

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04543

研究課題名（和文）オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性の解明

研究課題名（英文）Investigation of Responsive Characteristics of Photosynthetic Cells to Environmental Stimuli by Using On-chip Local Environmental Control

研究代表者

新井 史人（Arai, Fumihito）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：90221051

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,600,000円

研究成果の概要（和文）：オンチップロボットとマイクロ流体チップから構成されるシステムを構築し、藍藻の生死判別に基づき、数ミリ秒オーダーの急激な浸透圧変化に対する細胞の大きさ変化から、水の浸透率を単一細胞レベルで計測した。また、数ミリ秒オーダーの急激な浸透圧変化に対する単一細胞の硬さを計測した。藍藻の生体膜で機能する輸送体の遺伝子の不活化株と正常株（野生株）に対して、動的な浸透圧変化の前後での大きさの変化と硬さを計測して比較した。オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性を評価するための工学的技術基盤を確立するとともに、藍藻の浸透圧変化に適応する機能に関わる特性を評価し、機械的特性の知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細胞を単一レベルで評価することは困難であり、その機能の多くは未解明なままである。本研究は、オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性を評価するための工学的技術基盤を確立するとともに、藍藻の浸透圧変化に適応する機能に関わる特性を評価し、機械的特性の知見を得た。細胞には数多くの種類のイオン輸送体が存在し、それぞれの役割は異なる。イオン輸送体の役割が徐々に解明され、人為的にイオン輸送体の発現数を調整することで、環境に適応する藍藻をつくり、制御管理することが可能である。これによって創生される藍藻や制御技術は、太陽光を利用した再生エネルギー生産、物質生産、環境保全に結び付くと期待できる。

研究成果の概要（英文）：We constructed a system consisting of an on-chip robot and a microfluidic chip. We evaluated the viability of cyanobacteria and measured water permeability at the single-cell level based on changes in cell size in response to rapid changes in osmotic pressure on the order of a few milliseconds. We also measured the stiffness of single cells in response to rapid changes in osmotic pressure on the order of a few milliseconds. We measured and compared the changes in size and hardness before and after dynamic osmotic pressure changes for a cyanobacterial strain with an inactivated transporter gene and a normal strain. We have constructed an engineering technology platform for evaluating the response characteristics of single cells to external stimuli using on-chip local environment control. We also evaluated the characteristics of cyanobacteria related to their ability to adapt to changes in osmotic pressure, and gained knowledge about their mechanical properties.

研究分野：ナノ・マイクロメカトロニクス，ロボティクス，機械工学

キーワード：マイクロ・ナノデバイス 超精密計測 マイクロ流体チップ ナノバイオ 機械力学・制御

1. 研究開始当初の背景

生物は、環境変化などによる外部刺激によって、代謝の変化を伴いながら環境に適応する機能を有する。単細胞生物は、外界の浸透圧が下がり、限界を超えると破裂し、死に至ってしまう。このため、イオン輸送体を用いて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、それ以上の水の流入を防ぐ適応機構が備わっている。例えば、藍藻（シアノバクテリア）は光合成を行う単細胞（原核細胞）であるが、藍藻の生体膜には、イオン輸送体が発現している。藍藻は、外環境において、細胞内の恒常性維持のために、細胞内のイオン環境を変化させて、pHや浸透圧の調節を行っている。これに伴い細胞の体積（大きさ）は変化し、細胞膜の伸縮や細胞自体の硬さが変化することが知られている。この細胞内のイオン濃度の調節を、イオン輸送体が行っている。細胞には数多くの種類のイオン輸送体が存在し、それぞれの役割は異なる。イオン輸送体の役割が徐々に解明され、人為的にイオン輸送体の発現数を増大（または減少）させることで、環境に適応する藍藻をつくり、制御管理することが可能である。これによって創生される藍藻や制御技術は、太陽光を利用した再生エネルギー生産、物質生産、環境保全（バイオレメディエーション）に結び付く。

