

根本的エンジニアリング (MECI) の提唱

鈴木 浩¹・大来雄二²・小松康俊¹
永田宇征³・石井 格³

¹日本経済大学大学院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

²金沢工業大学科学技術応用倫理研究所
〒150-0001 東京都渋谷区神宮前1-15-13

³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

New Approach to Innovation (Meta-Engineering)

Hiroshi SUZUKI¹, Yuji OKITA², Yasutoshi KOMATSU¹
Takayuki NAGATA^{3*} and Itaru ISHII³

¹Meta-engineering Research Institute, Graduate School of Business, Japan University of Economics, 25-17 Sakuragaoka-cho, Shibuya-ku, Tokyo 150-0031, Japan

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

³Center of the History of Japanese Industrial Technology, National Museum of Nature and Science, 4-1-1 Amakubo, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0005, Japan

*e-mail: t-nagata@kahaku.go.jp

Abstract Innovation is an important success factor underpinning the economic growth and human welfare. During the past century, much knowledge has been created and accumulated in terms of science and technology. Based on this knowledge, many innovations have been made through engineering processes. Conventional engineering has addressed existing issues, sought some solutions under existing constraints, and used existing knowledge of science and technology to solve issues. Nevertheless, conventional engineering seldom creates breakthrough innovation these days because it aims only at how to solve apparent issues. It fails to investigate issues that must be solved. To support innovation, a new approach is proposed: meta-engineering.

Meta-engineering comprises the four processes of MECI: mining, exploring, converging, and implementing. *Mining* does not address only apparent issues but mines potential issues to be addressed globally. *Exploring* investigates solutions areas from a panoramic perspective while neglecting existing constraints. *Converging* integrates and fuses those solutions with the non-technical arena. *Implementing* applies the solution to the mined issues, thereby creating new social value with a link to the next MECI process. Another important factor is “Ba”, in Japanese, signifying a field where MECI processes are accelerated, acting as a catalyst for innovation.

To advance MECI processes successfully and to create a spiral mode of development, the “WHY” underlying the issue of “WHAT” must be clarified through repeated inquiry before seeking a “HOW” solution.

Meta-engineering can be compared to existing innovation process models such as a linear model, spiral model, SECI model, knowledge chain model, breakthrough model, and dual model of analysis and interpretation. Although these models are otherwise comprehensive, they have not addressed the engineering features of innovation.

Several successful and unsuccessful innovations can be explained by the MECI process: The SONY Walkman, studless tires, blue light devices, etc. Many innovation candidates have been born in the past, but have confronted some obstacle that prevented their passage to innovation. MECI processes explain these failures and suggest solutions to achieve true innovation by conquering the valley of death of each failure.

Key words: engineering, innovation, meta-engineering, MECI

1. 序 章

イノベーションを、なにかずくラディカル・イノベーション^{*1}を、いかにして創出するか、それが本論文の主テーマである。従来、それは経営学や政策（産業政策や科学技術政策^{*2}）の課題として論じられることが多かったと、筆者らは考えている^{*3}。本論文はそれを、エンジニアリングの視点から考察する。従来あるエンジニアリングの概念を踏まえつつも、切り口を変えて考究した。その結果、イノベーション創出の有力な方法論として、従来のエンジニアリングのパラダイムを変える新たなエンジニアリングのあり方を創造した。

本論文では、2でイノベーションということばについて、若干の用例に触れたのち、筆者らがいかなる意味でその言葉を使うかを説明する。その上で、筆者らが提唱する根本的エンジニアリング（英語名：meta engineering）の考え方を紹介する。その中心はエンジニアリングの実践をM（Mining）－E（Exploring）－C（Converging）－I（Implementing）という4つのプロセスに展開する意味、そしてプロセスを機能させるための「場」のありかたである。3ではイノベーションに関わる経営

学（技術経営学を含む）的諸理論を紹介する。ここに紹介する理論は、いずれも筆者らが、卓越しており学ぶべきところが多いと考えているものである。4は、根本的エンジニアリングの応用編である。筆者らは、根本的エンジニアリングを学理としてより、イノベーションを企図し実現しようとしている実践者を念頭におきながら、考究している。実践者が試行し、行動する際のよりどころとなつてこそ、その価値があると考えている。であるから、応用編とした4では過去の日本のイノベーション事例を取り上げ、その過程（プロセス）とそれをうながした環境や状況（場）を根本的エンジニアリングの手法を使って分析する。それは技術革新を含むイノベーション事例の分析である。5で成果と課題をまとめた。

2. イノベーションと根本的エンジニアリング

2.1 イノベーション

イノベーションを技術革新ということばで表すことが、一般的な時期が過去にあったと、筆者らは考えている。もともとこのことばは、3に見るように、シュムペーターがその著書の中で用い、その日本語訳¹⁾においては、新結合と表された。「もはや『戦後』ではない」の一句がよく知られる昭和31年版（1956年版）経済白書²⁾では、「技術革新（イノベーション）」ということばが使われ、爾来イノベーションを技術革新と表現することが長い期間一般化した。もちろんシュムペーターの新結合と技術革新は一対一に対応はしていないが、この技術革新ということばは、戦後日本の経済復興、さらには高度成長へと続く流れの中で、経済政策的に、そして科学技術政策的に、プラスの作用をもたらしたといつてよいであろう。

この経済白書のいう「技術革新」の意味については、佐和の卓越した論説³⁾があるので、ここで引用しておく。

『日本語で「技術革新」というと、工学技術の革新のみを意味するかのように解されやすく、大

^{*1} ラディカル（radical）は根本的とも訳される言葉である。非連続のとか革新的との意味合いがある。イノベーションに関し、ラディカルの対となることばに、インクリメンタル（incremental）がある。徐々のとか漸進的のとの意味合いの言葉である。

^{*2} わが国の科学技術基本計画に関して厳密にいうと、第3期から第4期に代わる時期に科学技術政策から科学技術イノベーション政策への転換が図られた。

^{*3} 例えばイノベーション論でよく引き合いに出される著作に、「イノベーションのジレンマ」（クリステンセン、1997年）がある。対象となる技術（テクノロジー）はハードディスクであり、それを生み出すエンジニアリングについての考察もあるが、あくまで焦点は市場を制覇するテクノロジーを生み出すための企業戦略に当てられている。

小とりまぜての創意工夫に基づく企業経営の「革新」をも含む、言語「イノベーション」のもつ広範な意味あいとは、いささかならずずれてくる。

『白書』はこの点を断った上で即座に、「技術革新」を「近代化」といいかえてみせる。すなわち、経済成長を維持するには有効需要の創出が不可欠である、というケインズ経済学の基本テーゼをまず前提とした上で、有効需要の三本柱である、投資、消費、輸出を増加させるための、ありとあらゆる方策をひっくるめて、経済構造の「近代化」と名づけるのである。』

この論文ではイノベーション (innovation), なくずくラディカル・イノベーションを、いかにして創出するか、を主テーマとしている。ところが上述のように、このことばの意味合いは、時代や状況によってかならずしも一貫してはいない。新結合という訳語も定着しなかった。それゆえ、ここでイノベーションの意味について触れておきたい。まず OECD (Organization for Economic Cooperation and Development: 経済協力開発機構) にそれを見る。

OECD の Glossary of statistical terms⁴⁾ (図 1) では、innovation を次のように定義した上で、それを含む関連語 47 (たとえば organizational innovation, product innovation, process innovation など) についての定義を行っている。

Innovation

An innovation is the implementation of a new or significantly improved product (good or service), or process, a new marketing method, or a new organizational method in business practices, workplace organization or external relations.

「今までにない (new)」もしくは「(今までに存在するものが) 著しく改善されている」ことを、イノベーションの成立要件として求めている。直

訳すると、次のようになろうか。

『イノベーションとは、事業の実践、仕事場の組織、あるいは外部との関係において、今までにないもしくは著しく改善された製品 (生産財やサービス) あるいはプロセス、今までにないマーケティング手法、今までにない組織管理手法を適用することである。』

では日本ではイノベーションの意味がどのようになっているかを、まず内閣府の説明に見てみる。政府が推進する政策「イノベーション 25」では、科学技術イノベーションを一体として捉えつつ、イノベーションを次のように説明している⁵⁾。

『イノベーション (innovation) の語源は、ラテン語の “innovare” (新たに作る) (= “in” (内部へ) + “novare” (変化させる)) とされています。日本語ではよく技術革新や経営革新などと言い換えられていますが、イノベーションはこれまでのモノ、仕組みなどに対して、全く新しい技術や考え方を取り入れて新たな価値を生み出し、社会的に大きな変化を起こすことを指します。』

つぎは科学技術との関わりを見る。政府が発行する白書には様々なものがあるが、その中で毎年閣議決定の上で公表される白書として、科学技術白書がある。少し長文になるが、平成 25 年版 (2013 年版) の一節⁶⁾ を引用しよう。ちなみにこの白書の副題は「イノベーションの基盤となる科学技術」となっており、科学技術とイノベーションの一体的な推進を強調しつつも、両者を明確に区別している。

『平成 23 年 8 月に閣議決定された第 4 期科学技術基本計画においては、「第 3 期基本計画では、重点推進 4 分野、推進 4 分野と指定された 8 分野において、重点的な研究開発が推進され、多くの革新的技術が創出されている。しかし、個々の成果が社会的な課題の達成に必ずしも結びついていないとの指摘もあり、国として取り組むべき重要課題を明確に設定したうえで、その対応に向けた戦略を策定し、実効性のある研究開発の推進が必要である。」とする一方、「我が国の基礎研究は、論文被引用件数で世界トップの研究者を輩出するなど着実に成果をあげているが、国全体で見ると論文の占有率は漸減傾向にあり、論文被引用度の国際的な順位も先進諸国と比較して低い水準にある。」と現状を分析し、科学技術政策とイノベーション政策の一体的な



図 1. OECD の Glossary of statistical terms

推進が不可欠であるとした。』

この一節の読み方はいろいろありそうだが、1995年に制定された科学技術基本法に根拠を置き、1996年に始まる5年を1期とする科学技術基本計画で推進された研究開発や、創出された革新的技術に対し、「社会的な課題の達成に必ずしも結びついてない」との批判があることを、公式に認めているとは言えそうである。そして「科学技術政策とイノベーション政策の一体的な推進が不可欠」との記述は、科学技術政策とイノベーション政策とは政策的に別ものであることを主張しつつも、一体的な推進をすることによりイノベーションが創出されるとの主張とも読めるであろう。

2.2 根本的エンジニアリング提唱の経緯

本節では、根本的エンジニアリングを想起した経緯（きっかけ）を述べる。それは前節で述べた科学技術基本計画批判「社会的な課題の達成に必ずしも結びついてない」に直接関係する。筆者らの何人かは、日本工学アカデミー（EAJ）の政策委員会のメンバーであった。2009年当時、政府では第4次科学技術基本計画の策定が進んでおり、EAJとしても第三者の立場で、イノベーションの創出につながる建設的政策提言をするべきとの方向づけがなされた。その議論の過程で着目されたのが、イノベーションの創出につながるコンバージング・テクノロジー（converging technologies; CTs）という考え、あるいは政策である。

CTsは『「特定の目的を達成するために2つ以上の異種の科学や技術を取収（convergence）する技術」であり、かつ「他の技術に影響を与えてシステム全体を劇的に変化させるという、“メタ技術”の一種である」と考えられる⁷⁾。イノベーション創出に着目するとき、何らかのイノベティブな結果を生むためには、ある単独の領域内で発想するのではなく、いみじくもシュムペーターが「新結合」と称したように、複数の領域（例えばNBIC; Nano, Bio, Info, Cogno）を束ねて新しい結果を創り出すという思考が有効ではないかとのアプローチを、掘り下げてみようと思案した。

この発想は、半ば必然的に次の問いを生んだ。すなわち、束ねただけでよいのか、発散（ダイバージェンス; divergence）する思考も考慮に入れるべきではないか、ということである。さらに、イノベティブな発想を育みやすいあるいはそれを阻害しがちな風土や環境の検討もいえるのではな

いか、そもそも何のためのイノベーション創出なのか。技術（technology）からの発想でよいのか。技術すること（to engineer）の視点を重視するべきではないか。これらの問いが根本的エンジニアリング想起のきっかけであった。

イノベーションのモデルについては、過去にいろいろと考えられてきた。新結合、リニアモデル、クラインモデル等々である。これらについては、別途章を改めて論じることとするが、提唱された当時の科学・技術の研究・開発の進め方、イノベーション理論の成熟度等を鑑みて、それぞれに首肯すべき点を有しており、我々はこれらを否定しようとは考えていない。むしろ尊重しようと考えている。ただし、今までにないアプローチもあり得て、そこで機能する新しいモデルがあってもよいと考えた。我々が「根本的エンジニアリング（英語名：meta-engineering）」として提案するモデルは、それは仮説と言ってもよいが、以下に述べるプロセスと場の相互作用に着目するものである。

筆者らはエンジニアリングに注目した。科学技術（科学・技術）はscience and technology, 科学技術イノベーションはscience, technology and innovation. そこにはエンジニアリングが表面には出てこない。エンジニアリングのあり方を、技術すること（to engineer）とは何であるべきなのかの根本に立ち戻ることによって、問い直すことにした。

次節以降で、この論文で提唱する根本的エンジニアリングについて論述するが、その前に世界がエンジニアリングに、どのように注目しているかの具体例を二つ挙げておこう。第1の例は英国の表彰制度である。英国はノーベル賞に比肩できる賞として“Queen Elizabeth Prize for Engineering”を創設し、2013年6月に第1回の表彰を、インターネットとワールドワイドウェブの開発者たちに与えた⁸⁾。ここでの主役はエンジニアリングである。第2の例は世界的に注目が高まっているSTEM educationである。STEMとはScience, Technology, Engineering and Mathematicsのことで、科学技術政策、教育政策との関連で注目が集まっている。例えば米国のホワイトハウス高官の、次の発言は象徴的である⁹⁾。「2014年会計年度の予算教書に反映されているように、科学、イノベーション、そしてSTEM教育に今投資することは、革新的な技術の開発や将来の産業、米国内や国際

