



# JET

## 第12回セミナー「太陽光発電システムの長期信頼性に係わる課題と対策」 各社太陽電池の加速試験結果・信頼性認証

2014年12月12日

研究事業センター 大林只志

一般財団法人 電気安全環境研究所

Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved

1



### 講演内容

# JET

1. はじめに
2. 太陽光発電におけるモジュール認証とJETの役割
3. IECモジュール認証規格・試験と課題
4. 延長・拡張試験による市販モジュール評価
  - 4.1 15モデルによるIEC規格を活用した延長・拡張試験
  - 4.2 延長・拡張試験の結果
  - 4.3 今後の課題と進め方
5. 長期暴露システムの調査事例
  - 5.1 長期系統連系システムにおける発電電力量
  - 5.2 設置モジュールの外観及び電気特性
6. 長期信頼性試験方法開発の取り組み

Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved

2

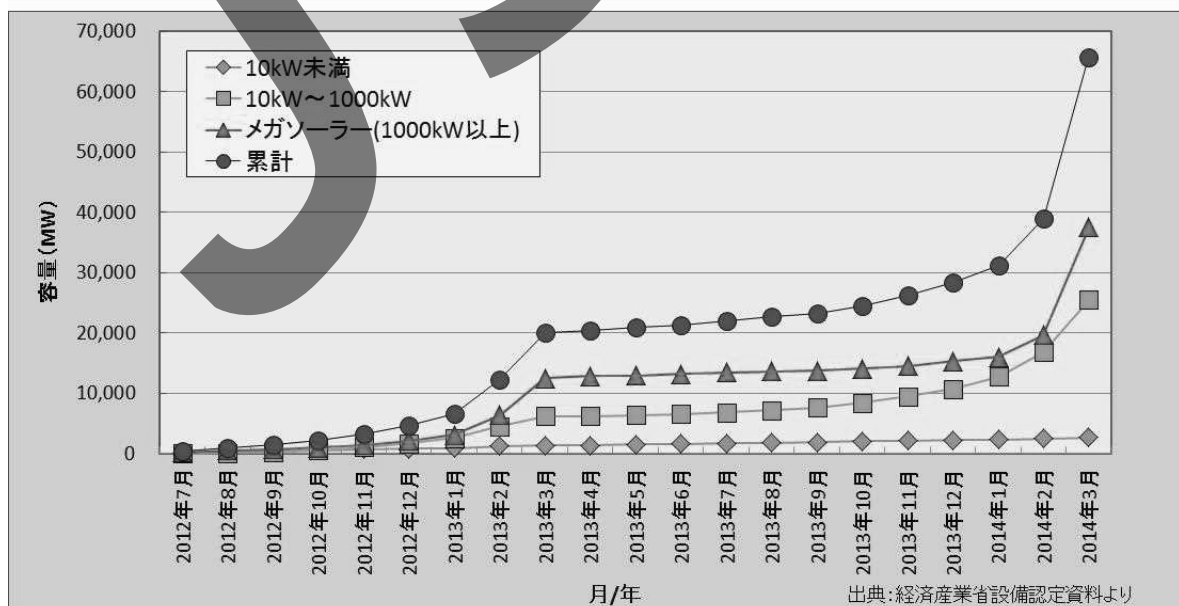
我が国に於ける太陽光発電システムの設置は、FIT補助事業に後押しされ、2012年7月の固定買取制度の開始から2014年3月までに65.7GWの発電設備が認定されている。うちメガソーラー(1MW以上)は37.5GWである。毎年、6.5GW程度のモジュールが設置され、このような多数のシステム設置に伴い設計通りに発電しないシステムが出てくることが予想される。実際に大型システムに設置されたモジュールの出力不足、割れ、ホットスポット、端子ボックスのトラブルなど事例も報告されている。

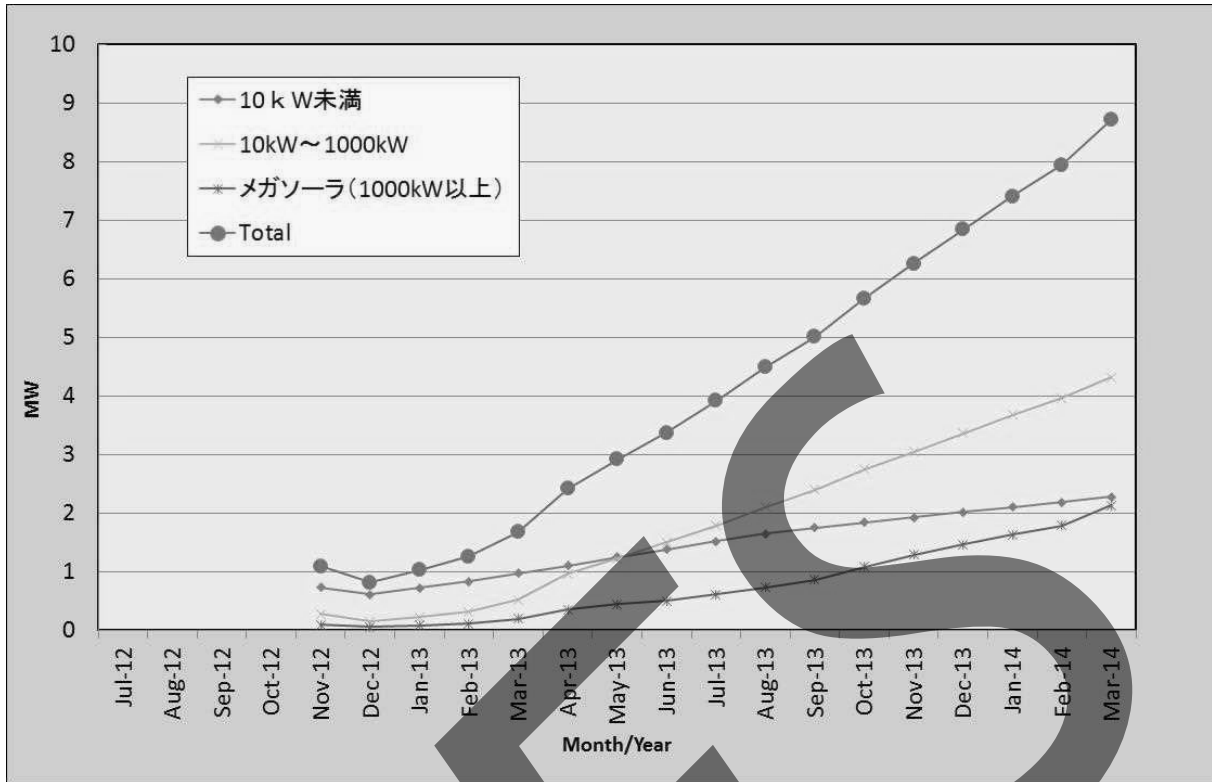
現在、国内をはじめモジュールの性能、安全性に関する試験規格にJIS C 8990(IEC61215)、JIS C 8991(IEC61646)、JIS C 8992-1,2(IEC61730-1,2)が適用されているが、これら規格は20~25年の長期信頼性確保を想定したものではなく、高信頼性、長寿命に対応した規格、試験方法の開発が別途必要になっている。

このような中、長期の信頼性を担保しうる実フィールドと整合性のある長期信頼性規格と試験方法の開発が求められている。JETにおける長期信頼性試験への取り組みについて報告する

太陽光発電設備認定状況(累積) (2012年7月~2014年3月)

10kW 未満		10kW~1000kW		メガソーラー (1000kW以上)		累計	
容量(kW)	件数	容量(kW)	件数	容量(kW)	件数	容量(kW)	件数
2,688	615,798	25,529	574,444	37,509	8,780	65,725	1,199,022





1) 太陽光発電に関連するJETの主な業務

<認証関係>

- ・系統連系認証(1993年～)
  - 国内の系統連系要件確認代行機能(低圧連系)
  - 太陽電池用に関しては新型方式(多数台連系)への移行期間中
- ・基準デバイス供給(2002年～)
  - 太陽電池出力測定値のトレーサビリティ確保支援
  - セル/モジュール出力について産総研の国家標準の橋渡機能
- ・モジュール認証(2003年～)
  - 国際規格(IEC規格)による内外両用認証
  - 日本企業との対話を基本にするも、海外顧客も急増
- ・QMS認証(2012年～)
  - 長期的なPVモジュールの品質保証確保を目的とし、2012年にQMS認証(JIS Q8901)を追加した。

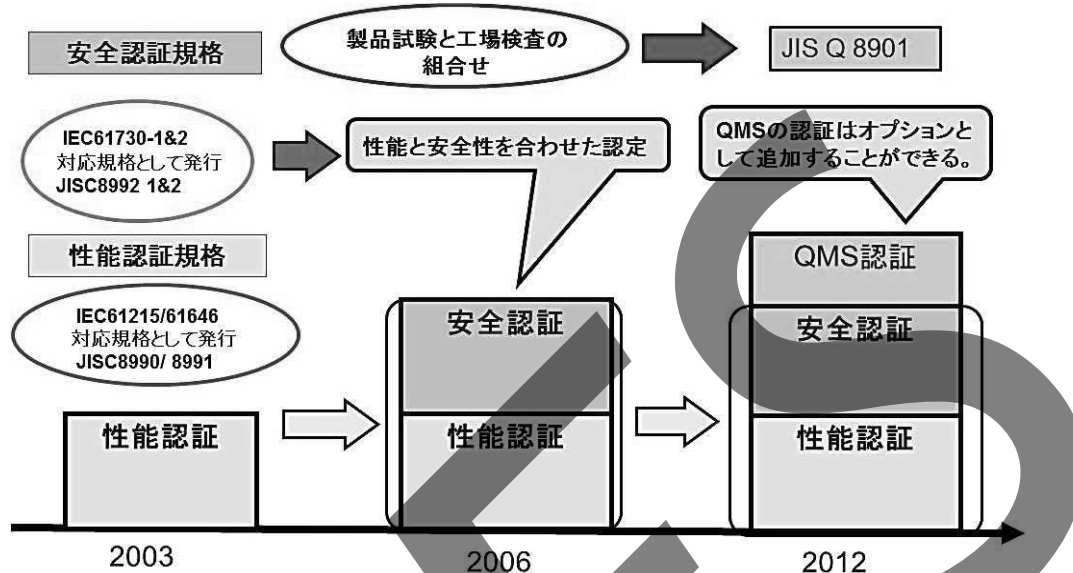
<研究業務(国のプロジェクト)>

- ・長期信頼性に関するデータ収集(2001年～)
  - 長期屋外暴露データ/屋内試験データ
  - NEDO委託事業/METI補助事業に参加。



### JET's PVm認証の歩み

JETPVm認定は2006年に安全認証を追加。さらに、長期的なPVモジュールの品質保証確保を目的とし、2012年にQMS認証(JIS Q8901)を追加した。



Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved

7



### QMS認証(JIS Q 8901)～地上設置の信頼性保証体制の認証

PVの設計、製造、アフターサービスという3側面における品質マネジメントシステムの構築・運用でPVの長期信頼性に深く貢献する。PVの長期債務など顧客の信頼と期待につながる。

#### QMS認証(JIS Q 8901)

製造者には以下の責任が要求される

- ①機能耐用年数(PVモジュールが一定の条件下で規定された性能を満足する 設計目標期間)及び性能保証年数(モジュール交換、金銭補償、修理などのアフターサービスによって保証した性能等が確保される期間)が確認(裏付けとなる試験方法など文書などで)できること。
- ②JIS Q9001に沿ったPVモジュールの製造が管理されている。
- ③機能耐用年数、性能保証年数と出力性能保証の間の整合性が確保され、サービス体制が整っていること。



発電事業者(SPC)のIRRを確保するためには、PVシステムを性能保証年数(20～25年間)電源として動作維持することが、FITを含め投資金額を回収するために必要である。これを支援する目的からもJIS Q8901の活用が望まれる。

Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved

8



#### 1) 太陽電池モジュールIEC認証規格

##### 性能認証規格の目的および構成

性能認証規格(IEC)  
結晶系: IEC 61215  
薄膜系: IEC 61646

##### 規格の目的:

- (1)モジュールの電氣的・熱的特性を決定するとともに、実際の屋外での長期使用条件を想定した、光、熱、機械的な環境負荷に対する耐性を評価すること。
- (2)各種劣化試験により経年使用に伴う発電能力の低下が一定の範囲に収まることや機械的に壊れにくいこと等を確認する。

##### 試験項目:

18項目(IEC 61646は19項目)あり、5つのカテゴリ

- ①機能チェック(Functional check) ②特性(Characteristics)③前処理／予備的試験(Preconditioning / Preliminary test)④長期耐久性 (Long term durability)⑤さまざまな運用ストレスに対する耐久性(Durability to various operating stress))に大分される。

##### 合格基準:

- ①モジュールの出力値が試験項目ごとで5%を超えて低下しないこと(シーケンス全体で8%を超えて低下しないこと)
  - ②試験中に断線がないこと
  - ③目視欠陥がないこと
  - ④絶縁性の確認試験である湿潤漏れ電流試験で絶縁性が保たれていること
  - ⑤それぞれの試験で、特別に定められている要求事項を満足すること
- の5つを満足することと決められている。



##### 性能認証規格(IEC 61215)の試験項目

カテゴリ	規格に定められた試験項目	
機能チェック (Functional check)	10.1	目視検査(Visual inspection)
	10.2	最大出力の決定(Pmax determination)
	10.3	絶縁試験(Insulation test)
	10.15	湿潤漏れ電流試験(Wet leakage test)
特性 (Characteristics)	10.4	温度係数(temperature coefficients)の測定
	10.5	公称動作セル温度(NOC T)の測定
	10.6	基準状態(STC)及びNOCTにおける特性
	10.7	低放射照度(low irradiance)における特性
前処理／予備的試験 (Preconditioning/Preliminary test)	10.10	紫外線照射試験(UV preconditioning test)
	10.8	屋外曝露試験(Outdoor exposure test)
長期耐久性 (Long term durability)	10.11	温度サイクル試験(Thermal cycling test)
	10.12	結露凍結試験(Humidity freeze test)
	10.13	高温高湿試験(Damp heat test)
さまざまな運用ストレスに対する耐久性 (Durability to various operating stress)	10.18	バイパスダイオード温度試験(Bypass diode thermal test)
	10.9	ホットスポット耐久試験(Hot spot endurance test)
	10.14	端子強度試験(Termination robustness test)
	10.16	機械的荷重試験(Mechanical load test)
	10.17	降雹試験(Hail test)



