

## 技術先端産業の確率過程：半導体産業を例として (I)

久野, 国夫

<https://doi.org/10.15017/4475327>

---

出版情報：経済学研究. 48 (3/4), pp.109-150, 1983-07-10. 九州大学経済学会  
バージョン：  
権利関係：

# 技術先端産業の確立過程

—半導体産業を例として（I）—

久野 国夫

## 目 次

1. はじめに
2. 技術先端産業の問題意識
3. 半導体産業の成立と市場構造の特徴
  - (1) 半導体産業の成立
  - (2) IC 技術前史—トランジスタ技術の発展
  - (3) IC 製造工程—規模の経済と学習効果
  - (4) 技術と市場構造
4. 競争的市場構造を支えた要因
  - (1) プロダクト・サイクルと半導体産業の技術拡散過程の特徴
  - (2) 技術開発過程への国家の介入
  - (3) 参入条件—特許と独占禁止政策
5. おわりに

## 1. はじめに

第2次大戦後、1950～60年代を通じて相対的安定を誇った資本主義経済も、1973年の「石油危機」を直接の引き金として、戦後最大の恐慌局面に転落した。この恐慌局面への転落が石油価格の引き上げのみによるものではなく、まさに資本主義経済それ自体に起因する矛盾によるものであることは明らかである。こうしたなかで、恐慌局面から脱出する救世主としての役割を期待され、今日脚光を浴びているのが（資本主義に対する幻想を抱かせるイデオロギー的作用を強く帯びつつ）、いわゆる技術先端産業（High-Technology Industry）である。

資本主義における経済成長（資本蓄積）にお

いて、技術は資本、労働と並ぶ成長要因に数えられるが、今日の技術先端産業の特質は、現代の生産力段階の特質に規定されて、それが私企業によってではなく、多くは国家資金に依存して開発がすすめられたものである点にある。それは技術先端産業の確立、すなわち先端技術の開発に膨大な研究・開発費を必要とすることによるからであるが、こうした費用を負担しそれを回収する市場を確保するため、今日では一企業、一国家のみならず先端技術の国際的共同開発が模索されている状態である。だが、これらの試みは資本主義的現実を前にして、十分な成果をあげていない（英・仏共同のコンコルドの失敗、日・米・独の石炭液化技術開発計画の挫折等々）。資本主義経済に不可避的につきまとう、国家間、資本間の利害の対立がその妨げになっていることは言うまでもない。しかしながら、帝国主義戦争によるこうした利害対立の結着がきわめて困難となっている第2次大戦後の現実を前に、各国は一定の協力・協調を止むを得ない選択として強制されている。こうして、今日、技術先端産業は、国家間、資本間で利害が対立・錯綜しつつ、経済・技術的焦点となっているのである。

本稿は、かかる技術先端産業の確立過程を、半導体産業を例にとりつつ、検討するものである。半導体産業はアメリカにおいて最初に開発、製品化されたものであるから、当然その対

象も、アメリカにおかれる。検討に当たっては、分析の中心は、以上にみた今日の状況を念頭におきつつ、技術先端産業の確立過程にみられる国家との絡みあいというその国独資的側面と、それに重なりつつも一定の自立的展開をみせる諸資本の競争というその産業組織論的側面におかれる<sup>1)</sup>。

2章では、技術先端産業の規定について、近年の議論を参考にしつつ、検討を加える。技術先端産業は、生産力の現代的発展段階—科学技術革命段階を反映した研究集約型産業であり、その開発において国家資金の動員が極めて重要であるというのが、ここでの確認事項である。

3章では、半導体産業の技術および市場構造の特質についてみる。アメリカの半導体産業は、独占（の役割も大きい）よりはむしろ新規参入企業を中心的担い手とする競争的市場構造により発展させられてきたという特質をもっている。

4章では、アメリカにおける半導体産業の、前章でみた競争的市場構造を支えた要因として、政府（軍需中心）調達ならびに研究・開発援助政策の影響、参入諸条件について検討する。

## 2. 技術先端産業の問題意識

技術先端産業という用語は、必ずしも厳密な

定義づけを与えられた学問的用語ではない。それは、一般に今日的な技術に立脚した新産業部門ないしは将来有望とされている産業を指すものとして使われており、具体的には、原子力やバイオテクノロジー、コンピュータ等情報産業などが、その例としてあげられている。

増田祐司氏は、技術先端産業をいわゆる新しい産業という一般的意味で用いしつつも（その意味では、歴史的にみれば相対的概念としつつ）、「現代資本主義における先端技術」の次のような特徴を指摘し、今日の技術先端産業の持つ特殊性を強調している。氏による特徴づけによれば、今日の（第2次大戦以後の）技術先端産業は、第1に、「国家安全保障—軍事技術を基礎に成立しているものであり、軍事技術としての性格を残している。これから派生して民生技術ないし平和利用技術として現在の姿になった。これら技術群は、1950~70年代の冷戦期に急速に発展したものであり、冷戦期型技術体系の骨格を備えている。しかもその開発には当初、巨額の国家資金が投入されており、国家と企業に最初から技術独占が成立している」<sup>2)</sup> という特徴である。第2は、複数の技術体系の統合のうえに成立しているという、システム産業としての性格である。第3に、高度かつ高付加価値産業であるという特徴であり、これに関連して技術先端産業はきわめて開発リスクが高いという性格をもっている、ということである。高付加価値の意味は、例えば技術先端産業の代表的部門の1つとされる航空宇宙産業において、1960年代初頭のアメリカで、全科学技術者の約4分の1、70年代には50%以上を雇用したというように、この産業が研究集約型産業とし

1) この点については、北原 勇『独占資本主義の理論』有斐閣、1977年、第2編を参考にした。北原氏は、同書において、技術と独占資本の投資行動の関連について考察を行ない、「独占企業の投資行動は、一般に（市場の急激な大幅拡大のなにかぎり）、きわめて慎重で消極的であるという基本的特徴をもっているのであるが、しかし市場の急激な大幅拡大下では独占企業固有の激しい投資行動が展開され、そこにきわめて対照的な差異がある」（185頁）として、独占資本の投資を促す技術革新の位置づけ、種々のケースについて、その積極面と否定面について詳細に検討している。

2) 増田祐司『技術先端産業』東洋経済、1980年、65頁。

ての性格をもっているということである。こうした開発リスクの高さから、国家による支援が不可避となり、技術先端産業開発における国家と企業（既存大企業中心とされる）の一体となった開発が行なわれ、技術的寡占が成立する、とされる<sup>3)</sup>。また、技術先端産業の使用価値的特質としては、「①半導体・コンピュータ産業が、知識労働のすぐれた補助手段として神経系統、②航空宇宙産業が民間機、軍用機および宇宙開発システム・機器など輸送手段、③原子力産業が原子力プラントなどエネルギー系統の機器／ソフトウェアを提供する産業群である。言いかえれば、技術先端産業は、産業社会の神経系統、輸送系統、エネルギー系統をつかさどる設備財産業なのである」<sup>4)</sup>としている。

以上、増田祐司氏の特徴づけを借りて、技術先端産業の性格についてみてみた。南克己氏は、これら技術先端産業を、再生産表式中の、IB部門として生産手段生産部門＝I部門中の小部門として分離し、戦後帝国主義＝「冷戦」帝国主義の生産力的基礎としている。氏は、第2次大戦後、生産力基盤が在来重化学工業＝IA部門（鉄と石炭）から新鋭重化学工業＝IB部門（原子・電子・宇宙産業）へ移行した点に、「冷戦」帝国主義成立の根拠を求めるといふのは、これら「IB体系の生成＝集積の過程は、その各発展段階に対応して、一方では、大規模な国家の開発プロジェクト（R & D 支出の国家財政転嫁）とそれに続く大規模な国家＝軍事調達市場の整備を、さらにそれに連結する大陸的規模での産業集積と市場（基礎的部門から末端の民生部門にいたる）の存在を、それ

ら全一連の諸条件の体系的な整備を不可欠の前提とし、要件とするものとしてあらわれる」<sup>5)</sup>という性格から、これらIB体系が「資本主義的競争」の産物としてではなく、「冷戦」と科学技術革命の進展により、「政治的＝軍事的必要」により強力的に創出されてきたからである。いふなれば、技術先端産業＝IB体系は、「冷戦」と科学技術革命、すなわち戦後段階の階級闘争と生産力の新段階によって生み出された「冷戦」帝国主義の Key industries なのである。技術先端産業＝IB体系のこうした性格、生成過程の特異性に起因する矛盾、すなわち生産力的には科学技術革命の進展により世界的な集積を基盤としてしか展開できない（大陸的な集積基盤をもつアメリカでのみ展開可能）にも拘らず、「冷戦」という「体制間競争」により西側諸国はそれを維持しなければならないという矛盾が、アメリカ帝国主義のみを超絶した帝国主義におしあげ、西欧・日本の古い帝国主義をそれに従属させるという世界構造をつくりだしたのである<sup>6)</sup>。

南氏の、以上にみた「冷戦」帝国主義論は、技術先端産業の規定それ自体とは関係ないが、技術先端産業の持つ、既に増田氏による特徴づけでみた、その性格の特異性を前提に、それがもつ経済的意味を明らかにするものとなっている。われわれが、技術先端産業を問題とする問題意識も、ほぼこれと共通するものであり、これら産業群に現代資本主義の生産力構造の特異

3) 以上は、同上書、10～18、64～65、86～87頁参照。

4) 同上、64～65頁。

5) 南 克己「戦後資本主義世界再編の基本的性格——アメリカの対西欧展開を中心として」『経済志林』第42巻3号、1974年、96頁、傍点は原文（以下、断りないかぎり同じ）。

6) 以上については、同「アメリカ資本主義の歴史的段階」『土地制度史学』第47号、1970年4月；「戦後重化学工業の歴史的段階」『新マルクス経済学講座』第5巻、有斐閣、1976年、等参照。

性をみようとするものである。以上で、技術先端産業の特徴および経済的意義は一応明らかになったとはいえ、なおその生産力・技術論的位置づけは不十分である。

生産力・技術論的にみた場合、技術先端産業はどのように位置づけるべきなのか、以下みてみよう。まず最初に、技術論の立場から南説を批判している中村静治氏の論拠について検討しよう。中村氏の南氏批判の要点は、「生産力の構成要素たる技術の中核は労働手段であるから、生産力の新段階移行は労働手段体系の飛躍、すなわち機械ないし自動機械体系から自動制御機構をそなえたオートメーション段階への移行において捉えるのでなければならない」<sup>7)</sup> というものである。にも拘わらず、南氏は労働手段体系の飛躍ではなく、「原子＝電子＝宇宙産業の形をとる生産力＝軍事力の新段階移行」<sup>8)</sup> と、新しい産業部門によって生産力の新段階移行を説いている、と批判するのである。こうした批判を基軸として、「鉄や石炭という基本原料と物質を構成する原子や電子、さらには天体や宇宙などは同列に論じられるものではないし、原子力産業、電子工業、ロケット産業と鉄鋼業や石炭業とは素材産業と動力産業ないし組立加工や完成品工業との関係にあるということをおぼえてはならない。さらにまた、自然科学がどのように発展、飛躍しようが、ここから直接に生産諸力の発展が規定されるわけのものではない。科学研究の成果が現実の生産力の発展となるには、まずもって生産手段、なかでも機械・装置等の労働手段の改良、発達となっているのでなければならない」<sup>9)</sup> と、労働手段の

区分の不十分性、科学と技術の相違が認識されていない点について、南説を批判している。

以上にみた中村氏による南説批判に対して、同じく技術論の視角から北村洋基氏は、次のようにコメントしている。

「①技術と技術進歩の把握の問題として、プロダクト・イノベーションはプロセス・イノベーションに解消し切れるものかどうか。戦後の技術革新はその本質を労働の節約という価値的な面に還元して評価することでとらえきれるものではなく、科学技術の新達成によってはじめて可能となった新生産物の登場という使用価値的側面——むしろその側面が現代の技術革新を主導した要因である——との具体的からみ合いの分析をつうじて評価しなければならない。実際、著者（中村氏一引用者）はそのような視点から分析されてはいるが、しかし、本質還元的な評価の色彩が強い。

②第2次大戦後の新しい生産力段階の評価の問題として、…南氏が問題にしているのは、新しい技術史上の段階区分ではなく、戦後史の特徴づけであるから、著者の南批判とは視点の喰いちがいがある。

③新しい生産部門の分化を機械—オートメーションに還元して評価してよいか」<sup>10)</sup> 等が北村氏のコメントのうち、本論に関係する主な論点である。これらの北村氏のコメントは、筆者も首肯できるものであるが、では、こうした批判を行なう北村氏の技術先端産業規定はどのようなものであるのだろうか。

7) 中村静治『戦後日本の技術革新』大月書店、1979年、20頁。

8) 前掲、『新マルクス経済学講座』第5巻、102頁。

9) 中村、前掲書、20頁。

10) 中村静治『現代資本主義論争』青木書店、1981年、45～46頁。なおこれは、経済理論学会関東部会での討論結果に基づき、中村氏がまとめたものである。北村氏によるものとしては、「現代資本主義の生産力構造——分析視角と方法」『経済論叢』第127巻1号、1981年1月、参照。

北村氏は、技術先端産業をオートメーション、「自動制御技術の登場によって始めて可能となった新生産物の生産＝先端産業」<sup>11)</sup>と捉え、さらに「先端産業は厳密には南氏のいうIB部門とは重なり合わないが、さしあたりその範囲を、自動制御技術の存在によって始めて可能となる新産業と、自動制御技術そのものの核心をなすコンピューター製造、およびその基礎・周辺をなすエレクトロニクス諸分野を含んだものとしておく」<sup>12)</sup>とされる。

技術先端産業に対する北村氏のこのような捉え方は、さきにみた中村氏に対するコメントでの、「本質還元的な評価の色彩が強い」という批判と関連している。すなわち北村氏は、「社会的生産が分化し、新しい生産部門が形成される過程は、一般的にいつて従来の社会的生産の枠をこえた新生産物生産への社会的要求が基礎にあり、その要求にこたえるためにその生産を可能にする労働手段が新しく登場することによって始めて生産が実現する場合もあるが、従来の労働手段を動員・利用して新生産物生産を開始し、そのうえで、その生産にふさわしい新しい労働手段が次第に形成される場合がむしろ通例であろう。結果としての産業諸部門が、そこでの労働手段の性格に規定されて区分されるということと、産業部門の生産・定置の過程における労働手段の問題とは、はっきり区別されなければならない」<sup>13)</sup>とし、技術先端産業を労働手段の道具から機械への発展に次ぐ、第2の飛躍であるオートメーションへ至る過程の産物として理解しているのである。

しかしながら、中村—北村説は、基本的に、生産力の構成部分は技術、技術の中核は労働手段、したがって生産力＝労働手段と、三段論法的に生産力を捉えており、問題がある。中村氏の場合は、もともと技術先端産業という規定の意義そのものを認めていないのだからただしも、北村氏は生産力を労働手段を中心に捉えつつも、技術先端産業を導出しようとしているため、そこにはかなり無理な論証が入ってくる。

北村氏は、オートメーションを2つの側面、すなわち「労働の節約＝労働生産性の向上という側面と、オートメーションによって始めて可能となる新生産物の創造という側面とを区別して」<sup>14)</sup>捉える必要があるとしている。というのは、「オートメーションの歴史具体的な登場の仕方は機械のそれとはまさに対照的である」<sup>15)</sup>ことを強調せんがためである。すなわち、「道具から機械への転化は、まず在来の基軸的産業分野において、労働の節約＝労働生産性の上昇をめざしておこなわれたことを示している。そしてそれに主導されて、産業と生産物の分化・多様化という社会的分業が深化していったのである。これに対してオートメーションは、まず第2次大戦という史上最大の総力戦において、科学技術の総動員の中から、科学研究の新展開に導かれながら、超新鋭兵器およびそれに関連する諸手段の生産という形をとった全く新しい生産物生産のための技術として自動制御技術が登場したのであり、そしてその後の『冷戦』を通じて今日もなお基本的には軍事産業として発展する一方、新しい民需産業の派生や自動制御技術の在来産業への波及・導入が進

11) 北村洋基「現代資本主義の理論と構造」、真木実彦他編『講座・資本論の研究』第5巻、青木書店、1980年、79頁。

12) 同上、79～80頁。

13) 北村「現代資本主義の生産力構造」、114頁。

14) 同上、78頁。

15) 同上。

んでいるのが特徴である。機械の場合にはその労働節約的側面が出発点であったのに対し、オートメーションの場合はそれによってはじめて可能となる新生産物（＝軍事兵器）の創造のための技術開発が出発点となったことに、まず注目しなければならない。この、機械とは逆の、顛倒した順序でのオートメーションの発生史こそは、第2次大戦の現代科学技術革命に対する規定性の具体的現象形態であり、そして戦後の『冷戦』が、この顛倒を固定化する役割を演じてきたのである<sup>16)</sup>と。以上の捉え方は、さきにみた、南克己氏の問題意識を念頭においたものであることは明らかであろう。こうして、北村氏のオートメーションの2側面という捉え方は、技術論（中村静治氏）と「冷戦」帝国主義論（南克己氏）を接合させる役割を与えられているのである。

