

# コミングル繊維の均一混織技術の開発

長谷部裕之\* 森大介\* 奥村航\*\* 木水貢\*\* 神谷淳\*

熱可塑性繊維強化複合材料の含浸性向上を目的に、ナイロン6樹脂を繊維化(以下、PA繊維)し、アラミド繊維及び炭素繊維との均一混織技術について検討した。アラミド繊維は、サイジング剤を除去した後、PA繊維と空気混織法によりコミングル繊維を試作した。フィード率の増加に伴い、混織状態が良好なコミングル繊維が得られた。一方、炭素繊維は開織した後、PA繊維と水中で超音波振動を加えることでコミングル繊維を試作した。本手法により、炭素繊維の毛羽が少なく混織状態が良好なコミングル繊維が得られた。また、試作したコミングル繊維をプレス成形し、得られたCFRP試料について断面観察及び引張試験をした。その結果、混織状態が良好になるとCFRPの含浸性が向上し、力学的特性が高くなった。

キーワード: ナイロン6繊維, アラミド繊維, コミングル繊維, 炭素繊維強化複合材料

## Development of a Uniformly Mixed Fiber Technology for Commingled Yarn

Hiroyuki HASEBE, Daisuke MORI, Wataru OKUMURA, Mitsugu KIMIZU and Jun KAMITANI

The purpose of this study is to improve resin impregnation of fiber-reinforced composite material. We investigated a method of uniformly mixing method of polyamide 6 fiber / aramid fiber and polyamide 6 fiber / carbon fiber. After the sizing agent had been removed from the aramid fiber, the air composite method was used to prepare commingled yarn with aramid fiber and polyamide 6 fiber. The quality of the commingled yarn improved as the feed rate increased. After the carbon fibers were opened, the ultrasonic vibration method was used to prepare comingled yarn with carbon fiber and polyamide 6 fiber. This method produces good-quality commingled yarn that is free of carbon fiber fluff. Press molding was used to prepare CFRP samples with commingled yarn (Polyamide 6 fiber / carbon fiber). Cross-sections of the CFRP samples were observed, and mechanical properties were examined by means of a tensile test. The mechanical properties of the CFRP samples were enhanced with improved resin impregnation.

Keywords : polyamide 6 fiber, aramid fiber, commingled yarn , carbon fiber-reinforced composite material

## 1. 緒 言

繊維強化複合材料(以下、FRP)を用いた成形品は、軽くて強いという特徴をもち、錆びないことから鋼材に替わる材料として注目を集めている。特に、成形サイクルの短縮やリサイクル性の良さから、熱を加えると柔らかくなる熱可塑性樹脂を用いたFRPの開発が盛んに進められている<sup>1),2)</sup>。この熱可塑性樹脂は、従来の熱硬化性樹脂に比べ、融けたときの粘度が高く、強化繊維間内部まで浸透(含浸)しにくい。そのため、成形後のFRP中に未含浸(ボイド)が発生し易く、FRPの強度を十分に発現できないという課題がある。

そこで、この課題を解決する手法の1つとして、強化繊維と熱可塑性樹脂繊維を混ぜ合わせた混織糸(以

下、コミングル繊維)を用いる手法<sup>3)</sup>が提案されている。この手法は、予め強化繊維と熱可塑性樹脂繊維を混ぜ合わせることで、強化繊維と熱可塑性樹脂繊維との距離が短くなる。その結果、熱可塑性樹脂繊維を溶融させFRP化する際、強化繊維への熱可塑性樹脂の含浸性を向上させる方法である。このコミングル法では、熱可塑性樹脂繊維が多くの強化繊維に隣接しているほど含浸性が向上するため、コミングル繊維内部まで均一に混ぜ合わせることが重要である。

そこで本研究では、アラミド繊維と炭素繊維の2つの強化繊維とPA繊維を用いた均一混織技術について検討した。さらに、得られたコミングル繊維をFRP化して、含浸性と力学的特性について評価した。

\*繊維生活部 \*\*企画指導部

## 2. 実 験

### 2. 1 ナイロン6樹脂の繊維化

熱可塑性樹脂繊維として、ナイロン6樹脂(東レ(株)・アミランCM1006)をマルチフィラメント製造装置(ユニプラス(株))を用いて、紡糸温度260℃、吐出量12.7 g/min、96 holeのノズルより押し出し、巻取り速度292 m/minで巻取った。その後、3.1倍に延伸することで146 dtexのナイロン6繊維(以下、PA繊維)を作製した。

