

要素技術のイノベーション：「失われた10年」に何が育まれたか

洞口, 治夫 / HORAGUCHI, Haruo

(出版者 / Publisher)

法政大学イノベーション・マネジメント研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Working paper series / 法政大学イノベーション・マネジメント研究センター
ワーキングペーパーシリーズ

(巻 / Volume)

18

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

19

(発行年 / Year)

2006-07-31

洞口治夫

要素技術のイノベーション

「失われた10年」に何が育まれたか

2006/07/31

No. 18

Haruo H. Horaguchi

Professor, Hosei Business School of Innovation Management

**Innovation in Technology Elements:
What have been nurtured during the Lost Decade
in Japan?**

July 31, 2006

No. 18

要素技術のイノベーション
「失われた10年」に何が育まれたか

洞口治夫

はじめに

- 1．用語の定義と事例
- 2．イノベーションの種類
- 3．要素技術のイノベーションは、なぜ生まれたか

むすび

はじめに

本稿の目的は、次の一点を報告することにある¹。すなわち、筆者が「要素技術のイノベーション」(innovation in technology elements)と呼ぶ現象が、製造業の研究開発の現場で多数観察される、という事実である²。この発見は、2004年から2006年にかけての日本、アメリカ、ドイツにおける調査・観察にもとづいている。その事例は、数多い。それは、まさしく百花繚乱と表現すべき状態にあった。

本稿第1節では、「要素技術のイノベーション」を定義したうえで、その現象が、どのような製品分野において観察されるのか、いくつかの具体例を挙げて説明したい。

第2節では、「要素技術のイノベーション」が、従来のイノベーションの類型といかなる意味で異なるのか、を説明する。シュンペーターのいう「新結合」、「プロダクト・イノベーション」と「プロセス・イノベーション」という二分法、あるいは、「持続的イノベーション」と「破壊的イノベーション」という類型からみて、「要素技術のイノベーション」がいかなる独自性を有した概念であり、また、現象であるのかを説明する。

第3節では、なぜ、2004年から2006年に至る時期の日本において「要素技術のイノベーション」が多数観察されたのかを論ずる。「要素技術のイノベーション」自体は、過去から未来まで普遍的に観察されうるが、それがこの時期に集約的に観察されたことの意味を推定する。これは、次の実証研究のための仮説ともいえる。

むすびとして、要素技術のイノベーションを追求する製造業企業が直面する問題を指摘したい。

1. 用語の定義と事例

1-1. 用語の定義

以下は、用語の定義である。まず、本稿において「要素技術」という場合の「要素」とは、最終製品の製造にかかわる部品(コンポーネント)、デバイス、モジュールなど、製品構成の一部を指す。「要素技術」とは、これら「要素」を製造するために必要となる製造方法を意味する。また、「イノベーション」とは、社会的に普及した新しい考え方と、そこから生まれる商品群である、と定義する。したがって、「要素技術のイノベーション」とは、単に新しい部品が発想され、製造されることだけではなく、その部品についての新しい製造方法とその原理的な探求を含む。

本稿では、部品とコンポーネントを同義に用いる。部品とデバイスは、重なり合う点を持つが、異なる概念である。端的に言って、デバイスは部品ではあるが、部品としての名称をもたず、「システムとして設計された最終製品の一部をなす構成要素」というほどの意

¹ 本稿は、科学研究費補助金による基盤研究A「産業クラスターの知的高度化とグローバル化」課題番号16203022の研究成果である。

² 先行研究としては、天野・金・近能・洞口・松島 [2006]、金 [2004]、沼上 [1999]、新宅 [1994] がある。

で用いられる場合が多い。本稿でも、同様に定義する。

部品には、単体としての名前があり、品番が与えられ、交換可能である。デバイスは、複数部品の複合体である。デバイスは必ずしも特定商品の部品となって組みつけられている必要がない。ある部品の組み合わせがデバイスと呼ばれる場合もあり、その機能には特殊性があることはもちろんであるが、むしろ、システムの構成要素になりうる点が重要である。その際、それが具体的にシステムの内部に部品として組み入れられているとは限らない。たとえば、家庭用家電製品がネットワークで結ばれているシステムという状態を考えると、DVDプレーヤーと液晶プロジェクターはデバイスである、と定義されることになる。パーソナル・コンピュータの利用というシステムから見ると、フロッピー・ディスク、CD-R、メモリー・スティックという「デバイス」が存在することになる。システムの大きさによって、デバイスの意味する範囲は異なる³。

本稿において「デバイス・イノベーション」と呼ぶ場合には、「デバイスのイノベーション」という意味と、「デバイスがもたらすイノベーション」という意味の双方を含む。「デバイス・イノベーション」は、「要素技術のイノベーション」の部分集合である。要素技術には、デバイスの形態をとらない技術、たとえば、切削、溶接、圧延、成形という類別を基礎として、その技術的進化としてのフォトリソグラフィ、デポジションといった技術が含まれる。切削、溶接、圧延、成形は、「切る」「削る」「つなげる」「伸ばす」「変形する」「型に入れてつくる」といった基本的技術である。デバイスには、要素技術が体化されている。

具体例を以下にみる。

1 - 2 . 事例

(1) MEMS

MEMS (micro electro mechanical system) は、駆動部分を有する半導体である。2003年における市場規模は7000億円、年率20パーセントでの成長を期待する声もある⁴。産業分野においてすでに応用されているMEMSには、インクジェット・ヘッド、圧力センサー、加速度センサー、角速度センサー(ジャイロ・センサー)、光MEMS、バイオ・チップ、無線周波MEMS (RF MEMS)、小型燃料電池セルといったものがある⁵。

インクジェット・ヘッドは、プリンター用の印字面に必要となるデバイスである。2001

³ この状態を記号論にたとえて言えば、部品が「名詞」であり、デバイスは「記号」である。「記号」としてのデバイスは、いかなる「名詞」、すなわち部品ともなりえるのであるが、デバイスという「記号」の持つ意味は、文脈によって異なる。たとえば「朝」は普通名詞であるが、「A」は文脈に応じて「成績優秀」、チーム名「アントラーズ」の頭文字、トランプ・カードの1を意味する。すなわち、デバイスも、組みつけられるシステムによって果たす役割が異なるのである。モジュールとは、部品を組み合わせ、最終製品の一部を構成するものである。

