

半導体企業の研究開発体制

肥 塚 浩

—目 次—

はじめに

I 半導体研究開発の課題と手法

II 複数世代対応の研究開発体制—東芝を事例として—

III 研究開発と半導体企業の競争力

結びにかえて

はじめに

最近、日立製作所を始めとした半導体企業は、64 MDRAM (mega bit dynamic random access memory) の開発に成功し¹⁾、256 MDRAM の開発を本格的に始めている²⁾。このような半導体企業の動きに対応して、半導体製造装置企業も64 MDRAM 対応の製造装置をすでに出荷している³⁾。マイクロプロセッサにおいても、ミップス・コンピュータ・システムズが開発した64ビット RISC 型 MPU を日本電気、LSI ロジック、シーメンスなど日米欧の5社がサンプル出荷している⁴⁾。

半導体産業は周知のように先端産業と呼ばれているが、その特徴の一つは技術革新が速いということである。とくに、次々により容量が大きく、処理能力の高い製品が登場し、従来世代の製品と交替を繰り返すという製品技術革新は、半導体産業の大きな特徴である。もちろん、製品技術革新は、生産工程における技術革新抜きに行えないことはいままでもない。いずれにせよ、技術革新の連続は新たな需要を拡大させ、半導体市場を大きくする重要な要因になっている。

技術革新競争を軸とした企業間競争が激しく行われるため、半導体企業が競争優位を獲得しようとするならば、この技術革新競争を継続しうる研究開発体制を構築する必要にせまられる⁵⁾。

本稿の課題は、日本半導体産業のきわめて速い技術革新を支える研究開発体制のあり様を明らかにし、そのことが半導体産業の競争力強化の重要な要因となっていること、および日米半導体産業逆転といわれる事態を引き起こす要因ともなっていることを指摘することである。

従って以下では、次のような順序で課題を明らかにしていく。第1に、半導体研究開発上の課題と手法がどういったものであるのかを提示する。第2に、半導体企業の研究開発体制のあり様を検討する。第3に、研究開発体制の構築を行うための費用を検討し、半導体産業の競争力に決定的に重要であるこの体制の負担がもたらす重さの意味を明らかにする。

- 1) 日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1991年3月号、89～93ページ、および『日本経済新聞』1990年6月7日、1991年2月15日付け。
- 2) 日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1991年9月号、74～75ページ、および『日本経済新聞』1991年5月27日付け。
- 3) 『日本経済新聞』1990年9月23日付け。
- 4) 『日本経済新聞』1991年10月3日付け。
- 5) 技術革新や研究開発問題についての議論は、岡本康雄・若杉敬明編『技術革新と企業行動』東京大学出版会、1985年；土屋守章編『技術革新と経営戦略』日本経済新聞社、1986年；西田稔『日本の技術進歩と産業組織』名古屋大学出版会、1987年；伊藤実『技術革新とヒューマン・ネットワーク型組織』日本労働協会、1988年；児玉文雄『ハイテク技術のパラダイム』中央公論社、1991年などを参照。

I 半導体研究開発の課題と手法

1 半導体研究開発略史

(1) 製品技術革新

半導体産業が急速な技術革新を連続的になしてきてきたことは周知のとおりであるが、まずごく簡単にその製品開発史を素描してみよう（表1参照）。

半導体産業は、1947年のトランジスタの発明¹⁾から始まり、1958～9年に TI (Texas Instruments, Inc.) のキルビーとフェアチャイルド (Fairchild Semiconductor, Inc.) のノイスによって IC (Integrated Circuit) が発明²⁾され、現在につながる本格的な産業発展の基礎が³⁾すえられた。1970年代のマイクロプロセッサとメモリチップの普及を具体的内容とする LSI (Large Scale Integration) 時代の到来⁴⁾は、半導体産業を大規模化させるものであった。半導体の急速な技術革新を象徴する DRAM は、いまや16Mビットの量産が本格化⁵⁾しよ

表1 半導体開発の歴史

・年代	・主要事項	・デバイス
1904 1906	二極真空管の発明（フレミング） 三極真空管の発明（ド・フォレスト）	真空管
1947 1949 1951 1952 1956 1957	トランジスタの発明（バーディン、ブラッテン） 接合形トランジスタの発明（ジョックレイ） 接合形トランジスタの試作（米国ベル研究所） 合金形トランジスタの生産（米国 RCA 社・レイセオン社） シリコントランジスタの開発 SCR, FET の開発	トランジスタ
1958 1959 1962 1968 1970 1971 1975 1976 1981 1982 1985 1987 1988 1991	集積回路（IC）の開発（TI 社キルビー） プレーナ形 IC の開発（F・C 社ノイズ） MOS IC の開発（カニング） 1 トランジスタ型 MOS DRAM の構想（デナード）、CMOS IC の 開発（RCA 社） 1KDRAM の開発（インテル社）、CCD の発明（米国ベル研究所ボ イル） 4 ビットマイコンの開発 8 ビットマイコンの開発 64KDRAM の開発 16ビットマイコンの開発 1MDRAM の開発 4MDRAM の開発 32ビットマイコンの開発 16MDRAM の開発 64MDRAM の開発	IC LSI VLSI ULSI

（出所）日本電子機械工業会編『91 IC ガイドブック』1991年，4 ページ，表2。

うとしている。

また、1980年代に入ると、ASIC（application specific IC: 特定用途 IC）が急速に普及し始め、ユーザー・ニーズをより反映した半導体が開発される時代となっている⁶⁾。さらに、化合物半導体やニューロチップ、三次元回路素子、OEIC（Optoelectronic IC）、超格子素子などの新しいデバイス開発が次々に進められている⁷⁾。

（2）生産工程および材料技術革新

こうした製品技術革新を実現しうる生産工程の技術革新も、当然のことながら並行して行われた。生産工程技術革新があって初めて、新しい革新的な製品を大量生産できるわけである。例えば、微細加工技術の中心的装置である露光装置も、ICの集積度の向上によって、密着露光（コンタクト方式、プロキシミティー方式）、投影露光（プロジェク

ジョン方式），そして縮小投影露光（ステッパ方式，電子ビーム直接描画方式）へと，微細パターンがより小さく描ける装置へと置き替っている⁸⁾。現在の主流はステッパ方式であるが，これもg（ガンマ）線からi（イオタ）線，さらにはKrF（フッ化クリプトン）エキシマ・レーザーへと解像力向上のため，より波長の短い光源の採用を行おうとしている。

生産工程で使用する材料の技術革新も，同時に実現してきた。例えば半導体結晶は，トランジスタ時代にはゲルマニウムだったのが，IC時代にはシリコンに代わっている。また最近では化合物半導体の生産が増大している。さらにシリコンウェーハでも，より大きいサイズの口径を採用してきた。サイズの大きい方が，より面積が広く，たくさんチップを一度に作れ，大量生産によるコストダウンが可能となるからである。もっとも，チップサイズそのものが大型化しており，単位面積当りのチップ数は減少傾向にある。1970年代前半より，3，4，5，6インチと大口径化し，現在8インチサイズ対応のラインが最先端工場に導入されつつある¹⁰⁾。ウェーハを大口径化するには，ウェーハが反る問題，表面の清浄度，電気的特性の均一度，結晶欠陥の減少などを解決していく必要がある¹¹⁾。

このように，半導体産業はわずか40年程の間に，様々な技術革新を成し遂げたが，その研究開発は，新たな製品の出現を可能にする生産工程の革新とそれに関連する材料の革新を含めて行われてきたことを見落としてはならない。いいかえれば，半導体技術革新は，総合的な技術革新に支えられて実現されてきたものであり，現在の半導体産業がかかえている研究開発上の課題も多面的な研究開発活動によって解決されていく。従って，ひとり半導体産業のみならず，半導体を生産する上で欠かせない製造装置を生産する産業や様々な材料を提供する産業を含めて，研究開発が行われなければならない。これまでの半導体研究開発の歴史は，そうしたものであった。