的な課題の打開策における米国の優位性を維持するための最善の方法です。」ここでもエンジニアリングが注目されている。

2.3 根本的エンジニアリングの概念

筆者らは、イノベーション創出のプロセスはマイニング (Mining)、エクスプロアリング (Exploring)、コンバージング (Converging)、インプリメンティング (Implementing) の4つからなっていると考え (それぞれのプロセスの内容については後述する)、これらのプロセスの総体をそれぞれの頭文字をとってMECI (メキ) あるいはMECIサイクルと称することとした。一方、場は個々のプロセスを有効に機能させ、プロセス間の移行を促す作用を持つものである。

すでに述べたようにイノベーションは新たな製品やシステムなどの導入を通じて大きな経済的価値を生むものと考えられているが、筆者らは経済的価値を生むものだけでなく、金銭に換算しがたい社会価値の創出も、イノベーションの対象であると考えている。そのような考え方をベースにして、地球社会が解決を迫られている課題として、人類の生存と地球環境の維持があると考えた。これら製品やシステムに対するニーズや社会的課題は顕在化している場合もあるが、ほとんどの人が気付いていない潜在的な場合もあり、潜在的な課題やニーズに応えるイノベーションこそが社会的、経済的に重要な意味を持つことが多い。そこで、根本的エンジニアリングを次のように定義した。

「顕在化している社会課題 (注1) やニーズ (注2) 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ニーズを定義し、課題やニーズ解決に必要な知と感性の領域を特定し、それらの知と感性を統合・融合することにより解決案を創出し、社会とのエンゲージメントにより解決案の社会実装を図ることによって、革新的社会価値を創出するエンジニアリング。

注1：人間社会が解決しなければならないテーマ。

注2：人間の生活にとってなくてはならない、あるいはあって欲しいもの」。

根本的エンジニアリングの概念を図2に示す。

図2に示す4つのプロセスの内容は、以下のとおりである。

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。

注1：解決されるべき課題や満たすべきニーズの中には、すでに顕在化している課題やニーズと潜在的な課題やニーズとがある。

注2：解決されるべき課題やニーズは、問いの元になった顕在化している社会課題やニーズと同一のものである場合もあるし、異なる場合もある。またこの問いによって、複数の解決されるべき課題やニーズが顕在化することもあり得る。

注3：社会課題やニーズとは地球社会が抱えて

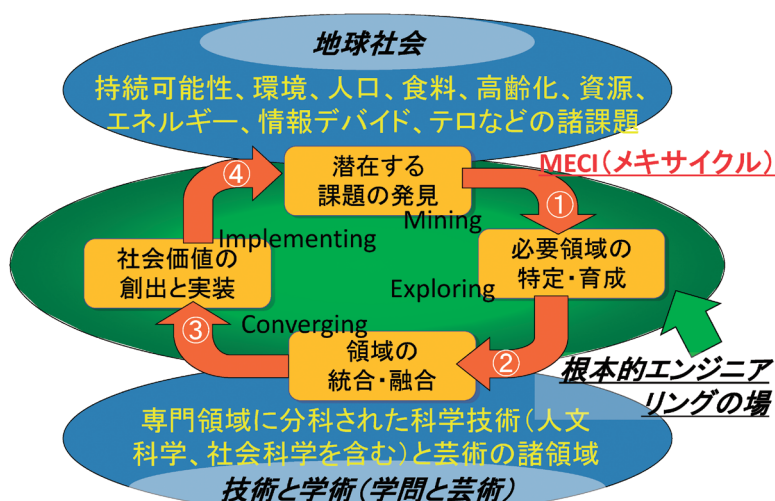


図2. 根本的エンジニアリングの概念図

いる課題やニーズであり、人間社会に限らない。

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

注1：知の領域は、人文科学，社会科学を含む多様な分野（ディシプリン）からなる科学領域，土木工学，機械工学，化学工学，電気工学や計測工学，ロボット工学，デザイン工学のような縦型・横型の工学を含む技術領域から構成される。

注2：既存の領域だけでは課題やニーズ解決案の検討が困難と思われる場合には、新しい領域の創成が必要となる。また既存の領域があるにもかかわらず、従来の思考や価値観に起因する制約にとらわれて、その特定を見落とすことのないようにする必要がある。そのためにexploringのプロセスは、俯瞰的でなくてはならない。

注3：知の領域は合理性を追求する。しかし課題やニーズ解決が合理性だけで可能になるとは限らない。したがって、感性の領域をも俯瞰する必要がある。

注4：Exploringのプロセスで、新たな課題やニーズが顕在化する場合があるので、その場合にはminingのプロセスを新たに踏むのがよい。

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。

注1：統合するとは、領域固有の知や感性を独立した特性を持ったものとして組み合わせることであり、融合するとはそれらの知や感性の組み合わせによってもとにはなかった特性を生み出すことである。

注2：Convergingのプロセスで、新たな課題やニーズが顕在化する場合があるので、その場合にはminingのプロセスを新たに踏むのがよい。

Implementing：Convergingのプロセスで創出された解決案を、社会と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。

注1：エンゲージメントとは、創出された解決案が社会実装された場合のステークホルダー（利害関係者）が協同することである。

注2：創出される社会価値は市場価値（経済価値）を含むが、それだけに限定されるものではない。

注3：Implementingのプロセスで、新たな課題やニーズが顕在化する場合があるので、その場合にはminingのプロセスを新たに踏むのがよい。その場合、MECIのプロセスは、スパイラルに展開してゆくことになる。

根本的エンジニアリングでは、これら4つのプロセス個々、後述するそのスパイラル展開、そしてその展開をうながす「場」のアクティビティを重視する。

場は「MECIの個々のプロセスの機能、及びプロセス間の移行を促す作用を持つ基盤」

注：基盤は、風土（国民的風土とか企業風土等）、環境（社会インフラとか気候等）、制度（税制とか規制・助成、人事・給与制度、教育制度等）等の触媒的なもの、金銭的物質的支援から構成される。

と定義している。ちなみに場を英語では“field or ‘Ba’”と表現して来ているが、いままでのところ適切な単語を見いだせていない。英語にはincubation bedとか、clusterやplatformということばもあるが、これらには妥当な側面もあるものの、筆者らの「場」と等価ではないと考えている。筆者らの「場」は、均質性や多様性を重視する国家や民族の文化、自由な発想を支援あるいは阻害する職場風土、企業が立脚する地域環境、直接間接の開発投資を促す税制度、新技術の社会思考に寛容な法規制、産官学の多様な連携を促す触媒機能作用の下で、様々な課題やニーズに対する共通の問題意識を持って人々が集まり、コミュニケーションを行い、相互に理解し、共同してイノベーションを創出する枠組みを指している。

スパイラル展開とは、図2においては各プロセスを順次たどった結果、元のプロセスに戻るサイクリックな形式になっているが、内容的には元のままではなく進化・深化させる展開ということである。スパイラル展開の類例を挙げれば、品質改善の手法としてのシステム・アプローチがある。代表例がPlan-Do-Check-ActのPDCAサイクルであり、スパイラル的にこのサイクルを回し続けることによって継続的な品質改善を図ることができる。

筆者らは、前述の「場」の上で、意図的か否かにかかわらずMECIのスパイラルをたどること

が、イノベーションの持続的創出にとって有効であるとの主張をする。そのイメージとしては、図3のようなものである。このイメージをベースとしつつ、MECIとは何か、場とは何かを、具体事例も交えながら説明する中で、その主張が一定程度の合理性を持っていることを示す。

根本的エンジニアリングのMECIのプロセスの中で、そして「場」との関係性の中で、イノベーションが継続的に創出されない要因を分析することが可能になると筆者らは考えている。それに加えて、根本的エンジニアリングの実践的適用が、それらの要因を排除しイノベーション創出に役立つと考えている。

2.4 MECI

2.4.1 Mining

MECIスパイラルの中で重要なプロセスであるMiningは「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」と定義される。

ここでは、従来のエンジニアリングの対象であった顕在化している課題、求められている製品、システムをもう一度見直して、本当にその課題、製品、システムが求められているのか、あるいはその後ろに隠れている根本的な課題、見えていないニーズがあるのではないかを問うことがもとめられている。

我が国は課題先進国であるといわれるように、これまで多くの課題に対してその対処策を実施してきた。しかし、これからは、顕在化していない課題に取り組む必要が出てきていると予想される。

これまでの歴史をみると、まず問題が与えられたとき解答のイメージが描きやすい課題に取り組んできた。分かりやすい例が、通信網、電力網を

構築する、テレビや自動車を開発するなどである。近年は、複雑な課題に取り組んでいる。ここでは、問題が与えられたとき、誰もが納得する解答を見出すのが難しい状態であるといえる。そして、将来は、ウィキッドな（意地が悪い）課題に取り組む必要がある。ここでは、問題自身が定義できないため、解答への糸口も見いだせない状態を指す。

複雑な課題に取り組むには、社会が求めているものがなにかについて、表面的なニーズを取り上げるのではなく、顕在的課題の裏に、あるいはその根源にある課題を見つけ出さなければいけない。ここで求められる方法は、顕在的課題“what”をそのまま受け入れるのではなく、その理由“why”を問うことである。場合によっては何度も問い直す必要があるかもしれない。ここに、従来のエンジニアリングと根本的エンジニアリングとの大きな違いがある。図4に示すように、従来型のエンジニアリングでは、whatが与えられると直ちにhow、即ちどのようにしてそれを解決するかに焦点が移ってきていた。根本的エンジニアリングのMiningプロセスでは、whatをwhyによってもう一度見直すのである。そうして得られたより本質的課題はイノベティブなコンセプトを内包する課題として顕在化され、その課題に対して初めてhow、どのように解決するかのプロセスに移ってゆく。なお、whatをwhyによって見直すステップはMiningプロセスに限らず他のプロセスでも必要であると考えている。従って、図4はMECIの各プロセスで繰り返されるべきである。

国立科学博物館がまとめている「日本の技術革新」の中でも、イノベーションが成功した事例の中で、このプロセスがきちんとできたことが理由となっている例がみられる。

一例を挙げよう。中嶋章は入社後、自動交換機

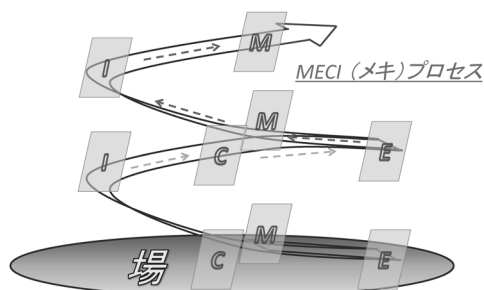


図3. MECIプロセスと場

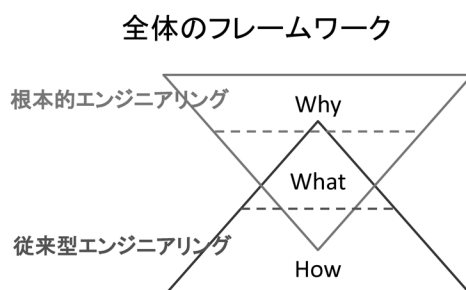


図4. 各プロセスで踏むステップ

の設計に従事した。当時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、その表記法は初心者には分かりにくいものになっていた。当時のリレー回路の設計にはもともとなる理論がなく、経験にもとづく職人的なやり方か、試行錯誤的な方法で行われていた。そのために新人には設計が非常に困難で時間を要していた。

中嶋章はこのような事態を改善したいと考え、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。しかし、単に定石集を作るにとどまらず、さらに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。この理論は、後継の研究者が深化拡張し、後の論理回路設計、延いてはコンピュータの基礎理論への発展を見せることになる。それまで試行錯誤で行っていた設計のあり方に疑問を感じた中嶋が、理論に基づく設計を可能にするをひとつの課題として意識したところにその後の展開があったわけで、中嶋は図らずもコンピュータの基礎理論となる論理回路設計という潜在的課題のMiningを行ったことになる。

近年の例を取り上げると、従来型携帯電話にたいして、Apple社が販売し始めたスマートフォンがMiningの重要性を示している。一言で言えば、従来の携帯電話は、直近のユーザーニーズを取り上げ、それに合うような製品として国ごとに、通信会社ごとに仕様を決めて改良を行う形で作り上げられてきた。すなわち、製品（プロダクト）としての携帯電話が作られてきていた。そこに、Apple社が、製品としてのユーザーニーズの裏にあるサービス、経験の追究、感性の要求を探り出し、将来型の携帯電話に代わるソリューションとして、これらの課題を見出したのである。このように、Miningのプロセスの中でユーザーの求めるニーズが感性の要求という潜在的課題であることを発見した。

2.4.2 Exploring

Exploringは「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」と定義されている。

顕在化しているにしろ、潜在的であるにしろ、課題が眼前に突き付けられた場合、まずは一段の高みに立ってその課題の本質が何であるか全貌を把握し、解決に向けての青写真を描くことになる。その際に重要となるのは、多くの課題解決手段を俯瞰的に眺め、且つ諸々の要因によって形成された従来型思考の枠を脱して発想することにより課題解決手段を広く探求（explore）することである。

もうひとつ念頭におくべきことがある。従来は技術革新のベースとなるのは科学技術であるという考え方が一般的であり、そのための科学技術推進策が声高に叫ばれてきた。一部ではこの考え方は固定観念となっているといってもいいほどである。しかし、根本的エンジニアリングでは、技術革新のベースを科学技術のみにおくだけでは不十分であるとする。科学技術を作る方も使う方も人間であれば、そこには人間的要素が関係する知が求められる。すなわち、いやおうなしに日常生活と密接な関わりを持つ法律や社会学、あるいは人間の情緒に働きかける文学、芸術、心理学といった領域も視野から外せないとして重きを置くのである。つまり、根本的エンジニアリングは人間が、人間として必要とする知、人間としての存在の根源に関わる知、のすべてを織り込んで技術革新推進を志向しようとする考え方である。

