

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12428

研究課題名(和文) 電界カーテンによる砂じん除去能力を有する太陽電池パネルの開発

研究課題名(英文) Removing of accumulated sand on PV panel surface by electric-field curtain

研究代表者

西村 亮(Nishimura, Ryo)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70261683

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)：平行電極を組み合わせて作成した電界カーテンを作成してその上にガラス板を置き、ガラス板上の砂を除去することができた。電極間隔が同一の場合、電極幅を変化させても砂じん除去特性にはほとんど影響がなかった。次に表面抵抗率200オームの透明導電性材料を用いた電界カーテンを試作し、その動作を確認した。この電界カーテンを用いたカバーガラスを有する太陽電池パネルの作成および動作の検証を行った。この電界カーテンの動作は太陽電池の出力に悪影響を与えず、通常のカバーガラスと比較した場合、発電特性はほとんど同じであると見積もられ、本研究で試作した太陽電池は乾燥地のような飛砂環境において有効であると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

砂漠のような乾燥地は日射量が多く、大規模太陽光発電に適している。しかし、飛砂が太陽電池受光面に堆積し、発電電力が減少する問題が指摘されている。従来このような太陽電池パネル受光面の汚染には水を用いて洗浄するが、コストもかかり、乾燥地でパネルの面積が極めて大きい場合、そのようなことは困難である。電界カーテンは複数の電極に多相交流を印加することで進行波電界を発生させ、電力をほとんど消費せずに帯電粒子を移動する技術である。砂じんは帯電しているので、太陽電池パネル受光面に電界カーテンを設置する事で電力を消費せず、メンテナンスフリーで砂じんを除去できる。この知見は太陽光発電のコスト削減につながる。

研究成果の概要(英文)：A prototype PV module with the electric field curtain (EFC) was investigated. An EFC was constructed by parallel electrodes and was installed under the glass plate. Sand particles on the glass plate was removed by travelling electric fields generated by the EFC with very little power consumption. Next, a transparent conducting material whose surface electric resistance is 200 Ohm was used as an EFC electrode. This EFC was embedded in the cover glass of the prototype PV module. The EFC did not have a bad influence on the solar cells of the PV module. It was estimated that the power generation characteristics of the prototype PV module and that of the conventional PV module without EFC was almost the same. The PV modules with EFC, that investigated in this research, will be advantageous for installing in sand-scattering area such as arid lands.

研究分野：太陽光発電，静電気

キーワード：太陽光発電 電界カーテン 静電気 乾燥地 砂じん除去

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

乾燥地での太陽光発電は太陽電池パネル受光面上に砂じんが飛来し、太陽電池表面の損傷および堆積により発電性能を低下させる。乾燥地であるため、淡水で太陽電池表面を手作業で洗浄して砂塵を除去することは水資源の有効利用および人件費の観点から望ましいことではない。また受光面ガラスへの撥水性材料の塗布のような降雨を前提とした太陽電池パネルの表面洗浄は期待できない。そこで「水を用いない砂じん除去」方法を開発する必要がある。

### 2. 研究の目的

太陽電池パネルに「水を用いない、低消費電力、メンテナンスフリーの砂じん除去能力」を持たせるために「電界カーテン」を用い、その有効性を調査する。電界カーテンは図 2.1 に示すように絶縁体中に複数の電極を埋め込み、それに多相交流電圧を印加することで進行波電界を生成させて帯電粒子を移動させる。例えば対称 3 相交流を用いる場合には図の電極の 1,4,7...、2,5,8...、3,6,9... を接続して 3 組の電極群を作り、それに 3 相交流を印加することで進行波電界が発生し、帯電粒子（本研究では「砂」）を移動させることができる。

