

## MEMS マイクロロボット用の重心偏移する脚部機構の設計 Design of Centroid Shift Leg Mechanism for MEMS Microrobot

○平尾聡志<sup>1</sup>, 長田元気<sup>1</sup>, 水本明日也<sup>1</sup>, 石川真聡<sup>2</sup>, 伊藤穂高<sup>2</sup>, 山田哲之<sup>2</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>

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

Abstract: In this paper, the authors design the centroid shift leg that improves on the microrobot leg developed so far. The conventional leg consists of 6 parts. The centroid shift leg consists of 4 parts, reducing energy loss due to friction. In addition, because of the centroid shift leg consists of 4 parts, the centroid shift leg is lighter and easier to assemble than conventional legs. From the results of theoretical calculation, the centroid shift leg need a force about 165 $\mu$ N maximum. The authors report that the centroid shift leg is possible to operate with less force than the conventional leg.

### 1. はじめに

近年、マイクロロボットの研究、開発が活発に行われている。特に小型な筐体を活かし、工場の配管内などの狭い空間で、従来よりも手軽に点検作業をおこなうことなどが期待されている。医療分野ではマイクロロボットを直接患者の体内に入れ、内部から検査をおこなうことにより、患者の負担を軽減させる研究が行われている<sup>[1]</sup>。また、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)等の微細加工技術の発展により従来の加工では困難であった小型化、高機能化が進められている。

先に我々は、4.6mm×9.0mm×6.4mm の筐体にコントローラとアクチュエータを搭載したマイクロロボットを作製した。作製したマイクロロボットは、昆虫の3脚歩行パターンでの歩行に成功した<sup>[3]</sup>。しかし、アクチュエータに使用した Shape Memory Alloy (SMA)の消費電力は94mWと高く、動作には外部電源を使用する必要があった。そこで、マイクロロボットに電源を搭載するために、低消費電力で駆動可能な静電モータを開発し、脚部の動作実験をおこなった。動作実験の結果、マイクロロボットの脚部の摩擦によるエネルギー損失が大きく、脚部を十分に動作できなかった<sup>[2]</sup>。

本論文では、脚部の摩擦によるエネルギー損失を減らすためにパーツ点数を減らしたマイクロロボット脚部を設計し、動作時に必要な力についての検討を行ったので報告する。

### 2. 従来のマイクロロボット脚部

Figure 1 (A)に従来のマイクロロボット脚部の組み立て図を、Figure 1 (B)にマイクロロボット脚部の動作図をそれぞれ示す。脚部はBar1~6の6パーツを直径0.1

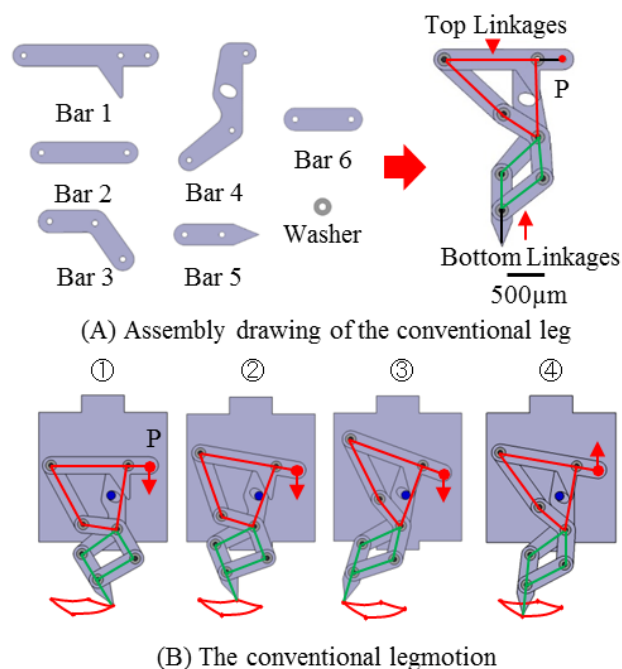


Figure 1. The conventional leg

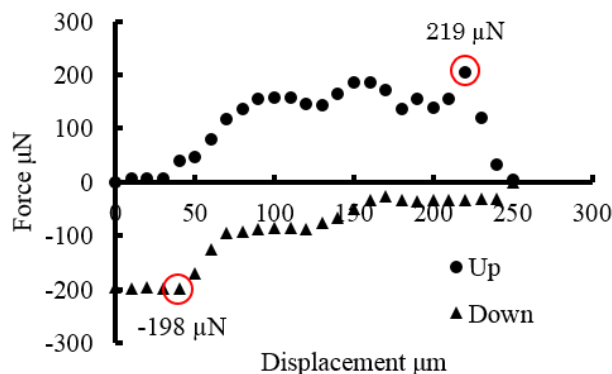


Figure 2. Force the conventional leg drive

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

±0.002 mm の超硬棒 7 本で接続, ワッシャ 14 個を用いて超硬棒を固定した. また, Bar1~6 は厚さ 200 $\mu\text{m}$  のシリコンウェハを, ワッシャは厚さ 100 $\mu\text{m}$  のシリコンウェハを MEMS 技術を用いて加工し作製した. 脚部には Bar1~4 で構成した上部 4 節リンク機構と Bar3~6 で構成した下部 4 節リンク機構を組み込み, アクチュエータの上下運動を足踏み動作に変換した.

