

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：52604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04117

研究課題名（和文）PVモジュールから発するノイズの低減を目的とした吸収材およびアンテナ技術の応用

研究課題名（英文）Application of absorber and antenna technology aimed at reducing noise emitted from PV modules

研究代表者

米盛 弘信（YONEMORI, Hironobu）

サレジオ工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10455123

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、太陽光発電における電波障害を改善するためにPVモジュールから放射されるノイズ（磁界）の抑制法を提案することである。そこで、受動的対策法：PVモジュール背面へ異なるノイズ吸収材を付加して最適なノイズ吸収材を選定、能動的対策法：PVモジュールをアンテナとして考え、PVセル同士を接続するバス配線の形状・長さを変更してノイズ発生を抑制、MPPTについて、パワー半導体素子のスイッチング動作がノイズの発生源であることから、スイッチング周波数を変化させて、発電電流・電圧の脈動を観察し、PVモジュールから発生するノイズが低下する条件を解明、以上3つの着眼点によってノイズ低減法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、PVモジュールから放射するノイズを低減するため、以下の3つについて取り組んだ。(1) PVモジュールの背面へ異なるノイズ吸収材を付加し、最適なノイズ吸収材を選定。(2) PVモジュールをアンテナとして考え、PVセル同士を接続するバス配線の形状・長さを変えてノイズ発生を抑制。(3) スwitching動作がノイズの発生源であることから、スイッチング周波数を変化させて、発電電流・電圧の脈動を観察し、PVモジュールから発生するノイズが低下する条件を解明。

以上の研究成果は、近年普及している家庭用、およびメガソーラー発電所などの大規模施設周辺におけるノイズ対策に有効であり、社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）： This study proposes a method for suppressing noise (magnetic field) radiated from PV modules in order to improve radio interference in photovoltaic power generation. Therefore, (1) Passive countermeasure: Add different noise absorbers to the back of the PV module to select the optimum noise absorber, (2) Active countermeasure: Consider the PV module as an antenna, and connect the PV cells to each other. Change the shape and length to suppress noise generation, (3) Regarding MPPT, since the switching operation of the power semiconductor element is the source of noise, change the switching frequency, observe the pulsation of the generated current and voltage, and PV We elucidated the conditions under which the noise generated from the module is reduced, and proposed a noise reduction method based on the above three points of view.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：パワーエレクトロニクス 太陽光発電 ノイズ

1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は、太陽光発電における電波障害を改善するために PV モジュールから放射されるノイズ (磁界) の抑制法を提案することである。現在までの基礎研究において、XYZ の 3 軸で PV モジュール表面の磁束密度分布を観測した結果、PV セルを配線するバスバー上の磁束密度が高くなっていることがわかった。そこで、本申請では発展として、①受動的対策法: PV モジュール背面へ異なるノイズ吸収材を付加して最適なノイズ吸収材を選定、②能動的対策法: PV モジュールをアンテナとして考え、PV セル同士を接続するバスバー配線の形状・長さを変更してノイズ発生を抑制、③MPPT について、パワー半導体素子のスイッチング動作がノイズの発生源であることから、スイッチング周波数を変化させて、発電電流・電圧の脈動を観察し、PV モジュールから発生するノイズが低下する条件を解明、以上 3 つの着眼点によってノイズ低減法を提案する。

従来のノイズ対策としては、PV モジュールと MPPT 等の間にノイズ低減用リアクトルを挿入していた。しかし、ノイズ低減効果が高いわけではなく、更なる改善が求められている。そこで本申請では、PV モジュール単位でノイズを抑制するために、①発生したノイズを PV モジュール背面で吸収する (受動的対策)、②アンテナの英知を応用して電波の放射効率を悪くすることで PV モジュールからノイズを放射しにくくする (能動的対策)、およびノイズ発生源への対策として、③PV モジュールからノイズが発生しにくいスイッチング周波数の解明を行った。これらのアイデアは、学協会における報告例が見当たらず、新規性が認められる。特に PV モジュールをアンテナとして捉えて対策を講じることは、非常に独創的である。また、取り組む 3 つのアイデアは、単独でもノイズ低減効果の発揮を期待できるが、すべてを組み合わせることで相乗効果が期待できる。

