

太陽光発電システムの安全監視装置の実証試験に関する共同研究

石井隆文、福田靖、佐藤真也 (JX日鉱日石エネルギー株式会社)
吉富政宣 (有限会社吉富電気)、加藤和彦 (産業技術総合研究所)

研究の目的

近年国内外で太陽電池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基盤整備」を開始^{4),5)}。



図1 米国PVシステムの火災



図2 国内PVシステムの接続箱火災

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が困難。従って、以下が重要。
★「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

太陽光電池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、モジュール間断線

①③の故障監視装置を試作し、有効性を実証した。

実験

①試作装置概要

試作した監視装置を組み込んだPVシステムを図4に示す。

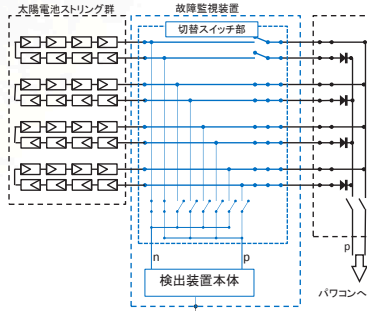


図4 故障監視装置およびそのPVシステムへの組み込み



図3 故障監視装置試作品

②絶縁監視の方法

★ $R = \{V_0 / (V_p + V_n) - 1\} \times R_d$
R: 太陽電池ストリングの絶縁抵抗
 V_0, V_p, V_n : 図5~7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

③バイパス回路開放故障監視の方法

図8を夜間に実施。順方向電流注入時の電圧からバイパス回路の開放故障を検出。

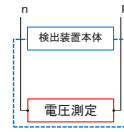


図5 極間電圧 Vo測定

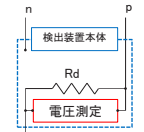


図6 正極対地電圧 Vp測定

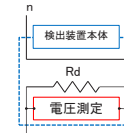


図7 負極対地電圧 Vn測定

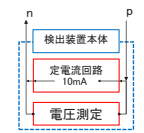


図8 定電流時電圧 V10mA測定

結果

①模擬地絡

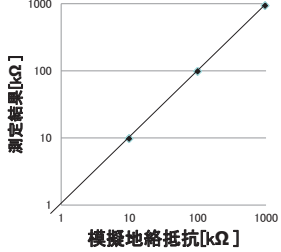


図9 絶縁抵抗値の測定結果

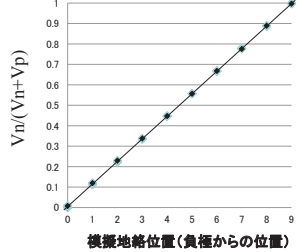


図10 絶縁低下位置の判定結果



図11 模擬地絡実験に使用したPVアレイ



図12 バイパス回路の模擬開放故障

②バイパスダイオード回路の模擬開放故障

表 バイパス回路故障の有無 場所と電圧

| 模擬開放故障モジュール番号 | 模擬開放故障ダイオード位置 | 10mA注入時の電圧(V) |
|---------------|---------------|---------------|
| ① | 左 | 34.0 |
| ① | 中央 | 35.3 |
| ① | 右 | 32.7 |
| ⑦ | 左 | 38.0 |
| ⑦ | 中央 | 40.7 |
| ⑦ | 右 | 37.4 |
| | 故障無し(ブランク) | 11.8 |

③実システムの絶縁低下(産総研内において実施)

モジュール: 単結晶54セル 132W
 $I_{pm}=4.93A$ $V_{pm}=26.8V$ $I_{sc}=5.53A$ $V_{oc}=33.5V$
システム: 8直列 (4入カストリングPCS)
AIST池田観察: 負極端のモジュールに、封止材不足部。
雨天時に絶縁低下。当該部近傍に錆。
45枚目セル/432セル

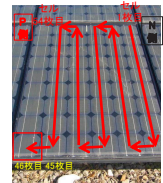


図13 封止材不足箇所

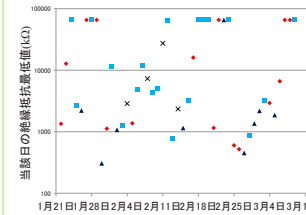


図14 絶縁抵抗の推移(当該日の最低値)

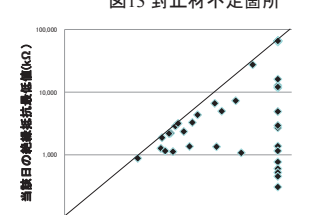


図15 朝の絶縁抵抗値と最低値の関係

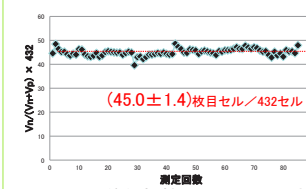


図16 絶縁抵抗低下位置の判定結果

④結果のまとめ

- ★性能確認:
地絡位置の電位を、絶縁抵抗値、地絡位置を測定できた。
- ★常時監視の必要性:
絶縁抵抗値は不規則・不安定に変動することを観測した。

考察

- ① PCSからのストリング解列は、デバイスが高価だが、多様な故障検出に必須。
- ② 文献⁶⁾、本結果とも絶縁抵抗値の挙動は不規則・不安定であった。従って常設装置による監視が必要。
- ③ 地絡故障すると、同じストリング内の第二地絡により事故発生。従って、ストリング解列は不十分。故障除去が必要。
- ④ ②③より、地絡検出と同時に位置特定が必要。
- ⑤ バイパス回路故障は、ストリング解列し加藤法⁷⁾で対応可。

結論

本検討は、実際の事例と、論理的考察の両面から、事故モードを想定して実施してきた。今後この手法を継続して事故モード見落としの低減を図る一方、優先度を判断しつつ、実効性のある手法の具体化、実用化に努める。

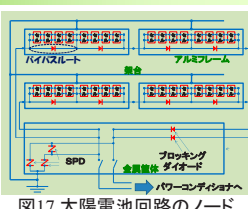


図17 太陽電池回路のノード

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) 日本気象学会講演討論会「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盤整備プロジェクトの概要、大岡、加藤、榎本、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(57) (2013).
- 5) 日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第8回セミナー「太陽光発電システムの火災リスク対策における現状と課題(1)」、秋葉原コンベンションホール(2014.3.26).
- 6) 太陽電池モジュールの屋外暴露試験における絶縁抵抗変化と環境因子の関係、山口、中村、日本信頼性学会誌 Vol24(4)、333-334 (2002).
- 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、日刊工業新聞社(2010).
- 8) PVResQ!における太陽電池モジュールの電気的不具合の調査方法とその事例、加藤、吉富、吉富、北川、太陽エネルギー Vol38(3)(2012).