

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26709008

研究課題名(和文) 分子論と連続体をつなぐ新たな流動計測理論と相似則の確立

研究課題名(英文) Fluid measurement theory and similarity law at the mesoscale between molecules and continuum

研究代表者

花崎 逸雄 (Hanasaki, Itsuo)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・特任准教授

研究者番号：10446734

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流体にまつわる力学現象に焦点を当て、分子論と連続体の間におけるメソスケールの領域において、熱揺らぎに起因するブラウン運動が重要となる物質系の計測理論と相似則を追究した。その結果、流体中に微粒子群が漂う系において粒子追跡の困難に対処しながらブラウン運動の特性を実験計測で評価する幾つかの方法論を確立すると共に、ナノ粒子がナノ流路を通過する際に生じるペクレ数の逆数で整理できる特性を明らかにした。また、メソスケールの現象を扱う工学的に重要な幾つかの事例について、具体的な力学上の特性を明らかにした。このようにして、ブラウン運動がメソスケールの流動現象において本質的に重要なことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We focused on the fluid-related phenomena at the mesoscale between the molecular theory and continuum. We have developed several techniques of measurement data analysis typically obtained from microscopy, where Brownian particles are suspended in fluid. In particular, we have enabled distinction of mixed data of displacements originating from partial adsorption or confused tracking. Furthermore, we developed a novel technique that enables the quantitative evaluation of diffusion field just like velocity field in the PIV analysis. On the other hand, we have also revealed a universal property in the transport of Brownian particles with spherical symmetry through a channel with the height similar to the particle diameter. This is not predicted from macroscopic theories of fluid mechanics, but it can also be described in terms of (the inverse of) Peclet number. We have also shown several case studies where mesoscale dynamics is of fundamental importance in the engineering applications.

研究分野：統計力学と力学系の視点による応用力学を通じて拡張された機械工学

キーワード：ペクレ数 散乱光 メソスケール 導電性インク ナノ粒子 ナノペーパー セルロース ナノファイバー

1. 研究開始当初の背景

多様な力学現象を扱う機械工学において、歴史的な経緯から連続体描像で扱われるマクロな物質系の取り扱いが高度に洗練されてきた。また一方で、近年ナノテクノロジーの広範な開拓と産業レベルでの関連性により、メカニズムの追究や予見・設計において原子・分子レベルの解像度が必要な力学現象の取り扱いも、分子動力学法をはじめとする計算力学的なアプローチにより具体的な取り扱いが急速に進展してきた。例えば、カーボンナノチューブの内部を水が流れる時の流動現象が Poiseuille 流よりもプラグ流に近いことが予見される (J. Chem. Phys., Vol.124, 144708 (2006)) と共に、それに対応する実験結果の報告事例もほぼ同時期に現れる (Science, Vol.312, pp1034 - 1037 (2006)) など、原子レベル解像度の取り扱いが必要で尚且つ現象を記述する上で必要な時空間スケール自体が十分に小さい現象は、的確な定式化と計算機の活用を通じて、かなりのことが予見できるようになってきた。

しかし、連続体と分子論の間の時空間スケールが重要な力学現象に関しては、連続体と分子論それぞれの時空間スケールで有効な記述が不十分になることが少なくない。流体力学における例を挙げるならば、Navier - Stokes 方程式には熱揺らぎの影響が含まれておらず、ブラウン運動が激しい系における流動現象の記述には不十分な場面が数多く存在する。これは、平均値だけを見ても分散について直接知ることはできないことと同じである。その一方で、原子1個1個について運動方程式を解く数値計算手法である標準的な分子動力学法のアプローチでは、計算負荷が高過ぎて現象を取り扱いきれない場面が数多く存在する。

もちろん、粗視化 (Coarse Graining) の手法を駆使した粗視化分子動力学法により、分子動力学法の枠組みで取り扱える時空間スケールを大きくすることが可能である。例えば、細胞の主成分である脂質二分子膜が周囲流体のせん断流れにより構造不安定を引き起こすメカニズムは、せん断流れによって脂質分子が傾くことをきっかけとして膜構造レベルの座屈変形に発展するというマルチスケールな現象であることが明らかにできる (Phys. Rev. E, Vol.82, 051602 (2010))。そして、このような事実を明らかにすることにより、直接計測による証明が難しい血管内皮細胞の力学などへも示唆を与えることができる (Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol., Vol.309, pp.H1178 - H1185 (2015))。

