

## 太陽光発電における信頼性・品質試験方法に関する国際標準化

### －その 2：市販モジュールに対する IEC 規格に準拠したショートターム拡張試験－

材料環境部

河合信次 福元 豊

玉井富士夫

市場に流通する 4 種類の市販モジュールに対して IEC 規格に準拠した高温高湿 (DH) 試験と温度サイクル (TC) 試験を組み合わせる交互に繰返す拡張試験において、DH 試験時間と TC サイクル数を短くしたショートターム拡張試験を実施した。その結果、3 種のモジュールでは TC 試験後の DH 試験で最大出力の回復傾向を示した。1 種のモジュールでは試験の繰返し数の増加と共に最大出力変化が大きく変動する傾向を示した。ショートターム拡張試験、拡張試験および延長試験を比較した結果、DH 試験と TC 試験を組合せることで、劣化が促進される傾向にあるが、その影響は DH と TC の繰返し数よりも全体の試験時間に依存していた。

#### 1. はじめに

太陽光発電システムの急速な市場拡大と国際価格競争の激化に伴う粗製乱造を背景とした粗悪モジュールによる利用者の経済的損失を低減するために客観的、中立的、かつ技術的に有意義である新たな認証基準の確立が国際的に求められている。太陽電池モジュールの信頼性に関する代表的な規格 IEC61215, 61646, 61730-1&2 は新品モジュールの初期性能スクリーニング目的であり、製品として最低限適合すべき要求事項を定めているに過ぎない。一般的には、太陽電池モジュールの寿命はユーザー側からも 20 年以上、時には 30 年以上の寿命が期待されており、このような長寿命に対応する新たな加速評価試験の確立が望まれている。2012 年 7 月 1 日の再生可能エネルギー全量固定価格買取制度開始に伴い、住宅用システムに加え、大規模太陽光発電システム施設 (メガソーラ) が急速に普及し始めており、市場に流通する粗悪モジュールをふるい分けすることができる新たな適合性認証試験の確立が急務となっている。

このような背景から、佐賀県工業技術センターでは、太陽光発電技術研究組合 (PVTEC, 以下 PVTEC という)、一般財団法人電気安全環境研究所 (JET, 以下 JET という) の 3 者で経済産業省のアジア基準認証推進事業の補助金交付を受け、太陽電池モジュールの 20 年以上の寿命に対応する認証基準作成に向けた試験研究事業に着手した。今年度は、延長試験の実施と併せ、市場に流通している 4 種類のモジュールに対して、IEC 規格に準拠した高温高湿 (DH) 試験と温度サイクル (TC) 試験を組み合わせる交互に繰返す拡張試験の試験時間

短縮拡張試験(以下ショートターム拡張試験)を実施した。その結果を、拡張試験及び延長試験と結果を比較し<sup>1),2)</sup> 劣化促進について検討した。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 供試モジュール

試験に供したモジュールは、購入の市販モジュール X, Z,  $\alpha$  及び  $\beta$  の 4 種類である。モジュール X は単結晶 Si モジュール、モジュール Z,  $\alpha$  及び  $\beta$  は多結晶 Si モジュールであり、各モジュールの枚数は 4 枚とした。

##### 2.2 加速劣化試験

###### (1) ショートターム拡張試験における

###### 高温高湿試験条件

85 °C, 85 %RH 状態での連続運転により高温高湿 (DH) 試験を行った<sup>3)</sup>。DH 試験機はエスペック (株) 製 TBR-2H20A6PAXS を使用した。図 1 に装置の外観を示す。

###### (2) ショートターム拡張試験における

###### 温度サイクル試験

-40 °C ~ 85 °C の温度範囲を繰返す温度サイクル (TC) 試験を行った<sup>3)</sup>。また、結晶 Si モジュールに対してサイクル中にモジュール温度が 25 °C 以上では STC ピーク出力電流 7.8 ~ 7.9 A を注入した<sup>3)</sup>。TC 試験機はエスペック (株) 製 MS-4050 を使用した。図 2 と図 3 に温度サイクル試験機と直流電源装置の外観をそれぞれ示す。

