

ガラス繊維・炭素繊維・複合材料の産業論による分析

松井隆幸

キーワード：ガラス繊維，炭素繊維，複合材料，産業論

I. はじめに

本稿は，ガラス繊維，炭素繊維，複合材料を産業論の視点で分析する枠組みを提供し，これらの産業の位置づけを明らかにしようとするものである。

ここで「複合材料」とは，繊維によって強化された繊維強化複合材料，中でも樹脂を母材とする繊維強化プラスチックを指すものとする¹。またここで「産業論の視点」とは，「産業単位で観察される技術，製品の物理的・化学的性質，具体的な生産活動に焦点を当て，それらと企業組織・事業展開・立地・国際競争力など社会科学的諸側面との関連を分析する視点」²としたい。

本稿では無機繊維であるガラス繊維や炭素繊維と区別して³，天然繊維・合成繊維など通常「繊維」と呼ばれるものを「有機繊維」と呼ぶことにする。ガラス繊維や炭素繊維はほぼ全量が衣料用ではなく産業用途だが，拙稿（2004）で指摘したとおり，社会科学の分野の繊維分析は衣料用繊維に集中しており，産業用繊維が取り上げられることはほとんどなかった。

無機繊維には他に金属繊維やセラミック繊維などがあり，本稿では取り上げないが，いずれ分析の対象にしたい。また，複合材料に加工される繊維として，有機繊維であるアラミド繊維がある。これは本稿でも必要に応じてとりあげたい。

ガラス繊維や炭素繊維は「窯業・土石」産業に分類されるが，「繊維」の名

がつくのみで、有機繊維とは無縁の存在なのだろうか。それとも何らかの関連を持つのだろうか。ここでは、ガラス繊維・炭素繊維・複合材料を、以下のような問題意識で分析したい。

- ・ 産業論をはじめとする社会科学の視点から、どのような分析ができるのか。既存研究はどのように利用できるのか。
- ・ 産業としてどのように位置づけられるのか。いわゆる繊維産業（有機繊維）と、どのようなつながりがあるのか。北陸など川中の繊維産地とはどのような関連があるのか。

II. 複合材料産業の構造

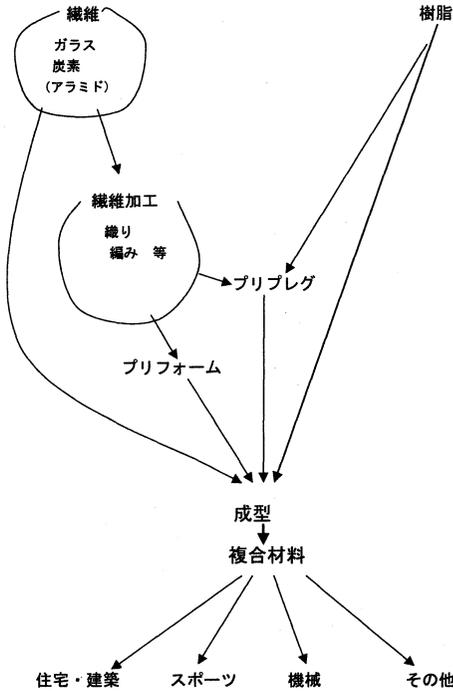
ガラス繊維や炭素繊維は、そのままの形で製品となることはほとんどない。強化繊維として樹脂と組み合わせられて、複合材料に加工される。繊維と組み合わせることで成形することによって、樹脂に強度と剛性（変形しにくさ）が加わる訳である。その際、強化繊維はプリフォーム⁴やプリプレグ⁵といった中間加工品の形態をとることがある（図-1）。

ガラス繊維には断熱材や吸音材に使用される短繊維もあるが、本稿では複合材料に加工される長繊維を対象にする。ちなみに2003年の我が国のガラス繊維生産は、短繊維21.1万トン、長繊維48.1万トンである（『繊維ハンドブック』）。

図-2～4は、世界における複合材料産業の概要を示したものである。図-2は使用される強化繊維の種類であるが、量・価格ともにガラス繊維が圧倒的なシェアを占めている。炭素繊維・アラミド繊維といった、いわゆる先端複合材料は生産量では合わせて1%を占めるに過ぎないが、高価であるため、価格ベースでは10%台になる。綿や紙といった天然素材を使うものもあり、家電製品のプリント配線板に用いられる紙・フェノール積層板などがここに含まれる。

表-1は、アラミド繊維を加えた強化繊維と、競合する金属との物性を比較したものである。強度とは「壊れ難さ」であり、弾性率とは「変形し難さ」で

図－1 複合材料の生産工程と供給形態



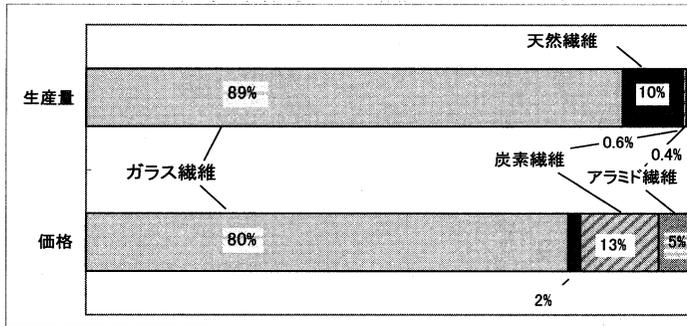
表－1 素材の物性比較

	炭素繊維 TR50S	ガラス繊維 Eガラス	アラミド繊維 ケブラー49	ステンレス 鋼SUS304	ジュラルミン A2024-T7
密度g/cc	1.82	2.55	1.45	8.03	2.77
引張強度Mpa	4900	3430	3630	520	422
引張弾性率Gpa	240	74	13.1	197	74
比強度 10^6 cm	27.5	13.7	25.5	0.7	1.6
比弾性率 10^8 cm	13.5	2.9	9.2	2.5	2.6

