

令和元年6月24日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06026

研究課題名（和文）溶着およびアンカー効果を用いた射出成形による高強度樹脂-樹脂接合技術の開発

研究課題名（英文）Development of High Strength Resin-Resin Joining Technologies using Resin Fusion and Anchor Effect

研究代表者

瀬戸 雅宏（Seto, Masahiro）

金沢工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90367459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、樹脂部品をインサート材として使用した射出成形による樹脂-樹脂接合接合において、接合強さに与える成形条件の影響を検討した。また、接合強さ発現メカニズムについても検討した。さらに、熱可塑性CFRTP成形品の接合方法についても検討した。その結果、同一樹脂による樹脂-樹脂接合では、融着による接合が確認された。また、CFRTP成形品では、CF基材の積層方法の最適化したことでアンカー効果により接合強さの向上が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、射出成形法を用いた樹脂-樹脂接合ならびに炭素繊維強化成形品の接合技術について研究を行い、これらの接合メカニズムおよび接合強さ向上について検討した。これらの接合では、二次加工を行うことなく、樹脂部品の成形と接合を同時に行うことができるため、高い成形性と製造コストの低減を実現できる有用な接合プロセスである。そのため、自動車部品以外にも家電、OA機器樹脂部品への適用も期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, influence of molding conditions on joining strength was investigated in resin-resin joining by injection molding using resin parts as insert materials. Also I studied about mechanism of joining strength improvement. In addition, joining method in carbon fiber reinforced thermoplastic(CFRTP) was investigated.

As the results, in resin-resin joining with same materials, I confirmed the joining by resin fusion. In joining of CFRTP, the improvement of joining strength was confirmed because an anchor effect by optimizing the lamination of CF fabric.

研究分野：成形加工

キーワード：射出成形 接合 CFRP 融着 アンカ 効果

## 1. 研究開始当初の背景

大気汚染および地球温暖化に関する問題が世界規模で深刻化している中、温室効果ガスの歳出削減に向けた取り組みが、行政機関や民間が一体となって行われている。我が国における二酸化炭素の排出量は運輸部門が約 **80%** を占めており、そのうち自動車からの排出量は **90%** であり、温室効果ガスの排出量が最も多い分野の一つとなっている。そのため、温暖化ガスの排出量削減を目的として、ガソリン乗用自動車の燃費基準を段階的に引き上げる目標値が掲げられ、**2020** 年度において **19.6%** 削減 (**2015** 年実績比) が定められた<sup>1)</sup>。このような背景のもと、自動車部品の軽量化技術の開発が積極的に行われている。

自動車部品の代表的な軽量化対策として、金属部品では高強度材料や樹脂材料への置換がある。一方樹脂部品については、発泡剤を含有した射出発泡成形により、成形品内部に微細な気泡を生成し、発泡による板厚増加によって曲げ剛性を向上させると同時に使用する材料を削減する方法がある。

研究代表者らは、射出発泡成形に関する研究<sup>2), 3)</sup>を実施し、実際の自動車部品へ展開してきた。構造部品やエンジン部品など強度や耐熱性が求められる自動車部品の軽量化に関して、金属表面に凹凸を形成し、アンカー効果により物理的に接合する金属-樹脂接合射出成形品の接合強さ向上に関する研究も遂行してきた(科学研究費補助金、課題番号 **25420071**)。その結果、接合強さに与える射出成形条件および樹脂材料の影響を明らかにした<sup>4), 5)</sup>。しかしながら、近年では繊維強化樹脂(CFRP など)や耐熱性を有する樹脂材料が開発され、積極的に自動車に使用されるようになってきた。そのため、射出成形材料とこれらの材料との接合(樹脂-樹脂接合)により、更なる軽量化が期待されるようになってきた。この射出成形による樹脂樹脂接合では、十分な接合強さが得られず実用化には至っていない。そのため、インサート射出成形における樹脂-樹脂技術の確立および接合強さの向上が課題となっていた。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、非強化樹脂成形品を金型内にインサートし、射出成形により樹脂材料同士を接合する方法を開発する。具体的には、インサート材の接合部表面の樹脂を射出材の熱により局部的に熔融させ、樹脂同士を融着によって接合する方法を検討する。この接合方法による技術的課題は、インサート材と射出時の組み合わせによる接合強さへの影響および射出成形条件の接合強さへの影響を明らかにし、接合強さを向上させるための手法を検討することである。そのため、本研究課題においては、射出成形における樹脂-樹脂接合技術において、材料の組み合わせ並びに接合強さ向上のための射出成形条件の最適化を目的に、自動車部品の材料として広く使用されているポリプロピレンおよびポリアミド、ポリカーボネート樹脂を対象として、射出成形による成形実験および接合強さの評価を行った。

