

太陽電池モジュールの屋外測定とI-V特性の推定

テュフラインランドジャパン
津野 裕紀

〒224-0033
神奈川県横浜市都筑区茅ヶ崎東4-5-24
Mail: yuki.tsuno@jpn.tuv.com
Phone: 045-914-0569

目次

1. はじめに
2. 太陽電池モジュールの屋外測定
3. I-V特性の推定方法とその比較
4. おわりに

2013/12/19 JSES 第7回セミナー

 TÜVRheinland®
Precisely Right.

1

1. はじめに

I-V特性を測定する目的



TÜV 大阪サイト

PVシステム単位

- ・ 設置後の出力確認
- ・ 定期点検
- ・ 異常時点検
- ・ モデリング



TÜV ドイツサイト

PVモジュール単位

- ・ 発電量のレーティング
- ・ 屋外性能の把握（特に新規PV）
- ・ 環境影響の調査（汚れ、温度）
- ・ モデリング

発電電力量 = f(日射, 温度, スペクトル, 性能変化, 劣化, 入射角度, 設置環境, 性能ばらつき)

2013/12/19 JSES 第7回セミナー

「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

 TÜVRheinland®
Precisely Right.

2

1. はじめに

PVの種類、製造者、設置環境によって発電量は異なる

北杜サイトでのPVシステムの発電量比較

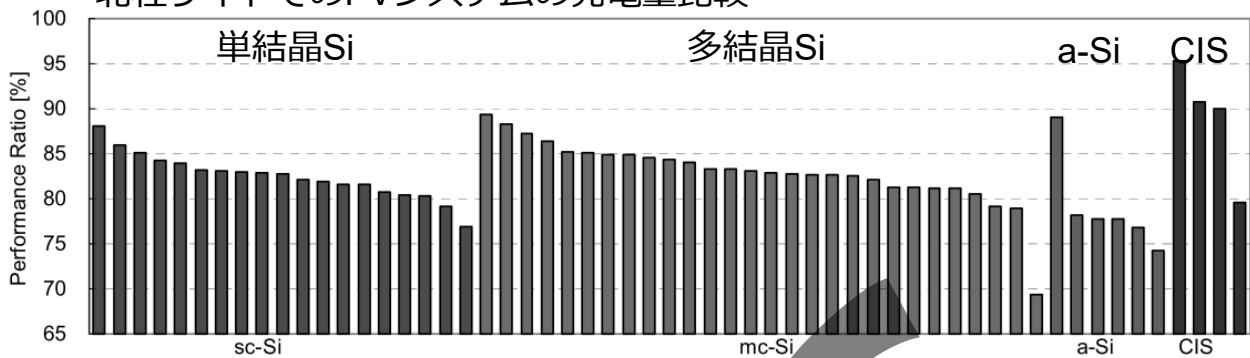


Figure 3: Annual performance ratios and loss analysis results

※Ueda et. al, 24th EUPVSEC 2009

発電電力量 = f(日射, 温度, スペクトル, 性能変化, 劣化, 入射角度, 設置環境, 性能ばらつき)

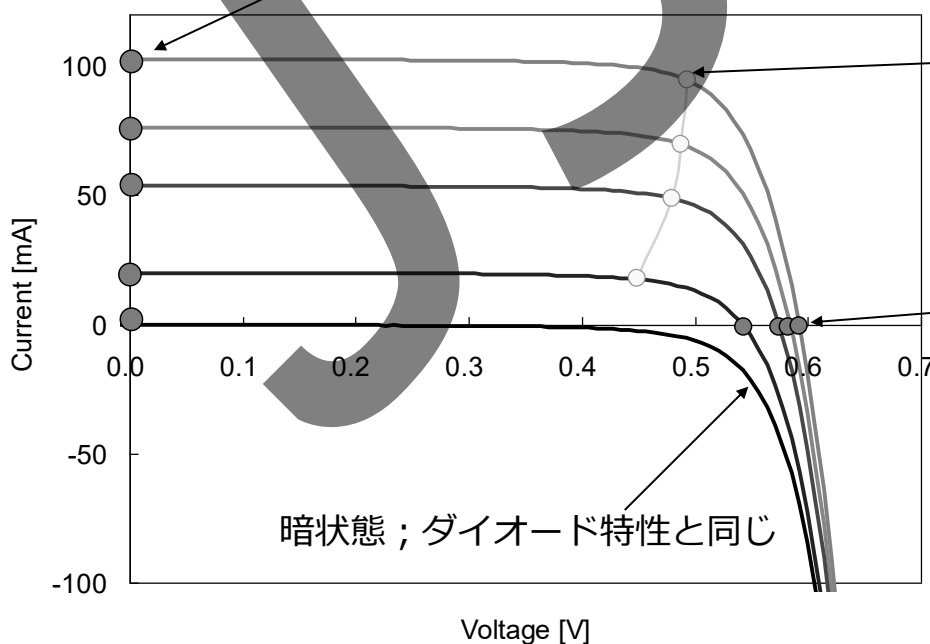
- ・ 同じ種類のPV = 出力は同じ・・・ではない
- ・ 設置したPVの性能把握
- ・ 適切なモデリングと出力予測
- ・ 劣化と発電性能のきりわけ (点検時)
- ・ 測定誤差

1. はじめに

基礎知識

照度特性

Iscは光の強さに比例して増加 (Iph)



