

熱可塑性 CFRP を用いた高精度実用部品成型システムの開発

研究報告者 鈴木 裕

プロフィール



最終学歴 1981 年 3 月
北海道大学大学院 工学研究科
精密工学専攻 博士後期課程

専門分野 金型、CAD/CAM、生産技術

学 位 工学博士

所属団体 一般社団法人ものづくりネットワーク九州

役 職 名 理事長

今後の抱負

平成 28 年度に、助成をいただき、熱可塑性 CFRP を用いた高精度実用部品成型システムの完成をめざし、開発を行ってきました。今回のテーマは、研究助成テーマのうち

(1) 金型・成形並びにこれに関連する新技術の開発

④ 金型・成形に関する基礎技術の研究 に対応するものです。

自動車産業において、環境対策が重要な課題となっています。燃費向上、排ガス規制はますます厳しくなっており、自動車に種々の素材が用いられようとしています。アルミニウム、複合材料が代表的な新素材と位置づけられています。

今回は、熱可塑性 CFRP を対象とし、プレス成型時の成形条件、プレス金型設計基準の確立をめざし、開発を進めました。多くの方々のアドバイスもあり、当初の目標はほぼ達成できたと思います。

本研究は、熱可塑性CFRPを対象とし、プレス成型時の成形条件、プレス金型設計基準の確立を目的とし、開発を進めた。こうした新素材の活用は、自動車の環境対策に大きく貢献できることから、注目を浴びている。熱可塑性CFRPに焦点を絞ったのは、本素材が持つ高強度、軽量といった特性が他の素材に比べ、はるかに優れているからである。

ヨーロッパでは、熱硬化性CFRPを用いており、熱可塑性CFRPの活用は遅れているのが現状である。生産性を考慮すると、熱可塑性CFRPが優れていると言え、今後活用が広まると予想される。

1. はじめに

自動車の生産において、図1に示す排気ガス規制や燃費向上の実現のため、車体の高強度化、軽量化が極めて重要になっている。従って自動車産業では様々な観点から研究開発が進められている。

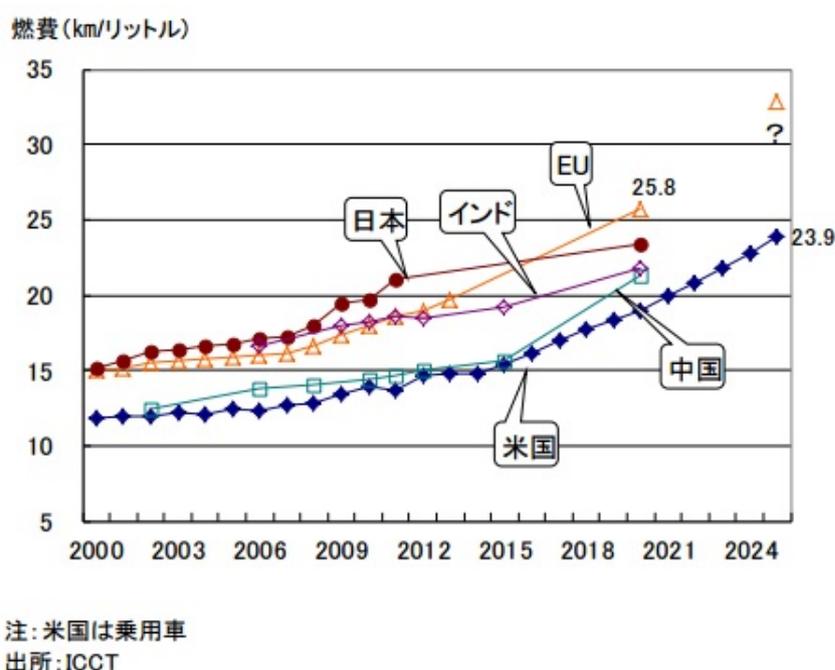


図1 燃費規制値の推移

車体の高強度に関しては、ハイテン材（高張力鋼板）の利用が高まっており、近年は980MPa以上の超ハイテン材がセンターピラー、ルーフレールといった自動車構造部に用いられている。この超ハイテン材の利用は軽量化にも貢献しているが、成型性が難しく、加熱・プレス成型・急冷を繰り返すホットスタンピング技術が開発され用いられている。