### 2. 2 サイジング剤の除去

アラミド繊維(帝人(株)・テクノーラ 220 dtex/65f)及び炭素繊維(東レ(株)・T300-3K)を超音波発生装置(日本エマソン(株)・Branson8510)で超音波を発生させている水槽中に連続的に送り出し、水槽中を20s通過させることでサイジング剤の除去を行った。処理前と処理後の各繊維に付着しているサイジング剤の量を、アセトン溶媒を用いたソックスレー法で確認した。

### 2. 3 コミングル繊維の試作

#### 2. 3. 1 アラミド繊維/PA繊維の混織

上記のアラミド繊維とPA繊維を用いて、空気混織法によるコミングル繊維を試作した。図1に示すエアジェット式コンポジットワインド装置(中越機械(株)・MT-CW型)を用い、糸速50 m/min、撚数60 T/m、空気圧0.8 MPaとし、送り速度と巻き取り速度の比(フィード率)を0~5%に変化させて試料を試作した。

#### 2. 3. 2 炭素繊維/PA繊維の混織

2.2の炭素繊維とPA繊維をそれぞれ空気により開織した後、水中で超音波振動による混織でコミングル繊維を試作した。図2に装置の模式図を示す。水槽中を走行中の炭素繊維にPA繊維を添わせ、超音波発生装置(日本エマソン(株)・Branson8510)により超音波振動を加えた後、巻き取りローラーにて速度1 m/minで連続的に巻き取った。

### 2. 4 コミングル繊維の混織評価

コミングル繊維を4本束にし、収縮チューブで固定した後、デジタルマイクロスコープ((株)キーエンス製)を用い、断面画像を観察した。また、コミングル繊維内の各繊維の混ざり合いを表す指標として、岐阜大学の仲井らが提案<sup>4)</sup>している混織率により評価した。図3に示す様に45°間隔で、繊維断面の中心を通る直線上に存在する強化繊維の集団の長さ( $a_i$ )と樹脂繊維

の集団の長さ( $b_i$ )と、次の(1)~(3)の公式により算出した。

$$A = \left[ 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \right) \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

$$B = \left[ 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n} \right) \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{混織率(\%)} = \frac{(A+B)}{2} \quad (3)$$



(a)装置外観 (b)空気ノズル  
図1 エアジェット式コンポジットワインド装置

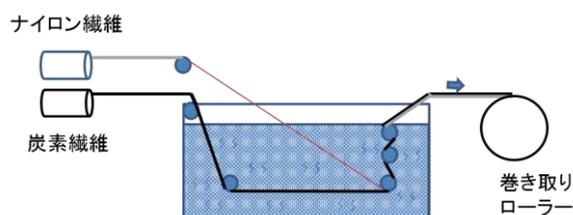
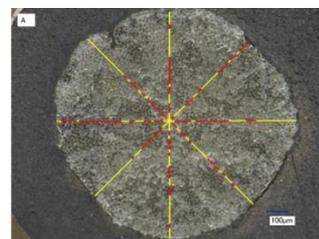


図2 超音波混織装置の模式図



—強化繊維(a) —樹脂繊維(b)

図3 コミングル繊維の混織率評価

### 2. 5 プレス成形によるCFRP化と評価

上記のコミングル繊維(炭素繊維/PA繊維)をステンレス板に巻きつけ、ステンレス板ごとホットプレスすることにより炭素繊維強化複合材料(以下、CFRP)を試作した。ステンレス板は、150 mm角、厚さ1 mmであり、繊維を巻き付ける前に離型剤を塗布した後、8 mm幅に6本になるように巻き付けた。樹脂の溶融は、マッフル炉(ヤマト科学(株)・F0300)で260℃、20 min加熱後、43 N荷重を加え、成形した。得られたCFRPは、万能試験機((株)島津製作所・AG100KN plus)を用い、つかみ間隔50 mm、試験速度1 mm/minで引張荷重を加

え、引張強度および引張弾性率を測定した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 サイジング剤の除去の評価

強化繊維には、製織等の取り扱いを考慮して平滑性や収束性を向上させるためにサイジング剤(糊剤)が塗布されている。サイジング剤が塗布されていると、混織時に各繊維1本1本が分離されず、繊維同士が均一に混ざり合わない。そこで、サイジング剤の除去を目的として超音波処理を行った。表1に、除去前と除去後の各強化繊維のサイジング剤の量を示す。各繊維とも処理前に比べ処理後のサイジング剤の量が減少した。サイジング剤の量より除去した割合を算出すると、アラミド繊維が56%、炭素繊維が18%除去された。

