

ベローズチューブ空気圧群アクチュエータの試作

清水 清人, 平井 慎一, 川村 貞夫 (立命館大学)

Prototyping of Bellows Tube Pneumatic Group Actuators

*Kiyoto SHIMIZU, Shinichi HIRAI, Sadao KAWAMURA (Ritsumeikan Univ)

Abstract—The prototyping of a bellows tube Pneumatic Group Actuator(PGA) is presented. We will propose the control method using vision system for a PGA in this paper. We have to cope with nonlinearity, hysteresis, and variety of tubes consisting of a PGA in the control of a PGA. So we will introduce polyethylene bellows tubes into a PGA to overcome the variety of tubes and their low stiffness. We will prototype a bellows tube PGA and will demonstrate their motion control.

Key Words: pneumatic, vision, motion, control, bellows tube

1. はじめに

多様な運動が可能な空気圧アクチュエータとして著者らは空気圧群アクチュエータを提案した¹⁾。本報告では、視覚を用いて、空気圧群アクチュエータの運動を制御する手法を提案する。空気圧群アクチュエータの運動を制御するためには、空気圧の非線形性やヒステリシス、構成要素であるチューブの特性のばらつきに対応する必要がある。そこで、これまでに用いてきたシリコンチューブに代わり、新たにポリエチレン製のベローズチューブを導入する。これによりシリコンチューブの特性のばらつきと低い剛性に対応することができる。そのベローズチューブを用いて新たな空気圧群アクチュエータを製作し、制御を行う。

2. 空気圧群アクチュエータ (PGA)

空気圧群アクチュエータは、複数のプレートとプレート間を接続する複数の単一運動チューブから構成される。Fig1に示すプロトタイプは、固定プレート、中間プレート、運動プレートの三枚のプレートと、六本のチューブから構成される。三本のチューブは固定プレートと中間プレート間に、残り三本のチューブは中間プレートと運動プレート間に配置されている。このプロトタイプを、二段空気圧群アクチュエータ (double-stage pneumatic group actuator) と呼ぶ。

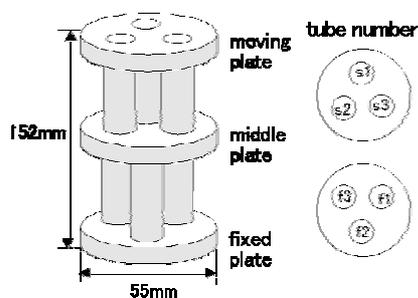


Fig.1 空気圧群アクチュエータ

3. 二段空気圧群アクチュエータの運動制御

本節では、二段空気圧群アクチュエータの運動制御則を導く。ただし、鉛直平面内の平面運動のみを扱う。チューブ F2 と F3 に加えられる圧力が等しい、すなわち、 $p_2 = p_3$ と仮定する。さらに、チューブ S2 と S3 に加えられる圧力が等しい、すなわち、 $p_5 = p_6$ と仮定する。圧力の微小変化 $\delta p_1, \delta p_2, \delta p_4, \delta p_5$ と運動プレートの位置姿勢の微小変化 $\delta x, \delta y, \delta \theta$ との関係は、次のように示される。

$$\begin{bmatrix} \delta x \\ \delta z \\ \delta \theta \end{bmatrix} = A_{3 \times 6} B_{6 \times 4} \begin{bmatrix} \delta p_1 \\ \delta p_2 \\ \delta p_4 \\ \delta p_5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_{3 \times 6} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & S_1 r_{x2} + C_1 r_{z2} & -C_1 & S_1 & 0 \\ 0 & 1 & C_1 r_{x2} - S_1 r_{z2} & S_1 & C_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$B_{6 \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_{x1}}{\partial p_1(p_1, p_2)} & \frac{\partial r_{x1}}{\partial p_2(p_1, p_2)} & 0 & 0 \\ \frac{\partial r_{z1}}{\partial p_1(p_1, p_2)} & \frac{\partial r_{z1}}{\partial p_2(p_1, p_2)} & 0 & 0 \\ \frac{\partial \theta_1}{\partial p_1(p_1, p_2)} & \frac{\partial \theta_1}{\partial p_2(p_1, p_2)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial r_{x1}}{\partial p_1(p_4, p_5)} & \frac{\partial r_{x1}}{\partial p_2(p_4, p_5)} \\ 0 & 0 & \frac{\partial r_{z1}}{\partial p_1(p_4, p_5)} & \frac{\partial r_{z1}}{\partial p_2(p_4, p_5)} \\ 0 & 0 & \frac{\partial \theta_1}{\partial p_1(p_4, p_5)} & \frac{\partial \theta_1}{\partial p_2(p_4, p_5)} \end{bmatrix}$$

行列 A は、二段組群アクチュエータのヤコビ行列、行列 B は圧力に対する各段の運動特性を表す。ここで $C_{3 \times 4} = A_{3 \times 6} B_{6 \times 4}$ と定義し、モデルに基づく運動制御則が得られる。

$$p^{k+1} = p^k + \alpha C_{3 \times 4}^{\#} (q^d - q^k) \quad (2)$$

ただし、 $p^k = [p_1^k, p_2^k, p_4^k, p_5^k]^T$ は、繰返し回数 k における各チューブの空気圧、 $q^k = [x^k, y^k, \theta^k]^T$ は、繰返し回数 k における運動プレートの位置と姿勢、 $q^d = [x^d, y^d, \theta^d]^T$ は、運動プレートの位置と姿勢の目標値を表す。また、 $C_{3 \times 4}^{\#}$ は、行列 $C_{3 \times 4}$ の擬似逆行列、スケール係数 α は正の定数である。運動プレートの位置と姿勢の現在値は、空気圧群アクチュエータを撮影し

