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

ーその３：市販モジュールに対するPID試験ー

材料環境部
河合信次　福元　豊
玉井富士夫

高いシステム電圧の印加によって急激な出力低下を誘発する PID（Potential Induced Degradation）現象は，高出力な大規模太陽光発電システム施設（メガソーラ）にとって致命的な現象であり，そのPID現象が使用するモジュールに発生するかどうかの把握や対策は急を要する課題となっている．本研究では，市場に流通する15種類のモジュールに対して，試験槽を用いたチャンバー方式によりPID再現試験を実施した．その結果，市場流通の15種類のモジュール中5種類で劣化が認められた．併せて，PID現象による劣化の経時変化を調べ，劣化した5種類のモジュールの多くで回復傾向が認められ，その中の2種類のモジュールは約140日後に初期性能にまで回復したが，非常に大きな劣化を生じた1種類のモジュールでは，回復しなかった．

１．はじめに

わが国よりも先行して太陽光発電システム施設（メガソーラ）の普及が進んでいる欧州では，高いシステム電圧により誘発される PID（Potential Induced Degradation）現象がここ数年で顕在化し始めた．わが国でも2012年7月1日の再生可能エネルギー固定価格買取制度の開始に伴い，メガソーラの建設が急速に増加しており，今後は PID 現象が大きな問題となることが予想される．PID 現象は，高電圧の太陽光発電システムにおいて，太陽電池セルとモジュールの金属フレーム間でリーク電流が発生し，セルが損傷することにより，大きく出力が低下する現象のことである[1)-3)]．メガソーラでは，モジュールを住宅用システムよりも多く直列接続する．そのため金属フレームとの大きな電位差が発生するマイナス極側に近いモジュールが影響を受けやすく，大幅な出力低下をもたらす．PID 現象は高温多湿の条件下で発生しやすいと考えられているが，その発生原因は明らかになっていない．

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の一つとして，PID 現象を再現した試験を実施した．PID 再現試験としては数種類あるが，本研究では，試験槽を用いたチャンバー方式を採用し，15 種類の市場流通モジュールの PID 再現試験を実施した．チャンバー方式は 2012 年 11 月時点で，IEC 62804 として審議中の規格案に基づいた試験方法となっている．

２．実験方法

2.1 供試モジュール

供試モジュールは市販の 15 種類のモジュール，A-1, B-1, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O である．A-1, B-1, C, E, G, I, J, K, M, N, O は多結晶 Si モジュール，F, H は単結晶 Si モジュールである．また，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 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試験の前後で外観試験を行った．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．外観試験結果として，各モジュールの受光面側，裏面の写真撮影を行った．

(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（高温高湿試験機付属）を使用した．

(3) 電流ー電圧（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 W/m^2，スペクトル Air Mass (AM) 1.5G，デバイス温度 25 ℃ 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 msec），シャープ製 SHSS-01（平成 22 年度経済産業省アジア基準認証推進事業補助金物件，JET 所属）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．SHSS-01 のスペクトル合致度，放射照度場所むら，放射照度時間変動率はいずれも IEC60904-9 の等級は最上位の A である．I-V 測定は初期状態および PID 試験実施後に行い，モジュールの発電性能を評価した．

2.3 チャンバー方式 PID 再現試験

IEC 62804 として審議中の規格案の方法に基づき，高温高湿槽に投入したモジュールに対してメーカ指定の許容システム電圧を金属フレームと給電部間に印加し，60 ℃, 85 %RH 状態で 96 時間の連続運転を行った．フレーム側をプラス極とし，端子箱からのプラス・マイナスケーブルを結線し，これをマイナス極とした．試験終了後 8 時間以内に出力を測定し，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．PID 試験機はエスペック（株）製 TBR-2H20A6PAXS（平成 22 年度経済産業省アジア基準認証推進事業補助金物件）を使用した．図 1 に装置の外観を示す．

図 1　PID 試験対応高温高湿試験機の外観

３．結果および考察

3.1 外観試験および乾式絶縁抵抗試験

試験実施後の外観試験および乾式絶縁抵抗試験結果を表 1 に示す．全モジュールで試験後の外観変化や絶縁抵抗値の変化は認められなかった．

3.2 I-V 測定（発電特性試験）

PID 試験後の出力増減率を表 2 に示す．PID 試験後，モジュール C, F, J では出力低下率が 10 %以上あり，大きな劣化が認められた．特に F では 97%の低下率であり，劣化が著しい．また，B-1 と G では比較的出力低下は小さかったが，IEC 62804 による判定基準（5%の低下で不合格）では，不合格となる劣化状態であった．

