

# 太陽電池モジュールに発生する PID 現象の解明とモジュールの信頼性評価

材料環境部

河合信次 福元 豊

平井智紀

市場に流通する市販結晶系 Si 太陽電池モジュールに対して、試験温度及び印加電圧を変化させた IEC 規格準拠のチャンバー方式 PID 再現試験を実施した。その結果、チャンバー内の温度やモジュールに印加する電圧を標準値よりも高くすることで PID が促進される可能性があることを見出した。また、PID 現象に影響を与える因子の検討のために PID 再現試験の前に結晶系 Si 太陽電池モジュールに対して塩水噴霧複合サイクル試験及び高温高湿 (DH) 試験を実施した。その結果、5%以上の出力低下を確認し、事前の塩水噴霧複合サイクル試験及び DH 試験により PID が誘発されることが示唆された。

## 1. はじめに

わが国よりも大規模太陽光発電システム（メガソーラー：以下、メガソーラーという）の普及が進んでいる欧州では、太陽電池モジュールの出力が大幅に低下する PID (Potential Induced Degradation:以下、PID という) 現象が問題となってきている。この現象は比較的高温かつ湿潤状態において太陽電池モジュールに高電圧が印加されることにより発生する<sup>1)4)</sup>。PID 現象の詳細なメカニズムは解明されていないが、一般的には高電圧印加時に、受光ガラスからナトリウム (Na) イオンが封止材中を拡散移動して、Si セルの表面あるいは内部に侵入することが原因とされている<sup>1)4)</sup>。わが国では 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の導入に伴い、メガソーラーの建設が急速に進む中、今後 PID を原因とする短期間でのモジュール劣化が懸念され、PID 現象の詳細なメカニズムを解明すること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) 及び一般財団法人電気安全環境研究所 (JET) と共に平成 23 年度から平成 25 年度まで経済産業省のアジア基準認証推進事業に参画し、市場に流通する市販モジュール 15 種に対して、環境試験機を使用した PID 再現試験を実施した<sup>5)6)</sup>。この事業では PID 再現試験が太陽電池モジュールの信頼性評価手法として有効であることを見出したが、出力低下と試験条件との詳細な関係は明らかにならなかった<sup>5)6)</sup>。そこで本研究では、試験温度と印加電圧が PID に与える影響を検証した。併せて、PID 現象におけるモジュールの前処理（以下、プリコンディショ

ニングという）効果としての塩水噴霧複合サイクル試験及び高温高湿試験（以下、DH 試験という）の効果も検証した。

## 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、文献 4 及び文献 5 で使用した市販の多結晶 Si モジュール（以下、モジュール O という）で、試験には 1 枚または 2 枚を使用した。

### 2.2 チャンバー方式 PID 再現試験

IEC 62804 TS Ed. 1 に基づき、高温高湿槽に投入したモジュールに対して最大システム電圧を金属フレームと給電部間に印加する。フレーム側をプラス極とし、端子箱からのプラス・マイナスケープルを結線し、これをマイナス極とした。印加電圧は端子箱側で、-600 V または -1000 V とした。また、チャンバー内の温度は 60 °C または 85 °C とし、湿度は 85 %-RH 状態とし、96 時間の連続運転を行った<sup>7)</sup>。試験終了後 8 時間以内にソーラシミュレータを用いて、出力を測定し、試験前後での出力を比較した。また、試験実施中は絶縁抵抗試験器による絶縁抵抗値をモニタリングし、印加電圧からリーク電流を算出した。DH 試験装置はエスベック (株) 製 TBR-2H20A6PAXS を使用した。図 1 に装置の外観を示す。

### 2.3 プリコンディショニング効果を調べる試験

#### (1) 塩水噴霧複合サイクル試験

塩水噴霧複合サイクル試験は図 2 の試験概略図に示す 1 サイクルの試験を繰返し 4 回行った。これは一般に「きびしさ 5」の試験と言われている<sup>8)</sup>。試験機はス



