

ISSN 1342-7709

研 究 報 告

第53号
令和3年度

Reports of Technical Support Center for Textiles Industries

No.53
2021

兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター
〒677-0054 兵庫県西脇市野村町1790-496
TEL(0795)22-2041 FAX(0795)22-3671

Hyogo Prefectural Institute of Technology,
Technical Support Center for Textiles Industries
1790-496,Nomura,Nishiwaki,Hyogo,Japan 〒677-0054

目 次

1. 空糸と織物組織を用いた先染織物の意匠性向上に関する研究 「技術改善研究」 東山幸央，藤田浩行，中野恵之	1
2. リサイクル炭素繊維と炭素繊維複合糸からなるバネ材料の開発 「重点領域研究推進事業」 藤田浩行，東山幸央，新田恭平，中野恵之	7
3. 多点同時糸長計測システムの開発 「経常研究」 藤田浩行	16
4. 静電噴霧法を用いた樹脂加工技術の開発法の開発 「経常研究」 中野恵之	23

柰糸と織物組織を用いた先染織物の意匠性向上に関する研究

東山幸央、藤田浩行、中野恵之

要旨 本研究では、これまでの研究¹⁾で可能になった「ぼやけボーダー」の技術を更に発展させ、織柄との組み合わせによって更なる意匠性の向上を目指した。また、その過程にて、モアレ縞の表現および制御方法について非常に興味深い知見を得たので報告する。

1 緒 言

西脇市をはじめとする播州地域は、日本最大の先染綿織物の産地である。先染織物は、後染織物、特にプリント生地との比較で、織柄や緯方向に使用できる色数などで一部制限を受けるものの、糸全体が染まっており、色表現に深みが出るという特徴がある。

図1のア. は、6色（紫青緑黄橙赤）の30番単糸を、アレンジワインダーにて10mずつ順番に繋いだものを2本合わせたものであり、イ. は、繋いだ色糸はア. と同じであるが、2本合わせる際に5mずらしたものである。それぞれ400T/mでS撚りを掛けて緯糸として用いた生地を図2と図3に示す。経糸密度は100本／インチ、緯糸密度は60本／インチ、組織は1/3綾とした。

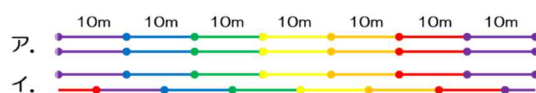


図1 色糸の繋ぎと合糸パターン



図2 ア. の緯糸を用いた生地

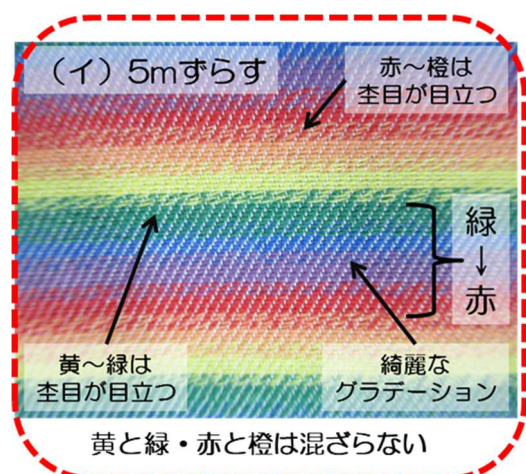


図3 イ. の緯糸を用いた生地

図2は普通の6色ボーダーとなるのに対して、図3では色の境目がぼやけた「ぼやけボーダー」となった。特に緑→青→紫→赤の色の変化は綺麗なグラデーションとなった。

赤→橙や黄→緑など、色の組み合わせによっては、空目が目立ってしまうものもあった。

本研究では、「ぼやけボーダー」（図3）の技術を更に発展させ、織柄との組み合わせによって更なる意匠性の向上を目指した。

またその過程にて、モアレ縞の表現および制御方法について非常に興味深い知見を得たので報告する。

2 実験方法

2.1 柰糸作製

色Aと色Bの境目に、A/Bの柰糸を配置する目的で、表1の組み合わせで合糸・撚糸を行い、柰糸を作製した。表中の80/1は80番単糸、80/2は80番双糸を表している。色は赤・紫・青、いずれも綿

糸を用いた。

表 1 糸の組み合わせ表

	色系1	色系2	撚数	作製した糸
①	80/1赤	80/1赤	948T/m	80/2赤
②	80/1赤	80/1紫		80/2赤紫拵糸
③	80/1紫	80/1紫		80/2紫
④	80/1紫	80/1青		80/2紫青拵糸
⑤	80/1青	80/1青		80/2青

2.2 織物組織および縞割

織物組織は、以前の研究¹⁾でも用いた幾何学柄(図4)とした。縞割は、先染織物用テキスタイルCADソフトであるTEX-SIMおよびTEX-STYLE(株式会社ブレイン製)を用いてシミュレーションにて決定した。

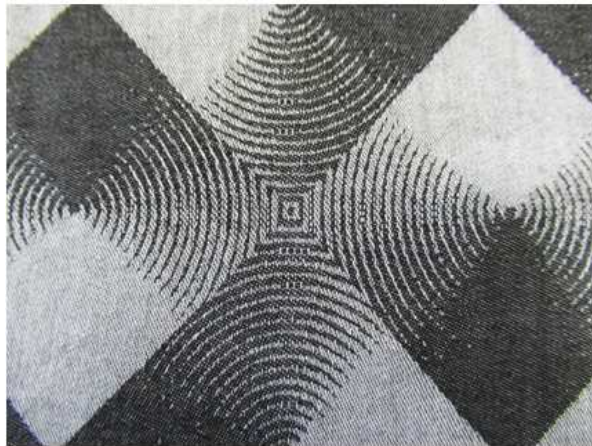


図4 本検討で使用した紋様(幾何学柄)

2.3 製織試験

ZAX9100エアジェット織機(津田駒工業株式会社製)・開口装置LX1602電子ジャカード5120口(ストーブリ株式会社製)を用いた。経糸は黒80番双糸で経糸密度100本/インチ、経糸総本数5000本とした。緯糸密度は100本/インチとした。

3 結果と考察

3.1 シミュレーション結果

緯縞のグラデーションの周期は12本・60本・240本単位とし、通常糸使いでは表1の①③⑤を用い、拵糸使いでは①②③④⑤を用いた。

シミュレーション結果を図5に示す。60本周期のグラデーションが、最も色の境目が上手くぼやける結果となった。12本周期ではボーダーの幅が狭すぎて通常糸使いと拵糸使いとの差が

ほとんど区別できず、240本周期では、赤/紫および紫/青の拵糸そのものが新たなボーダーのように見えたため、上手く色の境目をぼやけさせることができなかった。

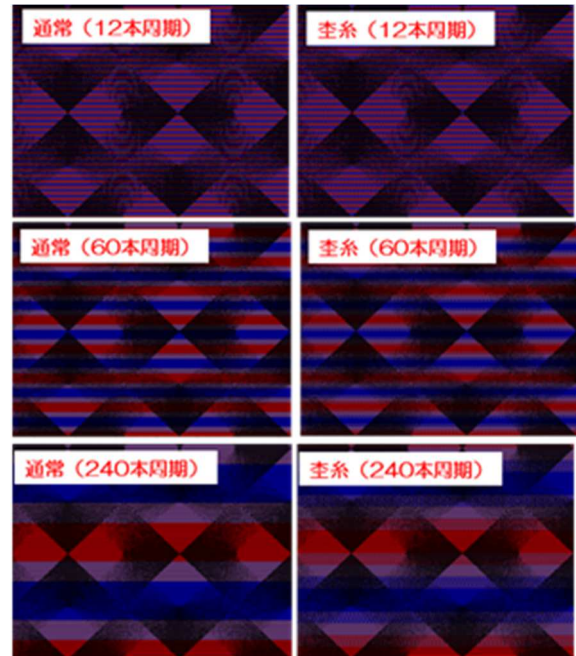


図5 TEX-SIMによるシミュレーション結果

3.2 製織結果

このシミュレーション結果をもとに作製した縞割表を表2に、試織した生地を図6～8に示す。図7の60本周期が最も色の境目がきれいにぼやけており、TEX-SIMのシミュレーション結果と一致した。また、図6の12本周期の楕円点線部に、元の織物組織では見られなかったモアレ状の紋様が確認できた。この現象については、3.4にて詳しく述べる。

表2 緯糸の編割表

		12本周期									
		通常系使い					全系使い				
①	赤	2				2	1				1
②	赤/紫						2				1
③	紫		2		2			1		1	
④	紫/青							1	2		
⑤	青		4					2			

		60本周期									
		通常系使い					全系使い				
①	赤	10				10	6				6
②	赤/紫						6				6
③	紫		10		10			6		6	
④	紫/青							6	6		
⑤	青		20					12			

		240本周期									
		通常系使い					全系使い				
①	赤	40				40	24				24
②	赤/紫						24				24
③	紫		40		40			24		24	
④	紫/青							24	24		
⑤	青		80					48			

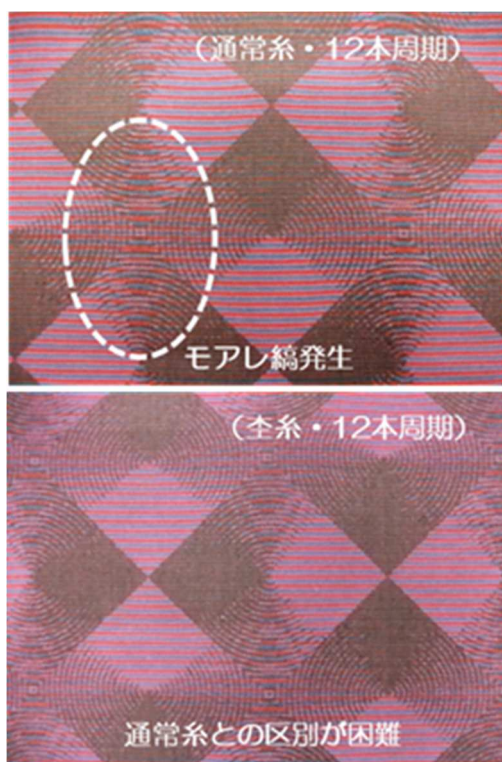


図6 試織生地（12本周期）



図7 試織生地（60本周期）



図8 試織生地（240本周期）

表3 矢絣調の緯糸の縞割表

296本周期(色糸①～⑤が148本、黒糸⑥が148本)					
緯返回数	x19	x18	x19	x18	→ 下段に 続く
① 赤	(1)	()	()	()	
② 赤/紫	()	(1)	()	()	
③ 紫	()	()	(1)	()	
④ 紫/青	()	()	()	(1)	
⑤ 青	()	()	()	()	
⑥ 黒	(1)	(1)	(1)	(1)	
→ 上段より 続く	緯返回数	x19	x18	x19	x18
	① 赤	()	()	()	()
	② 赤/紫	()	()	()	(1)
	③ 紫	()	()	(1)	()
	④ 紫/青	()	(1)	()	()
	⑤ 青	(1)	()	()	()
	⑥ 黒	(1)	(1)	(1)	(1)

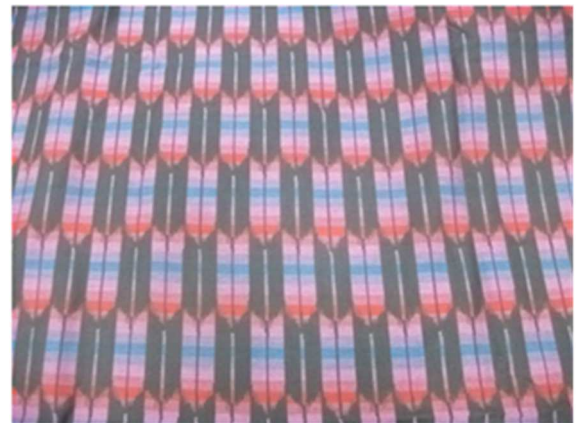


図10 試織生地（矢絣調グラデーション）

図10の生地は、播州織総合素材展2020の新商品試作コーナーおよび、ジャパンテキスタイルコンテスト2020への出展を行った。また、カッターシャツの試作も行った（図11）。

