電界共役流体 (ECF) を利用したマイクロ人工筋セルの開発とその集積化 Integration of Micro Artificial Muscle Cells using Electro-conjugate Fluid

1061011

研究者代表 東

東京工業大学精密工学研究所 助手

竹村 研治郎

[研究の目的]

ロボットの利用範囲が急速に拡大するにつれ て、ヒトと機械システムのインタラクションの 機会が増えている.これにともない、生物の柔 軟性にヒントを得た「ソフトメカニクス」がロ ボティクス分野において注目されている.たと えば、柔軟性を実現する機能要素として、生物 の筋肉を人工的に再現した人工筋アクチュエー タの開発が進められている.これまでに、空気 圧によりゴムチューブを伸縮させるもの、特殊 な高分子材料を電気的エネルギで収縮させるも のなどが実現されてきた.

本研究は筋肉の潜在的な柔軟性を実現する新 たなアクチュエータとして,直流高電圧の印加 によって活発な流動(ECFジェット)を発生す る電界共役流体(ECF)を利用して繊維強化チ ューブを駆動するマイクロ人工筋セルの開発を 目的とする.本アクチュエータは液圧駆動であ るにもかかわらずパワー源,タンク,駆動部を 一体としたセル構造を有するため,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出 力を有する人工筋を実現することができ,ロボ ティクス分野に機能要素からのブレークスルー をもたらすと思われる.

[研究の内容、成果]

電界共役流体(Electro-conjugate Fluid, ECF) は、直流高電圧の印加によって活発なジェット 流を発生する機能性流体である.本研究では、 このジェット流によって収縮変位を得る EC マ イクロ人工筋セルを開発し、集積化による高出 力化について検討した.

構造および駆動原理

ECFマイクロ人工筋セルの構造を図1(a)に示 す.本セルは外側からポリエチレン製のタンク 膜,繊維強化シリコーンゴムチューブ,ECFジ ェット発生部を有し,内部は電界共役流体 (FF-1_{EHA2},新技術マネイジメント社製)で満 たされている.二重円筒構造を成すタンク膜と 繊維強化シリコーンゴムチューブの間の空間が タンクであり,ECFジェット発生部を介して繊 維強化シリコーンゴムチューブ内部と通じてい



Fig. 1 ECF micro artificial muscle cell



Fig. 2 Ring-needle electrode pair



Fig. 3 Fabricated ECF micro artificial muscle cell

る.また、軸方向に繊維強化されたシリコーン ゴムチューブは内圧の変化に伴い軸方向に収縮 し、径方向には膨張するアクチュエータ部であ る. ECF ジェット発生部は内部に図 2 に示す ような針状ーリング状電極対を有し、ポンプと して作用する.なお、繊維強化シリコーンゴム チューブ内部に配置されている円板は、ECF を 充填した際に表面張力によって生じるチューブ の変形(中心部が細くなる変形)を軽減するた めのものである.

ECFジェット発生部に電圧を印加すると針状 電極先端からリング状電極を貫くように ECF ジェットが発生し,液体をタンクから繊維強化 シリコーンゴムチューブ内へとポンピングする. これに伴い,繊維強化シリコーンゴムチューブ の内圧が上昇し,ECF人工筋セルは収縮変位お よび軸方向の力を発生する(図1(b)).

図3に製作したECFマイクロ人工筋セルを示 す.本セルの直径は10mm,高さは12.5mmで ある.ただし,アクチュエータ部となる繊維強



化シリコーンゴムチューブの直径は 5 mm,長 さは 10 mm,膜厚は約 45 µm であり,表面に 12 本のアラミド繊維が等間隔で接着されている.

駆動特性

(a) ECF マイクロ人工筋セルの駆動特性

集積化のために前述の ECF マイクロ人工筋 セルを6つ製作し,駆動特性を測定した.

はじめに、各セルの無負荷収縮特性をレーザ 変位計により計測した.実験結果を図4に示す. 図からわかるように、各セルには個体差があり、 印加電圧4.5 kV時の最大変位はセルDにおいて 0.63 mm であった.

つぎに、各セルの発生力をロードセルを用い て測定した結果を図5に示す.ただし、セルは 端部中心付近に取り付けられた糸によりロード セルと接続されている.収縮特性同様、セルご



(a) Cells in series



(b) Cells in series-parallel Fig. 6 Integrated ECF micro artificial muscle

とに個体差がある. セル単体での最大発生力は セルDにおいて 4.5 kV 印加時に 138 mN であっ た.

