

PAN 系炭素繊維の発明

進藤昭男、竹中啓恭

大阪工業技術試験所

【要旨】

筆者（進藤昭男）が 1959 年に発明した PAN 系炭素繊維について、発明当時の詳しい経緯とその技術内容（第 2 節）、発明後の特許出願や論文などの成果公表の動向（第 3 節）、さらに、発明後の企業への技術指導・技術移転等の実用化支援の状況（第 4 節）や、本発明の工業的位置づけをより明確にすることを目的に発明前後から 1980 年代初期ごろまで、つまり PAN 系炭素繊維誕生前後の黎明期と実用化の初期時代における国内外の動向（第 5 節）を対比して取りまとめた。

1. はじめに

筆者（進藤）によるポリアクリロニトリル（PAN）系炭素繊維の発明は 1959 年^{（注 1-1）}で、現在まですでに半世紀以上も経過した。この間、1972 年の東レ^{（株）}による釣り竿の商品化に端を発しゴルフシャフト、テニスラケット等のレジャー・スポーツ用品、航空機の二次構造材料から一次構造材料^{（注 1-2）}、近年には自動車部品、機械部品、圧力容器等の産業用途も徐々に拡大してきた。最近では PAN 系炭素繊維強化プラスチック（CFRP）が機体重量の 50%以上も占める航空機が登場し、また、自動車車体部材、風力発電部材、建築土木補修補強材等の産業・エネルギー用途も加わり、その市場は産業用途を中心に飛躍的に拡大するとされる。PAN 系炭素繊維は比強度が鉄の約 10 倍、比重が 1/4 と「軽くて強い」という特徴を持ち、省エネルギー、CO₂ 削減、燃費・効率の向上といった時代の要請に合致する不可欠な素材になっている。なお、炭素繊維には PAN 系とピッチ系があるが、その生産量は PAN 系が約 90%を占める。

過去、筆者の PAN 系炭素繊維の発明に至る経緯は他の資料¹⁾に部分的に紹介されているが、本稿ではあらためて発明前後からそれ以降の経緯を述べ、当時の旧大阪工業技術試験所（現 国立研究法人 産業技術総合研究所 関西センター）の組織的施策との関連にも触れながら、本発明が PAN 系炭素繊維の工業化の黎明期・初期において国内外を含めどのような影響を与えたかを時系列でまとめてみる。

・注 1-1)：他の資料に発明年は、「大阪工業技術試験所報告」等の論文を提出した 1961 年と記されることもあるが、実際は後述の第 3 節に記載する特許出願や学会発表を行った 1959 年である。

・注 1-2)：二次構造材は補助翼、方向・昇降舵など飛行性能とは無関係な部材、一次構造材は主翼、尾翼、胴体などそれが破損すると墜落に直結する重要部材。最新のボーイング 787、エアバス A350XWB では CFRP をそれぞれ機体重量の 50%、53%を使用して燃費向上を果たしている。

なお、筆者（進藤）は 1926 年（大正 15 年）5 月生まれで、現在（2016 年）で齢 90 歳になった。高齢化の衰えも感じる事が多くなり執筆もままならなくなった。執筆を旧大阪工業技術試験所の後輩（OB）で AIST 研究秘話の編集メンバーでもある竹中啓恭氏に依頼し、筆者（進藤）がこれをチェックする方式でまとめたものであること、また、各節・各項目の脚注および第 4～6 節は竹中氏が担当したものであることを付記する。

2. PAN 系炭素繊維の発明に至るまでの経緯

2.1. 大阪工業技術試験所への入所

筆者（進藤）は、1951 年に広島文理科大学化学科（現：広島大学理学部）を卒業し、同化学研究科 1 年終了後の 1952 年（昭和 27 年）4 月工業技術庁（同年 8 月に工業技術院）大阪工業技術試験所（以下、大工試）に入所した。学生の頃は社交性に欠けると自覚していたので就職希望は民間企業より国立研究所の研究員を目指し、在学中に国家公務員試験に合格していた。前年応募があつて国立研究所の大工試に無事入所できたことは幸いであつた。当時の大工試は 5 部 31 研究室体制で運営されていたが、配属先は第 1 部炭素研究室であつた。炭素研究室という名称は全国でも珍しかったが、大工試においては大正 11 年の電機用炭素ブラシの研究に端を発して、カーボンブラック、粒状活性炭、電動車両や潜水艦用黒鉛ブラシの研究開発、第 2 次大戦後の物資不足の時代以降は、鉛筆の芯材の研究および JIS 規格の測定法の確立、苛性ソーダ製造用電極板や原子炉用黒鉛等の人造黒鉛材料の開発などに官民（産学官）一体となって取り組んで実績を積み上げていた伝統ある研究室であつた。

2.2. 上司から与えられた研究テーマ

研究部長で研究室長を兼務していた上司（仙石 正氏のちの第 5 代大工試所長）から私に命じられた研究テーマは「炭素の崩れの研究」という一見意味不明のテーマであつた。おそらく上司はそれまでの炭素研究室の研究開発が工業的に重要な炭素材料の製造や評価試験技術にかかわるものが多かったため、逆に、新しい研究分野につながる発想を若い研究者に求めたものと思われる。

とはいえテーマを与えられたほうは「炭素の崩れ」に関する具体的な研究テーマは見つからず、活性炭やカーボンブラックやあるいは黒鉛化カーボンブラックなどの各種炭素材料粉末を対象に硫酸などの酸化剤を使ってどのように酸化されるか（酸化速度、表面物性の相違など）を当面の研究テーマとし、約 7 年間自由に研究していた。しかし、一方で、自分の研究テーマは今 1 つ工業的・技術的なインパクトに乏しいと感じていた。国立研究所で勤務している以上は、工業化できる技術の開発や社会に貢献できる研究をやりたいという思いが常にあつた。加えて、当時の大工試は、戦後いち早く立ち上がったカメラ産業をはじめ様々な分野で工業界に貢献していたが、そのような大工試の研究環境や、戦後十数年経過し工業振興・経済成長が叫ばれていた時代背景が、早く社会に貢献できる研究をしたいという筆者の思いを一層加速していたのかもしれない。

2.3. 炭素繊維を研究するきっかけになった新聞記事

なにか社会に役立つ研究テーマをとの思いから、技術情報収集の一環として個人的に購読した日刊工業新聞に毎日目を通していた。ある日、その新聞の小さな記事の見出しに目が釘付けになった。それは、1959 年（昭和 34 年）5 月 29 日付の日刊工業新聞 16 面「海外技術トピックス」の冒頭にあった短い記事であった。その内容は、米国誌「マシンデザイン」の記事を転載したもので、レーヨンのような繊維を 3000℃に加熱し熱化学的に黒鉛繊維にする方法が米国ナショナル・カーボン社で完成され、色々な用途が期待できると紹介されていた。「これだ！これが求めている研究テーマだ」と直感的に思った。当時知られていた繊維状の炭素は、トーマスエジソンらが 1879 年に発明した電球フィラメント（注 2-1）あるいは炭化水素の熱分解や加圧下の黒鉛電極間のアーク放電によって生成する研究上の特殊なもので、工業化可能な炭素材料としては皆無であった。また、一次元炭素材料、炭素の繊維という新しさにおおいに惹かれた。筆者はこの記事を契機に炭素繊維の研究に取り組むことを決断した。しかし、製法や性質などなにか一つ具体的なことは分からない。とりあえず、「繊維を不活性ガス中で焼成して繊維の形状を保つ炭素ができる原料繊維をまず見つければよい」との考えで実験を開始した。

