

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14428

研究課題名（和文）破砕性粉体のレオロジーに関する理論的研究

研究課題名（英文）Theoretical studies on the rheology of crushable granular particles

研究代表者

高田 智史（Takada, Satoshi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00843757

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：粉体の破砕現象を模擬するモデルの作成およびそれを用いたシミュレーションを実行し、破砕性粉体の破砕過程やレオロジーをミクロな視点から調べることができた。また凝着性や帯電した粒子のモデルなども用いることでそれらがレオロジーに与える影響について調べた。さらに相補的なアプローチとして動弾性理論を用いた連続体的なアプローチを実施することにより、破砕に至るまでの粒子内部の応力場の様子を調べることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまであまり理論的に取り扱われてこなかった粉体の破砕が、粉体のレオロジーに与える影響について多面的に研究を実施することができた。また土木工学や地球科学などの諸分野に繋がる学際的なアプローチを行うことで、分野横断的な研究を実施できたことは特筆に値する。将来的にはこの研究を発展させることで、効率的な破砕方法の提案や、逆に破砕されづらい物体の作成などへの応用を広げられるのではないかと考えている。

研究成果の概要（英文）：We have developed a model that simulates the crushing phenomenon of granular materials, and have performed simulations using the model to investigate the crushing process and rheology of their particles from a microscopic viewpoint. We have also investigated the effects of adhesion and charged particles on rheology. As a complementary approach, a continuum approach using elastodynamic theory has been applied to investigate the stress field inside the particle up to the fracture.

研究分野：粉体物理学

キーワード：レオロジー 破砕性粉体 運動論 動弾性論

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

我々の身の回りには、砂やコーヒー豆、トナー粒子といった粉体と呼ばれるマクロなサイズ ($\geq 10^{-6}$ m)の物質が存在する。そのような系ではエネルギー散逸という特性のため、通常の固体・液体・気体とは異なる振る舞いを示す。このような系の流動特性(レオロジー)を解明することは、非平衡統計力学の枠組みの構築という意味で物理学的に興味深いだけでなく、異種粒子の効率的な混合という意味で化学工学、断層中の粒子の挙動の理解という意味で地球科学など、各領域でも重要な問題になっている。

レオロジーを調べる一番シンプルなセットアップとしては、系に剪断をかけるという方法がある。このような系ではある転移密度以下では粉体は流体的で剪断応力が剪断率の間に成り立つバグノールド則などが古くから知られている。一方、転移密度では粒子同士の引っ掛かりが起き、系は固体的に振る舞う。また近年、本来液体的である領域でも外力下では系が固体化するシアジャミングと呼ばれる現象も報告もなされている[1]。

以上の研究は、単純な球形粒子を考え、粒子の変形に比例した斥力が粒子に働き、その構成粒子はそれ以上細かいものに分解することがないと考えたモデルを用いることにより得られた結果である。しかし岩石などを考えるとわかるとおり、粒子に強い応力がかかると粒子の破砕が起き、より細かい粒子の集まりに分解されること、つまり破砕現象が起きることを我々は直感的に知っている。この破砕がレオロジーに与える影響を調べることは様々な応用先を考える上で重要であると思われるが、これに関連した先行研究は実験的研究[2]や準静的な一軸圧縮による破壊のみに着目した数値的研究[3]がほとんどであり、流動特性を包括的に調べた研究は寡聞にして知らない。そこで本研究の学術的な問いは、「破砕により粉体系のレオロジーはどのように変化するか？」ということになる。

[1] D. Bi, et al., Nature 480, 355 (2011).

[2] H. Stünitz, et al., J. Struct. Geol. 32, 59 (2010).

[3] J.-G. Qian, et al., J. Mt. Sci. 14, 758 (2017).