本技術を確立することで太陽光発電業界においてクレーム対象となっているノイズ問題の改善が図られる。したがって、今後ますます普及が見込まれる太陽光発電業界の幅広い部分で活用可能な基盤技術になり得る重要なテーマである。

2. 研究の目的

本研究では、PV モジュールから放射するノイズ (磁界) を低減可能な技術開発を行うことが最終目的である。本申請では、以下の 3 つについて取り組んだ。

- (1) 受動的対策法として、PV モジュールの背面へ異なるノイズ吸収材を付加し、最適なノイズ吸収材を選定。
⇒ 発生したノイズを吸収するという見地から、フェライト等の高透磁率材料に着目して実験を行い、材料ごとのノイズ低減率を明らかにする。
 - (2) 能動的対策法として、PV モジュールをアンテナとして考え、PV セル同士を接続するバスバー配線の形状・長さを変更してノイズ発生を抑制。
⇒ PV セル同士の配線が平面蛇行アンテナの一種である「メアングライン・アンテナ」に近似していることから、アンテナ設計の見地からアンテナ効率の悪い条件を PV セルのバスバー配線に適用してノイズ低減が可能であるか明らかにする。
 - (3) MPPT について、パワー半導体素子のスイッチング動作がノイズの発生源であることから、スイッチング周波数を変化させて、発電電流・電圧の脈動を観察し、PV モジュールから発生するノイズが低下する条件を解明。
⇒ ノイズ発生源である MPPT 内部のスイッチング動作の見地から、スイッチング周波数を変化させた場合に PV モジュールから発生するノイズの増減が起きるかを明らかにし、放射ノイズが少ない周波数条件を明らかにする。
- 以上の内容は、報告例が見受けられず、申請者の独自性と創造性が認められる。

3. 研究の方法

(1) 受動的対策法

以下の①②を測定し、①で得た値から②で得た値を減算することで PV モジュール表面から発するノイズを明らかにする。その後(1)式及び(2)式を用いて抑制値及び抑制率を算出する。図 1 に本実験で用いた抑制装置を示す。研究初期の抑制装置では、リッツ線 4 本を 2 段組みにしていたが、最終的には初期との比較のために銅板の横幅をリッツ線 4 本分の幅と一致させた。銅板を採用した理由として、リッツ線では抑制線の隙間が生じることや直径が大きく、磁界がパネルに寄与しない可能性があった。しかし、銅板を用いることでより磁界の密度を高められる点や表皮厚を使用周波数以下で作製できる。また抑制装置の形状は PV モジュールのバスバーに添わせるものとする。

- ① PV モジュール表面から放射されるノイズ
- ② 発電していない際の空間ノイズ

測定は、15W の PV モジュール表面を縦に 5 点、横に 10 点割り振り、その交点である 50 点を

対象とした。作製した抑制線に周波数固定の降圧チョップ回路を接続して、スイッチング動作を行い、ノイズの抑制効果を確認した。本実験では抑制線の本数を1~4本とし、各本数で測定を行った。

$$H_{DEC} = H_{AVE\alpha} - H_{AVE\beta} [A/m] \quad \dots (1)$$

$$S = \frac{H_{DEC}}{H_{AVE\alpha}} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

ただし、 H_{DEC} : 磁界抑制値、 $H_{AVE\alpha}$: 平均磁界強度 α (抑制前)、 $H_{AVE\beta}$: 平均磁界強度 β (抑制後)、 S : 抑制率とする。

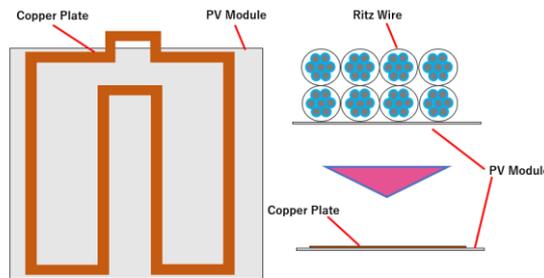


図1 銅板を用いたフラット型抑制装置

(2) 能動的対策法

本着眼点では、PV モジュールを平面アンテナの一種と考え、電磁波の放射を抑制可能か検討することである。一般にアンテナは放射効率が高く設計される。しかし、PV モジュールに関しては放射効率が低く設計する必要があると考える。我々は、バスバーの折り曲げ段数を変化させることにより、周辺磁界への影響を小さくすることを有限要素法 (以下:FEM) による解析によって示唆した。また、一般的な PV モジュールはバスバーのライン数を1本ではなく、断線した際でも発電を可能とする為に3本となっている場合がある。次の取り組みとして、バスバーのライン数と折り曲げ段数を変化させた際の水平面上における周辺磁界に与える影響を確かめるために FEM 解析を行った。

