

MEMS マイクロロボットに用いる複数の静電モータを用いた4節リンク脚部の設計 Design of Four-Node Link Leg Part Using Multiple Electrostatic Motors for MEMS Microrobot

○政井悠夏¹, 田巻祐哉¹, LYUSHUXIN², 齊藤健³
*Yuka Masai¹, Yuya Tamaki¹, Shuxin Lyu², Ken Saito³

Abstract: We have studied microrobots that mimic insect functionality using MEMS technology based on microfabrication techniques. Previously, we proposed MEMS microrobots, which can walk on external power. However, the actuator used shape memory alloy, and the legs needed manual assembling. This paper proposes a four-node link mechanism that does not require manual assembly. Also, the electrostatic actuator can assemble in batch fabrication with legs.

1. はじめに

近年、ロボットは工場等の点検や配管内の異常検知など人手が不足している分野や、災害現場などの危険な場所での作業にロボットを使用する動きが活発になっている。特にマイクロロボットは、人間が直接関与できない狭い空間で活動や点検を行うことが期待されているおり、医療分野において患者の負担軽減をしつつ体内の検査を行うマイクロロボットの研究・開発が行われている。上記の条件でロボットが活動するためには自律駆動をする必要があり、自律的に行動する小型生物として昆虫を模倣した研究も多く存在する。昆虫には自律駆動の実現の必要とされるセンサ、制御回路、アクチュエータ、電池の4つの要素を感覚器官、脳、筋肉、エネルギー源として全て小さな体に搭載している。昆虫を模倣した4つの要素を同様にマイクロロボットに搭載することで、マイクロロボットは自律駆動が可能となる。

我々は、微細加工技術を応用した Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いた、自律駆動が可能な MEMS マイクロロボットを開発している。先の研究では、Shape Memory Alloy (SMA) を使用した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^[1]。また、マイクロロボットの駆動回路として、アナログ集積回路で構成したニューラルネットワークを実装した。しかし、SMA は消費電力が大きいため、マイクロロボットに電源を搭載することは困難であった。そこで低消費電力である静電引力を用いた静電モータを開発した^[2]。しかし6つの部品で構成した従来の脚部は、部品と部品に生じる摩擦力が大きく、静電モータでは十分に駆動しなかった。また部品が小さく人による組み立てが困難であった。

本論文では、組み立てが不要な4節リンク機構を用いた脚部を提案し、小型の太陽電池で駆動が可能な静電アクチュエータと一括形成する設計について検討したので報告する。

2. MEMS マイクロロボット

Figure 1 に先に作製した6足歩行型 MEMS マイクロロボットを示す。ロボットの大きさは幅 9.9 mm, 奥行き 4.6 mm, 高さ 6.4 mm であり、アクチュエータには SMA を使用した。また、Figure 1 には機械的な構造を示すために搭載していないが、駆動回路にはアナログ集積回路で構成したニューラルネットワークを実装した^[1]。筐体と脚部の部品は、厚さ 200 μm のシリコンウェハにアルミニウムを蒸着した後にポジ型レジストを塗布し、露光装置で露光した。その後現像、混酸ウェットエッチングによってパターンを作製し、誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasmas : ICP) ドライエッチング装置によってシリコンをエッチングした。筐体と脚部の部品は、顕微鏡下で組立てることでロボットを作製した。

