

## PAN 系炭素繊維の現状と将来

東邦テナックス株式会社  
営業部門 インダストリービジネスグループ長  
種市 伸彦

炭素繊維の歴史は古く、誕生は 19 世紀末にスワンやエジソンが木綿や竹を焼いて作った電球用フィラメントにまで遡る。現在主流となった PAN 系炭素繊維は 1959 年に通産省工業技術院大阪工業技術試験所の進藤昭男博士がアクリル繊維を使った炭素繊維の基本技術を発明したのがそのはじまりである。開発から半世紀を経た PAN 系炭素繊維は、その「軽く」て「強い」特長が、「省エネ・省力化」、「温暖化ガス削減」など時代のニーズに合致、航空機、自動車をはじめとする輸送用機器分野、風力発電などエネルギー産業分野をはじめ、今後の市場拡大が期待されている。

世界の PAN 系炭素繊維市場は、日系 3 社（東レ、三菱レイヨン、東邦テナックス）がおよそ 70% のシェアを有しているが、炭素繊維への世界的な注目度の高まりに伴い、中国、インド、トルコ、韓国など新興国メーカーが相次いで参入し、さらにロシア、中東からの参入も予想され、ますます世界規模での競争が激化する見通しである。

本稿では、PAN 系炭素繊維の現状・将来展望に加え、近年成長著しい新興国の代表として中国における動向を紹介する。

### 1. PAN 系炭素繊維について

#### 1). 特長

炭素繊維の最大の特長は「軽く」て「強い」ことである。さらに、疲労特性に優れる、錆びない、など優れた特性を併せ持つ。

- 軽い…鉄の約 1/4  
炭素繊維の比重は 1.8 前後と、競合他素材の比重、鉄：7.8、アルミ：2.7、ガラス繊維：2.5 と比較して非常に軽量である。
- 強い…鉄の約 10 倍  
比強度<sup>※1</sup>は鉄の約 10 倍、比弾性<sup>※2</sup>は、鉄の約 7 倍と優れた機械的特性を有す。  
※1 比強度…引張強度を比重で割った値  
※2 比弾性…引張弾性率を比重で割った値
- その他  
疲労特性に優れる、錆びない、線膨張係数が小さい(寸法安定性に優れる)、化学的・熱的に安定している、電磁波シールド性・X 線透過性に優れる、など

#### 2). 製造方法

PAN 系炭素繊維の原料は、ポリアクリロニトリル (PAN) 繊維である。炭素繊維の開発初期には、様々な繊維が炭素繊維の原料として試されたが、炭素原子 (C) の含有量が多かったこと及び不融化が比較的容易であったことが決め手となり、PAN 系炭素繊維が工業化され現在に至っている。図 1、2 に示すように、PAN 系炭素繊維の製造工程は、原料となる特殊アクリル繊維（プリカーサー）製造工程と、それを焼成（炭化）する炭素繊維製造工程の 2 ステップからなる。

