

オンサイト太陽電池の断線故障検知システムの開発

橘泰至* 豊田丈紫* 中野幸一**

近年、大規模な太陽光発電の普及が進み、システム全体では発電を継続しているものの、設置後に経年劣化した一部の太陽電池が放置される事例が増えている。中でも断線故障した太陽電池は、出力の低下を招くだけでなく、断線箇所の発熱や放電による火災の危険性を高めることが知られている。太陽電池が設置された現場での検査手法として、太陽電池ストリング単位で電流-電圧特性を測定する方法が主流になっている。一方で、発電による電力の回収を中断する必要があること、光環境(日射強度、影等)の違いの影響を受けて検査精度が低下することが課題になっている。そこで、本研究では、太陽電池が発電していない夜間の電流-電圧(ダークI-V)特性を測定することで周囲の環境に左右されずに太陽電池の断線故障を検知するシステムを開発した。

キーワード: 断線故障, ダークI-V特性, 太陽電池

Development of a System to find On-site Photovoltaic Disconnection Failures

Yasushi TACHIBANA, Takeshi TOYODA and Koichi NAKANO

Photovoltaic power generation has become more widespread in recent years. However, maintenance inspection has not been carried out, in spite of the fact that long-term use causes degradation of modules. In particular, disconnection failure can cause not only a decrease in the power generation output, but also an increase of the risk of fire due to abnormal heat or spark discharge. Although photovoltaic power generation is generally performed by measuring the I-V characteristics of photovoltaic strings on-site in the daytime, there are some disadvantages: 1) Photovoltaic power generation must be suspended during testing, 2) The test is influenced by environmental conditions such as light strength, shadows of buildings and trees, and so on. In this study, we developed an inspection system to find a disconnection failures in photovoltaic string circuits that measure dark I-V characteristics at night.

Keywords : disconnection failure, dark I-V characteristic, photovoltaic

1. 緒 言

近年は国のエネルギー施策が充実し、太陽光発電システム(発電システム)の普及が進んでいる。これらを構成する太陽電池は、長期間屋外に曝されることで各種のストレス(熱/風/雪/紫外線/雨/湿度等の雰囲気)を受け劣化する。発電システムは20年超の稼動を期待されるが、実際に10年間以上使用した太陽電池パネル(モジュール)を取り外して屋内で評価試験を実施した結果から、性能の著しい低下や、断線故障が疑われる事例が報告^{1),2)}されている。断線故障した太陽電池は、発電出力の低下を招くだけでなく、断線箇所によっては発熱や放電による火災の危険性が高まる^{3),4)}ことが知られているが、多数のモジュールで構成される発電

システムから断線故障した一部の太陽電池を検知する実用的な方法がないため、そのまま放置される事例⁵⁾が生じている。そのため、太陽電池が設置された現場(オンサイト)で断線故障の検査を実施することが望まれている。

現状における太陽電池の故障診断は、複数のモジュール(ストリング)単位で昼間に電流-電圧(I-V)特性を測定する方法が主流である。しかし、診断中に発電電力の回収を中断する必要があること、光環境(日射強度、光の入射角度、周囲構造物などの影、積雪)の影響を受けて測定精度が低下することが課題になっており、実用性に乏しい。

本稿では、普及の進んでいる結晶シリコン系太陽電池を対象に、太陽電池が発電していない夜間のダークI-V特性を測定することで周囲の環境に左右されずに

*電子情報部 **企画指導部

断線故障をストリング単位で検知^{6),7)}するシステムの開発について報告する。

2. 断線検知方法の開発

2.1 発電システムの概要

一般的なストリングの概略図を図1に示す。モジュールは、太陽電池素子(セル)や、セルが故障した際の安全回路であるバイパスダイオード(BPD)で構成される。セルとBPDを並列に接続した集合体(クラスタ)は、一部のセルが故障しても発電を継続できる設計になっている。また、ストリングは、前述したモジュールを複数台直列に接続することで構成される。発電する電力は、配電盤において複数のストリングから集約され、電力変換を通して外部に送電される。

本開発では、配電盤において遮断器の開放や端子を外すなどして、ストリング単位でダークI-V特性を測定し、断線を検知する。断線検知システムの動作検証には、石川県工業試験場(工試)において平成10年より18年間稼働している発電システムを用いた。なお、工試のモジュールは3クラスタで、ストリングは12モジュールで構成されている。

