

フィルムスタッキング法による CFRTP の ダイレクト立体成形技術の開発

Development of Direct Three-dimensional Shape Forming Technology of CFRTP
by Film Stacking Method

遊 座 嘉 秀*
Yoshihide YUZA

要 旨

炭素繊維強化プラスチックは、車両の軽量化に大きく寄与できるが、材料とともに製造コストが高いため、その適用が限られていた。我々は、この材料を二輪車に広く利用可能とするため、熱可塑性炭素繊維強化プラスチックを材料とし、部品を廉価に製造可能とする技術の開発をおこなった。成形には、熱可塑性樹脂フィルムと炭素繊維織物を積層し、熱プレスで成形するフィルムスタッキング法を採用しつつ、プリプレグを経ずに直接立体形状を成形する製法を開発した。本製法を適用時に、部品に発生した外観意匠性の課題を金型の温度や形状を工夫することで解決し、強度を維持しつつ繊維の乱れのない製品を実現した。なお、開発された製法は、CRF450 Rally の部品に適用され、その実用性が証明されている。

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced plastics greatly contribute to weight reduction of vehicles, but their application has been limited due to high manufacturing cost together with the cost of materials. In order to make this material widely available to motorcycles, we developed a technology that makes it possible to manufacture the parts at low cost by using carbon fiber reinforced thermoplastic as a material. For the molding, a manufacturing method was developed to directly form a three-dimensional shape without using prepregs while adopting a film stacking method in which a stack of thermoplastic resin films and carbon fiber woven fabrics is formed by hot pressing. When this manufacturing method was applied, issues on the exterior appearances of the part were revealed. We successfully solved the issues by devising the temperature settings and shapes of the molds and realized a product without irregularities of fibers while maintaining the required strength. The developed manufacturing method was applied to the parts of the CRF 450 Rally and the practicality of the method was proved.

1. まえがき

近年その利用が急速に広がっている炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP) は、非常に軽量で強度に優れた材料である。そのため、航空宇宙の分野においては金属に代わる構造材として用いられている。また、CFRP は四輪や二輪のレース用車両においてもその特徴を発揮してきた⁽¹⁾。CFRP は、その独特の外観から、レース車両の優れた性能の象徴となっている。さらには、軽量化とそれによる燃費向上をねらいとして、一般車両への利用拡大が期待されている⁽²⁾。しかし、量産車への適用は素材の価格以上に製造コストの高さから容易ではな

いとされてきた。その理由には、成形に長い時間がかかることや特殊な設備を必要とすること、材料の保管形態に対する要件が厳しいことなどが挙げられる。また基材となる熱硬化性樹脂は、リサイクルが容易ではないことも量産には向かないとされる一因となっている。

今回、これらの課題を解決するために、基材に熱可塑性樹脂を用いた熱可塑性炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastic: CFRTP) の成形技術の構築に取り組んだ。さらに、通常、平板などの二次元的な形状を作る際に用いられるフィルムスタッキング法を用いて、深さのある複雑な立体形状を直接成形できる製法の確立を目指した。

*二輪 R&D センター

2. 製法と材料の検討

2.1. 製法検討

2.1.1. 従来製法とその課題

はじめに、製法について検討をおこなった。CFRTP は、用いられる炭素繊維の長さや繊維の連続性によって、2 種類に大別できる。一つは、織物などの長く連続した繊維を用いた製法であり、もう一つは、繊維を一定の長さに切り、短く不連続な繊維を用いた製法である。今回、検討の対象とした二輪車用部品は、構造的な機能を有する部品であると共に、外観性を求められる場合も多い。したがって、その軽さと強さに加えて炭素繊維の織り目が持つ外観意匠性が重要視される。そのため、織地模様を有する連続繊維織物を用いた製法を検討した。

連続繊維織物を用いた CFRTP は、熱可塑性プリプレグをプレス成形する手法が広く知られている。この製法の概略を Fig. 1 に示す。熱可塑性プリプレグは、スタンパブルシートとも呼ばれ、複層の繊維にあらかじめ熱可塑性樹脂を染み込ませた板状の中間材料である。このプリプレグを赤外線等で加熱し、繊維に含浸した樹脂を軟化させプレス成形をおこなう。樹脂を繊維に含浸させるプリプレグの製造工程と、製品形状に成形する工程とを分けることで製造サイクルの短縮をねらった製法である。熱可塑性プリプレグを製造する手法にはいくつかあり、その一つがフィルムスタッキング法である。フィルムスタッキング法は、フィルム状の熱可塑性樹脂と繊維を重ね合わせて加熱しながらプレスすることで繊維へ樹脂を含浸させる手法である。複層の繊維が板状になったプリプレグは硬く、繊維層同士が互いに動きを規制する。そのため賦形性が悪く、二輪車に多く用いられる複雑な形状をした部品の成形には適さない。また製品表面を平滑にするためには、樹脂を十分に流動させるために金型を加熱する必要がある場合もある。

