

# 日本経済大学 大学院紀要

## 第4巻

---

### 論文

- 資金収支分析に関する一考察(1)..... 石内孔治(1)
- 新生組織におけるイノベーションのマネジメントに関する研究(2)  
—資源蓄積パラドックス解消のための一考察—..... 中川 充(17)
- 創造的アイデアの履行における抑制および促進要因の分析  
—創造革新性パラドックスの克服に向けて—..... 古川久敬(31)
- 2000年代日本における内部統制をめぐる議論に対する一考察..... 金 靖(57)
- 日本海側における巨大地震と津波に関する研究..... 仲間妙子(77)
- 中小製造企業のアジア発展途上国進出におけるリスクマネジメント..... 高橋文行(91)
- 中国の経済発展における東北地域の役割—G T I 関連諸国との貿易を中心に..... 安田知絵(103)
- 韓国企業のミャンマー進出の現状と課題—人材育成に関する現地調査を踏まえて—... 黄 八洙(123)
- 技術の系統化とM E C Iによる技術革新過程の分析..... 永田宇征・鈴木浩(135)
- イノベーション創出における場の機能の研究..... 小松康俊・鈴木浩(163)

### 研究ノート

- メタエンジニアリングによる優れた文化の文明化プロセスの確立(その1)..... 勝又一郎(181)

---

2016(平成28)年2月

日本経済大学大学院

# 技術の系統化と MECI による技術革新過程の分析

永田宇征・鈴木 浩

## I はじめに

イノベーションは世界的な関心事であり、わが国においても安倍政権の下で種々施策を講じている。筆者らはイノベーションを起こすにはどのような条件が必要であるかについて、この数年研究を続けてきた。イノベーションに関わる要因は直接的、間接的なものを含めると膨大な数となり、これを仔細に追いかけると亡羊の嘆を託つことになりかねない。本稿では、ものづくりを目的とした新技術、新製品の開発の側面に重点を置いた考察を行うこととした。この点に絞って考察する理由は以下の二つである。第一に、今後日本が世界に立っていくにはものづくりに生きる以外にないと筆者らは考えるからである。ものづくりであれば過去の実績が示すように、日本は世界のどこにも譲るところはない。金融や保険あるいは各種のシステム作りなど、どう頑張っても欧米に一籌を輸すことになりそうである。第二に筆者のひとりの永田が属する国立科学博物館は、2000年度から技術の系統化（国立科学博物館2001年3月～2015年3月）を開始した。この中で、ものづくりに軸足を置いた過去の日本の技術開発事例を豊富に収めることができた。系統化の輪の中心にいた永田は多くのOB技術者との議論の中で数多くの技術開発事例について議論を交わすことができた。このことは日本の技術革新について論ずる際に大きなアドバンテージになる。この技術の系統化については、2章で詳しく触れることとする。

## II 技術の系統化

筆者らの知る限り、技術の系統化とは国立科学博物館（以下「科博」）で初めて導入した概念であり用語である。この系統化の成果物である報告書はネットで公開しているが、国内外の研究者からのアクセスが多い。技術史研究等の貴重な情報源となっているので、技術の系統化について少し詳細に触れることとする。

### 1 技術の系統化の定義

科博で、系統化について、定義という形で定めたものはない。産業技術史資料情報センター設立の中心人物のひとりであった寺西は、「系統化という手法は、このような技術の変遷を分野ごとに俯瞰し、その流れを整理することが眼目である。これによってその分野の技術変化の節目を明らかにすることができ、それぞれの節目に該当する資料を特定する

ことが可能となる」と述べている(寺西大三郎[2001], 4頁)。さらに寺西は「この研究は、技術の分野を限定的に取り出し、その分野の専門家の目で技術変化の流れを系統的に整理し、「技術変化の節目」に位置する資料を重要な物として評価、特定してゆこうというものである」と述べ、「技術の節目」を同定することに主眼を置いている(寺西大三郎[2002], 3頁)。元々、科博が系統化を進める契機となったのが、日本の貴重な技術史資料が次々と廃却されるのを防ぎたい、そのためにどの資料がどのような理由で貴重であるかを見極めようとするにあったことを思えば、寺西が「技術の節目」を重要視したことは至極当然のことである。「技術の節目」に係る技術史資料を保存して行こうというものであったからである。これに関しては2008年に科博が「重要科学技術史資料登録制度(未来技術遺産)」として制度化し、現在までに209点の資料を登録している。この未来技術遺産に対する一般の認知度が上がり、多くのマスコミも毎年注目するようになったが、これについては関連文献(永田宇征他[20012])をご参照願いたい。

一方、その後実際にコーディネーターとして系統化を進めていく中で、永田はこの系統化を技術発展のメカニズム解明の手法のひとつに位置づけたいとの思いを持つようになった。このような動機が背景にあって、系統化の定義として科博で公式に定めたものではないながらも、その根底の考え方、方向づけとして以下のものが定着している。すなわち、「ある特定の領域の技術について、基幹技術や周辺技術が時代の流れの中でどのように発展してきたか、それらの相互の関わりはどのようなものであったか、基幹技術におけるブレイクスルーはどのようなものであったか、或いは基幹技術の開発の中で、その後のひとつの流れを築いた技術の出現があったか、当該技術分野から派生した技術が他の分野でどのように生かされたか、といったことを明らかにして技術の系譜を作成すること」というものである。同時に当該技術分野に対して日本が何を果たしてきたか、どのような貢献をしてきたかを明らかにしたいとの思いも持つようになった。上述のことについては以下で順次触れていくこととする。

## 2 系統化の意義

技術の系統化開始の動機は重要科学技術史資料登録制度に向けた、技術史上の貴重な資料の同定ということにあったが、系統化を進める中で新たな視座も得るに到ったことは、上に述べたとおりである。これらを含めた系統化の意義について以前に筆者の一人が記したが(永田宇征[2007], 7頁)、ここで整理して以下に述べる。

### (1) 重要技術史資料の同定

この目的のためのポイントは寺西が述べているように「技術の節目」をとらえることである。この「技術の節目」として何を以て充てるかは、後述する主任調査員の価値観、評価基準によって異なるものであり、完全な客観性を確保することは難しい。しかし、これについても科博側で大きな方向付けをすることはできる。このための有力な基準として以

下に示す「重要科学技術史資料（未来技術遺産）の選定基準」がある。

- ①科学技術（産業技術を含む。以下同じ。）の発達史上重要な成果を示し、次世代に継承していく上で重要な意義を持つもので、次の基準を満たすもの
  - a) 科学技術の発展の重要な側面及び段階を示すもの
  - b) 国際的に見て日本の科学技術発展の独自性を示すもの
  - c) 新たな科学技術分野の創造に寄与したもの
  - d) 地域等の発展の観点から見て記念となるもの
  - e) 試行錯誤、失敗の事例など科学技術の継承を図る上で重要な教育的価値を有すもの
- ②国民生活、経済、社会、文化の在り方に顕著な影響を与えたもので、次の基準を満たすもの
  - a) 国民生活の発展、新たな生活様式の創出に顕著な役割を果たしたもの
  - b) 日本経済の発展と国際的地位の向上に一時代を画するような顕著な貢献のあったもの
  - c) 社会、文化と科学技術の関わりにおいて重要な事象を示すもの

上記①は、技術開発史上の事象を科学技術の視点から評価したものであり、②は当該技術が社会に与えた影響といった観点から判断したものである。さて、これらの基準をどのように系統化に取り入れているかについて以下で論ずる。

まず、科学技術の観点から触れる。コーディネーターとしての永田が重視しているのが、上記の①の a) ~ c) である。c) については厳密に考えると、ひとつのパラダイム構築に相当するものであり、これに対応するものは滅多にない。戦前の例でいえば八木アンテナがこれに相当するであろう。但し、実際に未来技術遺産を分類する際には、かなり大きなブレイクスルーに基づくものはここに分類している。b) は日本独自の環境や地理的条件、文化、習慣、さらには日本人に特有の研究開発スタイルといったものの所産になるものであり、a) は大小、なんらかのブレイクスルーを伴う技術開発であり、従来不可能であったもの、無かったものが、その技術によって可能となったり出現したりしたもの、というようにとらえている。系統化で注目すべき大方の技術開発はこの範疇に入ると考えている。もちろん、技術開発は以上のいずれかの一つのみには属するものではなく、複数の属性を有している。敢えて分類する際にはどの属性がドミナントであるかによって決定する。

