

## 炭素繊維強化熱可塑性樹脂シート・ペレット複合成形品の物性

赤田英里\*, 森澤 諭\*, 藪谷祐希\*

### Press and Injection Hybrid Molding of Fiber Reinforced Thermoplastic Resin Sheet and Pellet by a Hybrid Molding Machine

Eri AKADA, Satoshi MORISAWA and Yuki YABUYA

The Press and Injection Hybrid Molding Parts using continues sheets and pellets of carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP) have high strength and complex shape. In this study, to confirm the formability of specimen made with Hybrid Molding, basal property were evaluated by bending strength and surface roughness. Bending strength was changed by position of the sheet, and surface roughness was improved with increase of injection pressure.

Key words: Hybrid Molding, Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics, Sheets Press and Pellets Injection Molding, Bending Strength, Surface Roughness

#### 1. はじめに

炭素繊維強化複合材料は、金属と比較して比強度・比剛性が高い特性を有することから、近年では、航空機等の輸送機器向け軽量材料として注目されている。中でも、母材に熱可塑性樹脂 (Thermo Plastics) を用いた熱可塑性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP) は、加熱により成形や賦型が可能であり高い生産性を有すること、溶着等の二次加工が可能であること、リサイクル性に優れること等から、自動車分野への適用研究が実施されている。

繊維強化複合材料の機械的特性は、強化繊維の繊維長や、繊維の配向方向により、特性が変化することが知られている<sup>1)</sup>。繊維強化複合材料の繊維長が連続的であると製品強度が向上するものの、その成形法として多く用いられるプレス成形法によると、形状の自由度が低下する。一方で、繊維強化複合材料の繊維長が短いと、射出成形法

等により複雑形状の製品が成形可能なものの、樹脂との熔融混練による繊維の折損等により、強度が低下する<sup>2)</sup>。これらのことから、製品を高強度かつ複雑形状とするためには、強化繊維の形態およびこれに応じた成形法の選択が課題である。

三重県では、平成 23 年度から平成 25 年度にかけて、県内企業を中心とした複合プラスチック研究会を開催し、CFRTP シートを用いプレス成形した際の塑性性に関する検討や、CFRTP ペレットを用いた射出成形性等に関する検討を行った<sup>3,4)</sup>。これらの検討の中で、材料の強度特性を活かしたうえで生産性を向上させることが、CFRTP の成形加工では特に必要となることが分かった。そこで、経済産業省 平成 26 年度補正 地域オープンイノベーション促進事業において、図 1 に示すシートおよびペレットを同時に成形する「ハイブリッド成形機」を導入した。

導入した「ハイブリッド成形機」は、連続繊維を用いた熱可塑性繊維強化複合材料 (FRTP) シートと、短繊維を含有した射出成形用のペレット

\* ものづくり研究課



図1 ハイブリッド成形機装置外観

を同一金型内で成形することを可能とする<sup>5,6)</sup>。本方法では、FRTPシートを任意の箇所に配置することで選択的に強度を付与することが可能となり、同時に、短繊維ペレットを射出成形することでリブやボス等の複雑形状を有する部位も一体成形することができる。これにより、FRTP成形品の適応拡大の課題とされている、製品強度と成形性の両立<sup>7)</sup>が可能になる。しかしながら、これまでに本方法を用いた成形品の物性および形状特性を検討した報告例はない。そのため、本報では、ハイブリッド成形機によるFRTP成形品の成形条件による曲げ強さおよび表面性状の違いを明らかにした。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

FRTPシートには、マトリックスにポリアミド66 (PA66) を用いた炭素繊維 (CF) /PA66 プリプレグ (Tepex® optilite201-C200(4)/45 % , LANXESS, 厚さ 1.0 mm, 曲げ強さ 760MPa) およびガラス繊維 (GF) /PA66 プリプレグ (Tepex® dynalite101-RG600(4)/47 % , LANXESS, 厚さ 1.0 mm, 曲げ強さ 600MPa) を用いた。これらのFRTPシートを図2に示す形状に加工した。また、射出成形用のペレットには、PA66にCF短繊維を21%含有したもの (Durethan TP037-001 901510, LANXESS, 曲げ強さ 260MPa) およびGF短繊維を35%含有したもの (Durethan AKV35 H2.0 SR1 901510, LANXESS, 曲げ強さ 295MPa) を用いた。



