

# 太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術

土井 卓也  
産業技術総合研究所  
太陽光発電研究センター



## 1. はじめに

エネルギー変換機器である太陽光発電システムは、数々のメリットを考慮しても最終的には発電コストの引き下げが強く求められる。発電コストを下げる方法の第一は、システムを構成する太陽電池モジュール、パワーコンディショナー、配電線、架台といった各機器のコストを下げることである。第二は、システム運用中に発電する総発電量を増やすことである。このためには、モジュール（遊ればセル）の変換効率を上げる、パワーコンディショナーの変換効率を上げるといった効率向上が挙げられる。更に、寿命を延ばすことも重要である。言い換えれば、寿命を二倍に延ばすことができれば効率を二倍に上げるのと同等の効果があるということである。

太陽電池モジュール作製工程を理解した上で信頼性評価手法を考えると、どのような加速試験方法が必要か考えるのに有用である。本稿ではまず、モジュール化工程を簡単に説明した後に、太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術について述べる。

## 2. モジュール化技術

結晶シリコン系太陽電池のモジュール化工程および使用される部材を図1に示す。

タブ付け: インターコネクタまたはリボンと呼ばれるハンダディップされた銅の配線材の接続工程である。インターコネクタには有鉛タイプ、無鉛タイプの2種がある。また、タブ付けに際して、セル側にフラックスを塗る必要があるセルと不要なセルがある。これらはセルメーカーの仕様により異なるので注意が必要である。

セル・マトリックス: 表側にインターコネクタが付いたセルを全て裏返し、1つめのセルの表側から出ているインターコネクタを別のセルの裏側へ所定の温度に保ったハンダゴテで押さえつけ接続を行う。

このように表-裏-表-裏・・・とつながりになったもの

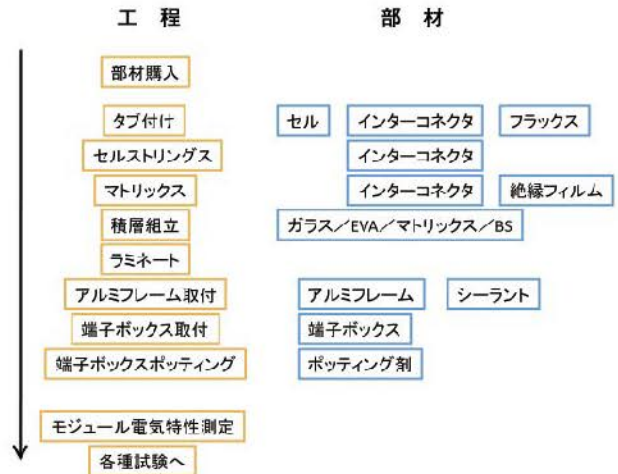


図1. モジュール化の工程と使用部材

をセル・ストリングと呼ぶ。セル・ストリングを二組以上用い、面的に広げたものをセル・マトリックスと呼ぶ。一方を180度回転させ、セルの表側から出た接続線が次のセルの裏側に接続されるように配線する。このとき、やや太めの横配線用インターコネクタ（これをバスバーと呼ぶこともある）を使用する。更に、横配線の両端から端子ボックスへの取り出し線をハンダ接続する。このようにして完成したセル・マトリックスの例（4セル）を図2に示す。図はセルの裏側からみたところである。

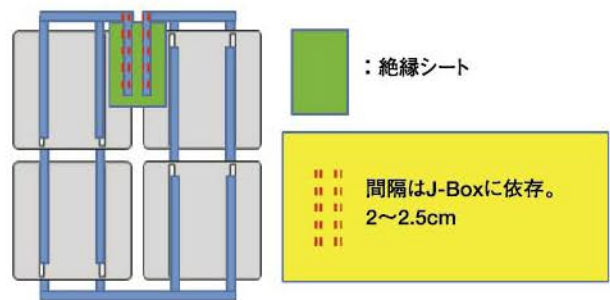


図2. セル・マトリックス

ラミネート:ガラス/EVA/セル・マトリックス/EVA/バックシートの順に積み上げていく。ガラスは白板型板半強化ガラスといわれる太陽電池用のものを使用する。積層組立が済んだ積層体は、所定時間加圧加熱を行いラミネート工程は終了する。この後、アルミフレームと端子ボックスを取り付けモジュールが完成する。