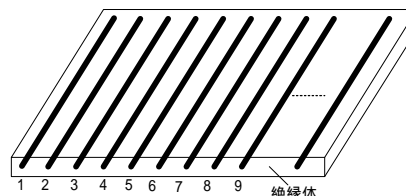


図 2.1 電界カーテンの模式図

### 3. 研究の方法

(1)【電界カーテンの試作】 プリント基板上に多相交流電圧を印加するための電極を形成し、その上にガラス板を貼り付ける。その電極に電圧を印加することで電界を発生させ、ガラス表面の砂の挙動を観察し、電極電圧・周波数、電極形状（電極の幅・間隔）、ガラス板の仰角と砂の挙動の関係を調査する。

(2)【電界カーテンを用いることによる太陽電池の発電特性変化の調査】 電界カーテンを動作させるにはある程度高い電圧を電極に印加する必要があるが、電圧が強すぎると太陽電池の発電特性を劣化させる等の不具合が発生するおそれがある。太陽電池パネルの受光面ガラスに電界カーテンを模擬した導体を設置し、これに高電圧を連続して印加した場合の発電特性の経時変化、その他発生する不具合などを調査する。

(3)【電界カーテン付き太陽電池パネルの試作と実証実験】 得られた知見をもとに、図 1 に示すような透明電極による電界カーテン付きの太陽電池パネルを試作し、発電性能を調査する。

### 4. 研究成果

#### (1)【電界カーテンの試作とその動作[1]】

プリント基板（70 × 120 mm）に平行電極を形成し、その上にガラス板を置き、電界カーテンを形成した。その構造および寸法を図 4.1 に示す。図中の赤、緑、青で表される電極にはこの順番に位相が 120°異なる 0.17 Hz の三相矩形波交流電圧を印加する。鳥取砂丘の砂をガラス板上に散在させ、電界カーテンを動作させる。電界カーテンの動作によってガラス板より除去された砂の質量を、動作前のガラス板上の砂の質量で除したものを「除去率」と定義する。

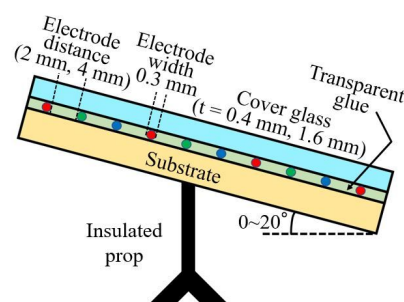


図 4.1 試作した電界カーテンの構造

#### 印加電圧の違いによる除去率の変化

図 4.2 に電界カーテンの傾斜角を 10°、カバーガラス厚さ 0.4 mm、電極間隔 4 mm に固定し、印加電圧を変化させた場合の除去率を示す。2 kV、3 kV に関しては、ほとんど砂が落ちなかったのに対し、4 kV 以降では除去率の大幅な向上が見られ、6 kV では約 8 割の砂を除去することができた。

#### 傾斜角の違いによる除去率の変化

図 4.3 にカバーガラス厚さ 0.4 mm、電極間隔 4 mm、印加電圧を 5 kV に固定し、傾斜角を変化させた場合の除去率を示す。傾斜角が大きくなるに従って、除去率が高くなった。