大きさ2 μm 程度の小さな細胞を単一レベルで評価することは困難であり、その機能の多くは未解明なままである。特に、イオン輸送体の一つである機械刺激受容性チャネル（mechanosensitive channel, 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と考えられている。これまで、申請者らは、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、これらを正常株と一細胞レベルで比較できる実験系を構築した。この系を用いて遺伝子不活化株の細胞の硬さの変化を調べ、特定の遺伝子の役割を明らかにした（Lab on a Chip, 18, pp. 1241 - 1249(2018)）。イオン輸送体の応答特性には役割があることがわかってきたが、各イオン輸送体の「動的な」振る舞いに関しては不明なままである。例えば、MscLの浸透圧変化に対する応答速度は、msオーダーであることを調べたが、これは多くの藍藻の平均的な特性である現状では静的平衡状態や平均化された応答をみているに過ぎなかった。細胞集団の中には生きているものや死んでいるものが含まれているため、正確な特性を知るには、単一細胞レベルでの計測が必要である。しかし、このような速い応答を一細胞レベルで正確に計測することは困難であった。

このような背景から、本研究は、工学的に新規な計測基盤を確立し、これをベースに細胞の環境適応機構を単一細胞レベルで調査し、これまで未解明なイオン輸送体の機能と仕組みを解明することを目的として設定した。本研究では、マイクロ流体チップ（以下、チップ）とロボットをオンチップで統合した独自のシステムを構築する。オンチップでの局所環境の計測制御技術、単一細胞計測技術、動的力センシングシステム理論などを確立する。このシステムにおいて、(1) 藍藻の浸透圧変化に対する藍藻膜の水透過率を計測し、(2) 特定のイオン輸送体の遺伝子を欠損した遺伝子不活化株と正常株（野生株）の硬さの比較を行うことで、特定のイオン輸送体の力学的特性を調べることとした。

2. 研究の目的

イオン輸送体の一つである機械刺激受容性チャネルは、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と考えられている。このようなイオン輸送体の「動的な」振る舞いに関しては不明な点が多い。そこで、本研究では、従来の計測方法を大きく発展させ、難易度が高い局所環境における単一細胞の動的計測を実現する。具体的には、細胞周りの溶液条件を動的に制御可能な環境を構築し、細胞の生死判別に基づいて、刺激前後での細胞の大きさ変化から水の浸透率を計測する。また、藍藻の正常株（野生株）や異なる遺伝子不活化株を比較し、異なる環境刺激下において、硬さに相当する物理指標の変化から、藍藻の生体膜で機能するイオン輸送体による環境適応能力を調査する。これにより、オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性を評価するための工学的技術基盤を確立するとともに、藍藻の膨圧と浸透圧維持に関わる特性を評価し、これまで分子生物学・生化学的測定では見いだすことのできなかった細胞形態変化にかかわる機械的特性の知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性の評価方法

藍藻の生体膜で機能するイオン輸送体による環境適応能力を調査する目的を達成するため、浸透圧の変化の前後での細胞応答計測を動的に行う2通りの方法で細胞計測を行った。

① 藍藻の浸透圧変化に対する藍藻膜の水透過率の計測では、マイクロ流体チップ内の気液界面を使って、微小な液滴を3.3 msという短時間で置換し、細胞に外部刺激として浸透圧変化を与える。刺激前後での細胞の大きさ変化を高速ビジョンによって、ハイスループットに計測し、得られる画像データを自動的に処理し、膜透過率を計測した。

② 特定のイオン輸送体の遺伝子を欠損した遺伝子不活化株と正常株（野生株）の硬さの比較では、マイクロ流体チップ上の単一細胞を2本のマイクロプローブの間に拘束し、超高分解能を有するピペットを用いて溶液を高速に吸引吐出制御することによって、msオーダーの短時間でその細胞に急激な刺激を与える。細胞への刺激を動的かつ精密に制御し、正常株（野生株）や異なる遺伝子不活化株を比較し、浸透圧変化に対する変形時の力計測の変化から、細胞の機械特性を評価することで、藍藻の生体膜で機能するイオン輸送体による環境適応能力を調査した。

