

## 細断したUDテープを用いたCFRTPのトランスファ成形

纖維高分子材料科 森田達弥\* 大木結以 針幸達也 鈴木重好

### Transfer molding for carbon fiber reinforced thermoplastic using chopped uni-directional tape

MORITA Tatsuya, OKI Yui, HARIKO Tatsuya and SUZUKI Shigeyoshi

Carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) is a lightweight, high-strength material for which there are expectations that it will enable molding in a short period of time. However, a CFRTP molding technology that achieves both the required mechanical properties and productivity has not yet been established. On the other hand, transfer molding, which is used to mold thermosetting plastics, presses the material into the mold with a plunger and heats and hardens it. Transfer molding can mold complex shapes without breaking the reinforcing fibers as it does not use a screw. However, transfer molding has rarely been used to mold CFRTP. If CFRTP can be molded with transfer molding technology, it is expected that both the required mechanical properties and productivity expect can be achieved. Therefore, we developed an improved transfer molding machine for CFRTP in March 2022. In this study, we molded CFRTP square board with the transfer molding machine that had been developed and 15 mm long chopped uni-directional tape. We also evaluated the molding conditions and mechanical properties of the CFRTP square board. As a result, at a mold temperature of 230°C and a molding pressure of 8 MPa, it was possible to mold CFRTP square board with almost the same bending strength as aluminum die-casting (ADC12). In addition, regardless of the molding conditions, the fibers of the molded CFRTP square board flowed concentrically from the injection point of the material. Furthermore, it was oriented uni-directionally along the wall of the mold.

keywords : CFRTP, Transfer molding, Uni-directional tape

熱可塑性炭素繊維強化プラスチック(CFRTP)は短時間成形が期待できる軽量高強度材料として注目されているが、物性と生産性が両立した効率的な成形技術は確立されていない。一方で、熱硬化性プラスチックの成形に用いられているトランスファ成形は、成形材料を補助ラムで金型に注入して加圧硬化する成形方法で、スクリュを使用しないため強化繊維の折損がなく、複雑な形状を成形できるが、CFRTPなどの熱可塑性プラスチックへの適用事例はほとんどない。しかし、トランスファ成形でCFRTPを成形することができれば、炭素繊維の折損がなく、複雑な形状を短時間で成形することが可能となり、物性と生産性の両立が期待できる。そこで、当センターでは、令和3年度にCFRTPに適した仕様に改良したトランスファ成形機を導入した。本研究では、長さ15mmに細断したテープ状の成形材料(UDテープ)を用い、導入したトランスファ成形機でCFRTPの平板を成形して、成形条件や成形品の機械的特性を評価した。その結果、金型温度230°C、成形圧力8 MPaでアルミダイカスト(ADC12)と同程度の曲げ強度を持つ平板が成形できた。また、成形した平板の繊維は、成形条件にかかわらず、材料注入部から同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿って一方向に配向する傾向がみられた。

キーワード : CFRTP トランスファ成形 UDテープ

#### 1 はじめに

熱可塑性炭素繊維強化プラスチック (CFRTP)  
は短時間成形が期待できる軽量高強度材料として

注目されている。CFRTP の成形方法としては、  
プレス成形（積層成形）や射出成形などが挙げら  
れるが、プレス成形は成形材料の積層に手間や時

\* 現 地域産業課

間がかかる。射出成形は成形機のスクリュで炭素繊維が切斷されてしまい、炭素繊維の性能を十分に活かせないなど課題がある<sup>1)</sup>。一方、熱硬化性プラスチックの成形に用いられているトランスファ成形は成形材料を加熱軟化させた後、補助ラムで金型に注入して加圧硬化する方法で、スクリュを使用しないため強化繊維が折損せずに、複雑な形状を成形することができるが<sup>2)</sup>、CFRTPへの適用事例はほとんどない。しかし、トランスファ成形でCFRTPを成形することができれば、炭素繊維の折損がなく、複雑な形状を短時間で成形することが可能となり、物性と生産性の両立が期待できる<sup>3)</sup>。そこで、当センターでは、令和3年度に金型の加熱冷却機構や大口径のゲート(材料注入部)など、CFRTPに適した仕様に改良したトランスファ成形機を導入した(図1)\*。本稿では、導入したトランスファ成形機を用い、CFRTPの平板を成形して、成形条件や成形品の機械的特性を評価した結果を報告する。

