

「PAN系炭素繊維の現状と将来」

東レ株式会社
 複合材料事業本部
 トレカ事業部門長
 河村 雅彦

現在の炭素繊維市場は、リーマンショック後の世界同時不況で経験した大幅な需要減から回復を果たし、航空機用途での採用本格化、新規用途の拡大によるスポーツ用途の安定成長、環境・エネルギー関連用途を牽引役とする産業用途の飛躍的拡大により、年率15%を越える大幅な成長が見込まれている。

市場のトレンドとしては、航空機用途や高機能スポーツ用途、圧力容器・送電線芯材など産業用途において、高品質・高品位のレギュラートウタイプ炭素繊維の需要が拡大する一方で、風力発電、コンパウンドに加え自動車部材などの軽量と剛性のみが要求される産業用途を中心に、ラージトウタイプ炭素繊維の需要が拡大し、「市場の二極化」が進展している。

また、地域別需要は今後、中国で産業用途を中心に市場の本格拡大が予想されることに加え、東南アジア、インド、ブラジル、ロシアといった新興国・地域での需要成長にも期待が集まる。

本稿は、PAN系炭素繊維を用いた先端複合材料の現状と、今後の継続発展のために日本の炭素繊維産業が抱える課題についてまとめたものである。

1. PAN系炭素繊維の需要動向と生産能力

世界のPAN系炭素繊維は、図1のように1980年代を通じて航空機、スポーツ用途を中心に順調に市場拡大してきた。その後、1990年代後半から産業用途を中心に需要が急増し供給不足が生じたが、各社生産設備の大増設により、2000年から一転して一時的な供給過剰に陥った。2003年後半から着実な需要の増加があり、2008年後半からのリーマンショックにより一時的な成長の足踏みはあったものの、2010年以降着実に需要が回復しており、今後も、産業用途を中心に航空機用途、スポーツ用途でも確実な伸びが期待できる。

