

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15141

研究課題名（和文）DNAプレ-プログラミングによる生体分子モーターマイクロ・ナノデバイスの構築

研究課題名（英文）Development of molecular motor-based micro/nanodevice by using DNA pre-programming

研究代表者

井上 大介（Inoue, Daisuke）

九州大学・芸術工学研究院・助教

研究者番号：40869765

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ガラス基板上に印刷したDNAから、無細胞タンパク質合成系を用いてタンパク質デバイスを構築する技術を開発することを目的としている。タンパク質は通常、その不安定性から保存が効かず、商業利用が困難であるが、本技術では遺伝情報を無機材料に印刷することで、タンパク質デバイスの長期保存を可能とし、必要時にタンパク質を合成しデバイスとして機能させることができる。本研究では、微小動力である生体分子モーター系（細胞骨格/モータータンパク質）を無細胞合成する系を確立した。運動性を有するモータータンパク質の合成に成功し、ガラス基板上に印刷したDNAからモータータンパク質を合成し機能させることを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モータータンパク質は古くからマイクロナノデバイスの動力系として応用する研究が行われている。しかしながら、これらのモータータンパク質は古典的な遺伝子組み換え生物を用いて入手する必要があった。本研究により、優れた動力系である、モータータンパク質を無細胞タンパク質合成系により、簡単に入手できるようになった。また、ガラス基板に結合させたDNAの遺伝情報に基づいて、モータータンパク質を合成し、機能させることも実証した。従来壊れやすいタンパク質を、安定なDNAの遺伝情報としてデバイスに組み込むことで、タンパク質デバイスの長期保存を可能にし、商業利用のハードルを下げるができるかもしれない。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop a technology for constructing protein devices using a cell-free protein synthesis system (CFPS) from DNA printed on glass substrates. Typically, proteins are difficult to store due to their instability, making commercial use challenging. However, this technology allows for long-term storage of protein devices by printing genetic information on substrates, enabling protein synthesis and functionalization as devices when needed. This study successfully demonstrated that CFPS synthesized motile motor proteins, which are part of biomolecular motor systems (cytoskeleton/motor proteins), from DNA printed on glass substrates.

研究分野：合成生物学

キーワード：合成生物学 マイクロデバイス モータータンパク質 細胞骨格 無細胞タンパク質合成系 DNAナノテクノロジー

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

生体システムを構成するタンパク質は、多種多様な機能を持つ超小型の生体分子機械である。タンパク質の多くは生体外でもその機能を維持することから、酵素など我々の社会でも幅広く使われている。さらに、タンパク質はその微小なサイズゆえに、マイクロ・ナノテクノロジーの分野でも利用されている。例えば、生体分子モーター系(細胞骨格/モータータンパク質)は、化学エネルギーであるアデノシン三リン酸(ATP)を高効率に消費し自己駆動する生体分子機械であり、筋収縮や細胞内物質輸送、染色体分離、繊毛運動などに必要な生体の動力を構成する。このことから、マイクロ・ナノデバイスや超小型ロボット(分子ロボット)のアクチュエーターへの応用が期待されている¹⁾。しかしながら、デバイスを構成する細胞骨格やモータータンパク質を精製することは容易ではなく、製造したデバイスを長期保存できないことも大きな課題である。

従来、目的のタンパク質を得るためには、大腸菌や細胞に、タンパク質遺伝子を含む DNA を導入し、長時間の培養の後、目的タンパク質の抽出・精製を含む長いプロセスが必要である。また、多くのタンパク質は常温では不安定であるため、フリーザーなどで凍結保存するのが通常であるが、凍結・融解や冷凍保存中の酸化により、その機能が失われるリスクがある。一方、近年、細胞抽出液と DNA を用いて、試験管内でタンパク質を生成する無細胞タンパク質合成系が注目されている²⁾。この系の利点は、大腸菌や細胞を用いないため、特殊な設備や長時間培養を必要とせず、DNA 遺伝子テンプレートと必要な試薬類のみでタンパク質を容易に獲得できる点である。

そこで本研究では、ガラス基板上に、デバイス構築に必要なタンパク質遺伝子をコードする DNA をプリントする。DNA は安定な化合物であるため、デバイス構築に必要なタンパク質の情報を基板上の DNA として記録しておくことで、デバイスの長期保存が期待される。無細胞タンパク質合成系により、タンパク質を DNA から発現し、それらのタンパク質を自己集積させることで、デバイスを構築する技術の確立を目指す。