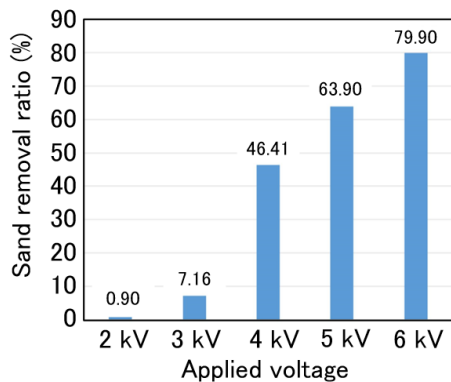


図 4.2 傾斜角 10°, カバーガラス厚さ 0.4mm, 電極間隔 4mm の場合の各電極電圧における除去率

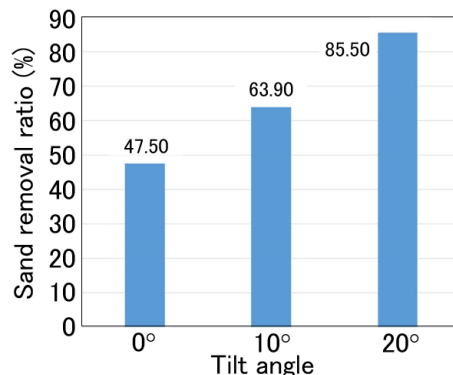


図 4.3 カバーガラス厚さ 0.4 mm, 電極間隔 4 mm, 印加電圧を 5 kV の場合の各傾斜角における除去率

ガラスの厚さの違いによる除去率の変化  
 図4.4に印加電圧5kV, 傾斜角10°, 電極間隔4 mmとし, カバーガラスの厚さを0.4 mm, 1.6 mmとした. ガラスの厚さに対する除去率を示す. 0.4 mmでは63.90%除去できたのに対し, 1.6 mmでは3.94%となり, ほとんど砂が除去できなかった.

#### 電界カーテンの形状に関する考察

電界カーテン付き太陽電池パネルの設置を想定している低緯度地域では, 小さい傾斜角で大きな除去率が要求される. 上記の結果から, 電極間の電圧を可能な限り高くして高電界を作る必要がある. また, 従来の太陽電池パネルのカバーガラスは一枚のガラス板であるが, 電界カーテンの上に存在するガラスは薄いほうがよいので, カバーガラスを積層構造として, 強度を保ちつつ, 層間に電界カーテンを設ける構造にすることが望ましいと考えられる.

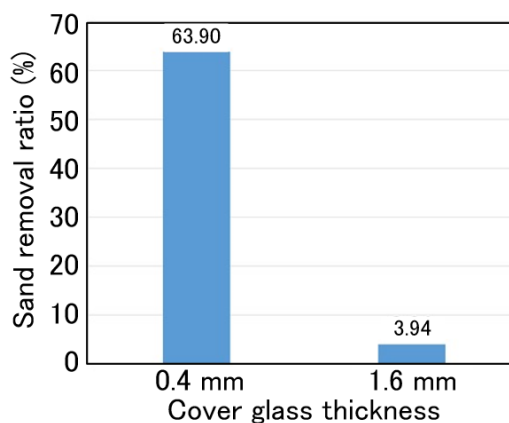


図 4.4 印加電圧 5kV, 傾斜角 10°, 電極間隔 4 mm におけるカバーガラスの厚みに対する除去率の違い

## (2) 【電界カーテンを用いることによる高温下の太陽電池の発電特性劣化の調査[2]】

### 実験

予備実験で電界カーテン電極のような太陽電池パネル表面近傍の高電圧導体は太陽電池に接続する制御装置等の外部回路の動作に悪影響を及ぼすおそれがあることを確認した. これに対する2点挙げる. 1点目は, 定期的に太陽電池と外部回路を切り離してから電界カーテンを動作させるというもの. 2点目は, 電界カーテンと太陽電池セルの間に透明接地電極を設けてセルをシールドするというものが考えられる. まず前者に着目し, この場合のPVモジュールの発電性能の変化を調べる. 乾燥地に太陽光発電を導入すると日中の受光面温度は100程度まで上昇する. したがって電界カーテンの導入による太陽電池の発電性能変化について, 温度および電界の影響を考慮する必要がある. そこで同一規格の太陽電池 A~C に対し, パネル A: パネルのみを 80 の温度下で累計 730 時間放置したもの, パネル B: 受光面表面に電界カーテンを配置し, 室温下で電界カーテンに電圧を累計 730 時間印加したもの, パネル C: モジュール受光面表面に電界カーテン電極を配置し, この電極に 80 の温度下で電界カーテンに電圧を累計 730 時間印加したもの, の発電性能を測定し, 実験前の状態と比較した. パネル B は図 4.5(a)のように, プリント基板上に平行な電極(楕円電極)を設け, 直流の+2kVを, , , ...に, -2kVを, , , ...に印加し, , , , ...を接地した. これは各相の電圧が+2kV, -2kV, 0kVとなった瞬間を想定し, 疑似的に三相交流が印加されている状態を模擬した. そして図 4.5(b)のようにこのプリント基板の電極が太陽電池パネル受光面に接するように置き, 固定する. これを実際にパネル上に電界カーテンが存在する状態だと想定する. パネル C は B と同じ物を恒温槽の中に配置した.