#### 安全性認証試験規格について

安全性認証規格(IEC)

構造審査規格: IEC 61730-1

試験規格: IEC 61730-2

#### 規格の目的:

- (1)実際の環境条件を想定して、電気火災、感電、傷害等の電気安全に関することを評価する。
- (2)安全性認証試験(電氣的に安全(感電・電気火災)であり耐火性のあることを確認)の規格。通常は性能認証規格との統合認証が行われる。

IEC 61730-1: 構造に関する基本的な要求事項

例えば、プラスチック材料の温度上限値、燃焼性などの要求)を規定

IEC 61730-2: 試験規格

- ・試験項目: 12項目あり、4つのカテゴリ(感電危険(Electrical shock hazard),火災危険(Fire hazard),機械的ストレス(Mechanical stress),部品(Component))に大分される。
- ・試験シーケンスはIEC 61215 (61646)と調和するように規定されており、安全および性能の両方を一組のサンプルで評価することができるようになっている。
- ・その際、IEC 61215 (61646)の試験をこの規格で要求している前処理(屋外での長期使用前提とした安全性が確認できるよう必要な前処理を要求)に替えることができる。



#### 安全性認証規格(IEC 61730-2)の試験項目

カテゴリ	規格に定められた試験項目	
感電危険(Electrical shock hazard)	10.2	接近性試験(Accessibility test)
	10.3	切断性試験(Cut susceptibility test)
	10.4	接地連続性試験(Ground continuity test)
	10.5	インパルス電圧試験(Impulse voltage test)
	10.6	耐電圧試験(Dielectric withstand test)
	火災危険(Fire hazard)	10.7
10.8		火災試験(Fire test)
10.9		逆電流過負荷試験 (Reverse current overload test)
機械的ストレス(Mechanical stress)	10.10	衝撃破壊試験(Module breakage test)
部品(Component)	11.1	部分放電試験(Partial discharge test)
	11.2	配線管曲げ試験(Conduit bending)
	11.3	端子ボックスノックアウト試験(Terminal box knock out)

安全性認証試験10. 2, 3, 及び5の前処理試験として、性能認証試験項目の10. 9~13及び10. 16~17 (環境試験/機械的強度試験) を実施



#### 2) 現状のモジュール認証試験(評価基準)の限界

性能認証規格(IEC)  
結晶系: IEC 61215  
薄膜系: IEC 61646

安全性認証規格(IEC)  
構造審査規格: IEC 61730-1  
試験規格: IEC 61730-2



現状のIEC規格(性能認証規格: IEC 61215/61646)の試験条件は必ずしも現実の使用条件・期間の加速試験として再現できていない理由は以下である。

- (1) 規格である紫外線照射量15 kWh/m<sup>2</sup>は、自然光300時間相当にすぎない。(温度サイクル試験50サイクル+結露凍結試験のシーケンスの前処理条件との位置付けでしか実施されてない)
- (2) 封止材であるEVAに評価基準がない(EVA以外に使える封止材が少ない。残留酢酸の影響等を考える必要がある)
- (3) 発電システムを構成する部材・機器(ケーブル、端子ボックス、PCSを介した対地電圧)の性能への影響を無視できない。
- (4) 規格で定めた試験期間内で劣化する事例は、ほとんどなく、寿命試験となっていない。
- (5) 20~25年実暴露されたモジュールとの対比が整理された事例が少ない。  
など



#### 3) 主な試験装置

温度サイクル試験装置



高温高湿試験装置





## 4.1 15モデルによるIEC規格を活用した延長・拡張試験

JETは長期信頼性を担保する試験方法の検討を目的に、平成22年度から25年度にかけてMETI補助金事業である「アジア基準認証推進事業(太陽光発電における信頼性・信頼性試験方法に関する国際標準化)」に参加し、市場に流通する国内外で市販のモジュール15モデルを対象に性能規格IEC61215(結晶系),IEC61646(薄膜系)及び安全規格IEC61730-1,2で定められた高温高湿(DH)試験、温度サイクル(TC)試験、の試験時間、サイクル数を増やした試験(延長試験)、組合せた試験(拡張試験)を実施し、モジュール品質の劣化を以下の3試験で確認した。

## (1) 高温高湿試験(DH)

85°C85% 3000時間(モジュール認証は1000時間で判定)

## (2) 温度サイクル試験(TC)---通電あり

-40°C⇔85°C 600回(モジュール認証は200サイクルで判定)

## (3) 拡張試験

(DH1000時間+TC200サイクル)を2回実施



## 4-2 延長及び拡張試験の結果(DH)

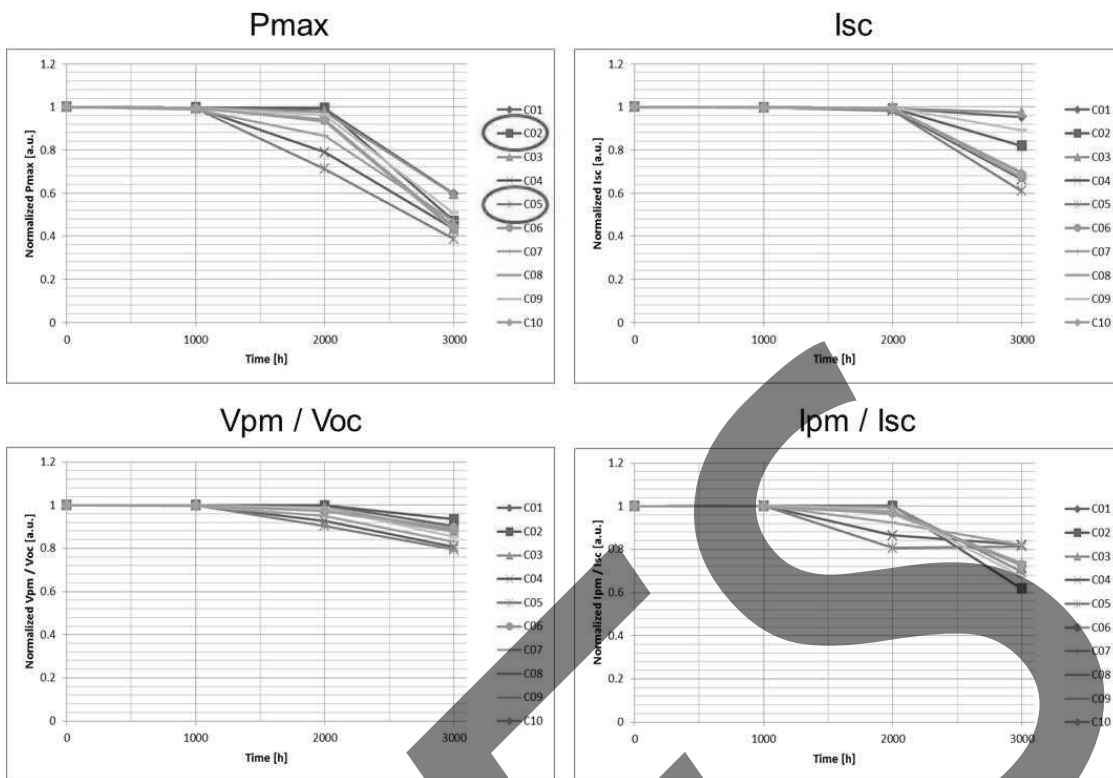
## 1) 高温高湿試験(DH) 85°C85% 3000時間

表 サンプル数と高温高湿試験結果

モデル/種類/国			高温高湿試験(DH)			
			サンプル数	1000 時間	2000 時間	3000 時間
A	多結晶Si	日本	10	○	○	○
B	多結晶Si	ドイツ	10	○	○	× 3 / 10
C	多結晶Si	中国	10	○	× 6 / 10	× 10 / 10
D	薄膜	日本	10	○	○	○
E	多結晶Si	中国	5	○	× 5 / 5	× 5 / 5
F	単結晶Si	韓国	5	○	○	○
G	多結晶Si	中国	5	○	○	○
H	単結晶Si	日本	5	○	○	○
I	多結晶Si	台湾	5	○	× 3 / 5	× 5 / 5
J	多結晶Si	台湾	5	○	○	○
K	多結晶Si	台湾	5	○	○	○
L	薄膜Si	日本	5	○	○	× 1 / 5
M	多結晶Si	日本	5	○	○	○
N	多結晶Si	日本	5	○	○	○
O	多結晶Si	日本	5	○	○	× 3 / 5

×は判定値(初期値の95%のPmax値)以下のものを示す。





3000時間で急激に出力低下したサンプル

最も出力低下したサンプル

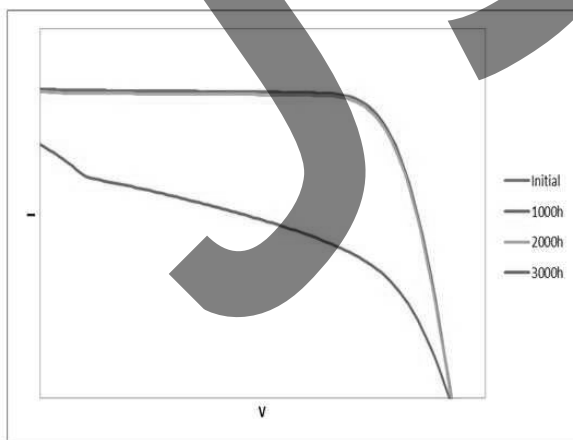


図 C02サンプルのIV曲線

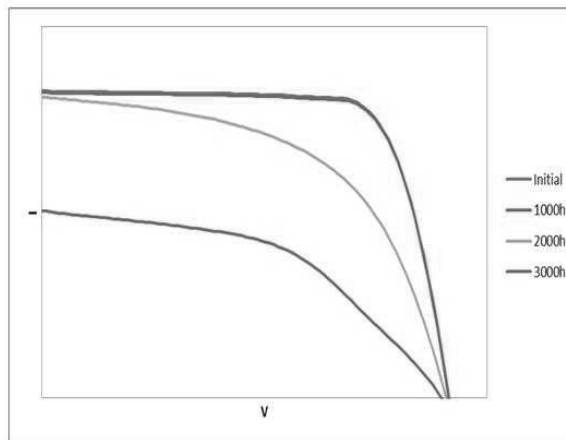
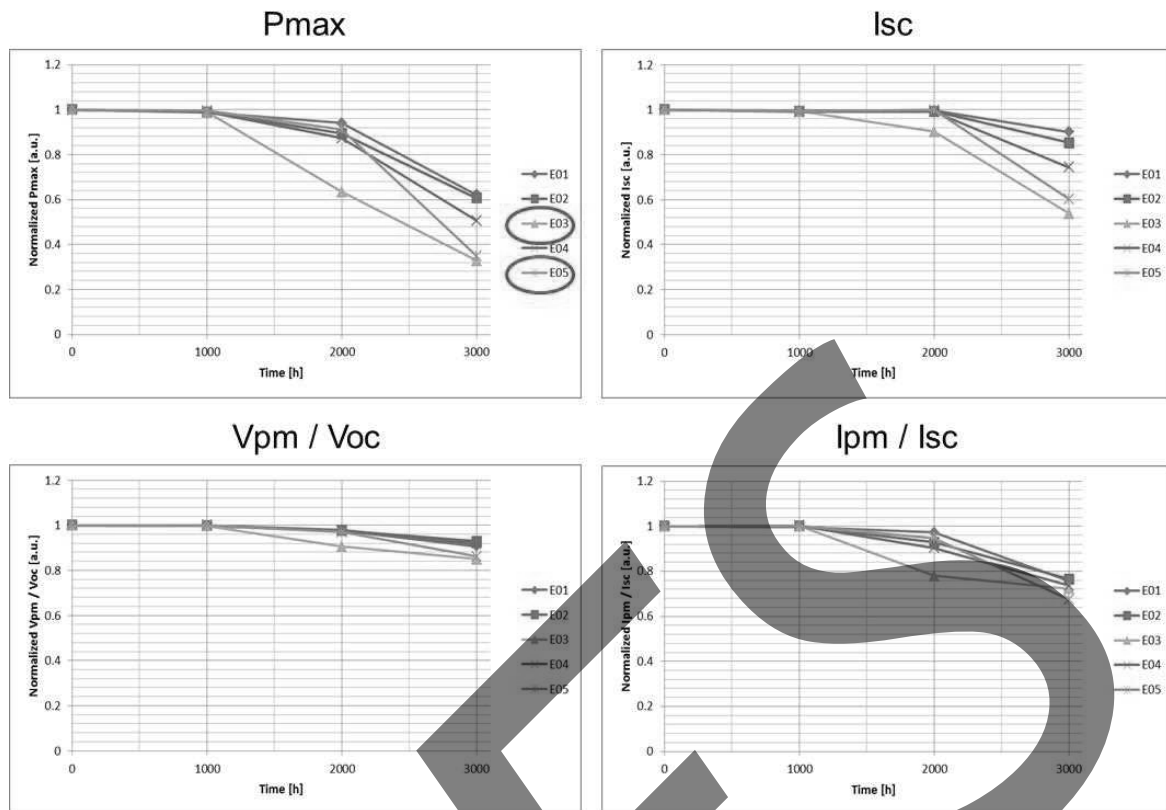