3.3 織物組織との組み合わせ

矢絣のデザインを基にシームレス（画像の上下・左右が連続柄）となるように画像を調整した後、二値化を行って組織図画像を作製した（図9）。

グラデーションの周期については、矢羽根の1レピート（緯糸296本）とした。図9の二値化処理後の画像において、白の部分にグラデーションを配置し、黒の部分は全て黒とするために、織物組織は二重織とした。よって、実際に矢羽根の白い部分の1レピートに配置される緯糸は、296本の半分の148本となり、全て色糸（赤・赤/紫・紫・紫/青・青）で、残りの148本の黒の緯糸は裏面に配置される。

緯糸の縞割表を表3に、試織生地を図10に示す。表3は、①⑥①⑥・・・を19回繰り返して計38本緯糸を打ち込んだ後、②⑥②⑥・・・を18回繰り返す、続いて③⑥③⑥・・・を19回繰り返す、ということを表している。①～⑤までの色糸が奇数本目の緯糸、⑥の黒糸は偶数本目の緯糸となる。図9の組織図画像の白の部分は奇数本目の緯糸、すなわち①～⑤の色糸が表面に来るような織物組織に、黒の部分は偶数本目の緯糸、すなわち⑥の黒糸が表面に来るような織物組織となるように組織図を作成し、製織データへの変換を行った。

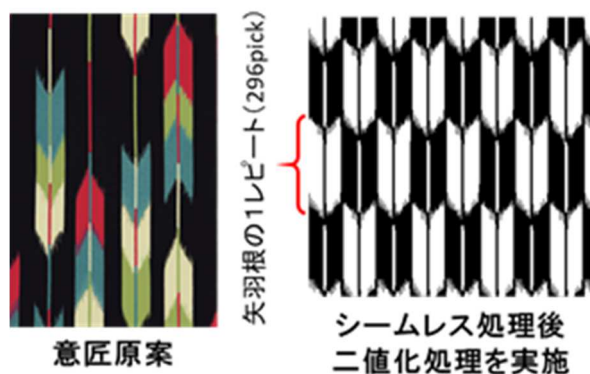


図9 矢絣調の組織デザイン



図11 試作したカッターシャツ

3.4 モアレ縞の発生および制御

図6～8の試織生地のうち、モアレ縞が発生したのは図6の12本周期のみである。表2の縞割表から、ボーダーの幅（同一色の緯糸本数）は2～4本である。緯糸を赤と青の2種類とし、赤と青を1本ずつ～6本ずつまで変化させて試織を行った結果を図12～17に示す。

図14の赤/青3本ずつおよび、図15の赤/青4本ずつの生地に、モアレ縞が非常に強く表れた。

図16の赤/青5本ずつになるとモアレ縞は急激に目立たなくなり、図17の赤/青6本ずつになると、通常のボーダー柄と区別がつかなくなった。



図12 赤糸と青糸を1本ずつ交互に配置



図13 赤糸と青糸を2本ずつ交互に配置

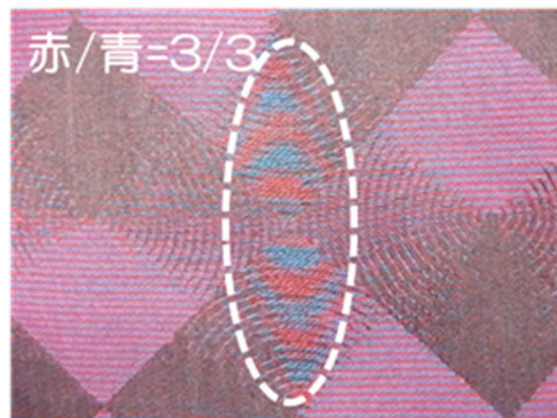


図14 赤糸と青糸を3本ずつ交互に配置
楕円点線部にモアレ縞発生

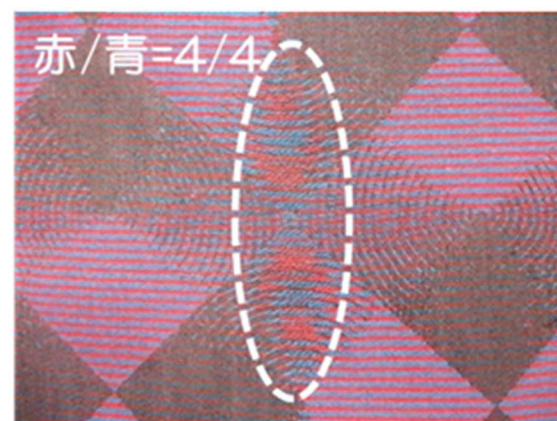


図15 赤糸と青糸を4本ずつ交互に配置
楕円点線部にモアレ縞発生



図16 赤糸と青糸を5本ずつ交互に配置
モアレ縞は急激に目立たなくなる

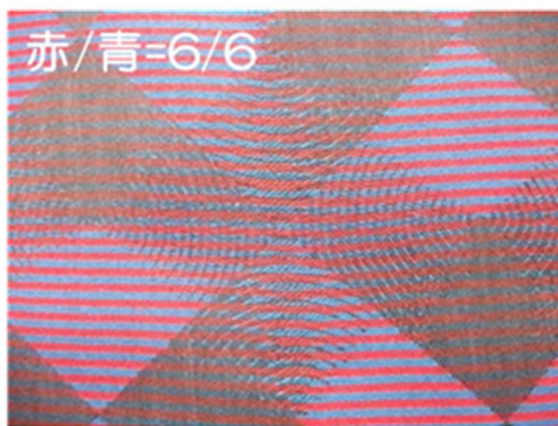


図17 赤糸と青糸を6本ずつ交互に配置
ボーダー柄と区別がつかない

この現象の発生要因として、以下の理由が考えられた。

組織図の拡大図を図18に示す。組織図では、黒の四角は経糸が上にあり、白の四角は緯糸が上にあることを表している。モアレ縞が発生している部分は、経糸の浮き（上にある状態）が多く、組織図で黒っぽく見える経朱子組織（経5枚朱子）と、緯糸の浮きが多く、組織図で白っぽく見える緯朱子組織（緯5枚朱子）が、緯糸3～4本分の幅で交互に配置されている。

この緯朱子組織の幅と、緯糸の切り替わる周期が一致すると、緯朱子組織の部分は、赤糸のみ、もしくは青糸のみが浮くことになり、モアレ縞の発生に繋がると推測される。よって本研究では、緯糸が切り替わる周期が3本ずつのとき（図14）と4本ずつのとき（図15）のみ、モアレ縞が発生したと推定した。

緯朱子組織の幅を変化させ、緯糸の切り替え周期を適切に調節することで、モアレ縞の発生を制御することができると考えられる。

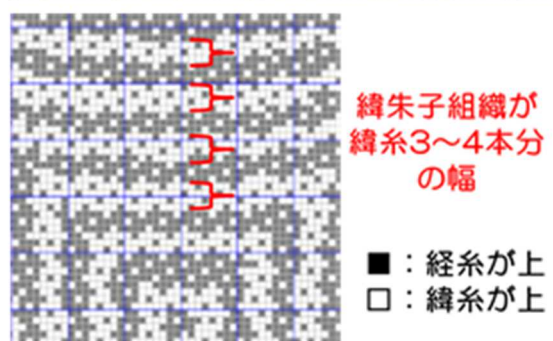
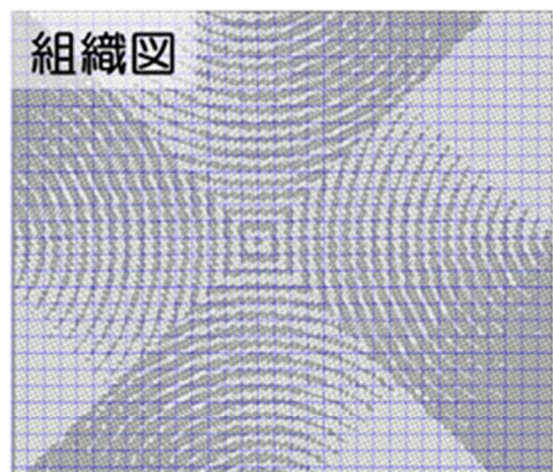


図18 組織図の拡大図

4 結 言

赤→紫→青のグラデーション表現において、赤と紫の間に赤／紫の杣糸、紫と青の間に紫／青の杣糸を配置することで、色の境目が滑らかに変化する「ぼやけボーダー」柄の生地を試織に成功した。

グラデーションの変化を60本周期とすることで、色の境目が滑らかにぼやけさせることができた。

織物組織（緯朱子組織の幅）と、緯糸の切り替え周期を一致させることで、モアレ縞の発生を制御することができた。

参 考 文 献

- 1) 東山幸央, 藤田浩行, 中野恵之, 佐伯 靖, 磯野禎三、兵庫県立工業技術センター研究報告書, 28, 36 (2019)

リサイクル炭素繊維と炭素繊維複合糸からなるバネ材料の開発

藤田浩行，東山幸央，新田恭平，中野恵之

要旨 表層は一方向の炭素繊維、内側はリサイクル炭素繊維(R-CF)からなる層のバネ材料を開発し、各層およびサンドイッチ構造の材料の曲げ特性について評価した。以下に主な成果を示す。

(1) 炭素繊維とナイロン66糸からなる複合糸の織物による一方向材(UD材)は、相溶化剤を添加することで曲げ強度1300 MPa以上、曲げ弾性率120GPa以上の優れた特性の材料が作製できた。(2) しかし、R-CF不織布からなる材料は相溶化剤の添加効果は小さかった。(3) サンドイッチ構造の表層のUD材は厚いと層間剥離を起こすが、薄ければ剥離を起こさず高い補強効果が得られ、複合則で算出したところ、計算値と実験値は近い数値となり、その効果が明らかとなった。

1 緒 言

トラックやバス、商用車等で使用される板バネや減速機等多用な分野で使用される歯車等を構成する金属素材の代わりに、炭素繊維(CF)で強化された製品開発が望まれている。ガラス繊維強化製については、スウェーデンに拠点を置くVolvo Carsが、「XC90」などの乗用車にリーフ式サスペンション(板バネ)を採用している。これは構造が単純であるため、従来のサスペンションより軽量、さらに荷室の拡大にもつながったという¹⁾。炭素繊維強化に置き換えたいというニーズはあるが、コスト高が最大の課題となっている。

一方、炭素繊維強化複合材料から炭素繊維を取り出す技術も様々開発^{2,3)}され、実用化レベルにある技術も存在する。今後、リサイクルされた炭素繊維の利用や製造技術の開発により低コスト化が図られ、用途拡大に繋がるものと期待される。ただし、一般的にリサイクル炭素繊維は短繊維で不連続であるため、連続繊維の形態よりも強度が劣る。

そこで、本研究は連続繊維である炭素繊維複合糸^{4,6)}からなる織物とリサイクルされた不織布状の炭素繊維を組み合わせることで、低コストで優れた機械的特性を有し熱可塑性樹脂を母材とした複合材料の開発を目指した。自動車用を始めとする板バネ¹⁾は、長さに比べて直交方向は短く、主として長手方向に荷重が加わる。そのため試作する材料は、表面は一方向の連続した