資料) JCMA(2004)。

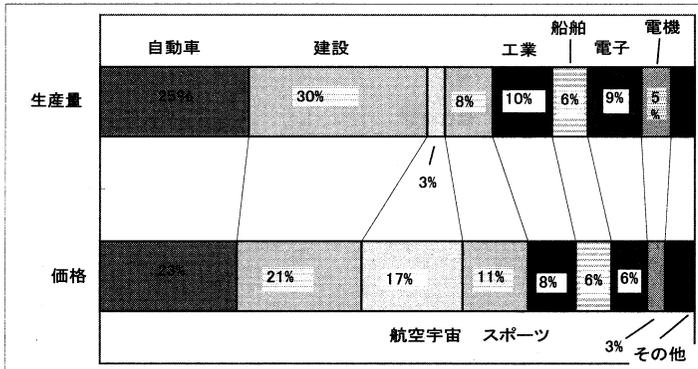
ある。強化繊維はいずれも引張強度，すなわち繊維方向の強さに優れることがわかる。炭素繊維は弾性率もきわめて高い。また，密度が示す通り，繊維はいずれも金属に比べて軽いため，比強度や比弾性率（軽くて強い・変形し難い）での優位が目立つ。

図－2 世界の複合材料に使用される繊維



資料) JEC-Composites No.8 p.26-31 (2004 April)

図－3 世界の複合材料の用途別シェア

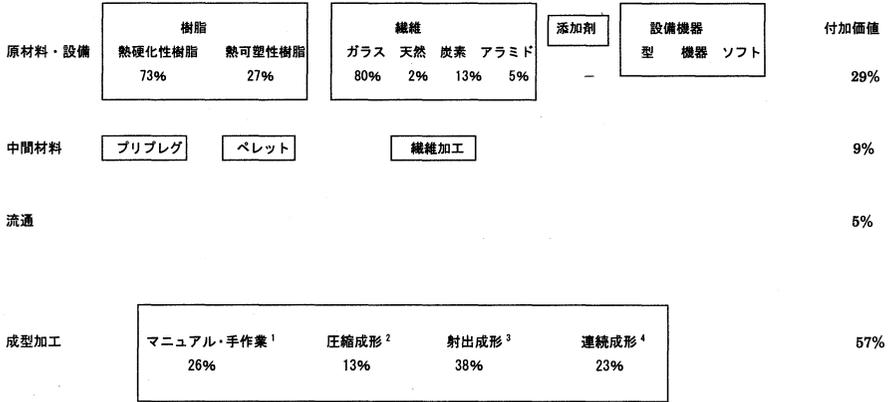


資料) JEC-Composites No.8 p.26-31 (2004 April)

一方で複合材料はリサイクルの難しさ、成形後の加工の難しさ、樹脂部分の耐熱性の低さ、特性のばらつきによる信頼性の低さ⁶、(成形方法によって異なるが)生産性の低さ、などの難点を持つ。

炭素繊維・アラミド繊維はきわめて高価であり、ガラス繊維と比較して素材で十数倍、成形品でも数倍の価格差がある。そのため、高い水準で軽さと強さが求められる分野に用途が限られている。アラミド繊維は比較的に変形しやすいので、防護服など、それをいかした分野に用いられる傾向がある。

図-4 世界の複合材料業界 (2002年, 付加価値)



資料) JEC-Composite 2004 April.

注) 1. ハンドレイアップ, スプレーアップ, オートクレープ等 2. SMC等
 3. RTM, RIM, 熱可塑性樹脂射出成形等 4. 引抜成形, フィラメント・ワインディング等

図-3は複合材料の用途別シェアである。航空・宇宙用途において生産量ベースと価格ベースのギャップが著しいのは、ガラス繊維と比較して軽量・高価な炭素繊維の使用が多いこと、その中でも高価なものが使われるためだと考えられる。スポーツ用途には様々な価格帯のものが混在しているが、テニスラケットやゴルフクラブなどで炭素繊維が使用されるため、若干価格ベースが上回っているであろう。

図-4は、付加価値ベースで見た世界の複合材料産業の鳥瞰図である。強化繊維メーカー、樹脂メーカー、成型加工メーカーが主要なプレイヤーといえよう。一般的に強化繊維メーカーは寡占的であり⁷、逆に成型加工メーカーは多数の中小企業からなる傾向が強い⁸。熱硬化性樹脂を用いる複合材料はFRP、熱可塑性樹脂を用いるものはFRTPと呼ばれる。後者は複合材料の弱点であるリサイクルに対応しやすい長所を持つが、高温高圧設備が必要であり、大型製品の成型が困難なことなどから、図の通り複合材料の主力にはなっていない。

ガラス繊維や炭素繊維が統計上「繊維」に分類されないことは前述したが、

表－２ 複合材料を含む産業分類の例

細 分 類	中 分 類	備 考
2217：ガラス繊維・同製品製造業	窯業・土石製品製造業	プリプレグを含む注
2262：炭素繊維製造業	窯業・土石製品製造業	プリプレグを含む注
1932：工業用プラスチック製品加工業	プラスチック製品製造業	配線前のプリント基板等
1943：強化プラスチック製板・棒・管・継ぎ手製造業	プラスチック製品製造業	
1944：強化プラスチック製容器・浴槽製造業	プラスチック製品製造業	
3033：舟艇製造・修理業	輸送用機械器具製造業	
1499：他に分類されない家具・装備品製造業	家具・装備品製造業	釣竿など
3234：運動用具製造業	その他製造業	ラケット、ゴルフクラブなど

資料)『日本標準産業分類』。

注) プリプレグは樹脂を含侵させる前の素材によって分類 (総務省統計審査官室回答)。

表－３ 複合材の新聞・雑誌記事掲載件数 (2004年)

物 質		市場動向	技術動向
炭素系	炭素繊維	14	6
	CFRP ¹	6	1
	その他 ²	6	25
その他FRP	GFRP ³	6	1
	その他	6	6

資料) 東レ経営研究所(2005-a) p p12-13。

注) 1. 炭素繊維強化プラスチック 2. カーボンナノチューブ、フラーレン等

3. ガラス繊維強化プラスチック

表－２のように複合材料「業界」は様々な産業分類にまたがっており、特定の産業分類を対象に分析できないことは注意を要する。

Ⅲ. ガラス繊維分析の意義

ガラス繊維は研究者の盲点に入ってきた産業である。拙稿(2002)で指摘したとおり、社会科学による繊維分析は衣料用繊維に集中しており、ほぼすべてが非衣料用であるガラス繊維は分析されてこなかった。一方自然科学の分野でも、科学として成熟しているガラス繊維よりも新規性のある炭素繊維が注目されがちである。結果として、メディアでの注目も低い(表－３)。また近年日本の

