

研究ノート

アクチュエータ繊維の生産技術の開発

田中利幸^{*1}、松浦勇^{*2}、佐藤嘉洋^{*3}、西村美郎^{*4}

Development of Actuator Fiber Production Technology

Toshiyuki TANAKA^{*1}, Isamu MATSUURA^{*2}, Yoshihiro SATOU^{*3} and Yoshirou NISHIMURA^{*4}Owari Textile Research Center^{*1*2} Mikawa Textile Research Center^{*3*4}

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。様々な織度・素材のフィラメントに対して、撚糸機を用いて連続でコイル状繊維を生産する技術の検討を行った。最適な撚り数や張力を見出すことで、400D から 1000D の LLDPE 繊維を連続したコイル形状に加工することに成功した。生産したコイル状繊維は織度によってアクチュエータとしての発生力が異なり、用途に応じた発生力を持つアクチュエータを生産可能であることが示された。

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、注目を集めている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駆動源として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。我々はこれまでに撚糸機を用いたコイル形状への連続加工技術、コイル状繊維の製織技術などを開発してきた²⁾。しかしながら、これまでの研究では素材・織度などを限定して検討を行っており、技術の汎用性を向上させる必要がある。そこで、本研究では素材や織度の異なる材料への連続加工技術の応用について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 コイル状繊維の作成

原料として 440dtex、770dtex、1100dtex の直鎖状低密度ポリエチレン(LLDPE)、730dtex のポリアミド(PA)66 のモノフィラメントを使用した。なお、LLDPE のモノフィラメントは一般に市販されていないため、溶融紡糸装置を用いて紡糸することで試料を作製した。

はじめに、バッチ式でのコイル形状への加工を行った。約 1m のモノフィラメントを使用し、一端に錘を吊るすことで張力を与えながら、全体がコイル形状になるまで他端から加撚した。

次に、撚糸機を用いたコイル形状への連続加工を行った。意匠撚糸機((株)オゼキテクノ製トライツイスター ON-700NF-III)を用い、連続してコイル形状に加工することが可能な条件を探索した。加工時にはテンションメーター(シュミット社製 ET2-500)を用いて張力の測定を行った。ただし、コイル形状に加工された繊維は凹凸が大きく、張力の測定が困難であったため、コイル化直前の張力を測定した。

2.2 性能評価

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双糸に加工して性能評価を行った。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。

3. 実験結果及び考察

3.1 バッチ式でのアクチュエータ繊維の製造

張力を 25cN ずつ増加させながら、バッチ式でコイル形状への加工を行った。張力が小さすぎるとコイル化前にビリが発生し、張力が大きすぎる場合にはフィラメントが切断される。各フィラメントでコイル化が加工であった張力範囲を表 1 に示す。LLDPE においては糸が太くなるにつれて最低張力、最高張力に増加が見られた。

PA については同織度の LLDPE に比べて最低張力、最高張力ともに範囲が狭くなり、コイル化時の張力の調整が重要になることが分かった。これは PA が LLDPE

^{*1} 尾張繊維技術センター 素材開発室(現産業科学技術課) ^{*2} 尾張繊維技術センター 素材開発室 ^{*3} 三河繊維技術センター 製品開発室 ^{*4} 三河繊維技術センター 製品開発室(現公益財団法人科学技術交流財団)

に比べて剛性が高いためと考えられる。

表 1 バッチ式加工における必要張力

LLDPE440dtex	24cN～98cN
LLDPE770dtex	24cN～147cN
LLDPE1100dtex	49cN～147cN
PA730dtex	74cN～122cN

3.2 撚糸機を用いたアクチュエータ繊維の連続生産

撚糸機を用いたコイル形状への加工ではスピンドル回転数、巻き取り速度、フライヤーの種類を変えながら最適な加工条件を検討した。回転数及び巻き取り速度により撚り数が決定され、回転数及びフライヤーの重量が加工時にフィラメントにかかる張力に影響する。