図2 FRTPシート加工形状

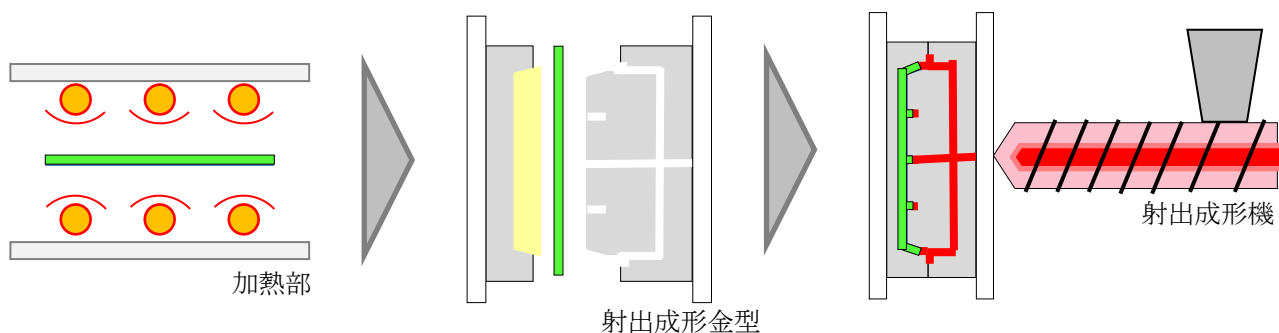
### 2.2 試験体の作製

図3に示すハイブリッド成形法の概略図の通り、1. 加熱部 (2700W 近赤外ヒーター, ヘレウス) にて賦型可能温度まで加熱したFRTPシートを、図4に示す搬送システムを有する2. 搬送部 (TV-1000, 東芝機械) にて80℃に予熱した3. 射出成形機 (EC100SXII, 東芝機械) の金型内に搬送し、図5に示す金型内の固定ピンへ設置した。その後、射出成形機を用い型締め力 850 kN にてシートの賦型を行うと同時に、射出成形用のペレットを表1の条件により成形し、FRTPシートと射出成型用のペレットを複合化することにより、図6に示すJIS K 7139:2009 多目的試験片A1を作製した。試験体のFRTPシートと射出樹脂は、強化繊維の材質が同じものを用いた。

### 2.3 強度試験

試験体のFRTPシート部と射出樹脂部の界面について、熔融・接合強度を評価するために、3点曲げ試験<sup>8)</sup>を行った。界面の熔融・接合状態の異なる試験体を作製するため、加熱部での加熱時間を38秒、43秒および58秒の3通りとした。作製した多目的試験片から、機械加工によりJIS K 7139:2009 短冊試験片B3を作製し、万能試験機

— : FRTP シート      — : 射出成形ペレット



1. FRTP シート加熱

2. 射出成形金型内へ搬送

3. FRTP シートと射出成形ペレットの一体成型

図3 ハイブリッド成形工程 概略図

(AG-X100kNplus, 島津製作所) を用いて試験した。試験速度は 2 mm/min, 支点間距離は 64 mm とし, FRTP シート面および射出樹脂面それぞれからの荷重による変形を明らかにした。試験体は 23 °C, 50 %RH の恒温恒湿槽中に 88 時間以上静置することにより状態調節を行った。それぞれの加熱条件について 3 試験体ずつ試験し, その平均値を曲げ強さとした。



