解 説

《ユーザーが複合材料に期待するもの》

車両—Ⅱ. 自動車

蓮 見 茂*, 浅 川 薫**

1. ま え が き

わが国で、FRP ボディの乗用車が最初に登場したのは1958年のことである(ダットサンスポーツカー S211型)。以来、一部の実験的適用を含め、さまざまな部品が暫時樹脂化、FRP 化されてきた。この過程を振り返ると決して順調に推移してきたわけではなく、性能、コスト、成形性などのさまざまな理由から、拡大採用を断念したと思える例も散見されて、今日に至っている。しかし、オイルショックや急激な円高など、社会環境の危機的変化に対応する手段の一つとして、ここ数年来の樹脂化、FRP 化検討は拡大されてきている。そして、今日の新素材開発や自動車ニーズの多様化などを背景に、いよいよ次の段階に入りつつあるように思える。したがって、いま改めて本分野での課題と期待を考えることは非常に有意義であり、筆者らの拙文がそのきっかけになれば、幸いである。

2. 自動車への FRP 適用事例

図1に国内の自動車等へのポリエステル FRP 生産量実績を示す。最近数年間は年率 10~20% の割合で増加してきている。また、'88年に自動車に使われた各種の繊維強化樹脂(FRP, FRTP)の総量も約4.5万トンになると推定され、同様な伸びがみられる¹⁾。

表1に国内における FRP の自動車部品適用事例を挙げる。本表ではおもに GF を強化繊維とした構造材、準構造材を挙げたが、これらに共通した適用目的は軽量化、形状自由度の確保等であろう。FRP の種類としては比較的生産性の高い SMC が圧倒的に多く、本技術の発展が自動車部品への FRP 採用拡大を支えてきたといえる。この技術の内容はおもに表面品質を高め、鋼板と

同等の外観を得ることにあり、自動車用途の FRP 開発についての一つの特徴例と見ることができよう。このことは観点を変えると、FRP 適用部位として、外装部品(スポイラー等)から外板(フード、トランクリッド等の水平部位)への採用拡大という流れが明確になろう。最近の例として、図2にリブを付加した SMC 製1ピースフードを採用した日産 <PAO> を示す。

第二のカテゴリーはバンパーレインフォースメントやリーフスプリング等の機能部品、構造部材への適用であるが、全体から見ると未だ少数例にすぎない。その原因は次章で詳述する。しかしながら、FRP 本来の性能がより有効に利用でき、車体構造の変革や軽量化等の可能性が大きく、自動車の性能・製造方法の改善に大きなインパクトを与えるものとして、本分野への FRP 適用に期待がもたれる。すでに欧米では GM、フォード、クライスラー等によってシャシー、フロアを含めた車体全体への FRP 適用研究が盛んである。また、市販されたばかりの BMW <Z-1> では硬質ウレタンフォームをコアとした、GF-エポキシ FRP を RTM 工法によって製造し、搭載している²⁾。

さらに、英国の少量生産スポーツカーである LOTUS <ESPRIT> は車体全体の大きさである、アッパーシェール/ボトムシェールをおのおの VARI とよばれる低温・低

図1 自動車・車両用 FRP の生産量推移

* Shigeru HASUMI, ** Kaoru ASAKAWA: 日産自動車 中央研究所材料研究所 (237 横須賀市夏島町 1)

表 1 国内における複合材料の自動車への採用例

採用年	部 品	メーカー	車 種	成形工法
1979	バンパーアーマチャ	日産	ブルーバード	HMC/プレス
1980	キャノピー	日産	サファリ	SMC/プレス
	スライディングルーフ	マツダ	ボンゴ	"
1981	シートフレーム	日産	スカイライン	STP/プレス
1982	テールゲートガーニッシュ	三菱自工	スタリオン	SMC/プレス
	バンパーレインフォースメント	マツダ	カペラ	HMC/プレス
1983	サイトシールド	日産	スカイライン	SMC/プレス
	サンシェード	トヨタ	タウンエース	"
	ヘッドランブリッド	日産	フェアレディZ	"
	エアインレット	日産	"	"
	エアスポイラー	三菱自工	ミラーージュ	"
	サイドステップ	三菱自工	"	"
	フロントフェンダー	トヨタ	セリカ GT	R-RIM
1984	カバートップ	トヨタ	ハイラックス	SMC/プレス
	カバートップ	トヨタ	ランドクルーザー	VARI
1985	リーフスプリング	日産	バネット	FW
	フードバルジ	マツダ	サバンナ RX7	BMC/INJ
1986	キャノピー	日産	エクサ	SMC/プレス
1987	エンジンフード	トヨタ	MR2	"
	トランクリッド	マツダ	ファミリア	"
	ルーフ	マツダ	サバンナ RX7	"
1989	フロントフード	日産	パオ	"
—	エアスポイラー	各社	乗用車各車	"
—	ヘッドランブリフレクタ	各社	"	BMC/INJ

