

わが国の戦後を中心とした技術革新の諸相

—技術の系統化とMECIの観点から—

永田 宇 征¹・大 来 雄 二²・鈴 木 浩³・久保田稔男¹・
大 倉 敏 彦¹・亀 井 修¹・石 井 格¹

¹国立科学博物館 産業技術史資料情報センター

〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

²金沢工業大学 科学技術応用倫理研究所

〒150-0001 東京都渋谷区神南1-15-13

³日本経済大学大学院 経営学研究科メタエンジニアリング研究所

〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町25-17

A Few Aspects of Japan's Innovations in the Post-War Era

**Takayuki NAGATA¹, Yuji OKITA², Hiroshi SUZUKI³, Toshio KUBOTA¹,
Toshihiko OOKURA¹, Osamu KAMEI¹ and Itaru ISHII¹**

¹Center of the History of Japanese Industrial Technology, National Museum of Nature and Science
4-1-1 Amakubo, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0005, Japan

²Applied Ethics Center for Engineering and Science Kanazawa Institute of Technology
1-15-13 Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo 150-0001, Japan

³Meta-Engineering Research Institute, Graduate School of Business, Japan University of Economics
25-17 Sakuragaoka-cho, Shibuya-ku, Tokyo 150-0013, Japan

Abstract In this paper, the authors discuss Japan's innovations in the post-war period. To overcome Japan's economic stagnation, innovations have been a great necessity for decades. To create innovations, effective measures need to be adopted. However, to bring out what is most effective, we need to know the characteristics of innovations, the differentiating aspects of innovations (including Japan's advantages and weak points). For this purpose, we are analyzing case examples obtained reports on technological histories drawn up and edited by the National Museum of Nature and Science. This analysis is being done with a new methodology called Meta Engineering, which we proposed two years ago. It consists of four processes, mining, exploring, converging, and implementing. These processes and their results are now being studied in some detail. This is an interim report, and a complete report will be published in the near future.

1. はじめに

1980年代は日本の国力が最も充実した時代であった。企業には、日本の製造業の強さの拠って来たる所を知ろうと、アジア諸国のみならず、欧米からも教えを請いに来た。しかし、それから時を経ずしてバブルの崩壊があり、以来、嘗ての輝きを失い、低迷の20年の澁みから抜け出すきっか

けをつかめないでいる。

このような閉塞状態を打破する上で、新しい技術革新が待たれている。とりわけ地下資源に恵まれないわが国としては技術革新に恃むところが大きい。しかし、現在までのところ、みるべき技術革新が継続的に発生する、という社会的システムは確立していない。技術革新を意識的に作り出すには、どのような条件が満たされたときにそれは

発生するのかを把握し、そのような環境を整えてやる必要がある。そのためには技術革新の構造がどのようなものであるかについての知見を深める必要がある。このような問題意識から、館内で申請していた重点研究費が認められたのを機に、技術革新の研究に取り組むこととした。

国立科学博物館の技術革新研究には先行研究があった。2005年度から2009年度にかけて実施した特定領域研究「日本の技術革新」(代表者: 国立科学博物館 参事 清水慶一氏(故人))である。この領域研究は副題に「経験蓄積と知識基盤化」とあるように、事例の収集に力点が置かれた。2000年から国立科学博物館が実施していた「技術の系統化研究」も、この領域研究の中で大きく前進させることができた。

本研究では、この系統化研究の成果である報告書を最大限に活用することになっている。系統化研究については後段で触れるが、種々の技術分野における豊富な開発事例は、本研究にとっては恰好の素材である。また、筆者らには、系統化研究の中で、技術革新の現場で数十年を過ごしてきた技術者との議論で得た知見がある。これは、他の技術革新の研究に見ない、本研究の強みであると考える。

上記の技術革新の構造の解明と並行して、筆者らの一部は技術革新創出の方法論についても研究している。日本工学アカデミーのプロジェクトで推進している根本的エンジニアリング(メタエンジニアリング)の研究がそれである。現在は、概念の大枠の設定を終え、体系の理論的細部についての精緻化を行うと同時に、社会の具体的事象に適用することを検討している。本論文では、技術の系統化で得られた事例の分析に主軸を置きつつも、その事例を根本的エンジニアリングの視点から見た場合の考察も行っている。過去一年間、「日本の技術革新」をテーマに掲げて重点研究を推進してきたが、未だ道半ばであり、本稿は中間報告に位置づけられるものである。

最後に本研究のスコープについて述べておきたい。技術革新というターミノロジーの捉え方は百人百様であるが、本研究では技術の系統化の報告書を分析対象の中心に据えていることから、数学、物理、化学、電気、機械といった、理学・工学の伝統的なディシプリンを基盤とする技術開発、いわゆる狭義の技術革新を対象としている。

系統化のメインの作業は、ある特定の技術領域

を切り出して、その技術史を作成することである。ただ、「系統化」という語から察せられるように、ここでは技術の流れを追うことを主眼としている。研究対象の技術が、何時、どのような経緯で誕生したか、その技術がどのようなプロセスをたどって今日のような姿になったのか、エポックメイキングな結節点というのはどのようなことを契機としてできたのか、対象技術の開発過程で実現された技術が他の分野に及ぼした波及効果にはどのようなものがあったか、発展に当たって必要な周辺技術はどのようなものであったか、その周辺技術はどの分野で開発されたものであったのか、といったことを織り込みながら技術史を紡いでいくものである。この中で、その対象技術と社会・文化との相互作用も合わせて記述する。このような諸々の要因の関わりを一覧できるような図を系統図と称して、各技術領域について必ず作成することになっている。そうして歴史の流れの結節点に関わる事物としてどのようなものが残されているかをも合わせて調査する。ここで存在が確認された事物(資料)は後述する重要科学技術史資料の有力な登録候補となる。

2. 技術の系統化

2.1 技術の系統化とは

技術の系統化という語は、筆者らの知る限り、国立科学博物館で初めて用いられたものであり、その概念、目的とするところも過去に類例を見ないものである。以下にその概要を記す。

2.2 技術の系統化の位置づけ

技術の系統化は、当センターを新設したときからのメインテーマの一つであった。そもそも当センター設置の目的は、戦後の復興を支えてきた製造業の礎となった日本の技術開発の足跡をきちんと記録しておこうと言うところにあった。先人がどのような歩みをして現在に到ったかを記しておくことは後世のために有益である。日本の場合、他の主要な先進国と異なり、国を代表する独立した公設の産業技術博物館がないことでも分かるように、産業技術に関わる過去の記録を残すということにそれほど熱心ではない。特に企業においては、往々にして費用対効果の観点から貴重な技術遺産が捨て去られる、といったケースは珍しくはない。

このような事態を憂えた国立科学博物館は、産

業技術史資料の保存継承に向けて組織的に取り組むべく、当センターを設置した。センターの目指すところは、事物の収集ではなく、日本全国に存在する産業技術史資料に関する情報を収集し、その廃棄損壊を防ぐ施策を講ずることであった。その中心となるのが国立科学博物館の重要科学技術史資料（愛称：未来技術遺産）登録制度である。この制度は、同館が日本の科学技術史上極めて重要であると認定したものを、同館の台帳に登録し、これを顕彰することによって、所有者をして当該資料の科学技術史上の意義を認識せしめ、合わせて科学技術史資料の保存の意義についても関心を喚起し、日本全体として科学技術史資料保存についての意識の高揚を図ろうとするものである。当然のことながら、重要科学技術史資料として認定するものは相応の歴史的意義を有するものでなければならない。

技術の系統化は、この認定作業のスタートにも位置づけられるもので、未来技術遺産として相応しいものであるということに根拠を付与するプロセスであり、登録制度の必須のプロセスである。

2.3 意義

上述のように系統化は重要科学技術史資料登録候補と不可分の関係にあるが、筆者らは、その意義・目的はこれのみに限定されるものではなく、系統化研究自身の独立した意義を有していると考えている。

