

素子材料工学特論
第8講義

軽量化と炭素繊維 (炭素繊維複合材料)

尹聖昊

九州大学先導物質化学研究所

軽量化の背景

- 材料やエネルギーの効率的利用はあらゆる産業において重要な課題である。
- 自動車産業においても、1970年代のオイルショックやその後の資源問題、環境意識の高まりにより環境負荷低減が絶え間なく要求され、日米欧を中心に燃費向上やCO₂排出量の抑制に関する高いハードルが設定されている。燃費にはエンジン性能や転がり抵抗などが関わるが、中でも車体重量は燃費支配要因の40%程度を占め、車体軽量化の意義は大きい。一般に100kgの軽量化は燃料消費を8%以上低減し、燃費を約1km/r向上させるといわれ、「軽量化」は今や自動車各社共通の重要な取り組み課題の一つとなっている。
- 軽量化には樹脂、アルミニウム合金、マグネシウム合金などの軽量化素材の採用や、部品の小型化や中空化、ハイツ材の活用などさまざまなアプローチが取られてきたが、技術開発により従来以上に軽量化が図れるようになった生産性向上とコストダウンへの取り組みにより、いよいよ量産車への採用段階を迎えようとしている炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に注目する。

自動車軽量化動向

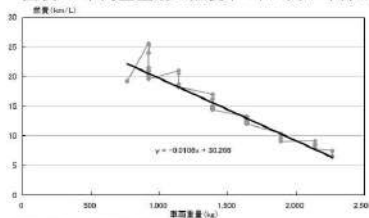
1991～2001 年度における運輸部門のエネルギー消費の伸びのうち約90%が家用自動車によるものであった。よって、自動車のエネルギー消費を抑える、つまり燃費向上が最も重要なテーマとなった。ガソリン車については2010 年、ディーゼル車（乗用車と車両重量2.5 トン以下の貨物車）については2005 年を期限とする燃費目標を掲げ、その目標の達成を目指してきた。尚、車両重量と燃費の関係は図表2 の通りで、解り易く単純な線形近似式にすると車両重量が100kg 減少すれば約1km/l燃費が改善する。

図表1. 2010 年度車両重量別の燃費目標

車両重量 (kg)	燃費目標 (km/l)	95年比改善率 (%)
～ 702	21.2	11.4
703 ～ 827	18.8	12.1
828 ～ 1,015	17.9	14.0
1,016 ～ 1,265	16.0	23.8
1,266 ～ 1,515	13.0	30.3
1,516 ～ 1,765	10.5	24.0
1,766 ～ 2,015	8.9	20.0
2,016 ～ 2,265	7.8	17.6
2,266 ～	6.4	12.4
平均	15.3	22.8

資料) 国土交通省
1,016kg～1,515kg 標準的な自動車

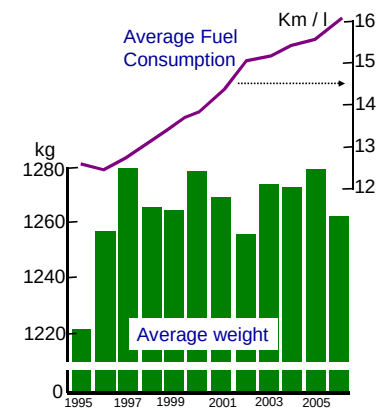
図表2. 車両重量別の燃費(ハイブリッド車除く)



(資料) 国土交通省資料よりグラフ作成

Average Fuel Consumption vs.

Average Weight of Automobiles



燃費基準

図表1. 各国・地域の燃費基準



注：欧州のCO₂排出は2,300g-CO₂/ガソリン1ℓとして換算
出所：政府公表資料等より三井物産戦略研究所作成

軽量化に適した素材

図表3は自動車1台における原材料の構成比の推移である。原単位総重量の推移を見れば、1997年～2001年の間だけでも約15%程度重量が増加している。しかし、原材料毎の構成を見てみると、普通鋼鋼材は2001年で54.8%と、まだ半分以上を占めているもののシェアは年々低下傾向にあり、使用量は減少している。一方で、着々と増加傾向にある素材がアルミニウムと樹脂である。今後の自動車の軽量化は、構成材料の中で最も比重が大きく、かつ自動車の大部分を構成する鋼板の高張力化（普通鋼板よりも薄く強度の高い高級鋼板）による減量の寄与による部分も大きい。リサイクル性等まで考慮すればアルミニウム化と樹脂化によってもたらされる可能性が高い。一般にアルミニウムと樹脂でボディを造ることで、鋼板製ボディよりも約40%程度軽量化できると言われている。

