

技術イノベーションによる企業内起業

高知工科大学大学院

大槻 達男

平成20年9月修了  
博士（学術）学位論文

（和文題目）技術イノベーションによる企業内起業

（英文題目）Intrapreneurial Business Creation by Technological Innovation

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻

学籍番号 1106201

大槻 達男

Tatsuo Otsuki



平成20年9月修了  
博士（学術）学位論文

（和文題目）技術イノベーションによる企業内起業

（英文題目）Intrapreneurial Business Creation by Technological Innovation

平成20年6月13日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻

学籍番号 1106201

大槻 達男

Tatsuo Otsuki



## 目次

論文梗概.....	6
序章.....	8
第2章 日本の経済競争力.....	13
2-1 日本経済の推移.....	13
2-2 世界経済における日本経済の位置づけ.....	15
2-3 日本経済の競争力.....	16
2-4 主要エレクトロニクス製品における競争力.....	18
2-5 経済競争力の再生とイノベーション.....	20
参考文献.....	21
第3章 日本のイノベーション強化と起業.....	23
3-1 研究開発力.....	23
3-2 特許からみた分析.....	27
3-3 発表論文からみた分析.....	32
3-4 企業規模と技術革新力.....	37
3-5 イノベーションにおける起業.....	41
参考文献.....	42
第4章 企業内起業の重要性.....	44
4-1 大企業の占める役割.....	44
4-2 イノベーションによる企業内起業.....	51
参考文献.....	67
第5章 半導体事業でのイノベーションによる企業内起業.....	69
5-1 日本の半導体産業.....	69
5-2 半導体事業の技術イノベーション.....	75
5-3 機能集積.....	80
5-4 異種機能材料素子集積とイノベーションの関係.....	84
参考文献.....	85
第6章 強誘電体メモリ.....	87
6-1 強誘電体とは.....	87
6-2 強誘電体半導体の本格的な事業化（高誘電率の応用）.....	92
6-3 事業化方針の転換.....	104
6-4 FeRAM の開発.....	105

6-5 Y-1に基づく強誘電体不揮発性メモリ技術の構築 .....	1 1 0
6-6 不揮発性メモリ技術による事業化 .....	1 1 8
参考文献.....	1 1 9
第7章 企業内起業におけるイノベーションマネジメントの検討 .....	1 2 2
7-1 企業内起業のマネジメントを構成する要素 .....	1 2 2
7-2 協業のマネジメント.....	1 2 3
7-3 研究開発のマネジメント .....	1 3 1
7-4 事業化のマネジメント.....	1 3 5
7-5 組織のマネジメント .....	1 4 0
参考文献.....	1 4 9
第8章 総括.....	151
謝 辞 .....	154
業績リスト .....	155

## 論文梗概

本論文は、筆者が受けた大学での教育や、社会人として勤務先で行った研究や事業経験を基礎知識・見識として、高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻 起業家コース博士後期過程において行った研究をまとめたものである。本テーマに関しては、これまで遂行してきた内容に起業家コースで学んだ新しい学識に基づく学究的な考察を行い、起業工学上の普遍性を有する新知識を見出すべく研究した成果をまとめたものである。

本論文は、日本経済の競争力強化には大企業のイノベーションによる企業内起業が今日の重要課題であるとの認識に立ち、筆者が自ら実践してきた強誘電体半導体という技術イノベーションによる企業内起業を詳述するとともに、そのイノベーション過程に起業工学的な分析を加えて得られたイノベーションのマネジメントモデルを研究成果として報告するものである。

本論文は序章から第8章で構成される。

序章では本研究の背景と目的を企業の競争力強化の観点から述べ、更に研究目的を遂行する研究方法の概要を述べている。

第2章では、日本の経済競争力をグローバルな視点で分析し、GDPは間もなく中国に追い抜かれ、IMDなどによる国際競争力評価では先進主要諸国の中で低位に評価されている実態を明らかにする。これらの事実が「日本の経済競争力は低下しており、このためには日本経済を支える大企業が企業内起業によって自ら創造的破壊を断行しなければならない」という本論文の基本的な考えのバックボーンとなっている。

第3章では、経済競争力回復のためにはイノベーション力の強化が必要との認識はすでに高まっており、日本政府も「イノベーション25」という取り組みを主導するなど様々な施策を打っていることを述べる。そしてイノベーションの機会を生み出す力と密接な関係のある研究開発力を、投入されている資源、成果としての特許や論文などの調査を通じて明らかにする。

第4章では、起業といえばベンチャー企業による起業に注目が集まりがちだが、大企業は日本経済の屋台骨を支える存在であり、故に、そのような大企業の経済競争力の強化が必要なことを各種の統計データを用いて明らかにする。また、企業内起業について先駆的な研究を行ったピンチョーの研究内容を先行研究として取上げ、イノベーションマネジメントという観点で企業内起業を研究深める必要のあることを述べる。

第5章では、本論文が研究対象としている半導体事業の現状をグローバル市場における競争力という観点で分析し、市場におけるポジションはなんとか維持しているものの中国等の新興国の進出が目覚しく、競争力強化が必須なことを明らかにする。そして競争力の強化には、半導体の驚異的な進歩を支えてきた微細加工技術による集積度の向上という方法に頼らない、イノベーションの導入が必要なこともあわせて詳述する。そし



て異種機能材料素子と半導体素子の集積が半導体の進歩に新しい道を与えるイノベーションであることを述べる。

第6章では、異種機能材料素子の一つである強誘電体素子を半導体に集積するという技術イノベーションによって筆者自らが遂行した企業内起業の過程を、基礎研究段階から事業化に到るまで詳述し、イノベーションのマネジメントモデルを研究する具体的な事例として報告する。

第7章では、前章で詳述した強誘電体半導体の起業過程に起業工学的な分析を行い、従来から提唱されている各種のマネジメントモデルと対比させながら企業内起業に適用できるマネジメントモデルを述べる。

第8章では、総括として、本研究を通して得られた新しい知見をまとめている。

## 序 章

### 1. 本研究の背景

日本の経済は GDP で評価するなら米国に次ぐ世界二位の地位を保っているが、やがて中国にその地位は取って代わられると予想されており、日本の国際競争力は今や主要先進国の中では低位とも言うべき地位にランクされている。このような状態に陥っている原因は、新しい技術、新しい事業を生み出す力の衰えにあり、イノベーション力の強化は最重要課題となっている。

イノベーションによる起業というと、ベンチャー企業の創業を想起することが多い。しかし、日本の経済はいわゆる大企業といわれる企業群がその屋台骨を支えていることは販売額などの統計的なデータを見ても明らかであり、経済に与える影響力は計り知れない。経済を支える自動車産業や情報通信機器産業などの基幹産業は、莫大な経営資源を必要とするものが多く、大企業でなければこのような産業を支えることが出来ないからである。確かに、ベンチャー企業の起業は新しい事業の芽となる可能性を秘めているのだが、経済に及ぼす影響を考えると大企業のイノベーションによる競争力強化が緊喫のテーマであることは疑いないといえよう。

資本主義経済の生命力の源泉は、新しい技術やビジネスモデルなどの出現によって古い企業が破壊・淘汰され、そして新しい企業に資本が再配分されるメカニズムが働くことにありとシュンペーターは説き、これを「創造的破壊」と名づけた。企業が社内でイノベーションによる起業を実践すると云うことは、企業内部で創造的破壊を行うことであり、破壊される側と起業する側が発生する。

このため企業内起業の成功は難しいのではないかと思われるのだが、米国の **Business Week** 誌に最もイノベーション力が高い企業として掲載されている企業には、創業後十年以上を経た有名企業も数多く、中には 100 年以上の歴史を持つ企業も存在している。このような企業はイノベーションに挑戦し、自らを変革することによって激しい競争を勝ち残ってきたのである。

イノベーションを断行して自己変革を成し遂げ、新しい企業生命を獲得することは優れた経営者によって従来から実践されているのであるが、企業内起業という用語がピンチョーに造りだされることによって初めて概念が与えられ (1978 年)、経営課題として関心もたれるようになった。ピンチョーは企業内起業という用語を造りだすとともに企業内起業について分析的な説明を与えたのであるが (「企業内起業家」1985 年)、その研究は企業内起業家に焦点を当てたものであり、企業内起業家が果たすべき役割について述べられているものの、イノベーションを遂行して事業創り上げていく際のプロセスやマネジメントなどについては多くを述べていない。

「フラット化する世界」(2008 年) でフリードマンが述べているように、創造と破壊の荒波は世界のあらゆる企業に容赦なく押し寄せている。自らがいつ破壊される側に立

たなければならないか判らないのである。ひょっとすると明日の朝、新聞を広げると自社事業の存亡に関わるような新製品、新サービス、そして新企業が発表されているかもしれない。もはや経営者は、起業家精神に富んだ社員がひょっこり現れてイノベーションを行ってくれるのを待つわけにはいかない。

「イノベーションのジレンマ」(2001年)で企業が如何にイノベーションの機会を逃すかを理論的に説明したクリステンセンは、「イノベーションの解」(2003年)で偶然を待つのではないイノベーションの機会の捉え方を述べている。しかし、それでもまだ課題が残る。そのイノベーションをどのようにマネジメントすれば成功させられるのかという課題である。

## 2. 研究の目的

日本経済を支える大企業を中心とする既存企業が自ら創造と破壊を断行することによって自己変革を成し遂げ、競争力と成長力を獲得するためには、イノベーションによる企業内起業に関するマネジメントの研究を深めなければならない。本研究ではこのような認識に立ち、「企業内起業では何が起き、何を、どのように為さねばならないのか？」という命題に対して起業工学的の視点でそのマネジメントモデルの構築を試みるものである。

## 3. 研究の方法

日本経済の競争力が低下しつつあり、このためにはイノベーション力の強化が必要であるという認識が本研究の大前提となっている。したがって本研究は先ず、日本経済の実力を明らかにすることをから始める。そして、すでに重視されているイノベーション力についても研究分析を行い、大企業がイノベーションによる創造と破壊を遂行することが如何に重要なのかを各種の統計・調査データを分析することによって明らかにする。

企業内起業という本研究の対象は非常に広範にわたり、一挙に全てをカバーすることは出来ない。このため日本の基幹産業といっても過言でない半導体事業において自らが実践した強誘電体半導体の事業化を取り上げ、具体的なイノベーションのマネジメントに関する研究を深耕する。

強誘電体半導体は、半導体技術は集積度を上げることによって発展してきたという歴史にあって、機能の集積によって新しい発展の道を作ろうとする1980年代後半に本格化してきた技術イノベーションである。このイノベーションは米国を中心に進められ先進的な技術が開発されていた。これに対して日本では強誘電体技術はセラミックコンデンサやトランスデューサなど、所謂バルク素子で発展してきたものの半導体への応用については米国を追う立場にあり、強誘電体半導体の起業においては米国の技術を取り入れる必要があった。つまり協業による技術導入である。ところが1990年半ばまで強誘

電体半導体技術は未完成であり、開発を着手した 1990 年初期には多くの課題を抱え、技術導入にあたっては単なるライセンス技術の移転ではなく共同開発によって解決することが必要だったのである。故に企業文化や経営目標の全く異なる海外企業との共同開発も実施することになった。また、技術イノベーションによる起業の多くが研究開発部門から発するように、強誘電体半導体も研究所から起業の動きが始まった。強誘電体半導体技術を用いて製品を設計し、生産して販売するには研究所の有していない多くの設備、機能、人材が必要で、これらの経営資源を獲得するには「イノベーションのジレンマ」に述べられている障壁を乗り越えて既存事業部門の協力を得ることが不可欠だったのである。このように強誘電体半導体の起業過程は本研究を遂行するために必要なあらゆる要素を含んでいる。

マネジメントモデルの研究に先立って、本研究では先ず強誘電体半導体による企業内起業を協業、研究開発、事業化、組織という側面から分析することから始める。そしてそれらの分析結果を詳細に検討することによって、強誘電体半導体の起業における特殊性とは関わらない、ビジネスモデルを抽出する研究を実施した。

#### 4. 研究成果の要約

- (1)イノベーションプロセスにおけるマネジメントで重要なのは、社外との協業である。過去において企業の多くは、研究を自社内部で行うことによって他社に無い製品を生み出そうとしたのであるが、いまや他社と協業することによって研究開発を進めるオープンイノベーションを否定する人は居ない。オープンイノベーションのマネジメントモデルとしては A&D、C&D が良く知られており、CISCO や P&G などが成功企業例として頻繁に引用されている。しかし、強誘電体半導体の起業においては、このいずれのモデルでも説明しきれない。事業化の目標を双方が強く共有しながらイノベーションを推進するものの、双方の独自性を失わない関係が維持されていたのである。この協業の関係は一見 C&D に似ているのだが、イノベーションの事業化という共通の目標のもと、両社の努力を収斂させている点で C&D とは異なるからである。事業目標を強く共有しながらもそれぞれの独自性を維持しながら協業する「緩く結合した」関係は、従来の A&D や C&D に無い特長を備えた協業を有効に機能させるこの新しいマネジメントモデルである。
- (2) 研究開発のマネジメントでは、発明・発見至上主義とも言うべきリニアモデルから、今日では、技術開発の各プロセスとアカデミックな知識との相互作用に注目したチェーンリンクモデルが重要視されている。強誘電体半導体の場合、明らかにチェーンリンクモデルでプロジェクトは運営されていたのだが、協業先との関係は上記のような緩い関係であり一本のチェーンリンクに統合されている訳ではなかった。そこで本研究では上述の協業と研究開発マネジメントの関係を詳細に分析し、単純な一本のチェーンリンクモデルではなく、複数のチェーンリンクが相互作用しながら

複合して機能する「コンプレックスチェインリンク」を形成していることを見出した。協業パートナーがそれぞれ社内でチェインリンクモデルに基づくイノベーションのマネジメントを遂行しながらも、緩い結合を通じて自らのイノベーションプロセスを促進させるためにパートナーからフィードバックを受け、あるいはパートナーに与えているのである。

- (3) 研究開発段階から事業化への移行は、イノベーションにおいて最も重要なマネジメントである。多くのイノベーションがこのステップで頓挫してしまうため、その障壁は「死の谷」とも「ダーウィンの海」とも呼ばれている。強誘電半導体の場合、研究開発が進むにつれて期待出来る性能が次第に明らかになってきたのだが、着手当初に定めた目標にはなかなか到達出来ず、また純粋な技術上の問題以外にも事業化に配分出来る経営資源の制限も重なって非常に困難な状況に陥った。この状況に際し、所期の目標とは異なるもののその時点での技術水準で可能な事業であった IC カードやタグ用の LSI で事業化する決断を行ったのである。「妥協」とも言えるがこの選択の結果、強誘電体半導体は実用化され、事業生命を維持しながら更なる成長へ向かうことが出来たのである。多くの起業が遭遇するであろう「事業化への障壁」を乗り越えるアプローチとして、日本の企業文化のなかでは「初志貫徹型」マネジメントが評価される傾向があるものの、経営環境が激変する今日ではプロジェクトの推進に対しては柔軟なスタンスを取る重要性が高まっている。強誘電体半導体が事業化に成功したのは、「飛び石」的な考え方をを用いて技術的な可能性、経営資源や組織能力などの観点で最も可能性の高いと思われるアプローチを選択し、死の谷とかダーウィンの海とか称される事業化への試練を乗り越えた所以であることは疑いようが無い。当該アプローチは、事業化への障壁を乗り越える有効なマネジメントであるといえよう。
- (4) 事業段階に進むと事業戦略を策定する。ここでは通常、選択した事業分野での業界の構造を踏まえ自社の特長を活かせる事業戦略を立てる。強誘電体不揮発性メモリのケースでは IC カードやタグ用の LSI 製品を事業分野として選択し、その付加価値を最大化する方向としてソリューションビジネスに展開する戦略を構想したが、結局は半導体製品での事業に集中する戦略を決断することになった。企業の組織能力が半導体事業分野に環境適応しており、事業戦略を遂行するために必要な組織能力と企業の組織能力が合致しないためである。イノベーションは創造と破壊を伴うものであり、ソリューションビジネスへの展開を中断したことはイノベーションの核心を逸らしてしているようにも考えられる。しかしながら付加価値最大化を実現するために企業の組織能力を変革するアプローチは英雄的ではあるが膨大なエネルギーが必要である。むしろ、企業内起業は企業の組織能力を環境パラメータの一つとして正しく認識し、活用出来る経営資源や組織能力を最大限に活用するマネジメントが必要である。

本研究で見出したマネジメントモデルに従えば、場合によっては目標へ迂回路を経由する他、参入事業分野における最適事業モデルとは異なる事業モデルを採用する方向に向かわせる場合もある。しかしながら企業内起業は一般的に経営資源が乏しく組織能力も脆弱であり、企業内及び社外資源の最大活用という考え方に根ざすマネジメントは、このような条件下でイノベーションを成功させるマネジメントの基本的な考え方として有効ではないかと考えられる。

## 第2章 日本の経済競争力

全ての基本は自らを知るところから始まるという原則に立ち、先ず日本経済の置かれている状況を確認するところから始める。経済力の現状確認といっても経済には多くの側面があり、その分析は非常に広範なものになる。本研究のテーマである「技術イノベーションによる企業内起業」は、経済競争力の強化を研究目標の根底にしており、したがって日本経済の分析においても世界における「競争力」を見つめるという立場に立つことにする。

### 2 - 1 日本経済の推移

日本は戦後復興期以来、生産年齢人口が増加し、「品質の高い製品を安く作る」世界の工場としてのポジションを確立し、米国の象徴とも言えるエンパイヤーステートビルディングを買収して日本バッシングを引き起こすほどの繁栄を謳歌した。しかしながら今や、日本は世界に類を見ない高齢化社会に陥ろうとしている。図2-1のように年齢別人口構成率を見ると65歳以上の人口比率は日本が世界で一番高くなると予想され、またOECDの調査によれば65歳以上の不就業人口は2010年には全労働人口の37.8%、2015年には45.4%にも達すると推定されている<sup>1-2</sup>。

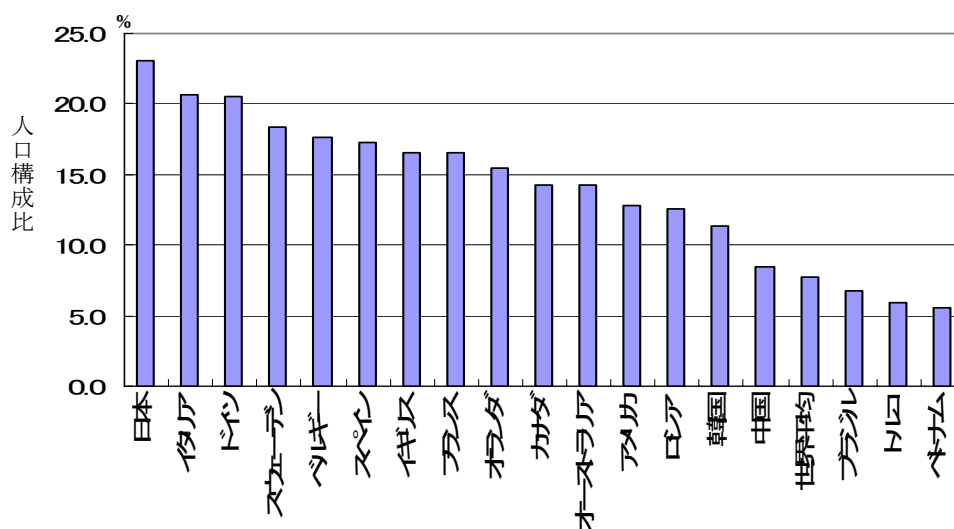


図 2-1 2010年における65歳以上の人口構成比<sup>3</sup>

また経済産業省の取り纏めた「新経済成長戦略」<sup>4</sup>によっても世界で初めて平均年齢が40歳を越えることが報告されている。このような超高齢化社会になると、就業している国民が扶養しなければならない人口が増加し、GDPの低下をまねく。高齢化社会によるGDPへの影響は経済統計にも如実に表れており、図2-2のように日本のGDPは1990年ごろまでは順調に成長し実質GDPは500兆円に達したが、2005年頃までは完全に停滞し、近年は再び成長力を回復しているものの成長率は低迷したままである。

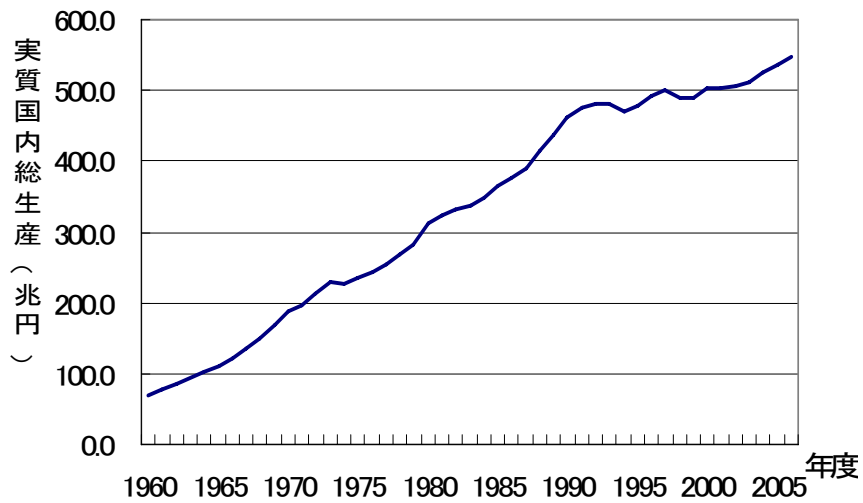


図 2-2 日本の実質国内総生産<sup>5</sup>

先述のように日本の不就業人口比率は世界で類を見ないほど高くなり、人口比率の少ない就業者が日本経済を支えねばならない。この問題を解決するには就業者一人一人の生産性、つまり投入する労働力に対して生産する付加価値が世界トップレベルでなければならないことを意味するのだが、国民一人当たりの GDP は国民経済計算年報によると図 2-3 のように 1997 年をピーク 2002 年まで下がり続け、2003 年以降は回復しつつあるが 2006 年時点においても 1997 年の水準に達していない。

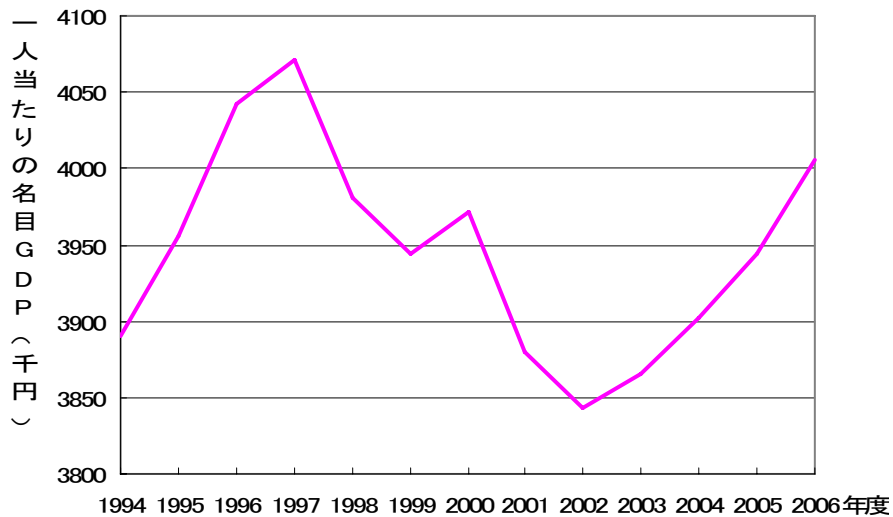


図 2-3 国民一人当たりの名目 GDP の推移<sup>5</sup>

さらに、労働時間あたりの GDP という面でもその生産性は低下していることが図 2-4 からわかる。このように高齢化による日本経済の生産性低下という課題を乗り越えることが大きな課題なのである。



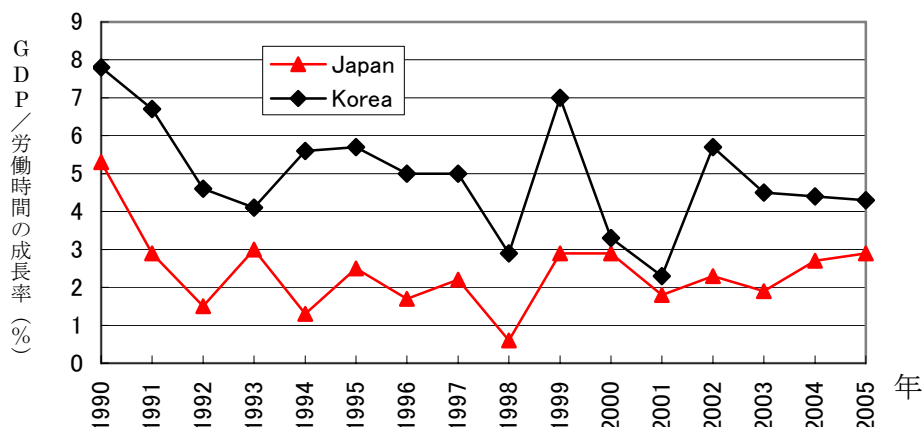


図 2-4 GDP/労働時間の成長率<sup>1</sup>

日本経済の付加価値生産の源泉はどこにあるのだろうか。国民経済計算確報<sup>6</sup>によれば 2007 年の名目 GDP の内、製造業が 20.7%を占めており GDP の中ではサービス業と並んで最も大きな比重を占めている。さらに製造業は 4 年連続でそのシェアを上げている。経済界の大きな動きで注目されることも多い金融は 6.7%、運輸通信は 6.4%に留まっており、依然として日本経済は製造業によって支えられていることがわかる。しかしながら中国なども世界の工場として GDP を急伸させており、強力な競合相手になることは明らかである。さらに Thomas L. Friedman の「フラット化する世界」<sup>7</sup>に述べられているように、経理、ソフト開発などの知的労働さえインターネットによるネットワーク社会の出現によってインドなどの開発途上国とみなしていた国々が参加できる時代になっている。同書によればインド、中国などでは学位を持つ人材が毎年何十万人も輩出されており、これらの人材が職業を求めて所謂先進国のホワイトカラーと競うことになるであろう。

このように、工業生産では労働コストの安い BRICS にポジションを譲り、知的生産でも徐々に追い上げられているのが日本の置かれている状況である。この状況を打破して活力ある経済力を獲得するには、知恵を出し価値を創造する力を強化することが唯一の方法である。つまり、イノベーション力の強化である。

## 2 - 2 世界経済における日本経済の位置づけ

競争力は相対的なものである。世界の中で日本がどのようなポジションに立っているのかを知らねばならない。

経済産業省の調査によれば<sup>4</sup>日本の経済成長が鈍化しているのに対して BRICs が急伸する結果、2013 年頃には GDP 世界第 2 位のポジションが中国に奪われるだろうと予測されていた。ところが 2008 年 4 月に発表された IMF (International Monetary Fund) から発表された世界の GDP とその予測によれば<sup>8</sup>、2013 年ではなく 2011 年頃には中国に追い抜かれると予想され、約二年早まっている。この他、主要経済先進国は日本と同様に緩

やかな成長をするのに対し、米国の GDP は活力のある成長を維持すると予想されている。

ところで各国の GDP を分析する際に注意しなければならないことは、GDP は人口が多ければ大きな値になる為、各国の生産性を評価する際には人口一人当たりの GDP を比較しなければならない。各国の一人当たりの GDP を求めると次のような興味深い結果が得られる。日本を追い抜き世界第 2 位の GDP を達成すると予想されている中国は、一人当たりの GDP では 11 位に留まっており、就業人口あたりの生産性はまだまだ低い。沿海地域では急速な工業化が進んでいるものの、中国全体が高度な経済社会になるにはまだ時間がかかりそうである。注目すべき点はイギリス、カナダ、フランスである。一人当たりの GDP が非常に高く米国以上の値を示していることと、加えて高い成長性が予測されていることである。この事実は、これらの国々が効率の良い付加価値生産を行っていることを意味している。これに対して日本の人口一人当たりの GDP は 2007 年にイタリアに抜かれ、現在ではドイツ、イタリアに次ぐ世界 7 位にポジションを下げている。平成 18 年度国民経済計算確報によるデータを分析すると主要国の GDP に占める日本の比率は 2003 年には 15% であったものが 2006 年には 12.6% と、2.4 ポイントも下げている世界経済における存在感が弱まっている。他方、中国は 1.8 ポイント上昇、米国は -0.8 ポイントの低下に留まり、EU15 カ国の GDP は 1.0 ポイント上昇している。米国・欧州先進諸国は成熟社会であり日本と同様な傾向を示しても不思議ではないのだが、経済指標を見ると日本とは大きくことなり活力を取り戻している。日本は、高齢化社会で生き残るために必須な生産性の向上対策が出遅れていることが明らかである。

### 2 - 3 日本経済の競争力

日本経済は GDP から見ると成長力が鈍化していると言わざるを得ず、残念ながらまもなく中国に追い抜かれ世界第 3 位に後退することがほぼ確実である。さらに国民一人当たりの GDP ではイタリアに抜かれて世界第 7 位にまで転落しており、日本の付加価値生産性という面でも脆弱化していることがわかる。このような GDP の分析から得られた結果は、他の評価機関の結果とも一致している。

International Institute for Management Development (略称 IMD) から報告されている World Competitiveness Year Book では、各国の経済を様々な側面で指標化し、専門家が採点する方法で競争力を評価している<sup>9</sup>。2007 年の報告書では日本は競争力を低下させていると評価され、図 2-5 のように 2006 年の 16 位から 2007 年には 24 位にランクを下げているのである。24 位というポジションは、驚くべきことにイスラエル、エストニア、マレーシアよりも低い地位である。日本の GDP の高さ、世界の主要製品における日本製品のリーダーシップを考えると違和感をぬぐえない。そこで、世界経済フォーラムが IT 分野における世界各国の競争力を評価しているので、この報告書によっても日本の競争力に対する評価を調査してみた<sup>10</sup>。図 2-6 に示すように、2008 年 4 月に発表された報告書で日本は 19 位と評価されている。

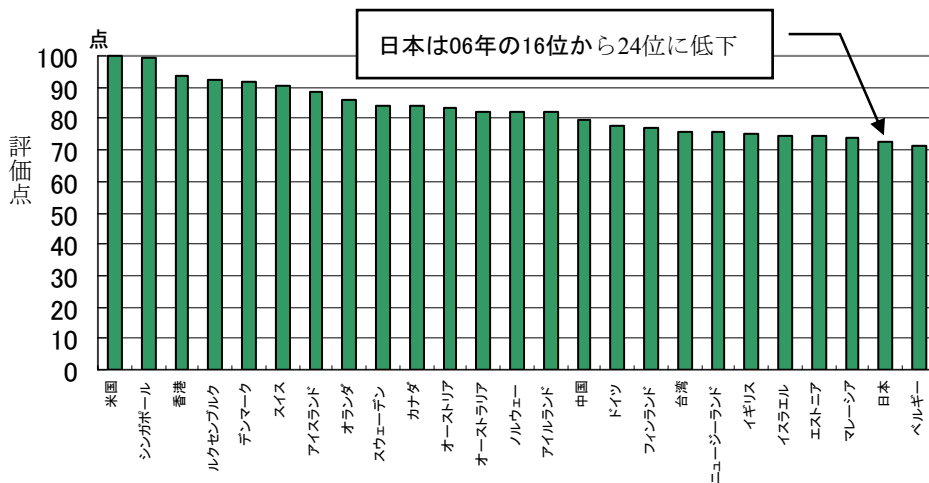


図 2-5 2007年 IMD による各国の競争力評価<sup>9</sup>

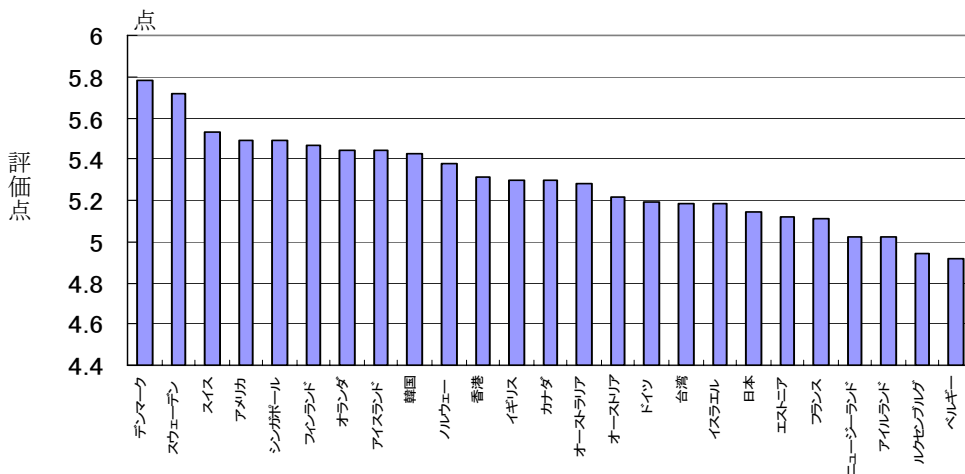


図 2-6 2007年世界経済フォーラムによる各国のIT競争力評価<sup>10</sup>

さらに過去の報告書を調査すると 2005 年は 16 位、2006 年は 14 位となっており、IT 分野においても日本の競争力は世界のトップレベルではないと評価されている事がわかる。IT 分野は、ネットワーク社会ともユビキタス社会とも言われる現代社会のインフラを支える基盤産業の一つであり、この分野における競争力が低いと評価されている事実は非常に深刻に受け止めねばならない。このように、IMD、世界経済フォーラムという定評のある機関が、日本の経済力の競争力は先進主要国の中では低位にあると評価しているのである。

世界第 2 位という GDP の地位を考えると競争力におけるこのような低い評価は不可解とも思われるが、GDP は過去の競争力による結果であり世界第 2 位の地位は今日の競争力を反映しているものではないのである。今日の競争力によって明日の経済ポジションが決まること考えると、現状のままでは将来の経済的地位は益々低下することになる。イノベーションによる競争力の獲得が必要な所以である。

## 2 - 4 主要エレクトロニクス製品における競争力

経済力評価では、先進諸国の中では中位よりむしろ低位の評価を受けているが、この評価は様々な指標に対する採点方式によるものであり、現実の経済取引における競争力との直接的な関係が分かりにくい。例えば、日本製の TV やデジタルカメラが世界中で販売され、自動車産業は世界トップレベルの販売を誇るなど日本の競争力がそのように低いという実感が湧かないからである。

そこで、現実の製品取引を分析することによって、競争力がどうなっているのかを分析した。選んだ産業分野はエレクトロニクスである。エレクトロニクス産業は今日の社会インフラを支える産業であり高度な技術が集約される高度技術産業分野である。エレクトロニクス分野は日本が得意とする分野であり、日本が最も力を入れている分野でもある。したがって、この分野での競争力は日本経済の競争力を象徴するものだと考えたからである。

エレクトロニクス製品は多くの部品から構成されている。中でも半導体素子はエレクトロニクス製品の機能を実現する基幹部品であり、近年ではシステムオンチップとか、システム LSI という用語で説明されるように、エレクトロニクス製品の主要機能を全て半導体素子に集積してしまうことが実現できている。したがって、エレクトロニクス製品の動向とともに、半導体集積回路製品の動向を分析した。

先ず、エレクトロニクス製品の世界市場におけるシェア動向である。2007年9月18日に日本経済新聞の報じた内容によれば、携帯電話ではシャープがかろうじて世界5位でシェアは僅かに1.3%。パソコンでは4.2%のシェアを有する東芝が4位、日本が最も強いTV分野では液晶TVでソニーとシャープで合計27.7%のシェアを取り、ソニーが世界1位、シャープは世界3位である。プラズマTVでは松下電器が29.5%で世界1位であるが、LG電子と三星を合わせると韓国のシェアは29.9%となり日本を上回る。半導体は東芝が3.9%のシェアで世界4位に留まっているに過ぎない。メーカー個別に見れば日本のメーカーが世界1位のシェアを有する製品もあるが、国別では世界1位のシェアを有する製品はない。TVですら僅かではあるが韓国に抜かれている。以上のように、強いと感じていたエレクトロニクス製品分野でも強いのはごく限られた製品であることがわかる。

次に実施したのは、米国が調達する半導体集積回路の国別取引高の調査である。米国はGDPと、経済競争力評価による競争力でも世界1位の地位を維持し続けている。オープンイノベーションの考え方が早くから導入され、国際分業によって経済活力を維持し続けている米国が、エレクトロニクス製品をどの国から調達しているかを分析することは、どの国のエレクトロニクス製品に競争力があるのかを評価する一つの指標になる。

調査では高度な技術製品である半導体集積回路素子を選んだ。米国が調達する貿易取引のデータは、International Trade Administration (ITA) で集計されている。このデータを用いて、半導体集積回路素子の取引を2000年から2007年まで追跡したのが図2-7である。

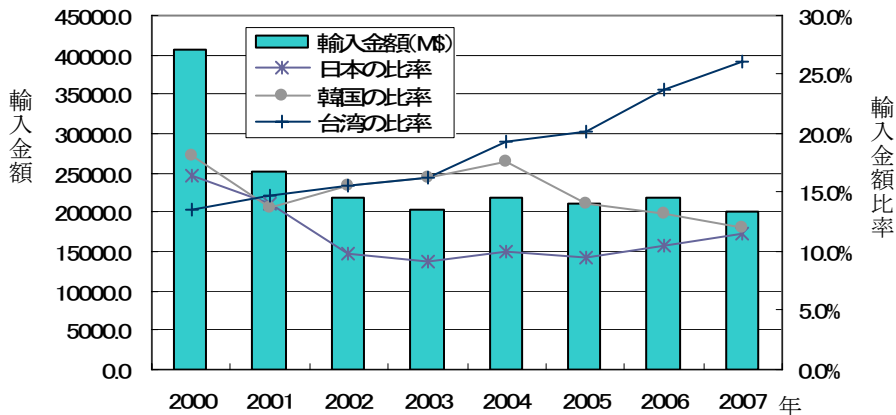


図 2-7 米国の半導体集積回路製品輸入先動向<sup>11</sup>

2000年には日本から6701百万ドルの輸入を行い、この金額は全体の16.5%であった。他方、台湾からは同じ2000年に4840百万ドルの輸入を行い、この数字は全体の13.5%であり、日本からの輸入が上回っていた。しかしながら図に示すとおり2001年以降は台湾からの輸入金額が日本を上回り、さらにその差は拡大し続けた。2007年には台湾からの輸入は4143百万ドルまで拡大し全体の26.1%を占めている。これに対して日本からの輸入は台湾を1846百万ドル下回り、シェアも11.5%と2000年に比較して5ポイントシェアを落としているのである。

ところで三星を筆頭とする韓国半導体産業の躍進が注目されているが、米国からの輸入金額は2004年を境に減少し、2007年現在では日本とほぼ同じ地位に留まっていることが注目される。顧客として米国が見た日本製半導体製品の魅力、つまり製品の競争力は韓国と同等であり、台湾よりも劣っていることが明らかになった。

半導体デバイスのみならず、米国が国外から調達するコンピュータ部品全般に渡る輸入先としての地位も大きく変化している。図2-8はITAの統計データから作製したものであるが<sup>12</sup>、調達金額における日本の割合は2000年の20%から2005年には6%まで急低下しているのに対して、中国は2000年の12%から2005年には53%を占める急成長を遂げている。この事実は、中国を代表とするBRICsの工業力が決して低水準の技術製品ではなく、日本の工業製品を押しのけるほどの高度な製品を供給できる力を有していることを物語っている。

経済力評価において日本の経済競争力は先進国において中～下位に評価されているのに対して違和感を持ち、製品そのものの競争力は高いのではないかとの想定したのであったが、エレクトロニクス製品の競争力を調査した結果、限られた製品分野では高い競争力を持っているものの、多くの場合、世界市場における競争力は次第に失われている傾向が明らかである。このように競争力は失われつつあり、IMDや世界経済フォーラムなどが日本の経済競争力が低下しているとする評価結果と整合するのである。

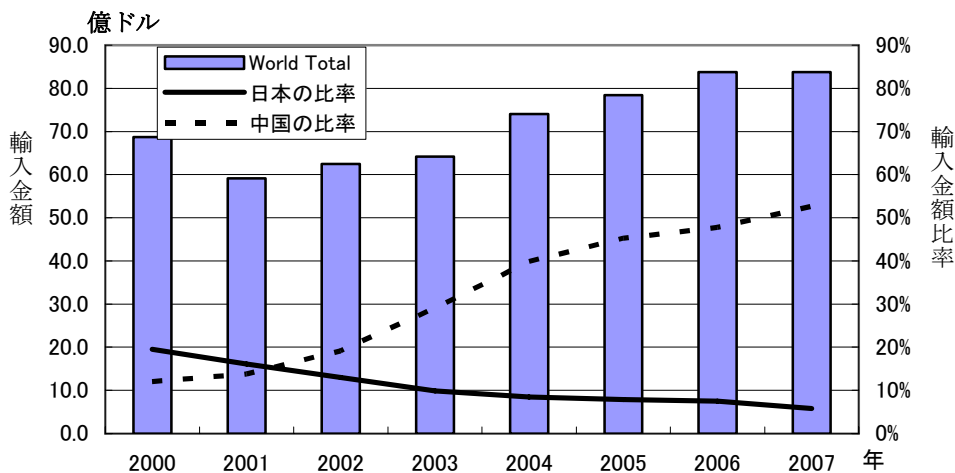


図 2-8 アメリカのコンピュータ部品輸入国の推移<sup>12</sup>

## 2 - 5 経済競争力の再生とイノベーション

1942年、当時ハーバード大学の教授であったジョゼフ・シュンペーターは、自ら著した「資本主義・社会主義・民主主義 (Capitalism, Socialism, and Democracy)」の中で<sup>13</sup>、「資本主義はなぜ生き延びるのか」という章を設け、資本主義の発展は単に動態的变化や、社会・自然環境の変化に基づいて起きるものではなく、新しい消費財、新生産方式、新輸送方式、新市場、新産業組織形態からもたらされるものだとしている。これらはそろばんからコンピュータにいたる情報処理産業、銀塩カメラからデジタルカメラへの変革の歴史など全て、旧きものを破壊し新しきものを生み出す「創造的破壊 (Creative Destruction)」の中から生まれたものであり、創造的破壊は資本主義経済の発展に働く基本的な力である。古い企業が市場経済から去り、新しい価値を生み出せる企業に資源が再配分されていくことによって市場経済は再活性される。世界経済がボーダレスになっている現代の経済社会では経済競争はグローバルに行われており、日本経済も創造的破壊の波に洗われている。グローバルな経済競争で生き残るには創造的破壊を恐れず果敢に挑戦しなくてはならない。経済競争に負けることになれば経済資本は国外に流出し、取り立てて資源の無い日本は益々弱体化し、経済力によって維持してきた世界主要国としてのポジションを失うことになるのである。

シュンペーターはまた、自らの著書「経済発展の理論 (Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung)」(1926年)で<sup>14</sup>、「経済の革新は消費者の欲望から生まれるのではなく、経済主体者の側から欲望が生まれることによるのが常である」と述べ、経済主体者側の革新とは物や力の結合の方法を漸次に変えることではなく、不連続的に新しい結合に変えることであると説いている。新結合は下記に示すように5つの場合があり、新しい結合による生産によって革新的な変化を起し、その結果創造的な破壊がなされ経済は再び新しい成長の道を歩み始めるのである。

ここで重要なのは、新しい結合は消費者（市場）の欲望から生まれるのではないということである。経済の主体者が創造的になって生み出さねばならない。つまりイノベーションの創出力が求められるのである。

#### 【新結合の5つの場合】

##### 1. 新しい財貨の生産

消費者に知られていない新しい財貨、新しい品質の財貨の生産。

##### 2. 新しい生産方法の導入

ある産業部門にとっては未知なる生産方式の導入。科学的発見に基づくもののみならず、商品の商業的取り扱いに関する方法も含む。

##### 3. 新しい販路の開拓

当該国の当該産業部門が参入していなかった新しい市場の開拓。

この市場が既存であるか新規市場であるかは問わない。

##### 4. 原料あるいは半製品の新しい供給源の獲得

単に見逃していたのか、不可能と考えられていたのか、新規に作り出さねばならないのかは問わない。

##### 5. 新しい組織の実現

独占的地位の形成、あるいは独占の打破。

これまで述べてきた背景のもと、イノベーションの重要性が各国で強く認識されている。日本では2006年9月に「イノベーション25」が安部内閣のもとで発足して2025年に向けて経済成長に貢献できるイノベーションの創造を加速する施策を検討された。また米国では競争力協議会が2004年12月に発表した”Innovate America : Thriving in a World of Challenges and Change”という報告書の中で<sup>15</sup>イノベーションの重要性とその強化策を提言し、すでに着々と布石を打っているのである。さらに中国も世界の工場という地位に甘んじることの危険性を認識し、2006年に発表された「国家中長期科学技術発展企画綱要」では2020年に向けてR&D投資をGDP比2.5%以上に高め、また中国人による特許・科学技術論文の引用数を世界5位以内にする目標を掲げるなどイノベーション力強化を政府の政策に取り入れ動きを始めている。先行する米国、後に迫る中国ともにイノベーション力強化にアクセルを踏んでおり、日本のイノベーション力強化は緊喫の課題なのである。

#### 参考文献

1. 経済協力開発機構 & トリフォリオ, ed. (2008), 図表でみる世界の主要統計 2007年版 - OECDファクトブック 経済、環境、社会に関する統計資料 (2007), 明石書店.
2. OECD, OECD FACTBOOK 2007, Organization for Economic.
3. 総務省統計研修所, ed. (2008), 世界の統計 2008年版 (2008), 日本統計協会.
4. 経済産業省, ed. (2006), 新経済成長戦略, 経済産業調査会.

5. 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部, ed. (2007), 国民経済計算年報 [平成19年版], メディアランド.
6. 平成18年度国民経済計算確報 (フォー編), 内閣府経済社会総合研究所 国民経済計算部.
7. トーマス・フリードマン, (2008), フラット化する世界 [増補改訂版] (上・下), 日本経済新聞出版社.
8. World Economic Outlook 2008, April 2008: Housing and the Business Cycle (World Economic Outlook), International Monetary Fund.
9. Garelli, S. (2007), IMD World Competitiveness Yearbook 2007, IMD - International Institute for Management Development.
10. World Economic Forum (2008), 'The Networked Readiness Index 2007-2008 rankings', <http://www.weforum.org/pdf/gitr/2008/Rankings.pdf>.
11. International Trade Administration(2007), 'Imports of HS 8542 ELECTRONIC INTEGRATED CIRCUITS & MICROASSEMBL, PTS', Trade Stats Express - National Trade Data, <http://tse.export.gov/MapFrameset.aspx?MapPage=NTDMapDisplay.aspxUniqueURL=dqquetin4mthjxpammrspti45-2008-6-26-18-6-16>.
12. International Trade Administration (2007), 'Imports of NAICS 3341 COMPUTER EQUIPMENT', Trade Stats Express? - National Trade Data , <http://tse.export.gov/MapFrameset.aspx?MapPage=NTDMapDisplay.aspxUniqueURL=zt4lquk3kpd0f45knoyk245-2008-6-28-1-12-56>.
13. シュムペーター, J. (1995), 資本主義・社会主義・民主主義, 東洋経済新報社.
14. シュムペーター, J. (1977), 経済発展の理論 - 企業者利潤・資本・信用・利子および景気の回転に関する一研究〈上〉 (岩波文庫), 岩波書店.
15. Innovate America Council on Competitiveness. (December 15, 2004), 'Thriving in a World of Challenge and Change', final report of the National Innovation Initiative.