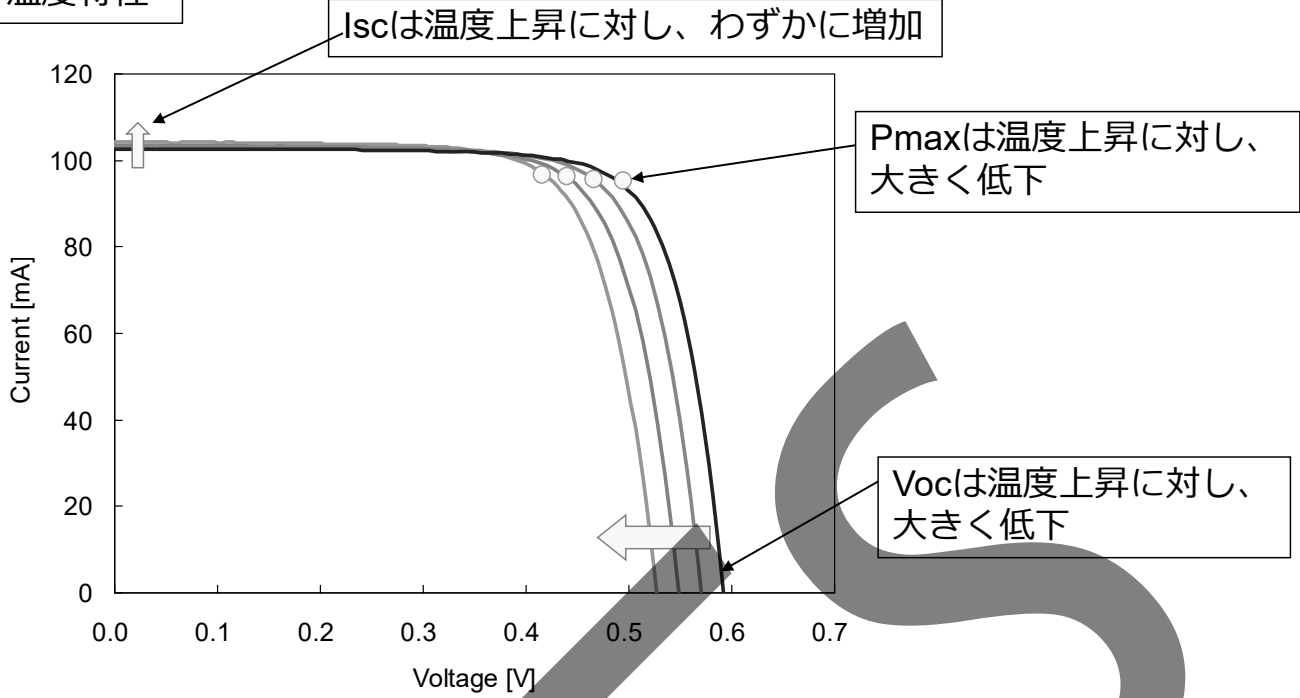
Pmax点は光の強さに依存するが、線形とはならない

Voc点は光の強さに依存するが、さほど増加しない

暗状態 ; ダイオード特性と同じ

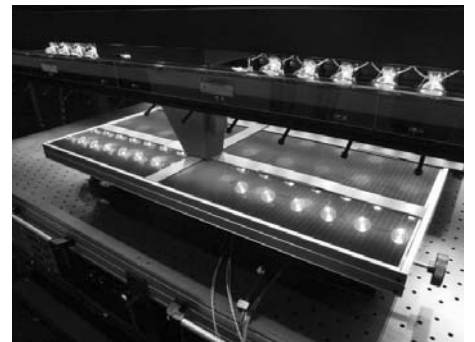
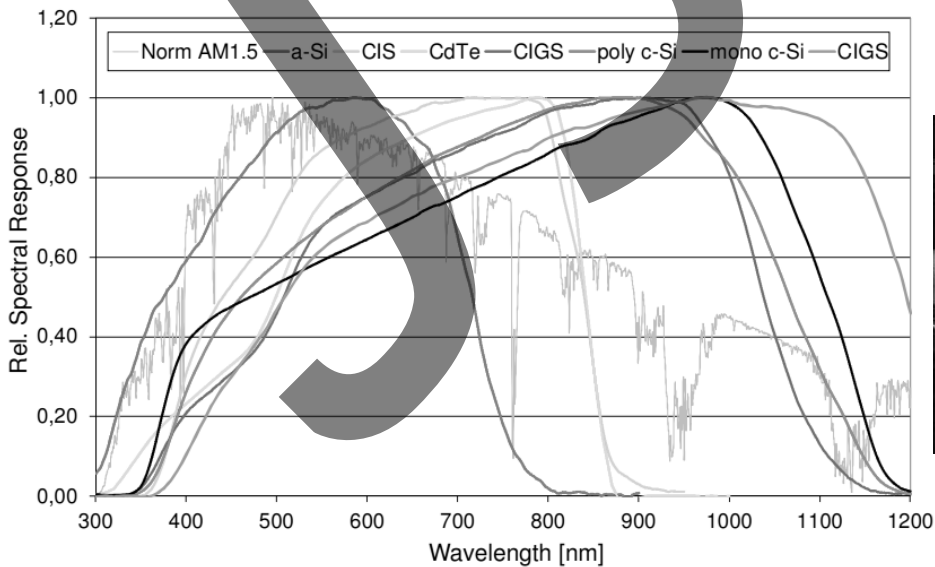
1. はじめに 基礎知識

