

## 新成長分野発展に貢献する軽量高強度材料（CFRP）の高効率成形技術の確立

纖維高分子材料科 鈴木重好 針幸達也 森田達弥\* 大木結以

### Carbon fiber reinforced plastics (CFRP) molding for new growth industries using an efficient productivity method

SUZUKI Shigeyoshi, HARIKO Tatsuya, MORITA Tatsuya and OKI Yui

Recently, effective uses of energy are needed for environmental treatment and fuel consumption regulations in the automotive industry. And replacing heavy metals with lightweight materials is an important task for many industries. Carbon fiber reinforced plastics (CFRP) may be one solution for this. In this research project, a highly efficient productivity molding method of CFRP were investigated by using thermoplastics.

The efficient method of making the base material form a tape shape (UD tape) was building it up with bundles of carbon fiber solidified by thermoplastic films.

Then, a novel molding method was proposed using a material made by cutting UD tape into constant lengths. The CFRP plate made with this molding method has a bending strength above 500 MPa and a specific strength that is 2.4 times that of aluminum die-cast plate. This method is able to make possible the molding of parts with complex shapes in a short period of time.

keywords : Carbon fiber reinforced plastics, UD tape, Transfer molding

近年、自動車業界における環境・燃費規制など、エネルギーを有効に活用する技術が必要とされており、中でも材料の軽量化は多くの産業に共通する課題である。炭素繊維強化複合材料（CFRP）はその解決策の一つといわれており、本研究プロジェクトでは、軽量・高強度を特徴とするCFRPについて、熱可塑性樹脂を用いた生産性の高い成形技術について検討を行った。

その結果、炭素繊維の束を熱可塑性樹脂で固めたテープ状の成形基材（UDテープ）を効率よく作製する技術を確立した。

また、UDテープを一定長に細断した材料の新たな成形技術を提案し、本技術により作製したCFRP板の曲げ強度は500MPa以上、軽量性を考慮した比強度は、アルミダイカストの2.4倍で、複雑形状の部品を短時間で成形することが可能となった。

キーワード：炭素繊維強化プラスチック、UDテープ、トランスマッフル成形

#### 1 はじめに

次世代自動車、ロボット、航空宇宙などの成長産業の育成は、県の重要な政策課題の一つであり、県は進出を目指す県内企業に対し、研究開発や事業化支援等を実施している。また、自動車業界の世界各国における環境・燃費規制や持続可能な開発目標（SDGs）の実施など、エネルギーを有効に活用する技術が成長産業分野発展のための喫緊の課題となっており、課題解決のため、材料の軽量

化技術は各産業に共通するキーテクノロジーといえる。

軽量高強度材料として期待されている炭素繊維強化複合材料（CFRP）は航空機分野ですでに多くの部品に採用されており、今後大きく市場が拡大すると予測されている。CFRPは軽量・高強度という点で非常に優れている一方、強化繊維の方向や長さによって強度が大きく変化する。また、鉄の代替候補であるアルミニウムなどの軽量金属

\* 現 地域産業課

材料と加工方法が全く異なる上、一般的なプラスチックの加工方法と比較しても成形速度が遅く、大量生産のための成形時間短縮が最も重要な課題となっている。

一方、平成21年に発足した浜松地域CFRP事業化研究会では、浜松地域の自動車部品メーカー、金型、樹脂フィルム、繊維、織物、加工機など非常に幅広い企業が参加し、課題解決のための活動を行っている。

本研究プロジェクトは、令和2年度から令和4年度まで新成長戦略研究事業として、浜松地域CFRP事業化研究会、静岡大学の協力を得ながら、軽量・高強度を特徴とするCFRPについて、熱可塑性樹脂を用いた生産性の高い成形技術を確立するとともに、CFRP製品設計の指針となるデータを蓄積することを目的とした。本報では、3年間の活動の成果について概説する。