2 DRAMの研究開発課題と手法

(1) DRAMの研究開発課題

上で述べてきた半導体研究開発の歴史を切り開いてきたのは，もっぱらアメリカの研究者と企業であった。これはよく知られているように，半導体産業というものはアメリカにおいてまず形成され，日本やヨーロッパ諸国は，アメリカを追いかけるといふ関係が長い間続いたためである。日本が全体としてアメリカに追いつき追い越すのは，1980年代後半に入ってからである。現在では，MPUなど一部を除き，メモリ開発でも，新デバイス開発でも日本がアメリカに先行している。また，ステッパに代表されるように

多くの半導体製造装置開発¹⁴⁾においても日本が先行しつつある。

ここでは、半導体企業における DRAM 研究開発のあり様に対象を限定し、現在の半導体研究開発の課題がどういったものであるかを提示する。DRAM を対象に設定した理由は、日本企業がこの製品開発で主導権を握っており、かつ研究開発の日本的特徴がよくあらわれているからである。

まず、DRAM についての簡単な説明をしておこう。RAM とは「任意の情報を任意の番地に任意の順序で記憶させ、かつどの番地からも同一の速度で情報を読み出すことのできるメモリ¹⁵⁾」で、とくに「電荷の有無で情報を記憶するために定期的に情報の再書き込み動作（リフレッシュ）を必要とする¹⁶⁾」ものを DRAM という。

メモリは、最も大きな市場を形成し、かつ市場規模を増大させているが、これは大容量のデータを処理するニーズが、各種情報機器の性能の急速な向上によって増大しつつ¹⁷⁾ きているためである。この中で DRAM は、メモリ市場の過半を占めているだけでなく、最先端の微細加工技術が必要とされ、半導体技術を先導するテクノロジー・ドライバー¹⁸⁾ の役割を果たしている。そこで、多くの大手半導体企業は、DRAM を戦略的製品の¹⁹⁾ 一つに位置づけている。

集積度を向上させるための研究開発上の課題はますます高度化し、増大している。高集積化を実現するには様々な新しい技術の導入が必要とされ、基本的には、①低電力化、②高速化のための回路、③デバイス技術、④プロセス技術²⁰⁾ によって実現されてきた。メモリセル自体は、64M でも 1 個のトランジスタと 1 個のキャパシタで構成されており、これまでのメモリと変化はないが、4M 以降は 3 次元化²¹⁾ やそれともなった多層配線技術²¹⁾ があたりまえの状況になり、そのためのデザインルール（最小線幅）もサブミクロン領域に突入している。また、クリーンルームも 1 m³ あたり 0.1 μm の粒子が 10 個クラス²²⁾ や 1 個クラスの清浄度²²⁾ になろうとしている。

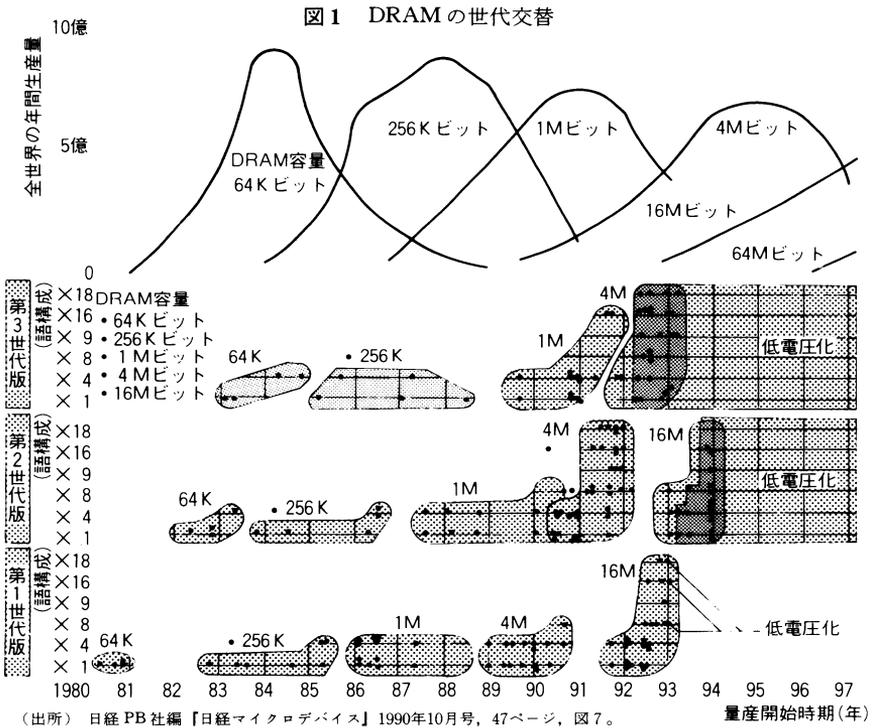
64M を実現するには解像力 0.3 μm レベルの微細加工技術が必要とされ、どの世代の DRAM から光源を i 線あるいは KrF エキシマ・レーザーにするかという点と、位相シフトマスクをどの光源と組合せて導入するかという点が主要な焦点となっている。前者は露光装置であるステッパの選択の問題であり、後者はマスク製造技術の問題である²³⁾。こうした問題が、DRAM 研究開発上において、課題となっている。

(2) DRAM の研究開発手法

ところで、DRAM は、1970年代に入って 1 K より始まった²⁴⁾ が、3年で集積度が 4 倍²⁵⁾ の次世代製品におきかわるということを繰り返してきている。このよく知られた世代交

替という現象を、製品のライフサイクルから見ると次のような特徴が浮かび上がる。DRAMは、3年で世代交替するといっても、量産開始から生産量がピークに達するまでに4年程度、そして市場から消えていくまでにさらに4年程度を要する製品である。つまり、市場に少なくとも8年程度は存在する製品である。

今後の製品のライフサイクルを見ると次のようになっている（図1参照）。現在、生産量のピークにあるのは1Mであって、1986年に開発に成功し1989年に量産化が始まった4Mは、本格的な量産体制に入っている。16Mは1988年に開発成功し、1992年より量産化²⁶⁾が行われ、さらに64Mが1991年に開発に成功し、1995年より量産化が行われるであろう²⁷⁾。



ちなみに各世代とも、チップ面積、アクセス時間などをメルクマールとして、第1、第2、第3世代に小区分できる。ただし、1Mまで第2、第3世代の投入が2年毎であったのが、4Mからは1年半に短縮している。さらに第3世代で設計ルールも製造プロ

セスも次世代とまったく同じ技術を使用してチップを縮小する「カットダウン」版が256Kから始まり、低価格を武器にした製品の長寿命化が起きている。何故なら、ウェーハ1枚当りの取得数がカットダウン版では多くなり、コスト削減効果が大きいからである。次世代製品はこれまで同様の間隔で登場するので、市場に複数世代が同時並存することになる²⁸⁾。こうしたことが生じるのは、ユーザーが必要とする記憶容量が複数のレベルにわかれるためである。より大容量のDRAMをエレクトロニクス機器に登載しようとするユーザーもいれば、そこまでの容量は不必要だと考えるユーザーも存在するわけである。いずれにせよ、カットダウン版登場といったDRAM市場の構造変化もより先の世代の製品開発を求めることになる。

