

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：22604  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2018～2020  
課題番号：18K03567  
研究課題名（和文）ソフトマター中のマイクロマシンの非平衡ダイナミクス  
  
研究課題名（英文）Nonequilibrium dynamics of micromachines in soft matter  
  
研究代表者  
好村 滋行（Komura, Shigeyuki）  
  
東京都立大学・理学研究科・准教授  
  
研究者番号：90234715  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ソフトマター中のマイクロマシンが示す自律的遊泳や能動輸送などの非平衡ダイナミクスの理論を、ソフトマター物理学や非平衡物理学に立脚して確立することである。具体的な研究成果としては、高分子ゲル中のマイクロマシンの遊泳挙動について調べ、ゲルの不均一構造がその運動に及ぼす影響を明らかにした。また、タンパク質や酵素の内部自由度の非平衡性に着目し、熱的に駆動されるマイクロマシンが、熱運動のみによって方向性のある運動を獲得できることを示した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

微生物の遊泳の問題は古くから考えられてきたが、多くの場合は環境が水のような純粘性流体であった。しかし、微生物の環境は多くの場合、高分子ゲルのようなソフトマターであり、粘弾性的な性質を示す。ソフトマターの特徴は、内部に特徴的な構造や時間を有していることである。我々の研究により、マイクロマシンの大きさとソフトマターの内部構造の競合により、ソフトマター中では新しい遊泳機構が存在することがわかった。我々の研究は、マイクロマシンとマイクロレオロジーの研究を融合する新しい試みである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to establish the theory of non-equilibrium dynamics such as autonomous swimming and active transport exhibited by micromachines in soft materials based on soft matter physics and non-equilibrium physics. As one of the research results, we investigated the swimming behavior of micromachines in polymer gels and clarified the effect of non-uniform structure of gels on their movements. We also focused on the non-equilibrium internal degrees of freedom of proteins and enzymes, and showed that thermally driven micromachines can acquire directional motion only by thermal motion.

研究分野：ソフトマター物理学

キーワード：マイクロマシン ソフトマター マイクロスイマー マイクロレオロジー ラチェット

## 1. 研究開始当初の背景

マイクロマシンとは、ATP などの物質から化学反応によってエネルギーを取り出し、その構造を変化させることによって機能を発現する微小運動体の総称である。細胞中の酵素やモータータンパク質、バクテリアなどもマイクロマシンと見なせる。研究開始当初、基質存在下での触媒反応によって、酵素の自己拡散係数が増大することが実験的に報告されていた[Sengupta et al., JACS (2013); Riedel et al., Nature (2015)]。この現象の本質的なメカニズムはまだ解明されていないが、例えば触媒反応に伴う発熱や酵素の確率的な遊泳、自己泳動的な熱拡散などの可能性が提案されていた[Golestanian, PRL (2015)]。これらの要因はマイクロマシンに内在する非平衡性と関係している。

一方、酵素の自己拡散に影響を及ぼす他の重要な要因として、酵素の外部環境の物理化学的性質や非平衡性が挙げられる。酵素やタンパク質が動作する細胞内環境は複雑なレオロジーまたは粘弾性挙動を示す。2000 年以降の細胞のレオロジーに関する知見によると、細胞は極めて多種多様であるにも関わらず、その粘弾性的性質はある種の普遍性を示すことが報告されていた[Crocker et al., PNAS (2007)]。そこで我々は、細胞内環境を高分子ゲルと見なし、細胞内での異常拡散を考察していた[Yasuda et al., PRE (2017)]。冒頭で述べた酵素拡散の増大は、粘弾性媒質中に存在する他のアクティブな酵素による流体力学的揺動によって引き起こされている可能性も指摘されていた[Mikhailov et al., PNAS (2015)]。

## 2. 研究の目的

これらの研究の背後にある学術的関心の本質は、細胞中の巨大分子の自己拡散などのゆらぎの情報から、マイクロマシンや細胞内環境の非平衡性を定量的に抽出しようとする試みであり、生命現象を非平衡ソフトマターの観点で理解することである。酵素などのマイクロマシンの細胞中の振る舞いを理解するためには、アクティブな巨大分子の非平衡ダイナミクスを記述する理論的な枠組が必要となる。そこで、本研究では、生体中の非平衡ゆらぎの定量的な理解を目的として、ソフトマター中のマイクロマシンが示す自律的遊泳や能動輸送などの非平衡ダイナミクスの理論を、ソフトマター物理学や非平衡物理学に立脚して確立することを目指す。具体的には以下の項目で挙げる三つの研究課題を遂行し、非平衡系としての生命現象の物理化学的な理解を深める。