2.2 ストリング内での断線の種類

ストリング内の断線箇所を、クラスタ内とそれ以外に分ける。クラスタ外は、例えばモジュール間を接続するケーブルの断線等であり、ストリング回路が開放の状態になるため電流が流れなくなる。この場合の故障検知は比較的容易である。一方で、クラスタ内の断線は、必ずしも回路が開放にならず、図2に示すように電流が流れる。クラスタ内における断線箇所は、複数のセルを直列に接続した発電回路か、またはBPD回路かによって電流の経路が異なり、それぞれ違ったダークI-V特性が生じることから、断線の有無を特定できる。よって本稿ではクラスタ内の断線故障について述べる。

2.3 モジュールでの断線測定実験

工試において屋外で18年間使用したモジュールから測定試料を選定した。選定したモジュールの標準試験条件 (Standard test conditions (STC) :日射強度 $1\text{kW}/\text{m}^2$, エアマス1.5, 太陽電池温度 25°C)における発電特性を測定した結果を図3に示す。断線故障が存在するモジュールの発電特性は、断線故障が存在しないモジュール

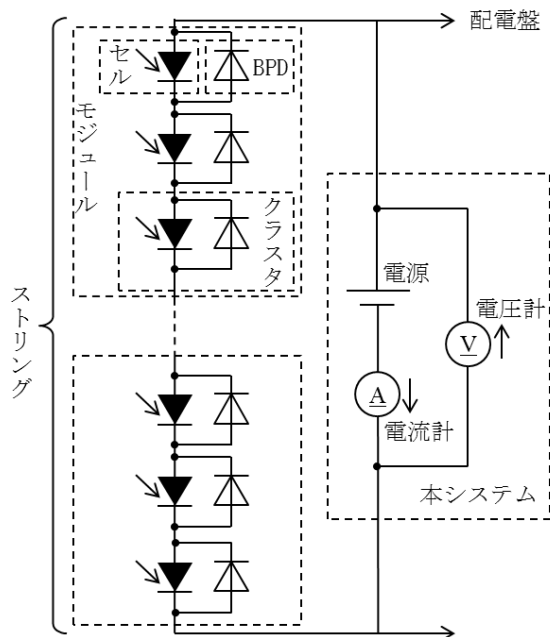


図1 太陽電池との接続

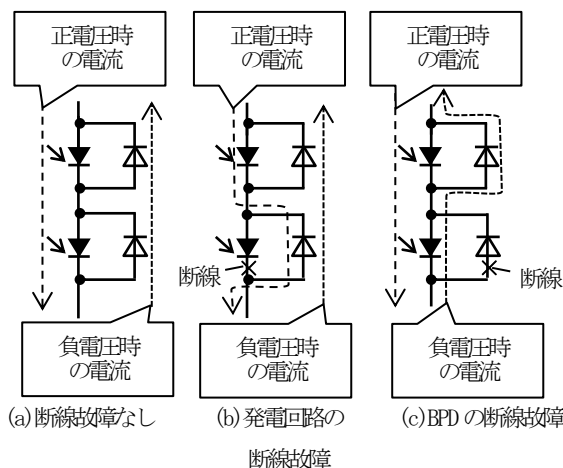


図2 クラスタ内断線での電流の流れ

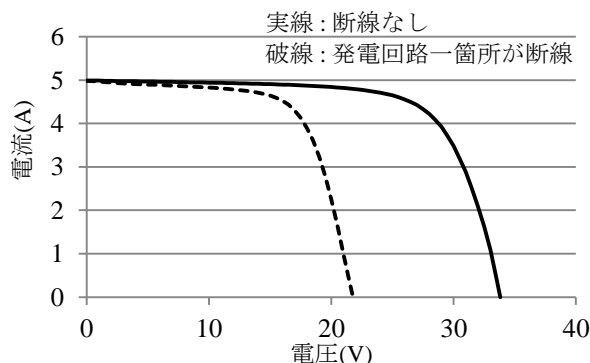


図3 STCにおけるモジュールの発電特性の例

の特性と比較して、最大出力、開放電圧、定格最大出力電圧(V_{pm})がいずれも2/3弱であった。且つ、短絡電流、最大出力動作電流、曲線因子は、約95~100%

に推移した。これらのことから、出力特性が低下したモジュールでは、構成する3つのクラスタの内1つのクラスタで断線故障が存在しており、発電時には断線故障している発電回路と並列接続されるBPDが通電することで、I-V特性における出力特性および電圧特性が2/3弱になったと考察できる。

ダークI-V特性による断線検知の測定には、電圧源として発電時の順方向を+に接続した出力可変の直流電源及び電流計を用いた。1台のモジュールを暗幕で覆い、電圧を+30Vから-30Vまで変化させてダークI-V特性を測定した。