とはいっても、Exploringのプロセスの中心をなすものは、20世紀に盛んになった、伝統的なディシプリンを知識基盤とする研究開発それ自体であり、これがプロセスのエンジンとなるものである。既報¹⁰⁾のように、筆者らの研究の中で実施した研究者・技術者に対するインタビュー・アンケートの対象者の殆どが、Exploringのアクティビティとして、従来型の研究開発に属するものを挙げていたことからこのことは肯定してよいと考える。

従来型の研究開発では、課題が提示されたらそれを解決する上で必要となる知識領域を特定する。具体的には、課題を水平展開していくつかの要素に分けてみる。これらの要素にひとつでも要求水準を満たさないものがあれば課題の解決はおぼつかない。次にこれらの要素群について、既存

の知識の活用が可能か、あるいは自分たちの独自の開発が必要かを見極めることになる。前者の場合といえども、現在提示された課題解決にそのまま使えるような形で存在することは、まずあり得ない。別の課題に適用するのであれば十分な域に達しているものでも、当該課題への適用はそのままの形ではできず、微調整が必要であったり、本質的な変更を加えなければならなかったり、場合によっては、当初の見込みと異なり、課題解決に対する当該要素の無力が明かになることもあり得よう。いずれにしろ、課題に固有の適用条件があるはずであり、これをクリアする必要がある。後者の場合、未知の領域に踏み込んで深く掘り下げていかなければならない。

以上のように根本的エンジニアリングにおける Exploring のプロセスでは従来型のエンジニアリングのアプローチが重要な役割を果たしている。

Exploring のプロセスでどのようなことに留意して課題解決手段を求めるかについて具体例を挙げよう。

扇風機は読んで字のごとく、扇で風を起こす機械である。この名称に縛られている限り、羽根のない扇風機、という発想は生まれない。形状や回転速度の調整により、効率的な送風、あるいは自然の風に近い風の発生はできても羽根を取り去るという発想は生まれにくい。羽根が露出している扇風機は危険性が伴う。現に幼児が関係した事故は起きている。この扇風機は何のために必要であるかを俯瞰的に見て基本に立ち返って考えれば、風を発生させることであることは自明である。したがって、羽根は風を発生させるための手段の一つであり、他に適切な手段があれば必ずしも羽根は必要ではない。であるならば羽根のない扇風機があってもよい。実際に従来の扇風機とは異なる、外見上は羽根のない扇風機を商品化しているメーカーもある。風の発生自体は扇風機に内蔵された羽根に依っているのだから、厳密には羽根のない扇風機とはいえない。しかし、従来型の扇風機に比べると、羽根が露出していない。風の発生方法は異なっている。送風のメカニズムが全く違うことによって風の流れの状態が激変し、利用者の心地よさが格段に向上するという効果がある。イノベーションの名に恥じない扇風機の出現といってよい。筆者らの視点から解釈すると、出現した製品は Exploring のプロセスを経ていたことになる。

別の例を見てみたい。S氏はテトロンの原料に

なるテレフタル酸の攪拌槽の開発を担当していた。強酸雰囲気の中で使用するので、材料としてはチタンかハステロイしかない。しかも高压／常圧、高温／常温の繰り返し使用となるので、厚板が必要になるが無垢材料ではコストの面で採算が取れない。したがって、耐圧は鉄板でとり、耐酸対策としてはチタンの薄板を張ることにした。初めはチタンを内部に張ってネジ止めをして、これを溶接する方法を採ったが、膨張／収縮を繰り返すうちにネジの部分が腐れてきて液漏れを起こすようになった。チタンのロールクラッドを使ってみたがこれも成功しなかった。折りしも、知り合いの大学教授から、爆発成型の実験をしているが、金型と被成型物が圧着して困っているという話を聞いた。S氏はこれを聞いて、チタンを爆発圧接によって張ることを着想した。だが、他の材料は問題なく圧接できるのにチタンだけが旨くない。漸く圧接できる条件を見つけたが、今度は騒音が問題で、実験や工場の場所の確保に苦勞する、といった苦勞はあったが、最終的にはすべてを解決し、デュボン社と時を同じくして世界で始めて爆発圧接によるチタン張りに成功した。

以上に見るごとく、Exploring に含まれる活動の推進手法としては、従来の研究開発の手法がほとんどそのまま有効であると考えてよい。この Exploring の段階で新しい科学・技術の領域が開ける可能性もあるし、得られた成果が波及効果により、他の課題解決に生かされる可能性もある。ただ、注意すべきは、課題解決策は柔軟に検討しなければならないことである。解決策を単眼的に捉え、中央突破にのみ求めるのではなく、思考の幅を拡げることにより、選択肢も多くなり、そこからインクリメンタルな改善を超える大きなイノベーションが生まれる可能性もある。

もうひとつ、Exploring でわれわれが依拠すべきは科学・技術のみではないということについて些か記してみたい。直接的に関係する例としては、法規制が分かりやすいであろう。法律の規制があれば、技術的には可能であっても、その手段による課題解決は不可能である。日本で初の高層建築物とされる霞が関ビルは、当初は31mの高さ規制のため9階建にする予定になっていたが、建築基準法の改訂により高層建築が可能となった。法規制は時としてイノベーションの阻害要因となり得る。いまひとつの例を芸術的感覚、感性工学が関係する領域に求めてみよう。ウォークマンの開発

に当たっては、蓋を閉じたときのカチッという音と感触が高級感を醸し出すということで、この音と感触をいかに出すかに意を用いたということである。また、iPadでは包装された箱を開くときのわくわく感が売りだそうである。これらはいずれもテープレコーダー、情報端末の機能に直接関係するものではない。しかしこれらにおいては、感触や期待感の提供が既に商品としての一角を形成しているのである。ある大学で10年以上も前に、繊維学部感性工学の講座を開いていることは、この間の事情に符合したものであろう。

間接的に関係する例としては、イノベーションに携わる研究者の着想に芸術や文学が大きな影響を与えている事実を挙げることができる。以下は文化勲章も受章した、ある著名な研究者に著者のひとりが聞いた話である。この研究者はそれまでの理論に不満を覚え、これを書き直すべく苦闘していた。そうした中、天啓が訪れ、ある現象について従来とは異なる解釈をすることを着想した。その結果、それまでの理論に代わる、美しく説得性のあるものを構築できた。この着想の背景にはトルストイの「戦争と平和」の一場面があったという。文学への親しみが研究者としての創造の土壌を肥沃なものとしていたのである。

以上の諸事例を見れば、イノベーションに科学・技術以外の法制、文学、芸術等が関係すること、少なからぬものがあることが分かる。ただ、注意を要することは、テクノロジーアセスメントが十分になされる必要があるということである。水俣病を例に引くまでもなく、副次効果についての検討が十分になされないと、顧客にも企業にも大きな悲劇をもたらすこととなる。今後のイノベーション展開に当たって逃せない観点である。

2.4.3 Converging

Convergingは「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」と定義されている。改善を繰り返すインクリメンタルなイノベーションである新製品／新商品開発、あるいは一歩進んでヒット商品開発でも一つの技術分野で全ての課題が解決できる例は少ない。たとえば、LED電球、デジタルカメラ、エアバッグ、ウォークマンなどを考えてみれば、一つの製品の中に電子技術、機械技術、化学技術など多くの分野の技術が統合されていることは容易に理解できる。このように、いくつかの分野の技術を統合して製品を実

現することもConvergingの概念に含まれると考えられる。さらに進んで、携帯電話システム、再生可能エネルギー、航空機による交通網などのラディカル・イノベーションでは多くの分野の科学、技術、芸術（技能、工芸）が組み合わさって初めてイノベーションが実現している。このようにイノベーションを実現する際に多くの技術をインテグレートする統合という意味でのConvergingは改めて議論するまでもなく不可欠である。

一方、融合という意味でのConvergingはどうか。アメリカで提唱されたConverging Technologiesは図5に示すようにNBIC（nano-bio-info-cogno）の技術を融合することで健康維持、病気の撲滅、公害の除去、地域の安全確保、コミュニケーション能力の向上、思考や学習能力の向上を実現しようとするものであり、人類の新たな可能性を開くものであるとうたっている。Converging Technologiesは急速な進歩を続けるNBICの4分野の科学技術を融合（synergistic combination）することを意味し、これらの分野の研究方法論およびその結果を融合することにより科学と社会の進歩を加速することができるとしている。すなわち、結果だけでなく方法論まで融合しないと人類の発展に寄与できないとしている。

たとえば、Nanotechnologyではすべての物質を分子レベルで解析、計測、操作することを可能にするので、NanotechnologyとBiotechnologyと融合すれば人の遺伝子情報を瞬時に解析した上で、病気の組織や細胞を直接狙った治療をすることが可能になる。すなわち、融合前の技術はそのままに残しながら融合によって新しい技術領域を創出するということである。

MECIサイクルにおけるConvergingの融合も学問分野、技術分野そのものを融合して新たな分野を創出し、イノベーションにつなげようという考えととることができる。繰り返しになるが、ここ

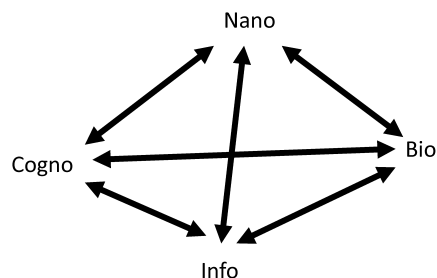


図5. NBICの相互作用

でいう融合は統合とは異なり科学技術の生み出した結果だけでなくその方法論も融合することを意味している。ラディカル・イノベーションには融合の意味でのConvergingが必要であると考えている。

Convergingがイノベーションのキーとなる例を挙げよう。湯之上¹¹⁾はSOC (System On Chip) ビジネスについて、台湾のファンドリーであるTSMCがSOCのビジネスで不十分ながらイノベーションを実現した例を示している。LSIを製造するメーカーには、設計からプロセス構築、量産まで一貫して社内で行うIDM (Integrated Device Manufacturer) と設計は行わず製造だけを請け負うファンドリーの2種類がある。日本の半導体メーカーはほとんどすべてIDMである。

半導体ビジネスでは装置コストが高い、即ち固定費が大きい。従って、巨大な市場があり量産効果を発揮できる場合には大きな利益が得られるが、そうでなければ大赤字になってしまう。このようなビジネスには少品種大量生産が適している。ところがSOCはニッチの集合体すなわち何千種類にも及ぶASIC (Application Specific Integrated Circuit) という半導体製品の中で特に大規模集積回路を有する製品である。すなわちSOCは多品種少量生産の典型である。湯之上によればSOCの設計製造フローは図6のようになる。

この商品の付加価値はシステム設計のプロセスで生み出される。半導体メーカーがSOCビジネスから利益を得ようとすればシステム設計を自らできるようになることが必須である。システム設計はソフトウェア設計そのものであり、現在では顧客自身の設計にゆだねられている。SOCは多品種少量生産品でありインテルやサムソンのような巨大なIDMが手をつけにくい分野であるため、設計製造フローのイノベーションが実現できれば日本の半導体メーカーが復活する可能性もある。この設計製造フローのイノベーションのハードルはConvergingプロセスにあると考えられる。すなわ

ち、ソフトウェア設計とハードウェア設計の方法論、および技術成果を融合して高効率な設計製造フローを作り上げることがキーポイントであるといえる。このSOCビジネスのあり方についてMECIの視点から読み取れることは、単にハードウェアとソフトウェア技術を別個に進歩させて統合しシステム設計を行うという統合のConvergingプロセスを超え、両方の技術を融合して単なるハードウェアでもソフトウェアでもない高効率な新しいシステム設計技術を生み出す、融合のConvergingプロセスがキーとなるイノベーションが存在するし、それを実現することが可能になるということである。

TSMCはこの問題をConvergingプロセスに正面から取り組まずに回避し、SOCのビジネスに不十分ながらイノベーションを起こした。LSIの設計では回路規模が非常に大きいため、回路全体をいきなり設計することはできない。そこで回路をいくつもの機能ブロックに分けて設計する。それぞれの機能ブロックは実際に動作することが確認されておりセルと呼ばれている。IDMは自らセルを開発して独占しており、IDMの付加価値の源泉となっている。これに対し、TSMCはファンドリーとして多くの設計ベンダーから製造を依頼される中でセルライブラリーの資産を蓄積していった。そして、ファブレス設計者、設計ツールベンダー、IPベンダー、ファンドリーがセルライブラリーを共有することができるようになり、TSMCのセルライブラリーを使えばファブレス設計者は最終製品を確実に受け取れるようになってしまった。これが、SOCのプラットフォームの構築と呼ばれるイノベーションである。TSMCのイノベーションをMECIサイクルで分析するとConvergingを避けてビジネスモデルの構築、即ちImplementingのプロセスに最大の力をかけたことが分かる。

しかし、SOCのプラットフォームができたとはいえConvergingプロセスを回避したためイノベーションは十分でなくASICを1品種設計製造しようとすれば依然として数千万円の初期投資が顧客

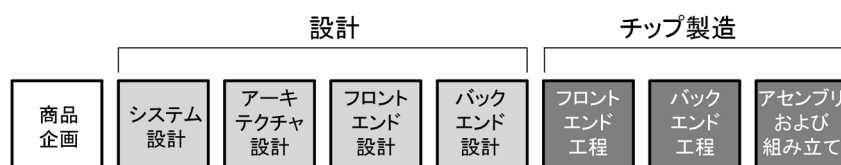


図6. SOCの設計、製造フロー

にとって必要となる。現在ではソフトウェアで回路設計が可能なFPGA (Field Programmable Gate Array) を用いてプリント基板上にシステムを構築し、十分な需要が見込めると判断したうえでASIC化を検討している (FPGAには設計情報を外部から盗まれる危険もあるのでセキュリティの点からASIC化が望ましい)。それでも、資金力の乏しい顧客にとってASIC化はリスクの大きい投資になる。従って、安価なASICの製造に需要があることは明らかであり技術分野も半導体製造技術に絞られている、即ちMining, Exploring プロセスにハードルは存在しないので、ソフトウェア設計とハードウェア設計の方法論、および技術成果を融合して高効率な設計製造フローを作り上げ、Convergingのハードルをクリアして革新的イノベーションを実現すればTSMCを超えられることがMECIの視点から理解される。