一つには、奇跡と言われた日本の戦後の復興を支えた技術発展の状況を記録して残すことによって、ひとり日本のみならず世界の将来に資するということがある。また、日本が技術開発のどの局面でどのように貢献してきたかを記して世界に発信することにより日本のプレゼンスを高めると言う効果も期待できる。さらには、技術は文化と密接な関係を有することから、技術を記すことは文化を記すことにつながる。一国の文化を残すことは、自らの拠って立つ基盤を強固なものにすることであり、極めて重要なことである。いま

一つ、技術の構造の動的な変化の研究材料として恰好のものを提供してくれることである。同一の枠組みで70篇もの技術史を揃えた例は他に見られず、極めて貴重且つ有力な情報源であるからである。

2.4 進め方

この技術の系統化に従事するには、当該技術分野における高い専門性が必要とされる。広範な技術分野のすべてについてこのような人材を一機関で確保するのは現実的でない、というよりも不可能である。当センターの採っている方法は、当該分野の工業会、協会、学会と連携することである。それぞれの領域で専門性を有するこれらの機関に、系統化研究の概要を説明し、適切な人材の紹介を受け、科博として調査員を選定するのである。系統化の遂行が軌道に乗ってくるに伴って、上述の調査員人選の方式は定着するようになった。最終的には国立科学博物館が採否を決定するのではあるが、選考対象者は、専門性を有する機関が責任を以て選ぶ、という図式が確立している。

このようにして得た過去の人材は、技術者としてレベルが高く、系統化研究の意義をよく理解し、意欲的に取り組んでくれた。国立科学博物館はこれらの人々を主任調査員として遇し、一年契約の雇用関係を結んでいる。通常は年に5～6テーマについて実施しているが、毎週担当者に集まってもらい、半日をかけて熱心な討論をする。異なる専門分野の人の話は、それぞれの主任調査員にとって新鮮であるらしく、活発な討論が展開される。筆者らはコーディネーターとして、このミーティングに参加し、議論の方向をリードしているが、現場経験の豊富な技術者との討論は、技術革新の生きた題材を得る恰好の場であり、筆者らにとって、そのまま技術革新の研究の場となっている。

表1に現在までに実施した系統化調査の一覧を示す。

表1. 実施済みの系統化調査

No.	報告書タイトル	年度
1	VTR 産業技術史の考察と現存資料の状況	2000
2	コンピュータ開発史概要と資料保存状況について —第一世代と第二世代コンピュータを中心に—	2000
3	塩化ビニル技術史の概要と資料調査結果	2000
4	コンピュータ開発史概要と資料保存状況について —第3世代と第3.5世代コンピュータおよびスーパーコンピュータについて—	2001

表1. 実施済みの系統化調査（続き）

No.	報告書タイトル	年度
5	塩化ビニル技術史の概要と資料調査結果（2）	2001
6	オフィスコンピュータの歴史調査と技術の系統化に関する調査	2002
7	国産ロボット技術発展の系統化に関する調査	2002
8	稲作に関する農機具類の保存状況の調査	2002
9	電気試験所におけるトランジスタコンピュータの研究開発および資料保存状況	2002
10	産業用ロボット技術発展の系統化調査	2003
11	電力用変圧器技術発展の系統化調査	2003
12	戦後建造大型タンカー技術発展の系統化と資料調査	2003
13	テレビ技術史概要と関連資料調査	2003
14	サービスロボット技術発展の系統化調査	2004
15	電力用タービン発電機技術発展の系統化調査	2004
16	専用船建造技術発展の系統化調査	2004
17	矢頭良一の機械式卓上計算機「自動算盤」に関する調査報告	2004
18	銅精錬技術の系統化調査	2005
19	電子式卓上計算機技術発展の系統化調査	2005
20	露光装置技術発展の系統化調査	2005
21	原子力用タービン発電機技術発展の系統化調査	2005
22	移動通信端末・携帯電話技術発展の系統化調査	2005
23	ボイラー技術の系統化調査	2006
24	飲料自動販売機技術発展の系統化調査	2006
25	衣料用ポリエステル繊維技術の系統化調査	2006
26	公衆移動通信システムの技術発展の系統化調査	2006
27	ソーダ関連技術発展の系統化調査	2006
28	電子管技術の系統化調査	2006
29	発電用水車の技術発展の系統化調査	2006
30	船用大形2サイクル低速ディーゼル機関の技術系統化調査	2006
31	石鹼・合成洗剤の技術発展の系統化調査	2006
32	ロープ式エレベーターの技術発展の系統化調査	2006
33	板ガラス製造技術の系統化調査	2006
34	一次電池技術発展の系統化調査	2006
35	缶用表面処理鋼板技術の系統調査	2006
36	新聞用紙製造技術の系統化調査	2007
37	デジタル・スチルカメラの技術発展の系統化調査	2007
38	醤油製造技術の系統化調査	2007
39	透過型電子顕微鏡技術発展の系統化調査	2007
40	アミノ酸発酵技術の系統化調査	2007
41	プロセス制御システムの技術系統化調査	2007
42	4サイクルディーゼル機関の技術系透過調査	2007
43	医療用X線CT技術の系統化調査報告	2007
44	「多孔質ファインセラミックス」の産業技術の系統化	2007
45	肥料製造技術の系統化	2007
46	製鉄業における輸送技術の系統化調査	2007
47	貨車の技術発達系統化調査	2008
48	産業用大型ガスタービンの技術系統化調査	2008
49	フェライト技術の系統化	2008
50	チタン製造技術の系統化	2008
51	鉄鋼業の計測・制御の系統化	2008
52	材料試験硬さ技術の系統化調査	2008
53	エスカレーター技術発展の系統化調査	2008
55	酵素の生産と利用技術の系統化	2008
56	自動車用液圧ブレーキ技術の系統化調査	2008
57	ビール醸造設備発展の系統化調査	2008
58	鉄鋼業用耐火物	2008

表1. 実施済みの系統化調査（続き）

No.	報告書タイトル	年度
59	塗料技術発展の系統化調査	2009
60	高炉技術の系統化	2009
61	圧力計技術の発展の系統化調査	2009
62	日本の工業化住宅8 プレハブ住宅9の産業と技術の変遷	2009
63	汎用中小型ガスタービンの技術系統化調査	2009
64	自動車車体技術発展の系統化調査	2009
65	タイヤ技術の系統化	2010
66	排気ガスタービン過給機の技術系統化調査	2010
67	洗濯機技術発展の系統化調査	2010
68	染料技術発展の系統化調査	2010
69	白熱電球の技術の系統化調査	2010
70	情報用紙製造技術の系統化調査	2011
71	ガス機関技術の系統化調査	2011
72	テープレコーダーの技術系統化調査	2011
73	カラーネガフィルムの技術系統化調査	2011
74	接着剤技術の系統化調査	2011
75	ワイヤロープ技術発展の系統化調査	2011

3. 根本的エンジニアリング (メタエンジニアリング)

既に述べた如く、本研究は日本工学アカデミーの根本的エンジニアリング（メタエンジニアリング）の実装プロジェクトとの連携の下に進めている。このプロジェクトは、日本に継続的技術革新を起こさせるための方法論と場を研究しているもので、筆者らと目指すところとは同じである。以下にその活動の概略を記述する。

このプロジェクトでは、エンジニアリングのあり方論を追求し、継続的にイノベーションを創出することを目的として、2009年にはじめて根本的エンジニアリングを提唱した^{2), 4)~6)}。その核心は、出発点として、なぜこのようなエンジニアリングを必要とするのかを問い、方法論として、成果を生むためにたどるべき四つのプロセス、そしてそのプロセスをたどることを支える「場」の提唱にある。