炭素繊維とし、その内層は不織布状のリサイクル炭素繊維からなる層のサンドイッチ構造とした。まず各層の曲げ特性に関して、相溶化剤や成形条件の影響について評価した後、サンドイッチ構造の材料を成形し、その曲げ特性の特徴などについて明らかにしたので報告する。

2 実 験

2.1 炭素繊維一方向強化ナイロン66複合材料の作製

炭素繊維が一方向の母材をナイロン66樹脂とした複合材料を成形した。ミシンで作製した炭素繊維複合糸をたて糸に、よこ糸にナイロン66のモノフィラメント糸で構成された織物を作製することで、一方向強化の複合材料を成形した。炭素繊維複合糸の構成を表1に示す。炭素繊維は三菱ケミカル(株)製の3K(PYLOFIL TOW TR30S 3L)を、ナイロン66糸はユニプラス(株)製の太さ130Dのモノフィラメント糸を使用して複合糸(図1)を作製した。なお、複合糸における炭素繊維の体積含有率Vfは、59.4Vol%である。

上記の炭素繊維複合糸をたて糸に、よこ糸に表1と同じナイロン66糸を用いて織物(図2)を試織した。織物規格を表2に示す。織物全体占める炭素繊維の体積含有率Vfは56.4Vol%となったが、よこ糸に用いたナイロン66糸の太さや密度から含有率を調整した。なお、よこ糸は成形時のたて糸の方向性を維持する役目も果たす。

表 1 炭素繊維複合糸の構成

炭素繊維	ナイロン 66 糸		CF 含有率	
	巻縫糸	引揃糸	重量比率	体積比率
3K	130D	なし	69.8 wt%	59.4 Vol%

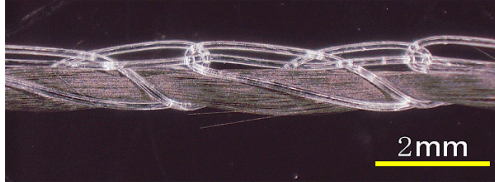


図 1 炭素繊維とナイロン66糸からなる複合糸

表 2 試織した織物規格

	構成	密度 (本/インチ)	CF 含有率	
たて糸	複合糸	20	67.1 wt%	56.4 Vol%
よこ糸	PA66糸 (130D)	17		

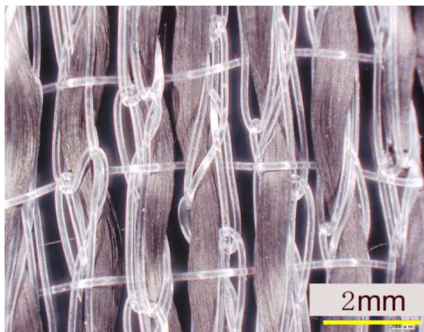


図 2 炭素繊維複合糸から作製した織物

試作した織物は、たて糸方向を揃えて 9 枚積層し、熱盤式真空油圧プレス機 (VH1.5-2248 型; 北川精機(株)製) を用いて炭素繊維一方向強化ナイロン66複合材料を成形した。

熱可塑性樹脂を母材とした場合、熔融粘度が高いため、樹脂の含侵性や炭素繊維との接着性改善に様々な成形技術や表面改質方法が開発されている⁷⁾。本研究では、ナイロン66樹脂の含侵性を促すため、相溶化剤の使用や炭素繊維表面に付着しているサイジング剤の除去を試織織物へ実施し、その後成形した複合材料の特性を評価することで、その影響について考察した。

試織織物への前処理方法を表 3 に示す。処理 A の乾燥前後で織物の重量は 1% 程度低下した。これは主としてナイロン66糸に含まれる水分であ

表 3 試織織物の前処理

A	熱風乾燥機内に放置 (60℃、24h)
B	上記乾燥試料をアセトンに浸漬しながら超音波洗浄 (30min) し、再度乾燥
C	乾燥試料を相溶化剤の溶解したアセトン溶液に浸漬しながら超音波洗浄 (30min) し、再度乾燥

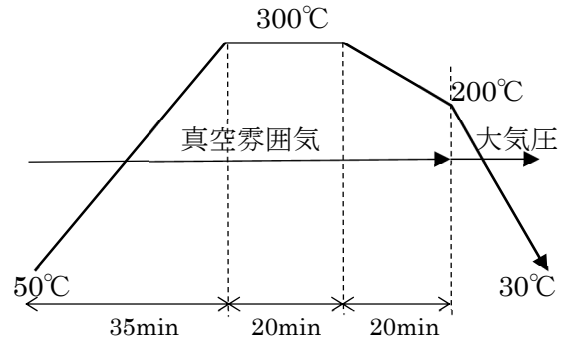


図 3 成形工程における熱盤の温度変化

ると考えられ、成形材料内のボイド低減を図った処理である。アセトン浸漬は、炭素繊維表面に付着しているサイジング剤除去が目的である。また、相溶化剤は、ナイロン66樹脂と高い相溶性のある材料を選択し、織物の重量に対して 2 wt% 弱付着させた。

成形工程における基本的な熱盤の温度変化を図 3 に示す。成形は真空雰囲気で行われ、300℃、20min 間加熱後の冷却時 200℃ において大気開放した。真空雰囲気における成形は、樹脂の酸化劣化の防止とボイド低減を狙ったものである。大気開放すると熱盤温度は急激に降下する。なお、試料に負荷される成形圧力 (面圧) は 6MPa とした。

2.2 リサイクル炭素繊維からなる複合材料の作製

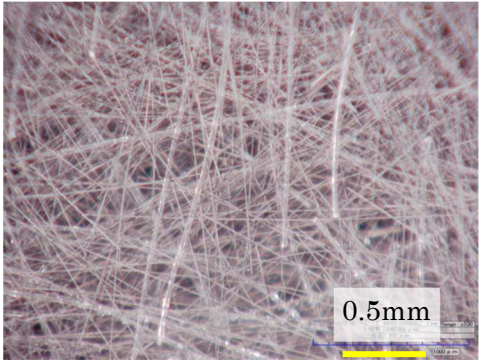
プリプレグからの成形品や成形工程においてロスとなった材料から取り出されたリサイクル炭素繊維 (R-CF) とナイロン66繊維から構成された不織布を使用した。不織布は紙の製造方法である湿式法で作製されたものであり、遠心分離機により繊維の配向を高めたものを用いた。図 4 (a) は、遠心前で、図 4 (b) は遠心させて繊維の配向を高めた不織布である。明らかに、図 4 (b) の繊維は画像の垂直方向へ配向している。

なお、太い繊維がナイロン66繊維、細い方が炭

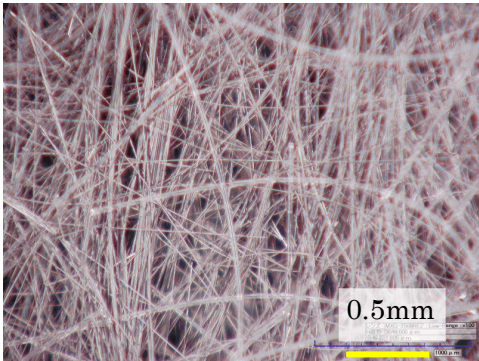
素繊維でナイロン66繊維は成形時熔融して複合材料の母材となる。図5にR-CFの電子顕微鏡画像を示すが、一部の繊維には樹脂の残存が見られたが、ほとんどの繊維にはなく、平滑な表面であった。なお、不織布1枚の単位面積当たりの重量は約250g/m²で不織布に占める炭素繊維の体積含有率は44.0vol%、平均繊維長は9mmである。

複合材料の作製は、配向方向を揃えて不織布7枚積層し、一方向材同様、図3の温度変化で加熱して成形した。なお、表3の条件AおよびCの前処理を実施した。

加圧は織物同様6MPaで実施したが、後述のとおり6MPaでは、材料内部は多くのボイドが残ってしまい、加圧が不十分なことがわかった。そこ



(a) 遠心前



(b) 遠心後

図4 R-CFとナイロン66繊維からなる不織布

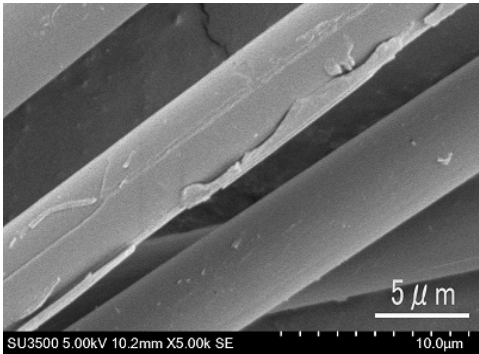


図5 リサイクル炭素繊維の電子顕微鏡画像

で、不織布の成形は15MPaを基本の成形圧力とした。今回使用の不織布は、炭素繊維のスプリングバックにより大きな加圧荷重が必要であった。

2.3 複合糸からなる織物とR-CF不織布を積層した複合材料の作製

細長い形状である板バネの変形は、主として曲げ変形で、外側は引張荷重、内側は圧縮荷重が負荷されるが、中立面から距離が遠いほど大きな荷重が加わる。つまり、弾性率の大きい材料を外側に配置することで材料全体の変形を低下させることが可能である⁸⁾。

そこで、図6のとおり、外側に複合糸からなる織物を、内側にR-CFの不織布を積層したサンドイッチ構造の複合材料を2種類（H1、H2）作製した。表4の積層構成は、積層順と積層枚数（PLY）を示している。

前処理は、複合糸織物については表3の条件Cを、R-CF不織布は、条件Aの乾燥のみとした。その理由はR-CF不織布の場合、織物程、相溶化剤の効果がなかったこと。また、大量に加工液を吸収してしまうなどの問題があったためである。成形は図3の温度変化で、最大15MPa加圧した。



図6 サンドイッチ構造の複合材料

表4 複合糸織物とR-CF不織布からなる複合材料

	積層構成	不織布の割合	材料全体のCF含有率
H1	織物：2PLY R-CF：4PLY 織物：2PLY	43.8 wt%	62.0 wt%
H2	織物：1PLY R-CF：6PLY 織物：1PLY	73.4 wt%	58.5 wt%

2.4 3点曲げ試験

試作した材料は、JISK7074-1988(炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法)に準拠して、3点曲げ試験を行った。炭素繊維方向と直交方向へ長さ100mm,幅15mmの短冊状に5本切り出し、支点間距離80mm,たわみ速度5mm/minで行った。

3 実験結果と考察

3.1 炭素繊維一方向強化ナイロン66複合材料の曲げ特性

図7に前処理と曲げ強度の関係を、図8に曲げ弾性率について示す。その結果、アセトン処理 (B) および相溶化剤 (C) の前処理により、曲げ強度および曲げ弾性率は大幅に向上した。繊維方向において、条件CはAと比較して曲げ強度は1.7倍以上で約1300MPa、弾性率は約1.3倍で約120GPaと非常に優れた機械的特性が得られた。なお、直交方向は炭素繊維の配向はないため繊維方向と比較すると1/20～1/30と小さいが、前処理により向上は見られた。

