

Title	科学技術の構造と国際競争力：炭素繊維の開発における事例
Author(s)	柿崎，文彦；権田，金治；森川，正信
Citation	年次学術大会講演要旨集，7：114-119
Issue Date	1992-10-22
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/5353
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般論文

科学技術の構造と国際競争力 －炭素繊維の開発における事例－

○柿崎 文彦, 権田 金治 (科学技術政策研究所) 森川 正信 (東レ)

1. はじめに

経済成長と社会発展に対する技術革新の寄与の重要性はすでに衆知のこととなっている。とりわけ、技術革新における技術開発需要の明確化（ディマンド・アーティキュレーション）は技術革新プロセスの一般性を検証するためのパラダイムを形成しつつあるものと考えられる〔1〕。

一般に、我が国の工業製品の国際競争力は高いと言われている。しかし、これは主として加工組立型産業の製品で、素材産業の製品については必ずしも国際競争力が高いとは言えない。これは、企業規模に代表される産業構造に関係するものでもあり、また、製品の原料をほぼ全面的に輸入に依存していることにも関連する。これらは科学技術の構造と合わせて検討するべきことであるが、複雑なアプローチが必要と考えられる。

このため、本研究では研究開発の仕組みとその背景にある我が国の科学技術の構造との観点から議論を展開する。素材の事例としてとりあげるべきものは多数存在する。競争力が弱いとされている素材のなかであって、我が国が全世界のマーケット・シェアの60～70パーセントを占め、例外的な存在となっている「炭素繊維」を事例としてとりあげたところ、以前著者らが提唱した科学技術と国際競争力との関係を説明するモデル〔2〕の妥当性を示すことができた。

2. 炭素繊維開発の経緯

科学技術活動の直接的成果として位置づけられる工業製品を例に挙げると、我が国の場合、機械及び電機産業に代表される加工組立型産業の製品は、「垂直型」の研究開発の構造を有し、技術革新の速度が極めて早く、その結果として製品の国際競争力が強い。一方、素材産業では「水平型」の研究開発の構造であるため、研究開発の速度が遅く、加工組立型産業の製品と比べ国際競争力が弱いものと考えられる〔2〕。

一概に「素材」といってもその範囲は広範である。「素材」のなかでも「新素材」として特に関心の集まっているものがあり、これに関しての最も新しい定義は次に示すとおりである。

「新素材とは、金属系・無機系・有機系の原料及びそれらを組み合わせた原料を基にして、高度な加工技術（例えば原子・分子レベルのミクロな構造制御・高純度化・複合化等）または商品化技術を駆使することによって、従来にない新しく画期的な特性及び新たな社会的価値を生み出す付加価値の高い素材を言う〔3〕。」

ここで、今回研究の対象とした炭素繊維の研究開発の経緯について概観する。

炭素繊維のイノベーションの歴史は1982年、米国の発明王トーマス・エジソンによる電球の（正確にはフィラメントの）発明にさかのぼることができる。フィラメントの原料となったのが京都産の竹であったことは有名である。しかし、この発明は現在先端複合材料として用

いられている炭素繊維に直接つながるものではない。複合材料の研究開発が開始されたのは1940年代で、この時期に複合材料の強度理論が発達した。この時期は、主として繊維の有する形態保持機能を利用すること、そして繊維の強度因子としての利用が主目的で合ったとされている。1950年には英国ロールス・ロイス社がジェット・エンジンRB-162の開発に際し、ボロン系複合材料を採用した。しかし、当時は研究開発が未成熟の段階で、同社の複合材料への進出が同社の経営を悪化させたと言われている。先端複合材料の研究開発が本格化したのは米国空軍およびNASAによるもので、航空機の軽量化を目的に1960年代から本格化した。