## 第3章 日本のイノベーション強化と起業

### 3 - 1 研究開発力

イノベーションは従来にない新しい結合であり、ビジネスモデル、マネジメント、研究開発など、様々な活動のなかで生み出されるものである。なかでも研究開発はイノベーションを模索しそして実現させるための代表的な活動であり、政府・行政もイノベーション力強化策を定める際にも研究開発力の強化を重要と位置づけている<sup>1</sup>。

この章では日本の研究開発力を調査分析することによって、日本のイノベーション力の現状と課題を明らかにする。

研究開発は、文学、言語学から経済学、法学などの人文科学系を対象とするものから、数学、物理学、生化学、電磁気学などの自然科学系を対象とするものまで非常に広範である。従って、イノベーションを論じる際には「研究開発」の定義を絞らねば本質を見誤る可能性がある。例えば、源氏物語の文学的研究は日本経済の強化に貢献するイノベーションと直接的な関係はないと言っても大きくは外れていないであろう。そこで本研究では文学に関する研究力はイノベーションの強化に関する対象から除外しても差し支えないと考えることにする。

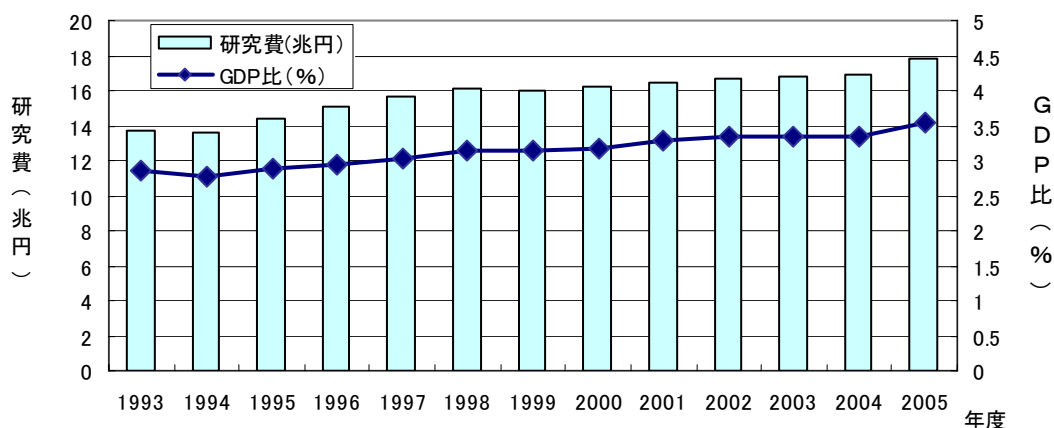
これに対して、自然科学は現代の物質文明を支えていることに誰も異論はないだろうと思う。また、経済学や経営学、法学などは社会・経済を機構モデルとみなした研究領域でありその研究は社会機構の合理的な運営に強く影響するものである。社会主義経済モデルは資本主義経済モデルに敗れたが、このことは社会・経済モデルが経済力に根本的な影響を与える一番わかりやすい事例である。以上の考えに立ち少々大胆ではあるが、ここでの研究開発は、自然科学および社会科学に関するものに絞ることにする。

研究開発力がイノベーションを生み出すための戦力と考えれば分析するポイントがわかりやすい。まず、戦力には量と質の両面があり、この両面から考える必要がある。量とは、投入される資金と人的資源量であり、研究開発に投じている資金量、研究者従事者数を調査することによって知ることが出来る。また、質とは同じ量の戦力を投入する際に得られる成果である。ある量の研究開発費、研究者を開発に従事させた場合に得られる発明・特許数や、また付加価値量生産量から知ることが出来る。ここで注意しなければならないのは、これらの評価は競争者との比較においてなさねばならないことである。

年間研究費が100億円、研究者が10万人、また特許出願数が20万件と言うデータが得られてとしても、この数字だけでは競争力が強いのか弱いのかは判断出来ない。例えば、先進国の米国、また日本を急迫してきている中国やインドなどがどのような資金、人員を投入し、成果を得ているのかを知り、比較しなければならぬのである。イノベーション力は絶対的な尺度のもとで評価されるのではなく、競争関係のなかで評価されるべきものだからである。

日本が支出する研究開発費は総務省が発表した「平成18年科学技術研究調査」<sup>2</sup>のデータ

から知ることが出来る。研究開発費は図3-1のように1993年以来ほぼ毎年増加し、2005年には17.8兆円、GDPに対する比率は3.53%に達していることがわかる。



3-1 日本の研究開発費推移

他方、文部科学省が調査した平成19年度版「科学技術白書」<sup>3</sup>によれば、日本は主要国のなかでは世界2位の研究開発費を投入していることがわかる。ここで注目すべきはGDPに対する割合である。GDP比は2.68%であり日本が主要国のなかでは最も高いことがわかる(図3-2)。日本は主要国のなかでは国力に比較して最も研究開発に力を注いでいることになる。

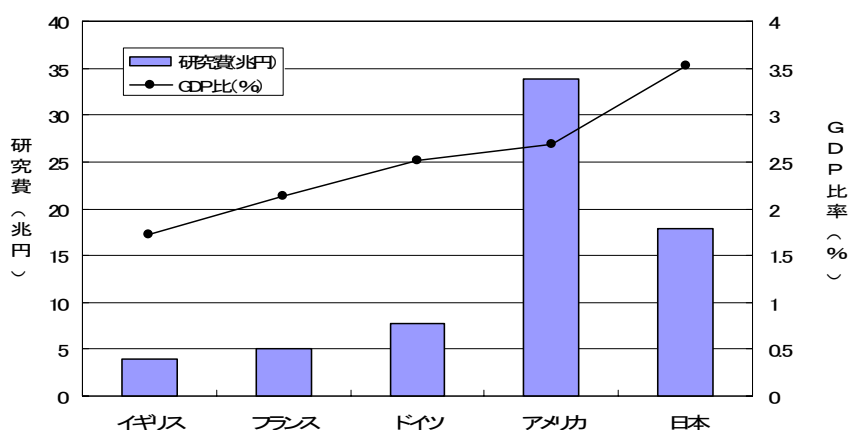


図3-2 先進主要国の研究費とGDP比

次に研究開発に投入される人的資源を調査する。同じく先に述べた「科学技術白書」によれば日本は2004年には82万人の研究従事者を擁している。他方OECDが行った調査によれば図3-3のように主要国のなかでは米国の130万人、中国の93万人に次ぐ3位となっていることがわかる。このように日本は主要国のなかでは最も対GDP比が高く、第2位の研究開発費を投入し、また人的資源では3位の規模を投入しているのである。ではなぜ、GDPが伸び悩み、経済競争力が低下しているのであろうという疑問が湧く。

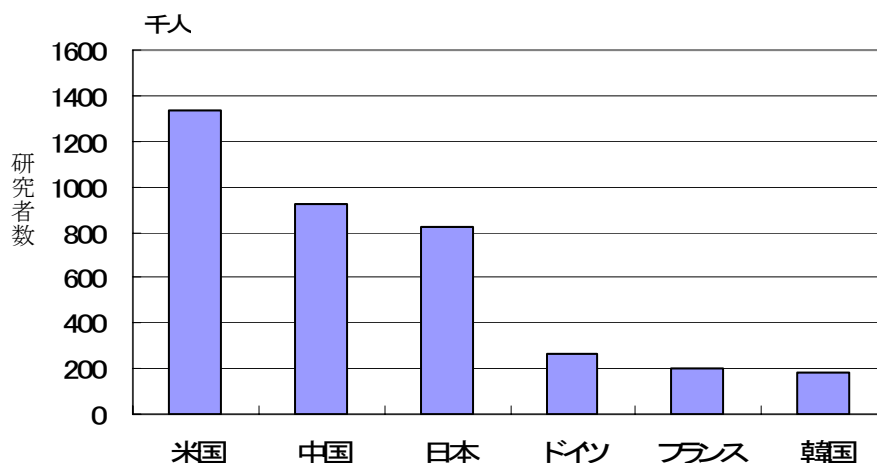


図 3-3 主要国の研究者数

国名	研究費(百万円/人)	統計年度
アメリカ	29.7	2002
ドイツ	29.3	2004
フランス	26	2004
イギリス	25.7	1998
日本	23.7	2005

表 3-1 主要国の一人当たりの研究費

研究開発に対する投入資源総量に対し、研究開発従事者一人あたりの研究開発費は約 24 百万円で、米国の約 30 百万円を筆頭に並ぶ先進主要国のなかでは 5 位にランクされる。統計年度が古いので 2008 年度版の「世界の統計」<sup>4</sup>から各国の研究費/人を計算すると、日本は 13 位、米国は 4 位、そしてスイスが 1 位と言う結果になり、表 3-1 の値とは異なるのだが一人あたりの研究開発費が低いと言う傾向は確かであることが確認された。次に一人当たりの研究費が低いことによる影響を見るため、研究従事者一人あたりの研究開発費と国民一人あたりの GDP の関係を調べた。IMF の World Economic Outlook Database, April 2008 から各国の国民一人当たりの GDP を求め、先に求めた研究費に関するデータと組み合わせてプロットしたものが図 3-4 である。同図からわかるように両者には、弱い正の相互関係がある。つまり一人あたりの研究開発費が多いと国民一人あたりの GDP も多くなっているのである。これらのことから言えるのは、国力に対し重い負担をしながら研究開発費を捻出しているのであるが、研究開発者が多すぎて広く薄く研究開発費が配布されてしまい、成果に結びついていない可能性があるということである。しかしながら、研究開発者がどの分野においても一様に多いのか、特定の分野の問題なのかは、上記の議論では明らかになっていない。この議論を深めるには、研究開発費の使われ方を分析する必要がある。

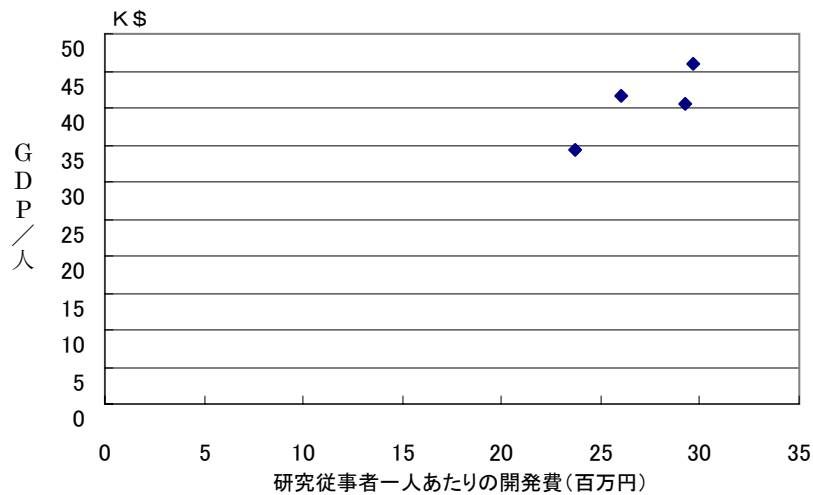


図 3-4 研究費/研究者と、国民一人当たりの GDP

研究開発には原理的な発見・発明を目指す基礎研究と、基礎研究の成果を発展させ実社会に生かすための研究を行う応用研究に大別される。ここで先ず想起するのは基礎研究あるいは応用研究に偏重した投入をしているのではないかという疑問である。例えば基礎研究偏重の場合は、新発明・新技術が生み出されても経済への貢献が小さく、逆に応用研究偏重の場合は改善的な技術進歩は可能ではあるもののイノベーションの源泉が涸れている状態になってしまい経済は次第に衰弱するであろう。

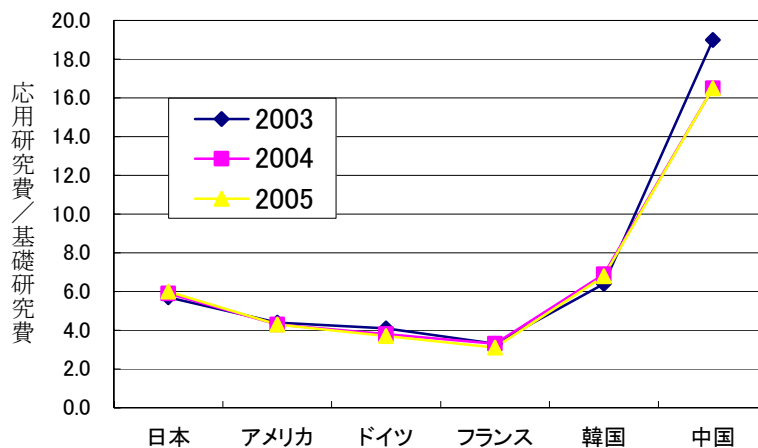


図 3-5 各国における応用研究費/基礎研究費の比率

主要国の応用研究費と基礎研究費は文部科学省が取りまとめた「科学技術要覧」<sup>5</sup>に掲載されている。同資料のデータから応用研究費が基礎研究費の何倍使われているかを計算しグラフ化したのが図3-5である。各国とも2003年から2006年にかけて傾向は殆ど変わっていない。特徴的なのは中国であり応用研究費は基礎研究の16-19倍も支出されている。中国の応用研究費比率が高いのは、先ずは先進主要国を追いかけることに重点を置き、即

効性のある応用研究に力を注いでいるためであると考えられる。最も基礎研究に力を注いでいるのはフランスで応用研究費は基礎研究費の3倍に留まっており、米国は4倍、日本は6倍である。このような支出比重がGDPに影響を与えているのかを検証する必要がある。ところで、GDPは国民一人当たりのGDPは低くとも、人口が多ければ国としてのGDPは大きくなる。このため応用研究費と研究開発費の比率が付加価値生産にどのように影響しているのかを調べる場合は、総量ではなく生産性の議論であるから、国民一人当たりのGDPで評価しなければならないことに注意する必要がある。IMFのGDPに関するデータを用いて相関図を描くと図3-6のようになる。同図から、米国は仏・独より応用研究比率が高いにもかかわらず生産性が高い結果になっているが、同国以外は応用研究費／基礎研究費と一人当たりのGDPには負の相関関係にあることがわかる。したがって日本が先進主要国諸国の中であってその競争力を高めるには、基礎研究費の比重を更に大きくしなければならないことになる。

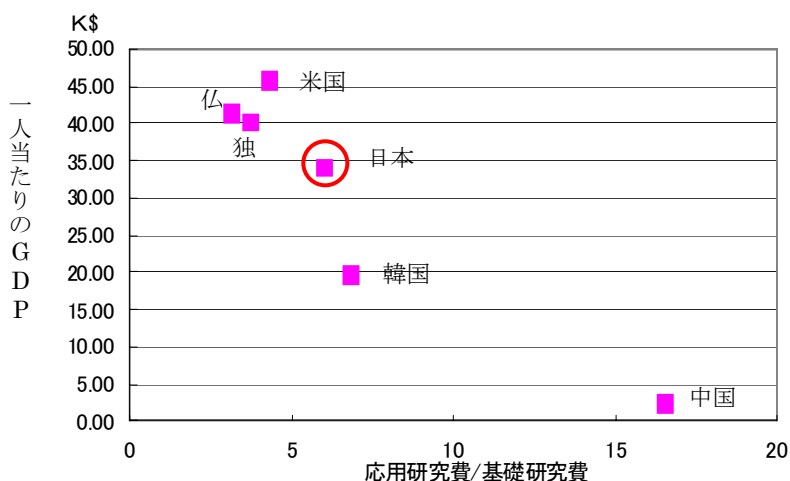


図 3-6 応用研究費／基礎研究費と一人当たりのGDP

以上のことから言えることは、日本は世界トップクラスの研究開発資金を投入して力を注いでいるが、応用研究に比重が傾きすぎており基礎研究が手薄い。このため技術革新や新発明など不連続的な飛躍を生み出す力、すなわちイノベーションを起こす力が弱いために、付加価値の生産性が米国、フランス、ドイツなどよりも低いという仮説が導かれる。

### 3 - 2 特許からみた分析

前節で研究開発の戦力分析を行いその課題も見えてきた。基礎研究開発が手薄なためにイノベーションを起こす力が弱いということである。しかし、この仮説は現在の研究開発従事者が生み出した一次的な成果、すなわち発明発見、特許、論文などを評価せず、二次的な成果であるGDPへの貢献を通じて評価しているという問題がある。つまり研究開発者は十分な成果を生み出しているにもかかわらず、それを活用出来ていないのではないかという疑問である。そこで、本節以降、それら研究開発者の成果を分析することにする。

研究開発の成果は知的財産としてその所有権を公的に認められる制度があり、各国の公的機関によって登録されれば一定の期間その知識は発明者が独占的な使用権を獲得することが出来る。この制度のため、研究開発の成果は公開されその知識は共有される。その結果、すでに発明発見された新知識を後から研究開発するような無駄が省かれるので、この制度は文明発展に大きな貢献をしてきた。

知的財産権の承認と保全の制度で産業界に最も関係の深いのが特許制度である。研究開発者は自らの新発明、新発見を特許に出願し、登録されることによって知的財産権として確保しようとする。故に、特許データを見ることは研究開発者の成果を知る有力な方法である。

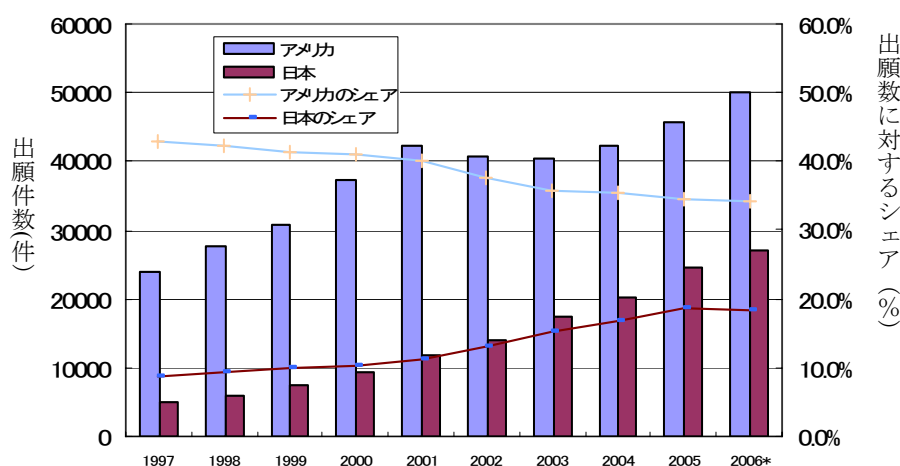


図 3-7 日米の特許出願状況とシェア

各国の特許出願に関するデータは World Intellectual Property Organization (WIPO) から公表されており、そのデータベースによると 2006 年には米国が出願件数 50134 件、世界シェア 34.2%と世界トップであり、日本は 26943 件、シェア 18.4%と米国に次ぐ出願数を誇っている。同様にして数年間に渡る傾向を WIPO のデータ<sup>6</sup>を使って追跡すると、図 3-7 のように日本は 2002 年以降順調に数字を伸ばし近年は若干飽和傾向にあるものの、世界シェアも増えている。他方、米国は世界一位のポジションを維持しているものの世界シェアは 2002 年以降 5.8 ポイント落とし、そのポジションは低下傾向にある。中国や韓国などは特許と言う面で見ればまだ日本、米国との差は大きく、近々に日本を脅かす存在になることはないだろうとも考えられるが、両国の出願数はそれぞれ 50%、30%の増加率であるのに対して、米国、日本は 10%台であり急迫されていると認識すべき状態である。これらのことを考えると米国のポジションの低下は特許出願数の低迷と言うより新興発展国からの出願が増加しているためと見るほうが正しい。

特許出願数から見ると日本は世界 2 位の出願を果たし、世界 2 位の研究開発費投資に見合った成果を出していることになる。特許出願を知的労働の生産物とみなしたとき、その生産性はつまり個々の研究従事者のイノベーション力につながる。生産性は、生産に投入

される資源に依存するので、研究従事者と研究開発費の面で検証することにする。地理的、情報コミュニケーション環境変数なども影響するとは思われるが定量化が難しいのでここでは上記のパラメータで評価する。まず、研究従事者あたりの生産性を見る。このためには特許が出願された年度と同じ年度の研究従事者数に関するデータが必要なのだが、研究従事者に関する統計データは各国によって最新のデータ収集年度が異なり、例えばイギリスの研究従事者のデータは1998年のものしか手に入らなかった。このため、確定したデータが最も手に入りやすい2005年を中心にし、その他についてはデータの入手出来た年度で求めている。

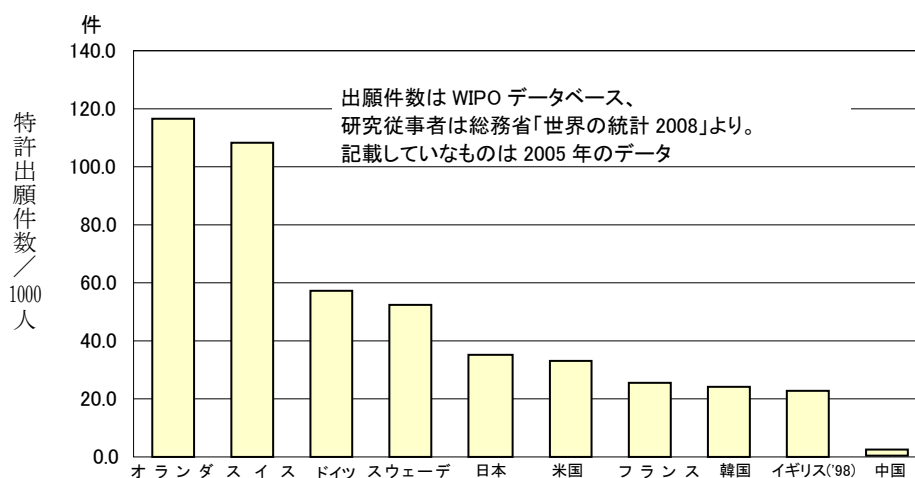


図 3-8 研究者 1000 人当りの特許出願数

図 3-8 はこのようにして求めた研究従事者 1000 人あたりの特許出願件数である。このデータによると、トップはオランダであり日本は 5 位、米国は 6 位となっている。つまり研究者の生産性は先進主要国のなかでは並の順位なのである。注目すべきは米国で、日本よりも順位が低い。2006 年ベースで米国は研究者一人当たり 29.7 百万円と言う世界で最も大きな研究開発費を投入していること省みると、この順位は米国のイノベーション力強化にとって大きな問題を含んでいることがわかる。

次に、投入資金と投入人員の積、つまり投入単位リソースあたりの特許生産能力と言う観点で評価を試みる。先にも述べたが、当該年度での人員数、研究開発費用のデータが手に入らない場合があったのだが、これらの変化は緩やかにすすむと言う仮定をおいても大きな誤りではなさそうなので、データの手に入らない国については年度の異なるデータを組み合わせて計算を行った。その結果が図 3-9 である。この図では研究従事者 1000 人が 10 億ドルを使って生産する特許数で評価している。最も生産性が良いのはスイスであり、ヨーロッパ各国の生産性の高いことがわかる。日本は 8 位であり、この評価では韓国よりも低い順位になってしまう。米国も順位を下げ 9 位である。

主要先進各国の特許生産力は国単位で見れば米国、日本などが国力によって、つまり総投入資源量の大きさによって、その地位を維持している。しかしながらその生産性、つま



り質的な面では大きく劣っていることがわかる。シュンペーターの言うところの新結合がなされればそこには新発明、新発見があり、これらは知的財産としてその権利を確保するために特許出願されるはずのものである。従って、この論理によれば、特許出願数はイノベーションの創出頻度と直接的な関係にあることになる。よって、特許出願件数の多寡、出願力の高低はイノベーション力の強弱に直結していると考えても大きな間違いではないと考えられる。

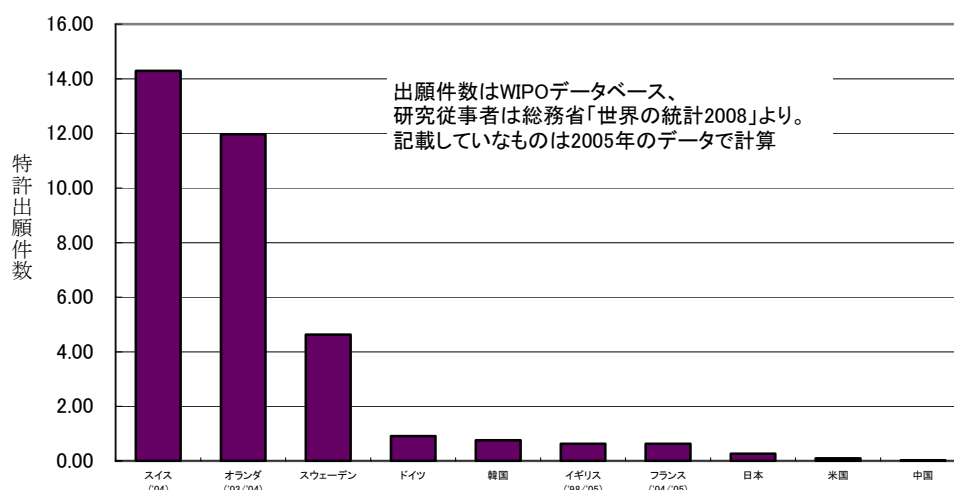


図 3-9 研究費 10 億ドル・研究者 1000 人当りの特許出願数

繰り返しになるが日本のイノベーション力は「現在」の国力によってなんとか世界各国のなかで競争出来るポジションを維持しているものの、イノベーション創出能力はもはや先進主要国のなかでは下位にランクされるべきものであると言える。日本の GDP は先述のように次第に飽和し、中国などに追い抜かれることがほぼ確実であり、GDP という国力に頼った競争はいずれ成り立たなくなる。すでに現在でも、GDP に対する研究開発費の比率は主要国のなかでは最も高く (3.53% @2006 年)、すでに警告信号が点灯していると考えべきである。

ここまでの検討は特許出願の量的検討であったが、その質・価値にはメスを入れていない。そこで次に、日本で発明・発見されて出願された特許の質について調査する。しかし、実は特許発明の質に関する評価は非常に難しい。特許の価値はそれを必要とする場合のみ価値があるからで、絶対的な評価基準がないからである。そこで、下記のような仮定のもとでこの問題に取り組むことにした。

発明・発見が行われ、知的財産として独占的な権利が認められた特許は、特許所有者が自らその知的財産を行使して経済活動を行うか、あるいはその特許を必要としている企業等に実施権を売って収入を得る。場合によっては特許所有権そのものを売却してしまうこともある。ボーダレス世界のなかで創造的破壊の波に洗われている企業にとっては、必要な知的財産権は外部から手に入れて素早く事業化を行って投資効率を上げるオープンイノベーションが不可欠であり、このような知的財産権の流通は今後ますます増加するものと



考えられる。さて、このように知財が流通する場合、「市場ニーズに合った、安くて、良い品」が売れるという、市場原理のもとで取引されると考えられる。従って、質の高い特許は良い値段で売れているはずだと考えても良いだろう。知的財産権の売買の結果は技術貿易収支と言う統計データに現れてくる。従って、良い特許を多く所有していれば、技術貿易収支は黒字であり黒字幅が大きくなっているはずである。

このように考えて、総務省統計局から報告されている「科学技術研究調査報告」<sup>7</sup>、OECDの「Main Science and Technology Indicator」<sup>8</sup>などを調査すると、日本は図3-10のように2000年初頭には300億円以上の赤字であったが、その後は順調に収支が改善しており、2005年には1兆3246億円の黒字を計上するまでになっている。

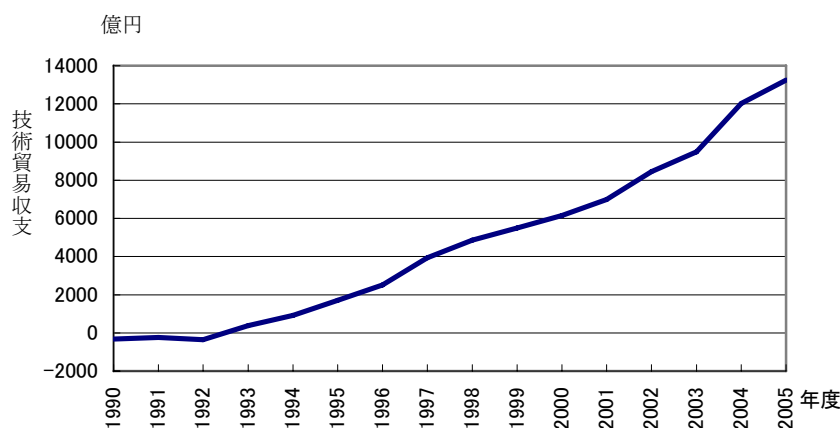


図 3-10 日本の技術貿易収支

また、図3-11は主要国の技術貿易の収支比率を示したものである。収支比率とは輸入額に対する輸出額の比率である。日本は1990年以降増加傾向を維持し2005年には収支比率2.88と主要国のなかではトップである。米国は1990年には5.31と圧倒的な強さを示していたが、以降は減少傾向に歯止めがかからず、2005年には2.34まで低下している。

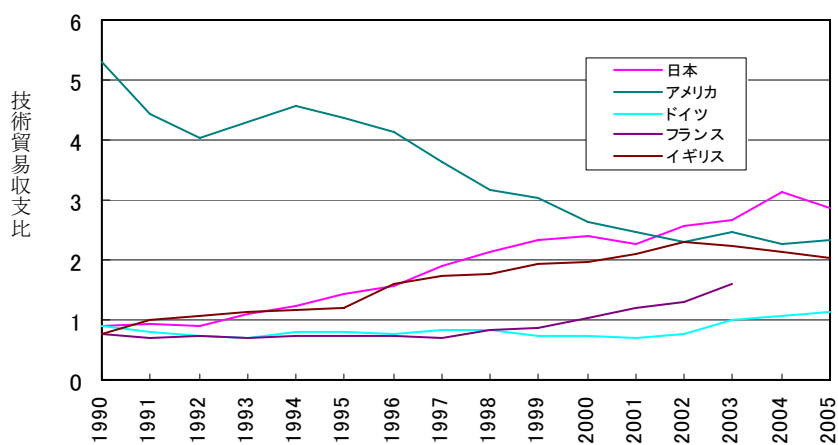


図 3-11 各国の貿易収支比\*の推移 (\* ) 収支比とは受取額を支払額で除したものの

これらのデータを見る限り、日本の特許、すなわち発明・発見は質が高く世界的にも認められてきたことを示している。しかし、研究開発力の分析ではイノベーションの生産性が弱いと言う結果が得られており、技術貿易収支の状況とは矛盾するようにも思える。そこで貿易収支の内訳を更に詳細に検討することにする。文部省の統計データ集「科学技術指標 2004年」<sup>9</sup>に基づいて2005年における各産業分野の貿易収支を示したのが図3-12である。同年の全技術貿易収支は1兆3246億円と大きな黒字なのであるが、全技術貿易収入の56%を自動車工業に依存し、自動車工業の貿易黒字を除くと技術貿易収支は2089億円まで縮小してしまうという非常に偏った構造なのである。日本の発明・発見水準が平均して高いのではなく、自動車工業と言う特定の産業分野のみが高い。

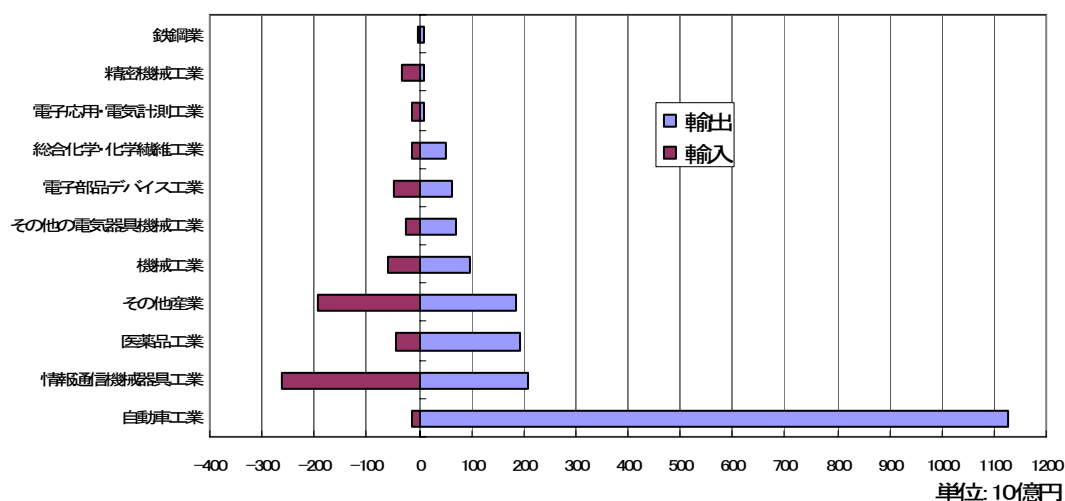


図 3-12 産業分野別技術貿易収支

### 3 - 3 発表論文からみた分析

ここまで特許という、産業に直結する知的活動の成果から研究開発を分析評価したのであるが、研究従事者のなかには自らの研究開発成果を産業に活かすことへ興味が薄い者がいるかもしれない。自らは発明発見が仕事であり、その成果を産業に活かすのは他人の仕事だと言う考え方である。象牙の塔にこもった大学教授や大企業の中央研究所などにいるような研究開発者である。あるいは、研究開発した成果を産業へ活かすための制度が整備されていないために埋もれてしまっているのかも知れない。特許出願の分析ではこのような問題があった場合には、正しいイノベーション能力を知ることが難しい。

研究開発者が自らの成果を報告し、業績を認めてもらうには科学技術論文を書いて発表する方法がある。論文発表を知的財産権の確保前に行ってしまうと、知的財産権は成立しないし、機密情報が公開されてしまい競争相手に先行して実用化することが難しくなるなど、企業活動上は非常に注意深く行う必要がある。しかしながら、研究開発者は特許を書

いて知的財産権を確保するか、論文を書いて自らの業績を広く認めてもらうことを行うか、あるいはその両方をするのが普通であると考えても大きな誤りではないであろう。

もし、特許も書かず、論文も書かない研究開発者がいるとすれば、研究開発内容を完全に秘密にしなければならない軍事部門の研究者ぐらいであろう。組織のなかで活動をする限りは成果を上げる必要があり、通常の研究開発機関では特許か論文が成果報告の主な方法である。いきなり実用化開発に邁進することもあるかもしれないが、研究開発成果を実用化するには多くの改良・工夫が必要で、時間もかかる。従って、特許も論文も提出せずに、黙々と実用化を目指すのは組織のなかでの活動としては非常に困難である。上記のような考察から、論文の調査分析が特許の調査分析を補完するものになることが考えられる。

世界各国の論文発表情報は、Science Citation Index(SCI)のデータベースを一次情報として作成された National Science Indicator (NSI) に基づいて文部科学省科学技術政策研究所がまとめた科学技術指標 2007 改訂版<sup>10</sup>に掲載されている。同データから 2000 年と 2005 年における先進主要国の発表論文数を抽出すると図 3-13 のようになる。

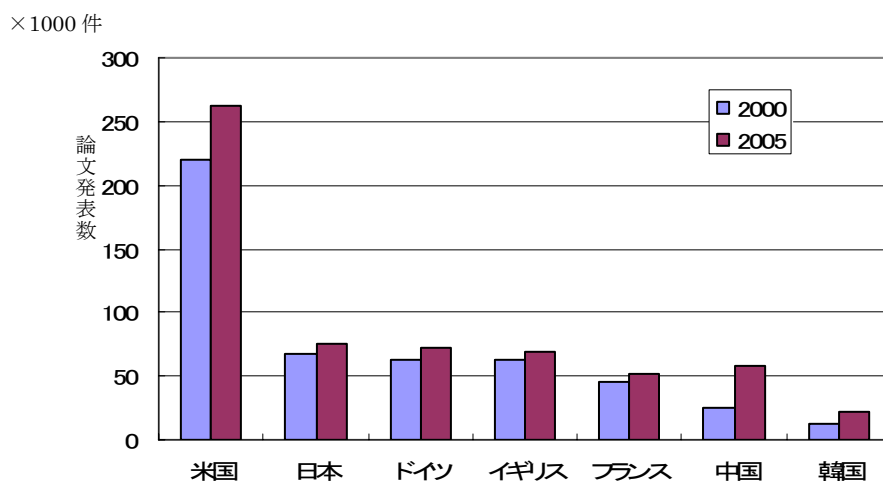


図 3-13 先進主要各国の論文発表数

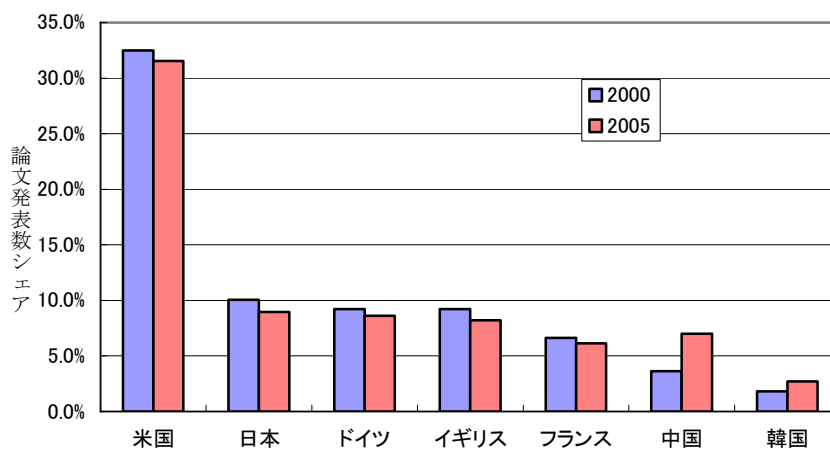


図 3-14 先進主要各国の論文発表数シェア

米国が 2000 年、2005 年の両年とも 20 万件以上の発表を行って圧倒的な第 1 位であり、日本はドイツ、イギリスと競いつつも約 70 万件の発表を行って第 2 位となっている。世界中で発表されている論文総数に占めるシェアで見ると、米国は 30%以上、日本は約 10%と米国の約 1 / 3 である。米国はこのように他を圧倒する大量の論文を発表している。予想出来たことではあるが、中国の成長が著しく、2005 年にはフランスを抜いて 50 万件以上の発表を行い、シェアは 7%とフランスを 0.9 ポイント上回っている。

研究開発従事者が生産する生産物の一つが論文だとすると、生産効率を明らかにしなくてはならない。つまり研究開発者あたりの論文発表数や、研究開発費の効果までも含めた総研究開発資源投入単位あたりの論文発表数で論文発表の生産性が評価出来る。

図 3-15 と図 3-16 がそれぞれ研究開発者投入単位あたりの発表論文数、総研究開発資源投入単位あたりの発表論文数である。用いた統計データは、既述の「世界の統計」と「科学技術指標」である。

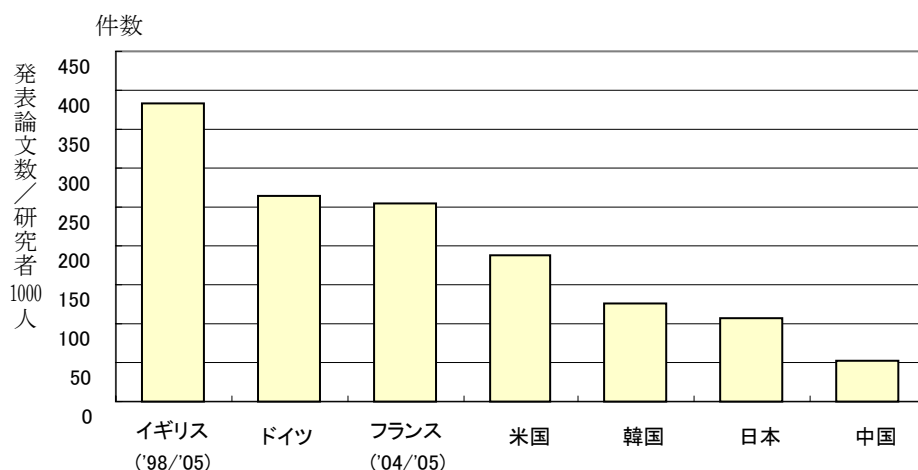


図 3-15 研究者 1000 人あたりの発表論文数

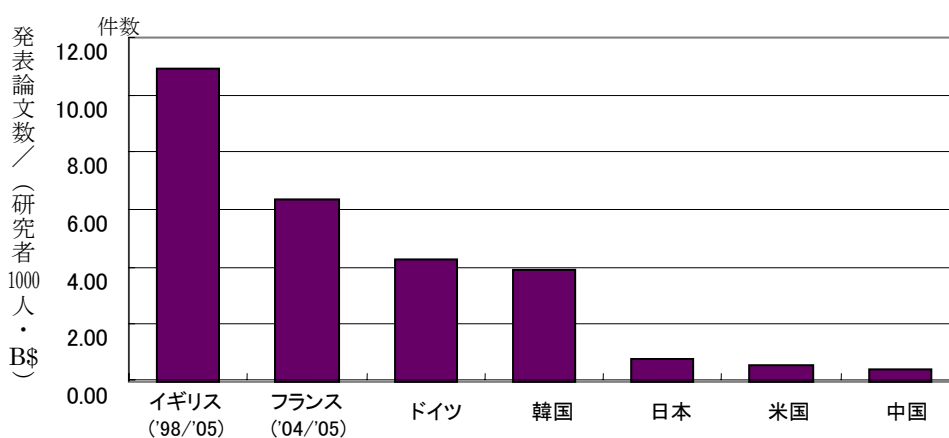


図 3-16 研究者数と予算から見た発表論文数

両図ともに特徴的なのは発表件数では圧倒的な数量を誇っていたアメリカが論文の生産性の面では大きく順位を下げ、イギリス、ドイツ、フランスに続くポジションをなんとか確保しているに過ぎない。日本も米国と同様な結果が見られ、発表件数では主要国間の第2位だったのにもかかわらず、生産性では6位まで転落している。

図3-17では更に興味深い現象が見られる。総研究開発資源投入単位あたりの発表論文数で各国の発表論文数を解析すると、イギリスが11件に近い値を示し第1位となるのだが、日本、米国はそれぞれ0.81、0.55と言う非常に低いポイントになり、順位は日本が5位、米国は6位となっている。両国とも大きな資源を投入して発表論文総数は世界トップクラスの実績を誇っているのだが生産性は非常に低いということがわかる。この現象は特許に関する調査で得られた知見と酷似する。特許、科学技術論文に関する調査を踏まえて言えることは、「日本の研究開発従事者は自らの成果を産業に活かすことに関心が低く、そのために特許の生産性も低く見えてしまうが、純粋な学究活動においては高い生産性を持っている」と言う仮説は成立しないことがわかった。純粋な学究活動においても生産性は先進主要国のなかで見れば非常に低いといわざるを得ない状況なのである。

以上は、論文の量的分析から見た研究開発活動の実態であるが、その質についてはこれまでのデータでは明らかに出来ない。論文の質に関する本質的な評価は論文そのものに立ち入って評価するしか方法はないのだが、論文の質をランクする制度がない現状では年間数十万件発表される論文をそのような方法で評価するのは不可能である。また、各学会における著名な賞を受賞した論文は、その質が優れているとしてカウントする方法もあるが、そのような賞の数は少ないためにある年度では受賞出来なかった国も出現する。そうすると、数年間に亘った累積データを採らねばならず、刻々と変化するダイナミックな経済活動の動的な変化を追っている本研究の目的にはそぐわないと言わねばならない。そこで、間接的な評価ではあるが、ここでは論文の引用数に着目して活用することにする。

多くの開発研究者は先行研究を調査、引用し、その結果を踏まえて自らの研究開発に着手する。あるいは、すでに定説となっている理論や研究結果などは論文本文に書くと論文が冗長になるので、当該論文を引用することですませることも多い。また、研究開発の途上においても同様な開発者の内容を調査し比較対照しながら自らの研究開発の独自性、先進性を確認するために、他の開発者の論文を調査しなくてはならない。このように研究開発の過程においては他の論文を引用することが非常に多い。引用される回数が多ければ、その論文は、「専門家が、引用するに値する良質の論文であるとみなしている」と、考えてもよいだろうと言う立場である。

幸いなことに論文の引用数に関するデータも科学技術指標に掲載されている。ここで論文の引用数の分析においては注意を要する。と言うのは、経済活動は競争であり、日本の経済競争力をとらえようとしている本研究では、あらゆる事象を他国との相対的なポジションで判断しなければならないという点である。故に論文の引用数に関しても、引用数データはそのままでは使えない。例えば、日本の論文が年間を平均して、論文1件あたりの

引用数が10あったとする。この引用数10は果たして良質な論文を示しているのか、低質なのかは、引用数だけでは判断が出来ないと言う点である。そこで、論文の相対被引用度(RCI)を用いることにする。

ここで用いられる相対被引用度は次のように算出する。国別の論文発表数と、当該国の論文に対する総引用数から、当該国から発表された論文1件あたりの引用件数を算出する。次に全世界で発表されている論文総数と引用総数から、世界中で発表される論文一件あたりの平均引用回数を算出する。そして、当該国から発表された論文1件あたりの引用数をこの平均引用数で除するのである。こうして求められた相対被引用度が1の場合は、世界平均レベル質を有した論文であると評価出来る。

図3-17は科学技術指標に収録されたデータから主要国の論文の相対被引用度を抽出したものである。

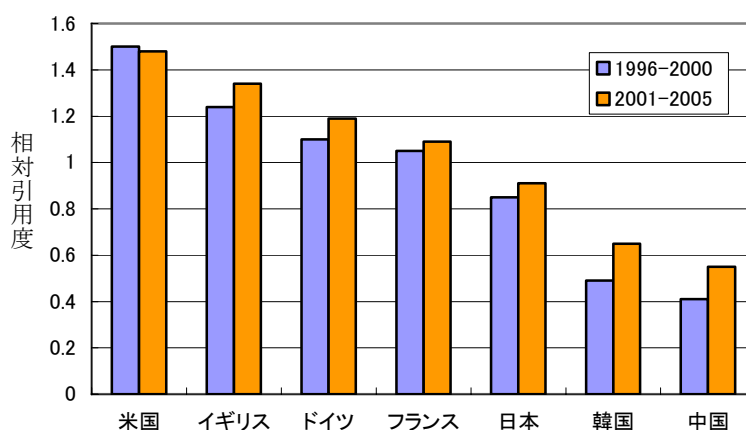


図 3-17 主要各国から発表された論文の相対被引用度

この図で注目すべき事実は明らかである。つまり、米国の相対被引用度は1.4を越える非常に良いスコアであり、主要国の間では1位を獲得していることである。論文の生産性は低いのだが、論文の質は非常に高いと評価されていることがわかる。米国に続くのは論文生産性の分析でも上位を示していた欧州各国であり、日本は近年になってスコアを上げてきているとは言え、相対被引用度は2001-2005年発表の論文で0.91と世界の標準レベルに達していないと評価されている。従来、日本の地理的な条件、また世界に流通する科学技術論文の多くが英語によるものであり言語上の問題があるためにスコアが低くなるという指摘もあるが、ネットワークが発達しユビキタス社会とも言われる現代社会において地理的条件は大きな障害ではなく、またボーダレスな世界で競争しなければならぬ現代の研究開発従事者が英語力を有することは必須最低限の条件であり、英語が良質の論文を発表する障害になっていると言い訳することは出来ない。つまり、日本の研究開発は質において問題があるという厳しい現実と直面していると考えべきである。

以上、特許・科学技術論文の両面で日本の研究開発力を調査した結果、下記のことが明らかになった。

- (1) 世界第2位のGDPを背景にして特許出願総数、論文発表総数では世界のトップレベルにあるが、その生産性は先進主要国のなかでは下位にある。
- (2) 論文の引用度調査結果に基づけば、近年改善の傾向は見られるものの、その平均的な質は世界標準に届いていないと、いわざるを得ない状態である。
- (3) 技術貿易収支から見ると産業応用に近い特許についても自動車工業と言う限られた産業分野では世界レベルの特許を生み出しているが、非常に偏った構造になっている。

日本はGDP比では世界で最も大きな研究開発投資を行っていることを鑑みると、このような現状は深刻だと考えねばならない。

### 3 - 4 企業規模と技術革新力

イノベーションを起こし、新しい事業を創出するのは企業である。前節までの研究によって日本は総合力としては世界トップレベルのポジションを維持しているが、その生産性は主要国のなかでは低位にあるといっても過言ではない状態であることがわかった。と言うことは、イノベーションの担い手である企業に問題があるということになる。

日本は中小企業によって成り立っていると言われることが多い。中小企業とはなんとなくイメージとしてはわかるが、どの規模までが中小企業と呼ぶのか今後の検討をする上で明確にしておくことが必要である。実は、中小企業基本法にその定義が示されている。それによると、「中小企業は、小売業・サービス業では資本金1000万円以下で従業員50人以下の会社。卸売業では中小企業とは資本金3000万円以下で従業員100人以下の企業。工業・鉱業・運送業などでは資本金1億円以下で従業員300人以下の企業のことを言う。」と、定められている。本研究では産業分野ごとの分類までは必要ではないので、中小企業/大企業の境界ラインが最も高い工業・鉱業・運送業の定義を用い、資本金が1億円未満の企業を中小企業として扱うことにする。

まず、企業数の構成を見ると表3-2のように中小企業が全体の98%を占めており、大企業は2%に過ぎない。

資本金別企業数	1991	1996	2001	2006
1億円未満	98.4%	98.3%	98.1%	98.1%
1億～50億円未満	1.5%	1.6%	1.7%	1.8%
50億円以上	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

表 3-2 全国企業数の構成

如何に日本の産業が中小企業によって構成されているかがわかる。では、これらの企業は販売高では日本経済に対してどのような影響を持っているのであろうか。これを調べるには資本金階層別に企業・事業所の販売高を調査する必要がある。2008年日本統計年鑑<sup>1,2</sup>には、経済産業省「企業活動基本調査報告書」に基づき2004年時点での企業・事業所に関する企業数、売上げ、研究開発費が集計されているので、このデータを用いて分析を行う。



尚、同統計に集計されている企業数は総務省統計局による企業数と大きく異なるが、これは従業員 50 人以上かつ資本金 3000 万円以上の企業約 30000 社を対象に調査をしたものだからである。同統計データから資本金別の企業数を抽出すると図 3-18 のようになる。資本金 1 億円未満の企業は 65% を占め、ここでも中小企業が圧倒的に多い。

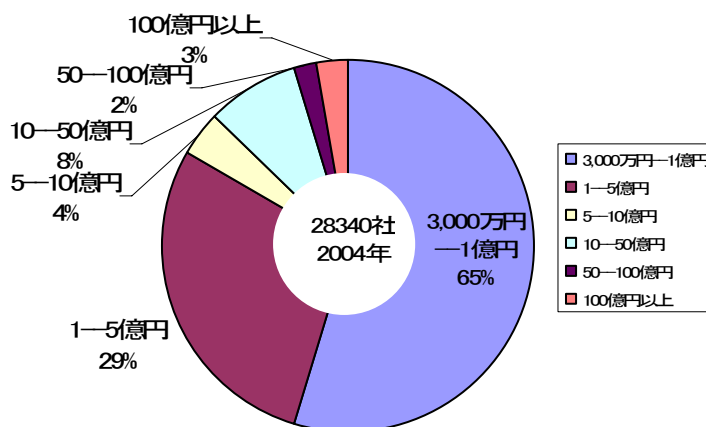


図 3-18 調査対象とした 28340 社の資本金別内訳

次に各資本金階層別に企業の販売金額を調査する。「日本の統計」には資本金階層ごとに調査に協力してくれた企業数と、その企業の販売高集計値が掲載されている。この標本集団における企業の平均販売高は、母集団（すなわち当該資本金階層に属する全ての企業）の企業 1 社の平均販売高とおおよそ大きな差異はないものと考え、ここでは各資本金階層の総企業数と回答企業数の比を用い、集計された当該資本金階層の販売高に乗じてその資本金階層の総販売高にする方法を採用した。こうして算出した結果が図 3-19 である。

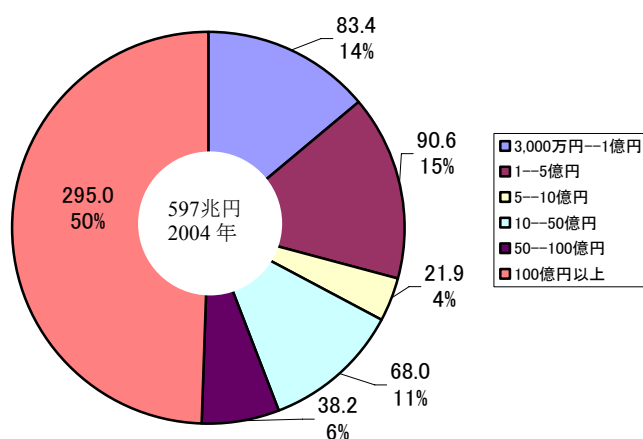


図 3-19 資本金階層別の売上金額構成 (単位：兆円)

ここで非常に注目すべき結果が現れている。企業数では 65% のウェイトを占めていた中小企業であるが、販売高においては僅か 14% を占めているに過ぎないのである。対照的に



企業数では僅か3%である所謂大企業が、販売高では全体の50%の売上げを上げている。中小企業は1社あたりの販売高が如何に小さいかと言うことをこのデータは明確に示している。

ここで、このデータから二つの考え方が浮かんでくる。一つは、「大企業は効率が良い。僅か3%の企業が50%の販売を上げている。これに対して中小企業は経営効率が悪い。弱小企業では大きな資本の必要な戦略的な経営施策が打てずイノベーションの推進もままならない。日本経済のポジションが低下してきているのはこのような中小企業依存のためだ。従ってどんどん統廃合して企業規模を大きくすべきである。」と言う考え方である。もう一つは、「確かに大企業は少ない企業数で多くの販売を上げており、経済への影響も中小企業よりも大きいように見える。しかし、単に規模が大きいだけではないのか。一般的に規模が大きくなると組織は複雑になり迅速な意思決定が難しく経営効率は落ちる。その為、組織的な工夫をせずに組織を大きくすると機動的な企業戦略がとりにくくなる。事業部制などもこの悩みのなかから生まれ、あえて事業ユニットを小さくしたのではないか。従って、かえって経営規模の小さい企業のほうが経営効率は高く、問題なのは大企業ではないか。」と言う考え方である。以下にこの仮説を検証してみることにする。

産業経済調査会による2007年8月発表の「工業統計表」<sup>14</sup>に、従業員数によって企業を階層化し、階層ごとの企業数、従業員数、出荷額、付加価値額が掲載されているので、これを用いる。ここで、出荷額・生産額は上記の検討に用いてきた企業の販売額と等価のものとする。また、付加価値は下記の定義に従って集計されている。

$$\text{付加価値額} = \text{生産額} - (\text{消費税を除く内国消費税額} + \text{推計消費税額}) - \text{原材料使用額等} - \text{減価償却額}$$

掲載データは膨大であり、本研究では半導体産業に関して具体的な研究を展開していくものであるから、電子部品・デバイス分野に絞ってデータを解析することにした。

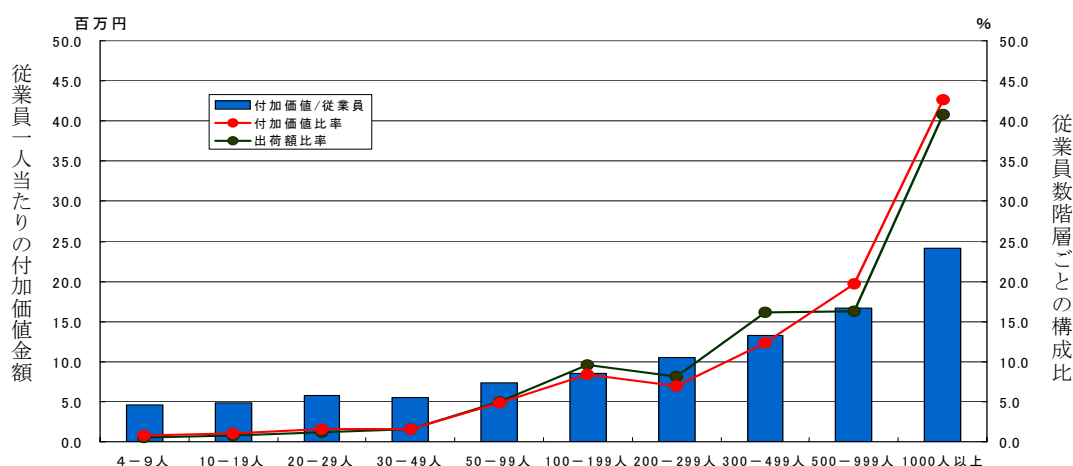


図 3-20 電子部品・デバイス製造業にみる企業規模と産業貢献

図3-20はその結果であり、同図には各従業員数階層の企業が同産業分野全体の出荷金額に占める出荷額比率、同じく付加価値比率、そして当該階層における従業員一人当た

りの付加価値生産金額を示している。この図から、先述の分析と同じく電子部品・デバイス製造業においても規模の大きな企業がしめる出荷額（生産額）の比率は中小規模の企業よりも大きいことがわかる。そして、本分析の目的である従業員の生産性については、従業員一人当たりの付加価値生産額が従業員数 50-99 人の規模の小さい（資本金がわからないがおそらく中小企業といっても差し支えないだろう）企業で 730 万円なのに対して、従業員数 1000 人以上の大企業では 2410 百万円と 3 倍以上の高い生産性を有していることが明らかになった。つまり、大企業のほうが中小企業よりもはるかに高い生産性を有しているのである。先の二つの仮説に立ち戻ると、日本は生産性の低い中小企業が多すぎるのが問題であると考えerほうが正しいように見える。

この結論は、考えようによっては自明である。大規模に生産すれば生産コストに対する固定費率は下がる。従って付加価値生産性は中小企業よりも大企業のほうが高くなる。

しかし、この見方は作る製品が決まっいてその製品を如何に高い生産性で、コストを低く、つまり付加価値生産性を高くするかとすることを議論している場合は正しいのだが、日本の経済力を再生するためにはイノベーション力を強化しなくてはならず、イノベーション力の強化に当たってどこが問題なのかを探ると言う立場では見方を変えねばならない。言葉を変えると、よく言われていることではあるが How to Make という立場では大企業はデータのように中小企業をはるかに凌ぐ高い生産性を示しており中小企業の生産性向上が課題になるが、命題は What to Make という立場にたつての経済競争力の強化であるから、商品生産の生産ではなく、イノベーションの生産性を議論しなくてはならないのである。

そこで、企業階層ごとのイノベーションの生産性実態を調査する。生産されたイノベーションは研究開発過程を経て事業化され、最終的には商品として販売される。イノベーションに必要な資源は人・カネ・物であるが、一番根本的な資源は言うまでもなくカネである。よって投入したカネとイノベーションの産物である商品の販売金額を測定すればイノベーションの生産性が評価出来るはずである。日本統計年鑑<sup>1,2</sup>に収集されているデータから計算すると、図 3-21 のような結果が得られる。

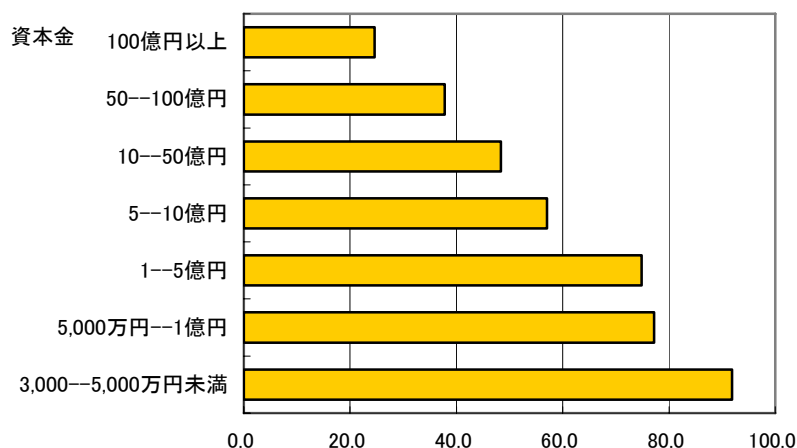


図 3-21 資本金階層別 売上げ/研究開発費 支出比率

少なからず驚くべき結果だが、売上げ v s 研究開発比率は、資本金が 100 億円以上の企業では 24.6 なのに対して中小企業は 3 倍以上である。また、企業の規模が小さいほど比率が高い傾向を示している。

先述のように企業数では僅か 3 % の大企業によって日本の生産・出荷額の 50 % が支えられ、しかもその生産における効率は高く付加価値の生産力は中小企業をはるかに凌ぐ。これに対して、イノベーションの生産性については中小企業が大企業をはるかに凌ぐ高い生産性を有していることが統計データの調査によって明らかになった。このような事実を俯瞰すると、次のようなことが考えられる。

イノベーションによる日本経済力の強化をはかると言う考え方に異論を挟む人はまずいないであろう。イノベーションの生産性の高いのは中小、あえて言うならば零細企業が高い。では、このような零細、中小企業の活動を更に強化するのがいいのであろうか？ 零細・中小企業にはいわゆるベンチャー企業も含まれているはずで、このような考え方は、ベンチャーによる起業の強化策が日本経済の強化に必要と言う主張につながるものである。しかし、この考え方には「否」と、言わねばならないだろう。

確かに、中小・零細企業の生産性は高く見える。しかし此処には見落とされている点がある。中小・零細企業の投入出来る経営資源は低い金額に限られるのが一般的だと言う点である。事実資本金が 1 億円未満の企業が投入している研究開発費総額は 2094 億円足らずであり、100 億円以上の企業が投入している 8 兆 6086 億円の 2.4% に過ぎない。例えば半導体産業の場合、最先端のプロセスラインを構築するには 1 千億円を超える資金が必要であり、また新薬開発でも 10 年から 20 年近い年月と 100 億円レベルの研究開発費が必要と言われている<sup>13</sup>。このような分野の研究開発は中小・零細企業では不可能であり、大企業が担わねばならない役割である。中小・零細企業では戦えない領域を大企業はしっかり支えねばならない。

従って中小・零細企業のイノベーションの生産性を大企業において実現するための方策を探し、実施することが必要なことなのである。

### 3 - 5 イノベーションにおける起業

イノベーションと起業は対のように使われることが多い。今後の議論のなかでも起業を論じることになるのでイノベーションと起業の関係についてここで整理しておく。

イノベーションは今までにない新しい結合を行い、持続的と言うよりは不連続的な変革を創出することである。このイノベーションは創造的な破壊を伴い、古い企業がそのままの姿でイノベーションを遂行するのは稀であり、たとえ企業名は変わらなくとも変革を遂げて生まれ変わった企業か、新しい企業が舞台の主演として活動することになる。このような現象の例は枚挙に暇ない。

最近の事例として取上げられるのは写真撮影の世界である。1827 年にジョゼフ・ニセプオール・ニエプスが最初の写真を撮影して以来、写真は光化学反応を応用して撮影され印

画紙に記録されてきたが、電子写真技術の出現によって一変した。固体撮像素子によって撮影された像は電子信号に変換され、更にデジタルデータに変換された後に記録される。記録された画像はディスプレイに表示するか、プリンターで出力し、撮影から出力まで化学反応プロセスは一切含まれない。この技術の出現によって、営々と継続するものと考えられてきた銀塩フィルム産業、印画紙産業は瞬く間に衰退し、日本ではフィルムのトップメーカーであったフジフィルム、コニカはいずれも事業再編するか事業撤退を余儀なくされた。また、銀塩写真時代にはキヤノン、ニコン、アサヒ、コニカミノルタなどのカメラメーカーが市場を支配していたが、電子写真に転換するとデジタル技術に強い家電メーカーが参入し **SONY**、**Panasonic** などが従来カメラメーカーと肩を並べる市場シェアを獲得し、市場構造を大きく変えることになった。キヤノンやニコンはデジタルカメラにおいても成功を収めているのだが自社内の銀塩カメラ事業は終息させている。企業内での創造的破壊が行われたのである。

イノベーションによって企業活動に創造的破壊が起きると、新しいプレーヤが表舞台に出てくる。新しいプレーヤとは新しい事業体である。持って回った説明になるが、新しい事業体の創出とは起業である。つまり、イノベーションの創出には起業が必然的な企業活動として発生するのである。

一般に起業と言うと新しい事業機会をとらえて自ら創業するベンチャー企業の起業を想像するが、社内において新しい事業ユニットを創出する活動も起業であり、イノベーションによる新しい事業体がベンチャー企業であろうが社内の新事業ユニットであろうが起業に変わりはない。但し、企業内部での起業は比較的起業用の資源を獲得するのは容易ではるものの、複雑な組織の内部で活動しなくてはならないため意思決定メカニズムが複雑であるのに対し、ベンチャー企業の起業の場合は企業内での起業のほぼ反対のメリット・デメリットを有するなど、両者の事業環境は大きな隔りがある。

このように両者の事業環境には非常に大きな違いがあり、起業メカニズムも異なる。企業内部で新しい事業ユニットを創出することを企業内起業と呼ぶ。すでに述べたように日本経済の競争力を高めていくには、日本経済の屋台骨を支えている大企業の活性化が必要であり、このためには中小企業より劣るイノベーション力の改善を目指して、企業内起業を推進しなくてはならない。

## 参考文献

1. 内閣府イノベーション25戦略会議, 長期戦略指針「イノベーション25」(2007年6月1日)
2. 総務省統計局, ed. (2007), 科学技術研究調査報告〈平成18年〉, 日本統計協会.
3. 文部科学省, ed. (2007), 科学技術白書 平成19年版 (2007), 日経印刷.
4. 総務省統計研修所, ed. (2008), 世界の統計 2008年版 (2008), 日本統計協会.
5. 文部科学省科学技術学術政策局, ed. (2007), 科学技術要覧 平成18年版 (2006), 国立印刷局.