また、アルミニウム、マグネシウム、樹脂、複合材料といった様々な材料の利用も始まっている。こうした材料の中で、炭素繊維強化型樹脂であるCFRPの利用が注目されている。これは、鋼材に比較して圧倒的に軽量化が可能だからである。CFRPは、エポキシ樹脂を用いる熱硬化性タイプのものとポリプロピレンやポリアミドを用いる熱可塑性タイプに分類される。生産性の向上のための技術

開発が行われているが、織った炭素繊維を熱可塑性樹脂で固め、さらに炭素繊維の方向性を無くすため、さらに積層するスタンパブルシートの利用が注目を浴びている。

スタンパブルシートを用いた一般的なプレス成型法を図2に示す。この手法により熱可塑性CFRPの3次元プレス成型は可能であるが、**深絞り限界、トリムといった基本技術の確立**が遅れている。そのほかにも、プレス成型機に射出成形機能を付加し、プレス成型と射出成形を交互に行うハイブリッド成型法も開発されているが、システム自体が高価なことが欠点として挙げられる。こうした欠点を補う手法として、射出成形機のみを用い、**射出成形金型によりプレス成型を行った後、射出成形を連続して行うハイブリッド成型法の開発を試みる。**

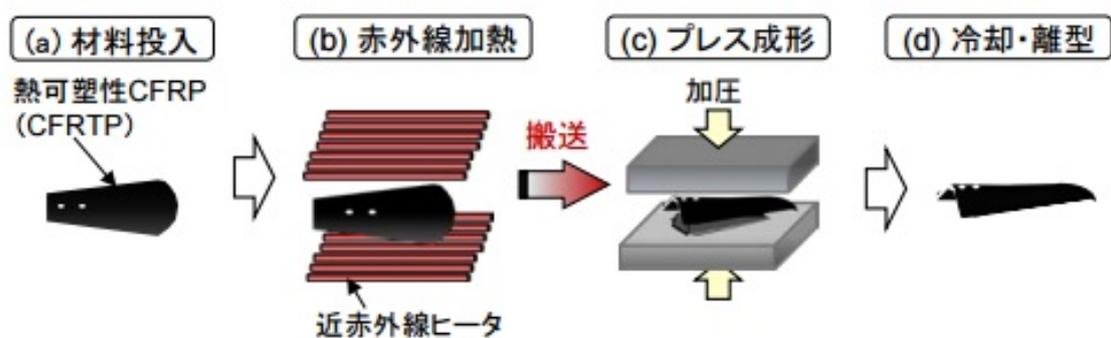


図2 熱可塑性CFRPの一般的なプレス成型法

自動車産業の集積がすすむ九州地区は、複合材料の利用技術において大きく立ち遅れているといっても過言ではない。今後の展開を考えると、九州地区においても、熱可塑性CFRPや熱硬化性CFRPといった**複合材料に関する研究開発の拠点確立**が必要と考える。

2. 本研究で開発するシステム



図3 熱可塑性CFRP材のプレス成型結果

これまでに平成 26 年度補正予算による地域企業人材共同育成事業「九州自動車産業の持続的な競争力強化に向けた若手金型人材の育成」において、熱可塑性 CFRP 材のプレス成型に取り組んできた。図 2 に示す手順を用い、図 3 に示すセンターピラー形状を成型した。成形には図 4 に示すプレス金型を用いた。成型品を計測した結果、図 5 に示すようにスプリングバックもなく、成型品精度は極めて良好であった。



