

昆虫型マイクロロボットの脚部を駆動可能な静電モータの開発
 Development of Electrostatic Motor that Can Drive the Leg of Insect-Type Microrobot

○榎澤瑠奈¹, 伊藤穂高², 山田哲之², 石川真聡², 水本明日也², 長田元気², 森下克幸², 武井裕樹³, 齊藤健⁴

*Runa Enosawa¹, Hotaka Ito², Noriyuki Yamada², Masato Ishikawa², Asuya Mizumoto², Genki Osada², Katsuyuki Morishita², Yuki Takei³, Ken Saito⁴

Abstract: We are developing an insect-type microrobot that can be driven autonomously. The electrostatic motor that drives the robot that was developed earlier could not obtain the pullback motion of the legs of the microrobot because the restoring force of the spring was insufficient. Therefore, in this paper, we reexamined the dimensions of the spring of the electrostatic motor and the arrangement angle of the actuator. We have designed, prototyped, and confirmed the operation of an electrostatic motor that can drive the legs of a microrobot.

1. はじめに

近年、生物の構造や機能を模倣したロボットの開発が盛んにおこなわれている。生物の中でも蟻などの昆虫は、小型な体に脳、感覚器官、筋肉、エネルギー源などを有し、高度で自律した活動が可能である。そこで、工場にある細管内の検査や災害現場にある瓦礫の隙間内での探索など、狭い空間での活躍が期待できる、昆虫を模倣したマイクロロボットの研究がおこなわれている^[1]。

先に我々は、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いて、自律駆動可能なミリメートルサイズの昆虫型マイクロロボットを開発した^[2]。開発したマイクロロボットで用いた Shape Memory Alloy (SMA) アクチュエータは、消費電力が94mWであり、マイクロロボットに搭載可能な電源では、駆動が難しかった。そこで、我々は低消費電力で駆動可能な静電モータに着目し、開発をおこなった^[3]。しかし、先に作製した静電モータは、マイクロロボットの脚部を十分に駆動することができなかった。

本論文では、静電モータのばねの復元力と、シャトルの繰り出し力の向上を検討した。さらに、静電アクチュエータの配置角度を変更した静電モータを設計し、試作と動作確認をおこなったので報告する。

2. 静電モータの動作

Figure1 に設計した静電モータを示す。静電モータは、4つの静電アクチュエータ、シャトル、3つのスプリング、電極 V_{D1} , V_{D2} , GND で構成した。静電モータは MEMS 技術を用いて、Silicon on Insulator(SOI) ウエハを加工することにより作製した。使用した SOI ウエハは、Si デバイス層 $40\mu\text{m}$, 酸化層 $2\mu\text{m}$, Si ハン

ドル層 $550\mu\text{m}$ である。電極と配線を作製するために、デバイス層上に 100nm の Al を成膜した。静電モータの可動部は、酸化層を除去し、Si ハンドル層からリリースした。

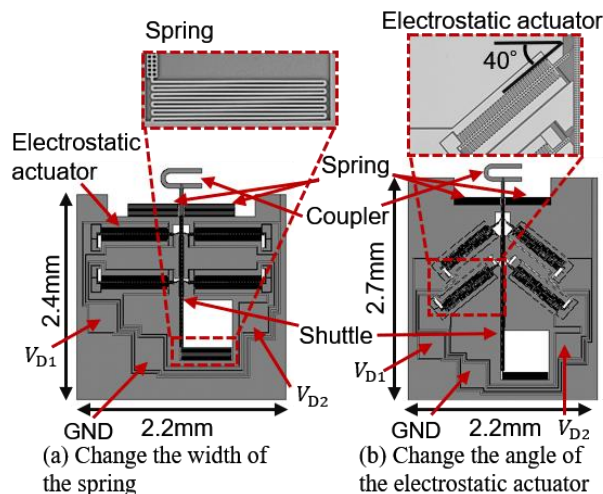


Figure 1. Newly designed electrostatic motor

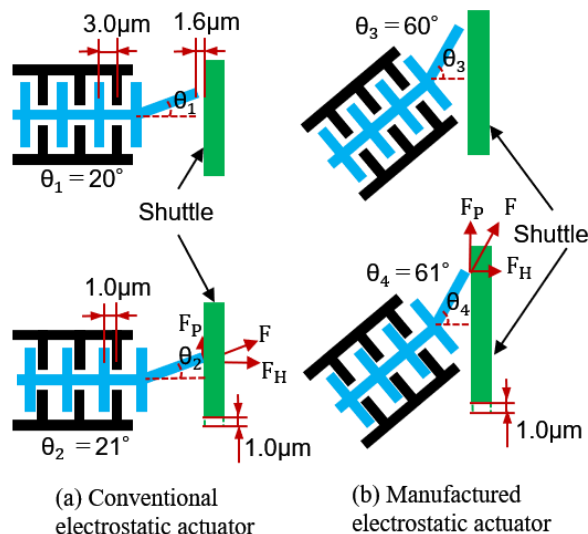


Figure 2. Operation of the electrostatic actuators

1 : 日大理工・学部・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・院 (後)・精機 4 : 日大理工・教員・精機