### 3. 信頼性試験方法

結晶系シリコン太陽電池モジュールの寿命は20年～30年と言われているが、その寿命を評価する技術は確立されておらず、長期信頼性に関する試験方法の確立が強く求められている。太陽電池モジュールの寿命は材料単体の寿命を単純に重ね合わせても推定できないこと、単体間界面での相互作用なども考慮しなければならないこと、製品としてのサイズが大きいため試験体数(n数)を大きくとった試験による統計的扱いが困難なこと、などが問題を複雑にしている。

長期寿命を持つ製品を短時間で評価するためには加速試験が必要である。例えば、30年の寿命評価を200倍加速で試験を行ったとしても55日の試験時間が必要である。太陽電池モジュールの寿命を評価するための加速試験方法はまだ確立されてはいないが、既存の規格に含まれる試験の中には、加速試験的要素が含まれている。太陽電池モジュールの性能・信頼性の評価用規格を表1に記す。

表1. 性能・信頼性の評価用規格

規格番号	内 容
IEC 61215 (JIS C 8990)	設計承認と型式認証(結晶Si系)
IEC 61646 (JIS C 8991)	設計承認と型式認証(薄膜系)
IEC 61730 - part 1	太陽電池モジュールの安全性認証 (対構造要求事項)
IEC 61730 - part 2	太陽電池モジュールの安全性認証 (対試験要求事項)
UL1703	平板型太陽電池モジュールの安全性認証 (米国内販売には必要)

IEC 61215/61646は屋外での長期運転に適したモジュールの設計適性と形式認可に必要な試験を規定している。ここではいくつかの試験方法を紹介し、最後に筆者らの研究事例を紹介する。

#### 3-1 温度サイクル試験

Thermal cycling test [TC50, TC200]

(試験条件) -40℃～+85℃のサイクル試験を50回および200回繰り返す。200回の方は、STC(注)ピーク出力電流をモジュール温度が25℃以上の時に通電する。図3に本試験の温度-時間プロフィールを示す。

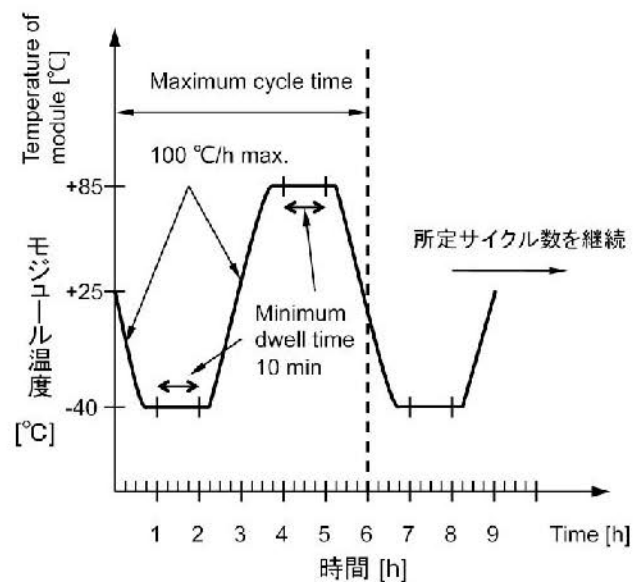


図3. 温度サイクル試験

図に記したように昇温・降温時の温度変化は最大100°C/hr、また、高温部、低温部の保持時間は10分以上とされており、1サイクル最短2時間50分必要である(最大6時間と制限されている)。試験終了後に満たすべき条件は要求事項[A]にまとめて記す。

この試験はインターコネクタ接続部の強度やセル割れの評価が可能である。また、BP Solar社のWohlgemuth氏によれば、Solarex社(後にBPと統合)の20年保証を付けているモジュールはTC400を合格しており、また、Solarex/BP solarの25年保証を付けているモジュールはTC500を合格しているとのことである \*1)。

(注)STC:Standard test condition (標準試験条件)の略。太陽電池モジュール温度25℃、放射照度1kW/m<sup>2</sup>、分光分布AM1.5G (基準太陽光スペクトル)という条件下で試験を行うこと。

要求事項[A]：試験中に電流の遮断が無いこと。外観に大きな欠陥の無いこと。最大出力の低下が試験前測定値の5%を超えないこと。絶縁抵抗が初期測定と同じ要求に合うこと。

