

論文の内容の要旨

論文題目 マイクロ空気圧システムによるソフトアクチュエーション

氏 名 李 湧権

人のいる環境で作業するロボットには安全性の確保のため柔軟な材質と動作が必要であり、ロボットの動きの柔軟さを作り出すソフトアクチュエータが欠かせないものとなる。そこで本研究ではソフトアクチュエータとしてマッキベン型ゴム人工筋と呼ばれる空気圧人工筋を小型化し、その評価のために人間の骨格モデルを利用したソフトロボットハンドを試作した。また小型空気圧人工筋の制御装置としてマイクロバルブやマイクロコンプレッサを試作しテストを行った。本研究で試作された空気圧人工筋やマイクロバルブはそれらを組み合わせることで、軽量かつコンパクトなマイクロ空気圧システムを構築することができ、将来福祉用ロボット用の駆動系として応用が可能である。

空気圧人工筋は内部圧力の増大と共に筋肉のような収縮運動をするもので、空気の圧縮性による本質的な柔らかさを備えており、ロボット用のソフトアクチュエータとして注目されている。しかし、既存のものはサイズが大きく、実際、人間の筋肉のような配置は困難である。そこで本研究では図 3 のように空気圧人工筋の力学モデルを解析し、各要素のパラメータを最適化することで小型化を図り、最終的に図 1 のような直径 1 mm のマイクロ人工筋を試作した。その人工筋の収縮特性を図 2 に示す。

マイクロ空気圧人工筋は図 3 のような要素から構成され、内部のゴムチューブの膨らみが外側の編物スリーブによって収縮運動や長さ方向の力（収縮力）に変換される仕組みになっている。

