

電源内蔵型移動跳躍ソフトロボット

立命館大学 松本 泰明, 平井 慎一

Crawling and Jumping Soft Robot with Built-in Power Supply

Yasuaki MATSUMOTO and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract: We describe a circular soft robot with built-in power supply. This robot crawls and jumps by body deformation, and consists of a spring metal body and shape memory alloy (SMA) actuators. Powers have been supplied from outside in previous soft robots. In this paper, we make a small and light system with lithium ion polymer (Li-Po) batteries and a PIC microcomputer for the soft robot. In addition, we examine whether a circular soft robot with built-in power supply can crawl.

1. 緒言

不整地での移動を実現するロボットには、クローラや脚機構、ヘビ型ロボットなどのメカニズムが使われている。これらのロボットは主に硬い部品から構成されており大きく重い。そのため、人に危害を与える恐れや転倒からの回復が容易ではないという欠点がある。一方、我々が開発した移動跳躍ソフトロボットは、柔らかいボディを変形させることで転がり移動や跳躍を実現するという従来のメカニズムとは異なる新しい手法を用いている。このメカニズムは軽くシンプルで高い運動性を実現できる。

当研究室では、薄板バネ鋼のボディと形状記憶合金 (Shape Memory Alloy: SMA) アクチュエータで構成されたロボットを開発した [1]。内部の SMA アクチュエータの収縮によりボディを変形させることで移動、跳躍を実現している。このロボットは外部の SMA コイル駆動制御回路と電源装置に接続されているため、広範囲を自由に移動することが不可能である。SMA アクチュエータを用いた小型 4 脚移動ロボットの自立化が浦田らによって実現されている [2]。我々の移動跳躍ソフトロボットは内蔵する回路と電源が大きいと変形の妨げとなり、重いとボディが柔らかいため形状を維持できない。また、跳躍動作を行うにはロボットがより小型軽量であることが求められる。

本研究では移動跳躍ソフトロボットに適した制御系と電源系を製作し、自立型ソフトロボットを実現する。また、その製作したシステムを移動跳躍ソフトロボットに搭載し移動が可能であることを実験的に示す。

2. 移動と跳躍の原理

円形ソフトロボットの外殻変形による移動原理を Fig.1-(a) に示す。アクチュエータにより円形のボディを変形させると、ポテンシャルエネルギーに勾配が生じ、ロボットと地面との接触領域まわりに、重力によるモーメントが発生する。このモーメントにより、ロボットは地面の上を転がることで移動する。例えば、Fig.1-(a) の場合は、右回りにモーメントが発生し右方向に移動する。アクチュエータによって連続的な変形を行うことで、ロボットは移動し続けることができる。

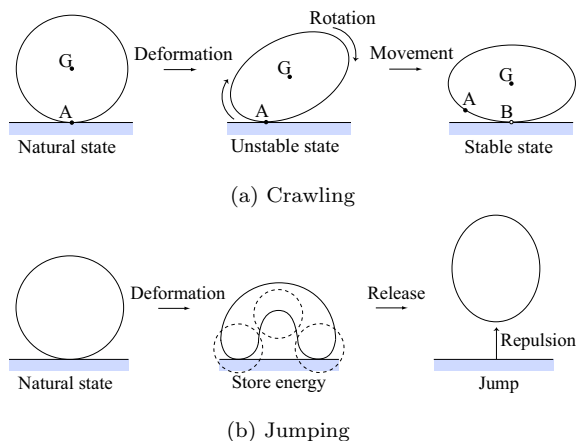


Fig.1 Principle of crawling and jumping

円形ソフトロボットの外殻変形による跳躍原理を Fig.1-(b) に示す。アクチュエータにより柔軟なボディを変形することで、ボディにポテンシャルエネルギーを蓄積する。変形した形状から元の円形に戻ろうとする際に、蓄積したエネルギーを瞬時に放出する。このとき、ソフトロボットと地面の接触面からの反力により跳躍する。

3. 制御系と電源系の内蔵化

移動跳躍ソフトロボットの運動性能をできる限り維持し、制御系と電源系の内蔵による自立化を実現するためには電源装置と SMA コイル駆動制御回路の小型、軽量化が必要である。そこで、重量エネルギー密度および体積エネルギー密度が高く小型軽量であるリチウムイオンポリマー (Lithium ion Polymer: Li-Po) バッテリーを用いる (Fig.2-(a))。サイズは $12 \times 20 \times 3$ mm (電極を除く)、重量は 0.8 g である。この Li-Po バッテリーは、最大放電電流が 400 mA と高いため SMA を十分に駆動することができる。SMA コイルの駆動制御回路は、超小型の PIC マイコンを用いることで小型軽量の回路を実現している (Fig.2-(b))。サイズは $24.5 \times 24.5 \times 2.5$ mm、重量は 1.0 g である。PIC マイコンから出力した制御信