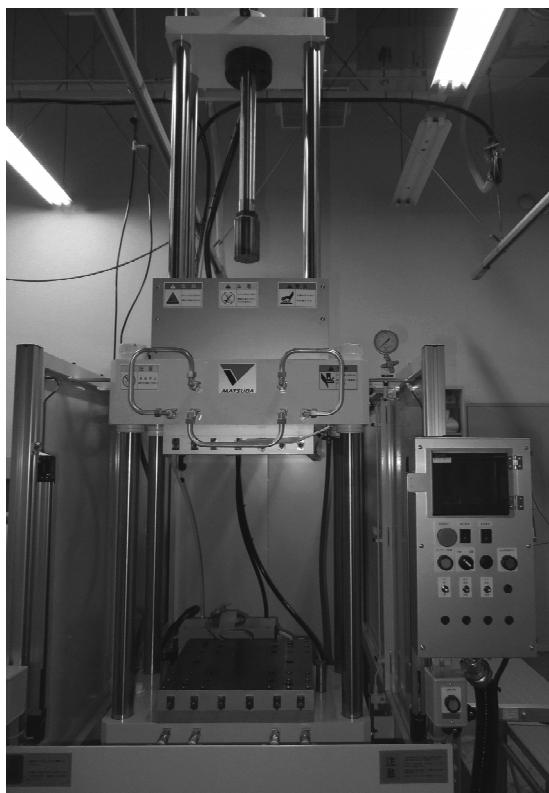


図1 導入したトランスファ成形機

## 2 方法

### 2.1 成形材料

曲げ試験及び炭素繊維体積含有率の評価に供する平板の成形では炭素繊維(東レ株製T700SC-12K-60E)に市販のナイロンを含浸させた長さ15mm、繊維体積含有率50%のUDテープ<sup>4)</sup>60gを直径70mm、高さ約15mmのタブレット形状に固めた予備試験材(図2)を2個用いた。繊維配向の確認に供する平板の成形では炭素繊維のUDテープ36g及びガラス繊維(日本電気硝子株製ER1150F-165K/SRZT)に市販のナイロンを含浸させた長さ15mm、繊維体積含有率50%のUDテープ30gを混ぜて、直径70mm、高さ約15mmのタブレット形状に固めた予備試験材を2個用いた。

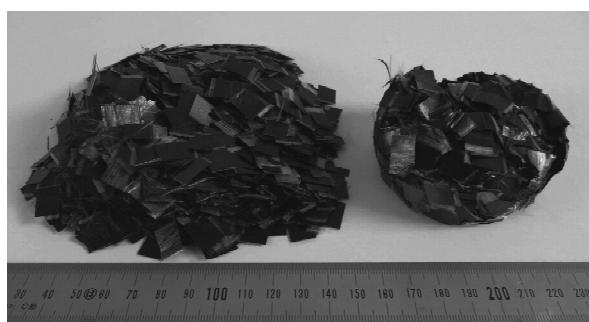


図2 長さ15mmのUDテープ(左) とその予備試験材(右)

### 2.2 成形

トランスファ成形機を用い、金型温度及び成形圧力を変えて、200mm角、厚さ2mmの平板を成形した(図3)。詳細な成形条件を表1に示す。

### 2.3 評価

#### (1) 曲げ試験

成形した平板から図4のとおり、曲げ試験片1、2を切り出し、精密万能試験機 AG-50kNX Plus(株島津製作所製)を用い、JIS K 7074 A法を参考に、曲げ強度を測定した。曲げ試験片は試験前に真空乾燥機 DRV422DE(アドバンテック東洋株製)を用いて1.3kPa、110°Cで72時間乾燥させた。また、比較として、アルミダイカスト(ADC12-F)の曲げ強度を測定した。

\* 静岡県工業技術研究所:静岡県工業技術情報(2021)No25.

