

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24120007

研究課題名(和文)生物規範メカニクス・システム

研究課題名(英文)Bio-inspired Mechanical Systems

研究代表者

劉浩(Liu, Hao)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40303698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 90,700,000円

研究成果の概要(和文)：生物の「動き」に及ぼすサブセルラーサイズ構造や波動性の効果を調べ、新しい「生物マルチスケールメカニクス」学理の創出の道筋を示した。ミクロメカニクスシステムとしての細胞運動の制御と力覚検知メカニズムの解明とメカノバイオミメティクス研究による生物規範材料「メカノバイオマテリアル」の創製、マクロメカニクスシステムとしての昆虫飛行の力学、制御、筋骨格系の統合シミュレータと超低速風洞及びDPIV流体計測システムの研究開発による生物飛行の翼形態、翼運動、飛行力学、飛行制御のロバストネス原理の解明、生物規範羽ばたきロボットや生物規範翼など社会実装可能なバイオミメティックデザイン技術の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Through investigating the effects of subcellular-size structures, fluid and fluctuation on animal locomotion, we propose a novel scaling law-based theory, namely the bio-multi-scaled mechanics to give macroscopic classification of biological fluid dynamics. For micro-mechanical systems, we carried out a mechano-biomimetic study of the mechanisms associated with cell motion control and force sensing, and succeeded in manufacturing the mechano-bio-materials for cell culture. For macro-mechanical systems, we developed a bio-inspired flight simulator to integrate external flight dynamics and inner working system, and built up a low-speed wing tunnel equipped with DPIV flow measurement system. A systematic study of insect flights unveiled robustness mechanisms in terms of wing morphology and flapping motion, flight stability and control. We further succeeded in developing two-winged flapping micro air vehicles and bio-inspired rotors applicable to drones and micro-wind turbines.

研究分野：機械工学、バイオメカニクス

キーワード：細胞ミクロメカニクス 生物飛行マクロメカニクス 生物マルチスケールメカニクス バイオミメティックデザイン バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

生物の“動き”、すなわち生物規範メカニクスの研究は、ナノサイズの分子やタンパク質から、ミクロンサイズの細胞やバクテリア、ミリサイズの昆虫、センチサイズ鳥類や魚類、そしてメートルサイズのイルカやクジラまで、実に 11 桁もの広大なスケールに亘り、各スケールにおいて、主に形や構造、運動性能、エネルギー消費、情報伝達等といった各要素技術について、個別に研究対象として取り上げられてきた。しかしながら、多様な形態を持ち、様々な物理的的刺激を受けながら、その形態・運動・機能が常にまわりの環境に適応し淘汰・進化する生物の仕組み、とくに生物のサブセルラー・サイズ構造が生み出す運動メカニクスと、生物マルチスケール・メカニクス・システムにおけるその効果が殆ど研究されていない。

2. 研究の目的

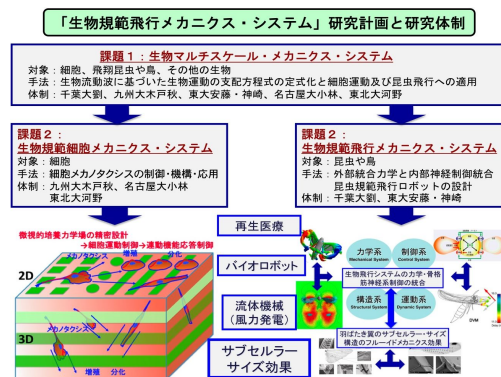
本研究では、1)生物マルチスケール・メカニクス・システムの学理探求と、生物の「動き」に及ぼす「サブセルラー・サイズ」構造が生み出す細胞メカニクスと生物飛行メカニクスの解明、2)生物規範細胞マイクロメカニクス・システムにおける、細胞の動的力学挙動の発現メカニズムおよび制御技術の確立を目指したメカノバイオメティクスと、細胞メカノタクシスの制御・機構・応用の取り組み、3)生物規範飛行マクロメカニクス・システムにおける、昆虫飛行の羽ばたき翼の力学と神経系・行動制御を統合する生物飛行統合力学・神経制御シミュレータの構築と、翼表面サブセルラー・サイズ構造がもたらすフルード・メカニクス効果の解明、4)幹細胞のメカノバイオメティクスを活用した新たな細胞運動操作材料の開発と、生物を規範した飛行ロボットや風力発電を含む流体機械の開発を目的とした、バイオメティクス・デザインの創出を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、1)生物マルチスケール・メカニクス・システムの理論体系、2)生物規範細胞メカニクス・システム、3)生物規範飛行メカニクス・システムという3つのテーマを設定し、図のような研究計画並びに研究体制で5年間(H24~28)にわたって実施してきた。