6. World Intellectual Property Organization(2008), <http://www.wipo.int/ipstatsdb/en/stats.jsp> .
7. 総務省統計局, ed. (2006), 科学技術研究調査報告〈平成17年〉, 日本統計協会.
8. OECD (2006), Main Science and Technology Indicators: Principaux Indicateurs de la Science et de la Technologie (Vol.2006/1), OECD.
9. 文部科学省科学技術政策研究所 & 科学技術政策研究所, ed. (2004), 科学技術指標〈2004年版〉日本の科学技術の体系的分析, 国立印刷局.
10. 文部科学省科学技術政策研究所 & 科学技術政策研究所, ed. (2007), 科学技術指標〈2007年版〉第5 版に基づく2007 年改訂版, 国立印刷局.
11. 総務省統計局統計調査部経済基本構造統計課, ed. (平成11年～18年版), 事業所・企業統計調査結果.
12. 総務省統計局 & 総務省統計研修所, ed. (2007), 日本統計年鑑 第57回(2008) (57), 日本統計協会.
13. 中坪功, 新薬探索における戦略提携とR&D成果 日本の製薬企業の場合, 第22巻第1号, 慶應経営論集, pp.39-54 (2005年1月)
14. 総務省統計局 & 総務省統計研修所, ed. (2007), 日本統計年鑑 第57回(2008) (57), 日本統計協会.

## 第4章 企業内起業の重要性

### 4-1 大企業の占める役割

前章で述べたように、日本の経済は総数が150万社を越す企業のなかで、資本金が50億円以上の約2100社が日本の販売総金額の過半数を稼ぐという、大企業が屋台骨を支えている構造になっている。日本経済の競争力強化にはイノベーション力が重要なのだが、このためには、日本経済を支える大企業自らがイノベーションを生み出し、遂行する力の強化が必要なのである。

イノベーションの創造的破壊という側面を考えると、イノベーション遂行には企業が自己否定を行い、変身するプロセスを敢行せねばならないことを意味している。したがって大企業におけるイノベーションの遂行は、既存組織の破壊、既存企業文化の破壊など、非常なる困難な問題が立ちまはかることは容易に推測出来る。しかしながらこのプロセス、つまり企業内起業を遂行することは避けては通れないのである。

#### 4-1-1 開業率・廃業率から推測される独立系企業の難しさ

図4-1は中小企業白書<sup>1</sup>でNTTのタウンページデータベースを元に集計された国内の開業率、廃業率、及び事業所数である。なお、事業所とは企業に属する支店、営業所などを含むものである。

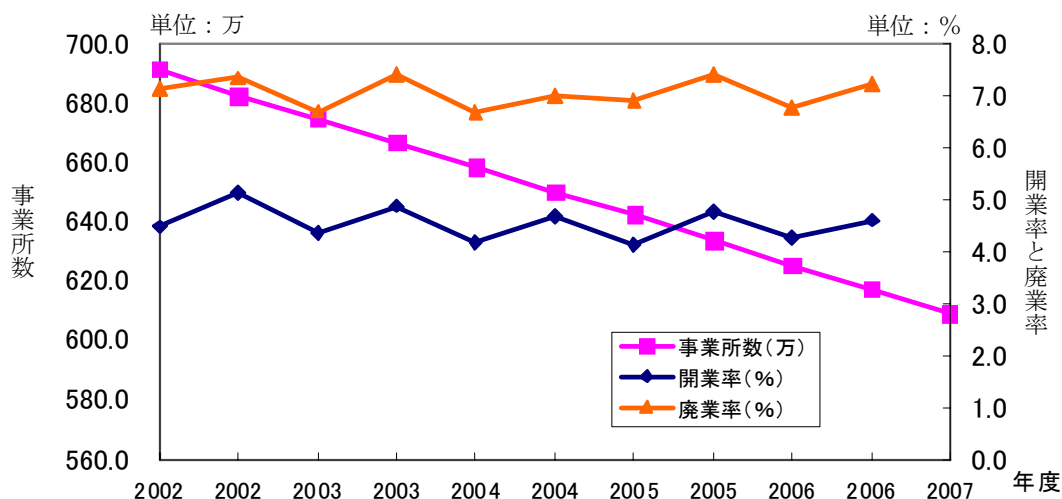


図 4-1 事業所の開・廃業推移

このデータによれば2001年から廃業率は常に開業率を上回り、事業所数は下がり続けている。前章で述べたように、企業の生産性は事業規模が大きいほど高いため中小・零細企業は激しい競争のなかで生き残るのは大企業よりもはるかに困難であり、従って次第に統廃合が進んできているためであろうと推測出来る。

この事実はベンチャー企業が生存出来る可能性が低いことも示唆している。つまり、新しい事業機会を見出し、ベンチャー企業として創業した場合、設立当初は資本金による企

業階層では小規模乃至は零細企業に分類される規模が多いと考えられる。資金も少ないし、従業員も少ない。しかしながら、このような虚弱な企業であろうが市場経済のなかでは資金も潤沢で生産効率も高い既存企業と戦わねばならないのである。生き残るのは至難の業と言える。

中小企業白書 2006 年版<sup>2</sup>に開業後の企業が生存する比率が掲載されている。図 4-2 はそのデータから作成したものである。

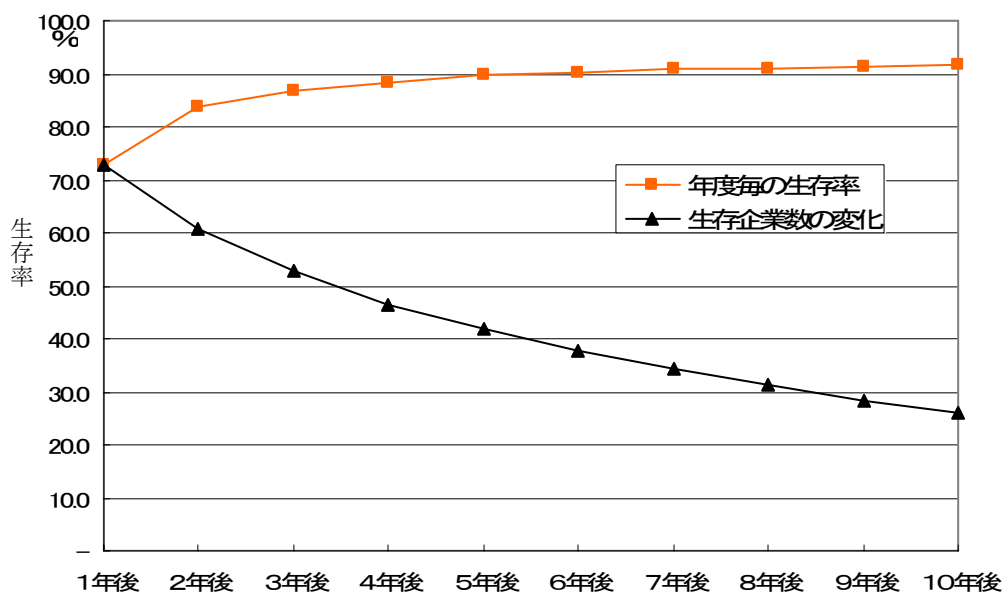


図 4-2 開業後に生き残る企業数（開業時を 100 とする）と生存率の変化

この図からわかるように 5 年目あたりから生存率は 90% を越すようになり経営が軌道に乗るものと推定される。しかしながら、John L. Nesheim の著書「The Power of Unfair Advantage」<sup>3</sup>によると、2004 年当時で開業から株式上場までには約 7.1 年を要することが述べられている。日米の経済環境の違いはあるだろうが、上述の生存率に関するデータによれば、上場を果たす 7.1 年後には 30% の企業しか生存していないことになる。

Business Week がイノベーションの取り組みに優れたトップ 50 社を 2008 年 4 月 28 日号<sup>4</sup>に発表している。この内トップ 20 社の内訳を見ると、アメリカが 11 社、日本が 4 社とつづいている。ところでこれらの企業の創業年を調査すると驚く結果がわかる。図 4-3 は 2008 年までそれぞれの企業が何年経過しているかを示すものである。創業以来 10 年未満の企業は Google が唯一であり、PROCTER & GAMBLE にいたっては 1837 年創業で 2008 年に 171 年目に入る。そこで、創業以来の年数でクラス分けし、頻度分布と累積分布表を作成したところ図 4-4 に示すように創業 50 年以上の企業が 80% を占めており、最もイノベーションに優れた企業という言葉から想起される「創業まもない若々しい企業群」というイメージとはかけ離れた、伝統ある企業によってリストが埋められていることがわかる。

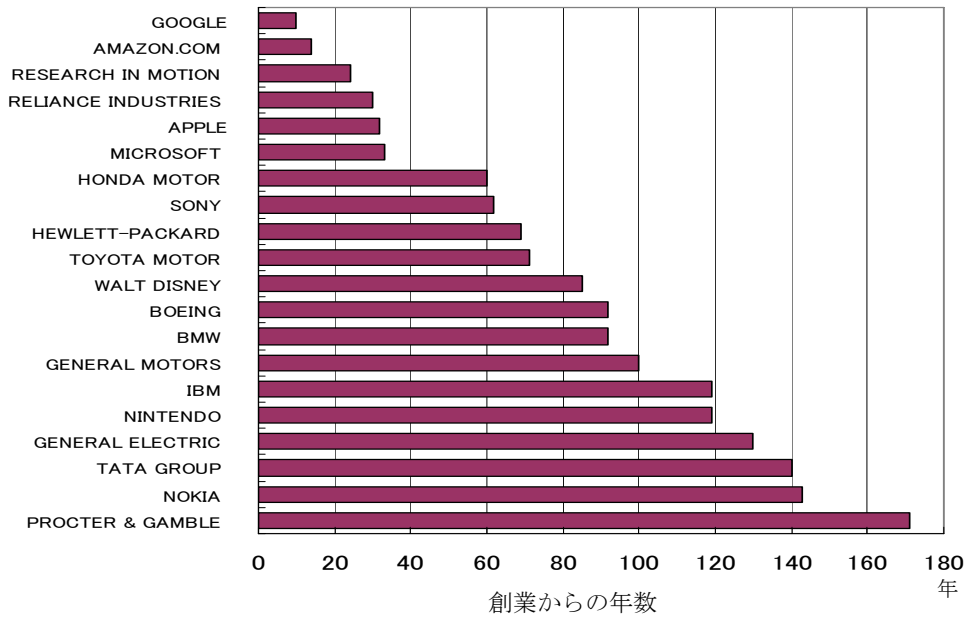


図 4-3 イノベーション力に優れると評価された企業の社歴

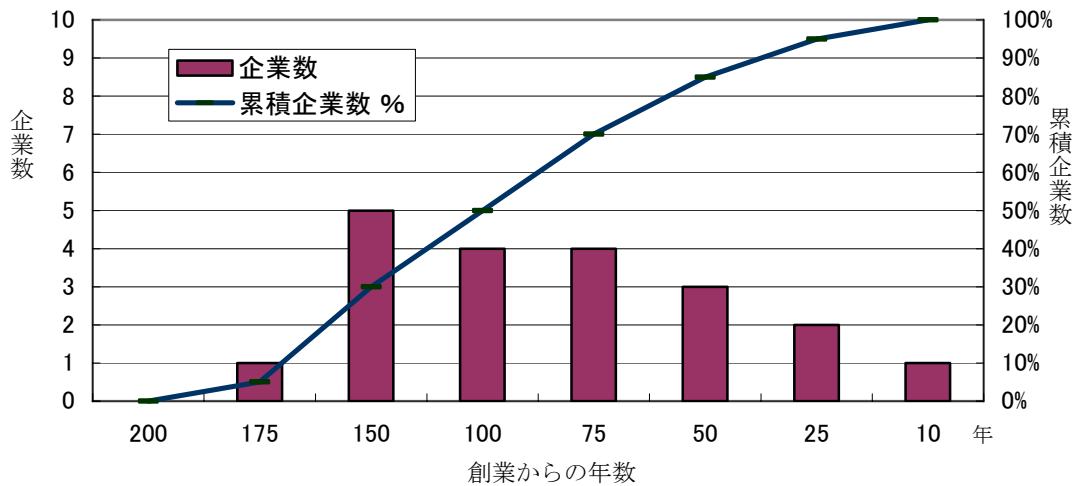


図 4-4 イノベーション力があると評価されたトップ20社の社歴分布

イノベーションの事業化というとベンチャー起業家による華々しい活動が想像されるが、成功するためには峻烈な競争を生き抜かねばならず競争を潜り抜けて生き残る生存率は低い。確かに、揺籃期のベンチャーが今日も生存競争を戦っているからこそ10年後には経済に大きな影響を与える企業として表舞台に上がってくるのであるから、これらのベンチャーを大切に育成する必要がある。ここで指摘しているのは、起業といえば直ぐにベンチャー企業を考えがちであるが、既存企業における企業内起業もそれ以上に重要だということである。



#### 4 - 1 - 1 基幹産業における大企業の重要性

日本の産業を構成する業種は大きく製造業と非製造業に区分され、さらにそれぞれが製品や業態などによって細分されている。経済産業省の平成 19 年企業活動基本調査速報<sup>5</sup>に平成 18 年度各産業分野売上げデータが発表されており、そのデータを調査すると図 4-5 に示すように、本論文の研究対象とする製造業の売上げは全体の売上げに対しては約 44%の構成比を有していることがわかる。

この製造業はおおよそ 24 業種に区分されており、それぞれの売上げデータを同様に集計すると図 4-6 の結果が得られる。ここで注目すべきことは製造業 310 兆円の売上げの約 50%が僅か 5 業種（輸送機械器具製造、情報通信機械器具製造、化学工業）で構成されており、80%までを見ても 10 業種に過ぎない。輸送機械器具は自動車関連、情報通信機械器具とはテレビ、DVD などのデジタル家電、パソコン、プリンタなどである。化学工業は言うまでもないであろう。

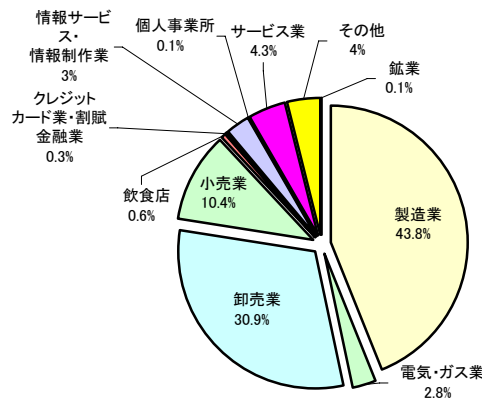


図 4-5 2006 年度の産業別売上げ構成

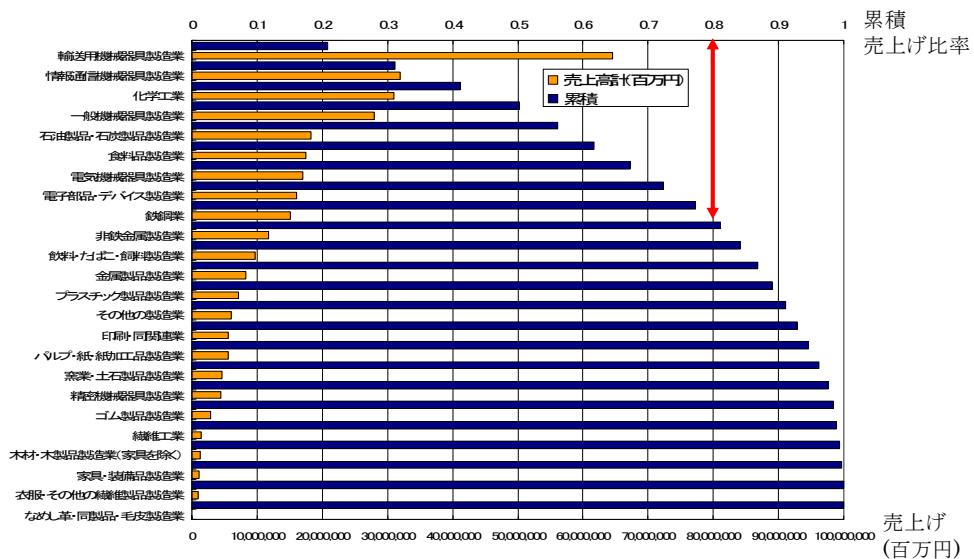


図 4-6 製造業種内の業種別売上げと、構成比

以上のように、日本の製造産業は4業種乃至は10業種でその大半の売り上げを生み出しており、製造業の基幹産業と言える。また、これらの業種名を眺めるといずれも大企業でなければ成立しない業種でもあることがわかる。例えば、売上げ最大の業種である輸送用機械器具製造業、つまり自動車製造業の場合、イタリアの超高級車メーカーのように半手工業的に製作販売するところもあるが、生産性を究極まで追及するためにロボットによる生産の自動化、カンバン方式として世界的にも有名になった Just in Time 方式による在庫ゼロ生産方式の導入などを大規模な工場で実施しなければ、米国の GM などの超大企業との世界レベルでの競争には打ち勝てない。TV やパソコンなどの情報通信機器産業も同様である。TV にしても DVD にしても、LSI や液晶パネルなど、数多くの部材を集約する開発・製造・流通システムなどをグローバルに構築する力がなくては成り立たない業種である。化学工業にしても大規模な化学プラントで生産効率を追及しなければコスト競争に打ち勝つことは出来ない。

確かに、これらの業種では系列と呼ばれる普通は中小規模の無数の企業群が大企業の傘下であり、大企業の生産に必要な部材やサービスを提供しているのであるが、これらの系列企業は大企業の経営状況によってはその生存を左右されるほど一心同体的な関係にある。従って、業界をリードする大企業が競争に打ち勝つことがこれらの系列企業にとっても必要なのである。

基幹産業は大企業でなければ難しいという現状は、各業種がどのような投資を行っているのかを調査することでも検証することが出来る。表4-1は日本統計年鑑<sup>6</sup>のデータから集計したものである。

	投資額(10億円)	累積構成比
自動車・同附属品製造業	2,945	15.9%
情報通信機械器具製造業	2,456	29.2%
化学工業	2,098	40.6%
電気機械器具製造業	1,702	49.8%
一般機械器具製造業	1,453	57.6%
その他の製造業	1,364	65.0%
鉄鋼業	1,184	71.4%
食料品製造業	1,136	77.5%
非鉄金属品製造業	778	81.7%
金属製品製造業	675	85.4%
窯業・土石製品製造業	633	88.8%
パルプ・紙・紙加工品製造業	519	91.6%
石油・石炭製品製造業	506	94.4%
精密機械器具製造業	389	96.5%
繊維、衣服製造業	283	98.0%
その他の輸送用機械器具製造業	265	99.4%
木材・木製品製造業	108	100.0%
合計	18,493	

表 4-1 2007 年の製造業 業種別投資金額と構成比

投資には土地への投資を含むデータもあるが、土地への投資は製造へのダイレクトな投資でない場合もあるので除外したデータを用いている。このデータを見ても、製造業界ト

ータルで 18 兆 5000 億円の投資金額のうち、4 業種で約 50% の 9 兆 2000 億円を投資しており、最大の規模である。このような投資金額は中小・零細企業の体力をはるかに超えたものである。日本の主幹産業は大企業が牽引していることが改めて確認出来る。

先述のように、中小・零細企業が系列企業として大企業を支える役割を果たしているのであるが、近年における中小・零細企業に関するデータは弱体化の傾向を示唆している。図 4-7 は先述の「日本の統計」から資本金階層別の企業数の動向を調査した結果である。1996 年～2001 年では各階層の企業ともほぼ 100% を超える企業数の増加率で、毎年企業数が増加していたが 2001 年～2006 年においては、資本金が 3000 万～1 億円の企業が頑張っているものの、企業増加率が 100% を超えているのは資本金が 50 億円を超える大企業だけである。また大企業、中堅、中小企業の投資金額の動向を 2005 年から 2007 年にわたるデータで調査すると、図 4-8 に見られるように投資金額が増加しているのは大企業のみであり、中堅、中小企業とも飽和傾向にある。

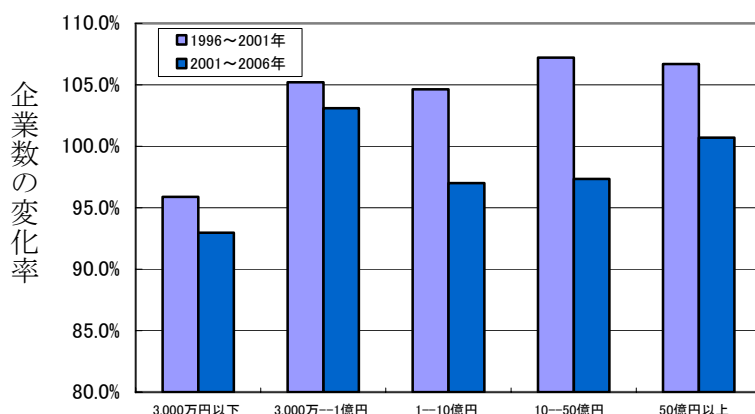


図 4-7 資本金階層別の企業数変化

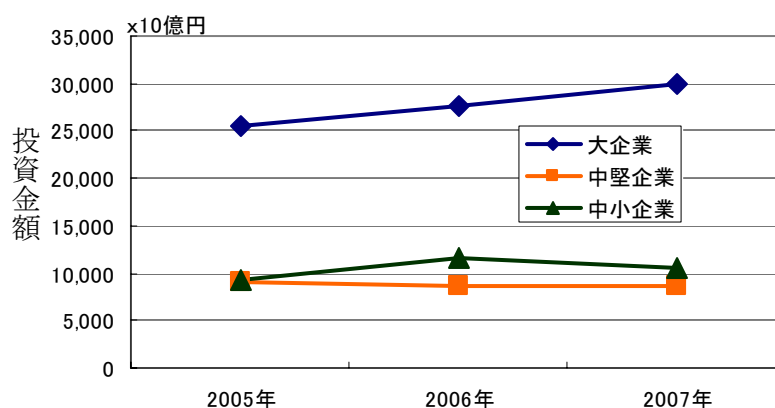


図 4-8 企業規模別の投資金額傾向

これらの現状を鑑みると、基幹産業における大企業の役割の大きさが改めて再認識され、従ってこれらの大企業がグローバルな規模で押し寄せる「創造と破壊」の波を泳ぎきっていくことが求められていることがわかる。つまり、大企業が如何にイノベーションを実践

して自らを変革しながら競争に生き残るかということが命題となる。

イノベーションの実践は、イノベーションの種を自らの内部に求めようが、外部から手に入れようが、事業化し製品を生み出し販売するという行為は自らが行わなくてはならない。イノベーションに基づく事業は、新規事業の創出であり、起業である。企業内起業が日本経済の競争力を高めていく鍵であることが、このように考えれば論理的結論となる。

#### 4 - 1 - 2 研究開発における役割

前章で日本の研究開発投資について調査したが、誰が負担しているのかについては触れなかった。科学技術白書<sup>7</sup>によれば2005年の研究開発費は17.8兆円であり、そのうちの80%強は民間企業によって負担されている。ちなみに、先進主要国の状況と比較すると図4-9のようになり、日本企業は最も重い負担を担っていることがわかる。

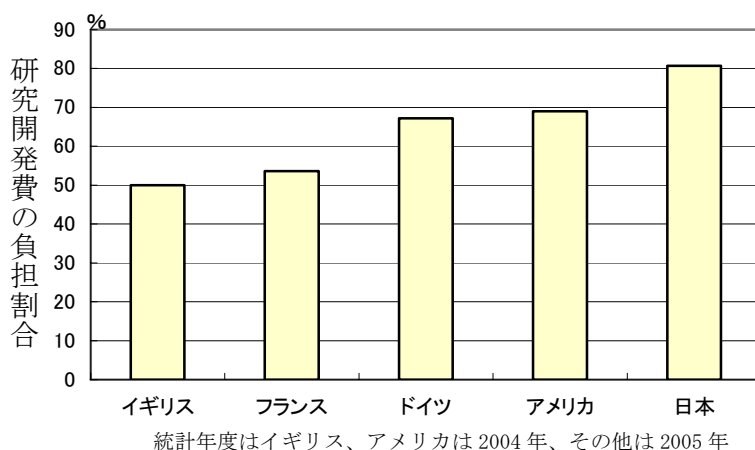
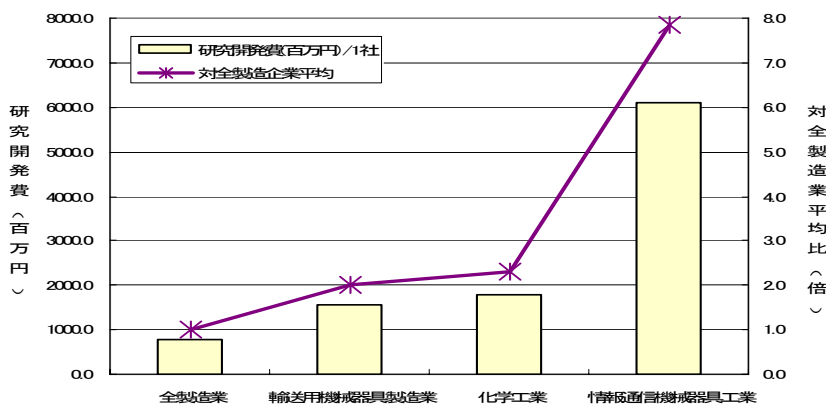


図 4-9 民間による研究開発費の負担割合

また、製造業における企業の研究開発費を業種別に調査し、前項で説明した製造業のトップ3業種で1社当りの研究開発費を算出した。その結果が図4-10である。



1. 企業数は経済産業省の「企業活動基本調査」<sup>5</sup>から収集
2. 研究開発費はH16年(2004年)発表の「科学技術指標」を参照
3. 化学工業は2001年のデータ、その他は2002年のデータで計算

図 4-10 製造業中、売上げTOP3業種の研究開発費と対全製造業平均

企業数と研究開発費の両データが揃っているのは「科学技術指標 平成 16 年版」<sup>8</sup>で、2002 年に収集されたデータのため（化学工業は分類方法が 2002 年に変更されており、2001 年データを採用）古いデータにはなるが、研究開発費及び、企業数の年度別経緯を追跡すると、緩やかな変化はあるものの急激な変化はないので、業種による企業 1 社当りの研究開発費を比較するのには不都合はないだろうと判断した。図からわかるように、化学工業、輸送機械器具とも製造業平均の 2 倍以上の開発費を投入しており、情報通信機械器具の場合には 8 倍近い研究開発費が投入されているのがわかる。

輸送機械、情報通信機械、化学工業は全製造業売上金額の約 40%を稼いでいるわけだが、このためには先進主要国のなかで民間企業が最も重い研究開発費を負担しなければならない日本で、業界平均をはるかに上回る研究開発費を負担している。つまり、世界主要国のなかでは最も重い負担に耐えて競争をしているわけなのだが、前章の日本の競争力を分析した際に、研究開発そのものや事業貢献への生産性が主要国のなかではむしろ低いと云わざるを得ない状況であることを述べた。本項に述べたように研究開発の主役は企業であり、特に基幹産業では企業が非常に重い負担を担っていることを考えると、基幹産業を支える大企業が研究開発の生産性、事業化へ生産性を改善しなければならないことがわかる。このためには大企業が自らのイノベーション力を高め、企業内起業を活性化することが必要なのである。

#### 4 - 2 イノベーションによる企業内起業

既存企業でのイノベーションによる起業は、自らを残しながらイノベーションを遂行しようとすることであり、イノベーションが「創造的破壊」を行うものであるということを読み起こせば矛盾したことを行わねばならないことがわかる。まさにそのことが、ベンチャー企業でのイノベーションによる起業と基本的に異なる部分であり、困難な部分である。

既存企業とは既存事業を持っている企業であり、その事業によって従業員の生活を支え、経営者は報酬を得、そして株主は利益の配当にあずかっている。既存事業の興亡がこれらの関係者の利害に直結しており、日々の激しい市場競争のなかで戦うモチベーションの源泉となっている。このような企業活動にあって、イノベーションによる新規事業は、立ち上げ初期は規模も小さく既存事業にとって取るに足らない存在に見えるばかりではなく、先行きが見通せないためにリスクの高さばかりが目立つ存在として映る場合が多い。また、新規事業を立ち上げることは既存事業から新規事業への転換を行わねばならないことを意味しており、既存事業に関わっている者にとっては自己否定という辛い選択を迫られることになる。

こういった理由から、既存企業ではイノベーションによる起業というのは難しいという観念ももたれている。しかしながら、P.F.ドラッカーはすでに 1985 年に、著名な自書「イノベーションと起業家精神」<sup>9</sup>で、既存企業におけるイノベーションは可能であり、イノベーションをなさねばならないと強く主張している。

#### 4 - 2 - 1 企業内起業論

企業内起業について、納本制度によって国内で出版された書籍を網羅している国立国会図書館蔵書で調査しても、企業内起業、企業内ベンチャーを表題あるいは表題の一部とする著作は参考文献に挙げたものを含めて<sup>10-12</sup>僅かに5件程度に留まり、これに対して起業とテーマにする著作は1000件を越えており、如何に企業内起業に対する研究が注目されていなかったかを示している。

企業内起業という言葉は初めて用い、事業モデル的な視点を取り込んで企業内部での起業を論じたのは Gifford Pinchot (ギフォード ピンチョー) であり、その著作は先駆的な存在である。先に述べたドラッカーも「イノベーションと起業家精神」のなかで既存企業におけるイノベーションを論じているが、ドラッカーもピンチョーも企業内起業の最大の問題は既存事業との軋轢だと認識しているところは同じであり、この問題に対する対策論についても両者の基本的な考え方は類似点が多い。

そこで、ここでは企業内起業家という言葉は初めて生み出したピンチョーの研究をベースにそのマネジメントモデルについて検討を加える。

#### 4 - 2 - 2 企業内起業

現代のような情報化社会となりフラット化した現代世界では、コールセンターや経理・会計処理をはじめとする業務はインドや中国などアウトソースされ、最近では研究開発の分野までを受託する時代になっている。世界経済は資本主義のダイナミックな発展原理である「創造的破壊」の波に洗われており、その荒々しい自由市場主義のもとで勝ち残るか、自国の周りに政治的な障壁を設けて物質的な豊かさのある程度犠牲にしても自国経済を守ろうとするか、選択しなければならない。前 FRB 議長であったアラン・グリーンズパンが自書「波乱の時代」<sup>13</sup>のなかで言っているように、自由市場主義経済というジャングルの掟のもとで戦うか、文明的静かさを選ぶかという選択肢でもある。

しかしながら、今日において世界経済の動きから隔絶することは、例えば石油なしで現代社会が成り立たないことを考えれば不可能であることは自明であり、故に先進経済国の企業はイノベーションを為し続けることで自らの生存を図らなくてはならないのである。

零細・小規模な企業ならともかく、大企業においてイノベーションを経営トップ自らが生み出し続け下部組織はボスの言うとおりに実行するという意味のトップダウン経営は成り立たない。ここにピンチョーは企業内部でイノベーションを創出して遂行する起業家、すなわち企業内起業家の存在が重要であることを指摘したのである。

ベンチャー的な零細・中小企業では独立と大きな自由があり、起業家精神を發揮して新規事業にチャレンジ出来るが、多くの場合、企業は規模が大きいほど生産効率が良く、また規模が大きいほど大きな投資に耐える体力を有する。従って基幹産業は小規模な企業ではなく、大企業が牽引している。

「小規模な企業の持つ特長と大企業でなければ為せない特長を組み合わせることが重要



であり、このためには独立した起業家のような働きをする社員が必要である。」これが企業内起業家の発想の原点である。大企業に小企業の良さを取り込む点に注目したのはピンチョーが最初ではない。社内に製品別や業種別の事業ユニットを設置して、それぞれの事業ユニットには自己責任経営を行わせるという「事業部制」としてよく知られている経営システムは、デュポンでは1921年8月の経営委員会に提案され、9月には事業部制への移行が決定されていた<sup>14</sup>ことが知られている。また、デュポンの出資先であったGMが1920年に経営危機に陥った際、ピエールデュポン社長に登用されたアルフレッド・スローンが約1年早い1920年に事業部制の構想に基づく組織改革案を出している。日本では松下電器が1933年に事業部制を導入し、その目的は「自主責任経営の徹底」と「経営者の育成」であると松下幸之助は述べている。このことから小規模な事業ユニットの導入による組織の活性化と、起業家の必要性を明確に意識していることがわかる。つまりピンチョーを待つまでもなく、優れた経営者は大企業の問題点を感知しており、その対策として規模の小さな事業ユニットの導入が有効なことや、上部の指示に従順に従うだけの社員ではなく自らが経営者として活動する起業家の必要性を認識していたのである。1920年代に「事業部制」という企業組織上のイノベーションが創出された時には、「企業内起業家」という概念は野中流に言えば「形式知」にはなっていなかったが「暗黙知」として認識されていたとも言える。社内で新しい制度や事業を興し、自らが経営責任を持って活動を行うことに対する普遍的な概念がピンチョーによって形式知になったと言える。

大企業ではスタッフ部門が強力であり、各分野のスペシャリストにも事欠かないであろう。従ってそのようなスタッフとスペシャリスト集団によって大企業では新規事業に対して綿密な調査と準備に基づく「完璧」な事業化計画を策定することが出来る。ここで言う「完璧」とは論理的に欠陥がないという意味である。また事業化の資源はベンチャー起業に比較すれば潤沢である。従って、新規事業は大企業で遂行するほうが成功の確率は高いと考えても不思議ではない。しかしながら、ピンチョーによればテキサスインスツルメントが50件ほどの新製品開発事業のケースを調査したとき、失敗したケースでは一つの例外もなく熱狂的な起業家精神を有するメンバーが不在であったと述べている。企業内起業家と言われるメンバーがなぜ必要なのだろうか。

#### 4 - 2 - 3 企業内起業家の重要性

大企業に事業部制などを導入することによって小規模な事業ユニットの特長を取り込む工夫を行ってはいるが、各事業部が本当に独立性を強く打ち出して個々に事業活動をすれば、企業全体の事業方針は存在し得ず、企業資産の有効利用や経営状態の把握なども難しくなり、事業部制導入の本来の目的を失ってしまう。従って事業部制を導入するどの企業も各事業部門を監督する担当役員を置き、また企業全体の方針を定め、その実施を指導監督する部門を本社機構に取り込んでいることが多い。従って、当然なことではあるが事業ユニットの長といえどもベンチャー起業家のような自由度は与えられない。社内のプロト

コルに従い、各種の承認手続きを経た末に決裁を得ることが必要である。また、例えば投資対象を選ぶ際も、経営管理手法を駆使して徹底的に分析する手法を採る。分析的手法によって論理的にそのアイデアや事業計画の合理性や妥当性を理解しようとするのである。

他方、ベンチャー・キャピタリストと言われる、ベンチャー起業家に事業資金を出資する人たちも、事業計画を徹底的に調査し分析することには変わりはない。しかし最終判断は起業家の人物を見て行うと言われている。新規事業の計画には変更がつきものであり、計画至上主義的なイノベーションマネジメントは上手くいかないことを知っているからである。起業家は状況の変化に対して迅速な判断を下さねばならず、そのためには断固とした行動を取れる権限が必要である。有能な投資家は起業家を管理することよりも起業家が有能であると判断したならば、その人物に経営を任せてしまうのである。イノベーションは試行錯誤の連続であることを考えれば計画至上主義よりも道理にかなっているとも言える。このように、大企業とベンチャー企業の起業システムには根本的な違いが存在するため、大企業がイノベーション力の強化を目指して小規模事業ユニットの利点を取り込もうと組織だけを制定しても機能しにくい。

企業活動においては、経営を管理運営する管理職や、研究開発を行うなど専門的な知識で業務を遂行する専門職は、企業経営に必要な職種であると認識されている。しかし、起業家精神にあふれた企業内起業家という存在も非常に重要なのである。大企業でイノベーションが上手く進まないのは、企業内起業家の役割が十分認識されていないからである。

企業内起業家はプロデューサーに喩えるとわかりやすいかもしれない。彼らは、必ずしも自らが新しい技術発明やビジネスモデルを考案する訳ではない。図4-11のような事業化プロセスのなかで

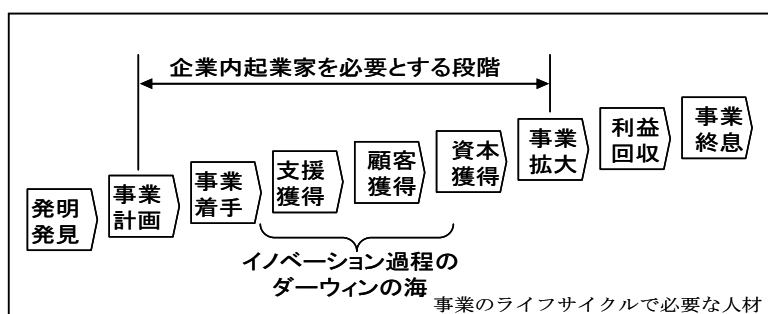


図 4-11 事業化プロセスと必要な人材

新しいイノベーションをビジネスとして軌道に乗せるまで、必要な資金や人材を獲得したり、それらの事業化リソースを駆使して商品企画を行ったり製品開発をしたり、そして顧客を獲得するのである。

多くの起業では当初の計画は予期しない問題によって変更を余儀なくされ、大幅に遅延する。そして目論んでいた事業規模も狂う。「イノベーションと起業家精神」の著者であるドラッカーは同書で事業目標は狙いの3倍ぐらいにしてスタートしなければならないとも



記述しているぐらいである。イノベーションのプロセスの過程では研究開発段階から事業化へ移行する際に、死の谷、ダーウィンの海とも呼ばれる大きな障壁に遭遇する可能性も高い。このような局面では、計画管理主義で運営されている既存事業内部で起業を行っている場合、当初計画からの差異が大きくなると厳しい指弾を受けることも稀ではない。こういう障壁を乗り越えて初めて企業に貢献出来る事業となるのだが、強力に牽引する企業内起業家がいなければ難しい。

しかし、厳しい過程が待っているのが明らかな企業内起業家の役割を敢えて担おうとする者は希有といっても過言ではないだろう。何故なら、企業内起業家の場合と、既存事業部門の管理者について、そのキャリアパスを比較するなら企業内起業家のコースのほうが遥かに困難に満ちており、自らのキャリアを失う可能性の高いことが容易に想像出来るからである。更に、成功したら既存事業部門の管理者に比べ特段の成功報奨があるかという点、一般的には同程度、あるいはそれ以下の評価しか期待することは難しい。しかし、これらの難しさをものともせずチャレンジする企業内起業家という種類の人材がどうしても必要なのである。このためには稀有な資質をもつ人材の出現を待つだけではなく、制度的な整備を行うことによって積極的に育成することが必要である。

#### 4 - 2 - 4 企業内起業家のミッション

企業内起業家のミッションは、会社の方針や上司の方針に従って与えられた仕事を粛々とこなす管理職でもなく、新しい技術や製品を生み出すことだけに専念する研究開発者でもない。企業内起業家はイノベーションを完遂させ新規な事業を創出するために、起業プロセスの段階に応じた様々な役回りを果たさねばならない。ピンチョーの起業家像をベースにすると以下のようなようになる。

##### ① 起業前の段階：

###### (1) イノベーションの機会を見出す

起業するにはイノベーションの機会を見つけねばならない。ドラッカーはイノベーションの機会を偶然に頼らずに見つける系統的な考え方を自書「イノベーションと起業家精神」のなかで示している。確かに偶然に恵まれて生まれた画期的な発明や発見も数多いが、それらは一種の奇跡である。奇跡に期待して企業活動を行うわけにはいかない。従って、企業に新しい飛躍の機会を与えるイノベーションの機会を見つけ出すことが最初に為すべきことである。

###### (2) ビジョンを描き方向性を示すこと。

企業内起業家は夢想家であってはならない。イノベーションを事業にむすびつけるには多くの仕事があり、多くの協力者が必要である。このためにはどんなイノベーションを起こそうとしているのか、いつまでにどのような事業を目指そうとするのかというビジョンを描き、自らのアイデア、計画を見える形にして説明する必要がある。こうすることによって初めて企業内起業家が考えている構想を共

有してもらふことが出来、そのビジョンに共鳴する理解者を得ることが出来る。事業の根本は人材である。起業には多くの支援者や仲間が必要である。企業内起業家は起業にむかって突進する情熱的なプロデューサーとしてのミッションも果たさねばならない。

(3) 事業プランを示すこと。

協力者、理解者を獲得するにビジョンだけでは経営資源を獲得することは出来ない。イノベーションの本質を理解し、事業の可能性を見極め、潜在的な市場性を推定して描いたビジョンのもとで、具体的な事業プランを作成することが必要である。つまり、起業に必要な経営資源、生み出す製品、コスト、生み出す利益、利益を生み出すまでに必要な時間、リスクなどである。この作業は冷徹な眼を持った経営者としての役割となる。イノベーションの機会を見出すクリエイター、情熱的な起業家マインドを持って突き進むプロデューサーとともに、自らの事業を冷徹に評価予測する経営者というミッションがここでは必要となる。

② 起業活動開始後（創業期）

(1) 経営者であること

企業内起業家が企画スタッフ、コンサルタント、評論家などと大きく違うところは、自ら立てたビジョンや計画を自ら実践する点にある。つまり経営者でなければならない。

新しい発明・発見に基づく新規事業の創出に取り掛かり始め、事業が軌道に乗るまでには想像以上の時間がかかる。一般的には10年近い年数がかかるものも少なくない。このような長期間にわたる努力の末にイノベーションを完遂させるには、適正なマイルストーンの設定と到達度の管理・対策など、起業プロジェクト全体を高い視点で俯瞰しながらマネージすることが必要である。

(2) 自ら行動するスタッフであること

制度や各種の事業資源が整っている企業のなかでの起業とはいえ、起業チームは小規模であることが多く、遂行しなければならないミッションは多岐にわたる。ここで、組織・制度に依存したスタンスでは大企業の欠点をそのまま引きずることになる。数少ないメンバーの能力をフルに活用し乏しい資源を最大限に活かす必要がある。このためには、企業内起業家は、経営者としてスタッフを管理する立場に立つのではなく、自らがマーケティングスタッフとなり、営業スタッフとなり、あるいはプロジェクトコーディネータとなって行動をする必要がある。このようなリーダーの行動は、他人を頼らず自ら道を切り開くというカルチャーを醸成することにつながる。

③ 起業活動開始後（成長期以降）

イノベーションの機会を捉え起業を行うには、ある特定の分野において専門的な知識を有する専門家であるほうが、洞察が効きやすくその機会を見逃さない。従って、起業

家はある分野の専門家であることが多い。また起業が創業期のころは新しい取り組みの連続であり、専門分野における技術的な問題も多発するのが常であるため、その解決には自らが対応しなければならない。企業内起業家には一般管理職よりも、特定の分野における専門的知識を必要とされるのである。

また、企業内起業の場合は、創業期には社内の既存システム、慣習、体制との軋轢も多く、企業内起業家はそのような問題をも解決していく必要があり、そのような軋轢や衝突をおそれない、調和協調的ではない、強烈なリーダーシップの発揮出来る性格の持ち主であることが求められる。

ところが、起業が創業期を潜り抜け成長期に入ると、起業のマネジメントは変えていく必要が出てくる。つまり、起業グループが創業に成功し企業内部での生存権を獲得したなら、その後の成長には大きな投資、大きな経営資源を獲得して規模を大きくする必要があり、猪突猛進型ではなく、社内組織の一部として調和を取りながら成長をマネージする経営が必要となる。

創業の起業家にはこのような経営にも優れた才能を発揮出来る人もいるが、リーダーシップの発揮の仕方はその人の性格に根ざす部分が大きく、なかなか変えることは難しい。この問題を解決するために、創業起業家の欠点をカバーするタイプの経営者を置くか、そのような経営者にバトンタッチする判断を行う必要がある。このことも起業家の重要なミッションであらうと思われる。

#### 4 - 2 - 5 企業内起業家が乗り越えなければならない障壁

企業内起業家のミッションはイノベーションを完遂させ、新しい事業を社内に生み出すことによって、企業を再活性させることである。故にイノベーションの遂行に伴う創造的な破壊が社内で起きる。この場合、容易に想像されることではあるが、起業に対する障壁は高い。もし幸いにして起業しようとする事業と関連する事業部門が社内に全くない場合であれば、問題はずっと小さいであろう。しかし、社内に関連する既存事業部門がある場合は、まさに「イノベーションのジレンマ」<sup>9</sup>に記されていることが社内で起きる。起業初期の製品は性能も悪く、コストも割高であり、既存製品との競争に価格、性能いずれの面でも負けることになるかもしれない。この現象は、FLASH メモリによる記録媒体の固体化と、HDD の進化の例でも見られた。HDD は今や 3.5" では 1 TB の容量製品を DESK TOP PC ユーザーが普通に利用しており、ノート PC 用として使用されている 2.5 インチでも 250GB 製品が市販され、その圧倒的なビット当りのコストの安さで記録媒体市場を独占し続けてきた。他方、FLASH メモリによる記録メディアは、初期には 8 MB、16 MB という極めて低容量で、コストも高く、ブリッジメディアとしてようやく HDD とは違う市場セグメントで生存権を確保してきたのである。半導体の微細加工技術の進歩によって FLASH メモリの集積度が上がるにつれて 1 GB、4 GB、8 GB、16 GB のメモリメディアを商品化することが可能になり、2007 年には FLASH メモリメディアを搭載したノート PC が小型のモ

バイル用に限定してはいるものの、ついに HDD 市場の一角に食い込み、そして、2008 年には 128GB の SDD が発表され、本格的な SSD の実用化が始まろうとしている。

このように、イノベーションの初期には既存製品に比べると、その存在意義さえ疑われる非力な存在なのである。従って、企業内部でこのような製品を事業化しようとする企業内起業家は、先ず「経営資源の無駄使い」という批判をあびる可能性が高い。社内に類似市場セグメントで事業を行っている事業部門があれば、そのような既存事業部門と社内で競争が起きる可能性もある。既存事業部門は実績を上げており経営貢献度は新規事業部門とは比較にならない。また、社内への影響度も大きく、政治力も高い。このような既存事業部門と競争することになると、資金や企業の機能を使用するなど事業推進に必要な関係部門の協力を得て進める際に大きな負荷がかかってくる。また、新規事業は、見通しが立てにくく、計画からのずれが大きくなりやすい。社内の競合部門にとっては格好の批判材料であり、厳しい批判に晒されることも多い。このような障壁を乗り越えることに大きな努力を必要とするところが企業内起業の特殊性であろうと考えられる。

#### 4 - 2 - 6 企業内起業に立ち上がる障壁乗り越えるために

新規事業といえども事業であるから結局は事業の成功が必要なのであり、アダムスミスの「国富論」的考え方にに基づき、企業内の「市場経済原理」に任せて企業内起業が立ち上がるのを期待する、つまり「神の手」に導かれるに任せるという考え方があろう。しかし、ベンチャー企業がそのような環境のなかで生き残る確率は極めて低く、統計によれば 5 年後の生存率は 42%であることを先に述べた(図 4-2)。5 年後には起業した企業内起業の半数以上が消滅することになる。起業に失敗した後には、失敗者になってしまった失意の従業員、そして何の価値も生まず回収することの出来ない損失が残る。起業に挑戦しようとした従業員は平凡に、安全に勤務しようとする従業員よりも企業にとっては有用なはずである。そのような有用な従業員を失敗者にしてしまう確率を少しでも減らすこと、また、起業活動には少なからずの費用が投入されているのであるから、人的及び資金的な経営資源の有効活用という観点から経営層は何らかの手を差し伸べて生存率を上げることも重要である。

ではどうやって支援すべきか。先述のように企業内起業は場合によっては既存の事業部門と競合するため、その事業部門内部生え抜きの部門長の傘下には置くことは好ましくない。また、他事業部門の内部に配置した場合、その事業部門長と競合事業部門長の政治力学的なバランスによって大きな影響を受ける。従って、見通しも不透明な、所謂、起業の揺籃期には極力そのような政治的な影響を受けにくいポジションに配置することが望ましい。一般的にはトップに近い経営責任者の傘下に置くことがそのような条件を満たす。

しかし、支援の本質を理解しなければならない。経営者が企業内起業に強力な支援をすることによって、経営者のスタッフ部門から強力な管理を受けることも想定される。管理に対応するには詳細な計画策定と報告が必要なのであるが、何度も述べるように起業の初

期段階で詳細で正確な計画を立てることは不可能に近い。よってそのような状況におかれた起業活動ユニットは無理な計画を提出することになりがちで、提出した計画を達成できないという結果になる。そのような場合、計画と合わない原因を探索するなど問題を解決に向けて建設的な議論が為されればいいのだが、計画との差異を批判、糾弾するだけに陥る場合も有り得る。そうすると、起業活動ユニットは批判や指摘への対策に追われて事業に注力できなくなる危険性が高い。逆に、強力な支援によって社内で一種の特権を獲得したことになり、起業活動ユニット内部でのマネジメントが緩んでしまうか、特権の行使によって社内の関連部門に批判の種を植え込んでしまう危険性がある。植物を栽培するときあまりに手をかけすぎると強く育たないことを知る人も多いであろう。逆に、あまりに放置すると（市場経済主義に依存のケース）、生育率が落ちるのである。企業内起業を支援するには、豊かな経営見識をもつ経営者層の関与が必要なのことがわかる。

#### 4 - 2 - 7 既存の管理者と企業内起業家

外部では競合企業と戦い、社内では既存事業部門や社内の政治的力学のなかで生き抜くための努力を行わねばならない企業内起業家のミッションを考えると、所謂、企業における既存の管理者との違いが浮き上がってくる。ピンチョーは自著で同じように考え表4-2のような比較を行っているのであるが、ピンチョーの想定している企業内起業家は独立心旺盛なクリエイター型のようなものである。確かに、企業内起業家はピンチョーの示しているような特性を兼ねる必要があるとは思いますが、このような特質を備える有用な人材が容易に企業内に存在するのであるか。もしそうであれば、企業内には起業の芽が見出せ、あるものはすでに成長期にはいつているはずであり、あとは適切な支援をするのみである。

しかしながら、多分、このような特質をもった人材は少ないのであろう。もし多ければ日本の企業はGEM (Global Entrepreneurship Monitor) の評価において上位を占めているはずであるが、2007年のGEMの報告書によれば図4-12のように先進国23カ国中18位という下位に留まっているのである<sup>15</sup>。

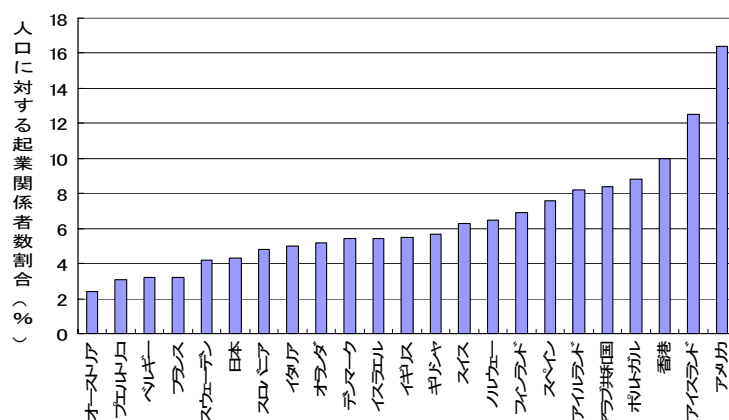


図 4-12 各国の人口に対する起業関係者の割合

そうすると、このような企業内起業に必要な人材がいない企業はどうすればいいのだろうか。このことを考えるために、ピンチョーの言う一種の「究極の企業内起業家」の特質を眺めてみる。ピンチョーの比較には出身家庭の比較等も入っているのだが直接的な要因になるとも思えない。表4-2ではリーダーシップという側面からの比較にとどめている。

この表を見ると、生まれながらの人間の性格に依存するものは少ない。仮に、最近良く使われる表現の「DNA」的なものに根ざしたものだとしても、人間の性格はその後の環境や教育によって変化するものであるから、結局、企業内起業家は、育成することによって得ることが出来るのではないかと考える。

問題はどのようにして企業内起業家足りえる人材を育成するのかということである。言うまでもなくMBAの資格を取ったからといって起業家になる訳ではない。起業家に必要なトータルな資質&スキルを有する人材の育成は組織的な教育と合わせて、優れた経営者のそばで薫陶に触れさせながら育てる必要があるだろう。一旦、そのような人材が育てば次はその人材を核として次の世代の人材を育成するという方法をとることが出来る。

究極的には企業の従業員一人ひとりが経営者としての精神で働くことが、企業の活性化を維持し常に若々しい企業であり続ける根本であるのだが、このことは海外の経営学者による指摘を待つまでもなく、日本人の経営者は気づいていた。例えば、松下電器の創業者である松下幸之助は、「社員稼業」という言葉で社員一人ひとり自らが自分の仕事の社長であるとの考えに立ち、日々の仕事に取り組むことの重要性を謳っている。

	既存の管理者	企業内起業家
時間の捉え方	販売目標・計画・予算。	長期目標に基づき、組織の計画を調整。
行動様式	監督・報告。	自分で実行する部分と任せる部分を調和。
能力	分析手法を身に付けたプロ経営者。	企業家的能力と企業内で成功するための素養。
勇気と運命観	他人が自分の運命を左右すると考える。	自信家・勇敢。組織を利用出来ると考える楽道家
リスクへの対処	慎重。	適度なリスクは負う。企業内の個人的リスクは気にしない。
市場調査	新製品は市場調査依存型	ニーズ創造型、市場評価は直感依存
地位	ステータスシンボルにこだわる	ステータスシンボルには無関心 自由を求める
失敗とミス	失敗を避けることに努力する	失敗に立ち向かい教訓を得る
意思決定方式	権力者に同調	説得力があり自分の意見に引き込むことが出来る
誰の為に働くか	他人のため	自分と顧客、スポンサーのため
問題解決方法	組織内で解決	組織内で解決するか、回避
人間関係	階層型関係	階層型のなかでの取引的關係

