「スーパー繊維の機能と用途展開」特集

炭素繊維の機能と用途展開

野口 健一

1. 炭素繊維の種類, 歴史, 形態

炭素繊維はその原料によってPAN(ポリアクリロニトリル)系とピッチ系に大別される。原料繊維を高温焼成することによって、図1に示すように各種の炭素繊維が得られ、いずれも成分のほとんどは炭素元素そのものである。形態としてはフィラメント数12Kを中心に1K~24Kのフィラメントタイプ(1Kは1000フィラメント)と48K以上のラージトタイプがある。これまでのところ、比強度の高いPAN系炭素繊維が広く使われており、本稿では、主としてPAN系炭素繊維について述べる。

図1 炭素繊維の製造法, 種類

2. 炭素繊維の需要と供給

2.1 需要

需要の推移を図2に示す。PAN系炭素繊維の利用が開

図2 PAN系炭素繊維世界需要量の推移

始されて約25年が経過しており、この間スポーツ、航空・宇宙分野での利用が進んできた。1990年代に入りテラントによる防衛産業の凋落、湾岸戦争後の民間航空機不況と炭素繊維メーカー各社の増設の完成とが重なり、炭素繊維業界は不況を経験したが、各種産業用途の開発、1994年頃からの米国でのゴルフクラブの急激なブラックシャフト化により需要は拡大し、1996年には1万トンの大台を超えた。また、この年一般産業用途が初めてスポーツ用途を上回った。今後の拡大は、表1¹⁾に示すように、さらに応用が進む一般産業用途が担うものと予想される。

2.2 生産能力

1990年代前半は、需要増に対し能力増で対応してきたが、1996年頃からの市況改善、供給逼迫から、ここに至り、表2の新設ラインが1998、99年に稼働することにより、炭素繊維生産能力は一挙に拡大する。21世紀に向かって拡大が期待される一般産業用途を着実に取り込み、

Recent Applications of Carbon Fiber

著者紹介 KENICHI NOGUCHI

Composite Materials Research Lab., Toray Inds. Inc., Ltd.

東レ複合材料研究所 主席研究員

著者は、炭素繊維、複合材料の物性・設計を専門としておられる。本稿では、炭素繊維(特にポリアクリロニトリル系炭素繊維)の種々の用途開発の歴史的歩みと需要動向の推移について解説していただいた。

表1 PAN系炭素繊維の需要予測

(単位:トン/年)

年	1996	1997	1998	1999	2000	2005
北 米	4,220	4,725	5,220	5,520	6,170	8,670
欧 州	1,990	2,030	2,265	2,785	3,225	4,600
日 本	2,280	2,500	2,990	2,880	3,030	4,390
ア ジ ア	2,170	2,230	2,460	2,660	2,815	3,500
合 計	10,660	11,485	12,935	13,845	15,240	21,160
航空宇宙用	1,770	2,025	2,155	2,110	2,285	2,420
スポーツ用	4,410	4,465	4,610	4,665	4,785	4,930
一般産業用	4,480	4,995	6,170	7,070	8,170	13,810

(出所)1997年5月・東レ予測

表2 PAN系炭素繊維の生産能力

(単位:トン/年)

メーカー	1996	1997	1998	1999
東 レ (日)	2,900	2,900	4,700	4,700
SOFICAR (仏)	800	800	800	800
CFA (米)	—	—	—	1,800
(小 計)	(3,700)	(3,700)	(5,500)	(7,300)
東邦レ (日)	2,800	3,100	3,300	3,300
TENAX (独)	760	800	1,800	1,800
(小 計)	(3,560)	(3,900)	(5,100)	(5,100)
三菱レ (日)	1,000	1,200	2,700	2,700
GRAFIL (米)	700	700	700	700
(小 計)	(1,700)	(1,900)	(3,400)	(3,400)
HEXCEL (米)	1,715	1,715	1,715	1,715
AMOCO (米)	1,210	1,210	1,210	1,210
台湾プラスチック (台)	240	750	750	750
泰光産業 (韓)	60	60	60	60
計	12,185	13,235	17,735	19,535
AKZO-FORTAFIL (米)	1,140	2,100	2,100	2,100
ZOLTEK (米)	450	450	900	1,350
SGL/RK (英)	100	100	100	100
SGL (独)	100	100	100	100
ALDILA (米)	—	—	900	900
計	1,790	2,750	4,100	4,550
合 計	13,975	15,985	21,835	24,085

