

IPMC アクチュエータによる柔軟ロボットの移動

Locomotion of Soft Robot driven by IPMC Actuators

塩津 あゆみ 平井 慎一 (立命館大学 ロボティクス学科)

Ayumi SHIOTSU, Shinichi HIRAI Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.

Abstract: We describe locomotion of a soft robot driven by IPMC actuators. Locomotion over rough terrain has been achieved mainly by rigid body systems including crawlers and leg mechanisms. This paper presents a robot with deformation and its locomotion using soft actuators. First, we describe the principle of crawling as performed through deformation of a robot body. Second, we show crawling using a soft circular robot made from IPMC actuators.

Keywords: IPMC actuator, deformation, locomotion

1 はじめに

起伏の多い土地を移動する場合、クローラや足のメカニズムなど硬い機構が使われてきた。本論文では、柔軟なボディの変形を用いた、別の手法を提案する。硬い機構から成る移動メカニズムは欠点を持っている。重量が大きければ、人間に衝撃を与える可能性がある。また、ロボットが転倒した時に元の姿勢に戻ることが難しい。最近、転倒した姿勢から元に戻ることが可能なロボットの研究がされている [1, 2] が、これらの機構は複雑である。したがって、転倒から回復可能で、軽量でシンプルなメカニズムを有する移動ロボットが望まれる。

一方、近年のソフトアクチュエータ、すなわち形状記憶合金 (SMA) アクチュエータやポリマー/ゲルアクチュエータの発展は目覚ましく [3]、柔軟ロボットの駆動に用いられている [4, 5]。ソフトアクチュエータを用いた移動機構は、軽量になる可能性が高い。しかしながら、現在のソフトアクチュエータには、いくつかの欠点がある。一般的に発生できる力が小さく、大きい力を発生させるためには 1,000V を越える電圧を必要であるか、水中で駆動させる必要がある。

著者らは、ソフトアクチュエータとして SMA コイルを用い、ロボットボディを変形させ、変形により不整地上の走行を実現する手法を提案してきた [6]。しかし、このロボットではボディの中心に SMA コイルや配線があり、ロボット内部に動力源やセンサなどを搭載することが難しい。それを可能にするためには、アクチュエータをボディとして用い、ロボット内部には空間を残す必要がある。本論文では、IPMC アクチュエータをロボットボディとして用い、IPMC の屈曲運動によるボディの変形により移動する手法を提案する。変形を用いた移動は、剛体系による不整地走行より、高い適応性を発揮すると期待できる。さらに、柔らかいロボットボディは、人に与える衝撃が小さくなる。

2 変形による移動の原理

Fig.1-(a) に示すように、ロボットが地面で安定状態にあるとする。このとき、ロボットの重力ポテンシャルエネルギーは極小であり、ポテンシャルの勾配は 0 である。ロボットがボディを変形させ、ポテンシャルエネルギーの勾配が生じると、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生じる。このモーメントにより、ロボットは地面の上を移動する。たとえば、Fig.1-(a) に示す安定形状から Fig.1-(b) に示す不安定形状にロボットが変形した場合、ロボットは右向きに移動する。ロボット内部のアクチュエータによりロボットボディを連続的に変形させると、ロボットは地面の上を連続的に移動する。結局、提案する手法では、ボディの変形によりロボットの重力ポテンシャルを制御することにより、移動を実現する。

ロボットボディを変形させる方法としては、伸縮型アクチュエータを用いボディを内部から引っ張る方法と、屈曲型アクチュエータをボディ全体に取り付け、ボディの屈曲を用いる方