研究室にあった石英スプリング式熱天秤（図 1）を用いて、手元にあった繊維、あるいはデパートの布地売り場で集めた様々な端切れを小さな石英皿（図 2 右図の F）に繊維を入れ片っ端から窒素雰囲気中で約 1000℃付近まで焼成してみた。結果は、繊維状炭素どころか跡形も無くなるかあるいは溶けてから炭化した残渣が得られるだけであった。様々な条件を変えて実験をしたもののどうにもならない日々が続いた。

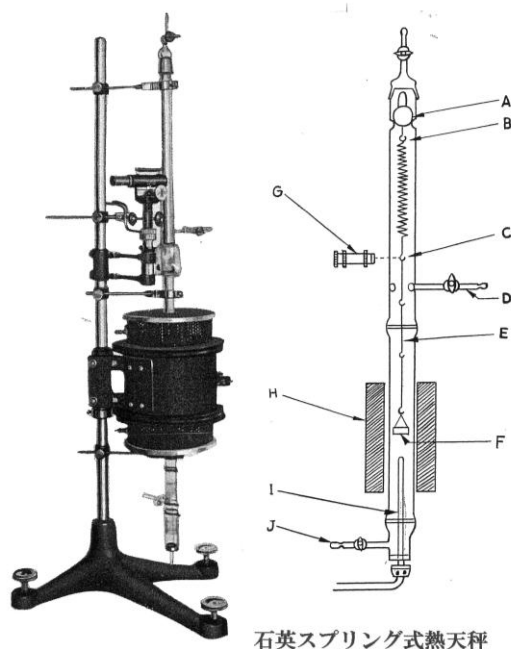


図 1 最初の実験に使用した石英スプリング式熱天秤

（スプリングの伸びの変化で加熱による試料の重量変化を測定する装置）

・注 2-1：電球のフィラメントには、綿や日本（京都八幡）の竹を炭化焼成した炭素繊維等が使用された。後年、1910 年代にはタングステンフィラメントに代替された。

2.4. ポリアクリロニトリル (PAN) 系繊維に着目した経緯

そこであらためて合成繊維そのものの勉強をし直すことにした。図書館で見つけた 1 冊の本^(注 2-2)に主要繊維性質一覧表が載っていた。強度等の機械的性質、酸・アルカリ耐性等の化学的性質とともに熱の影響という欄があった。そこには、他の多くの合成繊維では溶融あるいは分解するとあるのに「オーロン」^(注 2-3)という繊維だけがなぜか「235℃で粘る」と記載されていた。「他の繊維と加熱の影響が違う。ひょっとするとこれはいけるのではないか」という予感が走った。

ちょうどその日の午後、筆者の実弟（村上瑛一氏）から小荷物が研究室に届いていた。それは、当時、繊維会社（帝国人絹㈱）に勤務していた弟に、様々な種類の合成繊維を送ってほしい旨依頼していたものであった。中を開けてみると数種の合成繊維とともに、たまたま「オーロン」繊維の綿が入っていた。

早速、図 1 の熱天秤の石英皿にその綿の一部を指で小さく丸めて入れ、焼成してみた。温度を下げ石英皿を取り出してみると、今までの実験で見たこともない炭化した黒い毛玉が残っていた。成功の可能性を感じとることができたこの実験を契機に、PAN 系繊維に絞って実験しようと思い、いくつかの繊維関連企業に依頼して PAN 系繊維を提供していただき研究を進めていった。

図 1 の熱天秤ではごく少量の試料しか焼成できないので、図 2 のような試料の出し入れと窒素ガス置換が可能な石英製のサンプル管を製作した。その中に長さ 10cm 程度の PAN 系の長繊維の束を入れ、開閉式管状炉に設置して約 1000℃まで昇温焼成した。焼成実験を繰り返していたある日、黒い光沢をもった束が得られた。指に巻き付けてみると、折れたり切れたりすることなくしっかり巻き付けることができた。これが炭素繊維らしきものを作製できた最初の経験であった。

今でもその時の黒い光沢、指の感触、ドキドキした胸の高まりを忘れることがない。

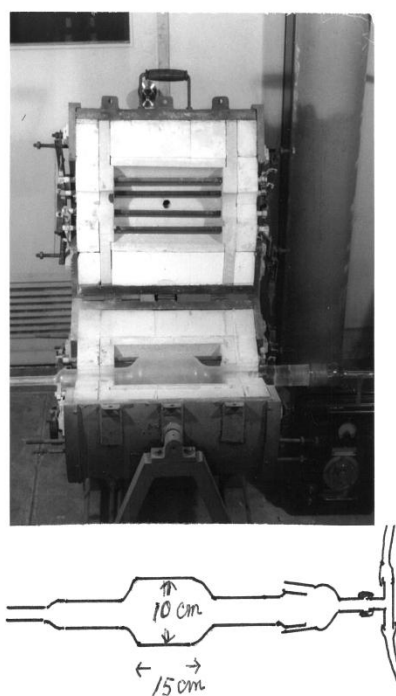


図 2 PAN 系炭素繊維生成実験装置

・注 2-2) : [ゴムと合成樹脂] 井上 稔、山田準吉著 日本化学会編 大日本図書 1955.8

・注 2-3) : 「オーロン」とは米国デュボン社がナイロン（1939 年）に次いで 1951 年に開発したポリアクリロニトリル繊維の商品名である。1952 年以降日本の繊維メーカーもその合成繊維の研究開発を始めることになる。

2.5. 耐炎化処理（予備酸化処理）の発見

PAN 系炭素繊維製造の基本特許のキーポイントになる予備酸化処理工程を発見するきっかけとなった実験は以下の通りである。

実験で生成した炭素繊維の性質や物性・構造を調べるためには多くの試料を必要とする。そこで、原料の繊維（原糸）量を増やして焼成してみた。ところが、量の少ない実験結果と異なって、指でつまむと粉々になるもろい繊維しか得られなかった。なぜであろうか。炭化焼成時は空気中では繊維が燃えてしまうため窒素ガス雰囲気にする。しかし、炭化焼成前にサンプルは空気中にあり温度を徐々に上昇させていたことから、炭化焼成前にこの空気（酸素）が必要ではなかったと考えた。つまり、原糸が少量の時はその量に見合うだけの酸素が図 2 の石英サンプル管に存在したが、原糸量を多くすると残存酸素が不足して強い繊維にならないのではないかと推測し、実験を重ねた。その結果、鉄の小さなフレームに 5%位の縮み代を考慮して PAN 繊維をゆるく巻き付け乾燥機の中で一晩ゆっくり空気酸化処理を施すと、ピーンと張った黒い糸となった。これを炭化処理して得られた炭素繊維は高収率で、同時に引張り強度が著しく改善されることが分かった。このようにして PAN 系炭素繊維の製造工程では炭素焼成する前に空気中で酸化処理工程が不可欠であることを突き止めた。この空気中の酸化処理は、酸化後の黒色を呈する PAN 繊維が炎を近づけても燃えないことからのちに「耐炎化処理」と呼ばれるようになった。

2.6 本格的な研究の開始とその概要

その後さらに詳細な研究を進めた。室温から 1000℃までの各温度における繊維試料の重量減少や元素組成定量分析（C,H,N,O）および焼成過程で試料から発生するアンモニアや HCN などの発生ガスの定量分析からどのような過程で PAN 繊維の炭素化が進行するのか、試料の X 線・電子線解析から、どのようにその構造が変化していくのか、炭素繊維の引張り強度（破壊切断しにくさ）やヤング率（引張弾性率：変形しにくさ・堅さ）の測定により機械的物性がどのように変化していくのかを明らかにした。また、原糸として PAN 繊維と PAN 共重合繊維（倉敷レイヨン(株)商品名：エクスラン）を用いた原糸による影響や、耐炎化の処理した試料と処理しない試料の比較によつての耐炎化処理の影響を明確にした。さらに、炭素繊維を高温（1000～3000℃）で焼成すると、繊維軸と平行に配向する炭素六角網目面の重なりからなる黒鉛結晶子が成長して黒鉛化が進行すること、それによつて弾性率が大きくなるが、黒鉛化に伴う欠陥等の増加によつて引張り強度が低下する傾向なども確認した。以上の結果は 1961 年発刊された「大阪工業技術試験所報告 317 号」（後述）に記載しているので、興味のある方は別途お読みいただきたい。

