

K-20

不整地での歩行を想定した昆虫型 MEMS マイクロロボットの脚構造の開発

Development of Leg Structure of Insect-Type MEMS Microrobot for Walking on Uneven Terrain

○高住昂樹¹, 中村こもも¹, LYU SHUXIN², 加藤凌², 武田健嗣³, 粟飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 内木場文男⁴
 *Koki Takasumi¹, Komomo Nakamura¹, Jyokin Ryo², Ryo Kato², Kenji Takeda³,
 Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: In recent years, there have been expectations for a development of robots that can work inside precision instruments and microtubules that are inaccessible to humans. Previously, we developed an insect-type microrobot with a length of less than 10 mm using Micro Electro Mechanical System (MEMS) technology. However, this microrobot has not been able to walk on uneven terrain. In this study, we aim to develop a MEMS microrobot that can climb tree branches and work at high altitudes.

1. はじめに

近年、人間が立ち入りできないような狭所や高所でのロボットの活躍が多くみられている。特に、精密機器内部や細管内などで作業が可能なマイクロメートルサイズの小型のロボットの開発が進められている^[1]。

先行研究として、我々は Micro Electro Mechanical System (MEMS) 技術を用いて全長 10mm 未満の昆虫型マイクロロボットを開発した^[2]。昆虫などの小型生物は歩行能力に優れており、状況に応じて歩行パターンを変えることができる^[3]。昆虫の動作を模倣することで応用範囲を広げられるといえ、医療分野や災害現場でも活躍が期待できる。

しかし、このマイクロロボットは平坦な場所でしか歩行の確認ができておらず、不整地における歩行は実現できていない。災害現場など不整地な場所で活躍するには、その場に対応できるような機構を考える必要がある。

本論文では、高所での作業を目的とし、樹枝を登攀できるような昆虫型 MEMS マイクロロボットの脚部の検討をしたので報告する。

2. 6足歩行型 MEMS マイクロロボット

Figure1 に先行研究で開発した昆虫型 MEMS マイクロロボットの構造を示す。マイクロロボットの構成要素は、フレーム、回転アクチュエータ、リンク、脚部で構成され、各パーツは MEMS 工程で作製した。シリコンウェハにフォトリソグラフィ工程によりパターンニングをし、Inductively Coupled Plasma (ICP) ドライエッチングで加工を行った。

回転アクチュエータには Ti-Ni 系の形状記憶合金による人工筋肉ワイヤを接続した。人工筋肉ワイヤは、電流を流すことでジュール熱により収縮し、電流を遮

断することで弛緩する性質をもっている。この性質を使い、Figure2 (a) に示すように 4 本の人工筋肉ワイヤに順に電流を流しアクチュエータを回転させることで、リンク機構によりロータの回転動作を脚に伝達している^[4]。

マイクロロボットの脚は 6 足であり、昆虫の中でも蟻の歩行パターンを模倣した。蟻は 6 本の脚が同時に動いているため、凹凸のある表面でもスムーズに移動することができる。さらに、3 本の脚は常に地面に接しており、Figure2 (b) のように扁平な体の重心を三角形形状の疑似的な 2 足で常に支えていることになるため、安定した歩行をすることができる。

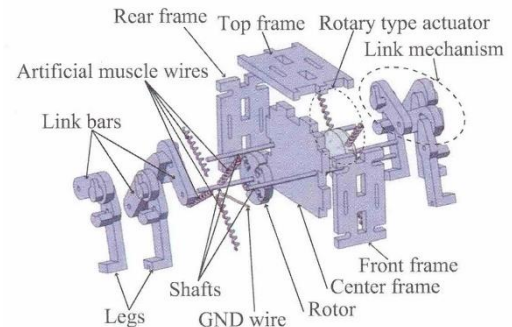


Figure1. Structure of the microrobot

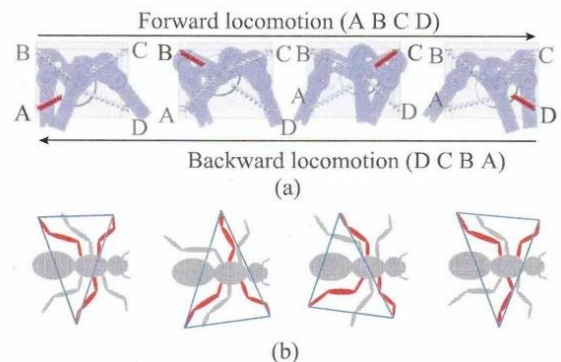


Figure2. Locomotion of the MEMS microrobot

3. 新設計昆虫型マイクロロボット

Figure3 に樹枝の登攀を可能とした MEMS マイクロロボットの構想図を示す. 先行研究で開発したマイクロロボットに 4 節リンク機構を用いた足先をつけることで, 足先を内側に曲げられるようにし, 樹枝を掴めるよう設計した. 寸法は, 全長 3.0mm×幅 6.4mm×高さ 2.5mm になる予定である.

