

セマテックという経験と 米国半導体産業

高橋 信 一

はじめに

- 第 1 章 米国半導体産業の歴史
- 第 2 章 日米半導体競争と軍事
- 第 3 章 セマテックの成果と米国半導体産業への影響
おわりに——米国半導体産業の復活と新しい展開

はじめに

セマテックは 1987 年 3 月に設立されて以降、紆余曲折がありながらも、米国半導体産業の復活とその後の躍進を支えるまでになり、ついに 1994 年秋には、セマテック CEO のウィリアム・スペンサーが「まもなく連邦資金を辞退するだろう」と公表して多くの評論家たちを驚かせた¹⁾。これは米国半導体産業の復活に果たす役割を終えたとはいえ、さらに新しい役割を自覚した自信の表れでもあった。1996 年に政府資金の辞退を正式に決定し、1997 年からは日本企業を始め国外企業にも門戸を開き、半導体製造技術研究の国際的な拠点に発展して今日に至っている。

筆者は、セマテックというコンソーシアムの設立と運営それ自体が米国の半導体産業にとどまらず様々な産業のその後に大きな影響を与えた重要な経験であり、米国の科学技術政策の大きな転換を象徴するものであったと理解している。

以下、米国半導体産業の歴史的な背景をふまえたうえで、セマテックが米国の半導体産業に与えた影響や成果について明らかにしたい。

第 1 章 米国半導体産業の歴史

半導体産業が生まれる最初のきっかけは、アメリカ電信電話会社 (AT&T) のベル電話研究所 (以下、ベル研) におけるトランジスタの発明であった。AT&T 社の電話交換機に使われていた真空管は交換機を大きくするだけでなく、高価で壊れやすく、大量の電力消費を必要とし、この真

空管に代わる装置の材料を探していた。ベル研のウィリアム・ショックレー、ジョン・バーディー、ウォルター・ブラッデンの3人は1947年12月23日に、最初のトランジスタを発明した。そのトランジスタは点接触型であり、故障しやすいという構造的弱点を持っていた。そこで、この弱点を解決する接合型トランジスタがショックレーによって1948年に考案された。ちょうどこの頃、陸軍も無線通信機の小型化を望んでおり、ベル研でのトランジスタの発明を知るや、陸軍通信隊工学研究所 (SCEL: Signal Corps Engineering Laboratory) はベル研とのR&D契約を結び、R&D費を補助した²⁾。この陸軍通信隊からの支援によって、トランジスタの応用に向けた実用化研究が促進された。重要な特許の独占が反トラスト法に抵触し、特許の無料公開が強制されるのを恐れたAT&T社は、トランジスタに関する基本特許を望む企業全てに有料公開することを決めた。その結果、多くの半導体企業が生まれることになった。ねばり強い交渉の末、通産省から外貨使用の許可を得た日本の東京通信工業 (後のソニー) も特許契約を結び、トランジスタ・ラジオの成功につながっている。

ベル研を退社したウィリアム・ショックレーが、同時にベル研を退社した科学者・技術者たちとともに、1955年にショックレー半導体研究所を設立した。これが世界最初の半導体メーカーということになる。しかし、ショックレーと対立したロバート・ノイスやゴードン・ムーアたちは同社を退社して、後に代表的な新興企業となるフェアチャイルド半導体社 (以下、FC社) を設立した。FC社と並んで半導体産業の創成期に大きな役割を果たした企業に、テキサス・インスツルメント社 (以下、TI社) がある。もともと石油機器会社であったTI社は、ベル研で成長型トランジスタを開発したゴードン・ティールを1958年にスカウトして、半導体産業に参入した。同年、TI社に入社したジャック・キルビーは、入社してまもなく、電子部品の組立を容易にする装置の小型化に取り組み、全ての部品を1つの材料から作り、内部で接続すれば装置になるという着想 (集積回路へのアイデア) に達した。そして、キルビーは特許申請書を1959年2月にアメリカ特許庁に提出した。ほぼ同時期に、同様の研究を行っていたFC社のノイスもすぐ後に特許を申請しており、特許審査裁判所は、相互接続に関するキルビーの記述は不適切であると判断して、ノイスに特許を認めた³⁾。キルビーとノイスは、特許権をめぐる10年間も争い、最終的にノイスの勝利となったが、集積回路に関する特許を実際の製造技術へと発展させるには、互いに補完し合う必要があり、FC社とTI社はお互いに特許を認め合い、提供し合う (クロスライセンス) ことになった。

集積回路 (IC) の最初の製品化は、TI社がアメリカ空軍から開発契約を勝ち取り、ミニットマン・ミサイル用誘導コンピュータを納入したときである。TI社は1958年11月と12月の2回、空軍関係者の前で、ICの公開実演を行い、開発契約を得たことによるR&D費の資金援助は毎年100万ドルに達した。なぜなら、スプートニク・ショックに最も衝撃を受けた空軍はミサイルへの搭載物を軽量化することで航続距離を確保し、電子機器を改善することでミサイルの精度を上げようと考えたからであった⁴⁾。TI社は1961年から設計に着手し、1964年までに最初のプロトタイプを試作した。これを搭載したミサイルが飛行試験に成功し、大量の生産注文となった。

