

熱可塑性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP) の循環利用

繊維高分子材料科 木野浩成 針幸達也 大木結以 速水優妃 鈴木重好*

Recycling of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (CFRP)

KINO Hironari, HARIKO Tatsuya, OKI Yui,
HAYAMI Yuhi and SUZUKI Shigeyoshi*

Carbon fiber reinforced plastics are becoming more commonplace in various industries. The use of carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP) is expected to increase as they can be horizontally recycled without resin incineration. The development of molding technology processes that can suppress the loss in material strength when the CFRTP is recycled were investigated. The target bending strength during recycling was 400 MPa, corresponding to the bending strength of die-cast aluminum. The recycling of CFRTP using chopped unidirectional (UD) tape as a molding material was investigated. Maintaining carbon fiber length during recycling is essential to maintain its bending strength. CFRTP recycling was studied using a transfer molding machine. It was found that CFRTP can be horizontally recycled using a transfer molding machine.

Keywords : Carbon fiber reinforced plastics, Fiber length, Transfer molding machine, Recycling

炭素繊維強化複合材料の利用が様々な分野で進んでいる。樹脂を焼却することなく、水平リサイクルできる熱可塑性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP) の使用拡大が予想される。本研究では、CFRTP をリサイクルした時の強度低下を抑える成形技術の開発について検討を行った。リサイクル時の曲げ強度を、アルミダイキャストの曲げ強度に相当する 400MPa を目標とした。炭素繊維を熱可塑性樹脂のテープで固めた UD テープを切断したチョップド UD テープを成形材料として使用して、CFRTP のリサイクルについて検討を行った。曲げ強度の維持には、リサイクル時に炭素繊維の破砕時に大きさが維持されることが必要であり、トランスファ成形機を用いて CFRTP の水平リサイクルが可能であることが判明した。

キーワード：炭素繊維強化プラスチック、破砕片、トランスファ成形、リサイクル

1 はじめに

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、県は研究開発や事業化支援等を実施している。自動車業界では、環境規制や燃費向上など、エネルギーを有効に活用する技術が求められている。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なっている。

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、軽量・高強度という点で非常に優れており、航空機、風車のブレードなど多くの分野の部品に採用され、今後も市場の拡

大が予測されている。

CFRP の部品が耐用年数となり廃棄される際に、炭素繊維は製造エネルギー量が大きいため、その再利用が考えられている。熱硬化性樹脂を焼却して炭素繊維のみを回収してリサイクルする熱分解法が中心である。炭素繊維の利用が様々な分野で進んだ場合、熱分解法でなく、樹脂を焼却しないで水平リサイクルできる熱可塑性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP) の使用拡大が考えられる。

当センターでは、炭素繊維の束を開織して熱可塑性樹脂で挟んだテープ状の成形基材 (UD テープ) を一定長に細断した材料 (チョップド UD テー

* 現 公益財団法人 静岡県産業振興財団 新産業集積グループ

プ) を使用して、トランスファ成形機で成形する技術を提案した¹⁾。作製した CFRTP の曲げ強度は 500MPa 以上となりアルミダイキャスト部品の曲げ強度よりも大きな値を得ることができた。

そこで、リサイクル時に CFRTP の強度低下を抑えながら循環利用できるリサイクル成形技術の開発について検討を行った。その際の目標として、リサイクル時の曲げ強度が、アルミダイキャストの曲げ強度に相当する 400MPa とした。

2 方法

2.1 リサイクル時の曲げ強度変化

(1) 成形材料

炭素繊維 T700SC-12K-60E (東レ(株)製) に市販の 6 ナイロン樹脂を含浸させた UD テープ(繊維体積含有率 50%) を作製し、これを長さ 15mm に切断したチョップド UD テープを成形材料とした(図 1)。



図 1 チョップド UD テープ (成形材料)

(2) 成形試験

チョップド UD テープの比重および繊維体積含有率を維持した 200mm×200mm×2mm の平板を成形するため、チョップド UD テープ 120g を計り取り、試験用熱プレス機 AYSR-10HHC 型 (株神藤金属工業所製) を使用して、金型設定温度 260℃、成形圧力 9MPa、成形時間 10 分の条件で成形した。

(3) 破砕試験とリサイクル試験

スクリーン径 20mm の破砕試験機 ZI-420 (ホーライ(株)) を使用して、(2) 成形試験で成形した平板を破砕した(図 2)。破砕片を目開き 5mm の篩を使用して、篩分けした。篩の目に残った分と篩の目を通過した分の、それぞれの重量を測定した。リサイクル試験時に使用するリサイクル材 120g は、破砕片全体を篩の目に残った量と篩の目を通過した量の重量比率で取り分けた。リサイクル試験は、(2) 成形試験に従い行った。