単位：%

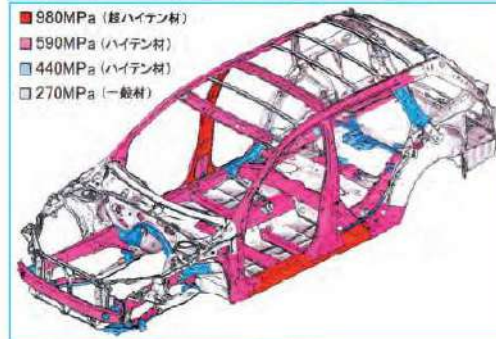
図表3. 普通・小型乗用車における原材料構成比推移

材料	1973年	1977年	1980年	1985年	1988年	1992年	1997年	2001年
鉄鋼	3.1	3.2	2.2	2.2	1.1	1.1	1.1	1.5
普通鋼鋼材	28.1	27.8	32.0	29.4	29.0	22.5	13.3	12.5
高張力鋼板	0.5	1.4	4.1	7.3	6.4	3.9	3.0	2.7
難溶合金鋼材	3.8	5.1	5.5	9.4	10.5	14.8	12.3	14.8
その他高張力鋼材	1.0	0.6	1.5	2.2	2.2	2.5	8.7	5.7
小計	60.0	61.8	60.3	59.5	57.7	54.9	52.1	54.5
特殊鋼鋼材	7.9	6.8	6.1	6.0	6.1	6.0	5.8	5.8
合金鋼鋼材	5.8	4.6	3.8	3.8	3.4	3.5	3.7	4.3
ステンレス鋼・耐熱鋼鋼材	0.4	0.8	0.8	0.9	1.0	1.4	1.5	1.7
小計	17.5	16.1	14.7	14.3	15.0	15.3	16.0	16.7
非鉄金属	2.8	2.4	2.5	3.3	3.9	4.3	6.0	7.5
小計	5.0	4.7	5.6	5.6	6.1	7.4	9.6	7.8
樹脂・ゴム	0.0	1.1	1.4	1.7	1.7	1.8	3.1	4.1
プラスチック樹脂	0.5	0.5	0.8	1.2	2.0	2.4	2.5	4.0
熱硬化性樹脂	-	-	-	0.2	0.7	0.9	1.1	1.3
小計	2.0	3.5	4.7	3.7	7.3	7.3	7.5	8.2
その他	2.1	1.0	1.6	0.1	1.4	1.5	1.7	1.4
ゴム	4.8	4.0	3.7	3.5	3.0	2.7	3.1	3.0
ガラス	2.8	2.7	3.1	3.2	3.5	3.8	2.9	2.5
小計	11.1	10.0	11.2	10.7	10.2	10.4	10.2	10.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
重量増減率（重量比）	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

資料：日本自動車工業会「自動車生産用原材料構成比調査」より抜粋

自動車構造と要求強度

図表2. 鋼材使用例（新型レガシィの場合）



出所：富士重工業 2010年CSRレポート

アルミと樹脂

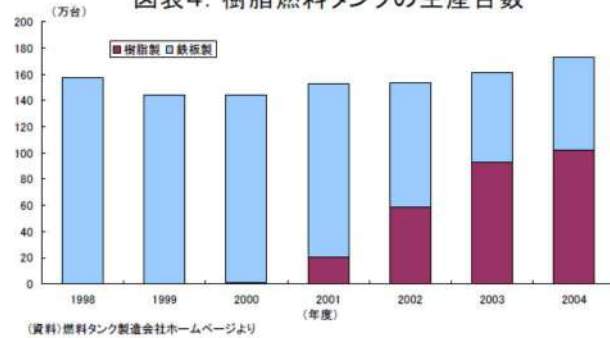
①アルミニウム

アルミニウム化が進んでいる部位はラジエーター、エアコン等の熱交換器及びフードやドアといったボディ部品等である。フードやドアのアルミニウム化はスポーツ車や高級車を中心に進められてきたが、最近ではハイブリッドカーや一部の小型車へも徐々に採用されている。これらの部品でアルミニウム化が進んだ理由の一つは、鉄用の生産設備を大幅に変更せずに転用できたことである。最近では、ボディ部品だけでなくハイドロフォーミング製法（パイプの外側を金型で押さえパイプの内側に強力な水圧をかけ成形する）やその他の新技術を利用してアルミニウム製のサブフレーム（エンジンを支え、サスペンションを支持する車体骨格部品）の量産を開始した自動車部品メーカーがある。

②樹脂

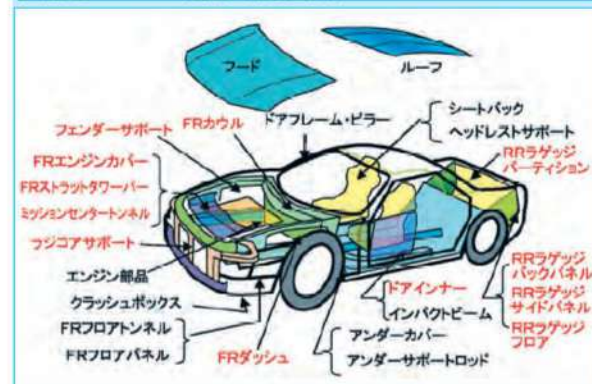
樹脂材料は前述のアルミニウムを含め金属よりも比重が小さいために軽量化の効果は大きい。樹脂化による軽量化のスピードはアルミニウムよりも早く、以前から樹脂化可能な部品は次々に樹脂化されていた。最近では北米地区の環境規制の強化から燃料タンクの樹脂化が進んでいる。図表4は燃料タンクを樹脂化している部品メーカーの樹脂タンク生産台数の推移である。5年程度の間に年間100万台以上の樹脂製燃料タンクが生産されることとなった。樹脂化することで鉄製品と比較し、10～25%の軽量化が可能である。また、生産工程が簡略化されることや複雑な形状に成形可能であることから自動車設計の自由度が増し、原価低減の達成と製品の差別化、高付加価値化というメリットを同時にもたらした。また、鉄製タンクは表面処理が施してあることからリサイクルに不向きであったが、樹脂製のものはリサイクル可能であり環境面にも優しいことから樹脂タンクの採用は加速度的に進むと見ている。

図表4. 樹脂燃料タンクの生産台数



炭素繊維強化プラスチック(CFRP)