HMC：高強度 SMC, SMC：シート・モールドディング・コンパウンド

STP：スタンパブルシート（繊維強化熱可塑性樹脂）

R-RIM：強化リアクション・インジェクション・モールドディング

VARI：バキュームアシステッド・レジン・インジェクション, FW：フィラメントワインディング

BMC：パルク・モールドディング・コンパウンド, INJ：インジェクション（射出成形）

図 2 日産 <PAO> の樹脂パネル仕様図

圧成形法 (GF-不飽和ポリエステル) で成形している。そして、これら二つの構造体を最中の皮のように接着接合した「樹脂モノコック」とし、単純化された鋼製のシャーシに締結するという車体構造を採用している。FRP 車体に対する一つの解として、たいへん興味深い。

一方、このような大型構造部材を効率的に生産する研究も盛んに行なわれており、金型に補強基材をセットし低粘度液体を反応射出成形する、S-RIM (Structural-RIM) 工法も注目される。

さらに、エンジン部品への適用性検討として、米国の Polimotor Research 社は当初 CFRP (ポリアミドイミドやエポキシ樹脂) を使用し、レース用としての可能性を実証してきたが、'87 年にはフェノール樹脂をマトリックスとした GFRP (射出成形) によるプラスチックエンジンを発表³⁾ しており、量産化に向けた新たな展開が期待される。

最後に、以上のような比較的高強度、高弾性を有する、狭義の FRP に対して、おもに射出成形によって成形される FRTP や R-RIM について触れたい。これらの材料では機械的性能の向上もさることながら、寸法安定性・耐熱性の改善に主眼がおかれている。使用されるフィラーはミルドガラスやウォラストナイトなどの無機フィラー、マトリックス樹脂は PP, PA, ABS, ウレタンなどの汎用性樹脂がほとんどである。これらの材料は複合材料として扱われることが少なく、樹脂変性の一手段であるような開発がなされてきた。しかし、これらの材料・工法は高生産性が必須の自動車工業にとっては非常に有用なものであり、発展が期待される。そして、そのためにはこれらの材料が短繊維強化複合材料であることを再認識してとらえ、成形プロセス、機械的特性に対する研究を促進することが重要であると考えられる。

3. 樹脂系複合材料に対する要求と課題

以上のように、自動車では FRP が多岐にわたる使われ方をしてきたが、ここでは FRP 適用拡大を促進するため、それらに共通する自動車用途としての特徴的な要求特性を考える。

①低コスト：図3⁴⁾ は種々の材料および製品の単位重量当たりの価格を示している。この図から、鉄がいかに安価な材料であるか、また、自動車も相当に低い価格であることがわかる。むしろ、各材料や製品の機能、付加価値を無視したための空論であるところのご批判もあろうが、基本的な問題として、本図を俯瞰してみることも無駄ではないと思う。ACM が拡大採用されつつある航空

機等とはまったく違う環境下であり、コスト問題を「FRP への要求」で最初に挙げなければならない項目となってしまうのである。このことはマトリックス樹脂/強化繊維などの材料を限定するだけでなく、生産性の高い工法が切望されることにもなっている。

②剛性設計：多くの自動車部品は各使用状況を想定した応力下での歪み/変形量で規定される。これは自動車が一般ユーザーを対象とした商品であり、その商品性確保という観点からも理解される。したがって、ある意味では贅沢な使い方をしているといえるかもしれない。また、設計データも弾性率が最も有用なデータとなるが、本来は剪断弾性率など規定/測定 of 難しい項目が要求される。さらに、製造から実使用時の環境までを考え、高温側を主とした比較的広い温度範囲に渡る弾性率の温度依存性が問題にされている。

③高機能性：強度・剛性等の機械的特性以外に、質感 (たとえば、外板用 FRP の表面品質) や音振特性、乗り心地などの特性が重要視され、場合によっては第一要件となることさえある。

④寸法安定性：鋼製の車体骨格に FRP を組み合わせると、ハイブリッド構造が当面続くと思われる。すなわち、両材料の線膨張係数不適合による FRP の永久変形等を考慮する必要がある、現在は設計技術でカバーしている。

以上の項目は筆者らの私見により、自動車に重要と考えられる最小限のものであるが、これ以外にも本来 FRP がもっている性質 (たとえば、附形自由度の大きさや低比重であること) をより高めることを要求されることも多い。

これらの要求に答えていくためには下記の解決していくべき課題がある。

①これまでも素材メーカーやモールドーおよび、われわれ自動車メーカーの協力体制のもとでのドラスティックな発展や地道な改良研究においても、材料の進歩に負うところが多く、次いで工法の開発が寄与してきたと考えられる。そして、今後も、材料と工法の開発がその根幹をなすべきであることに変わりはなく、適用される技術の拡大・進展に期待したい。

②これまでの FRP 化部品は、概して鋼製部品からの置き換えであり、軽量化やコストダウンといった効果が十分に発揮されているとはいいがたい。これは FRP のユーザーであるわれわれの反省でもあるが、樹脂および FRP の長所・短所を熟知し、「鉄」離れた設計思想を取り入れることが現状を打開するために必要であると思

