

研究論文

アクチュエータ繊維の製織技術に関する研究

田中利幸*1、松浦勇*1、加藤良典*1、田中俊嗣*2、佐藤嘉洋*3、宮本晃吉*4

Development of Woven Fabric using Actuator Fiber

Toshiyuki TANAKA*1, Isamu MATSUURA*1, Yoshinori KATO*1, Toshitsugu TANAKA*2, Yoshihiro SATOU*3, and Koukichi MIYAMOTO*4

Owari Textile Research Center*1 Mikawa Textile Research Center*2,3 Industrial Research Center*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。今回、直鎖状低密度ポリエチレン（LLDPE）のモノフィラメントを撚糸機を用いて連続的にコイル状繊維へ加工し、これを緯糸に使用した織物をレピア織機で製造した。織物組織としてからみ織を用いることで、コイル状繊維の持つアクチュエータ特性を損なうことなく、織物への加工が可能であることを確認した。

1. はじめに

ウェアラブルデバイスは人が身に着けて使用する機器や装置を指し、センシング、身体動作補助など多様な機能を持つ製品の開発が行われている。繊維製品は衣服に代表されるように日常的に人の身近で使用される製品であり、ウェアラブルデバイスとしての展開が期待される。

最近、ナイロンの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・冷却による繰り返し伸縮動作を示し、アクチュエータとして利用可能であることが報告された¹⁾。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に応用できる可能性があり、注目を集めている^{2),3)}。

繊維としての特徴を生かし、織り・編み・組みなどによる製品化を図るためには、連続した一定以上の長さを持った繊維が必要となるが、コイル状アクチュエータ繊維に関する研究は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。我々はこれまでの研究で撚糸機を用いてフィラメントをコイル形状へ加工する技術の検討を行い、連続的にコイル状アクチュエータ繊維を製造することに成功した⁴⁾。本研究ではこのコイル状繊維の製織技術について検討し、製織した織物のアクチュエータ特性の評価を行った。

2. 実験方法

2.1 LLDPE モノフィラメントの紡糸

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。中でも LLDPE は動作温度が低いという利点があるため、本研究では LLDPE を原料として用いることとした。なお、これまでの研究で使用していた樹脂が生産終了となったため、新たに原料となる樹脂を選定した。

溶融紡糸機((株)中部マシン社製)を用いてモノフィラメントを作製した。原料には LLDPE 樹脂((株)東ソー製ニポロン-Z HF250K)を使用した。紡糸は温度 175℃、ノズルφ1.8×4H、延伸温水槽 60℃の条件で行い、織度および延伸倍率の異なる数種類の試料を作製した。作製したモノフィラメントの織度・延伸倍率を表 1 に示す。

表 1 作製した LLDPE モノフィラメント

試料 No.	織度(dtex)	延伸倍率
1	794	4 倍
2	840	6 倍
3	811	8 倍
4	443	6 倍
5	1134	6 倍

2.2 コイル形状への加工

紡糸したモノフィラメントを加撚しコイル状に加工した。初めにバッチ式での加工を行った。約 2m の長さの繊維に一定の張力を加えながら約 3000 回加撚した。コイル状に加工された繊維はそのままでは撚り戻りが起こるため、形状が安定しない。そこで、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

*1 尾張繊維技術センター 素材開発室 *2 三河繊維技術センター 産業資材開発室 *3 三河繊維技術センター 産業資材開発室(現尾張繊維技術センター 機能加工室) *4 産業技術センター 自動車・機械技術室(現金属材料室)

定させた。

次に撚糸機を用いたコイル形状への連続加工を行った。試料には No.2 の繊維を用い、意匠撚糸機((株)オゼキテクノ社製ツイスターON-700NF-Ⅲ)を用いて加工した。さらに、作製した2本のコイル状繊維をリング撚糸機(カキノキインターナショナル(株)社製ツイストワインダ TW-D 型)を用いて双糸に加工した。

2.3 アクチュエータ繊維の製織

撚糸機を用いて作製したコイル状アクチュエータ繊維(単糸および双糸)を緯糸として、レピア織機(昭和機械(株)製)による試織を行った。織物規格を表2に示す。

表2 織物規格

経糸	綿 10/2
織組織	からみ織
経密度 (本/inch)	9 及び 18
緯密度 (本/inch)	単糸 15
	双糸 10

織物は経糸と緯糸の交錯により面が形成されるが、通常の織物では経糸により緯糸が拘束されるため、アクチュエータとしての伸縮動作の妨げとなることが予測される。また、拘束を少なくするために経糸密度を小さくすると、糸の滑脱が発生し、織物構造が安定しない。そこで、本研究では織物組織としてからみ織を用いることとした。からみ織を用いることで、経糸間の空隙を大きくとりつつ、織物としての構造を保たせることができると期待される(図1)。