Figure2 にマイクロロボット脚部の動作時に必要な力と変位の関係を示す. Figure 2 の●は, 点 P を上方方向に移動した際のデータ, ▲は点 P を下方方向に移動した際のデータである. また, 測定には微小力測定器を使用した. 測定結果より, マイクロロボット脚部は上昇時には最大 219 $\mu\text{N}$ , 下降時には最大 198 $\mu\text{N}$  の力が必要であることを確認した. また, 動作には 250 $\mu\text{m}$  の変位が必要である.

### 3. 重心偏移脚部

Figure 3 (A)に重心偏移脚部の組み立て図を, Figure 3 (B)に重心偏移脚部の動作図を示す. 重心偏移脚部は Bar1~Bar4 の 4 パーツで構成する. また, Bar2 中央の穴を使用し, マイクロロボットの筐体と重心偏移脚部を接続を, Bar1 上部の点 P を使用し, アクチュエータと重心偏移脚部の固定をおこなう. 従来の 6 パーツ構成に対し重心偏移脚部は 4 パーツで構成したため, 各パーツの接触面積が減少した. これによりパーツ間に生じる摩擦によるエネルギー損失の減少ができたと考える. また, 重量の減少及び, 組み立て時の人為的な負担軽減が行える.

重心偏移脚部は 4 節リンク機構とクランク機構の複合機構を組み込んだ. 点 P を上下に動作することで複合リンク機構により脚部が足踏み動作を生成する. 脚部は Bar4 が回転し, Bar4 の回転を Bar3 を用いて変換, 拡大し, 脚先の軌跡を生成する. Bar4 の形状をコの字に設計することで重心位置をずらし死点による機構のロックの防止及び, 回転方向の決定をおこなった. また, Bar1 と Bar4 が成す角  $\theta$  が  $0\sim 2.6^\circ$ ,  $182.6\sim 360^\circ$  の際は Bar1 と Bar3 が重なった状態となる.

Figure 3 に Figure2 を元に計算した重心偏移脚部の動作に必要な力の理論値を示す. 従来の脚部と比べ重心偏移脚部はパーツ間の接触面積を減らした. したがって, 重心偏移脚部は上昇時に最大 165 $\mu\text{N}$ , 下降時には最大 158 $\mu\text{N}$  の力で動作可能であると考えられる. 従来よりも動作に必要な力を減少させることができたため, 低消費電力で動作可能な静電モータで重心偏移脚部を動作可能だと考えられる.

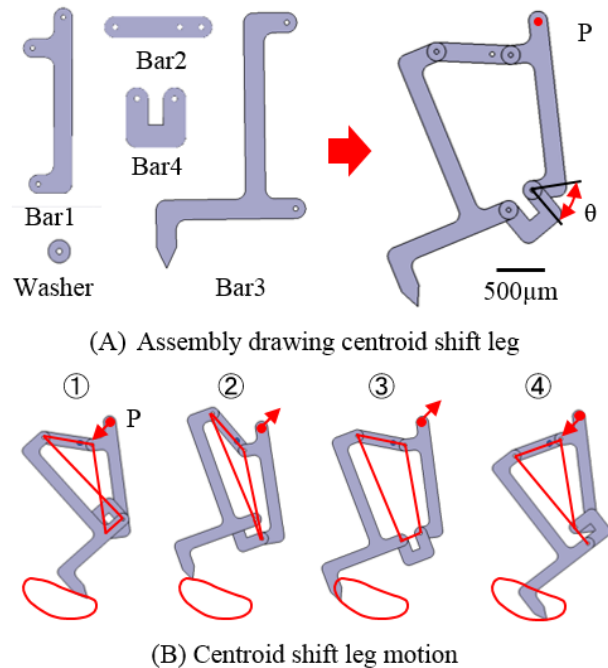


Figure 3. Centroid shift leg

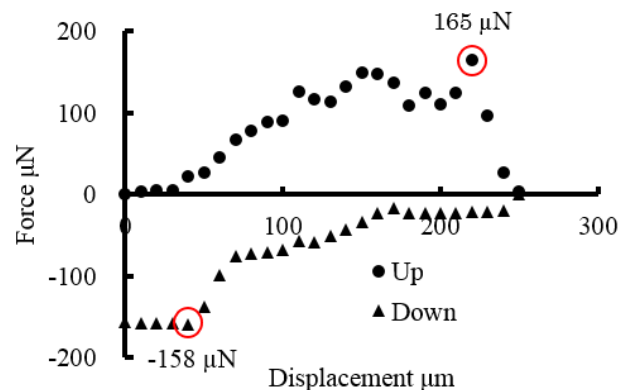


Figure 4. Force the centroid shift leg drive

### 4. まとめ

本論文では, 重心偏移脚部の設計及び動作時の力の理論値計算を行った. 計算の結果, 165 $\mu\text{N}$  の力で動作可能なことを示した. 今後は重心偏移脚部の作製を行う予定である.

### 5. 参考文献

[1] Masaya Hagiwara, Akihiko Ichikawa, Tomohiro Kawahara, Fumihito Arai : “High Speed Eucleation of Oocyte Using Magnetically Acutuated Microrobot on a Chip”, 2012 IEEE, pp364-367, 2012  
 [2] 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” ICEP2018