た画像のマーカから計算する．その値から，(2) 式により次の繰返しにおけるチューブの圧力値 p^{k+1} を計算し，空気圧システムへの指令値とする．上記の制御則を用いて制御した結果を以下に示す．

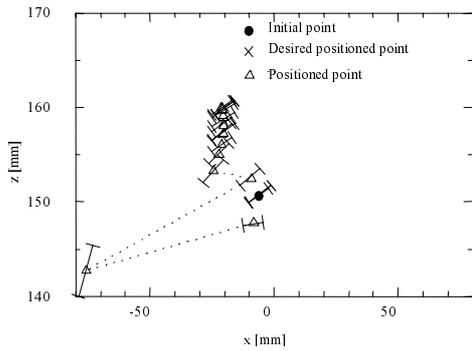


Fig.2 実験結果

4. ベローズチューブを用いた空気圧群アクチュエータ

本節では，ゴムチューブの代わりにベローズチューブを用いた空気圧群アクチュエータを考案する．前回製作した空気圧群アクチュエータには，シリコン製のゴムチューブを用いていた．このシリコンチューブは，伸張性は，十分であったが，剛性が小さく，また特性のばらつきが大きいという短所を持っている．

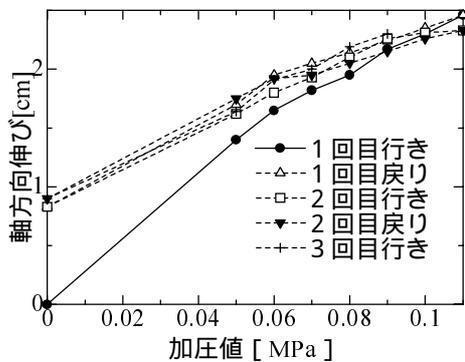


Fig.3 ベローズチューブのヒステリシス

2段アクチュエータ以上の多段群アクチュエータを製作し，その運動制御を実現するためには，新たなチューブが必要である．選定を行った結果，ベローズチューブが伸張性に関して，最も良い特性を有することがわかった．ベローズチューブのヒステリシスを Fig.3 に示す．加圧していない状態でのベローズチューブは，10cm である．1 回目の加圧以外は，ほぼ同じ特性を示している．また，ベローズチューブの軸方向の伸び率は 23% である．これはシリコンチューブの伸び率 25% とほぼ同等である．ベローズチューブの径の変化率は，ほぼ 0% である．シリコンチューブの径の変化率は，0.1 [MPa] で 100% であるのに比べ，大きく減少している．

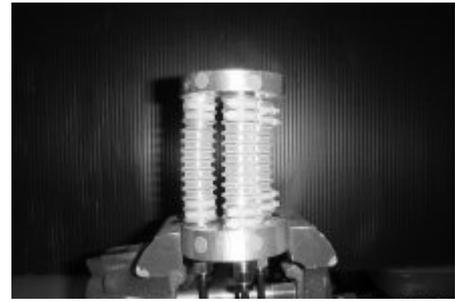


Fig.4 ベローズチューブ PGA

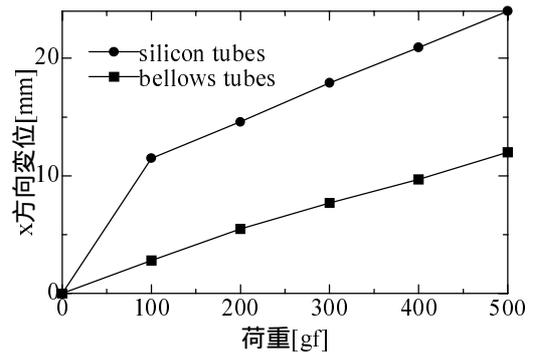


Fig.5 剛性の比較

ベローズチューブを用いて試作した 1 段 PGA を Fig.4 に示す．PGA の曲げ剛性を Fig.5 に示す．これは，横方向の荷重に対する変化を示している．シリコンチューブを用いた PGA と比較すると，ベローズチューブを用いた PGA は比例域においては，シリコンチューブ PGA に対して，約 5 倍の剛性が得られた．シリコンチューブは，100[gf] で比例限を超えているのに対して，ベローズチューブは，500[gf] 時点でも比例域にとどまっている．ベローズチューブとシリコンチューブを比較すると，伸張性に関して，軸方向は同程度，径方向に関しては，前者はほとんどなく，後者は大きかった．剛性に関しては，前者は後者に対して 5 倍の剛性が得られた．これらのことからベローズチューブは，シリコンチューブより，PGA に適したチューブであることがわかった．

5. おわりに

本報告では，空気圧群アクチュエータ (PGA) の運動制御ならびに，シリコンチューブに代わるベローズチューブを用いた PGA を提案した．今後，このベローズチューブを用いた PGA で運動制御を行い，運動精度を向上させる．

参考文献

- 1) Hirai, S Masui, T and Kawamura, S : *Proto-typing Pneumatic Group Actuator Composed of Multiple Single-motion Elastic Tubes*, Proc. IEEE Int.Conf.on Robotics and Automation, pp.3807-3811, Seoul, April, 2001 .