

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：33910

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15102

研究課題名(和文) 心臓の低侵襲In vivoナノ計測のためのリアルタイム符号化撮像法の開発

研究課題名(英文) Development of real-time coding imaging method for minimally invasive in vivo nano measurement of the heart

研究代表者

新谷 正嶺 (SHINTANI, Seine)

中部大学・生命健康科学部・助教

研究者番号：40650536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：細胞内部の生体分子やその集合体の挙動を解析する方法は、開口数の高い対物レンズを用いた光学顕微鏡ライブイメージングにほぼ限られる。しかし、開口数1.4の100倍油浸対物レンズを用いるとその焦点深度は300ナノメートルも無い。立体的で動的な計測対象を高分解能に計測するため、以下の2種類の計測手法を開発した。1、かける電圧で曲率の変わる液体レンズを高速で動かすことで得られた像に、点拡がり関数の逆畳み込み処理をすることで焦点深度を拡張する光学顕微鏡系。2、溶液環境下の生体試料を走査型電子顕微鏡でライブイメージングする方法。心臓などの立体的で動的な計測対象の顕微ライブイメージングへの応用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来困難であった、立体的で動的な計測対象の高分解能なライブイメージングを2種類の方法で可能にした。液体レンズを組み入れた光学顕微鏡系は、端的に言えば従来の光学顕微鏡系の高さ方向の計測領域を拡張するものである。もう一方の溶液環境下の生体試料を走査型電子顕微鏡でライブイメージングする方法は、高分解能計測と立体的で動的な対象の計測を両立させる方法として進歩性が大きい。具体的には、高さ方向の計測領域が光学顕微鏡系の50倍以上で直径20nmの繊維の計測も行えた。Abbeの公式に基づく光学顕微鏡の分解能は200nmである。その10倍以上の分解能をもつ本手法は様々な計測に活用できると期待される。

研究成果の概要(英文)：The method of analyzing the behavior of biomolecules and their aggregates inside cells is almost limited to live imaging with an optical microscope using an objective lens with a high numerical aperture. However, using a 100x oil immersion objective with a numerical aperture of 1.4, the depth of focus is less than 300 nanometers. In order to measure a three-dimensional and dynamic measurement target with high resolution, we have developed the following two measurement methods. 1. An optical microscope system that extends the depth of focus by performing deconvolution of the point spread function on the image obtained by moving the liquid lens whose curvature changes with the applied voltage at high speed. 2. A method of live imaging a biological sample in a solution environment with a scanning electron microscope. It is expected to be applied to microscopic live imaging of three-dimensional and dynamic measurement targets such as the heart.

研究分野：生物物理学

キーワード：電子顕微鏡ライブイメージング コンピューショナルフォトグラフィ 走査型電子顕微鏡 液体レンズ 画像解析 生物物理学 バイオイメージング 低侵襲In vivoナノ計測

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光学顕微鏡法は生命科学研究において重要な研究手法である。個体や細胞の内部の生体分子やその集合体の挙動を解析する方法は、開口数の高い対物レンズを用いた光学顕微鏡ライブイメージングにほぼ限られる。しかし、開口数 1.4 の 100 倍油浸対物レンズを用いると、その焦点深度は 300 ナノメートルも無い。一般的な光学顕微鏡の光路は直径 25.4mm なので、カメラのセンサーが十分に大きかったとして、縦・横が 180 マイクロメートル、高さが 300 ナノメートルの薄い平面領域しか計測が出来ない。平面的な培養細胞以外の、多くの生体組織や生体組織内の細胞は形状も動きも立体的である。通常の開口数の高い対物レンズを用いた光学顕微鏡ライブイメージングでは、これらの動的で立体的な生体組織や組織内細胞、その内部の生体分子やその集合体の計測をすることは困難である(図 1)。

