

令和元年5月31日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26289037

研究課題名(和文) 高濃度分散二相乱流における輸送現象の数理モデル

研究課題名(英文) Mathematical model for the transport phenomena in dense dispersed two-phase flows

研究代表者

梶島 岳夫 (Kajishima, Takeo)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：30185772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：粒子や液滴あるいは気泡が分散して流れる現象は工業装置や自然界において幅広く観察され、その多くは乱流状態にある。本研究は、固液二相乱流を対象として、従来のような乱流渦による粒子輸送ではなく、粒子そのものが主要な輸送媒体となる高濃度条件を対象とした。まず、多数の粒子を追跡しながら各粒子のまわりの流れを解像する数値シミュレーションを行い、粒子による運動量や熱の輸送を明らかにした。続いて、これらの知見をもとに、大規模な体系に適用できる工学的に有用な空間平均方程式を提案し、これに使用する粒子運動モデルおよび粒子と流体の相互作用モデルの検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

粒子が流体によって乱流状態で輸送される現象について、これまで主に調べられてきた低濃度(粒子状物質の飛来や素材のパイプ輸送など、粒子が流体に運ばれる場合)の条件に対して、高濃度(粒子自身が主要な輸送媒体となる場合)に研究領域を広げた。学術的には、現象を解析するための計算方法の開発と、工業装置や自然界にみられる大規模な系を扱うための方程式の構築に対して新たな提案を行った。産業応用に向けては、化学、素材、環境、医療の分野で、反応、分離、精製におけるプロセスの合理化や高度化に寄与する解析技術を進展させた。

研究成果の概要(英文)：Flows containing particles, droplets or bubbles are widely observed in industry and nature and most of them are in turbulence. This study, focusing on solid-liquid two-phase turbulence, dealt with high-concentration condition of solid in which solid particles become dominant in transport phenomena. It is different from previous researches of transportation of sparse solids by fluid turbulence. First, by the direct numerical simulation in which flow around all particles are fully resolved by our original method, particular features of transportation of momentum or heat by solid was elucidated. Then, a volume-averaged equation was derived for the practical use to deal with large scale system and modeling methods of particle motion as well as particle-fluid interaction to be used in the average equation was investigated based on the simulated data.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学 混相流 乱流 粒子 数値シミュレーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

分散性混相乱流の解析において、従来の分散相の扱いは、希薄系では個々の粒子と周囲流体の相互作用を扱う質点近似モデル、高濃度系では粒子間の直接相互作用を扱う離散要素モデルが有効な場合のみ、数値シミュレーションが大規模な工業的問題に対して適用可能であった。希薄系の分散二相乱流の解明と予測は、擬似乱流や濃度変動による乱流変動というとらえ方が確立している。一方、高濃度系のプロセスでは、流体の乱流よりも粒子群による乱れ現象が主役となるため、粒子運動に付随した周囲流体による熱および物質の輸送が支配的になる。その視点での解析方法は実験的にも計算的にも提示されていない。実験では、光学的な観察や非侵襲の測定が困難であり、粒子近傍の狭隘部での連続媒体の挙動を解像することはさらに難しい。計算では、粒子間の液膜厚さから粒子の集団挙動にいたる多重スケールを扱うことは実現されておらず、原理的に可能であっても実用的ではない。したがって、流体中に高濃度で分布する粒子群による運動量や熱の直接的な輸送効果を反映した工学的に実用性の高い解析方法の構築が不可欠である。

当時の二相乱流に関する世界的な研究動向として、侵襲式であってもプローブを挿入しやすい気泡流を対象として、実験的な把握から高濃度系における現象解明の機運が高まりつつあった。しかし、より慣性が強く、周囲流体を伴っての運動量や角運動量の伝達に大きな役割を果たす固体粒子に関しては、その集団挙動による乱流現象の解析は見当たらない。また、気液、固液のいずれの二相流においても、工学的な実用性を備えた高濃度系の物理モデルと解析方法はどこからも提唱されていなかった。

