

## E-2

## 動力学シミュレータを用いた六足 MEMS マイクロロボットの運動動作の解析 Dynamic Analysis on Walking Motion of a Hexapod MEMS Microrobot

○楊一帆<sup>1</sup>, 鄧卓<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>  
Yifan Yang<sup>1</sup>, Zhuo Deng<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>

**Abstract:** With the development of microtechnology, there is growing anticipation for the development of microrobots capable of performing in minimally invasive medicine or maintenance within the precision machinery. In our previous study, we have developed a MEMS microrobot with legs constructed using a compound four-bar linkage mechanism. In this paper, our main objective is to reproduce the actual movement of the microrobot and analyze this movement in a simulator. To achieve this, the motion of the microrobot's actuators was incorporated into the simulator, and the analysis results were reported.

### 1. はじめに

マイクロテクノロジーの発展により、マイクロロボットの応用は幅広い分野に期待されている。マイクロロボットは既存のロボットや人間の意志が手が届かない狭隘な場所に拡張することができ、人間の限界領域を広げられる。医療分野では、低侵襲処置が可能になるマイクロロボット<sup>[1]</sup>、また、精密機械内部におけるメンテナンス作業を行うマイクロロボットがある。例えば、ハーバード大学では、全長 4.5cm、質量 1.48g、電気接着技術を備え制御基板を搭載したマイクロロボットを開発した<sup>[2]</sup>。しかし、ミリメートルサイズのマイクロロボットは制御基板を搭載できる空間が少ないため、自身が電源を搭載し、自律的に移動する機能を盛り込むことが難しい。

我々はこれまでに、4足と6足の MEMS マイクロロボットを開発した<sup>[3]</sup>。マイクロロボットの筐体は MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて部材を作製し組み立てた。アクチュエータに形状記憶合金の一種の人工筋肉ワイヤを用い、脚部は複合4節リンク機構で構成している。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 を搭載した。

しかし、マイクロロボットはサイズが小さく質量が軽いため、外力による影響を受けやすい。また、マイクロロボットが歩行中に受けた力とトルクの計算が難しく、運動性能の解析が困難であった。マイクロロボットを安定して歩行させるには、運動性能を動学的に解析する必要がある。

本論文では、実際のマイクロロボットの動作を再現し、その動作を動力学シミュレータで解析することを主な目的としている。そのため、マイクロロボットのア

クチュエータの動きをシミュレータに導入し、その解析結果について報告する。

### 2. マイクロロボットの脚部の動作

マイクロロボットの歩行動作を Figure 1 に示す。脚部は複合4節リンク機構を組み合わせて作製した。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。

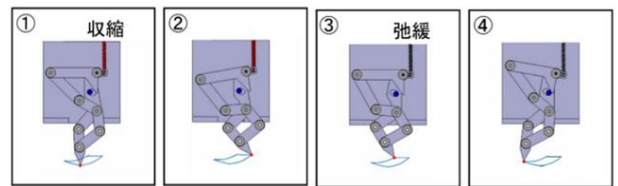


Figure 1. Leg motion of microrobot

### 3. 人工筋肉ワイヤの測定

マイクロロボットで使用する人工筋肉ワイヤは、ワイヤ直径が 0.05mm、コイルの直径が 0.2mm のものを使用する。マイクロロボットの脚部を動かす駆動源となることから、伸縮における時間変化について測定を行う。コイル自然長 2mm の人工筋肉ワイヤを電流を流さない状態で 3mm まで伸ばし、無荷重の状態では 0.06A の電流を印加し、人工筋肉ワイヤが 1.5mm まで収縮した。その後、通電しない状態で自然放熱による伸長を測定した。Figure 2 に測定結果を示す。人工筋肉ワイヤが 0.58 秒までで素早く収縮し、熱を加えないと、2.1 秒までで自然長に戻り、2.1 秒から長さがほとんど変わらなかった。これをシミュレーションにおける脚部動作に適用する。

