

太陽光発電のトレーサビリティ

産業技術総合研究所
太陽光発電光学研究センター
評価・標準チーム
主任研究員 猪狩真一

トレーサビリティとは

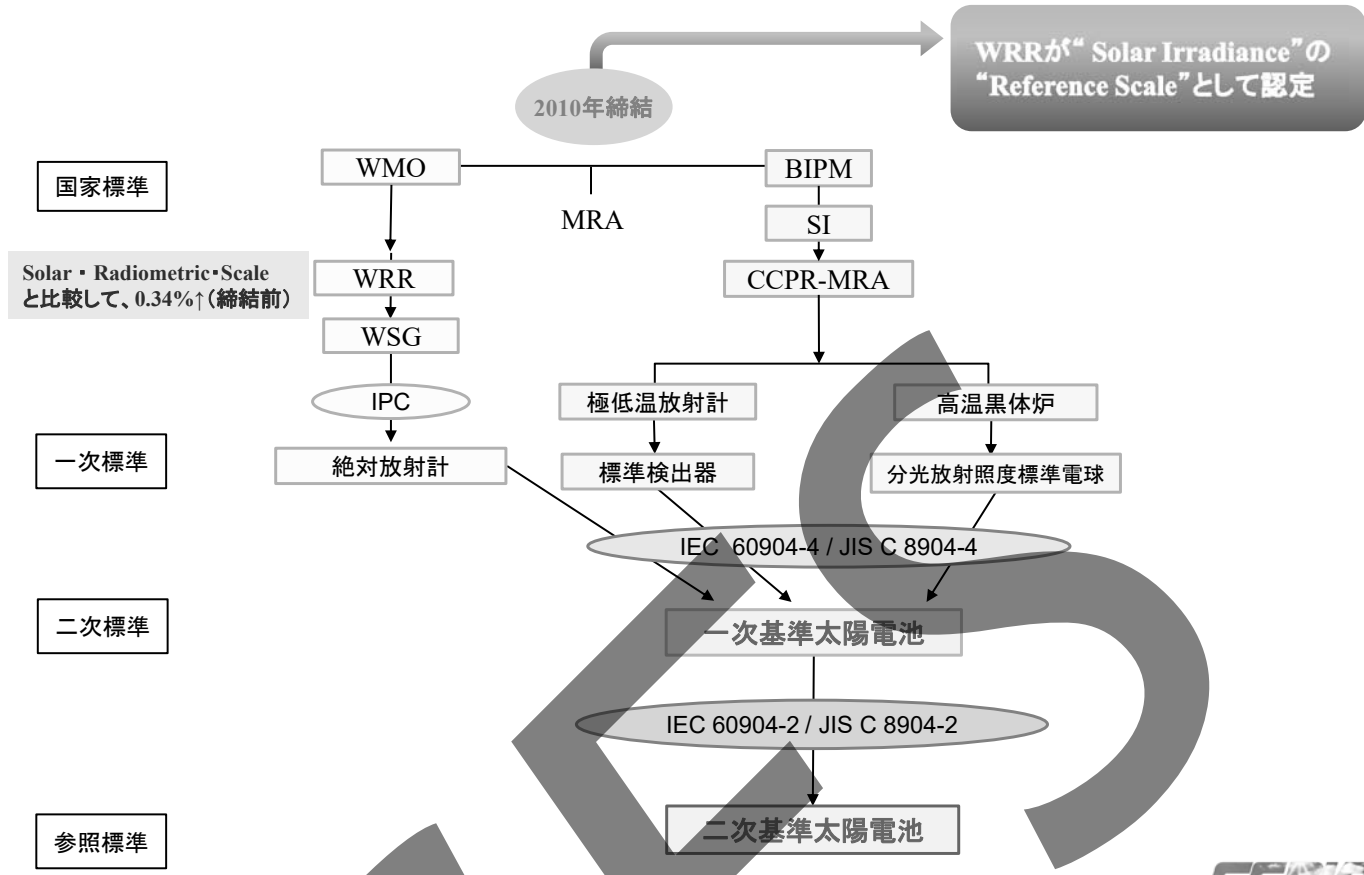
「起源をたどれる」ことを意味し、

- ① 製品実現の履歴を検証する手段
 - ② 科学技術データの信頼性を裏付ける手段
- として、確保が必要



太陽電池の性能に対しても、
国際貿易促進、
信頼性確保ため、
トレーサビリティの確保が不可欠

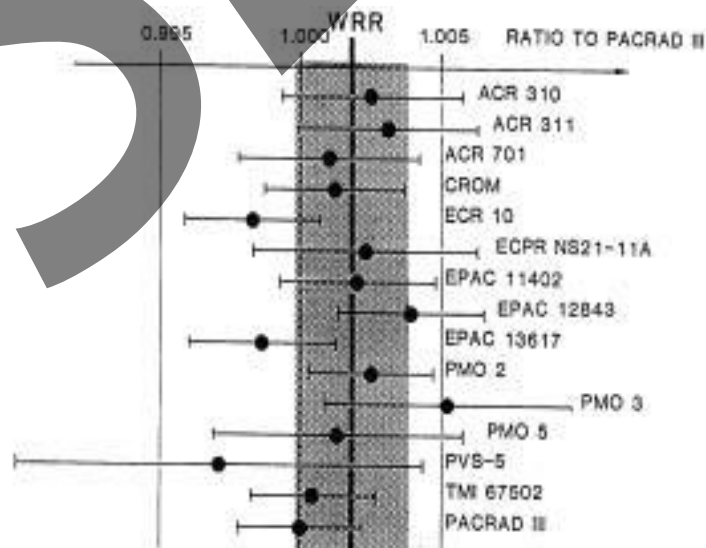
基準太陽電池デバイスの校正のトレーサビリティ連鎖



独立行政法人 産業技術総合研究所

TCFPT
太陽光発電工学研究センター

The World Radiometric Reference (WRR)



- World Radiometric Reference(世界放射計測標準)は1980年に確立された日射強度の測定標準で、世界共有の標準量である。
- WRR は、15台の絶対放射計(WSG)の重みつき平均で定義され、その正確性(accuracy)は 0.3%と見積もられている。
- 1979年に世界気象機構(WMO)がその導入を義務化した。

