

MEMS マイクロロボットに用いる引き戻し力を低減した四節リンク脚部の設計 Design of Four-node Link Leg with Reduced Pull-Back Force for MEMS Microrobots

○富永雄大¹, 高橋知宏², 熊倉佑樹², LYUSHUXIN³, 森下克幸³, 齊藤健⁴

*Yudai Tominaga¹, Tomohiro Takahashi², Yuki Kumakura², Shuxin Lyu³, Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are developing the MEMS microrobot that walks autonomously. We plan to use electrostatic motors to drive the legs of the microrobot. However, the electrostatic motor did not have enough pull-back force to drive the conventional leg mechanism. A new four-node link leg mechanism was designed to reduce frictional forces due to the large number of parts and connection points in the conventional leg mechanism. This paper reports on the calculation of leg-tip displacement with a four-node link leg mechanism and a comparison of the leg-tip trajectory with a conventional leg mechanism.

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]。

我々は微細加工技術である Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)プロセスを用いて、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^[2]。先に我々は、コントローラと Shape Memory Alloy (SMA) アクチュエータを搭載した6足歩行型MEMS マイクロロボットを開発し、歩行に成功した。また、マイクロロボットに搭載可能な小型の電源を用いて脚部を駆動するために、低消費電力の静電モータを開発した^[3]。しかし、静電モータと脚部を接続し、駆動実験をおこなったところ脚部の引き戻しが実現できなかった。これは従来の脚部の部品数が6個であり、摩擦力の影響が大きくなってしまったことが原因と考えられる。

本論文では、新たに必要な引き戻し力を低減し、さらに従来の脚部よりも高さ方向の変位が大きい脚部機構を設計し、脚先の変位量の計算および比較をおこなったので報告する。

2. 四節リンク脚部の構造

Figure 1 に従来のマイクロロボットの脚部機構を示す。点Pは力点、点F₁, F₂は固定点である。従来の脚部は6個の部品と7個の接続点から構成されており、Bar1~Bar6の部品に設けられた穴に対してShaftを通し、両側からWasherを用いて留めることで歩行機構を実現している。しかし、従来の構造では部品数と接続点が多いため、それに伴う摩擦力も大きく、静電モータが出力可能な引き戻し力では脚部の駆動が実現でき

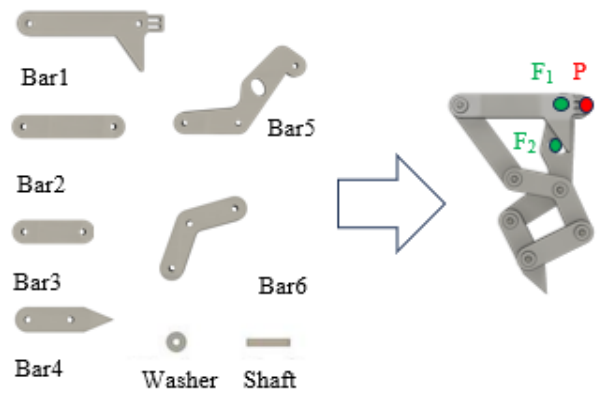


Figure1. Conventional leg structure

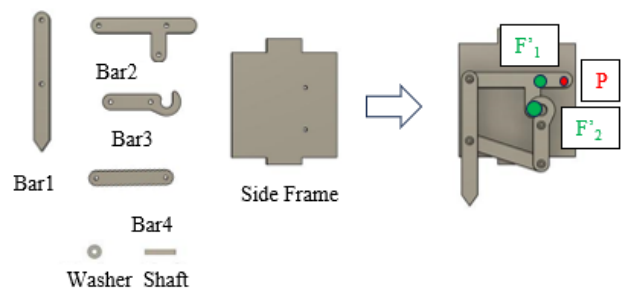


Figure2. Four-node link leg structure

ず、想定していた変位量を得ることができなかった。

そのため、静電モータの引き戻し力での駆動を目的として、部品と接続点を従来の脚部より削減した脚部を検討した。

Figure2 に新たに開発した四節リンク脚部機構の構造を示す。点P'は力点、点F'1, F'2は固定点である。四節リンク脚部は4個の部品と5個の接続点から構成されており、従来の脚部から2個の部品と2個の接続点を削減した。

