研究の課題名

電界共役流体(ECF)を利用した
マイクロ人工筋アクチュエータに関する研究

東京工業大学精密工学研究所　助手
報告者　　竹 村　研 治 郎
報告日　2006年(平成18年) 1 月25日

1．本研究の意義、特色

本研究の特色は、圧力発生源を内在したマイクロ人工筋を提案する点、およびその実現のために新たな機能性流体である電界共役流体(ECF)を利用する点である。さらに、マイクロ人工筋を開発することにより、所望の出力や変位に応じてこれらを直並列に配置することができる点である。これにより、生物の筋肉のように微小アクチュエータの集合体として所望のストロークおよび推力を有する人工筋肉を実現することができる。

2．実施した研究の具体的内容、結果

1．コンセプトの提案

圧力発生源を内在したマイクロ人工筋アクチュエータを実現するために、新たな機能性流体である電界共役流体(Electro-conjugate Fluid, ECF)を用いた新規のアクチュエータを提案した。電界共役流体とは、ある種の誘電性液体であり、液中に挿入された微小な電極対に直流高電圧を印加することによって活発なジェット流(ECFジェット)を発生する機能性流体である。このECFジェットに起因する発生圧力を利用して、軸方向に繊維強化された柔軟なチューブの内圧を制御する新たな人工筋アクチュエータを提案した。すなわち、上記チューブは内圧の上昇に伴って膨張しようとするが、軸方向に張られた繊維によって長さ方向には拘束されているため径方向にのみ膨張し、結果として軸方向の収縮を生じる。従来、このような繊維強化チューブの収縮は空気圧を利用したものが提案されているものの、外部にコンプレッサが必要であり、システムとして大型化していた。本研究で提案するマイクロ人工筋アクチュエータは微小な電極対のみによって圧力発生が可能な電界共役流体を利用することによって、圧力発生源を内在することが可能である。

2．設計・製作

上記コンセプトの原理確認のため、電界共役流体を用いたマイクロ圧力源および繊維強化チューブを設計した。

はじめに、マイクロ圧力源を設計した。マイクロ圧力源は外径1mm、内径0.3mmで厚さ0.2mmの黄銅製リング状電極と直径0.13mm、長さ1mmのタングステン製針状電極から構成されている。両電極の中心軸を一致させ、電極間隔0.2mmで対向配置した電極対を用いた。電極対の支持部品には、絶縁のためエンジニアリングプラスチックであるポリエーテルイミドを用いた。設計したマイクロ圧力源の性能を評価するために、電極対に～6kVの電圧を印加し、FCFジェットにより発生する圧力ヘッドを測定した。この結果、発生圧力は印加電圧に対して二次曲線的に上昇し、印加電圧6kVにおいて約10kPaに達した。

つぎに、繊維強化チューブを設計した。繊維強化チューブはシリコーンゴムおよびアラミ

ド繊維によって製作した。シリコーンゴムチューブの厚さ(35μm、45μm)および強化繊維本数(4本、8本、12本)を設計パラメータとして、直径5mm、長さ10mmの繊維強化チューブを6種類製作し、水柱による圧力印加によって各チューブの収縮特性を測定した。この結果、印加圧力と収縮率(チューブの初期長さに対する収縮量の割合)の間には非線形性および弱いヒステリシスが認められた。上記6種類の繊維強化チューブのうち最も収縮特性が良好であったのは、シリコーンゴムチューブの厚さ35μm、強化繊維本数12本のものであり、印加圧力10kPaにおいて収縮率は約23%であった。

マイクロ圧力源および繊維強化チューブの特性評価結果より、設計した各要素を組み合わせることによって、電界共役流体を用いたマイクロ人工筋を実現できることが確認された。このため、各要素を用いたプロトタイプを設計、製作した。プロトタイプは原理確認を目的としたため、シリコーンゴムチューブによって先述のマイクロ圧力源の下流に繊維強化チューブを、上流に電界共役流体のタンクを接続した構成とした。