また、近年自動車の構造部材の軽量化の実現を目指し、金属材料に変わって炭素繊維などの強化繊維を使用した繊維強化樹脂材料が注目されており、自動車構造部材への適用が検討されている。樹脂部品の更なる軽量化に関しては、用途や使用環境などに合わせて部分的に使用することで、部品全体の軽量化ならびに材料コストの低減が期待される可能性がある。そのため、繊維強化樹脂部品と他の樹脂母材との接合技術が必要となる。本研究課題では、炭素繊維強化樹脂(CFRP)と繊維強化樹脂の接合技術の確立を目指し、熱可塑性樹脂を使用したCFRTPの接合において、母材の融着と炭素繊維基材への樹脂含浸によるアンカー効果による接合強度発現メカニズムを検討した。

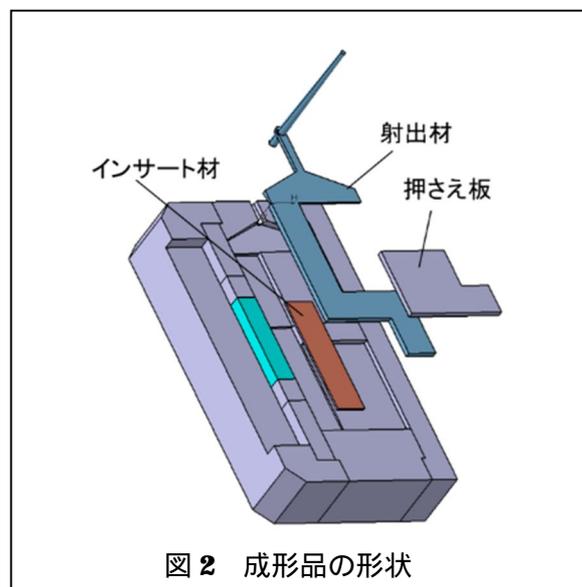
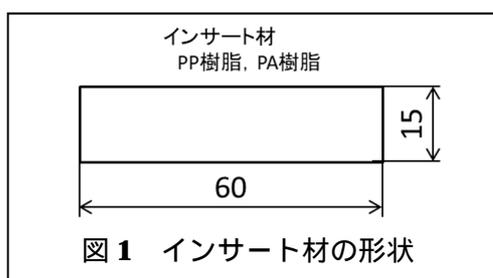
これらの接合では、二次加工を行うことなく、樹脂部品の成形と接合を同時に行うことができるため、高い成形性と製造コストの低減を実現できる有用な接合プロセスである。そのため、自動車部品以外にも家電、OA 機器樹脂部品への適用も期待される。

## 3. 研究の方法

### 3.1 射出成形による樹脂-樹脂接合

#### 3.1.1 成形品の形状および成形方法

射出成形による樹脂-樹脂接合に関する研究では、PP樹脂、PA樹脂で成形された厚さ 1mm の平板から、図 1 に示すように長さ 60mm、幅 15mm の短冊板を切り出し、接合材として使用した。それぞれの樹脂平板から切り出したインサート材を図 2 に示すように



