

PAN系炭素繊維のイノベーションモデル

— 励振モデル；研究者の活動とマネジメントの相乗効果 —

中村 治^{1*}、大花 継頼²、田澤 真人³、横田 慎二⁴、篠田 渉⁵、中村 修⁶、伊藤 順司⁷

公的機関の研究成果が社会に認知され、大きな影響を与え、産業変革につながっていった「PAN系炭素繊維」を取り上げ、この顕著なイノベーションの過程の中で、その核心にある旧大阪工業技術試験所および研究者の行動を中心に、①研究者の意識、②研究テーマ設定に係る研究者と研究管理者（マネジメント）の意識、③研究成果の発信と受け手の態勢、④研究成果活用のための人的及び情報ネットワーク、の観点から、その実相を検証した。さらに、一連のプロセスの構造化を図ることにより、イノベーションモデルとして『励振モデル』を提案する。

キーワード：PAN系炭素繊維、イノベーションモデル、技術移転、研究管理

Study on the PAN carbon-fiber-innovation for modeling a successful R&D management

– An excited-oscillation management model –

Osamu Nakamura^{1*}, Tsuguyori Ohana², Masato Tazawa³, Shinji Yokota⁴,
Wataru Shinoda⁵, Osamu Nakamura⁶ and Junji Itoh⁷

We have investigated the processes of invention of PAN (Polyacrylonitrile) carbon fiber and its technology transfer to private companies. From this investigation and analysis, we have found a new R&D management model, named “excited-oscillation model”. This model suggests that both the top-down management and the personal motivation should be in phase and synergetic with each other. In this paper, the results and concept of the above model are described in detail.

Keywords: PAN-based carbon fiber, innovation model, technology transfer, management

1 はじめに

「研究」は時代によっても、分野によっても多種多様である。したがってそこから生まれる成果もまた「社会との関わりが短期的に見えるものと長期を要するもの、さらにはその両方を含むもの」が存在する。それゆえ、「社会に役立つ研究」などといった言い方で一元的にとらえると、物事の本質が見えなくなってしまうことがある。また、研究者が考える「役立つ」と、それを受け入れる社会側の見解は往々にして一致しない場合が多い。

そうであるならば、研究が社会に役立つ顕著な事例を対象にして、その過程－イノベーションの過程－を一定の時

間が経過した時点で検証することが、今後のイノベーションモデル（イノベーション創出のための方法論）を検討するに際し最も有用なアプローチと思われる。少なくともいくつかの技術移転などの過程において現在でも通用する行為に対する示唆を含んでいれば、それを学習し、研究のやり方や他者への情報伝達の一助となすことは十分有効と考えられる。もちろん、時代背景や種々の条件が異なるため、いくら正確に複製しても役に立たないことは自明である。けれども研究の進め方、着眼点、上司や共同研究者（企業を含め）の気づき、研究成果の社会への伝達の仕方及び

1 産業技術総合研究所 評価部 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2、2 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 〒305-8565 つくば市東 1-1-1 中央第5、3 産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門 〒463-8560 名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98、4 産業技術総合研究所 イノベーション推進室 〒100-8921 千代田区霞ヶ関 1-3-1、5 産業技術総合研究所 計算科学研究部門 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2、6 長崎県科学技術振興局 〒850-8570 長崎市江戸町 2-13、7 産業技術総合研究所 理事 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2

1. Evaluation Division, AIST Tsukuba Central 2, Umezono1-1-1, Tsukuba 305-8568, Japan * E-mail : osamu-nakamura@aist.go.jp, 2. Advanced Manufacturing Research Institute, AIST Tsukuba Central 5, Higashi 1-1-1, Tsukuba 305-8565, Japan, 3. Materials Research Institute for Sustainable Development, AIST Anagahora 2266-98, Shimoshidami, Moriyama-ku, Nagoya 463-8560, Japan, 4. Research and Innovation Promotion Office, AIST Kasumigaseki 1-3-1, Chiyoda-ku 100-8921, Japan, 5. Research Institute for Computational Sciences, AIST Tsukuba Central 2, Umezono1-1-1, Tsukuba 305-8568, Japan, 6. Science and Technology Promotion Division Nagasaki Prefectural Government Edo-cho 2-13, Nagasaki 850-8570, Japan, 7. AIST Board of Trustees, AIST Tsukuba Central 2, Umezono1-1-1, Tsukuba 305-8568, Japan

Received original manuscript March 9,2009, Revisions received May 27,2009, Accepted May 27,2009

効率的に機能する体制などから本質的な働きを抽出することは可能と考えられる。

本論は、公的機関の研究成果が社会に認知され、大きな影響を与え、産業変革につながっていった「PAN（ポリアクリロニトリル）系炭素繊維」を取り上げ、この顕著なイノベーションの過程の中で、その核心にある旧通商産業省工業技術院傘下の大阪工業技術試験所（以下大工試）及び研究者の行動を中心に、

- ①研究者の意識
- ②研究テーマ設定に係る研究者と研究管理者（マネジメント）の意識
- ③研究成果の発信と受け手の体制
- ④研究成果活用のための人的及び情報ネットワーク

の観点からPAN系炭素繊維の研究についての実際に起こったことと対比させて、その実相を検証している。さらには、一連のプロセスの構造化を図ることによってイノベーションモデルの導出を試みた。

なお、PAN系炭素繊維の製造法、評価法などに係る企業への技術移転及び、その後の複合材料化を含めた企業努力により今日の不可欠な材料となった過程についてはここでは取り扱わない^{[1][3]}。

結論から言うと、研究の要素の有機的連携が「励振的」に行われたことが、PAN系炭素繊維のイノベーションをもたらした。励振的とは『研究者の興味を原動力に、研究開発の進展に伴って、社会に役立つように研究テーマを新たに設定するような自律的行動（オートノミー）と研究マネジメントとの同期が取れた「協調』を意味し、さらに産業化に向けた企業との顕在的、潜在的な交流と「協働」をも含む。

PAN系炭素繊維を産業へ受け渡すまでの一連の過程から見出したイノベーションモデルを「励振モデル」として提示し、今後のイノベーション創出に向けたマネジメント強化に対する示唆とした。

2 技術発明の経緯

2.1 炭素繊維開発の状況

(1) 発明された炭素繊維の概要

1950年代において、炭素あるいは黒鉛（結晶性の高い炭素）からなる製品は、耐熱性、導電性などの性質を利用した電機用ブラシ、電解用電極、原子炉用黒鉛などの成形品、またはカーボンブラック、活性炭、コロイド黒鉛、その他微粉状のものに限られており、繊維状の炭素材料は知られておらず、繊維状の黒鉛は製造が難しいと考えられていた。

