

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2011～2015

課題番号：23106005

研究課題名(和文)超高速微細操作技術を用いた3次元細胞システム構築

研究課題名(英文)Construction of 3D cellular system using high-speed micro manipulation

研究代表者

新井 健生(Arai, Tatsuo)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：90301275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 108,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、in vitroにおいて活性化した3次元細胞システムの構築プロトコルの確立を目指し、大きく以下の課題を設定した。1. ロール方式による管状細胞パーツの生成、2. マイクロ流体チップを用いた管状細胞パーツの生成、3. 可変モールド・ロボットアームを用いた任意形状3次元細胞パーツの生成、4. マニピュレータを用いた細胞システムの高速度構築技術の開発。以上を推進し、細胞を含有した任意形状の「管状パーツ」や「格子形状パーツ」等の細胞システムパーツの新たな構築プロセスの確立や、2本指マイクロハンドを用いたマイクロマニピュレーション技術をベースにした世界最速の微小物体操作を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aim to establish a protocol for construction of 3-dimensional cellular systems activated in vitro, following research topic was promoted. 1) Fabrication of tubular cellular parts by the rolling method. 2) Fabrication of tubular cellular parts using a microfluidic chip. 3) Generation of arbitrary shape 3D cellular parts using a robot arm and variable mold. 4) Development of the high-speed construction technology for 3D cellular systems by manipulator. By promoting above, we established a new construction process of arbitrary shape cellular system parts, for example "tubular part" and "lattice shape structure parts". Furthermore, the world's fastest micro-object manipulation for construction of 3D cellular systems was realized by two fingered micro hand system.

研究分野：ロボティクス

キーワード：マイクロマニピュレーション 高速3次元計測 3次元細胞システムパーツ 3次元細胞システム in vitro 活性

1. 研究開始当初の背景

ロボティクス分野では国内外において、マイクロマニピュレーション技術を適用した細胞のハンドリングや計測応用などの研究開発が急速に進展している。一方、生体・組織制御の研究開発では機械化が浸透しているものの、スキルを要する部分については依然としてヒトの手により行われており、生産性の低い点が課題である。当研究グループでは、1 μ m から 150 μ m の微小対象物を器用に操る 2 本指マイクロハンドの開発に長年携わっており、全焦点顕微鏡による 3 次元マイクロ環境可視化技術と融合して繊維芽細胞や牛卵子の自動ハンドリング、さらに細胞把持時の剛性計測などに成功した。このような研究の成果は大きな評価を得ている。

本領域研究の「A02: 3 次元細胞システム構築」においては、細胞システムの 3 次元化を超高速で実現するため、「管状パーツ」や「格子形状パーツ」等の細胞システムパーツの新たな構築プロセス、並びにマイクロマニピュレーション技術をベースにした 3 次元細胞システム組立の手法を提案する。各種パーツ形成にはハイドロゲルを基盤とし、MEMS 技術を統合したシステムの構築を行う。これらは培養と 3 次元成形を並列に行うプロセスの超高速化を目指すと同時に、ロボティクスを駆使した自動化・高精度化を行う点で独創的である。さらに、マイクロハンドの超高速制御による組立操作を確立することにより、上記および領域内他班提案手法に基づいて形成された細胞システムパーツの任意 3 次元形状への創成を達成する。マイクロロボティクスを基盤とする特色を活かし、細胞システムパーツのアセンブリに関する方法論の確立にも踏み込む。以上により、領域の目指す in-vitro での超高速 3 次元細胞システム構築に貢献する。