## 2 方法

浜松地域CFRP事業化研究会ではCFRPの実用化と商品化に向けCFRPの高速成形技術（基材の製造技術、通電抵抗加熱金型による成形、トランスマルチア成形）の開発に取り組んでいる。本研究プロジェクトでは、研究会が進める高速成形技術の確立及びその応用に向け、表1に示した炭素繊維、樹脂を用いて以下の方法により検討を行った。高速成形の課題解決の技術ポイントは、炭素繊維に樹脂を隙間なく入れる（含浸）技術である。含浸状態は強度試験や繊維束内部の樹脂の含浸状態を確認することで評価した。

表1 本研究で用いた材料

材料	内容
炭素繊維	東レT700SC 12K（単繊維12,000本の束）
	24K（単繊維24,000本の束）
	50K（単繊維50,000本の束）
樹脂	ナイロンフィルム 厚さ15μm

### 2.1 CFRPの基材となるUDテープ製造技術の確立

基材は成形時間短縮のために製品形状に賦形する前にあらかじめ炭素繊維に樹脂を含浸しておく必要がある。その方法として、浜松地域CFRP事業化研究会は令和元年度までに、薄く広げた炭素繊維を上下から樹脂フィルムで挟み、超音波溶着技術を応用してテープ状の中間基材（UDテープ）を作製する技術を開発した。本研究では、高品質のUDテープ製造が安定して高効率で製造可能な技術を検討した。UDとは、Uni-Directionの略で、UDテープとは一方向に並んだ炭素繊維を樹脂で固めたテープを意味する。

### 2.2 チョップドUDテープを用いた成形技術の確立

UDテープを一定長に細断したチョップドUDテープを用いて、まず試験用熱プレス機を用いた成形試験を行い、その基礎物性データを収集した。UDテープを一定長に細断する理由は、炭素繊維の方向をランダムに配置することで擬似等方性材料として扱いやすくすることと、繊維を短くすることで樹脂の流動性を上げ、成形性を向上させることにある。

次に、生産性を向上させる成形方法として「通電抵抗加熱による成形」及び「トランスマルチア成形」技術について検討した。

金型の通電抵抗加熱による成形は金型表面に高周波電流を流すことで、金型表面を樹脂溶融温度まで短時間で加熱し、加圧賦形した後に急速冷却することで成形時間を大幅に短縮する技術である（図1）。

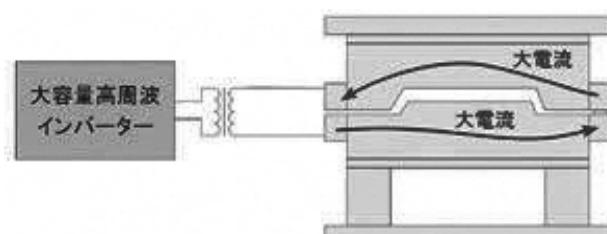


図1 通電抵抗加熱模式図

トランスマルチア成形は、溶融した成形基材を強化繊維の折損を抑えながら金型内に注入・成形する

方法で、射出成形に近い成形サイクルを確立できれば成形時間の大幅な短縮が期待される(図2)。本研究では、成形温度、成形圧力、保圧時間が成形品物性に与える影響について検討した。

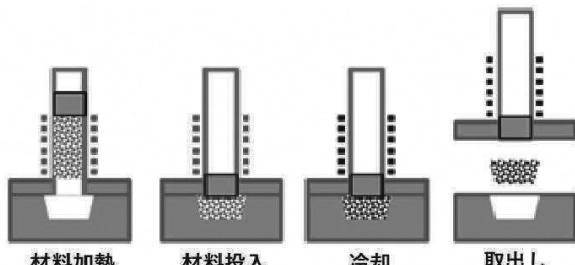


図2 トランスファ成形模式図

### 2.3 地域企業が提案する部品の開発支援

トランスファ成形による新しい成形技術を用いて、県内企業から提案があった製品について試作を行った。

## 3 結果と考察

### 3.1 CFRP の基材となるUDテープ製造技術の確立<sup>1)</sup>

浜松地域 CFRP 事業化研究会が開発、試作した UD テープ製造装置を用いて UD テープ製造条件を検討し、装置に改良を加えることで、高品質の UD テープ製造が安定して高効率で製造可能な条件を導き出した。図3に、UD テープ製造装置の模式図を示す。

