

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246045

研究課題名(和文) オンチップロボティクスを基盤とする光合成細胞の機能計測と解析

研究課題名(英文) Functional measurement and analysis of photosynthetic cells based on on-chip robotics

研究代表者

新井 史人 (Arai, Fumihito)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90221051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,700,000円

研究成果の概要(和文)：大きさ約2 μ mのラン藻を対象として、細胞の局所環境制御とマルチパラメータ計測を高速かつ連続に行うため、細胞の粘弾性計測および酸素消費活性計測を行った。細胞の粘弾性計測では、マイクロ流体チップ内にロボットを組み込み、光ピンセットのシステム上で用いることで単一のラン藻の搬送・計測が可能なシステムを構築した。構築したシステムを用いて、ラン藻に高浸透圧ストレスを加えることで浸透圧刺激の影響の調査を行った。また、酸素消費活性計測では、蛍光色素を用いた酸素センサーをマイクロ流体チップのマイクロチャンバー底面に対してストライプ状に配置することで酸素濃度分布を計測し、限定空間での酸素計測の基本原則確認を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is measurement of the multi-parameters of a single cyanobacteria, whose size is approximately 2 μ m in diameter, with high-throughput under local microfluidic environment control. Here, we constructed the systems for mechanical characterization and measurement of oxygen consumption of the cell. As for the cellular mechanical characterization, we constructed the system which enables us to transport the target cell using optical tweezers, and to measure its mechanical properties using the microfluidic chip which has on-chip robots. Using the constructed system, we investigated the effect of osmotic pressure stimulation to cyanobacteria and its mechanical properties. As for the measurement of oxygen consumption, fluorescent dye is utilized as sensors whose fluorescent intensity changes with respect to oxygen concentration. We fabricated a stripe oxygen sensor into the microchamber, and successfully measured the oxygen concentration distribution of confined space.

研究分野：ナノマイクロメカトロニクス, ロボティクス

キーワード：マイクロ・ナノデバイス 超精密計測 バイオ関連機器 光ピンセット ナノバイオ

1. 研究開始当初の背景

本研究は機械工学と生物科学の共同研究プロジェクトであり、工学的に新規な計測システムを構築し、細胞の環境適応機構を調査し、これまで示されてきた疑問を解決する革新的な研究である。本研究ではマイクロ流体チップ内部でロボットによる相互作用を実現し、単一細胞レベルで能動的に細胞の応答を計測する。このようなまったく新しいシステムを提供する工学的アプローチを基盤とし、生物科学において新しい知見を提供するための分子生物学的アプローチを複合的に用いることを特色としている。

まず、生物科学における学術的背景を述べる。微生物は、昼夜の強光と暗所、それに伴う寒暖、さらに乾燥や湿潤環境など、常に環境の変化にさらされており、それらに対する適応機構が生存のためには非常に重要である。外界の浸透圧が下がると細胞に水が流入する。水が流入し続けると最後には細胞が破裂し、その生物は死に至ってしまう。そこで、細胞の膨張による細胞膜の張力の増加で機械刺激受容性チャネル(mechanosensitive channel, MscL)が開口し、イオン等を流出させることにより細胞内の浸透圧を下げて、それ以上の水の流入を防ぐ適応機構が備わっている。このように MscL は細胞の浸透圧調節および生体膜のテンションの調節に必須の生体膜輸送系と考えられている。これまで、MscL の機能解析はパッチクランプ法でイオン排出を測定する実験が行われていた。しかしながら、実際に細胞の容量変化を示す実験は行われておらず、細胞の容量変化への MscL の影響を考察させるデータも示されていなかった。つまり MscL の機能は、生化学的実験を用いた間接的な結果に基づく推定の域を脱していなかった。このため、研究代表者の新井と研究分担者の魚住は、基盤研究 A (平成 20 年度～平成 22 年度)において、細胞への浸透圧刺激に対する胞の容量変化を調べてきた。これまでに MscL や水輸送の通路となる水チャネル(AqpZ)を対象として、これらを欠損した遺伝子不活化株を遺伝子操作によって作成し、これらを正常株(細胞)と一細胞レベルで比較できる実験系を構築した。これは浸透圧刺激をマイクロ流体チップ内で制御し、一細胞レベルで体積変化を調べることが可能とするものである。遺伝子不活化株の体積変化を動的に調べることで特定の遺伝子の役割を世界で初めて明らかにした画期的な成果である。本研究はこれをさらに発展させ、光合成細胞であるラン藻の外部環境を能動的に調整し、浸透圧変化に伴う粘弾性変化を単一細胞レベルで観測する。これにより、細胞の浸透圧調整機構の仕組みに関する新しい知見を得て、生物科学の発展に寄与することを目的とする。このラン藻は光合成を行い、二酸化炭素を固定する環境にやさしい微生物である。魚住らはラン藻が光合成によって細胞の表面にバイオフィルムを