###### (3) ショートターム拡張試験

IEC 規格では、異なるモジュールに対して DH 試験は 1000 時間、TC 試験は 200 サイクル行うと規定されてい



図 1 高温高湿試験機の外観



図 2 温度サイクル試験機の外観

るが、本研究では(1)の条件での DH 試験 250 時間と(2)の条件での TC 試験 50 サイクルを組み合わせて交互に繰返すショートターム拡張試験を行った。実施したショートターム拡張試験は同一モジュールに対して DH 試験 250 時間と TC 試験 50 サイクルを 1 回として、モジュール X と Z は 6 回繰返し、モジュール  $\alpha$  と  $\beta$  は 8 回繰返した。そして、同一モジュールに対して DH 試験 1000 時間と TC 試験 200 サイクルを組み合わせて交互に繰返す拡張試験の結果と比較した。

### 2.3 モジュール特性評価

#### (1) 外観試験

各モジュールに表れる外観上の劣化を巨視的に見つけるために外観試験を加速劣化試験の前後で行った。各モジュールの受光面側ではセル割れ、セル間配線部、気泡、剥離等の有無、裏面側ではバックシートの変色の有無等を目視でそれぞれ観察した。その結果を各モ



図 3 直流電源装置の外観

ジュールの受光面側と裏面の写真撮影を行って記録した。

#### (2) 絶縁抵抗試験

モジュール通電部とフレーム部が十分に絶縁されているかを調べるために、加速劣化試験の前後で絶縁抵抗試験を行った。絶縁抵抗試験器は、菊水電子工業製 TOS7200 を使用した。

#### (3) 電流－電圧(I-V)特性評価

擬似太陽光光源(ソーラシミュレータ)により、モジュールの I-V 測定を行った。測定時の条件は標準測定条件(Standard Test Conditions: STC)である入射光放射照度  $1000 \text{ W/m}^2$ 、スペクトル Air Mass (AM) 1.5G、デバイス温度  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  で行った。ソーラシミュレータはパルス光型で(測定時のパルス幅は  $25 \text{ msec}$ )、シャープ製 SHSS-01 を使用した。光源は Xe ランプ 2 灯、Ha ランプ 16 灯で構成されている。スペクトル合致度、放射照度場所むら及び放射照度時間変動率はいずれも IEC60904-9 の等級で最上位の A である。I-V 測定は初期状態および加速劣化試験実施後に行い、モジュールの短絡電流 ( $I_{sc}$ )、開放電圧 ( $V_{oc}$ )、最大出力 ( $P_{max}$ ) 及びフィルファクタ (FF) を求め、性能を評価した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 外観試験及び乾式絶縁抵抗試験結果

モジュール X、Z 及び  $\beta$  では外観に変化が生じなかったが、モジュール  $\alpha$  では 7 回目の繰返し試験までは外観に変化は確認されなかったが、8 回目に端子箱周辺部

のバックシートの小さい割れが生じた。乾式絶縁抵抗は4種全てのモジュールで変化は確認されなかった。

### 3.2 モジュール X, Z 及び $\alpha$ の出力変化

モジュール X, Z 及び  $\alpha$  の初期からの Pmax 変化を図 4, 5 及び 6 にそれぞれ示す(以降, 図中凡例の番号はモジュールのサンプル番号とする)。図 4 及び 5 よりモジュール X は出力の変化は軽微であるが, モジュール Z は DH 試験後の TC 試験で出力が低下し, TC 試験後の DH 試験で回復していることがわかる。図 6 より, モジュール  $\alpha$  では 4 枚中 1 枚のモジュールにおいて TC200 で出力低下率が 5%を超えた。図 7 はモジュール  $\alpha$  の直列抵抗の変化であり, 5%以上の出力低下したモジュールは直列抵抗が繰り返し試験の回数が増すと共に増加し, また変動していることがわかる。増加の原因は, バック

シートからの水分の浸入であると考えられるが, 変動の原因は現時点では特定に至っていない。劣化したサンプル番号 5 以外のモジュールでは 5%以上の出力低下を確認せず, モジュール Z と同様に DH 試験後の TC 試験で出力低下し, TC 試験後の DH 試験で回復を示した。

### 3.3 モジュール $\beta$ の出力変化

図 8 より, モジュール  $\beta$  は TC200 まではモジュール Z と同様に Pmax は TC 試験後の DH 試験で回復し, DH 試験後の TC 試験で低下しているが, DH1250 よりその変化が逆転している。また, TC300 以降は出力変化が大きいことがわかる。モジュール  $\beta$  の直列抵抗, FF, Isc および Voc の変化を図 9, 10, 11 及び 12 にそれぞれ示す。図 9 より, 直列抵抗は徐々に増加し, FF は図 8 の Pmax