このように、アメリカで最初の IC の製品化は、軍事関連の需要と R&D 費支援によって促進された。さらにもう 1 つ、FC 社において、集積回路の製造にとって重要で画期的な技術が開発された。それがプレーナ処理技術、すなわちシリコン表面の大切な部分を絶えず酸化膜で覆いながら、シリコン・チップの上にアルミニウムを真空蒸着して配線する技術である。プレーナ処理技術がなければ、「酸化膜を介しての相互接続」は不可能であり、集積回路の大量生産も不可能であった。同社でこの技術を開発する上で、アポロ計画が大きな恩恵になったとされる。この頃には、新しく半導体メモリーが登場し、コンピュータのメイン・メモリーの主役の座を磁気コア・メモリーから奪おうとしていた。トランジスタ構造がバイポーラ型から MOS（金属酸化物半導体）型へと移行し、そのトランジスタとコンデンサーを縦横碁盤の目状に整然とシリコン・チップ上に作りこんだ DRAM と、数個の MOS トランジスタのみで作られる SRAM が開発され、利用されるようになった。ところで、SRAM は電源が投入されている限り情報を保持するのに対して、DRAM はコンデンサーに蓄えた電流によって情報を保持するため、絶えず再書き込み（リフレッシュ）が必要である。高速処理では SRAM の方が優位であるのに対して、高集積化・低コスト化では DRAM が優位であるという特徴を持っていた。この半導体メモリーの分野で大きな役割を果たしたのが、FC 社を退社したロバート・ノイス、ゴードン・ムーアたちによって、1968 年に設立されたインテル社であった。同社が設立された当時、半導体メモリーはまだ実験的な段階にすぎず、本格的な実用化には至っていなかった。創業に当たってビジネスの焦点を半導体メモリーに絞ることにしたインテル社は、コストを劇的に引き下げる回路構造研究に取り組んでから 1 年後の 1969 年にバイポーラ型メモリーと MOS 型の SRAM を販売した。世界初の DRAM を開発し販売したのは翌年の 1970 年であった。

たくさんの半導体企業が誕生する地域、カリフォルニア州のパロアルト市からマウンテンビュー市、サンノゼ市など様々な市や町を含む地域は“シリコンバレー”と呼ばれるようになった。それは正式名ではなく通称であり、はっきりとした境界線はない。半導体企業だけでなく、パソコンのアップル社、サーバ機器や Java の Sun Microsystems 社、データベース・ソフトのオラクル社、インターネット関連の Amazon.com 社、Cisco Systems 社、Yahoo.com 社、Google 社など、IT 関連企業が増えてその地域が発展するごとに、シリコンバレーと呼ばれる地域の範囲が拡大し、日本人に限らず世界の人々にとって市や町の正式名称よりもなじみがある名称である。その地域がそのように呼ばれるようになった最初のきっかけは、サンタクララ市に住むエンジニアでもあり雑誌の編集者でもあったドン・ヘフラーが 1971 年に、ある産業情報誌への寄稿において、その地域を“シリコンバレー”と呼んだことであるとされる⁵⁾。“バレー”とは谷の意味であるが、“シリコン”とは半導体の材料となる珪素の意味である。当時、この地域の発展を支えていたのが半導体企業であることを表したものである。

このシリコンバレーと呼ばれる地域が発展する最初のきっかけは、パロアルト市にあるスタンフォード大学のターマン教授による 1 つの強い思いであった。いくら優秀な学生を育てても、卒業生のほとんどが良い就職先を求めてボストンなど東海岸地域に流出してしまう。卒業生が大学

の近くにとどまり、地域の発展に貢献してもらいたいと強く望み、卒業生が就職したいと思うような優良企業の存在を非常に期待した。そこで、ターマン教授がその能力を高く評価する教え子の2人、ヒューレットとパッカードに大学の近くに会社を設立するよう勧めた。第二次世界大戦勃発の年、1939年に設立されたその会社がヒューレット・パッカード（HP）社である。最初はアパートの車庫を会社所在地として登録したが、そのアパートと車庫が今もなお残っている。筆者も在外研究で米国カリフォルニア州に留学していたときに、そこを訪問して感激を覚えたが、そこには「シリコンバレー発祥地」と記す案内板が備え付けられている。HP社の成功をきっかけに、スタンフォード大学との密接な関連を持ちながら、その地域に新しい企業が次々と誕生し、その地域が発展する基礎が築かれた。

シリコンバレーにおいて大きな発展期を迎えたのは半導体企業が次々と誕生する時期である。これら新しい半導体企業の誕生に大きな役割を果たしたのが前述のフェアチャイルド半導体（FC）社であった。FC社を退社した者が新しい会社を作ったり、移った先で重要な役割を果たしたりするようになったのである。シリコンバレーに特徴的なスピノフ（Spinoff）⁶である。シリコンバレーに誕生した新興半導体企業の多くがFC社を起源とし、言わば親のFairchild半導体社の子供たちという意味でFairchildrenと呼ばれたりもする。FC社は半導体産業にとって言えばインキュベーター（Incubator：孵化器）の役割を果たした。ロバート・ノイスとゴードン・ムーアたちが退社して以降、FC社の経営は急激に傾いていったが、まだ半導体産業にとって、あるいはシリコンバレーにとって象徴的な存在であることに変わりはない。米国半導体企業の国際競争力の低下が著しくなった状況の中で、日本の富士通がFC社を買収しようとした試みが明るみに出るや、米国のメディアや半導体業界による日本の半導体企業への強い怒りや反発が噴き出した⁷。日米両政府を巻き込んだ、日米半導体摩擦の始まりである。