2.1.2. フィルムスタッキング法による立体の直接成形

賦形性を向上させるためには、それぞれの繊維層が独立して自由に動くことが望ましい。そのため、フィルム

スタッキング法の素材の状態に着目した。前述のとおり、フィルムスタッキング法の素材状態では、フィルムと繊維を重ねたのみでそれぞれの層が独立している。この状態であれば、深さのある複雑な形状を成形する場合であっても繊維層が金型の形状に追従し賦形することができるのではないかと考えた。また、プリプレグ製造の工程が不要となるためコスト面や樹脂の熱劣化の面においても有利であると考えた。以上から、フィルムスタッキング法の素材状態から直接、立体形状を成形する手法を検討することとした。

今回取り組んだ製法の工程の概略を Fig. 2 に示す。

まず、通常のフィルムスタッキング法と同様にフィルム状の熱可塑性樹脂と、炭素繊維を交互に複数枚積層する。

次に、積層した素材を加熱した金型内に投入しプレス成形をおこなう。一定時間圧力を加えたのち金型を冷却し、形状が固定したら製品を取り出して成形が完了となる。

この製法を、直接立体形状を成形するという意味を含め我々はダイレクトフィルムスタッキング法と名付けた。

2.2. 基材樹脂の選定

ダイレクトフィルムスタッキング法において、基材となる熱可塑性樹脂はフィルム状の形態をとる必要がある。基材となる熱可塑性プラスチックの選定にあたり、一般に

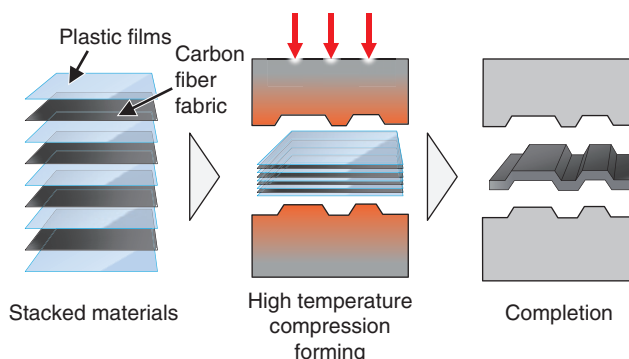


Fig. 2 Process of film stacking direct forming

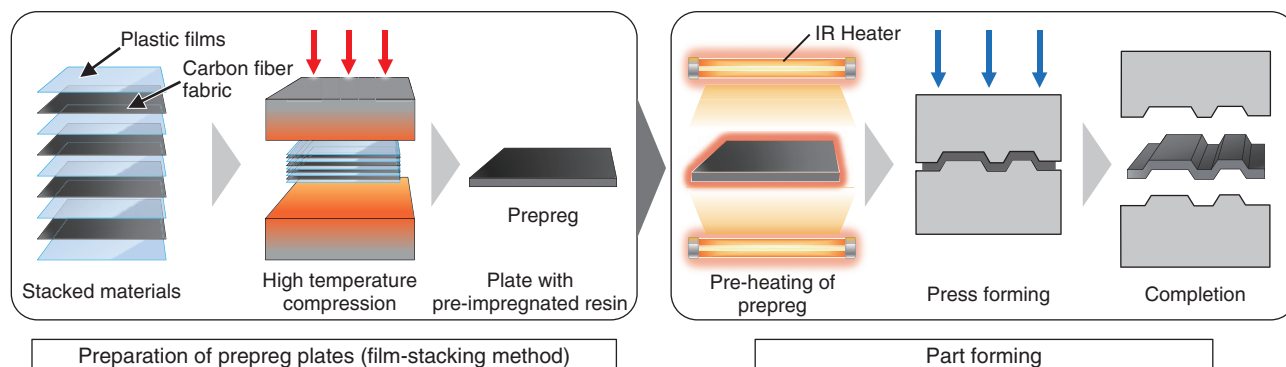


Fig. 1 Part forming using thermoplastic prepreg

Table 1 Comparison of base resins

	PMMA (Polymethyl methacrylate)	PC (Poly- carbonate)	PA6 (Polyamide 6)	PS (Polystyrene)	ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)	PVC (Polyvinyl chloride)
Melting point (°C)	180	230	230	215	230	150
Heat deflection temperature (°C)	68	129	67	80	87	54
Flexural strength (MPa)	73	91	127	89	78	64
Tensile strength (MPa)	48	78	78	38	43	42
Stretch at break (%)	2	40	25	5	10	2

Numbers shown in the table are typical ones.

