

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401
研究種目：若手研究(S)
研究期間：2009～2013
課題番号：21676002
研究課題名(和文) 細胞ビルドアップ型ウエットナノロボティクスの構築と機能創発
研究課題名(英文) Construction and Function Emergence of Cellular Build up Wet Nano Robotics
研究代表者
森島 圭祐 (MORISHIMA KEISUKE)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号：60359114
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 86,700 千円、(間接経費) 26,010 千円

研究成果の概要(和文)：

本研究では、外部環境に対してロバストで室温での動作が可能な昆虫細胞に着目し、自由自在に形を再構成できる、化学エネルギー駆動型の機能創発ウエット&ソフトナノロボティクスの分野を新たに開拓し、細胞レベルで生体を用いた「室温で制御可能なバイオアクチュエータ」による細胞ビルドアップ型ウエットナノロボットの構築し、動作実験に成功した。

研究成果の概要(英文)：

In this study, we proposed an environmentally robust hybrid (biotic-abiotic) robotic system that uses insect cells, called “Cellular Build Up Wet Nano Robotics”. In our experiments, we utilized insect cells and tissues as a mechanical component and we succeeded in demonstrating the example of a micro bioactuator and mechanical systems driven by biological components. This driving occurs autonomously at room temperature for a long time without maintenance.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ウエットロボティクス, バイオアクチュエータ, マイクロマシン, 昆虫細胞, 筋細胞

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、バイオ MEMS 研究に従事し、これまでバイオ MEMS 技術と生体組織工学を組み合わせ、マイクロ空間において細胞の生命を維持するバイオプロセスを集積化した生命機械システムの開発が必要であると考へ、バイオ MEMS 技術によるバイオプロセスを集積化したマイクロバイオ化学システムの開発と心筋細胞駆動型バイオマイクロアクチュエータの基礎研究を行ってきた。このマイクロアクチュエータの新しいアプローチとして、生体材料を駆動源とし、従来の人工アクチュエータにはない、化学エネルギーのみで駆動、高いエネルギー変換効率、自己修復・自己組織化という特徴を持っている。科研費若手(B) (平成 16～17 年) 及び特定領域研究(公募研究)「アクチュエータ」(平成 17～18 年)の支援を元に、非常に柔軟な材料を用いて、心筋細胞を用いたマイクロ構造物の駆動に成功した。次に、東京女子医科大学・岡野研究室において開発された細胞シート工学を利用し、心筋細胞を用いた微

小空間内での流体駆動を実証した。一個の大きさが 10 μm オーダーである、伸縮運動機能をもつ心筋細胞をマイクロアクチュエータとして利用し、柔軟な材料の微細加工技術や微小流路作製技術、ならびに東京女子医科大学・岡野研究室で開発された細胞シート工学を応用することにより、従来ではなしえなかったような高集積度・高機能・高エネルギー効率なバイオアクチュエータの原理検証、試作に成功し、機械とバイオテクノロジーの融合に積極的に取り組んできた。これまでの研究成果を発展させるため、細胞を用いた「ものづくり」というコンセプトで、生体組織融合バイオ MEMS 技術による柔軟かいアクチュエータを創製するという先駆的、先導的な研究を行い、2003 年に世界に先駆けて心筋細胞を駆動源とするマイクロポンプの開発に成功している。

しかしながら、これまで実証してきた哺乳類の筋細胞を用いたバイオアクチュエータは、心筋細胞の自発的収縮に依存しており、さらに、心筋細胞の自発的拍動を維持するた

めには、環境（温度、湿度、pH）の厳密な管理が不可欠である。ラットのような哺乳類の細胞を用いる場合、人為的に制御することが困難で、なおかつ、使用可能環境が 37℃と pH が中性付近と限られており、CO₂がない環境、室温での動作は非常に困難であるため、将来的に、屋内外で用いるシステムに組み込まれるデバイスや自律駆動型機械システムとして実用化が難しい。そこで、本提案では、細胞培養条件が厳しい哺乳類から得られる細胞を用いるのではなく、変温動物である両生類や昆虫の筋細胞を用いることにより培養可能環境が緩和されることに着目し、外部環境に対してロボラストで室温動作可能で、自由自在に形を再構成できる、化学エネルギー駆動型の自己再生能力のある細胞ビルドアップ型ウェットナノロボティクスの創製を着想した。