2. 研究の目的

本研究は、ガラス基板上に DNA を印刷し、無細胞タンパク質合成系を用いてタンパク質デバイスを構築する技術を開発することを目的としている。タンパク質は通常、その不安定さから工業的に応用し、商業利用することが難しいが、この技術では遺伝情報を基板に印刷することにより、タンパク質デバイスの長期保存を可能にし、必要時にタンパク質を合成してデバイスとして機能させることができると期待される。上記の目的を達成するために、本研究では、微小な生体動力系であり、以前からマイクロデバイスの構成材料として用いられてきた生体分子モーター系(細胞骨格/モータータンパク質)を無細胞合成することに挑戦する。

具体的には、細胞骨格であるアクチン繊維や微小管を駆動するコア動力となるキネシン、ダイニン及びミオシンモータータンパク質を無細胞合成する。さらに、モータータンパク質の遺伝子をコードする DNA をガラス基板上にプリントし、この DNA の遺伝情報を基に、モータータンパク質を基板上で合成し、細胞骨格を駆動させる実証実験を行う。

3. 研究の方法

本研究では、生体分子モーター系を構築するモータータンパク質及び細胞骨格の無細胞合成に挑戦した。無細胞タンパク質合成系には、多様なタンパク質の合成に対応し、合成量も多く、低コストであることから、セルフリースサイエンス社のコムギ胚芽抽出を用いた合成系を選択した。このシステムを用いて、以下の研究課題に取り組んだ。

【課題 1】コムギ胚芽抽出液を用いたモータータンパク質の無細胞タンパク質合成系の確立

本研究では、モータータンパク質の合成を試みた。対象としたのは、微小管と相補的に結合するモータータンパク質(キネシン 1、キネシン 5、キネシン 14、ダイニン 1)及びアクチン繊維と結合するモータータンパク質(ミオシン II、ミオシン VI、ミオシン X、ミオシン XI)である。これらのモータータンパク質は、微小管及びアクチン繊維のそれぞれに存在する分子内極性にに基づき選択された。キネシン 1、キネシン 5、ミオシン II、ミオシン X、ミオシン XI は各細胞骨格のプラス端に動く順行性のモーターであり、キネシン 14、ダイニン 1、ミオシン VI はマイナス端に動く逆行性のモーターである。ミオシン XI は植物由来のミオシンであり、シャジクモ類の高速ミオシンを選択した。各モータータンパク質の詳細は表 1 に記載した。

表 1. 合成したモータータンパク質の種類とその詳細

モータータンパク質	極性	詳細
キネシン1	順行性	緑色蛍光タンパク質(GFP)を融合したものを使用(北海道大学大学院農学研究院の高須賀太一准教授の協力の下で作成)
キネシン5	順行性	四両体を形成するキネシンであり、C末端尾部に赤色蛍光タンパク質のDsRed2を導入したものを合成(金沢大学がん進展制御研究所の木下健助教より提供)
キネシン14	逆行性	N末端に赤色蛍光タンパク質であるmCherryを導入したものを合成(Addgene Plasmid #120169)
ダイニン1	逆行性	モーター活性を有する部位のみを選択し、その尾部側にGSTタグを導入することで二量体化するものを使用(国立遺伝学研究所遺伝メカニズム研究系・細胞建築研究室の鳥澤嵩征助教、木村暁教授から提供)
ミオシンII	順行性	筋肉を構成するミオシンであり、C末端にSNAPタグを融合したものを作成
ミオシンVI	逆行性	GFP融合型及びSNAPタグ融合型のものを使用(Plasmid #82714, Plasmid #82716)
ミオシンX	順行性	GFP融合型のものを使用(Plasmid #87256)
ミオシンXI	順行性	モータードメインにMycタグが導入された単頭のものを使用(千葉大学大学院理学研究院の原口武士助教及び伊藤光二教授より提供)

モータータンパク質の遺伝子は、キネシン1遺伝子を pEU ベクターに導入し、その他のモーターは PCR で作成した遺伝子テンプレートを使用し、コムギ胚芽抽出液による無細胞タンパク質合成系で合成した。モータータンパク質の運動活性を、予め精製された微小管及びアクチン繊維を用いて、モータータンパク質を固定したガラス基板上で、ATP 依存的に各細胞骨格を運動させる *In vitro* gliding assay により確認した。