従来の光学顕微鏡法を活用する研究手法として代表者は以前、心筋細胞内部のサルコメア(心筋の収縮機能単位)を 3 ナノメートルの精度 (50 fps) で計測する手法(SL-nanometry)を開発した。SL-nanometry とはサルコメアを仕切る Z 線に蛍光融合タンパク質を発現させ、その輝線の位置を、1 分子計測と同様の関数フィッティングで高精度に推定する手法である。本手法の開発により、個々のサルコメアの動きに基づき、心筋収縮系の詳細な評価が可能になった。本手法により各サルコメアに動的「個性」が存在することが示された(図 2)。さらに心筋の細いフィラメントの平衡が “on” と “off” の中間状態である時に Frank-Starling 機構が最も促進されることが確認され、in vivo 心臓での局所サルコメア動態計測や、1 蛍光タンパク質シグナルからのサルコメア動態とカルシウム濃度の同時計測といった派生研究を生み出した。しかし、この計測手法を培養心筋細胞ではなく、心臓組織内のサルコメアの計測を行おうとすると、計測が非常に困難になり、対物レンズに心臓表面を密着させる工夫をして計測が出来た場合でも、その動きは、計測の工夫の影響を受け、生理的な本来の動きと同等とは言えない可能性が高いことが判明した。心臓は、小型のマウスの心臓でも、3 ミリメートル(焦点深度の 100 万倍)の距離を秒間 6 往復も動くため、光学顕微鏡による高分解能の計測は困難である。

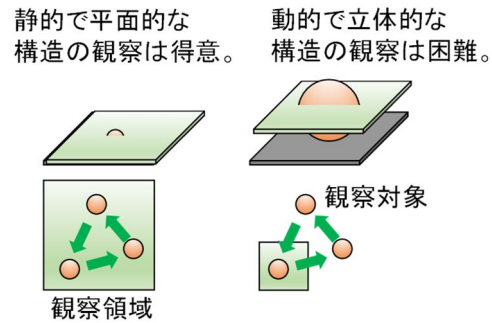


図1 光学顕微鏡の得意と不得意

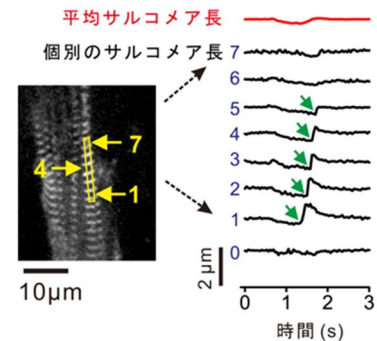


図2 SL-nanometryで計測したサルコメアの個性

### 2. 研究の目的

心臓表面のサルコメアの動きを計測するためには、計測画像の分解能を光学顕微鏡の限界近くに保ちつつ、高速で大きく立体的に動く対象の計測を可能とする新たな計測系を構築する必要がある。その計測系を開発し、心臓の拍動メカニズムについての生理学研究を進めることを本研究の第 1 の目的とした。また、心臓表面のサルコメアの動きを計測できる計測系は、他の様々な生体組織の動的で立体的な動きの高分解能計測に十分な性能を有していると期待できる。よってその計測系開発そのものも本研究の第 2 の目的に設定した。

### 3. 研究の方法

まず、カメラで撮像した像を最終的な像ではなく解析処理を行うための中間像とするコンピュータショナルフォトグラフィの方法を導入し、高さ方向の計測領域の拡張を第 1 とする心臓表面のサルコメア計測に適した光学顕微鏡システムの開発に挑戦した。

次に、研究期間中に新たな別のアプローチとして、走査型電子顕微鏡を用いたライブイメージング法の開発にも挑戦した。

### 4. 研究成果

高分解能に試料の立体的な構造と動きを計測するために、最終的に以下の 2 種類の計測方法を開発した。

(1) かける電圧で曲率の変わる液体レンズを高速(最大 1kHz)で動かすことで、ピントを複数の高さに変えた場合の画像の積算画像(中間像)を取得。その積算画像(中間像)に、点拡がり関数の逆畳み込み処理をすることで焦点深度が広い最終的な像を取得する、コンピュータショナルフォトグラフィのコンセプトを取り入れた光学顕微鏡系。

(2) 溶液環境下の生体試料を走査型電子顕微鏡でライブイメージングする方法。この(2)の方法は特に、高分解能計測と立体的で動的な対象の計測を両立させる方法として、進歩性が大きい。具体的には、高さ方向の計測領域が光学顕微鏡系の 50 倍以上で、直径 20 ナノメートルの繊維の計測も行えた。Abbe の公式に基づく光学顕微鏡の分解能は 200 ナノメートルである。その 10 倍

以上の分解能をもち、立体的で動く試料の計測を可能とする本手法は、様々な計測に活用できると期待される。

また、以下の研究成果を主要な派生の研究成果として報告する。

(3) コンピューショナルフォトグラフィの手法の最適化アルゴリズムを作成するために、生成と分類の人工知能アルゴリズムの作成を行った。最終的にこの人工知能アルゴリズムを用いた解析は採択しなかったが、生命科学系を中心とした学生と研究者にプログラミングおよび人工知能技術の学習の門戸を開くために、人工知能技術を扱うための標準言語(Python 言語)の開発環境構築から関数やクラスの作成法までを解説し、生成の人工知能アルゴリズムの紹介を行った教育カリキュラムを論文として公開した(図 3)。

