リサイクル短繊維ペレットのCFRTPハイブリッド射出成形における射出材とインサート材との界面接着性に関する研究

富岡 正雄^{*1}・石川 健^{*1}・塩出 純也^{*2}・田中 達也^{*2}

Study on Interfacial Adhesion between Recycled Short Fiber Pellets and Inserted Parts in CFRTP Hybrid Injection Molding

Tomioka, Masao^{*1}/Ishikawa, Takeshi^{*1}/Shiode, Junya^{*2}/Tanaka, Tatsuya^{*2}

Since carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP) have features such as high cycle productivity and recyclability, they have been extensively studied recently as a next generation lightweight material. From the viewpoint of high cycle productivity of CFRTP, a molding technology combining press molding and injection molding of CFRTP called “hybrid injection molding” is attracting attention. On the other hand, we proposed a method for recycling CFRTP prepreg waste by kneading with a twin-screw extruder and pelletizing based on the recyclability of CFRTP in a recent paper. Therefore, in this study, the interfacial adhesion between insert-material, which is a laminate of CFRTP prepreg, and injection-material, which is fabricated by recycling the end material of the CFRTP prepreg used at the time of manufacturing the insert-material, was investigated. As a result, it was confirmed that excellent interfacial adhesion is exhibited when using insert-material and injection-material that have similar material characteristics for hybrid injection molding.

Key words : Hybrid injection molding, CFRTP, Recycling, Interfacial adhesion

1. 緒 言

昨今より部材の軽量化のため、金属製の部材から樹脂製の部材への置き換え検討が行われてきている。その中で、樹脂を炭素繊維（CF）で強化した炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は比強度・比弾性率に優れ、部材を軽量化させる材料の有力候補の一つとして注目を集めている。実用化されているCFRP部材の大半は、マトリックス樹脂がエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂を用いたものであるが、マトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いた熱可塑性炭素繊維複合材料（CFRTP）は、ハイサイクル成形性、リサイクル性などの特長を有し、次世代の軽量化材料として、近年盛んに研究が行われている^{1)~3)}。

さらにCFRTPのハイサイクル性の観点から、“ハイブリッド射出成形”と呼ばれる、CFRTPのプレス成形と射

出成形を組み合わせた成形技術が注目されている^{4)~6)}。この成形技術は、図1に示すように、あらかじめ加熱溶融させたプレス成形用基材をインサート材として射出成形機の金型内に配置し、金型の型締めによりインサート材をプレス成形した後、射出成形にてリブやボスといった複雑な形状部分をオーバーモールドするものである。一般的に、繊維強化プラスチックの繊維長および繊維含有率は成形時の賦型性および成形品の機械物性に大きく影響を与えるが、これらはトレードオフの関係にあるとされる⁷⁾。しかしハイブリッド射出成形では、プレス用のインサート材には連続繊維（もしくは長繊維）で高繊維含有率の材料を、射出用の材料には短繊維で低繊維含有率の材料を用いるため、優れた賦型性と高い機械物性の両立が可能な成形技術とも言える。この技術により成形されたハイブリッド射出成形品の品質にとってはインサート材と射出樹脂の界面の接着性も重要な支配因子の一つであると言える。大石ら⁸⁾はインサート材にガラス繊維織物によって強化されたポリアミド6樹脂（PA6）と、射出材料に短繊維のガラス繊維によって強化されたPA6を成形原料に用いて、インサート材の予備加熱温度および射出材の温度の上昇に伴い、界面特性が向上することを確認している。

一方、CFRTPの成形方法の一つとして、樹脂をCFに含浸させたプリプレグを原料として、このプリプレグを成形品の寸法に裁断して積層した後に、熱溶着等により一体

^{*1} 三菱ケミカル(株) 豊橋事業所
Mitsubishi Chemical Corporation. Toyohashi Production Center
豊橋市牛川通 4-1-2 (〒440-8601)
1-2, Ushikawa-dohri 4-Chome, Toyohashi, Aichi, 440-8601, Japan
tomioka.masao.mp@m-chemical.co.jp