An IPC held at WMO's Solar Radiation Center -DavosInternational

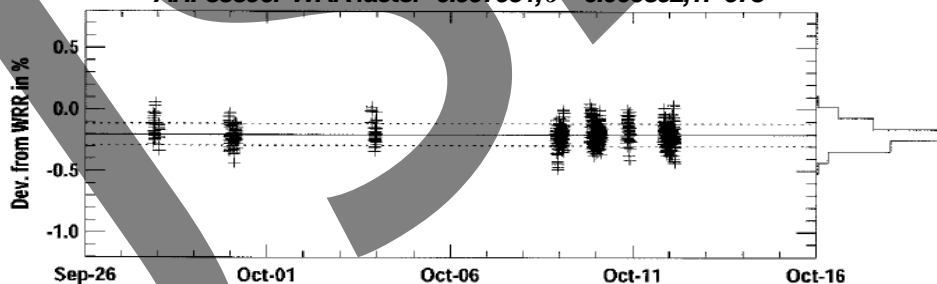


国際直達日射比較 (IPC) に参加: WRRトレーサビリティを維持

IPC-V

2005.10

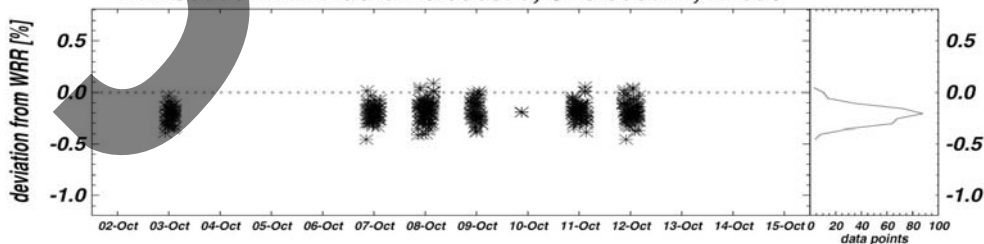
AHF33396: WRR factor=0.997951, $\sigma=0.000892$, n=673



IPC-VI

2010.10

AHF33396: WRR factor=0.998079, $\sigma=0.000924$, n=396



2013.12

AHF, PMO-6 及び NEDO 開発 ACR の Epplay 社 準器 と の 比較 (米 国)

2014

高平行ソーラシミュレータを用いた屋内法で PMOD/WRC, VNIIOFI (ロシアの計量研) と Solar irradiance の比較

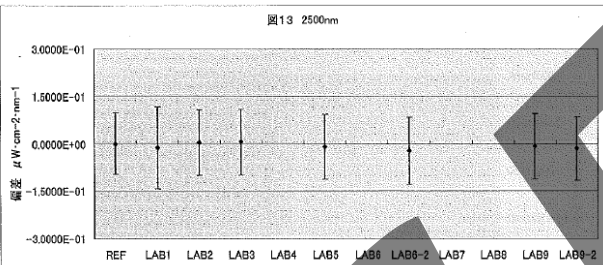
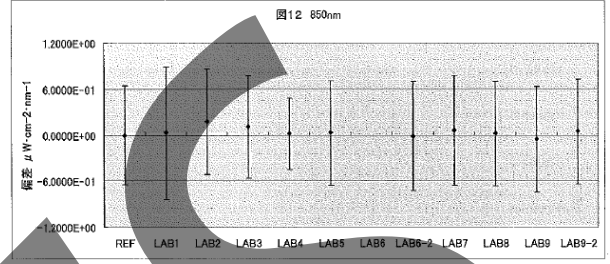
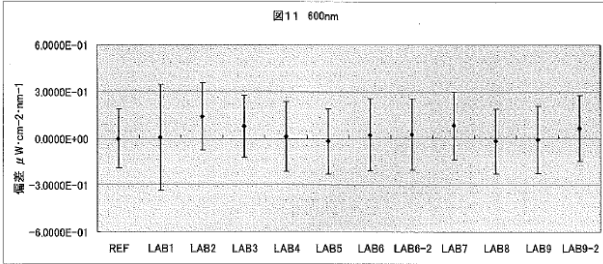
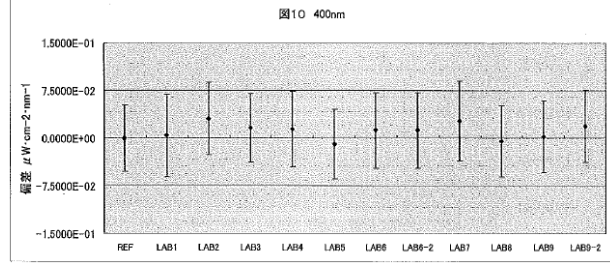
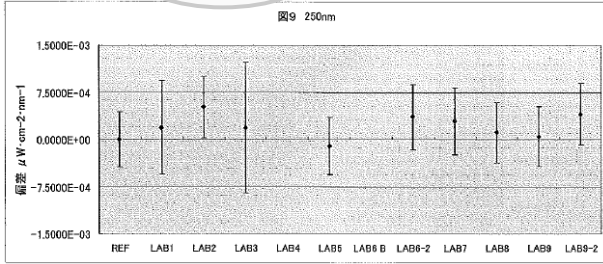
IPC-VII