フィルム状で入手可能な材料の候補を Table 1 に示す。

車両部品の材料として使うには、曲げ強さや引張強さ、熱変形温度などの物性値は高いほうがよい。また伸び、つまり引張破断伸びについては5%程度必要である。そのため、PMMA(アクリル)やPVC(ポリ塩化ビニル)では必要な要件を満たさない。さらに、表に示した物性に加えて、耐候性や難燃性なども勘案する必要がある。また2.1.1.項でも述べたとおり、これら物性と併せて、外観意匠性が非常に重要である。炭素繊維の織り目を見せるために基材となる樹脂には高い透明度が求められる。以上の検討から、基材にポリカーボネートを用いることとした。ポリカーボネートは表中で最大の引張強さ78 MPaを持ち、曲げ強さもポリアミドに次いで高い。また、熱可塑性樹脂の中でアクリルに次いで透明度が高い。さらに、薄板のフィルム状で一般に広く流通していることも、本稿で述べる製法の構築にあたって好適な条件であると判断した。

3. 成形条件

3.1. 平板形状による成形条件確認

成形条件を確認するにあたって、最も重要な事柄は樹脂の含浸の度合いである。曲げ強さの値が高いほど繊維へ樹脂がよく含浸していると言える。そこで、平板形状のテストピースを作成し、JIS K 7074 に示される試験条件を基とした3点曲げ試験にて荷重と変位量を測定し、曲げ強さを算出した。炭素繊維織布には東レ株式会社製 C06347B (T300B 3K 綾織)を用い、この繊維を4層と樹脂フィルムを5層交互に積層する。このときの繊維の方向は上から45°、0/90°、-0/90°、-45°の一般的な疑似等方積層を用いた。この積層した素材を加熱した金型で熱プレス成形し、繊維への樹脂含浸の度合いを確認する。繊維への樹脂の含浸には温度、圧力、時間の三つの要素が関係するが、ここではその中で最も樹脂の含浸に影響する成形温度について測定結果を提示する。Fig. 3 に、成形時の金型の温度と、樹脂の含浸の指標となる試験片の曲げ強さの関係を示す。このとき成形圧力は3.6 MPa、加圧保持時間は4分とした。

ポリカーボネートは明確な融点を持たない非晶性の熱可塑性樹脂であるが、一般的には230℃近傍が融点であると

されている。融点を超え温度が上昇するにつれ、溶融した樹脂の粘度が下がる。Fig. 3を見ると、成形温度が220℃から280℃まで温度と曲げ強さはほぼ比例関係であると思われる。成形温度の上昇によって樹脂の粘度が下がり、繊維への含浸が向上していると言える。また成形温度が220℃と280℃では曲げ強さに2倍以上の差があり、低温では樹脂の繊維への含浸が不足していることがわかる。このときの試験片の断面を観察してみると、280℃で成形した試験片(Fig. 4)は繊維の奥まで樹脂が含浸していることがわかる。また230℃で成形した試験片(Fig. 5)は、繊維の表面にのみ樹脂が存在し内部に含浸しておらず、空けきとなっていることがわかる。これは、樹脂の温度が低く高い粘度であるため、十分に含浸できなかったためである。

また、成形温度280℃をピークとして曲げ強さは徐々に低下している。これは、成形時の熱によってポリカーボネート自体が劣化してきていることが考えられる。

以上から、成形温度については樹脂が十分に繊維へ含浸し、曲げ強さが最大となる280℃と設定した。

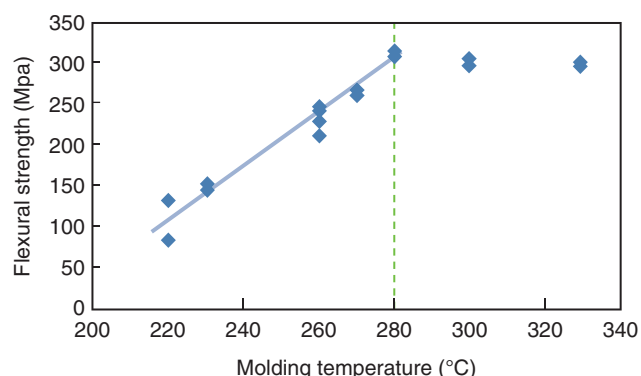


Fig. 3 Relationship between flexural strength and molding temperature

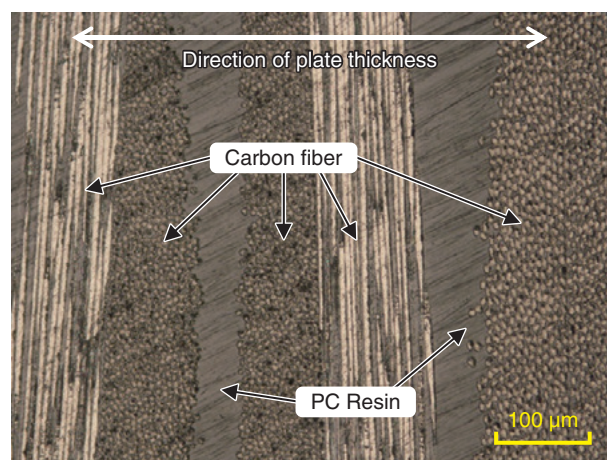


Fig. 4 Cross-sectional view of test piece with good impregnation condition of resin (TP processed at 280°C)

