

# 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 1：市販モジュールに対する IEC 規格に準拠した延長試験－

材料環境部

河合信次 福元 豊

玉井富士夫

2012 年 7 月の再生可能エネルギー固定価格買取制度の開始に伴う大規模太陽光発電システム施設（メガソーラ）の急速な普及を背景として、太陽電池モジュールの長期間にわたる信頼性確保に向けた試験方法の確立が急務となっている。現行の IEC 規格による適合性認証試験は、20 年、30 年といった長期間の信頼性には対応しておらず、不十分な試験と言わざるを得ない。そこで、市場に流通する 15 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）試験及び温度サイクル（TC）試験の延長試験を実施し、長期信頼性確保のためのふるい分け条件の検討を行った。DH 延長試験では、劣化率が 5 %以上の結晶 Si モジュールの存在を確認し、DH 延長試験がふるい分け条件として有効であることを見出した。TC 延長試験では、劣化率が 5%以上の結晶 Si モジュールを 3 種、バイパスダイオードの破損と劣化率が 5 %以上の結晶 Si モジュールを 1 種それぞれ確認した。

### 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する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。現在、太陽電池モジュールの信頼性に関する規格が、IEC, JIS, UL で各々規定されており、その代表的なものに IEC61215, 61646, 61730-1&2 が存在する。しかしながら、これらの規格による試験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、これらの規格試験に適合した太陽電池モジュールは、実使用環境下で 5～10 年の性能寿命があるとされているが、多くの海外メーカーが 25 年の性能保証を謳っている現状を考えると、不十分な規格であると言える。太陽電池モジュールの寿命に関しては、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。更に、一部の海外メーカーでは量産モジュールが必ずしも全て規格適合品と同等でないというケースも散見されている。併せて、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でき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、昨年度に続き市場に流通している 15 種類のモジュールに対して、分担である IEC 規格に準拠した延長試験を実施し、ふるい分け条件を検討した。

### 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、購入したモジュール A-1, B-1, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N 及び O の 15 種類である。そのうち、モジュール A-1, B-1, C, E, G, I, J, K, M, N 及び O は多結晶 Si モジュール、モジュール H と F は単結晶 Si モジュールである。また、モジュール D と L はアモルファス Si (a-Si) /微結晶 Si (μc-Si) の 2 接合型構造を有する薄膜 Si モジュールである。

#### 2.2 加速劣化試験

##### (1) 高温高湿試験

85 °C, 85 %RH 状態での連続高温高湿（DH）試験を行った。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



図 1 高温高湿試験機の外観



図 3 直流電源装置の外観



図 2 温度サイクル試験機の外観

す。IEC 規格では、DH 試験は 1000 時間行くと規定されている<sup>1)</sup>。本研究では 3000 時間まで DH 試験を延長実施し、1000 時間または 500 時間毎に評価を行った。

## (2) 温度サイクル試験

IEC 規格では、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ～ $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  の温度範囲を繰り返す温度サイクル (TC) 試験を 200 回行くと規定されている。本研究では TC 試験を 600 回行い、200 回毎に評価を行った。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  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上では STC ピーク出力電流  $7.8\sim 7.9\text{ A}$  を注入した<sup>1)</sup>。また、単結晶 Si モジュール H は  $5.2\text{ A}$  を注入した。一方、薄膜 Si モジュールに対しては IEC 61646 に基づき電流は注入しなかった<sup>2)</sup>。TC 試験機はエスペック (株) 製 MS-4050 を使用した。図 2 及び図 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。

## 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、剝離等の有無、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。その結果は、各モ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 測定は初期状態及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。

(4) 分光感度特性評価

モジュールの分光感度は分光計器(株)製CEP-M1000を用いて評価した。分光感度特性は、太陽電池の吸収帯を表している。本研究では、モジュールの一部に単色光を照射する部分照射法を用いて評価した<sup>3)-5)</sup>。

(5) エレクトロルミネッセンス評価

エレクトロルミネッセンス (EL) は半導体中において、電界を印加することで得られる発光で、太陽電池はpn接合を形成する半導体デバイスであるため、電流注入により EL が観測される。転位等の結晶欠陥部や電極の不良個所では発光強度が弱くなるため、太陽電池の品質を評価することが可能である<sup>6), 7)</sup>。結晶 Si では電流注入すると、約 1130 nm の近赤外 EL が得られる。