### 2. 研究の目的

研究代表者・研究分担者が独自に開発した埋め込み法により、多数の固体粒子と相互作用を直接計算する方法を進展させ、粒子周りの境界層や近接粒子間の狭隘部の流れ、粒子間の運動量および熱に関する直接相互作用などを扱う方法を取り入れ、高濃度分散二相状態での粒子とその周りの流れが主役となる熱流動現象の解析を可能とする。手法の適用範囲としては、例えば赤血球の容積率(40~50%)を目安として分散相の体積率50%程度を目標とする。

一方、工学的な応用を考慮して、計算領域を拡張して大規模流動システムの扱いを可能とするため、粒子周りの流れを粗視化した方程式ならびに粒子運動モデル、粒子・流体相互作用モデルの構築に向けた研究を推進する。その際、上述の手法による直接数値シミュレーションから得られるデータを活用するため、モデルの構想やチューニングとデータの統計処理を並行して相互補完的に進め、モデルの精度を向上しつつ適用範囲を拡大する。

粗視化された方程式ではとらえられない狭隘流路や境界層、液膜や液架橋の効果をモデルに取り入れるため、境界層の解析解や近似解の埋め込み、潤滑理論の拡張、動的濡れの扱い、界面再構成の高効率化などの要素研究もあわせて進めるとともに、可変形性、透過性あるいは表面粗さを考慮した膜の扱いも含め、将来的に取り入れるべき要素モデルや計算法を開発する。

### 3. 研究の方法

固定直交格子により相対運動する多数の固体粒子とその周りの流れを扱う方法として、研究代表者・研究分担者が開発してきた独自の埋め込み法を研究推進の中核とする。埋め込み法の機能拡張ならびに高精度化・高効率化により、目標とする体積率50%以上の高濃度領域への適用と大規模熱流動場の扱いを可能とする。これにより、分散性二相乱流の大規模数値シミュレーションを行い、輸送現象のモデリングにあたっての現象解明と検証のためのデータベースの構築を行う。

工学的実用に向けての粗視化にあたっては、上述の直接数値計算(計算格子は粒子径に対して十分に細かい)と従来の質点モデル(粒子径は計算格子に対して非常に小さい)の間をシームレスに接続できるよう、計算格子幅と粒子径が近接する領域での空間平均方程式を導出する。さらに、粗視化された方程式の情報から粒子運動を表すモデル、粒子運動と周囲の流れとの相互作用モデルについて、上述の直接数値計算によるデータベースを援用しながら定式化を行う。

応用範囲の拡大に向けては、温度や濃度の境界層に対する近似解を埋め込むための計算アルゴリズム、狭隘部の圧力分布を与えるモデルについては潤滑理論の拡張、気液界面を含む場合への拡張に対してはフェーズフィールド法や分子動力学法の援用など、それぞれの目的に応じて計算法や理論をマルチスケールの視点から追加する要素技術を検討する。

### 4. 研究成果

体積力型の埋め込み法に基づく大規模直接数値シミュレーションにより、目標濃度(50%)を超える高濃度分散二相乱流の計算を実現した(論文 )。この計算法は表面応力分布や内部温度場も考慮しているため、質点モデルでは再現できない特徴的な現象を見出すことができた。具体的には、有限サイズ粒子群による振動熱伝達モード、対流反転などがあげられる(論文 )。加えて、埋め込み対象の多様性を考慮して手法の高機能化も行い、例えば粒子や膜の可変形性(論文②⑤)、物質透過性(論文 2)の扱いも可能とした。同時に潤滑モデルを拡張しており(論文 )、多様な形状や力学特性を有する粒子群を扱うために必須となる要素技術の開発も進めた。上述の体積力型埋め込み法は多数の粒子の扱いに適した高効率計算法であるが、一方、後述のモデルの検証のためには少数の粒子に限定されるが高精度の解法が求められ

