

# 強化プラスチック

## REINFORCED PLASTICS

VOL.64  
NO.3  
**2018**

スポーツ用具関連特集  
JEC Asia 2017 ミニ特集

**JRPS**

**3**



一般社団法人強化プラスチック協会 発行

強化プラスチック 2018 年 VOL.64 NO.3

3 月号＜スポーツ用具関連特集 /JEC Asia 2017 ミニ特集＞

※P115~P119 より抜粋

## シートワインディング成型法の紹介



## — スポーツ用具関連特集 —

# CFRPゴルフシャフトの製造に見る シートワインディング成形法の紹介

松本 敬三\*

## 1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、軽量で機械的特性に優れることから、航空機の構造材やスポーツ用品に採用されている。CFRPのスポーツ用品への展開は、1970年代初期の釣り竿やゴルフクラブに始まり、その後テニスラケットやスキー、自転車など現在では多くの製品に適用されている。1970年代当時から釣り竿やゴルフシャフトのようなパイプ形状のCFRP製品では、マトリックス樹脂に熱硬化性樹脂を用いたフィラメントワインディング成形とシートワインディング成形が実施されてきた。特にシートワインディング成形は、CFRP材料の性能をより効率良く発揮させることができるため、ゴルフシャフトや釣り竿の成形加工方法としては最も一般的な成形方法になっている。このようにシートワインディング成形は歴史的にも最も古い成形方法の一つであるが、比較的軽い設備で多品種少量でも量産できる生産性を有する成形加工方法である。

このことは近年の自動車の軽量化ニーズへの貢献や、ロボットアーム、産業用パイプ、圧力容器、風車ブレードなどへもシートワインディング成形加工方法およびその応用技術による適用拡大が期待できると考えられる。

そこで本稿では、CFRPゴルフシャフトの展開、設計上のポイントをまず紹介し、長年培ってきたゴルフシャフトの製造工程を通してシートワインディング成形方法を紹介する。

## 2. CFRPゴルフシャフトの展開

ゴルフシャフトのCFRP化の第一の狙いは軽量化にあり、従来のスチールシャフトに比べて明らかに軽量化できるために数多くのメーカーによって開発競争に

\* (株) グラファイトデザイン

しのぎを削っている。現在ドライバークラブにおいては、ほぼスチールシャフトからCFRPシャフトに置き換わっている。引き続きフェアウェイウッド、アイアンクラブなどへと展開しCFRPシャフトの適用率は向上しつつある。

CFRPシャフトが定着するについては材料および設計技術の寄与する要素が大きく、次のような改良がなされてきた。

- 1) 高弾性率糸の使用による低トルク化
- 2) 繊維含有率を高くし中弾性率高強度糸の使用による軽量化
- 3) 高強度糸使用による高強度化
- 4) たわみ分布の最適化

これらの改良によって、シャフトの耐ねじれ性（トルク）はスチールと同等以上に、また質量は一般的なスチールシャフトの100g前後に対して、60g前後のシャフトが生産可能になり、ドライバークラブ用CFRPシャフトでは現在主流の質量帯となっている。さらに最近では20g台のシャフトが生産できるまで技術開発は進んでいる。

## 3. CFRPゴルフシャフト設計上の要目

CFRPゴルフシャフトの設計上の要目は次のとおりである。

- 1) 質量
- 2) 曲げ剛性－フレックス、キックポイント
- 3) ねじれ角－トルク
- 4) シャフト形状
- 5) 曲げ強さ
- 6) 固有振動数

これらの要目は、CFRP材料の有する異方性と炭素繊維をはじめとした多様な強化繊維を組み合わせ最適設計することでコントロールされている。質量や曲げ剛性など特性の違うCFRPシャフトによって、使用