そもそも黒鉛は高圧の下で4000℃近い温度まで加熱し

なければ溶融しないので、合成繊維やガラス繊維のように炭素を熔融して紡糸することはできない。やはり一般の炭素原料や材料を製造するのと同様に有機物を炭化して繊維状のものを得なければならず、セルローズ系繊維、ポリ塩化ビニリデン系繊維など様々な繊維状の原料について検討していた。その結果、アクリロニトリル系繊維は適当な加熱条件を選んで炭化すれば、その分子中の窒素と水素とを主としてアンモニアおよび青酸として放出し、その繊維の形状をよく保持した炭素を与え、しかもこの繊維状炭素は高温熱処理によって黒鉛化することを見出したのである。ここに得られたものは、金属光沢を有しており、X線による測定の結果、相当黒鉛化していることが認められた^[4]。こうしてPAN系炭素繊維は開発された。

(2) 開発の経緯

炭素繊維の端緒は1956年に米国においてレーオンを原料として開発されたものである（図1）^[1]。この後、米国ではUCC社によりレーオン系炭素繊維が一定の成功を収めた。

一方、大工試では、進藤昭男博士が米国での動向を知り、時を移さずレーオンとは別にポリアクリロニトリル繊維の炭素繊維化に取り組んだ。1959年9月には、PAN系炭素繊維に係る基本特許が出願され^[5]、同年10月の化学関係学協会連合秋季発表会において「黒鉛繊維の研究（第1報）熱処理に伴う結晶子の成長」と題した研究発表がなされている^[6]。さらに同年11月には関西地域の企業を中心に関係者に広く読まれていた「大工試ニュース」にこの研究成果が紹介されている^[7]。なお、研究結果の詳細は大阪工業試験所報告第317号にまとめられている^[8]。

この一連の活動から、PAN系炭素繊維の成果は、新規性が高くかつ将来性も高いと判断され戦略的に発表されたものと容易に想像される。

次に進藤博士の研究開発の大きな転機となったのは、1965年の米国の軍事関係者のアドバイスである^[2]。PAN系炭素繊維はそれまで耐熱性と電気的特性を柱とし、「しなやかさ」を特徴とする材料として応用展開を図っていたが、この専門家から「機械的強度」と「引っぱり弾性率」について優位性があると指摘され、構造用材料としての可能性を研究すべく方針を大きく転換した。この転換のころから企業の炭素繊維への参入も増え、産業化に向けた各社の取り組みも本格化し始めた。これら企業にとってはPAN系炭素繊維の研究で突出した成果を出していた大工試はなくてはならない存在となっていった。

研究や技術指導での産業との「協働」に加え、1975年からは新しい素材の開発にとって不可欠な「標準」の研究が始まり、1980年には炭素繊維に関するJISが制定された。こうした一連の取り組みは炭素繊維のわが国企業の競

争力向上に大きく貢献した。当初、軽量で強靱な特性を付加価値とするレジャー用品から始まり、より信頼性が要求される建築や航空機等の産業用構造材へ拡大し、現在、わが国企業の炭素繊維の世界シェアは8割を占める。

2.2 研究環境（大工試の研究マネジメント）

炭素繊維開発の始まったこの時期の大工試は「研究による工業技術の振興」を謳っており、そのためのインフラ整備、人心の鼓舞を図っていた。

戦後約10年間に大工試が行った研究の内、工業化に至ったものは少なくない。昭和34年（1959年）度「大阪工業技術試験所年報」には以下の内容記述がある⁹⁾。「第1部は無機化学工業に関する研究を行っている。炭素に関する研究は当所では伝統ある研究の一つであり、従来から継続して行われている基礎研究と併行して、炭素製品の密度増大、空気電池用電極、原子炉用炭素材料、粘結材の脱硼素の研究などが行われていたが、当年の最大の成果は『相当な機械的強度をもつ黒鉛繊維、黒鉛織布の製造に成功したこと』で、将来新しい工業用材料として期待されている。」この時点で、炭素材料は従来のテーマであった原子炉用の黒鉛材料に加え、繊維状黒鉛に焦点があてられ、組織的な取り組みを企図していることがうかがえる。

1958年8月に仙石正が所長に就任したころから、大工試における研究成果も大いに上がり、研究発表や特許出願の数も急増した。後述のように時代背景は国の経済成長

が軌道に乗り始めた時代で、技術革新の波に乗って研究所を設けた企業も多く、また技術指導を求めて大工試へ人を派遣する会社も多くなった時期でもあった。また逆に、大工試における業績を基に、民間から招かれて産業界に進出する人の数も少なくなかった。このように産業界との間での人的な交流も推進されていたことが分かる。

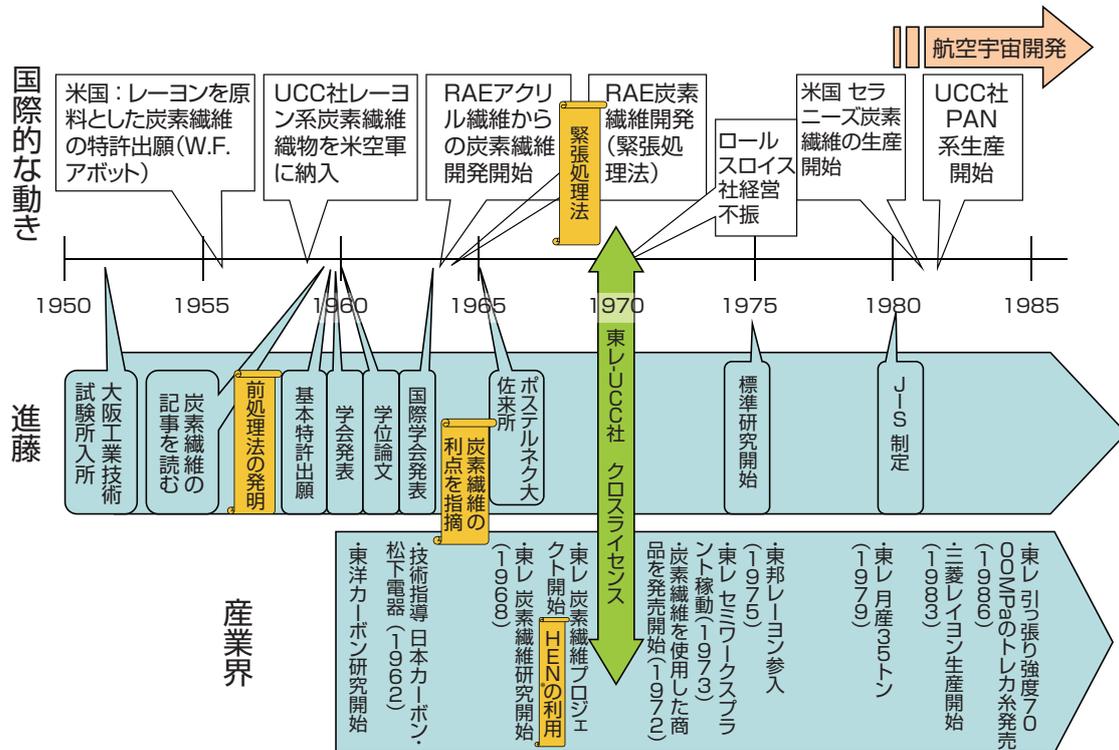
さらに、炭素繊維基本特許出願の2年後の1961年には、所内には価値ある研究で未利用のまま埋もれているものも多い実情なので、その研究成果を適当な民間企業に移すことを目的として、技術の指導と相談事務を処理するための「技術相談所」が開設された。当時のマネジメントは産業との協調・連携を大いに意識していたことが分かる。

