

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04533

研究課題名（和文）生物のかたちづくりを利用したものづくり：細胞の力学応答を利用した最適構造構築

研究課題名（英文）Morphogenesis-based Manufacturing: Construction of optimal structures based on mechanical response of cells

研究代表者

松本 健郎（MATSUMOTO, Takeo）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：30209639

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,300,000円

研究成果の概要（和文）：生物のかたちづくりを力で制御してものづくりに応用するため、1)基盤技術として張力センサ発現平滑筋細胞を血管組織に埋め込んでひずみゲージとする手法を試みて引張でFRETが低下することを確認、2)幼若骨組織への力学負荷による最適構造の自発創成を目指し、鶏雛脛骨薄切片が引張により石灰化のモードを変化させることを発見、3)骨芽細胞様細胞が骨単位形成の現場である円錐内面で周方向に移動することを発見、4)円筒状珪藻Aulacoseiraの被殻形成過程のリアルタイム観察を行い、被殻が厚く硬そうな内側の被殻と薄く柔らかそうな外側の被殻の2層からなり、両者が滑り合う形で伸長することなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物のかたちづくりには力が大きく関わっており、生体組織の多くが力学的最適性を保っている。そこで「生物のかたちづくりを上手く制御して、ものづくりに結びつけることはできないか？」という考えで進めた研究である。例えば珪藻が作り出すマイクロ・ナノレベルの精妙な構造を力学的に制御して望みの構造を作る方法を確立することができれば、膨大なエネルギーと化学物質を使用する現在のマイクロ加工技術に代わり、太陽光と水と空気と若干の栄養素だけで加工を行う地球に優しい技術を確立することができる。現在は生物の形作りをモノづくりに生かす具体的な方法は見つかっていないが、いくつかの基礎的な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：To control the morphogenesis of organisms using force and apply it to manufacturing, we attempted the following approaches: 1) As a foundational technology, we embedded tension sensor-expressing smooth muscle cells into vascular tissue to serve as strain gauges and confirmed that FRET decreases under tension; 2) Aiming for the spontaneous creation of optimal structures through mechanical loading on immature bone tissue, we discovered that thin slices of chick tibia change their calcification mode under tension; 3) We found that osteoblastic cells move circumferentially on the inner surface of the cone, which mimics the site of bone unit formation; 4) We conducted real-time observations of the frustule formation process in cylindrical diatom Aulacoseira and found that the frustule consists of two layers: a thick, seemingly hard inner layer and a thin, seemingly soft outer layer, which extend by sliding over each other.

研究分野：生体軟組織・細胞の実験バイオメカニクス

キーワード：形態形成 ものづくり 骨 珪藻 バイオメカニクス 力学的適応

## 1. 研究開始当初の背景

生物のかたちづくりには力学が大きく関わっており、しかも、力学的な最適性を保っている場合の多いことが明らかとなってきている。例えば、骨は最小の材料で最大の強度を達成する最適構造を取っていることが、既に19世紀後半にWolffにより指摘されている[1]。また、血管壁は高血圧で肥厚するが、これは壁内の円周方向応力を一定に保つよう起こると言われているし[2]、血管壁のヤング率に相当する増分弾性係数も生理的血压における値が一定に保たれることが報告されている。一方、除荷は生体組織に壊滅的な影響を与える場合のあることが知られており、例えば、ウサギ膝蓋腱に荷重が全くかからない状態にすると引張強度は1週間で1/2、3週間で1/10にまで低下してしまう[3]。

このような力学応答を解明することは、生物が形作りに力学をどのように活用しているのか知るといった観点から材料力学的に興味深いだけでなく、医学分野のものづくり、例えば血管や靭帯など荷重支持組織の再生を実現する上で重要である。なぜなら、上で見たように膝蓋腱のような荷重支持組織が力学特性を維持するには適度な力学負荷が不可欠であり、初期再生組織に十分な機械特性を与えるには力学刺激が必須だからである。

力学応答の解明は、医学分野のものづくりだけでなく工業的なものづくりにも活用できる可能性もある。生体組織が力学的最適性を生み出す力学原理を明らかにして、それを設計に生かすことで最適構造物を作製するという考えはこれまでも提案されているが、生物のかたちづくりの機能をそのままものづくりに利用するという考え方もできる。例えば、幼若骨組織を適度な力学環境で培養することにより、その環境に最適な形状を自己組織的に作り出させることができる可能性がある。また、植物プランクトンの一種である珪藻は精妙な微細構造を水と空気と太陽光だけから作り出している。そして最近、我々はこの構造にも力学刺激が関与していることを見出した。従って、珪藻のかたちづくりのメカニズムとそこに与える力学刺激の影響を明らかにすることで、新たな3次元微細構造物の作製、いわばバイオマイクロマシニングとでも呼ぶべき分野を確立できる可能性がある。