2. 3. 1 発電回路内の断線故障検知

断線故障が存在しないモジュールでは、正電圧時において図2(a)に示すように、モジュールの発電回路に電流が流れ、セルの特性が図4実線のように得られる。発電回路に断線故障が存在するモジュールでは、断線部へ通電しないため、図2(b)に示すように正電圧時には断線部と並列接続されるBPD回路へ電流が流れる。この場合のダークI-V特性は、図4破線のように得られる。断線故障していないモジュールとは特性が異なり、BPDの逆バイアス特性が支配的になる。そのため、特にモジュールの V_{pm} である26.9V以上の電圧領域で差異が顕著である。このダークI-V特性の差異を見出すことで、断線故障の有無を検出することが可能である。また、モジュールがストリング状態であったとしても、発電回路に1箇所でも断線故障がある場合には、BPDの逆バイアス特性が得られるため、断線故障の検知が可能である。

2. 3. 2 BPD回路の断線検知

BPD回路に断線故障がない場合には、発電回路における断線故障の有無に関わらず、負電圧時において図2(a)(b)に示すようにBPD側の回路に電流が流れ、図4の負電圧領域の実線に示すダークI-V特性が得られる。モジュール内において3直列に接続されるBPDの内、1つを意図的に断線した後のダークI-V特性を図5破線に示す。断線故障があるBPD回路には通電しないため、図2(c)に示すように負電圧時には断線部と並列接続される発電回路へ電流が流れる。この場合のダークI-V特性は、セルの逆バイアス特性が支配的となる。

その結果、BPD回路に断線故障が存在するモジュールと、存在しないモジュールでは、特に-2V以下の電

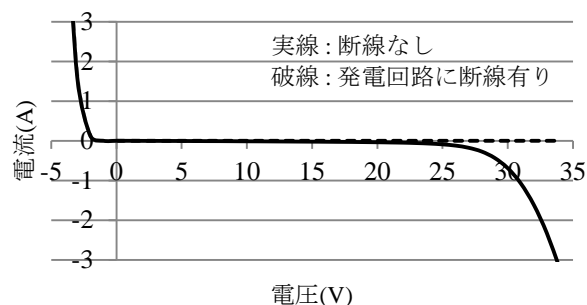


図4 モジュールのダークI-V特性

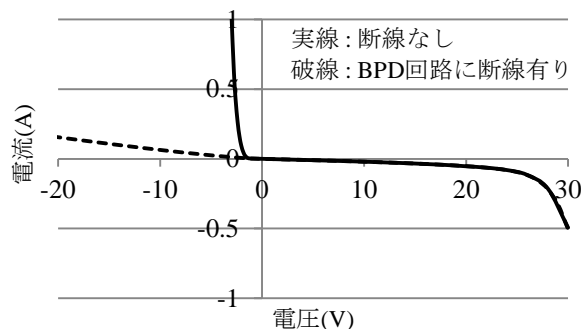


図5 モジュールのダークI-V特性

圧領域において特性の差が顕著であった。この特性の差を見出すことで、発電回路同様に、BPD回路でも断線故障を検出することができる。BPD回路における特性の差は-3Vで約1Aであり、発電回路と比較して小さな電圧でも電流値の差が顕著に現れている。

3. 検査システムの試作

通常の発電システムでは、モジュールを複数台直列に接続し、 V_{pm} が数百Vのストリングとして構成し配電盤に接続している。モジュールで実験したように、ストリングにおいて V_{pm} 以上の電圧を印加すると、断線の箇所・個数によっては、局部的に電圧が集中印加され、これが更なる故障の要因になる。そこで、低電圧で測定を検討した。

工試の発電システムでは、モジュールを12直列でストリング構成しており、ストリングの V_{pm} は300V以上になる。そこで、モジュールの V_{pm} 以下の電圧で、ストリングにおいてダークI-V特性を精密に測定した。工試発電システムのストリングを測定した結果の一例を図6に示す。発電回路に断線故障が存在しているストリングと断線故障が存在しないストリングの特性として、20Vで約2mAの差を確認できた。

これらの結果を基に電流検知精度を向上して試作した検知装置を図7に示す。本装置は、電源部、計測・

制御部，表示部からなる。発電システムにおいて，配電盤でストリング端子に対して図1に示すように接続し，ストリングにおける正電圧から負電圧までのダークI-V特性を測定することで，セル側の発電回路およびBPD回路の断線故障を検知することができる。ストリング内の断線が生じる箇所は，モジュール外，クラスタ内の発電回路とBPD回路に分類でき，本システムは上記全ての断線故障を検知するものである。

