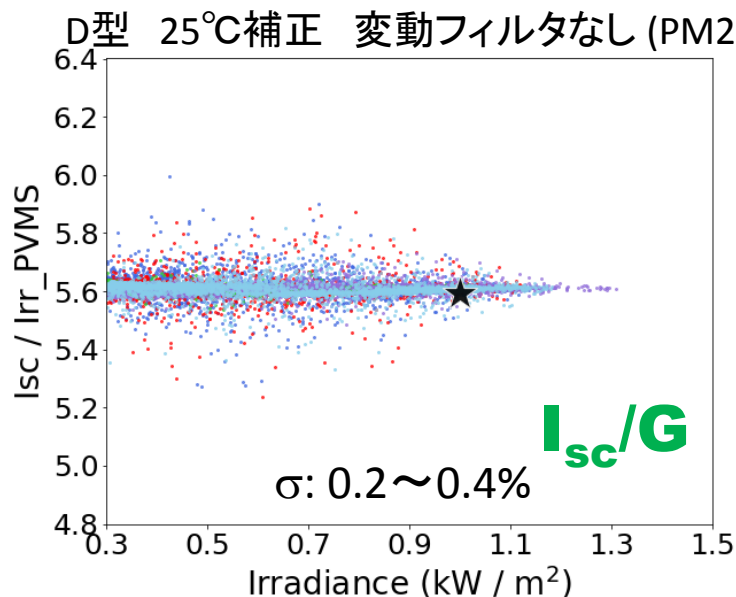
屋外高精度評価技術の開発(AIST)

生データ本研究(PVMS)



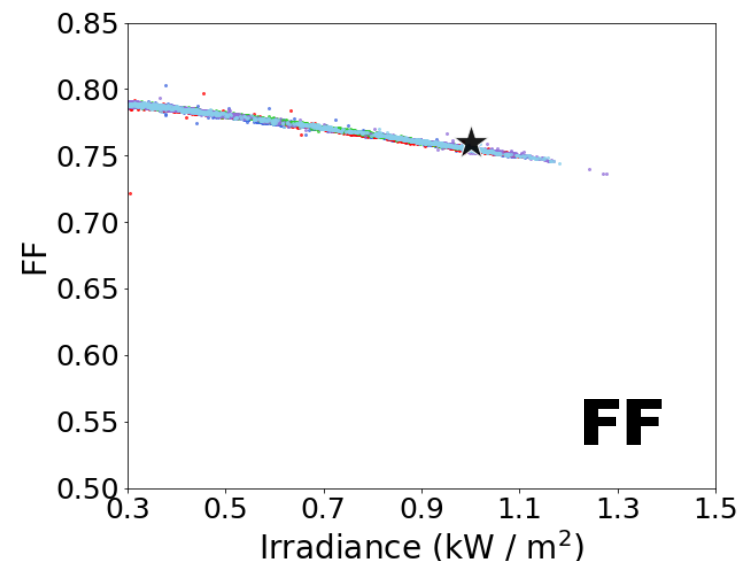
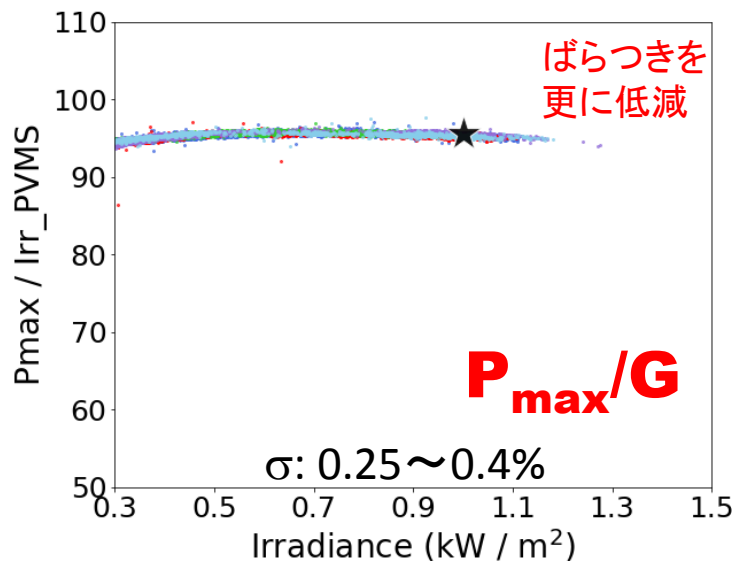
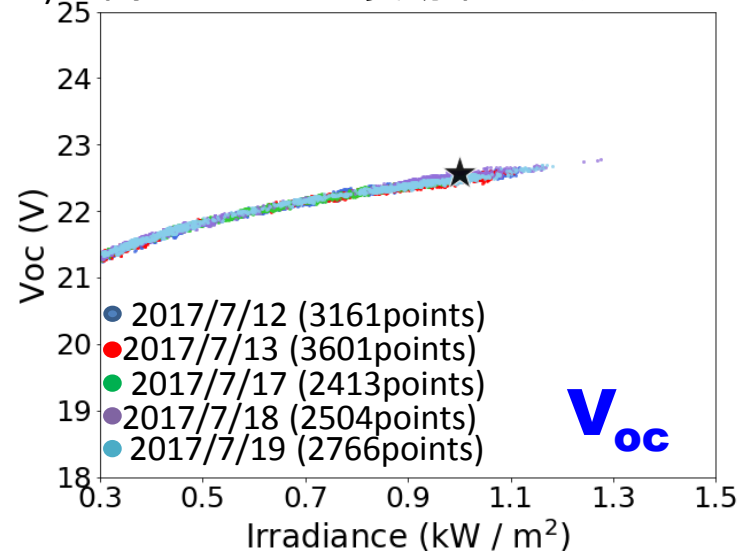
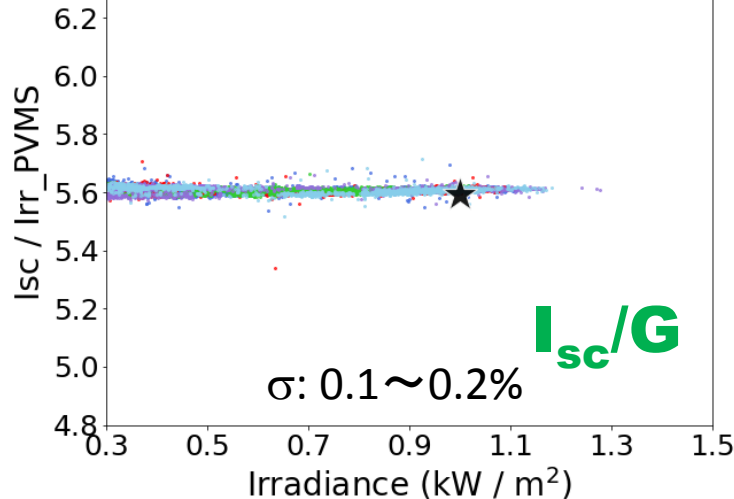
屋外高精度評価技術の開発(AIST)

