

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420769

研究課題名(和文) ナノ粒子を用いた太陽光発電パネルの発電効率向上

研究課題名(英文) Improvement of power generation efficiency of solar panels using nanoparticles coating

研究代表者

鈴木 道隆 (Suzuki, Michitaka)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：20137251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光パネル表面にシリカナノ粒子を薄く塗布することによって、表面に微細な凹凸を作製し、太陽光の反射を低減し、透過光の増加を図る。また、表面の凹凸により粉塵との付着力を低減し、太陽光パネルの汚れ防止効果による発電効率向上も期待できる。

反射防止効果はナノ粒子層の表面粗さに依存し、塗布方法の影響が大きい。実験の結果、基板表面にブラシを置いてスプレーすることにより反射率を減少させ、発電効率を向上させることができた。この方法は既存の太陽光パネルにも簡単に使用でき、実用化が期待できる。

研究成果の概要(英文)：By silica nanoparticles coating on the solar panel surface, tiny roughness are made on the surface to reduce the reflection of sunlight and increase the transmitted light. In addition, adhesion to dust can be reduced due to irregularities on the surface, and improvement in power generation efficiency due to antifouling effect of the solar panel can be expected.

The antireflection effect depends on the surface roughness of the nanoparticle layer and is greatly affected by the coating method. As the experimental results, it was possible to improve the power generation efficiency by decreasing the reflectance by placing the brush on the substrate surface and spraying it. This method can be easily used for existing solar panels and can be put into practical use.

研究分野：粉体工学

キーワード：ナノ粒子塗布 反射光低減 太陽光発電パネル 粉塵付着防止 発電効率向上 透過光増加

1. 研究開始当初の背景

2012年7月の再生可能エネルギー特別措置法の施行から太陽電池による発電はCO₂を排出しない再生可能エネルギー利用の切り札として幅広く普及し、その発電量は年々増加している。2016年5月には太陽光発電量が全発電電力の6.6%に達し、大きなエネルギー源になりつつある。しかし、太陽電池パネルは長期間、屋外で使用されるために粉塵付着などによるパネル表面の汚れによって発電効率が低下することが懸念されている。また、住宅地に建設された太陽電池パネルからの反射光が周辺の住宅にあたり、特に夏場に室温の急激な上昇などの光害が生じる社会問題も起きている。

このような太陽光発電パネルへの粉塵付着を防止し、反射光を減らして光害を低減して、さらに既存の太陽光発電パネルの効率向上も目指す一石三鳥の取り組みが求められている。

2. 研究の目的

ガラスなどの基板の上にシリカナノ粒子のアルコール分散液を塗布、乾燥すると、基板表面にナノ粒子薄膜層が形成され、粒子の分散状態や乾燥過程に応じて、nm~数百nmスケールの微細な凹凸面を簡単にかつ安価に作る事ができる。

ガラス表面に作製した微細な凹凸面はシリカナノ粒子層なので粒子間に空間があり、そこに含まれる空気とガラスに近いシリカ粒子を混合状態であり、空気とガラスの中間的な屈折率を示す。そこでシリカナノ粒子層の内部に空間率の分布を作ることによって屈折率を連続的に空気に近い値からガラスに近い値まで連続的に変化させ、ガラス表面から空気への急激な屈折率の変化によって生じる光の反射を防止できる。また、微細な凹凸によっ

て粉塵粒子と基板表面間の接触面積が減少するので付着力が減り、粉塵付着防止効果も期待できる。

本研究では、シリカナノ粒子を太陽電池パネル表面に塗布し、微細な凹凸を形成することにより発電効率の向上を図ることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

これまで超撥水表面の作製や粉塵付着防止の研究で得られたナノ粒子分散・塗布の実験と同様に、表面を疎水化改質した比表面積相当径が7nmのシリカナノ粒子をイソプロピルアルコールに投入した。この懸濁液を(株)日本精機製作所製の出力150Wの超音波ホモジナイザーUS-150E型により超音波分散し、ナノ粒子懸濁液を作製した。このナノ粒子分散液を太陽電池パネルの表面ガラス基板上にスプレー法あるいは表面にブラシなどを置いて塗布した。ガラス基板表面は一般に数nmの凹凸しかない滑らかな状態であるが、ナノ粒子を塗布乾燥することによって、基板表面にナノ粒子が物理的に付着し、数十~百nm程度の可視光の波長よりも小さな微細な凹凸が形成される。

