

太陽光発電システム保守・点検のための 屋外環境下におけるI-V特性測定方法 ガイドライン

技術解説

平成29年11月22日
太陽光発電技術研究組合
池田 祐一

JSES 太陽光発電部会 第22回セミナー

1

アジェンダ

1. 背景（PVシステム点検方法の標準化検討会報告）
2. 既存の測定規格（太陽電池の性能評価関連JIS）
3. 現状規格の課題
4. PVTECガイドラインとJIS C 8953 比較
5. 日射強度 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上許容の根拠
6. I-Vカーブ測定時間と日射変動の影響
7. 測定結果の確認
8. 測定機会の改善効果
9. ガイドライン検討会参加者

○太陽電池の大量導入に伴い、屋外に設置されている太陽電池の出力を正しく簡便に測定するニーズが高まっている。

○屋外でのアレイ測定の基準となっているJIS C 8953のアレイオンサイト測定では700W/m²以上の放射照度で測定することが規定されており、屋外での出力測定の機会が制限され実用的ではない。

【検討会での意見】

- 低照度での測定、日射変動等の気象条件を緩和する最適測定条件を確立し、測定機会を増やし、出来るだけ安価にPVパネルの健康診断が出来るようにしたい
- 出力測定の精度を求めるのではなく、精密検査（メーカ診断）が必要かどうかの簡易判断ができれば良い

【検討会の目的】50kW未満の太陽光発電所のPVシステム安全性の確認を主眼として安価に不具合の可能性を見つける手法、条件、判断基準などを検討し、検討結果をPVTECのガイドラインとしてまとめる。（不具合を診断された場合に精密点検を実施）

2. 既存の測定規格（太陽電池の性能評価関連JIS）

規格番号	規格名称
JIS C 8904-2	太陽電池デバイス—第2部：基準太陽電池デバイスに対する要求事項
JIS C 8904-3	太陽電池デバイス—第3部：基準太陽光の分光放射照度分布による太陽電池測定原則
JIS C 8904-7	太陽電池デバイス—第7部：太陽電池測定でのスペクトルミスマッチ補正の計算方法
JIS C 8910	一次基準太陽電池セル
JIS C 8912	結晶系太陽電池測定用ソーラシミュレータ
JIS C 8913	結晶系太陽電池セル出力測定方法
JIS C 8914	結晶系太陽電池モジュール出力測定方法
JIS C 8915	結晶系太陽電池分光感度特性測定方法
JIS C 8916	結晶系太陽電池セル・モジュールの出力電圧・出力電流の温度係数測定方法
JIS C 8917	結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法及び耐久性試験方法
JIS C 8918	結晶系太陽電池モジュール
JIS C 8919	結晶系太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法
JIS C 8920	開放電圧による結晶系太陽電池の等価セル温度測定方法

