

K-41

マイクロロボットを駆動するアクチュエータを同一平面上に実装した脚部機構の開発
Development of Leg Mechanism with Actuators Mounted on the Same Plane to Drive Microrobot

○木屋大地¹, 田巻祐哉¹, LYUSHUXIN², 森下克幸², 齊藤健³
*Daichi Kiya¹, Yuya Tamaki¹, Shuxin Lyu², Katsuyuki Morishita², Ken Saito³

Abstract: The authors have been studying insect-like microrobots that can be driven autonomously. Microrobots are expected to play an active role in various fields. The actuators used in microrobots need to be small and have low-power consumption, and we are developing an electrostatic motor using electrostatic force, which can be fabricated using micro-electromechanical system technology. The assembly of microrobots and electrostatic motors is not easy and requires skill, and clearance between parts is an issue. This paper reports on developing a leg mechanism with actuators mounted on the same plane that is powerful enough to drive a microrobot and simplifies the assembly process. 102

1. はじめに

マイクロロボットは小型であることを利点とし、低侵襲の医療行為やドラッグデリバリー、工場などの狭所での点検・検査など様々な場面での活躍が期待されている。このような複雑な行動を行うためには自律駆動可能なマイクロロボットの開発を行う必要がある。

昆虫はミリメートルサイズの体に様々な要素を搭載しており、我々は自律駆動を可能にするために昆虫を模倣したマイクロロボットの開発を行っている。先の研究で Figure 1 に示す昆虫型六足歩行マイクロロボットを作製し、形状記憶合金をアクチュエータとして用いて歩行実験を行った。マイクロロボットのような小さい筐体に搭載可能な電源で駆動するアクチュエータは限られており、我々は小型化・低消費電力での駆動が可能な静電モータに着目し開発を行っている^[1]。

静電モータは非常に小さく、マイクロロボットへの組立作業が難しい為、組立作業が不要でマイクロロボットを駆動可能な静電モータを、マイクロロボットの脚部と一体化させた設計を行ったので報告する。

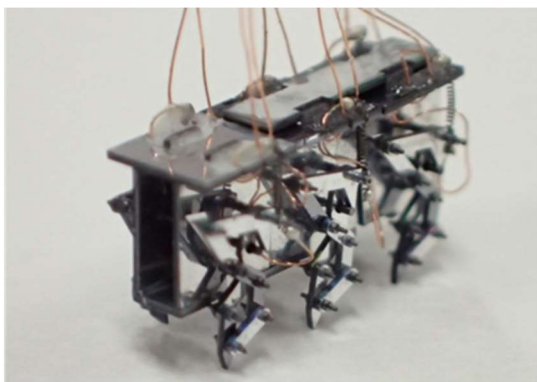


Figure 1. Insect type microrobot

2. 静電モータ

静電モータは静電気力を動力とし駆動するアクチュエータで、平面的な構造で設計することが可能である。また、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)の技術を用いることで容易に小型化が可能である。

我々の静電アクチュエータは Figure 2 に示すような平行平板を複数楕歯型に並べることで発生力を大きくしている。空気中の誘電率を ϵ 、楕歯の奥行きを d 、重なり長さを w 、楕歯間距離をそれぞれ h_1 、 h_2 、楕歯の数を N 、楕歯間に印加する電圧を V とすると静電アクチュエータの出力 F は以下の式(1)より求めることができる。

$$F = \epsilon \frac{dw}{2} \left(\frac{1}{h_1^2} - \frac{1}{h_2^2} \right) V^2 N \quad (1)$$

静電モータは Figure 3 に示すように静電アクチュエータを4つ組み合わせて構成している。可動部電極にGND、固定部電極に V_1 および V_2 を印加することにより静電気力を発生させ、中央にあるシャトルを押し出すことにより変位を大きくしている。