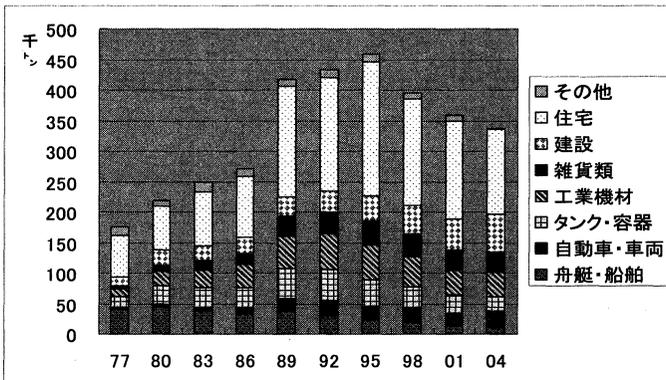
GFRP(ガラス繊維強化プラスチック)需要は伸び悩んでおり、途上国への生産移転も進行している。

しかしながら、筆者は以下の理由でガラス繊維の分析も重要であると考え。第1に、科学としての注目度と事業とは別であり、ガラス繊維は今なお図-2のように複合材料の分野で圧倒的なシェアを占めている。第2に、GFRPの使用分野はきわめて広範であり、日本など先進国が優位を持ちうる分野もある。第3に、V・VIでみるように繊維加工や成形の分野において、技術や事業で炭素繊維とつながりを持つ。

日本のGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)需要は近年縮小しているが、それは最大用途である住宅向け需要(浴槽、浴室ユニット、浄化槽)が、住宅着工件数の低迷に伴って減少しているためである(図-5)。これは景気の影響が大きいが、人口減少社会を迎える中、大きな回復は期待できない。

とはいえ、表-4のようにGFRPの用途は多様であり、マクロの動きのみで論じるのは適切ではない。例えば土木・建築向けは、我が国でのGFRP用途比を10年間でほぼ倍増させている(図-6)⁹。欧州でガラス繊維による下水道の補修が大きな需要を生みつつある¹⁰ように、比較的可能性の高い分野だと考

図-5 日本のGFRPの用途別出荷量推移



資料) 強化プラスチック協会「FRP50年のあゆみ」

えられる。

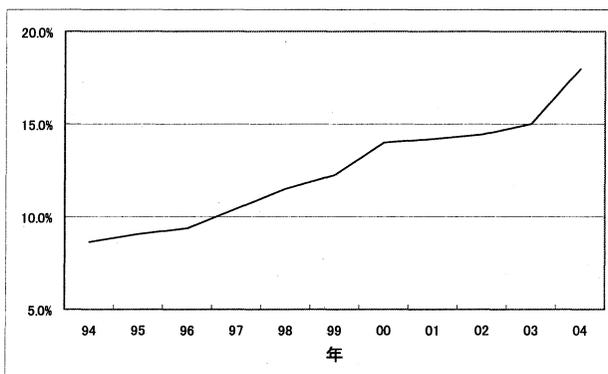
また、ガラス繊維の重要な物性として電気絶縁性の高さがあり、それをいかした用途にプリント配線板用のガラスクロス(織物)がある¹¹。東アジアとの国際競争も激しいが、サーバー向けや自動車向けのような高い信頼性が必要なもの、そしてその時々で相対的に細い糸を用いるものでは日本製品が競争力を持っている¹²。「細い」糸が求められるのは、電子機器の軽量化と高機能化(多数の配線板を用いる)のため、「薄い」配線板が必要とされるためである。薄さ

表-4 GFRPの用途例

用途分野	用 途 例
住 宅	浴槽, 浴室ユニット, 浄化槽,
建 設	ドーム建造物屋根材, 壁・床補強材, トラス構造材, ルーフ, コンクリート補強材, 地下パイプ, 耐食性パイプ, 下水道垂直管
輸 送 機 械	漁船・レジャーボート舟艇, 自動車モジュール, 列車内装
タンク・容器	耐蝕性タンク, 食品タンク
工 業 機 材	プリント基板, パソコン筐体, 家電部品, アンテナシールド
そ の 他	風車ブレード, カーブミラー

資料) ガラス繊維協会ホームページ, 強化プラスチック協会(2000), 中部経済産業局 (2005)。

図-6 日本のGFRP出荷額に占める建設用途の割合



資料) 図-5に同じ。

に加えて寸法安定性・表面平滑性が求められる上、僅かな毛羽でも銅箔を傷つけてしまうところが技術的に難しい¹³。

ガラス繊維の中でも有機繊維との技術連関が強いのは、ガラス繊維メーカーと織機メーカーとで開発する、ガラスクロス織機である。エアジェットルームによる高速織りが一般的であるが、有機繊維向けの織機をそのまま用いることはできない。有機繊維が「引っ張りながら加工する」ことができるのに対し、ガラス繊維は張力による不具合が生じやすいからである¹⁴。

欧米に比べて日本での使用量が少ないのが自動車向けである。2001年の日本のFRPのうち輸送機器向けが6.2%であるのに対し、アメリカでは31%にのぼり、GFRPが自動車外装、フード下回り、装飾部品、トレーラーやバスの部品等に使用されている¹⁵。欧州でも同様の傾向があり、とくに生産量の少ない車種では、鋼板のプレス加工設備の投資回収が難しいことなどから、GFRPが用いられることがある¹⁶。我が国でも、近年少量生産で自動車業界に参入した富山県の企業は、車体をFRP（GFRPが主、一部CFRP）で製造している¹⁷。

日本でも近年、軽量化とモジュール化による一体成形の要請の中、フロントエンドモジュールやドアモジュールに軽量樹脂のポリプロピレンを採用したGFRPの使用が増えている¹⁸。後藤（2003）には、GFRPによるモジュール製造に伴う自動車メーカーの試行錯誤が描かれている。強度を増すため樹脂の粘度を上げるとガラス繊維が切れてしまうジレンマに直面していたのだが、「味噌にそうめんを入れてかき混ぜると切れてしまうが、味噌汁なら切れない」という技術者の指摘をヒントに、粘度を下げることで成形に成功したという¹⁹。

