

太陽光発電システムの安全監視装置の実証試験 ーバイパス回路開放の即日検出ー

石井隆文、佐々木裕平(JX日鉱日石エネルギー(株))、加藤和彦(産総研)

研究の目的

近年国内外でPVアレイの火災事故報告あり^{1)~3)}。
日本においても産総研が中心となり、太陽光発電システムの
直流電気安全性に関するガイドライン作りが進められている^{4),5)}。



図1 太陽光発電システムの
地絡火災(米国) 図2 太陽光発電システムのバイパス開放
に起因する火災(米国)

PVアレイは日が有る限り発電停止困難=事故が発生すると停止困難
対策:

- ★「事故」に至る前の「故障」の段階でこれを発見する
- ★発見した「故障」を除去する

PVアレイの電気事故の原因となる「故障」の例:

- ★絶縁性の低下
 - ①地絡故障(多点地絡を含む)
 - ②逆流防止ダイオードの短絡故障
- ★導電性の低下
 - ③バイパス回路(ダイオード、ハンダ付け等)の開放故障
 - ④PVモジュール間の接続不良、モジュール内断線

昨年報告: ①③の故障監視装置を試作し、有効性を実証
本年報告: ③の検出を産総研内の実システムで実証

実験

①試作装置概要 …対象ストリングをPVアレイから切り離して検査する。⁶⁾

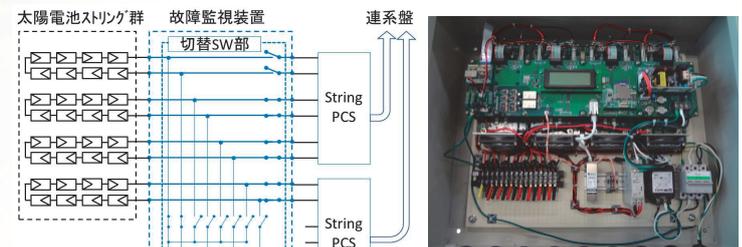


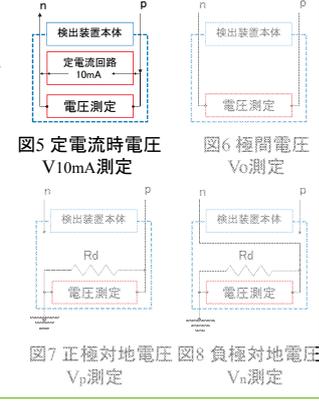
図3 故障監視装置およびそのPVシステムへの組み込み

②バイパス回路開放故障監視の方法⁶⁾:
夜間に順方向電流を注入し、電圧から
バイパス回路の開放故障を検出(図5)

③絶縁監視の方法(図6~8) … 昨年報告
★ $R = \{V_0 / (V_p + V_n) - 1\} \times R_d$
R: 太陽電池ストリングの絶縁抵抗
 V_0, V_p, V_n : 図6~8で測定
 R_d : 監視装置の検出抵抗
★地絡位置 = $V_n / (V_p + V_n) \times 100\%$
(負極地絡を0%、正極地絡を100%と表現)
★特徴 ①不感帯が無い
②常設して監視できる
③地絡位置が分かる



図4 故障監視装置試作品



結果

対象システム: ・多結晶6インチセル ・14セル/クラスタ
・3クラスタ/モジュール ・9モジュール/ストリング
・ストリング入力PCS ・1 BPDが常時通電状態(クラスタ落ち)

計測: 順方向電流(発電時と同方向)10mAを、10分毎に
ストリングに注入し、夜間の電圧(V10mA)を計測した。
(夜間とは、21:00~03:00 かつ 開放電圧の4String合計値<5V)

結果: 2014年3月28日…夜間V10mA(順方向電流注入時の電圧)が増加
その約半年後 …モジュール裏面に焦げ発生

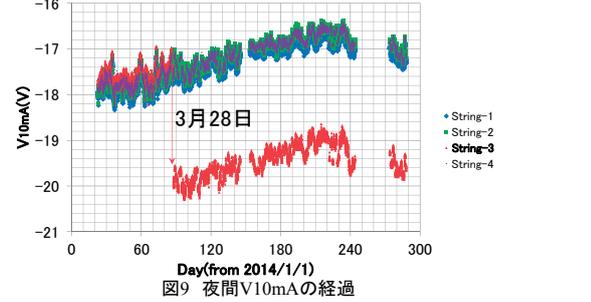


図9 夜間V10mAの経過



図10 モジュール裏面の変化(常時通電のBPD付近)

考察

3/28にバイパス回路が開放故障し、半年後に焦げが発生したものと推定する。

- 3/28以降も、夜間20V程度で
10mA通電する原因…
- ①バイパスが完全に開放せず、
高抵抗化しただけであるため。
 - ②太陽電池セル側にも通電する。

