

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03796

研究課題名(和文) 張力ホメオスタシスを説明する細胞内分子挙動の測定と熱力学的記述

研究課題名(英文) Mechanisms of cellular tensional homeostasis: measurement and analysis

研究代表者

出口 真次 (Deguchi, Shinji)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：30379713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：増殖が可能な細胞には、細胞内部の物理的な張力を一定に維持する性質である張力ホメオスタシスが備わっている。これは、細胞が周囲環境の変化に適応し、自身の構造や機能を維持するための機能であり、その能力の不全は様々な疾患につながることがわかっている。本研究では、張力ホメオスタシス応答時の細胞内の挙動を計測する方法、具体的にはCM-FRAP法(Continuum mechanics-based fluorescence recovery after photobleaching)を開発し、細胞内で複雑な流れや変形が存在する中でも正確な分子ターンオーバー速度の計測が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「張力ホメオスタシス」は細胞が外部環境の変化に適応し、内部の物理的・生化学的な状態を一定に保つ重要な機能です。この機能の不全は動脈硬化やがんなどの疾患と関連しており重要な研究課題です。しかし、この現象の理解には生物学だけでなく物理化学を含む広範な知識と技術が必要なために十分に研究が進んでいませんでした。本研究ではCM-FRAP法という新しい計測方法を開発し、細胞の張力ホメオスタシスのメカニズム、すなわち細胞が環境の変化に応じて適応的に振る舞う際の変化の仕組みを詳細に解析することが可能になりました。ここで得た知見は張力ホメオスタシスの不全に起因する様々な疾患の予防や治療に役立つ可能性があります。

研究成果の概要(英文)：Cells capable of proliferation possess a function called tension homeostasis, which allows for maintaining the internal physical tension of the cell at a constant level, thereby maintaining its structure and function. Malfunction in this ability leads to various diseases including atherosclerosis. In this project, we developed several novel methods to measure intracellular behavior during the cellular response in tension homeostasis. One of them, which we named the CM-FRAP method (Continuum mechanics-based fluorescence recovery after photobleaching), enables accurate measurement of molecular turnover rates even in the presence of complex intracellular flows and deformations. We then revealed that the turnover of actin molecules occurs more frequently in the central regions of mesenchymal cell types, while flow and deformation are more pronounced at the cell periphery, providing valuable insights into mechanisms underlying cellular tension homeostasis.

研究分野：バイオエンジニアリング

キーワード：張力ホメオスタシス 適応 メカノバイオロジー 細胞バイオメカニクス 慢性炎症 CM-FRAP 熱力学 統計力学

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。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

増殖可能な細胞には、張力ホメオスタシスと呼ばれる、細胞内部の物理的な張力を一定に維持する機能がある。これは、細胞が環境の変化に適応して、自身の構造と機能を維持するための基盤であり、その機能不全は動脈硬化やがんなどの疾患と関連すると指摘されている。しかしながら、張力ホメオスタシスのメカニズムは、分子生物学と物理学という全く考え方の異なる分野の知識と技術を必要とする複雑で難しい問題であり、十分に理解されていない。細胞の張力ホメオスタシスの現象自体は多くの研究で報告されているが、現状では概念的な説明に留まり、具体的な分子レベルでの挙動やその物理化学的背景についての理解は進んでいない。この状況を打破するためには、細胞内分子挙動の詳細な解析を可能にする測定方法の開発と、階層横断的に起こる本現象を解釈するための理論体系、特に細胞が環境の変化に適応する物理化学的必然性の説明が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は張力ホメオスタシスの理解に繋げることを念頭に置き、新しい細胞内分子挙動の測定法を開発し、それに基づく理論体系を構築することである。具体的には、細胞内の純拡散、化学結合、移流、機械的変形を個別に測定できる新しい方法を開発する。この方法を用いて、張力ホメオスタシスに関与するタンパク質の物理化学的性質を定量化する。従来の方法では、これらの挙動を個別に測定することは困難であったが、本研究では遺伝子工学、レーザー計測、物理化学数値解析などの異分野技術を駆使してこの課題に取り組む。