表 4-2 既存の管理者と企業内起業家の比較（ピンチョーに基づく）

#### 4 - 2 - 8 経営効率から見た企業での研究開発

企業における研究開発が経営にどのように貢献しているのか。もっと事業に貢献する研究開発の運営方法を見出さねばならないという考えが技術経営という学問を生んだ背景にある。言い換えると、企業における研究開発が事業経営から期待されている水準を満たす貢献をしているのだろうかという疑念があるとも言える。

研究開発が事業経営にどのように影響しているのかを定量的に明らかにする試みが経済学者によって行われてきている。基本的な考えは企業活動を一つの関数として考え、研究開発をその入力変数として出力変数である販売や利益などを評価しようとするものであり<sup>16</sup>、生産関数を用いる試みなどが報告されているが、まだ途上であるというべきだと思われる。

そのような試みとは別に、日本企業における研究開発と事業の関係について経済界に大きなインパクトを与えたのは、1991年に児玉が発表した研究であった<sup>17</sup>。そこでは日本企業の研究開発費と設備投資が1985年から逆転していることが報告されている。この現象に対する解釈は様々であるが、そのうちの典型的なものは、「かつて日本が戦後の復興期から発展する過程においては米国を中心とする先進諸国からの技術導入によって事業成長を図ってきたため、研究開発費は低く抑えることが出来た。しかし日本も世界の第一級国となり、自らが最前線にたって新技術を開発していかなねばならなくなったことの証左である。」<sup>9</sup>というものである。確かにそのような理解も出来るが、もっと重要なことは「研究開発の効率との関係」という観点で本現象を検討することである。

研究開発によって新しい技術が生まれ、製品が生まれると企業はそれを事業化しようとする。つまり生産して販売しようとする。そのためには生産設備を用意しなければならず、設備投資が発生する。従って、もしイノベーションが活発に行われ、研究開発が打率良く新しい事業を生んでいるなら旺盛な設備投資が行われているはずだという考えに基づく検討である。この考え方は研究開発費が設備投資より多くなったことをとりあげているために、両者の多寡を比較することが重要なように誤解を与えるが、重要なことは研究開発費が増加、あるいはその水準を維持しているのに対して設備投資が鈍っていることが重要である。

先に述べた児玉の報告は1991年と17年前のことなので、最新のデータに基づいてこの考え方を検証した。調査では会社四季報（東洋経済新報社）のデータから研究開発費の多い企業をリストアップし、上位五社を選択。但し、自動車、電機業界など同業種の企業が重複する場合は上位1社のみ選択し、異業種から選択するようにした。次に、各企業の過去5年間の有価証券報告書データを収集し、研究開発費、設備投資金額、売上げ、営業利益データを集計したのである。図4-13は研究開発費/設備投資比率の推移である。世界のエクセレントカンパニーと讃えられるトヨタ自動車やキヤノンは1を大きく割り込む数値であり、その評価を裏付ける結果となっている。武田薬品は研究開発費が極端に大きくなっており、他の企業とは異質な感じがするが、これは新薬の開発に膨大な研究開発費が必要



であるものの製造には他の製造業に比して巨額な設備投資を必要としない業種だと考えれば理解出来る。よって武田製薬のデータは比率の推移を見ることに意味があり、比率の増加が飽和してきていることに注目すべきである。松下電器は研究開発費率が1を越えているが、近年減少してきている。いずれの企業も研究開発費/設備投資比率は緩やかな変動があり、幾つかの企業では近年若干の減少傾向が見られるが、少なくとも上昇の気配は見られない。研究開発の事業化への効率悪化は抑制され、若干の改善方向にはあるように理解出来る。

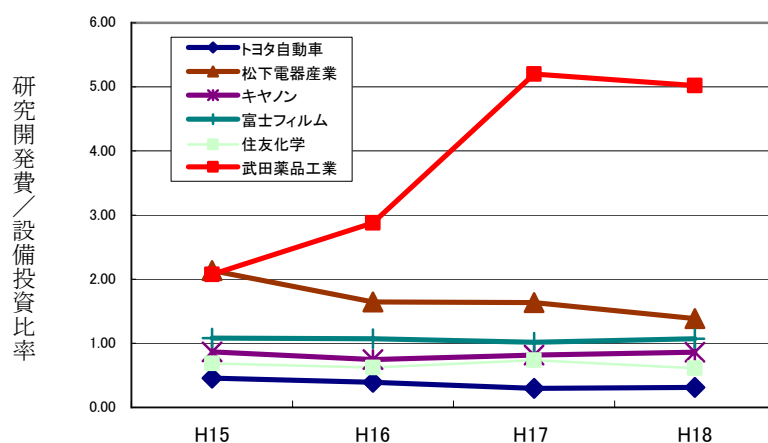


図 4-13 業界代表企業の研究開発費/設備投資比率

さて、研究開発が事業に結びつく打率が高ければ設備投資も旺盛のはずだと理解されると述べたが、この点考え方を別の観点から傍証出来ないか考察した。もし、企業の研究開発が有効に事業化されたならば、その企業の市場での競争力は高まり収益性が良化するはずである。この考え方は素直な解釈ではないだろうか。そうすると、もし研究開発と設備投資との間に先に述べたような解釈が成り立つならば、営業利益と研究開発費/設備投資比に負の相関が見られるはずである。この考えに基づき、データをグラフ化したものが図 4-14 である。

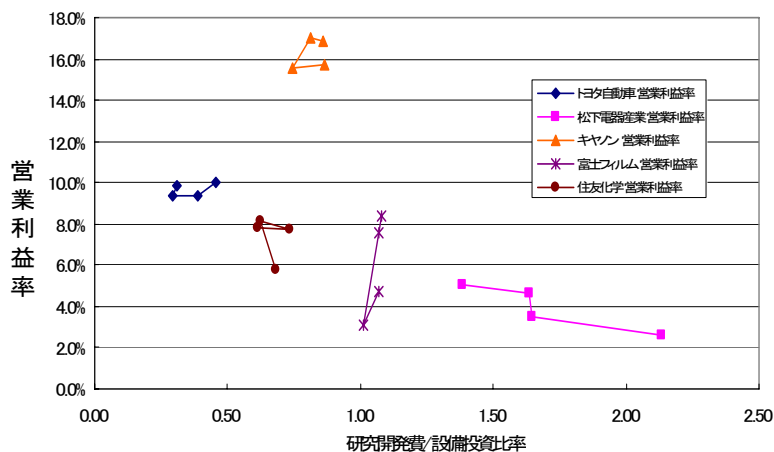


図 4-14 研究開発費/設備投資比 vs. 営業利益率



ここで、武田薬品は事業構造が他の業種と大きく異なると推定されるため、除外している。5社という少ないデータでの断言は難しいが、グラフからは負の相関があるといっても誤りではないことが読み取れる。つまり、研究開発費/設備投資比率は研究開発の効率を示す指標になっているということである。なお、キヤノンが特出した経営を行っていることがこの分析からもわかる。

これまでの検討の結果、日本の代表的な企業の研究開発の事業化効率は若干の良化傾向は見られるが大きな改善の兆しは見られない。大局的には改善が停滞しているといっても過言ではないだろう。この課題を解決する方法として考えられるのが、事業化へのプロセスを改善し研究開発成果を事業化に結びつける成功率を上げることである。これは最も基本的なアプローチであり、研究開発費という入力に対する事業化という出力の改善である。他方、研究開発費の削減、設備投資の拡大という手法もこの比率を改善する直接的手法ではあるが、経営数字を取り繕うだけの設備投資の無謀な拡大は検討する価値は殆どない。しかし、もし研究開発費が過剰投資されているとすると考えるなら、削減という案も可能性として残る。そこで、研究開発費と営業利益の関係を分析することにした。

分析には何点かの考慮が必要である。まず、研究開発投資が事業貢献するには通常何年間か時間を要する。従って、当年の研究開発費と営業利益を比較するのではなく、過去に遡って投資された研究開発費と比較する必要がある。実は設備投資と研究開発の関係も同じような配慮が必要なのだが、他の報告とのデータの整合性を考えて敢えてそのような計算を導入しなかった。営業利益と研究開発費の関係の調査では、研究開発投資を行ってから三年目に事業への効果が出てくると想定した。村上は1991年に同様の分析を行っており、その際には5年間の累積研究開発投資とその後5年間の累積利益の関係を調査しているが、基礎研究はともかく企業に於いて事業化を目標とする研究開発では、「3年後の事業貢献」というのは無理のない年数だと言える。

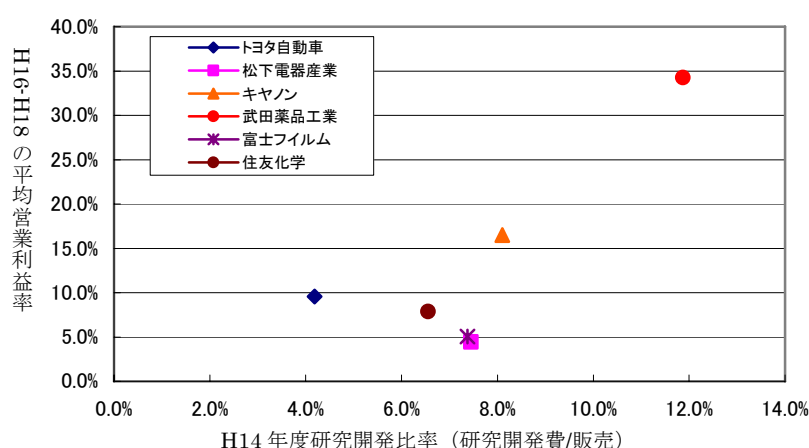


図 4-15 研究開発比率と営業利益率

具体的な計算においては販売に対する研究開発比率と、営業利益率を用いる。さらに、営業利益率は経営環境の影響によっても大きく変動するので、前後1年を含む3年間の平

均値を用いた。このようにして算出したのが図4-15である。図ではH14の研究開発費率と、H16～H17～H18年というH17年を挟む三年間の平均営業利益率を用いている。同図から「研究開発比率が高いと、営業利益率が高い。」とも見えるが、研究開発費投資と設備投資の関係が他の製造業とは異なると思われる製薬業界の武田製薬、超エクセレント企業のキヤノンを除くと、そのようには断言出来ないことがわかる。トヨタ自動車は研究開発比率が4%程度だが約7.4%を投資している松下電器、富士フィルムよりも営業利益率が2倍弱高い。住友化学とトヨタ自動車、住友化学と松下電器、富士フィルムの関係も研究開発比率と営業利益率に正の相関はないことを示している。とすると、事業成果に貢献していない研究開発費が費やされていることになるという推測が出来るのである。研究開発費の使い方に工夫が要するという事である。

研究開発費の事業貢献が正の相関にはないということは、研究開発投資と利益の関係を広範に調査したマッキンゼーの報告書（リチャードフォスター「創造的破壊」）にも<sup>18</sup>、両者の関係は必ずしも明確ではなく、半導体などでは負の相関さえ見られるとして報告されている。研究開発費とは企業内部に有する研究開発部門が消費する費用の事を示しており、外部から技術を購入する費用は含まれない。従って、マッキンゼーの報告は自社で閉じた研究開発を続けると事業の足を引っ張る可能性が高まるということを示唆している。このことはオープンイノベーションがこれらの業界では特に重要なことを示唆していると思えることが出来る。

このように、日本企業の研究開発は事業への貢献という観点で評価すると、その事業化効率を上げるためにはオープンイノベーションなどイノベーションの推進方法に改革が必要なことがわかる。企業内起業というのは企業内におけるイノベーション活動であり、従ってその推進は研究開発効率の改善という面でも重要なのである。

#### 4-2-9 イノベーションによる企業内起業の困難性

クレイトン・クリステンセンが指摘しているイノベーションのジレンマ<sup>19</sup>は広く知られた現象である。企業が自らの事業を正しく推進すればするほど新しいイノベーションの波を捕まえられないという現象である。企業は販売金額を上げ、営業利益を伸ばし、前年よりもさらに成長させることが求められており、経営者はこのような圧力のもとに晒され続けている。この結果、経営者は経営指標の改善に最も効果があるように経営資源を配分するわけだが、この行為がイノベーションを抑圧するというジレンマを指摘しているのである。

イノベーションのジレンマを説明するために多くの事例が挙げられているが、銀塩カメラからデジタルカメラへの変革もその事例になりうるであろう。1820年代に化合物の光学的反応を利用して写真技術が登場して後、改良が重ねられ銀塩化合物を中心とする写真技術はカラー写真も可能にし、さらにレンズ技術の進歩によるカメラの高性能化と相俟って、美しい画像を誰でも容易に撮影出来るようになっていた。この世界にイノベーション

が起こると想像した人は少なかったかもしれない。CCD という電荷転送素子が発明され、フォトダイオードと組み合わせた固体撮像素子が 1980 年代に家庭用のビデオカメラに搭載され始めたが、画素数はせいぜい 30 万画素数程度であり、TV での鑑賞には耐えるレベルではあったものの銀塩写真の解像度、ダイナミックレンジなどの画質には到底及ばないものであった。デジタルカメラを商品化したメーカーもあったが、こういった状況であった為、市場で受け入れられることはなく、カメラやフィルム業界にインパクトを与える存在とは思われなかった。しかしデジタルカメラの画像はデジタルデータのためすぐにコンピュータで処理出来、インターネットで相手に送ったり、Web に載せたりすることが出来、これらは銀塩写真に対する決定的な違いであった。このような特長を活かすにはデジタルカメラの性能が上がるだけではなく、画像という非常に大きなデータを複雑な処理をするためのコンピュータ性能の向上、画像データを高速に送受信出来るネットワークの整備、そして自らプリントするための高画質カラープリンタの登場を待つ必要があった。デジタルカメラは器械製品であったカメラを電気製品にしてしまい、キヤノン、ニコン、ミノルタなどのカメラメーカー以外にも電器メーカーが続々と参入して大変革が起きた。またデジタルカメラはフィルムや印画紙を必要せず、街角にある DPE サービスも必要としないため安定な需要に支えられてきたフジフィルムやコニカなどのフィルム、印画紙メーカーにも衝撃的な影響を与える、まさに破壊的イノベーションとなった。

この大イノベーションは、カメラメーカー、フィルム・印画紙メーカーもその予兆を知ることが十分出来たはずではあるが、現在、デジタルカメラのトップ 3 社のうち 2 社は電器メーカーであり、フィルム・印画紙メーカーは事実上 1 社にまで減ってしまった。イノベーションを捉えられなかったメーカーは淘汰されたのである。おそらく、それらのメーカーは銀塩カメラという既存事業の中で、「モデルチェンジ」、「宣伝」、「コスト競争」に経営資源を投入することが社の業績を伸ばす最適の選択であったのであろう。彼らの経営を後になって批評するのは容易である。しかし、新しい技術革新が起きてイノベーションが始まろうとするときの先駆的な製品は既存製品に比べて見劣りし、事業的な魅力に乏しく見えることが多い。多くの“革新的製品”が消えていくのも事実であり、成長と高収益を求める圧力に晒されている経営者にとってリスクをとるのは容易ではない。デジタルカメラもカメラメーカーの眼から見たら、おもちゃのような製品に映ったとしても無理はなく、そこに大きな経営資源を投入しなかったとしても無条件に批判することは適当ではないだろう。このようなイノベーションのジレンマはクリステンセンの著書で論理的な説明を与えられているが、その研究は、図 4-16 に示すように企業とその周辺を取り巻く経営環境、つまり企業が関わっている業界のなかにおける企業と外部の相互作用という視点で取り扱われている。企業内起業の場合、企業内に視点を移さねばならない。企業内起業活動を行う組織（起業活動ユニット）は社内の既存事業部門に取り囲まれている。企業内起業において起業活動ユニットは社内の既存事業ユニット、既存組織の機能を活用して起業活動をしなければならないので、それらの協力は不可欠である。このことは、例えばある製

品を製造する際には製造部門に頼んで作ってもらわねばならないのだが、このためには生産計画に組み入れてもらい、生産能力の割り当てをもらわねばならないことを考えれば明らかである。また、製品の設計開発段階においても既存部門の設計資産を活用する必要があり、販売においても営業部門やマーケティング部門に顧客開発や販売促進施策を頼まなければならない。もし、このようなことを一切、起業活動ユニットが独自でやろうというのならそれは事実上、企業活動と遊離独立しており企業内起業のメリットもデメリットもないベンチャー起業となんら変わりはないと言えるだろう。

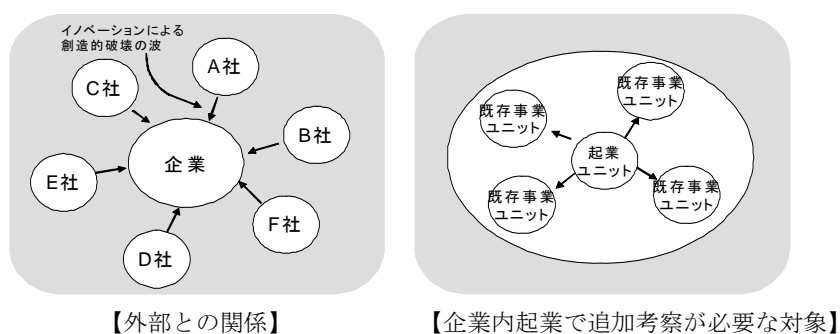


図 4-16 イノベーションによる起業を研究する際の考察対象

とにかく企業内起業においては既存組織と連携し協力を得なければならない。しかし、それらの既存事業組織は、現業に最大の努力を傾注し実績を挙げることに汲々としているのが常である。ここに起業活動ユニットから協力要請が来たときにどのような反応がでるのか想像は難しくない。企業内で事業ユニットを担当する責任者にとって、大事なリソースを先行き不透明な起業活動グループに割くよりも、そのリソースを現業に配分するほうが事業実績を挙げる確率は、はるかに高いと考えても無理はない。つまり、イノベーションのジレンマで見た現象がここでも発現するのである。企業内起業家は事業の成否を賭けた戦いに挑むとともに、社内の既存事業ユニットに対してイノベーションのジレンマを乗り越えるように働きかけるという非常に重い仕事をかかえることになる。

一般的に社内でのポジションがあまり高くない企業内起業家にこのような問題の解決を任せるには荷が重すぎ、起業活動が潰れる危険性が高い。それではピンチョーの主張する起業家に権限を委譲して活動させることが可能かというところから見ると、今日でも「エンパワーメント」という言葉でその重要性が議論されているところから見るとまだ成功していないと見るべきだろう。先述のリチャードフォスターの「創造的破壊」<sup>18</sup>に、ピンチョーと INC マガジンのインタビューのくだりが引用され、そこでピンチョー自身が権限委譲は現実の企業のなかでは上手く言っていないこと、そしてその理由はリスクとチャンスの見極めが出来ない故の管理の質にあるという主旨のコメントを述べている。

経営組織の歴史を辿ると大企業は、そのメリットとデメリットを認識し様々な組織形態を試行してきている。チャンドラーの「組織は戦略に従う」<sup>14</sup>にも述べられているように、事業部制という、それぞれの事業部に自主経営責任を担わせる体制が大企業の総合力と中

小企業の軽快な経営のメリットを活かせる経営体制として多くの企業で取り入れられてきた。事業部制では事業部長がその事業部経営の最高責任者であり経営の責任を担っているのであるが、事業部としての事業実績を挙げねばならないため、どうしてもその判断は事業部の利益極大化に比重が置かれる。つまり局所最適化の経営判断に傾く。事業部の一つ一つがイノベーションによる事業創造に責任を負うとすると、そのリスク負担は企業全体で負うより大きなものになる。よって、事業部における企業内起業へのリスク評価は厳しいものになり、イノベーションのジレンマを乗り越える障壁は高くなる。このように、企業内起業に対する障壁は企業の経営組織にも依存することがわかる。また、既存事業が順調で好成績であればあるほど新規事業への挑戦意欲が落ちるとしても不思議ではない。敢えて不透明でリスクの高い新規事業に手をださなくとも既存事業に資本投入すれば確実にリターンが得られるからである。順風満帆の企業では新規事業への障壁は高くなってしまいう可能性がある。このように企業内起業に対する障壁は組織により、またそのときの経営状況によって影響を受ける。

イノベーションのジレンマは、経営者、管理者なら知らぬ人は少ないはずと言える位に、周知の現象であり、クリステンセンは「イノベーションのジレンマ」を発表した後、この問題を解決する処方箋を提供すべく「イノベーションへの解」<sup>20</sup>を発表した。しかしながら、いまだに破壊的イノベーションに取り残され、多くの起業が消えていくことから「イノベーションのジレンマ」は、解決出来ていない経営の課題であると言っても過言ではないであろう。

イノベーションへの障壁を取り除き、企業内起業を成功させるには権限委譲によって起業家に自由裁量権を与えることは有効であろうが、先述のように現実の企業では機能していない。では、企業内の既存事業ユニットをまたがって権力行使出来る立場のトップでなければ企業内起業の成功を導けないのであろうか。しかしながらトップ経営者に広汎かつ専門的な内容について、いつも正しい判断を求めることは不可能である。よく知られていることであるが、3Mはカリスマ的な経営者に頼らずにイノベーションを継続している。また、加護野たちは経営組織が企業の体質に大きな影響を及ぼしていることを述べている。従って、企業内起業の困難性の解決を経営トップの課題として棚上げせずに、イノベーションの管理という観点で解決出来る可能性があるのではないかと考えられる。

#### 参考文献

1. 中小企業庁, ed. (2007/06), 中小企業白書 2007年版, ぎょうせい出版.
2. 中小企業庁, ed. (2006/05), 中小企業白書 2006年版, ぎょうせい出版.
3. Nesheim, J. L. (2005), The Power of Unfair Advantage: How to Create It, Build it, and Use It to Maximum Effect, Free Press.
4. 'The World's 50 Most Innovative Companies', BusinessWeek **April 28**, (2008), [http://bwnt.businessweek.com/interactive\\_reports/innovative\\_companies/](http://bwnt.businessweek.com/interactive_reports/innovative_companies/).

5. 経済産業省 調査統計部企業統計室, ed. (2008年3月28日), 平成19年版企業活動基本調査速報.
6. 総務省統計局 & 総務省統計研修所, ed. (2007), 日本統計年鑑 第57回(2008) (57), 日本統計協会.
7. 文部科学省, ed. (2007), 科学技術白書 平成19年版 (2007), 日経印刷.
8. 文部科学省科学技術政策研究所科学技術指標プロジェクトチーム, ed. (2004年4月), 科学技術指標 平成16年版, 文部科学省科学技術政策研究所.
9. P.F.ドラッカー, (1997), 新訳 イノベーションと起業家精神〈上・下〉その原理と方法 (ドラッカー選書), ダイヤモンド社.
10. スティーブン・C.ブラント, スティーブン・C., 清水, ed. (1987/07), 企業内起業家を創る - 人も生き組織も活きる経験則, ダイヤモンド社.
11. 嘉山晴久, (1990), 企業内起業家 - 役割と実務戦略, 日刊工業新聞社.
12. ギフォード・ピンチョー, (1989), 企業内起業家(イントラプルナー), 講談社文庫, 講談社.
13. アラン・グリーンSPAN, (2007), 波乱の時代(上・下), 日本経済新聞出版社.
14. アルフレッド・D・チャンドラーJr. (2004), 組織は戦略に従う, ダイヤモンド社.
15. Bosma, N.; Jones, K.; Autio, E. & Levie, J. (2008), 'Global Entrepreneurship Monitor: 2007 Executive Report', Babson Park, MA and London: Babson College and London Business School.
16. 竹中平蔵(1984), 研究開発と設備投資の経済学 - 経済活力を支えるメカニズム, 東洋経済新報社.
17. 児玉文雄, (1991), ハイテク技術のパラダイム - マクロ技術学の体系, 中央公論社.
18. リチャードフォスター& サラ・カプラン, (2002), 創造的破壊 - 断絶の時代を乗り越える, 翔泳社.
19. クレイトン・クリステンセン (2001), イノベーションのジレンマ - 技術革新が巨大企業を滅ぼすとき (Harvard business school press), 翔泳社.
20. クレイトン・クリステンセン; マイケル・レイナー (2003), イノベーションへの解 収益ある成長に向けて (Harvard business school press), 翔泳社.



## 第5章 半導体事業でのイノベーションによる企業内起業

前章までで日本の経済力を強化するには屋台骨を支えている大企業の競争力を強化することが必要であり、そのためには企業内起業によってイノベーションを強力に推進しなければならないことを述べた。

日本経済に対する半導体産業の位置づけを金額で評価するならば、WSTSによると2008年の需要は5兆7497億円<sup>1</sup>であり、GDP約500兆円に対して1%程度に過ぎないということになる。しかし2006年実績で約49兆円の売上げを有する電気機械器具と情報通信機械器具製造業<sup>2</sup>において半導体はその商品力を決定付ける役割を担っており、このことを考えると半導体産業の重要性はきわめて高いと言えよう。また、ユビキタス社会と称される近年の社会環境のなかで日常生活、社会インフラを支える電子機器が半導体製品をキーデバイスとしていることを考えるならば、半導体産業は社会を支える基幹産業であるとも言っても過言ではない。

前章までは産業を総合的に分析してきたが、その研究成果を踏まえ重要な産業セグメントの一つである、この半導体事業に焦点をあて、イノベーションによる企業内起業の推進について具体的な検討を行う。

### 5-1 日本の半導体産業

#### 5-1-1 日本半導体産業の世界市場における地位

日本の半導体産業は1990年代にはDRAMを筆頭商品として世界市場を席卷していたが、その後の韓国半導体メーカーの思い切った投資戦略についていけず、また米国の政策的な貿易制限によって世界市場における地位を落としていったことは良く知られている。

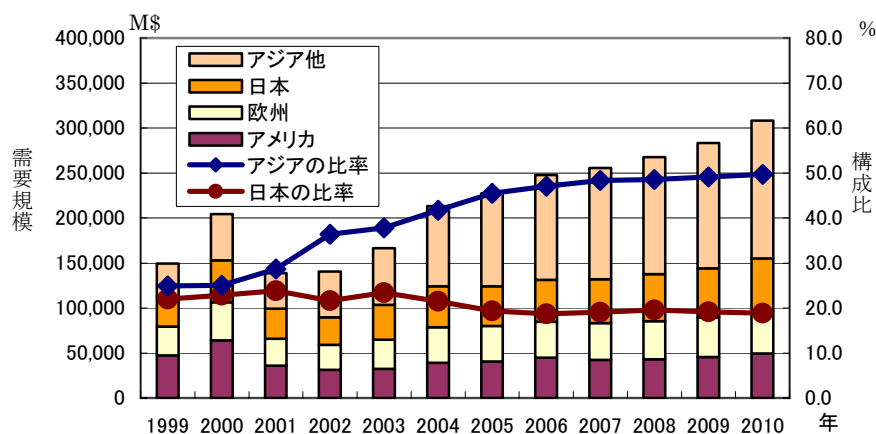


図 5-1 各地域と日米の半導体需要規模と構成比

半導体全体を見てみると、WSTSの統計データによれば図5-1のように、アジアは2000年以降の急速な成長によって世界におけるシェアは2010年に50%を超すと予想されているが、日本の成長は緩やかに低下しており2000年から5.5ポイントシェアを落とし2010年に

は 17.4%程度になると考えられている。日本のお家芸とも言うべきデジタル家電を支えるのは MPU、DSP、ロジック LSI などの、いわゆるシステム LSI である。このシステム LSI に関して、先と同様に WSTS<sup>2</sup> からデータを収集すると、図 5-2 のように市場全体は緩やかに成長しているなか、日本市場のポジションは停滞しているといわざるを得ない状態であることがわかる。

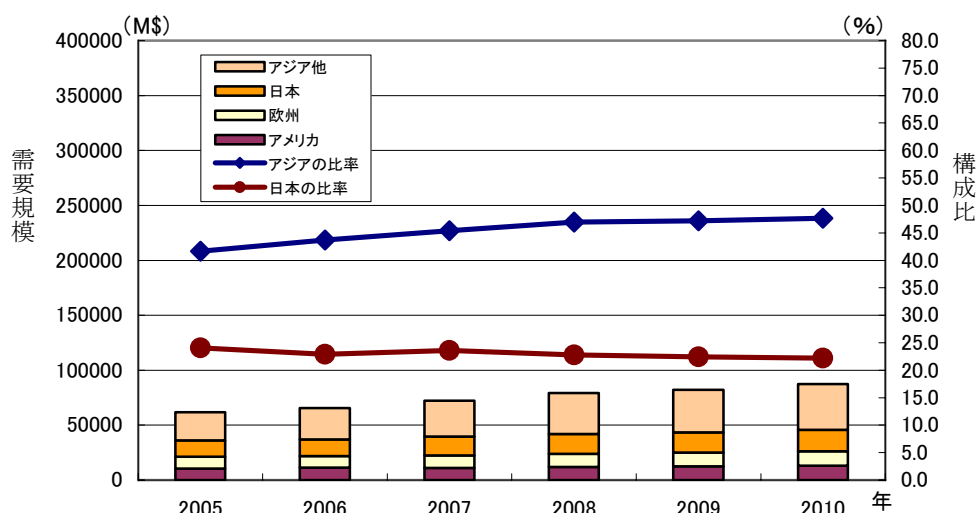


図 5-2 システム LSI の地域別市場と日米の構成比

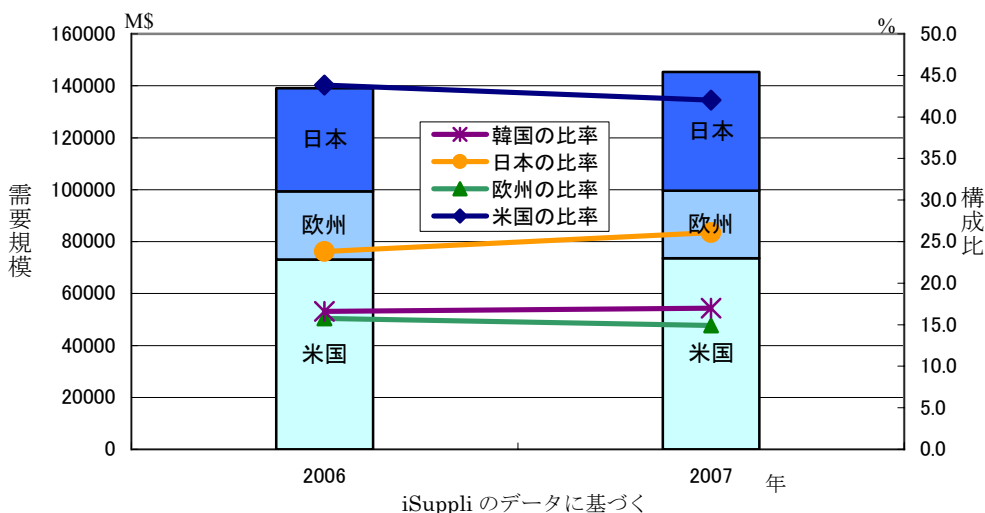


図 5-3 世界の主要半導体メーカーによる、地域別シェア

しかしながら世界の半導体企業のトップ 20 社を選び出し直近のポジションを分析すると、図 5-3 に示すように 20 社の内、日本メーカーは 7 社、米国企業も 7 社、欧州は 4 社、韓国は 2 社となっており、また販売から見る日本企業のシェアは 2006 年の 23.8%から 2007 年には 26.1%と 2.3 ポイントシェアを伸ばすなど回復の兆しを見せている。日本の半導体産業はまだまだ競争力を取り戻す力を残している。



### 5-1-2 主要製品における日本製品の地位

総務省が 2007 年に行った「情報通信に関する現状報告」<sup>4</sup>に半導体を含む電子機器・デバイスの国際競争力に関するデータが掲載されている。この分野でのリーダーシップをとってきた米国、日本と、チャレンジャーとして台頭してきた韓国、中国が取上げられ、それぞれの国で製造された製品の世界シェアと輸出金額から見た世界シェアが報告されている。ここで輸出金額のシェアが低下しておれば、製造が次第に国外にシフトしている状況を示すものであり、国内製造業の競争力を示すバロメータであると考えられる。同報告では携帯電話、TV など 11 品目について集計されており、図 5-4 はそのデータを用いて日本、米国、中国の 1997 年と 2005 年のシェア推移を表示したものである。

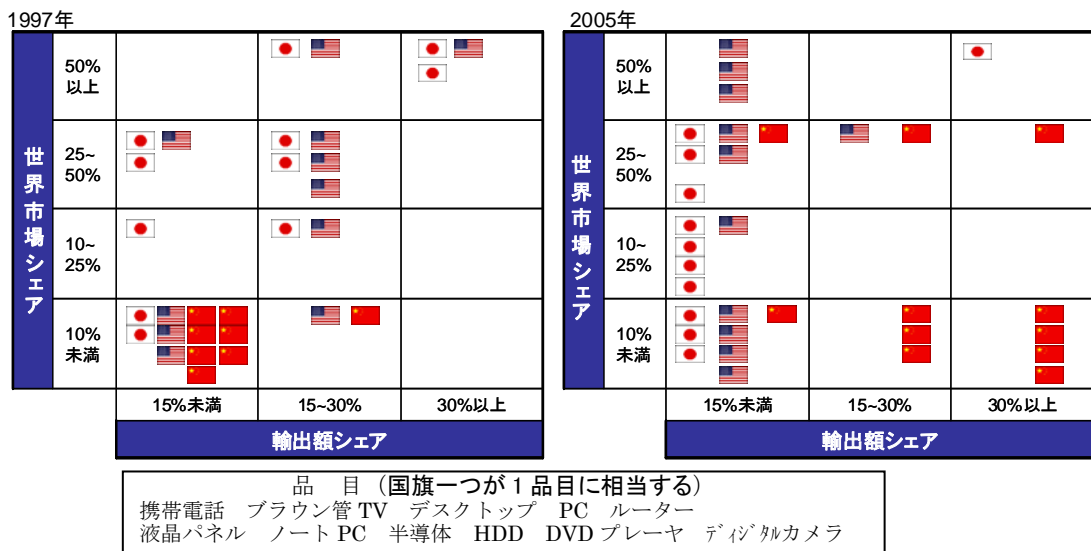


図 5-4 日本、米国、中国の製品輸出額シェア及び世界市場シェアの推移

このデータを見ると、中国は輸出金額シェアが多くの商品で急激に伸びているが、自国製品のシェアはそれほど伸びていない。「世界の工場」と言われている状況がデータに如実に現れている。

他方、米国と日本を比較してみると深刻な課題が日本には存在することがわかる。まず日本を見ると、1997年に比較して2005年には多くの製品で輸出金額が落ちている。これは製造の海外シフトを反映したものである。産業の空洞化という点でこれはこれとして課題ではあるのだが、日本製品のシェアもまた全体的に低下していることが重要である。1997年には世界シェアが25%を越える製品が7品目あったのが2005年には4品目に減少している。米国を見ると、輸出金額は日本と同様に低下しているのであるが世界シェアが25%を越える製品は1997年が6品目。2005年も6品目とそのポジションを維持している点が大きく異なる。国別の競争力を分析した際、米国はトップにランクされていたのに対して日本のランキングが低下しており、先進主要国のなかでは低位と言わざると得ない状況であることを述べたが、製品個々の競争力を見ても米国は競争力を維持しているのに対して日本

は競争力を落としていることが読み取れる。日本製品の競争力の低下で象徴的なのは液晶パネルであろう。同報告によれば 1997 年には 50%を越えるシェアを誇っており、液晶と言えば日本を代表する製品であったが、2005 年には半減させている。

この指摘に対して、日本経済新聞は 2007 年 4 月 4 日の記事で日本は液晶パネル部材において非常に高いシェアを維持していると報告している。しかし、他方、日本貿易振興機構 (JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION : JETRO) の報告によれば<sup>5</sup> 液晶材料はドイツのメルクが 52.9%、輝度向上フィルムは 3M が 90.7%のシェアを持っているなど、必ずしも全ての部材で強いわけではない。

米国はなぜ競争力を維持しているのでしょうか。競争力があるということは製品が市場に受け入れられていることであり、市場が欲する価値を提供していることを意味する。したがって日本製品よりも米国製品の方が市場の欲する価値を創造していることになる。これは事実だろうか。

### 5-1-3 イノベーションによる競争力強化の必要性

#### 5-1-3-1 デジタル家電に見る付加価値

上記の疑問に対する、非常に興味深い報告が為されている。UCIrvine の Linden らが 2007 年から 2008 年にかけて iPod の利益はだれが獲得しているのかを分析した報告書である<sup>6</sup>。彼らは 30GB HDD 内蔵型 iPod の構成部品を全て洗い出し、それぞれの調達メーカー、調達コストを調査した上でそれぞれの部品・部材メーカーの利益を試算した。そして小売価格を 299 ドルとして、流通業者、小売業者のコスト&利益を独自の調査データに基づいて織り込むことで Apple の利益を算出している。なお、同論文で議論されている利益とは限界利益のことであると推察される。

Apple は外部メーカーに委託して各部品・部材を調達しており自社開発したものは殆どない。iPod を企画、商品設計、プロモーションを行って販売する事業構造をとっている。

一般的にはこのような事業構造では限界利益が低くなる傾向にあり、故に、従来は垂直統合が重視されているのであるが、彼らの報告の結果はその推測を覆すものである。図 5-5 から Apple が iPod で最も大きい利益を得ていることがわかる。Apple は販売価格 299 ドルの 25%に相当する 76 ドルの利益を獲得しているのである。

自社工場を持たない Apple がオープンイノベーションのマネジメントを行って最大の利益を獲得していることから、垂直統合にこだわる傾向にある日本の企業への警鐘として日本の新聞にも大きく取り上げられた。確かに、垂直統合は企業内部に知的財産を蓄積し、みずから開発した技術をブラックボックス技術として他社差別化の鍵にすることで競争優位な地位を確立することが出来る。故に、各企業は自ら研究開発部門、生産工場を所有しているのであるが、Apple のケースは、付加価値の最大化は、垂直統合でなくても可能である明確な証拠となっている。

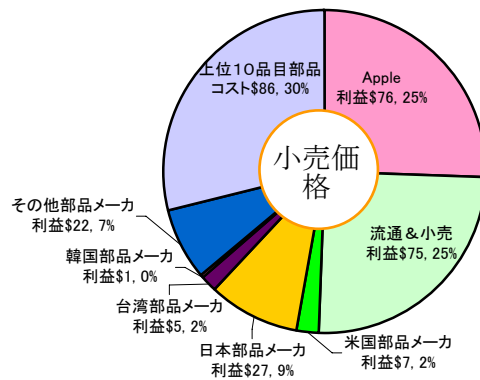


図 5-5 iPod の収益構造

日本は 27 ドルの利益を上げ、米国の 158 ドルに次ぐ利益を得ていると論文では評価されているが、莫大な設備投資をしながら米国の上げている利益のわずか 1 / 6、Apple の利益と比べても 1 / 3 に過ぎないというべきだろう。

図 5 - 5 を更に詳細に見ると、86 ドルが部品・部材メーカーのコスト、つまり部品や部材を作るために支払った材料コストである。先に液晶パネルの国際競争力は低下しているが、偏光膜やカラーフィルタなど素材的な部品で日本メーカーが高いシェアを維持していることを述べた。しかし、このような製品を提供するメーカーは、iPod のケースで言うと販売価格 299 ドルに対して 28% の構成比に過ぎない 86 ドルのなかで事業をしているのである。例えば論文によれば iPod の液晶パネルは東芝と松下が提供していることになっている。その価格は 20.39 ドル、利益は 5.85 ドルと推測されており、14.45 ドルがフィルターなどを供給するメーカーのビジネスを行う土俵になる。この小さな土俵のなかで素材メーカーは製品を開発し、利益を生み出さねばならない。Apple の事業構造と比較するとなんと付加価値効率の得にくい事業であろうか。このような指摘に対して、ひょっとすると、たとえ 1 ドルの製品でも 30 セントの限界利益を獲得しておれば Apple の利益率は 25% だから付加価値効率が低いとは言えないという反論があるかもしれない。しかし、もし iPod を 1000 万台販売した場合 Apple は 760 百万ドルを手にし、これに対して素材部材メーカーは 3 百万ドルを手にするに過ぎない。更にこの製品を垂直統合事業モデルのなかで生み出しているとするれば、この 3 百万ドルから設備費や大きな開発コストなどの固定費を支払う必要があり営業利益は更に低くなってしまふ。利潤の得にくい非常に厳しいビジネスになってしまうことは明らかであろう。

日本を代表する電機メーカーと Apple の利益を比較すると、この推論の正しいことが証明される。図 5 - 6 は、有価証券報告書、Apple の 10K Annual レポートで調査したデータから作成したものである。日本メーカーの利益率は高くても 6 % 程度であるのに対して、Apple は 2007 年には 18% 以上の利益率を上げている。

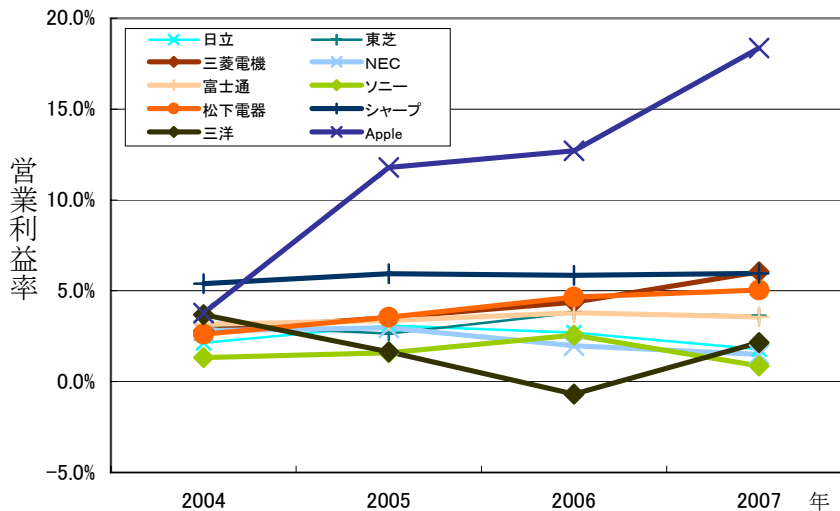


図 5-6 Apple と電機各社の営業利益率比較

### 5-1-3-2 付加価値による利益の獲得

この問題は、新聞論説のように垂直統合か水平分業かという視点で論じるべきではないと考えられる。繰り返しになるが、垂直統合はノウハウを内部に蓄積し、技術をブラックボックス化し、また部品レベルから製品レベルの事業を内部に所有することによって取引コストを削減し、利益を最大化しようとする考え方である。他方、水平分業の場合は、技術のブラックボックス化が難しく、取引コストが上昇し薄利になりやすいと考えられてきたのだが、Apple は水平分業、オープンイノベーションモデルの事業で高い利益率を上げている。しかし、このことから垂直統合モデルが敗退し、水平分業モデルの時代であると結論付けるのは早計過ぎる。

2007 年の売上げに対する研究開発費比率を見ると、Apple は 3.3%なのに対して国内電機メーカーは Apple よりも高い比率の投資を行っており、中でも松下電器、ソニー、NEC などは 6%以上と Apple の約 2 倍に及んでいる。従来、日本企業は中長期的視点に立って将来のための先行投資を行うので、見掛けの利益は欧米企業よりも低く見えるのだという考え方もあった。確かに日本企業は Apple よりも高い比率の研究開発投資を行っているのだが、Apple の高い営業利益は研究開発費を抑制することによって得ているのではない。このことは次のように検証出来る。2007 年の国内電機メーカーの対売上げ研究開発費比率は 5.5%である。Apple が、仮に 5.5%の研究開発費を投資したとすると営業利益率がどのように影響を受けるか計算すればよい。2007 年度の売上げは 24006M\$であるから研究開発費は 782M\$から 1323M\$へ 541M\$増加することになり、この投資を行うことによって営業利益は 4409M\$が 3868M\$に減少する。その結果営業利益率は 16.1%と、18%から 2 ポイント減少するものの、依然として国内メーカーより格段高い営業利益を確保していることになる。

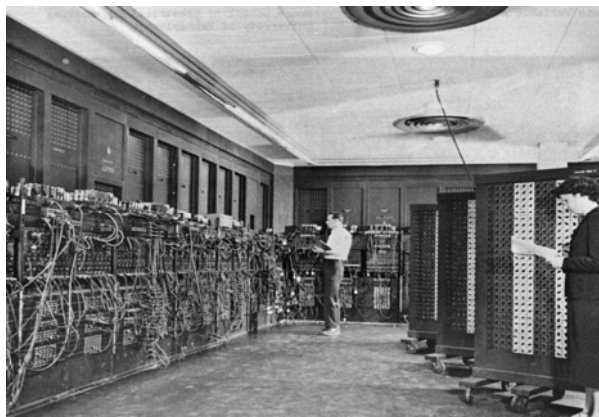
結局、Apple は少ない投資で高い営業利益を上げており、国内メーカーはお金がかかりす

ぎているのである。本来、垂直統合ビジネスモデルの利点を活かして高い利益を稼がねばならないのだが、お金をかけている割に市場に認めてもらえる付加価値を生み出せていないことの表れである。付加価値は、商品競争力につながる。競争力のある商品とは持続的商品改良では生まれにくい。競合他社と同じ土俵で競争しなくてはならないからである。破壊的イノベーションを積極的に導入することによって新しい価値を生み出し、製品の付加価値として利益を獲得することが必要なのである。

## 5 - 2 半導体事業の技術イノベーション

前節で、イノベーションによって新しい価値を創出し、製品に高い付加価値をあたえることで収益力を高める取り組みの必要なことを述べた。半導体産業においてこのような新しい価値の創造とは何だろうか。

### 5-2-1 半導体の歴史



(<http://ja.wikipedia.org/wiki/ENIAC>)

図 5-7 真空管を用いて開発された世界初の電子計算機 (ENIAC)

半導体デバイスは 1948 年にトランジスタが発明されて以来、わずか 60 年弱の期間に人類の文明を大きく変えるほどの発展を遂げてきた。よく引用されるのが図 5-7 に示す世界初のコンピュータ「エニアック」と今日の半導体 LSI である。エニアックが重さ約 30 t、160m<sup>2</sup> もの部屋を占めるほどの大きさだったのに、いまや数十mm<sup>2</sup>程度のマイクロプロセッサがエニアックの性能をはるかに凌ぐ。半導体の著しい発展は、シリコンという地球上に豊富に存在する元素から無欠陥の半導体結晶が得られたこと、微細加工技術の発展に負うところが大きいことは良く知られている。

半導体の進化は約 60 年の歴史と述べたが、半導体という物質の発見は 1800 年代に遡る。1874 年に Carl Ferdinand Braun によって硫化化合物と銅線の間で整流現象が観測されたのが最初と言われている。この後発明された無線通信技術で感度の高い受信装置求められ、1900 年に入って鉱石検波器として用いられるようになったのが、半導体の電子デバイスとしての起源である。その後電子機器は真空管時代に入り、半導体デバイスの出番はなかったのであるが、振動に弱く、消費電力も大きい真空管に代わるデバイスを目指す研究のなかか



ら、ゲルマニウムダイオードが発明され、続いて 1948 年にトランジスタが発明されたのである。

1948 年に発明されたトランジスタは点接触型トランジスタと称せられるもので、図 5-8 のように半導体表面に点接触させた電極を用いていたので信頼性に乏しいものであったが、ショックレーの接合型トランジスタの発明によってこの問題も解決され、初めて実用的なトランジスタが実現した。



図 5-8 半導体トランジスタの構造模式図

しかし、今日のエレクトロニクス時代を迎えるには MOS 型トランジスタの登場を待たねばならなかった。ショックレーたちのトランジスタは電子と正孔の二種類のキャリアを用いるのでバイポーラトランジスタと呼ばれており、このバイポーラトランジスタはベース長の制御を半導体に注入した不純物の拡散によって制御するため微細化が難しいほか、ベース電流によってエミッタ電流を制御する電流制御型の素子であるためトランジスタには常に電流が流れており消費電力を下げる事が出来ないのである。このような問題を解決するのが MOS 電界効果トランジスタ (MOS F E T) である。MOS F E T は n チャンネル型と p チャンネル型の二種類があり、この二種類を組み合わせると論理回路のゲートを構成すると動作停止時の電流が殆ど流れず低消費電力化には圧倒的に有利な回路が可能になる。また、イオン注入技術、セルフアラインメント技術や LOCOS 技術など、高集積化を実現する画期的な新技術の発明がなされ、1974 年に R.H. Dennard が発表した<sup>7</sup> スケーリング則と呼ばれる設計指針と相俟って高集積化の道を驀進することになったのである。

## 5-2-2 数の集積

### 5-2-2-1 数の集積による貢献

Intel の創業者の一人である Moore は L S I の集積度の進歩を 1965 年に予想したのであるが<sup>8</sup>、その後の半導体はまさに Moore の予想どおりの進歩を遂げ、いつか Moore の法則と呼ばれるようになった。彼の予想は LSI に集積されるトランジスタ数は 2 年毎に倍増するというものである。Intel の MPU に集積されたトランジスタ数の推移が同社の Web サイトに掲載されており、Moore の述べたとおりに集積度は飛躍的な向上を続けてきたことがわかる (図 5-9)。今や一つの LSI に数百万、数千万、最近では数億個のトランジスタが集積出来るようになり、指の爪先程度の LSI であらゆる情報が処理され、伝えられ、そして記録出来るようになった結果、社会は激変した。

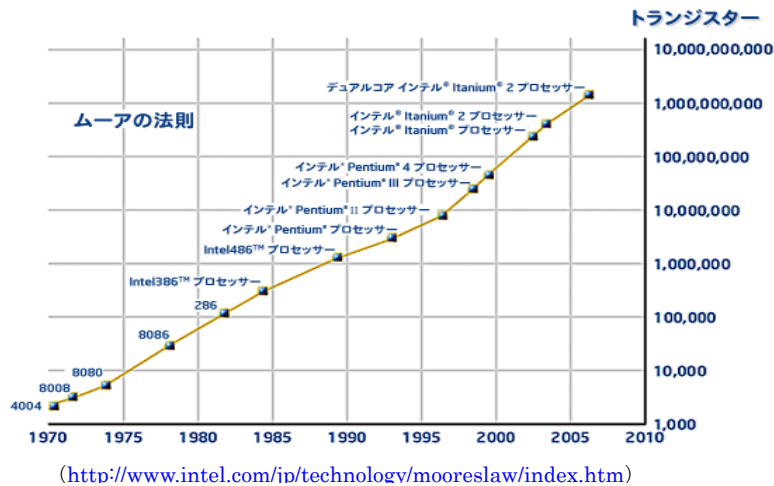


図 5-9 Intel MPU に集積されたトランジスタ数の推移

電子クロックで目覚め、電子制御によってお釜で炊くのと同じ炊き方を実現した炊飯器でご飯を炊き、電子燃料噴射機で燃費を最適に制御した車に乗り、カーナビ情報を見ながら渋滞をさけて通勤。会社に着いたら世界各国から届いているメールをチェックし、PCでネット会議を開く。銀行支払いは携帯電話ですませ、出張の切符も予約する。といった生活が日常のありふれたシーンになっている。また、音声も、映像も文字もあらゆる人間の知識、貯金や株券などの個人資産もデジタルアセットとして蓄積され、現物を触ることがなくなってしまった。これらの資産はネットワーク網を利用したサイバー社会とも言われる社会空間のなかで、いつでも世界中のどこからでも利用出来る。資産がデジタル化されていることで本人に成りすましてそれらの資産を盗み取る新しい犯罪が生まれ、このような犯罪に対抗するため一昔前までは無縁だった高度な暗号を知らず知らずに毎日のように使っている。地理的な距離はサイバー空間上では無意味で国境もない。障壁無き社会空間の創造はボーダレスな経済空間を生み出し、あらゆる国々の経済はこの新しい経済空間のなかで市場経済の荒波に洗われることになったのである。これらの変化がこの10年足らずの間起こったことを考えれば、それを実現した半導体技術の進歩が如何に凄まじい速度で行われたかが実感できる。

このような進歩は、微細加工技術によって高度な情報処理に必要な膨大な数のトランジスタを一つのLSIに集積し、それらを非常に安いコストで提供出来るようになったことに根ざしている。

### 5-2-2-2 最先端技術

今日、最先端の微細加工技術で生産される集積回路(LSI)の最も細い部分は45nmであり、これはおよそ200nmと言われているウイルスよりも小さく、数cm程度の大きさのLSIに2億個以上のMOSFETが集積されている。人間の脳には凡そ100億個の脳細胞があり、まだまだLSIより多くの“素子”を有しているのだが、LSIは0.5mm程度の厚

みであることを考えれば単位容積あたりの素子数では人間の脳の集積度（約7百万個/cm<sup>3</sup>）を上回っていることがわかる。

このような最先端技術を身近に感じる例がメモリであろう。今や8Gbit、16GbitというFLASHメモリが実現され、16GB、32GBといったメモリカードが容易に手に入るようになってきている。更にFLASHメモリの集積度は向上するといわれており、このような超大容量FLASHの実現によって、SSD（Solid State Disk）が現実のものになってきた。FLASHメモリは消費電力が少なく、機構部分がないため故障にも強いので携帯電話やデジタルカメラ、ノートPCなどバッテリーで駆動する機器の記録装置としてハードディスクのポジションを奪い取る可能性は高い。イノベーションのジレンマにおける事例紹介として記録装置の変革が良く用いられているが、今回のSSDは更にもう一つの事例を付け加えることになる可能性がある。

### 5-2-2-3 数の集積の抱える課題

微細加工技術の限界はこれまでに何度か囁かれてきたものの、それらの限界説を乗り越えてきた。Keyesは半導体の微細化に対する限界をデバイス物理学の観点で明らかにしようと、1975年、2001年と試みたがいずれにおいても物理的な限界を示すことは出来なかった<sup>9-10</sup>。現在の最先端プロセス技術は45nmなのだが、まだ集積度を上げる努力は止まりそうにも無く、30nmクラスのLSI製品の誕生にはそれほど時間がかからないと推測されている。

デバイス物理的には明らかな限界はまだ見えないとしても、事業的観点からは幾つかの問題が湧き起こってきている。その一つは、開発コストや製造設備投資金額の増大である。日本の場合、半導体事業専門企業は少なく、また設備投資の内訳に関する情報は得にくい。NECエレクトロニクス、エルピーダメモリは有価証券報告書によれば2006年度にそれぞれ1059億円、1550億円の設備投資を行っている。また、世界最大の半導体企業であるインテルは同社の10K年次報告書に2008年には5.2B\$（約5360億円 @103円/\$）の設備投資を行うと報告をしているなど、莫大な設備投資が為されているのである。半導体産業研究所は微細技術の世代交代にともなって工場建設コストは世代交代毎に1.3倍に増加すると予想している。また、微細化するとともに半導体製造に必要なマスクを製作するコストも増大し65nm世代では一枚あたり1000万円ほどかかるため、LSI製造に必要な枚数（25-30枚程度）を作ると2.5億円~3億円の費用が発生することになる。この傾向は世代が交代する毎に2倍になると言われており、32nm世代では65nm世代の4倍。つまり10億円から12億円もの費用がマスクを製作するだけで必要になる。また、ウイルスよりも小さな寸法のトランジスタを作り、そのようなトランジスタを一個の欠陥もなく数億個も製造しなければLSIは動作をしないため、その製造技術も莫大な開発費が必要である。この開発費は世代交代毎に1.4倍に増加すると言われている<sup>11-12</sup>。