る。この目的に対しては、移動境界を埋め込む際のノンスリップ条件と連続条件の高度なカブリングを可能とした(論文 )。

工学的応用を指向して体積平均を施した方程式を立て、埋め込まれる粒子にはたらく流体力、粒子周りの流れが格子でとらえられない場合に考慮すべき付加応力の検討を進めた。粒子にはたらく流体力としては、乱流渦との相互作用であることを考慮して、流線曲率や乱流渦の効果をとり入れたモデル(論文②⑬⑥①)、粒子周りの流れによる付加応力モデル(論文 )については、いずれも今後の進展のための骨格となるモデル群を提案することができた。また、モデルを評価・検証するための瞬時流束線の可視化法を開発した。本研究の期間内には、固液二相伝熱における対流流束および伝導流束の時空間変化をとらえ、渦のパターン変化との関係を明らかにし(論文 )、粒子輸送モデルの構築のために有効な手段であることを示した。

上述の計算手法および物理モデルの工学的な応用範囲を拡張する基盤となる要素技術に関する研究成果は以下の通りである。界面捕獲のための界面運動と形状評価(論文 )、濡れの問題に向けての動的接触角と接触線挙動の解析(論文 )は気液界面の扱いを考慮したものである。また、近似解の埋め込み法として、薄い数濃度境界層における拡散方程式の解を考慮した物質輸送の数値計算法(論文 )を提案し、将来的には高レイノルズ数、高プラントル数、高シュミット数など、工業技術に対する実用性を高めるための手法開発の方針について見通しを得た。

なお、本研究の進展は総説・解説(論文 )、基調講演・特別講演(論文 , 学会発表⑬⑳)において適宜報告している。また、日本機械学会流体工学部門ホームページで注目研究として紹介されている(その他 )。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 22 件)

Toshiaki Fukada, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: Estimation of fluid force on spherical particle for two-way coupling simulation, *International Journal of Multiphase Flow*, 査読有, Vol.113, pp.165-178, 2019, doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.01.009

Jingchen Gu, Shintaro Takeuchi, Toshiaki Fukada, Takeo Kajishima: Vortical flow patterns by the cooperative effect of convective and conductive heat transfers in particle-dispersed natural convection, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 査読有, Vol.130, pp.946-959, 2019, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.138

谷京晨, 竹内伸太郎, 梶島岳夫: 有限サイズの粒子を含む混相流中の渦構造と熱輸送の特徴, 伝熱, 査読無(依頼論文), Vol.58, pp.16-21, 2019, [https://www.htsj.or.jp/wp/media/2019\\_1.pdf](https://www.htsj.or.jp/wp/media/2019_1.pdf)

梶島岳夫: Get Immersed!, ながれ, 査読無(依頼論文), Vol.38, pp.503-506, 2018, <http://www.nagare.or.jp/publication/nagare.html>

Shintaro Takeuchi, Hiroki Fukuoka, Jingchen Gu, Takeo Kajishima: Interaction problem between fluid and membrane by a consistent direct discretisation approach, *Journal of Computational Physics*, 査読有, Vol.371, pp.1018-1042, 2018, doi:10.1016/j.jcp.2018.05.033

Toshiaki Fukada, Walter Fornari, Luca Brandt, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: A numerical approach for particle-vortex interactions based on volume-averaged equations, *International Journal of Multiphase Flow*, 査読有, Vol.104, pp.188-205, 2018, doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.02.019

Jingchen Gu, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: Influence of Rayleigh number and solid volume fraction in particle-dispersed natural convection, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 査読有, Vol.120, pp.250-258, 2018, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.020

Jingchen Gu, Motoki Sakaue, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: An immersed lubrication model for the fluid flow in a narrow gap region, *Powder Technology*, 査読有, Vol.329, pp.445-454, 2018, doi:10.1016/j.powtec.2018.01.040

宮森由布里, 竹内伸太郎, 谷京晨, 梶島岳夫: 粒子分散混相流の自然対流に特有の反転現象の解析, ながれ, 査読無(依頼論文), Vol.37, pp.119-122, 2018, <http://www.nagare.or.jp/publication/nagare.html>