(注)能力は各年度末時点での公称能力

長らく呼称されてきた先進(複合)材料から普通の工業材料への脱皮が期待される。

3. 炭素繊維の性質

PAN系炭素繊維, およびそれを用いた複合材料は以下の特徴を持つ。なお, ()内は炭素繊維の繊維軸方向特性である。

- ・金属などに比べ比重が小さく(1.7~2.0), 軽い。
- ・弾性率が高く(200~650GPa), 高剛性。

- ・強度が高い(3~7GPa)。
- ・疲労強度が高い。
- ・耐磨耗性, 潤滑性に優れている。
- ・振動減衰性に優れる。
- ・熱膨張係数が小さく($0 \sim -1.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$), 寸法安定性が良い。
- ・熱伝導性がある($10 \sim 160 \text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$)。
- ・不活性雰囲気での耐熱性に優れる。
- ・耐薬品性に優れる。
- ・錆びない
- ・生体適合性に優れる。
- ・導電性がある($17 \sim 5 \mu\Omega \cdot \text{m}$)。
- ・電磁波シールド性がある。
- ・X線の透過性が良い。
- ・異方性材料であり, 目的に応じ適正な構造体設計が出来る。

4. 用 途

前述性質を特徴とし, 表3に示すように様々な産業用途²⁾に用いられている。以下代表的な用途の応用状況について述べる。

4.1 スポーツ用途

(1)釣竿

PAN系炭素繊維がもっとも早く利用されたのが釣竿であった。1950年頃からガラス繊維強化プラスチック製の釣竿が普及していた土壌があったため, 1970年代初頭に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が商品化されて以来適用が進み, 現在では世界のカーボン竿の生産量は1,200万本程度, 炭素繊維量にして約1,200トンとみられる。なかでも, 軽量, 高感度が求められる鮎竿の開発の歴史は, PAN系高弾性率炭素繊維の釣竿への炭素繊維応用の歴史そのものであり, 最適構造設計技術の進歩もあって, 当初に比べると同じ長さであれば現在, 重量は1/6以下になっているといわれる。

(2)ゴルフクラブ

ゴルフシャフトへの応用は, 1972年に米国のShakespeare社がフィラメントワインディング法によりシャフトを開発したのを契機に始まり, 同年の太平洋クラブマスターズで米国のG. BrewerがAldila社の開発したCFRP製シャフトを使って優勝を果たし, 我が国のブラックシャフトブームに火をつけた。1970年代後半は空前のブラックシャフトブームとなったのである。それ以降, 飛距離, 方向安定性のための軽量, 長尺化やフィーリングなどの設計に適した材料としてブラックシャフト化はドライバーからアイアンにまで進んでいる。現在, 世界のブラックシャフトの生産量は4,000万本程度, 炭素繊維量にして約

2,000トンとみられる。

(3) ラケット

テニスラケットへの応用は、1974年に米国Chemold社など数社からCFRP製ラケットが発表されたのが発端で、翌年にはわが国でも開発された。その後米国のプリンスラケット社がフェイス面積が従来ラケットの1.4倍のラケットを商品化したのを契機に、強度および剛性を満足させるためCFRP化に拍車がかかった。さらに、1987年にウイルソン社が商品化した厚ラケはCFRPを必須材料とし、最近の長尺ラケットを経て、現在ではほとんどがCFRP化されている。また、テニス以外のバドミントン、スカッシュ、ラケットボールなどのラケットにも炭素繊維が使われている。現在、これらを合わせて市場規模は450万本、炭素繊維量が約500トンとみられている。

(4) その他

他にスキー板、スノーボード、スキースtock、バット、アーチエリー、ロードレーサー、マウンテンバイクやボート、カヌー、ヨット(マスト)、ウィンドサーフィンといったマリンスポーツなどへの展開がなされているが、前述の3本柱に比べるといずれも小粒であり、第4の柱には育っていない。

4.2 航空・宇宙用途

炭素繊維の出現は、航空・宇宙分野における従来からの構造設計、製造技術に大きな飛躍をもたらした。航空機分野では、1960年代からの軍用機への適用検討、1970年代の小型機への採用、旅客機二次構造の運行評価実績から、軽量化効果、耐疲労性、耐食性等が認められ、1980年代初頭からは旅客機の各種二次構造がCFRP化された。さらに1980年代後半に入ると旅客機一次構造がCFRP化されるようになった。エアバス社は1985年A310の垂直尾翼へ適用、以後一連の機種で垂直・水平尾翼をCFRP化した。また、ボーイング社でも、損傷許容性を大幅に向上させた東レのT800H/3900-2をB777の一次構造(垂直・水平尾翼、フロアビーム)に採用し、1995年から就航している。旅客機機体の複合材料適用は、多いもので10数%、内半分程度はCFRPになっている。本分野での課題は、1970年代が耐湿熱性、1980年代が耐損傷(衝撃)性で、それらを克服し、適用範囲を広げてきた。1990年代は低コスト化といわれている。現在いわゆるスーパージャンボ機や超音速旅客機プログラムは実現性がやや遠のいているが、これらに炭素繊維がどれだけ使われるか、2000年以降のこの分野での伸びを左右するであろう。

