

## 日本半導体製造装置産業の分析

肥 塚 浩

## —目 次—

はじめに

- I 日本半導体製造装置産業の地位
- II 半導体製造装置産業の形成過程
- III 半導体製造装置産業の企業類型
- IV 露光装置における日米企業の逆転  
結びにかえて

## はじめに

1980年代後半になって、日本の半導体産業の競争力はアメリカ半導体産業のそれを追い越したとされている。もちろん、IBM (International Business Machines Co.) をはじめとしたキャプティブ (内製)<sup>1)</sup>メーカーの評価、あるいはMPU市場における競争力の評価など、日米半導体産業の競争力についてはさまざまな議論があることも事実である。しかし、総合的に判断して、日本半導体産業の競争力がアメリカ半導体産業のそれを上回ったことについて、異論はないといえよう<sup>3)</sup>。

こうした日本半導体産業の競争力強化には、半導体を製造する上で必要とされる製造装置やさまざまな材料を半導体企業に提供する諸企業が、大きな役割を果たしている。これらの企業は、一括して半導体周辺産業と呼ばれるが、なかでも半導体の製造装置を生産する半導体製造装置産業は、半導体産業の競争力強化にとって非常に大きな役割を果たしてきた。従って、半導体産業の総合的な競争力を明らかにするには、半導体周辺産業、とくに半導体製造装置産業の分析を行う必要がある。

本稿の課題は、日本の半導体製造装置産業における企業間関係のあり様を提示し、さらに、その競争力が日本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を明ら

かにすることである。この課題を明らかにするために、半導体製造装置企業間関係という視角と半導体製造装置企業と半導体企業の関係という視角を用いる。後者の視角を用いるのは、半導体製造装置企業が半導体企業とどのような関係を構築しているかが、半導体製造装置産業分析の重要な構成要素だからである。

以下では、まず第1に、半導体製造装置産業の地位を指摘する。第2に、半導体製造装置産業の形成過程を検討し、第3に、現在の半導体製造装置産業の企業類型を提示した上で、企業間関係がどのようになっているかを明らかにする。最後に、半導体製造装置の中で決定的に重要とされている露光装置における日米半導体企業の競争力逆転のあり様を具体的に明らかにしていく。

- 1) IBMも半導体の外販に乗り出した。日本IBMの野洲工場より韓国の現代グループへOEMで4MDRAMを既に出荷している。今後、ヨーロッパやアメリカの工場からも順次外販する予定である。『日本経済新聞』1991年10月8日付け。
- 2) CISC型MPUでは、インテル（Intel Co.）とモトローラ（Motorola, Inc.）が世界市場を支配しており、RISC型MPUでもMIPSコンピュータ（MIPS Computer Systems, Inc.）やサン・マイクロシステムズ（Sun Microsystems, Inc.）などのアメリカ企業がアーキテクチャーの標準化をめぐるファミリー作りでもリードしている。
- 3) 志村幸雄『2000年の半導体産業』日本能率マネジメントセンター、1992年。

