

## MEMSマイクロロボットの電池搭載に向けた機構検討 Investigation of Mechanisms for Battery Mounting of Microrobots

○高久美咲<sup>1</sup>, 高住昂樹<sup>1</sup>, 楊一帆<sup>1</sup>, 道地隼佑<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>

\* Misaki Takaku<sup>1</sup>, Koki Takasumi<sup>1</sup>, Yifan Yang<sup>1</sup>, Dochi Syunsuke<sup>2</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>

**Abstract :** Microrobots are expected to be used in confined spaces, but their range of motion is limited when driven by an external power source. Therefore, we are aiming to develop a microrobot that can walk autonomously equipped with a power supply and control board. Previously, the built-in battery increased the weight of the robot, making it difficult for it to walk. In this study, we designed a microrobot that can move with less power by towing a battery and examined it through simulation.

### 1. はじめに

ロボット技術の進歩は著しく産業用ロボットに限らず人々の生活支援を行う家庭用ロボットなども普及している。ロボットは現代社会において必要不可欠な存在になりつつある。なかでもマイクロロボットは次世代を担うロボットの一つとして期待が寄せられている。マイクロロボットは小型・軽量である特性を活かしつつ従来のロボットのような正確性や緻密な作業を求められる。具体的に低侵襲医療や精密機械内部のメンテナンスなど、いずれも人が立ち入れない狭所での利用が想定される。そのような場でマイクロロボットを用いるには、外部接続での電力供給は行動範囲が制限されるためエネルギー源の確保が課題である。

マイクロロボットは様々な機関で研究行われており、みみずの運動を応用した細管内移動マイクロロボットの研究や磁場によって体外から自在に移動させる腹腔内ロボットの研究などがされている<sup>[1][2]</sup>。

先行研究では、外部接続による行動範囲の制限解消のため微細加工技術を応用し、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を使った電池搭載型の独立脚MEMSマイクロロボットを作製した。しかし電池を内蔵したことで重量が増え、脚部が蹴り出すために必要な初期トルクが増加したため、空中での歩行動作は確認できたが接地での歩行動作が困難だった。

そこで我々は電池を牽引させることで少ない動力で駆動するマイクロロボットの開発を目指している。本論文では駆動に必要な動力を抑えることに着目し、電源とワンチップマイコンを搭載した牽引型MEMSマイクロロボットの機構検討を行った。

### 2. 搭載型と牽引型の簡易モデルの比較

電池搭載型と電池牽引型マイクロロボットが動く条件を比較し、電池牽引型が電池搭載型より少ない動力で動く理論を説明する。

**Figure 1** にマイクロロボットの脚部を車輪として見立てた簡易モデルを示す。

まず電池を搭載した半径  $r$  の車輪で動く質量  $m$  の搭載型マイクロロボットが動き出す条件を考える。転がり摩擦力は転がり摩擦係数  $\mu$ 、重力加速度  $g$  を用いて  $\mu mg/r$  と表すことができる。一方モータのトルクを  $T$  とすると  $m$  を動かす力は  $F=T/r$  である。よって、

$$T \geq \mu mg \quad (1)$$

次に半径  $r_1$  の車輪で動く質量  $m_1$  の本体に半径  $r_2$  の車輪で動く質量  $m_2$  の電池ボックスを牽引させた場合に動き出す条件を考える。半径  $r_1, r_2$  の車輪の転がり摩擦係数をそれぞれ  $\mu_1, \mu_2$  とすると、本体の転がり摩擦力は  $\mu_1 m_1 g / r_1$ 、電池ボックスの転がり摩擦力は  $\mu_2 m_2 g / r_2$  となる。 $m_1 \ll m_2$  より  $\mu_1 m_1 g / r_1 \ll \mu_2 m_2 g / r_2$  になるため、本体の転がり摩擦力は考えないものとする。つまり

$$F > \mu_2 m_2 g / r_2 \quad (2)$$

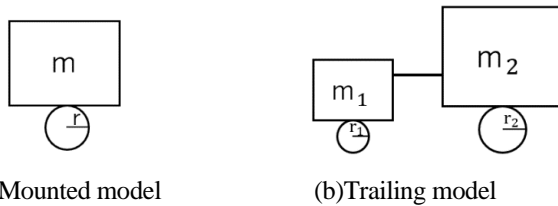
モータのトルクを  $T$  とすると  $F=T/r_1$

$$T > r_1 \mu_2 m_2 g / r_2 \quad (3)$$

式(1), (3)の比較より、搭載型は質量のみに依存するが牽引型は車輪の径によってトルクの軽減が可能であることが分かる。

また車輪が滑らない条件を考える。静止摩擦力は静止摩擦係数  $\mu_0$  より  $\mu_0 m_1 g$  よって次式が導出できる。

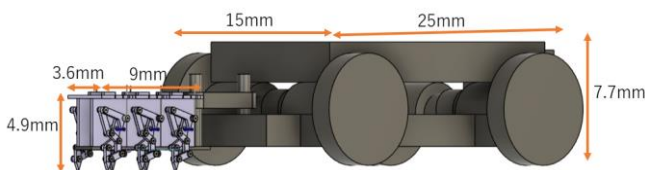
$$m_1 / m_2 > \mu_2 / (\mu_0 r_2) \quad (4)$$



