

令和 2 年 5 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06276

研究課題名(和文)電磁力の作用する粉粒体のダイナミクスとその工学問題への応用

研究課題名(英文)Dynamics of electromagnetic particles and its application for industry

研究代表者

川本 広行(Kawamoto, Hiroyuki)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50318763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：電磁力によって粉粒体の運動を精密に制御し、工学的な価値を得るシステムには、レーザープリンターをはじめとして様々なものがある。しかしながら粉粒体には、流体力学のような厳密な理論体系はなく、工学の現場では、経験に大きく依存する開発が行われている。本研究はこのような現状を打破し、工学的に利用可能な理論とシミュレーション技法、および計測法を構築し、さらにこれらを工学問題へ適用して、産業の発展に寄与することを目的とした。具体的には、粒子の帯電と付着力の解明、シミュレーション手法の開発、計測技術の開発であり、これをレーザープリンターや宇宙開発、およびメガソーラーの静電クリーニングに応用する研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

粉粒体の物理は、クーロン、ファラデー、レイノルズといった巨匠の研究に始まり、近年ではノーベル賞受賞者のPierre-Gilles de Gennesなども取り組んだ興味ある分野であるが、その大部分は未解明である。本研究によってそのすべてが解決されたわけではないが、粒子の帯電と付着力の関係を明らかにし、実用的なシミュレーション手法を開発した。またこの成果を、レーザープリンターや宇宙探査、およびメガソーラーの静電クリーニングに応用した。

研究成果の概要(英文)：A fundamental investigation has been performed on the electrodynamics of particles. Based on the theoretical and experimental investigations, a unique hard-sphere model of the distinct element method was developed to realize practical calculation of particle dynamics in the electromagnetic field, and it has been applied for the laser printer, space exploration, and cleaning of mega solar panels. Because toner dynamics is a key for the digital imaging technology, it is utilized for the development of the laser printer. Lunar regolith is another issue in the particle dynamics for the lunar exploration, and cleaning of adhered dust on the soiled solar panel is necessary to maintain efficient power generation. The present work has been applied to overcome these problems.

研究分野：機械工学

キーワード：粉体工学 静電力応用 個別要素法 電子写真 宇宙探査 メガソーラー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電子材料, セラミックス, プリンタ, 医薬品, 空気浄化などの分野において, 大きさや形状, 純度, 物理的・化学的性質が高度に制御されたマイクロ粒子に対する要請が高い. 粉粒体をハンドリングするには機械的な方法をはじめとしてさまざまな方法があるが, 静電気を利用する方法は, 機器に大きな振動が発生しない, 粒子に大きな熱や力が加わらない, 可動部がないため潤滑油などの不純物が混入するおそれがない, 微量あるいは粒子一つ一つの操作が可能であるなどの利点があり, 上述のような高度材料のハンドリング技術として適している. しかしながら, 粉粒体には, 流体力学のような厳密な理論体系はなく, 工学の現場では, 経験に大きく依存する開発が行われている. 特に, 電磁力を利用して粒子の操作を行う際に問題となる粒子の帯電(分布)や付着力に関しては, いまだ不明な点が多く, これが前述のような工学問題の効率的な対応の障害となっている.

### 2. 研究の目的

これらに関する研究は, 学術的には, 電磁力の作用する粉粒体のダイナミクスと位置づけられるが, 電子写真など限られた分野で製品への応用に即した研究が行われているだけであり, その重要性にもかかわらず体系的な研究は十分ではない. 本研究はこのような現状を打破し, 工学的に利用可能な理論とシミュレーション技法, および計測法を構築し, さらにこれらを具体的な問題へ適用して, この分野の産業の発展に寄与することを目的とした.

### 3. 研究の方法

電磁粒体力学体系の構築: 帯電や衝突を繰り返しながら, 粒子群が電磁界中でさまざまな機械的・電気的な力を受けて運動する動力学を体系化した. まず単一粒子の運動を非線形力学系に定式化し, これを多粒子系に発展させた. また, シミュレーションを行うのに適したモデルを構築した.

粒子の帯電と付着力の解明: 電磁力を利用して(特に 10 ミクロン以下の)小さな粒子の操作を行う際に問題となる粒子の帯電や付着力に関して, サブミクロン単位の分解能で帯電分布を測定し, 以下に示すシミュレーションに役立てた.