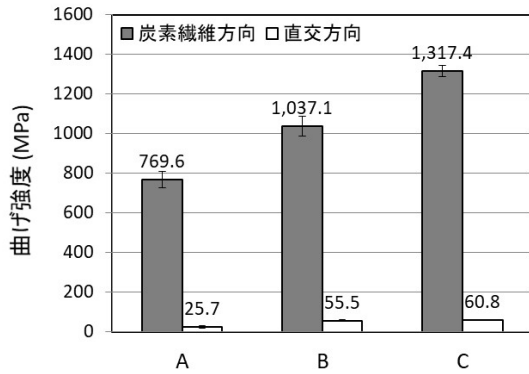


図7 一方向強化複合材料の前処理と曲げ強度

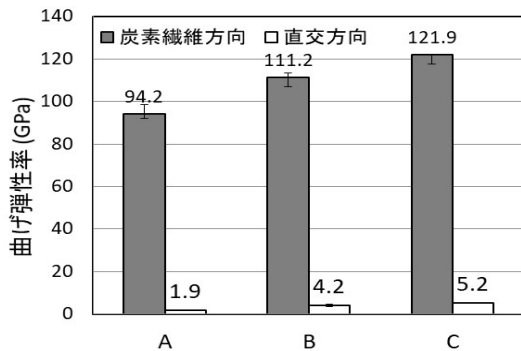


図8 一方向強化複合材料の前処理と曲げ弾性率

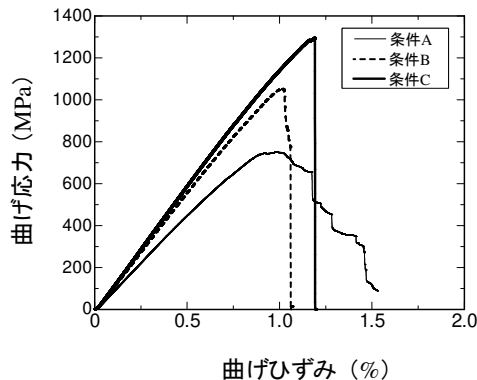
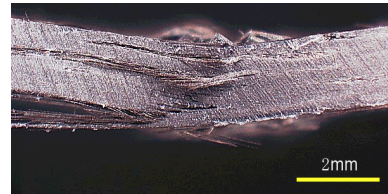
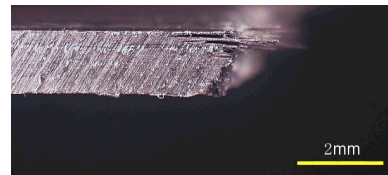


図9 一方向強化複合材料 (繊維方向) の曲げ応力-ひずみ曲線

図9は繊維方向の曲げ試験における曲げ応力-ひずみ曲線の代表例である。条件Cは最大応力に達した直後一気に応力が低下し、試料全て完全に破断していた。図10に条件AとCの試験後試料の側面画像を示す。条件Aは積層面の層間に亀裂が複数見られたが、条件Cの試料に層間の亀裂は見られず、繊維破断による破壊であった。また、図11(a)に条件Aの破断断面を、(b)に条件Cの破断箇所の炭素繊維表面の電子顕微鏡画像を示す。条件Aは、炭素繊維が樹脂から引き抜けた箇所が多くあったが、条件Cにはほとんど見られず、炭素繊維表面には樹脂の付着が確認された。

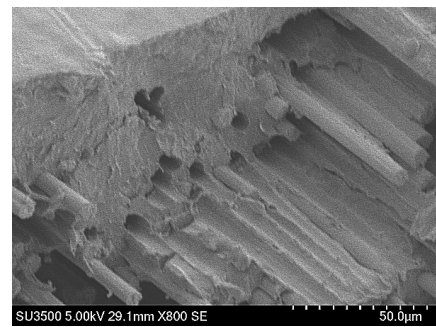


(a) 条件A

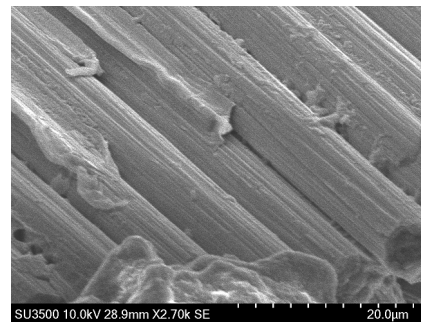


(b) 条件C

図10 曲げ試験後試料の側面



(a) 条件A



(b) 条件C

図11 曲げ試験における破断面

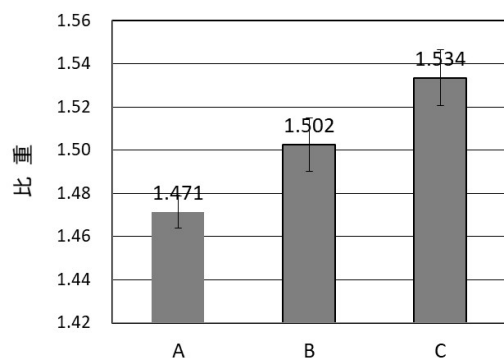


図12 一方向強化複合材料の前処理と比重
(繊維方向)

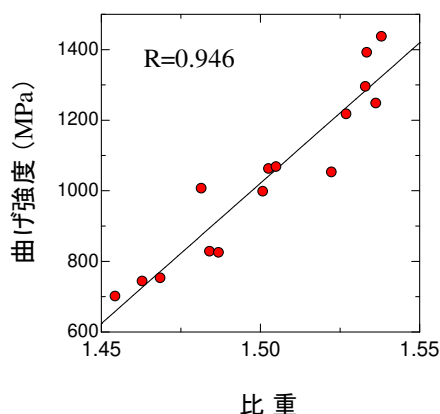


図13 一方向強化複合材料の比重と曲げ強度
(繊維方向)

図12に繊維方向の試料について、前処理と比重の関係を示すが、強度や弾性率と同様な傾向を示している。また、図13に、試料全て（15点＝3条件×5本）について比重と曲げ強度の関係を示すが、相関係数 0.946と両者には高い正の相関関係が見られた。

条件AとCで作製した曲げ試験前の試料について、マイクロX線CTスキャナー（MicroXCT-400型；Xradia社製）で内部評価した。試料上部から約0.5mm程度深さ方向に入った繊維の積層面と断面を観察した断層画像を図14に示す。X線CT法による評価は、X線吸収係数が物体の密度にほぼ比例することを利用して素材分布やボイドおよび亀裂など材料内部の状態を知ることができる。断層画像はX線の吸収が高い、つまり密度の高い箇所ほど明るい。炭素繊維の比重は1.8、ナイロン66樹脂は1.14であるので、積層面の画像の垂直方向に連続して白く見える箇所が炭素繊維であり、それより暗い領域がナイロン66樹脂であると思われる。断面画像を見ると複合糸として成形された炭素繊維は丸い形

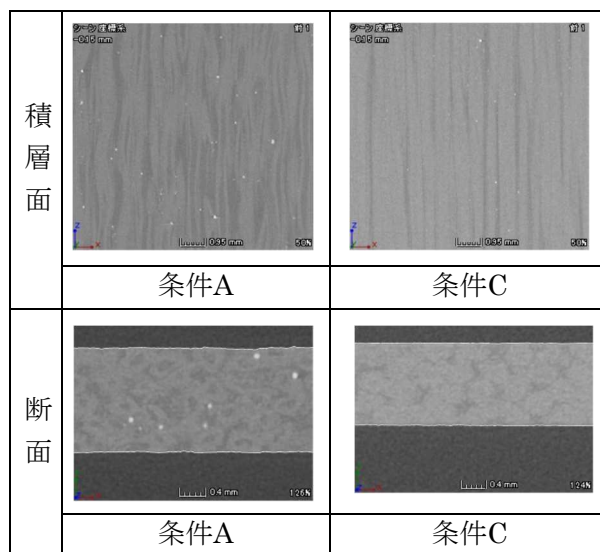


図14 X線CTスキャナーによる断層画像

状の集合体となって存在している。

また、繊維9枚積層して成形したが、明瞭な積層面は見られない。これらは複合糸の構造的特徴が表れたものである。

一方、相溶化剤を添加した条件Cは、条件Aより明るい領域が大きい。また、明らかに成形試料の厚みは薄い。この違いは使用した相溶化剤の比重が、ナイロン66樹脂よりも大きいため炭素繊維との区別がつかなかったこと。また、試料の厚みの違いは含まれるボイドの違いであり、それが比重の差となっている。なお、画像では、ナイロン66樹脂とボイドの区別がつかないが、分解能よりもボイドのサイズが小さいことや設定条件などの影響が予想される。また、条件Aの画像内に見られる白い粒状箇所は、ナイロン66繊維表面の平滑剤であるシリコンオイルであることを繊維の溶剤での洗浄後の残差の分析で明らかにした。

上記の結果について以下のとおり考察した。条件Bのアセトン処理では、炭素繊維表面のサイジング剤およびナイロン糸表面の平滑剤が除去されることで繊維と樹脂との密着性が改善され、強度、弾性率とも向上したと思われる。また、樹脂の含浸性も改善されることでボイドも低減し、比重も増加したと考えられる。条件Cは、アセトン処理による効果に加え、繊維表面に付着した相溶化剤が成形時のナイロン66樹脂の熔融時の流動性および含浸性をさらに高め、密着性と界面強度向上により強度、弾性率を大きく上昇させたと予想される。

3.2 リサイクル炭素繊維からなる複合材料の曲げ特性

R-CF不織布による複合材料（乾燥のみで成形圧力6MPa、15MPaおよび表3の条件Cで15MPaで成形した試料）について、図15に比重、図16に曲げ強度および図17に曲げ弾性率を示す。6MPaで成形した場合、曲げ強度、弾性率とも15MPaと比べると大幅に小さい。6MPaの場合、加圧が不十分で試料内にボイドが多くなって比重が小さくなったが、ボイドが強度および弾性率を大きく低下させた。

また、相溶化剤の効果は一方向強化の材料程大きくない。これはR-CFの場合、繊維の取り出し工程において炭素繊維のサイジング剤が除去され、樹脂との界面特性が良好であったことが要因として考えられる。

図18は繊維方向の曲げ試験における曲げ応力-ひずみ曲線の代表例である。15MPaの成形圧力の場合には最大応力に達した直後、一気に応力が低下しており、試料全て完全に破断した。