Figure4 に今回検討した足先のリンク機構の動作を示す. Foot5 に接続した人工筋肉ワイヤが収縮すると, Foot1~4 が一体となって曲がるようになる. Foot3 が障害物に接触すると, Foot1, 2, 4 のリンク機構が動作し, 足先が樹枝を抱え込むように折れ曲がるようになる.

人工筋肉ワイヤには, 前に出した脚が地面に着くタイミングで電流を流し, 3 本の脚で抱え込みながら歩行するように制御する. Foot4 の先端には突起がついており, この突起を樹枝に引っ掛けることによって落下を防止する.

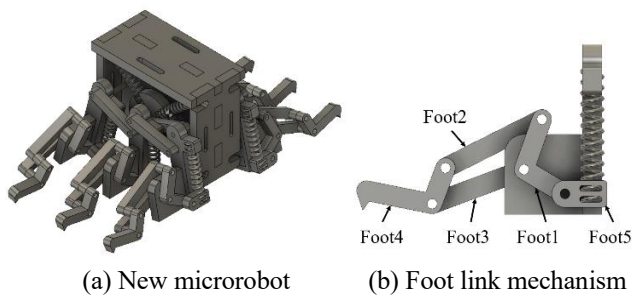


Figure3. Conceptual drawing of the new microrobot and foot link mechanism

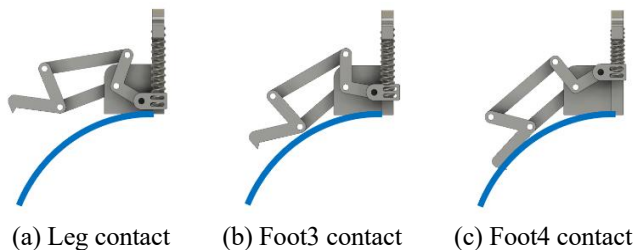
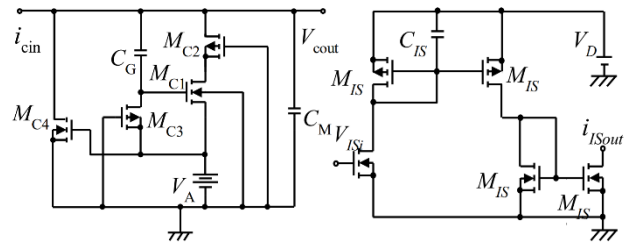


Figure4. Locomotion of the foot

4. 人工ニューラルネットワーク

マイクロロボットの脚の駆動回路には, 生物の神経系を構成する神経回路を模倣した人工ニューラルネットワークを用いた. 人工ニューラルネットワークは Figure5 に示すように, 細胞体モデルと抑制性シナプスモデルで構成した. 細胞体モデルは, 生物の神経細胞と同様に相対不応性, 出力パルスのアナログ性, 時間的に変化する負性抵抗特性をもつ. また, 抑制性シナプスモデルは生物のシナプスと同様に時空間的加算特性をもつ. 先行研究で用いた人工ニューラルネットワ

ークは, 4 個の細胞体モデルを 12 個の抑制性シナプスモデルで全結合し, 逆相同期の波形を出力させることでマイクロロボットの歩行を実現した.



(a) Cell body model (b) Inhibitory synaptic model

Figure5. Circuit diagram of the cell body model and the inhibitory synaptic model

5. まとめ

本研究では, 昆虫型 MEMS マイクロロボットの足先にリンク機構を設け, 樹枝の登攀を目的としたマイクロロボットの検討を行った. 今後はシミュレーションソフトや 3D プリンタで模型を作製し, 歩行動作の確認や人工筋肉ワイヤの負担, 足先の制御回路の設計を行う. また, 実際に MEMS 工程で本体を作製し歩行試験を行う.

6. 参考文献

- [1] 高橋昌樹, 林巖, 岩附信行, 鈴森康一, 黄木昇:「みみずの運動を応用した細管内移動マイクロロボットの研究」, 精密工学会誌, Vol.61, No.1, pp.90-94, 1995.
- [2] 齊藤健, 高藤美泉, 内木場文男:「集積回路で実現した人工脳をもちいた MEMS マイクロロボット」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.19, No.6, pp.394-397, 2016.
- [3] Satoshi Kawamura, Daisuke Tanaka, Taisuke Tanaka, Daisuke 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, Vol.23, No.3, pp.380-386, 2018.
- [4] Ken Saito, Kazuaki Maezumi, Yuka Naito, Tomohiro Hidaka, Kei Iwata, Yuki Okane, Hirozumi Oku, Minami Takato and Fumio Uchikoba: “Neural Networks Integrated Circuit for Biomimetics MEMS Microrobot”, Robotics 2014, Vol.3, No.3, pp.235-246, 2014.