しかし、北村氏の論理は生産力の内容と、その発展をリードする社会経済的諸条件とを同一次元で捉えており、首肯し難い。資本主義的生産諸関係が、特別剰余価値獲得を旨とした諸資本の競争によって、技術をそれ以前のどの時代にも増して発展させる社会経済的条件をつくりだしたのは事実である。そして、こうした経済的刺激による技術発展が、資本主義の技術の性格を刻印づけるのも事実である（例えば、競争に促迫されるため、他企業に先駆けた商品化が急がれ、消費財であればその安全性、資本財であれば作業上の安全性の検討がなおざりにされ易い等々）。しかし、そのことと生産力の発展段階の内容とは、次元が異なる問題である。今日の生産力の発展が、「冷戦」帝国主義という「具体的現象形態」をとるのは、今日の生産力発展段階が科学技術革命段階にあり、その実現は資

本主義経済という枠組の下では、軍事技術開発によって行なわれざるをえない（ないしは、それが一番矛盾が少ない）からである。社会経済的諸条件が、技術発展の方向や内容を規定するのは確かであるが、それはその時代の生産力の発展段階の内容によって規定された上で、その内容にふさわしい形態をとりつつ、生産力や技術に影響を与えていくという形をとるのである。北村氏は、次元の異なるこうした問題をなんとか技術に統一しようとして、労働生産性の向上という側面＝プロセス・イノベーション（価値的側面）と新生産物の創造という側面＝プロダクト・イノベーション（使用価値的側面）の2つに分けて、オートメーションを捉えるという見解を示したのであるが、そこには生産力・技術論の視角からみて、論理の飛躍があるように思える。

北村氏のこうした論理上の飛躍は、分業（Arbeitsteilung, Division of Labour）の捉え方に端的にあらわれている。氏は技術（＝労働手段）と労働編成を一体のものとして捉えながら（この点に氏の技術規定の独自性もあるのだが）、さらに「個々の労働過程の発展という内包的側面と、社会的分業の発展という外延的側面（を）、……相互前提的＝相互規定的な関係<sup>17)</sup>として押さえつつも、なお両者の事実上の乖離を主張している、と言わなければならない。というのは、ここでみた「個々の労働過程の発展という内包的側面」を、さきにみたオートメーションの価値的側面に、「社会的分業の発展という外延的側面」をその使用価値的側面に対置し、オートメーション登場における後

17) 北村「生産力展開と剰余価値生産——第4篇『相対的剰余価値の生産』の論理を中心に」、前掲『講座・資本論の研究』第2巻、1980年、229頁頁。

16) 同上、78～79頁。

者の顛倒的、「冷戦」規定的発展を説いているからである。だが、分業とは基本的には労働の分割であり、しかも生産力の今日的発展段階においては、既に分業＝労働編成に投影される生産力・技術の規定性は、個別的分業におけるその作業の種類や社会的分業における産業部門の種類にあるのではなく、直接的労働がますますその比重を小さくし、間接的労働がますますその比重を高めていく、さらに直接的労働においても間接的労働においても、肉体的労働から精神的労働へとその重点が移行しつつあるということが重要となりつつあるのである。こうした視角からみるならば、分業に即していえば、企業内分業（個別的分業）における研究・開発要員の増加、社会的分業における研究所やソフトウェアハウスの分離・自立こそが問題とされなければならないといえよう。

勿論、だからといって、北村氏のいうオートメーションの価値的側面、自動制御技術の多くの生産部門への導入の経済的意義が重要ではないというわけではない。とりわけIC技術の登場は、オートメーションを新たな段階に引き上げたものとして注目される。しかしながら、生産力の重要な構成物たる技術に我々が着目するのは、それが人間労働の内容や性格に影響を及ぼす客体的諸条件だからである。こうした労働との関連が重要であるからこそ、道具—機械—オートメーションの段階区分が意味を持つのである。だが、現代資本主義の現実には、技術的にはオートメーション段階へと歩みを進みつつも、実際にはその矛盾の発現を販売要員や研究・開発要員の増大によって繰り延ばしてきている。かかる意味では、以上にみた分業論的アプローチ、とりわけ生産力と密接な関連をもつ研究・開発従事者の増大が、生産力・技術論の今

日における重要な研究対象とされねばならないのではないだろうか。

以上みた北村氏の論理の飛躍は、生産力→技術→労働手段という捉え方に根差している。だが、生産力＝技術ではない。こうした点を考慮して、さすがの中村氏も「生産力の構成要素たる技術」（傍点は筆者）と表現せざるをえなかったのである。むしろ生産力の中心は「主要生産力（Hauptproduktivkraft）」たる人間である。この人間の無限の潜在的諸能力こそが、生産力、技術発展の根源であり、どのような能力が、どのような形態で発揮されるのかが、生産力の歴史的形態（生産の客体的諸条件によって示される）を形成するのである<sup>18)</sup>。これは当然すぎる程当然の指摘であり、技術論の論者でそれを否定する論者はいないと言ってよいが、にも拘わらず、この指摘は事実上無視されることが多い。しかし、生産力の中心が人間であることを無視しては、何故戦後日本の復興が急速であり、発展途上国の経済発展は遅々として進まないのか（したがって、そこでの政治的・経済的改革の必要性）、更にまた今日の日米の技術格差の違いも、正確には分析できないだろう。

かかる視点からすれば、オートメーションという労働手段の発展は、それはそれとして認めつつも、生産力の現段階的構造の特異性を視野に入れるに際しては、進行途上にあるオートメーションの分業面での表われである研究・開発労働に着目する必要がある。なぜなら、オートメーションは、技術史的位置づけであり、その歴史的パースペクティブはなお長期にわたるが、技術上の飛躍と経済体制の転換はストレー

18) 拙稿「科学技術革命と生産力概念の再検討」『経済論究』〔九州大学〕、43号、1978年10月、参照。



トに結びつくものではなく、数多くの媒介を必要とするものであるが、だからといって、技術と経済との、更に言えば生産力と生産関係との矛盾の最終的解決に至る過程での両者のフリクションを分析対象としないというわけにはいかないからである<sup>19)</sup>。こうした問題意識からすれば、本稿で対象とする技術先端産業は、本章冒頭で触れたその諸特徴のなかでも、とりわけ研究集約的産業としての特質が、最も本質規定的な特徴であるということが出来る。この性格づけは、科学技術革命段階にある現代の生産力構造の特質を反映したものであり、しかもその研究集約性は、既に一企業の枠を越え、国家資金の動員、さらには国際的な共同開発をも不可避とせざるをえないほど大規模かつ深いものだからである。

### 3. 半導体産業の成立と市場構造の特徴

#### (1) 半導体産業の成立

電子工業とはエレクトロン（電子）の利用に関連する工業を総称したものである。1957年に公布された「電子工業振興臨時措置法」により対象とされた電子工業は「電子管、半導体素子その他これらに類似する部品を使用することにより電子の運動の特性を応用する電子機器ならびに主として電子機器に使用される部品および材料を製造する事業」（同法第2条）とされている。

このように電子工業の始まりは、電子管の発明に端を発する（1904年、フレミングの二極管；1906年、ドウ・フォレストの三極真空管；1914年、ラングミュアの真空管）。これら電

子管の発明が電子工業の形成をもたらしたのは、既に有線通信事業（1837年、モールの電信機）や電話事業（1876年、ベルの電話機）、無線電信事業（1895年、マルコーニの無線電信器）が発展しており、電子の検波や増幅を行なう機能素子が必要とされる条件が形成されていたからである。電子管の発明、工業化は、これら既存の通信事業に強い刺激と変革をもたらし、更にラジオ放送、レーダー技術、テレビ放送、ミサイル、コンピュータ等の新しい産業部門、軍事技術を生みだした。

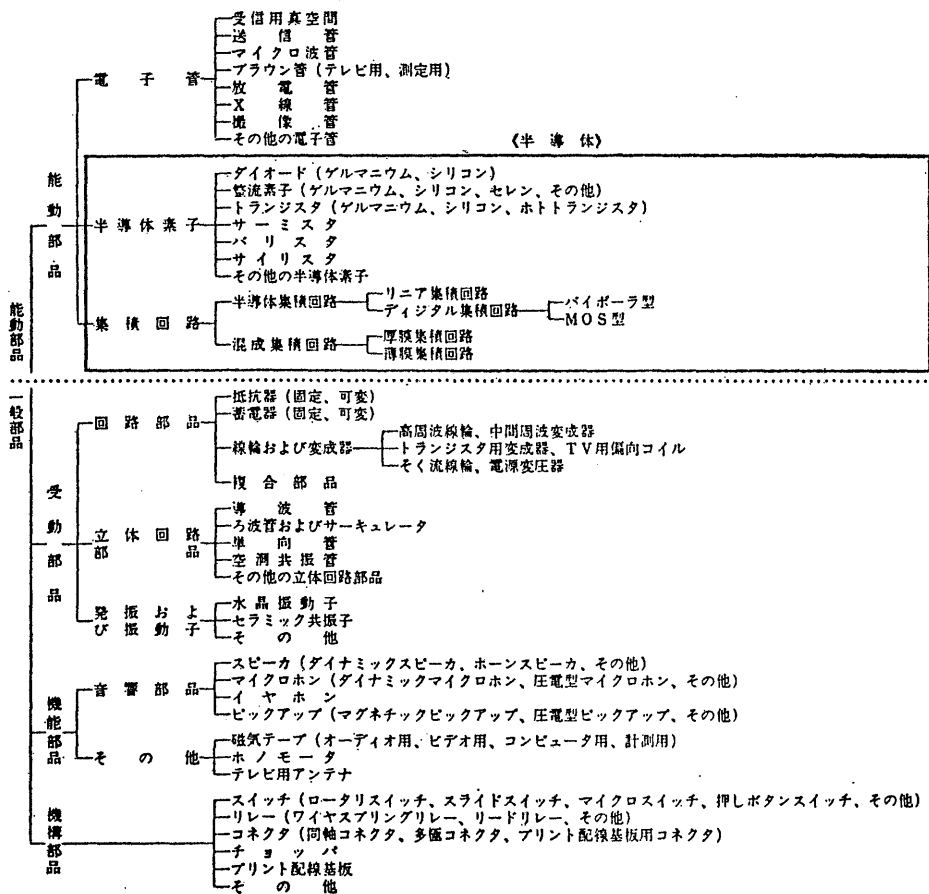
本稿で対象とする半導体産業は、これら広範囲にわたる電子工業に能動部品を供給する電子部品産業である。電子部品は、大きく分類すると、①能動部品、②受動部品、③機能部品、④機構部品の4つに分けられる（表一1）。電子管は、この内①の能動部品に分類されるが、上にみてきたように、実はこの能動部品が電子技術の中核なのであり、ある意味では能動部品の歴史が電子技術の歴史であるとも言えるのである。能動部品の歴史は、電子管—半導体（トランジスタ）—半導体（Integrated Circuit 集積回路）の三段階が画される。

半導体（Semiconductor）とは、銅やアルミなどのように電気をよく通す導体と、ゴムやガラスなどのように殆んど電気を通さない絶縁体の、中間の性質を有する物質（シリコン、ゲルマニウム、セレン等）のことである。トランジスタ技術は、半導体のこのような特性を利用して電子の動きを制御するものである。トランジスタ（1948年、ベル電話研究所）の出現により、能動素子は電子管時代から半導体時代に移行した。

ベル研での半導体の研究は、リレーや真空管を使った電話システムが、1940年代中頃にな

19) 拙稿「科学技術革命と今日のオートメーション」『経済学研究』〔九州大学〕第48巻1号、1982年12月、参照。

表一 電子部品の分類



ると、通話量の増大により、処理能力やメンテナンスで支障をきたしており、電子管に代わる能動素子を必要とする強い要請によるものであった<sup>20)</sup>。トランジスタは、電子管の次のような欠陥を取り除き、こうした要請に応えるものであった。

①電子管の作動には熱を加える必要があるもので、電力を必要とするし、放熱から他の部品を保護してやらねばならない。

②電子管は燃えつきると交換しなければならず、信頼度が限られている。

③電子管は機構部分が多く、小型化や生産の合理化を図りにくい。

④電子管はもろく、ショックに弱い。

こうして、トランジスタを中心とする半導体素子が、それまで電子管に依っていた機能を多くの領域で急速に代替するようになったが、これにもまだ問題がなかったわけではない。部品数については、電子管1本にはトランジスタ1個が対応するものであるから、配線に手間がかかり故障が多発する原因ともなる。巨大な電子システム、例えば何百何千、時には何百万、という電子部品によって構成される電話交換システムの発展にとっては、トランジスタもなお不

20) 瀬見 洋『日米半導体戦争』日刊工業新聞社、1979年、22頁。

表-2 ICの主な用途と特徴

分類			主な用途	設備投資	開発費	集積度	量産性	その他の特徴	
								長所	欠点
半導体 IC	バイポーラ	リニア	ビデオ・オーディオ機器 通信機	大	大	中	良	低雑音, 低ドリフト	消費電力大
	MOS	デジタル	電算機, 計測機器					高速	
			電卓, 時計, マイコン, 電算機のメモリ					大	優
混成 IC	薄膜		通信機	中	小	小	可	インダクタンスも組込める	やや大形 割高
	厚膜		ビデオ・オーディオ機器 自動車	小				高周波, 高精度 高電力, 高電流	

十分であった。

トランジスタのこうした欠陥を取り除き、半導体技術の新しい歴史を切り開いたのが、フェアチャイルド社のホーニーのプレーナ技術(1959年)とテキサス・インスツルメント社、キルビーの固体回路技術により可能となったIC技術の発明である。ICは“数ミリ角のシリコン片(基板)にトランジスタや抵抗、コンデンサといった回路素子を積み込んだもの”で、トランジスタに代わる次のような特徴をもっている。

- ①配線も相当な程度に内包されるため、より一層の小型化、軽量化ができる。
  - ②消費電力が少ない。
  - ③配線長の短縮、浮遊容量の減少から高速化が一層容易となる。
  - ④信頼度が高い。
- しかし、ICは回路を基板上に焼きつけるものであるから、次のような短所もある。
- ⑤設計費が高い。
  - ⑥設計変更が難しい。

IC技術は、基板上の素子の集積度向上を可能にし、SSI (Small Scale IC) = トランジスタ換算 100 素子未満, MSI (Medium Scale IC) = 1000 素子未満, LSI (Large Scale IC) = 1000 素子以上, 超 LSI (Very Large Scale IC) = 10 万素子以上, と発展してきている。

以上は、集積回路によって RAM (Random Access Memory・即時書き込み読み出し記憶素子) についてみた一応の区分であるが、他にも基本構造、用途などによって、いくつかに分類できる(表-2)。

基本構造上の相違から、半導体 IC と混成 IC の 2 つに分けられる。半導体 IC は、基板上にトランジスタや抵抗などの素子を作り、その表面を絶縁膜で被い、さらに、その上にある金属膜で配線したものである。これは 1 つ(モノ)の石で出来ているという意味でモノリシックと呼ばれるもので、今日、IC とは通常このモノリシック型(半導体 IC)を指す。

他方、混成 IC (ハイブリッド) は更に薄膜 IC と厚膜 IC に分かれる。膜 IC は、回路素子間を基板上に析出した膜状の抵抗体によって接続するもので、その膜の厚みによって薄膜と厚膜に分けられる。混成 IC は、後に触れる、マイクロモジュール方式による電子回路小型化の流れによるもので、基本的な考え方は、トランジスタなどをチップの形で 1 つ 1 つ個別に取りつけるというものである。

表-2 にも示しているが、半導体 IC はこの取り付けを予め設計された回路によって行なうわけであるから、量産性はすぐれている。反面、少量生産においては混成 IC の方が経済性がよい。新しい回路を開発する費用が少なくて

技術先端産業の確立過程

すむからである（設計変更が容易であるため）。

半導体 IC は、更にバイポーラ型と MOS (Metal Oxide Semiconductor, 金属酸化膜半導体) 型に分かれる。MOS 型は高密度回路の生産に適しているが、バイポーラ型に比べて動作速度が遅いという欠点を持っている。

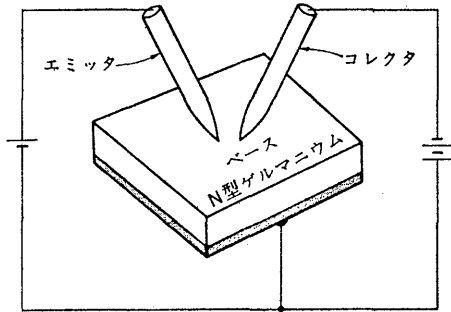
本稿は、電子部品産業のなかの半導体、とりわけ IC 産業の産業分析を課題とするものである。半導体 (IC) 産業の今日的意義は二重で