するゴルファーに好みや力量に合わせたシャフトを提供している。図1に弊社のゴルフシャフト（IZシリーズ）のスペック実例を示す。一般的なドライバークラブ用CFRPシャフトは品名毎に40g台～80g台の質量帯を有し、質量ごとに曲げ剛性（フレックス：R, S, X），ねじれ角（トルク）の違う品種がある。また、図2には代表的な弊社ゴルフシャフトの特性表を示す。品名によりゴルフクラブとして使用した時のボールの飛び方に特徴があることが分かる。これらは主にシャフト形状やキックポイントのコントロールによって特徴付けられる。

TOUR AD GRAPHITE DESIGN IZ-B FLEX S

|     | 重量<br>(g) | トルク<br>(deg) | Tip径/バラレル<br>(mm) | Butt径<br>(mm) | フレックス | キックポイント | シャフト長さ |
|-----|-----------|--------------|-------------------|---------------|-------|---------|--------|
| I24 | 46        | 5.6          | 8.50 / 75         | 15.00         | R2    | 中調子     | 1168mm |
|     | 47        | 5.6          |                   | 15.00         | R1    |         |        |
|     | 47        | 5.6          |                   | 15.05         | S     |         |        |
| I25 | 52        | 4.5          |                   | 15.10         | R2    |         |        |
|     | 54        | 4.5          |                   | 15.15         | R1    |         |        |
|     | 56        | 4.4          |                   | 15.20         | S     |         |        |
| I26 | 58        | 4.4          |                   | 15.25         | X     |         |        |
|     | 62        | 3.2          |                   | 15.15         | SR    |         |        |
|     | 63        | 3.2          |                   | 15.20         | S     |         |        |
| I27 | 65        | 3.2          |                   | 15.25         | X     |         |        |
|     | 72        | 3.1          |                   | 15.20         | S     |         |        |
|     | 74        | 3.1          |                   | 15.25         | X     |         |        |
| I28 | 82        | 2.9          |                   | 15.35         | S     |         |        |
|     | 83        | 2.9          |                   | 15.40         | X     |         |        |

図1 Tour AD IZシリーズシャフトスペック表

#### 4. シートワインディング成形による ゴルフシャフトの製造

CFRP材料を用いたパイプ形状の成形品は、主にシートワインディング成形、フィラメントワインディング成形、プルトルージョン（引抜）成形によって製作される。この中でシートワインディング成形は、プリプレグシートを用いるので形状精度が高い成形品の生産ができる。炭素繊維含有率（Vf）が高く、高性能成形品の生産ができるメリットを有する。

CFRPゴルフシャフトは、金属製の芯棒（マンドレル）を用いたシートワインディング成形によって製造され、①熱硬化性樹脂（主にエポキシ樹脂）が含浸された一方向プリプレグシート材料を所定数マンドレル

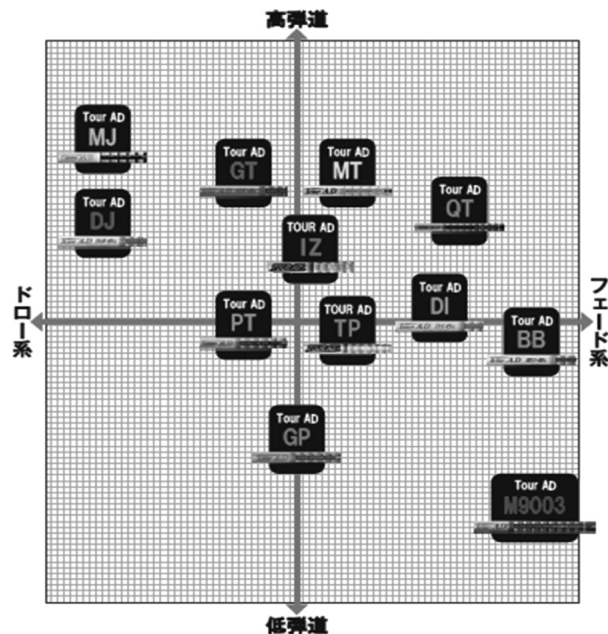


図2 Tour AD シャフト特性表

に巻き付けた後にOPPテープなどを巻き付けることによって加圧する工程、②加熱成形し、マンドレルを脱芯する工程、③パイプ外表面を研磨し規格値に適合させる工程、④塗装工程、から構成される。