2.4.4 Implementing

Implementingは「Convergingのプロセスで創出された解決案を、社会と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」と定義される。

イノベーションは一般的には、イノベティブな財やサービスを市場に投入すること、およびそれを市場が受け入れることによって生起する。根本的エンジニアリングでは、投入と受け入れを合わせて実装と表現している。実装する内容は財やサービスにとどまらず、考え方のようなものの変革も地球社会のあり方を変質させてゆく上で重要と認識している。

実装段階では、さまざまな主体があらたに生み出されたそれらのものを、社会の中でよりよく機能させるための努力を行う。その主体は大別すれば、財やサービスを提供する組織や個人、それを受け入れる組織や個人、それに対する規制組織や個人がある。ここでの規制は、いわゆる規制当局とか法規制といった意味に留まらず、新たに生み出されたものを第三者的に注視し、必要に応じて当事者にフィードバックする機能を持ったすべての組織や個人を想定している。これら三つの主体は、Implementingのプロセスにおいて、望ましい価値を創出しているか、地球社会からの反応を注視し続ける必要がある。

提供する側の課題としては、従来からいろいろなことが言われてきた。たとえば、サプライチェーン、バリューチェーンの確立、魔の川／死

の谷／ダーウィンの海の克服、ビジネスモデルの確立、コンプライアンス、知的財産の維持強化などである。特にビジネスモデルの確立は重要でイノベーションの成否を左右する。

Implementingのプロセス、特にビジネスモデルの確立がイノベーションの成否を分けたいくつかの例が「ワイドレンズ」¹²⁾ にあげられている。本書では、implementingにおける成功の鍵を、エコシステムという表現を用いて図7¹²⁾ で説明している。すなわち、多くの企業はイノベーションを目指して、実行の中心課題の解決に向けてリソースを投入している。図7にはこれが実行の中心課題として示されている。しかし、企業の多くは、その周りの二つの課題、すなわちコーイノベーションとアダプションチェーンを見ていなかったためにイノベーションを実現できなかったと説明している。コーイノベーションとは、イノベーションは単独で実現できるものではなく、他の誰かのイノベーションと並行して実現出来るものであることを指している。それを見逃すとせっかくの発明、技術も、ビジネスモデルもイノベーションとして実装できない。また、アダプションチェーンとは、あるイノベーションを実現するのにそれを受け入れてくれる対象を同定し、働きかけが必要な対象を指している。これらの対象が、イノベーションに対して受け入れてくれなければ実装に結

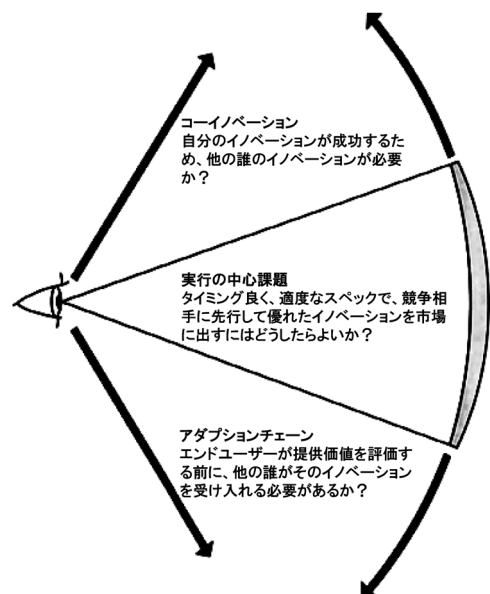


図7. ワイドレンズのイメージ図

表1. Implementingの成功要因と失敗要因

対 象	失敗した会社	成功した会社	失敗の理由／成功の鍵
ランフラットタイヤ	ミシュラン		修理工場が手を上げない
3G携帯電話	ノキア		ステイクホルダーの見誤り
デジタル映画	ディズニー	ディズニー	映画館の非受容／金融による解決
吸入インスリン	ファイザー		担当医師の混同
電子書籍端末	ソニー	アマゾン	出版社の取り込み／補助金の支払い
電子カルテ			誰がリーダーとなるか
携帯音楽端末	ソニー	アップル	音楽のダウンロード権
電気自動車			提供価値の隠れた脅威
タブレット端末		アップル	／エコシステムの構築
モバイル銀行サービス		M-PESA	／破壊的技術

びつかない。いずれもエコシステムの実現が不完全であってはイノベーションは生じないという。

表1は本書で取り上げられている例を一覧にまとめたものである。対象となったイノベーションごとに、初めに企画したがImplementingがうまくゆかなかった会社とその理由を示している。これらのうち、いくつかはその後の反省からうまい手立てを考えてイノベーションとして実現している。その成功の鍵と、成功させた会社も掲載した。

受け入れる側の課題は、意図するとなしにに関わらず、受け入れた結果の変化について提供する側、規制する側へのフィードバックである。インターネットの存在や、非営利組織の活動^{*4}が、フィードバックの質的量的変化をもたらし、提供する側、規制する側と受け入れる側との力関係をも変えてきている。このフィードバックの深化が重要となる。

規制する側の課題について考えてみよう。一般

的には、イノベーションの創出、社会実装には規制緩和が重要との見方がなされる。それは常に考慮されるべき重要な見方であろう。しかし、イノベーションが社会に与える影響にはポジティブなものとネガティブな側面がある。このネガティブな側面に対処するのが規制する側の課題である。例えば規制主体として国家を考えると、法規制という方法での規制の検討がなされることになる。

例を挙げよう。携帯電話はイノベーションの典型例と言っても差し支えなからう。当初の携帯電話は、電話を携帯できるという新たな社会的価値を生み出し、電話の利便性を飛躍的に高めて大きな経済的価値を生み出した。引き続いて出現したスマートフォンは、インターネットの携帯情報端末に電話機能を付加することによって、さらに高度な社会的価値、経済的価値を生み出した。生み出された社会的価値の多くは、ポジティブなものである。しかしネガティブな社会的影響も生み出した。たとえば振り込め詐欺、俺々詐欺の類である。高齢者や若年者に代表される社会的弱者をだまして金品を巻き上げたいとの邪悪な考えを持つものに、携帯電話は強力なツールになった。また、メールのやり取りやゲームに夢中になることが若年者の心の健全な成長の障害になっているとの意見もある¹³⁾。

別の例を挙げよう。インターネット上に、動画サイトYouTubeがある。YouTubeもイノベーションの一事例と言えよう。われわれはこのサービスを大いに享受している。すなわち、ポジティブに受け入れている。しかしそこには、例えば子供た

^{*4} 非営利組織の社会にとっての重要性が増している。例えば、国際標準であるISO26000「社会的責任に関する手引き」の制定過程では、政府代表や経済界代表だけでなく、非営利組織代表がステイクホルダーの一員として、重要な貢献を行った。東日本大震災の復旧、復興でも、非営利組織は行政では不可能なさまざまな貢献を行っている。この論文の著者らは、根本的エンジニアリングを含む次世代のエンジニアリングのあり方を考え、関係者とエンゲージするため、NPO法人次世代エンジニアリング・イニシアチブを設立し、運営している。国際関係を含む、社会のさまざまな局面で、非営利組織の活動が重要になってきている。

ちの発育に好ましくない動画コンテンツがないとは言えず、その範囲ではネガティブな側面も持っている。次に規制側を考える。最も重要な規制は、著作権法であろう。YouTubeにはテレビ番組や公演など、アップロード（送信可能）した者は著作権を侵害しているのではないと思われるコンテンツもある。日本の著作権法では、もろもろの著作権を著作権者に包括的に与えた上で、著作権を享有していない者がやってよいことを個別具体的に認めている。YouTubeが、日本の著作権法制度のもとで、合法と言えるかは微妙であろう。多くの人がポジティブに受け入れていたとしても、法規制上はネガティブと言えそうである。しかしYouTubeが国土の外で、日本の主権が及ばない形で運営されていれば、国家として法の執行は難しいということになる。

携帯電話やYouTubeの例に見るまでもなく、生み出された社会価値がどのようなものになっているのかを、イノベーションを提供する側、受け入れる側、規制する側は常に注意深く見なければならぬ。その結果次第では、実装段階の施策に変更を加え、また新たな抽出された課題としてそれを明確化し、次のMECIスパイラル展開を図る必要が出てくる。

2.5 場

前節では、イノベーションを創出し社会に新しい財やサービスを導入するプロセスとしてMECIサイクルについて述べてきた。ここではMECIサイクルが回るイノベーションの「場」について述べる。根本的エンジニアリングにおいて場は「MECIの個々のプロセスの機能、及びプロセス間の移行を促す作用を持つ基盤」と定義されている。文化、環境、法制度、職場風土はイノベーションの創出に間接的にかかわっているため、ここではイノベーション創出に直接かかわる、組織、枠組み、チームなどと呼ばれる「場」を取り上げる。すなわち「場の雰囲気」とか「プロジェクトの場で」といった文脈で論じられる場である。イノベーション創出に直接かかわる場は、様々な課題やニーズに対する共通の問題意識を持って人々が集まり、コミュニケーションを行い、相互に理解し、共同してイノベーションを創出する枠組みを指すといえる。

イノベーションを創出するために組織が形成されるとそこに場も形成される。「場」自体は組織よりも広い概念であり、例えば孤立して研究してい

るエンジニア同士が学会の「場」で意見を交換し、ついにイノベーションに到達する場合もあり、この場合には明瞭な組織は形成されていなくとも「場」が機能しているといえる。しかし、ここではこのような場合はひとまず置き、イノベーション創出のために組織とともに場が形成される場合に絞って論じる。

場の形成には経営サイドからのように外から仕掛けられる場合と集まったメンバーが自発的に形成する場合とが考えられる。いずれにしても「何をしたいのか、何を作りたいのか」「何のためにあるのか」という問いかけがベースになって、集まったメンバーの間に場が形成される¹⁴⁾。場ではメンバーが時間と空間と関係性を共有していることが必要である。そして、決まった部屋などの物理的スペース確保、用語の共通化、メールなどコミュニケーション手段の共通化といったことを媒介に共通理解、心理的一体感の醸成が進む。具体的には企業内に設置されるプロジェクトや少人数で立ち上げるベンチャー企業が例となる。

組織が形成されると組織のマネジメントが必要になる。「場」の概念を中心に置く組織のマネジメントは日本でよくみられるようなコンセンサスを重視するマネジメントになるが、ほかに西欧社会に見られるリーダーシップを重視するヒエラルキー型のマネジメントもある。それぞれは文化や風土の違いを反映しているもので「場のパラダイム」、「ヒエラルキーパラダイム」と呼ばれている¹⁵⁾。場のマネジメントではリーダーのリーダーシップよりもコンセンサスを重視するので、一体感が生まれ組織は維持し易い。一方、決断のスピードはヒエラルキー型マネジメントより遅くなりがちなので、スピードを重視するためにはメンバー数はあまり多くない方がいい。大きなプロジェクトでは、リーダーの力が制約されることにより決断に時間がかかり、業務の進捗が遅れることが大きな問題となる場合もある。そのようなときはタスクごとにグループを分割して、全体のリーダーシップをとる少人数のチームをグループの上部に置き、2段構成の組織にすることが有効である。いずれにしても決断を下す権限のある組織の人数を少なくしてスピードを維持する。

しかし、場が形成されたからといってMECIサイクルが順調に回るわけではない。MECIサイクルを促進する場であるためには、目的が明瞭で目標が定まっている、メンバーが目標の達成にコ

ミットしている、「なぜこれをやるのか」、「何のためにチームがあるのか」といった本質的議論が日常的に行われている、メンバーの参加、脱退が自由である、といった性格を持っていなければならない。これらの性格を場に与え維持するのがリーダーの役割である。リーダーは必ずしもカリスマ的である必要はなく、役割を果たせば実務的なリーダーもありうる。実際、トヨタでプリウス開発のリーダーはどちらかといえば実務的であった。

場のパラダイムとヒエラルキーパラダイムの違いは、リーダーがかじ取り役をする場のマネジメントと強力なリーダーシップを発揮するヒエラルキーマネジメントの違いにあらわれる。表2に両パラダイムの違いをまとめて示す。

日本では場のパラダイムに属するプロジェクトチームが多く、欧米ではヒエラルキーパラダイムが多い。いずれの場合でもリーダーはメンバーの自立性を高め、高い目標を掲げ、メンバー間の信頼関係を強めてゆかねばならない。そうすることにより場が活性化されMECIサイクルの回転を促進することができる。

イノベーションのマネジメントで最も重要なのはコンセプトの決定である。コンセプトは一般に抽象的であり、すべてのメンバーに具体的な形で共通理解が得られるにはそれなりの時間がかかる。場のパラダイムではメンバー全員のコンセンサスが得られるまでコンセプトを練り上げる。異なった得意分野や専門性をもったメンバーが集まって場が形成される場合にはこの過程が特に重要で、時間はかかるが結果としてコンセプトは全員に共有されるようになる。コンセプトがしっかり共有されるのが場のパラダイムの有利な点である。

る。

MECIサイクルのプロセスでは、コンセプトの決定はMiningプロセスのアウトプットである。そして、Exploring, Converging, Implementingのプロセスで一貫して保持され続けるのがコンセプトである。組織の中でコンセプトが共有され、メンバー全員が目標に向かって共同作業を続けるので、MECIサイクルの回る場をパラダイムの違いによらず、「イノベーションの場」とみなすことができる。製品開発で完結するようなインクリメンタルイノベーションの場合は場で単一のMECIサイクルが回る。単一のMECIサイクルが回る新製品開発の場合を図8のように示すと図8のようになる。