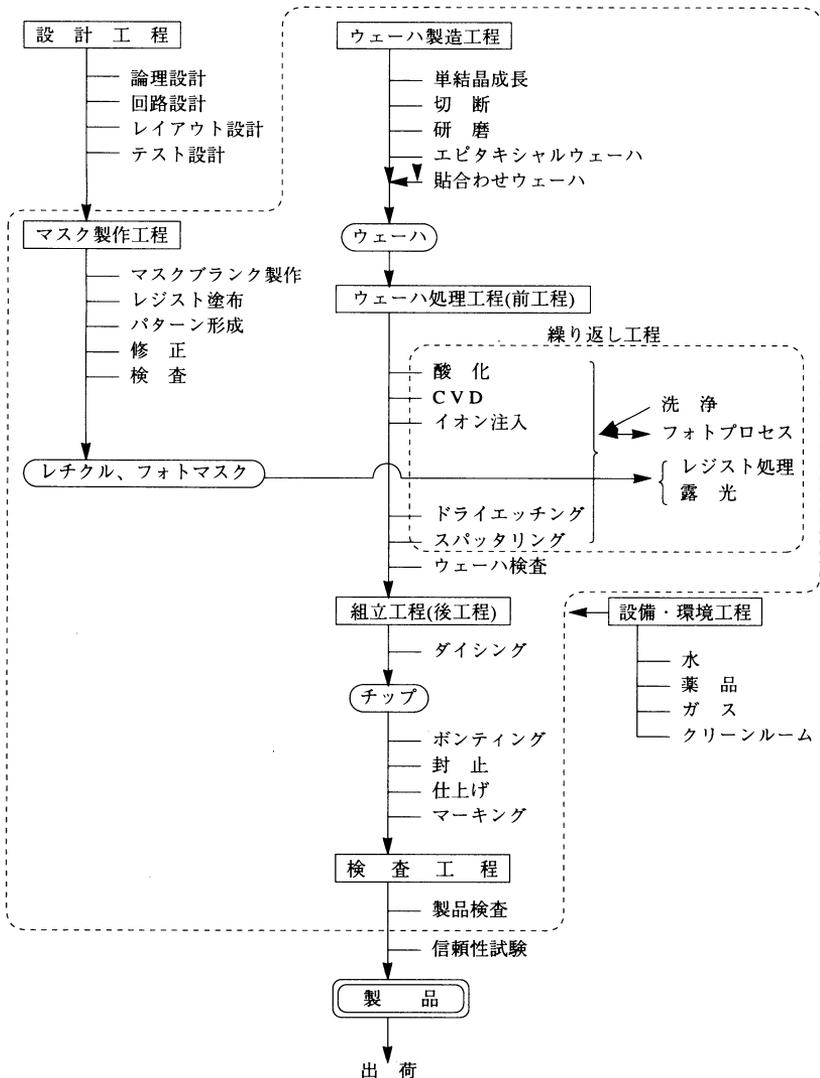
## I 日本半導体製造装置産業の地位

### 1. 半導体産業と半導体周辺産業

本節の課題は、現在の日本半導体製造装置産業の地位を明らかにすることだが、その前提として、半導体産業と半導体周辺産業の関係について述べることにする。そのために、半導体の生産工程の説明をごく簡単にしよう。

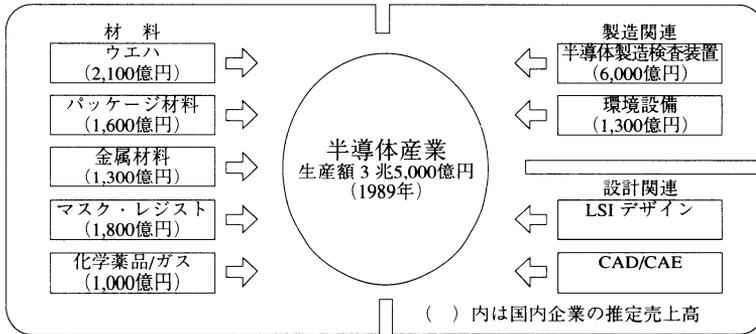
半導体の生産工程（図1参照）は、次のようになっている。①どのような機能を有する半導体にするかを決定し、それを回路に具体化する設計工程、②その回路をウェーハに焼き付ける原版になるフォトマスクを製造する工程という流れと、③ウェーハそのものを製造する工程、④薄くスライスしたウェーハに回路を転写したり、不純物を拡散したり、電極となるアルミなどを蒸着したりするウェーハ処理工程、⑤処理済みのチップを端子のついたパッケージにのせるなどする組立工程、⑥そしてできた半導体が仕様どおりに機能するかを検査する工程という一連の流れがある。①～②でできたマスクは、④で回路を転写するとき使用する<sup>1)</sup>。