図2にバスバーの折り曲げ段数が2段・ライン数1本の解析モデル形状を示す。解析モデルの厚さを1mmとし、断面形状を長方形とした。同様に、バスバーの中心間隔と全長、断面積を一定として、1段から4段、ライン数1本から3本の解析モデルを製作し、解析を行った。図2の α 線上断面を本稿の結果として示す。

表1に周辺の媒質、バスバーの材料、印加した電流の解析条件を示す。周辺の媒質はPVモジュールが屋外に設置されることから空気とし、バスバーの材料はアルミニウムとした。電流は、直流電流に交流電流を重畳させることでPVモジュールの発電電流を模擬した。具体的な値は表1の通り、直流5Aと0.01Aの余弦波を重畳させた。メッシュに関しては、導体の周辺のみ細かいメッシュになるアダプティブメッシュとした。

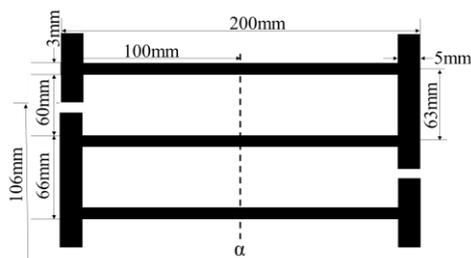


図2 折り曲げ段数2段・ライン数1本における解析モデルの上面図

表1 解析条件

Item	Things
Peripheral medium	Air
Simulated model material	Aluminum
Current	DC current 5A superimposed on cosine 10kHz 0.01A

(3) MPPT の対策法

太陽光発電設備から放射されるノイズの低減法としてはパワーコンディショナと PV モジュールの間にノイズフィルタを挿入するのが一般的である。しかし、フィルタを導入する場合はコストの増加と電力損失が生じる。そこで、我々は、スイッチング電源や非接触給電におけるノイズ低減で注目されているスペクトラム拡散技術を MPPT に応用できないかと考えた。スペクトラム拡散は、デジタル信号を拡散符号と呼ばれる疑似乱数信号によって、広い帯域に拡散することで特定の周波数にエネルギーを集中させない技術である。そのため、本研究では同技術を MPPT のスイッチング動作に導入することで PV モジュールの放射ノイズ低減が可能であるか検討した。ここでは、MPPT 機能を付加した DC-DC コンバータとして基本的な降圧チョップ回路を使用する。また、MPPT の制御アルゴリズムには、一般的に用いられる山登り法を採用した。スペクトラム拡散を適用するにあたり、拡散符号として4ビット符号長15のM系列を使用し、スイッチング周波数を10kHz~20.5kHzの範囲で可変した。

本実験では、MPPT のスイッチング動作にスペクトラム拡散を適用した場合に模擬 PV モジュールから生じるノイズの周波数スペクトルを観測する。そして、従来法の MPPT を使用した場合に発生するノイズと比較してノイズの低減効果を明らかにする。

図3に実験構成を示す。PVモジュールの発電特性を模擬できるTEXIO製直流電源“PSW-360L80”を模擬PVモジュールに接続して30W定格出力のPVモジュールを模擬する。そして、MPPTを接続して最大電力点付近の発電状況を模擬する。ノイズの測定は、マイクロニクス製ループアンテナ“MAN120”を用いて行う。また、測定位置は地上から1m、模擬PVモジュールから50cmの距離とした。さらに、Instek製スペクトラムアナライザ“GSP-9330”にてPVモジュールから生じたノイズのスペクトルを観測した。