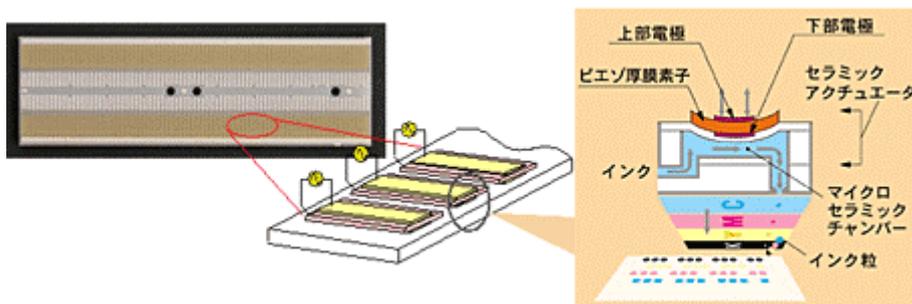
⁴ 日経マイクロデバイス・日経エレクトロニクス編[2005]、pp.12-13。

⁵ 日経マイクロデバイス・日経エレクトロニクス編[2005]、pp.28、図3による。

年から 02 年にかけては、リコー、セイコーエプソン、京セラなどが、多くの関連特許を出願している⁶。電圧をかけることによって形状を変化させる金属ないしセラミックによって微小なポンプを形成し、そこから紙にインクを塗布するのが、インクジェット・ヘッドの機能である。

第 1 図 日本ガイシのインクジェットプリンター用 圧電マイクロアクチュエーターに関する説明

インクジェットプリンター用圧電マイクロアクチュエーターは、セラミックス製のマイクロチャンバー（インク加圧室）に、高性能な圧電膜を一体化することで、プリンターからの信号に応じて正確にインクを加圧、ノズルからインク滴を打ち出す、マイクロポンプとして働きます。



特徴

- 6mm×20mm のチップの中に、髪の毛 2 本分の幅まで小型化した微細な「インク加圧室と圧電素子」(アクチュエーター)を約 0.2mm 間隔で 180 個集積しました。
- インク加圧室ならびに圧電膜を精密な焼成技術により一体化した、接着層の無い構造を実現することで、高い耐久性・信頼性と高速応答性を得ています。
- また圧電膜は、高度な圧電膜材料技術によって、微細ながらも最先端のインクジェットプリンターの要求性能を満たす、高い圧電性能を有しています。

(出所) 日本ガイシのホームページ「製品情報」<http://www.ngk.co.jp/product/electron/inkjet/index.html> より引用。

⁶ 独立行政法人・工業所有権情報・研修館<http://www.ncipi.go.jp/>による特許流通促進事業<http://www.ryutu.ncipi.go.jp/about/index.html>では、「特許流通支援チャート」を作成している。MEMS については、2002(平成 14)年度および 2004(平成 16)年度の 2 回「特許流通支援チャート」が作成されている。<http://www.ryutu.ncipi.go.jp/chart/H16/kikai07/frame.htm>を参照されたい。

筆者らは、2004年7月27日に日本ガイシ(株)を訪問し、インクジェットプリンター用圧電マイクロアクチュエーターに関する説明を受けた。また、同社は、2005年9月には、ハードディスクドライブ(HDD)の磁気ヘッドの位置決め精度を高めるための圧電マイクロアクチュエーターを開発し、スライダー駆動型として世界初の実用化に成功した。同製品は、磁気ヘッドメーカー向けに量産出荷されており、米国の大手HDDメーカーが発売予定の業界最大容量(500GB)のHDDなどに搭載される、という。2006年度には50億円以上の売上高が期待されている⁷。

圧力センサー、加速度センサー、角速度センサー(ジャイロ・センサー)は、アメリカ・アナログデバイス社の得意分野である。これらのセンサーは、自動車のエア・バッグに用いられるほか、カメラ付携帯電話、デジタル・カメラの手振れ防止装置として用いられる。業界の最大手はアナログ・デバイス社である。筆者らが、シリコンバレーにあるアナログ・デバイス社の支社を訪問したのは、2004年9月7日であった。そこではドットコム・バブルがはじけ、景気が低迷するシリコンバレーにあって業績が好調であることが強調されていた⁸。

光MEMSの代表は、アメリカ・テキサス・インスツルメンツ社のDMD(Digital Micromirror Device)であり、ビデオ・プロジェクタ用のチップである。DMDを組み込んだビデオ・プロジェクタは、DLP(Digital Light Processing)という名称で販売されている⁹。日本においても、オムロン株式会社では、滋賀県甲賀市水口工場でパイポーラICといった半導体を生産しているほか、マイクロマシン、液晶プロジェクターに用いられるマイクロレンズアレーを生産している¹⁰。

(2)測定

堀場製作所¹¹では、10オングストローム、すなわち原子が数十個というナノメートルサイズの計測ができる。たとえば、炭素原子60個からなるサッカーボール状のフラレンは1ナノメートルであるが、溶液中ではかることができる。ミリメートルからマイクロメートルの単位では光散乱法によって計測する。商品としてはLA300、LA950の品番

⁷ 日本ガイシ(株)ホームページ、<http://www.ngk.co.jp/news/2005/0921.html>を参照されたい。日本ガイシ(株)本社では、研究開発本部中央研究所長・阪井博明氏、中央研究所主任研究員・川崎真司、および、産業技術総合研究所理事・中部センター所長筒井康賢氏からお話を伺った。

⁸ 2004年9月7日、アナログ・デバイス社(Analog Devices)社でのインタビューは、Peter Oaklander(Vice President/General Manager, Sicilon Valley Operations Analog Semiconductor Division), Steve Parks(Product Line Manager, Precision Analog Products), Patrick Fung, PE(Design Engineering Manager, Precision Analog Products)の各氏であり、インタビュアーは、柳沼寿、金容度、天野倫文、西脇暢子、行本勢基、近能善範、洞口治夫であった。

