

## 論文の内容の要旨

論文題目 環境対策技術としての複合材料の開発と評価

氏 名 圖子 博昭

(本文)現在,地球は環境問題とエネルギー問題という2つの大きな問題をかかえている。石油消費をおさえかつ環境問題を解決するには,全体的なエネルギー需要構造からみても運輸部門の対策が不可欠で,そのためには先進軽量複合材料による乗用車の軽量化が有効である。

日欧米で研究開発競争が進む,樹脂系炭素繊維複合材料(以下,CFRP)は,その超軽量性から,高い比強度/比剛性を有する先進軽量素材である。また,鋼等金属材料に比して疲労特性に優れている。これらのことから,CFRPはこれまで航空宇宙分野やスポーツ分野で使用されてきた。しかしながら,従来のCFRPは軽量/高強度な反面,地球環境に対する負荷の大きさ(製造時のエネルギー消費量),成形速度,価格に問題があり,環境配慮および量産,低コストが重要視される現代の産業ニーズに応えられず,一般的な用途としては普及しなかった。

その中であって,熱可塑性樹脂系炭素繊維複合材料(以下,熱可塑性CFRP)は,高い量産化適応性(製造エネルギー消費の低減(省エネ),成形時間の短縮,材料/成形コストの削減等の効果),4R性(リユース・リペア・リデュース・リサイクルの可能性)が期待でき,従来のCFRPで普及のあしかせとなっていた問題点を解決できる。

加えて,熱可塑性CFRPは従来のCFRPよりも軽量であり,鉄鋼に比べおよそ1/6の重さであり,強度/剛性不足をデザイン的に補ってもなお鉄鋼製品の軽量化が図れる。

しかし,これまでの熱可塑性CFRPの研究では,量産化適応性や4R性に目を向けられたものではなく,耐熱性や衝撃吸収性に関する研究が主であり,高品質なスーパーエンジニアリングプラスチックや特殊エンジニアリングプラスチックを母材に用いるものがほとんどであり,汎用プラスチックの研究は少ない。その汎用プラスチックの炭素繊維強化に関する研究では,ほとんどが射出成形品(小型・中型成形品)粒子強化,ファイバー強化,短繊維強化の議論しかなく,連続炭素繊維強化の汎用プラスチックに関する(少なくとも,成形法や成形速度,リサイクル性に目を向けた)知見はほとんどみられない。(ここまで【第1章】)

鉄鋼製品のうち,その日常的な使用でエネルギー消費に直接的に結びついているものは,乗用車であろう。現在の世界の乗用車保有台数は約5億台であり,本研究にもある

ロジスティック関数を用いて仮に有力経済新興国である B R I C s ( ブラジル・ロシア・インド・中国 ) が先進国のたどった歴史の通りに成長したらどうなるか予測すると、中国の成長だけで、世界の乗用車保有台数は倍増し、さらにその他の国々の影響も考えると、今の 4 ~ 5 倍の乗用車を地球は保有することになる。すると、世界のエネルギーの手当てはどう工面してゆけばいいのかが問題になるが、それを議論する前にエネルギー需給の構造分析および乗用車保有台数が増加した場合のエネルギー消費量増加の見積もりを行うことは大変重要である。(ここまで【第 2 章】および【第 3 章】)

乗用車に使用されている材料のうち、約 8 割が金属材料で、そのうちの 8 割が鉄鋼である。現在は、アルミ合金化による軽量化が検討されてきており、金属材料の構成割合は変わってきているが、構造の適材適所に役割に合った金属を使用しても、乗用車が金属材料でつくられている限りは、大きな軽量化は望めない。本研究では、乗用車の実際の構造へ熱可塑性 CFRP が適用されていった場合に、どれほどの軽量化率がのぞめるか具体的に示しており、この検討によって、抜本的な乗用車軽量化実現のためには、大物成形品までカバーできる連続炭素繊維強化の熱可塑性 CFRP が必要であることがわかった。(【第 4 章】)

実際の技術開発は、熱可塑性樹脂に汎用性にとみ、熱可塑性の中で一番軽量で、リサイクル容易なオレフィン系ポリマーである、ポリプロピレンを用いた。しかしながら、ポリプロピレンは非極性の樹脂で、そのまま複合すると炭素繊維との界面接着特性の悪さから、所定の力学特性を得られないというのが常識で、ゆえに炭素繊維強化ポリプロピレンは構造材料としてみた場合に現実的ではないとされてきた。本研究では、無水マレイン基導入によるポリプロピレンの極性化、結晶化度制御や、繊維の湿式解繊および改質などの成形技術的な工夫をはかり、この力学特性の改善に努めた。評価は、3 点曲げ試験、アイゾット衝撃試験および引張疲労試験により連続繊維強化一方向材の基本的特性を取得することで行った。その結果、本手法で開発された炭素繊維強化ポリプロピレンは、乗用車構造へ適用可能な物性まで改善できたことを確認した。(【第 5 章】)

次に本材料のリサイクル性を調べた。4 種類の熱可塑性樹脂(ポリプロピレン、ポリアクリロニトリルブタジエンスチレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート)で、リサイクル材を想定した不連続繊維強化の熱可塑性 CFRP を作製し、それを破砕、混練し、コンパウンドをプレス成形することで評価した。評価には、3 点曲げ試験が採用された。ポリプロピレンは総合的に判断して、CFRP リサイクルに適したマトリックスであると結論づけられた。つぎに、不連続炭素繊維強化ポリプロピレンについてその基本的特性を、3 点曲げ試験、アイゾット衝撃試験、引張疲労試験を通じて取得した。理論的には、第 5 章で示されたフレッシュ材の 1/3 程度の強度、弾性率が発現するはずであるが、その半分、1/6 程度しか発現しなかった。原因としては、その成形法(特に混練により繊維が折損、湾曲することによる影響)にあると考えられる。また、本研究であらたに見出された補強リペア法についても検討を行った。損傷をうけた材料とし

て、この 1/6 程度しか発現しなかったリサイクル材を用いた。炭素繊維強化ポリプロピレンの薄いシートを部材の両スキンにヒートフュージョンにより貼り付けるこの補強法によって、力学特性は改善されることがわかり、また、全面に貼り付けることで、変形でストックされた静的なひずみエネルギーをうまく開放させることにつながることもわかり、衝撃時のエネルギー吸収特性に対しても同様の効果が期待できる。（【第 6 章】）

実際に、本材料が、効率的段階的に乗用車に導入されたときの効果を、IEA の予測データに基づくもの、本研究室で推奨する途上国モーターゼーションの効果を入れたロジスティック予測データに基づくものとして、比較した。この効果予測から、軽量化は即効的な対策であり、約 4 割の省エネが期待できると予想され、早急に本技術を先進国で推進、開発し、途上国へ流動的に伝えてゆくことの有効性が示された。さらに、W T W 分析を用い、パワープラントが変化した場合の乗用車のエネルギー消費量の低減によるシミュレーションも行い、約 8 割の省エネを達成することができ、本車体軽量化技術はこれらの技術と協調していくべきであると結論付けられた。（【第 7 章】）