2. 研究の目的

本研究では、2 本指マイクロハンドによる微細操作技術および実時間全焦点顕微鏡システムによる微細環境の可視化技術、さらには微小流路内での細胞操作技術を基盤として、活性化する 3 次元細胞システムの in vitro 環境での構築プロトコルの確立を目的とする。また、マイクロハンドおよび実時間全焦点顕微鏡技術の改良により、高速での細胞システムパーツ自動組立技術を開発する。in vitro 環境で 3 次元細胞システムを構築するためには、3 次元細胞システム内への酸素供給は重要な課題である。本研究では、高速での組立技術により、早期の血管導入による 3 次元細胞システムへの酸素供給経路を確保し、有用なサイズの 3 次元細胞システムの短期間で生成を行う。3 次元細胞システムパーツから 3 次元細胞システムの構築まで一貫した構築プロトコルを確立し、in vitro における活性化する 3 次元細胞システム構築原理を解明する。

3. 研究の方法

in vitro において活性化した 3 次元細胞システムの構築プロトコルの確立を目指し、本研究では、大きく次の課題を設定して研究を推進する。1. ロール方式による管状細胞パーツの生成、2. マイクロ流体チップを用いた管状細胞パーツの生成、3. 可変モールド・ロボットアームを用いた任意形状 3 次元細胞パーツの生成、4. マニピュレータを用いた細胞システムの高速度構築技術の開発。

【ロール方式による血管の生成】管状細胞パーツ構築を目的とし、細胞シートを利用した管状細胞パーツ構築プロトコルを開発する。細胞シートを積層化することにより、細胞が積層化された管状細胞パーツ構築を試みる。自動的に管状細胞パーツを生成するためのシステム設計を行う。

【マイクロ流体チップを用いた管状細胞パーツの生成】管状細胞パーツ構築を目的とし、自動的に管状細胞パーツを生成するためのシステム設計を行う。マイクロ流体チップを用いたトロイダル形状スフェロイドの生成プロトコルについて、試作チップから得られた研究結果に基づいて再設計を行う。このマイクロ流体チップに関して、生成したパーツの評価を行う。

【可変モールド・ロボットアームを用いた任意形状 3 次元細胞パーツの生成】新規可変モールドシステムを構築し、細胞シート形成技術と組み合わせることで、任意形状の 3 次元細胞パーツの生成を行う。微小流路内でハイドロゲルを生成し、その中に細胞を内包する手法を用い、これらの配置をロボットアームで自動化することで、任意形状の細胞を内包したパーツの構築法を開発・パーツの評価を行う。

【マニピュレータを用いた細胞システムの高速度構築技術の開発】in vitro 環境で活性化する 3 次元細胞システムの構築において、高速な 3 次元細胞パーツの組立のため、マイクロハンドの高速化および実時間全焦点顕微鏡システムの高速度化を行う。マイクロハンドの高速動作時の振動抑制手法、3 次元細胞パーツと 3 次元細胞システムの高速度検出アルゴリズム、顕微鏡システムのユーザインタフェースを開発し、検証する。

4. 研究成果

(1) ロール方式による管状細胞パーツの生成

ロール方式では血管などの管状細胞システムパーツの構築を目的とする。本手法では、2 枚の細胞シートの間にはアガロースによるチューブを複数設置し、このチューブを足場とするロール化による管状 3 次元細胞の構築を行った。本手法の試行から、管状細胞パーツの生成における課題が明らかとなった。一方、他班から優れた管状細胞パーツの生成手法が新たに提案されたのを受けて、これらの提案技術を基盤とした、多方面に応用可能な基

礎技術となりうる、管状構造の自動形成に取り組んだ。

(2) マイクロ流体チップを用いた管状細胞パーツの生成

細胞の投入・トロイダル形状の形成、細胞の培養の一連の作業を1つの流路で完結することを目指し、3次元形状の流路を設計し、流体シミュレーション結果を通じて、手法の有用性の基礎検証を行った後、本自動形成システムの試作版を用いて細胞培養実験を行った。流体シミュレーション結果から、細胞が流出する問題点が明らかとなった。この細胞が流出する問題点は電気化学的手法を組み合わせることによって解決し、連続的に培養可能な灌流系と組み合わせることでトロイダル形状を形成する手法を提案した。

