

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H00853

研究課題名(和文) 微生物バイオメカニクスの深化

研究課題名(英文) Upgrading Microbial Biomechanics

研究代表者

石川 拓司 (Ishikawa, Takuji)

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：20313728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円

研究成果の概要(和文)：ナノスケールからマクロスケールへと物理法則を丹念に積み上げる独自の手法を用いることで、力学環境下の精子や微細藻、繊毛虫、大腸菌、酵母などの挙動と生物学的機能を明らかにした。分子モーターで駆動される繊毛軸支の運動から、鞭毛運動の同期、多数の鞭毛が生えた繊毛虫の遊泳と生物学的応答、2体干渉と協調遊泳、連続体としてのレオロジーや拡散特性、細胞増殖と集積など、スケール階層を貫いた解析に成功した。これらの成果は、PNAS誌に2編、Science Adv誌に1編、J Fluid Mech誌に6編など、計48編の査読付き雑誌論文として発表した。また、プレスリリースを8件行い、研究成果を広く社会に公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細胞が集まって集団で運動することで、運動性能が飛躍的に向上することを発見した研究成果は、生物が多細胞化することの優位性を示すもので、原初の単細胞生物が多細胞生物へと進化した謎を解く際の重要な鍵となる。精子が互いに助け合って泳ぐ協調遊泳の効果を明らかにした研究成果は、精子が卵子へと続く長い旅路を走破するメカニズムを解明するものであり、男性由来の不妊に対する治療法の開発に貢献することが期待される。皮膚角質層への摩擦刺激によって皮膚バリア機能の脆弱化が亢進することを明らかにした研究成果は、薬剤の経皮吸収や皮膚からの病原菌・ウイルス感染のメカニズム解明に貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：By using an original method that carefully builds up physical laws from the nanoscale to the macroscale, we have clarified the behavior and biological functions of sperm, microalgae, ciliates, E. coli, yeast, and other organisms under mechanical environments. We succeeded in analyzing through the scale hierarchy from the movement of ciliary axonemes driven by molecular motors, synchronization of flagellar movement, swimming and biological responses of ciliates with many flagella, two-body interactions and cooperative swimming, rheology and diffusion properties as a continuum, cell growth and accumulation, and so on. These results were published in a total of 48 peer-reviewed journal articles, including two in PNAS, one in Science Adv, and six in J Fluid Mech. In addition, 8 press releases were issued to widely publicize the research results.

研究分野：生体力学

キーワード：微生物 バイオメカニクス 数理モデル シミュレーション 可視化計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微生物は肉眼では識別できない小さな生物であるが、自然界における役割は大きい。例えば、海洋においては、バイオマスの50%を占め、食物連鎖の底辺を成すため、海洋生態系に重要な役割を果たしている。海や湖などが変色する赤潮は、微細藻類などの微生物が引き起こしており、時に漁業に甚大な被害を引き起こす。工学的には、微生物は食品や医薬品などを製造するバイオリクターや、水質浄化などに利用されている。近年では、藻類から精製するバイオ燃料も注目されている。米国オバマ政権が、藻類バイオ燃料で稼働する軍艦「Great Green Fleet(緑の艦隊)」を編成したことは記憶に新しい。さらに、我々の体内では、1kgにおよぶ腸内フローラが形成されており、大腸がんや肥満などの疾患に重要な役割を果たしている。このように、微生物は環境問題や健康問題、エネルギー問題などと密接に関わっており、微生物の研究は多くの学問領域や産業に寄与する可能性を秘めている。

2. 研究の目的

バクテリアや微細藻類などの微生物は、適切な力学環境のなかでこそ、十分な機能を発現できることが明らかになりつつある。力学環境下の微生物の機能や分布を予測し、制御する技術は、学术界や産業界に飛躍的な進歩をもたらすが、従来の経験則に基づく手法では限界があった。本研究では、ナノスケールからマクロスケールへと物理法則を丹念に積み上げる独自の手法を用いることで、力学環境下の微生物の機能や分布を予測し、制御する技術を革新する。そして、申請者が追求してきた、世界最先端の研究レベルにある微生物バイオメカニクスを徹底的に追求し、他の研究グループの追従を許さない高みに引き上げることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、微生物の力学環境に着目し、ナノスケールから細胞スケールに駆動力などの物性値を渡し、細胞スケールからメソスケールに走性などの細胞応答を、メソスケールからマクロスケールに応力や拡散などのテンソル量を渡すことで、ナノスケールからマクロスケールに至るまでの微生物懸濁液の振る舞いを記述する解析プラットフォームを構築する。本課題で取り扱う細胞種はバクテリアと微細藻類、繊毛虫、精子などである。これらの微生物を用いた実験も併せて行い、生物学的機能を解明する。微生物挙動を予測するシミュレーターや、微生物を模擬したマイクロロボットなど、応用技術の開発も行う。