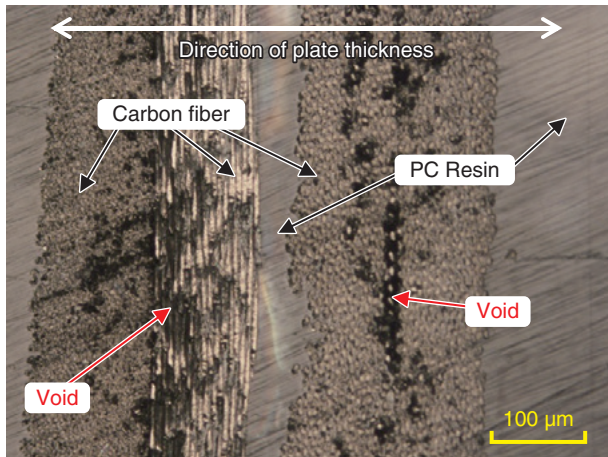


Fig. 5 Cross-sectional view of test piece with poor impregnation condition of resin (TP processed at 230°C)

4. 立体形状の成形

4.1. 立体形状成形

成形の対象とする部品は CRF450 Rally のリヤフェンダとした。この部品は、同車両の前年度モデルにおいては、オートクレープ成形を用いて製作されており、縦横寸法が 600 mm × 200 mm、深さ方向の寸法が 120 mm ほどの部品である。製品側面に深い縦壁形状を持っており、また、部品前方部に複雑な凹凸形状を有する。テストピースで得られた成形条件を基に実際に成形をおこなった結果、水平に近い平坦な形状部分においては良好な成形状態を得ることができた。しかし垂直に近い縦壁部分や、凹凸が入り組んだ部分においてはいくつかの改善すべき点が見られた。

4.2. 繊維の断裂と露出による課題

リヤフェンダの成形品に見られた課題の中で、最も大きなものは両側の縦壁部分に発生した繊維の断裂であった。Fig. 6 に部品の左側側面の様子を示す。黄色破線で示した部分の表層の繊維が断裂し、内部の繊維が見えるのが確認できた。また赤色の破線で示した部分に至っては、繊維が全層にわたり断裂し樹脂だけになっている部分が見られる。こうした状態では、複合材としての強度が発揮できない。また Fig. 7 に示すような凹凸のある部位においては、表層の樹脂が無く、繊維が露出している部分が見られる。

これらの事象が、成形過程のどの段階で発生したのかを調べるため、上下の金型が閉じる過程に対して、素材の挙動を段階的に観察した。このとき、凸型を下に、凹型を上配置している。なお、観察は、見たいタイミングにおいて金型の動作を止め、金型を冷却することによっておこなった。この観察結果に基づき、以下に示すプロセスが推定された。素材投入後に上型が下降していくと、上型に触

れた部分から樹脂フィルムが溶融し始める。水平に近い平坦部においては、上型はおおよそ面で接触しながら降下してくるため、樹脂が繊維へ含浸させられるとともに、金型に沿った成形がおこなわれる。

これに対して、縦壁の斜度が垂直に近い部分では、樹脂が繊維に含浸するよりも早く、上下型間のクリアランスが成形前の素材の厚みよりも小さくなり、上型の角部分が最初に素材に接触する。これによって、素材表層の樹脂層を突き破る形となり、Fig. 7 に示したような表層に樹脂層が無い状態につながると考えられる。さらに、Fig. 6 に示すような、深い形状を成形する場合には、上で述べた、上型角部分の接触状態の後金型の移動が継続し、上型はさらに下方に移動する。ここで、溶融した樹脂は粘度が高く、繊維と繊維、あるいは繊維と金型との間で粘着剤のような働きをする。そのため、金型にはり付いた繊維が、金型の移動とともに引き裂かれる。