形成し、形状が変化する知見を世界で初めて見出し、これに関わる遺伝子も特定している。しかしながら、糖の形成度合いを低侵襲で精度よく定量化する評価方法は確立されていない。そこで、我々はこの糖形成の度合いを粘弾性で評価する構想を提案する。オンチップで環境を制御し、単一のラン藻の粘弾性を測ることで、糖を形成する遺伝子や環境条件との関係を調べて評価する。新しい計測指標の知見が得られれば、将来、地球温暖化にかかわる環境問題にも大きく貢献できる。

次に機械システム学における学術的背景を述べる。近年、マイクロ流体チップ内部の層流を利用して細胞周りの電気化学的勾配やイオン濃度勾配などの環境情報を変化させる研究報告があるが、特定の細胞のマルチパラメータを連続して計測できていない。一方、代表者の新井は Lab-on-a-chip 技術とロボット技術(超精密位置決め、計測技術)を組み合わせて On-chip Robotics を世界に先駆けて提唱し、これまで多くの実績をあげてきた。これはマイクロ流体チップの内部に小型化したロボットを組み込み、非接触操作により力学的相互作用を能動的に引き起こすことを可能とするものである。例えば、磁気駆動方式によれば、ロボットの重量は約 5 mg に軽量化できる。また、数百 mT の小型永久磁石により数 mN の力を発生できる。これは高速化と低コスト化を意味しており、この分野で技術革新を引き起こしている。また、フロー系で、外乱を排除した精密流体制御が可能で、Re 数が低いことを利用した精密環境制御が可能となる。しかしながら、現状ではオンチップでの細胞計測技術は十分ではなく、重点的な研究が必要である。このため、(1)微細加工、(2)駆動、(3)計測、(4)システム制御の観点から体系的に研究を進める。これを基盤としてラン藻の浸透圧調整機構の仕組みを解明するとともに、糖を形成する遺伝子や環境条件との関係を調べる。

2. 研究の目的

生物は環境変化や時間経過に従う代謝の変化に従って、細胞の強度が変化するというわれている。しかし、2 μm 程度の小さな細胞の計測は極めて困難である。本研究は、マイクロ流体チップ内にマイクロ・ナノロボットを組み込み、光合成細胞であるラン藻のマルチパラメータ(機械的特性:弾性・粘性、大きさ、電気・化学特性)を、オンチップで高速かつ連続的に計測するシステムを構築し、(1)微細加工、(2)駆動、(3)計測、(4)システム制御の観点から体系的に研究を進め、オンチップロボティクスの基盤技術を確立する。このシステムを利用し、ラン藻の浸透圧変化による応答を、単一細胞レベルで直接観測し、機械刺激受容性チャネルの仕組みを解明する。また、ラン藻の粘弾性を測り、糖を形成する遺伝子や環境条件との関係を調べて評価する。

3. 研究の方法

(1) 機械的特徴量計測

図1(a)は提案する機械的特徴量計測システムのコンセプト図である。システムは光ピンセットと、オンチッププローブと力センサを有するロボット統合型マイクロ流体チップ（ロボチップ）の2要素からなる。まず図1(b)に示すように、光ピンセットを用いて、細胞を捕獲し、オンチッププローブと力センサ間へと搬送した後、オンチッププローブを駆動することで、ラン藻を力センサへと押し付け変形させる。この時のラン藻の変形量とラン藻の反力を、顕微鏡に取り付けた CCD カメラを用いて計測することで、ラン藻の機械的特徴量を計測する。

光ピンセットには、図2に示すような従来我々の研究グループにて開発したホログラフィック光ピンセットシステム（HOT システム）を用いる。HOT システムではレーザを位相変調器 SLM に反射させ光に位相情報を加えることで、マルチビーム化している。さらに GPU を用いることで 250 Hz の高速処理を行い、リアルタイムな高速細胞操作が可能である。