シミュレーション手法の開発: 工学的に粉粒体挙動を計算するためには, 粒子群全体を連続体として扱うのではなく, ミクロな視点から粒子一つ一つの運動を追跡することによって全体の挙動を明らかにする個別要素法的手法によらざるを得ない. しかし, 個別要素法は(特に電磁力を受ける粒子群に対して)計算負荷が大きく, 計算機能力の進歩を考慮しても, 実用的な数値解を得ることがむづかしい. このため, 前述の解析解を利用して粒子衝突時の挙動を計算することなど, 既存の個別要素法を大きく改変し, 汎用的な PC でも実用的な近似解が得られるシミュレーション手法を開発した. また, 粒子の子細な動特性を高速度顕微鏡カメラによって直接観測する技術も開発した.

### 4. 研究成果

#### (1) 粒子の帯電と付着力の解明と計測技術の開発

静電場における粒子の動特性を把握するためには, 粒子の帯電と付着力を評価することが不可欠である. このため, 図 1 に示すような, 電界を利用した粒子の帯電分布を測定する方法を開発した. また, 付着力は, 図 2 に示すような, 遠心力を利用した測定技術を開発した. これらの手法を用いて得られた結果は, 事項に示す個別要素法の入力データとした.

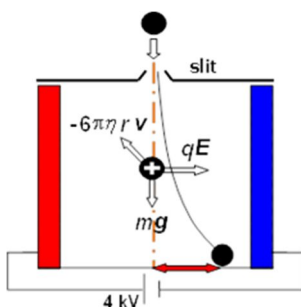


図 1 電界を利用した粒子の帯電分布測定

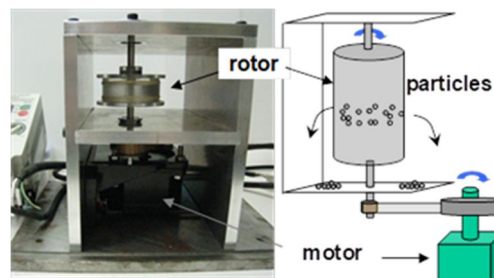


図 2 遠心力を利用した付着力測定

#### (2) 電磁粒体力学体系の構築とシミュレーション手法の開発

静電場における複雑な粉体運動を解析するために個別要素法を適用した数値シミュレーション技法を開発した. 個別要素法は電子写真システムや, 流動層, 静電場を活用した粉体のハンドリング等に適用され, 様々な現象の解明に貢献してきたが, 計算負荷が大きいという課題がある. さらに, トナーやルネゴリスのような数ミクロン程度の小粒径粒子を多く含む粒子群を扱う場合には計算負荷が増加する. 計算負荷の大部分は粒子同士の衝突に起因する処理であり, セルを使用した方法や, 接触力を予測する方法等が提案されているが, 未だに計算負荷の

問題は解決されていない。そこで、静電場を活用した粉体のハンドリング技術を対象として、より計算負荷を抑制できる衝突計算のアルゴリズムを開発し、それを適用したシミュレーションにより粉体運動の解析を行った。静電場における粉体運動を対象として新たに開発した粒子衝突の計算アルゴリズムでは、良い計算精度を保ちながら、従来のものと比較して計算回数を約 1/1000 程度まで減少させることができた。図 3 に太陽電池パネル上のダストの静電クリーニングにおける粒子運動の観測結果と計算結果を示す。計算結果が実際の減少をよく再現していることがわかる。