図1 プリカーサー製造工程

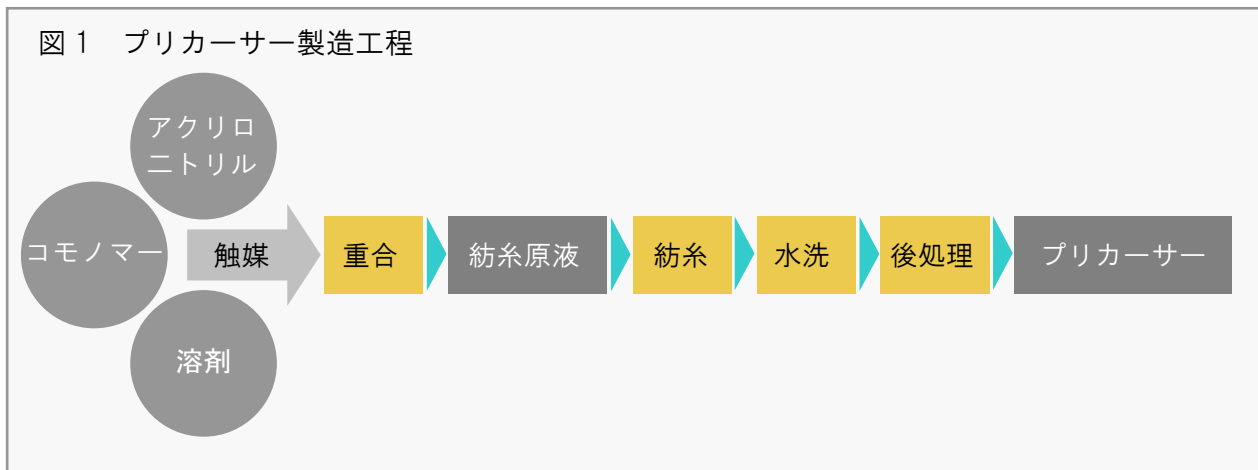
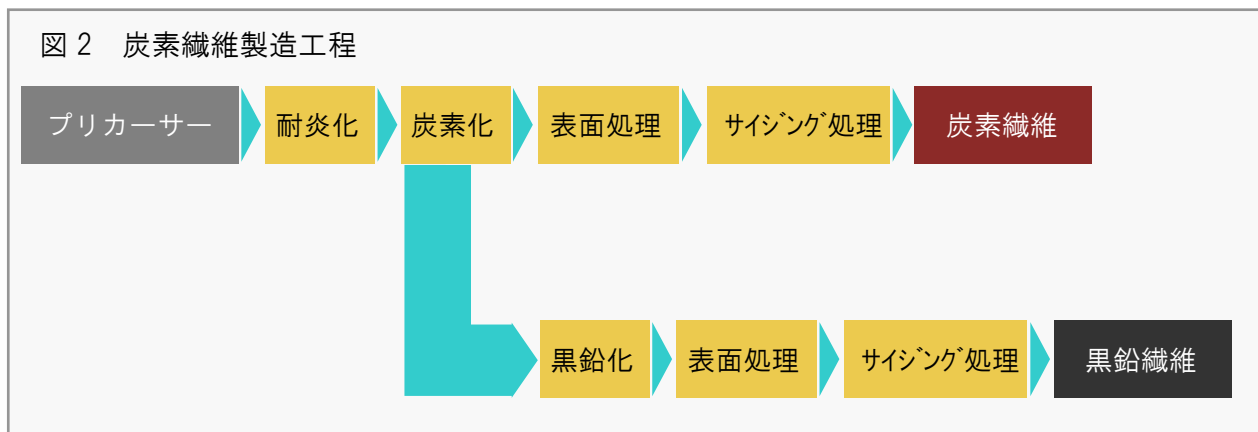


図2 炭素繊維製造工程



3). 炭素繊維強化プラスチック (CFRP)

炭素繊維は繊維として単独で使われることはほとんどなく、基本的にはマトリックス樹脂と組み合わせて強化プラスチック(CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics)として使われる。マトリックス樹脂として最も多く用いられるのはエポキシ樹脂であるが、その他の熱硬化性樹脂、或いは熱可塑性樹脂とも組み合わせることができる。熱可塑性樹脂を用いた場合、熱硬化性樹脂と区別する意味で CFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics) と呼ぶことがある。

成形方法はハンドレイアップの他、フィラメントワインド、インジェクション、プレス及び RTM など多岐にわたるが、どの方法を採用するのかは最終製品の形状、性能及びコスト等で決まる。

2. PAN 系炭素繊維の需要動向

順調に拡大してきた PAN 炭素繊維の需要は、米国発の金融危機の影響で 2008 年秋から大幅に縮小したものの、2010 年から急速に回復、2011 年から再び成長に転じ、2012 年は約 4 万トンにまで拡大すると予想される。図 3 に今後の用途別炭素繊維需要予測を示す。この需要予測では、11 年から 15 年までの 3 用途の市場成長率は、それぞれ航空機用途が 14%、スポーツ・レジャー用途が 4%、産業用途が 20%超であり、各用途で順調な拡大が期待できる。中でも風力発電などエネルギー関連分野が注目される産業用途で大きな成長が見込まれる。