どちらの方法も異なる特色を有するが、計測・制御機能を統合実装して安定して計測データを
 得るためのシステムを構築した。以下に詳細を述べる。

(2) 藍藻の浸透圧変化に対する藍藻膜の水透過率の計測

藍藻にとって、生存や成長において浸透圧適応は重要であり、細胞膜にある膜タンパク質を介して、水分子や溶質の流束を制御することで環境適応している。数 μm と小さな微生物細胞の浸透圧応答は数 10 ミリ秒オーダーと非常に高速であることが知られている。従来、微生物細胞の高速な浸透圧応答は膜の透過率をストップフロー分光法を用いて計測されてきた (Channels, vol. 7, 4, pp238-242, 2013)。しかし、この手法は細胞集団の全応答をアンサンブル平均として取得しており、不均一性を有する細胞を単一細胞レベルで解析できていない。本研究では、マイクロ流体チップを利用した高速溶液置換による単一細胞の細胞膜透過率計測システムを構築し、細胞の不均一性を考慮した解析を行った。実験では、微生物細胞である藍藻(Synechocystis sp. pcc. 6803)に、初期モル濃度 1M から 50%, 75%モル濃度を低下させる低浸透圧刺激を与えた。浸透圧低下刺激に対する細胞投影面積の変化を高速カメラの各フレームに対して画像処理から取得した。浸透圧刺激後の生死判定は、細胞膜が破れた状態(死細胞)と破れていない状態(生細胞)で透過する蛍光色素の違いから判定した。細胞の生死状態ごとに、高速カメラから取得された細胞総体積変化から水透過率をモデルパラメータとして計算し評価した。

図 1 にマイクロ流路内における高速溶液置換のコンセプト図及び手順を示す。本手法の動作の流れは、まず接着タンパク質がコーティングされた流路に藍藻を導入し、流路底面と数ミクロン程の隙間を有するマイクロピラー領域にトラップする。この隙間は $5\mu\text{m}$ と微生物細胞が通過できる程度の高さであり、液体架橋力がはたらいっている。続いて、空気をマイクロ流路内に導入し、気液界面をマイクロピラー領域まで進ませる。マイクロピラー領域では液体架橋力が支配的であるため、気液界面がマイクロピラー領域の隙間にピンニングされ液滴が残る。最後に、藍藻に浸透圧刺激を与えるために低浸透圧溶液を導入し、細胞周囲の溶液置換を実施する。本手法は、気液界面を利用することでマイクロ流路内における溶液同士の拡散の影響を連続流環境と比べ最小化することで 3.3 ms と高速な溶液置換を達成した。計測系(図 2)は、マイクロ流体チップ、圧力レギュレータ (SMC, Co. Ltd), ソレノイドバルブ (SMC, Co. Ltd), 高速カメラ (Keyence, Co. Ltd)で構成し、コンピュータ制御によりシステム統合した。

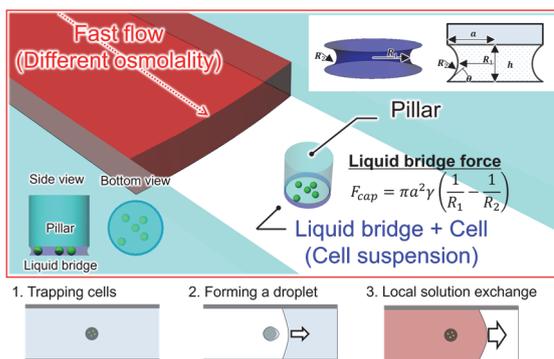


Figure 1 Schematics and working flow of extracellular solution exchange in microchannel.

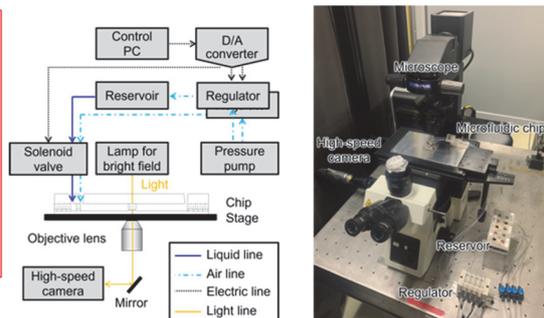


Figure 2 Microfluidic system configuration.