⁹ 日経マイクロデバイス・日経エレクトロニクス編[2005]、pp.196-197による。

¹⁰ 2005年6月17日、オムロン株式会社・技術本部先端デバイス研究所、マイクロマシニンググループ、主査・今本浩史氏からのインタビューによる。

¹¹ 2005年2月22日、株式会社堀場製作所・開発センター部長新技術企画プロジェクト・プロジェクトリーダー、理学博士・松田耕一郎氏からのインタビューによる。

がつけられている「レーザー回析 / 散乱式粒子径分布測定装置」がある。マイクロを切る大きさ、すなわち、数マイクロから5ナノメートルではブラウン運動を利用した動的手法によって計測する。商品としてはLB550の品番で「動的散乱式粒子径分布測定装置」がある。1ナノの粒子は、電子顕微鏡、操作顕微鏡などで見ることもできる。この分野では広島大学の奥山喜久夫教授と長く共同研究を続けてきた。堀場製作所は基本的に分析メーカーであり、堀場テクノサービスという別会社によって、サービスを提供している。

(3)半導体の自動設計

要素技術のイノベーションは設計の分野においても見られる。アナログ・デジタル混載LSIの設計環境の開発が、その例である。インタビュー調査によれば、¹²システムLSIの次世代集積回路では、アナログ回路が必要であるが、若いアナログ技術者が少なくなっている。自動設計を可能にすることによって品質を向上させ、設計期間(Turn around time : TAT)を短縮させることを目的としている。次世代集積回路とは、AV機器、車載機器、プラズマディスプレイ、センサー回路などであり、それらに自動設計システムによって設計されたLSIを搭載する。

2002年から06年は、レイアウト、シミュレーション、回路設計という順に仕事を進めていく。1万素子の回路解析を8時間以内で行い、動作確認の時間を50%短縮したい。(株)ジードット・イノベーションと連携して、その研究を進めている。ジードット・イノベーションは、セイコー・インスツルメンツの設計部門が独立した会社である。パッケージ設計では東光、AV機器・車載通信機器では東芝セミコンダクタ、液晶ドライバでは沖電気、また、トッパンといった会社との結びつきがある。トッパン福岡は、アナログ全般の回路設計をしており、台湾のTSMCによるファウンダリーの総代理店をしている。

教授・助教授で7名、研究員2名、博士課程の学生3名、修士課程の学生2名、学部学生17名の研究室であり、博士課程にはジードット・イノベーション社から派遣されている者がいる。静岡大学の浅井教授は進んだ研究をしており、教えてもらうことが多い。

素子自動配置ツールAMPER¹³を用いると、100素子を3分で配置できるが、将来的には、200素子を1分以内で配置できるようにしたい。その過程をCut and Tryと呼んでいる。東芝セミコンダクタでは、素子配置と配線を自動化している。回路の自動生成では

¹² 2004年8月25日、財団法人北九州産業学術推進機構における知的クラスター調査におけるインタビューにもとづく。中武繁寿・北九州市立大学国際環境工学部情報メディア工学科助教授、早稲田大学理工学総合研究センター客員助教授・博士(工学)と高島康裕・北九州市立大学国際環境工学部情報メディア工学科客員助教授・早稲田大学理工学総合研究センター招聘研究員・博士(工学)からのインタビューにもとづく。高島助教授は、知的クラスターの資金で、北九州産業学術推進機構を通じて雇用されている。中武助教授は、北九州市立大学の常勤であり、研究費は3000万円配分されている。その費用で、研究員を2名雇っており、彼らを含めて3名の研究員がいる。中武助教授、高島助教授の恩師は、北九州市立大学の梶谷教授で、元東京工業大学の教授であり、彼ら二人もその研究室で学んだ。梶谷教授が、東京工業大学から北九州市立大学に移籍したのを契機に、彼らも東京から北九州に来た。

¹³ 巻末の参考第1図と、その説明文を参照されたい。

並列化を行い、設計のユーザーとしてはNECがある。基盤解析、雑音、熱などは基礎研究レベルで行っている。現在、30%の効率にあるが、並列化で50%以下にしたい。

セイコー・インスツルメンツの「AMPER」は、回路図上の回路図シンボルの配置をレイアウトに反映させることもできる(参考第1図参照)。AMPERは、既存のレイアウト・データから配置制約を抽出する機能を備えている。例えば、「どの素子とどの素子を隣接させるか」、「どの素子とどの素子を遠ざけるか」、「どの素子を電源やグラウンドの隣に置くか」といったルールを自動的に抽出する。これはバイポーラICの設計などで有効な機能である。このほかに、素子を対称に配置する機能やアライン配置(列状に並べる配置)、グループ化などの制約を手で指定することができる。自動配置ツールは、チップ上の素子の最適配置を計算するソフトウェアである。チップ面積を小さくするために素子の位置を入れ替えたり、同電位の端子をマージする機能を備えている。この機能は、コンパクションと呼ばれる。本自動配置ツールは、素子の数が数百程度のICの配置に利用できる。100素子程度の回路の配置に30~40分かかるといふ。同社のレイアウト設計環境「SX-9000」や「New-SX」に組み込んで利用する。同社が現在開発している配線ツール「REXSIR」と組み合わせると、アナログICの配置と配線を一括して行うことができるという。AMPERの出荷開始は2003年であった¹⁴。

半導体設計においては、電圧の負荷上限を経験で決めている。「だいたい、こわれぬ」範囲で設計されている。沖電気とは、液晶ドライバ用回路の設計について協力しているが、権利関係を明確にして、フィードバックするようにしている。東芝、NEC、GD社とも同じである。東芝の小倉工場では、基礎的な開発が進められており、村田さんが担当である。3社から、5~600万円の研究費がくる。

特許と論文、学会発表の件数は、訪問時点で、以下のとおりであった。

第1表 LSI設計環境開発チームの研究実績(2004年8月)

	設計	解析
特許件数	2	2
論文件数	5	4
学会発表	2	3

(出所)インタビューをもとに筆者作成。

(株)ジーダット・イノベーションは、セイコー・インスツルメンツ社から2004年2月、60名によって分離独立した。30~40億円の売り上げがあり、中国では、北京・上海で30名

