

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14449

研究課題名（和文）誘導帯電現象を利用した気相中の微粒子積層技術の研究

研究課題名（英文）Study on powder additive manufacturing in gas-phase using induction charging of particles

研究代表者

庄山 瑞季（SHOYAMA, Mizuki）

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・電気安全研究グループ・任期付研究員

研究者番号：30631741

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：粉体による気相中の積層造形技術は低コストで環境負荷が少なく材料の変質も避けられるが、粒子の分散状態を保つのが難しい。本研究では、電場と振動を利用した微粒子の積層技術を考案し、粒子の帯電と運動を制御して分散状態で積層することに成功した。多層網電極と静電加速電極を用いて粒子を輸送・堆積させる実験を行い、粒子の分散輸送効率と電場中の運動を解析し、粒子径に応じた電極構成と電場強度の選択が重要であることを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

帯電粒子の運動制御に関する従来研究は接触帯電現象を利用するものが多く、粒子の獲得電荷が小さいので、多数の異種粒子を同極性に帯電・浮揚させてそれらの運動を電場空間で同時に制御することが難しかった。本研究では、個々の粒子に安全かつ効率的に同極性の電荷を付加出来る誘導帯電現象を利用するため、気相中で材料の損傷なく固体粒子を分散させた状態で積層させることができる。また、付着性・凝集性が高く気相中でのハンドリングが難しい数ミクロンサイズの粒子にも適用できるもので、革新的な積層造形技術の確立や従来材料の高付加価値化の促進に繋がる。

研究成果の概要（英文）：Powder-based additive manufacturing technology in the gas phase offers low cost, reduced environmental impact, and prevention of material alteration. However, maintaining particle dispersion remains a significant challenge. This study presents a novel approach utilizing electric fields and vibrations to achieve controlled charging and motion of particles, enabling successful additive manufacturing in a dispersed state. Experiments were conducted using multilayer mesh electrodes and electrostatic acceleration electrodes for particle transport and deposition. The analysis of particle dispersion transport efficiency and movement within the electric field identified the critical importance of selecting appropriate electrode configurations and electric field strengths based on particle size.

研究分野：粉体工学・静電気工学

キーワード：粉体 電場 誘導帯電 輸送 積層 分散

1. 研究開始当初の背景

近年、製品の高性能化・高機能化に伴い、材料の複合化が盛んに行われている。複合化により、熱的、電磁氣的、化学的、力学的特性が優れた新しい材料を創出できるので、電池や半導体、自動車、土木、建築、宇宙開発などあらゆる分野への応用が期待できる。材料表面に皮膜を形成して元の母材とは異なる特性を付与する表面改質はその一つであり、薬剤により母材表面に皮膜を析出させるめっき法、材料を気化あるいは化学反応させて皮膜を形成する蒸着法、溶解した材料粒子を母材に衝突させる溶射法などが従来技術として用いられてきたが、それぞれ、薬液使用による環境負荷、高コスト、熱による材料変質が懸念されている。固体粒子を低温ガス中に投入して母材に高速衝突させるコールドスプレー法は、気相中で固体粒子が有する付着性をそのまま積層造形に利用するため、従来技術の欠点を克服できる新たな溶射法として提案されているが、固体粒子の高速衝突時における母材の損傷が避けられない。また、数ミクロンサイズ以下の粒子を利用する場合、粒子同士が凝集しやすいので積層前に分散状態を維持するのは難しい。

上記の課題に対し、静電気力を利用すれば、粒子を帯電させてその運動を電場で制御できるので、固体粒子が有する付着性を活用しつつ、静電沈着によって母材の材料損傷を伴わずに粒子を積層させられる可能性がある。また、粒子を同極性に帯電させれば、互いの静電反発により分散状態を維持することが可能である。

