

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05835

研究課題名(和文)非線形性の高い自己駆動系による時空間パターン発現

研究課題名(英文)Pattern formation using self-propelled motors which have high nonlinearity

研究代表者

中田 聡 (Satoshi, Nakata)

広島大学・統合生命科学研究科(理)・教授

研究者番号：50217741

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、あたかも生き物のように振る舞う自己駆動体を構築することを研究目的とした。自己駆動体は微小空間中のターゲット部位に、それ自身又は物質を自発的に移動し、欠陥検出から修復まで行うことができれば、ドラッグデリバリーのように最小の薬で必要な個所を治療することができる。ところがこれまでの自己駆動体は、単指向の運動やランダム運動、又は外力で強制的に動かされる自律性の低いものばかりであった。そこで自己駆動体の自律性を高めるために、自己駆動体に非線形科学を導入した。具体的には、両親媒性分子を用いて運動を制御するシステムの構築と化学反応とカップルして特徴的に運動する自己駆動体の構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自己駆動体は、手の届かない微小な空間にある欠陥を検知し、修復することを目的として研究が行われてきた。例えばドラッグデリバリーでは、局所的な欠陥のみに薬を投与すればよいので、無駄な薬が減り、患者の負担を軽減できる利点がある。このような駆動体は、現実の世界ではバクテリアが該当するので、バクテリアをまねた人工の自己駆動体を構築すればよい。しかしながら従来の自己駆動体は、外乱によるランダム運動や初期条件で運動方向が決まる、単指向運動しか発現しなかった。これは人工の自己駆動体の自律性が低いからである。そこで非線形科学を導入して自己駆動体を構築したところ、分子構造に依存した多様な運動様相の発現に成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to create a novel self-propelled object mimicking living organisms. In general, most self-propelled objects exhibit random, unidirectional motion, or direction of motion controlled by the external force. That is, the autonomies of non-living self-propelled objects are clearly lower than those of living organisms. To enhance the autonomy of non-living self-propelled object, nonlinearity is introduced into the object. In the present study, we use self-propelled objects of which driving force is the difference in the surface tension. We created characteristic features of motion depending on the chemical structure of amphiphilic molecule and the coupling of chemical reactions, i.e., from view point of information of chemical structure and kinetics of chemical reactions.

研究分野：非平衡系の界面化学

キーワード：自己組織化 自己駆動体 非線形 非平衡 振動 分岐 パターン形成 表面張力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで研究された無生物の自己駆動体は種類に大別される。1つは対称系で、周辺の熱揺らぎによるランダム運動を示した。もう一つは、それ自身又は外場が異方性を持つ場合であり、異方性が濃度勾配を誘発し、単指向運動しか示さなかった。つまり自己駆動体とはいえ、それ自身が運動の方向性を柔軟に操作することができなかった。それに対して、生物の自己駆動体の1つである鞭毛モーターは、外部環境に依存して、特徴的な運動様相を示すことができる。ここで、この違いは生物の自己駆動体の持つ「自律性」が、無生物の自己駆動体よりも圧倒的に高いことが原因であることに研究者は着目した。

2. 研究の目的

自己駆動体の「自律性」を高める手段として「非平衡・非線形」に注目した。生物が動き続ける、つまり常に駆動力を得るためには、システムが非平衡を維持できる状況を自発的に作る必要がある。これはガソリンが空っぽになると動かない人工の駆動体とは異なり、生物は適宜エネルギー変換、エネルギー供給、及び生命維持のために能動的に自律運動を行うことができる。そこで、生物に学ぶ人工の自己駆動体を構築するために、非平衡・非線形をシステムに導入し、環境に柔軟かつ多様に運動様相で応答できる新規な自己駆動体を構築することを研究目的とした。

3. 研究の方法

本研究はマクロとミクロの観点から研究を行った。具体的には、自己駆動体の駆動力源である駆動体分子と駆動力を制御する両親媒性分子を系統的に構築し、これらの化学情報に基づいたシステムを分子レベルから設計した。また反応拡散のダイナミクスやマランゴニ流等、ミクロからマクロに発展する現象についてもパラメータとして特徴的な運動様相を発現した。一方、実験と理論の両輪からの研究も行った。理論は、反応拡散方程式と運動方程式を駆動力である表面張力差で結合した数理モデルに基づいて実験系を計画し、最適条件を見出した。一方数理モデルの普遍性と正当性を確認する実験を行い、理論と実験の結果をフィードバックさせながら、システムを発展させた。駆動力を評価するために表面張力と表面圧 表面積特性の測定を行い、反応の追跡するために吸光度計や赤外放射温度カメラを使用し、流れを評価するために可視化粒子を用いた高速度撮影を行った。

