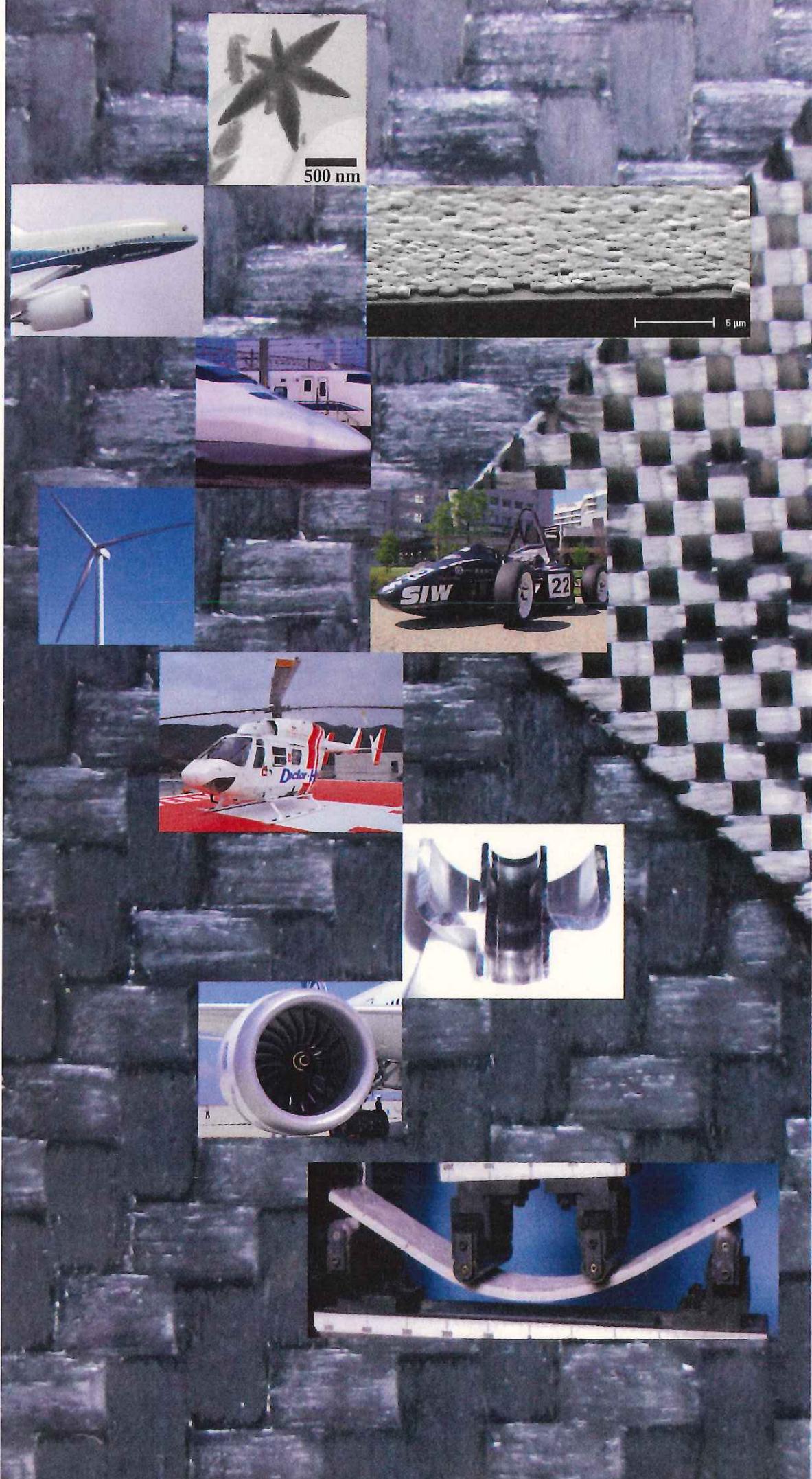


2012

複合材料研究センター（GCC）  
—複合材料の実用化拠点を目指して—



GIFU UNIVERSITY



# 岐阜大学 複合材料研究センターの取組み

岐阜大学 複合材料研究センター センター長

工学部 教授

三宅 卓志

## 1. はじめに

釣竿やゴルフシャフトのようなレジャー用品やスポーツ用品では、その優れた特性を認められ、使用されてきた炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP）ですが、2012年夏に就航したボーイング787型機で、機体の実に50%（重量）も使用され、一般にも広くその優れた特性が知られるようになるとともに、産業部品への期待が一気に高まりました。このような期待を背景に、各地でCFRPを中心とした軽量・高強度複合材料の産業応用に対する取組みが活発に行われるようになります。その取組みの中心となる研究センターや支援センターも設置されています。

当岐阜地域にも、2011年4月に関市で岐阜県の施設である「ぎふ技術革新センター」が最新機器の設置による支援を開始し、次いで2012年4月には岐阜大学に「岐阜大学複合材料研究センター（Gifu Univ. Composite Materials Center ; GCC）」が開設され、産官学が連携して地域のCFRPの産業応用を推進する体制が整いました。

発足したこの岐阜大学の「複合材料研究センター」が何を目指し、他の研究機関やセンターとどう連携し、どう差別化すればよいかを、地域の製造業の特徴および今後のCFRPをはじめとする軽量・高強度材料への期待の観点から述べたいと思います。

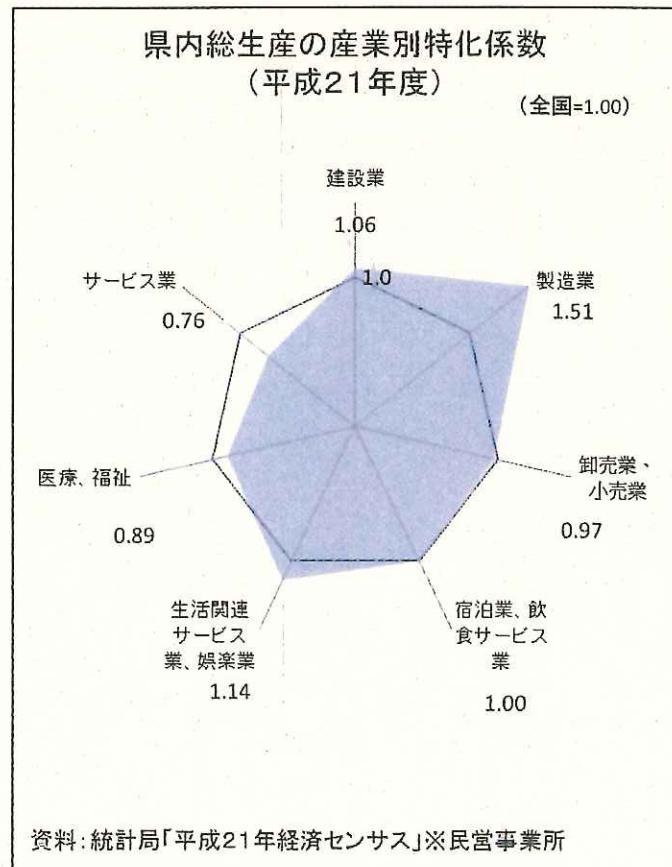
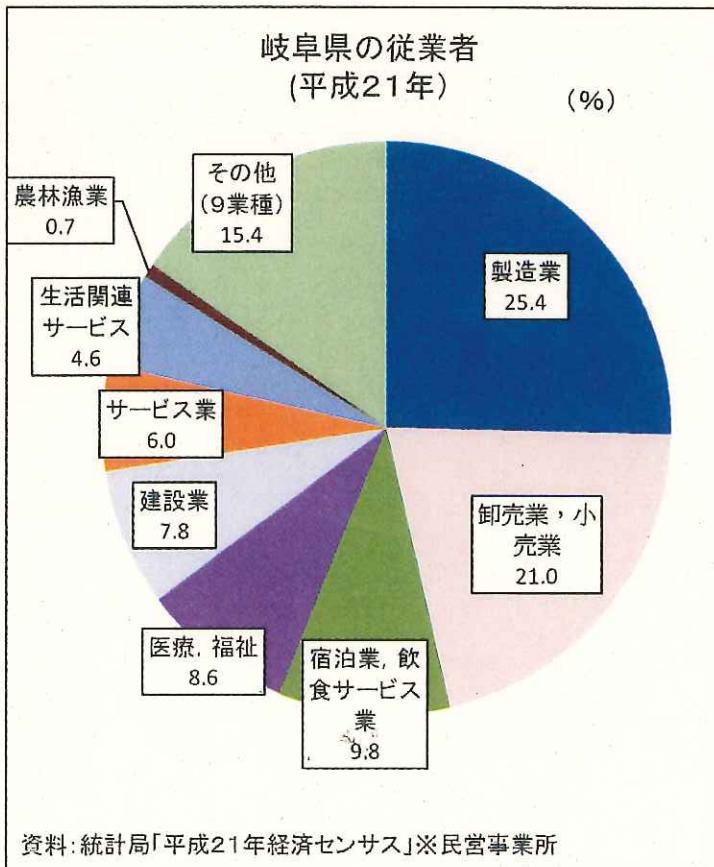


図1 岐阜県の産業別従事者と特化係数

## 2. 岐阜地域の産業の特徴

岐阜地域は製造業が盛んで、製造業の特化係数が1.51と、地域経済に占める製造業の比率が高く、また、従業員数でみても、県内で働く人の約1/4が製造業に従事している。製造業への依存が高い土地柄です（図1）。