ここでは、参考のため PAN 系炭素繊維の製造過程（図 3）のみ簡単に紹介しておく。PAN 繊維の原糸（プレカーサー）を 200℃～300℃空気中でゆっくりと酸化させると図のように環化反応が起こり縮合ピリジン環を主成分とする窒素原子を含む 6 員環が連なったはしご構造になって炎に入れてもほとんど燃えない耐炎化糸になる。さらに不活性ガス中でゆっくり昇温していくと NH₃や HCN、H₂O、CO₂等のガスを発生して、はしご構造分子同士

が結合し六角炭素網目構造を維持・成長させながら順次炭化が進行し、少量の N や H が残存するいわゆる一般の炭素繊維^(注 2・4)になる。さらに高温で黒鉛化させると黒鉛結晶子が発達した高弾性率を持つ黒鉛化糸となる。

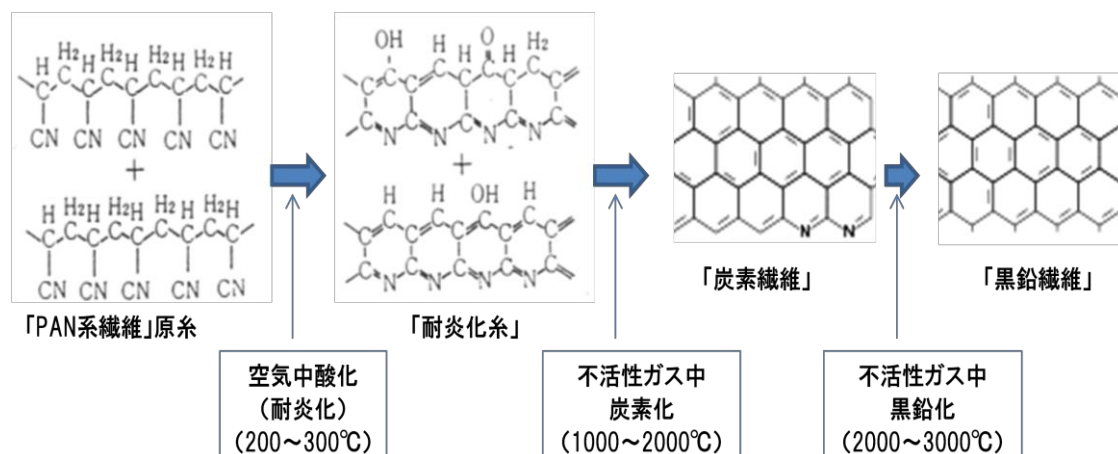


図 3 炭素繊維生成過程における六角網平面の形成と配向性

3. 特許出願や成果の公表

3.1. 特許 (1959 年)

1959 年 (昭和 34 年) 9 月に上司の指示もあってそれまでの研究成果に基づき特許出願 (特願昭 34-028287) を行った。前記の日刊工業新聞の記事を見つけて実験を開始してからわずか四か月足らずのことであった。特許名称は「アクリルニトリル系合成高分子物より炭素製品を製造する方法」で、その内容は「PAN 系の繊維や薄膜などを 350°C までの温度で酸化性雰囲気の中で、その後 800°C あるいはそれ以上の温度で加熱して、出発物に似た形状の炭素もしくは黒鉛製品を製造する方法」と請求範囲を規定し、その技術的核心は炭素繊維製造に不可欠な耐炭化処理工程であった。この特許は出願から 3 年後の 1962 年に成立した。これがのちに企業に実施許諾する PAN 系炭素繊維製造の基本特許²⁾となり、特許期限 (1977 年) まで使用された。

なお、外国特許は国内特許出願日より 1 年以内という期限内に出願しなかった。当時、外国特許出願には多額の経費がかかり予算上の制約もあったが、筆者も含め関係者が外国出願するほどの価値ある特許とはっきり確信できなかったことによる。

・注 2・4) : 炭素繊維の定義 (ISO) は「有機繊維を焼成して得られる炭素含有率 90%以上の繊維」とされている。汎用グレードの PAN 系炭素繊維は 95%が炭素で残りの主成分は窒素 (N) である。さらに黒鉛化したものは炭素含有率がほぼ 100%になる。

3.2. 学会発表と広報誌（1959 年）

特許出願した翌月の 10 月、化学関係学協会連合秋季研究発表会³⁾において初めて発表を行った。11 月には大工試の研究成果を民間企業や他の研究機関等にいち早く知ってもらうため発刊される月刊広報誌「大工試ニュース」⁴⁾に「新しい炭素材料・黒鉛繊維の製造」と題して研究紹介を行った。一般向けの広報誌なので、新しい炭素繊維という素材が将来どのように役立つのかを分かりやすく記載することが必要であった。当時想定した用途は、炭素製品そのものが持つ高温耐熱性、耐薬品性、電気伝導性に加えて繊維状炭素という特徴を生かした用途、つまり、酸アルカリや非酸化性高温ガス雰囲気能耐える濾過材、赤外線放射体や真空管フィラメント、合成樹脂の充填材、帯電防止材、紐状や布状に加工できるので電気用のリボン（電熱布）などに利用可能であろうと記載した。

3.3. 論文（1961 年）

「大阪工業技術試験所季報」^(注 3-1)に 1961 年（昭和 36 年）4 月、2 つの論文^{5,6)}を投稿した。さらに同年 12 月には、学術的・技術的に一応まとまった研究が刊行の対象となる「大阪工業技術試験所報告」（大正 9 年 4 月創刊、不定期刊行）に「Studies on Graphite Fiber」と題して、製造方法、反応機構、黒鉛化および構造解析、機械的強度測定など一連の研究成果を英文で記述した。これがのちに日本より欧米で高く評価された「大工試報告第 317 号」（英文 52 頁）⁷⁾である。なお、同内容で母校の広島大学から理学博士（昭和 36 年 12 月）を授与された^(注 3-2)。

3.4. 国際学会への PAN 系炭素繊維の発表（1963 年）とその影響

PAN 系炭素繊維を初めて国際的に発表したのは、1963 年（昭和 38 年）6 月、米国ピッツバーグ大学で開催された The 6th American Carbon Conference(The American Carbon Society 6th Biennial Conference-Pittsburgh PA)において「On the Carbonization of Polyacrylonitrile Fiber」と題して代理で発表してもらった。ちなみに、当時の Conference

・注 3-1)：戦後の混乱期で学会活動や学術雑誌刊行が不十分だった当時に所員の研究成果をすみやかに発表する目的で創刊（昭和 23 年 3 月～平成 7 年 12 月廃刊）された所内査読審査の研究論文誌。

なお、共同筆者（竹中）が 1986 年に留学したカリフォルニア大学バークレー校の図書館に 1960 年代 70 年代の大工試季報・報告が書架に並べられていた。他の工技院研究所のものは無かったので、進藤の炭素繊維関連の情報あるいは大工試の次の発明で日本の液晶産業の勃興に貢献した透明導電膜の情報源として入手していたものと思われる。