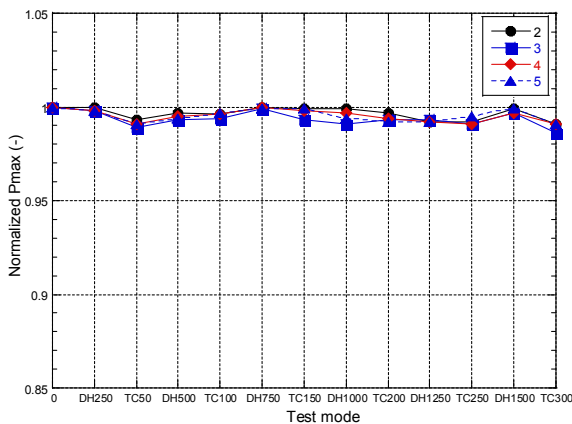


図 4 モジュール X の Pmax 変化の試験依存性

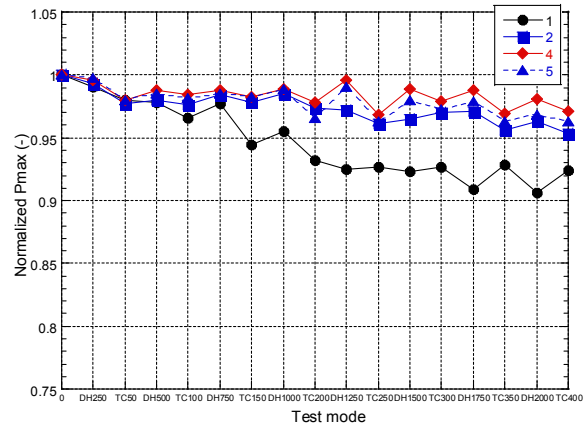


図 6 モジュール  $\alpha$  の Pmax 変化の試験依存性

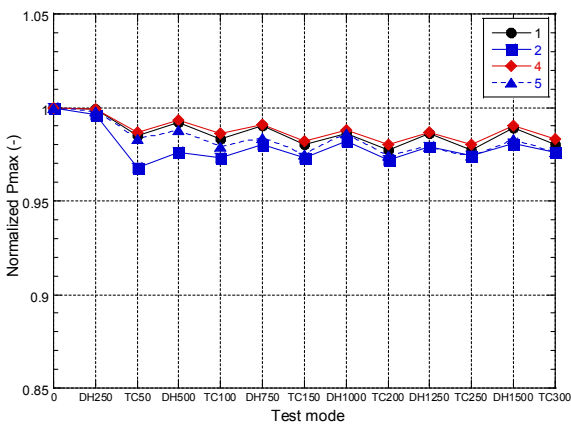


図 5 モジュール Z の Pmax 変化の試験依存性

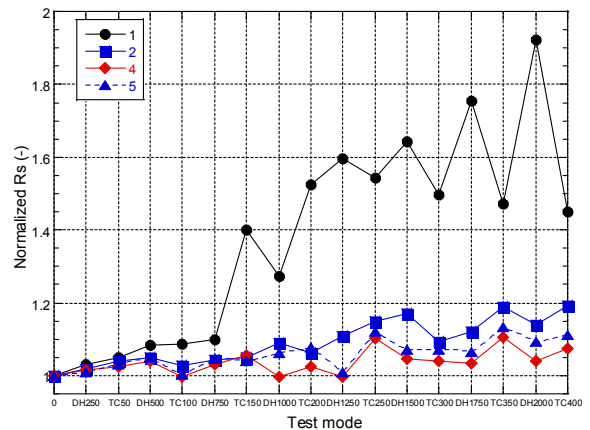


図 7 モジュール  $\alpha$  の直列抵抗変化の試験依存性

変化と同じ傾向を示しているため(図 10), モジュール  $\beta$  の  $P_{max}$  が変動する原因が FF であることがわかる. 一方,  $I_{sc}$  と  $V_{oc}$  は図 11 及び 12 に示すように一定であ