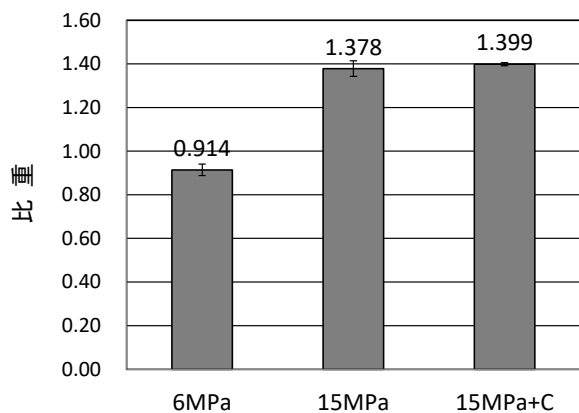


図15 R-CF不織布複合材料の比重（繊維方向）

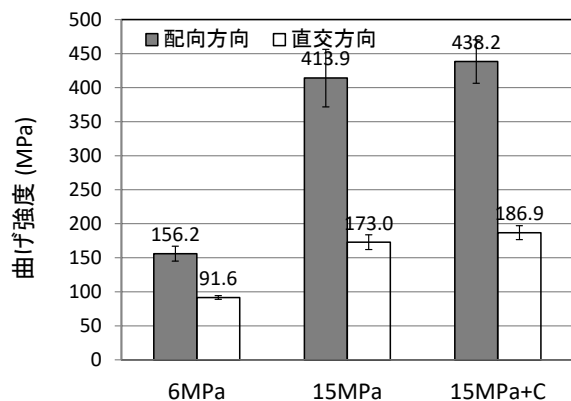


図16 R-CF不織布複合材料の曲げ強度

図19は6MPaと15MPaの試験後試料の側面画像であるが、15MPaの試料の破断面は厚み方向に連続して見られるが、6MPaの場合は見られない。

また、遠心により炭素繊維を配向させることで、15MPaの場合、直交方向と比較して曲げ強度は約2.4倍、曲げ弾性率は約3倍と高くなり、配向の効果が得られた。

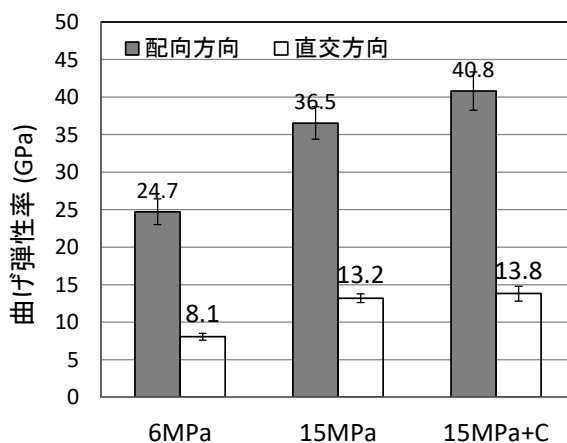


図17 R-CF不織布複合材料の曲げ弾性率

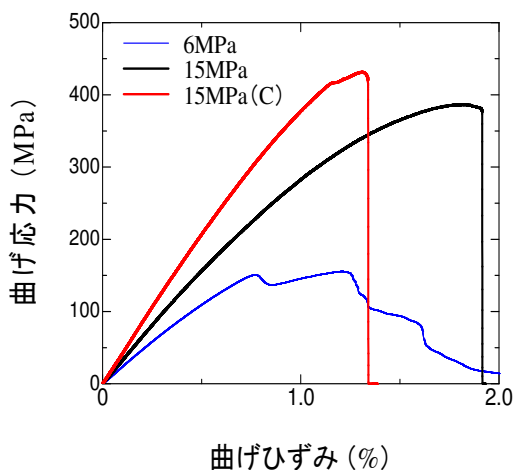


図18 R-CF不織布複合材料（繊維方向）の曲げ応力-ひずみ曲線

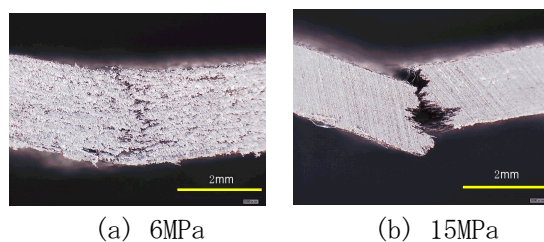


図19 成形圧力とR-CF不織布複合材料（繊維方向）の曲げ試験後試料の側面

3.3 複合糸からなる織物とR-CF不織布を積層した複合材料の曲げ特性

表4の複合材料について、比重を図20に、曲げ強度および曲げ弾性率を図21および図22に示す。また、R-CF不織布からなる材料（成形圧力6MPa,15MPa；配向方向）と表4の材料の繊維方向の曲げ応力-ひずみ曲線の代表例を図23に示す。以下に繊維方向の曲げ特性について考察する。

一方向の織物を積層することによる補強効果を期待したが、H1（曲げ強度：418.9MPa）の場合、その効果は全く見られなかった（R-CF不織布：413.9MPa）。ひずみの小さい領域（図23）では、傾きはR-CF不織布より大きい、その後傾きは徐々に低下し、高い強度は得られていない。図24(a)に試験後試料の側面を示すが、織物と不織布の層間剥離から破壊に至り、表面の織物が曲げ変形における荷重を分担できていない。

一方、H1より織物の割合が少ないH2であるが、R-CF不織布からなる材料と比較して曲げ強度

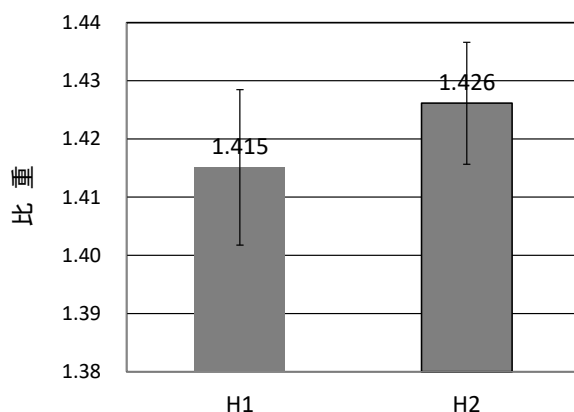


図20 織物とR-CF不織布の積層材料の比重（繊維方向）

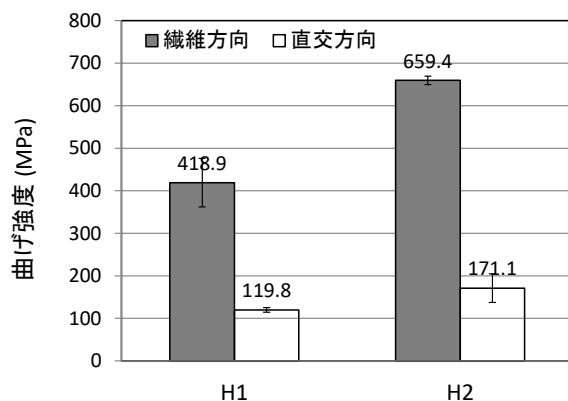


図21 織物とR-CF不織布の積層材料の曲げ強度

1.59倍、曲げ弾性率1.86倍と高い補強効果が得られた。層間剥離も一部試料で見られたが、図23のとおり最大応力を示した直後、一気に破壊した（図24）。これは、最も大きな荷重が負荷される最外層の織物が十分荷重分担した結果である。当初は、織物の割合が多いH1の方が優れた特性が得られると予想したが、反対の結果となった。その要因については、以降で検討する。

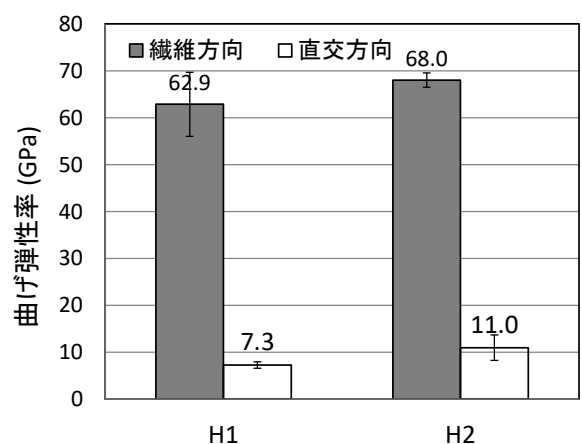


図22 織物とR-CF不織布の積層材料の曲げ弾性率

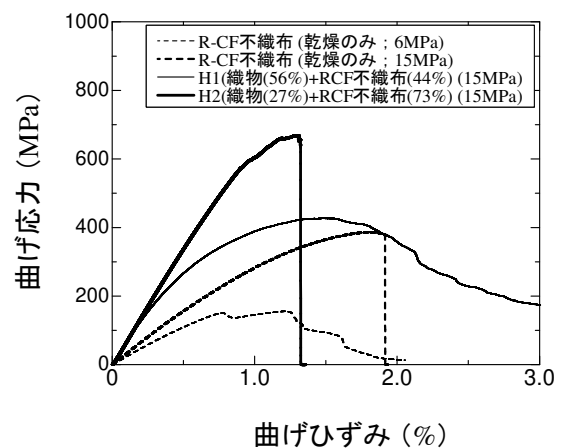


図23 不織布単体および不織布と織物積層材の曲げ応力-ひずみ曲線

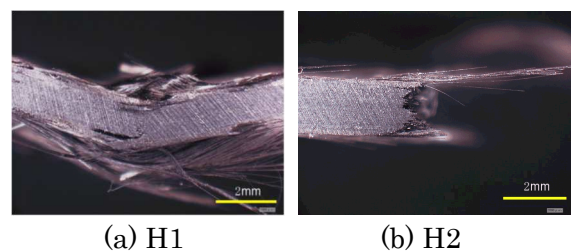


図24 積層材の曲げ試験後試料の側面

3.4 一方向織物積層による複合効果の検討

一方向強化複合材料(UD)とR-CF不織布複合材料を比較すると、炭素繊維の方向性や連続性などの影響により強度および弾性率は大きく異なった。また、両者を組み合わせ、UD材を外側に配置することで、低コストで優れた特性を有した材料開発を目指して取り組んだ。ここでは複合則等の観点からその効果について検討する。

図25のとおり、R-CF不織布複合材料の断面が幅**b**、高さ**h**、曲げ剛性を $(EI)_{R-CF}$ 、同一サイズの断面形状の外側に厚み**t**のUD材を積層した材料全体の曲げ剛性を $(EI)_{ALL}$ とした場合、以下の式(1),(2)で表すことができる。

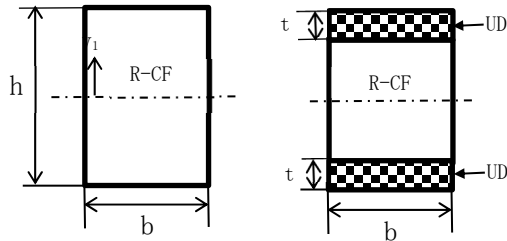


図25 断面形状と構成

$$(EI)_{R-CF} = E_{R-CF} \frac{1}{12} b h^3 \quad \text{--- (1)}$$

$$(EI)_{ALL} = \frac{b}{12} [E_{R-CF} (h - 2t)^3 + E_{UD} \{h^3 - (h - 2t)^3\}] \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 $(EI)_{R-CF}$ を基準として、 $(EI)_{ALL}$ との比 $R = (EI)_{ALL} / (EI)_{R-CF}$ を算出し、R-CF不織布単体の実験値に乗じた数値と積層材料の曲げ弾性率の実験値と比較した。積層材料H1,H2の断面サイズおよびUD材の厚みは実測値(表5)とし、 E_{UD} および E_{R-CF} は実験結果から121.9GPa、36.5GPaとした。

また、積層材料の曲げ強度 σ_{ALL_max} について、表4のUD材およびR-CF不織布の体積比率と各層の強度から式(3)で算出した。

$$\sigma_{ALL_max} = \sigma_{UD_max} UD_{Vol\%} + \sigma_{R-CF_max} R-CF_{Vol\%} \quad \text{--- (3)}$$

表5 断面サイズと曲げ弾性率予測

構成	b mm	h mm	t mm	R	曲げ弾性率 GPa	
					計算値 $R \cdot E_{R-CF}$	実験値
H1	15	1.38	0.2	2.50	91.3	62.9
H2	15	1.58	0.1	1.78	65.0	68.0

表6 各層の特性からの積層材の曲げ強度予測

構成	UD		R-CF		曲げ強度 MPa	
	σ_{max} MPa	Vol%	σ_{max} MPa	Vol%	計算値	実験値
H1	1317.4	56.2	413.9	43.8	921.7	418.9
H2		26.6		73.4	654.2	659.4

表5、6に計算結果を示すが、曲げ弾性率および曲げ強度ともH2の積層材は計算値とほぼ同様の値を示し、表面にUD材を配置することでR-CF不織布単体と比較し、高い補強効果を確認することができた。一方、UD材を多く配置したH1の実験値は計算値よりも大幅に小さく、UD材の積層効果は得られていないのがわかる。

曲げ変形において作用するせん断力Qによる矩形断面のせん断応力は式(4)で表すことができるが、中立軸で最大値を示し、中立軸からの距離 y_1 (図25)が大きいほど小さくなる。つまり、UD材が厚いほど、R-CF不織布材料との層間におけるせん断応力は大きくなって層間剥離が生じ、補強効果が得られなかったと考えられる。

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} \left\{ 1 - \left(\frac{2y_1}{h} \right)^2 \right\} \quad \text{--- (4)}$$

4 結 言

低コストで優れた曲げ特性を有するバネ材料の開発を目指し、表層は一方向の連続した炭素繊維、内側は不織布状のリサイクル炭素繊維からなる層による材料を作製し、各層およびサンドイッチ構造の材料の曲げ特性について評価した。以下に得られた成果の概要を示す。

(1) 炭素繊維とナイロン66糸からなる複合糸の織物でUD材を成形したが、相溶化剤を添加することで、曲げ強度1300MPa以上、曲げ弾性率120GPa以上の優れた機械的特性を有する材料を作製することができた。

(2) R-CFとナイロン66繊維からなる不織布で成形する材料は、UD材よりも高い成形圧力が必要である。また、相溶化剤の添加効果は少なかった。

(3) サンドイッチ構造の表層のUD材は厚いと層間剥離を起こすが、薄ければ剥離を起こさず高い補強効果が得られた。また、複合則で曲げ強度および曲げ弾性率を算出したところ、計算値と実験値は近い数値となり、その効果が明らかとなった。

参 考 文 献

1) <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1707/21/news040.html>.