温度特性

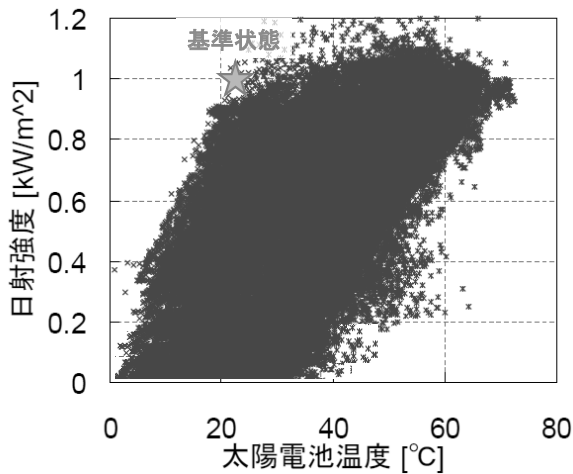


1. はじめに 基礎知識

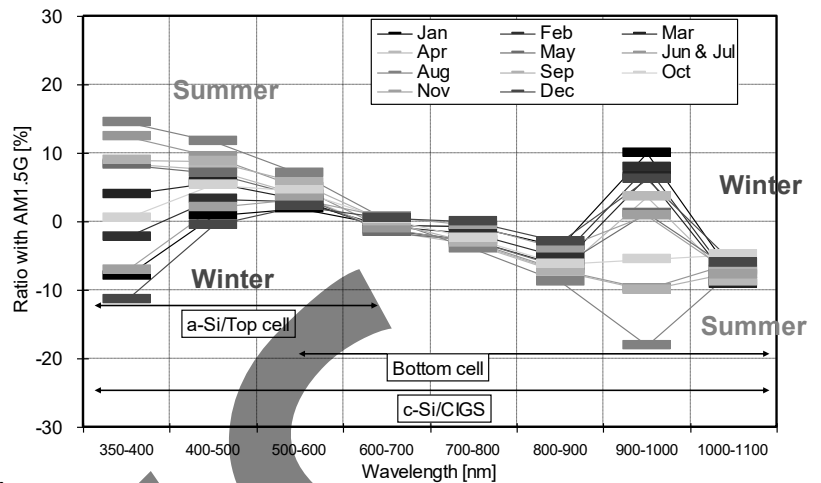
分光感度



1. はじめに 基礎知識



太陽電池温度・日射強度の分布の一例

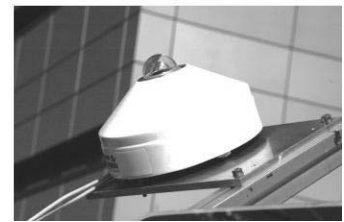


Changes of the monthly average spectral match (as defined by IEC 60904-9) of solar spectrum under noon clear day.

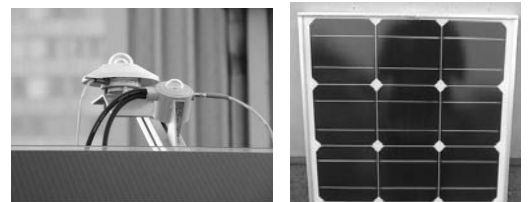
太陽光スペクトル

夏：短波長↑ 長波長↓
冬：短波長↓ 長波長↑

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)



分光放射計



日射センサ

I-Vカーブトレーサ

モジュール温度

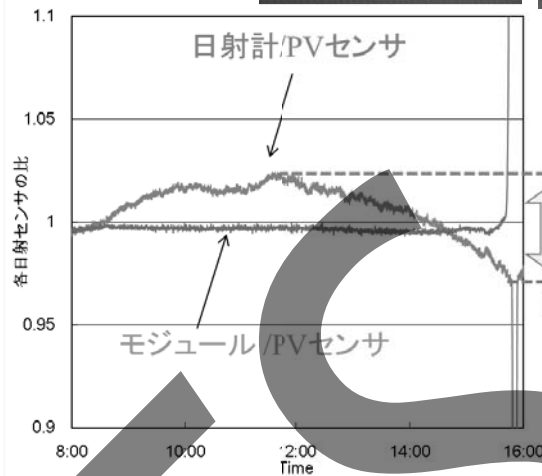
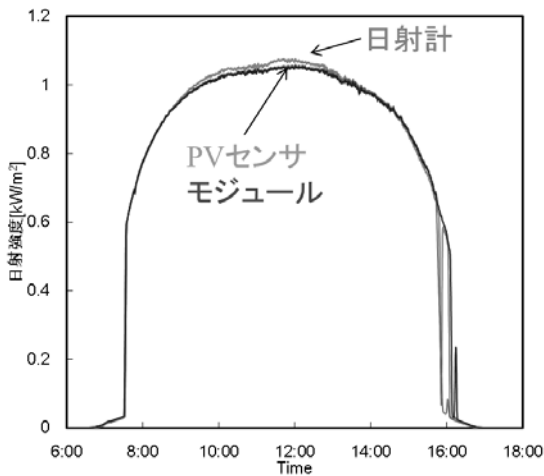
- ・ 入射エネルギーの測定⇒日射センサ
- ・ スペクトルの影響⇒分光放射計
- ・ 太陽電池モジュール温度⇒温度センサ
- ・ 太陽電池の出力⇒I-Vカーブトレーサ

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

日射センサ



快晴日の各センサの比較



±2~3%
主にスペクトルの影響

津野 AIST成果報告会, 2013

2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

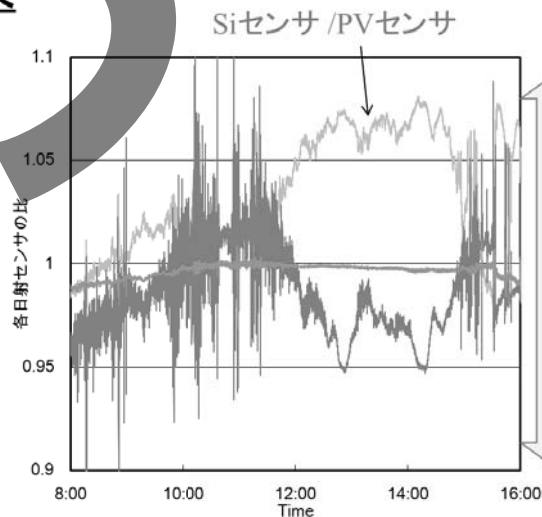
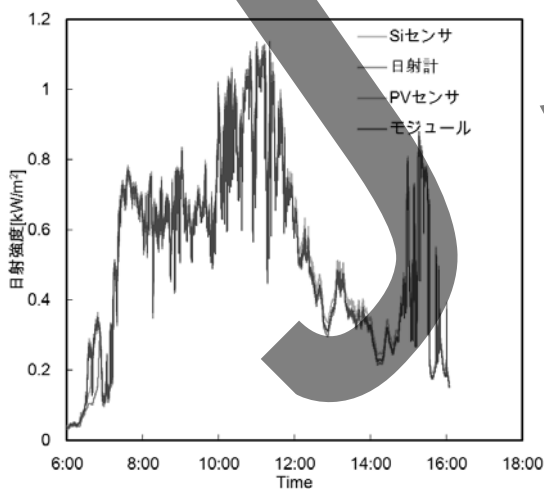
TÜVRheinland®
Precisely Right.

