● 複合材料の将来動向

工業材料としての CFRP の将来動向

小 野 輝 道*

1. は じ め に

工業材料としての炭素繊維強化複合材料 (CFRP) に関する総説は、すでに数多く見うけられるので¹⁻³⁾、本稿ではとくにポリアクリロニトリル系 (PAN 系) 高性能タイプ (HP) 炭素繊維の応用分野の現状に焦点を絞ってレビューし、今後の課題について若干述べる。また、昨今、日本で華々しく開発競争が行なわれているピッチ系炭素繊維についても、PAN 系炭素繊維と対比しながら、その可能性について触れてみたい。

2. 現 状 の 整 理

CFRP の用途は大別して、スポーツ、レジャー分野、航空、宇宙分野、および自動車等を含むその他一般産業用途に分けられる。ちなみに、1984年の世界における炭素繊維の消費量を分野別、地域別に示したものが図1である。すなわち、アメリカやヨーロッパでは航空、宇宙用途が過半を占めるのに対して、航空機産業の小さい日本では、いまだにスポーツ分野が中心的用途であり、CFRP が汎用的な工業材料として確立するに至っていないのが実情である。

工業材料としての CFRP が、今日まで航空、宇宙用途に限定されている大きな理由は図2に示すように、生産量の増加とともに急激に炭素繊維の価格が低下してきているにもかかわらず、CFRP 最大の特性である比強度、比弾性率の高さを生かした軽量化効果が、いまだに一般産業用途において、伝統的な金属材料を代替するだけの経済効果を生むに至っていないことによる。たとえば、表1のような軽量化と経済性の目安を示したものである⁴⁾。図3⁵⁾は、炭素繊維の需要動向予測の一例であるが、これからも認められるように、現時点ではほとんどがスポーツと航空機二次構造材用途であり、CFRP が工業材料として本格的に伸びてゆくためには、航空機一次構造材や自動車を含む一般産業用材料に広がってゆく

必要がある。

3. 航空・宇宙用途

CFRP の航空機への応用、開発においては欧米を中心にして、戦闘機、ミサイル、ロケットなど軍用途がドライビング・フォースとなってきたが^{5,6)}、民需分野では1983年に日本でも就航したボーイング767が二次構造材に大量に CFRP を採用した初めての民間航空機として注目に値しよう。ただし、これとても1機あたり1~1.5t の CFRP (全構造材重量のおよそ3%程度) 使用量にすぎない。しかしながら、二次構造材から一次構造材への用途拡大が実現すれば CFRP を中心とした先進複合材料 (ACM) の使用量は全構造材重量の65%にまで達しようといわれている⁷⁾ (図4)。

そのためには CFRP の性能を従来のアルミ合金並みかそれ以上に向上させる必要があり、なによりもまず炭素繊維自体の強度、弾性率の大幅な向上が求められている。世界の主力炭素繊維メーカーは高性能炭素繊維の開発に鎗を削っており、今日では図5のように、10年前の炭素繊維の2倍近い高強度化を達成しつつある。

さらに、航空機の場合にはその製造過程、あるいは就航中に予測される種々の極限的な外的条件に耐えることが要求され、耐衝撃性、高温・高湿下での耐久性、圧縮強度など炭素繊維自体というよりは、マトリックス樹脂に依存する性能がいまだ不満足な状態にある。従来から多く使用されているエポキシ系にこだわらず高靱性でかつ耐蒸熱性に優れた樹脂を、たとえばIPN、熱可塑性のものまで含めて広く探索していくことが求められている。

また、炭素繊維とマトリックス樹脂はそれぞれが優れた性能をもっていれば、そのまま CFRP の物性に反映されるとは限らず、両者の界面における相互作用がきわめて重要であり、この面での解析も重要な課題なのである。

一方、宇宙用途は表1に示したとおり、軽量化の経済効果が圧倒的に大きな分野なので、今後、広く利用され

* Terumichi ONO : 東レ(株) (103 東京都中央区日本橋室町 2-2)

図1 炭素繊維の需要 (1984, 2,820 ton)

図2 PAN系炭素繊維の価格推移

価格は使用量の多い米国で低い。ここで示した価格範囲は世界各地の市価を円換算した。為替レートはその時点のもの。

表1 1kg 軽量化することによる経済効果

ロケット・人工衛星	3,000万円
ミサイル	20万円
ヘリコプター	5～20万円
飛行機	1～5万円
船舶・工業資材	5,000円
自動車	500円以下

ていくものと予測される。宇宙空間における $-50 \sim 400^{\circ}\text{C}$ という急激な温度変化の下で寸法変化のないことも重要な性能であり、CFRPはマトリックス樹脂次第では好適な材料となりうる。スペースシャトル・コロンビ

