

自律歩行の実現に向けた電池牽引型MEMSマイクロロボットの開発

Development of a Battery-towed MEMS Microrobot for Autonomous Walking

○高住昂樹¹, 高久美咲¹, 楊一帆¹, 道地隼佑², 金子美泉³, 内木場文男³*Koki Takasumi¹, Misaki Takaku¹, YIFAN YANG¹, Shunsuke Dochi², Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³

Abstract: With the development of miniaturization technology, microrobots that can operate in confined areas inaccessible to humans have shown great promise. Microrobots have the importance of being able to extend human will to areas inaccessible to humans and to expand areas where humans cannot work, and there are high expectations for their ability to expand human potential. Previously, we developed an insect-type MEMS microrobot with a total length of less than 10 mm that is driven by an external power supply. In this paper, we develop a battery-towed MEMS microrobot the size of a one-yen coin, aiming at harnessless MEMS microrobot loaded with a power supply.

1. 緒言

我が国では少子高齢化に伴い、労働人口の減少が顕著となっている。労働力不足が懸念されている中、人間の代替として多方面で作業をするロボットの需要が高まっている。ロボットと人間が協働作業することで、労働力の確保や生産性向上など社会的貢献が見込まれる。

協働ロボットの方向性の一つとして小型化が注目されており、狭隘な場所で活動するマイクロロボットの実現に期待が寄せられている。マイクロロボットは人間の意志を狭小箇所へ拡張できる、人間の作業領域を広げることができるといった重要性がある。たとえば細管内や精密機器内部等に導入することで、検査やメンテナンス等で活用できるほか、治療時に患者の負担を軽減する低侵襲医療への応用など医療分野でも活用できる^[1]。

マイクロロボットを実用化するために必要な要件は、構成要素が小型な構造であること、電源が搭載されていること、自律機能を持っていることが挙げられる。しかし、すべての要件を満たしたロボットをミリメートルスケールで実現するのは容易ではなく、マイクロロボットを開発する上でのボトルネックといえる。

マイクロロボットの実用化に向けて、多くの機関で研究が進められている。Harvard大学のBenjamin Goldbergらは17.2cm/sで歩行するマイクロロボット「HAMR-F」を開発した^[2]。HAMR-Fは制御基板やLi-Poバッテリーを搭載した自律型マイクロロボットとして報告されているが、サイズが4.5cmとミリメートルスケールでの実現には至っていない。

我々は先行研究として、半導体微細加工技術を応用したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程を

用いて、昆虫型MEMSマイクロロボットを開発した^{[3]~[5]}。アクチュエータには、積層圧電素子や形状記憶合金による人工筋肉ワイヤを使用することで小型化を実現し、歩行制御には生物の神経回路網を模倣した人工ニューラルネットワークICを搭載することで、集積化技術による小型な制御基板を実現した。

しかし、我々が開発したマイクロロボットは外部の電源とエナメル線(ハーネス)を介して接続しているため、移動範囲が制限されていた。本論文では、電源を積載し、MEMSマイクロロボットのハーネスレス化を目的とした電池牽引型MEMSマイクロロボットを開発したので報告する。

2. 電池牽引型MEMSマイクロロボット

Figure 1に作製した電池牽引型MEMSマイクロロボットを示す。構成部材はMEMS工程により作製し、マイクロロボット本体は全長6.0mm×幅3.0mm×高さ4.5mm、牽引部は全長10.8mm×幅9.0mm×高さ10.8mmとなり、全体で1円玉サイズ、総重量1.86gとなった。

アクチュエータには形状記憶合金の一種である人工筋肉ワイヤを使用した。人工筋肉ワイヤは結晶方向を一方向に揃えているため、低温下・高温下いずれにおいても形状を記憶できる特徴を持つ。

脚部機構は複合4節リンク機構により構成した。複合4節リンク機構は人工筋肉ワイヤの直線運動を足先の回転運動に変換するため、地面を蹴り出すように歩行させることができる。歩行制御はワンチップマイコン(PIC12F510)により行い、歩行動作は4足歩行動物の歩行パターンを模倣した。制御基板からの4つの出力を各脚に接続された人工筋肉ワイヤに順に通電させ脚を運ぶことで歩容を生成する。