4. 研究成果

研究期間内に得られた主な成果を、スケールごとに整理して以下に列挙する。

(1) ナノスケール

ダイニン分子モーターによって駆動される繊毛軸支の計算力学モデルを構築した。軸支が安定な回転運動を行うためには、ダイニン活性の特性時間が重要であることを示した(Omori, et al., *J. Biomech.*, 2017)。分子モーターで駆動される微小管の数理モデル化にも成功し、2本の繊毛が協調運動することで効率的に水流を生み出していることを明らかにした(Omori, et al., *J. Biomech. Sci. Eng.*, 2018)。

複数の鞭毛の回転運動が同期する条件を解析し、鞭毛形状の非対称性が同期を飛躍的に促進することを示した。この成果はPRE誌のKaleidoscopesに選出された(Okumura, et al., *Phys. Rev. E*, 2018)。また、繊毛の協調運動を表現できる微生物の数理モデル化に世界で初めて成功し、微生物遊泳中においては繊毛層のエネルギー損失が極めて高いことを発見した(Ito, et al., *J. Fluid Mech.*, 2019)。

せん断流れ条件下において、細胞膜や赤血球膜を模擬したベシクル膜上の膜タンパク挙動をDPD手法により調べ、移流と拡散による膜タンパクの輸送現象を明らかにした(Nakamura, et al., *Biophys. J.*, 2019)。

(2) 細胞スケール

多細胞生物は単細胞生物が集まることで生まれたとされており、多細胞化には進化上の優位性があったと考えられる。我々は微生物の遊泳効率の解析を行い、細胞が集まって集団で運動することで運動性能が飛躍的に向上することを発見した。これは生物が多細胞化することの優位性を示すもので、原初の単細胞生物が多細胞生物へと進化した謎を解く鍵となる。この成果は米

国科学アカデミー紀要に掲載され(右図:Omori et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2020)、「微生物が進化の過程で獲得した省エネ泳法を解明」とプレスリリースされた。

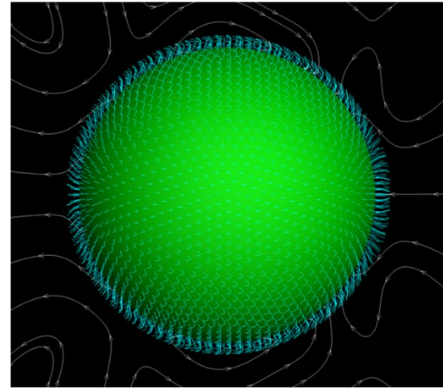
地中や体内などの入り組んだ環境においても、微生物はデッドエンドで行き詰まることなく、泳ぎで巧みに回避していることを発見した(Ishikawa & Kikuchi, *Proc. Roy. Soc. B*, 2018) この成果は、「デッドエンドを回避する微生物の仕組みを発見」とプレスリリースされた。

繊毛虫のテトラヒメナが、固体壁面に留まることができることを実験的に示し、そのメカニズムを数値シミュレーションで明らかにした。この成果は、米国科学アカデミー紀要に掲載された(Ohmura, et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2018)。こうした界面におけるテトラヒメナの振る舞いを、流体力学的にも解明した(Manabe, et al., *J. Fluid Mech.*, 2020)。また、繊毛虫のゾウリムシも固体壁面に留まることができることを実験的に示し、細胞形状の影響を数値シミュレーションで解明した(Nishigami, et al., *Commu. Integr. Biol.*, 2018)。

さらに、テトラヒメナが背景流れに対して走流性を示すことを世界に先駆けて発見した。この成果は *Science Advances* 誌に掲載され、「泳ぐ微生物が海まで流されない理由」とプレスリリースされた(Ohmura, et al., *Science Adv.* 2021)。この成果は反響を呼び、2022年1月16日の読売新聞に「流れに逆らって泳ぐ微生物」と紹介された。同様の走流性はクラミドモナスでも現れた。実験と理論、数値シミュレーションを融合し、遊泳の非定常性がクラミドモナスの走流性に必須であることを示した(Omori, et al., *J. Fluid Mech.*, 2021)。

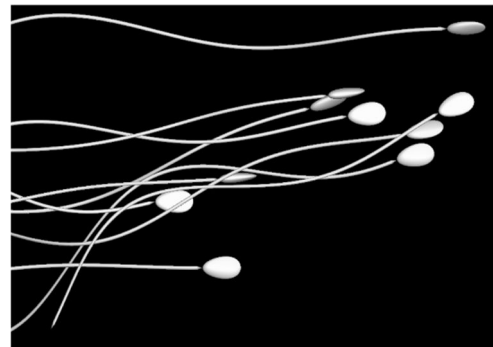
微細藻類のクラミドモナスが走地性を示すメカニズムを調べ、従来言われた bottom-heaviness の効果よりも、形の非対称性の効果が重要であることを解明した(Kage, et al., *J. Exp. Biol.*, 2020)。微細藻類の *Gonium* の走光性現象に対する実験と理論、数値シミュレーションを実施し、走光性を示すメカニズムも解明した(Maleprade, et al., *Phys. Rev. E*, 2020)。

大腸菌が壁面近傍でどのように振舞うのか、数値シミュレーションで検討した。その結果、腸壁のようなひだが存在すると、壁面に長時間滞在できないことが明らかになった(Yang, et al., *Phys. Rev. E*, 2019)。