・注 3-2)：進藤が研究を決意した新聞記事の日付を研究開始日とすれば、わずか 4 か月弱で特許出願に至り、大工試報告第 317 号の発表と博士号を取得したのは研究開始後わずか 2 年半後のことである。国立研究所の通常の研究職員としては異例の早さといえる。「大工試報告第 317 号」の謝辞で述べられているように発明当時所長を務めていた仙石 正の助言や支援策をもとに、実験協力者の藤井 祿郎・福田秀子・足立正和、X 線測定の高橋 輝・井上照代、元素分析の川原昭宜、倉敷レイヨン(株)の研究員（強度測定）の各氏からなるチーム結成が大きく貢献したと推察できる。

のプログラムを見ると、全体の発表件数は約 170 件、うち炭素繊維に関わるのは筆者を含めわずか 3 件、他 2 件は UCC 社研究者によるセルロース系炭素繊維の炭化に関わるものであった。筆者の発表内容は 1000℃までの炭化過程、構造・強度を中心に紹介したものであったが、当時知られていたレーヨン系炭素繊維と比べ 3 倍もの高いヤング率(140GPa 以上)、レーヨン系の炭素収率が 20%以下に比べ PAN 系が 50%以上と高いこと、また製造工程が比較的簡単そうなことに注目が集まった。

欧米における PAN 系炭素繊維の研究は事実上この国際発表を契機に開始されることになった。とくに、英国に飛び火することになるが、これについては後述 (5.1.2.) において述べることにする。

3.5. 米国空軍研究所大佐の来所 (1965 年)

PAN 系炭素繊維の発明以降、可撓性の高い炭素織布の製造法、PAN 系炭素繊維強度の向上や製造時間の短縮法などの改良研究とともに、レーヨン系や脱水 PVA(ポリビニルアルコール：ビニロン)系繊維を用いた新しい炭素繊維製造法の研究等を行っていたが、その後、研究方針を変える転機になった事象を紹介する。

1965 年に米国空軍研究所のボステルネク大佐が筆者の論文を見て大工試を訪れた^(注 3-3)。会って話してみると、筆者の作った炭素繊維を両手で引っ張って「強い強い」と言いながら「炭素繊維はできるだけ堅くて(高弾性率)強いほうが良い。プラスチックと炭素繊維を組み合わせると軽くて丈夫な炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastic：CFRP) ができる」と言った。前記「大工試ニュース」で述べたように、炭素繊維の用途は耐熱性、耐薬品性、電気特性と「繊維というしなやかさ」を生かした用途が適すると考えていたので彼の発言は当初意外に思ったが、将来の炭素繊維利用形態を考えると、もし CFRP を構造材料として使用できれば、軽くて強いという特徴を生かした用途が格段に広がりその工業的重要性は大きくなると考えられた。

米国大佐のこの発言がきっかけとなって、その後、CFRP に関する研究を、1967 年度から宇宙開発関連技術の特別研究、1968 年から新材料技術関連の特別研究、1973～1977 年度海洋資源開発技術の特別研究において研究を実施した。また、1975 年からは工業化のための標準化の特別研究の実施など、CFRP や炭素繊維の評価法の研究に重点を置いていった。

・注 3-3)：大佐の所属する The U.S. Air Force Materials Laboratory ではロケットノズルやミサイル先端部および航空機・軍用機用の高強度・高弾性の CFRP 開発のために UCC 社のレーヨン系炭素繊維開発の財政支援を実施していた。技術調査の一環として PAN 系炭素繊維の発明者の進藤を訪れたものと推測される。

4. 発明後の技術移転実用化支援の系譜（1959 年～1974 年）

PAN 系炭素繊維の発明後に大工試（進藤）がどのように企業への技術移転・実用化支援を実施したかについて紹介する。

前記 1959 年の「大工試ニュース」等の公表のあとすぐに、過去大工試と技術交流があった多くの企業が研究室を訪れるようになり、技術相談を受けた。これらの全体の記録や記憶は定かではないが、大工試との正式な契約締結を要する制度である「技術指導」^(注 4-1)、「受託研究」^(注 4-2)、「特許実施許諾」は、幸い大工試の年史⁸⁾に記録が残されている。そこで、当時の契約年度、企業名・契約の種類・題目の一覧を時系列（発明時から 1974 年まで）にまとめたものを表 1 に示した。

最初に技術指導契約をしたのは松下電器産業(株)、次いで日本カーボン(株)であった。両社との契約上の関係は 1962 年まで継続され、同年、前記基本特許はまだ成立していなかったが、いわゆるオプション契約で日本カーボン(株)と松下電器産業(株)、さらに普段から研究室と交流のあったカーボンメーカーの東海電極製造(株)の 3 社に対して特許の実施許諾を行った。各社とも実用化を図っていたが、そのなかで日本カーボン(株)は同年に月産 500kg の PAN 系炭素繊維製造プラントを建て、商品名「カーボロン」として販売を開始した。当時明確な市場があったとは言えないが、期待された用途は、従来の製品にない耐熱性、電導性、柔軟性で、その用途は石油ストーブの芯、電熱布、静電気防止剤、耐熱材、耐熱パッキングなどであった。

1963 年には日本で初めてロックウールやガラス繊維の工業化実績をもつ日東紡績(株)に特許の実施許諾を行った。1964 年以降は、東洋紡(株)と住友化学工業(株)の共同出資による日本初の PAN 繊維メーカーとして設立（1956 年）された日本エクスラン工業(株)や、国産初の合成繊維ビニロンの工業化（1950 年）に成功した倉敷レイヨン(株)（現 (株)クラレ）などの繊維メーカーからの受託研究を実施した。なお、倉敷レイヨン(株)は、PAN 系炭素繊維ではなく当時大工試で研究していた脱水 PVA(ポリビニルアルコール：商品名ビニロン)系繊維を用いた新しい炭素繊維製造法に関わる受託研究であった。また、1969 年から 2 年間、積水化学工業(株)に PAN 系炭素繊維の改良法や CFRP 関係等で技術指導を行った。

-
- ・注 4-1)：大工試の所掌による技術指導制度は、関連企業等の要望に応じて、研究所で蓄積した技術やノウハウ等を教え、被指導者の受け入れを行う制度（1952 年度発足）である。単なる指導や共同研究的なものなど運用形態は様々であるが、企業にとっては研究現場ですぐにノウハウ等を把握でき、また企業の若手研究者育成のメリットがある。一方、受け入れ側は通産省系の国立研究機関としてなすべきミッションに合致するとともに、指導者は企業現場のニーズ・技術課題等を把握できるメリットもある。複数企業の同時受け入れもあるが、指導者は企業相互の秘密保持に努める。
 - ・注 4-2)：受託研究制度とは研究成果の普及、工業化への結びつきなどを目的に、大工試で実施している研究内容や設備を活用して、民間企業から研究の委託を受けて実施する制度（1956 年発足）。

1970年に東レ(株)および日本ビラー工業(株)に特許実施を許諾した。東レ(株)については 5.2.1 項であらためて述べる。日本ビラー工業(株)はグランドパッキンやガスケット等の総合シー ルメーカーで、1972年に炭素繊維系グランドパッキンを商品化し、現在も販売されている。

表 1 大工試(進藤)による PAN 系炭素繊維に関わる「技術指導」、「受託研究」、および 「特許実施許諾」の系譜(1959年～1974年)