また、張力ホメオスタシスのフィードバック機構を理論的に記述し、他の研究者が客観的に検証可能な形でメカニズムを議論できる学理の構築を併せて目指す。これにより、細胞が環境の変化に適応する際の物理化学的必然性を明らかにする。本現象は力学とシグナル分子やシステム論が複雑に関係する問題であり、分子生物学的視点に立ってどの分子が現象の背後にあるかという責任分子に帰着させる理解だけでは本質に迫ることが難しいため、上記の測定に併せてこのような理論的理解も重要となる。

### 3. 研究の方法

細胞内の分子挙動を詳細に解析するための新しい測定方法を開発し、それに基づく理論体系の構築に取り組む。まず、細胞内タンパク質の純拡散、化学結合、移流、機械的変形を個別に測定する技術を開発する。これは遺伝子工学による変異体作製、共焦点レーザー顕微鏡を用いたFRAP実験(光褪色後蛍光回復法)および反応-拡散-移流方程式を利用して実現する。具体的には transgelin-2 や actin などのタンパク質を対象にし、FRAP実験の解釈のために連続体力学に基づくモデルを構築する。これを Continuum mechanics-based FRAP (CM-FRAP) と呼び、これに基づいて分子複合体の移流量、機械的変形の量を定量化する。また、分子の結合部位を網羅的に削除した変異体を作製してそれぞれ FRAP 実験を行い、それらの挙動の差に基づいて個々の分子の純拡散係数と化学平衡定数を測定する。これにより細胞内の複雑な環境でも分子ターンオーバーに関する正確なデータを初めて取得することが可能となる。

また、上記測定データを基に、張力ホメオスタシスのフィードバック機構を熱力学的に記述する。自由エネルギーの変化に基づいて細胞が内部の張力を一定に保つ現象の背後にある物理的・統計的な必要条件を数理的に導出する。具体的には細胞内 actin の分布の統計的性質を明らかにするために熱統計力学に基づいて関連エントロピーを算出し、様々な細胞条件下における actin filament の長さ分布を導出して実験結果と比較する。また、alpha-SMA など他の主要なタンパク質の物理化学的性質も考慮し、張力ホメオスタシス機構におけるフィードバック作用の発生理由をより詳細に解明する。以上の通り、生物学、物理化学、遺伝子工学などの学際的なアプローチを取り入れており、細胞レベルでの張力ホメオスタシスのメカニズムを解明するための革新的な計測・解析手法を提供する。

### 4. 研究成果

張力ホメオスタシスの解明に向けて、従来困難であった細胞内タンパク質の複数の挙動(純拡散、化学結合、移流、機械的変形)を区別することができる測定法を開発した。このCM-FRAP法を用いて、張力ホメオスタシスを実現する条件を阻害する薬剤投与実験を行い、細胞の状態変化を定量化した。これにより、細胞が外部の力に適応するメカニズムを明らかにし、張力ホメオスタシスの物理的および分子的機構に関する貴重な知見を得ることができた。同時に、CM-FRAP法についても測定精度の向上を図るための改良を継続的に行った。具体的には、光褪色領域の自動追跡アルゴリズムを改良し、各測定時刻において測定しきい値を動的に変更できるようにした。この改良により、特に細胞骨格が複雑に絡み合った空間領域での定量化精度が大幅に向上したことを確認した。これによりさらに精緻なデータ取得が可能となり解析の精度が向上した。

さらに、張力ホメオスタシスの分子・物理機構に手がかりを得るための数値解析を実施し、細胞が張力ホメオスタシスを満たす条件を数式で表現した。特に、構成要素である actin filament の

長さ分布がどのように調整されるかを理論的(統計力学および熱力学)に導き、それが実験結果と一致することを示した。この成果は、細胞の内部構造がどのようにして物理的な力に応答し、適応するかを深く理解するための重要な進展を得た。また、細胞の張力ホメオスタシス現象において、支えられる力の大きさに応じて細胞骨格の構成成分が変化する現象を相転移と見なし、材料熱力学的観点から数理モデル化を行った。これにより、細胞骨格が特定の構成則(力の大きさに応じた見た目の弾性率の変化)を仮定することで、実際の現象を論理的に説明できることが明らかになった。この解析により、細胞がどのようにして内部の力を感知し、それに応じて構造を変化させるかについての理解が深まった。