^{*2} 同志社大学大学院 理工学研究科
Doshisha University, Faculty of Engineering and Science
京田辺市多田羅都谷 1-3 (〒610-0321)
1-3, Tatara Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321, Japan
2017. 11. 27 受理

Fig.1 Process drawing of hybrid injection molding

化させる手法がある。この手法におけるプリプレグの裁断工程では、少なからずプリプレグの端材が発生する。著者らはこれまでに、CFRTPのリサイクル性に着目し、このプリプレグの端材を二軸押出機にて混練してペレット化することで、射出成形用材料としてリサイクルする手法を提案している⁹⁾。一般的にリサイクル材料は、バージン材料と比較して機械物性などの品質の低下が懸念される。しかし著者らが提案したリサイクルプロセスでは、既に強化繊維に樹脂が含まれているプリプレグを原料とするため、二軸押出機にて、低せん断な条件で混練しても、繊維の分散性と繊維の長繊維化を両立する短繊維ペレットを作製することが可能であることを見出している。

そこで本研究では、ハイブリッド射出成形において、インサート材にプリプレグの積層体を、射出材にはインサート材作製時に用いたプリプレグの端材をリサイクルして作製した短繊維ペレット（以後、本研究のリサイクルペレットと称する）を用いて、そのインサート材と射出材の界面特性への影響およびハイブリッド射出成形条件依存性を調査した。さらには、本研究のリサイクルペレットはインサート材と実質的に同グレードのCFおよび樹脂から構成されるものである。この材料の同一性による界面特性への影響についても、ハイブリッド射出成形条件の影響も含めて考察することとした。

2. 実験

2.1 本研究のリサイクルペレットの界面接着性評価（バージン材料との比較）

2.1.1 原料

インサート材として、CFにPP樹脂が含まれたプリプレグ（三菱ケミカル製、製品名：PPUD-34-54 A、繊維体積含有率34%、厚み110 μm ）を[0/90/0/90/0/90/0]sの構成で14 ply 積層後、200℃で加熱溶着して一体化した1.5 mm厚のCFRTP板を用いた。なお、PP樹脂はCFとの接着性を向上させるため、無水マレイン酸により変性されている。射出材料として、リサイクル材料とバージン材料の2種を用いて比較検討を行った。リサイクル材料としては、インサート材に用いたプリプレグの端材を二軸押出機（コベリオン社製、製品名：40 D ZSK 18 MEGA lab）を用いて、先行研究⁹⁾の手法および条件に従い、低せん断な条件で混練することで作製した繊維体積含有率34%のCF/PP短繊維ペレットを用いた。以後、この材料をリサイクルペレット（Vf34）と称する。比較用のバージン材料として、上記CF/PPプリプレグに使用しているCFおよびPPと同グレードもの（いずれも三菱ケミカル製）を用いて、二軸押出機で先行研究⁹⁾に記載の高せん断な条件

Fig.2 Hybrid injection molding machine
(Toyo machinery & metal, ET-80 HR 2)
(a) IR heater and lower mold
(b) Injection molding unit

で混練して作製した繊維体積含有率34%のCF/PP短繊維ペレットを用いた。以後、この材料をバージンペレット（Vf34）と称する。なおバージンペレット（Vf34）の作製においては、PPはメインフィーダーから投入し、CFは6 mm長にカットしてサイドフィーダーから投入した。

2.1.2 ハイブリッド射出成形方法および成形条件

ハイブリッド射出成形機として、図2に示す昇降式IRヒーターを付属した最大型締め力78 kNの東洋機械金属製の全電動型成形機ET-80 HR 2を使用した。上下一対の金型の下金型キャビティー内にインサート材を配置した後、IRヒーターにて下金型キャビティー内のインサート材を加熱して樹脂を溶融させ、IRヒーターを取り除いて、型締めの後、金型内に射出成形にて上金型より溶融樹脂を供給してハイブリッド射出成形品を得た。なおIRヒーターによるインサート材の加熱終了から型締めまでの時間は装置の設定上最短である12秒とした。25 mm幅×200 mm長×3.0 mm厚の金型キャビティーに対し半分の厚み、すなわち25 mm幅×200 mm長×1.5 mm厚のインサート材を金型内に配置させ、残りの1.5 mm厚分のキャビティーに射出成形して25 mm幅×200 mm長×3.0 mm厚のハイブリッド射出成形品を得た。この射出成形品においてはインサート材と射出樹脂の界面は厚さ方向の中立面にあるが、産業的に行われているハイブリッド射出成形では、型締めによりインサート材を賦型することによりインサート材の厚みが変わることがある。本研究のハイブリッド射出成形では、インサート部と射出部の界面の位置を明確する目的で、インサート材はキャビティー内部に配置され、型締めによるプレス圧が作用しない条件で行った。この時の成形条件を表1に示す。標準の射出条件（成形条件：1-STD）を、シリンダー温度：240℃、保圧：70 MPa、射出速度：100 mm/secとして、ここではIRヒーターによるインサート材の加熱は行わず、シリンダー温度：220～