¹⁴ 本段落の記述は、<http://www.kumikomi.net/article/report/2003/04edsfre/02.html>による。

強の人を使っている。上海では復旦大学、北京では清華大学に研究委託をする。清華大学の教授にはアナログの開発を委託している。中国に2拠点があるのは、リスク分散をしてアウトソーシングをするためである。日本橋に本社があり、北九州ではコアエンジンを開発し、中国から人を採用している。2005年10月29日～11月1日に予定されている産学連携フェアでは、次世代アナログ設計フローについて紹介する。

(株)ジーダット・イノベーションにとってのビジネスの課題は、アナログ、設計環境、産官学連携、今後のロードマップである。設計・製造では、マスクパターンの設計のためのソフトウェアを作っている。フルカスタム分野にフォーカスして、大規模設計を早く行うことに注力している。液晶は、自動化の難しい分野である。東芝、NECが顧客であり、CADによる設計効率と品質を追及している。D-SXというプラットフォームを利用している。設計品質の向上という点では、アナログ、メモリー、LCDの三分野がある。

EDAビジネスの特徴は、下記のような点である。

新規参入は多い。45社くらいが参入している。

シリコンテクノロジーは、3年間で0.7倍の微細化が進んでいる。

顧客要求は厳しい。設計生産性の向上が必要とされている。

市場要求は、投入スピードのアップとして求められる。

競合状況として、70%以上は、アメリカである。強力なR&Dがある。シリコンバレーでは、ケーデン、シノプシス、メンターといった企業がある。フルカスタムでは日本が第一位である。

レーザー溶接と産業用ロボット

日産車体平塚工場、および、トヨタ自動車元町工場を訪問したが、両社ともに自動車の溶接ラインの自動化は94パーセントに達するという¹⁵。一本アームによる産業用ロボットが、スポット溶接、アーク溶接、レーザー溶接を行う。また、日産車体では、ロボットによる部品の識別と、溶接ラインへの転送が行われていた¹⁶。

トヨタの元町工場での溶接ライン見学に参加したドイツ大手自動車ボディー製造メーカーの技術者によると、レーザー溶接を行う箇所について、トヨタとヨーロッパのメーカーとでは違いがあるということであった。トヨタの元町工場に飾られていたボディーを見る限り、シートの影に隠れる部分についてレーザー溶接が行われていたが、ジャガー、ラン

¹⁵ 2006年3月6日トヨタ自動車元町工場、2006年3月10日日産車体平塚工場を訪問した。

¹⁶ 2005年9月に行ったフォルクス・ワーゲン、アウディでの観察にヒントを得て、日独の主要メーカーでの比較を試みたものである。筆者らは、2005年9月7日に、フォルクス・ワーゲンを訪問し、金型加工におけるCADの利用とデジタル加工、および、レーザーによる溶接プロセスについて説明を受けた。自動車のボディー溶接においては、アークスポット溶接が用いられてきたが、レーザー溶接を行う場合が増えてきた、という。2005年9月9日には、ドイツ・インゴルシュタットにおいてアウディの溶接ラインを訪問した。ここでは、トヨタ、日産車体で訪問用に開放されているロボットよりも大型のロボットがボディをアームで搬送しているとともに、溶接を行っていった。

ドローバーなど、ローチ氏のかかわったヨーロッパ車では、ボディーの外側にもレーザー溶接が用いられている、という¹⁷。

三菱電機名古屋工場を訪問し、CO₂レーザーとYAGレーザーについての説明を受けた¹⁸が、同社では、1967年にレーザー加工の基礎研究をスタートし、1982年から二次元レーザー加工機を製造している。また、三菱電機では、「LD励起YAGレーザー発振機」の製造を行っている。

デンソー西尾製作所を訪問し、カーエアコンの製造ラインを見学したが、そこでは産業用ロボットが、エアコンのアルミフィンを自動的に製造していた¹⁹。このロボットはデンソー社内で開発されたものであり、すでに1996年から10年程度の稼働実績があるという。

2. イノベーションの類型

イノベーションのコア

MEMS、微小レベルの測定、半導体の自動設計、レーザー溶接、産業用ロボットという五つの「要素技術」を例として挙げた。そのほかにも、ITS、第三代携帯、ES肝細胞による再生医療などの事例がある。ただし、これらの三つの例は、要素そのものよりも、トータルなシステムとしての完成度が要求されるため、本稿では詳細に説明しない。

以下では、「要素技術のイノベーション」が、どのような意味で特徴的であるのかを説明したい。シュンペーターのいう新結合、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーション、持続的イノベーションと破壊的イノベーションといった従来の分類に比較して、要素技術のイノベーションが、従来のイノベーションの分類に対して基本的な構成要素の一つとなっていることを明らかにする。

端的に言って、要素技術のイノベーションは、新結合にも、プロダクト・イノベーション、プロセス・イノベーションにも、あるいは、持続的イノベーション、破壊的イノベーションにもなりうる可能性を持つものである。要素技術の開発が成功するならば、その要素技術のイノベーションを囲む状況、あるいは、要素技術のイノベーションを解釈する視角によって、いかなる「イノベーション」とも定義されうる。要素技術のイノベーションが、イノベーションのコアとなる可能性がある。この点を確認したうえで、競争戦略論の文脈と、要素技術のイノベーションとの関連を検討する。

新結合と要素技術のイノベーション

¹⁷ ティッセンクルupp・ドラウツ・ノーテルファー社、シニアエグゼクティブ、バーナード・ローチ氏（ThyssenKrupp Drauz Nothelfer GmbH, Mr. Bernard Roach）の観察と発言であった。トヨタの元町工場で見学できた溶接の現場と、見学者用の自動車モデルは、限定的な観察にすぎないので、この観察の正確性には疑問が残る、と言わざるを得ない。