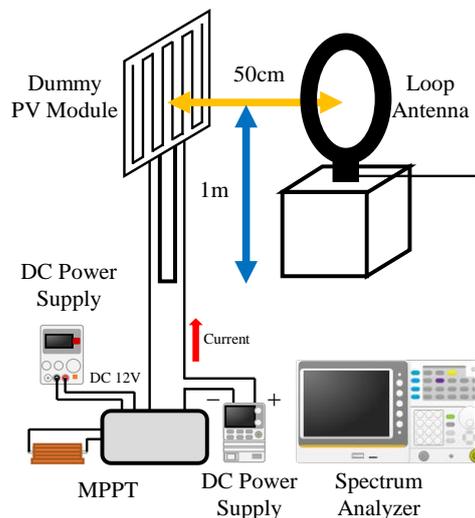


図3 実験構成

4. 研究成果

(1) 受動的対策法

図4は抑制装置の構成要素に銅板を採用した場合におけるPVモジュール表面上の磁界強度分布である。抑制線を設置していない(a)の平均磁界強度は0.615A/mであったのに対して、銅板を1つ巻いた(b)の平均磁界強度は0.407A/mであった。そのため、銅板を用いたフラット型抑制装置でも磁界強度の低減が確認できた。また、銅板を2本巻いた(c)の平均磁界強度は4.925A/mであり、銅板を3本巻いた(d)の平均磁界強度は0.312A/mであった。このことから抑制線を多段にすることによって抑制効果が向上する傾向がある可能性が高いといえる。しかし、銅板を用いたため、抑制装置に平滑性の課題があり、バスバーへ寄与する磁界に高低差が生じたと考えられる。そして、先行研究で用いていたリッツ線を用いた抑制装置と比較すると、リッツ線4本を巻いた場合の抑制率が9.91%であったのに対して、銅板を3本巻いた抑制装置の抑制率は49.3%であった。以上のことより、銅板を用いたフラット型抑制装置はPVモジュールから放射するノイズの抑制に有効であり前抑制法と比べ実用的といえる。

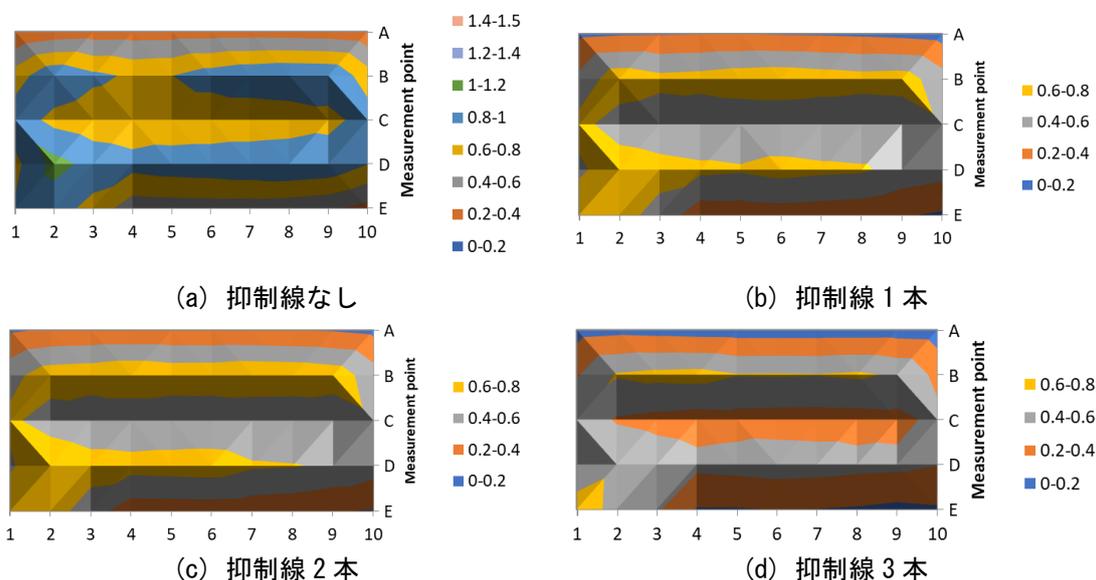


図4 銅板を用いたフラット型抑制装置で抑制を行ったPVモジュール表面の平均磁界強度分布 (単位: A/m)