<https://www.iri.pref.shizuoka.jp/wp/wp-content/uploads/2022/03/R3jyouhou25.pdf> (2022.10.24アクセス)



図3 成形した200mm角、厚さ2mmの平板

表1 成形条件

材料加熱部、ゲートの設定温度 (°C)	300
上下金型の設定温度 (°C)	220、230、240、260、280
材料加熱時間 (s)	600
型締力 (kN)	$5.3 \times 10^2$
注入速度 (mm/s)	132
成形圧力 (MPa)	4、6、8、10、12
保圧時間 (s)	300
冷却時間 (s)	500

## (2) 繊維配向及び内部欠陥の確認

X線CT装置 FF35CT Metrology（コメットテクノロジーズ・ジャパン株製）を用いて、成形した平板及び曲げ試験片のX線透過像を撮影し、繊維配向や空隙等の内部欠陥の有無を目視で確認した。

## (3) 炭素繊維体積含有率の評価

成形した平板から図5のとおり、15mm角の試料D1～D4を切り出し、水中置換法密度計 DENSITOMETER H（株東洋精機製作所製）を用いて、密度を測定した。測定した各試料の密度と(1)式から、各試料の炭素繊維体積含有率を算出した<sup>5)</sup>。

$$V_{cf} = (\rho_{cf_{tp}} - \rho_p) / (\rho_{cf} - \rho_p) \times 100 \dots (1)$$

$V_{cf}$ ：炭素繊維体積含有率 (%)  $\rho_{cf_{tp}}$ ：試料の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  $\rho_{cf}$ ：炭素繊維の密度  $1.80 \times 103$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  $\rho_p$ ：ナイロンの密度  $1.17 \times 103$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

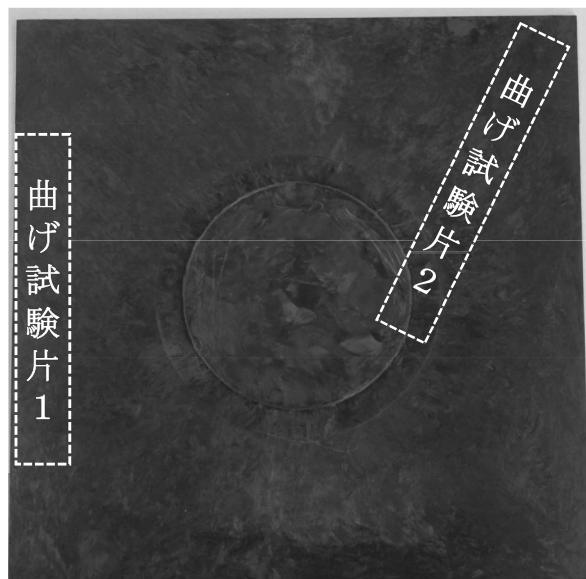


図4 曲げ試験片の切り出し箇所

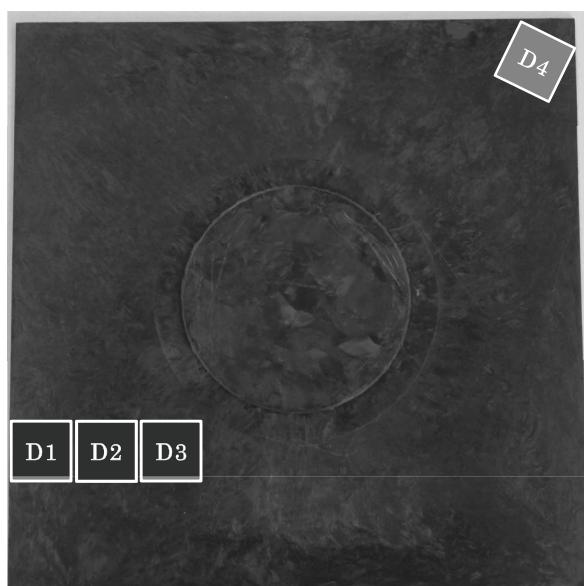


図5 炭素繊維体積含有率評価用試料の切り出し箇所

## (4) 比曲げ強度の算出

(3)で用いた密度計で曲げ試験片1、2の密度を測定した。各曲げ試験片の密度と曲げ試験の結果を用い、(2)式から比曲げ強度を算出した<sup>6)</sup>。

$$S = \sigma / \rho \dots (2)$$

$$S : \text{比曲げ強度 } (\text{MPa}/\text{kg}\cdot\text{m}^3) \quad \sigma : \text{曲げ強度 } (\text{MPa}) \quad \rho : \text{曲げ試験片の密度 } (\text{kg}/\text{m}^3)$$

