

MEMS マイクロロボットの動作安定化のための設計

Design for Stabilizing the Operation of MEMS Microrobot

○大森愛矢¹, 黒坂綺愛羅¹, 鄧卓², 内木場文男³, 金子美泉³*Aya Ohmori¹, Kirara Kurosaka¹, Zhou Deng², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: Microrobots capable of operating in confined spaces are highly anticipated, but problems remain regarding harness-free operation and power supply. This study focused on designing a microrobot actuator to stabilize its operation. The circular motion of the actuator was measured, and a guide cover part based on its range of motion was designed. Furthermore, since heat accumulation due to continuous actuator operation also poses a problem, a rotor shape was designed to enhance heat dissipation efficiency.

1. 緒言

ロボット技術は日々進歩しており、センサーや人工知能の進化により多岐にわたる分野で活躍している。近年、特にマイクロロボットと呼ばれる小さな筐体をもつロボットが注目されている^[1]。従来のロボットや人間の手では到達不可能な狭小な場所での作業を可能にし、人間の作業領域を拡大することができる。医療分野では体内に直接薬を運ぶドラッグデリバリーシステムや、患者への負担が少ない低侵襲治療への活用、産業分野における精密機器メンテナンスへの利用が期待されている。様々な機関で研究が行われており、九州工業大学では外部磁界で駆動する水中マイクロロボットや、空気圧を利用して走行する腸管内を走行するマイクロロボットなどがある^{[1][2]}。しかし、これらは駆動時に外部からの動力が必要となり、マイクロロボットの実用化に向けて電力供給の確保や細かい制御が求められる、これらの課題の解決する必要がある。

我々は先行研究として全長 10mm 以下の 6 足歩行型 MEMS マイクロロボットの開発を行った。パーツは半導体微細加工技術を応用した MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて作製しており、アクチュエータ部分には Ti-Ni 系の形状記憶合金の人工筋肉ワイヤを用いることで足先を駆動させ、歩行を可能にしている^[3]。また、小型の Li-Po 電池を積載または台車などを用いて牽引させることで移動範囲を制限されないマイクロロボットの研究を行ってきた。シミュレーション上では電池牽引型マイクロロボットが歩行可能なことを確認した^[4]が、実機において地面に接地した状態での歩行が困難だった。

本研究では電池を牽引し、荷重がある状態でも安定した歩行が可能なマイクロロボットを作製するため、アクチュエータの改善を行った。

2. マイクロロボットの動作

リンク脚マイクロロボットの構造を Figure 1 に示す。マイクロロボットの寸法は全長 8.8mm×幅 7.5mm×高さ 8.5mm であり、機体の両側にはそれぞれ 3 本の脚が取り付けられている。側面に搭載しているアクチュエータはロータと 4 本の人工筋肉ワイヤで構成されている。歩行動作を Figure 2 に示し、収縮している人工筋肉ワイヤを赤線で表示する。

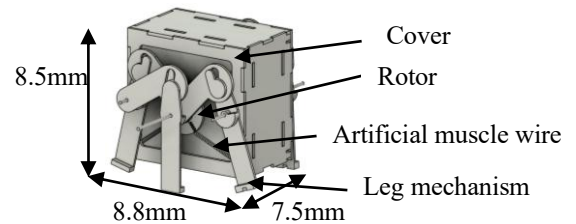


Figure1. Basic mechanism of microrobot

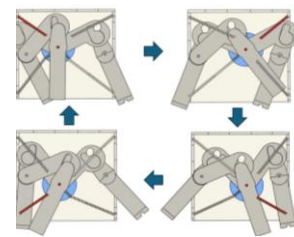


Figure2. Walking motion

人工筋肉ワイヤは電流を流す際に発生するジュール熱により収縮し、自然放熱により弛緩する。4 本の人工筋肉ワイヤに順に電流を流すことでロータの中心が回転運動を行う。中脚はロータと軸で接続しているため回転運動を行い、前脚と後脚はリンクパーツにより接続し、中脚と反対方向に足先が動く。

3. ロータの軌跡の測定

リンク脚マイクロロボットはロータの中心が回転運動することで安定して歩行する。そのため、アクチュエータ単体のロータの中心の軌跡を測定し、実際に測

定したロータの中心の軌跡を Figure3 に示す. 結果より, ロータの中心の軌跡は回転動作を示しているが, 不均一であることが分かった.