Table 1 Processing conditions and codes used in Chapter 2.1.2

Conditions Code	Cylinder temperature, T_c (°C)	Holding pressure, P_h (MPa)	Injection rate, R_i (mm/sec)	Pre-heating temperature, T_h (°C)
1-STD	240	70	100	no heat
1-L- T_c	220	70	100	no heat
1-H- T_c	260	70	100	no heat
1-H-2- T_c	280	70	100	no heat
1-L- P_h	240	50	100	no heat
1-H- P_h	240	100	100	no heat
1-L- R_i	240	70	50	no heat
1-H- R_i	240	70	200	no heat
1-150 IR	240	70	100	150
1-230 IR	240	70	100	230

280℃, 保圧: 50~100 MPa, 射出速度: 50~200 mm/sec の範囲で各パラメータを変更させて, その各条件パラメータの影響を調査した. なおいずれも, 金型温度は 70℃, 保圧保持時間は 5 秒とした. またインサート材の加熱条件として, 加熱なし, 表面温度 150℃ 加熱, 表面温度 230℃ 加熱の 3 条件とした. 上記条件にて, 射出材料にリサイクルペレット (Vf 34) およびバージンペレット (Vf 34) を用いて, それぞれハイブリッド射出成形品を作製した.

2.1.3 界面接着性評価

作製したハイブリッド射出成形品より, 図 3 に示す位置から湿式のダイヤモンドカッターを用いて 6.3 mm 幅×25 mm 長×3 mm 厚の試験片を切り出した. 同条件にて成形した 2 つのハイブリッド射出成形品から試験片は 2 つずつ切り出し, 各条件における試験片数は 4 とした. 切り出した試験片は ASTM D 2344 に従い, インストロン製の万能試験機 5565 を用いてショートビームの 3 点曲げ試験を行った. 5 kN のロードセルを用い, 試験速度 1.27 mm/min, 支点間距離 10 mm とした. この時, 試験片のインサート材側が圧子側に, 射出材側が支点側になるようにして試験を行った. 試験時の荷重-変位曲線において, 荷重が低下した点を破断荷重 P_m とし, 下記式(1)よりせん断強度 τ を算出し, これを界面せん断強度 (接着強度) とした.

$$\tau = \frac{3P_m \left(1 - \frac{t}{h}\right)}{bh^2} t \quad (1)$$

τ : せん断強度 (MPa)

P_m : 破断荷重 (N)

b : 試験片の幅 (mm)

h : 試験片の厚み (mm)

t : インサート材の厚み (mm)

2.1.4 繊維長測定

界面せん断強度への繊維長の影響を確認するため, リサイクルペレット (Vf 34) とバージンペレット (Vf 34) の繊維長, およびそれぞれのペレットを用いて成形条件: 1-STD で作製したハイブリッド射出成形品における射出部の繊維長を測定した. 測定方法は以下の通りである. 測定用の試料を電気マッフル炉 (ヤマト科学製, 製品名: マッフル炉 KDF S 70) を用いて, 720℃ で加熱して, 試料中のマトリックス樹脂を焼き飛ばした. 繊維を含む残渣を水