(a) プレス用下型

(b) プレス用上型

図 4 成型実験に用いたプレス金型

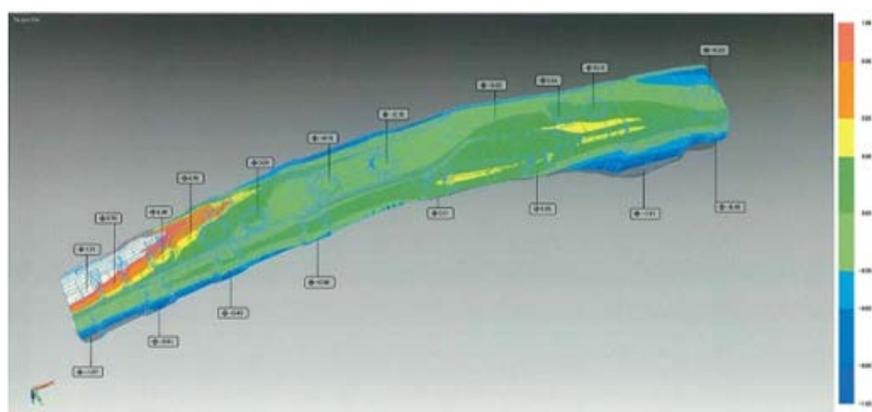


図 5 成型品の精度測定結果

今回、新たに開発を進めるのは安価なハイブリッド成型システムである。図 3 に示すプレス実験において、加熱した熱可塑性 CFRP 材の成型時の成型抵抗は極めて少なく、射出成形機の型締め力によっても、成型は可能と考えられる。

そこで、図 6 に示すように、加熱した熱可塑性 CFRP 材を射出成形金型と成型機の型締め力により成型し、その直後にプラスチック材料を用いた射出成形を行いリブ、ボスといった必要形状を付加することを試みる。

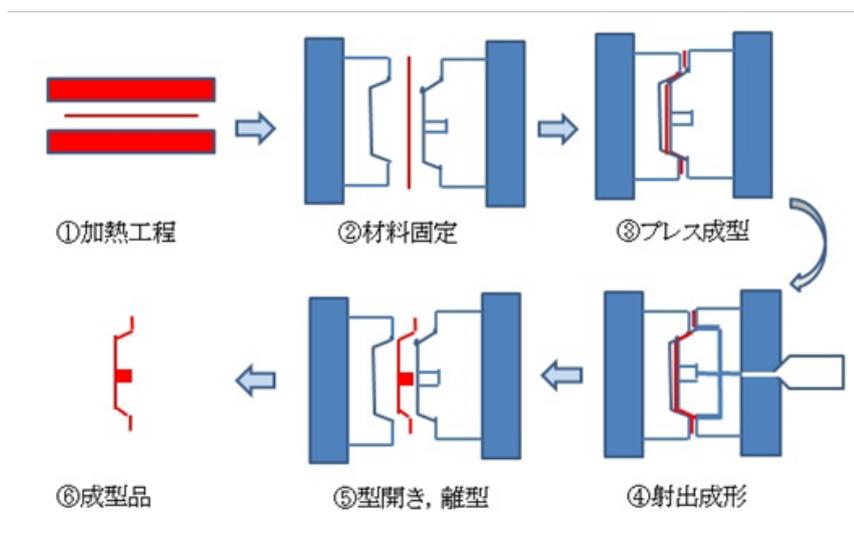


図6 射出成形機を用いた複合成形

こうした安価なハイブリッド成型法を確立することで、熱可塑性 CFRP 材の生産性向上が期待できる。

また、深絞り限界、トリムといったプレス技術における基本技術の確立も同時に目指す。

3. 実施した研究結果

3.1 トリム技術

プレス成型において不可欠なトリム成型に関しては、深絞り成型に用いる材料取りを兼ねて実施した。図7に用いたプレス金型、図8に成型品を示す。



図7 熱可塑性複合材料のトリム成型に用いた金型

図8に示す円盤状の成型品のトリムは、スタンパブルシートの種類によらず、炭素繊維のほつれもなく、問題なく実施できた。ただし、金型の寿命に関して詳細なデータを求める必要がある。



図8 トリム実験結果

3. 2 深絞り技術

深絞りの実験には、代表的な形状である半球状の成形を試みた。図9には用いた金型を示す。



(a)成型に用いた下型



(b)成型に用いた上型

図9 深絞りに用いた金型

当初は、板厚に合わせた均一のクリアランスを用いて、実験を行ったが、スタンパブルシートの種類によらず、絞り成形は出来なかった。

その後、以下に示す対策を講じたが、図10に示すように、成型品表面が著しく荒れて、炭素繊維が露出し、この場合も絞り成形は出来なかった。

- | | |
|---------------|------------------------------------|
| 対応策① 型温を上げる | 150° C、100° C、75° C、50° C |
| 対応策② スリットを入れる | スリット深さ 15mm、25mm スリット位置 2か所、4か所 |
| 対応策③ 素材を変える | 綾織タイプの複合材 |