射出成形金型内にインサートして押さえ板で固定後、樹脂を金型内に充填して成形とインサート材とのとの接合を同時に行った。

成形品の形状は、図3に示すように、ファンゲート（厚さ1mm）を有する射出成形部厚さ2.5mmの矩形平板であり、接合面積は25mm×15mmである。成形品の成形には、型締力1764kNの電動サーボ射出成形機（Si-180，東洋機械金属）を使用した。射出成形時には、金型温度を80℃に設定しているため、成形のタイミングによってはインサート材の温度ばらつきの原因となる恐れがあった。そのため、インサート材を金型内に設置してから一定時間以上放置し、インサート材の温度が安定したのち成形を行った。成形材料は、インサート材との融着を促進させるため、成形温度の高いポリカーボネート（PC）およびインサート材と同一材料であるポリアミド樹脂（PA）を使用した。

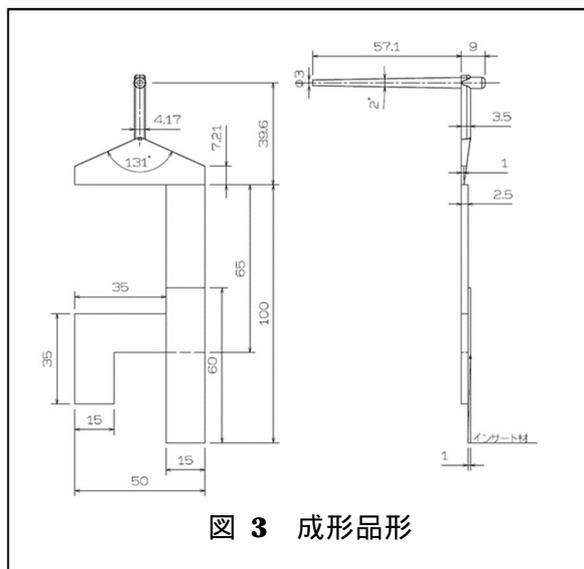


図3 成形品形

成形条件は表1に示すように、供試材料は異種材接合として、インサート材をPP、射出材をPAとした条件と、インサート材PP、射出材PCとした条件の2条件、同種材接合として、インサート材、射出材ともにPAを用いた条件とした。また、成形条件の影響を検討するため、異種材接合ではPP-PAの接合では射出速度、保圧、樹脂温度、同種材接合の条件では、射出速度と保圧を変更して成形を行い、接合強さを評価した

表1 成形条件

| 条件No. | インサート材 | 射出材 | 樹脂温度 | 金型温度 | 冷却時間<br>s | 射出速度<br>mm/s | 保圧<br>MPa | 保圧時間<br>s |
|-------|--------|-----|------|------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| 1     | PP     | PA  | 280  | 80   | 5         | 40           | 70        | 15        |
| 2     | PP     | PA  | 280  | 80   | 5         | 20           | 70        | 15        |
| 3     | PP     | PA  | 280  | 80   | 5         | 60           | 70        | 15        |
| 4     | PP     | PA  | 280  | 80   | 5         | 60           | 50        | 15        |
| 5     | PP     | PA  | 280  | 80   | 5         | 60           | 30        | 15        |
| 6     | PP     | PA  | 300  | 80   | 5         | 60           | 70        | 15        |
| 7     | PP     | PA  | 260  | 80   | 5         | 60           | 70        | 15        |
| 8     | PA     | PC  | 280  | 80   | 5         | 40           | 40        | 15        |
| 9     | PA     | PC  | 280  | 80   | 5         | 20           | 40        | 15        |
| 10    | PA     | PC  | 280  | 80   | 5         | 60           | 40        | 15        |
| 11    | PA     | PA  | 280  | 80   | 5         | 20           | 35        | 15        |
| 12    | PA     | PA  | 280  | 80   | 5         | 40           | 35        | 15        |
| 13    | PA     | PA  | 280  | 80   | 5         | 60           | 35        | 15        |
| 14    | PA     | PA  | 280  | 80   | 5         | 40           | 20        | 15        |
| 15    | PA     | PA  | 280  | 80   | 5         | 40           | 50        | 15        |

