

## マイクロロボットを駆動する静電モータ用の MEMS パネの設計

### Design of MEMS Springs of Electrostatic Motors for Driving Microrobots

○水本明日也<sup>1</sup>, 伊藤穂高<sup>2</sup>, 石川真聡<sup>2</sup>, 山田哲之<sup>2</sup>, 長田元気<sup>1</sup>, 平尾聡志<sup>1</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>,  
金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>

\*Asuya Mizumoto<sup>1</sup>, Hotaka Ito<sup>2</sup>, Masato Ishikawa<sup>2</sup>, Noriyuki Yamada<sup>2</sup>, Genki Osada<sup>1</sup>, Satoshi Hirao<sup>1</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>,  
Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: The authors are developing a microrobot. Previously, the authors demonstrated the walking of the microrobot using shape memory alloy (SMA) actuators. However, the SMA actuator driven with the outside power supply because of its high power consumption. Therefore, the authors focused on an electrostatic motor with low power consumption. In this paper, the authors designed the dimensions of the spring to improve the generated force of the spring based on theoretical value calculation. The authors showed that the microrobot can be driven by increasing the spring force of the electrostatic motor.

#### 1. はじめに

工場や医療など様々な分野においてロボットの活躍が期待されている。特にマイクロロボットは、人間が侵入できないような狭い場所や危険な場所に侵入することを目指して、小型化や自律化が求められている。世界では、小型化、自律化を目指して様々なマイクロロボットが研究されている<sup>[1]</sup>。一例として、災害現場では、瓦礫の隙間などに潜入し、調査をおこなうマイクロロボットが研究されている。また医療分野では、内臓や血管内を検査し、体内に直接薬を投与するマイクロロボットが研究されている。多くのマイクロロボットは、昆虫を模倣している<sup>[2]</sup>。昆虫は、小型の体の中に脳、触覚、筋肉、エネルギー源などの構成要素を有して、自律活動をしている。我々はマイクロロボットに IC、センサ、アクチュエータ、電源を搭載することで、昆虫のように自律活動が可能なマイクロロボットの開発を行っている。

先に、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)技術を用いて、4.6mm×9.0mm×6.4mm のマイクロロボットを開発した<sup>[3]</sup>。さらに、作製したマイクロロボットの脚部を、Shape Memory Alloy (SMA)アクチュエータを用いて駆動し、歩行を実現した。しかし、消費電力が 94mW と高く、動作には外部電源を用いる必要があった。我々は、マイクロロボットに搭載可能な小型電源で脚部を駆動させるために、低消費電力駆動かつ、小型化にも適している静電モータに着目し開発をおこなった。さらに、測定の結果、消費電力が 1.0mW で駆動可能であることを確認した。しかし、静電モータの構成要素の 1 つである、ばねの発生力が小さく、マイク

ロボットの脚部の駆動が不完全であった。

本論文では、理論値計算にもとづき、ばねの発生力の強化について検討をおこなったので報告する。

#### 2. 作製したマイクロロボット

Figure1 にマイクロロボットの脚部の動作を示す。脚部の P 点に下方向の力を加えることで、①→②→③の順に脚部が動作する。また、P 点に上方向の力を加えることで、③→④→①の順に脚部が動作する。したがって、P 点に上下方向の力を加えることで、マイク

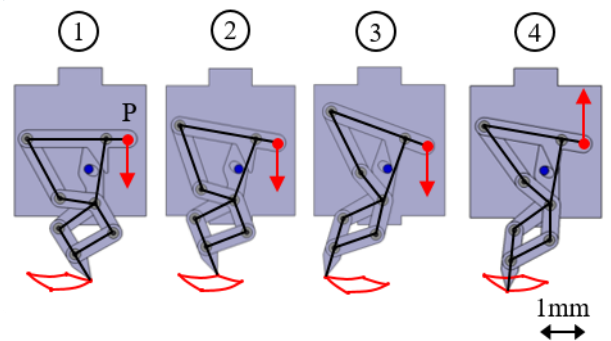


Figure1. Leg motion and trajectory of the leg

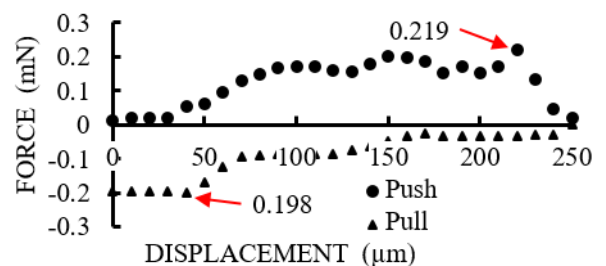


Figure2. The characteristic of the force required to drive the microrobot leg against point P

ロボットの脚部は動作する。

Figure2 に微小力測定装置を用いて測定した脚部の動作に必要な力と変位を示す。グラフの●は脚部が①→②→③の動作をする際に必要な力と変位を示しており、▲は脚部が③→④→①の動作をする際に必要な力と変位を示している。同図より、マイクロロボットの脚部の動作には、押し出し時に 0.219mN、引き戻し時に 0.198mN の力が必要である。また、P 点は 0 μm から 250 μm までの変位が必要である。