Takeshi Omori, Takeo Kajishima: Apparent and microscopic dynamic contact angles in confined flows, *Physics of Fluids*, 査読有, Vol.29, 112107, 2017, doi:10.1063/1.4992014

Suguru Miyauchi, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: A numerical method for interaction problems between fluid and membranes with arbitrary permeability for fluid, *Journal of Computational Physics*, 査読有, Vol.345, pp.33-57, 2017, doi:10.1016/j.jcp.2017.05.006

梶島岳夫: 粒子を含む乱流の直接数値シミュレーション, 混相流, 査読無(依頼論文), Vol.31, pp.135-138, 2017, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjmf/31/2/31\\_135/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjmf/31/2/31_135/_pdf/-char/ja)

Norikazu Sato, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima, Masahide Inagaki, Nariaki Horinouchi: A consistent direct discretization scheme on Cartesian grids for convective and conjugate heat transfer, *Journal of Computational Physics*, 査読有, Vol.321, pp.76-104, 2016, doi:10.1016/j.jcp.2016.05.034

Toshiaki Fukada, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: Wake structures of a particle in straight and curved flows, *Springer Proceedings in Physics*, 査読有, Vol.185, pp.189-194, 2016, <https://www.springer.com/series/361>

足立理人, 大森健史, 梶島岳夫: 上昇気泡からの高シュミット数条件下における物質輸送の数値解析手法の開発, *日本機械学会論文集*, 査読有, Vol.82, p.16-00079, 2016, doi:10.1299/transjsme.16-00079

Toshiaki Fukada, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: Interaction force and residual stress models for volume-averaged momentum equation for flow laden with particles of comparable diameter to computational grid width, *International Journal of Multiphase Flow*, 査読有, Vol.85, pp.298-313, 2016, doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.06.018

日角友香, 大森健史, 山口康隆, 梶島岳夫: 分子動力学法を用いた接触線の移動を伴う流れの Navier 境界条件に関する研究, *日本機械学会論文集*, 査読有, Vol.81, p.15-00409, 2015, doi:10.1299/transjsme.15-00409

Shintaro Takeuchi, Takaaki Tsutsumi, Katsuya Kondo, Takeshi Harada, Takeo Kajishima: Heat transfer in natural convection with finite-sized particles considering thermal conductance due to inter-particle contacts, *Computational Thermal Sciences*, 査読有, Vol.7, pp.385-404, 2015, doi:10.1615/ComputThermalScien.2016014791

鈴木浩平, 大森健史, 梶島岳夫: 多面体格子における二相流解析手法の開発(第1報, 界面の移流法および界面曲率算出法), *日本機械学会論文集*, 査読有, Vol.81, p.15-00256, 2015, doi:10.1299/transjsme.15-00256

Suguru Miyauchi, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: A numerical method for mass transfer by a thin moving membrane with selective permeabilities, *Journal of Computational Physics*, 査読有, Vol.284, pp.490-504, 2015, doi:10.1016/j.jcp.2014.12.048

②1 深田利昭, 竹内伸太郎, 梶島岳夫: 粒子周りの曲がった背景流れにおける流体力の自己相似性, *ながれ*, 査読無(依頼論文), Vol.34, pp.345-348, 2015, <http://www.nagare.or.jp/publication/nagare.html>

②2 Suguru Miyauchi, Azusa Ito, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima: Fixed-mesh approach for different dimensional solids in fluid flows: application to biological mechanics: *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 査読有, Vol.6, pp.818-844, 2014, doi:10.15282/jmes.6.2014.9.0079

[学会発表](計 46 件)

Toshiaki Fukada: Effect of flow disturbance around a particle for fluid force estimation in two-way coupling simulation, 71st Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics, 2018

Jingchen Gu: An extended lubrication model for fluid flow in narrow gaps, 71st Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics, 2018

Jingchen Gu: Coupled effects of convection and conduction on heat transfer in solid-liquid two-phase media densely laden with finite-sized particles, 16th International Heat Transfer Conference, 2018