これらのプロセスを Fig. 8 に模式的に示す。

これらの原因は素材である複合層が金型の形状に十分に

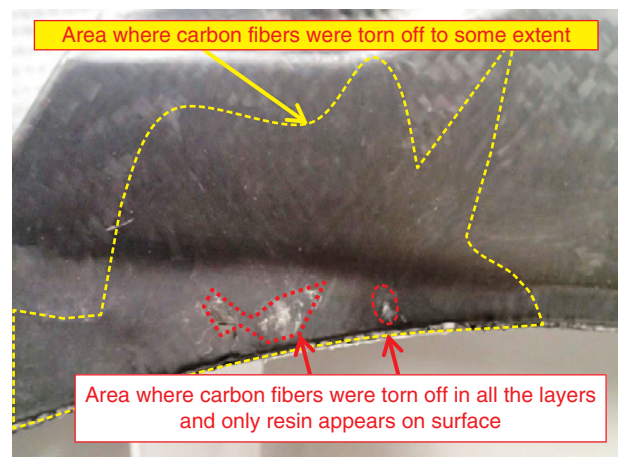


Fig. 6 Breaks of fibers appear on vertical wall section

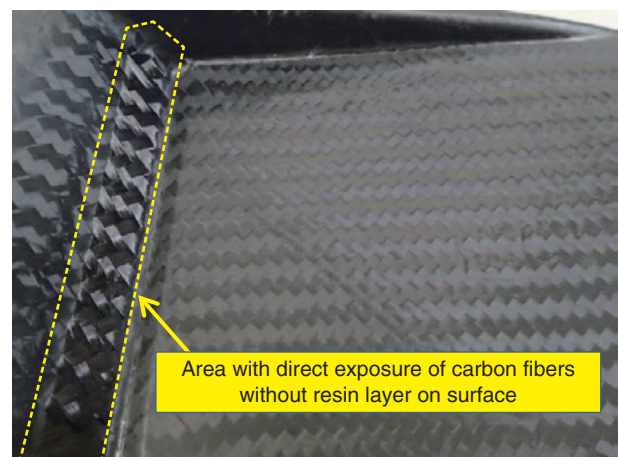


Fig. 7 Area on surface with direct fiber exposure

なじむ前に、樹脂が溶かされるということにある。金型が高温でなければ、樹脂フィルムが溶断されることはない。また樹脂が溶け、金型にはり付いていなければ繊維が引き裂かれることもないと言える。そこで、賦形前に樹脂が溶け断裂するのを防ぐために、低温の金型で予備賦形させることも検討した。しかし金型を閉じたときのクリアランスに対し、成形前の素材は約2倍の厚みがある。したがって、素材状態そのままではプレスすることはできない。また、金型に繊維の擦こんや圧こんがついてしまう。複数の金型による予備賦形を用いれば、上記のような事象を軽減することができる。しかし、本開発では複数の金型を用いず、あくまで一組の金型で、賦形と樹脂含浸のいずれの条件も満たす手法の確立を目指した。一組の金型で成形するには、一回の成形プロセスの中で樹脂を含浸させ、素材の厚みを減らす必要がある。また、複合材として強度を発揮するためにも、金型を高温にし、樹脂を溶融させ繊維に充分含浸する状態を実現しなければならない。金型を高温にすることは、賦形工程に対して支障となるが、樹脂含浸に対しては必要であり、これらを同時に満たす手法の検討をおこなった。

4.3. 金型温度差による外観意匠性向上

我々は、部品形状への賦形と樹脂の含浸の、二つの工程を上下の金型にそれぞれ分担させることはできないかと考えた。具体的には、上下の金型の温度に差をつける手法を検討した。

上型の温度は、樹脂のガラス転移点以上、融点以下に設定する。これによって、樹脂フィルムを溶かさずに軟化させ、素材を賦形させることができる。これに対して下型の温度は、樹脂の融点以上に設定し、樹脂フィルムを溶融できるようにする。これら金型温度を設定し成形をおこなったときの、金型と樹脂/繊維層の動きを Fig. 9 に模式的に示す。

上型は樹脂フィルムを溶かさず表層で滑りながら下降し、素材を下型に押し付ける。押し付けられた素材は、下型に触れた側から溶け、下型にはり付いていく。上型は素材表面で滑りながら下降するため、繊維は断裂を起こし

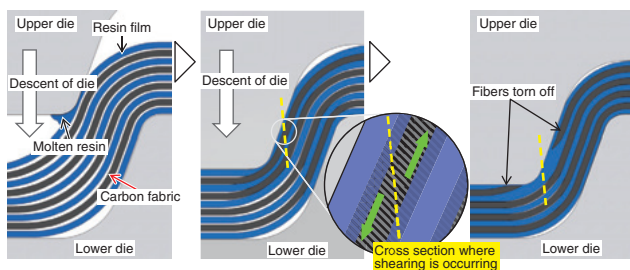


Fig. 8 Schematic views of cross sections of die, which show phenomena occurring while upper die is descending

にくい。金型が閉じると、素材は下型から伝わった温度によって繊維へ樹脂が含浸する。この手法で成形した製品を Fig. 10 に示す、外観に繊維の断裂や織りの乱れは認められない。また、形状に沿って織り目の方向がそろっており、手作業で繊維を張り込んだものに近い外観を有していると判断できる。

この結果から、上型を樹脂フィルムの損傷を抑制できる低めの温度に、下型を繊維への充分な樹脂含浸が得られる高めの温度に設定することによって、縦壁の外観上の繊維断裂を解消し、製品の意匠性を向上することができた。

4.4. 内部品質の確認と向上

4.3. 節で示した手法によって成形した製品の内部品質について、平板のTPと同様に切断し断面の観察をおこなった。Fig. 11 に天面の平坦部分の断面を、Fig. 12 に縦壁部分の断面を示す。Fig. 12 に示されているように、部分的には、樹脂が繊維束の奥まで染み込んでいる。しかし、繊維束内に大きな空けきが存在している部位もある。