2015.10

AHF 及び NEDO 開発 ACR で 参加

JCSS試験所間比較による技能試験_光:光度及び分光放射照度

JCPT-97 2005.10 プロバイダーはNITE

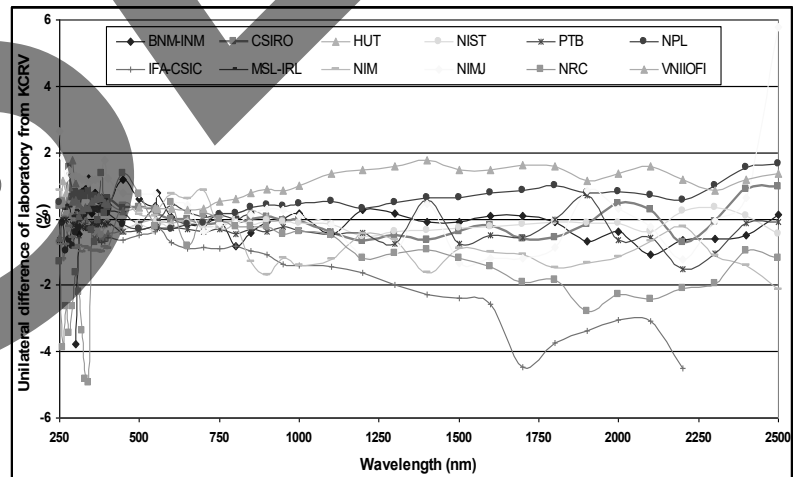


- REFはAIST/NMIJ
- LAB3がAIST/RCPVT
⇒ En数<1で満足なレベル
- 他のLABはJCSS認定事業者

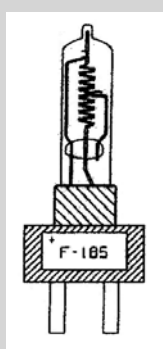
独立行政法人 産業技術総合研究所



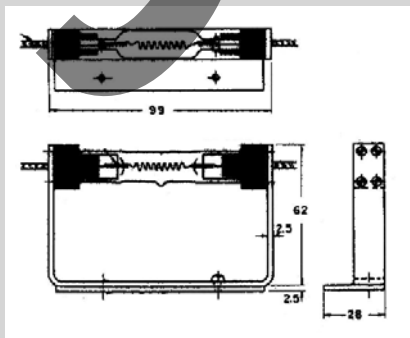
CIPM's k1-a国際比較(2003): 根幹比較参照値(K CRV)と各国の分光放射照度



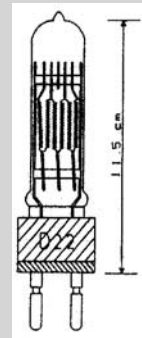
分光放射照度の基準は各国により異なる



NIST 米国



AIST 日本



NPL 英国



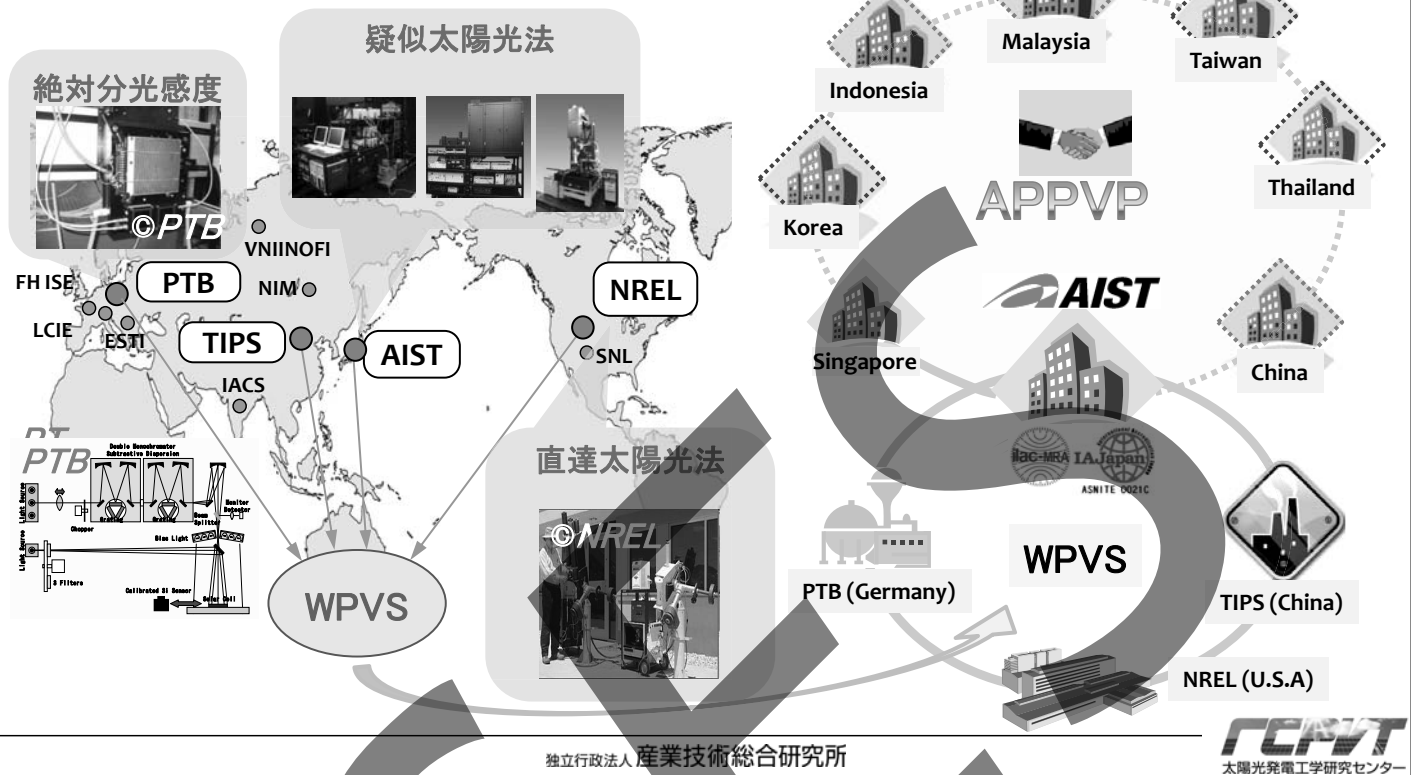
世界レベルでの太陽電池標準の同等性は、日本、米国、ドイツ、中国の四機関の一次校正値の平均値：

World PV Scale (WPVS)

・我が国の校正方法の世界標準化
・アジア太平洋での標準の同等性を世界に繋げる

Asia Pacific PV Program

一次校正方法は四機関で異なり、競争関係にある



独立行政法人 産業技術総合研究所

TCMPT 太陽光発電工学研究センター

不確かさ見積もり Uncertainty Budget

1	WRR による絶対放射照度測定(絶対値)	U 9 5 (%)
1.1	WRRとSI放射スケールとの比較	0.08
1.2	絶対放射計の再現性 (WMO及びAISTでの測定データ)	0.16
1.3	絶対放射計受光面とセルとの面積の違い (放射照度の面分布の影響)	0.10
1.4	絶対放射計とセルとの測定時間の違い (照度変動の影響)	0.05
1.5	受光面の水平度の不確かさ (受光面面積の影響)	*
1.6	受光面の高さの不確かさ (光線平行度の影響)	0.13
1.7	絶対放射計受光面又はセル受光面と光源との多重反射による再入射光量の違いを補正したときの補正量の不確かさ (多重反射の影響)。	*
2	I_{sc} 測定(絶対値)	
2.1	提出用校正値を算出する6個の校正値の平均値の実験標準偏差 (t分布による)	0.04
2.2	電流(電圧計)の不確かさ	*
2.3	標準抵抗器の不確かさ	*
2.4	電流(電圧計)の経年変化校正期間内での経年変化	*
2.5	電流(電圧計)の分解能の校正値に対する比率	*
2.6	標準抵抗器の温度係数及び経年変化の影響	*
2.7	セル温度の変動の I_{sc} への寄与分	0.05
2.8	温度計の不確かさの I_{sc} への寄与分	*
3	3.3.1 .スペクトルミスマッチ補正係数 b の不確かさ	0.25
合成不確かさ		0.358
拡張不確かさ ($k=2$)		0.72