2. 研究の目的

誘導帯電現象を利用して気相中で同極性に帯電・分散させた微粒子の運動を複数の外部電場で制御し、意図した位置に静電沈着によって積層させる技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、誘導帯電現象を利用して個々の粒子を能動的に帯電させる。Fig. 1 に示すように、電場中に置かれた粒子内部では、電場を打ち消す方向に電荷の偏りが生じる。電場が上向きの場合、接触面近傍に負電荷が近づき、正電荷は上側に引き付けられるので、負電荷のみが接触面を介して移動し、粒子は正に帯電する。この現象を誘導帯電といい、数百 kV/m 以上の強電場中では、金属粒子だけでなく、半導体や誘電体でも生じる。また、放電を伴わずに個々の粒子が接触電極から直接電荷が得られるため、接触・摩擦帯電やイオン荷電などの他の帯電手法より帯電効率が高く、安全性も高い。誘導帯電により粒子の帯電量が増加すると、電場により粒子に作用するクーロン力が重力や付着力を上回り、粒子は電極から分離・浮揚する。これらの浮揚粒子は全て同極性なので、互いの静電反発により気相中でも分散状態を維持することができる。また、帯電粒子は電場に沿って運動するので、複数の電場を用いて運動の向きや速度を制御し、材料の損傷を伴わずに意図した位置に静電沈着させることが可能である。

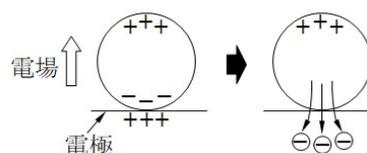


Fig.1 Induction charging of particle

（1）多層網電極と静電加速電極による粉体輸送およびターゲット電極への積層
電圧が印加された振動ノズルと多層網電極、および静電加速電極を用いて、ノズルから排出された数十ミクロンサイズの帯電粒子をターゲット電極上に誘導・積層させるための電極構成と印加電圧についての検討を行った。

（1）多層網電極と静電加速電極による粉体輸送およびターゲット電極への積層

電圧が印加された振動ノズルと多層網電極、および静電加速電極を用いて、ノズルから排出された数十ミクロンサイズの帯電粒子をターゲット電極上に誘導・積層させるための電極構成と印加電圧についての検討を行った。

Fig. 2 に、本研究で用いる粒子の供給・積層システムを示す。本システムは、振動器、フィーダー、および金属製のノズル（内径: 1.38 mm）を含む粉体供給部、接地された第一の引き出し電極（孔径: 3.0 mm）、複数の網電極、およびスクリーン電極（孔径: 3.0 mm）を含む均質分散輸送部、ならびに第二の取り出し電極（孔径: 3.0 mm）とターゲット電極を含む積層部で構成される。ノズル、網電極、およびスクリーン電極は電源装置に接続され、それぞれ V_1 , V_2 , V_3 の直流電圧が印可される。また第一と第二の取り出し電極およびターゲット電極は接地されている。

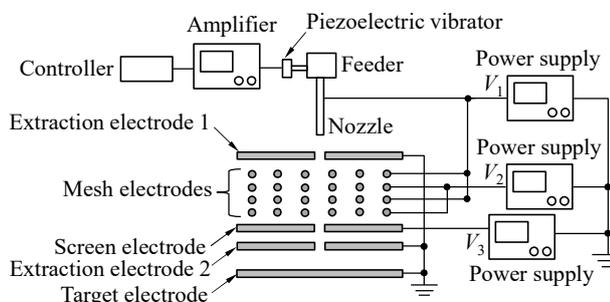


Fig. 2 Particle feeding and deposition system

まず粉体供給部において、フィーダー

に充填された粒子は振動によりノズルから鉛直下向きに排出される。これらの粒子はノズルと第一の取り出し電極との間に形成された電場によって誘導帯電し、電場内でクーロン力と重力

を受けて運動する。次に粉体輸送部において、粉体供給部から排出された粒子が第一の取り出し電極の単孔を通して引き出され、複数の網電極によって均等に分布させながらスクリーン電極の方へ輸送されたのち、中心部の単孔から排出される。さらに粉体積層部において、粉体輸送部から排出された粒子は、第二の取り出し電極の単孔を通じて濃縮しながら引き出され、最終的にターゲット電極上に積層する。