更に、自動車用途ではドイツ BMW 社が 2013 年後半に発売予定の量産型電気自動車「i3」シリーズに専用設計によるフルカーボン製のモノコックを採用する予定であるほか、自動車各社の動向が注目される。

図3 炭素繊維の用途別需要予測（東邦テナックス推定。単位：トン/年）

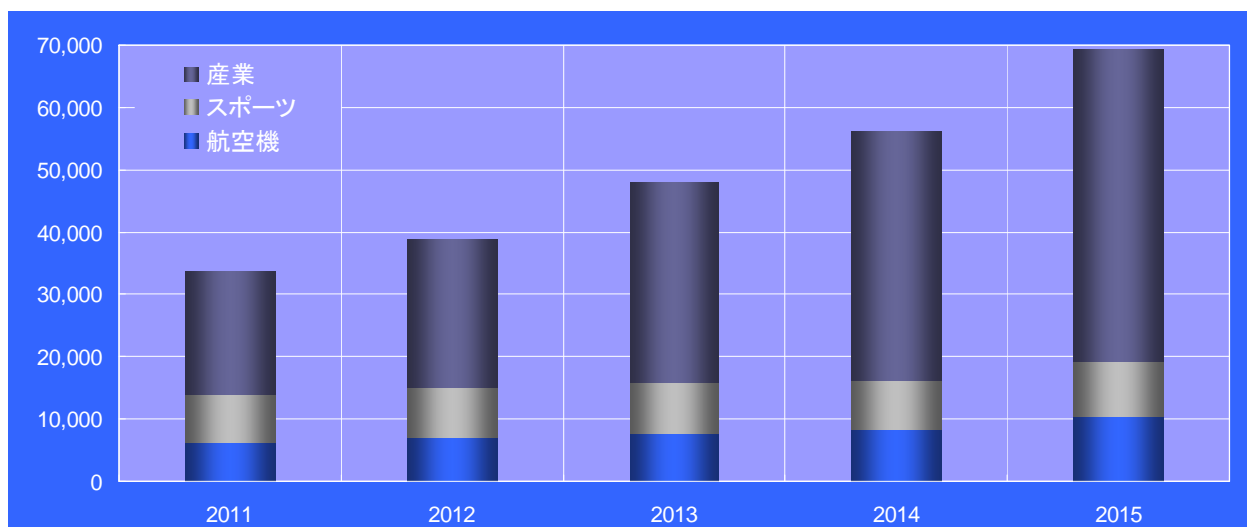


表1 (参考) 産業用途における炭素繊維の使用例

分野	対象	使用箇所 (例)
産業	自動車	プロペラシャフト、レーシングカー、CNG/CHG タンク、スポイラー
		ボンネットフード、ボディパネル、アクセサリ類
	自動二輪車	レース用カウル、マフラーカバー、フレーム
	車両・コンテナ	鉄道車体、座席
	機械部品	ロボットアーム、板ばね、軸受、ギア、カム、ベアリングリテーナー
	高速回転体	遠心分離器ローター、ウラン濃縮筒、フライホイール、工業用ローラー、シャフト
	電子電機部品	パラボラアンテナ、音響スピーカー、VTR部品、DVD/CD装置部品、ICキャリアー
	風力発電	ブレード
	圧力容器	油圧シリンダー、ポンプ
	海底油田掘削	ライザー、テザー、パイプ類
	化学装置	攪拌翼、パイプ、タンク、グレーチング
	医療機器	天板、カセット、X線グリッド、手術用部品、車椅子、人工骨
	土木建築	ケーブル、コンクリート補強材
	OA・事務機	プリンターの軸受、カム、ハウジング
	精密機器	カメラ部品、プラント部品
耐食機器	ポンプ部品、プラント部品	
その他	樹脂型、洋傘、ヘルメット、面状発熱体、眼鏡フレーム	