図5 FRTP シート 固定ピン

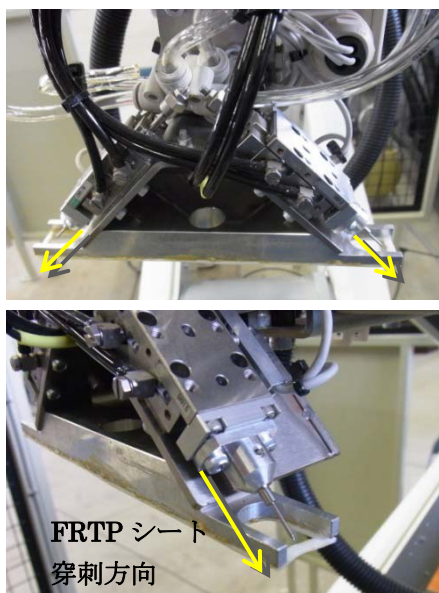


図4 FRTP シート搬送システム外観



図6 多目的試験片 A1 ハイブリッド成形品

表1 射出成形条件

シリンダ温度 [°C]	290
金型温度 [°C]	80
スクリュ回転数 [rpm]	100
射出圧力 [Mpa]	45, 60
冷却時間 [sec]	40

## 2. 4 表面粗さ測定

射出樹脂の射出圧力を 45 MPa および 60 MPa の 2 通り，FRTP シートの加熱条件を 38 秒，43 秒および 58 秒の 3 通りとし，FRTP シート面における金型内面の転写状態が異なる試験体を作製した．なお，本試験に用いる試験体の強化繊維は全てガラス繊維を用いた．試験体の表面粗さ測定には，表面粗さ・輪郭複合測定器（サーフコム 2000SD，東京精密）を用いた．測定は JIS B 0601:2001 に準じて行い，測定長さ 50 mm，測定速度 0.003 mm/sec および平均値幅 0.05 mm とし，十点平均粗さを比較した．

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 ハイブリッド成形品における曲げ強さの検討

試験体の 3 点曲げ試験結果を図 7 に示す．炭素繊維およびガラス繊維それぞれにおいて，加熱時間の違いによる強度の差が小さかった．図 4 に示す本搬送システムは保持針を FRTP シートに穿孔し保持・搬送するものであり，試験体作製時の加熱条件より短時間加熱の場合は FRTP シートに保持針を貫通させることが難しく搬送不可となり，長時間加熱の場合は FRTP シートの変形量が大きく保持針から脱落するため搬送不可となることが予備実験によりわかった．このことから，本装置の FRTP シート搬送システムを用いた場合，成形可能な範囲の条件においては，加熱時間による熔融・接合強度の変化は小さいものと考ええる．

荷重面が射出樹脂面の場合，シート面の場合と比べ，試験体の強化繊維が炭素繊維では 35 %，ガラス繊維では 25 %，曲げ強さが向上した．このとき，FRTP シートに圧縮の負荷および射出樹脂に引張の負荷となる．曲げ強さの向上は，FRTP シートの機械的特性が一般的な積層板の複合則<sup>9)</sup>と同様に，圧縮強度より引張強度の方が高強度であることにより説明される．このことから，高強度な部材を設計する為には，FRTP シート単体に関する圧縮強度等の各種特性を把握し，FRTP シート特有の強度の異方性を考慮したシートの配置・複合材の強度設計を検討する必要があることが示唆された．

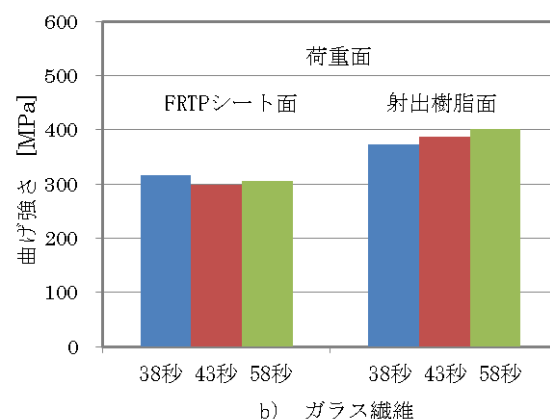
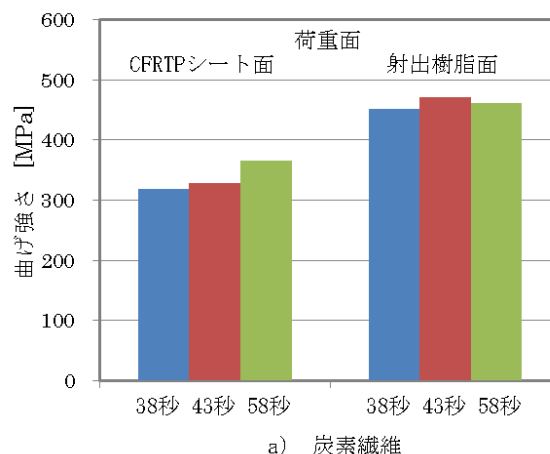