本実験では、粒子の運動に影響する電場を変化させ、各構成部における粒子の比電荷をファラデーケージを用いて測定した。また、運動中と積層後の粒子を撮影し、各構成部が分散と積層形状に及ぼす効果を検討した。さらに、多層網電極による粉体の分散効果を調べるため、ノズルと多層網電極のみを用いた分散輸送実験を行い、粒子の供給位置と捕集効率の関係を評価した。なお、試料粒子には粒子径 $D_{p50}^{(3)} = 30 \mu\text{m}$ の非球形アルミナを用いた。すべての実験において、粒子は 120°C で 12 時間以上乾燥させた後、デシケーター内で $22 \pm 3^\circ\text{C}$ に戻した状態で使用した。

(2) 電場と紫外線を併用した粒子の帯電・浮揚

誘導帯電によって浮揚するための十分な電荷を獲得できない粒子の荷電法開発のため、外部電場中で紫外線に暴露された粒子を光電子放出により間接的に帯電させたのち浮揚させる実験を行った。

Fig. 3 に紫外線照射装置の概略を示す。上部メッシュ電極と下部平板電極を電極間距離が 16 mm になるよう平行に配置した。下部電極上に取り付けられたガラス板に粒子（ガラスビーズ）を堆積させ、粒子層の表面にピーク波長 $\lambda = 160 \text{ nm}$ の紫外線（UV）を 10 mm の距離から照射した。各実験の前に、チャンパー内圧力が 1 kPa になるまで真空引きしたのち乾燥窒素ガスを 101 kPa になるまで充填する操作を 3 回繰り返す。酸素と水分を極力排除した。これにより、UV 光（真空紫外光）が酸素に吸収されることなく直接粒子に照射される。また下向きの電場を発生させるため、下部電極に -5 kV から -3 kV の負電圧を印加し、上部電極を接地した。この電場により、光電子は上部電極に移動し、正電荷は粒子層の底部に移動する。90

秒間の UV 照射後、下部電極に 3 kV から 5 kV の正電圧を印加して電界の向きを反転させ、上向きの電界を発生させた。このとき、正電荷を帯びた粒子のクーロン力が重力や付着力より大きければ浮遊する。電界の方向を反転させた後の浮遊粒子の運動を高倍率ズームレンズを備えた高速度カメラで撮影した。また、運動方程式に基づいて計算された粒子位置を、観測された粒子の軌跡にフィッティングして各粒子の帯電量を推定した。さらに、浮遊粒子のフラックスをデジタル画像処理で解析した。実験はすべて相対湿度 $40 \pm 5\%$ で行い、粒子は 120°C で 12 時間乾燥させたのちデシケーター内で $22 \pm 2^\circ\text{C}$ まで冷却して使用した。

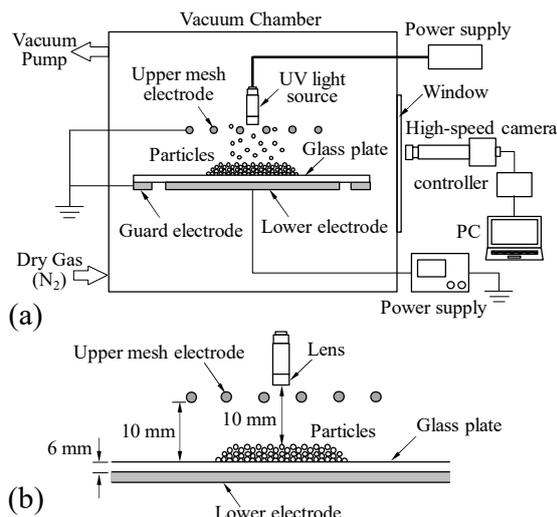


Fig. 3 UV irradiation system

(3) 粒子混合による積層粒子内の電荷蓄積の抑制

帯電粒子の積層による電荷蓄積を抑制するため、連続分散供給装置を 2 台用いてそれぞれの装置から逆極性に帯電させた粒子を混合させて電氣的に中和・除電する実験を行った。

