

## マイクロロボットの実用化に向けた歩行の動力学解析と機構検討 Dynamics Analysis and Mechanism Study of Walking for Practical Use of Microrobots

○高久美咲<sup>1</sup>, 楊一帆<sup>1</sup>, 澁谷京太郎<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>

\* Misaki Takaku<sup>1</sup>, YIFAN YANG<sup>1</sup>, Kyotaro Shibuya<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>

Abstract: Microrobots are one of the next generation robots that are expected to be used in confined spaces out of reach of human hands. We have developed an insect-shaped MEMS microrobot with a total length of less than 10 mm, which is driven by an external power supply. However, the range of movement of the microrobot was limited because it was driven by an external power supply. Our goal is to develop an aircraft that can be powered by a power supply and an IC for further practical use of microrobots. For this purpose, we performed dynamics analysis and gait simulation on two simplified models of micro-robots that were assumed to be equipped with batteries. Based on the results of the analysis, we studied the mechanism of the new microrobot.

### 1. 緒言

ロボット技術は日々進歩し、現代社会においてロボットは欠かせない存在となっている。その中でも、次世代のロボットとして期待されているのがマイクロロボットである。マイクロロボットはミリメートルオーダーのロボットで、小型・軽量の特性を生かしながら、特に低侵襲治療や精密機械内部のメンテナンスなどの精密な作業で期待される。実用化のためには作業の邪魔にならない程度に小さく、可動域を制限しない程度にハーネスレスである必要がある。また、ロボットの活動に十分な電源を確保することも重要である。

マイクロロボットは様々な機関で研究されている。磁場やレーザーにより駆動するマイクロロボット<sup>[1][2]</sup>や、Harvard大学の「HAMR-F」などがある<sup>[3]</sup>。しかし、駆動に磁場やレーザーを利用すると駆動中は外部から継続的に制御しなければならない。またHAMR-Fは制御基板やLi-Poバッテリーを搭載した自律型マイクロロボットとして報告されているが、サイズが4.5cmと十分な小型化には至っていない。このように小型化、ハーネスレス、動力源の搭載などの問題を同時に解決できるマイクロロボットの実現は難しい。

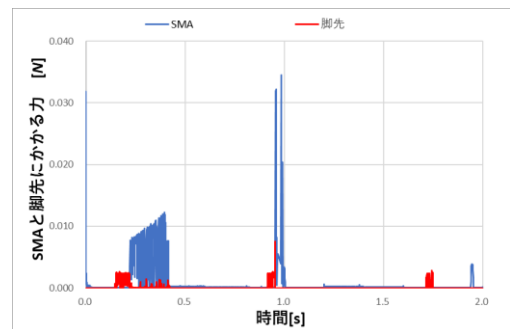
我々は先行研究として、半導体微細加工技術を応用したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems)技術を用いて、全長10mm以下の複合4節リンク機構による独立脚を有した6足歩行型MEMSマイクロロボットを開発した<sup>[4]</sup>。歩行動作は昆虫の歩行パターンを模倣し、アクチュエータにはTi-Ni系の形状記憶合金による人工筋肉ワイヤを使用することで省スペースで十分な脚部駆動を可能とした。また、生物の神経回路網をアナログ回路で模倣した人工ニューラルネットワークICを搭載し歩行制御を行った。しかし、我々が開

発したマイクロロボットは外部電源にエナメル線を介して接続していたため、移動範囲が制限されていた。

そこで制御基板だけでなく、電源も搭載したマイクロロボットの開発を目指している。本研究ではCADによりモデルを設計しシミュレーションを行い、電池の積載方法による影響を比較した。またその結果より、電池搭載の実用化に向けたマイクロロボットの機構検討を行ったため報告する。

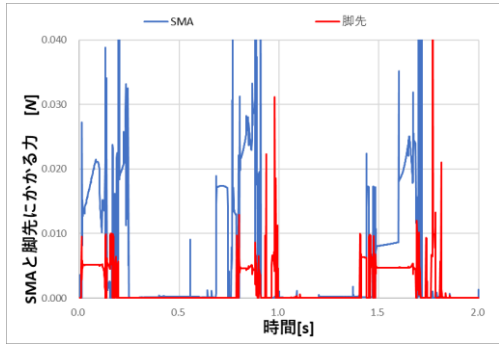
### 2. 動力学解析

電池を搭載した際にロボットにかかる負荷を解析するため、シミュレーションソフトとして、SIMENSのSimcenter 3Dを使用して動力学シミュレーションを行った。本研究では先行研究で歩行に成功したマイクロロボットのデータを基に電池を本体に積載するモデルと本体に牽引させるモデルを簡易的に作成し、歩行シミュレーションを行った。解析結果として脚先にかかる力とアクチュエータにかかる力の両方が、電池積載モデルより電池牽引モデルの方が小さかった。これは電池牽引モデルの方がより負荷が小さく歩行しやすいということを表している。



