

K-44

MEMSマイクロロボットに実装する回転型静電アクチュエータの設計および試作

Design and preproduction of Rotary Electrostatic Actuator for MEMS Microrobot

OLYU SHUXIN¹, 田巻祐哉², 木屋大地², 森下克幸¹, 齊藤健³

*Shuxin Lyu¹, Yuya Tamaki², Daichi Kiya², Katsuyuki Morishita¹, Ken Saito³

Abstract: Small robots are expected to work in a narrow section, but it is difficult to realize a millimeter-sized harness-less microrobot. A six-legged link-type micro-robot that can walk with an external power supply has been developed. Authors have been studying an insect-type micro-robot that can run autonomously. The actuators that can be mounted on the microrobot must be compact and have low power consumption, and the authors have developed an electrostatic motor that can be fabricated using MEMS technology. In this paper, we report the design of a rotary electrostatic actuator.

1. はじめに

世界中でロボットの活用が進み、幅広い分野で利用されるようになってきている。ロボットには、産業用ロボット、医療用ロボット、手術支援用ロボットなど、さまざまな種類が存在する。また、狭所での作業を目的とした小型のロボットの開発が注目されている。例えば、産業分野では精密機器のメンテナンスを行うために、狭い空間での作業を目的としたロボットの研究開発されている。医療分野では低侵襲医療を目的としたロボットの研究開発が行われており、小型化は多くの分野での応用が期待されている。そのためには、自律駆動が可能なマイクロロボットの実現が求められる。しかし、ミリメートルサイズで電池搭載ハーネスレスのマイクロロボットの実現は未だに難しい状況である。現在までに報告されているミリメートルサイズマイクロロボットは外部からの操作を加えることによって動作しているものが多い^[1]。

我々は先行研究において、形状記憶合金製のコイル状の人工筋肉ワイヤ（AMW）をアクチュエータとして、6足リンク型マイクロロボットを開発した^[2]。このマイクロロボットは、ロータの擬似回転運動を3脚のセットに伝えることで、3点接地歩行するロボットである。歩行制御には、アナログ回路を用いて、生物の神経回路を再現した人工ニューラルネットワーク IC を使用し歩行動作をさせた。マイクロロボットの部品は、半導体製造技術を応用した微細加工技術である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) プロセスで製造されている。AMW は、マイクロロボット脚部を駆動可能な高出力と大変位を生成することが出来るが、消費電力が 94mW と高消費電力になる。そのため、マイクロロボットは外部電源によって動作を行っている。しかしながら、エナメル線を介して外部からの電力供給を

行っていたため移動距離が制限されてしまうといった課題がある。そこでより我々は低い消費電力で駆動が可能なリニア静電モータを開発した^[3]。

本論文では、独立駆動可能なマイクロロボットを実現するため、小型化かつ低消費電力での駆動が可能な回転型静電アクチュエータを提案した。

2. 静電モータ

静電モータは、電圧を加えることで歯間に静電気力による力が発生するアクチュエータで、平面的な構造で設計することが出来、MEMS 技術を用いる小型化が容易である。Figure 1 に静電アクチュエータの歯モデルを示す。

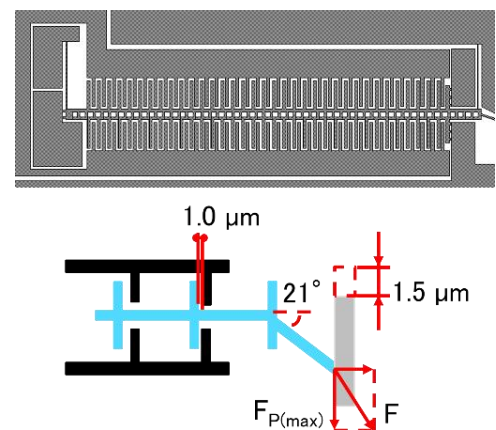


Figure 1. Electrostatic Actuator

静電アクチュエータの歯を平行平板コンデンサとみなし、平板間にかかる静電引力を基に静電モータの発生力が求められる。シリコンの誘導伝率を ϵ 、奥行きを ω 、歯の重なり長さを a 、歯の変位を x 、歯間

1 : 日大理工・院 (後)・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・教員・精機

距離をそれぞれ G_1, G_2 , 櫛歯の数を n , 電圧を V とする場合, 静電モータの発生力 F_r は式(1)で表される.