図1 半導体の生産工程



(出所) 日本半導体製造装置協会編『半導体製造装置用語辞典〔第2版〕』日刊工業新聞社、1991年、3ページ。

図2 半導体産業と半導体周辺産業の関係



（出所）日本電子機械工業会編『91 IC ガイドブック』1991年、29ページ、  
図1。

以上を念頭において、半導体産業とその周辺産業の関係がどのようになっているかを見てみる（図2参照）。

まず半導体産業それ自体は、半導体を生産する諸半導体企業から形成されているが、これらの企業が担当する工程は、設計工程、マスク製造工程（外注に出すことも多い）、ウェーハ処理工程、組立工程、検査工程である。

次に、半導体生産に関わっている周辺産業と呼ばれる産業には、半導体製造装置産業、半導体材料産業、半導体設計産業がある。この他、半導体を数多くのユーザーに販売（半導体企業自身が直接販売する比率も企業によって差はあるが、かなりある）していく半導体商社なども広い意味では、半導体周辺産業に入れることができる。

半導体製造装置産業は、すべての生産工程の製造装置および検査装置の生産を行う企業、およびクリーンルームなどの環境設備を手掛ける企業から構成されている。半導体材料産業は、ウェーハ、マスク・レジスト、金属材料、化学薬品、ガス、パッケージ材料などを生産し、半導体企業に販売する企業から構成されている。ちなみに、上述の半導体生産工程で説明したウェーハ製造工程は、信越半導体、小松電子金属、大阪チタニウム製造、日本シリコンなどの企業が担っている<sup>2)</sup>。半導体生産には実にたくさんの材料が必要とされ、それを半導体企業に提供する企業の多くは、通常、他の産業に分類されている。

この他、最近では、半導体を設計するだけの企業が増大しており、これらは、ファブレス（工場を持たない）企業と呼ばれることが多い。ファブレス企業とは、設計とマーケ

ティングを行い生産は他企業に委託する企業のことであり、設計のみを行うデザインハウスとは定義上、<sup>3)</sup> 区別している。日本の代表的ファブレス企業はアスキーである。また、デザインハウスには、LSIテクノロジーやテラ・システムデザインのような独立系デザインハウス、新日本製鉄ASICデザインセンターやコナミ工業、あるいは半導体商社のケミハン・グループのADCといった企業多角化の一貫としてのデザインハウスがある。<sup>4)</sup> これらを総称して「LSIデザイン産業」という呼び方もある。

最後に、半導体製造装置（以下では単に製造装置と略す）を生産する半導体製造装置産業や様々な産業に属する諸企業から構成されている半導体材料産業では、電子（物理）、化学、光学、機械など数多くの技術の集積がなされていることを指摘しておく。半導体産業はこうした分厚い技術の集積に支えられて、半導体の生産を行っているわけである。

半導体製造装置産業は、こうした半導体周辺産業の一つとして存在しているが、半導体産業の競争力に最も大きな影響を及ぼす製造装置の生産をするため、周辺諸産業の中でとくに重要な位置にある。

## 2. 半導体製造装置産業の特徴と日本半導体製造装置産業の地位

### (1) 半導体製造装置産業の特徴

半導体製造装置産業がどのような特徴を有するのかを、概括的に整理すると、次のようになる。

特徴の第1は、その急速な成長にある。世界の製造装置の需要は、1982年に21億ドルであったのが、1990年には84億ドルになり、8年間で4倍の伸びを示している。<sup>5)</sup> 半導体産業の急速な成長に歩調を合わせて、半導体製造装置産業も成長を実現できたわけである。

次に特徴の第2は、半導体産業特有のシリコンサイクルの影響をまともに受けることである。半導体製造装置産業は、長期的には上述したように成長を遂げているわけだが、短期的には需給関係に大きく左右されている。すなわち、半導体需要が大きき設備投資額が増大するときには、発注が集中するが、需要が小さくなれば、設備投資も減少し、売り上げも減少することになる。例えば、1985年の世界の製造装置販売額は55億ドルであったが、1986年には42億ドルと前年比76%に落ち込んだ。<sup>6)</sup> 製造装置の受注残を見ると、1984年第1四半期には50億ドル以上あったものが、1985年第4四半期には12億ドル台に落ち込む結果となった。<sup>7)</sup>

