

基板を搭載した四足 MEMS マイクロロボットの動力学解析

Dynamics analysis of the quadruped MEMS microrobot equipped with IC circuit

○鄧卓¹, 楊一帆², 内木場文男³, 金子美泉³
Zhou Deng¹, Yifan Yang², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: As microtechnology advances, the demand for microrobots for use in minimally invasive medical procedures and the maintenance of precision machinery is increasing. In our previous study, we developed a MEMS microrobot with leg design based on a composite four-bar linkage mechanism. We have analyzed a simulation of one of the hexapod microrobots. The main objective of this paper is to analyze the motion of a quadruped microrobot. To achieve this, we created a simulation environment that can measure external influences and report our analysis results on the microrobot's walking behavior.

1 はじめに

ボディの体積が小さい小型ロボットは狭い空間での作業が可能であり,人体内部での非侵襲手術^[1]や精密機械のメンテナンス^[2]などでの活躍に期待が寄せられている。

ミリメートルサイズのマイクロロボットは,その小型性により多くの可能性を秘めているが,電源供給および制御システムを搭載し,自律的に移動するための技術的課題が依然として残っている。

これまで,ノースウェスタン大学が形状記憶合金材料を使用し,レーザ熱により駆動したマイクロロボットを開発した^[3]. 北京航空航天大学はバウンド機構を利用し,超高速自由走行マイクロロボットの開発を行った^[4].

我々はこれまでに,四足と六足の MEMS マイクロロボットを開発し,その中で六足のマイクロロボットの運動解析を行った。

マイクロロボットは本体フレーム,脚部機構,アクチュエータにより構成されている.マイクロロボットに用いられるパーツは,全てシリコンウェハを原料に MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術で作製している.本体フレームと脚部機構は人工筋肉ワイヤと軸により固定されている.ロボットの制御システムには,アナログ電子回路を用いて生体の神経回路の動作を再現した人工ニューラルネットワーク IC を搭載し,自律移動を実現した。

しかし,マイクロロボットのサイズが小さく,構造が微細なため,運動姿勢の観測や運動中に受ける力,パラメータを計算することが難しい.そのため,マイクロロボットの 3Dモデルを動力学シミュレータに導入し,実際の動作に合わせ,解析した。

2 マイクロロボットの構造

Figure 1 に示すように,開発したマイクロロボットは,組み合わせた四節リンク機構を用いた脚部を持つ.複合 4 節リンク機構は人工筋肉ワイヤの収縮と弛緩により直線運動を脚先の回転運動に変換できる。

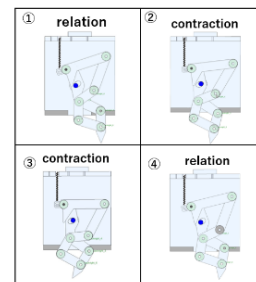


Figure 1. leg motion of microrobot.

本研究では, siemens 社製の動力学シミュレーションツール「Simcenter 3D」を使用して,マイクロロボットの運動解析を行った. Figure 2 に示すように,モデルは実物と同じように全長 6.0mm×幅 3.5mm×高さ 4.8mm,重量が 47.7mg を設定した. なお,全長 7.2mm×幅 4.6mm×高さ 1.6mm,質量は 48.1mg を設定した制御回路基板を搭載した.人工筋肉ワイヤの長さを 1.2mm,収縮量を 0.061mm と設定した。

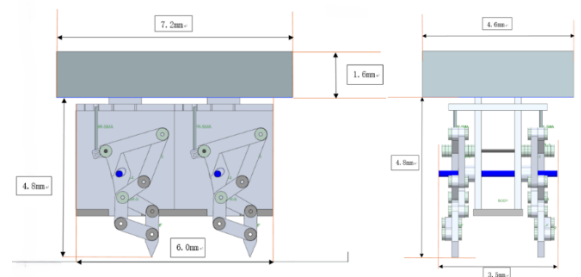


Figure 2. Dimensions of a 4-leg MEMS microrobot in Simcenter 3D

脚部の構成部材を Figure 3 に示し,長さ重量 Table 1 を示す.各脚の重量が 2.651×10^{-3} g となった。

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

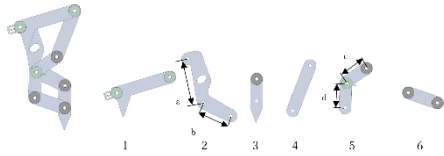
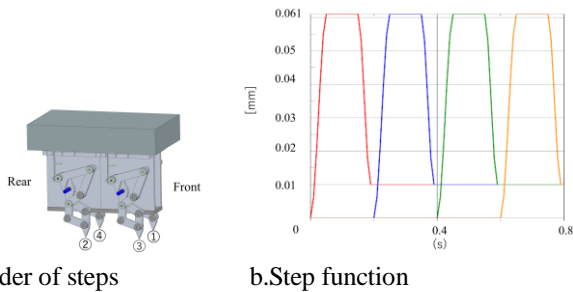