炭素繊維を世界にさがけて商用化したのは1959年、米国ユニオン・カーバイド社(UCC)でレーヨンを原料とする「Thornel 25」である。同年、今日の炭素繊維の製造方法の原点として位置づけられる画期的な発明が大坂工業試験所の進藤氏によりなされた。UCCが炭素繊維の原料としてレーヨンをを用いたのに対し、進藤氏はポリアクリロニトリル(PAN)からの製法を発見した。同氏の発明は現在でもPAN系炭素繊維の基本特許とされている。1962年には進藤氏の特許を基に、日本カーバイドが炭素繊維の試作を開始した。これに続き、1963年に英国Royal Aircraft Establishment (RAE)ではさらに高性能の炭素繊維の発明がなされている。翌年には、英国のCourtaulds, Rolles-Royce及びMagneiteによりRAEの特許による炭素繊維の製造が開始された。また、1965年には群馬大学の大谷氏により、ピッチ系炭素繊維が発明された。これ以降、炭素繊維の研究開発は高度化の一途をたどることとなる。従って、現在先端複合材料として用いられている炭素繊維の基本的知見の獲得は1960年代に達成されたといえることができる。

炭素繊維に対するニーズは、当初航空機、主として軍事用途からであった。当時の東西冷戦構造を背景に、航空機機体の軽量化は必要不可欠の要求であり、米国連邦政府、英国政府を初めとして国の強力な支援の下に研究開発が展開された。戦闘機F-14の尾翼に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が応用されたのは1970年になってからのことで、研究開発の開始から実に10年の歳月を要した。

一方、同時期に全世界を震撼させた2度の石油危機は、航空機の機体の軽量化によるジェット燃料消費削減を目的に、民間航空機にもCFRPの用途を広げた。航空機用のCFRPに要求される性能は軽量化とともに優れた「強度」にある。それゆえ、高性能の炭素繊維自体の研究開発もさることながら、他の素材との組み合わせであるCFRPの研究開発は現在も継続して研究開発が続けられているのである。一方、この目的で開発される炭素繊維は航空機メーカーからのスペックに応える性能を追及することである。一般に、民間用航空機のモデルチェンジは10年に1度と言われており、メーカーからのスペックを満たす製品を開発できなければ次にビジネス・チャンスが巡ってくるのは10年後というリスクが伴う。また、軍事用の用途も国の予算に応じ生産台数が限られているため、マーケットとしては、鉄鋼等他の素材と比べ必ずしも大きくない。実際、現在全世界の炭素繊維の市場規模は、航空機をはじめとして約6000トン程度である[4]。

しかし、炭素繊維の研究開発が活発な理由は、高付加価値性である。実際に生産が開始され

炭素繊維が市場に出回った後も、航空機用途に代表される高性能炭素繊維の需要は供給を下回るものであった。この供給関係を逆転させたのは釣りざお、ゴルフ・シャフト、テニスラケット、スキー板等のレジャー用品からのニーズであった。これらの製品が炭素繊維に要求した性能は「弾性」であり、レジャー用品の高機能化を進め、付加価値を高めるものであった。

レジャーはファッションと密接に係わっており、多少価格は高くとも他人よりは良いものを持ちたいという消費者ニーズ及びモデルチェンジの速さ（通常1年という短いサイクル）と見事に合致し、炭素繊維の市場は急速に拡大した。また、企業の側からは、「強度」と「弾性」という相異なる性質を満たす炭素繊維の研究開発を拡大するきっかけとなったとも言われている。

3. 炭素繊維の世界規模での需給構造と国際競争力

最新の資料によると、炭素繊維の生産能力は現在でも供給が需要を上回っている。内訳では、PAN系の炭素繊維の供給は世界全体で11,500トン、ピッチ系では2,054トンとPAN系が圧倒的に多い。PAN系炭素繊維は高強度及び高弾性の双方を性能として有する。一方、ピッチ系炭素繊維はPAN系に比べ強度は劣るものの、高弾性を出すことができる〔5〕。

ピッチ系炭素繊維の生産量が少ない理由は原油の残渣であるピッチを原料とし原料のコストは安いものの、既存の技術で炭素繊維とするには逆にコストが割高になるためである。実際、ピッチ系炭素繊維を生産しているのが石油精製メーカーで、PAN系が日本では繊維メーカー、海外では狭義の炭素素材メーカーであることから供給側の企業構造を理解することができる。