課題 1: 生物マルチスケールメカニクス

ミクロスケールの細胞からマクロスケールの生物個体にわたる幅広いスケールに共通する生物の「動き」における流動性と波動性に関する**新しいスケール法則**を適用することにより普遍的生物運動原理の確立に取り組み、「生物マルチスケール・メカニクス」という新学理の創出を目指す。



課題 2: 生物規範細胞マイクロメカニクス・システム

第一に、電界紡糸と光リソグラフィー・ハイドロゲル弾性パターンングを組み合わせた新たな三次元パターンングゲルの作製技術を開発し、細胞の機械的接触走性メカノタクシスを二次元的および三次元的にも自在制御するメカニカルパターンング材料を開発する。第二に、ストレス繊維・接着斑・機械刺激受容チャネルから成る分子複合体を用いて、力学的刺激をCa²⁺スパイクという細胞内シグナルへと変換するメカニズムの系統的検証と解明に取り組む。第三に、三次元の細胞運動と連動して現れる幹細胞の増殖・分化特性の応答の再生医工学材料への応用を検討し、生体中における幹細胞の生存原理を規範とした人工材料を構築する。

課題 3: 生物規範飛行マクロメカニクス・システム

第一に、昆虫飛行システムにおける外部力学現象(運動力学・流体力学・材料・構造力学・飛行制御)をインテグレートした生物飛行システムの統合力学シミュレータを構築する。第二に、昆虫羽ばたき飛行における内部神経-筋-骨格系システムの神経生理学的や力学的特性などの情報計測と神経系・行動制御モデルの構築を行う。第三に、神経-筋-羽ばたき-空気力の発生にいたる内部・外部バイオメカニカル・メカニズムを総合的に解明する。第四に、生物飛行システムの統合力学・神経制御モデルを昆虫規範型翼や羽ばたき飛行ロボットの設計に適用し、風洞実験等を用いてその空気学性能を評価し、生物規範型飛行ロボットの設計指針を確立して2枚翼昆虫型飛翔バイオロボットの実現を目指す。

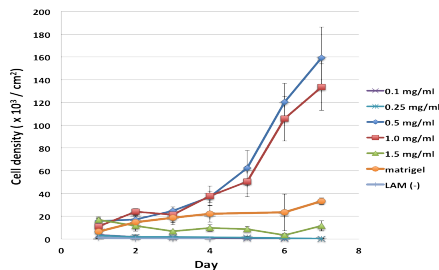
課題 4: バイオメティクス・デザインの創出

幹細胞のメカノバイオメティクスを活用した新たな細胞運動操作材料の開発と、生物を規範した飛行ロボットや風力発電を含む流体機械の開発を目的とした、バイオメティクス・デザインの創出を目指す。

4. 研究成果

1) 生物マルチスケール・メカニクス・システム
 遊泳と飛翔生物の運動の“波動性”と“流動性”に対して横波と縦波のエネルギー変換率を表す波動エネルギー数を導入することにより、生物運動の最適化は最大機械効率よりも如何に効率よく最小移動コスト CoT を実現できるかを明らかにした。新しい学理「生物マルチスケール・メカニクス」の創出への道筋を示した。

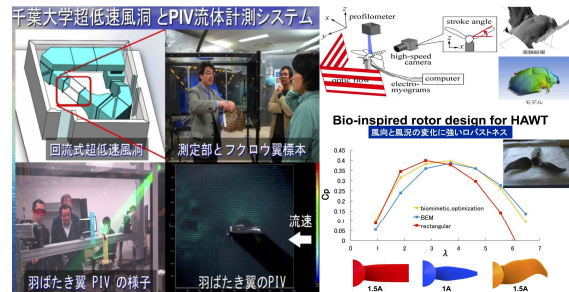
2) 生物規範細胞マイクロメカニクス・システム
 細胞運動の制御のメカノバイオミメティクス研究として、作製したフィーダーフリー弾性率可変基材に対して最適化設計を行い、50 kPa の弾性率を有する StG ゲル上における LAM 固定濃度に依存した細胞増殖挙動の観察の結果、LAM 反応濃度 0.5, 1.0 mg/ml にて作製した基材上において、iPS 細胞のフィーダーフリー分散培養は、既存のマトリゲル上培養系を遥かに上回る増殖率を達成できた（下図）。また国際宇宙ステーションの「きぼう」における間葉系幹細胞を培養実験より、微小重力環境下で細胞の核やミトコンドリアに対する重力作用が無くなると、連結するストレス線維の張力も低下し軟らかい基質上と類似の応答を誘導することが明らかになった。