温度補正 本研究



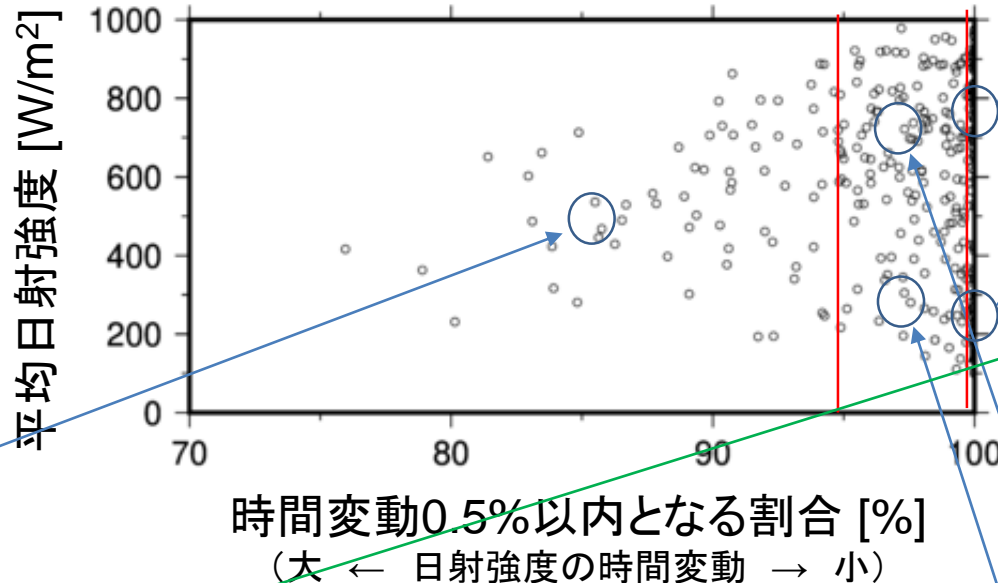
照度変動フィルタ 本研究

D型 25°C補正 変動フィルタあり (PM2012) 5s間でのPVMSの変動率0.3%以下のデータを使用



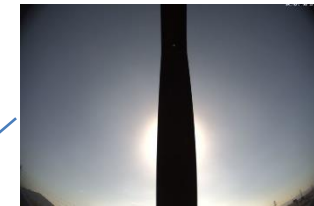
雲の状態の分類(時間変動より)

日ごとに日射時間変動と, 日平均日射強度の関係.
(9:00 ~ 15:00, 300W/m²以上)
IV計測時間 0.2 s



Group1

日射が変動しない



快晴

2017-02-04

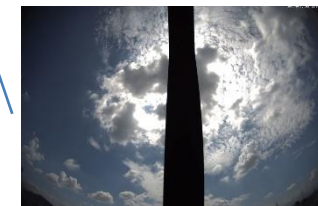


曇天
(層状雲)

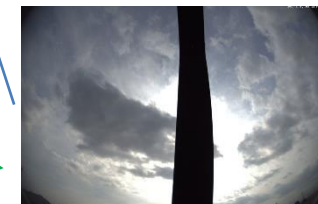
2016-05-30

Group2

変動0.5%以内となる割合が
95%以上



2016-09-07

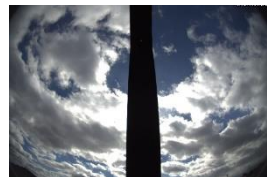


2016-11-17

19/33

Group3

変動0.5%以
内となる割合
が95%未満



2017-02-02

グループ	基準	大気の状態
Group1	日射変動0.5%以内となる割合が100% (日射が変動しない)	・快晴, または計測中雲が太陽前面 を通過しない場合. ・雲の厚さや色にムラが少ない曇天
Group2	時間変動0.5%以内となる割合が95%以上	・通常 (Group1,3以外)
Group3	時間変動0.5%以内となる割合が95%未満	・まだらな雲が速く動いている場合

日射変動特性に基づき雲の状態を分類(3分類)

日射変動解析技術の開発(岐阜大)

フィルタリングの効果 (Group2, Group3) (9:00-15:00, 300W/m²以上)

計測条件

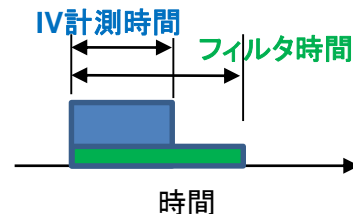
IV計測時間 **0.2 s**

PVMS間隔(空間スケール) **1.619 m**

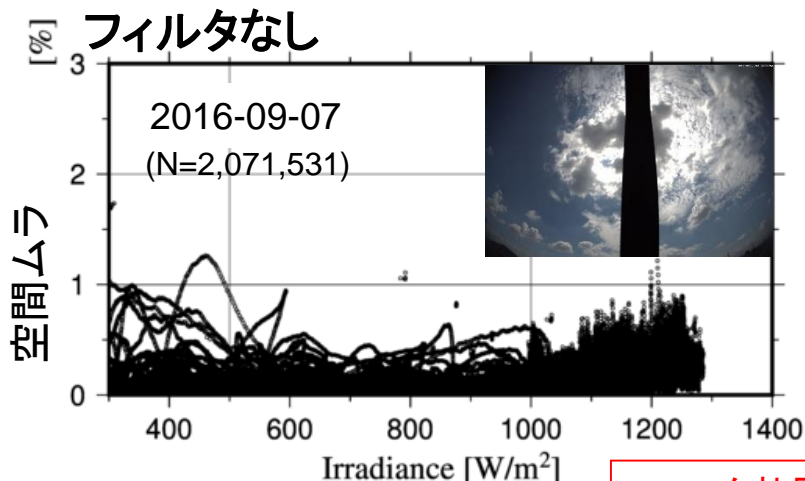
フィルタ条件

フィルタ時間 **5.0 s**

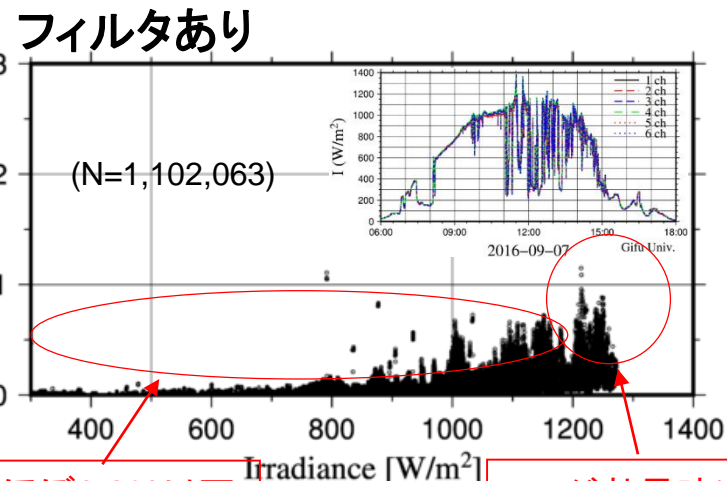
日射強度変動 **0.3%以下**



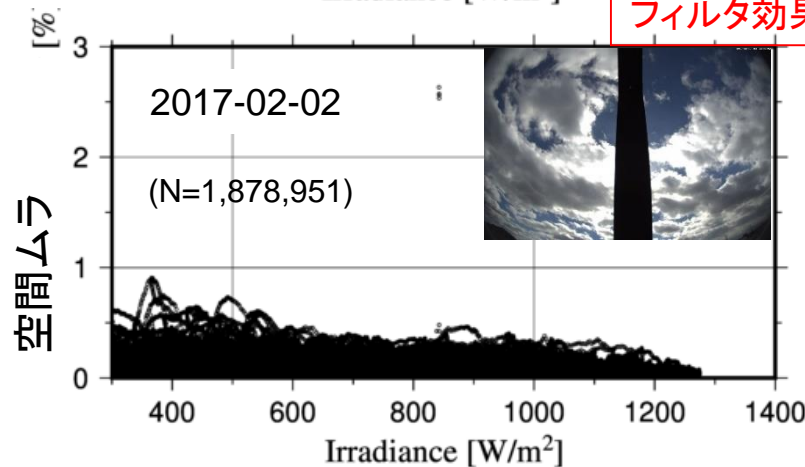
曇天(少量の積雲)



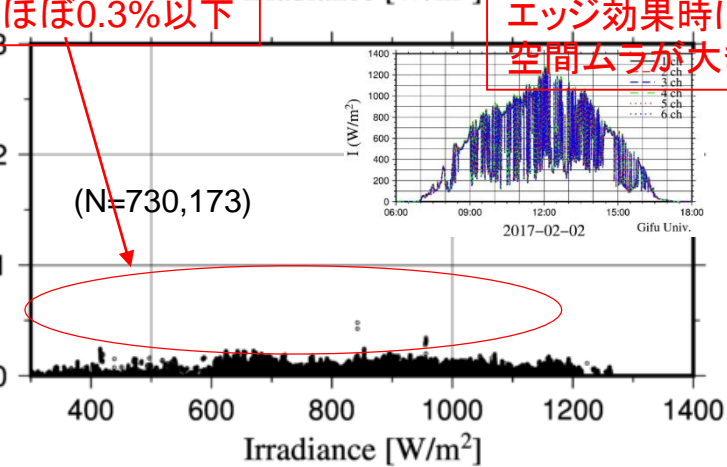
フィルタ



曇天(まだらな雲が速く動く)