$$F_r = \epsilon \frac{\omega a}{2} \left(\frac{1}{(G_1 - x)^2} - \frac{1}{(G_2 + x)^2} \right) nV^2 \quad (1)$$

3. 回転型静電アクチュエータ

Figure 2 に今回設計した回転型静電アクチュエータを示す. 設計した静電アクチュエータは, 6個の静電モータが組み込まれており, 電極に電圧を加えると静電アクチュエータに電位差が生じ, 櫛歯間に起こる静電気力によって, 静電モータが中心ロータ方向に駆動する. 厚さ 0.6 mm の Silicon-On-Insulator (SOI) ウェハを用いて, デバイスサイズを 6.0 mm × 5.0 mm とする.

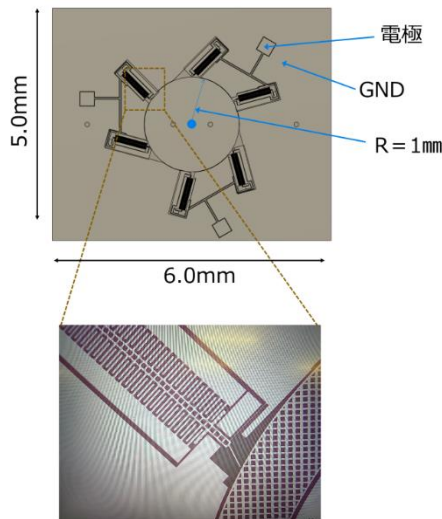


Figure 2. Rotary Electrostatic Actuator

静電モータの押し出し量 $1.5 \mu\text{m}$ として, 150 Hz の波形を印加するときの中心ロータの回転速度は 2.15r/min となる.

4. MEMS マイクロロボット

回転型静電アクチュエータを搭載するマイクロロボットは Figure 3 に示す. 脚部機構にはリンク機構を使用している. リンク機構は, アクチュエータの回転を伝達して横方向の動きに変換している. 中脚は軸により回転アクチュエータに接続し, 中脚の回転位相は回転アクチュエータの回転と同位相になる. それに対し, 前後の脚はリンクにより中脚に接続しており, 前後の脚は中脚の位相より $\pi/2$ 位相が反転して動く. このリンク機構により, 一つのアクチュエータで 3本の脚を同時に動かし, かつ蟻の歩行運動の模

倣を実現する.

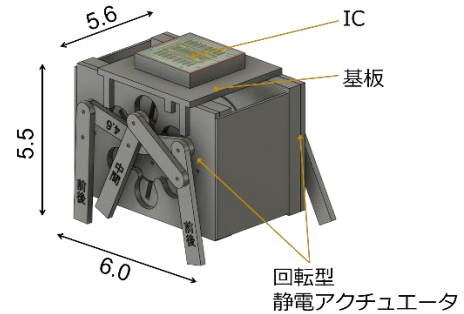


Figure 3. Hexapod Link-type Micro Robot

5. まとめ

本論文では自立駆動可能なマイクロロボット搭載に向けた回転型静電アクチュエータを設計した. 静電アクチュエータは 150 Hz の波形を印加するときの回転数 2.15r/min として理論値計算を行った. 今後は実際にアクチュエータを作製し, マイクロロボットに搭載を行う予定である.

6. 謝辞

本研究は, 文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(JPMXP1223UT1015)の支援を受けたものです. また, 令和2年度日本大学学術研究助成金総合研究の助成, および本研究の一部は令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものです. 静電モータの試作は, 日本大学マイクロ機能デバイス研究センター, 武田先端知ビルスーパークリーンルーム(d.lab)の支援を受けて行われたものです.

7. 参考文献

- [1] Chao Wang, Hongzu Li, Zezhan Zhang, Peifeng Yu, Lihao Yang, Jiale Du, Yi Niu, Jing Jiang : “Review of Bionic Crawling Micro-Robots”, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2022
- [2] Saito K, Takato M, Sekine Y, Uchikoba F : “Biomimetics micro robot with active hardware neural networks locomotion control and insect-like switching behavior”.International Journal of Advanced Robotic Systems, vol.9, pp.1-6, 2012
- [3] Satoshi Hirao, Yuya Nakata, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, Ken Saito : “Development of Electrostatic Actuator for MEMS Microrobot”