¹⁸ 2006年3月7日訪問。

¹⁹ 2006年3月7日訪問。

シュンペーター[1926]によれば、「新結合」は、次の5つの側面で起こるといふ。

「1．新しい財貨、すなわち消費者の間でまだ知られていない財貨、あるいは新しい品質の財貨の生産。

2．新しい生産方法、すなわち当該産業部門において實際上未知な生産方法の導入。これはけっして科学的に新しい発見に基づく必要はなく、また商品の商業的取扱いに関する新しい方法をも含んでいる。

3．新しい販路の開拓。すなわち当該国の当該産業部門が従来参加していなかった市場の開拓。ただしこの市場が既存のものであるかどうかは問わない。

4．原料あるいは半製品の新しい供給源の獲得。この場合においても、この供給源が既存のものであるか - 単に見逃されていたのか、その獲得が不可能とみなされていたのかを問わず - あるいは初めてつくり出されねばならないかは問わない。

5．新しい組織の実現。すなわち独占的地位（たとえばトラスト化による）の形成あるいは独占の打破。」（訳書、183ページ）

要素技術は、これらの5つ、すなわち、財貨、生産方法、販路、原料・半製品、組織という分類のなかでは「生産方法」ないし「半製品」に近い。たとえば、レーザー溶接は「生産方法」の一つであり、圧力センサーは「半製品」の一つと考えることが自然であろう。

シュンペーターの掲げたこれらの5つの要因と比較すると、「要素技術のイノベーション」は、いくつかの際立った限定性を有している。第一に、「新しい発見」であることと、「初めてつくりだされ」たことが追求される。シュンペーターの「新結合」の定義よりも、かなり限定的な領域である。シュンペーターは既存の生産方法、既存の半製品を新結合として許容しているのであり、要素技術に求められる新規性と比較すればゆるやかな条件である。

第二に、シュンペーターは、部品ないしデバイスに限定された新発明に対して、「組み合わせ」の新しさを強調する。科学技術にもとづいた新発見ないし新発明と、そうではなく、かつ、「新しい」ものの存在についての議論を包括する形で展開している。「半製品」について強調されているのは、その新しい製法ではなく、むしろ、その「供給源の獲得」である。

第三に、シュンペーターによれば、「新結合」を推し進めるのは起業家である。要素技術のイノベーションを展開するのは、起業家というよりは、むしろ、企業の技術者であり、企業の研究所における研究者である。

第四に、要素技術のイノベーションは、シュンペーターの指摘する5つの要因に、独立に働きかける。レーザー溶接という「新しい生産方法」は、自動車という製品の属性を新しくするものではない。しかし、自動車の強度を高め、安全性を高めるかもしれない。圧力センサーという「半製品」についてみれば、圧力センサーを利用した商品を利用する消費者からみて、「新しい財貨」とみなされているとは限らない。

要素技術のイノベーションは、シュンペーターの定義した「新結合」のなかの特定の部分である。それは、「新しい生産方法」であり、「半製品」であるが、科学技術による発見と発明を明確に伴っているという点で、大きな限定がある。

プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーション

多くの教科書においては、イノベーションをプロダクト(製品)とプロセス(製造過程)に分類している。フォードT型は、自動車製品におけるプロダクト・イノベーションであり、トヨタの生産技術者であった大野耐一による「かんぱん方式」はプロセス・イノベーションであるとされる。新商品の提供がプロダクト・イノベーションであり、新しい製造方法の実践がプロセス・イノベーションである、とされる。こうした伝統的な二分法に比較して、「要素技術のイノベーション」には、どのような新しい特徴があるのだろうか。

「要素技術のイノベーション」は、プロダクト・イノベーションにも、プロセス・イノベーションにも繋がらう。「要素技術のイノベーション」は、両者の起点として機能する。

要素技術の開発には、製品の持つ機能を科学的に高度化させる働きがある。自動車に搭載された圧力センサーによって機能するエアバッグは、安全ベルトと同じ基本的な機能を持つにすぎないかもしれない。しかし、側頭部を守るエアバッグの開発は、安全ベルトではカバーしきれなかった安全確保の領域を生み出すことになる。センサー技術の発達がなければ、エアバッグの衝突反応性は確保できず、その商品開発は不可能であったはずである。エアバッグという新製品は、圧力センサーという要素技術によって生まれたことになる。それが普及したときに、圧力センサーを搭載したエアバッグという要素技術のイノベーションが発生したということができる。

インクジェット・ヘッドや、カメラの手振れ防止のためのセンサー開発は、より鮮明な印字と鮮明な写真を提供する。これもまた、製品機能が科学的に高度化された事例である。これらは、「要素技術のイノベーション」によって可能になった。

「要素技術のイノベーション」が生まれることによって、人間の勘や熟練が排除される可能性もある。産業用ロボットは、モーターなどの駆動装置で制御可能なアームとセンサーとの組み合わせからなる。産業用ロボットの先端に、レーザー溶接装置がつけられるか、吸盤による部品搬送装置が乗るか、あるいは、レーザー・ビームによる測定装置が乗るか、といった違いがある。産業用ロボットは、さまざまな要素技術からなる製品であるが、そこから「プロセス・イノベーション」が生まれることになる。

持続的イノベーションと破壊的イノベーション

「要素技術のイノベーション」は、持続的イノベーションを別の形で表現しただけのようにも思われるかもしれない。しかしながら、「要素技術のイノベーション」は、破壊的イノベーションの中核ともなりうる。

クリステンセン(Christensen, [1997])による「持続的イノベーション」と「破壊的イノベ

ーション」という二分法は、イノベーションが起きてからのちに判別される結果論としての意味を持つ²⁰。すなわち、事後的な概念であることに注意が必要である。ある技術標準を満たさずに開発された製品が、新たな顧客層を獲得し、従来の製品分野のシェアを侵食する。それが「持続的」となるか、「破壊的」となるかは、顧客層がどこにシフトするかという結果に依存するのであって、意図されたものではない。

持続的なイノベーションは、過剰品質となりがちな製品開発の分野を端的に示している。その意味で、「要素技術のイノベーション」を単線的に続けていくのみであれば、新たな製品開発のチャンスを逃すことにもなるかもしれない。要素技術のイノベーションは、一義的には、持続的イノベーションとして機能する。たとえば、インクジェット・プリンター、レーザー・プリンターといった紙媒体のためのプリンター開発は、それ自体、持続的なイノベーションに分類できる。

