

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03209

研究課題名(和文) レーザー合成技術を駆使した鋳型フリーの自励振動マイクロゲルアクチュエータの開発

研究課題名(英文) Synthesis of a self-oscillating microgel actuator by laser

研究代表者

原 雄介 (Hara, Yusuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・研究グループ長

研究者番号：90452135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイクロ流路等の微小な空間において、レーザー光を用いることで鋳型を用いることなくマイクロゲルアクチュエータを合成することを目指した。微小空間において、ゲルアクチュエータを自励駆動させるため、本研究では化学反応を直接的に力学的なエネルギーに変換して駆動するゲルを用いて検討を行った。干渉させたレーザー光で任意の大きさや構造周期を持つマイクロスケールのゲルを合成するため、モノマー、架橋剤、開始剤、反応促進剤等の組成および濃度の検討を行った。ゲルの駆動評価は、温度一定の条件でBZ基質濃度の影響について検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、幅広い分野で微量分析に応用されているマイクロ流路等に利用可能な、ゲルアクチュエータに関する技術開発である。生体同様にソフトでウェットな性質を持つゲルアクチュエータは、微小化しても筋肉同様に性能を維持することが可能である。本研究では微小なゲルアクチュエータを、干渉したレーザー光で作製する手法を提案した。このような技術を発展させることにより、マイクロ流路等を用いた分析技術の発展に貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to synthesize the micro-sized gel actuator without using the template by using interfered laser lights in the micro space such as the microchannel. In order to drive the gel actuator autonomously in the small space, we used the gel actuator that drives converting chemical energy to mechanical energy directly. The composition ratio and concentration for monomers, cross-linking agents, initiators, and reaction accelerators were investigated to synthesize microscale gels by interfered laser lights. The driving state of the gel actuator was evaluated by changing the concentration of the BZ substrates in the constant temperature conditions.

研究分野：高分子ゲル

キーワード：ゲル アクチュエータ レーザー 合成技術 マイクロ流路 BZ反応 微細構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微細加工技術の発展により、マイクロ流路等の微小な空間で活躍するソフトアクチュエータの必要性が高くなっている。ソフトアクチュエータの1つである高分子ゲルアクチュエータは、筋肉同様にスケール普遍性を有するため、スケールによらず同程度の効率で力を出すことができる。高分子ゲルをマイクロメートルオーダーまで微小化するためには、微小な鋳型が必要になる。微小な鋳型を半導体微細加工技術に頼ることもできるが、鋳型が高コストである上、鋳型との脱着時にゲルが破損する可能性が高いことが問題視されていた。そのため、鋳型を必要とせず、マイクロゲルアクチュエータを微小な空間で直接的に作製する技術の開発が望まれていた。また、マイクロゲルアクチュエータを作製できたとしても、ゲルアクチュエータを動かすためには、ゲルアクチュエータ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、アクチュエータの微小化の意義が損なわれてしまう。大きな外部制御装置を必要とせず、生命体同様に化学的なエネルギーを直接的に力学的なエネルギーに変換可能なマイクロゲルアクチュエータの開発が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では、鋳型を用いず微小なゲルアクチュエータをマイクロ流路内等の微小な空間で直接的に合成することを目指して、レーザー光の干渉技術を用いた鋳型フリーのゲル合成法技術の開発を目指した。また、微小空間において、ゲルアクチュエータを電場や磁場等を用いることなく駆動させるため、本研究では化学的なエネルギーを直接的に力学的なエネルギーに変換して駆動するゲルを用いて主に検討を行った。化学的なエネルギーとして、振動反応として広く知られる **Belousov-Zhabotinsky (BZ)** 反応を採用した。このような化学反応によって自励駆動するゲルアクチュエータは、従来の刺激応答性高分子ゲルとは異なり、外部装置による制御無しに有機酸を直接的に力学的なエネルギーに変換して自励的に膨潤・収縮運動を行うことができる。自励振動ゲルは、**BZ** 反応の触媒として働く金属錯体を高分子主鎖に共重合することで機能を発現することができる。**BZ** 反応中では金属錯体の荷電状態が周期的に変化するが、その周期的な荷電状態の変化によって触媒の溶解性が周期的に変化する。それにもなると、金属触媒を主鎖に共重合したゲルの吸水率が周期的に変化するため、ゲルは自励的な膨潤・収縮運動を起こすことができる。本研究では、干渉したレーザー光を用いることで、鋳型を用いることなく微小な空間で直接的に自励駆動するゲルアクチュエータを作製することを目指した。

3. 研究の方法

本研究では、鋳型を用いずマイクロ流路等の微小な空間で直接的にゲルを合成するため、干渉させたレーザー光をプレゲル溶液に照射可能なシステムの開発を行った。開発したレーザー照射システムでは装置製作コストを抑えるため、安価な 405nm の連続光・半導体レーザーを採用した。2本から4本のレーザー光を干渉させることが可能な光学系システムを構築し、数百 μm の