### 結果と考察

実験終了後の太陽電池パネルの最大出力は実験前と比較してパネル A で 0.17%, パネル B で

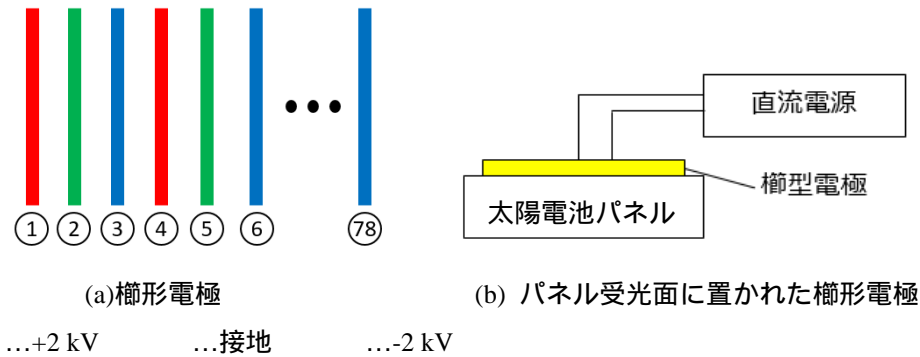


図 4.5 太陽電池パネルへの高電圧印加方法

1.68%減少, パネル C で 3.65%それぞれ減少した. また, 最大出力である最適動作点の出力を, 開放電圧と短絡電流の積で割った値である曲線因子 (FF 値) は, パネル A ではほとんど変化せず, パネル B では 0.29%, パネル C では 1.13%それぞれ減少した. 本実験においては, 累計時間の高電圧印加で上記の減少であったが, 乾燥地での電界カーテンを用いての砂じん除去は, 長期で使用していくと劣化が蓄積し, PV モジュールそのものの出力が低下しやすくなると考えられる. このため, 乾燥地での電界カーテンを用いての砂じん除去は, 長期で使用していくと劣化が蓄積し, PV モジュールそのものの出力が低下しやすくなると考えられる. 単結晶シリコン太陽電池の発電性能は, 5 年後で 96.4%, 10 年後で 92.2%, 20 年後で 84.2% となり [3], 経過年数に応じて劣化する. この値および本実験で得た発電性能の劣化状況から算出すると, 今回の条件ではパネル C は約 4.5 ヶ月で通常の 20 年経過の劣化と同等になると考えられる. したがって, 定期的に太陽電池と外部回路を切り離してから電界カーテンを動作させる場合であっても, 太陽電池パネルの温度が十分低下する夜間に実施する必要があると考えられる.

(3) 【接地極付き電界カーテン[4][5]】

電界カーテンと太陽電池セルの間に接地電極を設けることで電界カーテンからの電界がセルに到達することを防ぐことができる. そのような電界カーテンを試作して砂じん除去実験を行った結果, 接地がない場合よりも除去効率が低下した. 図 4.6 に接地極の有無に対する電界カーテン近傍の電界分布を示す. 接地極の存在により, 電界カーテン表面での電界が弱くなり, 砂じんにかかる力が小さくなったことがわかる.