出発点に置くべき認識として、「日本社会にとって人類の生存と地球環境の維持のために科学技術を用いたイノベーションこそが必要であり、日本が世界の先頭に立ってそれを実現するべきである」とした。そして、今後重視すべき科学技術のあり方として、「俯瞰的視点から見た潜在的な社会課題の発掘とそれを解決するための科学技術の結合あるいは収束」を掲げ、この命題に答える上での広義のエンジニアリングこそが重視されるべ

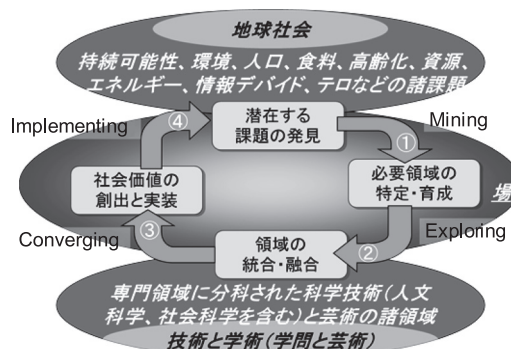


図1. 根本的エンジニアリングの概念。

きである、と考えた。この「社会課題と上述の科学技術推進のあり方を上位概念におき、そこから社会と技術の根本的な関係を根源的に捉え直す広義のエンジニアリング」を『根本的エンジニアリング（英語では、上位概念であることを強調して **Meta Engineering** と表現）』と名付けた（図1参照）。四つのプロセスのそれぞれについて以下に記す。

Mining:

地球社会が抱える様々な、顕在化した、あるいは潜在的な、課題やニーズを問い直すことにより見出すプロセス

Exploring:

こうした課題を解決するのに必要な科学・技術分野を俯瞰的に捉える、あるいは創出するプロセス

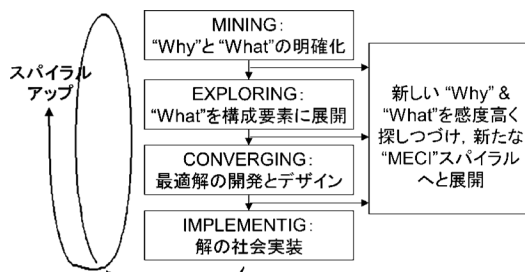


図2. MECI プロセス.

Converging:

課題解決への必要性に応じ、多様な科学・技術分野の融合や、新しいアプローチ法との組み合わせを進めるプロセス

Implementing:

新たな科学・技術を社会に適用、実装し、それにより新たな社会価値を創出する。その過程で、次の潜在的な課題を探すプロセス

これら四つのプロセス、Mining–Exploring–Converging–Implementingの頭文字をとって、MECI（メキ）プロセスと称している。図2に四つのプロセスの関係を示した。このメキ・プロセスを回していくことにより技術革新が自律的に発展していくことを期待している。

すなわち、Mで課題を発見し、Eでその課題解決に必要な科学・技術を同定する。Cではそれらの科学・技術を動員し、課題の解決策を創出し、Iで実社会に適用する。その過程や結果から新たな課題が生まれてくれば、さらにMECIサイクルを回す、ということであり、このサイクルの過程の中で、大小の技術革新が生まれることを期待しているのである。この場合の技術革新はCの解決策のみではない。それぞれのプロセスで、予期しなかった新しい技術革新が創出されることもあるはずである。

この、プロセスを回すということについてさらに付言すれば、当然のことながら同一平面で回す、ということにはならない。つまり、最初のプロセスを回すことにより、従来とは異なる状況が生じているはずであり、それは必然的に何らかの進歩を伴ったものであるはずである。次のプロセスではこれを受けた、より高い平面での新しい展開が期待される。このような想定から、実装プロジェクトでは「MECIをスパイラルに回す」と称している。そうして、このプロセスを回すに際し

て、種々の立場、能力、見解を持った人々が交流し、それぞれの立場で活動する、その中から課題が生まれ、解決策が講じられる。メタエンジニアリンググループは、このような、諸々のアクティビティが発現し、発展する環境を「場」と定義している。

MECIのプロセスは、場の上で効果的に機能する。場のあり方は多様である。MECIを機能させる限りにおいて、大学の研究室、学会の研究会、さらには産官学共同の研究の場などもそうであろう。現在蓄積されつつある調査研究、具体的な事例研究、教育実践経験などを通して、この場の概念をさらに明示的なものにしていきたいと考えている。

4. 系統化結果の事例

さて、上述の背景を受けた技術革新の研究としての、具体的な推進であるが、70編に上る系統化研究の報告書には豊富な事例があり、これらについて種々の角度から縦横な分析を加えれば、従来の研究に少なかった、技術開発の現場で得られる情報に立脚した、臨場感のある特徴を出せることが期待できる。技術革新に関係する種々の要因、側面について総括的な分析を試みたいと考えている。しかし、未だ思い描いた結果を出す上での十分な分析には到っていない。この辺りのことについては他日を期してまとめる所存である。

当センターは、過去に技術の系統化に携わった主任調査員のOBのネットワークを有している。「はじめに」でも触れたように、このネットワークは大いなる強みとなっている。種々の産業技術分野の第一線において技術開発に携わった経験を有する技術者集団を、これほど多くネットワーク化している組織はそれほど多くはないであろう。本論文では、主任調査員OB（以下、主任調査員と称する）の中の6人から、特にこの研究のために挙げてもらった事例について分析してみた。

依頼内容は以下のとおりである。すなわち、「自らが開発に携わった、あるいは自分の身近でなされた技術開発事例について概要を記すとともに、そのプロセスをMECIサイクルに当てはめてみる」ということである。この結果、6氏から14の開発事例が提供された。以下にそれぞれについて要点のみ挙げることにする。

1) スイッチング理論（1936年）

「スイッチング理論」とは、デジタルシステムの論理回路の構成に関する理論で、デジタル回路を設計する際の基本となるものである。この理論を構築した中嶋章が日本電気に入社した1930年ころは、リレー回路設計の基になる理論がなく職人芸に頼っていた。このような事態の改善を図るべく、中嶋は先輩の設計したリレー回路から定石を抽出して定石集を作成し、リレー回路の代数表現と定式化を行い、等価変換の理論としてまとめた。後に、中嶋は自分が作った理論がブール代数と同一であることを知った。やがて中嶋の研究は電気試験所の研究者に引き継がれ、論理数学、さらにはわが国初のリレー計算機に生かされることになった。

2) MARS-1—国鉄座席予約システム—(1960年)

この技術がどのようなものであるかについては多言を要さないであろう。国鉄技術研究所の穂坂衛は、旅客、貨物の輸送、列車運行制御にコンピュータが利用できることに気づき、研究を開始した。米国のBendix社が1956年に開発した真空管式の科学技術計算用コンピュータであるBendix G-15Dを詳細に調査した結果、遅延線レジスタ(循環レジスタ)方式を採用して、少ない論理素子で高速処理を実現していた。この方式を採用すれば、当時信頼性もまだ低くしかも高価であったトランジスタの使用個数を最小化して、システムを設計できることが判明した。1955年に穂坂は満員列車の中で座席割り当て方式のヒントを得て、空席パターンを遅延線レジスタ方式の磁気ドラムに記憶させる方法を考案した。1960年、鉄道としては世界初のオンライン座席予約システムが実用に供された。

3) MARS-101—国鉄座席予約システム—(1964年)

MARS-1の成功を得て、総合的なシステムが望まれるようになり、要求仕様がまとめられた。穂坂は、MARS-1の単なる拡張では仕様に対応できないことを見出した。穂坂は製造ラインの制御にヒントを得て、コンピュータにシステムの管理機能を含めることを考えた。機能を複数のコンピュータに分散させ、主コンピュータでこれを管理するシステム構成を提案した。当時はまだOSの概念もマルチプロセサ、マルチプロセス、マルチプレクサチャネル、高速チャネルなどの考えもなかった。システム内の複数の処理を効率よく制御するために、リアルタイム制御プログラムを新たに開発した。MARS-101は1964年2月から運用