図 7 荷重面および加熱時間が異なる試験体の曲げ試験結果

### 3. 2 成形条件による表面性状の検討

試験体の表面粗さ測定結果を図 8 に示す．同じ加熱条件では，射出圧力を高く設定した方が表面粗さ測定値は低下し，表面性状は向上した．射出樹脂の圧力上昇により，より高圧力で FRTP シートが金型内面に押し付けられたため，転写効率が向上したと考えられる．また，同一の射出圧力では FRTP シートの加熱時間が長い方が，表面粗さ測定値が低下し，表面性状は向上した．これは長時間の加熱により FRTP シートの蓄熱量が増え，短時間加熱よりも金型内での FRTP シート温度が上昇・変形追従性が向上したためと考えられる．今後の検討では，変形追従性を詳細に検討するために，シート表面温度の測定を行うことが望ましい．

以上の通り，射出圧力が高い場合および加熱時間が長い場合に，表面性状は向上した．一方で，

加熱時間が長くなると FRTP シートの変形量が増大するため、3.1 節で述べた通り、成形金型内への搬送が難しくなる。効率的に FRTP シートの表面性状を向上させるためには、射出圧を上昇させる方法が適していると考えられる。

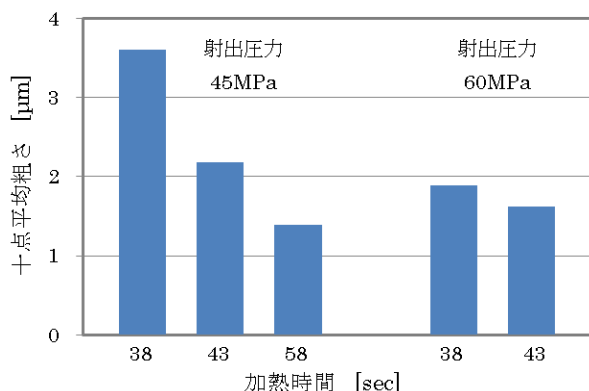


図 8 射出圧力および加熱時間が異なる試験体の表面粗さ測定結果

#### 4. まとめ

連続繊維を用いた FRTP シートと射出成形用のペレットの同一金型内での成形を可能とするハイブリッド成形機について、成形品の強度および成形性を向上させることを目的とし、成形条件による曲げ強さおよび表面性状の変化を測定したところ、次の特徴が明らかになった。曲げ試験における荷重方向について、荷重面が射出樹脂面の場合の方が、曲げ強さが高かった。射出圧が高い、または加熱時間が長いとき、表面粗さ測定値が低下し、FRTP シートの表面性状が向上した。ただし、加熱時間が長くなると FRTP シートの変形量が増大し、成形金型内への搬送が難しくなるため、効率的に FRTP シートの表面性状を向上させるためには、射出圧を上昇させる方法が適していると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 秋庭義明ほか：“短繊維強化プラスチックの疲労強度に及ぼす繊維含有率と配向角の影響”。材料, 41(467), p1285-1291 (1992)
- 2) 高橋 淳ほか：“量産車用 CFRTP の研究開発”。第 24 回プラスチック成型加工学会要旨集, p323-324 (2013)
- 3) 林一哉ほか：“自動車軽量化技術等開発事業報告”。三重県工業研究所研究報告, 36, p118-121 (2012)
- 4) 森澤 諭ほか：“炭素繊維強化熱可塑性樹脂射出成形品の引張強度と耐候性の評価”。三重県工業研究所研究報告, 37, p50-54 (2013)
- 5) M. Ohisi et al.：“Effect of heater system on heating efficiency and interfacial properties between prepreg and injected part in hybrid molding ”. Journal of Mechanical Engineering and Automation, 7(1), p1-7 (2017)
- 6) 大野秋夫ほか：“セミプレグを用いた革新的 CFRTP 成形加工技術の開発”。日本製鋼所技報, 66, p129-134 (2015)
- 7) 寺田幸平：“炭素繊維強化熱可塑性プラスチック - 現状, 応用分野および課題 - ”. 精密工学会誌, 81(6), p485-488 (2015)
- 8) 山口勝利ほか：“炭素繊維/アルミニウム合金複合材料の曲げ強さに及ぼす界面状態の影響”。日本金属学会誌, 59(1), p15-22 (1995)
- 9) 大仁田孝史ほか：“マトリックスハイブリッド積層板の力学的特性”。材料, 50(10), p1146-1151 (2001)