

複数の釣糸アクチュエータを用いた面状筋の開発

Development of Planar Muscle using Multiple Twisted and Coiled Polymer Fiber Actuators

○正 舛屋 賢 (九大) 学 小野 秀 (九大)
正 高木 賢太郎 (名大) 正 田原 健二 (九大)

Ken MASUYA, Kyushu University, ken.masuya@ieee.org
Shu ONO, Kyushu University
Kentaro TAKAGI, Nagoya University
Kenji TAHARA, Kyushu University

This paper proposes a planar muscle consisting of multiple twisted and coiled polymer fiber actuators (TCPFA). In the authors' previous work, to realize the coexistence of large stroke and large output force, an actuator unit using multiple TCPFAs fabricated by winding the twisted fiber around the mandrel was developed. However, its heat conduction area between TCPFAs and the electric wire for Joule heating is small because of its structure such that the electric wire was wound around multiple TCPFAs arranged on a circumference. To increase the heat conduction area, the planar muscle developed in this paper is fabricated by weaving an electric wire into multiple TCPFAs.

Key Words: Twisted and coiled polymer fiber actuator, Planar muscle, Soft actuator

1 はじめに

高出力と柔軟性を兼ね揃えたソフトアクチュエータのひとつとして、Haines ら [1] により発見された釣糸アクチュエータ (Twisted and Coiled Polymer Fiber Actuator, TCPFA) が注目を集めている。TCPFA は、振ってコイル化したナイロンなどの高分子繊維が加熱により収縮する、という現象に基づくアクチュエータであり、同径のナイロンから作成した TCPFA を同温に加熱したとしても、コイル径により異なったストローク・発生力を示す。そのコイル化の方法として、最も多く使われる方法は、振りを過剰に加えて自動的にコイル化させる方法 [1, 2, 3, 4] である。この方法で作られる TCPFA のコイル径は小さく、発生力が大きい代わりにストロークが小さい。他の方法として、振りを加えた後に芯棒に巻き付ける方法 [1, 5, 6] があり、この場合はストロークが大きいが発生力の小さい TCPFA が作成できる。以降、本稿では、著者らの研究 [5, 6] と同様に、前者をオーバーツイスト型、後者をマンドレル型と呼ぶこととする。

前述のように、単独の TCPFA ではストロークと発生力はトレードオフの関係となり、それらの両立は難しい。ひとつの方法として、太い径のナイロンから作成したマンドレル型 TCPFA の利用 [5] が考えられるが、径が太いためにその動作は遅い。細い径のナイロンから作成した TCPFA を用いて大きなストロークと大きな発生力を両立させるために、著者ら [6] はこれまでに、複数本のマンドレル型 TCPFA を用いたアクチュエータユニットを開発した。このユニットでは、ジュール熱による同時加熱のために、円状に配置した複数の TCPFA にニクロム線を巻き付ける構造となっているが、この構造では伝熱のための面積が小さく、熱が伝わりにくいと考えられる。

そこで、本研究では、ジュール加熱用の電線を複数本のマンドレル型 TCPFA に編み込むことで面状構造とし、TCPFA と電線の伝熱のための面積を増加させる。複数本の TCPFA に別の線材・繊維を編み込む面状構造はすでに提案されている [1, 7] が、それらは能動的に駆動させるものではなかった。また、Simeonov ら [4] は銀メッキナイロンより作成した TCPFA を用いた面状筋を扱ったが、銀メッキナイロンを用いているために TCPFA 同士の不意の接触により導電パスが生じ、局所的な過熱が起き易いと考えられる。これらの従来研究に対して、本研究では、図 1 のような複数の TCPFA にエナメル線を編み込む面状筋を提案する。

2 複数の TCPFA を用いた面状筋の開発

2.1 マンドレル型 TCPFA の作成

本研究で用いるマンドレル型 TCPFA の作成方法を図 2 に示す。本研究では、高分子繊維として、ナイロン製釣糸である銀鱗

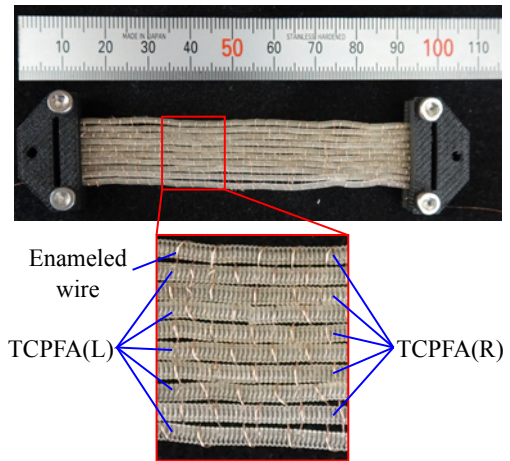


Fig.1 Developed planar muscle with multiple TCPFA. TCPFA(R) and TCPFA(L) mean TCPFA which twisting and coiling direction is the direction of the right-hand and left-hand screw, respectively.