(b) 集積化 ECF 人工筋の駆動特性

前節の結果から,収縮変位においてなるべく 個体差の少ない組み合わせとしてセルDとEを 直列化し,図6(a)に示す直列化マイクロ人工筋 を構成した.直列化により収縮変位は各セルの 総和となり発生力は平均化されると予測される. 無負荷収縮特性を計測したところ最大収縮変位 は4.5kV印加時に1.20mmであった(図4).セ ルDおよびEの4.5kV印加時の収縮変位は0.63 mmおよび0.50mmであり,直列化により収縮 変位はおおむね2つのセルの和になることが確 認された.また,発生力を計測したところ,最 大発生力は4.5kV印加時に73.7mNであった(図 5).セルDおよびEの4.5kV印加時の発生力は 138.3mNおよび22.8mNであるので発生力は平 均化されることが確認された.

つぎに、セルA、B、CおよびFを直並列化 し、図6(b)に示す直並列化マイクロ人工筋を製 作した.直並列化により、単体のセルに比べ収 縮変位の増加および発生力の増大が予測される. 無負荷収縮特性を計測したところ最大収縮変位 は4.5kV印加時に0.46 mm であった(図4).セ ルA、B、CおよびFの4.5kV印加時の収縮変 位はそれぞれ0.26 mm、0.25 mm、0.26 mm、お よび0.30 mm であるので収縮変位が増加するこ とが確認された.また、発生力を計測したとこ ろ、最大発生力は4.5 kV印加時に76.9 mN であ った(図5).セルA、B、CおよびFの4.5kV 印加時の発生力はそれぞれ9.6 mN、14.5 mN、 8.6 mN、および4.5 mN であるので発生力が増大 したことがわかる.

前述のように, ECF 人工筋セルを直列化する と発生力は平均化される.このことを考慮する と直並列化した際の発生力は予想よりも大幅に 向上した.これは,図6に示したように,ECF 人工筋セルを直並列化した際の両端をエンジニ アリングプラスチックの板により連結したため, 各セルの収縮方向が強制的に軸方向に統一され, 発生力が大きく向上したものと考えられる.

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、集積化に適した構造を有する電 界共役流体を応用したマイクロ人工筋セルを提 案し、実験によりセル単体および直並列に集積 化した際の駆動特性を明らかにした.この結果、 セルの直列化により収縮変位はセル単体の場合 の和となり、発生力は平均化されることが明ら かとなった.また、セルを直並列に集積化した 場合、収縮変位、発生力ともに向上することが わかった.

今後は、セル単体の性能向上を目指して

- ・電極形状の最適化(高出力化、低電圧化)
- ・強化繊維配置の最適化(収縮特性改善)
- ·小形,高集積化

について検討し、マイクロロボットアーム/ハ ンドなどの具体的応用例への適用を目指す.

[成果の発表、論文等]

学術論文

 Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Development and Control of a Micro Artificial Muscle Cell using Electro-conjugate Fluid, Sensors & Actuators A, No. 133, Issue 2, pp. 493-499, 2007.

国際会議

- Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, and Kazuya Edamura, Driving Performance and Control of a Micro Artificial Muscle Cell using Electro-conjugate Fluid, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1018-1023, 2006.
- Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota and Kazuya Edamura, ECF Micro Artificial Muscle Actuator and its Application to Micro Robot Arm, Proceedings of the 6th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, 2007. [in press]

国内会議

- 竹村研治郎、横田眞一、枝村一弥、ECF マ イクロ人工筋アクチュエータの駆動特性、平 成18年度春季フルードパワーシステム講演 会講演論文集、pp.28-30,2006.
- 竹村研治郎,小泉和弘,横田眞一,枝村一弥, ECF マイクロ人工筋セルの集積化,日本機 械学会年次大会講演論文集, Vol. 4, 121-122,

2006.

- 竹村研治郎,矢島史也,小泉和弘,横田眞一, 枝村一弥,セルの集積化による ECF マイク ロ人工筋,日本機械学会関東支部山梨講演会 講演論文集,203-204,2006.
- 小泉和弘, 矢島史也, 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥, 電界共役流体を応用したマイクロ 人工筋セル, 第19回「電磁力関連のダイナ ミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 109-110, 2007.
- 5. 竹村研治郎, 横田眞一, 小泉和弘, 矢島史也, 枝村一弥, 電界共役流体を応用したマイクロ 人工筋セル, 平成 19 年度春季フルードパワ ーシステム講演会講演論文集, 2007. [発表 準備中]
- 6. 竹村研治郎,横田眞一,枝村一弥,スリーブ 形 ECF マイクロ人工筋の研究,日本機械学 会年次大会講演論文集,2007. [発表準備中]