

K-12

MEMS マイクロロボットの歩容シミュレーション比較 (4足 Trot・6足 Tripod)
Comparative Gait Simulation of MEMS Microrobots (Quadruped Trot and Hexapod Tripod)

○鄧卓¹, 黒坂綺愛羅², 大森愛矢², 内木場文男³, 金子美泉³

Zhou Deng¹, Kirara Kurosaka², Aya Omori², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: This study aimed to analyze the gait of millimeter-sized microrobots through dynamic simulations. For the quadruped robot, the Trot gait was examined under different pulse widths to evaluate their effects on walking speed and center-of-mass trajectory. Furthermore, the hexapod robot adopting the Tripod gait was tested on a gentle 5° slope. The robot successfully climbed the slope while maintaining static stability with the Tripod gait.

1. はじめに

ロボット技術が発展する中、小型ロボットの分野は人体内部での非侵襲手術^[1]や精密機器のメンテナンス^[2]といった応用への期待が高まっている。特に、半導体製造技術を基本とした MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用するミリメートルサイズのマイクロロボットは、多様な応用可能性を有している。先行研究としては、北京大学による複数材料を組み合わせたサブミリスケールの地上型ロボット^[3]、北京航空航天大学の静電アクチュエータ駆動型マイクロロボット^[4]、清華大学による無線制御ソフトロボット^[5]などが挙げられる。しかし小型ロボットの動作検証は主として平坦面で行われ、不整地での移動性能は十分に評価されていない。さらに、多くの研究では外部制御に依存し、接地面の性状に応じた自律的な歩容適応機能を欠いている。このことから、ミリメートルサイズロボットの効率性および安定性には依然として技術的課題が残されている。

我々はこれまでに4足と6足のマイクロロボットを開発してきた。開発し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フレームパーツは、単結晶シリコンを原料に MEMS 技術で作製している。脚部はリンク機構を採用し、本体フレームと脚部機構は軸を介して拘束され、アクチュエータとなる人工筋肉ワイヤの伸縮により脚部の歩容が生成される。ロボットの制御システムには、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、歩行動作を実現してきた。

本研究では、ミリメートルサイズのマイクロロボットを対象に歩容解析を行い、4足 Trot 歩容のパルス幅による影響と6足 Tripod 歩容の5°斜面登坂性能をシミュレーションで評価した。将来的には大腸内部のよう

な複雑な不整地環境での応用を目指しており、第一段階として斜面条件での安定性検証を行った。

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 Fig. 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。

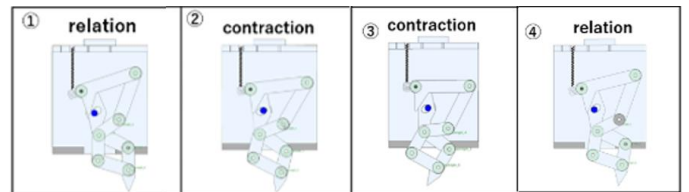


Fig. 1 Motion cycle of the microrobot

3. 歩容とシミュレーションの動作設定

Fig. 2, Fig. 3 のように、マイクロロボットの歩容は動物の歩行を模倣し、4足型では対角線上の2本の脚が同時に動作する Trot と6足型では左右対角線上の3本の脚が交互に動作する Tripod の二種類について検討する。

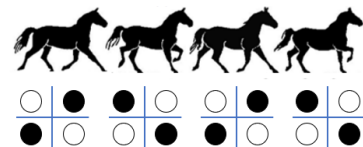


Fig. 2 Gait of Quadrupedal microrobot (trot)

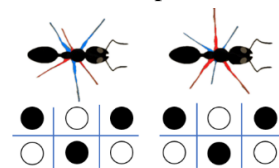


Fig. 3 Gait of hexapod microrobot (tripod)

シミュレーションでは、STEP 関数を使用し直動ジョ

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

イントを駆動させた。Fig.4にSTEP関数によるジョイントの駆動信号を示す。それぞれの歩容について、Trotは周期0.5秒、パルス幅0.3秒、tripodは周期0.5秒、パルス幅0.2秒とし、3.5秒間の運動動作を作成した。

