

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：55301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04457

研究課題名（和文）人工知能を用いて太陽光発電システムの火災を予防する日時計式故障発見法の開発

研究課題名（英文）Development of a sundial fault detection method using machine learning to prevent fires in photovoltaic system

研究代表者

桶 真一郎 (Oke, Shinichiro)

津山工業高等専門学校・総合理工学科・教授

研究者番号：20362329

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：太陽光発電システムが急速に普及するとともに、致命的な故障の事例が目立つようになってきた。そのなかでもバイパスダイオード（BPD）の短絡故障は火災の原因となることがあり、その早期発見法が求められている。日時計式故障発見法は、基本的な計測データのみを用いて短絡故障BPDの位置を特定する方法である。本研究を通して、太陽の動きとともに移動する部分影が生じるように遮光ポールを設け、継続して計測した日射強度、最大電力点電力、最大電力点電流のデータを用いて機械学習による異常値検出をすることで、多数の太陽電池のなかから短絡故障BPDを搭載した太陽電池の位置を特定することが可能であることを確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽電池に搭載されているバイパスダイオード（BPD）の短絡故障は火災の原因となることがある。2016年には茨城県内で短絡BPDに流れた逆方向電流による火災が発生した。これは冰山の一角であり、火災の危険性をはらんだ設備は全国各地にあると考えられる。我が国の将来の主力電源と位置付けられている太陽光発電のさらなる普及促進のためには、火災につながる致命的な故障を容易かつ確実に発見する手法が求められていた。日時計式故障発見法は、多くのメガソーラーなどで日常的に計測しているデータのみを用いて簡便に故障BPDを発見・特定できる手法であり、太陽光発電設備の安全性の向上に貢献する技術である。

研究成果の概要（英文）：The rapid growth of photovoltaic systems highlights the importance of addressing catastrophic failures, particularly short circuits in bypass diodes (BPDs) that can lead to fires. Developing an early detection method is crucial. The sundial fault detection method allows the identification of faulty BPDs using basic measurement data. In this study, I confirmed the feasibility of locating a solar cell with a faulty BPD among many cells. This is achieved by using a shading pole to create a moving partial shadow synchronized with the sun's movement. Machine learning is applied to analyze continuously measured data, for detecting abnormal values. The findings indicate that it's possible to identify the location of a faulty BPD among multiple solar cells by utilizing machine learning to detect anomalous values in the data pertaining to solar irradiance, maximum power point power, and maximum power point current.

研究分野：エネルギーシステム工学

キーワード：太陽光発電 バイパスダイオード 故障検出 機械学習 部分影 火災予防

## 1. 研究開始当初の背景

太陽光発電システム (PVS) が急速に普及するとともに、火災の原因となる致命的な故障の事例が注目されるようになってきた。PVS は、故障の即時発見や火災の消火が困難という問題を抱えている。そのなかでも最近とくに注目されているのが、バイパスダイオード (BPD) の故障である。BPD の故障は大きく分けて開放故障と短絡故障がある (表 1)。

表 1 BPD の開放故障と短絡故障

故障の種類	開放故障	短絡故障
過熱する部分とその原因	PV セル, インターコネクタに流れる順方向電流	BPD に流れる循環電流, バイパス電流, 逆方向電流
発電出力への影響	通常は変化なし。影が生じたときなどに電流が低下。	短絡したセルストリングの分だけ電圧が低下。

開放故障については、PV モジュールが過熱し火災に至る危険性が広く認識されている。しかし、通常の状態では PVS の出力低下を引き起こさないため運転データからみつけることは困難であった。また、従来の検出手法のほとんどは、大規模な遮光や夜間作業などを必要としていた。BPD の短絡故障についてはその危険性が正しく認識されているとはいえず、開放故障に比べて研究が遅れている。2016 年には茨城県内のメガソーラーで短絡 BPD に流れた逆方向電流による火災が発生した。これは氷山の一角であり、火災の危険性をはらんだ PVS は全国各地に無数にあると考えられ、それは 2023 年現在でも続いている。

太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーは、2018 年 7 月に閣議決定された第 5 次エネルギー基本計画によって我が国の将来の主力電源と位置付けられた。太陽光発電のさらなる普及促進のためには、火災につながる致命的な故障を容易かつ確実に発見する手法の実現により太陽光発電設備の安全性を向上させることが必要不可欠である。