4号 (東レ, 直径 0.33mm) を用いる。釣糸の一端を DC モータに、別端を 150g のおもりにそれぞれ取り付けて、コイル化直前まで振りを加えた後、振った釣糸を 0.7mm の針金に巻き付けてコイル化を行う。このとき、振りの方向およびコイル方向が同じ向きとなるように巻き付けた。その後、熱処理として、アズワン製定温乾燥器 OFW-300B により 180°C で 1 時間加熱した。

2.2 面状筋ユニットの開発

開発した面状筋ユニットを図 1 に示し、その構造を図 3 に示す。面状筋は、並列に配置した複数本の TCPFA に 1 本の電線を編みこむことにより製作した。ここで、Haines ら [8] のように電線の巻き付け方向と TCPFA のコイル方向を逆にするために、図 3(c) のようにコイル方向の違う TCPFA を交互に配置した。また、不意の接触による導電パスの生成を防ぐために、本研究では電線としてエナメル線 (2 種 UEW, 直径 0.15mm) を用いた。開発した面状筋ユニットの質量は 8.7g、電線の抵抗値は 1.8Ω であった。

3 性能調査実験

開発した面状筋ユニットについて、一定荷重における温度とストロークの関係について調査した。

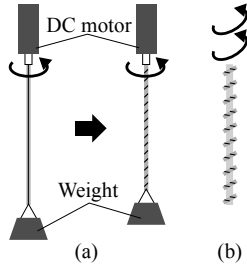


Fig.2 Fabrication of mandrel type of TCPFA. (a)Twisting the nylon with the weight by a DC motor up to the time just before the coiling. (b)Winding the twisted nylon onto the mandrel in the same direction as the twisting direction.

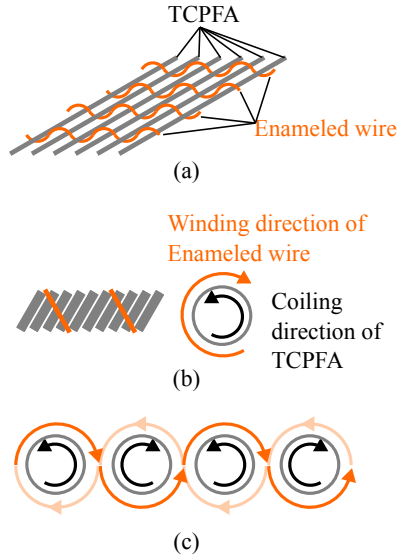


Fig.3 Structure of the planar muscle using multiple TCPFA. (a)Structure of TCPFA and the enameled wire. (b)Coiled direction of TCPFA and Winding direction of the enameled wire. (c)Arrangement of multiple TCPFA.

実験環境を図4に示す。実験では、KEYENCE製レーザ変位計(センサヘッド:IL-300, アンプIL-1000)を用いて変位を、Optris製赤外線サーモグラフィカメラOPTPI230O23T900を用いて温度を測定した。レーザ変位計のための板を面状筋ユニットの下端に取り付け、500gのおもりにより荷重を印加した。Maxon motor製サーボアンプLSC 30/2を通して、次の電圧入力を面状筋ユニットに与えた。

$$V_{in}(t) = \begin{cases} V_{ref} & (10 \leq t < 70) \\ 0 & (0 \leq t < 10, 70 \leq t < 200) \end{cases} \quad (1)$$

V_{ref} は参照電圧であり、実験では $V_{ref} = \sqrt{2}, \sqrt{4}, \sqrt{6}, \sqrt{8}, \sqrt{10}V$ の5つとした。ストロークは、0.5kg 荷重印加時のTCPFA 取付部品間距離(126mm)で変位を正規化することで求めた。サンプリング周期は0.01sとし、室温は24°Cであった。