IV. 炭素繊維の動向

社会科学の分野で産業用繊維の分析が少ないことは再三指摘したが、例外は経営学の分野における合織メーカーの新事業進出の分析であり、その多くが炭素繊維に関わっている。社会科学の既存研究で活用できるのは、この分野であ

表－5 CFRPの用途例

用途分野	用 途 例
スポーツ・レジャー	ゴルフシャフト、釣竿、テニスラケット、自転車部品
航空・宇宙	民間機、軍用機、ヘリコプター、ロケット部品、人工衛星部品
医療機器	X線装置、CTスキャンシート・カセット
土木・建築	耐震補強（橋梁、建築物）、ケーブル、トラス構造材
圧力容器	CNGタンク、空気呼吸器（消防士用）
オーディオ	スピーカーコーン、振動版
筐 体	ノート型パソコン、デジタルカメラ
エネルギー関連	風車ブレード、高圧燃料貯蔵容器、海底油田設備、フライホイール
輸送機械	レーシングカー、プロペラシャフト、高級車内装、高速艇
機械部品	ロール、プレスアーム、搬送用フォーク

資料) 青山・河西(2005)、強化プラスチック協会(2000)など。

表－6 PAN系とピッチ系の物性比較

	引張強度	引張弾性率
ピッチ系 ^注	3700	935
PAN系	4900	230

資料) JCMA(2004)。

注) 2K,K13D2U。

る。

炭素繊維が注目される理由は、第1に需要が拡大しており、将来的にも拡大が予想される素材であること、第2に日本企業が圧倒的な世界シェアを持っていること、第3に世界の多くの企業が参入しながら撤退を余儀なくされており、残る企業の「勝因」が経営学の関心を引くことなどであろう。

炭素繊維の素材としての特徴は、表－2の示す通り圧倒的な比強度と比弾性率、即ち軽さと強度・変形し難さの両立である。加えて熱膨張係数の低さ（航空宇宙などで重要）やX線透過性の高さ（医療機器）、織り目の美しさによる意匠性（自動車装飾部品など）が意味を持つこともある。かつては航空用途とスポーツ用途が大半を占めていたが、現在では表－5のように多様な分野で使用されている。

表一 炭素繊維の生産能力表 (2006. 1)

品種 企業 地域	PAN系炭素繊維生産能力(トン/年)								ピッチ系炭素繊維生産能力(トン/年)						
	形状	東レ	東邦 テナックス	三菱 レイヨン	Hexcel	Cytec	台湾 プラスチック	Aldila	Zoltec	形状	三菱 化学	日本 グラフィイト	Cytec	呉羽 化学	ドナック
アジア	東レ 4700 +1200	東邦 3700	三菱 3200			台プラ 1800				三菱 600	日本グラ 120				
北米	フィラメント	CFA 1800 +1800	TCF 700	Grafil 2000	Hexcel 2000 増設発表	Cytec 1800						Cytec 230			
欧州		SOFICAR 2600	Tenax 1900 +1500	[SGL] 500 ~750											
アジア	トウ	東レ 300											呉羽 750	ドナック 300	
北米			TCF 1300	SGL 1000				Aldila 1000	Zoltec 1800						
合計		9400 +3000	7600 +1500	6700 ~6950	2000	1800	1800	1000	1800		600	120	230	750	300
総計		32,100~32,350 + 4,500トン								2,000トン					

注: +1200, 1500, 1800 は増設中の生産能力を示す

資料) 広域的新事業支援ネットワーク拠点強化事業「高機能・高性能複合材料による新事業創出プログラム」ホームページ。

現在生産されている炭素繊維にはPAN系²⁰とピッチ系²¹がある。強度に勝るPAN系が量的に大きく、以下もPAN系を中心にみていくが、ここでピッチ系炭素繊維についても触れておく。ピッチ系は弾性率の高さ、すなわち変形し難さが特徴である(表-6)。「軽くてたわまない」点をいかして、工業用のロール(フィルム製造用など)が大型になる場合に使用されている。また、他の素材に比べて振動の収まるのが早いため、液晶用の大型ガラス基板を搬送するアームや、自動車のボディプレス用のアームなど、重量物を扱うため振動の収束が生産性に影響を与える分野にも用いられる²²。

PAN系・ピッチ系ともに研究室レベルでは日本で生まれ、その後欧米(とくに米国)企業によって開発が進められ、現在では日本企業が生産の主力になった(表-7)という歴史を持っている²³。初期の開発が米国中心だったのは、

きわめて高価であったゆえに、用途が冷戦を背景とした宇宙・軍事部門に偏っていたためであろう。

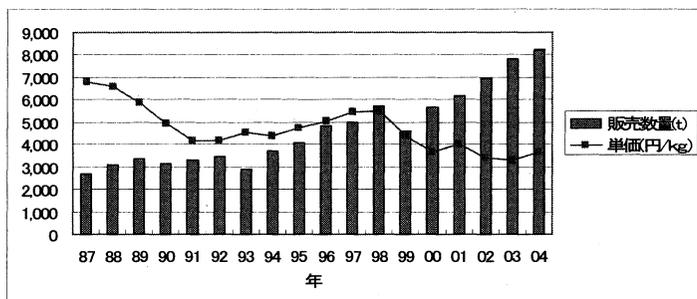
1970年代以降、PAN系炭素繊維の開発で先行してきたのは、日本の東レである。その経緯や背景については、経営学の分野の當間(1996)、高松(2002)、青島・河西(2005)や、実体験にもとづく松井醇一(1998-a)など多くの分析がなされてきた。東レが競争優位を築いた要因としては、①別の目的で開発した化合物が、炭素繊維の生産性や性能向上に貢献した、②アクリル繊維製造技術に優れ、原料となるアクリル繊維の開発で優位に立った、③長繊維製造技術に優れていた²⁴、④繊維加工技術に優れ、いち早く織物の製造に成功した²⁵、⑤樹脂技術にも優れ、航空機向けプリプレグを開発できた、等の理由があげられている。