生じた抵抗($R_{failure}$)を故障後の測定
から見積もり、3/28に発生した電圧
変化との整合性を確認した。

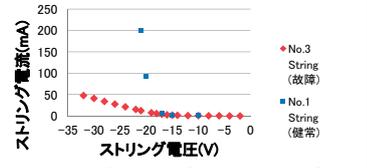


図11 故障ストリングと正常ストリングの
夜間IV(逆電圧領域)

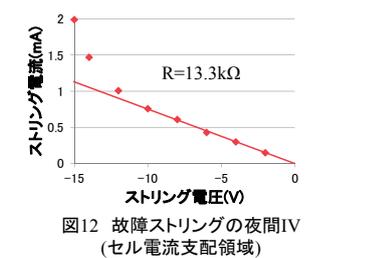


図12 故障ストリングの夜間IV
(セル電流支配領域)

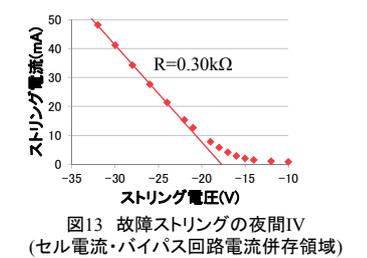


図13 故障ストリングの夜間IV
(セル電流・バイパス回路電流併存領域)

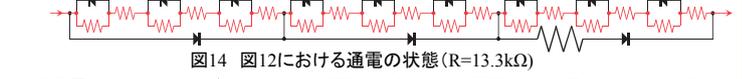


図14 図12における通電の状態($R=13.3k\Omega$)
逆電圧が小さい領域(バイパスダイオードのVf以下)では、セルの漏れ電流が主。1クラスタでは、 $0.49k\Omega$

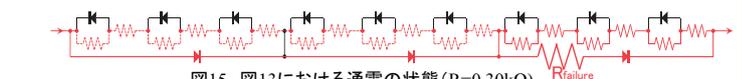


図15 図13における通電の状態($R=0.30k\Omega$)
逆電圧が大きい領域では、バイパス回路にも通電。合成抵抗 $0.30k\Omega$

$$\frac{1}{1/0.49k\Omega + 1/R_{failure}} = 0.30k\Omega$$

∴ $R_{failure} = 0.76k\Omega$
→故障による電圧変化は2.6Vと計算される。
…3/28に発生した電圧変化と整合する。

結論

- ①アレイ、PCSからのストリング切り離しは、多様な故障検出に有効。
- ②本法(夜間電流注入法)によって、実システムにおけるバイパス回路の開放故障(高抵抗化)を、故障当日に検出した。著者の知る限り、世界初。
- ③故障して半年後に焦げが発生したことから、4年に1回のバイパス回路点検では、事故を防げない場合があり得る。
- ④バイパス回路が開放したストリングを切り離し、加藤法⁷⁾でモジュール特定・交換することで、事故を回避可能。
- ⑤他の電気故障モード、構造事故への注意も必要^{8),9)}。実効的なガイドライン作成が急務。

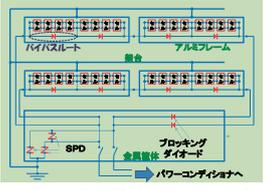


図16 太陽電池回路のノード

参考文献

- 1) The Bakersfield Fire, Bill Brooks, Solar Pro (2011).
- 2) Inverter Ground-Fault Detection "Blind Spot" and Mitigation Methods (2013).
- 3) 日本火災学会講演討論会「太陽光発電システムと火災安全」、吉富、鈴木、文京シンビックセンター(2014.1.24).
- 4) 太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基礎整備プロジェクトの概要、大淵、加藤、櫻井、宮本、石井、吉川、河本、太陽エネルギー学会・風力エネルギー学会合同研究発表会 講演論文集 p.37 (2013).
- 5) 太陽光発電の直流電気安全性の確立に向けた取り組み、大淵、電気学会誌 p.693 Vol. 134 (10) (2014).
- 6) 太陽電池アレイの故障検出の必要性とその方法、石井、電気学会全国大会シンポジウム「太陽光発電システムの保安・保護に関する課題」(2014.3.20).
- 7) 太陽光発電システムの不具合事例 ファイルPVResQからの現地調査報告、加藤、日刊工業新聞社(2010).
- 8) 太陽光発電の安全性の確立に向けて一特集に寄せて、加藤、電気学会誌 p.672, Vol. 134 (10) (2014).
- 9) 太陽光発電システムの構造設計とヒューマンファクター、吉富、太陽エネルギー p.59, Vol.40 (2) (2014).