

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05892・19K21069

研究課題名(和文) 無配線・遠隔制御可能な交流磁場応答アクチュエータ群の基礎研究

研究課題名(英文) Approach on development of microactuators remotely controlled with an alternating magnetic field

研究代表者

岡 智絵美 (OKA, Chiemi)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：70823285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無配線・遠隔制御可能な交流磁場応答マイクロバルブを考案し、開発に向けた基礎研究を実施した。そして、マイクロバルブ作製プロセスを確立し、マイクロバルブの試作を行い、交流磁場によるバルブの開閉駆動を確認した。その結果、マイクロバルブが交流磁場印加により実際に駆動することを確認した。今後更なる検討が必要ではあるが、本研究により無配線・遠隔制御可能な新規マイクロバルブの実現可能性が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、無配線・遠隔制御可能な交流磁場応答マイクロバルブを考案し、開発に向けた基礎研究を実施した。そして、今後更なる検討が必要ではあるが、本研究により無配線・遠隔制御可能な新規マイクロバルブの実現可能性が確認できた。今後引き続き研究を実施することにより、提案するマイクロバルブ群が実現すれば、バイオ・医療・環境分野で活躍するマイクロ流体システムのさらなる発展に貢献すると期待できる。

研究成果の概要(英文)：We devised microvalves that can be remotely controlled without electrical wiring but utilizing an alternating magnetic field, and we conducted basic research for its development. A manufacturing process of the microvalves was established and the microvalves were prototyped. Opening/closing drive of the valves by the AC magnetic field was confirmed. The microvalves were actually driven by applying the AC magnetic field. Although further studies are needed in the future, this study confirmed the feasibility of the proposed microvalves that can be remotely controlled without wiring.

研究分野：材料科学

キーワード：磁性ナノ粒子 マイクロバルブ マイクロ流体システム 熱応答性ゲル 交流磁場応答

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

マイクロ TAS など、マイクロマシンの更なる高性能化・高機能化には、構成要素のより一層の集積化が不可欠である。マイクロマシンの構成要素として特に重要なのは、エネルギーを運動に変換するアクチュエータである。したがって、マイクロマシンの高性能化・高機能化にはアクチュエータの集積化が不可欠と考えられる。しかし、従来のマイクロアクチュエータは入力エネルギーとして電力を用いるものがほとんどであり、個々のアクチュエータへの配線接続が必須であった。このことは、マイクロマシンの高性能化・高機能化に向けた妨げとなっていると言える。そこで本研究では、無配線・遠隔制御可能な新規交流磁場応答アクチュエータ群の実現を考え、その基礎研究に取り組んだ。

### 2. 研究の目的

本研究では、無配線・遠隔制御できるアクチュエータとして、磁性ナノ粒子の交流磁場中における発熱を駆動源とした、新規交流磁場応答マイクロバルブを提案する。本研究で提案する新規交流磁場応答マイクロバルブは、交流磁場中における磁性ナノ粒子の発熱と熱応答性ゲルの収縮・膨潤を利用する。バルブ開閉機構を図 1 に示す。Polydimethylsiloxane (PDMS) マイクロ流路中に磁性ナノ粒子を含んだ熱応答性ゲルを設置する。この時、ゲルは膨潤状態で、バルブは閉まっている状態である。ここに交流磁場を印加すると、磁性ナノ粒子を遠隔で発熱させることが可能である。この熱により、熱応答性ゲルが収縮し、バルブが開く。その後、交流磁場印加を止めると、自然冷却によりゲルは再び膨潤し、バルブ閉となる。ここでは基礎研究として、(1) マイクロバルブの作製プロセス確立および(2) 交流磁場駆動の確認を目指した。

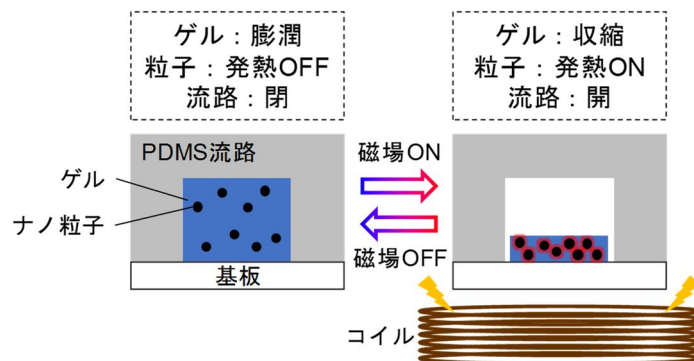


図 1. 提案する新規交流磁場応答マイクロバルブの開閉機構

### 3. 研究の方法

#### (1) マイクロバルブの作製プロセス確立

ガラス基板またはシリコン基板に磁性ナノ粒子を含んだ熱応答性ゲルをパターンニングし、SU-8 を鋳型として溝を付けて成形した PDMS と組み合わせることで、PDMS マイクロ流路およびマイクロバルブを作製するプロセスの条件探索を実施した。ゲルが膨潤状態のときに流路が完全にふさがるように、熱応答性ゲルのパターンニング条件、流路形状を調整し、マイクロバルブ作製プロセスの確立を目指した。

磁性ナノ粒子としては、磁性酸化鉄（マグネタイト）ナノ粒子を選定し、実験に用いた。酸化鉄ナノ粒子は、塩化鉄と水酸化ナトリウムを用いた共沈法で合成したもの、または購入したもの（Aldrich Iron(II,III) oxide nanopowder）を用いた。

