

# SMA ファイバーを用いた柔軟円形ロボットの変形移動

立命館大学 ロボティクス学科 杉山 勇太, 平井 慎一

## Deformation Movement of Soft Circle Robot using SMA Fibers

Yuuta SUGIYAMA and Shinichi HIRAI Dept. Robotics, Ritsumeikan Univ

*Abstract:* We propose a robot with deformation and movement function using soft actuators and soft materials. We propose deformation movement that uses change of mass distribution by deformation. We have realized deformation movement using a soft circle robot which is made from SMA fibers and rubber.

### 1 はじめに

近年,人工筋アクチュエータの研究が盛んに行われている<sup>1,2,3,4</sup>。また,人工筋アクチュエータを使用したロボットの研究も行われている<sup>2,5,6</sup>。しかし,それらのロボットは人工筋アクチュエータの特徴の1つである,柔らかさをほとんど利用していない。一方,構造が柔らかく軟体生物の動きを模倣したロボットの研究も行われているが,移動速度が遅い問題や,駆動できる空間が限定されている問題がある<sup>7,8</sup>。そこで,人工筋アクチュエータを含め,構造自体が柔らかい材料のみで構成された柔軟ロボットでありながら,速い移動を実現するロボットを提案する。

### 2 円形柔軟ロボット

柔らかな構造であり,変形と移動を兼ね備えた新たなロボットとして,円形柔軟ロボットを提案する。Fig.1(a)に示すように初期形状は円形に近い形状であり,何らかの方法で外形物体に力を加え,部分的または全体的な形状変形が起きるロボットを,円形柔軟ロボットとする。円形の形状を変形させることにより,床接地点まわりのモーメントが変化し,回転を伴いながら移動をおこなう。Fig.1(a)の形状から Fig.1(b)の形状に変形することにより,床接地点まわりに右回りのモーメントが生じる。そのためロボットは右回りに回転しながら Fig.1(c)のように右方向に移動する。変形を連続的に行うことにより,接地点周りのモーメントを逐次変化させ,移動を実現する。以降このように,変形によるモーメントの変化を使用した移動方法を変形移動と呼ぶ。

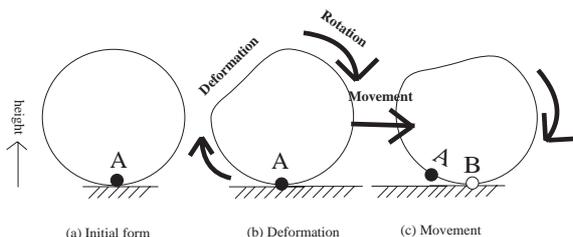


Fig.1 Deformation movement

### 3 実機を使用した動作実験

変形移動を確認するために実機を製作した。外形円の部分は天然ゴムを使用し,アクチュエータとしての SMA ファイバーはトキコーポレーション製 BMX100 を用いた。Fig.2(a)に示すように半径 20[mm] の円の中心から SMA ファイバー 8 本を放射状に取り付け,それぞれ独立に制御する。ロボット本体の質量は 3[g] である。オープンループ PWM 制御で SMA ファイバーを制御する。SMA ファイバーに流す電流と PWM の Duty 比で,収縮速度と収縮量を変更できる。

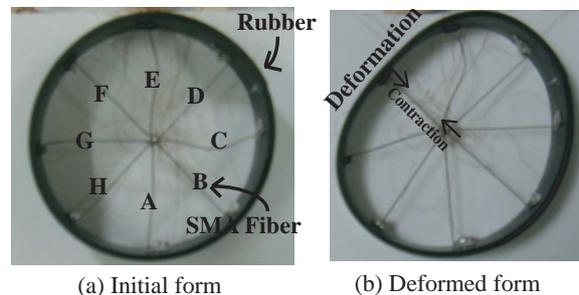


Fig.2 Prototype robot

Fig.2(a)に示すように,各 SMA ファイバーに記号を付ける。移動を行う際は,SMA ファイバーの収縮と弛緩の組合せを,一定のステップ間隔で順次移行していくことにより,変形が連続的に起こり,ロボットが移動する。Fig.3(a)は第1ステップで,BとFを駆動するパターン組合せである。Fig.3(a)の凸になっている区間で,各 SMA ファイバーを収縮させる。つまり,次の第2ステップでCとGを収縮させ,BとFを弛緩させる。さらに次の第3ステップでDとHを収縮させ,CとGを弛緩させる。この組合せの収縮と弛緩を順次行う。以降始めに駆動させる SMA ファイバーの記号を取って BF パターンと呼ぶ。BF パターンの Duty 比,電流,ステップ間隔を変化させた場合に,10 秒間での移動する距離を Fig.4 に示す。Fig.4 よりステップ間隔によって,10 秒間動かした場合の移動量が異なることがわかる。