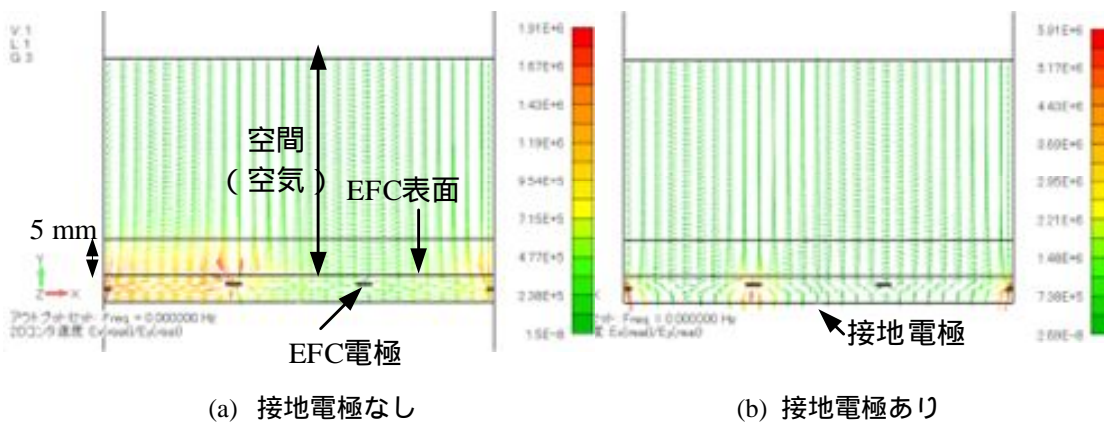


図 4.6 電界カーテンが近傍に作る電界(電極電圧 10 kV, 電界の単位 V/m)

(4) 【電界カーテン付き太陽電池パネルの試作と発電性能[4]】

透明電極で接地電極付き電界カーテンおよびを作成した. このカーテンの厚さは 4.1 mm である. カバーガラスを持たない最大電力 20 W の太陽電池パネル受光面に設置し, 電界カーテンを動作させてパネルの発電端子から電界カーテンによる電氣的影響が出ないことを確認し, 屋外でこの太陽電池パネルの I-V 特性を測定した. その結果を図 4.7 に示す. 短絡電流は太陽電池セルに入射した日射強度に比例するので, 電界カーテンを設置する事で 45.4%, 厚さ 2 mm のガラスで 23.3%セルへの到達日射が減衰することになる. しかし, 通常太陽電池用カバーガラスの厚さは 3.6 ~ 4 mm 程度であるので減衰率はこの測定よりも大きくなることを考慮すれば, 電界カーテンとの発電性能の差異は更に小さくなり, 電界カーテンの存在は発電性能をほとんど低



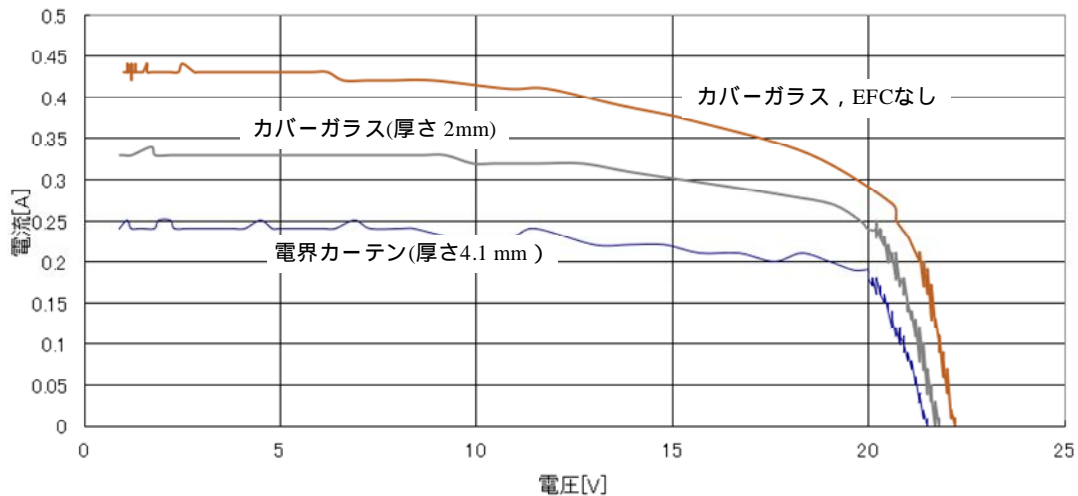


図 4.7 電界カーテン付き太陽電池パネルの I-V 特性(モジュール温度 26.7℃, 日射強度 499 W/m<sup>2</sup>)