(2) 能動的対策法

図5から図7にライン数を1本から3本、折り曲げ段数を1段から4段とした時の磁束密度分布を対数スケールのコンター図で示す。図5から図7より、偶数段(2段・4段)のときは、奇数段(1段・3段)よりも周辺における磁束密度が大きいことがわかる。このようなことから、偶数段であると、奇数段よりも周辺の磁束密度が大きいことがわかった。また、図5から図7より、ライン数を変えても周辺磁界への影響は小さいことがわかった。

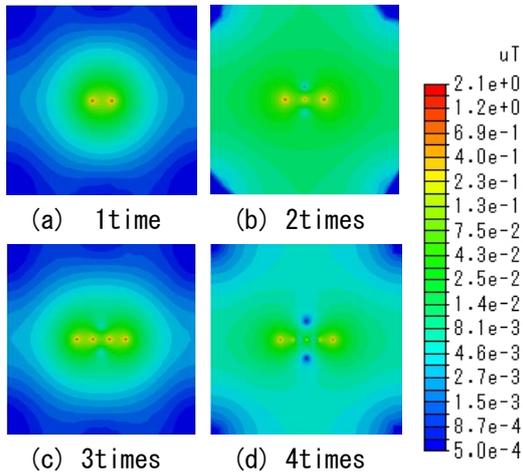


図5 ライン数1本・折り曲げ段数を
変化させた際の磁束密度分布

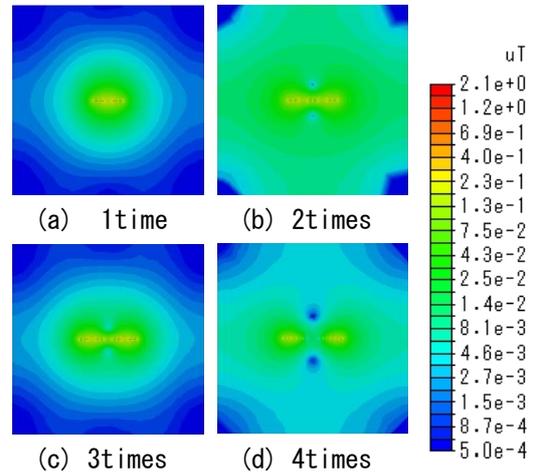


図7 ライン数3本・折り曲げ段数を
変化させた際の磁束密度分布

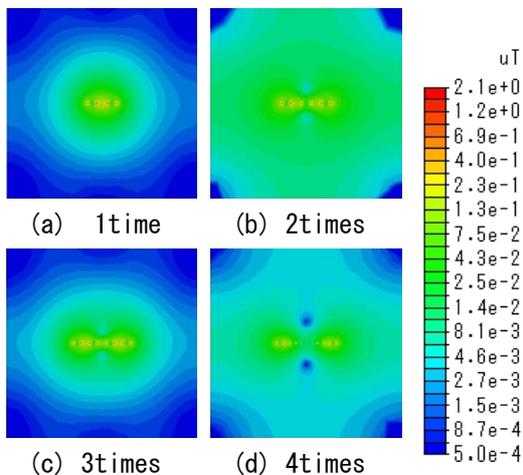


図6 ライン数2本・折り曲げ段数を
変化させた際の磁束密度分布

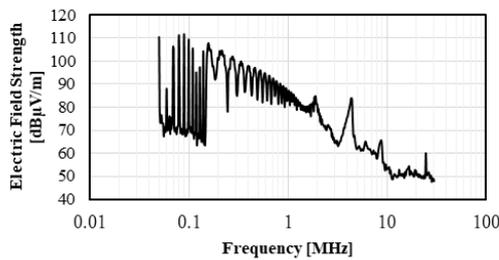
(3) MPPT の対策法

図8は模擬PVモジュールから発生したノイズのスペクトルを示す。図8(a)がMPPTのスイッチング周波数を固定して動作させた場合、図8(b)がMPPTのスイッチング動作にスペクトラム拡散を導入した場合の結果である。