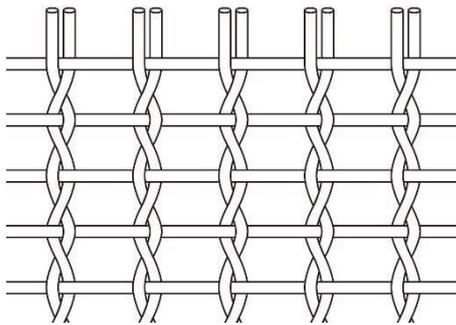


図1 からみ織

2.4 性能評価

作製したコイル状繊維のアクチュエータ特性を評価するため、加熱、冷却による伸縮挙動の測定を行った。加熱・冷却は約100mmのコイル状繊維を一定の負荷荷重下で90℃の電気炉に出し入れすることで行い、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。

アクチュエータ繊維を用いた織物については、ヨコ方向に幅約25mm、長さ約200mmで切り出し、繊維状の場合と同様の方法で測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 アクチュエータ特性の評価

バッチ式で加工したアクチュエータ繊維の外観を図2に示す。また、延伸倍率、織度及びコイル化時の張力の異なる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3に示す。測定はすべて双糸で行い、負荷荷重を49cN ずつ変化させながら測定した。以前の研究で使用した樹脂と比べて、ほぼ同等のアクチュエータ特性を示すことを確認した。



単糸



双糸

図2 コイル状に加工した繊維

表3 コイル状繊維の特性

試料	コイル化時の張力(cN)	発生力(cN)	伸縮率(%)
No.1	49	196	10
No.2	49	245	16
No.3	49	294	13
No.2	25	196	14
No.2	74	294	15
No.4	49	196	10
No.5	49	294	14

3.2 撚糸機を用いたアクチュエータ繊維の製造

意匠撚糸機を用いて連続的にコイル形状に加工した繊維を図3に示す。

さらに、リング撚糸機を用いて双糸への加工を行い、単糸および双糸について前項と同様にしてアクチュエータ特性を評価した。結果を表4に示す。ただし、単糸の負荷荷重は19.6cN ずつ変化させた。バッチ式で作成し



図3 撚糸機を用いて加工したコイル状繊維

表4 撚糸機で作成したコイル状繊維の特性

試料	発生力(cN)	伸縮率(%)
単糸	118	12
双糸	294	15

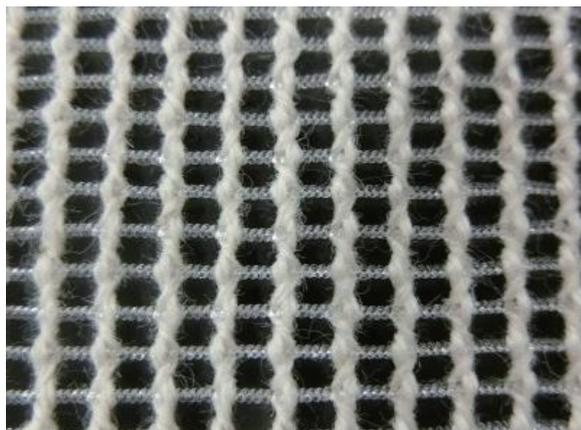
たコイル状繊維と同等の伸縮率で繰り返し伸縮を示すことを確認した。また、発生力の値から、撚糸機での撚糸中にフィラメントにかかっている張力は 74cN 程度と推測された。

3.3 アクチュエータ繊維の製織と性能評価

レピア織機を用いて製織を行った織物の外観を図4に示す。

緯糸にコイル状繊維の単糸を用いた場合には問題なく製織が可能であったが、糸に強い撚りトルクが残留していることから、織り下ろし後の織物には強いカーリングが発生した。一方、緯糸に双糸を用いた場合には緯糸把持にミスが発生した。これは糸がレピアヘッドに対して太すぎるためであり、レピアヘッドの交換により対応可能であると考えられる。