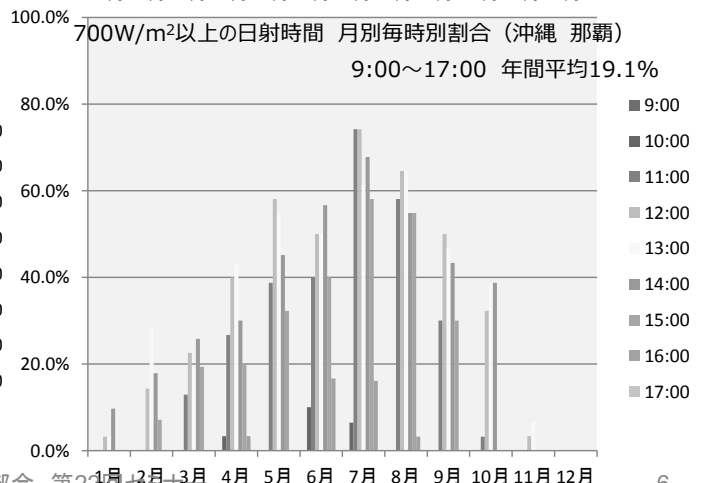
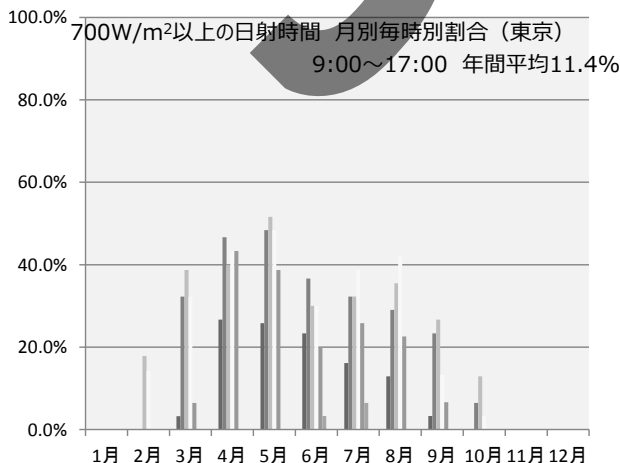
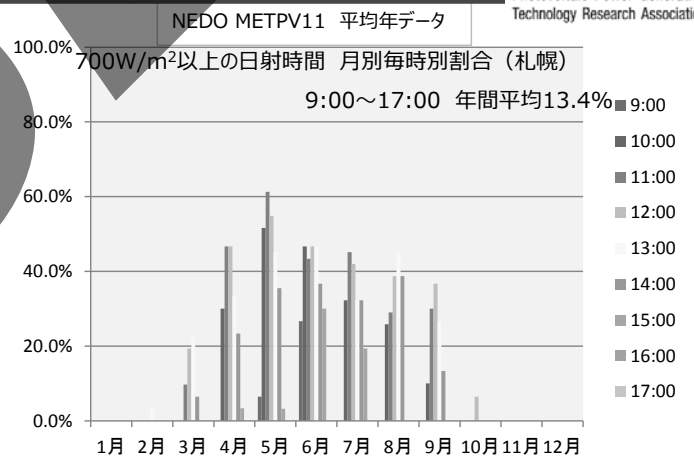
2. 既存の測定規格（太陽電池の性能評価関連JIS）

規格番号	規格名称
JIS C 8933	アモルファス太陽電池測定用ソーラシミュレータ
JIS C 8934	アモルファス太陽電池セル出力測定方法
JIS C 8935	アモルファス太陽電池モジュール出力測定方法
JIS C 8936	アモルファス太陽電池分光感度特性測定方法
JIS C 8937	アモルファス太陽電池出力電圧・出力電流の温度係数測定方法
JIS C 8938	アモルファス太陽電池モジュールの環境試験方法及び耐久性試験方法
JIS C 8939	アモルファス太陽電池モジュール
JIS C 8940	アモルファス太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法
JIS C 8942	多接合太陽電池ソーラシミュレータ
JIS C 8943	多接合太陽電池セル・モジュール屋内出力測定方法（基準要素セル法）
JIS C 8944	多接合太陽電池分光感度特性測定方法
JIS C 8945	多接合太陽電池出力電圧・出力電流の温度係数測定方法
JIS C 8946	多接合太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法
JIS C 8953	結晶系太陽電池アレイ出力のオンサイト測定方法

3. 現状規格の課題

- (1) 日射条件：700W/m²以上
- (2) 測定時間帯：南中時±1h

★上記条件では測定の機会が制限される



3. 現状規格の課題

(3)基準モジュールの準備：被測定アレイと同一条件で計測し、基準モジュールの接合部温度から被測定アレイの接合部温度を算出する。

(4)測定中の日射強度の変化：10%以内

(5)電圧・電流計測定機器の精度：0.5級

- ★準備作業に手間がかかる
- ★太陽電池の技術を習熟していなければ測定できない
- ★屋根設置のアレイでは、温度測定や日射の測定が容易でない
- ★0.5級の電圧・電流計を備えたI-V特性測定器は入手に難がある