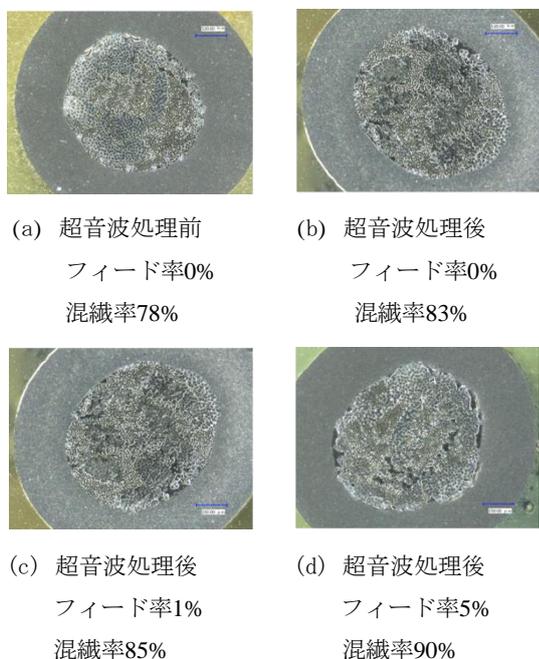


図4 コミングル繊維(アラミド繊維/PA繊維)の断面画像と混織率

表1 強化繊維のサイジング剤量

	サイジング剤量(%)	
	アラミド繊維	炭素繊維
処理前	2.21	1.27
処理後	0.98	1.04

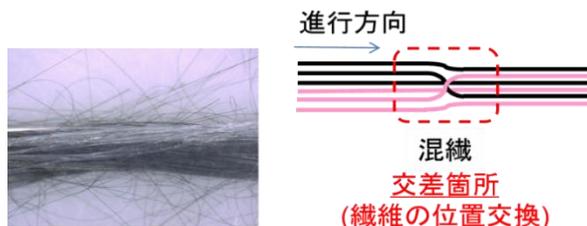
#### 3.2 アラミド繊維/PA繊維の評価

コミングル繊維(アラミド繊維/PA繊維)の断面画像と混織率を図4に示す。フィード率は、送り出し速度と巻き取り速度の比率を表している数値であり、フィード率が大きくなると送り出し量が多くなるため、空気ノズル内で繊維に緩みが生じる。このフィード率と超音波処理の有無について検討した結果、フィード率0%において、超音波処理前が混織率78%、処理後が、混織率83%となり、サイジング剤を除去することで混織率が向上した。また、フィード率に注目すると、フィード率が大きくなるに伴い、混織率も大きくなり、フィード率5%で混織率90%が得られた。このことから、サイジング剤を除去し、混織時に繊維に緩みがあることで、繊維同士が混織し易くなり、コミングル繊維の混織率が向上した。

#### 3.3 炭素繊維/PA繊維の混織の評価

図5に炭素繊維を用いて空気混織により試作したコミングル繊維の表面画像を示す。図5(a)より試作したコミングル繊維の表面に、毛羽(単繊維切れ)が生じている。この毛羽は、炭素繊維がアラミド繊維に比べ剛直であることから、図5(b)に示す様に炭素繊維がPA繊維と交差し、繊維が切れることで発生したと考えられる。そこで、毛羽の発生を抑制するため、炭素繊維とPA繊維をそれぞれ空気により開織することで、各繊維を薄く広げ、繊維を水中で超音波振動を加えて混織した。図6に試作したコミングル繊維の表面画像を示す。上記の方法を用いることで毛羽の少ないコミングル繊維が得られた。

また、図7にコミングル繊維の断面画像と混織率を併せて示す。作製したコミングル繊維(炭素繊維/PA繊維)の混織率は87%となった。また、炭素繊維とPA繊維との引き揃え糸と比較したところ、引き揃え糸の混織率は68%となり、今回の超音波での混織手法を用いることで、高い混織率が得られた。



(a) コミングル繊維の表面画像 (b) 混織のメカニズム

図5 空気混織法によるコミングル繊維(炭素繊維)