従って、DRAM研究開発は製品のライフサイクルを見越したものにしなければならない。結論からいうと、複数世代同時開発ということになる。旧世代と新世代の間隔が3年しかないが、研究開発は開発成功までに数年、それからさらに量産化まで4年程度は要するわけで、世代交替の期間を越えた長い研究開発期間を要することを念頭において開発体制を構築することが必要である。

DRAM市場で競争優位を確保するには、第1に生産体制の構築が必要である。市場で生産量のピークにある世代の製品(1M)を大量生産し、収益を上げながら、その次の世代の製品(4M)の量産体制を築かねばならない。第2に研究開発体制の構築が必要である。次世代製品(16M)の量産化技術を向上させ、もう一つ先の世代(64M)を開発するための試作研究を行うことが必要である。そして、さらにもう一つ先の世代(256M)の基礎的研究に着手しておく必要がある。こうした複数世代を時間差はありながらも同時並行的に開発・生産していくことは、現在のDRAM大手半導体企業が市場において競争を続けるための不可欠な条件の一つとなっている。

- 1) 菊池誠『半導体の話』NHK ブックス, 1967年:鳩山道夫『半導体を支えた人々』誠文堂新光社, 1980年を参照。
- 2) T. R. リード(鈴木主税, 石川渉訳)『チップに組み込め!』草思社, 1986年を参照。
- 3) オーム社編『超 LSI TECHNOLOGY & APPLICATION NO.2 マイクロプロセッサのすべて』オーム社, 1985年11月, および同編『超 LSI TECHNOLOGY & APPLICATION NO.3 LSI メモリのすべて』オーム社, 1986年3月を参照。
- 4) ICは集積度によって, SSI(小規模集積回路:素子数10~100), MSI(中規模集積回路:素子数100~1000), LSI(大規模集積回路:素子数1000以上), VLSI(超大規模集積回路:素子数10万以上)に分類される。日本電子機械工業会編『'86 集積回路 IC ガイドブック』1986年, 71ページを参照。
- 5) 『日本経済新聞』1991年6月21日, 7月5日, 7月27日付け。

- 6) ASIC についての検討は、榎本里司「半導体産業におけるカスタム化と企業間関係」中野安・明石芳彦編『経済サービス化と産業展開』東京大学出版会、1991年を参照。
- 7) 日本電子機械工業会編、前掲書、31～32ページ、および同編『91 ICガイドブック』1991年、52～53ページ。
- 8) 同上（1991年）、97ページ。
- 9) それぞれ位相シフトを採用。日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1991年5月号、46～51ページを参照。ちなみに、g 線の波長は 436 nm、i 線の波長は 365 nm、KrF エキシマ・レーザーの波長は 248 nm である。
- 10) 日本電子機械工業会編、前掲書（1986年）、19ページ。
- 11) 同編、前掲書（1991年）、41ページ。
- 12) 同上、17ページ。
- 13) MPU、とくに32ビット CISC 型 MPU については、インテルとモトローラの2社が世界市場において、独占的な供給体制を築いている。プレスジャーナル社編『1991年版 日本半導体年鑑』1991年、317～318ページ参照。
- 14) 日本半導体製造装置協会編『SEAJ Quarterly』第16号、1989年10月、18～19ページ参照。
- 15) エレクトロニクス編集部編『最新 LSI 用語事典』オーム社、1988年、80ページ。
- 16) 同上。
- 17) プレスジャーナル社編、前掲書、292ページ参照。
- 18) 同上、293ページ、図3参照。
- 19) 半導体技術全体を牽引していく役割を担う。松井幹雄『シリーズ世界の企業 エレクトロニクス』日本経済新聞社、1987年、220ページ参照。
- 20) 川本佳史「メモリセルとリソグラフィ技術の選択が鍵」プレスジャーナル社編『月刊 Semiconductor World』1991年7月号、130ページ参照。
- 21) DRAM のセルは 4 K から 1 M までプレーナ型を使用してきたが、1 M から 3 次元構造に発展しており、現在ではスタック型とトレンチ型の2種類を各企業は使用している。前者はトランジスタの上にキャパシタを積む構造で、後者はトレンチを深くすることによってキャパシタ面積を多くとる構造である。トレンチ方式ははじめ日本電気と東芝が採用したが、日本電気が 4 M 第2世代版からスタックに切り替えたため、現在、日本の大手では東芝だけがトレンチとなっている。詳しくは、日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1989年8月号、89～96ページ、および1990年6月号、66～69ページを参照。
- 22) 日本半導体製造装置協会編『半導体製造装置用語辞典』日刊工業新聞社、1987年、279ページ；日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1990年10月号、57～59ページ参照。
- 23) 日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1991年5月号、46～77ページ参照。
- 24) オーム社編『超 LSI TECHNOLOGY & APPLICATION NO. 3 LSI メモリのすべて』オーム社、1986年3月を参照。
- 25) 拙稿「半導体産業の寡占体制—競争的寡占体制分析—（下）」『立命館経済学』第37巻2号、1988年6月、97～101ページ参照。
- 26) 新世代は4倍の記憶容量を持つので、旧世代との価格差が5倍程度になると、急速に世代交替する。新世代は旧世代の生産量が4分の1程度になると、金額ベースで逆転する。詳しくは、プレスジャーナル社編、前掲書、52ページを参照。
- 27) これらはいくまでも予想であるので、需給関係によってはかなりのずれが起こる。同上、

47ページ，図7を参照。

28) 詳しくは，日経BP社編『日経マイクロデバイス』1990年10月号，38～53ページを参照。

29) 『日本経済新聞』1991年7月15日付け。

Ⅱ 複数世代対応の研究開発体制—東芝を事例として—

1 東芝全体の研究開発体制

本節では，DRAMの研究開発体制のあり様を検討し，半導体企業の研究開発の特徴を描き出すことを課題とする。とくにDRAM市場において最大手企業である東芝の事例を中心に，この課題を果たすことにする。

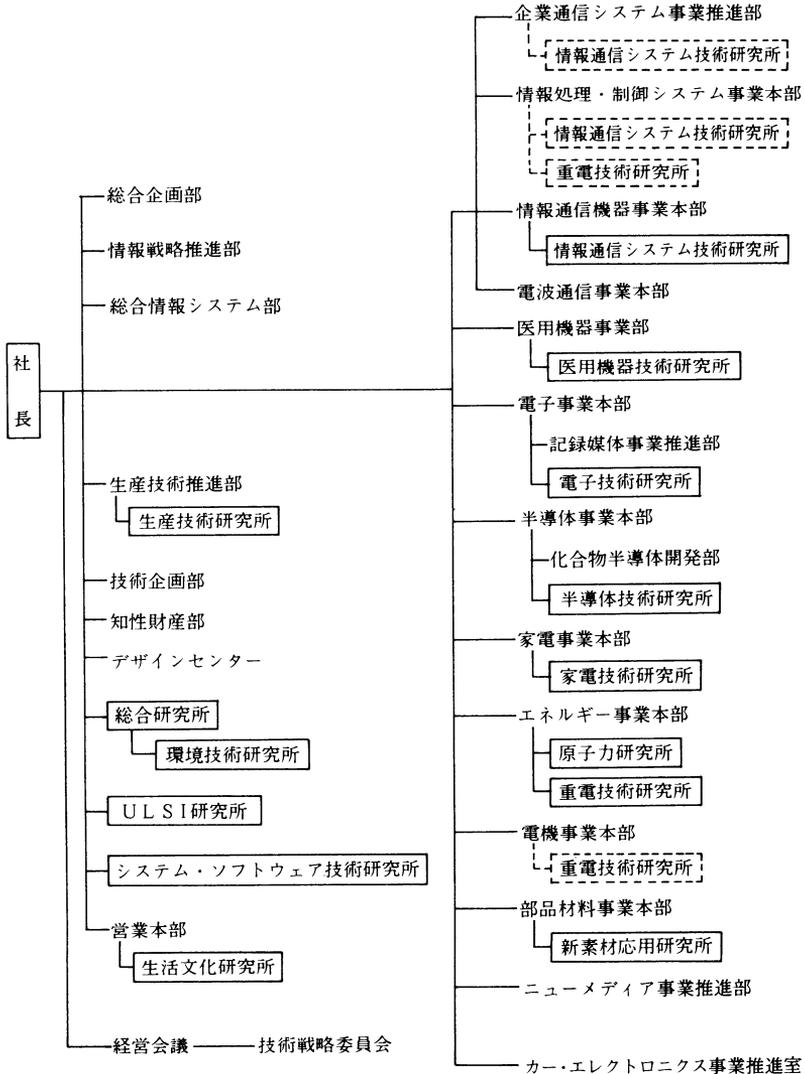
まず，東芝全体の研究開発体制を概観する。東芝の研究開発体制を一言で言えば，①5年以上を要する基礎的な研究に取り組む本社研究所，②3年から5年のタイムスパンの研究に取り組む事業（本）部研究所，③それ以下の期間で製品開発を行う事業（本）部設計開発部門，の3つのレベルから構成されている¹⁾。これは，巨大企業の経営内部構造の特徴である三層構造²⁾にちょうど対応した研究開発体制となっている。