以上の研究成果により、細胞の張力ホメオスタシスのメカニズムについての理解が大きく進展した。この進展は細胞が環境の変化に対してどのように適応し、機能を維持するかを明らかにするための基盤を提供するものであり、将来的に同メカニズムが根底にある動脈硬化症などの予防や治療に向けた新たな道を開くものである。本研究の結果として以下に示す論文実績を得ることができた。記号\*は責任著者を示しており、いずれも当研究室の構成員であることから、これらの論文は我々が主たる立場で実施したものであることを示している。本実績に基づく客観的な評価として、細胞バイオメカニクス分野で世界トップレベルの成果を挙げることで自負している。

#### 論文実績：

Saito, T.\*, Deguchi, S.\*, Advancing FRAP for cell studies: Where there is a new method, there is a new field. *Journal of Biomechanical Science and Engineering* 18, 4, 23-00028 (review paper).

<https://doi.org/10.1299/jbse.23-00028>

Ueda, Y., Deguchi, S.\*, Emergence of multiple set-points of cellular homeostatic tension. *Journal of Biomechanics* 151, 111543.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111543>

Saito, T.\*, Deguchi, S.\*, CM-FRAP – Continuum mechanics-based fluorescence recovery after photobleaching. *Current Protocols* 3, e655.

<https://doi.org/10.1002/cpz1.655>

Saito, T., Matsunaga, D., Deguchi, S.\*, Long-term fluorescence recovery after photobleaching (FRAP). *Methods in Molecular Biology* 2600, 311-322.

<https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2851-5>

Saito, T., Matsunaga, D., Matsui, T.S., Deguchi, S.\*, Long-term molecular turnover of actin stress fibers revealed by advection-reaction analysis in fluorescence recovery after photobleaching. *PLoS ONE* 17(11), e0276909.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276909>

Ueda, Y., Matsunaga, D., Deguchi, S.\*, A statistical mechanics model for determining the length distribution of actin filaments under cellular tensional homeostasis. *Scientific Reports* 12, 14466, 2022.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-18833-1>

Saito, T.\*, Matsunaga, D., Deguchi, S.\*, Analysis of chemomechanical behavior of stress fibers by continuum mechanics-based FRAP. *Biophysical Journal* 121, 2921-2930, 2022. Selected as Cover.

<https://doi.org/10.1016/j.bpj.2022.06.032>

Ueda, N., Maekawa, M., Matsui, T.S., Deguchi, S., Takata, T., Katahira, J., Higashiyama, S., Hieda, M.\*, Inner nuclear membrane protein, SUN1, is required for cytoskeletal force generation and focal adhesion maturation. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 10, 885859, 2022.

<https://doi.org/10.3389/fcell.2022.885859>

Li, H.†, Matsunaga, D.†,\*, Matsui, T.S., Aosaki, H., Kinoshita, Inoue, K., Doostmohammadi, A., Deguchi, S.\*, Wrinkle force microscopy: a machine learning based approach to predict cell mechanics from images. *Communications Biology* 5, 361, 2022. († co-first author)

<https://doi.org/10.1038/s42003-022-03288-x>

Liu, S., Matsui, T.S., Kang, N., Deguchi, S.\*, Analysis of senescence-responsive stress fiber proteome reveals reorganization of stress fibers mediated by elongation factor eEF2 in HFF-1 cells. *Molecular Biology of the Cell* 33, ar10, 1-11, 2022.

<https://doi.org/10.1091/mbc.E21-05-0229>

Kang, N., Matsui, T.S., Liu, S., Deguchi, S.\*, ARHGAP4-SEPT2-SEPT9 complex enables both up- and

down-modulation of integrin-mediated focal adhesions, cell migration, and invasion. *Molecular Biology of the Cell* 32, ar28, 1-12, 2021.