ある。ひとつには、それが人間の頭脳労働を代替する技術であるという意味で、労働手段の機械からオートメーションの発展、すなわち、自動制御機構の発展における画期的な技術であるということであり、もうひとつは、その研究集約性が、半導体 (IC) 産業を、前章でみた技術先端産業の規定を最もよく代表するものとしている、ということである<sup>21)</sup>。

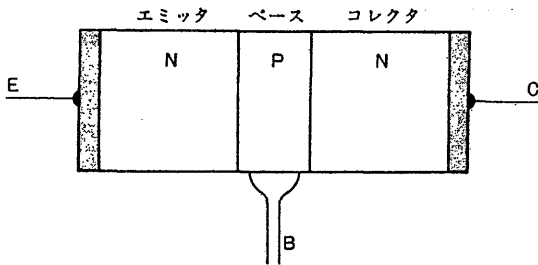
次章では、半導体 (IC) 産業の成立、市場

表一3 トランジスタにおける技術革新 ① (製品革新)

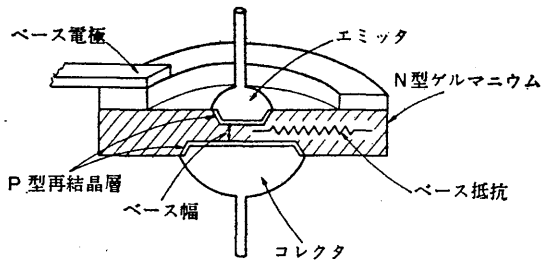
点接触型トランジスタ      ウェスタン・エレクトリック (ベル研)      1951



成長接合型トランジスタ      ウェスタン・エレクトリック (ショックレイ)      1951

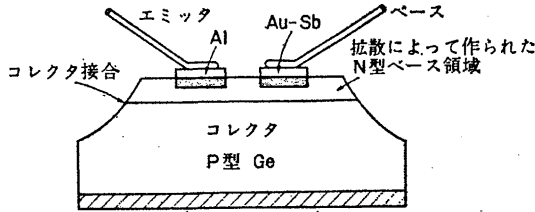


合金接合型トランジスタ      ゼネラル・エレクトリック, RCA      1952



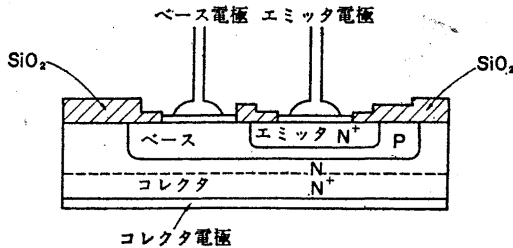
合金接合型トランジスタの断面

サーフェス・バリアー・トランジスタ	フィルコ	1954
シリコン接合型トランジスタ	テキサス・インスツルメント	1954
拡散型トランジスタ	ウェスタン・エレクトリック テキサス・インスツルメント	1956



ゲルマニウムメサ型トランジスタの断面

シリコン制御整流素子	ゼネラル・エレクトリック	1956
トンネル・ダイオード	ソニー (日本)	1957
プレーナ・トランジスタ	フェアチャイルド	1960



プレーナトランジスタの断面

エピタキシャル・トランジスタ	ウェスタン・エレクトリック	1960
集積回路(IC)	テキサス・インスツルメント フェアチャイルド	1961

- (出所) 1. John E. Tilton, *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductor*, Brookings Institution, 1971 p. 16.  
 2. 図は、垂井康夫『ICの話』NHKブックス, 1982年。

構造について分析を進めるが、この新製品の開拓、新産業部門の形成は、アメリカにおいて行なわれたものであるから、当然その分析もアメリカにおけるそれを中心に進められる。

21) 半導体産業の国際的展開については、菰田文男「米国半導体産業の技術戦略——日米技術格差の縮小と今後の展望」『世界経済評論』Vol. 26, No. 9, 1982年9月, が参考になる。

(2) IC 技術前史——トランジスタ技術の発展

トランジスタ時代からIC時代への移行と一口にいても、その移行は簡単なものではなかった。電子管から半導体(トランジスタ)の登場まで、約60年も費やされているように、ICの出現は、多くのトランジスタ技術の改善、発展の積み重ねによるものである。ここで

表-3 トランジスタにおける技術革新② (工程革新)

技術革新	開発企業	年	関連する製品革新
単結晶成長	ウェスタン・エレクトリック	1950	成長接合型トランジスタ
ゾーン・リファイニング	ウェスタン・エレクトリック	1950	
アロイ・プロセス	ゼネラル・エレクトリック	1952	合金接合型トランジスタ
3-5 コンパウンド	ジーメンス (西ドイツ)	1952	
ジェット・エッチング	フィルコ	1953	サーフェス・バリヤー・トランジスタ
酸化マスク及び拡散	ウェスタン・エレクトリック	1955	拡散型トランジスタ
プレーナ・プロセス	フェアチャイルド	1960	プレーナトランジスタ
エピタキシャル・プロセス	ウェスタン・エレクトリック	1960	エピタキシャル・トランジスタ
プラスチックによる密閉	ゼネラル・エレクトリック	1963	
ビーム・リード	ウェスタン・エレクトリック	1964	

(出所) 表-3①に同じ

は、ICに至るトランジスタ技術の発展およびその特徴について、みてみよう。

表-3①②は、トランジスタにおける主要な技術革新を列挙したものである。この表をみていくに当たっては、若干の注意が必要である。

1つは、ここに列挙されている主要な技術革新の選択は、任意的なものであるということである。選択は、半導体産業における科学者、技術者及び販売専門家間の討議結果をもとになされたものである。各人の間で、開発企業や時期について異論があったが、主要な技術革新については大体において一致をみたものである。ただ、プラスチック封入及びトンネル・ダイオードを主要な技術革新に入れることについては、疑問視する向きもあった、ということである。

第2に、主要な技術革新の経済的、技術的重要度は、大きく異なるということである。

第3に、技術進歩はそれがコストや機能に影響を与えるようになるまでに、いくつかの段階(基礎研究、応用研究、開発、商業化、そして拡散)を経るが、表では、最初に商業生産を始めた企業、時期を記しているということである。従って、表記された企業が、必ずしも導入した技術革新の拡散や市場での最大の成功を収

めた企業とは限らない<sup>22)</sup>。

最初のトランジスタは点接触型トランジスタ(Point contact transistor)と呼ばれるもので、1948年にベル電話研究所の3人の科学者、J.バーディン、W.ブラッテン、W.ショックレイによって発明されたものである。しかしこの最初のトランジスタは、半導体の表面に2本のタングステン針を接触させただけのごく簡単なものであったため、機械的なショックに弱く、半導体表面の性質や針の位置によって性能が左右され、再現性や信頼性に乏しいという欠点をもっていた。

成長接合型トランジスタ(Grown junction transistor)は、外界からの影響を遮断しにくい半導体の表面を避けて、トランジスタを結晶の内部に持ち込んだものである。しかしながら、この構造では薄いベース領域に電極をつける点など多量生産に不向きで、大規模な工業化は行なわれなかった。

合金接合型トランジスタ(Alloy junction transistor)の開発によって、トランジスタは

22) J. E. Tilton, *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductor*, Brookings Institution, 1971. pp. 15-18.

量産されるようになる。接長接合型では難しかったベースへの電極づけが容易となったからである。トランジスタラジオで始まる日本の半導体工業も、この合金接合型トランジスタによってその幕を開けられるのである。

しかし、ICへの歩みという点では、合金接合型はなお不十分である。リードが上下から出ているからで、IC化に向かうには、片側からだけのリード、すなわちシングルエンデットと呼ばれる構造が必要であった。また合金接合型トランジスタでは、その周波数帯域が短く、ラジオには使えても、テレビやFMといった高周波には対応できなかった。

高周波化に対応したものが、**メサ型トランジスタ (Diffused transistor)** である。ここでは2つの新しい方法が採用され、ICへの歩みを大きく前進させる。1つは不純物拡散によって薄いベース層を再現性よく実現するということ、もう1つは、電極の表面形状を決めるのにホトエッチング技術を導入したことで、これによってリードはシングルエンデット化され、ICへの道が開かれる。

メサ型トランジスタによって高周波化の問題は解決されたが、表面の問題はなお残っていた。上にみたように、成長接合型の開発によりトランジスタは、点接触型と違って動作の主要部分である接合部分は結晶内にとり込まれ、信頼性や寿命は増大した。しかし、接合が外気と接する部分、ゲルマニウムメサ型トランジスタの断面図でコレクタ接合と示した部分は残る。これは、以上みたどのトランジスタでも同じであった。したがって、メサ型までのトランジスタはラジオかテレビ等、用いるトランジスタの数が少ない場合はともかく、もっと多数、たとえば数百万個のトランジスタを使う電子計算機

といった用途には、まだ十分とはいえなかった。

表面安定化の決定版は、**プレーナトランジスタ (Planar transistor)** である。ここで使われた選択拡散技術が、今日のIC製造工程の核心であるウェーハ製造工程である。図-1 (126頁) 中の点線で囲んだ部分(ウェーハ処理の原理)を参照しつつ説明すると、最初に半導体表面をシリコン酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) で保護しておいて、その内、不純物を導入する必要のある部分をホトレジスト(感光剤)とホトマスク(陰画)によって選択するというものである。

ICは1つのシリコン中で、多くの素子を電氣的に分離することで集積度の向上が可能となったが、メサ型トランジスタで始まったIC(テキサス・インスツルメント社が最初に発表したICは、シリコンによるメサ型トランジスタを用いたもの)は、フェアチャイルド社のプレーナ技術を取り入れることによって急速な発展をみることになる<sup>23)</sup>。

以上は、ICに至るトランジスタ技術の発展を、その構造面から各段階ごとに、すなわち製品革新 (product innovation) を中心にみたものに過ぎない。1つの発明が工業化され、社会的にも受け入れられる製品として確立(完成化)されるようになるためには、基本的な発明に加えて、更に数多くの改良——多くの場合、工程革新 (process innovation) ——がどこされなければならない。発明 (invention) が社会に浸透してゆく技術革新 (innovation) に転化していくためには、その機能 (performance) よりもむしろ価格 (cost) が重要とな

23) 以上の技術的特徴については、垂井康夫『ICの話——トランジスタから超LSIまで——』NHK ブックス、1982年、82~94頁、参照。

る（ただし、資本主義経済の下では、超過利潤をもたらす価格である）。こうして、その製品の量産化や信頼度の向上、安全性等に関する改良技術が積み重ねられ、技術革新に拍車かけられるのである。トランジスタの場合も同様である。

初期のトランジスタは、半導体材料としてゲルマニウムを使っていたが、これは1952年当時 kg 当たり約300ドルという、金よりも高価なものであった。また温度特性という点でも、ゲルマニウムは60°~70°Cで性能が劣化するという欠点をもっていた。これに対して、シリコンの場合は、150°Cと温度特性がよい。このように温度特性や信頼性という点でのゲルマニウムに代わるシリコンの有利性は、初期の頃から分かっていたが、当時はまだシリコンを使える技術が十分ではなかった。というのは、ゲルマニウムの融点は900°C位であるのに対して、シリコンは1400°C以上と高い、「しかも、シリコンは活性が激しく、やたらにほかの物質と反応してしまう。つまりゲルマニウムほどの課題にも平均点以上とれるおとなしい“優良児”とすれば、シリコンは秀れた素質を持ちながら、使い方を間違えるととんでもない方向に脱線する“天才児”<sup>24)</sup>という性質の違いがあったからである。こうして、1950年代初期の研究・開発の目標は、半導体材料の純度を高め、信頼度を増すことにおかれた。

ゾーン・リファイニング技術は、ゴードン・ティール（ウェスタン・エレクトリック、1953年、テキサス・インスツルメントに移る）の商業的なゲルマニウム単結晶引き上げ法を上回る純度を可能にするものであった。ゼネラル・インスツルメントのアロイ・プロセスは、半導体

24) 中川靖造『日本の半導体開発』ダイヤモンド社、1981年、71頁。

トランジスタの作動条件の幅を広げるものであったし、フィルコのジェット・エッチング法は、ゲルマニウム・ウェハーの望み通りの薄さを達成し、高周波化への歩みを前進させた。

高周波化や信頼度という点での改善は、こうして進んだとはいえ、なおトランジスタ材料はゲルマニウムであり、高温下でのトランジスタの使用は制限されていた。最初のシリコン・トランジスタは、テキサス・インスツルメントによって、1954年に開発された。とはいえ、シリコンが半導体材料の主役になるには、なお時間がかかり、シリコン素子の生産がゲルマニウム素子の生産を上回るのは、1966年になってやっとである<sup>25)</sup>。

ICをもたらすに至る以上の技術発展をみてみると、その特徴として、以下のような諸点が指摘できる。

まず技術先端産業としての半導体産業に関連する特徴として、第1に、その技術発展の急速性が指摘できる。最初のトランジスタの出現以後わずか10年程で、ICを生みだすに至っている。

第2に、半導体は科学を基礎とした技術であるが、こうした技術は科学的研究さえ積み重ねれば自然と実するというような単純なものではないということである。科学的理論の研究に加えて、実験的な試行錯誤による経験的事実の持つ役割も大きい。科学と技術の接近、統一は進んでいるとはいえ、やはり両者には基本的な相違があるのである<sup>26)</sup>。1939年のショックレーの最初の

25) こうした点については、Richard C. Levin, "The Semiconductor Industry", in R. R. Nelson (ed.), *Government and Technical Progress: A Cross-Industry Analysis*, Pergamon Press, 1982, pp. 40-43.

26) 科学と技術の相違については、山田慶児『科学と技術の近代』朝日選書、1982年、が参考になる。

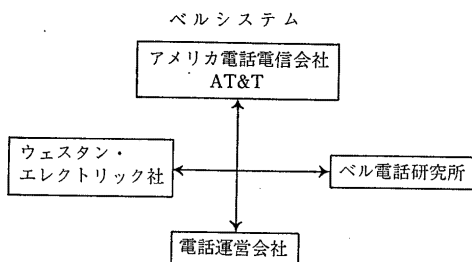


増幅器は、1930年代に既に確立されていた半導体理論を直接適用したものであったが、これは失敗している。しかし、これは後年、表面処理技術の発展によって、MOS型トランジスタとして復活している。最初のトランジスタ（点接触型）は、半導体表面状態に関する実験の途中で、偶然発見されたもので、なお増幅作用の原理は分からないままであった。

以上の点に関連するが、第3の特徴として改良技術の持つ重要性である。これについては既に触れたので再論する必要はないが、トランジスタの工業化においては、多くの技術的改良はかられ、それが結果的にはICをもたらしたのであった。

こうした技術上の特徴に加えて、第4に技術発展が、トランジスタ時代においては、主に既存の電子管企業、独占の大企業によって担われたということである。表一3①②をみても分かるように、主要技術の殆んどはウェスタン・エレクトリック<sup>27)</sup>を中心に、ゼネラル・エレク

27) 半導体開発の初期における技術発展の主役であったベル研は、ベルシステムの一員である。ベルシステムについて説明しておく、次の図のようになる。



すなわち、ベルシステムとは、AT & T を親会社にしたアメリカの電話電信会社組織のことで、その中で電話設備の製造・建設を行なうのがウェスタン・エレクトリックであり、研究を行なうのがベル研である。ベル研の株式は、50%ずつ AT & T とウェスタン・エレクトリックによって所有されている（以上の点について、詳しくは増田悦三『アメリカの電話』一二三書房、1981年、参照）。

トリック、フィルコ、RCA といった電機大独占によって開発されている。後期にはテキサス・インスツルメントやフェアチャイルドも顔をみせるが、後の IC 時代の技術革新が専ら新規参入企業によって担われたのに比べれば、かなりの相違である<sup>28)</sup>。

最後に、技術の発展をもたらすものとしての社会的需要基盤の重要性である。既にみたように、ベル研でのトランジスタの発明は、それ自体には偶然的要素があるとはいえ、AT & T に電子管に代わる能動素子を必要とする強い要請があったからである。ショックレーは、新しい能動素子の必要を見通していたベル研の研究所長マービン・ケリーによって招かれたものであった。

28) この点については、次の表一4参照。半導体産業における技術発展のこうした特徴は、技術の研究・開発において巨大独占企業の役割が大きい可否かという二者択一問題提起が、あまり意味をもたないことを示していると言えよう。この点については、北原 勇、前掲書、199～201頁参照（次稿で詳しく検討する）。

なお、独占の大企業が技術開発に積極的である理由に関して、ティルトンは次のように述べている。

「第1に、得られた新技術や特許は、アメリカにおいても、他国においても、他の技術に対して他企業との取引対象となる（クロスライセンス）。第2に、広範囲にまたがる研究活動は、もし研究・開発におけるリードが半導体以外の分野での応用に対して重要な成果をもたらしたとすれば、彼らはその成果を利用した企業活動を行なうことができる。これは、とりわけ（独占的大企業の一訳者）基礎研究追求への動機づけを増すものである。第3に、研究・開発努力は、最新の半導体技術に遅れずについてゆく、他企業で開発された新技術の同化を容易にする、将来大規模な生産努力を進めてゆく基礎となる、といった形で社内の技術力に寄与する。こうして、研究・開発は攻撃的な参入企業によってその産業から追い落とされるのを防止する、保険となっているのである。最後に、半導体のような進んだ技術に研究・開発努力を怠らない、また伍しているというよりは、顧客の、また公的にみた企業イメージを高める」（Tilton, *op. cit.*, p. 71）。