しかし、粗視化分子動力学法は従来の分子動力学法と同様に、系を記述する力場を手に入れて初めて計算を実際に行うことが可能になる。この力場は、全原子型の分子動力学計算を通じてサンプリングすることにより第一原理的に獲得することができるが、その計算自体が極めて高い計算負荷を伴う場合

も少なくない。したがって、力場を獲得するための高い計算負荷も考慮に入れると、メソスケールの力学現象についても常に粗視化分子動力学法で扱うということは必ずしも現実的な解決法にはならない。研究開発の現場において、目的や目標の設定などから時間的な制約を伴う結果として、膨大な計算を行いながら実験を行うことができないような場合がある。そのような状況でも示唆を与えることができるように力学的な法則性を明らかにし、学術的に体系化していく地道な取り組みも並行して必要である。つまり、個別の具体的な問題を解くための計算力学的な取り組みに限定される考え方ではなく、分子論と連続体をつなぐためにも計算力学的な取り組みも必要であると言える。

また、分子論と連続体の間のメソスケールにおいて、流動現象の計測ではマイクロ PIV (Particle Image Velocimetry) が長らく活用されてきたが、注目されている力学量は主として速度場であり、ブラウン運動は速度場を評価する上での「ノイズ」として忌避されてきた。しかし、ブラウン運動は、実際には計測対象を構成する本質的な特徴の構成要素であり、少なくとも「外乱」ではない。注目する対象の空間スケールが小さくなるほど、その揺らぎの影響は相対的に大きくなる。これは、ランダム誤差の定量評価の背後にある中心極限定理と同じくらい、普遍的な事実である。流体におけるブラウン運動の激しさは、最も基礎的なレベルでは拡散係数と対応付けられる。分子論と連続体の間の時空間スケールにおいて計測を通じて流体を取り扱うには、ブラウン運動の特徴を評価する新たな計測の理論的手法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、分子論と連続体をつなぐ新たな流動計測理論として、計測データを通じたブラウン運動の特徴に関する定量評価法を新たに開発する。また、マクロな連続体の描像において普遍的な相似則が多く知られているのに対して未開拓な、分子論と連続体をつなぐ時空間スケールにおける自明でない流動現象に対して、メカニズムを明らかにすると共に相似則を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、数値計算と実験計測の両方のアプローチを用いる。前者の場合も、目的や対象とする系の特徴に応じて数値計算手法を的確に使い分ける。原子レベルの空間解像度が必須の問題では標準的な分子動力学法の枠組みを用いて直接的なシミュレーションを行い、メソスケールの解像度で十分な対象については揺らぎ格子ボルツマン法を用いたり、それを足場にしてさらに計算負荷を軽減した簡略化モデルを構築したりする。例えば、Reynolds 数と Stokes 数が共に十分に小さい条件でのナノ粒子の流体による輸送

現象の記述では、定常流れ場と Langevin 方程式の連成で記述することにより飛躍的な計算スピードの向上が実現する。このことにより、マクロな連続体描像では原理的に予見不可能な現象に対して、粗視化分子動力学法でも揺らぎ格子ボルツマン法でも扱いきれない状況での体系的な数値計算による膨大なサンプリングを可能にする。実験計測においては、主として倒立型光学顕微鏡と高感度カメラを用いて生データとなる動画データの獲得を行う。また一方で、より大きな空間スケールを長時間に計測する場合には専用の実験計測系を組んでデジタルカメラでのタイムラプス撮影を行って解析対象となる時系列の生データを獲得する。これらの生データに対して統計力学的なアプローチのデータ解析を行い、ランダムさに満ちた現象の統計的な法則性を定量的に検証することが可能になる。

