

K6-22

静電アクチュエータと MEMS ばねで駆動するマイクロロボット用の インチワームモータの設計

Design of Inchworm Motor Chip for Microrobot Using Electrostatic Actuator and MEMS Springs

○仲田友也¹, 平尾聡志¹, 長田元気, 水本明日也², 金子美泉³, 内木場文男³, 齊藤健³*Yuya Nakata¹, Satoshi Hirao¹, Genki Osada², Asuya Mizumoto², Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³, Ken Saito³

Abstract: In this paper, we proposed a design of silicon inchworm motor chip which generates reciprocating motion required for driving the leg mechanism of MEMS microrobot by electrostatic actuator and MEMS springs. From the measurement result of the force required to drive the leg mechanism, it was found that a maximum force of about 0.2mN is required at the time of retraction at the time of extrusion. To generate reciprocating motion, press the shuttle with an electrostatic actuator and pull back with springs. With this structure, we report the design of a structure that generates a force of about measured value or more at any displacement of the shuttle.

1. はじめに

マイクロロボットは機器類のメンテナンス作業や、人体内的での治療など多方面に応用できる可能性を秘めている。このような狭所空間での活動を想定した場合、必要な構成要素を搭載し、ロボットの自律した行動が要求される。マイクロロボットの全長が数ミリメートルであれば、搭載するアクチュエータや電源も小型なものを選定する必要がある。

我々はこれまでに Micro Electro Mechanical systems(MEMS)技術を用いた加工で、電源以外の必要な個性要素である筐体、アクチュエータ、制御回路を搭載した、高さ 4.8mm、長さ 6.0mm、幅 3.5mm の 4 足歩行型マイクロロボットを開発した^[1]。開発したマイクロロボットは、発生力と変位が大きい形状記憶合金 (Shape Memory Alloy : SMA) をアクチュエータとして用いた。しかし、形状記憶合金は消費電力が高く、電源搭載にはまだ課題が残っている。

そこで、我々は太陽電池^[2]で駆動する、低消費電力の 2.2×2.5mm サイズのインチワームモータを開発した^[3]。これは静電アクチュエータと MEMS ばねをによって、シャトルの押し戻し運動を生成し、マイクロロボットの脚部機構の駆動に必要な 250 μ m の往復運動を確認した。しかし、MEMS ばねによって発生する戻り力が小さく、脚部機構の一連の動作を行うことが出来なかった。

本論文では、マイクロロボットの脚部機構の駆動に必要な力を、微小力測定装置を用いて測定した。またその測定結果を基に、MEMS ばねのばね定数を大きくすることで、脚部機構の一連の動作を行える静電型のインチワームモータを設計したので報告する。

2. MEMS マイクロロボットの脚部機構

Figure 1 にマイクロロボットの脚部機構とその動作を示す。マイクロロボットの各パーツは材料にシリコンを用い、MEMS 技術を適応することで加工した。点 P の位置に力を加え、往復運動を生成することで脚の蹴り上げ動作を生成し、歩行動作を行う。

Figure 2 に脚部動作に必要な変位と力の関係を示す。①, ②, ③と脚先方向に 250 μ m 押し出し, ③, ④, ①と元の位置まで引き戻す方向に力を加え、微小力測定装置を用いて 10 μ m 間毎に加わる力を測定した。押し出し方向を正とし、シャトルの変位 220 μ m 辺りで最大 0.2mN 程度、変位 0 μ m 辺りで引き戻し方向に-0.2mN 程度必要なことがわかる。