Fig. 4 に、本システムの概略を示す。本システムは、左右対称に設置された粒子の連続分散供給装置 2 台（装置間距離： 50 mm ）で構成されている。各装置には、フィーダーと、水平方向に対して 15° 傾斜させた下部平板電極および上部網状電極が取り付けられており（電極間距離： 20 mm ）、フィーダーから排出された粒子は、振動によって下部電極上を流動する。

各装置の上部電極に直流電圧 V_1 , V_2 を印加し、下部電極を接地して、電極間に電場を形成させた。この電場により、下部電極上の粒子は接触している電極の極性と同一符号に誘導帯電し、クーロン力によって対向電極側へ浮揚する。これらの浮揚粒子は、電気力線に沿った力を受けて運動するため、上部電極の網目を通過したのち、上部電極に引き戻され一旦付着するが、そこで逆符号に誘導帯電し、再浮揚する。さらに、再浮揚した粒子は、装置間に形成される電場内で混合される。

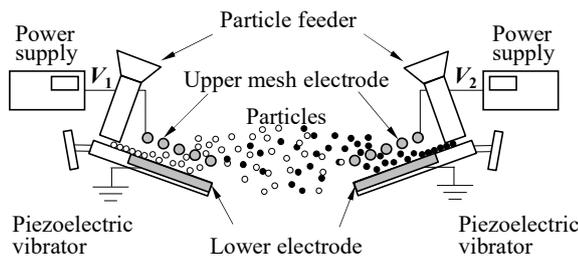


Fig. 4 Particle mixing system

本実験では、混合する試料粒子として、球形のアルミナ粒子 ($D_{p50}^{(3)} = 50 \mu\text{m}$) およびフェライト粒子 ($D_{p50}^{(3)} = 45 \mu\text{m}$) を用いた。吸引式ファラデーカップを用いて各装置の上部電極から再浮揚した粒子を捕集し、それらの平均帯電量を測定した。また、高速度カメラを用いて、異種粒子が混合されるようすを撮影した。さらに、下部電極と同じ高さで装置間中心に設置した金属板上に混合粒子を堆積させ、画像解析による粒子の混合度評価を行った。

(4) 数ミクロンサイズの粉体の分散輸送と積層

電圧が印加された振動ノズルから付着性・凝集性が高い粒子径 $D_{p50}^{(3)} = 6.4 \mu\text{m}$ の粒子を鉛直下向きに供給する実験を行い、粒子の挙動を高速度カメラで観察した。また、粒子供給部の振動周波数と粒子間付着力の関係についての理論的考察を行った。さらに、振動ノズルから分散状態で供給された粒子径 $6.4 \mu\text{m}$ と $30 \mu\text{m}$ それぞれの粒子を静電加速電極によって輸送したのち電極上に積層させる実験を行った。ノズルと電極によって形成される電場を解析し、電場中の帯電粒子の軌跡を計算した。

4. 研究成果

(1) 多層網電極と静電加速電極による粉体輸送とターゲット電極への堆積

多層網電極と静電加速器を備えたシステムにより、連続供給装置から排出された粒子を空間に均一に分散させたのちターゲット電極上に堆積させることに成功した。

Fig. 5 に、ノズルへの印可電圧 V_1 とノズルから排出される粒子の比電荷の関係を示す。 V_1 の増加に伴い比電荷は増加した。これは、印可電圧が大きくなると、粒子がノズルとの接触面から供給される電荷が大きくなるためであると考えられる。比電荷の増加に伴い粒子に作用するクーロン力も増加するので、粉体供給部から輸送部に引き込まれる粒子の収率も高くなると考えられる。

Fig. 6 に、ターゲット電極上に積層させた粒子を上から撮影した写真を示す。均質分散輸送部の設置により、積層範囲が狭くなり、高濃度かつ均質に積層されることがわかった。また、網電極を設置しない場合、積層直前の粒子に多くの凝集がみられたが、網電極の設置によって凝集粒子が解砕された。さらに網電極の枚数を増やすと、一次粒子の割合が増加することが明らかになった。