3-2 結露凍結試験

Humidity-freeze test [HF]

(試験条件)+85℃ 85%～-40℃までのサイクルを10回繰り返す。図4に本試験の温度-時間プロフィールを示す。

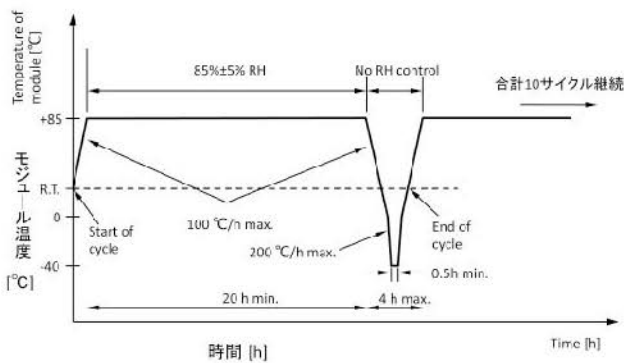


図4. 結露凍結試験

図に記したように、零度以上での温度変化は最大100℃/hr、零度以下では最大200℃/hr、また、高温部の保持時間は最小20時間、温度下降～低温保持～温度上昇(85℃→-40℃→85℃)の区間は最大4時間という制約付きであるため、最短でも1サイクルで22時間36分必要である。試験終了後に満たすべき条件は上記と同じく要求事項[A]である。この試験は、高温部で湿度が封止材の中に侵入していき、低温部で凍結することにより、封止系の強度、特に各積層界面の接着力を評価するものである。

3-3 高温高湿試験

Damp-heat test [DH]

(試験条件)+85℃ 85%で1000時間保持。試験終了後に

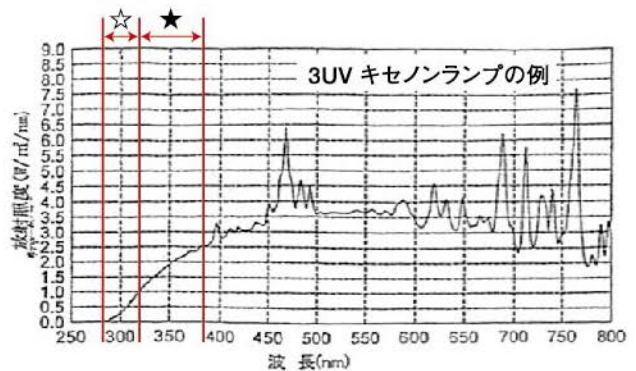
満たすべき条件は上記と同じく要求事項[A]である。

DH1000時間はマイアミで20年相当のセルの金属腐食 (metallization corrosion= MC)に相当し、DH5000は100年相当の試験と考えられている \*2)。

3-4 紫外線前処理試験

UV preconditioning test [UV]

(試験条件)波長280～385nmの光(照度250Wm<sup>-2</sup>を超えないこと)で積算15kWhm<sup>-2</sup>の照射(ただし、波長280～320nmで少なくとも5kWhm<sup>-2</sup>の照射エネルギーを含む)。モジュール温度は60℃±5℃に保持する。図5にUV部で太陽光線の3倍の照度(3UVと表記)で放射したキセノンランプの分光放射照度と積算区分の関係を示す。



スガ試験機 キセノンランプ仕様図に筆者が加筆

図5. キセノンランプの分光放射照度と積算区分

この図から、波長280～320nm (便宜上UVBと呼ぶ)と波長320～385nm (便宜上UVAと呼ぶ)の割合を質量面積法で求めた結果、UVB:UVA=1:8.4となった。従って、UVBで5kWhm<sup>-2</sup>の照射を行うためには、このランプでは5+5×8.4=47.5kWhm<sup>-2</sup>の照射が必要であり、これを3UVの180W/m<sup>2</sup>で行うと、261時間の試験時間となる。この試験は約3ヶ月の屋外暴露に相当すると考えられている \*3)。

3-5 順方向・逆方向の

電圧・電流サイクリック試験

結晶系シリコン太陽電池モジュールではセル相互の接続にインターコネクタと呼ばれるハンダめっきを施した銅

線を使う。熱膨張係数は多結晶Si=2.618[ppm/K]、ハンダ=23.4[ppm/K]であり、約9倍の差がある。温度ストレスはセルとインターコネクタの接合部へ機械的な歪みを与え、最終的にはセル割れやハンダクラックへとつながるものとする。