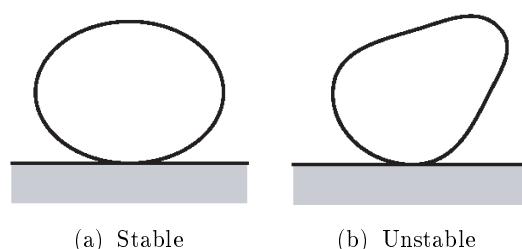


Fig.1 Principle of crawling

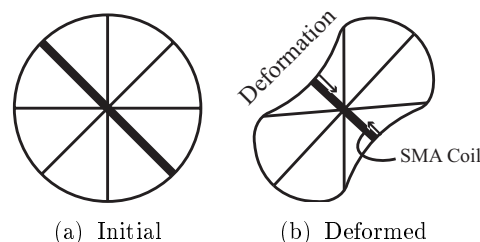


Fig.2 Deformation driven by SMA coils

法がある。前者の方法については、形状記憶合金 (SMA) コイルを用いた移動跳躍ソフトロボット「KOHARO」で実現した [6]。このロボットには、Fig.2 に示すようにロボットの中心から SMA コイルを放射状に 8 本取り付け、SMA コイルの収縮によりボディを変形させ、ロボットの移動を実現する。本論文では、後者の方法を用いたボディの変形を提案する。Fig.3-(a) のように IPMC アクチュエータ 4 本をボディとして取り付け、IPMC は、電流の向きを変えることで 2 種類の変形を実現できる。Fig.3-(b) と Fig.3-(c) は、電流の向きを変えた場合の変形を示す。Fig.3-(a) と比べると、IPMC の曲率が増減している。

3 プロトタイプを使用した動作検証

3.1 基本形状

変形移動を確認するためにプロトタイプを製作した。IPMC アクチュエータは、米 ERI 社製で厚さ 0.3mm である。この IPMC アクチュエータは空気中での動作が可能である。Fig.5-(a) に示すように IPMC アクチュエータ 4 本により、円形状を作る。それぞれの IPMC アクチュエータは、電流の向きにより曲率の違う 2 つの形に制御できる。また、IPMC アクチュエータに流す電流と PWM の Duty 比で、変形速度と曲率を変更できる。ロボット本体の質量は、0.8g である。