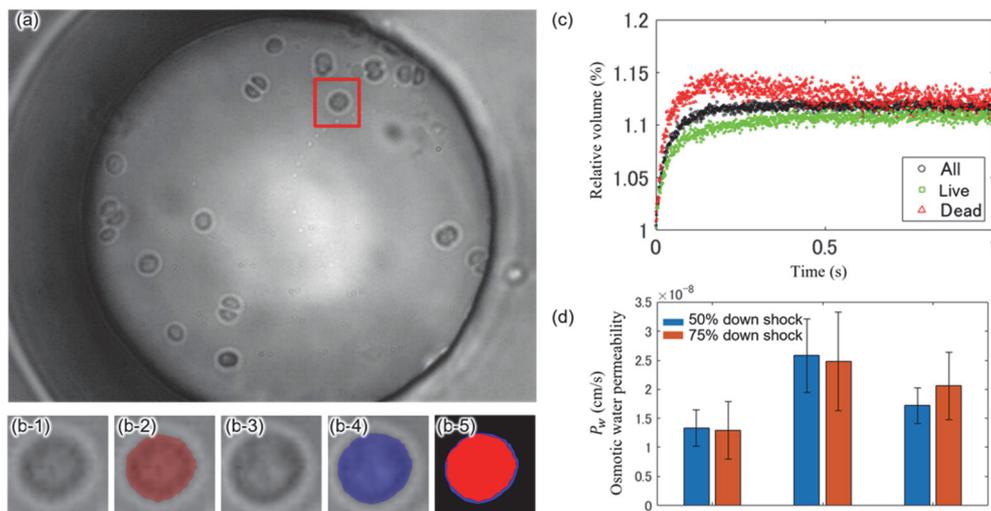


Figure 3 Evaluation of osmotic water permeability from single-cell area. (a) Photograph of *Synechocystis* on the micropillar. Red rectangular shows ROI for image analysis. (b) Cropped single cell and its overlaid area (b-1, 2) before osmotic shock and (b-3, 4) after osmotic shock. (c) Relative volume time curve of all, live, and dead cell groups. (d) Osmotic water permeability based on their viability.

単一細胞の生死判定は、低浸透圧刺激後の状態を蛍光画像から測定した。細胞膜が破れている状態を死細胞、細胞膜が破れていない状態を生細胞とする。細胞膜の破裂の有無の判定は、細胞膜透過性のある蛍光色素である SYTO9(Thermo Fisher Scientific Co., Ltd)、細胞膜透過性のない死細胞染色色素である PI(Fujifilm Wako Chemicals Co., Ltd)を用いた。

単一細胞の高速浸透圧応答時における水透過率の計測は、単一細胞の相対体積から water and solute (WS) model のモデルパラメータとして最小二乗推定を用いて算出した。単一細胞の相対体積は、画像処理から計測される相対投影断面積が等方的に変形すると仮定した。

図 3 に画像処理による単一細胞の相対体積変化と水透過率の結果を、浸透圧刺激後の生死状態毎に母集団を分けて平均値を示す。図 3(b)は、浸透圧刺激前後における ROI 内の単一細胞と画像処理から得られた細胞投影面積である。図 3(d)より、死細胞集団 ($2.58 \pm 0.63 \times 10^{-8}$ cm/s) は生細胞集団 ($1.33 \pm 0.31 \times 10^{-8}$ cm/s) より水透過率が有意に大きく、水の流入を防げていないことが分かった。提案する計測システムにより、従来は細胞全集団の平均評価にとどまっていた計測技術を、生細胞集団のみを考慮した確度の高い水透過率計測技術として確立した。

(3) 特定のイオン輸送体の遺伝子を欠損した遺伝子不活化株と正常株（野生株）の比較

マイクロ流体チップ上の単一細胞を 2 本のマイクロプローブの間に拘束し、超高分解能を有するピペットを用いて溶液を高速に吸引吐出制御することによって、ms オーダーの短時間でその細胞に急激な刺激を与えた。細胞への刺激を動的かつ精密に制御し、正常株(野生株)と遺伝子不活化株を比較し、浸透圧変化に対する変形時の力計測の変化から、細胞の機械特性を評価することで、藍藻の生体膜で機能するイオン輸送体による環境適応能力を調査した。

図 4(a)に測定システムを示す。上面が開放されたマイクロ流体チップを顕微鏡上に固定し、溶液置換のためのピペットをチップの上面に設置した。チップ上の標的細胞を光ピンセットを用いることで、2本のマイクロプローブ間に搬送した。外部ピエゾアクチュエータを使用して、片方のマイクロプローブを駆動し、捕捉された単一細胞を圧縮した。細胞近傍の溶液を交換するために、先端に 2つの独立したポートを有するピペットにそれぞれ圧電素子駆動のマイクロポンプを接続した溶液置換用のプローブを開発した(図 4(b))。このプローブを 3D マニピュレータに取り付け、プローブ先端を補足した細胞近くの位置に移動した。2つのマイクロポンプを同期させ、連動動作させた。毎秒 1000 フレームの高速カメラ (VW-9000, キーエンス株式会社) を使用して、マイクロプローブと細胞を観察して記録した。マイクロプローブの変位はモアレ干渉縞を用いたセンサによって計測し、力計測値に変換した。