項目	世代毎のコスト増加率
製造ライン投資額	1.3
マスク製造コスト	2.0
プロセス開発コスト	1.4
設計開発コスト	2.5
固定費増加率	1.8

表 5-1 半導体を開発製造するコストの世代毎の増加率

これらを取りまとめると表5-1のようになり、これらは半導体製品を生産する上での固定費の増加を意味する。非常に粗っぽい試算であるがこれらの増加の平均が世代毎の生産における総固定費の増加とすると約1.8倍となる。もちろん、微細化が進めばウェハ一枚から生産出来るLSIの個数も増えるので、同じ回路規模のLSIを作るのであればLSI一個に対する固定費はこのようには増加しない。例えば45nmから32nmへ世代が進めば、同じLSIを作った場合、おおよそ1枚のウェハから2倍の数量が生産出来ることになる。しかしながら実際は、デジタル家電や電子機器の短製品寿命化のなかでLSIも同じく短製品寿命になっており、1年ぐらいのサイクルでどんどん新製品が市場に投入されている。このため、次々に新機能を取り込んだ高機能製品を開発しなければならない。より高い機能、より高速で、低消費電力な製品を実現するために新しい技術が開発されて市場へ投入される。この目的のため、新しく開発されるLSIは前世代より複雑になり、多くのトランジスタを集積するためにプロセスの世代が進歩してもLSIチップの大きさはあまり変わらない。少なくとも小さくなることはあまり無いと考えても誤りではない。逆に、新しいプロセス技術が使えるのでLSIのサイズが爆発的に増加することが防げると考えるべきなのである。

例えばデジタル家電ではLSIの技術が進むと、様々な機能を一つのLSIで実現出来るようになる。つまりTVなどの機能（システム）がLSIに集積できる。故にこのようなLSIをシステムLSIというわけだが、システムLSI化するとTVなどのセット機器に必要なLSIの個数はどんどん減っていき、最終的にはデジタル処理出来る部分は一個になってしまう。機能を統合化した新製品のコストが従来の半導体部品の占めるコストより引き下げられるのは明白である。この結果、セットのコストが安くなり、市場での普及価格が実現出来るわけであるが、TV、DVD、カメラなど所謂デジタル家電やPCなどの情報家電市場は既存市場であり、セット市場自身が爆発的に拡大する訳ではない。そうなると、半導体の需要は増えないことになる。セット当りの半導体所要数量が減ることを考えれば逆に数量が減ることもありうる。販売数量が増えず、LSIの販売価格も頭打ちとするならば、LSIの限界利益は増えず、上昇する固定費を回収するのが困難になる。

他方、マイクロプロセッサで世界のトップシェアを握り続けているインテルや、DRA

MやFLASHのトップメーカーである三星などは汎用製品を開発し、大工場で大量に生産することで製品当りの固定費の上昇を抑制しているのであるが、日本メーカーは多くはカスタム性の高いシステムLSIに重点を置いており、東芝、エルピーダメモリはFLASHやDRAMなどの汎用製品の事業で奮闘している数少ない半導体メーカーとなっている。いずれにしても、微細化のプロセス世代を進化させて事業を成立するには、前世代よりも生産数量を拡大し、そして大量に販売することがどうしても必要である。この状況はどこの半導体メーカーといえども例外ではなく、経営者は当然熟知しているはずである。WSTSによれば半導体市場は2006年－2009年の平均成長率が約6.3%と報告されており、これからも暫くは成長を維持すると予想されるものの、各社が設備投資を継続して拡大路線をとれば市場成長を上回る供給過剰状態になり値崩れが起きてしまうのである。近年、半導体メーカーの提携・連合が盛んなのは、一社ではなく複数社が連合してこの問題を回避しようとするためである。

各国内でそのような整理がついた後には、各国間の競争となる。いずれにしても企業体力の要する厳しい競争が続く。このような状況が続くのは、各社、各国が半導体事業の競争力において際立った競争優位のポジションを得ていないからである。

イノベーションによって一つの事業や産業が生まれ、著しい成長の後に成熟し、そして衰退するというS字で表現されるライフサイクルの観点で半導体事業を見ると、微細加工技術によって多くのトランジスタを一つのLSIに集積することで、半導体産業は20世紀の最大の発展を遂げた。しかし今日、その進歩に要する投資、研究開発総量は益々増大しS字曲線の飽和部分に入っていると考えられる。集積度を上げることで成し遂げてきた半導体の進歩を「数の集積による進歩」と称するとすれば、このアプローチは成熟し、新しい進化の道を生み出さねばならない時期に来ていると考えねばならないだろう。

### 5 - 3 異種機能材料素子集積

#### 5-3-1 異種機能材料素子集積への過程

先述のように驚異的な発展を支えた半導体の微細化は、初期には露光技術、イオン注入技術、エッチング技術などの次々に生まれる新しい加工技術の進歩によって成し遂げられていた。ところが微細化が進むにつれ、例えばMOSトランジスタのゲート酸化膜が薄くなってTDDDB特性が劣化するほか、配線中の電流密度が上がりすぎて断裂を起こす現象が生じるなど、スケーリング則に基づく単純な縮小では集積回路が出来なくなる問題が多発するようになり従来技術の延長線上で開発することに限界感が出てきたのである。

当時、DRAMが半導体のテクノロジードライバーと言われ、微細化技術の最先端を走っていたため、このような問題は先ずDRAMの開発途上で浮かび上がってきた。高集積化が進むとメモリセルキャパシタ面積が小さくなり、下記の式(1)に示す $\frac{C_B}{C_S}$ が小さくなり、動作に必要な信号電圧を確保出来なくなったのである。この問題の解決にはトレン

チ構造や三次元構造などの立体的な構造を採用して電極面積を増やす他、メモリセルキャパシタの面積を凹凸にして表面積を増加させる研究などが行われたが、このころから誘電率の高い絶縁膜を用いることを検討せねばならないと考えられ始め、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を誘電体膜とする研究開発が本格化してきたのである。

$$\Delta V_B = \frac{V_{CC}}{2} \frac{1}{1 + \frac{C_B}{C_S}} \quad (1)$$

C<sub>B</sub>: ビット線容量、C<sub>S</sub>: メモリキャパシタ容量

微細化が進むと、メモリキャパシタ以外に MOS トランジスタにも微細化による課題が出てきた。SiO<sub>2</sub> をゲート酸化膜としていては十分な増幅率が確保出来なくなったのである。MOS トランジスタのドレイン飽和電流 I<sub>d sat</sub> は (2) 式にて示され、増幅率はゲート絶縁膜の誘電率 とその厚さ の比に比例する。微細化時にはスケーリング則にしたがって を薄くする必要があるのだが、数 nm 以下になると絶縁破壊電界を越えてしまい、リーク電流が増えてしまう。従って、誘電率 を大きくしなくてはならないのである。

$$I_{d sat} = \frac{1}{2} \mu_{eff} \frac{W}{L} \frac{\epsilon_{ox}}{T_{ox}} (V_G - V_T - V_s)^2 \quad (2)$$

新しい材料を導入する必要が出てきたとは云うものの、半導体デバイスの製造プロセスに既存の材料以外を導入することはタブーに近いものがあつた。半導体技術の開発は不純物とダストとの戦いでもあり、半導体技術発展の過程において、不純物の排除、超高純度材料の精製が如何に必要であり、またそれらが如何に難しいかということがわかっていた為、新しい材料によってトラブルが発生する危険性を危惧したためである。

LSI に用いる半導体は 99.99999999% 以上という超高純度かつ無欠陥の Si 結晶を用いる。高純度の Si 結晶は高抵抗でそのままでは使えないので、1 cm<sup>3</sup> あたり 5 × 10<sup>22</sup> 個ある Si 原子に対し、10<sup>16</sup> ~ 10<sup>17</sup> 個の元素をドーピングして、電子がキャリアとして流れる n 型、あるいはホールがキャリアとして流れる p 型の導電層を形成してデバイスを作る。つまり、1ppm 乃至は 10ppm の濃度を正確に制御する必要があるわけで、このことから如何に不純物や欠陥制御が重要なかわかるであろう。もし新しい材料に不純物が含まれていると、不純物で製造設備が汚染されてしまえば製造ラインは使用出来なくなるという深刻な危険性もはらんでいた。しかし、先述の必然性に押されて漸く本格的に研究開発が始まり、この研究開発が後に述べる異種機能材料素子集積への露払い的な存在になったのである。

また、集積素子数を増やして高機能を実現するのが半導体技術の主流であり続けたが、常温で動作する赤外線イメージセンサなど、半導体以外の電子材料と組み合わせて半導体素子単体では実現出来ない機能を作り出そうとするデバイスの開発が 1980 年代に始まった。このためには半導体プロセスへ異種材料を導入しなければならないことが多いのだが、先

述のように従来用いられていなかった材料を用いる素地が形成されていたため、1990年代初期には急速に注目を集めるようになった。これが異種機能材料素子集積というイノベーションの生まれた経緯である。

### 5-3-2 異種機能材料素子集積 LSI の研究開発

MOS トランジスタ以外の機能素子を LSI に集積して、従来の LSI では実現出来ない機能を創りだそうとする取り組みを学会発表された論文から調査したのが図 5-10 である。

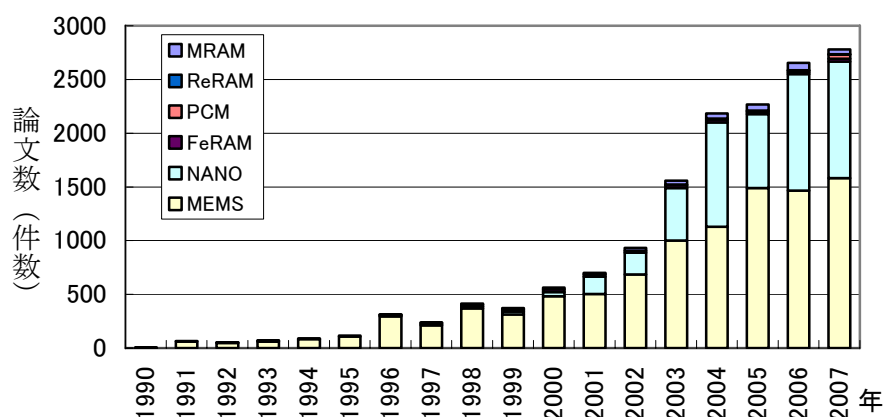


図 5-10 異種機能材料素子集積 LSI に関する発表論文件数推移

調査では 1990 年から 2007 年にわたって発表された MEMS やナノ技術、そして新しい機能材料を集積する不揮発性メモリ (FeRAM、PCM、MRAM、ReRAM) に関する論文数を IEEE のデータベースを用いて調査したものである。図からわかるように 1990 年初期から MEMS を中心に研究が始まり、2000 年代に入って急速に発表論文数が増えている。特に MEMS の開発は積極的に進められ、加速度センサーや、携帯電話やパソコン内蔵マイクロフォンなどに広く利用されるまでに到っている。これは、ユニークな機能が実現出来ることと、異種材料を半導体プロセスに持ち込まなくても実現出来る応用デバイスが可能なので、開発に対する障壁が少なかったことも理由の一つではないかと推定される。また最近では、ナノ技術に関する研究発表が急増している。まだまだ研究領域を脱していないが、カーボンナノチューブを利用したトランジスタが動作するなど着実な進歩を見せ、中でも近年 graphene に学会の注目が集まっている。graphene は簡単に言えばカーボン単原子薄膜で、電子移動度が Si の約 200 万倍と非常に大きい。すでに FET の研究が始まり電気伝導度がゲート電圧によって制御出来ることが確認される<sup>13</sup> など研究が加速し、ナノエレクトロニクス時代の基材になるのではないかと期待されている。IEEE 関連学会に発表された総論文数は 2007 年で約 180 万であり、同年の異種機能材料素子集積 LSI の論文総数は 2779 であるから約 0.15% に過ぎないが、2000 年から 2007 年の間に平均 25% の増加率で論文数が増えており、異種機能材料素子集積 LSI が、半導体に新しい進化の道を切開ためのアプローチとして認知されてきたと言えるのではないだろうか。

異種機能材料素子集積LSIの中で論文数では比率はずいぶん低いものの、不揮発性メモリの新しい技術として異種機能材料素子集積LSI技術を活かした取り組みが重要視されている。これは、FLASHメモリの進歩によって、ハードディスクや光ディスクのように駆動機構を必要としない、小型で低消費電力、高速動作が可能な固体メモリが、USBメモリ、SDカード、MMC、メモリスティックなどのフォーマットで広く普及してきたのであるが、メモリの高性能化に対する要望はとどまることはなく、FLASHメモリだけではカバー出来ないためである。異種機能材料素子集積技術によるメモリとしては下記のもが中心に研究開発が行われてきており、中にはすでに事業化されているもの、あるいはまだ基礎研究から漸く実用化研究に入ったものがあり、また更に、それぞれ何にでも使えるというオールマイティなメモリではなく特長を活かせる用途での実用化が図られている。

(1) 強誘電体不揮発性メモリ (Ferroelectric Non-Volatile Random Access Memory)

強誘電体多結晶膜を絶縁層とする強誘電体キャパシタが自発分極を持ちその極性が電圧によって反転出来ることを用いて、データを記録するメモリ。高速で低消費電力を特長とし、すでに事業化が行われている。異種機能材料素子集積による不揮発性メモリとしては初めて事業化に成功した。

(2) PCM (Phase Change Memory)

例えば Ge-Sb-Te 系の薄膜がアモルファス状態と結晶状態で抵抗率が大きく変化する現象を利用してデータを記録するメモリ。アモルファス⇄結晶の相転移を利用するためにこのような名前がついている。基本アイデアは1970年ごろに発明され、2008年後半に量産化すると Numonyx 社から発表された<sup>14</sup>。

(3) MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)

記憶素子に MTJ(磁気トンネル接合)薄膜素子を用い、その薄膜を両側から挟む強磁性膜の磁化方向が平行な場合と反平行な場合で MTJ の抵抗値が大きく変わる現象をデータの記録に用いるメモリ。Freescale 社が 2006 年に始めて 4 Mbit の MRAM を量産化した<sup>15</sup>。

(4) ReRAM (Resistance Random Access Memory)

ある種の金属酸化物と電極界面、あるいは酸化物金属に電圧を印加すると、その抵抗値が大きく変化する電界誘起巨大抵抗変化現象をデータの記録に用いるメモリ。MOS トランジスタ 1 個と巨大抵抗変化特性を持つ抵抗素子 1 個でメモリセルが構成出来るため高集積に向いており、各社が開発を加速している。まだ各社とも量産には到っておらず様々な材料の可能性を探索している段階だが、酸化チタンや酸化ニッケルなど比較的シンプルな組成の材料での可能性が次々に発表され、2010 年ごろに量産されると期待されている。

上記のいずれのメモリもメモリ機能を持つ材料がその鍵となっており、その物理現象の解明と制御が研究開発のもっとも重要な部分となっている。

#### 5 - 4 異種機能材料素子集積とイノベーションの関係

上記のように異種機能材料素子集積によって続々と新しいデバイスが生まれ、異種機能材料素子集積という概念は半導体を変革させ、新しい進化の道を切開くイノベーションを生み出す力の源泉となっている。元々、半導体技術とは別の進歩をしていた機械工学技術、センサー技術、有機化学技術などを組み合わせているから、シュンペーターのイノベーションの定義に従えば、異種機能材料素子集積 LSI そのものがイノベーションであるのだが、生み出された製品は単なる複合機能製品、つまり時計付ボールペンのような製品ではなく、更に新しい価値を生み出していることに気がつく。

例えば本研究で取り上げる強誘電体不揮発性メモリは、強誘電体材料をメモリキャパシタの絶縁層に用いているのであるが、高速・高セキュリティ・低消費電力という従来の不揮発性メモリにはない特性を有する LSI が生まれたことにより、水流によって生じる僅かな電力で動作する電子水道メータなど、電源供給が難しいために機械式、あるいは電池内蔵でなければ不可能と思われていた機器を電子化するというイノベーションを引き起こしたのである。また、強誘電体を半導体デバイスに使うためには、従来用途に用いられていた強誘電体材料とは格段に高純度化する必要があり、また、従来の用途では考えられないような極薄い結晶薄膜を加工しなければならず、強誘電体不揮発性メモリの開発によってこれらの技術も短期間の間に驚くべき進歩をとげた。イノベーションという観点でこの現象をみると、半導体に異種材料を持ち込んで機能集積するという、イノベーションが起点になり、強誘電体を取り巻く事業にも新しい技術が生まれ新しい製品が生まれた。更に強誘電体不揮発性メモリの実現によって、新しい事業が生まれており、イノベーションの連鎖反応とも言える現象が生じているのである。

ある目的を完遂させるために異種技術を融合させて開発をおこなうことの重要性は、2002 年に米国の国立科学財団が発表した“Converging Technologies for Improving Human Performance”の中でも取り上げられ<sup>16</sup>、同報告書では「収斂」という表現を用い、ナノ、バイオ、情報処理、認識科学といった従来は個別に進歩していた科学技術を融合させることによって、研究開発が加速し、大きなシナジー効果を得ることが出来るとしている。

強誘電体不揮発性メモリは 1990 年代にはすでに市場に製品が出荷され量産が開始されている。このことを振り返れば、Converging Technology の先駆け的取り組みであったといえよう。

すでに述べたように半導体は 1948 年のトランジスタの発明以来、人類の文明史上でも最も大きな進歩を遂げ、16 世紀の動力の発明による産業革命以上の創造的破壊の原動力となった。しかし半導体自身の進歩を概観すると、スケーリング則などの基本的な原理に基づく絶え間ない持続的イノベーションによって進歩してきたとも言える。約 60 年の歴史を経て、その進歩もイノベーションにおける S 字カーブ現象から逃れることは出来ず、新しい進化の道へ飛び移る必要が出てきたのである。この認識は異種機能材料素子集積 LSI の論文数が急増している学会の動きを見ても世界に広まっているといえよう。

半導体事業は設備投資金額の巨大化によって事業統合が進みファブレス企業が増えるとも考えられるが、半導体製品の性能、コストの大きな部分を占めるのはデバイスの性能であり、製造能力であるため、半導体製造事業の重要性は依然として非常に高い。半導体製造事業は経営資源が豊かな大企業が担わねばならない事業領域であることは明らかであり、従ってそのイノベーションによる事業創造は企業自らが進めなければならない。半導体事業は自動車事業と同じようにシリコンウェハーから各種薬品、金属材料、露光装置などの製造装置、クリーン装置など非常に広範囲にわたる事業群の上に成り立つ事業であり、また、社内をみても多岐多様な製品を高度な技術を用いて開発し、また数百万、数千万個という大量の製品を顧客の要望どおり製造するために多くの組織が精緻に組み合わされて運営されている。それぞれの組織やメンバーは自らのミッションを決められたルールに沿って正確に遂行しなければこのような巨大で複雑な組織体はたちまち混乱する。組織論的に見ればこのように半導体事業環境に最適適応した組織は環境変化に対して迅速に変化することが難しい。しかしながら、このような企業が自らイノベーションを起こし変革しなければならないのである。

異種機能材料素子集積はイノベーションの一つのアプローチであるが、そのイノベーションの過程を研究することによって、半導体事業が「技術イノベーションによる企業内起業」という命題を遂行する上での知見が得られる。このような見地に立って本研究では強誘電体不揮発性メモリの起業を取上げ、具体的な考察をおこなう。

#### 参考文献

1. WSTS日本協議会 (2008年5月27日), 'WSTS 2008年春季半導体市場予測について', <http://semicon.jeita.or.jp/statistics/docs/20080527WSTS.pdf>.
2. WSTS (Shanghai meeting @2007.10.30~11.2), 'WSTS半導体市場予測', .
3. 経済産業省 調査統計部企業統計室, 平成19年版企業活動基本調査速報.
4. 総務省 (2007年), 'ユビキタスエコノミーの進展とグローバル展開', 平成19年情報通信に関する現状報告.
5. JETRO (November 2005), 'LCD & Plasma Component Makers Raise their Competitiveness', Japan Economic Monthly.
6. Linden, G.; Kraemer, K.; Dedrick, J. & Center, P. (January, 2008), Who Captures Value in a Global Innovation Network? The Case of Apple's iPod.
7. Dennard, R.; Gaensslen, F.; Rideout, V.; Bassous, E. & LeBlanc, A. (1974), Design of ion-implanted MOSFET's with very small physical dimensions, Vol. 9.
8. Moore Gordon, E. (1965), 'Cramming more components onto integrated circuits', Electronics **38**(8), pp.114-117.
9. Keyes, R. (1975), 'Physical limits in digital electronics', Proceedings of the IEEE **63**(5), pp.740-767.



10. Keyes, R. (2001), 'Fundamental limits of silicon technology', *Proceedings of the IEEE* **89**(3), pp.227-239.
11. STRJ、経済性検討委員会 (March 9, 2006), '450mm工場移行の経済性', .
12. 中屋雅夫 (2007年7月14日), 'システムLSI事業', 高知工科大学 講義テキスト
13. Rana, F. (2008), 'Graphene Terahertz Plasmon Oscillators', *Nanotechnology, IEEE Transactions on* **7**(1), pp.91-99.
14. Tech-ON! (2008年4月22日), 'PCMは2009年初頭から量産',  
'<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080422/150823/>'.
15. Freescale (July 10, 2006), 'MRAMの量産開始',  
'<http://media.freescale.com/phoenix.zhtml?c=196520&p=irol-newsArticle&ID=880030&highlight=>'.
16. Roco, M. & Bainbridge, W. (2002), 'Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale', *Journal of Nanoparticle Research* **4**(4), pp.281-295



## 第6章 強誘電体メモリ

強誘電体には非常にユニークな物性的な特長がある。誘電率が非常に大きい他、強誘電体を用いたキャパシタに電圧を印加すると誘起した分極電荷は印加電圧を除去しても残り、その分極方向は、印加電圧を反転すると反転するという性質を示す。また温度を上昇させると起電する焦電性や、応力によって起電する圧電性もある。このような特長は早くから注目され、セラミックコンデンサやトランスデューサなど工業的に広く利用されてきた。

強誘電体メモリは強誘電体不揮発性メモリ (FeRAM) とも称され、強誘電体の分極特性を活かし半導体と強誘電体という「異種」な機能材料素子を集積して従来の半導体デバイスではできなかった機能を実現しようとする技術イノベーションであった。

### 6-1 強誘電体とは

#### 6-1-1 誘電体と分極

絶縁体を電場中に置けば、そのときの電場ベクトルを  $E$  とすると物質中のイオン、原子、電子、極性分子が変位して電気双極子をもつ。この現象は誘電分極といわれ、単位体積あたりの電気双極子モーメントを  $P$  としたとき、物質の表面には下記の式で与えられる面密度  $\sigma_p$  の電荷が現れる。この電荷は分極表面電荷密度と呼ばれる。

$$\sigma_p = n \cdot P$$

誘電分極は、配向分極、イオン分極、電子分極に区分され、この順番で周波数応答性も高い。配向分極は UHF 帯～マイクロ波、イオン分極は赤外～遠赤外、電子分極は紫外領域まで応答できる。電子デバイスに用いられる周波数は GHz 程度であるから、配向分極特性が重要となる。

絶縁体を電場に置けば分極しその大きさに応じた表面電荷が現れ、電場をゼロにすれば分極はなくなる。しなしながら、ゼロにしても分極が残る物質が存在する。電場がゼロのときの分極を自発分極といい、単位結晶格子中の正電荷と、負電荷の中心（電心）がずれていることによって発生する。

#### 6-1-2 強誘電体の発見

強誘電体を示す ferroelectrics という言葉は強磁性体を思わせ、物理現象から考えると違和感があるのだが、その由来は、量子力学の創始者の一人として高名な Schrodinger が 1912 年に自発分極の  $4\pi/3$  破局に関する説明に ferroelectrisch という形容詞を用いたところにあるらしい<sup>1</sup>。ところで、強磁性体は諸説あるものの紀元前に中東地域で磁石としてその存在が知られていたが、強誘電体は 20 世紀になるまで人類はその存在を知らなかった。人類が始め知った強誘電体はロッシェル塩である。ロッシェル塩自身はフランスの La Rochelle という町に住んでいた Elie Seignette が 1665 年にワインから作り出した薬品 ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot$

4H<sub>2</sub>O) で、水に溶けやすく無色透明の結晶であった。大きな結晶が比較的容易に作製出来たためさまざまな測定が行われ、1756年には焦電現象、1880年に圧電現象が発見され、1920年に Valasek が分極反転現象を発見した。したがって 1920 年に強誘電体が初めて発見されたいえよう。この後、Scherrer がロッシェル塩以外にも同じような特性を示す物質が存在するのではないかと系統的な調査を始め、1935年に Bush が KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> が 120K°以下で強誘電体になることを発見し、そして工業的に大きな貢献をすることになるチタン酸バリウム (BaTiO<sub>3</sub>) が強誘電性を持つことの発見 (1945年 Vul) につながるのである。

### 6-1-3 強誘電体の物性

強誘電体の特性は特定の温度以下で見られる。この温度は物質によって異なりキュリー温度という。キュリー温度以上では自発分極は観測されず常誘電体になる。温度によって強誘電体になったり常誘電体になったりするのは結晶構造がキュリー温度で変化するためであり、この変化を相転移という。例えばチタン酸バリウムは約-80°Cで菱面体晶系から斜方晶系に変化し、さらに5°Cから120°Cまでは正方晶系で強誘電体であるが、120°Cを越すと立方晶系になって常誘電体になる。強誘電体は外部電界が無いときに基本単位格子の電荷の中心が正と負で一致しないために自発分極を有するのであるが、そのような結晶構造は対称性で分類する点群を用いて整理すると全32点群のうち10であることが判っている。そのような点群に属する強誘電体結晶はKDP属、TGS属、ペロブスカイトなどに分類されるが、実用上重要な結晶の多くはペロブスカイト構造に属しており、研究も進んでいる。FeRAMもやはりペロブスカイトに属する結晶材料を用いる。ペロブスカイト構造には、A<sup>+</sup>B<sup>5+</sup>O<sub>3</sub>、A<sup>2+</sup>B<sup>4+</sup>O<sub>3</sub>、A<sup>3+</sup>B<sup>3+</sup>O<sub>3</sub>、およびその混晶の型がある。このペロブスカイト構造の結晶において双極子の発現するのは、正イオンが負イオンの0<sup>2</sup>に対して相対的に変位するためである。

強誘電体の重要な物性である誘電率はキュリー温度より高い温度でキュリーワイス則と呼ばれる下記の変化を示す。

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{C}{T - T_c}$$

C ; Curie-Weiss 定数、T<sub>c</sub> ; キュリー温度

ε<sub>1</sub> ; 誘電率で温度によって変化しない部分

キュリー温度に近づくと誘電率はチタン酸バリウムでは数千にも及ぶ大きな値になり鋭いピークを示す。

強誘電体研究では結晶内部の分子構造に立ち入らずに統計力学的な手法で理解しようとする研究が発展してきた。キュリーワイスの法則や相転移の現象も、自由エネルギーを秩序変数で展開したランダウ関数を用いる統計力学的方法で導出される。例えば、キュリーワイスの法則は秩序変数として分極量 P を使い、自由エネルギーを G とし、温度を T、圧

力を  $X$  とすると、以下のようにして導出できる。

自由エネルギーは  $P$  に対して対照だから偶関数であり、下記のように展開する。

$$G(T, X, P) = G_0 + A(T - T_0)P^2 + BP^4 + CP^6 + \dots$$

非常に高温では常誘電体になるので  $P=0$  で  $G$  は極小値をとるはずであり（つまり  $P^2$  の係数は正）、低温では自発分極  $P_s$  で極小になるはずだから  $P^2$  の係数は負となるように  $A(T-T_0)$  と記述している ( $A>0$ )。誘電体の自由エネルギーの変化は熱統計力学理論によれば、 $S$  をエントロピー、 $E$  を外部電界として次のように記述でき、

$$dG = -SdT + VdX + EdP$$

したがって、

$$E = \left( \frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, X} = 2A(T - T_0)P + 4BP^3$$

外部電界  $E=0$  のときの分極が自発分極であるから、 $B>0$  として、 $T>T_0$  のときは  $P_s=0$ 、 $T<T_0$  のときは

$$P_s = \sqrt{\frac{A(T - T_0)}{2B}}$$

誘電率  $\varepsilon$  は  $dP/dE$  であるから、

$$\varepsilon = \frac{dP}{dE} = \frac{1}{2A(T - T_0) + 12BP^2}$$

温度が十分高ければ常誘電体のはずだから外部電界強度 = 0 で  $P=0$  のはずであり、

$$\varepsilon = \frac{1}{2A(T - T_0)}$$

となつて、 $T_0=T_c$  と考えればキュリーワイスの法則が導出されたことがわかる。

上記で求めた自由エネルギーと分極量の関係を図示すると図 6-1 のようになり、キュリー温度以下で  $P_s$ 、 $-P_s$ 、二つの安定状態の存在することが理解できる。この状態を強誘電体不揮発性メモリは利用する。同図から  $P_s$  と  $-P_s$  の間のスイッチは  $\Delta H$  を越えて行われるように考えられるが、実際の強誘電体結晶は分域構造で構成されており、外部電界の方向に沿った分域が拡大するようにして結晶全体の分極方向が揃うため、熱力学で示される軌跡とは異なる経路を辿って分極反転を行う。それが強誘電体の履歴曲線である。

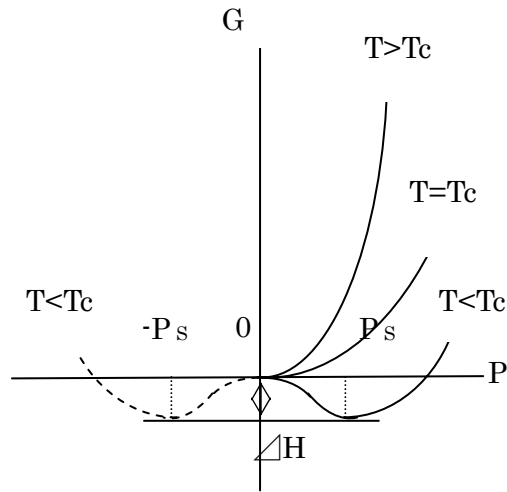


図 6-1 強誘電体の分極が二つの安定状態を有することを示す模式図

履歴曲線は中村によって1947年に初めて観測され<sup>2</sup>、分極構造の存在は1951年に沢口らによって観測されたのが最初であろうと考えられている<sup>3</sup>。履歴曲線を模式的に描くと、図6-2のようになる。

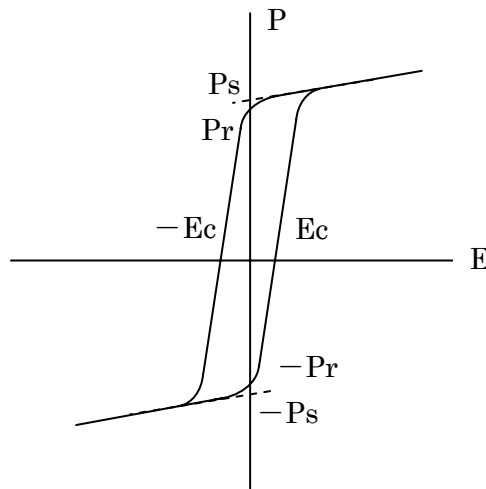


図 6-2 履歴曲線の模式図

$E_c$  は抗電界といわれ、分極反転に必要な電界強度。 $P_r$  は残留分極である。現実の結晶では完全に方向の揃った単一分域結晶よりも多分域構造のほうが安定なため  $P_s$  よりも残留分極は小さい。強誘電体の物性は統計力学に基づく現象論的方法論でも多くの知見を得ることが出来るが、現実のデバイスに用いる強誘電体は数十 nm 程度の結晶粒から構成される多結晶薄膜であり、その物性の研究には結晶粒の大きさや結晶成長軸方向、結晶粒界など、誘電体の構造に立ち入った機構の解明が必要である。

#### 6-1-4 強誘電体の工業的利用

強誘電体の最大の特長は自発分極が外部電界によって反転できることなのだが、強誘電体の工業的利用の歴史を見ると、その特性の本格的な利用は強誘電体不揮発性メモリまで殆ど試みられていない。強誘電体材料が工業製品として最初に利用されたのはロッシェル塩単結晶を用いたトランスデューサであったようだが<sup>1</sup>、これは圧電性を利用したものであり分極反転特性の利用ではなかった。

分極反転特性の積極的な利用はされなかったものの、驚異的に高い比誘電率を有する酸化セラムのチタン酸バリウムが発明されると強誘電体材料の工業的利用は一挙に広がった。

チタン酸バリウムは粉末を 1000°C以上の高温で焼結することによって得られる数 $\mu$ mの結晶粒で構成されたセラムであり、焼結前に成形することによって形状もほぼ任意に設計出来、電子部品として適した材料であった。チタン酸バリウムの応用は高誘電率を活かしたセラムコンデンサ(1948年)から始まり、高い圧電係数を用いた超音波素子、そして温度係数を利用した温度センサーへと実用化が広がった。

このように強誘電体はエレクトロニクス部品に欠かせない素子として広く利用されるようになったのだが、分極反転特性を活かすデバイスの本格的な開発は1980年代後半まで待たねばならなかったのである。インテルが1024bit DRAMを初めて商品化したのが1970年だったことを考えると、半導体技術と強誘電体技術を融合する高度な技術の必要なFeRAMが出現しなかったのは、当然だったのかもしれない。

#### 6-1-5 半導体への応用

強誘電体の自発分極の反転現象を利用しようとする試みは、1952年にAndersonが100 $\mu$ m厚のチタン酸バリウム単結晶を用い、電極を格子状に配置して格子点にデータを記録しようとしたのが最初のものである。しかし、単結晶を用いていることや100 $\mu$ mという厚さ、単純な電極配置から見ると、実用化への研究というより強誘電体をメモリ素子として機能させる原理的研究とみなすべきものであった<sup>4</sup>。

メモリ素子らしくなってきたのは、1968年にRohrerが強誘電体材料の一つである $\text{KNO}_3$ の薄膜をガラス板上に形成し、図6-3に示すような金配線による単純マトリックス型のメモリを作った頃からである<sup>5</sup>。



図 6-3 Rohrer による  $\text{KNO}_3$  を用いたメモリ (McMillan 博士論文より<sup>6</sup>)

日本は強誘電体の工業化ではアメリカには遅れていたが、物性研究では世界の研究をリードする立場にあった。強誘電体を用いるメモリの研究においても 1963 年に Stanford 大学の Moll とともに垂井が、CdS 薄膜の電気伝導度を TGS の自発分極で制御する実験に成功する足跡を残している<sup>7</sup>。

Rohrer や McMillan はその後も実用化に向けた検討を行ったが、1980 年代に入るまで注目すべき成果は出てこなかった<sup>6</sup>。FeRAM 実用化の歴史の中で大きな転換点となったのは、米国の企業である Krysalis<sup>8</sup> と Ramtron<sup>9</sup> から 1987 年、1988 年に相次いで強誘電体キャパシタを半導体集積回路とともに集積したデバイスが発表されたことである。今日の FeRAM の原型ともいえるデバイスであり、この成功によって世界各国の大学、企業で FeRAM の実用化に向けた開発が一斉に始まった。しかし、後に示すように工業製品として完成させるには多くの問題を残しており、それらの解決には凡そ 10 年近い年月を必要とした。

## 6-2 強誘電体半導体の本格的な事業化（高誘電率の応用）

### 6-2-1 高誘電率の応用

半導体技術の進歩に対する新しいアプローチを探索するなかで、従来の半導体が歩んできた「数の集積」という進歩の道から離れて「異種機能材料素子の集積」という概念で進めるべきではないかと考え、この概念に沿う、強誘電体と半導体という異なる種類の機能材料素子を集積する強誘電体半導体の事業化に向けた研究開発に着手したのである。

研究開発を着手した 1990 年頃には上述のように Ramtron や Krysalis がメモリデバイスを発表していたが、工業製品として完成させるためには、書換え回数が増えると分極電荷量が低下するなどの問題が山積み状態であった。これらの問題の根本解決には材料精錬、合成技術から、薄膜物性の研究にいたる裾野のひろい技術の水準をあげねばならないことが明らかであり、膨大な研究資源と相当の年月の要することが推察された。このため、企業における研究開発のスタンスとしては、基礎技術の開発と並行して事業化できるテーマから取り組み、経営貢献の実績を上げながら最終目標への階段を一段ずつ上がっていくべきだと考えたのである。

このような考え方に立って強誘電体半導体の事業化開発を見たとき、強誘電体材料の有する比誘電率が極めて高いという特長を活かすデバイスの開発は、高周波における誘電損失の制御や薄膜形成などの課題はあるものの不揮発性メモリを開発するよりも技術障壁は少ないと予想された。そこで、強誘電体半導体の事業化開発は高誘電率を利用するデバイスの開発から着手することに決定したのである。

高誘電率材料として何を用いるか、選択肢は多かったが高周波特性が比較的高く物性データも比較的入手しやすい  $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  という材料を用いることにした。さらに用途として選んだのは、高周波 GaAs IC への集積である。数百 pF 以上の大容量キャパシタを GaAs IC 上に集積して外付けキャパシタを不要にし、実装面積を格段に削減することが目的であった。当時、携帯電話が急速に普及し始めた頃であり、実装面積の削減は携帯電話の小型

化ニーズに適合するため、成功すれば事業的にも大きな貢献ができると予想された。

## 6-2-2 化合物半導体での事業化

GaAs を代表とする化合物半導体では、用いる材料、トランジスタ、プロセスが Si を用いる集積回路技術とは大きく異なる。例えば Si デバイスでは Al を金属材料として用いるのに対し GaAs デバイスでは Pt や Ti を用い、また高温で熱分解する GaAs ではプロセス温度が低い。強誘電体キャパシタを作るには GaAs プロセスで用いられている Pt や Ti を電極として用い、また熱処理温度が低ければ、万一強誘電体材料に半導体特性に悪影響を及ぼす成分が含有されていたとしても、下記の式からわかるように熱拡散の影響が最小限に抑えられるなど、化合物半導体への導入は Si 集積回路への導入に比べて技術障壁が低いと考えられた。

$$D = D_0 e^{-E_a/kT}$$

$D_0$  : 拡散係数、 $E_a$  : 拡散の活性化エネルギー、 $k$  : ボルツマン係数、 $T$ : 温度

また、高誘電率特性を活かして DRAM のメモリキャパシタに応用するという、半導体事業の主流へ向かう取り組みも考えられたが、当時の状況では周辺の要素技術が不十分であり GaAs への応用から始めるほうがプロジェクトを成功させる可能性が高いと判断した。図 6-4 に示すように、GaAs IC へ応用することによって事業成果を生み出し、企業内でプロジェクトの生存権を確保しつつ、最終目標である FeRAM に必要な要素技術を開発するアプローチである。

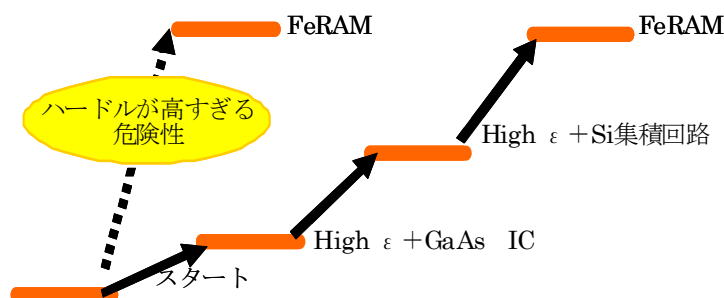


図 6-4 飛び石的なアプローチで FeRAM を目指す

GaAs は自然界には存在しない物質である。Ga と As から人工的に合成して結晶成長させる。As は高温で解離してしまうためチョクラルスキー成長法を用いることが出来ず、当初は水平ブリッジマン法 (HB 法) といわれる結晶成長法に頼らざるを得なかった。この方法では高純度カーボンポット上で GaAs 混合物の一部を溶融し、その溶融ゾーンをゆっくりシフトさせていく方法である。溶融ゾーンをシフトさせると冷却し始めた部分から結晶が成長していく。この方法ではカーボンポットからの不純物混入が避けられず抵抗率は低かったが結晶欠陥密度が低いため、発光ダイオードや半導体レーザーで実用化が進んだ。



集積回路への応用については基板上にエピタキシャル成長法で n 型導電層を形成し、トランジスタを形成する部分のみを残してエピタキシャル層をウェットエッチングで除去する方法が多く利用されていた。エッチングで残ったトランジスタ部分が台形状になるためメサ法とも称された。この方法では素子間隔を大きくしなければならず、少ない素子数の集積に留まっていたが、衛星放送を中心とする SHF や UHF デバイスのニーズの高まりにより急速に需要が増えていた。しかしながら HB 法によるウェハは三角形に近い形状をしており、円形ウェハを前提として作られている半導体の製造装置では操作性が悪いため、円形で素子集積密度が上げられる高抵抗基板が渴望されていた。そのような背景の下で登場したのが LEC (Liquid Encapsulated Czochralski) 法という結晶成長方法である。

LEC 方法では、坩堝で熔融している GaAs 表面を  $B_2O_3$  熔融液でシールして As の解離を防ぎ、GaAs 種結晶を熔融液面に接し結晶成長を開始させながらゆっくりと引き上げる。LEC 法の登場で 2 インチの円形ウェハが初めて製造された。LEC 法による GaAs 結晶は HB 法に比べて非常に高純度で、抵抗率も  $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$  以上と高く半絶縁体の結晶を実現することが出来た。LEC 法による GaAs 基板は半絶縁体であるため、GaAs へのイオン注入法によるトランジスタの形成が初めて可能になり、従来のエピタキシャル法とメサエッチ法の組み合わせによる製造プロセスでは不可能であった集積回路が可能になるなど GaAs 集積回路技術に大きな進歩をもたらした。筆者はイオン注入プロセスによる GaAs プロセス開発の初期に参画し、イオン注入された原子がどのような条件下で活性化され導電に寄与するのかを明らかにするなど、プロセス技術の基礎固めに貢献する開発を行った。

このようにして GaAs IC が進歩し、BS 放送などによって高周波デバイスへの需要が高まる中、1990 年代に入り携帯電話という全く新しい市場が出現したのである。当初は車載型や肩からかけるショルダー型であったが、集積回路の進歩と相俟って瞬間に小型が進み、爆発的に普及が進んだ。

GaAs は Si デバイスよりも高周波特性が優れていたため携帯電話の重要なデバイスとしての採用されたのであるが、更なる小型化のためには IC のそれぞれが占める実装面積を極力小さくする必要があった。図 6-5 に示すような強誘電体キャパシタを集積して外付けコンデンサを不要にする GaAs IC はこのような市場のニーズを的確に捉え、携帯電話の爆発的な普及に支えられ月産数百万個という大きな事業に成長を遂げることが出来たのである。

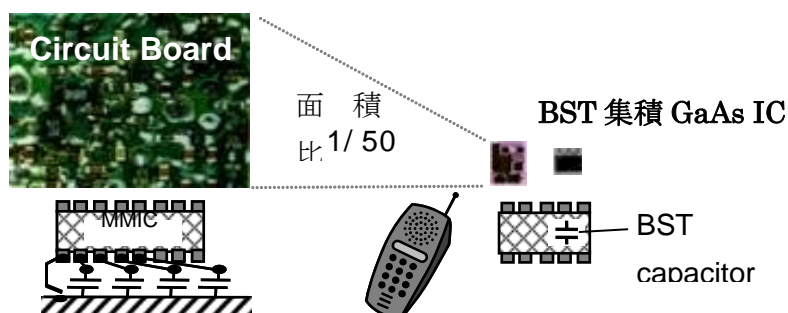


図 6-5 BST キャパシタを集積した GaAs IC と携帯電話への応用



強誘電体キャパシタ内蔵 GaAs IC が携帯電話に大量に用いられることによって、強誘電体キャパシタを半導体集積回路に搭載する技術は、品質、量産性、性能において実用に足る技術として世界で初めて実証された。筆者は FeRAM を目指して BST 薄膜の研究開発を行い、GaAs IC の商品開発は別のグループで行ったのだが、その商品開発グループは業績を認められ大河内記念賞を受賞した。

### 6-2-3 Si 半導体での事業化

GaAs IC での事業化見通しが立った頃、その BST 技術を土台にして Si 半導体デバイスへの集積に向けた開発を開始した。事業化目標として選んだのは CCD 遅延線への応用である。

CCD 遅延線とは、アナログ式の映像信号処理において、YC コンポジット信号から輝度信号、色信号を得る際に必要な、1H 遅延させた信号を発生する LSI であり、TV やビデオなどの映像機器には広く用いられていた LSI であった。この LSI はアナログ信号を用い、ノイズに鋭敏であるため、LSI の実装にはシールドやデカップリングキャパシタなどを用いて細心の注意を払う必要があり、そのコスト増の原因になっていた。

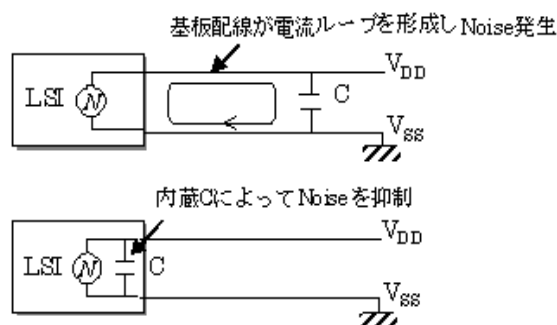


図 6-6 CCD 遅延線への BST キャパシタ集積による Noise 抑制

そこで LSI 内部に従来の技術では内蔵できなかったような大容量キャパシタを強誘電体技術で集積化すれば、図 6-6 のように大きなノイズ抑制効果が期待されたのである<sup>10</sup>。

Si 集積回路は MOSFET によって構成されており、MOSFET のゲート酸化膜や半導体との界面にわずかな不純物やダメージが入っても特性が劣化することが良く知られている。BST やその材料に含まれる不純物が LSI にどのような影響を与えるのか、またどのようにすればそのような影響を抑制することが出来るのかが不明な状態であった。この為、既存の LSI 工場や開発用の製造ラインで開発を行うと、同じラインで製造や開発を行っているデバイスに悪影響を与える可能性が否定できず、Si LSI への集積にかかわる開発にはその様な危険性を避けるために専用ラインの構築が必要であった。最先端プロセスの専用ラインを構築するには巨額の投資が必要であるが、幸い CCD 遅延線は最先端プロセスから見れば数世代以上古い既存設備の転用で開発・製造できる製品であったため、比較的少ない費用で専用ラインの構築が可能であったことも CCD 遅延線をテーマに選んだ利点であった。

本用途では LSI が動作中は強誘電体キャパシタには常に電界が印加される状態に置かれ

るため、TDDB (Time Dependent Dielectric Breakdown) 特性といわれる絶縁破壊に至る寿命が特に重要であった。LSI は一般的には 1 0 年程度の寿命を保証する必要があり、強誘電体キャパシタも 10 年以上の TDDB を保証しなければならなかった。LSI で用いられてる Si 酸化膜は Si ウェハを熱酸化することによって得られ、非常に良質で TDDB は優に数百年以上に及ぶ。強誘電体の場合でもセラミックコンデンサのような厚膜素子では、強誘電体層の厚みが数  $\mu\text{m}$  以上あるため電圧が印加されても電界強度が小さく、また、1 0 0 0 °C 以上の高温で熱処理出来るため良質な強誘電体膜を形成しやすく、優れた TDDB 特性が実現できている。しかし半導体に集積する場合は、強誘電体の厚みが数 100nm と非常に薄く、電圧が印加された場合の電界強度は厚膜素子の場合に比べて格段に高いものとなる。したがって、半導体に集積する強誘電体薄膜は厚膜素子よりも過酷な使用条件に耐えねばならず、厚膜デバイスよりも高品質の強誘電体薄膜が必要となる。しかしながら高い温度で強誘電体薄膜を熱処理すると酸素を含む焼成ガスや熱拡散などによって LSI に深刻な悪影響を生じることが予測されるため、LSI プロセスで可能な範囲で熱処理する必要があり、高品質な強誘電体を実現する条件とは矛盾する制限条件が課せられることになった。

さらに困難さを増したのが、BST 膜の酸化・還元である。BST 薄膜がウェハに形成された後、酸素ガス中でアニールすることによって酸化物セラミックを形成するのだが、LSI プロセスでは層間絶縁膜の形成やドライエッチングする際に還元作用のある水素ガスが発生し、酸化物セラミックが還元されてしまうのである。還元されると強誘電体の特性が消失するのは言うまでもないのだが、変質する際の体積変化によって生じる強い応力で、キャパシタを破壊するなどの問題も生じた。

還元された BST を再び酸化物に戻すには酸素雰囲気中で回復アニールをすれば良いのだが、アニールによって MOSFET の閾値の値がシフトしたりバラツキが大きくなるなどの問題が発生し、この特性回復の熱処理も大きな技術課題となった。

このように、良好な強誘電体膜を得にくい条件下で、非常に高い品質の強誘電体キャパシタを実現しなければならないということであり、開発は困難を極めた。

#### 6-2-4 集積化への技術開発

集積化に関する問題の解決には、プロセスに用いる原材料の開発、装置の開発、加工技術という要素技術の開発とともに、それらの要素技術を LSI プロセスに統合化する開発を行わねばならない。このためには先に述べたように相矛盾する条件の中で最適解を求めねばならず、それぞれの要素技術を摺り合わせながら解を求める「摺り合わせ型開発」が必要であった。

##### 6-2-4-1 薄膜技術

最も重要な要素技術の一つは薄膜形成技術である。強誘電体薄膜の形成方法には従来から後述するような方法が知られていたが、装置が高価であること、バラツキや分布などの

特性制御が困難であるといった課題があり、事業化開発ではスピコート法として知られる成膜方法をとることにした。

#### 6-2-4-1-1 スパッタ法

一般的には、成膜したい強誘電体から粉末か、成分となる酸化物の粉末を高温で加圧成形して厚さが数 mm 程度のスパッターターゲットを作って用いる。図6-7はスパッター法で成膜する場合の模式図である。

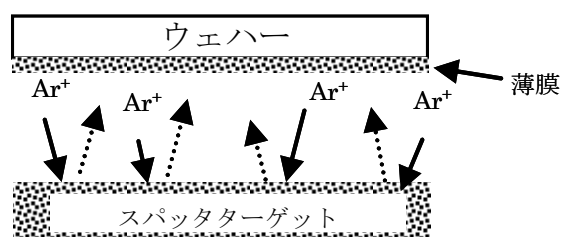


図 6-7 スパッタ法による薄膜形成模式図

強誘電体セラミックはセラミックと呼ばれていることから想像のつくとおり高温でも安定で、1000℃程度の加熱では蒸発せず通常の真空蒸着装置では成膜できない。他方、スパッタ法では、電界で加速された Ar イオンは 1eV でも下記のように、温度に換算すると 10000 度以上に相当する非常に高いエネルギーを有するため、Ar イオンを照射するとそのエネルギーによってスパッターターゲットの表面からターゲット材料を脱離させることが出来るのである。

$$1\text{eV} = 1.06219 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$k(\text{ボルツマン定数}) = 1.380662 \times 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{K}$$

$$\therefore T = 1\text{eV} / k = 11600\text{K}$$

スパッタ法は、複雑な組成を持つ強誘電体材料でも比較的容易に成膜が出来るため強誘電体薄膜の成膜方法としては研究段階から開発まで広く用いられてきた。しかしながら元素によってスパッタ効率が異なるため、ターゲットの組成と薄膜の組成が異なる他、成長速度や基板温度などによって結晶成長の配向方向や晶系が変化するために、最適な条件を得るには多くのパラメータを管理する必要がある。また成膜を続けるうちにターゲットの組成が変わってしまったり、成膜中にターゲットが熱膨張によって破損する場合もあるなど量産に使う成膜方法としては欠点も多い。

#### 6-2-4-1-2 レーザーアブレーション法

レーザーアブレーション法は図6-8のように、高エネルギーのレーザービームをターゲットに照射して組成成分を蒸発させる方法である。スパッタ法のような大掛かりな真空装置は不要で、また薄膜組成とターゲット組成のずれも少ないため研究段階での薄膜形成

に適した方法として用いられている。ターゲットを一挙に蒸発させるためターゲット表面が溶解した際に液滴も一緒に飛散し薄膜上に付着してしまうことが多い。また、レーザービームを集光して加熱させるために大きな面積への薄膜成長には不向きであり、大口径のSi ウェハー上に均一な成膜を行うのは一般的には困難である。

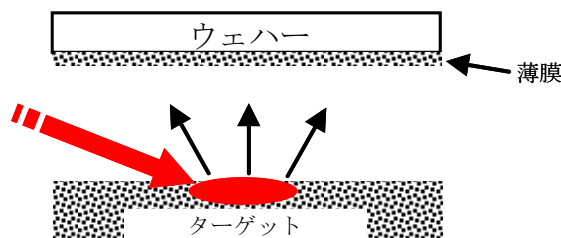


図 6-8 レーザーアブレーション法による薄膜形成模式図

#### 6-2-4-1-3 MOCVD

図6-9のように強誘電体を構成する金属元素を含む有機金属材料をガス化してウェハーに吹き付け、加熱された表面で化学反応を起こして強誘電体結晶を成長させる方法である。

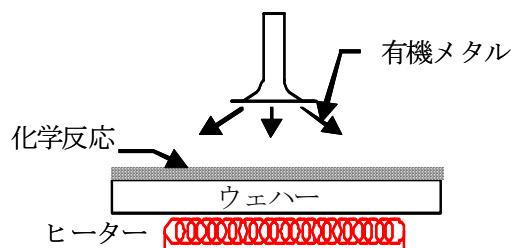


図 6-9 MOCVD 法による薄膜形成模式図

この方法は適切な材料があれば良質な結晶が得られるので化合物半導体のエピタキシャル成長でも用いられ、半導体レーザーなどの量産技術としても普及している。MOCVDは基板表面で反応して結晶成長するので立体構造部分にも薄膜成長が可能であり、FeRAMの場合、高集積メモリに用いる立体構造のキャパシタ電極上に強誘電体薄膜を形成できる唯一の技術である。

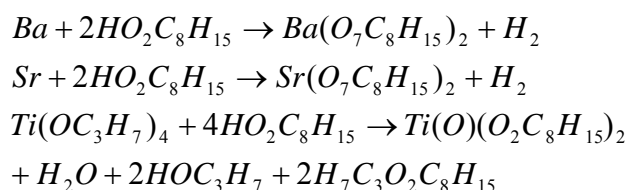
MOCVDに適する有機金属は、常温で液体であり加熱しても分解せずに十分な蒸気圧を得られることが必要であるが、強誘電体に用いる金属（Sr, Ba, Ti, Sr, Pb, Zr, Ta など）を含む有機金属は常温で固体であったり、熱分解しやすかったり、また  $\text{PbEt}_4$  のように猛毒であるなど、強誘電体半導体の本格的な開発が始まった 2000 年代初期には適切な原料がなかった。

その後、 $\text{Pb}(\text{dpm})_2$ 、 $\text{Sr}(\text{dpm})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{dpm})_2$ 、 $\text{Ti}(\text{OiPr})_2(\text{dpm})_2$  など材料の開発が進み、TFHに溶解して MOCVD の薄膜成長室直前で加熱されたヒータに滴下することで一瞬にガス化する方法や、多孔質セラミックに吸着させてから加熱する方法など改良が進んだ。しかし量産に耐える技術までレベルアップするには、装置の開発、材料の改良、薄膜成長条件の研

