

太陽電池モジュールにおけるバイパス回路の耐久性と故障メカニズム

池田 一昭

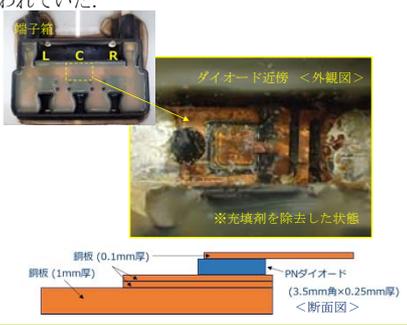
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター システムチーム

研究の背景と目的

太陽光発電システム (PVS) に組み込まれた太陽電池モジュールのバイパス回路 (Bypass Circuit : BPC) が開放状態となつて機能しない場合、発電回路側に不具合事象が発生する、あるいは既に発生していると、不具合事象への通電が異常な発熱を引き起こし、モジュールを部分的に焼損させる、さらにはガラス破損に至らしめる例も観察されている^[1-3]。本研究は、実発電設備におけるBPCの故障事例の分析や屋内外におけるBPCの耐久性試験による故障の再現実験を実施することにより^[4-6]、BPCの故障メカニズムを明らかにする。

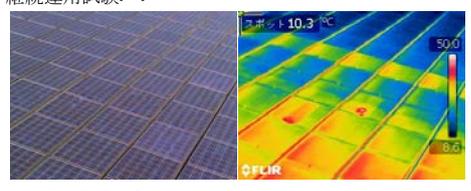
試料

産総研つくばセンターで稼働中の太陽光発電設備の一部に使用されているSHARP製ND-150AMモジュールを試料とした。このモジュールのBPCの構造は、チップ型のPNダイオード (3.5 mm角, 厚さ0.25 mm) が上下から薄い銅板電極 (上側0.1 mm厚, 下側0.1 mm厚×2枚) で挟み込まれ、チップと銅板、更に銅板同士は導電性ペースト材で接着されていた。薄い銅板電極と厚い銅基板 (1 mm厚) ははんだでも接合され、厚い銅基板はセルストリング側のバスバー電極とはんだで接合されていた。また、回路は樹脂により覆われていた。



実験

①セルストリング導通不備に起因したBPC動作状態にあるモジュールの継続運用試験^[2,3]



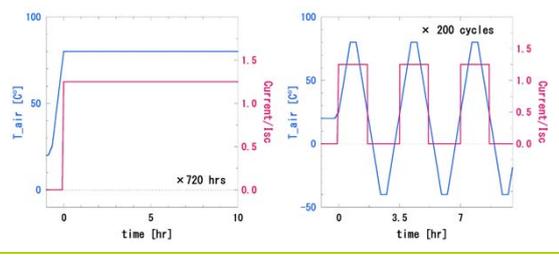
②屋外暴露試験^[4,6]

- a) 単クラスタ遮光のモジュールを短絡により常時通電 (実システム架台)
- b) 複クラスタ遮光のモジュールをシステム運転により常時通電 (実システム架台)
- c) 複クラスタ遮光のモジュールを短絡により常時通電 (追尾架台を使用, 電源モジュールを直列接続)



③屋内耐久性試験^[6]

- HCT : 80 or 60°C, 連続通電, 0.9 or 0.6 or 0.3 I_{sc}
- TCT : -40~80 or 60°C, 3.5 h周期, 1.25 or 0.9 I_{sc} 通電 (25°C以上)