また、ノズルと多層網電極のみを用いた粉体の分散輸送実験では、粒子の供給位置と輸送効率の関係が明らかになった。さらに、多層網電極によって形成される複合電場と輸送される粒子の運動解析や、粒子の濃度分布のモデル化を行い、それらの結果と実験結果の比較によって粒子の分散と輸送メカニズムを解明した。

(2) 電場と紫外線を併用した粒子の帯電・浮揚

Fig. 7 に、粒子層の表面から浮遊した粒子を示す。電場と紫外線の併用によって粒子を帯電・浮揚させることに成功した。外部電場の存在下で粒子層に紫外線を照射すると、単一粒子または鎖状の凝集粒子が浮揚した。各粒子は電場中で分極していたため、双極子モーメント相互作用によって鎖状凝集体が形成されたと考えられる。

下向きの電場中で粒子層の表面にピーク波長 $\lambda = 160 \text{ nm}$ の紫外線を照射すると、光電子放出によって生成した正電荷が粒子層の下層に移動した。その後、電場の向きを逆にすると、正電荷は最上層に移動し、帯電粒子は浮遊した。浮遊粒子のフ

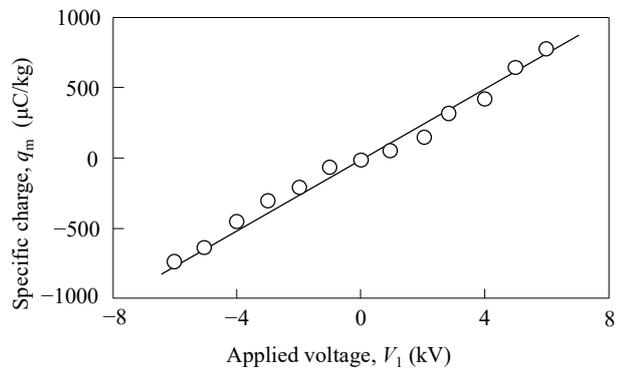


Fig. 5 Effect of applied voltage of nozzle on specific charge

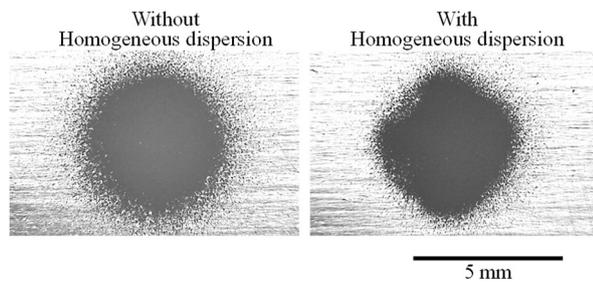


Fig. 6 Deposited particles on target electrode with/without homogeneous dispersion

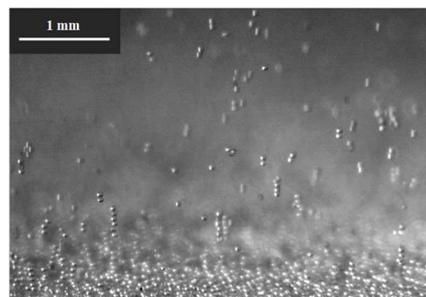


Fig. 7 Particle levitation

ラックスは、電界の強さの増加とともに増加した。上向き電界の強さが増すと、分極した粒子間の相互作用力が強まるため、全粒子に対する凝集粒子の割合が増加した。Fig. 8 に示すように、粒子層の厚みが増すにつれて、粒子層の底部にある正電荷が最上層に移動するのに必要な時間が長くなった。その結果、上向き電界印加後の粒子浮遊の時間遅れは増加したが、浮遊粒子のフラックスは減少した。浮遊粒子全体に対する凝集粒子の割合は、粒子層の厚みが増すにつれて増加した。