フィルタ



フィルタ効果で空間ムラほぼ0.3%以下

エッジ効果時には空間ムラが大きい

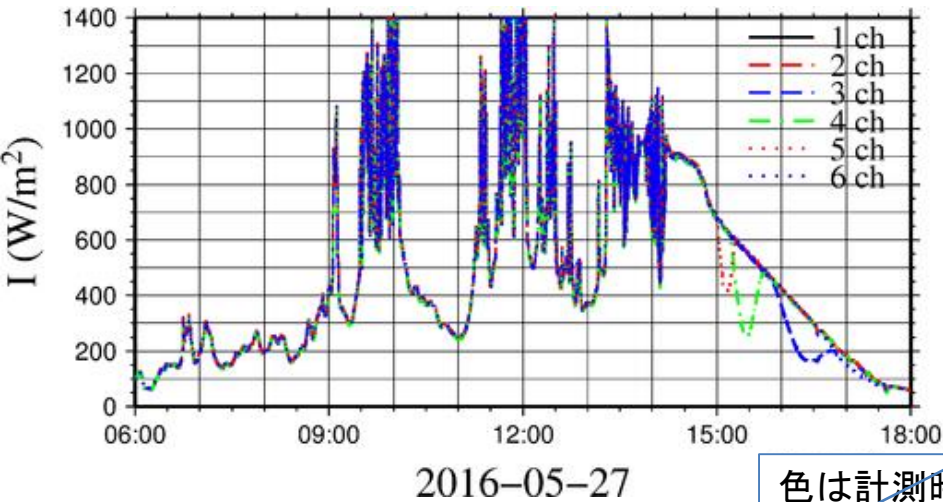
フィルタリングの効果

・日射の空間ムラをほぼ0.3%以下に抑えることが可能.

日射変動解析技術の開発(岐阜大)

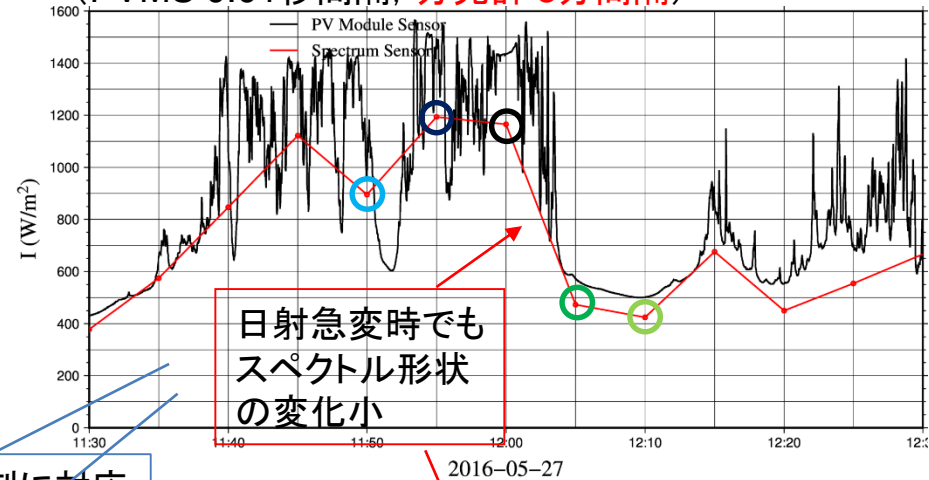
日射強度急変時の日射スペクトル変化 (2016/05/27 12:00)

日射強度の日変化(12:00頃に変動大)

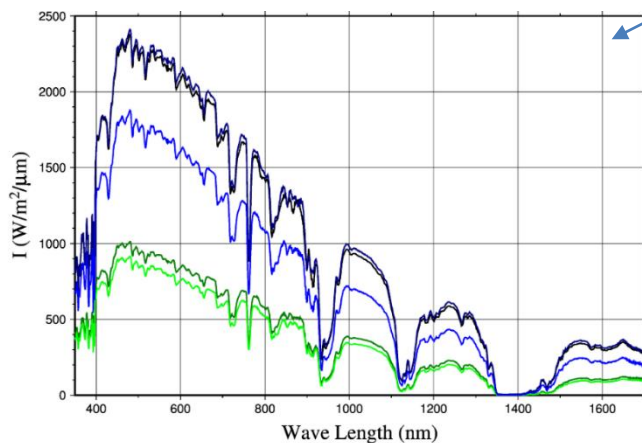


12:00頃の日射変動

(PVMS 0.01秒間隔, 分光計 5分間隔)

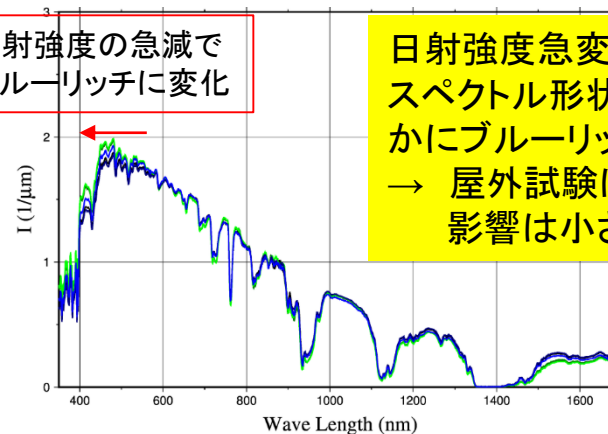


日射スペクトル分布(分光計による計測値)



日射スペクトル分布(正規化)

日射強度の急減で
ブルーリッチに変化



日射強度急変時(5分で800 W/m²減少)でも
スペクトル形状の変化は小さい(急減でわず
かにブルーリッチに)
→ 屋外試験に対して, スペクトル変化の
影響は小さい.



