

MEMS マイクロロボットに用いる剣形脚部の開発 Development of Sword-Shaped Legs for MEMS Microrobots

○古屋董¹, 榎澤瑠奈¹, 石川真聡¹, 伊藤徳高¹, 山田哲之¹, 森下克幸², 武井裕樹², 齊藤健³

*Sumire Furuya¹, Runa Enosawa¹, Masato Ishikawa¹, Hotaka Ito¹, Noriyuki Yamada¹, Katsuyuki Morishita², Yuki Takei², Ken Saito³

Abstract: The authors are developing an autonomously driven MEMS microrobot. Previously, the authors have developed the electrostatic motor as an actuator. However, the generating force of the electrostatic motor was small to actuate the conventional leg mechanism. We designed a new sword-shaped leg mechanism to solve high friction force due to many parts and connections of the conventional leg mechanism. The sword-shaped leg mechanism reduces the number of parts and connections. In this paper, we measured the force required to actuate the new leg mechanism of the microrobot.

1. はじめに

近年、工場などの管内の検査、災害現場の調査など、人が直接関与できない狭い空間で活動するマイクロロボットの研究開発が進んでいる^[1]。マイクロロボットが自律行動するには、センサ、制御回路、筋肉、駆動に必要なエネルギー源などの4つの要素が必要であり、全て小さな体に搭載している昆虫などが頻りに参考とされる^[2]。しかし、ミリメートル以下のサイズで4つの要素を搭載したロボットは未だ存在しない。

我々は、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)の微細加工技術を用いて、自律駆動が可能なMEMSマイクロロボットの開発をおこなっている。先に我々は、Shape Memory Alloy (SMA)を使用したアクチュエータとコントローラを搭載した6足歩行型のマイクロロボットを開発し、歩行に成功した^[3]。また電源を搭載するために、低消費電力で駆動する静電モータを開発した^[4]。しかし、従来の脚部は部品数が6つ、接続数が7つで構成しているため、摩擦力の影響が大きく、脚部は十分に駆動しなかった。

本論文では、新たに剣形脚部の脚部機構を開発し、実際に作製した脚部機構の駆動に必要な力を測定して従来の脚部機構と比較をおこなったので報告する。

2. 剣形脚部の設計

Figure 1に従来の脚部の構造を示す。従来の脚部は6つの部品、7つの接続点で構成しており、点Pは力点、点F₁, F₂は固定点である。2つの4節リンク機構を組み合わせた構造であり、アクチュエータの生成する直線運動を足踏み動作に変換する。しかし、部品間に働く摩擦力が大きいため、静電モータでは十分に駆動することができなかった。

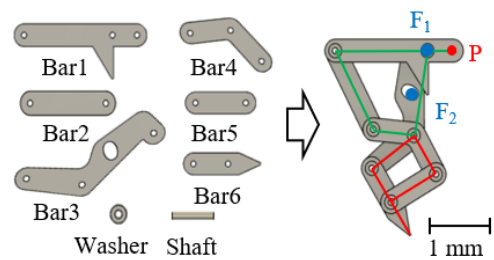


Figure 1. Conventional leg structure

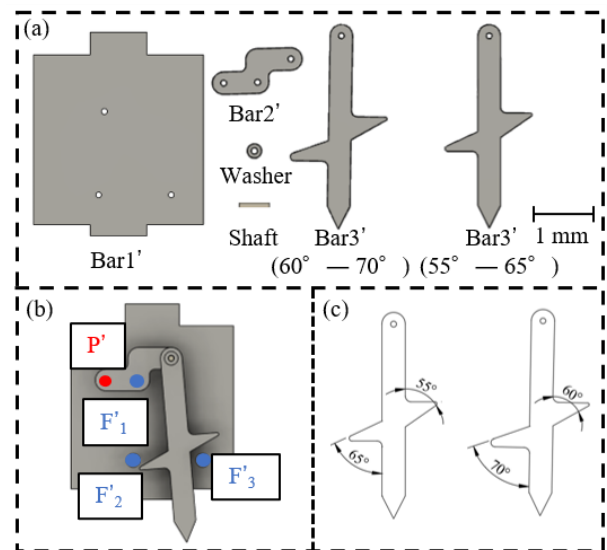


Figure 2. Sword-shaped Leg (a) Leg parts (b) Leg structure (c) Parts angle

Figure 2に新たに開発した剣形脚部の構造を示す。点P'は力点、点F'₁, F'₂, F'₃は固定点である。Figure 2(c)に示すように固定点F'₂, F'₃に触れる部分の角度を変更したものを2つ設計した。固定点F'₂, F'₃はBar3'と接触するため、厚さ200 μmのWasherを4つずつ入れてShaftをカバーした。従来の脚部と比較し、部品数が4つ、接続点が1つに削減したことにより、摩擦力の低減が可能である。