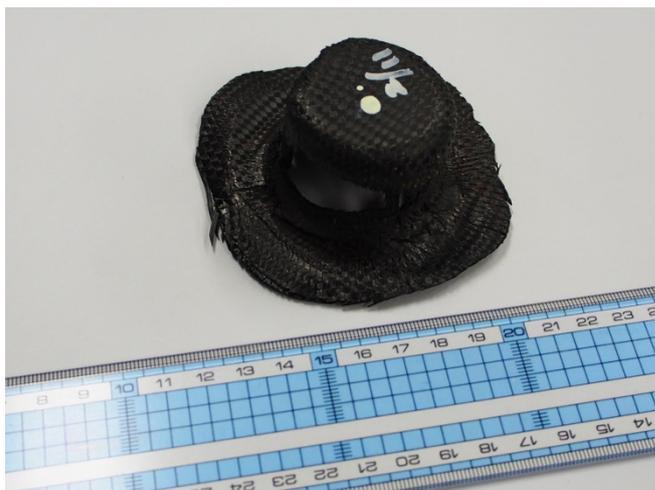


図10 成型品の状況

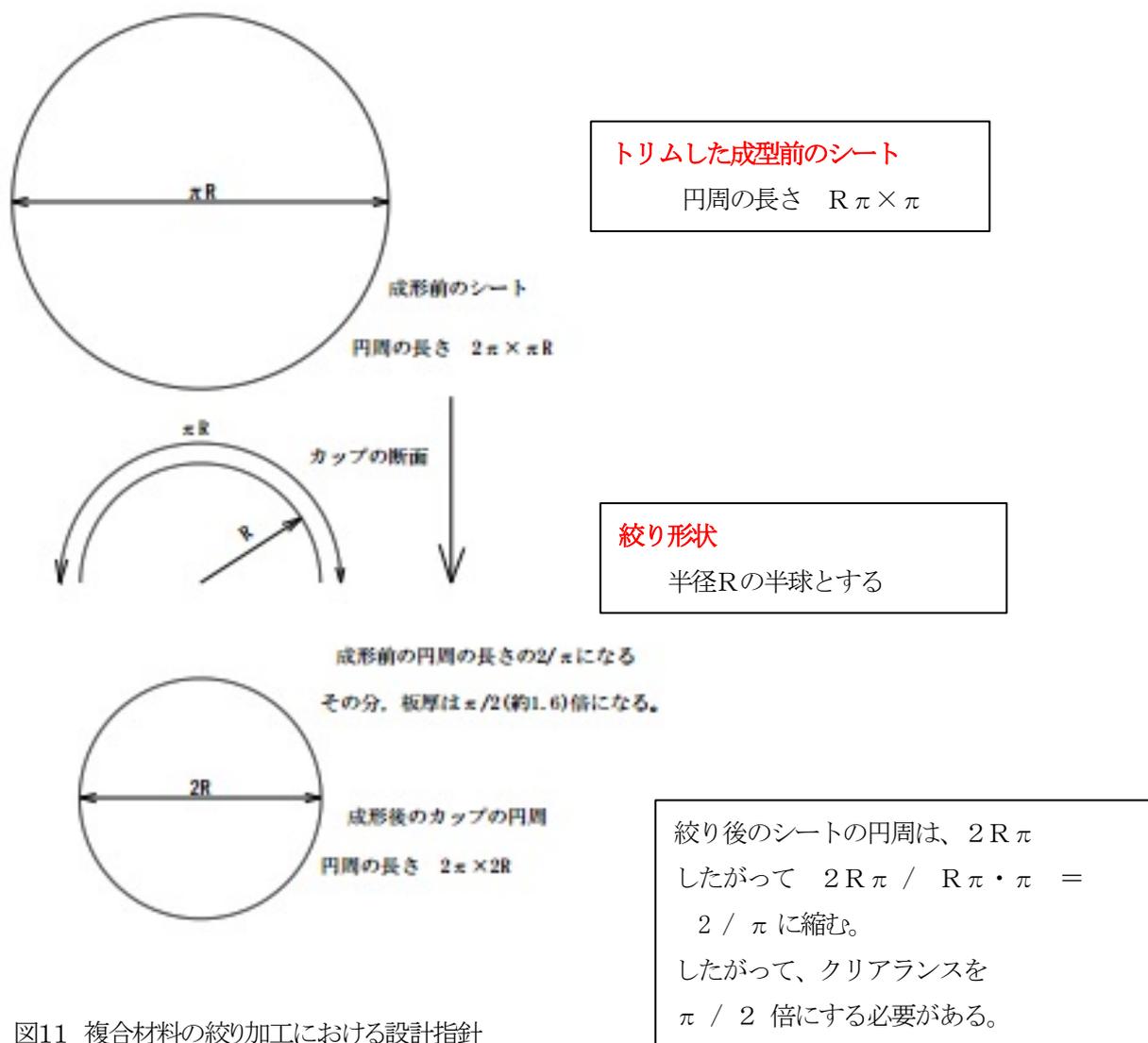


図11 複合材料の絞り加工における設計指針

こうした絞り加工の実験において、金沢大学 米山先生から 複合材料に用いられている樹脂は、体積的に変形しないので、逃げを作る必要がある。とのアドバイスをいただいた。すなわち、図11に示すように、半径Rの半球状形状に材料を絞る場合を想定する。その際の素材は、半球形上の外周に沿わなければならない、外周の長さは $R\pi \times \pi$ となる。この $R\pi \times \pi$ が素材の直径になる。したがって、絞り後の素材の円周は、 $2\pi R$ となる。初期の素材の外周が $R\pi \times \pi$ であったものが、 $2\pi R$ に縮むことになるので、クリアランスを、その比である $2R\pi / R\pi \cdot \pi = 2/\pi$ の逆数倍大きくする必要がある。