2.3 発明に至る動機

発明者である進藤博士は1952年に大工試に入所し、配属先研究室で炭素に関するテーマを与えられていたものの、必ずしも工業化に直結するものとは考えていなかった。こうした状況で進藤博士は、「社会の役に立ちたい」という基本姿勢の下、工業技術に関する研究で新規性のあるテーマを探索していた。

この意識の下、日頃の情報収集活動の一つとしていた新聞で、米国において「繊維状の黒鉛が製造された」との記事（図2）¹⁰⁾を見つけ、これに刺激されたところから新しい炭素繊維（一次元炭素材料）の研究が始まった。

この研究に取り組むに当たって、進藤博士は工業化の可



* HEN：ヒドロキシエチルアクリロニトリルの略、共重合体とすることで焼成時間の短縮と機械的特性の大幅な向上がもたらされた。

図1 炭素繊維開発の流れ

能性を検討する立場から「繊維状黒鉛は将来にどのような新しい用途を約束しているか?」と自問し、結果として

- ①耐薬品性に非常に優れているので酸・アルカリの濾過材に好適である
- ②耐熱性が非常に良いので非酸化性高温ガスの濾過に用いられよう
- ③耐熱性に加えて電気伝導性が良いので赤外線放射体や真空管用フィラメントなどにも用いられよう（〔著者注〕当時、トランジスターは知られていたが、まだまだ真空管時代であった。）
- ④合成樹脂の充填材としても使用されよう
- ⑤黒色であるという難はあるが合成樹脂の帯電防止にも役立つであろう
- ⑥紐状あるいは布状にしたものは電気用のリボンなどとしての使用も可能であろう
- ⑦火焰の防断材に用いることも考えている。

と自答している¹⁷⁾。

後に PAN 系炭素繊維は機械的強度に産業応用の方向を定めたため、これらはどれ一つとして実用化されることなかったが、ここで大切なことは、研究の目的として社会に役立つ形を明確にするという発想であり基本姿勢である。進藤博士個人の興味、関心に基づいて研究テーマが設定されるのであるが、自身の研究が「社会のどこに役に立つのか」について事前に十分な吟味をしていることは注目すべきである。

2.4 技術移転に係る時代背景と研究者の行動

(1) 時代背景

PAN 系炭素繊維に係る基本特許は 1959 年に出願された。この年は、尺貫法廃止（メートル法実施）、東海道

新幹線起工式、民放テレビ開局が続いた年であり、続く 1960 年代に入ると、エネルギーの形態が石炭から石油へと変わり始め、太平洋沿岸にはコンビナートが立ち並び始めるなど高度成長期に突入した頃である。

産業技術面においては、三種の神器（白黒テレビ、電気洗濯機、電気冷蔵庫）が家庭に浸透し始め、欧米の生活レベルに近づく努力が続けられた。ただし、まだこの時代の産業によって生産されるものは、すでに欧米諸国で実現されているものであったので、わが国に合った性能と価格であれば、国内販売が非常に容易であった。1960 年代も後半になると、貿易自由化につれて、わが国の産業技術代の強化の必要性が強く意識されるようになり、産業界の国の研究機関に対する期待と関心は戦前以上のものとなった¹⁸⁾。

こうした時代の転換点に臨み、大工試も産業技術の研究開発に一層の貢献をすべく技術移転を促進するための機構改革が行われた。1967 年 4 月、工業技術院傘下の他の 5 試験研究機関とともに、管理部門の機構改革が行われて、総務部および研究企画官制が施行されている。

因みに PAN 系炭素繊維の産業化で大きな成功を収めている東レ（株）が炭素繊維について本格的に生産を開始したのは 1968 年頃であり、大工試が上記機構改革を梃子にして、炭素繊維に係る技術移転を様々な企業に対して行っている頃と一致する。

(2) 研究者の行動

こうした時代の要請で国立研究機関の役割が産業の開発力強化の支援へと明確化する中、研究者もその使命に沿った行動を重視するようになり、大工試の研究マネジメントの方針に沿ったものとなった。ただし、その行動は強く管理されたものではなく、進藤博士の研究テーマも、上司の理解の下、研究者の好奇心と使命感（国立研に期待されているもの）で設定できた感が強い。また、過度の情報が氾濫している現代と異なり、実験を行いながらも研究の内容について独自に考える時間が持てた時代であった。

一方、研究成果の取り扱いについては、研究者が独自先行的に学会発表に走るのではなく、特許申請を先行させることが研究管理者によって適確に行われている。このように、PAN 系炭素繊維による技術革新に係る初期段階の研究期間は、決して研究者の興味が原動力になる努力だけではなく、周囲研究者及び研究管理者、工業技術院を始めとする産業政策側の判断・意思決定と実行がうまく絡み合った効果が大いと考えられる。

2.5 産業界の動向

(1) 大工試と地元産業界

大工試は、創立以来伝統的に地元の企業との付き合いを重んじてきた。大阪は、近世から商業が発展し、近代

日刊工業新聞 昭和34年5月29日(金曜日) 16面



図2 PAN系炭素繊維開発の契機を与えた新聞記事（日刊工業新聞より転載許可）

になって築いた富によって新しい事業に取り組む下地があり、実際、財閥系を始め、製薬、家電等の個人による創業が盛んな土地柄である。このような周辺事情であるので、事業の種探しから展開・発展のための情報入手のために多くの人が出入りしていた。その人たちにとって、大工試は情報を取る場であり、大工試側にとっても組織的な活動以外のアンダーグラウンド的な情報供与という概念はあまり意識されていなかった。

