解説シリーズ

自動車の安全設計と信頼性向上に貢献する複合材料技術—III. —NEDO プロジェクト：革新的温暖化対策技術プログラム 「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発動向」の概説—

北野 彰彦*, 山口 晃司**

平成 15 年から 5 年計画で始まった本プロジェクトは、3 年を経過した。本解説では本プロジェクトの全体背景、研究要素の抽出、本プロジェクト後の実用化について述べていく。

1. はじめに

本プロジェクトは NEDO が進める環境分野に関する「中長期・ハイリスクの研究開発事業」34 プロジェクトの中の省エネルギー技術開発プログラムの一環として行われている。NEDO では、表 1 に示すように、自動車軽量化技術として 4 つのプロジェクトを進めており、本プロジェクトはフロアパネルを CFRP 化し、自動車軽量化に貢献するものであり、全プロジェクトの中でも最も軽量化割合の高い研究開発プロジェクトである。

2. プロジェクトの背景と目的

運輸部門の自動車の省エネは、地球温暖化の抑制 (CO₂ 削減) とともに絡んだグローバルな要請であり、欧州では 2008 年までに約 25% の燃費改善目標 (自主規制) が設定され、国内でも燃費改善の検討が積極的に進められている。

燃費改善の切り札は車体の軽量化であり、そのための手段として、スチールからアルミニウムなどの軽金属材料への転換、更には、先進複合材料の適用を自動車メーカーが中心で検討を行っている。平成 14 年 4 月の総合科学会議でも経済産業省から国際競争力強化の重要課題として、省エネルギーで安全性の高い次世代自動車を実現するための軽量かつ強度に優れた革新的な素材の開発

が取り上げられている。すでにアルミニウムについては、H 14 年度の国家プロジェクト (革新的地球温暖化対策プログラム) で「自動車軽量化のためのアルミニウム合金高度加工・形成技術開発」が取り上げられている。

一方、先進複合材料である CFRP は、アルミニウムに比べ 2/3 軽量 (アルミニウムの比重 2.7 に対し 1.6) で、5 倍高強度 (アルミニウム 500 MPa に対し 2,700 MPa) と最も軽量化効果の高い素材であり、わが国の技術が世界をリードしている。しかし、経済性、量産技術や組立加工技術、衝突安全性、リサイクルに関して、金属材料に対して信頼性が不足していることから、未だ自動車分野での本格実用化の域には達していない。このため、自動車メーカーからは、CFRP のさらなる低コスト化技術、自動車用途で量産可能な製造技術の開発要請が出されている。

自動車 CFRP 化による省エネ効果は、国内乗用車保有台数、5,240 万台の約 10% (500 万台) が CFRP 車体に代替されると仮定して試算すると、ガソリン換算で 134 万キロリットル/年という極めて大幅な省エネ (原油換算では 450 万キロリットル/年の省エネ、CO₂ に換算すると 805 万トン/年の削減) となる。世界規模では、その 10 倍以上の省エネ効果が見込め、その効果は極めて大きい。また、乗用車以外の運輸部門であるトラック、コンテナ、保冷タンク等でも軽量化による省エネ効果が見込める。自動車の軽量化技術は、我が国自動車産業の国際的競争力強化にも大きく貢献するものと考えられる。

自動車 CFRP 化に関しては、欧州において、いち早く低コスト CFRP で自動車を軽量化し、燃費と CO₂ エミッションを大幅に改善するため、国家プロジェクトである TECABS (Manufacturing, simulation and design Technologies for Carbon fiber reinforced modular

* Akihiko KITANO: プロジェクトリーダー, 東レ(株)複合材料研究所 (791-3193 愛媛県伊予郡松前町大字筒井 1515)

** Koji YAMAGUCHI: 東レ(株)複合材料研究所

表 1 自動車軽量化のための NEDO プロジェクト

プロジェクト名	実施期間	主要適用部位	軽量化目標
自動車軽量化炭素繊維強化複合材料	03-07	プラットフォーム	スチール比 50%
自動車軽量化アルミニウム合金高度加工・形成技術	02-06	フェンダー・ドア	スチール比 50%
カーボンナノファイバー複合材料	03-05	ブレーキ部分	アルミ材比 50%
環境調和型微細粒鋼創製基盤技術	02-06	センターピラー・バンパー	スチール比 50%