3) 生物規範飛行マクロメカニクス・システム
 昆虫規範飛行の飛行力学・制御・最適化の生物飛行統合力学シミュレータの構築 (JCP&PRSB2012, JBSE2013) と昆虫飛行・小型ドローン・小型風車用の超低速風洞と DPIV 流体計測システムの開発に成功した (BB2017) (下図)。これらにより生物羽ばたき飛行の運動・形態・変形・力学・制御に対して、昆虫羽ばたき飛行の関節飛翔筋がもたらす外骨格の受動的変形のロバストネス、4 枚翅昆虫の翼形態における前翅だけで十分な揚力を発生できる翼形態のロバストネス、昆虫羽ばたき翼と胴体の能動的運動や受動的変形がもたらす空気力学性能や飛行安定性と乱流中での飛行制御のロバストネス、フクロウ翼セレーション構造の空力性能と静音性のトレードオフ原理、昆虫羽ばたき飛行における「動的力学ロバストネス」原理等多くの原理を明らかにした。

4) バイオミメティクス・デザイン

生物柔軟翼の受動的変形を規範とした柔軟伸縮皺フィルム人工翼の開発とロバストな空気力学性能を実現する 2 枚翼ハチドリ規範型飛行ロボットの開発と、鳥翼を規範とした風向と風況の変動に強いロバストな空力性能と低騒音の小型風車やドローン用ロータ (図) などの社会実装可能な技術開発に成功した。



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](査読有)(代表的なもの: 40件/53件)
- 1) D. Chen, D. Kolomenskiy, *H. Liu, Closed-Form Solution for the Edge Vortex of a Revolving Plate, *J. Fluid Mech.* doi:10.1017/jfm.2017.257 (2017)
 - 2) C. Rao, T. Ikeda, T. Nakata, *H. Liu, Serrations can provide a novel solution to the trade-off between flow separation and force generation in owl silent flight. *Bioinspir. Biomim.* In press, selected for press release. (2017).
 - 3) *H. Liu, T. Nakata, G. Li, D. Kolomenskiy. Unsteady Bio-Fluid Dynamics in Flying and Swimming. *Acta Mech. Sin.* DOI: 10.1007/s10409-017-0677-4 (2017) (invited)
 - 4) *R. Bomphrey, T. Nakata, N. Phillips, S. Walker. Smart Wing Rotation and Trailing- Edge Vortices Enable High Frequency Mosquito Flight, *Nature*, **544**, 92-95 (2017). (Cover Image)
 - 5) *H. Aono, Y. Ozawa, M. Yamamoto, H. Ishikawa, C. Kang, T. Nonomura, H. Liu, Effects of Wing Flexibility on Sound Characteristics of a Four-Wing Flapping Wing Micro Air Vehicle, *J. Acoust. Soc. Am.*, **140**, 3421-3421 (2016).
 - 6) *S. Ravi, *D. Kolomenskiy, T. Engels, K. Schneider, C. Wang, J. Sesterhenn, H. Liu, Bumblebees Minimize Control Challenges by Combining Active and Passive Modes in Unsteady Winds, *Sci. Rep.*, doi:10.1038/srep35043 (2016)
 - 7) *A. Fisher, S. Ravi, S. Watkins, J. Watmuff, C. Wang, H. Liu, P. Petersen, The Gust-Mitigating Potential of Flapping Wings, *Bioinspir. Biomim.* **11**, 046010 (2016)
 - 8) *H. Liu, S. Ravi, D. Kolomenskiy, H. Tanaka, Biomechanics and Biomimetics in Insect-Inspired Flight Systems, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371, 20150390 (2016). (invited)
 - 9) *D. Kolomenskiy, M. Maeda, T. Engels, *H. Liu, K. Schneider, J. Nave. Aerodynamic Ground Effect in Fruitfly Sized Insect Takeoff, *PLoS one*, doi: 10.1371/journal.pone.0152072 (2016)
 - 10) G. Li, U. Müller, J. van Leeuwen, *H. Liu, Fish Larvae Exploit Edge Vortices along Their Dorsal and Ventral Fin Folds to Propel Themselves. *J. R. Soc. Interface*, **13**, 2016 0068 (2016).