<https://doi.org/10.1091/mbc.E21-01-0010>

Saito, T., Matsunaga, D., Matsui, T.S., Noi, K., Deguchi, S.\*, Determining the domain-level reaction-diffusion properties of an actin-binding protein transgelin-2 within cells, *Experimental Cell Research* 404, 112619, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2021.112619>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hamaguchi, H., Dohi, K., Sakai, T., Taoka, M. Isobe, T., Matsui, T.S., Deguchi, S., Furuichi, Y., Fujii, N.L., Manabe, Y.	4. 巻 639
2. 論文標題 PDGF-B secreted from skeletal muscle enhances myoblast proliferation and myotube maturation via activation of the PDGFR signaling cascade	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 169-175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbrc.2022.11.085	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 Saito, T., Matsunaga, D., Matsui, T.S., Deguchi, S.	4. 巻 17
2. 論文標題 Long-term molecular turnover of actin stress fibers revealed by advection-reaction analysis in fluorescence recovery after photobleaching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0276909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0276909	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 Ueda, Y., Matsunaga, D., Deguchi, S.	4. 巻 12
2. 論文標題 A statistical mechanics model for determining the length distribution of actin filaments under cellular tensional homeostasis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14466
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-18833-1	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 Hamaguchi, H., Matsui, T.S., Deguchi, S., Furuichi, Y., Fujii, N.L., Manabe, Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Establishment of a system evaluating the contractile force of electrically stimulated myotubes from wrinkles formed on elastic substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13818
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-17548-7	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 Saito, T., Matsunaga, D., Deguchi, S.	4. 巻 121
2. 論文標題 Analysis of chemomechanical behavior of stress fibers by continuum mechanics-based FRAP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biophysical Journal	6. 最初と最後の頁 2921-2930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2022.06.032	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 Sugita, S., Hozaki, M., Matsui, T.S., Nagayama, K., Deguchi, S., Nakamura, M.	4. 巻 620
2. 論文標題 Polarized light retardation analysis allows for the evaluation of tension in individual stress fibers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 49-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2022.06.066	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 Ueda, N., Maekawa, M., Matsui, T.S., Deguchi, S., Takata, T., Katahira, J., Higashiyama, S., Hieda, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Inner nuclear membrane protein, SUN1, is required for cytoskeletal force generation and focal adhesion maturation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Cell and Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 885859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fcell.2022.885859	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 Li, H., Matsunaga, D., Matsui, T.S., Aosaki, H., Kinoshita, Inoue, K., Doostmohammadi, A., Deguchi, S.	4. 巻 5
2. 論文標題 Wrinkle force microscopy: a machine learning based approach to predict cell mechanics from images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-022-03288-x	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 Liu, S., Matsui, T.S., Kang, N., Deguchi, S.	4. 巻 33
2. 論文標題 Analysis of senescence-responsive stress fiber proteome reveals reorganization of stress fibers mediated by elongation factor eEF2 in HFF-1 cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Biology of the Cell	6. 最初と最後の頁 ar10, 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1091/mbc.E21-05-0229	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 Huang, W., Matsui, T.S., Saito, T., Kuragano, M., Takahashi, M., Kawahara, T., Sato, M., Deguchi, S.	4. 巻 320
2. 論文標題 Mechanosensitive myosin II but not cofilin primarily contributes to cyclic cell stretch-induced selective disassembly of actin stress fibers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Journal of Physiology Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 C1153-C1163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpcell.00225.2020	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 Saito, T., Matsunaga, D., Matsui, T.S., Noi, K., Deguchi, S.	4. 巻 404