次の表4は28)の註です

技術先端産業の確立過程

表-4 企業別、企業類型別にみたアメリカの半導体特許数 (1952-1980)

		(1)工程、素子、システムに関する特許 (1952-1968)	(2)半導体に関する特許合計 (1969-1979)	(3)素子に関する特許のみ (1968-1980)
受信管企業	RCA	668	1,093	259
	ゼネラル・エレクトリック	580	865	208
	ウェスチングハウス	410	538	142
	シルヴァニア a	158	145	16
	フィルコーフォード b	130	67	10
	レイセオン	72	67	27
	その他	35	—	—
小計		2,053	2,775	662
主要内製企業	ベル研 c	835	1,153	138
	IBM	521	1,496	251
	ハネウェル	160	332	27
	スペリーランド	139	152	16
	ゼネラルモーターズ-デルコ	133	132	31
	パロウズ	—	124	10
	ヒューレットパッカード	—	118	19
	NCR	—	77	6
	テクトロニクス	—	30	6
	その他	—	273 e	23 f
小計		1,788	3,927	527
外販企業	テキサス・インスツルメント	286	632	159
	モトローラ	190	623	85
	ヒューズ	160	243	44
	ITT	111	161	23
	ベンディックス	77	114	3
	フェアチャイルド	52	180	55
	スプレーグ	52	93	23
	ロックウェル	—	203	13
	シグネティックス	—	119	49
	ナショナルセミコンダクター	—	110	36
	TRW	—	71	15
	インテル	—	69	15
	ハリス	—	52	16
	ゼネラル・インスツルメント	—	50	8
その他	359	22 g	17 h	
小計		1,287	2,742	561
上掲企業計		5,128 d	9,444	1,750
その他		—	4,028 i	473 j
総計		—	13,472	2,223

- (注) a. GTE マイクロエレクトロニクスへの特許を含む。  
 b. フォードモーター社への特許を含む。  
 c. ウェスタンエレクトリックへの特許を含む。  
 d. この総計に含まれるのは40の大企業のみである。  
 e. 20ないしそれ以上の半導体関連特許を有し、半導体の研究・開発・生産能力を持っている、ICE (Integrated Circuit Engineering, 1981)加入の全ての電子器機メーカーが含まれる。  
 f. 3ないしそれ以上の素子に関する特許を有し、半導体の研究・開発、生産能力を持っている、ICE加入の全ての電子器機メーカーが含まれる。  
 g. 20ないしそれ以上の半導体関連の特許を持っている、全ての外販メーカーが含まれる。  
 h. 3ないし、それ以上の素子に関する特許を持っている、全ての外販メーカーが含まれる。  
 i. 上記以外のあらゆる種類の企業が含まれる (例えば、製造装置メーカー、コンサルタント企業、20以上の半導体関連の特許を持つ全ての半導体メーカー)  
 j. 上記以外のあらゆる種類の企業、3以下の特許を持つ全ての半導体メーカーが含まれる。

(資料) (1) Tilton, *op. cit.*, p. 57; (2) Office of Technology Assessment and Forecast, U.S. Department of Commerce, special computer run, 1980; (3) Office of Technology Assessment and Forecast, U. S. Department of Commerce, special computer run, 1981.

(出派) R. C. Levin, *op. cit.*, pp. 50-51, Table 2.12.

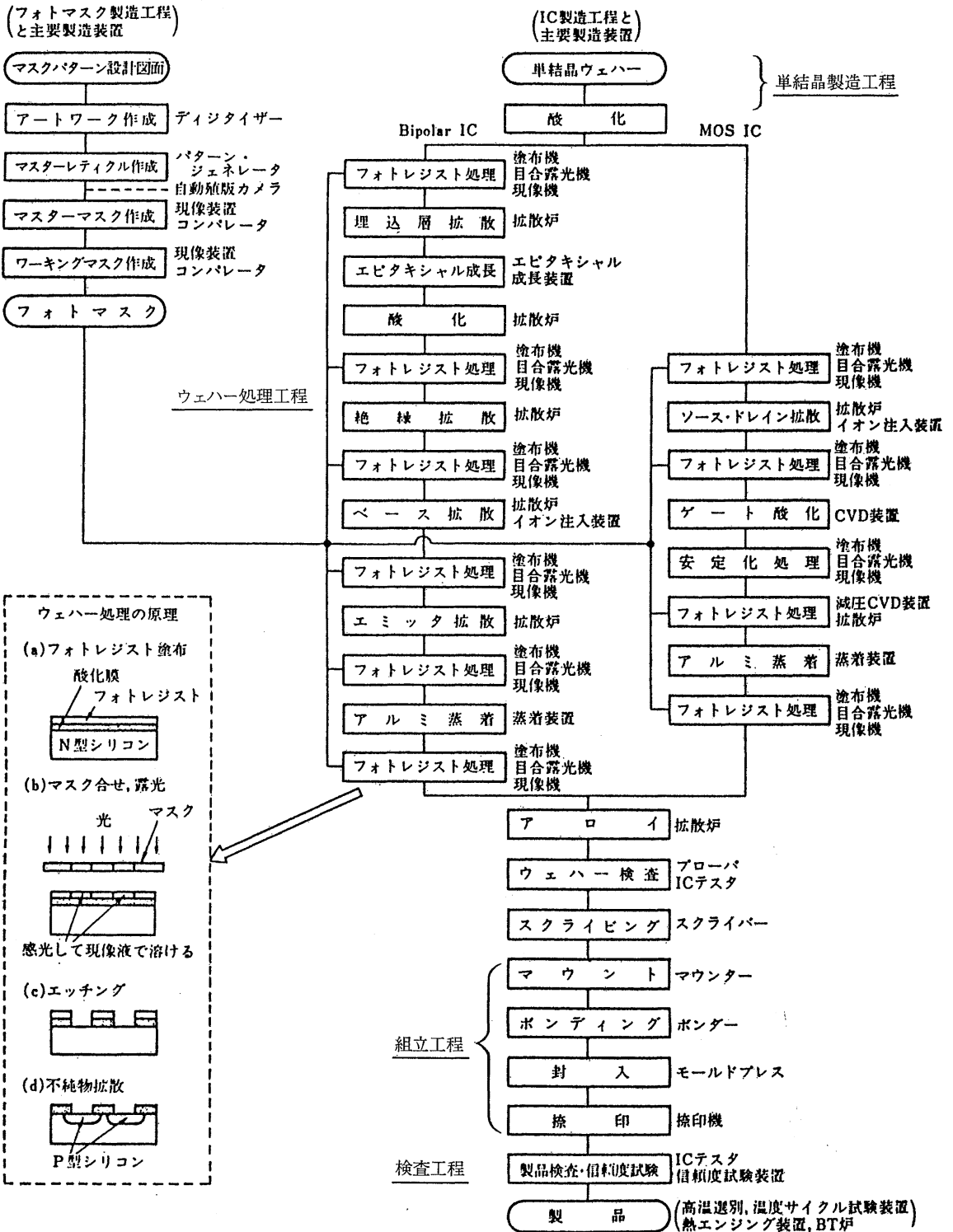


図-1 ICの製造工程の主要設備

(3) IC 製造工程——規模の経済と学習効果

本節では、IC 製造工程を概観し、製造工程に関連する半導体 (IC) 産業の経済的諸特徴——規模の経済と学習効果——についてみる。これらの経済的諸特徴は、半導体産業の参入条件と密接に関連するものだからである。

IC 製造工程は図一1の通りである。これまで工程技術の革新はいくつもあったが、前にみたように、IC 製造における基本技術はフェアチャイルド社によって開発されたプレーナプロセスである。ここでは、半導体 (IC) 製造業を規定する経済的諸特徴を理解するのに必要な限りで、製造工程の概略を説明しよう。

単結晶製造工程では、高純度のシリコン単結晶がシリンダー状につくられる。シリンダー状の高純度シリコン単結晶は、薄く輪切りにされ (0.5 mm)、表面研磨されて単結晶ウェハーとなる。

IC はシリコン基板上にトランジスタ等の回路素子を積み込んだものであるが、ウェハー処理工程が、この“積み込み”を行なう工程である。ここで重要なことは、各ウェハーからつくられる IC の最大数は、ウェハーと IC チップの大きさによって決まるということである。例えば、直径3インチのウェハーからは、辺の長さが0.2インチの IC チップは最大175個つくられる<sup>29)</sup>。

$$\frac{\text{ウェハー面積}}{\text{チップ面積}} = \frac{\pi(d/2)^2}{0.2 \times 0.2} = \frac{\pi(3/2)^2}{0.2 \times 0.2} = 175$$

d = ウェハー直径

$\pi (d/2)^2$  = ウェハー面積

0.2 × 0.2 = チップ面積

従って、ウェハー直径が大口径化すればするほど (ここ10年位で2インチから4インチへ)、チップ寸法が縮小されればされるほど、ウェハー当たりの IC 最大生産量は増大するということである。

チップ上に回路を形成するのは、さきにプレーナプロセスでみたものと同じ原理である。酸化膜によって保護されたウェハー上に、感光剤 (フォトレジスト) を塗布する (a) ; マスク製造工程で予め設計された回路パターン of マスク (フォトマスク) をその上に重ね、光や紫外線露光により、不純物拡散の必要部分の感光剤を取り除く (b), (c) ; 最後に、不純物拡散 (d) である。

ウェハー上に焼きつける回路パターンの線幅は、素子の密度向上に大いに関係する。今、RAM (random access memory, 即時書き込み読み出し記憶素子) で、IC の集積度をみると、標準的な IC で100素子、LSI は1万素子、超 LSI で100万素子とされる。こうした集積度の向上は、回路パターンの転写に用いる光の波長を短くすることによって行なわれてきたもので、微細パターン形成は可視光線から紫外線、遠紫外線、X線、さらに最近では電子ビーム、イオンビームへと発展してきている。

ウェハー処理が終わると、各チップは個別に切り離される (スクライビング)。このチップは非常にもろいので、セラミックないしはプラスチックで保護され、リードフレーム (IC をのせる台座) に固定し、チップとリードフレームを金線でボンディング (接続) する。この最後の工程が組立工程であるが、これは労働集約的

Thomas P. Egan, *Innovation, Competition and Government Policy in the Semiconductor Industry*, Lexington Books, 1980, p. 31.

29) Cf. Robert W. Wilson, Peter K. Ashton,

表—5 IC 製造歩留 (%)

工 程	平 均 a		成 熟 製 品 b		新 製 品 b	
	歩 留	累積歩留	歩 留	累積歩留	歩 留	累積歩留
ウエハー製造	75—95	75—95	80	80	70	70
ウエハー検査	5—95	3.8—85.5	40	32	20	14
組 立	80—95	8.0—81.2	90	28.8	85	11.9
最 終 検 査	60—95	1.8—77.2	90	25.9	75	8.9

(資料) a. Integrated Circuit Engineering. *Status 1980: A Report on the Integrated Circuit Industry*. Scottsdale, Arizona, ICE, 1981.

b. W. F. Finan, "The International Transfer of Semiconductor Technology Through U. S. -Based Firms" NBER Working Paper No. 118. Washington: National Bureau of Economic Research, December 1975.

(出所) Richard C. Levin, "The Semiconductor Industry", in R. R. Nelson (ed.), *Government and Technical Progress: A Cross-Industry Analysis*. Pergamon Press, 1982, p. 21.

な工程であるので、アメリカでも日本でも、低賃金を求めて東南アジアや韓国など海外で組立てられることが多い。しかし、組立て工程も最近では自動化が進みつつある。

コスト要因——学習効果と規模の経済

学習効果

IC は、導体でも絶縁体でもない、まさに半導体、それも高純度シリコンに不純物を微細にまぜあわせることによって、電子の動きを制御する素子をつめ込んだものである。従って IC 製造工程（ウエハー製造）は、極度に厳密な無塵度の作業環境（クリーン・ルーム）を必要とする。ミクロン（1000分の1ミリメートル）単位の微細加工を行なう IC 生産においては、ウエハーに塵が1つ付着しただけでも回路がショートしたりして、必要な機能が保てない。

従って、歩留りの向上が IC コストの動向に重大な影響を与える。歩留りの向上を 16K ビット RAM でみてみると、「5%以下ならまだ開発段階で……外部に向かってはサンプル供給が行なわれる程度である。10%近くになると量産初期段階に入り、販売に踏み切ることができる。20%を越えれば量産段階に入ったといえ

る。30%のラインが突破できれば、もう市場で優位に立つだけの実力を獲得したことになる」<sup>30)</sup> という。

歩留りは、IC 製造工程の諸段階で異なるが、大きく分けて次の4段階の関門をくぐらなければならない。第1は、ウエハー処理工程であり、この工程中に不手際があれば、ウエハー処理が終わるまでに廃棄される。第2は、ウエハー処理の済んだ段階での電気テストである。第3は、組立工程である。そして最後に、最終的な電気テストを受けなければならない。これら各段階の歩留りを集計したものが総合歩留りとなる。

いわゆるラーニング曲線 (learning curve) と呼ばれる学習効果の良否がでるのも、この歩留りにおいてである。表—5は、成熟製品 (TTL=transister-transister logic) と新製品 (1103 MOS-IC) の歩留りを、上記4段階にわたって比較したものである。平均でみた歩留りの落差が1番大きいのは、第2段階のウエハー検査の段階である。それ以外の段階では歩留りは総じて高く、とりわけ組立工程の歩留り

30) 志村幸雄『IC産業大戦争』ダイヤモンド、1979年、72頁。

は高い。従って、IC 製造歩留り向上の中心は、ウェハー処理に置かれる。反対に組立工程は労働集約的でもあり、歩留りも概して高いので、上にみたように、専ら単位時間当たり労働コストの小さい東南アジアなどで行なわれる。

ウェハー処理工程にあらわれる歩留り向上が、学習効果である。表—5における成熟製品と新製品のウェハー検査における歩留りのあざやかなコントラストが、学習効果をよく物語っている。学習効果は、このように生産経験を積むことによって向上するのであるが、単に経験を積みばよいといった単純なものではなく、多くは製造工程の改善や完全化のための技術者の努力に負うところが大きい<sup>31)</sup>。

ティルトンによれば、半導体産業における学習効果の特徴は、次のようになる。「第1に、作業者の側での学習効果は、その要因としては小さなものに過ぎず、重要度は比較的小さい。多くは、半導体結晶の準備に費される時間や温度についての経験、製造中の不純物拡散制御から得られる処置、組立や検査に使われる設備、事業組織のスケジュール化等から生じる生産工程における改善からもたらされるものである。第2に、多くの学習効果は生産から自動的に生みだされる副産物ではなく、むしろ企業の意識的努力によって生みだされるものである。エンジニアやその他の専門家が、新しい素子の生産

システムの研究や可能な改善についての実験にふり向けられる。研究・開発活動のかなりの部分は、製造工程や既製の半導体の特性改善に充てられる。第3に、学習効果は、当該産業における過去の累積生産と同一のものとはいえ、生産の時間の関数でもある。確かに、今述べたような一定の学習活動は、改善をもたらす生産活動の時間に多くが依存している。第4に、一定の学習は容易に一般的知識となり、公共財となるものであるが、多くは特殊な生産設備に独特の形で応用されるか、ノウ・ハウを有っている企業からの技術指導によってのみ他の設備に対して移転されるものである。その結果、学習によって生み出される利益の大部分は、その学習を行なった企業に帰するものとなる」<sup>32)</sup>。

#### 規模の経済

半導体産業の初期には、なお規模の経済は大きなものではなかった。以下では、独占＝巨大企業のみが行使できる参入障壁を広義の規模の経済として<sup>33)</sup>、半導体産業における規模の経済についてみてみる。このように、広義で捉えた規模の経済は、狭義の規模の経済（大規模生産の有利性）、研究・開発費の利用可能性、マーケティング活動力、及び電子製品部門との垂直統合により生じる。

まず第1の狭義の規模の経済は、後にみるように、半導体産業初期の急速な技術革新により、技術の陳腐化の恐れから設備化が容易になされず、生じる余地は小さかった。例えば、フ

31) 以上の点については、R. C. Levin, *op. cit.*, pp. 20-22.

半導体産業における学習効果の重要性については、モノローラの例は象徴的である。「1960年頃に、同社はクライスラー・モーターズとの間で、自動車の交流発電機用のシリコン整流素子を一個75セントで供給する契約を結んだ。当時、この素子の通常価格は約2ドルであった。最初の頃はコスト割れであったが、巨額の注文をこなしていくにつれ、生産技術が改善され、モノローラは利益を出せるようになっていった」(Tillon, *op. cit.*, p. 86) という。

32) Tilton, *op. cit.*, pp. 85-86.