図 1 PID 試験対応 DH 試験装置の外観

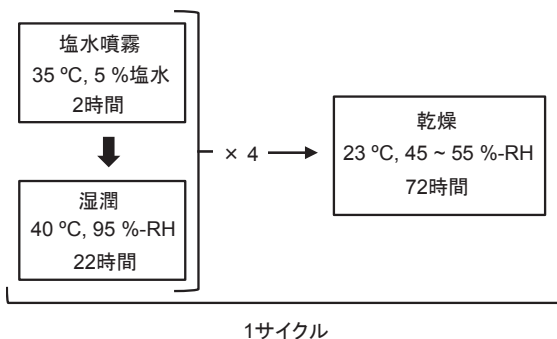


図 2 塩水噴霧複合サイクル試験における 1 サイクルの概略



図 3 複合サイクル試験機の外観

ガ試験機 (株) の複合サイクル試験機を使用した. 図 3 に複合サイクル試験機の外観を示す.

## (2) 高温高湿試験

図 1 で示した DH 試験装置のチャンバー内の湿度を 85 %RH の状態に保持し, 温度を 85 °C に設定し, DH 試験を行った. 試験は IEC 61215 に基づき 1000 時間実施した<sup>9)</sup>.

## 2.4 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の外観試験を 2.1 項の PID 再現試験前後で行った. 各モジュールの受光面側では, セル割れ, セル間配線部の変化, 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. その結果は, 各モジュールの受光面側と裏面の写真として記録した.

### (2) 電流-電圧 (I-V) 特性評価

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 W/m<sup>2</sup>, スペクトル Air Mass (AM) 1.5G, デバイス温度 25 °C で行った. ソーラシミュレータには, パルス光型の (測定時のパルス幅は 25 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 測定は初期状態と PID 再現試験実施後の前後で行い, それぞれ, モジュールの短絡電流 (Isc), 開放電圧 (Voc), 最大出力 (Pmax) 及びフィルファクタ (FF) を求め, 発電特性を評価した.

## 3. 結果及び考察

### 3.1 試験温度及び印加電圧の影響

表 1 に前述の 2 種の試験温度(60°C, 85°C)及び印加電圧(-600V, -1000V)の条件の下で実施した PID 再現試験後の出力低下率を示す. 表 1 より, 試験温度や印加電圧の違いが出力特性に大きく影響していることがわかる. 具体的には, 温度が 60°C で印加電圧が 1000V では, 11.7%低下し, 温度が 85°C で印加電圧が 600V では, 23.4%及び 10.1%低下している. さらには, 温度 85°C で電圧が 1000V では, 89.5%低下している.

PID には, 試験温度や印加電圧が強く影響し, より過酷な試験条件下で, モジュールの出力がより低下する傾向が認められる.

表 1 モジュール O におけるチャンバー方式 PID 再現試験の温度依存性及び印加電圧依存性

モジュール O (mc-Si)	600 V		1000 V	
	モジュール1	モジュール2	モジュール1	モジュール2
60 °C	-0.5%	-0.8%	-11.7%	サンプルなし
85 °C	-23.4%	-10.1%	-89.5%	サンプルなし

(表中の値は初期出力に対しての低下率を示す)

### 3.2 PID におけるプリコンディショニング効果

塩水噴霧複合サイクル試験後、及び DH 試験 1000 時間実施後に PID 再現試験を行った場合の出力変化を図 4 及び図 5 にそれぞれ示す。いずれのモジュールにおいても 10 % 以上の著しい出力低下が確認されており、プリコンディショニングとして実施した塩水噴霧複合サイクル試験及び DH 試験が、PID 現象に強く影響することが示唆される。