研究所の概要は次のようになっている（図2参照）。本社研究所は総合研究所をはじめとして全部で4つの研究所，事業（本）部研究所は情報通信システム研究所をはじめとして全部で8つの研究所を擁している。その他に総合研究所内に新しく設置された環境技術研究所と営業本部の下に設置された生活文化研究所がある。ちなみに，総合研究所はその中に10の研究所と1つの特別研究室を持つ東芝研究開発体制の中心的存在である³⁾。

研究開発を推進していくための指針となる技術戦略は，東芝の場合は技術戦略委員会で決定される。重要な戦略的決定に関する制度として，特別研究開発制度と長期的全社テーマの2つの制度がある。前者は将来重要となるであろう分野に全社レベルで取り組む長期プロジェクトであり，1G DRAM開発をはじめとして60近いプロジェクトがある。後者は将来の基盤技術強化のために3年程度の研究期間で取り組む重点研究分野であって，薄膜形成，高密度実装など15のテーマがある⁴⁾。

東芝の研究所はこのように，日本国内だけしか設置されていないが，すでに海外に研究所を設置し，研究開発体制の国際化をはかっているエレクトロニクス巨大企業もある。日本電気は，アメリカのニュージャージー州に情報工学のための基礎研究所（NECリサーチ・インスティテュート）を設立（1988年）⁵⁾しており，日立製作所も，イギリスのケンブリッジ大学に研究室を設け（1989年），半導体デバイスの基礎研究を行っている⁶⁾。

図2 東芝の研究開発体制



1990年11月1日現在

(出所) 産業ジャーナル編『東芝グループの実態 91年版』(株)アイ・アール・シー, 1990年, 84ページ, 第V-3図。

最後に、研究開発を遂行するための東芝（グループ）の研究開発投資額は年々増大し、1989年度には2,659億⁷⁾円に達している。売上高に占める割合も6.3%になり、同年の設備投資額⁸⁾1,970億円を上回る規模である。

2 東芝の半導体研究開発体制——DRAMの場合——

(1) 東芝の半導体事業

DRAM市場において世界第1位のシェアを持つ東芝は、世界の半導体生産高でも日本電気について第2位にある。1990年の東芝の半導体生産高は7,000億円となり、第1位の日本電気との差は250億⁹⁾円で、ほとんど並んでいる。

東芝の半導体事業が文字どおり世界のトップクラスに躍りてたのは、それほど古いことではなく、1980年代後半以降のことである。東芝はトランジスタ時代から半導体事業に取り組み、様々な製品を生産してバランスのとれた事業構造を有していたが、国内第1位の日本電気（1981年の生産高2,640億円）、第2位の日立製作所（同2,060億円）にかなりの差をつけられていた（東芝は同1,700億¹⁰⁾円）。CMOS技術に見るべきものがあったとはいえ、技術的に最先端を走っているという状況になく、民生用をベースに製品展開を行っていた。とくに現在の東芝半導体事業を支えているDRAMは、コンピュータのメインメモリに使われるのだが、汎用コンピュータ事業から1978年に事実上撤退したことは、急速に市場成長を遂げつつあったDRAM市場への取り組みを遅らせるものとなった。

これが一転して半導体事業の活性化、とくにDRAM強化を図るのが1982年の「W作戦」であって、きわめて積極的な事業展開を行なっている。1986年からの1M量産は256K市場が低迷している中で¹¹⁾の選択で、これが結果として東芝に1MDRAM世界第1位をもたらすことになった。

(2) 製品開発プロセス

製品開発のプロセスを以下の研究開発体制の説明をするに必要な限りで、簡単に整理する。製品開発の順序は次のように進められる。半導体の様々な要素技術を開発することが第1段階として必要となる。次に、開発した要素技術を使って、学会発表版の開発と評価が行われ、その成果は毎年アメリカで開催されるISSCC（International Solid-State Circuits Conference：国際固体回路会議）などで発表される。そして、製品版のサンプル出荷が開始されるのだが、これには試験用サンプル（エンジニアリングサンプル＝ES）と商用サンプル（コマーシャルサンプル＝CS）の2段階がある。前者は半導体企業が評価結果の報告をすることを条件に無償でユーザーに配布するもので、5～6個単位であり、後者

は数量100個程度で有償である。こうした段階を経てはじめて、¹²⁾量産化が開始される。

次に、研究開発を行う際に必要とされる技術であるが、これは設計技術、トータルプロセス技術、個別プロセス技術に整理できる。¹³⁾

DRAM 研究開発を行っている半導体企業には、①製品指向、②技術指向、③プロジェクト指向の3つのタイプが存在している。①は、トータルプロセス技術を設計開発組織に入れており、設計側の要求がより直接に反映される。その結果、多品種並行開発に優れ、プロセス技術の共通化が進むが、採用するプロセス技術が保守的になりやすく、チップも大きくなりやすい危険がある。これに対し、②は、トータルプロセスと個別プロセスを一つの開発部に集めているため、製品への新技術採用がはかりやすい。ただし、先行開発する DRAM のトータルプロセス技術を他製品に展開できないと、製品毎に技術が変わってしまい、コスト負担が大きくなる。③は、設計、トータルプロセス技術、個別プロセス技術の一つにまとめて開発する方法である。集中開発するには威力を発揮するが、次世代開発との両立が難しいという側面を持つ。

①を採用しているのは、DRAM 大手企業上位2社の東芝と日本電気の2社で、②は中位の日立製作所、三菱電機、富士通、沖電気工業が採用し、③は下位の松下電子工業、シャープが採用している。¹⁴⁾4 MDRAM だけでも大手企業は200~300の品種を取り揃え、日本電気などは、1992年中には600もの品種を市場に出す予定である。¹⁵⁾従って、DRAM でも大きなシェアを握るには、製品指向性が強い研究開発体制が必要であり、上位企業はそうした体制を形成している。

(3) DRAM の複数世代同時開発体制

以下では、これらの開発プロセスと必要とされる技術をどの部署が担当するのかに留意しながら、製品指向性が強いという特徴を持つ東芝半導体事業部門の研究開発体制を説明していく。

