

第 1 章

熱可塑性 CFRP の材料特性と 普及に向けた研究開発の現状

CF生産量も大幅に向上させる必要がある。この動きの一環として、CFメーカーと自動車メーカーの連携が進んできている。東レとダイムラー(熱硬化性CFRP)、帝人とGM、三菱レイヨンとBMW(CF原料のプリカーサの供給)、DowとAksa等で、今後の動向が注目される。

1.4 熱可塑性CFRPへの期待

期待されるCFRPの商品性と使用量を向上するにはどうしたらよいかを考えるため、図5の縦軸にユーザーの感動の種類を、横軸に生産台数/月をとり、例としてトヨタ自動車の代表的な車をプロットした。スーパーカーに位置づけられるレクサスLFAは、ワクワクするような走り限定してユーザーに提供している。また、レクサス系では同様に走りやステータスといった感動を味わうことができるよう、燃費を意識しながら可能な限りの量産を行っていることがわかる。一方、プリウスをはじめとしたエコカーやカローラ等の大衆車においては、性能を意識しながら燃費や手頃さといった感動をユーザーが実感できるよう大量生産を行っていることがわかる³⁾。こうした中、CFRPをより多くのユーザーに親しんでいただくことを考えると、前者(図5中A)では、CFRPの軽さ、強さを利用してルーフやフード等の外板を作ることにより車の低重心化が図られ、走行安定性が増すことになる。さらにCFRPならではの織目を独自の