Automotive Body Structures) <http://www.tecabs.org> が進行した。フォルクスワーゲン社がプロジェクトリーダーとなり、ボルボ、ルノーを含む自動車メーカーと素材・部材メーカーさらに、数値シミュレーショングループの計4社、6つの大学などの研究機関(独, 仏, スウェーデン, スイス, ベルギー), 6つの国と14の研究パートナーが参加して、2000年4月より推進された。TECABSは、車体(body in white)を従来のスチール車の50%軽量化、部品数も200から60に削減し、RTM成形法で自動車の床(Floor pan)を試作した。また、TECABSでの量産目標は50台/日である。2004年前半にリッターカー(燃費100 km/l)のプロトタイプに適用することを目指していた。これらの目標に対して、繊維基材変更に関する賦形性の向上、シミュレーションによる衝突時吸収エネルギーの解析、RTM成形法における樹脂注入シミュレーションなどが行われた。

一方で、本プロジェクトでは、欧州でのプロジェクトと違い、部材・素材メーカーと自動車メーカーがプロジェクトリーダーになり、次世代量産CFRP自動車実用化のための主要技術課題である、超ハイサイクル一体成形技術、接合技術、安全設計技術、リサイクル促進技術を研究開発することを目的としている。

3. 研究開発課題の抽出

最も軽量化効果の高いCFRPを自動車分野に本格適用し、実用化を促進するために、図1に示すように、(1)部材生産および加工のフェーズ、(2)自動車組立および製造工程のフェーズ、(3)自動車運用中の安全のフェーズ、さらには、(4)廃棄処理のフェーズと自動車のライフサイクルを考慮し研究開発課題を的確に抽出する必要がある。

部材生産および加工のフェーズでは、金属材料と同等の量産技術、すなわち、数分オーダーの成形サイクルを達成する必要がある。同時に、成形サイクルの短縮は、

CFRPのコストダウンにも直結する極めて重要な課題である。

現行のCFRP製自動車フード(ボンネット)の生産は、RTM成形でエポキシ樹脂を使った160分サイクルであるが、その成形時間の半分以上は樹脂の硬化に要する時間である。成形サイクル短縮には樹脂含浸が容易で、かつ硬化時間の短い樹脂の開発が鍵となる。図2に示すように成形サイクル10分以下(製造コストはアルミニウム製と同等以下)の超ハイサイクル一体成形を目的として、RTM成形用のハイサイクル成形樹脂を研究開発する。

それに伴い、ハイサイクル成形樹脂用に、従来RTM成形樹脂と異なる新規成形方法を開発する。

次に、自動車組立および製造工程のフェーズでは、CFRP化による部品点数の軽減はあるものの鋼板の接合技術に代わるCFRP部材と同種または異種材料間の接合技術が必要である。

現行のCFRP製自動車フードでは、金具等のインサート成形により対応しているが、量産化を目指す場合、接着による同種または異種間接合が必要になってくる。本プロジェクトでは、自動車が曝される温度環境下(高温80度、低温-40度)での接着力の耐久性を評価する。さらに、耐衝撃性のある接合技術の研究開発が不可欠である。

自動車運用中の安全のフェーズでは、図3に示すように衝突安全性の確保も不可欠な課題である。本提案では、CFRP車体の安全設計技術の基盤技術となるCFRPのエネルギー吸収技術を研究開発する。

衝突時のエネルギーを吸収して乗員の安全性を確保する機能を果たすフロントサイドメンバ部材をオールCFRPで構造設計すると同時に、試作ならびに衝撃試験を実施し、CFRPが金属同等以上の車体適合性を有することを実証する。エネルギー吸収技術には、材料レベルで高いエネルギー吸収性能を発現することが確認で

図 1 NEDO プロジェクト課題抽出ならびに各課題の担当

図 2 ハイスサイクル一体成形による成形時間の変化

きている CFRP の逐次圧縮破壊を適用する。

最後に、廃棄処理のフェーズでは、図 4 に示すように CFRP 自動車の部材レベルでのリサイクルが必要になる。さらには、廃棄処理段階で、各部材に分別されることが廃棄処理の効率を高めることになる。