図 2 破砕片

(4) 曲げ試験

成形した平板から曲げ試験片 100×20×2mm を切り出し、真空乾燥機 DRV422DE (アドバンテック東洋(株)製) を用いて 1.3kPa、110℃ で 72 時間乾燥させた。精密万能試験機 AG-50kNX Plus (株島津製作所製) を使用し、JIS K 7074 A 法を参考に、曲げ強度を測定した。

2.2 リサイクル材へのバージン材添加時の曲げ強度変化

リサイクル材に成形材料のバージン材を添加して、リサイクル材の割合を 10%、30%、50%、70%、90%、100% にしたものをバージン材添加リサイクル材とした。(2) 成形試験に従って平板を 1 回目の再成形した。さらにリサイクル材 30% の割合のものにバージン材を添加して、リサイクル材の割合を 10%、30%、50%、70%、90%、100% として 2 回目のリサイクル試験を行った。そして(4) 曲げ試験に従い曲げ強度を測定した。

2.3 破砕片の大きさがリサイクル時に与える影響

破砕片の大きさが曲げ強度に与える影響を検討するため、孔の大きさの異なるスクリーン使用して、大きさの異なるリサイクル材を用意した。スクリーンの孔径は、20mm、35mm、50mm とした。(2) 成形試験に従い、碎片の大きさの異なるリサイクル材から平板を成形した。(4) 曲げ試験に従い曲げ強度を測定した。²⁾

2.4 トランスファ成形機を使用したリサイクル試験

(1) トランスファ成形機による成形

トランスファ成形機は、一般的に CFTP の成形に使用されている。スクリーを用いず、プランジャで成形材料を金型内に注入することから、熱可塑

性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP) を材料とした場合に、炭素繊維の折損が少ない成形ができる。成形材料 120g をタブレット形に固めて予備賦型し、トランスファ成形機 T-50 (松田製作所(株)製) を使用して、200mm×200mm×2mm の平板を成形した。詳細な成形条件を表 1 に示す。

(2) トランスファ成形機を用いたリサイクル試験

(1) トランスファ成形機で成形した平板を複合材料切断機 AC-200CF (株丸東製作所製) を使用して、50mm×200mm×2mm に 4 分割し、これをリサイクル用平板とした。真空乾燥機で乾燥後、トランスファ成形機にリサイクル用平板を投入して、再度平板を成形した。平板の切断・リサイクル用平板を使用した成形を繰り返し、リサイクル試験とした。成形材料から成形したリサイクル回数 0 回、リサイクル回数 0 回を切断しトランスファ成形したリサイクル回数 1 回、リサイクル回数 1 回を切断しトランスファ成形したリサイクル回数 2 回の計 3 種類の試料を得ることができた。(4) 曲げ試験に従い曲げ強度を測定した。

表 1 トランスファ成形機の成形条件

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)	280
材料加熱時間 (s)	600
型締力 (kN)	5.3×10^2
注入速度 (mm/s)	132
成形圧力 (MPa)	10
保圧時間 (s)	300

3 結果と考察

3.1 リサイクル時の曲げ強度変化

成形材料から成形した平板の曲げ強度は 500MPa であった。1 回目のリサイクルで曲げ強度が 200MPa となり、500MPa から大きく低下し、目標とする 400MPa に達しなかった。この理由は、破砕によって破砕片の大きさが小さくなり、破砕片の炭素繊維の繊維長が短くなったため、曲げ強度が低下したと考えられる。

3.2 リサイクル材へのバージン材添加時の曲げ強度変化

曲げ強度の目標値を得るには、リサイクル材に破砕片の大きさを維持することが必要である。1 回目のリサイクル試験で、添加するリサイクル材の割合が 30% 以下の場合に、目標値である 400MPa に相当する曲げ強度を得ることができた (図 3)。さらに 2 回目のリサイクル試験においても添加するリサイクル材の割合を 30% 以下とした場合に、目標値である 400MPa に相当する曲げ強度を得ることができた (図 4)。この結果、リサイクルの都度、バージン材を 70% 添加し、リサイクル材の割合を 30% 以下にすることで、目標を達成することができると考えられる。バージン材の添加によって、リサイクル時の強度低下を避けることが分かった。

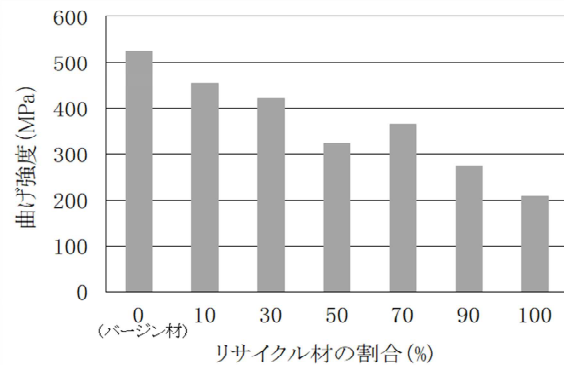


図 3 バージン材添加による曲げ強度変化(1回目)

