

# カバリング技術を用いた伸縮性導電糸の開発

八十島梨沙\* 中島明哉\*

スマートテキスタイルの配線としての使用を目的とし、芯糸に伸縮性繊維、鞘糸に金属繊維を用いてカバリング加工を行うことで、導電性と体の動きに追従する伸縮性を併せ持つ糸について検討を行った。金属繊維により変形しない芯糸としてエラストマー糸を用い、スピンドル回転数4000 rpm、ドラフト200%の条件で、より数500~3000 T/mの範囲でカバリング加工を行なうことができた。特に、鞘糸をすずめっき銅糸とすることで、電気抵抗20 Ω/m以下、伸び率60%以上の伸縮性導電糸を作製することが可能となった。

キーワード: カバリング糸, エラストマー, 金属繊維, スマートテキスタイル

## Development of Elastic Electro-Conductive Yarn Using Covering Techniques

Risa YASOSHIMA and Akichika NAKASHIMA

In order to use the wire for smart textiles, we developed yarn that has both conductivity and elasticity that follows the movement of the body. Our covered yarn uses elastic fiber for its core and metal fiber for the sheath. By using elastomer yarn, which is not deformed by the metal fiber, as the core, we were able to perform covering with a twist count of 500 to 3000 T/m at a spindle rotation speed of 4000 rpm and draft of 200%. Of note, by using tinned copper fiber as the sheath yarn, we were able to produce elastic conductive yarn with an electrical resistance of less than 20 Ω/m and an elongation of more than 60%.

Keywords : covered yarn, elastomer, metal fiber, smart textile

### 1. 緒言

近年、一般の繊維素材では得られない新しい機能を備えたスマートテキスタイルの開発が注目されている。例えば、着るだけで生体情報を計測できるウェアにおいては、センサ用の電極や配線の伸縮性が着心地に影響する。そのため、用いられる繊維素材には導電性に加え、体の動きに追従する伸縮性と耐久性を併せ持つ糸が必要となる。

これまでの導電性を有する糸(以下、導電糸)は、紡糸工程で導電性物質を繊維内に混練する方法、繊維にめっきを行う方法、および金属繊維をカバリングする方法等で開発されてきた<sup>1)</sup>。導電性物質を混練する方法は、添加できる量が限られ、さらに導電性物質が分散するため、電気抵抗は大きくなる。また、繊維表面にめっきを行う方法は繊維との密着性に加え、摩擦や屈曲に対する耐久性が課題となっている<sup>2)</sup>。一方、金属繊維は導電性に優れているが、伸度が10%以下で伸縮性が乏しいといった欠点がある<sup>3)</sup>。

そこで本研究では、芯糸に伸縮性繊維、鞘糸に金属繊維を用いてカバリング加工を行うことで、伸縮性と導電性を兼ね備えた糸(図1)の開発に取り組んだ。一般的に用いられる伸縮性繊維として、ポリウレタン糸がある。本研究に先立ち、芯糸にポリウレタン糸、鞘糸にステンレス糸を用いたカバリング加工を行なったが、より数500 T/mの条件では図2に示すようにステンレス糸がよじれてネップ状になり、均一なカバリング加工糸を作製することができなかった。また、1000 T/m以上の条件ではカバリング加工糸を作製することができたが、2500 T/mを超えると、加工中にポリウレタン糸

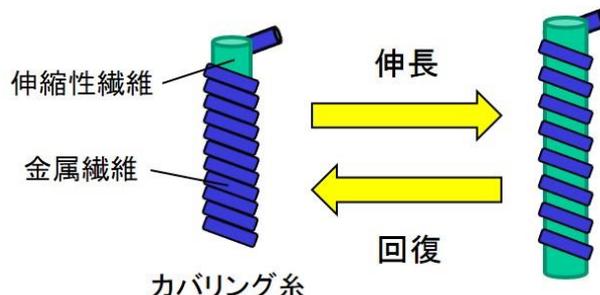


図1 カバリング技術による伸縮性導電糸の模式図

\*繊維生活部

の糸切れが発生した。これらのことから、本研究では金属繊維のカバリング時に変形しない芯糸としてエラストマー糸を用いて検討を行った。

開発する導電糸は、スマートテキスタイルの配線としての使用を目指し、電気抵抗100 Ω/m以下、日常的動作での皮膚の最大伸び率である50 %以上<sup>4)</sup>を目標とした。