年度	企業名	契約の種類	題目
1959	松下電器産業(株)	技術指導	黒鉛繊維の製造法
1960	日本カーボン(株)・松下電器産業(株) 日本カーボン(株)	技術指導 受託研究	黒鉛繊維の製造 黒鉛繊維の研究
1961	日本カーボン(株)	受託研究	アクリロニトリル系ポリマー繊維から炭素 繊維の製造に関する研究
1962	日本カーボン(株)・松下電器産業(株) 日本カーボン(株)・松下電器産業(株)・ 東海電極(株)	技術指導 特許実施許諾	炭素繊維
1963	〔日東紡績(株)〕	特許実施許諾	
1964	日本エクソン工業(株)	受託研究	アクリロニトリル繊維の熱分解反応
1965	日本エクソン工業(株)	受託研究	アクリロニトリル繊維の燃焼反応
1967	倉敷レイヨン(株)	受託研究	ポリビニルアルコール系セルロース系繊維の 焼成
1969 1970	積水化学工業(株) 同	技術指導 同	複合材料における充填材として の炭素黒鉛繊維
1970	東レ(株)、日本ビラー工業(株)	特許実施許諾	
1974 まで	東洋ベスロン(株)、昭和電工(株)、三 菱レイヨン(株)、三菱商事(株)	特許実施許諾	

以降、東洋ベスロン(株)(のちに東邦レイヨン、現在は東邦テナックス(株) 帝人グループ)、 昭和電工(株)、三菱レイヨン(株)に順次工業化のために特許実施を許諾した。また、三菱商事 (株)にも英国コートルズ社(5.1.2 項参照)の炭素繊維輸入のために特許実施を許諾したが、 これは、特許法の関係で日本における製造・販売だけでなく、海外でその特許を用いて生 産された炭素繊維であればそれを用いた製品を日本で販売する場合には日本特許の権利が 及ぶので実施許諾が必要であったことによる。

なお、特許の存続期間(有効期限:1977年)までに実施許諾をした上記10社からの国 庫への納入特許料は2億2757万2865円であった。東レ(株)が炭素繊維の商業生産を開始し たのが1971年、釣り竿やゴルフのシャフトに製品として販売したのが1972年とすると実 質的に5、6年間の国庫収入であった。

表 1 のような技術移転を実施した背景について補足したい。大工試は大阪工業会等の関西の要請に基づき大正 7 年（1918 年）に国および関西の工業振興等を目的に創設された歴史を持つ。したがって、時代に応じて常に研究成果を素早く工業化する仕組みを持っていた。進藤が発明した当時の仕組みについては上述の各種制度あるいは第 3 節の季報や広報誌活動でご理解いただけたと思う。ちなみに、日本カーボン㈱等に技術指導をした 1960 年度における大工試全体の技術指導件数を調べてみると 66 件で、契約した企業数はのべ 104 社にのぼる。他の研究分野でも日常的に実施していた制度であることが分かる。進藤の研究が炭素繊維の基礎研究にとどまらずその後 CFRP や炭素繊維の標準化の研究などより工業化に資する応用研究に移行していくのも必然的流れであった。

5. PAN 系炭素繊維発明の前後から工業化初期までの国内外の動向（1955 年～1980 年頃）

発明の経緯、成果の公表、日本企業に対する技術移転等について述べた。これらの動向が国内外にどのような影響を及ぼしたのかを示すために当時の欧米および日本企業の動向を時系列に比較できる年表を作成した（図 4、本節の末頁 p16）。

図 4 の年表は 1957 年の米国 Barnaby Cheney 社がセルロースやレーヨン（再生セルロース）を原料にしたレーヨン系の炭素繊維（Carbon Fiber：以下本節では CF と略）の製造から記載しているが、それ以前の CF に関わる事象があるので、ここに記載しておく。

炭素繊維の始まりは前述のように 1879 年のエジソンが発明した電球の炭化物フィラメントとされている。1910 年代以降タングステンフィラメントに代替されたことはすでに述べたが、そのフィラメントは振動に弱く米国海軍の船艇では 1960 年頃まで炭化物フィラメントの電球が使用されたといわれる。これに関連して第二次大戦末期に後述の UCC 社は政府資金でタングステンフィラメントに代替するレーヨンや綿などのセルロース系炭化物の開発をしていた。終戦とともにその資金が打ち切れ停止するが、UCC 社の民生用部門が依然として興味を持っていたという⁹⁾。また、1956 年米国の F. W. Abbott がレーヨン系 CF の特許を出願（米国登録特許：3,053,775、登録日 1962 年 9 月 11 日）など CF の黎明期に関連する史実もある。

5.1. 欧米の動向（1956 年～1982 年）

5.1.1. 米国 UCC(Union Carbide Corporation)社

1958 年に UCC 社傘下のナショナルカーボン社がレーヨン系 CF 織物を米国空軍研究所のロケットやミサイル部品（ノズル外部コーンやノーズコーンの耐熱材等）用に納入し、さらに民生用にも販路の開拓を図っていた。前述した進藤の研究を触発した 1959 年 5 月の日刊工業新聞の記事（2.3.参照）は丁度この頃に重なる。また、1958 年に UCC 社基礎研究所の R. Bacon が高温高圧中のアーク放電による黒鉛の三重点の研究のなかで「黒鉛ウィスカー」を発見するなど、繊維状炭素の研究開発では当時世界で最も実績のある企業であったといえる。

1959 年に日本の大工試で進藤が PAN 系 CF を発明、特許を出願した。この情報を UCC

社がいつの時点で知り得たか分からないが、少なくとも 1963 年の国際炭素学会において進藤が発表した PAN 系 CF の具体的な技術内容を同学会に参加していた UCC 社の CF の研究者 (R. Bacon, M.M. Tang) が知って大変驚いたことは容易に推察される (3.4.参照)。

しかし、PAN 系 CF の追試をすることなく、1965 年 UCC 社は、自社のレーヨン系 CF の改良研究を行い焼成時の伸長法等の開発によって性能を向上させて工業化した。商品名「ソーネル (Thornel) 25」、さらに機械的強度の高い「Thornel 40,50」などを世に出すが、高価な材料であり、需要はほとんど宇宙・軍需に限られていた。結局、レーヨン系は、機械的強度、炭素収率、製造工程の経済性において PAN 系を凌ぐことはできなかった。UCC 社はレーヨン系 CF から撤退し、当時新しい CF として注目されたピッチ系 CF に次世代の夢を託しその研究開発に重点を置くことになった。一方、PAN 系 CF については、1970 年に原系 (プレカーサー) 製造技術を持つ東レ㈱ (後述) とクロスライセンス契約をすることになり、この一環として東レ㈱の「トレカ T300」を自社の「Thornel T300」という商品名で販売した。米国のベンチャー会社 (Jim Flood:1972 年) がこれを購入してゴルフシャフトを製作し、日本でのブラックシャフトブームの先駆けになったのもこの頃である。

米国の各航空機メーカーも「トレカ T300」をコスト性能比の良さで注目していた。1973 年のオイルショックを契機に米国 NASA が航空機の燃費半減を目指す 10 年間のプログラムを 1975 年に発足させた。これが追い風となり機体の軽量化を図る米国航空機メーカーへの材料認定作業など市場開拓を図った。1982 年に UCC 社が東レ㈱との技術提携で PAN 系 CF の工業化をしたが、その CF 部門は UCC 社の社内財務事情で 1985 年に石油会社アコモに売却され、UCC 技術はピッチ系 CF も含めアコモ社に移行し UCC 社の CF の長い開発の歴史は事実上収束することになった。