また、オンチッププローブの駆動は、従来我々の研究グループにて提案している高精度・高出力操作が可能で、直接外部駆動方式を用いる(図3)。オンチッププローブおよび力センサの厚さは、計測対象のラン藻の大きさのオーダーである必要がある。一方、オンチッププローブ駆動のためにチップ外部のアクチュエータと接触する部分は、強度及び操

作性の理由から数百マイクロメートルオーダー程度の厚さが必要となる。そこで、ロボチップ内のデバイスには SOI ウェハを用いて作製する。SOI ウェハは、薄い単結晶シリコンのデバイス層、厚い単結晶シリコンの基板層、またそれら2層の間にある中間酸化膜の3層からなる。オンチッププローブと力センサはデバイス層に、オンチッププローブ駆動のためのマニピュレータと接触する構造体は基板層に作製する。このときオンチッププローブとマニピュレータとの接触する構造体は中間酸化膜を介しつながっているため、マニピュレータにより直接オンチッププローブを駆動することができる。

力計測に関しては、オンチッププローブの作製工程において同時に作製可能な梁構造の弾性変形を利用する。外力が印加された際の梁の変形は、顕微鏡に取り付けた CCD によって計測するため、力センサの計測分解能は位置計測の分解能に依存する。そこで、モアレ干渉縞を用いて細胞の力計測を行うことで、高精度に変位計測を行い、ラン藻の機械的特徴量計測を行う。

(2) 細胞の酸素消費活性計測

図4に細胞の酸素消費活性計測のコンセプト図を示す。ラン藻は光合成によりエネルギー

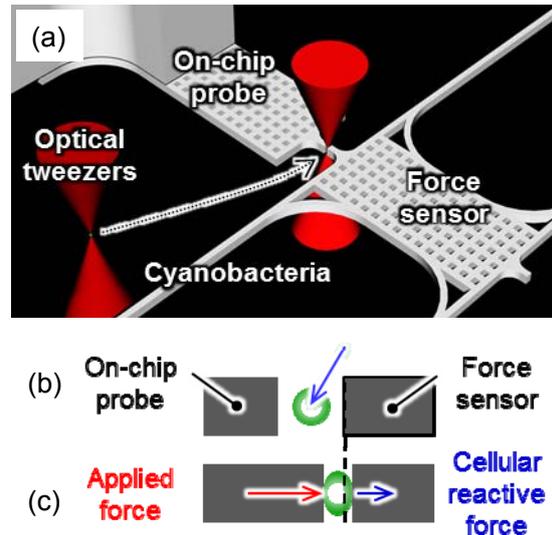


図1 ラン藻の機械的特徴量計測システムのコンセプト図。(a)オンチップ機械的特徴量計測のコンセプト、および細胞の機械的特徴量計測フロー。(b)光ピンセットによるラン藻の搬送、(c)オンチッププローブと力センサによる細胞の機械的特徴量計測。