4. PVTECガイドライン/JIS C 8953 比較

	項目	PVTECガイドライン	JIS C 8953
測定条件	日射強度	300W/m ² 以上 ※ヘテロ接合形は400W/m ² 以上	700W/m ² 以上 直達光が法線方向±45°以内
	I-Vカーブ測定時間	200ms以内、または1分以内で日射変動1%以内 ※ヘテロ接合形は400ms以上	1分以内
	日射変動	1%以内	10%以内
	測定時間帯	特に指定しない	南中時±1h
測定機器	基準モジュール	不要	JIS C 8904-2 校正品
	日射強度測定用放射計	2 nd class(Iscからの換算を許容)	1 st class
	日射変動の測定	I-Vカーブ測定時間が200ms以内であれば、測定不要	—
	電圧計/電流計 精度	±2.5% rdg	±0.5% F.S.
	温度計 精度	±2℃ (温度計を接続できない場合は外気温と風速、日射強度からモジュール温度を算出することを許容)	±1℃

5. 日射強度300W/m²以上許容の根拠

温度・照度特性の把握

P_{max} は、300W/m²の環境下で1000W/m²に対する線形補間値から5%以内の誤差を生じるが、不具合の可能性有無を判断するには問題無いとした

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

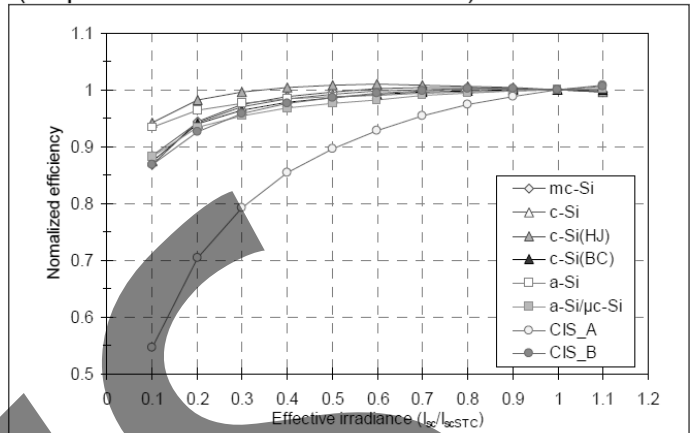
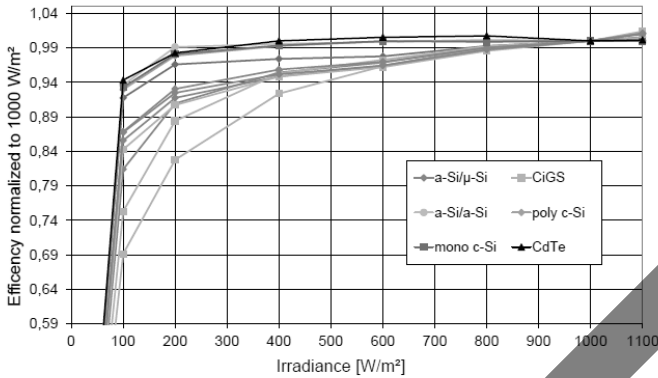


Figure 3 Irradiance dependence calculated from indoor measurements

Y. Tsuno et. al., Evaluation of Different PV Modules in HOKUTO MEGA-SOLAR PROJECT, 5th WCPSEC, (2010), 3075-3739.

CIGS	0,01	-0,36	-0,46
CIGS	0,02	-0,36	-0,46

P_{max} —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)