9

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

日射センサ

変動日の各センサの比較



>±10%
主に応答時間の差によるもの

※250ms間隔で測定

津野 AIST成果報告会, 2013

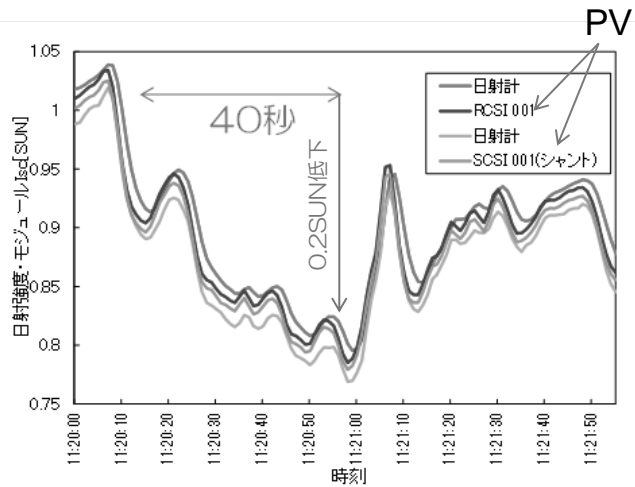
2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

TÜVRheinland®
Precisely Right.

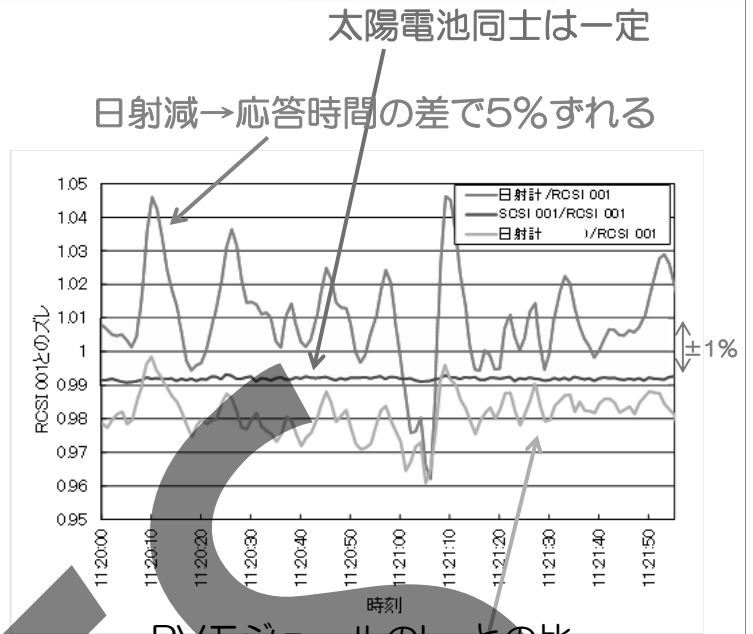
10

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

比較的遅い日射変動のとき



各センサの日射強度



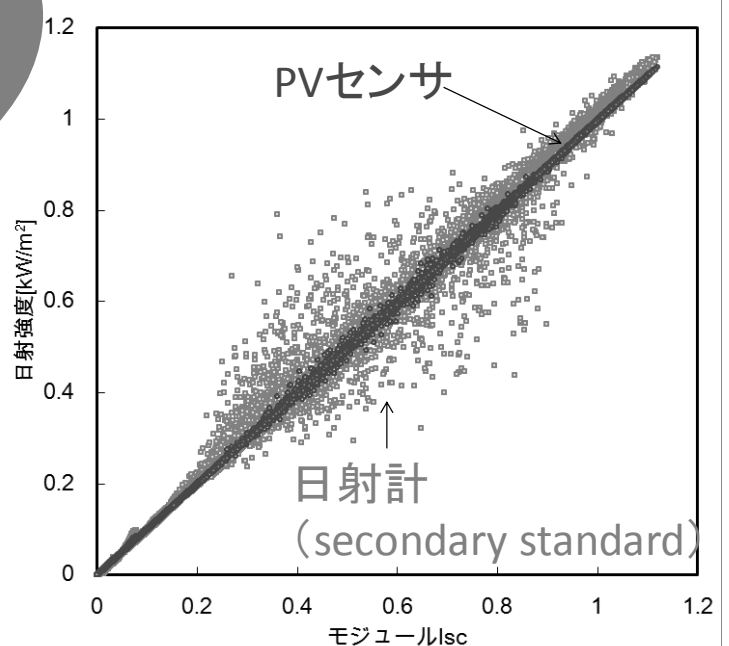
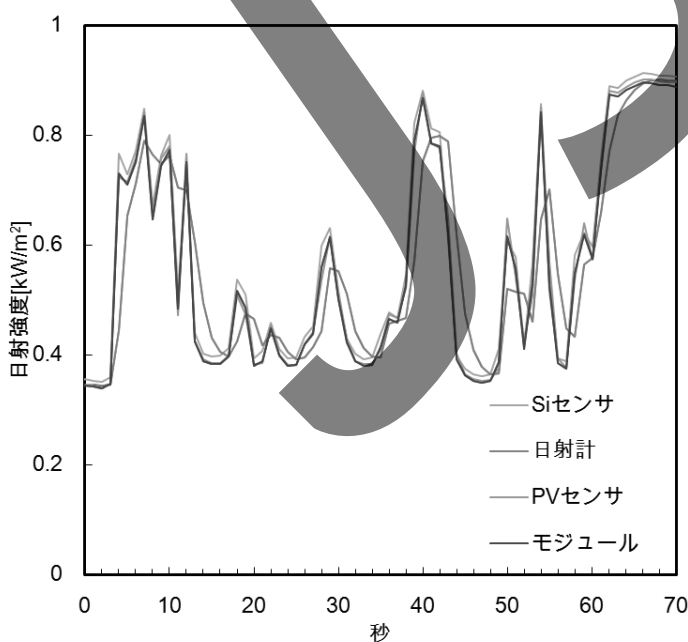
PVモジュールのIsCとの比