4. 研究成果

ここでは、得られた成果のうち主要なものについて概説する。まず、分子論と連続体を結ぶ理論的な体系において、原子 1 個 1 個の運動を表す Newton の運動方程式を粗視化するとメソスケールにおいて Langevin 方程式が得られるが、この方程式を得る粗視化の過程では、注目する粒子の質量が周囲流体を構成する流体分子のそれよりも十分に大きいという前提を導入して近似を行う。それゆえ、この前提が成り立たない状況において Langevin 方程式の予測がどこまで近似的に活用できるのかという点は不明である。そこで、実際に原子 1 個 1 個について運動方程式を解くことによりブラウン運動を計算機上に再現し、その特性を直接統計的に評価した。その結果、Langevin 方程式の成立範囲を超えた条件における拡散現象では、拡散係数が注目する粒子の質量にも依存することなどが明らかになった (cf. 論文)。

そして、球対称形状微粒子が受ける低 Reynolds 数条件における流動抵抗に関して、マクロな系とは異なり同じ力を作用させた場合にはブラウン運動の影響により質量に依存する特性があることが明らかとなった (cf. 論文)。すなわち、電気泳動のように一定の力をかける場合の流動抵抗と、粒子を完全に空間に固定して周囲流体と相対速度を持つ状況においた場合の流動抵抗が異なる、という分子流体力学的な特性を明らかにした。これは、固体壁面上の流動抵抗の低減を狙う技術開発において、表面に柔軟な自己組織化単分子膜を形成することと剛性の高い起伏構造を付与することを検討する場合に、形状や静力場の違い以外に剛性の違いも影響を与えることを示唆しており、工学的な応用上も分子論と連続体を結ぶ重要な力学上の知見となっている。

さらに、微粒子がナノ流路あるいは細孔を通過する現象がある。これは、Lab on a Chip

から多孔質膜による過やクロマトグラフィーに至るまで多様な学術・産業上の応用に関係する場面である。これまでに、DNA のような鎖状の高分子が細孔を通過する際に、エントロピー効果により周囲流体ほど円滑に輸送されないことが知られてきた。しかし、球対称形状で配向に依存せず細孔を通過可能な場合において、果たして周囲流体と輸送現象に差異が現れ得るのか否かについては未知であった。マクロな流体力学においては、Reynolds 数が小さく尚且つ Stokes 数が十分に小さい系において球形微粒子は流体の輸送に純粋に追従すると考えられる。これに対して、細孔とナノ粒子の粒径が大差無い状況において、激しいブラウン運動が時間平均されれば影響がないのか、それとも正味の輸送現象に差異が現れるのか、メソスケールの数値計算により膨大なサンプリングを行い検証した。その結果、球形微粒子でも周囲流体との輸送特性の違いがあることが明らかになった (cf. 論文)。そして、その現象はペクレ数 (の逆数) を用いた相似則に従うことを明らかにした。

以上のような力学現象の法則性の追究に加え、ナノ流路内における計測でのブラウン運動に起因する見かけと実際の計測結果の差異についても、膨大な数値解析により系統的な検証をおこなった (cf. 論文)。その結果、カメラのフレームレートと露光時間が異なる形で誤差を生み出すことが具体的に明らかとなった。ナノ流路を対象とした流体力学的な計測においては、全反射照明蛍光顕微鏡 (TIRF) 技術を活用することにより、流路の高さ方向において指数的に信号強度が減衰することから顕微鏡観察の奥行方向の解像度を獲得する手法が典型的である。ここで、空間解像度を追求してトレーサー粒子を極限まで小さくしていくと、粒子の拡散係数の増大により誤差が大きくなるため、計測の時間解像度も同時に追求していく必要があることが明確になった。

ナノ流路内の流動現象計測だけでなく、TIRF はバックグラウンドの輝度ノイズを抑えられるという理由から、蛍光染色した生体分子の溶液中における挙動を観察する手段にも活用されている。この時、基板の洗浄の技量に依存して試料溶質分子が基板壁面へ吸着する割合などが変化する場面がある。基板近傍で検出した蛍光ラベルの挙動から平均二乗変位に基づく拡散係数を評価すると、吸着支配個体の割合次第で結果が大きく変動し、普遍的な特性の情報が得られない。ブラウン運動はランダムであるから個々の変位の中には小さな値を示す場合もあり、吸着支配の分子が示す変位との違いを識別することは困難である。これに対して本研究では、吸着支配とそうでない壁面近傍のブラウン運動の統計力学的な識別を可能にした (cf. 論文)。個々の変位は識別不能であっても、その統計的な挙動は識別可能であるという