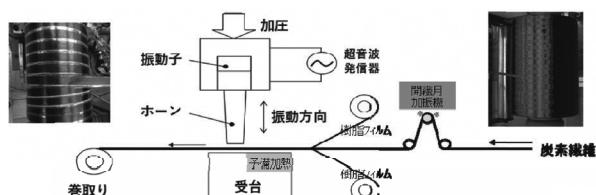
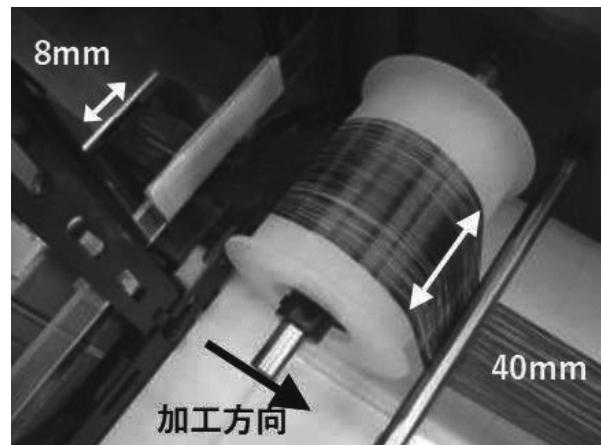


図3 UDテープ製造装置模式図

(1) 安定して効率的に作製するための開織装置、予備加熱装置の開発

炭素繊維を予め薄く広げることにより、溶融樹脂が炭素繊維間に入り込みやすくなる。開織装置を超音波溶着工程の前に設けることにより、12K炭素繊維(12,000本の炭素繊維の束)で7mm幅の炭素繊維を21.6mmに、24K炭素繊維(24,000本の炭素繊維の束)で8mm幅を40mm以上に安定して開織することができ(図4)、作製したUDテープの品質向上(内部に含まれる空隙の量(ボイド率)の低下)を確認した。

また、超音波溶着工程の直前に予備加熱装置を導入することにより、加工速度の向上(装置なしと比べて1.6倍)、品質の向上(ボイド率の低下)ともに達成することができた。

図4 作製した開織装置  
(24K炭素繊維の開織)

### (2) 高品質UDテープの製造条件の確立

開織装置、予備加熱装置を併用して、12K炭素繊維を用いた超音波溶着条件を検討し、安定してUDテープを製造する条件を見出した。作製したUDテープの断面を顕微鏡で観察し、ボイド率と厚さを測定した結果、ボイド率3%、厚さ89μmであり、目標であるボイド率5%以内、厚さ100μm以内の高品質UDテープが作製できた(図5)。

### (3) 太い炭素繊維束を用いて生産量を上げる試験<sup>2)</sup>

24K、50K炭素繊維(50,000本の炭素繊維の束)でも開織装置、予備加熱装置、超音波溶着機の各パラメータを検討し、上記目標品質のUDテープを作製することができた(図6)。装置を通過す

る炭素繊維の本数が増えたことにより、単位時間当たりに作製できるUDテープの量が増加し、12K炭素繊維を用いる場合より、24K、50Kについてそれぞれ、1.8倍、2.2倍の生産効率向上を達成することができた（図7）。