破壊的なイノベーションとは、たとえば、紙という媒体そのものから離れた電子書籍の開発かもしれないが、その場合にも、異なる要素技術が必要となる。「要素技術のイノベーション」は、電子書籍という紙媒体に対する破壊的イノベーションの普及に必要な条件である。かりに、その現象を「破壊的イノベーション」と呼びうるのであれば、「要素技術のイノベーション」は、「破壊的イノベーション」にも必要な条件となっているのである。

ポーターの競争のジェネリックス

ポーター(Porter, [1980])によるコストリーダーシップ、製品差別化、焦点という三分法は、「要素技術のイノベーション」が製品差別化とコスト低下を同時に達成し、さらには、従来になかった市場を生み出すというフォーカスをも生み出すという意味で、排他的な分類ではなくなってしまう。

「要素技術のイノベーション」は、魔法の杖ではないが、製品差別化とコストという二つの相反する要求を、同時に満たす効果をもつ。いま、かりに製品差別化の程度をなんらかの指標で計測可能であると仮定しよう。そのとき、製品差別化の程度を縦軸に、コストを横軸にとるならば、その両者は右上がりのカーブを描く。要素技術のイノベーションが起こるならば、一定のコストで、より多様な製品差別化が可能となる。

その際には、開発コストという固定費用が、その背後に存在することになる。品質管理(QC)、コストダウン、欠陥ゼロ運動(ZD)といった工場の生産現場レベルでの創意工夫は、開発コストという固定費を回収する効果を持つとはいえ、「要素技術のイノベーション」を生み出すものではない。日本企業の工場における生産管理の水準を観察するとき、どの企業も類似した水準にありながら、大きく経営成果を異にするのは、この点に求められるかもしれない。三菱自動車は、トラックの車軸についての強度設計を誤り、リコール

²⁰ 新宅[1994]は、ほぼ同様の現象と「ラディカル・イノベーション」と「インクリメンタル・イノベーション」と表現している。

を隠し、倒産の淵に追い込まれた²¹が、その問題の原点には車軸の強度設計という「要素技術」の軽視があったとはいえないだろうか。

3. 要素技術のイノベーションは、なぜ生まれたか

本質的な問題は、分類よりも、むしろ原因である。なぜ、筆者は、広範に「要素技術のイノベーション」を観察することができたのだろうか。また、なぜ、2004年から05年における日本企業を中心としたフィールド・リサーチにおいて、そうした現象が顕著になったのだろうか。日本経済が欧米技術のキャッチアップ段階を超えて、独自の先進技術開発を行いうるようになったことは、長期の歴史的トレンドとして重要であろう。この点については、「段階」の時期的確定についての議論を引き起こすので、本稿ではこれ以上触れない。

要素技術のイノベーションを引き起こした理由として考えられるのは、以下の六点である。すなわち、科学技術に立脚した技術開発であったこと、研究者のリスク回避志向、収益性の高い部門での更なる性能向上、特許取得志向、多品種少量生産と開発期間の短縮化、デジタル化による情報連結、である。

科学技術としての研究開発

要素技術は、科学技術としての定義が可能である。何を研究し、開発しているのかを共通言語として語ることができる。研究対象が明確であり、研究の成果を文章化することができる。企業の研究所に勤務する研究者にとってみると、研究成果を、学術論文や特許という形で自らに帰属する成果とすることができる。研究者が自ら選択した研究対象として要素技術開発に取り組んだ場合には、自らの知的好奇心を満たす「楽しい」仕事を選択したことになる。

この特性は、企業経営におけるイノベーションと比較すると、明確になる。マネジメントの場合、何が対象となっており、何が「新しい」のかを定義することは、必ずしも容易ではない。ビジネス特許が許されるのは、ITビジネスに限定されているのが実情である。企業のマネジメントに特許はない、といえる。新たに立ち上げた事業が成功した場合であっても、それが、偶然であるのか、なんらか明確なイノベーションによるものなのかを判別することは容易ではない。

要素技術が新規性を持つものとして認められ、普及するプロセスも、明確である。新しい要素技術を開発した技術者・研究者は、それを特許として申請する。その特許は、単一の会社で利用される場合もあり、また、複数の会社にライセンスされる場合もある。ある会社の取得した特許の技術特性を理解したうえで、別の製法を意図的に開発し、別の

²¹ たとえば、産経新聞取材班[2001]には、その経緯が取材されている。

特許が獲得される場合もある。特許を侵害しないように、意図的に、別の製法が開発される。要素技術は、ライセンス供与と、対抗取得特許との双方によって普及する。要素技術が普及したときに、それを「要素技術のイノベーション」と呼ぶことができる。

リスク回避

企業の研究開発担当者にしてみれば、新製品の開発は、割にあわない仕事である。それは、日本の雇用慣行において、経験年数が賃金の多くを決定する状況では、特にそうである。昇進スピードの違いはあるかもしれないが、昇進が、研究からマネジメントへの職務分掌の違いを意味するのであれば、望ましいこととは限らない。研究に専念したい研究者にとってみると、新製品を開発して、マネジメントに昇進することが、望ましい未来であるとは限らない²²。ここでいう研究開発担当者とは、たとえば1兆円程度の売り上げを持つ大企業の中央研究所に勤務する者のことである。

新製品には、リスクがある。新たに開発した製品が売れるか、売れないかは、容易に実証されうる。研究開発担当者が、10年後の商品のシーズと、今年売れるモノのどちらを選ぶかを尋ねられたならば、多くの者は、前者を選ぶのではないだろうか。研究所において研究を行ってきた者が、開発の現場に携わり、開発営業に携わることになるのは、自らの開発した新製品の売れ行きを促進するためであろう。

1989年末に日本のバブル経済が破綻し、10年余に及ぶ景気低迷があった。工場では、人減らしが進み、本社部門でもリストラが促進された。マクロ経済状態が悪いなかで、新商品を開発することには、大きなリスクがあった。長期を見通した「製品」の開発もまた、中止されることはあっても、促進されることはなかったかもしれない²³。