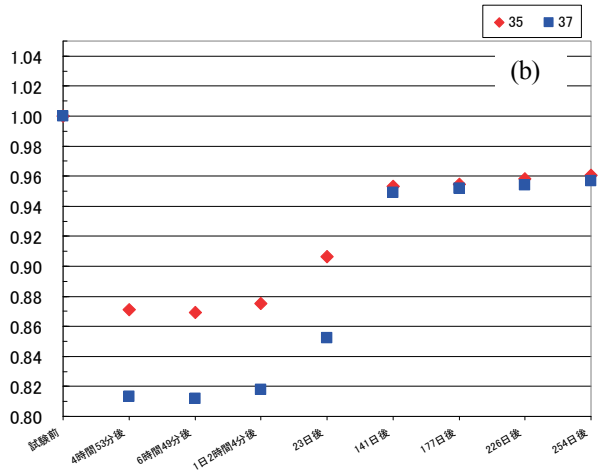
表 1　PID 試験後の外観試験および乾式絶縁抵抗試験結果

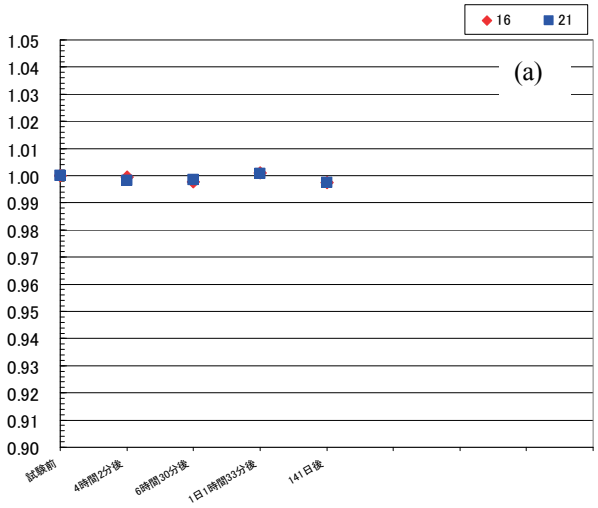
モジュール種類_記号	PID試験結果（○：変化を認めず、△：一部変化あり、×：重大な変化あり）	
	外観試験結果	乾式絶縁抵抗試験結果
A-1（多結晶Si）	○	5GΩ以上
B-1(多結晶Si)	○	5GΩ以上
C（多結晶Si）	○	5GΩ以上
D（薄膜Si）	○	5GΩ以上
E（多結晶Si）	○	5GΩ以上
F(単結晶Si)	○	5GΩ以上
G（多結晶Si）	○	5GΩ以上
H（単結晶Si）	○	5GΩ以上
I(多結晶Si)	○	5GΩ以上
J（多結晶Si）	○	5GΩ以上
K（多結晶Si）	○	5GΩ以上
L（薄膜Si）	○	実施せず（フレームなし）
M(多結晶Si)	○	5GΩ以上
N(多結晶Si)	○	5GΩ以上
O(多結晶Si)	○	5GΩ以上

表 2　PID 試験後の出力低下率

モジュール種類_記号	PID試験後の出力増減率（%表示, N=2）	
	モジュール1	モジュール2
A-1（多結晶Si）	-0.3	-0.3
B-1(多結晶Si)	-6.9	-3.9
C（多結晶Si）	-13.1	-18.8
D（薄膜Si）	0.7	0.6
E（多結晶Si）	-0.6	-0.5
F(単結晶Si)	-97.7	-96.6
G（多結晶Si）	-9.6	-6.3
H（単結晶Si）	0	-0.2
I（多結晶Si）	-0.6	-0.5
J（多結晶Si）	-15.1	-21.4
K（多結晶Si）	0	-3.7
L（薄膜Si）	-0.7	-0.6
M(多結晶Si)	-0.6	-0.2
N(多結晶Si)	-0.3	-0.4
O(多結晶Si)	-0.5	-0.8

