

自動車用 CFRP 技術の最新動向

影山 裕史*

1. 自動車と環境

(1) エコカーへの取り組み

地球温暖化や資源枯渇等の地球環境問題への取り組みは自動車も例外ではなく、エコカー開発など、各社、開発を強化している。トヨタ自動車においてもプリウスをはじめとしたHV車の販売台数が年々増加し、2013年末に累計が600万台を超えた。HV車以外にも電気自動車(EV)や燃料電池車(FC)、代替燃料などのエコカーの開発を並行して実施中である。

(2) 軽量化によるCO₂低減

エコカー開発において切っても切れないのが軽量化で、これによる低燃費化、それに伴うCO₂削減努力により地球温暖化に貢献しようとする試みも増え続けている。軽量化として、高張力鋼板の開発・導入が積極的に進められている。また、非鉄や樹脂といった軽量素材が増えてきている。特に樹脂は車全体の1割程度まで増えてきた。樹脂化のほとんどは、内装材だが、それ以外にも、燃料タンクやエンジン吸気系のインテークマニホールドなど、耐腐食性や形状自由度といった樹脂ならではの特徴を活かした部品への展開も確実に増え続け、30%近い部品軽量化に繋がっている。今後は、金属、無機、有機材料のそれぞれの研究が更に進む一方、それらを複合化(ハイブリッド化)することにより、それぞれの特徴を活かす新たな位置づけの材料開発が進んでいくものと考えられる。表題のCFRP(carbon-fiber reinforced plastic)も、無機のCF(炭素繊維)でR(強化)したP(プラスチック)で、これまで航空宇宙やF1ボデー材料であったCFRPの自動車への量産展開が、期待されている(図1)。

2. 自動車とCFRPの現状

(1) 世の中の動向

CFRPは、前述したように高性能繊維の炭素繊維により強化された樹脂系複合材料であり、高価格ではあるが、軽

材料の特徴を活かしたハイブリッド設計

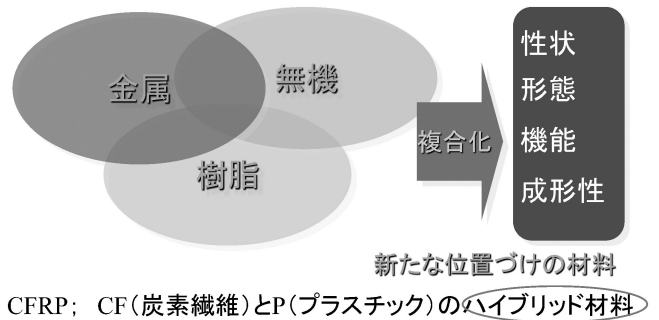


図1 今後の軽量材料.

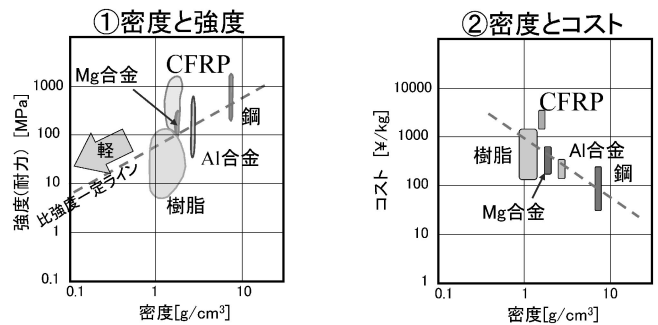


図2 CFRPの特徴.

い、強い、固い、寸法精度が良いなどの特徴(図2)から航空宇宙素材として揺ぎ無い位置づけを保っている。その技術が欧州を中心に自動車部品にも拡大されつつある。その中でもプロペラシャフトは少量ながらも古くから採用されてきた部品である。最近では、燃料電池車に搭載される水素タンクの素材としても採用が進んできている。また、スーパースポーツ車のボデーにもF1のCFRPモノコック技術が採用されてきている。CFRPに変えることでF1での事故死亡率が激減したという。また、スポーツ車の外板にも欧州を中心に採用が目立ってきている。更にエコカーでは、BMWがi3で

* 金沢工業大学教授; 高信頼ものづくり専攻(元)トヨタ自動車(〒105-0002 東京都港区愛宕 1-3-4 愛宕東洋ビル12F)
Today's and Future's CFRP Materials for Automobile; Yuji Kageyama(Kanazawa Institute of Technology, Tokyo)
Keywords: CFRP(carbon-fiber reinforced plastic), eco-friendly car, recycle, cost, LCA(life cycle assessment)
2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.612]

CFRP ボデー車を昨年量産化した。今後の市場動向が注目される。また、CF メーカーと自動車メーカーのコラボも進んできている。東レとダイムラー(熱硬化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)、Aksa とDowなどで、今後のコラボの動向が注目される。