Fig. 3 Dimension of hybrid injection molded sample and specimen in Chapter 2.1.3

中に分散させ, 無作為に繊維を 500 本抽出し, 光学顕微鏡 (松電舎製, 製品名: 実体顕微鏡 GR 1040-65 S 3) およびデジタル画像解析ソフト (HULINLS 製, 製品名: シグマスキャンプロ 5) を用いて, 繊維長を測定した. 測定した繊維長を L , 繊維数を N_i とし, 下記式(2)より重量平均繊維長 L_w を算出した.

$$L_w = \frac{\sum N_i L^2}{\sum N_i L} \quad (2)$$

2.1.5 熱重量分析 (TGA) の測定

射出成形時のシリンダー温度上昇による樹脂の熱分解の影響調べるため, リサイクルペレット (Vf 34) およびバージンペレット (Vf 34) の熱重量減少率を島津製作所製, 示差熱・熱重量同時測定装置 DTG-50 H を用いて測定した. 測定条件として, 空気雰囲気下, 昇温速度 10℃/分 で測定した.

2.1.6 断面顕微鏡観察

インサート材加熱時におけるインサート材と射出材の界面状態を考察するため, 断面観察を行った. 作製したハイブリッド射出成形品をメタクリレート樹脂 (マルト-製, テクノビット 4004) に包埋し, 鏡面研磨後, キーエンス製のデジタルマイクロスコープ VHX-5000 を用いて倍率 150 倍でインサート材と射出樹脂の界面を観察した.

2.2 同一の CF, PP による接着性向上の確認検証

2.2.1 原料

インサート材として, CF/PP プリプレグの積層構成を [0/90/0/90/0/90/0/90/0/90/0] の 11 ply で 1.2 mm 厚の CFRTP 板を用いた以外は, 2.1.1 項に記載のインサート材と同様に作製したものをを用いた. 射出材料としては, 下記 3 種を用いて比較検討を行った. 一つ目は原料プリプレグをリサイクルすることで作製した CF/PP 短繊維強化ペレットとして, 比較材料と繊維体積含有率を同一にするため, 先行研究⁹⁾の手法および条件に従って, 繊維体積含有率 34% のプリプレグの端材と, プリプレグのマトリックス樹脂と同グレードの PP 樹脂をコンパウンドすることにより作製した, 繊維体積含有率 11% の CF/PP 短繊維強化ペレットを用いた. 以後, この材料をインサート材と同グレードの CF および PP を用いているという意味で, リサイクル同種ペレット (Vf 11) と称する. 二つ目は上記 CF/PP プリプレグに使用している CF および PP と同グレードのものを原料として作製したバージンの繊維体積含有率 11% の CF/PP 短繊維強化ペレット (三菱ケミカル製, 製品名: パイロフィルペレット PP-C 20 A) を用いた.

以後、この材料をバージン同種ペレット (Vf11) と称する。そして三つ目は上記材料に用いている CF および PP とは異なるグレードを原料として作製した繊維体積含有率 11% の CF/PP 短繊維強化ペレット (ダイセルポリマー製、製品名：ダイセル PP PMG 276) を用いた。以後、この材料をバージン異種ペレット (Vf11) と称する。

2.2.2 ハイブリッド射出成形方法

ハイブリッド射出成形機として、最大型締め力 39 kN の東洋機械金属製の全電動型成形機 ET-40 V を使用した。金型のキャビティー寸法 70 mm 幅×120 mm 長×2.4 mm 厚に対し、70 mm 幅×120 mm 長×1.2 mm 厚のインサート材を金型内に配置して、型締めの後、射出材料を金型内に供給することにより、70 mm 幅×120 mm 長×2.4 mm 厚のハイブリッド射出成形品を得た。この時の射出成形条件を表 2 に示すが、成形条件：2-STD を標準射出条件として、シリンダー温度と保圧を変更し、界面接着性への影響を確認した。なお、ここでは IR ヒーターによるインサート材の加熱は行っていない。その他の条件については、2.1.2 項に記載のハイブリッド射出成形品の作製時の成形条件：1-STD と同じとした。

2.2.3 界面接着性評価

作製したハイブリッド射出成形品より、図 4 に示す位置より 6.3 mm 幅×25 mm 長×2.4 mm 厚の試験片を切り出し、試験機として 500 N のロードセルを備え付けた島津製作所製オートグラフ AG-I を用いた以外は、2.1.3 項に記載の評価方法と同様にショートビーム 3 点曲げ試験を行うことで、界面せん断強度を評価した。