その製造業について見てみると、地場産業と呼ばれる、陶磁器、繊維、紙、木工、金属刃物、食品、プラスチックの7つの産業が、かつて盛んでした。1960年頃には、これら7産業で工業出荷額の約7割を占めていましたが、2009年の工業統計では、輸送機器や電気機器、一般機械・精密機械の出荷額が約半分を占め、繊維・衣類の出荷額はピーク時の約1/6、陶磁器は約1/2に減少しています（図2）。一方、業種（中分類）別の特化係数（全国平均の特化係数=1）を見てみると、依然として地場産業の特化係数が1を上回り、企業数、従業員数ともに全国平均に比べ地場産業の比率が高いと言えます（図3）。

このように地域を支える重要な製造業ですが、出荷額が減少している市場に多くの企業が携わっているという産業構造と市場のミスマッチが生じていることがわかります。したがって、地域の製造業が将来にわたって継続的に発展していくためには、従来の地場産業から今後成長が見込まれる分野に転換していく必要があると考えられ、行政も、成長分野への参入を促すため「ぎふ技術革新プログラム」を策定し、様々な施策を講じています。重点的に取組む分野として「航空機・次世代自動車」、「高度医療機器」、「環境調和型製品」が挙げられています。

この地域には、航空機メーカーが立地し、また近隣県には自動車メーカーや自動車

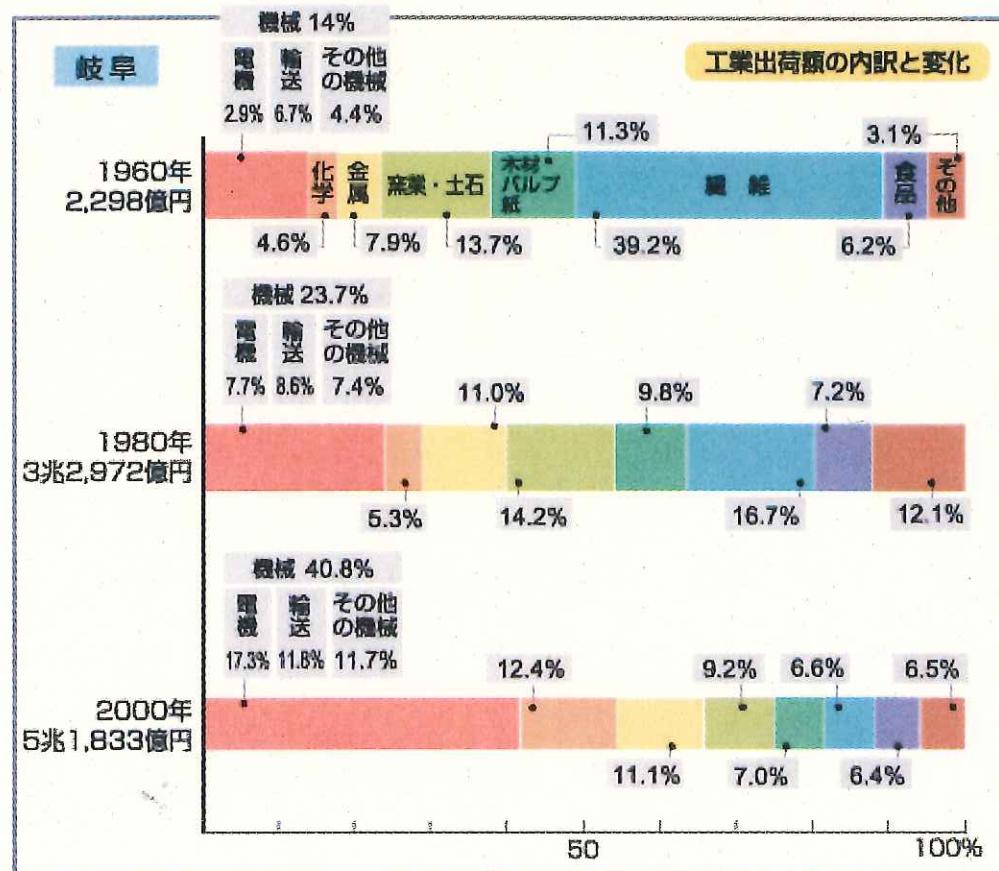


図2 岐阜県の工業出荷額

([http://gakuen.gifu-net.ed.jp/~contents/tyu\\_shyakai/gifu/industry/index.html](http://gakuen.gifu-net.ed.jp/~contents/tyu_shyakai/gifu/industry/index.html))

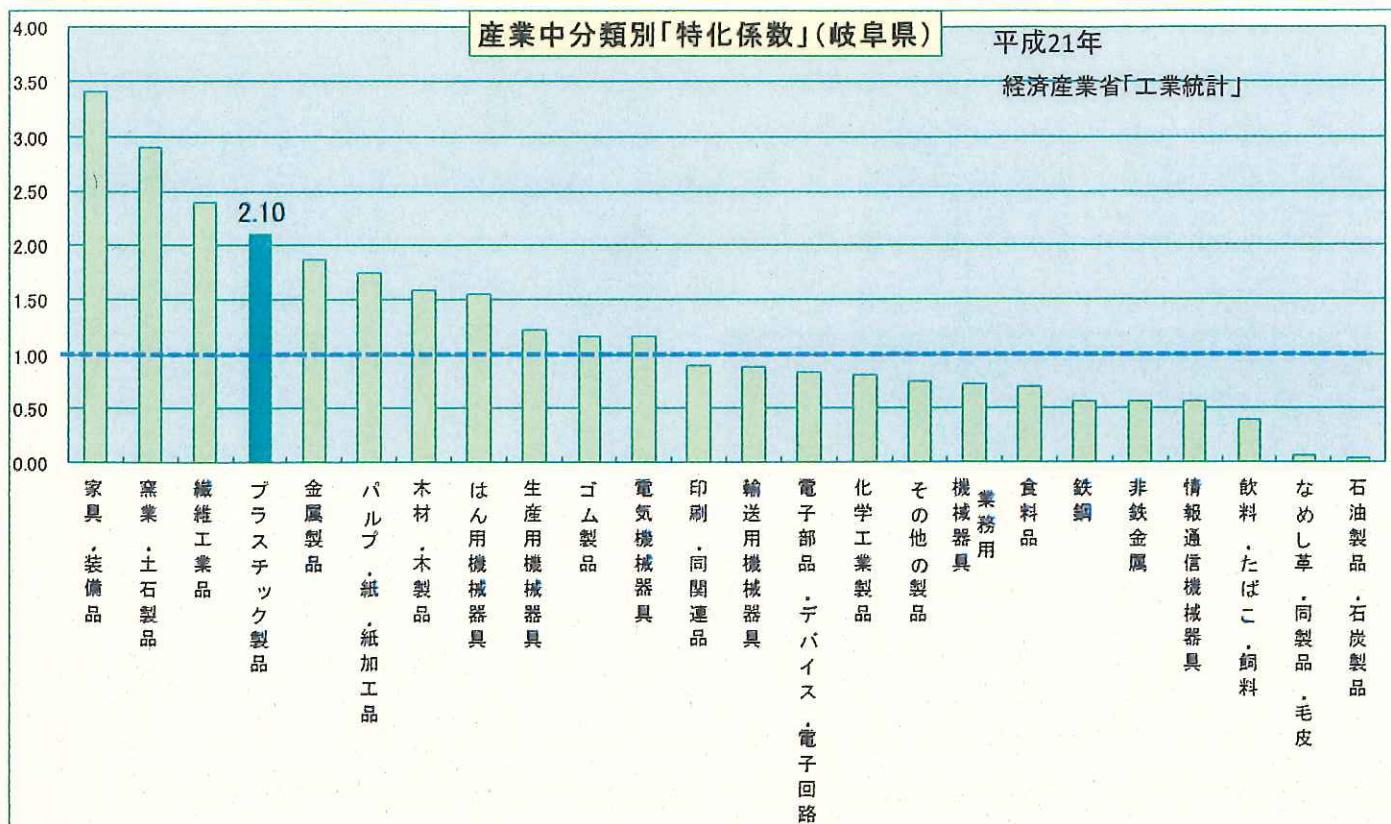


図3 岐阜県の産業の特化係数 (<http://www.gpc-gifu.or.jp/chousa/jiba/plastic.pdf>)

メーカーの主要工業、自動車部品メーカーが集積しています。このような企業集積を反映し、岐阜県には自動車に関連する下請け型の製造業が多いのが特徴となっています。また、企業規模でみると、中小企業の比率が全国的にも高く、大企業は少ないことがわかります(図4)。このような、企業規模の構成から、市場ニーズに応える最終製品開発よりも、納入先企業の要求に応えるものづくりを得意とする企業が多いのも特徴です。