- 2) 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 24, No. 5, pp. 371 - 378, 2013
- 3) 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 29, No. 2, pp. 133 -141, 2018
- 4) ケミカル・エンジニアリング (化学工業社出版), Vol.57, No.5, pp23-29(2012)
- 5) 「炭素繊維 製造・応用技術の最前線」((株)シーエムシー出版), pp148-156 (2013)
- 6) 「熱可塑性CFRP技術集 ー材料・成形・加工・リサイクルー」(サイエンス&テクノロジー(株)出版), pp129-147(2015)
- 7) “CFRPの繊維/樹脂界面制御と成形加工技術”, 技術情報協会(2015)
- 8) 日本複合材料学会誌, Vol.22, No.1, pp.19-25 (1996)

謝 辞

炭素繊維複合糸および織物試作に関して、宮田布帛(有)の宮田泰次氏および藤邦織物(株)の藤井国男氏にご支援を受けました。記して謝意を表します。

多点同時糸長計測システムの開発

藤田浩行

要旨 炭素繊維複合糸からなる複合材料開発は、複合糸の段階で炭素繊維と母材樹脂との比率を制御できる特徴があるが、糸の作製条件により変化してしまう。そこで、複合糸作製時に両者の比率を把握できるよう、各糸の測長を同時に正確に計測できるシステムの開発を行った。その結果、測長時の張力による影響を定量的に評価し、巻取条件に応じた測長条件をシステムに入力することで、繊維の重量誤差を最小とするシステムを開発することができた。また、具体的な測長実験を実施することでシステムの妥当性を確認した。

1 緒 言

炭素繊維強化複合材料を構成する炭素繊維と樹脂の比率は複合材料の機械的特性に大きな影響を与える。当所らが開発した炭素繊維と合成繊維からなる複合糸で成形する材料¹⁻³⁾は、各繊維の重量割合が複合材料の比率となる。これまで複合糸の規格（太さ、比重、本数）や製造条件（巻縫いピッチ、糸張力）と得られた複合糸の単位長さ当たりの重量や炭素繊維の含有率との関係を実験的に評価することで、規格や条件を決定していた。しかし、糸の太さや平滑性および巻縫いピッチ等が異なれば、糸の走行長に影響を与え、重量比率が変化する。

そこで本研究では、炭素繊維と合成繊維の重量比率が評価できるよう、多点で同時に構成糸の長さが正確に測定できるシステム開発を目的とした。

2 開発システム

2.1 システム構成の検討

図1に炭素繊維とナイロン6等の熱可塑性樹脂繊維からなる複合糸のモデルを、図2に炭素繊維にナイロンモノフィラメントを巻き縫いした複合糸の試作例を示す。縫合糸および引き揃え糸に用いる樹脂繊維は成形時、加熱溶融、固化することで炭素繊維強化複合材料におけるマトリックス（母材）となるが、炭素繊維との比率は機械的特性に大きな影響を与える⁴⁾。各糸の単位長さ当たりの重さが分かれば、構成糸の長さを正確に計測することで、両者の比

率を算出することができる。

複合糸の縫合糸は3本で構成され、図3のオーバロックミシンの親針、上ルーパー、下ルーパーの各針に通されるが、動きやストロークが異なるため、走行する糸の長さは異なる。一方、引き揃え糸は、炭素繊維と平行に並んだ状態で巻き縫いされる。したがって、糸長を同時計測する糸として、縫合糸の3本と複合糸の長さを正確に測定できればよい。糸長の測定は、糸走行により回転するロータリーエンコーダーの発振パルス数とガイドローラーの直径により算出できる。用いたロータリーエンコーダーは、湯浅糸道工業（株）製（図4）で、ローラー1回転で2パルス発振する。糸走行に伴ってローラーが回転するが、糸とローラーで滑りを防止するため、ウレタンゴム製のものを使用した。

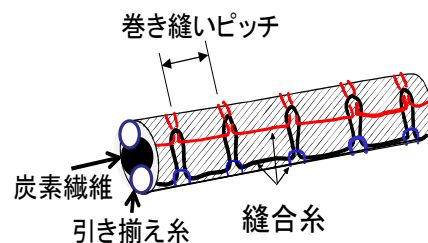


図1 複合糸のモデル

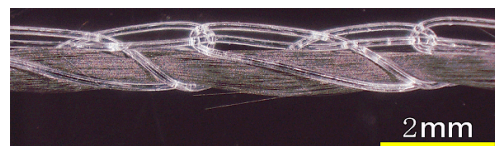


図2 複合糸の試作例

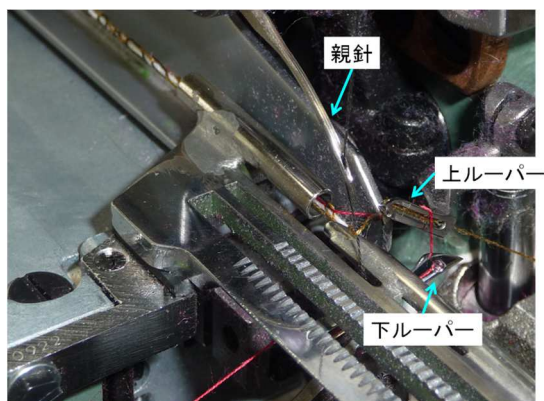


図3 オーバロックマシンを構成する3本の針

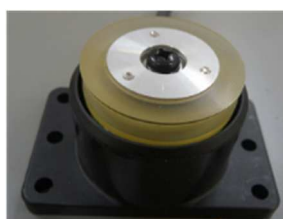


図4 ロータリーエンコーダー

2.2 システム構成

2.2.1 測長部

本研究で開発したシステムの外観を図5に示す。ヤーンスピードセンサー（ロータリーエンコーダー）から発振されるパルス数は、センサー毎に電子カウンター（H7CX-AD-N；オムロン(株)製）への入力とカウンターターボード（PCI-6201E；(株)インターフェイス製）を経てPCに入力した。なお、カウンターボードのチャンネル数は4チャンネルであるため、1枚のボードで最大4カ所同時に測長できる。なお、増設することで同時計測可能な点数を増やすことはできる。

2.2.2 測長表示とデータ処理部

各糸の測長データは電子カウンターにより確認できるが、設定した糸長（上限カウント数として）に達すると、電子カウンターからの信号によりミシンのモータを停止する。また、PCモニターで測長および糸速度のオンラインでのモニタリングとそれらの経時変化をファイルへ保存できるシステムとした。

図6に測長条件の設定画面を示す。測長するセンサーの指定と、計測時間、サンプリング間隔および1パルスに相当する糸長を入力する。

また、モニタリング画面での糸速度の表示においては、計測開始からの平均速度もしくは一

定時間毎の速度表示かを選択できる。なお、図6の設定値は、後述する”3.2 速度変化による測長”に用いた数値であり、実験直後のモニタリング画面が図7である。計測中は、チャンネル毎の総カウント数と総長(m)および糸速度がモニタリングできる。計測終了後は、各センサーの測長データをテキスト形式で保存できる。なお、開発には付属のActiveXコントロールなどを活用してプログラム作成した。



図5 開発システムの外観

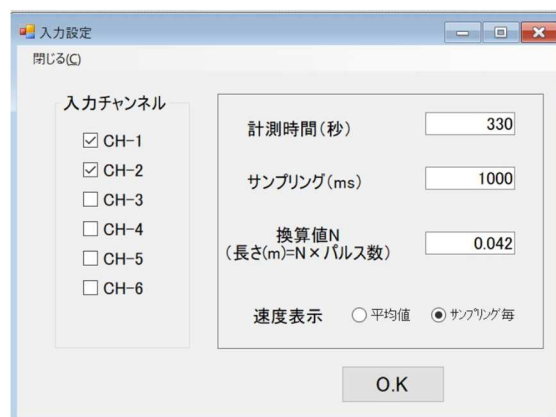


図6 測長条件の設定画面



図7 測長時のモニタリング画面

3 開発システムによる測長実験

3.1 測長精度の検証

図8はミシンに取り付けたヤーンスピードセンサーのガイドローラーを糸が走行する様子である。ガイドローラーのV溝に沿って糸が走行する際、摩擦でローラーが回転することでパルスを発振して測長する。つまりガイドローラーが1回転したときの糸の走行長さを正確に知ることが必要である。

図9にガイドローラーの外形図を示す。V溝の外径は25mmである。V溝を糸が走行する際、25mmよりも大きな外径で接触する。図10は実験に用いた直径0.13mmの糸をV溝へ接触させたイメージである。V溝の角度と糸の太さから溝との接触位置を算出することは容易であるが、実際には糸張力の大小による接触領域の変化や糸の挙動の影響、さらにウレタンゴム製のガイドローラーの寸法精度もガイドローラー1回転における糸の走行長さに影響すると考えられる。つまり、各条件に応じた見掛けの接触外径 Dr を正確に知ることが必要である。

しかし、走行時の接触外径 Dr を知ることは困難である。単位長さ当たりの重量および断面形状が均一な糸を用いることで、走行時のパルス

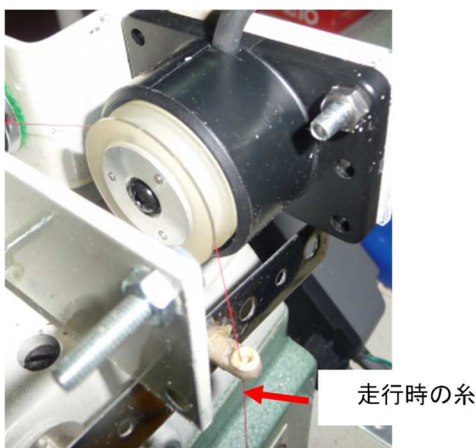


図8 走行時の糸

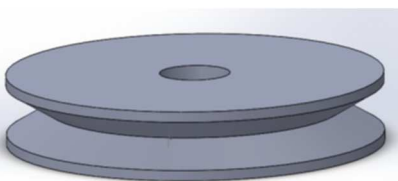


図9 ガイドローラー

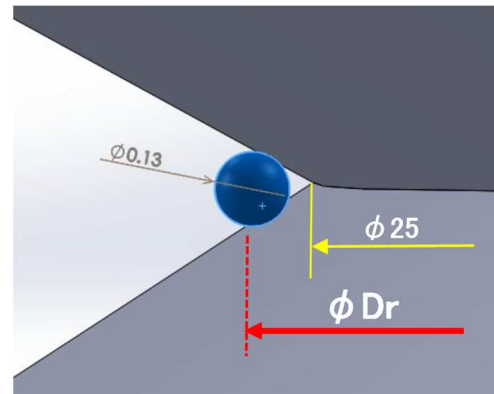


図10 ガイドローラーV溝への糸の接触

数と糸の重量の関係から糸長を算出し、それから接触外径 Dr を評価できると考えた。

炭素繊維複合糸を構成する炭素繊維と樹脂繊維の長さは、各繊維の太さの影響もあるが樹脂繊維は、炭素繊維の約5～6倍の長さで構成されている。したがって、複合糸作製時の樹脂繊維の長さの精度が両者の比率に大きく影響する。そこで、検証実験では実際に使用しているナイロン6のモノフィラメント糸(126D)を用いた。単位長さ当たりの重量および断面形状は均一であることは、これまでの研究で明らかとなっている。なお、糸の太さの単位であるD(デニール)は長さ9,000m当たりの重量で示す単位であり、X(g)の場合Xデニールという。