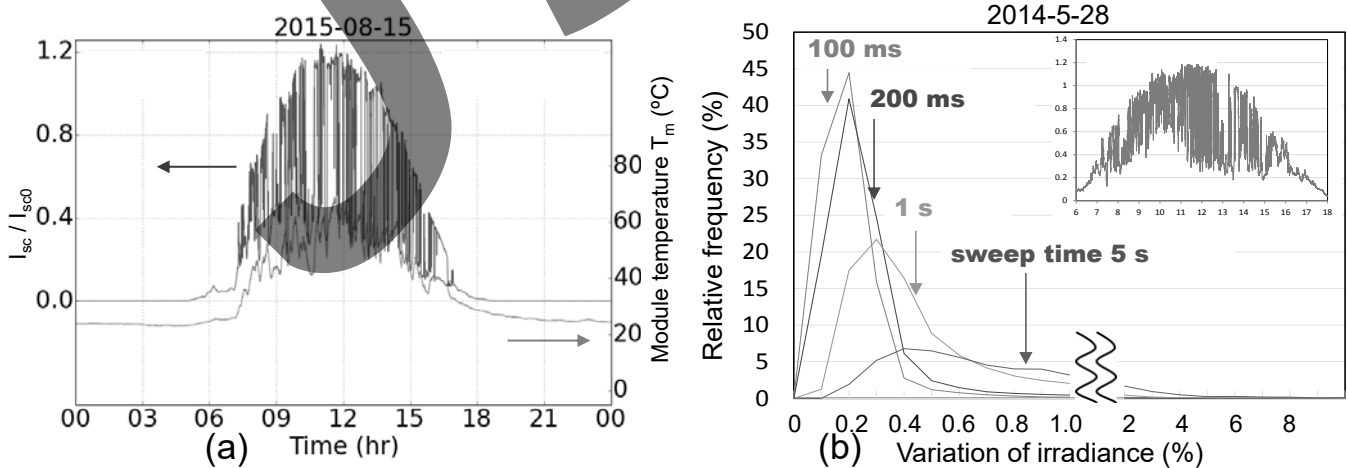
M. Schweiger, EUPVSEC, 2010



6. I-Vカーブ測定時間と日射変動の影響

I-Vカーブ測定時間が200ms以内の場合、日射変動を測定しなくても良いこととした

- ★日射変動が顕著な日においても、I-V特性を測定する掃引時間が100 ms~200 msと短い場合には、測定中の日射変動は±0.4%以内の頻度が95%程度以上
- ★サーモパイル等の熱的なセンサを用いた通常の日射計は、時定数が1秒~数秒程度と比較的長いため、下図のような日射変動日には応答が遅れ、測定誤差が生じる

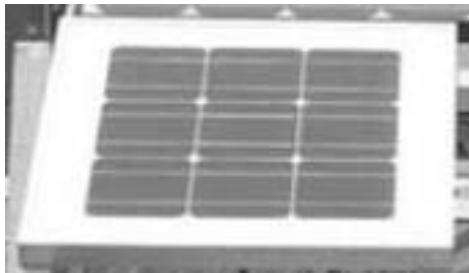


- (a)日射変動が顕著な日の照度およびモジュール温度の日内変動の一例。
- (b)日射変動が顕著な日の、様々な掃引時間の範囲内における日射変動率の頻度分布の一例。

出展：菱川善博 PVTECニュースVol.72 特集2 太陽電池屋外測定の高精度化

6. I-Vカーブ測定時間と日射変動の影響

PVモジュール日射計



菱川他、太陽/風力講演論文集(2015)25-26

サーモパイル型（熱的）日射計

応答時間が長く 日射変動の測定には不向き
日射変動の多い日の日射測定にも不向き
速いもので0.5s程度の応答時間



日射変動の無い晴天での測定向き

シリコン日射計

ML-01シリーズ
シリコン日射計



ML-01

	ML-01
波長範囲	400~1,100 nm
日射強度範囲	0~2,000 W/m ²
応答時間	< 1 msec
温度特性	< 0.15 %/°C
入射角特性	< ±5 %
開口角	180°
安定性	< 2 %/年
出力	50 μV/W/m ²
使用温度範囲	-30~+70 °C

7. 測定結果の確認

(1) Voc : 温度の影響が大きいいため参考値として確認

3月~5月	: 0.77V ₀ ≤ Voc ≤ 1.08V ₀
6月~8月	: 0.73V ₀ ≤ Voc ≤ 1.02V ₀
9月~11月	: 0.74V ₀ ≤ Voc ≤ 1.06V ₀
12月~2月	: 0.77V ₀ ≤ Voc ≤ 1.10V ₀

(V₀ = 公称開放電圧 × 太陽電池モジュールの直列数)

