

研究ノート

アクチュエータ繊維の動作制御技術に関する研究

田中利幸*1、松浦勇*1、加藤良典*1、佐藤嘉洋*2、田中俊嗣*3

Motion Control Method of Actuator Fiber

Toshiyuki TANAKA*1, Isamu MATSUURA*1, Yoshinori KATO*1, Yoshihiro SATO*2
and Toshitsugu TANAKA*3

Owari Textile Research Center*1,2 Mikawa Textile Research Center*3

モノフィラメントに強撚を加えてコイル形状に加工した繊維は加熱・冷却による伸縮を示し、アクチュエータとして動作する。アクチュエータ動作を電氣的に制御することを目的として、直鎖状低密度ポリエチレン(LLDPE)のモノフィラメントに導電糸を組み合わせたコイル状繊維の製造方法を検討した。製造条件を最適化することで導電糸のない場合と同等のアクチュエータ特性を持ち、通電による抵抗発熱で伸縮動作するコイル状アクチュエータ繊維を製造することができた。

1. はじめに

最近、ナイロンなどのモノフィラメントに強撚を加えてコイル状に加工した繊維が、加熱・冷却による可逆的な伸縮挙動を示すことが報告され、スマートテキスタイルに応用できる素材として注目されている¹⁾。このコイル状繊維は柔軟・軽量でありながら、伸縮量、収縮時の発生力ともに人の筋肉に匹敵する数値を示すことから、モーターなどの機械類に代わるウェアラブルデバイスの駆動源などへの応用が期待されている。

コイル状アクチュエータ繊維はまだ研究が始められたばかりであり、その生産・加工技術は確立されていない。本研究ではアクチュエータとしての特性を損なうことなく、通電による加熱・冷却を行うため、導電性繊維とモノフィラメントを組み合わせてコイル状繊維を製造する手法について検討した。

2. 実験方法

2.1 アクチュエータ繊維の製造

アクチュエータとして動作する繊維素材としては、ナイロンや LLDPE が報告されている。LLDPE は動作温度が低いという利点があるため、本研究では 78tex の LLDPE モノフィラメントを原料として用いた。また、導電糸にはステンレス鋼線($\phi 0.05$)及び銀メッキ糸(ミツフジ製 AGposs[®], 11tex)を使用した。

導電糸とモノフィラメントを均一にコイル形状に加工するため、初めにリング撚糸及びカバリリングにより導電糸とモノフィラメントを交撚した。次に、約 2m の長さの交撚したフィラメントに 123cN の張力を加えながら

約 3000 回撚し、コイル形状に加工した。なお、比較のために製造した LLDPE モノフィラメントのみのコイル状繊維は 74cN の張力で製造した。コイル状に加工した繊維はそのままでは撚り戻りが起こるため、2 本のコイル状繊維を逆方向に撚り合わせて双糸とすることで形状を安定させた。

2.2 性能評価

導電糸の交撚がコイル状繊維のアクチュエータ特性に与える影響を評価するため、加熱・冷却による伸縮挙動の測定を行った。約 100mm のコイル状繊維の双糸を一定の負荷荷重下で 90℃の電気炉に出し入れし、90℃及び室温での試料長を目視で測定した。負荷荷重を変えながら測定を行うことで、繰り返し伸縮可能な最大の負荷荷重を決定し、これをアクチュエータとしての発生力とした。また、その時の伸縮量も評価した。

次に、通電による抵抗発熱による伸縮動作の評価を行った。約 100mm のコイル状繊維の双糸に一定の負荷荷重下で電圧を印加し、レーザー変位計を用いて変位量を測定した。このとき、電圧印加に伴う電流値の変化も測定した。変位量及び電流値の取り込み間隔は 1 秒とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 アクチュエータ繊維の製造条件の検討

コイル化する時に加える張力は小さいとビリが発生し、大きくなりすぎると繊維が破断する。また、張力が大きくなるほどアクチュエータとしての発生力は大きくなる²⁾。LLDPE モノフィラメント単独の場合には 74cN 以上の張力では繊維が破断したが、導電糸と交撚したものは

*1 尾張繊維技術センター 素材開発室 *2 尾張繊維技術センター 機能加工室(現三河繊維技術センター 製品開発室)
*3 三河繊維技術センター 製品開発室(現産業資材開発室)