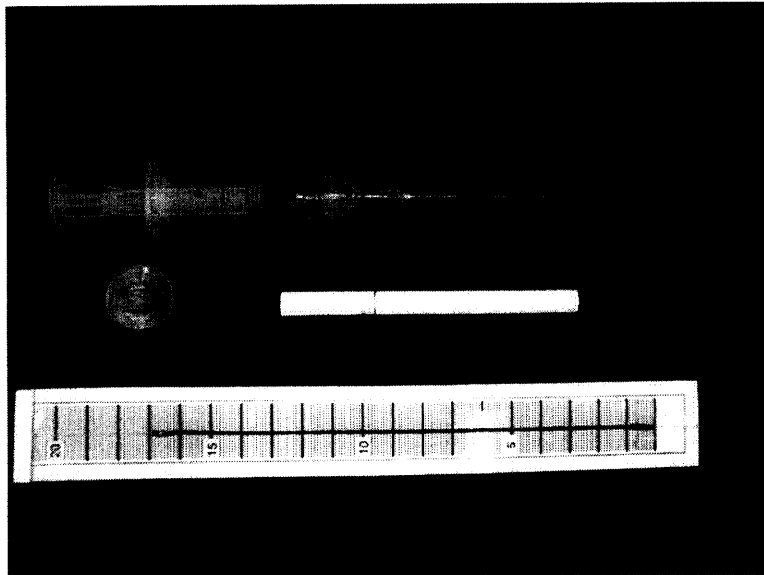


図1 マイクロ空気圧人工筋

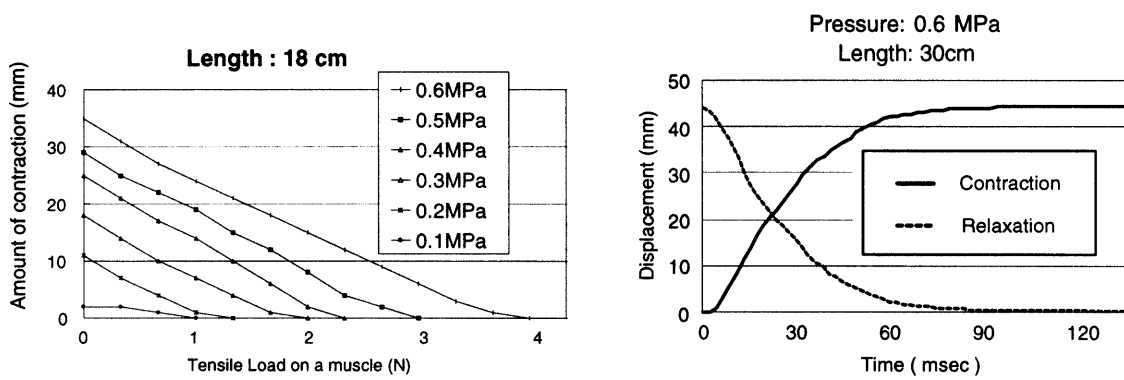


図2 マイクロ空気圧人工筋の収縮特性

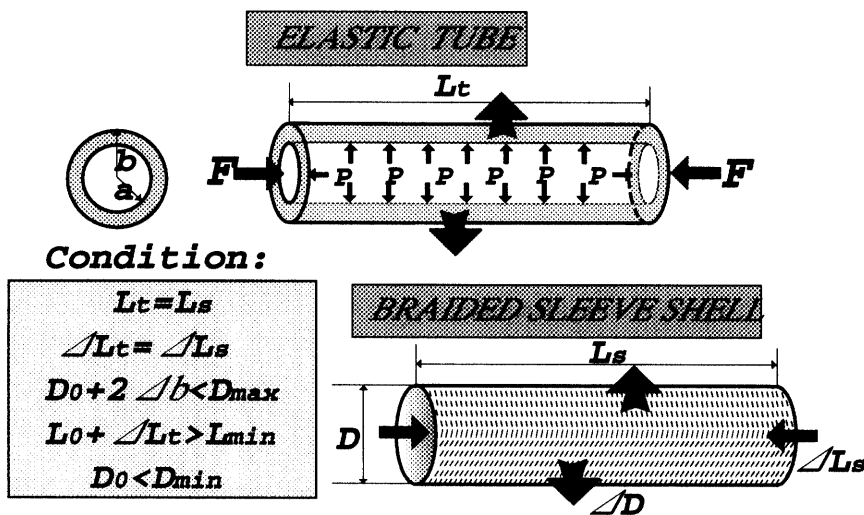


図3 空気圧人工筋の力学モデル

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{E} \left\{ \frac{a^2 p (1 - f - 2\nu)}{b^2 - a^2} \right\} = \frac{a^2 p}{Et} \left\{ \frac{2(1 - \nu^2)Q}{(2a + t)(\nu Q + 1)} \right\} \cong \frac{apQ}{Et}$$

$$F = \pi a^2 p \left\{ \frac{1 - 2\nu - (2 - \nu)Q}{1 + \nu Q} \right\}$$

- F : 人工筋の発生力,
- ΔL : 人工筋の収縮量,
- E : チューブのヤング率,
- ν : チューブのポアソン比,
- t : チューブの肉厚,
- Q : スリーブ係数 = $(\Delta L / \Delta D) / (L_0 / D_0)$,
- L_0 : スリーブの初期長さ,
- D_0 : スリーブの初期太さ (直径),
- ΔD : スリーブの直径の変形量.

マイクロ空気圧人工筋は内圧が 0.6 MPa のとき約 21%の収縮率を示し、最大で 3.5 N の収縮力が出せる。またマイクロ空気圧人工筋は下記のような特徴を持っており、人間型福祉ロボットなど様々なロボットのソフトアクチュエータとして応用が期待される。

- 動きや素材が柔らかい。
- 構造が簡単で軽量である。
- 負荷反応型アクチュエータである。
- 生体筋と類似した特性を持つ。
- 骨格模型上に直接配置が可能。
- 空気消費量が少なく大きい力が出せる。

本研究では MEMS の技術を用いてマイクロ空気圧人工筋の制御機器であるマイクロバルブの試作を行った。試作したマイクロバルブは厚さ 2 mm, 19 mm × 25 mm のサイズで 6 チャンネルの出力ポートを有し、6 個の人工筋を同時に制御することができる。図 4 は試作したマイクロバルブである。またその構造を図 5 に示す。図 5 の左上はマイクロバルブの断面図で、左下は平面図、右は SMA アクチュエータのパターンである。

マイクロバルブはパイレックスガラスとシリコンウェハーからなる流路部と空気圧の流れを切り換えるためのアクチュエータ部によって構成される。流路部の製作には MEMS 技術である異方性エッチングを用いた。シリコンとパイレックスガラスは陽極接合を用いて接合を行った。

アクチュエータ部は 1 枚の SMA 薄膜シート上に、6 個のバネ状アクチュエータをパターンニングすることによって製作した。本研究で使用した SMA は膜厚 35 μ のもので、YAG レーザを用いてパターンニングを行った。