## 3. 研究の方法

### (1) 二流体モデル中のマイクロマシンの遊泳挙動

研究代表者は、粘弾性体中のマイクロマシンの遊泳について研究を進めており、「スイマー・マイクロレオロジー」という新しい測定手法を提案してきた [Yasuda et al., JPSJ (2017)]。その際、従来のアクティブ・マイクロレオロジーで用いられた「一般化されたストークスの関係式 (GSR)」(純粘性体の粘性率を、周波数依存性をもつ複素粘性率で置き換えた表式) を仮定した。しかし、媒質がソフトマターである場合、必然的にメソスケールの不均一構造が存在するため、一般に GSR は妥当ではないことが指摘されている。そのため、我々はソフトマター中のマイクロマシンの遊泳挙動について考察し、特にソフトマターの不均一構造がその運動に及ぼす影響を重点的に調べた。

マイクロマシンについては、Najafi と Golestanian が考案した「三つ玉スイマー」を用いた [PRE (2004)]。三つ玉スイマーは二つの可動アームを持っており、アーム運動の時間反転対称性を破ることにより、純粘性体中で並進運動を獲得するミニマムモデルになっている。また、粘弾性媒質のモデルとして、高分子ゲルのダイナミクスを説明する de Gennes の「二流体モデル」を採用した。二流体モデルは、高分子ネットワークを記述する弾性体方程式と、溶媒部分を記述する流体方程式から構成されており、弾性場と流体場が相対的な摩擦の効果を通じて結合する。重要な点として、二流体モデルには弾性率と粘性率で与えられる粘弾性緩和時間 と、粘性率と摩擦係数で与えられる特徴的長さ が存在する (後者は高分子ネットワークの網目サイズに対応する)。

### (2) 熱的に駆動されるマイクロマシン

Najafi と Golestanian の三つ玉スイマーはマイクロマシンの遊泳原理を簡潔に表現しており、これまでに様々な拡張が考案されてきた。一方、従来の三つ玉スイマーの限界は、アームの周期運動が予め決められており、分子内部自由度の緩和ダイナミクスが含まれていないことである。そこで我々は、酵素やモータータンパク質との関連性を重視して、三つの球が調和的なバネで連結された弾性的なマイクロマシンを提案した [Yasuda et al., JPSJ (2017)]。球間のバネの導入により、分子内部の緩和ダイナミクスや、内部自由度の非平衡性を自然な形で考慮できるようになった。

我々の二つ目の研究課題では、特に分子の内部自由度の非平衡性に着目して、このような弾性的なマイクロマシンが、熱運動のみによって方向性のある運動を獲得できるかという問題を検討した。ここで三つの球はそれぞれ異なる温度の熱浴と接しており、異なる球の間には熱流が生じる。そのため、我々の問いを言い換えると、分子内の熱流によってマイクロマシンは原理的に遊泳可能かということになる。この問題設定は温度勾配中の熱拡散と関係する一方、熱ゆらぎから運動を獲得するという意味において、ブラウン・ラチェットのアイデアとも密接に関連している。

### (3) 粘弾性流体中の相反マイクロスイマー

我々はソフトマターなどの粘弾性体中を遊泳するマイクロマシン(スイマー)の動作機構について調べ、その遊泳速度とソフトマターの複素粘性率を結びつける関係式を理論的に導出した[Yasuda et al., JPSJ (2017)]。この関係式に基づくと、ソフトマターのような粘弾性体中ではいわゆる「ホタテ貝の定理」が破れることや、マイクロマシンの構造的な非対称性が重要であることが明らかになった。マイクロマシンを用いて媒質の粘弾性を調べる新しい測定概念は「スイマー・マイクロレオロジー」と命名されている。本研究では、粘弾性流体中の相反マイクロスイマーについても検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 二流体モデル中のマイクロマシンの遊泳挙動