これは、樹脂の温度は十分に高く粘度が低下し、繊維への含浸が十分に可能な状態であったにもかかわらず、そのプロセスが途中で停止したためであると考えられる。また

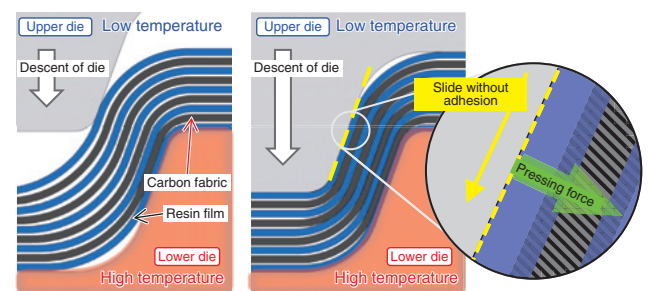


Fig. 9 Phenomena assumed to be happening between upper and lower molds while processing by developed method



Fig. 10 Appearance of vertical wall side surface when processed with developed method

もう一つの可能性として、樹脂の含浸は繊維束の全体に行き渡ったものの、その後樹脂の体積減少によって空気を生じた状態であると考えられる。

4.5. 縦壁の内部品質向上

含浸は、熔融した樹脂を流動させ、繊維束の奥へ押し込む工程である。本製法においては、プレス機によって印加される上下方向の力を用いて、樹脂を流動させるための力の発生させている。そのため、水平面に対してはほぼ 100% の力がかかるのに対し、傾斜面ではその角度に応じた分力しか作用しない。傾斜角度による圧力低下を見込んで、成形圧力を高く設定することによって、この状況に対応する手法も考えられるが、そうした手法を適用しても、ほぼ垂直な縦壁部分に十分な力がかかるほど全体の圧力を上げることは現実的ではない。なお、部分型を用いて解決する手法もある⁽³⁾。しかしこの手法は、金型の分割数が増えるため、単一型を用いた場合と比較して、加工時間とコスト増

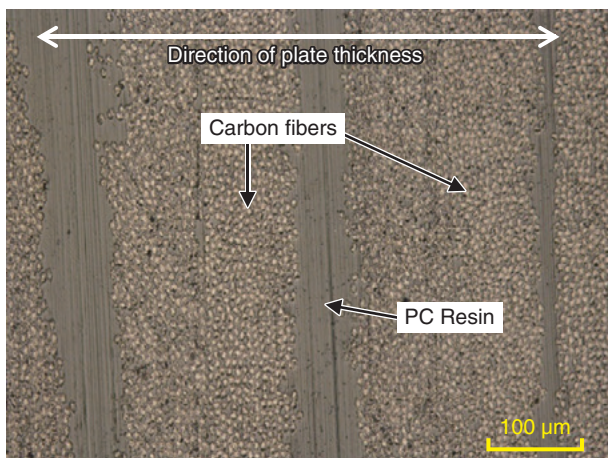


Fig. 11 Cross section of test piece at top flat part of product

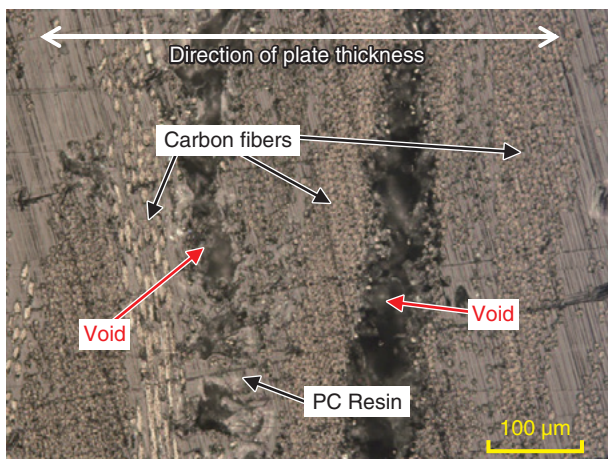


Fig. 12 Cross section of test piece at vertical wall part of product

加を伴う。またこの手法を適用する場合には、熔融した樹脂が分割された金型の間に生じたすき間に入り込むなどの懸念も考えられる。

ここで、繊維への樹脂含浸が不足するメカニズムについて改めて考察してみる。本手法においては、最終的に部品として用いられないトリム部分をキャビティの外部に持つ。そしてこの部分は、成形後の加工によって切除される。このため、キャビティの空間を完全に閉じた形状にすることはできない。これに加えて、Fig. 12 に示した部分は製品の全体形状の中で縦壁部かつトリムラインに近い部分に位置しており、熔融した樹脂が製品部に留まらずトリム部へ流出し、樹脂含浸に寄与できる圧力が十分に得られないということが考えられる。