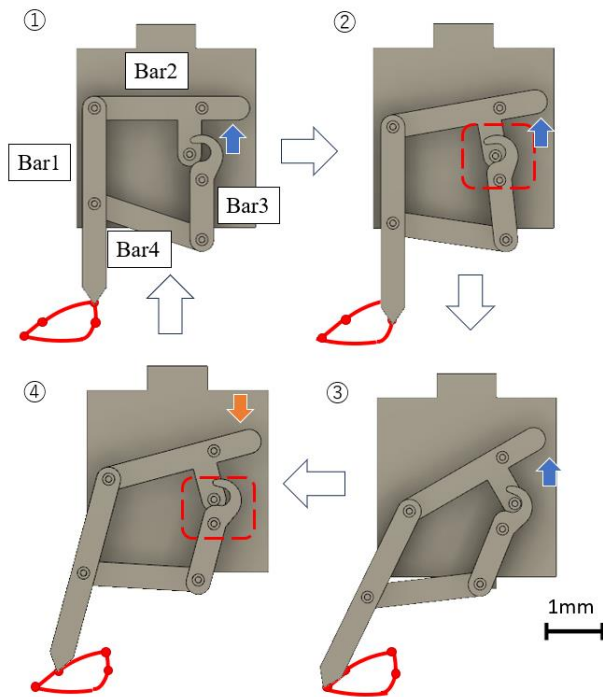


Figure3. Trajectory of the leg tip

Figure3 に四節リンク脚部機構の脚先の軌跡を示す。四節リンク脚部の駆動手順を以下の①~⑤に示す。

- ① Bar2 先端を矢印の箇所から押し上げることで Bar2 が傾き、それに伴い Bar 1 が下にさがる
- ② Bar2 の傾きが一定以上になると赤枠部分の Bar2 と Bar3 が接続されて Bar1~Bar4 の四節リンクとなる。
- ③ 四節リンクが最大まで駆動する。
- ④ Bar2 先端を矢印の部分から引き戻す。このとき、赤枠部分の Bar2 と Bar3 の接続が解除される。
- ⑤ ①~④を繰り返すことで歩行が実現できる。

④にて Bar2 と Bar3 の接続が解除されるため接点が減り駆動に必要な引き戻し力を低減することが可能である。

3. 四節リンク脚部の脚先変位量

2つの脚部機構の脚先の変位量について計算をおこなった結果、従来の脚部機構の変位量は、横方向に 1475 μm 、高さ方向に 365 μm であった。一方、今回設計した四節リンク脚部機構は、横方向に 1140 μm 、高さ方向に 598 μm の変位量が得られることが分かった。従来の脚部機構では、静電モータの引き戻し力が足りなかったため、計算で求めた変位量を生成することはできなかったが、今回設計した四節リンク脚部機構で

あれば、部品数および接続点が低減され、摩擦の影響が少ないので、従来の脚部機構よりも計算で求めた変位量と同等の歩行が可能であると考えられる。

4. まとめ

本論文では、新たに引き戻し力を低減した四節リンクの脚部機構を開発した。また CAD を用いて接地時の変位を比較したところ、横方向には従来の脚部の 0.77 倍、高さ方向には従来の脚部の 1.64 倍と十分な変位を得ることができた。

今後はフォトマスクの設計をおこない、MEMS 加工技術を用いてシリコンウエーハを加工することで等倍サイズの脚部を作製する。さらに、マイクロフォースセンサを用いた脚部駆動に必要な力の測定と静電モータによる駆動実験をおこなう予定である。

5. 謝辞

本研究は、令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである。また、本研究の一部は令和2年度日本大学学術研究助成金 総合研究の助成を受けたものである。

6. 参考文献

- [1] 中里裕一, 伊藤高廣, 寺田英嗣, 鈴木健司, 新井時弘:「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] Ken Saito Daniel S. Contreras, Yudai Takehiro, Yuki Okamoto, Yuya Nakata, Taisuke Tanaka, Satoshi Kawamura, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, Yoshio Mita, and Kristofer S. J. Pister: “Study on Silicon Device of Microrobot System for Heterogeneous Integration”, ICEP, pp.33 - 37, 2018.
- [3] Ken Saito, Daniel S. Contreras, Yudai Takehiro, 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 Institute of Electronics Packaging, Vol.12, ppE18-009-1-E18009-7, 2019