最初に均一な粘弾性流体中の三つ玉スイマーの推進について議論した。粘弾性流体は緩和時間という時間スケールを持っており、その力学応答は複素粘性率によって特徴づけられる。また、三つ玉スイマーは三つの玉が二つのアームによって直線状に結合されたモデルで、アームを伸び縮みさせることで遊泳できる。三つの玉の運動方程式を解くことで、スイマーの遊泳速度と周囲の流体の複素粘性率の関係式を導出した。この関係式によると、スイマーの時間反転対称性が破れたとき粘性項が、構造対称性が破れたときに弾性項が現れることがわかった。ここで、粘性項は複素粘性率の実部、弾性項は複素粘性率の虚部を含んでいる。さらに、弾性項の存在により、時間反転対称な変形によって遊泳できることが示され、帆立貝定理が粘弾性流体中では一般化される必要があることが示唆された。また、粘弾性流体のモデルとしてマクスウェルモデルを採用することで、遊泳速度の周波数依存性について調べた。その結果、粘性項は低周波数領域では周波数に比例するが、高周波数領域では周波数に反比例することがわかった。一方、弾性項は低周波数領域で周波数の二乗に比例し、高周波数では一定の値を取ることがわかった。

次に特徴的な時間と長さスケールを持った構造粘弾性流体中の三つ玉スイマーモデルの解析を行った。玉の易動度に媒質の力学的性質を反映させることで、スイマーの遊泳速度と球の易動度を関係付ける一般式を導出した。この表式によって、時間反転対称性が破れたときに粘性項が、構造対称性が破れたときに弾性項が現れることが示された。構造流体の一例として二流体モデルで記述される高分子ゲルを考えた。二流体モデルは粘性流体と弾性体ネットワークが摩擦でカップルしたモデルで、粘弾性的な時間スケールとメッシュサイズに対応する長さスケールを有している。その結果、構造流体のメッシュサイズとスイマーの長さスケールの競合から、三つ玉スイマーの多様なダイナミクスが生じることがわかった。特に大スイマーでは非単調な周波数依存性が見られ、特徴的な周波数がスイマーサイズによって決定されることがわかった。[K. Yasuda, R. Okamoto, and S. Komura, "A three-sphere microswimmer in a structured fluid", EPL 123, 34002 (6pp) (2018).]

### (2) 熱的に駆動されるマイクロマシン

弾性的な三つ球マイクロスイマーを出発点として、熱ゆらぎの効果を取り入れた熱的に駆動されるマイクロマシンのモデルを提案した。このモデルは三つの微小な球が二つの調和的なバネによって結合しており、それぞれの球は異なる温度をもつ熱源と接している。このマイクロスイマーは、非平衡定常状態において流体相互作用によって自律的な遊泳を行い、その平均速度は両端の球の温度差に比例することが分かった。

非平衡統計力学に基づく解析では構造のゆらぎのみに注目するため、それに対して影響が小さい流体相互作用は無視した。最初に、ばねの自然長からの変位に対する連立のランジュバン方程式から出発して、非平衡定常分布の計算を行った。次に、計算した非平衡定常分布を用いて非平衡状態を特徴づける確率流の計算を行った。確率流は正味の遷移確率を表す物理量であり、詳細釣り合いが成り立つか又は破れるかが判定できる。特に非平衡定常状態においては、形状空間の中で確率流のループが形成される。それぞれの球の抵抗係数が同じ場合、確率流は両端の球の温度が異なるときに有限の値を持ち、同じときにゼロになることがわかった。一方、それぞれの抵抗係数が異なる場合、両端の球の温度が同じであっても確率流は有限の値を持ち、抵抗係数と異なる温度の組み合わせで表される特徴的な温度によって決まる。それぞれのバネの変位に対応する二つの実効的な温度が等しい場合に確率流は消失する。

さらに確率流のフラックスループの回転速度を表す周波数行列の固有値を計算した。抵抗係数が同じ場合の周波数行列の固有値を用いて熱的に駆動されるマイクロマシンの平均速度を表した結果、平均速度はマイクロマシンの形状変化、熱ゆらぎ強度、確率流の回転の三つ要素によ

って決定されることが明らかになった。さらに確率流の回転を特徴づける別の物理量としてフラックスローターの計算を行い、形状空間の原点におけるフラックスローターを使って平均速度を表した結果、こちらも上記と同様に三つの要素によって決定されることが示された。[I. Sou, Y. Hosaka, K. Yasuda, and S. Komura, “Non-equilibrium probability flux of a thermally driven micromachine”, Phys. Rev. E 100, 022607 (10pp) (2019); I. Sou, Y. Hosaka, K. Yasuda, and S. Komura, “Irreversibility and entropy production of a thermally driven micromachine”, Physica A 562, 125277 (14pp) (2021).]