## 2. 研究の目的

生物のかたちづくりには力が大きく関わっており、生体組織の多くが力学的最適性を保っていることが明らかとなってきている。そこで、これをものづくりに応用するため、多角的研究を進めることを目的とする。まず、1)組織内の力を細胞レベルで明らかにする基盤技術として、最近我々が開発した張力センサタンパク質を発現する細胞を組織に埋め込んでひずみゲージとする手法を確立する。次に、2)独自開発した骨組織力学負荷培養系で力学負荷により幼若骨組織に最適構造を自発創成させる手法の確立に挑む。更に、3)同じく独自開発した珪藻力学負荷培養系で力による珪藻被殻形状の制御を試みるとともに超解像顕微鏡で被殻形成過程のリアルタイム観察に挑戦し、被殻の精妙な模様がどのようにして形成されるのか明らかにする。これらの結果を組み合わせ、珪藻に適切な力学刺激を加えることで所望の被殻パターンを作らせるバイオマイクロマシニング技術の確立に挑戦する。

## 3. 研究の方法

以下の4点に分けて研究を進めた。

### (1) 組織内力分布を細胞レベルで明らかにする手法の開発

FRET型張力センサ遺伝子を電気パルスで培養細胞内に導入して細胞内で発現させ、細胞内部の張力変化を見積もることができるようになってきている[4]。しかし、組織内の細胞は基質に覆われており電気パルスで細胞に遺伝子を導入することは困難である。そこで発想を転換し、遺伝子を発現する細胞をひずみゲージとして組織に注入し組織と結合した段階で使用することを考えた。このため、最近開発に成功したFRET型張力センサを全身で発現するトランスジェニックマウスから細胞を単離し培養する系を確立した。この細胞を「ひずみゲージ細胞」と命名した。この細胞の懸濁液を微細針で組織に注入し、ひずみゲージとして利用する方法を検討した。初年度はマウスの胸大動脈から単離した平滑筋細胞を増殖させ、これをラット胸大動脈組織に注入して培養することを試みた。次年度はマウスの組織について同様の検討を行った。最終年度は、これまでの結果から、ラット胸大動脈壁にひずみゲージ細胞を注入し3-5日間培養すると、最も既存細胞と同じ向きに配向することが判ったので、この条件で組織を作製し、組織を引張った際のひずみゲージ細胞のFRET ratio変化を測定した。前年度見出した浸透圧を生理的レベルに保った条件で組織を透明化し、組織の表面のみならず、内部のFRET ratio変化も測定した。また平滑筋収縮薬を加えた際の変化も調べた。

### (2a) 幼若骨組織への力学負荷による力学的最適構造の自発的創成

我々がこれまで用いてきた孵化直後の鶏雛の脛骨近位端(膝関節に面する部分)の幼若骨組織

の薄切片（厚さ 0.2mm 程度）を使用した。これまでにこの薄切片に引張を加えて培養すると石灰化が促進されるが、それは引張方向に優先的に起こることなどが判ってきており[5]、コラーゲンの配向が関係することが明らかとなってきた。そこで、コラーゲンのタイプによる違いと石灰化の関係などに着目して研究を進めた。そして、引張刺激によるコラーゲン分布への影響が場所により違う理由を探るために、引張に伴う組織の変形を調べた。また、コラーゲンの Type I と III を確実に区別するため、免疫蛍光染色を用いた比較も行った。

### (2b) 骨単位構造形成原因の探索

緻密骨内部の骨単位は同心円状のハバース層板で構成されているが、このハバース層板内のコラーゲン線維の配向があたかもゴルフクラブのシャフトのように、互い違いになっており、これにより、捻りに強い構造を作っている。この構造が形成される現場では、円錐内面に骨芽細胞が存在することが知られている。そこで、円錐内面で培養した骨芽細胞の挙動を観察した。円錐内面に播種した細胞が円周方向優位に移動することが明らかとなったが、この時、円錐内面を作製するために使用した型はフライス盤による切削で作製したため円周方向に加工痕があった。細胞がこの加工痕に沿って移動した可能性が考えられるため、加工痕の無い円錐状の型をガラスの溶融加工で作製し、これで作製した円錐内面上の細胞の挙動を観察した。