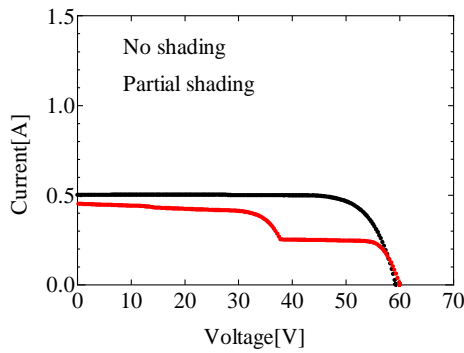
## 2. 研究の目的

本研究は、メガソーラー、野立てソーラー、住宅用ソーラーなどで日常的に計測している基本的な発電データ (電圧、電流、電力) のみを用いて、すでに発生しているが表面化していない BPD の故障を発見する方法を開発することを目的とした。それを実現するために、PV アレイ上に生じる部分影の位置と電流 - 電圧特性との関係を利用して短絡故障 BPD の位置を特定する日時計式故障発見法を提案した。提案手法は、PV アレイに含まれる BPD の故障の有無を判定することができることに加え、メガソーラーサイトの中にある火災の原因となることが知られている短絡故障 BPD の位置を特定することが可能である。

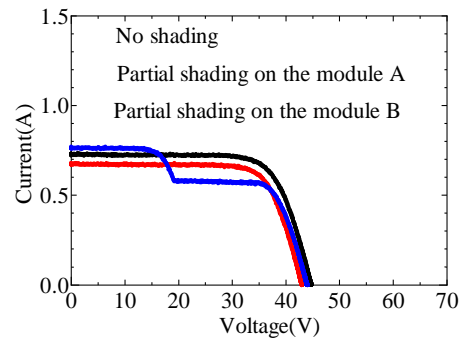
## 3. 研究の方法

### (1) 部分影による故障 BPD 検出の原理

PV アレイ中に短絡故障 BPD が含まれている場合、PV アレイ全体の開放電圧はそれらの BPD に対応するクラスタの分だけ低下する。そのため、健全時の開放電圧と比較することで PV アレイに短絡故障 BPD が含まれていることがわかる。しかしながら、どの PV モジュールに短絡故障 BPD が含まれているかの特定は容易でない。本研究で提案する日時計式故障発見法は部分影を利用する。図 1 に、短絡故障 BPD の有無による PV アレイの I-V 特性の違いを示す。同図 (a) に示すように、健全な BPD を備えた PV モジュール上に部分影が生じたときは、影による光電流の低下により I-V カーブには段差が生じる。一方で、同図 (b) に示す短絡故障 BPD を含む PV アレイの場合、故障 BPD を備えたモジュールは発電に寄与していないため、その上に影が生じて I-V カーブに段差は生じない。このように、PV アレイ上で部分



(a) 健全な PV アレイ



(b) 短絡故障 BPD を含む PV アレイ

図 1 短絡故障 BPD の有無と部分影が生じたときの I-V 特性との関係

影が移動したときの I-V カーブを観察すれば、影と BPD との位置関係から短絡故障 BPD を特定できる。

#### (2) 静的な部分影による検出原理の検証

3 枚の PV モジュール (KIS GT20, 定格出力: 24 W, 開放電圧: 22.4 V, 短絡電流: 1.40 A, 寸法: W350 × H538 mm) を直列接続した PV アレイを製作し、そのうち中央の 1 枚に実際の PVS から取得した短絡故障 BPD を接続した。本実験では、W87.5 × H530 mm のゴムシートを PV アレイ上に密着させて遮光し、それを段階的に動かした。図 2 に、実験の様子を示す。短絡故障 BPD はモジュール B に接続した。部分影は、左側にあるモジュール A の左端からモジュール C の方向に 20 mm ずつずらすように動かした。部分影の位置は、モジュール A の左端を基準点とし、そこから部分影の中心までの距離で表すこととした。この実験を通して、部分影の位置と短絡故障 BPD を含む PV アレイの発電特性との関係を明らかにした。