5.1.2. 英国およびコートルズ (Courtaulds) 社¹⁰⁾

前記 3.4. に進藤氏の国際炭素学会の発表はとくに英国に飛び火したと記載した。英国王立航空機研究所 (Royal Aircraft Establishment: RAE) で炭素材料の研究に従事していた W. Watt らが、国際炭素学会における進藤氏の発表に触発され 1963 年後半から研究の追試に着手し、原系を延伸しながら耐炎化処理および焼成処理を行い、1000℃以上における強度、弾性率の焼成温度効果を慎重に追跡して改良法を開発¹¹⁾、1964 年に当時としては機械的強度が最高レベルの PAN 系 CF (RAE Fiber) を開発した。1965 年には RAE と連携した英国原子力エネルギー研究所がエポキシ樹脂を使用した複合材料がジェットエンジンのファンブレードに適していると発表した。1967 年 RAE Fiber の技術は、航空機エンジンに CF を適用する研究をしていたロールスロイス社、黒鉛の高温技術を持つ Morgan Crucible 社、アクリル繊維も製造する大手繊維メーカーのコートルズ社の 3 社に実施許諾された。1968 年英国ロールスロイス社が航空機エンジン用に試作したが、強度不足 (耐バードストライク) のため失敗した。あえて技術的に難しい課題に取り組んだ背景には米国のライバル General Electric 社や Pratt & Whitney 社を強く意識していたとも言われ、のちの経営難につながったともいわれる。これが航空機用途に CF が本格的に検討された最初の事例であ

る。最終的にはコートルズ社によって商品名「グラフィル Grafil」として小規模ながら 1969 年に工業化された。なお、Watt らの RAE Fiber の性能（引張強度：約 2GPa、引張弾性率：約 400GPa）が論文に公表¹²⁾されたのは 1966 年のことであった。

英国コートルズ社は後述のハーキュレス社との連携（1972 年）、その後、三菱レイヨン㈱への CF 供給と同社を通して日本・東アジアに一定のスポーツ用品市場を得た。また米国市場を目指して米国 Dexter 社と 1983 年に Hysol Grafil 社（各 50%出資）を米国に設立、1988 年コートルズ社 100%のコートルズグラフィル社となったが、1991 年業績不振で英国・米国とも撤退し、コートルズ社と長い交流があった三菱レイヨン㈱にコートルズグラフィル社を売却した。三菱レイヨン㈱は技術投入を行い現在、子会社のグラフィル社となって同社の重要な米国拠点となっている。

5.1.3. 米国 ハーキュレス (Hercules) 社

米国の化学会社ハーキュレス(社)は 1972 年、米国の宇宙軍需市場を目的に、英国コートルズ社との技術提携を得て PAN 系 CF の工業化を行った。しかし、原糸供給は提携に含まれなかったため、ハーキュレス社はコートルズ社との提携を 1979 年に解消し日本の住友化学工業㈱との提携に切り替えた。住友化学工業㈱は日本エクスラン工業㈱（前述 4 節）で製造された原糸の全量を供給した。同年に住友化学工業㈱との共同出資で「住化ハーキュレス㈱」を設立し、原糸供給の拡大、ハーキュレス社のプリプレグ^(注 5-1)の日本国内販売、日本での CF とプリプレグの生産を図ろうとした。日本での CF の量産も 1983 年に開始された。ハーキュレス社は当時米国 1 位の PAN 系 CF メーカーとなって、1980 年代の米国軍需市場を支配していたが、需要低迷とともに住友化学工業㈱はその提携を解消した。その後住友化学工業㈱から技術導入し自社で原糸から製造することとなったものの、後年（1996 年）CFRP 事業は当時のプリプレガーの大手ヘキセル社に買収されることになる。その他の PAN 系 CF に関係する米国・欧州企業などの動向もあるが省略させていただく。

5.2. 日本の動向

5.2.1 東レ㈱

東レ㈱の CF の成功物語は過去多くの資料¹³⁾に記載されている。これらを参考資料として年表に記載した各項目について簡単に紹介する。

東レ㈱が初めて PAN 系 CF と関わったのは 1961 年である。日本カーボン㈱は 1960 年と 1961 年に大工試（進藤）に技術指導や受託研究を依頼するとともに自社開発を進めていたが、原料である PAN 原糸の提供先との連携を求めていた。1961 年東レ㈱がこれを受けて日本カーボン㈱と共同研究を実施することになったが、本業のアクリル繊維「トレロン」（東レの商品名）事業が多忙になった理由でその共同研究は 1962 年に収束した。

・注 5-1：炭素繊維を幅方向に薄く均一に配列したシートあるいは炭素繊維織物に熱硬化樹脂を予め含浸させた中間製品をプリプレグという。目的の型に固定した後、熱処理を施して硬化させて製品化する。プリプレグ生産事業者をプリプレガーといい、高度な技術が要求される。

一方、1967年、東レ基礎研究所の森田健一氏がナイロン 66 の合成反応の研究する中で、たまたま新規のビニルモノマー HEN（ヒドロキシエチルアクリルニトリル）を世界で初めて合成した。「トレロン」の性質改善に有効ではないかと思われ評価されたが効果がなかった。しかし、「トレロン」の研究リーダーで、上記日本カーボン㈱との共同研究の経験を持つ北川日出次氏（中央研究所）が HEN の 1 分子中に OH 基、つまり酸素を含む化学構造式を見て PAN 系 CF の耐炎化処理の促進効果の可能性に気が付いた。HEN を共重合させた PAN 繊維をカーボンメーカーに提供し検討したところ耐炎化処理の促進効果（処理工程時間の短縮）に加えて、焼成した CF は当時の UCC 社製レーヨン系 CF はもちろん PAN 系の英国 REA Fiber（5.1.2.項参照）を凌ぐ機械的特性を持つことが分かった。

当時の東レ㈱の経営陣は「市場が不明」という中でその高い将来性を感じ 1969 年に全社的プロジェクト「CROW」の開始を決断した。1970 年にレーヨン系 CF の工業的焼成技術をもつ米国 UCC 社とクロスライセンス契約を締結し、パイロットプラント（月産 1 トン）の建設に至るとともに、大工試（進藤）の特許実施許諾を受けた。なお、UCC 社の焼成技術は実際には PAN 系に適用できず自社開発することになったが、UCC 社との連携はその後の米国における航空機需要の開拓に大きく貢献することになる。

1971 年、商業用 PAN 系 CF の生産（年産 60 トン）が開始された。商品名は「トレカ」、代表品種は引張強度 300kg/mm^2 （約 3GPa）の強度から T300 と名付けられた。しかし、生産設備はできたものの、当初航空機用途にと考えていたものの厳しい認定作業に長い年月を要するので、当面の用途がなく自ら市場を創ることが急務であった。

最初に目を付けたのが釣り竿、なかでも長尺を必要とする重い鮎竿（ガラス繊維強化プラスチック製、当時約 1kg）であった。これを CFRP 化することによって約半分に軽量化でき、高価ではあったが釣りマニアに大好評となった。続いて 1972 年 10 月プロゴルフ太平洋マスターズにおいて米国プレーヤーが PAN 系 CF を使用したブラックシャフトを使用し優勝した。そのブラックシャフトは前述のように UCC 社に輸出した「トレカ T300」を使用して米国で作成されたものであったが、これを契機に、需要が急増した。さらに 1975 年前後以降にテニスラケットいわゆる「デカラケ」の需要が加わった。この間、ユーザーの高レベルの厳しい要求に応じて、高引張り強度、高弾性率に対応できる技術を蓄えることになり、その後の航空機需要に対応できる技術の礎にもなった。

一方、米国 UCC 社との連携により米国における航空機用途へと展開を図っていった。1994 年には UCC 社を通じてボーイング 737 の二次材料に採用、1978 年にはボーイング社から東レ製 CFRP が航空機材料として認定され、1982 年ボーイング 767 に二次材料として採用された。この時代、航空機用途の好調とゴルフシャフト、テニスラケットのブームが需要を支え、PAN 系 CF の生産能力も拡大していった。その後、さらに高性能化を図り 1990 年にボーイング社の一次構造材料に認定されるなど、世界のリーディングカンパニーとしての地位を維持し続けるが本稿の範囲外となるので省略する。

