

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成形性

藪谷祐希*, 森澤 諭*, 赤田英里*

Formability of Hybrid Molding using Fiber Reinforced Thermoplastic Sheet and Resin Pellet

Yuki YABUYA, Satoshi MORISAWA and Eri AKADA

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, Formability was evaluated by warpage deformation. Specimen warpage deformation was changed by mold shrinkage rate of specimen matrix resin and coefficient of thermal expansion of FRTP sheet, and it was improved with low mold shrinkage rate of specimen matrix resin.

Key words: Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics, Sheets Press and Pellets Injection Molding, Formability, Warpage deformation, Mold shrinkage rate, Coefficient of Thermal Expansion

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¹⁾。連続繊維を用いた繊維強化複合材料は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、短繊維を用いた繊維強化複合材料は、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、樹脂との溶融混練による繊維の折損等により、強度が低下する²⁾。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^{3,4)}。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。これらの検討結果を踏まえ、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、射出成形用のペレットを同一金型内で成形

* ものづくり研究課



図 1 装置外観

することを可能とする^{5,6)}。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、樹脂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、強度と成形性の両立⁷⁾が可能になる。強度特性は著者らの“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”⁸⁾において報告を行ってきた。しかしながら、本方法を用いた成形品における成形性を検討した報告例はない。成形不良事象のとしては「ひけ」や「そり」等があるが、この中で「そり」は成形品に対して変形が生じるため大きな問題となる。一方、そり変形要因は製品形状や成形条件、成形材料の機械的特性や熱特性等が影響するため対応が難しい課題である^{9) 10)}。そのため、本報では、ハイブリッド成形品の成形性の確認として材料特性の異なる射出樹脂とFRTPシートを用いて検討を実施した。

2. 実験方法

2. 1. 1 供試材

ハイブリッド成形品の成形性（そり変形）におよぼす影響を確認するために表 1 に示す成形収縮率の異なる射出樹脂と線膨張係数の異なる FRTPシートを用いて検討を行った。射出樹脂には繊維強化樹脂として、CF 短繊維を 21%含有したポリアミド 66 (PA66CF, Durethan TP-037-001 901510, LANXESS), GF 短繊維を 35%含有したポリアミ

ド 66 (PA66GF, Durethan AKV35 H2.0 SR1 901510, LANXESS) を用い、非強化樹脂としてポリスチレン (PS, H450, 東洋スチレン株式会社), ポリプロピレン (PP, ノバテック MA3, 日本ポリプロ株式会社), ポリアミド 6 (PA6, アミラン CM1017, 東レ株式会社), ポリアミド 66 (PA66, アミラン CM3001-N, 東レ株式会社) を用いた。なお、射出樹脂の物性においてはカタログ値を用いた。

FRTPシートには、炭素繊維連続シートとして、マトリックス樹脂にポリアミド 6 を用いた炭素繊維 (CF)/PA6 プリプレグ (CF(PA6)シート, PA6-3KT4A-950S, 一村産業株式会社) とマトリックス樹脂にポリアミド 66 を用いた炭素繊維 (CF)/PA66 プリプレグ (CF(PA66)シート, Tepex® dynalite201-C200(4)/45 %, LANXESS) の 2 種類を用い、ガラス繊維連続シートは、マトリックス樹脂にポリアミド 66 を用いたガラス繊維 (GF)/PA66 プリプレグ (GF(PA66)シート, Tepex® dynalite101-RG600(2)/47 %, LANXESS) とマトリックス樹脂にポリプロピレンを用いたガラス繊維 (GF)/PP プリプレグ (GF(PP)シート, Tepex® dynalite104-RG600(2)/47 %, LANXESS) の 2 種類を用いた。なお、物性においてはカタログ値を用いた。また、炭素繊維 (CF)/PA6 プリプレグの熱膨張係数の測定は名古屋市工業研究所の熱分析装置 (エイアイアイナノテクノロジー-TMA/SS) を用いて熱ひずみを測定し、線膨張係数を算出した。昇温速度は 5°C/min で室温から 150°C までの範囲

で測定し、室温から 80℃までの平均線膨張係数とした結果、 $0.6 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ であった。

2. 1. 2 試験体の作製

図 1 に示す装置を用い、図 2 の成形工程概略図の通り、①加熱部 (2700W 近赤外ヒーター、ヘレウス (株)) にて賦型可能温度まで加熱した FRTP シートを②搬送部 (搬送機、TV-1000, 東芝機械