次に社会に与えた影響の観点である。新しい技術が社会に与える影響は計り知れない。例えば交通機関の発達人間の生活を大きく変え、経済を発展させた。テレビ、ゲーム機、パソコンの出現は余暇の過ごし方を変え、子供たちの遊びを変え、仕事の仕方を変えた。治療法や薬の発達は寿命を飛躍的に伸ばして人類に福音を与えた。一方で交通事故や環境破壊を引き起こし、さらに夜行列車で一夜を明かし、目が覚めたら全く異なる別天地が開けていた、といったような旅の情緒を奪ってしまった。技術は、小は個人の日常生活の質

や価値観から、大は国家の安危や世界の情勢に到るまで、あらゆる層や局面の様相を一変させてしまう。このような技術の発展は、その大部分が社会からの要請によって生じるものである。このように、技術と社会は相互に影響を与えながら変化していくものであり、社会に大きな変化をもたらした技術を特定することは技術史を論ずるときに逃すことのできない一方の観点である。

#### (2) 歴史を未来に生かす

日本の技術は、今や多くの領域で世界一流の域に達した。嘗ての欧米のような、範とすべきモデルは最早ない。自らの力で未来を切り開く必要がある。このような状況にあって唯一指標となり得るのは過去の事例である。言い古された字句ではあるが、温故知新である。新しい技術を如何にして消化したか、開発の過程でどのような工夫が生まれたか、個々の場面での課題をどのように克服したか、切所に当たって先人は如何に行動したか、といった情報は後に続くものに大いなる情報となる。種々の領域の技術について、このような情報を克明に残すことは現在の技術者の、将来の技術者に対する貴重な贈り物となる。科博の重要科学技術史資料登録制度の通称として「未来技術遺産」なる造語を定めたのも、そのころはそこにある。

#### (3) 日本の技術成果の海外への発信

当該技術史上で日本人が成し遂げた成果を発信することは二重の意味で有益なことである。ひとつは後に続く発展途上国への情報提供として上記(2)で記した観点から有効である。いまひとつは日本自身のために必要であるという観点から重要なことである。このことについては3(2)③で触れることとする。

#### (4) 文化を残す

技術の系統化によって文化を残す、といえはいかにも迂遠であるとの感を持つ向きもあるろう。確かに迂遠の謗りは免れ得ないかもしれないが、一方で技術と文化は不可分であることも事実である。日本の技術をきちんと記録して残すことは、技術の側面からの文化の保存となる。一国のアイデンティティーを確立し維持することは民族の長久の観点から重要なことであるが、これに資するべく技術の系統化を生かすことを考えている。

### 3 具体的進め方

#### (1) 系統化要員の確保

系統化を進める上で重要なことは、当該技術に対する深い知識を備えていることである。しかし、今日、技術は限りなく細分化され、その範囲は実に広範な領域に互っている。これらの技術すべてに通暁している人材を求めようとすることは現実的でないことは自明である。このため、科博では、過去に企業での技術開発の経験を有するOB技術者を1年間、職員として採用し、彼らをしてこれに当たらしめている。ここで企業での経験を条件としたのには理由がある。系統化を実施している組織が、科博の中の産業技術史資料情報セン

ターであることから察せられるように、このセンター設置の目的は、戦後の日本の復興の原動力となったものづくりの歴史を後世に伝えていこうということにあった。ものづくりの技術の創出と育成の中心は企業である。企業の技術者は、常に失敗と背中合わせで、納期と顧客の苛烈な要求に喘ぎながら自らの技術を鍛えてきた経験を持っている。彼らはものづくりの厳しさ、恐さを知り尽くすと同時に、そのよろこび、素晴らしさを肌で知っている。「産業技術」を学問の客体として見るのではなく、その発展の歴史の中に身を置き、自らの血と汗で築き上げ、背景に横たわる一切のこころをこころとしている企業の技術者にこそ書いてほしい、という拘りが産業技術史資料情報センターにはある。

数多のOB技術者の中から誰を系統化の要因として選定するかについては、多くの部分を企業集団としての工業会や協会に負っている。このような団体は、そのミッション遂行上、企業との交流が日常のこととなっており、これら団体に出入りする技術者の人となりをよく把握している。退職してOBになったとはいえ、彼らの現役のころの状況に通じているこれら団体は、科博の求める人物像に近い人材を推薦するに最も相応しい位置にあるといえる。

## (2) 報告書作成の方向付け

上記(1)で選定したOB技術者を科博は1年間主任調査員として遇し、科博の職員としての立場から系統化に当たらしめる。彼らは技術者としては一流であり、過去の主任調査員の中で学位を有するものは数多く、中には大企業の技術担当役員として全社の技術開発を指揮した経験を有する人材もある。しかし、系統化のような技術史研究を中心とした作業に関しては必ずしも経験豊富であるわけではなく、習熟しているわけでもない。一方で系統化に関して科博としての方針がある。

このために主任調査員に対する定期的な方向付けを目的として、科博のコーディネーターを中心としたミーティングを1週間に1回開いている。系統化のテーマ数は5～6/年である。したがって、このミーティングはコーディネーター以外に5～6人の主任調査員で構成される。執筆者の一人の永田は2003年以来、系統化のコーディネーターを務めてきた。各主任調査員は一週間の進捗状況を5～10ページ程度にまとめてコーディネーターに提出し、報告する。コーディネーターはそれぞれの報告に対し、科博の方針と照らし合わせながら書き方についてのコメントを出す。そのコメントについて主任調査員側で納得できない場合は両者の間で、あるいは他の主任調査員をも交えて議論する。このようにしてコーディネーターは科博として求める報告書の作成に誘導する。

コーディネーターが特に拘って、主任調査員に求めるポイントは以下のようなものである。まず記述内容の面について述べる

### ①技術発展の要因を明確にする

技術の発展がどのようにして起こるかを知ることは、イノベーションのメカニズム解明に通じるところがある。どのような要因がどのように関与しているか、その時点でどの要

因が制御可能でどれがそうでないかを明確にすることができれば、イノベーションへの道筋が見えてくるはずである。

#### ②日本の技術開発の特徴

今後技術開発面で国際社会に伍していくには、長を伸ばし、短を補うことが必要である。そのためには、自らの得手、不得手を知らなければならない。過去の日本の技術開発の特徴を把握すれば自ずからそれが見えてくるはずである。系統化において、当該技術分野の過去の技術開発事例に触れる中で、日本固有と思える技術開発成果や開発体制、方法論、開発指向に遭遇した時は、主任調査員に対しさらに詳細な調査を指示して、日本の技術開発の特徴が浮き彫りになるよう、記述を充実させるようにしている。

#### ③日本の貢献・日本発の技術

ひところ、日本の基礎研究ただ乗り論が欧米で喧伝された。当時旭日昇天の勢いを以て世界に雄飛していた日本に対する苛立たしさの表れであったのであろうが、仮令意識的であるにせよ、このような弊説を吐かせたのには、過去の技術開発の中で日本が果たした役割、日本の貢献をきちんと形に表し、発信して来なかったわれわれにも責任の一端がある。現時点においても、なお、これを怠るならば日本の技術開発面での貢献がうやむやにされ、日本の功が他国に帰せられる、という事態も考えられなくもない。技術は一国の文化と密接な関係がある。ある特定の技術について、日本が創り出した事実を否定されるならば、文化の創始者としての地位を否定されることになる。文化の否定は国のアイデンティティの否定にもつながりかねない。系統化においては、日本発の技術や、技術開発面での日本の貢献について事実を明確に記すよう、著者に注意を喚起している。

#### ④技術と社会・文化の相互作用

先にも触れたように、社会と技術は密接な関係にある。技術開発の多くは、社会からの要請によってなされたものである。時の社会が必要とするものの実現を目指してなされる。この要請こそが技術発展の大きな原動力である。そうして、この社会の要請は、その社会の有する文化に根差している。一方で新しい技術は時として社会に大きな変貌を齎す。生活を変え、意識を変える。人々の価値観や社会の在り方、ルールまで変えてしまう。つまり、技術と社会の間には強い相互作用があると考えてよい。両者は相互に影響を与えながら、一を発展させ、他を変えてきた。このプロセスについても極力記述するよう方向づけている。

以上がコーディネーターとして、主任調査員に求める記述内容のポイントである。次に、執筆者としての姿勢について要求している点について述べる。それは著者の技術観の横溢である。長年、技術開発に携わり、技術の何たるかを知悉している技術者は、それぞれに自らの技術観を有しているはずである。報告書は、その技術観が随所に見られるものにして欲しいというのが科博の求めるところである。技術史上のある特定の事象、技術発展のプロセスの一つひとつについての解釈は、著者の技術観に裏打ちされたものであるはずで