図表3. CFRP使用可能箇所



注：赤字は熱可塑性樹脂、黒字は熱硬化性樹脂
出所：炭素繊維協会HP

CFRPとはカーボンファイバーで強化したプラスチック

カーボンファイバーは5～10ミクロンの太さです。CFRPはその繊維を合成樹脂（一般的に日本の古い家屋に見られる土壁）。

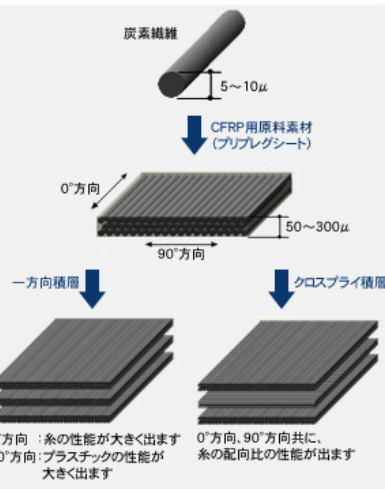
カーボンファイバーにはPAN系とピッチ系と質でも多くの種類があります。製品の性能要求を満たすために適したカーボン系とピッチ系を組み合わせる。

一般的なCFRP成形では、材料としてエポキシ樹脂（0.1mmから0.3mm程度）を使います。プリミットしたUD材と、タテヨコにファイバーを織り交ぜたクロスプライ。

成形品はUD材と同じ方向に積層して成形した場合では、成形品の性能が大きく変わります。カーボンファイバーにも多くの品種があります。

系の品種・方向性で大きく性能の異なることが規格品が流通しづらい要因とな

一般的には製品の要求性能により積層設計として、お客様の要求に見合う力学的特性が多くあり、合理的・経済的と考えています。



Advanced Materials Composites Homepage

炭素繊維とは?

炭素繊維はほとんど炭素だけでできている繊維といえます。衣料の原料などでお馴染みのアクリル樹脂や石油、石炭からとれるピッチ等の有機物を繊維化して、その後、特殊な熱処理工程を経て作られる「微細な黒鉛結晶構造をもつ繊維状の炭素質物質」です。

現在工業生産されている炭素繊維には、原料別の分類としてPAN系、ピッチ系およびレーヨン系があります。生産量および使用量が最も大きいのはPAN系炭素繊維です。日本の炭素繊維商業生産は1970年代初期からPAN系とピッチ系（等方性）で本格的にスタートし、1980年代後期から異方性ピッチ系炭素繊維が加わり、国内メーカーが技術改良・事業拡大を図ってきた結果、現在では日本の炭素繊維生産は品質、生産量共に世界の実績を誇るに至っています。

炭素繊維は単独で使用されることはまれで、通常は樹脂・セラミックス・金属などを母材とする複合材料の強化および機能性付与材料として利用されます。その優れた機械的性能（高比強度、高比弾性率）と、炭素質であることから得られる特徴（低密度、低熱膨張率、耐熱性、化学的安定性、自己潤滑性など）を併せ持つため、様々な用途に幅広く使われています。

炭素繊維断面写真 (SEM×1,900～20,000倍) (一般)



1957年頃	米・バーネビー・チェニ社、ナショナル・カーボン社が炭素繊維を試作しています。
1961年	大阪工業技術試験所 進藤昭男博士が炭素繊維を発表。これがPAN系高性能炭素繊維の始まりです。
1967年	英・ロールス・ロイス社がジェットエンジンにCFRPを採用と発表しました。 東レにおいてもアクリル繊維「トレロン」からの炭素繊維の研究をおこなってきました。
1970年頃	米・ユニオン・カーバイド社と炭素繊維の技術交換。 大阪工業技術試験所 進藤博士特許の実施許諾取得。
1971年	PAN系高強度炭素繊維トレカ®系T300の製造・販売を開始。生産能力12トン／年。当時最大の能力。米国ではユニオン・カーバイド社がThornel300として販売。
1972年	炭素繊維の釣竿に採用
1973年	ゴルフシャフトに採用
1976年	原油価格の高騰対策として米国で省エネ航空機開発計画がスタート。T300が採用。
1977年	炭素繊維メーカーの業界組織として炭素繊維懇話会を設立。
1978年	米・ユニオン・カーバイド社に炭素繊維製造技術を輸出。
1979年	東京天文台の電波望遠鏡にT300が採用。
1981年	トレカ®系の累積生産量1,000トン達成。
1982年	・T300を部品に用いたボーイング757、767、及びエアバスA310が初飛行。 T300を貨物室扉に用いたスペースシャトル・コロンビア号打ち上げ。 フランスに炭素繊維製造のための合併事業SOFICAR社を設立ボーイング757
1985年	累積生産量5,000トン達成 SOFICAR社でT300の生産を開始
1986年	引っぱり強さ7000MPaの炭素繊維トレカ®系T1000を開発
1988年	累積生産量10,000トン達成。 炭素繊維懇話会が発展し炭素繊維協会に改称。
1990年	・ボーイング社の民間旅客機777用に高強度中間弾性率T800Hと高性エポキシ樹脂3900-2を組み合わせたトレカ®プリプレグP2302-19が認定。ボーイング777
1992年	777用などのプリプレグ製造のため米国に東レ・コンポジット・アメリカ社を設立。
1994年	累積生産量20,000トン達成 トラックの総重量規制緩和に伴い、土木補修・補強用途に採用拡大。

炭素繊維の種類と特徴

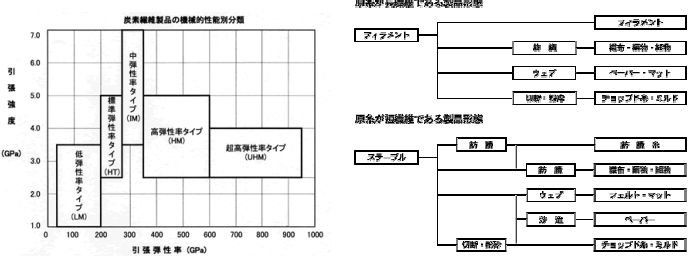
炭素繊維は、その優れた特性から、様々な用途に広く利用されています。また、原料、製法およびそれらの諸条件により異なった特性の炭素繊維製品が得られます。製品の種類と主な特徴は次のとおりです。