ここではMECIサイクルの中でImplementingからMiningに戻る矢印が欠けている。新製品開発は対象とする製品の商品化で完結し、イノベーションから日常的オペレーションに移行するからである。

一方、社会の変革まで視野に入れたラディカル・イノベーションでは単一の組織でイノベーションが起こるのではなく、多くの組織間での競争、協業を通じてイノベーションが進められるため、MECIサイクルの回りかたも担い手も複雑に

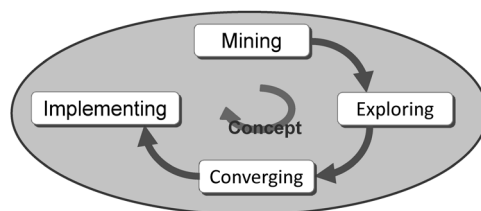


図8. 場のマネジメントによるイノベーションとMECIサイクル

表2. 場のマネジメントとヒエラルキーマネジメント

	場のパラダイム	ヒエラルキーパラダイム
組織	情報的相互作用の集まり	意思決定する個人の集合体
マネジメント	方向を示し、土壌を整え、承認する	決定し、命令し、動機付ける
経営行動の焦点	場の生成と舵取り	システム設計とリーダーシップ
マネージャーの役割	流れを見ながら舵を取る 部下に任せ、時に自ら決断する	先頭に立ってリードする 中央に情報を集め、自分で決定する
メンバーの役割	仕事の細部は自分で作る 想定外は周りと相談しながら自分で動く	与えられた仕事を遂行する 想定外事項は上司と相談して決める

なり、コンセプト自体も単純ではなくなる。ラディカル・イノベーションではスパイラル的に回る根本的エンジニアリングの視点が必要になる。根本的エンジニアリングの考え方ではMECIはImplementingで完結せず、次の潜在的課題を探すとされている。そして、Implementingが再びMiningにつながる時、それは同一平面ではなく、新たにコンセプトが創出され別の平面で新たなMiningに飛躍する。この飛躍はImplementing—Miningの過程だけでなく、他のどのプロセスからも新たなMiningへの飛躍が生じうる。それぞれの平面はイノベーションの場を形成する。そして、多くのイノベーションの場を包括するラディカル・イノベーションの場も考えられ、これを根本的エンジニアリングの場と呼ぶことができる。これを図示すると図9のようになる。

例えばコンピュータでは、真空管式のENIACに始まり、メインフレーム、ミニコン、ワークステーション、パソコン、ネットワークコンピュータ、タブレット、携帯と変遷する過程で数限りないMECIと飛躍が担い手を変えて実行され、最終的に社会そのものの仕組みを変えるコンピュータという概念のラディカル・イノベーションが実現して、現在もイノベーションは継続している。このようにいくつものMECIサイクルが回る場を全体として根本的エンジニアリングの場と呼ぶと、この場は単一の組織としてマネジメントされているわけではないにしても一定の問題意識が全てのメンバーに共有されているといえる。そして、この問題意識、あるいは共有しているコンセプトに

よってイノベーションの方向が決まることになる。

以上のように、根本的エンジニアリングの概念によって、継続的に展開するイノベーションを包括的に理解することができ、根本的エンジニアリングの場を研究することによりイノベーションの仕組みを明らかにでき、イノベーションを実現する方法論を体系化することが可能になる。

3. イノベーションに関する既存の考え方 (先行理論、先行研究)

前章において、筆者らが新に提唱する根本的エンジニアリングについて、そのコンセプトを説明した。この根本的エンジニアリングは、既存のイノベーションモデルに較べて、どのような点において特徴を有するのかを明らかにするために、本章では、既存の主要なモデルを概観することとする。

3.1 シュムペーターの新結合論

シュムペーターはイノベーション理論の古典とされる「経済発展の理論」¹⁾において、「生産」を「技術的にも経済的にも、生産とはわれわれの領域内に存在する物および力を結合することにはかならない」とし、「発展」を新結合の遂行であるとしている。ここで彼がいう「発展」は、小さな歩みの連続によって旧結合から新結合に到ったものではなく、非連続的な変化によるものであり、その例として、馬車から鉄道への変化を挙げている。このような定義の下では、インクリメンタル

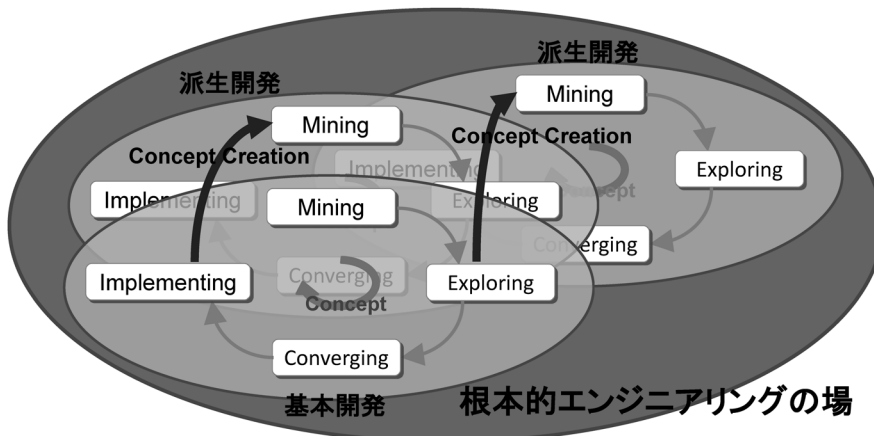


図9. 根本的エンジニアリングの場とMECIサイクル

な改善は技術革新の範疇には入らないことになる。因みにシュムペーターは、革新のイニシアティブは一般的に生産の側にあるとしている。デマンド・プルではなく、テクノロジー・プッシュであるということである。当初、シュムペーターはイノベーションという語は用いていなかったが、彼の言うところの新結合は今日というイノベーションに相当すると考えてよい。革新をこのように定義した上で、彼は新結合の型として以下の5つを挙げている。

- ①新しい財貨の開発
- ②新生産方式あるいは商品の新しい商業的取り扱い
- ③新販路の開拓
- ④原料、半製品の新供給源の獲得
- ⑤新組織の実現（独占的地位の形成あるいは独占の打破）

なお、①の「財貨」は理工学系の人間には分かりにくい表現であるが、「新製品」と読み替えてしまうと、「新サービス」等をイメージし難くなるため、より大きな概念をあらわすものとして、そのまま「財貨」という語を残すこととした。

3.2 リニアモデル

リニアモデルのリニアとは、数学でいうところの「線型」を意味するものではない。図10に示すように、イノベーションは基礎研究に始まり、応用研究、開発、生産、マーケティングといった順序で直線的に続く一連の活動の上に成り立つものであるという立場をとる。このような考え方からリニアモデルと呼ばれるようになった。イノベーションのスタートが基礎研究にあるとするわけ

あるから、その結果、得られる原理、概念といったものがすべてのイノベーションの基であるとして、これらに重きを置く。

リニアモデルの考え方は、ヨーロッパに淵源があるが、これを信奉して基礎研究の充実を訴えた人物として、米国の科学政策家、V. ブッシュを例に引くことができる。ブッシュは、ルーズベルト大統領の諮問に答える形で、1944年11月に戦後の米国の科学研究のあり方について、「科学、限りなき地平」と題する論文¹⁶⁾を書いた。少し引用が長くなるが、リニアモデルに依拠するイノベーションのあり方を明確に示しているのので、以下にその概要を示す。

戦後に完全雇用を実現し、国民の生活レベルを上げるために、よい製品とサービスを導入しなければならない。単に以前と同じものを作り続けるのでなく、国際貿易市場で先んずるために、新しい魅力的な製品をつくり、それを安く売る、というのでなければならない。そのためには、新しい科学的知識の絶えざる生産がなければならない。完全雇用というわれわれの目標を実現するには、質の高い科学研究をいっそう充実することが不可欠である。

基礎研究というものは実際の応用を意識してなされるものではない。そこから得られるものは、一般的な知識であり、自然と、その法則に対する理解である。基礎研究のみで上記の課題がすべて解決するわけではないが、基礎的な科学研究が長い間等閑に付されると、製造業の発展の停滞となって返ってくる。基礎研究は新しい知識を生む。科学的資産を与えてくれる。実際の応用の知恵を引き出すことのできる宝庫を形成する。新しい製品、新しいプロセスは完全な最終の姿を以て現れるわけではない。それらは新しい原理、新しい概念の上に築かれるものであるが、その原理・概念は純粋科学領域における、辛苦を伴う研究によってこそ発展させられるものである。今日では、基礎研究が技術発展のペースメーカーであることが、以前にも増して真実味を帯びてきた。19世紀に、米国の機械技術は格段に進歩したが、それはヨーロッパの基礎的な発見に大きく依存したものであった。しかし、基礎的な科学知識を他国に頼り続けるような国は、いかに技術が優れていても産業の発展は遅々とし、国際貿易市場における競争力は弱いものとなる。

この基礎研究を担う役割は、大学や研究機関が

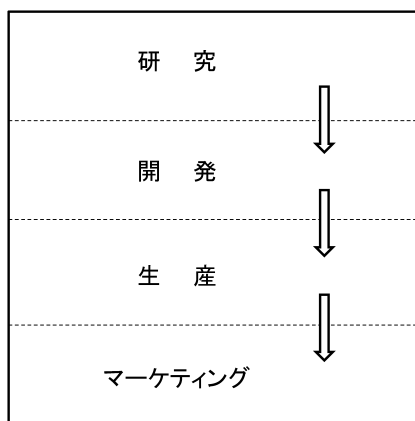


図10. リニアモデル

負っている。このような研究機関は、その伝統に加え、基礎研究推進上の固有性によってすべてが評価される。このような研究機関では、科学者は、因習、偏見、商品化といった、科学研究にはマイナスとなるプレッシャーからは比較的自由的な雰囲気の中で働けるようにすべきである。また、新知識の多くは、従来信じられていたことや行われていたこととは異なることを提案する傾向があるゆえに必ず反発を呼ぶものである。したがって、科学者には知的自由はもちろんのこと、一体感、安心感をも与えなければならない。これらすべての要因は、新しい知識を開拓する上で極めて重要である。基礎研究のセンターとして効果的に機能する上から、これらの研究機関は強く、且つ健全でなければならない。第一級の科学者を教育者として、研究者として惹き付けるような魅力をもっていなければならない。

以上にみるようにブッシュは、宇宙の原理、自然の摂理を追求する科学研究を、国の盛衰を左右するものとして位置づけ、その基礎研究の推進母体として大学を挙げている。論文の後段では、ファンドの設置など具体的な方策も提案している。リニアモデル（図10）は今日ではほとんど顧みられることはなくなった。しかし、それはイノベーションの実態を反映していないということであって、底流にある基礎研究の重視、科学研究振興姿勢は現在にも通ずるものがある。

3.3 クラインモデル

スタンフォード大学教授のS.Jクラインが1980年代中葉に提唱したもので¹⁷⁾、イノベーションはリニアモデルのように直線的に進むものではないとしている。当時は日本の製造業が旭日昇天の勢いにあり、日本の強さの裏にあるものを読み解こうとする研究の中で、得たモデルといってもよい。ブッシュと異なり、イノベーションのプロセスで、科学よりも技術を重視している。それは、以下の表現にみることができる。

「生産手段の改善」が、価格、品質、顧客ニーズへの対応など、すべての面で優位に立つカギとなっていた。

「技術的知識」はしばしば「科学的知識」よりも劣るものと考えられ、ときに無視されることもあった。しかし、工業化時代に市場で勝つためには、技術的知識の方が、科学的知識よりもはるかに重要である。

このような認識を背景に生まれたクラインモデル

は図11¹⁷⁾のようなものである。この図で、C-C-O-Iの中央の連鎖を、クラインは「通常のイノベーションプロセス」として扱っている。

ここでは「市場発見」から始まり「総括設計」、「詳細設計」、「再設計」を経て「販売」に到るプロセスが描かれており、これを「通常のイノベーションプロセス」とするところに、クラインのイノベーションに対する考え方を窺うことができる。Fとfは情報の流れのフィードバックを表す。Fは新製品に関わる重要情報であるということで区別しているが、fは中央連鎖の各機能（部門）での成果を次の機能（部門）に渡す際に必要な情報の授受で、Fは営業部門からの企画部門に対する新製品企画に役立つ市場情報とみてよい。

図から分かるように、このモデルでは、「市場発見」から始まる一連のプロセスの中に「研究」、「科学」といったファクターは出現しない。「設計」と「生産」、「販売」のみである。しかし、「研究」、「科学」のファクターを無視しているわけではなく、一連の流れの中で、「科学」で蓄積された知識を使い、必要があれば、プロセスの中で生じた課題をとりあげて「研究」も行う、ということになっている。イノベーションプロセスの主流を構成する「設計機能」と、これをサポートする「研究機能」の間に「知識」という、機能ではない、イノベーションに関わる全ての機能で生産された情報を配し、この「知識」を通じて、両機能が相互作用しながら、イノベーションを具体的に進め、且つ次のイノベーションに備えた「知識（情報）」を充実していく、と解釈しているところに、このモデル

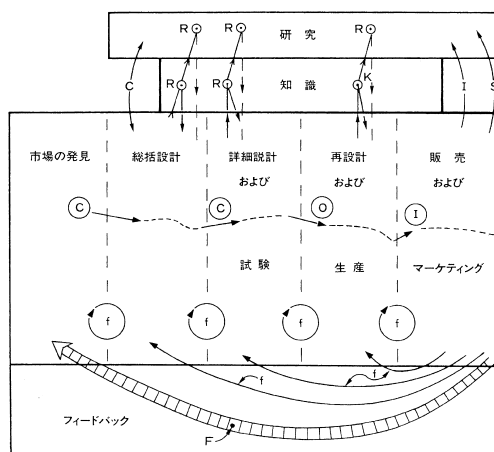


図11. クラインモデル

の特徴がある。クラインが明言しているわけではないが、この場合の「研究機能」は同一企業内に属するものである必要はなく、大学でのものであり、国立研究機関のものであってよいと考える。因みに、図の中で、Rは研究機能であり、Kは知識、Iは生産部門／企業から研究部門／大学等の研究機関への情報の流れ、Sは生産部門／企業から研究部門／研究機関への長期にわたるサポートを表す。Cは企業からの問題提起と、「研究」で生まれた創造的アイデアとの相互作用を示す。