3. 結果及び考察

3.1 高温高湿試験

(1) 外観試験

高温高湿 (DH) 試験後の外観試験結果を表 1 に示す。3000 時間後の大きな外観変化として、BS (バックシー

ト) の変色と割れ、セル間配線部の黒色化及び裏面の端子箱からの液体漏れ (シール材) が挙げられる。図 4, 5 及び 6 に外観試験で認められた変化の代表的事例として、それぞれモジュール A-1 の DH 試験実施前の外観, 3000 時間後の外観及び裏面の BS 割れの外観を示す。モジュール A-1 は 10 枚全てについて 1000 時間後に BS と受光面側に軽微な黄変を確認し, 2000 時間後に BS の黄変が進み, 3000 時間後には BS に割れが発生した。また, 10 枚全てについて 1000 時間後にセル間配線部の黒色化を確認した (図 7)。また, BS の黄変はモジュール N で 1000 時間終了後に, BS の割れはモジュール I で 3000 時間終了後に, 及びモジュール J で 2500 時間終了後にそれぞれ確認された。

同様に外観試験で認められた代表的変化の例としてセル割れを示す。モジュール B-1 では, 2000 時間後にセル割れが 10 枚中 2 枚で認められ, 3000 時間後には割れが拡大した。セル割れの写真を図 8 に示す。また, モジュール D, H 及び O では 2000 時間終了後, 裏面の端子箱から液体の漏れを全数で確認した。

表 1 DH 試験後の外観試験結果

モジュール種類 記号	外観試験結果 (○: 変化を認めず, △: 一部変化あり, ×: 重大な変化あり)				
	DH1000時間後	DH1500時間後	DH2000時間後	DH2500時間後	DH3000時間後
A-1(多結晶Si)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(10/10枚) 受光面側に軽度の黄変部発生(10/10枚) セル間配線部が軽度に黒化(10/10枚)		× BSの黄変(10/10枚) 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部の黒化(10/10枚)		× BSの黄変(10/10枚)と割れ発生(10/10枚) 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部の黒化(10/10枚)
B-1(多結晶Si)	○		× セル割れ発生(2/10枚) 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部が軽度に黒化(10/10枚)		× セル割れ(2/10枚) 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部が軽度に黒化(10/10枚)
C(多結晶Si)	○		△ 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部が軽度に黒化(10/10枚)		△ 受光面側に軽度の黄変部(10/10枚) セル間配線部が軽度に黒化(10/10枚)
D(薄膜Si)	○		× 端子箱より液体漏れ(10/10枚)		× 端子箱より液体漏れ(10/10枚)
E(多結晶Si)	○		○		○
F(単結晶Si)	○		○		○
G(多結晶Si)	○		△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚) セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)		△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚) セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)
H(単結晶Si)	△ ケーブルの変色(5/5枚)		× 端子箱より液体漏れ(5/5枚) ケーブル変色の進行(5/5枚)	× 端子箱より液体漏れ(5/5枚) ケーブルの縮み(5/5枚)	× 端子箱より液体漏れ(5/5枚) ケーブルの著しい縮み(5/5枚)
I(多結晶Si)	△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚)	△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚)	△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚)	△ 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚)	× BS割れ発生(5/5枚) 受光面側に軽度の黄変部(5/5枚)
J(多結晶Si)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	× BS割れ発生(5/5枚) セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	× BS割れ(5/5枚) セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)
K(多結晶Si)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)	△ セル間配線部が軽度に黒化(5/5枚)
L(薄膜Si)	○	○	○		○
M(多結晶Si)	○		○		○
N(多結晶Si)	× BSの黄変(5/5枚)		× BSの黄変(5/5枚)	× BSの黄変(5/5枚)	× BSの黄変(5/5枚)
O(多結晶Si)	○		× 端子箱より液体漏れ(5/5枚)		× 端子箱より液体漏れ(5/5枚)