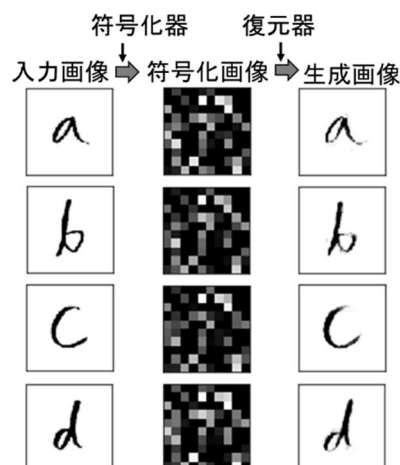


図3. 手書き文字を符号化画像に変換するアルゴリズムと符号化画像から人工手書き文字を復元するアルゴリズム

(4) 横紋筋の収縮ユニットであるサルコメアは、収縮と弛緩の中間の溶液条件で、カルシウム濃度が一定であっても、自発的に収縮と弛緩を繰り返す振動状態になる。このサルコメアが収縮振動を繰り返す状態を SPOC 状態と呼ぶ。サルコメアが直線的に並んだ筋原線維をこの SPOC 状態にすると、個々のサルコメアが収縮と弛緩を繰り返すため、サルコメアの位置は収縮軸方向に複雑に動く。個々のサルコメアは比較的周期的に収縮と弛緩を繰り返しているため、サルコメア長は収縮軸方向の総体的な変化として計測できるが、サルコメアの絶対位置は、繋がっている他の全てのサルコメアの影響を受けるため、動きが複雑になる。本研究で開発したフィードバックシステムで、1 個のサルコメアを捉えることで、格子間隔方向のサルコメア構造変化も精密に解析することを可能にした。その結果に基づき、隣り合うサルコメア間で格子間隔を揃えようとする力とサルコメアの長手方向と垂直方向の歪みの逆関係を保とうとする力が収縮中のサルコメア内のミオシンにかかる力学的負荷を増大させる効果を考慮した数理モデルを構築し、サルコメアが振動のタイミングをそろえる際に伝播する波を忠実に再現することができた。この数理モデルを使ったところ、人の心筋の自励的振動収縮と、それより動きが約 5 万倍も速いカブトムシが羽ばたく際の飛翔筋の自励的振動収縮も同じ数理モデルで説明できた。すなわち、人や動物の骨格筋や心筋、鳥や昆虫が羽ばたく時に使う飛翔筋など、激しく伸縮を繰り返す横紋筋の動きを統一的に再現できる数理モデルを開発した。