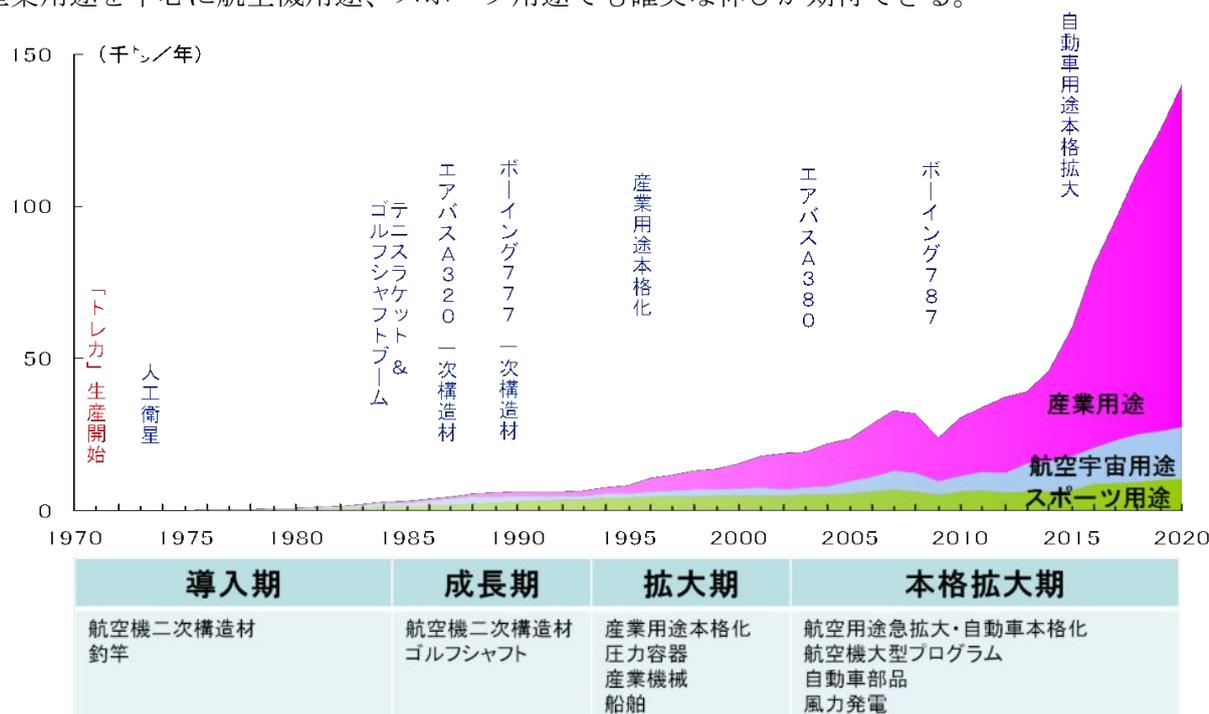


図1 炭素繊維の需要動向

図2に用途別、地域別の今後の炭素繊維需要見通しを示す。用途別では、各用途とも拡大するが、特に環境・エネルギー関連を中心とした産業用途での大きな市場拡大が見込まれる。

今後の市場規模としては世界全体として2015年には約6万トン、2020年には14万トンにまで拡大すると予想される。レギュラートウでは、産業用途の大幅な伸長に加えスポーツ・航空機用途でも着実な成長が見込まれ、2013年には3万トン弱であった需要が、2015年には約4万トン、2020年には約8万トンまで拡大する見通しである。一方ラージトウでは、ほぼ産業用途のみであるが、風車、コンパウンド用途に加え自動車用途での採用進捗により、2013年には1万トン強であった需要が、2015年には約2万トン、2020年には約6万トンまで成長する見通しである。