ある。当然、人が変われば解釈も異なってくる。多少の偏向があっても科博はそれをよしとしている。あちらに気を遣い、こちらを立てたようなものでは無味乾燥なものとなってしまふ。事実を直視し、なお且つ時代背景や置かれた環境等を考慮して自らの技術観の上に立って、そのことが歴史上どのような意味を持つのか、ということについて巷間に流布しているものではなく、著者自身の独自の見解や結論を述べてほしいのである。少なくともそのようなところを目指す心意気を持って臨んでほしいと考えるのである。

#### 4 系統化の独自性

筆者らの知る限りにおいて、国立科学博物館が実施している技術の系統化は、他に類例を見ない貴重なものである。それを自負してもいる。同一機関で、同一の方針の下で15年の長きに亘って広く技術領域をカバーして100に垂んとする領域の技術史をまとめた例は世界的に見ても皆無か稀有であろう。加えて、執筆者が企業のものづくり現場で開発に携わってきたOB技術者であり、現場での体験を十分に生かして書かれた技術史であるという点でも貴重なものである。

一方で、系統化のシリーズに不満がないわけではない。ひとつは、予算と規則の制約の関係で、一つのテーマに対して一年間という限られた時間しか与えられていないことである。そのために十分な調査がなされない部分を残したまま終わらざるを得ないケースがあることである。二つ目は上述の如く、執筆者は技術の専門家ではあっても技術史の専門家ではないということである。技術史という観点からみた場合に欠ける点がある場合もある。三つ目は二つ目の点と重なるものであるが、コーディネーターがその意を伝えても執筆者が必ずしもそれを十分に反映させない、あるいはさせ得ないということである。両者は監督と選手のような関係であり、結果を直接出すのは執筆者である。コーディネーターとしては隔靴搔痒の感を持ちながらも矛を収めなければならないこともある。

このように課題を抱えつつも独自のシステムになる系統化は日本の宝ともいえるものである。

### Ⅲ 系統化の事例分析から得られた知見

すでに述べたように、系統化を終えたテーマは2015年3月末現在で90に達している。以下では、これらの成果を技術開発活動についての分析の資となし、ひとつの知見につなげることを試みる。なお、以下の各項目はいくつかの事例に共通するものを挙げたものであるが、これらの項目が技術開発に関わるもののすべてを尽くしているものでないことはもちろんである。

#### 1 技術体系

系統化の中で数多の技術や技術開発事例に接し、技術発展のメカニズムを探ろうとすれば、技術の本質に対する理解が不可欠であることを必然的に知ることとなった。

ある技術は多くの要素技術群から成り立っている。各々の要素技術に焦点を当てれば、これらもまた多くの技術を構成要素としていることがわかる。しかし、このような関係が無限に続くわけではない。すなわち、ある技術Aがa, b, c, dといった技術から成り立ち、aが $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ という技術を要素としているとすると、 $\alpha$ がAやbを要素としている、といった関係が随所で見られる。技術は相互に依存関係にあり、単純な還元主義的考え方では律しきれない複雑な構造を示すのである。コンピュータの性能向上には半導体の進歩が不可欠であった。しかし、その半導体の進歩にはコンピュータが欠かせないのである。また、ものづくりは中心をなす基幹的な技術のみではなく多くの関連技術・周辺技術からなっている。ひとつの技術が突出していても、関連技術が伴わなければものはできない。PCM通信方式はフォーリーブスが1937年に着想したがその実現には半導体の出現が必要であった。このようにものづくりの強化は一面的な見方では真の姿を把握できない。技術発展のメカニズムを考える際に、このことを念頭に置かなければならない。

## 2 技術発展におけるキーマンの役割

大きな技術開発には枢要な人物の決断が大きく影響する。昭和の初期、日本の電力技術はようやく独り立ちしようとしていたが海外メーカに比べると、なお実績面で及ばないところがあった。このころ、朝鮮半島に巨大な水力発電の可能性が指摘され、当時の電力消費産業であった硫酸肥料製造を営んでいた野口遵に一大発電所建設の話が持ち込まれた。

野口は即座にこの計画を実施に移すこととし、機器の選定が始まった。このとき野口は、当時の日本メーカの実績をはるかに超える一部の発電機器を除き、すべて国内メーカに発注した。国内メーカの実力に不安を抱く周囲の忠告はあったが、国産技術育成の見地から野口はそれらを退けて自らの意志を貫いた。結果として、当時の世界記録を塗り替える発電所ができたし、これを機に国内メーカの力は飛躍的に伸びたという。目前の多少のリスクに目をつむり、国産技術育成という国家百年の大計を見据えた野口の炯眼を思うべきである。

同様の話が同じころにあった。当時は写真電送が導入されたばかりのころであった。昭和天皇即位の大典の際の写真電送において、日本電気のNE式写真電送装置が海外メーカの装置以上の性能を発揮したが、国産技術に対する一般の評価は未だ低かった。日本が技術での独立を果たしていない時期のことであり、やむを得ないことであった。折しも強いニーズに応じて公衆写真電送を開始することになったが、事務レベルでは海外の装置を採用することに決定していた。下位レベルの承認を得て逡巡次官の桑山に最後の決裁を仰ぎに行くと、国産技術を重視する桑山の鶴の一声でひっくり返されてNE式の採用となった。このことがその後のNE式の発展につながった。

技術開発も要路の人に具眼の士を得るか否かで霄壤の差異を生ずる。このことを思えば、その立場にある人は平生から己の眼を養い、結果に全責任を負う肝を練らねばならない。

### 3 国の技術開発力

日本の技術レベル、技術開発力に関していえば、現在では世界で一級に達している分野が少なくない。そこには共通の様態が見て取れる。系統化の多くの事例が物語ることは、日本の技術発展の姿はまず海外からの導入に始まり、それらについて日本人特有の能力、考え方、感性を駆使して咀嚼・進化させる中で遂に世界一流のレベルに達するということが一般的であるということである。

この過程で日本人の独創になる多くの技術を発信して世界の技術発展に貢献してきた。スタートが技術導入であるからと言って卑下する必要は全くない。抑々文明の発展を世界史的な大きな観点から見ると、模倣に始まっているのである。日本だけが例外ではない。

しかし、独創的な発明発見には国全体の科学的、技術的、経済的基盤が整わなければならない。種々の技術分野で日本から独創的な技術が出始めたのは、大まかに言って1970年代の後半から80年代の前半に到ってからである。世界で2番目のGDPを達成し、1位の米国の背中を遠く視野に捉えられるようになり、最も国力の張ったころであった。国にとって科学技術の重要性が認識される中、技術立国を標榜して科学技術基本法が制定され、科学技術基盤が充実した。

科学技術のレベルの向上には、中核をなす科学、技術のみでなくあらゆる分野での向上、充実が求められる。政治、経済、法制、情報基盤、芸術、文化、国民の意識等々である。これらは国としての総合力を形成するものである。日本の中小企業は世界一の技術を有しているといわれる。このことも日本の技術開発にとって大きな強みである。必要な時に必要な要素技術、周辺技術を海外に依存することなく容易に得ることができる。現在の日本の技術力の高さはこれらの諸要件を備えていることが与って大きい。

日本の技術開発は海外からの導入に始まるのが一般的であったとはいえ、日本オリジナルの技術が全くなかったわけではない。例外的に日本が新しい領域を切り開いた分野もある。炭素繊維はその代表格であり、全くの日本オリジナルの技術である。しかし、これとてもやはり上述の、日本全体の科学技術基盤の底上げがあつてのことである。諸要件が充実してきたいま、このような、日本が創始する技術が増えることが期待される。

### 4 技術発展の契機

系統化の報告書の事例ではないが、是非触れておきたい事項がある。技術発展の契機となる要因は種々あるが、中でもセレンディピティによるケースが意外なほど多い（永田宇征 [2014], 89-91頁）。筆者らが携わったオーラルヒストリーでは実に多くの、セレンディピティが関与した事例に接することができた。科学史上の有名な例ではX線やベクレル線

の発見が挙げられるし、日本のノーベル賞の対象となった研究にもセレンディピティが関係したものがある。そうして、科学史上の大きな発見の多くの部分にセレンディピティが関係している。しかし、セレンディピティは毎日の、条件を押えた周到な実験、綿密な思考といったような継続的な努力の結果に付随するものであることは記憶にとどめるべきである。セレンディピティについてのより深い考察は他日を期したい。

上記のセレンディピティのように研究の現場で直接的に関わる要因ではないが、法制面や国内外の政策変更の技術開発に与える影響は大きい。前者の例としては戦後の建築基準における高さ制限の撤廃がある。これにより、高層建築の第一号として霞が関ビルが建設された。後者としては豪州の資源政策の変更がある。以下にその概要を記す（中村正和 [2015]）。