33) これらの点については、北原、前掲書、40、197、251頁参照。スティグラーは、以上の要因を規模の経済としている(G. J. Stigler, *The Organization of Industry*, 1968, Ch. 7 神谷・余語訳『産業組織論』東洋経済)。しかしこれらは、規模の経済というよりむしろ巨大企業(独占的大企業)の利点と言った方がよい。

フィルコは1950年代中頃にファスト・オートマティック・トランスファー・ライン (Fast Automatic Transfer Line) と名づけた業界初の自動装置を設置したが、この装置は1～2年の内に陳腐化した。装置の設置当初は、フィルコはコスト低下による価格切下げで、高周波合金型トランジスタ市場の70%を占めた。しかし、メサ型トランジスタや拡散技術、プレーナ技術の開発によって、フィルコの自動装置は古くさくなり、その廃棄をしぶっていたフィルコは業界での地位を転落させてしまった。

研究・開発費の巨額さは、技術先端産業としての半導体産業を、その初期から特質づけるものである。だが、これも初期においては大きな参入障壁とならなかった。企業間移動や新企業の設立による、科学者や技術者のスピンのオフは米国における一般的慣行であるが、これによって新企業は、親企業の研究・開発努力を借用して、みずからは大した研究・開発負担を行わずに半導体産業への参入を成功させた。しかも、この場合全般にわたる半導体技術は必要ではなく、1つの有良な半導体素子——通常、新素子である——に関する技術で十分参入可能ということが、しばしばあった。スピンのオフによって設立された新企業が、親企業と同じ生産ラインで競争するというのは、まれであった。むしろ彼らは、親企業が参入を計画なか、始めたばかりの分野に参入した。そうすれば、親企業による研究・開発努力の借用が生きてくるからである。ただし、この場合学習効果は借用できない。親企業自身も生産経験が小さいか、ゼロに等しいからである。

マーケティング努力は、半導体産業においては、殆んど意味がない。半導体は生産財であるから、その顧客は生産企業だからである。「ア

メリカ市場における、半導体の潜在的顧客は、1968年で約4000に過ぎないし、その内の数百が全販売額の95%を占めている」<sup>34)</sup> 状態である。

半導体部門と最終電子製品部門との垂直統合も、技術変化が著しい初期においては、規模の経済の利点となりえなかった。最終製品部門は自企業の半導体部門より、よりよい性能の、より安い半導体が外部半導体企業から得られるとすれば、自社の半導体を使うより、外部から調達した方がよい。反対に、半導体部門にしてみれば、姉妹最終製品部門からその要求に沿った素子開発の要請は、全般的な市場戦略を立てにくくする、からである<sup>35)</sup>。

以上のように、半導体産業の初期、技術の変化が著しかった1950年代、60年代においては、規模の経済は小さく新規参入を阻止する参入障壁とはならなかった。しかし、1970年代に入り、技術が安定してくるに伴い、こうした状況は変化しつつある。今日では、半導体産業の設備投資、研究・開発費が巨額になり、小規模なベンチャー・ビジネスの参入を難しくしている。またIC価格の低下により、電気製品は勿論、自動車等多様な消費財にICが組み込まれるに従って、最終電子製品事業との垂直統合が重要な競争上の利点となりつつあり、この点からも規模の経済が大きくなりつつある。

#### (4) 技術と市場構造

半導体産業の市場構造は、いくつかの特徴をもって出発した。1つは、一口に半導体産業といっても、その担い手となる企業は多様であり、数種の企業類型が区別されるということである。第2に、半導体産業においては、とりわけ

34) Tilton, *op. cit.*, pp. 83-84.

35) 以上については、Cf. *ibid.*, pp. 82-84.

技術先端産業の確立過程

表—6 主要な米国半導体企業の変遷

順位	1955年 (トランジスター)	1960年 (半導体)	1965年 (半導体)	1975年 (IC)	1980年 (IC)
1	ヒューズ	TI	TI	TI	TI
2	トランジストロン	トランジストロン	モトローラ	フェアチャイルド	NS
3	フィルコ	フィルコ	フェアチャイルド	ナショナル・セミコ ンダクター (NS)	モトローラ
4	シルヴァニア	GE	ゼネラル・インス ツルメント (GI)	インテル	インテル
5	テキサス・インス ツルメント (TI)	RCA	GE	モトローラ	フェアチャイルド 〔シュランベルジャー〕
6	ゼネラル・エレク トリック (GE)	モトローラ	RCA	ロックウェル	シグネティックス 〔フィリップス〕
7	RCA	クレバイト	スプレグ	TI	モステック〔ユナイテ ッド・テクノロジー〕
8	ウェスティングハ ウス	フェアチャイルド	フィルコーフォード	RCA	アドバンスド・マイク ロ・デバイス (AMD)
9	モトローラ	ヒューズ	トランジストロン	シグネティックス 〔フィリップス〕	RCA
10	クレバイト	シルヴァニア	レイセオン	アメリカン・マイク ロシステム	ハリス

(資料) 1955-75; I. M. Macintosh, "Large Scale Integration: Intercontinental Aspects", *IEEE Spectrum*, June 1978, p. 54 1980; Integrated Circuit Engineering, *Status* 1981; *A Report on the Integrated Circuit Industry* (Scottsdale)

(出所) Levin, *op. cit.*, p. 30.

IC 以後に顕著であるが、既存の独占企業でではなく新規参入企業が技術発展及び市場の発展をリードしたということである。第3に、以下でみるように、技術革新の著しさにより、市場のリーディング企業が目まぐるしく変化したということである。

まず企業類型についてみると、大きく分けて、次の3つに類型される。

第1の企業類型は、垂直統合された多様な電子製品・部品を生産する独占電気・通信企業である。さきにみたように、トランジスタに始まる半導体産業の技術を初期においてリードしたのは、これらの企業、とりわけベル研であった。これら独占電機・通信企業は、電子回路における整流、増幅機能が真空管から半導体素子(トランジスタ)に代替されることに気が付き、1950年代初めにはトランジスタの生産に乗りだした。1955年の時点では、1950年前後に真空管の殆んどを生産していた主要8社の

内、5社が、半導体(トランジスタ)の売上げ上位10社にランクされている。GE、フィルコ、RCA、シルヴァニア、そしてウェスティングハウスがその5社である(表—6参照)。しかし、これら独占的6企業はその後地位を低下させており、特殊回路や軍需向けにシフトしている。

第2は、半導体の内製企業である("captive" suppliers)である。内製企業の中心はコンピュータメーカーであり、IBM、ヒューレットパッカード、ハネウェル、NCR、ディジタル・イクイップメント、及びコントロール・データが主要なものである。その他大手内製企業としては、GMとウェスタン・エレクトリックの合弁子会社であるデルコがある。

第3は、本稿での中心となる、外販企業("merchant" suppliers)である。これらの企業は、1950年代初めに半導体事業に新規参入したものであるが、その内部にはまたかなりの



異質性がある。

①その出目という点でみれば、いくつかの外販企業は、既存企業の多角化による新事業部門として設立されたものである。ヒューズ・エアクラフト、モトローラ、テキサス・インスツルメントなどがそれに当たるが、それ以外、ナショナル・セミコンダクターやインテル、その他多数のメーカーは半導体事業への参入を旨として新規に設立されたものである。

②外販企業間においても、半導体の市場戦略をめぐって、企業間にかなりの違いがある。テキサス・インスツルメントやモトローラのような企業は、広汎にわたる記憶素子からマイクロ・プロセッサ、個別半導体等、多様な半導体製品を生産する。しかし、その他のメーカーは限られた種類の製品しか販売していない。例えば、インテルは個別半導体は全く生産しておらず、高い品質の n-MOS IC に特化している。RAM メモリーの開拓者として、最近ではインテルは、マイクロプロセッサとその他の論理素子に集中している。その他では、モステックは MOS メモリーに専門化し、モノリシック・メモリー社 (MMI) はバイポーラ IC のみを生産しており、ユニツロードとヴァーロは個別半導体に専門化しているという具合である。

③最終製品部門への垂直統合の程度、時期についても差異がある。テキサス・インスツルメントは早期に電子消費財への垂直統合を成功させたが、それ以外のメーカーの垂直統合は貧弱である。

④以上の差異のなかでも、既に分かるように、テキサス・インスツルメントとシリコン・バレーのメーカーとの間には、大きな差異があり、これはアメリカにおける半導体企業の企業慣行にも及ぶものである。すなわち企業間の組

織や誘因、雇用者の移動、技術情報の企業間での流れ、及び政治方針における差異である。テキサス・インスツルメントは、企業への忠誠心を育むのに成功し、雇用者（技術者）の移動を止めさせ、独自技術の流出を防いでいるのに対して、シリコン・バレーの多くのメーカーの間では技術者の移動や情報の流出が自由である。日米半導体摩擦のアメリカ側の当事者となった SIA (Semiconductor Industry Association = 半導体工業会) は、シリコン・バレーのメーカーを中心としている<sup>37)</sup>。

次に、市場構造の第2、第3の特徴についてみてみよう。この点については、表一6、および表一7①②③が、何よりも雄弁に事態の特徴を物語っているといえよう。産業における企業のマーケットシェアは、マーケティングや価格政策、垂直統合、独占力等々多くの諸要因によって決まるが、半導体産業においては技術革新及び模倣に成功するか否かがマーケットシェアを決定してきた。これは、表一7①②③に明らかかなような半導体産業の技術革新の急速さによるものであるが、技術がマーケットシェアの決定的要因となるという点で、この産業は「シュンペーター型競争」<sup>38)</sup>の典型であるとされて

37) 企業類型については、Levin, *op. cit.*, pp. 24-27.

38) 「シュンペーター型競争」、とりわけ技術進歩と企業規模との関係については、M. I. Kamien, N. R. Schwarz, "Market Structure and Innovation: A Survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. XIII (March, 1975), pp. 1-37, が文献紹介も含めて詳しく論じている。なお、ペインは技術独占による市場独占は長くは続かないとしている。その理由としては、「戦略的特許の満了、競争的な工程や製品の発展、そして独占解体のための政府の反トラスト的行為」(J. S. Bain, *Industrial Organization*, 2nd ed. 1968, 宮沢健一監訳『産業組織論』東洋経済, 上, 164頁)をあげている。これらの点についての検討は次稿でも行なうが、詳しくは、他日を期したい。

技術先端産業の確立過程

表一7 半導体における技術革新 ① (素子構造)

技術革新	年	開発企業
Integrated circuit	1960	テキサス・インスツルメント/フェアチャイルド
Diffused resistor	1960	フェアチャイルド
Metal-oxide-semiconductor (MOS) capacitor	1960	RCA
Metal-oxide-semiconductor (MOS) transistor	1962	RCA
Substrate-diffused-collector transistor	1962	シルヴァニア/フェアチャイルド
Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) transistor	1963	RCA
MOS resistor	1965	フェアチャイルド/GMe
Deposited-metal resistor	1965	—
Depletion-mode MOS resistor	1969	モステック
Bipolar-junction field-effect combination	1970	ナショナル
Trapped-charge storage	1972	インテル
Bipolar-MOS combination	1972	RCA
Isoplanar, Coplamos et al.	1974	フェアチャイルド/スタンダード・マイクロシステム
Merged transistor I2L	1975	IBM/フィリップス
Vertical MOS (VMOS)	1977	シリコニックス/アメリカン・マイクロシステム

(資料) CRA, *International Technological Competitiveness: Television Receivers and Semiconductors*, prepared for National Science Foundation (Boston, Mass., June 1979). List of innovations developed in conjunction with Ferguson Associates, Cupertino, California.

(出所) R. W. Wilson et al., op. cit., p. 40.

表一7 半導体における技術革新 ② (工程革新)

Resistive metal deposition	1960	—
Ultrasonic bonding	1961	フェアチャイルド
Annealing for stress relief	1965	ベル研
Gettering processes	1965	ベル研
Plastic encapsulation	1965	フェアチャイルド
Direct bonding (bump)	1966	IBM/ウェスタン・エレクトリック
Nitride-chemical vapor deposition (evp)	1968	ゼネラル・インスツルメント
Glass-chemical vapor deposition (CVD)	1969	ベル研
Ion implantation	1970	モステック
Schottky junction	1970	テキサス・インスツルメント
Dielectric isolation	1970	ハリス
Sputtering	1973	ヴィーコ
Polysilicon deposition	1973	インテル
Silicon-on-sapphire	1973	RCA
Plasma etching	1974	スタンダード・テレコミュニケーション研究所 (英)
Ion milling	1975	ヴィーコ
Electron-beam processing	1975	テキサス・インスツルメント/IBM
Photolithography projection alignment	1976	パーキン-エルマー
Deep ultraviolet photolithography	1977	パーキン-エルマー

(出所) 表一7 ①に同じ

いる。

1954年に、テキサス・インスツルメントは、初めてゲルマニウムに代わるシリコン・トラン

ジスターを導入した。これによるテキサス・インスツルメントの市場リードは2・3年続き(6カ月以内で、他企業が新しい素子を複製し

表一7 半導体における技術革新 ③ (ディジタル IC)

RTL (resistor-transistor logic)	1961	フェアチャイルド
DTL (diode-transistor logic)	1962	シグネティックス
ECL (emitter-coupled logic)	1963	モトローラ
TTL (transistor-transistor logic)	1964	シルヴァニア/テキサス・インスツルメント
CMOS	1968	RCA
Schottky TTL	1970	テキサス・インスツルメント
1 K MOS RAMs	1970	アドバンスド・メモリー・システムズ/インテル
Microprocessor	1971	インテル
Bipolar RAMs	1972	フェアチャイルド
4 K MOS RAMs	1973	インテル/モステック/テキサス・インスツルメント
16 K MOS RAMs	1976	インテル/モステック

(出所) 表一7 ①に同じ

たり2次供給者になるのが普通であるこの産業において、2・3年のリードは驚くべきものである)、小企業を一躍半導体販売額のトップにのしあげた<sup>39)</sup>。

半導体における、このような急速な技術発展は、新親参入が容易であったことによって、競争的市場競争、しかも「シュンペーター型競争」と称されるような技術開発競争が、その初期において支配的であったことによる。こうした競争的市場構造を半導体産業にもたらした要因としては、半導体産業の立ち上がりの時期に、すなわち次節でみるプロダクト・サイクルの第1段階に、軍需が強力な需要基盤を提供したこと、更に人材の流動性や特許の自由利用が可能であった等の要因があげられる。次章では、こうした要因およびその変化についてみてみよう。

#### 4. 競争的市場構造を支えた要因

前章でみたように、半導体産業において競争的市場構造をもたらした要因としては、いくつかのものが指摘できるが、本章では、それらの要因を、2つに大きく分けてみてみる。1つ

は、半導体素子の政府調達(とりわけ軍需)と政府による研究・開発援助の役割であり、もう1つは、参入を容易にした諸条件である。前者は技術先端産業の確立過程にみる、国家(とりわけ軍事技術開発)の関与の特徴をみるもので、生産力の今日的段階と国家独占資本主義による生産力掌握の関心に焦点をあてるものである。後者においては、資本主義経済下での、技術先端産業の開拓、発展と企業間競争の関係を考察するものである。勿論、これらの考察は、半導体産業に限定されているし、世界に先がけて半導体産業を確立したのはアメリカ一国だけであるから、アメリカ的特殊性に彩られたものであることは明らかである。したがって、ここでの考察の性急な一般化は避けねばならないことは言うまでもない。

#### (1) プロダクト・サイクルと半導体産業の技術拡散過程の特徴

技術先端産業の国際的技術移転(拡散)の特徴を考察する場合、プロダクト・サイクル説(Product-cycle)が参考になる。プロダクト・サイクル説は、R.ヴァーノンによって多国籍企業の国際的な資本の投資戦略を説明するものとして提唱されたのが始まりである<sup>40)</sup>。ヴァ

39) Tilton, *op. cit.*, pp. 65-66.