3. 実験

製作したプロトタイプの駆動特性を実験によって明らかにした。測定した駆動特性は(1)収縮特性(静特性・動特性)、(2)発生力特性(静特性・動特性)、(3)収縮量制御特性の3つである。

(1) 収縮特性

はじめに、印加電圧に対する収縮率を測定した。なお、収縮量はレーザ変位計により測定した。静特性実験の結果、印加電圧に対して収縮率は非線形性を有するものの、印加電圧6kVにおいて収縮率約30%を示した。また、0kVから5.5kVへのステップ入力に対する収縮率の動特性の測定から、立ち上がり時間は2.8sであった。

(2) 発生力特性

つぎに、プロトタイプの発生力を測定した。発生力には、人工筋アクチュエータの長さ一定の下での発生力(等張性収縮)と一定荷重の下での発生力(等尺性収縮)の2種類がある。このため、等張性収縮特性の測定には低荷重用ロードセルを用い、等R性収縮測定時の一定荷重にはおもりを用いた。等張性収縮特性の測定の結果、印加電圧6kVにおいて発生力約0.2Nを示した。また、等尺性収縮特性は、生物の筋肉において報告されている非線形特性と同様の傾向を示すことを確認した。

(3) 収縮量制御特性

最後に、プロトタイプの収縮量をPD制御により制御した。すなわち、収縮量目標値としてステップ入力およびランプ入力を設定した際の制御特性を測定した。ステップ応答実験においては、目標収縮量を0mmから1.5mmまで0.3mm毎のステップ状に変化させ応答を計測した(各ステップは10s)。この結果、0.3mmのステップに対して立ち上がり時間0.35sでオーバーシュートなく追従することが明らかになった。また、ランプ応答の結果から、一定速度での収縮を実現できることが確認された。

4. まとめ

電界共役流体(ECF)を用いた新たなマイクロ人工筋アクチュエータを提案した。また、プロトタイプの製作および駆動実験から、提案したコンセプトによって人工筋アクチュエータを実現できることを確認した。プロトタイプは駆動特性に非線形性を有するものの、PD制御によって、少なくとも0.3mmの分解能で収縮量を制御できることを明らかにした。

3．本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

竹村研治郎　東京工業大学精密工学研究所　助手
横田　眞一　東京工業大学精密工学研究所　教授
吉田　和弘　東京工業大学精密工学研究所　助教授
金　　俊完　東京工業大学精密工学研究所　助手

4．研究実施時期

平成16年１月10日から18年３月31日まで

5．本研究に関連して発表した主な論文等

(1) 竹村ら、電界共役流体に発生するジェット流を用いたマイクロ人工筋アクチュエータ、日本機械学会論文集C編、71-708、2571-2577、2005。　※

(2) Kenjiro Takemura, et. al., Development of a Micro Artificial Muscle Actuator using Electro-conjugate Fluid (ECF), Proc. Int. Conf. Mechatronics Technology, 221-226, 2004.

(3) Kenjiro Takemura, et. al., A Micro Artificial Muscle Actuator using Electro-conjugate Fluid, Proc. Bath Workshop on Power Transmission & Motion Control, 269-276,2005.

(4) Kenjiro Takemura, et. al., Driving Characteristics of a Micro Artificial Muscle Actuator using Electro-conjugate Fluid, Proc. The 6th JFPS Int. Symp. Fluid Power, 564-568, 2005.
など

6．内外における関連研究の状況

本研究と関連が深い人工筋は、大別して空気圧利用のもの、機能性材料利用のものがある。空気圧人工筋は一部商品化が進むものの、外部に圧力発生源を必要とするため、自律システムへの適用には適さない。また、誘電樹脂やSMAなどの機能性材料を用いた人工筋は原理確認に留まり、実用化段階にはない。しかし、新原理の人工筋に関する研究は活発化しており、ソフトロボット実現のための研究分野として発展が期待される。

7．今後の発展に対する希望

ECFマイクロ人工筋の小型化により圧力源を内在した人工筋セルが実現でき、筋肉のように微小セルの集合体として所望の出力を有する人工筋肉を実現できる。これにより、ロボット分野に機能要素からのブレークスルーをもたらしたい。