## 3. PAN系炭素繊維メーカー各社の増設計画

PAN系炭素繊維各社の公称生産能力を表2に示す。需要回復にともない、各社中断していた増設を再開、また、中国、韓国、トルコ、インドなど新興国メーカーの新規参入などにより、2012末時点での公称生産能力は、レギュラートウ約7万トン、ラージトウ約2万トンの合計約9万トンと推定される。

各社とも今後の需要拡大に対応するべく、更なる生産能力の拡大を計画しており、また、新興国メーカーの積極的な事業拡大、更にはロシア、中東などからの新規参入により、生産拠点多様化、競争の激化が予想される。歴史的な円高も重なり、厳しさをます環境の中、日本メーカーの有する高い国際競争力を維持、強化するためには、一層の品質向上とコスト低減、技術開発の加速が必要であろう。

表2 PAN系炭素繊維メーカー各社の生産能力推移（東邦テナックス推定。単位：トン/年）

		2011	2012
レギュラートウ	東邦テナックス G	13,900	13,900
	東レ G	17,600	18,600
	三菱レイヨン G	7,400	7,400
	Hexcel	6,200	7,200
	Cytec	2,300	2,300
	台湾プラスチック	7,450	7,450
	AKSA（トルコ）	1,800	3,500
	Kemrock（インド）	400	400
	韓国メーカー	0	1,500
	中国メーカー	8,150	8,150
	計	65,200	70,400
ラージトウ	東レ	300	300
	三菱レイヨン	2,700	2,700
	SGL	7,000	9,000
	Zoltek	8,250	8,250
	計	18,250	20,250
合計		83,450	90,650

## 4. PAN系炭素繊維の用途別動向

航空機用途、産業用途、スポーツ・レジャー用途の主要動向について、いくつかご紹介する。

## 1). 航空機用途

世界の民間航空機需要は金融危機の影響で2008年以降低迷していたが、新興国の旺盛な需要に支えられ、金融危機前の水準に戻りつつある。エアバス社は2011年の受注機数が過去最高の1,419機となり、ボーイング社も前年比75%増となる805機を受注。2011年末時点での受注残はエアバス社で4,437機、ボーイング社で3,771

機にも及び、両社とも、製造機数の段階的な引き上げを計画している。加えて、エアバス A380 に続き、CFRP を多用するボーイング B787 の生産本格化により、航空機用途における炭素繊維需要は旺盛な状況が当面継続すると見込まれる。更に、エアバス社が開発中の A350XWB に加え、ボンバルディア社、COMAC 社（中国）などが、CFRP を使用した新型機の開発を進めており、炭素繊維にとって、航空機用途が将来にわたり有望な市場であることは間違いない。

## 2). 産業用途

炭素繊維需要の最も大きな成長が期待できる用途であり、既述のようにその用途は多岐に渡る。以下、主要ないくつかの用途について動向を紹介する。

### a. 風力発電

WWEA (The World Wind Energy Association) の報告によると、2011 年上半期の世界における新規の風力発電導入量は 18.4GW となり 2010 年の同時期に比べ、15%以上の伸びとなったようである。中でも、中国の導入量が 8GW と全体の 43% を占め、市場の成長を牽引している。2011 年通年では、世界の新規導入量が 43.9GW となり、2011 年末時点の全世界風力発電量は、240GW に達する見込みである。これは、全世界の電気需要の 3%に相当する。

更には、福島第 1 原子力発電所の事故の影響で世界的な原子力政策の見直しの動きが広がり、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーへの依存が今後一層高まることが予想される。例えばドイツ政府は広範なエネルギー転換を目指す関連法案を閣議決定し、2022 年までの国内原子力発電所の全廃止、完全な脱原子力化を図る方針が合意されている。このため、再生可能エネルギー比率を現在の 17%から 2020 年に 35%にまで引き上げる計画で、洋上風力発電の建設を推進する予定である。このように、風力発電は「温暖化ガス削減」、「脱原子力化」など時代の要求に合致する再生可能エネルギーとして、今後も大きく成長することが期待される。