図 4 モジュール A-1 の DH 試験前の裏面



図 7 DH1000 時間試験後にモジュール A-1 で発生したセル間配線部の黒色部



図 5 モジュール A-1 の DH3000 時間試験後の裏面



図 8 DH2000 時間試験後にモジュール B-1 で発生したセル割れ

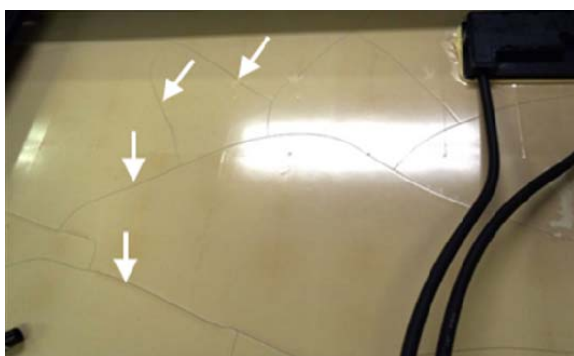


図 6 モジュール A-1 の DH3000 時間試験後に発生した BS 割れ

## (2) 乾式絶縁抵抗試験

全モジュールの乾式絶縁抵抗試験の結果を表 2 に示す。絶縁抵抗試験器の最大可能測定値は  $5 \text{ G}\Omega$  である。試験実施前の絶縁抵抗値は全て  $5 \text{ G}\Omega$  以上であった。モジュール A-1 では 1000 時間後、モジュール C 及びモジュール I では 2000 時間後、モジュール B-1 では 3000 時間後にそれぞれ抵抗値の減少を確認したが、他のモジュールでは変化は確認されなかった。



表 2 DH 試験後の乾式絶縁抵抗試験結果

モジュール種類 記号	乾式絶縁抵抗試験結果(測定装置の最大測定可能抵抗値:5GΩ)				
	DH1000時間後	DH1500時間後	DH2000時間後	DH2500時間後	DH3000時間後
A-1(多結晶Si)	1.5~5GΩ		0.75~1.5GΩ		0.75~1.5GΩ
B-1(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		0.8~1.83GΩ
C(多結晶Si)	5GΩ以上		2.1~4GΩ		0.43~0.98GΩ
D(薄膜Si)	4GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上
E(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上
F(単結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上
G(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上
H(単結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
I(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	0.34~0.72GΩ	0.17~0.2GΩ	0.1~0.19 GΩ
J(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
K(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
L(薄膜Si)	測定実施せず(ダブルガラス構造でアルミフレームなしのため)				
M(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上
N(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
O(多結晶Si)	5GΩ以上		5GΩ以上		5GΩ以上

表 3 DH 試験後の最大出力 Pmax 劣化状況

DH試験のこれまでのまとめ(一覧表)						
○:劣化を認めず △:劣化あり(2%以上5%未満の軽微劣化、数字 劣化枚数/全枚数) ×:5%以上の劣化あり(数字 劣化枚数/全枚数)						
モジュール種類 記号	モジュール種類	DH1000	DH1500	DH2000	DH2500	DH3000
A-1	多結晶Si	○		○		○
A-2	多結晶Si					
B-1	多結晶Si	○		○ 3/10 △ 7/10		△ 7/10 × 3/10
B-2	多結晶Si					
C	多結晶Si	○		△ 3/10 × 4/10		× 10/10
D	薄膜Si	○		○		○
E	多結晶Si	○		△ 1/5 × 4/5		× 5/5
F	単結晶Si	○		○		○
G	多結晶Si	○		○		○ 1/5 △ 4/5
H	単結晶Si	○		○	○	○
I	多結晶Si	○	○	△ 2/5 × 3/5	× 5/5	× 5/5
J	多結晶Si	○	○	○	○	△ 5/5
K	多結晶Si	○	○	○	○	○
L	薄膜Si	○		○		○ 4/5 × 1/5
M	多結晶Si	○		○		○ 4/5 △ 1/5
N	多結晶Si	○		○	○	○
O	多結晶Si	○		○		△ 3/5 × 2/5

(3) 分光感度評価

外観試験で、著しい劣化を確認したモジュールでもモジュール分光感度に変化は確認されなかった。結晶Siでは300~1100 nmに感度を有し、薄膜Si太陽電池ではトップ層(a-Si)、ボトム層(μc-Si)を足し合わせた

タンデム型の典型的なスペクトルを有していた。

(4) 試験時間に対する出力変化

表 3 に各モジュールの DH 試験後の最大出力 Pmax の変化を示す。モジュール A-1, D, F, H, K 及び N では劣化は認められなかったが、2000 時間後の結果において