このうち②③④はまさに繊維の技術であり、有機繊維と炭素繊維の技術連関を示している。繊維部門からの撤退・後退の歴史をたどってきた欧米のケミカルジャイアント（合繊をルーツとする巨大化学企業）と異なり、途上国の追い上げで衣料用繊維の縮小を余儀なくされつつも、繊維に軸足を残してきたことの、一つの結果であろう。

PAN系炭素繊維の需要を牽引したのは、70年代は釣竿やゴルフシャフト、80年代は航空機向けとテニスラケット向けであり、90年代初めまでは趣味性の強いスポーツ向けと、比強度・比弾性率の優位が大きい航空機向けが2大用途であった。その他の産業向け（業界の統計的慣習で「産業用」と呼ばれる）が急増するのは90年代半ば以降である²⁶。その背景にあるのが2度の供給過剰による価格低下であった。

1度目は90年代初めのものである。80年代後半に、軍事部門の国内調達政策に押された米国企業の能力増強と、欧州やアジアでの新規参入によって世界的な生産能力の増加が起こっていたのだが、冷戦構造崩壊と湾岸戦争後の航空機不況によって価格が急落し、多くの企業が撤退に追い込まれた。2度目は2000年前後のものであり、日本企業の能力増強に、欧米のラージトゥ・メーカーや

図一七 日本の炭素繊維の販売数量と平均価格の推移



資料)『窯業・建材統計年報』。単価は販売額／販売数量。

台湾プラスチックの増設が加わったものである²⁷。

図一七に国内を対象としたデータを示すが、2度の価格低下は明らかに国際市況の影響を受けている。そして「産業用」用途の開拓と日本勢のシェア上昇は、むしろこれを契機としている。例えば高松は、「日本では、もともと航空宇宙分野への依存が欧米に比べて少なかった上に、圧力容器や建造物の補強材などの産業用途を開拓することにより、航空宇宙分野での低迷とスポーツ分野の成熟化に対処し、むしろ増設が行われた。」²⁸と述べている。ちなみに2004年以降は再び需給が逼迫して価格が上昇しており、これが産業用途にどのような影響を与えるのか予断を許さない。

航空用途はボーイング社のB787やエアバス社のA380といった、炭素繊維使用比率の高い大型機の開発によって着実に需要が増加している。「産業用」のこれを上回る増加によって相対的な割合こそ低下しているが、炭素繊維市場の需給を左右する最大用途であることは間違いない。

「産業用」の内訳を示すデータがないので推測するよりないが、土木・建築は炭素繊維でも有力な市場であろう。拡大が予想されるのが高速道路の橋脚等、建造物の耐震補強である。通常は鉄板による補強だが、大型の重機が入れない地理的条件の場合は炭素繊維が用いられる。

圧力燃料容器や海底油田のケーブルなどエネルギー関連も可能性が大きいと

いわれるが、エネルギー政策、石油価格、そしてエコ・カーの技術開発の方向などに左右されるであろう。自動車用途が開ければ大きいですが、コスト要求がきわめて厳しいため、現状ではプロペラシャフトなど一部の部品や高級車の裝飾部品等に限定されている。軽量化による燃費効率改善の要求がさらに強くなれば、使用が拡大する可能性はある。

V. ヒアリング調査 ー北陸企業の対応ー

北陸地域は、繊維産業のうち織布・染色加工など川中部門を担ってきた産地である。扱ってきたのは、かつての天然繊維やレーヨンにしろ、戦後主力となった合成繊維にしろ、いずれも有機繊維である。その技術や経験は、同じく繊維を扱う複合材料と、どのように関連するのだろうか。以下は筆者が近年、北陸地域で複合材の生産・開発に取り組む企業からヒアリングした内容である。

〔A社〕²⁹

A社は福井県の大手染色加工企業であり、水産資材など産業用繊維への展開にも取り組んできた。近年、炭素繊維をテープ状に加工する開織加工、開織したものを織物にする開織織機、開織糸の織物やシートを加工したプリプレグなどを開発している。

開織することによって、同じ太さの糸から、より薄く、軽い製品ができる。また樹脂を含浸させやすく、樹脂内のポイド(空隙)による不具合が生じにくい。薄いプリプレグを積層加工すれば、均質性が高く剥離しにくい成形品ができる。

炭素繊維加工でのA社の優位(コアコンピタンス)は、マルチフィラメント技術、すなわち繊維の束を扱う技術である。これは同社が昔から培ってきた技術・ノウハウである。開織加工する際もそうだが、炭素繊維の束を扱う時には、テンションをそろえるのが難しい。これにばらつきがあると、半分の仕事しかできなかつたりする。

樹脂によるコーティングにも、A社の磨いてきた染色加工のノウハウが使える。関連会社でやっている製造装置の開発や、それを使うノウハウも同様である。織りも、縦糸に横糸入れるのは有機繊維と同じである。大きな違いは、伸び縮みしない（弾性率が高い）ことである。

炭素繊維は、ガラス繊維と競合しているという感じはあまりしない。価格帯が大きく違うこともあるが、導電性など物性が異なるからである。

〔B社〕³⁰

B社は富山県に本拠を置く、10社からなる協同組合である。主力の下着製品製造の中国進出に伴い、国内では高付加価値品の開発に取り組んできた。その一環として複合材料がある。基盤となっているのは、長年培ってきた編みの技術である。

長い時間をかけて、エスカレーターステップ用のガラス繊維製プリフォームの開発に取り組んできた。FRPでステップをつくるには、ガラス繊維を立体的に溝の形に編む必要があり³¹、これが他社にはまねできない。アルミと違って彩色できる点に注目したが、開発中にアルミの方も彩色技術が進歩し、それだけでは対抗できなくなった。その後苦心して透明感のある素材を開発した。色鮮やかな広告用として期待している。樹脂はビニルエステルを用いている。

さらに、航空機向け洗面台製造で実績のある石川県の企業と共同で航空機の内装材向けに、ガラス繊維をハニカム構造で編み込んだ素材を開発した。ハニカム構造のまま立体的に成形できるのが他社にない特徴である。立体編みは腑型力が高く、金型での成形が容易である。織物だとシワになりやすい。