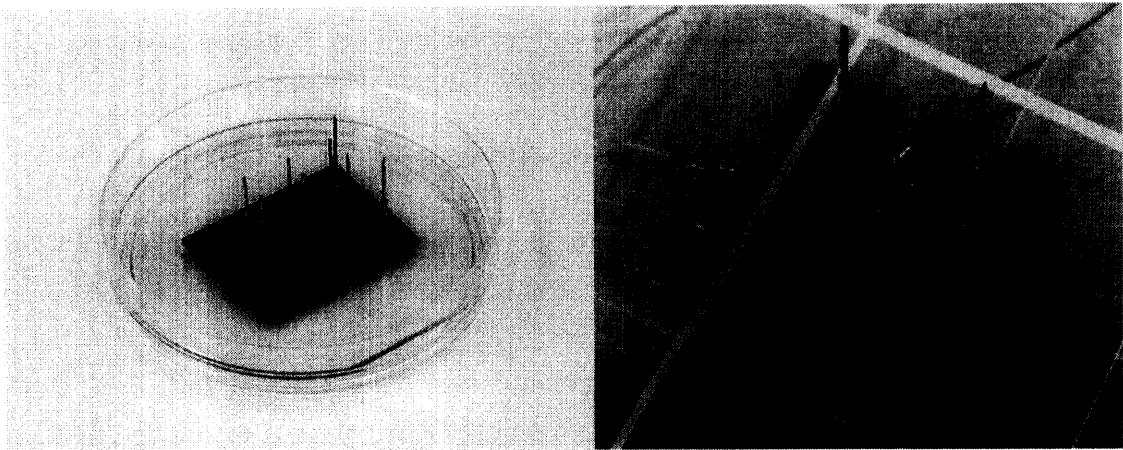


図4 マイクロバルブ

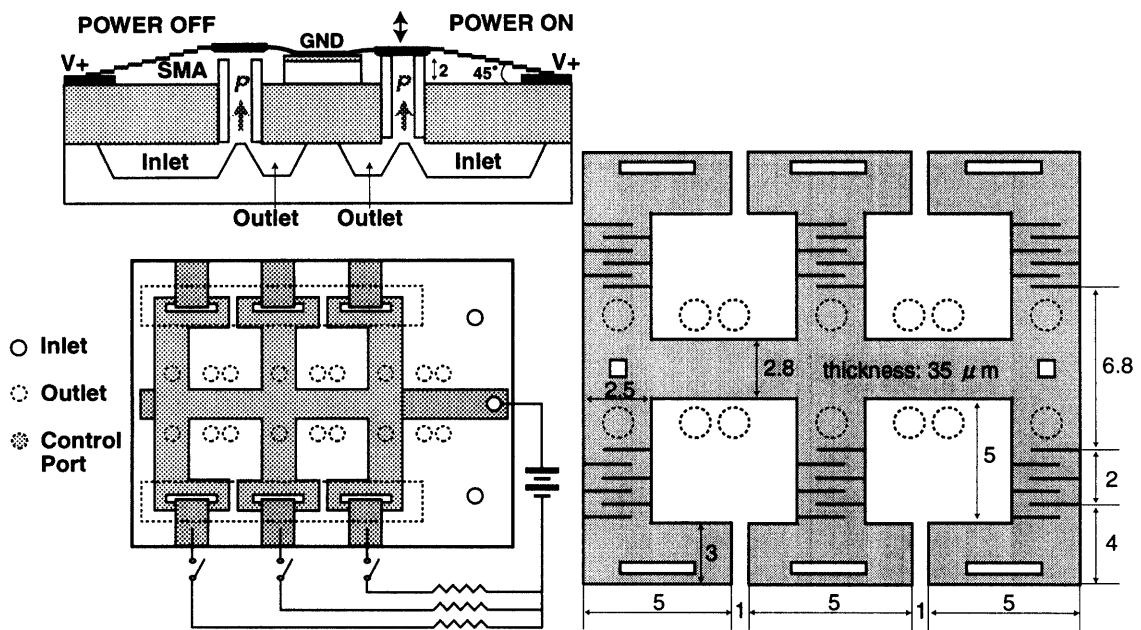


図5 マイクロバルブの構造

一方、本研究ではマイクロ空気圧人工筋とマイクロバルブからなるマイクロ空気圧システムのアプリケーションとしてソフトロボットハンドを試作した。このハンドは人間の骨格模型上に人間の手の解剖学を参考に空気圧人工筋を配置することで試作を行った。試作したソフトロボットハンドは素材や動きの柔軟なアクチュエータによって駆動されるため、精密な制御は難しいものの、人間の手のように柔らかい動作ができ、外部に対しても柔軟な対応が可能である。