熱応答性ゲルは Poly(*N*-isopropylacrylamide) (PNIPA) を主成分とするものであり、PNIPA のほかに光酸発生剤および酸を触媒とする架橋剤が混合されたものを用いた。この熱応答性ゲルはネガ型レジストとして用いることが可能であり、リソグラフィ技術により基板へのパターンニングが可能である。

#### (2) 交流磁場駆動の確認

作製したマイクロバルブをコイル内に設置し、交流磁場を印加した際にバルブが開くかどうかを確認した。交流磁場条件は 2 MHz, 50 Oe, 30 min である。磁場印加後、マイクロシリッジから液を導入し、流量を計測した。

また、作製したマイクロバルブの駆動確認として、ホットプレートを用いた実験も実施した。こちらは磁性ナノ粒子の発熱ではなく、ホットプレートの熱を利用しバルブを駆動させるものであり、簡易的なバルブ駆動確認実験に用いた。バルブ開閉動作の確認は顔料を混合した水を流路に流し、光学顕微鏡により顔料を含んだ水や気泡が流れる様子を注意深く観察することで実施した。

#### 4. 研究成果

##### (1) マイクロバルブの作製プロセス確立

PDMS マイクロ流路高さが  $40\ \mu\text{m}$ 、熱応答性ゲルの収縮状態の高さが  $15\ \mu\text{m}$  となる条件で作製を行ったところ、熱応答性ゲルが膨潤状態の時、流路が完全に閉まるマイクロバルブが得られた。図2にそのマイクロバルブの光学顕微鏡写真を示した。この時の、熱応答性ゲルへの磁性ナノ粒子添加量は  $1.5\ \text{wt}\%$  である。このマイクロバルブは、ホットプレートの熱により繰り返し正常に開閉動作することが確認できた。

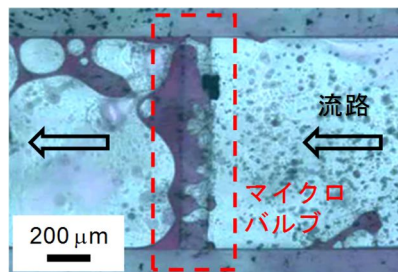


図2. 作製したマイクロバルブの光学顕微鏡画像

今後、さらに粒子添加量、流路幅、流路高さ等を調節していき、それぞれの条件に合わせたバルブ作製条件の探索を目指す。特に、粒子添加量について重点的に実施し、熱応答性ゲルのパターンニングを阻害しない、粒子添加量最大値の探索を実施する予定である。

##### (2) 交流磁場駆動の確認

作製したマイクロバルブをコイル内に設置し、交流磁場 ( $2\ \text{MHz}$ ,  $50\ \text{Oe}$ ) を  $30\ \text{min}$  印加したのち、マイクロシリンジから水を  $10\ \mu\text{L}/\text{min}$  で導入した際の流量を観察した。図3に基板をコイル内に設置した様子を示した。実験の結果、作製したマイクロ流路において、出口からの液の流出が確認でき、交流磁場印加によりマイクロバルブが開いたことが確認できた。また、磁場印加をOFFにすると、数秒で流量が0となり、磁場OFFにより即座にマイクロバルブが閉まったことが確認できた。

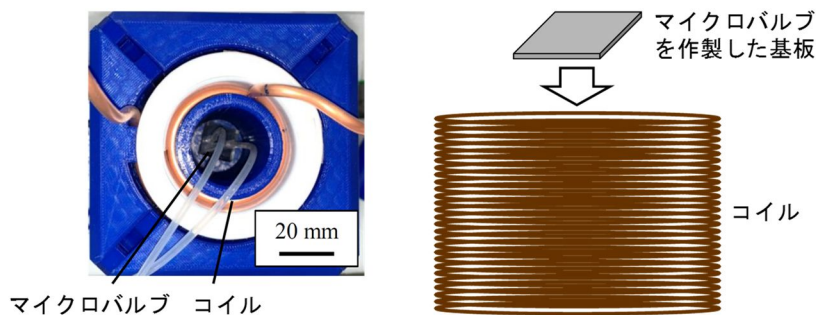


図3. 作製したマイクロバルブをコイル内部に設置している様子

以上の実験により、交流磁場印加による作製したマイクロバルブの開閉動作が確認できた。ただ、今回の実験では磁場印加時間が  $30\ \text{min}$  と長時間となっているため、渦電流損失による発熱の可能性が排除できていない。そこで、今後は渦電流損失による発熱の可能性を排除するために、以下のことについて確認を進めていく予定である。

- 磁性ナノ粒子添加なしのマイクロバルブを作製し、渦電流損失の影響を確認
- バルブ開までに必要な最短磁場印加時間を確認
- 磁性ナノ粒子添加量とバルブ開閉に掛かる時間の関係調査

これらの検討を進めていくことで最終目標である無配線・遠隔制御可能な交流磁場応答アクチュエータ群の実現に向け引き続き研究を進めていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Daiki Miwa, Junpei Sakurai, Seiichi Hata, Chiemi Oka
2. 発表標題 Microvalves Utilizing Heat Generation of Magnetic Nanoparticles
3. 学会等名 MHS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪 大貴, 櫻井 淳平, 秦 誠一, 岡 智絵美
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の発熱を利用した新規マイクロバルブの提案
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daiki Miwa, Junpei Sakurai, Seiichi Hata, Chiemi Oka
2. 発表標題 FABRICATION OF NOVEL MICROVALVES DRIVEN BY HEAT FROM MAGNETIC NANOPARTICLES
3. 学会等名 LEMP2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
研究協力者	三輪 大貴  (Miwa Daiki)	名古屋大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生	