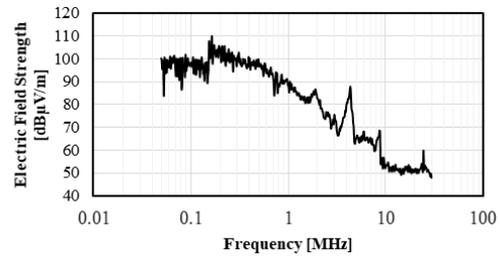
図8(a)より、MPPTのスイッチング周波数を固定して動作させた際に模擬PVモジュールから発生したノイズはスイッチング周波数10kHzの高調波とスイッチングデバイスのターンオン・オフ時に発生するスイッチングノイズ(100k~30MHz)のスペクトルが確認できる。

図8(b)より、MPPTのスイッチング周波数に起因する高調波のスペクトルは拡散され、従来法のスペクトル値から最大で約10dBμV/m

低減されていることが確認できる。また、スイッチングデバイスのターンオン・オフ時に発生するスイッチングノイズ(100k~10MHz)のスペクトルには大きな差異はなかった。以上より、スペクトラム拡散を導入することでMPPTのスイッチング周波数に起因する高調波のスペクトルを低減できることを確認した。



(a) 従来法



(b) 提案法

図8 模擬PVモジュールから発生したノイズのスペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西原貴之, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールから放射されるノイズの低減を目的としたスペクトラム拡散型MPPTの評価
3. 学会等名 2019年（第1回）電気設備学会学生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八木貴太, 米盛弘信
2. 発表標題 電磁誘導を応用したノイズ抑制法に用いる抑制線の実験的検討
3. 学会等名 2019年（第1回）電気設備学会学生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山大季, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールにおけるバスバーの断面形状が変化した際の磁束密度分布
3. 学会等名 2019年（第1回）電気設備学会学生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤榛樹, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールから放射されるノイズの抑制用アクティブフィルタの検討
3. 学会等名 2019年（第1回）電気設備学会学生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山大季, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュール内のバスバー断面形状が放射磁界に与える影響に関する検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤榛樹, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールから放射されるノイズ抑制用のアクティブフィルタの検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西原貴之, 米盛弘信
2. 発表標題 スペクトラム拡散を用いたMPPTのスイッチング動作によるPVモジュールの放射ノイズ低減に関する検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八木貴太, 米盛弘信
2. 発表標題 電磁誘導を用いたノイズ抑制に用いる抑制線の検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西原貴之, 米盛弘信
2. 発表標題 スペクトラム拡散によるPVモジュールの放射ノイズ低減に関する検討
3. 学会等名 2019年(第37回)電気設備学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八木貴太, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュール表面より放射するノイズ抑制の検討
3. 学会等名 2019年(第37回)電気設備学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山大季, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールにおけるバスバーの折り曲げ段数が放射磁界に与える影響
3. 学会等名 2019年(第37回)電気設備学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤榛樹, 米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールから放射されるノイズの抑制のためのアクティブフィルタの検討
3. 学会等名 2019年(第37回)電気設備学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠原 鷹、米盛弘信
2. 発表標題 異なるバスバー形状のPV モジュールが放射する電磁波に関する検討
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田聖人、米盛弘信
2. 発表標題 中古PV モジュールの再利用を目的とした発電システムの検討
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 開、米盛弘信
2. 発表標題 PV モジュールより発生するノイズの抑制に向けた検討 電磁誘導を用いた抑制法における抑制率向上に向けた検討
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西原貴之、米盛弘信
2. 発表標題 PV モジュールから放射されるノイズの抑制法に関する一提案
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西原貴之、米盛弘信
2. 発表標題 スイッチング動作がPVモジュールから放射されるノイズに与える影響
3. 学会等名 2018年（第36回）電気設備学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 開、米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールから発生するノイズにおける電磁誘導を用いた抑制法の検討
3. 学会等名 2018年（第36回）電気設備学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笠原 鷹、米盛弘信
2. 発表標題 異なるPVモジュールから放射されるノイズに関する一検討
3. 学会等名 2018年（第36回）電気設備学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田聖人、米盛弘信
2. 発表標題 PVモジュールの再利用を目的とした発電システムの提案
3. 学会等名 2018年（第36回）電気設備学会全国大会
4. 発表年 2018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
---------	---------