(2) トヨタの現状

そうした中、トヨタのCFRPの使用は、残念ながらF1は中止になったが、モータースポーツでは古くから使用しており、今後も継続する予定である。一方、量産車への検討については、30年くらい前に国家プロジェクトに参画。近年、燃料電池車用の水素タンクの開発を行い、CFRP ボデーのレクサスLFA開発という形で再チャレンジすることになった(図3)。図中にLFAのメインボデーの65%を占めるCFRP部品とその材料・工法を示した。残りの部分は、アルミである。CFRPの部分は、要求性能に合わせて主として、プリプレグ、RTM (Resin Transfer Molding)、C-SMC (Carbon fiber-Sheet Molding Compound)の3種類の材料・工法で使い分けた。プリプレグは、航空宇宙産業やスポーツ産業で実績があり信頼性の高い材料で、予め樹脂を複合化したシート状の炭素繊維基材を何枚も重ね合わせるように型表面の形状に合わせて積層し、フィルムで覆い減圧することにより、型形状になじませオートクレーブ(圧力釜)などで加圧する工法で、ボデーのサイドメンバーやダッシュといったメイン骨格に採用した。RTMは、量産性を考慮し、革新工法として採用した工法で、予め型形状に沿うようにセットした繊維基材に液状の樹脂を浸み込ませて、加熱硬化した。プリプレグに比べ樹脂が複合化されていない繊維基材を用いるため柔軟性があり、型の形状に沿いやすいことから、大面積のフロアなどの部品を一体成形できるのが特徴である。C-SMCも革新工法として開発したもので、プリプレグやRTMが連続繊維を主体とするのに対し、1インチの長さの

炭素繊維をランダムに配向させ樹脂と複合化したコンパウンドをシート状にし、型にセットした後、高圧下で押しつぶし流動させ、加熱硬化させる工法である。そのため、複雑な形状が得られるのが特徴で、大型ピラーなどの複雑形状の2次骨格部材として採用した。CFRPの材料、工法の開発に切っても切れないのが接合で、特に接着剤の開発に時間を要した。最終的に3つの接着剤を採用した。一つ目は、ペースト状の高強度接着剤で、硬化部品同士を強く接着するのに用いた。2つ目は、未硬化および硬化CFRPの接着に用いたフィルム状である。3つ目は、今回、専用に開発した異種材接合用のシート状接着剤である。主要な接合部には、ねじ加工されたアルミインサートが必要で、これを包むようにCFRPを配置させ、高温で硬化させるため、冷やす過程で必ず、CFRPとアルミが剥がれるといった問題に直面した。そのため、線膨張差を吸収できる柔軟性のある、厚み1mmのシート状接着剤を開発することになった。ただし、このままでは、やわらかく、ぐらつきが発生するため、シート状接着剤に、剛直な径1mmのガラスビーズを分散させた(図4)。

以上のような開発を通して、スーパーカーの中でもねじり剛性が極めて高く、走行安定性に優れたCFRPボデーを開発

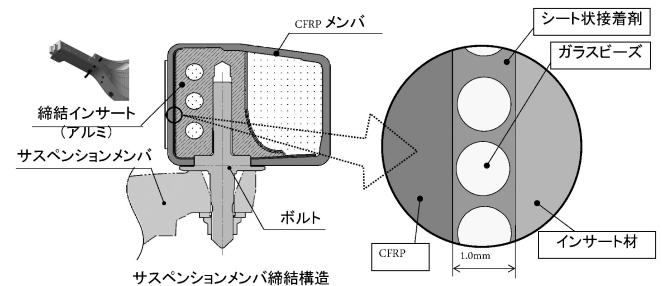


図4 シート状接着剤(異種材の接合)。

- 低重心化をねらい、水平外板には軽量のCFRPを採用
- 意匠自由度向上のため垂直外板には低密度SMCを採用

■ : RTM
■ : G-SMC* (微細中空ガラス球入り)

外板パネル
*(Glass fibre - Sheet Molding Compound)

● 3種類の接着法を開発

接着法	適用	特徴
1. 接着剤	硬化部品 同士の接着	● 組み立て工程で使用 ● 2液混合式 ● 隙: 設計指示通り
2. フィルム接着	未硬化及び硬化 CFRPの接着	● 成形工程で使用 ● 隙: ほぼゼロで安定 (フィルム厚 0.2mm)
3. シート状接着材 (ガラスビーズ入り)	アルミインサートと未 硬化CFRPとの接着	● 成形工程で使用 ● 線膨張係数差を吸収 ● 隙、硬さ: ガラスビーズで確保

接合技術 - 接着

図3 レクサスLFA.