Figure 3.Components of legs

Table 1.Dimensions and weight of leg components

構成部材番号	寸法[mm]	質量[g]
1	1.8	5.662×10^{-4}
2	a:1.5 b:1.0	7.125×10^{-4}
3	1.4	2.846×10^{-4}
4	1.56	3.866×10^{-4}
5	c:0.8 d:0.8	4.169×10^{-4}
6	1	2.846×10^{-4}

3 マイクロロボットのシミュレーションの動作設定
 マイクロロボットの歩容は,左前足,右後足,右前足,左後足の順番で踏み出す四足動物の歩行を模倣する.シミュレーションではIC回路の代わりにSTEP関数を使用し直動ジョイントを駆動させた.Figure 4bにSTEP関数によるジョイントの駆動信号を示し,3.3秒までの運動動作を作成した.接地面をシミュレーションに取り入れ,脚と接地面の接触を設定することで,マイクロロボットが接地面で歩行動作する環境を構築した.



a.Order of steps

b.Step function

Figure 4.Gait of Microrobot

4 シミュレーションの結果と考察

シミュレーションの結果として,マイクロロボットの歩行時間を3.3秒とした.左前足として,脚を駆動する人工筋肉ワイヤの力を Figure 5 に示す.

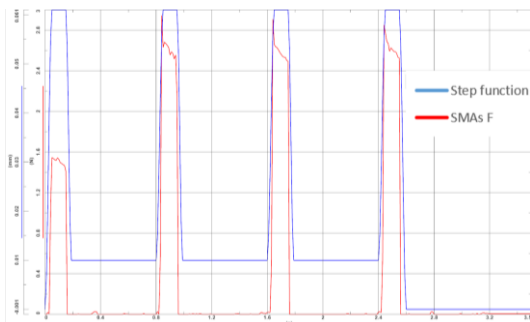


Figure 5.On the forces on 4-leg MEMS microrobot

Figure 5 から, Step 関数が増えると SMA の力も変化し,人工筋肉ワイヤの力の範囲が 0~2.9N となった. 0s,0.8s,1.6s,2.4s の時,力のピークが発生した.初期状態でマイクロロボットの四足が接地しているため,最初のピークの値は他の3つのピークより小さくなる.

Figure 6 に 3.3s 内,マイクロロボット移動距離を示す.モデルは 25.04mm/min の速度で歩行した.

シミュレーションモデルの歩行の結果は,理想的な歩行状態を表す.しかしながら,実際にマイクロロボットが歩行した時,アクチュエータとした人工筋肉ワイヤの伸縮率のばらつきにより脚が完全に接地しない場合があると考え.実物の歩行動作と比較すると,実物が歩行途中に足が滑ることだけでなく,脚が完全に伸びずに歩幅が小さくなったため,歩行距離はモデルより短くなるがあった.

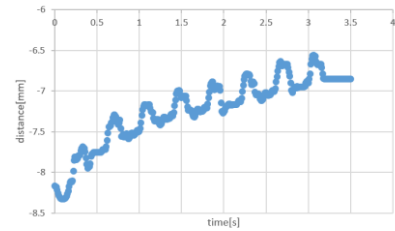


Figure 6. Distance traveled in 3.3s

5 まとめ

本研究では,マイクロロボットの運動解析を目的とし,動力学シミュレータを用いた IC 基板を搭載した 4 足マイクロロボットの歩行動作のシミュレーションを行い,マイクロロボットのモデルと実物の歩行速度を比較した.今後の研究は,4 足マイクロロボットの歩行運動を解析した上で,歩行環境を変更して,環境の変化によるマイクロロボットの歩行動作を確認する.

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,日本大学特別研究助成の支援を受けた.ここに感謝の意を表す.

参考文献

[1] 佐久間 一郎:“低侵襲手術ロボットシステム”, Vol. 32, No. 3, pp147-152, 2008
 [2] SÉBASTIEN D.DE RIVAZ:“Inverted and vertical climbing of a quadrupedal microrobot using electro adhesion”, Sci Robot, Vol.3,No.25,2018
 [3]Mengdi Han : “Submillimeter-scale multimaterial terrestrial robots”,SCIENCE ROBOTICS, Vol 7,No.66,2022
 [4] Zhiwei Liu: “A wireless controlled robotic insect with ultrafastuntethered running speeds”,Nat Commun,Vol.15,No. 1, 2024