PAN系炭素繊維

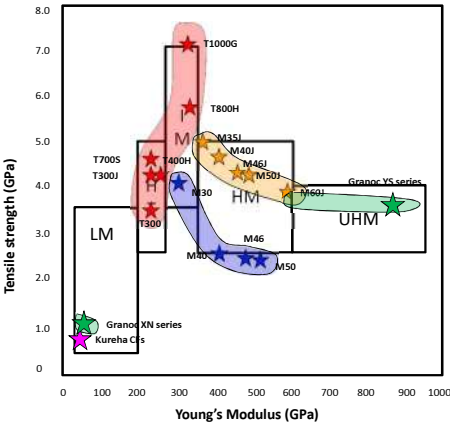
PANプリカーサー（ポリアクリロニトリル繊維）を炭素化して得られるもので、高強度・高弾性率の性質をもつ。航空宇宙や産業分野の構造材料向け、スポーツ・レジャー分野など広範囲な用途に使われている。

ビッチ系炭素繊維

ビッチプリカーサー（コールタールまたは石油重質分を原料として得られるビッチ繊維）を炭素化して得られるもので、製法の諸条件で、低弾性率から超高弾性率・高強度の広範囲の性質が得られる。超高弾性率品は、高剛性用途のほか、優れた熱伝導率や導電性を生かしてさまざまな用途に使われている。



Classification of Carbon Fiber



- Ultra High Modulus Type (UHM)
Young's Modulus > 600GPa
Tensile Strength > 2500MPa
- High Modulus Type (HM)
Young's Modulus : 350~600GPa
Tensile Strength > 2500MPa
- Medium Modulus Type (IM)
Young's Modulus : 280~350GPa
Tensile Strength > 3500MPa
- Standard Modulus Type (HT)
Young's Modulus : 200~280GPa
Tensile Strength > 2500MPa
- Low Modulus Type (LM)
Young's Modulus < 200GPa
Tensile Strength < 3500MPa

製品種類	製品の仕様	主な用途
フィラメント	多数の単繊維から構成される長繊維束。撚り有り、撚りなし、撚り戻しの種類あり。	CFRP、CFRTPまたはC/コンポジットを補強する材料で、航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
トウ	極めて多数のフィラメントから構成される長繊維束で撚りのないもの	同上
スチーブルヤーン	スチーブル紡績より得られる糸	断熱材、撓動材、C/コンポジット基材
クロス	フィラメント、スチーブルヤーンにより構成される織布	CFRP、CFRTPまたはC/コンポジットを補強する材料で、航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
ブレード	フィラメント、トウにより構成される編組	樹脂補強用強化材。チューブ状成形製品基材として適する。
チョップド系	サイジング剤で集束された長繊維状原糸、またはノンサイジングの短繊維状原糸を切断した短繊維束。	樹脂、セメントなどの機械的性能、撓動性、導電性、耐熱性の改良向け、C/コンポジット基材
ミルド	原糸を粉砕した粉末状のもの	樹脂、ゴムなどの機械的性能、撓動性、導電性、耐熱性の改良向け
フェルト・マット	短繊維状原糸をカーディングなどを行い、積層・ノードランチ加工、または有機質バインダーでマット化したもの	断熱材、成形断熱材基材、耐熱保護材、耐蝕フィルター基材
ペーパー	短繊維状原糸を湿式、または乾式抄紙したもの	帯電シート、電極、スピーカーコーン、面状発熱体
プリプレグ	炭素繊維に熱硬化性樹脂を含浸させた半硬化状態のシート状成形用中間材料。成形品の品質が安定しており、積層作業の自動化に適している	軽量化、高性能化を必要とする航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
コンパウンド	熱可塑性、熱硬化性樹脂に各種配合剤と短繊維を加えて混和したのち、混練して得られる成形用中間材料。	導電性、剛性、軽量化の利点を生かした電子機器の筐体、その他の部品



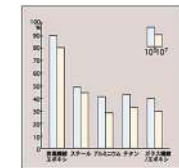
機械的特性

「軽くて、強く、腐食しない」21世紀型の先端機能材料と云われている炭素繊維は、軽くて、優れた機械的な性質（高比強度、高比弾性率など）と炭素質からくる優れた特性（導電性、耐熱性、低熱膨張率、化学安定性、自己潤滑性及び高熱伝導性など）を併せもつため、いろいろな用途に幅広く使われています。

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、銅やガラス繊維強化プラスチック（GFRP）と比べて比強度及び比弾性率（比剛性）で優れており「軽くて強い」優れた機械的な特性をもつています。

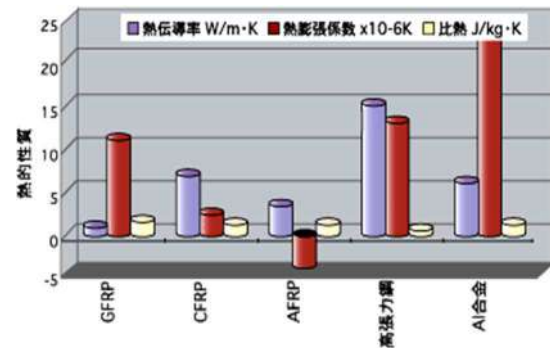


また、疲労強度の保持率は、他の構造材料と比べても優れた特性ももっています。



寸法安定性と耐熱性

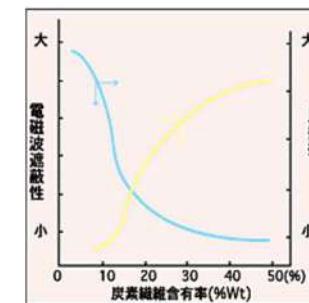
炭素繊維は、熱膨張係数が小さく寸法安定性に優れており、高温下でも機械的特性の低下が少ない繊維です。