図 C05サンプルのIV曲線



最も出力低下したサンプル

3000 時間で急激に出力低下したサンプル

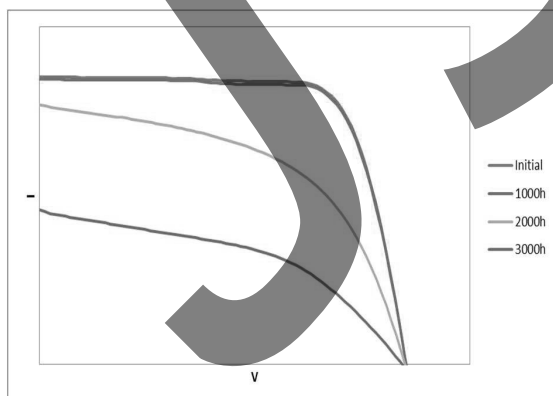


図 E03サンプルのIV曲線

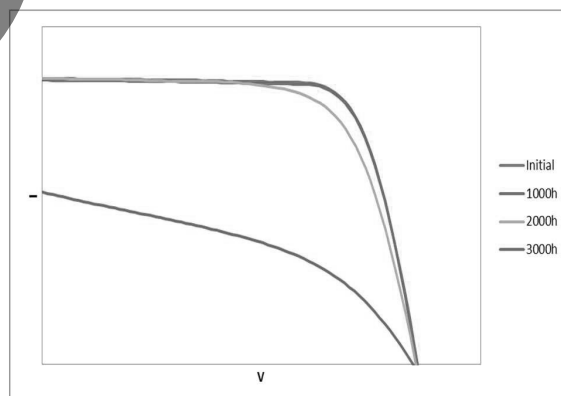
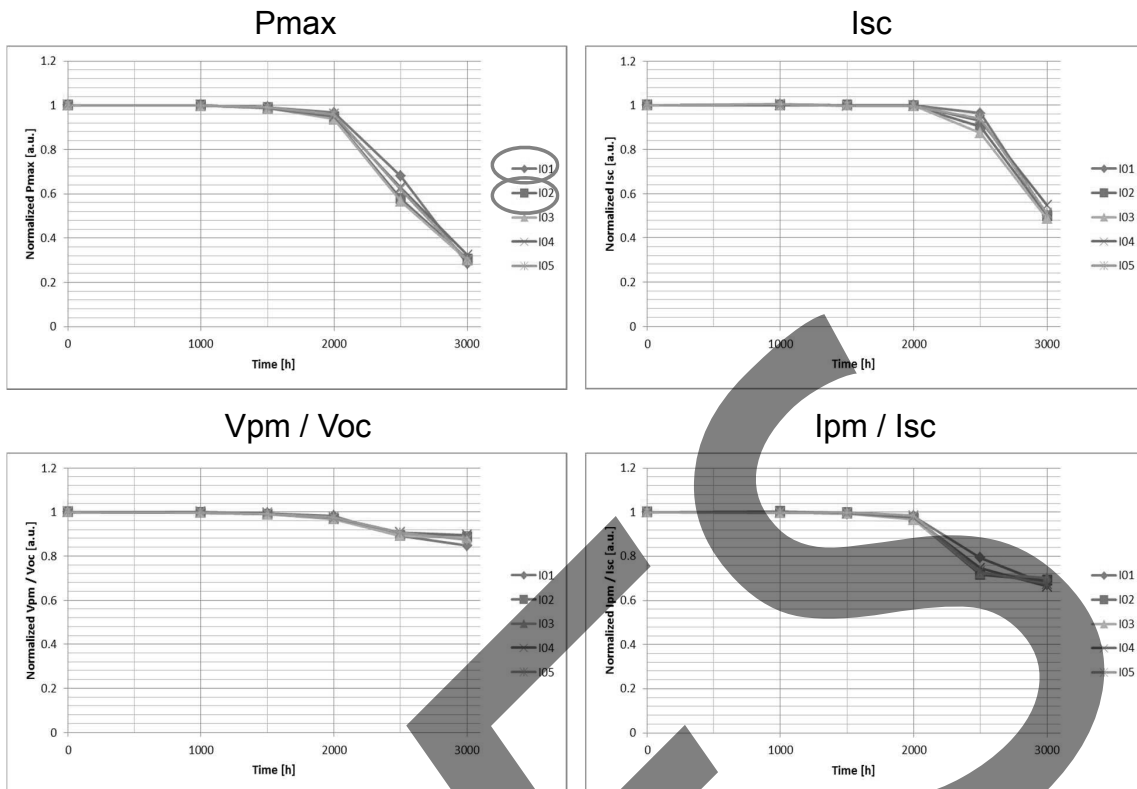


図 E05サンプルのIV曲線



比較的输出低下の遅かったサンプル

最も出力低下したサンプル

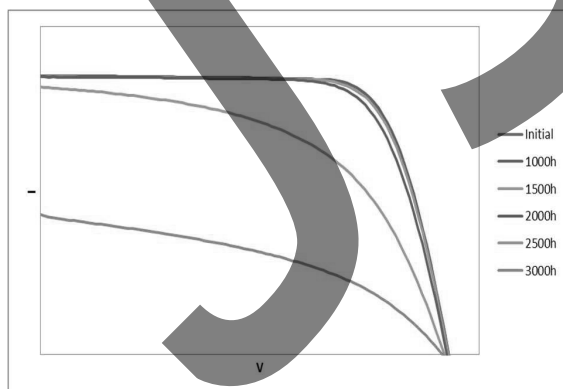


図 I01サンプルのIV曲線

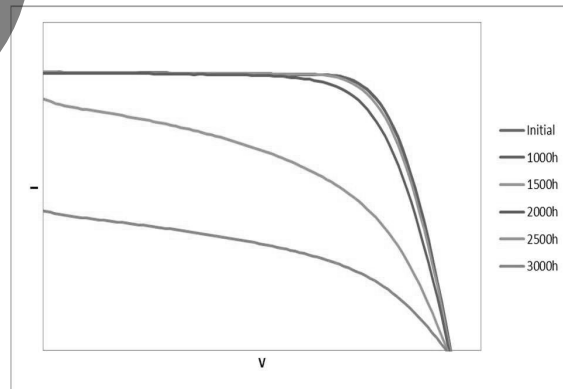


図 I02サンプルのIV曲線



## 1) 高温高湿試験(DH) 85°C85% 3000時間 のまとめ

(1)全15モデル1000時間後、モジュール認証における最大公証出力値(以下Pmax値)の合格基準値(初期値の95%以上)を満足したが、3000時間までに6モデル(B,C,E,I,L=断線,O)で5%以上のPmax値の低下を確認した。Oモデルは95%に近いボーダーラインで3/5不良と判定。

(2)出力低下モデルは2000時間以降急激にPmax値が低下した。

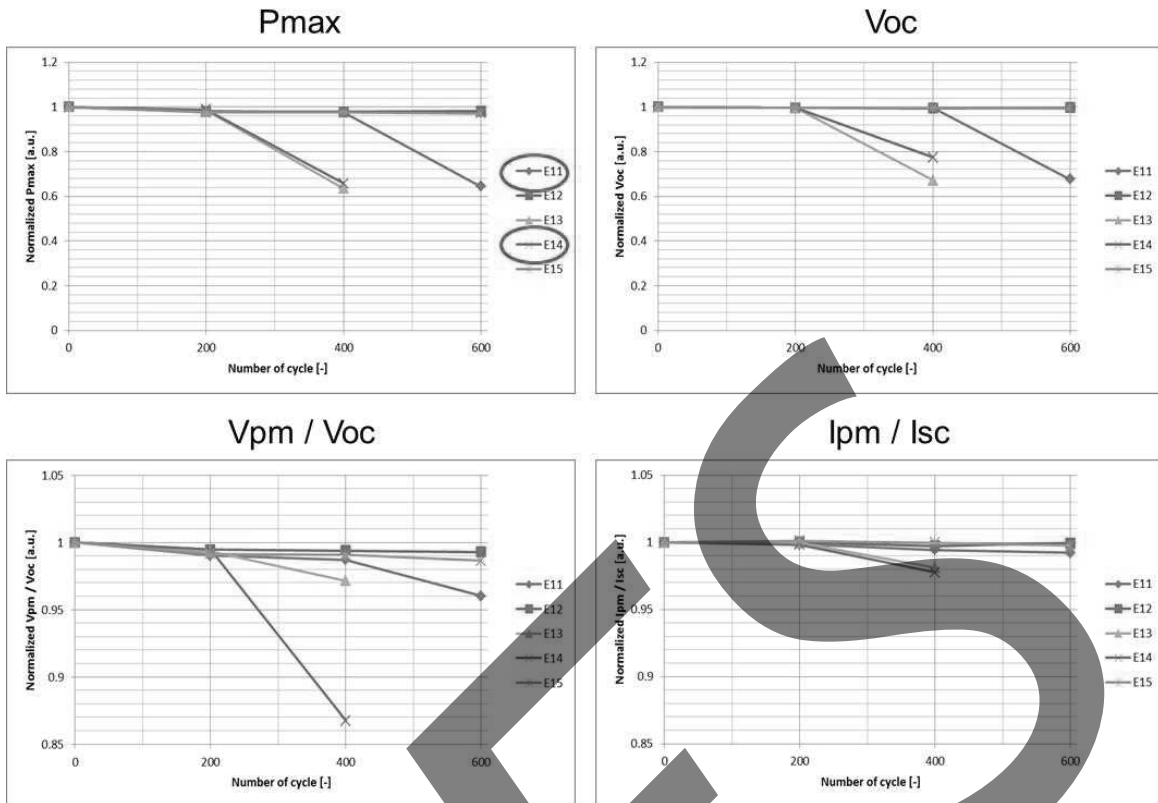


## 2) 温度サイクル試験(TC) -40°C⇔85°C 600サイクル

表 サンプル数と温度サイクル試験結果

モデル/種類/国			温度サイクル試験(TC)			
			サンプル数	200 サイクル	400 サイクル	600 サイクル
A	多結晶Si	日本	5	○	○	○
B	多結晶Si	ドイツ	10	○	○	○
C	多結晶Si	中国	10	○	○	○
D	薄膜	日本	10	○	○	○
E	多結晶Si	中国	5	○	× 2 / 5	× 3 / 5
F	単結晶Si	韓国	5	○	○	○
G	多結晶Si	中国	5	○	○	○
H	単結晶Si	日本	5	○	○	-----
I	多結晶Si	台湾	5	○	× 3 / 5	-----
J	多結晶Si	台湾	5	○	○	-----
K	多結晶Si	台湾	5	○	○	× 3 / 5
L	薄膜Si	日本	5	○	○	○
M	多結晶Si	日本	5	○	○	○
N	多結晶Si	日本	5	○	○	○
O	多結晶Si	日本	5	○	○	○

× は判定値(初期値の95%のPmax値)以下のものを示す。



600 サイクルで出力低下したサンプル

400 サイクルで出力低下したサンプル

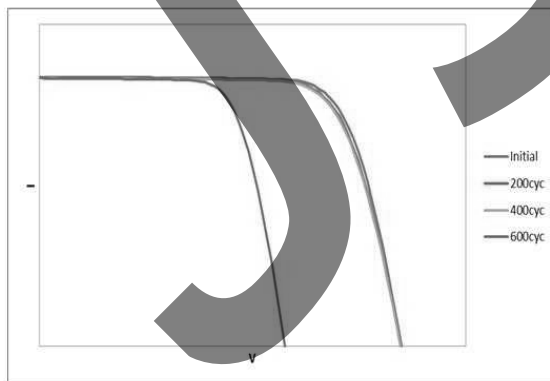


図 E11サンプルのIV曲線

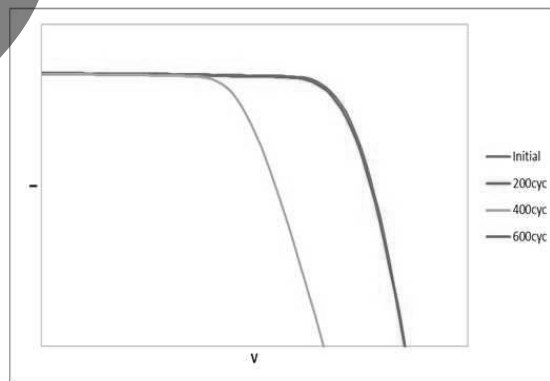
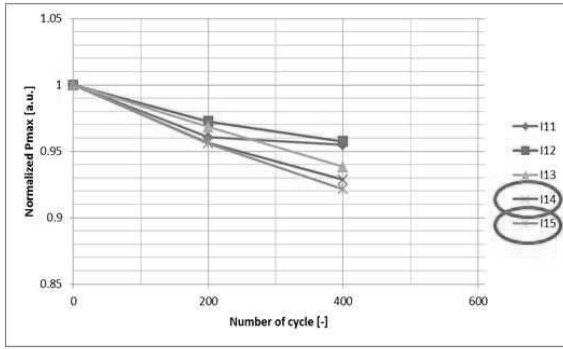


図 E14サンプルのIV曲線

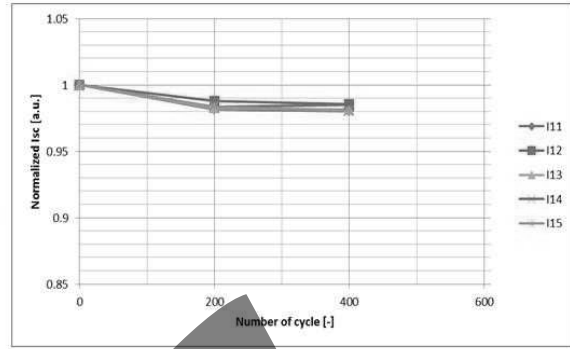
※E13, E14は400サイクルで試験中止した



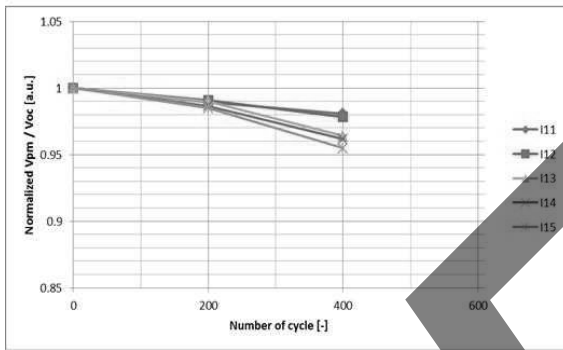
Pmax



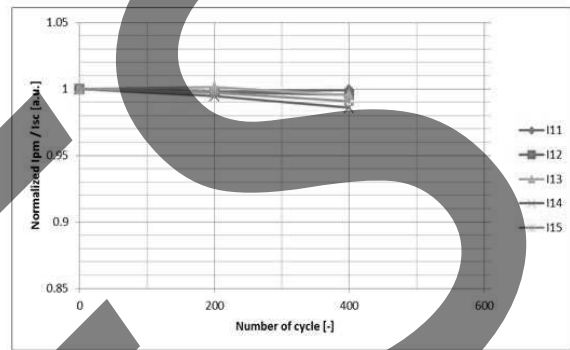
Isc



Vpm / Voc



Ipm / Isc



2番目に出力低下の大きいサンプル

最も出力低下の大きいサンプル

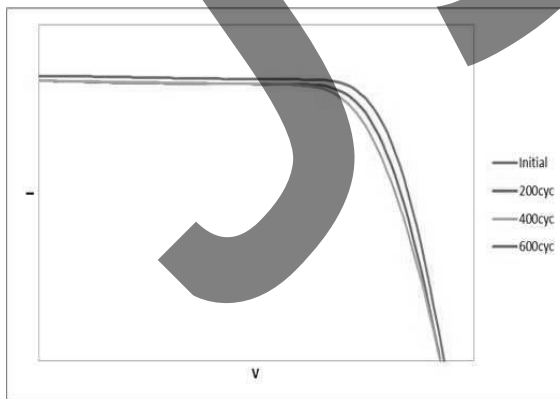


図 | I14サンプルのIV曲線

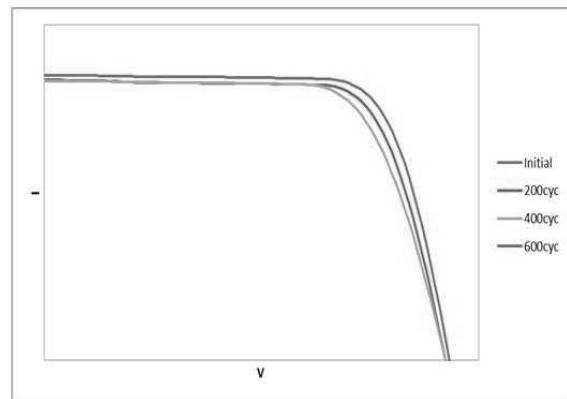
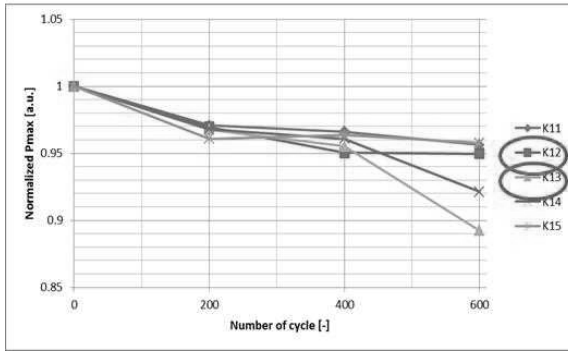