図 3 材料および製品の単位重量当りの価格

われる。これには樹脂本来の性質、たとえば、粘弾性、低弾性率、大変形可能、物性の温度依存性が高い、線膨張率が高い等があり、複合材料としては異方性、不均質性、ばらつきの大きさ等を定量的に理解することが含まれよう。しかしながら、このような研究は現状では CFRP や KFRP 等の ACM が中心であり、GFRP、ランダム強化材料等ではむしろ、これらの検討例が少ない。

さらに、このような FRP の特性は材料本来のもつ性能と製造条件の両者に大きく依存するため、テストピース物性と実部品の特性に差異が生じることも多い。した

がって、素材サイドからは製造条件に鈍感な材料の開発、製造サイドからは従来にも増して、高精度な条件が再現性よく得られる工夫を開発すること等も、解析的研究と同様に重要である。

③先述したような FRP の特性を最大限に生かす部品設計を行なうためには材料サイド-製造サイドの同時進行開発（サイマルテニアスエンジニアリング）が重要であり、対象が大型化、構造メンバー化するにもなって、不可欠な開発システムになっていくと考えられる。

④自動車工業ではこれまでも構造解析、CAD/CAM

等、CAEの積極的な導入を図ってきた⁵⁾が、FRPの部品化に対しては、1) 前述のような製造条件を附加したデータベースの確立、2) 鋼製部品より肉厚になること、しばしば厚み方向に異方性を有することから、3次元解析の実用性向上、3) 大変形解析における精度向上、4) 不均一性、ばらつき取扱法の確立等について、および各種成形シミュレーションの精度向上と、構造解析とのリンクが当面の課題となろう。

⑤FRPを今後、構造部材に拡大していくためには長期信頼性(疲労、クリープ)データの蓄積、破壊挙動解析、寿命予測法の確立、非破壊検査法の充実が必要である。また、FRP同士および、FRP-鋼材間の接着・接合に対しても、同様な検討が必須である。

⑥FRPの採用拡大を考えるうえではそれらの廃棄処理方法やリサイクル方法の確立も重要な検討課題であり、マトリックス樹脂が熱可塑であるか、熱硬化であるか、という問題とともに、複合材料であるがゆえの困難さをも克服する必要がある。

4. あとがき

余談になるが、米国のGM-フォード-クライスラーが

中心となって、樹脂系複合材料の共同研究を12年間にわたって行なうことが昨年の10月に報じられた⁶⁾。これは彼らそれぞれの最近の取組みから見て、内板、およびシャシー等のFRP化を想定したものであると考えられるが、研究としては製品から離れた、基礎的な分野に限定されるという。航空機やエアロスペースにおけるACM研究に先行する米国で、自動車メーカーのビッグ3がこのように大がかりな共同プログラムを実行することは、われわれにとって非常に示唆的であり、筆者らがこれまで述べてきたような課題に対し、実質的な産官学、あるいは業際的な共同研究開発に取り組むことが、いまこそ必要ではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) 強化プラスチック, 34, 6 (1988), N-10, 35, 6 (1989), N-8, など.
- 2) *Modern Plastics International*, November (1987), 4-6.
- 3) *Modern Plastics International*, November (1987), 8-10.
- 4) 日本興業銀行: 興銀調査, 4 (1985), 227.
- 5) 山部 昌, ほか: 日産技報, 23 (1987), 48-55.
- 6) 日刊自動車新聞, 10月19日 (1988).

解 説

《ユーザーが複合材料に期待するもの》

車両—Ⅲ. タイヤ

長谷部 嘉彦*

タイヤの構造はスチールコードや有機繊維等の補強材とゴムから構成される複合材(FRR)であるケーシング部と、路面に接するトレッド部とに分けられる。さらにケーシング部はベルト部、カーカス部、ビード部に分けられる(図1参照)。

一方、タイヤに要求される性能は大きく分けると運動特性と耐久性になるが、路面との摩擦(通常湿潤路面や乾燥路面あるいは雪氷路面上での摩擦)、燃費と関係するころがり抵抗等の運動特性はトレッド部分の影響が大きく、耐久性はケーシング部の影響が大きい。

* Yoshihiko HASEBE: 横浜ゴム(株)タイヤ材料研究室(254 平塚市追分 2-1)

トレッド部の運動特性に関してはその要求性能はおたがいに相反する性質を示し、これらを両立させるために多くの技術開発が行なわれてきた。

しかし本稿では、FRRを構成しているケーシングについて主として述べることにする。

前述のごとくケーシング部を構成している複合材はマトリクスゴム/補強材から成っているが、タイヤはいずれの部分からも破壊することなく寿命を全うしなければならない。破壊が起こる場合次の三つの場所が考えられる。

- 1) マトリクスゴムの破壊
- 2) 補強材の破壊