図2 芯糸ポリウレタン糸×鞘糸ステンレス糸の外観  
(より数500 T/m, 観察倍率50 倍)

## 2. 実 験

### 2. 1 伸縮性繊維の紡糸

伸縮性繊維用樹脂として、ゴムの特性である伸縮性と、強度や良加工性といったプラスチックの特性を併せ持ち<sup>5)</sup>、さらに染色も可能な材料である<sup>6)</sup>ポリエステル系熱可塑性エラストマー(東レ・デュポン(株)製、ハイトレル, 4767N)を用いた。紡糸は、マルチフィラメント製造装置((株)ムサシノキカイ製)を用いて、温度230 °C、吐出量9.8 g/minで12穴のノズルより吐出し、加熱ローラーで延伸を行うことで、延伸倍率2.0 倍の繊維(以下エラストマー糸)を作製した。

### 2. 2 カバリング糸の試作

金属繊維として、価格が安価で入手し易いステンレス糸(SUS304L-W1)と、柔軟性に優れ電気抵抗が小さい、すずめつき銅糸(大阪電気工業(株)製)を用いた。

作製する糸は、エラストマー糸に金属繊維をS方向に巻き付けたシングルカバリング糸とした。加工には、電子制御ダブルカバリング加工機(片岡機械工業(株)製、SCM-D)を用い、スピンドル回転数4000 rpm、ドラフト200 %とし、より数を500~3000 T/mまで500 T/m毎に作製した。

### 2. 3 物性評価

繊維測定はJIS L1013に従い、100 m分の糸質量から

見掛け繊維度を求めた。結果は5 回の平均値とした。

強伸度試験はJIS L1013に従い、引張試験機(島津製作所(株)製、AG-10kNX plus)を用い、試料長100 mm、引張速度100 mm/minの条件で破断するまで行った。試験回数は5 回とし、平均値を算出した。

糸の繰り返し伸長による伸縮性の評価は、強伸度試験と同じく引張試験機を用い、試料長100 mm、引張速度100 mm/minの条件とした。エラストマー糸は50 %、伸縮性導電糸は60 %まで伸長後10 秒保持し、0 %まで戻して60 秒間保持する工程を10 回繰り返し、繰り返し伸長挙動によるヒステリシスを確認した。

導電性評価は、試験長100 mmの電気抵抗値を、デジタルマルチメータ(横河計測(株)製、7532 01)を用いて測定した。試験回数は3回とし平均値を算出した。

得られたエラストマー糸の物性値を表1に、金属繊維の物性値を表2に示す。

表1 伸縮性繊維の物性

	繊維度 (dtex)	引張強さ (N)	伸び率 (%)
エラストマー糸	533	5.03	446

表2 金属繊維の物性と電気抵抗

	直径 (mm)	引張強さ (N)	伸び率 (%)	電気抵抗 (Ω/m)
ステンレス糸	0.065	2.63	22.2	226
すずめつき銅糸	0.050	0.53	11.9	7

## 3. 結果および考察

### 3. 1 エラストマー糸の評価

ポリウレタン糸とエラストマー糸の強伸度試験の結果(荷重変位曲線)を図3に示す。カバリング加工時のドラフトと一致する伸び率200 %までの範囲において、エラストマー糸は、ポリウレタン糸と比較して変形エネルギーが大きいことが明らかになった。これは、エラストマー糸がポリウレタン糸より金属繊維のカバリング時等の外力から変形しにくいことを示唆している。

繰り返し伸長を行なった際の荷重変位曲線を図4に示す。2 回目以降、伸び率約10 %の段階で荷重が0 Nに達していることから、10 %程度糸に残留ひずみがあることが確認できた。また、荷重変位曲線がほぼ同じヒステリシス曲線を描いていることから、伸長回復していることが確認できた。しかし、5 回目以降から

