

# 太陽光発電システムにおける地絡の遮断技術開発

－太陽光発電システムの故障被害の最小化と早期復旧に向けた保護回路の設計－

橋泰至\* 田村陽一\*

## 1. 緒言

再生可能エネルギーの主力電源化に向けた動きが活発化している中、太陽光発電所に起因する様々なトラブルが増加している。このような背景のもと、2017年4月の改正FIT法で、低圧(50kW未満)の太陽光発電のメンテナンスが義務化され、太陽光発電システム保守のガイドラインが策定された。これにより、既設の設備に対しては保守対策を講じることが必要となっている。そこで、本研究では、太陽光発電システムの電氣的不具合の一つである「地絡」に注目し、システム被害の最小化と早期復旧に向けた遮断技術を確立することを目的に、直流回路シミュレーション解析による保護回路の設計を行った。

## 2. 太陽光発電の電気回路と地絡

図1に太陽光発電システムの模式図を示す。製品レベルの最小単位である太陽電池モジュールは、複数の太陽電池セルを電氣的に直並列に接続し、持ち運びできるようにフレームに収められている。太陽電池モジュールは出力電圧が数十Vであることから、最終的には、これを複数枚直列に配した太陽電池ストリング(以下ストリング)を単位とすることで、パワーコンディショナ(以下PCS)を通して系統連系へ供給される。このPCS直前までの一連の回路を太陽電池アレイ(以下アレイ)と呼ぶ。

このようにアレイ内は複雑な直並列の電気回路とな

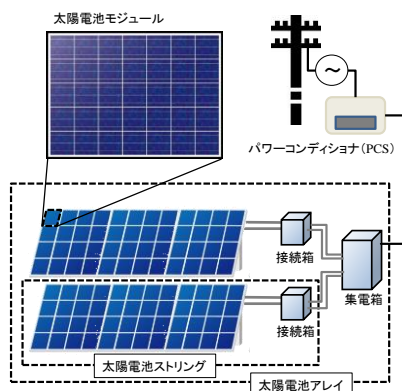


図1 太陽光発電システムの模式図

っていることから、高電圧ストリングから低電圧ストリングへの逆流防止や雷サージの過電圧回避のための外部保護装置である逆流防止ダイオードやサージ防護デバイスが設けられている。また、太陽光発電設備を設置するにあたっては、電気事業法に基づきモジュールの開放電圧が300Vを超えるアレイや金属製外箱・架台等のすべての金属部は等電位化され、大地に接続(アース)する必要がある。一方で、アレイ内に絶縁不良があると、電気回路が外部と意図しない形で接触することで地絡が生じる場合がある<sup>2)</sup>。

## 3. 地絡の電流特性解析と対策法の検討

### 3.1 負極側逆流防止ダイオード設置回路

逆流防止ダイオード(以下BLD)は、アレイを構成する他のストリングからの回り込み電流(逆電流)を防ぐことができる。このため地絡アークによって任意のストリングの電圧が低下した場合でも、事故による逆電流の流入を防ぐことができる。そこで、複数の地絡事故を想定した際のBLDの効果を検証した。ANALOG DEVICES社の電気回路シミュレーターLTspiceを用いて解析し、逆流防止効果を検証した。図2に、負極側にBLDを設置した出力約4.6kWの4直列4並列のアレイの場合の接続図を示す。このケースにおいて、中間電圧部(大地と同電位)と負極側とで多点地絡が発生した場合を考える。このとき、PCSでは地絡検知器が動作して解列されるため、各正常ストリングからの発電電流は地絡部位に

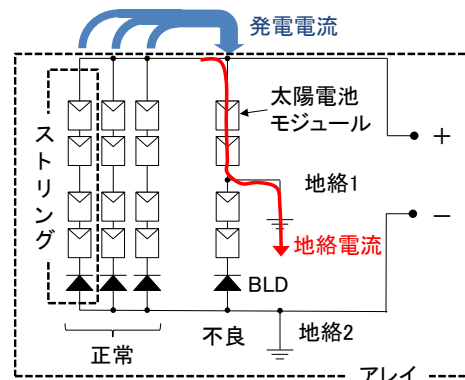


図2 負極側BLD設置時の太陽電池アレイ接続図

\*電子情報部

流入する。この電流値は、各正常ストリングからの開放電圧が107Vのときに最大となり、発電時とは逆方向で最大30.2Aに達することが明らかになった。この様に、多点地絡が発生した場合において、負極のみのBLD設置では事故電流を適切に遮断しない場合がある。このことから、システム被害の最小化の観点からは、新たに各ストリングの正極側へ正常ストリングの定格電流値である10A以上から30A以下のヒューズを導入することが有効である。これにより、事故電流が遮断用スイッチとして動作し、地絡ストリングの物理的な回路遮断が可能になると考えられる。