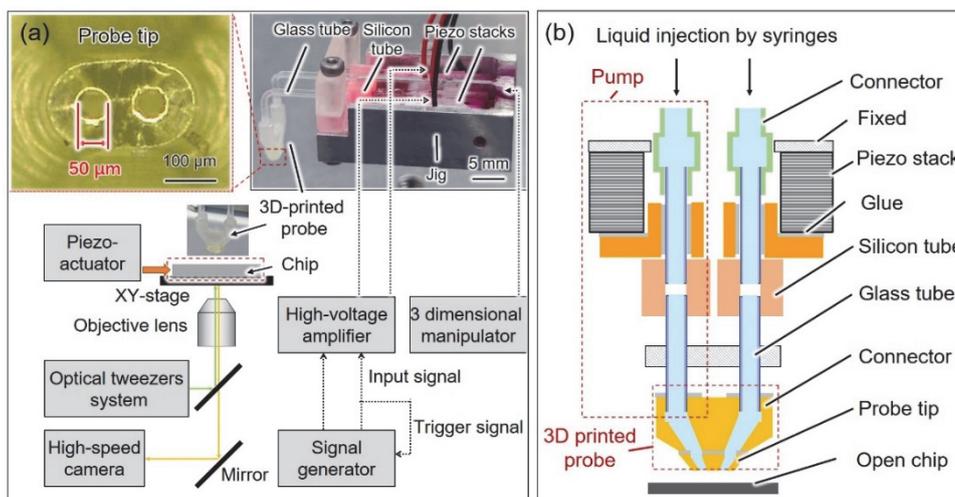


Figure 4 System configuration. (a) Experimental setup and the image of the probe with the dual pump system and probe tip; (b) schematic of the proposed probe with the dual pump system.

作製したマイクロ流体チップとその加工プロセスを図 5 に示す。2本のマイクロプローブで、単一細胞を捕捉して変形するように設計した(図 5b)。測定エリアに溶液を加える際の漏れを防ぐため、プッシュ用のマイクロプローブは外部環境と接続せずチップ内部に設計した。チップ表面には、蒸発による濃度変化を減少させるのに十分な溶液を保持した。押し込み用のマイクロプローブは外部ピエゾアクチュエータによって駆動した。マイクロプローブには小さな穴がパターン化されており、力計測のためのモアレ干渉縞を生成するために使用した。

光ピンセットを使用して単一細胞を捕捉し、2つのマイクロプローブの間に配置した。計測前の細胞は生きていることを蛍光染色によって確認し、この時点で、環境は高い浸透圧条件(HOC)とした。続いて、外部のピエゾアクチュエータを駆動して片方のマイクロプローブの位置を移動し、単一細胞を圧縮した。マイクロポンプを駆動することで低い浸透圧条件(LOC)の溶液を細胞近傍に注入し、細胞の外環境を HOC 溶液から LOC 溶液に置き換えた。液体交換プロセス中、捕捉された細胞は膨張し、押し込み用のマイクロプローブは静止したままであるため、マイクロプローブの変位から単一細胞の動的変形と反力を計算した。ここで、蛍光色素ローダミン B を LOC 溶液に添加して明るさを変更し、グレースケールレベルの変化を使用して液体交換を検出