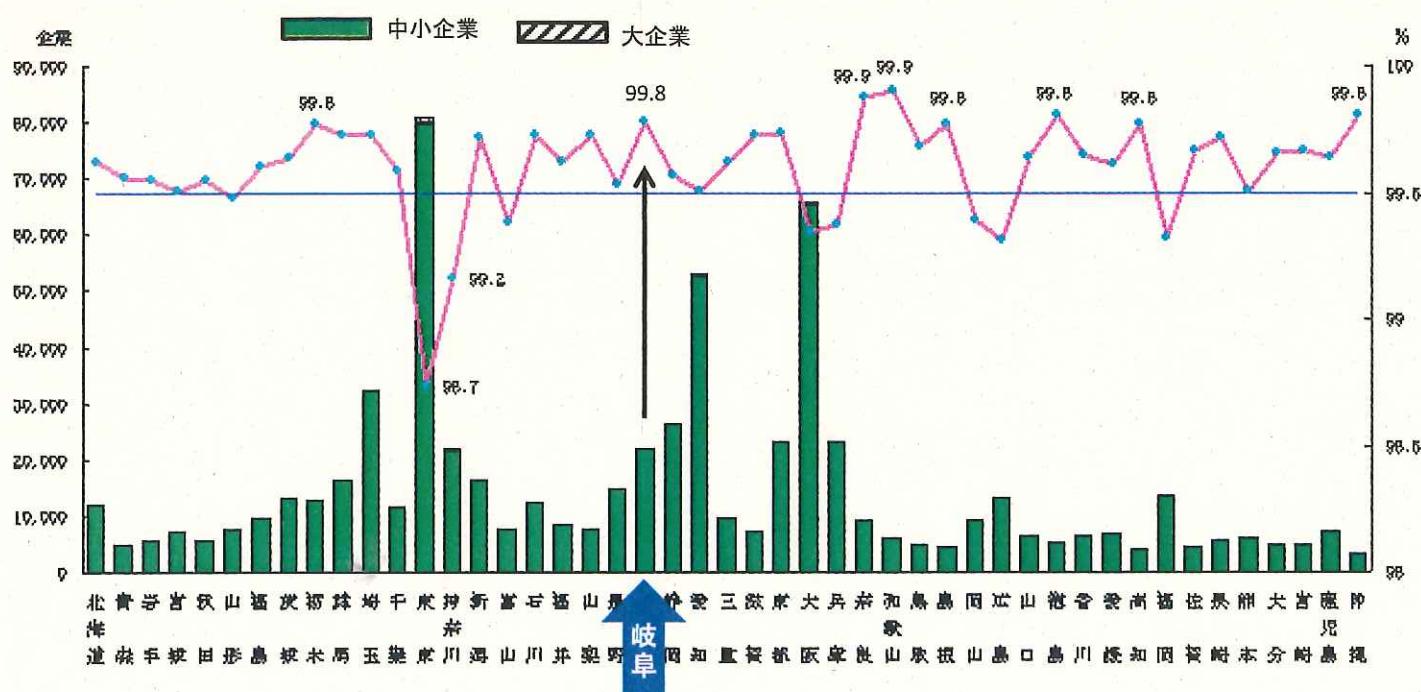


図4 県別企業数と中小企業割合 (経済産業省 工業統計)

### 3. 軽量・高強度部材への期待

以上、見てきましたように自動車あるいは電機を納入先とする下請型の中小企業が多いのが岐阜県の企業の特徴ですから、自動車における素材の今後について見てみます。

自動車に用いられている材料の比率は、図5に示すように、軽量化やデザインの自由度、生産性などの点からプラスチックがその量を増やしてきていることがわかります。また、自分の思う時に、思うところへ自由に移動したいと思うのは人間の根本的な欲求ですので、形は変われど自動車は増え続けると考えられています。図6は、今後の自動車の年間販売台数の推移を予測したものです。2020年には、年間販売台数は、現在より約2,000万台増えて9,000～10,000万台になると予想され、自動車の保有総数は現在の9億台から16億台になるとと言われています。増加する台数の大部分は、新興国におけるものですが、価格の面や先進国の最新技術の囲い込みなどから、2020年に販売される新車のうち、ガソリンや軽油を使用する、いわゆる内燃機関の従来型の自動車が、なお8割以上を占め、電気自動車やハイブリッド車は2割以下にとどまる予想されています。

これからまだ10年以上は、内燃機関の自動車が主流で、したがってこれらの大量の内燃機関の自動車が消費する燃料や、その結果排出される排ガスが大きな問題となる懸念されています。この問題への対処には、軽量化による燃費向上が有効とされていて、各国で1km走行毎のCO<sub>2</sub>排出量、すなわち燃費の年度目標が導入されています。

(図7)。軽量化による燃費向上の効果について見てみると、今まで生産された車の重量と燃費の関係を示したのが図8です。この図によれば、車種やメーカーの違い

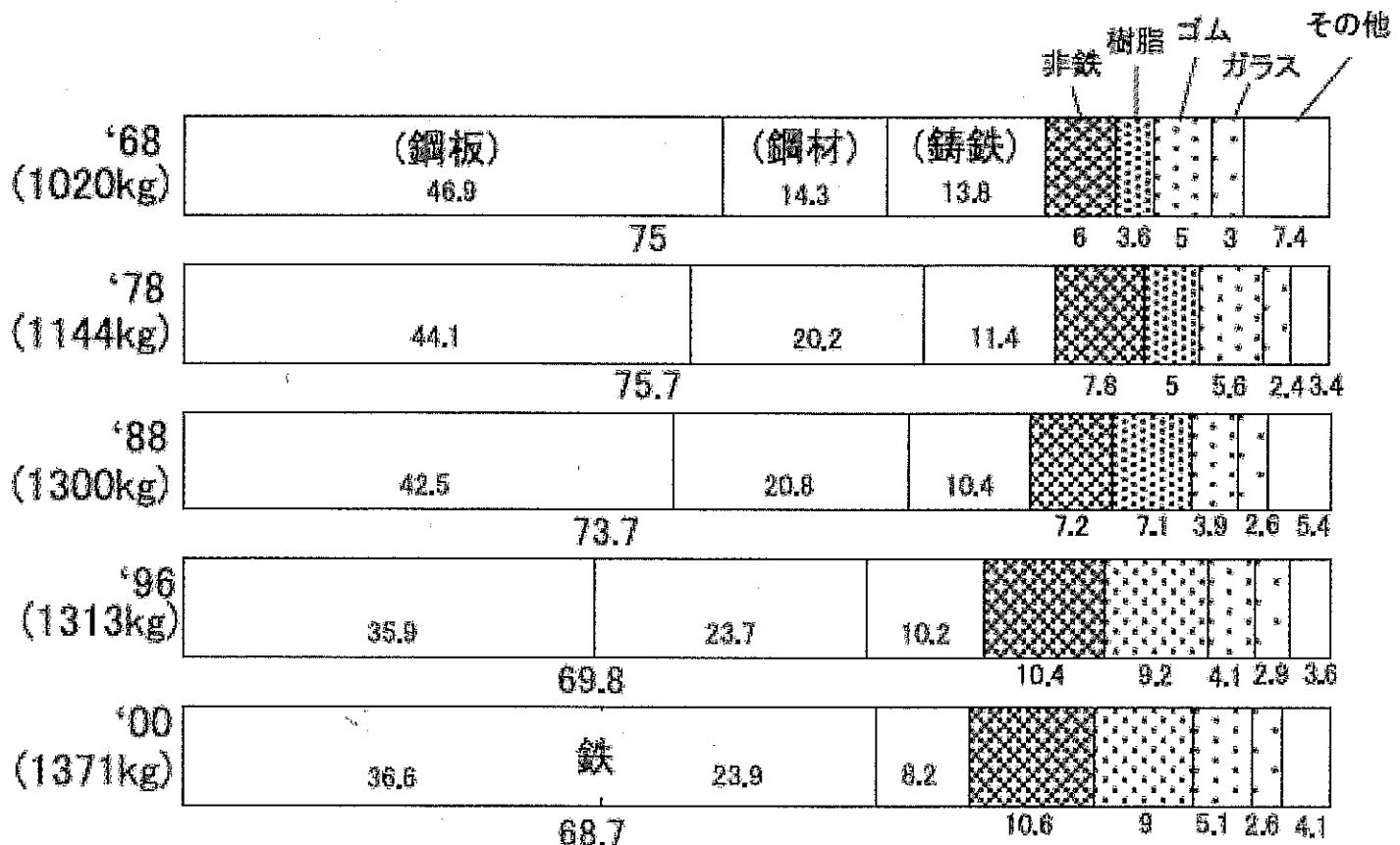


図5 自動車用材料構成比の推移 (近藤 滋 素形材2008.8)