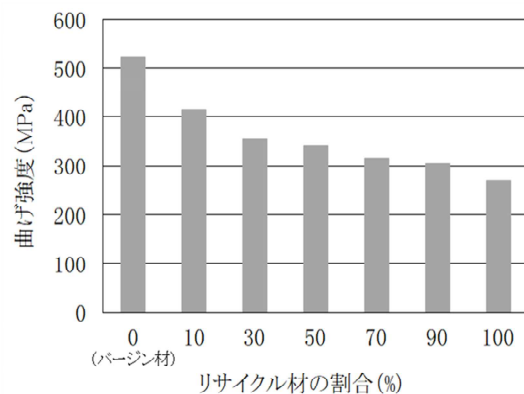


図 4 バージン材添加による曲げ強度(2回目)

3.3 破砕片の大きさが曲げ強度に与える影響

破砕機のスクリーンの孔径を 20mm、35mm、50mm に変化させて破砕した際の破砕片の割合を表 2 に示す。曲げ試験の結果を図 5 に示す。リサイクル試験を行った結果、スクリーン径が 35mm より大きい場合に、曲げ強度は目標とする 400MPa より大き

くなった。リサイクル時に破砕した破砕片が大きさが曲げ強度に与えることから、破砕片の大きさを小さくしないリサイクル方法の検討が重要と考えられる。

表2 スクリーン径の違いによる分級結果

	スクリーンの孔径		
	20mm	35mm	50mm
破砕片 5mm より大	76.0%	91.3%	96%
破砕片 5mm より小	24.0%	91.3%	4%

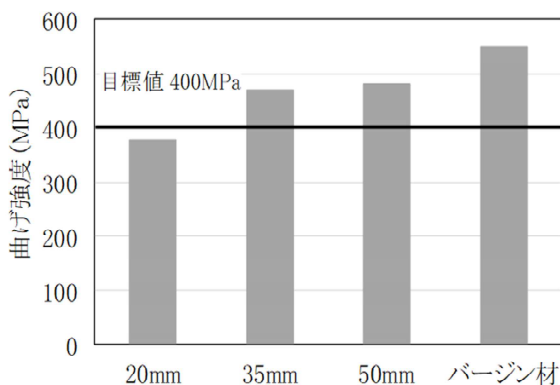


図5 スクリーン径の違いによる強度

3.4 トランスファ成形機を使用したリサイクル試験

トランスファ成形機を使用して、リサイクル試験を2回行った。平板を切断したリサイクル用平板を使用して成形し、曲げ強度試験を行った結果、目標値である曲げ強度 400MPa 以上を達成することができた(図6)。トランスファ成形機でのリサイクルは可能であることが分かった。

曲げ試験において強度が低下した理由について、(強度は落ちていない。リサイクル1回目は向上しており、2回目もバージン材と同程度。)再成形時の加熱による熱可塑性樹脂の劣化の可能性の検討が必要である。

4 まとめ

熱可塑性樹脂で固めたテープ状のUDテープを切断したチョップドUDテープを成形材料として、トランスファ成形機を使用して、CFRTPのリサイクルについて検討した。その結果、CFRTPのリサイクルは可能であることがわかった。なお CFRTP

のリサイクルには、リサイクル時の破砕片の大きさを小さくしないことが必要である。

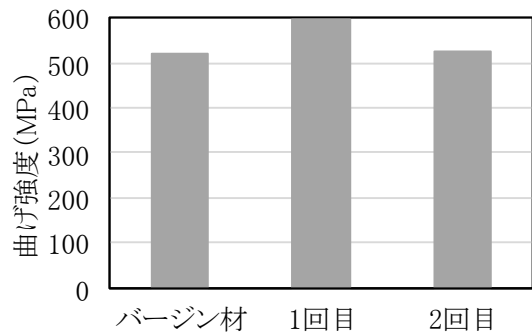


図6 トランスファ成形機を用いたリサイクル試験

またトランスファ成形機を使用したリサイクル成形は、繊維が切断されにくく、リサイクル成形性が優れていることが示された。

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には、多くの御協力、御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) 鈴木重好 他：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. 静岡県工業技術研究所研究報告,16, 100-106 (2023) .
- 2) 室井國昌：熱可塑性樹脂 ROS の特徴とリサイクル性について. 浜松地域 CFRP 事業化研究会 技術講演会 2024 資料.