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

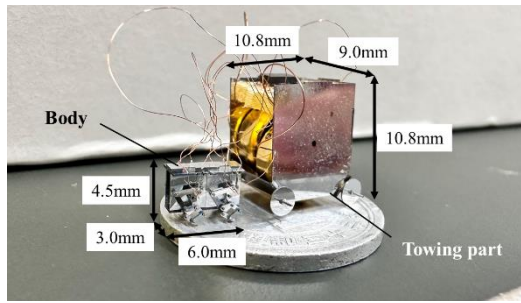


Figure 1. MEMS microrobot towing a battery

3. 動作実験

3.1 歩行実験

Figure 2 にマイクロロボット本体を外部電源に接続し、歩行動作を確認したものを示す。マイクロロボットは左前脚→右後脚→右前脚→左後脚の順で歩容を生成し、11.2mm/min で歩行した。

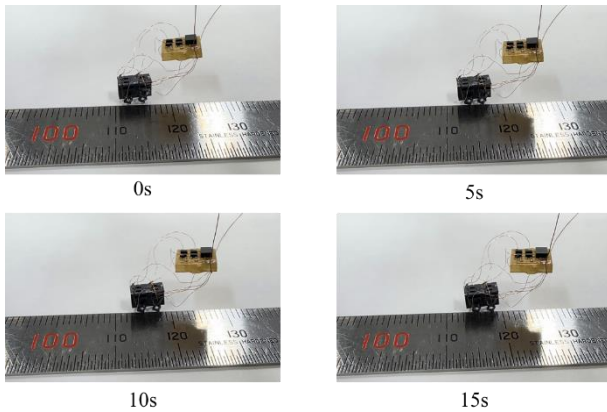


Figure 2. Walking motion of microrobot

3.2 制御基板の動作測定

Figure 3 に制御基板を外部電源に接続し、オシロスコープで測定した波形を示す。出力波形が確認できた時の電圧値・電流値は2.0V, 85mA であり、出力電圧1.0V, 時間0.5s, DUTY比0.25%の矩形波を確認できた。

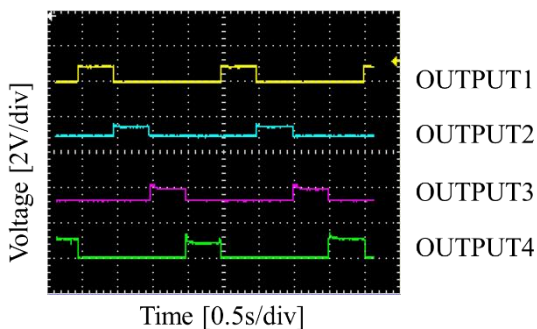


Figure 3. Output waveform

4. 電池の選定

マイクロロボットに内蔵する電源は小型であり、動作時間を十分に確保できるほどの容量があることが望

まれる。また、本研究でアクチュエータとして使用した人工筋肉ワイヤは電流を流すことで駆動するが、電流をとる回路は電池の内部抵抗の影響を大きく受ける。そのため、内部抵抗が比較的小さいものを選ぶ必要がある。本研究では、比較的入手が容易で特にサイズや内部抵抗の低い酸化銀電池 SR41W を使用する。

5. 結言

本論文では、マイクロロボットの自律歩行に向けて、電源を積載した電池牽引型 MEMS マイクロロボットを開発した。電池牽引型 MEMS マイクロロボットは全体の大きさは1円玉サイズで総重量1.86g となった。マイクロロボット本体を外部電源に接続し歩行実験を行ったところ、11.2mm/min で歩行し、制御基板は2.0V, 85mA で波形を確認することができた。また、搭載する電池について検討し、本研究では内部抵抗の低い酸化銀電池 SR41W を使用することにした。

今後の研究として、実際に電池を接続し電池を牽引した状態で歩行実験・評価を行う。また、機構の改良や制御基板に人工ニューラルネットワーク IC を搭載するなど、安定した歩行の実現や自律化を目指す。

6. 謝辞

本研究は日本大学特別研究の一部助成を受けた。また、日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けた。ここに感謝の意を表す。

7. 参考文献

- [1] 北原時雄：「マイクロマシン研究の展望」, 真空, Vol.34, No.12, pp.855-860, 1991
- [2] Benjamin Goldberg *et al.* : “Power and Control Autonomy for High-Speed Locomotion With an Insect-Scale Legged Robot”, IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, Vol.3, No.2, pp.987-993, 2018
- [3] Minami Takato *et al.* : “Development of impact-type rotary actuator and application for MEMS microrobot by bare chip IC of hardware neuron model”, Artificial Life Robotics, Vol.20, No.4, pp.359-365, 2015
- [4] 齊藤健ほか：「AI 制御によるバイオミメティクス MEMS マイクロロボット」, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.7, pp.684-688, 2013
- [5] S.Kawamura *et al.* : “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