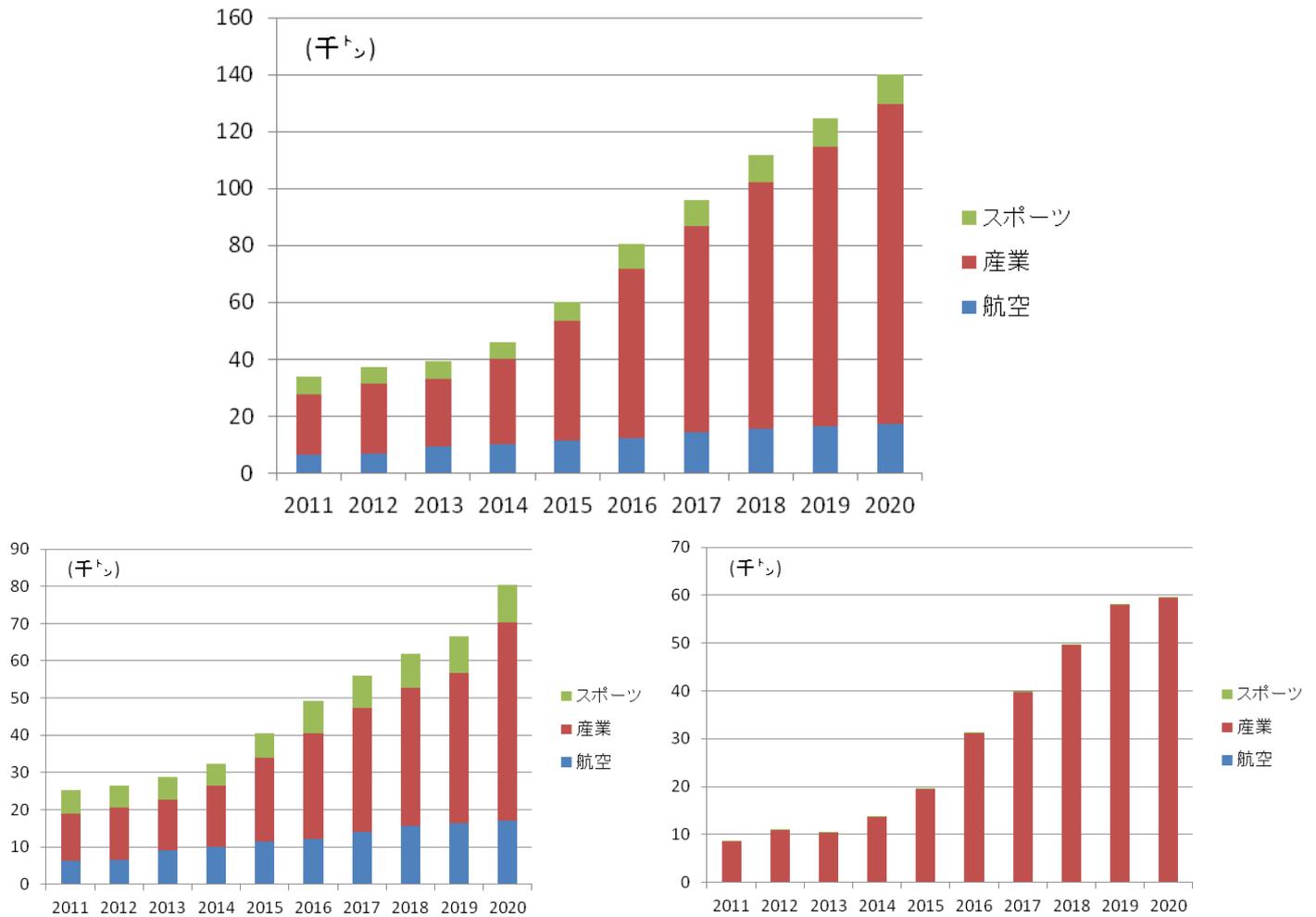


図2：今後の炭素繊維の需要見通し（上：全体、左下：レギュラートウ、右下：ラージトウ）

これに対応する生産能力について、表1にPAN系炭素繊維メーカー各社公称生産能力を示す。

表1 PAN系炭素繊維メーカー製造能力の推移（東レ推定）

(千トン)

	2012	2013	2014	2015
東レ	18.9	21.1	26.1	27.1
三レ	10.9	10.9	10.9	10.9
東邦	13.9	11.4	11.4	11.4
Hexcel	7.2	7.2	8.6	10.0
Cytec	2.4	2.4	2.4	3.4
台プラ	8.8	8.8	8.8	8.8
Zoltek	12.2	13.0	14.3	14.3
SGL	9.0	9.0	12.0	12.0
Aksa	3.5	3.5	3.5	3.5
HCC	0.0	0.0	1.5	1.5
SABIC	0.0	3.0	3.0	3.0
泰光	1.5	1.5	1.5	1.5
暁星	0.0	2.5	2.5	2.5
インド	0.3	0.3	0.3	0.3
中国	11.6	13.1	13.1	13.1
合計	100.2	107.7	119.9	123.3

2013年末時点の生産能力は公称値を集計すると合計約107,700トンとなり、トルコ、韓国、中国の新興メーカーが活発に炭素繊維製造への参入を図っている。

新興メーカーは、トルコのAKSAが一部汎用品市場へ参入し販売を行っている他は、韓国系の泰光、暁星および中国系とも市場参入は進んでおらず、公称能力と実販売量との乖離は大きい。

今後の見通しは次項で用途別に述べるように、着実な需要増加が期待できること、生産能力の伸びが量的には需要と対応しており、時期によっては多少の供給過剰が発生する可能性があるものの、需要が順調に伸びることで市場規模も着実に増加し、健全な発展が図れるものと推定する。

2. CFRPの用途別需要動向

以下、用途別の需要動向の見通しを記載する。

(1) 航空・宇宙用途

航空・宇宙用途における炭素繊維需要については、商用ジェット航空機が需要拡大を牽引車として、大幅な伸長を見せている。世界的な旅客・貨物輸送の拡大に伴う生産機数の増大している中、ボーイング、エアバスの二大旅客機メーカーに加えて、新興の大型旅客機メーカーにおいても、軽量化による燃費改善を狙いCFRPを多用した新型機の開発が進んでいる。ジェットエンジンにおいては、燃費効率を追求した新型エンジンの低温部（ファン部位－ファンブレード、コンテイメントケースなど）へのCFRP適用の流れが定着している。宇宙においては、従来の人工衛星・ロケット用途に加えて、イプシロン（JAXA、日本）、ファルコン9（SpaceX、米国）といった低コストを狙った新開発の打ち上げロケットでもCFRPの採用が進んでいる。