本システムを工試発電システムで夜間に実用したところ，夜間照明の中でも20Vの電圧印加でストリングの断線故障を検出できる結果が得られた。本システムを用いれば，発電を中断せずに，夜間に，ストリング単位で断線故障の検査が可能になる。

また，オンサイトにおいてEL画像を撮影する際には，ストリングに開放電圧程度の順電圧を印加する。ストリングの発電回路に断線故障が存在している場合には，前述の通り太陽電池を更に破損させる場合がある。そのため本システムは，EL画像撮影の事前にストリング内の断線故障の存在を検査する場合にも有用である。この場合，太陽電池をEL発光させるための電源を流用し， μA 単位の分解能を持つ電流計を付加するのみで実施可能であるという特長を持つ。また，いずれも夜間での検査であるため，本研究方式による断線検査の後に，続けてEL撮影を実施できる点は，本方式の利点である。

4. 結 言

ダークI-V特性を測定することにより，太陽電池の劣化による断線故障を検知可能な特長を持つシステムを開発した。本システムを用いれば，ストリングの発電回路およびBPD回路において断線故障が1箇所でも存在する場合にも検知が可能であり，また検査により太陽電池を劣化させる恐れもない。そのため，EL画像撮影の事前検査としても有用である。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり，測定のご協力，ご助言を頂いた国立研究開発法人産業技術総合研究所，(株)成宏電機に感謝します。

参考文献

1) 橘泰至，加藤直孝，阪本貞夫，増田淳，土井卓也，清水成宜，計智郎，門脇将，田中秀樹，辺田祐志，小野里淳，鈴

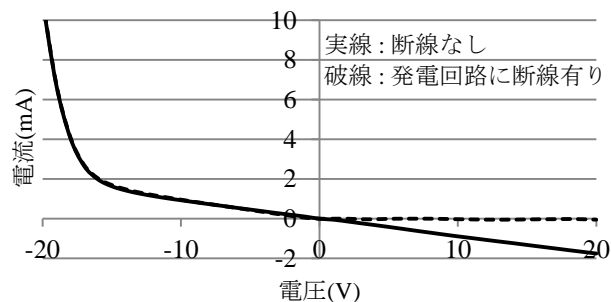


図6 スtringのダークI-V特性

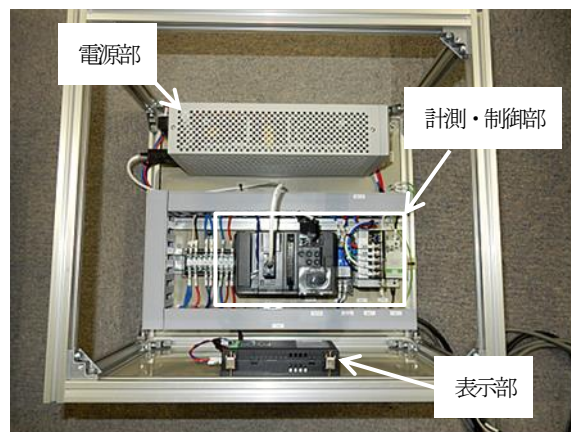


図7 開発した検査装置

木健太郎．“長期曝露モジュールの評価と発電量低下の要因考察”．第10回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム予稿集．石川．2013-5-23/24，日本学術振興会産学協力研究委員会第175委員会．2013，p. 60-61.

- 2) 第Ⅱ期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム最終成果報告書．産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター．2014，p. 23-131.
- 3) 加藤和彦．“太陽光発電システムの安全性の確立に向けて”．電気学会誌．2014，vol.134，no.10，p. 672-676.
- 4) 池田一昭．“太陽光発電システムの直流電気事故対策”．電気学会誌．2014，vol.134，no.10，p. 683-687.
- 5) 加藤和彦．太陽光発電システムの不具合事例ファイル．日刊工業新聞社．2010，p. 41-121.
- 6) 橘泰至，豊田丈紫，中野幸一．“外部電源による太陽電池高抵抗部の検知手法”．太陽／風力エネルギー講演論文集2015．宮崎．2015-11-26/27，日本太陽エネルギー学会，日本風力エネルギー学会．2015，p. 265-266.
- 7) 橘泰至，豊田丈紫，中野幸一．“発電しないクラスタを含む太陽電池の外部電源を用いた検知方法”．太陽／風力エネルギー講演論文集2014．福島．2014-11-13/14，日本太陽エネルギー学会，日本風力エネルギー学会．2014，p. 293-294.