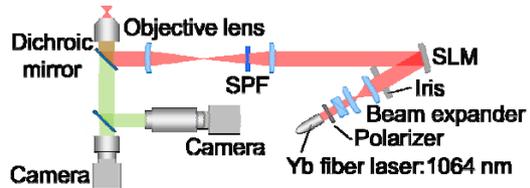


図2 ホログラフィック光ピンセットシステムの光学系。

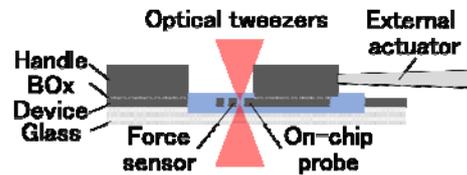


図3 外部アクチュエータを用いたオンチッププローブの駆動の概念図(断面図)。

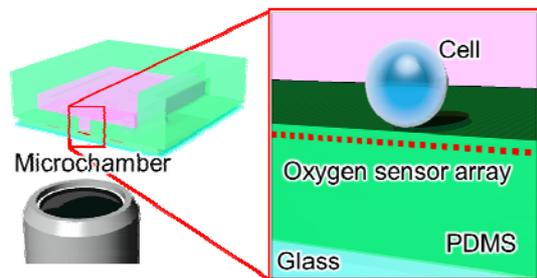


図4 アレイ型蛍光酸素センサを用いた細胞の酸素消費活性計測のコンセプト図。

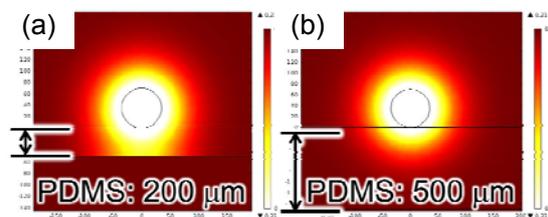


図5 細胞周辺の酸素濃度の FEM 解析結果。(a)厚み 200 μm , (b)厚み 500 μm 。

を産生する際に酸素を消費するため、酸素消費速度を計測することが、活性の高いラン藻の識別には有効と考えられる。従来の酸素電極プローブによる計測方法はスキャンが必要なことから計測速度が遅く、誤操作による衝突などでプローブが壊れやすいといった欠点がある。そこで、我々は、微細加工技術を用いて、酸素センサをアレイ化する方法を提案した。細胞培養チップの底面に、ストライプ状にマイクロ流路を作製し、PDMSで作製したマイクロ流路中に蛍光物質 $\text{Ru}(\text{bpy})_3\text{Cl}_2$ を含有させた光硬化性樹脂 PEG-DA を固定化することで酸素センサを作製する。 $\text{Ru}(\text{bpy})_3\text{Cl}_2$ は酸素濃度に応じて蛍光強度が変化するという特性があり、PDMS は培養液と同等の酸素拡散係数を有するため、細胞周辺の酸素濃度が計測できる。つまり、蛍光強度を時系列に取得することにより、細胞の酸素消費活性が計測できる。図 5 に PDMS の厚みを変化させた際の酸素濃度分布の FEM 解析結果を示す。図の白色から赤色になるにつれて、酸素濃度が高くなっていることを示す。PDMS の厚さが $200\ \mu\text{m}$ の場合、酸素の拡散がガラス基板によって影響を受け、球面に拡散していないが、PDMS が十分に厚い場合、酸素濃度分布は球形上となり、ストライプ状に配置した酸素センサによって幾何学的に計測することが出来る。我々が考案した方法は、非接触・非侵襲で酸素活性を計測できるため、圧倒的な高速性を有し、細胞へのダメージもない。また、球面拡散により、測定対象物の大きさのばらつきによる影響を受けず、計測精度が高いという特徴をもつ。

4. 研究成果

(1) ラン藻の機械的特徴量計測

図 6 に、構築したラン藻の機械的特徴量計測システムと作製したロボチップの写真を示す。図 7(a) に示すように、ロボチップは、計測部としてオンチッププローブと力センサを有し、ピエゾアクチュエータを用いてロボチップのシリコン構造体を押し込むことで、オンチッププローブを駆動する。光ピンセットによりラン藻を計測部へと搬送した(図 7(b))後、オンチッププローブにて変形させ、その時の反力を計測した。図 7(c), (d) に示すように、モアレ干渉縞を用いることで、オンチッププローブと力センサの変位を計測した。図 7(c), (d) において、赤枠内は元画像中の格子パターンを垂直方向に平滑化した画像、青枠内は平滑画像と CCD カメラのピクセルから得られたモアレ干渉縞を示す。プローブの駆動することで格子パターンの移動し、モアレ干渉縞が移動の様子が確認できる。モアレ干渉縞を用いることで、オンチッププローブおよび力センサの変位を、約 $2.8\ \text{nm}$ の分解能で高精度に計測することに成功した。図 8(a) に、チップ外部に配置したピエゾアクチュエータにより、オンチップ