ある程度まで大きくなった研究開発型企業においては、後日談ではあるが「仕事に行き詰まったら大工試詣でをしる」という上司の声があった。一方、企業研究者にとって日常の会話から得た技術情報を自分自身の思考展開で眼前にある課題解決または新規提案にこぎつけてある程度の成果が得られた場合、往々にして当該成果に繋がった種は大工試にあることを言わないで社内説明展開を行ったようだと言われ、著者の一人は聞く。このためか共同研究や特許許諾などの具体的な公式データによる繋がりには多くはない。

しかし、技術指導または共同研究等を介して企業への技術移転が行われたことは少なからずあったようで、大工試への感謝が「社史」などの形で表現されていることで一端を知ることができる。本論のPAN系炭素繊維に係る記事の例としては、

- ①「日本カーボン（株）50年史」（日本カーボン（株）、1967年8月31日発行）
- ②「東レ50年史」（東レ（株）、1977年6月1日発行）
- ③「努力のあゆみエスイーシー（旧昭和電極）50年史」（（株）エスイーシー、1984年10月23日発行）

などが挙げられ、いずれも炭素繊維開発における大工試との共同研究、特許許諾が事業展開に貢献したことが記され

ている。

(2) 炭素繊維開発を巡る産業界の動向（図3）

当時、炭素繊維開発に参入した企業は先発グループと第2グループに分けられ、両者でその行動が異なっていた。前者については、炭素系複合材料 CFRP の商品化を目指し、表立って研究開発を進めた。後者はPAN系の代替材となる廉価な材料の探索やコストダウンにつながる製造プロセスの研究などが主体となっているが、これらは対外的に取り組みを宣言する類のものではなく、「地下にもぐったもの」とならざるを得ない。すなわち、進藤博士の研究グループとの日常的（非公式）「意見交換」を介して実質的な成果をねらっていた。

結果的にPAN系を越える性能のものは見出されなかったが、大工試側としては、彼らから持ち込まれる資料と情報が「秘密である」という認識のうえで、有用材料の体系化に役立たせることができた。企業側の意図と大工試側の微妙な呼吸の下、結果としてこの分野の材料開発の進展を進め、国際競争力を高めることとなった。すなわち、産業界側の興味（「気づき」と「活かし」）と大工試の日常生活における交流等が表舞台に出ない形で当該イノベーションに大きく関わっていることが後世になって示される結果となった。

3 イノベーションモデルとしての分析

3.1 個人の興味と組織的研究の動機（図4）

(1) 個人の興味

進藤博士は炭素繊維に取り組むに当たり「こういうことが出来るのではないかと考え、研究の社会的な効用のイメージを描くことから始めた。こうした具体的目標があると、行

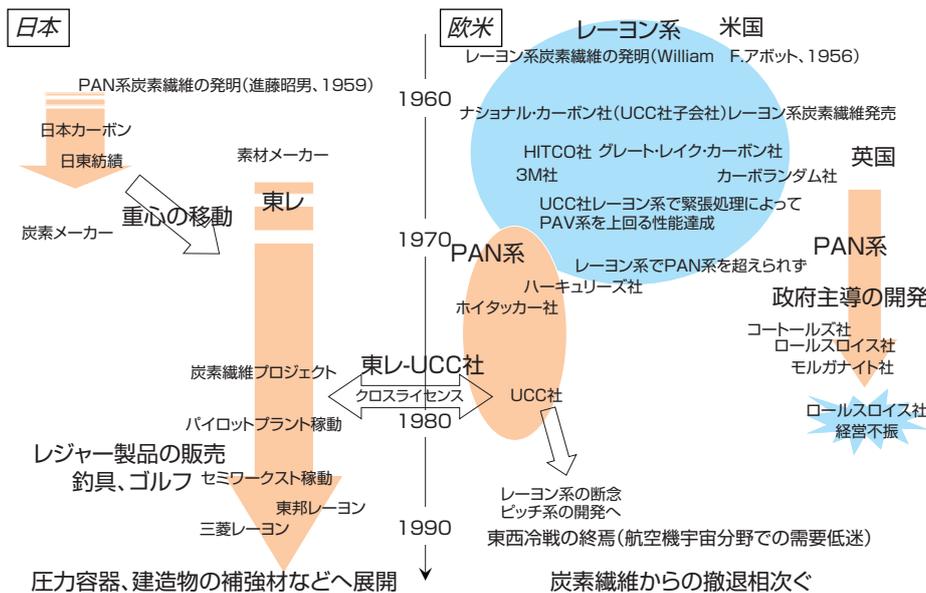


図3 炭素繊維に係る国内外の産業界の取り組み

き詰まってもどこへ行きたいかという先の目標が見通しや指針を与えてくれる。また、その目標を変更する、あるいは目標値を上下させる努力により、予期せぬ解決の糸口が見つかる。

こうした個人の興味を原動力とする自発的な行動（オートノミー）は、セレンディピティを生み出す可能性をも高める。こうしたセレンディピティとは、何かを探している時に、探しているものとは別の価値あるものを見つける能力・才能を指し、何かを発見したという「現象」ではない。「能力」であれば、意図的に磨くことができる。また、感動や観察、ファイリング（記録）、行動範囲の拡大、連想、などを元手にこういう能力を磨くことができるだろう。このためには、個人の関心を育てるような自由度を保つことが重要である。ただし、奔放な自由ではなく、社会に役立つものを常に志向するという基調となる意識を根付かせる必要がある。

(2) 組織的研究の動機

大工試は研究成果の工業化を強く意識したマネジメントを方針としていた^[11]。研究の進展に応じて成果の社会への出し方（特許、論文、報告会など）と産業界へのコンタクトを考えていた。さらに、成果にはずみをつけるため、成長に併せて研究費の規模をコントロールする方法もうまく使っている。基礎研究から経常研究^甲へ移行している。基礎研究から経常研究^甲化し、多くの企業が参入する状況になり産業界の技術開発への要請が高まった段階では、大型の研究費を供する特別研究^甲へと移行させている。組織的研究の動機は産業化の契機を見据えることに始まる。社会に近づく良い成果が出せれば、研究者の興味を原動力にする研究もより強い後押しが受けられるとのメッセージが必要である。