航空機の生産は、世界経済の拡大に伴い、アジアを中心とした新興地域のエアライン、ローコストキャリア（LCC）、リースなどの旺盛な需要に支えられ、順調に拡大している。新型機については、2011年9月に初就航したボーイング787型機は、主翼、尾翼などに東レ製プリプレグを採用し、機体構造重量あたりのCFRP比率は50%を超え、現在1000機以上の累

計受注を獲得し、月産10機で量産されている。昨年11月には現行777型機の後継機で、燃費を対抗機種比12%改善する777Xが2020年就航予定で正式にローンチされ、全幅71mで世界最大となる主翼はCFRP製となることが決定している。

エアバスがボーイング787、777に対抗し開発を進めるA350は、270~350席のツインアイル機で、主翼、胴体などにCFRPを採用、構造重量に占める割合は53%に達している。現在、2014年下半期の初納入へ向けて飛行試験が行われている。

従来、エアバスとボーイングの2社が100席以上のジェット旅客機市場を二分してきたが、新たにボンバルディエ（カナダ）、中国商用飛機（以下COMAC、中国）等の新興メーカーが、CFRPを使用したシングルアイル機を開発している。ボンバルディエが2014年納入目標で開発を続けるCS100/300（客席数100~160席）は、主翼をレジン・インフュージョン法で製造している。ロシアでは、UACが開発する新型機MS-21（2016年就航目標、150~212席）において、CFRP主翼製造にレジン・インフュージョン法を採用している。COMACが開発を進めるC919（客席数168~190席、2016年就航予定）は、尾翼や後部胴体にCFRPを使用し、将来的には主翼もCFRP化する構想がある。

リージョナル機分野においては、三菱航空機がMRJを開発中であり、環境適合性をキーワードとして、2017年の納入開始を目指している。一次構造材として、尾翼にCFRPが適用され、東レがA-VaRTM法で成型を担当する。ビジネスジェットなどの小型民間航空機の分野では、ホンダが胴体をCFRP化した小型ジェット機ホンダジェット（7~8席、2015年量産開始予定）の開発を進めている。

航空機の燃費改善には、ジェットエンジンの効率アップの貢献が大きい。一般的に旅客機に使用するターボファンエンジンにおいては、バイパス比（ファンとコア部空気流量比）が大きくなると燃費や騒音性能が改善するが、A320neo、737MAXなどのシングルアイル機向けに開発中のエンジン、Leap（CFMインターナショナル）、PW1000G（プラット&ホイットニー）シリーズには、バイパス比10を超えるほどファンが大型化しているタイプもあり、軽量化のためコンテイメントケースなどにCFRPが採用されている。

宇宙用途については、炭素繊維は、人工衛星用途において、軽量化や温度差が激しい宇宙空間における寸法安定性から構体、アンテナ、太陽電池パネルなどに使用が定着しており、通信、GPS高度化等を目的とした人工衛星打ち上げの増加とともに需要が拡大している。打ち上げロケットについては、エンジンモーターケース、ペイロードフェアリング等に炭素繊維が幅広く使用されている。昨年9月イプシロンロケットの初打ち上げ成功が注目されたが、ロケットモーターケースにCFRPが使用されている。

（2）スポーツ用途

スポーツ用途向け炭素繊維需要は、2009年の急激な落ち込みを経て2010年に急回復した後、2011年に再び低迷したが、その後は回復基調にある。今後もゴルフ、釣竿に加え、近年急速にCFRP化が進展した自転車用途を中心に需要は堅調に推移する他、ホッケースティック、バットなどの新規用途の需要も伸びると見込まれる。また、中長期的には中国およびアジアの富裕層向けに高機能・高性能製品の需要の拡大も期待されている。