GFRP: ガラス繊維強化プラスチック
CFRP: 炭素繊維強化プラスチック
AFRP: アラミド繊維強化プラスチック

電気・電子的特性

電気伝導性（体積固有抵抗値）も良く、また、電磁遮蔽特性も優れているので、電磁波遮蔽分野でも使われています。軽くて強く（高剛性）、またX線透過性が良いため、より鮮明な画像が得られますので医療機器部品にも使われています



製造プロセス



図1 炭素繊維の製造プロセスと炭素質と黒鉛質繊維の諸性質

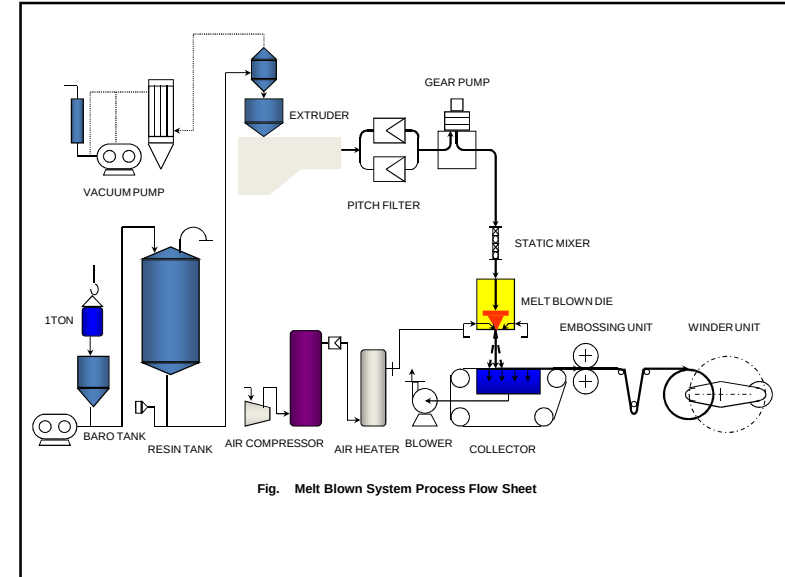
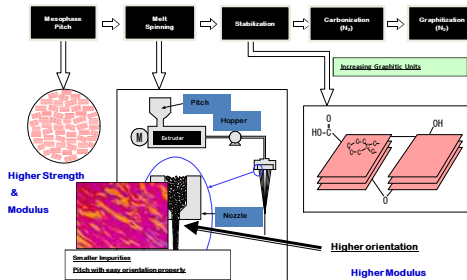


Fig. Melt Blown System Process Flow Sheet

製品種類 製品の仕様 主な用途

- **フィラメント**
多数の単繊維から構成される長繊維束。撓り有り、撓りなし、撓り戻しの種類あり。CFRP、CFRTPまたはC/Cコンポジットを補強する材料で、航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
- **トウ**
極めて多数のフィラメントから構成される長繊維束で撓りのないもの 同上
- **ステープルヤーン**
紡績より得られる糸 断熱材、摺動材、C/Cコンポジット基材
- **クロスフィラメント、ステープル**
ヤーンにより構成される織布 CFRP、CFRTPまたはC/Cコンポジットを補強する材料で、航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
- **ブレードフィラメント**
トウにより構成される繊維 樹脂補強強化材。チューブ状成形品基材として適する。チョップド系サイジング剤で集束された長繊維状原糸、またはノンサイジングの短繊維状原糸を切断した短繊維束。樹脂、セメントなどの機械的性能、摺動性、導電性、耐熱性の改良向け、C/Cコンポジット基材
- **ミルド**
原糸を粉砕した粉末状のもの 樹脂、ゴムなどの機械的性能、摺動性、導電性、耐熱性の改良向け
- **フェルト・マット**
短繊維状原糸をカーディングなどを行い、積層・ニードルパンチ加工、または有機質バインダーでマット化したもの 断熱材、成形断熱材基材、耐熱保護材、耐熱フィルター基材
- **ペーパー**
短繊維状原糸を湿式、または乾式抄紙したもの 帯電シート、電極、スピーカーコーン、面状発熱体
- **プリプレグ**
炭素繊維に熱硬化性樹脂を含浸させた半硬化状態のシート状成形用中間材料。成形品の品質が安定しており、積層作業の自動化に適している 軽量化、高性能化を必要とする航空宇宙用途、スポーツ用途、産業用途
- **コンパウンド**
熱可塑性、熱硬化性樹脂に各種配合剤と短繊維を加えて混和したもの、混練して得られる成形用中間材料。導電性、剛性、軽量化の利点を生かした電子機器の筐体、その他の部品