日本は鉄鉱石や石炭を、戦前から中国や東南アジアからの輸入に頼っていたが、鉱脈が枯渇し始め、また戦後の相手国の政治体制の変化などで、高度経済成長のための鉄鋼生産への懸念が高まり、これまで未利用であった資源の利用を検討せざるを得なくなり、高炉以外の製鉄技術（例えば流動層やロータリーキルンを用いた還元法）を含めた研究開発が国内の鉄鋼関係の研究機関、非鉄を含めた大学の冶金教室で行われていた。ところが、それまで自身の国に膨大な石炭、鉄鉱石が眠っていることに気づかず、資源保護のため輸出禁止していた豪州が、日本などの調査団の指摘でその存在を知り、禁輸の意味がなくなり、また石油産業に押されて衰退の兆しがあった地域振興の意図もあって1960年12月に輸出に踏み切った。そうすると豊富な鉄鉱石と石炭が大型船によって低コストで運ばれるようになり、流動床還元法を含め国内で進んでいた多様な研究は中止され高炉研究に一本化されるに到った。安価な原材料が得られるのであれば、鉄の生産は高炉による方が、効率が良くコストの面からも有利であるからである。

## 5 日本の技術開発の特徴

本論文の構成上、日本の技術開発にどのような特徴があるかについて言及すべきであろう。筆者らは過去にこのテーマについて論じた（永田宇征他[20012], 7-22頁）。すなわち、極めて厳しい狭い条件下でしか許されない、技術開発上の隘路を克服することに長けている、課題の解決に向かって別の道を探すのではなく、既存路線上で中央突破を図り、これを達成する、基本技術・原理を他分野で展開することが得意、美的感覚を要する課題の解決に優れている、といった特性について触れた。本論文ではこれらについて重ねて言及することはしないが、日本人の技術開発上の特性を認識しておくことは今後の方向を探る上で重要であることは変わらない。さらなる深化を目指した言及は今後の課題としたい。

## 6 日本の技術開発風土

### (1) 厳しい顧客と事業環境

日本の顧客はメーカーに対して過酷な要求を出すという。無理難題とも思える要求を当然のこととして出してくる。実用上は問題のない瑕疵でも許さない。それに対して、無理であるとして応えない、あるいは応えられないと次回以降の購入はないことを覚悟しなければならない。応えようとするコスト増大につながるが、一般的にこれはメーカー負担で解決することを要求される。しかし、日本人らしい生真面目さもあって何とか要求に応えようとし、最終的には応える。

また、日本国内には一般的に同業のメーカーが多く、このことが過当競争を齎している。顧客の厳しい要求に応えようとするのも一面では、このような事業環境も影響しているといえる。勢い、メーカーは薄利となり苦しい経営を強いられ、企業体力の増強には不利となる。一方ではこのような厳しい顧客、厳しい事業環境が日本の技術力を世界一級の高さに押し上げているともいえる。

### (2) 地理的特徴

日本の国土は狭隘であるといわれる。比較の基準をどこに置くかの問題であり、そのことの当否は措くこととするが、全国のどこからでも1～2時間で情報の集積する東京に行くことができるということは事実である。インターネットによる情報の取得が当たり前の時代とはいえ、特定の情報の取得、コミュニケーションの確立には実際に顔を合わせた会話が一番である。この点、国土が狭いということはむしろ利点であるともいえる。しかもマーケットという観点からは一定レベルの知性を備えた国民が適度の面積に蝟集している。

日本の地理的特徴が生きる強みといえよう。

### (3) 治安の良さ

日本のもう一つの強みは治安の良さである。ここでは直接的な関連のある自販機について言及する。日本は自販機大国であるという。治安の悪い国では自販機の設置は覚束ない。どのような辺鄙な場所でも被害に遭うことはほとんどないゆえに安心して自販機を設置できる。全国津々浦々にまで設置された現在、緊急時の情報提供端末として利用する可能性も検討されている。このような全国的展開は自販機の一層の機能充実を果たすことになり、さらなる技術的・社会的発展をもたらすこととなる。

## IV 系統化の事例の MECI による分析

筆者らは2009年に「根本的エンジニアリング」を提唱した（鈴木浩他 [2009]）。詳細については参考文献を参照願いたいところであるが、本論文を読む上での予備知識として簡単に触れる。

考え方のポイントはイノベーションが mining, exploring, converging, Implementing の

四つのプロセスをスパイラルに進みながら達成されていく (MECI サイクル), というものである。現在筆者らが定義している MECI の定義は以下のようなものである (鈴木浩他 [2009], 39-67頁)。

**Mining** : 顕在化している社会課題やニーズに対し, なぜ課題やニーズなのかを問うことによって解決されるべき課題や満たすべきニーズを定義するプロセス

**Exploring** : Mining で見出した課題の解決やニーズへの対応に必要な知と感性の領域を俯瞰的に特定するプロセス

**Converging** : Exploring のプロセスで特定された領域の知と感性を, 統合・融合することにより解決案を創出するプロセス

**Implementing** : Converging のプロセスで創出された解決案を, 社会のエンゲージメントにより社会実装を図ることによって, 新たな社会価値を創出するプロセス

筆者らは MECI によるイノベーションの分析は, 斯界に新しい視点を提供するものであることを疑わず, その効用に自信と期待をもつものである。MECI のそれぞれのプロセスの定義や全体的な論理的展開については, なお精緻化を図る必要があると考えているが, 本論文執筆の目的の中心は系統化事例の MECI によるイノベーションの分析である。そこで, 上記の M, E, C, I のそれぞれについて, 系統化報告書およびその付帯情報から事例をいくつか選んで検討してみた。

## 1 系統化から得られた事例

系統化を完了したテーマは90にのぼるが, そのすべてが MECI の4つのプロセスを当てはめることができる形でクリアに記述されているわけではない。特に, 系統化に取り組み始めた初期のころは, MECI はまだ考案されておらず, コーディネーターとしても MECI による事例分析という視点は持ち合わせていなかったこともあり, 事例の記述内容について, MECI プロセスを当てはめられる方向に誘導する, という意識で行うことはなかった。したがって, 現有の事例の中で MECI を即座に適用できるものはそれほど多くはない。以下では系統化の中で得られた事例の中から, MECI サイクルのそれぞれの要素について比較的クリアに書かれているものを選んで取り上げた。紙幅や時間の関係上, そのすべてというわけにも行かず, 10の事例に限定した。MECI の最大の特徴は **Mining** のプロセスにある。このプロセスでは課題が顕在化したものであるか, 潜在的なものであるかの別が重要であるが, 10の事例はそのバランスに配慮して選んだ。

### (1) 変圧器の流動帯電 (矢成敏行 [2004], 73頁)

#### **Mining**

500 k V 送電用の変圧器を試運転中, 絶縁事故が2件立て続けに発生した。このため営業運転ができなかった。

## Exploring

原因究明に入ったが、容易には解決せず、誤った推論に基づく試行錯誤が繰り返された。そのうちに引き取った変圧器の1台を長期課電していると、内部から音が聞こえ、これが電氣的な信号と一致したこと、試験のため取りつけた覗き窓から放電の光が見えた、といったことが確認された。ポンプの運転により放電が変化することから油の流動によって生じる静電気によるものと断定された。機器のトラブル原因を分類してみると、交流現象の中に直流の現象（静電気や直流電荷の分布など）が入ってくる問題に多数遭遇したこともこの推論を裏付けていた。

## Converging

コイルのうち健全な形で残っていたものを詳細に調べたところ、コイル下部の油の流路周りに多くの静電気放電によると思われるトラッキングを絶縁物上に発見した。また、円筒実規模モデルにより、模擬円筒コイル入口部で静電気放電を発生させることに成功したことも静電気放電が事故の原因であることを判断させた。静電気放電には絶縁油の帯電のしやすさ、油の流路形状と局部的流速、AC電界、絶縁物の表面状態と水分量などが影響することが確認された。この中で絶縁油の帯電度については、油中の微量物質が油中溶存酸素と油中の銅イオンにより活性化されて帯電度を大きく変化させることが一因であると考えられた。これについては実験結果から絶縁油に10ppm程度のベンゾトリアゾール（BTA）を添加すると帯電度の変化を抑えられることが確かめられ、対策として用いている。

## Implementing

当時、コイルへの油の油採り入れについてはコイルの冷却という点でしか考えておらず、油の流れという視点が欠けていた。このことは当時の設計が海外からの技術導入によった基準に基づいており、基本に立ち返った検討が抜け落ちていたことも一因であった。この反省に基づき、変圧器の大容量化や高電圧化に対してはこのような抜けがないか確認する機運が生まれ、その後のわが国の新たな技術開発に役立った。

（2）変圧器の部分放電（矢成敏行 [2004], 70頁）, (矢成敏行 [2015], 私信)