変動量は小さいものの、
±1%は変動
絶対値が低め

津野 PVResQ夏合宿, 2013

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

早い日射変動のとき



津野 AIST成果報告会, 2013

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

日射計の応答時間



Spectral range	285 to 2800 nm
Sensitivity	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Response time	< 5 s



日射計は英弘精機

私の日射計、日照計は気象庁のネットワーク観測システムである地上観測システムで使用されています。

型式	CHF-SR20	CHF-SR12	CHF-SR11	CHF-LP02	CHF-SR03
仕様書(図面)	作成中	作製済	作製済	作製済 標準品	作製済
価格	価格	価格	価格	価格	価格
取扱説明書	取扱説明書				
カテゴリ	総合	測	測	測	測
主な目的・特徴	研究目的 標準観測所 比較用機器	太陽エネルギーの試験機 計ISO6080.432準拠	研究目的 永続的観測所	農業、産業	太陽電池 高速応答
イメージ					
ISOクラス	Secondary Standard	1st Class	1st Class	2nd Class	2nd Class
感度	7-25mV/(kW/m2)	標準 15mV/(kW/m2) 7-25mV/(kW/m2)	10-40mV/(kW/m2)	10-40mV/(kW/m2)	7-15mV/(kW/m2)
標準出力レンジ	0-50mV	0-40mV	0-50mV	0-50mV	0-30mV
オプション出力	4-20mA/2kW/m2	4-20mA/2kW/m2	0-7mV/kW/m2 4-20mA/2kW/m2	0-7mV/kW/m2 4-20mA/2kW/m2	4-20mA/2kW/m2
応答時間(95%)	3sec	18sec	18sec	18sec	1sec

(出典) クリマテック

日射計：数秒
太陽電池：マイクロ秒

仕様	MS-802-MS-802F	MS-402-MS-402F	MS-410	MS-602
ISO 9060による全天日射計の分類	Secondary Standard	First Class	First Class	Second Class
応答時間(出力が95%に達するまでの時間)	約5秒	約8秒	約18秒	約17秒

2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

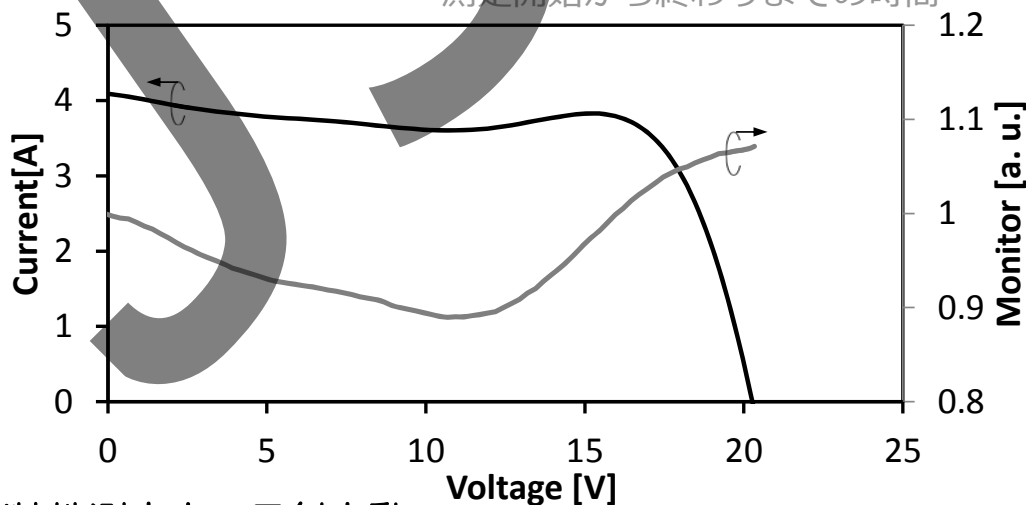


2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

I-Vカーブトレーサ

I-Vトレーサのスイープ時間

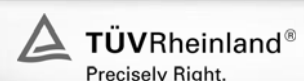
負荷を変化させて順々に測定していく
測定開始から終わりまでの時間



I-V特性測定中の日射変動

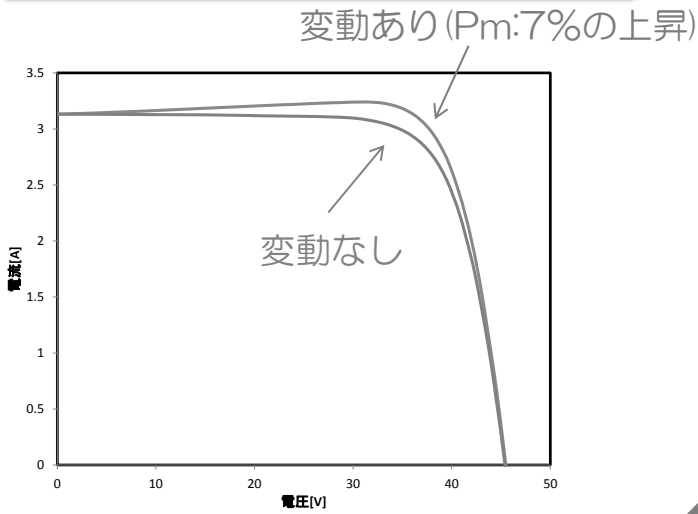
- ◆ 屋外用I-Vトレーサのスイープ時間は数十ミリ秒～十数秒と様々
 - ◆ 基本的に測定中の日射変動を測定していない
- スイープ時間の影響は？