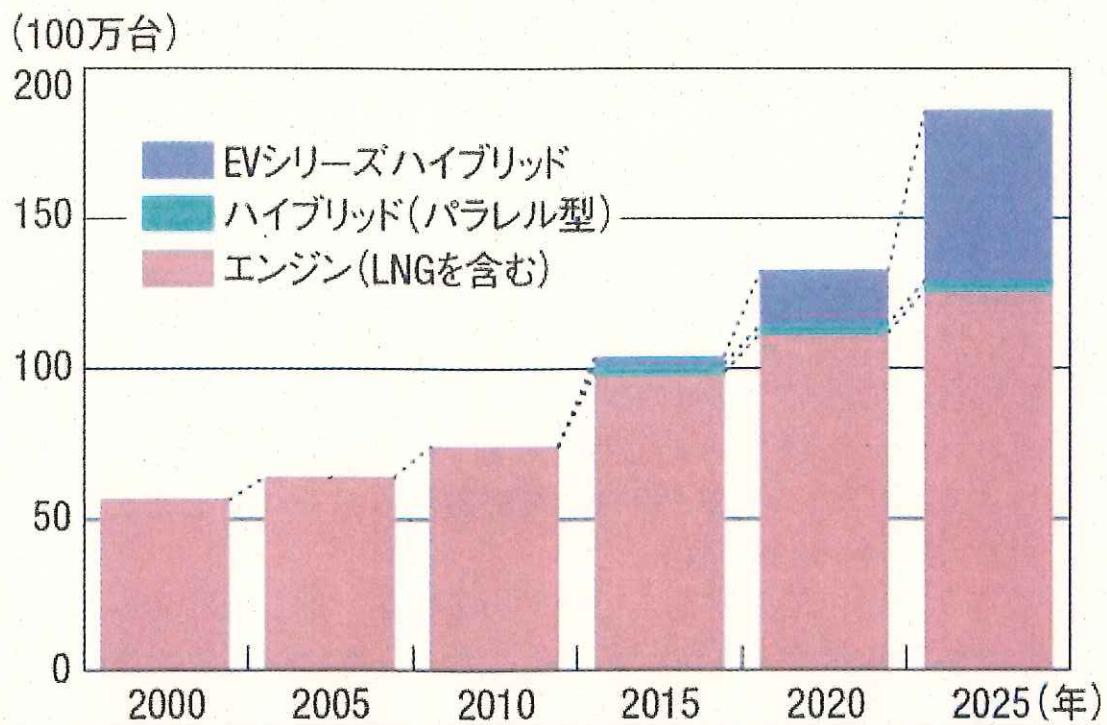


図6 自動車販売台数の予測（日経BPコンサルティングHP）

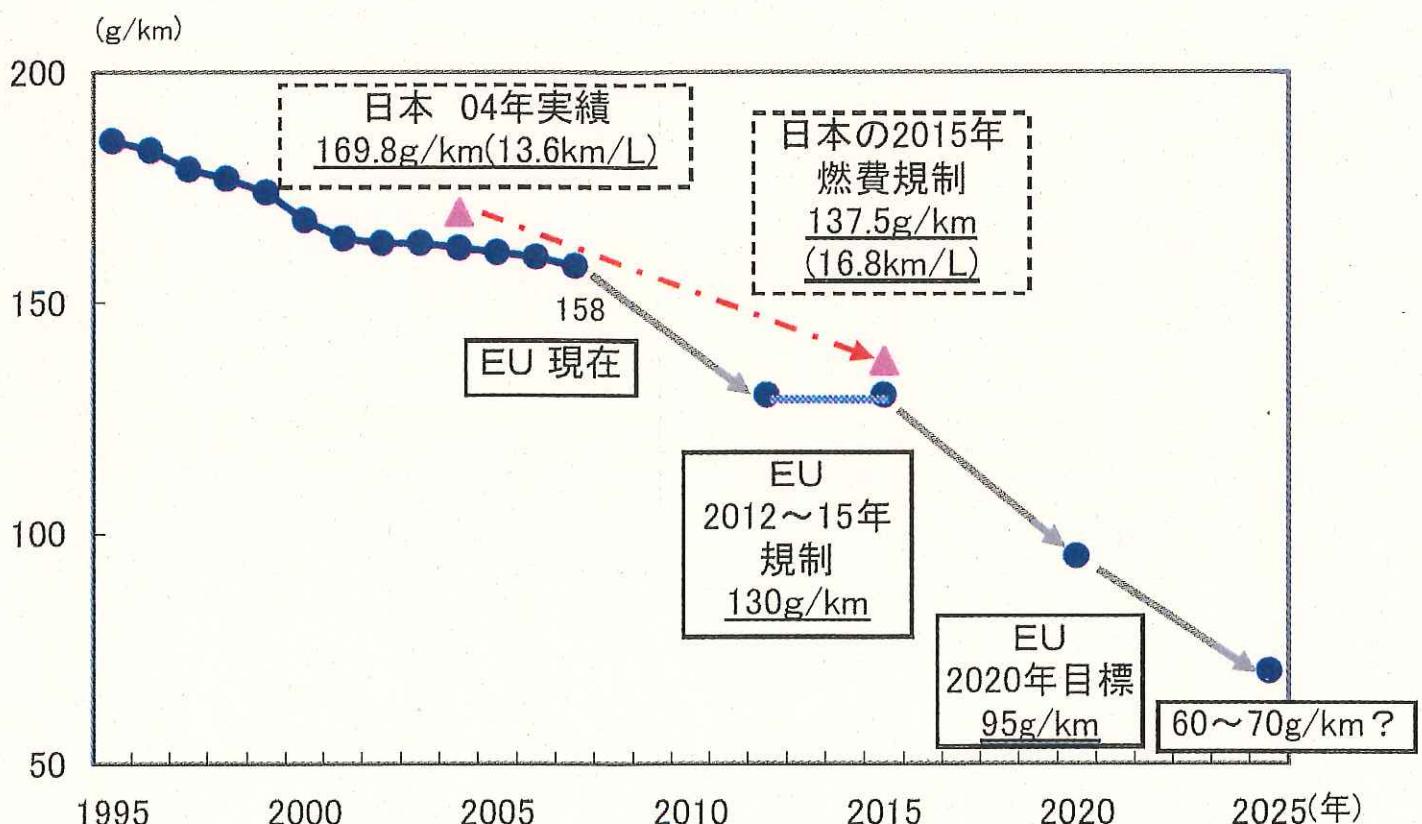


図7 CO<sub>2</sub>排出量に関する燃費規制（中国経済産業局HP）

にかかわらず、車の重量と燃費は、ほぼ同じ関係を示すことがわかります。これまでの経験則であるこの図から軽量化の効果を見積もると、100kgの軽量化により燃費は約1km/L改善されると推測できます。

このように、燃費改善には軽量化が有効なことから、各種軽量・高強度材料の採用が検討されています。特に、プラスチックを炭素繊維で強化したCFRPは、単位重量当

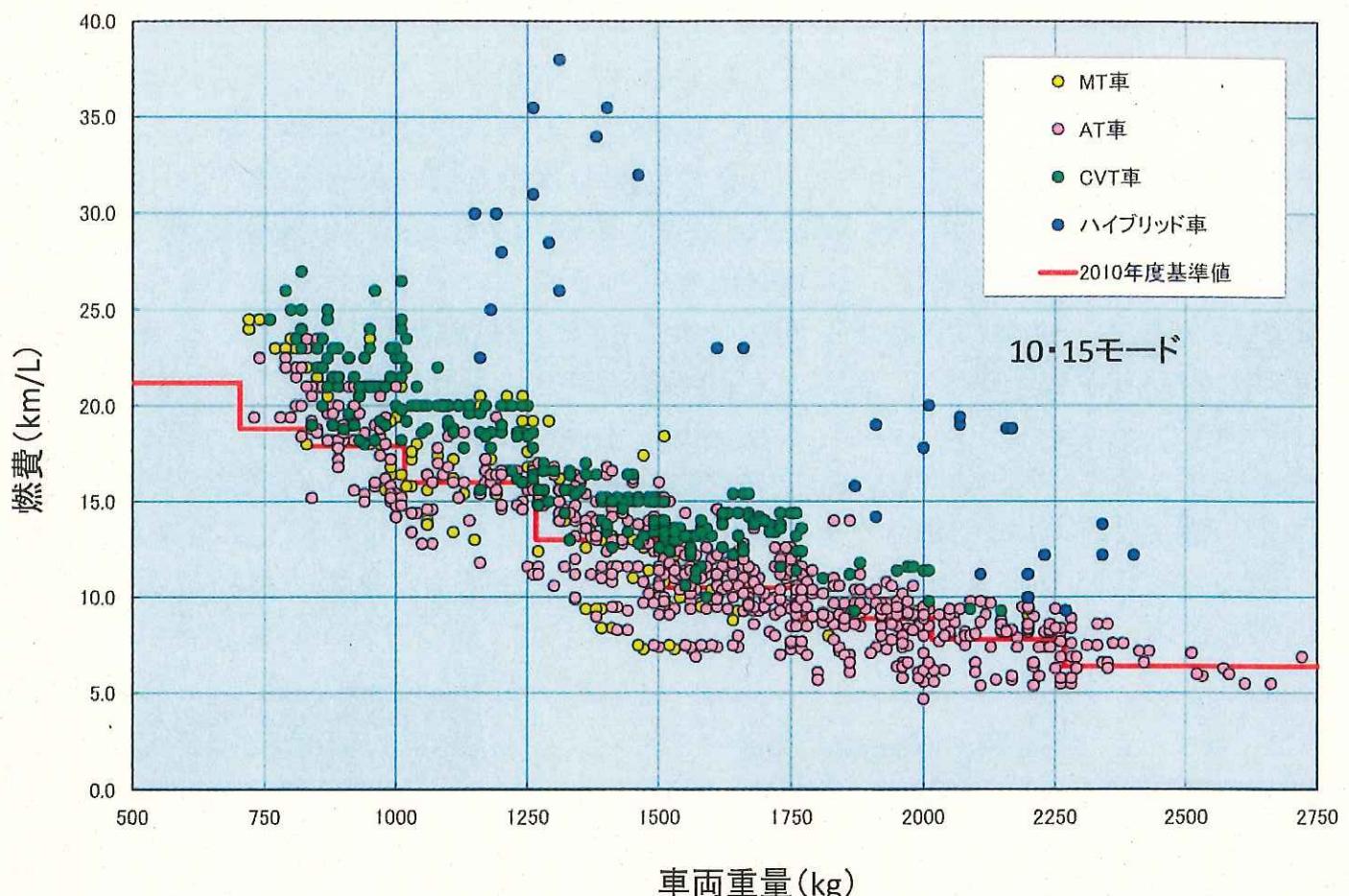


図8 ガソリン車の重量と燃費の関係 (国土交通省HP)