5.2.2 東邦テナックス㈱および三菱レイヨン㈱

現、帝人㈱の子会社の東邦テナックス㈱（以前の社名：東邦ベスロン㈱→東邦レーヨン㈱）は1964年からPAN系CFの研究を開始、1971年にパイロットプラントの運転を開始し、大工試（進藤）からの特許実施許諾を受け1975年に「ベスファイト」の商品名で工業化した。米国市場への参入のため1976年米国のセラニーズ社とCFの販売・技術提携を結び、1980年には生産技術を供与するとともに原糸全量を供給して1982年セラニーズ社は生産を開始するに至る。その後の動向や東邦レーヨン㈱による欧州への展開等もあるが、本稿の範囲外であるので省略させていただく。いずれにしても東レ㈱と同様に原糸のアクリル繊維製造、CF製造、プリプレグ製造、CFRP製品化の一貫体制を有する。

現、三菱ケミカルホールディングスの子会社の三菱レイヨン㈱は、東レ㈱や東邦レーヨン㈱と同様にアクリル繊維製造技術を有していたが、1970年CF用原糸の基礎研究を開始、1976年自社の樹脂技術を活かしてコートルズ社からPAN系CFを輸入してプリプレグの生産を開始した。つまり、プレプレガーとしての出発であった。なお、これ以前に大工試（進藤）からコートルズ社のPAN系CF輸入のために特許実施許諾を受けている。1981年米国ヒトコ社から焼成技術を導入しCF製造を開始、1983年からCF製造の本格稼働を行った。東レ㈱や東邦レイヨン㈱の2社から約10年遅れた参入であったが、上記日系2社同様に原糸のアクリル繊維からCF製造、プリプレグ製造、成型加工までの一貫体制を確立している。

以上、東レ㈱、東邦テナックス㈱、三菱レイヨン㈱の日系3社が世界の約60%以上のシェアを有しており世界のPAN系CF市場をけん引しているのが現状である。

5.2.3. その他の国内企業

図4の年表には記載していないが、1980年代前半までのその他の日本の動向としては5.1.3.で触れたように、住友化学工業㈱と米国ハーキュレス社との共同出資で「住化ハーキュレス社」を設立（1979年）、また、1983年旭化成工業㈱と日本カーボン㈱との合弁会社「旭日本カーボンファイバー」設立などの動向もある。なお、旭化成の合弁会社は1986年に旭化成工業の100%子会社（旭化成カーボンファイバーのち新旭化成カーボンファイバー）になって当時世界6位の生産量を持つようになっていたが、1994年需要低迷と円高の影響で撤退、設備は三菱レイヨン㈱に、プリプレグ製造設備は台湾プラスチックに売却された。

以上、各種文献を参考に日米欧企業等の1980年初期までの系譜を年表に沿って大まかに説明した。1980年台後半にはスポーツ用品の順調な伸びや、航空機需要の拡大が予測され世界の大企業の新規参入が相次いだ。しかし、その後の過剰生産や軍需・航空機需要の低迷などで、撤退や買収による集約化・寡占化が進むが、結局、炭素繊維の品質を支配する高度な重合・紡糸技術に裏打ちされたPAN原糸（プレカーサー）製造技術をもち、かつ、炭素繊維製造技術、プリプレグ製造技術、そして製品化技術と川上から川下までの一貫した生産技術を握る繊維メーカーが勝ち残って今日に至っている。

今後、将来の自動車や風力発電等の産業用途の市場拡大が確実なことから低価格化に関して新興国との国際競争が激化するものと考えられているが、日系企業グループの優れた

図 4 PAN 系炭素繊維開発の黎明期および工業化初期における国内外の動向

1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985
欧米の動向	米国ナショナルカーボン社、PAN系CFをUCC社が米空軍に納入(58) 米国パーキナー・エー・社木綿・レーヨン系CF製造販売(57)	英国RAEのPAN系高弾性CFを開発(63) 英国国家プロジェクト(64) 米国UCC社がレーヨン系CFを工業化(65) 英国ロールスロイス社ジェットエンジン実用化試験(67)	米国UCC社東レとクロスライセンス(70) 英国コートルズ社少量生産開始(69)	米国UCC社が東レのトレカ3300をUCC社の商品名で販売 米国ハーキュレス社がコートルズ社技術提携により工業化(72)	米国UCC社がPAN系CFを東レとの技術提携で工業化(82)	コートルズ社米国にHysol Grati社(コートルズグラフィル社)を設立(82)
	大工試(進藤)の動向	米国炭素会議にてPAN系の優位性を発表(63) 日本カーボン、他二社に特許実施許諾(62) 大工試所報告317号(61) 日本カーボン等に技術指導を開始(60) 進藤によるPAN系CFの発明(59)	東レ、日本ビラー工業に特許実施許諾(70) 周辺特許(国内26件、国外7件)を固める 炭素繊維強化プラスチックの研究開始(67) 米国空軍研究所大佐が大工試を来訪(65)	標準化研究開始(75) 東邦レーヨン、三菱レーヨン、三菱商事等に特許実施許諾(74迄)	3S炭素繊維試験方法J7601制定(80)	
日本企業の動向	日本カーボン試験生産開始(62) 日本カーボン、東レとの共同研究(61)	東レPAN系炭素繊維の技術開発開始(67) 東レ新規化合物EMZ発見(66)	東レ米国UCC社とクロスライセンス(70) 東レ全社プロジェクト生産技術開発開始(69)	東邦レーヨン生産開始(75) ゴルフシャフトに続いてテニスラケットで用途拡大 東レ、釣り竿に商品化(72) 東レ世界初のPAN系CFの商業生産開始(71)	東レボーイング社から航空機材料として認定(78) ボーイング737二次構造材に初採用(75)	東レCFをボーイング767二次構造材に使用(82) 三菱レーヨン生産開始(81)

力を発揮され、より発展することを願っている。最近のあるいは今後の世界市場動向等については例えば炭素繊維協会のセミナー資料などを参照されたい¹⁴⁾。

5.3. 発明の歴史的位置づけ

1959 年の大工試進藤の PAN 系 CF の発明を技術の源流とすると、その流れは 2 つに分かれる。1 つは大工試進藤から「日本カーボン等への技術移転 (1960 年)」に始まり、「日本カーボン(株)と東レとの共同研究 (1961 年)」、「東レ(株)が別途発明した HEN を PAN 系 CF の原系にうまく適用 (1967 年)」、「特許実施許諾を介した東レ(株)の PAN 系 CF の工業化 (1971 年)」、さらに「特許実施許諾を介した東邦レーヨン(株)の工業化 (1973 年)」までに至る日本国内の流れである。2 つ目は「進藤の国際炭素学会の発表 (1963 年)」に端を発して「英国 RAE の改良研究」、ロールスロイス社の航空機用途へ適用と「コートルズ社の工業化 (1967 年)」までに至る流れである。そして、この 2 つの流れは別々に PAN 系 CF の最大の消費地である米国に至ることになる。2 つの流れは次々と支流を生じるが、逆にどの支流から技術の源流を辿っても、進藤の発明に辿り着く。

いずれにしても PAN 系 CF はそれまでのレーヨン系 CF を駆逐して、現在の世界 CF 市場の 90%を占めることになった。進藤の発明は歴史的にみても非常に重要なブレイクスルーであったことは間違いないであろう。