1) 研究所

東芝の半導体関連の研究所は、本社研究所の ULSI 研究所と半導体事業本部所属の半導体技術研究所の2つが中心となっている。

ULSI 研究所は、要素技術開発および学会発表版の開発・評価を担当しており、現在は 64 MDRAM 開発を終了し、256 MDRAM に着手する段階にある。これに対して、半導体技術研究所は、製品版のサンプル出荷全体を担当しており、16 MDRAM 開発を終了し、64 MDRAM 開発に入りつつある。

設計とトータルプロセスは両研究所が担当しており、多層配線、素子分離、キャパシ

タなどの個別プロセスは、ULSI 研究所と半導体事業部門の技術部の両方で一貫して担当する関係になっている。¹⁶⁾

ところで、個別プロセス開発に直接関連する半導体製造装置の内製化は、重点的に行う方針をとっている。設計・開発を担当しているのは、上述したように ULSI 研究所と半導体事業部門の技術部（半導体プロセス第2部）であって、装置化は、東芝機械、徳田製作所、明石ビームテクノロジー、トプコンといった関連会社が行っている。具体的な装置としてこれまでに内製化したのは、電子ビームマスク描画装置、エッチング装置（CDE、RIE）、CVD 装置（選択W成長）、検査装置（測長 SEM、3次元 SEM、レジストレーション検査、ウェーハ表面異物検査）などである。¹⁷⁾

こうした内製化は東芝だけでなく、他の半導体企業も急速に行いだしている。¹⁸⁾内製化が推進されている理由は、半導体製造装置がますます高度化して、半導体製造装置企業だけの手には負えなくなっているからである。つまり、プロセス技術において先行するにはどうしても製造装置を早く入手しなければならず、これが半導体企業に製造装置開発を盛んに行わせる原因となっている。

最後に、上述の2つの研究所以外に半導体研究開発に携わっている研究所に、総合研究所とシステム・ソフトウェア技術研究所がある。両研究所は、とくに要素技術開発に携わっている。²⁰⁾

2) 2段階の工場パイロット制

試作ラインを次世代製品の先行開発と製品チップのプロセス技術の開発の2つに分離するやり方が、いくつかの半導体企業で採用されている。

現在、次世代先行開発では、64 MDRAM の試作が盛んに行われている。ULSI 研究所や半導体技術研究所などを中心に開発を行うのだが、実際に試作するのは、多摩川工場の UL 棟第1クリーンルームとマイクロエレクトロニクス・センター（8インチ試作ライン）であり、²¹⁾ここから試験用サンプルの出荷が行われる。

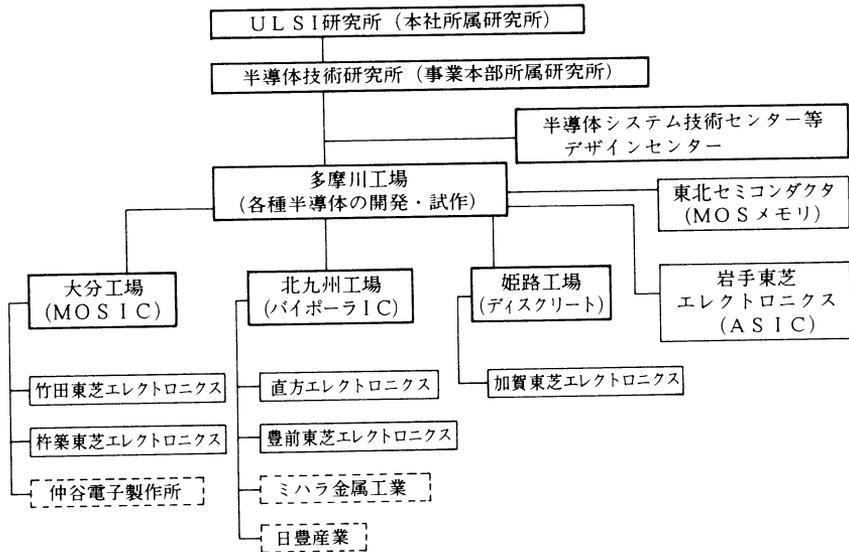
次に量産工場で、それ以降の開発とくにプロセス技術の開発を行う。東芝では大分工場が担当しており、この工場の技術部がプロセス技術の開発を行い、商用サンプル出荷を行う。さらに大分工場は2～3年後の完成を目指した64M用の新R & Dセンターの建設も発表されている。²²⁾また、8インチラインの量産工場での採用は、新設の四日市工場で行われる予定である。²³⁾

こうした方法を工場パイロット制というが、上述したように2段階になっているので、2段階の工場パイロット制と呼んでいる。工場パイロット制とは、「試作に最低限必要

な製造装置を量産工場に設置し、装置とプロセスの確認が済むと横並びに装置を増やして立ち上げる方法²⁴⁾である。

工場パイロット制を利用して立ち上げ、量産化をはかるのだが、東芝の場合、量産拠点は次のようになっている（図3参照）。MOSは大分工場、四日市工場、東北セミコンダクタ、バイポーラは北九州工場、ASICは岩手東芝エレクトロニクス、ディスクリートの姫路工場である。それぞれの量産拠頭に工場パイロット制を導入し、いちはやく量産化を実現していくという戦略がとられている。

図3 東芝半導体事業部門の研究開発・生産体制



(出所) 産業出版編『88年版 半導体業界』産業出版、1988年、46ページ。
 日経BP社編『日経マイクロデバイス』1990年10月号、55ページ及び石原昇・若林秀樹「90年代の半導体産業」『業界観測』1991年5月、44ページより作成。
 (注) — は東芝 — は系列会社 は協力会社

工場パイロット制は、製品開発、量産化の研究、量産技術の他ラインや他工場への移転を円滑に行いうるものとして注目されており、東芝の他に三菱電機が既に採用しており、日立製作所も8インチラインの立ち上げのため甲府分工場を導入することになった。²⁵⁾

3) デザインセンター

半導体研究開発においてユーザー・ニーズを取り込むところがデザインセンターであ

る。これまで汎用が中心であった DRAM も最近では ASIC 化が進められつつあり、他の製品同様に DRAM においてもデザインセンターの役割は重要になっている。

デザインセンターの機能は、ユーザー・ニーズへ対応した製品の企画立案、設計、最終製品評価を行うことにある。このデザインセンターの中核にあるのが半導体システム技術センターであって、ULSI 用の CAD (Computer Aided Design)、CAT (Computer Aided Testing) を開発し、設計時間の短縮を図っている。また、東芝グループの国内コンピュータネットワークである TG-VAN (Toshiba Groupe VAN) を利用して、国内のデザインセンターや工場などを結んでユーザーへの迅速なサービスを図っている。²⁶⁾

デザインセンターは、国内だけでなく世界的に展開されている。アメリカ、英国、ドイツ、スウェーデン、香港など10数カ所に設立し、これらを半導体システム技術センターを中核としたデザインネットワークで結んでいる。²⁷⁾

こうしたデザインセンターの世界的展開は、東芝に限らず、大手の半導体企業はいずれも行っている。

4) 国際提携関係

東芝の生産体制のグローバル化は、日本電気に比べ大幅に遅れている。その反面、国際提携は数多く行っているのだが、それも単に数が多いだけでなく、密接な関係を築き上げている（図4参照）。

とくにモトローラとの関係は非常に緊密である。1985年に DRAM 技術供与と MPU 技術導入を行い、87年に MOSIC の生産会社である東北セミコンダクタを共同設立し、90年に ASIC の技術交換を行い、さらには高品位テレビ用 IC の共同開発も発表している。とりわけモトローラが他企業には供与しなかった32ビット SISC 型 MPU を東芝にのみ供与したことは、両社の関係が非常に密接であることを示している。モトローラ以外では、シーメンスに 1 MDRAM の技術供与を行っているのと、MIPS から RISC 型 MPU の技術供与を受けている点が注目される。²⁸⁾