4. 研究成果

反応拡散の速度バランスから、自己駆動によるパターン形成する系を構築するために、駆動体分子と制御分子である両親媒性分子を、分子レベルから発現・制御することに成功した。また、表面張力差で生じるマクロな流れを活用して特徴的な運動様相や運動モードスイッチングを発現する実験系を構築した。以上のように、非線形科学の導入により、自律性の高いあたかも生き物のように振る舞うモデル実験系の構築に成功した。具体的な研究成果を次の(1)-(6)に示す。

(1) 自己駆動する液滴の2種類の往復運動：一次元水路にサリチル酸ブチル(BS)液滴を界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウム水溶液(SDS)に浮かべ、SDS濃度を変化させた。その結果、I. SDSの臨界ミセル濃度(8 mM)以下で停止、II. 7-40 mMで水路の壁の長さよりも振幅の小さい往復運動、III. 40 mM以上で水路の壁を使った往復運動を示した。これらの運動モード分岐について、BSが水面に吸着したSDSをバルク相に混合ミセルを形成して溶解することが重要であること、IIでは自身の運動によるBSの表面濃度反転、IIIでは壁への接近によるBSの表面濃度反転が原因で2種類の往復運動が発現することを明らかにした。またこれらの運動様相は、反応拡散方程式と運動方程式から構成される数理モデルによる数値計算からも明らかにした。

(2) 外部制御で自己反転するメモリー運動の発現：これまでは自発的に反転するメモリー運動の実験系について報告したが、系統的に実験条件を変えることが困難であった。そこで外部制御により、メモリー運動の仕組みを明らかにするための自己駆動体を構築することを目的とした。具体的には、回転軸に対して時計回りと反時計回りが等しく自律回転する対称な樟脳円板を6個持つ自己駆動体を構築し、ステッピングモーターと接続したワイヤーを周期的に垂直方向に昇降させることにより、自己駆動体に対して停止解放の動作を与えた。その結果、解放ごとに回転方向が反転することを見出した。一式の外部動作ごとに全て反転する場合を反転確率 $IP=100\%$ とすると、停止時間、解放時間、駆動体表面積、水相の攪拌速度に依存して IP 値が特徴的に変化した。また自己反転の機構を明らかにするために、流れの可視化と局所的な表面張力測定を行った。これらの結果、停止動作における自己回転で得られた「流れ」が、樟脳円板周りの樟脳の表面濃度勾配を反転させ、その結果自己反転を導く重要な要因になることを明らかになった。これにより停止時間が長いまたは回転時間が短いと流れの効果が弱まり、対称な樟脳の濃度分布により IP が低下することも同様に明らかにした。

(3) 振動運動する樟脳船の周期の起源：樟脳円板をプラスチック板の底面中心に付着した系では、プラスチック板の長さに依存して周期が長くなる振動運動を示すことが報告されている。これは、駆動力分子の拡散が周期を決定する系とみなすことができる。本研究では、物理化学的に実験と理論の両面から拡散の効果と周期の関係を解明することを研究目的とした。具体的には、温

度と粘度をパラメータとして変化させた。その結果、温度と粘度に依存して周期が特徴的に長くなることを見出した。このような周期の温度・粘度依存性について、樟脳円板からの樟脳分子の溶解速度、拡散速度に基づいて、常に樟脳分子が供給される拡散方程式を用いて、拡散長にある閾値濃度に到達するまでの時間を周期とみなして計算した。その結果、実験とおおよそ類似した周期の温度・粘度依存性を再現することに成功した。実験値と理論値との違いは、固液界面での流れによるものと考えられるが、これについては今後の課題である。

(4) 長さ柔軟さを持つ自己駆動体の振動運動と同期運動：これまで研究された自己駆動体は、樟脳円板のような質点系や運動しながら変形する液滴系がある。前者は簡単であるが運動が制約されているのに対して、後者は運動様相が複雑かつ制御が困難である。そこで、長さを持つ自己駆動体の構築と解明は、鞭毛運動や蛇行運動等、生物運動を人工的に再現する上で重要になる。具体的には、アセトンを含むニトロセルロースのひも状駆動体を水面に浮かべ、表面張力差を駆動力とした自己駆動系を構築した。その結果、ひもの先端と中心では位相差が振動する、非線形性の高い振動子を作成することに成功した。次に2本のひも状駆動体を距離 L 離して水面に浮かべたところ、 L に依存して、同期（同相・逆相）・非同期が生じることを見出した。そして来られ野運動様相とモードスイッチングを、界面張力差と運動方程式から構成される数理モデルを用いて定性的に再現させることに成功した。