さらに第3の特徴として、半導体製造装置産業の動向は半導体産業を先取りするとい

うことが上げられる。製造装置は、各世代の半導体を量産化する時に必要とされるため、一国の半導体製造装置産業がその国の半導体産業と密接な関係を取り結んでいるならば、半導体製造装置産業の競争力は、半導体産業の競争力に大きく影響することになる。この関係については、Ⅱ以降で詳しく検討することになる。

最後に第4の特徴として、製造装置は半導体製造装置企業だけでなく、半導体企業も製造（内製）しているために、市場での競争関係は半導体企業の内製の影響を受けるといことである。半導体産業におけるキャプティブメーカーとマーチャントメーカーの関係と同様の関係が、半導体製造装置産業にも存在しているというわけである。

## (2) 日本半導体製造装置産業の地位

さて、各国の半導体製造装置産業はいつ形成されたのであろうか。アメリカでは1960年代から1970年代初頭にベンチャー・ビジネスを中心に形成され、日本でも1960年代にアメリカの後を追うように形成された<sup>8)</sup>。半導体産業同様、半導体製造装置産業においても、アメリカが世界に先駆けて産業を形成した。

そして現在では、日本の半導体製造装置産業がアメリカのそれを追い抜いている。この逆転が生じたのは1988年であり、半導体産業における日米逆転とほぼ同時期に生じた。米国系：日本系：欧州系別の世界の製造装置市場シェアは、1978年が81：10：9だったが、

表1 半導体製造装置企業上位10社の売上高

(単位：百万ドル)

順位	1979年		1989年	
	企業名	売上高	企業名	売上高
1位	フェアチャイルド・テスト・システムズ・グループ(米)	111	東京エレクトロン(日)	634
2位	パーキン・エルマー(米)	101	ニコン(日)	587
3位	アプライド・マテリアルズ(米)	54	アプライド・マテリアルズ(米)	523
4位	GCA(米)	54	アドバンテスト(日)	399
5位	テラダイン(米)	53	キャノン(日)	384
6位	バリアン・アソシエイツ(米)	51	ジェネラン・シグナル(米)	354
7位	テクトロニクス(米)	39	バリアン(米)	335
8位	イトン(米)	38	日立製作所(日)	210
9位	K & S(米)	37	テラダイン(米)	200
10位	バルザース AG (西独)	34	ASM インターナショナル(米)	187

(出所) プレスジャーナル社編【1990年度版 日本半導体年鑑】プレスジャーナル社、1990年、77ページ、図7、および日本電子機械工業会編【'91 IC ガイドブック】日本電子機械工業会、1991年、29ページ、表1より作成、原出所はVLSI Research。

表2 アメリカ半導体製造装置企業の買収

買収企業	非買収企業	
ラムリサーチ	ジェミニリサーチ(エビタキシアル)	1988年
ゼネラル・シグナル	GCA(ステッパ)	1988年
フィリップス	ASM リソグラフィ(ステッパ)	1988年
バリアン・アソシエイツ	ASM イオンプラント(イオン注入)	1988年
シリコンバレーグループ	サームコ(拡散炉)	1988年
ソニー	パーキンエルマーの光リソグラフィ部門	1989年
インタパック	MRC(ステッパとスパッタリング)	1989年
	バリアン・アソシエイツ(分子線エビタキシアル)	1991年