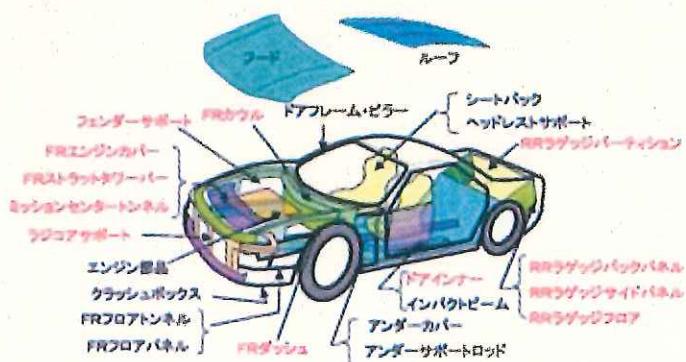


図9 CFRPの自動車の構造部材への適用  
(炭素繊維協会HP)

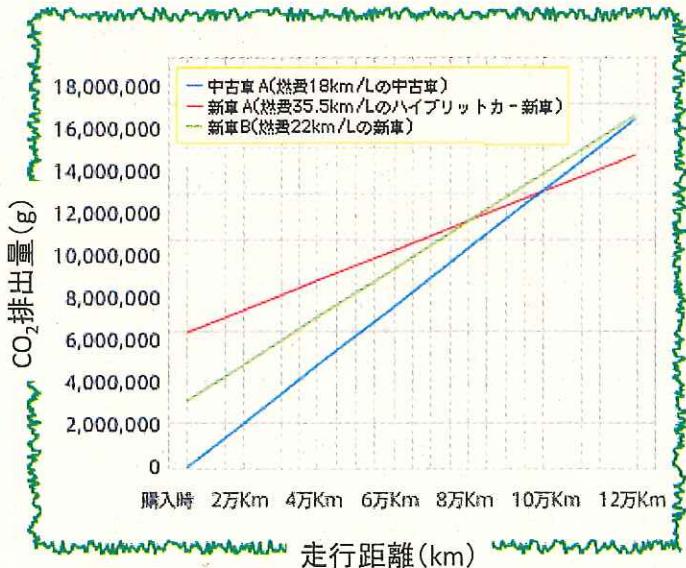


図10 自動車の走行時のCO<sub>2</sub>排出量  
(<http://fotun-japan.org/reuse/special/>)

たりの強度である比強度 (=強度/密度) が、鋼材にくらべ1桁大きいことから、軽量化への効果が大きく、近年大きな注目を集めています。自動車部材のうちどの部分にCFRPが適用可能か検討された例を図9に示します。面積が大きい部位、例えばボンネットやドア、や軽量化で走行性能が大きく改善される部位、例えばルーフなど高い位置にあるもの、などを中心にCFRPで置換え可能とされていて、これらによる軽

量化の効果は、1,380kgから970kgへ一台当たり約400kgの軽量化が可能になるとされています。

このようにCFRPを用いて軽量化を行った場合の省エネルギー効果やCO<sub>2</sub>排出削減効果については、様々な試算がされています。ここでは、図10にCO<sub>2</sub>排出試算の一例を示します。この試算例に限らず、自動車による燃料消費とこれに伴うCO<sub>2</sub>排出は、その大部分が走行時であり、軽量・高強度材料使用による軽量化はこの走行時の燃料消費やCO<sub>2</sub>排出の削減をねらったものです。

#### 4. CFRPの課題と将来像

このように大変有望なCFRPですが、様々な課題も指摘されています。

まず、最大のネックが価格です。大量の電気を使用して製造されるため、炭素繊維の価格は、約3,000円/kgと言われており、鋼材や汎用プラスチックの約30倍もします。さらにこの繊維に樹脂を含浸させたCFRPとなると、生産性の低さによりさらに価格があがりおよそ10,000円/kgにもなります。現在多く流通しているCFRPは、マトリックスに熱硬化性の樹脂であるエポキシを使用しているため、板材や部品とするには温度と圧力を加えながら樹脂を硬化させる必要があります。このため、オートクレーブと呼ばれる圧力釜で約6～8時間かけて成形されます。ボーイング787の主翼のように30mもある部品を製造しようとすると、30mを超える大型のオートクレーブが必要となりますし、しかも1回に8時間かけ同時に数個の部品しか成形できません。このような生産性の低さがCFRPの高コストの原因となっています。

これに対し、マトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いれば、熱を加え可塑化して成形することにより生産性の改善が期待できるため、熱可塑性のCFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics) が注目されています。

欧州を中心に様々な研究、開発が行われ、日本に比べ進んでいますが、それでも今のところ工業的に広く使用される確立した方法はないのが現状です。

高コストに見合うだけの高付加価値の用途開発とコストを大幅に下げる生産性の向上が、CFRPの使用拡大には不可欠と考えられます。

#### 5. 岐阜大学複合材料研究センターの取組み

前に述べましたように話題にもなり、特性も優れるCFRPですが、何に使えばよいのか、どのように作ればよいのかと思っておられる地域企業が多いと思われます。また、実際にものづくりに使用とすると思いの他使いこなしに苦労しているのが実情のように思えます。このような企業を支援するためのアカデミックセクターのセンターとして、岐阜大学複合材料研究センターは、次のようなミッションを掲げています。

製品や構造物が、そのすべてをCFRPで作れるわけではなく、従来材料を含めそれぞれの材料を適したところに最適な使用法で使用することで、製品の性能が最大限発揮されることを念頭において、センターのキーワードを『適材』としました。CFRPがまさにものづくりに使え、CFRPならではの性能を発揮させることを目的としました。複合材料を使いこなすには、先に述べましたように様々な材料にわたる知識や、使わ

れ方についての幅広い知識が必要となりますので、複合材料に関する研究センターは、必然的に材料横断、工程貫通型となるものが多くなります。岐阜大学の複合材料研究センターも、図11に示すように材料と工程を縦横に連携できる組織としてあります。図中には、センターが有する技術シーズも対応する位置に示してあります。センターの有する技術シーズだけでは、すべての材料、工程をカバーできませんので、センターが有しない技術シーズについては、他機関との連携によりこれをカバーする方針です。

地域での複合材料を用いたものづくりを進めるために、一つには複合材料に関する最新技術の提供を行います。定期的に開催する研究会を通じて、各地の研究機関やメーカーなどの有する最新の技術情報を地域企業に提供します。また、研究分科会を設けて、新しい材料や技術を用いたものづくりのアイデアの実現可能性の検証を行います。新しい材料を用いたものづくりには、これまでの経験則が当てはまりませんので、試行錯誤的なアプローチでなく、科学的な検証によりその実現性や開発の方向性を見極めることができます。このような検証の場となる小グループによる分科会を設置します。

軽量・高強度材料の使いこなしは、これからものづくりに欠かせないと考えられます。センターには、様々な専門分野の研究者が組織されています。これら研究者が有する技術シーズを「複合材料に使える技術シーズ集」としてまとめており、ホームページ ([http://www1.gifu-u.ac.jp/~g\\_cc](http://www1.gifu-u.ac.jp/~g_cc)) では是非ご覧ください。