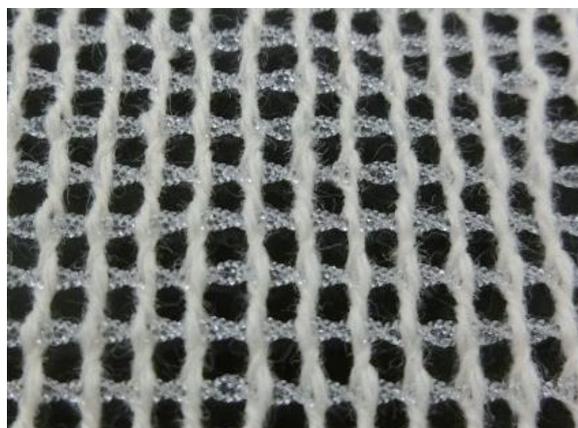
作製した織物のアクチュエータ特性を評価した結果を表5に示す。ただし、負荷荷重は 196cN ずつ変化させた。繊維状で評価を行った場合には、発生力以上の荷重下で加熱するとコイル形状が破壊される。一方、織物ではコイルは破損しないものの、冷却時の試料長が元の長



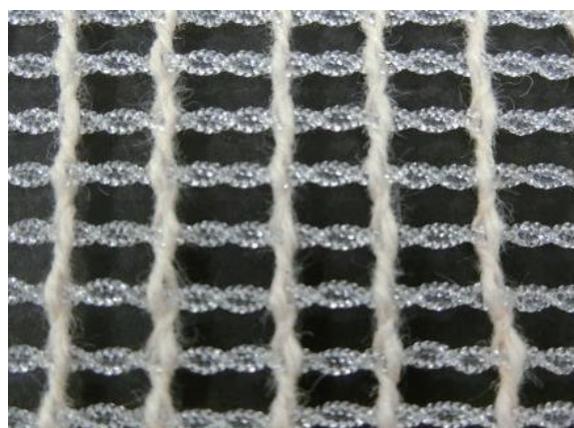
(a)コイル単糸、経糸密度 18 本/inch



(b)コイル単糸、経糸密度 9 本/inch



(c)コイル双糸、経糸密度 18 本/inch



(d)コイル双糸、経糸密度 9 本/inch

図4 製織したコイル状アクチュエータ繊維

表5 コイル状繊維織物のアクチュエータ特性

コイル形状	緯糸本数(本)	経密度(本/inch)	発生力(cN)	伸縮率(%)
単糸	15	18	1960	10
		9	2156	13
双糸	10	18	2352	15
		9	2548	15

さに戻らず、加熱前よりも伸長する現象が見られた。織物では試料に複数本のコイル状繊維が含まれるため、一部が破損した状態になっても残りのコイルで形状を保持するためと考えられる。そこで、加熱-冷却を繰り返し、冷却時の試料長が加熱前より伸長する現象が2回以上連続した場合に、アクチュエータとしては破損しているとみなすこととした。

単糸、双糸いずれの場合も、コイル状繊維の場合とほぼ同等の伸縮率を示し、製織した織物がアクチュエータとして動作することを確認した。発生力については、双糸の場合にコイル状繊維の発生力と緯糸本数から予想される値よりもやや小さな値となった。双糸では緯糸の把持ミス等により、製織時の緯糸張力が安定せず、評価時の緯糸にかかる負荷荷重に差が生じたことによるものと推測される。

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 意匠撚糸機およびリング撚糸機を用いて、LLDPEモノフィラメントを連続的にコイル状繊維へ加工することで、レピア織機を用いた製織が可能となった。糸の太さに対応できるレピアヘッドが必要などの問題はあものの、おおむね既存のレピア織機でコイル状繊維が製織可能であることを確認した。
- (2) 織物組織としてからみ織を用いることで、コイル状繊維の持つアクチュエータ特性を大きく損なうことなく、織物への加工が可能となった。また、アクチ

ュエータ特性を十分に保ったまま織物へと加工するためには、製織時の緯糸張力管理が重要であると推測される。

今後は、アクチュエータ繊維の動作を制御する方法について検討する予定である。

謝辞

撚糸機を用いたコイル状繊維の作製にあたっては、伴野撚糸株式会社様にご協力いただきました。感謝申し上げます。

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) 平岡牧, 金子由利子, 中村邦彦, 林直毅, 田頭健司, 荒瀬秀和: パナソニック技報, **1(63)**, 95(2017)
- 3) 舛屋賢, 小野秀, 高木賢太郎, 田原健二: 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, **2A1-A02**(2017)
- 4) 田中利幸, 松浦勇, 宮本晃吉, 田中俊嗣, 佐藤嘉洋: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **7**, 60(2018)