第2章 日米半導体競争と軍事

世界の半導体市場に占める米国と日本の市場シェアの趨勢を見ると（第1表および第1図）、1970年代においては、米国が70%前後を占め、日本は20%前後であった。しかし、1980年代に入り、米国の市場シェアが低下する一方で、日本の市場シェアが急激に増加し、85年から86年にかけて日本と米国の立場がついに逆転、その差は拡大した。とりわけ、半導体メモリーの分野での伸びが著しく、世界のDRAM市場に占める国別・地域別シェアで見ると、1974年までは米国企業のシェアが100%であったが、その後急激に低下し、代わって日本企業のシェアが急上昇して81年から82年にかけて逆転し、その差が大きく広がっている。日本企業が米国企業から技術導入を計った1960年代末から70年代初めにかけては、米国企業の圧倒的優位の下で、日本企業は不調であったが、日本企業（特にキャノンとニコン）が1970年代末に半導体製造装置を輸入し始め、国産製造装置を製造する能力を身につけてから、日本の半導体メーカーはCMOS分野で成

果を上げ始めた⁸⁾。25年間、TI社とインテル社の最高管理職を歴任したジャック・カーステンによれば、「アメリカからの技術移転に改善を加え、完全に自分のものにする能力を、アメリカ人は過小評価していたようだ。結局、アメリカ人は、20ないし25年間にわたってヨーロッパ各国や日本に半導体技術の使用を許諾し、売却してきたが、突然、1970年代半ばになって、その技術に逆に噛みつかれ始める結果になったのだ。あのころの業界内部では、楽にお金を稼ぐには、使用料をとって日本やヨーロッパの企業に技術を供与することだ、その技術で製品をつくることなど、かれらには絶対にできっこないさ、と冗談みたいにいわれたものだ。ついでにいうと、アメリカのコンピュータ会社でもできっこないさ、というわけで、ハネウェル、バロース、ユニバックなどの各社にも、多数の技術が供与されたが、技術を使いこなしたのはIBM 1社だけだ。今から考えると、アメリカ企業は日本の能力を低くみすぎていたわけだ⁹⁾となる。

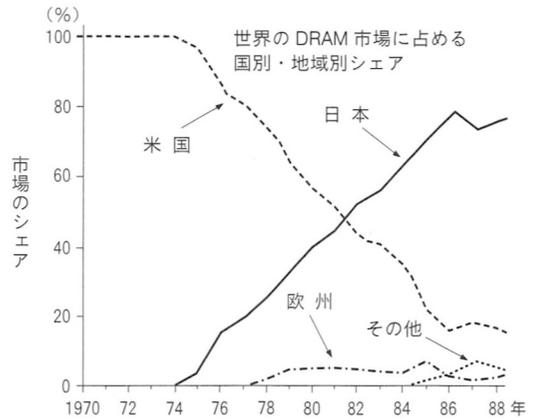
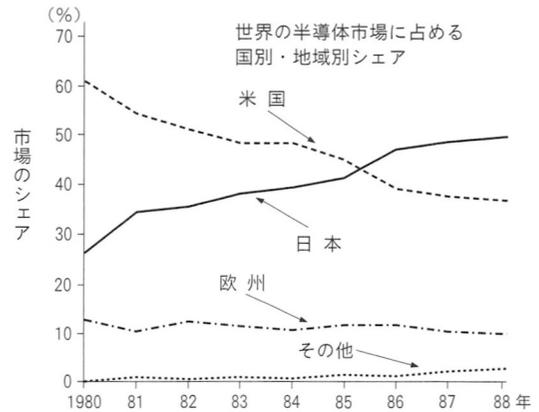
1960年代後半以降、1967年のRCA社によるCMOS（相補型金属酸化膜半導体）の開発、1970年のTI社によるショットキーTTLの開発とAMS社およびインテル社による1K・MOS・RAMの開発、1972年のFC社によるバイポーラRAMの開発、1973年のインテル社、モステック社、TI社による4K・MOS・RAMの開発、同年、インテル社によるマイクロプロセッサの開発など、ICの発展やそのLSIへの発展が見られた。ディグラス氏が「MOSの研究もマイクロプロセッサの研究もペンタゴンによって支援されなかった。計算機会社がモステック社による計算機チップの開発とインテル社によるマイクロプロセッサ研究を支援した¹⁰⁾と述べているように、軍事とかかわりのない技術開発例もある。しかし、軍仕様への不便さにもかかわらず、ほとんどの米国半導体企業は軍事関連の契約で得られる莫大な利益と引き換えに、その不便な軍需仕様を受け入れたとされる¹¹⁾。

第1表 主要企業の国籍別IC世界市場シェア推定
(単位 百万ドル)

国 籍	1972年	1979年	1981年
米 国	\$ 958 73%	\$ 4856 68%	\$ 5215 61%
日 本	241 18	1651 23	2789 32
西 欧	107 8	604 9	583 7