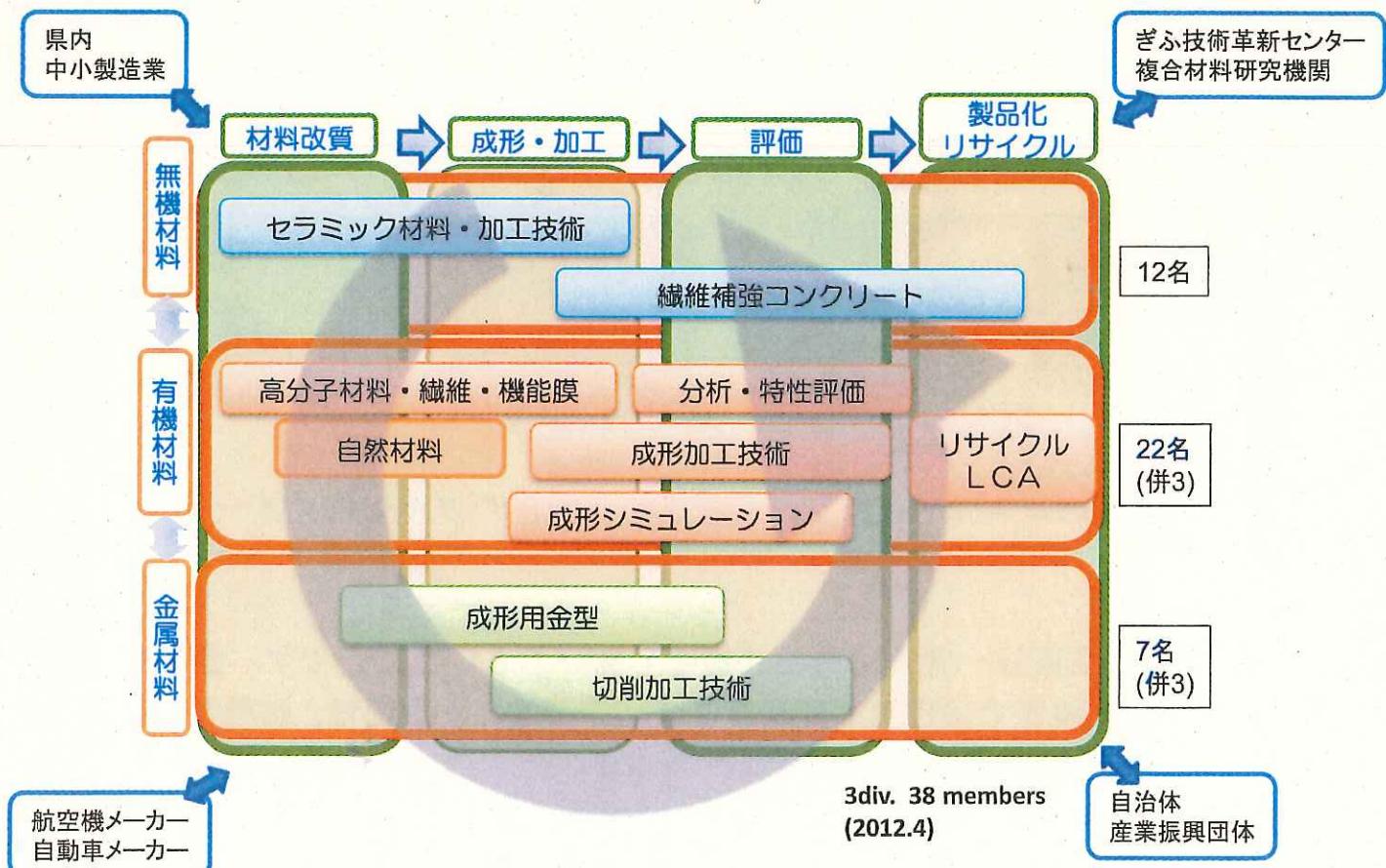


図11 複合材料研究センターの組織図

# ものづくりを変える新素材“CFRP”について

岐阜大学 複合材料研究センター 副センター長

深川 仁

## 1. はじめに

炭素繊維がものづくりやエネルギー問題に大きな変革をもたらそうとしています。航空機や電気自動車の一部や風力発電などの分野で適用拡大が進むCFRP（炭素繊維強化プラスチック：Carbon Fiber Reinforced Plastics）という複合材料は、軽量部材として優れた性能を有する新素材として産業界から熱い注目を集めています。

これらは、ゴルフシャフトや釣竿などのスポーツ・レジャー用品として既に多く使われており、身近な存在になっています。しかし、材料が高価なこと、入手性、成形性、加工性などの製造方法が、従来の金属やプラスチックと異なるため、その知識が普及していないことなどから、産業界で多くの利用分野があるものの、充分普及活用されていない面があります。特に成形後に切断したり穴あけしたりする際には加工しにくく工具が摩耗しやすいなど課題も多い材料なのです。

そこで、今後利用分野が広がることを願って、少しでも多くの方にCFRPの魅力やその特徴を知っていただきたく、材料と加工の情報を整理してみました。

## 2. CFRPの歴史

### 2. 1 カーボンファイバーの発明

CFRPはカーボンファイバーとプラスチックの複合材料ですが、その利用普及はここ20~30年の歴史に過ぎません。一方でCFRPの特徴の元となっているカーボンファイバーの歴史はもう少し古く、広義に解釈すれば19世紀末にエジソンが白熱電灯のフィラメントに京都の竹材などを使った所まで遡ることができます。

しかし、工業用として開発されたのは、1959年に米国UCC（ユニオンカーバイド）社がレイヨン繊維を黒鉛にしたことから始まり、当初は宇宙開発用などの特殊用途に用いられました。その後、1961年に、大阪工業試験所（産総研）の進藤昭男博士によりPAN（ポリアクリロニトリル）系という繊維を炭化する手法により炭素繊維が発明され、1962年に日本カーバイド社により工業化されました。一方で、1963年に群馬大学の大谷杉郎教授は、石油から取れるピッチから別の手法で炭素繊維を作る製造方法を発明しました。その後、この手法はピッチ系カーボンファイバーとして、多くの日本企業が製造に参画しましたが、中には事業から撤退した会社も少なくありません。

1970年代になると、カーボンファイバーは優れた強度特性を持つことから、複合材料の素材として使われ始めました。1980年代には製造コスト低減や加工方法が進歩し、航空宇宙用ばかりでなく、民生品としてスポーツ・レジャー用途として普及しました。

カーボンファイバーの製造開発に参画した多くのイギリス・アメリカ・日本の企業の中には開発の膨大なコストがかかって採算が取れず撤退したり倒産したりした会社もありましたが、日本が製法を発明したことから、日本企業は粘り強く、製造を続けてきた経緯があります。現在は、PAN系を作る主な企業は、東レ、東邦テナックス、三

菱レイヨン、HEXCEL（米）、Cytech（米）、SGLカーボン（独）などですが、日本の上記3社が世界市場の7割を生産しているまでになりました（図1）。さらに、ピッチ系においては三菱化学、クレハ、大阪ガスケミカル、日本グラファイトファイバーなど、日本企業がかなりの部分を独占しています。

中でも、1980年代にはPAN系炭素繊維メーカーである世界最大手の東レが、ボーイング社の旅客機B777の垂直尾翼などに炭素繊維を供給する契約を結んだほか、2006年には最新鋭旅客機であるB787にも炭素繊維を長期間にわたり供給する契約を締結しています。このB787には実に機体重量の約50%にものぼるCFRP（東レ製）が用いられています。（図2）

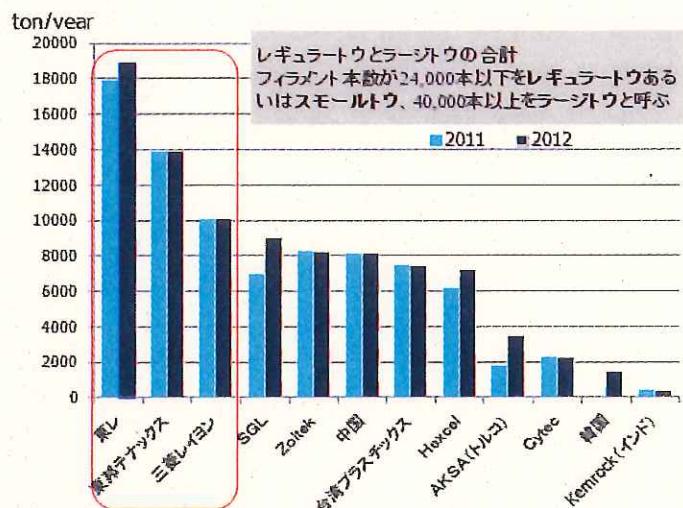


図1 世界のPAN系炭素繊維メーカー<sup>1)</sup>

1) 炭素繊維協会主催 第25回複合材料セミナー 東邦テナックス資料参照



図2 B787に用いるCFRP

## 2. 2 複合材料としてのCFRP

さて、複合材料と一言でいっても、構成材料である繊維がガラスならGFRP、アラミドならAFRP、ボロンならBFRPのように多くの種類があります。したがって、非常に広範囲で製品や材料ごとで、特性・用途・最適加工法は異なってきます。

複合材料の中でもCFRPの歴史はまだ浅く、性能も加工法も発展途上でありまして、10年前のCFRPと現在のものとでは性能も、加工法もかなり変化してきています。

このCFRPの構成要素である、カーボン繊維（ファイバー）と樹脂（プラスチック）ですが、その組合せで色々な種類が生まれています（表1）。カーボン繊維も太さや束にしている本数、繊維の並べ方で、例えば一方向材や織物材などのように種類があります。また樹脂にも非常に多くの種類があり、大きく分けると熱硬化系と熱可塑系があります。これら樹脂は硬化する方法や硬化温度などによってその特性が異なってきます。

航空宇宙産業では、樹脂に熱硬化系のエポキシ樹脂を用いたものが全体の95%以上を占めており、それらは連続繊維を用いています。

これらの多くは、プリプレグと称するシート状の繊維に樹脂を含浸させた素材から作られています。このプリプレグを必要なサイズに裁断して繊維の方向を意図的にい

いろいろな方向に変えて積層し、真空バッグをして内部の気泡を減らし密着させた後に、オートクレーブという加熱加圧ができる釜に入れ成型硬化し、製品を作ります（図3）。この時、積層方法や積層枚数などの組合せが部品ごとにあり、プラスチックにも熱硬化系と熱可塑系があり、それらの組み合わせにより、寸法や物理的性質には無限大の組合せが出てきます。

表1 複合材料（構成要素）の種類

繊維の種類	カーボン、アラミド、ガラス、ボロン他
樹脂の種類 (硬化方法)	(熱硬化系) エポキシ、ポリイミド他 (熱可塑系) PP,PE,PEEK他
繊維方向 繊維長	一方向材、クロス材 短繊維、長繊維
繊維メーカー	東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン他