ーノン<sup>40</sup>は、商品のライフ・サイクルを、“新製品” (new product)、“成熟途上の生産物” (maturing product)、“標準化製品” (standardized product) の3段階に分けて、各段階における資本の投資行動の特徴を分析している。

“新製品”段階は、まっさきに先ずアメリカにおいて開始される。というのは、ヴァーノンがプロダクト・サイクルのモデルとしている“新製品”は、「高所得と資本による労働の代替に関連した製品に対するイノベーションにのみ関連するのであって、産業上のイノベーション一般についてのものではない」<sup>41</sup>からである。新技術の発見や発明が、必ずしもいわゆる「技術革新」(イノベーション)をもたらすわけではない。イノベーション(発明)がイノベーション(技術革新)として展開をとげる為には、「新生産物の開拓」<sup>42</sup>に対して超過利潤をもたらすほどの新需要が創出されなければならない。この点に関しては、アメリカは他の先進国に比べて、相対的に高い1人当たり平均所得と、単位当たり労働コスト、という有利な市場条件をもっている。アメリカで開拓された“新製品”は、この最初の段階では、技術上の独占的優位性により他国との価格競争の心配もなく、海外に生産拠点を立地させる必要はない。

しかしながら、“新製品”段階が終わって、商品のライフ・サイクルが“成熟途上の生産物”

段階に入ると、他の先進国への技術拡散による競争要因が作用し始め、一定の量産性の要求による「規模の経済」等、コストの低下が重要となってくる。この段階にあつては、商品輸出ないしは海外立地が検討され始める。

最後の“標準化製品”段階では、商品は十分成熟をとげ規格化も進んでいるから、専らコスト要因のみが重要となる。したがって、この段階においては、労働コストが安い発展途上国が価格競争上優位に立つようになる。

ティルトンは、プロダクト・サイクル説を半導体産業に当てはめて国際的な技術拡散について考察している。図-2は、ヴァーノン・モデルを基礎としてティルトンが展開した、技術革新の国際的拡散過程である。

ティルトン・モデルの特徴は、技術先端産業である半導体産業を対象としているため、需要条件として、ヴァーノンがあげた高所得高賃金率に加えて、軍及び宇宙開発需要を追加している点にある。

「典型的には、新しい半導体素子は高価であるため、最初は、コストよりも機能が優先される軍及びその他の政府向け装置に使われる。企業が経験を積むにつれて、コストが低下する。最初軍向けの装置に素子が使われた後数年して、その価格は産業用にかんがりの浸透を許すほどの低下をしばしばもたらす。更に数年して、素子はコストパフォーマンスが最も低い消費市場でも競争できるほど安くなる」<sup>43</sup>

こうして、新しい半導体素子は、市場条件——市場の規模及び構成——からいくと、先進国ではアメリカ(軍需段階)、西ヨーロッパ(産業用需要が相対的に大きい)、日本(消費財需要が相対的に大きい)と、技術拡散が進んでい

40) Raymond Vernon, "International Investment and International Trade in the Product Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 80 (May 1966), pp. 190-207.

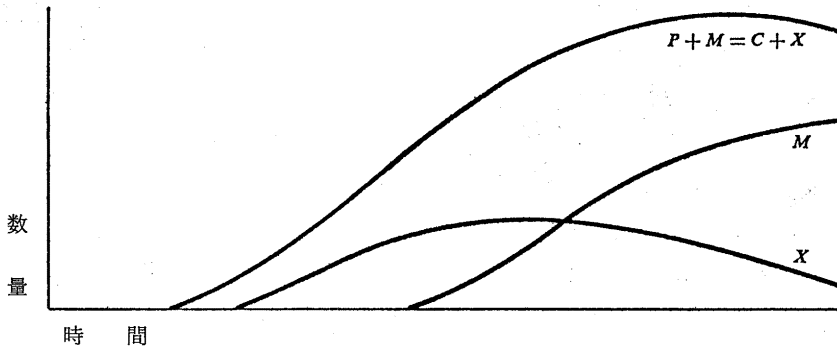
41) *Ibid.*, p. 193.

42) 北原 勇氏は、「新生産物の開拓と新生産部門の形成とは異なる概念であつて、新生産物の開拓がつねに新生産部門を形成するわけではない」(北原, 前掲書, 264頁)と、両者の区別の必要を説いている。

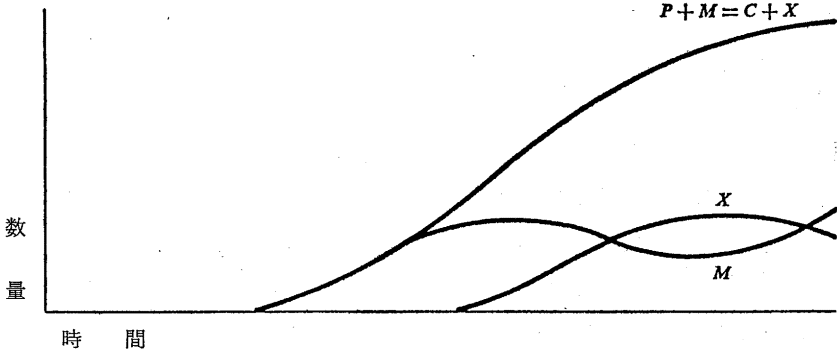
43) Tilton, *op. cit.*, pp. 35-36.

図-2 技術革新の国際的拡散過程<sup>1</sup>

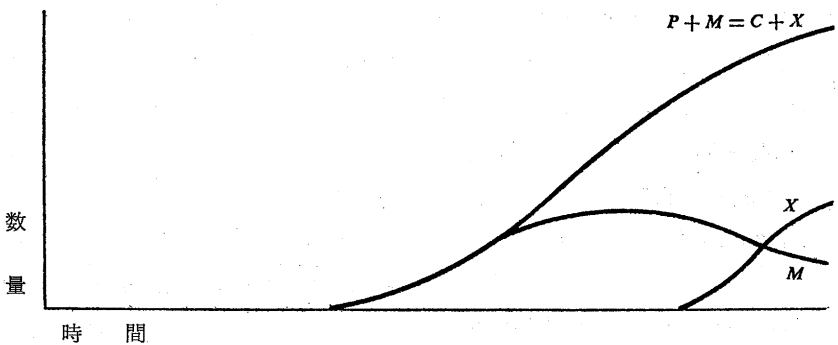
(a) 技術革新国(アメリカ合衆国)<sup>2</sup>



(b) 初期に模倣した国(その他の先進国)



(c) 遅れて模倣した国(発展途上国)



(注) 1. X曲線はその国の新製品(ないしは新工程によって生産された製品)の輸出水準を示す; M曲線はその輸入である。P+M曲線は国内生産と輸入の合計である。これはその国の国内消費及び輸出(C+X)に充てられる製品総計を示している。P+M曲線とM曲線の縦の差は、その国の生産を、C+X曲線とX曲線の縦の差はその国の消費を表わしている。

2. カッコ内はヴァーノンの規定

(出所) John E. Tilton, *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors*, Brookings Institution, 1971, p. 21.

くということになる。

事実後にみるように、半導体の新素子開発においては軍需の役割は決定的であるが、半導体産業の技術先端産業としての性格に関連して、その技術拡散過程の理解についてもいくつかの注意が必要である。

1つは、自由貿易の下では、需要条件による技術拡散の遅れは小さいとはいえ、それが軍需向け素子として開発された場合、軍事機密という性格からアメリカへの輸出に対しては一定の障壁が存在するということである。こうした制限は、新素子が産業用、消費用と成熟してくるにつれて弱まるが、軍需品としての新製品開発が国家機密ないしは西側全体の利益という口実により、自由貿易の例外的扱いになりうるという点は指摘しておく必要がある<sup>44)</sup>。

第2に、半導体産業の供給条件の特異性である。半導体の生産は資源やその他の生産要因を殆んど必要とせず、専ら問題は技術と労賃率である。技術水準や技術者、科学者の数は、先進国と呼ばれる国においては極度に大きな格差があるわけではないから、半導体の供給条件の側からみた技術拡散の遅れは、需要条件のそれに比べて、さほど大きくないということである。このことは、いったん新製品が開発され、軌道に乗るようになると、技術面で追いつく（模倣する）ことは十分可能である、ということの意味している<sup>45)</sup>。

## (2) 技術開発過程への国家の介入

### 政府調達（軍需）

新技術が工業化され、更には商業的に生産されるまでには、いくつかの段階を踏まなければならない。まず基礎研究段階で、この段階では科学的原理の発見やその最終的応用可能性については、かなり不確定である。次は、得られた原理により、新製品や新工程の試作品作りの段階である。こうした研究段階においては、その目標は絞られるが、技術の見通しや経済性については不確定である。最後は、開発および商業化段階であるが、ここではまだ市場規模や競合他社の同種製品（工程）の開発状況については不確定なままである。このように、新技術の製品化に当たってはかなりのリスクが伴うが、そのリスクが大きければ大きいほど、競争者も少ないということである。成功した場合の超過利潤も大きい。前にみたプロダクト・サイクル説は、新技術が工業化、更には商業的に生産されるまでの過程を、主に需要要因を中心として説明したものである。

半導体産業が、新生産部門を形成するまでの過程において重要なことは、以上のリスクが全面的に国家、とりわけ軍需によって負担されたということ、更にはそれが、前章においてみたように、独占的大企業のみによってではなく、むしろ主要には新規参入企業による急速かつ活発な技術革新によって支えられたということである。

政府、とりわけ軍による半導体素子の調達が、半導体技術の発展に与えた影響は決定的である。表—8は、最終消費からみた半導体販売額シェアの推移をみたものである<sup>46)</sup>。表は、さ

44) この点に関しては、1981年6月のAT&Tの光通信入札における富士通の敗退、1983年2月の京都セラミックの米現地子会社デクセル社の、「国家安全機密法」による売却事件は印象的である。

45) 以上の点については、Tilton, *op. cit.*, pp. 36-37.

46) 表—8について注意すべきは、これは外販されたものだけについてみたもので、垂直統合企業に

表—8 最終消費からみた半導体販売額シェアの推移

	1960 a	1965 b	1968 a	1972 b	1972 c	1974 d	1974 e	1979 e
コンピュータ	30	24	35	27	28	32	29	30
消費財 (計算機, 時計, 自動車等)	5	14	10	18	22	22	24	28
生産財 (工程制御, 検査装置, オフィス機器, 通信設備)	15	26	20	30	26	30	33	37
軍 / 宇宙 関係	50	36	35	25	24	16	14	10

- (資料) a. Texas Instrument, cited in Finan, *op. cit.*  
 b. William D. Witter, Inc., "Basic Report on the Semiconductor Industry for 1973/1974", cited in Department of Commerce, *Report on the Semiconductor Industry*. U. S. Government Printing Office, 1979.  
 c. J. P. Ferguson Associates, cited in Finan, *op. cit.*  
 d. Fairchild Camera and Instrument, cited in Department of Commerce, *op. cit.*  
 e. Dataquest, Inc., cited in Wilson et al, *op. cit.*  
 (出所) R. C. Levin, *op. cit.*, p. 19, Table 2.1.

きにみたプロダクト・サイクルを典型的に表わすものである。半導体産業の立ち上がりの時期には軍需とコンピュータ、とりわけ軍需が需要の半分を占め (1960年)、他を圧倒している。軍需によってリードされるプロダクト・サイクルの第1段階は、1950年代とみてよいであろう。次の第2段階においては、生産財が20%台となって、軍需に次ぐ市場となってコンピュータと並んでいる。60年代が、この時期に当たるといえよう。1970年代は、第3の段階である。1972年には、消費財のウエイトは20%前後を占めるようになり、1974年には軍需を抜いている。日本の半導体生産が本格化し始めるのも、この頃からである。

前述のように新製品を工業化し、商業的な軌道に乗せるまでには、かなりの困難、リスクが

よる最終電子製品への自社の半導体使用は除外されているということである。ICE (Integrated Circuit Engineering) の推定によれば、米系企業による世界の半導体生産の内、20%以上がこれら統合企業の内製品で占められているとのことである。IBM だけで、アメリカの半導体生産のほぼ15%を占めており、これら内製品を含めると、コンピュータ向けは40%にのぼるといふ (ICE, *Status 1980: A Report on the Integrated Circuit Industry*, 1981, cited in Levin, *op. cit.*, p. 18)。

ある。その意味では、新製品のライフ・サイクルのまさに開始時に、軍需という市場がその立ち上がりを支えた意義は極めて大きい。

しかし、軍需の意義をその需要規模のみから判断してはならない。というのは、軍による半導体需要は、半導体産業を振興させようといった抽象的な目的から出ているのではなく、兵器の性能向上という極めて具体的な要望によるものだからである。従って、そこでは、新製品のコストよりも品質が優先される。同様の理由により、軍による調達では大企業、中小企業という差別は少なく、よりよい性能の素子であれば、既存の有名大企業のものでなくとも躊躇なく調達対象に加えられている。

軍による、兵器の技術水準向上という具体的な要望は、半導体産業の技術発展を支えたのは勿論であるが、同時にその技術発展の方向をも規定していることに注意しなければならない。

ベル研の点接触型トランジスタの発明が、軍に知らされたのは、一般公開 (1948年6月30日) のわずか一週間前であった。これは、ベル研がその技術に自信をもちながらも、民需分野で超過利潤を得ることができるかどうか、迷っ

ていたためである。軍需に依存すれば、市場は保証されるが、国防計画に組み込まれ民需への使用が制限される<sup>47)</sup>。そうした懸念は別として、軍はトランジスタの開発当初から、この技術に強い関心を払っていた。

軍使用の電子機器の比重は、第2次大戦時及び大戦後の頃から急増しつつあったが、それら機器への真空管の使用は、装置の信頼度低下という問題を引き起こしていた。1952年には、海軍の艦隊の電子装置の60%は満足に機能せず、装置の故障の半分は真空管に関連したトラブルによる、という状態であった<sup>48)</sup>。空軍では、その性格上、電子装置の信頼度の向上に加えて、その小型化や軽量化に関心を寄せていた。こうした状態から生ずる軍の要求は、技術発展の努力をどこに向けたいかをはっきり提示している。素子の小型化、軽量化、更に電力消費の低減、またミサイルの誘導システムの開発に当たっては、高温といった困難な作動条件にも耐えうる素子、などが目標とされた。

こうした軍の目標に合致した素子を開発して軍と契約を結ぶことは、とりわけ新規参入企業にとって重要である。軍は、必要な研究・開発費、生産設備の設置を援助してくれるし、新素子の調達に対しては、プレミアム価格で引き取ってくれたからである。プレミアム価格での調達は、前にみたように、学習効果による価格の低下が著しい半導体産業においては、とりわけ新規参入者にとって大きな助けとなった。また学習効果が生じるまでの期間が軍需によって保証されるということは、半導体素子の民需への

転用を促進する作用をも果たしている。産業用、更には消費需要に新製品が浸透していくに当たっては、なによりもその価格が低下することが重要だからである。軍との契約は、無名の新規参入企業に対して、その権威づけを行なうことで、参入の成功をより確実なものにするという効果もある。1958年の空軍によるミニットマン・ミサイルの信頼度向上計画には13の部品メーカーが参加したが、この計画への参加により、モトローラはゲルマニウム・トランジスタの供給で170万ドルを受けている。フェアチャイルドは、シリコン拡散トランジスタで150万ドルの契約を受け、この資金は同社のプレーナ技術の開発を助けるものとなった。

軍の要求が、半導体の技術革新に明瞭な影響を与えた例は、シリコン・トランジスタとICの開発にみることができる。ゴードン・ティールが、1951年に単結晶シリコンの成長に関心を向けたのは、軍向けの装置に必要な高温に耐えるという要求を満たすトランジスタの製造にとってシリコンが適っていると考えたからである。また、テキサス・インスツルメントがティールを雇ったのも、軍での調達を狙ってである。テキサス・インスツルメントは、シリコン・トランジスタの成功により、同製品において3年間独占的地位を享受することとなり、半導体の最大の外販メーカーとしての地位を確実なものとしたのである。

ICの場合は、シリコン・トランジスタほど直接的ではないとはいえ、軍の要求がICの開発に与えた影響は明らかである。軍の要求する半導体素子が、より小型、軽量でかつ高信頼度のもの、というのははっきりしていたからである。小型化に向けた軍の研究・開発アプローチは、次にみるように、多様であったが、いずれ

47) Levin, *op. cit.*, p. 58.

48) E. A. Speakman, "Reliability of Military Electronics", in *Progress in Quality Electronics Components*, Proceedings of a Symposium of the IRE-AIEE-RTMA Washington, May, 1952, cited in Levin, *op. cit.*, p. 58.



の方法によるにせよ小型化が達成されれば、軍需調達を得られることは確実であった。

テキサス・インスツルメントのジャック・S.キルビーの発明のすぐ後、1962年にNASAはアポロ宇宙船模型の誘導コンピュータにICを使う意向を表明している。そのすぐ後には、空軍はミニットマンICBMの改善(improved version)のための誘導部品にICを使う積りであることを明らかにした。空軍のこの計画に際して、その主契約者であるオートネティック社は、3つのアプローチを検討している。1つは、個別部品を再度、部品に収めるという案、第2は薄膜混成回路を使用するという案で、3つ目はICの使用であった。上にみたように、最終的にはICの使用が決定されるのであるが、なおICが開発されて日が浅いこの時期には、その信頼度に対して議論されており、軍の要求する信頼度を達成するための技術的距離という点では、IC案が最も遠いものであった。事実、この時期にIBMは、新世代を画すコンピュータ360シリーズにモノリシックICは使はないという決定を行なっている。360シリーズで採られたアプローチは、先の3つの案の内、第2案に似たものである<sup>49)</sup>。

ミニットマンIIの開発契約は、1962年にテキサス・インスツルメントとウェスチングハウスに、1963年には、この2社に加えてRCAに当てられた。アポロ計画の主だった契約は、フェアチャイルドに与えられた。ミニットマン、宇宙計画の調達が1960年代中頃まで延びるにつれて、かなりの調達契約が、モトローラ、シグネティックス、ゼネラル・マイクロエレクトロニクス、及びシリコニクスにも与えられてい

表-9 ICの政府購入

	IC 出荷総額① (百万ドル)	政府購入②a (百万ドル)	②/① (%)
1962年	4 b	4 b	100 b
63	16	15 b	94 b
64	41	35 b	85 b
65	79	57	72
66	148	78	53
67	228	98	43
68	312	115	37

(注) a. 国防省, 原子力委員会, 中央情報局, 連邦航空局, NASA.  
 b. Tilton, *op. cit.* (p. 91) による推定。  
 (資料) 出荷総額: Electronic Industries Association, *Electronic Industries Yearbook*, 1969, Table 55.  
 政府購入: BDSA "Consolidated Tabulation: Shipments of Selected Electronic Components".  
 (出所) R. C. Levin, *op. cit.*, p. 63.