のが重要な着眼点である。具体的に扱った事例では基板近傍の DNA 分子の拡散係数を評価したが、基板に吸着している個体も実は拡散を示していることまで特定することができた。

また、壁面近傍の吸着支配個体を統計的に識別する上記の簡便な手法は、粒子追跡における誤認変位と正しい変位の統計的な識別法においても応用できることを発見した (cf. 論文)。時系列静止画像群である動画データに映っている輝点の追跡に関しては、既に膨大なアルゴリズムが提案されてきた。しかし、それらのアルゴリズムには、輝点が示す最大の変位の値を解析用パラメータとして与える必要がある。この値は、解析の結果として得られる拡散挙動を知らなければ、最適なレベルで正確に与えることはできない。そのため、通常は既存理論を基にして推定した拡散係数を踏まえてこのパラメータを推定し、そこから数段階の値を試して首尾一貫した結果を確認することにより、妥当な閾値を与えたという結論と同時に、解析結果である拡散係数の値を得る。この繰り返し作業は煩雑であるが、提案した手法が適用可能な場面では、この段階の試行錯誤が不要になる。

そして、詳細は割愛するが、顕微鏡動画データから微粒子を追跡不能な場合において拡散挙動を定量評価するための新しいアルゴリズムを開発した。これは、長い流体力学・流体工学の歴史の中で PIV 技術が微小流路にも適用され得るように流れ場 (流れの速度の空間的な分布) を対象として高度に洗練されてきたのに対し、粒子を追跡できない限り拡散係数の空間的不均一性を定量評価できないままであった状況に対する革新であると言える。本発明を “Particle Image Diffusometry” (PID) と名付けた。この PID 技術は、例えば流体中に漂う微粒子が集まって結晶化現象が起きる場合などに応用できる。有機分子の結晶化技術は創薬産業でも重要な技術であり、今でもメカニズムに関して基礎的なレベルから謎が多く残されている。この PID は染色不要な技術であるため、産業の現場での本物の試料を対象とした活用においても応用範囲が広い。なお、本技術は特許を出願中の状態にある。以上のように、追跡と非追跡の両方のアプローチからブラウン運動の特徴に関する実験計測データの定量評価法を開発した。

最後に、分子論と連続体を結ぶ体系的な力学上の知見を獲得することが、基礎学術上だけでなく応用技術上も重要であることを示すためには、具体的な事例を通じてデモンストラレーションすることもまた効果的である。そこで、プリンティッド・エレクトロニクスとフレキシブル・デバイスへの応用に役立つ力学現象を幾つか取り扱うことで、分子論と連続体との間のメソスケールにおける流動現象の産業的な重要性を示した (cf. 論文、)。

その中で特筆すべき成果として、セルロース・ナノファイバー (CNF) を微粒子分散液に添加することによりコーヒーリング現象を抑制できるという発見がある (cf. 論文)。CNF はセルロースの繊維が通常の紙に比べて極めて小さいものであり、その違いに起因して透明度があり強度も確保し易いという特性などが既に知られている。また、このためフレキシブル・デバイス向けの基板の素材としても注目されている。しかし、基板上に導電性インクを描画した際にコーヒーリング現象が生じると配線の電気抵抗が大きくなる。これを避けるための方法として、各種有機溶剤を用いてインクの表面張力と粘度を調整することが考えられる。ただし、粘度が高いほどインクジェット装置での描画が技術的に難しくなる傾向がある。また、往々にして使用される有機溶剤は人体や環境への負荷が高い場合がある。固体基板上に塗布される微粒子分散液にあらかじめ微量の CNF を添加することは、有機溶剤を用いる場合に比べて環境に優しい材料を用いる利点がある。また、従来の方が分子レベルの手段であるのに対して、分子と連続体間のスケールを扱う手段になっている。しかも、CNF の濃度は微粒子分散液の滴下時点では低濃度であり、乾燥の最終段階において水の揮発により高濃度になって微粒子が液滴の縁に輸送される現象を抑制する効果を発揮する。すなわち、問題解決のために取り扱う空間的なスケールが特徴的なだけでなく、必要なタイミングで機能が発現する手法である。この成果は Sci. Technol. Adv. Mater. 誌の Influential Papers 2017 に選出されると共に Editor's Choice Collection 2017 にも選ばれた。このように、重要な学術雑誌から出版されるだけでなく、その雑誌において特に重要な論文であることが認められた。