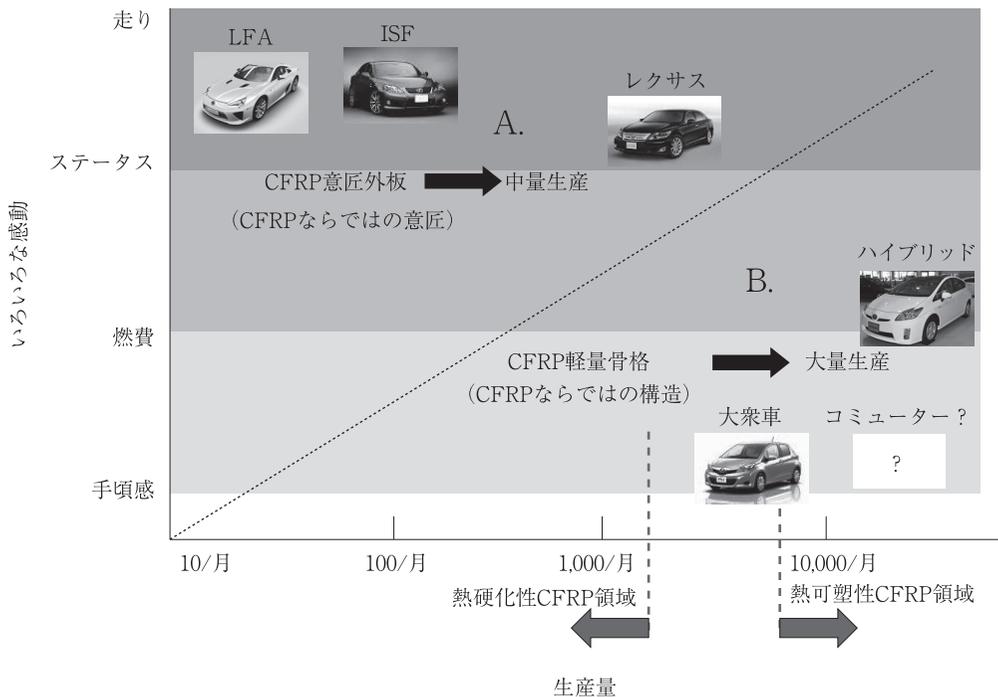


図5 自動車ニーズと熱可塑性CFRPへの期待³⁾

第 2 章

熱可塑性 CFRP の材料技術

のケーパルシート(株)〈商品名：KPシート〉のみである。

2.2 スタンパブルシートの製造方法

スタンパブルシートの製造方法は、大きく分けて二つの方法が知られている。それぞれメリット、デメリットがあり、用途に応じて使い分けられている。

2.2.1 DRY法(溶融合浸方式)

図3に示すように強化材がガラスマット状の場合、加熱・溶融、冷却・固化が圧力下で連続して行えるダブルベルトプレス機を使用し、マトリックスとなる熱可塑性樹脂はフィルムや押出溶融樹脂として、ガラスマットと交互に供給される。ガラスマットには、コンティニューアス・ストランド・マットやチョップド・ストランド・マットが用いられ、ニードリングが施される場合もある。また、ガラスマットのみではガラス繊維同士が絡んで成形流動性に劣るため、所定の長さにカットしたガラス繊維を製造時に混入させる場合もある。熱可塑性樹脂の溶融粘度は一般的に高いため含浸は困難であり、高い圧力を必要とする上、製造速度も遅いのが欠点である。

この方式によるスタンパブルシートは、長いガラス繊維を使用するため、強度や耐衝撃性などの物性は高いが、ガラス繊維に歪みが残ったままシート化される。そのため、スタンピング成形時に赤外線ヒーターなどで加熱溶融され樹脂が溶融状態になると、ガラス繊維の歪みが解放され、スプリングバックというガラス繊維の反発現象が発生し、成形品外観が劣るという欠点がある。また、強化繊維が長く、絡んでいる上に強化繊維の含有率が低いため、リブやボス

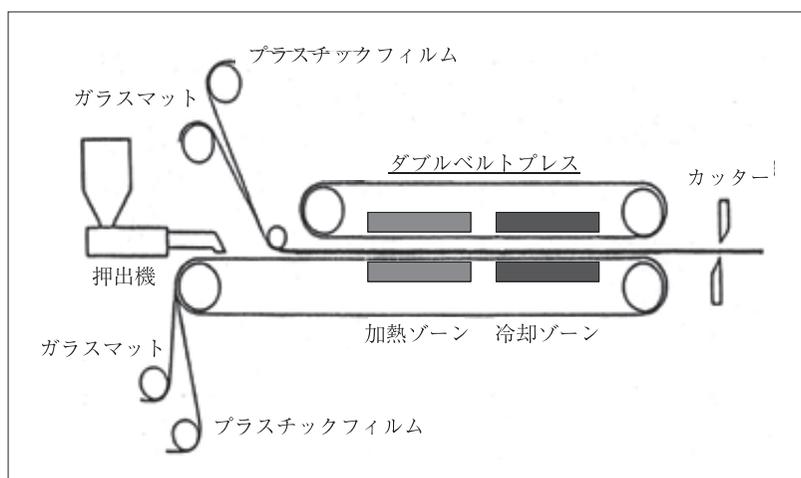


図3 DRY法(溶融合浸方式)

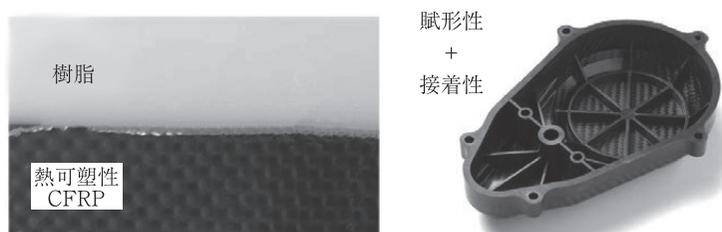


図14 ハイブリッド成形による非連続繊維コンパウンド樹脂と熱可塑性CFRPシートとの接着界面(左)及びエンジンカバー(右)

の結果、図14に示す通り、問題なく賦形し、非連続繊維コンパウンド樹脂と連続繊維強化熱可塑性CFRPシートとが十分に密着したサンプルが得られ、ハイブリッド成形に適応可能であることを示した。

以上の結果から、MXナイロン、LEXTER[®]の良成形性は、熱可塑性CFRPにおいても損なわれず、さまざまな成形加工への適応可能性が示唆された。

2.6 樹脂の改質による繊維/樹脂界面の接着性向上と熱可塑性CFRPの性能向上

熱可塑性CFRPの物性は、炭素繊維とマトリックス樹脂との組み合わせに影響される。その主な要因として、炭素繊維/樹脂界面の接着性や、含浸における樹脂の流動性が挙げられる。しかしながら、現在流通している炭素繊維の多くはマトリックス樹脂に熱硬化性樹脂を想定して設計されたものが多く、熱可塑性樹脂に適応しない場合がある。そこで、これら要因の1つである界面の接着性に注目し、炭素繊維と樹脂との接着性向上による熱可塑性CFRPの物性改善を試みた。