将来的には炭素繊維も使いたい。また、T型やH型の加工にも取り組みたい。現在では樹脂の技術者も加えてスタッフを強化している。複合材料は原糸メーカーの技術力が強く、開発でも主導権を持ちやすい。中間加工の業者は、何か強みがないと淘汰される可能性がある。

〔C社〕³²

C社はユニフォーム向け織物などを主力とする石川県企業であるが、現在炭素繊維やアラミド繊維を用いた製品開発に取り組んでいる。

開発しているのは、炭素繊維の扁平糸織物である。完全に薄くする前に織り、後加工で隙間を小さくする。隙間を小さくする、撚りをかけない、幅のばらつきを小さくする、などの繊維の要素技術の集積である。

炭素繊維は低速でないと織ることができない。従って、エアジェットルームなどの高速織機は使えない。レピアなどの低速機をベースに、精密さを付加した織機を開発してきた。付加価値が高ければ、低速でも生産性が低いとはいえない。炭素繊維が高価格なのは糸が高いからであり、織りを高速化してもコストの削減は知れている。

アラミド繊維も手がけており、炭素繊維とのミックスもやっている。炭素繊維は高機能だけではなく、高級感のあるデザイン性が長所になることもある。

〔D社〕³³

D社は新潟県上越地域の企業であり、20世紀初頭のレース織物事業をルーツとしている。戦後の早い時期からガラス繊維織物の製造を始め、現在ではガラス繊維・炭素繊維・アラミド繊維を用いた織物・テープなど複合材料向け繊維加工品、プリント配線板材料、FRP成形品などを製造している。

ガラス繊維・炭素繊維・アラミド繊維は、織りなどの加工の他、樹脂含侵などでも相互に応用のきく部分が多い。汎用品のガラスクロスは台湾など海外へ出て行く傾向が強い。日本に残るのは、薄物などその時々々の先端製品である。薄くて毛羽を出さないなど品質面で差別化しないとだめである。ガラス繊維技術は相対的に標準化されてきているが、炭素繊維は新しい用途が出てくる分、職人技の余地がある。

D社は繊維加工、樹脂コーティング、成形の3つの技術を持っているのが強みである。繊維加工だけでの差別化は苦しい。コーティングを加えると、例え

ば樹脂の組み合わせなどで差別化の余地が広がる。同社は各種技術の組み合わせで、変化の激しい顧客ニーズにこたえてきた。製品のロットが大きくなると、大手や韓国企業が出てくるので、次のニーズを開拓していく。

現在伸びているのが、携帯電話やノートパソコンなど電子機器の曲がる部分の配線に用いるフレキシブル配線板である。銅箔をポリイミドフィルムではさみ、エポキシ樹脂で接着しており、同社のコーティング技術がいかされている。

[E社]³⁴

石川県のE社はスカート裏地などの衣料用繊維製品の製造を行っていたが、現在では様々な炭素繊維製品の開発・製造に取り組んでいる。

炭素繊維は要求される機能が千差万別であり、しかも金属と違って評価基準が確立されていないところが難しい。そのため試験に長い時間がかかる。同社が開発に取り組んできたフライホイール（電気エネルギーを回転エネルギーとして保存する円盤）も、10年以上も試験を繰り返さねばならなかった。他では音響機器や建物の補強材などが有望だと考えている。

繊維加工だけでは競争力を持ってない。樹脂のわかる者が必要であり、信頼できるパートナーを見つけることが重要である。また、技術や素材だけを売り込んでもだめであり、肝心なのは用途である。たとえば機械に組み込むのなら、組み込んだものを見せないと顧客は振り向かない。「繊維」や「織物」の技術をアピールしても、顧客はピンとこないのではないか。

よく話題にされるスポーツ用品は、もはや技術的に成熟していて、製造はほとんどアジアで行われている。かつて成功したゴルフシャフト・釣竿・テニスラケットに加え、スノーボードやバットなど多くの製品が登場しているが、どこまで炭素繊維ならではの機能をいかしているかは疑問である。

[F社]³⁵

福井県のF社は衣料用繊維製品を主力としてきたが、現在産業用へのシフト

を進めている。一つの工場では、ポリエステル中心だが、ファッションの割合を減らし、カーシートやハップ剤基布へシフトしている。もう一つの工場で炭素繊維製品の開発を行っている。ガラスやアラミドも手がけている。ファッション用途と産業用途の違いを一言で言うと、重要なのが前者は感性、後者は数値（スペック）である。

現在開発を進めているのが、燃料用の高圧タンクである。かつて原子力研究開発機構と原発火災用消火器を開発し、その後通常の消火器に応用しようとしたが、価格が安く成立しなかったので、燃料用に切り替えた。

タンクに繊維をまきつけて成形するフィラメント・ワインディング（FW）製法の設備を開発した。同社がやってきた織りや編みとは異なるが、糸を巻いたり引きそろえたりする技術では共通している部分がある。

現在、炭素繊維の需給は逼迫しており、使用する企業は糸の確保に悩んでいる。アラミドやSガラスまで不足してきた。

VI. 技術・事業の相互連関

それでは、ガラス繊維、炭素繊維、複合材料の産業としての位置づけを、相互の関連や有機繊維との技術連関に着目し、図-1の工程に沿って整理してみよう。

糸を製造するメーカーは、ガラス繊維と炭素繊維では異なっている。糸の段階でとくに有機繊維との技術的連関が強いのがPAN系炭素繊維である。PAN系炭素繊維において原料となるアクリル繊維の組成や紡糸の技術が競争力を左右してきたことは、多くの既存研究が指摘している。ただし異業種の技術である高温焼成技術と組み合わせる必要があった³⁶。

ガラス繊維の紡糸も有機繊維の熔融紡糸と共通性がある。が、ガラス繊維の競争力を左右するのは、紡糸よりもカップリング剤やガラス組成などであり、世界的にも繊維よりもガラスをルーツとする企業の方が多い³⁷。