### 3.2.2 接合強さの評価方法

接合強さの評価は、図3に示す成形品から図4に示すように接合部を中心に試験片を切り出し、引張試験により破断荷重を計測した。得られた破断荷重から式(1)によりせん断接合強さを算出して各条件で比較した。

$$P[\text{MPa}] = \frac{F[\text{N}]}{A[\text{mm}^2]} \quad \dots (1)$$

$$P[\text{MPa}] = (F[\text{N}]) / (A[\text{mm}^2]) \quad \dots (1)$$

ここで、Pはせん断接合強さ、Aは接合部全体の面積（15mm×25mm）、Fは荷重である。

引張試験には引張試験機（オートグラフ AGS-X，島津製作所製）を使用し、試験速度5mm/min，チャック間距離を80mmの条件で試験を行った。また試験は各条件複数回実施しその平均値を接合強さとした。実験に使用した引張試験片は、インサート材と射出材の中心軸がずれているため、引張試験際接合部にモーメントが作用し、正確なせん断接合強さが評価できない問題がある。しかし、すべての試験片において同条件で引張試験を行っているため、相対的な比較は可能であると考え、図4に示す試験片で評価した。

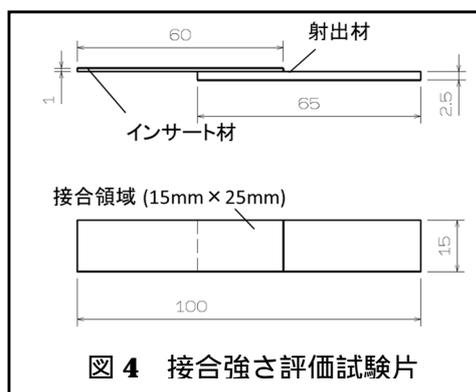


図4 接合強さ評価試験片

### 3.2 CFRP 成形品における接合強さの評価

#### 3.2.1 サンプルの形状および成形方法

炭素繊維連続基材を用いた CFRP 成形品における接合方法の検討と接合強さの評価を実施するため、3K 平織の炭素繊維クロス材 (C06343, 東レプラスチック株式会社) および PP 材, PA 材で成形された厚さ 0.5mm の樹脂フィルムを積層して図 5 に示す形状の接合サンプルを成形した。CF クロス材および樹脂フィルムの積層方法については、CF8 層, PP1 層, PA1 層とそれぞれの積層数を固定し, PP 層と PA 層の間に積層する CF 層の枚数を変更因子として成形した。例えば, 図 6 のように PP フィルムと PA フィルムの間を CF 基材 6 層とすれば, PA と PP の表面側に 1 層配置した。本実験では, PA と PP の間の CF 基材層を, 0 層, 2 層, 4 層, 6 層, 8 層と変更し成形品を成形した。

サンプルは, 卓上型テストプレス (SA-303-1-S: テスター産業株式会社) を用いて, 成形温度 270℃, 成形圧力 2MPa, 成形時間 300s で成形した。