このようにして作製したナノ粒子塗布ガラス基板について、スガ試験機(株)の光沢計グロスメーターUGV-6P型を用いて、シリカナノ粒子塗布面に可視光を照射し、入射角と絶対反射率との関係を計測し、反射率に対するシリカナノ粒子分散液の塗布方法や乾燥方法の影響を測定した。

また、セイコーインスツルメンツ(株)製の卓上小型プローブ顕微鏡Nanopics 1000 NPX100を用いて作製したシリカナノ粒子層の表面構造を観察し、表面粗さなどを計測した。これらの結果に基づいて、反射光を減少させ、

発電効率を向上させるためには、どのようなナノ粒子懸濁液塗布方法が最適なのかを実験面から検討した。

4. 研究成果

塗布する懸濁液のナノ粒子濃度を 1wt% 一定として塗布方法による影響を調べた。穴板やブラシを基板表面上に置いた場合と置かない場合についてナノ粒子を 2 回スプレーし、40℃ で 30 分間乾燥して試料基板を作製した。図 1 に 3 つのナノ粒子塗布方法の詳細を示す。

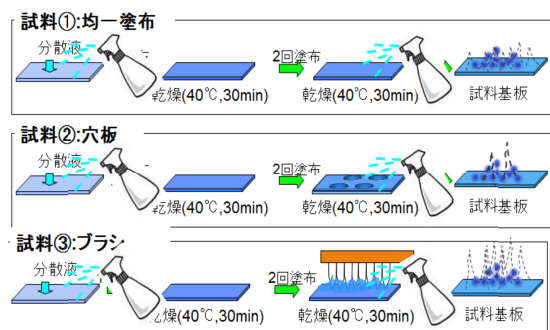


図 1 ガラス基板へのナノ粒子塗布方法

ナノ粒子懸濁液をスプレー塗布する方法
 基板表面に穴の開いた板を置き、ナノ粒子懸濁液をスプレー塗布する方法
 基板表面にブラシを置き、ナノ粒子懸濁液をスプレー塗布する方法

乾燥後、基板表面に形成されたナノ粒子層の凹凸状態を調べた。

図 2 に走査型プローブ顕微鏡で観察した基板表面 200 μm 四方の凹凸状態画像を示す。のスプレー塗布に比べて、の穴板を使用した場合には表面に穴に対応した丸い跡が残っていることが分かる。また、のブラシ使用時にはナノ粒子が多く付着している所とほとんど付着していない所があり、この場合は表

面の凹凸が激しくなっていることがわかる。

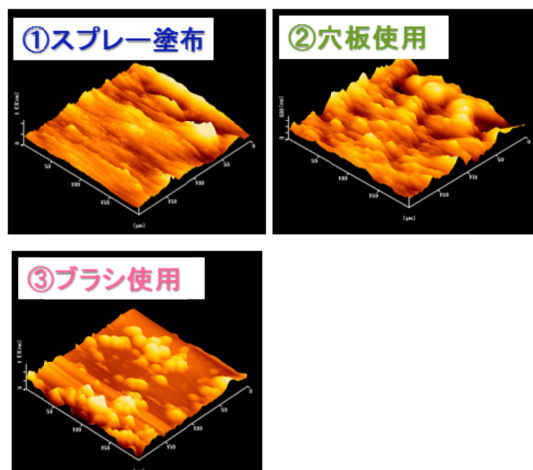


図 2 走査型プローブ顕微鏡で観察したナノ粒子塗布面の凹凸構造

図 3 には走査型プローブ顕微鏡で測定したナノ粒子層表面凹凸状態を表す基板表面自乗平均粗さの値を示した。

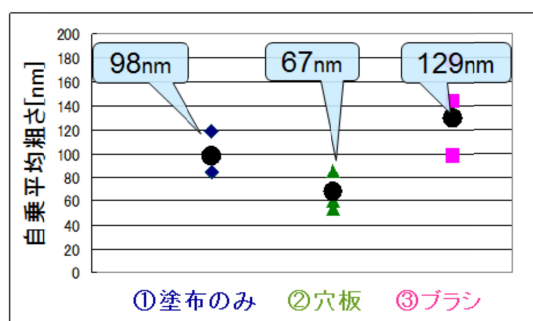


図 3 3 種類の塗布方法によるナノ粒子層表面の自乗平均粗さ

この結果から、のスプレー塗布に比べて、の基板上に穴板を置いてスプレー塗装した場合には表面粗さが減少するのに対して、の基板上にブラシを置いてスプレー塗装した場合には、よりも凹凸が大きくなっている。しかし、自乗平均粗さの値は 129nm であり、可視光の波長 360 ~ 830nm に比べれば小さ