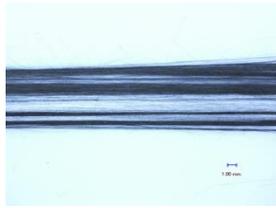
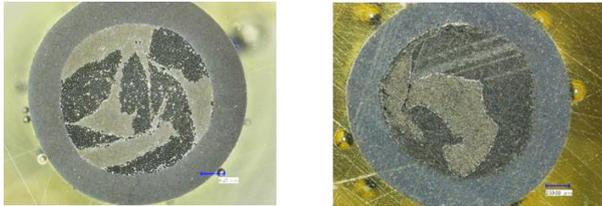
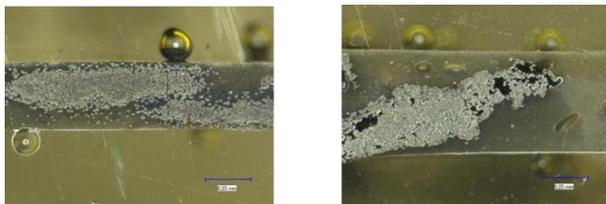


図6 超音波振動法によるコミングル繊維  
(炭素繊維)の表面画像



(a) コミングル繊維  
混繊率87%  
(b) 引き揃え糸  
混繊率68%  
図7 コミングル繊維(炭素繊維/PA繊維)の混繊率



混繊率87%  
混繊率68%  
図8 CFRPの断面画像(倍率200倍)

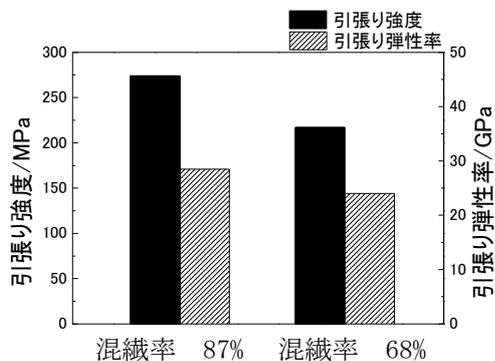


図9 CFRPの引張り強度と弾性率

### 3. 4 CFRPの含浸性と力学的特性

本研究では、混繊率の違いによる含浸性の評価として混繊率68%と87%のコミングル繊維(炭素繊維/PA繊維)をプレス成形に用いた。図8にCFRPの断面画像を示す。CFRP内の黒い部分はボイドを表している。混繊率68%の繊維から試作したCFRPには、炭素繊維間のボイドが確認できる。一方、混繊率87%の繊維から試

作したCFRPは、ボイドが少なく、繊維内部まで樹脂が含浸していた。また、図9に試作したCFRPの引張試験の結果を示す。2つのCFRPを比較すると、引張り強度と引張り弾性率はともに混繊率87%の繊維から試作したCFRPの方が高くなった。これらの結果から混繊率が高い繊維を用いることにより、成形時の含浸性が向上し、CFRPの力学的特性が高くなった。

## 4. 結 言

本研究では、PA繊維とアラミド繊維及び炭素繊維を用いて、コミングル繊維を均一に混ぜ合わせる技術について検討した。また、コミングル繊維(炭素繊維/PA繊維)を用いてCFRPにしたときの含浸性と力学的特性を評価した結果、以下の知見を得た。

- (1) アラミド繊維とPA繊維を用いて、空気混織した結果、フィード率を大きくすることで、混繊率が向上し、フィード率5%の時、混繊率90%のコミングル繊維が得られた。
- (2) 炭素繊維とPA繊維を各々空気により開繊後、水中で超音波を用いて混織した結果、毛羽の発生を抑制でき、混繊率87%のコミングル繊維が得られた。
- (3) 炭素繊維のコミングル繊維を用いてプレス成形して得られたCFRPの引張り強度と引張り弾性率は、混繊率が高いコミングル繊維を用いた方が大きくなった。

## 参考文献

- 1) 高橋淳ほか. “平成19年熱可塑性樹脂複合材料の機械工業分野への適応に関する調査報告書” 素材センター. <http://www.sokeizai.or.jp/japanese/rimcof/images/nikkiren-19.pdf>. (参照2011-06-20).
- 2) 高橋淳ほか. “平成20年熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適応に関する調査報告書” 素材センター. <http://www.sokeizai.or.jp/japanese/rimcof/images/nikkiren-20.pdf>. (参照2011-06-20).
- 3) 浜田泰以ほか. “Commingled Yarnを用いた熱可塑性複合材料の成形”. 成形加工. 1991, vol.3, no. 2, p. 157-164.
- 4) 炭素繊維クラスター人材育成プログラム. Advancedコース. “熱可塑性樹脂複合材料成形用中間材の設計について”. (H25/11/21).