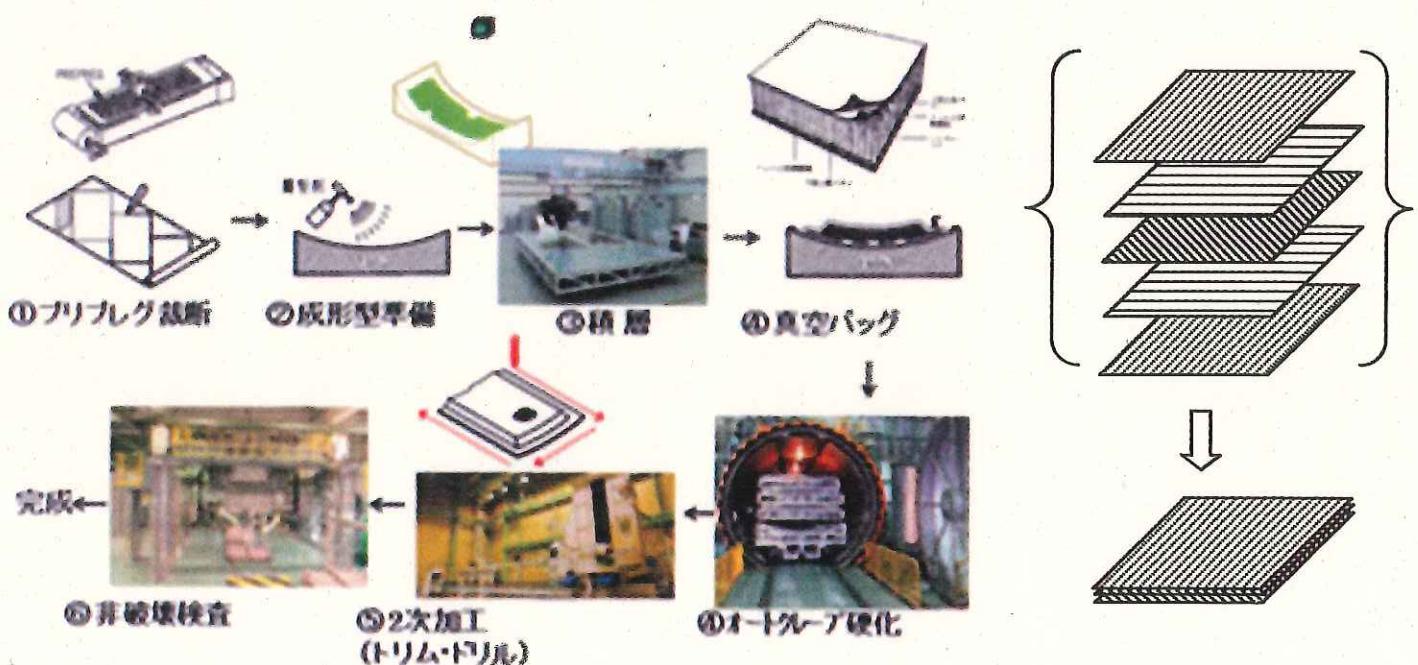


図3 CFRPのオートクレーブ成形法と積層パターンのイメージ

### 3. CFRPの特徴

炭素繊維だけの長所は一言で言うと「軽くて強い」ということです。鉄と比較すると比重で約1/4、比強度で10倍以上になります。その他、耐摩耗性、耐熱性、熱伸縮性、耐酸性、電気伝導性もあります。短所は、製造コストが高いことと、加工の難しさや、リサイクルが難しいことです。また、素材自体が異方性を持つので、積層方法で性能が変わること、損傷を受けた場合の破損の判断がむずかしい事などがあげられます。これが樹脂と合わさってCFRPの形になると、繊維単体と比べての特性は少し変わっ

てきますが、「軽くて強い」特性は変わりません。しかし耐熱性や電気伝導性に関しては樹脂の影響を受けて劣ります。また、金属と異なり、腐食はしないものの、樹脂が紫外線の影響を受けて劣化しますので、腐食はしないものの長期間屋外で用いるような部品に対しては紫外線防止の塗装をする必要があります。

CFRPは、鋼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）で優れています。「軽くて強い」優れた機械的な特性をもっています（表2）。ただし、炭素繊維単体のUD（一方向材）と、繊維方向を配向積層したいわゆる擬似等方材料では特性がかなり異なります。なお、疲労強度については、金属材料などに比べて非常に優れた特性をもっています。金属材料では疲労破壊という課題がありますが、CFRPでは寿命が金属と比べて桁はずれに長いという特性があります。

表2 金属とCFRPの主な物性値比較

材 料	引張強度 (MPa)	比 重	比強度 ( $10^4\text{m}$ )	弾性率 (GPa)	比剛性 ( $10^6\text{m}$ )
アルミ合金 (7075-T6)	400-600 (570)	2.7	1.4-2.2	72	2.7
チタン合金 (Ti-6Al-4V)	900~1300 (980)	4.5	2.0-2.9	113	5.1
炭素鋼	800	7.9	1.05	205	2.6
CFRP（擬似等方）	720	1.5~1.6	4.9	45	3.1
CFRP（UD）	2000	1.5~1.6	13.6	120	8.1

#### 4. CFRPの加工法

##### 4. 1 成型加工法（一次加工法）

CFRPなどの複合材の成形加工の特徴は、手作業が多く職人技に頼る面が多いのが実情です。また製品は小物平板部品から、複雑で大型のものまで、その形状種類や種類はバラエティに富みます。例えば、折りたたみ傘の骨、テニスラケット、釣り竿などから、航空機の翼や風力発電のブレードやヨットの船体というように。

成形には、一点一様の治工具（金型など）が必要で、成形プロセスには、多くの特殊設備が必要になります。加工法にもありますが、例えば冷凍庫、クリーンルーム、積層機、レーザープロジェクター、オートクレーブ、乾燥炉、超音波探傷装置、X線検査装置、トリム加工装置、集塵機等といったものです。航空機産業などでは現在の成形法の主流はオートクレーブ法ですが、成形時間短縮や設備投資削減のため、新しい加工法が各国で次々と研究されています。

航空機などで使われる熱硬化系エポキシ材料では、プリプレグを積層する作業が多いですが、その他テープ状、糸状の材料を筒状の型に巻きつけ成型硬化するフィラメントワインダーやテープレイアップという方法などもあり、一部は自動化されたものもあります。

一方で、熱可塑系の材料では、成型方法が大きく異なり、あらかじめ積層した板を

加熱加圧して雄雌（凸凹）の金型を用いてプレス成型する方法がとられます（図4）。これらは製造機数が少ない航空機などと異なり、自動車などの量産部品に向いた方法として使われ始めています。この方法の利点は、工程は比較的単純であることと、整形サイクルが短いことにあります。主な整形法の比較を表3に示します。

CFRP適用が急増する中、航空機には強度・品質・使用実績から熱硬化系（CFRTS）が主流で、熱可塑系（CFRTP）は強度がやや劣るので、あまり使われず、2次構造や艤装部品に限定し使われてきました。しかしCFRTSは成型時間が長くオートクレーブ等の大掛りな設備を伴い、加工コストが高いので、より安価な加工法や材料が求められています。そこで、VaRTM（Vacuum assist Resin Transfer Molding）というオートクレーブを使わない加工法の研究がされています。一方でCFRTPは大手メーカーがあまり研究を続けなかった中、ヨーロッパ企業（オランダのFokker社など）が、適用研究を長年続けてきた結果、今では航空機や自動車の部品にも採用され始めています。

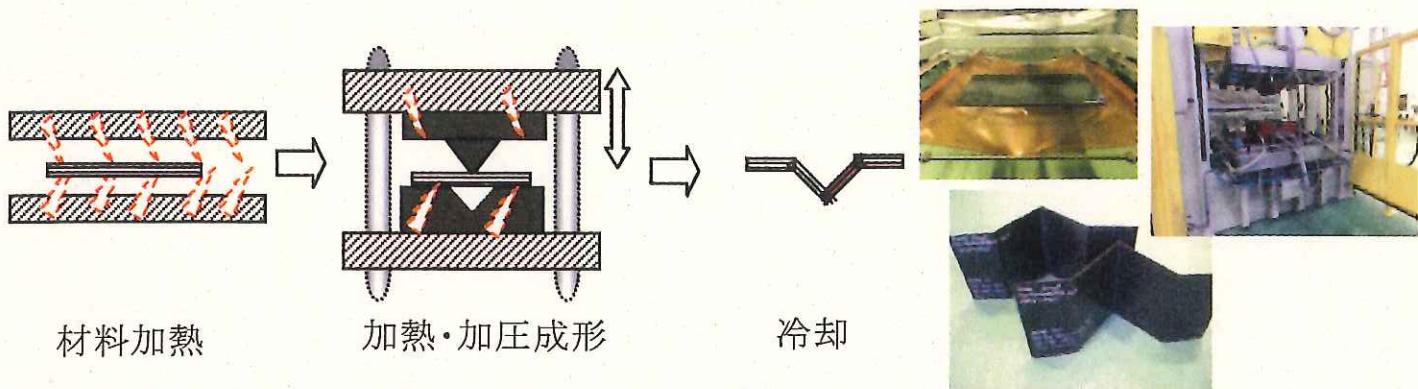


図4 熱可塑性CFRP (CFRTP) のホットプレス成形法のイメージ図と写真

表3 CFRPの各種成形加工方法の比較

加工法分類	加工サイクル (加工時間)	性能 品質	強度	加工コスト	設備費	備考
(参考) アルミ 板金成型	○ 短い 数秒～数分	○ 良好 品質 は弱く重い	○ 製品	○ 安価	○ 安価	過去の技術
CFRTS オー トクレーブ成 型	× 長い 数日	○ 強度 良好 品質良 好	○ 品質良 好	× 高価	× 高額 大掛り	現在の技術
CFRTS VaRTM 成型	× 長い 数日	○ 強度良好 品質に課題	△ やや高 価	△ 比較的安価 設備複雑	△ 比較的安価 設備複雑	現在研究改良 中の技術
CFRTP ホッ トプレス成型	○ 早い 数分	△ CFRTS よ りは強度劣る	○ 安価	△ 比較的安価 設備複雑	△ 比較的安価 設備複雑	今後発展の余 地ある技術
CFRTP 射出成型 他	○ 非常に早い 数秒	△ CFRTS よ りは強度劣る	○ 安価	△ 比較的安価 設備複雑	△ 比較的安価 設備複雑	今後発展の余 地ある技術