### 3. 静電モータのばねの設計

Figure3 に先に作製した静電モータを示す。静電モータは、外形寸法が 2.2mm×2.5mm である。静電モータは、シャトル、シャトルの先端に取り付けた接合部、シャトルに接続した 3 つのばね、4 つの静電アクチュエータ、電極  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$ , GND で構成した。静電アクチュエータによってシャトルの押し出し動作、ばねによってシャトルの引き戻し動作をおこなう。静電アクチュエータの櫛歯間に生じる静電気力により、シャトルを押し出す力は 1.56mN である。マイクロロボットの脚部に静電モータを取り付け、駆動実験を行った。その結果、静電モータのばねの発生力が 0.103mN であり、脚部の足踏み動作に不十分な値であった。そこで、ばねの幅を変えることによる発生力の増加を検討した。

Figure4 に新しく作製した静電モータを示す。外形寸法が 2.2mm×2.4mm とした。従来の静電モータでは、ばねの幅は 5μm であった。新しく作製した静電モータでは、ばねの幅は 9 μm にした。これによりばねの発生力が増加し、脚部を十分に動作可能である。また、測定しやすいを考慮し電極の配置と寸法を変更した。Figure5 にばねの変位と発生力の関係を示す。変位 85μm 以上の時、ばねの必要な力 0.198mN が得られる。よって初期変位として 85μm を与えた状態でマイクロロボットに搭載することで脚部を駆動が可能と考えられる。

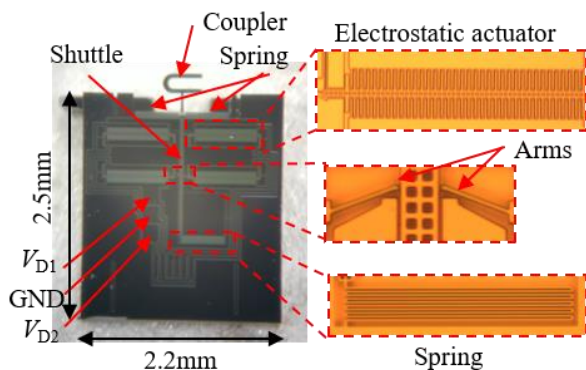


Figure3. Electrostatic motor

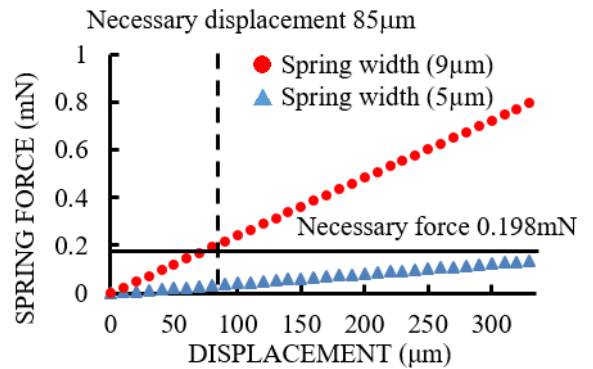


Figure5. The characteristic between displacement and spring force

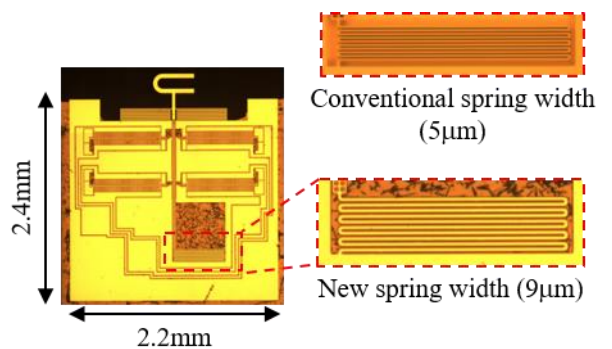


Figure4. New electrostatic motor

### 4. まとめ

静電モータのばねの幅を変更し、発生力を増加させることで、マイクロロボット脚部を駆動可能であることを理論値計算より示し、作製した。今後は、新しく作製した静電モータをマイクロロボットに搭載し駆動実験を行う予定である。

### 5. 参考文献

[1] M. Takeda : “APPLICATIONS OF MEMS TO INDUSTRIAL INSPECTION”, MEMS 2001, 14th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, pp182-191, 2001.  
 [2] M. Qi, Y. Zhu, Z. Liu, X. Zhang, X. Yan, and L. Lin : “A FAST-MOVING ELECTROSTATIC CRAWLING INSECT”, IEEE, MEMS 2017, Las Vegas, NV, USA, January 22-26, pp761-764, 2017.  
 [3] K. Saito, D. S. Contreras, Y. Takeshiro, Y. Okamoto, S. Hirao, Y. Nakata, T. Tanaka, S. Kawamura, M. Kaneko, F. Uchikoba, Y. Mita, K. 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, ppE18-009-1-E18-009-7, 2019.