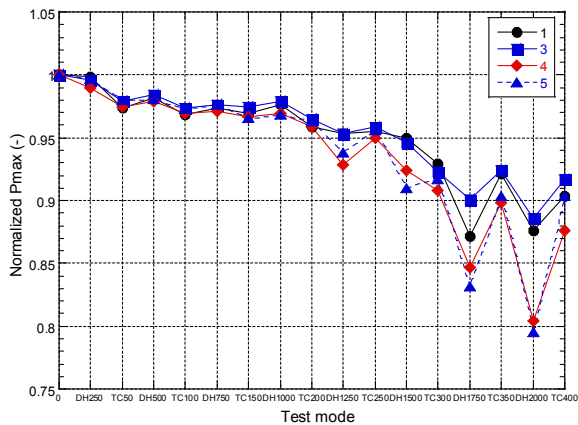


図 8 モジュール  $\beta$  の  $P_{max}$  の試験依存性

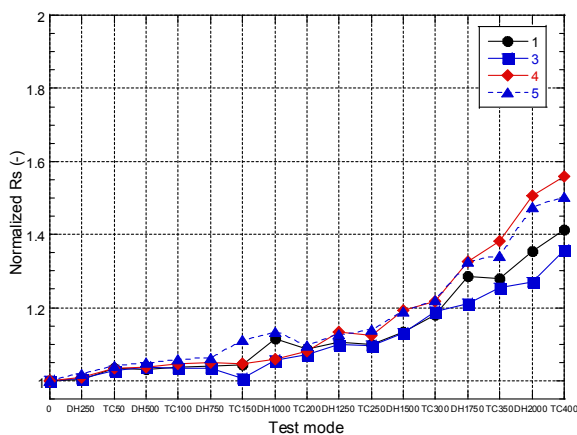


図 9 モジュール  $\beta$  の直列抵抗変化の試験依存性

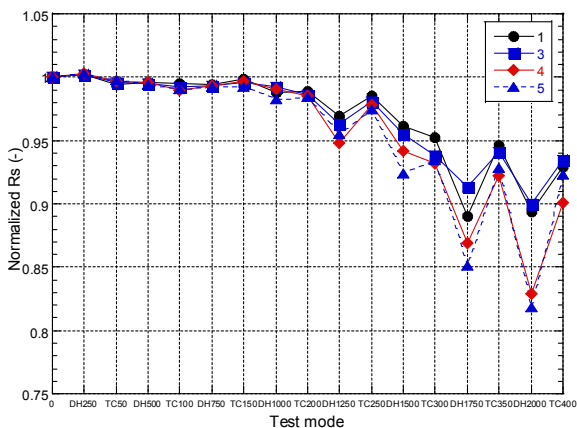


図 10 モジュール  $\beta$  の FF の試験依存性

る. 図 13 は顕著な変動を確認したサンプル番号 5 の I-V 特性であり, 曲線の変化からも FF が出力の低下と回復の原因であることがわかる. 以上の FF における変化は太陽電池等価回路における並列抵抗の変化が大きいためであると考察できるが, 一般的に並列抵抗の変化は太陽電池の pn 接合界面等のデバイスに起因しており, 詳細は今後の検討課題である.

### 3.4 拡張試験及び延長試験との比較

劣化を確認したモジュール  $\alpha$  及び  $\beta$  について, ショートターム拡張試験結果を, 拡張試験(JET 実施, 同一モジュールに対して DH 試験を 1000 時間, その後 TC 試験を 200 サイクル, これを 1 回として繰返す試験で, 今回は 2 回繰返した)及び延長試験(佐賀県工業技術センター実施)と比較するために,  $P_{max}$  変化を DH 及び TC 試験に分け, 比較した. 図 14 及び 15 にモジュール  $\alpha$  の DH 及び TC 各試験における  $P_{max}$  変化の比較を示