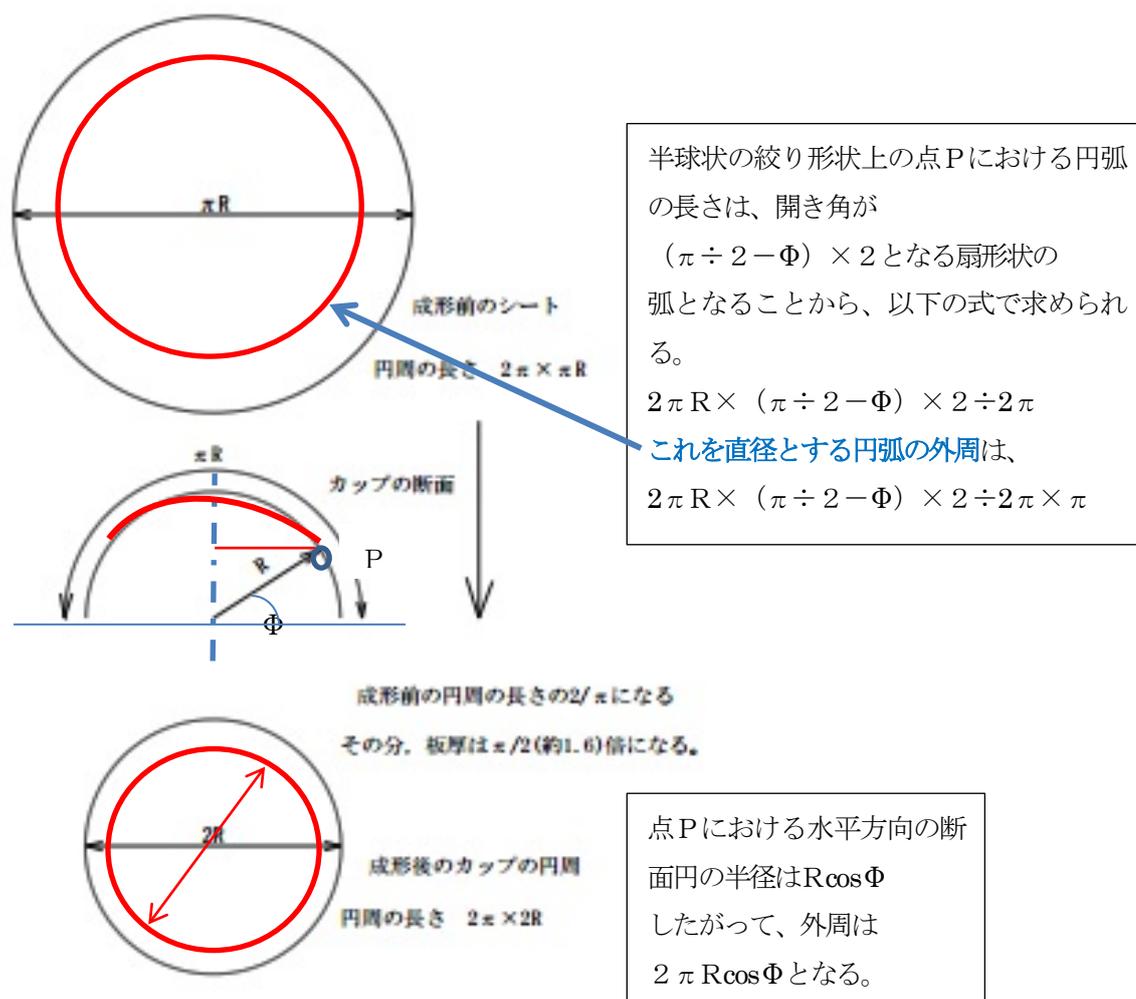


図12 任意の位置におけるクリアランス量

次に、図12に示すように、半球状の絞り形状の任意の位置Pにおけるクリアランス量を考える。点Pにおける水平方向からの開き角を Φ とする。点Pにおける水平方向の断面半径は、 $R\cos\Phi$ となる。従って、外周は次式となる。

$$2R\cos\Phi \times \pi$$

また、半球状の絞り形状上の点Pにおける円弧の長さは、開き角が $(\pi \div 2 - \Phi) \times 2$ となる扇形状の弧となることから、以下の式で求められる。

$$2\pi R \times (\pi \div 2 - \Phi) \times 2 \div 2\pi$$

これを直径とする円弧の外周は、次式で求められる。

$$2\pi R \times (\pi \div 2 - \Phi) \times 2 \div 2\pi \times \pi$$

外周が $2\pi R \times (\pi \div 2 - \Phi) \times 2 \div 2\pi \times \pi$ のものが、 $2R \cos \Phi \times \pi$ に変化することになるので、クリアランスを逆数倍すればよい。

上記の式に従い、クリアランス量を調整しプレス成型した結果、図13に示すように良好な成型品が得られた。