【課題 2】細胞骨格の無細胞タンパク質合成系の確立

モータータンパク質のパートナータンパク質である細胞骨格の無細胞合成も試みた。細胞骨格である微小管やアクチン繊維はそれぞれ、 $\alpha\beta$ チューブリンヘテロダイマー及び G-アクチンとよばれるタンパク質から構成されている。北海道大学大学院農学研究院の高須賀太一准教授の協力の下、 α チューブリンと β チューブリンの遺伝子が挿入された pEU ベクターを作成した。また、G-アクチンに関しては、産業技術総合研究所生物プロセス研究部門の貴嶋紗久研究員、名古屋大学大学院理学研究科 佐々木武馬助教、小田祥久教授の協力の下、アクチンをコードする Act1 及び Act7 遺伝子の配列を有する遺伝子テンプレートを作成して、コムギ胚芽由来の無細胞タンパク質合成系を用いて合成した。

【課題 3】ガラス基板上に印刷した DNA 遺伝子テンプレートからのタンパク質合成系の確立

課題 1 で合成されたモータータンパク質のうち、キネシン 1-GFP およびミオシン VI-GFP について、DNA 遺伝子テンプレートを 3-アミノプロピルトリエトキシシラン (APTS) を気相蒸着させたガラス基板に結合させた。この基板に対して、GFP 抗体を吸着させた後、コムギ胚芽抽出液由来の無細胞タンパク質合成キット (Premium One expression kit, セルフリーサイエンス) を用いて、キネシン 1 及びミオシン VI のワンステップ無細胞合成をガラス基板上で試みた。合成したモータータンパク質の運動活性を、課題 1 で使用した *In vitro* gliding assay によって評価した。

4. 研究成果

【課題 1】本研究において、合成した複数のモータータンパク質の内、キネシンは全て運動活性を有していた。特にキネシン 1 およびキネシン 14 については、PCR テンプレート作成時にアフィニティタグとして FLAG タグの配列を PCR プライマーに挿入し、それぞれモータードメインとは逆側の尾部 (キネシン 1: C 末端、キネシン 14: N 末端) に拡張配列を導入した。これらのキネシンを無細胞合成後、FLAG タグ抗体をコートしたガラス基板に固定し、キネシンの結合量が抗体存在下で増加することを、融合した蛍光タンパク質の蛍光強度の増加から確認した。これにより、無細胞タンパク質合成系を用いることで、キネシンの N および C 末端に様々な拡張配列を導入することが可能であり、キネシンの分子デザインが容易になることが示された。

一方、微小管と相補的に結合する逆行性モーターであるダイニン 1 の合成においては、運動性を示すダイニン 1 は得られなかった。国立遺伝学研究所の斎藤慧助教の協力により取得したダイニン 1 の透過電子顕微鏡像からは、ダイニンモータードメインの AAA+モジュールと見られる環状構造体が観察され、さらに、これらのタンパク質は二量体を形成していることも確認された。また、SDS-PAGE の結果から、目的タンパク質の分子量に該当するバンドが得られたことから、ダイニン 1 は無細胞合成系で発現されている可能性が高い。一般に、無細胞タンパク質合成系は高分子量のタンパク質の発現には不向きとされるが²⁾、本研究で使用したダイニンのモータードメインは分子量が 380,000 にも及ぶにも関わらず、コムギ胚芽由来の無細胞タンパク質合成

系では合成できることが確認された。

今回、運動活性を有するダイニンが得られなかった理由として、タンパク質が正しく折りたたまれ立体構造を形成するために必要な分子シャペロンが不足している可能性が挙げられる。事実、ダイニンにも特異的な分子シャペロンの存在が確認されている³⁾。このため、ダイニンの合成系を確立するには、正しい立体構造の形成に必要な分子シャペロンを特定し、それらをコムギ由来の無細胞タンパク質合成系に導入する必要があると考えられる。

ミオシンに関しては、植物由来のミオシン XI のみがコムギ胚芽由来の無細胞タンパク質合成系で合成可能であった。また、ミオシン XI を用いた *In vitro* gliding assay において、原口らが昆虫細胞で発現させたミオシン XI と同等の運動速度でアクチン繊維が並進運動することが確認された⁴⁾。他方、ミオシンには特異的な分子シャペロンである UNC45A の存在が知られている⁵⁾。UNC45A を無細胞合成し、ミオシン II、ミオシン VI、ミオシン X の合成時に導入すると、これら全てのミオシンにおいてアクチン繊維との結合が向上した。特にミオシン VI は *In vitro* gliding assay において、アクチン繊維が並進運動を発現することが観察された。一方、ミオシン II 及びミオシン X では、アクチン繊維の運動は観察されなかった。

これらの結果から、ミオシンの合成において、分子シャペロンが不要なタイプ、1つの分子シャペロンを必要とするタイプ、複数の要素が必要なタイプの存在が明らかになった。過去の文献によれば、ミオシン II の立体構造形成にはシャペロニン (CCT) と呼ばれる 8 種類のサブユニットから構成される大型の分子シャペロンが必要である可能性が示唆されている⁶⁾。これを踏まえ、CCT を合成反応系中に導入することで、ミオシン II やミオシン X においても運動性を有するタンパク質が得られる可能性が期待される。この知見は、ミオシンの機能発現における分子シャペロンの役割と重要性を示し、今後さらに取り組むべき課題である。