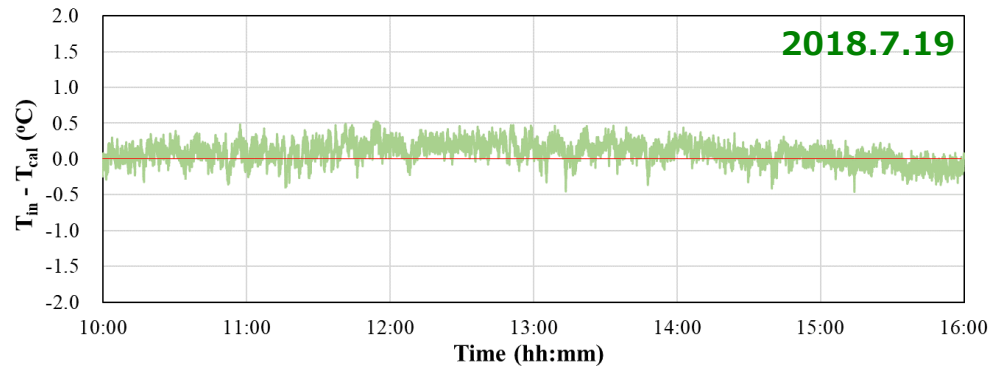
HOW:どう計るか？

最終目標：太陽電池モジュールの実温度測定精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内を達成する

解決のための手法

モジュール構造内のセルに温度センサー(熱電対)が直接接触するように内挿し、屋外評価においてセル温度を直接計測。

→簡便な熱流束式によりモジュール外部温度からセル温度を高精度に導出

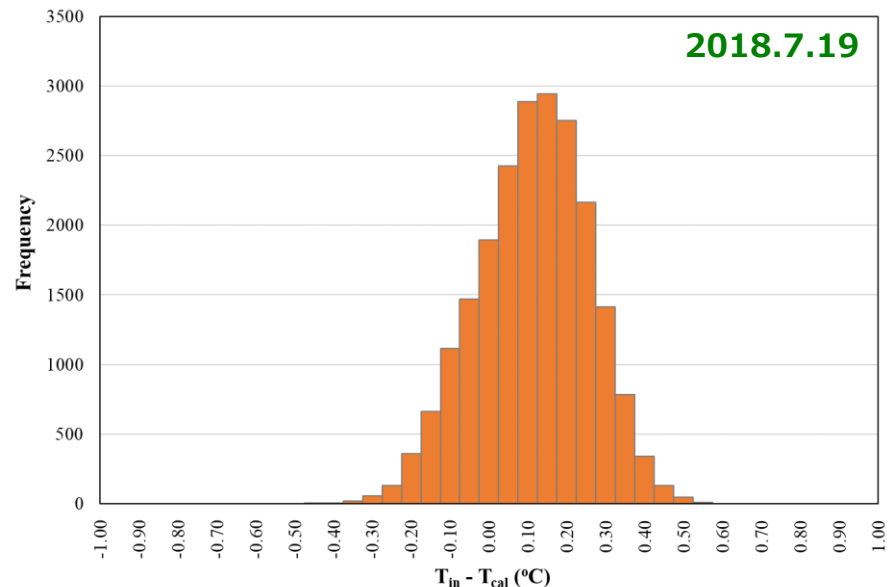


新規な取り組み

- ✓ バックシート温度 (T_{back}) から熱流束式によりセル温度 (T_{in}) を予測
- ✓ バックシート温度 (T_{back}) の計測に際し、風の影響を受けず高精度に計測するため、センサーを発泡材で保護

成果：

- 簡便に得られるバックシート温度から高精度にセル温度を予測可能
- センサーを発泡材で被覆することにより、目標である誤差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以下を達成

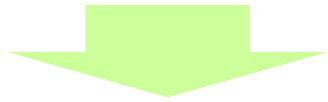


一日 (10:00~16:00) を通して
実測セル温度 (T_{in}) と予測セル温度 (T_{cal}) の
誤差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以下を達成

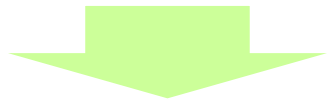
WHERE:どこを計るか？

実環境下においては常に有風状態でありPVモジュール内に大きな温度分布が生じる

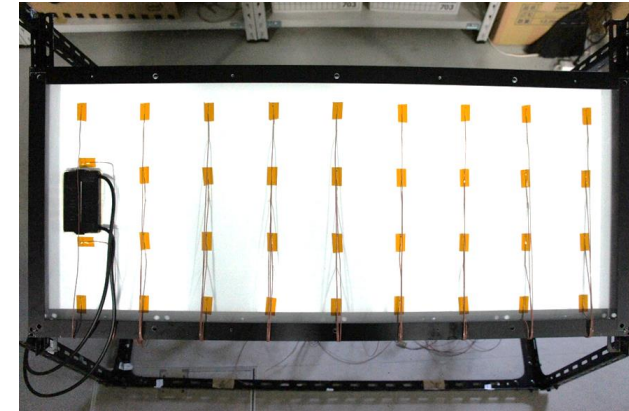
→ 温度計測位置の確立が急務



- ✓ 屋外PVモジュールの裏面各所（各セル中央部）に熱電対を設置しモジュール内温度分布を計測
- ✓ PVモジュール温度を高精度に計測できる位置や気象条件を明確に



- ✓ 各所における計測温度の、モジュール内平均温度からの差を算出
- ✓ 一年間を通して、平均温度に最も近い温度が計測できる場所を検証

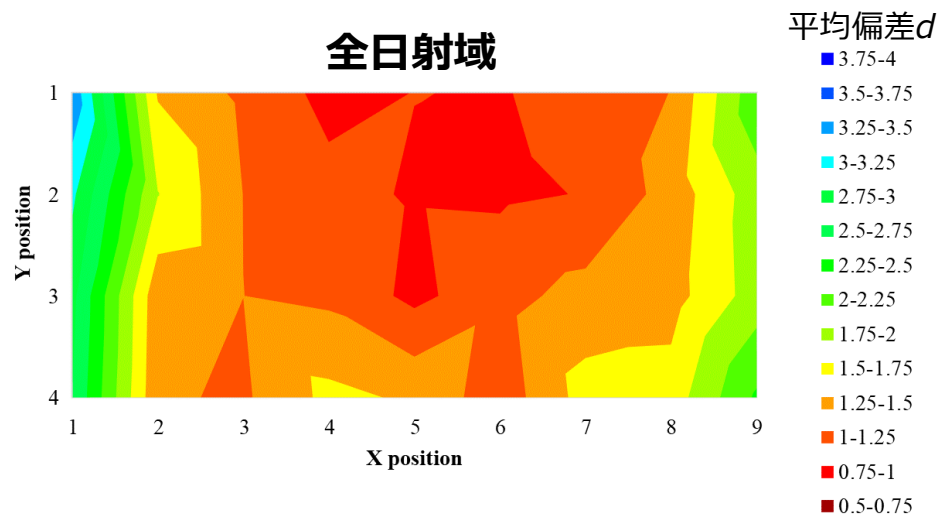


解析期間：2017年3月1日～2018年2月28日
計測間隔：毎秒

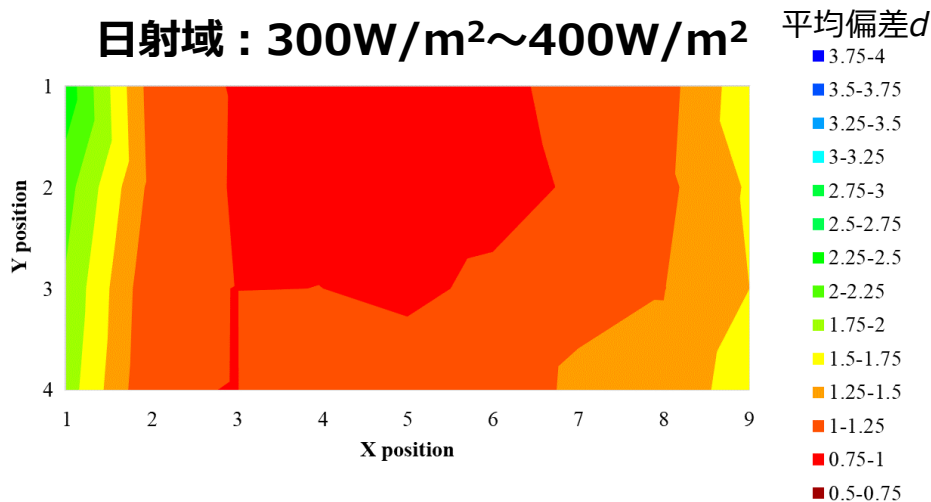
$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \mu|$$

d ：平均偏差
 n ：データ数
 x_i ：測定温度
 μ ：平均温度

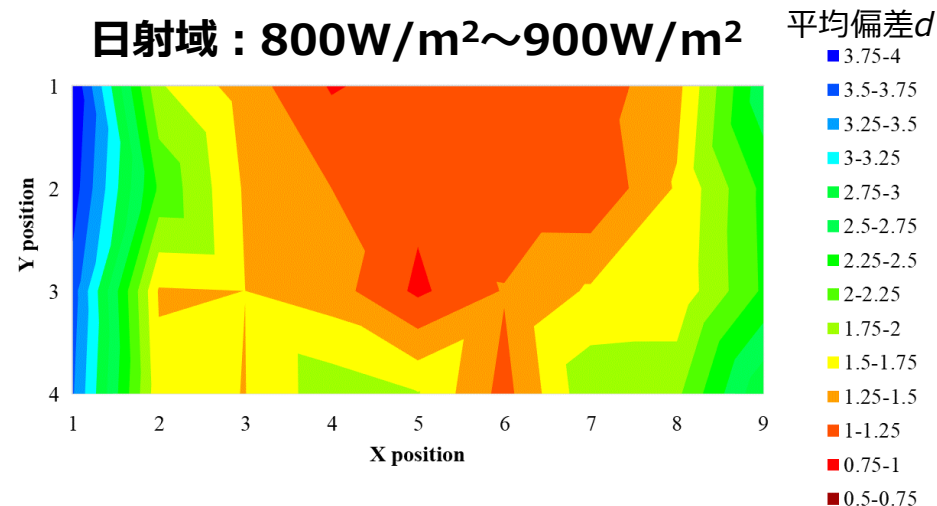
WHERE:どこを計るか？



日射域 : 300W/m²~400W/m²



日射域 : 800W/m²~900W/m²



成果 :