モジュール C では 10 枚中 4 枚、モジュール E では 5 枚中 4 枚、モジュール I では 5 枚中 3 枚に 5 % 以上の劣化が認められ、3000 時間後には 30 % 以上の著しい劣化が認められた。モジュール A-1 と C の Pmax 変化—試験時間の関係を図 9 と図 10 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）。モ

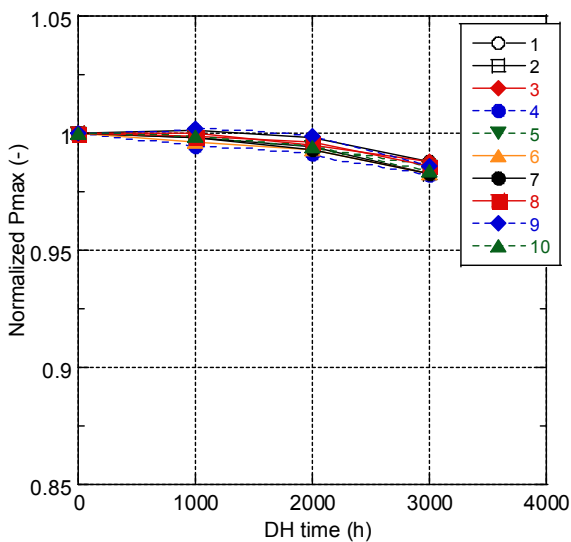


図 9 モジュール A-1 における Pmax 変化の DH 時間依存性

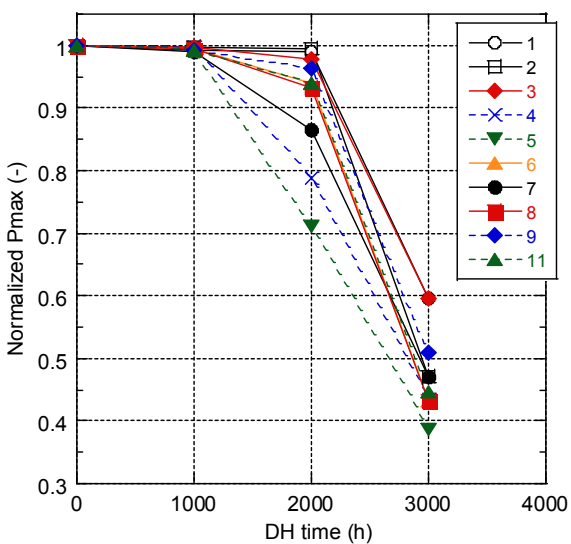


図 10 モジュール C における Pmax 変化の DH 時間依存性

ジュール D では 1000 時間後に出力の増加が認められた。この出力増加の要因としては、薄膜 Si のアニール効果が推測された。

(5) I-V 測定および EL 測定による性能評価

(4)で劣化が認められなかったモジュール A-1 と、著しい劣化が認められたモジュール C の I-V 特性を図 11 と図 12 に示す。モジュール A-1 では、各試験時間においても I-V 特性は変化していない（図 11）。一方、モジュール C では、3000 時間後に Isc が低下し、Pmax が著しく低下していることがわかる（図 12）。試験時間とともに FF が減少しており、モジュール内部の直列抵抗の増加が原因であると考えられる。図 13 と図 14 にモジュール C の DH 試験前と DH3000 時間試験後の EL 像をそれぞれ示す。3000 時間後の EL 像は各結晶 Si セル周辺部から暗部が拡大していることが観察された。また、モジュール I は 2000 時間以降に著しい Pmax 変化を示し（図 15）、I-V 特性（図 16）も Pmax 変化と同じ変化を示した。

これは、DH 試験後の劣化の典型的な現象である。試験時間と共にモジュール裏面の BS より水分が浸入し、封止材エチル・ビニル・アセテート（EVA）が加水分解し、酢酸を誘発した結果、セル間配線部が腐食したと考察できる。このセル間配線の腐食により、直列抵抗が増加し、FF が低下したことが原因であると推定される。