2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

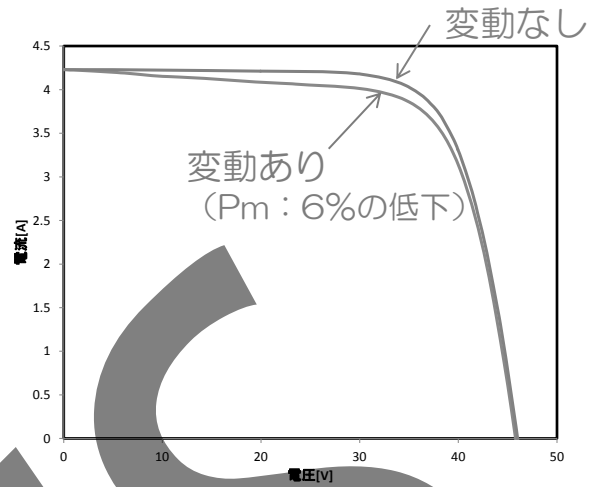


2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

日射変動の影響と判定しやすい例



日射変動の影響と判定しにくい例

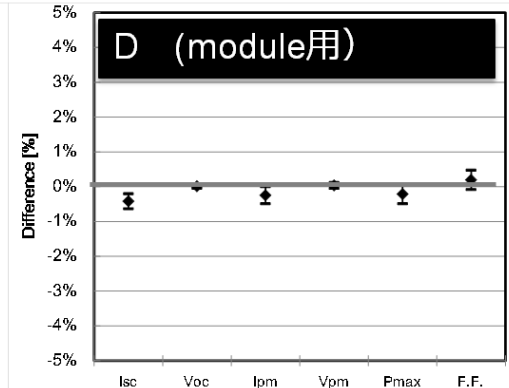
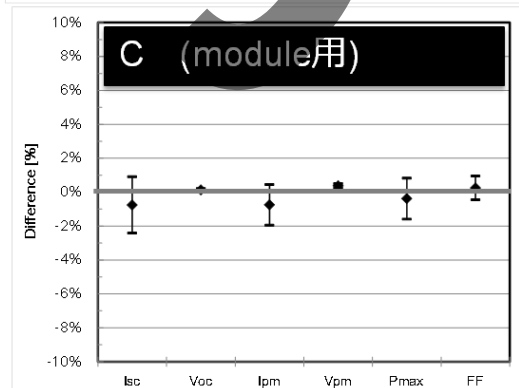
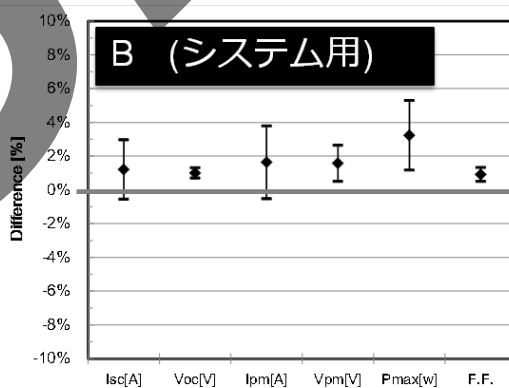
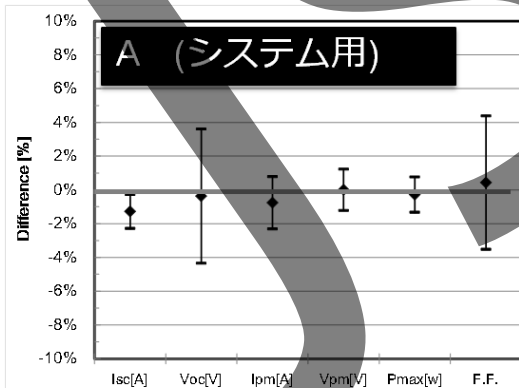


電圧増加に伴い、電流も増加する現象は通常ありえない
ただしPmだけ見てると、出力が低下しているのに正常と判断する可能性

測定ミスより他の要因を考えてしまう
・劣化や故障 (シャント抵抗、影、性能むら)
・応答時間の遅い太陽電池
→測定ミスなのに、出力低下と判断する可能性

2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

I-Vカーブトレーサの測定精度



2. 太陽電池モジュールの屋外測定(I-V特性)

ここまでのまとめ

日射センサ

- ・日射計→× (±10%以上は誤差あり)
- ・太陽電池センサ→○

I-Vカーブトレースのスイープ時間

- ・日射変動モニタ+補正を行う。もしくは数百ms以下の速いスイープスピードが必要

I-Vカーブトレースの評価

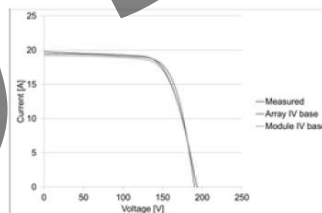
- ・現状。実際の電流・電圧測定精度は使ってみないとわからない
- ・屋外を考慮した評価方法が必要

3. I-V特性の推定方法とその比較

PVのI-V特性を正しく測定できても、
屋外では温度や照度によってI-V特性の形状が変化する

照度や温度によるI-V特性の変化の把握
⇒より確かなPVシステムの出力点検に有用

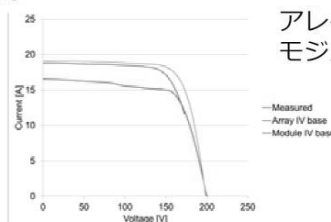
正常状態；推定例



アレイ I V 利用； -2%
モジュール I V 利用； 2%

短絡低下モード

Pmax: -10~14% I_{sc}: -12~15%



アレイ I V 利用； -10%
モジュール I V 利用； 17%

温度・照度特性の把握

IEC 61853-1 Irradiance and temperature performance measurements and power rating

Matrix of irradiance and temperature performance measurements

IRRADIANCE W·m ⁻²	Spectrum	Module Temperature			
		15°C	25°C	50°C	75°C
1100	AM1.5	NA			
1000	AM1.5				
800	AM1.5				
600	AM1.5				
400	AM1.5				NA
200	AM1.5				NA
100	AM1.5			NA	NA

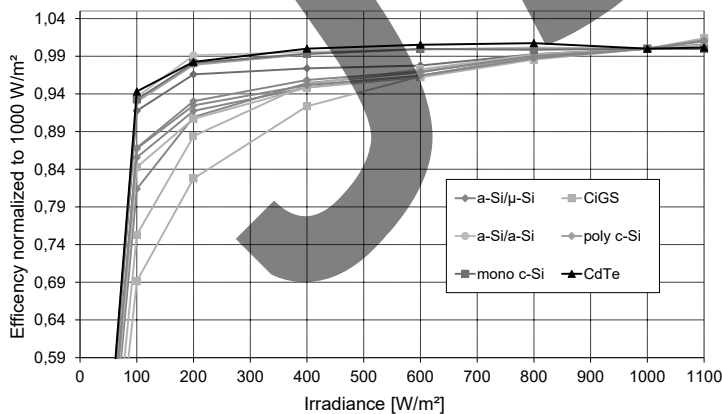
Pmax at 23 conditions are required.