## Mining

500kVに昇圧して変圧器の運転に入って間もなく相次いで絶縁事故が起こった。

## Exploring

状況から部分放電によるものと思われたが、当時は部分放電防止に対する設計、製造、試験面の対応技術はまったくなく、手探り状態であった。

## Converging

電極への過度の電界集中排除、使用絶縁材料の吟味と改良、内部構造材の明色塗装化による防塵意識改善、新絶縁処理法の導入、簡易防塵室あるいは低湿度作業室の導入による製造環境の改善等、取りあえずの処置を施したが、1回で試験をパスすることはまれであった。その後も絶縁材料のボイドレス化、絶縁物への金属性異物混入排除、絶縁物水分管

理，異物混入防止管理などの対策を採った。また，音響法コロナロケーション技術を研究し，コロナ音響発生場所の特定を可能とする技術も確立した。これら諸々の対策にも拘らず，抜本的解決は得られなかった。この問題の完全な解決には10年を要した。油中の部分放電開始電界の把握と許容電界値の設定と管理，防塵空調室の整備，作業員への防塵意識の徹底，といった日本的QC活動により，達成された。

### Implementing

現在，わが国では内部部分放電なしが基本であり，これによって変圧器の絶縁信頼性が確保されている。IEC規格などに比しても日本の基準は厳しい。わが国の作業環境，作業員のモラルが海外に比して格段に高いことを物語っている。

#### (3) スイッチング理論 (山田昭彦 [2004], 720-726頁)

戦前の通信用や制御用の装置にはリレーが主要部品として多数使用されていた。自動式交換機の回路図は複雑で，その表記法は経験者には都合がよくても初心者には分かりにくいものになっていた。リレー回路の設計にはもともとなる理論がなく，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た。

### Exploring

中嶋章は上記のような事態を何とか改善したいと考え，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。定石集ができれば，その中から必要なものを拾い出して組み立てればよいと考えた。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。この論文では，リレー回路の構成要素の定義から始まり（用語も含め），リレー回路の構成理論が述べられており，ド・モルガンの法則（論理変換）も含まれていた。

### Converging

続いて中嶋は，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た。中嶋はブール代数を知らずに研究していたが，結果的にブール代数と同等のものを構築し，それに基づいてリレー回路の設計理論（スイッチング理論）を展開していったことになる。

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が，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，同僚の榛澤とともに論文にまとめた。中嶋・榛澤の一連の研究により，論理回路のスイッチング理論と代数学の理論の対応づけが行われた。

## Implementing

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。大橋は中嶋の初期の論文に興味を持ち、さらに遅延を考慮した理論に発展させた。電気試験所の後藤らがこれを引継ぎ、遅延を論理関数に取り入れた「論理数学」を提案した。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 及び Mark II を開発した。

(4) 国鉄座席予約システム MARS (山田昭彦 [2012], 私信)

## Mining

国鉄技術研究所の穂坂衛は1950年代はじめに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づいた。そこで上層部へのPRを行なった結果、「電子計算機の研究」が正式に認められて研究が始まった。1950年代後半には貨車情報の集計、分類や、座席予約のコンピュータ化、列車運行制御、貨車配車管理の統合化などの各種提案が国鉄本社委員会に対して行われた。

## Exploring

穂坂は Bendix G15 を使って研究したが、この機種ではアラン・チューリングの Pilot Ace で使用された遅延線レジスタ（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。

## Converging

1957年にビジネス特急4列車を対象とした座席予約の試作機の案が提案され、1958年の試作が決定された。計算機にはトランジスタによる論理回路と磁気ドラム記憶を用い、空席データを磁気ドラムに記憶させた。データ転送、検索の高速化、および独立の入出力などは、磁気ドラム上に多数の循環レジスタを設けて実現した。またリアルタイムの応答時間を実現するためプログラム内蔵方式でなく、ハードワイヤド方式がとられた。座席占有状況を表示する CRT も設けられた。

## Implementing

1959年11月に東京駅構内に MARS の中央装置が設置された。1960年1月から、鉄道としては世界最初のオンラインの座席予約システム MARS-1は東京大阪間のビジネス特急4列車、3600座席15日分を対象として実業務で使用された。初期10ヶ月の稼働率は99.8%と非常に高い信頼性を示した。

(5) 第4の感色層 (久米裕二 [2012], 316頁), (久米裕二 [2012], 私信)

### Mining

当時のカラーネガフィルムには、色彩度を上げると忠実性が損なわれ、忠実性を重視すると色彩度が落ちるといった問題があった。すなわち、色彩度を上げると夏の青空やコバルトブルーの海は鮮やかに撮れるものの、淡いウグイス色は黄色っぽく、紫色の花は赤くなるといったように中間色の忠実性が破綻するのである。これらを両立し、人間が眼で見た通りの写真を残すということが大きな課題であった。

### Exploring

基本に立ち返って、人間の眼の仕組みについて研究した。しかし人間の眼とカラーネガフィルムには本質的に様々な違いがある。人間の眼では平面上に赤、緑、青に感じる錐体細胞が配列しており、お互いの分光感度も大きな重なりを持っている。しかし、カラーネガフィルムは赤、緑、青の感光層が重層に配置され、上層を通過してきた光はその層で吸収されるため下層では光量が減り分光感度を上層と下層で大きく重ねることは構造上困難となる。そして、この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を活用することを着想した。

### Converging

新たな分光増感剤を合成し、負の分光感度を達成するために、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た。この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、カラードカップラーは不要であることやDIRカップラーに加えてマゼンタカップラーで発色させるほうが良いこと等の知見を得た。プロトタイプを作成して種々の条件下で撮影し、現像した。植物の緑の葉っぱのイエローグリーンやシヤングリーンが忠実に分離され、かつ鮮やかに再現された。紫色の花も赤くならず、あくまで紫色に再現された。蛍光灯も通常は緑っぽく再現されるのだが、見た目の通り白色に再現された。

### Implementing

この技術を用いた新しいカラーネガフィルムが商品化された。それまでの粒状性、鮮鋭性、色彩度のレベルを向上させる、ということの高いレベルで達成するという、高感度商品の他に、見た通りに写すという色忠実性を重視した商品化の方向が存在することを証明し、カラーネガフィルムの多様化が始まった。

(6) 二重構造粒子 (久米裕二 [2012], 309頁), (久米裕二 [2012], 私信)

### Mining

カラーネガフィルムの高感度化は種々の撮影条件の向上をもたらす。すなわち、暗所での撮影、高速物体撮影、ピンボケ防止などである。高感度化にはハロゲン化銀の粒子を大きくすることが求められるが、写真の粒子が荒れ、画質が悪化してしまう。粒子を大きく

せずに、写真感度を上げることが必要であった。

### Exploring

このテーマのポイントは青感光層の乳剤の改良であった。増感色素の助けにより感光する赤色感光層や緑色感光層のハロゲン化銀と異なり、青色感光層のハロゲン化銀は元々それぞれ自体が青光に感度を持っているので、この固有吸収量を増加させる検討が始められた。使用される乳剤は感度の観点からヨウ臭化銀乳剤が用いられているが、ヨード比率を上げることで青光の吸収量もアップする。しかし、ヨード比率を上げるとハロゲン化銀の現像速度が極端に低下する。この光吸収と現像性の背反現象をクリアしなければならなかった。

### Converging

研究の過程で、臨界成長法による単分散乳剤形成法の存在を知り、この技術の適用がブレイクスルーの糸口になるのではないかと考えた。この方法によれば粒子内のヨード組成の再配列、均一平衡化を防止できる。これを用いて、粒子内部を高ヨード層とし、粒子表面を低ヨード層とすることで、光吸収を粒子内部の高ヨード層で増加し、現像遅れは粒子表面の低ヨード層で回避できると着想した。

これには大きな困難があったが、粒子形成中のタンク内の銀電位の丁寧なコントロールや、硝酸銀溶液とハロゲン溶液の混合方法の改良で銀電位分布のバラツキを減らすことにより、ついに内部が高ヨード層で表面が低ヨード層のハロゲン化銀粒子を作り出すことができた。

この結果、感度は大きく向上した。この感度向上には当初狙った光吸収量の増加のみならず、その他のメカニズムも寄与していることが分かった。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、高ヨード層と低ヨード層の界面付近に格子欠陥による浅い電子トラップが形成され、光電子を一時捕獲することで高感度化をより促進する、といったことである。さらにある程度現像が進むと内部高ヨード層で現像が停止するという自動現像停止機構が作用することも分かった。このことは粒状の荒れ防止に役立っている。