(株)) にて射出成形機の金型内に搬送し設置する。その後、③射出成形部 (射出成形機、EC100SX II, 東芝機械 (株)) での型締めによりシートの賦型を行うと同時に、各樹脂材料のペレットを表 2 に示す射出成形可能な条件で射出し、表 3 に示す組み合わせの JIS K 7139:2009 多目的試験片 A1 を作製した。

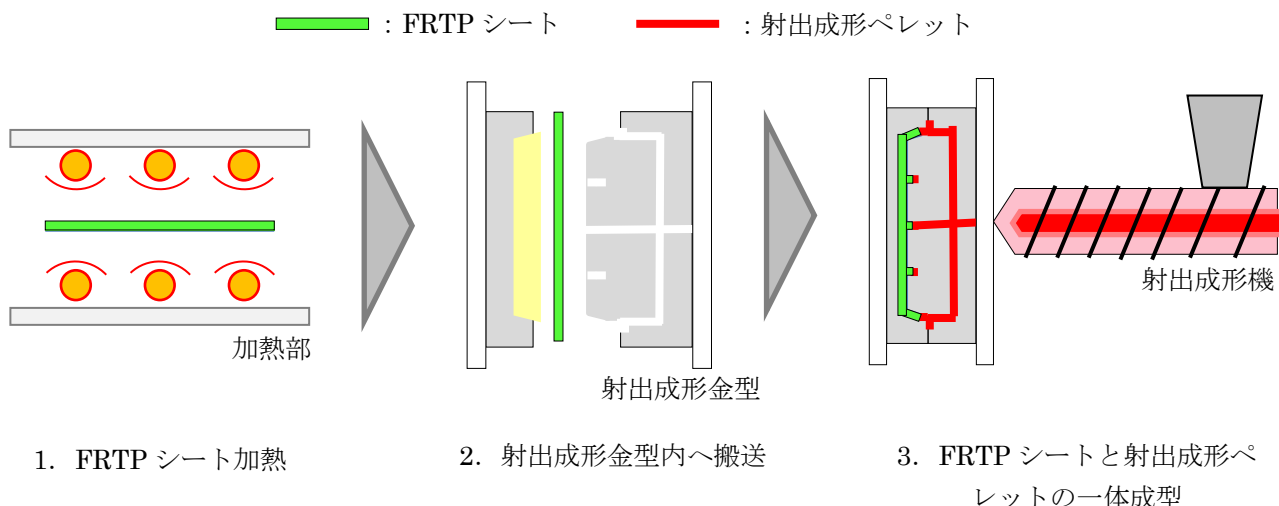


図 2 成形工程 概略図

表 1 供試材

射出樹脂						
樹脂種		強化繊維	グレード	メーカー	曲げ弾性率(Mpa)	成形収縮率(%)
ポリアミド66	PA66CF	炭素繊維	Durethan TP037-001 901510	LANXESS	14000	0.22
ポリアミド66	PA66GF	ガラス繊維	Durethan AKV35 H2.0 SR1 901510	LANXESS	10500	0.37
ポリスチレン	PS	非強化	H450	東洋スチレン株式会社	2450	0.6
ポリプロピレン	PP	非強化	MA3	日本ポリプロ	1500	1.5
ポリアミド6	PA6	非強化	アミランCM1017	東レ株式会社	3000	1.6
ポリアミド66	PA66	非強化	アミランCM3001-N	東レ株式会社	2800	2.2

FRTPシート						
繊維種		マトリックス樹脂	グレード	メーカー	曲げ弾性率(Mpa)	線膨張係数($\times 10^{-5}/^\circ\text{C}$)
炭素繊維	CF(PA66)シート	PA66	Tepex® dynalite201-C200(4)/45 %	LANXESS	44100	0.47
炭素繊維	CF(PA6)シート	PA6	PA6-3KT4A-950S	一村産業株式会社	53000	-
ガラス繊維	GF(PP)シート	PP	Tepex® dynalite104-RG600(2)/47 %	LANXESS	17000	1.10
ガラス繊維	GF(PA66)シート	PA66	Tepex® dynalite101-RG600(2)/47 %	LANXESS	20000	1.51

表 2 射出樹脂の成形条件

	射出樹脂					
	PA66CF	PA66GF	PS	PP	PA6	PA66
シリンダ温度 [°C]	290	290	220	220	250	290
金型温度 [°C]	80	80	40	40	80	80
スクリュ回転数 [rpm]	100	100	100	100	100	100
射出圧力 [MPa]	60	60	60	60	60	60
冷却時間 [sec]	60	60	60	60	60	60