### (3) 粘弾性流体中の相反マイクロスイマー

相反変形するマイクロスイマーモデルを三つ提案し、粘弾性流体中の遊泳速度を計算した。モデル(i)では相反変形する三つ玉スイマーのアーム振幅に非対称性を導入した。モデル(ii)では、三つ玉スイマーのアーム周波数に非対称性を導入した。モデル(iii)では玉の大きさが異なる非対称二つ玉スイマーを考えた。全てのモデルで遊泳速度が複素粘性率の虚部に比例し、相反スイマーは媒質の弾性成分を利用して遊泳していることがわかった。[K. Yasuda, M. Kuroda, and S. Komura, “Reciprocal microswimmers in a viscoelastic fluid”, Phys. Fluids 32, 093102 (7pp) (2020).]

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 K. Yasuda, Y. Hosaka, I. Sou, and S. Komura	4. 巻 未定
2. 論文標題 Odd microswimmer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 未定
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 K. Yasuda and S. Komura	4. 巻 未定
2. 論文標題 Nonreciprocity of a micromachine driven by a catalytic chemical	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 未定
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 Hosaka Yuto, Komura Shigeyuki, Andelman David	4. 巻 103
2. 論文標題 Nonreciprocal response of a two-dimensional fluid with odd viscosity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 042610 ~ 042610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.042610	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 Avni Yael, Komura Shigeyuki, Andelman David	4. 巻 103
2. 論文標題 Brownian motion of a charged colloid in restricted confinement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 042607 ~ 042607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.042607	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 Era Katsutomo, Koyano Yuki, Hosaka Yuto, Yasuda Kento, Kitahata Hiroyuki, Komura Shigeyuki	4. 巻 133
2. 論文標題 Autonomous elastic microswimmer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EPL (Europhysics Letters)	6. 最初と最後の頁 34001 ~ 34001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/133/34001	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 Sou Isamu, Hosaka Yuto, Yasuda Kento, Komura Shigeyuki	4. 巻 562
2. 論文標題 Irreversibility and entropy production of a thermally driven micromachine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 125277 ~ 125277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2020.125277	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 Ohta Takao, Komura Shigeyuki	4. 巻 132
2. 論文標題 Lateral diffusion on a frozen random surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPL (Europhysics Letters)	6. 最初と最後の頁 50007 ~ 50007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/132/50007	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 Hosaka Yuto, Komura Shigeyuki, Mikhailov Alexander S.	4. 巻 16
2. 論文標題 Mechanochemical enzymes and protein machines as hydrodynamic force dipoles: the active dimer model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 10734 ~ 10749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SM01138J	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 Al-Izzi Sami C., Sens Pierre, Turner Matthew S., Komura Shigeyuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Dynamics of passive and active membrane tubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 9319 ~ 9330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SM01290D	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 Yasuda Kento, Kuroda Mizuki, Komura Shigeyuki	4. 巻 32
2. 論文標題 Reciprocal microswimmers in a viscoelastic fluid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 093102 ~ 093102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0018540	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 Komura Shigeyuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Brownian Motion Confined in a Brownian Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPSJ News and Comments	6. 最初と最後の頁 08 ~ 08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJNC.17.08	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 Liang Chia-Chun, Yasuda Kento, Komura Shigeyuki, Wu Kuo-An, Chen Hsuan-Yi	4. 巻 101
2. 論文標題 Dynamics of a membrane coupled to an active fluid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 042601 ~ 042601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.042601	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 Kuroda Mizuki、Yasuda Kento、Komura Shigeyuki	4. 巻 88
2. 論文標題 Hydrodynamic interaction between two elastic microswimmers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054804 ~ 054804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.054804	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 Sou Isamu、Hosaka Yuto、Yasuda Kento、Komura Shigeyuki	4. 巻 100
2. 論文標題 Nonequilibrium probability flux of a thermally driven micromachine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.100.022607	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 Hosaka Yuto、Komura Shigeyuki、Andelman David	4. 巻 101
2. 論文標題 Shear viscosity of two-state enzyme solutions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.012610	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 Sachin Krishnan T V、Yasuda Kento、Okamoto Ryuichi、Komura Shigeyuki	4. 巻 30
2. 論文標題 Thermal and active fluctuations of a compressible bilayer vesicle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 175101 ~ 175101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/aab6c7	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 Yasuda Kento, Okamoto Ryuichi, Komura Shigeyuki, Fournier Jean-Baptiste	4. 巻 16
2. 論文標題 Dynamics of a bilayer membrane with membrane-solvent partial slip boundary conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soft Materials	6. 最初と最後の頁 186 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/1539445X.2018.1462830	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 Ota Yui, Hosaka Yuto, Yasuda Kento, Komura Shigeyuki	4. 巻 97
2. 論文標題 Three-disk microswimmer in a supported fluid membrane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 52612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.97.052612	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 Yasuda Kento, Okamoto Ryuichi, Komura Shigeyuki	4. 巻 123
2. 論文標題 A three-sphere microswimmer in a structured fluid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EPL (Europhysics Letters)	6. 最初と最後の頁 34002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/123/34002	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 Adar Ram M., Uematsu Yuki, Komura Shigeyuki, Andelman David	4. 巻 98
2. 論文標題 Linear response functions of an electrolyte solution in a uniform flow	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.032604	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 Takuma Hoshino, Ming-Wei Liu, Kuo-An Wu, Hsuan-Yi Chen, Tatsuaki Tsuruyama, Shigeyuki Komura	4. 巻 99
2. 論文標題 Pattern formation of skin cancers: Effects of cancer proliferation and hydrodynamic interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.032416	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