究などさらに多くの研究が必要であり、量産用の技術としてほぼ完成したのはごく近年のことである。

#### 6-2-4-1-4 スピンコート法

スピコート法は、金属アルコキシドというアルコールの水酸基における水素が金属元素に置き換わった材料を加水分解して重合させ、強誘電体の組成を持つ前駆体コロイドを溶媒に分散して用いる Sol-Gel 法と、金属の有機化合物を有機溶媒に溶かした液を塗布して焼結する MOD 法がある。BST 場合、それぞれの元素は下記のアルコキシドが用いられる。



Sol-Gel 法で作成した膜は結晶粒が成長しやすく、MOD に比べて結晶性が優れているといわれている。しかし Sol-Gel 溶液は、保管中に加水分解が自然に進行してやがて完全に变质してしまうため液の寿命が短く、保存も難しいなど使いにくい。結晶の質については MOD 法でも Sol-Gel に劣らないものができており、実用という観点からは MOD 法が適している。スピコート法は各組成を化学量論的に精密に秤量した上で一液に混合して用いるため、薄膜組成を精度良く制御できる特長があり、スパッタのように組成ごとにスパッタ率が違うといった問題や、MOCVD のように蒸気圧が変動するといった問題がない。

膜を成長するには、図 1-10 のようにスピコータを用いてウェハに塗布した後、まず、有機溶媒を揮発除去するドライングを 200-300°C の温度で行う。この状態では膜中に炭素、水素が多量に残留しているため、次はこの炭素、水素を完全に揮発させるソフトベークを酸素雰囲気中 400-500°C の温度で行う。ここで炭素は CO<sub>2</sub>、水素は H<sub>2</sub>O となって除去される。そして、この後 650-800°C まで温度を上げて結晶化するのである。薄膜形成プロセスのなかでこの過程が最も重要で、温度、昇温速度、ウェハ一面内温度、ガス流を最適化することが必要となる。

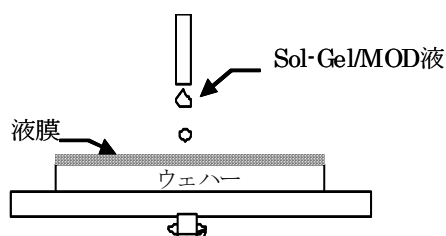


図 6-10 スピコート法による薄膜形成模式図

スピコート法には上記のような優れた特長があるものの、この方法で作製された薄膜が半導体デバイスに使われた実績としては、半導体表面の平坦化に SOG として知られる溶

液を用いて SiO<sub>2</sub> を形成する程度であり、キャパシタのように電圧が直接印加され高い信頼性が必要な用途に使われたことはなかった。これは調製後の溶液中にパーティクルが発生するほか加水分解が進行して濁液化することがあるため、万一このような異物が混入すれば膜の欠陥となる危険性があるのと、また焼成条件を最適化しなければ膜中に多量の有機物が残留する危険性があるためである。しかしながら、溶液の不安定性やパーティクルの発生は材料合成と溶液の管理手法の改善によって解決できる技術を開発し、スピンドコート法が半導体デバイスで要求されるような高品質の薄膜を形成する量産技術として使用できるようになったのである。

#### 6-2-4-2 材料技術

既述のように半導体プロセスにとって最も重要なことは材料の高純度化である。強誘電体キャパシタはセラミックコンデンサやトランスデューサなどに広く使われてきたがそれらは所謂「バルク」と呼ばれる形状で使用され、これらに用いられる材料は高純度品といわれるものでも 99%ないしは 99.9%程度であり、ppm ないしは ppb の純度を必要とする半導体用材料の基準からすれば、極めて多量の不純物を含んでいるものであった。

また、研究段階で用いていた塗布剤は非常に不安定で、且つ再現性が悪く、実験を行うたびにデータが異なるという状態が続いた。再現性のよいデータをとることがすべての開発の基本であり、大きな問題となった。

この問題の解決には原材料の調達、精錬、精製が深く関わっており、化学メーカーの協力が不可欠であった。当時、強誘電体半導体は将来性のある技術だと語られるものの、化学メーカーにとっては成功の確度が推測しにくい話であり、高純度化への要請に応えるには投資も必要であったため協力先が見つからなかった。この問題が解決できたのは、それ以降協力関係が続く高純度化学研究所の創業者社長が決断したことによる。当時 FeRAM の将来は保証されたものではなく、そのような状況で判断を下した理由は、御本人が故人とされているので確認が取れないが、社長自らが起業家であられたことと関係があるように思われる。

強誘電体半導体開発の基本技術である、薄膜形成に関する要素技術はこのようにして開発することが出来た。これによって強誘電体キャパシタの特性を体系的な実験計画に基づいて研究することが可能になり、LSI 集積に必要な特性と信頼性を実現するために解決しなければならない課題が明らかになり、またその課題解決に対するアプローチも計画的に進めることが出来るようになったのである。

強誘電体キャパシタという最も基本的な素子の開発は軌道に乗ってきたが、しかし特性評価用の数十  $\mu\text{m}$  もの大きなキャパシタを開発しただけであり、LSI に集積するには数  $\mu\text{m}$  程度の大きさにまで小さくし、さらにばらつきや変動を抑え極めて精度良く作る必要があった。そのための鍵となる技術はエッチング技術であった。

### 6-2-4-3 強誘電体キャパシタ形成用のエッチング技術

半導体プロセスで用いられるエッチング技術にはウェットエッチング技術とドライエッチング技術がある。ウェットエッチングはリン酸や硫酸、弗酸等の主として強酸を用い、表面のクリーニングや酸化膜の除去などに用いられる。ウェットエッチングは比較的簡単な設備で可能であり、清浄度も維持しやすいので、今日のような超微細加工精度が求められる以前にはコンタクト窓や配線などもウェットエッチングで加工されていた。

他方、ドライエッチングは主としてハロゲン系のガスをプラズマで励起し、被エッチング材と反応させてエッチングする方法である。ドライエッチングでは反応ガスの圧力や印加電圧、反応ガスを選択することによって図6-11に示すように、等方性エッチングよりも精度の高い異方性のエッチングが可能であることから、微細加工では不可欠の技術となっている。

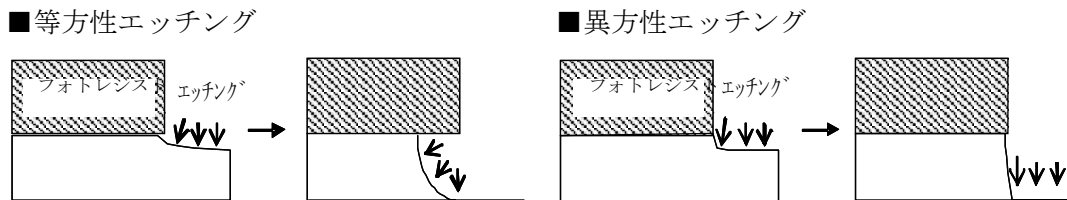


図 6-11 等方性エッチングと異方性エッチングの模式図

エッチング用のガスとしてハロゲン系ガスを使用するのは、反応生成物がハロゲン化合物となり気化するので、パーティクル等の問題が起きにくいからである。通常の LSI プロセスでは被エッチング材料に合った反応ガスの選択肢は広く、適切にガスを選べば問題はない。しかし強誘電体半導体のドライエッチングには大きな問題が立ちはだかった。強誘電体キャパシタの電極には反応性の低い Pt が用いられ、また強誘電体薄膜も酸化物セラミックであり反応性に乏しいのである。このため、通常のプラズマエッチングによるドライエッチングは適用が難しいため、強誘電体キャパシタの加工には主にイオンミリング法が用いられてきた。イオンミリングとは図6-12に示すように、真空中で Ar をイオン化し、電界をかけて衝突させることによって削り取るという方法である。イオンミリングは化学反応に依存しない方法のため、化学的に安定で反応性に乏しい材料でもエッチングできるという強みがある。しかし、削り取った「削りカス」はガス化しないので次第に装置内壁に付着し、パーティクルの原因になるほか、フォトレジストの側壁に付着して「フェンス」を形成する問題を起こしやすい。また、被エッチング材料に対するエッチング選択性が乏しいため被エッチング層 v s フォトレジストのエッチング速度比が小さく、フォトレジストがイオンミリング中に削られてしまい精度の高いエッチングが難しいという課題がある。

また更に、電界を印加して照射する Ar<sup>+</sup>イオンの指向性が高いため、フォトレジストの影の部分がエッチングされにくい。このためイオンミリング中にウェハを自公転させて影

が出来ないようにする必要があり、装置が複雑になるとともにメカニカルな動作によって付着した被エッチング物質が剥離してウェハー上のパーティクルになる問題も出やすい。

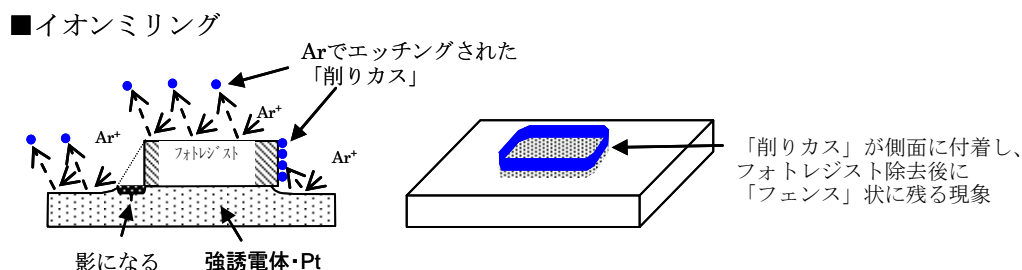


図 6-12 イオンミリング法とイオンミリングで形成されるフェンス

このように、イオンミリングを用いるには多くの課題があり、イオンミリングに代わるドライエッチング技術の開発が必要であった。この問題に対して筆者の開発部門では様々なガスや反応系を研究した結果、強誘電体やPtと蒸気圧の高い化合物を生成出来る反応ガスを見出しただけでなく、エッチング用ガス分子を照射することによって被エッチング材料を構成する分子にエネルギーを与えて励起状態に遷移させ、反応性を高めてからエッチングガスとの化学反応を誘起させるという、反応系のメカニズムに立ち入ったドライエッチング技術を開発した。図6-13は強誘電体薄膜がRIE(Reactive Ion Etch)出来ることを示したおそらく世界で初めての実験結果であろう。

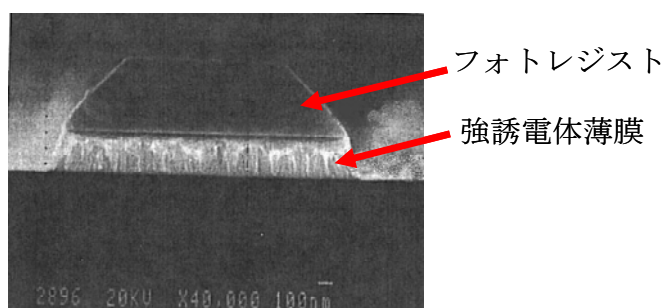


図 6-13 強誘電体薄膜のドライエッチング形状

#### 6-2-4-4 CMOS との集積技術

薄膜技術やエッチング技術などの要素技術を開発した次のステップは、LSIプロセスと強誘電体キャパシタプロセスとの整合である。例えば、良質のBSTキャパシタを得るにはアニール温度を高くし、それにその時間を長くすることが有効な方法であるが、このことはデバイスに大きな熱ストレスを与えるばかりではなく、アニール雰囲気中に含まれる酸素がCMOSデバイスに対して悪影響を与える危険性が高い。また逆に、CMOSデバイスの特性を安定化するには水素シンターが有効であるが、水素は強誘電体結晶を還元してしまい著しく特性を劣化させるのである。この問題に対してはBSTの開発の際に行った摺り合わせ的



な開発によって、熱バジェット的设计を工夫し、また還元・酸化反応のプロセス工程を LSI トータルプロセスの中で適切に配置することで、表 7-1 に示ような高い信頼性を有する BST キャパシタを世界で始めて開発することが出来た<sup>11</sup>。

1.組成：	Ba <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.3</sub> TiO <sub>3</sub>	
2.比誘電率：	～500	
3.BST膜厚：	140nm	
4.リーク電流：	10 <sup>-9</sup> A/cm <sup>2</sup>	@3.3V
5.容量値：	32fF/μm <sup>2</sup>	@3.3V
6.TDDB：	>100years	@5V

表 6-1 BST キャパシタの特性

厚さ 140nm の Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>TiO<sub>3</sub> 膜を用いたキャパシタは、3.3V の電圧印加時のリーク電流が 10<sup>-9</sup>A/cm<sup>2</sup>、TDDB 寿命は 100 年以上の実力を有することが実験的に確認された。比誘電率は 400 以上あり比誘電率が 3.4～3.8 の SiO<sub>2</sub> 膜に換算すれば約 1.3nm の膜厚に相当している。SiO<sub>2</sub> の絶縁耐圧は 2～9MV/cm であるから、1.3nm の膜厚では最大でも 1.2V 程度の耐圧となり 3.3V ないしは 1.8V 系の CMOS デバイスで SiO<sub>2</sub> では実現できない容量を BST キャパシタは実現できることになる。

#### 6-2-5 高誘電率キャパシタ技術による事業化

CCD 遅延線 LSI に搭載する強誘電体キャパシタの要素技術、CMOS プロセス技術との整合技術を開発して製品開発に入った。しかしながら、想定以上の多くの開発課題と取り組まねばならなかった結果、開発日程を当初計画に対して大幅に超過してしまっていた。さらに詳細な検討を行った結果、既存の CCD 遅延線 LSI にシールド用部品を用いる場合と比較して魅力のないコストになることが判明した。強誘電体キャパシタを搭載するプロセスは通常の CMOS プロセスよりも工程数が多くコストが高い。CCD 遅延線 LSI のチップ面積に対する強誘電体キャパシタの占める面積は数%であり、結局、低コストの CMOS プロセスで製造できる CMOS 回路部分まで高コストの強誘電体プロセスで製造することで製品コストが大きく増加してしまっただのである。

技術がいくら優れていても、顧客のニーズに対するソリューションとして他のソリューションに対して絶対的な優位性がなければ製品としての価値はない。顧客の問題に対する唯一のソリューションであれば付加価値としてコストアップが認められるのであるが、先に述べたように他のソリューションが存在し、さらにコストに対して競争力がなかったために、強誘電体キャパシタ内蔵 CCD 遅延線 LSI は顧客の受け入れるところとはならなかった。顧客に対するソリューションの価値を技術的差別化という一軸でのみ立案したことが失敗の理由であった。

### 6-3 事業化方針の転換

BST キャパシタ内蔵 GaAs IC の事業化は残念ながら成功しなかったが、技術開発という面では大きな進歩を遂げた。最終的な事業化目標は FeRAM であるが、せっかく開発した技術は事業化して経営に貢献しなくてはならない。そこで次に進むべき方向を定める事業判断が重要となった。当時、事業推進方針に対するオプションは次のように考えられた。

- (1) CMOS LSI の大容量キャパシタを搭載する技術を世界で始めて実用化したことを活かせば、世界にない商品を生み出せるはずである。CCD 遅延線 LSI では失敗したが、その失敗はマーケティングを軽視したことが原因であり、開発した技術には価値がある。CMOS LSI への BST 集積技術の開発には大きな投資をしており、BST キャパシタ内蔵 LSI で事業化を成功させるべきである。
- (2) 強誘電体の真の価値は自発分極を外部電界で反転できること。この特長を活かした不揮発性メモリは、既存のメモリ技術では成しえない特長を有している。すでに競合他社も研究開発を進めており、ここでの停滞は実用化競争において致命的な敗因となる。BST キャパシタ内蔵 LSI の事業化開発で開発した要素技術、CMOS への搭載技術は FeRAM の開発にも共通するものが多く、無駄にはならない。FeRAM の開発に注力すべきである。

BST 内蔵キャパシタ技術をコアコンピタンスとする事業の可能性としては、SiO<sub>2</sub> 絶縁膜によるメモリキャパシタでは限界を迎えてプロセスが非常に複雑になってきた DRAM に活かすことが考えられた。この面ではすでに Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を用いる研究が進められており、High K 材料導入の気運が高まっていたので有力な方向のようにも思われた。もう一つはデバイス的高速化への利用である。CMOS LSI の高速化によって LSI 内部のクロックは 1990 年代半ばになると 100MHz 帯に突入し、それに伴って電源マネージメントが非常に難しくなっていた。このため、大規模なマイクロプロセッサではパッケージ上に幾つものチップキャパシタを搭載し始めたのである。もし BST で大容量のオンチップキャパシタを LSI 上に集積出来れば、電源の安定化やノイズの抑制に絶大な効果があり、大きな需要があると見込まれた。

しかしながら DRAM 用メモリキャパシタへの応用については、deep trench や 3D stack 技術、SiON 膜の導入によって既存技術の寿命がストレッチ出来る見通しが立ち始め、また高速デバイス用のオンチップキャパシタについては 1990 年代半ばには自社の製品群に超高速プロセッサは殆どなく、いずれについても事業部門からの商品開発ニーズを獲得することが出来なかったのである。

このような事業環境のなかでは BST の事業化に経営資源を消費するよりは、他の技術では実現できないメモリを実現できるという事業化価値が明確な FeRAM の事業化に向かうべきだと判断し、さらに BST で開発した技術は FeRAM の開発に活用できるものであったことから FeRAM の開発に集中することを決定した。当時、小規模とはいえ、BST 集積 LSI

に対応出来る試作をライン有していたが、FeRAMの開発には適用できない設備や不足する設備も多く、同ラインは閉鎖せざるをえなくなった。この結果、担当メンバーの再配置、設備の廃棄などが発生し、社内から厳しい批判を浴びることになったのだが、これらの決定を支持し、支援してくれたのは研究部門、事業部門の技術担当役員であり、さらにこれらの役員の見識を尊重し研究継続を承認したトップであった。この結果、強誘電体半導体事業化プロジェクトにとっては氷河期に突入した時期であったが、基本的な推進方針が振れることはなかった。

## 6-4 FeRAMの開発

### 6-4-1 FeRAMの実現を阻む課題

BSTキャパシタによるLSIの事業化開発を進めている間もFeRAMの基礎研究は継続し、また大学や企業の様々な研究部門でも精力的な研究が進められていたが、まだ多くの課題を残していた。強誘電体を常誘電体相で用いる場合には誘電率、耐圧、TDDDB、リーク電流などの特性確立が技術目標であったのに対して、不揮発性メモリとして用いるにはそれらの技術に加えてデータ保持特性（リテンション特性）、書換え耐数、数万～数百万個の強誘電体キャパシタを均一性良く加工する技術など、はるかに多くの技術的難問を解決しなくてはならなかったのである<sup>1,2</sup>。そのような技術的難問の中でも最大の難問は「書換え耐数の改善」であった。

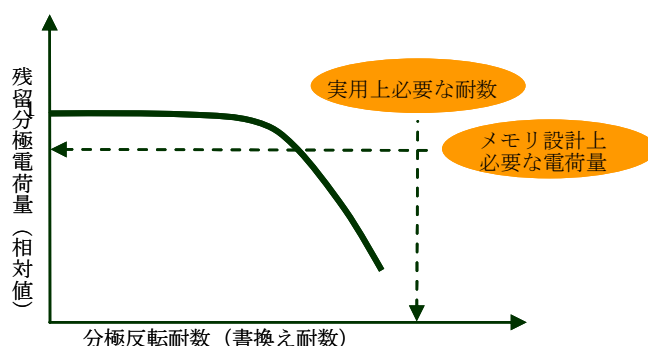


図 6-14 ファティグ現象の模式図

分極反転を繰り返すうちに、残留分極が減少してしまいメモリとして必要な残留分極電荷量が確保できなくなるという、図6-14に示す「ファティグ問題」が解決できず、FeRAMの実現を阻んでいたのである。

この問題に対して Shadow メモリという妙手が考えだされ、一時は解決策の一つかと大きな注目を集めた。FeRAM と SRAM のメモリセルを組み合わせ、通常の動作時には SRAM として動作させ、電源 OFF 時に SRAM メモリセルのデータを FeRAM メモリセルに書き込み、電源 ON 時に SRAM へ読み出す方式である。FeRAM が SRAM に書きこまれたデータのバックアップをするような構成であり、故に Shadow メモリと呼ばれた。この方法によれ

ば電源の ON/OFF 時のみ FeRAM メモリセルをアクセスすればよく、ファティーグ問題は大幅に低減されるのであるが、メモリセルサイズが大きくなりビットコストが高くなってしまいう問題が生まれた。結局、技術の問題を経済の問題にシフトした形になり問題の解決にはならなかったのである。やはりメモリセルキャパシタの特性を基本から改善しなければならなかったのである。

#### 6-4-2 問題解決へのアプローチ

FeRAMのメモリセルキャパシタでは二つの金属電極の間に約200nmの厚さを有する強誘電体薄膜がはさまれている。故に、強誘電体キャパシタの研究は下記の三つに分類されることになる。

- (1) キャパシタ電極
- (2) 強誘電体薄膜
- (3) 強誘電体薄膜とキャパシタ電極の界面

電極は強誘電体の焼結時に必要な酸素に耐えるために Pt が多く用いられ、強誘電体材料としては  $\text{PbTiO}_3$  と  $\text{ZrTiO}_3$  の混晶である PZT が多くの研究部門で用いられていた。酸素雰囲気中の高温処理に耐えられる電極材料は多くなく、Pt を基本とすることに決め、まずは強誘電体材料の研究に集中することにした。強誘電体材料技術については社内に豊富な蓄積があったのだがメモリへの応用については技術的蓄積は少なかったので、BST 開発のときから協力関係にあった不揮発性メモリに向けて先駆的な研究開発を行っている米国の symetrix の協力を得る方針を採った。

##### 6-4-2-1 強誘電体薄膜の研究

強誘電体結晶のグループには先述のように TGS、KDP、ペロブスカイトなどの構造があるが、ペロブスカイト構造は結晶構造が簡単で研究も進んでいる。ペロブスカイト構造は図 6-15 のように正のイオンが酸素イオンで構成される八面体で囲まれている構造をとっている。

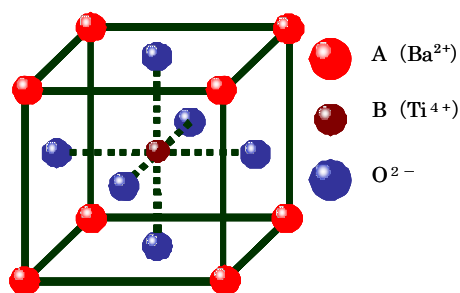


図 6-15 ペロブスカイト結晶構造 ( $\text{BaTiO}_3$  の場合)

自発分極は酸素による負の電荷中心と正イオンによる電荷中心が外部印加電界によってずれることによって生じる。この2つの状態に“0”と“1”を対応させるのが FeRAM の動作原理であり、原子位置のスイッチによってメモリ動作を行うため、極めて高速な動作が可能である。スイッチに必要なエネルギーは、二つの状態間にあるエネルギーポテンシャルの山を越えるエネルギーであり、履歴曲線では抗電界 ( $E_c$ ) が目安になるが、通常  $100\text{kV/cm}$  程度と低く、厚さが約  $200\text{ nm}$  の薄膜では  $2\text{V}$  程度の低電圧でスイッチング出来る。正イオンの位置にはさまざまな元素が入りうるので、二種類のペロブスカイト結晶を混合することも出来る。その一つが PZT であり、 $\text{Pb}_x\text{Zr}_{1-x}\text{TiO}_3$  と表現される。 $\text{PbTiO}_3$  と  $\text{ZrTiO}_3$  の混合比や結晶成長条件によって物性を大きく変化させることが出来るので、有力な材料として期待された。

PZT は実用的な面からも研究が進み、多くのデータも入手できる材料ではあったが、FeRAM に用いるような非常に薄い薄膜では結晶粒径の大きさはせいぜい膜厚程度、一般的には数十  $\text{nm}$  という極めて小さなものになり、キュリー温度や分域構造とそのスイッチング特性などに、バルクの特性和とは異なる特性が現れることが知られていた。

例えば、薄膜化の影響として観測される現象としては、キュリー点の低温側へのシフト、誘電率の減少である。例えば、 $\text{PbTiO}_3$  の場合キュリー温度は、結晶粒径に対して次のような依存性を示すことが報告されている<sup>13</sup>。

$$T_c = 500 - \frac{588.5}{D - 12.6}$$

$T_c$ : キュリー温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$D$ : 結晶粒径 ( $\text{nm}$ )

また比誘電率についてはバルクの PZT は  $10^4$  といった極めて高い比誘電率を示すが、薄膜では  $10^3$  といった程度の値に低下するという現象が見られるなど薄膜化の影響は無視できないものとなっている。

このように、強誘電体薄膜の物性に影響を与える結晶粒の大きさ、結晶粒界面などは薄膜の形成過程で決定されるので、薄膜形成条件と結晶成長の関係を詳しく理解し、高精度なパラメータ制御があった。1990年代初期は強誘電体薄膜の研究が本格化し始めた頃であり、FeRAM 実現を目指す多くの大学や企業の研究部門では、さまざまな組成の PZT 材料を作成し、薄膜成長条件を変化させて、その物性を逐次詳細に評価するという研究を行っていた。しかし、当時は材料の純度も低く、高純度材料から開発しなければならないなど、要素技術の開発から着手する必要があり研究は難航していたのである。

#### 6-4-2-2 ファティーグ問題への取り組み

ファティーグを引き起こす原因として最も信じられていたのは、結晶に生じる酸素欠陥である。酸化物中の酸素欠陥発生を実験的に直接証明するのは容易ではないが、膜中の酸

素濃度を測定すると、キャパシタの電極と強誘電体との界面近傍で濃度が低下しているという報告があり<sup>14-15</sup>、ファティグ問題への取り組み方法として下記の三通りが考えられた。

- ①膜中の酸素が拡散しないような電極材料を探索する。
- ②酸素欠陥が入りにくいように PZT を改良する。
- ③新しい強誘電体材料を開発する。

この中で多くの取り組みは①と②であった。というのは、PZT は強誘電体材料としてはその物性が最もよく知られ、物性データも揃っており、これをベースにして改良するのが見通しも立ちやすかったからである。これに対して、新しい強誘電体材料を開発するという方法は広大な砂漠の中に埋もれた宝石を探すようなもので、探索の手がかりがないままに進めるなら膨大な数量の試料を作成して評価せねばならず、あまりにもリスクが高いと考えられたからである。

FeRAM の開発は材料以外にも多くの技術を開発しなくてはならず、新しい材料の発見を待つわけにはいかなかったので、symetrix との開発においても①、②の方法に注力して FeRAM に必要な技術の開発を行った。しかし、世界中で PZT については多くの研究努力が為されているにも関わらず問題解決につながる成果が出てこず、ブレイクスルーが必要と考えられ symetrix では PZT の研究と並行して新しい材料の探索が進められた。これは symetrix が独自の成膜技術を有していたから可能だったともいえる。スパッタ法や、MOCVD では、薄膜材料を変更するには新材料の開発、成長条件出しなど膨大な時間がかかり、スピンコート法でも Sol-Gel 法の場合は化学合成から始めなければならない。これに対して symetrix が開発した EMOD という方法は、単体の金属元素を有する有機コート剤を加水分解せずに使う方法で、膜組成にあわせてそれぞれの金属コート材を混合させて塗布できる極めて簡便な方法であった。この技術を有していたため、他の研究開発機関に比べ圧倒的に効率良く材料を探索することが可能であったのである。

結論的に言うならば、PZT を用いる FeRAM への努力も身を結び事実上問題のないレベルに改善することが出来るようになるのだが、集積回路デバイスに必要な特性を満たし、且つ LSI プロセスとの整合性を兼ね備えるという意味での根本的な解決は、Y-1 とかビスマス層状ペロブスカイトとして知られる新しい材料の発見によって初めて達成された。ファティグ問題の解決にてこずり、FeRAM は夢にすぎないという憶測が流れ始め、研究開発者にとっては解決の糸口が見出せない苦悶期が続いていたので、Y-1 発明の情報は世界を駆け巡った。

Y-1 の発明は、1991 年 8 月 29 日に Symetrix 社の技術者が試作条件を間違えたサンプルを試しに測定したところ、85°C で  $10^{13}$  回分極反転しても劣化が見られないという驚くべき結果が得られたのがきっかけである<sup>7</sup>。PZT を用いたキャパシタでは  $10^7 \sim 10^8$  回で劣化していたので「ファティグフリー（疲労しない）材料の発明」と当時は称された。



同社内部ではファティグに強い理由、同じような特性を実現できる材料群を組織的に調査し、特性データが報告されたのは 1992 年<sup>16</sup>、詳細な報告がなされたのは 1995 年であった<sup>17</sup>。Y-1 という名前はさまざまな材料をテストする際につけたコード番号で Y グループの 1 でファティグフリーを発見したという意味である。

### 6-4-2-3 Y-1

Y-1 は、その後の研究によって図 6-16 に示すようなビスマス層状ペロブスカイト構造に属するグループであることが判った。実は、ビスマス層状化合物の存在は Aurivillius によって 1949 年に報告され<sup>18</sup>、1961 年には Smolenskii らにより、このグループに属する  $\text{PbBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$  の強誘電性が初めて確認されている<sup>19</sup>。さらに Subbarao は 1961 年にビスマス層状化合物の誘電的性質および強誘電性について詳細な報告をしている<sup>20</sup>。

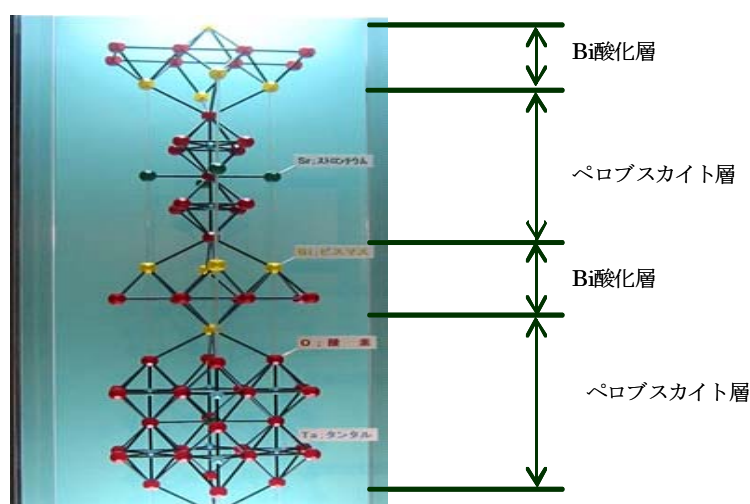


図 6-16 ビスマス層状ペロブスカイト構造の結晶モデル

このように Y-1 は新しい物質の発見ではないのだがビスマス層状ペロブスカイトの分極反転が書換え疲労に強いという特性を初めて見出したところに s ymetrix 研究グループの功績があるといえる。

ビスマス層状化合物は  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+} (\text{AB}_m\text{O}_{3m+1})^{2-}$  と表記され、A は 1~3 価の陽イオン、B は 4~5 価の陽イオンで、A は Sr、Na、Pb や Bi など、B は Ti、Ta、Nb などである。m の値は 1~5 の整数をとる。Y-1 の中で最もよく研究されているのは  $m=2$  で、かつ A が Sr、B が Ta の場合  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}(\text{SrTa}_2\text{O}_7)^{2-}$  である。この物質は SBT と呼ばれることもある。図 6-16 に示した結晶構造模型からわかるように SBT では  $\text{Bi}_2\text{O}_2$  酸化膜層とペロブスカイト層が交互に積み重なった構造になっている。このことから、ビスマス層状ペロブスカイトと名前がついている。ペロブスカイト層は  $m-1$  層含まれるので  $m=2$  の場合 1 層である。ペロブスカイト層がビスマス酸化層によって分割されており、大きな分極ベクトルは層と平行な A 軸成分で、垂直方向の C 軸成分は極めて小さい。このように異方性が極めて強く、

薄膜成長の配向によってキャパシタの特性は著しい影響を受ける。例えば、C 軸配向の薄膜成長を行うと、キャパシタとしては自発分極は殆ど観測されず、メモリとして使えないものになってしまう。

層状ペロブスカイト化合物でファティグが起きにくい理由については必ずしも解明されている訳ではないが、次のことが理由ではないかと推定されている。

- (1) 酸素欠陥が生じても酸化ビスマス層の酸素によって補償される。
- (2) 欠陥による空間電荷が発生しても、酸化ビスマス層によってスクリーンされる。
- (3) SBT では A サイトに安定な Sr が入り欠陥が生じにくい。

図 6-17 には Y-1 キャパシタのエンデュランス特性を PZT の場合と比較して示している。データは初期値で規格化したものであるが、Y-1 では  $10^{12}$  回以上でも残留分極が殆ど劣化していないことがわかる。尚、メモリでは自発分極よりメモリの動作に直接影響する残留分極  $P_r$  が重要のため、書換え回数のデータでも残留分極を測定する。果たしてこの特性が何サイクルまで続くのか興味のあるところではあるが、分極反転を 10MHz で行ったとしても 1 秒で  $10^7$  回にしかならず、実時間測定による限界値の確認は非常に長時間かかり、困難である。

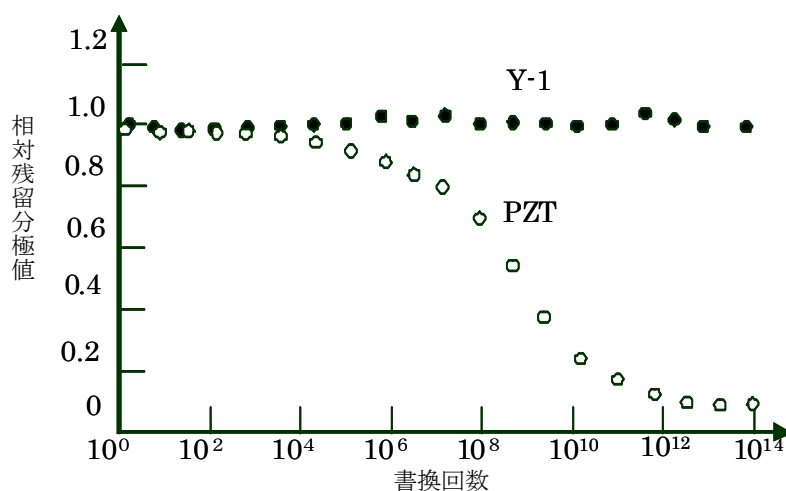


図 6-17 PZT と Y-1 のファティグ特性の例

### 6-5 Y-1 に基づく強誘電体不揮発性メモリ技術の構築

Y-1 によって FeRAM の実現を阻んできた最大の課題解決に向けて大きく前進することができたのだが、しかしそれは強誘電体キャパシタ単体としての問題を解決したに過ぎなかった。FeRAM を完成するまでには周辺技術の開発を含めて、BST 薄膜の開発で経験した以上の多くの技術を開発しなければならなかったのである。



## 6-5-1 要素技術

### (1) 薄膜成長技術

FeRAM の特長は高速、低電圧動作であるが、これを活かすには欠陥が少なく、結晶性の高い薄膜を成長する技術を開発することが求められる。このためには強誘電体材料の高純度化が不可欠である。BST 薄膜開発の際もそうであったが、FeRAM 開発以前にはこのような材料の需要がないこともあって、入手できる材料の純度はせいぜい 99.9% (3N) 程度と到底半導体グレードといえるものではなく、高純度材料の開発が新たに必要であった。

### (2) メモリセルキャパシタ形成技術

エンデュランス特性以外にも、例えば、TDDDB 特性、リーク電流特性、リテンション特性など、メモリ用キャパシタとして必要な信頼性を実現することが必要であった。信頼性を評価し保証出来るようにするには、寿命推定モデルを構築し、蓄積したデータを統計的に処理しなければならない。従来、FeRAM をこういった観点から研究した事例は少なく、特に Y-1 については初めてでもあった為、新たな信頼性推定モデルの研究など、多くの努力が必要であった。

### (3) エッチング技術

FeRAM として集積するには BST キャパシタの集積よりも更に微細な、数  $\mu\text{m}$  角といった寸法に加工しなければならない。加工そのものの難しさもさることながら、このような微細なキャパシタでは端面での加工ダメージが特性に与える影響が大きくなるため、端部のダメージを最小化する技術の開発が必要であった。

### (4) CMOS プロセスとの整合技術

最も重要なのは、半導体プロセスとの整合性である。強誘電体キャパシタは電極に白金 (Pt) を用い、Y-1 には Sr、Bi、Ta が含まれ、さらに強誘電体の結晶化には酸素雰囲気中での熱処理があるため、不純物汚染や欠陥発生などを回避する技術が必要であった。また、半導体プロセスに用いるプラズマ、ガス、熱工程によって強誘電体特性が劣化する問題もあり、これらの問題を解決する技術開発も必要であった。

## 6-5-2 強誘電体プロセス各論

### 6-5-2-1 薄膜成長

強誘電体薄膜の成長には FeRAM の場合でもスピコート法を用いた。Y-1 の組成は複雑でありその比率を精度良く制御するにはスパッタ法などより優れていたからである。また、スピコートに用いる塗布液は MOD 法によるものを用いた。Sol-Gel 法による塗布液より安定で、所定の塗布液を調整する際も Sol-Gel 法よりも簡単だったからである。特に、開発の初期段階では FeRAM が必要とする特性を実現するには Y-1 の組成を最適化する必要がある、組成成分と特性の関連を研究するには MOD 法が適していたのである。

結晶化は有機物を分解するためのプリヒート後、650～800℃まで温度を上げて酸素雰囲気中で行う。結晶成長に影響する主なパラメータは、温度、昇温速度、ガス流量、配向制御などであるが、特に結晶の「種」が生成する初期過程のコントロールが最も重要となる。分極特性には異方性があり、結晶軸によって大きな違いがあるため、最大の分極量を強誘電体キャパシタで得るには、下地電極に対して最大の分極量を持つ結晶軸が垂直になるように配向制御するのが理想的である。Y-1 の場合 C 軸方向の分極は小さく、層状構造に並行な軸方向に大きな分極をもち、異方性が大きいため配向制御は非常に重要となる。しかし、スピコート法の場合には通常、ランダムに配向し配向制御は困難である。ランダムに配向した膜では、大きな分極量を得ることはできないのだが、他方、結晶がランダムに配向すれば膜の電極に垂直な方向の分極量は各結晶粒の平均値となり、バラツキが少なくなるためプロセス条件の変動に対する影響を受けにくい利点がある。FeRAM は数万～数百万という非常に多く強誘電体キャパシタを集積して動作させねばならないため、メモリキャパシタ特性の均一性が特に重要となる。もし Y-1 が a 軸配向成長すると仮定すると大きな分極量を得られるものの、配向方向が少しでも変化すると強誘電体キャパシタの特性も大きく変動して均一性が失われてしまい、FeRAM を歩留まり良く製造するのが極めて困難になる。したがって FeRAM の量産プロセスには却ってランダム配向が適しているのである。

スピコート法は膜厚や組成の均一性が高く、また再現性も高い、非常に信頼性の高い良質の強誘電体薄膜が得られることが筆者らの研究開発を通じて初めて明らかになった。当技術はプレーナ型メモリセルが使える数 k-bit 程度の小容量メモリから導入したが、現在では数十～数百 k-bit のメモリにも充分適用可能な技術に進歩している。

上記のように、スピコート法は比較的簡単な設備で良質な薄膜を形成できるという特長があるのだが、下地に凹凸がある場合には等厚成膜が難しいという欠点がある。図 17-18 のように段差のある部分でスピコート液が均一に付着せず、「液溜り」を作ってしまうのである。

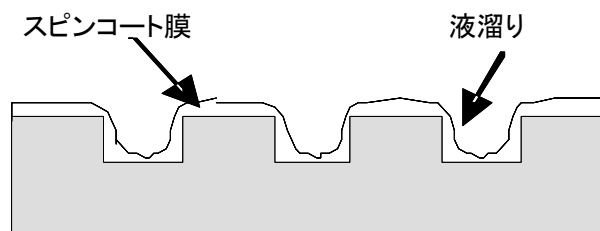


図 6-18 スピコート法で生じる段差部分での「液溜り」

FeRAM を高容量にする場合、図 6-19 に示すようにプレーナ型やスタック型メモリキャパシタでは回路動作に必要な分極量を確保できないため、3次元型のメモリキャパシタを作らねばならないのだが、スピコート法では3次元構造の電極に沿って均一な膜厚な強誘電体薄膜を形成することができないのである。このため立体形状の電極に等厚成膜できる技術の開発が必要である。スピコート法は低～中容量メモリまでの技術といえる。

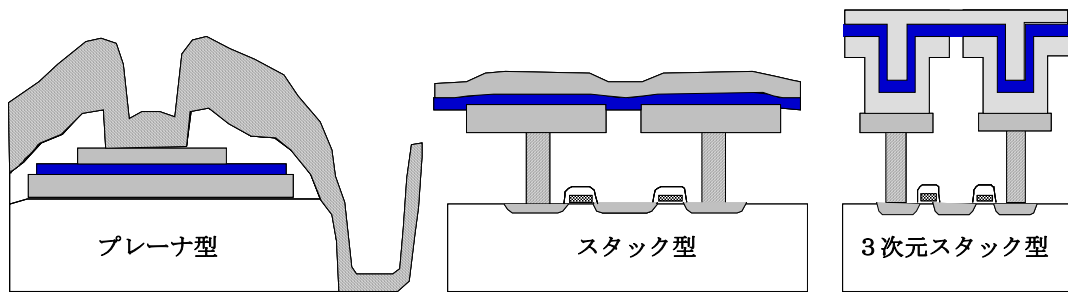


図 6-19 メモリセルの構造図

立体的な形状への薄膜形成には気相成長が適しているのであるが有力視されていた MOCVD 法は 1990 年代にはソース材料に適切なものが無く開発が難航していた。

この問題に対する有力な候補として考えられたのが symetrix 社と共同で開発した図 6-20 に示す LSMCD (Liquid Source Misted Chemical Deposition) であった。この方法の基本的なアイデアは symetrix の発明で、スピコート法で用いる液体ソースと基本的に同じ原料溶液を特殊な方法で超微細な霧 (ミスト) にしてウェハーに付着させる。ミストを粘性流体と考え、実効的密度や粘性率に着目してミストの流れを制御することと、ミスト粒径の制御によって凹凸のあるウェハーにも等厚薄膜形成が出来るのである。図 6-21 は LSMCD で成長した Y-1 の断面で、段差の側面にも比較的均一性よく成膜しているのが判る。

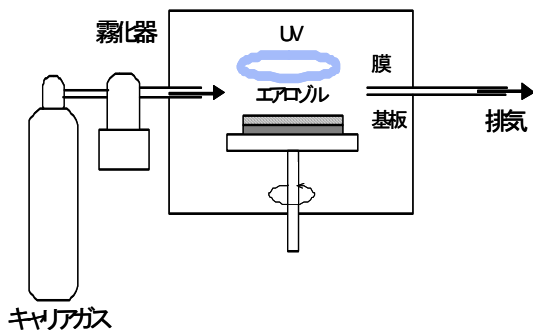


図 6-20 LSMCD の原理図



図 6-21 LSMCD で成長した強誘電体薄膜

LSMCD は 1 液 (1 ソース) で膜成長できるスピコート法の特長と技術蓄積を継承できる特長を有していたが、反面、「低温化プロセスへの対応」というスピコートの課題も継承していた。この為、超高集積半導体プロセスで求められる熱バジェットをクリアすることが出来ず、MOCVD 用の優れたソース材料が開発されるとともに MOCVD の実用化開発に重点をシフトすることになったのだが、ミスト化の考え方など一部の技術は MOCVD にも継承されている。

スピコート法の結晶化温度が高いという課題は、微細化への大きな障壁となるのではないかと危惧されたが、加藤らによる低温で結晶化が進行するスピコート材料の研究<sup>21-22</sup>や、瞬間的にアニールする Rapid Thermal Annealing 技術の研究によって解決を図ることが出来、0.18μm プロセスによる FeRAM 製品を世界で初めて量産することに成功した。

### 6-5-2-2 FeRAM 用メモリセルキャパシタの形成

Y-1 は元素の選択によってその特性を「設計」することができる特長を有する。図 6-22 はその一例で、Y-1 の中でも最も基本的な SBT に、Ta を 5 価のイオンとなる Nb で置換した場合の効果を示したものである。この場合抗電界が大きくなるが FeRAM の動作電圧に余裕がある場合には Nb を導入することによって、残留分極を大きくして動作マージンを拡大することができる。

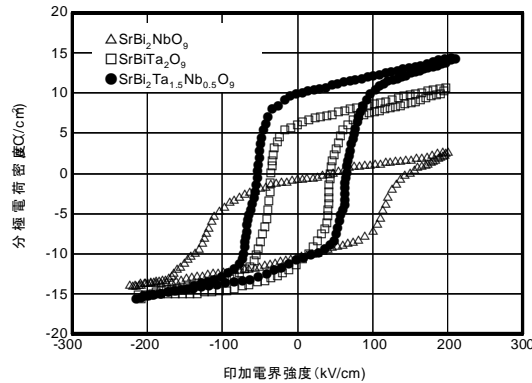


図 6-22 Y-1 の特性が Nb によって受ける変化

また、Y-1 の物性設計に対するもう 1 つのアプローチは異なる m 値を有する結晶との混晶である。SBT は先に示したように  $m=2$  で  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  の組成であるが、 $m=1$  の結晶として  $\text{Bi}_2\text{TaO}_6$  がある。この結晶には擬似ペロブスカイト層はなく常誘電体であるが、この結晶と SBT の混晶を作ると SBT の強誘電的特性が変化する<sup>2,3</sup>。SBT に 20% の  $\text{Bi}_2\text{TaO}_6$  を混合すると、残留電荷は  $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$  から  $20\mu\text{C}/\text{cm}^2$  へ大きく増加することが観測されている。このように Y-1 の物性制御は自由度が高くデバイスの目的にあった薄膜を形成しやすいという大きな特長がある。

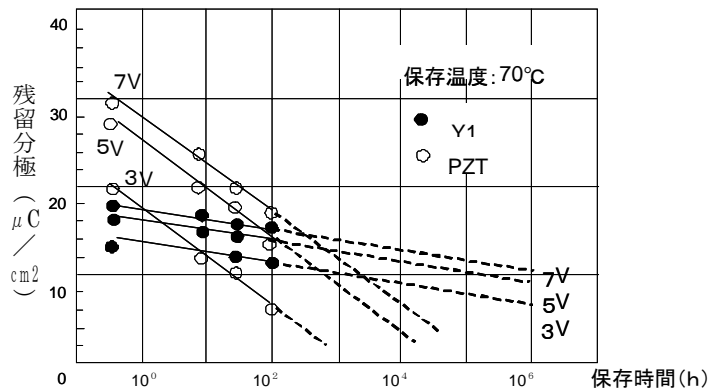


図 6-23 Y-1 および PZT における残留分極の保存時間依存性

ところで、Y-1 の残留分極量は PZT などよりも比較的小さく、メモリに用いるには不利ではないかとの指摘があったが、残留分極の低下率が非常に小さく、図 6-23 に見る

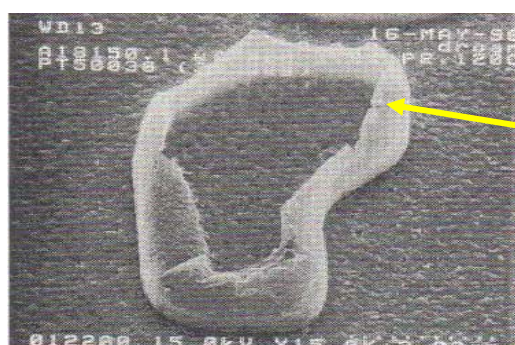
ように優れたリテンション特性を示すことになることが明らかになり、Y-1 が FeRAM に有用な材料であることが明らかになった。

### 6-5-2-3 エッチング

BST キャパシタの場合と同様、FeRAM の開発でもイオンミリングに代わるドライエッチング技術の開発が不可欠であった。特に FeRAM ではメモリセルキャパシタが密集して形成されるため、イオンミリングでエッチングすると発生しやすい図 6-24 に示すようなフェンスはパターン欠陥の深刻な原因となり、さらに数十  $\mu\text{m}$  程度大きさであった BST キャパシタの場合に比べて数  $\mu\text{m}$  以下の微細なキャパシタを形成しなくてはならない FeRAM ではフォトレジストとのエッチング速度比が小さいイオンミリングは微細寸法の加工には不適であった。

キャパシタの寸法が微細化すると、キャパシタの端部がキャパシタの面積に占める割合が大きくなる。一般的にキャパシタの端部はエッチングなどの加工によってダメージを受け、強誘電体の組成もずれるなど、キャパシタの有効面積を構成しなくなる。このため、端部の劣化が少ない加工技術が必要でありイオンミリングは不適切であった。

BST 用のドライエッチングの開発を通じて蓄積した技術をベースに Y-1 でも高精度なドライエッチングが可能になり FeRAM の微細化における大きな技術課題が解決された。



Ar イオンによって削られた残渣がフェンスを形成

図 6-24 イオンミリングによるフェンスの発生

### 6-5-2-4 CMOS プロセスとの整合

Y-1 キャパシタは、エンデュランスやリテンションなど不揮発性メモリに必要な優れた特性を示し、実用に十分耐える信頼性を達成している。しかしながら、FeRAM という集積回路として動作させるには集積回路プロセスの途中で特性を劣化させない技術の開発が必要となる。図 6-25 は強誘電体不揮発性メモリのプロセスフローの概略図である。例えば、集積回路不可欠な  $\text{SiO}_2$  を層間絶縁膜として CVD 形成すると、発生する水素によって強誘電体薄膜が容易に還元されてしまい、強誘電体キャパシタとしての機能を持たなくなる<sup>2,4</sup>のである。FeRAM プロセスを完成させるには、還元を防止する方策、あるいは還元された強誘電体膜を再び酸化して特性を回復させなければならない。しかしそれらの処理は CMOS

へのダメージを与える危険性があり、これらの条件を整合させる摺り合わせの開発が必要であった。

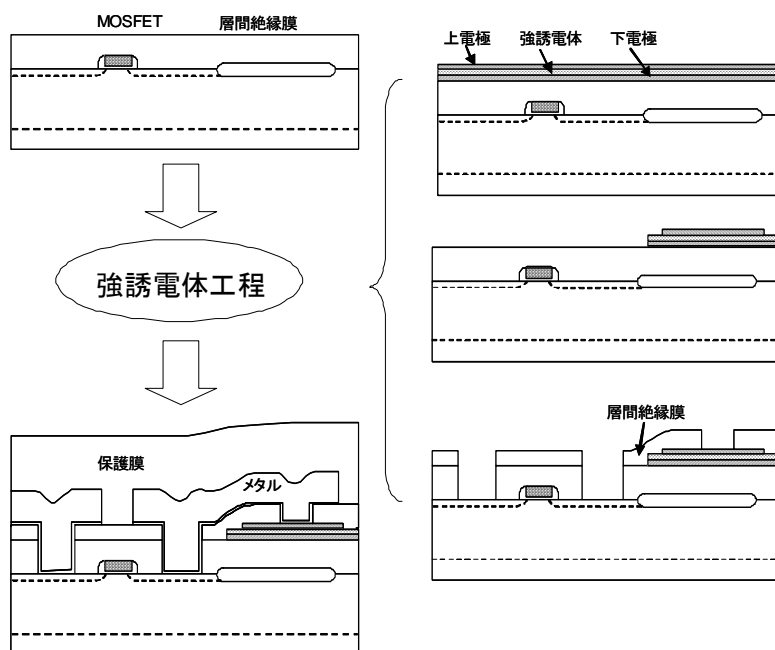


図 6-25 プロセスフロー概略

このような課題を解決して世界で初めて開発した Y-1 による FeRAM のリテンション特性を図 6-26 に示す。また、図 6-27 は FeRAM の工程を完了した後に測定した残留電荷量をキャパシタサイズ別に測定したものである。およそ  $10000\mu\text{m}^2$  から  $3\mu\text{m}^2$  にわたってサイズ依存性が殆ど見られない。サイズ依存性が殆ど見られないということは、キャパシタのエッジ部分の劣化が極めて少ないことを意味しており、先述のドライエッチング技術がダメージの少ない高精度なエッチングを実現していることがわかる。

これらの技術を集約した結果、256K-bit FeRAM が実現でき、FeRAM が高集積メモリへの高い可能性を有していることを実証することが出来た。<sup>25</sup>

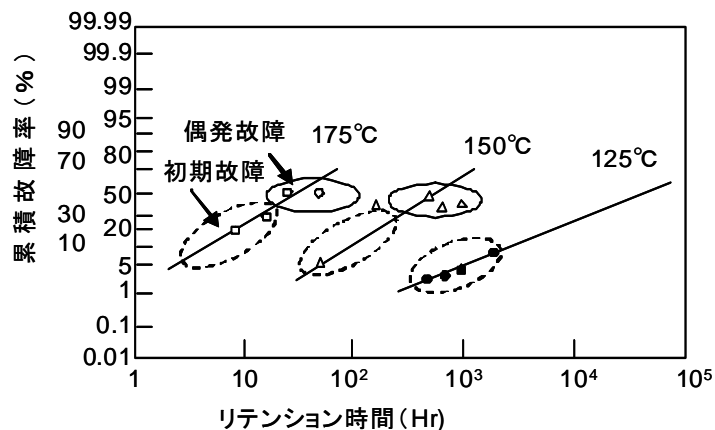


図 6-26 Y-1 を用いて世界で始めて作成した FeRAM の特性

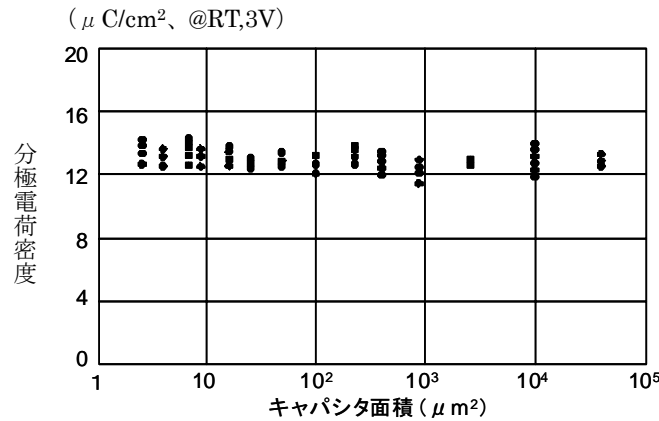


図 6-27 Y-1 メモリキャパシタにおける分極電荷密度の面積依存性

#### 6-5-2-5 Y-1 による FeRAM の可能性

FeRAM では、原子のエネルギー安定状態間をスイッチさせることによってデータを書き換えるため、その分極反転は原理的にはピコ秒程度で完了するとも言われている。しかし、実際のメモリキャパシタは寄生容量と抵抗成分があるため、観測される速度はキャパシタのサイズに影響を受けて遅くなる。

Y-1 の場合、比誘電率が 300 程度と比較的低いこともあって、実際に用いる数  $\mu\text{m}^2$  のキャパシタでも 100 ns 以下という DRAM 並みの動作速度を実現できる。このような高速動作は、ホットエレクトロンやトンネル電流を用いて書き込み・消去する従来型の EEPROM では追随できない大きな特長である。また、FeRAM 最大の特長は低電圧／低消費電力である。電圧を昇圧せず数 V の電圧で Read/Write できる不揮発性メモリは FeRAM が唯一である。Y-1 はこの点においても優れた特長を有する。図 6-28 に Y-1 を用いたキャパシタのヒステリシス特性を示してあるが、1V 程度の低電圧でスイッチングできることがわかる。このことは Y-1 キャパシタをメモリセルに用いた場合、0.9V という低電圧で動作するメモリの可能性を示している<sup>26</sup>。

