

K-22

動力学シミュレータを用いた MEMS マイクロロボットの運動動作の解析 Analysis of MEMS Microrobot Kinematics Using a Dynamics Simulator

○楊一帆¹, 高住昂樹¹, 金子美泉², 内木場文男²
YIFAN YANG¹, Koki Takasumi¹, Minami Kaneko², Fumio Uchikoba²

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 conduct motion analysis of the microrobot. To achieve this, we have created a simulation environment capable of measuring external influences and will report our findings regarding the analysis of the microrobot's walking behavior.

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。例えば、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^[1]、また医療分野では、低侵襲処置が可能になるマイクロロボットがある^[2]。しかし、ミリメートルサイズのマイクロロボットは、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。

北京航空航天大学の Mingjing Qi らは、静電アクチュエータにより駆動するマイクロロボットを開発し、質量 47mg, 30mm/s で歩行を実現した^[3]。

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^[4]。マイクロロボットの筐体は MEMS 技術を用いて部材を作成し組み立てた。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た。脚部は複合節リンク機構で構成されている。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ので、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、3D 化したマイクロロボットを動力学シミュレータに導入し、マイクロロボットの運動解析を目的として、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、解析した結果を報告する。

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。

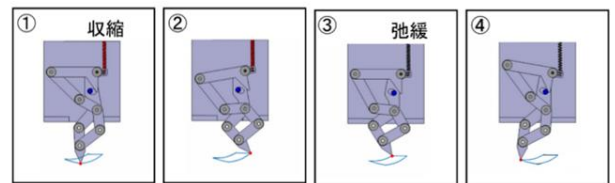


Figure 1. Leg motion of microrobot

3. マイクロロボットのシミュレーションの動作設定

本研究では、シーメンス株式会社が開発した Simcenter 3D というソフトウェアを使用した。Simcenter 3D を用い、マイクロロボットの脚部の動作を作成し、歩行動作を生成した。マイクロロボットのモデルを Figure 2 に示す。モデルは実物と同じように全長 9mm×幅 3mm×高さ 4.66mm、重量が 6.2×10^{-5} kg を設定し、人工筋肉ワイヤの長さを 1.2mm、収縮量を 0.09mm を設定した。脚部の構成部材を Figure 3 に示し、長さ重量は Table 1 を示し、各脚の重量が 2.651×10^{-3} g となった。

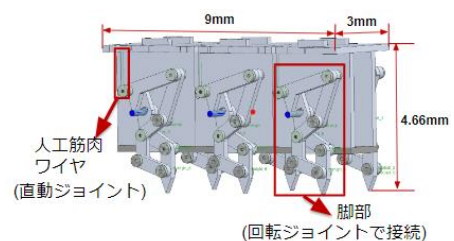


Figure 2. Six-leg microrobot model in dynamics simulator

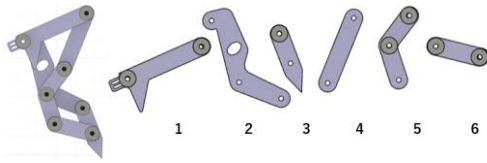


Figure 3. Components of legs

Table 1. 脚の構成部材の長さと重量

構成部材	長さ[mm]	重量[g]
1	1.8	5.662×10^{-4}
2	1.0 1.5	7.125×10^{-4}
3	1.4	2.846×10^{-4}
4	1.56	3.866×10^{-4}
5	0.8 0.8	4.169×10^{-4}
6	1.0	2.846×10^{-4}

マイクロロボットの歩容は、6足昆虫の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関数を使用し直動ジョイントを駆動させた。Figure 4にSTEP関数によるジョイントの駆動信号を示す。地面をシミュレーションに取り入れ、脚と地面の接触を設定することで、マイクロロボットが地面で歩行動作する環境を構築した。

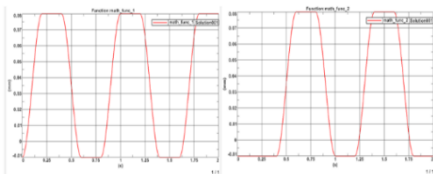


Figure 4. Step function of legs

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2秒とし、脚の切り替え間隔が0.3秒の歩行が再現できた。脚の収縮量が0.23mmとなった。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。人工筋肉ワイヤの力の範囲が0~0.058Nとなり、脚に受ける力の範囲は0~0.0041Nとなった。

Figure 5 から、1.4~1.6s の間に力を受けた。この時、他の足が地面との摩擦により、完全に曲げたり伸びたりすることがなく、左前脚が接地したと考えられる。そのため、足と地面に関する接触の摩擦を考える。また、グラフで急激に増幅したデータが読み取れる。歩行時間が短いためグラフの特性が読み取れにくくなっ

た。シミュレーション時間を増加して、人工筋肉ワイヤの力の線図の特性を確認する必要がある。

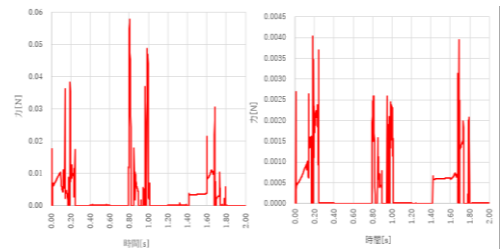


Figure 5. Force diagram of Six-leg microrobot

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られる。実物の歩行動作と比較すると、実物が歩行途中で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。

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、力学シミュレータを用いた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運動を比較した。

今後の研究は、6足マイクロロボットの歩行運動を解析した上で、脚が正常に動作しなかった時のロボットの歩行を確認し、また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、日本大学特別研究の一部助成を受けた。ここに感謝の意を表す。

7. 参考文献

[1] SD. DE RIVAZ *et al*: “Inverted and vertical climbing of a quadrupedal microrobot using electroadhesion”, SCIENCE ROBOTICS, Vol. 3, No. 25, 2018
 [2] M. Miskin, P. McEuen, “Tiny robots with giant potential,” TED talk, Google Scholar, 2019
 [3] Mingjing Qi *et al*: “A fast-moving electrostatic crawling insect”, IEEE MEMS, pp761-764, 2017
 [4] Daisuke Tanaka *et al*: “Four-leg independent mechanism for MEMS microrobot”, Artificial Life and Robotics Vol. 22, No.3, pp380-384, 2017