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 安田健人, 好村滋行
2. 発表標題 生体ナノマシンの状態サイクルモデルII
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 古屋智博, 作道直幸, 好村滋行
2. 発表標題 細胞シートにおける亀裂進展の理論モデル
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 保阪悠人, 好村滋行
2. 発表標題 反対称粘性率を持つ二次元圧縮性流体の流体力学的応答
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 好村滋行, 曹勇, 保阪悠人, 安田健人
2. 発表標題 熱的に駆動されるマイクロマシンのエントロピー生成
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 江良勝智, 小谷野由紀, 保阪悠人, 安田健人, 北畑裕之, 好村滋行
2. 発表標題 自律的に速度を選択する弾性スイマー
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 伊藤碧, 山下晃史, 松尾寛, 佐藤拓哉, 立木佑弥, 好村滋行
2. 発表標題 自己推進粒子を用いた捕食者・被食者系のシミュレーション
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 曹勇, 保阪悠人, 安田健人, 好村滋行
2. 発表標題 熱的に駆動されるマイクロマシンの遊泳効率
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江良勝智, 小谷野由紀, 保阪悠人, 安田健人, 北畑裕之, 好村滋行
2. 発表標題 自律的に速度を選択する弾性スイマーII
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉芳美, 好村滋行
2. 発表標題 不均一な輸送係数を持つ二成分系のマイクロ相分離ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹田智暉, 保阪悠人, 安田健人, 好村滋行
2. 発表標題 層状弾性体における力学応答
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田健人, 黒田瑞季, 好村滋行
2. 発表標題 粘弾性流体中の相反マイクロスイマー
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保阪悠人, 好村滋行, David Andelman
2. 発表標題 反対称粘性率を持つ二次元圧縮性流体の流体力学的応答 II
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigeyuki Komura
2. 発表標題 Thermally driven elastic micromachines
3. 学会等名 Soft Matter Out of Equilibrium: from driven to active systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Hosaka, Shigeyuki Komura
2. 発表標題 Shear viscosity of two-state enzyme solutions
3. 学会等名 Soft Matter Out of Equilibrium: from driven to active systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kento Yasuda and Shigeyuki Komura
2. 発表標題 Swimmer-microrheology
3. 学会等名 Soft Matter Out of Equilibrium: from driven to active systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeyuki Komura
2. 発表標題 A three-sphere microswimmer in a structured fluid
3. 学会等名 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 好村滋行, 曹勇, 保阪悠人, 安田健人
2. 発表標題 熱的に駆動するマイクロマシンの非平衡確率流
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保阪悠人, 好村滋行
2. 発表標題 オット粘性率を持つ膜ドメインの流体力学
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田健人, 好村滋行
2. 発表標題 生体ナノマシンの状態サイクルモデル
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeyuki Komura
2. 発表標題 Thermal and active fluctuations of a compressible bilayer vesicle
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeyuki Komura
2. 発表標題 Thermal and active fluctuations of a compressible bilayer vesicle
3. 学会等名 Mechanics of Membranes: From Differential Geometry to Cell (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 保阪悠人, David Andelman, 好村滋行
2. 発表標題 酵素溶液のずり粘性率
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田健人, 岡本隆一, 好村滋行
2. 発表標題 構造流体中の三つ玉スイマーの遊泳
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

好村滋行のバイオ・ソフトマター研究  
<https://www.comp.tmu.ac.jp/shigekomura/>

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			
その他の国・地域	国立清華大学	国立中央大学		
英国	University of Warwick			
フランス	Universite Paris Diderot	Institut Curie		
イスラエル	Tel Aviv University	Weizmann Institute of Science		
オーストラリア	University of New South Wales			