(5) 代表者は、温めた心筋(横紋筋)は収縮振動(HSOs; Hyperthermal Sarcomeric Oscillations)するという事実を発見している。そしてその HSOs の性質を調べることで、この HSOs の性質が心臓の速やかな弛緩に必要と考えられることを明らかにしつつある。この心臓の弛緩の高分解能計測のための手段の開発が(1), (2)の研究成果である。一方で、温度が心筋収縮系にもたらす効果を調べるため、アクチン、ミオシン、トロポニン、トロポミオシンを用いた、in vitro 滑り運動系と、近赤外レーザー光を対物レンズによって集光させることで可逆的に温度を制御する光熱変換顕微鏡システムを組み合わせ、アクチンフィラメントがスライドガラス上を滑走する状態の温度依存性を調べた。その結果、25 から 37 の加熱で、トロポニンとトロポミオシンによるアクチンとミオシンの相互作用阻害が抑制され、アクチンフィラメントが、カルシウム濃度が十分に高いときの 3 割程度の速度(5 マイクロメートル/秒)で滑走することを明らかにした。この成果は、熱がカルシウム濃度とは独立に心筋収縮系の制御に関わっていることの確認と、その程度の定量評価の意味がある。さらに、1 個の心筋細胞の内部の活動が心筋細胞の温度を上げることがあるのかの定量評価を行うため、細胞外から細胞温度を正確に測定するために、培養された単一細胞の非侵襲的な全球温度マッピングを可能にする、レシオ蛍光ナノシート温度計を開発した。蛍光物質に共通する、励起光を当てた際に発する蛍光の量が、温度が高くなるほど少なくなる現象のことを熱消光と言う。レシオ蛍光ナノシート温度計は、この熱消光の温度依存性が高い(-3.2%/ )ユウロピウム(III)テノイルトリフルオロアセトナート三水和物と低い( 0.06%/ )ローダミン 101 を厚み約 50nm の薄膜層としてガラスボトムディッシュの厚み 0.17mm のスライドガラスの細胞播種面にコーティングすることで作られる。この温度計は、励起光を当てた際のこの熱消光の温度依存性の高い蛍光物質と低い蛍光物質の蛍光の比を計測することで、非熱的要因の影響を排除し、より正確な温度測定を行えるようにした新規の温度計である。この温度計を用いた計測で、ラット幼若心筋細胞がミトコンドリア脱共役試薬によって刺激されたとき、ナノシート上の温度は  $\pm 0.1$  以内でほとんど変化しないこと、ラット幼若心筋細胞を電氣的に 2 Hz で刺激した場合、収縮中のナノシート上の温度差は  $\pm 0.01$  °C 以内で安定することを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Oyama K, Gotoh M, Hosaka Y, Oyama TG, Kubonoya A, Suzuki Y, Arai T, Tsukamoto S, Kawamura Y, Ithoh H, Shintani SA, Yamazawa T, Taguchi M, Ishiwata S, Fukuda N	4. 巻 152
2. 論文標題 Single-cell temperature mapping with fluorescent thermometer nanosheets.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of general physiology	6. 最初と最後の頁 e201912469
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1085/jgp.201912469">https://doi.org/10.1085/jgp.201912469</a>	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 Ishii S, Oyama K, Shintani SA, Kobirumaki-Shimozawa F, Ishiwata S, Fukuda N	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermal activation of thin filaments in striated muscle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology section Striated Muscle Physiology	6. 最初と最後の頁 278
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2020.00278	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 Shintani SA	4. 巻 16
2. 論文標題 Curriculum for Programming and Artificial Intelligence Education for Biomedical Science Students -From the Basics of the Python Language to Artificial Intelligence Algorithms for Generation-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of Institute of Life and Health Sciences, Chubu University	6. 最初と最後の頁 40-49
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamaguchi S, Le P, Ito M, Shintani SA, Takadama H	4. 巻 9
2. 論文標題 Tri-functional calcium-deficient calcium titanate coating on titanium metal by chemical and heat treatment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 561
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.3390/coatings9090561">https://doi.org/10.3390/coatings9090561</a>	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 Washio T, Shintani SA, Higuchi H, Sugiura S, Hisada T	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of myofibril passive elastic properties on the mechanical communication between motor proteins on adjacent sarcomeres	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 9355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-019-45772-1">https://doi.org/10.1038/s41598-019-45772-1</a>	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 Ishii S., Oyama K., Arai T., Itoh H., Shintani SA., Suzuki M., Kobirumaki-Shimozawa F., Terui T., Fukuda N. and Ishiwata S.	4. 巻 Volume 151, No. 6
2. 論文標題 Microscopic heat pulses activate cardiac thin filaments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of general physiology	6. 最初と最後の頁 860-869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1085/jgp.201812243	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 Ishiwata S, Miyazaki M, Sato K, Nakagome K, Shintani SA, Kobirumaki-Shimozawa F, Fukuda N, Suzuki K, Takagi J, Shimamoto Y, Itabashi T	4. 巻 647
2. 論文標題 Dynamic properties of bio-motile systems with a liquid-crystalline structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mol. Cryst. Liq. Cryst	6. 最初と最後の頁 127-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2017.1289445	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 Shintani SA	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of a general-purpose algorithm to measure motion and state of attention object - Study report on method of using deep learning for quantitative science research -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annual report of Research Institute of Life and Health Sciences	6. 最初と最後の頁 45-49