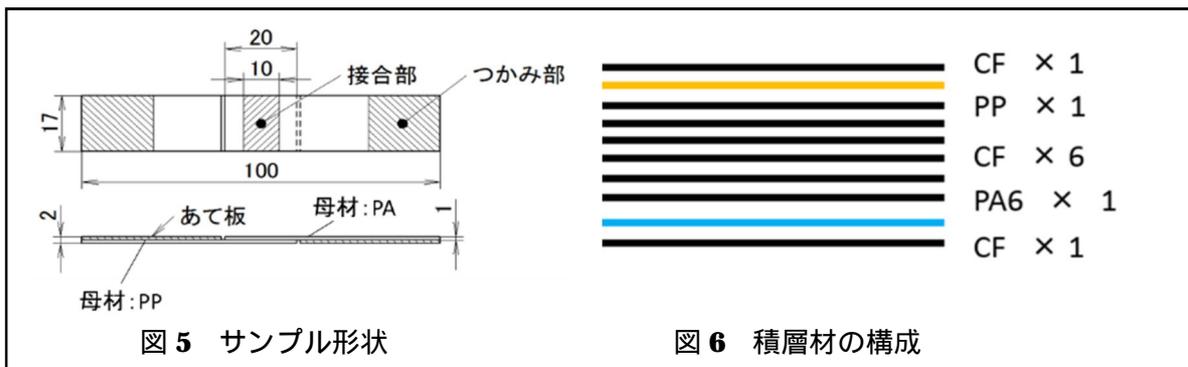


図 5 サンプル形状

図 6 積層材の構成

#### 3.2.2 接合強さの評価およびサンプルの観察方法

接合強さの評価は, 3.1.2 で説明した方法と同様に, 引張試験により破断荷重を計測し, 式(1)により接合強さを求めた。また, 接合発現メカニズムを検討するため, サンプル接合部の断面をデジタルマイクロスコープ (VHX-6000, キーエンス) にて観察した。しかし, 通常の光学顕微鏡による観察では PP 層と PA 層の界面の判別ができないため, 本件中では, PA が給水する性質を利用し, 観察前に 30 分間試験片を浸水させて観察を行った。

## 4. 研究成果

### 4.1 射出成形における樹脂 樹脂接合

図 7 にインサート材に PP, 射出材に PA を使用した条件における接合強さの評価結果を示す。図 7(a) は射出速度の影響, 図 7(b) は保圧の影響, 図 7(c) は樹脂温度の影響である。射出速度条件の変更は, 射出された高温の樹脂を温度が低下することなく接合部に早く到達させるとともに, 接合部通過後ジャストパックまでの時間を短縮させて固化層が成長する前に型内圧力を上昇させて融着を促進させる目論見で設定した。一方, 樹脂温度や保圧は, 接合面の温度を高くすることおよび保圧により着実に接合させることを狙った。実験の結果, すべての条件で, 接合強さ 0.4MPa 以下であり, 成形実験の結果からの十分な接合は確認されなかった。

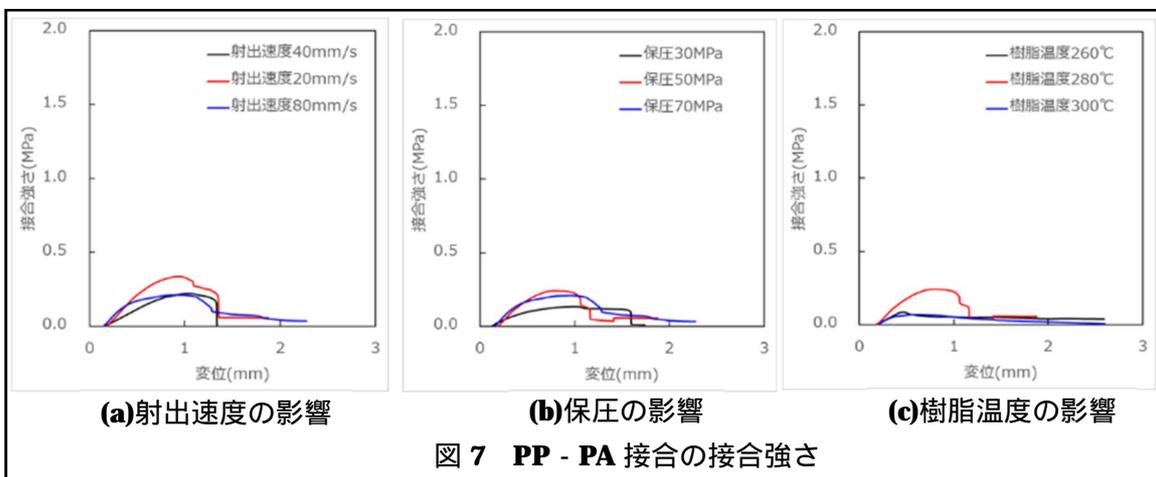


図 7 PP - PA 接合の接合強さ

同様に図 8 に示すインサート材に PP, 射出材に PC を使用した条件においても, PP - PA 接合と比較してやや接合強さは高いものの, 最大でも 0.6MPa 程度であり十分な接合強さは得られなかった。本報告には示していないが, その他種々の条件においても, PP-PA 接合や PP-PC 接合の異種材接合では, 十分な接合強さが確認できなかった。その原因を調査するため, 成形後 3 時