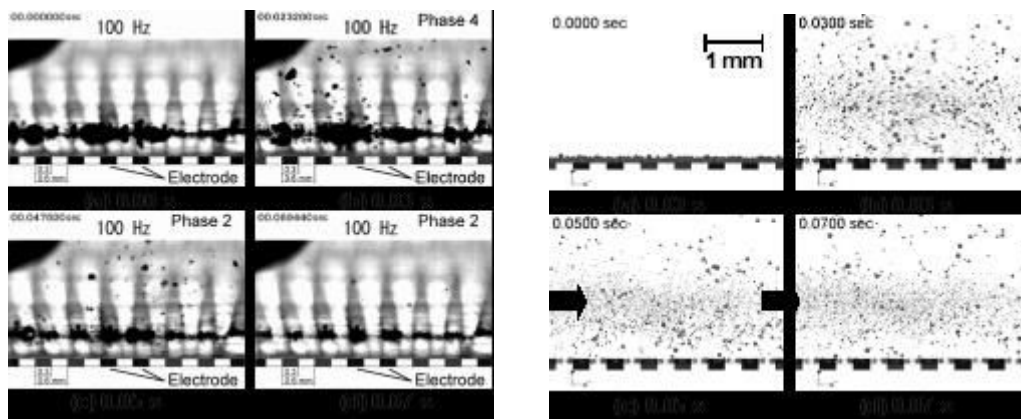


図 3 太陽電池パネル上のダストの静電クリーニングにおける粒子運動の観測結果（左）と計算結果（右）

### (3) レーザープリンターへの応用

本研究の工学への応用の第一は、レーザープリンターである。レーザープリンターの画像形成技術である電子写真は、光導電現象を利用して感光体上に静電的な電荷の像(静電潜像)を形成し、この静電潜像に着色した帯電微粒子(トナー)を静電力によって付着させ、さらにこの可視像となったトナーを紙などに転写・定着するものである。現像プロセスは、帯電させたトナーを感光体上の静電潜像に静電吸着させて顕像を得るための、高画質化を達成する上でもっとも重要なプロセスである。この現像プロセスは、2成分現像と1成分現像に大別される。2成分現像は、粒径 50 ミクロン程度の磁性粒子であるキャリアに、静電力によって粒径 10 ミクロン程度の非磁性トナーを一定の割合で付着させ、このトナーの付着したキャリアを、マグネットローラ(多極磁石、固定)が作る磁界によってスリーブ(非磁性、回転)上に付着させる。スリーブ上のキャリアはキャリア間の磁気力によってブラシ状に穂立ちしており、穂の先端が感光体を掃くように接触する。キャリアブラシの先端部に付着しているトナーは、キャリア・トナー・感光体間の静電力のバランスによって、感光体表面に形成された静電潜像に移動し、現像が行われる。2成分磁気現像はモノクロの高速機やカラー機に多く用いられている現像方式である。図 3 にこの 2 成分磁気現像プロセスに前述の個別要素法シミュレーションを適用した一例を示す。上段が計算結果で下段が観測結果であるが、計算結果は観測結果によく一致していることがわかる。なお、下段の観測結果は高速度顕微鏡カメラを用いて撮影したものであるが、このような計測技術による現象把握の有効性を示すものである。また、図 5 はキャリアとトナーの動特性を計算した一例である。

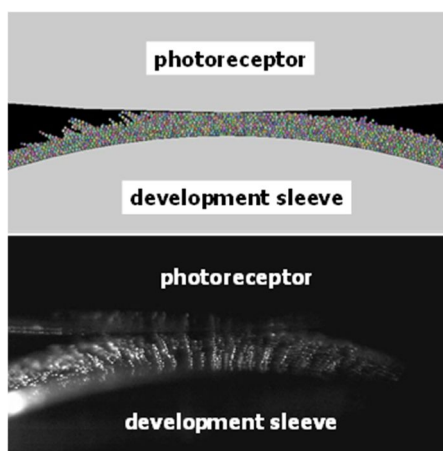


図 4 2 成分磁気現像プロセスの個別要素法によるシミュレーション結果(上段)と高速度カメラによる観測結果(下段)

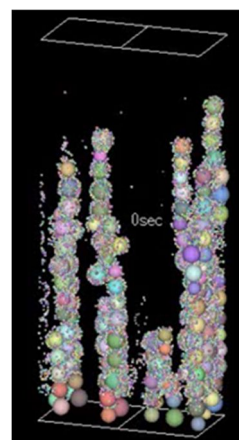


図 5 トナーとキャリアの動特性

(4) 宇宙探査への応用

宇宙探査は人類の普遍的な夢であり、各国でさまざまなプロジェクトが進められている。わが国でも、月周回衛星「かぐや」や小惑星探査機「はやぶさ」の成功が、科学的な成果だけでなく、われわれに夢と感動をあたえてくれたことは記憶に新しい。世界的な景気後退の波を受けてはいるが、将来的には各国で月面基地の建設や火星の有人探査なども計画されている。しかし、大規模な月・惑星探査を行う場合、月や火星の土壌に含まれるレゴリスが悪影響を及ぼすことが危惧されている。レゴリスは機器の隙間に入り込んで故障させることや、人体へ悪影響を及ぼすことが問題視されている。図6はこのような問題を含めて、レゴリスの悪影響軽減(mitigation)、利用(utilization)、およびサンプリング(sampling)に関して本研究で行ってきた研究をまとめたものである。