表 3 射出樹脂と FRTP シートのハイブリッド成形品

射出樹脂	FRTPシート
PA66CF	CF(PA6)シート
PA66GF	CF(PA6)シート
PS	CF(PA6)シート
PP	CF(PA6)シート
PA6	CF(PA6)シート
PA66	CF(PA6)シート
PA66	CF(PA66)シート
PA66	GF(PP)シート
PA66	GF(PA66)シート

2. 2 そりの測定

表 3 に示すハイブリッド成形品の成形性のうち変形不良を抑制する目的でそりを評価した。ここで、図 3 に示す試験体を定盤上に水平に置き、最も高い位置について計測し試験体の厚みを減じた量をそり変形量の値と定義した。

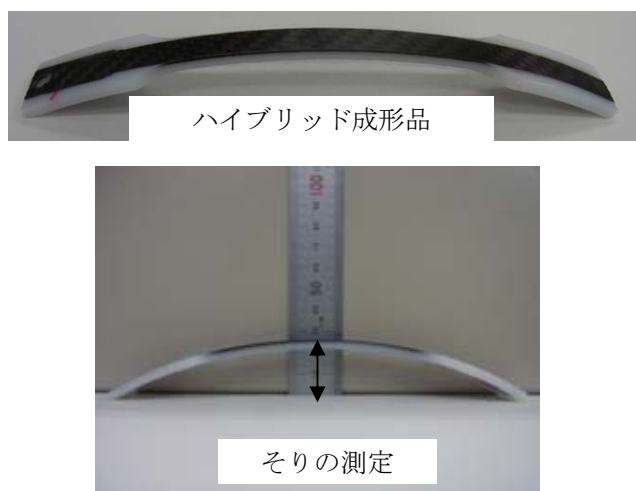


図 3 ハイブリッド成形品とそりの測定方法

3. 実験結果および考察

3. 1 射出樹脂の成形収縮率および曲げ弾性率におけるそり変形

射出樹脂の成形収縮率および曲げ弾性率における試験体のそり変形量についての結果を図 4 と図 5 に示す。図 4 に示すように成形収縮率が大きい非強化の PA66 樹脂ではそり変形量も大きく、一方で成形収縮率の小さい非強化のポリスチレン樹脂や強化繊維を含有した PA66 樹脂ではそり変形量も小さくなっていった。すなわち、そり変形は成形収縮により生じているものと考えられる。図 5 に示すように繊維強化樹脂は曲げ弾性率が高く、そり変形量が小さくなっているが非強化樹脂においては曲げ弾性率の違いによるそり変形への影響はみられなかった。曲げ弾性率の高い射出樹脂におけるそり変形量の低減は、強化繊維を含有したことにより成形収縮率が抑制されたためと考えられる。この結果から同じ FRTP シートを用いた場合、そり変形は射出樹脂の成形収縮による影響が大きいと考えられる。

3. 2 FRTP シートの線膨張係数および曲げ弾性率におけるそり変形

FRTP シートの線膨張係数および曲げ弾性率における試験体のそり変形についての結果を図 6 と図 7 に示す。図 6 に示すように熱膨張係数が増加するに伴い、そり変形量が低減する傾向がみられた。これは、線膨張係数が大きい材料は加熱により膨張し、膨張した FRTP シートが射出樹脂の収縮を抑制していると考えられる。図 7 に示すように曲げ弾性率が高い CF シートにおいて、そり変形量が大きい傾向がみられた。弾性率の高い炭素繊維材料は変形しにくいと考えられるが、線膨張係数が小さいためそり変形量が大きくなったと推定する。