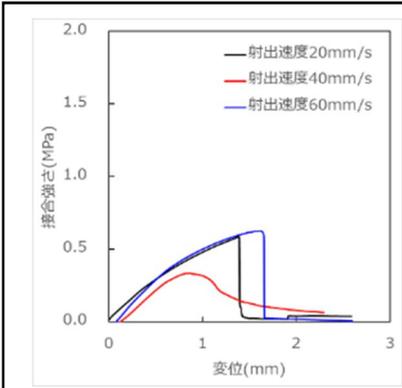


図 8 PP - PC 接合の接合強さ

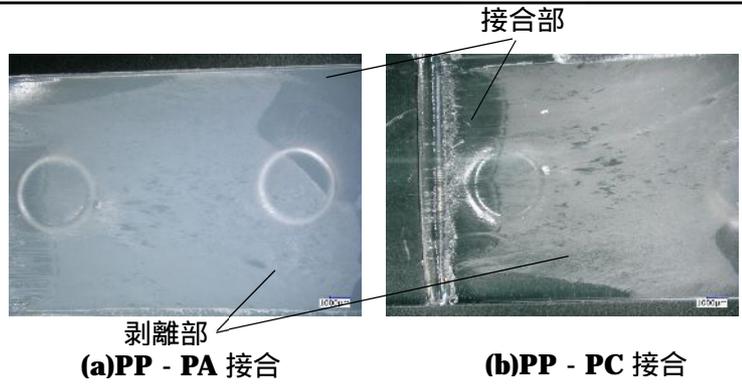


図 9 接合面の観察結果

間経過したサンプルの接合面の状況を観察した。その結果を図 9 に示す。観察の結果、図 4 に示した接合面全体の面積 (15mm × 25mm) 全体の接合は確認されず、一部剥離領域が確認された。なお、この剥離領域は成形後時間経過とともに進展していることが確認された。これは、射出材の成形収縮によるものであり<sup>5)</sup>、強化繊維を含有させるなど収縮を抑制できれば接合強さを向上させることができるものと考えられる。

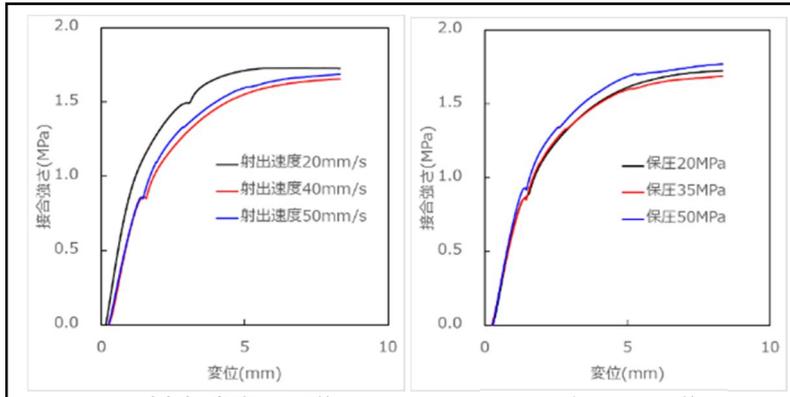


図 10 同種材接合における接合強度

図 10 に、インサート材および射出材ともに PA を用いた条件 (同種材接合) の接合強さ評価結果を示す。図 10(a) は射出速度の影響、図 10(b) は保圧の影響である。同種材による接合では、成形条件によらず 1.5MPa 以上の接合強さが得られていることがわかる。この条件では、引張試験時に接合面での破断は見られず、母材破壊していることが確認された。図 11 に示す接合部の断面観察においても成形収縮による剥離は確認されず融着していることも確認した。また、インサート材の樹脂を着色して成形した結果、射出材の流動によって着色された材料が流れていることが確認され、射出材の熱によって融着されていることが確認された。