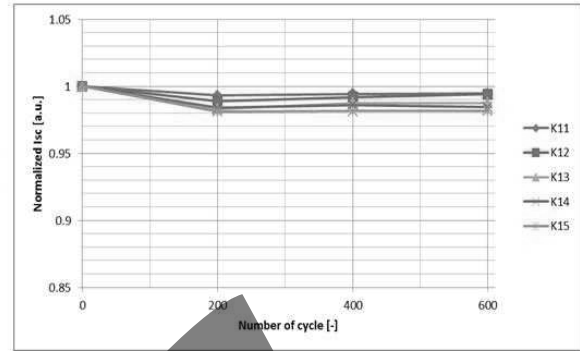
図 | I15サンプルのIV曲線



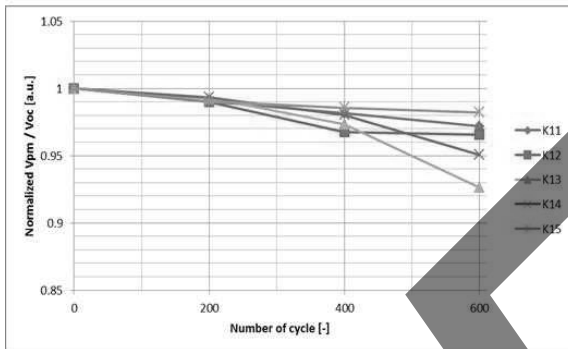
Pmax



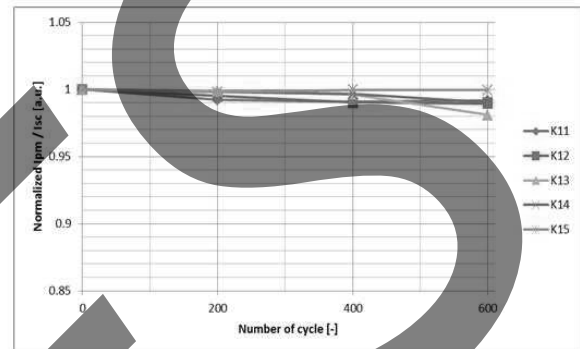
Isc



Vpm / Voc



Ipm / Isc



400 サイクル以後出力が維持

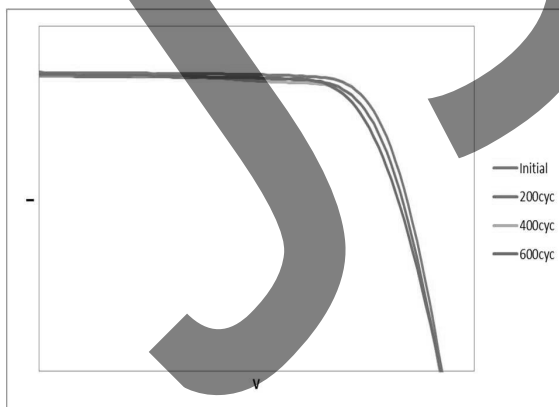


図 K 12サンプルのIV曲線

最も出力低下の大きいサンプル

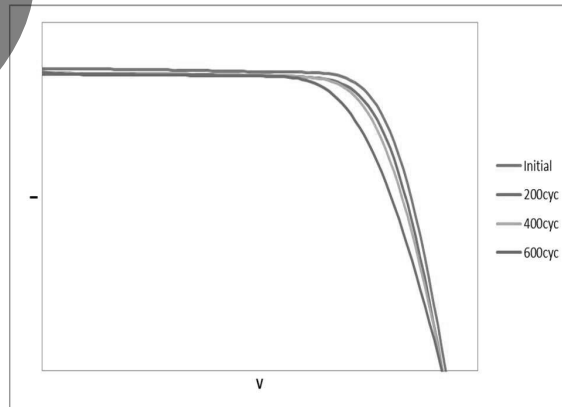


図 K 12サンプルのIV曲線

2) 温度サイクル試験(TC) -40°C $\rightleftharpoons$ 85°C 600サイクル試験結果 のまとめ

- (1)200サイクルでは、全15モデルでPmax値の低下は5%以内であった。  
600サイクル終了までに3モデル(E,I,K)で5%以上Pmax値が低下した。
- (2)多くのモデルは200サイクル以降もPmax値に大きな変化はないが、出力低下するモデル(E,I)は400,600サイクルで低下した。



## 3) 拡張試験(DH1000時間+TC200サイクル+ DH1000時間+TC200サイクル)

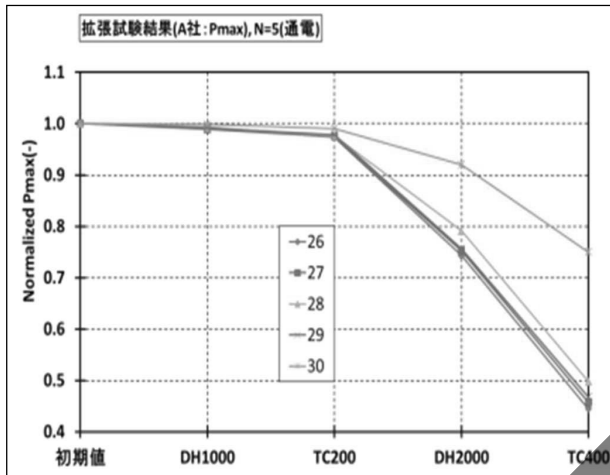
表 サンプル数と拡張試験結果

モデル/種類/国			TC時通電あり				TC時通電なし					
			サンプル数	DH1000	TC200	DH2000	TC400	サンプル数	DH1000	TC200	DH2000	TC400
A	多結晶Si	日本	5	○	○	× 5 / 5	× 5 / 5	5	○	○	× 5 / 5	× 5 / 5
B	多結晶Si	ドイツ	5	○	× 5 / 5	× 5 / 5	× 5 / 5	5	○	○	○	○
C	多結晶Si	中国	5	○	○	× 5 / 5	× 5 / 5	5	○	○	× 4 / 5	× 5 / 5
D	薄膜	日本	0	—	—	—	—	10	○	○	○	○
E	多結晶Si	中国	5	○	× 4 / 5	× 5 / 5	× 5 / 5	0	—	—	—	—
F	単結晶Si	韓国	5	○	○	○	○	0	—	—	—	—
G	多結晶Si	中国	5	○	○	× 3 / 5	× 4 / 5	0	—	—	—	—
H	単結晶Si	日本	5	○	○	○	○	5	○	○	○	○
I	多結晶Si	台湾	5	○	× 5 / 5	× 5 / 5	× 5 / 5	5	○	× 3 / 5	× 5 / 5	× 5 / 5
J	多結晶Si	台湾	5	○	○	○	× 1 / 5	5	○	○	○	× 2 / 5
K	多結晶Si	台湾	5	○	○	○	× 1 / 5	5	○	○	○	○
L	薄膜Si	日本	0	—	—	—	—	10	○	○	○	× 1 / 10 断線
M	多結晶Si	日本	5	○	○	○	○	5	○	○	○	○
N	多結晶Si	日本	5	○	○	○	○	5	○	○	○	○
O	多結晶Si	日本	5	○	○	○	○	5	○	○	○	○

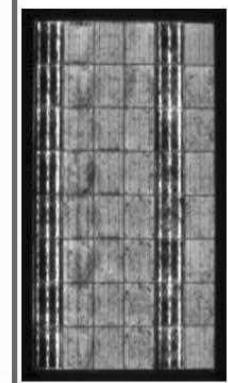
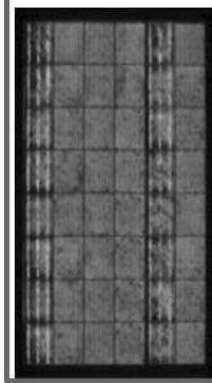
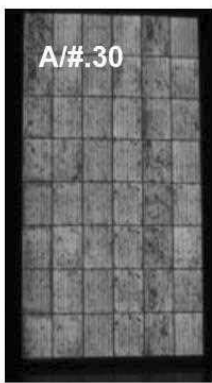
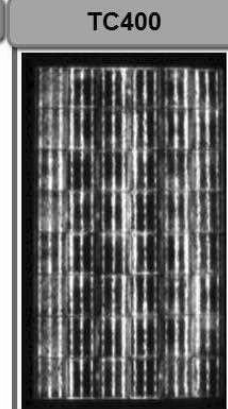
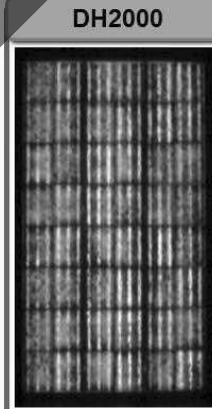
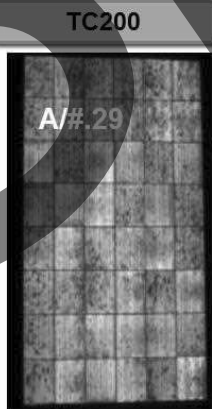
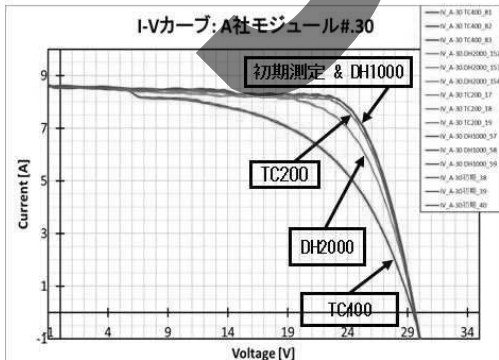
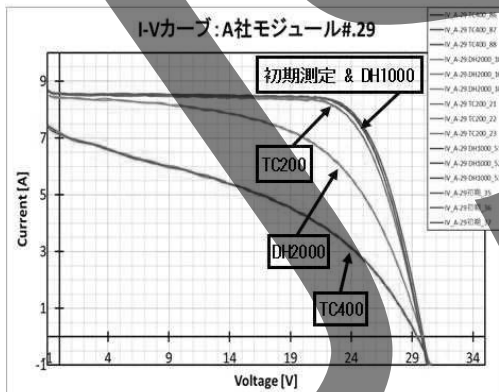
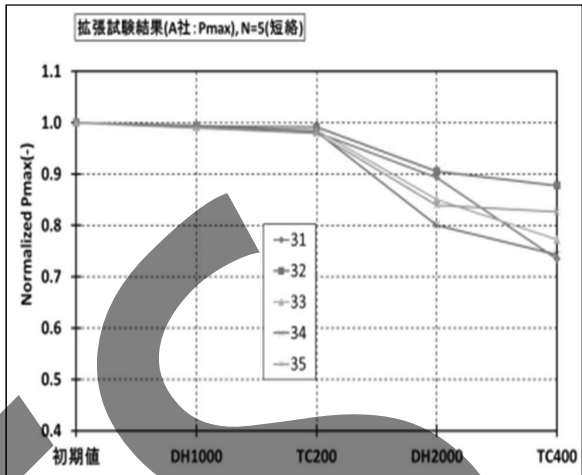
×は判定値(初期値の95%のPmax値)以下のものを示す。



Aモデル のPmax変化(TC時通電有)

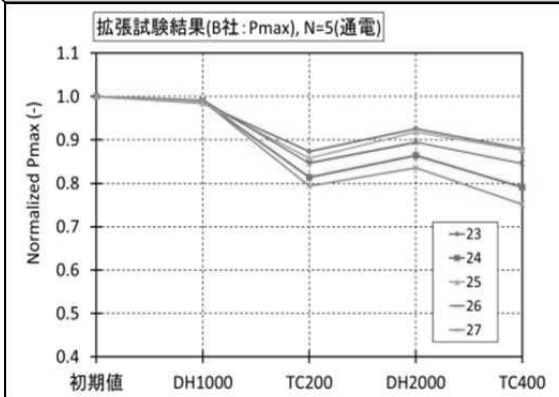


Aモデル のPmax変化(TC時通電無)

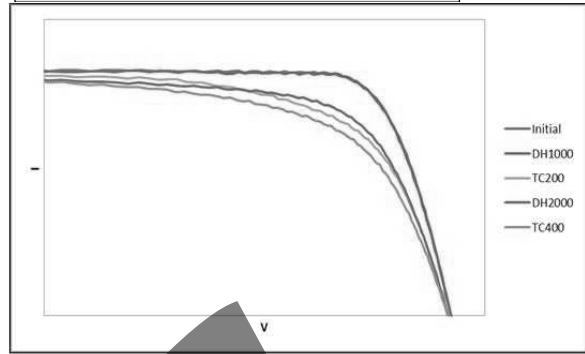




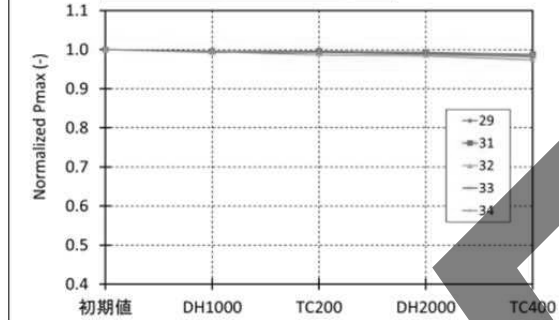
### Bモデル のPmax変化(本モデルのみTC時の通電有無で差あり)