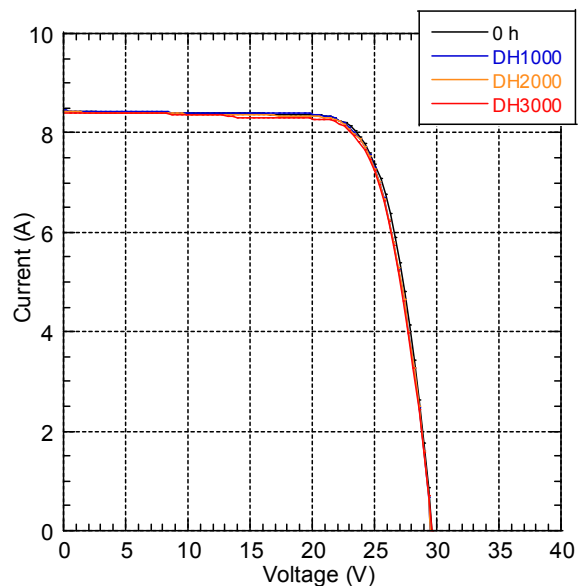


図 11 モジュール A-1 の各 DH 試験時間における I-V 特性

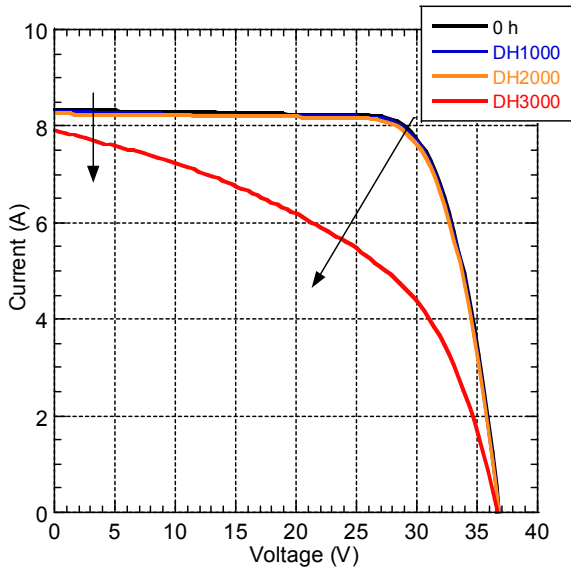


図 12 モジュール C の各 DH 試験時間における I-V 特性

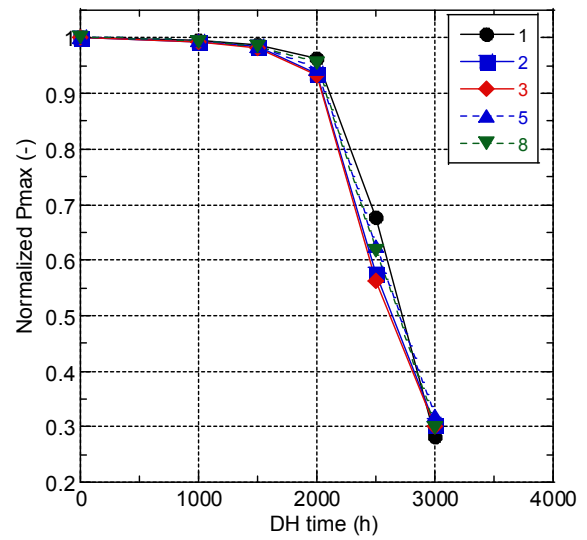


図 15 モジュール I における Pmax 変化の DH 時間依存性.