3.2 研究マネジメント

研究マネジメントを丁寧に検討すると、いくつかの特徴にまとめられる。

(1) 目標の明示

当時の大工試では「工業技術の振興」を本務とする取り組みを数々展開している。こうした方針に沿って研究も取り組まれている。研究者も研究を推進する原動力は個人の興味であるが、組織の方針がある以上実用化を意識した取り組みを考える姿勢が醸成される。対外的には、とくに企業にとって実用化という同じ目的で研究が行われるとの信頼を与えることになったと考えられる。

(2) 企業との日常的交流

大工試は関西地元企業にとって「頼りになる存在」になっていた。日常的に企業の相談を受け入れる土壌があり、制度的な手続きを経ることなく情報交換が行われていた。また企業からの研究者の受け入れも頻繁に行われ、企業への大工試人材の移転なども少なくない状況であり、こうした「人的交流を通じた技術移転」の土台が形成されている。知識の交流は企業側の研究状況、方向についても再確認させることとなり、この確認は企業の気づきを誘発することにつながっている。さらに、後になると企業側の要望として「技術標準」をくみ取り、産業化の基盤となる標準の研究にも着手することとなった。

(3) テーマの成長に同期させた研究費配分

炭素繊維研究は発明以来、工業化に向けた着実な取り組みが続けられていた。機械的特性が大きく取り上げられるまでは企業の参入も炭素メーカーが主力であり、後に大きな成功を収める東レなど素材メーカーの参入はまだ本格

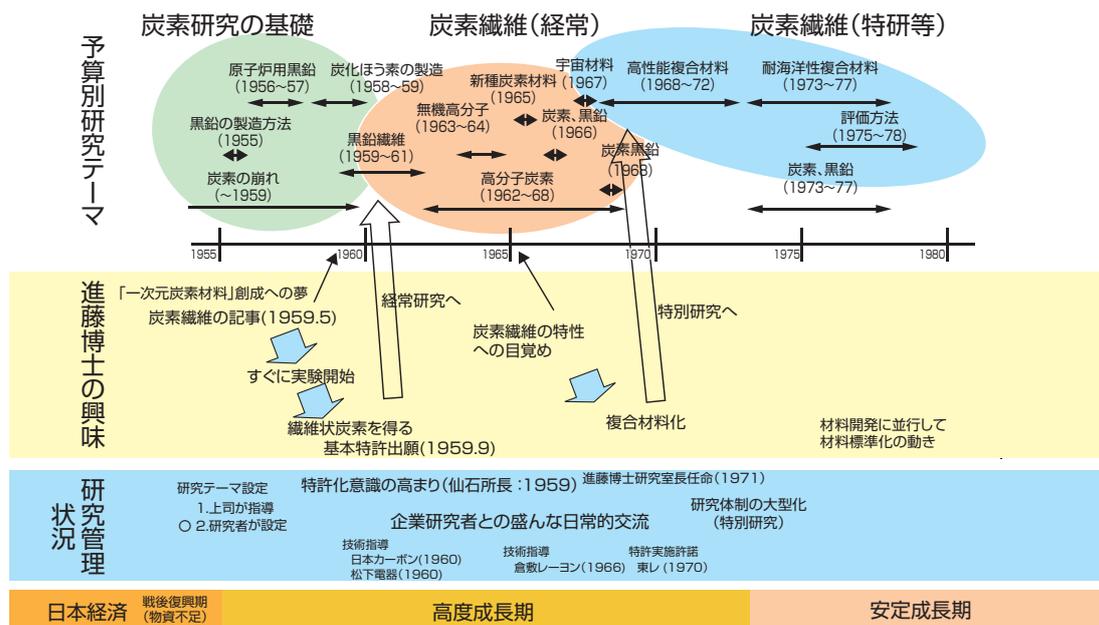


図4 個人の興味と研究テーマの方向

化していなかった。このため経常研究として位置づけられていたが、企業の参入が一挙に増加して、工業化の新たな展開が意識されるようになると、これに呼応するように特別研究、大型のプロジェクト研究へと離陸させ、これがその後の研究を加速させる力となった。

3.3 技術移転の実相

英国の炭素研究者は1963年の米国炭素会議における進藤博士の発表によってPAN繊維を炭素繊維原料にするこの有利性を認識してPAN系炭素繊維の研究を開始している。また、当時まだ発展途上国であった日本発の発明の価値を認知したのは米国の軍関係者であった^[2]。これは、発明者の進藤博士をも驚かせた。耐熱性、導電性、一次元形状から推定される製品イメージとは全く異なったニーズである「機械的強度」が評価されたのである。研究者は、それに焦点を絞り、さらに性質の高いものがないか、作れないか等に研究興味に移る。

このあたりから、わが国の炭素製品メーカー、化学繊維メーカー等が参入し始める。しかしながら、公表されている特許を参照しても発明者のものと同等の強度のものではない。物性を決める条件は何か。何を評価軸として開発してよいかを発明者グループに「公には内緒で」技術指導を受けに来ていた。上記メーカーの分類ではない企業も新規参入の機会を窺っていた。このことが発明者グループのところに各種データの集中をもたらす。競合他社の情報は決して漏らさないルールはしっかり守られていたため、結果として発明者グループだけに世界最先端のデータと解析結果が集まった。

このようなスパイラルは現在でも起こりうる話である。市場原理のもとでの研究開発においては、この部分についてのシステム化・効率化には手をつけることができない。もちろん、先発グループの必死の努力で商品化した後の、第2グループへの技術指導は、特定企業の名前を明かさずに系統的に行うことはできるかもしれない。その際、第2グループは、単に先発グループと同じ製品を開発するのではなく、自らのオリジナルアイデアを付加しようとしての開発研究であると、公的機関研究者も企業研究者も心得ることが肝要である。

このオリジナリティが先発商品をしのぐものに成長する源である。すなわち、世間にまだないものを見出す力（発明者グループ）、芽が出た研究結果を見逃さずに取り上げる力（先発グループ）、ある程度見えてきた製品の性能向上のための改良研究を行う力（第2グループ）と、技術革新には様々な段階が存在する。とかく、発明者グループの偉業がもてはやされる結果とはなるが、技術の組み合わせによる技術革新もまた重要な産業競争力の強化に寄与する要素