る。表-9は、IC調達における政府の重要性を示すものである。ミニットマンII、アポロの2つの計画を合わせると、1963~64年のIC販売の殆んどを占めている。

以上のIC技術の開発促進に与えられた政府(軍及び宇宙関連)調達の役割について、R.C.レヴィンは、次のように整理しているが、これらの指摘は半導体技術全般にとっても多かれ少なかれ、妥当するものである。

「第1に、軍およびNASAが高いイニシャル価格を進んで支払ったことは、多額の研究・開発投資及び生産設備投資が正当化されることによって、メーカーがこの産業部門に参入する明瞭な誘因を与えた。第2に、大量の注文は契約者に生産経験を積ませることになり、時間の経過に伴うコストの低下に必要な学習を容易にすることとなった。同時に、新規参入による競争の増大と生産経験の蓄積は、価格を低下させることによって、ICを多様な商業的応用のために育成することとなった。第3に、契約期間中の成功見込支払(progress payment)は、

49) 以上の点については、Levin, *op. cit.*, pp. 58-62.

技術的失敗に伴う経済的リスクを軽減させることによって、潜在的につきまとう現金獲得問題を容易にした。第4に、軍は、メーカーに装置の故障の原因となった設計技術、生産技術上の失敗を正させることによって、通常では見られない高度なユーザー・フィードバックを提供した。最後に、イノベーションの速度は、空軍の厳密な要求によって、明らかに促進された。…ミニットマンIの信頼度向上計画やミニットマンIIの調達契約は、すぐに達成可能な目標以上の素子機能を目標に指示しており、しかも目標は非常な短期間のうちに達成するよう要求された<sup>50)</sup>。

その他、政府調達の間接的なインパクトとしては、以上でも部分的に触れたが、民需部門への技術移転 (spillover)<sup>51)</sup>、及び「セカンド・ソーシング (second sourcing)」政策がある。後者は、とくに新規参入及び技術拡散を奨励するものとして重要な慣行である。兵器システムの部品を1つの企業だけに依存していた場合、もしその企業が技術上、生産上の困難に陥った際には、兵器システム全体の完成が遅れることになる。その意味で、このセカンド・ソーシング政策は、こうしたリスク防止のため、国防省によって大いに奨励されたのである。多くの場合、セカンド・ソース (2次供給者) は、製品を単に仕様通りに供給するに過ぎないわけであるが、時としてかなりのノウ・ハウが移転されることがある。また、新製品による革新的参入者は、大企業を2次供給者にすることができた場合、それにより顧客の警戒心を

解くことができるという利点があった<sup>52)</sup>。

以上のように、「調達政策は、それがなければ起きなかったような半導体の技術革新をもたらしたわけではないが、いくつかの技術革新の時期を早めたのである。そしてこの(技術革新の)タイミングは、1950年代及び60年代初期においては、とりわけ重要だったのである。なぜなら、これによってアメリカの諸企業は世界市場において、技術革新及び競争上の最右翼の地位を獲得することができたからである<sup>53)</sup>。

しかしながら、1960年代末から70年代にかけて、技術革新に対する軍需の刺激は、次第にその比重を低下させてきている。この頃から、プロダクト・サイクルは、ICの技術的發展、価格低下により、市場は消費財需要によってリードされ始めたからである。軍の要求する機能と民間ユーザーのそれとの開きは大きくなり、しかも民間ユーザー向けの技術發展の方向もほぼ見通しがついている。プロダクト・サイクルの初期には政府調達、更には次にみる政府の研究・開発援助は重要な役割を果たすが、新生産部門が形成・確立された後期においては、その重要度を低下させるのである。

#### 政府による研究・開発援助

政府の半導体企業に対する資金援助は、主要なものとして、次の3つの方法がある。1つは、研究・開発プロジェクト契約である。第2は、企業の準備した生産洗練化計画への援助による方法である。3番目は、政府の新兵器開発において、その資金の一定部分が主契約者を経て、半導体企業の研究・開発に使われるという間接的なものである<sup>54)</sup>。

50) Ibid., pp. 63-64.

51) Spillover については、Tilton, *op. cit.*, Appendix, pp. 175-176, 参照。R. W. Wilson et al., *op. cit.*, pp. 122-131, は消費者余剰の観点から考察している。

52) Levin, *op. cit.*, pp. 64-65.

53) R. Wilson et al., *op. cit.*, p. 147.

54) Cf. Tilton, *op. cit.*, p. 92.

表—10 半導体企業の研究・開発および生産洗練化計画に投じられた政府の直接援助額 (1955-61)  
(百万ドル)

	1955	56	57	58	59	60	61
研究・開発・生産洗練化	3.2	4.1	3.8	400	6.3	6.8	11.0
トランジスタ	2.7	14.0	0.0	1.9	1.0	0.0	1.7
ダイオード及び整流素子	2.2	0.8	0.5	0.2	0.2	1.1	0.8
計	8.1	18.9	4.3	6.1	7.3	7.9	13.5

(資料) BDSA, Semiconductor: U. S. Production and Trade (1961), Table 8.  
(出所) Tilton, *op. cit.*, p. 93.

以上の2つのルートを通じて、民間企業に対して行なわれた政府資金を、1955~61年についてみたものが表—10である。第3の間接的援助については、その性格上、はっきり数値がつかめないが、国防省が1960年に行なった調査によると、政府の兵器開発を通じて直接、間接的に援助された研究・開発資金は1958年で1,390万ドル、59年で1,620万ドルにのぼった、とのことである<sup>55)</sup>。この数字は、表—10にみる直接援助資金の2倍以上である。

政府の資金援助の効果としては、2つのものが考えられる。1つは、「促進効果」とでも名づけられるもので、その技術の重要性を知らせることで、民間企業の研究・開発投資を増大させるものである。もう1つは、リスク軽減である。これは、新製品開発に必要な研究・開発投資の負担を軽くするという直接的な効果と、政府の資金援助によって、技術革新が可能であるという自信を企業に与えることによってもたらされる、企業のリスク受け入れ態度(積極的)の変化という効果がある。後者は、1950年代、60年代には特に大きいものがあった<sup>56)</sup>。

しかしながら、半導体産業の成長、技術発展に対する刺激という点では、政府の研究・開発

援助政策よりも、前にみた調達政策の方がより効果が大きかった。ベル研の最初のトランジスタの開発は、自己資金によるものであった。テキサス・インスツルメントのIC開発のケースは、新技術開発における政府の援助政策の失敗を、はっきり示すものである。

さきにもみたように、IC開発はシリコン・トランジスタのように、政府が明瞭な目標を提示したのではなく、ただ素子の小型化が目標とされていたに過ぎない。そして、この小型化に向けての政府の研究・開発努力も同じように続けられていた。これには、3つのアプローチがあった。1つは、マイクロモジュール方式で、部品そのものを小さく作り、組み立てを高密度に行なおうとするものである。このアプローチは、最初、海軍の資金援助で国立標準局が行なったティンカートイ(Tinkertoy)・プロジェクトにおいて企画されたものである。これは失敗し、1953年に資金援助は打ち切られた(1950年~52年に、このプロジェクトに使われた資金は500万ドル)が、1957年にアーミー・シグナル・コープス(Army Signal Corps)によって、マイクロモジュール計画として復活した。マイクロモジュール計画は、主にRCAを中心に進められたが、この計画も1963年頃までには、ICの出現によって挫折してしまっ

55) BDSA, Semiconductors: U. S. Production and Trade, 1961, in Tilton, *op. cit.*, p. 93.

56) R. W. Wilson et al., *op. cit.*, pp. 151-152.

(1957年～63年に、シグナル・コープスは2,600万ドル投入した)。2つ目は、海軍と軍のダイヤモンド・オードナンス・フューズ研究所(Diamond Ordnance Fuze Laboratories)によって取り組まれた薄膜回路アプローチである。第3のアプローチは、空軍によるモレキュラーエレクトロニクスという斬新なアプローチである。この研究援助として、約200万ドルがウェスティングハウスに与えられた<sup>57)</sup>。

結果的には、これら3つのアプローチは、ICの出現によりいずれも失敗に終わったのである。キルビーのICアプローチは、1958年の10月初め、公表の5カ月前に(ベル研のトランジスタは、1週間前)、各政府機関に知らされたが、海軍が少しばかりの関心を示した程度に過ぎなかった。しかし、公表の3カ月後、1959年6月には、115万ドルの最初の研究・開発契約を得ている。また1960年の終わり頃には、210万ドルの生産洗練化契約を得ている。また、フェアチャイルドのプレーナ技術も、政府による援助なしで開発されたものである。

以上の事実は、既に企業によって着手された活動を補完する場合には、政府の研究・開発援助は最も効果的であることを示している<sup>58)</sup>。とはいえ、ベル研及びテキサス・インスツルメントの例でも分かるように、一たん新技術が開発された場合、それに対する政府援助の対応はかなり早い。レヴィンは、政府援助の対応の迅速性と柔軟性を高く評価している<sup>59)</sup>。

政府の研究・開発および生産計画援助については、更にそれが既存の大企業に傾斜しがちであることを、指摘しなければならない。ティルトンによれば、1959年の半導体企業に対する政

府の研究・開発資金の配分は、ウェスタン・エレクトリック社と受信管企業8社(RCA, ウェスティングハウス, シルヴァニア, フィルコーフオード, レイセオン, タン・ソー, コロンビア・ブロードカスティング・システム)で78%を占めていた。しかしこれら既存企業の半導体販売シェアは37%でしかなかった<sup>60)</sup>。既存の大企業に好意的であるという、この研究・開発援助の配分構造は、テキサス・インスツルメント社やフェアチャイルド社の台頭もあり、その後若干変化したようであるが、こうした傾向に対して、業界関係者は、政府の研究・開発計画はその効果を上げるにはあまりに多方面に分散し過ぎる、多くが「二流」企業に流れているという不満を表明している。更に、政府資金による研究・開発に対して、政府が特許権を要求する、情報公開法によって研究情報が他社に流れる、という不満も、指摘されている。にも拘わらず、そして半導体の全研究・開発費に占める政府資金の比重も近年(1960年代中頃から)低下しつつあるのであるが、後にみるように、依然業界関係者(および政策担当者)はその増額を要望している<sup>61)</sup>。

以上の事実は、資本主義経済下にあっては、政府の研究・開発費援助は直接、資本主義企業に対する補助という形をとるため(政府による調達と異なり)、資本主義経済特有の企業間競争によって強く刻印されることを示している。資本主義企業は、できるだけ多くの国家資金を得ようとする。こうした要求は、どの企業にとっても同じであるから、当然国家資金の配分をめぐる競争が激烈化する。こうして国家資金の配分は、多分に政治的色彩を帯びることに

57) Ibid., p. 153, Levin, *op. cit.*, pp. 70-71.

58) Ibid., p. 154.

59) Levin, *op. cit.*, p. 73.

60) Tilton, *op. cit.*, p. 94.

61) R. W. Wilson et al., *op. cit.*, p. 155.

なる。政府の研究・開発援助が、新技術という成果を生みだすのに、必ずしも有効に機能しなかったのは、こうした事情を反映したのと言えよう。

### (3) 参入条件——特許と独占禁止政策

既にみてきたように、半導体産業の成長と技術発展は、その初期には既存の受信管を扱う独占的大企業によって担われてきたが、中期、とりわけ IC 出現前後からは、新規参入企業によって担われてきた。そして、この自由競争段階と見紛うばかりの——尤も、軍需によって支えられたものであるが——激しい企業間の技術開発競争（これは同時にシェア獲得競争でもあった）が、半導体技術の発展を促進してきた。半導体産業において新企業の参入を許容した諸条件についてみてみよう。

新規参入を容易にした諸条件については、そのいくつかは、既に触れている。これまでに指摘したことを簡単にまとめると：初期においては需要の殆んどが軍需であり、それはより高い性能の兵器という軍の具体的な要求に基づくものであったため、大企業、中小企業という企業間の差別は少なく、軍の要求をよりよく満たした新素子であれば容易に市場を見出すことができた；規模の経済による参入障壁も、技術発展があまりに急速であったため、道徳的摩擦を恐れて容易に設備化されなかった；学習効果も、新規参入企業の多くは、新製品によって参入したため、生産経験の有無はあまり関係がなかった、などがあげられる。

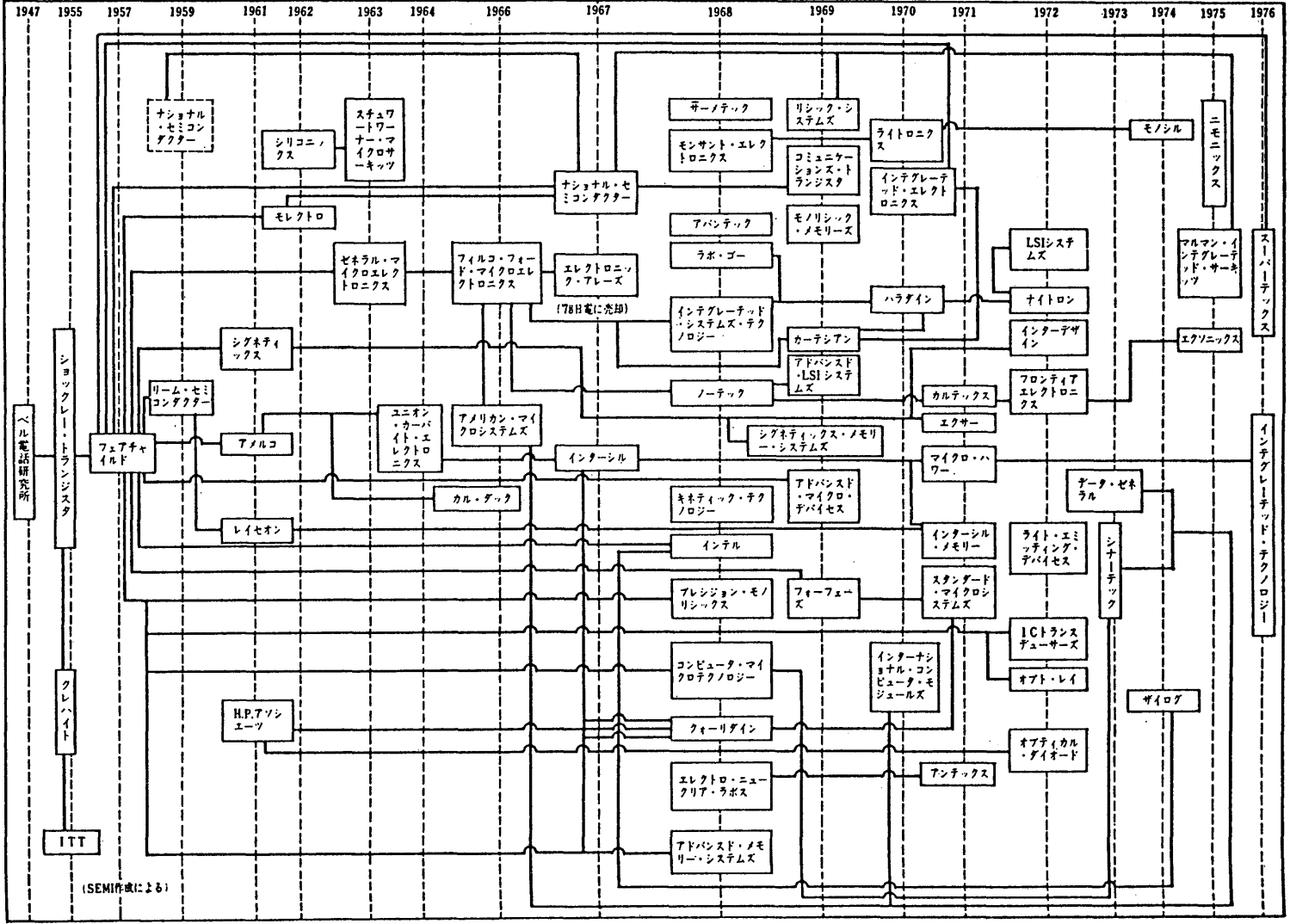
ここでは、以上に加えて、半導体産業の参入を容易にした諸条件、スピン・オフという形での人材（科学者、技術者）の流動性、AT & T に範をおおぐ「リベラル・ライセンシング・ポリシー」と呼ばれる特許についての寛容な態

度、およびそれらを促進したとみられる独占禁止法による影響についてみてみよう。

まず人材の流動性についてであるが、これについては、アメリカ特有の制度的諸条件について触れなければならない。“スピン・オフ”という形で既存企業からの基幹的科学者、技術者の流出、新企業の設立は、アメリカ特有の慣行であり、西欧や日本では余り一般的ではないからである。アメリカにおけるこうした人材の流動性が、とりわけ半導体産業の初期において盛んであったのには、いくつかの制度的諸条件が寄与している。1つはベンチャー・キャピタルの存在である。半導体産業の初期においては、まだ参入費用は低かったから、こうしたベンチャー・キャピタルの利用によって容易に半導体事業へ参入できた。例えば、1950年代の初期にトランジスタ生産においてレイセオンに次ぐ第2位を占めていたゼネラル・トランジスタの参入費用は10万ドルであった。トランジストロンのそれは100万ドルであった<sup>22)</sup>。加えて、1950年代、60年代においては、半導体の技術発展が急激であり、半導体産業の成長も速かったので、ベンチャー・キャピタルも、半導体産業に多く流れた。税制面でも、キャピタル・ゲインへの課税は低く、ベンチャー・キャピタルの利用を促進した。

さらに、ストック・オプション制による人材獲得の影響も大きい。これは、流出した人材に対して、自社の株式の保有を認めるものであるが、この方法、特に限定ストック・オプション制 (qualified stock option) による基幹的人材の獲得は、人材流出に大きな役割を果たした。限定ストック・オプション制によれば、割り当てられた株式を保有している間は、まった

62) Tilton, *op. cit.*, p. 88.



