

電池を積載した低重心 MEMS マイクロロボットの設計

Design of Low Center-of-Gravity MEMS Microrobot Loaded with Battery

○黒坂綺愛羅¹, 大森愛矢¹, 鄧卓², 内木場文男³, 金子美泉³

*Kirara Kurosaka¹, Aya Ohmori¹, Zhou Deng², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: Microrobots are expected to be used in confined spaces inaccessible to humans. For their practical application, sufficient power for operation and wireless operation are necessary. Therefore, in this study, a low-center-of-gravity microrobot that can walk stably even when carrying a battery and control circuit was proposed. In this paper, the operating time and center-of-gravity position between the previous developed microrobot and the designed low-center-of-gravity type microrobot were compared.

1. 緒言

日本では出生率の低下や高齢者の増加による少子高齢化に歯止めがかからず、労働人口の減少が問題視されている。その解決策としてロボットを活用する動きが加速している。産業分野においては、精密機械のメンテナンス作業が不可欠であるが、メンテナンスのために機械を分解する時間・労働および高度な技術が必要となる。そこで、マイクロロボットを活用することで、作業領域の拡大や、機械を分解する手間や時間の削減が期待できる^[1]。ただし実用化するためには、小型化だけでなく、活動に十分な電源と可動域の制限をもたせないハーネスレス化が求められる。

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)技術を用いた 4mm 程度の大きさをもつ 6 足リンク脚 MEMS マイクロロボットを開発した^[2]。アクチュエータには形状記憶合金(SMA: Shape Memory Alloy)を用い、円形のローターに 4 本の SMA を等間隔に接続し、順番に収縮させることで回転運動を行う。制御用 IC を搭載して外部から電源供給した結果、歩行を実現したが搭載基板とのバランスに課題が残った。

本稿ではハーネスレス化に向けて基板と電池を積載させても安定した歩行を行えるマイクロロボットの設計として、低重心のマイクロロボットを提案する。

2. 設計した低重心マイクロロボット

設計したモデルを Figure 1 に示す。電池を積載したマイクロロボットの寸法は幅 21.4mm, 奥行き 19.6mm, 高さ 8.4mm とし、アクチュエータにはコイル状の SMA を利用する。SMA のコイル径は 0.2mm, 線材直径は 0.05mm である。電池サイズは 19.6mm × 11.5mm × 3.9mm を想定している。

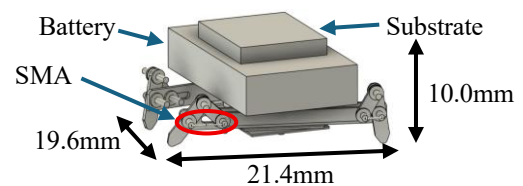


Figure 1. Low-center-of-gravity-type microrobot

支点部分として、中央を 1 点で支える腹部一点型(a), 中央の左右 2 点で支えるコの字型(b), 中央に車輪を 2 つ取り付け付けた車輪型(c)の 3 種類を設計した。足先の形状として、左右対称で足先がとがったノーマル型(d)と、接地面積を増やした靴下型(e)の 2 種類を設計した。

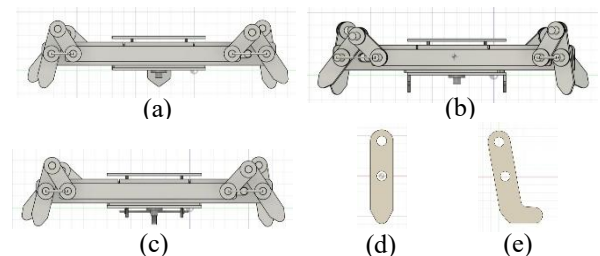


Figure 2. Leg design (a)Abdominal single point type (b)U-shaped type (c)Wheel type (d)Normal type (e)Sock type

パーツの作製には MEMS 技術を用いる。単結晶シリコンを主材料とし、フォトリソグラフィプロセスによる各パターンの露光・現像、ドライエッチングプロセスによる高アスペクト比パターンの形成後、組み立てを行う。MEMS 技術は高精度で微細加工が可能であるため、マイクロロボットのパーツ作製に対して有効であるといえる。

SMA は足先と腹部で計 6 本使用し、製作を容易にするため長さは全て 10mm とした。1 本あたりの抵抗値は 52.0Ω であった。足先は片方の端とそこから 1.6mm

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

の部分で接続する。マイクロロボットの駆動のために選定したリチウムイオンポリマー電池の電圧が 3.7V であるから、並列接続された SMA にかける電圧は 3.7V とする。電力量 P は電流 I 、電圧 V 、抵抗 R より求められる。よって、従来の機体の消費電力は 0.761W、設計した機体の消費電力は 0.773W となる。このことから、設計した機体は牽引型とほぼ同じ消費電力に抑えることができたといえる。