6. あとがき

最後に、進藤は語る。「発明当時、今日ほど用途が拡大するとは夢にも想像できなかった。強化繊維については発明後も様々な材料が開発されたが、用途の広さや生産量から見ると結局 PAN 系炭素繊維だけが残った。」「研究環境に恵まれたこと、炭素繊維の新聞記事と出会ったこともそうだが、実弟から送られた小包の中に PAN 繊維オーロンが入っていたことは幸運だったとしか言いようがない」という。開発が盛んになり始めた黎明期、いわば研究者肌で、主張することが苦手で寡黙な進藤にとっては「特許を成立させたから、私が発明者であることが認知された。」とも、また、東レを筆頭とする日系 3 社が、工業化以降、約 40 年にわたる赤字事業に耐え抜きながら、優れた生産技術を開発し、経営・国際戦略を進化させて黒字に転換させ、世界のシェアの 60%以上を占めたことに対しては「種もよかったが、それを育てた畑もよかった」という。

<共同執筆者後記>：進藤昭男氏は本年(2016 年)10 月 31 日早朝心不全のため突然ご逝去されました。ここに記載しましたように日本の産業界に多大な貢献をされた研究者のお 1 人であり、その御功績を偲びながら心よりご冥福をお祈り申し上げます。なお、本稿はご本人がチェックされていた最中での不幸であったため、ご遺族のご了承を得て公表させていただいたことを申し添えさせていただきます。

<文献>

- 1) (例えば) ①志村幸雄著 「誰が本当の発明者か」 p57-66 講談社 (2006 年)
②中村 治、大花継頼、田澤真人、横田慎二、篠田 渉、中村 修、伊藤順司：「PAN 系炭素繊維のイノベーションモデル」 シンセオロジー、Vol.2、No.2、PP159-169(2009)
③「進藤昭男先生インタビュー」化学語り部：オーラルヒストリー (第 16 回) 日本化学会 化学遺産委員会(2013)
- 2) 進藤昭男、藤井禄郎、仙石 正「アクリルニトリル系合成高分子物より炭素製品を製造する方法」特公昭 37-4405 昭和 37.6.13 特許番号 304892.
- 3) 進藤昭男、藤井禄郎、高橋 輝、仙石 正：黒鉛繊維の研究 (第 1 報) —熱処理に伴う結晶子の成長：化学関係学協会連合秋季研究発表会、1959 年 10 月 19 日
- 4) 「新しい炭素材料—黒鉛繊維の製造—」大工試ニュース 3(11),(1959)
- 5) 進藤昭男：炭素繊維の研究 (I) 熱処理に伴う結晶子の成長：大阪工業技術試験所季報 12(2)、p 110 (1961) .
- 6) 進藤昭男：炭素繊維の研究 (II) 熱処理に伴う引張り強度変化：大阪工業技術試験所季報、12(2)、p 119(1961)
- 7) A. Shindo, 大阪工業技術試験所報告「Studies on Graphite Fiber」317 号 (1961)
- 8) 大阪工業技術試験所五十年史 (昭和 42 年 11 月発行) および六十年史 (昭和 53 年 10 月発行)
- 9) High Performance Carbon Fibers, National Historic Chemical Landmark, American Chemical Society(2003),
<https://www.acs.org/content/education/whatischemistry/landmarks /carbonfibers>.
- 10) Geoffrey Owen, [Innovation in the man-made fibres industry: corporate strategy and national institutions], Department of Management, London School of Economics
Paper prepared for seminar at SPRU, October 21st, 2012
- 11) RAE: BP 52708 (1964).
- 12) W. Watt, W. Johnson: The Engineer, 221, 815(1966).
- 13) (例えば) ①青島矢一、河西壮夫、一橋大学イノベーション研究センター、経済産業省「技術経営人材育成プログラム導入促進事業」MOT ケース・MOT ビデオケースプロジェクト、「CASE # 05-03 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」、および「CASE # 05-04 東レ炭素繊維複合材料 “トレカ” の事業戦略」(2005 年 2 月)
②石井正道「独創的な商品開発を担う研究者・技術者の研究」、pp25-37、文科省科学技術政策研究所(2005 年)
- 14) (例えば) 炭素繊維協会 HP 第 26 回複合材料セミナー(2013)「PAN 系炭素繊維の現状と将来」小野貴弘 (三菱レイヨン)、第 27 回複合材料セミナー(2014)「同」河村 雅彦(東レ)、第 28 回複合材料セミナー(2015)「同」乾 秀桂 (東邦テナックス) など

<進藤昭男 (Akio SHINDO) 略歴>

1951 年：広島文理大学化学科卒、同研究科 1 年修了
1952 年：工業技術庁大阪工業技術試験所に入所、第 1 部炭素研究室に配属
1961 年：広島大学 理学博士
1987 年：同所を定年退官
同年：東亜燃料工業(株) 嘱託 総合研究所に非常勤で勤務
1993 年：同社を退職
2012 年：国立大学法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー

<その他>

1978 年 7 月～1979 年 11 月：炭素繊維試験方法工業標準原案作成委員会委員長
1984 年 5 月～1985 年 2 月：同上
1983 年 5 月～1985 年 5 月：自動車技術会複合材料特設委員会委員
1985 年 6 月～1986 年 7 月：第 3 回日米複合材料会議組織委員会委員

<表彰>

1972 年 4 月：科学技術庁長官賞
1973 年 11 月：通商産業大臣賞
1974 年 12 月：毎日工業技術賞
1977 年 4 月：第 25 回科学技術賞（日本化学会）
同年 11 月：紫綬褒章
1987 年 9 月：Medal of Excellence in Composite Materials 米国 Delaware 大学
1991 年 10 月：技術功労賞（日本セラミクス協会）
1996 年 11 月：勲四等旭日小綬章
2016 年 2 月：科学技術と経済の会会長特別賞「技術経営・イノベーション賞」

<共同執筆者：竹中啓恭 (Hiroyasu TAKENAKA) 略歴>

1975 年：京都大学大学院工学研究科博士課程修了
同年：通商産業省工業技術院大阪工業技術試験所入所 第 5 部無機化学研究室に配属
同年：京都大学工学博士取得
1984 年：米国カリフォルニア大学バークレー校に留学(1 年間)
1985 年：工業技術院サンシャイン計画推進本部に出向（1 年間）
1988 年：大阪工業技術試験所 機能応用化学部 電解プロセス研究室 室長
1993 年：同所 研究企画官
1995 年：大阪工業技術研究所 エネルギー・環境材料部研究部長
1998 年：同所 光機能材料部研究部長

1999 年：和歌山県工業技術センター所長に出向（2 年間）

2001 年：経済産業省技術環境局評価技術調査課企画評価調査官に出向(2 年間)

2003 年：(独) 産業技術総合研究所関西センター所長代理

2005 年：(独) 産業技術総合研究所つくばセンター次長

2007 年：定年退官

同年：産業技術総合研究所関西センター産学官連携センター副センター長に再採用

2009 年：産業技術総合研究所 研究参与

2010 年：近畿大学工学部 特任教授

2013 年：同大学定年退職、 ～現在に至る

<その他>

1995 年～：大阪大学大学院理学研究科併任教授（4 年間）

1997 年～：立命館大理工学研究科客員教授（2 年間）

2004 年～：京都工芸繊維大学共同研究センター客員教授（1 年間）

2007 年～：東京工業大学非常勤講師（2 年間）

2013 年～：経産省 NEDO 水素プロジェクト関連の委員(3 年間)

：電気化学会関西支部顧問、電気化学会電解科学委員会監事

<表彰>

1983 年：電気化学協会棚橋賞（現 電気化学会技術賞）

1984 年：工業技術院サンシャイン計画功労表彰

1993 年：科学技術庁長官賞

2004 年：電気化学会電解科学委員会 工業電解業績賞など

受理日：2016年12月1日