(出所) プレスジャーナル社編『月刊 Semiconductor World』各月版より作成。

1984年には64:31:5になり、1986年には56:40:4、そして1988年に46:50:4になった。<sup>9)</sup>

次に、世界半導体製造装置産業の上位10社の売り上げ順位の推移を、表1を参照しながら検討する。最大の特徴は、日本企業が1979年の○社から1989年に5社になったことである。1979年に、ほとんどアメリカ企業で占められていた世界半導体製造装置産業において、日本企業がわずか10年で上位に進出しただけでなく、第1位、第2位、第4位、第5位、第8位という全体として高い順位になった。この順位は、日米半導体製造装置産業の地位の逆転を象徴しているといえよう。

他方、アメリカ半導体製造装置産業は、1980年代後半にM & Aが続出した(表2参照)。1985~86年不況の結果、経営状態が悪化した企業は、次々に買収されるようになっていく。このときの経営状態悪化の要因の一つとして、アメリカ半導体製造装置市場、さらには世界半導体製造装置市場における日本企業との競争に敗退していった側面も見逃せない。

- 1) 日本電子機械工業会編『91 IC ガイドブック』1991年、94~101ページ参照。より詳しい説明は、相良岩男『ULSI の話』日刊工業新聞社、1991年、58~127ページ参照。
- 2) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report SPECIAL SURVEY XIII 1991 半導体製造装置・材料業界』1991年、117ページ。1990年の各社のシェア(金額ベース)は、信越半導体が37%、小松電子金属が20%、大阪チタニウム製造が18%、日本シリコンが16%である。
- 3) プレスジャーナル社編『月刊 Semiconductor World』1990年6月、181ページ参照。
- 4) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 87、1991年10月、21~24ページ参照。
- 5) プレスジャーナル社編『1984年度版 日本半導体年鑑』1984年、175ページ、およびプレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 91、1992年2月、28ページ。
- 6) プレスジャーナル社編『1987年度版 日本半導体年鑑』1987年、199ページ。
- 7) 同編『1988年度版 日本半導体年鑑』1988年、209ページ、図3。原出所はVLSI リサーチ。
- 8) 志村幸雄、前掲書、112~113ページ参照。

9) プレスジャーナル社編『1991年度版 日本半導体年鑑』1991年，80ページ，図5参照。

## Ⅱ 半導体製造装置産業の形成過程

### 1. 時期区分

本節では，日本における半導体製造装置産業の形成過程を，半導体産業の形成過程と対照しながら，明らかにすることが課題である。こうした対照を行うのは，半導体製造装置産業が半導体産業の発展にどのように関わったのかを，明らかにするためである。半導体製造装置産業のそれぞれの時期の特徴を指摘するするために，まず時期区分をしておく。<sup>1)</sup>

- (1) 輸入装置優位期－1950年代後半から1970年代前半
- (2) 国産装置優位確立期－1970年代後半から1980年代前半
- (3) 日本の半導体は製造装置企業の世界市場進出期－1980年代後半以降

### 2. 輸入装置優位期－1950年代後半から1970年代前半

- (1) トランジスタの工業化と手作りの製造装置

日本の半導体産業の歴史は周知のように，アメリカで発明された半導体を日本でも作って見ることから始まった。

それは，東北大学電気通信研究所所長の渡辺寧教授と通産省工業技術院電気試験所の駒形作次所長が中心となって，大学教授や東芝，日本電気，日立製作所などの技術責任者たちの勉強会から始まった（1948年10月）。日本で最初に点接触型トランジスタの試作に成功したのは，電気通信省（後の日本電信電話公社，現NTT）武蔵野通信研究所の岩瀬新午であった（1951年）。それ以降，様々な研究者達が，トランジスタ特性の追試を行っていったが，当時の装置はほとんど手作りであった。<sup>2)</sup>