また、ゴルフシャフト外観形状はCFRPシャフト、スチールシャフトともにほぼ同じ形状で、ウッドクラブ用～アイアンクラブ用に合わせシャフト長さが800～1,200mmの間で変化する外径約Φ8⇒16mmのテーパ管となる。CFRPシャフトでは、CFRP材料の特徴である異方性を効果的に使用するためシャフト長さ方向に適材適所の板厚分布（1～3mm）を有する。

CFRPシャフトは多品種であり、製造工程では多品種を量産するための様々な工夫がなされ、生産性の向上が図られる。

以下にCFRPゴルフシャフト製造の塗装工程を除いた、ゴルフシャフト用CFRPパイプの製造工程と作られたCFRPシャフトの品質状態を説明する。

##### 4.1 裁断

CFRPシャフトに使用する主な材料形態は、エポキシ樹脂が含浸された厚さ0.03～0.2mm、幅約1mの一方方向プリプレグシートである。このプリプレグシートの仕様は以下の項目の組み合わせからなり、CFRPシャフトの製造では100種類以上のプリプレグシートをシャフト仕様によって使い分けて使用する。

## 1) 繊維；

- ・炭素繊維：高強度～超高強度系，中弾性～高弾性系
- ・ガラス繊維：Eガラス，Sガラス

3) 繊維目付（FAW）：30～200 g/m<sup>2</sup>

4) 樹脂含浸量（RC）：20～35 wt-%

図3にCFRPシャフトの裁断図を示す。ゴルフシャフトは元側（グリップ側）から先端側（クラブヘッド側）に向けて徐々に細くなるテーパ管形状であるため，基本的な裁断形状は台形になる。標準的なシャフトの積層パターンは，アングルプライ（AP；+45°，-45°）とストレートプライ（ST；0°），先端および元側の補強プライから構成される。

| 材料呼称 | 繊維角度 | 裁断パターン | プライ数 |
|------|------|--------|------|
| AP   | 45   |        | 2    |
| AP   | 45   |        | 2    |
| ST1  | 0    |        | 1    |
| ST2  | 0    |        | 1    |
| ST3  | 0    |        | 1    |
| 補強1  | 0    |        | 2    |
| 補強2  | 0    |        | 1    |
| 補強3  | 0    |        |      |
| 補強4  | 0    |        | 2    |

図3 CFRPシャフトの裁断図（例）

## 4.2 積層（巻き付け）

巻き付け指示書に従いマンドレル上にプリプレグシートを巻き付けていく。内層には高弾性率のアングルプライ（±45°など）を巻き付けることでねじれを小さくし，外層には高強度のストレートプライ（0°）を配することによって曲げ強さと曲げ弾性率がコントロールされている。各積層パターンは，巻き始めの位置が同じにならないように位相をずらしてマンドレルに巻き付けることで板厚の偏りを少なくする。図4に巻き付け作業工程の写真を示す。巻き付け工程では，材料や巻き位置の間違い巻き緩み，プリプレグのシワや割れに注意して作業する。

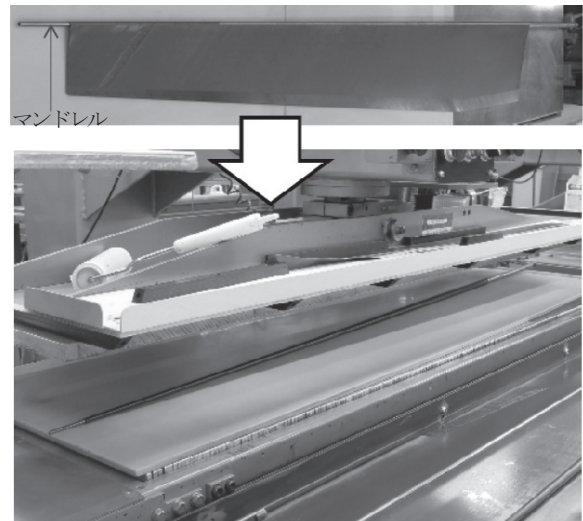


図4 プリプレグシート巻付け工程

## 4.3 テープ巻き

マンドレルに巻き付けられたプリプレグシートは，テンションをかけたテープを巻き付けることによって加圧される。この工程はCFRPシャフトの品質を決める重要な工程である。