を開始した。2箇月後に発表されたIBMシステム/360では、MARS-101と類似のアーキテクチャが採用されていた。

4) 古紙利用の新聞用紙(1985年ころ)

新聞用紙の原料不足が顕著になったので、種々の資源の利用を再検討し、古紙新聞用紙の可能性が開けた。古紙処理技術の調査をする一方、工場全体、社会への影響を調査した。大型古紙処理設備のエンジニアリング、原料手配計画等を検討し、処理技術を確立し、大規模製造試験を行った。この技術開発の背景には、古紙パルプゼロ%から80%にまで配合できる技術の開発、大量の原料転換を可能にする社会構造(古紙回収システム)の確立、ユーザー(新聞社)の技術革新による高古紙配合紙使用の可能性、多くの関連する産業の技術開発への参画、といったことがあった。

5) 紙パルプの配向性管理(1982年)

NIP(ノンインパクトプリンター)のプリントアウト紙が、積み上げていくにつれて傾斜するというトラブルが発生したが、これは加熱による熱収縮によるもので、紙面のパルプ配向が縦方向からずれていることに起因することが分かった。当初は操業条件により、配向角をコントロールしていたが、抄紙機メーカーも配向性管理の重要性を認識するようになり、抄紙機や測定器の高度化により、配向角1度の精度で管理できるようになった。

6) グルタミン酸ナトリウム(1908年)

池田菊苗は昆布から抽出した“うまみ”の本体が「グルタミン酸ナトリウム」であることを発見した。これの安価で大量な製造を目指し、小麦のグルテン、大豆のタンパク質を塩酸で分解し、抽出精製する方法の開発に着手した。当時の化学、物理化学等の知見を動員して製造フローの原形を構築し、このアイデアを味の素(株)(当時は鈴木商店)の創業者である鈴木三郎助に持ちかけ、鈴木は企業化することを受け入れた。このフローは全く前例のない製造法のため数多くの問題点が次々に生じた。特に高温で高濃度の塩酸を用いる分解反応は、反応容器ばかりでなく、周辺装置の腐食も引き起こすことから、環境汚染や作業への安全性確保のために多くの工夫がなされた。多くの問題点を克服して、数年後に初めて「グルタミン酸ナトリウム」が商品化され「味の素」と命名して販売が開始された。

7) 低燃費タイヤ(1985年ころ)

カリフォルニアの大気汚染防止法、CO₂による地球温暖化への懸念、ガソリン価格の高騰等が背景にあり、低燃費タイヤの開発は焦眉の急であった。課題は燃費性とブレーキ性能の両立にあった。この問題の解決にあたっては、日本と欧米諸国から粘弾性理論が提出された。それは米国で発見された粘弾性の温度時間換算則というポリマー物性の世界で知られていた理論を実用の世界へ応用しようとしたものであった。この結果、ブレーキ性能は低温の物理性能に相関し、転がり抵抗は高温の物理性能と相関するということが分かった。つまり、ゴムのtan δ （粘性項）を高温では下げて低温では上げなければならず、このためゴムの配合の構成を変えることや、カーボンブラックをシリカに置き換えるなどの対策がとられた。

8) スタッドレスタイヤ（1985年ころ）

スパイクタイヤによるアスファルト道路の破壊で生じる粉塵問題を解決するために「スタッドレスタイヤ」の開発が必要となった。ここでの最大の課題は氷上の摩擦力消滅への対応であった。「スタッドレスタイヤ」のゴムによる摩擦で、氷が磨かれるので、ツルツルになって摩擦力が全くなくなってしまう。さらに0°C付近まで外温が上がってきたとき、氷が融けて融解水が乗り、事態をさらに悪くする。この水を除去してゴムを直接氷に接触させることを研究した。このための特殊配合剤を各社いろいろ開発した（発泡ゴム、短繊維、くるみ粉etc.）。さらに設計要因としてタイヤブロックをできるだけ倒さないことも接地面積を稼ぐために重要であった。

タイヤブロックを倒さないために方向性を持たせる配合剤を加える、ブロックの形態を倒れないような形にするというような開発も行われた。

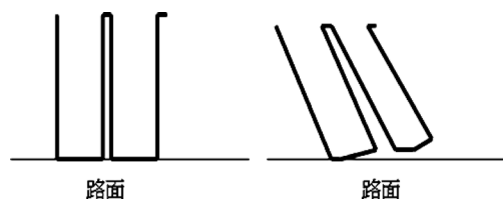


図3. ゴムブロック補強の有無。

9) サーマルインクジェットプリンター（1985年ころ）

PCの普及により、OA化が進行し、インパクトプリンタ代替品のニーズが高まった。実験中に、

インクを入れたノズルが半田ごてに触れて、インクが飛び出すという現象に遭遇したことが契機となって開発が進み、結果的にフォトリソグラフィ技術を応用したBJプリンタヘッドの生産技術を確立した。同時に高純度の水溶性染料の開発が必要であり、染料メーカーがこれを達成した。

10) 非水銀触媒法によるアントラキノン（AQ）系色素中間体（1975年）

有機水銀の公害問題がクローズアップされたため、無機水銀を触媒とした製法についても見直しを迫られた。代替法の一つであるニトロ化法は実験室レベルでは公知であったが工場生産には爆発安全性の解決が不可欠であった。日本の大手3社はそれぞれに爆発の危険性を回避する製造条件を確立し、製品化に成功した。一方、ドイツのバイエル社は工場で大爆発事故を起こし、この事業から撤退した。

11) 非繊維用色素

日本の染料メーカーは、ようやく欧米メーカーを捕えたころ、アジアメーカーに追われ、円高もあり、苦境に陥った。そこで、今までに培った技術をベースに非繊維分野に活路を見出そうとして、大きく分けて以下の二つの分野に展開した。

①繊維以外のものを着色する機能

昇華転写、ガン細胞

②着色以外の機能

OPC（1985年ころ）、有機EL、DVD、医療（1980年）、偏光膜（1985年ころ）

12) 写ルンです（1986年）

「写ルンです」は、カメラではなくレンズの付いたカラーネガフィルムである。いつでもどこでも簡単に写真を撮る、という潜在的ニーズに応じて開発された。以前にも同様の試みがあったが、専用フィルムを使うことを前提としたため、コストの関係から見送られていた。「写ルンです」の際には既存のフィルムを使うこととしたため、フィルムを加工する費用や、現像所での新しい処理ラインが不要であったので、開発コストは負担にならなかった。プラスチックレンズを採用し、ファインダーを素抜けとし、1mから ∞ まで被写界深度が得られるように設計した。シャッタースピードも1/100秒固定で単純な蹴飛ばしシャッターに徹した。素抜けのファインダーは明るく見やすいと好評であり、シャッタースピードを1/100秒固定にしたために手振れ防止の効果が有り、ベストセラー商品となった。

13) 二重構造粒子技術（1983年）

銀塩写真フィルムのセンサーであるハロゲン化銀の感度を上げるには、ヨード化率を上げて光吸収率を上げればよいのであるが、ヨード化率を上げると、現像速度が極端に落ちるという二律背反性があった。そこで、粒子内部を高ヨード層とし、表面を低ヨード層とすることで、解決した。具体的にはハロゲン化銀の核を成長させるギリギリの高濃度で粒子成長させる臨界成長法による単分散乳剤形成法を採用し、オストワルド熟成という、溶解工程を極端に減らした方法によった。この構造には、さらに光吸収だけでは説明できない高感度分の寄与があることが分かった。すなわち、高ヨード層が正孔を引き寄せ、低ヨード層が電子をトラップすることで、電子と正孔の再結合による減感作用を効果的に防止していることが明らかとなった。

14) 第4の感色層技術—フジカラーリアラー—(1984年)