検証実験の装置の外観を図11に示す。ナイロン6糸は、ヤーンスピードセンサーのガイドローラーを走行、糸張力計で走行時の張力を計測しながら糸巻取ローラーで巻き取られる。なお、糸張力は、糸張力調整部による締め付け摩擦で張力調整する。巻き取り速度は、13.5m/minとした。

実験は、巻き取りを停止するカウント数を3段階、糸張力を3段階変化させて巻き取った。なお、平均張力は、最小張力の10倍、40倍となるように調整した。図12に張力毎の計測時の変化を示す。各条件の試験回数は5回とした。

表1 測長精度の実験条件と試験回数

巻取りカウント数	200	500	1000
平均	1.5	5	5
糸張力	15	5	5
(cN)	60	—	5

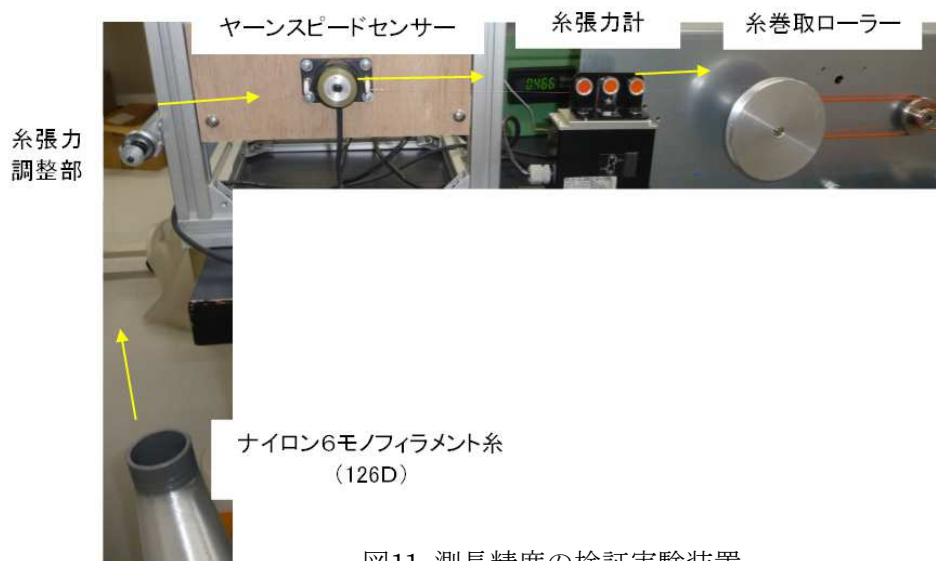
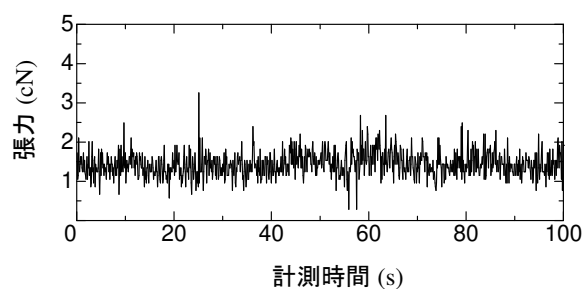
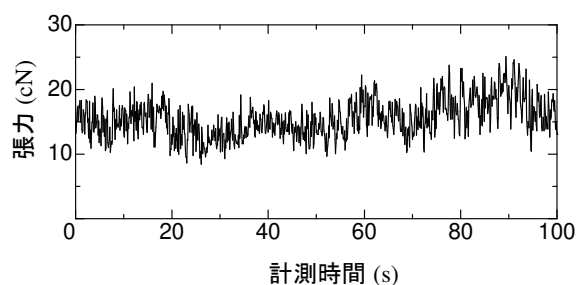


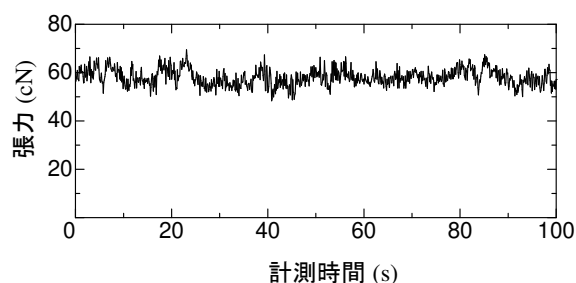
図11 測長精度の検証実験装置



(a) 平均張力1.5cN



(b) 平均張力15cN



(c) 平均張力60cN

図12 検証実験における糸張力

巻き取りにおけるパルスのカウント数と糸重量の関係について、5回の平均値を図13にプロットした。張力の大きい方が同じカウント数で

も重量は小さくなった。1カウント当たりの糸重量を、張力1.5cNのとき100%とした場合、張力毎に百分率で示す(表2)。その結果、15cNは1.5cNよりも2~3%重量が小さくなっている。また、60cNの場合は、4%小さくなった。この重量変化は接触領域の変化だけでなく、張力による糸の伸びの影響なども考えられる。糸の強伸度特性や張力毎の接触外径 D_r がわかれば補正することができる。これについては以降で考察する。

また、図13のパルス数と糸重量の関係について最小二乗法により原点を通過する直線で近似したが、すべての張力において相関係数はほぼ1.0となった。小さなパルス数であっても高い精度で巻き取りできていることが確認できた。

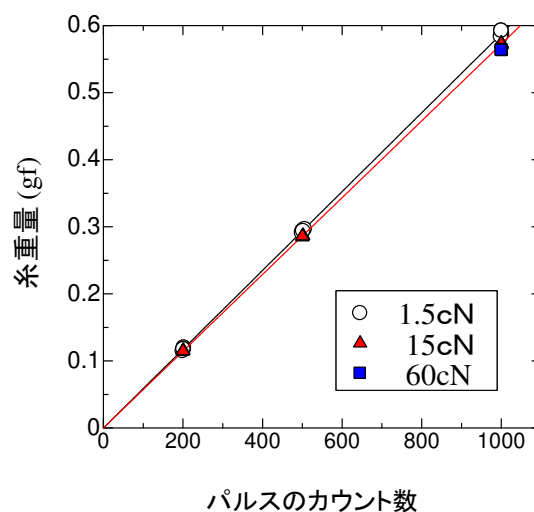


図13 張力毎のパルス数と糸重量の関係

表2 カウント数当たりの糸重量の変化

巻取りカウント数		200	500	1000
平均	1.5	100%	100%	100%
糸張力	15	97.97%	97.61%	97.37%
(cN)	60	—	—	95.70%

本研究では、複合糸における樹脂繊維の重量を糸の長さから換算することで炭素繊維との重量比率を算出することを目的としているため、パルス数から正確に糸の重量に換算できる見掛けの接触外径 D_r を算出できれば良い。

接触外径 D_r (mm)の場合、ガイドローラーの円周長さは πD_r となる。1回転で2パルス発生するから、入力パルス数 N の場合、糸長 L_p (m)は式(1)となる。また、デニールの定義から重量 W_p (g)は、式(2)で算出できる。

$$L_p = \frac{\pi D_r N}{2000} \quad \text{----- (1)}$$

$$W_p = \frac{126 L}{9000} \quad \text{----- (2)}$$

式(3)のように、表1の各条件で測定した糸重量 W_1 (g)と W_p (g)の重量誤差 E (%)が最小となる D_r (mm)を、各条件の見掛けの接触外径と設定することで、正確な重量が算出できることになる。

$$E = \frac{100(W_1 - W_p)}{W_1} \quad \text{----- (3)}$$

図14に見掛けの接触外径 D_r と重量誤差 E との関係について示す。張力が大きいほど D_r は小さくなっている。張力毎の直線と x 軸との交点($E=0$)座標が本実験条件における見掛けの接触外径 D_r となる。表3にその結果を示す。これらの数値を用いることでパルス数から算出する W_p を正確に得ることができる。

表3 張力毎の見掛けの接触外径 D_r

張力(cN)	1.5	15	60
接触外径 D_r (mm)	26.74	26.06	25.61

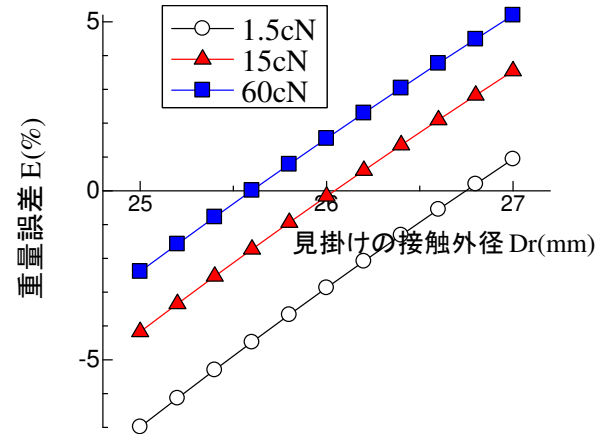


図14 見掛けの接触外径と測長実験における重量誤差との関係

3.2 速度変化による測長

図5～7で示したようにヤーンスピードセンサーのパルス数からパソコンでの測長モニタリングやその経時的な変化をパソコンへデータ保存できることを紹介した。ここでは、実際の使用を想定して速度変化しながら測長実験を実施した。

図15の糸巻取ローラーの回転速度は、プーリー径が異なるため、ローラーAはローラーBの2倍となる。ただし、糸巻取ローラーの溝に糸を巻き進めると糸の上に重ねて巻くことになるため巻取時の外径は大きくなる。そこで外径変化がほぼない時間で実験を実施した。

使用糸や計測条件は表4のとおりである。使用糸はヤーンスピードセンサーのガイドローラーを通過後、糸巻取ローラーで巻き取られる。糸張力は1.5cNであるため、ガイドローラーの見掛けの接触外径 D_r は26.74mm(表3)で、その外周長84.01mmの半分が1パルス当たりの糸長に値する。なお、同時に2本の糸を測長するため、データ入力2チャンネルとなる。これらの条件は図6に示すとおりである。



図15 測長実験における2つの糸巻取ローラー

なお、糸巻取速度は図16のようにステップ変化を試みたが、速度変更はマニュアルで実施したため、瞬時に次ステップへの速度変更はできていない。また、図16は巻取ローラーAの速度であるため、ローラーBはその半分になる。

測長実験により保存したデータから、各ローラーの糸巻取総長の時間的な変化を図17に示す。時間の経過にしたがって増加しているが、その増加率は図16の速度変化に伴うものである。また、ローラーAの半分の値を点線で示したが、ローラーBとはほぼ同じ数値を示している。巻取速度の比率のとおりに巻き取られていることが確認できる。

