

K6-35

## マイクロロボットのための電磁アクチュエータに用いるコイルの検討 Study of Coil Used for Electromagnetic Actuator for Microrobot

○内海裕人<sup>1</sup>, 河村慧史<sup>1</sup>, 田中大介<sup>1</sup>, 金子美泉<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>2</sup>\*Yuto Uchiumi<sup>1</sup>, Satoshi Kawamura<sup>1</sup>, Daisuke Tanaka<sup>1</sup>, Minami Kaneko<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>2</sup>

**Abstract:** In this paper, we propose a study of coil used for electromagnetic actuator for microrobot. We have been studying microrobot with shape memory alloy as actuator. However, since the shape memory alloy operates with heat, a thermal problem arises. Therefore, electromagnetic actuators using electromagnets were designed. For the electromagnet, a laminated coil using laminated ceramic technology is adopted. Analysis of the magnetic field and force of the coil was performed by ANSYS®.

### 1. はじめに

昆虫は優れた機能を有している。構造面においては、非常にコンパクトな体で安定した歩行が可能である。制御面においては、非常に微小な脳でありながら、あらゆる状況に適した行動を可能としている。近年、昆虫の優れた機能を模倣したマイクロロボットが開発されている<sup>[1][2]</sup>。我々もまた昆虫の機能を模倣したマイクロロボットを開発した<sup>[3][4]</sup>。開発したマイクロロボットはいずれも Mechanical Electro Micro Systems (MEMS) プロセスを用いたことでミリメートルサイズとなっており、昆虫の 6 足歩行や、動物の 4 足歩行を模倣したロボットである。

ロボットのアクチュエータには形状記憶合金(Shape Memory Alloy : SMA)を材料とした人工筋肉ワイヤ(Artificial Muscle Wire : AMW)を用いている。人工筋肉ワイヤは発生力が大きく、構造自体が小型であるためマイクロロボットに適している。しかし、熱により動作するために、熱が蓄積することで、長時間の動作が困難になったり、動作不良を起こすことが問題となる。

そこで、熱を用いない新たなアクチュエータとして電磁石を用いた電磁アクチュエータを考案する。電磁石には積層セラミック技術を用いた積層コイルを採用する。本研究では、マイクロロボットを駆動するための電磁アクチュエータの設計をした。設計したアクチュエータは積層コイル、スプリング、永久磁石によって構成される。また設計したコイルと永久磁石において、ANSYS®を用いて磁場および力の解析を行った。

### 2. 電磁アクチュエータの原理

Figure 1 に電磁アクチュエータの原理を示す。Figure 1 では電磁石が上部で固定されており、永久磁石が脚部機構に接続されている状態とする。Figure 1 において電磁石のコイルに通電したとき、電磁石には磁極が生

じる。この引力で永久磁石が持ち上げられる。一方で通電を OFF にしたときには、収縮したスプリングの弾性力により永久磁石が元の位置に戻る。

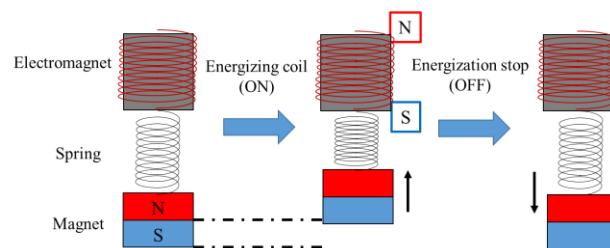


Figure 1. Principle of electromagnetic actuator

### 3. 設計した電磁アクチュエータ

設計した電磁アクチュエータを Figure 2 に示す。Figure 2 における電磁石には積層コイルを用いる。積層コイルを覆うフレームパーツは MEMS プロセスで作製する。また図中の脚部機構は、磁石に接続されているパーツを上を持ち上げ、元に戻すことで動作する。つまり、磁石の上下運動で脚部機構は動作する。持ち上げるのに必要な力は 1.321 mN である。一方で、持ち上げたあとに元に戻すのに必要な力は 1.048 mN である。

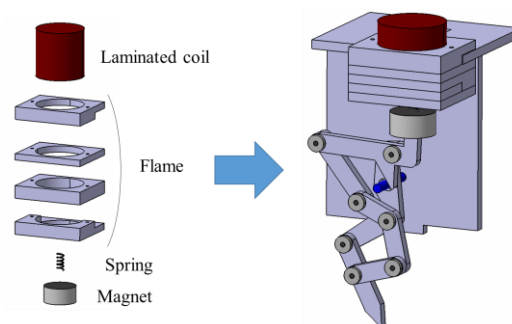


Figure 2. Designed electromagnetic actuator

#### 4. コイルと永久磁石における磁場解析

本研究では設計した電磁アクチュエータにおいて、コイルと永久磁石の間に生じる磁束密度および磁石に発生する合力を解析する。解析ソフトには ANSYS® を用いた。解析の際のコイルと永久磁石のモデルは以下に示す Figure 3 のようにした。またモデルの条件を Table 1 に示す。