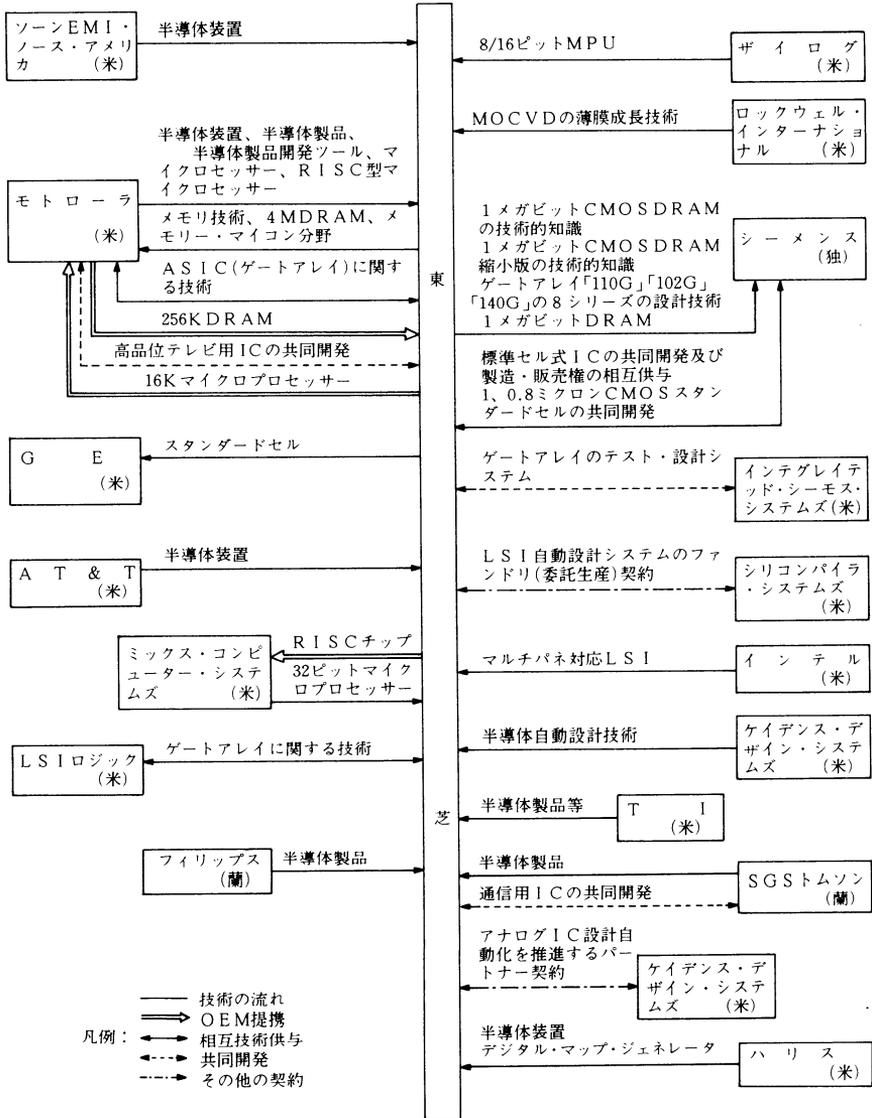
東芝の国際提携関係では、自社が得意とする DRAM 技術を武器にして、弱点の MPU 技術を導入するという戦略的提携関係をモトローラと結んでいることが重要である。もちろん、それ以外の企業にも技術供与や技術導入を行い相互補完を行っている。²⁹⁾

(4) 小括

以上の検討から明らかなように、東芝の DRAM 研究開発は、複数世代を同時並行的に開発するための体制を構築している。その体制を整理すると、次のようになる。

第1に、次々世代の要素技術開発を中心とした開発は ULSI 研究所でおこなわれ、

図4 東芝の半導体に関する国際提携関係



(出所) 産業ジャーナル編『東芝グループの実態 91年版』(株)アイ・アール・シー、1990年、40～42ページ、第II-2図(1)～(3)より作成。

次世代製品開発レベルを半導体技術研究所が行っている。第2に、2段階の工場パイロット制を導入して量産化技術開発を行いながら、円滑に量産体制に移行できるように工夫している。第3に、ユーザー・ニーズはデザインセンターが窓口になって吸収して製品開発に反映させ、第4に、国際的な提携関係によって得意な技術を供与するかわりに東芝にとって必要な技術の導入を行っている。

現在は、ULSI研究所が64Mから256Mの開発を行い、半導体技術研究所が16Mから64Mの開発を担当している。そして、大分工場では16Mの量産化がはじまろうとしている。

- 1) 以上の説明は、産業ジャーナル編『東芝グループの実態91年版』（株）アイ・アール・シー、1990年、78ページを参照。
- 2) 坂本和一『現代巨大企業の構造理論』青木書店、1983年、52～67ページ。
- 3) 以上の説明は、産業ジャーナル編、前掲書、78および86ページを参照。
- 4) 以上の説明は、同上、78ページを参照。
- 5) 野口恒『日本企業の「基礎研究」』日刊工業新聞社、1990年、62～63ページ参照。
- 6) 『日本経済新聞』1991年8月13日付け。
- 7) 『有価証券報告書総覧（連結情報）』大蔵省印刷局、1990年3月。
- 8) 産業ジャーナル編、前掲書、135ページ。
- 9) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 83、1991年7月号、2ページ。
- 10) プレスジャーナル社編『1985年度版 日本半導体年鑑』1985年、161～165ページ。
- 11) 以上の説明は、中川靖造『東芝の半導体事業戦略』ダイヤモンド社、1989年を参照。
- 12) DRAM 製品開発プロセスについて検討したものに、加藤義郎「半導体 IC の製品化」守屋晴雄編『現代製品化論』東洋経済新報社、1991年がある。
- 13) 同上、55～58ページ、60ページ参照。
- 14) 詳しくは、日経 BP 社編『日経マイクロデバイス』1990年10月号、54～70ページを参照。
- 15) プレスジャーナル社編『1991年度版 日本半導体年鑑』1991年、53ページ。
- 16) 日経 BP 社編、前掲書、62ページ、図8を参考にして現在の開発状況から推定した。
- 17) 半導体製造装置は半導体企業の手作り時代（1950年代）、輸入装置全盛時代（1960年代）を経て、装置の国産化が半導体製造装置企業を中心に1965年くらいから急速に行われ、1970年頃には一応の国産化が果たされる。半導体製造装置の輸出が盛んになるのは、1980年代に入ってからで、1980年代後半以降、多くの半導体製造装置でも日米の逆転が生じている。急速な内製化は、以上の歴史を経た上でのことである。詳しくは、日本半導体製造装置協会編『日本における半導体製造装置の歴史』[SEAJ Quarterly] 第11～16号、1988～89年を参照。
- 18) 詳しくは、日経 BP 社編、前掲書、71～78ページを参照。
- 19) 各半導体企業の半導体製造装置の内製化状況はつぎのようになっている。
①内製色の強い富士通、②関連会社なども利用しながら内製化を進める東芝と日立製作所、③一部内製化している三菱電機、松下電子工業、④基本的に外部調達を行っているのが日本電気（ただし、多くの関連会社を有している）、沖電気工業、シャープである。
- 20) 産業ジャーナル編、前掲書、89ページ、図V-9参照。