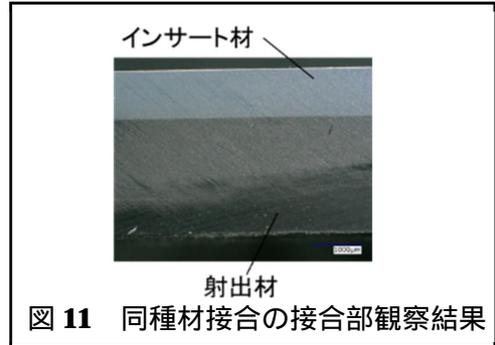


図 11 同種材接合の接合部観察結果

#### 4.2 CFRP 成形品における異種母材接合

PP と PA をそれぞれ母材とした CFRP 成形品の接合強度の評価結果を図 12 に示す。横軸は、図 6 に示した PA と PP の樹脂フィルム間の CF 基材の層数であり、縦軸は引張試験により得られた接合部の剥離荷重を接合面積で除した値 (せん断接合強度) である。その結果、樹脂フィルム間の CF 基材積層数が 0 層では最も接合強さが小さくなっていることがわかる。これは、樹脂フィルム同士が直接接触しており、4.1 節で述べた異種材による樹脂樹脂接合同様に樹脂同士の融着がなく接合強さが発現しなかったためと考えられる。また、樹脂フィルム間の CF 基材積層数が 2 層の条件では接合強さが 12MPa と最も高く、4 層から 8 層の条件では、接合強さが低下し 6MPa 程度であった。CF 基材が 2 層の条件で接合強さが高くなった要因を検討するため、接合部断面の観察を行った。その結果を図 13 に示す。観察の際は、前述したようにサンプルを浸水させて、デジタルマイクロスコープで観察した (図 13(a))。その後画像処理により PP 樹脂相と PA 樹脂相の判別がしやすいように画像処理を行った (図 13(b))。この結果から PP 樹脂相と PA 樹脂相の界面 (赤線部) が炭素繊維束内に入り込み、さらに界面の形状が複雑に入り組んでいることが

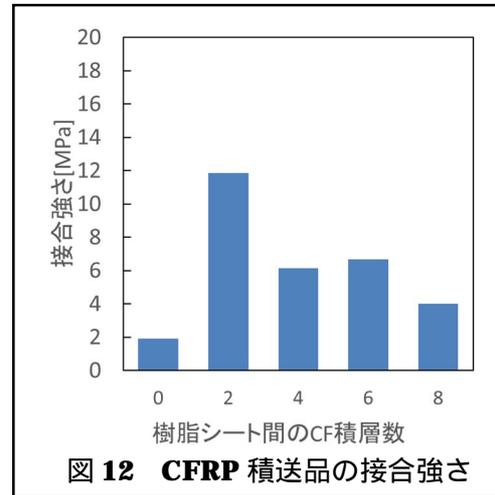
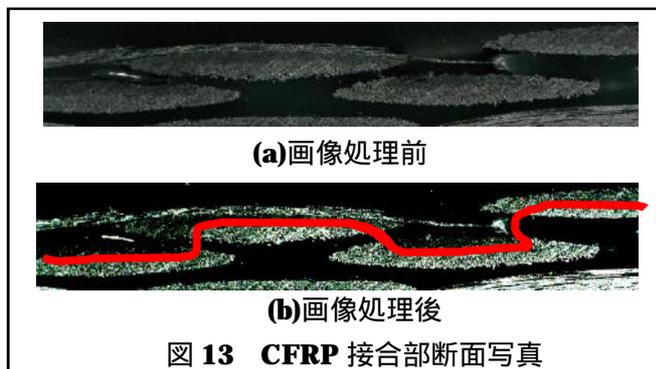