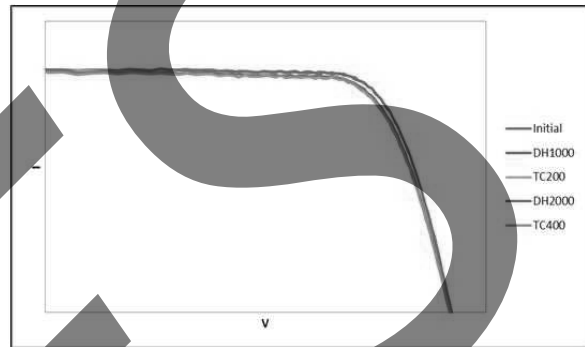
### 通電で最も出力低下したサンプル



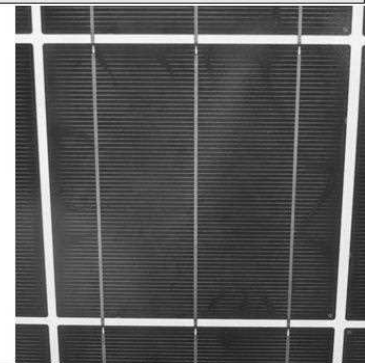
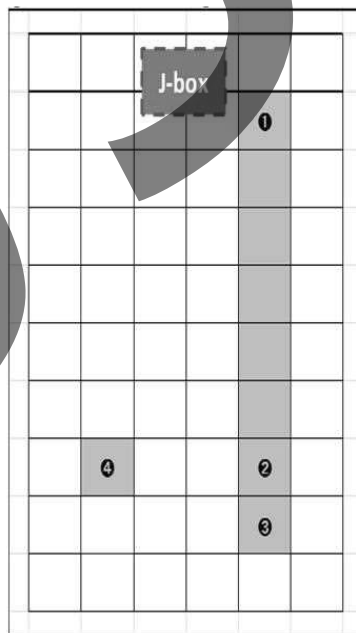
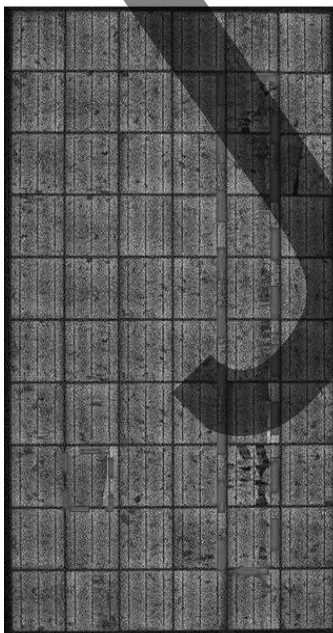
### 拡張試験結果(B社:Pmax), N=5(短絡)



### 非通電で最も出力低下したサンプル



### B社:DH1000+TC200+DH1000+TC200後(Snail Trail)



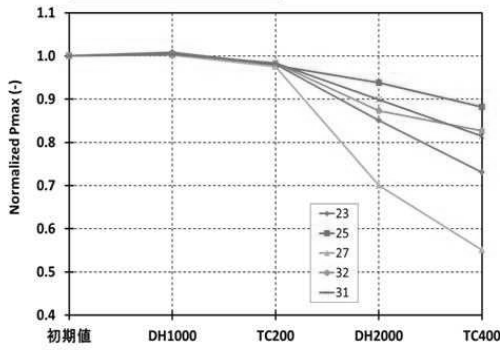
EL画像とSnail Trailの発生位置は、一致する。

Snail Trail(セルクラック)を1/10台で確認した。モジュール出力の低下は認められず。

# 拡張試験結果: 出力低下の要因分析 Cモデル

JET

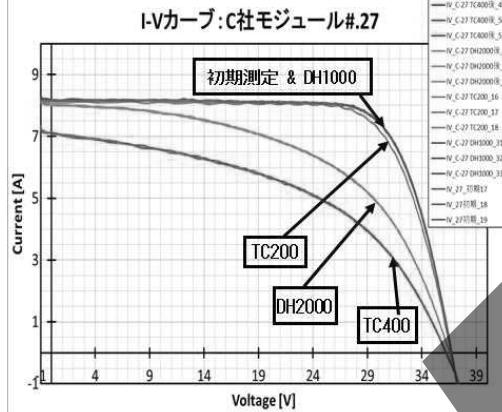
拡張試験結果(C社:Pmax), N=5(通電)



最も劣化したモジュールのIV特性とEL画像を示す。

DH2000

TC400

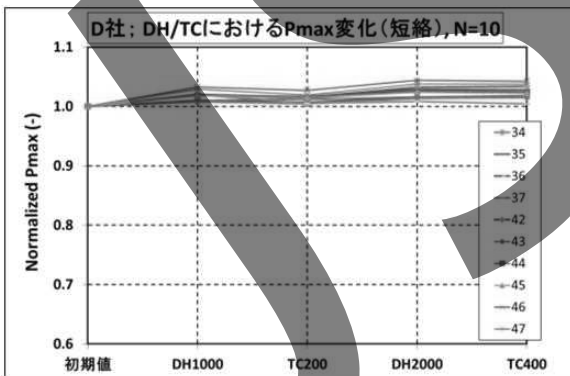


Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved

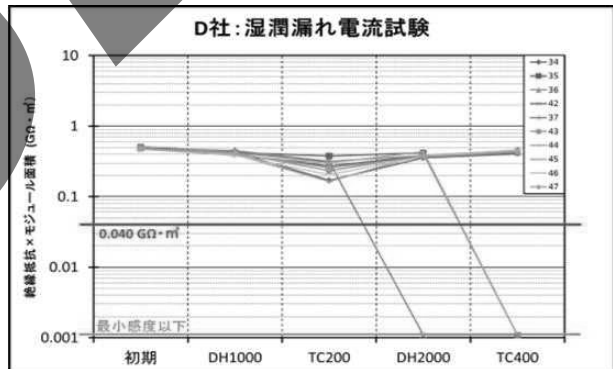
# 拡張試験結果: 出力低下の要因分析 Dモデル

JET

D社: DH/TCにおけるPmax変化(短絡), N=10



D社: 湿潤漏れ電流試験



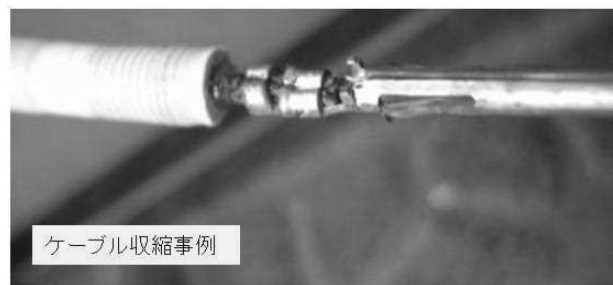
**性能**

- (1) Pmax 5%以上の低下は認められなかった。
- (2) 絶縁不良 4/10, うち3台のモジュールにクラック。(ハンドリングまたは輸送によるガラス割れ)

**ケーブル収縮による影響あり**

- (1) 湿潤漏れ電流試験後、J-Boxのケーブル挿入口からJ-Box内に侵入したと思われる水が出てきた。Failになったモジュールだけではなく、絶縁が確保できたモジュールでも同様の状態のモジュールがあった。
- (2) TC400終了後のコネクタ着脱時、端子部のキャップが抜けてしまった。ケーブルの外装が痩せ、芯線には緑青が発生していた。
- (3) 10台中3台マイナス側のコネクタキャップが抜ける

湿潤漏れ電流試験条件  
印加電圧: 最大システム電圧/試験時間: 1分間  
水温: 22°C ± 3°C/昇圧: 500V/sec

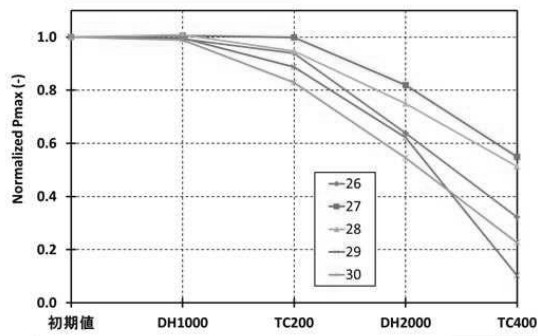


ケーブル収縮事例

Copyright© JAPAN ELECTRICAL SAFETY & ENVIRONMENT TECHNOLOGY LABORATORIES. All Rights Reserved



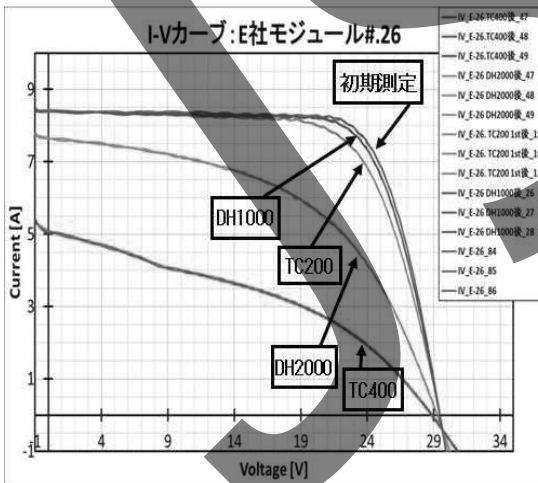
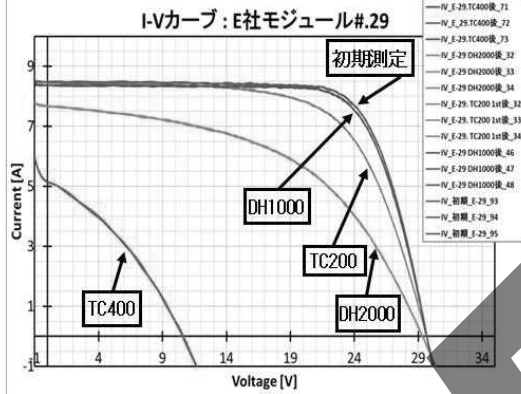
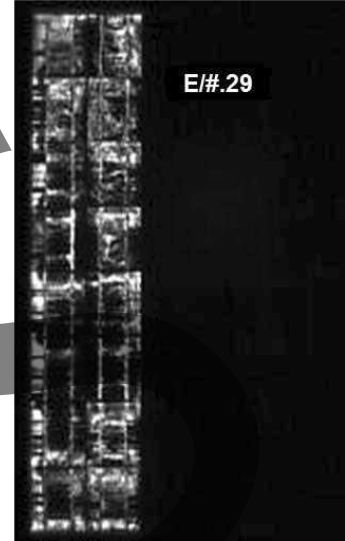
拡張試験結果(E社:Pmax, N=5(通電))



TC400終了時でPmax約68~90%の劣化

DH2000

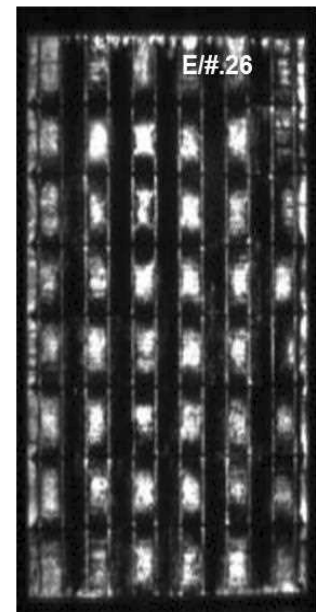
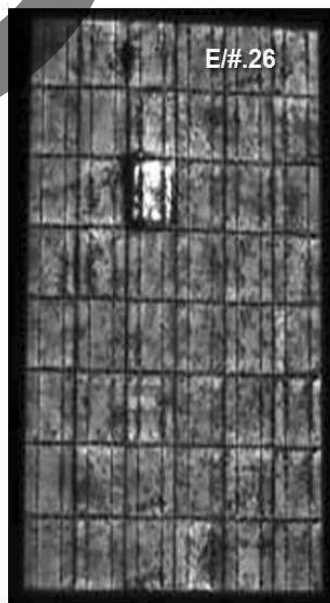
TC400



TC400終了時でPmax約68~90%の劣化。

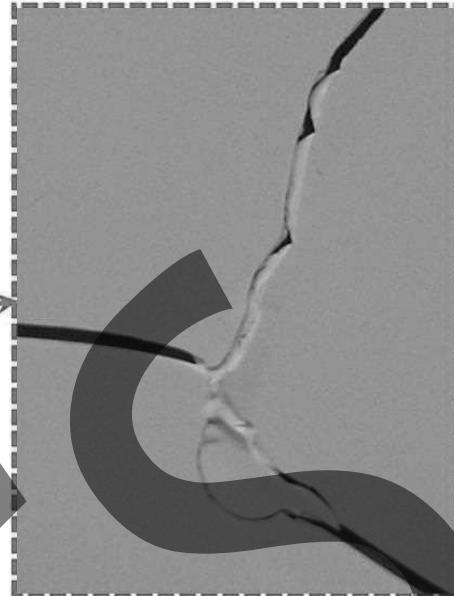
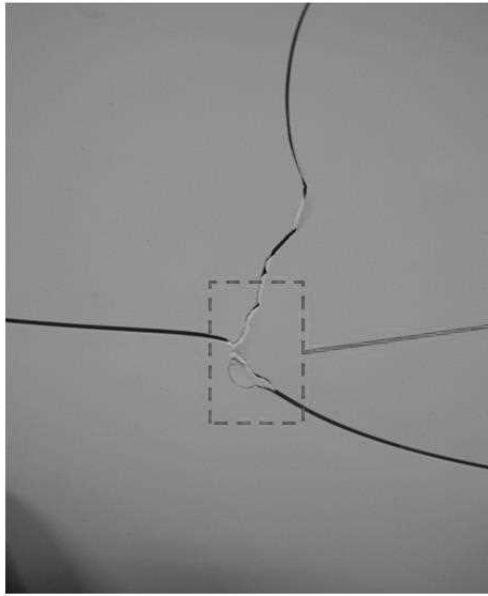
TC200

