

研究論文

撚糸による炭素繊維の保護方法の開発

安田篤司^{*1}、福田ゆか^{*1}、太田幸一^{*2}、佐々木敏哉^{*3}、佐々木哲哉^{*3}

Development of the Protection Method of the Carbon Fiber by the Thread Twisting

Atsushi YASUDA^{*1}, Yuka FUKUDA^{*1}, Kouichi OHTA^{*2},
Toshiya SASAKI^{*3} and Tetsuya SASAKI^{*3}Owari Textile Research Center, AITEC^{*1}, Mikawa Textile Research Center, AITEC^{*2},
MEISEI KNIT Ltd^{*3}

炭素繊維を編成する際、発生する毛羽・フライ・粉塵を防ぐため、炭素繊維を撚糸によりカバリングして、編成時での炭素繊維の折損を防ぐことを検討した。その結果、スパン糸をカバリングした場合には、編成時に折損を防ぐことができなかった。フィラメントをカバリングした場合には、倦縮のある糸をカバリングすることで、編成時に折損を防ぐことができ、倦縮のないフィラメントでもカバリングが移動しないよう熱融着させることで、編成時に折損を防ぐことができることを明らかにした。

1. はじめに

炭素繊維は、破断伸びが小さく、曲げや摩擦に弱いため、横編機での編成時に繊維が折損し、毛羽・フライ・粉塵等が頻発する。しかも繊維自体に導電性があるため、この毛羽・フライ・粉塵等がモーターや、電気設備に侵入するとショートする可能性があり、編機の故障だけでなく火災が発生するおそれがある¹⁾。また、炭素繊維は黒色のため、毛羽・フライ・粉塵等が他の生産品に付着すると、汚れとなり商品価値を下げ、ひいてはその工場の信頼性も下げることにつながる。そのため、炭素繊維製品を生産するのに、専用の区画を設け、専用の生産機を必要としていた。

ここでは、編成中に毛羽・フライ・粉塵等が発生しないよう、炭素繊維をあらかじめ保護する手法について検討をした。具体的には、炭素繊維を、撚糸技術を用いて他の繊維で被覆し、編成中での炭素繊維の折損を防ぐことを検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

炭素繊維を撚糸技術により完全に被覆するため、カバリング糸の撚糸技術を利用した。

使用した糸の素材・形状及び番手を表1に示す。なお、炭素繊維は600Dで構成繊維本数が1000本のものを用いた。

表1 カバリング糸に用いた試料

素材	形状	番手 (フィラメント本数)
ポリプロピレン	スパン糸	30/1
"	フィラメント糸	190D (20)
ポリブチレンテレフタレート	"	75D (24)
ポリエチレンテレフタレート	ウーリー加工糸	300D (48)

2.2 撚糸方法

炭素繊維を撚糸技術により完全に被覆するため、カバリング糸の撚糸技術を利用した。

カバリング糸とは芯となる糸に他の糸を巻き付けるように撚糸した糸で、撚数を多くすることで、完全に被覆することができる。また、芯となる炭素繊維は強い撚りがかかると簡単に切れてしまうので、撚糸により撚りがかからないよう中空スピンドルを用いた一工程意匠撚糸機(オゼキテクノ製: トライスピ)を用いた。

2.3 カバリング糸の評価

炭素繊維の保護状態を評価するのに、カバリング糸を、蛭田式抱合力試験機を用いて摩擦し、炭素繊維が破断するまでの摩擦回数により評価した。抱合力試験機は、一定の初荷重で摩擦子に糸をかけ、60rpm回転数で摩擦子が回転し、糸が破断するまでの、摩擦子の回転回数で、糸の製織性を評価する試験機であるが、今回、カバリン

*1 尾張繊維技術センター 開発技術室 *2 三河繊維技術センター 加工技術室 *3 有限会社名西ニット

グ糸を直接摩擦して性能評価を行うのに用いた。

また、KES-FB2 純曲げ試験機を用いて糸の曲げ剛性を測定した。試験機にカバリング糸 3 本を 5mm 間隔で取り付け、曲率 2.5cm^{-1} まで、変形速度 $0.5\text{cm}^{-1}/\text{sec}$ で曲げ変形を与え、この時の曲げモーメントを計測した。糸の曲げ剛性は、曲率 0.5 と 1.5 の間のヒステリシス曲線の傾斜から計算した。