その他にも、CNF からナノペーパーを作製する際の乾燥過程において、ナノスケールの幅を持つ CNF 群の挙動をいかにして制御すればマクロな意味での均一なシート構造を形成できるのかについて、力学的な視点から基礎的な特性を明らかにした (cf. 論文)。また、微粒子分散液に CNF を微量添加する場合だけでなく、CNF を大きな比率で配合してから微粒子分散液を乾燥させて作製する膜状の複合材料に対して、CNF 群が乾燥過程で形成する多数の水素結合に起因して膜に残留応力が生じる様子を系統的に明らかにした (cf. 論文)。このように、分子論と連続体との間の時空間スケールにおいては、流体中に漂う微粒子やフィラメント状の分散質の挙動を力学的に操り、それを工学的な機能に結び付けるための力学が必要である。そのことを具体的な事例によってわかりやすく示すことができ、基礎と応用、普遍と具体をつなぐ応用力学としての研究として重要な成果を得ることができた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

Itsuo Hanasaki, Yutaka Kazoe, and Takehiko Kitamori, “ Time resolution effect on the apparent particle dynamics confined in a nanochannel evaluated by the single particle tracking subject to Brownian motion ”, *Microfluidics and Nanofluidics*, Vol.22, 56 (10pages), 2018.
査読有り .

Itsuo Hanasaki and Jens H. Walther, “ Suspended particle transport through constriction channel with Brownian motion ”, *Physical Review E*, Vol.96, 023109 (8 pages), 2017.
査読有り .
DOI: 10.1103/PhysRevE.96.023109

Reiji Motohashi, Itsuo Hanasaki, Yuto Ooi, and Yu Matsuda, “ Robust evaluation of diffusion coefficient against displacement threshold parameter of single particle tracking algorithm ”, *Micro and Nano Letters*, Vol.12, pp.506-510, 2017.
査読有り .
DOI: 10.1049/mnl.2017.0044

Daiki Mizumura, Itsuo Hanasaki, Yuto Ooi, and Yoshiki Horikawa, “ Improving the macroscopic uniformity of nanopaper by multi-step coating of cellulose nanofiber dispersion ”, *Micro and Nano Letters*, Vol.12, pp.516-519, 2017.
査読有り .
DOI: 10.1049/mnl.2017.0109

Yuto Ooi, Itsuo Hanasaki, Daiki Mizumura, and Yu Matsuda, “ Self-peeling off in the drying of particulate films mixed with cellulose nanofibers ”, *Micro and Nano Letters*, Vol.12, pp.511-515, 2017.
査読有り .
DOI: 10.1049/mnl.2017.0100

Yuto Ooi, Itsuo Hanasaki, Daiki Mizumura, and Yu Matsuda, “ Suppressing coffee-ring effect of colloidal droplet by dispersed cellulose nanofibers ”, *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol.18, pp.316-324, 2017.
査読有り .
DOI: 10.1080/14686996.2017.1314776

Itsuo Hanasaki, Daiki Fujiwara, and

Satoyuki Kawano, “ Departure of microscopic friction from macroscopic drag in molecular fluid dynamics ”, *The Journal of Chemical Physics*, Vol.144, 094503 (5 pages), 2016.
査読有り .
DOI: 10.1063/1.4943045

Itsuo Hanasaki, Satoshi Uehara, Yoshiyuki Arai, Takeharu Nagai, and Satoyuki Kawano, “ Threshold-free evaluation of near-surface diffusion and adsorption-dominated motion from single-molecule tracking data of single-stranded DNA through total internal reflection fluorescence microscopy ”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.54, 125601 (6 pages), 2015.
査読有り .
DOI: 10.7567/JJAP.54.125601

Itsuo Hanasaki, Ryo Nagura, and Satoyuki Kawano, “ Coarse-grained picture of Brownian motion in water: Role of size and interaction distance range on the nature of randomness ”, *The Journal of Chemical Physics*, Vol.142, 104301 (11 pages), 2015.
査読有り .
DOI: 10.1063/1.4913748