クラインはこのモデルの特徴をリニアモデルと比較しながら、以下のように記述している。リニアモデルの特徴を炙り出してもいるので、煩雑さを厭わずに記すこととする。

- ①リニアモデルは唯一のプロセスであるのに対し、クラインモデルは5～6個のプロセスを含む。
- ②リニアモデルは単一の流れでフィードバックをもたないが、クラインモデルはFとfで表されるフィードバックループをもっている。
- ③リニアモデルでは研究がイノベーションプロセスの導入部を独占しているが、クラインモデルでは、研究だけが出発点とはなっていない。
- ④リニアモデルでは研究はイノベーションの開始時のみであるが、クラインモデルでは開始時のみならず下流でも必要に応じて随所に現れる。
- ⑤リニアモデルはイノベーション源として最新の研究成果のみ採用し、蓄積されている知識や思考の枠組みといったものは取り上げていない。

クラインモデルは、クラインがイノベーションに関する自らの研究結果の最終の姿として明確に示したものであるが、リニアモデルは、ブッシュはもちろん、他の特定の研究者が提唱したものではない。モデル自体も単純なものである。科学重視に基づくイノベーションの考え方を根底に置けば、だれが考えてもこうなる、といった側面もある。ブッシュ自身、実際問題の解決には、自然の摂理に関する科学知識の応用を図る応用研究が必要であることに触れている。上記はクラインの、リニアモデルに対する解釈に基づくものであり、当然、別の解釈もあり得ることを念頭に置いて読むべきである。

ともかく、クラインは、くどいほどにイノベー

ションにおける「技術」の重要性を強調しており、イノベーションのほとんどは技術に基づくものであり、「技術」に大きな地位を与えることを妥当としている。そうして、日本のイノベーションが「技術」に基づくものであるからと言って、決して軽視すべきでないと警告を発している。

3.4 スパイラルモデル

原子爆弾の開発以来、イノベーション発現のプロセスは、リニアモデルで説明されてきた。すなわち、基礎研究、開発研究、製品化、流通（市場化）のプロセスを経て、イノベーションが生じるというものであった。原子爆弾においては、原子核物理学の知見から核分裂の開発研究が行われ、原子爆弾のプロトタイプが試作され、砂漠での実験の後、第二次世界大戦において、広島、長崎に投下された。

しかし、近年のイノベーションは、必ずしもこのようなプロセスをたどらない。児玉文雄は、新たなモデルとして、スパイラルモデルを提唱している¹⁸⁾。すなわち、

- ①イノベーションへの起点は、必ずしも基礎研究から始まるとは限らない。開発研究から始まることもある。製品化のプロセスから生まれることもある。生産方法のイノベーションなどがこれに当たる。また、市場化の中で、新たなニーズが発見され、研究に結びつくものが出てきているという。
- ②こうした、4つのプロセスは、起点がさまざまであっても、順番は変わらず、次々とプロセスをたどって、次第にポテンシャルを挙げ、サイクルではなく、スパイラルに昇華してゆく。このプロセスを図12に示す。

3.5 SECIモデル

SECIモデルは野中郁次郎が提唱したものであ

Spiral Model:

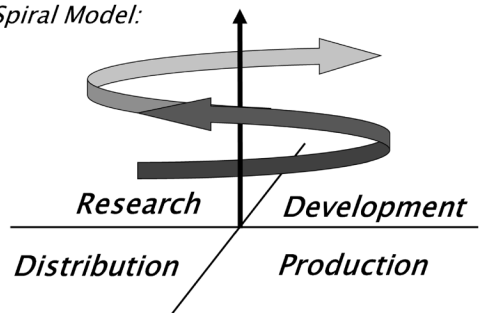


図12. スパイラルモデル

る¹⁹⁾。

人間の使っている知を形式知と暗黙知に分ける考え方がある。形式知は文字に書き下すことのできる知であり、暗黙知は頭の中にだけ存在して形で表すことのできない知である。暗黙知は、経験に基づくもので、ノウハウなどがこれに当たる。知の処理のプロセスは並列処理が可能である。多くの知は、アナログで表現される。一方、形式知は、記述することのできる知で、ルールやマニュアルなどがこれに当たる。処理の多くは、順次行われる。記述できることから、デジタルの知といえることができる。

これらを、地図に例えて表現することがある。暗黙知は、地、すなわち背景であり、形式知は、図、すなわち表現できる対象を示す。イノベーションを起こすには、それぞれのタイプの知がその中でとどまっていはいけな。暗黙知を形式知に変換し、形式知を暗黙知に変換し、これらをスパイラルに高めてゆくことが必要である。

これをモデル化したのが図13で、ある人の暗黙知を他の人に伝えるには、見習、アプレンティスなど、人と人との交流が必要であり、このプロセスを、社会化(Socialization)と名づけた。暗黙知を形式知に変換するには、外部化(Externalization)のプロセスが必要である。暗黙知を有する人本人が記述するか、その人に聞き取ることが求められる。形式知から他の形式知に書き換えるのは、主に組み合わせ(Combination)のプロセスとなる。形式知から暗黙知への変換には、内部化(Internalization)が必要で、思いを込めて記述したものを読むことなどが求められる。

これら4つのプロセス、Socialization, Externalization, Combination, Internalizationの頭文字を

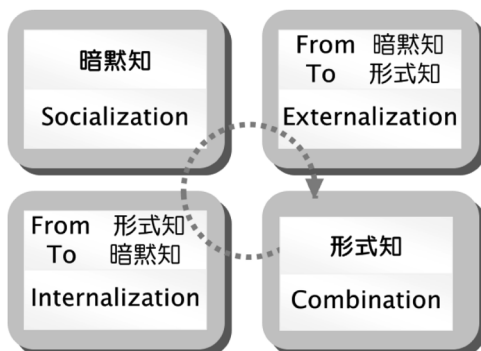


図13. SECIモデル

としてSECIモデルと名づけた。発音はイタリア語に近く、セキと呼んでいる。

3.6 根本的研究(ラディカルリサーチ)

PARC(パロアルト研究所)のM.ステフィックは妻のB.ステフィックとの共著の中で根本的研究(Radical Research)という概念を提唱している²⁰⁾。ステフィックによれば以下ようになる。

イノベーションは新しい知識を生み出す基礎研究からスタートする。新しい技術を創る応用研究がこれに続き、さらに製品開発につながっていく。これを図示すると図14²⁰⁾のようになる。ステフィックは図の点線で示した部分をブレイクスルーゾーンと命名して重要視している。ステフィックは基礎研究、応用研究に次ぐ第三の研究形態を根本的研究であるとしている。そうして、20世紀になされた最も生産的な研究のかなりのものが、基礎研究でもなく応用研究でもない、この根本的研究であったとしている。この研究はひとつの問題を追求して根源にいたる、ことを特徴とするもので、ブレイクスルーへの近道である、とステフィックはいう。知識の創出を目的とする基礎研究ではないが、障害があると、それを回避しようとする応用研究とも異なる。根本的研究では、障害物を研究の焦点にする。その打開策を求めて多くの専門領域から人が集められる。新しい知識を創るためにエネルギーが集中されると言う点では、基礎研究に似ている。しかし、単なる知識創出のためでなく、ある問題の打開策のためであるところが、スタートのところから基礎研究とは異なっている。困難な問題を根源まで掘り下げることにより、従来になかった解決法を手にする。これがブレイクスルーであるとステフィックはいつている。

根本的研究の中核をなす二つの問は、「何が必要か?」と「何が可能か?」である。前者は応用

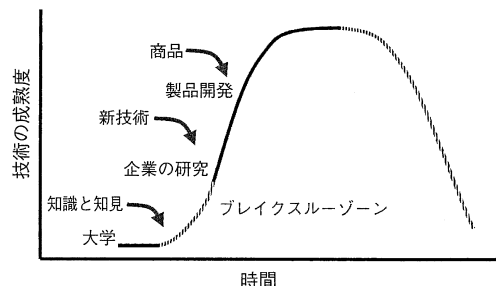


図14. ブレイクスルーゾーン

研究、後者は基礎研究に対する問であるが、根本的研究は二つの問を同じ土俵に上げることが可能とする。ブレイクスルーを生み出すのは、この二つの問の間に起こる衝突や相互作用が効率よく働くためである。

3.7 イノベーションの5つの原則 (Five Disciplines)

今までに述べてきた理論やモデルとは趣を異にするが、イノベーションについて米国の研究機関 SRI が出している「5つの原則」が面白いので紹介する。SRI はイノベーションを「企業が持続的ビジネスモデルの下で、顧客にとっての新しい価値を創出し、提供すること」と定義している。この定義に基づき、同研究所はイノベーション創出の要諦として以下の5つの原則を挙げている²¹⁾。

①顧客と市場の重視

単なる興味本位の研究でなく、重要顧客のニーズを重視することにより、顧客、パートナー、エンドユーザー、市場に対して有益な結果を提供できる。

②価値の創出 (NABC 法)

問題解決の構想を練るとき、SRI は顧客と密に連携し、彼らのニーズを明確に描き出す。そうしてこのニーズを具現化する、ユニークで他の方法よりもすぐれたものを提案する。次にこの方法に依った場合のコストパフォーマンスについて検討し、何故他の競合する方法と比べて優れているかについて定量的に見積もる。このニーズ (Needs)、方法 (Approach)、パフォーマンス (Benefits)、競争力 (Competition) を考慮した方法 (NABC 法) は、顧客にとっての最高の価値が何であるかを明確にし、具現化法を創出し、分かりやすい形で描き出す、といったことを速やか行うのに役立つ。

③イノベーションチャンピオンの存在

どのプロジェクトにも情熱あふれる推進役がいて、この人物が価値創出プロセスを引っ張っていく。それぞれのプロジェクトの成功、失敗は、このような推進者 (チャンピオン) がいるかいないかに懸っている。SRI では「チャンピオンなくしてプロジェクトなし」である。

④イノベーションチームの設置

チャンピオンの最初の仕事は生産性に富むチームを組織することである。多分野の専門家で構成されているこのチームは、全 SRI の優秀な頭脳、顧客、パートナーを取り込んでプロジェクトを推進する。SRI は顧客のニーズに沿うべく、この数

十年 (十年以上) 最適な協力者とアイデアを糾合して、オープンイノベーションを開拓してきた。

⑤組織的連携

SRI のイノベーションチームは、最も価値ある成果を確実に提供すべく、顧客やパートナーと一体となって課題に対処している。SRI は、イノベーションのベストプラクティス遂行と、われわれの仕事の不断の改善についてリーダーシップをとることを自らに課している。

以上が、SRI が所是とするイノベーションの五原則である。SRI 自らがイノベーションを推進するにあたっての原則であるかの感もあるが、同所がイノベーション推進の一般論として提案しているとして読んでも通用するものである。

4. イノベーション事例の分析

この章では、3で紹介した従来のイノベーションプロセスのモデルでは説明の難しい過去のイノベーションの事例を取り上げ、根本的エンジニアリングでの説明を試み、その実践性を具体的に明らかにする。取り上げた事例は、いずれも我が国発のイノベーションであるウォークマン、スタッドレスタイヤ、青色発光デバイス、オンデマンドバスである。

4.1 ウォークマン開発における MECI と場

MECI サイクルはイノベーションを実現する自然な過程であってどのようなイノベーションも MECI サイクルに沿って進展すると考えられる。一方、イノベーションは誰でも、容易に、日常的に実現できるものではない。それは、MECI サイクルのいずれかのプロセス内か、それらの間に越えがたいハードルがあるからで、これらハードルを越えることによってイノベーションが実現できる。具体的にどのようにイノベーションが進展し、実現できたかを、ウォークマン (図 15) を例にとって見てみることにする。

ウォークマンの開発はコンパクトカセットの普及と、歩きながら聴けるステレオ・ウォークマンの開発の大きく2段階に分けられる。コンパクトカセットが普及したことで、重かったテープレコーダーが簡単に持ち運びできるようになり、さらに大きな発想の転換によってウォークマンが実現できた。これらの開発が MECI のサイクルに沿ってどのように進んだかを当時の経緯から調べてみる²²⁾。



図15. 初期のウォークマン

(1) コンパクトカセットの普及

Mining：潜在的課題，ニーズは1950～1960年代に普及していたオープンリールのテープレコーダーを使いやすくするという，メーカーならごく当たり前の発想で，一般消費者のニーズとも合致していた。

Exploring：次に，必要な解決策の領域の俯瞰的把握・創出のプロセスは，使いやすさを実現する「技術の選択」になるが，このことに関しては1958年にアメリカのRCAが「カートリッジ」に収めた磁気テープを考案し，それに刺激されて世界中で，ケースに収めた磁気テープを開発し始めた。実現するうえで技術的に決定的に困難な問題はなかったと思われる。アイデアがあれば実現は容易というべきか。しかし，オープンリール方式とは使いやすさが格段に違い，子供や老人でも操作ができる大きなイノベーションにつながった。

Converging：科学・技術分野の融合については詳しい記述がない。カートリッジ試作，商品化におもな技術的困難はなかったためと思われる。

Implementing：標準化というハードルがこのプロセスにあった。多くのカセットが開発される中で，1963年ドイツのグルンディツヒ社からソニーに「DCインターナショナル」というカセットを規格化しようという提案があった（ソニー以外へも提案はあったと思われる）。続いて，オランダのフィリップス社より「DCインターナショナル」より少し小さい「コンパクトカセット」の提案があった。フィリップスは既に発売に踏み切っていた。ソニーとして小型という点からコンパクトカ