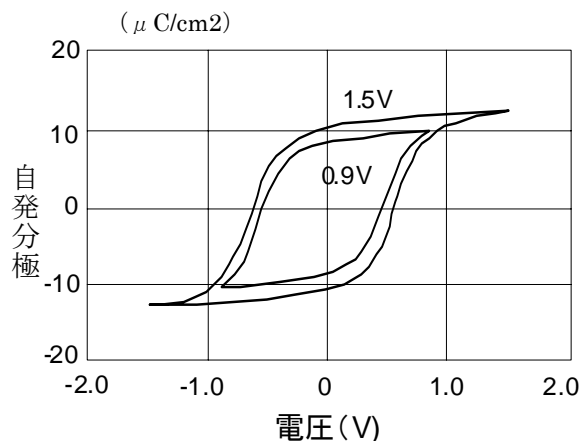


図 6-28 Y-1 キャパシタの分極反転電圧



## 6-6 不揮発性メモリ技術による事業化

FeRAM の応用は単体メモリとシステム LSI への混載が考えられる。単体メモリの市場は確かにメモリの主市場であり成功すれば大きな事業が期待できるものの、メモリの主用途に応用されるにはメガビット以上の容量が必要であった。当時 4k-bit~64k-bit という低容量製品が発表されていたが、FeRAM の高集積化には多くの課題が残っていたため、この分野に固執すると事業を立ち上げるには更なる年月の必要が予想されたのである。

他方、メモリ混載 LSI の場合には数 k-bit 程度の容量でも各種の応用製品が可能であった為、FeRAM 混載 LSI から事業化を着手することになった。FeRAM の究極の事業化目標という観点から見れば妥協とも映る判断ではあったが、企業内起業では有限な経営資源の配分がその企業の運命を決めてしまうのであり、結果の出ない開発は経営資源を獲得できず起業活動を継続することが出来ない。最終目標に到達するまでの経路に中間ステップを置いて一定の成果を出すという考え方は企業内起業において必要なアプローチではないかと考えられる。

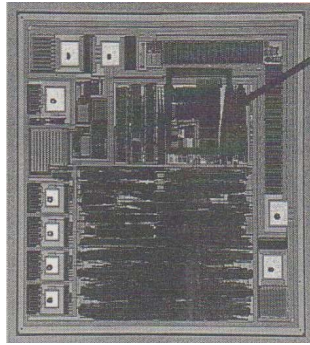
低消費電力、高速動作、高書き換え回数といった FeRAM の特長をコアコンピタンスとして活かせる分野を徹底的に探索した結果、事業化目標として見出したのが、IC カード用 LSI であった。1990 年代前半当時は、接触型 IC カードが公衆電話用やポイントカードなどから普及が始まっていたが、非接触型 IC カードは入退室管理などの ID 用途を中心に応用が始まっていた段階であった。日本市場では磁気カードが全盛であり、接触型 IC カードさえ見るのがまれな状態であったが、非接触型 IC カードは接触型 IC カードよりも利便性が高く今後は非接触型が大きく伸びると考え、また FeRAM の特長が活きる用途であることが明確であったので非接触型 IC カードやタグへの応用を目指した事業化計画を策定した。

非接触型 IC カードは電磁界で電力を供給するので、LSI は低消費電力であることが必須条件となる。FeRAM は低い電圧でも動作するため従来の不揮発性メモリを混載した LSI よりも広い通信範囲を実現できる他、FeRAM の高速性によってリーダーライタと高速通信が可能のため交通用途など高速に移動する応用にも適している。

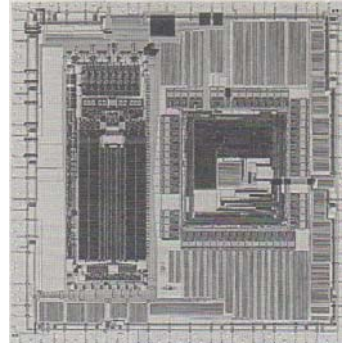
図 6-29 には Y-1 を用いて FeRAM を集積した世界初の非接触型 IC カード用 LSI と、マイコン用 LSI を示してある。非接触 IC カード用 LSI は 256 ビットの FeRAM を内蔵した ID 認証を主な用途とした LSI であり、その後の FeRAM の用途として大きく成長するきっかけとなった LSI である。また、FeRAM 混載マイコン用 LSI の開発が成功したことにより、高度で複雑なデータ処理が必要な分野にも FeRAM 混載 LSI が応用可能になり、FeRAM 事業の潜在市場範囲を一挙に広げることができたのである。

このような先駆的な LSI を製品として世の中に送り出した後、IC カードやタグの普及と市場拡大とともに交通機関での電子乗車券や電子マネーなどの応用が広がり、FeRAM は事業として完全に離陸することに成功した。





非接触 IC カード用 LSI



4bit マイコン内蔵 LSI

図 6-29 Y-1 による FeRAM を集積して初めて実現した LSI

#### 参考文献

1. 村田製作所, ed. (1990), 驚異のチタン酸バリウム - 世紀の新材料・新技術, 丸善.
2. 中村輝太郎 (1989), 'チタン酸バリウム発見の頃', 固体物理 **Vol. 24, No.6**.
3. 杉浦一郎、沢口悦郎 (1951年), 'BaTiO<sub>3</sub>の分域構造に関する二三の実験', 物性論研究 **39号**, pp.87-95.
4. Anderson, J. R. (1952), Ferro electric-materials as storage elements for digital computers and switching systems, in 'ACM '52: Proceedings of the 1952 ACM national meeting (Toronto)', ACM, New York, NY, USA, pp. 81.
5. Rohrer, G.O, 'Ferroelectric Device and Process Of Manufacturing Same', U.S. Patent 3,728,694..
6. Moll, J. & Tarui, Y. (1963), 'A new solid state memory resistor', Electron Devices, IEEE Transactions on **10(5)**, pp.338-338.
7. McMillan, L. D. (2005), 'Inventor, Innovator, Entrepreneur and Corporate President', Doctor thesis, Department of Entrepreneurial Engineering, Kochi University of Technology.
8. Kinney, W.; Shepherd, W.; Miller, W.; Evans, J. & Womack, R. (1987), 'A non-volatile memory cell based on ferroelectric storage capacitors', 1987 International Electron Devices Meeting **33**.
9. Eaton, S.; Butler, D.; Parris, M.; Wilson, D. & McNeillie, H. (1988), 'A Ferroelectric Nonvolatile Memory', Solid-State Circuits Conference, 1988. Digest of Technical Papers. ISSCC. 1988 IEEE International, pp.130-131.
10. Arita, K.; Fujii, E.; Shimada, Y.; Uemoto, Y.; Nasu, T.; Inoue, A.; Matsuda, A.; Otsuki, T. & Suzuoka, N. (1994), 'Si LSI Process Technology for Integrating Ferroelectric Capacitors', Jpn. J. Appl. Phys. **33**.
11. Fujii, E.; Uemoto, Y.; Hayashi, S.; Nasu, T.; Shimada, Y.; Matsuda, A.; Kibe, M.; Azuma, M.; Otsuki, T.; Kano, G. & others (1992), 'ULSI DRAM technology with Ba<sub>0.7</sub> Sr<sub>0.3</sub> TiO<sub>3</sub> film of 1.3 nm equivalent SiO<sub>2</sub> thickness and 10<sup>-9</sup> A/cm<sup>2</sup> leakage current', Electron Devices Meeting,

1992. Technical Digest., International, pp.267-270.
12. 大槻達男 (1998), '強誘電体不揮発メモリのプロセスデバイス技術', 半導体研究 〈4 4〉 超L S I 技術 〈2 2〉 デバイスとプロセス その1 2、工業調査会、pp.83-100
  13. Ishikawa, K.;Yoshikawa, K. & Okada, N. (1988), 'Size effect on the ferroelectric phase transition in PbTiO<sub>3</sub> ultrafine particles', Physical review. B, Condensed matter **37**(10), pp.5852-5855.
  14. Duiker, H.; Beale, P.; Scott, J.; de Araujo, C.; Melnick, B.; Cuchiaro, J. & McMillan, L. (1990), 'Fatigue and switching in ferroelectric memories: Theory and experiment', Journal of Applied Physics **68**, 5783.
  15. Scott, J.; Araujo, C.; Melnick, B.; McMillan, L. & Zuleeg, R. (1991), 'Quantitative measurement of space-charge effects in lead zirconate-titanate memories', Journal of Applied Physics **70**, 382.
  16. Mihara, T.; Watanabe, H.; Araujo, C.; Cuchiaro, J.; Scott, M. & McMillan, L. (1992), 'Feasibility for Memory Devices and Electrical Characterization of Newly Developed Fatigue Free Capacitors', 4th Annual Int'l Symposium on Integrated Ferroelectrics, pp.137-157.
  17. Paz de Araujo, C.; Cuchiaro, J.; McMillan, L.; Scott, M. & Scott, J. (1995), 'Fatigue-free ferroelectric capacitors with platinum electrodes', Nature **374**(6523), pp.627-629.
  18. Aurivillius, B. (1949), 'Mixed bismuth oxides with layer lattices I. The structure type of CaNb<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>O<sub>9</sub>', Ark. Kemi **1**(54), pp.463-480.
  19. Smolenskii, G.; Isupov, V. & Agranovskaya, A. (1961), 'Ferroelectrics of the Oxygen-Octahedral Type with Layered Structure', Soviet Physics-Solid State **3**(3), pp.651-655.
  20. Subbarao, E. (1962), 'Crystal Chemistry of Mixed Bismuth Oxides with Layer-Type Structure', Journal of the American Ceramic Society **45**(4), pp.166-169.
  21. Kato, K.; Finder, J.; Dey, S. & Torii, Y. (1997), 'Low-temperature crystallization and ferroelectric properties of sol-gel derived layer-structured perovskite thin films', Integrated Ferroelectrics **18**(1), pp.237-247.
  22. Kato, K.; Zheng, C.; Finder, J.; Dey, S. & Torii, Y. (1998), 'Sol-Gel Route to Ferroelectric Layer-Structured Perovskite SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> and SrBi<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Thin Films', Journal of the American Ceramic Society **81**(7), pp.1869-1875.
  23. Azuma, M. (1996), 'Material Optimization of Bismuth Based Mixed Layered Superlattice Ferroelectrics for High Performance FeRAMs', Extended Abstract of the 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, 248.
  24. S. Takatani, K. K. & Miki, H. (1997), 'Effect of H<sub>2</sub> annealing on a Pt/PbZr<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub> interface studied by X-Ray photoelectronspectroscopy', Jpn. J. Appl. Phys. **36**, pp. L435-L438,.
  25. Sumi, T.; Moriwaki, N.; Nakane, G.; Nakakuma, T.; Judai, Y.; Uemoto, Y.; Nagano, Y.; Hayashi, S.; Azuma, M.; Fujii, E.; Katsu, S.; Otsuki, T.; McMillan, L.; Paz de Araujo, C. & Kano, G. (1994), A 256 kb nonvolatile ferroelectric memory at 3 V and 100 ns, in 'Proc. IEEE

International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers. 41st ISSCC', pp. 268-269.

26. Sumi, T.; Azuma, M.; Otsuki, T.; Gregory, J. & Paz de Araujo, C. (1995), A 0.9 V embedded ferroelectric memory for microcontrollers, in 'Proc. IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers. 42nd ISSCC', pp. 70-71,341.

## 第7章 企業内起業におけるイノベーションマネジメントの検討

FeRAM 事業の起業過程を分析することによって、技術イノベーションによる企業内起業のマネジメントについて検討する。

### 7 - 1 企業内起業のマネジメントを構成する要素

企業にとってのイノベーションは競争力と成長力を獲得し、販売を伸ばし利益を拡大することが目的であり、イノベーションのマネジメントはこの目的に沿って行わねばならない。このようなマネジメント上の命題は、具体的には下記のように考えられる。

(1) 有限の経営資源のもとで最大の成果を上げること。

研究開発から事業化に到るには、人材、設備など非常に大きな経営資源を必要とする。しかしながら現実的には限られた、多くの場合には不十分な経営資源のもとで遂行する必要がある。従って最も重要なマネジメント上の命題の一つは、限られた経営資源のもとで最大の成果を上げるマネジメントを行うことである。

(2) 市場に認められる価値の創造を行うこと。

大学などアカデミックな世界でのイノベーションと大きく異なるのは、イノベーションの成果物を買ってもらわねばならないことである。このためには市場が必要とする価値を生み出せるようにイノベーションをマネジメントしなければならない。例えば、太陽電池の技術的な価値は生まれた時から変わっていないのだが、市場にとっての価値は地球温暖化対策の有力な方法として認められて急激に高まった。市場にとっての価値は絶対的ではなく、相対的なのである。市場が必要とする価値を、必要としている時に市場へ提供するマネジメントが必要である。

(3) 利益を上げる

新しい技術によって画期的な製品を生み出して市場に受け入れられても、利益を上げねばならない。市場には多くの競合企業がひしめいており、いくら優れた製品であっても激しい競争の波に洗われるのは避けられない。競争に打ち勝つためのマネジメントが求められる。

(4) 組織を変革する

企業内起業の場合、既存企業の中での起業である。企業は事業を遂行するために事業環境に自らの組織を適合させる努力を営々としている。環境適合に成功すれば企業は合理的且つ効率的に事業を遂行出来るのである。しかし、イノベーションによる起業は新しい事業を創出するものであり、企業組織を新しい事業に適合できるように変革していく努力が必要となる。つまり組織を変革するマネジメントも必要なのである。

上記の命題を完遂するためには、社外の資源を有効に活用する協業、新しい価値を生み出す研究開発、販売して利益を上げる事業化、そして新しい事業環境に適合する組織作りのマネジメントを行う必要がある。

## 7 - 2 協業のマネジメント

### 7-2-1 従来の研究

#### 7-2-1-1 クローズドイノベーション

イノベーションを自社内のみで行うか、社外のリソースを活用して行うか、という観点でイノベーションのマネジメントを論じたのは Chesbrough が最初であろう<sup>1</sup>。もちろん彼が指摘するまでも無く、経営者は必要に応じて社外の経営資源を手に入れていたし、また社内でブラックボックス技術を開発してきたのだが、Chesbrough によってそれらに Close/Open Innovation という概念が与えられ、その選択が経営戦略として扱えるようになった。

クローズドイノベーションは、その名の通り企業内部でイノベーションを遂行する。現代のように通信技術が発達しておらず、情報も人の交流も盛んでない時代には、必要とする製品を開発するには自社に研究開発要員を集め、自らが開発する選択肢以外に無かった背景もある。クローズドイノベーションの場合には全てを社内に閉じ込めて行うので、製品開発の秘密は市場に製品が現れるまで守ることが出来、研究開発過程で得た技術やノウハウなどの知的財産は全て社内に留保出来る。そして、これらの蓄積が企業の競争力の源泉となる。こういう考え方に基づき企業に研究所が続々と作られたのである。そのようにして作られた IBM のワトソン研究所、AT&T のベル研、ゼロックスの PARC は世界に名だたる研究所であり、科学技術史に輝く数多くの成果を挙げてきた。

しかし時代が変わり、PARC は GUI (Graphical User Interface) 技術に基づく画期的な PC をせっかく開発しながら事業化することが出来ず、創業間もないベンチャー企業に過ぎなかった Apple に成功を奪われるなど、莫大な投資を行ってきた大企業の研究所ではなく小規模な企業によって次々と画期的な製品が生み出されるようになってきたのである。このほかにも Microsoft の MSDOS、Qualcom の CDMA など事例に事欠かない。他方、大企業の研究所は基礎研究に基づく成果がイノベーションの根源になるのだという考えから脱出出来ず、ノーベル賞受賞者を輩出してはいたものの、依然として事業への貢献は研究開発者任せであり、事業への貢献は新興企業の生命力あふれる起業活動とは比べ物にならない低さであった。このことが技術経営の重要性が認識されるきっかけとなったのである。

#### 7-2-1-2 オープンイノベーション

イノベーションを推進するには、企業自らが全てを研究開発する必要の無いことは明らかになった。必要なものがあつたら社内で開発するか社外で手に入れるほうが良いのか選ぶのである。ただ、選択する際の基準は単純では無い。経営効率そして技術戦略の中で考えねばならない。

オープンイノベーションが可能になったことに対してはいろんな理由が挙げられる。経営環境の変化が激しくなり、企業は事業構造を環境に適合させねばならない。例えば環境適合化プロセスの中で経営環境、経営戦略にかなった事業構造をとる為に、不要な事業部

門や開発部門は切り離して売却し、その資金を利用して必要な事業部門や研究開発部門を買うことが頻繁に行われる。このような事業再編成の中で、これまで企業に閉じ込められていた研究開発は開放され、他社に買収されるものもあるが、中には資金を得て自らが企業を興す者も出てくる。このようにして新しい技術が「取引出来る商品」として流通する環境が形成してきたのである。

オープンイノベーションの考え方が成り立つには市場に商品が供給され続けなければならない。売り手と買い手があって取引が成り立つからである。企業の離散集合は今日のダイナミックな資本主義経済の中ではとどまることは無く、その過程で企業内の技術が外に出てくる現象も止まらないであろう。

オープンイノベーションの重要性を初めて訴えた Chesbrough は知的財産の流動化による効果も説いている。ある企業が研究開発の過程で生み出した知的財産は、その企業の事業にとって必要無ければ実施されることも無く、競合他社の市場参入を防御することに役立つ訳でも無い。単なる紙屑である（いまは特許も電子データ化されているが）。しかしそのような特許でも必要とする企業にとっては貴重な資産である。従って知的財産はオープンイノベーションの枠組みの中では死蔵資産ではなく、有効資産になりえるのである<sup>1</sup>。

### 7-2-1-3 統合的マネジメントモデル

オープンイノベーションの有用性に注目したマネジメントを実施している企業として、よく引用されているのが、ルーターやハブなどのネットワーク機器で急成長を遂げた CISCO である。同社は自社に必要な技術は買うことに徹底していることで有名である。

多くの資金を要する割には事業の可能性が見えにくい研究は行わず、必要な時に買うほうが投入する資金は確実に事業に貢献出来ると考える、経営効率を追求する事業モデルである。彼らのマネジメントモデルは通常の研究開発を R&D と称するのに対して A&D (Acquisition and Development) と呼ばれている。

CISCO の財務諸表を Annual Report から調べると、図 7-1 のようになっており研究開発費用の売上高に対する比率は一貫して 10%を超える。

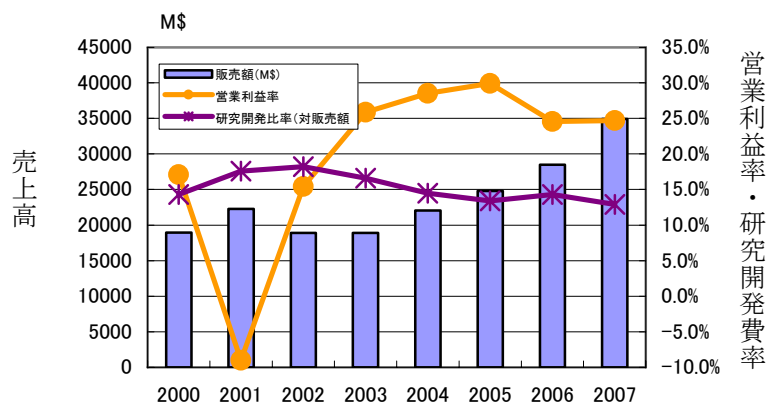


図 7-1 CISCOの売上高、研究開発費率、営業利益率

2007年度の他社と比較すると Apple が 3.3%であり、日本の主要電機メーカーの平均が 5.5%であるから、飛びぬけて大きい。これは、外部の研究開発成果を買うために資金が必要だからではないかと推察する。しかし注目すべきは、このような大きな R&D 投資を継続しつつ営業利益は 2003 年以降 20%を超える実績を維持していることである。大きな研究開発投資を行うが、それらの資金が有効に経営貢献出来ていると考えるべきだろう。

#### 7-2-1-4 協業連携型マネジメントモデル

オープンイノベーションの形態で A&D と並んで検討されるのが C&D (Connect & Develop) である<sup>2</sup>。このモデルでは A&D のように買収するのではなく、大学などの研究開発部門と関係を構築してアンテナを張っておき、そこで生まれた技術や発明のうち、自社に有用と判断したものを導入するのである。このモデルの例として有名なのは Procter&Gamble (P&G) である。同社の経営実績を調べると、図 7-2 のように研究開発費比率が CISCO とは異なり、その比率は 2007 年度で売上げの 2.8%に過ぎない。比較のため花王のデータを一緒に示してある。花王も研究開発費は P&G とほぼ同じレベルであるが、営業利益率 2007 年には P&G が 20%、花王が 8.8%と 10%以上の開きがある。C&D によってヒット率の高い製品開発が可能になっているとも考えられる。

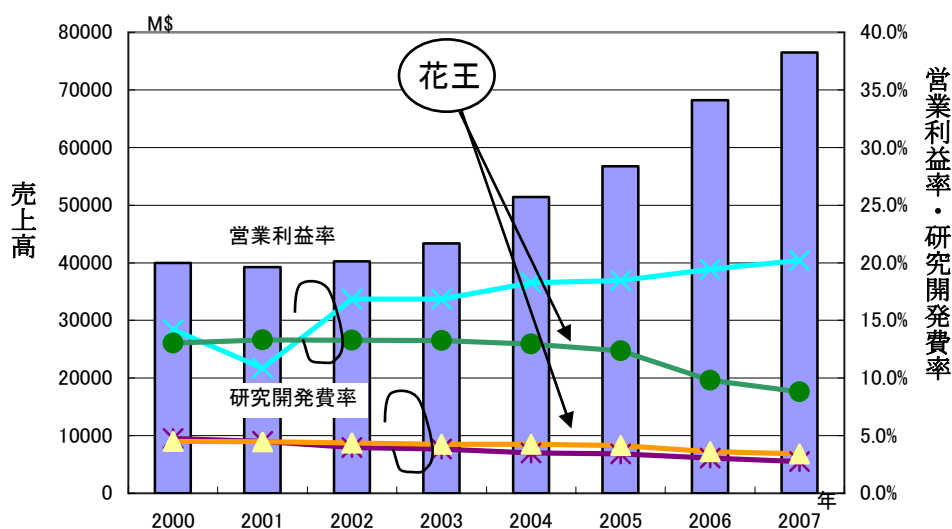


図 7-2 P & G の売上高、P & G と花王の営業利益率、研究開発費率

#### 7-2-2 起業における新しいイノベーションマネジメントモデルの検討

上述のように従来のマネジメントモデルでは、クローズドイノベーションモデルかオープンイノベーションかという選択と、オープンイノベーションを選択した際には更に A&D か C&D またはそれらとは異なる新しいマネジメントモデルの選択が必要となる。クローズドイノベーションは特殊な分野、例えば軍事産業などでは必要かも知れないが多くの場合オープンイノベーションのほうが有利な点が多いので選択に迷うことは無い。社内には必要



なものが無ければ社外に求めるか社内で開発するか検討して決めればいい訳であり、検討すること無く社内での研究開発こだわる IH (Invented Here) 主義より柔軟である。何故なら選択肢を増やしている訳だからだ。唯一考慮すべき点は先に述べたように、研究開発成果や研究開発内容の機密保持であろう。もちろん企業の研究開発内容は様々な情報セキュリティの仕組みや契約で保全されているはずであるが、退職した従業員の頭に残っている知識まで管理することは事実上不可能である。

オープンイノベーションは通常、経営効率の良さ、死蔵知財の有効化の面で評価されることが多いが、競争優位ポジションの獲得の面でもオープンイノベーションは重要なアプローチである。製品や研究開発のアーキテクチャを論じる場合、統合型かモジュラー型に類型化し、それぞれのメリット・デメリットの議論を通して日本の産業を強化するための解を求める研究もあるのだが、このモジュラー型アーキテクチャとオープンイノベーションを併用することによって更に経営効率よくイノベーションを遂行出来ると考えられる。

“World is Flat”で Friedman が述べているように<sup>3</sup>高速ネットワークによって世界が結ばれ、地理的な距離はネットワーク上ではゼロになっている。この効果は想像以上に産業界に影響を与えており、同書よれば、例えばニューヨークの消費者が電気製品や PC なのでわからないことがあってコールセンターに電話すると、それはインドのコールセンターにつながれるのだが、そこで対応するオペレータは完全なニューヨークっ子の話す英語をトレーニングされており、お客は自分の町のサポートセンターが対応してくれているような安心感をもってサポートを受けることが出来るようになってきているというのだ。なぜインドかというと、もちろん多少の通信コストがかかってもインドでコールセンターを運営するほうが、はるかにコストが安いからだ。毎年数十万人以上もの英語を話す大学生を輩出するインドでは、このようなコールセンターや経理業務よりも更に高度な業務を請け負う実力を備えている。最も良く知られているのがソフトウェアの開発であり、インドのバンガローはその中心地としえ栄えている。このように世界が水平化し、社外に技術を求めることが出来る時代において、最も質の良い技術を最も安く提供出来るパートナーと組むことが可能であり、そうしなければ競争を勝ち抜くことは不可能である。しかし、全ての開発を一括して委託することは出来ないだろう。そのようなことをすれば、やがて委託先の企業にとって代わられてしまうからである。

もし研究開発のアーキテクチャをモジュール化出来れば、図 7-3 のようにモジュールをユニットとして最適なパートナーと手を組んで遂行することが可能になる。フラット化した世界ではあらゆる場所の企業、研究機関が研究開発に必要な技術を取引出来る相手となりうる。企業がイノベーションを遂行し、事業を成功させるには最も安く、且つ高品質な技術を手に入れなければならない。このためにはオープンイノベーションが必須なのだが、このことは研究開発がモジュラー化され、要素個別に進めることが出来て初めて実施出来るのである。



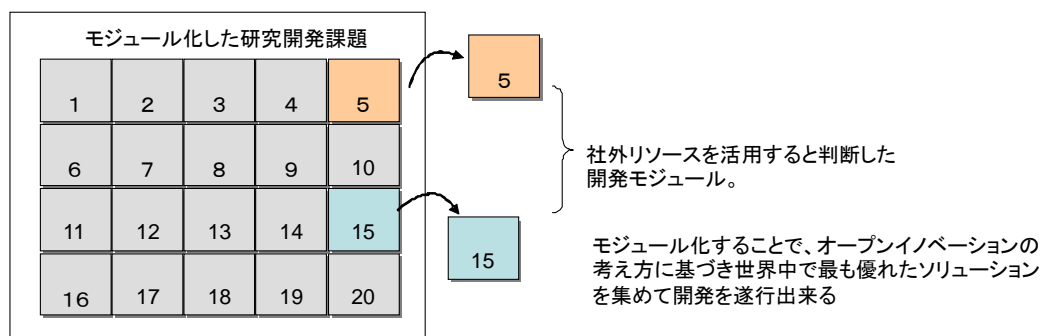


図 7-3 アーキテクチャのモジュール化とオープンイノベーションの融合効果

FeRAM の起業において、松下電器は半導体デバイスの設計、プロセス、評価、製品企画、マーケティングなどで豊かな経験と、技術を有していたが、当時、FeRAM に関する技術的蓄積は殆ど無かった。強誘電体の応用はセラミックコンデンサや赤外センサなどへの応用がほとんどで、半導体と集積するという事業的ニーズも商品も無かったからである。FeRAM を実現するには、材料の研究から製造技術など非常に広範な技術の開発が必要であり、これを独力で遂行するのは時間もかかる他、他社に遅れて商品化しても有力な特許は先行企業に抑えられてしまい事業遂行が難しくなる危険性が高かった。そこで、この問題を解決するには社外の協力を得ることが必須であると考えたのである。次の命題はどの部分を社外に協力を求め、どの部分は社内で開発すべきか見極めることである。FeRAM の事業化のケースにおいては明確であった。必要なのは強誘電体技術と薄膜形成技術であり、それ以外は半導体デバイス技術との擦り合わせ開発が必要であり、社外にソリューションを求めることは適当でないと考えたのである。我々に技術を提供するパートナーは自社の技術をライセンスすることが事業活動の一つであるから、もし、この部分の研究開発まで協力関係を深めると我々の競争優位のポジション確立上、デメリットが多いと考えた訳である。このようにオープンイノベーションに基づき社外に技術資源を求める場合、自社のコアコンピタンスを強く認識しておくことが重要であり、この判断を誤ると、せっかく事業化しても容易に競合他社の市場参入を許すことになり、あるいは形だけの提携となって実質は独自開発となんら変わらぬ状態になってしまうことになる。

協力先を検討した結果決定したのが、米国の symetrix corporation である。同社は強 FeRAM の商業化を目指して 1984 年に設立されたベンチャー企業で、FeRAM の実用化を目指して、技術開発を受託するのが事業内容であった。symetrix は特に薄膜形成をスピコート法で行う材料合成を得意としており、高額な設備を必要とする従来のスパッタ法に比較してはるかに設備コストの安いスピコート法の長所に注目したのが選定の理由の一つであった。同社は自活するために様々な研究開発プロジェクトを受託して収入源としつつ FeRAM の実用化を目指しており、単なる技術コンサルタントでは無く、また民間研究所でも無いところにも注目したもう一つの理由があった。

FeRAM の研究開発では研究開発を構成する要素をモジュール化することによって、自社

ではどの要素をコアコンピタンスにするか、どの部分を社外に求めるかを区分することが出来た。強誘電体薄膜材料技術に優れた symetrix と協業することによって大きな成果を挙げることが出来た訳だが、先述のように、モジュラー型に研究開発を構成することによってオープンイノベーションの利点が初めて最大限に活かせ、経営効率のみならず競争優位に立つためのマネジメントモデルとして有効に働いたと言える。

### 7-2-3 新しいモデルの検討「緩い結合による統合型協業モデル」

オープンイノベーションは A&D、C&D に類型化されると考えられているが、FeRAM の研究開発の場合はいずれでも無い。つまり、symetrix を買収した訳でも無く、C&D のように単なるパートナーシップを結んでいた訳でも無い。FeRAM の事業化という目標を共有して一つのチームとして役割を分担していたのである。このマネジメントは A&D、C&D の欠点をカバーするものであると考えられる。

A&D はその名の通り外部の資源を買収して自社に吸収してしまうモデルである。このモデルでは自社に取り込んでしまうので、自社組織と密に連結し全社組織の一部として機能するため、方針の違いなどによるマネジメントの混乱は起きにくい。しかしながら、このモデルには以下に示す弱点がある。このモデルの弱点を理解するためには、買収を図ろうとした相手は何ゆえに優れた技術や製品を生み出すことが出来たのかという事を考える必要がある。そこにはひょっとしたら Apple の Jobs のような天才的な発想と行動力を持つメンバーがいるのかもしれないが、その者たちは会社には属するが組織に所有されている訳では無い。彼らは、CISCO のような大企業で組織の一員として力量を発揮出来るだろうか？ Apple のようなユニークな商品が IBM で生み出せるだろうか？巨大なマネジメントが iPhone を引っ下げていきなり携帯電話市場に参入することを承認するだろうか？ユニークな技術や製品は、マネジメントのスタイルなどの企業文化に根ざすところが大きいと考えても大筋は外れていないだろう。買収された企業は組織に取り込まれ、マネジメントシステムも統一化されて、図 7-4 に示すように、いずれは大組織の一部として同質化してしまう。異質であることを維持するにはとてつもなく大きなエネルギーが必要であり、同質化するのはエントロピー的に考えても自然なのである。

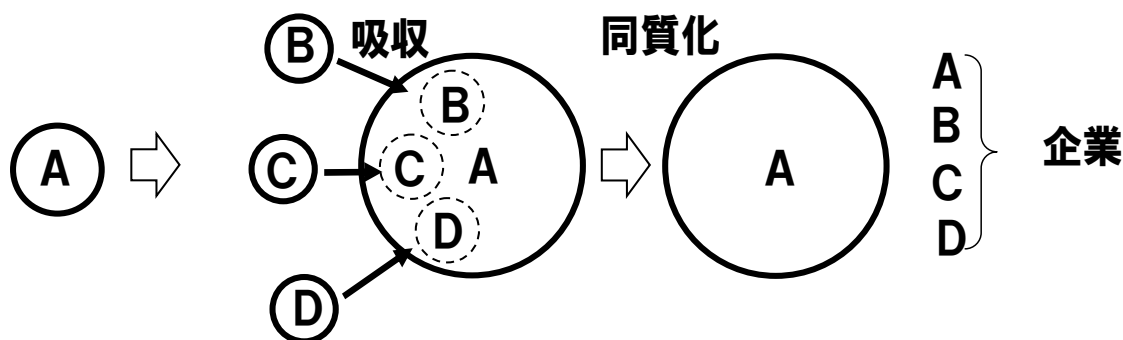


図 7-4 A&Dの過程

イノベーションを行うために買収したとしても今日の技術革新は目覚しく、製品寿命は多くの場合1年程度であるため次々に市場の注目するような製品を生み出さねばならない。しかし同質化してしまった組織に、その力を期待するのは難しい。そうなると買収によって暫くは競争力強化に役立ったがやがて企業の規模が大きくなったという結果だけが残し、次の競争のために更に買収を行うことになる。買収によって企業に新しい能力が加わり、新しい事業による成功で投下した資金がリターンされて短期的には投資効率も悪く無いように見えるが、買収の繰り返しによって企業規模が次第に大きくなり経営効率が伸びなくなる可能性がある。先に示した CISCO の 2000 年から 2007 年にわたる経営実績を見ると販売金額は伸びているものの営業利益率は完全に飽和している。販売金額は企業の規模にも依存するのだが、営業利益率は収益力を現し、営業利益が飽和しているということは同社製品に対する市場の評価も飽和していることを意味する（市場の評価が高いということは、製品の価値を認めるということであり価値にお金を払ってくれるということである。その結果、利益率は高くなる）。この問題から逃れるには、事業貢献度が低くなった組織を切り離して売却することを買収と併行して行わねばならない。そうすると、企業文化という無形の資産形成は非常に難しくなる。知識の蓄積、伝達という知識サイクルが成立しないため、今日の企業にとって重要な、イノベーションで自己変革していくために必要な知識創造企業であることに大きな障害となるのである。

他方、C&D は図 7-5 のように大学や各種の研究機関とネットワークを張って有望な技術や発明をいち早く察知し、自社にとって必要なものがあれば財政的な支援などを行うマネジメントモデルである。

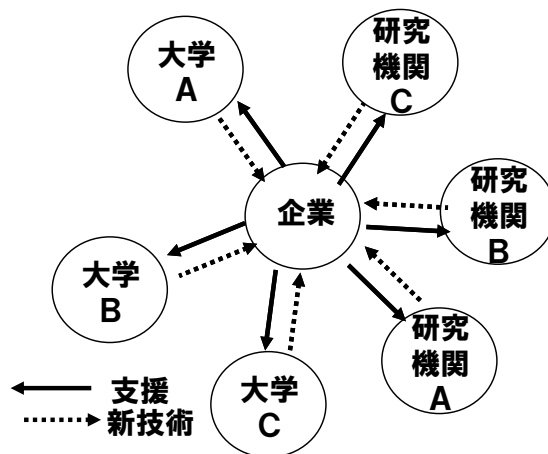


図 7-5 C&Dの構成

企業にとってイノベーションの遂行は製品として市場に投入し、顧客に購入してもらって初めて完遂したといえるのであるが、大学や研究所は必ずしも自らのミッションを企業と同じようには定義していない。むしろ、アカデミックな研究成果を挙げるのが最大のミッションであり、このような研究成果を次々と挙げればあとは企業の事業化部門が開発

をすれば自然に優れた製品が生まれると考える危険性がある。研究部門が事業化にまで入り込むことは本来のミッションが果たせなくなりパートナーである企業にとっても不利益であると考えられる可能性すらある。更には、研究には興味があるが製品化には興味の無い所員がいるかもしれない。この推測があながち間違っていないと考える根拠は、企業の中央研究所が次々に解体されたことにある。基礎研究こそ研究所の使命であるという思想から脱却出来なかったのであろう。

FeRAM のケースでは、symetrix とは事業化達成に向けた強い意志を共有しており、同社に開発メンバーを常駐させて研究開発を共同で推進していた。他方、同社は完全に独立した経営権を有した企業であり続け、松下電器も経営を制御するような行為は無かった。この結果、symetrix の独自性は維持され、共同研究においては自らの得意とする担当部分に集中して優れた結果を出し続けることが出来たのである。同時に、事業化を最終目標とすることで同社は完全に我々と一致していたので、イノベーションによる起業で最も困難なフェーズである研究成果の製品化においても、発生する多種多様な問題をそれぞれの立場で協力して解決を図ることが出来たのである。

先に、オープンイノベーションと研究開発のモジュラー化は両用することによって最大の効果が発揮出来ると述べたが、正確に言うならばモジュールは境界層を介して接続されるというべきである。PC のハードウェアならば HDD、DVD、電源、MPU ボードなどのインターフェースは完全に定義されており、定義された仕様どおりであれば誰が作っても接続すれば動作するのであるが、プロジェクトの場合はこのようにはいかない。例えば、強誘電体材料の開発の観点で見れば自発分極量が大きい材料が良い材料であり、このためには強誘電体の結晶性を上げるために熱処理温度を上げるのであるが、集積回路技術の立場から見れば高温処理は半導体にダメージを与える原因にもなりうるので極力低温で処理したいのである。従って、両者の間にはトレードオフが発生し、この問題の解決には結晶材料を変えるか、低温処理でも回路が動作するように設計を工夫するなどの擦り合わせが必要となる。

各モジュールの境界にはこのような擦り合わせ層が必要であり、この擦り合わせを円滑に行うには両者の円滑なコミュニケーションが必要である。このコミュニケーションのためには両者が渾然一体となって研究開発を行う場が必要と考え、合同開発チームを作った。この結果、半導体デバイスに関する経験と技術が不足している symetrix と強誘電体物性や合成化学に関する技術が不足している松下電器が、その合同開発チームを介してリンクすることが出来、急速に意思疎通が改善され開発が加速されたのである。

この両者の関係は、それぞれは独立性を保ちつつ事業化完遂を共通の目標として図 7-6 に示すように緩く結合された **virtual corporation** といえる。このモデルは A&D に見られる同質化の問題も無く、C&D におけるイノベーション遂行に向けて必要な研究開発の収斂性に関する問題も無い。オープンイノベーションマネジメントにおける一つのあり方ではないかと考える。

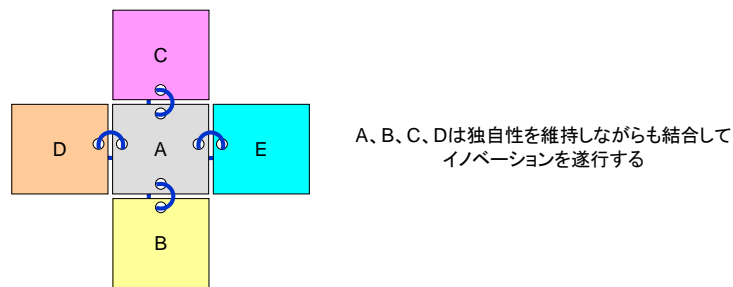


図 7-6 緩く結合された協業関係

### 7 - 3 研究開発のマネジメント

協業という企業の相互関係から、研究開発に視点を移してイノベーションのマネジメントを考察する。

#### 7-3-1 従来のマネジメントモデルの検討

##### 7-3-1-1 リニアモデル

研究開発で最も大切なのは発明であり、発見であって、あとは技術者がそれらの発明発見を製品化する開発を行うだけであるという考え方が長らく支配的であった。このような考えに基づく研究開発は、図 7-7 に示すように発明発見をスタートとして製品に到る逐次的な研究開発でありリニアモデルと呼ばれている<sup>3</sup>。

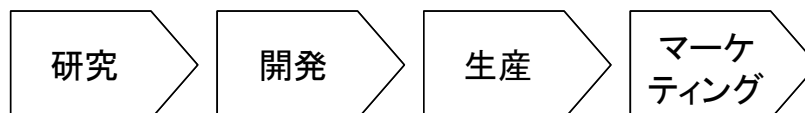


図 7-7 リニアモデル

発明発見至上主義的な考え方は研究所優遇の施策に現れ、企業に中央研究所が次々と設立される結果となった。クローズドイノベーションとリニアモデルの二つが企業における研究所設立の背景であるといえよう。確かに中央研究所からは科学の進歩に貢献する成果が数多く生まれ、例えば電子は粒子でもあり波でもあるという特性の検証や、ベクトルポテンシャルの存在（アハラノフ・ボーム効果）の証明という基礎科学の進歩に大きく貢献するような成果も企業の研究所で成し遂げられた<sup>4</sup>。確かにすばらしい成果なのだが経営貢献という観点で見た時に、これらの成果が事業にどのように貢献出来るのかという疑問が湧くのも事実であろう。他方、日本は、基礎研究の実績においては米国に及ばないものの、改善活動などの現場に密着した開発活動によって国際競争力のある製品を次々に生み出しており、研究第一主義的なリニアモデルに対する見直しが起きたのである。その最初の提唱者の一人が Kline<sup>5</sup>であった。

### 7-3-1-2 チェインリンクモデル

Kline は日米の研究開発構造を詳細に比較分析し、科学的発明発見を重視する米国に比較して日本では技術を重視していることを見出し、技術と科学の相互作用がイノベーションを促進するという連鎖モデル（チェーンリンクモデル）を生み出した。図7-8に示すように開発の各プロセスが科学知識と相互作用を行いながら進むという基本的なモデルを提唱したのは Klein が最初であろう。Klein は発明発見至上主義に対する反証として、ノーベル賞の受賞者数とその国の経済力には相関が無く、むしろ負の相関関係さえあると述べている。Klein のデータでは日本は人口 100 万人当りのノーベル賞受賞者数は先進主要国の中では最も少ない範疇に入るが、経済成長率は最も高い国の一つに位置づけられている。

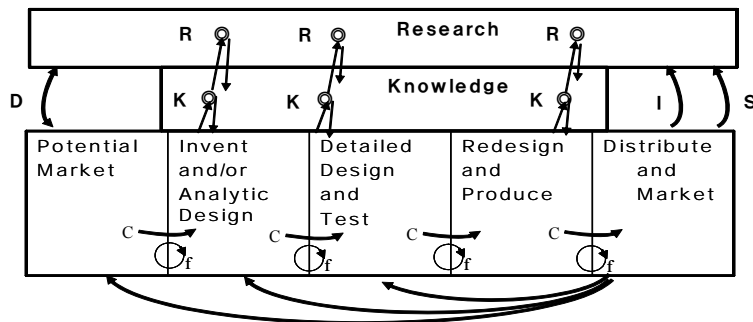


図 7-8 Klein のチェーンリンクモデル

しかし Klein のデータは 1974 年から 1983 年と古いので、新しいデータも含めて検証したのが図7-9である。1991年から2006年に到る自然科学系ノーベル賞受賞者数を国別に集計し、2006年の各国の GDP と X-Y 座標上にプロットしたものである<sup>6-7</sup>。

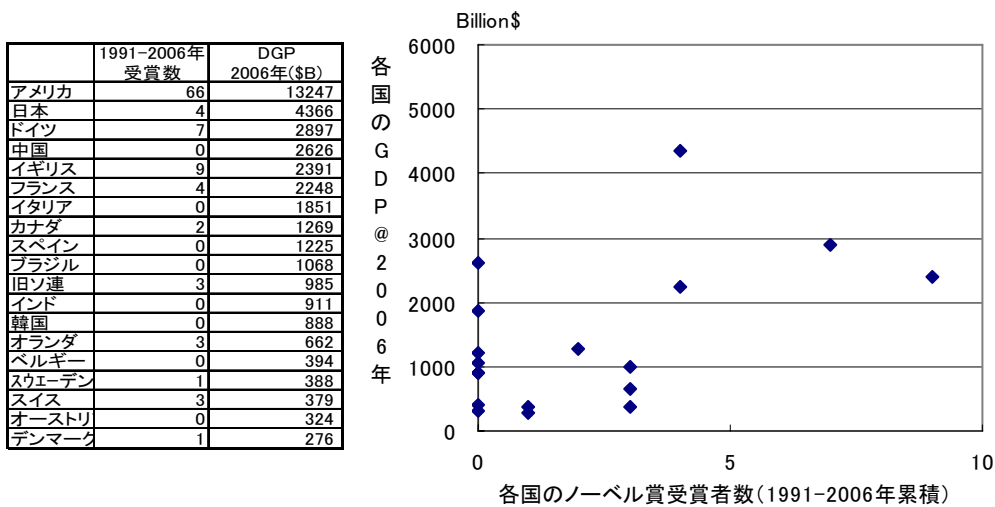


図 7-9 ノーベル賞の受賞者数と GDP の関係

1991年から2006年と長期間にわたる受賞者数と2006年のGDPをプロットしたのは、ノーベル賞を受賞するような科学上の成果が事業貢献出来るには長期間の研究開発が必要であろうと考えたためである。集計の結果、アメリカは受賞者数が66人と最も多く、GDPも世界1位と別格の存在である（米国のデータをプロットすると全体像が見えにくくなるのでプロットしていない）。その他でも、ノーベル賞の受賞者が多い国はGDPが高い。ところが、受賞者なしの国でもGDPの高い国もある。しかしながらKleinの言うような、明らかな負の相関関係は見られない。発明発見はイノベーションの重要な「種」であり、種をまく能力が高いことが経済は発展に負の影響があるというのは考えにくい。むしろ、科学は経済発展の必要条件ではあるが十分条件では無いと考えるのが妥当である。

したがって、リニアモデルを全面否定するのは好ましくない。例えば、現在は当たり前になっている光ファイバーを用いる超高速通信も、半導体レーザーや低損失ガラスファイバーなどの長年にわたる基礎研究の成果が結実したものである。もしそのような基礎研究段階で事業化を迫っておれば、誤った判断がなされたかもしれない。重要なのは、研究者が社会貢献（企業貢献）を忘れない研究姿勢を維持することであり、高い視点から各研究テーマを俯瞰しながらマネジメントを実施することである。

### 7-3-2 FeRAMの研究開発モデルに関する考察

Klineのチェインリンクモデルを用いてFeRAMの研究開発を考察する。symetrixが強誘電体材料や薄膜形成、合成化学などを主として担当していたことを考えるならば、役割分担としてはKleinの言うところの科学知識を提供していたとも言える。つまり、開発プロセスは松下電器が行い、科学的な発見や知識を松下電器に提供して開発プロセスの促進が行われたとする見方である。しかし、symetrixは必ずしも科学的基礎知識の提供に留まらず、例えば強誘電体の材料開発においてはデバイスの特性を見ながら各種の材料を合成開発して提供するなど、事業化開発のプロセスに深く関与していたのである。この行為は先述の緩く結合された協業関係によって遂行された訳であるが、この研究開発プロセスを更に分析すると次のことが判明する。

松下電器はFeRAMという半導体製品の事業化を目標として研究開発プロセスを促進し、symetrixもその実現を大きな目標としていたのだが、同社は半導体メーカーでは無くFeRAMを自社で製品化する訳では無い。同社は基本的にはR&D企業でありFeRAMを実用化するための技術を完成させて、技術を商品とすることが同社の事業目的である。従って、symetrixにおける研究開発プロセスは「FeRAM事業化レシピ」とも言うべき技術をアウトプットとするものであり、松下電器の研究開発プロセスとは別のプロセスで完遂させなければならないのである。

従って、松下電器—symetrixの協業では、FeRAMの実用化という大きな目標を共有して進んでいたのであるが、その内側は松下電器の研究開発サブ・プロセスとsymetrix

の研究開発サブ・プロセスという二本の研究開発サブ・プロセスが並行して進んでいた  
のである。

松下電器が symetrix の強誘電体に関する専門知識と技術を必要としていたのは既述  
の通りだが、他方 symetrix も「FeRAM 事業化レシピ」を構築するには半導体に強誘電  
体素子を集積するのに必要な技術知識を蓄積しなければならず、半導体企業との協業が  
必要なのであった。このように双方ともパートナーからのインプットやフィードバック  
が必要であったため、日本の研究開発サブ・プロセスは相互作用を維持しつつ事業化へ  
向けて推進することが出来たのである。

### 7-3-3 新しいモデルの検討「コンプレックスチェーンリンクモデル」

FeRAM の研究開発におけるマネジメントモデルは、Kleine モデルと比較するとチェ  
インリンクモデルで示される研究開発プロセスが二本並行しており、その二本が各プロ  
セスにおいて相互に作用して相乗効果を生んでいるという図 7-10 のような構造に  
なる。

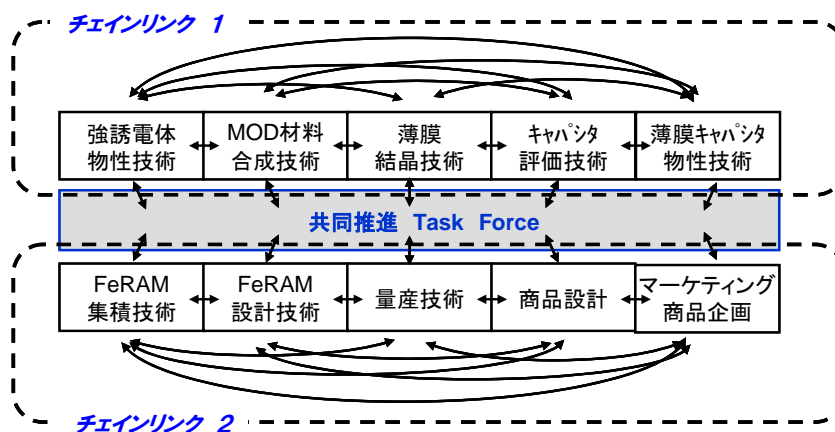


図 7-10 二つのチェーンリンクが結合したコンプレックスチェーンリンクモデル

そこで、これをコンプレックスなチェーンリンク、即ちコンプレックスチェーンリン  
クモデルと称することにする。コンプレックスチェーンリンクモデルの効果は以下のよ  
うに説明出来る。

協業の片方がパートナーから知識や技術のインプットを受けて研究開発を進める中  
で、その技術では開発を完遂するには課題があり、改良ないしは新しい技術が必要であ  
るとことが判明したとする。この情報はパートナーにとっては非常に重要なインプ  
ットである。パートナーはその情報に基づいて、何をすれば協業相手がより良い製品を  
生み出せるかがわかるからである。こうしてパートナーは更に改良した結果を相手に渡  
す。受け取った側はそれに基づいて開発を進め、もし問題があれば再び相手に伝えると  
いうサイクルを繰り返す。このフィードバックサイクルによって双方の研究開発プロセ  
スは非常に促進されるのである。



フィードバックサイクルが持続するのは、双方とも相手側からのインプットが自社の事業化プランの促進に大いに役に立つと考えるからである。言い換えると、コンプレックスチェーンリンクモデルは協業パートナー各社が事業化目標を共有し、パートナー間のインプットやフィードバックが各社の事業プランに貢献する場合に成立し、この場合、他のマネジメントモデルよりも効果的に作用する。

A&D は買収して取り込んでしまうからここでの議論の対象にはならず、通常の C&D では企業へのインプットが強調されるがフィードバックは注目されていない。Kleine モデルでは相互作用が意識されてはいるが相互作用の相手側は大学などの研究機関を想定していると思われ、そこでの研究開発プロセスについては明示されておらず、そういう観点では上記モデルは新しい考察結果といえよう。

## 7 - 4 事業化のマネジメント

研究開発に目途が立つと事業化のプロセスに入る。研究開発と事業化プロセスで大きく違うのは必要とする経営リソースの大きさが格段に大きくなることと、利益を上げるための活動が含まれることである。研究開発では経営リソースを使って新しい価値を生み出すのであるが、その価値が市場に受け入れられる価値であることを利益によって実証するのが事業化プロセスの最大のポイントである。

### 7-4-1 事業化構想

事業化には、既存事業部門の製造、商品開発、営業といった多くの関係部署の協力が必要であり、また製造においては FeRAM 専用ラインの構築が必要であった。専用ラインの構築には高額な設備投資が必要であるが、通常の半導体プロセスでは用いない強誘電体材料を使用するため、設備を共用すると他のデバイスに悪影響を及ぼす危険性があったからである。

このような状況の中で事業化フェーズに入るには、投資に見合った事業が見込めなければならないことは当然であるが、既存事業部門の協力を得るにはもう一つ重要な点を認識しなければならない。つまり、既存事業部門にとって起業に協力するということは自らが獲得した利益を自らの事業発展に投資する権利を放棄することを意味しており、既存事業部門の協力を得るにはその「犠牲」に見合った意義のある事業貢献が出来る見込みを示さなければならないのである。

起業を目指すチームとしてもこのような命題は当然のこととして受け止め、経営を支える太い柱になれる事業にしようとして構想し、「不揮発性 RAM」という大きな事業コンセプトのもとで推進することにした。従来の不揮発性メモリが EEPROM や FLASH EEPROM などと表記されているように、いずれも「電氣的に書換え可能な ROM」としているのに対し、強誘電体の高速を活かせば表 8 - 1 に示すように従来の不揮発性メモリと比べて数桁高速な書換えが期待出来ること、更には書換え回数が実用上制限なしと

も言えるほど多く出来る可能性があることから、「RAMとして使える不揮発性メモリ」という、従来の半導体にはない全く新しい概念のデバイスが可能だと考えたのである。故に、FeRAMと名づけたのである。

	FeRAM	DRAM	SRAM	EEPROM	FLASH
Non-Volatility	Yes	No	No	Yes	Yes
Writing Speed	<100ns	50ns	10ns	10ms	1ms
Writing Cycles	>10 <sup>12</sup>	unlimited	unlimited	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
Stand-by, Writing current	<1μA 5mA	500μA 25mA	<1μA 10mA	<1μA 50mA	<1μA 50mA

表 7-1 事業化を検討した際に作成した FeRAM と他のメモリの特性比較

不揮発性 RAM として FeRAM を位置づけると、下記のようなデバイスの事業化が可能であり、この構想が実現出来れば既存事業の中にあっても意義のある、新規事業の創出が可能であろうと考えられた。

(1) 不揮発性 SRAM

6 トランジスタの必要な既存の SRAM よりもセルサイズが小さいので、高集積な中速 SRAM が可能。また、EEPROM では書き込み速度が遅くて SRAM をバッテリーでバックアップしている用途を置き換えることが可能。

(2) 低消費電力 DRAM

DRAM で必要なリフレッシュが不要となり、低消費電力化が可能。

(3) システム LSI 混載用統合メモリ

それぞれプロセスや動作の異なる ROM、SRAM、DRAM、EEPROM の各種混載メモリを図 7-11 のように統合化し、システムを簡潔にして高性能化、低コスト化が可能。

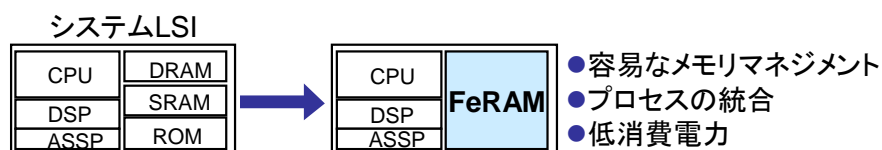


図 7-11 システム LSI への応用

7-4-2 FeRAM 事業化のマネジメント

しかしながら、事業化構想を立てた時期は FeRAM の工業製品として必要な品質、量産性を実現するまでには到っておらず、いわばプロトタイプの特徴からの構想であった。工業製品としての完成度を高めていく中で様々な問題が新たに浮上し、それらの解決に迫られたのであるが、中には例えば書換え回数がメモリセル毎にばらつき、実用上書換え回数の制限が無いと考えてもよい 10<sup>15</sup>~10<sup>16</sup> 回を保証するのが困難になり、FeRAM の事業化構想