3. 結果と考察

3.1 ショートビーム 3 点曲げ試験による界面せん断強度の評価

図 5 に成形条件：2-STD にて作製したハイブリッド射出成形品より切り出した試験片のショートビーム 3 点曲げ

Table 2 Processing conditions and codes used in Chapter 2.2.2

Conditions Code	Cylinder temperature, T_c (°C)	Holding pressure, P_h (MPa)
2-STD	240	50
2-H- T_c	260	50
2-H2- T_c	280	50
2-L- P_h	240	10
2-H- P_h	240	30

Fig.4 Dimension of hybrid injection molded sample and specimen in Chapter 2.2.3

Fig.5 Load-displacement curve

試験結果の荷重-変位曲線図を示す。この試験では 328 N で荷重が低下したため、その後試験を終了した。目視では試験片表面に破壊は生じていなかったが、この荷重の低下がインサート材と射出材の界面剥離に起因するものであるかを確認するため、このショートビーム 3 点曲げ試験後の試験片を、X 線 CT 装置 (東陽テクニカ製、製品名：高分解能マイクロ X 線 CT システム SkyScan 1172, 検出分解能：700 nm) を用いて、界面部分を観察した。この観察画像を図 6 に示すが、インサート材と射出材の界面で剥離が生じていることが確認できた。しかし IR ヒーターでインサート材を加熱した成形条件 (1-150 IR および 1-230 IR) の試験片では、ショートビーム 3 点曲げを行ったところ、いずれも試験片の射出材側の引張破断にて荷重が低下した。当初は界面接着強度の向上を期待したが、断面観察を行ったところ、図 7 に示す通り、IR ヒーターで加熱

Fig.6 X-ray CT image of the specimen after the test

Fig.7 Cross-section observation of interface
(a) No pre-heating (Condition Code : 1-STD)
(b) 150°C IR pre-heating (Condition Code : 1-150 IR)
(c) 230°C IR pre-heating (Condition Code : 1-230 IR)

した場合はインサート材の積層プリプレグの枚数が減っており、また加熱温度が高いほどその減少量も大きいことが確認された。これは IR ヒーターによる加熱および溶融した射出樹脂からの熱供給によりプリプレグが溶融して、射出樹脂の流れと共に試験片端部に流出してしまったためと考える。実際、ハイブリッド射出成形品の端部では、射出成形側の表面にもプリプレグ由来と思われる CF の連続繊維が存在していた。このことより、IR ヒーターで加熱した場合の界面接着強度を評価することができなかったが、プリプレグ積層体をインサート材とする場合は、加熱によるプリプレグの流出に注意する必要があることが分かった。

その他の界面せん断強度を評価した全ての試験片において断面観察等による剥離確認は行っていないが、荷重が低下した際、目視で試験片の引張側および圧縮側の表面に破損が生じなかった場合は、せん断力により界面が剥離していると判断することとした。以上より、試験片が適切に成形できていれば、ショートビーム 3 点曲げ試験によるせん断強度の測定で、界面接着性の評価が可能であることを確認した。

3.2 リサイクル材料の界面接着性および成形条件の影響

リサイクルペレット (Vf34) およびバージンペレット (Vf34) を射出材料としたハイブリッド射出成形品のインサート部と射出部の界面せん断強度の評価結果を図 8~10 に示す。図中のエラーバーはバラツキの指標である標準偏差を示しているが、リサイクル材料とバージン材料で、この標準偏差を上回る差が見られた条件は、保圧が低い場合 (成形条件: 1-L-P₀) およびシリンダー温度が最も高い場合 (成形条件: 1-H 2-T) のみであった。この 2 条件では、

Fig. 8 Interfacial shear strength of recycled material – influence of cylinder temperature –

Fig. 9 Interfacial shear strength of recycled material – influence of injection rate –

Fig. 10 Interfacial shear strength of recycled material – influence of holding pressure –