した。液交換時間はグレースケールレベルの変化から、時定数約 3.3 ms であり、藍藻の大きさ変化より早い時間で交換できた。

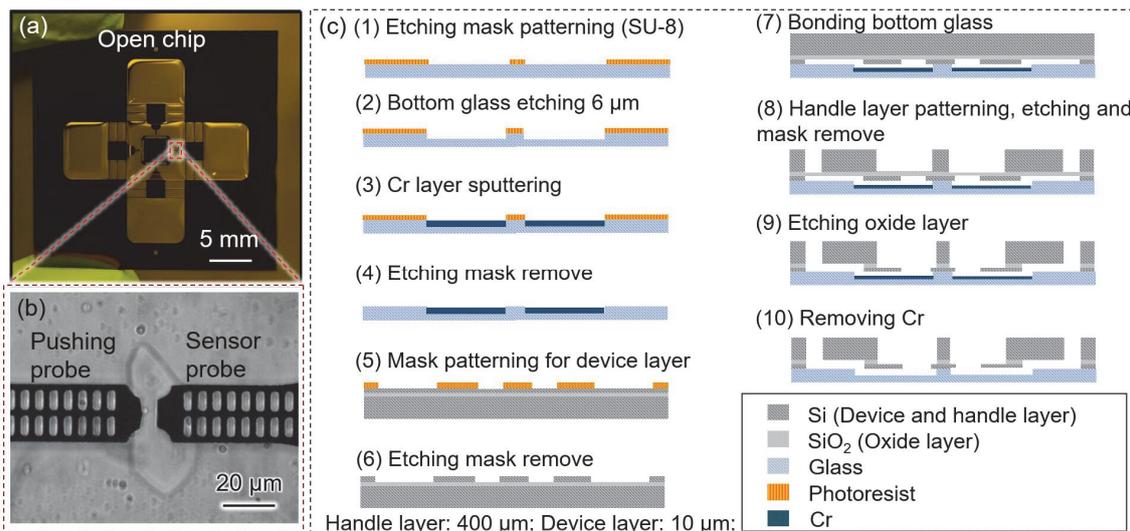


Figure 5 The image and fabrication process of the robot-integrated microfluidic chip. (a) The image of the fabricated open chip; (b) the microscope image of the measurement area; (c) the fabrication process of the open chip.

実験結果を図 6 に示す。ここでは、藍藻の野生株 WT と、遺伝子操作により機械刺激受容性チャンネル(mechanosensitive channel, MscL)を欠損した遺伝子不活化株 $\Delta mscL$ を比較した。不活化株の膨潤率は野生株よりも大きく、不活化株の応答時間は野生株よりも短かった。これらの結果は、機械刺激受容性チャンネルの生物学的機能から想定される結果と一致していた。また、細胞のヤング率を計算した。不活化株のヤング率は、低浸透刺激を加えることで野生株のヤング率より大きくなった。これは、これまでの研究報告 (Lab on a Chip, 18, pp. 1241 - 1249(2018)) と同じ傾向であった。

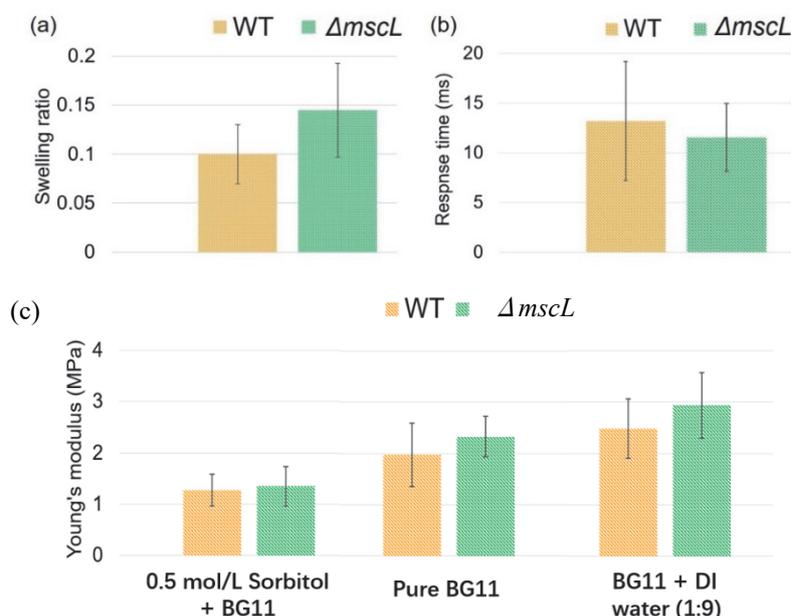


Figure 6 Swelling ratio, response time, young's modulus of cell.