図6は試作したソフトロボットハンドである。

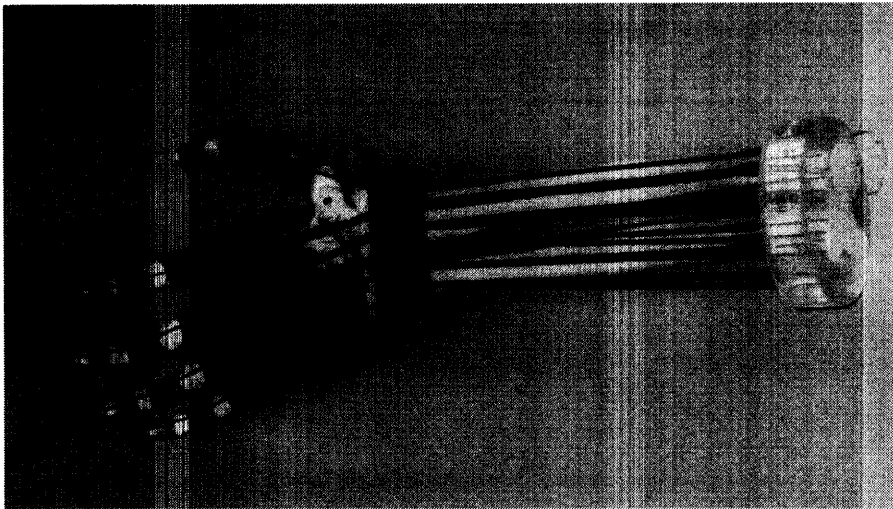
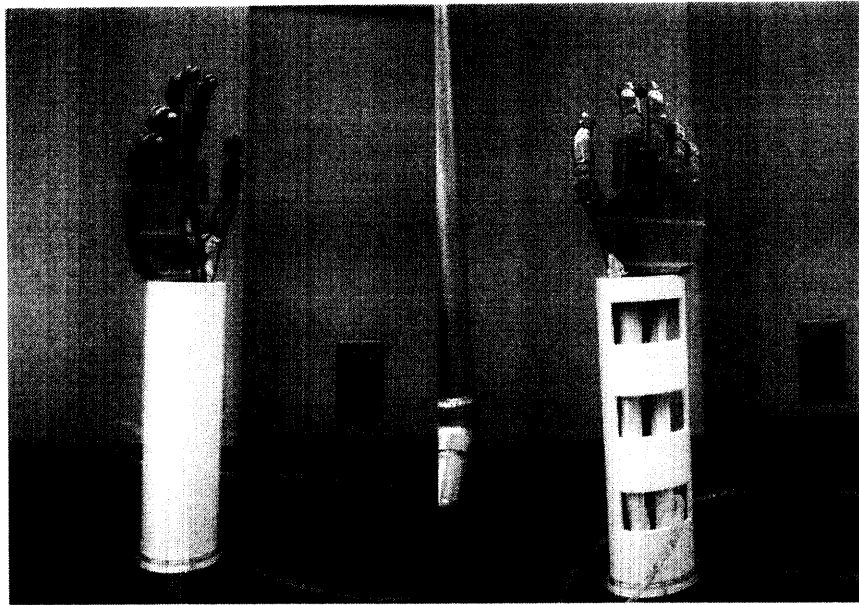


図6 ソフトロボットハンド

本研究は福祉ロボットのためのソフトアクチュエータとして小型空気圧人工筋の製作及び応用を第一目標として進められた。その結果、本研究では直径 1 mm のマイクロ人工筋の製作に成功した。またマイクロ空気圧人工筋を駆動するための小型制御デバイスの設計及び製作を通してマイクロ空気圧人工筋に適合した制御手法を提案することができた。更にマイクロ空気圧人工筋を人間の手の骨格模型上に生態筋のように配置することで、ソフトロボットハンドの製作を行った。これによってマイクロ空気圧人工筋及びその制御デバイスの有効性とマイクロ空気圧システムを全体的に評価することができた。