2. 研究の目的

昆虫の細胞は、一般的に PH に対する許容範囲が広いいため、昆虫の持つ筋細胞も同様の性質を持つと考えられる。細胞培養が確立されたラットのような実験動物を用いるのではなく、ロボラストな耐環境性がある昆虫の筋細胞を駆動源として用いることで、駆動環境が広がり、将来的に室温で動作するシステムを構築できる点で、革新的なシステムが期待できる。そこで、本研究では、昆虫の筋生理学及び生化学の分野とマイクロナノロボティクス・メカトロニクスの分野を融合した全く新しい学問分野である、細胞ビルドアップ型ウェットナノロボティクスの創出を目指し、基盤技術の構築と新たな人工筋肉を用いたウェットナノロボット分野の開拓を目指す。

3. 研究の方法

(1) 昆虫の筋細胞特性による分類及び微細加工技術の確立

昆虫の筋細胞の力学的特性を調べた。様々な細胞を培養するために共同研究者である東京農工大農学部岩淵研究室の協力を得て、効率的に研究を進めた。将来、それぞれのアプリケーションに必要とされる力に応じたマイクロ駆動源を製作するために、微細加工により、マイクロ構造体を作製し、細胞 1 個あたりの発生力を測定した。

(2) 昆虫の筋細胞シートの作製
温度応答性ポリマーを用い細胞をシート状のまま回収する技術を用いて昆虫筋細胞のシートを作製した。

(3) 昆虫筋細胞アクチュエータによるウェットナノマイクロロボットの試作
本研究における数ミリメートルのマイクロ

アクチュエータにおいてでさえ、100 μm 程度の細胞を 1 つ 1 つ配置することは、技術的に大変困難である。そこで、温度応答性ポリマーもしくは柔軟な薄膜を用いることにより、細胞間の結合因子や接着因子を破壊することなく、シート状のまま細胞を回収する技術を確立した。これにより、細胞を数ミリメートル単位の集団で、ハンドリングが可能になり、マイクロ構造体へのアセンブリが可能になる。昆虫筋細胞組織と MEMS 構造体で構成されるマイクロナノロボットを設計試作し、評価及び動作実験を行った。

4. 研究成果

(1) 昆虫筋細胞のバイオアクチュエータとしての耐環境ロボラスト性の実証に成功

(*Lab on a Chip*, vol. 9, pp. 140-144, (2009))

昆虫筋細胞培養の最適化の結果、昆虫筋細胞バイオアクチュエータと、これまでに報告されているラット心筋細胞を用いたアクチュエータやマイクロデバイスの性能比較をおこなった結果、駆動期間は、ラット心筋細胞が 6 日間程度であるのに対して、昆虫筋細胞の場合、137 日以上と 20 倍以上長寿命であった。一方、駆動周波数に関しては個体によりばらつきがあるものの 0.2 Hz 程度と、ラット心筋細胞の 1 Hz の 5 分の 1 程度であった。駆動期間と駆動周波数の積で表される駆動寿命は、 2.4×10^6 回以上であり、ラット心筋細胞の 5.2×10^5 を上回った。また、収縮力に関しては、背脈管が 35 μN とラット心筋細胞の 3.5 μN のちょうど 10 倍であった。また、ラット心筋細胞が、2~3 日置きの培地交換および 37 °C を保つ必要があるのに対して、昆虫筋細胞バイオアクチュエータは、当初予想された通り、室温 (25 °C) かつ培地交換無しで、最大 137 日間の自律的に駆動し続けた。