図5にテープ巻き工程の写真を示す。CFRPシャフトの製造では主にOPP（Oriented Poly Propylene）テープを使用するが多いが，シャフトの板厚，使用するプリプレグ材料などによってOPPテープのほか，数種類のテープを使い分ける。

また，テープを巻き付ける時の巻き付けピッチやテープテンションも重要なパラメータであり，シャフト毎に使用するテープ種，ピッチ，テープテンションの数値が指示されていて，製造現場では厳しい管理がなされている。

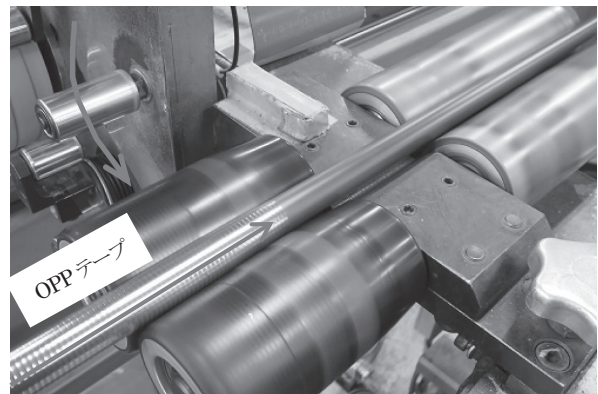


図5 OPPテープ巻付け工程

#### 4.4 加熱

CFRPシャフトで使用するプリプレグに使用されているエポキシ樹脂は250°F硬化タイプであることから、昇温⇒キュア（135～140℃）⇒降温・炉出しのサイクルタイムを2.5hr程度とした加熱硬化プログラムによって成形される。使用する加熱炉のサイズや台数は、サイクルタイム中の巻付け可能本数に合わせることで生産性を確保している。

#### 4.5 脱芯

加熱硬化工程が終了した後、マンドレルを抜き取る脱芯工程となる。脱芯機にマンドレルの元径より少し太い内径を持つ治具を用いてマンドレルからCFRPシャフト素管を引き抜く。引き抜かれたマンドレルは清掃、離形処理が施され巻付け工程or保管場所に戻される。

#### 4.6 研磨

CFRPシャフト素管はシャフト毎に設定された規格値（全長、質量、曲げ剛性（フレックス）、振動数など）に合うように加工される。特にフレックス、振動数はシャフトの外径側表面を研磨することでシャフト毎に指示された規格値公差内に入るように調整する。そのための削り代（調整代）は、CFRPシャフト設計時にあらかじめ設定されているので必要強度などCFRPシャフトの品質は確保される。図5に研磨加工の様子を示す。左図は曲げ剛性（フレックス）を調整するための研磨加工、右図は先端外径を規格値公差内（ $\pm 0.05\text{mm}$ ）に入れるための研磨加工となる。