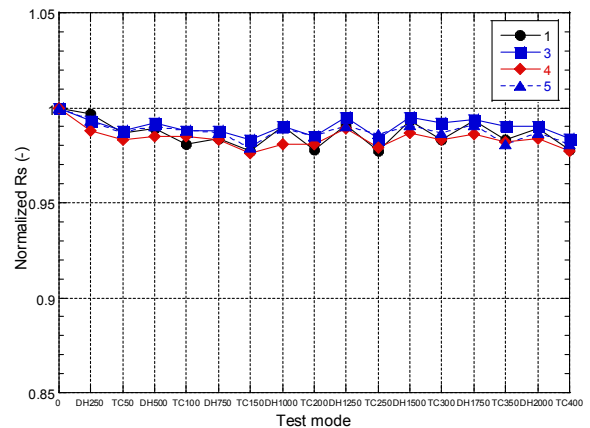


図 11 モジュール  $\beta$  の  $I_{sc}$  の試験依存性

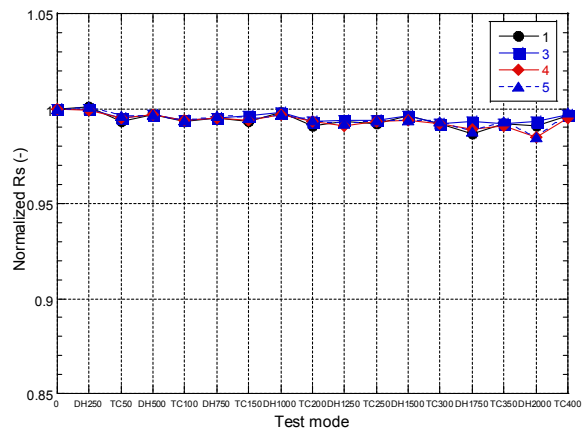


図 12 モジュール  $\beta$  の  $V_{oc}$  の試験依存性

す。DH2000 試験における出力変化は DH1000 試験よりも僅かであり、TC400 試験後の出力変化も同様である。一方、延長試験および拡張試験後は出力が大きく低下し、特に拡張試験の TC400 試験後は著しい劣化を確認した。図 16 及び 17 はモジュールβの DH 及び TC 各試験における Pmax 変化をそれぞれ示す。図 16 より、DH 試験時間の増加と共に出力低下も大きくなり、DH2000 試験後では拡張試験と延長試験よりも出力低下が大きく、試験間隔を短くした効果を確認できる。また、図 17 では延長試験よりは劣化が促進されているが、DH

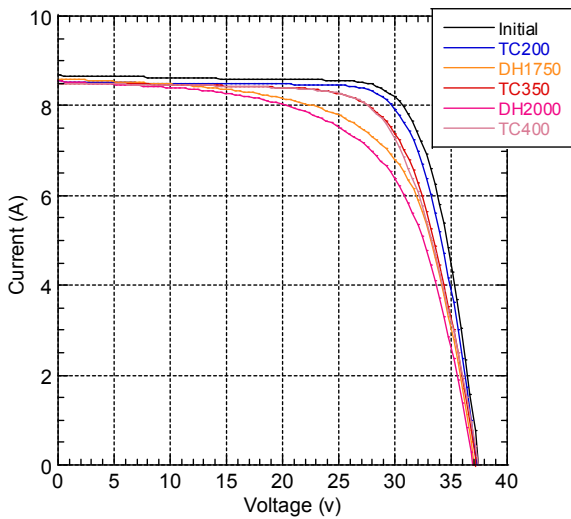


図 13 モジュールβのサンプル番号5における各加速劣化試験後の I-V 特性

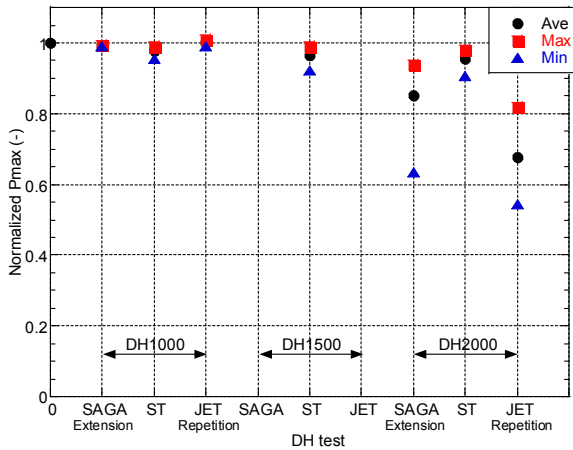


図 14 モジュールαの DH における各試験の比較  
SAGA Extension は延長試験, ST はショートターム拡張試験,  
JET Repetition は拡張試験を示す

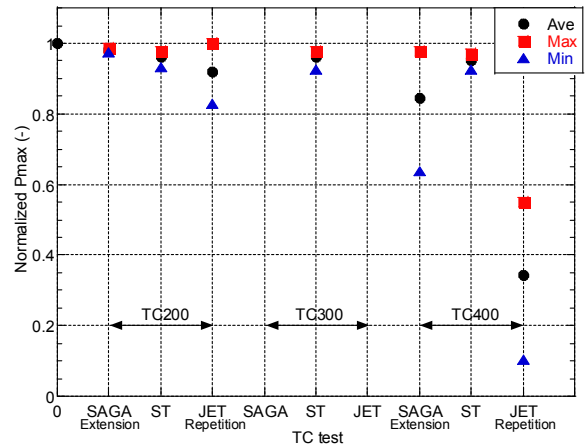


図 15 モジュールαの TC における各試験の比較  
SAGA Extension は延長試験, ST はショートターム拡張試験,  
JET Repetition は拡張試験を示す