★ 限度範囲算出条件

Vocの温度特性 : -0.4%/°C

内部発熱による温度上昇 : 30~40°C

外気温 : 稚内および那覇の2010~2015年の平均気温および最高気温の平均値
(3~5月:-1.0~21.2°C、6~8月:12.7~31.5°C、9~11月:3.6~30.4°C、12~2月:-4.7~21.2°C)

公称開放電圧許容値 ±10%

★ 範囲を外れている場合の対処方法

バイパスダイオードが動作している可能性があるため、影の影響や、太陽電池セル割れが無いかどうか外観状態を再確認した上で、精密点検の実施を推奨する。

7. 測定結果の確認

(2)出力低下判定

1000W/m² 25℃換算されたPmax3 を以下の式にて算出する

$$P_{max3} = 1000 / G_A \times P_{max1} / (1 + \alpha_{P_{max}} / 100 \times (T_{PA} - 25))$$

G_A : 日射強度(W/m²) α_{Pmax} : 最大出力温度係数(%/℃) T_{PA} : 太陽電池モジュール温度(℃)

★算出式の考え方

1000W/m²時のPmaxは、簡易的にPmaxが照度に対して線形であると仮定した換算式を示した。非線形性を考慮してより正確に測定する場合は、JIS C 8914に記載される補正式を使用することが望ましいが、不具合の可能性有無を判断できる内容として記述

★判定と対処方法

算出したPmax ≤ メーカー保証値

(=公称最大出力×0.9×0.9×太陽電池モジュールの直列数)

Pmaxの判定はstring全体の公称値に対して保証値を下回るかどうかで、精密点検を行う様にしているため、例えばstringの内1枚の太陽電池モジュールに保証値を下回るPmaxの劣化が有っても発見できない可能性もあるが、メーカー保証期間に係わらず、安全性の確認も含めて精密点検の実施を推奨する。

7. 測定結果の確認

(3)波形歪

本文には、判定基準が明確な、オープンモード、影の影響、棟跨ぎ設置を示した

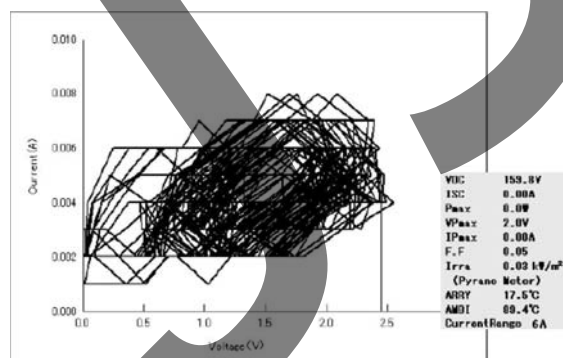


図7-3 オープンモードの一例

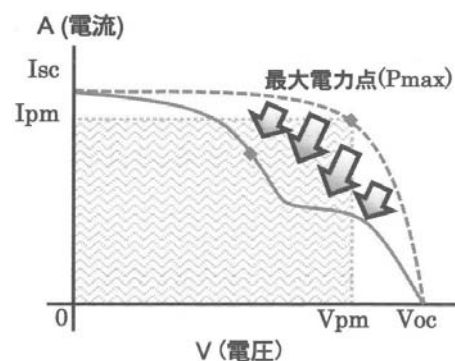


図7 影の影響

出展：日本太陽エネルギー学会発行「太陽光発電システムの定期点検及び不具合調査に関するガイドラインについての報告書」

★対処方法

波形異常に対しては、精密点検により原因をはっきりさせる必要もあり、バイパスダイオードのチェックや、ホットスポットの確認等の点検に結び付けられるように精密点検を推奨している。

波形歪やVocの異常が見受けられた場合は、配線路探査や赤外線サーモグラフィ、バイパスダイオードチェック、EL/PL特性の確認により不具合箇所を特定するが、専門的知識が必要となるため専門の業者などに相談する内容として記述している。

7. 測定結果の確認

(3) 波形歪

判定基準を明確にするため本文にはオープンモードや影の影響、棟跨ぎ設置の事例のみを掲載したが、直列抵抗(R_s)や並列抵抗(R_{sh})の変化による影響を示すために、以下のような記述を解説に追記した。