図13 複合材料の絞り成形結果

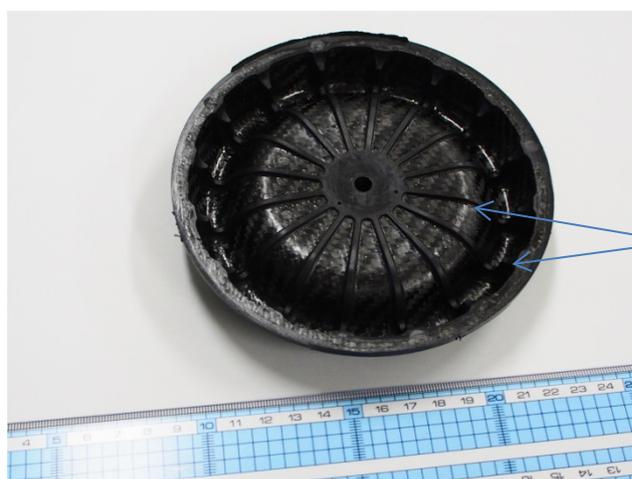
3. 3 ハイブリッド成型技術

図6に示した射出成型金型を用いたハイブリッド成型を実施した。ここでは、カップ状形状の裏側にリブを成型することを試みた。通常、成型品の離形は可動型側から行われるが、ここでは、固定型側にエジェクターピンを用いる離形機構を組み込んだ。

図14には、成型品を示す。当初想定したように、加熱した複合材料は型締め力のみで成型可能であった。成型品の裏側にリブを成型したが、複合材料に用いられている熱可塑性樹脂と同一もしくは特性の近いものを選ぶ必要がある。樹脂だけの成型品に比べ、強度向上が期待できる。



(a) 成型品表側



成形したリブ

(b) 成型品裏側

図14 ハイブリッド成型により成型した成型品

4. 終わりに

自動車の軽量化に有効と考えられる熱可塑性CFRPを対象とし、プレス成型時の成形条件、プレス金型設計基準やハイブリッド成型システムの確立をめざし、開発を進めた。絞り成形時のクリアランスの決定法が明らかになり、プレス成型時の成型品品質の向上が可能となった。またハイブリッド成型に関しても、複合材料を用いた中小物の成形が十分可能であることから、今後は、より実用的な成型品の開発に取り組む予定である。

謝辞

本研究開発は、公益財団法人三井金型振興財団による研究助成により実施されたことを記し、感謝の意を表します。