ラボ認定証

Certificate from NITE

認定証

独立行政法人産業技術総合研究所 殿

独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターは、ASNITE認定プログラムに基づき、以下のとおり校正事業者として認定します。

認定された事業者は、ISO/IEC17025:2005(JISQ17025:2005)に適合しています。

認定番号及び付加情報：ASNITE 0021 C

事業所の名称：独立行政法人産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター

所在地：茨城県つくば市梅園1-1-1
中央第二

事業の区分：別紙のとおり

最新交付日：平成22(2010)年3月08日

独立行政法人製品評価技術基盤機構
認定センター所長 瀬田 勝男



ILAC (独)製品評価技術基盤機構認定センターは、ILAC(国際標準所認定協力機構)及びAFLAC(アジア太平洋試験所認定協力機構)のMRA(相互承認)に審査している認定機関です。
相互承認要求事項とは、認定の基準(該当する国際規格及びガイド)適合義務の他に、技能試験参加要件及び定期検査の受審並びにMRA対応事業者に対するトレーサビリティ要求事項(方針)を指します。
この認定は当該事業者が認定された範囲においてISO/IEC 17025:2005の技術的能力要求事項およびマネジメントシステム要求事項を満たしていることを証明するものです。ISO/IEC 17025:2005のマネジメントシステム要求事項はISO 9001:2008の原則を満たし、その関連する要求事項に沿ったものです。

独立行政法人 産業技術総合研究所



認定範囲

(別紙)

認定の区分：光度
初回認定年月日：平成20(2008)年5月16日
計量器等の区分[認定年月日]：光度標準電球等[平成20(2008)年5月16日]
恒久的施設で行う校正/現地校正の別：恒久的施設で行う校正

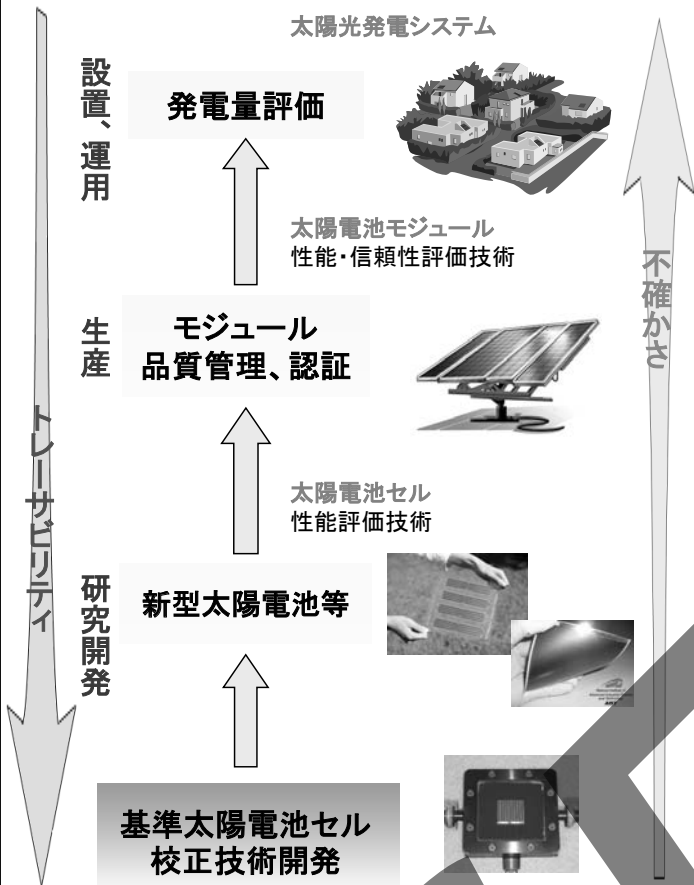
計量器等の区分	種類	校正範囲	最高測定能力 (k=2)
光度標準電球等	一次基準太陽電池セル	直流電流 10 mA ~200 mA	0.72 %
	二次基準太陽電池セル	直流電流 10 mA ~200 mA	0.90 %

(2010/03/08 ASNITE 0021 C 1/1)

