

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04391

研究課題名（和文）高速駆動するゲルポンプを内蔵したマイクロ流路分析システムの創製

研究課題名（英文）Development of a microfluidic analytical system with a built-in gel pump

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・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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：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可能な自励振動ゲルアクチュエータを、マイクロ流路内に配置したポンプの動力源として応用し、微量な溶液を輸送可能なポンプ一体化型マイクロ流路分析システムの開発を目指した。本研究ではマイクロ流路の形状最適化や、自励振動ゲルアクチュエータの駆動周波数を決定する振動反応組成の検討を詳細に行った。またより安全にマイクロ流路を使用可能にするため、強酸を使用しない環境でも駆動させることが可能な溶液組成について合わせて検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、POCTの実現を目指して、高精度・迅速・安価に検査を行えるマイクロ流路を用いた分析システムの研究開発が進められている。現状のシステムでは、ポンプとマイクロ流路を検査の度に接続する必要があり、接続の技術的な問題や、コンタミネーションの問題を抱えていた。本研究ではこのような問題を解決するため、化学反応によって駆動する自励振動ゲルアクチュエータを、ポンプの動力源として採用したマイクロ流路とポンプが一体化したディスプレイ分析システムの開発を行った。このような医療分析技術の進展を目標とした、新たな分析システムの開発知見は、学術的なインパクトが高く、社会的意義も高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, the self-oscillating gel actuators that can directly convert chemical reactions into mechanical energy is applied as a power source for a pump placed in a microchannel for transportation of a small amount of solution. For this purpose, we investigated the shape optimization of the microchannel and the solution composition for the self-oscillating reaction to control self-oscillating polymer gel actuators. In addition, in order to use the microchannel more safely, we also investigated the solution composition without using strong acid to drive the self-oscillating gel actuators.

研究分野：マイクロ流路分析システム

キーワード：ゲル アクチュエータ マイクロ流路

1. 研究開始当初の背景

ゲルアクチュエータは筋肉同様にスケール普遍性を有しており、切削や小さな鋳型の中で合成することで容易に微小化が可能である。また水溶性ゲルの内部に存在する水の中で化学反応を起こすこともできるため、生命体のように内部で起こる化学反応を利用してゲルを駆動させることも可能である。ゲルの主鎖を構成する金属触媒を含めた振動反応 (**Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応**) を起こした場合、金属触媒の酸化還元状態が周期的に変化することに起因してゲルの膨潤度が周期的に変化するため、ゲルを心筋細胞のように周期的に駆動させることができる。このような振動反応によって起こるゲルの自励振動は、通常のアクチュエータのように外部電源や外部コントローラーを必要とせず、化学反応のみで駆動させることが可能なため、アクチュエータシステム全体の微小化や軽量化が可能である。このような機械的なアクチュエータには見られない特徴を活かして、マイクロ流路内部で働くマイクロ流体素子の動力源としてゲルアクチュエータを活用する方法の検討が進んでいる。近年、「ベットサイド診断」といった定義がなされている **POCT (Point of Care Testing)** の実現を目指して、高精度・迅速・安価に患者の傍で検査を行えるマイクロ流路を用いた分析システムの研究開発が進められている。マイクロ流路の内部で血液や唾液などの検体を分析する際に、マイクロ流路内部で検体を含んだ溶液を送液するポンプが必要不可欠となる。現状では主に、マイクロ流路にシリンジポンプを接続して微量な液体の送液を行っているが、患者の身近での検査をより身近にするためには場所を選ばず使用可能な新たなポンプが必要不可欠となる。またマイクロ流路自体はプラスチックで安価に作製可能なため使い捨て利用ができるが、現状ではポンプは使い捨てにできるほど安価ではないため、使用する度にポンプとマイクロ流路を接続する必要がある。現状では、シリンジポンプを使用することが一般的であるが、ポンプとマイクロ流路との接続部分には高い圧力がかかるため、漏れのないよう確実に接続を行うためには高いスキルが必要とされる。また医療にかかわる分析用途の場合には、ポンプとマイクロチップの接続作業を注意深く行わないとコンタミネーション (異物混入) のリスクがあり、ポンプを含めたディスポーサル化が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究課題では現状の問題点を解決するため、ポンプとマイクロチップが一体化したディスポーサルタイプのマイクロ流路分析システムの実現を目指した。本研究では、外部からバッテリーなどのエネルギー供給無しに膨潤収縮運動をさせることが可能な自励振動ゲルアクチュエータを、マイクロ流路内の分析には必要不可欠なポンプの動力源として活用することを提案した。自励振動ゲルアクチュエータのエネルギー源は化学反応であるため、溶液とゲルを接触させることができれば、基本的にどこでも微小ポンプをマイクロ流路内部で動かすことができる。また、ゲルアクチュエータは **90%** 以上が水で構成されているため、