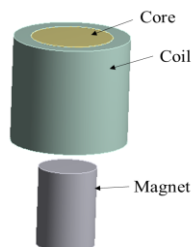


Figure 3. Model at analysis

Table 1. Model condition

Model condition		
Coil	Diameter [mm]	2.0
	Height [mm]	2.0
	Line width [mm]	0.3
	Resistivity of coil wire [ $\Omega\text{m}$ ]	$1.63 \times 10^{-8}$
	Number of turns	25
	Current [A]	1.0
	Relative permeability of core	900
Magnet	Residual magnetic flux density [T]	12.5
	Coercive force [kA/m]	859
	Diameter [mm]	1.0
	Height [mm]	1.5

#### 5. 結果

解析結果を Figure 4, 5 に示す。コイルと磁石の間の空間における磁束密度は最大で 0.69793 T となった。また磁石に生じる力は鉛直上方向において最大で 16.453 mN となった。脚部機構や磁石の重力を考慮した場合でも、脚部機構が動作するのに必要な力を解析結果は満たしている。

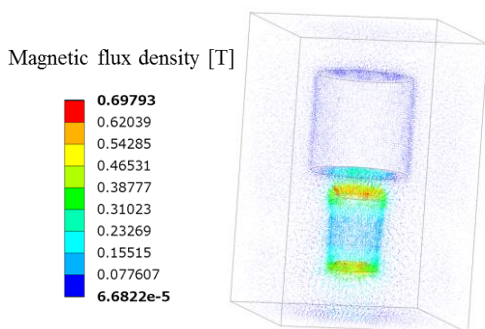


Figure 4. Analysis result of magnetic flux density between coil and magnet

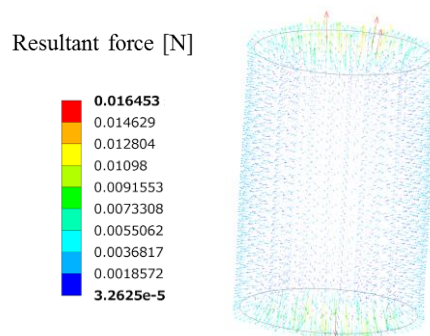


Figure 5. Analysis result of the resultant force occurring in the magnet

#### 6. まとめ

本研究ではマイクロロボットを駆動するための電磁アクチュエータを設計した。また、設計したコイルと磁石における磁場および力の解析を行った。今回の解析結果では、必要な力を満たすことはできた。しかし、コイルと磁石の間にスプリングが入ることを考慮すると、コイルと磁石の間の引力がスプリングの復元力よりも大きくならなければならない。今後はより詳細な条件下での解析を行うことで、アクチュエータの小型化と大きな磁束密度や力を得ることとの兼ね合いを考慮しながら、より正確な値に基づいた設計を進めていく。そして、実際に積層セラミック技術でコイルを作製し、磁束密度や力を測定する予定である。

#### 7. 参考文献

- [1]D. Vogtmann, R. S. Pierre, and S. Bergbreiter, I. Paprotny, “A 25 mg magnetically actuated microrobot walking at 5 body length /sec,” *IEEE Conference Proceedings*, Vol. 2017, pp. 179-182, Jan. 2017.
- [2]M. Qi, Y. Zhu, Z. Liu, X. Zhang, X. Yan, and L. Lin, “A fast-moving electrostatic crawling insect,” *IEEE Conference Proceedings*, Vol. 2017, pp. 761-764, 2017.
- [3]K. Sugita, T. Tanaka, Y. Nakata, M. Takato, K. Saito, and F. Uchikoba, “Hexapod type MEMS microrobot equipped with an artificial neural networks IC”, *International conference on artificial life and robotics*, pp. 225-228, 2017.
- [4]Daisuke Tanaka, Yuto Uchiumi, Satoshi Kawamura, Minami Takato, Ken Saito, Fumio Uchikoba, “Four-Leg Independent Mechanism for MEMS Microrobot”, *Artificial Life and Robotics*, pp. 380-384, 2017.