微小なゲル構造体の作製を目指した。また、レーザー光を照射するプレゲル溶液を最適化するため、モノマー、架橋剤、開始剤、反応促進剤等の組成および濃度に関する検討を行った。合成物の評価は、温度を一定に維持した状態においてマイクロスコープを用いて行った。

4 . 研究成果

本研究では、鋳型を用いずマイクロ流路等の微小な空間で直接的にゲルを合成するため、干渉させたレーザー光によってゲルを合成する手法の確立を目指した。本研究では 405nm の連続光・半導体レーザーを 2 本から 4 本干渉させることで、数百 μm の微小な構造物の合成を目指した。構築した光学系システムでは、2 本のレーザー光を干渉させると縞状のパターンを形成することができ、また 3 本または 4 本のレーザー光を干渉させるとドットアレイ状のレーザー干渉光を形成することができる。構築した光学系システムではレーザー光を調整するため、偏光方向を制御する波長板と偏向選択性のあるビームスプリッターを採用した。ゲルは化学反応を直接的に力学的なエネルギーに変換させるため、BZ 反応の金属触媒である $\text{Ru}(\text{bpy})_3$ を共重合させた。干渉させたレーザー光によってゲルを合成するため、モノマー、架橋剤、開始剤、反応促進剤等の組成および濃度の検討を行った。ゲルの主鎖に共有結合した $\text{Ru}(\text{bpy})_3$ 部位は BZ 反応液中で、周期的な酸化・還元反応を起こす。ゲルは、酸化状態では緑色に、また還元状態では赤色となるため、目視によってゲルの状態を確認することができる。BZ 反応溶液中において、 $\text{Ru}(\text{bpy})_3$ 部位はゲルの主鎖内で酸化還元状態が変化するとその水溶性が変化するため、ゲルは周期的な膨潤収縮運動を起こすことができる。ゲルの駆動には温度が大きく影響するため、本研究では恒温水槽を用いてゲルの温度状態を制御しながら検討を行った。また、ゲルの駆動には BZ 反応基質である臭素酸ナトリウム、マロン酸、硝酸などの濃度が大きく影響するため、その影響についても検討を行った。現在、研究成果について、論文等への投稿準備を進めている。

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 3件）

1. 著者名 Tomoka Nakazumi、Yusuke Hara	4. 巻 130
2. 論文標題 Effect of polymer concentration on the lifetime and transmittance behavior of a self-oscillating polymer chain with a high lower critical solution temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 07002 ~ 07002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1051/matecconf/201713007002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tomoka Nakazumi、Yusuke Hara	4. 巻 242
2. 論文標題 Analysis of self-oscillating behaviors aimed at the development of a molecular robot with organic acids as fuel	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012095 ~ 012095
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1757-899X/242/1/012095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tomoka Nakazumi、Yusuke Hara	4. 巻 130
2. 論文標題 Influence of the Belousov-Zhabotinsky substrate concentration on the lifetime and self-oscillating behavior of a polymer solution	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 07003 ~ 07003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1051/matecconf/201713007003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 6件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 原 雄介、中住 友香
2. 発表標題 自励振動ゲルを動力源とするマイクロ流体素子の開発
3. 学会等名 日本油化学会第58回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 Self-oscillating polymer chains and gels for autonomous soft robots
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 Development of self-oscillating gel actuators for application to microfluidic devices and soft robots
3. 学会等名 アクティブマター研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 新規自励振動ゲルアクチュエータの開発とPOCTへの応用について
3. 学会等名 九州大学 先導物質化学研究所 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 POCTの実現を目指したポンプ一体化型マイクロチップの開発
3. 学会等名 公益社団法人日本油化学会若手の会委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Hara
2. 発表標題 Self-oscillating polymer gel actuators for chemical robots
3. 学会等名 The International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 自励振動ゲルアクチュエータの開発とケミカルロボティクスの開拓研究
3. 学会等名 福岡工業大学 総合研究機構 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原 雄介
2. 発表標題 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ケミカルロボティクスの開拓研究
3. 学会等名 有機エレクトロニクス材料研究会 第222回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara
2. 発表標題 Analysis of self-oscillating behaviors aimed at the development of a molecular robot with organic acids as fuel
3. 学会等名 The 2017 International Conference on Materials Science and Mechanical Manufacturing Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara
2. 発表標題 Effect of polymer concentration on the lifetime and transmittance behavior of a self-oscillating polymer chain with a high lower critical solution temperature
3. 学会等名 The International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara
2. 発表標題 Influence of the Belousov-Zhabotinsky substrate concentration on the lifetime and self-oscillating behavior of a polymer solution
3. 学会等名 The International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原 雄介、中住 友香
2. 発表標題 病原菌の即時分析システムの開発を目指したマイクロチップの研究
3. 学会等名 日本スポーツ歯科医学会 第28回総会・学術大会
4. 発表年 2017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	中住 友香 (Nakazumi Tomoka) (80738021)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・研究員 (82626)	