(3)メソスケール

精子が互いに助け合って泳ぐ協調遊泳の効果を明らかにした(右図:Taketoshi et al., *Phys. Fluids*, 2020)。本研究は、精子が卵子へと続く長い旅路を走破するメカニズムを解明するものであり、男性由来の不妊に対する治療に貢献することが期待される。この成果は「精子は助け合って卵子を目指す」とプレスリリースされ、「競争ではなく協力...「精子は助け合って泳ぐ」東北大が発表 不妊治療へ期待」とテレ東ニュースで報道され、動画視聴回数1位を獲得した。



さまざまな遊泳モードの微生物干渉の解析を行い、干渉運動の相図を作成した。これにより、微生物干渉の体系的な理解が進んだ(Darveniza, et al., *Phys. Rev. Fluids*, 2022)。2体の協調遊泳が安定となる条件を導出し(Ishikawa, *Micromachines*, 2019; Ishikawa et al., *J. Fluid Mech.*, 2020)。干渉現象に及ぼす細胞の変形能の影響も解明した(Matsui, et al., *J. Fluid Mech.*, 2020)。微生物群の安定性解析にも成功した(Lauga et al., *EPL*, 2021)。

アクティブ粒子が固液混相流体中でどのように振舞うかを、理論と数値シミュレーションで解析した。その結果、細胞の遊泳モードによって捕捉・拡散・直進の3つの運動モードが現れることを明らかにした(Chamolly, et al., *New J. Phys.*, 2018)。微生物懸濁液のレオロジー特性も解析した。細胞が変形能を持つことで、配向して非ニュートン性を示すことが明らかとなった(Matsui, et al., *Phys. Fluids*, 2020)。濃厚懸濁液では、さらに強い非ニュートン性が表れることを示した(Ishikawa, et al., *J. Fluid Mech.*, 2021)。

血管中の赤血球の分布を理解する上で、血球の分散・拡散現象を理解することは重要である。マイクロフルイディクスを用いた血流実験から数理モデルを構築し、観察された赤血球の挙動をランダムウォーク理論で説明することに成功した(Chuang, et al., *J. Biomech.*, 2018)。

(4)マクロ・マルチスケール

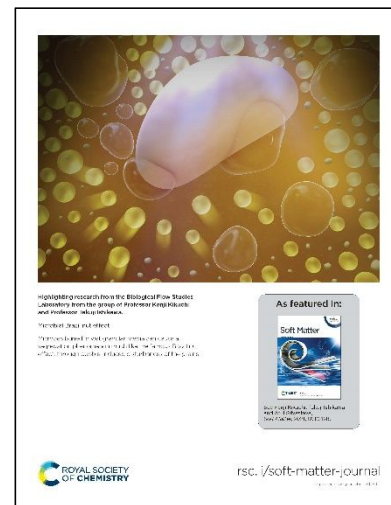
開発したマルチスケール解析プラットフォームを酵母の発酵過程へと展開し、酵母培養時の輸送現象を定量的に解明した。また、酵母の発酵に伴う発泡によるブラジルナッツ効果を発見し、水環境において沈殿した粒子が微小なゆらぎに揺さぶられて表面上に再浮上する現象の可視化に成功した (Srivastava, et al., *Roy. Soc. Open Sci.*, 2021; *Soft Matter*, 2021)。この成果は *Soft Matter* 誌の背表紙を飾り (右図)、「微生物の発酵によるブラジルナッツ効果の発見」とプレスリリースされた。科学新聞で「大きな粒子が浮上 小さな粒子が沈降 微生物由来の興味深い現象発見」と報道された。

モデル生物のゼブラフィッシュの腸内をライブイメージングする実験系を確立し、腸内の輸送現象の可視化解析を行った (Kikuchi et al., *Amer. J. Physiol.*, 2020)。ゼブラフィッシュを対象とし、消化管内の輸送現象の数値シミュレーションも行った。前腸部に現れる逆行性蠕動運動は、食べ物を攪拌して消化を促進することを定量的に示した。一方、後腸部の順行性蠕動運動はポンプの役割を果たしていることを明らかにした (Yang, et al., *J. Theor. Biol.*, 2018)。

マウス初期胚において、ノード繊毛が作り出す流れがどのような生物学的機能を生み出すのか、マルチスケールの数値シミュレーションを行った。その結果、センサー繊毛が水流を感知していることが示唆された (Omori, et al., *Roy. Soc. Open Sci.*, 2018)。

ヒト健康・寿命のモデル動物である線虫がバクテリアを捕食するメカニズムを調べ、線虫のフィルターの詳細構造と摂食メカニズム、および摂食機能を解明した (Suzuki, et al., *Theor. Appl. Mech. Lett.*, 2019)。線虫が高粘度条件下でも生き残れるメカニズムを流体力学と輸送論を基盤として解析し、線虫の摂食量と生存率の間に成り立つ普遍法則を発見した (Suzuki, et al., *J. Exp. Biol.*, 2020)。この成果は「過度なダイエットは寿命を縮めかねない」とプレスリリースされた。