主要用途であるゴルフ・釣竿・自転車用途では、軽量化、高強度化、フィーリング、乗り心地など高機能追求による高級品分野での更なる高付加価値化が進行するとともに、汎用品分野での本格的な量的拡大もあり、市場の二極化が進むと予想される。汎用品分野では、AKSA等の新興メーカーの安価な炭素繊維の採用が拡大しつつあり、二極化を加速させる要因の1つとなっている。また、スポーツ用途の生産拠点は、中国沿岸部に集中しているが、生産コストの増加に伴い、中国内陸部やベトナムを初めとする東南アジアへの拠点展開が進むと予想される。

(3) 産業用途

産業用途については、全世界的に最も伸びが期待されている用途であり、表2に示すようなエネルギー関連用途、輸送機器用途、土木建築用途、その他一般産業用途などで展開されている。以下主要用途別に、動向と今後の見通しについて述べる。

表2 炭素繊維産業用途の主要分野

用途分野	項 目
エネルギー関連	圧力容器(CNGタンク、SCBA、CHG)
	風力発電(風車ブレード)
	電線(送電線芯材)
	燃料電池(電極ガス拡散層)
	海底油田(ライザー、テダー、スプーラブルチューブ他)
輸送機器	自動車ドライブシャフト、自動車外板
	船舶船体
土木・建築	耐震補強(橋脚、床板、建築物(梁、柱))
	軽量建材(立体トラス、屋根材)
	鉄道防音壁(プレート)
	橋梁(桁材、CFRC(ケーブル))
一般産業機械	ロール(印刷機、製紙用ロール)
	医療機器(X線機器、車椅子、補装具)
	PC筐体
	小型機械部品(ICTレイ、OA機器部品)

A. 圧力容器

CNGを自動車燃料として使用する際の貯蔵タンク、或いは消防士用などの空気呼吸器用に、軽量性・高強度を利用して炭素繊維が使われている。特にCNG用途は、着実に伸長しており、シェールガスの低価格で急拡大している米国に続き、欧州・中国を中心としたアジアでの伸びが期待される。また、これに伴いアジア・南米を中心にパイプラインを補完するインフラとしてのCNG輸送用タンク需要も期待されている。

また、燃料電池に必要な水素ガスの供給方法として、車載型については技術の完成度等の面から高圧水素ガス方式が最も現実的な方式とされ、高性能炭素繊維を利用した超高压水素ガス容器(CHG)の開発も進められている。

B. 自動車用途

自動車用途への炭素繊維の適用は、その耐衝撃性、軽量性がきわめて有効なことから、F1を始めとしたレーシングカー用途やスーパーカー用途ではすっかり定着している。通常の自動車用途では、軽量化による二酸化炭素削減(軽量化で1割の燃費向上を図るには、車体重量を約2割下げる必要あると云われている)、および安全性・空力性能といった機能的なメリットを武器に、欧州を中心に、1台一千万円を越える高級車を中心として適用が開始されている。本件用途では特に欧州での検討が先行しているが、日本においても、プロペラシャフト、エンジンフード、ルーフ、リアスポイラーなどへの適用例があり、確実な拡大が見込まれる。環境意識の高まりの中、低燃費車、電気自動車を中心とした量産車への展開が一気に進むことが期待され、このためには成型を中心とした低コスト化、量産技術確立が重要であり、製造サイクル、コストとリサイクル性が今後課題となると推定される。

C. 風力発電

再生可能エネルギーの本命として、世界の風力発電設備設置は、ここ3年は世界不況の影響で伸び悩んだが、過去5年で年率15%以上と依然高成長を続けている。

現状では全世界の発電容量は約30万メガワットであり、今後は、約4～5万メガワット/年程度の新規設備の稼動が予想されている。同時に効率化追求により、一基あたりの大型化が進み、年々羽根の大型化も進んでいる。現在では長さ40m以上の羽根が主流で、世界最大の風車メーカーであるデンマークのVestas社の3メガワット級発電機V90（羽根長44m、直径90m）を初めとして、これら大型羽根のスパー（桁）材に炭素繊維を使用した設備が増えており、欧州中心に約6千トン/年の炭素繊維需要となっている。