さらに、7G の試験用丸編機で、実際にニットを編成し、正常に編めるかどうか調べるとともに、編成したニットにおいて炭素繊維の破断の有無を調べることで評価した。

3. 結果・考察

3.1 カバリングに必要な撚数

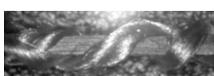
カバリング糸で完全に被覆するためには必要な撚数は、芯糸の長さをカバリング糸の直径で割ることで算出した。カバリング糸の直径は、糸の番手から織物密度を計算する方法である、「Ashenhurst の理論密度²⁾」で導入される「直径数」から求めた。「直径数」は 1 インチ (25.4mm) に並べることができる糸の本数を示しており、糸の番手から計算する。「直径数」を用いた糸の直径の計算式を示す。

$$\text{糸の直径(mm)} = 25.4 / \sqrt{K \cdot N} \quad (1)$$

K : 素材による係数、N : 英式綿番手

「Ashenhurst の理論密度」では糸の断面は円形として計算しているが、実際の糸の断面はつぶれた形をとるため、計算結果より少ない撚数で完全に被覆することができる。そのため、計算に撚数の 80%、60%、40%、20% の撚数で実際に撚糸し、被覆の状況を比較し、完全に被覆している状態でのもっとも少ない撚数を選択した。PP スパン糸・ポリプロピレンフィラメント糸の側面の外観を **図 1** に示す。

糸の側面の様子により、スパン糸では 60% の撚数 3490 回/m、フィラメントでは 40% の撚数 2200 回/m が望ましいことが分かった。実際には意匠撚糸機の制限により 2 本の糸を用いて、スパン糸で S1745 回/m を 2 段、フィラメント糸で S1100 回/m を 2 段でカバリングした。なお、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエチレンテレフタレートは 40% で計算し、それぞれ 1787.5 回/m の S 撚を 2 段、1730 回/m を SZ のたすき掛けで撚糸した。

スパン糸	80%	4650 回/m (2325 回/m 2 段)	
	60%	3490 回/m (1745 回/m 2 段)	
	40%	2320 回/m (1160 回/m 2 段)	

フィラメント糸	60%	3360 回/m (1280 回/m 2 段)	
	40%	2200 回/m (1100 回/m 2 段)	
	20%	1120 回/m (560 回/m 2 段)	

図 1 撚数と糸の側面

3.2 スパン糸

ポリプロピレンスパン糸でカバリングした糸について、抱合力試験の結果を **図 2** に示す。カバリングすることにより、摩擦による強度はあがっているが、実際に試験用丸編機で編んだ結果、炭素繊維が折損して表面に出ている部分が観察できた (**図 3**)。蛭田式抱合力試験による評価と合わせて検討した結果、破断するまでの摩擦回数が 70 回程度の耐久性では編成に耐えられないことが分かった。

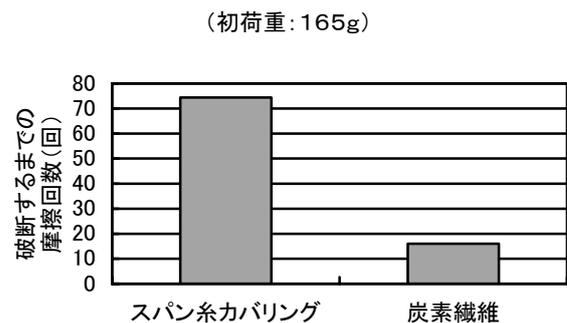


図 2 スパン糸の抱合力

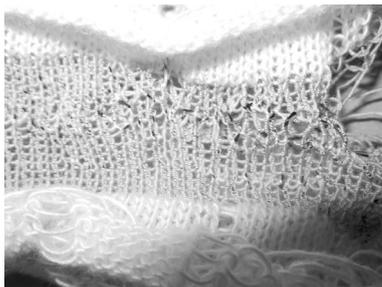


図3 スパン糸カバリングの編成試験結果

カバリングされた炭素繊維が折損する原因として、編成時の摩擦や曲げにより被覆したスパン糸が移動して炭素繊維が露出し、破断すると考えられる。そこで、カバリング糸を加熱処理し、カバリング糸表面をわずかに融着させて、被覆糸を固定する方法を検討した。

200℃の長さ 3mのヒーターに糸速を一定 (2m/min, 4m/min, 6m/min, 8m/min, 30m/min, 45m/min) にして通したカバリング糸を作製し、その抱合力を測定した。その結果を図4に示す。