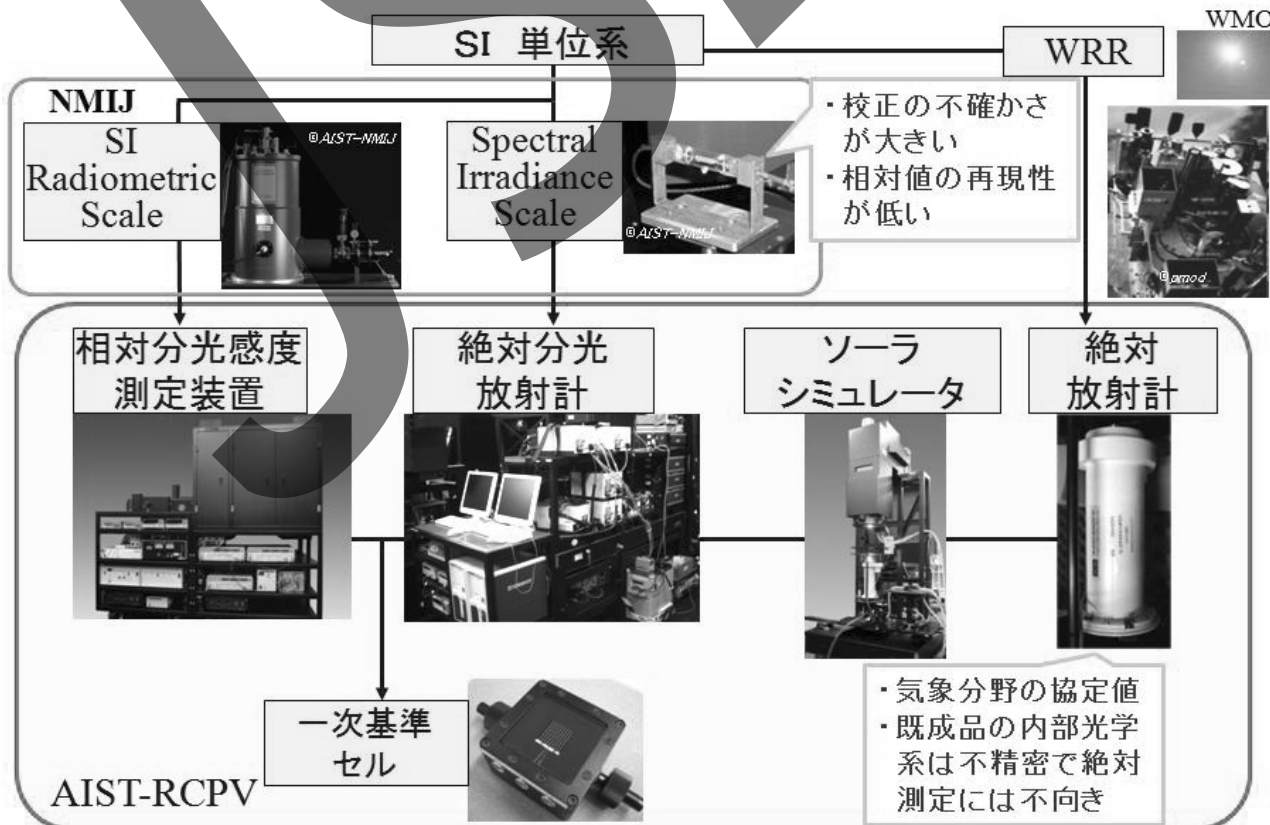


「校正技術高度化」

- ① 技術移転による高精度標準器の普及
- ② 世界最高の校正品質の提供
- ③ 校正コストを低減する技術開発によるユーザコスト削減
- ④ 国際比較による国際整合性の確保
- ⑤ 技能技術の提供による校正事業者の認定支援
- ⑥ エネルギー定格に向けた非標準条件校正値の提供



一次基準太陽電池のトレーサビリティで見える課題



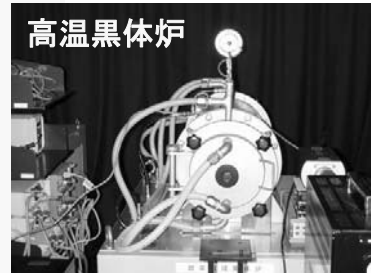
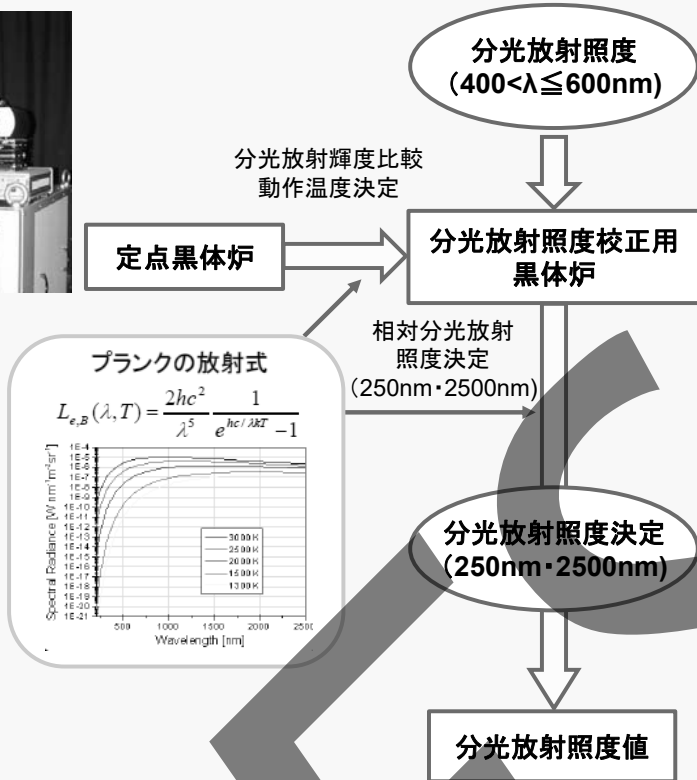


定点黒体炉

- ・定点であるが低温。
- ・可視領域の絶対値を押さえながら、光量が十分でない紫外と赤外は外挿する形で高温黒体炉を用いている。



紫外と赤外での再現性が十分でなく、不確かさが大きいのは止むを得ない。



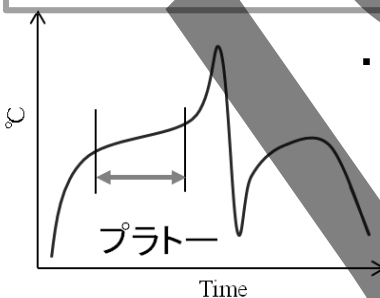
高温黒体炉

- ・開口径が小さく、十分な光量が得られない。
- ・プラトー維持時間が短い



分光放射照度標準電球

放射温度の標準である超高温定点黒体炉を放射源として用いる



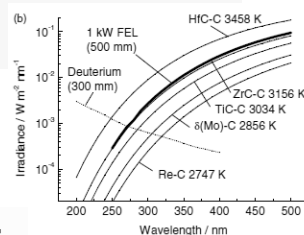
- ・金属の状態が変化する(固体⇔液体など)際、温度上昇が平坦な状態が出現する。これを温度定点(プラトー)という。
- ・温度定点は、温度計の精度を維持する為に重要な役割を担っているが、純金属で銅点(1085℃)までしか達成されていなかった。

産総研 計測標準研究部門 温度湿度科 放射温度標準研究室が金属-炭素包共晶点を用いた超高温定点黒体炉を開発。放射温度計定点校正の超高温化(2800℃まで)を実現。

- ・ 温度標準である超高温定点黒体炉の放射源として適用可能性を検討※1

- ・ 紫外～可視でFELランプと同等・高再現性

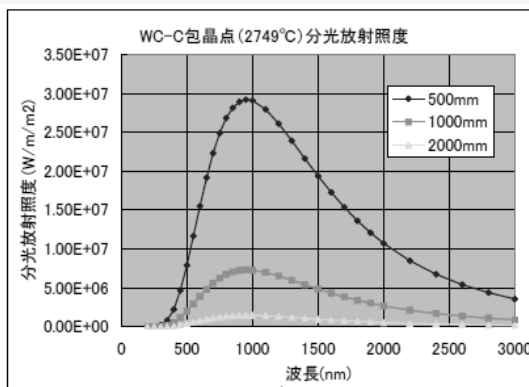
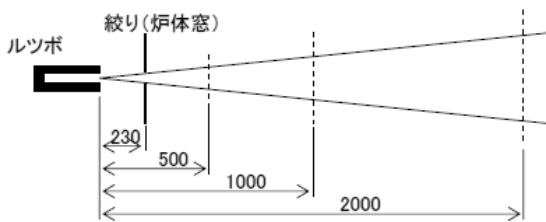
※1 Yoshiro Yamada, Boris Khlevnoy, Yunfen Wang, Tiejun Wang and Klaus Anhalt Metrologia 43 (2006) S140-S144 "Application of metal (carbide)-carbide eutectic fixed points in radiometry"