これまでバイオアクチュエータに用いられてきたラット心筋細胞と比べ、周波数においてのみ劣るものの、耐環境性に優れるだけでなく、長寿命かつ高出力であった。またこれらの結果により、昆虫背脈管組織および細胞を用いることにより長期間メンテナンスフリーで室温で駆動し続けるバイオデバイス創成ができる可能性が示された。学術的に生体外で培地交換なしで約 3 か月以上もの間、昆虫細胞は生命を維持できるといった驚異的な新しい知見が得られた。

(2) 昆虫筋細胞組織の生体外での再構築に成功

昆虫筋細胞組織を酵素を用いて解離し、培養開始直後から細胞が遊走を繰り返し、再組織化していく様子が確認することができた。さらに、細胞の形状観察を行ったところ、解離した背脈管細胞に筋繊維が形成されていることが確認でき、筋細胞を得ることに成功し

た。その後、温度応答性培養皿を用いて、昆虫筋細胞組織の再構築を行い、昆虫筋細胞シートを作製に成功した。この結果は、本研究の目的である「外部環境に対してロバストで室温での動作が可能な昆虫細胞に着目し、自由自在に形を再構成できる、化学エネルギー駆動型の自己再生能力をもつ」ウェットロボットのパーツとして、昆虫筋細胞が有効であることを初めて実証した例である。

(3) 昆虫筋細胞によるバイオアクチュエータを用いたウェットロボットの動作に成功 (PLoS One, 7(7), e38274, (2012))

(*Biomedical Microdevices*, doi: 10.1007/s10544-012-9700-5 (2012))

(*Lab on a Chip*, 13(24), 4870-1880 (2013))

昆虫の筋肉を使って電源なしで動く微小なウェットロボットを作ることによって世界で初めて成功し、長期間動作することを確認した。また、化学刺激、温度刺激、電気刺激による制御性の実験を行い、マイクロ構造体と組み合わせることでマイクロロボットのアクチュエータとして機能できることを実証した。Fig.1 に昆虫筋細胞バイオアクチュエータを搭載したマイクロロボットのSEM写真を示す。また、昆虫筋細胞シートによるマイクロポンプの試作も行った。その他、マイクロナノロボットの光制御機能の創発、マイクログリッパーへの応用、大気中での駆動実験 (Fig.2) に成功しており、マイクロナノウェットロボットの部品 (Fig. 3) として機能させることができた。

これらの結果は、本研究の目的である「世界初の細胞レベルで生体を用いた室温で制御可能なバイオアクチュエータによる細胞ビルドアップ型ウェットナノロボティクスを構築する」ことに成功した例である。

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 27 件) 全て査読有

- [1] Y. Akiyama, K. Funakoshi, T. Hoshino, K. Iwabuchi, K. Morishima, "Atmospheric-operable bioactuator powered by insect muscle", *Lab on a Chip*, 13(24), 4870-1880 (2013).
- [2] K. Uesugi, Y. Akiyama, T. Hoshino, Y. Akiyama, M. Yamato, T. Okano, K. Morishima, "Measuring Adhesion Force of a Cell Sheet by the Ninety-degree Peel Test Using a Multi Hook Type Fixture", *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 8(2), pp. 129-138 (2013).
- [3] Y. Yalikul, Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Morishima, "Bio-Manipulation Method Based on Hydrodynamic Forces of Multiple