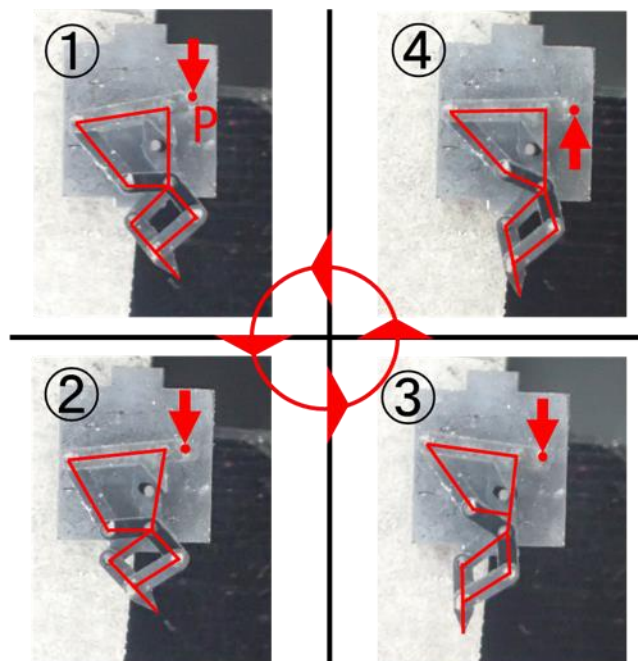


Figure 1. Leg motion

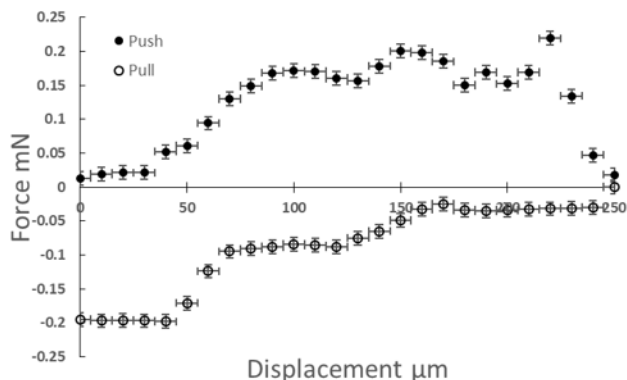


Figure 2. Forces required for leg motion

3. インチワームモータ

静電アクチュエータは SMA と比較し、低消費電力で駆動可能である。大きな変位量を生成するために、静電アクチュエータでシャトルを押し出し、MEMS ばねで引き戻すインチワームモータを設計した。インチワームモータは、silicon-on-insulator (SOI) 技術で作製することで、可動部を作製する。SOI ウェーハはデバイス層、埋め込み酸化シリコン層、ハンドル層である。

Figure 3 に設計したインチワームモータの構成を示す。インチワームモータの寸法は $2.2 \times 1.9 \text{mm}$ である。2 セットの対をなす静電アクチュエータを中央部のシャトルに対して対称の位置に配置し、静電アクチュエータの先い力を伝える脚、戻り力を生成するばね、シャトルの引っ掛かり部分、電極で構成した。

1つの静電アクチュエータには、140個の櫛歯を配置した。櫛歯間の電位差によって発生する静電気力により、シャトル方向へ移動し、アクチュエータに接続された脚はシャトルに力を伝達する。この動作を2組の静電アクチュエータで交互に行うことで、シャトルを押し出す。静電アクチュエータの駆動を止め、押し出されることで発生した変位量を利用して、10段重ねた板ばね3セットにより戻り力を生成する。

計算結果より、シャトルの押し出し力は太陽電池の最大出力である60Vで約1.5mN得られる。またfigure 2より、シャトルの変位が $0 \mu\text{m}$ になるまで約0.2mNの戻り力が必要であることがわかる。

Figure 4 に引っ掛かり部分の動きを示す。一定以上の変位を得るために、一度シャトルが押し出されると元の位置まで戻れないような、シャトルの引っ掛かり部分を設置した。往復運動が必要な $250 \mu\text{m}$ 間で、押し出し時に押し出し力と戻り力の差が常に0.2mN以上発生可能かつ、引き戻し時常に-0.2mN以上発生するように、引っ掛かり部分の設置位置とばね定数を設計した。

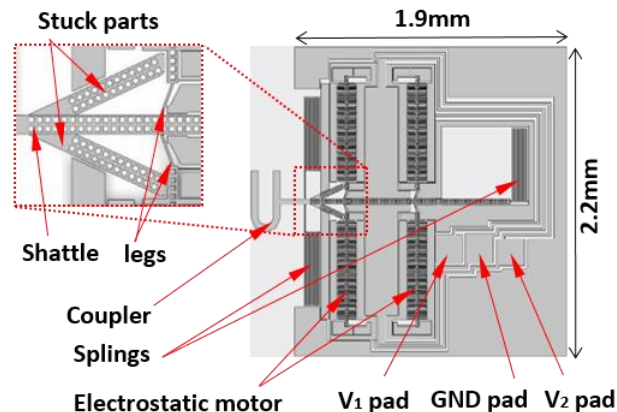


Figure 3. Construction of inchworm motor chip

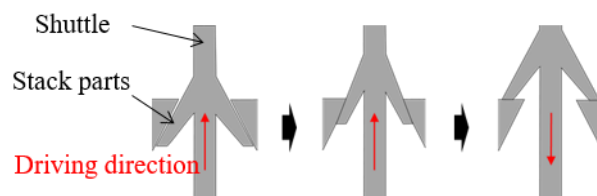


Figure 4. Movement of stuck parts

4. まとめ

今回、マイクロロボットの脚部機構の駆動に必要な力の測定を行い、最大で約0.2mNの力が必要であることがわかった。また、静電アクチュエータとMEMSばねによって押し引き運動を生成するインチワームモータの設計を行った。

今後、設計したインチワームモータの作製を行い、脚部機構の歩行動作の確認を行う。

5. 参考文献

- [1] D. Tanaka, Y. Uchiumi, S. Kawamura, M. Takato, K. Saito, and F. Uchikoba, "Four-leg independent mechanism for MEMS microrobot. Artificial Life and Robotics." September 2017, Volume 22, Issue 3, pp 380–384, 10.1007/s10015-017-0365-2
- [2] Y. Takeshiro, Y. Okamoto, and Y. Mita, "Mask-programmable on-chip photovoltaic cell array." Proc. of the Power MEMS 2017, November 14-17, pp. 596-597, 2017.
- [1] K. Saito, D.S. Contreras, Y. Takeshiro, Y. Okamoto, Y. Nakata, T. Tanaka, S. Kawamura, M. Kaneko, F. Uchikoba, Y. Mita, and K. S. J. Pister : "Syudy on Silicon Device of Microrobot System for Heterogeneous Integration", ICEP, 2018.