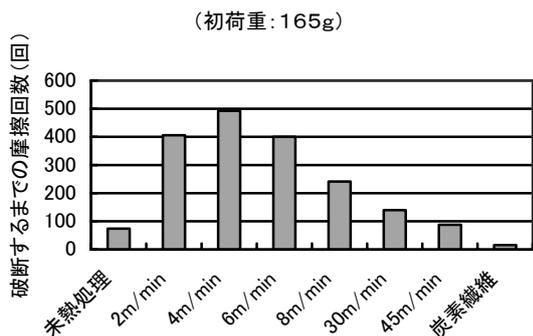


図4 糸速度と破断するまでの摩擦回数

図より、糸速が遅い程、抱合力が高くなるが、極端に遅いと抱合力が落ちることが分かった。そこで、この中の3点について、試験用丸編機で編成した。その結果を図5に示す。

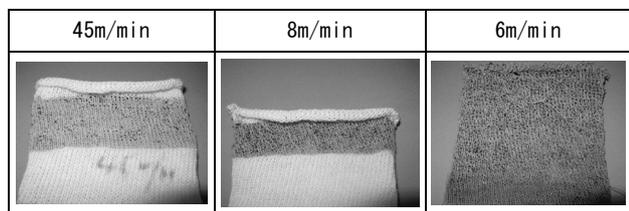


図5 加熱処理糸の編成結果

図より、試験用丸編機による編成試験で編むことはできるものの、炭素繊維の破断が多く見られることが分かる。これは、スパン糸の場合、加熱処理で表面が融着しても、編み針で曲げられる時に融着部分が剥離して炭素繊維が露出し、破断したためと考えられる。

3.3 フィラメント糸・ウーリー加工糸

ポリプロピレンフィラメント、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエチレンテレフタレートウーリー加工糸でカバリングした糸について、抱合力試験の結果を図6に示す。また、試験用丸編機での編成結果を図7に示す。

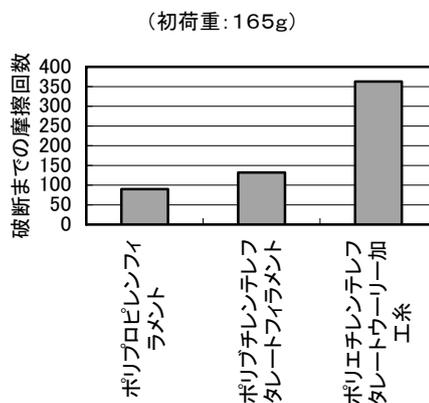


図6 フィラメントカバリング糸の抱合力

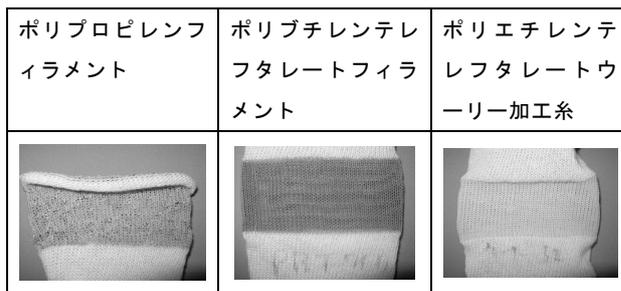


図7 フィラメント糸カバリング糸の編成結果

図7より、ポリプロピレンフィラメントについては、炭素繊維の折損が見られたが、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエチレンテレフタレートウーリー加工糸については、炭素繊維の折損は見られなかった。この原因については次のように考えられる。

ポリプロピレンフィラメント、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエステルウーリー加工糸の外観を図8に示す。

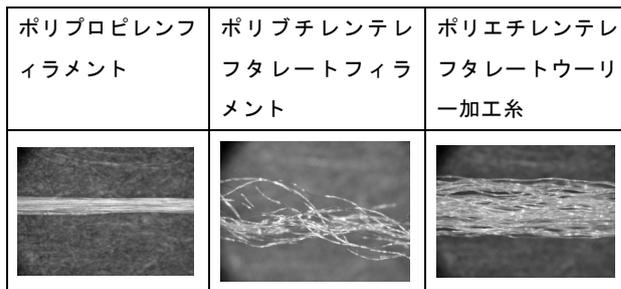


図8 フィラメントの外観

図より、ポリプロピレンフィラメントは直線状のフィラメントで構成しているのに対し、ポリブチレンテレフタレートフィラメントやポリエチレンテレフタレートウーリー加工糸は、巻縮したフィラメントで構成されている。巻縮があるため高密度でカバリングした際、糸が接触する部分では交絡していると考えられる。そのため、糸が移動し難くなり、編成による炭素繊維の折損を防ぐことができたと考えられる。