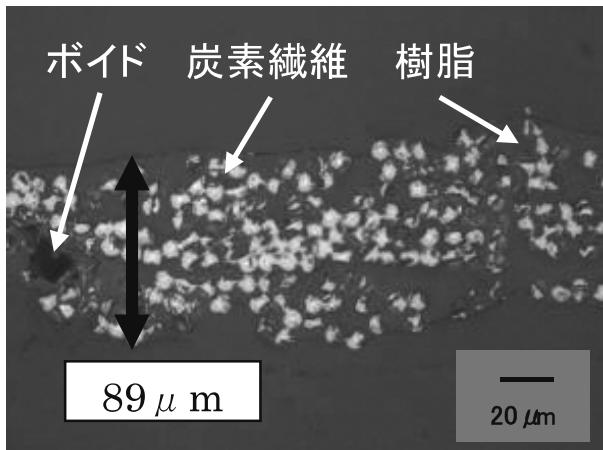


図5 UDテープ断面写真

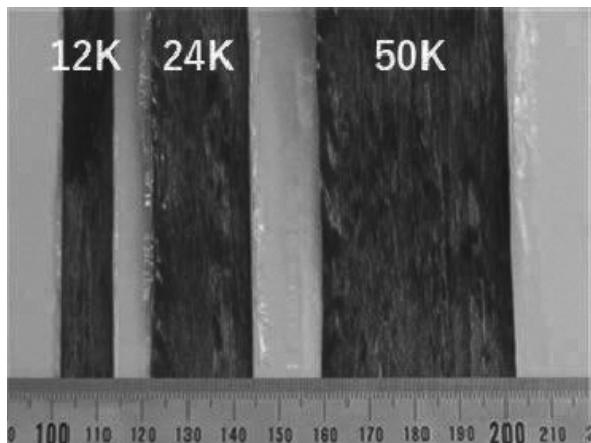


図6 UDテープ外観

### 3.2 チョップドUDテープを用いた成形技術の確立<sup>3)</sup>

#### (1) 試験用熱プレス機による成形品の基礎物性評価

チョップドUDテープ（図8）をランダムに金型内に投入し、試験用熱プレス機を用いて、成形温度、成形圧力を変えて成形試験を行い物性を評価した。その結果、成形した200×200×2 mmのCFRP板について、最適成形条件で作製した成形品の曲げ強度は547MPaであり、一般的なアルミ

ダイカストと比較しても十分な強度であることがわかった。さらに、強度を比重で除した値は軽量性を考慮した比強度として用いられるが、本成形品の比曲げ強度は、アルミダイカストの2.4倍であり、高い軽量高強度性を示すことがわかった（図9）。

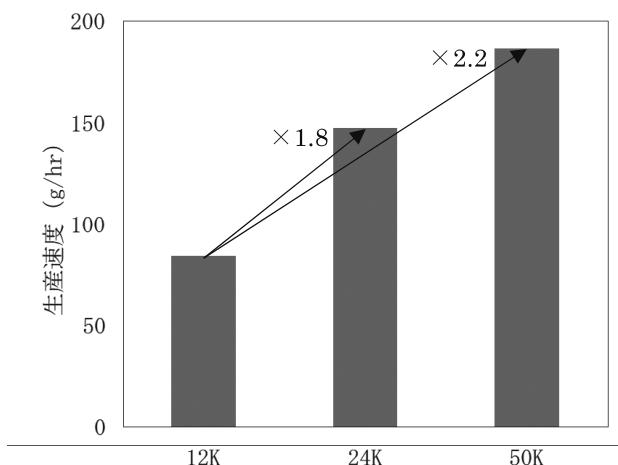


図7 繊維束とUDテープ生産速度



図8 チョップドUDテープ

成形品の断面を顕微鏡で観察したところ、図10のように成形品内部に欠陥（ボイド）がなく、樹脂が炭素繊維束の中にしっかりと充填していることが確認でき、本成形品の高強度の要因を指示する結果となった。

#### (2) 通電抵抗加熱金型による圧縮成形

浜松地域CFRP事業化研究会会員が開発した通電抵抗加熱金型による圧縮成形により、チョップドUDテープを用いた200×200×2 mmのCFRP板を成形し、その曲げ強度を測定した。強度は508

MPa、弾性率は30GPaとなり、アルミダイカスト以上の十分な強度であることがわかった。また、成形時間について通常の圧縮成形では1時間以上を要するところ、本方法では9分程度の成形時間を達成した。