いずれもリサイクル材料はバージン材料と比較して界面接着性が劣る結果であった。射出速度変更による接着性への影響に関しては、リサイクル材料とバージン材料で、標準偏差を上回る差は見られなかった。保圧 40 MPa (成形条件: 1-L-P₀) では、リサイクルペレット (Vf34) を用いた場合のみ、樹脂が端部まで流動せず、成形品に欠けが生じていた。樹脂が必要量金型内に注入されていないため射出供給による圧力が樹脂未充填部に逃げてしまい、界面に十分な接着圧力が作用せず、接着性が低下したと考えられる。表 3 には、リサイクルペレット (Vf34) およびバージンペレット (Vf34) の射出成形前後の繊維長測定結果を示す。本研究で用いるリサイクル材料は低せん断な条件で混練して短繊維ペレットを作製するため、繊維長を長く保つことができていたが、リサイクルペレット (Vf34) はこの長い繊維長が流動性の低下を引き起こしたと考える。なお流動性への影響以外の観点からは、繊維長が界面接着性に及ぼす影響は確認できなかった。

一方、シリンダー温度 280°C (成形条件: 1-H 2-T) では、シリンダー温度 240°C の標準条件 (成形条件: STD) と比較して、バージンペレット (Vf34) を用いた際は接着性が向上し、先行研究^{10)~12)}においても射出成形する樹脂をより高温にすることで接着性が向上することが報告されているが、リサイクルペレット (Vf34) では接着性は若干低下した。図 11 にはリサイクルペレット (Vf34) およびバージンペレット (Vf34) の TGA 測定結果を示す。TGA 測定環境と射出成形機内での環境が異なるものの、リサイクルペレット (Vf34) の方が熱分解しやすいことが分かり、280°C という成形温度では熱分解により界面接着性が低下したことが示唆された。これらの材料には同一グレードの CF および PP を用いているが、リサイクルペレット (Vf34) はプリプレグ製造時などの熱履歴が熱分解のしやすさを引き起こしていると考えられる。

以上より、リサイクル材料を用いる際は射出成形条件を

Table 3 Fiber length (Lw)

	Recycled	Virgin
Pellet (before injection)	1.36 mm	0.154 mm
Specimen (after injection)	0.385 mm	0.144 mm

Fig. 11 Weight loss curve (TGA)

Fig. 14 Weight loss curve (TGA)

最適化する必要があるが、適切な条件で成形すれば、バージン材料を用いた際の界面せん断強度の最大値 17.6 MPa に対し、リサイクル材料では 16.7 MPa とおよそ 95% とほぼ同等に近い界面接着性を発現することを確認した。

3.3 同一の CF、樹脂による接着性向上の確認検証

リサイクル同種ペレット (Vf11)、バージン同種ペレット (Vf11) およびバージン異種ペレット (Vf11) を射出材料としたハイブリッド射出成形品のインサート部と射出部の界面せん断強度の評価結果を図 12 および図 13 に示す。標準の成形条件 (2-STD) において、射出材にインサート材と同一の CF, PP から成るリサイクル同種ペレット (Vf11) およびバージン同種ペレット (Vf11) を用いた場合は、インサート材と異なる CF, PP から構成される

バージン異種ペレット (Vf11) を用いた場合よりも、界面接着性は約 10% 優れることがわかった。なおシリンダー温度を上昇させた場合、リサイクル同種ペレット (Vf11) およびバージン異種ペレット (Vf11) に関しては界面接着性の向上は僅かであったが、バージン同種ペレット (Vf11) は大幅に接着性が向上した。図 14 にこれらの材料の TGA 測定結果を示す。リサイクル同種ペレット (Vf11) は図 11 のリサイクルペレット (Vf34) と同様にプリプレグ製造時の熱履歴により熱分解しやすくなっていると考えられるが、リサイクルして短繊維ペレットを製造する過程で、非強化の PP 樹脂をコンパウンドしているために熱安定性が改善したと考えられる。そのため、図 8 に示す評価結果と異なり、シリンダー温度 280°C (成形条件: 2-H 2-T_c) という高温でも僅かながら接着性が向上したと考えられる。一方、バージン異種ペレット (Vf11) はバージン同種ペレット (Vf11) と同様に TGA の結果からは熱劣化は確認されなかったが、シリンダー温度を上昇させた際の界面接着性の向上はわずかであった。これらの結果より、インサート材と同一の CF, PP から成る射出材料を用いることにより、界面接着性が向上し、さらに射出樹脂の温度を上昇させることでその効果は顕著になることが示唆された。なお、射出成形用材料を炭素繊維の表面処理方法を含め圧縮して作成されるプリプレグと同一の CF, PP から成る材料にすることは、コンパウンドして造粒される材料より繊維界面の接着性が向上しているのは自明の理と考える。しかしながら材料的な観点から同一の CF, PP から成る射出材料を用いることによる接着性向上のメカニズムは明らかにできておらず、今後の研究課題とする。