一方で、風力発電の洋上化、発電効率や採算性の向上のため、風車の大型化が進んでおり、更なる軽量化、高剛性化の要求に応えるため、炭素繊維の需要が更に拡大することが期待される。

### b. 自動車

自動車は、最も多くの「温暖化ガス」を排出している分野の一つである。このため、世界各国では厳しい規制を設けて自動車の排ガス規制を行っている。特に欧州では、2015 年までに域内で販売される新車の走行距離 1km 当りの CO<sub>2</sub> 排出量を平均で 120g 以下に抑えるという規制の導入が 2012 年から始まる。2012 年は各メーカーが販売する 65%の新車を対象に目標達成が求められ、2015 年には全ての新車を対象にして、目標値の達成が求められる。規制値を達成できなかったメーカーには、課徴金が課されるという非常に厳しい規制である。欧州はさらに高い CO<sub>2</sub> 削減を目指しており、2020 年までに CO<sub>2</sub> 排出量を 95g/km 以下に抑えるとしている。この厳しい規制に対応するため、欧州自動車メーカー各社は、環境対応車開発の中心を電気自動車、ハイブリッド車などに移し開発を加速している。これらの燃費改善には車体の軽量化が欠かせず、自動車メーカー各社は炭素繊維メーカーと共同し、車体などへ炭素繊維採用の検討を加速している。日本の炭素繊維メーカー三社も、欧米の大手自動車メーカーとの取り組みを強化、推進している。

- 帝人（東邦テナックス）

アメリカ GM と量産車向けに共同で熱可塑性炭素繊維複合材料 (CFRTP) の製品開発を行う契約を締結。

- 東レ  
ドイツのダイムラーと東レが開発した炭素繊維複合材料 (CFRP) の革新的成形技術「ハイサイクル RTM 成形技術」を活用した CFRP 製自動車部品を製造・販売する合弁会社設立に関する契約を締結。
- 三菱レイヨン  
ドイツの炭素繊維メーカーと合弁会社を設立し、ドイツ BMW の電気自動車用にプリカーサーを供給。

自動車用途への本格的進出には、コスト、供給量、リサイクルなど解決しなければならない課題は残っているが、炭素繊維の採用は拡大すると期待される。

c. コンパウンド

自動車や家電、電子機器の開発と共に、その部品の原料としてプラスチックの高機能化が進められ、炭素繊維の使用量も増加している。高機能化により、これまで代替不可能だった多くの金属部品が、プラスチック部品に置き換えられるようになり、需要は益々拡大すると考えられる。

d. 圧力容器

石油への依存度低減、温暖化ガス削減への意識の高まり、「シェールガス」の生産量急増による天然ガスの低価格化などに伴い、CNG 用圧力容器の需要が拡大しており、安全性向上と軽量化を実現するべく、炭素繊維製タンクの需要も拡大している。その他、天然ガスの輸送用タンク、燃料電池車用 CHG タンク、消防士などが使用する SCBA タンク(呼吸器用タンク：Self-Contained Breathing Apparatus)にも炭素繊維製のタンクが使われており、この市場も順調に需要は拡大すると思われる。

e. その他

液晶テレビなどに使われる液晶基板（パネル）の大型化に伴い、その搬送装置も大型化し、高弾性率を活かした炭素繊維製のハンドが使われている。

老朽化した橋は世界に数多く存在しているが、架け替えには莫大な投資が必要となる。そこで、投資金額を抑えることができ、かつ施工性に優れていることから炭素繊維シート補強が注目されている。