市販されている炭素繊維は通常、炭素繊維束に集束剤が塗布されている。一般的には、集束剤にエポキシ系やシアネート系の化合物が用いられている。これらの官能基は図15に示す通り、いずれもアミノ基との反応性が高いため、LEXTER[®]中の末端アミノ基濃度を調整

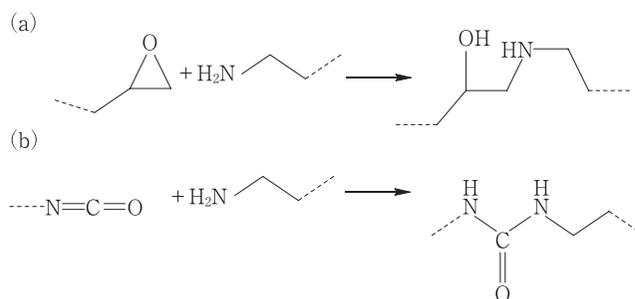


図15 炭素繊維表面と樹脂末端の官能基及びそれらの反応式

第 3 章

熱可塑性 CFRP の成形加工技術

加熱流動スタンピングである。“押し流す”からこそ成形の自由度が大きいのであり、言わばSMCの熱可塑版であると言える。

スタンピング成形の一般的な成形工程を図1に示す。成形する製品の形状、体積(重量)に応じて、成形前にスタンパブルシートを所定の重量および寸法に裁断することをブランキングと言い、裁断したものをブランクと言う。次に、ブランクを遠赤外線ヒーターなどの加熱装置により、マトリックス樹脂の融点以上の温度にまで加熱する。加熱装置から出てきたブランクのマトリックス樹脂は熔融状態であるが、強化繊維によりその形態は保たれており、材料から樹脂が落ちることはない。常温では硬い板状であったブランクは、マトリックス樹脂が完全に熔融することにより“つきたてのお餅状”になる。この状態のブランクをホットブランクと言う。そして、ホットブランクの温度が下がらない内に、速やかにマトリックス樹脂の融点以下の温度に保持された金型へチャージし、直ちにプレスにより加圧流動させ、所定時間ホールドすることによって成形品が冷却され、金型から取り出せる固さになったら成形完了である。

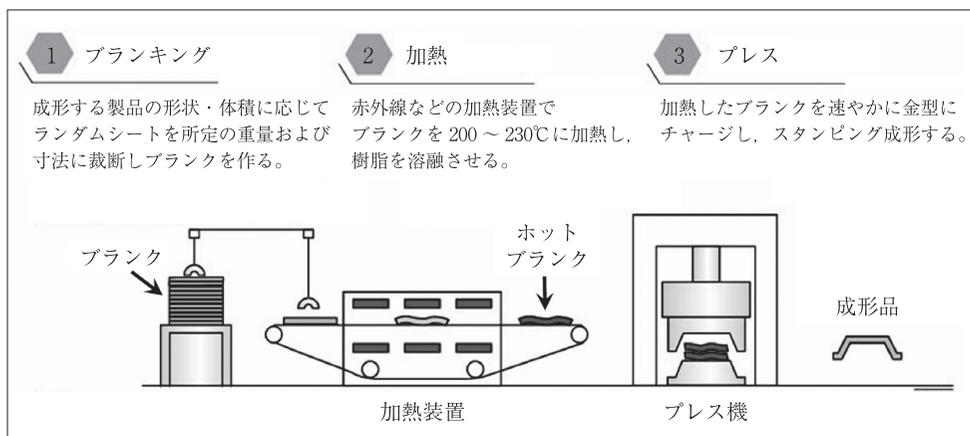
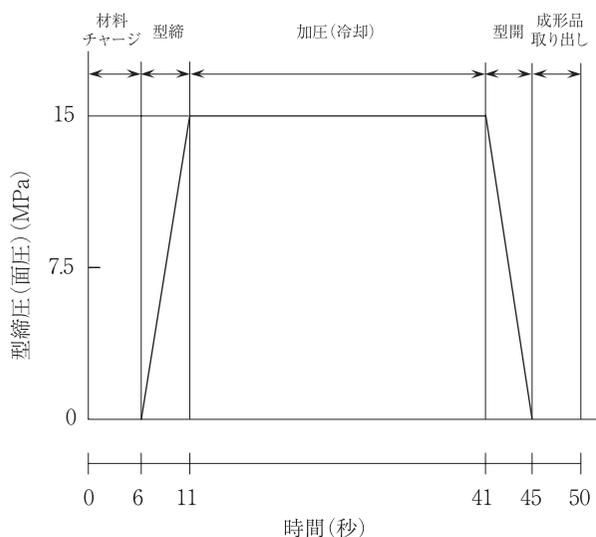