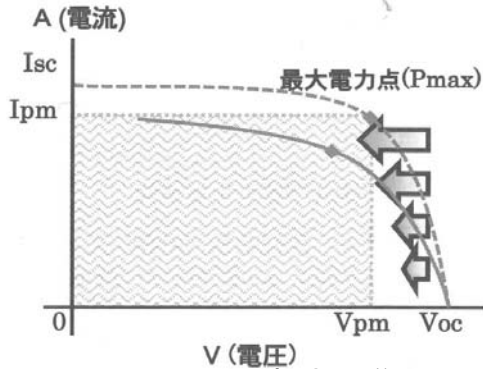


図2 直列抵抗 (R_s) の増加

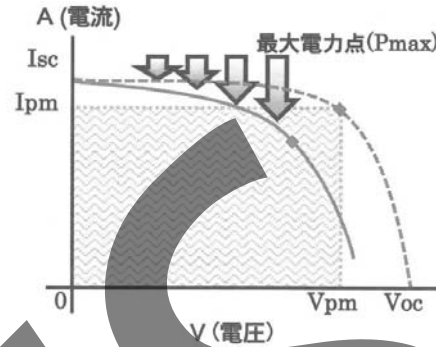


図3 並列抵抗 (R_{sh}) の低下

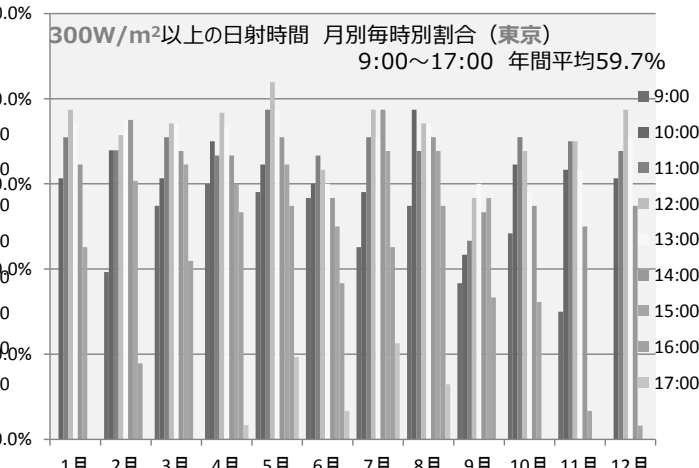
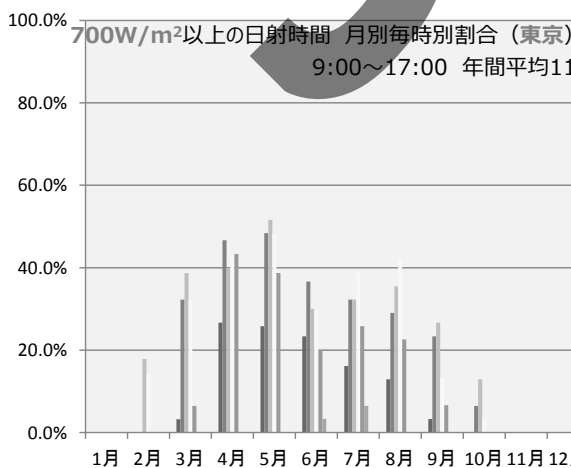
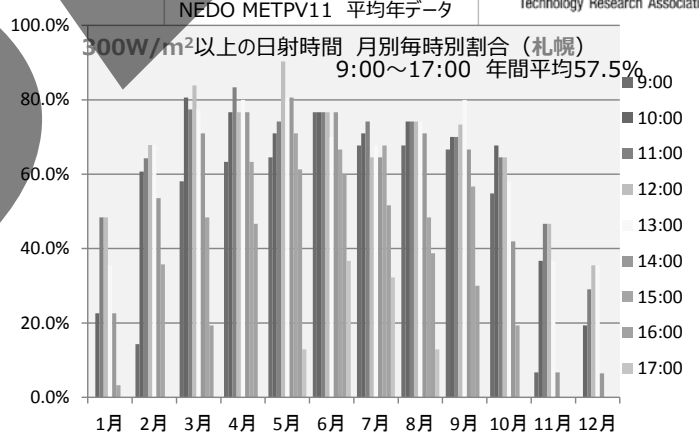
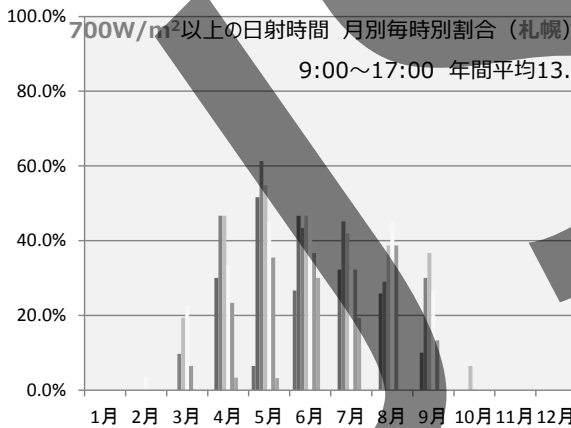
出展：日本太陽エネルギー学会発行「太陽光発電システムの定期点検及び不具合調査に関するガイドラインについての報告書」