- 低日射時にモジュール内温度分布が緩和され平均温度に近い領域が拡大
- モジュール中央付近が最も平均温度に近く、代表温度となり得ることが明らかに

スペクトルを考慮した屋外実性能評価技術開発(立命大)

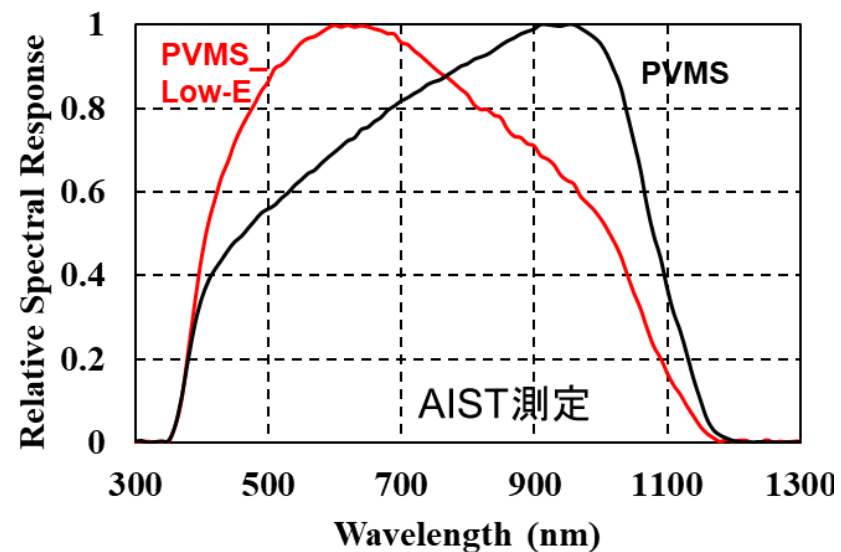
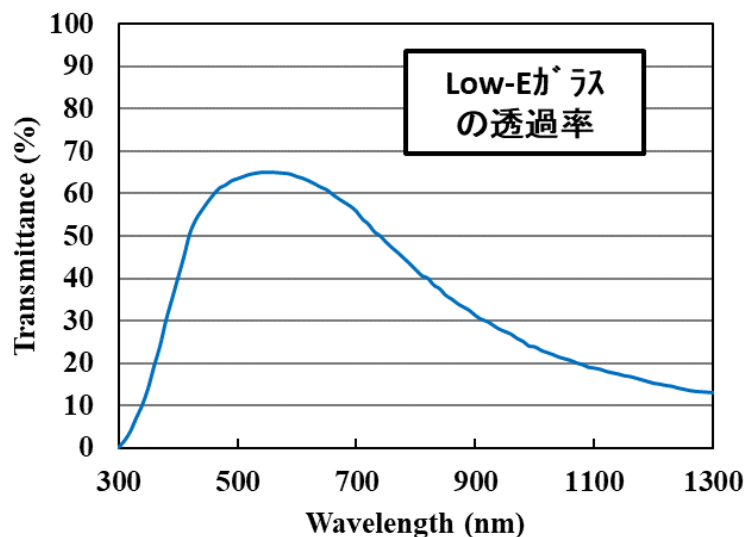
【目標】屋外測定スペクトルミスマッチによる出力電流測定誤差を補正無しの場合の3分の1に高精度化

【方法】太陽光スペクトル指標(APE)を測定し、各種PVのスペクトルミスマッチ補正係数(MM)を求め補正

【成果】PVMSと分光感度(SR)が大きく異なるPVをAPEセンサーとして用いて、両者の I_{sc} からMMを求める方法を提案し、検証

APEセンサーの例:

PVMSのカバーガラスに
Low-Eガラスを用いてSRを
変えたPVMS_Low-E



スペクトルを考慮した屋外実性能評価技術開発(立命大)

【成果】PVMSとSRが大きく異なるPVのIscからMMを求めて、対象PVのIscを補正
→従来の分光放射計で測定したAPEからMMを求めた方法と、同程度の補正精度(中央値・四分位範囲)を実現

参照デバイス(照度補正用): PVMS

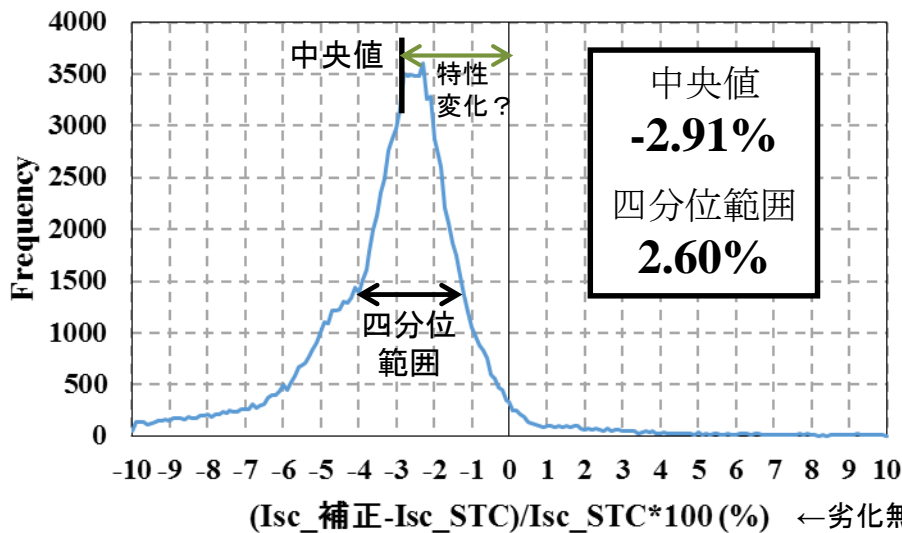
APEセンサー(MM補正用): CdTe

測定PV: PVMS_Low-E(長波長感度を低くしたPVMS)

データ期間: 2018.4.1~2018.12.31(9か月間)

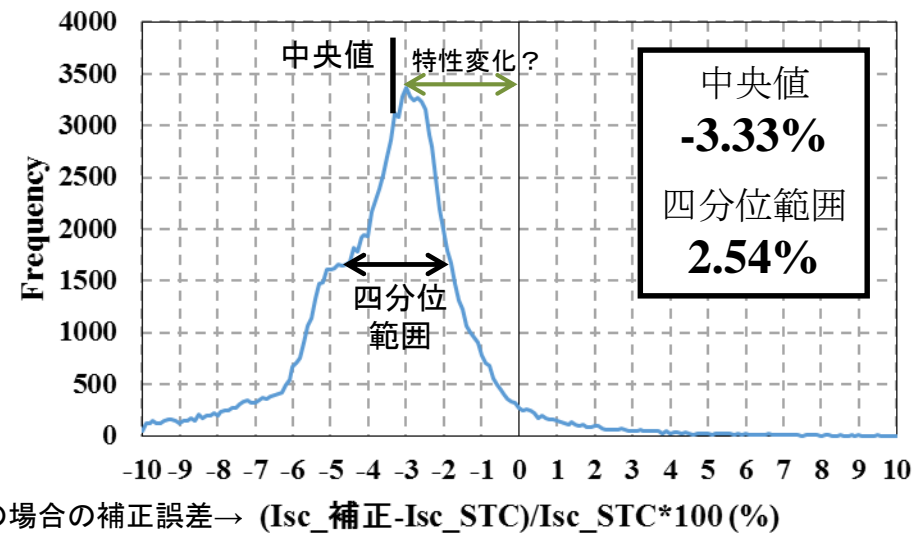
【従来法での補正】

分光放射計で測定したスペクトルから
APEを求めてMM補正をした場合



【今回の補正】

APEセンサーとPVMSのIscから
APEを求めてMM補正をした場合



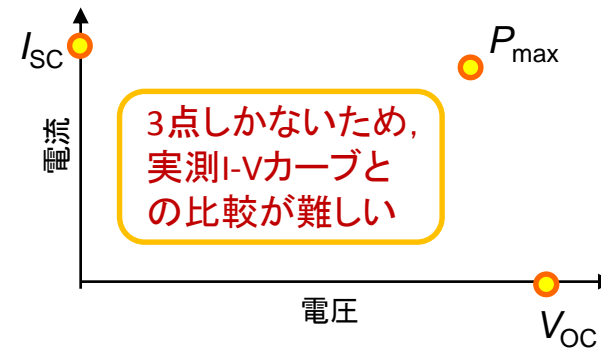
PV日射計測によるシステム性能測定手法開発(東京理科大)