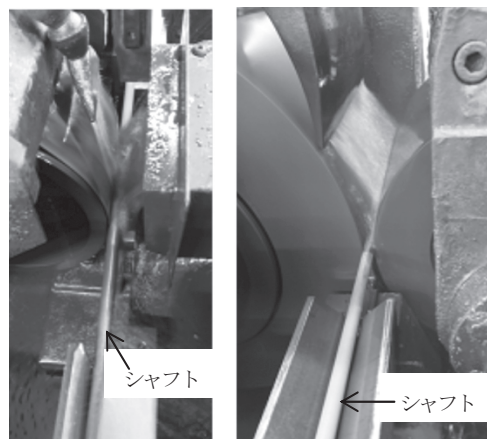


図5 外径研磨加工

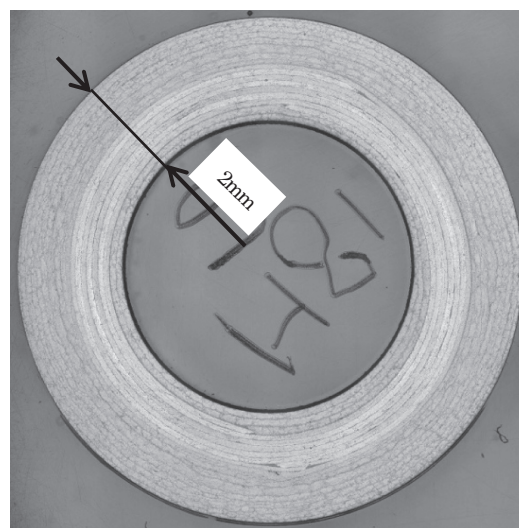


図6 CFRPシャフト先端部の断面写真

### 5. シートワインディング成形によって製造されたゴルフシャフトの品質

図6にシートワインディング成形により製造されたCFRPシャフト先端部の断面写真を示す。CFRPプリプレグシートが18層巻かれた板厚約2mmのパイプ断面には有害なボイドや炭素繊維の蛇行などの様子はなく、前述した工程によって良好に成形されていることが分かる。また、図7には検査結果を示す。全てのシャフトは、異物やキズ、クラックなどの外観および質量や強度、フレックスなどが規格値公差内にあることを検査する。品質変動は小さく安定した生産がなされている。

### 6. おわりに

CFRPパイプの成形加工方法であるシートワインディング成形を用いたゴルフシャフトの製造を紹介した。この成形方法は最も古い成形方法の一つでCFRPパイプの成形技術として確立されていることもあり、最近の航空機や自動車の軽量化の流れの中でCFRPの成形技術動向、部材適用事例などで取り上げられる機会が少ない。しかしながらCFRP部材の自動車など産業用途への適用を考えた時の重要な課題の一つである生産性に関しては、図7の検査記録に示すように1日（8hr）で約30品種（段取り変え数）、総本数1,500本の生産ができる実績から、部品の大きさや形状にある程度の制限は生じるが優れた生産性を有している成形方法と考える。さらに、構造部材にはパイプ形状（閉断

作業日:18/\*\*/\*\*

## 素完検査結果報告書

| 製品名      | 検査数   | 不良 | 合格    | 不良内訳 |    |     |    |    |    |     |     |     |     |
|----------|-------|----|-------|------|----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|          |       |    |       | 巻付   | 内層 | テープ | ゴミ | 脱芯 | 曲り | センタ | サンダ | カッタ | その他 |
| WDI8-S   | 30    | 0  | 30    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WDI8-X   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WGP7-X   | 60    | 0  | 60    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WGP7-S   | 10    | 0  | 10    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| IAD55-R8 | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| IAD55-R9 | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WUT65-R  | 40    | 0  | 40    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WUT85-X  | 20    | 0  | 20    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WIZ7-TX  | 30    | 0  | 30    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WBB7-X   | 30    | 0  | 30    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WHY85-X  | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WHY95-S  | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WHY95-X  | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| IAD85-S3 | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WDI6-X   | 50    | 1  | 49    | 0    | 0  | 0   | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WDI6-X   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WGP6-X   | 60    | 0  | 60    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| IAD55-R4 | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WUT65-S  | 50    | 1  | 49    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   |
| IAD50-L7 | 30    | 0  | 30    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| IAD50-L8 | 30    | 0  | 30    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
|          |       |    |       |      |    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WDI5-S   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WIZ7-S   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WIZ8-X   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WBB-6S   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| WBB-6X   | 50    | 0  | 50    | 0    | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 合計       | 1,580 | 2  | 1,578 | 0    | 0  | 0   | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |

図7 CFRPシャフト検査記録

面形状)を有する部品も多数見られることからこの成形方法の発展性に期待したいところであり、我が社でもその一翼を担えるよう応用技術開発を進めている。