

## MEMS マイクロロボット用の双方向に駆動が可能なリニア静電モータの設計 Design of Bi-Directional Actuable Electrostatic Linear Motor for MEMS Microrobot

○長田元気<sup>1</sup>, 水元明日也<sup>1</sup>, 平尾聡志<sup>1</sup>, 武井裕樹<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>

\*Genki Osada<sup>1</sup>, Asuya Mizumoto<sup>1</sup>, Satoshi Hirao<sup>1</sup>, Yuki Takei<sup>2</sup>, Minami kaneko<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: The author aims to develop a micro-robot system that operates autonomously in millimeter size. The author developed the microrobot that can replicate the tripod gait locomotion. However, it is difficult to realize a small motor that can be mounted on a microrobot and that can be actuated with a small amount of energy. Therefore, the author focused on the electrostatic motor that can be driven with low power consumption, and designed the electrostatic motor that actuates the microrobot.

### 1. まえがき

近年、ミリメートルスケールのマイクロロボットは、Micro Electro Mechanical System (MEMS) 技術の発展によって盛んに開発されている。マイクロロボットは、既存のロボットでは使用が難しいさまざまな分野で活躍することが期待されている。医療分野では、患者の体内に直接マイクロロボットを取り込むことにより、内臓と血管の検査をおこなう期待されている。また、マイクロロボットを利用して患部に直接薬を投与することにより、患者の負担を軽減できると考えられている。その他にも、危険な施設などの、人では入ることの出来ない狭い場所の点検なども期待されている。

これまでに我々は 5mm 角程度の三脚歩行運動を再現可能な MEMS マイクロロボットを開発した<sup>[1]</sup>。マイクロロボットの筐体は MEMS 技術によって作製した。また、マイクロロボットの脚は、形状記憶合金 (SMA) アクチュエーターによって動作させた。SMA アクチュエータは脚の駆動が可能だが、消費電力が大きい。そのためマイクロロボットは外部電源によって動作させていた。

我々は低電力供給で動作する静電モータに着目した。開発した静電モータは、静電アクチュエータに電圧を加えることによって、駆動可能である。静電モータによって、マイクロロボットの脚部の踏み込み動作をおこなうことができる。また、この静電モータはばねの力によってマイクロロボットの脚部を元の位置に戻す動作をおこなわせた。しかしばねの引き戻し動作が不十分だったため脚部を元の位置に戻すことができなかった。

本論文では、ばねに替わる、静電アクチュエータによって引き戻し動作をおこなうリニア静電モータの設計をおこなったので報告する。

### 2. マイクロロボット脚部の動作

Figure1 にマイクロロボットの脚部の動作を示す。脚部の動作は、まず、P 点を下向きに 250 $\mu$ m 変位させることで、Figure1 の 1, 2, 3 のように脚先をリンク機構によって前に押し出す。次に P 点を上向きに 250 $\mu$ m 変位させることで、Figure1 の 3, 4, 1 のように踏み込み動作をおこなう。1 から 4 の動作を繰り返し行うことで足踏み動作を生成する。

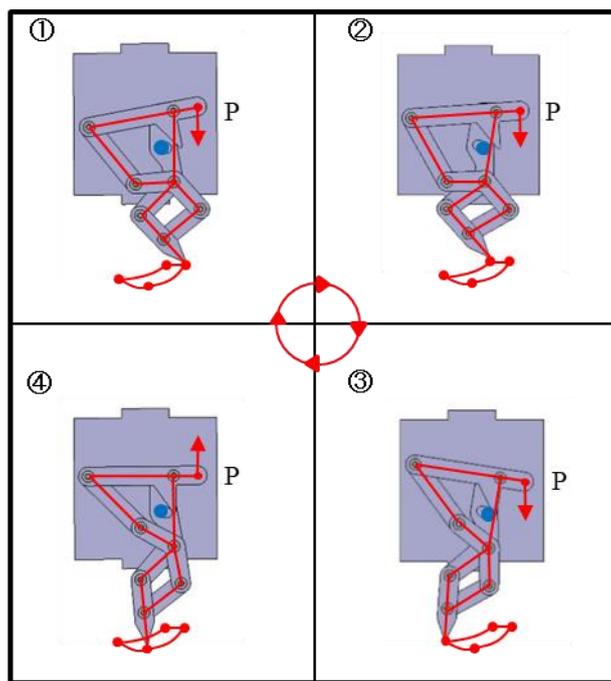


Figure1. Leg motion and trajectory of the leg

Figure2 に P 点の変位と脚部の動作に必要な力を示す。P 点を下向きに変位させる力を押し出し力とし、P 点を上向きに変位させる力を引き戻し力とする。Figure2 に示すように、最大の押し出し力が約 0.25mN、引き戻し力が約 0.2mN である。