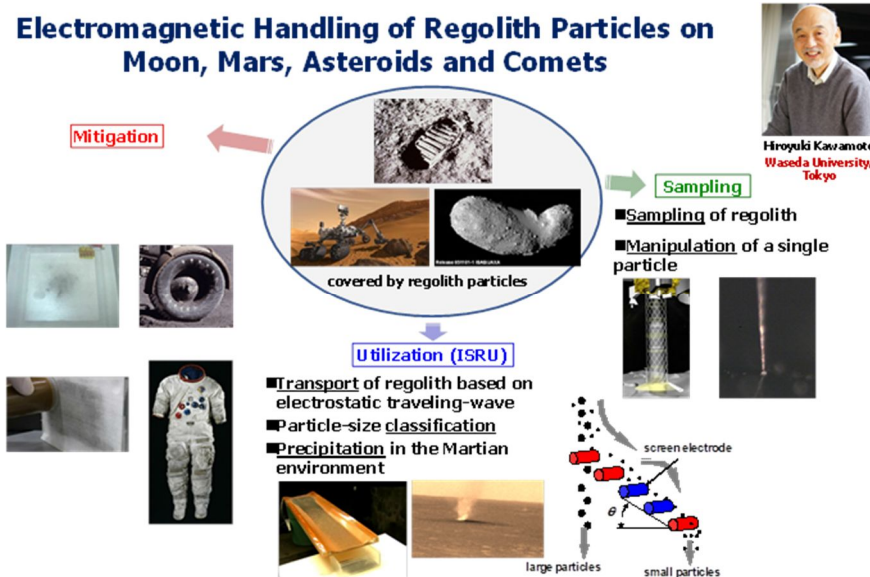


図6 電磁力の作用する粉粒体のダイナミクス研究の宇宙探査への応用

(5) メガソーラーの静電クリーニングへの応用

大規模な太陽光発電が目立っているが、ソーラーパネル上に砂が堆積し、発電効率を低下させることが問題となっている。このため、洗浄水を必要としない静電クリーニングシステムを考案し、その有効性を実証した。図7にシステム構成を示す。平行網状電極間に単相方形波を印加すると、周囲に周期的な電界が形成される。下部電極を太陽電池パネル表面に堆積したダストに近づけると、上下電極の極性が切り替わる際に、クーロン力と誘電泳動力によってダストの一部が飛翔する。図8は個別要素法によってダストの飛翔をシミュレーションしたものである。太陽電池パネルは通常傾いて設置されているため、上部電極から飛び出したダスト粒子は、重力によって下方に搬出される。したがって、この平行網状電極を左右上下に動かせば、パネル全体をクリーニングすることができる。実験の結果、実用的な条件で、堆積したダストの80%以上をクリーニングできることを実証した。なおこのシステムの開発は中東カールと共同で行っており、現在ドーハで実証実験が行われている。