残留ひずみ量が一定になるため、使用前に5 回程度伸縮を行う作業が必要と考えられる。

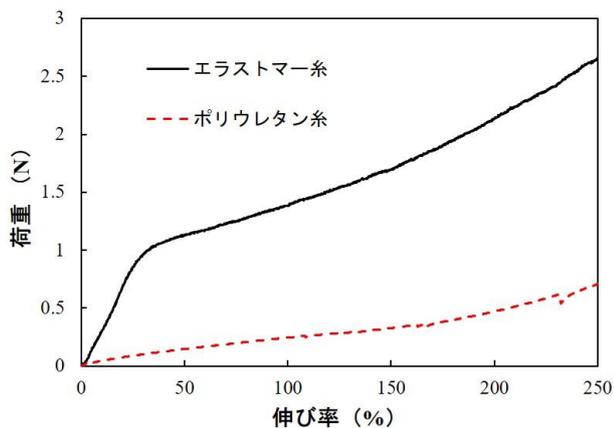


図3 伸縮性繊維の荷重変位曲線

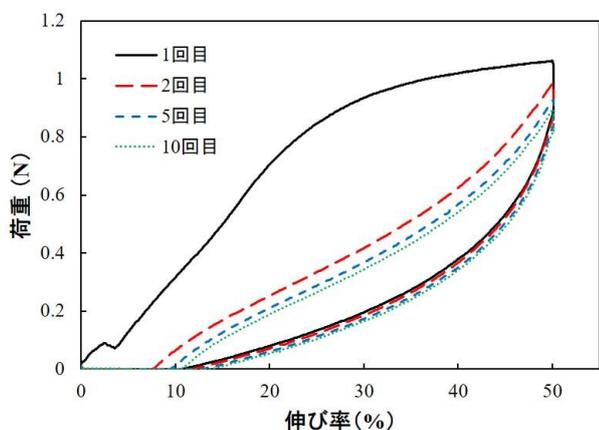


図4 エラストマー系の荷重変位曲線

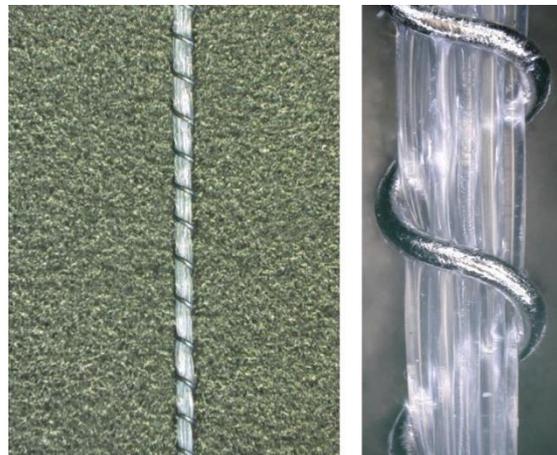
### 3. 2 カバリング糸の伸縮性評価

より数500~3000 T/mの条件で金属繊維のカバリング加工を行った糸について、デジタルマイクロスコープで表面観察を行った。芯糸にエラストマー糸を用いた糸は、より数500~3000 T/mの条件において図2のようなネップ状のよじれは生じず、均一なカバリング加工糸であることが確認できた。図5に、作製したより数2000 T/m のステンレス糸のカバリング糸を示す。

図6に、各より数の条件で作製したカバリング糸の強伸度試験における破断伸び率を示す。より数500~1000 T/mの条件は金属糸が先に破断し、1500~2500 T/mの条件は両糸が同時に破断、3000 T/mの条件はエラストマー糸が先に破断する結果となり、破断状態は違うものの、より数の増加に伴い破断する伸び率が増加する傾向があることが確認できた。両糸が同時

に破断した条件のうち、2000 T/mの各カバリング糸を用いて以後比較を行った。

より数2000 T/mのカバリング糸の繰り返し伸長10回目の荷重変位曲線を図7に示す。伸長回復している様子が確認できたが、エラストマー糸+ステンレス糸



(a)50 倍 (b)300 倍

図5 カバリング糸の外観 (より数2000 T/m)