### Implementing

この発明は総合画質が世界最高レベルのカラーネガフィルムを生み出すとともに、それ以降の高性能商品に広く展開された。また、この粒子構造は洗練された感光機構を持つため、最初に意図した青色感光層ばかりでなく赤色感光層や緑色感光層のハロゲン化銀にも適用され、カラーネガフィルム全体の商品価値を大いに高めることとなった。

(7) スタッドレスタイヤ (石川泰弘 [2011], 69頁), (石川泰弘 [2012], 私信)

### Mining

当時スパイクタイヤによる粉塵公害が日本で大きな問題になった。とくに仙台のように積雪があまり多くない雪国ではスパイクタイヤが路面を引っ掻き、そのことによって春になると粉塵が空中に舞った。日本のように北国に交通量の多い都市を抱える国では早急に

対策をとることが求められた。

### Exploring

課題は氷上の摩擦を如何に確保するかである。路面上に凍結した氷はスタッドレスタイヤのゴムによる摩擦でピカピカに磨かれるので、摩擦力が著しく削がれる。さらに事態を悪くするのは0℃付近まで外温があがって来たとき、氷が解けて氷の上に水（融解水）が乗ると、全く摩擦がなくなってツルツルの状態になることである。

### Converging

そこでこの水を除去してゴムが直接氷に接触させることを研究した。このため発泡ゴム、短繊維、くるみ粉等といった特殊配合剤をいろいろ開発した。さらに接地面積を稼ぐためタイヤブロックをできるだけ倒さないように、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。この過程で、氷上のゴムの摩擦、氷の構造、氷上の水の発生原因などについての研究が日本において進んだ。

### Implementing

この研究はタイヤの使用範囲を低温側に技術発展させる効果があった。一方材質に対する開発が進み、発泡ゴムの均質さのための配合上の進化もあった。

スタッドレスタイヤはその成長過程において日本風オールシーズンタイヤの様相を呈して来た。そのため、スタッドレスタイヤが海外にも売れるようになってきて、タイヤ設計による市場規模の拡大に寄与したと言える。

- (8) 低転がり抵抗タイヤ (石川泰弘 [2011], 50頁), (石川泰弘 [2012], 私信),  
(永田宇征他 [2014])

### Mining

燃費性向上は世界的に見て最も優先度の高いテーマであるが、特に、1980年代の米国カリフォルニアの大気汚染防止法やCO<sub>2</sub>による地球温暖化への懸念から、CO<sub>2</sub>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。そこで車の燃費を向上させる必要性が強く打ち出されるようになった。このことが低転がり抵抗タイヤ追求を加速した。

### Exploring

タイヤの燃費改善で解決が迫られたのは、燃費性とブレーキ性能の両立である。燃費性を改善するには、弾力的なゴムほどよく、ブレーキ性能（特に湿潤路面）は弾力的でない程良いという trade-off に直面した。

### Converging

この問題の解決にあたって日本と欧米諸国から粘弾性理論が提出された。それは粘弾性の温度時間換算則のゴムへの適用というものであった。ゴムに加えられる振動の周波数は、走行している時とブレーキをかけるときでは3～5桁異なる。ブレーキ性能は高周波数であり、これ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あった。そこで開発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ということであった。この解決に対して最も有効と思われたのはゴムの配合の構成の変更である。特に使用される合成ゴムの開発であった。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）に変えて行った。その方がポリマーのミクロ構成を変化させやすく、そのことによって  $\tan \delta$  カーブの傾斜の設計がしやすい。一方でこのポリマーは分子量を高くすることがむずかしく、強度が充分に出ないというような欠点もあり、どの程度従来品を置き換えるかということ、また補強剤のカーボンブラック（摩耗性を改善するが燃費性は悪くする）の使用量によっても  $\tan \delta$  カーブが影響を受けるので、どのような配合にするかで知恵を絞った。

その後1990年代になるとカーボンブラックをシリカに置き換える技術が、Michelin から発表された。シリカはポリマーの運動性をカーボンブラックほど拘束しないので転がり抵抗を下げ低燃費にすることができる。

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。

### Implementing

低燃費技術の開発は、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を開発し、これらの、加工が難しい材料を制御する加工技術向上にも大いに貢献した。またタイヤ重量を減少することが低燃費化に有効であるということから、軽量化するための、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（1980年代～1990年代）。それにはどのような構造にすれば、燃費を改善しながら安定走行がえられるかという総合的取り組みが含まれていた。これらの構造設計を推進するために有限要素法を駆使し、結果としてスーパーコンピュータによる設計技術も発展した。

（9）連続伝票用紙の斜傾（飯田清昭 [2012], 22頁）、（坂本祥 [2012], 153-156頁）

### Mining

ノンインパクトプリンター用の連続伝票用紙に対して、印刷して高く積み上がると斜傾するというクレームが持ち込まれた。これをそのままにしておくと、崩れ落ちたり、ジャムトラブルを発生したりすることが分かった。

### Exploring

斜傾の原因を調べると、加熱により紙が伸縮し、平行四辺形に変形することによるものであることが分かった。伸縮程度と抄紙機との関係の調査やそれまでの知見を合わせて、パルプ繊維の配向角が影響しているのではないかと推察した。当時は配向角という概念はほとんど認知されておらず、この考えはなかなか受け入れられなかったが、PPC用紙での実験などで配向角の重要性が示唆された。

## Converging

斜傾を起こさないためには、パルプ繊維が抄紙方向にきれいに並んだ状態にしなければならず、製造工程でそのように管理する必要があった。このためには配向角の測定が求められることになった。はじめは引張強度による測定を検討したが非常な労力を要するため、これを捨てて超音波によって弾性率を測定し、数式から配向角を求める方法に変えた。この原理に基づく、非常に簡単に弾性率が測定できる機器も販売された。一方抄紙機メーカーでは、検討の末にパルプのスラリーを全幅に互って均等に稀釈・調整できる白水稀釈型のヘッドボックスの開発を成功させた。これにより坪量の、幅方向制御が濃度コントロールで行えるようになり。配向角の制御を、スライス開度を調整することで行えるようになった。

## Implementing

配向角の制御ができるようになったことで、製紙業界全体に配向角に対する意識が高まり、普通紙の抄紙にまでこの技術が適用され、カールを防ぐ技術が開発された。この開発は他業種、ことに計装関連、抄紙機メーカーまで動かして、洋紙製品の品質安定化の面で、大きな成果を齎した。

(10) グルタミン酸ナトリウム (monosodium glutamate : MSG) (中森茂 [2008], 61頁),  
(中森茂 [2012], 私信)

## Mining

池田菊苗は日本人の栄養状態の改善を意識して、「佳味は消化を促進する」という信念に基づき、その探索に手を染めた。1908年に昆布から抽出した“うま味”の本体が MSG であることを発見し、これを商品化することを企図した。

## Exploring

MSG を商品化するには昆布から抽出することがまず考えられたはずであるが、量と価格の面から見て、難があった。そこで、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することとした。

## Converging

池田は当時の化学、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そのものと周辺装置の腐食を引き起こすため、環境汚染や作業員への安全性確保のために多くの工夫がなされた。現在ほどに環境問題や安全性が強調されなかった時代であっても、多額の費用を要したと思われる。

## Implementing

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が企業化することを受け入れた。多くの問題点を克服して、数年後に初めて MSG が商品化され「味の素」

と命名して販売が開始された。当初、「味の素」耳かき一杯を大鍋一杯分の煮ものに使用すると言うような貴重品の扱いであった。上述のような環境問題に加えて、原料が海外に依存する農産物であるためコストダウンも困難な状態であった。必然的に大量生産を目指す新しい製法の開発が求められたが、1960年代に到って発酵法が確立され、この問題は解決された。

## 2 MECI の各プロセスについて

さて、以上10個の事例について MECI のプロセスごとに見てみることにする。表1はこれらの事例の各プロセスの代表的なものについてまとめたものである。Implementing の欄には得られた直接の成果は記していない。これらの研究はすべて成功事例であるので、当初の目的を達成したことは自明であるからである。また、MECI の主眼はスパイラル構造にあるが、ここでは簡略化のため、すべての事例について大きく1サイクルにとどめた記述にしている。たとえばグルタミン酸については、おそらく“うま味”の正体を把握するまでと、その大量生産プロセスの確立までとの2サイクルに分けて考える方が妥当であろうが、ここでは前段階のサイクルについては記していない。

以下は上記の事例に関する記述と、表1、表2を参照しながら論ずることとする。表2は表1の記述をできるだけ一般化したものである。これによって、それぞれのプロセスにどのようなアクティビティが対応するかについて一般化された知見が得られると考えたからである。