PAN系について着目すると、我が国の企業による生産は全世界の45%、米国が41%、欧州が12%となっている。また、日本企業がすべて自社内で生産を行っているのに対し、前駆体の供給も日本企業が多く、生産シェアだけでなく、技術的にも日本企業の優位を読み取ることができる。これは、日本の化学産業が諸外国に比べ弱いと言われているなかであって、極めて異例のことである〔6〕。

各々の製品は焼結させるPANの段階から研究開発が開始される。すなわち、重合させるアクリロニトリル誘導体の探索と重合を促進させるためアクリロニトリルに添加する共体の重合体の探索にまでさかのぼる。東レにおける重合体の研究開発の過程に、同社が炭素繊維市場への参画を決意させた事例を見いだすことができる。それは、1965年に同社の研究所（現基礎研究所）の森田氏が発見したアクリル繊維が、炭素繊維とする際の焼結時間（炭素化プロセス時間）を大幅に短縮することである（従来14時間要したものが1時間となった）。この研究は炭素繊維へのアクリル繊維の応用をめざした研究ではなかったようであるが、企業における幅広い探索型の研究の成功事例としてとらえることができる。

また、炭素繊維を最終製品とするために必要不可欠な焼結装置に関して、同社は先発メーカーであるUCCとのクロスライセンスにより、それまでのバッチ式生産から、焼結過程の連続生産をすることができるようになった。連続焼結技術には1300度程度の高温を数日間維持する高温技術が必要で、炭素素材メーカーの技術を必要としたためである。しかし、その後UCCは炭素素材メーカーゆえにモノマーの研究開発に遅れをとり、また品質管理等による問題から炭素繊維部門を他社に売却し、この事業から撤退している。炭素繊維の名が示すように、

この先端材料の基礎技術は原料となる繊維の品質とその原料となるモノマーの研究開発にあり、このため、繊維メーカーが炭素素材メーカーに優位を保ったものと考えることができる。

一方、需要面では、米国が最も多く、とりわけ航空宇宙分野での需要が多い。欧州でも米国と同様航空宇宙分野での需要が多く、反対に我が国ではスポーツ用途、工業用途の炭素繊維の需要が多い。重要面から、我が国の炭素繊維の優位性の傍証となる事実がある。航空宇宙産業は米国が世界を凌駕する巨大産業である。その一つであるボーイング社は今世紀最後の大型民間航空機といわれている「B-777」の尾翼の構造材として、同社が示したスペックを満たす炭素繊維複合材料納入業者として1990年4月に東レ(株)のみを認定した[7]。

航空機はとりわけ安全性に関するチェックが厳しく、米国国内にも大手素材メーカーがあり、当然激しい研究開発競争のあったことを想像するに難しくはないが、これをクリアしたのが日本企業であるという事実は、炭素繊維分野での我が国の優位を示すものである。先にも述べたように、航空機のモデルチェンジは10年に1度と言われていることから、この分野における我が国の優位は当分続くことが予想できる。しかし、2000年頃に訪れるであろう次期新型航空機のスペックはすでに内示されていることが予測できる。このため、全世界の炭素繊維製造メーカーがそのスペックに見合う材料の検討に入っていることは明らかであろう。

4. まとめ

炭素繊維の開発過程は需要側からの要請によるもので、「基礎→応用→開発」という線形モデルは明らかにあてはまらない。また、需要も航空機の機体強化材料のように研究開発期間10年程度の長期にわたるものと、レジャー用品のように1年と極めて短いサイクルのものとが混在している。前者が「強度」を向上させる目的であるのに対し、後者では研究開発の目的が「弾性」の向上にある。「強度」と「弾性」とは互いに異なる性能であるため、両者を同時に満たす材料の開発は理論的に不可能である。炭素繊維の研究開発はこれら二つの異なるベクトル上に同時並行に展開されている。前者は炭素繊維の基本的特性である「強度」と「弾性」とを極限まで追究するものである。ここでの研究開発の流れは物質の基本的特質の探求であり、科学的知識を増加させるための活動である。一方、後者は市場からの短期的ニーズ、すなわち、適度な「強度」と「弾性」の双方を満たす新素材の開発に重点が置かれている。これはそれまでに蓄積された科学的知識を具体的技術とする活動で、前者とは異なる性格を有する。このように、製品を介在した知識のフィードバックが存在する。ここには、原料となるPANの研究開発のみならず、需要に適應する焼結技術も含まれる。