1980年代になって、画質や色再現性は向上したが、中間色の再現性は依然として悪かった。すなわち、うぐいす色は黄色になり、紫色は赤みがかかったものになった。試行錯誤が続いたが、色彩度を上げると中間色の忠実性が破綻し、忠実性を重視すると色彩度が落ち、これらを両立する答えが得られなかった。眼で見たとおりの色を再現すべく、基本に立ち返り、人間の眼の仕組みを研究した。その結果、人間の眼と、カラーネガフィルムに構造上本質的な差異があることに思い到り、このことから負の分光感度の活用を着想した。新たに「第4の感色層」を搭載したカラーネガフィルムを試作して研究を続けた結果、従来緑っぽく映っていた蛍光灯が白色に写るようなフィルムを得ることができた。

5. MECIについての認識

前章で記したように、事例を提供してもらった主任調査員に対しては、各事例をMECIサイクルに当てはめた場合、どのようになるかも依頼している。ここでは、M、E、C、Iのそれぞれについて、主任調査員がどのように捉えているかについて考察した。もちろん事前に、彼らにはMECIのコンセプトについて説明している。この考察により、それが、当方が意図したように伝わっているかどうか、ある程度検証できる。MECIについて

は、その精緻化も含めて今後さらに練り上げていく必要があるが、MECIを広めるには、まずはこのコンセプトを正しく理解してもらう必要がある。それが正しく伝わっていないようであれば、実装プロジェクトのコンセプトや表現が不十分であるということであり、同グループの今後の課題となる。こういった意味から、この作業はMECIに少なからぬ意味を与えるものである。以下四つのプロセスそれぞれについて記述する。4章では事例の要点のみ記したが、以下では、主任調査員から得られたこれ以外の情報を含めて整理することとする。しかし、最初に断っておかなければならないことは、主任調査員自らが以下のような分類表現をしていると言うことではないということである。かれらの記述の中から、その意図を忖度し、これを著者らの言葉で表現し、分類したものである。

5-1 Mining

「研究の動機」と捉えているのが、「スイッチング理論」、「グルタミン酸ナトリウム」、「第4の感色層」の事例を提供した主任調査員である（以下では事例名称で記す）。

「スイッチング理論」では、「当時のリレー回路の設計は経験にもとづく職人的なやり方あるいは試行錯誤的な方法で行われ、特有の性格を持っていた。そのために新人には設計が非常に困難で時間を要し、頭を酷使するだけであった。」と記述されており、経験に頼る試行錯誤を論理的な設計手法に改めたいという技術者の動機があったことを伺わせる。

「グルタミン酸ナトリウム」のMiningは「池田菊苗の「佳味は消化を促進する」と言う信念に基づいて、これを商品化することを企図した。広く食糧、栄養さらに人口問題の解決に大きな貢献となることが期待され、現実にその通りの展開となった。」となっており、日本人の栄養状態に危惧を抱き、これを何とかしたいと言う池田の問題意識が底流にあったことが動機となっている。

「第4の感色層」では「鮮やかな色は誰もが見てすぐに分かる程、彩度が向上していたが、淡い色や中間色が忠実に再現されにくい欠点を有していた。彼は人間が眼で見た通りに写真に想い出を残したかった。」となっており、色の再現性に関するあくなき追求が読み取れる。

「背景状況」として挙げたのは「パルプの配向性管理」と「低燃費タイヤ」である。

「パルプの配向性管理」では、ノンインパクトプリンター用紙が、積み上げていくとだんだん横にずれてきてついには崩れてしまう、と言った現象があることを記述している。これを一歩進めれば、その解決が技術開発の動機となった、と取れなくはない。しかし、ここではそこまで踏み込んだ記述はなかったので、「背景説明」と分類した。

「低燃費タイヤ」では当初はアメリカのカリフォルニアにおける大気汚染防止(CO_2 , NO_x 低減)を契機として問題がクローズアップされたが、その後 CO_2 による地球温暖化への懸念が広まるにつれて CO_2 低減技術の必要性が世界的に強く要求されるようになった、という趣旨のことが挙げられている。やはり、「パルプの配向性管理」と同様に、背景説明であると捉えてよい。

「サーマルインクジェットプリンター」では、「市場動向把握とニーズ明確化」として解釈されており、PCの普及からプリンターに対するニーズを種々の角度から詰めて行って、サーマルインクジェットプリンターに辿りつく思考過程を記している。

5-2 Exploring

「着手時の方法論とその後の展開」と解釈できるのが「スイッチング理論」である。「中嶋章はまず、各種のリレー装置を調査し、あるまとまった動作機能を発揮する構成要素に分解することを試みた。先人のリレー回路の実績から定石を抽出し、定石集を作ることを試みた。…中嶋はこの結果をまとめて、1935年に「継電器回路の構成理論」を発表した。…続いて中嶋は、同僚の榛沢正男と共同でリレー回路の代数表現と定式化を行い、リレー回路における等価変換の理論としてまとめ、論文を発表した。」となっており、どのように取り組み、どのような結果を生んだかを記述している。

「原因究明」として捉えられるのが「パルプの配向性管理」である。加熱による紙の熱収縮が原因で、紙面のパルプ配向の縦方向がずれているときに起こる、ということを見出したことを以ってexploringとしている。

「プロセスの模索」としてとれるのが「グルタミン酸ナトリウム」である。池田が、より安価な原料として、グルタミン酸を多く含む小麦の成分、グルテン、および大豆タンパク質に着目し、これらを塩酸で分解して抽出精製するという製造プロセスを構築したことが挙げられており、製造プロ

セスを追求しての試行錯誤が読み取れる。

「低燃費タイヤ」では、「解決策の模索から確立まで」のプロセスを記している。燃費性とブレーキ性能の両立という二律背反性の課題をクリアするには、ゴムの粘性項である $\tan\delta$ を高温(40～60℃)では下げて、0℃付近では上げるという傾斜を持たせることが必要であることが、粘弾性理論から導かれたこと、このためにゴムの配合構成の変更や、合成ゴム開発があり、そのために一般に使用されていた合成ゴムSBRを乳化重合法(ラジカル重合法)から溶液重合法(アニオン重合法)に変えたということであったことなどが記されており、さらにその後の研究プロセスが述べられている。

以上の事例が、主として研究のプロセスに力点が置かれているのに対し、「第4の感色層」と「インクジェットプリンター」では、「ブレイクスルーのポイント」を挙げている。前者では「分光感度の重なりが小さく重層効果が小さい銀塩写真システムで色彩度と色忠実性を両立させるために効果的な方法として、負の分光感度の活用に思い到った」ことを挙げ、後者では、実験中偶然に、熱せられたハンダゴテがインクのノズルに触れたことによりインクが飛び出したことを挙げている。前者は思考を深める中で得た天啓であり、後者はセレンディピティによるものであるが、いずれもブレイクスルーのポイントを述べていることでは同じである。

5-3 Converging

「研究の深化と成果」と取れるのは「スイッチング理論」である。「中嶋はスイッチング回路の数学的背景を調べていくうちに、代数学の「束」の理論の論文を見つけ、スイッチング回路の理論に関し、補元をもつ分配束と同じ条件が成立することに気がついた。さらにこれが19世紀にブール代数としてブールが発表していたものと同一であることを知った。そして、ブールの論文では証明されていなかった論理関数の展開論理の証明を行い、榛沢とともに論文にまとめた。」と述べており、中嶋の研究が、マトリックスを知らずに独自にマトリックス力学を打ち立てたハイゼンベルクと同様なプロセスを辿ったことを示している。

「パルプの配向性管理」は「研究の深化と改善策への道筋」ととれる。「傾斜量と配向角のずれに相関がある」ことを見出し、改善策の第一歩として「抄紙機全幅で配向角プロファイルを測定した」

ことを記している。これは原因究明の研究の後段に当たるものと、それを受けた改善策への着手について述べているものであり、前段はExploringに入れてもいいと思われる。