- 21) 日経 BP 社編, 前掲書, 56ページ, 図 2 参照。
- 22) 『日本経済新聞』1991年 3 月 7 日付け。
- 23) 日経 BP 社編, 前掲書, 56ページ, 図 2 参照。
- 24) 同上, 69ページ。
- 25) 同上, 70ページ。
- 26) 以上の説明は, 産業ジャーナル編, 前掲書, 94ページを参照。
- 27) 以上の説明は, 同上, 95ページを参照。
- 28) 同上, 34～42ページ, および『日本経済新聞』1990年12月10日付け。
- 29) 柳町功「日韓半導体企業の事業戦略比較—東芝と三星電子の国際化戦略を中心に—」『名古屋商科大学論集』第35巻第2号, 1991年 3 月, 40～41ページを参照。

Ⅲ 研究開発と半導体企業の競争力

1 半導体企業の競争優位条件

(1) 研究開発投資と設備投資

本節では, 前節で検討した研究開発体制の構築が莫大な資金を必要とすることを指摘し, その上で, 半導体企業の競争力維持にとって決定的に重要であるこの体制の負担がもたらす重さの意味を明らかにする。

各上位半導体企業の全社レベルの研究開発費は, 表 2 のようになっている。ほとんどの企業（グループ）が 5% から 7% ぐらいの研究開発比率を有しており, 高い比率であ

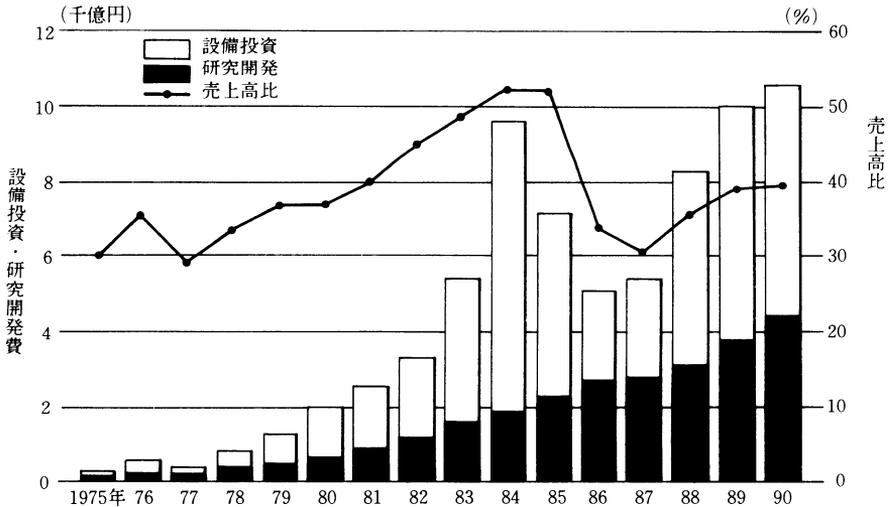
表 2 エレクトロニクス巨大企業の売上高および研究開発費
(1989年, 単位: 億円, %)

企業名	総売上高	研究開発費	研究開発比率
日本電気	34,442	2,465	7.2
東芝	42,520	2,659	6.3
日立製作所	70,779	4,295	6.1
富士通	25,498	2,991	11.7
三菱電機	29,764	1,451	4.9
松下電器産業	60,003	3,457	5.8
三洋電機	14,718	748	5.1
シャープ	13,448	782	5.8
沖電気工業	6,291	348	5.5
ソニー	29,452	1,652	5.6

(出所) 『有価証券報告書総覧(連結情報)』大蔵省印刷局, 1990年 3 月, 各社版などより作成。

(注) 総売上高および研究開発費は, 連結決算による。

図5 大手半導体企業の設備投資と研究開発投資



(出所) 日本電子機械工業会編『91 ICガイドブック』1991年、23ページ、図2。
原出所は通産省12社調べ。

ることがわかる。

半導体関連の研究開発投資額については、企業毎のデータはないが、通産省が上位12社を対象に調査したものがあるので、これを見ると次のようになっている(図5参照)。1975年に215億円であったものが、1980年には695億円、1985年には2,549億円、1988年には3,207億円へと着実に増加し、1988年は1975年の15倍ほどに増加している。また対半導体売上高比率を見ると、1980年は12.6%、1985年は18.8%、1988年は13.8%と、1980年代には平均して15%程度を投入していることになる²⁾。

これに対し、半導体設備投資額は、1984年まで急上昇した後、85年の半導体不況により一転して急減し、その後また金額を増加させている。具体的には、1975年は114億円、1980年は1,389億円、1984年は7,628億円と増加を続けた後、1985年は5,104億円、1986年は2,750億円と減少した³⁾。その後は増加を続け、1990年には6,325億円まで回復している。設備投資額の対半導体売上高比率をみると、1980年は24.9%、1984年は42.4%になり、その後急落し、1988年には27.2%まで回復しており、1980年代には平均して25%程度を投入していることがわかる⁴⁾。

以上から、第1に、研究開発投資の対売上高比率は、非常に大きな割合が投入されて

いることがわかる。他産業と比較すると、全産業の平均は1980年代に入ってから急速に高まっているものの、1988年で0.9%であり、対売上高比率が高い医薬品産業でも8.9%⁵⁾（1988年）である。平均15%という半導体産業の研究開発投資比率の高さは、他産業を圧倒している。これは、半導体産業の技術革新競争がきわめて激しいことを表している。

第2に、設備投資額も増大している。絶対額で2兆2千億円（1990年）を越える自動車産業にはおよばないものの、9千億円超（同）の化学産業や鉄鋼産業の規模に近づいており、対売上高比率では他産業よりはるかに大きい。これによって、急速な市場の成長を実現しているのだが、最近では投資効率が落ちてきているため、設備投資負担はより大きくなっている（図6参照）。

第3に、好不況によって設備投資額は大きく変動しているが、研究開発投資額は一貫した上昇

を示していることが特徴的である。1980年代を通して、半導体企業は設備投資を削減することはあっても、研究開発投資を削減することは行わなかったということであり、いかに研究開発を重要視していたかがわかる。

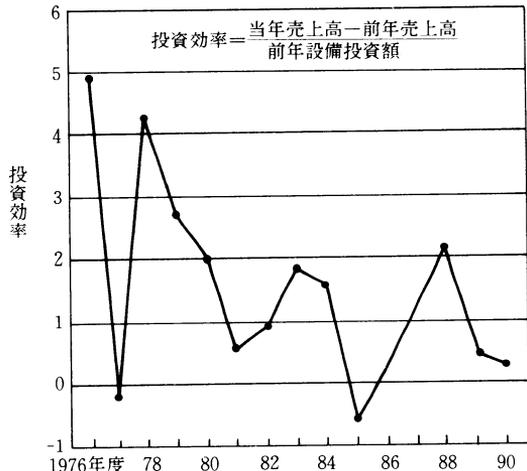
(2) 半導体企業の競争優位条件

これまでの検討から、半導体企業が常に競争優位を確保するには、複数世代対応の研究開発体制の構築がぜひとも必要であることを明らかにした。この体制を構築するためには、上述したような莫大な費用が必要である。

1980年代を通じて、日本の上位半導体企業は平均すると、売上高比率で研究開発投資15%、設備投資25%を投入し続けてきた。合計すると売上高の40%もの比率を投入し続けてきたわけである。

これらの投資負担は、下位企業ほど負担度は大きく、例えば設備投資比率を見ても、日本電気や東芝は13~4%程度（1989年）であるが、松下電子工業で28%（同）、ソニー