いので光の散乱によって白濁することはなく、反射率の低減や発電効率の向上が期待できる。

図4に3つの方法でナノ粒子を塗布したガラス基板の反射率を、光沢計を用いて計測した結果を示す。なお、図中に示したのはナノ粒子を塗布していない場合を100%とした相対反射率である。

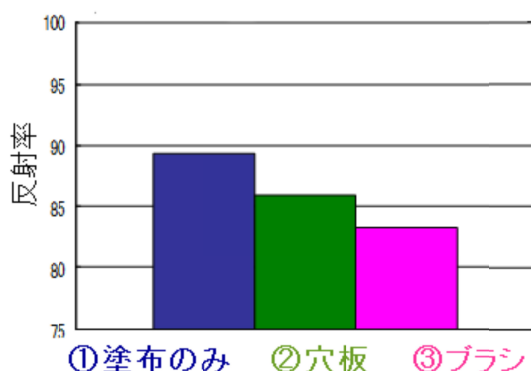


図4 塗布方法による反射率の違い

この図から分かるようにナノ粒子をスプレー塗布すると反射率が89%に減少し、反射光が10%以上減少することが分かる。さらに穴板を用いると表面粗さは減少するにもかかわらず反射率は86%に減少し、さらにブラシを用いた場合には83%まで減少した。

これは図5に示したように乾燥過程でアルコール中に分散していたナノ粒子が液架橋

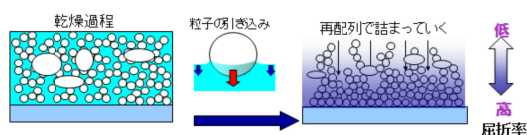


図5 ナノ粒子層の乾燥過程

力による引き込みで基板方向に引き寄せられながら凹凸を形成するが、ブラシを基板上に置いておくことによってブラシの毛の間に懸濁液が毛細管現象によって引き寄せられ、乾

燥後に基板表面に、より大きな凹凸表面構造を形成するためと思われる。凹凸構造が大きくなると基板表面ではナノ粒子が密に、基板から離れるにつれて疎に充填されるために基板近くではガラス基板に近い屈折率になり、基板から離れるにつれてナノ粒子の充填率が下がって空気の屈折率に連続的に近づく。光の反射は基板表面での屈折率の急激な変化によって生じるので、屈折率が厚さ方向に滑らかに変化すれば反射率が減少し、相対的に透過する可視光線が増加して発電効率が改善すると考えられる。

そこで、このような効果があるかどうかを検証するために、図6に示したようにソーラーシミュレーターを用いて疑似太陽光を発光させてガラス基板を置いた太陽電池パネルに照射し、発電電圧・電流特性測定器を用いて発電効率を計測した。

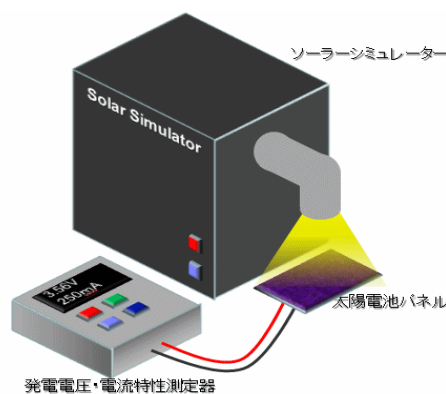


図6 発電効率測定実験装置

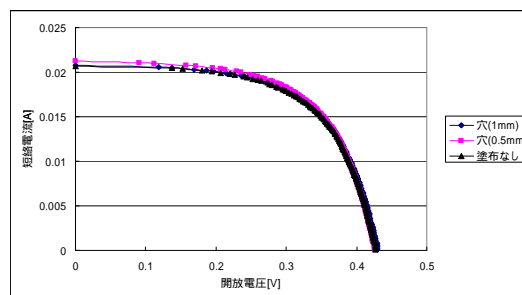


図7 太陽光パネルの電圧電流特性の一例

測定した電圧電流特性結果の一例を図7に示す。様々な条件で太陽光パネルの電流電圧特性を測定し、それから発電効率を求めた結果をまとめて表1に示した。

表1 ナノ粒子塗布方法の違いによる
発電効率の比較

	無塗布	ナノ粒子塗布	ナノ粒子塗布穴板	ナノ粒子塗布ブラシ
解放電圧 [V]	0.428	0.426	0.426	0.427
短絡電流 [mA]	20.7	21.2	21.2	21.2
発電効率 [%]	5.44	5.48	5.54	5.64