図 12 CFRP 積送品の接合強さ

確認できる。つまり、樹脂フィルム層の間に CF 基材を配置することによって樹脂界面が複雑に入り組み、融着に加えて CF 基材によるアンカー効果によって接合強さが向上することが明らかとなった。

以上の結果は、樹脂材料の組み合わせによって融着の硬化は異なるものの、融着が実現できる樹脂材料および CF 基材の配置を最適化することによって、融着とアンカー効果による相乗効果によって接合継要差が向上する可能性を示唆しているものと考えられる。



## 参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会自動車判断基準小委員会・交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会自動車燃費基準小委員会合同会議 最終取りまとめ, 2011 年 12 月
- 2) 長谷川 他: 射出発泡成形における気泡成長制御に関する研究, 成形加工シンポジア'14, pp185-186 (2014)
- 3) 柿島 他: 射出発泡成形品の材料特性予測に対する等価介在物法の妥当性検討, 成形加工, Vol.27, No.1, pp.32-39, (2015)
- 4) 瀬戸 他: 樹脂-金属接合射出成形品の接合強さに与える成形条件の影響, 成形加工, Vol.27, No.2, pp.68-74, (2015)
- 5) 瀬戸 他: 樹脂-金属接合射出成形品の接合強さに与える強化フィラーの影響, 日本塑性加工学会第 24 回北陸支部講演会講演論文集, pp13-14 (2015)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

- 1) 杉田寿夫, 瀬戸雅宏, 山部昌: LCP 薄肉射出成形における固化挙動の実験解析, 成形加工, 29(5), 265-271, 査読あり

[学会発表](計 8 件)

- 1) 豊田統之, 瀬戸雅宏, 鈴木亨, 田中宏明, 山部昌: 炭素繊維織物への熱可塑性樹脂の含浸挙動および含浸状態が成形品強度に及ぼす影響, 日本塑性加工学会第 26 回北陸支部講演会, 2017 年 3 月 6 日, 金沢工業大学(石川県・野々市市)
- 2) 大島佑介, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: 炭素繊維基材の積層構成による CFRP 接合部の機械的特性評価, プラスチック成形加工学会第 28 回年次大会, 2017 年 6 月 14 日, タワーホール船堀(東京・江戸川区)
- 3) 大島佑介, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: 炭素繊維基材の積層構成による接合部を有する CFRTP の機械的特性評価, プラスチック成形加工学会第 25 回秋季大会, 2017 年 11 月 1 日, 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)
- 4) 清水健, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: CFRP 成形品における炭素繊維のフィラメント数と樹脂含浸特性に関する研究, 日本設計工学会北陸支部平成 30 年度研究発表講演会, 2018 年 6 月 30 日, 富山県立大学(富山県・射水市)
- 5) 久保亨太, 瀬戸雅宏, 山部昌: CFRP 成形品の圧縮成形におけるコーナー部の含浸挙動, 日本設計工学会北陸支部平成 30 年度研究発表講演会, 2018 年 6 月 30 日, 富山県立大学(富山県・射水市)
- 6) 浅井宏斗, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: VaRTM 成形中の樹脂含浸挙動評価に関する研究, プラスチック成形加工学会第 29 回年次大会, 2018 年 6 月 22 日, タワーホール船堀(東京・江戸川区)
- 7) 清水健, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: CFRP 成形中における型内樹脂挙動が樹脂含浸特性に与える影響, プラスチック成形加工学会第 26 回秋季大会, 2018 年 11 月 27 日グランドホテル浜松(静岡県・浜松市)
- 8) 久保亨太, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: CF/PP 成形品の圧縮成形における含浸挙動, プラスチック成形加工学会第 26 回秋季大会, 2018 年 11 月 27 日グランドホテル浜松(静岡県・浜松市)

[その他]

研究代表者(瀬戸雅宏)所属研究室のホームページ  
<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/yamabe/>

## 6. 研究組織

- (1)研究分担者  
該当なし