であることも忘れてはならない。

PAN系炭素繊維の開発においては、炭素製品メーカー、化学繊維メーカー、電機メーカーなどの一部企業が興味を持ち技術取得を試みており、実際の製品が世に出る10年以上前から技術移転が行われている。炭素繊維そのもの、および樹脂と組み合わせたCFRPは全く新しい材料であったため、研究開発の段階においても、製品としてベスト性能のものかを判断するための評価基準がないまま手探り状態の時期が長く続いた。後発企業においては、ますます混乱が助長し、進藤研究室に自社の製品を持ち込み、「これが本当に炭素製品と呼べるものなのか？」から「どういふ物性を研究開発指針としたらよいのか」「同じものを作るキーポイントは何か？」等の問い合わせが続出した。もちろん、その過程において進藤研究室で開発された「PAN系炭素繊維」なるものに勝るものが偶然にでも開発されれば幸運である。もっとも、そういうものはなかった。

そこには、オリジナル研究者、周辺にいる共同研究者による性能向上（または当該材料を超える材料がないことの確認）のための研究が継続的になされていることは論を待たない。企業研究者は企業利益を考慮に入れた研究開発において周辺データの蓄積を図る。ただし、この場合、全てのデータが公表されるわけではない。知的財産として、特許等の取得も盛んに行われる。ただし、出願された特許の内容においては、「本命」のものと「その他大勢」のものが混在している。これは、企業活動の一環であることを認識しておく必要がある。「その他大勢」は競合企業への目くらまし的役割を演じるし、また、技術の売買の際のパートナー材料ともなり得るからである。

ここで重要なことは、「技術移転」は単一的または画一的なものではなく、周辺状況をも巻き込んで行われるものであることの認識である。すなわち、時によっては、後世の解説は成功事例の要素を先鋭的に取り扱いがちで読者もスマートに読みこなす面があるが、ここで指摘したいことは、競争者が大勢存在することや、関係者の層が厚くなることで大量の非顕在研究結果群に支えられて最高のもの（PAN系）だけが生き残る、という実態である。国立研研究者はこのような実態にも深く関与している。

LesterとPioreは、イノベーション創出に向けて「研究者に解釈的取り組みに心置きなく参加できる場を与えれば、研究者の自発性が新たな発展をもたらす」として、「解釈的空間」モデルを提唱している^[12]。一方、当時の大工試における「空間」は、明確な技術的ニーズをもった産業界の研究者の集いではあったが、研究者間の交流の場というより、おのおのの進藤グループとの対話があったものであろう。ただし、通商産業省、工業技術院、炭素繊維

協会といった進藤グループを取り巻く国際産業競争力向上のための対話空間は開かれており、著者らはこの対話空間と大工試進藤グループとの複合体に対して、静的な空間の様相の濃い「解釈的空間」としてより、研究開発とマネジメントが相互に位相の合った作用を加える「動的な空間」として作用していたと考える。

4 結論

PAN 系炭素繊維を例にとり、イノベーションの過程をつぶさに検証したが、この発明から製品化に至る一連の展開は、時代背景が異なるとはいえ、現在の研究者にとって示唆に富むものである。

研究者が新しい炭素材料の探索に絞った日頃の情報収集活動の中で偶然知りえた炭素繊維開発の情報を契機に、この工業化を最初から意識し、狙いを定めたテーマ選択を行い、実験方法の探索、研究を実践した。また、時宜を得た特許取得等に関する手続き等がうまく展開して出願特許も成立した。その後の飛躍は、炭素繊維材料への時代及び産業ニーズは機械的強度が主力であるという情報を得て、研究テーマの方向性を転換し、材料特性の最適化、プラスチックとの複合化、CFRP 複合材としての実用化を目指した産業界との協働的・協調的な研究と指導によりもたらされた。これらに増して重要な要素は、信頼性を担保するために機械的強度の測定法の標準化という取り組みであり、これが炭素繊維の産業化の基盤を強化するのに大きく貢献している。また、産業サイドでは、大工試との日常的な情報交流など実用品として世の中に出るための潜伏期間に成した日の目を見ない研究成果の積み上げが新たな気づきを誘引し、共同研究へと回帰することとなり、シーズ側の当初の思惑をはるかに超えた産業変革をもたらしている。

こうした過程の構成要素として、

- ・ 研究者の明確な課題意識に基づくセレンディピティ
- ・ 研究者の動機とマネジメントとの位相整合
- ・ 産業界の旺盛な新事業開拓意欲

などが重要であることが再認識された。このうちどの過程が欠けても現在の産業変革はなかったか、またはずっと小さいものであったろう。

さらに各要素の時宜を得た協調作用がとりわけ重要である。それが相互に働きを強める『励振』ともいべき作用となることで、ある時期から加速度的に産業応用へと進むことが見て取れた。つまり、研究のオートノミーと社会における使命を矛盾なく結合するためのイノベーションモデルとして『励振モデル』が提唱できよう(図5)。

繰り返しになるが、この励振モデルの確認のため PAN 系炭素繊維のイノベーションプロセスを再掲すると、PAN 系炭素繊維に係る一連の研究においては、まず黒鉛化による炭素繊維の製造法の研究が研究者の興味を原動力にセレンディピティ的に生まれ、これを特許成立に至るマネジメントによって実用化へと弾みがつけられた。また、予期せぬ第三者との出会いが契機となり力学的強度に照準が当てられ、この方針転換に沿って材料開発、複合材料(CFRP)化の研究開発が進められ、これをマネジメントがプロジェクト化による予算支援で加速させ、その後の飛躍をもたらした。くわえて、炭素繊維の材料標準化に係る研究が信頼性を担保することに貢献し産業の用途が拡大する後押しをした。いずれも研究者とマネジメントサイド、研究と産業との綿密な協調の下で行われている。

このモデルと分析の過程で得られた知見を、今後のイノベーション創出に向けた取り組みへの提言と位置づけるなら、
①研究者の「自発性」の基となる「マインドセット」の明確化
②その研究者のマインドを社会と同期させる「マネーメン