PID 現象による劣化では，試験後の時間経過とともに劣化が回復することが報告されている[3]．図 2 (a), (b), (c)に劣化を認めなかった A-1，著しい劣化を確認した C と F の出力低下の経時変化を示す．C は約 140 日後に初期性能にまで回復しているが，F では回復は認められない．図 3 (a), (b)にモジュール C, F の PID 試験中のリーク電流を示す．モジュール F ではリーク電流が 10 μA オーダーでかつノイズが非常に多いことがわかる．しかしながらこの劣化率とリーク電流の相関関係は詳細不明であり，今後の検討課題である．





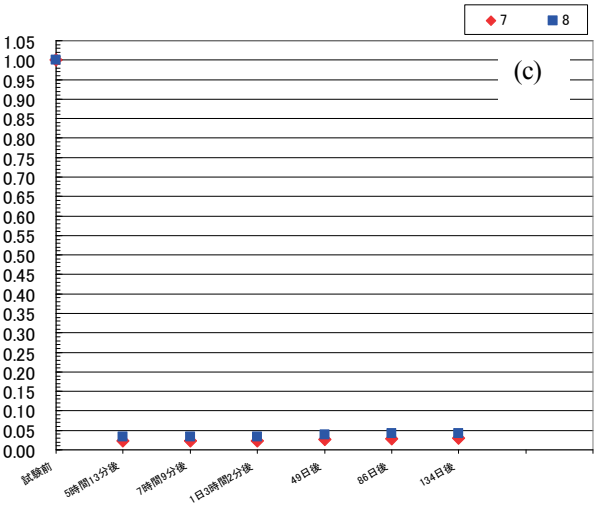


図 2　モジュール A-1(a), C(b), F(c)の PID 試験後の出力低下の時間変化

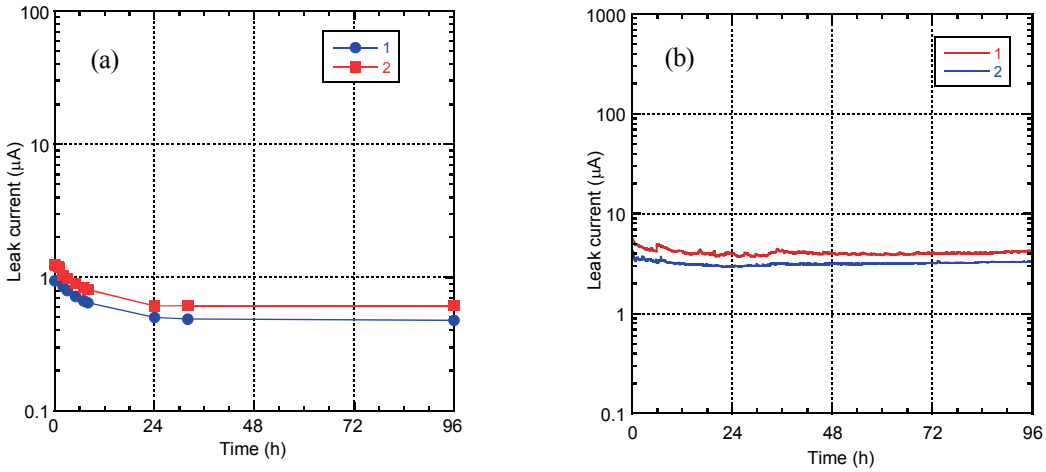


図 3　モジュール C(a), F(b)の PID 試験中のリーク電流

４．おわりに

15 種類の市販モジュールを用いてチャンバー方式 PID 再現実験を行った結果, 5 種類のモジュールで明らかな出力低下が認められた. その 5 種類の劣化モジュール中の 2 種類については約 140 日後に初期性能の状態に回復したが, 97%の劣化を生じた 1 種類については回復しなかった. チャンバー方式は環境試験機槽内に多数のモジュールを収納することができ, かつ槽内温度, 湿度を正確に制御可能であるため, PID 現象を安定して再現できる試験であり, 本研究の成果が国際的な規格につながることを期待する.

最後に, 本研究事業は経済産業省・アジア基準認証推進事業補助金により実施されたものである.

参考文献

1) P. Hacke et al., 35th IEEE PVSC (2010), 244-250.
2) S. Pngel et al., 35th IEEE PVSC (2010), 2817-2822.
3) P. Hacke et al., 35th IEEE PVSC (2010), 3760-3765.