(5) 光応答する両親媒性分子を用いた運動モードスイッチング：分子レベルから自己駆動体をデザインすることを目的として、2,2'-bis(2-chlorophenyl)-4,4',5,5'-tetraphenyl-1,2'-biimidazole (o-Cl-HABI)単分子膜を駆動力制御分子とし、樟脳円板を駆動体として用いた系について実験した。ここで o-Cl-HABI は、紫外線照射で単量体、紫外線非照射で二量体を形成し、二量体の方が単量体よりも表面圧が高い性質を持つことを表面圧 表面積特性から評価した。この結果に基づいて、紫外線照射・非照射によって、樟脳円板の運動様相を制御することが可能になる。その結果、往復運動とランダム運動を光制御することに成功した。

(6) 化学反応とカップリングした運動モードスイッチング：水に難溶なクマリンは塩基と反応して、水に易溶なクマリン酸イオンになる。このような化学反応と結合した運動モード発現を研究した。まずクマリンは表面張力を低下させ、クマリン酸イオンは表面張力を低下させなかったことから、クマリンは駆動力源になるがクマリン酸イオンは駆動力源にならないことがわかった。つまり、クマリン生成中である化学反応が起こっている間は停止状態であり、塩基がなくなり聖性が終わると、クマリンが水面に展開して駆動力が得られることになる。この機構を用いて、塩基濃度に依存した運動モードスイッチングを発現させることに成功した。また常微分方程式の観点から、反応スキーム、運動方程式、及び閾値濃度に基づいて、塩基濃度に依存した周期（反応時間に相当）を理論的に導出することに成功した。