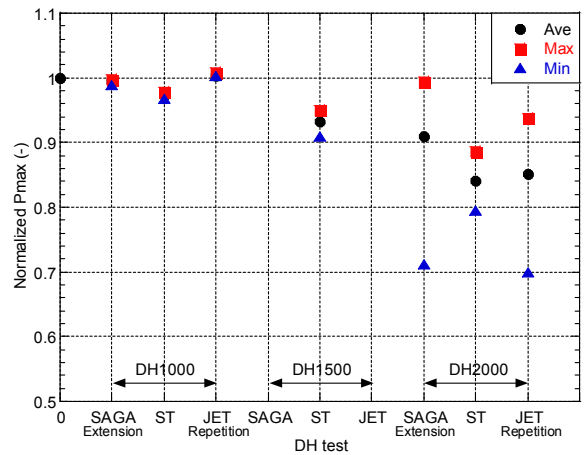


図 16 モジュールβの DH における各試験の比較  
SAGA Extension は延長試験, ST はショートターム拡張試験,  
JET Repetition は拡張試験を示す

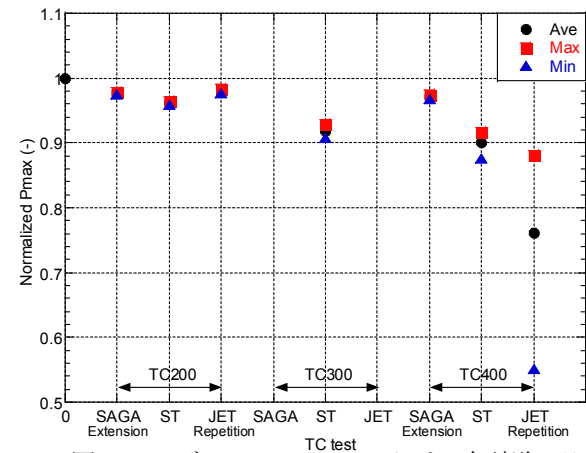


図 17 モジュールβの TC における各試験の比較  
SAGA Extension は延長試験, ST はショートターム拡張試験,  
JET Repetition は拡張試験を示す

試験 1000 時間後に TC 試験を 200 サイクル繰返す拡張試験は更に劣化が促進されていることがわかる。以上より、ショートターム拡張試験の出力変化はモジュールの種類に依存しており、DH 試験と TC 試験を繰返す拡張試験は劣化を促進する傾向であるが、DH 試験と TC 試験を繰返すその繰返し回数よりも DH 試験時間と TC サイクル数の影響が大きく、そのことが拡張試験の劣化促進効果を複雑にしている。

#### 4. おわりに

IEC 規格に準拠した DH 試験時間と TC サイクル数を短くし、両者を繰返すショートターム拡張試験を実施した結果、以下の結論を得た。

- 1) モジュール  $\beta$  では、DH 試験と TC 試験の繰返し数の増加に伴い、 $P_{max}$  変化の増減が大きく変動した。
- 2) TC 試験後の DH 試験において、 $P_{max}$  が回復する傾向を示した。

3) 劣化及び回復を DH 及び TC 成分に分離し、拡張試験と延長試験と比較した結果、DH 試験と TC 試験の組合せは延長試験よりも劣化が促進される傾向を示すが、劣化は DH 試験と TC 試験を繰返す組み合わせの繰返し回数よりも各試験時間とサイクル数に依存していた。

本研究を実施するにあたって使用したソーラシミュレータ、DH 試験機及び TC 試験機は、平成 22 年度経済産業省・アジア基準認証推進事業補助金を受けて導入した。

#### 参考文献

- 1) K. Masuda et al., PV-Asia Pacific EXPO 2012, Singapore (2012).
- 2) S. Kawai et al., 4th International PV Module Quality Assurance Forum, Kyoto (2013).
- 3) IEC 61215 Edition 2.0: 2005.