開発した解析プラットフォームをバイオフィルムの形成過程へと展開した。複雑流路内に形成されるストリーマーの形成過程を細胞スケールから調べ、マクロなレオロジー特性とストリーマー形状との関係を解明した (Kitamura, et al., *J. R. Soc. Interface*, 2021)。



(5)応用技術

薬剤の経皮吸収を調べ、皮膚角質層への摩擦刺激によって皮膚バリア機能の脆弱化が亢進することを明らかにした (Kikuchi et al., *Int. J. Pharma.*, 2020)。この成果は、薬剤経皮吸収や皮膚からの病原菌・ウイルス感染のメカニズム解明に貢献するものであり、「病原菌・ウイルスが皮膚を介して感染するリスクに警鐘」とプレスリリースされた。日本学術振興会 HP にも右図のように掲載された。

遊泳微生物を模擬した、マイクロロボットの推進メカニズムを考案した。流体振動を制御することで、任意の方向に運動させられることを示した (Morita, et al., *Phys. Rev. E*, 2018a, b)。さらに、ランダムなノイズから一方向の推進を生み出すメカニズムの開発にも成功した (Morita, et al., *Phys. Rev. E*, 2020)。液滴内にアクティブ粒子を含有させ、アクティブ粒子の運動を外場で制御することで、液滴の制御が可能となることも示した (Huang et al., *Phys. Rev. E*, 2020)。

生体内の3次元的な物質輸送を、顕微鏡下で高時間解像度で計測する手法を開発した (Kikuchi, et al., *PLoS ONE*, 2019)。また、数値解析手法の高度化にも取り組み、汎用性の高い境界要素法と近接場が得意な潤滑理論を融合させた LT-BEM を開発した (Ishikawa, *J. Comp. Phys.*, 2022)。

マスクや衣服の擦れによる皮膚の脆弱化メカニズムを解明

- ・皮膚表面に摩擦刺激を与えると皮膚最上層にある角質層の角化細胞に微小なひずみが生じることを発見し、**摩擦刺激による皮膚の脆弱化メカニズムを力学的解析を用いて解明**。
- ・長時間のマスク着用等で摩擦刺激を受け、バリア機能が失われた皮膚からの様々なウイルス感染を抑制する新たな感染防止策の検討に貢献することが期待。

【支援をした科研費】

- ・「微生物バイオメカニクスの深化」(2017-2021)
(基盤研究(A)) (石川拓司(東北大学・工学研究科・教授))
- ・「流れが生み出す生理的機能の解明」(2019-2022)
(基盤研究(B)) (菊地謙次(東北大学・工学研究科・准教授))