したがって、樹脂の流出を抑制することができれば繊維への含浸を促進することができると考え、縦壁部トリムライン近傍のクリアランスを狭める方案を検討した。具体的には、上下型間のクリアランスを、繊維層の厚みを合計した値程度まで狭め、上型が下降し金型が閉じる際に樹脂の流出を抑制するようにした (Fig. 13)。

Fig. 13 に示した方案の効果と、他の面の圧力を確認するため、異なる面角度を有するテスト用の金型を制作した。テスト型は水平方向、水平面に対し 30°、45°、60°、88.55° の角度を持った合計五つの平面を含むように設計し、このうち 88.55° の面に Fig. 13 の方案を適用した。なお、88.55° の面は、90° に対して、抜き勾配 1.45° を確保したものである。この金型によって成形されるテストピースは Fig. 14 に示すような形状となり、赤く示した部位は金型が閉じ切るよう、また緑に示した部位は開放するよう設定した。各平面の形状は矩形とし、曲げ試験用の試験片 (100 mm × 30 mm) を 2 枚切り出せるよう長さ 220 mm、幅 35 mm 以上とした。また各面の中央に、面に対し垂直方向にピエゾ式圧力センサを配置し、各部における成形時のキャビティ内圧の時間変化を測定した。圧力計測は、縦壁

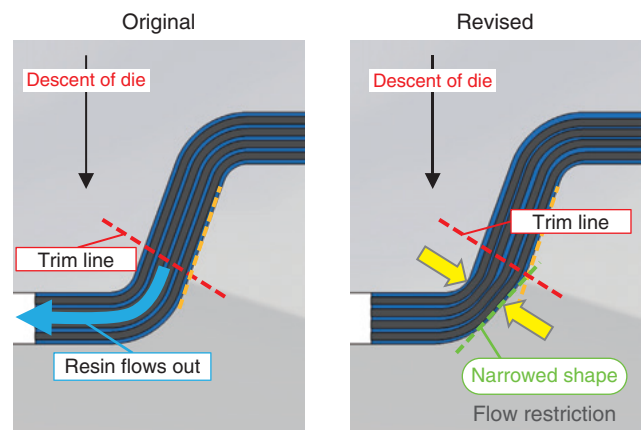


Fig. 13 Revised configuration of die with narrowed shape at resin outlet

部分の圧力に対する比較を目的とし、縦壁部と水平面のほかに、その中間である 45° の面の圧力も測定した。また、 88.55° の面に対し Fig. 13 の方案を適用していない金型も製作し、方案の効果を検証した。

なお、温度や圧力の条件については前章と同様である。測定した圧力の時間的推移を以下に示す。Fig. 15 は本方案を適用しないもの、Fig. 16 は適用したものを示す。

ここで、最初の 15 秒間程度は圧力センサに内部の物質が接触していないため、圧力を検知していない。その直後、まだ溶融していない状態の樹脂に接触し、大きな圧力を検知する。接触した樹脂は金型の温度により溶融し圧力は急激に降下する。したがって、金型内圧力の評価はグラフ中の 20 秒付近以降を対象としておこなわれた。

まず、方案を適用する前の図 (Fig. 15) を見る。 0° の水平面については、金型の下降とともに圧力は放物線的なグラフ形状を示しながら上昇している。 45° の面については、水平面に対して分力相当の圧力で推移している。Fig. 15 からわかるように、縦壁部分は、圧力が安定した後には 1 MPa 程度の圧力しかかかっていない。一方、出口を

