

# 空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだ ロボットの製作

青森職業能力開発短期大学校 島川 勝広

Fabrication of robot incorporating pneumatic soft actuators

SHIMAKAWA Katsuhiko

**要約** 生産現場や家庭などで作業補助や支援を行うために人間と近い距離で動作させても、安全で安心なロボットの製作をテーマとして総合制作実習を行った。本稿では、空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだロボットハンドの製作と製作したロボットによる林檎の移動に関する検証結果を報告する。

## I はじめに

これまでのロボットは、岩石を砕くような大きな力を出したり、 $\mu\text{m}$  オーダの位置精度で制御するなどの人間にはできない作業を実現することなどに利用されてきたが、近年、日本では少子高齢化に伴う“働き手”の減少により、今まで以上にロボットへの期待が高まってきている。しかし、傷がつきやすい製品や衝撃に弱い製品の生産ラインなどでは、空気圧によるピッキングが主であり、様々な形状に対応した作業は難しい。また、人との協調作業が必要な場合、従来の“硬い”ロボットでは危険を伴うことが多く、取り扱いに気を使う場面も多い。

今回、我々は、生物の筋肉のようなソフトアクチュエータ、いわゆる人工筋肉に着目し、これを組み込んだ柔らかいロボットの製作を実習の目的とした。

具体的には、人工筋肉を利用したロボットハンド、ならびにハンド部分を移動させるためのロボットアームの製作を行い、青森県の特産品である林檎を傷つけずに目標地点まで移動させることを製作目標とした。

## II ソフトアクチュエータ

### 1 マッキベン型空気圧人工筋肉

今回製作するソフトアクチュエータは、一般的には「人工筋肉」と呼ばれる。このソフトアクチュエータには、様々な種類が存在するが、代表的な2種類について説明する。

一つは、ゴムを使い、油圧や空気圧で動かすタイプの「ゴム人工筋肉」であり、もう一つは、ある物質に対して、電気などの信号を入力することによって動かすタイプの「高分子人工筋肉」と呼ばれるものである。これら2つのうち、「高分子人工筋肉」については、イオン性高分子ゲルや強誘電性高分子などという、実験室レベルの設備が必要であったため、今回は、身近な素材であるゴムを利用した「ゴム人工筋肉」を採用することにした。

ゴム人工筋肉の中で、空気圧を利用して伸縮を行うものを「空気圧式ゴム人工筋肉」と呼んでいる。空気圧式ゴム人工筋肉は他のアクチュエータと比較した場合、利点として、軽い、耐環境性が優れている、柔軟性が高い、摺動部がないため摩擦がない、材料費が安いこと、などが挙げられる。欠点としては、精密な位置制御や力制御が難しいことや、ゴムの経年劣化による寿命の短さなどが挙げられる。

以上の点から、空気圧式ゴム人工筋肉は「交換を前

提としたアクチュエータ」としての利用になると考えている。「空気圧式ゴム人工筋肉」を製作するにあたっては、マッキベン型空気圧人工筋肉を参考にした。

製作した人工筋肉は、図1に示すように、構造が単純なのが特徴であり、ゴムチューブの外側に、デンカエレクトロン社製の編組スリーブを被せ、ターミナル部分はインシュロックタイによって固定した。

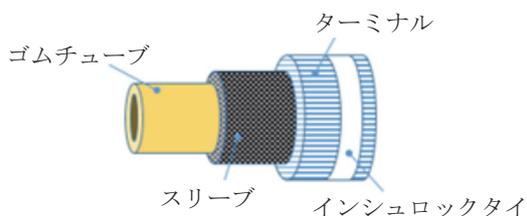


図1 マッキベン型ゴム人工筋肉の構造

## 2 ソフトアクチュエータの収縮率

人間の生体筋肉の収縮様式に「等張性収縮」がある。これを人工筋肉にあてはめて評価する実験を行った。図2に製作した人工筋肉(以下、ソフトアクチュエータ)を示す。左が加圧すると伸びるタイプ、中央と右の2つは加圧すると縮むタイプである。図3に収縮率測定を図を示す。ペットボトルの重量を変え、エアコンプレッサでソフトアクチュエータに空気圧0.0~0.4MPaを加圧して測定した。なお、ゴムチューブの耐圧は約0.2MPaだが、スリーブやターミナルを被せているのでゴムチューブの最大サイズにはならないと考え、安全に十分配慮しながら0.4MPaまで加圧した。