○詳細は以下URLを御覧ください。

<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/08/press20200820-06-skin.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計48件（うち査読付論文 48件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Ishikawa Takuji, Ueno Hironori, Omori Toshihiro, Kikuchi Kenji	4. 巻 110
2. 論文標題 Cilia and centrosomes: Ultrastructural and mechanical perspectives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Seminars in Cell & Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 61-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.semcdb.2020.03.007	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 Ishikawa Takuji, Omori Toshihiro, Kikuchi Kenji	4. 巻 4
2. 論文標題 Bacterial biomechanics?From individual behaviors to biofilm and the gut flora	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Bioengineering	6. 最初と最後の頁 41504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0026953	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 Takuji	4. 巻 125
2. 論文標題 Swimming of ciliates under geometric constraints	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 200901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5084764	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 Darveniza C., Ishikawa T., Pedley T. J., Brumley D. R.	4. 巻 7
2. 論文標題 Pairwise scattering and bound states of spherical microorganisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 13104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.7.013104	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 Ishikawa Takuji	4. 巻 452
2. 論文標題 Lubrication theory and boundary element hybrid method for calculating hydrodynamic forces between particles in near contact	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 110913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2021.110913	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 Srivastava Atul, Kikuchi Kenji, Ishikawa Takuji	4. 巻 17
2. 論文標題 Microbial Brazil nut effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 10428-10436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1sm01327k	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 Omori T., Kikuchi K., Schmitz M., Pavlovic M., Chuang C.-H., Ishikawa T.	4. 巻 930
2. 論文標題 Rheotaxis and migration of an unsteady microswimmer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2021.921	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 Kitamura Hiroki, Omori Toshihiro, Ishikawa Takuji	4. 巻 18
2. 論文標題 Impact of rheological properties on bacterial streamer formation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Royal Society Interface	6. 最初と最後の頁 20210546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsif.2021.0546	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 Ohmura Takuya, Nishigami Yukinori, Taniguchi Atsushi, Nonaka Shigenori, Ishikawa Takuji, Ichikawa Masatoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Near-wall rheotaxis of the ciliate Tetrahymena induced by the kinesthetic sensing of cilia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabi5878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abi5878	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 Srivastava Atul, Kikuchi Kenji, Ishikawa Takuji	4. 巻 8
2. 論文標題 Non-biodegradable objects may boost microbial growth in water bodies by harnessing bubbles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 210646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.210646	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 Lauga Eric, Nghi Dang Thanh, Ishikawa Takuji	4. 巻 133
2. 論文標題 Zigzag instability of biased pusher swimmers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Europhysics Letters	6. 最初と最後の頁 44002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/133/44002	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 Ishikawa T., Brumley D.R., Pedley T.J.	4. 巻 914
2. 論文標題 Rheology of a concentrated suspension of spherical squirmers: monolayer in simple shear flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.885	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 Srivastava Atul, Kikuchi Kenji, Ishikawa Takuji	4. 巻 17
2. 論文標題 The bubble-induced population dynamics of fermenting yeasts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Royal Society Interface	6. 最初と最後の頁 20200735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsif.2020.0735	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 Omori Toshihiro, Ito Hiroaki, Ishikawa Takuji	4. 巻 117
2. 論文標題 Swimming microorganisms acquire optimal efficiency with multiple cilia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 30201-30207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2011146117	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 Taketoshi Nanami, Omori Toshihiro, Ishikawa Takuji	4. 巻 32
2. 論文標題 Elasto-hydrodynamic interaction of two swimming spermatozoa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 101901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022107	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 Huang Zhihan, Omori Toshihiro, Ishikawa Takuji	4. 巻 102
2. 論文標題 Active droplet driven by a collective motion of enclosed microswimmers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.102.022603	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 Ishikawa Takuji, Pedley T. J., Drescher Knut, Goldstein Raymond E.	4. 巻 903
2. 論文標題 Stability of dancing <i>Volvox</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.613	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 Kikuchi Kenji, Shigeta Shunsuke, Numayama-Tsuruta Keiko, Ishikawa Takuji	4. 巻 587
2. 論文標題 Vulnerability of the skin barrier to mechanical rubbing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Pharmaceutics	6. 最初と最後の頁 119708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijpharm.2020.119708	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 Hitomu Matsui, Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Rheology of a dilute suspension of deformable microswimmers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 71902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0010558	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 Yuki Suzuki, Kenji Kikuchi, Keiko Numayama-Tsuruta, Takuji Ishikawa	4. 巻 223
2. 論文標題 How do <i>Caenorhabditis elegans</i> worms survive in highly viscous habitats?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 jeb224691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.224691	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 Takeru Morita, Toshihiro Omori, Yohei Nakayama, Shoichi Toyabe, and Takuji Ishikawa	4. 巻 101
2. 論文標題 Harnessing random low Reynolds number flow for net migration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 63101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.063101	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 Kenji Kikuchi, Hyeongtak Noh, Keiko Numayama-Tsuruta, and Takuji Ishikawa	4. 巻 318
2. 論文標題 Mechanical roles of anterograde and retrograde intestinal peristalses after feeding in a larval fish (<i>Danio rerio</i>)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology	6. 最初と最後の頁 G1013-G1021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpgi.00165.2019	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 Hitomu Matsui, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa	4. 巻 894
2. 論文標題 Hydrodynamic interaction of two deformable torque swimmers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.272	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 Junichi Manabe, Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa	4. 巻 892
2. 論文標題 Shape matters: entrapment of a model ciliate at interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.160	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 Kenji Kikuchi, Shunsuke Shigeta, and Takuji Ishikawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Depth measurement of molecular permeation using inclined confocal microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0214504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0214504	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 Koyo Nakamura, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa	4. 巻 116