(3) 任意形状3次元細胞パーツの生成

PDMSを用いた微小整形技術による任意形状細胞シート形成が可能な可変モールドデバイスを開発した。細胞シート形成においては他班の支援を受け、試作版の作成および基礎的な機能の評価を行い、任意形状の構造体形成が可能であることを示した。更に、本デバイスを発展させ、小型化、並列アレイ化を行い、PDMSアクチュエータを利用した任意形状細胞パーツ形成システムを構築した。

また、他班との連携で導入したハイドロゲルファイバを用いて、3次元細胞システム構築を目指し、3自由度ロボットアームを用いた格子形状3次元細胞システム構築装置の開発を行った。本装置は、シリンジポンプと3自由度ロボットアームから構成されており、すべての機器がPCからの制御が可能である。本装置により、任意形状の3次元細胞システムの構築が可能となる。基礎検証として、細胞への酸素や栄養分供給に有効と考えられる格子形状に注目し、その構築を行った。格子形状の構築、および積層化が可能であることを確認し、実際に細胞の培養に成功した。さらに、本ロボットシステムにフルイデックスに基づくゲルファイバ形成マイクロチップを組み合わせることで、層流を用いた高速かつ複雑な形状を作製可能なシステムを構築し、細胞で構成された任意形状パーツ形成に適用した。

(4) 3次元細胞システムの高速構築技術の開発

2本指マイクロハンドを用いて高速な組み立てを実現するためには、安定した物体把持が不可欠である。マイクロハンドの動作が高速化により、低速動作時には顕著な問題として現れてこなかった、振動の問題が安定把持に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。そこで、安定把持実現に向けた振動抑制制御の開発を行った。本制御では、ハイスピードカメラによる振動解析に基づく、振動のモード解析と、解析結果に基づくフィードフォワード制御の適用により、振動抑制を実現し、高速把持時の安定性が向上していることを確認した。本手法とマイクロハンドの剛

性の向上により、1秒以内の自動把持・搬送を実現した。

また、作業高速化においては、把持した対象物をいかに精度良く・高速にエンドエフェクタからリリースするかが課題となっており、この問題解決にはMEMS技術に基づいて開発した新規エンドエフェクタを用いた、表面形状を加工した物や、電界発生装置を備えたマイクロハンド用高機能エンドエフェクタを構築することにより、対象物の高速リリースを実現した。また、振動を利用した細胞のリリースにも取り組み、特殊な加工を行わないエンドエフェクタを用いた高速リリースを実現した。

また、高速カメラ及びピエゾアクチュエータを組み合わせ、高さ方向の情報を含めた3次元環境を提示するシステム、直感的に操作可能なインターフェースを構築し、細胞操作におけるマイクロハンドのユーザビリティを改善した。

以上に挙げた高機能エンドエフェクタを搭載した高機能マイクロハンドシステムを構築することにより、作業の高速化・自動化を図り、本提案および領域内他班提案手法に基づいて形成された細胞システムパーツの操作に応用した。

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23件)

Chanh-Nghiem Nguyen, Kenichi Ohara, Ebubekir AVCI, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Real-time Precise 3D Measurement of Micro Transparent Objects Using All-In-Focus Imaging System, Journal of Micro-Nano Mechatronics, Vol.7 No.1-3 p.21-31, 2012

Kenichi Ohara, Daiki Kawakami, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tamio Tanikawa, Ayae Honda, Tatsuo Arai, Dextrous cell diagnosis using two-fingered microhand with micro force sensor, Journal of Micro Nano Mechatronics, Vol.7 No.1-3 p.13-20, 2012

奥田一郎, 田窪朋仁, 前泰志, 大原賢一, 新井史人, 新井健生, マルチファイバアレイセンサによる微小流路を移動する粒子計測, 電気学会論文誌 E, Vol.132 No.7 p.203-211, 2012

Chanh-Nghiem Nguyen, Kenichi Ohara, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, High-Speed Focusing and Tracking of Multisized Microbiological Objects, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25 NO.1 p.115-124, 2013