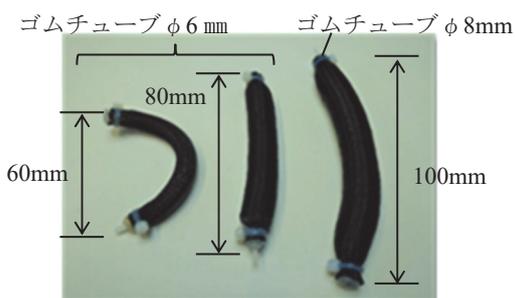


図2 製作したソフトアクチュエータ

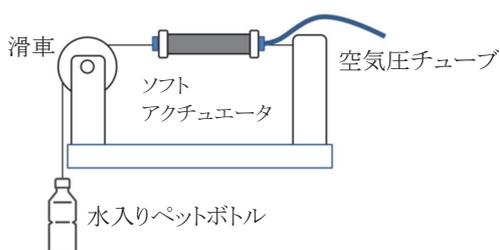


図3 ソフトアクチュエータの収縮率測定

図4にソフトアクチュエータの空気圧と収縮率の測定結果を示す。グラフの横軸はソフトアクチュエータに加えた空気圧であり、縦軸はソフトアクチュエータの収縮率である。

おもりを500g、空気圧を0.4MPaとした時の収縮率は平均で約16.2%であり、おもりをつけなかったときとほぼ同等の収縮率であったが、おもりを5kgに変更して、空気圧を0.4MPaとした時の収縮率は平均で約7.0%であった。

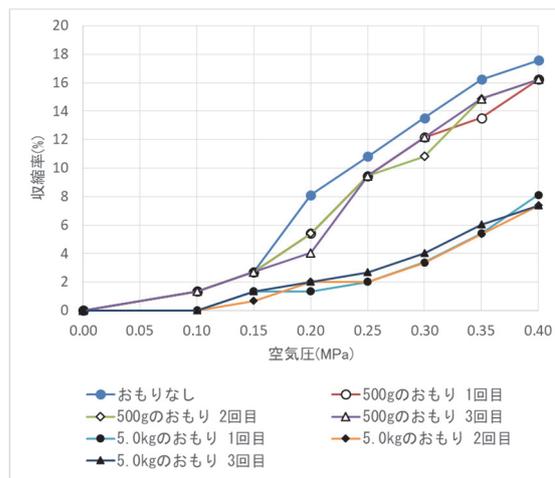


図4 ソフトアクチュエータの収縮率

## III ロボットの製作

### 1 ロボットハンドの製作

ハンドの指の部分に使用した人工筋肉は、長さ約100mm、直径は約8mm、1本あたりの重量は20g程度である。モノを掴む際に物体に触れる面とは逆側の背面に、瞬間接着剤を塗布してある。曲げたい方向とは逆側の面を接着剤で硬化させることにより、空気圧を加えた際に、硬化した部分と、そうでない部分との間で収縮量に差異が生じ、人工筋肉は長さが図6のように30%ほど短くなり、大きく曲がる。この工夫を施したことで、初期に製作した直線タイプの人工筋肉よりも大きな把持力を得ることが可能となった。図6は空気を加圧した時の状態である。

当初製作した4本タイプのハンドではゴムボール程度の重さしか把持できなかったため、人工筋肉のナイロン繊維に伸縮性の違いを付与し、8本タイプへと改良した。製作したハンドの把持能力を表1に示す。

空気圧を0.00, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40MPaとして、おもりを100gずつ増やし、想定する林檎の最大重さである1,000gまで測定した。8本指タイプのハンドでは、空気圧0.3MPaのとき、約1.5kg程度までのおもり