非常に安価であることも特徴の1つである。

3．研究の方法

本研究では、ゲルアクチュエータを動力源として、実用レベルでマイクロ流路中の溶液を送液可能なポンプが一体化されたマイクロ流路分析システムを開発するため、自励振動ゲルアクチュエータに求められる基本性能(形状・駆動周波数など)について電場応答型のモデルアクチュエータを用いて算出することを目指した。またゲルアクチュエータの駆動には化学反応源となる溶液が必要となるため、ゲルアクチュエータと分析対象となるバイオ系試料(DNAやタンパク質等)が接触しないよう、完全に分離する必要性があった。このような要請を満たすため、送液する溶液とBZ反応溶液の間にゴム材料を置くことで、溶液の分離を可能にするとともにゲルアクチュエータの動力を伝えることが可能なマイクロ流路の設計を行った。また自励振動ゲルアクチュエータは、Belousov-Zhabotinsky(BZ)反応によって駆動されるため、ゲルアクチュエータの駆動周期はBZ反応に依存することになる。自励振動ゲルアクチュエータの駆動を制御するため、駆動周波数の決定要因となるBZ反応組成(マロン酸、臭素酸ナトリウム等)や反応温度についても詳細な検討を行った。

4．研究成果

ポンプ一体化型マイクロ流路に適したアクチュエータの形状や駆動周波数を探索するため、容易に形状や駆動周波数のコントロールが可能な電場応答型のゲルアクチュエータを用いて検討を行った。低い駆動周波数領域においては、ゲルアクチュエータの駆動周波数とほぼ同期してマイクロ流路内部の溶液を送液可能であった。また同期していない2つ以上のゲルアクチュエータを用いても、溶液は送液可能であった。自励振動ゲルアクチュエータは、数ミリ角程度まで小さくしてもポンプの動力源として機能することを確認しているため、従来型のポンプよりも格段に小さいポンプを内包したマイクロ流路分析システムを製作可能である。自励振動ゲルアクチュエータの駆動制御を行うため、BZ反応組成や反応温度条件について検討を行った。BZ反応溶液の組成を詳細に検討した結果、溶液濃度や反応温度によってゲルアクチュエータの駆動周波数を制御可能なことを掴んだ。ゲルポンプ一体化型マイクロ流路の実使用場面を考えた場合、BZ反応の主成分である強酸(硝酸、硫酸など)の使用を避けた方がより安全にマイクロ流路を使用することができる。そのため、本研究では硝酸や硫酸を用いることなくBZ反応を起こすことができる反応組成についても、合わせて詳細に検討を行った。今後、本研究の成果を纏めて、学会や論文等で発表する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. Wu, H. Minamikawa, T. Nakazumi, Y. Hara	4. 巻 70
2. 論文標題 Effects of Fiber Stiffening to a Soft Actuator with PEDOT/PSS Electrode Films on Actuation Cycling Stability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF OLEO SCIENCE	6. 最初と最後の頁 861-866
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5650/jos.ess21027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 原 雄介、藤本 賢二
2. 発表標題 Fe(bpy)3を共重合した自励振動高分子の創製
3. 学会等名 第31回 非線形反応と協同現象研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中住 友香、南川 博之、原 雄介
2. 発表標題 ゲルの接着性制御技術を駆使した電場応答型ペーパーアクチュエータの創製
3. 学会等名 第31回 非線形反応と協同現象研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原 雄介、中住 友香
2. 発表標題 接着性制御技術を応用した高分子ゲルアクチュエータの開発と機能制御
3. 学会等名 第32回 非線形反応と協同現象研究会
4. 発表年 2022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	南川 博之 (Minamikawa Hiroyuki) (00358110)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------