このように分子レベルから、非線形非平衡系と物理化学的視点に基づいて、自律性の高い多様な自己駆動運動を発現するだけでなく制御することに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. 著者名 Nakata Satoshi, Kayahara Katsuhiko, Kuze Masakazu, Ginder Elliott, Nagayama Masaharu, Nishimori Hiraku | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Synchronization of self-propelled soft pendulums | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Soft Matter | 6. 最初と最後の頁 3791 ~ 3798 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sm00517f | 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 Nakata Satoshi, Nomura Mio, Yamaguchi Yuta, Hishida Mafumi, Kitahata Hiroyuki, Katsumoto Yukiteru, Denda Mitsuhiro, Kumazawa Noriyuki | 4. 巻 560 |
| 2. 論文標題 Characteristic responses of a 1,2-dipalmitoleoyl-sn-glycero-3- phosphoethanolamine molecular layer depending on the number of CH(OH) groups in polyols | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects | 6. 最初と最後の頁 149 ~ 153 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2018.10.012 | 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 Nakata Satoshi, Nasu Kyoko, Irie Yasutaka, Hatano Sayaka | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Self-Propelled Motion of a Camphor Disk on a Photosensitive Amphiphilic Molecular Layer | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Langmuir | 6. 最初と最後の頁 4233 ~ 4237 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b04285 | 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 Shibata Kenichi, Amemiya Takashi, Kawakita Yu, Obase Kohei, Itoh Kiminori, Takinoue Masahiro, Nakata Satoshi, Yamaguchi Tomohiko | 4. 巻 285 |
| 2. 論文標題 Promotion and inhibition of synchronous glycolytic oscillations in yeast by chitosan | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The FEBS Journal | 6. 最初と最後の頁 2679 ~ 2690 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/febs.14513 | 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 Amemiya Takashi, Shibata Kenichi, Du Yichen, Nakata Satoshi, Yamaguchi Tomohiko | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Modeling studies of heterogeneities in glycolytic oscillations in HeLa cervical cancer cells | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science | 6. 最初と最後の頁 033132 - 033132 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5087216 | 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 S. Nakata, M. Nomura, Y. Seki, A. Deguchi, K. Fukuhara, M. Denda, N. Kumazawa | 4. 巻 546 |
| 2. 論文標題 Characteristic responses of a 1,2-di-myristoyl-sn-glycero-3-phosphocholine molecular layer to polymeric surfactants at an air/water interface | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A | 6. 最初と最後の頁 163-167 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b11903 | 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 R. Tenno, Y. Gunjima, M. Yoshii, H. Kitahata, J. Gorecki, N. J. Suematsu, S. Nakata | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Period of oscillatory motion of a camphor boat determined by the dissolution and diffusion of camphor molecules | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B | 6. 最初と最後の頁 2610-2615 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b11903 | 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 M. Kuze, H. Kitahata, O. Steinbock, S. Nakata | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Distinguishing the dynamic fingerprints of two- and three-dimensional chemical waves in microbeads | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 1967-1971 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.7b12210 | 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 K. Nishi, S. Suzuki, K. Kayahara, M. Kuze, H. Kitahata, S. Nakata, Y. Nishiura | 4. 巻 95 |
| 2. 論文標題 Achilles' heel of a traveling pulse subject to a local external stimulus | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review E | 6. 最初と最後の頁 062209-1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.062209 | 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 H. Nishimori, N. J. Suematsu, S. Nakata | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 Collective behavior of camphor floats migrating on the water surface | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 101012-1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.101012 | 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 J. Gorecki, H. Kitahata, N. J. Suematsu, Y. Koyano, P. Skrobanska, M. Gryciuk, M. Malecki, T. Tanabe, H. Yamamoto, S. Nakata | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Unidirectional motion of a camphor disk on water forced by interactions between surface camphor concentration and dynamically changing boundaries | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics | 6. 最初と最後の頁 18767-18772 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CP03252H | 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 S. Nakata, Y. Seki, M. Nomura, K. Fukuhara, M. Denda | 4. 巻 90 |
| 2. 論文標題 Characteristic isotherms for a mixed molecular layer composed of phospholipid and fatty acid | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin Chemical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 801-806 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20170045 | 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 Y. Satoh, Y. Sogabe, K. Kayahara, S. Tanaka, M. Nagayama, S. Nakata | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Self-inverted reciprocation of an oil droplet on a surfactant solution | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Soft Matter | 6. 最初と最後の頁 3422-3430 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7sm00252a | 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 H. Kitahata, H. Yamamoto, M. Hata, Y. S. Ikura, S. Nakata | 4. 巻 520 |
| 2. 論文標題 Relaxation dynamics of the Marangoni convection roll structure induced by camphor concentration gradient | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A | 6. 最初と最後の頁 436-441 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2017.01.048 | 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 S. Nakata, M. Nomura, H. Yamamoto, S. Izumi, N. J. Suematsu, Y. Ikura, T. Amemiya | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Periodic oscillatory motion of a self-propelled motor driven by decomposition of H2O2 by catalase | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition | 6. 最初と最後の頁 861-864 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201609971 | 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 S. Tanaka, S. Nakata, T. Kano | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 Dynamic ordering in a swarm of floating droplets driven by solutal Marangoni effect | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 101004-1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.101004 | 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7件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 中田 聡 |
| 2. 発表標題 自己駆動体の往復運動 |
| 3. 学会等名 反応拡散系と実験の融合（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 中田 聡 |
| 2. 発表標題 あたかも生き物のように振る舞う自己駆動体 |
| 3. 学会等名 電子科学研究所 公開シンポジウム（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 松藤丈郎・中田聡 |
| 2. 発表標題 形状に依存する自己駆動体の自己反転 |
| 3. 学会等名 日本化学会春季年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名 久世雅和・中田聡他 |
| 2. 発表標題 2個のBZピースのカップリングによる化学波の進行方向の変化 |
| 3. 学会等名 日本化学会春季年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 堀坂真理・中田聡 |
| 2. 発表標題 BZ振動子に発現する時空間パターンの電圧制御 |
| 3. 学会等名 日本化学会春季年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 入江康孝・中田聡他 |
| 2. 発表標題 水面滑走するクマリン粒子の加水分解に対する応答 |
| 3. 学会等名 コロイド及び界面化学討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Satoshi Nakata |
| 2. 発表標題 Characteristic motion of a self-organized object based on nonlinearity |
| 3. 学会等名 XXXVII Dynamics Days Europe (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 Satoshi Nakata et al. eds. | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 Royal Soceity of Chemistry | 5. 総ページ数 371 |
| 3. 書名 Self-organized motion | |

〔産業財産権〕

[その他]

http://www.mls.sci.hiroshima-u.ac.jp/bukkan/index_j.html
 研究業績
 http://www.mls.sci.hiroshima-u.ac.jp/bukkan/gyouseki.htm

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 |
|-------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|----|
| 連携研究者 | 泉 俊輔 (Izumi Shunsuke) (90203116) | 広島大学・大学院統合生命科学研究科・教授 (15401) | |
| 連携研究者 | 長山 雅晴 (Nagayama Masaharu) (20314289) | 北海道大学・電子科学研究所・教授 (10101) | |
| 連携研究者 | 北畑 裕之 (Kitahata Hiroyuki) (20378532) | 千葉大学・理学研究科・准教授 (12501) | |
| 連携研究者 | 末松 信彦 (Suematsu Nobuhiko) (80542274) | 明治大学・総合数理学部・准教授 (32682) | |