現行の CFRP のリサイクルは、粉碎後にコンクリート補強物などとして使用されている。しかし、自動車部材のリサイクル品は、再度自動車部品として使用されることが望ましい。そこで、本プロジェクトでは自動車部材の再加工性に関して、研究開発を進める。それと同時に、廃棄処理時の易解体性を確保するための接着剤の研究開発も同時に進める。

4. 研究開発の内容

上記の 4 つの骨格に対して、自動車メーカーならびに部材・素材メーカーがプロジェクトの運営主体となり、部材成形技術ならびに接合技術について進める。また、本プロジェクトでは、図 1 に示すような接着接合技術に関して、東京工業大学、複合材料の衝撃破壊評価ならびに解析には、日本大学、京都工芸繊維大学、リサイクル技術に関しては、東京大学、兵庫県立大学、東京工業大学との産学協同体制を構築し、高度な解析技術を研究開発に活用している。それぞれの研究開発内容を下記に示す。

1) ハイスサイクル一体成形技術

成形サイクル時間を従来と比べ大幅に短縮し、しかも

自動車部材に適用できる量産技術を目指す。具体的には、従来の RTM 成形技術（成形サイクル：160 分）では達成し得ない成形サイクル時間 10 分以内を達成するための①超高速硬化型成形樹脂、②立体成形賦形技術、③高速樹脂含浸成形技術を開発する。具体的には、

① 超高速硬化型成形樹脂の開発

高速流動性（低粘度）、かつ高速硬化が可能な成形用高耐熱性樹脂の開発を行う。

② 立体成形賦形技術の開発

炭素繊維基材を各種自動車部材の三次元形状に賦形し、その後、賦形された形に固定化するプリフォーム化技術を確立する。

③ 高速樹脂含浸成形技術の開発

既存の RTM 成形法に比べ、高速性（成形速度）かつ高品質、信頼性の高い樹脂流動含浸性に優れた RTM 成形技術を確立する。

2) 異種材料との接合技術の開発

大量生産型の自動車分野に適合でき、しかも長期信頼性が確保できる環境に優しいスチール、アルミ等と樹脂の接合技術を開発する。

① スチール、アルミ等/複合材料接着技術の開発

汎用自動車構造部材（プラットフォーム）とサイドパネルを接合する技術として、スチール、アルミ等と繊維強化複合材料の接着技術（接合強度、信頼性など）を確立する。金属材料とのハイブリッド構造とすることで、金属接合が適用可能となる。接着技術においては、リサ

図 3 自動車運用中の衝突安全

図 4 CFRP 自動車の廃棄処理ならびにリサイクル

イクル性を考慮して解体性接着剤の検討も行う。

3) 安全設計技術の開発

衝突後の変形や破壊現象をシミュレーションし、乗員への影響を定量化できる新規な軽量/安全設計・解析技術を開発し、エネルギー吸収技術を確立する。

① 樹脂の動的解析技術の開発

自動車の安全性を確保するために不可欠な衝撃破壊シミュレーション方法を検討し、要素部材による衝撃試験との対比で、その計算精度を検証する。

② スチール、アルミ等/複合材料ハイブリッド構造体の設計・解析技術の開発

実構造部材の形状に即した 3 次元構造物の衝突解析手法を確立し、自動車プラットフォームのモデル設計を行う。

③ エネルギー吸収技術の開発

一体成形したフロントサイドメンバを試作し、実車による前面台車衝突試験を行う。

4) リサイクル技術の開発

付加価値の高い樹脂とスチール、アルミ等を分離する技術ならびに再利用技術（樹脂やコンクリートの補強フィラー等）を開発し、また再加工技術を検討する。

① 解体性接着剤の開発

スチール、アルミ等/樹脂の分離のための解体性接着剤の開発を行う。

② CFRP 再加工技術の開発

CFRP の再加工性について検討し、実用的なりサイクル技術を実証する。

5. 実用化へのプロセス

本プロジェクトで創出される技術は、自動車メーカーが有する豊富な車種ラインナップの中から、適切な車種を選定し製品として事業化を図っていく。事業化の方針としては部分的な適用および車体全体への適用それぞれについて適用可能な車種への実用化を検討していく。現行車体は、外板パネル材（フードやルーフパネルなど）と構造部材（プラットフォームなど）に大別でき、それぞれ、車体重量の 30% と 70% を占める部材である。まずパネル材を対象に事業化を逐次検討していく。適用車体形状における適用対象部品ごとの特有の性能目標値に対する確認（衝突、振動、剛性、耐久試験など）を実施するとともに、生産面での品質目標値（単品及び他部品との合わせ寸法精度、外観品質、など）についても検証を行う。プラットフォームの本格事業化は H 24 年度前後と推定する。また、エネルギー吸収部材などの安全機能部材は、適宜実用化を図る。