次に，各企業のトランジスタ工業化であるが，それは特許契約や技術提携によって実現された。各企業は，接合型トランジスタの基本特許契約を AT & T (American Telephone and Telegraph Co.) と，合金型の製法特許契約を RCA や GE (General Electric Co.) と，成長型の製法特許契約を WE (Western Electric Co.) と結び，さらに，RCA や GE などとノウハウ契約を結ぶことによって，トランジスタ生産を行った。日立製作所は RCA と，日本電気は GE と，三菱電機は WHE (Westinghouse Electric Co.) と技術提携を結んだ。<sup>3)</sup>ただし，東京通信工業（後のソニー）が，1953年にベル研究所 (Bell Tele-

phone Lab.) と特許契約を結んだだけで、翌年にトランジスタラジオの生産・販売に成功したことは、同社の製造技術の高さを示している。そして、このときの製造装置は、自前で製作している。この時代、東京通信工業に限らず多くの企業が、装置を自らが製作していた。<sup>4)</sup>

## (2) 輸入装置の全盛時代

しかし、1950年代後半に入ると、日本はアメリカの技術的にすぐれた製造装置を輸入するようになっていった。丸紅、日商岩井、兼松、住友商事といった総合商社による輸入が行われ、半導体企業もすすんだアメリカの製造装置輸入を積極化した。

例えば、日商岩井は、1960年からキューリック&ソファ (Kulicke and Soffa Industries Inc.) のワイヤボンダやマスク製造装置などを輸入している。兼松は、1965年にデビットマン (後のGCA) のマスク製造装置の総代理店になり、その後、パーキンエルマー (Perkin Elmer Co.) やアプライド・マテリアル (Applied Materials Inc.) などの総代理店権を取得するようになった。日立製作所は、提携先のRCAから次々に最新の装置を輸入していった。<sup>5)</sup> また、フェアチャイルド (Fairchild Semiconductor Inc.) やTI (Texas Instruments Inc.) といったアメリカ半導体企業自身も、製造装置を盛んに日本に輸出していた。<sup>6)</sup>

しかし、アメリカ半導体製造装置企業側のアフターサービス体制の未整備もあって、半導体企業は1社1台しか買わず、量産ライン用の製造装置は、自社ないしその関連会社が国産化するということが行われた。これを打破したのが、1963年に設立された東京エレクトロニクスであって、機械据え付け、調整、壊れた場合の修理までできるエンジニアを養成することによって可能とした。そして、1960年代後半以降は、輸入装置が生産ラインで複数台使用されるようになった。<sup>7)</sup>

市場における輸入装置優位は、国産装置に急速に切り替わる1970年代後半まで続くことになる。すなわち、トランジスタ時代からIC時代まで一貫して輸入装置優位であった。トランジスタだけでなくICもアメリカの研究者と企業によって発明され、日本のICの立ち上がりは、アメリカに4年以上遅れ、1968年によく「IC元年」をいわれるようになる。こうしたことから、日本企業の多くは、巨額の基本特許料を支払う一方で、製造装置もアメリカ半導体製造装置企業から輸入することになったわけである。<sup>8)</sup>

## (3) 国産化の開始

1960年代から1970年代前半にかけて、様々な製造装置が国産化されていく。まず、

1957～1960年ごろにかけて、三池理化や高橋精機といった企業がアメリカで開発された製造装置を国産化していく。しかし、これらはあまり量産的ではなかった。量産型製造装置で早くから国産化されていったのは、組立装置であったが、それは1958～1963年頃にかけてのことで、東京精密、海上電機（現カイジョー）、新川などの企業が行った<sup>9)</sup><sup>10)</sup>。

ウェーハ処理工程の製造装置は、1965年以降に急速に国産化されるようになる。その一つの方法は、合弁企業を日本に設立して国産化をはかるというものであった。例えば、前述の東京エレクトロンは、商社として出発し1964年にサムコの拡散炉の輸入を始めたが、1968年にサムコと合弁会社テル・サムコを設立し、拡散炉の生産を行っていく（1988年に合弁を解消し、東京エレクトロン相模となる）。日電アネルバは、日本電気とバリアン（Varian Associate Inc.）が1967年に設立した合弁企業日電バリアンとして出発し、自動アルミ配線真空蒸着装置やスパッタ装置の開発・生産を行った（1979年に合弁を解消）。日本真空技術も、1974年にエクストリオンとライセンス契約を結び、イオン注入装置に参入するが、1978年には契約を終了し、後は独自路線になる<sup>11)</sup>。