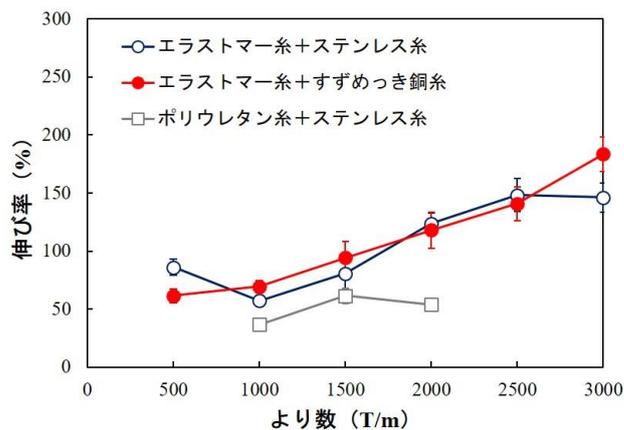


図6 伸び率とより数の関係

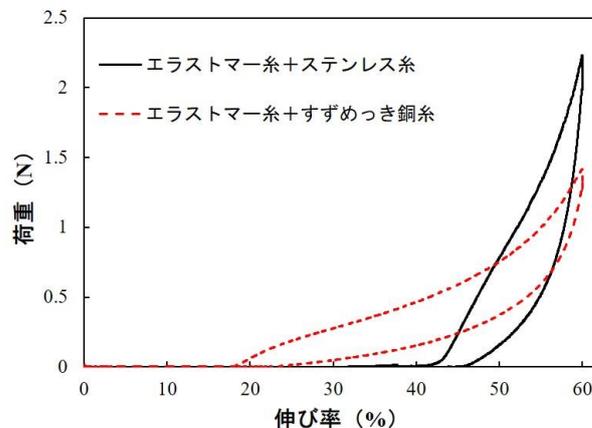


図7 カバリング糸の荷重変位曲線

の場合では40 %程度、エラストマー糸+すずめっき銅糸を用いた場合では20 %程度の残留ひずみを確認した。このうち10 %程度はエラストマー糸自体の残留ひずみの影響(図4)と考えられる。その上で繰り返し伸長試験後のエラストマー糸+ステンレス糸の外観を調べた結果、図8に示すように、ステンレス糸のカバリング加工が乱れている箇所が見られた。したがって、カバリングの乱れがエラストマー糸の収縮を阻害し、残留ひずみが大きくなったと推察される。

一方でエラストマー糸+すずめっき銅糸の場合は、繰り返し伸長試験後もエラストマー糸+ステンレス糸で見られたようなカバリング加工の乱れは起きなかった。引張弾性率はステンレス糸が196 GPa、銅糸が108 GPaであり<sup>7)</sup>、ステンレス糸に比べてすずめっき銅糸が柔軟なことから、伸長時の回復が良好で、残留ひずみが小さかったものと考えられる。



図8 繰り返し伸長試験後の糸の外観(150倍)

### 3. 3 カバリング糸の導電性評価

より数2000 T/mのカバリング糸の電気抵抗を測定した結果、鞘糸がステンレス糸の場合は424  $\Omega$ /m、すずめっき銅糸の場合は17  $\Omega$ /mであった。これは用いた金属自体の電気抵抗に起

因していると考えられる。これにより、電気抵抗値はカバリング加工で用いる金属繊維に依存することが示唆された。

## 4. 結 言

ゴムの特性とプラスチックの特性を兼ね備えたエラストマー樹脂を用いて芯糸用の伸縮性繊維を作製し、鞘糸にステンレス糸またはすずめっき銅糸を用いて、伸縮性導電糸を作製した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 芯糸にエラストマー糸を用いることで、より数500～3000 T/mの範囲でカバリング糸を作製することができた。
- (2) 鞘糸をすずめっき銅糸とすることで、電気抵抗20  $\Omega$ /m以下、伸び率60 %以上の伸縮性導電糸を作製することができた。

今後、開発した伸縮性導電糸について、染色性や風合い等を評価するとともにスマートテキスタイルへの応用についても検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 堀照夫.スマートテキスタイルの研究開発動向,日本家政学会. 2018, vol. 69, no. 1, p. 78-82.
- 2) 都筑秀典, 金山賢治, 鹿野剛, 小林洋. 密着強度を向上させた無電解めっき処理繊維の開発. テキスタイル&ファッション. 2008, vol. 25, no. 4, p. 18-23.
- 3) 長野正満. 無機繊維と衣料への応用, 繊維製品消費科学学会. 1971, vol. 12, no. 4, p. 22-27.
- 4) 荒谷善夫, 小嶋悌亮. ストレッチ性素材. 繊維学会, 1984, vol. 40, no. 4・5, p. 200-203.
- 5) 須本操, 今中弘. ポリエステル系エラストマーについて. 繊維学会. 1974, vol. 30, no. 10, p. 8-12.
- 6) 藤田浩文, 金山賢治, 杉浦清治, 桑原満. ポリエステルエラストマー樹脂の染色技術. 愛知県産業技術研究所研究報告. 2005, no. 4, p. 204-207.
- 7) 森田幹郎. 強化繊維—VII.金属繊維. 日本複合材料学会. 1991, vol. 17, no. 5, p. 186-192.