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

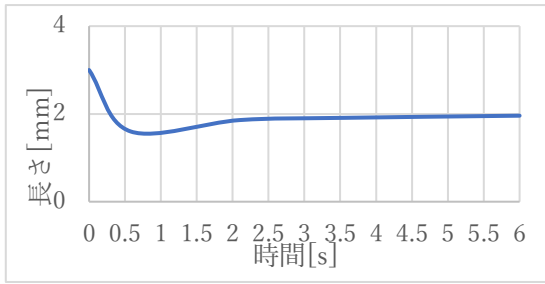


Figure 2. The relationship between movement and time

4. 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モデルは実物と同じように全長 9mm×幅 3mm×高さ 4.66mm, 重量が  $6.2 \times 10^{-5}$ kg を設定した. マイクロロボットの歩容は, 昆虫の 6 足歩行を模倣し三点接地により歩行をする. シミュレーションでは, IC 回路の代わりに STEP 関数を使用し人工筋肉ワイヤの代わりに直動ジョイントを駆動させた. Figure 3 に STEP 関数によるジョイントの 2 秒間の駆動信号を示す. 脚の運動周期は IC 回路と同じように 1 秒とし, Figure 2 の測定結果から, 最初の伸長は 0.09mm, 次の伸長は 0.07mm に設定した. シミュレーションに歩行の環境を取り入れ, 脚と地面の接触を考慮した. 脚の接触面と製作した地面の材料は Table 1 に示されている.

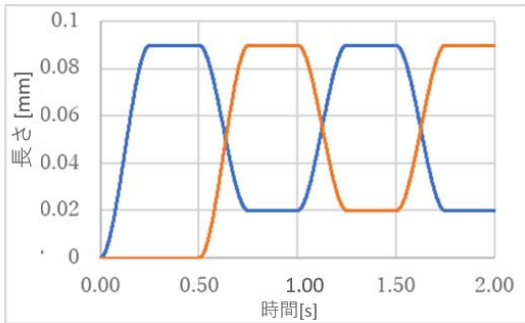


Figure 3. Step function of legs

Table 1. The material of the foot and floor

	脚	地面
材質	シリコン	PVC
ヤング率[MPa]	159000	3000
ポアソン比	0.266	0.4

5. シミュレーションの結果と考察

シミュレーションで, マイクロロボットは 2 秒間の歩行が再現できた. 左前脚を例として, 脚を駆動する人工筋肉ワイヤの力(左)及び脚に受けた力(右)を Figure 4 に示す. また, マイクロロボットの左右のばらつきを Figure 5 に示す. 1.6 秒から 1.8 秒の間に大きな揺れが発生し, その最大振幅は  $2.7^\circ$  となった.

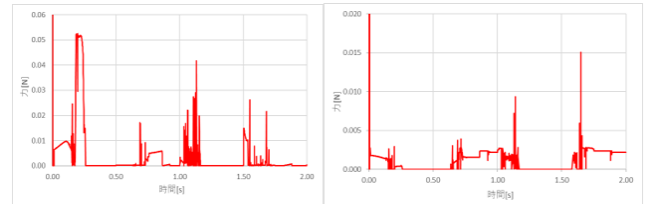


Figure 4. Force diagram of the hexapod microrobot

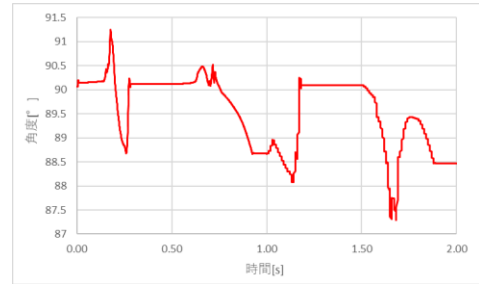


Figure 5. The displacement of the Euler angle

Figure 4 から, ワイヤと脚先端は最初の瞬間に大きな力を受けた. これは, 人工筋肉が最初は伸びた状態にあり, 完全に収縮したことにより大きな力を発生すると考えられる. また, シミュレータで人工筋肉ワイヤが上下移動のため, 人工筋肉ワイヤは変位が発生した際大きな力が発生した. 歩行の安定性については, 脚が上下する時, 傾きが発生したため, 全体的に安定していると考えられる.

6. 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, 実際の人工筋肉ワイヤの運動を測定し, 動力学シミュレータに実際の変位を導入, マイクロロボットの歩行動作を再現した. 今後は, 6 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.

7. 参考文献

[1] M. Miskin, P. McEuen, “Tiny robots with giant potential,” TED talk, Google Scholar, 2019  
 [2] SD. DE RIVAZ *et al*: “Inverted and vertical climbing of a quadrupedal microrobot using electroadhesion”, SCIENCE ROBOTICS, Vol. 3, No. 25, 2018  
 [3] Daisuke Tanaka *et al*: “Four-leg independent mechanism for MEMS microrobot”, Artificial Life and Robotics Vol. 22, No.3, pp380–384, 2017