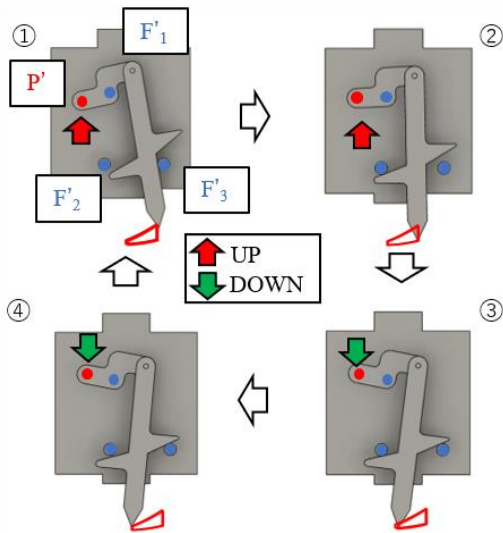


Figure 3. Sword-shaped Leg movement

Figure 3 に剣形脚部の脚先方向の軌跡を示す. 点 P' を直線運動させ, Bar3'が固定点 F'2, F'3 に接触することで, 脚先方向が変わり①~④のような軌跡を描き, 脚部が駆動する.

3. 測定結果

Figure 4, Figure 5 に設計した 2 種類の剣形脚部の駆動に必要な力を示す. 測定はマイクロフォースセンサを用いておこなった. Figure 4 より, 55° - 65° の脚部では, UP 時に最大 6.85 μN , DOWN 時に最大 6.71 μN の駆動力が必要であり, Figure 5 より, 60° - 70° の脚部では, UP 時に最大 6.96 μN , DOWN 時に最大 6.84 μN の駆動力が必要であるとわかった.

従来の脚部では UP 時に最大 198 μN , DOWN 時に最大 219 μN の駆動力が必要であり, 剣形脚部と比較すると, 55° - 65° の脚部は UP 時に約 96.54 %, DOWN 時に約 96.93 %, 60° - 70° の脚部では, UP 時に約 96.48 %, DOWN 時に約 96.87 % 駆動力を低減した. 従来の脚部では部品の接続点が 7 つあり, 部品同士の接触面積の合計は 1.20 mm^2 であった. 剣形脚部では, 部品数を 2 つに削減したことで接続点が 1 つ, 部品同士の接触面積が 0.12 mm^2 になり, 従来の脚部より約 89.62 % 削減した.

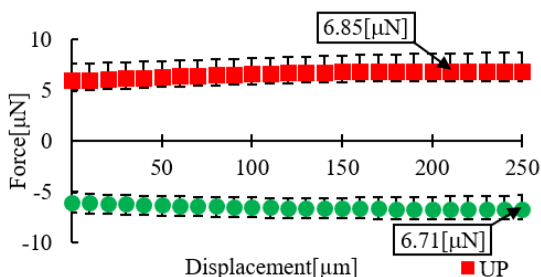


Figure 4. Force required for Legs.(55° - 65°)

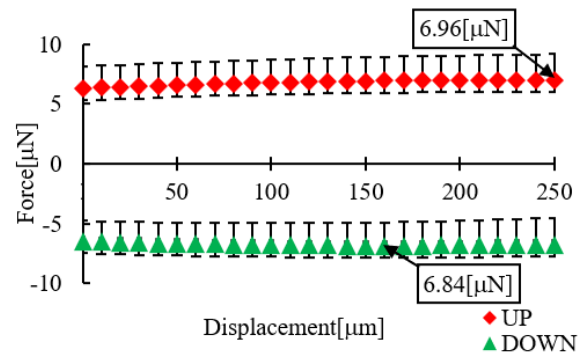


Figure 5. Force required for Legs.(60° - 70°)

4. まとめ

本論文では, 新たに剣形脚部の脚部機構を開発し, 実際に作製した剣形脚部の駆動に必要な力の測定結果を報告した. 測定結果より, 剣形脚部は従来の脚部に必要な駆動力を 55° - 65° の脚部は UP 時に約 96.54 %, DOWN 時に約 96.93 %, 60° - 70° の脚部では, UP 時に約 96.48 %, DOWN 時に約 96.87 % 削減したことを明らかにした. 従来の脚部の部品同士の接触面積の合計は 1.20 mm^2 であった. 部品を削減したことで, 剣形脚部の部品同士の接触面積は 0.12 mm^2 と従来の脚部より約 89.62 % 削減した.

今後は新たに開発した剣形脚部の脚部機構をロボットに実装する予定である.

5. 参考文献

- [1] 中里裕一, 伊藤高廣, 寺田英嗣, 鈴木健司, 新山時弘:「実用領域におけるマイクロ/ナノシステム—医療分野およびインセクトスケールメカニズム—」, 精密工学会誌, 86 巻, 10 号, pp.746-750, 2020.
- [2] 三浦宏文:「昆虫規範型マイクロロボット」, 日本ロボット学会誌, 21 巻, 3 号, pp.236-238, 2003.
- [3] Ken Saito, Minami Kaneko, and Fumio Uchikoba : “Ant-Like Walking Behavior of MEMS Microrobot With Artificial Neural Networks IC,” IGI Global, Handbook of Research on Biomimetics and Biomedical Robotics, pp.228-245, 2017
- [4] 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