出所) ブルースR.スコット, ジョージC.ロッジ編
(岡本秀昭監訳)『日本の脅威, アメリカの選択
(第1部)』光文社, 1987年, 379頁。

第1図 半導体世界市場シェア



出所) 太田博『崩れゆく技術大国——アメリカの自画像』サイマル出版会, 1992年, 32頁。

また、米国の半導体メーカーが1960年代前半の軍事R&Dで得た成果を引き継いでいる面も無視できないだろう。1962年にNASAがアポロ宇宙船用誘導コンピュータにICを使用することを発表し、その直後に空軍がミニットマンICBMを改良するミニットマンIIの誘導装置にICを使用することを発表した。アポロの主契約はFC社に与えられ、ミニットマンIIの主契約を受け入れたのはTI社とWH社、RCA社であった。そして、このアポロとミニットマンIIの2つの開発計画は1960年代の中頃まで延長され、モトローラ社、シグネテックス社、ジェネラル・マイクロエレクトロニクス社、シリコニクス社などの新規参入企業にも契約が与えられ、IC生産への参入を容易にすることとなった¹²⁾。半導体メーカーにとっての軍需の魅力は、有利な販売市場としてだけでなく、R&D資金の援助という面でも表れ、NASAや空軍は契約企業に多額のR&D資金を与えている。例えば、1960年代初期におけるTI社との空軍の契約には、1日に500個のICを生産する能力を持つ生産設備を建設するために210万ドルの資金が提供されている¹³⁾。第2表の半導体への連邦政府のR&D支出に関する推移を見ると、1955年の320万ドルから年々増大し、1961年の1千100万ドルへと3倍以上になっている。そして1959年から1964年までの間に空軍のIC関連R&D資金援助は政府のR&D資金援助の約55%を占め、1950年代には資金援助の大部分はR&D業績のある既存企業に向けられていたが、1960年代に入ると新規参入企業にも有利な契約が与えられるようになった¹⁴⁾。

第2表 半導体への連邦政府R&D支出

年度	研究開発支出 (百万ドル)
1955	3.2
1956	4.1
1957	3.8
1958	4.0
1959	6.3
1960	6.8
1961	11.0

出所) Robert W. Wilson, Peter K. Ashton and Thomas P. Egan, *Innovation, Competition, and Government Policy in the Semiconductor Industry*, p.154. より (後注14)参照。

陸軍通信隊がマイクロモジュール・プロジェクトに再び関心を示して1957年から1963年まで計2千600万ドル支出し、その資金の多くはRCA社に帰着した。そのプロジェクトは結局失敗し、軍事R&Dの不効率性の事例となっているが、RCA社は別にCMOS技術の研究を行っており、1963年にそれに関心を示した空軍の資金援助を受けて、1967年の開発へと至っている¹⁵⁾。様々な経路での軍事機関からのR&D資金供与が企業にとっては商業用途のR&D支出の節約をもたらし、企業に利益をもたらしていることに相違はない。ある見積りによれば、

陸軍通信隊は、1952年から1964年の間に生産工学 (production engineering) のために、約5千億ドルを提供したとされる¹⁶⁾。多くの論者が指摘するように、ICにしる、LSIにしる、その発明の初期の段階において技術の見込みが明確になるまで軍事R&Dによって支えられ、民需が大きくなるまで軍需によって支えられたことに相違はないであろう。だが、ほとんどの米国半導体メーカーは初期の段階を超えて軍事調達やR&D資金援助の恩恵を受けている。問題となるのは、そのような構造がアメリカの経済や産業に深く組み込まれることによって、他国企業との競争においては、弱さの原因にもなりうるという点である。半導体の性能要求がある程度高まるにつれ、性能の改善に対する軍事要求と商業要求の食い違いが大きくなっている。第一に、製品の品質の面において、軍事用途で要求される高温への対応、パッケージの丈夫さ、放射線に対

する強さなどは商業用途にとっては不必要であること、第二に、製品コストを下げるうえで重要な要素である歩留まり率の向上は軍事用途においては商業用途ほど問題にされないことである。さらに、軍仕様の不便さとして、煩わしい認可手続きやテスト手順が指摘されている。すなわち、認可に必要なリエンジニアリング、テスト、書類業務などに時間がかかること、LSIが高密度化するにつれ、テスト手順が複雑化して多くの時間を要することである¹⁷⁾。また、このような不効率がありながらも、ほとんどの米国半導体メーカーが軍事R&Dにかかわるのは、民需用途のR&D支出の節約となるからである。販売額に占めるR&D支出の割合、および利潤に占めるR&D支出の割合を見ると、他のハイテク製品に比べて半導体の場合の割合がいかに高いかかわかる。このことは特に半導体の場合にR&D費の節約あるいはリスク負担の軽減が極めて重要な問題となることを示す。軍事目的でのR&D資金援助の不効率は個々の企業にとっての不効率ではなく、あくまで国民経済レベルでの不効率である。米国半導体メーカーが世界市場で圧倒的な有利さを保持しているときには問題にされず、むしろ軍需の賜物として、軍需からの波及効果に対し賛美されたりする。米国半導体メーカーの優位性が他国の半導体メーカーによって脅かされるに及んではじめて、波及効果の減少が指摘され、軍事用途のR&D資金の不効率という点がクローズアップされる。軍事調達に伴う膨大な利潤を別にすれば、R&Dにかかわる企業の最大の関心は、民需用途の新技术や新製品の開発に必要なR&D費をいかに調達するか、およびそのR&Dに伴う大きなリスクをいかに軽減するかであり、米国においてその目的を最もよく満たす方法が軍事調達や軍事R&D資金であった。