2. 研究の目的

以上から、本研究の目的は「理論的・数値的方法により破砕により粉体系のレオロジーがどのように変化するかを包括的に理解する」となる。最終的な目標は破砕性粉体を記述する連続体方程式を構築することであるが、本研究ではそのために必要な、破砕性粉体のレオロジーを離散要素の基礎方程式から明らかにすることを目標とする。

通常、粒子が破砕するときの記述は連続媒質を考え、そこに亀裂が存在した時の変形を有限要素法などで解析していくことが主である。しかしながら離散要素系の集まりである粉体系にそれが適用可能かについては自明ではない。そこで本研究では図1のようにより小さな粉体粒子を(一定の応力がかかると破壊され再生しない)結合ボンドで結びつけ、それを集めることにより一つの大きな粉体粒子を作成する。これに種々の外力を作用させた際の応答を調べることで、粉体粒子の基礎方程式からボトムアップ式に破砕プロセスを調べることができ、粉体系を連続体的に記述するためのファーストステップになるのではないかと考えた。

この破砕という現象は化学工学や岩石の粉砕が興味の対象となる岩盤工学だけでなく、クレーター形成時の小天体の破壊や土星のリング形成など惑星科学の興味の対象となるなど、極めて学際的分野である。



図1 シミュレーションにおける破砕性粒子の構成例。

3. 研究の方法

主として以下の4つの手法・モデルを用いて研究を進めた。

- (1) 上に述べた目的を達成するため、離散要素法を用いたシミュレーションに粒子同士をつなげる「ボンド」を導入し、実行した。
- (2) またそれと並行して粒子間や粒子の周りの流体が存在していたり、粒子が帯電している場合の状況などを模擬したモデルの作成および解析、さらに運動論的なアプローチによる理論的解析を行った。
- (3) それとは別のアプローチとして動弾性理論を援用することで破砕に至るまでの粒子内部の応力の時間発展を明らかにすることも行った。
- (4) さらに機械学習を用いることで剪断がかかった状況下で観測される間欠的な応力降下現象を予測可能かについて調べた。

4. 研究成果

3. で述べた書く手法で得られた結果について述べる。

- (1) 破砕性粉体をモデル化し、それを用いたシミュレーションを実行した。粒子同士を衝突させる場合およびそれらを多数集めて外部から剪断をかけた場合について調べ、破砕の進行により生じる破片サイズ分布が冪的な分布を示すことを発見した。またサイズ分布が最初から存在すると仮定した運動論を構築することで冪分布が系全体のレオロジー特性に与える影響についても議論できた。
- (2) 粉体粒子が溶媒中に存在する場合、粒子が帯電している場合の運動論を構築し、レオロジーを調べた。特に前者の場合には粒子の慣性と溶媒からの抵抗により生じる不連続シアシックニングだけでなく、粒子の柔らかさに起因する2回目の不連続シアシックニングが生じうることを理論的に示した。また後者についてはプラスとマイナスに帯電する2種類の粒子が存在する場合に適用できる運動論を構築することで、外力により粒子同士が十分離れている場合を記述できることがわかった。
- (3) 対向集中荷重を受ける場合の2次元弾性円板や3次元弾性球、また2次元弾性中空円板などに対して応力の時間発展を記述できる動弾性理論の解析を行った。その結果、弾性体内部を移動するP波やS波、表面を伝播するレイリー波などの表式を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Chatterjee Amit Kumar、Takada Satoshi、Hayakawa Hisao	4. 巻 131
2. 論文標題 Quantum Mpemba Effect in a Quantum Dot with Reservoirs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 080402-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.131.080402	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 Takada Satoshi、Hayakawa Hisao、Garzo Vicente	4. 巻 2023
2. 論文標題 Rheology of a dilute binary mixture of inertial suspension under simple shear flow	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptad126	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 Sato Yosuke、Ishikawa Haruto、Takada Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Revisiting Stress Propagation in a Two-Dimensional Elastic Circular Disk Under Diametric Loading	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Elasticity	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) 10.1007/s10659-023-10047-4	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 SATO Yosuke、TAKADA Satoshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Revisiting stress propagation in a three-dimensional elastic sphere under diametric loading	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 23-00262 ~ 00262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.23-00262	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 K. Yoshii, S. Takada, K. Kurosawa, and T. Poeschel	4. 巻 35
2. 論文標題 Rheology of dilute granular gas mixtures where the grains interact via a square shoulder and well potential	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 023327-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0132127	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 該当する