Ebubekir Avci, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Development of Multi-Scalable Microhand System with Precise Motion Ability, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 25 No.1 p.183-191, 2013

Ebubekir Avci, Chanh-Nghiem Nguyen, Kenichi Ohara, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Analysis and Suppression of Residual Vibration in Microhand for High-Speed Single-Cell Manipulation, International Journal of Mechatronics and Automation, Vol.3 No.2 p.110-117, 2013

Ichiro Okuda, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai, Measuring Particle Positions in Micro Channel with Multifiber Array, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25 No.6 p.1105-1113, 2013

Puwanan Chumtong, Masaru Kojima, Kenichi Ohara, Yasushi Mae, Mitsuhiro Horade, Yoshikatsu Akiyama, Masayuki Yamato Tatsuo Arai, Design and fabrication of changeable cell culture mold, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25 No.4 p.657-664, 2013

Kenichi Ohara, Masaru Kojima, Akira Fukushima, Shun Onozaki, Mitsuhiro Horade, Masumi Yamada, Minoru Seki, Yasushi Mae Tatsuo Arai, Automated Construction System for 3D Lattice Structure Based on Alginate Gel Fiber Containing Living Cells, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25 No.4 p.665-672, 2013

Puwanan Chumtong, Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Kenichi Ohara, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Yoshikatsu Akiyama, Masayuki Yamato Tatsuo Arai, Flexible microsccaffold facilitating the in vitro construction of different cellular constructs, ROBOMECH Journal, Vol.1 No.9, 2014

Tomita T, Sadakata H, Tamura M, Matsui H, Indomethacin-induced generation of reactive oxygen species leads to epithelial cell injury before the formation of intestinal lesions in mice, JOURNAL OF PHYSIOLOGY AND PHARMACOLOGY 2014, Vol.65 No.3, p.435-440, 2014

Tamura M, Matsui H, Hyodo I, Tanaka J, Miwa Y, Fluorescence-based co-culture of normal and cancerous cells as an indicator

of therapeutic effects in cancer, European Journal of Pharmaceutical Sciences, Vol.63 p.1-7, 2014

Tamura M, Yanagawa F, Sugiura S, Takagi T, Sumaru K, Matsui H, Kanamori T, Optical cell separation from three-dimensional environment in photodegradable hydrogels for pure culture techniques, Scientific Reports, Vol. 4, p.4793, 2014

Ito H, Matsui H, Tamura M, Majima HJ, Indo HP, Hyodo I, Mitochondrial reactive oxygen species accelerate the expression of heme carrier protein 1 and enhance photodynamic cancer therapy effect, Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, Vol. 55 No.1, p.67-71, 2014

Ebubekir Avci, Kenichi Ohara, Chanh-Nghiem Nguyen, Chayooth Theeravithayangkura, Masaru Kojima, Tamio Tanikawa, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, High-Speed Automated Manipulation of Microobjects Using A Two-Fingered Microhand, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.62 No.2 p1070-1079, 2015

M Horade, M Kojima, K Kamiyama, T Kurata, Y Mae, T Arai, Development of an optimum end-effector with a nano-scale uneven surface for non-adhesion cell manipulation using a micro-manipulator, Vol.25 No.11 p115002, 2015

Ebubekir Avci, Takayuki Hattori, Kazuto Kamiyama, Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Piezo-actuated parallel mechanism for biological cell release at high speed, Biomedical Microdevices, Vol.17 No.98 p10, 2015

Masaru Kojima, Tatsuya Miyamoto, Masahiro Nakajima, Michio Homma, Tatsuo Arai, Toshio Fukuda, Bacterial sheet-powered rotation of a micro-object, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.222 p1220-1225, 2015

Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Hirochika Takai, Kenichi Ohara, Tamio Tanikawa, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Generation of Rotational Flow for Formation of Spheroids by Using Microfluidics and Dielectrophoretic Hybrid Device, Int. J. of Mechatronics and Automation, accepted, 2016