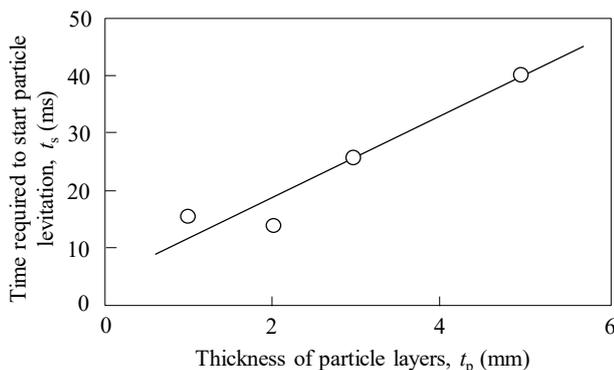


Fig. 8 Charge of levitated particles

(3) 粒子混合による積層粒子内の電荷蓄積の抑制

各装置の印加電圧を $V_1 = V_2 = 0$ としたとき、電場は形成されないで、粒子は下部電極上を流動し、装置下端から落下した。各装置に同符号の電圧 ($V_1 = V_2 = 5$ kV) を印可したとき、各装置から浮揚した粒子は、装置間中心付近まで到達したが、混合せずに落下した。この場合、各装置に形成される電場の向きが上下同じなので、それぞれの装置から同符号の帯電粒子群が供給され、粒子群間に静電反発力が作用する。一方、各装置に異符号の電圧 ($V_1 = 5$ kV, $V_2 = -5$ kV) を印可すると、浮揚粒子は装置間で混合しながら落下した。

各装置に形成される電場の向きが上下逆なので、それぞれから異符号の帯電粒子群が供給され、外部電場によるクーロン力に加え、粒子群間に静電引力が作用する。これにより、同符号の帯電粒子が供給される場合より混合しやすくなったと考えられる。

Fig. 9 に、各装置への印加電圧が $V_1 = 5$ kV, $V_2 = -5$ kV のときに、本システムによって得られた混合粒子を下部電極と同じ高さで装置間中心に設置した金属板に堆積させ、上側から撮影した画像を示す。装置間中心 ($x = 0$) から各装置の下端 ($x = -25$, $x = 25$) まで、どの範囲においても粒子の混合状態はほぼ同じであった。

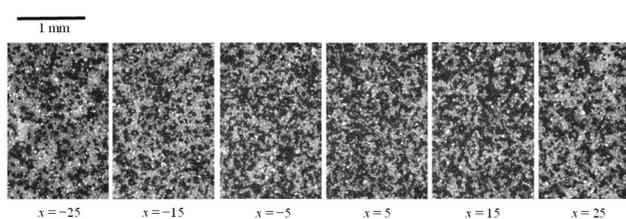


Fig. 9 Charge of levitated particles

さらに、堆積粒子に対し、シャノン・エントロピーを用いた混合度の定量的評価を行った。サブセル数は 256 とし、1 セルあたり 10 粒子程度が存在するよう領域を設定した。その結果、完全分離状態を示す 0 から完全混合状態を示す 1 の範囲において、捕集位置によらず混合度は 0.95~0.97 であった。この値は、電圧を印加しない状態で同システムを用いて捕集した粒子を 45 rpm で 3 分間、機械的に回転混合した場合と同程度であった。これらの結果により、異符号の粒子混合により積層粒子が除電できる可能性が示唆された。

(4) 数ミクロンサイズの粉体の分散輸送と積層

電圧が印加された振動ノズルから付着性・凝集性が高い粒子径 $6.4 \mu\text{m}$ の粒子を鉛直下向きに供給する実験を行い、凝集粒子の解砕が主に管壁との衝突により生じることを確認した。また、粒子供給部の振動周波数と粒子間付着力の関係についての理論的考察を行い、分散状態で粒子が供給される条件を明らかにした。