PAN系炭素繊維の需要動向

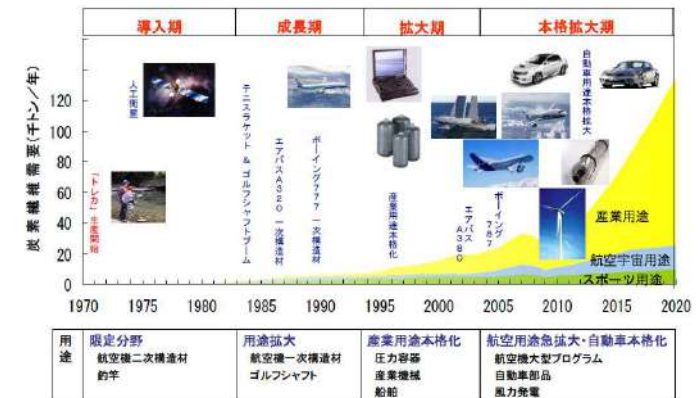
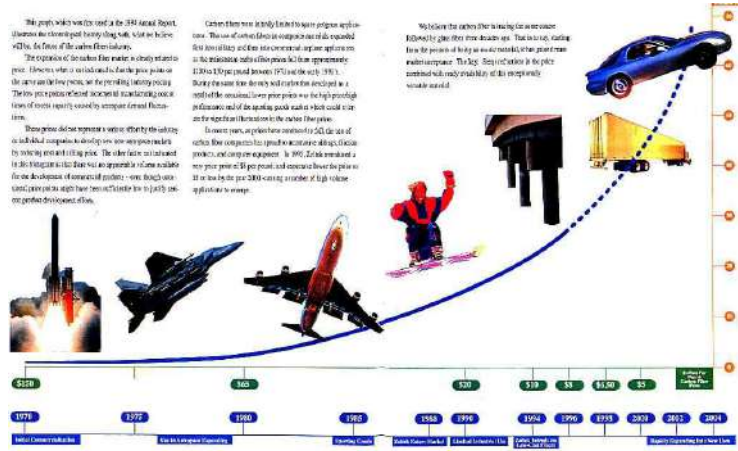


図1 炭素繊維の需要動向

Development of Carbon Fiber, Production vs. Price



25

炭素繊維需要の見通し

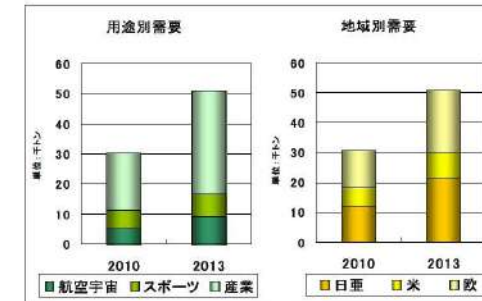


図2 今後の炭素繊維需要見通し (用途別・地域別)

PAN系炭素繊維メーカー製造能力の推移

表1 PAN系炭素繊維メーカー製造能力の推移 (東レ推定)

(単位: トン/年)

		2010	2012(推定)
レギュラー	東レG	東レ	7,000
		Soficar(仏)	5,200
		OFA(米)	5,400
		小計	17,600
	東邦G	東邦テクノクス	6,400
		TTE(独)	5,100
		TTA(米)	2,400
		小計	13,900
	三菱レイヨンG	三菱レイヨン	5,400
		Grafil(米)	2,000
		小計	7,400
	HEXCEL	4,200	7,200
ラージ	Cytec	1,900	3,400
	台湾プラスチック	4,300	6,900
	中国メーカー	4,300	12,200
	ケムロック(インド)	200	200
	AKSA	1,500	1,500
	計	55,300	71,300
トウ	三菱レイヨン		2,700
	Zoltek	10,500	11,500
	SGL	4,000	4,000
	東レ	300	300
	計	14,800	18,500
	総計	70,100	89,800

(注) 削減系能力除く。

航空・宇宙用途

リーマンショック以降、ジェット旅客機の需要が減退し、サプライチェーンの在庫調整により低迷したが、2010年後半には底を打ち、再び拡大局面に入った。旺盛なアジア地域の需要拡大を背景に、既存旅客機の生産計画が上方修正される一方、エアバスA380に続き、ボーイング787といった炭素繊維複合材料を本格採用した大型プログラムが立ちあがる中、エアバスA350XWBを筆頭とした新型機の開発も進められており、今後とも航空機用途向け本格的需要拡大が見込まれる。

燃費向上を目的とした機体軽量化ニーズの高まりが、炭素繊維複合材料採用拡大の主な背景であるが、一方で、炭素繊維が航空機に初めて採用されてから30年近くの実績を積んだことで、品質、コスト、安定供給面で、航空機向け素材として地位を確立した側面も見逃せない。

ボーイング787については、構造重量の約50%が複合材料であり、炭素繊維使用量は1機当たり約35トンと推定される。この一次構造材料には東レ製の中弾性率CF使いプリプレグ(T800S/3900-2B)が選定され、三菱重工業、富士重工業、川崎重工等日本企業が、主翼、中央翼、胴体中央部など構造部材の生産を担当し、分担比率はプログラム全体の35%となっている。

A350XWBは、エアバスが2013年納入を目指し開発する270～350席のジェット旅客機で、主翼・胴体・尾翼に複合材料を採用、構造重量に占める割合は53%に達する。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社(カナダ)、中国商用飛機(COMAC社、中国)等が、複合材料を使用した新型機を開発、参入を狙う。ボンバルディエ社が2013年就航を目指し開発するCS100/300は、主翼をRTM法により成型。COMAC社が開発を進めるC919(2016年就航予定)は、尾翼に加えて主翼の複合材料化を検討していると言われる。

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、2014年の納入開始を目指している。一次構造材として、尾翼に炭素繊維複合材料が適用され、東レがA-VaRTM法で成型を担当する予定。

ビジネスジェットなどの小型民間航空機分野では、リーマンショック以降回復に手間取っているものの、ホンダが昨年12月に胴体に複合材料を採用した小型ジェット機ホンダジェット(7～8人乗り、2012年就航予定)の初飛行を成功させている。

その他、航空機エンジン分野においては、CFM(GE/Safran合併)社Leap4Xとプラット&ホイットニー社PW1000G等新型エンジンの開発が進んでおり、燃費効率改善のため、複合材料の使用拡大が期待される。