Ryo Onishi: Size-resolving simulation for colliding inertial particles in homogeneous isotropic turbulence, 9th International Symposium Turbulence, Heat and Mass Transfer, 2018

Takeo Kajishima: Immersed boundary methods for particle-laden flows and fluid-structure interactions with heat and mass transfer, World Forum and Leading Show for the Process Industries, 2018

Takeo Kajishima: Immersed boundary methods for numerical simulation of complex flow fields, Taiwan Society for Industrial and Applied Mathematics, 2018

Takeo Kajishima: Characteristic patterns in natural convection of solid-liquid two-phase media, 8th European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, 2018

Asahi Tazaki, Consistent coupling between incompressible velocity and pressure fields with pressure discontinuity across a permeable membrane, 12th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, 2018

Shintaro Takeuchi: Vortical structures in natural convection of particle-dispersed two-phase flow, 12th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, 2018

Takeo Kajishima: Direct numerical simulation of inertial particles/droplets in turbulent flows, Urban Big Data & Simulation Forum 2018, 2018

立田康介: 二次曲面による MOF 法の提案: 単一セル情報に基づく界面再構成および界面曲率計算, 第 32 回数値流体力学シンポジウム, 2018

- 藤井健博: 埋め込み境界射影法による動的濡れ現象の定式, 第 32 回数値流体力学シンポジウム, 2018
- 深田利昭: 粒子周り流れの擾乱効果を考慮した流体力の評価手法, 日本流体力学会 年会 2018, 2018
- 田崎旭: 透過膜表裏の圧力不連続性を考慮した非圧縮速度場と圧力場のカップリング, 日本流体力学会 年会 2018, 2018
- 大西領: 定常等方性乱流場における球形大粒子間の衝突機構に対する大規模数値解析, 粉体工学会 2018 年度春期研究発表, 2018
- Takeo Kajishima: CFD simulation of particle-laden turbulent flows, 9th Asia Computational Materials Design Workshop, 2017
- Jingchen Gu: Effect of conductive and convective heat fluxes in dense solid-dispersed two-phase flows, 3rd International Conference on Numerical Methods in Multiphase Flows, 2017
- 宮森由布里: 粒子分散混相流の自然対流に特有の反転現象の解析, 第 31 回数値流体力学シンポジウム, 2017
- 大西領: 近接する異径粒子間に働く流体力学力に対する数値解析, 第 31 回数値流体力学シンポジウム, 2017
- 深田利昭: 体積平均に基づく流体・粒子相互作用の数値解析モデル, 日本流体力学会年会, 2017
- ⑲ Takeshi Omori: Apparent and actual dynamic contact angles in confined two-phase flows, 69th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics, 2016
- ⑳ Hiroshi Otake: Computation of two-phase flows with an interface-capturing method on arbitrarily-shaped polygonal meshes, 69th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics, 2016
- ㉑ Jingchen Gu: Effects of solid particles on heat transfer in dense particle-liquid two-phase media based on Rayleigh number, Two-phase modelling for Sediment dynamics in geophysical flows, 2016
- ㉒ Jingchen Gu: Direct numerical simulation of heat transfer in dense particle-liquid two-phase media, 9th International Conference on Multiphase Flow, 2016
- ㉓ Shintaro Takeuchi: Mass transfer of solute and solvent across a deforming permeable membrane, 9th International Conference on Multiphase Flow, 2016
- ㉔ Toshiaki Fukada: Volume-averaged equations for direct numerical simulation of particle-dispersed flow under a grid resolution comparable to particle diameter and Kolmogorov length scale, 9th International Conference on Multiphase Flow, 2016
- ㉕ 大西領: 慣性粒子の乱流衝突に対する粒子解像計算, 第 30 回数値流体力学シンポジウム, 2016
- ㉖ 原田武: 境界層中に置かれた弾性薄膜の運動の不安定化に関する数値解析, 第 30 回数値流体力学シンポジウム, 2016
- ㉗ 足立理人: 上昇気泡からの高シュミット数条件下における物質輸送の数値解析, 日本機械学会 関西支部第 91 期定時総会講演会, 2016
- ㉘ 前田紘志: Diffuse-Interface 法による微小流路内の移動接触線を伴う二相流の解析, 日本機械学会, 関西支部第 91 期定時総会講演会, 2016
- ㉙ Takeshi Harada: Computational study of heat transfer in particle-laden flow considering temperature gradient within particles and inter-particle lubrication, The Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow 2015, 2015
- ㉚ Takeo Kajishima: Direct numerical simulation of heat transfer in liquid-solid two-phase media, 7th European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, 2015
- ㉛ Takeshi Omori: Dynamic contact angle in narrow slit pores, 7th European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, 2015
- ㉜ Takeo Kajishima: Outlook of multi-disciplinary simulation based on Computational Fluid Dynamics, The first Automotive Aerodynamics Seminar SAE-China, 2015
- ㉝ Takeo Kajishima: Numerical simulation of heat transfer in shear flow of liquid-solid two-phase media by immersed solid approach, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015, 2015
- ㉞ Toshiaki Fukada: Deflection of the wake of a particle in sheared ambient flows, International Conference of Jets, Wakes and Separated Flows, 2015
- ㉟ Shintaro Takeuchi: Heat transfer in particle-dispersed two phase flows considering temperature gradient within the particles, ICHMT International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer, 2015
- ㊱ Shintaro Takeuchi: Fluid-structure interaction dealing with thin objects, 18th International Conference on Finite Elements in Flow Problems, 2015
- ㊲ Shintaro Takeuchi: Numerical study of heat transfer problems in two-phase flows involving temperature distribution within dispersed solid particles, International

Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2015

- ④1 Hiroki Fukuoka: Interaction between fluid and flexible membrane structures by a new fixed-grid direct forcing method, International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2015
  - ④2 Kohei Suzuki: Development of numerical method for two-phase flows on three-dimensional arbitrarily-shaped polyhedral meshes, 67th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics, 2014
  - ④3 Takeo Kajishima: Direct numerical simulation of heat transfer in dispersed solid-liquid two-phase flow, 10th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, 2014
  - ④4 Toshiaki Fukada: Numerical simulation of the interaction between a spherical particle and curved background flows, 2nd International Conference on Numerical Methods in Multiphase Flows, 2014
  - ④5 近藤克哉: 自然対流が支配的な固液分散二相流の熱伝達特性, 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014
  - ④6 佐藤範和: 固体熱伝導をともなう対流伝熱問題のための直交格子法, 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014
- [ 図書 ] (計 0 件)  
[ 産業財産権 ]  
    該当なし  
[ その他 ]  
    足立理人, 大森健史, 梶島岳夫: 上昇気泡からの高シュミット数条件下における物質輸送の数値解析手法の開発, 日本機械学会流体工学部門ホームページ, 2019,  
    [http://www.jsme-fed.org/paper/tech/2019\\_1/002.html](http://www.jsme-fed.org/paper/tech/2019_1/002.html)  
    佐藤範和, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, 稲垣昌英, 堀之内成明: 直交格子を用いた熱流体シミュレーションの高精度化, 日本機械学会流体工学部門ホームページ, 2016,  
    [http://www.jsme-fed.org/paper/tech/2016\\_01/002.html](http://www.jsme-fed.org/paper/tech/2016_01/002.html)

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 竹内伸太郎

ローマ字氏名: TAKEUCHI Shintaro

所属研究機関名: 大阪大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 50372628

研究分担者氏名: 大森健史

ローマ字氏名: OMORI Takeshi

所属研究機関名: 大阪大学

部局名: 工学研究科

職名: 助教

研究者番号(8桁): 70467546

研究分担者氏名: 岡林希依

ローマ字氏名: OKABAYASHI Kie

所属研究機関名: 大阪大学

部局名: 工学研究科

職名: 助教

研究者番号(8桁): 40774162

### (2)研究協力者

該当なし

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、研究者個人に帰属されます。