もちろん、他の条件が同じであるならば、政府の調達やR&D資金と同じ額が軍需用途よりは直接に民需用途に向けられた方が効率的であることは自ずと明らかである。「日本は、きわめて、短時間に専門的な技術知識を集積することに成功した。これとは逆にわが国のばあい、政府が民間事業に関与するうえで、もっともコンセンサスのある口実といえば、兵器製造の必要ということになる。しかしわが国が技術面で、ひきつづき世界のリーダーとしての地位を保とうとすれば、この道を歩みつづけることは自殺行為となろう。そうではなく、民需志向型の技術開発をまず推進し、結果的にその一部が軍事力にも利用できれば利用するという方向をめざす必要があるのではないか¹⁸⁾」と言うのも当然であろう。また、「国防調達や防衛関連の研究開発などさまざまな政府のプログラムは、アメリカの国際競争力の向上を達成するのが目標ではなかった。しかし、そうしたプログラムは特定の産業の成長に大きな影響を与えることがあり、そうした産業の多くがアメリカの貿易の重要な部分を構成していたのである。たとえば、防衛計画は民間航空機や通信機械、エンジニアリング・科学機器、半導体の開発に大きな影響を与えてきた。……もしアメリカがそうしたプログラムの対外競争力に対する意味を考えず、またそうしたプログラムを総合的な産業政策の一部とみなさないならば、それらの政策は国内市場の自発性を歪め、商業開発を遅らせる影響を及ぼすことになるかもしれない。軍事的なニーズと民間のニーズとが大きく異なっている場合には、大規模な政府調達や研究開発プログラムは、熟練技術者や開発・生産能力を商業的な開発から奪い、その結果、外国企業に競争上の勝利をもたらすことになるかもし

れない」¹⁹⁾として、合理的な産業政策を求めることになるのである。ところで、1960年代後半から1970年代、すなわちベトナム戦争の時期において、半導体企業への政府のR&D資金援助について示す明確な数値は公表されていない。1968年から1974年までの「電子部品」と「通信機器」を合わせた数値では、平均して全産業への政府のR&D資金援助の18%以上であった²⁰⁾という指摘もあるが、政府のR&D資金援助は1960年代中頃から後半にかけて頂点に達し、その後低下したとされている²¹⁾。

コンピュータの販売における世界規模の停滞が1984-1986年に起こった。コンピュータはトランジスタ、ダイオード、および集積回路のような半導体製品のための主な市場の1つであり、この停滞が半導体需要の低下へと導いた²²⁾。

第3章 セマテックの成果と米国半導体産業への影響

米国の主要な半導体メーカー14社が参加する形で、1987年3月に半導体製造技術R&Dのコンソーシアムとしてセマテック(SEMATECH)が結成された。連邦政府はセマテックの会員企業が相応の負担に応じることを条件に年1億ドルの予算を承認した。セマテックはその拠点施設をシリコンバレーのあるカリフォルニア州ではなく、様々な候補地の中からテキサス州オースチン市を選び、そこに設立した。セマテックの誘致に当たり、テキサス州とオースチン市のそれぞれの政府も合わせて年5千億ドルの財政支援を行った²³⁾。

国防省関連で日本から輸入された半導体チップがわずか3%にすぎないにもかかわらず、国防省は国家安全保障を根拠にセマテックを支援したとされる²⁴⁾。国防省からはDARPA(国防省高等研究計画局)がセマテックに参加している。DARPAは時々その組織名の頭からDefenseという語を削除して(軍事色を弱めて)ARPAになったりしながら、情報技術との関連で歴史的に重要な役割を果たしてきた。最初はミサイル開発を指揮する権限を持っていたが、NASAが設立されてそこに権限が移譲されるや、組織の存亡をかけて、核戦争に耐えうる情報通信ネットワークの開発に取り組んだ。その成果がARPANETであり、INTERNETの基礎となった。DARPAが国防省の代表として国防省や連邦議会との間を仲介して予算執行にからみ、セマテック活動の方向性に大きな影響を与えながらも、その方向性や内容には軍事との直接的な関係が見られず、軍事機関の顔を持ちながらも実際の役割は当時の日本の通産省と似たようなものであったと思われる。

セマテックの活動状況を詳しく見てみよう。セマテックは最初の頃は組織体制も活動の方向性も定まらず、組織としてほとんど機能しなかったが、ずっと固辞していたロバート・ノイス(インテル社)がCEOに就任してようやく動き出した。ノイスはフェアチャイルド半導体社を創業し、集積回路の生産に欠かせないプレーナ処理技術を発明し、さらにインテル社も創業し、半導体メーカーの業界団体であるSIA(Semiconductor Industry Association:半導体産業協会)²⁵⁾を1977年に設立する際には中心人物となり、「シリコンバレーの長(mayor)」²⁶⁾とみなされるだけに、対外ア