図 13 モジュール C の DH 試験前の EL 像

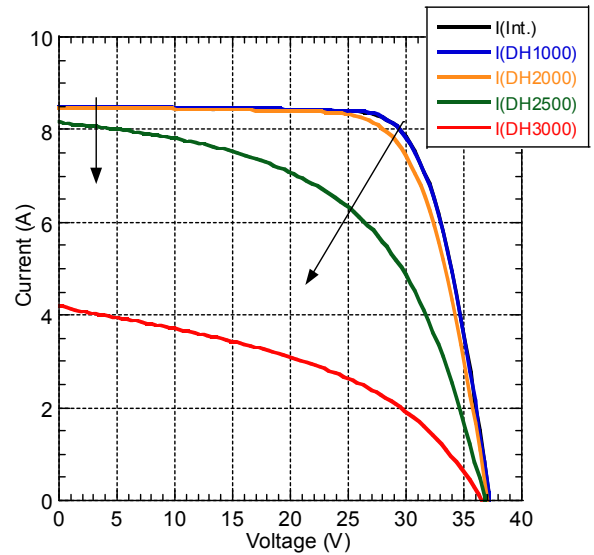


図 16 モジュール I の各 DH 試験時間における I-V 特性

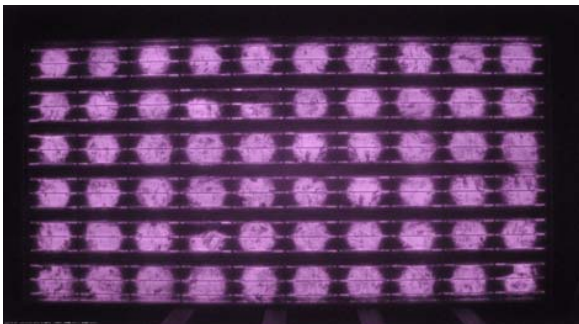


図 14 モジュール C の DH3000 時間試験後の EL 像

### 3.2 温度サイクル(TC)試験

#### (1) 外観試験及び乾式絶縁抵抗試験

表 4 に TC 試験後の外観試験結果を示す。モジュール E で 400 回試験後において、裏面の端子箱内のバイパスダイオードが 5 枚中 2 枚で破壊されたため、600 回試験後はモジュール 3 枚で試験を継続した。また、600 回

試験後でも 3 枚中 1 枚でバイパスダイオードの破壊を確認した。その他のモジュールでは大きな外観上の変化を認めなかった。

表 5 に乾式絶縁抵抗試験の結果を示しているが、全モジュールで全ての TC 試験後に抵抗値の変化は認められなかった。

なお、モジュール J は試験中の試験機冷凍機系故障により槽内温度が約 140℃に上昇し、バイパスダイオード破壊と端子箱ケース溶解を確認したため、試験を 400 回で停止した。

### (2) 分光感度評価

TC 試験後でも結晶 Si 及び薄膜 Si モジュールの典型的なスペクトルが観察された。スペクトルの変化については、劣化が認められたモジュールでもその変化は確認されなかった。

### (3) 試験回数に対する出力変化

表 6 に TC 試験後の最大出力 Pmax の劣化状況を示す。モジュール A-1, D, F, H, L 及び N では TC 試験後の出力低下は確認されなかった。また、薄膜 Si であるモジュ

ール D とモジュール L では試験後に約 2%の出力の増加が認められたが、DH 試験の結果と同様に、薄膜 Si のアニール効果に起因していると考えられる。他のモジュールでは、その全てで 200 回試験後に 5%未満の軽微な出力低下が認められた。なお、400 回試験後にバイパスダイオードの破壊が認められたモジュール E では、図 17 に示すように 30%以上の著しい出力低下が認められた。また、モジュール I は図 18 に示すように 600 回試験後に 5 枚全てにおいて 5%以上の出力低下を確認した。

### (4) I-V 測定及び EL 測定による性能評価

図 19 に 400 回試験後に著しい出力低下を確認したモジュール E サンプルの I-V 特性を示す。図より 2 ストリング分に相当する Voc が低下していることがわかる。この低下については、TC 試験前と 400 回試験後の EL 像を図 20 と図 21 にそれぞれ示すが、2 ストリング分が全て暗部となっていることと一致する。また、バイパスダイオードは短絡モードで破壊されていたことがわかったが、その原因については今後の検討課題である。

表 4 TC 試験後の外観試験結果

モジュール種類 記号	外観試験結果 (○: 変化を認めず、△: 一部変化あり、×: 重大な変化あり)		
	TC200後	TC400後	TC600後
A-1(多結晶Si)	○	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)
B-1(多結晶Si)	○	○	△ 端子箱周辺部に軽度の割れ(8/10)
C(多結晶Si)	○	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)
D(薄膜Si)	○	○	○
E(多結晶Si)	○	× 端子箱溶解及びバイパスダイオード破壊(2/5枚)	× 端子箱溶解及びバイパスダイオード破壊(3/5枚)
F(単結晶Si)	○	○	○
G(多結晶Si)	○	○	○
H(単結晶Si)	○	○	× 冷凍機系故障に伴う ケーブルの著しい変色(5/5枚)
I(多結晶Si)	○	○	○
J(多結晶Si)	○	○	冷凍機系故障に伴いTC492にて停止
K(多結晶Si)	○	○	○
L(薄膜Si)	○	○	○
M(多結晶Si)	○	○	○
N(多結晶Si)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)	△ バックシート(BS)に軽度の黄変(5/5枚)
O(多結晶Si)	○	○	○