### (1) 研究の契機

なぜ当該研究を始めるに到ったかについては、何らかの不具合を示す現象が発見されたとき（現象の発見）、具体的なニーズとして一般に認識されているとき（ニーズ）と、研究者が何かについて問題意識を持っているとき（問題意識の抱懐）、何かについて使命感を抱いているとき（使命感）、に分けられる。最後の「使命感」は大きくは「問題意識の抱懐」に含めてもいいと思われるが、ここでは別記して独立したものとして際立たせた。

### (2) 課題の型

Mining で問題となる、課題が顕在化しているか、潜在的なものであるかの別を、ここでは「課題の型」として記している。大きな不具合が生じて緊急に対応が求められているもの、実現すればだれでも一般の人が歓迎するものは顕在化したテーマとして扱っている。潜在的テーマとしては、研究者個人の問題意識に発するものを当てた。大きな意味ではニーズであるが、一般の人が意識しているニーズではなく、その段階では研究者個人の問題意識にとどまっているもので顕在化しているとは言えないからである。

この際に、問題となるのは、研究者の問題意識の中にとどまっても、それが実現すれば社会に歓迎されるのであるから、顕在化しているものとの区別をつけにくいという議論もなりたつことである。たとえば、二重構造粒子と第4の感色層の比較である。前者は

表1 MECI の各プロセスの具体例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
具体的事例	変圧器の流動帯電	変圧器の部分放電	スイッチング理論	座席予約システム	第4の感色層	二重構造粒子	スタッドレスタイヤ	低転がり摩擦タイヤ	連続伝票用紙の斜傾斜	グルタミン酸
研究の契機	現象の発見	現象の発見	問題意識の抱懐	問題意識の抱懐	問題意識の抱懐	ニーズ	ニーズ	ニーズ	現象の発見	使命感
課題の型	顕在化	顕在化	潜在的	潜在的	潜在的	顕在化	顕在化	顕在化	顕在化	潜在的
Mining	絶縁破壊事故	絶縁破壊事故	リレー回路設計の効率化	コンピュータの活用	色彩度と忠実性の両立	感度向上	スパイクタイヤの禁止	燃費改善	斜傾についてのクレーム	大量生産方式
Exploring	油の流動に起因することを推論	部分放電によることを推論	事例の集積・整理	座席割り当て方式のアイデア創出	人間の眼の構造の研究	青感光層の乳剤改良	氷上摩擦力の解析	転がり抵抗の解析	斜傾の実態調査	塩酸による分解法の着想
Converging	絶縁油にBTAを添加	日本的QC活動の採用	法則の発見と精緻化	データ転送、検索の高速化	負の分光感度の採用	臨界成長法の採用	摩擦力増強策の検討	温度時間変換則の適用	配向性制御手法	環境、安全の保証法確立
Implementing	抜けのチェックの機運	世界一厳しい基準	後継研究者への広がり	実業務で使用	忠実性の確保を指摘した開発方向	赤、緑の感光層に適用	低温側への技術発展	合成ゴム、補強材、軽量化設計の発達	普通紙のカール問題に適用	発酵法を生む素地

表2 MECI の各プロセスの一般化記述

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
具体的事例	変圧器の流動帯電	変圧器の部分放電	スイッチング理論	座席予約システム	第4の感色層	二重構造粒子	スタッドレスタイヤ	低転がり摩擦タイヤ	連続伝票用紙の斜傾斜	グルタミン酸
研究の契機	現象の発見	現象の発見	問題意識の抱懐	問題意識の抱懐	問題意識の抱懐	ニーズ	ニーズ	ニーズ	現象の発見	使命感
課題の型	顕在化	顕在化	潜在的	潜在的	潜在的	顕在化	顕在化	顕在化	顕在化	潜在的
Mining	不具合の除去	不具合の除去	効率化	効率化	性能向上	性能向上	性能向上	性能向上	不具合の除去	低コスト大量生産
Exploring	原因の究明	原因の究明	既存事例の分析	新技術への習熟とアイデア創出	基本的検討	課題の明確化	課題の明確化	課題の明確化	原因の究明と課題の明確化	方法論の着想
Converging	多面的検討	多面的検討	定式化と理論の精緻化	要素技術の確立	新概念の適用	先行技術の適用	材料、構造の検討	先行理論の適用	決定因子の測定法と製造プロセスの確立	基本プロセスの確立
Implementing	日本型開発姿勢確立	作業環境重視徹底	論理数学の発展	新システムの出現	商品の多様化	獲得技術の他への展開	市場の拡大	要素技術、構造設計の発達	業界の意識の高まりと他商品への展開	一大産業の創出

ネガフィルムの感度向上という、誰でもがもともとめているニーズであったが、後者については、漠然とした不満はあっても、決定的なものではなく、それでよしとして一応受け入れられていたものである。しかし、完璧主義者の当該研究者には我慢できず、その打開を図った。上長の命令で開始した研究ではなかったが、個人の強い意志が駆動力となって成し遂げた、ということから潜在的であるとした。

「研究の契機」と「課題の型」との対応をさせてみると、「現象の発見」、「ニーズ」は顕在化したもの、「問題意識の抱懐」、「使命感」は潜在的なものに対応している。このことは、いわば当然の帰結ととることもできる。

### (3) Mining

Mining の中味を見ると「研究の目的」、ということが浮き彫りにされる。内容は「不具合の除去」、「性能向上」、「効率化」、「低コスト大量生産」といったものに分類される。上述したように、グルタミン酸ナトリウムについては、低コスト大量生産の段階から MECI サイクルを記述しているのだから、ここでは明示的には出てこないが、“うま味”の正体がグルタミン酸ナトリウムであることを突き止める過程の MECI サイクルの Mining は「新しい価値の創出」といったことで表現されるべきものであろう。他のもっと多くの事例を当たれば、Mining の分類として新しいものが得られる可能性は大きい。

「研究の目的」以前の、その課題解決が必要となった状況の呈示も Mining に含めるべきである。例えば「低転がり摩擦タイヤ」は、世界的な環境意識の高まり、米カリフォルニア州の大気汚染防止法の施行等の動きを見れば、CO<sub>2</sub>排出抑制、燃費改善、低転がり摩擦タイヤの道筋は見えてくるはずであるからである。

### (4) Exploring

Exploring では以下のようなアクティビティが考えられる。不具合の除去のために、なにが不具合の原因になっているかを探るには「原因究明」に取り組む必要がある。変圧器の流動帯電ではこの原因が何であるかわからず、技術者はたいへんな苦労を強いられた。

「性能向上」、「効率化」のためにまず解決しなければならない課題は何であることを明確にする「課題明確化」も重要である。これが明確に定義されないと次のステップに進めない。二重構造粒子では、感度を上げようと粒子を大きくすると写真が荒れてしまうという厄介な問題があり、粒子を大きくしないで感度を上げる、ということが課題として挙げられた。

「第4の感色層」の研究では、人間に見えるように忠実に写真に再現するという目的のために、人間の目の構造にまでさかのぼって研究するという「基本検討」が必要であったし、グルタミン酸ナトリウムの大量生産では塩酸で分解するという「方法論の着想」があって、次のステップにすすむことができた。

「スイッチング理論」では、リレー回路の設計の効率化を目指そうとして生まれた理論であったが、その手始めは先人の設計事例を分析して定石集を作ろうとすることであった。

そうして定式化を進めるうちに、ブール代数の存在を知らなかったにも拘わらず、それと等価のものを独力で作り上げたのであった。このことは、量子力学の創始者のひとりであるハイゼンベルクが、マトリックスを知らなかったにも拘わらず、独力でマトリックス力学を作り上げたことと通じるところがあり、興味深い。珍しいところでは、「国鉄座席予約システム」の例である。当時珍しかったコンピュータが列車運行制御に使えるそうだと考えて、その研究に着手したが、まずは米国から輸入したコンピュータの使用に習熟すべく、徹底的に勉強した。その中で、座席割り当て方式のヒントを得た。

#### (5) Converging

Converging は、大きくは、Exploring で明らかとなった課題やアイデアの実現手段の検討、そのブラッシュアップといったことが中心になっている。流動帯電では原因がわからない中、ありとあらゆることが試みられたし、「第4の感色層」の研究では、人間の目と構造的に異なる写真ネガフィルムで、人間の目で見たと同じ像を再現するために第4の感色層を挿入するという着想があり、一段ステップが上がった。「二重構造粒子」では同じ企業の別のグループで開発されていた技術を適用することにより、二重構造を得ることができた。また、「低転がり摩擦タイヤ」では、米国で提案された温度時間変換則の採用により、二律背反問題を解決する道筋を得た。先行理論や技術に関する情報取得のアンテナを高くすることの重要性を見る思いである。要するに、このプロセスではキーとなる理論、技術、プロセスの発見が中心となっていることがわかる。