繊維加工の分野でも、ガラス繊維・炭素繊維とも有機繊維技術と様々な連関があり、織り、編み、準備工程などの応用が見られる。なかでもガラスクロス
の織機は、技術的に有機繊維のエアジェットルームに近い。炭素繊維は弾性率
が高いため高速加工に向かず、各社が独自の加工を工夫しているが、有機繊維
の技術が基盤になることは間違いない。ちなみに、糸メーカーが繊維加工まで
行うことも多い。

Vでみたように、川中の繊維企業がその技術やノウハウをいかせるのは、主
にこの繊維加工の部分である。ただし繊維の技術がそのまま複合材料に結びつ
くわけではなく、製品開発に成功しているのは一部の企業である。多くの企業
が指摘するように、樹脂のわかるパートナー（企業、研究機関など）が必要で
ある上、最終製品の用途についての情報把握が簡単ではない³⁸。

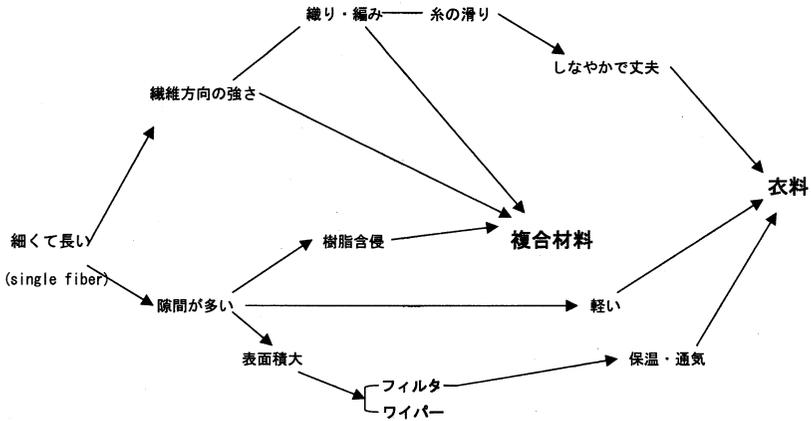
プリプレグを含めた繊維加工、そして成形では、ガラス繊維と炭素繊維（あ
るいはアラミド繊維）の両者を使用している企業や、「今はガラスだけが将来
は炭素もやりたい」という企業が多くみられる。加工や樹脂含侵などで応用
可能な部分があるためであろう。それぞれの国や地域のガラス繊維加工技術の
裾野の広さは、長い目でみて炭素繊維関連産業の集積に影響を与えるのではな
いだろうか。

ガラス繊維も炭素繊維も、そのまま製品になることはなく、樹脂と組み合
わされて複合材料に加工される。したがって樹脂を供給するメーカーや、繊維
と樹脂の接点に位置する成形加工メーカーは、複合材産業の重要なプレイヤー
である。また繊維・樹脂・中間加工・成形そして最終用途をトータルでとらえ
た製品の開発・設計が必要であり³⁹、情報の把握や共同開発のための企業間連
携が不可欠である⁴⁰。

VII. 「繊維」の概念と用途展開

社会科学では「繊維」の定義が議論されることはまれであり、漠然と「衣料

図－8 繊維の機能と用途展開



になるもの」として意識されてきた。しかし衣料にならないガラス繊維や炭素繊維を含めてとらえるには、繊維の原点に帰った定義が必要である。

産業論では製品の物理的・化学的性質に注目するが、「繊維」とはまさに物理的形状である。ここでは「繊維」を、「細くて長いsingle fiber⁴¹を構成要素とするもの」と定義したい。ここから出発して、繊維製品は様々な機能を持ち、様々な用途に結びつく。図－8は衣料と複合材料に重点を置いて、それを示したものである。

繊維状のものは、繊維方向（軸方向）に引っ張った時に強い。それを骨組みとして入れて強度を増した樹脂が、複合材料である。また織りや編みの加工をほどこすことにより、複数方向の強度や意図した形状を持たせることもある。衣料用繊維の場合は、織物や編物の糸の滑りによってしなやかさが生まれる。逆に複合材料では、樹脂によって滑りを止めることで形状を安定させる。

細長いものを集積させた素材は隙間がたくさんできる。すると表面積も大きくなり、ろ過を目的とするフィルターやふき取りを目的とするワイパーに適した性質を持つ。フィルターやワイパーは、有機繊維による非衣料用製品の重要な分野である⁴²。

また、フィルターとは何かを通して何かを通さないことであるから、保温・通気などの機能をもたせることができる。しなやかで丈夫なこと、保温通気性、そして隙間が多いことによる軽さが、衣料に繊維が用いられる理由であろう。

隙間が多いことは、複合材料の場合は樹脂を含侵させることに役立つ。複合材料も軽さに特徴があるが、これは隙間によるのではなく、素材であるガラス繊維・炭素繊維・樹脂が、競合材料である金属等と比べて軽いことによる。

このようにガラス繊維や炭素繊維は、たんに「繊維」の名称を持つのみではなく、その物理的形狀が、通常「繊維」として意識される衣料用の有機繊維と、技術や事業で関連を持つ背景にあるのである。

参考文献

- 青島矢一・河西壮夫「東レ炭素繊維の技術開発と事業戦略」(一橋大)『ビジネスレビュー』2005, SPR。
- 強化プラスチック協会「ここにも、あそこにもFRP」2000年。
- 後藤康浩『強い工場』日本経済新聞社, 2003年。
- 高松亨「PAN系炭素繊維の開発」中岡哲郎『戦後日本の技術形成』日本経済評論社2002年。
- 當間克雄「新素材の開発プロセス—東レにおける炭素繊維開発のケース—」(神戸商科大学)『商大論集』48-3, 1996。
- 東レ経営研究所「北陸地域における複合材料に関する新しい産業・技術集積のための調査研究」2005年3月(2005-a)。
- 「北陸地域における複合材料に関する新しい産業・技術集積のための調査研究(参考資料集)」2005年3月(2005-b)。
- 中部経済産業局電力・ガス事業課北陸支局「福井地域の繊維産業集積を活用した複合材料技術の地場産業化のための最適化調査」2006年3月(中部経済産業局(2006)と略)。
- 松井醇一「炭素繊維の話 その4」『強化プラスチック』43-9, 1987年(1987)。
- 「炭素繊維の話 その6」『強化プラスチック』44-1, 1998年(1998-a)。
- 「炭素繊維の話 その7」『強化プラスチック』44-4, 1998年(1998-b)。
- 「炭素繊維の話 その11」『強化プラスチック』45-4, 1999年。
- 「FRPの現状と将来展望」『強化プラスチック』48-7, 2002年(2002-a)。
- 「社会の変化と繊維強化複合材料の技術開発」『材料システム』20, 2002年(2002-b)。
- 山崎朗『産業集積と立地分析』大明堂, 1999年。
- J CMA「先端産業から地球環境まで—産業用途を中心に発展する炭素繊維」2004年。
- JEC-Composites No.8, (2004 April)。
- 拙稿「産業用繊維の分析についての一考察」『富大経済論集』50-1, 2004年。