「要素技術」の改良は、こうした時勢に沿った活動である。すなわち、開発時点現在に、最も売れている商品の基本的特性を変化させないままに、そのコストパフォーマンスを改善するとともに、新たな機能を追加することができる。たとえば、携帯電話に、カラーの液晶ディスプレイがついた状態を、白黒の場合と比較してみるとよい。カラーの液晶ディスプレイの開発という要素技術は、携帯電話という商品の差別化を行う。この開発プロセスに、どのようなリスクがあるだろうか。それは、液晶をカラーに転換することによって、携帯電話の商品価格が上昇し、既存市場を失う、というリスクである。このリスクは、市場の拡大によって相殺される。あるいは、個別企業レベルでは、経験曲線と工場設備規模の増大にともなって単価を下げていくこともある。

iPod やウォークマンを開発した技術者は、すでに技術者ではなく、起業家と呼びうるで

²² ノーベル賞を受賞した 島津製作所の技術者・田中耕一氏のキャリアパスが有名である。

²³ 森文彦法政大学大学院イノベーション・マネジメント研究科教授(元・日立製作所ソフィア・アンティポリス研究所所長、情報技術研究所所長(イギリス・ケンブリッジ))によれば、アメリカのベンチャー・ビジネスと提携してメディア・プロセッサの開発に着手したのが1994年であり、それが製品に搭載されたのが2003年であったという。(2006年7月10日、メールでのコメントにもとづく。)

あろう。要素技術としては、すでに存在していたものを「組み合わせる」ことによって、商品のイノベーションを達成したことになる。

シュンペーターの言う「新結合」と、「要素技術のイノベーション」とが、異なる概念であることは、ここでも明らかである。要素技術を進歩させるには、科学的知見が必要なものであり、そこには組み合わせとしての「新結合」ではなく、新発見が要請される。科学的発見は、新規性の基礎となり、特許申請の要件となる。

ミルクカウ・イーター

PPM(プロダクト・ポートフォリオ・マネジメント)において、ミルクカウとは、市場の成長性が鈍化し、かつ、市場シェアの大きな分野である。要素技術の開発を進めることは、この「金のなる木」を細分化することになる。景気の低迷してきた日本において、製造業企業は、自らの収益源を「差別化」し、結局のところ細分化してきたともいえる。

たとえば、テレビ受像機の生産は、ブラウン管であることをやめ、小型化し、液晶画面となり、大型液晶画面となった。プラズマ・ディスプレイも、その要素技術の一例である。要素技術は進歩しているが、テレビ画面を見るという基本的機能に変化はない。新しい市場が生み出されたとは言いがたい。

テレビ受像機というミルクカウに、新しい要素技術が投入され、買い替え需要への対応が進む。ここには、二つの意味がある。一つは、収益の継続性であり、もう一つは新製品開発リスクの回避である。新しい商品は開発されない。

特許取得の二類型

特許取得には二つのパターンがある。第一は、先行して研究を続け、新たな発見・発明にもとづいて特許をとるケースである。その場合には、関連する特許を網羅的に取ることになる。これは、日々の研究から「ぼっとでる。」第二は、他社に遅れて、ある事業分野に参入した場合であり、そうした場合には、意図的に他社の弱いところを攻めることになる。他社の取得した特許の穴を見つけるときには、TRIZの手法などを用いることもある。ただし、その場合には防衛的な特許取得であって、本当に重要な発明・発見はTRIZからは出ないと言っても過言ではない²⁴。

要素技術のイノベーションは、特許取得競争ともなる。その特許は、企業の戦略から派生する文脈を持つ。プリンターとして、インクジェット・プリンターの開発を先行させるか、レーザー・プリンターを開発するかは、大きな戦略選択であり、その文脈に依存して出願される特許の特徴が決定される。

研究開発に携わる技術者とすれば、そのレゾナートルは、時代を5年程度先回りした製品開発を続けることに求められる。時代にさきがけて研究開発を続ける先見性があると

²⁴ 2006年2月24日、杉江衛法政大学大学院イノベーション・マネジメント研究科教授(元日立製作所中央研究所主管研究長)の発言にもとづく。

き、上述した意味で、第一の特許取得が可能となる。要素技術の開発は、そうした文脈からは、採用されやすい選択である。その意味では、要素技術イノベーションに必ずしも新発見が要請されるわけではない²⁵。新製品は、その発売が行われたときに市場によって受け入れられなければならない。市場の要求に対して先行しすぎても、売れない、ということがある。

多品種少量生産と開発期間の短縮化

製造業において進んでいる多品種少量生産も、要素技術のイノベーションを促進する要因であるかもしれない。産業用ロボットによる生産は、そのロボットに別のプログラムを与えることによって、別の用途に使うことができるという汎用性を確保している。専用機械を据えつけた場合、一定の生産規模が確保されないと専用機械の減価償却をすることができない。

デジタル化による情報連結

本稿でみてきた事例が、デジタルな情報として連結可能であることに、注意が必要である。福士[2006]は自動車の新車開発プロセスにおける知識の連結を「デジタルナレッジ化」と呼んでいるが、要素技術のイノベーションが、単発の現象としてではなく、百花繚乱と表現すべき頻度で集合的に現れている背景には、情報技術の進歩がある。本稿では自動車のITSと携帯電話の事例を取り上げなかったが、要素技術のイノベーションは、より大きな「社会システムのイノベーション」を引き起こす可能性がある。

むすび 「失われた10年」に何が育まれたか

「要素技術のイノベーション」は、それを追求する企業に何をもたらすだろうか。

第一に、要素技術のイノベーションが、最終製品の価格を低下させ、利益率を下げる可能性がある。最終製品分野でのブランド価値が高められなければ、デバイスの付加価値も時間とともに低下していく。これは、ウォーツで時を刻む腕時計や、液晶を利用したテレビなどで見られる現象である。