「プロセスの確立」ととれるのが「グルタミン酸ナトリウム」と「第4の感色層」である。前者では、当時の物理化学の知見に基づき、製造フローの原形を構築し、実現に着手したこと、前例のない製造法であったため多くの課題、とくに高温で高濃度の塩酸を用いる分解反応で苦労したが、試行錯誤の中からこれらを克服して行ったこと、を挙げている。アイデアはあってもこれを実現することの難しさを述べている。後者では「第4の感色層」を青感光層と緑感光層の間に配置し、フィルムを試作して検討を重ねていくうちに、カラーダカプラーは不要であることやDIRダカプラーに加えてマゼンタダカプラーで発色させるほうが良いこと等の知見を得て、プロトタイプを作成したことを述べており、やはり「プロセスの確立」とみてよい。

「低燃費タイヤ」では、「低燃費タイヤの開発は原料開発からゴム配合開発、加工技術開発、基盤となる粘弾性理論の開発という横断的なものであったが、アメリカで発見された粘弾性の温度時間換算則とうポリマー物性の世界で知られていた理論を実用の世界に応用して成功したという意義がある。」としており、「研究プロセスの評価」としているといつてよい。

5-4 Implementing

「波及効果」として捉えていると考えられるのが「スイッチング理論」と「低燃費タイヤ」である。「スイッチング理論」では、中嶋のスイッチング理論は遅延や記憶を持たない組合せ回路を対象としてまとめられたが、これに興味を持った電気試験所の大橋幹一は、さらに遅延を考慮した理論に発展させ、同所の後藤以紀らがこれを引き継ぎ、遅延を論理関数に取り入れた「論理数学」を提案したこと、同所の駒宮安男はこれにもとづいて電気回路設計理論を構築し、これを用いて我が国最初のリレー計算機ETL Mark IおよびMark IIを開発したことが述べられている。

「低燃費タイヤ」については、この開発が合成ゴム技術を発達させ、さらにシリカなどの新規配合剤の開発につながり、これらの加工難の材料を制御する加工技術向上にも大いに貢献したこと、軽量で剛性を達成させる構造を有効に設計するため

のタイヤ理論が日本の各社から発表されたことのほかに、耐久性、耐摩耗性、乗り心地といった低燃費性と直接に関係しない性能についても発展があったことが述べられている。2例とも本来の目的を達成した以降の波及効果を言い表しているといつてよい。

「パルプの配向性管理」では、操業条件を整えて配向角をコントロールしたことを挙げており、課題となっていた現象を除去するための「解決手法の確立」に成功したことを語っている。

「商品化とその後の展開」として捉えているのが「グルタミン酸ナトリウム」と「第4の感色層」である。前者は、課題を克服して「味の素」として商品化したものの、原料が大豆や小麦であることから、いきおい、海外に供給先をもとめることとなった。しかし、国内農業保護の関税のためコスト高となった。且つ製法が、環境への負荷の大きいものであったため、新しい製法が待たれていたこと、その流れの中で発酵法と化学合成法が生まれたことを述べている。後者では、新しいカラーネガフィルム「フジカラーリアラ」の商品化に成功し、この技術を営業写真用や映画用のカラーネガフィルムにも応用展開したことを挙げている。

以上の記述を見て容易に察せられるように、主任調査員が挙げているM、E、C、Iに関する記述を単一の語彙で以って截然と分けられるものではないことは明らかである。6人の主任調査員は、MECI概念を自ら担ってきた技術革新事例に照らして、多様に解釈した。この解釈は主観的なものである。しかし同時に実態を伴った具体的なものである。従ってこれらの多様な解釈をベースにしてMECI概念自体を精査すれば、実態を背後に持った客観的解釈を構築できる可能性がある。このような考えの上に立つならば、些かの強引さを伴おうとも、このように明確な言葉で表現することにより、議論の土台を形成し、議論を発展させることが肝要である。そこからある意識が形成される効果があることも見逃せない事実である。今後、事例を重ねて検証を進め、これをもとにさらに技術者とコミュニケーションを図り、MECIの考え方が一般の支持を得るよう努めたい。さらに過去の技術革新を成り立たせてきた「場」が何であったのかも分析するとともに、それらを、次章で述べる「技術革新の類型化」とも関連づけることを目指す。それらの努力の積み重ねによって、

根本的エンジニアリングの有用性を確認していきたい。

6. 技術革新の類型化

技術革新推進策を講ずるに当たって、その構造を把握しておくことが必須である。技術革新はどのような状況下で起こるのか、を考えた場合、多くの要因の複雑な相互作用の上に成り立つものであることが分かる。どのような要因がどのように作用してどのような技術革新に結実しているのかについて、たとえ一部でも解明できたならば、今後の技術革新に向けた努力をどのような方向に、どのように展開するかについての貴重な情報となる。日本の技術革新の特徴について研究しているのも、この目的のためであり、このことを明らかにできれば本研究の目指すところは、その大半が達せられたと考えてよい。

このような考え方の下に、構造把握の一環として、技術革新の類型化を行うことを試みた。その試みの過程で、同じ類型化でもいくつかの視点があることに思い至った。以下でこれについて考察するが、本稿では、技術革新をもたらす最重要のアクティビティーの一つに研究開発が挙げられること、および提供された事例がすべて多大な研究開発の末に得られたことに鑑み、研究開発を技術革新と同列化して論じている。なおここでは、先に挙げた14の事例から見て取れる、研究開発の三つの視点について類型化している。

6.1 研究開発の契機

研究開発がどのような契機でスタートしたかということは、研究開発というアクティビティーの性格や構造を知り、背景にどのような必要性があるかを知る上で有用な情報であり、押さえておくべき要因である。14の事例のMiningでの記述から、契機であると思われるものを拾い上げ、以下に挙げる5つの型に分けてみた。

(1) 研究者個人の好奇心・問題意識

「スイッチング理論」「座席予約システム」

「グルタミン酸ナトリウム」「第4の感色層」

スイッチング理論は、当時、経験に基づく職人的なやり方、あるいは試行錯誤的な方法で行われていたリレー回路の設計方法を改善したいという中嶋の問題意識から、独自に研究が始められた。

座席予約システムの研究は、国鉄技術研究所の穂坂が、米国でのコンピュータの発明を知り、研

究を始めているうちに、鉄道業務である旅客、貨物の輸送、列車運行制御にコンピュータが利用できることに気がつき、研究に着手したところから始まった。

池田は“うま味”の正体がグルタミン酸ナトリウムであることを発見した。日本人の栄養、さらに人口問題の解決に関心を持っていた池田は「佳味は消化を促進する」という信念に基づいて、これを商品化することを企図した。

色再現に関して研究していた中で、鮮やかな色については十分満足し得るものとなったが、淡い色や中間色が忠実に再現されにくかった。人間が眼で見た通りの写真を作りたいという問題意識から「第4の感色層」が生まれた。

(2) 新分野進出（市場対応）

「非繊維用色素」

繊維用色素に関して、日本のメーカーは、アジアメーカーに追われ、円高騰の影響もあって国内生産は激減した。

ここで発想を転換し、培った技術をベースにエレクトロニクス用や医療用の色素等、多くの用途開発に転換した。

(3) 機能向上

「MARS-1」「二重構造粒子」

MARS-1の大成功を受けて、総合予約システムへの発展が望まれた。要求仕様は、MARS-1の拡張や複数使用では対処できないもので、まったく異なるアプローチが必要であったが、MARS-1の存在があってはじめて、このような要求も出てくることを考慮し、機能向上が契機になっていると判断した。

高感度のカラーネガフィルムは、暗い場所の物体や動いている被写体の撮影を可能とする。この研究は、ハロゲン化銀の粒子を大きくすることによる画質の悪化を避けつつ、写真感度を上げるための研究であった。

(4) 資源不足対応

「古紙利用技術」

日本の新聞紙の需要増大に対応するには、日本の森林資源だけでは十分でなく、原料の確保が製紙業界にとって大きな課題となった。このための古紙利用技術の開発に着手することになった。