#### 4. 2 機械加工法（2次加工法）

一般に材料強度が向上するほど難削材となり、機械加工上の課題も増加します。CFRPは難削材ですが、日進月歩でその材料性能が上がるにつれ、加工性はますます

悪化する傾向にあります。

一般的なCFRPの機械加工法としては、超硬やダイヤモンド刃付き工具など高硬度工具を用いる切削加工が主流ですが、最近はアブレイシブ・ウォータージェット(AWJ)も普及してきました。切断ではダイヤモンドディスクやバンドソーなども用いられますが、加工面形状の点で制約があります。さらに、レーザー加工や放電加工を用いる研究、ブラストによる穴加工技術なども研究されていますが、まだ工業的には実用化されていません。どの加工法も、加工効率・コスト・品質等において、一長一短があり、使用目的に応じて使い分ける事が肝心です。

例えば、穴あけに関してはドリル加工が最も一般的な方法ですが、CFRPに対しては、刃具寿命による劣化で、穴出口側の剥離が発生しやすくなるなど工具摩耗の管理や工具コスト面での課題があります。

また、AWJは近年格段に技術が進んできていますが、加工面に微小なテーパーができやすく、送りや板厚変化で面粗度が変わることや、水に濡れるために乾燥工程が必要であること、装置の機構上、部品形状に制約があるなどの課題があります。レーザー加工では、加工面に熱影響層ができるのでその除去や、熱影響を減らすための加工時間増加などの課題があります。しかし、これら技術の進歩は著しく、今後より効率的に品質も兼ね備えた加工ができる技術が開発されるものと期待します。

これら加工技術を比較したものを表4に示します。なお、熱硬化系と熱可塑系では切削性がやや異なり、熱可塑系では工具に溶着が起きやすいために、注意が必要です。

表4 CFRPなど複合材料の各種切断方法の比較

切断加工方法	バンドソー・ダイヤモンドディスク切断	エンドミル加工	AWJ 切断	レーザー切断	EDM (wire)	ブラスト加工
加工速度	速い	やや速い	やや速い	普通(方法による)	遅い	やや遅い
ランニングコストなど	安価(ディスクは直線切りのみ、バンドソーはR加工限界有り)	加工自由度高い工具摩耗により工具費が高価となる	メディアの摩耗などもありメンテナンス費用がかかる	発信部の損耗などメンテナンス費用がかかる	ワイヤーの損耗や水中加工による乾燥工程などが必要	低いが、マスク費用やメディアがやや損耗する
装置コスト	安価	中価格	高価格	高価格	中価格	やや高価格
品質	切断面は比較的綺麗(条件が悪いと端部にデラミネーションやケバ発生)	工具摩耗すると材料上面下面にデラミネーションやケバ発生	送りによりテーパーができる。デラミネーションは少ないが面粗度がやや荒い	熱影響層ができる(YAG やファイバーレーザーの場合)	面粗度良好	加工時間によりテーパーができる。デラミネーション起きない
断面図						
実用性	実用化使用			研究中あるいは特殊用途		

## 5. CFRP材料・部品の用途例

### 5. 1 航空宇宙分野への利用

CFRP部品が最も早くから使われてきた分野は航空宇宙分野です。航空機宇宙機器製品の事例を図5、6、7、8に示します。

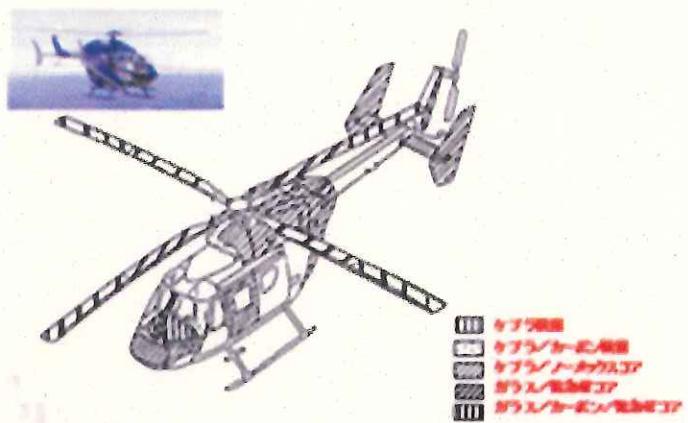


図5 ヘリコプタへの適用例

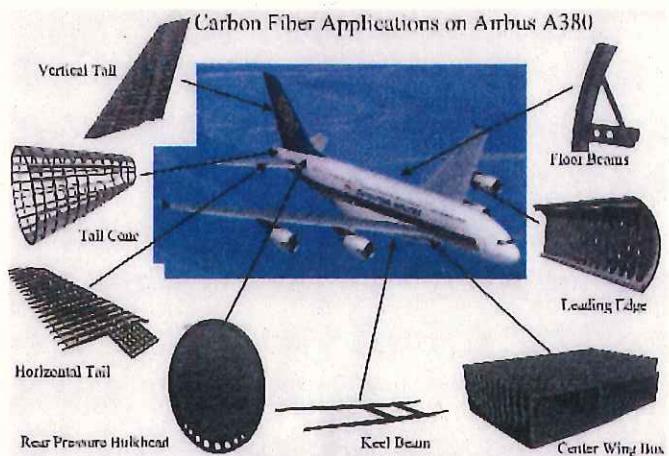


図6 大型旅客機への適用例



図7 宇宙機器への適用例



図8 航空機胴体の一体成型部品例

## 5. 2 自動車分野への利用

次に自動車分野への利用ですが、まだ材料コストや製造コストが高いために、一部のレーシングカーや高級車に限られてはいますが、今後EVの出現とも相まって、利用が進むものと考えます（図9）。なお、車体など強度が必要な場所には熱硬化系のCFRP、さほど強度を伴わない部位やバンパーなどの衝撃吸収部材には熱可塑系が使われます。



図9 CFRPを採用したスポーツカーや自動車用部品などの例

### 5. 3 エネルギー・電力分野

CFRPは今後エネルギー分野には無くてはならない素材です。例えば風力発電のブレード、原子力開発のウラン遠心分離機、送電線の芯材などで既に使われています。今後は軽量で鋳びない利点を生かし、潮力や洋上発電設備のユニットなどの分野でもますます活用されるものと考えます。(図10、11)



図10 風力発電設備<sup>2)</sup>

2) 炭素繊維協会HP



図11 送電線の芯材

左: CFRP 右: スチール

### 5. 4 その他インフラ、一般産業分野への利用

その他、建設分野のインフラとして耐震補強や海洋建築物、工作機械の可動部などへの利用分野があります。また医療分野へはX線を通す材料としてCTスキャンのベッドや、介護用品などの分野で今後利用が増えるものと考えます。また、各種スポーツ・レジャー分野ではすでに多くの炭素繊維が使われていることは周知のことと思います。

### 6. 今後の期待とまとめ

複合材料の中でもCFRPは歴史が浅く、材料も加工法も今後さらに進化するものと考えます。また、加工のデータベース化も十分追いついておらず、CFRP特有の難しさもあり、今後一般産業に落とし込んでいくために、大学・企業の研究機関が情報交換し、生産技術面の研究開発と啓蒙活動が必要です。

CFRPが今後さらに普及すれば、リサイクルの課題が必ずクローズアップされると考えます。現在は燃焼や、酸や水蒸気で溶解しファイバーを抽出する方法が研究されているが、より効率的、経済的な再利用の研究が求められるでしょう。

新素材としてのCFRPに関する用途開発は、単なる金属からの置換えでなく、CFRPを利用することで製品に新たな付加価値や機能をもたらす可能性をもっており、新製品開発につながり、エネルギーコスト削減、CO<sub>2</sub>排出削減にもつながる経済活性化・新産業起しのツールとなるものと考えます。そして、普及が進むことで材料単価が下がり、より適用拡大が図られることを期待します。

これらの産業ニーズに対して、大学などの研究機関では、CFRPなど複合材料の研

究が更に活発化すると思われますが、研究者が不足していることから、企業や研究機関同士の連携をより強化して、今後この分野に研究志望者が増えてくることを望みます。

(岐阜県をカーボンバレーに！)