2. 論文標題 Shear-induced migration of a transmembrane protein within a vesicle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biophysical Journal	6. 最初と最後の頁 1483-1494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2019.03.017	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 Hiroaki Ito, Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa	4. 巻 874
2. 論文標題 Swimming mediated by ciliary beating: Comparison with a squirmer model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 774-796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.490	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 Yuki Suzuki, Kenji Kikuchi, Keiko Tsuruta-Numayama, Takuji Ishikawa	4. 巻 9
2. 論文標題 Particle selectivity of filtering by <i>C. elegans</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Theoretical & Applied Mechanics Letters	6. 最初と最後の頁 61-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.taml.2019.02.001	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 Azusa Kage, Toshihiro Omori, Kenji Kikuchi and Takuji Ishikawa	4. 巻 223
2. 論文標題 The shape effect of flagella is more important than bottom-heaviness on passive gravitactic orientation in <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 jeb205989
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.205989	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 Helene de Maleprade, Frederic Moisy, Takuji Ishikawa, Raymond E. Goldstein	4. 巻 101
2. 論文標題 Motility and Phototaxis of <i>Gonium</i> , the Simplest Differentiated Colonial Alga	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.022416	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 Takuya Ohmura, Yukinori Nishigami, Atsushi Taniguchi, Shigenori Nonaka, Jun-ichi Manabe, Takuji Ishikawa, Masatoshi Ichikawa	4. 巻 115
2. 論文標題 Simple mechanosense and response of cilia motion reveal the intrinsic habits of ciliates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 3231-3236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1718294115	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 Keiji Okumura, Seiya Nishikawa, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa, Atsuko Takamatsu	4. 巻 97
2. 論文標題 Asymmetry in cilia configuration induces hydrodynamic phase locking	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.97.032411	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 Takeru Morita, Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa	4. 巻 98
2. 論文標題 Passive swimming of a microcapsule in vertical fluid oscillation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 23108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.023108	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 Toshihiro Omori, Katja Winter, Kyosuke Shinohara, Hiroshi Hamada, Takuji Ishikawa	4. 巻 5
2. 論文標題 Simulation of the nodal flow of Dpcd and Rfx3 mutant embryo: comparison of mechano-sensing and morphogen transport hypotheses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 180601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.180601	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 Yukinori Nishigami, Takuya Ohmura, Atsushi Taniguchi, Shigenori Nonaka, Junichi Manabe, Takuji Ishikawa, Masatoshi Ichikawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Influence of cellular shape on sliding behavior of ciliates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communicative & Integrative Biology	6. 最初と最後の頁 e1506666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19420889.2018.1506666	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 Takeru Morita, Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa	4. 巻 98
2. 論文標題 Biaxial fluid oscillations can propel a micro-capsule swimmer in an arbitrary direction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 63102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.063102	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 Toshihiro Omori, Mingming Lu, Takuji Ishikawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Elastohydrodynamic phase-lock in two rotating cilia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 17-00699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.17-00467	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 Takuji Ishikawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Stability of a dumbbell micro-swimmer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi10010033	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 Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Swimming of spermatozoon in a Maxwell fluid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi10020078	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 Jinyou Yang, Yuji Shimogonya, Takuji Ishikawa	4. 巻 99
2. 論文標題 Bacterial detachment from a wall with a line of bump	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 23104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.023104	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 T. Omori, H. Sugai, Y. Imai, T. Ishikawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Nodal cilia-driven flow: Development of a computational model of the nodal cilia axoneme	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 242-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2017.07.025	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 Alexander Chamolly, Takuji Ishikawa and Eric Lauga	4. 巻 19
2. 論文標題 Active particles in periodic lattices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 115001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/aa8d5e	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 Takuji Ishikawa and Kenji Kikuchi	4. 巻 285
2. 論文標題 Biomechanics of Tetrahymena escaping from a dead end	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society B	6. 最初と最後の頁 20172368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspb.2017.2368	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 Cheng-Hsi Chuang, Kenji Kikuchi, Hironori Ueno, Keiko Numayama-Tsuruta, Takami Yamaguchi, Takuji Ishikawa	4. 巻 69
2. 論文標題 Collective spreading of red blood cells flowing in a microchannel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 64-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2018.01.009	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 Toshihiro OMORI, Mingming LU, and Takuji ISHIKAWA	4. 巻 13
2. 論文標題 Elastohydrodynamic phase-lock in two rotating cilia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 17-00467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.17-00467	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 Keiji Okumura, Seiya Nishikawa, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa, Atsuko Takamatsu	4. 巻 97
2. 論文標題 Asymmetry in cilia configuration induces hydrodynamic phase locking	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.97.032411	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 Takuya Ohmura, Yukinori Nishigami, Atsushi Taniguchi, Shigenori Nonaka, Jun-ichi Manabe, Takuji Ishikawa, Masatoshi Ichikawa	4. 巻 115
2. 論文標題 Simple mechano-sense and response of cilia motion reveal the intrinsic habits of ciliates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 3231-3236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1718294115	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 Jinyou Yang, Yuji Shimogonya, Takuji Ishikawa	4. 巻 446
2. 論文標題 What causes the spatial heterogeneity of bacterial flora in the intestine of zebrafish larvae?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology	6. 最初と最後の頁 101-109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtbi.2018.03.007	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86件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 66件）