### 3 結果および考察

#### 3.1 金型温度の検討

成形圧力 8 MPa で金型温度を変えて成形した平板の曲げ強度を図 6 に示す。また、金型温度 280 °C で成形した平板の X 線透過像を図 7 に示す。なお、金型温度 220 °C では平板の隅部まで材料が充填できず、平板が成形できなかつたため、評価しなかつた。

曲げ強度は金型温度にかかわらず、試験片 1 が高く、試験片 2 が低い傾向がみられた。しかし、曲げ強度が低い試験片 2 においても、400 MPa 以上の曲げ強度となつた。金型温度 230 °C 及び 280 °C で成形した平板の X 線透過像を観察した結果、230 °C、280 °C ともに、空隙等の内部欠陥はみられず、纖維はゲートから同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿つて一方向に配向する傾向がみられた。また、炭素纖維体積含有率を算出した結果、試料の切り出し箇所や金型温度で、差はほとんどなく、すべての試料で UD テープの炭素纖維体積含有率とほぼ同じ 50% となつた。そのため、成形した平板の炭素纖維及びナイロンは偏在することなく、隅部まで所定の比率で充填されていると考えられる。また、平板の内部に欠陥が観察されないことから、各曲げ試験片の強度の差は纖維配向による影響が大きいと推測され、試験片 1 は試験片 2 に比べて 0 ° 方向に炭素纖維が配向していることから、曲げ強度が高くなつたと考えられる<sup>7)</sup>。

以上の結果から、本試験の平板の成形では 230 °C 以上の金型温度が必要であると考えられる。また、纖維配向の傾向は、金型温度で大きく変わらず、ゲートから同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿つて一方向に配向すると考えられる。

#### 3.2 成形圧力の検討

金型温度 230 °C で成形圧力を変えて成形した平板の曲げ強度を図 8 に示す。また、成形圧力 12 MPa で成形した平板の X 線透過像を図 9 に示す。なお、成形圧力 4 MPa では、平板の隅部まで材料が充填できず、平板が成形できなかつたため、評価しなかつた。