表 5 TC 試験後の乾式絶縁抵抗試験結果

モジュール種類 記号	乾式絶縁抵抗試験結果(測定装置の最大測定可能抵抗値:5GΩ)		
	TC200	TC400	TC600
A-1(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
B-1(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
C(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
D(薄膜Si)	4GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
E(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上(3/5枚)	5GΩ以上(2/3枚)
F(単結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
G(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
H(単結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
I(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
J(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	冷凍機系故障に伴い実施せず
K(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
L(薄膜Si)	測定実施せず(ダブルガラス構造でアルミフレームなしのため)		
M(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
N(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上
O(多結晶Si)	5GΩ以上	5GΩ以上	5GΩ以上

表 6 TC 試験後の最大出力 Pmax の劣化状況

TC試験のこれまでのまとめ(一覧表)				
○:劣化を認めず △:劣化あり(2%以上5%未満の軽微な劣化、数字 劣化枚数/全枚数) ×:5%以上の劣化あり(数字 劣化枚数/全枚数)				
モジュール種類 記号	モジュール種類	TC200	TC400	TC600
A-1	多結晶Si	○	○	○
A-2	多結晶Si			
B-1	多結晶Si	△ 10/10	△ 10/10	△ 10/10
B-2	多結晶Si			
C	多結晶Si	△ 10/10	△ 10/10	△ 10/10
D	薄膜Si	○	○	○
E	多結晶Si	△ 5/5	△ 3/5 × 2/5	△ 2/3 × 1/3
F	単結晶Si	○	○	○
G	多結晶Si	△ 5/5	△ 5/5	△ 5/5
H	単結晶Si	○	○	○
I	多結晶Si	△ 5/5	△ 2/5 × 3/5	× 5/5
J	多結晶Si	△ 5/5	△ 5/5	—
K	多結晶Si	△ 5/5	△ 4/5 × 1/5	△ 2/5 × 3/5
L	薄膜Si	○	○	○
M	多結晶Si	△ 5/5	△ 5/5	△ 5/5
N	多結晶Si	○	○	○
O	多結晶Si	△ 5/5	△ 5/5	△ 5/5