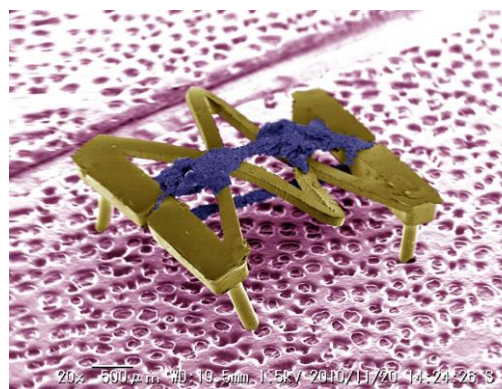


Fig.1 昆虫筋細胞によるマイクロロボット

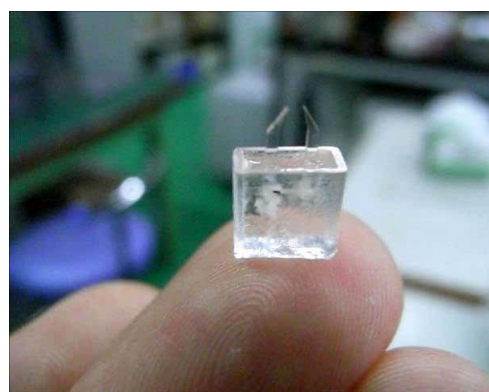


Fig.2 大気中で駆動する昆虫筋細胞マイクログリッパー

Microfluidic Streams", *Journal of Robotics and Mechatronics*, 25(4), pp. 611-618 (2013).

- [4] K. Uesugi, Y. Akiyama, T. Hoshino, Y. Akiyama, M. Yamato, T. Okano, K. Morishima, "Measuring mechanical properties of cell sheet by tensile test using self-attachable fixture", *Journal of Robotics and Mechatronics*, 25(4), pp. 603-610, (2013).
- [5] K. Kabumoto, T. Hoshino, Y. Akiyama, K. Morishima, "Voluntary Movement Controlled by the Surface EMG Signal for Tissue-engineered Skeletal Muscle on a Gripping Tool", *Tissue Engineering Part A*, 19(15-16), 1695-1703 (2013)
- [6] S. Yamaguchi, A. Ueno, Y. Akiyama, K. Morishima, "Cell patterning through inkjet printing of one cell per droplet", *Biofabrication*, 4, (2012), 045005, doi: 10.1088/1758-5082/4/4/045005.
- [7] Y. Akiyama, K. Odaira, K. Sakiyama, T. Hoshino, K. Iwabuchi, K. Morishima: "Rapidly-moving insect muscle-powered microrobot and its chemical acceleration." *Biomedical Microdevices*, DOI: 10.1007/s10544-012-9700-5 (2012).