4. 研究成果

総括して、以下の成果を得た。A. 微細加工・システム構築：オンチップロボットおよびマイクロ流体チップを設計し、細胞サイズの自動計測アルゴリズムを実装した。B. 動的機械特性計測：藍藻の生死判別にに基づき、大きさ変化や弾性計測を実現した。C. 環境制御・計測：微小液滴内、チップ内の濃度制御技術を確認した。また、流体制御系の安定性を向上し、測定レンジの調整、カセンサのキャリブレーションを行った。D. 細胞計測・評価・機能解析：藍藻の生体膜で機能する輸送体の遺伝子の不活化株を相同的遺伝子組換え技術によって作成し、動的な浸透圧変化の前後で、藍藻の力学的特性計測と評価を行った。以上により、オンチップ局所環境制御による単一細胞の外部刺激応答特性を評価するための工学的技術基盤を確立するとともに、藍藻の膨圧と浸透圧維持に関わる特性を単一細胞レベルで評価し、細胞形態変化にかかわる新たな計測値と機械的特性の知見を得た。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Xu Du, Di Chang, Shingo Kaneko, Hisataka Maruyama, Hiroataka Sugiura, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi, Fumihito Arai	4. 巻 Volume 24
2. 論文標題 Dynamic Deformation Measurement of an Intact Single Cell via Microfluidic Chip with Integrated Liquid Exchange	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering	6. 最初と最後の頁 94-101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.eng.2022.08.020	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 Xu Du, Shingo Kaneko, Hisataka Maruyama, Hiroataka Sugiura, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi, Fumihito Arai	4. 巻 14(6)
2. 論文標題 Integration of Microfluidic Chip and Probe with a Dual Pump System for Measurement of Single Cells Transient Response	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1210 (12 pages)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi14061210	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 Shingo Kaneko, Sugiura Hiroataka, Masaru Tsujii, Hisataka Maruyama, Nobuyuki Uozumi and Fumihito Arai	4. 巻 24, 281
2. 論文標題 Instantaneous extracellular solution exchange for concurrent evaluation of membrane permeability of single cells	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Lab on a Chip	6. 最初と最後の頁 281 - 291
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D3LC00633F	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 金子真悟, 杉浦広峻, 辻井 雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題 急激な浸透圧変化に対する藍藻の浸透圧調整機能の評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子真悟, 辻井 雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題 急激な浸透圧変化を受ける単一細胞の複数同時計測の自動化
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shingo Kaneko, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi, Fumihito Arai
2. 発表標題 Evaluation of viability of single synechocystis sp. pcc 6803 in reaction to high-speed osmotic pressure change
3. 学会等名 33rd 2022 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xu Du, Shingo Kaneko, Hisataka Maruyama, Hirotaka Sugiura, Fumihito Arai
2. 発表標題 High-speed liquid exchange using a 3D printed probe with dual pumps
3. 学会等名 33rd 2022 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xu Du, Shingo Kaneko, Hisataka Maruyama, Hirotaka Sugiura, Fumihito Arai
2. 発表標題 High-speed and Pinpoint Liquid Exchange on Microfluidic Chip Using 3D Printed Double-barreled Microprobe with Dual Pumps
3. 学会等名 The 36th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Xu Du, Di Chang, Shingo Kaneko, Hisataka Maruyama, Hirotaka Sugiura, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi and Fumihito Arai
2. 発表標題	Measurement of Dynamic Deformation of Single Synechocystis sp. strain PCC 6803 Using Microfluidic Chip with Integrated Liquid Exchange
3. 学会等名	Proc. 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2021) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	金子真悟, 辻井 雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題	マイクロ流体チップ内の高速液滴置換による単一細胞の浸透圧ストレス応答計測
3. 学会等名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	金子真悟, 辻井 雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題	急激な浸透圧変化に対する藍藻の浸透圧調整機能の評価
3. 学会等名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	金子真悟, 辻井雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題	高速浸透圧応答による体積変化計測へ向けた単一細胞パターンニング
3. 学会等名	化学とマイクロ・ナノシステム学会第48回研究会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 Shingo Kaneko, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi and Fumihito Arai
2. 発表標題 Evaluation of osmotic water permeability of cyanobacteria in single-cell scale
3. 学会等名 34th 2023 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子真悟, 辻井雅, 魚住信之, 新井史人
2. 発表標題 細胞の生死状態を考慮した単一細胞の水透過率計測システム
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shingo Kaneko, Hiroataka Sugiura, Masaru Tsujii, Nobuyuki Uozumi, Fumihito Arai
2. 発表標題 On-chip extracellular solution exchange method with air valve function using air-liquid interface control
3. 学会等名 The 19th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024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
研究分担者	杉浦 広峻 (Sugiura Hiroataka) (10844805)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教 (12601)	

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	魚住 信之 (Uozumi Nobuyuki) (40223515)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	丸山 央峰 (Maruyama Hisataka) (60377843)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	金子 真 (Kaneko Makoto) (70224607)	名城大学・理工学部・教授 (33919)	

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