

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656178

研究課題名(和文) 自励駆動する筋繊維を模倣したナノファイバーゲルアクチュエータの創製

研究課題名(英文) Development of a autonomous nanofiber gel actuator

研究代表者

原 雄介 (Hara, Yusuke)

独立行政法人産業技術総合研究所・ナノシステム研究部門・主任研究員

研究者番号：90452135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本申請課題では、ゲルアクチュエータの微細化に関する問題点(微細な鋳型を必要とする点、素子に対して非常に大きな外部制御装置を必要とする点)を解決することを目指して検討を行った。鋳型を用いることなく微細なゲルアクチュエータを作製するため、エレクトロスピンニング法(EL法)を採用した。Belousov-Zhabotinsky(BZ)反応をエネルギー源として駆動する自励振動高分子をEL法の出発原料として採用し、ポリマー鎖の水溶性をコントロールすることで耐水性に優れたナノファイバーゲルの作製に成功した。

研究成果の概要(英文)：The object of this study is to improve the manufacture method of the small gel actuator. To construct autonomous nanofiber gel actuator without the mold, this study adopted the electrospinning(EL) method. The self-oscillating polymer chain was selected as the starting material for the EL method because the external control devices are not necessary to drive the self-oscillating polymer chain. This study clarified that the control of the solubility of the self-oscillating polymer chain is necessary to construction of the nanofiber gel actuator with the water resistance. Finally, we succeeded in the manufacturing the nanofiber gel actuator by the EL method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：アクチュエータ ゲル 高分子 ソフトロボット エレクトロスピンニング ナノファイバー

1. 研究開始当初の背景

高分子ゲルアクチュエータは、軽量・柔軟・成形加工性の高さを特徴とし、有機材料で構成されているため金属疲労が発生せず、無音・無発熱で駆動することを特徴としている。高分子素材の柔軟性から、電磁モーターやギヤからなるアクチュエータと比較して、非常に柔らかい動きを簡単に作り出すことができる。高分子ゲルアクチュエータのスケール普遍性から、マクロなゲルアクチュエータの開発に成功すれば、微細化しても同様の働きが得られる。ゲルアクチュエータを微細化するためには、微細な鋳型が必要不可欠である。鋳型の微細化を半導体微細加工技術に頼ることもできるが、高コストである上に、鋳型との脱着作業が煩雑で、脱着時に破損することも多い。そのため、鋳型を必要とせず微細なゲルアクチュエータを作製する技術が切望されていた。また一方、微細なゲルアクチュエータを作製できたとしても、アクチュエータ素子に対して非常に大きな外部制御装置が必要不可欠なことも問題視されていた。大きな外部装置が必要では、システム全体のスケールダウンが難しいため、アクチュエータ微細化の意義が損なわれてしまう。生命体同様に外部装置に頼ることなく、化学反応を駆動源とするエネルギー効率の高い微細なゲルアクチュエータの創製が切望される状況にあった。

2. 研究の目的

ゲルは筋肉と同様なスケール普遍性を有するため、微細なアクチュエータを作製することが可能である。しかしながら、微細

なゲルの合成には微細な鋳型を必要し、また駆動時には微細なアクチュエータ素子に対して非常に大きな外部制御装置が必要であった。大きな外部装置が必要では、微細化の意義が損なわれてしまう。本申請課題では、ゲルアクチュエータの微細化に関する2つの問題点(微細な鋳型を必要とする点 素子に対して非常に大きな外部制御装置を必要とする点)を解決する方法論を提案することを目的とした。具体的には、鋳型を用いることなく化学反応をエネルギー源として駆動する自励振動ナノファイバーゲルを作製することを目標とした。

3. 研究の方法

本申請課題では、ゲルアクチュエータの微細化に関する上記2点の問題点(微細な鋳型を必要とする点 素子に対して非常に大きな外部制御装置を必要とする点)を解決することを目指して研究方法の検討を行った。鋳型を用いることなく微細なゲルアクチュエータを作製するため、本研究課題ではエレクトロスピンニング法(EL法)を用いて、鋳型フリーの微細なゲルアクチュエータの作製法を検討した。EL法は、高分子の溶液に高電圧を印加することにより電氣的に繊維を作製する方法である。また、外部制御装置・外部電源に頼らず微細なゲルアクチュエータを駆動させるため、Belousov - Zhabotinsky(BZ)反応に同期して駆動する自励振動高分子をEL法の出発原料として採用した。