- [8] Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Iwabuchi, and K. Morishima, “Room temperature operable autonomously moving bio-microrobot powered by insect dorsal vessel tissue”, *PLoS One*, 7(7), e38274, (2012), DOI: 10.1371/journal.pone.0038274
- [9] Takayuki Hoshino, Kentaro Imagawa, Yoshitake Akiyama, and Keisuke Morishima, “Cardiomyocyte-driven gel network for bio mechano-informatic wet robotics”, *Biomedical Microdevices*, 14 (6), pp. 969–977, (2012).
- [10] Takayuki Hoshino, Kyoko Fujita, Ayako Higashi, Keiko Sakiyama, Hiroyuki Ohno, and Keisuke Morishima, “Contracting cardiomyocytes in hydrophobic room-temperature ionic liquid”, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 427 (2), pp. 379-384 (2012)
- [11] Y. Akiyama, K. Iwabuchi, Y. Furukawa, Keisuke Morishima, “Electrical stimulation of cultured lepidopteran dorsal vessel tissue: an experiment for development of bioactuators”, *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Animal*, vol. 46, pp. 411-415, (2010)
- [12] T. Hoshino, A. Higashi, T. Konno, K. Ishihara, Keisuke Morishima, “Cell-driven Three-dimensional Manipulation of Micro-parts for a Micro-assembly”, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 49, pp. 06GM03-1 - 06GM03-4, (2010)
- [13] Y. Akiyama, R. Terada, M. Hashimoto, T. Hoshino, Y. Furukawa, Keisuke Morishima, “Rod-shaped Tissue Engineered Skeletal Muscle with Artificial Anchors to Utilize as a Bio-Actuator”, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, vol. 5, pp. 236-244, (2010)
- [14] Takayuki Hoshino, Keisuke Morishima, “Muscle-powered Cantilever for Microtweezers with an Artificial Micro Skeleton and Rat Primary Myotubes”, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, vol. 5, pp. 245-251, (2010)
- [15] H. Horiguchi, K. Imagawa, T. Hoshino, Y. Akiyama, Keisuke Morishima, “Fabrication and Evaluation of Reconstructed Cardiac Tissue and Application to Bio-actuated Microdevices”, *IEEE Transaction on Nano Bioscience*, vol. 8, pp. 349-355, (2009)
- [16] T. Hoshino, T. Konno, K. Ishihara, Keisuke Morishima, “Live-Cell-driven Insertion of a Nanoneedle”, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 48, pp. 107002-1 - 107002-6, (2009)
- [17] Y. Akiyama, K. Iwabuchi, Y. Furukawa, Keisuke Morishima, “Long-term and room temperature operable bio-actuator powered by insect dorsal vessel tissue”, *Lab on a Chip*, vol. 9, pp. 140-144, (2009)
- [学会発表] (計 173 件)
- [1] K. Morishima, “Room Temperature Operable Muscle-Powered Microrobot.” The International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2013), London, pp. 1-11, (2013. 7).
- [2] K. Morishima, “Emergent Functionality of Cellular Buildup Wet Robotics” *CIMTEC 2012*, p.128, 2012. 06.
- [3] 森島圭祐, “生命機械融合ウエットロボティクスの創製”, 第 72 回阪大融合技術懇談会, 大阪大学中之島センター, 2011.11.1
- [4] K. Morishima, Takayuki Hoshino Y. Akiyama, “Construction of Mechano-Bionic System using an Environmentally robust Insect Muscle Tissue”, The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), Shanghai (China), pp. 4110-4114, (2011. 05)
- [5] K. Morishima, “Emergent functionality of regenerative biomechanical systems powered by muscle cells toward wet nano-robotics”, Workshop “Medical micro-robots: potential, challenges, strategies and dreams”, The Center for Micro-BioRobotics IIT@SSSA, 2011. 03.
- [6] 森島圭祐, “細胞ビルドアップ型ウエットナノロボティクスの構築と機能創発”, 日本機械学会 安全・安心な社会を支える運動と振動の制御 研究分科会, 2011. 01.
- [7] K. Morishima, “Construction and Function Emergence of Cellular Build up Wet Nano Robotics”, 9th iCeMS International Symposium: “Mesoscale Control and Engineering of Self-Organized and Excitable Systems in Biology and Chemistry”, Institute for Integrated Cell-Material Sciences (iCeMS), Kyoto University, p. 36, 2010. 12.
- [8] K. Morishima, “Construction and Function Emergence of Cellular Build up Wet Nano Robotics”, 日本—フランス先端工学シンポジウム(JFFOE), 独立行政法人科学技術振興機構、フランス高等教育研究省, pp. 85-87, 2010. 10.
- [9] 森島圭祐, “細胞ビルドアップウエットナノロボティクスの構築と機能創発”, 分子系の複合電子機能第181委員会第9回研