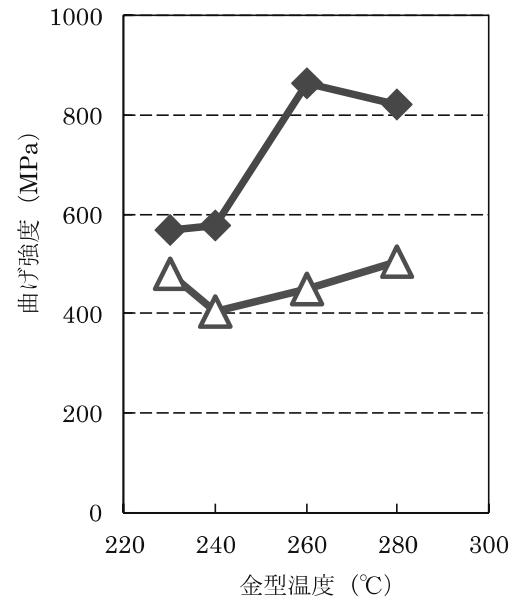


図 6 曲げ強度と金型温度

◆ 試験片 1 ▲ 試験片 2

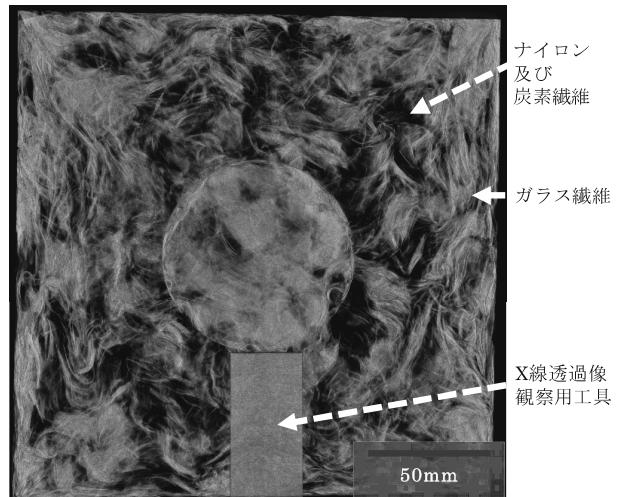


図 7 金型温度 280 °C で成形した平板の X 線透過像

成形圧力 6 MPa で成形した平板の曲げ強度は成形圧力 8 MPa 以上で成形した平板よりも低くなつた。成形圧力 8 MPa 以上で成形した平板の曲げ強度は試験片 1 が高く、試験片 2 が低い傾向がみられたが、試験片 2 においても、400 MPa 以上の曲げ強度となつた。成形圧力 12 MPa 及び 8 MPa で成形した平板の X 線透过像を観察した結果、空隙等の内部欠陥はみられず、纖維はゲートから同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿つて一方向に配向する傾向がみられた。成形圧力 6 MPa で成形した平板においても、同様の纖維配向の傾向が

みられたが、平板及び曲げ試験片の内部に空隙がみられた（図10）。これは、成形圧力が不十分で、成形材料を金型内に十分に充填できなかつたことが予想され、曲げ強度が低下した原因と考えられる。成形圧力8 MPa以上で成形した平板の炭素繊維体積含有率を算出した結果、試料の切り出し箇所や成形圧力による差はほとんどなく、UDテープの炭素繊維体積率とほぼ同じ50%となった。そのため、成形圧力8 MPa以上で成形した平板では、炭素繊維とナイロンは偏在することなく、隅部まで所定の比率で充填されていると考えられる。また、成形圧力8 MPa以上で成形した平板の内部には欠陥も見られないことから、成形圧力8 MPa以上の各曲げ試験片の強度の差は繊維配向による影響が大きいと推測され、試験片1は試験片2に比べて0°方向に炭素繊維が配向していることから、曲げ強度が高くなつたと考えられる<sup>7)</sup>。

以上の結果から、本試験の平板の成形では8 MPa以上の成形圧力が必要と考えられた。また、繊維配向の傾向は、成形圧力で大きく変わらず、ゲートから同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿つて一方向に配向すると考えられる。