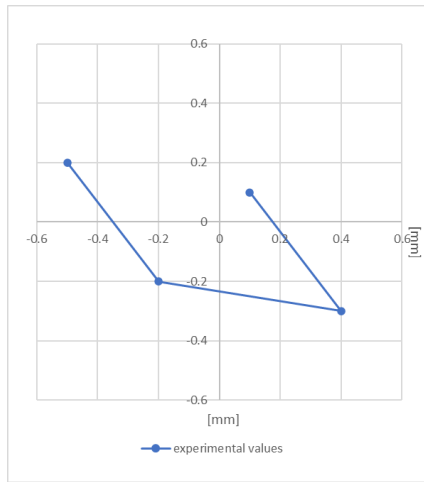


Figure 3. Rotor rotation path

ロータの中心の軌跡を均一化するため, 実験結果に基づきガイド機能付きカバーの設計を行った. ロータの中心に接続された軸をカバーの内側に設けたガイドに接触させることで, ロータの中心の軌跡を強制的にカバーのガイドに従って駆動させることが可能である. 脚部の動作に最適な円の軌跡を調べるため, カバーに円形の穴を開けた. 実機のロータ中心の軌跡は対角線の最大変位が 1.03mm であった. そのため, カバーに開ける円の直径は 1.0mm から 3.0mm の範囲で, 0.5mm 刻みで変化させた. カバーの設計データを Figure 4 に示す.

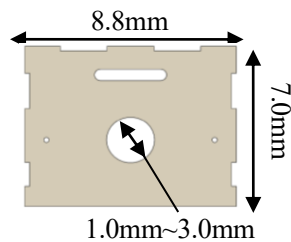


Figure 4. Cover design

4. ロータの放熱効率

アクチュエータとして機能する人工筋肉ワイヤは熱で収縮し, 自然放熱で弛緩する特性を有している. しかし, 連続使用により接続しているロータに蓄熱される. ロータでの蓄熱は人工筋肉ワイヤの弛緩を妨げ, アクチュエータの回転運動を不安定化させる要因となる. また, ロータの運動を均一化する設計ではロータが覆われることで放熱効率の低下が考えられる. そのため, ロータの蓄熱量を低減する形状を設計した. 蓄熱量は体積に依存するため, 体積を削減することで温

度上昇が抑えられる. ロータの機能を維持しつつ, 体積を減らすために円形から人工筋肉ワイヤの接続箇所以外を削減した十字型のロータを設計し, Figure 5 に示す. 従来のロータの体積は 1.32mm³, 設計したロータは 0.73 mm³ となり約 45%削減できた.

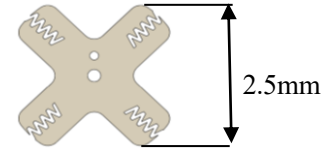


Figure 5. Rotor design

5. 結言

本研究では電池牽引型マイクロロボットの実機での歩行を目的とし, アクチュエータの改善を行った. ロータの軌跡を測定し, 結果を基に円形ガイド付きカバーを設計した. ロータの連続使用時の動作の安定性を確保するため, 蓄熱量の低減を目的としたロータの設計を行った. 今後は, 設計した新たなアクチュエータを作製し, ロータの軌跡への影響を測定する. また, サーモグラフィを用いてロータの温度変化を測定し, 形状による蓄熱量の変化を考察する.

6. 謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センター, NUROS, 令和4年度日本大学特別研究助成の支援を受けたものである.

7. 参考文献

- [1] 本田崇: 磁界駆動水中マイクロロボット, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.1, pp.7-10, 2015.
- [2] 大野学, 濱野聡明, 加藤重雄: 腸管内を走行できるマイクロロボット, 精密工学会誌, Vol.73, No.9, pp.1068-1073, 2007.
- [3] 内木場文男, 金子美泉, 齊藤健: ニューラルネットワーク IC 搭載 MEMS マイクロロボットにおける Heterogeneous Integration, エレクトロニクス実装学会, Vol.20, No.6, pp.376-381, 2017.
- [4] Misaki Takaku, Yifan Yang, Koki Takasumi, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba: Dynamics Analysis of a Harnessless Microrobot with Battery Drive, Proc. of International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.212-217, 2024.