- 11) W. Shyy, C. Kang, P. Chirarattananon, S. Ravi, H. Liu, Aerodynamics, sensing and control of insect-scale flapping-wing flight, *Proc. R. Soc. A.*, **472**(2186), 2015 0712 (2016). (*invited*)
- 12) X. Guo, D. Chen, *H. Liu. Does a revolving wing stall at low Reynolds numbers? *J. Biomech. Sci. Eng.* **10**(4): 15-00588 (2015).
- 13) T. Nakata, H. Liu, R. Bomphrey. A CFD-informed quasi-steady model of flapping wing aerodynamics. *J. Fluid Mech.*, **783**, 323-343 (2015).
- 14) H. Tanaka, H. Okada, Y. Shimasue, *H. Liu. Flexible flapping wings with self-organised microwrinkles. *Bioinspir. Biomim.* **10**(4): 046005 (2015).
- 15) R. Noda, T. Nakata, *H. Liu. Body flexion effect on the flight dynamics of a hovering hawkmoth. *J. Biomech. Sci. Eng.* **9**(3): 14-00409 (2014).
- 16) G. Li, U. K. Müller, J. L. van Leeuwen and *H. Liu. Escape trajectories are deflected when fish larvae intercept their own C-start wake. *J. R. Soc. Interface*, **11**: 20140848 (2014).
- 17) R. Noda, T. Nakata, *H. Liu. Effects of wing deformation on aerodynamic performance of a revolving insect wing. *Act. Mech. Sin.* **30**(6), 819-827 (2014).
- 18) Q. Xiao, J. Hu, H. Liu. "Effect of torsional stiffness and inertia on the dynamics of low aspect ratio flapping wings". *Bioinspir. Biomim.* doi:10.1088/1748-3182/9/1/016008, (2014).
- 19) M. Maeda, *H. Liu. Ground Effect in Fruit Fly Hovering: A Three-dimensional Computational Study. *J. Biomech. Sci. Eng.* **8** (4), 344-355 (2013).
- 20) *H. Liu, H. Aono, H. Tanaka. Bio-inspired Air Vehicles for Mars Exploration. *Acta Futura*, **6**, 81-95 (2013). (*invited*)
- 21) Noda, R., Maeda, M., *H. Liu. Effect of Passive Body Deformation of Hawkmoth on Flight Stability. *Advances in Intelligent Systems and Computing* **193** AISC, 1:835-842 (2013).
- 22) H. Aono, H. Liu. Flapping Wing Aerodynamics of a Numerical Biological Flyer Model in Hovering Flight. *Comput. Fluids.* **85**, 85-92 (2013).
- 23) Gen Li, Ulrike Muller, Johan van Leeuwen, *H. Liu. Body dynamics and hydrodynamics of swimming fish larvae: a computational study. *J. Exp. Biol.* **215**, 4015-4033 (2012).
- 24) T. Nakata, *H. Liu. Aerodynamic performance of a hovering hawkmoth with flexible wings: a computational approach. *Proc. R. Soc. Biol.* **279**(1729), 722-731 (2012).
- 25) T. Nakata, *H. Liu. A fluid-structure interaction model of insect flight with flexible wings". *J. Comput. Phys.* doi:10. 1016/j.jcp.2011. 11.005 (2012).
- 26) T. Kuboki, *S. Kidoaki. Fabrication of Elasticity-Tunable Gelatinous Gel for Mesenchymal Stem Cell Culture. *Met. Mol. Biol.* **1416**, 425-441 (2016)
- 27) *F. Kantawong, T. Kuboki, S. Kidoaki. Redox Gene Expression of Adipose-Derived Stem Cells in Response to Soft Hydrogel. *Turk. J. Biol.*, **39**, 682-691 (2015)
- 28) A. Ueki, *S. Kidoaki. Manipulation of Cell Mechanotaxis by Designing Curvature of the Elasticity Boundary on Hydrogel Matrix. *Biomaterials*, **41**, 45- 52 (2015)
- 29) T. Kuboki, *W. Chen, *S. Kidoaki. Time-Dependent Migratory Behaviors in the Long-Term Studies of Fibroblast Durotaxis on a Hydrogel Substrate Fabricated with a Soft Band. *Langmuir*, **30**, 6187-6196 (2014)
- 30) H. Sakashita, *S. Kidoaki. Rectified Cell Migration on Saw-Like Micro-Elastically Patterned Hydrogels with Asymmetric Gradient Ratchet Teeth. *PLOS One*, **8**, e78067 (2013)
- 31) H. Yoshikawa, T. Kawano, T. Matsuda, S. Kidoaki, M. Tanaka. "Morphology and Adhesion Strength of Myoblast Cells on Photocurable Gelatin under Native and Non-Native Micromechanical Environments. *J. Phys. Chem., Part B*, **117**, 4081-4088 (2013)
- 32) T. Kuboki, F. Kantawong, R. Burchmore, M.J. Dalby, *S. Kidoaki. 2D-DIGE Proteomic Analysis of Mesenchymal Stem Cell Cultured on the Elasticity-Tunable Hydrogels. *Cell Struct. Funct.*, **37**, 127-139 (2012)
- 33) M. Horning, S. Kidoaki, T. Kawano, *K. Yoshikawa. Rigidity-Matching between Cells and the Extracellular Matrix Leads to the Stabilization of Cardiac Conduction. *Biophys. J.* **102**, 379-387 (2012)
- 34) *N. Ando, S. Emoto, R. Kanzaki. Insect-Controlled Robot: A Mobile Robot Platform to Evaluate Odor-Tracking Capability of an Insect. *J. Vis. Exp.* **118** e54802 (2016)
- 35) *N. Ando, R. Kanzaki. Flexibility and Control of Thorax Deformation during Hawkmoth Flight. *Biol. Lett.* **12**, 20150 733 (2016)
- 36) *N. Ando, R. Kanzaki. A Simple Behaviour Provides Accuracy and Flexibility in Odour Plume Tracking-the Robotic Control of Sensory-Motor Coupling in Silkmoths. *J. Exp. Biol.* **218**, 3845-3854 (2015)
- 37) *T. Ueyama, J. Son, T. Kobayashi, T. Hamada, T. Nakamura, H. Sakaguchi, T. Shirafuji, *N. Saito. Negative Charges in the Flexible N-Terminal Domain of Rho GDP-Dissociation Inhibitors (RhoGDIs) Regulate the Targeting of the RhoGDI-Rac1 Complex to Membranes. *J. Immunol.* **191**, 2560-2569 (2013)
- 38) G. Ito, T. Kobayashi, Y. Takeda, *M. Sokabe. Proteoglycan from Salmon Nasal Cartilage Promotes in Vitro Wound Healing of Fibroblast Mono-layers via the CD44 Receptor. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **456**, 792-798 (2015)
- 39) K. Maeda, *A. Enomoto, A. Hara, N. Asai, T. Kobayashi, A. Horinouchi, S. Maruyama, Y. Ishikawa, T. Nishiyama, H. Kiyoi, T. Kato, K. Ando, L. Weng, S. Mii, M. Asai, Y. Mizutani, O. Watanabe, Y. Hirooka, H. Goto, *M. Takahashi. Identification of Meflin as a Potential Marker for Mesenchymal Stromal Cells. *Sci. Rep.* **6**, 22288 (2016)
- 40) Hiroshi Matsui, Gavin R. Hunt, Katja Oberhofer, Naomichi Ogihara, Kevin J. McGowan, Kumar Mithraratne, Takeshi Yamasaki, Russell D. Gray and Ei-Ichi Izawa. Adaptive bill morphology for enhanced tool manipulation in New Caledonian crows. *Sci.Rep.* **6**, doi:10. 1038/srep 22776. (2015)