- 究会, pp. 47-48, 2010. 10.
- [10] K. Morishima, "Construction and Function Emergence of Cellular Build up Wet Nano Robotics", 59th ICAT/JTTAS Joint International Smart Actuator Symposium, International Center for Actuators and Transducers (ICAT), Materials Research Institute (MRI), The Pennsylvania State University, 2010. 10.
- [11] K. Morishima, Y. Akiyama, K. Iwabuchi, "Construction of an Environmentally Robust Mechano-Bionic Actuator Using Insect Muscle Cells", The 12th International Conference on New Actuators & 6th international Exhibition on Smart Actuators and Drive System (ACTUATOR 2010), Bremen (Germany), pp. 1107-1109 (2010. 06).
- [12] 森島圭祐, 星野隆行, "細胞ビルドアップ ウェットロボティクスの創製", リズム現象の研究会V, 2010. 05.
- [13] 森島圭祐, "柔らかい機械をつくるー筋細胞を用いたバイオアクチュエータの応用ー", 「復元力応用分科会」第9回講演会, 日本ばね学会, 2010. 05.
- [14] 森島圭祐, "細胞ビルドアップ型ソフトマシンの構築と機能創発", バイオ・マイクロシステム研究会「バイオ極限計測と細胞マイクロシステムの最先端」, 2010. 01.
- [15] 森島圭祐, "筋細胞によるメカノケミカルカップリング型バイオアクチュエータに関する研究", 第3回国際シンポジウム「ブレイクスルーを生み出す次世代アクチュエータ」, MEXT Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas, 2010. 01.
- [16] 森島圭祐, "細胞ビルドアップ型ウェットロボティクスの創製", 第22回バイオエンジニアリング講演会「筋細胞のバイオエンジニアリング」, 日本機械学会 vol. 09-55, p. 189, 2010. 01.
- [17] 森島圭祐, "Construction and Function Emergence of Cellular Build up Wet Nano Robotics toward Quasi-Living Actuator", 第4回人工筋肉コンファレンス-生体模倣人工筋肉とナノバイオに関する第5回国際会議-, 産総研セルエンジニアリング研究部門, 産総研関西センター, 理研基幹研究所, 2009. 11.
- [18] 森島圭祐, "細胞ビルドアップ型ウェットロボティクスの構築と機能創発", 第29回表面科学学術講演会, 社団法人日本表面科学会, p. 11, 2009. 10.
- [19] 森島圭祐, "細胞ビルドアップ型ウェットナノロボティクスの構築", 平成21年度日本生物工学会年次大会 シンポジウム「生物と機械の融合-バイオロボティクス-」, 社団法人日本生物工学会, 2009. 09.
- [20] 森島圭祐, "細胞ビルドアップ型ウェットナノロボティクスの創製", 日本機械学会2009年度年次大会, 先端技術フォーラム「ナノ・マイクロロボットメカトロニクスの最前線」 社団法人日本機械学会, 2009. 09.
- [21] 森島圭祐, "昆虫の筋肉を利用した生命機械システムの構築", 日本機械学会ロボメカ部門バイオロボティクス研究会第2回特別講演会「生物を利用したロボット」, 日本機械学会, 2009. 09.
- [22] K. Morishima, Y. Sakuma, Y. Akiyama, T. Hoshino, Y. Akiyama, M. Yamato, T. Okano, "Fabrication of Insect Muscle-Powered Sheet toward Wet NanoRobotics", 9th IEEE Conference on Nanotechnology: IEEE NANO 2009, IEEE, pp. 635-636, 2009. 07.
- [23] K. Morishima, "Quasi-Living Actuator toward Regenerative Biorobotic Systems", Sweden-Japan Joint Colloquium on "Frontiers in Nanobiotechnology from Engineering to Application for Cells", Stockholm, Sweden, 独立行政法人日本学術振興会, pp. 44-45, 2009. 06.
- [24] M. Hirooka, S. P. Beh, T. Asano, Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Hoshino, H. Tsujimura, K. Iwabuchi and K. Morishima, "Evaluation and optical control of somatic muscle micro bioactuator of transgenic drosophila melanogaster", The 27th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems(MEMS 2014), USA, (2014.01)
- [25] Y. Akiyama, K. Funakoshi, K. Morishima, "In-air opeable biohybrid micromanipulator powered by insect heart muscle tissue," The 17th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (μ TAS 2013), Freiburg (Germany), M.1871 (2013. 10).
- [26] S.P.Beh, M.Hirooka, T.Hoshino, Y.Akiyama, H.Tsujimura and K. Morishima, "Visual Servo of Muscle-powered Optogenetic Bioactuator", Transducers'13, the 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems and, Catalonia(Spain), 6, 2013.
- [27] Takayuki Hoshino, Kiyofumi Suzumura, Taichi Kimura, Kei Funakoshi, Yoshitake Akiyama, Hidenobu Tsujimura, Kikuo Iwabuchi, and Keisuke Morishima, "Optical Controlled Microfluidic Components By Optogenetic Bioactuator", The 15th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (μ TAS 2011), Seattle (U.S.A.), T7F,