Itsuo Hanasaki, Yoshihiro Kuzuya, and Satoyuki Kawano, “ Size effect of ion translocation through nanopore by molecular dynamics ”, *Applied Mechanics and Materials (AMM)*, Vol.692, pp.420-423, 2014.
査読有り .
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.692.420

〔学会発表〕(計 14 件)

Reiji Motohashi, Itsuo Hanasaki, Yuto Ooi, and Yu Matsuda, “ Influence of particle concentration on the difficulty in the evaluation of diffusion coefficient from particle tracking data: robustness of the logarithmic scale technique ”, *International Conference on Materials and Systems for Sustainability (ICMaSS2017)*, Nagoya, Japan, 30th September 2017.

花崎逸雄, “ 分子や微粒子の動態制御におけるブラウン運動の役割 ”, 日本応用物理学会 量子エレクトロニクス研究会「光操作の最前線」, 軽井沢, 2017年12月16日 .

招待講演 .

大井雄登, 花崎逸雄, 水村大起, 松田佑, “セルロース・ナノファイバーによるコーヒーリング現象の抑制”, 可視化情報シンポジウム, Vol.37, No.1, 新宿, 2017年7月19日 .

Itsuo Hanasaki, “Structural order in nanofluidic materials”, EMN (Energy, Materials, Nanotechnology) Meeting on Computation and Theory 2016, Las Vegas, USA, 12th October 2016,

招待講演 .

花崎逸雄, “ナノ・マイクロ流動現象のカギを握る熱揺らぎ”, 2016年度日本機械学会年次大会 先端技術フォーラム: 複雑流動現象の解析技術と学理構築, 福岡, 2016年9月11日 .

招待講演 .

Daiki Mizumura, Itsuo Hanasaki, Yuto Ooi, and Yoshiki Horikawa, “Mechanical variation of ink spreading property on nano papers”, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST2016), Tokyo, Japan, 17th December, 2016.

Yuto Ooi, Itsuo Hanasaki, Daiki Mizumura, and Yu Matsuda, “Inhibition of self-peeling off in the drying of particulate films by cellulose nanofibers”, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST2016), Tokyo, Japan, 18th December, 2016.

Reiji Motohashi, Itsuo Hanasaki, Yuto Ooi, and Yu Matsuda, “Robust evaluation of diffusion coefficient against criterion of particle link for single molecule tracking algorithm”, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST2016), Tokyo, Japan, 17th December, 2016.

花崎逸雄, 藤原大樹, 川野聡恭, “熱揺らぎと質量が分子論的な流動抵抗へ及ぼす影響”, 日本機械学会 2016年度年次大会, No.16-1, 福岡, 2016年9月14日 .

Itsuo Hanasaki and Satoyuki Kawano, “Brownian motion as a hallmark of single particle characteristics in fluids”, The International Workshop on Extended-nano Fluidics (IWENF2015), Tokyo, Japan, 26th March 2015,

招待講演 .

花崎逸雄, 名倉諒, 川野聡恭, “水中のブラウン運動におけるサイズと質量の影響に関する分子流体力学解析”, 日本機械学会第7回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, p. (30pm1-F-2), 新潟, 2015年10月30日 .

Chenfei Ye, Ryo Nagura, Itsuo Hanasaki, and Satoyuki Kawano, “Resolution scaling behavior of a coarse-grained ssDNA model”, 2014 International Conference on Materials Engineering and Environment Science (MEES2014), Wuhan, China, September 2014.

花崎逸雄, 川野聡恭, “揺らぎ格子ボルツマン法による流れ場中の溶質分子挙動解析”, 日本機械学会第6回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, p. (21am2-E5), 松江, 2014年10月21日 .

〔産業財産権〕

出願状況 (計1件)

名称: 微粒子情報解析装置、微粒子情報解析方法及び微粒子情報解析プログラム

発明者: 花崎逸雄

権利者: 東京農工大学

種類: 特許

番号: 特願 2016-211838

出願年月日: 2016年10月28日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~ihlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花崎逸雄 (HANASAKI, Itsuo)

東京農工大学・工学研究院・テニュアトラック特任准教授

研究者番号: 10446734