スポーツ用途

- ・スポーツ用途向けCF 需要は、2009年の急激な落ち込みを経て2010年に急回復し、今後、3大用途であるゴルフ、釣竿、ラケットを中心として堅調に推移すると見込まれる。また、中長期的には中国沿岸部を中心とするアジア富裕層向け需要拡大や、自転車・ホッケースティックなど新規用途の拡大による更なる成長が期待されている。
- ・スポーツ用途の生産拠点は、既に中国を中心とするアジア地区に集中しており、今後もスポーツ用CF 需要は中国を中心に拡大してゆくことが見込まれる。また、主要用途であるゴルフ・釣竿用途では、高機能志向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。

産業用途

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(フレート)
	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(ICトレイ、OA機器部品)

産業用途

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、先行している米国に続いて欧州・中国を中心としたアジアでの伸びが期待される。また、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圧水素ガス容器(CHG)の開発も進められている。

B. 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年率30%以上の成長を続けている。世界不況の影響でここ2年ほど伸び悩んだ欧米に対し、中国では年率100%の大きな伸びを見せている。現状では全世界の発電容量は約20万メガワットであり、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物が増えており、欧州中心に約7千トン／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、洋上風力発電設備が計画されており、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。

C. 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、将来は千トン以上の炭素繊維需要が期待される。

産業用途

D. 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割下げる必要が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台一千万円を超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、コストリサイクル性が今後課題となると推定される。

E. 海底油田

海底油田用途は、プラットフォームを係留するテザーや原油を汲み上げるライザーなどへの炭素繊維の適用が検討され、ブラジル、米国等で検討が進められている。この用途が実現すると、1件あたりの使用量が千トンオーダーの莫大なものになるといわれる。昨年のメキシコ湾での原油流出事故の影響もあってプログラムは若干遅れてはいるが、2015年近傍を目処に実用化が期待されている。

F. 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。

G. その他

医療機器(X線カセット、X線天板)は、CFRPのX線透過性を生かした用途として、確固たる地盤を築きつつある。また、産業用ロール(印刷機、製紙用)、ロボットアームなどは、高弾性率を生かした産業用途の代表例で今後も伸長が期待される。また、炭素繊維の需要は、パソコンの普及と共に、剛性、制電、電磁波遮蔽などの特性を生かして、ハイエンドの筐体用途としてMg合金と対抗しながら伸張している。筐体の成型法は、ナイロンなどの熱可塑性樹脂とチョップド糸からなるペレットを用いて射出成形する方法や、より品質を追求する場合は一方用プリプレグなどを使用する方法もある。

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してゆくことが予想され、年間の世界需要量は2009年の2万4,000トンが2013年には5万トン近くになると考えられる。特に、自動車用途をはじめ産業分野で飛躍的な拡大が期待されるが、環境問題や関連規制などリサイクルへの適用性が前提となるため、炭素繊維需要の拡大を確かなものにするためにはリサイクルへの取り組みが重要になる。現在は廃棄されるCF製品のほとんどが埋設処分されているが、リサイクル技術の確立、リサイクルシステムの構築によって炭素繊維を効率的にリサイクルすること自体が、環境負荷低減に寄与し、新たな市場を生み出す可能性が高い。炭素繊維協会では2000年より3年間NEDO委託研究として「リサイクルCFRP粉砕品の標準化」を行い、CFRPのリサイクルを検討し、CFRPの粉砕、分級技術開発や再生ミルドCFへの加工技術の基礎を確立した。また、2006年からの3年間は経済産業省の補助事業として「炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発」に取り組み、パイロットプラントを建設して実証運転を行い、基本技術の確立と再生CFの評価などを実施した。更に2009年からは福岡県を主体とする共同研究を通じて、リサイクルシステムの早期実用化に向けた再生CFの品質向上や事業性の検討等に継続して取り組んでいる。

(2)LCA(Life Cycle Assessment:ライフサイクルアセスメント)

最近、地球的規模での温暖化、二酸化炭素排出の問題が、大きくクローズアップされている。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。一方、ボーイング787では機体構造重量の50%にCFRPが適用される。これと同じCFRP構成比率を既存機体であるボーイング767に適用すると、機体1機あたり、機体構造の軽量化が20%、ライフサイクル全体で排出される二酸化炭素の削減量が7%となる。LCAとは、資源の採取、製品の製造・使用・リサイクル・廃棄などに関するライフサイクル全般にわたっての、総合的な環境負荷を評価する環境問題の考察手段の一つである。炭素繊維は、このLCAの観点からは、鉄鋼などの従来材対比、より環境にやさしい素材と言える。炭素繊維協会では、会内に炭素繊維メーカーから構成される「LCA分科会」を発足させ、LCA炭素繊維協会モデルを公表した。これは、航空機、自動車、風車の各用途に炭素繊維を適用することによる機体軽量化の効果、10または20年といった各製品のライフサイクル全体を通して削減が予想される二酸化炭素の量を定量的に予想したものである。LCAの考え方は、欧米諸国でも広がっており、炭素繊維のさらなる普及のために非常に重要な概念である。

航空機・自動車・風車LCA

“炭素繊維協会モデル”



炭素繊維協会

LCA: ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment)
CFRP: 炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics)

航空機LCA“炭素繊維協会モデル”

◆ 従来航空機とCFRP航空機

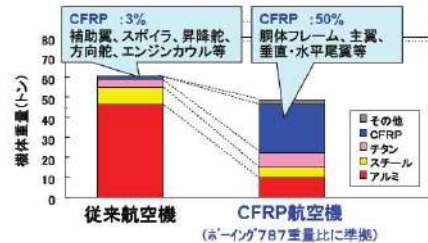


ボーイング767

CFRP化



ボーイング787と同等機体構造



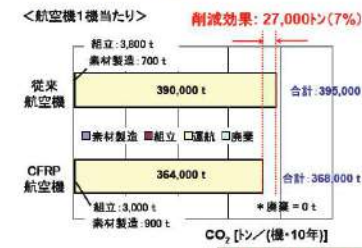
航空機の機体構造
60→48ト (▲20%)
機体総重量の9%に相当



航空機LCA“炭素繊維協会モデル”