1. 発表者名 Yu Kogure, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Mass transport in an aggregation of swimming microorganisms
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nanami TAKETOSHI, Toshihiro OMORI, Takuji ISHIKAWA
2. 発表標題 Numerical analysis of collective swimming of sperm in three dimensions
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kojiro Sugiyama, Kenji Kikuchi, Tomomi Sato, Sota Oguro, Satoru Yanagaki, Kei Takase, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Instantaneous puncture for accurate needle insertion in percutaneous intervention
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Ogawa, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Numerical simulation of the sponge's choanocyte chamber
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kiyoto Kubo, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 Dynamics of a swimming microorganism suspension
3 . 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Huang, K. Kikuchi, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Liposomal Drug Carriers through an Extended Skin
3 . 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Ogawa, T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Computational Biomechanical Model of the Sponge ' s Choanocyte Chamber
3 . 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Kubo, T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Hydrodynamic Interaction of Deformable Micro Swimmers
3 . 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kawashima, K. Kikuchi, T. Ishikawa
2. 発表標題 Sustainable Particle Capture Ability on a Fresh-water Sponge
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kimura, K. Kikuchi, A. Srivastava, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2. 発表標題 Bubble induced Puffing Process of Fermenting Bread Dough
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Kogure, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 Mass Transport in a Packed Suspension of Swimming Microorganisms
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Doi, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 Motion of a Soft Dumbbell Microswimmer in Oscillating Shear Flow and Random Linear Flow
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rempei YASUDA, Kenji KIKUCHI, Keiko NUMAYAMA-TSURUTA, Takuji ISHIKAWA
2. 発表標題 Virus scale nano-particle permeation into a stretched skin by CLSM flow visualization
3. 学会等名 19th International Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenji KIKUCHI, Shuji KOYAMA, Keiko Tsuruta-NUMAYAMA, Takuji ISHIKAWA
2. 発表標題 Effect of ambient flow on a fresh-water sponge
3. 学会等名 19th International Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. J. Pedley, Takuji Ishikawa, D. R. Brumley
2. 発表標題 RHEOLOGY OF A CONCENTRATED MONOLAYER OF SPHERICAL SQUIRMERS
3. 学会等名 ICTAM 2020+1 conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Hydrodynamics of ciliary swimming
3. 学会等名 Biofluid Symposium in Biofluids 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Atul Srivastava, Kenji Kikuchi, Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 How non-biodegradable wastes can influence microbes in water bodies?
3 . 学会等名 Biofluid Symposium in Biofluids 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 D. R. Brumley, T. Ishikawa, T. J. Pedley
2 . 発表標題 Dynamic structures in concentrated suspensions of spherical squirmers
3 . 学会等名 APS March meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 Functions and Efficiency of Ciliary Swimming
3 . 学会等名 21st RIES-Hokudai International Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Taketoshi , T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Hydrodynamic Interaction of Two sperm
3 . 学会等名 Proc. 17th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Ogawa , T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Flagellar Driven Flow in the Choanocyte Chamber of Sponges
3 . 学会等名 Proc. 17th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 A. Doi , T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Capsule-connected Microswimmer Driven by an Oscillating Shear Flow
3 . 学会等名 Proc. 17th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Yasuda , K. Kikuchi, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Enhancement of Nanoparticles Permeation by Mechanical Skin Extension
3 . 学会等名 Proc. 17th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Sugiyama , K. Kikuchi, K. Takase, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Accelerated Puncture into Kidney Phantom
3 . 学会等名 Proc. 17th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3 . 学会等名 Webinar in Sharif University of Technology (招待講演)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Kurosawa, K. Kikuchi, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Enhancement of Transdermal Drug Delivery by Rotational Stimulation Device
3 . 学会等名 16th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Suzuki, K. Kikuchi, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2 . 発表標題 High Viscous Fluid Flow in C. elegans Pharynx
3 . 学会等名 16th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Kitamura , T. Omori, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Simulation of a Biofilm-Formation in a Microfluidic Channel
3 . 学会等名 16th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Koyama, K. Kikuchi, K. Numayama-Tsuruta, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Pumping Function for a Fresh-water Sponge
3 . 学会等名 16th International Conference on Fluid Dynsmics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Atul Srivastava, Kenji Kikuchi, Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 On Transport of Yeasts
3 . 学会等名 10th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masahiro Takahashi, K. Numayama-Tsuruta, Kenji Kikuchi, Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 Inflamed Intestinal Flow in Zebrafish Larva
3 . 学会等名 10th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Zhihan Huang, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2 . 発表標題 Numerical Simulation of a Droplet Propelled by Collective Swimming of Microorganisms
3 . 学会等名 10th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Nanami Taketoshi, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Numerical Simulation of Hydrodynamic Interaction Between Swimming Spermatozoa
3. 学会等名 10th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa, Takeru Morita, Toshihiro Omori, Yohei Nakayama, Shoichi Toyabe
2. 発表標題 Harnessing low Reynolds number flow for net migration: Locomotion of a deformable microcapsule by random fluid forces
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tim Pedley, Takuji Ishikawa, Douglas Brumley
2. 発表標題 Towards the rheology of a concentrated array of spherical squirmers
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kikuchi, Hyeongtak Noh, Keiko Numayama-Tsuruta, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Mixing and pumping functions in a zebrafish larval intestine
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Suzuki, Kenji Kikuchi, Keiko Numayama-Tsuruta, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Pump Function of <i>C. elegans</i> Pharynx in Highly Viscous Environments