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Seine A. Shintani, Shin'ichi Ishiwata, Norio Fukuda
2. 発表標題 Molecular mechanisms of contraction rhythm homeostasis in warmed cardiomyocytes.
3. 学会等名 The 97th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroaki Takadama, Rohit Khanna, Seine A. Shintani, and Seiji Yamaguchi
2. 発表標題 Formation of alumina layer on titanium alloy by micro-arc oxidation for bearing surface of artificial joint.
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rina Iwatsuki, Seiji Yamaguchi, Seine A. Shintani and Hiroaki Takadama
2. 発表標題 Apatite formation and antibacterial activity of Ti and Ti-6Al-4V alloy incorporated with Ca, Sr and Ag ions.
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seine A. Shintani, Takumi Washio
2. 発表標題 Elucidation of molecular mechanism of contraction rhythm homeostasis in cardiac myocytes. (Symposium)
3. 学会等名 The 57th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seine A. Shintani, Takumi Washio
2. 発表標題 Elucidation of molecular mechanism of contraction rhythm homeostasis in cardiac myocytes. (Poster)
3. 学会等名 The 57th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新谷正嶺, 樋口秀男, 鷺尾巧
2. 発表標題 心臓のマルチスケールな構造に備わっている温度を活用する仕組みの研究
3. 学会等名 温熱生理研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新谷正嶺
2. 発表標題 心筋細胞に備わる収縮リズム恒常性の分子機構の解明
3. 学会等名 第7回「知の創発」研究拠点プロジェクト研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shintani SA.
2. 発表標題 Mechanical wave characteristics generated by sarcomere group of cardiac / skeletal muscle
3. 学会等名 The 56th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamaguchi S., Niwa Y., Ito M., Shintani SA. and Takadama H.
2. 発表標題 A Effect of metal ions on type I collagen production of L929 fibroblasts.
3. 学会等名 The 29th European Society for Biomaterials Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamaguchi S., Ito M., Shintani SA., Nakamura T. and Takadama H.
2. 発表標題 Iodine-loaded bioactive titanium metal and its alloys by chemical and heat treatment
3. 学会等名 30th Symposium and Annual Meeting of the International Society for Ceramics in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintani SA., Washio T., Hwang Y., Kaya M. and Higuchi H.
2. 発表標題 Molecular mechanism of self-oscillatory contraction of cardiac muscle
3. 学会等名 12th International Symposium on Nanomedicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintani SA., Oyama K., Ishiwata S. and Fukuda N.
2. 発表標題 Rapid heating induces high-frequency sarcomeric oscillations in living rat neonatal cardiomyocytes
3. 学会等名 9th FAOPS Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Ishii S., Oyama K., Arai T., Itoh H., Shintani SA., Suzuki M., Kobirumaki-Shimozawa F., Fukuda N. and Ishiwata S.
2. 発表標題 Microscopic heat pulses induce activation of cardiac thin filaments in the in vitro motility assay
3. 学会等名 9th FAOPS Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新谷正嶺、鷺尾巧、樋口秀男
2. 発表標題 温めた心筋細胞に備わる収縮リズム恒常性とその分子機構の考察
3. 学会等名 平成30年度 温熱生理研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintani SA, Washio T, Higuchi H
2. 発表標題 Constant beating frequency of sarcomeres in cardiomyocytes regulated ingeniously by collective motion of myosin molecules
3. 学会等名 The 55th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新谷正嶺、鷺尾巧、樋口秀男
2. 発表標題 心筋細胞に備わった昇温誘起の収縮振動はミオシンの巧みな集団運動で応答性を保ち振動周期を一定に調整する
3. 学会等名 2017年度生命科学系学会合同年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新谷正嶺、鷺尾巧、樋口秀男
2. 発表標題 実験とシミュレーションの比較から考察する温めた心筋細胞に生じる収縮リズム恒常性の役割
3. 学会等名 2018年 生体運動研究合同班会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新谷正嶺、鷺尾巧
2. 発表標題 温めた心筋細胞に備わった収縮リズム恒常性
3. 学会等名 第95回日本生理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山廣太郎, Zeeb Vadim、新井智美、伊藤秀城、新谷正嶺、鈴木団、福田紀男、石渡信一
2. 発表標題 光熱変換顕微鏡を用いた温度センシングの一細胞解析
3. 学会等名 第95回日本生理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山廣太郎、新谷正嶺、塚本精一、小比類巻生、下澤東吾、鈴木団、石渡信一、福田紀男
2. 発表標題 サルコメア収縮の蛍光イメージングと光操作技術の開発
3. 学会等名 ジストロフィン欠損モデル動物を基盤とした筋ジストロフィーの新しい治療法開発 平成29年度 研究班会議
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

中部大学 教員情報 新谷正嶺  
<https://www.chubu.ac.jp/about/faculty/profile/b44e9f346b010f4dcaa34e30b1ced0d3e3c67b9a.html>

researchmap 研究者情報 新谷正嶺  
[https://researchmap.jp/Seine\\_A\\_Shintani](https://researchmap.jp/Seine_A_Shintani)

研究成果のプレスリリース 1  
<https://www3.chubu.ac.jp/research/news/25144/>

研究成果のプレスリリース 2  
<https://www3.chubu.ac.jp/research/news/24905/>

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