1. 著者名 Ishikawa Haruto, Takada Satoshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Impact of Softness of Particles on Rheology of Dilute Granular Gases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 064801 ~ 064801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.064801	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 Takada Satoshi, Serero Dan, Poeschel Thorsten	4. 巻 935
2. 論文標題 Transport coefficients for granular gases of electrically charged particles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A38 ~ A38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2022.37	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 Kubota Takumi, Ishikawa Haruto, Takada Satoshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Drag of Two Cylindrical Intruders in a Two-Dimensional Granular Environment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054803 ~ 054803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.054803	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 Kubota Takumi、Ishikawa Haruto、Takada Satoshi	4. 巻 249
2. 論文標題 Drag of a cylindrical object in a two-dimensional granular environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 03033 ~ 03033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202124903033	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 Takada Satoshi	4. 巻 249
2. 論文標題 Homogeneous cooling and heating states of dilute soft-core gases under nonlinear drag	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 04001 ~ 04001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202124904001	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 Ishikawa Haruto、Takada Satoshi、Matsumoto Yuji	4. 巻 249
2. 論文標題 Rheology of two-dimensional crushable granular materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 07007 ~ 07007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202124907007	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 該当する

1. 著者名 Takada Satoshi、Hayakawa Hisao、Santos Andres	4. 巻 103
2. 論文標題 Mpemba effect in inertial suspensions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 032901- 1 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.032901	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 該当する

1. 著者名 Sugimoto Shuichi、Takada Satoshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Addendum to “Two-Step Discontinuous Shear Thickening of Dilute Inertial Suspensions Having Soft-Core Potential” [J. Phys. Soc. Jpn. 89, 084803 (2020)]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 127001-1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.127001	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 Takada Satoshi、Hayakawa Hisao	4. 巻 2
2. 論文標題 Particle flows around an intruder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 033468-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033468	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 Takada Satoshi、Hayakawa Hisao、Santos Andres、Garzo Vicente	4. 巻 102
2. 論文標題 Enskog kinetic theory of rheology for a moderately dense inertial suspension	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 022907-1~23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.102.022907	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 該当する

1. 著者名 Sugimoto Shuichi、Takada Satoshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Two-Step Discontinuous Shear Thickening of Dilute Inertial Suspensions Having Soft-Core Potential	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084803~084803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.084803	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 Hayakawa Hisao, Takada Satoshi, Garzo Vicente	4. 巻 101
2. 論文標題 Erratum: Kinetic theory of shear thickening for a moderately dense gas-solid suspension: From discontinuous thickening to continuous thickening [Phys. Rev. E 96, 042903 (2017)]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 084803-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.069904	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 該当する