〔学会発表〕(代表的なもの)

【招待講演 (国際)】(7件/21件)

- 1) H. Liu, C. Rao, T. Ikeda. Solving the trade-off between flow separation and force generation in owl flight: a computational study. *The 5th Intl Conf Bionic Engineering (ICBE2016)*, Ningbo, China 2016. (keynote)
- 2) H. Liu, Learn From Nature: Bio-inspired Flight System and Biomimetic Micro Air Vehicles. *Shen Zhen-Hong Kong Workshop on Robotics*, Shen Zhen, January 22-24, 2015. (plenary)
- 3) H. Liu, M. Maeda, R. Noda, C. Rao, H. Tanaka. Flexible wings can enhance aerodynamic performance and dynamic stability in flapping-wing flights, *World Congress of Biomechanics (WCB2014) 2014/7*, Boston, USA, 2014/7.
- 4) H. Liu, Bio-inspired Mechanical Systems and Biomimetics in Bio-flights, *The 15th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME2013)*, Singapore, 2013/12. (keynote)
- 5) S. Kidoaki, A. Ueki, "Manipulation of cell mechanotaxis by designing curvature of the elasticity boundary on hydrogel matrix", 27th European Conference on Biomaterials ESB2015, Kraków, Poland, Aug. 30, 2015.
- 6) N. Ando, R. Kanzaki, "Flexible and Controllable Deformation of the Thorax during Flight of the Hawkmoth", 8th Asian-Pacific Conference on Biomechanics, Sapporo, Japan, Sept. 19, 2015.
- 7) T. Kobayashi, M. Sokabe. Roles of stress fiber tension in gravity sensing of mesenchymal stem cells. International Symposium on Mechanobiology 2014, Okayama, Japan, May 21, 2014.