これら炭素繊維の機械的特性を活かした用途のほか、疲労特性、化学的・熱的安定性、電磁波シールド性・X 線透過性を活かした用途もその裾野が確実に拡大している。

3). スポーツ・レジャー用途

炭素繊維市場の成長を長年支え、また、その厳しい要求、“高強度化、高弾性化、広幅化、高度な加工性”が今日の炭素繊維を育成したとも言える。欧州債務危機の影響により 2011 年後半より、需要は調整局面に入っているが、従来からの主用途、ゴルフ、ラケット、釣竿は今後も堅調に成長すると予想される。また、アジアを中心とする新興国のアッパーミドル層の拡大、比較的新しい用途である、自転車フレームなどが成長を大きく牽引する可能性もある。自転車フレームへの炭素繊維の採用は、軽量・高剛性かつ、優れた衝撃吸収性を併せ持つフレームの実現が可能となり、路面の不快感な微振動を吸収し、乗り心地がよく疲れにくいなど、炭素繊維の効用を体感できる用途の一つである。

## 5. 中国における PAN 系炭素繊維の動向

世界の PAN 系炭素繊維市場は、日系 3 社（東レ、三菱レイヨン、東邦テナックス）がおよそ 70% のシェアを有し、高い国際競争力を有する素材の一つである。しかし、炭素繊維への世界的な注目度が高まるにつれ、新興国メーカーが相次いで炭素繊維市場に参入してきており、世界規模での競争激化が予想される。特に、中国は政府の支援のもと炭素繊維の技術開発に重点的に取り組んでおり、ここ数年で急速にその技術レベルを向上させたものと見られる。以下に、中国における動向を紹介する。

### 1). 第 11 次五カ年計画（2006 年～2010 年）

炭素繊維、アラミド繊維、超高分子量ポリエチレン繊維などハイテク繊維の産業化を目指し、炭素繊維関連では以下の目標が掲げられた。

- プリカーサー、耐炎化繊維、炭素繊維、プリプレグおよび複合材料など川上～川下の産業チェーン全体の研究開発を促進
- 汎用タイプ（当社 HTS グレードに相当）で 3,000 トン/年、高強度タイプ（当社 UTS グレードに相当）で 500 トン/年規模の産業化

昨年 9 月に開催された第 17 回中国国際化繊会議（中国化学繊維工業協会主催）では“第 11 次五カ年計画の目標は、基本的に全て達成。例えば、汎用タイプの品質は日増しに安定、生産能力も順調に拡大、高強度タイプは T700 クラスの性能レベルを突破し、産業チェーン全体のレベルアップを達成、既に工業化大生産段階に入る”と報告されている。

### 2). 第 12 次五カ年計画（2011 年～2015 年）

基本的には第 11 次五カ年計画を踏襲しつつ、内容を更に高度に発展させる計画。炭素繊維関連では具体的には以下の方針が掲げられている。

- 高強度タイプ炭素繊維の商業化
- 炭素繊維生産能力を 2015 年までに 20,000 トン/年へ拡大
- 川下分野（複合材料）での応用
- 革新的な炭素繊維製造技術の開発

### 3). 中国炭素繊維メーカーの動向

当社の推定では、官・民合計 40 社以上が参入を表明し、計画のみのプロジェクトを含めると、2011 年時点での生産能力は 25,000 トンを超える。しかし、実際に商業生産に成功したメーカーはごく少数であり、今後、淘汰が進む可能性があると考えられる。2011 年の実生産量は、2,000～3,000 トン/年規模と推定され、生産能力との乖離は大きい。

## 6. まとめと今後の課題

環境問題への意識の高まりを背景に、PAN 系炭素繊維の「軽く」て「強い」特長は、「省エネ・省力化」、「温暖化ガス削減」など時代の要求に合致し、需要は今後さらに拡大するであろう。一方、中国をはじめとする新興国メーカーの追い上げへの対応が急務となっている。我々日系炭素繊維メーカーがこれまで蓄積してきた高い技術力をともに切磋琢磨し、更には、顧客や研究機関との共同研究を通じ、更に高めて国際競争力を強化することが必要である。今後とも、関係者各位のご協力ご指導をお願いしたい。

以上