チノー製:IR-R80sp

放射照度の距離依存

超高温定点黒体炉のプラトーにおける放射を、異なる距離で測定(mm単位)

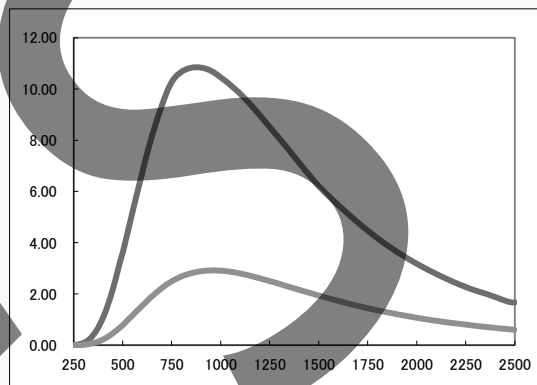


ほぼ、逆二乗速則に従う

放射照度の強度比較(標準電球との比較)

- ・ 分光放射照度標準電球と、超高温定点黒体炉からの放射照度を当距離で比較(500mm)。
- ・ 極大吸収波長(870nm)における超高温定点黒体炉からの放射強度は標準電球の1/4
- ・ 超高温定点黒体炉から250mmの距離で分光放射照度標準電球と同等で安定な放射照度を得られる。

— 標準電球:202006(cal:NMIJ)
— 黒体炉IR-R80(2749°C):500mm



超高温定点黒体炉に適応する絶対分光放射計の開発



解決すべき課題

- 温度ドリフトによる熱雑音
- 分光器の波長帯域による分散係数の違い
- 分光器の繰り返し波長設定精度の不足
- 異なる波長域で使用するセンサ毎のリニアリティの違い

太陽光発電工学研究センターに導入した超高温黒体炉・放電監視盤・放射温度計

校正技術高度化②: 絶対分光感度法による校正技術の開発 ソーラシミュレータ法



絶対分光放射計



ソーラシミュレータ

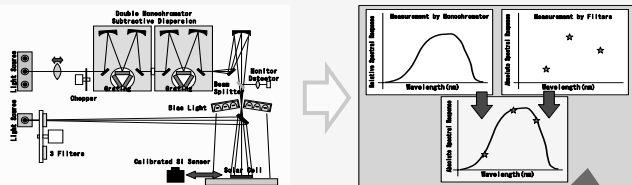


相対分光感度測定装置

分光放射照度分布を基準太陽光に近似させたソーラシミュレータで、太陽電池短絡電流を測定し、分光感度を使用して、測定値を補正して校正電流値を求める。

$$I_{sc}(C) = I_{sc}(m) \times \frac{\int \phi_s(\lambda) \cdot Q(\lambda) d\lambda}{\int \phi_m(\lambda) \cdot Q(\lambda) d\lambda}$$

絶対分光感度法 (PTBの従来法)



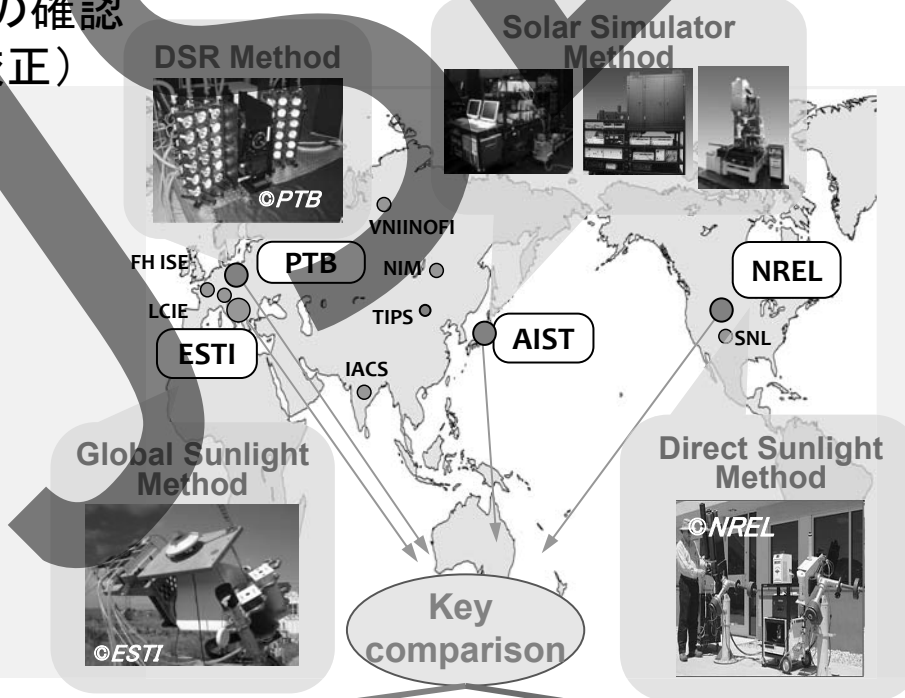
相対分光感度の連続波長データを、離散波長における絶対測定値で補正して絶対分光感度特性を求め、校正電流値を算出する。

複数の強度のバイアス光を重畳した際のデータから計算により校正値を求める為、実際は煩雑

さらに 次の問題点がある:

- 単色光の光量が弱い
- グレーティングを使うため、偏光が強い
- 空間的に一様な単色光が得られない

国際整合性の確認 (国際比較校正)