TC400





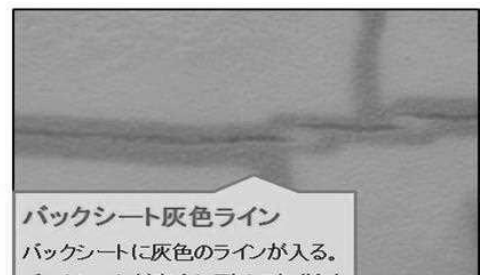
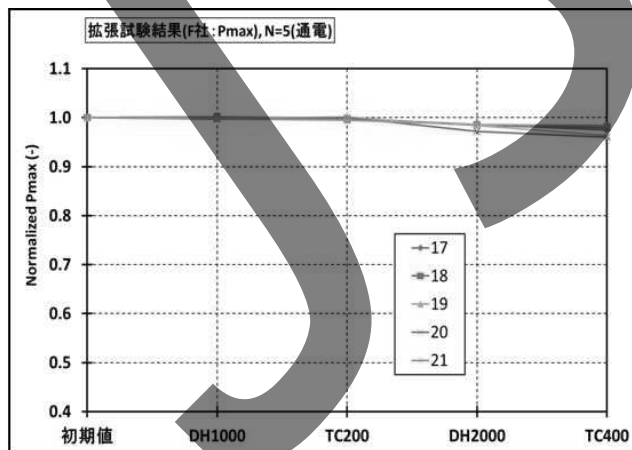
E社: DH1000+TC200+DH1000+TC200後(T4後)



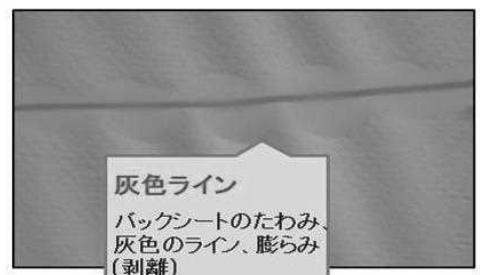
- (1)Pmax 5%以上の低下があったモジュールは無かった。(TC試験通電あり)
- (2)5/5バックシートへの亀裂が確認できた。DH1000+TC200+DH1000+TC200にてバックシートが変化した。



FモデルのPmax変化



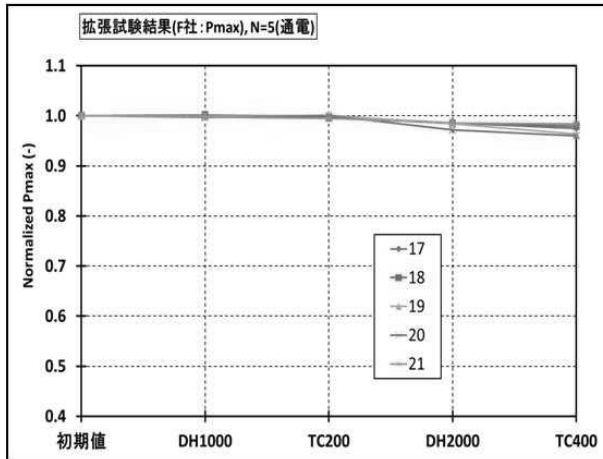
**バックシート灰色ライン**  
 バックシートに灰色のラインが入る。バックシートが完全に裂けてなく途中で止まっている。裂けたものもあるが大きくても0.3ミリほど。



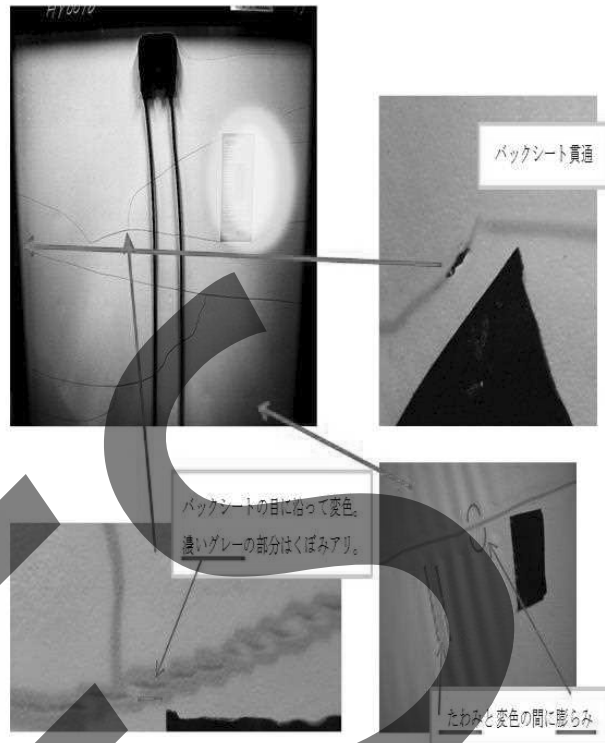
**灰色ライン**  
 バックシートのたわみ、灰色のライン、膨らみ(剥離)

- (1)Pmax 5%以上の低下があったモジュールは無かった。(TC試験通電あり)
- (2)5/5ともバックシートに灰色のラインあり。ヒビ割れのように見えるが、裂けてなく亀裂ではない。

FモデルのPmax変化

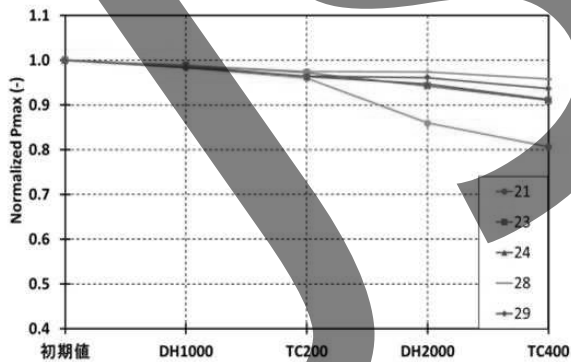


F社: DH1000+TC200+DH1000+TC200 (T4後)



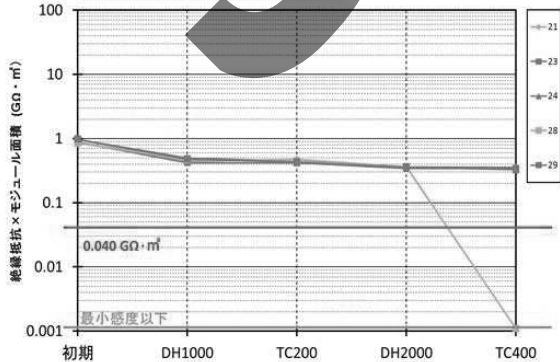
- (1) Pmax 5%以上の低下モジュールは無かった。(TC試験通電あり)
- (2) 5/5ともバックシートに灰色のラインあり。ヒビ割れのように見える。裂けたものもあるが大きいもので0.3mm程度。
- (3) DH1000+TC200+DH1000+TC200試験後にバックシートのヒビ割れを確認した。

拡張試験結果(G社:Pmax), N=5(通電)

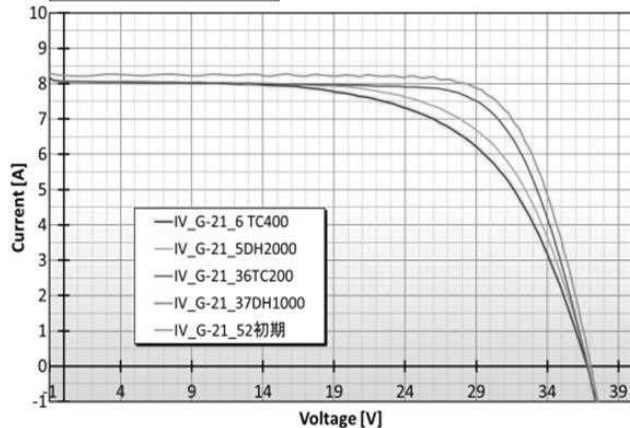


- (1) 通電条件でPmax値の出力低下(初期値に対し5%以上の低下)は5台中4台あった。
- (2) EL観察で、バスバー周辺が発光しない状態がDH2000後の観察時よりも進行していた。
- (3) WETでの絶縁耐圧試験で5台中2台が基準値  $40\text{M}\Omega\cdot\text{m}^2$  以下であった。DRYは基準値以上の絶縁特性を示した。

拡張試験結果(G社:WET絶縁抵抗値), N=5



G社: G-21\_TC400までのI-Vカーブ



バックシートのクラックの成長

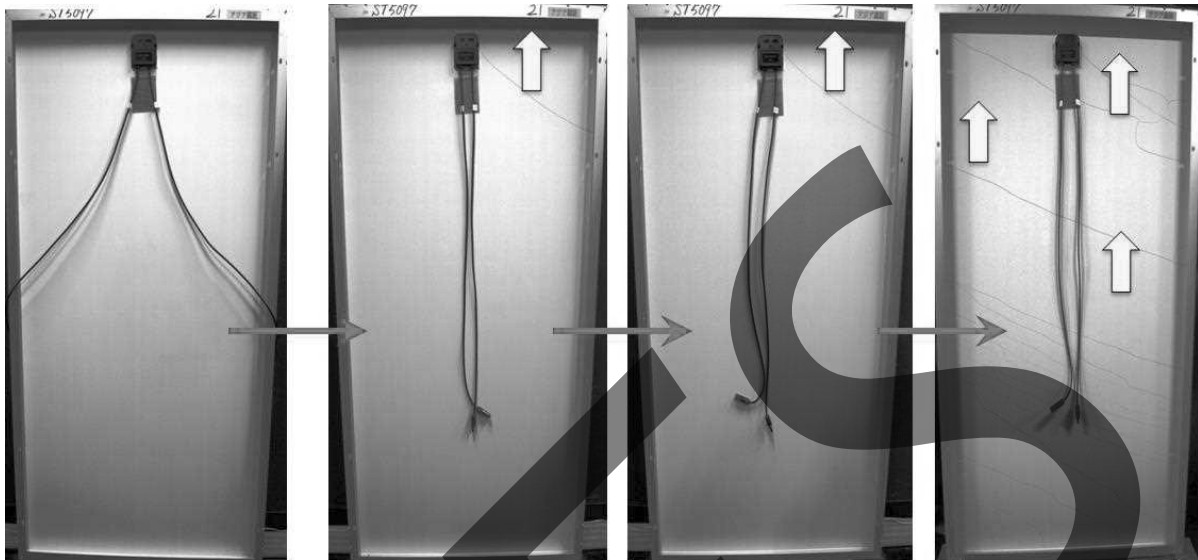
- (1) TC200後、バックシートに初めてひび割れが形成された。(5台中5台)
- (2) バックシートの外観はDH2000終了時よりもひびが拡大、増加している。(5台中5台)

G-21(通電有)DH1000後

G-21(通電有)TC200後

G-21(通電有)DH2000後

G-21(通電有)TC400後



※モジュール画像はひびを見やすくするため、編集をしております。

ガラス/EVAに水分が侵入

EL画像(G-21)の推移

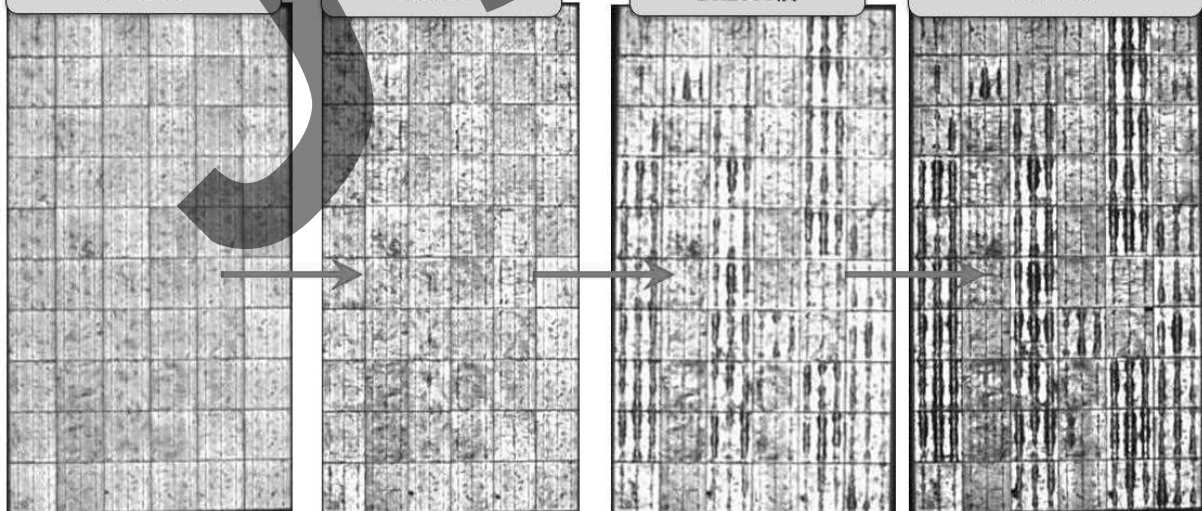
- (1) DH2000後、大きく出力が低下(約10%)していることを確認した。バスバー周辺に発光しないエリアが示されている。
- (2) TC400後には、発光しないエリアが広がり、出力が低下。(約5%)