注

1. 広義には工業用部材の多くは何らかの意味で複合材料であるが、それでは分析の上で收拾がつかないので、ここでは繊維強化プラスチックに絞る。以下文中の「複合材料」とは、繊維強化プラスチックを指すものとする。
2. この定義は山崎(1999)第1章第2節から示唆を受けてまとめた。なお、第3次産業を対象とする場合は、「生産活動」「物理的・化学的性質」などの表現は再考すべきかも知れない。
3. 「有機物」とは「生物由来の炭素を含む物質」すなわち「炭素を含んだ複雑な構造を有する高分子化合物」である。炭素繊維は、生物由来物質ほど複雑な構造ではないこと、高分子構造ではなく結晶構造であることから、「非有機繊維」すなわち「無機繊維」ということになる。
4. 強化繊維をあらかじめ成形品の形状に近い形に予備加工した中間製品。
5. 強化繊維をシート状に加工して樹脂を含浸させた中間製品。
6. 複合材料は、繊維、樹脂、繊維加工、成型方法の選択が幅広く、自由度が高いのが長所でもあり、標準化や評価基準の作成が難しいという短所にもなる。
7. JEC(2004), p26。これはガラス繊維について述べたものであるが、炭素繊維はさらに世界的な寡占状態であり、アラミド繊維は世界2社の寡占である。
8. ほくりく先端複合材料研究会セミナー(2006年5月24日)での、野間口兼政の講演「パリ世界複合材料大会をみる」(以下セミナー(2006)と略)によると、これは世界的な傾向でもある。
9. 中部経済産業局(2006)p76, 90によると、建設部門で複合材料の使用に積極的な企業が多くが、「補強・補修」をキーワードにあげている。
10. セミナー(2006)。
11. ここでとりあげるのは、ガラスクロスにエポキシ樹脂を含浸させた電子機器用プリント配線板である。
12. 2004年10月8日の、日東紡での聞き取り調査より。以下日東紡と略。
13. 日東紡。
14. 日東紡。
15. 松井醇一(2002-a)pp18-19。
16. 松井醇一(1999)p24。
17. 東レ経営研究所(2005-b)参考資料p37。
18. 中部経済産業局(2006)p92。
19. 後藤(2003)pp92-94。
20. ポリアクリルニトリル繊維を炭素化してつくられるもの。
21. 石油重質分を原料として得られるピッチ繊維を炭素化してつくられるもの。なお、かつてはレーヨン系炭素繊維も生産されていたが、1970年代に物性での劣位が明らかになり、現在ではほとんど用いられていない。詳しい経緯は高松(2002)pp59-79を参照。
22. 「新機能材料展2006」(東京ビッグサイト)2月21日の(株)三菱化学産資のプレゼンテーションより。
23. 歴史的経緯の詳細は松井醇一(1987)(1998-a)、高松(2002)を参照。
24. アクリルは通常短繊維に加工されることが多く、長繊維に加工すること自体が難しい(青島・河西(2005)p127)。
25. 松井醇一(1998-a)p32によると、東レでは欧米に先行して1970年代初めから炭素繊維に

よる繊維生産に取り組み、まず釣竿用に縦糸炭素繊維横糸ガラス繊維の織物を開発、74年には縦横炭素繊維の織物の開発に成功している。

26. 青島・河西(2005)pp121-122。
27. 青島・河西(2005)pp133-135。なおラージトゥとは太い糸を用いるものであり、相対的に低価格の市場を対象としている。航空機向けは複数方向の強度を得るために薄いプリプレグを重ねる必要があり、ラージトゥは使用できない。
28. 高松(2002)p83。
29. 2004年11月12日のヒアリング調査より。
30. 2005年5月25日のヒアリング調査より。
31. 複合材料は成形後の切削や接着が難しいので、あらかじめ最終製品に近い形に繊維を加工する必要がある。この点は松井醇一(2002-b)p22参照。
32. 2005年6月30日のヒアリング調査より。
33. 2005年9月13日のヒアリング調査より。
34. 2005年10月28日のヒアリング調査より。
35. 2006年6月23日のヒアリング調査より。
36. 松井醇一(1988-a)p29では「繊維と高分子を生業にしてきた東レは、高温に関してはたかだか300℃の経験しかなく、黒鉛化処理のための2,500℃を工業的に得る超高温技術は一からのスタートであった」とふりかえっている。
37. 日東紡より。同社の有機繊維部門との技術交流も現在では少ないという。
38. 中部経済産業局(2006)では複合材料のユーザー企業に現状の課題についてヒアリング調査を行っているが、「ユーザーのニーズが素材開発にうまく伝わらない」「織物を示されても評価できない。織物技術と用途との間のギャップが埋まれば製品開発につながる」などの声があげられている(同書pp79, 87)。
39. 松井醇一(1998-b)p29。
40. 中部経済産業局(2006)pp79-80によると、ユーザー企業へのヒアリング調査でも、企業間関係がまだまだ弱い、いっそう必要だという指摘が多い。
41. 訳語である「単繊維」は「短繊維」と混同されるため使用を避けたい。なお通常の糸は、釣り糸などの例外を除けば1本の繊維であることはまれて、single fiberを多数集積させたものである。
42. 焼却炉用バグ・フィルターなどに、ガラス繊維を用いたものもある。

提出年月日：2006年9月8日