また、従来の機体と設計した機体の重心の高さを比較すると、Figure 3 に示すように従来の機体は 5.09mm であるのに対し、設計した機体は 3.03mm と低くなった。

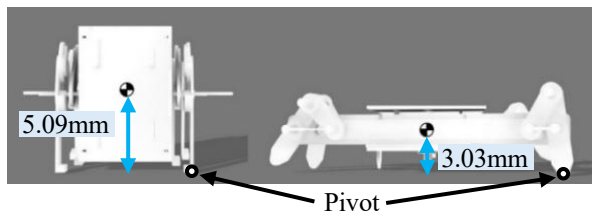


Figure 3. Center of gravity comparison

転倒にかかる力 F は、重心の高さ h 、質量 m 、重力加速度 g 、支点と重心の距離 x より次式で求められる。

$$F = \frac{mgx}{h} \quad (1)$$

質量 m は、計算から従来の機体が $2.24 \times 10^{-4} \text{kg}$ 、設計した機体が $4.66 \times 10^{-4} \text{kg}$ 、重力加速度は 9.81m/s^2 とすると、支点から重心までの距離は従来の機体が 4.6mm、設計した機体が 9.47mm であるから、転倒に必要な力は従来の機体が $1.98 \times 10^{-3} \text{N}$ 、設計した機体では 1.43N となった。したがって、低重心にし、支点と重心の距離を大きくしたことで転倒しづらい機体になったといえる。

3. 低重心マイクロロボットの歩行動作

設計した低重心マイクロロボットの歩行動作を Figure 4 に示す。SMA は弛緩よりも収縮の方が力が強いいため、SMA が収縮した際に足が接地するように設計した。歩行時は足先が接地している際に前から後ろへかくような動作をする。また、左右に展開する脚は SMA の伸縮により地面への接触状態と非接触状態を左右で交互に繰り返す。これらの組み合わせにより足先の摩擦力で前進する。

初期状態で 10mm の SMA を 15mm に伸ばした状態で電圧 3.7V を流した結果、縮み始めるまでにかかる時間は 0.04 秒、縮みきるまでにかかる時間は 0.35 秒であ

った。1 歩に必要な SMA の動作は、足先の接地動作と前後動作の 2 動作であるから、1 歩にかかる時間は 0.80 秒と見積もる。1 歩で進むことのできる距離は 4.8mm で設計しているため、理論的には秒速 6.0mm で歩くことができる機体といえる。

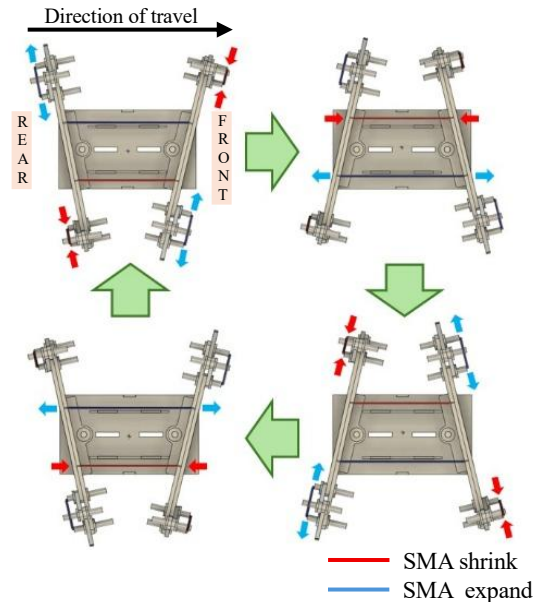


Figure 4. Leg movement

4. 結言

本稿では、基板や電池を積載しても安定した歩行を行うマイクロロボットとして、従来よりも薄型の機体を設計した。従来の牽引型とほぼ同じ消費電力のまま安定性が高まったことを確認した。

今後、実際にマイクロロボットの製作を行い実験を行う予定である。また、動力学シミュレーションを用いて解析を行い、実機の歩行結果との比較検討を実施する計画である。

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、令和4年度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] 北原時雄：「マイクロマシン研究の展望」，真空，34 巻，12 号，pp.855-860，1991.
- [2] 内木場文男，金子美泉，齊藤健：「ニューラルネットワーク IC 搭載 MEMS マイクロロボットにおける Heterogeneous Integration」，エレクトロニクス実装学会誌，20 巻，6 号，pp.376-381，2017.