図1 スタンピング成形工程(加熱温度はPPの場合)

図1に示すように生産現場で使用される赤外線ヒーターはコンベアになっているので、プレスの成形サイクルに合わせて、ブランクは次々にコンベアに載せられる。赤外線ヒーターのゾーン長にもよるが、ゾーン長が長くヒーターの加熱能力が十分にある場合は、成形サイクルの律速はプレス成形の部分になる。

一般的な成形サイクルの一例を図2に示す。成形品の厚さにもよるが、プレスにより加圧している正味成形時間(ホールド時間)は、通常30秒程度である(成形品の板厚1 mm当たり、10秒程度が目安とされている)。材料チャージから成形品取り出しまでのトータル成形サイクル



成形品重量：1.6 kg, 成形品厚さ：3 mm, 投影面積：2550 cm²

図2 成形サイクルの一例

でも1分以内であるのが、スタンピング成形の最大の特徴であり、大量生産に適した成形であると言われている。

2. スタンピング成形条件⁵⁻⁷⁾

現在のスタンパブルシートはマトリックス樹脂がほとんどPPであるが、使用するマトリックス樹脂によって最適な成形条件(特に温度関係)は変わってくる。スタンピング成形の成形条件としては、赤外線ヒーターによるブランクの加熱温度、金型温度、成形圧力、加圧保持(ホールド)時間、プレス機の各種スピード設定、スピード切り替えのタイミング、チャージパターンなどが重要な成形条件となる。

2.1 ブランクの加熱温度

ブランクの厚さ、マトリックス樹脂の種類にもよるが、通常、遠赤外線ヒーターを使用した場合の加熱時間は3～10分である。板厚1 mm当たりの加熱時間は1分が目安であり、その程度の時間でマトリックス樹脂の融点以上の温度になるようにヒーターの設定温度が選択される。ブランクの加熱温度は、一般的にはマトリックス樹脂の融点+20～30℃が目安となるが、使用樹脂の特性によって多少の微調整が必要である。PPは熱に対して極めて安定な樹脂であ

1.1 ワンステップで、複雑形状品の成形が可能

図1は、弊社が提案するハイブリッド成形の工程図である。工程の流れは、①連続繊維強化型プリプレグ基材ピックアップ(ロボット)→②プリプレグ基材加熱(IRヒータ)→③プレス成形(プレス機)→④射出成形→⑤冷却→⑥製品取出し(ロボット)であり、この一連の工程で成形が完結し、穴加工、外周トリム、接着等の後工程設備は不要であり、省人化実現、バリ取り費用不要、成形現場の環境改善等も期待できる。

図2は加熱されプレス成形された連続繊維強化型のプリプレグ面である。図3は裏面であり、非連続繊維強化型のプラスチックを射出成形して形状を付与した面である。このように連続繊維強化型プリプレグのプレス成形のみでは得られないリブ形状、穴形状、偏肉構造、アンダーカット、成形品端部のバリレス仕上げ等任意の意匠を付与することが容易な工法である。