また、振動ノズルから分散状態で供給された粒子径 $6.4 \mu\text{m}$ の粒子を静電加速電極によって輸送したのち電極上に積層させる実験を行った。ノズルと電極によって形成される電場を解析し、電場中の帯電粒子の軌跡を計算した結果、電極構成および電極間の電位差が粒子の積層範囲に影響を及ぼすことが明らかになった。さらに、粒子径 $30 \mu\text{m}$ の粒子による実験結果との比較を行った結果、粒子に作用する慣性と電場による浮揚特性が粒子径によって異なるので、粒子径に合わせた電極構成と電場の強度を選択する必要があることが分かった。

参考文献

- [1] M. Ota, et al., 9th World Congress on Particle Technology, Madrid, Spain, Sep. (2022)
- [2] M. Shoyama, et al., IEEE Trans. Ind. Appl., 58, 5287-5291 (2022)
- [3] M. Shoyama, et al., Adv. Powder Technol., 33, 103812 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shoyama M., S. Nishida, S. Kai, M. Yasuda, K. Choi and S. Matsusaka	4. 巻 33
2. 論文標題 A novel mixing method for levitated particles using electrostatic fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 103812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2022.103812	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 庄山瑞季	4. 巻 16
2. 論文標題 粉体混合による放電抑制の可能性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 労働安全衛生研究	6. 最初と最後の頁 83-86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2486/josh.JOSH-2022-0023-KE	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 松坂 修二, 庄山 瑞季	4. 巻 65
2. 論文標題 電場を利用した粒子の帯電と粉体操作への応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 粉碎	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24611/micromeritics.2022005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mizuki Shoyama, Taiki Sugaya, Shuji Matsusaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Direction and Strength of External Electric Field on Particle Charging and Levitation under UV Irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IAS48185.2021.9677386	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 Mizuki Shoyama, Taiki Sugaya, Shuji Matsusaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Effective Use of External Electric Field for Charging and Levitation of Particles under UV Irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2022.3167376	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12件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 庄山瑞季
2. 発表標題 電場を利用した粉体の帯電とハンドリング
3. 学会等名 静電気学会 静電気基礎研究委員会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄山瑞季
2. 発表標題 ダストの静電除去およびハンドリング
3. 学会等名 第二回 月 - 地球圏ダスト環境ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄山瑞季
2. 発表標題 複合電場と振動を利用した粒子の新しい連続分散供給と混合
3. 学会等名 粉体工学会 2022年度 春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄山瑞季, 太田昌宏, 安田正俊, 松坂修二
2. 発表標題 電場による乾式粉体の均質輸送と積層造形
3. 学会等名 第46回静電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄山瑞季, 太田昌宏, 安田正俊, 松坂修二
2. 発表標題 静電運動制御を利用した乾式粉体の輸送と積層
3. 学会等名 化学工学会 第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Ota, M. Shoyama, M. Yasuda and S. Matsusaka
2. 発表標題 Transport and deposition of fine particles using electrostatic acceleration in a powder process
3. 学会等名 9th World Congress on Particle Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mizuki Shoyama, Kwangseok Choi, Shuji Matsusaka
2. 発表標題 Electrostatic mixing and neutralization of particles using electrostatic fields
3. 学会等名 International Workshop of Industrial Safety and Health (WISH2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西川 諒, 庄山 瑞季, 松坂 修二
2. 発表標題 粒子の付着強度分布に及ぼす電場と湿度の影響
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下畠 佑太, 菅谷 太輝, 庄山 瑞季, 松坂 修二
2. 発表標題 紫外線照射と電場による誘電性粒子の帯電と浮揚機構の検討
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田 昌宏, 西田 周平, 甲斐 壮太, 庄山 瑞季, 松坂 修二
2. 発表標題 誘導帯電を利用した気相中の粒子混合
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuki Shoyama, Shuhei Nishida ¹ , Sota Kai, Masatoshi Yasuda, Shuji Matusaka
2. 発表標題 Novel Continuous Particle Mixing System using Electrostatic Levitation by Induction Charging
3. 学会等名 The 8th Asian Particle Technology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuki Shoyama, Taiki Sugaya, Shuji Matsusaka
2. 発表標題 Effects of Direction and Strength of External Electric Field on Particle Charging and Levitation under UV Irradiation
3. 学会等名 2021 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------