セットを選びたかったが，フィリップスは1個25円のロイヤリティを要求してきた。ロイヤリティがあつては世界に広く普及させることはできない。そこで粘り強く交渉を続け，ついに特許の無償公開にこぎつけた。標準化が終わればImplementingは完了である。カセットレコーダーは1966年ころから各社で発売され始めた。当初は音質が良くなかったので学習用に導入されたが，音質が改善されハイファイサウンドを録音再生できるまでになった。まだオープンリールの時代であった1965年の日本の磁気テープ生産は35億円であったのが，1981年にはオーディオテープだけで1,300億円になった。

(2) 歩きながら聴けるステレオ・ウォークマンの開発

Mining：1978年ころ，ステレオ型のカセットレコーダーの普及が進んでいたが，ポータブルタイプはまだイヤホンを使ったモノラル型のみであった。ソニーは1977年にモノラル型の小型テープレコーダー「プレスマン」を発売していた。1987年にはポータブル型のステレオ型録再機を発売し，井深大は日頃から海外出張にこれを持参していたがやはり「重くてかなわない」という思いであった。そこで，海外出張を控えたある時，当時副社長の大賀典雄にプレスマンをステレオ再生専用機に改造してくれないかと持ちかけ，依頼を受けた事業部長は早速改造し，井深はこれが大変気に入った。帰国後，井深はそれを盛田昭夫に紹介すると盛田も気に入り早速商品化の話になった。コンセプトは「一日中音楽を楽しんでいたい若者の潜在的願いを満たす再生専用ステレオプレーヤー」。ターゲット顧客は学生で，価格は学生に手の届く33,000円に決めた。しかし，カセットレコーダーから録音機能を取り去り，再生専用とするというコンセプトでは「絶対に売れない」との意見が大半を占めていたので，井深，盛田がやろうと決めなければできない話であった。これが，Miningプロセスである。Miningがイノベーションのキーである場合は特別な感性，条件が必要とされるようだ。

Exploring & Converging：これらのプロセスでのポイントは，偶然に超軽量，小型ヘッドホンが別の部隊で開発されていたことで，歩きながらステレオを楽しむというウォークマンのコンセプトに合致した。そのほかは音質の改善など一般的な技術開発はあったものの特に障害となる問題はなかつ

た。

Implementing：広告宣伝の最初はマスコミ発表であるが、マスコミの反応は冷やかでほとんど無視され、発売当初1か月の売り上げはたった3,000台というありさまであった。そこで、営業スタッフや新入社員が山手線、銀座の歩行者天国などでデモし、通りがかった人にヘッドホン差し出して聴いてもらった。評判は口コミで徐々に広まり、初期ロット3万台は発売翌月で売り切れてしまった。その後は増産に次ぐ増産で、ヘッドホンステレオという新たな市場を作り出し、発売10年で累計5000万台、13年で1億台を達成した。

場：東京通信工業の設立趣意書²³⁾には、「真面目なる技術者の技能を、最高度に発揮せしむべき自由闊達にして愉快なる理想工場の建設」が会社設立の目的であるとしている。その理念を受け継ぎ独特の職場風土が醸成され、MECIのプロセス展開を支える場が成立していたからこそ、ウォークマンは可能になったといえよう。

4.2 スタッドレスタイヤの開発におけるMECIサイクル

雪国であるならば、タイヤの雪氷への対策は必須である。その有力な解決策としてスパイクタイヤが導入された。これが、交通量がさして多くない地域であれば問題は顕在化しなかったはずである。しかし、日本のように寒冷地帯に大都市が存在する地域ではそうはいかなかった。冬の間は重宝するタイヤであっても、春先になり雪どけの季節を迎えると、スパイクタイヤが路面の損傷をもたらし、粉塵が発生するのである。仙台市において、この問題が顕著であった。タイヤ業界は調停により、1990年末でスパイクタイヤの製造を中止することとした。

こうしてスタッドレスタイヤの開発がスタートしたのであるが、この事例については筆者らの既報¹⁰⁾に掲載されている。その後の筆者らの検討の結果、その開発プロセスをMECIサイクルに当てはめる解釈上、若干の変更が必要であることを見出した。以下に、この検討結果を踏まえた上での、スタッドレスタイヤのこの開発のMECIサイクルについて以下に記す。

Mining：冬季になってもタイヤを取り換えずに滑らないタイヤが利用できるという潜在的ニーズに対応しながら、スパイクタイヤがアスファルトを削りとることにより発生する粉塵公害問題への対応を迫られた。

Exploring：対応策としてスパイクを用いないスタッドレスタイヤ開発することになったが、雪氷上での駆動力確保が大きな課題であった。スタッドレスタイヤの雪氷上の駆動力は、雪柱せん断力、ゴムの摩擦力、エッジ効果の合計で表せる。一方、路面上の凍結した氷はスタッドレスタイヤのゴムでピカピカに磨かれて摩擦力が著しく減少する。もうひとつ、さらに事態を悪くするのは0°C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）が乗った状態が出現する場合（ハイドロプレーン現象）であり、全く摩擦がなくなってツルツルの状態になる、といった問題もある。

Converging：そこでタイヤメーカーは摩擦力向上のための種々の研究を行った。その対策は次のようなものであった。すなわち、凝着・粘着摩擦力、掘り起し摩擦力、排水・親水摩擦力といった摩擦力の向上、特殊ゴムの採用、特殊配合によるミクロ的排水、ゴム質の改善（低温でも軟らかさを保持することと、接地面積確保のためにトレッドブロックが倒れないような硬さを保持することの両立）といったことの他に、パターンによる摩擦力の向上も図った。路面とタイヤ表面との間に発生した水膜を破壊し、掘り起し摩擦を高めるために、パターンのブロック・サイズのエッジ効果を向上させるのである。これらの詳細については参考文献²⁴⁾に記してある。

Implementing：このようにして開発したスタッドレスタイヤは、その成長過程において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、結果として大きな市場を築いた。

また、この開発を通じて低温性能に対する知見を深め、タイヤ設計の幅を広げることができた。たとえば、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。つまり氷上のゴムの摩擦研究、氷の構造研究や氷上の水の発生原因などの研究が日本において進んだ。一方材質に対する開発が進んだ。発泡ゴムの均質さのための配合上の進化もあった。これらは新規素材開発力の発達という大きな側面もあった。

以上の説明を図示したのが図16である。

4.3 青色発光デバイス開発における障害

青色発光デバイスのイノベーションもトランジスタ同様大きく3段階に分けられる。

(1) 青色発光ダイオードの開発

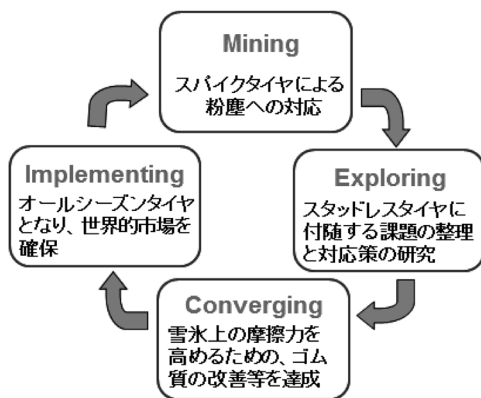


図16. スタッドレスタイヤ開発のMECIサイクル

- (2) 青色半導体レーザーの開発
- (3) 白色LEDの開発

これらの開発がMECIのサイクルに沿って進んだ過程を文献²⁵⁾から得られる内容から調べてみる。

- (1) 青色発光ダイオードの開発

これは窒化ガリウム (GaN) の単結晶を用いて発光ダイオードを作製するまでである。

- 1) 潜在的課題、ニーズは1970年には既に顕在化されていた。赤、黄緑の発光ダイオード(LED)が1960年代に実現されており、その長寿命性が広く受け入れられていたため、より短波長の発光ダイオードが安価に実現できれば色の実現範囲が広がり、需要が大きいのはだれの目にも明らかだった。それで開発競争は純粋な技術的関心からもビジネスの観点からも1970年には始まっていた。
- 2) しかし、必要な技術の創出といえる、GaNの単結晶成長は困難を極め、挑戦して撤退する研究チームが続出した。1985年に名古屋大学の赤崎勇・天野浩が初めて単結晶成長に成功した。日本の大企業の多くはGaNの代わりにセレン化亜鉛 (ZnSe) を用いる方法に注力したが、寿命が短いという問題が解決できずZnSeを用いるLEDはすべて失敗した。
- 3) 技術の融合という面では、ダイオードを作るのに不可欠なp型GaNの実現、青色を発光するのに不可欠なGaInNの混晶結晶作製が進められなければならなかったが、これらは従来の単結晶作製技術を融合させることにより実現できるもので、多くの研究者により開発がすすめられた。その結果、1992年日亜化学の

中村修二によって青色LEDが開発された。

- 4) 青色LEDは強力な特許により日亜化学が当初は独占的に供給した。その後他社にも実施権を許諾し、多くの企業が参入した。次の課題は青色半導体レーザーの実現となった。

青色LEDの開発でも多くの研究者が学会等で発表しあい、Convergingのプロセスが進んだ。

- (2) 青色半導体レーザーの開発

青色半導体レーザーの需要はデジタルHD (いわゆる地デジ) の普及促進とともに、DVDの大容量化という形で1990年代初めから将来に向けての展開としてすでに顕在化していたといえる。従って、青色LEDの開発直後から激しい開発競争が起こった。

技術的には、量子井戸構造の実現、貫通転移の大幅な低減による結晶の高品質化が必要で、やはり日亜化学の中村らが1997年室温連続発振に成功。

Exploring, Convergingのプロセスは従来からある開発手法で進められている。また、Implementationはブルーレイディスクへの応用として進められた。

- (3) 白色LEDの開発

青色LEDの実現に伴ったイノベーションと呼ばれる製品はライトアップ用青色ランプでも、ブルーレイ用のピックアップでもなく、白色LEDとそれを応用したLED電球ではないだろうか。白色LEDの開発でもMiningプロセスが重要であったのは間違いないが、難しいプロセスではなかったと思われる。白色LEDの需要がありそうなのはだれの目にも明らかと思われるからであった。

白色LEDは青色LEDに蛍光体を塗布して日亜化学で開発され、実際にはカラー携帯に導入されてブレイクしたと言われている。蛍光体が専門の日亜化学ではこのアイデアは容易に思いついたであろう。それでも、LEDに電源回路を加えることで電球として大ブレイクするとまで考えていただろうか。LED電球の需要予測を図17²⁶⁾に示す。

- (4) デバイス分野でのイノベーション

青色LEDが実現できてからあれよあれよという間に白色LEDができ、たちまちLED電球ができた。それが、震災に伴う福島原発事故後の節電に伴って急速に普及しイノベーションと呼ばれる事態になったと考えられる。

青色LED開発初期からLED電球を大きな潜在需要として当初から課題に挙げていたかは疑問である。白熱電球も電球型蛍光灯もコスト競争になっていたからである。結果的にMECIは複数回

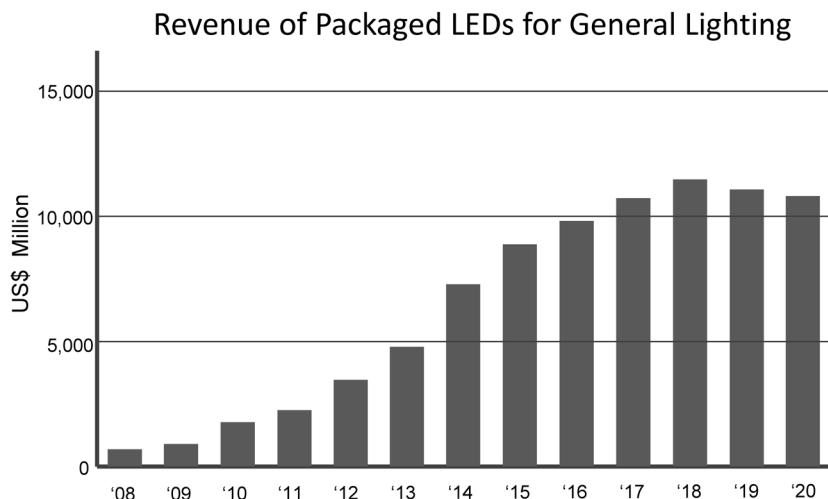


図17. LED電球の需要予測

回ってイノベーションが起こったように見えるので、MECIを回す主体は特定の人ではないので、抽象的に「知識」と考えると分かりやすい。まとめると；

Mining：このプロセスはニーズが開発前に顕在化していることが多いため省略されたような印象を受ける。トランジスタでは真空管に代わる信頼性の高い増幅素子が要求されていた。青色LEDではLEDの色の範囲拡大に需要があることは明らかと思われていた。

Exploring：圧倒的に困難で不可能とさえ思われることがあるため、限られたメンバーで開発が進められることが多い。トランジスタはBell研で、青色LEDは電機メーカー各社で開発がすすめられたがいずれも少人数のグループだった。また、開発者は課題に集中して他の応用には目が向かないことも多い。

この段階で、異なった分野への応用が模索される新たなMiningプロセスが起こることがある。青色LEDから白色LEDへ、白色LEDからLED電球へ、がその例である。しかし、新しいニーズに対するExploringの担い手は当初の担い手とは異なるのがふつうである。

Converging：実現可能性が判明すると知財権保護を前提に情報は学会などで共有され、Convergingプロセスは多くのチームで競争して行われ、開発リソースも増えるため急速に進む。いわゆる「寄ってたかって」開発する段階である。ただ、Convergingプロセスの担い手はExploringの担い