宇宙分野では早くから高弾性率炭素繊維が、軽量性(剛性)、寸法安定性、熱伝導性の面から人工衛星などに使用されていたが、近年イリジウムなどの通信衛星プログラムで活況を呈している。

4.3 一般産業用途

(1) 土木・建築分野

炭素繊維の軽量性、強度、剛性、耐食性、疲労強度、電磁波透過性などが注目され、補修・補強、鉄筋代替、コンクリート補強などへの応用開発が進んでおり、大きな需要が期待される。来島大橋でのCFRP製ケーブル、建築物トラス材への応用例がある。

特に、土木分野において阪神大震災をきっかけとした耐震補強や、施工時に比べての交通量、積載重量などの大幅増加に伴う劣化が進行している道路橋梁などの補強で炭素繊維シート工法が浸透し始めている。この工法は炭素繊維を一方に配列したシートまたは織物状の材料を構造物の表面に常温硬化型のエポキシ樹脂で貼り付け、補修・補強を行うものである。

道路橋の床板、桁、建物の梁やスラブ、煙突などの曲げ補強においては炭素繊維の弾性率が重要になってくる。また、地震時の水平力などによるせん断力を受ける橋脚や高架橋の柱に対し、周方向に炭素繊維シートを巻き付けることにより耐力を向上させるせん断補強においては引張り強さが重要になってくる。炭素繊維シート工法は、①補強効果に優れる、②補強による重量や断面の増加を無視できる、③施工が容易である(軽量、溶接・アンカー打設不要、騒音無し、比較的短工期)、④錆ないのでメンテナンスが容易である などの特徴を持つ。

(2) 圧力容器

天然ガスを燃料とする自動車は、ガソリンに比べ環境面において優位である。また他の代替燃料に比べ現行自動車への適用が容易であることから実用化が進んでいる。その燃料容器のCNG(Compressed Natural Gas)タンクは、従来の金属製では重く、走行距離を伸ばすためには、軽量化が必須であり、金属+繊維ラップあるいはプラスチックライナーを用いたオールコンポジット容器が実用化されている。これらにおいては、薄く巻いても強度が上がる高強度炭素繊維が適しており、天然ガス自動車の普及とともに成長が期待される。

(3) 自動車および車輦分野

自動車分野では早くから炭素繊維の大量需要が期待され、用途開発が行なわれている。コストを度外視できるレーシングカーへのCFRPの応用は積極的に進められており、多くのレーシングカーがCFRPを使用している。しかし、一般車では、コストの壁が障害となり、実用化は期待どおり進展していないが、これまでにドライブシャフトなどが実用化されている。

最近の応用で注目されるものに、いすゞ自動車/東レの共同開発による大型ウイングトラック用超軽量コンポジットボディがある(図3)³⁾。トラック輸送業界は最近に

図3 コンポジットボディ大型ウイングトラック

なって過積載の取締りが強化されたこと、輸送コストの増加などを背景に積載効率向上が強く求められるようになった。このボディはウイングと呼ばれる側面開放部分とフロア構造部分に複合材料を使用しており、従来品に

比べ大幅な軽量化を達成し、積載量が大幅に向上している。また独自の一体成型法を採用し組み立て・架装行程を簡素化している。

(4)電子・電気機器分野

80年代に炭素繊維複合材料の比弾性率が高いことに加えて、内部損失が大きいことが活用されてスピーカーコーンに適用された。

最近では、軽量、電磁波シールド効果により、チョップドの形で熱可塑性樹脂に混入使用、ノート型パソコン筐体などに適用された。今後、モールドイングコンパウンドはOA機器、家電、半導体関連に幅広く伸びていくと期待される。

(5)その他

印刷、製膜、搬送、製紙などの各種ロールのCFRP化が急速に進んでいる。また、エネルギー関連でのフライホイール、風力発電ブレード、燃料電池電極、さらに舟艇、車両、コンテナ、海底油田掘削用チューブなどの用途