図6 設備投資効率の推移



(出所) 日本電子工業会編『91 ICガイドブック』1991年、25ページ、図4。

では43%（同）にもなる⁷⁾。各企業とも事業戦略上、投資比率はそれぞれ上下するが全体の傾向として、下位企業ほど負担度が高いことは明らかである。なぜなら、例えば0.5ミクロン対応の最新鋭工場を建設するには、いまや800～1,000億円という巨額の費用が⁸⁾必要であり、下位企業にとってもこの負担は同様に必要とされるからである。こうした建設費は、DRAMなどの最先端半導体市場で競争を行うにはどうしても必要である。

このことは、研究開発投資でも同じことがいえる⁹⁾。東芝のDRAM開発で見たように、同時にいくつもの世代の製品開発を基礎研究、応用研究、開発研究といった各段階に対応させながら研究開発を行うという複数世代同時並行開発は、多くの費用が必要とされる。

また半導体企業の研究開発は、資金面だけでなく、ヒトの面でもたいへんな負担が必要となる。半導体産業の研究開発・技術部門の人員は、1975年が5,074人で、1986年には19,297人¹⁰⁾となっており、急増している。全従業員に占める研究開発従業員比率も25%¹¹⁾を越えている。こうした人員を確保することは、半導体事業の成長にとって欠かすことができない。

半導体企業がDRAM市場において競争優位を築くには、複数世代対応の研究開発体制が必要であり、その構築には、上で見たような巨額の費用や人員が必要である。これらの体制を構築できないならば、半導体企業は半導体市場の最も重要な分野での競争を断念することになる。

2 DRAM市場における日米半導体企業の逆転

日本の上位半導体企業は、その充実度に違いはあるものの複数世代対応の研究開発体制をいずれも構築してきた。そのことによって、DRAMのような戦略的製品分野に参入を続けてきたわけである。

DRAM世界市場の上位5社集中度は、1982年で63%、1989年で62%である。1982年には4位にTIが、5位にモステックが入っていたが、1989年には1社のアメリカ企業も入っておらず、すべて日本企業である（表3参照）。そして、1980年代以降、DRAM市場から撤退をはかる企業が続出した¹²⁾。

以下では、この点について、アメリカ半導体企業の行動を簡単に振り返ることにする。これには端的にいうと、アメリカ半導体企業の企業規模の問題が存在する。アメリカ半導体企業は、周知のようにベンチャービジネスとして成長を遂げてきた企業が大半である。例えば、シリコンバレーでは1960年代以降、フェアチャイルド社を源流とする一連

表3 DRAM世界市場における上位供給メーカー

(単位:百万ドル, %)

ランク	1982年			1989年		
	供給メーカー	売上	シェア	供給メーカー	売上	シェア
1	日本電気	135	15	東芝	1,625	19
2	日立製作所	125	14	日本電気	1,100	13
3	富士通	115	13	日立製作所	1,000	11
4	TI	110	12	三菱電機	900	10
5	モステック	85	9	富士通	700	9
	他	330	37	他	3,355	38
	合計	900	100	合計	9,200	100

(出所) プレスジャーナル社編「1991年版 日本半導体年鑑」1991年、299ページ、表5。原出所はICE。

の企業群が大量に出現し、IC時代におけるアメリカ半導体産業の最大部分を構成した。これらの企業は、新しい技術を有する研究者たちがスピニングアウトし、ベンチャーキャピタルを利用して設立した企業である。企業の多くは、優れた技術を有して、急速に企業規模を大きくしていった。¹³⁾

しかし、最先端半導体の一つであるDRAMを製造するための設備投資額は増大するばかりであったし、新世代製品を開発するための研究開発体制と投資額ももはや、多くのアメリカ半導体企業が負担できる範囲を越えるようになった。このことがはっきりしたのが、256K DRAMであって、日本半導体企業が全世界の市場シェアの90%以上を獲得する¹⁴⁾という事態が出現し、アメリカ半導体企業は次々とDRAM市場から撤退していった。現在は、モトローラやTIといった最大手企業をはじめとした数社がDRAM事業を継続している。

豊富な設計技術者を有するアメリカ半導体企業は生き残りをかけて、生産工程技術革新に巨額の資金を投入するよりも、マイクロプロセッサやASICなどの製品開発に経営資源を投入する道を選択している。いわゆるファブレス企業化の流れである。ファブレス企業とは、製造ラインをもたず、設計とマーケティングだけを担当する企業のことである。例えば、1980年から1987年にスタートアップした企業68社中36社がファブレス企業¹⁵⁾であるといわれており、製造ラインは、日本の半導体企業など海外の半導体企業にまかせるという戦略をとっている。

ある意味では、アメリカ半導体企業と日本半導体企業との国際分業体制の形成といえるのだが、基本的には、フルラインの製品構成を持って開発から生産まで一貫して担当

するという日本半導体企業のようなあり様を、アメリカ半導体企業のはほとんどがもはやとれなくなっていることを示している。

- 1) 日本電子機械工業会編『91 ICガイドブック』1991年、23ページ、表13。
- 2) 同上、24ページ、表14。
- 3) 同上、23ページ、表12、および同編『半導体産業の現状と将来展望』1988年、67ページ、表5-4-1。
- 4) 同上（1988年）、68ページ、表5-4-4。ただし、1988年の数値は筆者の計算。
- 5) 日本電子機械工業会編、前掲書（1991年）、24ページ、表14。
- 6) 同上、24ページ。
- 7) プレスジャーナル社編『1991年度版 日本半導体年鑑』1991年、206、210、226、238ページの各図1および2より計算。
- 8) 日経BP社編『日経マイクロデバイス』1991年6月号、65ページ、表1。
- 9) 半導体研究開発費がいくらであるかについての企業毎のデータは収集できない。半導体産業全体の動向をあてはめると、設備投資の6割程度ということになる。負担度は下位企業のほうが重いのはいうまでもない。
- 10) 日本電子機械工業会編、前掲書（1986年）、19ページ参照。
- 11) 同上、19ページ参照。
- 12) 撤退した主な企業は、インテル、AMD、NSなどである。プレスジャーナル社編『1989年度版 日本半導体年鑑』1989年、78ページ参照。
- 13) 瀬見洋『米国半導体産業』日本経済新聞社、1981年を参照。
- 14) プレスジャーナル社編『1987年度版 日本半導体年鑑』1987年、156ページ。
- 15) プレスジャーナル社編『月刊 Semiconductor World』1990年6月号、184ページ、表1参照。数字の説得力に若干の疑問があるとされているが、全体の傾向はファブレス化に向かっていることは明らかである。

結びにかえて

以上の検討から、明らかになったことを整理すると、次のようになる。第1に、DRAMをはじめとする半導体研究開発の課題はますます高度化している。製品技術革新は生産工程および材料技術革新が同時並行的に行なわれることによって実現されてきたが、それは今後とも変わらない。

第2に、半導体企業の競争力にとって研究開発は決定的に重要である。DRAM 開発では、複数世代対応の研究開発体制の構築がポイントとなっている。東芝の場合、それは、次々世代の要素技術開発を行う研究所、次世代製品開発を行う研究所、そして量産化技術開発にすみやかに移行するための2段階の工場パイロット制というように、複数世代の製品を時間差はありながらも同時並行的に開発する体制になっていた。

第3に、複数世代対応の研究開発体制を半導体企業が構築するには、巨額の費用が必要である。こうした体制を構築できる資金力を有する企業のみが、DRAMのような戦略的製品市場において、競争を継続することが可能である。

ところで、本稿では、半導体企業に限定して研究開発の問題を論じてきた。半導体産業の研究開発問題は、半導体製造装置産業などを含めて論じる必要があるが、この点については次の課題にしたい。

*本稿は「文部省科学研究費補助金」により作成した。