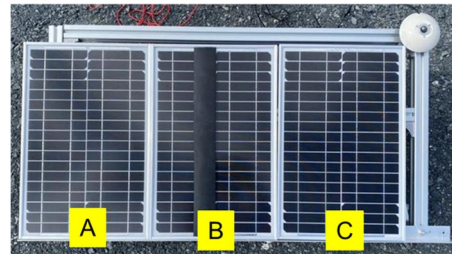


図 2 静的な部分影による遮光

#### (3) 太陽の運行とともに移動する影の利用

太陽の運行を利用し、無人かつ自動で短絡故障 BPD の検出を可能とする手法を考案した。PV アレイの南側に遮光ポールを設置することで、太陽の運行とともに PV アレイ上を遮光ポールの影が移動する。図 3 に、PV アレイ上に遮光ポールの影が生じている様子を示す。遮光ポール(部分影)の幅は 25 mm で、部分影は太陽の運行とともに西側のモジュール A からかかりはじめ、中央にある短絡故障 BPD を備えたモジュール B、東側のモジュール C へと移動する。実験中は、影部と日向部のそれぞれで日射強度を計測した。遮光ポールによって生じる部分影の場合は、ゴムシートを PV モジュールに密着させた場合と異なり影部に入射する日射がゼロではない。そのため、快晴でない場合には影部と日向部との日射強度の差が小さく、結果として I-V カーブに生じる段差が小さくなる。

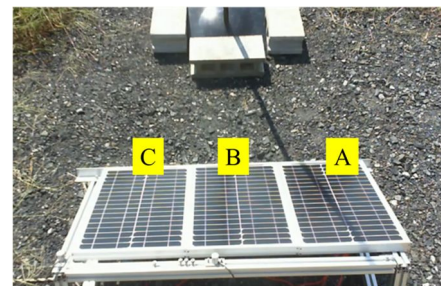


図 3 太陽の運行とともに移動する部分影による遮光

#### (4) 機械学習を用いた故障判定

太陽の運行とともに移動する影を利用した場合、部分影の位置を短絡故障 BPD の位置との

関係を発電特性データから直接読み取することは困難であった。本研究では、機械学習を用いることで、計測データに含まれる特徴量に基づき短絡故障 BPD を検出することを試みた。本研究では機械学習モデルとしてランダムフォレストを採用した。学習に用いる特徴量は、最大電力点電力、最大電力点電流、および日向部の日射強度とした。また、モデルの学習と評価においてはデータを3分割して交差検証を実施した。

#### 4. 研究成果

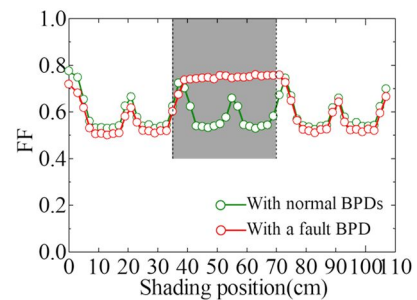
##### (1) 部分影を用いた短絡故障 BPD の検出原理を確認

図4に、PVアレイ上で部分影を少しずつ動かしたときの曲線因子 (FF)、最大電力点電力 ( $P_{max}$ )、および最大電力点電流 ( $I_{pm}$ ) の変化の様子を示す (研究方法の(2)に対応)。なお、 $P_{max}$  と  $I_{pm}$  は日射強度で規格化した。図中のハッチング部は短絡故障 BPD を備えたモジュール B の上に部分影があることを示している。同図(a)から、短絡故障 BPD を備えたモジュール B の上に部分影があるときは I-V カーブに段差がないため FF は高く (期間中の平均値: 0.73)、健全な BPD を備えたモジュール A やモジュール C の上に部分影があるときは I-V カーブに段差が生じるため FF が低い (期間中の平均値: 0.58) ことがわかる。同図(b)および(c)に示す  $P_{max}$  および  $I_{pm}$  についても、短絡故障 BPD を備えたモジュール B の上に部分影があるときは高く ( $P_{max}$  の期間中の平均値:  $47.6 \text{ W/kW/m}^2$ ,  $I_{pm}$  の期間中の平均値:  $1.36 \text{ A/kW/m}^2$ )、健全な BPD を備えたモジュール A やモジュール C の上に部分影があるときは低い ( $P_{max}$  の期間中の平均値:  $38.2 \text{ W/kW/m}^2$ ,  $I_{pm}$  の期間中の平均値:  $1.00 \text{ A/kW/m}^2$ )。