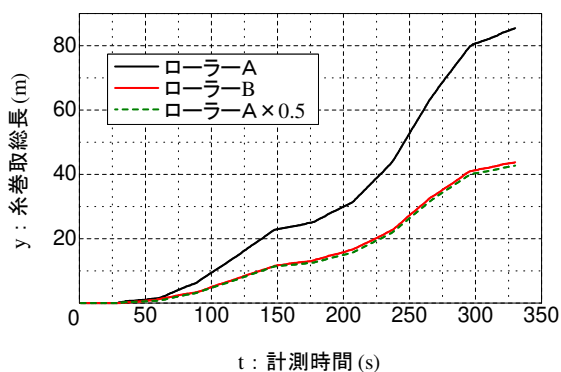


図17 各ローラーの糸の巻取総長の変化

図17のローラーAについて、計測時間 t と巻取総長 y の関係から巻取速度 V_t を式(4)により算出した。なお、 $\Delta t (=t_2 - t_1)$ は5sとした。図18に換算した巻取速度を示す。マニュアルによる速度変更であるため、変動はあるものの設定速度とほぼ同じように推移しており、速度変化があっても高い精度で測長できていることが確認できた。

$$V_t = \frac{y(t_2) - y(t_1)}{t_2 - t_1} \quad \text{----- (4)}$$

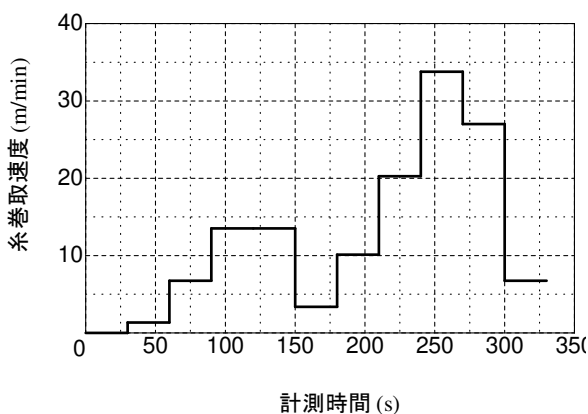


図16 糸巻取ローラーAの糸巻取速度の変化

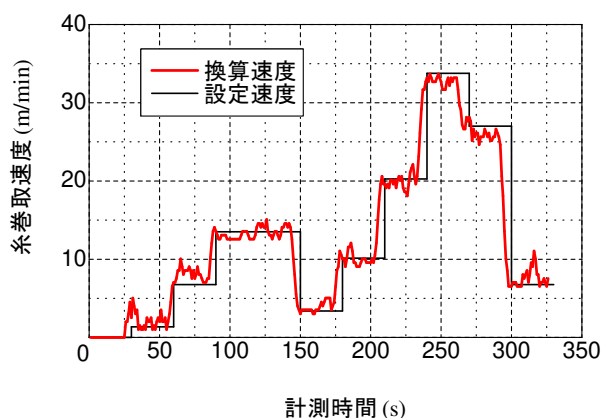


図18 巻取総長（ローラーA）から換算した巻取速度

4 結 言

炭素繊維複合糸からなる複合材料開発は、糸の設計段階で炭素繊維と母材樹脂との比率を制御できる特徴があるが、巻き縫いピッチや通過する針および糸の滑りなどの影響を受け、複合糸における炭素繊維と樹脂となる繊維の比率が変化する。

そこで本研究では、両者の比率を把握できるよう、複合糸作製において同時に各糸の測長を正確に計測できるシステムの開発を行った。

測長時の張力による影響を定量的に評価し、巻取条件に応じた測長条件を入力することで、繊維の重量誤差を最小とするシステムができた。また、具体的な測長実験を実施することでシステムの妥当性を確認した。

参 考 文 献

- 1) ケミカル・エンジニアリング（化学工業社出版），Vol.57, No.5, pp23-29 (2012)
- 2) 「熱可塑性CFRP技術集 ―材料・成形・加工・リサイクル―」（サイエンス&テクノロジー（株）出版），pp129-147 (2015)
- 3) 「炭素繊維 製造・応用技術の最前線」（（株）シーエムシー出版），pp148-156(2013)
- 4) 材料，Vol.23, No.254, pp960-965 (1974)

謝 辞

ヤーンスピードセンサーの活用に関して、湯浅糸道工業（株）の神野亮博士にご支援を受けました。記して謝意を表します。

静電噴霧法を用いた樹脂加工技術の開発法の開発

中野 恵之

要旨 静電噴霧法は静電気力を応用した精密なコーティング技術で、噴霧条件によって薄膜や粒状、または微細繊維を製造する技術である。高分子を溶剤に溶かし高電位をかけたキャピラリー中を移動させ静電噴霧させることにより様々な加工ができる。本研究では実用化を目的とした試料作製と試験を検討した。洗濯後に105℃の乾燥機にて乾燥した後、はっ水度試験を行った結果、加工面は撥水性を示し裏面は水滴の付着が見られ濡れることが確認できた。また、この試料は裏面が濡れても未加工布と比べて染みが目立たなかった。

1 目 的

静電噴霧法は静電気力を応用した精密なコーティング技術で、噴霧条件によって薄膜や粒状、または微細繊維を製造する技術である（図1参照）。高分子を溶剤に溶かし高電位をかけたキャピラリー中を移動させ静電噴霧させることにより様々な加工ができる。

本研究では、架橋剤の効果を期待した薄い被膜をデザイン性の高い播州織物の表面に付与させる加工技術開発を目的とする。これにより加工剤使用量の削減や加工処理エネルギーの削減を試みる。これまでの研究において布片面に撥水加工する技術開発（図2参照）を行うことに成功し、摩擦堅牢度試験の湿潤条件での耐久性も向上した。本研究では実用化を目的とした試料作製と試験を検討した。¹⁻²⁾

2 実験方法

2.1 評価試料の試作

実用化試験のために試験に適応した試料を作成し、「JIS L 1930 繊維製品の家庭洗濯試験方法」および「JIS L 1092 はっ水度試験（スプレー試験）」にて評価した。大原パラジウム化学㈱製の撥水加工剤AF900及び架橋剤PG11を10:1に配合し純水で16倍に希釈して加工剤を調整した。基布は（財）日本規格協会の綿添付白布（かなきん3号）、目付100g/m²を25cm四方にて使用した。ノズル間距離50cm、電圧20kV、ノズル径27Gを5本使用で加工試験した。試験布は直径95mmのアースをとった金属棒に付けて200rpmで回転させ

た。加工後の試料は105℃で乾燥後に3分間150℃で処理した。

2.2 洗濯試験

洗濯試験（JIS L 1930 C4N法に準拠）は、40℃×40L×15分にて市販洗剤を使用し、すすぎ2回、脱水3分処理にて行った。

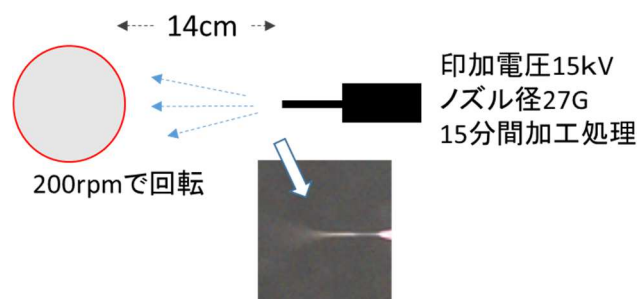


図1 静電噴霧法の概要

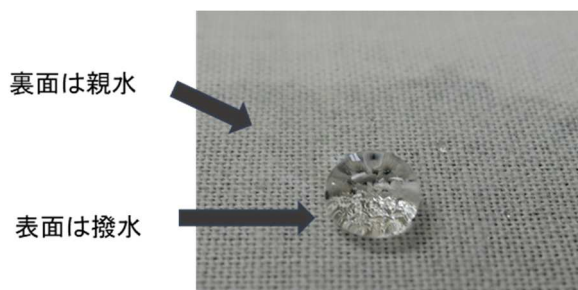


図2 片面撥水处理布



図3 撥水性の評価試験方法



図4 はっ水度試験結果
(左：加工表面、右：裏面)

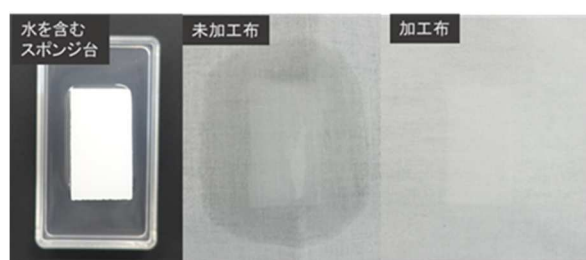


図5 シミを軽減させる効果の確認
(水を含んだスポンジ上に生地を置いた)

2.2 はっ水度試験結果

洗濯試験を行った後に、はっ水試験（JIS L 1930 繊維製品の家庭洗濯試験方法）および「JIS L 1092 はっ水度試験（スプレー試験）」を行った結果、撥水性持続の確認ができた。

2.3 汗シミ模擬試験

水を含んだスポンジの上に生地を置いた様子を観察した結果を図5に示す。この試料は裏面が濡れても視覚的に染みが目立たなくなることが確認できた。

3 結果と考察

ノズルを5本使用した静電噴霧加工により目付100g/m²で25cm四方が均一に加工された添付白布の試作に成功した。その試料を洗濯後に105℃の乾燥機にて乾燥した後、はっ水度試験を行った結果、加工面は撥水性を示し裏面は水滴の付着が見られ濡れることが確認できた（図3参照）。また、この試料は裏面が濡れても未加工布と比べて染みが目立たなかった。

4 結 論

実用化試験のためノズル5本使用にて25cm四方の片面撥水加工試料が作成可能であることが確認できた。その試料について「JIS L 1930 繊維製品の家庭洗濯試験方法」を行った後に「JIS L 1092 はっ水度試験（スプレー試験）」を行った結果、加工表面にて撥水性持続の確認ができた。この試料は裏面が濡れても視覚的に染みが目立たなくなることを確認した。

今後、さらに最適な加工条件を探索し、加工時間の短縮化を検討する。

参 考 文 献

- 1) 中野恵之，繊維学会予稿集，Vol. 74，No. 2，（秋季研究発表会）2P16（2019）
- 2) 中野恵之，繊維学会予稿集，Vol. 76，No. 1，（年次大会）3D08（2021）。

（問合せ先 中野恵之）

研究報告既刊一覧

No. 1	(1965年 8月)	No. 27	(1995年10月)
No. 2	(1966年 5月)	No. 28	(1996年10月)
No. 3	(1997年 6月)	No. 29	(1997年10月)
No. 4	(1968年 8月)	No. 30	(1998年11月)
No. 5	(1969年 8月)	No. 31	(2000年 1月)
No. 6	(1970年 8月)	No. 32	(2001年 1月)
No. 7	(1971年 6月)	No. 33	(2002年 2月)
No. 8	(1972年)	No. 34	(2003年 3月)
No. 9	(1973年)	No. 35	(2004年 3月)
No. 10	(1974年)	No. 36	(2004年11月)
No. 11	(1975年)	No. 37	(2005年11月)
No. 12	(1976年)	No. 38	(2006年11月)
No. 13	(1977年)	No. 39	(2007年11月)
No. 14	(1978年10月)	No. 40	(2008年11月)
No. 15	(1979年10月)	No. 41	(2009年12月)
No. 16	(1980年10月)	No. 42	(2011年 3月)
No. 17	(1981年10月)	No. 43	(2012年 3月)
No. 18	(1982年10月)	No. 44	(2013年 2月)
No. 19	(1983年10月)	No. 45	(2014年 3月)
No. 20	(1984年10月)	No. 46	(2014年12月)
No. 21	(1985年10月)	No. 47	(2015年12月)
No. 22	(1986年10月)	No. 48	(2017年 2月)
No. 23	(1987年10月)	No. 49	(2018年 3月)
No. 24	(1988年10月)	No. 50	(2019年 3月)
No. 25	(1989年10月)	No. 51	(2020年 2月)
No. 26	(1990年10月)	No. 52	(2021年 3月)

研究報告(第53号)

令和4年3月5日発行

編集 兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター
発行 〒677-0054 兵庫県西脇市野村町1790-496
TEL (0795) 22-2041 FAX (0795) 22-3671