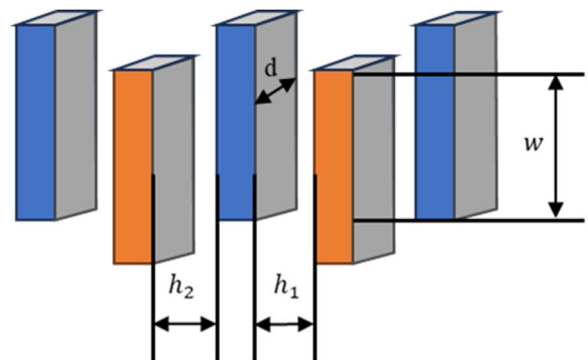


Figure 2. Electrostatic actuator

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

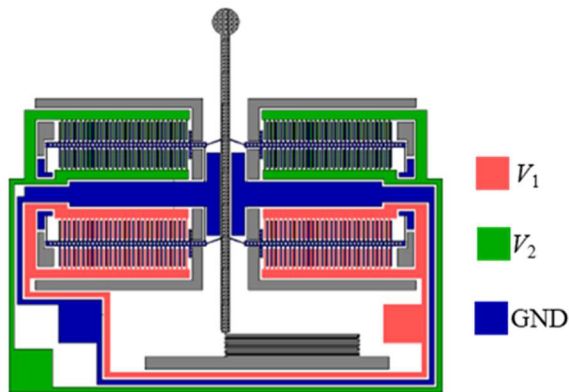


Figure 3. Electrostatic motor

3. アクチュエータを同一平面上に実装した脚部機構

マイクロロボットの筐体は上板、横板、脚部、アクチュエータから構成しており、MEMS技術を用いることで横板、脚部および静電モータは平面構造で作製することが可能なため、シリコンウェハの同一平面上にアクチュエータを実装した脚部機構を作製することが出来る。同一平面に脚部と静電モータを構成するためシリコンウェハはデバイス層、犠牲層、ハンドル層からなるSilicon On Insulator (SOI)ウェハを用い、脚部は平面構造で作製可能な剣形脚部を用いる。

マイクロロボットの筐体はFigure 4に示す概略図で表すことが出来、シリコンの密度を 2.329g/cm^3 ,

$W = 5\text{mm}$, $H = 5\text{mm}$, $t_1 = 0.6\text{mm}$, $t_2 = 0.6\text{mm}$, $L = 10\text{mm}$ とすると筐体全体の質量は 0.00019kg となる。よってマイクロロボットの筐体を持ち上げるのに必要な力は約 1.9mN となり、昆虫型マイクロロボットは3脚を交互に繰り出すトライポッド機構を用いているので、一つの脚部に必要な力は約 0.64mN となる。

今回設計した静電モータは櫛歯の奥行き $d = 40\ \mu\text{m}$, 重なり長さ $w = 100\ \mu\text{m}$, 櫛歯間距離 $h_1 = 1.4\ \mu\text{m}$, $h_2 = 6.6\ \mu\text{m}$, 櫛歯の数 $N = 60$, 印加電圧 $V = 60\text{V}$ なので、式(1)より静電アクチュエータの出力 $F = 1.86\text{mN}$

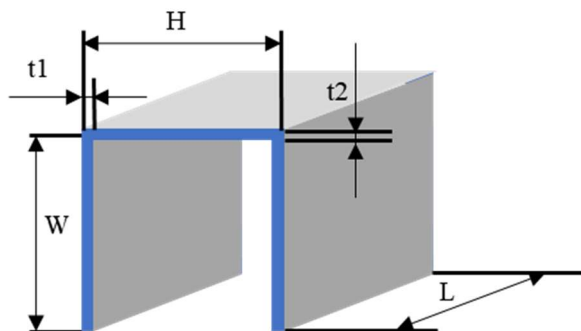


Figure 4. Schematic diagram of microrobot

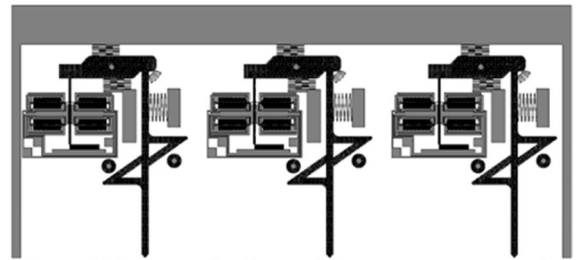


Figure 5. Leg mechanism with actuators mounted on the same plane

となるため、駆動するために必要な力を十分に満たす。

Figure 5に今回設計したアクチュエータを同一平面上に実装した脚部機構を示す。SOIウェハ上に設計を行うことで同一平面にアクチュエータと脚部を搭載し、静電モータに電極を印加することで剣形脚部を駆動させ、歩行動作を行う。剣形脚部には脱落防止のため、ばねを取り付けている。

4. まとめ

本論文ではアクチュエータを同一平面上に実装した脚部機構の設計を行った。従来のマイクロロボットは組立てが難しく、また、マイクロロボットは非常に小さい為、部品同士のクリアランスがシビアであるという課題があった。今回設計した脚部機構を用いることで、組立ての煩雑さや、クリアランスの問題を解決することが出来る。今後は実際に作製し測定および歩行実験を行う予定である。

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、および令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである。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。

5. 参考文献

- [1] Ken Saito, Daniel S. Contreras, Yudai Takeshiro, Yuki Okamoto, Satoshi Hirao, Yuya Nakata, Taisuke Tanaka, Satoshi Kawamura, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, Yoshio Mita, Kristofer S. J. Pister : “Study on Electrostatic Inchworm Motor Device for a Heterogeneous Integrated Microrobot System” Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, Vol.12 ,pp. E18-009-1-E18-009-7, 2019