- (October 5, 2011).
- [28] R. Takemura, Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Morishima, "Chemical Switching of Micro Jellyfish-Shaped Robot Consisting Only of Cardiomyocyte Gel", The 16th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2011), IEEE, pp. 2442-2445, 2011. 06.
- [29] K. Suzumura, K. Funakoshi, Takayuki Hoshino, K. Iwabuchi, Y. Akiyama, H. Tsujimura, K. Morishima, "A Light Regulated Bio-Micro-Actuator Powered by Transgenic Drosophila Melanogaster Muscle Tissue", The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2011), Cancun (Mexico), pp.149-152, (January 23 - 27, 2011).
- [30] Y. Akiyama, K. Odaira, K. Iwabuchi, K. Morishima, "Long-term and Room Temperature Operable Bio-microrobot Powered by Insect Heart Tissue," The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2011), Cancun (Mexico), pp. 145-148 (2011. 1).
- [31] K. Suzumura, K. Funakoshi, T. Hoshino, K. Iwabuchi, Y. Akiyama, H. Tsujimura, K. Morishima, "A Light Regulated Bio-Micro-Actuator Powered by Transgenic Drosophila Melanogaster Muscle Tissue," The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2011), Cancun (Mexico), pp.149-152 (2011, 1)
- [32] Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Iwabuchi, K. Morishima, "Design and Fabrication of Temperature-Tolerant Micro Bio-Robot Driven by Insect Heart Tissue", The 22th International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2010), Nagoya (Japan), pp. 115-120 (2010, 11).
- [33] K. Shimizu, Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Iwabuchi, Y. Akiyama, M. Yamato, T. Okano, K. Morishima, "Fabrication of Room Temperature Operable Micropump Powered by Insect Muscle Cell Sheet," The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (μ TAS 2010), Groningen (Netherlands), pp. 1229-1231 (2010. 10).
- [34] T. Hoshino, H. Kuroda, R. Kometani, T. Konno, K. Ishihara, K. Morishima, "Single Cell Driven Nano Tweezers", The 13th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2009), The Chemical Biological Microsystems Society, pp. 1530-1532, 2009. 11.
- [35] Y. Touyama, T. Hoshino, K. Iwabuchi, K. Morishima, "Micro-encapsulation of Bio-actuator using Insect Dorsal Vessel", 2009 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2009 & Micro-Nano Global COE), IEEE, pp. 644-649, 2009. 11.
- [36] T. Hoshino, K. Morishima, "Cell-driven Micro Locomotion of Micro-parts for Micro assembly", 2009 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2009), pp. 400-401, 2009. 11.
- [37] T. Hoshino, H. Kuroda, R. Kometani, T. Konno, K. Ishihara, K. Morishima, "Muscle-powered Nano Mechanical System Assembled by Optical Tweezers", 9th IEEE Conference on Nanotechnology: IEEE NANO 2009, IEEE, pp. 763-766, 2009. 07.
- [38] T. Kogure, Y. Akiyama, T. Hoshino, K. Morishima, "Fabrication of a Controllable Bio-Micropump Driven by Skeletal Muscle Cells", The 15th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2009), IEEE, pp. 124-127, 2009. 06.
- [39] K. Imagawa, H. Horiguchi, K. Ikeda, Y. Akiyama, T. Hoshino, S. Maruo, K. Morishima, "Autonomous Beating and Fluid Pumping Gel by Cardiomyocytes Drug Stimulation", The 15th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2009), IEEE, pp. 769-772, 2009. 06.
- [図書] (計 2 件)
- [1] 森島圭祐, 秋山佳丈, 「筋細胞ビルドアップ型バイオアクチュエータの開発」(樋口俊郎, 大岡昌博編『アクチュエータ研究開発の最前線』NTS 出版, 2011年), pp. 231-238.
- [2] 森島圭祐, "3次元細胞ビルドアップ型バイオアクチュエータの創製", 未来を動かすソフトアクチュエータ—高分子・生体材料を中心とした研究開発—監修長田義仁, 田口隆久, シーエムシー出版, pp. 299-312,(2010).
- [その他]
ホームページ等
<http://www-live.mech.eng.osaka-u.ac.jp/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
森島 圭祐 (MORISHIMA KEISUKE)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号 : 60359114