図3 炭素繊維の需要動向と CFRP への要求特性

図4 航空機一次構造材としての炭素繊維-コンポジット要求特性

図5 東レ「トレカ」に見る炭素繊維強度向上の経過

ア号では図6のようにアクセスドア、尾翼部分にはCFRPが、またノーズコーン、リーディングエッジにはC/Cコンポジットが使用されている⁸⁾。C/Cコンポジットがすでに航空機用のブレーキとして実用化されていることは周知の事実である。

図6 スペースシャトル・コロンビア号

ベイロード部扉は合計 1,464 kg のうち CFRP が 907 kg を占め、アルミ合金に比べて 407 kg 軽量化されたといわれる。主翼前縁は C/C の耐熱性を生かしている。

図7 CFRP 使用実験車

4. 一般産業用途

炭素繊維が世に出たときに誰しもが考えたことは、これを自動車の部材として使用し、軽量化効果によって燃費を下げることであった。リーフ・スプリング、ドライブシャフトなど数多くの可能性の追求がなされてきた。図7⁹⁾はその一例としてのフォードの実験車における CFRP の使用部位である。しかしながら、最近まで本格的に CFRP を実用車に採用した例を聞くことはなかった。ところが、Formula-One クラスの競走用自動車で CFRP のボディーが使用されたり（図8）、1985年 SPI でフォードが全長 66 インチの CF/Glass/ビニ

図8 CFRP 製レーシングカーと部材

図9 CFRP のX線透過性

エステル：20/40/40 CFRP ドライブシャフトを発表し¹⁰⁾、数千台/年の試用を予定するなど、今年に入ってから具体的な実用例が見られるようになってきており、コストよりも性能を重視するレーシングカーを突破口として、いよいよ自動車用途への展開が進んでいくものと期待される。

図 10 X線撮影装置天板

優れた比強度，比弾性を利用した別の分野としては，高速運動をする部材，たとえば，薬液分離用超遠心分離器のロータ，旋盤のチャックなどが開発され，前者はチタン合金の1/2の軽量化を達成し，消費電力の低減，作業サイクルの短縮に寄与している．また，織機，編機などが高速化されてきたことと相まって，ヘルド・フレーム，シャトル，ニードル・パーにも活用されている．

人間が入ることのできない限られたスペース，あるいは高温・高圧，放射能に曝される場所での作業ロボットは，全体をできるだけ小型化し，かつ可搬量を増大しなければならず，そのために比強度が高いCFRPが使用されるケースが増えてきている．

一方，CFRPの一般産業用途のなかには，機械的に軽くて強いという特性を生かしたというよりは，別の側面の機能性を活かして使用されている場合も多い．たとえば，医療分野ではX線の透過性がよいことのために（図9），従来のアルミニウムに比較して線量を1/5以下にまで低下させることができ，人体に対する安全性を大幅に向上させるので，撮影装置の天板とかカセットに広く使用されはじめている（図10）．また，振動減衰性が良いので，スピーカーコーンあるいは各種楽器材料として需要が伸びている．その他，温度変化に対する寸法安定性，電気伝導性等を活かして，パラボラアンテナ，除電ブラシ等にも使用されている．

このように徐々にではあるが，自動車用途を含む一般産業用途へのCFRPの利用例は着実に増加しつつある．

5. CFRP の将来問題

CFRPが航空，宇宙，あるいは自動車を含む一般産業用途により広く使用されていくためには，炭素繊維自体

図 11 プリプレグ・オートレイアップ機の一例

の高性能化，低価格化が進み，かつそれにバランスしたマトリックス樹脂の開発が必須であるのはすでに述べたとおりであるが，同時に金属のような等方性材料とは異なる，まさに繊維強化複合材料であることによる数々の未解決の問題を克服していく必要がある．すなわち，製品のそれぞれの部位における要求特性を基礎に，最適な補強繊維の選択と中間基材の設計，樹脂設計をすることにも，より合理的な成形方法を開発しなければならない．たとえば，複合材料の面内での異方性は積層方法によりある程度はカバーできるが，厚さ方向いわゆる層間の問題は三次元的な繊維配列を考えなければならず，三次元織物，ステッチドファブリック等，開発が進められている．

成形加工技術についていえば，プリプレグのハンドレイアップからオートレイアップへの自動化¹⁾（図11），大型オートクレーブ，多軸フィラメントワインダ，ブルトルージョンなど新しい成形技術や装置が次々に開発されてきているが，まだ金属のプレス成形に匹敵するレベルにはほど遠い．