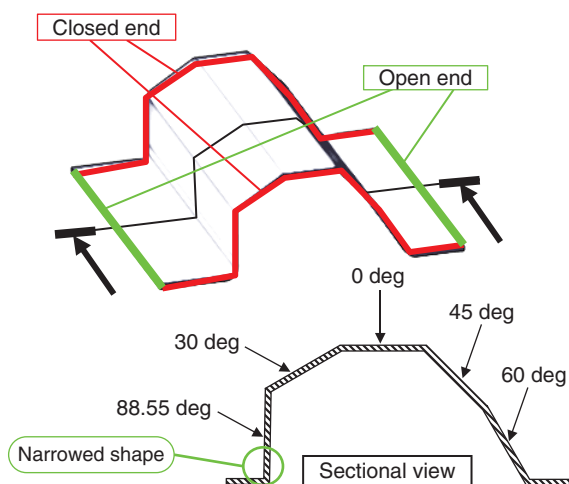


Fig. 14 Cross section of test piece for verification test of developed method

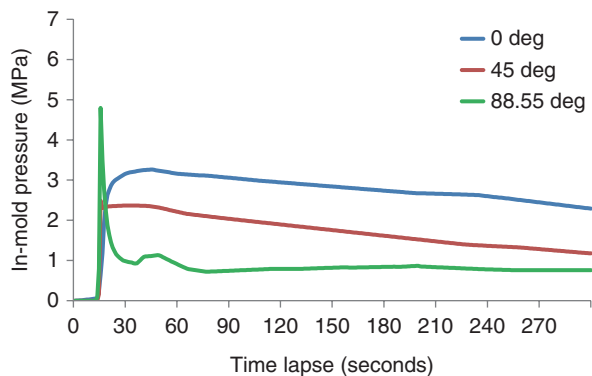


Fig. 15 Pressures in cavity to elapsed time without developed method

狭めた方案を追加した Fig. 16 を見ると、縦壁部分の圧力は、30 秒付近で 2 MPa となり、その値が維持されている。100 秒ほどを経過した後は、 45° 面の圧力よりも高い値になっていることがわかる。 45° 面は、樹脂の流出が進行しているため圧力が徐々に低下していると考えられる。さらに、本方案を適用し成形したテストピースの、水平面と縦壁面から試験片を切り出し、3.1. 節と同様に曲げ試験をおこなった。その結果とそれぞれの断面を Fig. 17 に示す。

0° の水平面と 88.55° 面の曲げ強さを比較すると、その差は 6 から 8 MPa と少ない。また断面の様子からも Fig. 12 に見られたような空けきは発生していない。以上の結果からわかるように、トリム部近傍の金型のクリアランスを狭めることで樹脂の流出を抑制し圧力を保持することによって、樹脂の含浸を促進し、課題であった空隙の無い内部品質を確保することができた。この方案を、4.3. 節で述べた上下型に温度差を設ける成形手法と併せて適用することにより、縦壁部分の優れた外観意匠性と内部品質確保を実現することができた。

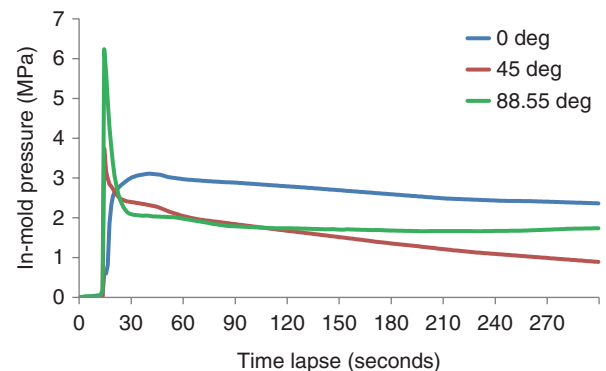


Fig. 16 Pressures in cavity to elapsed time with developed method

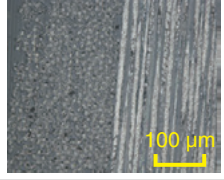
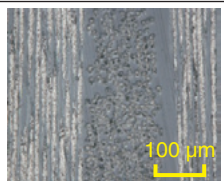
Plane angle (degree)	Number	Flexural strength (MPa)	Cross section
0	#1	313.60	
	#2	304.16	
88.55	#1	305.62	
	#2	298.17	

Fig. 17 Test results and cross sections of test pieces sampled from horizontal and nearly vertical walls

5. 実機への適用と成形手法応用

本技術を用いて、2016 年南米ダカールラリーに出場した CRF450 Rally (Fig. 18) のリヤフェンダ (Fig. 19), 並びに電装カバーの製作をおこなった。それらの部品は過酷なダカールラリーにおいて求められる性能と耐久性を満たすことを示した。この実績により、開発された製法で製作された部品が、実車に適用した条件においても有効であることが示された。



Fig. 18 The CRF450 Rally



Fig. 19 Rear fender of the CRF450 made of CFRTP

6. まとめ

量産二輪車へ適用拡大可能な, CFRP の成形手法を検討した。その結果, プリプレグを経ずに直接成形をおこなう, ダイレクトフィルムスタッキング法を確立し, その開発過程において下記に示す知見を得た。

- (1) 上下の金型に温度差をつけ成形することで, 繊維や樹脂を断裂させることなく形状に沿って賦形することを可能とし, 優れた外観を実現できた。

- (2) 縦壁の樹脂の含浸を向上させるために, 樹脂流出部の上下型間のクリアランスを狭めた金型構造を適用し, 垂直面においても十分な樹脂含浸を実現し, 内部品質を向上することができた。

本手法は, 今後, 量産二輪車への適用拡大が期待されている。また, 二輪車以外の部品にも幅広い応用が可能であり, 今後の展開が注目される。

参考文献

- (1) 田中尋真: F1 レギュレーションと技術の変遷: Honda R&D Technical Review, F1 Special (The third Era Activities), p. 4-11, (2009)
- (2) 山根保夫, 桜庭智裕: CFRP による軽量フードおよびリアスポイラの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 15, No. 1, p. 209-214
- (3) 多加充彦, 木水貢, 廣崎憲一, 来丸秀俊, 来丸雅信, 桜井義一, 南俊彦, 北文雄: 熱可塑性 CFRP を用いた自動車車体部品のプレス成形技術に関する研究, 石川県工業試験場研究報告, 64 号, p. 1-6, (2015)

■ 著 者 ■



遊 座 嘉 秀