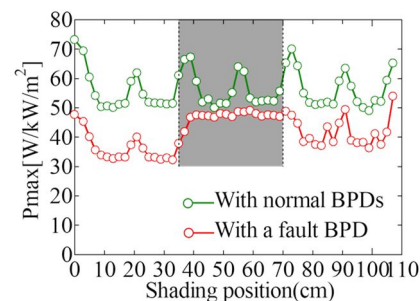
このように、PVアレイ上の部分影の位置と発電特性との関係から短絡故障 BPD の位置を特定することが可能であることを確かめた。しかしながら、これらの諸特性のうち FF はその算出に短絡電流と開放電圧が必要であり、PVアレイに接続されたパワーコンディショナ (PCS) の運転中には計測することができない。その一方で、 $P_{max}$  と  $I_{pm}$  は PCS が最大電力点追従 (MPPT) 制御している場合の動作点として容易に得られる。また、多くの PVS では基本的なデータとして日射強度を計測している。したがって、部分影と PVS の運転中に得られるデータ (日射強度と  $P_{max}$  あるいは  $I_{pm}$ ) との関係に基づいて短絡故障 BPD の位置の特定が可能であることが明らかになった。ただし、PVアレイ上で遮光用のゴムシートを動かす作業は作業者の転倒や感電などの事故につながる恐れがあるため、実用性の観点からは問題がある。

##### (2) 太陽の運行を利用した日時計式故障発見法の実用性を評価

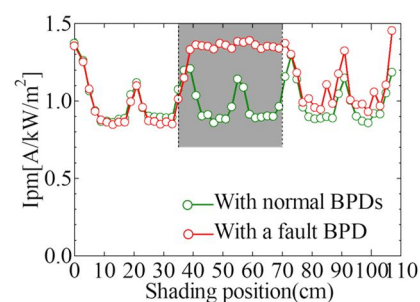
図5に、PVアレイ上を部分影が移動したときの  $P_{max}$  と  $I_{pm}$  の変化の様子を示す。日射変動の影響を除外するため、日向部の日射強度で規格化した。図中のハッチング部は、短絡故障



(a) 曲線因子 FF



(b) 最大電力点電力  $P_{max}$



(c) 最大電力点電流  $I_{pm}$

図4 部分影の位置と短絡故障 BPD を含む PV アレイの発電特性との関係



BPD を備えたモジュール B の上に部分影がある時間帯を示している。提案手法は、その時間帯における  $P_{max}$  と  $I_{pm}$  がそれ以外の場合よりも大きくなることを利用し、短絡故障 BPD を検出する。しかしながら、同図に示す規格化した  $P_{max}$  と  $I_{pm}$  は不規則に変動しており、ハッチング部とそれ以外との違いは明確でないため、静的な部分影の場合のように計測データを線形分離することは困難である。その理由としては、遮光ポールによって生じる部分影はゴムシートを使った静的な部分影よりも影部と日向部との日射強度の差が小さいこと、影が PV モジュールに対して斜め方向に生じたり 2 枚以上の PV モジュールをまたいで生じたりすること、長時間にわたる計測中に日射が大きく変動する場合があることが挙げられる。

このように、日時計式故障発見法を実際の PV アレイに適用するためには、機械学習などを用いた非線形の手法が重要であることを明らかにした。

### (3) 機械学習を用いた故障検出精度の向上

図 6 に、機械学習によって得られた異常スコアを示す。ハッチングの意味は図 5 と同じである。図 6 から、故障部に部分影が生じた場合の異常スコアはそれ以外の場合より明らかに高いことがわかる。しかしながら、故障部であっても異常スコアが低い場合（偽陰性、見逃し）や、健全部であっても異常スコアが高い場合（偽陽性、誤報）があることがわかる。今回は、異常スコアが 0.7 以上の場合を故障とするようにしきい値を設定して故障判定をした。その結果を表 2 に示す。同表では、故障を「陽性」と表現している。同表のデータから適合率と再現率を求めた。適合率は故障と判定されたうち実際に故障であった割合、再現率は実際に故障であるもののうち故障と判定された割合である。しきい値を 0.7 とした場合、適合率は 93.3%、再現率は 68.4%であった。再現率はやや低いが、安全性向上の観点からは誤報よりも見逃しを減らすことが重要であるため、十分な結果といえよう。

このように、PV アレイの一部に部分影が生じるように遮光ポールを設け、ある期間にわたって継続して計測した日射強度、最大電力点電力、最大電力点電流のデータを用いて機械学習による異常値検出をすることで、PV アレイを構成する多数の PV モジュールのなかにある短絡故障 BPD の位置を特定することが可能であることがわかった。すなわち、日時計式故障発見法は PV アレイの運転中に得られる発電特性データのみを用いて非常に簡便な方法での故障検出が可能であることを明らかにできた。