【目的】PVモジュール日射センサを用いた測定手法のシステムへの適用可能性を実証する。

Step.1

銘板値を基準とする
(実システムへの適用可能性を考慮)

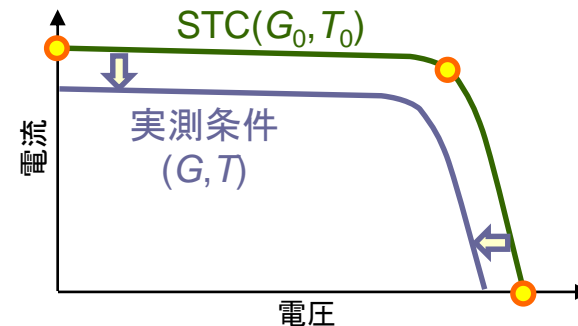
- 短絡電流
- 開放電圧
- 最大出力動作点
- (温度係数)



Step.2

1diodeモデルでSTCおよび実測条件における**参照基準I-Vカーブ**を作成

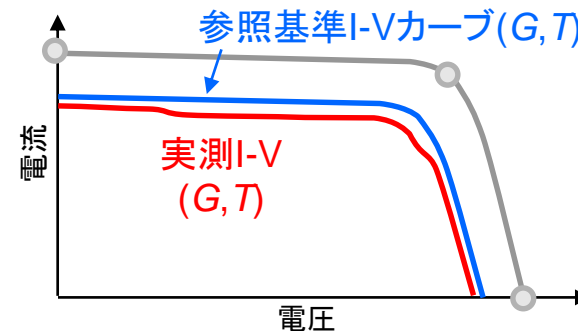
- 銘板値の3点のみを用いてSTCでのI-Vカーブを作成
- Dark I-Vカーブ算出
- 線形補間法を用いて実測条件へ変換し、**参照基準I-Vカーブ**とする



Step.3

作成した**参照基準I-Vカーブ**と**実測I-Vカーブ**を比較

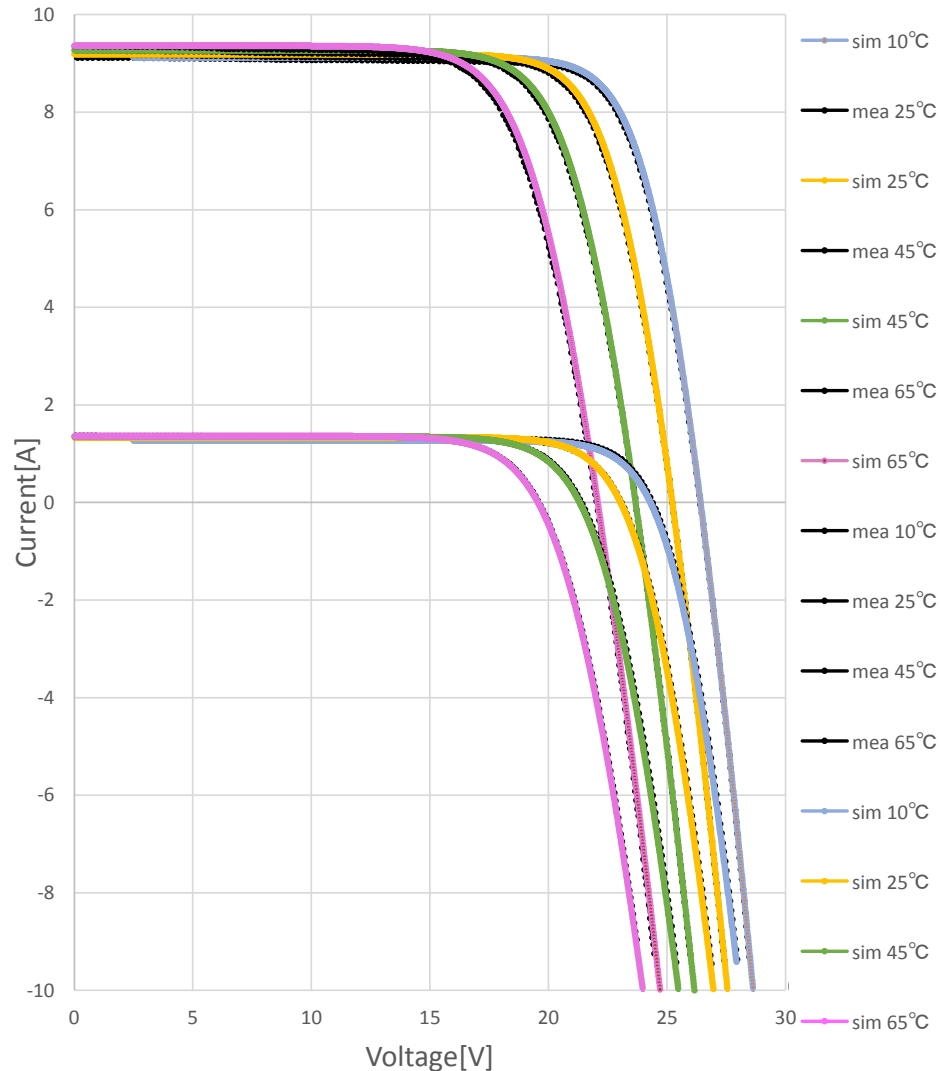
- 銘板値を基準とした発電性能評価
- モジュール、string I-Vカーブ測定により、string内の劣化・不具合モジュール有無を推定



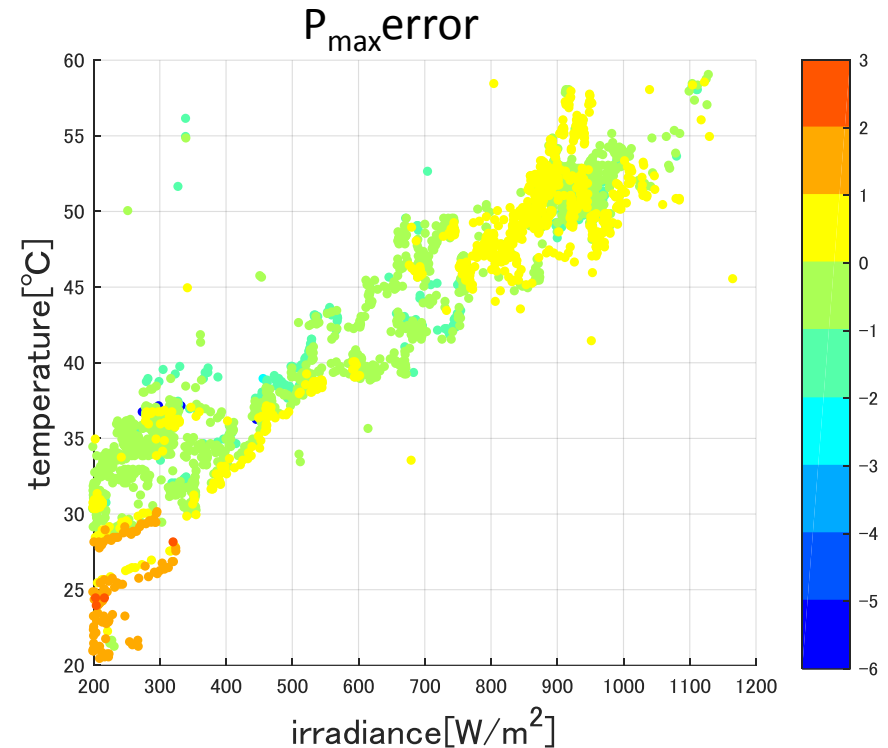
* PVモジュール日射センサを用い、高速挿引により測定したI-Vデータを利用

PV日射計測によるシステム性能測定手法開発(東京理科大)