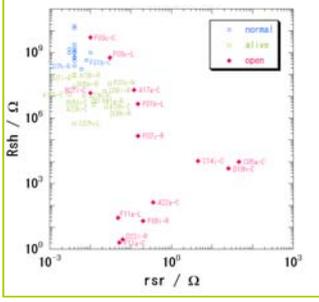


結果

・開放故障までの時間

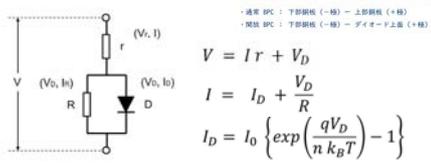
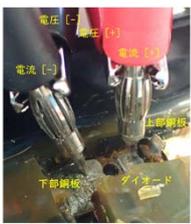
mod-ID	test	type, curr.	temp.	time	L	C	R
OSL	C14i			n	3.5y	n	n
	D18h			n	3.5y	n	n
	D06c			n	3.8y	n	n
	D06g			n	4.0y	n	n
	D08c			n	4.0y	n	n
	D07f			n	4.0y	n	n
	A22i			n	4.3y	n	n
	F09j			n	4.5y	n	n
	A17a			n	5.0y	n	n
	D18g			n	5.0y	n	n
	B07e			n	5.3y	n	n
	A01i			n	5.5y	n	n
	C05a			n	5.5y	n	n
	B01b			n	6.0y	n	n
	D09g			n	6.5y	n	n
	A22a			n	7.0y	n	n
AIST	F01b			22m	n	n	n
	F03c			28m	1m	>36m	n
	F07j			n	n	31m	n
	F11a			41m	42m	>42m	n
	D22i			>4m	2m	4m	n
TRU	A18h	HCT, 0.9I _{sc}	60	>720	>720	>720	>720
	A23h	HCT, 0.9I _{sc}	60	>720	>720	>720	>720
	A24h	TCT, 0.9I _{sc}	40~80	>561	>561	561	561
	C09h	TCT, 0.6I _{sc}	40~80	>600	>600	>600	>600
	C06i	TCT, 0.9I _{sc}	40~80	>68	>68	68	>68
	C07h	TCT, 0.9I _{sc}	40~80	>115	115	>115	>115
	D06h	TCT, 0.9I _{sc}	40~80	>121	121	>121	>121
	A17h	TCT, 0.9I _{sc}	40~60	>200	>200	>200	>200
	B05h	TCT, 0.9I _{sc}	40~60	>200	>200	>200	>200
	B07i	TCT, 1.3I _{sc}	40~80	>1	1	>1	>1
	F09i	TCT, 1.3I _{sc}	40~80	>5	>5	>5	>5

・R vs. r



分析

- ①外観観察 (破壊分析) ^[6]
- ②BPCの電流電圧特性測定^[7]
 - ・ -10 V ~ +1 V [+1 A] (電圧掃引)
 - ・ +1 μA ~ +10 A (電流掃引)
 - ・ 2端子 or 4端子測定
- ③電流電圧特性の等価回路パラメータ解析^[7]



- R : ダイオードの並列抵抗
 - ひびや割れの表面, 間隙, 周辺物質や生成物による通電
- r : 回路の直列抵抗
 - 節点 (はんだ, 導電性接着剤) や回路の屈曲部
- I₀ : ダイオードの内部因子1 (逆飽和電流)
 - 電荷の拡散性 (格子欠陥, 不純物)
- n : ダイオードの内部因子2 (理想係数)
 - pn界面の結晶性 (格子欠陥, 不純物)

考察とまとめ

通電によりある程度の温度に達した状態が継続したダイオードでは漏れ電流が増大していたが、開放故障を発症した場合ですら、構成要素の破壊等を伴わない場合は1 μA程度の増加にとどまっていた。一方で、上部電極の破損や溶融、あるいはそれらに関連した可能性の高いダイオード表面のコグや割れ、さらに素子の割れを伴った場合は、-10 Vの逆バイアス電圧に対して数mA~数Aの漏れ電流が発生していた。これより、回路の開放故障発生時に、開放位置で発生したジュール熱、または放電による熱や衝撃により、ダイオード素子が変質あるいは破壊することで、漏れ電流の増加によりダイオードの低抵抗化が生じたと考えられる。ここで、BPCの回路には開放箇所が存在するため、開放状態が維持されれば低抵抗化したダイオードには通電しないが、温度変化や振動、発電電圧の印加等の何らかの影響により開放箇所が接点が発生すると、低抵抗に電流が通電することにより、ダイオード近傍の延焼や溶融に至ることが考えられ^[8,9]、その結果として、粉々かつ腐食したダイオードが生成され、最終的には再度開放故障に至ると考えられる。

参考文献

- [1] 吉富政宣, 「太陽電池セルの焼損メカニズム-逆電圧象限動作 - 太陽光発電システム (PVS) の安全保護 その2」, 太陽エネルギー, 39, 5 (2013) pp. 73-86.
- [2] 加藤和彦, 「産総研メガソーラタウン-10年の運用実績の概要」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2014, 41-44.
- [3] 加藤和彦, 「産総研メガ・ソーラタウンにおける太陽電池モジュールバイパス回路の耐久性に関する事例」, AIST太陽光発電研究成果報告会2015, 51.
- [4] 池田一昭 他, 「太陽電池モジュールのバイパス回路における開放故障事例」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2017, 163-166.
- [5] 津野裕紀 他, 「太陽電池モジュールのバイパス回路耐久試験の提案」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2017, 161-162.
- [6] 池田一昭 他, 「耐久性試験バイパス回路におけるIV特性の等価回路解析」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2018, 141-144.
- [7] 池田一昭, 「太陽電池モジュールにおけるバイパス回路の耐久性と故障メカニズム」, 日本太陽エネルギー学会講演論文集2019, 159-161.
- [8] 桶真一郎 他, 「バイパスダイオードの短絡故障に起因する太陽電池モジュールの過熱」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2018, 137-140.
- [9] 桶真一郎 他, 「バイパスダイオードの不規則稼働による故障と過熱」, 日本太陽エネルギー学会講演論文集2019, 15-18.

謝辞

本研究の一部は、NEDO「太陽光発電システム効率向上・維持管理プロジェクト, 太陽光発電設備の安全化に関する実証試験および研究」の成果を使用しました。関係各位に感謝申し上げます。