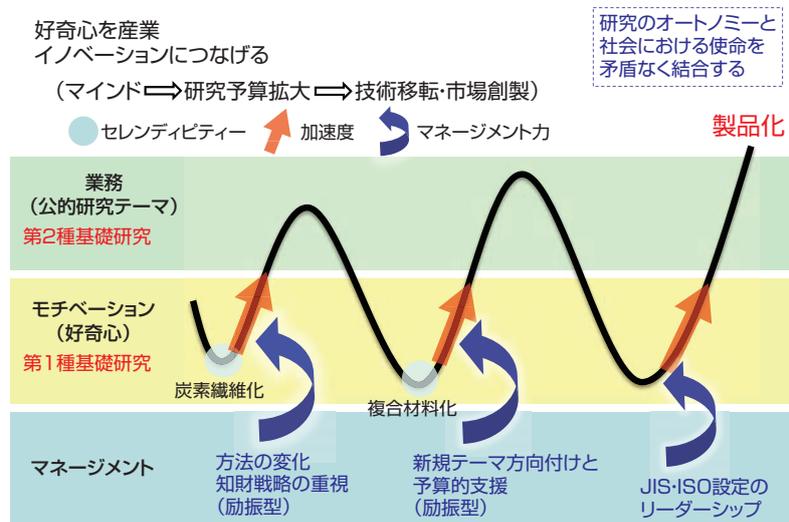


図5 イノベーションの『励振モデル』

ト]の確立

がキー・シナリオとなり、これらを研究組織（研究開発の実行側）と行政機関（研究開発政策の企画）が、適切に理解・運用することが重要と結論される。

このモデルを踏まえマネジメントには、「研究者の研究テーマの設定時の動機付け」、「研究の進捗状況を踏まえ社会価値とのマッチングを図った結果としての研究テーマ及び体制の見直し」、「社会価値向上または創造のための技術移転や関係委員会活動」などが求められる。また、これらの有機的連携、とりわけ研究の進展に伴い研究者サイドの研究テーマの再設定とマネジメントサイドの同期の取れた共同作業が強く望まれる。

なお、本モデルはStephan J. Klineの連鎖モデル^[13]と類似の特徴を備えているが、Klineモデルが現象論的なモデルであるのに対し、励振モデルは主としてイノベーションを創出するマネジメントモデルである。この点は本論で我々が特に重視しているところであり、今後のイノベーションを創出するためには、何よりマネジメントの役割が重要であり、その指針を作るモデルとして本モデルが有効であるとの認識である。

謝辞

本論をまとめるに当たって、PAN系炭素繊維の生みの親である進藤昭男博士へのインタビュー結果は、論文や特許には現れない情報源として役立たせていただきました。進藤博士の共同研究者としての中西洋一郎博士、澤田吉裕博士からはインタビューにより研究業務行為についての認識と実体についてきめ細かな情報を得ました。炭素繊維の研究に取り掛かる曙期の共同研究者である藤井祿郎博士からは、インタビューにより彼の興味や好奇心との重ね合わせからの見解を教わりました。松尾寛二博士と荻野勲元主任研究官からは、インタビューにより当時の研究環境の状況や研究者の日常行動について教わりました。本論は、上記の人たちから得た情報に加え、大谷和男博士をはじめ関わりのある現産総研職員からの情報を重ね合わせてできたものです。

用語説明

用語：「経常研究」と「特別研究」：旧工業技術院で実施された研究は大別して、基礎的な「経常研究」と、通産行政上必要な研究または大規模な研究である「特別研究」に分けられる。工業技術院研究管理基本要綱に基づき、これら研究のテーマ選定、計画の立案、予算の配分、成果の管理は各所長の裁量に委ねられていた。

参考資料

PAN系炭素繊維は、進藤博士らが製造の基本原則を発見、特許化した。東レ(株)がライセンス許諾を受け、産官連携として長期の研究開発を行った。世界の有力企業が参入・挑戦を行ったが高性能炭素繊維市場において日本企業（東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン）が世界シェアの80%を占め、世界を制覇しているといえる。その理由として、

- ①欧米企業は技術革新競争で脱落
- ②長期間に亘る研究開発投資を継続
- ③日本政府からの継続的な研究開発支援があげられる。

（吉永稔（炭素繊維協会）、「日本がリードする21世紀の革新素材－低炭素社会に貢献する炭素繊維－」、総合科学技術会議（第80回）配布資料4-1（2009.4.21）より引用）。

参考文献

- [1] 石井正道：独創的な商品開発を担う研究者・技術者の研究，文科省科学技術政策研究所（2005）。
- [2] 進藤昭男：炭素繊維の研究開発，*近畿化学工業界*，611，5-8（2004）。
- [3] (財)日本産業技術振興協会：平成18年度 工業技術院ホームラン特許の調査・分析評価報告（2007）。
- [4] 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)，110-118（1961）。
- [5] 進藤昭男、藤井祿郎、仙石正：特公昭37-4405「アクリルニトリル系合成高分子より炭素製品を製造する方法」（1959）。
- [6] 進藤昭男、藤井祿郎、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，*化学関係協会連合秋季発表会*（1959）。
- [7] 「新しい炭素材料－黒鉛繊維の製造－」*大工試ニュース* 3（11），（1959）。
- [8] Akio Shindo：Studies on graphite fibre，*大阪工業技術試験所報告*第317号（1961）。
- [9] 大阪工業技術試験所：*昭和34年度大阪工業技術試験所年報*（1959）。
- [10] *日刊工業新聞* 昭和34年5月29日 16面（1959）。
- [11] 大阪工業技術試験所：*大阪工業技術試験所50年史*（1968）。
- [12] R.K.Lester and M.J.Piore: *Innovation—the missing dimension*, Harvard University Press (2004). 依田直也（訳）：イノベーション，生産性出版（2006）。
- [13] S. J. Kline: Innovation is not a linear process, *Research Management*, 28(4), 36-45 (1985).

執筆者略歴

中村 治（なかむら おさむ）

1973年大阪大学大学院理学研究科博士課程中退後、大阪大学産業科学研究所を経て1974年大阪工業技術試験所に入所。1998年以降、愛媛県工業技術センター所長、関西センター所長代理、評価部審議役を経験し、研究組織のマネジメントと評価の面から研究成果の社会貢献のあり方等について考えてきた。本論では、自身の大阪工業技術試験所、大阪工業技術研究所時代の経験と、関係者へのインタビュー等を踏まえ、論文骨子の組み立て、内容・強調ポイントの整理を担当した。



大花 継頼 (おおはな つぐより)

大阪市立大学大学院前期博士課程応用化学専攻修了後、化学技術研究所に入所、組織改編に伴い、物質工学工業技術研究所を経て、(独)産業技術総合研究所へ。2007年5月から2008年8月までイノベーション推進室企画主幹。現在、先進製造プロセス研究部門所属。博士(工学)。本論では資料の収集及び分析を担当。進藤博士へのインタビューなどを通じて、時代背景等について考察を行った。



田澤 真人 (たざわ まさと)

名古屋大学大学院前期博士課程応用物理学専攻修了後、名古屋工業技術試験所(現、産業技術総合研究所中部センター)に入所。理学博士。2007年4月から2009年4月までイノベーション推進室総括企画主幹。本論では関係者へのインタビュー、内容の構築などに貢献した。



横田 慎二 (よこた しんじ)