1. 著者名 Ishikawa Haruto, Takada Satoshi	4. 巻 26
2. 論文標題 2次元破砕性粉体のシミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 67, 70
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計38件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Shunsuke Iizuka, Satoshi Takada, and Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Revisiting the kinetic theory for moderately dense granular flows
3. 学会等名 28th International Conference on Statistical Physics, Statphys28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Andres Santos, Alberto Megias, Satoshi Takada, Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Protocols for the Mpemba effect in granular fluids
3. 学会等名 28th International Conference on Statistical Physics, Statphys28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Takada, Kazuhiro Hara, and Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Discontinuous shear thickening of a moderately dense inertial suspension of hydrodynamically interacting frictionless soft particles
3. 学会等名 28th International Conference on Statistical Physics, Statphys28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡村謙, 佐藤瑤介, 高田智史
2. 発表標題 対向集中荷重を受ける2次元弾性中空円板内の応力伝播
3. 学会等名 日本機械学会 2023年度 年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中蒼大, 佐藤瑤介, 高田智史
2. 発表標題 粉体層への物体衝突による応力伝播シミュレーション
3. 学会等名 日本惑星科学会 2023年秋季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shunsuke Iizuka, Satoshi Takada, Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Revisiting the kinetic theory for moderately dense granular flows
3. 学会等名 3rd Regular Kakenhi Meeting "Theoretical studies of non-equilibrium driven-dissipative systems"
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中島功介, 阿部奏斗, 高田智史
2. 発表標題 トラクションコントロールが不整地走行する車輪の挙動に与える影響の数値的解明
3. 学会等名 第44回テラメカニックス研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shunsuke Iizuka, Satoshi Takada, Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Revisiting the kinetic theory for moderately dense granular flows
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Rapid granular flows and turbulent particle suspensions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shunsuke Iizuka, Satoshi Takada, Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Kinetic theory of moderately dense dry granular particles under a simple shear: steady flows and anomalous relaxation dynamics
3. 学会等名 4th Regular Kakenhi Meeting "Theoretical studies of non-equilibrium driven-dissipative systems"
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡村謙, 佐藤瑤介, 高田智史
2. 発表標題 対向集中荷重を受ける2次元弾性中空円板内の衝撃波の解析
3. 学会等名 2023年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 外田慎太郎, 高田智史
2. 発表標題 離散要素法を用いたジャミンググリッパの把持機構の解明
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会 第63回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡村謙, 佐藤瑤介, 高田智史
2. 発表標題 対向集中荷重を受ける2次元弾性中空円板内の応力波の解析
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会 第63回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 飯塚俊介, ○高田智史, 早川尚男
2. 発表標題 剪断下における粉体ガスの緩和ダイナミクスと定常ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高田智史
2. 発表標題 慣性サスペンション系の運動論
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 瑶介, 石川 遥登, 高田 智史
2. 発表標題 衝撃荷重を受ける2次元弾性円板内の応力伝播
3. 学会等名 日本機械学会 2022年度 年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yosuke Sato, Haruto Ishikawa, Satoshi Takada
2. 発表標題 Stress propagation in a two-dimensional elastic circular disk under diametric loads
3. 学会等名 2nd Regular Kakenhi Meeting "Theoretical studies of non-equilibrium driven-dissipative systems"
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 瑶介, 石川 遥登, 高田 智史
2. 発表標題 対向集中荷重を受ける2次元弾性円板内の応力伝播の解析
3. 学会等名 第18回 衝突研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保田 卓実, 石川 遥登, 高田 智史
2. 発表標題 2次元粉体中における楕円形物体の掃引則
3. 学会等名 第10回ソフトマター研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤瑤介, 石川遥登, 高田智史
2. 発表標題 対向集中衝撃荷重を受ける2次元弾性円板内の応力伝播
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡村謙, 佐藤瑤介, 高田智史
2. 発表標題 対向集中荷重を受ける2次元弾性中空円板内の応力解析
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤瑤介, 石川遥登, 高田智史
2. 発表標題 対向集中衝撃荷重を受ける2次元弾性円板内の応力伝播
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉井究, 高田智史, 黒澤耕介, Thorsten Poeschel
2. 発表標題 電荷を有する希薄粉体ガスのレオロジー
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Takada, Hisao Hayakawa
2. 発表標題 Kinetic theory of inertial suspensions: Steady rheology and Mpemba effect
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会 ガラスおよび関連する複雑系の最先端研究（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田智史, 早川尚男, Vicente Garzo;
2. 発表標題 2分散系の稀薄慣性サスペンションのレオロジーに関する運動論
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田智史
2. 発表標題 粉体粒子の変形とレオロジー
3. 学会等名 天体の衝突物理の解明 (XVII) ~ 小天体進化における圧密過程の役割 ~ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山路大樹, 石川遥登, 高田智史
2. 発表標題 粒子数が冪分布に従う多分散粉体ガスのレオロジー
3. 学会等名 第27回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田智史, 原和寛, 早川尚男
2. 発表標題 軟らかな粒子の慣性サスペンションのレオロジー
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田智史
2. 発表標題 粒子の柔らかさが粉体ガスおよびサスペンション系のレオロジーに及ぼす影響についての理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中蒼大, 高田智史
2. 発表標題 蠕動運動による摩擦のある粉体粒子の輸送シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保田卓実, 石川遥登, 高田智史
2. 発表標題 二次元粉体中における楕円形物体の掃引シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川遥登, 高田智史
2. 発表標題 剪断下における2次元粉体の破碎シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤瑠介, 高田智史
2. 発表標題 粒子法による2次元弾性体の大変形シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原和寛, 高田智史
2. 発表標題 引力を持つ軟らかな粒子の慣性サスペンションのレオロジー
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田智史、早川尚男、Andres Santos
2. 発表標題 一様剪断下での慣性サスペンション系におけるMpemba効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川遥登、高田智史
2. 発表標題 2次元破砕性粉体のシミュレーション
3. 学会等名 第26回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田智史、早川尚男、Andres Santos、Vicente Garzo
2. 発表標題 高密度慣性サスペンションのレオロジーに関するEnskog運動論
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本修一、高田智史
2. 発表標題 柔らかな粒子を用いた稀薄慣性サスペンションのレオロジーに関する運動論
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川遥登、高田智史
2. 発表標題 一様剪断下における2次元破砕性粉体のレオロジー
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020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
---------	---------