この表から解放電圧には大きな違いはないが、短絡電流は塗布方法による違いが見られた。平均発電効率については何も塗布しない場合には5.44%だったが、ナノ粒子懸濁液をスプレー塗布・乾燥すると5.48%とわずかに増加した。さらに基板上に内径1mmの穴板を置いてナノ粒子をスプレーした場合には発電効率は5.54%に、ブラシを置いてナノ粒子懸濁液をスプレーした場合には5.64%とわずかではあるが向上していることが分かった。

図8には平均値ばかりでなく全実験結果をグラフにして示したが、測定結果のバラつきを考慮しても基板上に穴板あるいはブラシを置いてナノ粒子懸濁液を塗布・乾燥することによって基板表面上にナノ粒子層の凹凸構造を形成すると発電効率が0.2%程度向上することが確認された。

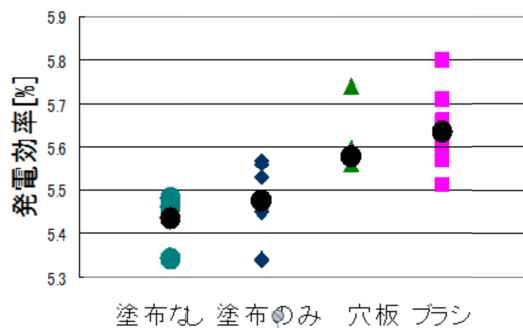


図8 発電効率に対するナノ粒子塗布方法の影響

シリカナノ粒子懸濁液を太陽光発電パネル基板上に塗布・乾燥することによって微細な凹凸構造を形成すると可視光の反射率が減少し、発電効率が増加することが分かった。ナノ粒子塗布時に基板上にブラシを置いて毛管現象により懸濁液を吸い上げ、乾燥後により大きな凹凸構造を作ることができ、この構造によって可視光の反射率が低下し、発電効率が向上することが明らかとなった。



a) 粉塵付着前 b) 無塗布基板 c) ナノ粒子塗布基板

図9 ガラス基板への粉塵付着実験結果

ガラス基板を粉塵堆積層に押し付け、粉塵付着量を調べた結果を図9に示した。写真から分かるようにc)ナノ粒子を塗布した基板表面はb)無塗布の表面と異なり、白く粉塵が付着せず付着前の状態に近い。単位面積当たりの粉塵付着重量も無塗布基板の5.1から0.8g/m²へ84%も減らす結果となり、粉塵付着防止効果があることが確認された。

基板上に穴板やブラシを置いてナノ粒子分

散液を塗布し、乾燥後に穴板やブラシを取り外すことは塗布・乾燥工程を複雑にし、実用上問題がある。ナノ粒子懸濁液の濃度を上げると懸濁液の粘度が増加するためにブラシなどを置いた場合と同様に大きな凹凸構造を噴霧工程だけで作製できる。ただ、実用化を目指すためにはシリカナノ粒子を重量で数%含む濃厚ナノ粒子懸濁液を白濁しない良分散状態で作製するために、今後さらなる検討が必要である。

これらの研究成果は既存の太陽光発電パネルにナノ粒子を塗布するだけで粉塵付着や反射光を低減し、発電効率が向上するという効果があることが明らかになった。簡単に低費用なこの方法は今後実用化に向かってさらなる発展が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

鈴木 道隆、高見 明和、飯村 健次、佐藤根 大土、治部 亘記: ナノ粒子塗布による布への粉塵付着防止効果と耐久性、粉体工学会誌、査読有、51巻、2014、623-628

〔学会発表〕(計1件)

Michitaka SUZUKI: Functional Treatment using Nano-particle Coating, World Congress and Expo. on Nanotechnology and Materials Science, April 15th, 2015, Dubai, United Arab Emirates

〔図書〕(計1件)

サイエンス&テクノロジー社編(鈴木道隆分担執筆): サイエンス&テクノロジー社、超撥水、超撥油、滑液性表面の技術、2016、第2章第5節

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/outline/faculty/suzuki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木道隆(SUZUKI MICHITAKA)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・
化学工学専攻・教授
研究者番号:20137251

(2) 研究分担者

佐藤根大土(SATONE HIROSHI)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・
化学工学専攻・准教授
研究者番号:00583709

飯村健次(IIMURA KENJI)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・
化学工学専攻・准教授
研究者番号:30316046

(3) 連携研究者

なし