4 . 研究成果

振動反応である BZ 反応を化学エネルギー源として駆動する自励振動高分子を合成し、EL 法の出発原料として用いた。印加電圧等、高分子濃度等の条件検討を行うことで、自励振動高分子を出発原料としたナノファイバーゲルを作製することに成功した。研究の過程において、EL 法を用いたナノファイバーゲルを作製するためには、出発原料である高分子鎖の溶解性をコントロールする必要があることが明らかになった。本研究では、これまで開発されてきた自励振動高分子に疎水性の高い部位を導入することにより高分子鎖の耐水性を強化し、水中においても分散しないナノファイバーゲルの開発に成功した。さらに本研究では、ナノファイバーゲルを構成する高分子鎖の自励振動挙動を、QCM-D (Quartz Crystal Microbalance with Dissipation monitoring system)法を用いて詳細に解析を行った。QCM-D 法による測定によって、自励振動現象にともない高分子鎖の水和構造が周期的に変化することが明らかとなった。また、それにとまって高分子鎖の硬さが、周期的に変化することを捉えることにも成功した。本研究で得られた様々な知見を活かして、現状ではゲルアクチュエータを動力源とするポンプ材料へと発展させることを目指して検討を行っている。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

- 1) **Y. Hara***, M. Saiki, T. Suzuki, K. Kikuchi “A Meniscus-Climbing Gel Robot” *Chemistry Letters*, 2014, 43,

pp.938-940.

- 2) **Y. Hara***, H. Mayama, Y. Yamaguchi, K. Fujimoto, “Activation energy of the Belousov–Zhabotinsky reaction in a gel with Fe(bpy)₃ catalyst” *Chemistry Letters*, 2014, 43 (5), pp.673-675.
- 3) **Y. Hara***, H. Mayama, K. Morishima, “Generative Force of Self-oscillating Gel” *The Journal of Physical Chemistry B*, 2014, 118(9), pp.2576-2581.
- 4) **Y. Hara***, H. Mayama, Y. Yamaguchi, “Switching the BZ Reaction with a Strong-Acid-Free Gel” *The Journal of Physical Chemistry B*, 2014, 118 (2), pp 634–638.
- 5) **Y. Hara***, Y. Takenaka “Autonomous Oscillation of Polymer Chains induced by the Belousov–Zhabotinsky reaction”, *Sensors*, 2014, 14(1), pp. 1497-1510.
- 6) **Y. Hara***, K. Fujimoto, H. Mayama “Self-Oscillation of Polymer Chains with an Fe(bpy)₃ Catalyst Induced by the Belousov–Zhabotinsky Reaction” *The Journal of Physical Chemistry B*, 2014, 118 (2), pp 608–612.
- 7) **Y. Hara***, H. Mayama, Y. Yamaguchi, Y. Takenaka, R. Fukuda “Direct Observation of Periodic Swelling and Collapse of Polymer Chain Induced by the Belousov-Zhabotinsky Reaction”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 2013, 117 (46), pp.

14351-14357.

- 8) **Y. Hara*** “Autonomous Oscillation of Nonthermoresponsive Polymers and Gels Induced by the Belousov-Zhabotinsky Reaction” *Chemosensors* 2013, 1(2), pp. 3-20.
- 9) **Y. Hara*** and R. A. Jahan “Activation Energy of Aggregation-Disaggregation of Self-Oscillation of Polymer Chain” *International Journal of Molecular Science*, 2012, 13(12), pp.16281-16290.

〔学会発表〕(計9件)

- 1) **原 雄介**, 眞山博幸, 山口佳則, 武仲能子 “自励振動型高分子の水和・脱水和振動の直接観察” 第23回「非線形反応と協同現象」研究会 (H25.12 北海道大学)
- 2) **原 雄介** “完全人工合成型ケミカルロボットの創製” 「細胞を創る」研究会 6.0, (H25.11 鶴岡市先端研究産業支援センター).
- 3) **原 雄介** “化学反応を駆動源とする羽ばたき型ゲルロボットの創製” 第9回「学際領域における分子イメージングフォーラム」(H25.10 JAXA 調布航空宇宙センター).
- 4) **原 雄介** “化学反応を駆動源とする自励振動ゲルアクチュエータの開発とマイクロ流体素子への応用” マイクロ・ナノ医療機器開発研究会 第5回研究会 (H25.7 科学技術交流財団)

- 5) **原 雄介** “ポリマー鎖自励振動の直接観察” 第7回自己組織化討論会 (H25.6 東京).
- 6) **Y. Hara** “Autonomous polymer actuators” AROB 18th, (H25.1 Daejeon, Korea).
- 7) **原 雄介** “ポリマー鎖自励振動の活性化エネルギーに関する研究”, 第22回「非線形反応と協同現象」研究会 (H24.12 お茶の水女子大学).
- 8) **Y. Hara** “Chemical Energy-driven Soft Robots -Molecular Design and Functional Control of Novel Self-Oscillating Polymers-” Let’s Talk about the Future of Robotics 未来のロボティクスを語ろう(H24.11 東北大学).
- 9) **原 雄介** “新規自励振動型ポリマーの振動挙動に関する研究”, 第6回自己組織化討論会 (H24.7 つくばセミナーハウス).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

なし

6．研究組織

(1)研究代表者

原 雄介（HARA, Yusuke）

研究者番号：90452135

(2)研究分担者

（ ）

研究者番号：

(3)連携研究者

（ ）

研究者番号：