Eunhye Kim, Masaru Kojima, Kazuto Kamiyama,

Mitsuhiro Horade, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Local Stream Generated by High Speed Motion of End Effector for Releasing of Adhered Micro-Objects, Int. J. of Mechatronics and Automation, accepted, 2016

T. Matsuzaki, K. Ito, K. Masuda, E. Kakinuma, R. Sakamoto, K. Iketaki, H. Yamamoto, M. Sukanuma, N. Kobayashi, S. Nakabayashi, T. Tani, H. Y. Yoshikawa, Quantitative Evaluation of Cancer Cell Adhesion to Self-Assembled Monolayer-Patterned Substrates by Reflection Interference Contrast Microscopy, Journal of Physical Chemistry B, Vol. 120, p. 1221-1227, 2016

Hiromu Ito, Hirofumi Matsui, Aki Hirayama, Hiroko P. Indo, Hideyuki J. Majima and Ichinosuke Hyodo, Reactive oxygen species induced by non-steroidal anti-inflammatory drugs enhance the effects of photodynamic therapy in gastric cancer cells, Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, Vol.58 p.1-6, 2016

M. Veschgini, F. Gebert, N. Khangai, H. Ito, R. Suzuki, T. W. Holstein, Y. Mae, T. Arai, M. Tanaka, Tracking mechanical and morphological dynamics of regenerating Hydra tissue fragments using a two fingered micro-robotic hand, Applied Physics Letters, Vol.108, p. 103702 1-4, 2016

[学会発表](計 84 件)

Daiki KAWAKAMI, Kenichi OHARA, Tomohito TAKUBO, Yasushi MAE, Akihiko ICHIKAWA, Tamio TANIKAWA, Tatsuo ARAI, Cell Hardness Measurement by Using Two-Fingered Microhand with Micro Force Sensor, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2011), USA, 2011

Ebubekir Avci, Chanh-Nghiem Nguyen, Kenichi Ohara, Masaru Kojima, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Towards High-Speed Automated Micromanipulation, The 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2013), Germany, 2013

Hiroyuki Yabugaki, Kenichi Ohara, Masaru Kojima, Yasushi Mae, Tamio Tanikawa, Tatsuo Arai, Automated Stable Grasping with Two-Fingered Microhand using Micro Force Sensor, The 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation

(ICRA2013), Germany, 2013

Ebubekir Avci, Hiroyuki Yabugaki, Takayuki Hattori, Kazuto Kamiyama, Masaru Kojima, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Dynamic releasing of biological cells at high speed using parallel mechanism to control adhesion forces, 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), Hong Kong, 2014

Masaru Kojima, Takahiro Motoyoshi, Kenichi Ohara, Mitsuhiro Horade, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Control of Flagellar Motor Using a Real-time Local Environment Chemical Stimulation System, 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), Hong Kong, 2014

M. Kojima, M. Horade, K. Kamiyama, Y. Mae, T. Fukuda, T. Arai, MOVEMENT OF ASYMMETRIC SHAPE MICRO STRUCTURE ON BACTERIAL SHEET, The 18th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS2014), USA, 2014

M. Horade, M. Kojima, K. Kamiyama, Y. Mae, T. Arai, DEVELOPMENT OF MICRO-HEATER ARRAY DEVICE WITH REGIONAL SELECTIVE HEATING FOR BIOCHEMICAL APPLICATIONS, The 18th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS2014), USA, 2014

Puwanan Chumtong, Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Kenichi Ohara, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Yoshikatsu Akiyama, Masayuki Yamato, Tatsuo Arai, On-chip Flexible Scaffold for Construction of Multishaped Tissues, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), USA, 2014

Takahiro Motoyoshi, Masaru Kojima, Kenichi Ohara, Mitsuhiro Horade, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Development of a Real-time Local Environment Stimulation System with Visual Feedback Control, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2015), USA, 2015