(5) 環境対応

「アントラキノン系色素中間体」「低燃費タイヤ」

「スタッドレスタイヤ」

有機水銀による公害問題のクローズアップによ

り、実際には公害と関係ない無機水銀を触媒として用いる色素中間体の製造技術についても見直しを迫られた。このため、アントラキノン系色素中間体製造技術の開発がスタートした。

本来、燃費性向上はタイヤメーカーの永遠の課題ではあるが、カリフォルニア州での大気汚染防止法(CO₂, NOx 低減)の成立や、地球温暖化の元凶としてのCO₂のクローズアップもあり、低燃費タイヤの開発が喫緊の課題となった。

低燃費タイヤとならんで日本で大きな問題になったのが、スパイクタイヤによる粉塵公害問題であった。このことから脱スパイクタイヤへの取り組みが行われた。

6.2 研究開発の態様

研究開発の態様は数多くあり、しかも一つの開発行為が、一つだけの態様で完結するということはまれである。また、ある態様はどこまでの研究開発行為であり、そこから先は別の態様である、といったようにきれいに分けられるものでもない。しかし、ここでも敢えて細部の正確さには目をつぶり、大枠のところで分類してみた。

(1) 理論構築

「スイッチング理論」「Mars-1」「Mars-101」

スイッチング理論は中嶋が、先人のリレー回路の実績から定石集を作り、「継電器回路の構成理論」としてまとめたところから始まっている。今までに見てきたように、その後の研究は理論研究以外のものではない。

座席予約システム自体は実用的なシステムであり、以後の社会に与えた経済的、文明的影響は計り知れない。しかし、発案者の穂坂の研究の内容に限って見ると、あくまでも理論的なものであった。

(2) 実験と思考

「グルタミン酸ナトリウム」「低燃費タイヤ」

「スタッドレスタイヤ」「二重構造粒子」

「第4の感色層」

研究開発、という語から一般的に連想される概念の、最も身近なものは、仮説を立てて実験し、その結果について考察し、さらに次の仮説に進む、と言った営為の繰り返しであろう。14の事例のうち、5例がこれに相当すると考えられる。

池田は大量の昆布からわずかししか抽出できないうま味成分の抽出を根気よく繰り返し、ある程度の量を得て、これがグルタミン酸ナトリウムであることを同定した。さらに商業ベースで成り立つ

方法を求めて、小麦の成分であるグルテンと大豆タンパク質に着目し、これらを塩酸で分解し抽出精製すると言う製造プロセスを構築した。池田の一連の研究は、当時の知的基盤に立脚した実験と思考の積み重ねによったものであった。

低燃費タイヤの開発の難しさは、燃費性とブレーキ性能の両立という二律背反を克服しなければならないことであった。この問題の解決のために粘弾性理論による解析やゴム配合構成の変化、合成ゴムの開発等、思考と実験が繰り返された。

スタッドレスタイヤの開発では、氷上の摩擦力の消失という問題との戦いであった。特殊配合剤をいろいろ開発し、融解水を除去してゴムを直接氷に接触させることや、タイヤブロックをできるだけ倒さないようにすることによって接地面積を稼ぐといった研究がなされた。これらの研究には試行錯誤を含む多種多様な思考と実験があったことを伺わせる。

二重構造粒子は、光吸収を粒子内部の高ヨード層で増加し、現像遅れの問題は粒子表面の低ヨード層で回避するという方法を採用したものである。思考と実験の繰り返しによって可能な成果である。

第4の感色層は、人間の眼の構造や機能にまでさかのぼって研究した結果得られた画期的な成果である。負の分光感度という飛躍した概念をはじめとする多くのブレイクスルーは、やはり思考と実験の賜物であった。

(3) 製造条件の確立

「アントラキノン系の中間色素体」「パルプの配向性管理」

アントラキノン系の中間色素体の製造は、爆発の危険性を避けるための製造条件の確立が、一つの大きなキーであった。パルプの配向性管理もヘッドボックスからのスラリーの流量や流出角度をはじめとする製造条件の模索が、研究開発の大きな比重を占めた。

(4) 新商品コンセプト

「写ルンです」

「写ルンです」は、カメラではなくレンズの付いたカラーネガフィルムとして発売された。カラーフィルムの装填や取り出しから、絞りやシャッタースピードの設定まで、ユーザの操作が全く不要な簡単撮影システムである。すべて従来にないコンセプトで、新商品コンセプトとして成功した例である。

(5) コストダウンの追求

「写ルンです」の商品コンセプトは大成功を取めたが、その影にはカメラ部のコストダウンのための技術開発が多くあった。レンズのプラスチック化、ファインダーへの素抜けタイプの採用、シャッタースピードの1/100秒固定化と単純な蹴飛ばしシャッターの採用等である。

6.3 研究開発推進体制

(1) 一人または少人数

「スイッチング理論」「座席予約システム」

「第4の感色層」

理論を中心とした研究は、少なくともその初期においては属人性の高いものであり、推進も一人か、極少人数で行われることが多い。中嶋もスイッチング理論の構築に当たっては、最初は一人で、後に共同研究者として同僚の榛沢を得て二人で行っている。座席予約の穂坂もMARS-1では、空席の割り当て方式など、実質的に一人で考えて組み上げている。

第4の感色層の研究は、「闇研」と称されたアンダー・ザ・テーブルの研究であった。自分で開発したフィルムのフィールド試験を、被写体としての花を妻に持たせて実施する、といった具合であった。

(2) 装置メーカーとのタイアップ

「パルプの配向性管理」

パルプの方向を描えるには、ヘッドボックスからスラリーをワイヤー上に押し出す際の量の微妙なコントロール、誘電率や光の反射の測定により配向角をオンラインで測定する技術、といったものが必要であるが、これは装置メーカーとの密接な議論を経て確立されるものである。

(3) 研究者とワーカーが一体

「アントラキノン系色素中間体」

アントラキノン系色素中間体の製造方法で、ニトロ化法は実験室的には公知であったが、爆発安全性の基本的問題及び精製の困難さがあり、製造現場への適用は果たされていなかった。日本の大手3社は研究者・開発者・現場スタッフの創意工夫で現実化できた。

ならない。以下では、事例の中から、日本の特徴を表していると思えるものを挙げて参考に供したい。現在までに判明したもののみを以下に挙げたまでで、日本の技術革新の特徴が尽くされているということではないことを断っておく。

7.1 特徴

(1) 隘路の克服

日本人は製造条件の隘路を克服するのが得意である。上述の14の事例の中では、アントラキノン系の色素中間体の製造条件の確立が挙げられる。難しいジニトロ化物の分離を、反応温度、晶析条件等詳細に検討を行って達成した。この後工程として、メトキシ化工程があるが、副反応としてニトロ基の還元反応が起こる。これを防ぐため、爆発範囲を逃れながら、酸化性雰囲気を維持する反応条件を見出して、難問を解決した。この開発には多くのノウハウが含まれており、その詳細は明らかでないが、例えば工場生産の規模で、温度制御を1℃の範囲で行う、などのことを行っているらしい。

タイヤのスチールコードは日本のものが一番良いということである。他国のものは延伸して行く過程で断線して作業効率が落ちる。スチールコードは延伸性を良くするために真鍮（亜鉛と銅の合金）をメッキしているが、銅の比率が大きいと接着性が良くないので銅を減らしたい。一方、63.5%以下に減らすと結晶系が面心立方から体心立方に変わってしまい、硬くなって引きにくい。然し、あるメーカーから63.5%以下でもできるという特許が出たということである。専門家の話では、二層メッキにしているらしいとのことである。