AIST屋内測定モジュール
での精度検証



JET 屋外モジュール測定
データでの精度検証



$$P_{maxerror}[\%] = \frac{\text{算出}P_{max} - \text{測定}P_{max}}{\text{測定}P_{max}}$$

高精度に参照基準I-Vカーブを算出できることを確認

岡山サイトでの測定再現性確認

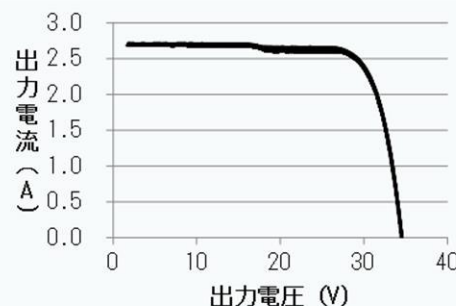
岡山PVサイトでの測定



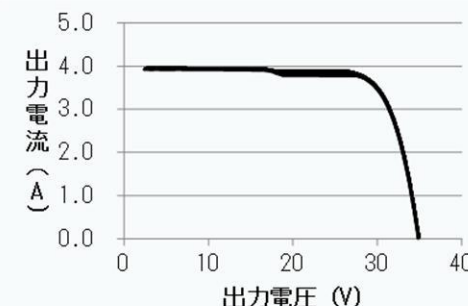
0.3sun以上で $\pm 2\%$ に収まる再現性でPmaxを測定可能であることを確認。

→実サイトの実験においても、測定中の日射強度変動 $\pm 1\%$ 以内でフィルタリングすることによってPmaxの誤差を小さくできた。

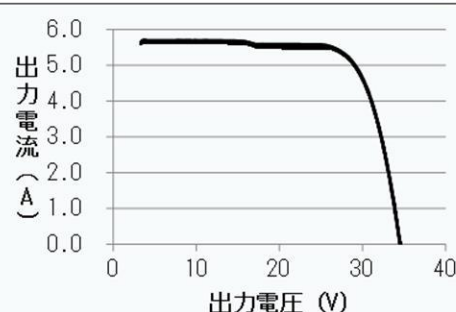
	1	2	3	4
モジュール温度($^{\circ}\text{C}$)	26.5 ± 0.2	28.8 ± 0.2	37.2 ± 0.2	42.0 ± 0.2
照度 W/m^2	314 ± 1	460 ± 1.5	660 ± 2.0	946 ± 3
N数	11	8	12	10
Isc (A) (平均)	2.72	3.96	5.69	8.19
Isc偏差	0.27%	0.32%	0.36%	0.08%
Voc (V) (平均)	34.60	34.94	34.60	34.67
Voc偏差	0.11%	0.05%	0.09%	0.02%
Pma (W) (平均)	73.22	105.6	147.9	206.9
Pmax偏差	0.52%	0.43%	0.32%	0.10%



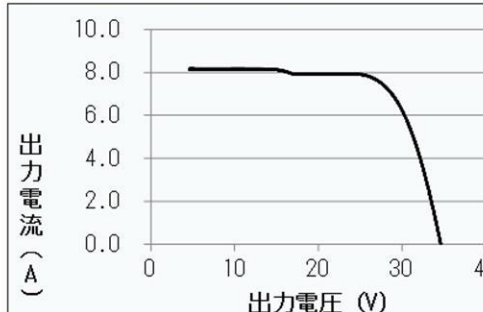
26.5 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、314 $\pm 1\text{W}/\text{m}^2$



28.8 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、460 $\pm 1.5\text{W}/\text{m}^2$



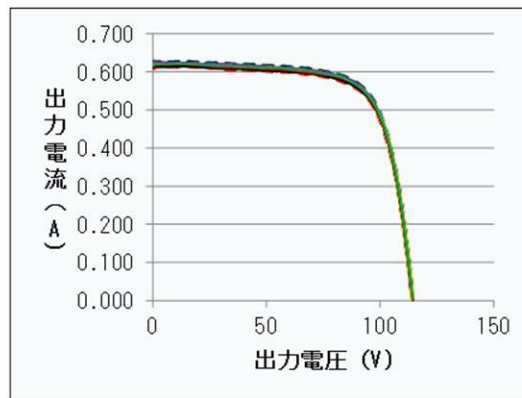
37.2 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、660 $\pm 2\text{W}/\text{m}^2$



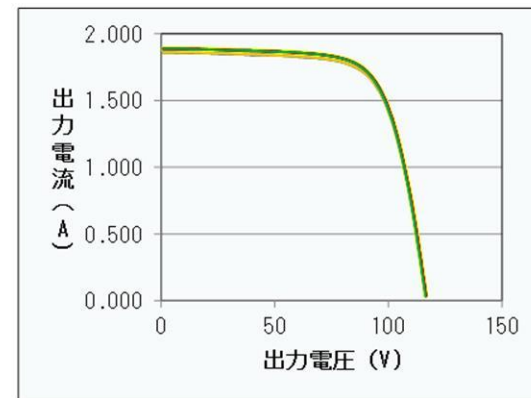
42.0 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、946 $\pm 3\text{W}/\text{m}^2$

薄膜モジュールの測定再現性確認

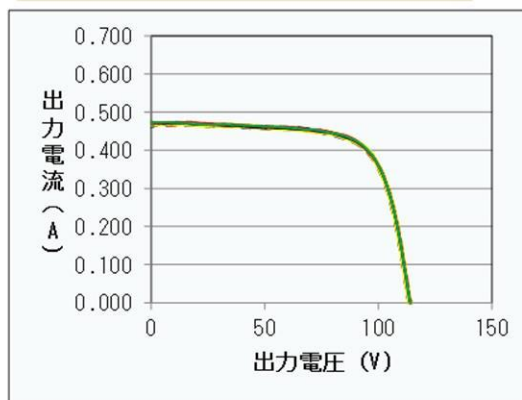
	1	2	3	4
モジュール温度(°C)	17.0 ±0.2	33.5 ±0.2	13.3 ±0.2	42.3 ±0.2
照度 W/m ²	285 ±1	870 ±2.5	220 ±0.6	702 ±2
N数	15	75	15	6
Isc (A) (平均)	0.627	1.889	0.476	1.600
Isc偏差	0.52%	0.45%	0.26%	0.13%
Voc (V) (平均)	114.7	117.0	114.1	112.1
Voc偏差	0.05%	0.05%	0.05%	0.02%
Pma (W) (平均)	51.4	155.9	38.56	122.4
Pmax偏差	0.56%	0.45%	0.31%	0.24%