### (3) 珪藻の被殻形成過程の詳細観察と力学刺激の影響の検討

これまで、長円筒状の珪藻である *Aulacoseira* に 3 点曲げを加えつつ培養する系を確立し、新たに形成される被殻で、曲げモーメントの値と被殻の厚みが良い相関にあること、剪断力と被殻の実質部の面積が良い相関にあること、また、殻には内層と外層の 2 層あり、それが滑り合って伸びるらしいことなどを見出している。また、細胞内圧がかなり高く、これで伸長時間にも珪藻が折れない可能性に思い至った。そこで、*Aulacoseira* の伸長の駆動力が細胞内圧である可能性を考え、様々な手法でこの圧の推定を試みた。また、新たな殻がどのようにして形成されていくのか詳細に観察するため、新たに形成する殻が蛍光を発するようになる試薬 PDMPO を入れた培地中で *Aulacoseira* を培養した。

## 4. 研究成果

### (1) 組織内力分布を細胞レベルで明らかにする手法の開発

我々が確立したゲノムレベルで FRET 型張力センサ発現マウスの胸大動脈から単離した平滑筋細胞（ひずみゲージ細胞）を増殖させ、これをラット胸大動脈組織に注入して 5 日間培養した後、組織を透明化して観察したところ、細胞が組織に生着し、元々の平滑筋細胞と同じ方向を向いてくることが判明したが、培養 7 日目ではこの配向は消失した。次にマウスの胸大動脈組織に細胞を注入して細胞配向の変化を調べた。細胞は細胞注入後数日で一旦、既存細胞と同じ円周方向を向いたが、培養 7 日目では円周方向と半径方向に 2 極化する傾向があった。一番、ひずみゲージ細胞と組織内の細胞の配向が一番揃った条件であるラット胸大動脈壁試料にひずみゲージ細胞を注入して 5 日間置いた場合、組織を透明化した後、引張ると FRET が下がることが確認できた。しかし、再現性の良い変化が得られたのは内部の細胞で、表面の細胞は引張で FRET が上がるケースも見られた。これは細胞が剥がれたからかもしれない。また、組織の能動収縮時の変化を調べるために、組織にノルアドレナリンを添加すると FRET が下がることも確認できた。

### (2a) 幼若骨組織への力学負荷による力学的最適構造の自発的創成

孵化直後の鶏雛の脛骨から軸方向に垂直に切り出した薄切片（厚さ 0.2mm 程度）に引張を加えて培養した。我々の以前の研究と同様、石灰化が促進されたが、石灰化に試料の周辺部から中央部に向けて進行する Mode 1 と、中心から周辺に広がる Mode 2 の 2 つのモードがあることを見出し、Mode 1 は引張により変化せず、引張により変化するのは Mode 2 であることが判明した。また、ピクロシロウスレッド染色組織を偏光顕微鏡観察してコラーゲンの Type I と Type III を区別した。引張により Type I コラーゲンの減少が抑制、Type III の増加が抑制されることが判った。また、引張の影響は Mode 1 石灰化領域よりも、Mode 2 石灰化領域のほうで大きいことが判った。また、Type III に比べ Type I コラーゲンの割合が高いところの方が石灰化領域の増加が大きいことが判った。コラーゲン Type I と石灰化に深い関係があることが示唆された。次に引張に伴う組織の変形を調べたところ、変形は組織の外縁部分よりも中央領域で大きいことが判った。これが中央領域の細胞の骨芽細胞への分化を促進し、この細胞が Type I コラーゲンを産生促進し、骨組織の中央領域で Type I コラーゲンに対する石灰化が促進するのではないかと考えられた。

### (2b) 骨単位構造形成原因の探索

機械加工で作成した円錐状の型を利用して円錐内面を作製した。この面に骨芽細胞様細胞 MC3T3-E1 を播種し観察したところ、細胞は円周方向に優位に動いたが、加工痕に沿って動いた可能性が否定できなかった。そこで、加工痕の無い面を作るため、ガラスピペットを加熱し引張ることで、機械加工痕のない円錐面を作製することに成功した。この面上で細胞を培養するやはり円周方向に移動することが確認できた。