Takayuki Hattori, Kazuto Kamiyama, Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Generation of Swirl Flow by Needle Vibration for Micro Manipulation, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015), Germany, 2015

Eunhye Kim, Masaru Kojima, Kazuto Kamiyama, Mitsuhiro Horade, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Releasing and Accurate Placing of Adhered Micro-Objects using High Speed motion of End Effector, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015) , Germany, 2015

Suguru Takata, Masaru Kojima, Mitsuhiro Horade, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, 4D MICRO-STRUCTURE ASSEMBLING METHOD BY MICRO-HEATER ARRAY DEVICE, 19th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Korea, 2015

Mitsuhiro Horade, Tomoyuki Kurata, Masaru Kojima, Kazuto Kamiyama, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, DEVELOPMENT OF GRIPPER ON-BOARD MICRO-HEATER AND FORCE SENSOR FOR HIGH-ACCURACY MICRO-MANIPULATION, 19th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Korea, 2015

K. Iketaki, F. Yanagawa, R. Kawamura, S. Nakabayashi, T. Takagi, S. Sugiura, T. Kanamori, H. Y. Yoshikawa, Mechanical Manipulation of Adherent Cells by Photodegradable Hydrogel, Pacificchem 2015, USA, 2015

Y. Shimokawa, H. Koike, T. Matsuzaki, M. Enomura, M. Kimura, S. Nakabayashi, H. Nakauchi, H. Taniguchi, T. Takebe, H. Y. Yoshikawa, Design of Mechanically Patterned Hydrogel for Directing Organ Bud Self-Formation, Pacificchem 2015, USA, 2015

〔図書〕(計1件)

Masaru Kojima, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Mitsuhiro Horade, Kazuto Kamiyama, Tatsuo Arai, Hyper Bio Assembler for 3D Cellular Systems (Chapter7), Springer, 2015

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称：画像生成法、画像生成装置、及び画像生成装置を備えた内視鏡検査装置
発明者：新井健生，前泰志，小嶋勝，大原賢一，松井裕史
権利者：学校法人名城大学、国立大学法人筑波大学、国立大学法人大阪大学
種類：特許
番号：特願 2014-098076
出願年月日：2014年5月9日
国内外の別：国内

名称：ヒーターアレイ、デバイス、ヒーターアレイの製造方法
発明者：洞出光洋，小嶋勝，神山和人，前泰志，新井健生
権利者：国立大学法人大阪大学
種類：特許
番号：特願 2014-178616
出願年月日：2014年6月4日
国内外の別：国内

名称：表面ナノ凹凸構造を有するマイクロマニピュレーション用エンドエフェクタ、及び表面ナノ凹凸構造の製造方法
発明者：洞出光洋，小嶋勝，神山和人，前泰志，新井健生
権利者：洞出光洋，小嶋勝，神山和人，前泰志，新井健生
種類：特許
番号：特願 2015-081466
出願年月日：2015年4月13日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-arailab.sys.es.osaka-u.ac.jp>

<http://bio-asm.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新井 健生 (ARAI, Tatsuo)
大阪大学・基礎工学研究科・教授
研究者番号：90301275

(2) 研究分担者

前 泰志 (Mae, Yasushi)
大阪大学・基礎工学研究科・准教授
研究者番号：50304027

小嶋 勝 (Kojima, Masaru)
大阪大学・基礎工学研究科・助教

谷川 民生 (Tanikawa, Tamio)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門統合知能研究グループ・研究グループ長
研究者番号：30357470

大原 賢一 (Ohara, Kenichi)
名城大学・理工学部・准教授
研究者番号：50517886

吉川 洋史 (Yoshikawa, Hiroshi)
埼玉大学・理工学研究科：准教授
研究者番号：50551173

松井 裕史 (Matsui, Hirofumi)
筑波大学・医学医療系・講師
研究者番号：70272200