を安定して把持できることを確認した。また、ハンドは空気を加圧してから約 0.5 秒で開き、圧を抜いてからも同様の時間で閉じることを確認した。

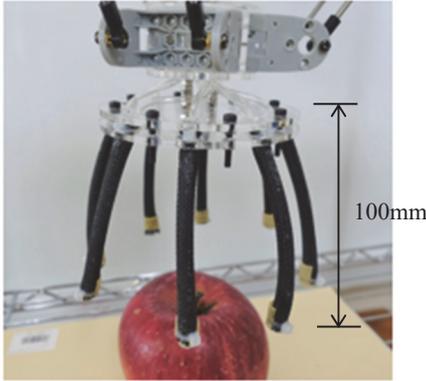


図 5 空気が加圧されていない状態

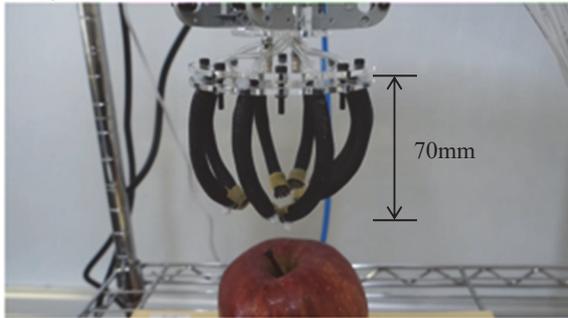


図 6 空気を加圧した状態

表 1 ハンドの把持能力

おもり[g]	空気圧[MPa]					
	0.00	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
100	×	×	○	○	○	○
200	×	×	○	○	○	○
300	×	×	○	○	○	○
400	×	×	○	○	○	○
500	×	×	○	○	○	○
600	×	×	○	○	○	○
700	×	×	○	○	○	○
800	×	×	○	○	○	○
900	×	×	×	○	○	○
1000	×	×	×	○	○	○
1100	×	×	×	○	○	○
1200	×	×	×	○	○	○
1300	×	×	×	○	○	○
1400	×	×	×	○	○	○
1500	×	×	×	○	○	○

×: 把持できず ○: 把持成功

## 2 ロボットアームの製作

ハンドを接続しているアーム部分には、近年、製造現場での導入事例が増えているパラレルリンク(デルタ型)を採用した。パラレルリンクロボットの特徴として、従来の多関節ロボットの欠点を克服するロボットとして、高速・高精度な動きが出来ることが挙げられ、ベルトコンベアを流れるワークの仕分け作業などを得意としている。

パラレルリンク型ロボットアームの製作にあたって、まずは、レゴブロックを用いておおまかな動作の確認を行い、次に、汎用的なプラスチック製のロボットパーツを組み合わせてアーム部分を製作した。アーム部分の重量は約 400g、ハンド部分は約 200g である。

図 7 に示すように Fusion360 によるモデリングも行い、最終的な完成モデルを視覚的に理解できるようにした。

動力部にはサーボモータ AX-12A を 3 個使用した。

表 2 は使用したサーボモータ AX-12A の基本仕様である。

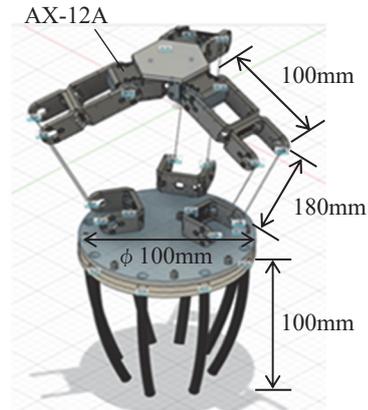


図 7 Fusion360 で製作した 3D モデル

表 2 AX-12A の基本仕様

ストールトルク	1.5N・m(at 12V,1.5A)
出力軸動作範囲	位置決め制御時0~300°
電源電圧範囲	9~12V
動作温度範囲	-5~70°C
質量	54.6g

## 3 ロボットアームの制御

ロボットアームの制御には、Arduino Uno を使用した。制御回路を図 8 に示す。

サーボモータ AX-12A は、Dynamixel Starter Kit を利用し、シリアル接続で複数のモータを制御できるため、AX-12A 専用の制御用ライブラリをインクルードし、信号変換回路を通して Arduino から AX-12A へ制御信号を送った。制御プログラムのフローを図 9 に示す。