(a) Mounted model (b) Trailing model  
**Figure 1. Simple model of microrobot**

### 3. 電池牽引型マイクロロボット

本研究で検討したマイクロロボット、電池を積載した台車の外観を **Figure 2** に示す。電池牽引型マイクロロボットの本体はMEMS技術を用いて部材を作製する。寸法は全長 9mm×幅 3.6mm×高さ 4.9mm、質量 48.8mg 程度である。左右 3 脚ずつ計 6 本の独立脚部、本体フレーム、脚部動作の制限に必要な固定ピン、アクチュエータである人工筋肉ワイヤから構成する。ワンチップマイコン PIC12F510 を搭載し、人工筋肉ワイヤと呼ばれる形状記憶合金(Shape Memory Alloys)に熱を加えることで脚部を駆動する。人工筋肉ワイヤは加熱することで収縮し、放熱することで弛緩する。左前脚・左後脚・右中脚の組と右前脚・右後脚・左中脚の組を交互に動かすことで昆虫のような 3 点接地歩行を再現する。また、電池を積載する台車の寸法は全長 25mm×幅 15mm×高さ 7.7mm、質量 2.03g となった。電池はリチウムポリマー電池の FX30SC を採用する。FX30SC の定格電圧は 3.7V、容量 30mAh、質量 1.32g、寸法は全長 19.6mm×幅 11.5mm×高さ 3.9mm である。



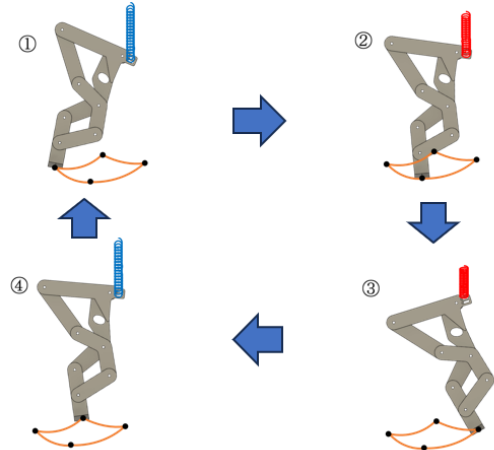
**Figure 2. Trailing MEMS microrobot**

### 4. 動力学シミュレーション

本研究では simcenter3D を用いて動力学解析を行った。まず Fusion360 によって設計した **Figure 2** のモデルが歩行動作を確認できる環境を構築した。**Figure 3** に脚部動作による脚先の軌跡を示す。**Figure 3** に示すように脚部は複合 4 節リンク機構である。シミュレーションでは部材同士の関節部分に回転ジョイントを設定し、円柱型のパーツを人工筋肉として直動ジョイントを設定した。円柱型のパーツを上下に動作させることで収縮と弛緩の反復動作を再現する。また脚部の制

御については PIC からの出力に応じて変位する各部材の座標を求め STEP 関数を使用し再現する。

マイクロロボット本体の材質であるシリコンの材料特性を各部材に設定し、慣性が働く範囲に解析をかけた結果、マイクロロボット本体の慣性モーメントは x 方向に  $5.4 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ 、y 方向に  $4.8 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ 、z 方向に  $1.0 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$  であった。



**Figure 3. Leg tip trajectory due to leg motion**

### 5. まとめ

本研究では、電池牽引型マイクロロボットと電池搭載型マイクロロボットが動き出す条件を導出し、牽引型が搭載型より少ない動力で動くことを説明した。検討しているマイクロロボットの構成要素について説明し、それら構成要素の動作を再現することによって動力学シミュレーションを行った。今後はMEMS技術を用いてマイクロロボットを作製・動作実験を行う。また、電池をマイクロロボット本体に搭載したモデルと牽引させたモデルの動力学シミュレーションを行い、各々の特性を比較・評価する。

### 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の支援を受けた。

### 7. 参考文献

- [1] 高橋昌樹, 林巖, 岩附信行, 鈴木康一, 黄木昇, 「みみずの運動を応用した細管内移動マイクロロボットの研究」, 精密工学学会誌, Vol.61, No.1, pp.90-94, 1995
- [2] 野方誠, 北村聡, 中木寿弘, 犬伏俊郎, 森川茂廣, 「診断治療用マイクロ体内ロボットの腹腔内移動に関する研究」, Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery, Vol.8, No.3, pp.288-289, 2006