### (3)珪藻の被殻形成過程の詳細観察と力学刺激の影響の検討

長円筒状の珪藻である *Aulacoseira* に3点曲げを加えつつ培養しても折れずに伸長するのは細胞内圧が高いためではないかと考え、幾つかの方法で細胞内圧の推定を行った。培養液の浸透圧と *Aulacoseira* の成長率の関係からは 50kPa 程度、アルカリで処理して珪藻を分解したときの被殻の運動の解析からは 1300kPa 程度と推定された。まだ内圧のオーダーを特定するところまで行っていないが、100kPa 前後の高い圧力が生じている可能性が示唆された。次に新たに形成する殻が蛍光を発するようになる試薬 PDMO を利用した形態形成過程の観察、形成された被殻の SEM 観察などを通じて、被殻形成過程を詳細に調べた。その結果、*Aulacoseira* の被殻は厚く硬そうな内側の被殻と薄く柔らかそうな外側の被殻の 2 層からなり、両者が滑り合う形で伸長することが判った。また、外側にある薄い被殻（殻帯）が 2 層構造をしており、このうちの内側の殻帯が伸張しつつ外側の殻帯と滑り会うことで軸方向に伸張し、できあがった空間に厚い被殻（蓋殻）ができることで伸張することを確認した。これは他の珪藻の伸張方式と同じであった。

#### < 引用文献 >

1. Wolff J: The Law of Bone Remodelling, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (1986)
2. Matsumoto T, Hayashi K, Journal of Biomechanical Engineering 116-3, 278-283 (1994)
3. Yamamoto N et al, Journal of Biomechanical Engineering 115-1, 23-8 (1993)
4. Wang J et al, Journal of Biomechanical Science and Engineering 11-4, 16-00504 (2016)
5. Maeda E et al, J Biomechanics 78, 94-101 (2018)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12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 1件）