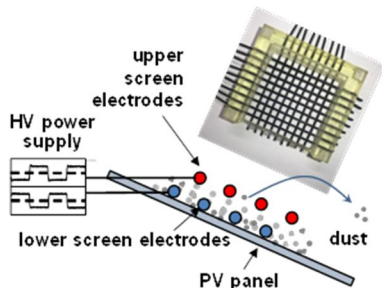


図7 メガソーラーの静電クリーニングシステム

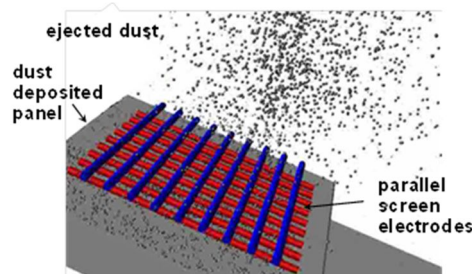


図8 個別要素法によるダストの飛翔シミュレーション

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 H. Kawamoto and N. Yoshida	4. 巻 31
2. 論文標題 Electrostatic Sampling and Transport of Ice for In-Situ Resource Utilization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 04018044-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000866	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 H. Kawamoto and S. Hashime	4. 巻 94
2. 論文標題 Practical performance of an electrostatic cleaning system for removal of lunar dust from optical elements utilizing electrostatic traveling wave	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Electrostatics	6. 最初と最後の頁 38-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elstat.2018.05.004	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 H. Kawamoto and S. Kojima	4. 巻 32
2. 論文標題 Electrostatic Precipitation in the Martian Environment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 04019006-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000995	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 H. Kawamoto	4. 巻 98
2. 論文標題 Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Electrostatics	6. 最初と最後の頁 11-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elstat.2019.02.002	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 川本	4. 巻 26
2. 論文標題 月・火星・小惑星環境における静電力応用技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AEM学会誌	6. 最初と最後の頁 497-504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.14243/jsaem.26.497	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 川本	4. 巻 43
2. 論文標題 真空中での粉体のハンドリング技術	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 73-77
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 M. Adachi, T. Kojima and H. Kawamoto	4. 巻 30
2. 論文標題 Electrostatic Sampler for Large Regolith Particles on Asteroids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 04016098-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000701	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 M. Adachi, R. Obata, H. Kawamoto, S. Wakabayashi and T. Hoshino	4. 巻 31
2. 論文標題 Magnetic Sampler for Regolith Particles on Asteroids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 04017095-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000797	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 M. Adachi, K. Hamazawa, Y. Mimuro and H. Kawamoto	4. 巻 89
2. 論文標題 Vibration Transport System for Lunar and Martian Regolith Using Dielectric Elastomer Actuator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Electrostatics	6. 最初と最後の頁 88-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elstat.2017.08.003	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 M. Adachi, H. Moroka, H. Kawamoto, S. Wakabayashi and T. Hoshino	4. 巻 89
2. 論文標題 Particle-Size Sorting System of Lunar Regolith Using Electrostatic Travelling Wave	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Electrostatics	6. 最初と最後の頁 69-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elstat.2017.08.002	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 H. Kawamoto and B. Guo	4. 巻 91
2. 論文標題 Improvement of an electrostatic cleaning system for removal of dust from solar panels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Electrostatics	6. 最初と最後の頁 28-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elstat.2017.12.002	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 該当する