結果を図5に示す。結果において、100°Cで約20%のストロークを達成できており、ナイロン糸によるオーバーツイスト型[1]に比べて大きなストロークが実現できている。また、同じ銀鱗4号を用いたオーバーツイスト型[3]に比べて、マンドレル型であっても本数が多いためにより大きな荷重を持ち上げることができている。

4 おわりに

本稿では、TCPFAと電線の伝熱部の増加を目的として、複数本のマンドレル型TCPFAにエナメル線を編み込んだ面状筋を提案した。エナメル線の巻き付け方向と各TCPFAのコイル方向が逆向きとなるように、コイル方向の違うTCPFAを交互に

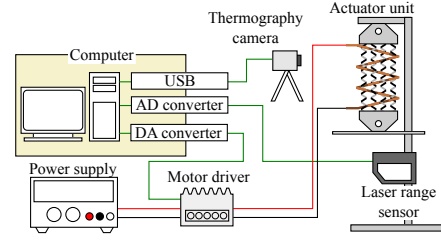


Fig.4 Overview of the experimental environment.

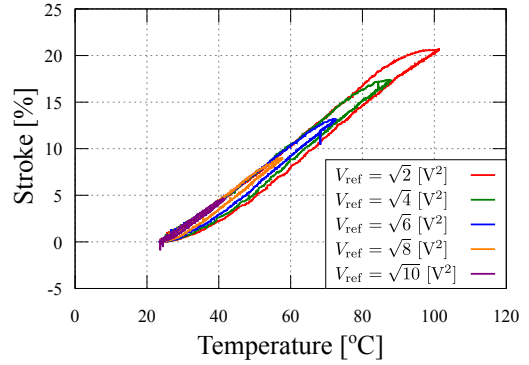


Fig.5 Relationship between the temperature and the stroke of the planar muscle when hanging 500g weight.

配置する製作方法を示した。実験により、500gのおもりを吊り下げた状態で、100°Cで20%のストロークが実現できることを確認した。

謝辞 本研究は、科研費基盤研究(B)JP16H02882(研究代表者:田原健二)および科研費基盤研究(B)JP17H03204(研究代表者:高木賢太郎)の支援を受けた。

参考文献

- [1] C. S. Haines, M. D. Lima, N. Li, G. M. Spinks, J. Foroughi, J. D. W. Madden, S. H. Kim, S. Fang, M. J. de Andrade, F. Göktepe, Ö. Göktepe, S. M. Mirvakili, S. Naficy, X. Lepró, J. Oh, M. E. Kozlov, S. J. Kim, X. Xu, B. J. Swedlove, G. G. Wallace, and R. H. Baughman, "Artificial Muscles from Fishing Line and Sewing Thread," *Science*, vol. 343, no. 6173, pp. 868–872, Feb. 2014.
- [2] M. C. Yip and G. Niemeyer, "High-Performance Robotic Muscles from Conductive Nylon Sewing Thread," in *Proc. of the 2015 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Seattle, WA, USA, May 2015, pp. 2313–2318.
- [3] T. Arakawa, K. Takagi, K. Tahara, and K. Asaka, "Position control of fishing line artificial muscles (coiled polymer actuators) from Nylon thread," in *Proc. of SPIE*, vol. 9798, Las Vegas, NV, USA, Mar. 2016, 97982W.
- [4] A. Simeonov, T. Henderson, Z. Lan, G. Sundar, A. Factor, J. Zhang and Michael C. Yip, "Bundled Super-Coiled Polymer Artificial Muscles: Design, Characterization, and Modeling," *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2018.
- [5] 舩屋賢, 高木賢太郎, 田原健二, "マンドレル型釣糸人工筋肉を用いた指先運動補助装置の開発", 第17回システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 774-775, 2016.
- [6] 舩屋賢, 小野秀, 高木賢太郎, 田原健二, "釣糸人工筋肉の束を利用したアクチュエータユニットの開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 予稿集, 2A1-A02, 2017.
- [7] J.D.W. Madden, S. Kianzad, "Twisted Lines: Artificial muscle and advanced instruments can be formed from nylon threads and fabric," *IEEE Pulse*, vol. 6, no. 1, pp. 32–35, 2015.
- [8] C. S. Haines, N. Li, G. M. Spinks, A. E. Aliev, J. Di and R. H. Baughman, "New twist on artificial muscles," *Proc. of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no. 42, pp. 11709–11716, 2016.