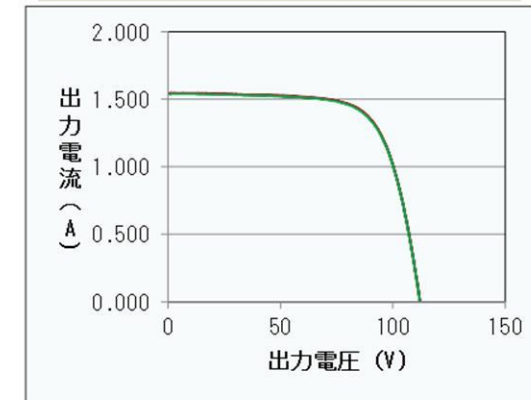
17.0 ± 0.2°C、285 ± 1W/m²



33.5 ± 0.2°C、70 ± 2.5W/m²



13.3 ± 0.2°C、220 ± 0.6W/m²

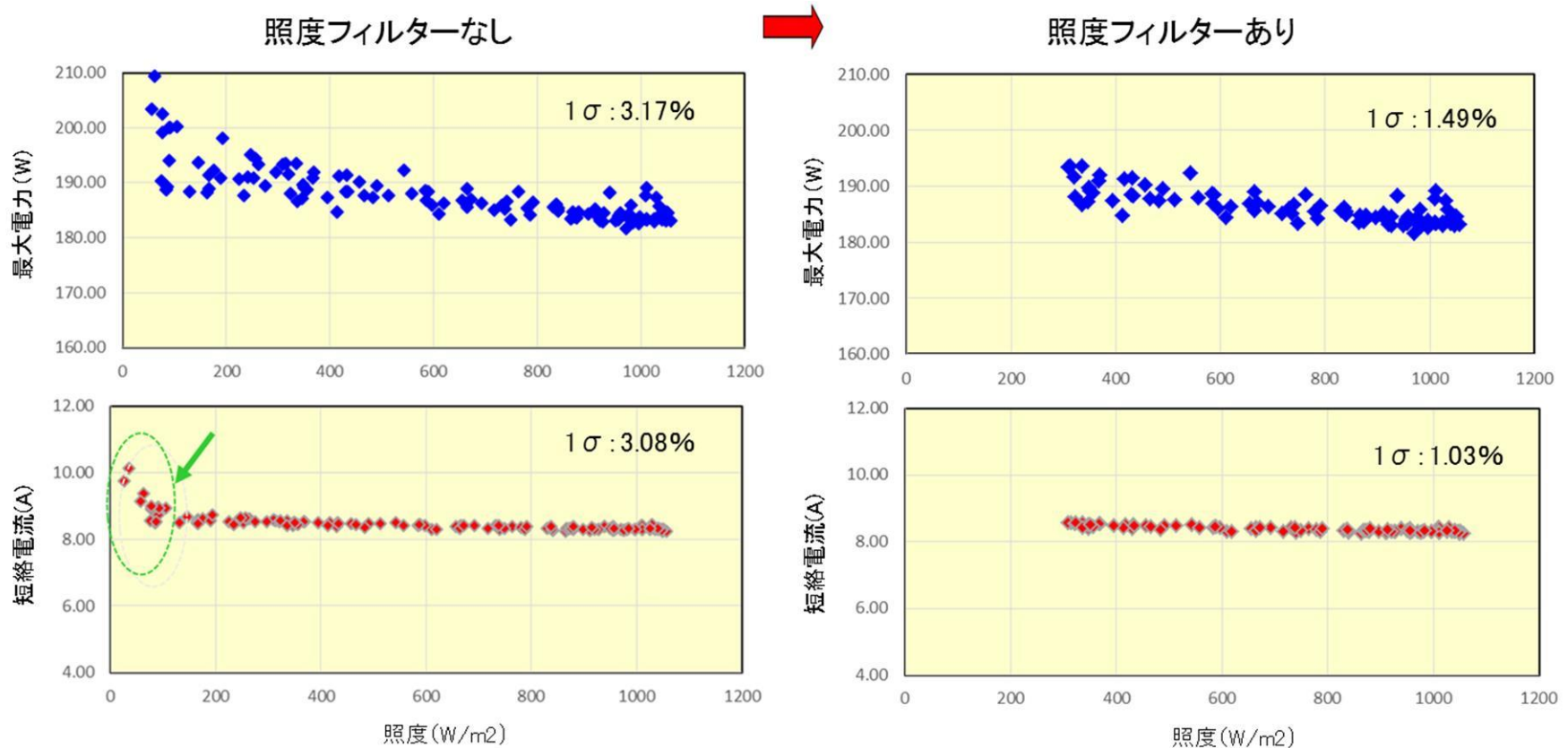


42.3 ± 0.2°C、720 ± 2W/m²

各偏差
= (MAX-MIN) / (2 × (MAX+MIN)) × 100 (%)

JET屋上での測定: 薄膜系モジュールにおいても2%以上の測定再現性が確認された。

照度適用範囲の明確化



<図> STC補正後の最大電力/短絡電流の照度依存性

「照度 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以下をカット」のルールを適用すると、
バラツキは半減し(P_{max} : $3.17\% \rightarrow 1.49\%$ 、 I_{sc} : $3.08\% \rightarrow 1.03\%$)、誤差は $\pm 2\%$ (1σ)に収まる。
 \Rightarrow 「照度: $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上」および「測定前後の照度変動: 0.5% 以下」をSTC補正の適用条件とする。

測定ガイドラインの作成

作成中のガイドライン文言抜粋

- I-Vカーブは測定時のモジュールの温度、日射量に大きく影響されるため、標準状態(略)に換算して評価することが一般的である。このため出力測定時の気象条件は、天候が安定している日の太陽南中時±2時間を目安とし、日射量が 700 W/m^2 以上の場合が望ましい。この条件を満たす測定可能な日及び時間帯はかなり制限を受けるため、以下の条件で測定した結果であれば、これを採用してもよい。
- 測定モジュールが結晶系シリコンセル太陽電池モジュールであること
- I-V測定時に同期して短時間の日射量測定が可能な、シリコン太陽電池式日射センサ (PVMS) を用いること
- 気温が高い時や日射量が大きい時の測定誤差をできるだけ低減する目的で、PVMSは日射量をシャント抵抗によって電圧に変換してIV測定器に伝える構造であることが望ましく、また、できるだけPVMSとシャント抵抗間の配線長を短くするために、PVMSの裏面にシャント抵抗が内蔵されている構造が望ましい
- 測定モジュールとPVMSは隣接しているか、できる限り近い距離に設置すること
- I-V測定器の正味のI-V測定を0.2秒以内で行うこと
- I-V測定時の日射量が 300 W/m^2 以上であること
- I-V測定時の日射変動が±0.5%以内であること、すなわちI-V測定前と後の日射量の差と和の比が±0.5%以内であること

まとめ

●新型太陽電池性能評価技術開発、屋外高精度性能評価技術開発、共に実施計画に基づき予定通り進捗しており、最終目標達成の見込みである。

(新型太陽電池性能評価技術)

☀️ペロブスカイト、新型CIGS系、新型結晶Si、多接合を含む**各種新型太陽電池**で高精度性能測定技術の開発・実施・実証。多バスバー構造、両面受光構造、ペロブスカイト評価へのMPPT導入等。標準化、測定デモ等含めた普及促進。

☀️**一次基準太陽電池校正**技術については構造精緻型WRR絶対放射計、超高温定点黒体炉、6分岐ファイバ型分光放射計により校正技術を高度化し、一次校正の拡張不確かさ(U95,k=2)を0.72%から0.6%台に改善する目処を得た。WPVS根幹ラボ間およびアジア中心のラボ間での国際比較の実施により国際整合化を推進した。

(屋外高精度性能評価技術)

☀️**屋外測定再現性±1%以内(1 σ)を達成**(各種結晶シリコン、HIT、CIGS)。STC補正高精度化。

☀️残る誤差要因を抽出・定量化。

☀️**太陽電池温度計測**について、簡便に得られるバックシート温度計測からモジュール内セルの実温度を推定する精度を向上(±0.5°C程度)させた。季節や天候によらず高精度に測定できることを確認。システム内温度分布を考慮した温度計測位置の確立。

☀️**日射の場所ムラ**を時間変動から推定し、屋外IV計測に適した日射状態を検出する手法の開発。観測値または数値モデルから日射急変時のスペクトルを取得し、スペクトルミスマッチを推定。

☀️APEを用いた**スペクトル補正**により、薄膜PV(CdTe)で誤差1/2.9を達成。結晶Si系でもPVMSで精度大幅向上。MM補正の屋外高精度評価の複数地点での検証。APEセンサーの提案と検証。

☀️**モジュールおよび小規模アレイ**の屋外性能測定においてPVMSを照度センサとして利用。銘板値を基準とした1ダイオードモデルのパラメータ導出により作成した参照基準I-Vと実測I-Vとの比較において最大出力の誤差概ね1%~2%を得た。

☀️**系統連系されたPVサイト(複数)において稼働中のモジュール**でも、JET横浜屋上の試験モジュールの結果と同じく、測定再現性精度±2%(1 σ)以内を達成する目処を得た。O&Mに関する屋外測定ガイドラインへの展開。

●研究実施中から一部標準化等進行中。成果の普及、実用化を推進する。