【依頼/招待講演 (国内)】(計22件)

〔図書〕(7件/15件)

- 1) *H. Liu, T. Nakata, G. Li, D. Kolomenskiy, Biomechanics and Biomimetics in flying and swimming, "Industry Biomimetics". *Pan Stanford Publishing*. 2017. (in press) (分担54頁)
- 2) 劉浩, 生物の形や能力を利用する学問-バイオミメティクス-: 飛行の原理(第4章1節)(編集: 篠原現人・野村周平), 東海大学出版会, 20-27, 2016.
- 3) 劉浩, 飛躍するドローン-マルチ回転翼型無人航空機の開発と応用研究、海外動向、リスク対策まで-: 超小型飛行体(第1章3節), エヌ・ティー・エス出版社, 39-47, 2015.
- 4) W. Shyy, H. Aono, C. Kang, H. Liu, An Introduction to Flapping Wing Aerodynamics, *Cambridge University Press*, 1-297, 2013.
- 5) H. Liu, X. Wang, T. Nakata, K. Yoshida, Autonomous Control Systems and Vehicles: Aerodynamics and Flight Stability of Bio-inspired Flapping-Wing Micro Air Vehicles, (edited by K. Nonami), *Springer*, 2012. (分担16頁)
- 6) 木戸秋悟, 小林剛, "第22章 再生工学におけるメカノバイオロジーII: 創傷治癒/基質硬度検知/基質工学", *メカノバイオロジー*, 化学同人, 273-281 (2015)
- 7) M. Sokabe, M. Sawada, T. Kobayashi, Ion Channels Activated by Mechanical Forces in Bacterial and

Eukaryotic Cells, *High Pressure Bioscience, Basic Concepts, Applications and Frontiers*, **72**, 613-626 (2015)

〔総説/解説〕(計13件)

〔産業財産権〕

出願状況(計4件)

- 1) 劉浩, 藤井武夫, 小久保康太, 口一タ(発明者, 権利者), 特願 2017-006707, 2017年1月.(国内・国外)
- 2) 劉浩, 藤井武夫, 吉村亮祐(発明者 権利者), 口一タ, 特願 2014-261641, 2014年12月.(国内・国外)
- 3) 劉浩, 藤井武夫(発明者, 権利者), 口一タ, 特願 2013-112137, 2013年5月.(国内・国外)
- 4) 木戸秋悟, 内海彩香, 江藤浩之(発明者, 権利者), 人工多能性幹細胞の培養方法及び培養材料, 国立大学法人九州大学、国立大学法人京都大学, 特願 2014-39524, 2014年2月28日.(国内)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

劉 浩 (LIU HAO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40303698

(2) 研究分担者

木戸秋語 (KIDOAKI SATORU)
九州大学・先導物質化学研究所・教授
研究者番号: 10336018
小林 剛 (KOBAYASHI TSUYOSHI)
名古屋大学・医学研究科・講師
研究者番号: 40402565
安藤 規泰 (ANDO NORIYASHI)
東京大学・先端科学技術研究センター・講師
研究者番号: 70436591
山崎 剛史 (YAMAZAKI TAKESHI)
公益財団法人山階鳥類研究所・自然誌研究室・研究員
研究者番号: 70390755

(3) 連携研究者

神崎 亮平 (KAZAKI RYOHEI)
東京大学・先端科学技術研究センター・教授
研究者番号: 40221907
青野 光 (AONO HIKARU)
東京理科大学・工学部機械工学科・嘱託助教
研究者番号: 10623712
田中 博人 (TANAKA HIROTO)
東京工業大学・工学院機械系・准教授
研究者番号: 80624725
中田 敏是 (NAKATA TOSHIYUKI)
千葉大学・大学院工学研究科・特任助教
研究者番号: 80793190
室崎 喬之 (MUROSAKI TAKAYUKI)
旭川医科大学医学部・一般教育化学・助教
研究者番号: 90526831