手と異なることも多い。

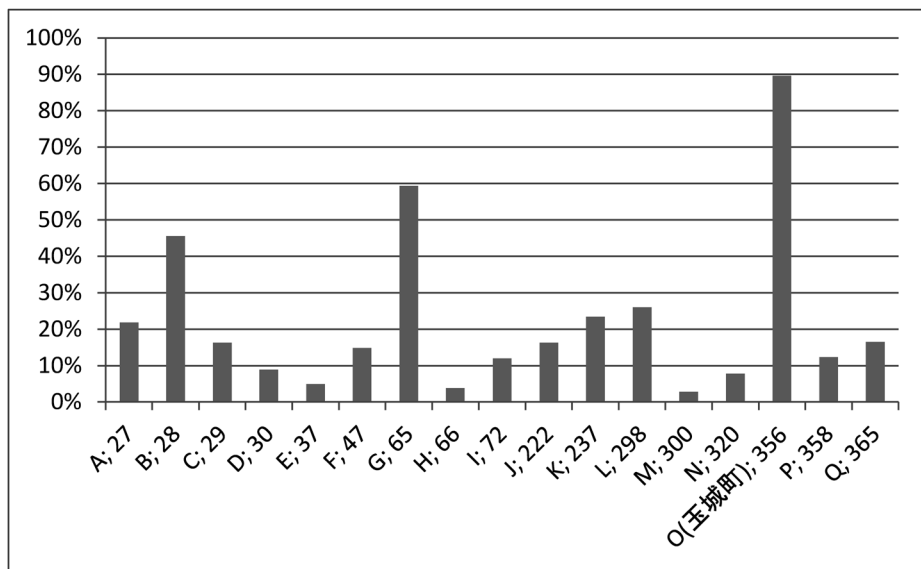
Implementing：もともと、需要が顕在化しているのでImplementingのプロセスは直ちに進められるが、プロセスの担い手は応用サイドすなわちシステム側であり、Exploringの担い手とは全く異なっている場合がほとんどである。

このようにMECIの各プロセスの担い手は次々代わり、ドライビングフォースも異なっているので「知識」が一貫してドライバーを担っていると考えると理解しやすい。

4.4 根本的エンジニアリングから見たオンデマンドバス

利用者のニーズに応じて移動を支援するオンデマンドバスは全国で幅広く展開されているが、その大半は失敗に陥っている。その中で、成功している事例が三重県の玉城町の「元気バス」である²⁷⁾。図18は自治体のオンデマンドバスの乗合率のデータである。右側ほど運行日数が多い。玉城町がOである。玉城町は図抜けて乗合率が高く、地域G、Bがそれに続く。運航日数が多ければ、利用者也増え、棒グラフは右肩上がりになると考えられる。BとかGはその道を歩んでいるのかもしれない。しかし他の多くの地域では、そのような評価はできないデータがここにある。

三重県玉城町は、伊勢神宮のそばにある、人口約15,000人の小さな自治体である。1996年、民間路線バスの大幅縮小を受け、町は翌年、病院や買い物へ行く高齢者のために「福祉バス」という無料路線バスサービスを開始した。しかし路線型で



(横軸のアルファベットは地域名；数字は運行開始後の日数)

図18. 乗り合い率

は点在する住宅地をカバーしきれず、「空気バス」と呼ばれるガラガラ状態が続いた。オンデマンドバスの存在は認知していたが、運行管理のむずかしさから、導入には消極的であった。そのような中で、町の福祉行政の実行部隊である玉城町社会福祉協議会が東京大学のオンデマンド交通研究を知り、町役場の責任者とともに視察、町長は実験的導入を決断する。

ここには、「why→福祉の一環としての移動手段の提供」を意識した町当局が、「what→オンデマンドバス、how→オンデマンドバスの実現技術」を知り、それを社会実装しつつ、大学との連携という「場」を通して、同一のwhyについての新たなwhatを見出してゆくプロセスが見て取れる。

オンデマンドバスにおける成功モデルを定義する際、事業者の観点および利用者の観点が重要と考えられる。まず、事業者の観点として重要なのが乗合率である。乗合率が高いことは乗合が高い確率で発生することを示し、それによって運行の効率を高めることができる。乗り合いを重視しないのであれば、タクシーがあればよい。公共交通サービスを提供する側としては、赤字が許容できる範囲で、タクシーチケットを利用者に提供すればよい。

また、乗合が多く発生することは、移動中の会話が盛り上がりサービスの満足度が高まる、と

いった相乗効果もある。このような効果は、高齢者福祉の手段としてオンデマンドバスを考えると、特に重要である。高齢者が自宅から外出する誘因となるからである。

利用者の観点として「利用者の生活にどの程度深く溶け込んでいるか」という視点が重要である。利用者にとってみれば、オンデマンドバスはこれまでなかった交通機関であり、このような場合、興味本位で数回使ってみようとはするが、定期的に自分の生活の足に位置づけて利用できるようには、なかなかならない。利用者がオンデマンドバスの理念、サービスの仕組みを理解し、自分の生活の中で活用シーンを作り出すようになることが、成功モデルの要因である。

これらの地域において、技術のベースは基本的に同様である。しかしながら結果は大きくばらつく。技術の組み合わせ方 (Converging)、あるいは技術以外の要因の関与 (これもある種のConverging)、さらには社会への実装の仕方 (Implementing) で、結果は大きく変わってくる。制度の設計と運用が、大きく作用するといってもよい。制度の設計の根本はWhyとWhatである。さらにHowが関係してくる。運用はWhatとHowである。

玉城町での現状は、どのようなステップを踏んで実現されてきたか、それを根本的エンジニアリ

オンデマンドバスにおけるMECIサイクル

交通システム → 生活交通システムとしての
オンデマンドバス

- M 柏キャンパスの不便さ解消、空気を運ぶバスの解決
- E オンデマンドバス構想 <2005 卒論>
- C 通信、GPS活用
- I 柏で実装、他地域への展開可能性、規制問題
- M 生活における移動問題の解決 <2007 修論>
- E インターネット経由外部サービスとのリンク
- C アルゴリズム高度化(協調フィルタリング等)、スマホ
- I 規制克服、玉城町での元気バス <2011 博論>

図 19. オンデマンドバスにおける MECI サイクル

ングにそって解釈することができる (図 19)。

はじめ、オンデマンドバス研究開発のニーズは、東京大学の柏の葉キャンパス開設から生じた。新たに建設された柏の葉キャンパス周辺の交通インフラは、ぜい弱であった。その解決手段として、初期のオンデマンドバスが構想された。それが第1段階である。当時必要とした「現存する技術」に高級なものではなく、総合化の研究も、「大学学部の卒論レベル」であった。しかし、その構想を柏市と民間の財団は支持し、第1段階の社会実装が実現した。ポイントは通信技術とGPS技術の融合であった。

第2段階は、いわば修士論文レベルの研究となった。地方公共団体が提供するバスシステムは、路線バスにせよコミュニティバスにせよ、利便性の面でも財政面でも大きな課題を抱えていた。研究室は、柏の成果に着目したいいくつかの地域から支援要請を受け、地域生活に密着した移動問題の解決手段として、社会実装が始まった。その中でインターネットの活用と運行アルゴリズムの高度化、運用実績を踏まえた運行システムの改善を含む経験の蓄積が進むと同時に、オンデマンドバスをなぜ、何のために運行するのか、そのために許容されるコストはどれだけのものか、また社会実装の障害となる規制を含む、運用上の制約条件をどのように克服したらよいのかなどの課題が顕在し、解決の努力がなされることになる。

第3段階はオンデマンドバスの運行主体と、大学研究室、そしてその間をつなぐ第三者組織の効果的機能分担と、何のためのオンデマンドバスなのかを明確に意識した研究開発、そして事業運営が行われるようになる。運行アルゴリズムの一層

の高度化、利用しやすいユーザ端末の実現、利用者と事業者の関係性の強化（ステイクホルダー・エンゲージメント）が図られる。いわば、博士論文のステージである。

多くのオンデマンドバスシステムは、第2段階にある。あるいは第3段階に進みつつある。その中で、三重県玉城町のシステムは第3段階にあり、第4段階の、目指すべき姿と解決すべき課題を、模索する段階にある。

オンデマンドバスが玉城町で成功している理由の一つに、この地域での公共事業の中に元気バスというコンセプトでオンデマンドバスをとらえるような場が存在したことがあげられる。また、これと並行して東京大学の研究の中で、協調フィルタリングなどのオンデマンドバスに向けた技術開発が行われる場が存在したことがある。これらの二つの場がうまく共鳴しあうことで玉城町のプロジェクトが成功している。

5. 今後の課題

本稿では、根本的エンジニアリングの基本プロセスである MECI とそれを駆動するための場について深堀を行った。イノベーション創出のための実践的なエンジニアリングについての検討が行われ、イノベーション成功のためのキーファクターについても見通しを得ることができた。

また、過去のイノベーション事例を分析把握するうえでも、根本的エンジニアリングは有効であることをいくつかの例を通じて示した。今後、継続的にイノベーションを創出する方法論として、根本的エンジニアリングが有効であるとの認識が得られた。

今回こうした深堀を進めてゆく過程で、共著者間での議論のほかに、電気学会、日本機械学会、研究・技術計画学会などの場を通じて、問題意識を持った多くの企業、大学の関係者との議論を深めた。その中で一つの問題にぶつかったのは次のような点であった。エンジニアリングを、大学側では工学ととらえ、技術を細分化し、新たな知を産み出すことがその目的であるとの認識が強い。一方、企業人は、エンジニアリングを技術業^{*5}と

^{*5} 技術業：東京大学名誉教授大橋秀雄氏が使用。日本工学アカデミーニュース、紙上フォーラム「技術者と技術者コミュニティ」、2005-102-8

してとらえ、既存の知を活用して新たな価値を作り出すことと考えていることが分かった。前者では、エンジニアリングを微分としてとらえ、細分化した分野の中で知を深く追及することに重点が置かれている。一方、企業人は、エンジニアリングを積分として考え、既存の知をうまく組み合わせて積み上げてゆくことと考えている。工学と技術業というようにエンジニアリングを分けて扱うのではなく、一つのエンジニアリングとして俯瞰的にとらえるためにも根本的エンジニアリングの考え方が必要である。

今後の展開では、こうした認識に基づき、産学両方に対して根本的エンジニアリングを説明し、理解してもらうことが必要である。産業界に対しては、具体的な分野を取り上げ、根本的エンジニアリングを実践し、潜在課題への取り組みを実施し、イノベーション創出に向かうことを勧奨する。そのためには、幅広い解決策を、既存の制約にとらわれず見出し、実装してゆくことが求められる。一方、大学においては、課題を細分化し知を深めることにとらわれず、幅広く統合可能な解決策に取り組んでほしい。根本的エンジニアリングにより、科学技術のみを対象とせず、芸術、人文科学的アプローチにも対象を広げ、これらを統合・融合する方法についても研究を広げるように啓発を行ってゆく必要があろう。

本研究は公益社団法人日産財団の助成を受けて実施した。

注および参考文献

- 1) シュムペーター (著), 塩野谷祐一, 東畑精一 (訳), 1977.『経済発展の理論』岩波文庫.
- 2) 正式には「昭和31年 年次経済報告」<http://www5.cao.go.jp/keizai3/keizaiwp/wp-je56/wp-je56-0000i1.html> (2013-11-19 DL).
- 3) 佐和隆光, 1984.『高度成長:「理念」と政策の同時代史』日本放送出版協会, pp. 11-12.
- 4) <http://stats.oecd.org/glossary/>
- 5) <http://www.cao.go.jp/innovation/index.html> (2013-11-13 DL).
- 6) 文部科学省, 2013.『科学技術白書 (平成25年版)』, p. 39.
- 7) 伊藤裕子, 2007.「イノベーションをもたらすと期待される Converging Technologies 推進の政策動向」. 科学技術政策研究, 2007年2月号.
- 8) <http://qeprize.org/>
- 9) NEDO 海外レポート NO. 1095, 2013.5.17 (<http://www.nedo.go.jp/content/100526409.pdf>)
- 10) 永田宇征, 大来雄二, 鈴木 浩, 久保田稔夫, 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—技術の系統化とMECIの観点から—」. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. E*, 35: 7-22.
- 11) 湯之上隆, 2012.『「電機・半導体」大崩壊の教訓』日本文芸社.
- 12) Ron Adner (著), 清水勝彦 (監訳), 2013.『ワイドレンズ』東洋出版.
- 13) Turkle, S., "Connected, but alone?", TED Talks, http://www.ted.com/talks/sherry_turkle_alone_together.html
- 14) 野中郁次郎, 勝見 明, 2004.『イノベーションの本質』日経BP社.
- 15) 伊丹敬之, 1999.『場のマネジメント』NTT出版.
- 16) Bush, V., 1945. "Science-the Endless Frontier: A Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research", Washington, D. C, United States Government Printing Office.
- 17) S. J. クライン (著), 嶋原文七 (訳), 1992.『イノベーション・スタイル—日米の社会技術システム変革の相違—』アグネ承風社.
- 18) 児玉文雄, 1991.『ハイテク技術のパラダイム—マイクロ技術学の体系』中央公論社.
- 19) 野中郁次郎, 1990.『知識創造の経営——日本企業のエビステモロジー』日本経済新聞社.
- 20) マーク・ステフィック, バーバラ・ステフィック (著), 鈴木 浩, 岡 美幸, 永田宇征 (訳), 2006.『ブレイクスルー—イノベーションの原理と戦略』オーム社.
- 21) <http://www.sri.com/engage/innovation-programs/five-disciplines-innovation>
- 22) ソニー株式会社, 1996.『ソニー創立50周年記念誌「GENRYU 源流」』.
- 23) 蓑宮武夫, 2013.『されど、愛しきソニー』PHP研究所, などに引用されている.
- 24) 石川泰弘, 2011.『技術の系統化調査報告書「タイヤ技術の系統化」』国立科学博物館, vol. 16, pp. 69-72.
- 25) 山口栄一, 2006.『イノベーション破壊と共鳴』NTT出版, pp. 191-236.
- 26) Yole Development, 2012. "Status of the LED Industry report, August 2012".
- 27) 大来雄二, 坪内孝太, 鈴木 浩, 大和裕幸, 2012.「根本的エンジニアリングの視点で見たオンデマンドバスの実用化」. 電気学会ITS研究会 ITS-12-15.