1. 著者名 川本	4. 巻 27
2. 論文標題 太陽電池パネルに堆積するダストの静電クリーニング	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 クリーンテクノロジー	6. 最初と最後の頁 65-68
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 無
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 川本	4. 巻 41
2. 論文標題 静電インクジェットによる液滴形成とその成膜技術などへの応用	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 218-222
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 T. Tamura, R. Akiyama, R. Tanaka, H. Kawamoto and S. Umezu	4. 巻 277
2. 論文標題 Groove fabrication on surface of soft gelatin gel utilizing micro-electrical discharge machining (Micro-EDM)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Food Engineering	6. 最初と最後の頁 109919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109919	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 H. Kawamoto	4. 巻 33
2. 論文標題 Improved Electrostatic Precipitator in Martian Environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 4020011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0001127	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 H. Kawamoto	4. 巻 33
2. 論文標題 Vibration Transport of Lunar Regolith for In-Situ Resource Utilization Using Piezoelectric Actuators with Displacement-Amplifying Mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Aerospace Engineering	6. 最初と最後の頁 4020014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0001128	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27件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 H. Kawamoto and M. Kato
2. 発表標題 Electrostatic Cleaning Equipment for Dust Removal from Solar Panels of Mega Solar Power Generation Plants
3. 学会等名 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川、諸岡、野崎、川本
2. 発表標題 真空中における月レゴリスの静電分級機構の開発
3. 学会等名 第30回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウムSEAD30
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江川、小畑、舘野、川本
2. 発表標題 磁気力を用いた月・火星土壌のサンプリングシステム
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2018 (D&D2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭、濱澤、小川、川本
2. 発表標題 ピエゾアクチュエータを用いた粒子振動搬送装置の開発
3. 学会等名 2018年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本、小早川、荻野、高掘
2. 発表標題 火星環境における静電集塵機構
3. 学会等名 第27回スペース・エンジニアリング・コンファレンス [SEC ' 18]
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田、川本
2. 発表標題 進行波電界を用いた月の氷粒子の採取
3. 学会等名 機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawamoto and B. Guo
2. 発表標題 Practical Performance of Electrostatic Cleaning System for Removal of Sand from Solar Panels
3. 学会等名 Desert PV Module Workshop (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Kawamoto
2. 発表標題 Electrostatic Sampling and Transport of Water Ice in Space Environment
3. 学会等名 ISTS31: 31st International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Kawamoto, S. Kojima and S. Inari
2. 発表標題 Electrostatic Precipitation in the Martian Environment
3. 学会等名 Planetary and Spacecraft Dust Properties and Mitigation Technologies ICES2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Kawamoto
2. 発表標題 Electromagnetic Handling of Regolith Particles on Moon, Mars, Asteroids, and Comets
3. 学会等名 12th Low-Cost Planetary Missions Conference (LCPM-12) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Kawamoto
2. 発表標題 Electrostatic Cleaning Equipment for Removal of Dust from Solar Panels
3. 学会等名 The 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋目、尤、川本
2. 発表標題 光学機器に堆積するルナダストの進行波電界を利用したクリーニング機構
3. 学会等名 第29回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウムSEAD29
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野崎、諸岡、安達、川本
2. 発表標題 進行波電界を利用した月レゴリスの静電分級機構の開発
3. 学会等名 日本機械学会、Dynamics and Design Conference 2017 第15回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田、川本
2. 発表標題 静電力を利用した小惑星上の氷のサンプリング
3. 学会等名 日本機械学会、Dynamics and Design Conference 2017 第15回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 館野、小畑、川本
2. 発表標題 磁気力を利用した月・火星試料のサンプリングシステム
3. 学会等名 第28回MAGDAコンファレンスin金沢 講演論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川本
2. 発表標題 月の極域における氷の静電サンプリング - Feasibility Study -
3. 学会等名 月極域探査に関するワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川本
2. 発表標題 電磁界中における粒子のダイナミクスとその惑星探査への応用 - ダストの静電クリーナーについて -
3. 学会等名 宇宙科学談話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川本、吉田、前田
2. 発表標題 イオン風を利用した火星環境におけるCO2ガスの導入機構
3. 学会等名 第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD31)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本
2. 発表標題 静電力を利用した太陽電池パネル上の砂のクリーニング機構
3. 学会等名 D&D2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本、久保
2. 発表標題 鉛直振動による月レゴリスや氷の回収機構
3. 学会等名 機械学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秦、柴田、川本
2. 発表標題 進行波電界を用いた月面における氷の垂直サンプリング機構
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江川、鮎川、岩坪、川本
2. 発表標題 磁力を利用した月・火星土壌のサンプリングシステム
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本、郭、武田、陳
2. 発表標題 月レゴリスの振動搬送と粒度分別
3. 学会等名 第28回スペース・エンジニアリング・コンファレンス [SEC'19]
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawamoto
2. 発表標題 Vibration Transport of Lunar Regolith for In-Situ Resource Utilization Using Piezoelectric Actuators with Displacement-Amplifying Mechanism
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (32th ISTS)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Kawamoto
2 . 発表標題 Improved Electrostatic Precipitator in Martian Environment
3 . 学会等名 49th International Conference on Environmental Systems (ICES 2019)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 B. Guo, W. Javed, B. Figgis, Y. S. Khoo, C-Yu Wu, J. Chesnutt and H. Kawamoto
2 . 発表標題 Electrodynamic Dust Shield for Particle Repulsion in Solar Energy Applications
3 . 学会等名 IOP Electrostatics Conference 2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Kawamoto
2 . 発表標題 Electrostatic Cleaning of Dust on Solar Panels of Mega Solar Power Generation Plants
3 . 学会等名 Workshop on International Standards Related to Solar PV Power Generation and Operating Solar PV Plants in Desert Environments
4 . 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Kawamoto Lab  <a href="http://www.kawamoto.mech.waseda.ac.jp/kawa/">http://www.kawamoto.mech.waseda.ac.jp/kawa/</a></p>
--

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