また、ポリプロピレンフィラメントのような直線状のフィラメントしか入手できない場合、直線状のフィラメントでも炭素繊維の折損を防ぐことができるかどうか検討した。炭素繊維の折損の原因は、スパン糸の時と同様にカバリング糸が動くためと考えられるので、熱融着によるカバリング糸の固定について検討した。3mのヒーターで糸速を30m/minとして、ヒーター温度を200℃～230℃で4段階に変えた試料を作製し、抱合力試験を行った。その結果を図9に示す。

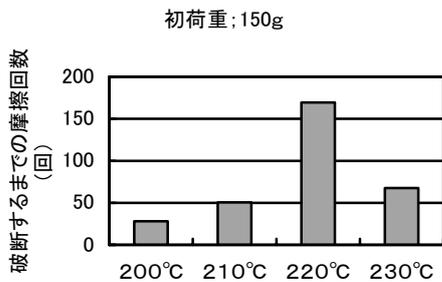


図9 加熱処理温度と抱合力の関係

図より、220℃までは温度が上がるにつれて抱合力が上がり、220℃以降では抱合力が下がることが分かる。この糸が編成可能かどうか確認するため、試験用丸編機で編成試験を行った。その結果を図10に示す。

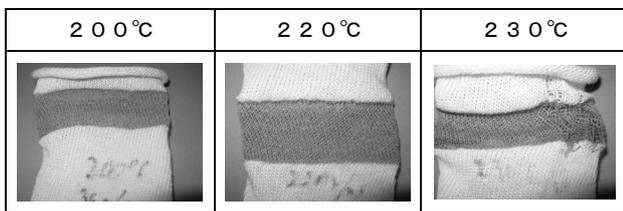


図10 加熱処理糸の編成試験結果

図より、200℃でわずかに炭素繊維の折損が見られ、230℃で組織崩れが見られた。この原因としては次のように考えられる。200℃で炭素繊維の破断が起きたのは、熱融着が弱く、抱合力が低いことから、効果がなかったと考えられる。230℃で組織崩れを起こした原因として、糸の曲げ剛性が影響していると考えられる。糸の曲げ剛性を測定した結果を図11に示す。

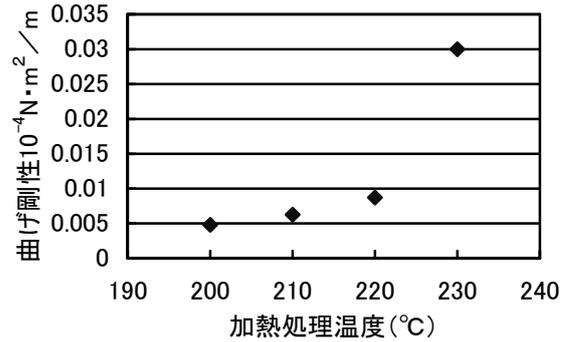


図11 糸速度30m/minでの加熱処理温度と曲げ剛性

図より、加熱条件が上がるにつれて曲げ剛性が徐々に上がり、230℃で急激に上がることがわかる。このことにより、230℃での組織崩れは糸が硬すぎるために起こったと考えられる。

4. まとめ

炭素繊維を、撚糸技術を用いて被覆し、編成中での炭素繊維の折損を防ぐことを検討し、以下の知見を得た。

- ・スパン糸をカバリングした糸については炭素繊維を保護できず、編成時に炭素繊維の折損が発生する。
- ・ウーリー加工糸のような巻縮を有するフィラメントでカバリングした場合、加熱処理を行わなくても編成可能である。
- ・ポリプロピレンのような直線的なフィラメントをカバリングした場合、加熱処理で摩擦・曲げに対して撚りが動かないようにすることで編成可能であるが、曲げ剛性が高くなると、編組織の崩れが発生する。

今回は、丸編機での平編についての検討を行った。製品を作製する際、目移し等、糸に負担のかかる編み方についても検討する必要があり、引き続き検討する予定である。

付記

本研究は、経済産業省 平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業により行った。

文献

- 1) 炭素繊維協会:炭素繊維の安全な取扱い
- 2) 服部安紀:テキスタイル&ファッション, **11**, 459 (1994)