そこで、太陽電池セルまたはモジュールに周期的に変化する順方向・逆方向の電圧・電流を印加することで、セル-インターコネクタ間へストレスを与える劣化試験が可能ではないかと考えた(図6)。

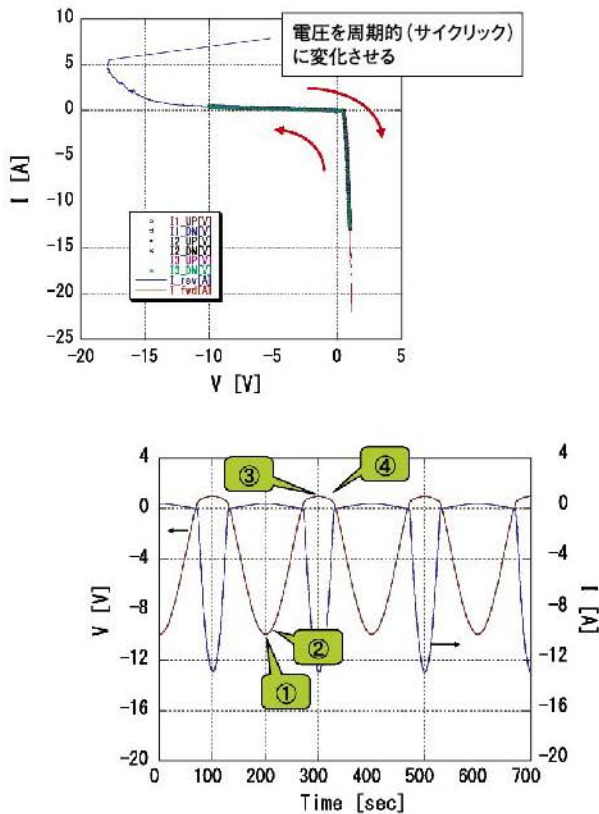


図6. 想定している加速劣化試験方法

周期的に印加電圧を変化させた場合の、セル温度の分布変化を図7に示す。

順方向と逆方向で高温となる部分が異なること、電流・電圧のピークに比べて、温度のピークにはタイムラグがあることなどが観察された。現在、ストレスレベルを変えた試験条件で劣化状態を把握する試験を実施中である。

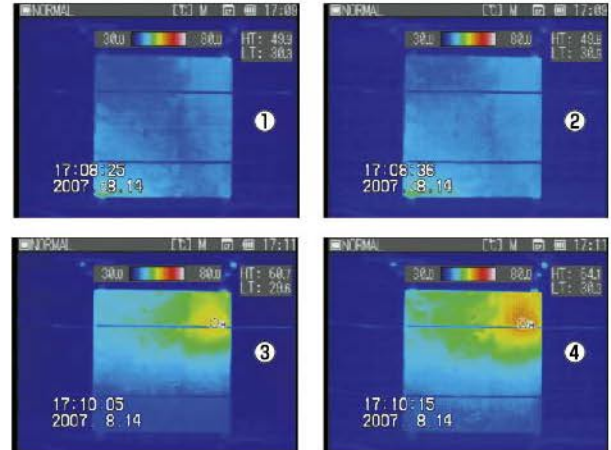


図7. サイクリック試験時のサーモ画像  
(番号は図6の各ピークに対応)

### おわりに

屋外で実際に使用されているモジュールに見られる不具合現象も製造工程を理解するとメカニズムを考える上で参考になる。例えば、集電電極からはみ出したフラックスはEVAと反応はしないか。また、裏面のインターコネクタのハンダ付けをスポットで行っているものもあるが、インターコネクタとセルの間にEVAが入り込んで、温度差による膨張伸縮でハンダ接続に悪影響を及ぼさないか等々。製造工程の様々な要因を踏まえた加速試験方法の開発が必要である。

### 【参考文献】

- \*1) SPIE Course Notes, SC910, "Design and reliability of photovoltaic modules", 2009, pp.225
- \*2) 同上, pp.197&222
- \*3) 同上, pp.201

土井卓也氏には、本年度の「スガウェザリング学術講演会(11月29日東京・12月3日大阪)」で、本稿についてご講演頂きます。

詳細は、スガウェザリング技術振興財団のホームページをご覧ください。www.swtf.or.jp