技術先端産業の確立過程

図-3 テキサス半導体企業の系譜

く税金がかけられず、再売却した時のみ、キャピタル・ゲインと同率の税金がかけられるだけであったからである。

半導体産業におけるこうした人材の流動性を促進したものとしては、以上の制度的諸条件に加えて、ベル研の人材流出に対する寛大な態度が及ぼした影響も大きい。1950年代において、言うまでもなくベル研は半導体科学者、技術者の最大の供給源であったからである（図—3参照）。

ベル研のこうした寛大な態度の要因として、ティルトンは、以下の要因をあげている。

「第1に、AT & Tの半導体事業の成長は、1956年の同意審結により制限されていたので、多くのベル研の雇用者たちは、ベル研では期待できそうもない、割のいい申し出を（他企業から一訳者）受けている。なんととしても彼らをベル研内におしとどめようとすれば、彼等の志気をくじき、モラルを傷つけ、将来のベル研における人材獲得に際して魅力を低下させるかも知れなかった。第2に、専属財産（proprietary material）の不法な使用を申し立てて訴訟を起こし、人材流出をとどめようとするのは、できないことではないが、非常に困難なことである。第3に、ベル研は産業全体に散らばった以前の雇用者たちと、友好的な、私的な関係をもち続けることで、有益な情報を受ける。このフィードバックは、ウェスタン・エレクトリックが、多くの半導体企業とクロスライセンス協定を結び、民間市場で争わないという事実によって、明らかに容易にされている。最後に、人材流出に対する寛大な態度は、AT & Tのリベラル・ライセンシング・ポリシーと合致するものである」<sup>63)</sup>

63) Ibid., p. 81.

半導体産業の初期において参入を促進したこうした条件も、しかしながら、今日ではかなり変化している。前述したキャピタル・ゲインへの課税率は、1969年の税制改正で、それまでの最大25%から49%に引きあげられ、ベンチャー・キャピタルの利用を難しくした。また産業が成熟してくるにつれて、当然のことながら投資のうま味も低下していく。参入費用も1950年代の10万~100万ドルに比べて、70年代には1,000万ドル、今日では3,000~4,000万ドルと高くなっており、この面からも参入障壁は高まっている。また、人材獲得の有効な手段であった限定ストック・オプション制も1976年には廃止された<sup>64)</sup>。人材流出に対しても、シリコン・バレーの企業群はともかく、テキサス・インスツルメント等の半導体大手では、前にもみたように、かなりきびしく制限してきている。

#### 特許と独占禁止政策

特許制度の本来的機能は、発明を法的に保護し、発明者に創業利益をもたらすことによって、技術発展の促進を図るものである。しかしながら、資本主義経済の下では、特許は独占企業による他企業の参入を阻止する手段として、あるいは競争する独占による当該産業への強行的参入の手段として利用される。とりわけ、科学的理論との関連が、その成立当初から強かった電子工業においては、電子工業の歴史は特許紛争の歴史でもあるといわれる程、特許をめぐる争いは激烈であった。

AT & T社によるアメリカの電話事業独占を可能にしたのはベルの特許であったし、AT

64) H. M. Dwight (American Electronics Association 代表, Spectra-Physics 社社長) は、1981年7月29日の上院財務委員会において限定ストック・オプション制の復活を要求している。

技術先端産業の確立過程

表—11 ベル研による主要半導体イノベーションのアイデア考案、実用化、公表の時期

イノベーション	アイデア	実用化	公表
点接触トランジスタ	1947年12月	1947年12月	1948年 6月
ゾーンリファイニング	1950年 5月	1950年10月	1952年 2月
シリコン拡散	1954年 2月	1954年 2月	1954年 6月
拡散型トランジスタ (メサ型)	1953年12月	1954年 7月	1955年 6月
拡散型シリコントランジスタ	1955年 3月	1955年 3月	1955年 6月
拡散用酸化マスク	1956年 6月	1955年 8月	1956年 1月
エピタキシャル・トランジスタ	1959年 9月	1960年 2月	1960年 6月
ビーム・リード	1963年 秋	1964年 春	1964年10月

(出所) Tilton, *op. cit.*, p. 75.

& T による電話事業独占を阻むべく、有線通信会社ウェスタン・ユニオンによって電話事業への参入手段とされたのは、ベルと同時に電話特許を申請した（許可されず）グレーの特許であった。無線事業においても、マルコーニ社による特許に基づく無線独占に対して、ドイツでは政府が類似特許を許可しテレフンケン社を設立して、マルコーニ社の独占に楔を打ち込んだ。アメリカでは、アメリカ・マルコーニに対抗するため、AT & T 社は、1913~17年に特許を買収して回り、その費用は20万~40万ドルにのぼったという<sup>65)</sup>。以上は、顕著な一例に過ぎないが、特許が独占を可能にする、更にそれを打破する独占間競争の手段として、すなわち企業戦略の一環として活用されるというのは、電子工業においては、いわば常態化されていると言ってもよい。

しかしながら、半導体産業においては、特許は必ずしも競争を排除するものとはならなかった。それには人材の流動性と同じくベル研(AT & T)の特許および技術拡散についての寛大な態度が、その後の半導体企業の行動の範を示したことが大きかった。表—11に明らか

なように、ベル研は新しい半導体技術をすぐに公表している。またその技術の普及にも熱心で、ていねいな説明書を公刊したり、シンポジウムを開催して技術普及を促している。

ベル研の特許は半導体事業への参入にとって不可欠な基本特許であったから、こうしたベル研の特許開放政策が参入に与えた影響は極めて大きかった。基本特許が自由に利用できるとなると、その後の特許もクロスライセンスされるか、あるいは無視されるという形で、半導体技術の発展は行なわれた。

これには米国の半導体産業を規定したいくつかの事情がある。1つは、さきにみたように、米国においてはスピン・オフによる人材の流動性が大きいので、半導体技術の秘密を隠匿し続けるのは難しかったということである。また、半導体技術は広範な応用可能性をもっているため、独占化が難しい(後述)、更に回路の設計に関するものについては、生産工程や製造装置の革新と異なり特許化が難しい、といった事情がある。

ただし、電子工業における大独占であるウェスタン・エレクトリックと異なり、外販メーカーにとっては、こうした事情は必ずしも好ましいものではなかったようである。とりわけテキサス・インスツルメントは、半導体技術の画期

65) 電子工業と特許の関連については、山崎後雄・木本忠昭『電気技術史』オーム社、1976年、2, 7, 9章参照。



的革新である IC (キルビー) 特許を持ち、外販系企業としては最大手であるため、特許を市場独占の武器にしようとした節がある。IC 技術はテキサス・インスツルメントのキルビー特許とフェアチャイルドのプレーナ特許の2つにまたがるため、両者は特許取得時から相互の特許帰属について争っていた。これが一応の和解をみるのは1966年である。この和解によって、両社は相互の特許については以後10年間争わないということになり、IC 製造への参入についてはテキサス・インスツルメントかフェアチャイルドか、どちらか一方と特許協定を結べばよいことになった。そして、両社のどちらかから特許を入手した企業は、他方からの特許侵害については保護されることになったのである。しかし、その後の両社の対応は異なっており、フェアチャイルドの方は特許をできるだけ商品化してロイヤリティーを稼ごうという戦略に出たのに対し、テキサス・インスツルメントの方は自社の海外子会社以外の企業への技術移転には消極的な態度をとっている。

以上にみたベル研の、人材の流出(スピン・オフ)、特許開放政策(リベラル・ライセンシング・ポリシー)には、1949年に司法省によって行なわれたウェスタン・エレクトリックおよびその親会社 AT & T 社に対する独禁法訴訟による影響が大きいとされる。この訴訟で司法省は、両社に対して、(1) ウェスタン・エレクトリック社を AT & T から分離し、3つの製造会社に分割すること、(2) ウェスタン・エレクトリックが持っているベル研の株式を手放すこと、(3) AT & T、ウェスタン・エレクトリックおよびベル研は、持っている特許を妥当な価格で一般に公開すること、(4) ベル系電話会社は機器を競争入札で調達すること、を求め

た。この訴訟は7年間続いたが、1956年1月に和解が成立した。この和解条項(同意審結, consent decree)の内容は、(1) ウェスタンエレクトリックは切り離さなくてもよい、(2) AT & T とウェスタン・エレクトリックの特許を公開する。審結前(1956年以前)に持っていた特許は無料で公開し、審結後に取得した特許は妥当な特許料で公開する(ただし、相手も持っている特許を妥当な特許料でベルシステムに使わせる場合に限り)、(3) ウェスタン・エレクトリックはベル系電話会社が使用する型の機器しか製造しない(ただし、政府用機器は製造できる)、(4) ウェスタン・エレクトリックは製造原価を開示する、(5) AT & T とその運営会社は規制される公衆通信サービス以外のサービスは提供しない<sup>66)</sup> などである。

審結第2項の特許の公開、3項、5項での商業市場での半導体販売禁止が、新規参入企業に対して有利に作用したことは、言うまでもない。こうして、「独占禁止法は明らかに既存企業の戦略を、ある程度、半導体市場での主導的地位獲得競争からそらせ、内部市場のための製造へ、そして自企業の市場以外の分野の技術革新努力によって収入をあげるという方向へ向けさせた。……いくつかの既存企業、シルヴァニヤスペリーランド、ウェスティングハウス、およびゼネラル・エレクトリックは、内製は続けていたが、いわゆる外販市場からは最終的に脱落した」<sup>67)</sup> とされる。

独占禁止法によって訴追されるかも知れないという恐れが、以上の結果をもたらしたのは事実かも知れないが、レヴィンはこの独占禁止法訴訟の効果について否定的な評価を下している。

66) 増田悦三、前掲書、34頁。傍点は引用者。

67) R. W. Wilson et al., *op. cit.*, p. 157.

理由は、特許開放政策は、かなり以前から AT & T の方針だったもので、この訴訟によってそうなったのではないということである。なぜなら、電話事業およびそのための電子機器の市場は、AT & T によって独占的に保護されたものであるので、技術の広範な利用を許すことによって、AT & T は失なうよりも得るものが多いからである。「その結果、ベルは最高の特許料を稼ぐために特許を利用するのではなく、その代りにその特許に関連する技術へのアクセスを最大にしようとしたのである」<sup>68)</sup>と。

それ以外にも、特殊な理由がある。第1に、トランジスタ技術を排他的に利用しようとする、戦時中にパーデュー大学での研究によって半導体特許を得ている RCA からの訴訟が避けられない、という事情である。第2に、トランジスタは1企業で効果的に利用するには、あまりに大きすぎる、重要な技術であるということである。半導体技術は、ラジオ、補聴器、コンピュータ、電話、および種々の兵器という、それ自体が1つの産業を構成する広汎な分野にまたがる技術だからである<sup>69)</sup>。

## 5. おわりに

技術先端産業としての半導体産業の確立過程における諸特徴は、以上にみてきた通りであるが、本章ではそれらの諸特徴をまとめ、次稿で予定している戦後日本の半導体産業を分析する橋わたしとする。本章における要約も、したがって、戦後日本のケースとの関連を念頭においたものである。

第1の特徴は、半導体産業の技術先端産業＝

研究集約産業としての特質にかかわるものである。すなわち、半導体産業はその新製品の開発に膨大な研究・開発費を必要とするため、私企業のみ力によっては確立しえなかった、いいかえれば、その確立には軍需という形での政府による支援を必要としたということである。例えば、IC に関していえば、その着想を最初に提起したのは、イギリスの王立レーダー研究所 (British Royal Rader Establishment) のダンマー (G. W. A. Dummer) だった。また、同研究所との契約で最初の模型品を作ったのも、イギリスのプレッシー社 (Plessey) であった。しかし、このアイデアを製品化にこぎつけたのはアメリカのテキサス・インスツルメントであった。こうしたアイデアと製品化との差は、その需要基盤、しかも機能向上のためにはかなりの高コストもいとわれないという性格をもった、すなわち軍需という強固な需要基盤の有無に起因している。今日でも、技術先端産業のシーズ (種子) はかなり多くのものが数えられるが、これらのシーズを育成し、新製品の開拓、新産業部門の形成にまでもっていくためには、こうした性格をもつ需要基盤が必要であろう。ただし、以上の性格をもつ需要基盤が意味をもつのは、プロダクト・ライフ・サイクルの初期、立ち上がりの時期においてである。独占は豊富な資金力と人材を有しているから、一たん新製品が開拓され、そのリスクが小さくなり需要拡大の見通しが確かなものとなるや、競って参入を開始、成功させるであろう。そして、これは国内の独占のみに限らず他国の独占も同じ行動をとるであろうから、新製品の開拓初期の技術独占による超過利潤は、急速に失なわれていくことが予想される。しかしながら、そのことによって新製品の最初の開拓者も技術上

68) Levin, *op. cit.*, p. 77.

69) Ibid.

の強みが、簡単になくなるものではないことも確かである。こうして、今日、新たな技術先端産業の確立の経済的争点となっているのは、シーズを育成するイニシャルリスクを誰が(どの国が)、どんな方法で負担するか、となっているのである。どんな方法で負担するかに関しては、自国の利益保護という観点からみれば、軍事技術開発が極めて効果的であるのは確かである。軍事機密を理由に、技術の拡散を抑制できるし、自由貿易、自由競争の理念に背馳することなしに、産業に対する国家の援助、輸入制限が正当化できるからである。日米半導体摩擦においても、単に産業に対する国家の援助の是非という問題だけではなしに、その底流には軍事技術開発によって、すなわち「西側の防衛最前線に立って」アメリカが、プロダクト・サイクルの初期にイニシャルリスクを負担したという問題が横たわっていることを忘れてはならない。

第2に、技術先端産業に対する、国家による研究・開発援助は、技術の発展をリードするという点では、重要であるとはいえ、必ずしも効果的とはいえなかったということである。この点、とくにプロダクト・サイクルの後期における国家の研究・開発援助の意義については、次稿でみる。これに関連して指摘しなければならないのは、研究・開発助成は企業に対する直接の援助となるため、資本間の利害の対立が強く表われ、多くの場合、既存の独占企業が優遇さ

れ易いということである。技術の発展それ自体は、社会形態の如何に関係なく社会にとって利益となりうるものであるが、資本主義経済においてはそれは私企業によって担われるため、その利益が誰に(どの資本に)帰属するかをめぐる資本間の争いは避けられないものとなる。

最後に、技術発展を促進したものとしての、市場構造の重要性について指摘しなければならない。上にも述べたように、資本主義経済においては、技術の発展は基本的には私企業によって担われるからである。そして、この点ではアメリカの半導体産業が、その確立期に競争の市場構造をもっていたということが、技術発展を促進する役割を果たしたことは疑い得ない。これには、人材の流動性やそれを促進したベンチャー・キャピタルの存在およびストック・オプション制等、アメリカ特有の制度的、慣習的諸条件の寄与が大きい。アメリカ以外の国においても、それぞれの慣習の枠内で、シュンペーター的意味での「企業者職能」を発揮できる諸条件を、どのように作り出していくかが重要となっている。とりわけ、独占禁止法の運用の問題は重要である。

以上、技術先端産業の確立過程にみられる諸特徴について簡単に要約し、若干の考察を行なったが、次稿ではこうした諸特徴が日本の半導体産業の形成、確立に対してどのような作用を与えたかについてみる。