<ライフサイクルCO₂排出量>

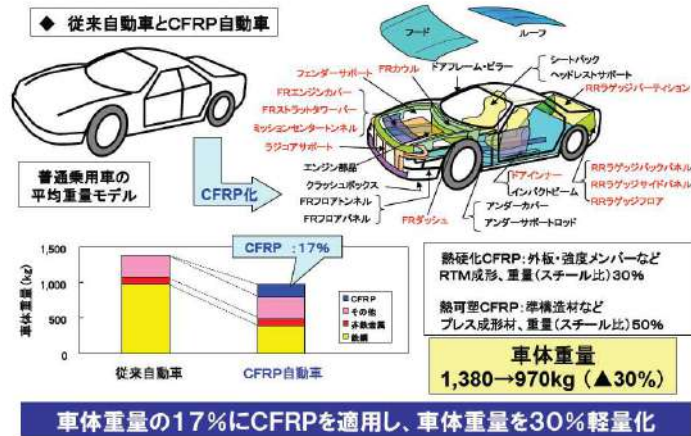


<炭素繊維1トン当たり>

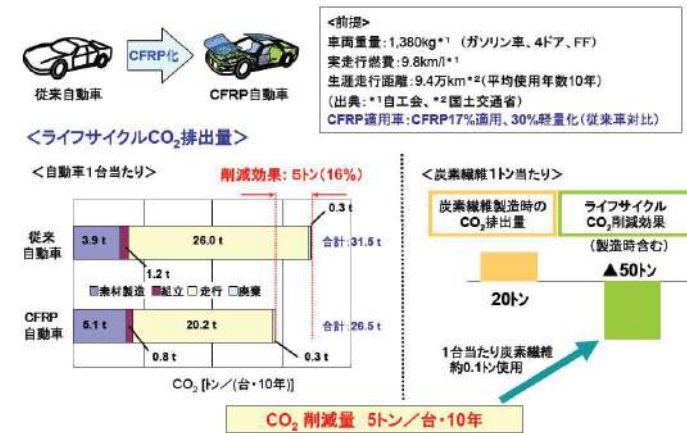


自動車LCA“炭素繊維協会モデル”

◆ 従来自動車とCFRP自動車



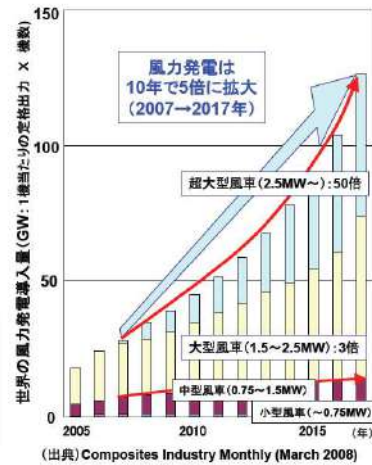
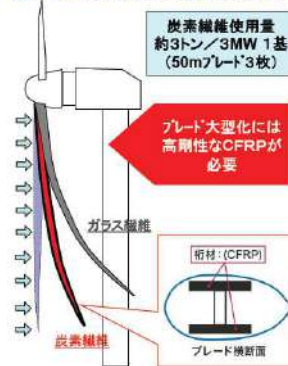
自動車LCA“炭素繊維協会モデル”



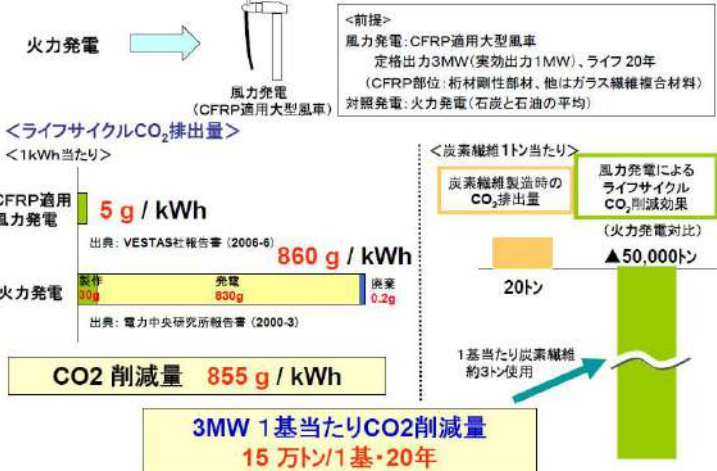
風車LCA“炭素繊維協会モデル”

CFRPを使った軽量化大型ブレード

- ①発電能力は、ブレード長さの2乗に比例
- ②CFRPの高剛性が支柱衝突防止に必要
- ③トータルコストダウンにも軽量化が必要



風車LCA“炭素繊維協会モデル”



炭素繊維の全世界使用量とCO₂削減貢献効果(2020年予想)

用途	炭素繊維 予想使用量 (千t)	炭素繊維のCO ₂ 削減貢献効果 (t-CO ₂ /t-炭素繊維)	ライフサイクル CO ₂ 削減貢献量 (千t)	備考 (比較対象)
航空機	18	1,400	25,000	アルミ製 航空機
自動車	30	50	1,500	鉄製 自動車
風車 (風力発電)	30	50,000	1,500,000	火力発電

注)炭素繊維の予想使用量は、2007年度実績の5倍(航空機)および15倍(自動車・風車)と仮定。
国内の炭素繊維使用量は、全世界使用量の5%と推定(航空機・自動車・風車)。
(本炭素繊維は炭素繊維協会会員会社による製造分)

2020年の炭素繊維使用量はあくまでも予想値であり、確約できるものではありません。