1. 著者名 Maeda Eijiro, Ando Yoriko, Takeshita Kazuhiro, Matsumoto Takeo	4. 巻 12
2. 論文標題 Through the cleared aorta: three-dimensional characterization of mechanical behaviors of rat thoracic aorta under intraluminal pressurization using optical clearing method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8632
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-12429-5	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 Fan Yong, Wang Junfeng, Kim Jeonghyun, Maeda Eijiro, Matsumoto Takeo	4. 巻 133
2. 論文標題 Dependency of deformation of cell nucleus on stretch direction of tissue: Relation to anisotropic response of aortic media to hypertension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 105326 ~ 105326
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmbbm.2022.105326	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 Tamura Atsutaka, Saiki Mika, Hongu Jun-ichi, Matsumoto Takeo	4. 巻 26
2. 論文標題 Stiffness estimation of transversely anisotropic materials using a novel indentation tester with a rectangular hole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 893 ~ 904
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10255842.2022.2098015	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 Nagayama Kazuaki, Kodama Fumiki, Wataya Naoki, Sato Akiko, Matsumoto Takeo	4. 巻 138
2. 論文標題 Changes in the intra- and extra-mechanical environment of the nucleus in Saos-2 osteoblastic cells during bone differentiation process: Nuclear shrinkage and stiffening in cell differentiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 105630 ~ 105630
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmbbm.2022.105630	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 Maeda Eijiro, Kuroyanagi Kaname, Matsumoto Takeo	4. 巻 123
2. 論文標題 Microscopic characterisation of local strain field in healing tissue in the central third defect of mouse patellar tendon at early-phase of healing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 104702 ~ 104702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2021.104702	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 Maeda Eijiro, Kawamura Ryota, Suzuki Takashi, Matsumoto Takeo	4. 巻 17
2. 論文標題 Rapid fabrication of tendon-like collagen gel via simultaneous fibre alignment and intermolecular cross-linking under mechanical loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 045018 ~ 045018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-605X/ac7305	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 Wang Junfeng, Maeda Eijiro, Tsujimura Yuki, Abe Takaya, Kiyonari Hiroshi, Kitaguchi Tetsuya, Yokota Hideo, Matsumoto Takeo	4. 巻 13
2. 論文標題 In situ FRET measurement of cellular tension using conventional confocal laser microscopy in newly established reporter mice expressing actinin tension sensor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22729 ~ 22729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-50142-z	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 Ishizaki Yusei, Wang Junfeng, Kim Jeonghyun, Matsumoto Takeo, Maeda Eijiro	4. 巻 176
2. 論文標題 Contributions of collagen and elastin to elastic behaviours of tendon fascicle	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Acta Biomaterialia	6. 最初と最後の頁 334 ~ 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actbio.2024.01.014	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 Sato Fumiya, Masuda Yu, Suzuki Daisuke, Hayashi Toshinori, Iwasaki Tomohito, Kim Jeonghyun, Matsumoto Takeo, Maeda Eijiro	4. 巻 42
2. 論文標題 Biomechanical analysis of tendon regeneration capacity of Iberian ribbed newts following transection injury: Comparison to a mouse model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Research	6. 最初と最後の頁 607 ~ 617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jor.25705	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 Inagaki Takashi, Kim Jeonghyun, Tomida Kosei, Maeda Eijiro, Matsumoto Takeo	4. 巻 15
2. 論文標題 3D quantitative assessment for nuclear morphology in osteocytic spheroid with optical clearing technique	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Integrative Biology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/intbio/zyad007	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 Kim Jeonghyun, Tomida Kosei, Matsumoto Takeo, Adachi Taiji	4. 巻 119
2. 論文標題 Spheroid culture for chondrocytes triggers the initial stage of endochondral ossification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biotechnology and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 3311 ~ 3318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/bit.28203	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 Kim Jeonghyun, Inagaki Takashi, Sunaga Junko, Adachi Taiji, Matsumoto Takeo	4. 巻 622
2. 論文標題 Effect of chemically induced osteogenesis supplements on multicellular behavior of osteocytic spheroids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 79 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2022.07.026	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Matsumoto T
2. 発表標題 Microscopic Estimation of Mechanical Environment in Soft Biological Tissues to Elucidate Biological Response Driven by Force and Deformation
3. 学会等名 The 9th World Congress of Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本健郎, 齋藤稜介, 二宮裕将, キム・ジョンヒョン, 前田英次郎, 田村篤敬
2. 発表標題 アフリカツメガエル原腸胚の力学特性：見えてきた引張特性と圧縮特性の大きな違い
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王軍鋒, 辻村有紀, 北口哲也, 前田英次郎, 横田秀夫, 松本健郎
2. 発表標題 FRET型張力センサ発現マウスの血管と腱の引張に伴うFRET変化
3. 学会等名 日本機械学会第34回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Doke D, Numano S, Wang JF, Kim J, Maeda E, Matsumoto T
2. 発表標題 Change of alignment of strain gauge cells injected into blood vessel wall
3. 学会等名 The 9th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 石黒 恵奨, キム・ジョンヒョン, 前田 英次郎, 松本健郎
2. 発表標題 微小摺鉢面作製法の確立とこの面上における骨芽細胞様細胞の挙動観察
3. 学会等名 日本機械学会第33回バイオフィロントニア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王軍鋒, 辻村有紀, 北口哲也, 前田英次郎, 横田秀夫, 松本健郎
2. 発表標題 FRET型張力センサを発現するトランスジェニックマウスの作製と評価
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wang JF, Tsujimura Y, Kitaguchi T, Maeda E, Yokota H, Matsumoto T
2. 発表標題 Generation and evaluation of transgenic mice expressing tension sensor based on FRET
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 Fan Y, Wang JF, Kim J, Maeda E, Matsumoto T
2. 発表標題 Microscopic deformation of the nucleus is different from that of adjacent actin filaments in the smooth muscle cells in the aortic media and is dependent on the stretch direction
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 道家大悟, 沼野翔太, 王軍鋒, キム・ジョンヒョン, 前田英次郎, 松本健郎
2. 発表標題 血管壁に導入したFRET型張力センサ発現平滑筋細胞の形態変化観察
3. 学会等名 日本機械学会第32回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 キム・ジョンヒョン, 前田英次郎, 松本健郎	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善プラネット	5. 総ページ数 221
3. 書名 最先端ナノライフシステム研究 (最先端ナノライフシステム研究編集委員会編)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>バイオメカニクス研究室  <a href="http://bio.mech.nagoya-u.ac.jp/">http://bio.mech.nagoya-u.ac.jp/</a></p>
---

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	前田 英次郎  (Maeda Eijiro)  (20581614)	名古屋大学・工学研究科・准教授    (13901)	

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	KIM JEONGHYUN  (Kim Jeonghyun)  (20844591)	名古屋大学・工学研究科・助教    (13901)	
研究分担者	王 軍鋒  (Wang Junfeng)  (20898415)	名古屋大学・工学研究科・研究員    (13901)	

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