利益率を確保するためには、何が必要であろうか。最終製品でのブランド価値を維持するための工夫が必要になってくる。インテルのマイクロ・プロセッサは、その好例であるが、デバイスを製造するメーカーが最終商品のブランド価値形成にコミットすることには、利益確保という意味がある。インテルのマイクロ・プロセッサがコンピューターに内蔵されていることを広告することによって、それ以外のマイクロ・プロセッサとの差別化がはかられる。そのことによって、たんなる「部品」としての価格競争を避けることができる。なぜならば、消費者が、インテルに信頼を寄せている可能性が生まれるからである。

²⁵ 2006年7月22日、杉江衛教授のコメントにもとづく。

第二に、要素技術のイノベーションは、その技術を利用してブランド価値を高める競争相手企業の優位性を高める可能性がある。たとえば、ハイアール、ハイセンス、TCLなど、アジア諸国でブランド価値を獲得しつつある家庭用電化製品の供給業者がある。こうした企業は、日本メーカーにキャッチアップをしたのみならず、中国製製品としてのブランド価値を生み出し、そのシェアを拡大させていることに注意するべきである。技術者の情熱と科学への信奉、そして、リスク回避によって新しいデバイスが開発される。しかし、要素技術が外部企業に販売される（外販される）と、その購入企業に競争優位が生まれる。

第三に、要素技術のイノベーションによって、既存市場には存在しなかった「夢の商品」が生まれる可能性がある。介護ロボット、自動操縦による自動車、RFIDによる非接触自動改札など、すぐにも実現しそうな課題も多い。自動車メーカーでは、試作車のための金型を製造せずに、直接に加工することが多くなってきたという。これらも、レーザー溶接をはじめとする金属加工技術の進展の成果であろう。従来の映画館に替わってミニシアターが隆盛してきているが、ミニシアターを安価に設立するための技術基盤としては、テキサス・インスツルメンツ社のDMDがある。

第四に、デバイスの汎用性が高まると、初期参入費用が少ない製品領域において、新製品の開発が試みられ、「破壊的イノベーション」が起こる可能性が高まる。すでに第2節で述べたように、「破壊的イノベーション」は事後的に看取可能であるために、それがどの産業分野で起こりうるか、あるいは、また、起こっているかを確言できるものではない。

<参考文献>

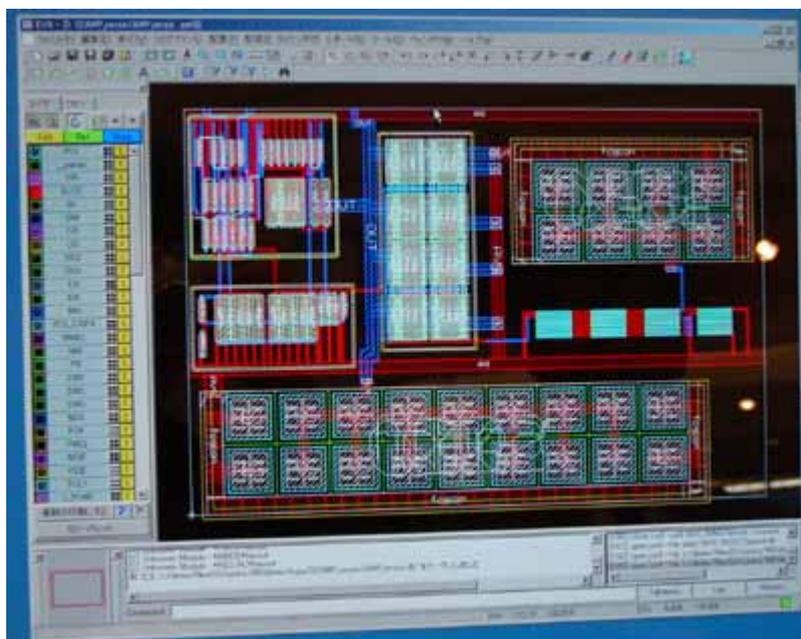
- 天野倫文・金容度・近能善範・洞口治夫・松島茂[2006]「ものづくりクラスターの特殊性と普遍性 グローバリゼーションと知的高度化」法政大学イノベーション・マネジメント研究センター・ワーキングペーパー、No.16 .
- 金 容度[2004]「携帯電話機部品の企業間取引(1) 液晶の取引」『経営志林』第41巻第2号、pp.107-116 .
- 産経新聞取材班[2001]『ブランドはなぜ墜ちたか 雪印、そごう、三菱自動車事件の深層』角川書店 .
- シュンペーター.J.A.[1926]『経済発展の理論』塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳、岩波文庫、1977年 .
- 新宅純二郎[1994]『日本企業の競争戦略 成熟産業の技術転換と企業行動』有斐閣 .
- 日経マイクロデバイス・日経エレクトロニクス共同編集[2005]『MEMSテクノロジー 2006 アプリケーションからデバイス、装置、部材まで』日経BP社 .
- 沼上 幹[1999]『液晶ディスプレイの技術革新史 行為連鎖システムとしての技術』白桃書房 .
- 一橋大学イノベーション研究センター編[2001]『イノベーション・マネジメント入門』日本経済新聞社 .
- 福士敬吾[2006]「クルマづくりの新プロセス」『自動車技術』vol.60, no.6, pp.25-29.
- Christensen, C.M.[1997] *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press. (『イノベーションのジレンマ』伊豆原弓訳、翔泳社、2001年) .
- Porter, M.E.[1980] *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, Free Press. (『競争の戦略』土岐坤・中辻萬治・服部照夫訳、ダイヤモンド社、1982年) .

洞口治夫(ほらくち・はるお)

法政大学大学院イノベーション・マネジメント研究科教授

参考第 1 図 セイコーインスツルメンツ社の AMPER

- 既存のレイアウト・データから配置制約を抽出する機能を備える自動配置ツール -



(出所)<http://www.kumikomi.net/article/report/2003/04edsfre/02.html>より引用。



法政大学イノベーション・マネジメント研究センター
The Research Institute for Innovation Management, HOSEI UNIVERSITY

〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1
TEL: 03(3264)9421 FAX: 03(3264)4690
URL: <http://www.hosei.ac.jp/fujimi/riim/>
E-mail: cbir@i.hosei.ac.jp

著作権無断転載