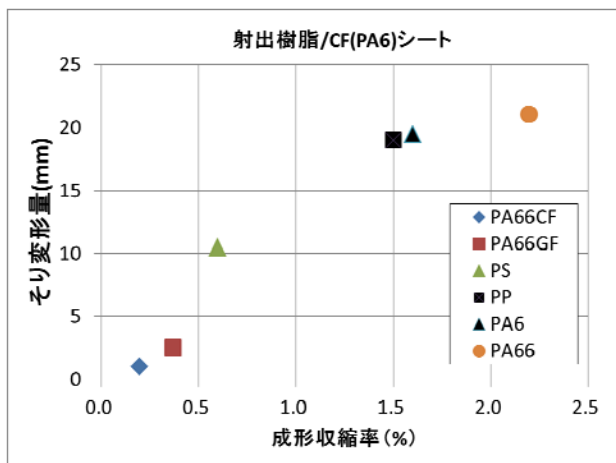


図 4 そり変形量と成形収縮率の関係

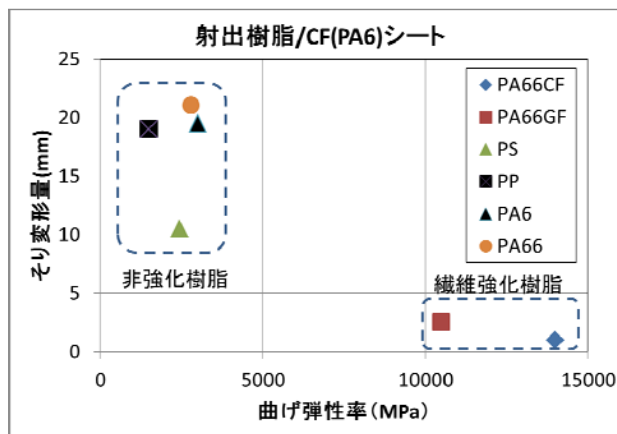


図 5 そり変形量と射出樹脂の曲げ弾性率の関係

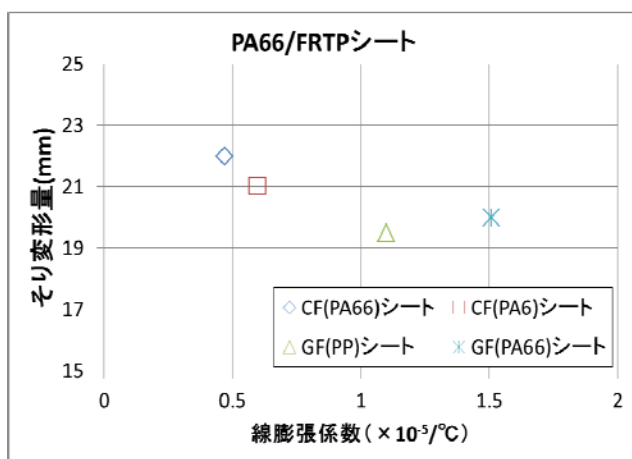


図 6 そり変形量と FRTP シートの線膨張係数の関係

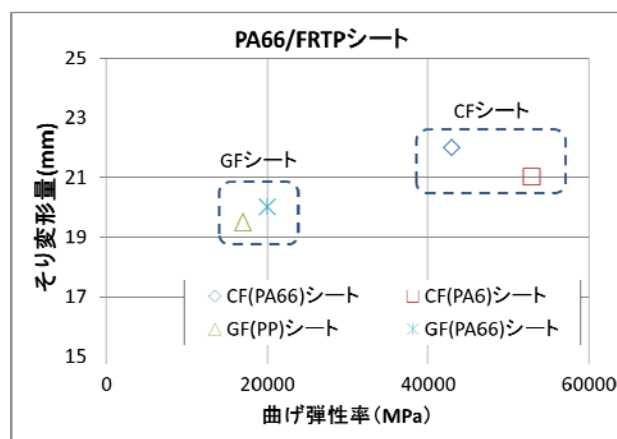


図 7 そり変形量と FRTP シートの曲げ弾性率の関係

4. まとめ

ハイブリッド成形品について、射出樹脂および FRTP シートの材料特性がそり変形におよぼす影響を確認した。射出樹脂の成形収縮率や FRTP シートの線膨張係数の物性の違いがそり変形に影響することが分かり、そり変形量は成形収縮の小さい樹脂を用いることで抑制できることが明らかとなった。このことから、成形収縮率の大きい樹脂材料を用いる場合は、そり変形が大きくなることが想定されるため、材料特性を把握した製品設計を検討する必要があることが示唆された。

謝辞

本研究の遂行に当たり、名古屋市工業研究所の岡本様に大変お世話になりました。ここに感謝の意を記します。

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) MasakiOhisi 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) 赤田英里ほか：“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”. 三重県工

業研究所研究報告, 41, p39-43 (2017)

- 9) 丸山照法ほか：“熱可塑性樹脂を用いた射出成形品の成形収縮率とそり変形の解析”. 高分子論文集, 45(3), p253-262 (1988)
- 10) 石川敏之ほか：“CFRP板が接着された鋼板に生じる熱応力の低減工法の開発”. 土木学会論文集, 67(2), I_767-I_776 (2011)

(本研究は, 法人県民税の超過課税を財源として
います.)