74cN ではビリが発生した。張力をより大きくすることでコイル化が可能となり、最大で 123cN の張力を加えることが可能であった。

製造したコイル状繊維の外観を観察したところ、交撚時の撚り数が少ない場合には撚糸・カバリングいずれの交撚方法でもコイル形状に乱れが見られた。撚糸による交撚においては撚り数を上げて形状は乱れたままであったが、カバリングでは 600~1000T/m まで撚り数を上げることで良好なコイル状繊維が得られた。また、導電糸に銀メッキ糸を用いたものについては、コイル形状は良好になるものの、導電糸に毛羽立ちが発生した。そこで、交撚前の導電糸に 200T/m の下撚りを加えたところ、良好なコイル状繊維を得ることができた。カバリング 1000T/m で導電糸を交撚したフィラメントから製造したコイル状繊維の外観を **図 1** に示す。



図 1 コイル状繊維の外観 (a)ステンレス線、(b)銀メッキ糸

3.2 導電糸を交撚した繊維のアクチュエータ特性

カバリング 1000T/m で導電糸を交撚したフィラメントから作製したコイル状繊維のアクチュエータ特性を評価した結果を表 1 に示す。モノフィラメント単独の場合と比較すると、伸縮率についてはほぼ同等の値を示した。発生力については、ステンレス線を用いたものでほぼ同等、銀メッキ糸を用いたものは増加した。これはコイル化する時の張力がモノフィラメント単独の場合と比べて大きくなったことが原因と考えられる。

表 1 コイル状繊維のアクチュエータ特性

導電糸	発生力(cN)	伸縮率(%)
ステンレス線	245	11
銀メッキ糸	343	10
なし	245	12

3.3 通電による伸縮動作の評価

コイル状繊維に 1 分間電圧を印加した後に遮断した際の収縮率及び電流値の変化を測定した。結果を **図 2** に示す。ステンレス線を用いたものについては、負荷荷重は 196cN、電圧は 10V とし、銀メッキ糸を用いたものについては負荷荷重 294cN、電圧は 15V とした。

いずれの場合も電圧印加時の収縮と遮断時の伸長を示し、通電による抵抗発熱でアクチュエータ動作を示すことを確認した。また、ステンレス線では電流値は時間経過とともに減少した。これは発熱による抵抗値の増加によるものと考えられる。一方、銀メッキ糸ではいったん電流値が減少した後、やや増加する現象が見られた。これは収縮により銀メッキ糸同士が接触することで全体の抵抗値が減少したものと考えられる。

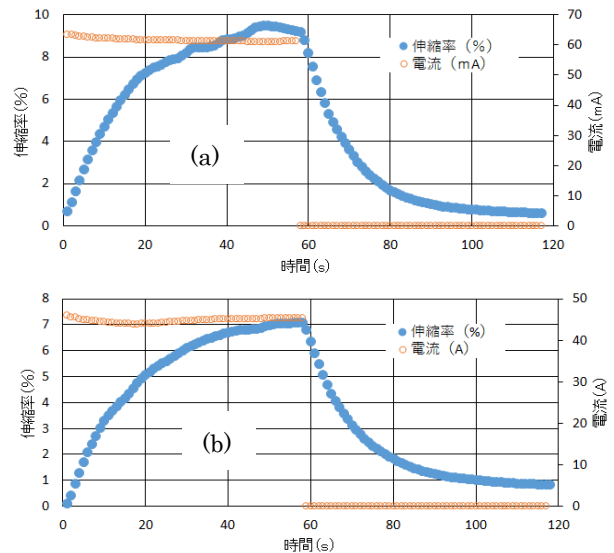


図 2 通電による伸縮動作 (a)ステンレス線、(b)銀メッキ糸

4. 結び

- (1) LLDPE モノフィラメントと導電糸を最適な条件で交撚することで、導電糸がない状態とほぼ同等の伸縮性能を持つコイル状アクチュエータ繊維を製造することができた。
- (2) 導電糸を組み合わせたコイル状繊維に電圧を印加することで、抵抗発熱によってアクチュエータとして動作することを確認した。

文献

- 1) Carter S. Haines, Márcio D. Lima, Na Li, Geoffrey M. Spinks, Javad Foroughi, John D. W. Madden, Shi Hyeong Kim, Shaoli Fang, Mônica Jung de Andrade, Fatma Göktepe, Özer Göktepe, Seyed M. Mirvakili, Sina Naficy, Xavier Lepró, Jiyoung Oh, Mikhail E. Kozlov, Seon Jeong Kim, Xiuru Xu, Benjamin J. Swedlove, Gordon G. Wallace, Ray H. Baughman: *Science*, **343**, 868(2014)
- 2) 田中利幸, 松浦勇, 加藤良典, 田中俊嗣, 佐藤嘉洋, 宮本晃吉: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **8**, 76(2019)