図4は、成形品端部バリレス仕上げに加え、細い穴明けを同時成形で実施した成形品例である。

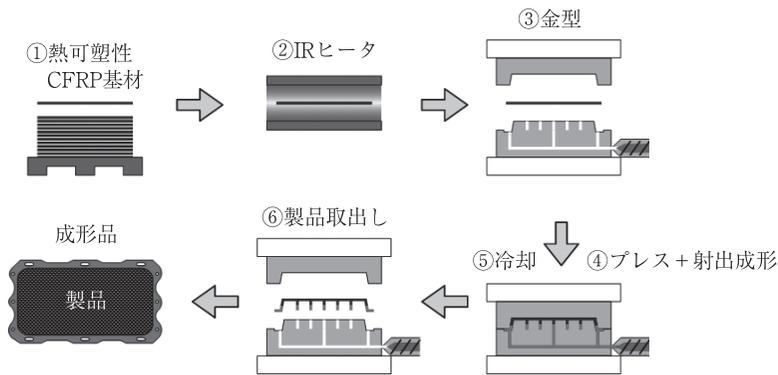


図1 ハイブリッド成形工程図

ハイブリッド成形例
(当社テスト金型)



図2 プリプレグ面



図3 射出成形面

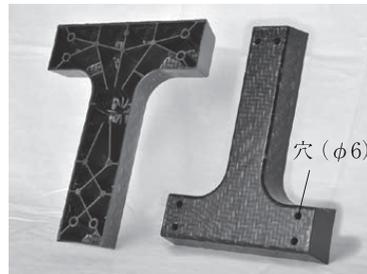


図4 細穴を同時成形した事例

第 4 章

リサイクル技術

2. 熱可塑性CFRPの破碎・粉碎処理¹⁾

熱可塑性CFRPを再利用するためには、加熱により樹脂を変形または溶融させて、強化繊維を元のシート状に戻すことが最も優れたマテリアルリサイクル法であるが、織物材がプレス成形により変形を受けた不要品を再加熱して、強化繊維を元の形態に復元することは困難である。そのため、熱可塑性CFRPを所望の形状に制御して破碎し、再利用しやすいサイズや形状に“加工”する必要がある。これは不要品や廃棄物を破壊・減容化し、搬送または燃焼・埋め立てするための廃棄処理とは全く異なる再生加工法である。

筆者らは、熱可塑性CFRPの破碎実験を図2に示すような織物CF/PA66積層板(Bondlaminates社製、TEPEX[®])を用い、(a)シートペレタイザー、(b)二軸式破碎機および(c)スクリーン付き一軸せん断式粉碎機の3種類の破碎・粉碎機を用いて行った。

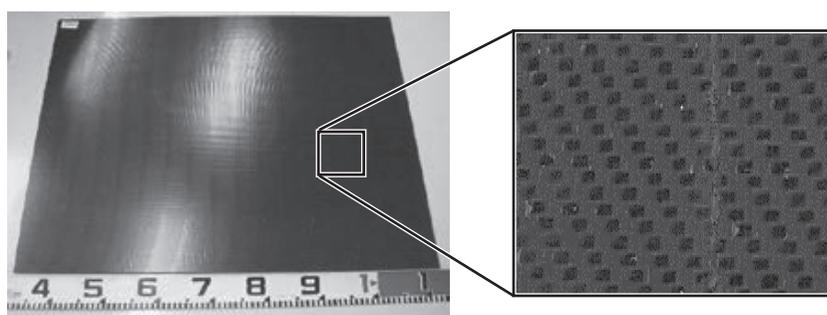


図2 破碎実験材料(織物CF/PA66積層板)

破碎・粉碎処理後の織物CF/PA66積層板を図3に示す。(a)シートペレタイザーで破碎処理を行った場合、破碎ブレードに積層板が円滑に引き込まれ、大部分の破碎片は4×4 mm角で均等に破碎され、細粒状の破片は見られなかった。また、(b)二軸式破碎機により破碎した場合、破碎片幅は回転刃の刃厚が20 mmであるため均等であるが、破碎片長さは40～70 mm程度で、その偏差は大きいことがわかった。しかし、細粒状の破碎片は見られず、一軸せん断式粉碎機に投入可能な形状である。さらに、(c)スクリーン付き一軸せん断式粉碎機で破碎実験を行った場合、支障なく破碎処理可能であったが、粉碎機本体での滞留時間が長く、細粒状の破片が多く、5～6 mm程度の不均等な形状であった。破碎方法やスクリーンのメッシュサイズを変えることにより、図4に示すように織物CF/PA66積層板の破碎片サイズを変化させることが可能である。