今回作成したプログラムは、パラレルリンクのアームの位置とサーボモータの制御信号値を比較し、指定した 2 次元座標にハンドを移動するように設計した。ただし、この座標計算では、おおまかな位置への移動しか行うことができない。

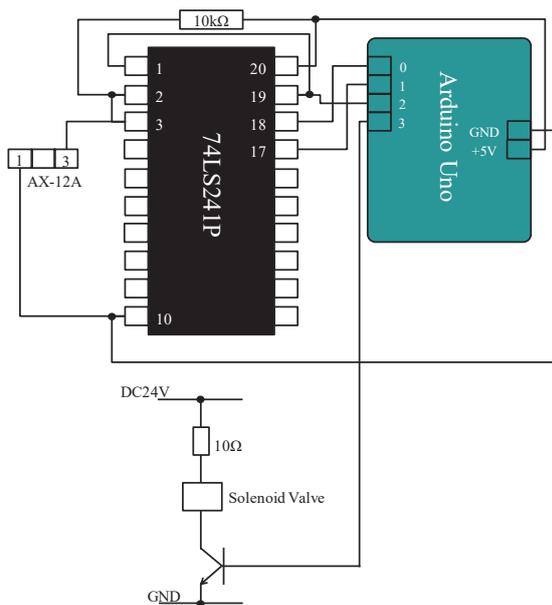


図 8 制御回路

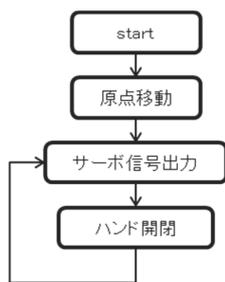


図 9 制御プログラムの流れ

#### 4 完成したロボット

8 本タイプのハンドにより、強い把持力が実現でき、目標であった実物の林檎(重さ約 300g)を持ち上げて、ハンドの移動範囲(縦 200mm×横 200mm×高さ 180mm)の空間内を移動させることに成功した。

なお、林檎を持ち上げる際にアームが振動したが、これはアームの剛性が低く、ジョイント部分の遊びが大きいためと考えられる。

図 10 は、製作したロボットハンドが、約 300g の林檎を把持している様子である。

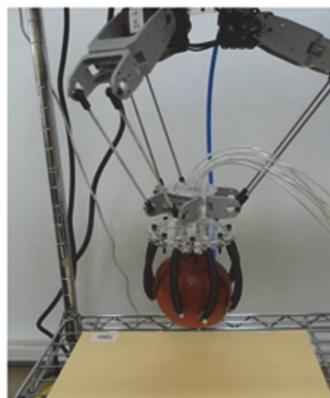


図 10 林檎を把持している様子

#### IV おわりに

本研究では、人工筋肉の製作と実験を基に、4 本タイプのハンドの試作を行うところからスタートした。また、ハンドを移動させる装置としてパラレルリンク型のアームを採用し、サーボモータと Arduino Uno を用いた位置決め制御プログラムを作成した。

今後の課題として、より正確な位置制御を可能とするために逆運動学を用いた制御プログラムの作成や、より高出力のサーボモータへの変更、振動を抑えるためのアームの高剛性化とロボットハンドの指の部分の改良、物体の自動判別などが挙げられる。

実用化に向け、ロボットハンド部分の試作と耐久試験、また、スカラ型ロボットアームへの取り付けもやりたい。

本テーマに熱心に取り組んでくれた木立君、山谷君、若山君に感謝します。

#### [参考文献]

- (1) 「OPEN SOFT MACHINES recipes for ミニ・マッキベン型 空気圧人工筋肉」  
<http://opensoftmachines.com/2018/06/mini-mckibben/> (2021-2-2 確認)。
- (2) 中村太郎。「図解 人工筋肉 ソフトアクチュエータが拓く世界」・日刊工業新聞社, 2011, 78P。
- (3) 「Dynamixel AX-12A and Arduino: how to use the Serial Port」  
<https://robottini.altervista.org/dynamixel-ax-12a-and-arduino-how-to-use-the-serial-port> (2021-2-2 確認)。