筆者らが提唱するモデル[2]で、縦軸はある知識が科学と技術のどの領域に位置するかを示し、また横軸はその知識を基に作られた製品等の市場における価値を示している。「L」で示される縦軸の中では科学的知見と技術的知見との間でのフィードバックを繰り返す研究開発活動が行われる過程である。また横軸は技術的知見を商業化するための研究開発がフィードバックを繰り返す領域で、矢印の方向と研究開発コストとが比例関係にある。製品の目に見える状態での(国際)競争力の有無は「L」横の位置がどの程度右にあるかにより示されるものと考えられる。すなわち、イノベーションの源泉として、「L」の縦が「プロダクト」であれば、横は「プロセス」に相当するものと考えることが可能である。製造技術がほぼ飽和のレベルに

ある場合、競争力の源泉は「L」の縦の程度に依存することになると考えられる。

今回の事例研究で、PANの基本的製造方法及び炭素繊維焼結の基本的技術は「共通基盤技術」に位置づけられる。すなわち、これらの基本的知識は特許等により衆知のものとなり、知的所有権に対する対価を支払えばその知識を利用することができる。しかし、製品の（国際）競争力を左右するものは、新たなPANあるいはこれを製造するための科学的知識、すなわち「研究」の領域であり、またPANを焼結させ最終製品とする「製造技術」の領域である。異なる研究開発のシステムが存在する場合、例えばUCCと東レのケースの場合、クロスライセンスは図に示す二つの「L」の重なり部分で起こったものと考えられる。すなわち、東レが求めたものが焼結技術であり、UCCの求めたものがPANの製法に関するものであったと考えられる。製品の競争力を高めるためには、科学的知識と製造技術の双方を高度化しなければならない。時間の経過に伴い、「L」すなわち、研究開発活動は図の右斜上に移動していく性格を有するものとして位置づけられる。この結果、研究開発の最終的結果である製品はハイテク化し、付加価値は上昇していく。一方、これを支えるための共通基盤技術のレベルも向上し、共通の知的ストックの拡大へとつながる。また、製品の付加価値を向上させ、また共通基盤技術を拡大するためには科学的知識の充実が必要不可欠である。この部分は一般に「企業における基礎研究」に相当する部分であるが、科学的知識を充実させるためにはさらに上位の概念であるアカデミックな研究との相互作用がなくては拡大させることはできない。「技術革新を継続して創出させるためには基礎研究が必要である」とされているが、その技術革新を製品の国際競争力に反映させるための過程は容易ではなく、それに付随する多くの周辺技術の高度化の必要性をこのモデルは示すものである。

なお、本研究を進めるにあたり多くの助言を頂いた東レ株式会社ACM技術部長西村 正氏に謝意を表する次第であります。また、本研究は日本工学アカデミーの研究助成による成果の一部であることも付記致します。

参考文献

- [1] 「技術革新プロセスに関する調査研究」，平成元年7月，財団法人 産業研究所
- [2] K. Gonda and F. Kakizaki, "Structures of Science, Technology and Industrial Competitiveness," 3rd NISTEP International Conference, National Institute of Science and Technology Policy, March, 1992.
- [3] 「基礎新素材研究会（座長：田中良平横浜国立大学教授）」通商産業省，平成2年4月
- [4] 東レ株式会社，社内資料
- [5] 「先端複合材料」，日本機械学会編，技報堂，（1990）
- [6] 伊丹敬之+伊丹研究室，「日本の化学産業 なぜ世界に立ち遅れたのか」，NTT出版，1991
- [7] 「航空機用炭素繊維強化複合材料ートレカプリプレグP2302-の開発」，日化協月報，pp.28-32，1991年8月号

R&D Structure in S&T Activities, "L" Shaped Model