LLDPE 繊維について連続で加工することが可能であった条件及びその特性を表 2 に示す。また、作成したコイル状繊維の外観を図 1 に示す。なお、撚り係数は次の式により算出した。

$$k=T\sqrt{N} \text{ (k:撚り係数、T:撚り数(回/m)、N:繊維度(dtex))}$$

表 2 連続加工条件とその特性

繊維度 (dtex)	440	770	1100
回転数 (rpm)	6000	11000	8000
巻き取り (m/min)	0.9	2.7	2.3
フライヤー (g)	3.0	3.0	5.8
撚り数 (回/m)	6700	4100	3500
張力(cN)	60～70	150～160	190～200
撚り係数 (×10 ⁵)	1.4	1.1	1.1
発生力 (cN)	98	245	294

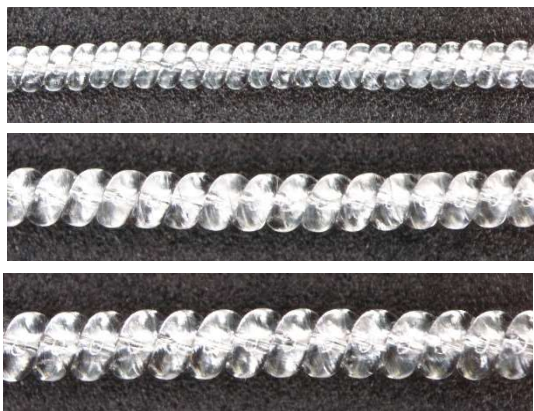


図 1 連続加工したコイル状繊維の外観 (上から 440dtex、770dtex、1100dtex)

撚糸機を用いて生産したコイル状繊維のアクチュエータとしての発生力は繊維度が大きくなるほど大きくなり、

用途に応じた発生力を持つアクチュエータを生産可能であることが示された。

また、繊維度が大きくなるほど、加工に必要な張力は大きくなった。770dtex、1100dtex ではこの張力がバッチ式で加工可能であった張力範囲を上回った。多様な素材・繊維度の材料へと連続加工技術を応用していくにあたっては張力の設定が重要となると考えられるため、今後、この差異の原因の調査を行っていく。撚り数については繊維度が大きくなるほど小さくなったが、撚り係数を比較するとほぼ近い値となった。撚り係数は糸の撚り角度に関する指標であり、撚り係数が同じであれば、糸の太さにかかわらず撚り角度がほぼ同じになる。このことは、図 1 におけるコイルの角度がフィラメントの太さによらず、ほぼ等しくなっていることと一致する。

ポリアミド繊維については LLDPE と同様に検討を行ったが、ビリの発生を抑えることができず、連続加工可能な条件を見出すことはできなかった。加工時のスピンドルボbinを観察すると、フィラメントが解除される際に、糸がスピンドルボbinから浮き上がりながら解除される様子が観察された。ポリアミド繊維は LLDPE 繊維に比べると剛性が高いため、使用したスピンドルでは曲率が小さすぎたものと考えられる。より大きな径を持つスピンドルの装置を使用することで加工が可能となることが期待される。

4. 結び

- (1) 各種繊維度の LLDPE 及び PA フィラメントを用いてコイル状アクチュエータを作成した。コイル形状への加工には張力の調整が重要であることが分かった。
- (2) 意匠撚糸機を用いて 400D～1000D の LLDPE 繊維を連続的にコイル形状へと加工することに成功した。この際、撚り係数が等しくなるように撚り数を設定することが必要であることが分かった。

文献

- 1) Carter S. Haines, Márcio D. Lima, Na Li, Geoffrey M. Spinks, Javad Foroughi, John D. W. Madden, Shi Hyeon Kim, Shaoli Fang, Mônica Jung de Andrade, Fatma Göktepe, Özer Göktepe, Seyyed 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)