を揺るがすような問題も発生したのである。これらの問題解決には更なる研究開発の必要なことは明らかであった。

しかしながら、研究開発に着手してすでに 4 年近くを経過しており、目標を下げて例えばニッチ用途であろうと事業化に踏み切るか、当初の目標を完遂することにこだわって研究開発を継続すべきか大きな判断に迫られることになった。事業化に踏み切れば、何がしかの販売が生まれ利益が得られる。また、事業化フェーズに入ることによって FeRAM に対する顧客の評価が得られ、その中から事業成長への新たな知見が得られる可能性が高い。しかし、限定されたメンバーしか居ない中での事業化は明らかに研究開発能力を落とすことになり、FeRAM の最終目標への到達が遅れるというデメリットがある。他方、最終目標にこだわり、研究開発を続ける場合は、その開発能力を削減すること無く開発を進めることが出来、開発に成功した暁にはニッチ事業では無い大きな成果を得ることが出来る。しかし、いつ成功するのか明確に示すことが出来ず、事業貢献出来ないまま開発を続けることに社内の批判が高まり、更に重要なことは市場・顧客サイドの FeRAM に関する評価が得られないという問題がある。両選択肢に対する論理的な意思決定方法は見出せなかったが、結局、事業化に踏み切る選択を行った。将来の大魚を追い続けるよりも、企業の研究開発は小といえども経営貢献を着実に果たしながら推進すべきだと考えた結果である。同時期、FeRAM の開発を行っていた企業は他にもあったが、選択はそれぞれであった。このような選択肢に対して、例えば技術重視の企業では、先ずしっかり技術を見極めてから事業を考えるべきだと判断するであろうし、顧客・市場重視の企業では顧客が価値を判断するのであるから先ず市場に出すことから始めよう判断するであろう。企業文化の影響が大きいと思われる。

とにかく事業化を決意し、その時点で使える技術で可能な事業を探索して着手したのが IC カード・タグ用 LSI 事業であった。当初に掲げていた構想とは異なり、半導体事業から見ればニッチ事業という観はぬぐえなかったが、やがて安定した需要を得ることが出来、FeRAM という技術イノベーションによる企業内起業がようやく生存権を得たのである。

### 7-4-3 飛び石モデルの提案

このような事業化は、当初の事業化構想と比較して大きな違いがあったため、様々な批判に晒されたのであるが、社外を見ると我々と同じような事業判断を行った企業は FeRAM 事業を継続しており、成長を続けながらゆっくりではあるが技術も進歩させている。他方、事業化を行わずに研究開発を継続した企業は、国際学会などで高集積化に関する先行的な成果を挙げているものの<sup>8</sup>依然として事業化には力を注いでいないように思われる。企業の方針として研究開発に集中し続けているのかもしれないが、所期の目標達成を目指して研究開発努力を続けながらも事業化への障壁を乗り越えられない、イノベーションの事業化における典型的なケースのようにも見える。事業化を妨げているこの難関はダーウィンの海 (Darwinian Sea) とか死の谷とも称されており、いかにし

でこの段階を乗り越えるかがイノベーションのマネジメントで大きな命題になっている。

FeRAM の場合、所期の目標と研究開発で到達したレベルのギャップの大きさに直面した際、まずは事業化を実現するのが起業では重要だと考え、硬直的に当初目標に固執するのではなく図 7-13 に示すように事業化の可能な目標に変更してダーウィンの海を渡ったのである。このアプローチはプロジェクトの進め方に柔軟性を持たせ、状況の変化に応じて選択肢を決めていくという考え方に根ざすものでリアルオプションの考え方にもつながっている。

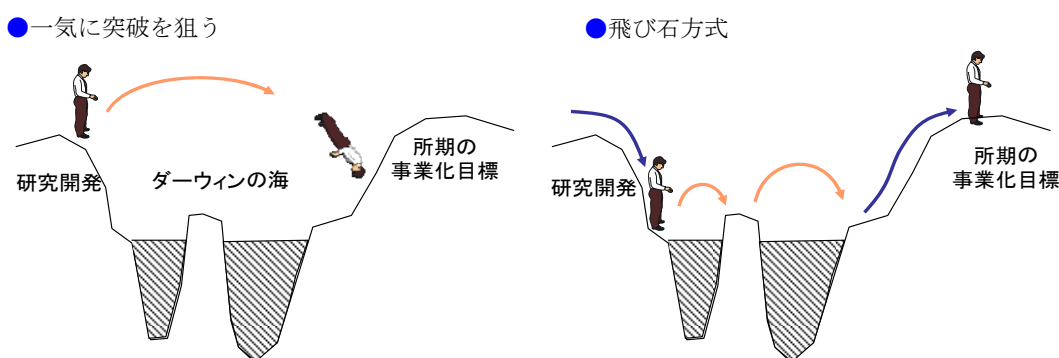


図 7-12 飛び石方式によるダーウィンの海の渡り方

飛び石方式では成功の可能性の高いルート探しながら、場合によっては迂回路を進むことも辞さずに所期の目標に向かうアプローチである。成功の高いルートとは見通しの利きやすいルートであり、そのため継続的なアプローチに陥る危険性があるものの実績を上げるといふ面では有用なアプローチである。他方、一挙にダーウィンの海を飛び越えようとするアプローチは予測の難しい要因が多すぎ、論理性を重視する企業組織の場合、管理サイドが納得できる説明が難しく事業化への承認が得られないことが多い。この結果、いつまでも研究開発フェーズに留まることになり、費用を消耗し続ける。そして、やがて企業内におけるポジションの維持が困難になっていく可能性が高いのである。企業にとってイノベーションは事業に到達してこそ意義がある。たとえ当初計画を見直さねばならないとしても、事業領域に橋頭堡を構築して研究領域から飛び出すことは、戦術的にも合理的である。この手法の弱点は、所期の目標に到達するのに時間がかかりキャッシュフローの継続が容易でないベンチャー系の起業には向かないかもしれないが、企業内起業ではそのような問題は軽減されるので、大きなリスクを負わないで事業化フェーズへシフト出来る飛び石アプローチは、企業内起業にとっては重要な手法ではないかと考える。

#### 7-4-4 限界リソースによる事業化モデルの検討

起業当初の事業は既存事業に比較すると売上げも小さく、弱々しい存在でしか無い。企業を支えている主力事業に最大の経営資源を配分することは「イノベーションのジレ

ンマ」でその問題を指摘されようと、明日、あさつての経営を維持し、従業員の雇用を確保し、そして株主への責任を果たさねばならない経営者にとっては避けられないのである。その結果、例え成長性が期待されようと起業チームの経営資源は脆弱であり、自らの工夫で成長を遂げ存在感を強化するより他の方法は無い。

つまり、限界リソースのもとで事業化を遂行する方法が必要となる。FeRAM の起業においても、商品開発や市場開発など、事業成長に必要なリソースは脆弱であり、営業においても主力商品の販売に注力していたために FeRAM 商品の販売促進に関しては、一部の支援者を除き多くは期待出来ない状況であった。このような状況でリソースの欠乏を理由に事業成長が停滞していると訴えても何も得られないのは明らかであり、下記のアプローチを取ったのである。

FeRAM の事業領域はメモリ製品と、LSI への混載製品に大別される。メモリ製品の場合、汎用製品としての販売が主力になるため営業力、コスト力など企業の体力が競争力の大きな要因となる領域であるのと、自社の主力セグメントがシステム LSI でもあることから混載製品セグメントを選択した。そして、FeRAM の特長を活かせ、その時点での技術水準で実現出来る市場セグメントを探索した。ここで見出したのが、1990 年代半ばから急速に立ち上がってきた IC カードやタグ市場だったのだが、すでに欧州企業がいち早く製品を投入し、カード用あるいはタグ用の汎用製品をグローバルな販売網を活用して市場シェアを上げていたのである。彼らの主力市場は、公衆電話のテレホンカード、クレジットカードであり、その他タグに関しては様々な用途を開発して販売を伸ばしていた。このように市場でリーディングポジションを握っているリーダ企業への正面攻撃は避けなければならないのは、マーケティングの基本であり、競合相手がカバー出来ていない隙を探すことから始めた。

彼らの基本的な販売戦略は汎用製品を全世界に販売することによって販売数量を稼ぎ、コストを抑え、デファクトとして後発企業の参入を困難にしようとするものである。この結果、カスタマイズの必要な顧客への対応が手薄になる。更に、全世界に販売するためには顧客へのサポートを各国の支社・支店のスタッフに依存することになるのだが、スタッフは現地代表組織として他の製品全ての販売に対する責任があり、手厚いサポートは難しいと考えた。そこで、新しい技術による特長ある性能とともに、顧客の要望にきめ細かく対応出来るサポート力が競争力の源泉と認識し、事業リソースの脆弱性をカバーするために、需要数量規模が大きく、製品ライフが長い顧客に集中することに決めた。

この方針に従って、市場開発を行った訳だが、当然ながら条件に適合する顧客は少なく、稀に見出しても製品への要求水準が高い、販売開始までに年月がかかるなど、容易ならざる状況に陥った。しかし、1997 年に最初の商品化を実現してから 3 年後の 2000 年に、悲願の本格的な量産を開始することが出来、なんとか事業存続の目途が立ったのである。その後も同様に苦戦はしたものの、当初の方針を維持した結果、販売金額も次

第に増加して累積生産量も数億本を超えるなど、事業化の第一段階をクリア出来るまでになった。

この過程を分析すると、限界リソースの中で事業を立ち上げる企業内起業は、所属企業が主戦場としている市場セグメントに近い事業領域を選択することが重要だとわかる。何故なら、体制、スタッフ、生産・販売、開発などの事業体制がその事業セグメントに適合しており、社内で利用出来る機能・資産が多いからである。つまり、社内で利用出来る共用資源が多い事業領域を選択することが重要なのである。次に重要なのは製品寿命の長いセグメントを選択することである。このことは脆弱な起業チームが成長するのに非常に重要だと考える。何故なら、図7-13に示すように製品寿命が短いと製品を次々に投入しても販売は伸びない。販売を増やすには投入する開発リソースを増加させねばならない。他方、製品寿命が長ければ、少ない開発リソースを使って逐次的に製品開発しても、先に市場投入した製品の寿命が尽きる前に新製品を投入することが出来き、販売を伸ばすことが出来るからである。

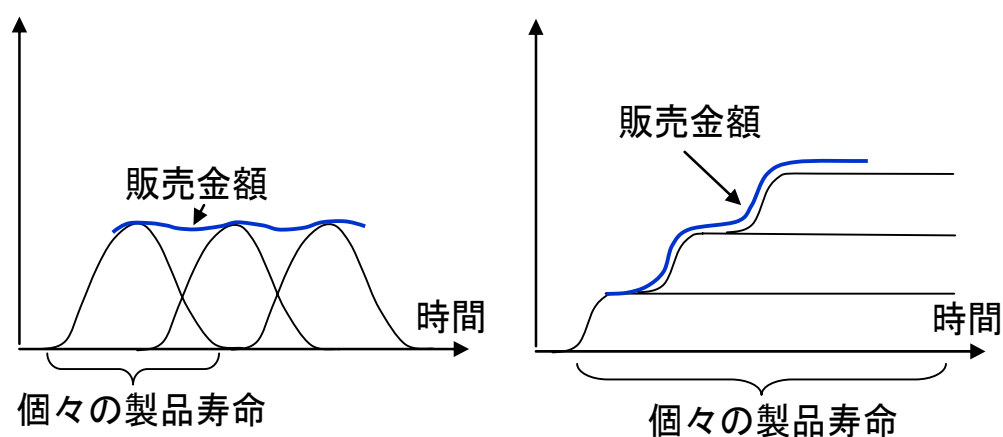


図 7-13 製品寿命と販売金額の関係

しかしながらそのようなセグメントは市場のリーダーシップを握っている企業にとっても魅力的であり、競合するのは必至である。ここで勝つためには、選択した顧客に集中し、顧客のニーズをきめ細かく捉えるサポートを提供し、技術的特長で差別化するなどの戦術をとることによって、競合相手と戦いに勝機を捉えることが重要である。手短かに言うならば、競合相手とは同じ手法で戦わない戦術をとることが必要である。

## 7 - 5 組織のマネジメント

### 7-5-1 組織論

起業活動を実践するのは起業家であり、組織を構成するのは個人である。従って起業家のリーダーシップが重要であり、個々の能力が大きな影響を与えるのであるが、一人の起業家が全てを網羅することは不可能であり、個々がばらばらに活動しては事業活動

は不可能である。組織によって個々の力を統合・運用することによって事業は実践されるのである。従って、組織の能力が起業の成否に大きな影響を及ぼす。加護野、野中たちは組織能力について1980年代に広範で詳細な調査を行い、「日米経営の比較」(1983年)の中で、次に示すように4つの包括的な特徴によって組織はH型、B型、V型、S型に区分出来ることを示した。

#### 7-5-1-1 4つの組織特性

##### (1) プロダクト志向

事業機会やリスクを計量的に分析して、演繹的かつ論理的に経営戦略を決めようとする傾向が強く、経営資源の機動性を重視して経営環境の変化にダイナミックな対応を行う。

##### (2) オペレーション志向

事業経営の中での経験蓄積を重視し、帰納法的で継続・改善的なアプローチで競争優位確立を目指す

##### (3) ビューロクラティックダイナミクス

階層組織構造を中心とする意思決定と実行を行う。この組織では問題を分解して多様性を削減し下位階層に担当させる。問題を受けた階層はその問題を分解して更に多様性を削減して下位階層問題として対応させるという伝統的な組織観に則ったオペレーションが行われる。これは多様性の破壊と称せられ、最上位階層が組織の頭脳としてダイナミックな戦略を策定し、企業運営の基本計画を定める。

##### (4) グループダイナミクス

全員経営とも言うべきもので、社員全員がそれぞれの立場で経営に関与する。リーダーは強力な意思決定者というよりは集団に方向性を示すほか、問題を投げかけて意思決定の選択肢を自律的に出させ、それに承認を与えるという立場をとる。

#### 7-5-1-2 企業組織の類型

上述の組織特性によって加護野らは企業組織を表7-2のように分類出来た。日本ではH型に属している企業が、米国などではB型企业が多いとされていた。加護野たちの調査によれば日米を問わず好業績企業に共通していることは、多様な環境変化の中で存続する環境適応能力が高いことであった。この事実は、イノベーションによる創造的破壊の波に洗われる中で好業績を挙げるためには、環境への適応能力が高い組織でなければならないことを示しているとも言える。このように考えて類型表を見ると、H型、B型からS型組織に移行する必要がある。ここでV型もそのような能力を持つと考えられるが、V型の組織は予測不可能な変化が継続的に発生する場合に適するベンチャー企業的な組織形態であり、企業内起業の場合はS型を対象とするのがふさわしい。

表7-2に示されているようにS型はビューロクラティックダイナミクス志向且つ、プロダクト志向の組織である。上位階層で論理的・演繹的な戦略策定が行われ、ト



トップダウン型の指揮命令システムのもとで実施される組織形態となる。しかしながら、この組織形態がなぜイノベーションによる企業改革に向くという結果になっているのか疑問が湧く。なぜなら、イノベーションによる企業内起業の初期段階では「イノベーションのジレンマ」で指摘されている現象が、まさにその論理的且つ演繹的な戦略に基づく経営によって引き起こされるからである。

		変化の予測可能性 →	
変化の大きさ ↓		グループ志向	ビューロクラティック志向
	オペレーション志向	H	B
	プロダクト志向	V	S

	特 徴	環境変化への適合性
H 型	変化への適応は受動的、 集団行動的	継続的な変化への対応に適する
V 型	変化を自ら起こす。実験主義的、 試行錯誤的	予測不可能な変化が継続的に 起きる場合に適する
B 型	効率と安定性を追求する。防衛的。	変化の少ない安定した環境に適する
S 型	合理的、分析的。	予想可能な変化が多様に生起する 環境に適する。

表 7-2 組織の類型と特性

この疑問は、環境変化への適応力という観点立てば次のように理解出来る。S型の組織は、論理に基づき演繹的に導かれた結果を重視するあまり、確かにイノベーションによる経営環境の変化に対する判断を誤ることがある。しかし、この組織形態では見込み違いをしたと一旦判断したならばトップダウンで素早く方向転換出来る機動性の高さがある。つまり環境変化への適応速度が非常に速いという特性が活かしているのだと考えられる。現代のような見通しの利きにくい状況では、失敗は避けられないと言っても過言では無いだろう。故に組織に求められる最も重要な能力は環境変化への適応速度だと言えるのである。

これまでの考察で、イノベーションに適した組織は集団による意思決定ではなく、リーダーによる意思決定が速やかに反映される機動性の高い組織であることが重要であることがわかった。この要件を企業内起業に適応すると、企業の組織形態がS型で無い場合は、企業内起業を実践する組織への管理層の影響力は極力組織階層の高い部分に絞ることが必要になることがわかる。

#### 7-5-2 研究所から事業へ

起業は研究開発段階から新規事業立ち上げまでのリスクに富んだ長い道のりを乗り越えねばならない。この道のりは、新しい技術の実用化で遭遇する技術的問題以外に、



経営資源の配分など経営上の課題、用途や顧客の開拓、製品開発、工場ラインの投資など、数えきれない問題にあふれている。このような問題から出来るだけ保護する目的で起業を実践する組織を経営上位階層に直結させることが望ましいと考えられ、場合によっては社長直属組織とする場合もある。確かにトップ直属の効果は大きく、様々な障害が抑制出来る。しかし、このようなマネジメントは力のマネジメントであり、またトップの判断が正しいという仮説に基づいている。力のマネジメントというのは問題を力で押しつぶしているからであり、問題は発生している可能性が高い。

FeRAMの起業活動において、技術以外の問題の多くは起業活動が既存の事業組織の外にいることから発生していた。例えば、研究部門で起業活動を立ち上げても、そこは基礎技術の研究所であり、集積回路プロセスや設計など商品開発に必要な設備、人員を擁する部門の協力が不可欠であった。FeRAMが期待出来るテーマであるとは言え、まだまだ実現性については不明確な部分も多い状況で、経営を支える主力製品の開発を使命とするそのような部門の理解と協力を得るのは非常に困難であった。幸い、この場合も先見性のあるトップ経営者が理解を示して打開したのではあるが、解決には多大な労力を必要とした。商品開発部門の責任者は自らのミッションである、既存事業への貢献が明確な製品開発に最大の努力を傾注するのは当然であり、他部署からの支援要望についてはプライオリティが落ちるのは止むを得ないのである。もし、起業グループが製品開発フェーズで商品開発部門に所属しておれば、商品開発部門責任者のミッションの一つとなり、部門間調整の問題の多くは発生しなかった可能性が高い。

このことを一般化すると、起業化チームが技術イノベーションに基づいて起業活動を開始する場合、最初のフェーズは要素技術の開発が必要である。研究リソースに恵まれている研究所で技術開発を行い、素性を見極めるのが適しているだろう。そして要素技術に目途が立ち、製品を意識したデバイス開発のフェーズに入ってからでは設備、システム、スタッフともに整っている商品開発部門に移るといえるように、起業化の各フェーズにあった機能を果たしている部門に移籍して起業化プロセスを進めるのである。起業活動というと、志を同じくするメンバーが結束してあらゆる障害を乗り越えて、ついに事業化を成功させるという姿を想起する。しかしながら、このような起業は、精緻で複雑に機能し合っている企業組織の真只中に異質で脆弱なチームを放り込み、生き残りレースに勝ち残るのを期待するというものである。生き残りレースは社外の競合企業とすべきであり、社内調整や社内問題に対するエネルギー消費は極力抑えなければならないのであり、起業活動は育成して活性化しなければならないのである。このためには、起業化プロセスの段階に応じて所属部門を変えるシステムを作る方法が適している。

起業プロセスのフェーズに応じてそのチームを異動させるのは、各部門が本来のミッションを果たす上でも効率的である。例えば、起業チームを基礎研究所が維持し続けるならば、予算は有限であるから研究所の規模をむやみに大きくすることは出来ないもので、基礎研究所の活動内容が次第に事業化開発にシフトしてしまい研究所としての機能が

弱体化してしまう。しかし、研究所が自己判断によって、起業テーマを事業化段階に到ったとして事業部門に引渡してしまってはならない。事業化フェーズに到ったと思っても製品化して量産出来る技術に到るにはまだまだ多くの問題を解決しなくてはならないため、テーマのみを引き渡すようなマネジメントシステムを導入すると事業部門は研究部門に対して不信を抱く可能性が高く、研究所から事業部門への事業化チャンネルが次第に崩れていく。非常に重要なのは、起業メンバーとともに移動していくことである。

#### 7-5-2-1 研究所の機能

技術イノベーションによる起業の場合、新技術の情報に日々接し、自ら新技術の開発を目指している研究所で起業活動の多くがスタートする。新技術の可能性に気がつき事業化へ結び付けようと考え始めるのである。企業の研究所は自社の事業ポートフォリオと関連させて研究活動を行っている訳だが、特定の事業部門の直接的な管理を受けてはいない場合、特定の事業部門ポートフォリオに基づいて研究開発を判断することは少なく、イノベーションの機会を見逃す危険性は少なくなる。このことから、企業の自己変革を促すような技術イノベーションを期待するならば、研究所は複数の事業部門にまたがる位置づけにしておくことが必要だとわかる。

新技術は研究所で誕生したのち、暫くは事業化への問題点や可能性を見極める研究段階に入る。この期間は、見通しが非常に悪く、場合によっては世界の誰もが成功していない開発を目指すため、「光の見えないトンネルの中を歩き続ける」段階である。短期間でこの段階を突破出来れば良いのだが、多くは数年以上かかり、場合によっては挙句の果てに失敗する。

この段階は、ラッセルの「第三世代の R&D」<sup>9</sup>で研究開発の成果が予想出来ない領域と述べられているように、管理対象とすることが非常に難しい。管理出来ないということは、計数に基づく論理的かつ演繹的論理性を重要視する S 型企業では、その経営システムと相容れない。従って、この部分を自社で行うことを放棄し、社外に求めることによって、R&D をコストとして計量対象に繰り入れるようにするのが A&D や C&D の持つ側面であるといえよう。出来合いを買うのだから、コストは読めるし、予測可能な状態の技術なら管理計画も立てることが出来るからである。

しかしながら、企業においては予想出来ない領域の研究だからといって、管理を放棄することは許されない。そこで、結果が予想できない研究領域であるということを見做し、知恵を絞って無理に予想を立てる訳である。「いつまでに技術問題を解決し、いつから製品開発に着手し、市場を開発し、販売を開始する。開始後 1 年後、2 年後、3 年後には事業規模は XX 億円に到達する」という具合に策定する。このような目論見書は、起業活動の進捗を評価する際のスケールの一つとして有用ではあるが、これをもって精緻な計画経営システムに組み入れるには無理があり、多くはそのような目論見どおりに進捗しない。リスクマネジメントの考え方でこの段階は管理すべきである。つまり、

起業で用いることの出来る経営資源は有限であることを再認識し、資金、期間に制限を設ける。この限度を超える場合には「中止・条件付継続」などの判断を行う訳である。

このような研究段階での目利きは、事業機会を獲得するか、あるいは失うかということに対して決定的な影響があり、判断においてはトップマネージャーの関与が望ましい。しかしながら上述のラッセルの「第三世代の R&D」によれば図 7-14 のように CEO が関与するのはようやくマーケティングの段階からである。

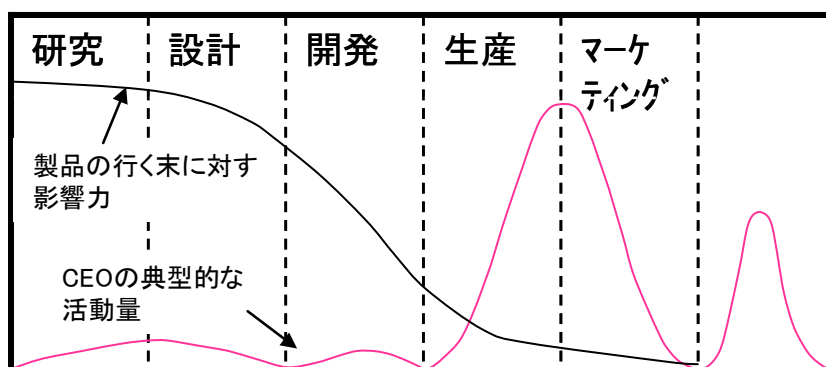


図 7-14 事業化への段階と CEO の参画（「第三世代の R&D」の掲載図を参考に作成）

他方、CEO ないしは CTO は全社の経営に関与しなければならず、このような判定全てに関与することは不可能であろう。従って、特定の事業部門と特別の関係の無い総合的な立場で判定する能力を持ち、技術に対する洞察力のあるメンバーで「新規事業経営委員会」のような委員会を設置して判定を委ねなければならない。これに類似することは、ステージゲート法でもあるいはそれに類するマネジメント手法でも定義されているが、誰が判定に関与すべきかまで踏み込んで議論していない。したがって、場合によっては目利きする能力の無いメンバーで構成されたり、利害の対立するメンバーによって議論の公平性に欠けたりすることもある。技術革新の芽を正しく育て、公平に見極めるという機能は研究所の役割であり、このような機能を運営するのは研究所の重要な責務である。

#### 7-5-2-2 事業化への移行的段階の組織運営

根本的な技術上の問題が解決出来、他社に対して競争力優位に立てる新技術も生まれ てくると事業化の段階に入る。この段階ではどのような応用分野をターゲットに選び、どのような製品を開発すれば技術の特長を最も活かし、経営への貢献が期待出来るのかを見極めることが最も重要である。また更にどの市場のどの顧客に販売するのも、決めねばならない。

このような活動はもはや研究所のミッションを超えているのだが、この段階では、まだ間口を広くして事業カテゴリ、製品セグメントなどの選択を行わねばならないため、既存事業部門のカテゴリから逸脱しているのが一般的であり、帰属すべき事業部門の選

定は難しい。FeRAM の起業においても、技術開発が進むにつれて、その技術を実用化出来る目途が立ったものの、汎用のメモリ製品で事業化すべきか、LSI に混載してシステム LSI として事業化すべきか見極めることが出来ていなかった。

そこで、このような移行期の運営組織として、SBU (Strategic Business Unit) という組織形態がある。FeRAM の場合も SBU を設置して事業の可能性を一つ一つ検証していき、最終的には事業化を離陸させる最初の事業分野を IC カードとタグにした。また SBU は、上記のようなミッションを持っていることから特定の事業部門には所属させず、事業部門と同階層、つまりトップマネジメント直轄の組織とした。

SBU はどこの事業部門にも所属していないことの利点は先述のとおりだが、どこの事業部門にも属していないが故に、生産、販売などの事業に直結した機能を所有しておらず協力を取り付けるには相当の努力を必要とした。

しかしながらこのようなプロセスを経ることによって企業内起業における重要な指針を見出すことが出来た。それは、応用分野、製品セグメントを選択する際には、既存事業部門の経営インフラを十分活用出来る分野やセグメントを選択することが重要だということである。我々の場合、最初は製品セグメントの選択肢をシステムにおける上位層に広げ、より大きな付加価値を獲得しようと考えて、カードやタグ、リーダーライタ端末のビジネスを行なった。しかしながら、企業の事業ドメインは半導体であり、様々な経営システムが半導体事業に合わせて構築されており、その中で SBU が半導体の領域をはみ出して事業を展開しようとする必要と必要なインフラを独自に構築する必要がある他、経営システムに合わないという問題が生じた。このため、製品セグメントを半導体製品に絞り、事業戦略を再構築する方向転換を行なったのである。

事業としての最適シナリオであっても、企業内起業という制限条件化での事業展開の場合には最適シナリオではないことに注目し、経営資源を最適活用するという条件を加味して事業化シナリオを構築しなければならない。

### 7-5-2-3 事業部門への移行

SBU で事業構築の初期段階を経過すると、事業の骨格が固まり方向性が見えてくる。FeRAM 場合も、半導体製品セグメントに特化して IC カード、タグ事業を立ち上げる中で製品セグメントがシステム LSI に絞られ、またセキュリティ用のソリューションを提供するという事業コンセプトが固まってきた。このような段階に到ると SBU として活動するよりはシステム LSI を事業とする事業部門へ移行して事業展開するべきと考え、SBU を解消しその機能を事業部門に移した。この目的は、経営資源の効率的活用というところにある。つまりシステム LSI という事業環境に適合している組織には、システム LSI 事業に必要な経営資源が整備されており、そこで事業を遂行するのが起業にとって最も効率的な方法だからである。

新技術から始まった企業内起業の道のりはようやくここで終わり、その後は所属した

事業部門に新しい生命を吹き込みその事業部門の一部として事業成長に貢献していくことになった。

#### 7-5-2-4 企業内起業におけるマネジメントプロセス

これまで組織とそのマネジメントという観点から企業内起業の道筋を分析してきたが、ここで起業プロジェクトで働くメンバーについて考察を加える。技術イノベーションによる起業の場合、それは研究所で始まる事がほとんどだろうと先に述べた。ということは研究者によって起業が始められる訳である。FeRAMの起業でも筆者を含めて研究者ばかりであった。基礎研究の段階まではこのような構成で問題は無いのだが、技術的な目途が立ち始める頃から、純粋な技術開発だけでは無く、事業化に向けた様々な課題を解決する活動が必要になってくる。研究段階から事業を構想しながら進めるのは、コンクレントな開発とも呼ばれており、失敗すれば損失が大きい事業化フェーズでの課題を先に発見して解決を図り、更にシーケンシャルに研究開発から事業化のプロセスに進むよりは期間も短縮出来る。

いうまでもなく、チェインリンクモデルの実践によって企業内の様々な部門の協力は得るのだが、推進するのは起業チームでしかありえない。そこで、起業チームの機能は研究開発という単機能から、研究開発+事業開発という風に分化していく。このため研究者であった者がその役割を事業開発にシフトする必要がある。技術開発と事業開発の両輪が位相を合わせながら回転して初めて起業活動は前進するからである。更に起業プロセスがすすむと各部門からメンバーが参画するのであるが、リーダー的な存在は起業発足当時の研究者が続けることが多く、商品企画やマーケティング、更には営業担当者として顧客開発に、あるものはその事業の経営に責任を持つ役割を担うのである。研究開発の役割を続ける者はそれまでのバックグラウンドを活かし社内でのキャリアを伸ばしていけばよいが、事業開発へシフトしなければならないメンバーは事業については素人である。おそらく大学でも経営に関する講義すら聴いたことの無い者が多いだろう。実際は経験を積む中で試行錯誤的に学んでいき、やがてなんとか職責を果たすようになるのだが、世界を相手に競争しなければならない今日では、国内外の競合企業との激しい競争に勝ち残らねばならない。良く知られていることであるが、欧米では理科系の社員でもマネージャーになるとMBAのコースをとるといふ。そこで経営の基本を修得する訳である。そうすると、多少荒っぽい論理かもしれないが、定石を身に着けている相手と自己流で戦うようなものである。

環境パラメータが激変する今日では環境変化への適合能力が企業にとって最も重要な組織能力であり、S型企業がそれに適していることを述べた。S型企業は組織構造に依存した経営を行っているのではあるが、論理的、演繹的論理性を重視して資源配分を行うなど、機動性高い経営を行なうことが出来るので環境適合能力に優れている。つまりイノベーションへの対応力に優れている。このような経営を行なうには経営のメカニ

ズム、理論知識に基づかねば出来ない。従って起業を推進するメンバーも欧米企業のマネージャーがそうするように、経営に関するベースを系統的に習得することが、企業のイノベーション力強化において見落としはならないポイントなのである。

### 7-5-3 オブジェクティブ志向の企業内起業運営

企業内起業のプロセスが進むにつれて、起業を推進する組織能力は研究開発だけの単機能から、事業化に関わる機能を有する多機能組織に変わらねばならない。しかしながら起業推進組織に起業に必要な機能を全て持たせるのは経営効率から見て合理的ではないことは明らかであろう。「オープンイノベーション」、「水平化した世界」は企業レベルで同じことを論じているのである。

基礎研究のフェーズから移行する頃からコンカレント開発の考え方で進めなければならないことを述べたが、そこで必要な機能を、例えば「起業推進チーム」に全て所属させるのでは無く、企業内部のそれぞれの機能組織とリンクして活用する方式をとるほうがメリットは多い。例えば LSI 製品を設計するとして、その設計を起業推進チームが自らの組織内で行うとすると設計者、EDA などのリソースを確保しなければならず、非常に大きな負担となり、その資産を小さな起業推進チームだけで利用するとなると利用効率は非常に低くなる。他方、商品設計部門に所属しておれば、その部門のシステムを活用出来るので費用負担は非常に軽くなるのである。

経営資源が脆弱な企業内起業の運営は企業内経営リソースの活用を最大化することが重要で、このためには起業に必要なオブジェクティブを明確にし、企業内資源を用いて実行する、オブジェクティブ指向の運営が必要であることがわかる（もちろん社内に有効な資源が無ければ社外に求めるのであるが）。比喩的に言うなら、オープンイノベーション方式の考え方を社内の経営資源を対象としても実行すべきなのである。

### 7-5-4 企業内起業のリスクマネジメント

研究開発段階におけるリスクマネジメントについては先述した。企業内起業の過程には様々なリスク要因があるのだが最も避けねばならないことはおそらく、筋の悪い技術を事業化しようとして経営資源を投入し続けることと、その反対に画期的なイノベーションの機会を見逃してしまうことであろう。「イノベーションのジレンマ」でクリステンセン企業がイノベーションの機会を見逃す理由について理論的な説明を行い、そして「イノベーションへの解」でイノベーションの機会を見つけ出す方法論を展開しているように、イノベーションの機会をどのように捉えるべきか、どのように活かすべきか等の、イノベーションへのチャレンジとも言うべき分野に関する研究は数多く成されている。他方、筋の悪い「イノベーション」に遭遇した際のマネジメントについては殆ど見当たらない。ところが、企業内起業ではこの問題は非常に重要である。

企業内起業は、ベンチャー起業よりも経営資源に恵まれている。また、日本企業の文

化として成功するまでやり抜くことが美德とされ評価される傾向が高い。「取り組み初めて10年を経て、見事事業化に成功！」という成功物語は多い。実際、例えば光ディスク、半導体レーザー、液晶技術など、現在身近に有る製品でこのようにして生まれたものは多い。従って、安易な判断は避けねばならないのだが、活動に必要な資源がベンチャー起業に比較して獲得しやすく、途中でやめないことが美德の企業文化の中では、撤退の決断が難しい。ズルズルと10年近くも研究を続けることにもなりかねない。

筋がよくても「粘り抜いて事業の花を咲かせる」を目指すというのは企業経営にとって善とばかりは言えないのではないかと考える。確かに、文明の進歩に貢献し、ついには事業貢献するのだろうが、現実の日本の経済競争力、生産性評価の統計データはすでに述べたように欧米諸国に劣ることが示されている。企業の社会的責任は大きいが適切な収益を挙げてこそ、その様な責任を果たせるのだと考えると、撤退、打ち切りに対してもダイナミックに判断出来るようにすることが必要であろう。そのためには、起業活動を担当するメンバーの自主的な判断に任せず、研究開発のマネジメントの説明で述べたようなリスクマネジメント的な考えを取り入れ、システムとして決断する機構が必要である。そのような打ち切りや撤退は、起業を担当するメンバーにとっても企業にとっても、必ずしも不幸な決断では無い。貴重な人材である社員を何年取り組んでも問題が解決しないために厳しい批判に晒し続けるよりは、逆に新しい挑戦に転換させることのほうが、双方ともに得るものは多いはずである。

#### 参考文献

1. Chesbrough, H. W. (2005), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press.
2. HUSTON, L. & SAKKAB, N. (2006), *Connect and develop: Inside procter & gamble's new model for innovation*, Vol. 84, Harvard Business School Publishing Corporation.
3. トーマス・フリードマン, (2008), *フラット化する世界 [増補改訂版] (上・下)*, 日本経済新聞出版社.
4. nano net (2003年 3月11日), '量子力学を超えるものーホログラフィ電子顕微鏡の挑戦-', *Japan Nanonet Bulletin*, Vol.第9号, <http://www.nanonet.go.jp/japanese/mailmag/2003/009a.html>.
5. S.J.クライン (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.
6. 文部科学省科学技術学術政策局, ed. (2007), *科学技術要覧 平成18年版 (2006)*, 国立印刷局.
7. 国際貿易投資研究所 (2008年7月1日), '世界の名目GDP(上位60) [ドル建て]', *国際比較統計 IV. マクロ経済統計等*, IV 001
8. Kang, Y. (2006), 'World Smallest 0.34/ $\mu\text{m}$  COB Cell 1T1C 64Mb FRAM with New Sensing Architecture and Highly Reliable MOCVD PZT Integration Technology', *Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers*.

9. フィリップ・A.ラッセル, タマーラ・J.エリクソン, & カマル・N. サード, (1992),  
第三世代のR&D - 研究開発と企業・事業戦略の統合, ダイヤモンド社



## 第8章 総括

イノベーション力の強化によって日本経済の競争力を回復させねばならないという認識が広まり多くの研究が為されているが、ベンチャー企業の華々しい活動に注目の集まることが多い。しかしながら日本経済における大企業の役割は依然として非常に大きく大企業がイノベーションによって自己変革を行う力を強化することはベンチャー企業育成と同様に重要である。ダーウィンの進化論を取上げるまでもないが、経営環境に適合して進化する企業のみ生き残ることができるのである。

イノベーションによる自己変革を図る企業内起業は、企業の内部で既存事業部門に囲まれて起業するという、ベンチャー企業の起業とはきわめて異なる経営環境におかれる。このため、企業内起業を促進し成功させるにはその活動を詳細に分析し、その機構に対する理解を深める研究が非常に重要である。

しかしながら従来の企業内起業に関する研究は、主として起業家を取り巻く環境と起業家がなすべき行動に関する研究が多く、イノベーションのマネジメントモデルを起業工学的に明らかにする研究は少ない。このため起業に対しても既存事業と同じ計量主義的な管理手法を適用したり、脆弱な組織能力を無視した冒険的なマネジメントが行われて、「死の谷」あるいは「ダーウィンの海」に消えていくことも多いのではないかと思われる。

本研究では強誘電体不揮発性メモリの起業を分析することによって、企業内起業の各局面におけるイノベーションのマネジメントモデルを検討し、下記に示す新しい知見を得ることが出来た。

### (1) 協業におけるマネジメント：緩い結合による協業

オープンイノベーションは現代の経営環境のなかでは不可欠のイノベーションのマネジメントである。その手法として A&D, C&D が最も知られている具体的なマネジメント方法であるが、そのいずれにおいても経営効率の漸減、イノベーション推進力の脆弱性などの改良すべき課題がある。この課題を解決するアプローチとしてパートナーがイノベーションの実現を目指して強く連携し、しかし組織としては独自性、独立性を失わない「緩い結合による協業」が有効である。

### (2) 研究開発におけるマネジメント：コンプレックスチェーンリンクモデル

科学技術上の新発見・新発明が最も重要であり、イノベーションの肝であるという考え方に基づいたリニアモデルに代わって、研究開発の各プロセス間、科学知識との相互作用がイノベーションの推進には重要であるとするチェーン・リンクモデルが重要であることは広く認識されるようになっている。協業の場合、単に技術成果を獲得する、いわば一方性関係ではなく、緩い結合による協業の場合には、結合リンクを経由して相手側の知識を獲得し、その知識によって自らのイノベーションプロセスに入力することで新しい知識を生み出すと、今度はその知識が相手側のイノベーションプロセスを促進するという相互作用が生まれるところにその真髄がある。この構造を

さらに分解すると、自社内には一本のイノベーションプロセスが進められ、パートナー側にも、相手と共有する部分はあるものの自社独自の目的を含む事業目標に沿ったイノベーションプロセスが進められており、この二本のイノベーションプロセスが両者を結びつける結合リンクを経由して相互作用することで、お互いにイノベーションを加速している、コンプレックスチェーンリンクを構成していることがわかる。

(3) 研究から事業化への決断：飛び石モデル

「死の谷」あるいは「ダーウィンの海」として知られているのが、研究開発から事業化への移行に伴う障壁である。この問題の本質は研究開発で到達するポジションと、事業で販売する製品に求める要件、その開発に掛かる時間と資金、そしてその製品から期待される販売・利益の期待額との調和問題である。所期の目標を死守する硬直的なスタンスではこの問題に解を見出すことは難しい。今日、プロジェクト推進のアプローチにはリアルオプションの考え方に示されているような柔軟なスタンスが必要なが認識されている。起業においては事業化に踏み込み、製品を販売することによって、顧客のニーズや市場の動向を知ることが出来、そして量産を経験することによって技術水準の改善が成し遂げられる。事業化目標を実現の可能性が高いものに変えて、あたかも水路に飛び石をおいてわたりきるようにダーウィンの海を渡るべきなのである。FeRAMの起業でも事業化目標を柔軟に捉えて取り組んだことが成功の要因であったことを鑑みると、飛び石モデルの妥当性が検証されたといえよう。

(4) 企業内起業組織のマネジメントモデル：オブジェクト指向型組織

技術開発から始まり事業化にいたるイノベーションの長い道のりを、起業を実行するチームが一つになってやり遂げるのが理想的な姿のように思いがちである。しかし、企業内の構造を改めて観察すれば、既存事業部門はイノベーションへの「抵抗勢力」と見なされがちではあるが、開発から生産・販売に至る深い経験と豊かな経営資源を有しており、また経営企画、財務、広報、人事などの企業経営の横串機能を提供する組織は事業部門が必要なサービスを提供してくれている。企業内起業を推進するチームは、交渉が必要か必要でないかは別として、起業に必要な多く機能がすぐ身の回りに有るのである。この環境はベンチャー企業の企業に比較すればはるかに恵まれている。このような経営資源を上手く活用すれば脆弱な起業チームにとっては経営の負荷が大幅に減少するのはいうまでもない。企業内起業を推進するチームは、研究開発フェーズでは自己完結型組織であってもいいかもしれないが、事業化に必要な要素を分化させ（オブジェクティブ化）、そのオブジェクティブを実行できる社内機能が有れば最大限活用するオブジェクティブ指向のマネジメントで、起業推進組織の負荷を大きく減らせる。しかし、機能をオブジェクティブ化して運営しようとする、起業活動は社内の各所で分散するので、このような活動をつないで有機的な活動が出来るようにマネジメント行うことがオブジェクティブ指向の起業推進においては重要なマネジメント要素になる。オープンイノベーションは社外リソースへのアクセスに関するも

のであり、オブジェクティブ指向のマネジメントはオープンイノベーションの考え方を社内資源へのアクセスに展開できるようにするためのマネジメントであるといえよう。このような企業内資源の活用を最大化を目指すマネジメントを行うことは、例えば、事業化戦略の策定や製品セグメントの選定において既述のように、技術イノベーション実現という観点からは最適アプローチではない場合も有るかもしれないが、脆弱な起業推進チームにとっては非常に多くの資源を必要とする事業への移行期には非常に重要なアプローチといえる。

以上、本研究は自らが実践した企業内起業を工学的に分析し、企業内起業に適するマネジメントモデルを見出すことを試みたものであり、協業、研究開発、事業化などに関する重要なマネジメントモデルを見出すことが出来た。企業内起業に関するこのような起業工学的な研究は、イノベーションによる競争力強化を支えるために今後益々重要な役割を果たすものになると考えられる。

## 謝 辞

終始暖かく激励・御指導くださった指導教官の富澤教授、平野コース長、松本教授、若木教授、那須教授、前川客員教授のお陰で本研究をまとめることが出来ました。ここに深く感謝申し上げます。また、学業を続けていく上でいつも迅速で適確なサポートをいただきました秘書室の木藤様と安東様、本論文を執筆するにあたって文献調査や校正等で御協力いただいた濱田様、佐藤様に心より御礼申し上げます。

最後になりますが、奉職先である松下電器産業株式会社の古池副社長、半導体社の川崎社長、川上本部長、岡本 BU 長、松本 BU 長をはじめとする経営幹部の皆様、事業化の辛苦をともにしてきた先輩、同僚諸氏、そして研究に着手して以来のパートナーである *symetrix corporation* の Paz de Araujo 会長、McMillan 社長、強誘電体材料の工業化で決定的な役割を果たしていただいた株式会社高純度化学研究所の賣地戸社長と、多くの皆様の御支援・御協力がなければ、本研究の核となっている強誘電体半導体の事業化は達成できませんでした。あらためて深く御礼申し上げます。

## 業績リスト

### 受賞歴

1. International Symposium on Integrated Ferroelectrics にて、  
Life Time Achievement 2001年3月13日 受賞(個人)
2. ハイビジョンカメラ用 CCD イメージセンサの開発。1991年 米国テレビ芸術・科学アカデミー (The National Academy of Television Arts and Sciences: NATAS) から技術賞受賞(社名で受賞)。

### 委員、その他

1. ISSCC プログラム委員 1991年、1992年
2. SSDM プログラム委員 1999年、2000年、2001年
3. ニューメディア開発協会主幹研究員 2002年、2003年
4. IEEE Kansai Chapter 役員 (Treasure) 2000年 2001年 2002年
5. 名古屋大学非常勤講師 2002年
6. 文部科学省 特定領域研究「強誘電体薄膜の物性制御と次世代メモリデバイスへの応用」総括班 2000年～2002年

### 著書

1. “強誘電体不揮発メモリのプロセスデバイス技術”, 半導体研究〈44〉 超 LSI 技術 〈22〉 デバイスとプロセス その12”, 工業調査会 (1998) 西沢 潤編
2. “Integrated Ferroelectrics”, 共編、Taylor & Francis、Volume 49, 2002年
3. “強誘電体メモリの展望と関係業界への期待”, 強誘電体薄膜メモリ技術, 1998.1,
4. “システム・オン・チップ LSI に向けた強誘電体不揮発性メモリ技術”  
, 電子材料, 1995.6,
5. “強誘電体メモリ “サイエンスフォーラム 1995年 共著

### 論文

1. “Quantum Jumps in FeRAM Technology and Performance,”  
T. Otsuki and Koji Arita, Integrated Ferroelectrics, Vol.17 pp.31-43 (1977)
2. “Heat treatment effects on an In-GaAs ohmic contact”  
T. Otsuki, H. Aoki, H. Takagi, and G. Kano, J. Appl. Phys. 63, 2011 (1988)
3. “Annealing behavior of implanted Si in semi-insulating GaAs in the presence of stress,”  
T. Otsuki, J. Appl. Phys. 61, 928 (1987)

4. “A GaAs Monolithic High-Frequency Modulator IC for Laser-Diode Noise Suppression”, T. OTSUKI Tsuyoshi TANAKA Noriyuki YOSHIKAWA Akio SHIMANO Hiromitsu TAKAGI Gota KANO, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, 1986/04/01, Vol. E69-E No. 4 pp. 296-298
5. “強誘電体メモリ技術”, 藤井栄治, 大槻達男, 角辰巳, 森脇信行, 十代勇治, National Technical Report, 1995, Vol. 41 No. 6 P. 94
6. “ノーマリオン型 GaAs MESFET デジタル IC における動作マージン向上に関する検討”, 田中毅, 大槻達男, 高木弘光, 加納剛太, 論文誌 C, 1987, Vol. J170-C P. 661

#### 国際学会講演

1. “Toward Next Generation FeRAM”, T. Otsuki, 19<sup>th</sup> International Symposium of Integrated Ferroelectrics, Technical Program, pp. 60-61, 2007,
2. “A New GaAs HJFET DCFL with Increased Logic Swing”, T. Otsuki, Tetsuya Hamana, Issey Ohta, Masaru Kazumura and Gota Kano, International Conference on Solid State Devices and Materials, Kobe, 1984, pp. 355-358
3. “Integration Technology of FeRAM”, T. Otsuki, Masamichi Azuma, Yasuhiro Shimada, Tatsuo Otsuki, Carlos A. Paz de Araujo, 7<sup>th</sup> International Workshop on Oxide Electronics, 2000
4. “FeRAM Integration Technology, Today and Tomorrow”, T. Otsuki, Tatsumi Sumi, Eiji Fujii, Yasuhiro Shimada, Larry McMillan, The 12<sup>th</sup> ISIF 2000.3.14,
5. “Quantum Jump's FeRAM Technology and Performance”, T. Otsuki, The 19<sup>th</sup> ISIF Integrated Ferroelectrics, 1997,
6. “Ferroelectric Thin Film and the Integration Technology”, T. Otsuki, Tatsumi Sumi, Eiji Fujii, Yuji Judai, Yasuhiro Shimada, Yasuhiro Uemoto, Masamichi Azuma, Shinichiro Hayashi, Koji Arita, et al., 95 MOCVD Workshop for Silicon Processing, 1995,
7. “Heat Tolerance of the In-GaAs Ohmic Contact up to 900°C”, T. Otsuki, Hiromitsu Aoki, Hiromitsu Takagi, Gota Kano, Iwao Teramoto, 14<sup>th</sup> International Symposium on GaAs and Related Compounds, 1987,
8. “Annealing Behavior of Implanted SI in Semi-Insulating GaAs in the Presence of Stress”, T. Otsuki, Akio Shimano, Hiromitsu Aoki, Hiromitsu Takagi, Gota Kano, 4<sup>th</sup> Conference on Semi-Insulating III-V Materials, 1986, Hkone

9. “Polarization Decay and Hysteresis Deformation in Ferroelectric Capacitors”,  
Yasuhiro Shimada,Tatsuo Otsuki,International Meeting on FeRAM,2001/11/19-21,
10. “Electrical Properties of Y1-Based Ferroelectric Gate MOS Capacitors for Nonvolatile Memory Applications”,  
Koji Arita,Tatsuo Otsuki,Z.Chen,M.Lim,J.W.Bacon,11th International Symposium on Integrated Ferroelectrics,1999,
11. “An Adaptive Metric Learning Procedure for Reconfigurable Facial Signature Authentication”,  
Takami Satonaka,Tatsuo Otsuki,Takao Chikamura,IEEE Naural Network s Signal Processing ,1999,
12. “Multi-Mode and Multi-level Technologies for FeRAM Embedded Reconfigurable Hardware”,  
Koji Asari,Tatsuo Otsuki,Takaaki Baba,T.Meng,IEEE International Solid State Circuits Conference ,1999,
13. “Recent Progress in Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology with Bismuth-Layer Structured Thin Films ”,  
Toru Nasu,Tatsuo Otsuki,Eiji Fujii,Yasuhiro Shimada,Masamichi Azuma,Shinichiro Hayashi,Koji Arita,Yoshihisa Nagano,Keisuke Tanaka,10th International Symposium on Integrated Ferroelectrics,1998,
14. “Highly-Reliable Ferroelectric Memory Technology with Bismuth-Layer Structured Thin Filme(Y-1 Family)”,  
Eiji Fujii,Tatsuo Otsuki,Yuji Judai,Yasuhiro Shimada,Masamichi Azuma,Yoshihisa Nagano,Keisuke Tanaka,C.A.Paz de Araujo ,International Electron Devices Meeting 1997
15. “Integration Technology of Ferroelectric Thin Films and Its Applicaion to Si Devices”,  
Eiji Fujii,Tatsuo Otsuki,Yasuhiro Shimada,Masamichi Azuma,Yasuhiro Uemoto,Shinichiro Hayashi,Tatsumi Sumi,C.A.Paz de Araujo,L.D.McMilan,8 t h International Symposium on Integrated Ferroelectrics 1995
16. “A Novel Low Temperature Coefficient of Capacitance Material ”,  
Shinichiro Hayashi,Tatsuo Otsuki,MRS Fall Meeting "Ferroelectric Thin Films IV" ,1994,

#### 国内講演

1. “オープンイノベーションの新しいビジネスモデルに関する考察”,  
大槻達男、映像情報メディア学会技術報告, Vol.31,No.22, pp.19-22, 2007年3月
2. “強誘電体不揮発性メモリのプロセスデバイス技術”,  
大槻達男,第44回半導体専門講習会,1997.11,-
3. “強誘電体メモリの技術と今後の展望について”,

- 大槻達男,岡山大学情報工学部特別講演,1999.1,
4. “FeRAM のインパクトと今後の展望”,  
大槻達男, 日本計画研究所, 第4回特別セミナー,1998.12,
  5. “BLSF 強誘電体メモリとその応用”,  
大槻達男,藤井栄治,嶋田恭博,春季応用物理学関係連合講演会,1997.3,-
  6. “強誘電体メモリ混載 LSI”,  
大槻達男,1997ULSI 技術セミナー,1997.5,-
  7. “強誘電体不揮発性メモリのプロセスデバイス技術”,  
大槻達男,第44回半導体専門講習会,1997.11,-
  8. “マルチメディア社会と強誘電体デバイス”,  
大槻達男,サイエンスフォーラム,1995.5,-
  9. “強誘電体薄膜技術と半導体への応用”,  
大槻達男,第11回 サムコ薄膜形成技術セミナー,1994.5,-
  10. “FIT CCD Sensor for HDTV Cameras”,  
大槻達男,信定俊英,吾妻正道,豊田泰之,黒田隆男,マイコンショー,1989.5,
  11. “GaAs 標準ロジック IC シリーズ”,  
大槻達男,田中毅,仲矢修治,嶋野彰夫,電子デバイス研究会,1986.1,
  12. “新しい GaAs 論理回路 Pseudo Push Pull FET Logic(P2FL)”,  
大槻達男,青木裕光,田中毅,浅田浩明,高木弘光,光・電波部門全国大会,1986.9,
  13. “P3FL を用いた GaAs 1K ゲートアレイ”,  
大槻達男,青木裕光,田中毅,高木弘光,創立70周年総合全国大会,1987.3,
  14. “耐熱ゲート GaAs MESFET の熱処理効果”,  
大槻達男,金子裕光,青木郁子,嶋野彰夫,高木弘光,電子通信学会研究会,1985.3,
  15. “耐熱ゲート GaAs MESFET の n<sup>-</sup> アニール用キャップの検討”,  
大槻達男,嶋野彰夫,金子裕光,青木郁子,高木弘光,応用物理学会 1985.4,
  16. “In を用いた GaAs 耐熱オーミックコンタクト技術”,  
大槻達男,金子裕光,青木郁子,嶋野彰夫,高木弘光,応用物理学会 1985.3,
  17. “セルフアライン構造 GaAs MESFET の高耐圧化”,  
大槻達男,青木郁子,金子裕光,嶋野彰夫,高木弘光,応用物理学会 1985.4,
  18. “GaAs LEC インゴットアニール基板の電氣的評価”,  
大槻達男,金子裕光,青木郁子,嶋野彰夫,高木弘光, 応用物理学会 1985.4,
  19. “GaAs 標準ロジック IC シリーズ”,  
大槻達男,金子裕光,青木郁子,長崎博記,高木弘光,電子通信学会半導体・材料部門全国大会,1985.11,
  20. “Metal-Organic Chemical Vapor Deposition of FERROELECTRIC SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Thin Films”,  
内山潔,大槻達男,et al.,第17回強誘電体応用会議講演,



21. “SBT を用いた強誘電体メモリの最近の進展”,  
長野能久,大槻達男,第47回応用物理学関係連合講演会,2000.3,
22. “不揮発性メモリのための強誘電体薄膜の基礎と応用”,  
上本康裕,大槻達男,応用電子物性分科会,1997.11,-
23. “高・強誘電体の物性の半導体集積回路への実用化”,  
藤井栄治,大槻達男,上本康裕,嶋田恭博,応用電子物性分科会,1994.11,-
24. “W 膜上への PZT 強誘電体薄膜成長”,  
吾妻正道,大槻達男,応用物理学術講演会,1989.9,
25. “GaAs レーザドライバ IC”,  
浅田浩明,大槻達男,上田大助,田村光男,嶋野彰夫,電子デバイス研究会,1986.1,
26. “TTL 入力信号で動作する半導体レーザ駆動用 GaAsIC”,  
浅田浩明,大槻達男,上田はるみ,高木弘光,創立70周年総合全国大会,1987.3,