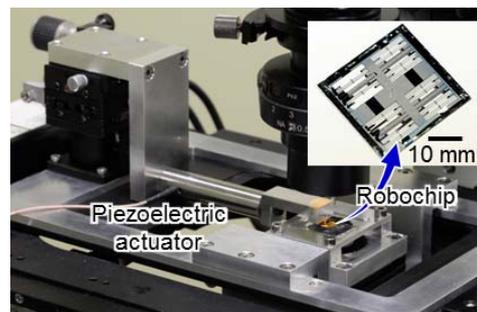


図 6 ラン藻の機械的特徴量計測システムとロボチップの例。

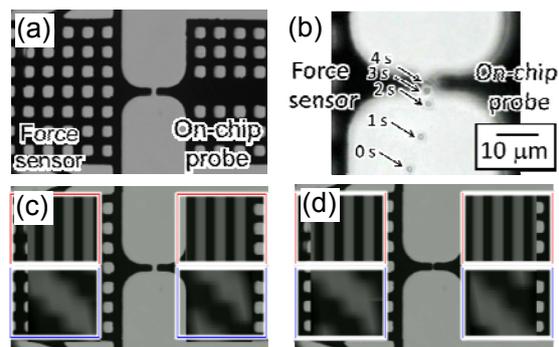


図 7 ラン藻の機械的特徴量計測の例。(a)計測部の光学顕微鏡写真、(b)光ピンセットを用いた単一ラン藻の計測部への搬送の様子、および、モアレ干渉縞を用いたラン藻の高分解能機械的特徴量計測の例:(c)プローブ駆動前、(d) プローブ駆動後。

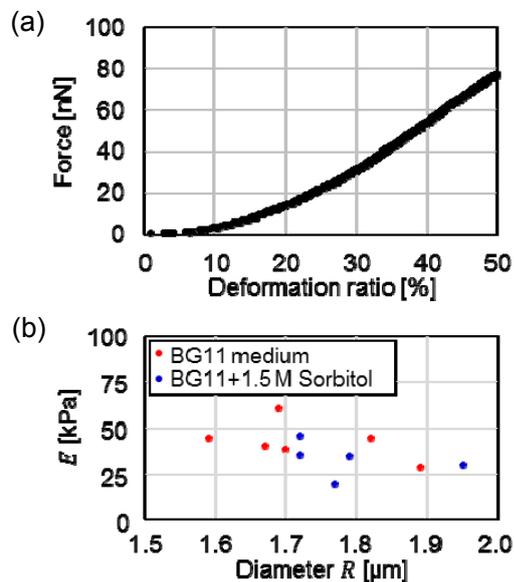


図 8 ラン藻の機械的特徴量計測の結果。(a)ラン藻の変形量と反力の計測結果の例、(b)浸透圧の異なる培養環境におけるラン藻の硬さ計測の例。

プローブを約 $0.1\ \mu\text{m}$ ずつステップ状に駆動した際の、ラン藻の変形率と変形時の反力計測の結果を示す。ラン藻の変形率 ε は、変形前の直径 D_0 と、変形量 δ を用いて、 $\varepsilon = \delta/D_0$ とした。得られた結果から、細胞の変形をヘル

ツの接触モデルとして仮定した場合、ラン藻の硬さとしてヤング率を計測することが出来る。図 8 (b)に BG11 培養液と、BG11 培養液に 1.5 M Sorbitol を加えた浸透圧の異なる培養環境で 1 時間程度培養を行った際の、ラン藻の硬さ計測を行った計測結果を示す。今後は、これらの培養条件とラン藻の硬さの関係を詳細に調査する予定である。

(2) 細胞の酸素消費活性計測

図 9(a)に作製した酸素消費計測チップを示す。酸素消費計測チップは、マイクロチャンバーを有し、細胞をマイクロチャンバー内に導入することで、計測を行う。図 9(b)に酸素消費計測チップの断面図を示すように、チャンバーの底面には、アレイ上のストライプとして高さ 5 μm 、幅 5 μm のマイクロ流路を 5 μm ピッチで作製し、ルテニウム錯体 Tris(2,2'-bipyridyl)dichloro-ruthenium(II) hexahydrate の蛍光強度の酸素濃度依存性を用いて計測される。ルテニウム錯体と PEG-DA の混合液(濃度: 3.5 mmol/l) を PDMS チップ中で重合することで蛍光センサとする。図 10 にマウス卵子を用いて、細胞の酸素消費活性計測の原理検証実験を行った結果を示す。横軸は細胞質中心からの距離、縦軸は酸素濃度を示す。図計測は、マウス卵子導入後の蛍光強度とマウス卵子導入前の蛍光強度の比から酸素濃度変化の分布を算出した。実験はレーザ共焦点顕微鏡を用い、顕微鏡用細胞チャンバにより 37 $^{\circ}\text{C}$ (飽和酸素濃度 210 $\mu\text{mol/l}$)、CO₂ 濃度を 5% に保持した環境で行った。図 10 に示すように A, B, C, D の方向に対して酸素濃度分布の計測に成功した。これにより、蛍光酸素センサを用いた酸素消費速度の分布の一括計測が可能であることがわかる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① M. Akai, K. Onai, M. Morishita, H. Mino, T. Shijuku, H. Maruyama, F. Arai, S. Itoh, A. Hazama, V. Checchetto, I. Szabò, Y. Yukutake, M. Suematsu, M. Yasui, M. Ishiura, and N. Uozumi, "Aquaporin AqpZ is involved in cell volume regulation and sensitivity to osmotic stress in *Synechocystis* sp. Strain PCC 6803", *Journal of Bacteriology*, vol. 194, no. 24, pp.6828-6836, 2012.
- ② V. Checchetto, A. Segalla, G. Alloreant, N. L. Rocca, L. Leanza, G. M. Giacometti, N. Uozumi, G. Finazzi, E. Bergantino and I. Szabò, "Thylakoid potassium channel is required for efficient photosynthesis in cyanobacteria", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, no. 27, pp. 11043-11048, 2012.

