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

Research Center for Photovoltaics

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系統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一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、対策技術の検討を目的とした。

現地調査結果

- 雷害被害を受けた事例として、3 件の雷害による被害の調査を実施。
- モジュールの焼損，接続箱の焼損，発電能力の著しい低下などとなって雷害による被害が明らかになったケースである。
- モジュールの表面に破壊痕やガラス割れとなって雷害が顕在化したケース、PVモジュールの裏面のジャンクションボックスが焼損して雷害が顕在化したケースなどがある。

図1　バイパスダイオードの故障例

図2　モジュールの焼損(端子箱付近からの出火)

PVの雷故障機構解明のための人工誘導雷試験[1]

- 人工誘導雷サージ試験によりPN接合タイプやSiCのダイオード，ブロッキングダイオード、バリスタ等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。
- 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。
- また、モジュール近傍および直撃雷電流の通過がバイパスダイオードに与える影響の検証のための実験を行ない、バイパスダイオードが破壊するケースを確認。

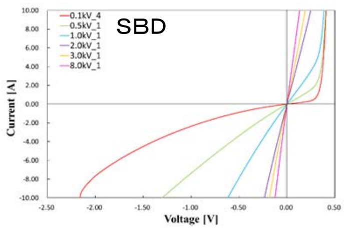
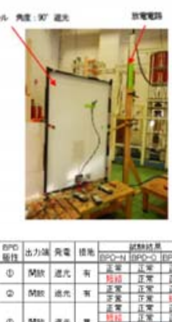


図3　ダイオードの故障個所分析

試験波形：
10/350 μs
電流波頭値：
100±5 kA



[illegible]	設置角	離隔[m]	試験電流[kA]	BPD種別	BPD極性	出力端	発電	接地	試験結果 BPD-N	BPD-C	BPD-F
有	90°	0.2	100	SBD	①	開放	遮光	有	正常	正常	正常
		0.15							短絡	正常	正常
有	90°	0.15	100	SBD	②	開放	遮光	有	正常	正常	正常
		0.13							正常	正常	短絡
無	90°	0.65	100	SBD	①	開放	遮光	無	正常	正常	正常
		0.4							短絡	正常	正常
		0.2							短絡	正常	正常
		0.15							短絡	短絡	正常
無	90°	0.2	100	SBD	②	開放	遮光	無	正常	正常	正常
		0.15							短絡	正常	正常

図4　モジュール近傍の雷サージによるバイパスダイオードの破壊試験の結果例

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]

- 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バイパスダイオードに電流を注入し，故障の過程を観察し、短絡から開放に至ることを確認。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明らかにした。
- また、バイパスダイオードが短絡故障した PV モジュールに逆方向電流が流入し，バイパスダイオードが過熱して火災に発展する可能性が高いことを実験的に確認。

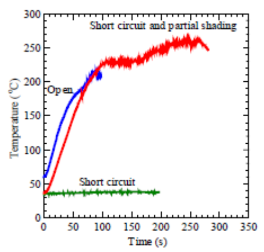


図5　劣化したバイパスダイオードへの電流注入による故障過程の模擬試験結果例

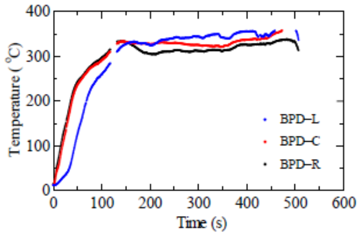


図6　逆方向電流の流入による短絡故障バイパスダイオードの過熱試験結果例

誘導雷による素子破壊の計算機シミュレーション[3]

- シミュレーションにより故障時の逆電流の値を確認。
- 逆電流を防ぐヒューズにより保護することが有効であることを明らかにした。

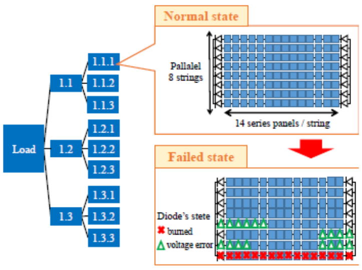


図7　劣化したバイパスダイオードへの電流注入による故障過程の模擬試験結果例

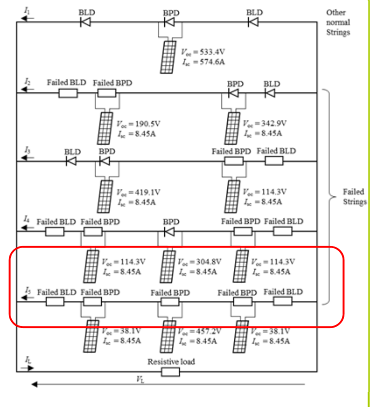


図8　逆電流のシミュレーション結果例

太陽光発電の直流電気安全のための手引と技術情報

- 本事業の成果を反映。
- 太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報（第2版）:2019年7月掲載https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/service/PV_Electrical_Safety/index.html

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流入が焼損の要因であることを明らかにした。

参考文献

[1] 藤本他,「雷インパルス電流による太陽電池モジュールへの誘導雷試験」, 平成31年電気学会全国大会, 2019.
[2] S. Oke et al., “Characteristics and risks of broken bypass diode with induced lightning”, Grand Renewable Energy 2018, GRE2018, Yokohama, Japan, 2018.
[3] N. Ishikura, et al., “Simulation Analysis of Really Occurred Accident Caused by Short Circuit Failure of Blocking Diode and Bypass Circuit in the Photovoltaics System”, 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, 2018.

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。