また、2015年近傍を目処に欧州、中国等で大規模な洋上風力発電設置が計画されており、これらには出力5メガワット（羽根長60～70m）級発電機が使用される見通しのため、炭素繊維の適用が益々進むことが期待されている。

D. 土木建築用途

現在、炭素繊維の土木建築用途は、殆どが耐震補強、老朽化または使用条件変更等による補強用途である。これは、炭素繊維の織物やシート、ラミネートを樹脂で適用、固定することで補修・補強するもので、鉄を使用した工法と比較して、補強材の軽量性、易工事性に優れることから、着実に浸透している。この工法は日本を始め欧米が最も進んでいたが、最近では経済発展が著しい中国を中心にアジアにおいても補強による耐荷重向上等を目的に大きな拡がりを見せている。

E. 電線

中国、南米といった新興国を中心に電力需要の増大、発電能力拡大が進み、送電需要が大きく増大している。加えて欧米を初めとする先進国では、風力、太陽光等の再生可能エネルギーに対応するためのスマートグリッド化の推進で、高効率送電線需要が増大する。CFRP芯線を用いた送電線は、熱膨張が小さく、軽量であるため鉄芯を用いた電線に比べ2倍の電力を送電することが可能な一方、支柱の数を減らすことが出来るため、トータルの建設コストが変わらないこともあり、大幅な普及が予想され、将来は1千トン以上の炭素繊維需要が期待される。

3. 炭素繊維業界としての課題

(1) リサイクル

炭素繊維の需要は今後も拡大を続け、年間の世界需要量は2013年の約4万トンが2020年には約14万トンへ伸長すると予測する。特に、今後は自動車用途をはじめとする産業分野で飛躍的な拡大が期待されるが、これを確かなものにするためには使用済み炭素繊維製品のリサイクルへの取り組みが重要になる。現在は使用済み炭素繊維製品の多くが、焼却・埋め立て処理されているが、環境負荷の低減のために、リサイクル技術の確立、リサイクルシステムの構築により、使用済み製品から炭素繊維を効率的にリサイクルすることが今後不可欠になると考えている。

これまで炭素繊維協会では、2000年～2003年にNEDO委託研究「リサイクルCFRP粉砕品の標準化」、2006年～2008年に経済産業省の補助事業「炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発」、2009年～2011年に福岡県との共同プロジェクト「リサイクル炭素繊維に係る研究」に取り組み、パイロットプラントでの実証運転を通じてCFRPリサイクル基本技術確立や再生炭素繊維評価で所定の成果を挙げた。2012年からは、この協会活動の成果を継承してPAN系3社で設立したリサイクル技術開発組合による、炭素繊維リサイクルの実用化に向けた取り組みを行っている。

(2) 環境負荷、および、コストの低減

炭素繊維は、その製法に起因して、単位重量あたりの素材製造エネルギーが鉄鋼など金属に比べて大きいと言われているが、炭素繊維を自動車、航空機などの移動体に使用し、軽量化することによって、運用時の環境負荷を軽減することが期待できる素材である。

昨今、地球温暖化の原因と言われる二酸化炭素の日本における排出量は、2011年の集計で、総量が12億トン/年、そのうち、運輸と製造業で全体の53%を占めている。すでに炭素繊維協会モデルとして、自動車や航空機の構造部材にCFRPを適用した場合に、それらのライフサイクルを通じて削減できる二酸化炭素の量が試算され、公表されている。それによると、自動車の場合、構造材料の17%にCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を適用することにより、30%の軽量化が達成され、1台あたり16%の二酸化炭素排出量が削減、航空機の場合、ボーイング767クラスの機体構造重量の50%にCFRPを適用すると、1機あたり20%の軽量化が達成され、二酸化炭素排出量は7%削減される（試算の前提は自動車、航空機ともにライフサイクル10年を想定されているが、実際には航空機のライフサイクルは20～30年）。