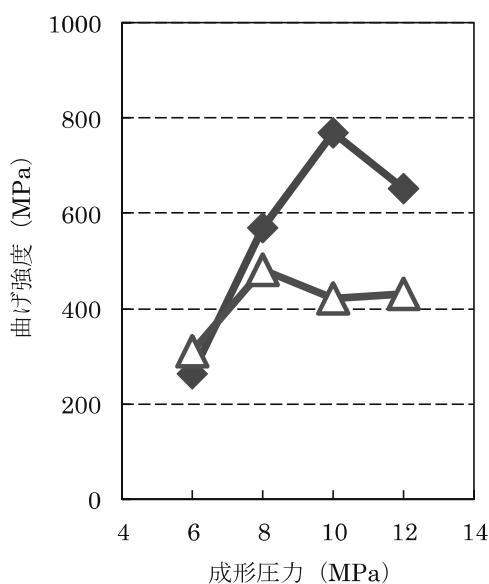


図8 成形圧力と曲げ強度

■ 試験片 1 ▲ 試験片 2

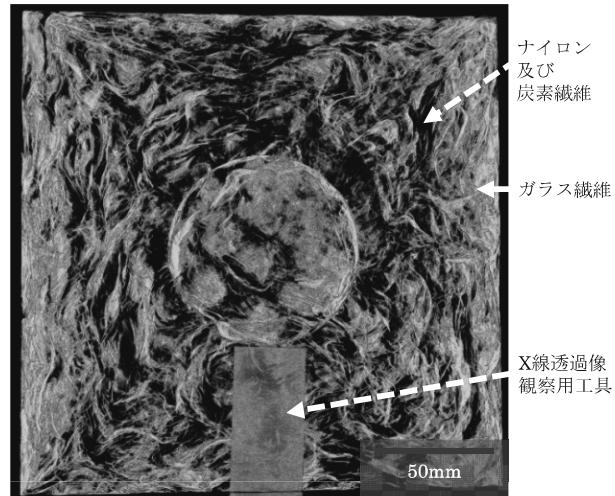


図9 成形圧力12MPaで成形した平板のX線透過像

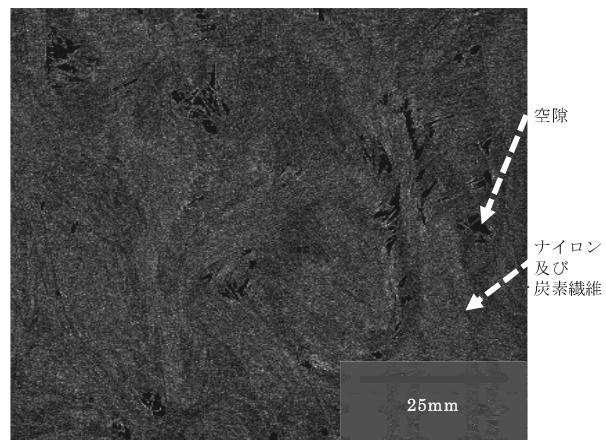


図10 成形圧力 6 MPaで成形した平板から切り出した曲げ試験片 1

### 3.3 アルミダイカストとの強度比較

金型温度230°C、成形圧力8 MPaで成形した平板の曲げ強度とアルミダイカストの強度の比較結果を表2に示す。曲げ強度が低い試験片2においても481 MPaで、アルミダイカストと同程度の曲げ強度であった。また、重量を考慮した比曲げ強度ではアルミダイカストの2.1倍となつた。

表2 成形した平板とアルミダイカストの比較

試験片	曲げ強度 (MPa)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比曲げ強度 (MPa/kg m <sup>-3</sup> )
トランスクア成形	569	$1.48 \times 10^3$	$384 \times 10^{-3}$
	481	$1.48 \times 10^3$	$325 \times 10^{-3}$
アルミダイカスト	421	$2.69 \times 10^3$	$157 \times 10^{-3}$

## 5 まとめ

CFRTPに適した仕様に改良したトランスマルチ成形機を用いて、金型温度230°C、成形圧力8 MPaでアルミダイカストと同程度の強度を持つ平板が成形できた。また、成形した平板の纖維は、成形条件にかかわらず、ゲートから同心円状に配向し、金型壁面では壁面に沿って一方向に配向する傾向があった。そのため、本成形技術を製品に適用する際には、纖維配向を考慮し、製品設計を行う必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、静岡大学の島村佳伸氏、早川邦夫氏、浜松地域CFRP事業化研究会の室井國昌氏及び会員企業の皆様には、多くのご協力、ご助言をいただきました。この場をお借りして、深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 高野菊雄：熱可塑性プラスチックの成形技術，「これでわかるプラスチック技術」，初版（株）工業調査会，東京），新谷滋記 発行，pp.144-202 (2000).
- 2) 高野菊雄：熱硬化性プラスチックの成形技術 「これでわかるプラスチック技術」，初版（株）工業調査会，東京），新谷滋記 発行，pp.203-204 (2000).
- 3) 室井國昌：熱可塑性UDテープカット材のランダム配向材の成形. ぶらすとす, 1 (7), 8-12 (2018).
- 4) 長房秀幸 他：軽量高強度材料 (CFRP) の高効率成形技術の確立 I. 静岡県工業技術研究所研究報告, (14), 125-127 (2021).
- 5) 末益博志：素材の力学特性と複合則，「入門複合材料の力学」，初版（株）培風館，東京）日本複合材料学会 監修，pp.71-72 (2009).
- 6) D.ハル：纖維とマトリックス，「複合材料入門」，初版（株）培風館，東京），宮入祐夫 他 共訳，pp.21-22 (1984).
- 7) D.ハル：幾何学的観点，「複合材料入門」，初版（株）培風館，東京），宮入祐夫 他 共訳，pp.55-200 (1984).