財団法人未来工学研究所を経て2001年～2006年文部科学省科学技術政策研究所主任研究官。2006年産業技術総合研究所入所。技術情報部門を経て2008年からイノベーション推進室総括主幹。2006年から科学技術政策研究所客員研究官(兼務)。科学技術政策関連(技術予測、科学技術の影響評価等)の調査研究に従事。現在は産総研経済インパクトシミュレーションモデルの開発、公的研究のイノベーションシステムに関する調査等に従事。本論では、事実の解釈とモデル化の構成を中心に全体編集を担当した。



篠田 渉 (しのだ わたる)

1998年東京工業大学総合理工学研究科博士課程修了。理学博士。三菱化学株式会社を経て、物質工学工業技術研究所、組織改編により、産業技術総合研究所。2008年6月から2009年5月までイノベーション推進室企画主幹。本論では資料の収集・作成を中心に担当した。



中村 修 (なかむら おさむ)

1979年九州大学大学院農学研究科修士課程を修了後、鹿児島大学歯学部口腔衛生化学講座助手として教育と研究に従事し、1987年歯学博士(大阪大学)を取得。その後、ケース・ウェスタン・リザーブ大学(米オハイオ州クリーブランド)・客員研究員、九州工業技術研究所主任研究官、福岡県工業技術センター生物食品研究所・参事兼生物資源課長、産総研評価部・シニアリサーチャー、経産省技術評価調査課・産業技術総括調査官を経て、2007年産総研評価部・次長に就任し、研究開発マネジメントの評価に携わるとともに、国内外の評価関連人脈を構築してきた。現在、長崎県科学技術振興局長。本論作成に当たり、論文骨子の組み立て、内容・強調ポイントの構築に貢献した。



伊藤 順司 (いとう じゅんじ)

東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。理学博士。1984年電子技術総合研究所に入所、組織改編に伴い産業技術総合研



究所。同所にてエレクトロニクス研究部門長、企画本部企画副本部長を経て産業技術アーキテクト、2007年より理事。本論では基本モデル設計、全体統括を担当。

査読者との議論

議論1 研究開発シナリオについて

質問・コメント(小林 直人:産総研特別顧問)

本論で提示された「励振モデル」は斬新で興味深いものです。このように過去に行われた良い研究開発例やそのモデルを参考にし、「今後我が国の産業界にイノベーションを誘起するためには、どのようにしたらよいか」等について、そのシナリオ(この研究成果の活用シナリオ)を明確にすることを薦めます。これにより論文の価値が増増すると思いますので、是非その面での記述を期待します。

回答(中村 治)

ご指摘のとおり、本論で提示した「励振モデル」は産総研のこれまでの研究開発の取り組みの中で、顕著な社会経済的インパクトをもたらした事例を分析対象として導き出したものです。このモデルと分析の過程で得られた知見を今後のイノベーション創出に向けた取り組みへの提言とするならば、

- ・研究者の「自発性」の基となる「マインドセット」の明確化
- ・その研究者のマインドを社会と同期させる「マネージメント」の確立の2つを特記し、これらを研究組織(研究開発の実行)及び行政機関(研究開発政策の企画)が勘案(理解し、適切に運用)することが重要との記述を加えました。

議論2 構成要素について

質問・コメント(小林 直人)

この論文の眼目は、進藤博士が開発したPAN系炭素繊維が如何にして実用に結びついたか、に関していくつかの構成要素の有効な関連・連携が作用したことを指摘したものだと思います。本文の言葉を借りれば、(1)研究者のセレンディピティ(研究者のオートノミーの所産)、(2)研究者の興味と同期の取れた研究環境(オートノミーとマネージメントの結合)、(3)産業界の気づき(市場創成への起点)、です。これらを含んだ普遍的なモデルを構築する場合、これらの構成要素で必要十分なのか、あるいは単に必要条件でしかないのか、を明確にすると良いと思います。またその際、(1)～(3)がより普遍的な表現になるような言葉の選択も必要だと思います。(将来「励振モデル」として引用された時に、より分かりやすい表現の方が良いと思います。例えば、(1)研究者の自由な発想と社会意識、(2)研究マネージメントの適切な時空間的支援、(3)産業界の気づきと率直な意見交換、等。(また、米軍関係者からの指摘は、(3)に入ると考えてよいでしょうか?)

なお、最後の(3)に関して言えば、MITのR. K. Lester教授の言う解釈的空間(sheltered space)

(<http://www.arenfund.org/upload/Editor/industryengines/files/foorum/lester%20slides%20021208.pdf>)が、すでに40年前の大工試にあったということができませんでしょうか。

回答(中村 治)

ご指摘のとおり本論では励振モデルを3つの構成要素で説明しています。イノベーションをもたらす過程を分析し、本質的な3つの要素に集約したものであり、本モデルの構成要素としては必要十分と考えます。しかしながら、各構成要素の働きをさらに明快に示し、普遍的なものとするため以下のとおり表現を改めます。

- (1) 研究者の明確な課題意識に基づくセレンディピティ
- (2) 研究者の動機とマネージメントとの位相整合
- (3) 産業界の旺盛な新事業開拓意欲

最後の(3)に関しては、ご指摘のようなLester教授の解釈的空間(sheltered space)は当時の大工試にはなかったと認識しております。

Lester 教授の解釈的空間は「研究者に解釈的取り組みに心置きなく参加できる場を与えれば、研究者の自発性が新たな発展をもたらす」としています。しかし、場を与えるだけでは静的（スタティック）なモデルとの印象があります。一方、本論の「励振モデル」は研究者とマネジメントの相互干渉を基底に置き、「マネジメントは研究者が気づかない意図をも発掘、顕在化させ、イノベーション創出に向けて位相の合った作用を加える動的（ダイナミック）なモデル」です。大工試では萌芽的ながら動的なモデルがあったと分析しており、その意味で解釈的空間とは違うとしました。

なお、本論中では Lester 教授の解釈的空間を引用し、励振モデルとの違いについて記述しました。

議論3 モデルの効果について

質問・コメント（小林 直人）

今回提示の「励振モデル」は、大変興味深いのですが、その後工業技術院においてあまり大きなイノベーションに繋がる成果が出ていない理由は何でしょうか。

回答（中村 治）

工業技術院時代にも大きなイノベーションに繋がった複数の事例があると考えられます。また産業技術総合研究所への再編以後は、「本格研究」という方法論が打ち出され、研究を社会へ送り出しイノベーションへ繋げるための取り組みが工業技術院時代よりも生まれているのではと考えます。本論は大工試の炭素繊維を対象としましたが、今後、新旧の事例を選定し、それらのプロセスを精査してイノベーションモデルの構築に繋がりたいと考えています。