**Figure 1.** Force on leg tips and actuators  
(Battery traction model)

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

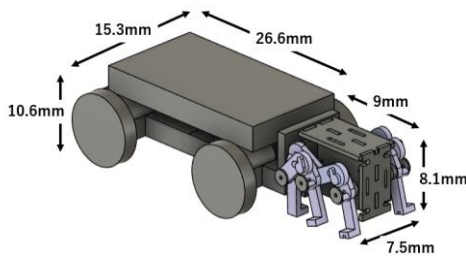


**Figure 2.** Force on leg tips and actuators  
(Battery powered model)

### 3. 機構検討

#### 3. 1 電池牽引型マイクロロボット

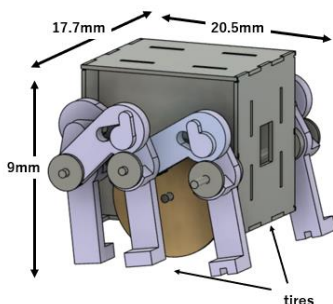
動力学解析の結果に基づいて機構設計を行った。解析では6本の脚がそれぞれ独立している独立脚を用いたが、歩き始める時により必要なトルクを生み出しやすく、また姿勢が安定しやすいリンク型の脚<sup>[5]</sup>を採用した。本体寸法は幅7.5mm、全長9mm、高さ8.1mmとした。電池を含めた台車の寸法は幅15.3mm、全長26.6mm、高さ10.6mmとした。



**Figure 3.** Battery traction microrobot

#### 3. 2 電池積載型マイクロロボット

脚部は牽引型と同様、リンク型の脚を採用した。また、動力学解析より積載モデルには脚先に大きな負荷がかかり姿勢も不安定と判明したため左右にタイヤを取り付けることで脚先の負荷を軽減し姿勢を安定させる設計とした。本体寸法は幅17.7mm、全長20.5mm、高さ9mmとした。



**Figure 4.** Battery powered microrobot

### 4. 結言

本研究ではマイクロロボットの実用化に向けて電池を搭載するため、動力学解析と解析結果に基づいた機構検討を行った。動力学解析では、先行研究で歩行を確認しているマイクロロボットの実験データや設計を基に、電池を積載するタイプと牽引するタイプの2種類のモデルを作製し歩行シミュレーションを行った。結果として電池を牽引する方法がより脚部負荷を軽減できると分かった。また解析結果に基づき、歩き始めるために必要なトルクを生み出しやすい脚の機構に変更し、電池を積載するタイプには脚部負荷を分散するため左右にタイヤを取り付ける機構設計を行った。

今後は設計した2種類のマイクロロボットを作製し実験を行う予定である。

### 5. 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ものである。

### 6. 参考文献

- [1] M. Han, X. Guo, J.A. Rogers : 「Submillimeter-scale multimaterial terrestrial robots」, Science Robotics, Vol.7, No.66, 2022
- [2] E. E. Niedert, C. Bi, G. Adam, E. Lambert, L. Solorio, C. J. Goergen, D. J. Cappelleri : 「A Tumbling Magnetic Microrobot System for Biomedical Applications」, Micromachines, Vol. 11, No. 861, 2020
- [3] Benjamin Goldberg *et al.* : 「Power and Control Autonomy for High-Speed Locomotion With an Insect-Scale Legged Robot」, IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, Vol.3, No.2, pp.987-993, 2018
- [4] D. Tanaka, Y. Uchiumi, S. Kawamaru, M. Takato, K. Saito, F. Uchikoba : 「Four-leg independent mechanism for MEMS microrobot」, Artificial Life and Robotics, Vol. 22, No.1, pp.380-384, 2017
- [5] Ken Saito, Kazuaki Maezumi, Yuka Naito, Tomohiro Hidaka, Kei Iwata, Yuki Okane, Hirozumi Oku, Minami Takato, Fumio Uchikoba : 「Neural Networks Integrated Circuit for Biomimetics MEMS Microrobot」, Robotics, Vol. 3, No. 3, pp. 235-246, 2014