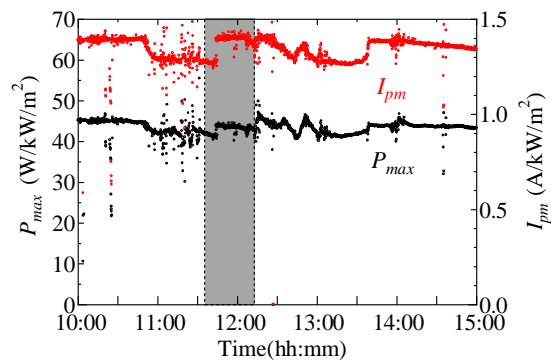


図 5 遮光ポールによる部分影の位置と短絡故障 BPD を含む PV アレイの発電特性との関係

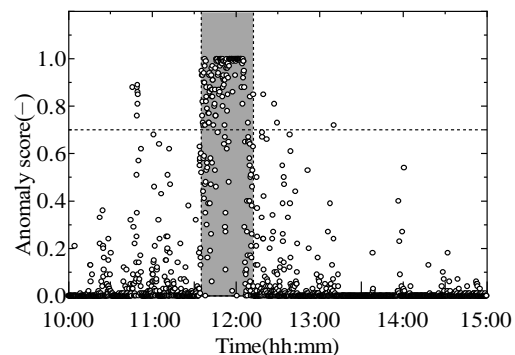


図 6 機械学習で得られた異常値スコア

表 2 機械学習を用いた故障判定の結果

しきい値：0.7		実際	
		陽性	陰性
判定	陽性	154	11
	陰性	71	1683

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hamada Toshiyuki, Nakamoto Kenta, Nanno Ikuo, Ishikura Norio, Oke Shinichiro, Fujii Masayuki	4. 巻 598LNEE
2. 論文標題 Characteristics of Failed Bypass Diodes for Photovoltaic Module by Artificial and Natural Lightning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Electrical Engineering	6. 最初と最後の頁 1218 ~ 1224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-31676-1_113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Salu Naomi Urai, Oke Shinichiro, Ohtake Hideaki	4. 巻 214
2. 論文標題 Impact of overloading of photovoltaic arrays on the evaluation of photovoltaic power generation forecasts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electric Power Systems Research	6. 最初と最後の頁 108930 ~ 108930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsr.2022.108930	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 濱田 俊之、東 知希、南野 郁夫、藤井 雅之、石倉 規雄、桶 真一郎	4. 巻 42
2. 論文標題 太陽電池モジュール内のバイパスダイオードの故障特性が焼損に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気設備学会 論文誌	6. 最初と最後の頁 16 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14936/tieiej.42.3_16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 田皓太, 宮邊滯樹, 桶真一郎, 山田昇
2. 発表標題 マイクロCPV+モジュールと追尾平板太陽電池のフィールド試験による評価
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集2021, pp.173-176 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田航, 桶真一郎, 南野郁夫, 濱田俊之, 藤井雅之, 石倉規雄
2. 発表標題 短絡故障バイパスダイオードを内包した太陽電池アレイのI-V特性
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集2021, pp.127-130 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石倉規雄, 本池竜也, 南野郁夫, 桶真一郎, 藤井雅之, 平田拓也, 濱田俊之
2. 発表標題 発電電圧の変化量による機械学習を用いたホットスポット発生の判定方法
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集2021, pp.55-56 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Koyama, I. Nanno, K. Yamamoto, T. Hamada, S. Oke, N. Ishikura, M. Fujii
2. 発表標題 Proposal of Open Failure BPD Diagnosis in PVS and Shade Data Generation Method
3. 学会等名 IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-47, Virtual meeting), Proc. of PVSC-47, No. #485, ISSN: 0160-8371, June 15 - August 21, (2020), Date Added to IEEE Xplore: 05 January 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Uramatsu, I. Nanno, T. Hamada, S. Oke, N. Ishikura, M. Fujii
2. 発表標題 Prediction of Average Si Temperature inside BPD under lightning Surge by Electric and Temperature Coupled Model
3. 学会等名 IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-47, Virtual meeting), Proc. of PVSC-47, No. #143, ISSN: 0160-8371, June 15 - August 21, (2020), Date Added to IEEE Xplore: 05 January 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Hamada, S. Yoneda, I. Nanno, N. Ishikura, S. Oke, M. Fujii
2. 発表標題 Effect on Bypass Diodes of Passing an Impulse Current through the Metal Frame of a Photovoltaic Module
3. 学会等名 IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-47, Virtual meeting), Proc. of PVSC-47, No. #686, ISSN: 0160-8371, June 15 - August 21, (2020), Date Added to IEEE Xplore: 05 January 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Hamada, K. Nakamoto, I. Nanno, N. Ishikura, S. Oke, M. Fujii