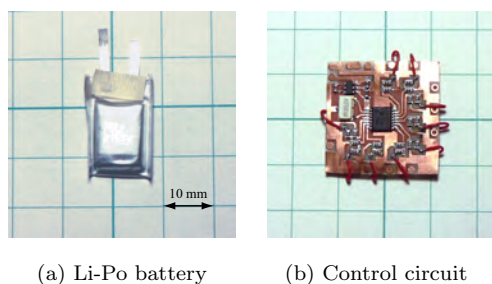


Fig.2 System components

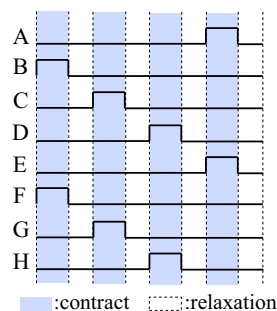


Fig.4 Voltage pattern for crawling

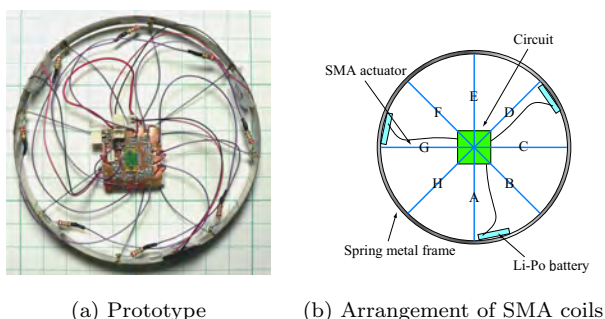


Fig.3 Prototype with built-in power supply

Total mass	12.2 g
Robot size	$\phi 100 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$
Spring metal size	$0.2 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm} \times 329 \text{ mm}$

号によって FET スwitchングを行い，SMA コイルに流す電流を制御することで，最大 9 本の SMA コイルを独立に駆動させることが可能である．

4. 電源内蔵型ソフトロボット

電源を内蔵したソフトロボットの移動の可能性を実証するために，円形ソフトロボットを試作した．試作機を Fig.3 に示す．円形ソフトロボットは，薄板バネ鋼のボディフレームと中心から放射状に張られた 8 本の SMA コイルから構成される．中央部に SMA コイル駆動制御回路，フレーム内側に Li-Po 電池が 3 個搭載されている．Fig.3-(b) に示されるように各 SMA コイルを A ~ H までの記号で区別する．プロトタイプ仕様を Table 1 に示す．

5. 移動実験

電源を内蔵した円形ソフトロボットのプロトタイプを用いて平地での移動実験を行った結果を示す．電圧パターンを Fig.4 に示す．SMA の収縮時間を 4s，弛緩時間を 3s とする．電圧パターンを SMA コイルに連続的に印加すると，ロボットは SMA の収縮と弛緩により変形を繰り返し，右方向に転がり移動する．その様子を Fig.5 に示す．移動速度は 5.6 mm/s であった．また，稼働可能時間は 300s である．

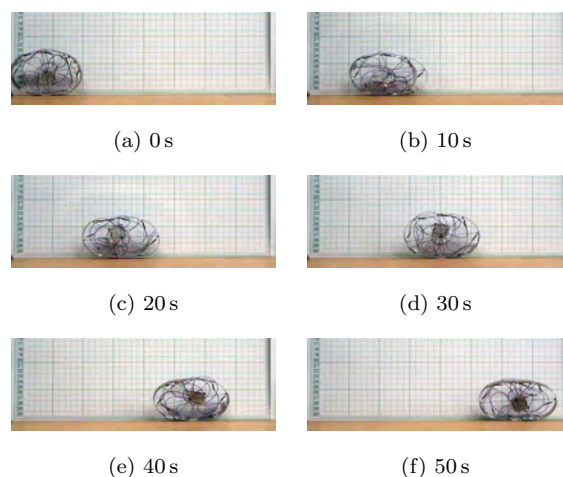


Fig.5 Circular soft robot crawling

6. 結言

本研究では，Li-Po バッテリと小型軽量化した SMA 駆動制御回路を用いることで，移動跳躍ソフトロボットの自立化を実現した．移動に関しては，電圧パターンを変えることで速く移動したり坂道を登ることも可能である．

今後は，変形の妨げとなる配線の配置を工夫する．また，バッテリーと回路の配置を変えるなど重量バランスについての検討を行い，球型ソフトロボットや筒型ソフトロボットへの応用を行う．また，効率の良い転がり移動の電圧パターンを解析し，実機に応用する予定である．跳躍に関しては，力学解析が進んでいるため，その解析結果を元に新しい変形形状での跳躍を行う実機への応用も考えられる．

参考文献

- [1] Y. Sugiyama, S. Hirai: "Crawling and Jumping by a Deformable Robot", Int. J. of Robotics Research, 25, 5-6, pp.603-620, 2004.
- [2] 浦田純一, 吉海智晃, 水内郁夫, 稲葉雅幸: "形状記憶合金の抵抗値制御を用いた超小型多自由度腱駆動ロボット", 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, CD-ROM, 2007.