一方，金属では困難な深しぼり，複雑な形状のものの一体成形，ビスどめ，熔接によらない接合法などCFRPならではの有利な面もある．今後はCFRP成形工場が従来の機械加工工場から新しい成形技術を取り込んだ，さらに精密度の高い加工工場へ変わっていくことによって，新しい展開の道が見いだされていくものと思われる．すなわち，CFRPに課せられた将来の工業材料としての課題は材料自体の問題以上にその成形加工法，製品設計にあると考える．

6. ピッチ系炭素繊維

ここで話題を変えてピッチ系炭素繊維について若干触

表2 ビッチ系炭素繊維が解決すべき課題

ビッチ	一定の品質の紡糸用ビッチを安価に
紡糸	多孔口金から安定して連続糸を紡糸する技術
不融化	きわめて脆いプリカーサを取り扱う技術
炭素繊維の品質	PAN 系炭素繊維に比較して特徴は

れておきたい。

昨今、日本では石油系、石炭系などエネルギー関連、あるいは石炭を大量に使用する鉄鋼関連の企業がビッチ系炭素繊維の技術開発に名乗りを上げ、企業化を目指して鎔を削っている¹²⁾。1981年に九州工業試験所がいわゆるプリメソフェースビッチ技術を発表したことも大いに関係者を勇気づけた¹³⁾。

図2に示すように PAN 系炭素繊維は、増産とともに急激な価格低減を実現したとはいえ、より広い応用分野を占めるにはなお高価格であると思われる。これに対して石炭、あるいは石油から副生するビッチは原料も安く、かつ炭素繊維にする際の炭化収率が PAN 系の 50% 弱に比較して 80% もあるとの理由から大幅な低価格化が可能ではないか、そうすれば懸案の自動車などマスマーケットに参入でき、巨大な事業になるのではないかと期待されているものである。

ビッチ系炭素繊維に関する技術内容、そのレベルについては特許や新聞などの情報は主として原料ビッチの処理方法を開発して、より性能のよいメソフェーズ、あるいはプリメソフェーズの紡糸用ビッチを製造することが中心であり、紡糸以降の工程については明らかでない。しかし、本技術が工業的に成功し、期待される低価格の高性能炭素繊維を実現するためには、表2に示す幾多の問題点を克服することが必要であり、また、これを突破したときには、巨大なマーケットが約束されているといえよう。

一方、汎用グレード (GP) を目標とした短繊維ベースのビッチ系炭素繊維の場合は、また違った展開となる。従来、広く応用されてきた摺動材、断熱材、あるいは建築材料としてのアスベストが環境、衛生上の問題から次々に非アスベスト系に代替されるのは時代のすう勢

であり、その代替繊維の候補として汎用グレード炭素繊維は大きな可能性をもっている。鹿島建設などが実用化を進めているコンクリート補強分野¹⁴⁾では安価な炭素繊維の出現が望まれており、ビッチの原料ソースに恵まれた企業には有利に展開しよう。

7. おわりに

PAN 系炭素繊維が工業化されて 15 年弱を経て CFRP の現状はなおかつ揺籃期であり、いよいよこれから信頼性、耐久性を含めたコスト/パフォーマンスのいっそうの向上によって金属の分野へ挑戦してゆく時代に進むものと思われる。

PAN 系炭素繊維の世界の需給バランスはここ当分は供給過剰であり、世界は一つという市場の中で競合は激化してゆこう。そして CFRP を製品として設計、成形加工する一貫したシステムを創出した企業はより強い地位を獲得することになるだろう。

また、ビッチ系炭素繊維が PAN 系炭素繊維との競争の中で当初夢みた安価な高性能炭素繊維を実現し、業界に大きなインパクトを与えうるか否か今後注目に値する。

参 考 文 献

- 1) 大谷杉郎, 奥田謙介, 松田 滋: 炭素繊維, 近代編集, 東京 (1983), p.453.
- 2) 芦田恵一: 工業材料, **31**, 2 (1983), 33.
- 3) 上田伸夫: プラスチックエージ, **29**, 348 (1983), 75.
- 4) Du Pont: Kevlar 技術資料 (1983).
- 5) F. Cordie & C. Picard: *SAMPE*, **28** (1983), 658.
- 6) P. Shyprykevich, *et al.*: *SAMPE*, **28** (1983), 1515.
- 7) Boeing: 技術資料 (1981).
- 8) 小野 伝: 機械振興, **16**, 6 (1983), 20.
- 9) ダイヤモンド社: 経営開発情報技術開発動向 '82 新春版 (1982), p.2.
- 10) SPI, Product Awards of Excellence (1985), p. 5.
- 11) *Mod. Plast. Int.* (June, 1982), 22.
- 12) 化学の広場, 化学工業, **35**, 12 (1984), 1015.
- 13) 本田英昌: 炭素, **113** (1983), 66.
- 14) 秋浜繁幸: 建築材料, No. 8 (1981), 18.