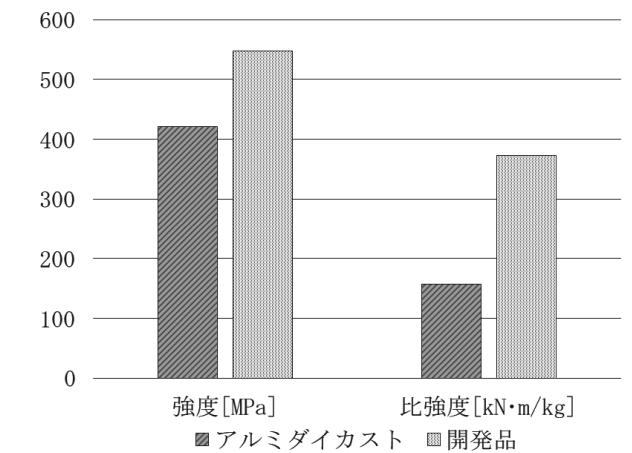


図9 最適成形条件で成形した成形品（開発品）とアルミダイカストの曲げ強度の比較

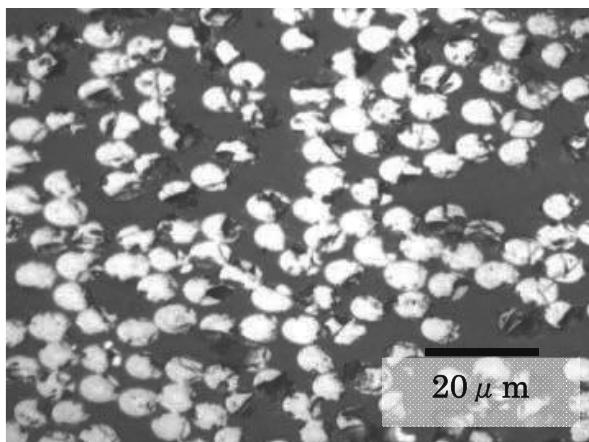


図10 成形品の断面写真

### (3) トランスファ成形

トランスファ成形技術は、一般的には熱硬化性樹脂の成形に使用されているが、スクリューを用いず、プランジャーで樹脂を金型内に注入することから、炭素繊維の折損がない成形が期待できる。しかし、熱可塑性樹脂を用いたCFRPの成形のためには、温度制御や樹脂の注入機構等に改良を加える必要がある。

トランスファ成形機の仕様を決定するにあたって、CFRP研究会会員企業が保有する既存の熱硬化性樹脂用トランスファ成形機を用いた成形など

の予備試験を重ねた。その結果、以下の主な改良点を加えた設計により、新たに熱可塑性CFRP用トランスファ成形機を導入し、UDテープを用いたCFRPを成形可能とした（図11、12）。

- ① UDテープの予備加熱機構・・・成形工程中に次に投入する材料を予め加熱溶融させて待機する
- ②炭素繊維を切断しないゲート・・・最長30mm程度に切断されたチョップドUDテープが折損することなく通過するための大口径ゲート
- ③シリンダ温度制御・・・樹脂の溶融状態を常時保持するシリンダと加熱冷却を繰り返す金型温度を独立に制御する
- ④金型の急速加熱／冷却システム・・・赤外線加熱システムを導入し、金型表面のみを加熱することで、金型を急速加熱冷却する技術

導入したトランスファ成形機の設定項目は、温度、注入速度、樹脂圧力、時間等があり、それぞれ各部位、各工程で設定できるように作製した。この中で、材料の物性に大きく影響すると思われる、成形温度、成形圧力、保圧時間に着目し、200×200×2mmの平板形状の成形品を様々な成形条件で作製し、テストピースを切り出して、曲げ強度等の機械物性を測定した。その結果、成形温度230°C以上、成形圧力8MPa以上、保圧時間2分以上にて良好な成形品を作製できることがわかった。

また、トランスファ成形は樹脂を金型内に移動させる成形方法のため、樹脂流動による炭素繊維配向の偏りが発生する。作製した成形板について、X線検査装置 FF35CT Metrology（コメットテクノロジーズ株式会社製）を用いた透過像を撮影したところ、注入ゲートを中心とした同心円状に炭素繊維が配向していることを確認した（図13）。

### 3.3 地域企業が提案する部品の開発支援

トランスファ成形による新しい成形技術を用いて、県内企業から提案があった製品について試作を行った。

前述のとおり、トランスファ成形は樹脂流動による繊維配向が特徴となるため、この繊維配向を生かした製品を検討したところ、県内歯車メーカーより、かさ歯車の提案があり、本成形に適した金型を検討・作製して試作品を成形した（図14）。