G-21(通電有)  
DH1000後

G-21(通電有)  
TC200後

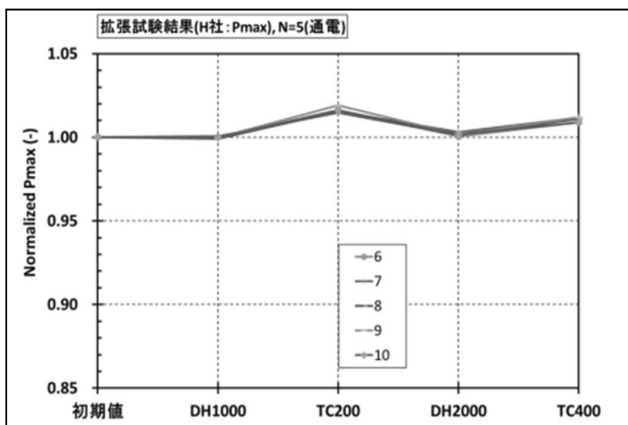
G-21(通電有)  
DH2000後

G-21(通電有)  
TC400後





HモデルのPmax変化



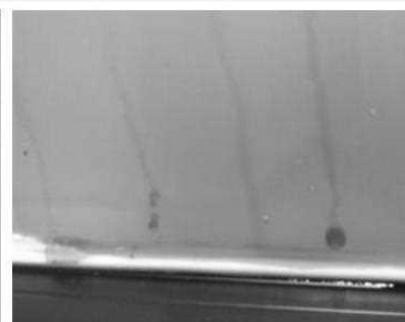
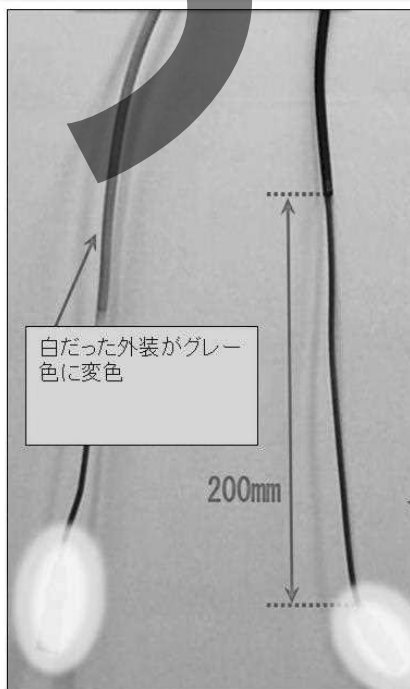
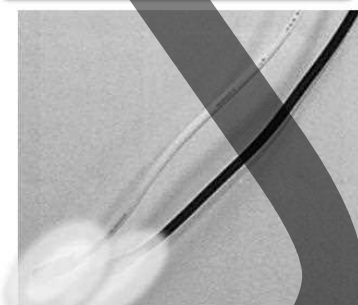
- (1)Pmax値は5%以上の出力値を示した。(n=10)
- (2)ケーブルの外装が収縮、硬化、変色  
(白→黄→グレー系)、可塑剤のブリードアウトあり。
- (3)絶縁抵抗値は基準値を満足。(n=10)



ケーブルの収縮・可塑剤ブリードの事例(H社 拡張試験後)

初期(ケーブル・バックシート)

DH1000+TC200 + H1000+TC200後



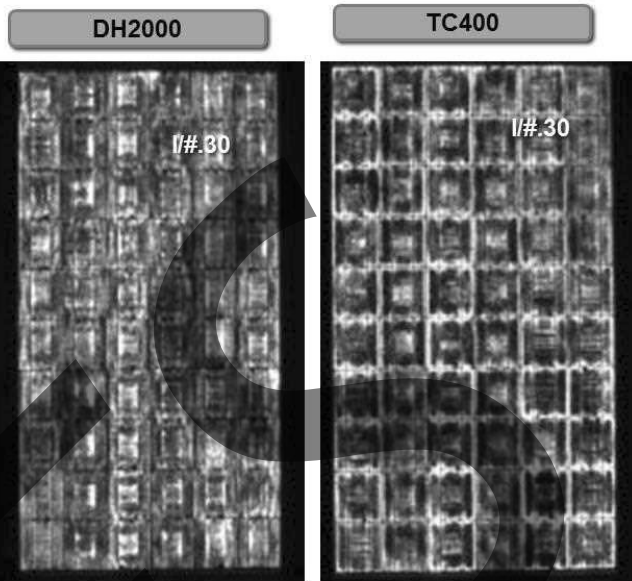
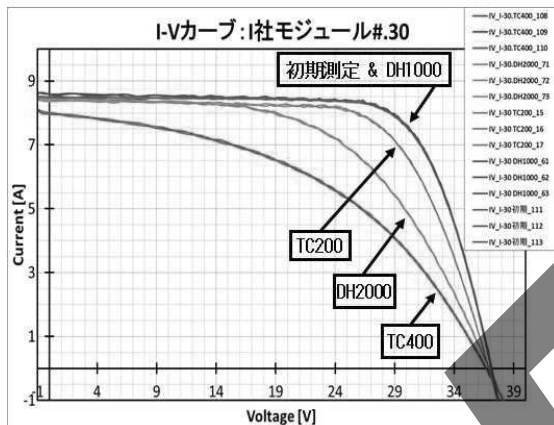
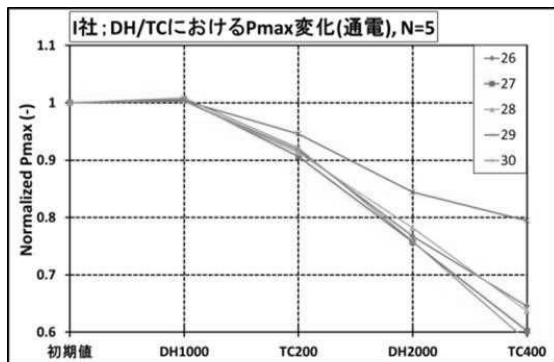
DH1000+TC200+H1000後

DH2000までは外装は黄変傾向であった

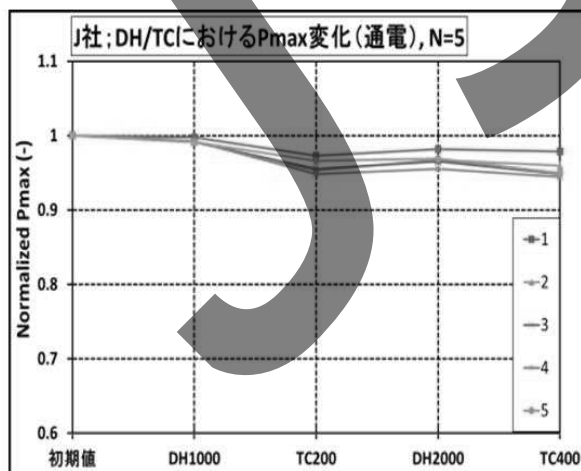


※可塑剤のブリードアウト、外装の変色、外装の収縮は全数に見られた。

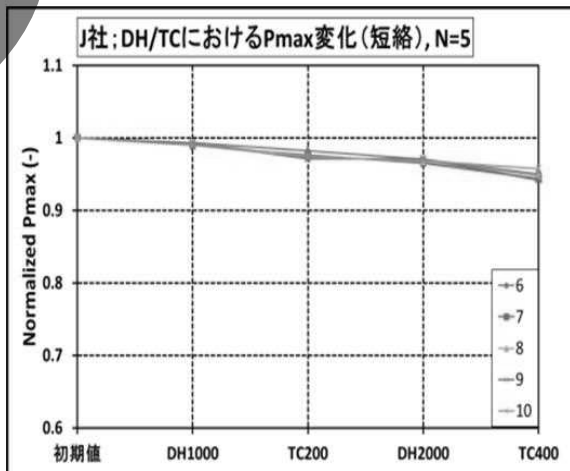




Jモデル のPmax変化(TC時通電あり)



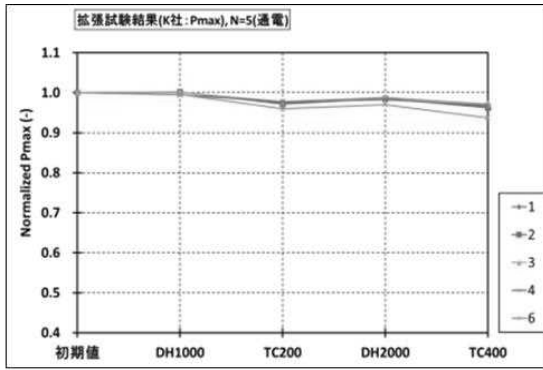
Jモデル のPmax変化(TC時通電なし)



- (1) Pmax 5%以上の低下したモジュールは通電5台中3台、短絡5台中4台。
- (2) バックシートのヒビ割れを全モジュールで確認。

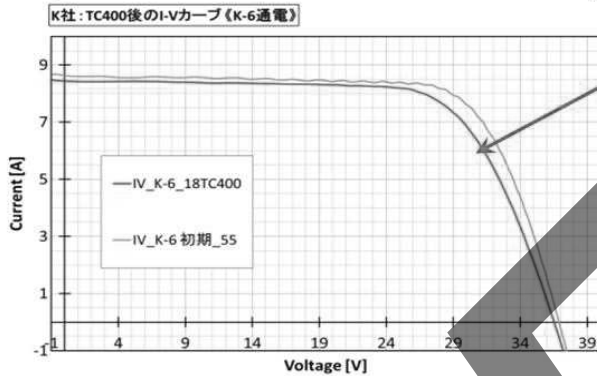
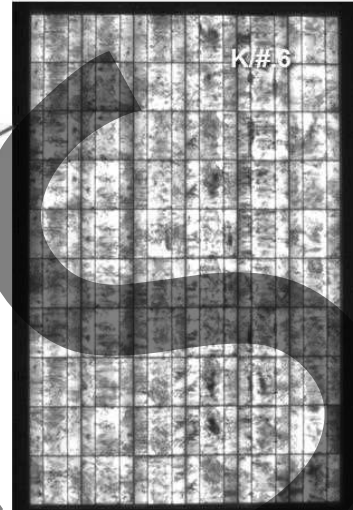


## KモデルのPmax変化

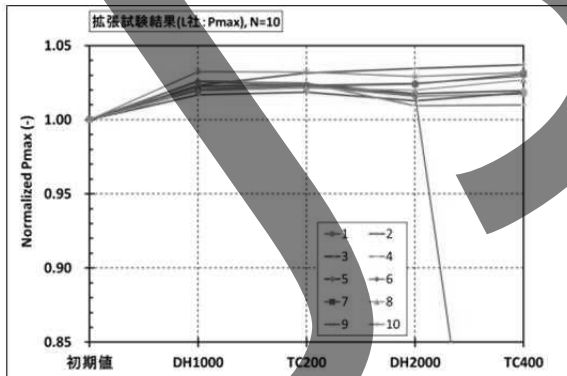


(1) Pmax 5%以上の劣化は通電モジュール5台のうち1台のみ確認できた。(K-6)  
 (2) 絶縁特性は基準内で、バックシートのひび割れは無かった。

TC400後 EL画像

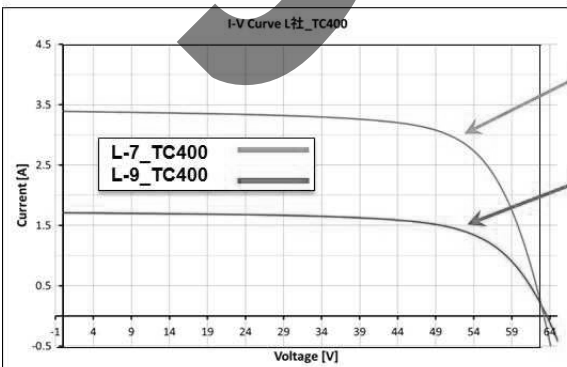
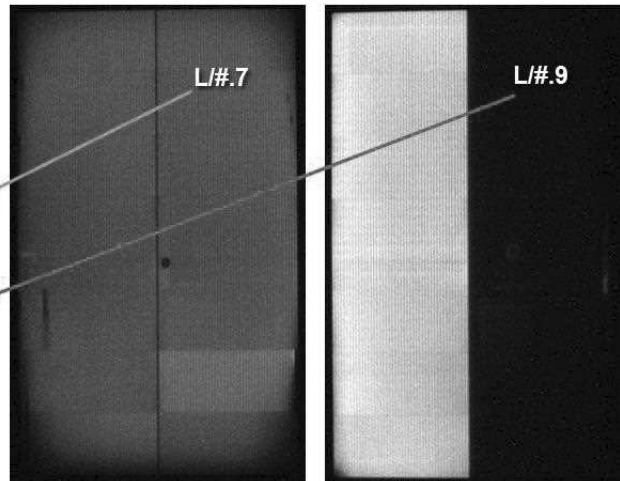


## LモデルのPmax変化

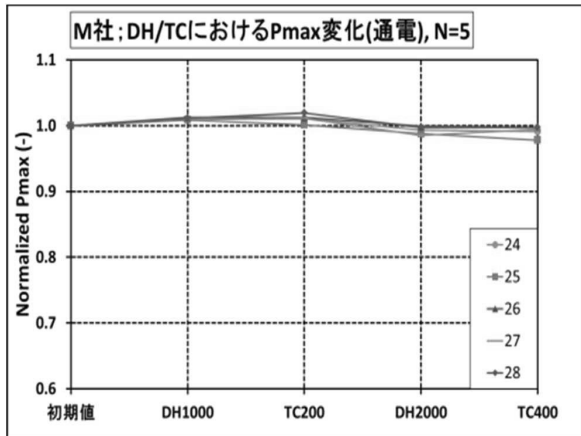


(1) 短絡モジュールL-9のみ約50%の出力低下を確認。  
 (n=1) EL画像よりL-9サンプルに断線が認められる。  
 その他の短絡モジュールは5%以上の出力劣化は見られず。(n=9)  
 (2) 絶縁抵抗値は基準値を満足。(n=10)

TC400後 EL画像

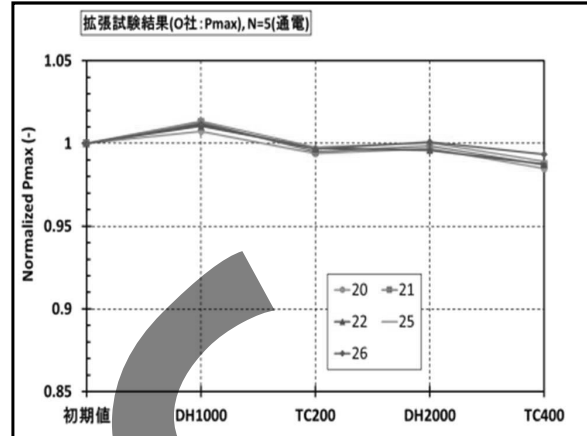


MモデルのPmax変化



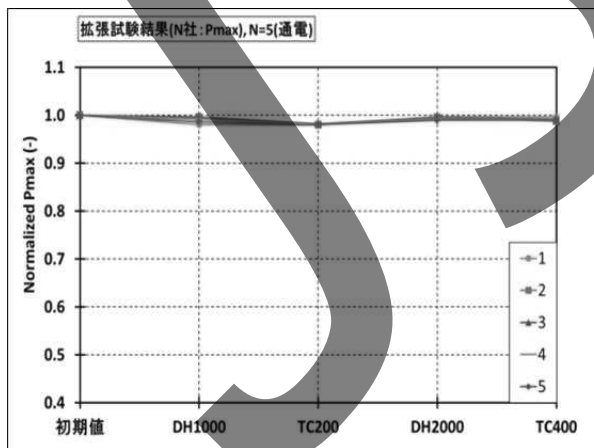
- (1) Pmax 5%以上の低下したモジュールは無かった。(n=10)
- (2) 絶縁抵抗値は基準値内であった。(n=10)