【課題 2】コムギ胚芽由来の無細胞タンパク質合成系を用いて、細胞骨格を構成する $\alpha\beta$ チュープリンや G-アクチンの合成を試みたものの、いずれも重合活性を示すものが得られなかった。この理由として、これら細胞骨格タンパク質の立体構造形成に複数の分子シャペロンが必要であることが示唆されており⁷⁾、これらのシャペロンがコムギ胚芽抽出液に含まれているか否かは、研究の初期段階では不明であった。研究を進める過程で、共同研究者である北海道大学の高須賀准教授らの研究により、コムギの胚芽抽出液には必要な分子シャペロンが一部含まれているものの、多くが断片化または欠損していることが判明した⁸⁾。このため、課題 2 に関しては、上記の分子シャペロンを獲得する手段を模索する必要があり、今後解決すべき課題とした。

【課題 3】課題 1 で合成したモータータンパク質の中から、運動性を示したキネシン 1 とミオシン VI を選択し、ガラス基板に固定した DNA から無細胞合成を行った結果、これらのモータータンパク質がガラス基板上でも運動性を有することが確認された。当初、DNA の固定に用いられた 3-アミノプロピルトリエトキシシラン (APTS) は正電荷を有しており、合成したモータータンパク質や細胞骨格繊維と静電的に相互作用し、その運動を阻害する可能性が懸念されていた。しかし研究結果から、APTS により固定された DNA 基板上でも、生体分子モーター系を構築し、機能させることが可能であることが明らかとなった。

以上より、課題 3 の結果から、DNA 固定ガラス基板から目的のタンパク質を合成し、機能させるという本研究課題の主要目的の大部分が達成されたと考える。今回の研究では、モータータンパク質を目的のタンパク質として使用したが、この技術は他の商業的に有益な酵素などにも応用可能であると期待され、ユーザーがオンサイトでタンパク質デバイスをその場構築できる可能性が示された。

< 引用文献 >

1. Hagiya, M. *et al.*, Molecular Robots with Sensors and Intelligence. *Acc. Chem. Res.* **2014**, 47 (6), 1681–1690.
2. Takai, K. *et al.* The Wheat-Germ Cell-Free Expression System. *Curr. Pharm. Biotechnol.* **2010**, 11 (3), 272–278.
3. Mali, G. R. *et al.*, ZMYND10 Functions in a Chaperone Relay during Axonemal Dynein Assembly. *eLife* **2018**, 7, e34389.
4. Haraguchi, T. *et al.*, Autoregulation and Dual Stepping Mode of MYA2, an Arabidopsis Myosin XI Responsible for Cytoplasmic Streaming. *Sci. Rep.* **2022**, 12, 3150.
5. Liu, L. *et al.*, Unc45 Activates Hsp90-dependent Folding of the Myosin Motor Domain. *J. Biol. Chem.* **2008**, 283 (19), 13185–13193.
6. Srikakulam, R.; Winkelmann, D. A. Myosin II Folding is Mediated by a Molecular Chaperonin. *J. Biol. Chem.* **1999**, 274 (38), 27265–27273.
7. Machida, K. *et al.*, An in Vitro Reconstitution System Defines the Defective Step in the Biogenesis of Mutated β -Actin Proteins. *ACS Synth. Biol.* **2021**, 10 (11), 3158–3166.
8. Okimune, K. *et al.*, Reconstitution of Drosophila and Human Chromatins by Wheat Germ Cell-Free Co-Expression System. *BMC Biotechnol.* **2020**, 20, 62.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Inoue Daisuke, Ohashi Keisuke, Takasuka E. Taichi, Kakugo Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 In vitro Synthesis and Design of Kinesin Biomolecular Motors by Cell-free Protein Synthesis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Synthetic Biology	6. 最初と最後の頁 -
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 Sommer Bjorn, Inoue Daisuke, Baaden Marc	4. 巻 19
2. 論文標題 Design X Bioinformatics: a community-driven initiative to connect bioinformatics and design	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Integrative Bioinformatics	6. 最初と最後の頁 20220037
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/jib-2022-0037	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 Hiraiwa Tetsuya, Akiyama Ryo, Inoue Daisuke, Kabir Arif Md. Rashedul, Kakugo Akira	4. 巻 24
2. 論文標題 Collision-induced torque mediates the transition of chiral dynamic patterns formed by active particles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 28782 ~ 28787
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2CP03879J	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 Farhana Afroze, Daisuke Inoue, Tamanna Ishrat Farhana, Tetsuya Hiraiwa, Ryo Akiyama, Arif Md. Rashedul Kabir, Kazuki Sada, Akira Kakugo	4. 巻 563
2. 論文標題 Monopolar flocking of microtubules in collective motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 73-78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbrc.2021.05.037	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 Sasaki Takema, Saito Kei, Inoue Daisuke, Serk Henrik, Sugiyama Yuki, Pesquet Edouard, Shimamoto Yuta, Oda Yoshihisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Confined-microtubule assembly shapes three-dimensional cell wall structures in xylem vessels	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-42487-w	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 -