国際的な規格はあるが、データシートでの提供はほとんどされていないのが現状

2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

温度・照度特性の把握

- Constant spectrum for all irradiance levels (requirement from IEC 61853-1)
- Reproducible indoor / outdoor
- CIGS: Room for improvement



Technology	T _c I _{sc} (α) [%/K]	T _c V _{oc} (β) [%/K]	T _c P _{MAX} (γ) [%/K]
mono c-Si	0,05	-0,33	-0,46
poly c-Si	0,02	-0,33	-0,47
poly c-Si	0,04	-0,33	-0,51
CIGS	0,00	-0,31	-0,44
CIGS	0,01	-0,33	-0,44
CIGS	0,00	-0,29	-0,40
CIGS	0,01	-0,29	-0,38
CIGS	0,02	-0,27	-0,35
CIGS	0,00	-0,31	-0,44
CIGS	0,01	-0,36	-0,46
CIGS	0,02	-0,36	-0,46

Pmax—温度・照度の把握も有用だが
I-V特性ベースで実測値と比較したい
⇒I-V特性変換式の国際規格(IEC60891)

M. Schweiger, EUPVSEC, 2010

IEC 60891のI-V特性変換方法

Procedure 1

$$I_2 = I_1 + I_{sc} \left(\frac{E_2}{E_1} - 1 \right) + \alpha(T_2 - T_1)$$

$$V_2 = V_1 + \beta(T_2 - T_1) - R_s(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1)$$

Irradiance correction : Shift , Rs correction
Temperature correction : Abs. TC of Voc and K

Procedure 2

$$I_2 = I_1 \cdot [1 + \alpha_{rel} \cdot (T_2 - T_1)] \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

$$V_2 = V_1 + V_{oc1} \cdot \left[\beta_{rel} \cdot (T_2 - T_1) + a \cdot \ln \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \right] - R_s \cdot (I_2 - I_1) - K \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1)$$

Irradiance correction : Scale up/down , Rs, Voc correction
Temperature correction : Rel. TC of Voc and K

IEC 60891のI-V特性変換方法

Procedure 3

4 reference I-V curves

No fitting parameter

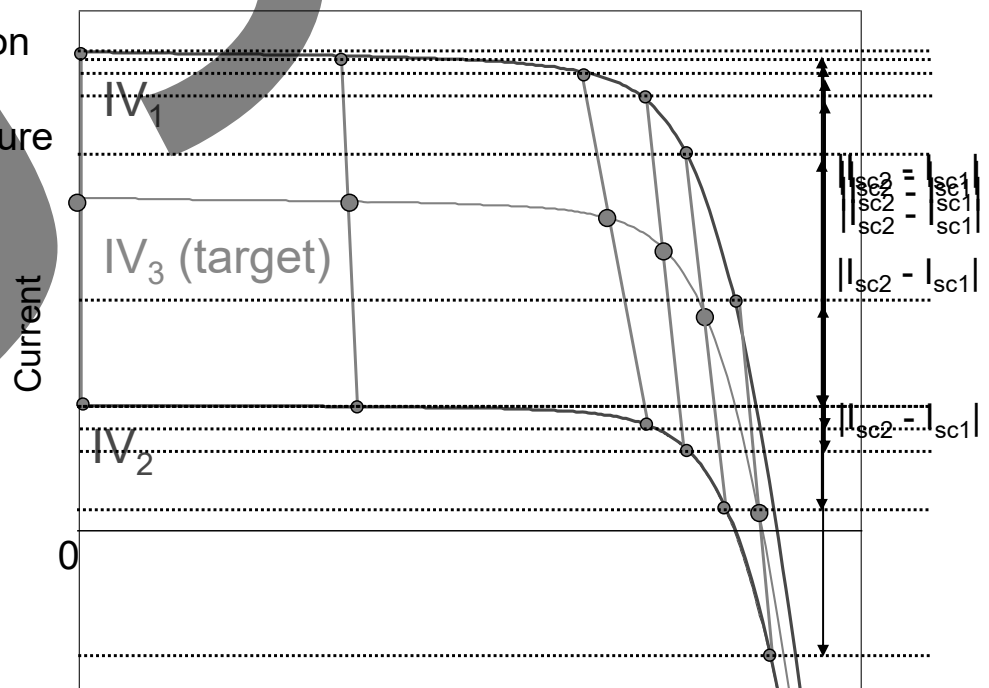
Point by point calculation

It is necessary to measure the reverse current.