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Helene De Maleprade, Frederic Moisy, Takuji Ishikawa, Raymond E. Goldstein
2. 発表標題 How do colonial micro-algae swim towards light?
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hitomu Matsui, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Collision of two deformable torque swimmers
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3. 学会等名 Mathematical Biology and Ecology Seminar, University of Oxford (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3. 学会等名 Mathematical Physics Seminar, University of York (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3. 学会等名 Fluid Dynamics Seminar, Imperial College London (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3. 学会等名 Workshop on Physics of Soft, Active and Living Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics as a tool for understanding microorganisms
3. 学会等名 Mini-symposium on Fluid-Structure Interactions: From Engineering to Biomimetic Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kikuchi, H. Maleprade, R. E. Goldstein, T. Ishikawa
2. 発表標題 FILTRATION FLOW BY CHOANOFLAGELLATE CHAMBERS OF FRESH-WATER SPONGES
3. 学会等名 18th International Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Biomechanics can provide a new perspective on microbiology
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Omori, Kyosuke Shinohara, Hiroshi Hamada, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Computational study of the nodal flow with a small number of cilia: comparison of mechanosensing and vesicle transport hypotheses
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jinyou Yang, Yuji Shimogonya, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Spatial heterogeneity of bacterial flora in the intestine of zebrafish larvae
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Takahashi, Kenji Kikuchi, Keiko Numayama-Tsuruta, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Gut Bacterial Flow in Zebrafish Larva
3. 学会等名 The Seven International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms ISABMEC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeru Morita, Toshihiro Omori, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Locomotion mechanism of microcapsule using flow oscillation
3. 学会等名 The Seven International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms ISABMEC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cheng-Hsi Chuang, Kenji Kikuchi, Azusa Kage, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Behavior of motile unicellular alga flowing in a microchannel
3. 学会等名 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Taketoshi, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 A NUMERICAL SIMULATION OF SWIMMING SPERMATOOZOA
3. 学会等名 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Suzuki, Kenji Kikuchi, Keiko Tsuruta-Numayama, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Particle Selectivity of Filtering by <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Omori, Hiroto Sugai, Yohsuke Imai, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 FLUID-STRUCTURE INTERACTIONS OF NODAL CILIA AXONEME
3. 学会等名 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kikuchi, Shunsuke Shigeta, Keiko Tsuruta-Numayama, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Drug Permeation Measurement through the Skin by using a Two-Photon Laser Induced Fluorescent Microscopy
3. 学会等名 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nakamura, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 Flow-induced transport of a membrane protein on vesicle surface
3. 学会等名 Bulletin of the American Physical Society, DFD 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Ito, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 Hydrodynamics of ciliate swimming revealed by individual ciliary motions
3. 学会等名 Bulletin of the American Physical Society, DFD 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Morita, T. Omori, T. Ishikawa
2. 発表標題 Micro-capsule swimmer controlled by flow oscillations
3. 学会等名 Bulletin of the American Physical Society, DFD 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, Y. Imai and T. Ishikawa
2. 発表標題 Integrated nanobiomechanics of the living system
3. 学会等名 19th International Conference on Finite Elements in Flow Problems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshihiro Omori, Yohsuke Imai, Takami Yamaguchi and Takuji Ishikawa
2. 発表標題 A BOUNDARY ELEMENT METHOD FOR CELLULAR SCALE PHYSIOLOGICAL FLOW PROBLEMS: PASSIVE MOTIONS OF RED BLOOD CELLS AND ACTIVE MOTIONS OF CILIA AND FLAGELLA
3. 学会等名 The 26th Congress of the International Society of Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshihiro Omori and Takuji Ishikawa
2. 発表標題 UPSTREAM SWIMMING OF A SPERM CELL IN SHEAR FLOW
3. 学会等名 The 26th Congress of the International Society of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sho Sugawara, Kenji Kikuchi, Shunsuke Shigeta, Keiko Numayama-Tsuruta, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 TRANSDERMAL DRUG DELIVERY ENHANCEMENT BY UNIDIRECTIONAL SKIN EXTENSION
3. 学会等名 The 26th Congress of the International Society of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa, Kenji Kikuchi, Tomofumi Haga, Keiko Numayama-Tsuruta, Hironori Ueno
2. 発表標題 VISCOUS LOAD CHANGES THE CILIARY FORCE AND FLOW ON A TRACHEAL LUMEN
3. 学会等名 The 26th Congress of the International Society of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Hydrodynamic Bound States of a Squirmer
3. 学会等名 5th Switzerland-Japan Workshop on Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jinyou Yang, Yuji Shimogonya, Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Transport phenomena in the intestine of zebrafish larvae
3. 学会等名 5th Switzerland-Japan Workshop on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuji Ishikawa
2. 発表標題 Deformation and the resultant motion of a red blood cell
3. 学会等名 Blood Flow: Current State and Future Prospects (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ALEXANDER CHAMOLLY, TAKUJI ISHIKAWA, ERIC LAUGA
2. 発表標題 Micro-navigation in complex periodic environments
3. 学会等名 70th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 TAKUJI ISHIKAWA, KENJI KIKUCHI
2. 発表標題 Biomechanics of Tetrahymena escaping from dead ends
3. 学会等名 70th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohmura, Y. Nishigami, J. Manabe, T. Ishikawa, M. Ichikawa
2. 発表標題 Swimming Behavior of Neutral Squirmer against Non-Slip Boundary
3. 学会等名 International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Ohmura, Yukinori Nishigami, Junichi Manabe, Takuji Ishikawa, Masatoshi Ichikawa
2. 発表標題 Anomalous swimming of a ciliary microorganism adjacent to wall
3. 学会等名 APS March Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Biological Flow Studies Laboratory http://www.bfsl.mech.tohoku.ac.jp/

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
研究分担者	菊地 謙次 (Kikuchi Kenji) (00553801)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	大森 俊宏 (Omori Toshihiro) (10633456)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	今井 陽介 (Imai Yohsuke) (60431524)	東北大学・工学研究科・特任准教授 (11301)	
研究分担者	鹿毛 あずさ (Kage Azusa) (10748809)	東北大学・工学研究科・特任助教 (11301)	

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			
英国	ケンブリッジ大学			