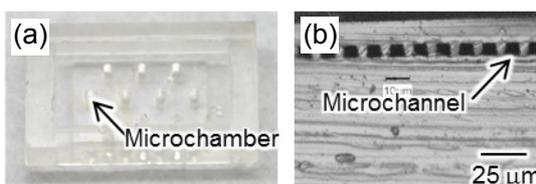


図 9 作製した酸素消費活性計測チップの写真。(a)チップ全体図、および、(b)マイクロチャンバー内のストライプ状酸素センサ。

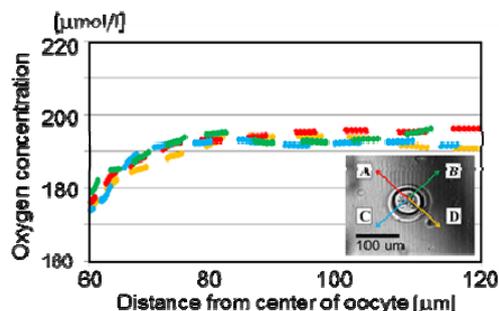


図 10 Ru(bpy)₃Cl₂ を用いた酸素センサによるマウス卵子の酸素消費活性計測の例。

- ③ K. Nanatani, T. Shijuku, M. Akai, Y. Yukutake, M. Yasui, S. Hamamoto, K. Onai, M. Mrishita, M. Ishiura and N. Uozumi, "Characterization of the role of a mechanosensitive channel in osmotic down shock adaptation in *Synechocystis* sp. PCC 6803", *Channels* 7, 229-328, 2013
- ④ Y. Sato, K. Nanatani, S. Hamamoto, M. Shimizu, M. Takahashi, M. Tabuchi-Kobayashi, A. Mizutani, J. I. Schroeder, S. Souma and N. Uozumi, "Defining membrane spanning domains and crucial membrane-localized acidic amino acid residues for K⁺ transport of a Kup/HAK/KT-type *Escherichia coli* potassium transporter", *Journal of Biochemistry* 155, 315-323, 2014
- ⑤ K. Nanatani, T. Shijuku, Y. Takano, L. Zulkifli, T. Yamazaki, A. Tominaga and S. Souma, K. Onai, M. Morishita, M. Ishiura, M. Hagemann, I. Suzuki, H. Maruyama, F. Arai, N. Uozumi, "Comparative analysis of kdp and ktr mutants reveals distinct roles of the potassium transporters in the model cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803", *Journal of bacteriology* 197, no. 4, 676-687, 2015

[学会発表] (計 15 件)

- ① 伊藤 啓太郎, 佐久間 臣耶, 新井 史人, 魚住 信之, 七谷 圭, "細胞の超高速力計測のためのオンチップ静電容量型力センサ", *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012*, 平成 24 年 5 月 29 日, 浜松市
- ② 丸山 央峰, 荻谷 涼, 中村 祥平, 益田 泰輔, 松田 佑, 本田 文江, 新井 史人, "蛍光差分情報による光退色補償を用いた超長時間非接触蛍光計測", *日本機械学会ロボティク*

ス・メカトロニクス講演会 2012, 平成 24 年 5 月 28 日, 浜松市

③ N. Uozumi, K. Nanatani, and S. Hamamoto, “Membrane transport system conferring the salinity tolerance to bacteria and plant cells”, *6th Japan-Finland Biotechnology Symposium 2012*, June 5, 2012, Sendai, Japan