Figure2 にシャトルと静電アクチュエータの動作原理を示す。静電モータに電圧を印加すると、発生した静電気力により櫛歯がシャトルに衝突し、静電アクチュエータの腕の角度が1度ずれる。静電アクチュエータの腕とシャトルの接点では押し付け力 F_H と押し出し力 F_P が作用する。静電アクチュエータの櫛歯の引き戻しは板ばねによりおこなう。静電アクチュエータはシャトルを挟み込む配置で2対2組である。各組の静電アクチュエータが交互に動作をおこない、シャトルの位置を保持しながら $1\mu\text{m}$ ずつシャトルを移動させる。シャトルの引き戻しは、3つのスプリングによりおこなう。

3. 静電モータの検討

マイクロロボットの脚部を十分に駆動するためには 0.198mN 以上のばねの復元力が必要である。よって、ばねの復元力の向上を検討した。ばねは複数段重ねた片持ち梁とみなし、力とひずみの関係を考えた。ばねの幅を b 、静電モータとマイクロロボットの脚部を接合する際の変位を a 、ばねの変位を x とするとき、静電モータのばねの復元力 F_{pull} は式(1)のようになる。

$$F_{\text{pull}} = 3.31 \times 10^{15} \times b^3 \times (x+a) \quad (1)$$

静電モータの外形寸法への影響を考慮し、ばねの幅 b を $5\mu\text{m}$ から $9\mu\text{m}$ に変更した。また、変位 a を $85\mu\text{m}$ とした。シャトルの変位 x が $250\mu\text{m}$ のとき、ばねの復元力 F_{pull} は 0.81mN となる。よって、マイクロロボットの脚部を動作させるために十分な力が得られた。

次に、シャトルの押し出し力を向上するため、静電アクチュエータの配置角度について検討した。

Figure3 に静電アクチュエータの配置角度と押し出し力の関係を示す。シャトルを保持するための押し付け力を考慮し、静電アクチュエータをシャトルに対して40度傾けて配置した。静電アクチュエータの配置角度を変更した静電モータの最大の押し出し力は、約 3.78mN と求めた。

4. 角度付き静電モータの試作と動作確認

Figure4 に静電アクチュエータの配置角度を変更した静電モータの駆動実験について示す。配置角度を変更した静電アクチュエータに電圧を印加し駆動実験をおこなったところ、シャトルを正常に押し出すことが確認できた。

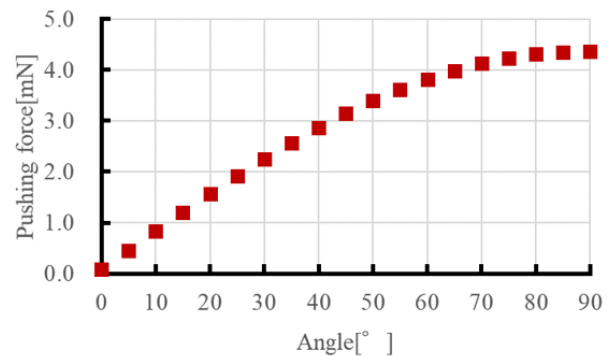


Figure 3. Relation between pushing force and angle

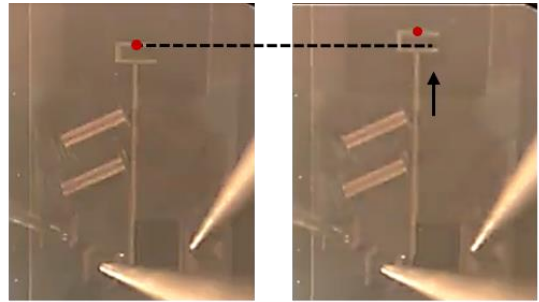


Figure 4. Driving experiment of electrostatic motor with changed angle

5. まとめ

本論文では、静電モータのばねの幅を太くすることで、マイクロロボットの脚部動作に必要なばねの復元力を得られることを明らかにした。また、静電モータの配置角度を40度に変更することで、静電モータの押し出し力が従来の約2.4倍となることを明らかにした。さらに、アクチュエータの配置角度を40度に変更した静電モータの試作と動作確認に成功した。今後は、試作した静電モータの出力測定をおこなう予定である。

6. 参考文献

- [1] 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, pp, 761-764, 2017.
- [2] 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.
- [3]水本明日也, 長田元気, 平尾聡志, 武井裕樹, 金子美泉, 内木場文男, 齊藤健:「マイクロロボット用の静電モータの出力向上に対する検討」, MES2019, pp.43-46, 2019