結晶シリコン、疑似セル

結晶シリコン

PT005 AISTがホスト

- 参加者は公募
- 校正方法は複数から選択

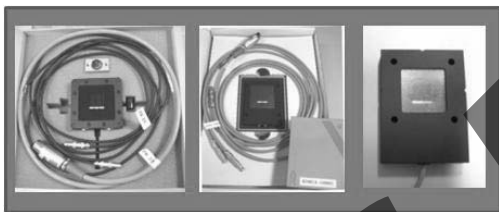
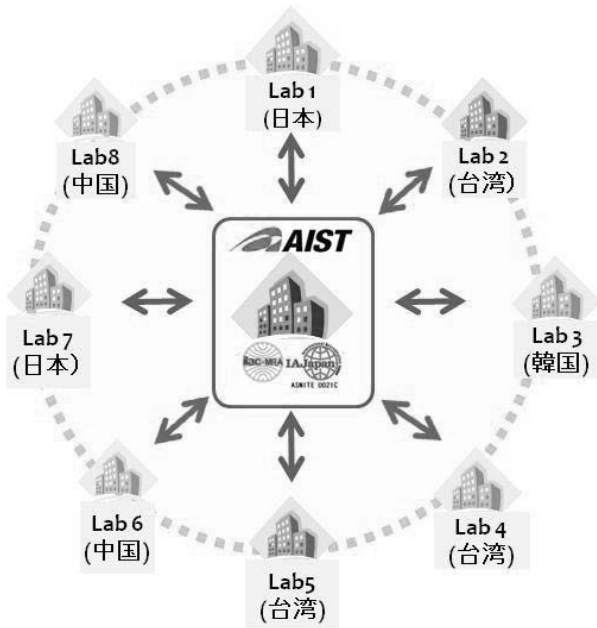
ISO/IEC 17043準拠・技能試験

EURAMET PTBがホスト

- 参加機関は国家計量研
- 校正方法は全て絶対分光感度法

Comparisonで、技能試験ではない

日本、中国、台湾、韓国のアジアの8機関で実施(10月末に終了)



仲介器物:(光学的特性が異なる)

結果の評価

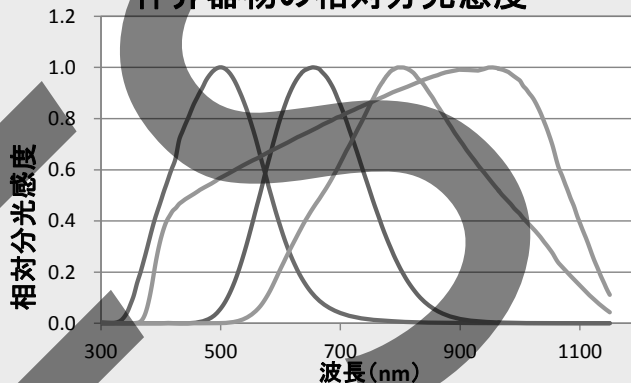
ISO/IEC 17043 (2010) の付属書Bに記載された統計手法のうち、 E_n 数により行う。

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

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)

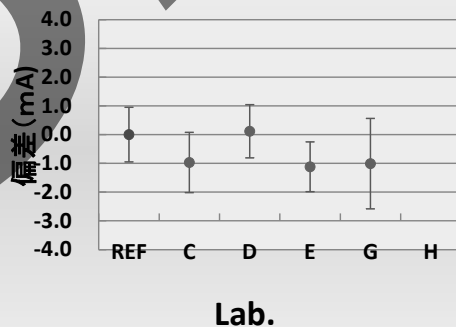
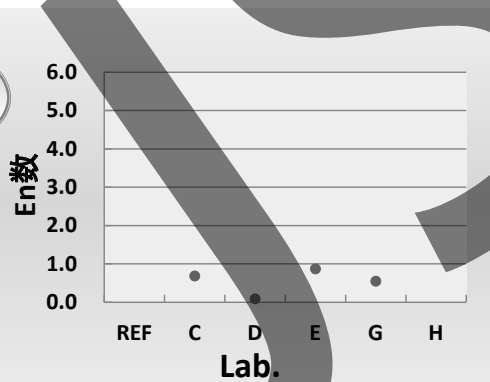
仲介器物の相対分光感度



● 仲介器物① : c-Si (片面テクスチャガラス・非充填型)

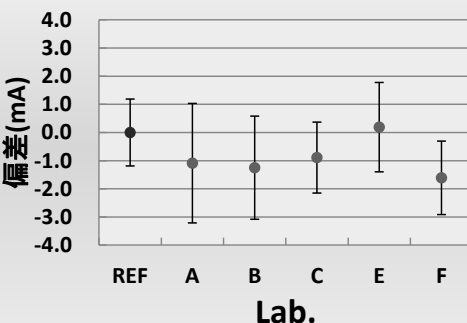
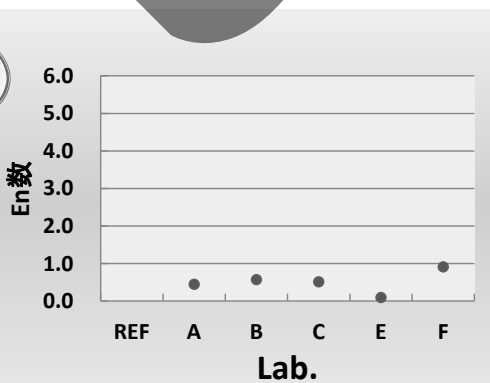
一次校正・二次校正ともに全参加者が満足なレベル

一次



C:シミュレータ法
 D:シミュレータ法
 E:絶対分光感度法
 G:絶対分光感度法
 H:直達太陽光法
 (実施中)

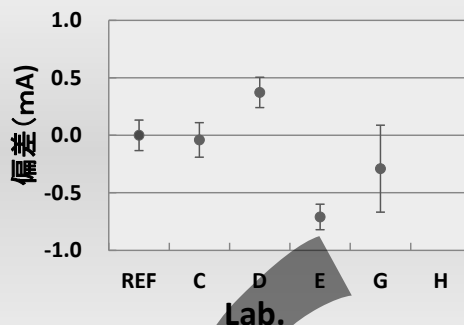
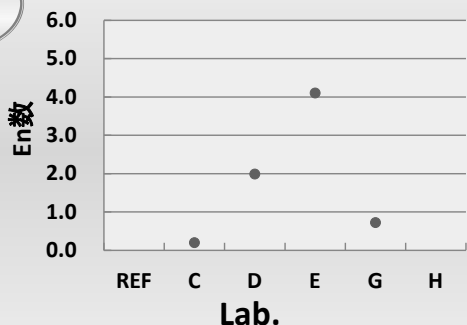
二次