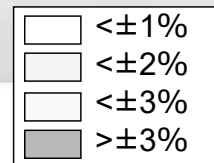
$$I_3 = I_1 + a \cdot (I_2 - I_1)$$

$$V_3 = V_1 + a \cdot (V_2 - V_1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - G_1} \\ a = \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1} \end{array} \right.$$



IEC 60891のI-V特性変換方法の精度比較



Deviation of P_{mea} and P_{cal} [%]

Procedure 1

c-Si cell

		Temperature [°C]				
		20	30	40	50	
Irradiance [SUN]	1	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.8	-0.2	0.1	0.0	-0.2	
	0.5	0.1	0.1	-0.1	-0.4	
	0.3	0.4	0.2	-0.4	-0.8	

c-Si module

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	0.7	1.2	1.3	1.2	1.2	0.8	0.5
	0.5	3.0	2.8	2.4	2.3	1.9	1.8
	0.3	8.3	8.3	8.5	8.0	7.7	7.4

CIGS module

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	-0.3	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	0.7	-0.3	-0.3	-0.2	-0.5	-0.5	-0.8
	0.5	0.1	-0.2	0.0	-0.5	-0.7	-0.9
	0.3	1.7	1.2	0.9	0.9	-0.8	-0.9

Procedure 2

		Temperature [°C]				
		20	30	40	50	
Irradiance [SUN]	1	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.8	-0.1	0.3	0.2	0.1	
	0.5	0.0	0.0	0.0	-0.3	
	0.3	-3.1	-3.2	-3.8	-4.2	

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	0.7	0.4	0.5	0.3	0.4	0.0	-0.2
	0.5	0.6	0.6	0.2	0.1	-0.2	-0.3
	0.3	-0.9	-0.7	-0.7	-1.2	-1.4	-1.7

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	-0.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	0.7	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	-0.2
	0.5	0.6	0.2	0.4	0.0	-0.1	-0.3
	0.3	0.8	0.4	0.1	0.2	-1.4	-1.4

Procedure 3

		Temperature [°C]				
		20	30	40	50	
Irradiance [SUN]	1	0.0	-0.1	0.0	0.0	
	0.8	-0.4	0.0	0.1	0.1	
	0.5	-0.1	0.0	0.1	0.0	
	0.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5	

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
	0.7	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.1
	0.5	0.6	0.6	0.2	0.4	0.3	0.3
	0.3	-0.4	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.1

		Temperature [°C]					
		20	25	30	40	50	60
Irradiance [SUN]	1	-0.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	0.7	-0.5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
	0.5	-0.4	-0.5	-0.2	-0.3	-0.2	0.1
	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1

Tsuno, 21st PVSEC, 2011

2013/12/19 JSES 第7回セミナー
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最新動向」

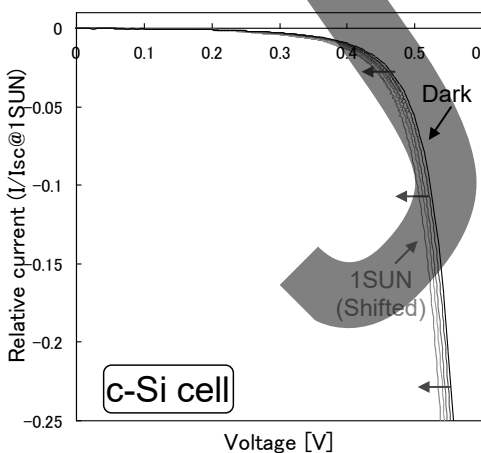
TÜVRheinland®
Precisely Right.

23

I-V特性の照度による変化

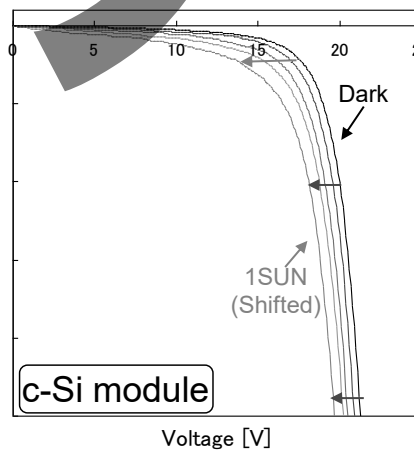
Irradiance dependence of measured I-V curves

Voltage decrease was basically caused by series resistance.
But R_{sh} was changed for the modules.

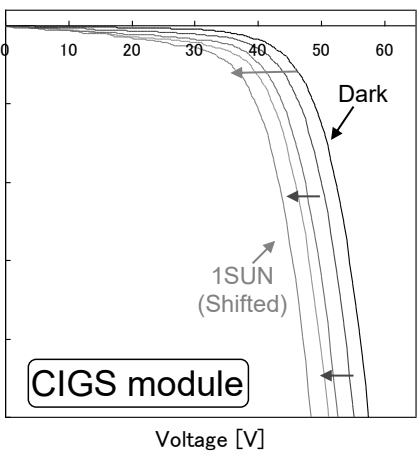


R_s is constant

$$V_{light} - V_{dark} = R_s \times I_{sc_light}$$



R_{sh} is depend on the irradiance
(Apparent shunt resistance)



Tsuno, 21st PVSEC, 2011

TÜVRheinland®
Precisely Right.

3. I-V特性の推定方法とその比較

まとめ

- ・屋外で正しくI-V特性を測定できて温度や照度特性が既知でないと劣化量などは把握できない
- ・温度・照度特性に関する国際的な規格はある
(採用している製造者は少ない)
- ・I-V特性ベースでの温度・照度特性の正しい把握
⇒より確かなPVシステムの出力点検に有用
- ・I-V特性変換方式(IEC60891)の精度比較
⇒Procedure 2、3で±2%以内

おまけ

テュフラインランド ジャパンでは、信頼性・性能評価技術に関する共同研究プロジェクトを多数実施しています。是非、お気軽にお問い合わせ下さい。

●信頼性評価

- ❖ 実フィールド(大規模太陽光発電システム)での不具合分析
- ❖ 当社ラボでの長期屋外曝露試験
- ❖ 既存の型式認証試験をベースにした故障に至るまでの繰り返し試験(TTF)
- ❖ 既存の型式認証試験では検出不可能な劣化・故障モードに対する新試験方法開発

→これらのデータから屋外(実フィールド)/屋内(加速試験)の相関を明らかに。

●性能評価

- ❖ 出力測定手法の向上に向けた開発(例えば、多重反射補正)
- ❖ 多接合太陽電池基準モジュールの開発
- ❖ 新型太陽電池(有機系等)評価手法の開発

TÜV Rheinland - Precisely Right

**We Advise
Develop
Facilitate
Test
Certificate**

Thank you for your attention