また、同様に県内企業よりモーター用構造部材の提案があり試作を行った（図15）。いずれも、複雑形状成形品の細部まで樹脂及び纖維が充填して



図11 熱可塑性CFRP用トランスファ成形機

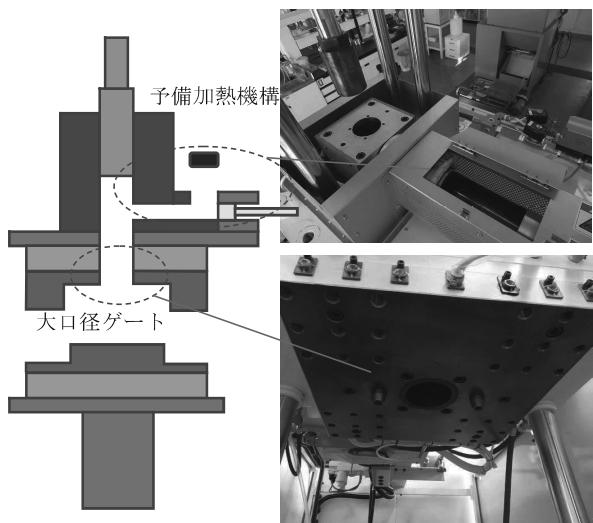


図12 熱可塑性CFRP用トランスファ成形機の模式図、及び予備加熱部、ゲート部写真

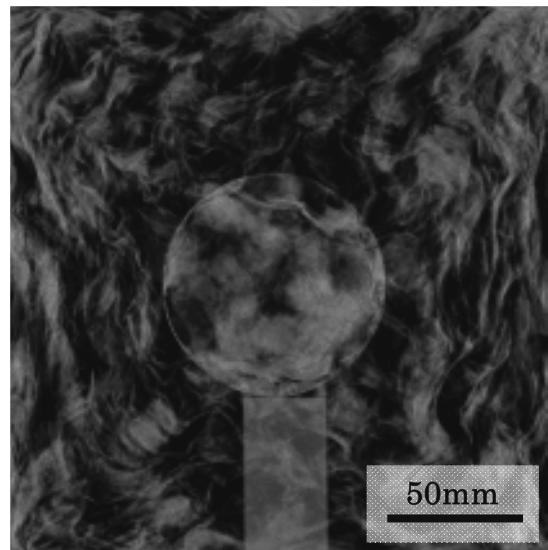


図13 トランスファ成形品のX線透過像  
(200×200×2mm板)

※纖維配向を明瞭にするため、炭素纖維の一部をガラス纖維に替えて成形した材料  
※中央の円形部は、ゲート痕 ( $\phi 80\text{mm}$ )  
※下部の長方形部は、試料保持材

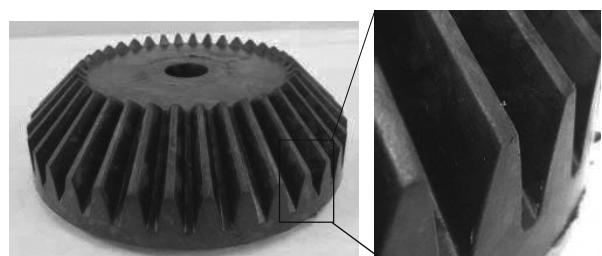


図14 かさ歯車 (直径150mm)



図15 モーター用構造部材 (直径165mm)

## 5 まとめ

炭素纖維の束を熱可塑性樹脂で固めたテープ状の成形基材 (UDテープ) を効率よく作製する技

術を確立した。

UD テープを一定長に細断した材料を成形するために、高強度の炭素繊維が短く切断されないよう特別に設計したトランスファ成形機を導入した。本技術により作製した CFRP 板の曲げ強度は 500 MPa 以上、軽量性を考慮した比強度は、アルミダイカストの 2.4 倍で、複雑形状の部品を短時間で成形することが可能となった。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、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、静岡大学の島村佳伸氏、早川邦夫氏、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) 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).
- 2) 森田達弥 他 : 軽量高強度材料 (CFRP) の高効率成形技術の確立. 静岡県工業技術研究所研究報告, (15), 132-134 (2022).
- 3) 森田達弥 他 : 軽量高強度材料 (CFRP) の高効率成形技術の確立II. 静岡県工業技術研究所研究報告, (14), 128-130 (2021).