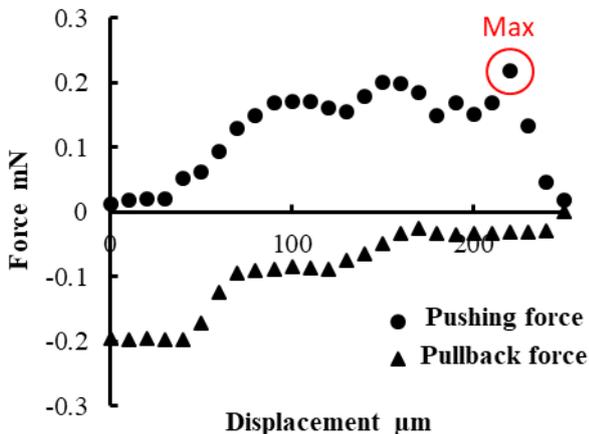


Figure 2. The characteristic of the force required to drive the microrobot leg against point P

以上よりマイクロロボットの脚部駆動を行うモータには 250 $\mu\text{m}$  以上の変位と 0.25mN 以上の出力が求められる。

### 3. リニア駆動可能な静電モータ

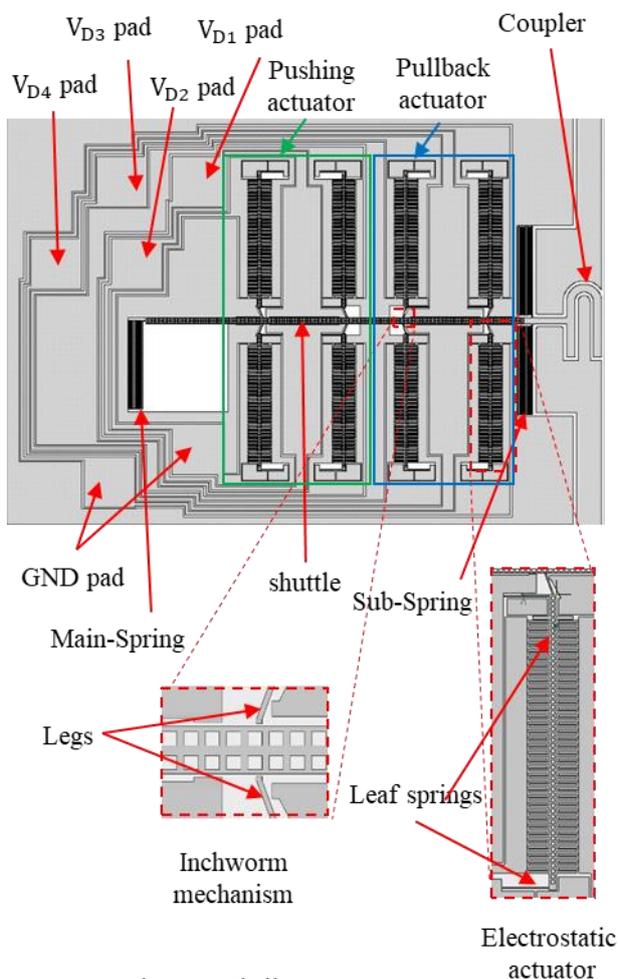


Figure 3. Electrostatic linear motor

Figure 3 にリニア駆動可能な静電リニアモータを示す、静電リニアモータは、シリコンオンインシュレータ (SOI) プロセスで製造することで、稼働部を浮かせた。静電モータはシャトル、シャトル先端に接合部、シャトルの押し出し用静電アクチュエータ 4 つ、引き戻し用静電アクチュエータ 4 つの計 8 つ、シャトルを初期位置に戻すためのメインスプリング、サブスプリング、電極  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$ ,  $V_{D3}$ ,  $V_{D4}$ , GND で構成した。

電極に電圧を加えると静電アクチュエータ櫛歯間に電位差が生じる、櫛歯間に起こる静電気力によって、静電アクチュエータがシャトル方向に移動する。静電アクチュエータの先端の斜め脚が 1 回の動作でシャトルを約 1 $\mu\text{m}$  移動する。初めに、押し出し用の静電アクチュエータ 4 つを駆動させる。静電アクチュエータ 4 つで 1 $\mu\text{m}$  の押し出し動作を繰り返すことで、シャトルを右側に最大 300 $\mu\text{m}$  駆動可能である。次に、引き戻し用の静電アクチュエータ 4 つを駆動させる。静電アクチュエータ 4 つで 1 $\mu\text{m}$  の引き戻し動作を繰り返す、移動したシャトルを初期位置に戻す。また、押し出し用と引き戻し用アクチュエータを制御することでシャトルを左右に 1 $\mu\text{m}$  の精度で駆動できる。

静電アクチュエータの厚さ、櫛歯間の距離、櫛歯の長さ、静電アクチュエータに掛かる電位差、静電アクチュエータの先端の脚の角度からシャトルに対する押し出し力と、引き戻し力を設計することができる。各数値より駆動時に最低 1.5mN の出力が得られた。

### 4. まとめ

MEMS マイクロロボット用微小制御可能な静電リニアモータの設計をおこなった。静電リニアモータは、マイクロロボットの脚部を駆動するのに十分な出力と変位を持つ。

今後、静電リニアモータ搭載したマイクロロボットを設計する。

### 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. 4. 16)