塩水噴霧試験のプリコンディショニング効果は、市販のフルモジュールよりも小さな試験的試作モジュールにおいても明らかになっており<sup>10)</sup>、本研究での結果は試作モジュールの結果と整合しているが、その原因・メカニズム等については、モジュールに使用されているガラス中の Na<sup>+</sup>イオン移動説による説明<sup>1)4)</sup>も存在するが、詳細については未だ不明な点も多く、今後の課題である。一方、一般に PID 現象は湿潤状態の環境の下で発生しやすいと言われており、DH1000 時間の試験実施で、PID 現象が誘発された原因は、プリコンディショニングとしての DH1000 時間の試験によって、モジュール内部に、事前に水分が十分に浸入した影響によるものとも考えられるが、データの蓄積が十分でなく、今後は湿度をパラメータとして PID 現象の湿度依存性を調べる必要があると考える。

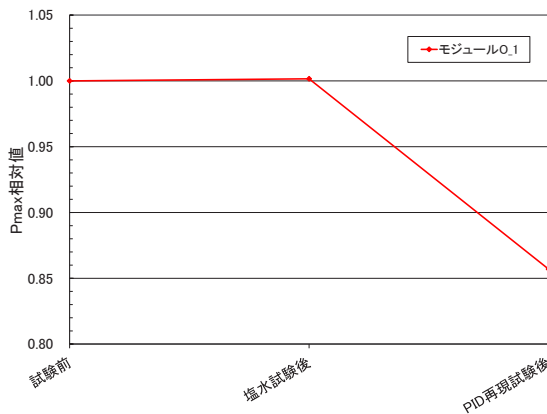


図 4 モジュール O の塩水噴霧試験後 PID 再現試験における Pmax 変化

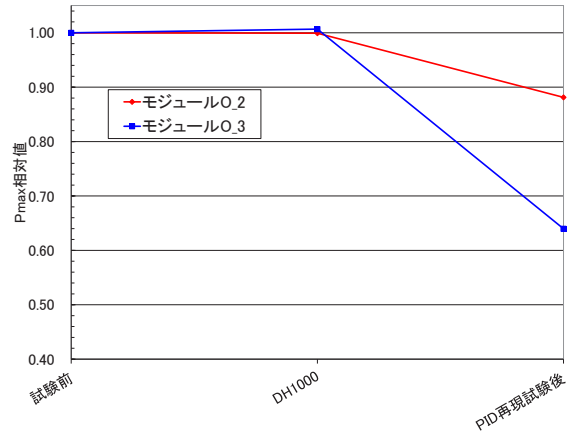


図 5 モジュール O の DH1000 時間後 PID 再現試験における Pmax 変化

### 4. おわりに

結晶系 Si 市販太陽電池モジュールに対して、試験温度及び印加電圧を変化させて、チャンバー方式の PID 再現試験を行った。併せて、PID 現象に影響を与える因子を検討するために PID 再現試験の前に塩水噴霧複合サイクル試験及び DH 試験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) IEC 62804 TS Edition 1.0 で定められているチャンバー方式 PID 再現試験の試験条件よりも高い試験温度や印加電圧によって、モジュールの PID 現象は促進される。
- 2) PID 再現試験実施に先立つ事前の塩水噴霧複合サイクル試験及び DH 試験は、モジュールの PID 現象を誘発し、促進させる効果がある。

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 試験装置、塩水噴霧複合サイクル試験機、直流電源装置及び絶縁抵抗試験機は、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) S. Pingel et al., Proceedings 35th IEEE PVSC, 2817-2822 (2010).
- 2) P. Hacke et al., Proceedings 37th IEEE PVSC, 814-820 (2011).
- 3) J. Bauer et al., Phys. Status Solidi PRL 6, 331-333 (2012).
- 4) K. Hara et al., RSC Advances 5, 15017-15023 (2015).
- 5) 河合信次, 福元豊, 玉井富士夫, 平成 24 年度佐賀県工業技術センター研究報告書, No. 22, 67-70 (2012).

- 6) 増田幸治他, 太陽エネルギー 39, 71-75 (2013).
- 7) IEC 62804 TS Edition 1.0: 2015-03.
- 8) JIS C 0024: 2000.
- 9) IEC 61215 Edition 2.0: 2005.
- 10) 第 II 期高信頼性太陽電池モジュール開発・コンソーシアム最終成果報告書(独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター), 206-227 (2014).