全参加者ともにシミュレータ法

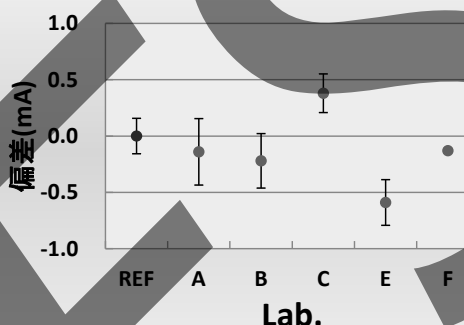
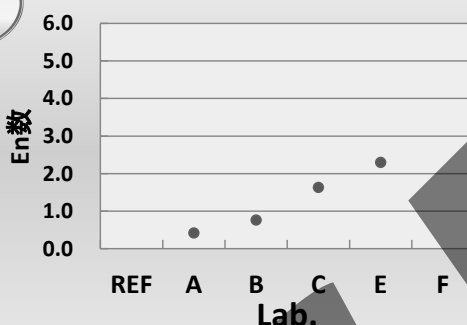
一次・二次ともにEn数が大きく外れる

一次



C:シミュレータ法
D:シミュレータ法
E:絶対分光感度法
G:絶対分光感度法
H:直達太陽光法
(実施中)

二次



全参加者ともに
シミュレータ法
Lab.F は不確かさ
未推定のため判定外

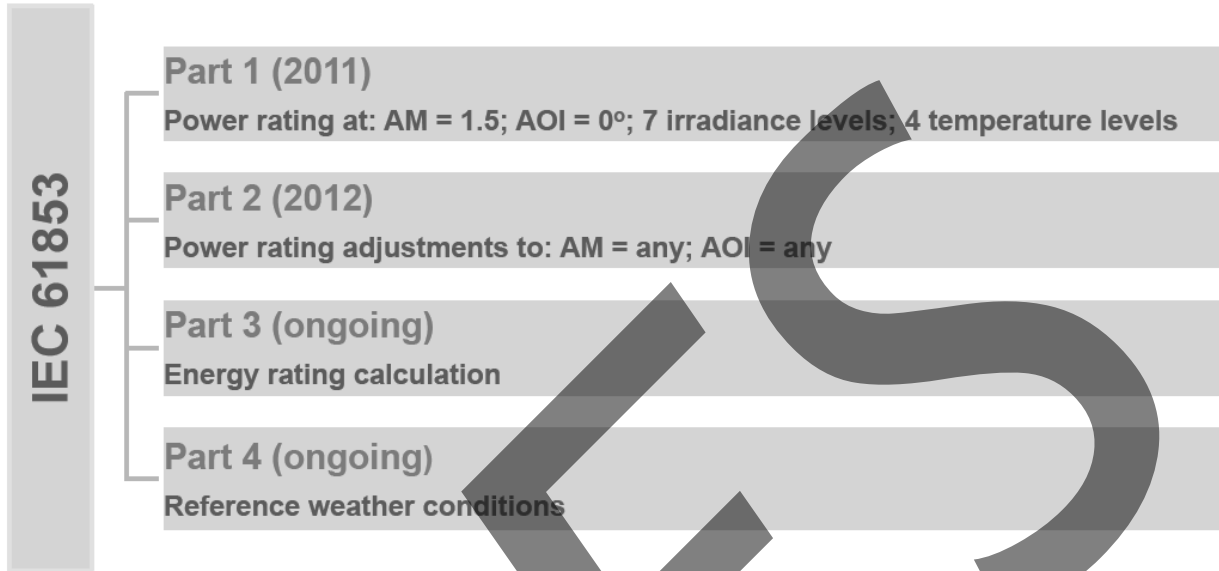
比較結果の解析

- ◆ **結晶系:**
 - ・仲介器物の構造に係らず、上位標準と校正方法の違いの影響は殆ど認められない。
- ◆ **疑似セル:**
 - ・二次校正の一致度は高いが、一次校正では差異が顕著。傾向には、校正方法による系統的な類似性はなく、セルの感度波長域により異なる。
- ◆ **疑似セルでの結果は、参加者の校正値がAISTの不確かさの範囲を越えているか、その不確かさの推定の誤り(過小推定)の他、狭波長域における上位標準の差や校正機器固有の特性の影響が考えられる。**

評価指標はパワーからエネルギーへ

IEC 61853 Scope

IEC 61853: Photovoltaic module performance testing and energy rating



IEC61853-1のパワーレイティングマトリックス

P_{max} , I_{sc} , V_{oc} , and V_{max} versus Irradiance and Temperature

Irradiance (W/m ²)	Spectrum	Module Temperature (C)				
		15	25	50	75	
1100	AM1.5	NA	#1	#2	#3	
1000	AM1.5	#4	#5	#6	#7	→ STC
800	AM1.5	#8	#9	#10	#11	→ NOCT レベル
600	AM1.5	#12	#13	#14	#15	
400	AM1.5	#16	#17	#18	NA	
200	AM1.5	#19	#20	#21	NA	→ 低照度
100	AM1.5	#22	#23	NA	NA	

IEC 61853-1のマトリックスについて

- ・ 環境の異なる複数の屋外サイトで半年以上のデータ観測が必要
- ・ ソーラシミュレータをつかえば、屋内で短期間にデータは取得できる。
- ・ 均一性、スペクトル合致度・安定性を維持して全照度条件を実現するためには高度な装置が必要(DSR法で要求されるバイアス光も同じ)

IEC 61853-1のマトリックスについて

- ・ 照度2条件、温度2条件のI-Vカーブから、線形補完法で他の条件のI-Vカーブは算出できる。
- ・ 推定の不確かさを低減するためには、低照度におけるI-Vカーブを実測したい



- ・ 基準太陽電池の低照度での校正
- ・ 基準太陽電池と被測定太陽電池の線形性

標準試験条件：パワーレイティング

Standard Test Conditions : STC



AM1.5G · 25°C · 1,000W/m²

IEC 60904-3/JIS C 8904-3

- ・自然光でAM1.5G基準太陽光が実現する日は稀
DSRで求められるのは絶対分光感度と校正値

基準太陽電池とソーラシミュレータ(疑似太陽光)で
I-Vカーブを測定し、パワー・レイティング(定格)を行う。

まとめ

1. パワー・レイティングは標準試験条件でのI-Vカーブの測定結果で行われている。
2. I-Vカーブを測定する光源の調整・測定には校正された基準太陽電池が不可欠で、トレーサビリティと不確かさが重要である。
3. 太陽電池の定格付けは、パワーからエネルギーへと変わりゆく見通しである。
4. エナジーレイティングを行うためには、非標準条件(特に低照度)での特性評価が必要。
5. 基準デバイス、評価装置、太陽電池の線形性評価が重要となる。