ステップ間隔が短いほど移動量が多い。また、Duty 比や電流値によって変更可能なステップ間隔の上限が異なる。

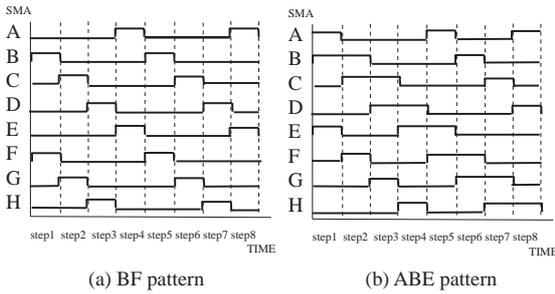


Fig.3 Contraction patterns

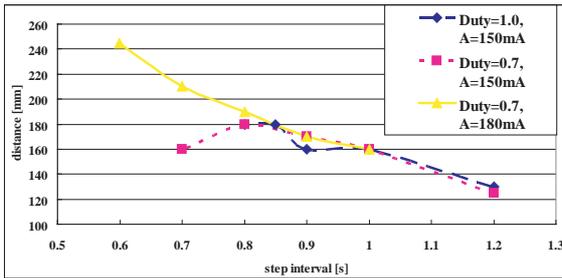


Fig.4 Movement of prototype robot

Fig.3(b) の ABE パターンを遅いステップ間隔で行うことにより、重心が低く床との摩擦力が大きい移動ができる様になり、Fig.5 に示すように約 20 度の登り坂を登ることができる。



Fig.5 Robot climbing up 20 degree slope

## 4 モデリング及びシミュレーション

### 4.1 モデリング

実際のロボットを使って、移動効率の良い収縮弛緩の組合せを求めることや、ロボットの材料を何度も変更することは難しい。また、実物では構造的な精度が影響する。そこで、円形柔軟ロボットのモデリングを行い、移動のシミュレーションを行う。外形の円及び、SMA ファイバーを二次元の粘弾性モデルでモデル化する。これにより、ロボットのサイズ、仮想材料の引っ張り剛性、曲げ剛性、質量が変更できる。さらに、SMA ファイバーの収縮弛緩特性をモデル化した。モデルでは、収縮弛緩速度、最大運動変位、最大発生力をパラメータとして持つ。Fig.2 に示したプロトタイプ各パラメータを同定し、Fig.4 と同様の電流印加パターンでシミュレーションした結果を Fig.6 に示す。実際の柔軟ロボットと同様の傾向が得られている。

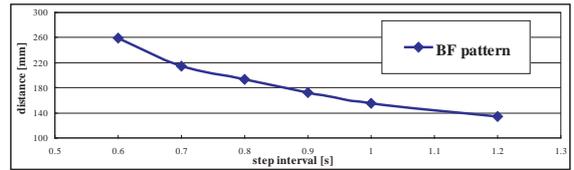


Fig.6 Simulation of BF pattern

### 4.2 モーメントの最大化

モーメントが大きい収縮のパターンを見つけるため、収縮パターンのシミュレーションを行った。連続的な収縮と弛緩は行わず、第 1 ステップの収縮のみを行った。シミュレーション上で、最下点まわりのモーメントを求めた結果を Fig.7 に示す。シミュレーションの結果、短時間で最もモーメントが増加する組合せは BFG パターンであった。また、移動には回転が伴うため、ある一定の時間が過ぎるとモーメントは減少している。今回のシミュレーションは、第 1 ステップでのモーメントの変化であるが、実際には連続的なモーメントの変化を最大にする必要がある。

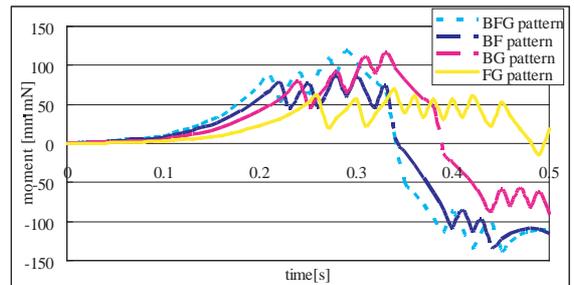


Fig.7 Moments at some contraction patterns

## 5 まとめ

SMA ファイバーによる円形柔軟ロボットの実機を用いて、変形移動の検証を行った。また、シミュレーション上で、円形柔軟ロボットの制御則の可能性を示した。姿勢などのフィードバックをかければ、より高速に移動できる可能性がある。また、今回のロボットは二次元形状であったが、球形形状にすることで三次元的な変形や移動が可能になる。

### [参考文献]

- 1) 田所: 柔らかいアクチュエータ, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.3, 318/322(1997)
- 2) 三宅: 人工筋肉, 亀井ブックサービス (1998)
- 3) 菅野, 田所, 服部, 高森, 小黒: ICPF アクチュエータのモデル化, 第 3 報, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.63, No.611, 2345/2350(1997)
- 4) 釜道, 金田, 山北, 安積, 羅: イオン導電性高分子を用いた直動人工筋アクチュエータの開発, 日本ロボット学会記念学術講演集, 3F37(2002)
- 5) 「大学と科学」公開シンポジウム委員会: 生物に学ぶマシン, クバプロ (1998)
- 6) 森川, 藤原, 奥野, 酒井, 小林: SMA アクチュエータを用いた腹足移動機構の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2A1-H08(2002)
- 7) 嘉数, 横井, 兪: アメーバ状ロボットへのアプローチ, 日本ロボット学会誌 Vol.19No.7, 843/849(2001)
- 8) 大武, 鏡, 稲葉, 井上: ヒト型ゲルロボットの全身変形運動, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1435/1436(2000)