表3 炭素繊維の一般産業用途例と利用特性

分 野	用 途 例	利 用 特 性
メディカル	1. X線機器(CT天板、密着板、カセットなど) 2. 電動義肢、義手、車椅子 3. 人工骨、靱帯、腱、関節、歯根など	高剛性、X線透過性 高強度、高剛性、軽量性 高強度、生体適合性、耐久性、耐摩耗性
代替エネルギー	1. ウラン濃縮用超遠心分離機のローター 2. スーパーフライホイール、風車 3. リン酸型燃料電池の電極	高比強度、高比弾性率 高比強度、高比弾性率 耐食性、導電性
土木・建築	1. カーテンウォール外壁パネル 2. フリーアクセスフロア 3. コンクリート補強筋	高強度、高剛性、軽量性 高強度、高剛性、軽量性、非磁性 高強度、高剛性、耐食性、耐久性
自動車	1. ドライブシャフト、リーフスプリング 2. ホイール、ボディ外板 3. エンジンパーツ 4. NGV用タンク(Natural Gas Vehicle) 5. レーシングカーシャーシ、ボディ 6. オートバイ用ディスクブレーキ	高強度、高剛性、軽量性、振動特性 高強度、高剛性、軽量性 耐摩耗性、軽量性 高強度、高剛性、軽量性、耐久性 高強度、耐剛性、軽量性 軽量性、耐摩耗性
車 両	1. リニアモーターカーボディ 2. 超電導磁石構成部分の支持材	高強度、高剛性、軽量性 高強度、高剛性、熱伝導率
電気機器	1. テレビアンテナ、パラボラアンテナ 2. 電波望遠鏡 3. パソコン、ヘッドフォンステレオの筐体 4. スピーカーコーン 5. 除電ブラシ	軽量性、耐食性、電導性 線膨張係数、軽量性 高強度、高剛性、軽量性、導電性 高剛性、軽量性、振動特性 導電性、耐摩耗性
一般機械	1. 繊維機械(ヘルドフレーム、ニッティングバーなど) 2. 製紙機械、印刷機(ローラーなど) 3. エアシャフト、ドライブシャフト、ロボットアーム 4. 超遠心分離機のローター	高強度、高剛性、軽量性 高強度、高剛性、軽量性 高強度、高剛性、軽量性 高比強度、高比弾性率
その他	1. ヘルメット 2. 傘の骨	高強度、耐衝撃性 高強度、高剛性、軽量性

でも拡大が期待される。

5. むすび

今後とも、炭素繊維は土木・建築分野などの一般産業分野で大きな需要が期待されるが、素材・成形加工コストの低減、他の部材との接合・接着技術の確立、信頼性、耐久性の実証、リサイクルなどが今後の拡大の大きな鍵を握っていると考えられる。

引用文献

- 1) 市川, 化繊月報, 50, (8), 15(1997).
- 2) 大阪ケミカルマーケティングセンター; 「先端複合材料の新展開」第2巻
- 3) 近藤他, プラスチックエージ, 43, 97/4, 127(1997).

第20回糖質シンポジウム(会場変更のお知らせ)

開催場所が、ホテルポールスター札幌からホテル札幌ガーテンパレス(〒060-0001 札幌市中央区北1条西6)に変更になりました。

問合せ先: 〒060-8638 札幌市北区北15条西7丁目
北海道大学 医学部癌研究施設生化学部門
第20回糖質シンポジウム世話人会
代表 齋藤政樹
電話: 011-706-5166, FAX: 011-706-7821

第12回イオン注入技術国際会議(IIT'98)

主 催: 「イオン注入技術国際会議」実行委員会
協 賛: 繊維学会ほか
開催時期: 平成10年 6月22日(月)~26日(金)
開催場所: 京都・都ホテル
問合せ先: 〒606-8317 京都市左京区吉田本町 京都大学
工学部附属イオン工学実験施設 高岡義寛
電話: 075-753-5952, FAX: 075-751-6774

神奈川科学技術アカデミー平成10年度研究助成募集

助成対象: 神奈川県在住または在勤の若手研究者(概ね40歳以下)による先端科学技術分野(自然科学系)の創造的基礎研究。

応募締切: 平成10年 3月10日(火)必着

問合せ先: 〒213-0012 川崎市高津区坂戸3-2-1
KPS西棟6F
財神奈川科学技術アカデミー 学術交流部
交流普及課
電話: 044-819-2032, FAX: 044-819-2026

複合材料に関する講演会

主 催: 日本繊維機械学会東海支部
協 賛: 繊維学会東海支部ほか
開催時期: 平成10年 3月6日(金) 13:15~16:15
開催場所: 名古屋工業大学2号館C棟3階WY教室
参加費: 会員3,000円, 非会員5,000円, 学生500円(当日払込)
申込締切: 3月2日(葉書, FAXまたはE-mailで下記まで)
問合せ先: 〒466-0051 名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学材料工学科 中西英二
電話: 052-735-5268, FAX: 052-735-5294,
E-mail: nakanisi@mse.nitech.ac.jp