図2に示されるように R_s が増加する場合は開放電圧(V_{oc})に異常はないが電流が増加するに従い出力が低下する。この場合は、低照度下のI-V特性測定においては、電流が少ないため、相対的に R_s の影響を受けにくくなり、 P_{max} は相対的に大きくなるため P_{max} の判定において、見逃すことがあるので注意が必要がある。

逆に、図3のように R_{sh} が低下する場合は、漏れ電流が大きくなり、電圧が増えるに従い出力が低下する。この場合は、低照度下のI-V特性測定においては、 P_{max} が相対的に小さくなるため、過敏に不具合判定をすることがあるので注意が必要がある。

8. 測定機会の改善効果

日射条件：300W/m²以上



9. ガイドライン検討会参加者

屋外環境下におけるi-V特性の測定方法標準化検討会参加者一覧		
検討会 リーダー	太陽エネルギー学会会長 兼 PVTEC専務理事	大和田 善久
検討会 サブリーダー	デュボン・スペシャルティ・プロダクツ株式会社	柴田 道男
	英弘精機株式会社	西川 賢
	英弘精機株式会社	竹内 栄治
	オーナンバ株式会社	畦地 理
	菊水電子工業株式会社	奥川 敦雄
	株式会社ケミトックス	坂本 清彦
	株式会社ケミトックス	渡邊 仁
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	菱川 善博
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	土井 卓也
	シャープ株式会社※1	北村 佳也
	新栄電子計測器株式会社	成勢 幸一郎
	大日本印刷株式会社	上野 滋弘
	大日本印刷株式会社	在原 慶太
	特定非営利活動法人 太陽光発電所ネットワーク	宮下 洋一郎
	特定非営利活動法人 太陽光発電所ネットワーク	都筑 建
	田淵電機株式会社	岡本 光央
	テュフ ラインランド ジャパン株式会社	津野 裕紀
	一般財団法人 電気安全環境研究所	大林 只志
	一般財団法人 電気安全環境研究所	増田 幸治
	株式会社戸上電機製作所	片淵 健
	株式会社戸上電機製作所	吉富 行雄
	日本カーネルシステム株式会社	平尾 和幸
	日本カーネルシステム株式会社	浅井 順
	日本カーネルシステム株式会社	長畑 賢
	VDEグローバルサービスジャパン株式会社	佐藤 明生
	三井化学株式会社	福田 伸
	株式会社横浜環境デザイン	池田 真樹
事務局	太陽光発電技術研究組合	善里 順信
事務局	太陽光発電技術研究組合	高川 梯二
事務局	太陽光発電技術研究組合	斉藤 洋子
事務局	太陽光発電技術研究組合	池田 祐一

※1 ガイドライン発行時点では、田淵電機株式会社に所属