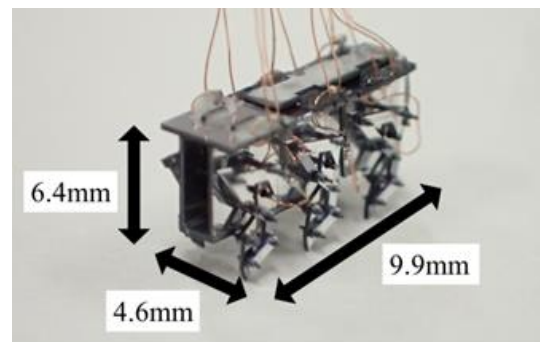


Figure1. MEMSMicrorobot

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

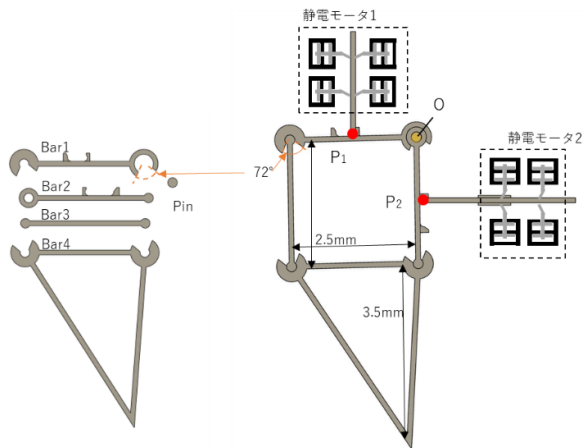


Figure 2. Structure of the leg using four-node link mechanism

3. 設計した一括型脚部

Figure 2 に新たに設計した 4 節リンク機構を用いた脚部の構造を示す. 従来のマイクロロボットは体長が 9.9 mm であることに倣い, 設計する際は脚部一つの寸法を縦 6.4 mm, 横 3 mm の範囲に収めた. 新しく設計した脚部は 4 節リンク機構であり, 従来の 6 節リンク機構に比べて簡素化した. またパーツ同士で重なる部分が存在しないため, 静電モータの駆動部と同様の加工工程で脚部を作製することができる. この脚部は Bar1~Bar4 で構成し, Pin は犠牲層を残すことでハンドル層とデバイス層に共通する固定ピンとし, 固定点 O とする. 点 P₁, P₂ には下向きと左向きに静電アクチュエータを配置し力点とする. 固定点以外は土台となるプレートに対して自由に動くことができ, クローズドループ構造でありながら 2 自由度を持っている.

Figure 3 に脚部動作を示す. まず①から③に移行する場合, 静電モータ 1 が力点 P₁ を押し, P₂ を静電モータ 2 が off なので元の位置に引き戻される. これにより内角を変化させずに後ろへ足先を移動させることができる. ③から④へ移動する場合, P₁ 引き戻され P₂ を押すことで, 足先を前方へ動かす. ④から①へは, P₁, P₂ をどちらも押すことで内角が狭くなり足先が伸びる. この脚部は 4 節リンク機構の Bar1 と Bar2 の角度で足先までの距離が変化し, 2 つの静電モータによって位置が決定する. 従って, 支点から足先までの距離を増減させるための 2 変数を, 2 つの力点の変位に分散することができる. しかし足先の軌道が構造によって決定づけられていない点と部品が脱落するおそれがあるため, ばねによって筐体側面につなげる必要がある. Fusion360 を用いて変位を計測した結果, 足先の変位は縦 365 μm, 並行方向 3204 μm

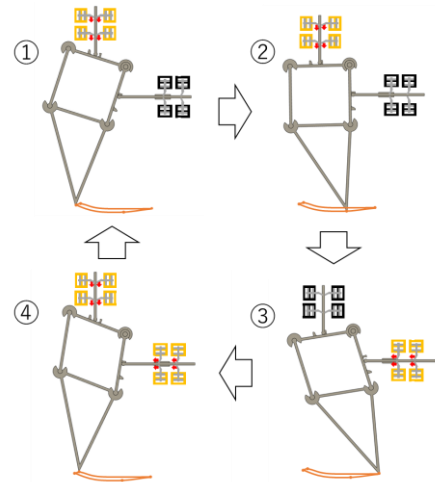


Figure 3. Leg movement

となった. 並進方向は従来の脚部の変位の約 2 倍となった.

4. まとめ

本論文では, 組み立てが不要な 4 節リンク機構を提案し, 小型の太陽電池で駆動が可能な静電アクチュエータと一括形成する設計について検討した. 検討の結果, 足先が横方向に 3204 μm, 縦方向に 365 μm 移動することを明らかにした.

今後, 実際にマイクロロボットの作製を行なう予定である.

謝辞 本研究は, 文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(JPMXP1223UT1015)の支援を受けたものである. また, 日本大学特別研究の助成を受けたものである. 脚部機構の試作は, 武田先端知ビルスーパークリンルーム(d.lab)の支援を受けて行われたものである.

5. 参考文献

- [1] Satoshi Kawamura, Daisuke Tanaka, Taisuke Noguchi, Yuichiro Hayakawa, Minami Kaneko, Ken Saito, Fumio Uchikoba: "Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism", *Artificial Life and Robotics*, pp. 380-386 (2018)
- [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)