[学会発表] 計27件(うち招待講演 18件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 DNAナノテクノロジーを用いた細胞骨格高次構造の組織化制御
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 サルコメア合成に向けた、細胞骨格とDNAナノテクノロジーを融合した再構築系の探求
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 DNA支持体によるアクチン繊維のナノパターンニング
3. 学会等名 第46回日本分子生物学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 細胞骨格の高次階層構造を再現するIn vitroシステム
3. 学会等名 第46回日本分子生物学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 Road to cytoskeleton mastery
3. 学会等名 京都大学アクティブマターセミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 ケミカルAIの分子ユニットの開発に向けた、細胞骨格制御ツールボックスの開拓
3. 学会等名 第7回分子ロボティクス年次大会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上 大介, Do Thi Huong, 藤田 知道, 小田 祥久, 佐々木 武馬, 貴嶋 紗久
2. 発表標題 無細胞システムを用いた植物細胞骨格研究
3. 学会等名 第65回日本植物生理学会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Inoue Daisuke, Ohashi Keisuke, Taichi Takasuka, Akira Kakugo
2. 発表標題 In vitro synthesis and edition of kinesin biomolecular motors
3. 学会等名 The 23th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 微小管とアクチンの物理的クロストークによるネットワークサイズ制御
3. 学会等名 第45回日本分子生物学会年(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 Cytoskeletal Self-organization and Molecular Bioart
3. 学会等名 Symposium on Active Matters (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 生体分子モーターの試験管内合成システムの開拓
3. 学会等名 第14回分子モーター討論会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 アクチン自己組織化の時空間的制御による、リボソームの極性化
3. 学会等名 第6回分子ロボティクス年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 精密分子集積技術を用いた、分子人工筋肉の合成
3. 学会等名 吉田学術教育振興会贈呈式（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上大介、大橋慧介、高須賀太一、角五彰
2. 発表標題 In vitro synthesis and design of kinesin-1 and kinesin-14
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 サイエンス&バイオビジュアライゼーション
3. 学会等名 身心一体科学研究会公開講演会2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 In vitro 細胞骨格モデルによる 微小管-アクチンクロストークの可視化
3. 学会等名 身心一体科学研究会公開講演会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 細胞骨格のマイクロ・ナノスケールでの空間配置制御法
3. 学会等名 第86回日本植物学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 Design of cytoskeletons by micro/nano fabrication
3. 学会等名 北海道大学創成特定研究事業キックオフシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inoue Daisuke
2. 発表標題 Fantastic Voyage in VRCell world
3. 学会等名 VIZBI - Visualizing Biological Data (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inoue Daisuke
2. 発表標題 Emergence of monopolar motile clusters of chiral microtubules in collective motion
3. 学会等名 九大物理オンラインセミナー（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inoue Daisuke, Ohashi Keisuke, Takasuka Taichi, Kakugo Akira
2. 発表標題 In vitro synthesis and design of kinesin biomolecular motors by cell-free protein expression system
3. 学会等名 ASCB Cell Bio Virtual 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inoue Daisuke
2. 発表標題 In vitro assays of cytoskeleton
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inoue Daisuke
2. 発表標題 In vitro control of the self-organization of cell designer, cytoskeletons
3. 学会等名 国立遺伝学研究所NIG seminar（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 微小流路による微小管集団運動の制御
3. 学会等名 令和3年度若手研究者・博士課程学生支援プログラム エネルギーウィーク2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 大介
2. 発表標題 細胞骨格の微細加工技術
3. 学会等名 分子サイバネティクス領域セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inoue Daisuke
2. 発表標題 Control of Microtubules in Collective Motion by Microflow Channel
3. 学会等名 分子サイバネ国際ワークショップ（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上大介
2. 発表標題 微小管のIn vitro自己組織化
3. 学会等名 植物細胞生物研究会2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------