また保圧の影響に関しては、本実験条件では 3.2 項での結果とは異なり、保圧が低い条件でも成形品に欠けが生じることはなかった。これは 3.2 項とは実験条件が異なるものの、Vf11 の射出材料は Vf34 の射出材料よりも低繊維含有率であるため、流動性が増した影響が大きいと考える。保圧変更による接着性への影響に関して、標準偏差の範囲内であり、明確な傾向は確認されなかった。

4. 結 言

本研究では、プリプレグの端材をリサイクルして作製した短繊維強化ペレット (本研究のリサイクルペレット) を

Fig. 12 Interfacial shear strength of homogeneous material - influence of cylinder temperature -

Fig. 13 Interfacial shear strength of homogeneous material - influence of holding pressure -

用いて、そのインサート材と射出材の界面特性への影響およびハイブリッド射出成形条件依存性を、バージン材料との比較の観点から調査した。結果、以下の知見が得られた。

- (1) 本研究のリサイクルペレットは、本研究の成形条件における標準成形条件では、同グレードのCFおよび樹脂から成るバージン材料と比較して、ほぼ同等の接着性を発現することを確認した。
- (2) 本研究のリサイクルペレットは、熱劣化しやすいため高温での成形には不向きである。また繊維長が長い場合、流動性は低下傾向にあり、ハイブリッド射出成形品に欠けが生じた場合には界面接着性も低下する懸念があるため、成形条件を決定する際には注意が必要であることがわかった。
- (3) 本研究のリサイクルペレットは、インサート材の端材から作製することが可能であり、この材料としての“同一性”に起因して、異なるグレードの材料を用いた場合よりも界面接着性に優れることが示唆された。

なおこの材料の“同一性”に起因した優れた界面接着性は、そのメカニズムおよびCFと樹脂、どちらの“同一性”の寄与が大きいのかなどは明らかになっていない。従って、これらは今後の課題として、研究を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 独新エネルギー・産業技術総合開発機構：「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」，成果報告書 (2013)
- 2) 高橋淳，鶴澤潔，松尾剛，山根正睦：未来材料，**13**(1)，36 (2013)
- 3) 山根正睦編著：熱可塑性CFRP技術集—材料・成形・加工・リサイクル—，サイエンス&テクノロジー (2015)
- 4) 仲井朝美：成形加工，**27**(3)，77(2015)
- 5) 浅沼信行：成形加工，**27**(3)，89(2015)
- 6) 伊澤慎一：プラスチックスエージ，**62**(1)，40(2016)
- 7) Thomason, J. L. : *Composites Part A*, **38**, 210(2007)
- 8) 大石正樹，大谷章夫，仲井朝美：成形加工，**29**(4)，135 (2017)
- 9) Tomioka, M., Ishikawa, T., Okuyama, K., Tanaka, T. : *Journal of Composite Materials*, DOI : 10.1177/0021998317694423 (2017)
- 10) Carella, A. R, Alonso, C., Merino, J. C. and Pastor, J. M : *Polymer Engineering and Science*, **42**(11)，2172 (2002)
- 11) Aurrekoetxea, J., Castillo, G., Sarrionandia, M. A. and Urrutibeascoa, I. : *Journal of Applied Polymer Science*, **102**, 261(2006)
- 12) Candal, M. V., Gordillo, A., Santana, O. O. and Sanchez, J. J. : *Journal of Materials Science*, **43**, 5052 (2008)