本研究開発の成果は、我が国経済の牽引車である自動車産業の国際競争力強化に貢献するものである。欧米の燃費規制を先取りした超軽量・安全自動車を開発することで、自動車輸出枠の確保、拡大に繋がる。具体的に

は、フード等の外板部材の事業規模は、世界で年間670万台以上生産されている中・高級乗用車（価格にして300万円以上、「世界自動車統計年報 第2集、2003」より）の約2割（130万台）にCFRPが70 kg/台適用されたとして、部材事業だけで年間2,700億円となる。さらに、プラットフォーム等の構造部材も含めCFRPが200 kg/台適用されたとして、年間7,800億円の部材事業となる。CFRP適用割合の増加、および適用車種の拡大が進んでいくと、部材だけの事業で1兆円を越える と推定する。また、自動車全体（完成自動車）としては、数兆円に達し、雇用の維持、拡大にもつながる。また、本研究開発からは、超軽量・安全自動車に関連する基本特許の取得が見込め、国際的な知的財産基盤を確立することで、海外からのライセンス収入も見込める。まずは、高級車ゾーンをターゲットに、実用実績を積み重ねると同時に、コストダウン、生産性向上を加速する。その結果、2021年には、国内生産乗用車生産台数836万台の7.5%（63万台）にまで普及すると推定している。この時点での乗用車としてのマーケットサイズは、約3兆円である。

これら一連の研究開発で生み出されるCFRPの低コスト成形技術により、アルミニウム並みのコストダウンが可能であり、上述のように我が国自動車産業の国際競争力を高めるだけにとどまらず、自動車以外の一般産業分野（例えば、建築用パネル材、大型タンク類、工作機械部品、コンテナ類、保冷ボックスパネル、医療用具機器等、数千億円規模の市場）へも展開が可能である。世界に先駆けた産業用途へのCFRPの大量普及に極めて大きな効果をもたらすと同時に、輸送機器の軽量化による省エネ効果も計り知れないほど膨大となる。PAN系の炭素繊維という材料分野において我が国は、技術、製造/シェア両面で世界をリードしているが、本研究開発

により創出される、低コスト成形技術を保有することで、いわゆる川下である複合材料製造の分野でも確固たる地位を築くことができ、新しい産業の創出にも貢献すると考える。

6. お わ り に

本プロジェクトはCFRPの素材・部材メーカーと自動車メーカーが参画することによって、はじめて実現したものである。また、本プロジェクトによって、自動車会社が望む連続繊維CFRPの量産化への道がようやく開けてきた。さらに、共同実施している各大学による研究成果は、本プロジェクトの枠を超えて発展するものである。しかし、CFRPが航空機に本格採用されるまでに要した時間を考慮すると、自動車に本格採用されるまでにはしばらくの時間が必要であろう。また、自動車軽量化自体は、日本の自動車会社にとって、メリットに直結しにくいものと考えている。軽量化コスト換算率は、欧州では、300 EURO/kgであり、米国では\$ 20/kgであり、日本では300円/kgであると言われている。現在は、量産CFRP自動車実現のスタートラインに立っただけに過ぎない。ただ、NEDOによる本プロジェクトによって、量産CFRP自動車の実現は大いに加速されたといえる。

上述のように、本プロジェクトはNEDOの省エネルギー技術開発プログラムの一環として進められている。この場を借りて、NEDOにて本プログラムを推進している安富義幸氏および吉川幸宏氏には心よりお礼申し上げます。また、日産にて本プロジェクトを担当されている八角恭介氏、企業ならびに大学の各プロジェクト実施者の方々にも感謝申し上げます。