ピール度やリーダーシップ度はこの上もなかった。組織体制も整備され、本拠地も決定され、ようやく政府資金の利用も可能となって活動が始まった。

セマテックは、期間を0.8ミクロンの線幅をめざすフェーズI、0.5ミクロンの線幅をめざすフェーズII、そして0.35ミクロンの線幅をめざすフェーズIIIの3段階に分けて活動することにした。コンソーシアムの名前、セマテック (SEMATECH) は「半導体製造技術 (SEmiconductor MAnufacturing TECHnology)」の短縮形であり、製造技術のR&Dが第一の目標であることを示している。ただし、セマテックでは、製造技術をTechnology = 製造装置 (半導体を作るのに使われる労働手段) とTechnique = 匠あるいはノウハウ (製造装置をいかにうまく使うか) の2つの側面を考えていた。しかも当初は、セマテック事務局はTechniqueの方を重視しており、最新式の半導体製造工場を建設し、最新式の半導体製造装置を導入し、必要に応じて改良し、会員企業の半導体メーカーに効率的な製造の模範を示すことを主に企画していた。しかしやがて、セマテックは半導体製造装置や材料のR&Dに重点を移すようになり、外部企業とのR&D契約を増やすようになった。連邦政府もそれを後押しした。セマテックの1990年度の計画では、その支出の35%が外部の半導体製造装置メーカーや材料業者とのR&D契約に向けられている。またセマテックは、X線リソグラフィーに関するウィスコンシン大学の例のように、特殊な半導体研究に関する11のCOE (Center of Excellence: 卓越した研究拠点) に毎年ほぼ1千万ドルを資金提供する活動を積極的に行い、さらにエネルギー省の2つの国立研究所とも協定を結んでいる²⁷⁾。

このようなセマテックにおける活動の重点が劇的に変化した背景には、会員企業である半導体メーカーの利害やニーズがあった。半導体メーカーはそれぞれ独自の製造プロセスと独自の匠やノウハウを持っている。会員企業によって事情や関心が大きく異なっているため、効率的な製造方法と言っても、どういうものを共通の模範と想定するかは非常に困難であったし、半導体メーカーが各々持っている匠やノウハウを交流し合うことに抵抗はあったであろう。他方、半導体メーカーにとって、製造装置や材料の使い方に大きな差があったとしても、使われる製造装置や材料にそれほど差はなかった²⁸⁾。半導体メーカーの共通の関心が製造装置や材料の改良に向かったのは自然なことである。

半導体製造装置メーカーおよび材料業者にとっても自社の製造装置や材料の競争力を強化するために、半導体メーカーのニーズを反映させながら製造装置や材料の性能、品質を高めることは望むべきことである。米国の半導体製造装置メーカーおよび材料業者は、SIAより早く1971年に半導体製造装置の業界団体としてSEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institute) を設立していたが、後には外国の半導体製造装置メーカーの参加も認めていた (団体名の最後のIをInstituteからInternationalに変更)。セマテックが設立されたあと、米国の製造装置メーカーと材料業者はSEMI/SEMATECHを設立し、セマテックと共闘を組むことにした。SEMI/SEMATECHの会長がセマテックの取締役会の一員となり、四半期ごとにセマテックの取締役会とSEMI/SEMATECHの取締役会が合同会議を開催している²⁹⁾。半導体メーカーと半導体製造装置メーカーおよび材料業者とが密接に協力し合う関係が成立したことを、連邦議会・予算局の報告書はセマ

テックの最大の成果であったと評価している³⁰⁾。ただし、この成果は先行事例である日本の超LSI 技術研究組合・共同研究所の場合の成果とも一致する。

ロバート・ノイスが退任した後を継いでセマテックの CEO に就任したのがウィリアム・スペンサーであるが、彼はセマテックに、そしてそれを通じて半導体業界全体に品質管理アプローチを普及させるうえで大きな役割を果たした。スペンサーは、セマテックの CEO になる以前に、ゼロックス社で総合品質管理 (Total Quality Management) に取り組んだ経験を持っており、そのゼロックス社は 1989 年に「マルコム・ボルドリッジ国家品質賞」を受賞している³¹⁾。この賞は、1980 年代後半に日本製品の品質の高さやアフターサービスのきめ細やかさに驚いたレーガン政権と産業界が日本の製造業の取り組みを深く研究した成果として、1987 年に制定した “Malcom Baldrige National Quality Improvement Act of 1987”³²⁾ に基づくものである。品質改善で高い成果を上げた会社や組織が大統領によって表彰される。同法はその目的を次のように述べている。「目的。この法律の目的こそは国家品質改善プログラムの制定と運営を定めることであり、それをもとにして (1) 効果的な品質管理を実践し、結果として商品やサービスの品質を著しく改善する選ばれた会社や他の組織に賞が与えられ、そして (2) 成功した戦略やプログラムについて情報が広められる。」³³⁾ セマテックは品質管理アプローチを導入するに当たって「PFTQ (Partnering for Total Quality)」というプログラムを作成している。

DRAM 分野からの撤退を余儀なくされたインテル社のノイスとムーアも対日批判を強めており、日本の半導体メーカーがダンピングをしていると信じて疑わなかった。DRAM 分野は半導体製品分野でも特に莫大な設備投資を必要とする分野であるが、新しい製造ラインが動き出し、生産が軌道に乗る時期と DRAM の需要の波とがずれることがあり、そのときに過剰生産が表面化する。そのときに半導体各社は設備投資や製造のコストを少しでも多く回収しようと熾烈な低価格競争をくり広げる。ほとんどの場合に日本の半導体メーカーが値下げ競争に勝って市場シェアを拡大しているのは、日本の半導体メーカーがダンピングしているからだと言え、ノイスとムーアはみなした³⁴⁾。しかしながら当時、ノイスやムーアだけでなく、ほとんどの米国半導体業界の関係者たちは、日本の半導体企業が持つ製造コスト削減の能力や努力が理解できなかったのだと思われる。値下げ競争になったときに、やはり競争の持続力と最終的な勝利を決するのは製造コストの低さである。品質管理努力を通じて歩留まり率を高めることも製造コスト引き下げの 1 つの大きな要因である。セマテック内で行った品質管理努力の実践を通じて、米国の半導体メーカーは製造コストを引き下げる日本メーカーの努力の一端を初めて理解したであろう。