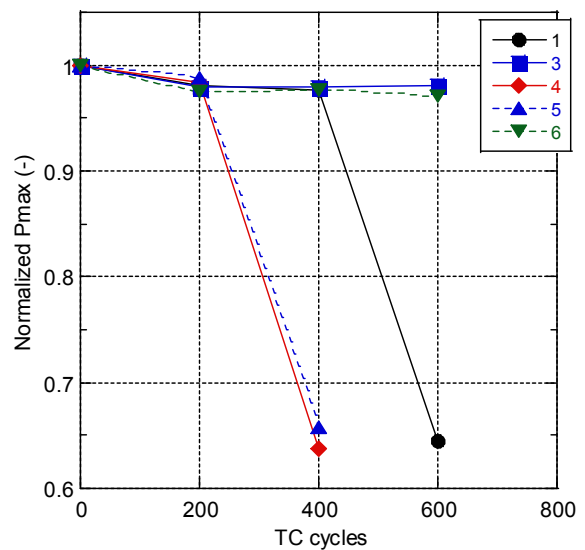


図 17 モジュールEにおける Pmax 変化の試験回数依存性

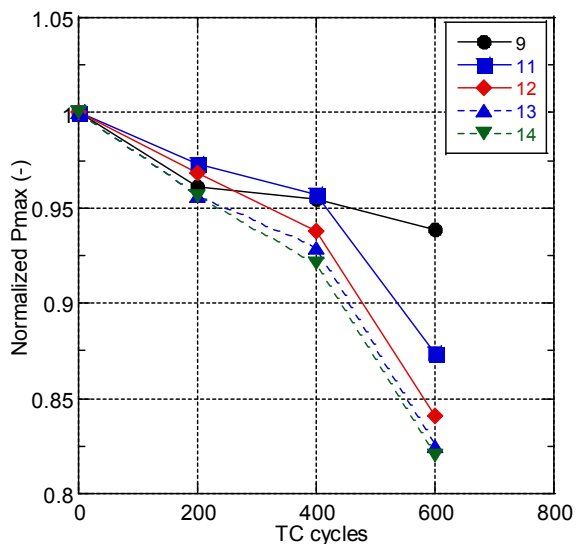


図 18 モジュール I における Pmax 変化の試験回数依存性

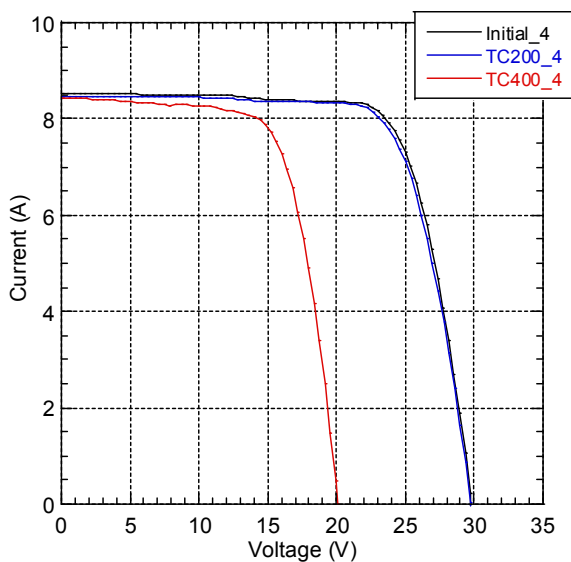


図 19 モジュール E の各 TC 試験時間における I-V 特性

#### 4. おわりに

IEC 規格に準拠した DH および TC 延長試験を実施した結果、以下の結論を得た。

1) DH 延長試験により、最大出力 Pmax が 5% 以上劣化したモジュールの存在を 15 種類中 6 種類で確認した。DH 延長試験は長期信頼性における性能ふるい分けが可能であることが示唆された。

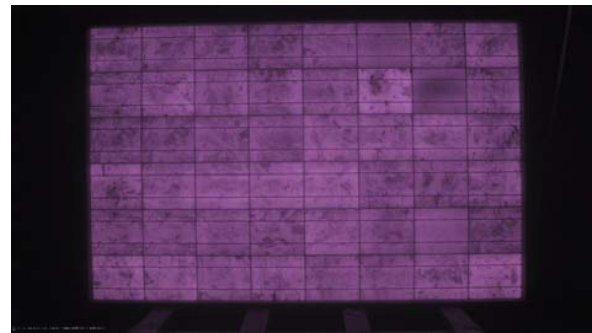


図 20 モジュール E の TC 試験前の EL 像

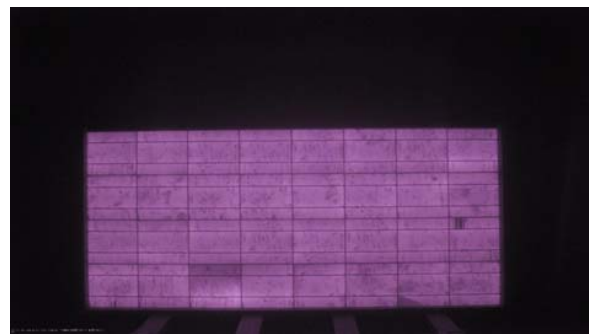


図 21 モジュール E の TC400 回試験後の EL 像

2) TC 延長試験で最大出力 Pmax が 5% 以上劣化するモジュールは 15 種類中 3 種類であった。

3) 1) および 2) より TC 延長試験よりも DH 延長試験の方がふるい分けには効果的であることが示唆された。

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、モジュール分光感度測定装置、DH 試験機および 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) IEC 61215 Edition 2.0: 2005.
- 2) IEC 61646 Edition 2.0: 2008.
- 3) M. Meusel et al., Prog. Photovol. Res. Appl. 11 (2003), 499-514.
- 4) Y. Hishikawa et al., MRS Symposia Proceedings, 862 (2005), 579-590.
- 5) Y. Tsuno, Y. Hishikawa, Proceedings of 23rd EUPVSEC, Valencia (2008), 2723-2727.
- 6) T. Fuyuki et al., Appl. Phys. Lett. 86 (2005), 262108-1-262108-3.
- 7) T. Fuyuki, A. Kitiyanan, Appl. Phys. A 96, (2009), 189-196.