このように極狭い範囲で許された製造の条件を確立し、安定的に再現性を確保することに日本人は長けている。

(2) 中央突破

日本人の特性として、目前の課題に挑んで正面突破を図る傾向がある。例として、インクジェットプリンターのヘッドが挙げられる。同ヘッドには寿命があり、1億字程度が限界とされていた。日本のメーカーは、これを2億字に伸ばすべく努力し、これを達成した。しかし米国のHPは、この方向を採らず、1億字の寿命のヘッドを使い捨てにさせる戦略を採った。2億字を実現する日本メーカーの技術力は、誇るべきものであるが、ビジネス戦略の面でどちらが優れているか議論のあ

7. 日本の技術革新の特徴

日本の技術革新の特徴を形作る要因は種々あるはずであり、一面的に論ずることは皮相的で真の姿を見落とすことにつながるので慎重でなければ

るところである。

(3) 基本原理の他分野への応用

日本からの新しい概念、方法、原理的な提案は多くないといわれている。このこと自体の真偽については、なお検証の必要があると考えられるが、既存の原理を全く異なる分野に応用したり、実用的なものとして世に役立てたりすることは得意である。例えば、高吸収性高分子は米国で生まれたものであるが、そのままでは毒性が強く実用にはなり得なかった。これを日本の技術者が改良し、使えるものにした。このことの余沢は大きく、女性の生活を一変し、嬰兒や老人のおむつにも革命をもたらした。

別の例では、薬品のマイクロカプセル化により、体内での到達場所を自由に選ぶことを可能とする技術開発がある。日本のメーカーの技術者が開発した技術であるが、この原理は米国のNCRがノーカーボン紙用に開発したものである。マイクロカプセルにロイコ染料を封入しておき、筆圧によってマイクロカプセルを破壊してロイコ染料と顕色剤を反応させることにより、記録すると言うものである。この原理を全く異なる技術分野である薬品で応用したのが上述のデリバリーシステムである。薬品を閉じ込めるマイクロカプセルの厚さ等を工夫することにより、服用してから薬品が溶け出すまでの時間をコントロールできる。原理的には任意の部位に薬を送れる訳である。NCRの提案した原理は画期的なもので、とても真似のできるものではない、という専門家の意見もあり、独創性に富むものであるが、それを異種技術分野で生かして人類に貢献する、これも価値のある技術革新の型の一つとして見逃せない。

(4) 目標の明確な開発が得意

目標の定まっている開発は、日本の得意とするところである。より小さく、より高密度に、より速くといった、目指す目標がはっきり見えているものについては、世界の先陣を切ることは珍しくない。かつてのDRAM開発がそうである。線幅を小さくして、単位面積にできるだけ多くの素子を組み込む、そのための素子の設計、プロセス技術の開発といったことを世界に先駆けて行い、チャンピオンデータを更新してきた。一口に線幅を小さくするといっても多くの技術体系の上に成り立つものであり、簡単なことでないことはもちろんである。このために日本メーカーは巨額の投資をしてきた。

(5) 美的感覚を要する分野が得意

ポリエステル生産量が中国に抜かれてずいぶんときが経った。この間、日本メーカーは高付加価値を求めて技術開発を行ってきたが、その一例が光の干渉効果を利用したモルフォ蝶の模倣繊維である。このような発想は美的感覚が優れていないと難しい。

7.2 背景にあるもの

前項で見た日本の技術革新の特徴を生み出す背景として考えられるもの、ないしは日本の市場や企業環境の特性、日本人の特質といったものについて部分的ではあるが触れてみたい。

(1) 厳しいユーザ

どの技術分野においても、日本のユーザは厳しいという指摘がある。少しの瑕疵も許さないユーザの厳しい要求に応えるべく懸命に技術を磨く、このことが日本の製品の品質を上げているということである。

(2) 高い品質へのこだわり

ユーザの要求の厳しさということ抜きにしても、生産者自身が製品の品質にこだわり続けると言う面もある。ある意味、自己目的化した飽くなき品質へのこだわりが、日本製品の質の高さを生み出していると言える。

(3) 一貫生産体制

日本の企業は米国と異なり、一貫生産形態が多い。このことが発想を豊かにしている面がある。繊維の穴の大きさは添加する物質によってコントロールできる。シリカを入れると一番小さくなる。この基本特許はデュボンにあったが、これを実用化することはしていない。価値観、カルチャーの問題でもあろうが、彼らは基本的にファブリックにする気持ちがなかった。日本では絹でファブリックにすることを経験済みであった。もう一つには、日本の場合、糸—布—染を一社が一貫してやるが、米国の場合はそれぞれを別の会社がやるのが、そのような発想が生まれない原因の一つであろう、というのが専門家の意見である。

(4) 誠実な対応

(1)で日本のユーザの厳しさに触れたが、メーカーサイドはこれに誠実に対応する。夕方言って、明朝一番で持って来いといった類の、無理難題とも思える要求でもなんとか応えようとする。そうして一応の答を出すのである。このような長年にわたる姿勢が日本のものづくりの力を鍛え上げてきたと言える。

(5) 企業数の多さ

日本には同業の企業数が多い。このことにより競争が熾烈となって、自ずと技術力が磨かれることになる。反面、低利益経営とならざるを得ず、企業の体力を奪っているという状況をもたらしている。

(6) 身分障壁が低い

日本は特権階級がないこともあり、企業でも基本的に階級による身分の差別はない。例えば、欧米では、作業者は学位を持つ技術者の指令どおりに作業しなければならない。一方、日本では現場の作業者と研究者、技術者が一体となってことに当たる。現場の作業者も積極的に改善提案することを許されている。このことが現場発の改善の積み重ねを可能とし、結果として高い品質の製品を生み出す素地を形成している。

8. ま と め

本稿は国立科学博物館の重点研究「日本の技術革新」の昨年度の研究の一部をまとめたものである。技術革新の種々の局面で何が起きているかについて、従来希薄であった、現場、特に研究開発の現場での情報に基づく分析を志向してスタートしたが、未だ全容を見るに到っていない。したがって、本稿は中間報告の色彩の強いものである。その点で、読者に読みにくく、物足りない感を持たれているとすれば、ご海容を願うのみである。今後一年をかけて分析を深化し、目指すところを明らかに描き出して諸賢のご批判を請うこととしたい。

謝 辞

国立科学博物館の元主任調査員の、山田昭彦、

飯田清昭、中森茂、石川泰弘、瀧本浩、久米裕二の各氏には真摯なご協力を頂いた。各氏のご協力なくば本論文の執筆はなかった。満腔の謝意を表する。また、メタエンジニアリングのメンバーとは定例作業部会やメールを通じて不断に議論を深めており、啓発されるところが大きい。中でも小松康俊氏には細部にわたって貴重なアドバイスを頂いた。併せて謝意を表する。最後に、神奈川大学大学院博士課程の木下和也君と国立科学博物館産業技術史資料情報センターの植田みことさんには、定例会議のための資料準備等、種々尽力していただき、研究をスムーズに進めることができた。お礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 国立科学博物館, 2001年3月～2012年8月.『技術の系統化調査報告書1～17』.
- 2) 社団法人 日本工学アカデミー 政策委員会, 2009年11月26日.「わが国が重視すべき科学技術のあり方に関する提言—根本的エンジニアリングの提唱」.
- 3) 永田宇征, 2007年9月.「技術の系統化とその意義および現状」. 電気評論 2007, 9, 7-11.
- 4) 大来雄二, 2010年5月.「根本的エンジニアリング: 基礎研究と人の移動対象の実用化研究」日産財団研究報告書. http://www.nissan-zaidan.or.jp/membership/2010/05_seika/10061.pdf
- 5) 鈴木 浩, 大来雄二, 勝又一郎, 2012年.「イノベーション創出のための根本的エンジニアリングの場の研究」. 日本機械学会2012年度年次大会講演論文集.
- 6) Hiroshi Suzuki, Yuji Okita, 2011. "Innovation Promoted by Meta-Engineering—Mining-Exploring-Converging-Implementing Process, The 4th International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation", July 2011, Orland, Florida, Proceeding Vol. 1: 135-140.