2. 発表標題 Fault Characteristics of Schottky Barrier Diode used as Bypass Diode in Photovoltaic Module against Repetitive Surges
3. 学会等名 IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-47, Virtual meeting), Proc. of PVSC-47, No. #291, ISSN: 0160-8371, June 15 - August 21, (2020), Date Added to IEEE Xplore: 05 January 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桶真一郎, 阿利望未, 大竹秀明
2. 発表標題 太陽光発電電力予測の評価に及ぼす太陽電池モジュールの過積載の影響
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会講演論文集, 7-010 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上淳, 濱田俊之, 桶真一郎, 石倉規雄, 藤井雅之, 南野郁夫
2. 発表標題 BPD開放故障PVのI-V特性を再現したPVアレイ用電気モデルの提案
3. 学会等名 日本太陽光発電学会第17回次世代太陽光発電システムシンポジウム, No.PA-4 (2020)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 道田竜一, 岡村裕太, 野坂優介, 平田拓也, 藤井雅之, 南野郁夫, 濱田俊之, 桶真一郎, 石倉規雄
2. 発表標題 設置から20年経過した太陽電池モジュールの潜在的故障について
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関係学会中国支部連合大会, 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, R20-07-02-01 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本薫平, 南野郁夫, 濱田俊之, 藤井雅之, 平田拓也, 桶真一郎, 石倉規雄
2. 発表標題 太陽光発電システムのI-V 特性を再現する FBモデルの振動を抑制する線形化手法の提案
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関係学会中国支部連合大会, 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, R20-07-02-05 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子真大, 藤本雄大, 濱田俊之, 池田風花, 岡本昌幸, 茂野交市, 南野郁夫, 中本健太, 藤井雅之, 石倉規雄, 桶真一郎
2. 発表標題 金属フレームへのインパルス電流通過がバイパスダイオードに与える影響
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関係学会中国支部連合大会, 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, R20-07-03-01(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊麗生, 藤本雄大, 濱田俊之, 池田風花, 岡本昌幸, 茂野交市, 南野郁夫, 藤井雅之, 石倉規雄, 桶真一郎
2. 発表標題 太陽電池モジュールの出力配線で生じる誘導起電力がバイパスダイオードへ与える影響
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関係学会中国支部連合大会, 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, R20-07-03-03 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮邊澗樹，實官花，桶真一郎，山田昇
2. 発表標題 マイクロCPV+モジュールのフィールド試験
3. 学会等名 令和2年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集，348 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoki Azuma, Toshiyuki Hamada, Ikuo Nanno, Masayuki Fujii, Norio Ishikura and Shinichiro Oke
2. 発表標題 STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN POWER CONSUMPTION AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A FAILED BPD DURING LOAD OPERATION OF A PHOTOVOLTAIC MODULE WITH BYPASS DIODE FAILURE
3. 学会等名 Grand Renewable Energy 2022 International Conference (GRE2022), No. 100035, December 2022, Online conference. (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平田航，祐森柁，桶真一郎，濱田俊之，南野郁夫，藤井雅之，石倉規雄
2. 発表標題 部分影の移動に伴う動作点の変化を用いた短絡故障バイパスダイオードの検出
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集2022，pp.131-134 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井雅之，平田拓也，岡本裕太，南野郁夫，濱田俊之，桶真一郎，石倉規雄
2. 発表標題 PVモジュールの修復と発電特性の評価
3. 学会等名 2022年度(第73回)電気・情報関連学会中国支部連合大会，オンライン開催，(2022年10月22日)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平田航, 桶真一郎, 南野郁夫, 藤井雅之, 石倉規雄, 濱田俊之
2. 発表標題 部分影を利用した短絡故障バイパスダイオード検出手法
3. 学会等名 令和4年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 214 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷戸駿介, 山本薫平, 南野郁夫, 濱田俊之, 藤井雅之, 平田拓也, 桶真一郎, 石倉規雄
2. 発表標題 BPD開放故障PVSの4条件のI-V特性を再現するCPSモデルの提案
3. 学会等名 2022年電気学会産業応用部門(D部門)大会, No. 2-S14-6, 上智大学, (2022年9月1日)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関