### 3. 2 両極BLD設置回路

BLDの負極設置は逆電流の保護に有効であるが、前項のような多点地絡回路の遮断技術としては限界がある。そこで、両極へのBLD設置のシミュレーション解析を実施した。実際の解析に用いた回路パターンを図3に示す。種々の地絡事故を想定して解析を実施した結果、いずれの地絡においても過電流および逆電流に対する保護に対して有効に機能することが明らかとなった。一方で、負極BLD設置の場合、システム定格出力( $P_{max}$ )は4.664 kWであるのに対して両極BLD設置の場

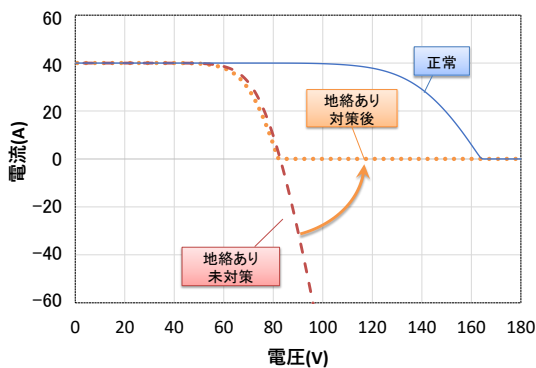
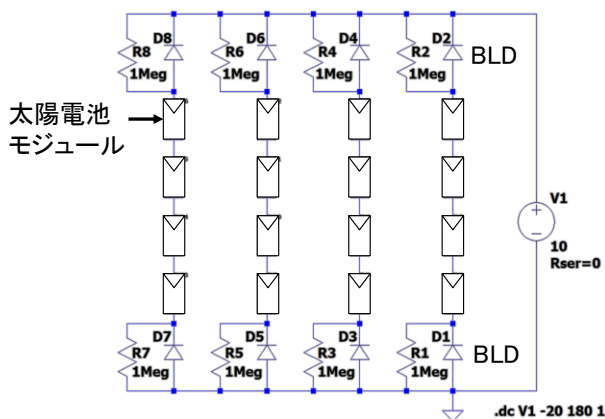


図3 両極BLD設置のLTspiceシミュレーション回路(上)と地絡発生前後の解析結果(下)

合は4.584 kWであった。これより、BLDの追加による電力損失は1個当たり約1.7%(20W)であり、システム全体に占める割合としては軽微である。このことから、過電流保護の最も効果的な方法としては、両極へのBLDの設置であることが明らかとなった。一方で、保護素子の数が増えることによる不具合リスクや、損失熱による接続箱の熱対策や熱設計といった新たな課題が考えられることから、リスク許容度を考えながら費用対効果の面で最適な保護回路を選定する必要が生じる。その際においても電気回路シミュレーションは、各種モデルの短絡電流の大きさや電力損失の可視化に有効であると考えられる。

### 4. 結 言

太陽光発電システムの地絡遮断技術を確立することを目的に、出力約4.6kWの太陽電池アレイを対象に直流回路シミュレーターLTspiceを用いたシミュレーション解析から保護回路の設計を行った。その結果、以下のことを明らかとなった。

- (1) 負極側への逆流防止ダイオードを設置した回路において、不良ストリングへの地絡部への逆電流が最大30.2Aとなることを明らかとなった。また、地絡電流によるシステム被害の最小化としては、新たに正極側へのヒューズの導入による回路遮断手法を提案した。
- (2) 種々の地絡事故を想定して解析を実施した結果、両極への逆流防止ダイオードの設置が逆電流保護の観点で最も有効であることが明らかとなった。一方で、逆流防止ダイオードの設置により1個当たり約20Wの電力損失が生じることから、リスク許容度に応じた保護回路の設計が必要であると考えられる。

### 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、終始適切なご助言を頂いた国立研究開発法人産業技術総合研究所太陽光発電センター増田淳氏(現新潟大学)に感謝します。

### 参考文献

- 1) “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)”. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所太陽光発電研究センター. 2019, p. 8.
- 2) 石井隆文. 太陽光発電システムの直流電気安全技術. ENEOS Technical Report. 2015, no. 57, vol.1, p. 17-24.