今後とも、CFRPは上記の例だけでなく、運輸、エネルギー分野を中心に拡大し、二酸化炭素の排出量削減に貢献すると期待できる。そのためには、炭素繊維の生産能力向上、生産性向上、生産拠点の拡大はじめ、CFRP製部材適用までの一連のバリューチェーンのすべての過程でのコストダウンが、今後の炭素繊維の一層の普及には非常に重要であり、メーカーからエンドユーザーに至るまでの様々な形態の連携が望まれる。

(3) 量産成形加工技術

CFRPの一層の普及のためには、低コスト化のための量産成形加工技術の開発・確立が必須である。自動車分野においては、高級スポーツカーだけでなく、汎用自動車へ展開するために、生産タクトタイムの短縮化が重要で、マトリックス樹脂として熱硬化樹脂を適用した場合、樹脂を高速で反応させることが必要となる。2003年から2008年にかけて、NEDOのプロジェクト「自動車向け炭素繊維複合材料の開発」において、高速硬化樹脂、高速樹脂含浸法、自動賦形技術を開発し、自動車の中で最も大きい部品であるフロントフロア（1.5m×1.7m）の10分成形に成功している。一方、マトリックス樹脂として熱可塑樹脂を適用した場合、射出成形やプレス成形により、熱硬化樹脂を適用した場合よりもさらにタクトタイム短縮化の可能性が高い。同様に、NEDOのプロジェクトにおいて、「サステイナブルハイパーコンポジット」の開発が2008年から2013年まで実施された。このプロジェクトでは、マトリックス樹脂としてポリプロピレン（PP）もしくはナイロン（PA）を用いた熱可塑CFRPの開発と同時に、プレス成形加工技術が開発され、予熱後プレスという工程で、1分以内のサイクルタイムを実現することができた。特に、炭素繊維はガラス繊維より熱伝導に優れているので、プレス時の冷却が促進され、ガラス繊維を補強材としたマット基材よりも成形タクトタイムを短くすることが可能となる。

航空機の場合も、特に今後の新たに開発される単路小型機のCFRP化のためには、CFRP部材の低コスト化が最大の課題であり、いずれの場合も各部材に最適な材料設計、構造設計とともに、量産成形加工技術の開発が必須である。

4. まとめ

炭素繊維は日本が製造原理を発見し、世界に先駆けて研究・開発を推進し、新市場を創出した革新的な素材である。開発当初より品質ポテンシャルと事業性を見抜き、開発を継続した各炭素繊維メーカーの経営姿勢、国の支援が大きな発展へ導いた。品質・コスト競争力強化の継続が、新用途市場・新事業の拡大に繋がっており、今後も環境・エネルギーをキーワードに大幅な需要

の拡大を見込んでいる。

航空機用途に関しては、ボーイング787に続くエアバスA350の市場投入、ボーイング777主翼での採用決定に加え、中小型航空機における採用進捗や航空機エンジン部品等での適用拡大が期待される。スポーツ用途では、高級ゴルフシャフト、釣竿向けの堅調な需要拡大に加え、自転車での適用拡大が進行することにより、安定成長が見込まれる。産業用途では、シェールガス革命を背景とする天然ガス圧力容器向け需要の拡大、また自動車用途は課題である量産技術確立と成形コスト低減が進捗することで大幅な需要伸長が期待出来る。

PAN系炭素繊維は製造工程にのみ着目した場合、必ずしも地球環境にやさしい素材とはいえないが、これをライフサイクル全体で捉えれば、地球環境に大きく貢献できる素材である。今後ともこの様な観点から、炭素繊維の更なる普及による地球環境への真の貢献を果たしてゆきたい。

また、今後の更なる量的拡大に備え、これまで培ってきたリサイクル技術の確立に加え、リサイクルシステム構築の取り組みを強化し、効率的にリサイクルすることが不可欠となる。

今後とも炭素繊維が期待通りに拡大し社会に貢献してゆくために、素材、樹脂、成型加工、中間基材およびリサイクルも含めた環境適合技術開発を、我々炭素繊維およびCFRPに関わる業界が、共に切磋琢磨し、健全な発展を目指して参る所存です。今後とも関係各位皆様のご理解とご協力をお願い申し上げます。

以上