することができた。その技術を受け継ぎ、2013年6月にマークXのG's特別仕様車のルーフにクリア塗装CFRPを搭載した。今後も世の中のニーズとCFRPの特徴をよく理解しながら継続、拡大に向け、チャレンジしていく予定である。

3. 自動車とCFRPの今後

(1) 今後のCF生産量

エアバスA380、ボーイング787などの航空宇宙用途やスポーツ用途の更なる拡大が見込まれるが、自動車が含まれる産業用途での大幅な拡大が予想されている。しかし、歴史は浅く、自動車を構成する材料としてのポピュラーな位置を獲得するには、期待と課題を整理しながら、様々な角度からの検討が必要になってくる。

図5に、縦軸をいろいろな感動すなわち商品の狙いを、横軸に生産量を取り、トヨタ自動車の代表的な車両をプロットした。前述したLFAやレクサス系では、走りとかステータスなどの感動の造りこみと表現が重要。低重心化のみならず、CFRPならではの意匠性を活かしながら大量生産車へ展開を進めることが考えられる(図中A)。一方、エコカーの領域は、CFRPならではの軽量骨格で性能・燃費向上を押し進めることが考えられる(図中B)。

(2) CFRPの課題

図中AのCFRPならではの軽量意匠性の量産については、最近、HP-RTM(高圧-RTM)工法が出現し、ルーフなどの大物成形でも5分以内の型内占有時間が可能になってきている。しかしながら、カーボン繊維と樹脂の線膨張率差が極めて大きく、樹脂引けにより繊維パターンが表面に凹凸となって現れる。金属のような単独材には見られないような現象であり、平面化するのにコストがかかってしまうため、展開車両を選ばなくてはならず、現技術では全ての車両のニーズには対応できないという課題がある。型内表面コート等の技術開発が待たれる。図6に2013年6月に発売したマークXGsのCFRPルーフを示した。一方、図5のBのCFRPならではの軽量骨格構造の量産については、型内占有時間の大幅な短縮といった量産性のみならず、コスト、LCA、リ

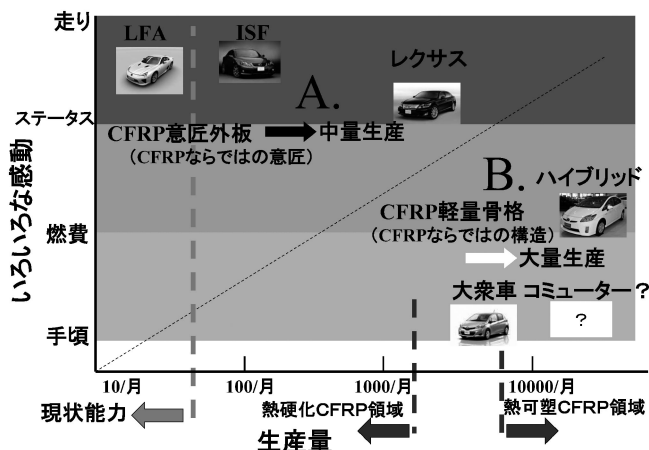


図5 CFRP開発の方向。

サイクル、信頼性の面でバランスのとれた材料・工法および設計が必要になる。残念ながら、現在これに対応できる技術はないが、これを打破しないと自動車でのCFRPのポピュラー化はありえない。

(3) 熱可塑CFRPの期待と課題

樹脂には大別して、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂がある。これまでのCFRPの樹脂はほとんどが熱硬化である。原料が粘度の低い液状の状態のものが多く、この状態で炭素繊維1本1本の表面を覆い、炭素繊維間を満たした後、三次元架橋反応により加熱硬化される。一方、熱可塑は、成形時の原料が固体のものが多く、金属のように加熱溶解させ炭素繊維と複合化し、冷やして固める工法をとる。熱硬化のように反応させないため、成形サイクルは短くできる。自動車の量産サイクルを考えた場合、熱可塑CFRP化による成形サイクル短縮の期待は大きい。ただし、前述したコスト、LCA、リサイクル、信頼性に対応するにはまだまだ課題は多い。その中でも特に、熱可塑性樹脂の特徴を考えると、熔融樹脂の粘度が高く、繊維との含浸性に大きな課題がありそうである。現在、熱可塑性樹脂の熔融状態を管理し、できるだけ扁平した炭素繊維束とし樹脂の流動距離を短くするような含浸方法が主流になってきているが、熱硬化性樹脂の低粘度液状状態での含浸に比べるとかなり難しいものになっている。その他、熱可塑性樹脂をフィルムや粉末状とし、予め繊維間に配置しておく方法も採られている。ただし、コストや生産性の面から自動車部品への展開を妨げるものとなっている。

LFAのCFRPボデーは、ほとんどが熱硬化CFRPであるが、唯一、熱可塑CFRPを採用した部品がある。サイドメンバーに内包される側突衝撃吸収用のコルゲート(波板)である。熱硬化CFRPと衝撃吸収特性を比較したところ、熱可塑CFRPは極めて高い衝撃吸収能を示すことが分かった。熱可塑CFRPは成形サイクル以外にも衝撃吸収といった面で期待できることを確認した。ただし、コスト、信頼性といった面で、まだまだ改良の余地があることも分かった。

そうした中、国内でも熱可塑CFRPの研究は盛んで、東大を中心に実用性の高い熱可塑CFRP中間材料(熱可塑シート)が開発されつつある。また、名大のNCC(National Composite Center)を中心に熱可塑CFRPの実用的な革新工法の研究(LFT-D: Long Fiber Thermoplastic Molding Process-



図6 CFRPルーフ。