下させないと考えられる。

#### (5)【まとめ】

電界カーテンが太陽電池受光面の砂じん除去に有効であることが確認できた。電界カーテンは高電圧を用いるが電極間にほとんど電流が流れないため消費電力が極めて小さく、設置対象の太陽電池の定格出力の約 0.1%程度まで抑えられる可能性を研究の過程で確認した。

本研究の知見は砂漠等の乾燥地での大規模太陽光発電システムでの発電電力維持に利用できるほか、宇宙のような特殊環境でも応用ができると思われる例えば NASA の火星探査機に搭載された太陽電池パネルに砂じんが堆積して発電電力が低下し、機能が停止する物もあることが報道されているが、探査機の太陽電池パネルに電界カーテンを搭載することで探査機の探査可能期間を延長することが可能であると考えられる。

#### < 引用文献 >

- [1] 竹形祐毅, 西村 亮, 乾燥地に設置する太陽電池を想定した電界カーテンによる砂の除去実験, 太陽エネルギー-259号, 2020, 57-62
- [2] 生川真也, 西村 亮, 高電圧導体が受光面近傍に存在する PV モジュールの発電性能変化, 太陽エネルギー-259号, 2020, 79-85
- [3] ヒラソル, ソーラーパネルの寿命(accessed Feb. 7, 2020), <https://www.girasol-solar.jp/magazine/lifespan/>
- [4] 渡邊綾太, 太陽電池 PID 劣化防止のための接地極を持つ砂じん除去用電界カーテンの施策, 平成 3 年度鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科工学専攻修士論文( 科研費で実施した研究の一部を修士論文としている )
- [5] 田邊泰雄, 透明電極を用いた太陽電池用電界カーテンの試作, 平成 3 年度鳥取大学工学部電気情報系学科卒業論文( 科研費で実施した研究の一部を卒業論文としている )

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 竹形祐毅, 西村 亮	4. 巻 259
2. 論文標題 乾燥地に設置する太陽電池を想定した電界カーテンによる砂の除去実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 太陽エネルギー	6. 最初と最後の頁 57-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 生川真也, 西村 亮	4. 巻 259
2. 論文標題 高電圧導体が受光面近傍に存在するPVモジュールの発電性能変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 太陽エネルギー	6. 最初と最後の頁 79-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 渡邊綾太, 西村亮
2. 発表標題 プラスチック薄膜上に形成した電界カーテンを挟んだガラス上の砂じんの挙動
3. 学会等名 令和2年度(第71回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川裕介, 西村亮
2. 発表標題 電界カーテン上に落下する砂の動き
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹形祐毅, 西村 亮
2. 発表標題 乾燥地に設置する太陽電池を想定した電界カーテンによるモジュール表面上の砂じん除去実験
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生川真也, 西村 亮
2. 発表標題 高電圧導体が受光面近傍に存在する太陽電池モジュールの発電性能変化
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会講演論文集(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川裕介, 西村亮
2. 発表標題 傾斜をつけた電界カーテン付きガラス板上に撒かれた砂の挙動
3. 学会等名 令和元年度(第70回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R Watanabe, R Sueyoshi and R Nishimura
2. 発表標題 Characteristics of electric field curtain with various electrode widths for sand-removing on PV module surface installed in arid land
3. 学会等名 International Symposium on Solar Energy and Efficient Energy Usage (SOLARIS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

でんきやさん 西村 亮  
<https://sites.google.com/tottori-u.ac.jp/ryo-nishimura-eng/>

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
---------	---------