セマテックは社会問題への対応という面でも大きな成果をもたらした。半導体製造に関連した環境問題に対する対策における前進である。1992 年はセマテックへの政府資金投入が更新されるかどうかの時期であり、この更新期のタイミングを狙って、1991 年 5 月に、SVTC (Silicon Valley Toxics Coalition)³⁵⁾ という環境保護団体とその運動体 Campaign for Responsible Technology は政府に半導体業界への圧力をかけるよう強い働きかけを行い、環境基準の設定や非有毒物質を使った製造方法の開発を促した³⁶⁾。当時、シリコンバレーにある半導体製造工場近くの地下水

が半導体製造に使う様々な有毒物質によって汚染され、周辺住民に深刻な健康障害が起きていると報告されていた³⁷⁾。

おわりに — 米国半導体産業の復活と新しい展開

以上で述べたように、セマテックの活動において、日本の超 LSI 技術研究組合・共同研究所の経験と同じように、より良い半導体製造装置や材料の開発に向けて、半導体メーカーと半導体製造装置メーカーおよび材料業者との密接な協力関係が成立し発展したことはセマテックの大きな成果であった。さらにもう1つの大きな成果は、半導体メーカーと半導体製造装置メーカーおよび材料業者とがチームを組んで協力し合いながら、総合的品質管理の訓練を実施したことである。ほかにも多くの成果があった。しかし、それらの成果がはっきりと表れる前に、市場動向の方が米国半導体業界にとって好ましい状況に急展開し、米国半導体産業の復活は果たされた。

1993年に新しく誕生したクリントン政権もセマテックを熱烈に支持して支援したが、それにとどまらず、当政権のいわゆる“情報スーパーハイウェイ構想”とそれに基づく一連の政策はコンピュータ市場を活性化させ、1995年前後からはインターネットの急激な普及やインターネットビジネスの興隆をもたらし、その結果、サーバ用コンピュータやパソコンへの需要における空前のブームをもたらしした。このブームはDRAMに限らずマイクロプロセッサなど様々な半導体製品への需要を急激に増大させた。このように米国半導体産業の復活の直接的なきっかけが市場動向の変化であったとしても、そのことによってセマテックの役割や成果を小さく評価すべきではないであろう。

その後、日米の半導体企業をめぐる状況に大きな変化が見られる。1つの新しい展開は日本の半導体企業と米国の半導体企業との提携が増大していることである。セマテックの活動が本格化する以前から増え始め、セマテックの活動が本格化し、米国半導体業界にとって危機感が払拭されて以降さらに増加している。集積回路の密度が高まるほどに必要な製造技術も高度になり、R&D費用および設備投資費用が年々増大している。また集積回路の製造には多数で多様な製造装置が必要とされる。これらの事情が米国半導体企業に日本の半導体企業との対立よりは協力関係へと向かわせたようにも思われる。さらにもう1つの新しい展開は、DRAM分野で韓国や台湾など他のアジア企業が躍進するにつれ、日米の半導体企業がDRAMからマイクロプロセッサやASIC（特定用途向けIC）などDRAM以外の半導体製品に比重を移す傾向が見られる³⁸⁾。これらの新しい展開において、セマテックで得た成果がどのような意味を持ったか、今後詳しく調べたい。

最後に、マイケルE.ポーターはクラスター(cluster)という概念を使って次のように述べている。「ある立地に、企業、供給業者、各種機関が存在しているだけでも、経済的価値が生まれる可能性が生じる。だが、それだけでは、そうした可能性が必ずしも現実のものになるとは限らない。社会的な絆がクラスターをまとめ、価値創造のプロセスを助けるのである。クラスターによ

る競争優位の多くは、情報の自由な流れ、付加価値をもたらす交換や取引の発見、組織間で計画を調整したり協力を進める意志、改善に対する強いモチベーションなどに大きく左右される。こうした事情を支えるのは、関係性であり、ネットワークであり、共通の利害という意識である。したがって、クラスターの社会構造は大切な意味をもっている³⁹⁾。セマテックがポーターのクラスター論を基礎にしたのか、それともポーターがセマテックの教訓を基礎にしてクラスター論を発展させたのか、今後詳しく調べてみたいが、どちらにしても密接な関連が見られる。