#### (6) Implementing

すでに述べたように、これら10個の事例は成功事例である。Implementing で記述されるべき最高にして最大の成果は、当初の目的を達成した事実であろうが、この場では敢えて触れない。それよりも表1と表2では、結果とし何をもたらしたかという、いわば副次効果について記述している。いきおい、多彩な項目が現れるが、日本独自の開発姿勢が定着した、といったことは一見平凡に見えて実は極めて重要なことである。

### 3 MECI プロセスによるイノベーションプロセス分析の総括

以上、系統化の10の事例について、MECI プロセスを当てはめてみた。この検討により、MECI がイノベーションの分析に新しい視点を与え、新しい論点を生み出すことを学んだ。たとえば、上述の Mining プロセスにおける課題の潜在的、顕在化の区別の問題である。このいずれであるかによって、後のプロセスでの分析の仕方が大きく異なる。このことは、意識の底には蠢いていたものの、明確な形を以て迫ってきたのは今回の分析を通じてのことであった。前述のごとく、MECI は現段階では完全無比のものではない。本論文で試みたような分析の具に供しつつさらにブラッシュアップを図っていきいたいと考えているが、それはまた別の課題である。

## V むすび

技術発展の様態について、国立科学博物館の技術の系統化報告書に記載された事例を基に、筆者らが提唱する MECI による分析を試みた。技術発展の真の姿について、どこまで迫れたかについては、正直なところ心許なく忸怩たらざるを得ない。人類誕生以来、先達が種々の状況下で営々と築き上げて来た技術体系について、高々10個程度の事例ですべてを語ろうとすることは一毛を以て九牛を語るに等しく、その現実的でないことは始めから自明のことであった。それにも拘わらず敢えて今回の試みに挑んだのは、わが国の今後の生きるべき道がイノベーションによる経済復活以外になく、その方策を探るには技術発展のメカニズムを知らなければならない、そのために一指を染めたいという切なる思いがあったからである。

技術発展のメカニズムと言っても、それを成す要因の膨大にして複雑な関係を思えば軽々に語るべきではない。技術そのものが持つ本質、技術体系の構造、環境、そうして何より、これを推進する人等々、枚挙に遑がない。この種の研究に携わる人間の知恵と情熱に支えられた不断の努力が求められる。これらについて詳細な深耕を行うことは容易ではない。行くべき道は遼遠として弁じ得ざるものであるが、さらなる飛躍を目指したい。

## 謝辞

本研究は、平成27年度科学研究費補助金基盤研究C「技術経営のためのメタエンジニアリングの実証的研究」の一部として行われた。採択にご尽力いただいた関係各位に謝意を表す。また、本文中で言及したように、本研究の基礎資料となったのは、国立科学博物館で実施した技術の系統化の報告書である。この報告書のシリーズは科博の多くの主任調査員の、一年間にわたる誠実な努力の上に成る彫心鏤骨の作である。これらの主任調査員には、ミーティングの中でも示唆に富む事例や見解をご提供いただいた。これらの報告書や議論がなければ、本研究はあり得ないものであった。参考文献に引用した主任調査員のみでなく、技術の系統化に携わったすべての主任調査員に満腔の謝意を表したい。最後に、本研究に理解を示し、常に激励と支援をいただいた国立科学博物館産業技術史資料情報センター長の鈴木一義氏に併せて謝意を表す。

## 参考文献

- 飯田清昭 [2012] 「情報用紙製造技術の系統化」『技術の系統化調査報告』, 第17巻, 国立科学博物館, 2012年8月, p22
- 石川泰弘 [2011] 「タイヤ技術の系統化」『技術の系統化調査報告』, 第16巻, 国立科学博

- 物館, 2011年3月, p50
- 石川泰弘 [2011]「タイヤ技術の系統化」『技術の系統化調査報告』, 第16巻, 国立科学博物館, 2011年3月, p69
- [2012] 私信
- 久米裕二 [2012]「カラーネガフィルムの技術系統化調査」『技術の系統化調査報告』, 第17巻, 国立科学博物館, 2012年8月, p309
- [2012]「カラーネガフィルムの技術系統化調査」『技術の系統化調査報告』, 第17巻, 国立科学博物館, 2012年8月, p316
- [2012] 私信
- 坂本祥 [2012]「NIP (ノンインパクトプリンター) 用紙の斜傾について」『紙パ技協誌』, 紙パルプ技術協会, 2012年2月, pp153-156
- 鈴木浩他 [2009]「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」, 社団法人 日本工学アカデミー 政策委員会, 2009年11月26日
- 鈴木浩, 大来雄二, 小松泰俊, 永田宇征, 石井格 [2012]「根本的エンジニアリング (MECI) の提唱」『国立科学博物館研究報告』, Ser. E, 36, pp39-67
- 寺西大三郎 [2001]「産業技術資料の系統化と技術革新研究」『国立科学博物館技術の系統化調査報告』, 第1巻, 国立科学博物館, 2001年3月, p4
- [2002]「系統化による技術変化の解明」『国立科学博物館技術の系統化調査報告』, 第2巻, 国立科学博物館, 2002年3月, p3
- 永田宇征 [2007]「技術の系統化とその意義および現状」『電気評論』2007年9月, p7
- 永田宇征, 石井格 [2012]「国立科学博物館の重要科学技術史資料 (未来技術遺産) 登録制度について」平成24年電気学会全国大会予稿 1 - H6 - 6
- 永田宇征, 大来雄二, 鈴木浩, 久保田稔男, 大倉敏彦, 亀井修, 石井格 [2012]「わが国の戦後を中心とした技術革新の諸相」『国立科学博物館研究報告』, Ser.E,35, pp7 - 22
- 永田宇征 [2014]「電気の歴史をひもとけば 神は慈悲深くして—セレンディピティー—」『電気計算』, 2月号, 2014, pp89-91
- 永田宇征, 石井格 [2014]「タイヤ技術史のメタエンジニアリング的分析」, 平成26年電気学会全国大会予稿 1 - S5 - 2 第1分冊 S5, pp5 - 8
- 中村正和 [2015] 私信
- 中森茂 [2008]「アミノ酸発酵技術の系統化調査」『技術の系統化調査報告』, 第11巻, 国立科学博物館, 2008年3月, p61
- [2012] 私信
- 矢成敏行 [2004]「電力用変圧器技術発展の系統化調査」『技術の系統化調査報告』, 第4巻, 国立科学博物館, 2004年3月, p70
- [2004]「電力用変圧器技術発展の系統化調査」『技術の系統化調査報告』, 第4巻,

国立科学博物館，2004年3月，p73

矢成敏行 [2015] 私信

山田昭彦[2004]「日本における初期のスイッチング理論の研究—中嶋章の研究を中心に—」

『電気学会論文誌 A』，Vol.124, No.8, pp720-726

———— [2012] 私信

“技術の系統化調査報告全22巻”：国立科学博物館2001年3月～2015年3月

# JAPAN UNIVERSITY OF ECONOMICS

## The Bulletin of the Graduate School of Business

---

Vol. 4

February 2016

---

### Articles

- A Study on the Analysis of Funds Flow ..... KOJI ISHIUCHI ( 1 )
- Innovation Management of New Organization for Overcoming the Problem of the Resource Accumulation Paradox.  
..... MITSURU NAKAGAWA (17)
- Inhibitory and Promotive Social Factors for the Successful Implementation of Creative Ideas in Work Organizations  
..... HISATAKA FURUKAWA (31)
- A Study on Internal Control in Japan during the 2000's ..... JING JIN (57)
- A Study on the Huge Earthquake and Huge Tsunami in the Japan Sea Side ..... TAEKO NAKAMA (77)
- Risk Management Strategies Adopted among Small and Medium Sized Japanese Manufacturing Companies to Expand  
Business in Asian Developing Countries ..... FUMIYUKI TAKAHASHI (91)
- The Role of the Dongbei Region in China's Economic Development: From the Viewpoint of Trade with GTI-related  
Countries ..... TOMOE YASUDA (103)
- A Study on the Present Conditions and Future Challenges of Korean Companies Operating in Myanmar: Based on  
a Field Study Focusing on the Development of Human Resources ..... PALSU HWANG (123)
- Systematization of Technologies and an Analysis on Various Innovation Processes Using MECI Method  
..... TAKAYUKI NAGATA & HIROSHI SUZUKI (135)
- Research on the "Ba" and its Mechanism for Innovation ..... YASUTOSHI KOMATSU & HIROSHI SUZUKI (163)

### Note

- Establishment of a Process to Create New Civilization from Excellent Local Cultures Using Meta-Engineering (1)  
..... ICHIRO KATSUMATA (181)