各 IPMC アクチュエータの表面と裏面に 2 枚の電極を貼る。

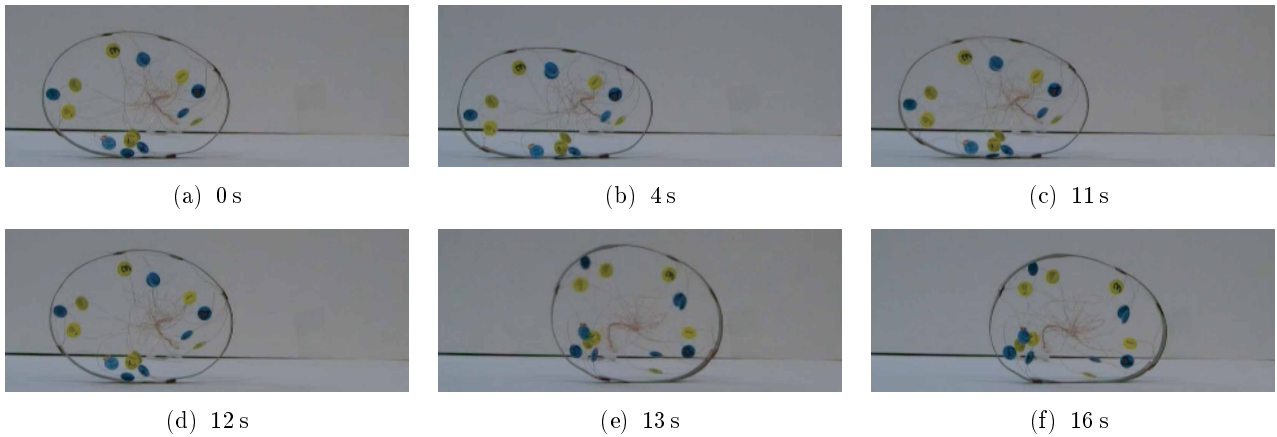


Fig.4 Circular soft robot crawling

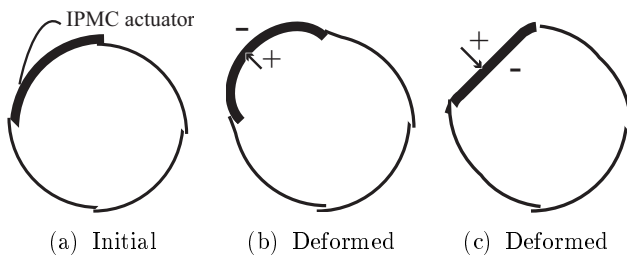


Fig.3 Deformation driven by IPMC actuator

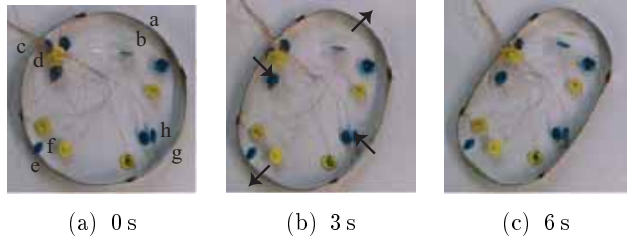


Fig.5 Prototype of a circular soft robot

Fig.5-(a) に示すように、4本のIPMCアクチュエータの電極を記号aからhで表す。Fig.6-(a)に示すパターンをIPMCアクチュエータ4本に用いた時のボディの変形を、Fig.5に示す。Fig.6-(a)は、電極b,c,f,gに+の電圧、電極a,d,e,hに-の電圧を印加するパターンを示す。

3.2 変形による移動

Fig.4に、プロトタイプの変形の様子を示す。Fig.6-(b)に示すパターンで、各IPMCアクチュエータに電圧を印加した。第1,2ステップで、外側の電極aには+の電圧、内側の電極bには-の電圧を印加し、電流を外側から内側に流す。次の第3ステップで、電流の向きを内側から外側に変える。移動を行う際は、電極の置き方を変えることによる電流の向きの変化の組合せを、ステップ間隔で順次移行させる。すると、ボディの変形が連続的に起こり、ロボットが移動する。ロボットが90°回転するには、3つのステップ、16sの時間を要する。このプロトタイプは、64sで360°回転し、180mmの移動が可能である。

4 おわりに

本論文では、IPMCアクチュエータにより移動が可能なソフトロボットを提案した。まず、アクチュエータをロボットボディとして使い、ボディの変形を利用した移動の原理を述べた。

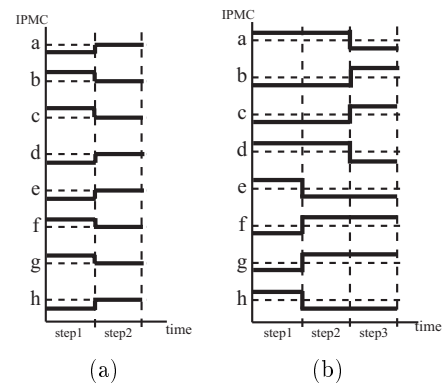


Fig.6 Voltage patterns applied to IPMC actuators

次に、プロトタイプを用いて、変形による移動が可能であることを示した。

今後、センサフィードバックを導入することで、自律的な移動を実現する予定である。また、今回のロボットは2次元形状であったが、球形状にすることで3次元的な変形や移動が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] Saranli, U., Buehler, M., and Koditschek, D. E., RHex: A Simple and Highly Mobile Hexapod Robot, *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 20, No. 7, pp.616-631, 2001.
- [2] Yim, M., Eldershaw, C., Zhang, Y., and Du, D., Limbless Conforming Gaits with Modular Robots, *Proc of Int. Symp. on Experimental Robotics*, Singapore, June, 2004.
- [3] 編者代表 長田義仁, ソフトアクチュエータ 開発の最前線, エヌ・ティー・エス, 2004.
- [4] 釜道, 山北, 安積, 羅, IPMCアクチュエータ/センサを用いたヘビ型ロボットの自励駆動, 第6回 SICE SI 部門学術講演会予稿集, pp.235-236, 2005.
- [5] Otake, M., Kagami, Y., Inaba, M., and Inoue, H., Motion design of a star-shaped gel robots made of electroactive polymer gel, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 40, pp.185-191, 2002.
- [6] Yuuta Sugiyama, Ayumi Shiotsu, Masashi Yamanaka, and Shinichi Hirai, Circular/Spherical Robots for Crawling and Jumping, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.3606-3611, Barcelona, April, 2005.