④ K. Nanatani, Y. Shijuku, Y. Takano, T. Yamazaki, L. Zulkifli, M. Akai, R. Iitsuka, H. Matsumoto, H. Maruyama, F. Arai and N. Uozumi, “Functional characterization of K transporters in *Synechocystis* sp. PCC 6803”, *The IUBMB & FEBS 2012 Congress*, September 4-9 2012, Seville, Spain

⑤ 垣尾 翼, 佐久間 臣耶, 新井 史人, “OCIAN: オンチップインピーダンスアナライザ”, *ロボット学会第 30 回記念学術講演会*, 平成 24 年 9 月 19 日, 札幌市

⑥ 七谷 圭, 四十九 俊彰, 高野 洋佑, 山崎 智子, Lalu Zulkifli, 赤井 政郎, 飯塚 龍, 松本 秀之, 丸山 央峰, 新井 史人, 魚住 信之, “*Synechocystis* sp. PCC 6803 の浸透圧調節に関与する Kdp 系 K トランスポーターの機能解析”, *創立 90 周年記念第 64 回日本生物工学会大会*, 平成 24 年 10 月 23-26 日, 神戸市

⑦ H. Maruyama, R. Kariya, S. Nakamura, T. Matsuda, Y. Matsuda, T. Niimi, A. Honda and F. Arai, “Ultra Long-Lifetime and High-Sensitive Fluorescent Measurement Using Difference Compensation Method for Single Cell Analysis”, *Proc. of the 2012 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, October 9, 2012, Algarve, Portugal

⑧ H. Maruyama, Y. Matsuda, T. Niimi, N. Uozumi, K. Nanatani and F. Arai, “IN-SITU MEASUREMENT OF PHOTOSYNTHESIS USING SINGLE SYNECOCYSTIS SP. PCC 6803 IN A MICROCHAMBER WITH GAS BARRIER WALL”, *16th International Conference on Miniaturized system for Chemistry and Life Science*, October 31, 2012, Ginowan, Japan

⑨ H. Maruyama, Y. Matsuda, T. Niimi, N. Uozumi, K. Nanatani and F. Arai, “Measurement of photosynthesis activity using single *Synechocystis* SP. PCC 6803 on microchambers having gas barrier wall and fluorescence oxygen sensor”, *2012 IEEE International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science*, November 7, 2012, Nagoya, Japan

⑩ 富永 昇, 三浦 のぞみ, 佐伯 千香, 七谷 圭, 魚住 信之, “*Synechocystis* sp. PCC6803 の細胞外多糖生産を調節する機構解析”, *日本農芸化学会 2013 年度大会*, 平成 25 年 3 月 24-27 日, 仙台市

⑪ 垣尾 翼, 佐久間 臣耶, 杉田 真邦, 新井

史人, “オンチップ・インピーダンスアナライザ (気液界面による静電デバイスの空間的分離)”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013*, 平成 25 年 5 月 22-25 日, つくば市

⑫ 鬼頭 雅伸, 丸山 央峰, 新井 史人, “蛍光酸素センサを用いたオンチップ単一卵子酸素消費量計測”, *第 28 回化学とマイクロ・ナノシステム学会*, 平成 25 年 12 月 5-6 日, 姫路市

⑬ 鬼頭 雅伸, 丸山 央峰, 新井 史人, “単一卵子酸素消費計測のためのオンチップ非接触蛍光センシング”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014*, 平成 26 年 5 月 25-29 日, 富山市

⑭ T. Hasegawa, S. Sakuma and F. Arai, “On-chip Measurement of Mechanical Properties of a Single Cyanobacteria Using Direct-Outer-Drive Mechanism”, *2014 IEEE Int. Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science*, November 9-12, 2014, Nagoya, Japan

⑮ 長谷川 貴之, 佐久間 臣耶, 七谷 圭, 魚住 信之, 新井 史人, “ラン藻のオンチップ機械的特徴量計測”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015*, 平成 27 年 5 月 17-19 日, 京都市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノシステム工学専攻 新井研究室 Research Fields :

<http://www.biorobotics.mech.nagoya-u.ac.jp/research/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新井 史人 (ARAI, Fumihito)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 90221051

(2) 研究分担者

川原 知洋 (KAWAHARA, Tomohiro)

九州工業大学・若手研究者フロンティア

研究アカデミー・准教授

研究者番号 : 20575162

(3) 連携研究者

丸山 央峰 (MARUYAMA, Hisataka)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 60377843

(4) 連携研究者

魚住 信之 (UOZUMI, Nobuyuki)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 40223515