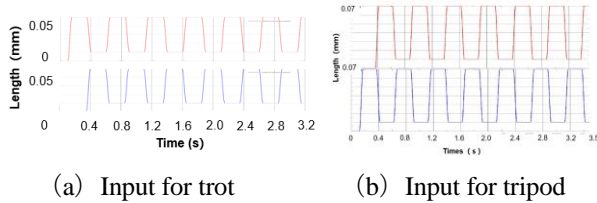


Fig. 4 Step function

4. シミュレーション結果と考察

4.1 Trot歩容における歩行軌跡

パルス幅を0.3秒とした場合、ロボットの脚は0.3秒のパルスで脚が伸び縮みすることを意味する。Trot歩容において同じ条件下で異なるパルス幅を入力した際に歩行軌跡に与える影響について解析を行った。Fig.5に、パルス幅が0.2秒、0.3秒、0.4秒の場合の重心軌跡を示す。

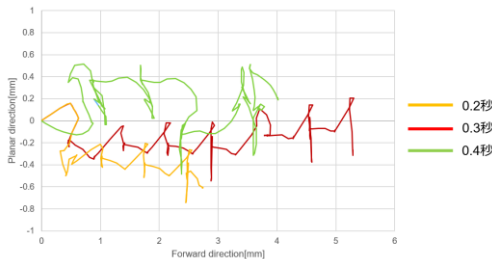


Fig. 5 trajectory with different pulse widths in Trot gait

パルス幅0.2, 0.3, 0.4秒における歩行速度はそれぞれ149.34 mm/min, 115.96 mm/min, 83.22 mm/minであった。0.2秒では脚の繰り出し頻度が高く小歩幅ながら最速となり、軌跡の起伏も小さいテンポの速い歩容が得られた。一方、接地時間が短いため安定性が低下し、頻繁なステップ切替によってバランスを崩しやすく滑りやすい傾向が見られた。

4.2 6足ロボットの斜面歩行特性

6足タイプのロボットは静的安定性が高く、平面上で安定した歩行が確認された。そこで、傾斜角5°の緩斜面を設定して登坂可否を検証した結果、Tripod歩容により静的安定性を維持したまま登坂が可能であることを確認した。

平面上での平均速度は181.43 mm/minであり、5°斜面上での平均速度は167.28 mm/minであった。

上り区間(1.6~6.8 mm)では、重心の横揺れが大きく現れ、歩行安定性が低下した。一方、斜面を登り切った後(x>6.8 mm)では揺れ幅が減少し、重心軌跡は次第に安定化する傾向が見られた。

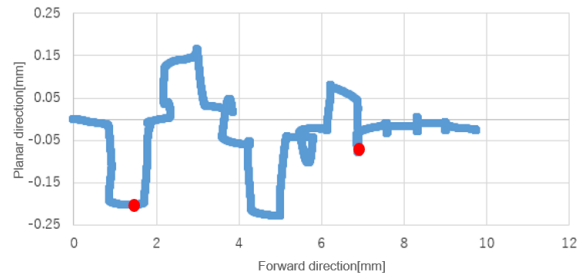


Fig. 7 trajectory on inclined surface

5. まとめ

本研究では、ミリメートルサイズのマイクロロボットの歩容解析を目的とし、マイクロロボットの歩行動作の力学シミュレーションを行った。4足マイクロロボットにおいてTrot歩容のパルス幅を変化させ、歩行速度や重心軌跡への影響を解析した。さらに、6足ロボットについてはTripod歩容による5°の斜面登坂を試み、静的安定性を維持したまま登坂が可能であることを確認した。今後の研究として、不整地の導入、異なる歩容間の変換、実機検証を行う。

6. 参考文献

- [1] Z. Wu, A. Q. Liu, K. Yang, M. Hu, J. Li, T. Qiu, B. J. Nelson, L. Zhang: "A swarm of slippery micropellers penetrates the vitreous body of the eye", Science Advances, Vol.4, No.11, pp. eaat4388, 2018.
- [2] Y. Wu, Y. Hu, Y. Wang, Y. Chen, X. Zhao: "A pipeline inspection robot for navigating tubular environments in the sub-centimeter scale", Science Robotics, Vol.7, No.66, pp. eabm8597, 2022. Mengdi Han: "Submillimeter-scale multimaterial terrestrial robots", Science Robotics, Vol 7, No. 66, 2022
- [3] Mengdi Han: "Submillimeter-scale multimaterial terrestrial robots", Science Robotics, Vol 7, No.66, 2022
- [4] Zhiwei Liu: "A wireless controlled robotic insect with ultrafast untethered running speeds", Nat Commun, Vol. 15, No. 1, 2024
- [5] Yichuan Wu: "Insect-scale fast moving and ultrarobust soft robot", Science Robotics, Vol 4, Issue 32, 17 Jul 2019