2. 論文標題 Determining the domain-level reaction-diffusion properties of an actin-binding protein transgelin-2 within cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Cell Research	6. 最初と最後の頁 112619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yexcr.2021.112619	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 Kang, N., Matsui, T.S., Liu, S., Deguchi, S.	4. 巻 32
2. 論文標題 ARHGAP4-SEPT2-SEPT9 complex enables both up- and down-modulation of integrin-mediated focal adhesions, cell migration, and invasion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Biology of the Cell	6. 最初と最後の頁 ar28, 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1091/mbc.E21-01-0010	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24件（うち招待講演 22件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 エントロピー-エントロピー
3. 学会等名 第33回バイオフィロンティア講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 細胞の力の恒常性と適応
3. 学会等名 九州大学・先導研非常勤講師講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Machine learning approach to predicting cell mechanics from images
3. 学会等名 Department Seminar (Programa de Doctorado en Biolog; Celulary Biomedicina, Facultad de Medicina y Ciencia) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Cellular force predicted by machine learning for mechanobiology and drug screening
3. 学会等名 Seminario extraordinario, Universidad de los Andes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Evaluating cellular force using machine learning for mechanobiology and drug screening
3. 学会等名 1st Annual IIBM PhD Symposium: "Advances in Biological and Medical Engineering", Pontifical Universidad Catlica de Chile (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出口真次, 上田唯花
2. 発表標題 ゆらぎの定理に基づく細胞張力ホメオスタシスに関する研究
3. 学会等名 第60回 日本生物物理学学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Proteome of stress fibers
3. 学会等名 Mechanical Science and Bioengineering Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi, Honghan Li, Daiki Matsunaga
2. 発表標題 Machine learning-based traction force microscopy
3. 学会等名 9th World Congress of Biomechanics 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi, Shiyou Liu, Tsubasa S. Matsui, Na Kang, Pirawan Chantachotikul
2. 発表標題 Proteomic analysis of actin stress fibers
3. 学会等名 9th World Congress of Biomechanics 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出口真次, 李泓翰, 松永大樹
2. 発表標題 機械学習による細胞発生力の推定
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会2022, (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出口真次, 上田唯花, 松永大樹
2. 発表標題 細胞張力ホメオスタシスの熱・統計力学
3. 学会等名 第34回バイオエンジニアリング講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Deguchi, Yuika Ueda, Daiki Matsunaga
2. 発表標題 Bridging the hierarchies between cells and the cytoskeleton: Thermodynamics, statistical mechanics, and non-equilibrium physics
3. 学会等名 55th Annual Meeting of the Japanese Society of Developmental Biologists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出口真次, オケヨ・ケネディ・オモンディ, 松永大樹, 松井翼
2. 発表標題 常在収縮力計測による多能性幹細胞の分化状態評価
3. 学会等名 「再生医学・再生医療の先端 合的共同研究拠点」「ウイルス感染症・生命科学 先端 合的共同研究拠点」2021年度共同研究合同報告会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kana Furukawa, Shinji Deguchi
2. 発表標題 Does durotaxis direct NE cell migration in developing lung?
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 細胞による力学環境への適応のメカニズム
3. 学会等名 MMDS・AIMap研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Machine learning-based detection of cellular forces and its application to drug screening
3. 学会等名 International Conference on Future Healthcare and Economic Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 シグナル伝達，数理モデルに基づく細胞計測
3. 学会等名 生物物理学会サブグループ・メカノバイオロジー研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 バイオメカニクスの最前線ー細胞の恒常性を理解するー
3. 学会等名 次世代医療システム産業化フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Cellular adaptation to mechanical environment
3. 学会等名 MEI-Center Summer School 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口 真次，上田 唯花，松井 翼，松永 大樹
2. 発表標題 ストレスファイバーの熱力学
3. 学会等名 第33回バイオエンジニアリング講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Wrinkle force microscopy: a machine learning-based approach to evaluate cellular forces
3. 学会等名 DevMech Webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口真次
2. 発表標題 細胞の力のホメオスタシス、細胞の力のアッセイ
3. 学会等名 京大ウイルス再生研生体材料学分野・セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Machine learning-based cellular force evaluation
3. 学会等名 From Research to Innovation” Symposium on the 15th Anniversary of Osaka University and University of Strasbourg (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Deguchi
2. 発表標題 Machine learning-based detection of cellular traction forces
3. 学会等名 LINK-J & UC San Diego Joint Webinar Series #4 with Osaka University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪大学大学院基礎工学研究科・出口研究室  
http://mbm.me.es.osaka-u.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
研究協力者	松永 大樹  (Matsunaga Daiki)	基礎工学研究科・准教授  (14401)	

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			
デンマーク	コペンハーゲン大学			
チリ	チリ・カトリック大学			