OモデルのPmax変化



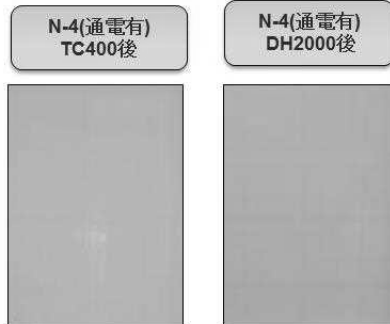
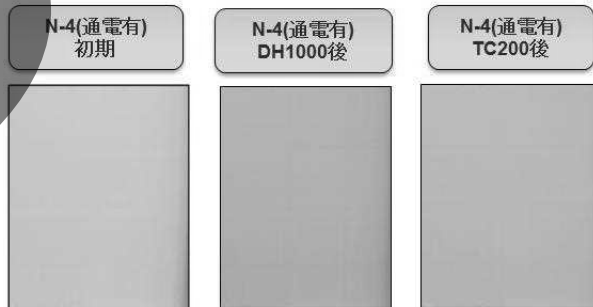
- (1) Pmax 5%以上の低下したモジュールは無かった。(n=10)
- (2) 絶縁抵抗値は基準値内であった。(n=10)
- (3) バックシートのヒビ割れは全数にあった。(n=10)

NモデルのPmax変化



- (1) 通電、短絡条件ともにPmax値の5%以上の低下は見られなかった。(n=10)
- (2) EL及びIRではセルの状態も差異は認めにくかった。(略)

N社 バックシートの変色とクラック



(1) バックシートの変色(黄変)の進行を確認。通電、短絡モジュールともに。(N=10)

(2) J-Box付近に細く長いひび割れが発生。通電、短絡モジュールともに。(N=10)

3) 拡張試験(DH1000時間+TC200サイクル)×2回 まとめ

(1)全15モデルのうち9モデル(A,B,C,E,G,I,J,K,L=断線)で5%以上Pmax値が低下した。Pmax値の低下は1回目DH1000時間後のTC200サイクルで確認され、2回目のDH1000時間(DH累積2000時間)、TC200(TC累積400サイクル)で順次低下することを確認した。逆に回復するモデルも見られる。

(2)TC時の通電有・無の影響を調査したところ、Bモデル以外では差は確認出来なかった。

(3)裏面封止材がガラスの2モデル(D,Lで断線を考慮)ではPmax値の低下は認められなかった。

(4)端子ボックスのケーブルが収縮したのが見受けられた。(A,D)

(5)外観の変化と出力(Pmax値)変化を整理した。(次ページを参照)

- ①バックシートのクラック・変色
- ②ケーブルの収縮、変色

と出力変化の関係を見出すことを目的にしたが、関係を見出すには、至らなかった。部材調査、分析を進め劣化原因の特定化に努めたい。

表 延長・拡張試験における外観不良と出力性能Pmax

モデル/種類/国	バックシート						ケーブル					
	高温高湿試験	温度サイクル試験	拡張試験	高温高湿試験	温度サイクル試験	拡張試験	高温高湿試験	温度サイクル試験	拡張試験	高温高湿試験	温度サイクル試験	拡張試験
A	多結晶Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	3000 O 3000 × 3/10 × 3/10	D1 × 0.5 O × 10/10 × 5/10	3000 O 3000 × 10/10 × 5/10	T4 × 10/10 × 10/10	O O O	× 10/10 × 10/10 × 10/10	D2 × 10/10 × 10/10	O O O	× 10/10 × 10/10 × 10/10
B	多結晶Si	ドイツ	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	3000 × 3/10 × 3/10	O O × 5/10	O O × 5/10	O O × 5/10	O O × 5/10	× 5/10 × 5/10 × 5/10	× 3/10 × 3/10 × 3/10	O O O	× 5/10 × 5/10 × 5/10
C	多結晶Si	中国	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	3000 × 10/10 × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	× 10/10 × 10/10 × 10/10	× 10/10 × 10/10 × 10/10	O O O	× 10/10 × 10/10 × 10/10
D	薄膜	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	2000 × 10/10 × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	O O × 10/10	2000 × 10/10 × 10/10	D2 × 10/10 × 10/10	O O O	T4 × 0/10 × 0/10
E	多結晶Si	中国	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	× 5/5 × 3/5 × 3/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5	× 5/5 × 5/5 × 5/5
F	単結晶Si	韓国	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O
G	多結晶Si	中国	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	O O O	O O × 4/5	O O × 4/5	O O × 4/5	O O × 4/5	O O × 4/5	× 4/5 D2 3000	O O O	× 4/5 D2 × 0/10
H	単結晶Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O
I	多結晶Si	台湾	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	3000 × 5/5 × 3/5	3000 × 5/5 × 3/5	3000 × 5/5 × 3/5	3000 × 5/5 × 3/5	3000 × 5/5 × 3/5	× 10/10 × 5/5 × 5/5	× 10/10 × 5/5 × 5/5	× 3/5 × 3/5 × 3/5	× 10/10 × 10/10 × 10/10
J	多結晶Si	台湾	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O
K	多結晶Si	台湾	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	1000 × 0.5 O	T4 × 1/10 × 1/10	O O O	O O O	O O O	× 3/5 × 3/5 × 3/5	× 1/10 × 1/10 × 1/10	O O O	× 3/5 × 1/10 × 1/10
L	薄膜Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	× 1/10断線 O O	O O O
M	多結晶Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	1000 × 0.5 O	D1 × 0/10 O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O
N	多結晶Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	1000 × 0.5 O	D1 × 0/10 O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O
O	多結晶Si	日本	不具合発生時期 発生時電圧不良 試験終了後電圧 不具合発生時期 合致発生時電圧不良 試験終了後電圧	1000 × 0.5 O	D1 × 0/10 O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O	O O O

注1) 拡張試験での記号は、DH 1000時間 (D1)⇒TC200サイクル (T2)⇒DH 1000時間 (D2)⇒TC200サイクル (T4)に従う。  
 注2) Dモデルはガラス封止構造で拡張試験のDH200後に1/10、T4後に4/10の湿潤漏れ試験での絶縁不良あり。原因はケツ、ケーブル収縮水分侵入



### 4) 延長、拡張試験のまとめ

(1)IEC試験に準拠した延長試験、拡張試験によって現行認証試験に適合した市販モジュールの劣化の優劣を相対的に比較することができた。

(2)大きく出力低下するモデルは

- ①DH延長試験は、2000 h以降で顕著であった。
- ②TC延長試験は、400 サイクル以降で顕著であった。
- ③拡張試験では、TC200サイクル → DH 2000 h後で顕著な出力の変化が見られた。

(3)出力低下への度合は、拡張試験 > DH延長試験 > TC延長試験の順にの大きいことが判った。

(4)各試験で、外観の変化と出力低下を調査したが、関係を見出すには至らなかった。今後は部材調査、分析による劣化原因の特定化を進める。



### 5. 1長期系統連系システムにおける発電電力量

愛媛県西条市でNEDO実証事業として1986年に設置された1MWシステムのモジュールの一部を1995年に松山太陽光発電所に移設し、1995年～2003年までNEDO実証事業として実施したものである。現在は、四国電力所有モジュールとして発電が継続されており国内で最も古い稼働中システムの一つである。システムの特長として

- (1)西条設置の1986年から23年間長期に発電している。
- (2)1996年から2009年の14年間の経過で年間発電電力量が91%保持されている。
- (3)2009年の年間発電量は1224kWh/年/kW(370MW/302.4kW/年)の実績である。



表4 300kWシステムの発電電力量及び利用率の推移

年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2008	2009
発電電力量(MWh/年)	406	405	399	384	401	408	393	366	396	397	373	370
1996年度発電電力量に対する保持率	1.00	1.00	0.98	0.95	0.99	1.00	0.97	0.90	0.98	0.98	0.92	0.91

四国電力殿提供の資料より



## 5. 長期暴露システムの調査事例

# JET

### 5.2 設置モジュールの外観及び電気特性

松山太陽光発電所システムに設置され不具合を理由に交換されたモジュールの外観、電気特性値、不具合調査を実施した。モジュールのセル間、インナーリード、端子ボックス内の断線を補修して測定したIV特性値を表5に示す。外観、構造は単結晶Si、多結晶Siモジュールとも、ガラス/EVA/結晶Siセル/EVA/Ted/Al/Tedのスーパーストレート構造であった。端面封止はブチルゴムが使用されている物であった。IV測定値からセル自身の出力劣化は暴露後も小さいと思われる。

表5 定格値に対する暴露後のIV特性値

モジュール種類 製造年	ラベル表示値(構成後)				取り出し後測定値				不良内容	
	Isc (A)	Voc (V)	Pmax (W)	FF (%)	Isc (A)	Voc (V)	Pmax (W)	FF (%)		
多結晶Si Xモデル	1984年製造	2.74	24.9	48.9	71.9	2.55	25.1	46.5	72.5	直列接続最終セルと一側端子ボックスへの内部リード線の半田カ所が発熱で断線(内部配線不良)。修復後測定
		2.74	24.9	48.9	71.9	2.58	25.2	46.4	71.3	
		2.74	24.9	48.9	71.9	2.64	25.2	40.8	61.3	
単結晶Si Yモデル	1985年製造	2.74	24.9	48.9	71.9	2.70	25.5	46.8	68.2	直列接続最終セルと一側端子ボックスへの内部リード線の半田カ所が発熱で断線(内部配線不良)。修復後測定
						0.99	1.02	0.96	0.95	
単結晶Si Zモデル	NT135SA (1985年製造)	2.33	27.9	49.0	75.2	2.35	27.6	48.1	74.1	端子ボックス内での接続不良がありリード線を電極に半田付し測定可能となる。
						1.01	0.99	0.98	0.98	
						2.33	27.9	49.0	75.2	
						0.99	0.97	0.91	0.96	セル裏面のバックシート(BS)に彫れの跡あり。BSを除去したところセル表面のリード線が腐食断線しており、リードを1セル分バイパスさせIV測定を実施。IV値は1セル分を電圧で補正。
						2.44	27.2	47.8	71.8	+側端子ボックスとの接続部が黒く変色。断線を確認
						1.05	0.98	0.93	0.95	

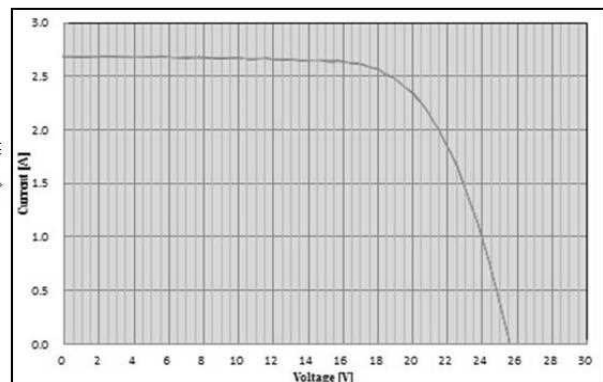
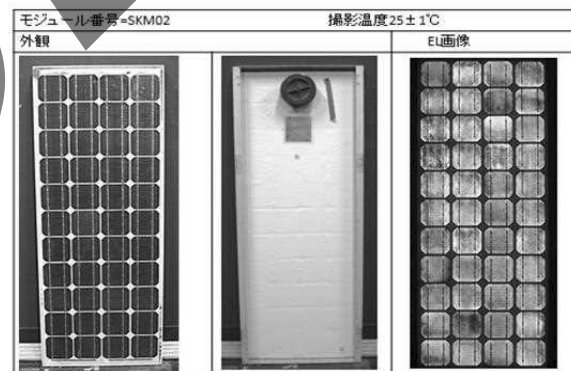
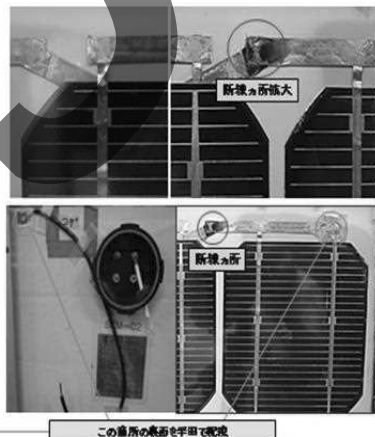
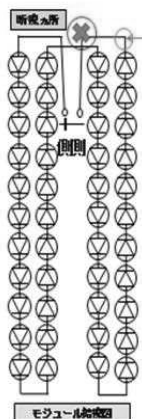


## 5. 長期暴露システムの調査事例

# JET

### 事例: 単結晶Si Yモデル (1985年製造)モジュールの特性他

直列接続最終セルと一側端子ボックスへの内部リード線の半田カ所が発熱で断線(内部配線不良)。修復後測定





### JETの取組み

1) アジア基準認証推進事業で市販モジュール15モデルの調査により、モジュールの品質を比較評価する試験方法として拡張試験の有効で示された。また課題も確認できたそこで課題を解決すべく、JETでは構成部材等の異なるモジュールに拡張試験等を適用し新たなデータを蓄積しつつ長期信頼性試験方法開発している。

具体的には、端子ボックス、ケーブル、ガラス、封止材、バックシートとモジュール劣化の関連性を、下記の視点などで調査、解析を進めている。

- (1)バックシート仕様とクラック (2)ケーブル収縮と端子ボックスへの水分侵入
- (3)セルクラック (4)封止材と水蒸気透過率、酢酸含有量 (5)端子ボックスの構造構成

2) 上記の取組みに加え、NEDO委託事業「太陽エネルギー技術研究開発/太陽光発電システム次世代高性能技術の開発/信頼性及び長寿命評価技術の開発」事業等で取り組んでいる20~30年、屋外に暴露されたモジュール部材などの情報を総合的に比較評価することによって、実用に近い長期信頼性試験規格、方法を構築中である。



### JETでは認証への今後取組を模索中

**JET PV module reliability test**  
(JET PVM Puls)

#### JIS Q8901

メーカー宣言の耐久性試験の追認

#### QMS監査

QA forum TG1案に基づく  
工場監査

#### Current JETPVM certification

(based on IEC61215/61646 and IEC61730)

PV module testing

PV module component

Factory inspection



ご静聴、ありがとうございました。

JSES