〔注〕

- 1) Larry D. Browning and Judy C. Shetler, *Sematech—Saving the U.S. Semiconductor Industry*, Texas A&M University Press, 2000, p. vii.
- 2) Tomas J. Misa, “Military Needs, Commercial Realities, and Development of the Transistor, 1948–1958”, ed. by Merrit Roe Smith, *Military Enterprise and Technology Change*, The MIT Press, 1985, pp. 264–265.
- 3) ロバート・スレイター（馬上康成、木本俊宏訳）『コンピュータの英雄たち』朝日新聞社、1992年、183頁。
- 4) 『電子立国 日本の自叙伝 4』NHK ライブラリー、1996年、65頁。
- 5) 今井賢一監修・加藤敏春+SVMフォーラム著『シリコンバレー・モデル』NTT出版、1995年、7頁。
- 6) 有名な事例の詳細は、Charles E. Spork with Richard L. Molay, *SPINOFF: A Personal History of the Industry that Changed the World*, Saranac Lake Publishing, 2001を参照されたい。
- 7) フレッド・ウォーショフスキー（青木榮一訳）『チップウォー』経済界、1991年、286–296頁。
- 8) 同上、316頁。
- 9) 同上、315頁。
- 10) De Grasse, Robert, “The Military and Semiconductors”, ed. by Tirman, *The Militarization of High Technology*, Ballinger Publishing Company, 1984, p. 92.
- 11) デビット・ペリン、ゲリー・チャップマン編（増田祐司訳）『アメリカのミリートク戦略——戦場のコンピュータは機能するか？』HBJ出版局、1989年、270頁。
- 12) Levin, C. Richard, “The Semiconductor Industry” ed. by Nelson, *Government and Technical Progress—A Cross Industry Analysis*, pp. 62–63.
- 13) *Ibid.*, p. 72.
- 14) Wilson, W. Robert, Peter K. Ashton and Thomas P. Egan, *Innovation, Competition, and Government Policy in the Semiconductor Industry*, D.C. Heath and Company, 1980, p. 151.
- 15) *Ibid.*, p. 153.
- 16) Levin, C. Richard, *op. cit.*, p. 68.
- 17) デビット・ペリン、ゲリー・チャップマン編、前掲書、271頁。
- 18) R. ディグラス（藤岡惇訳）『アメリカ経済と軍拡——産業荒廃の構図』ミネルヴァ書房、1987年、98頁。
- 19) アイラ C. マガジナー、ロバート B. ライシュ（中岡望、塩崎恭久、永岡洋治訳）『アメリカの挑戦——日米欧の企業戦略と産業政策』東洋経済新報社、1984年、270頁。
- 20) Dumas, J. Liloyd, “University Research, Industrial Innovation and the Pentagon”, ed. by Tirman, *The Militarization of High Technology*, Ballinger Publishing Company, 1984, p. 92.
- 21) Levin, C. Richard, *op. cit.*, p. 74.
- 22) Congress of The United States, Congressional Budget Office, “Using R&D Consortia for Commercial Innovation: SEMATECH, X-ray Lithography, and High-Resolution Systems”, July 1990, p. 16.
- 23) Leslie Berlin, *The Man behind the Microchip—Robert Noyce and The Invention of Silicon Valley*, Oxford University Press, 2005, p. 285.

- 24) Congressional Budget Office, *op. cit.*, p. 18.
- 25) Larry D. Browning and Judy C. Shetler, *op. cit.*, p. 7. SIA は半導体メーカーのリーダーであるインテル社のロバート・ノイス、フェアチャイルド半導体社のウィルフレッド・コーリガン（その後 1980 年には LSI ロジック社を創業）、AMD 社のジェリー・サンダース、ナショナル半導体社のチャーリー・スポーク、モトローラ社のジョン・ウェルティの 5 人が集まって設立された。他の 4 人はノイスに会長になるよう強く求めたが、ノイスはこれを辞退した。ところで、SIA は一般に「半導体工業会」と訳されるが、筆者はこの訳に違和感を持ち、「半導体産業協会」と訳す。
- 26) *Ibid.*, p. 79.
- 27) Congressional Budget Office, *op. cit.*, p. 23.
- 28) *Ibid.*, pp. 28–29.
- 29) Richard D. Bingham, *Industrial Policy American Style*, M.E. Sharpe, 1998, p. 114.
- 30) *Ibid.*, p. 39.
- 31) Larry D. Browning and Judy C. Shetler, *op. cit.*, p. 151.
- 32) Malcom Baldrige National Quality Improvement Act of 1987 の原文や関連情報は <http://www.quality.nist.gov/> から入手することができる。
- 33) 同上。その箇所の原文を引用する。「Purpose.—It is the purpose of this Act to provide for the establishment and conduct of a national quality improvement program under which (1) awards are given to selected companies and other organizations in the United States that practice effective quality management and as a result make significant improvements in the quality of their goods and services, and (2) information is disseminated about the successful strategies and programs.」
- 34) 玉置直司（取材・構成）『インテルとともに：ゴードン・ムーア 私の半導体人生』日本経済新聞社、1995 年、109–119 頁。
- 35) この環境保護団体は 1982 年に、シリコンバレーにあるハイテク製造工場近くで地下水汚染が発見されたことを受けて、ハイテク労働者、地域住民、法律関係者、救急労働者、および環境の専門家によって結成された。詳しくは当団体のサイト <http://www.svtc.org/site/PageServer> を参照されたい。
- 36) Larry D. Browning and Judy C. Shetler, *op. cit.*, p. 148.
- 37) 吉田文和『ハイテク汚染』岩波新書、1989 年を参照。この本では半導体製造工場における汚染の実態を詳しく分析している。
- 38) これらの側面については以前に、拙論文「技術開発の日本の特質——半導体産業を事例に——」岐阜経済大学論集第 31 巻第 2・3 号（1997 年 11 月）で少し述べたので、参照されたい。
- 39) マイケル E. ポーター（竹内弘高訳）『競争戦略論 II』ダイヤモンド社、1999 年、105 頁。この本は過去の幾つかの論文と新たな書き下ろしからなる *On Competition*, Harvard Business School Press, 1998 の邦訳 2 分冊の後半部分であり、ちょうど付け加えた書き下ろし部分が「第 2 章 クラスタと競争」である。ポーターは、セマテックが始まった頃に *The Competitive Advantage of Nations*, 1990（邦訳『国の競争優位』土岐坤ほか訳、ダイヤモンド社、1992 年）において、初めてクラスタという概念を競争優位理論の中心に据えた。