

太陽光発電の雷被害事例とそのメカニズムに関する研究

大関 崇¹・加藤 和彦¹・池田 一昭¹・南野 郁夫²・濱田 俊之²・桶 真一郎³・石倉 規雄⁴・藤井 雅之⁵

¹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・

²宇部工業高等専門学校・³津山工業高等専門学校・

⁴米子工業高等専門学校・⁵大島商船高等専門学校

研究の目的

- 太陽光発電設備は太陽電池モジュールなどの発電設備を屋外に設置する特性上、雷に起因する外部過電圧による被害を受ける確率的可能性がある。
- 近年、事業用、家庭用ともに太陽光発電設備の急速な普及につれて雷に起因する種々の設備故障及び損壊事例が明らかとなりつつある。
- 雷に起因する太陽光発電設備の故障は、設備の損壊や火災による財産の喪失だけでなく、感電などの人身への危険や電力システムへの波及事故など重大なリスクを抱えているにも関わらず、その故障機構は十分検討されていない。
- 雷による故障要因は、直撃雷によるものと誘導雷によるもので故障特性は大きく異なる。故障状況についても雷過電圧による絶縁破壊から太陽光発電設備が全損する場合もあれば設備構成素子の素子の絶縁劣化で済む場合など、被害状況は様々である。
- 雷によりバイパスダイオード(BPD)等の素子特性がどのようになるか、その素子特性がシステムでの電気事故へどのように波及するかなどを、現地調査等から得られるデータなどを利用して、メカニズムの解明、対策技術の検討を行う。

現地調査結果と雷が素子に与える影響のシミュレーション

- 雷の被害を受けた太陽光発電設備の現地調査を実施。
- モジュールの端子箱付近の焼損、バイパス回路における短絡・開放故障およびブロッキングダイオード(BLD)の短絡故障を確認。



図1 バイパス回路(BPC)の短絡故障・開放故障(約20枚)



図2 モジュールの焼損(端子箱付近からの出火)

- 数値電磁界解析手法の一つであるFinite Difference Time Domain法に基づいた汎用サージ解析プログラムVirtual Surge Test Lab.を用いて太陽光発電設備をモデル化、近傍に雷撃があった場合の素子(BPD)に生じる電圧/電流を検証するとともに、各種条件を与えた場合についても検討を行った。

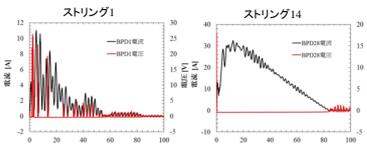
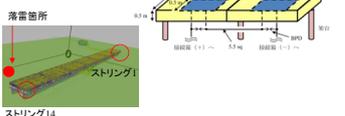
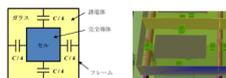


図3 シミュレーション例(架台から2m後方に落雷)

PVの雷故障機構解明のための人工誘導雷試験^[1]

- 雷サージ試験によりショットキーバリアダイオード(SBD)タイプのBPDが危険な発熱モードで故障することを確認した(設定電圧約200Vで第3象限が危険な約1Ω)。
- PN接合タイプやSiCのダイオード、BLD、ブロッキングリレー、バリスタの雷サージ試験も行い、耐電圧と特性からSiのSBDが一番危険な種類の部材であることを確認した。
- 破壊サンプルのSEM内部分析をした結果、ハンダがシリコンの中に溶融したことを観察し、電流通路形成の可能性を確認した。

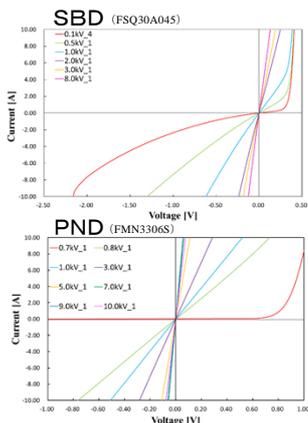


図4 ダイオードの故障箇所分析

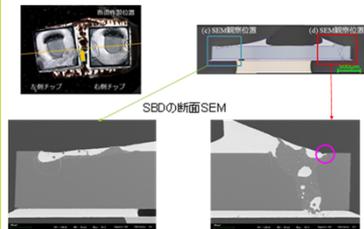


図5 ダイオードの故障箇所分析

誘導雷故障PVモジュールの過熱・発火過程の実験的検討^[2]

- 誘導雷によりBPDは重度・中度・軽度のさまざまな故障状態になること、故障の程度は、ダイオードの逆方向特性の傾き(抵抗値)に現れること、きわめて軽度の故障であっても、電流-電圧特性のグラフは原点を通る(短絡故障)ことを示してきた。
- セルストリングの断線等により劣化していると考えられるBPDに電流を注入し、故障の過程を観察し、実験開始から約21時間で短絡から開放に至ることを観察した。
- 故障の過程において、一度抵抗の状態を経て開放故障に至ることを確認した。

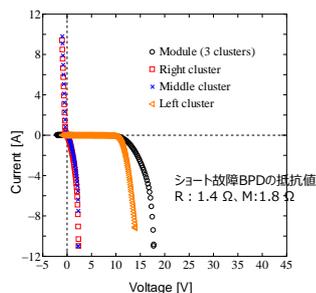


図6 ショート故障BPDを含むモジュールのIV特性の例

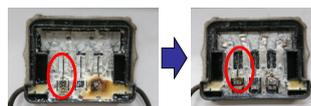


図7 ダイオードの故障箇所分析

誘導雷による素子破壊の計算機シミュレーション^[3]

- 故障したBPDとBLDを抵抗に置き換えてPSIMIによる回路シミュレーションを行い、実際の事故を再現。
- BPDとBLDが、誘導雷に起因すると考えられるダメージを受けると抵抗モードで故障する。
- 定格値(8.45 A)を大きく超える逆電流38.02 A(無負荷)、2.03 A(MPPT動作時)となることを確認した。

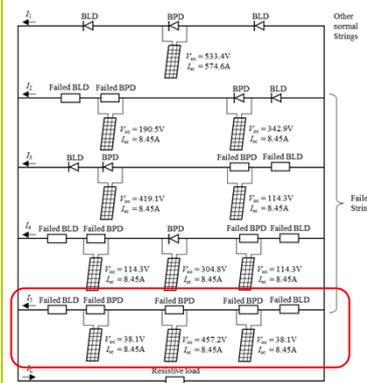


図8 実際の事故条件を適用した回路

表1 回路シミュレーション結果

MPPTが動作する場合も考慮

結論

- 雷の影響による、太陽電池モジュールの部分焼損の事例について、要因分析を行った。
- 雷によりバイパスダイオードおよびブロッキングダイオードの短絡故障、その後、複数ストリングからの逆電流入りが焼損の要因であることを明らかにした。
- 今後、対策方法を検討する。

参考文献

- 山本他, 「PVモジュール搭載可能なショットキーダイオードとPN接合ダイオードの模擬誘導雷による絶縁破壊特性比較」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2017.
- 桶他, 「バイパス回路が短絡故障した太陽電池モジュールの特性」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2017.
- 石倉他, 「太陽光発電システムにおける逆流防止ダイオードとバイパス回路の同時短絡事故に対する計算機シミュレーション解析」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2017.

謝辞: この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られた。関係者に感謝する。