これに対して、国際電気は、1950年代に高周波技術を利用したゲルマニウム、シリコンの引上装置生産によって半導体製造装置産業に参入を果たし、それ以後、1962年にエピタキシャル成長装置<sup>12)</sup>、1963年に拡散炉、1970年にCVD装置の国産化に成功している。

こうして、アメリカ企業との合弁企業設立や国際電気などの企業によって、製造装置の国産化が急速に行われていくわけだが、政府補助金の役割も見逃すことはできない。例えば、日立製作所は、イオン注入装置の開発にあたって、1968年に新技術開発事業団の開発委託を受け、1970年に開発に成功している<sup>13)</sup>。日本真空技術は、通産省の助成金によって電子ビーム加熱による超高真空蒸着装置の試作に1962年に成功し、さらにプラズマCVD開発を1976年に成功するが、これも新技術開発事業団からの開発委託を受けたものであった<sup>14)</sup>。また、武田理研工業（現アドバンテスト）は、1968年に通産省重要技術開発補助金を受け、ダイナミック・パラメトリックの試験器を開発している<sup>15)</sup>。

### 3. 国産装置優位確立期—1970年代後半から1980年代前半

1970年代後半以降、急速に製造装置は国産機に移行していくが、それは上述のような各企業の活動などによるものであった。1980年代後半以降に日本の製造装置が競争力を高め、世界市場進出するにあたって、一つの重要な役割を果たしたのは、周知の超LSI技術研究組合共同研究所（以下、超LSI研究組合と略称）であった。ここでは、この超LSI研究組合に焦点を当てながら、この時期の日本半導体製造装置産業の状況を見てい

図3 超LSI研究組合の研究テーマ

微 細 加 工 技 術	
結 晶 技 術	
設 計 技 術	
プ ロ	セ ス 技 術
試 験	評 価 技 術
デ バ	イ ス 技 術

基礎的・共通的部分

(出所) 垂井康夫「超LSI共同研究所の記録」  
【自然】1981年9月、35ページ、図1。

くことにする。

まず、政府による半導体産業の主な振興策には、次のようなものがある。まず、工業技術院による「超高性能電子計算機の開発」プロジェクトが1966～1971年に行われ、次に電子計算機開発促進費補助金として、1972～1975年に500億円が支出（うちIC関連には1973～1974年に200億円）された。<sup>16)</sup>そして、超LSI研究組合（1975～1979年）であり、総額700億円のうち290億円が通産省の補助金であった。<sup>17)</sup>こうして、1970年代以前には2%以下であった研究開発費に占める政府補助割合は、1973年には15%になり、1977年には26%にもなっている。<sup>18)</sup>

他方、関税障壁による半導体産業保護も1970年代前半まで行われ、日本の半導体産業の競争力がつくまで、ICの輸入は自由化されなかった。資本の自由化も通産省がTIの工場進出に難色を示し、1968年になってようやくソニーとの合弁企業という形で日本TIが発足（3年後にソニーは手を引く）する。<sup>19)</sup>

さて、超LSI研究組合は、1961年に制定された鉱工業技術研究組合法に基づき、1975～1979年の4年間に設置された共同研究組合である。もともとIBMの次世代コンピュータ開発計画への対抗措置として実現されたものであり、1980年代に本格化する超LSI時代に対応しうる技術水準を達成するということが目標であった。具体的には、1Mビット（1 $\mu$ m）がターゲットとされた。<sup>20)</sup>

参加企業は、東芝、日本電気、日立製作所、富士通、三菱電機の5社であり、組合の

中に、共同研究所を設立した。この共同研究所には、5社と電子総合技術研究所の研究者（約100名）が外向し、共同研究を行った。研究テーマ（図3参照）は、①微細加工に関連する製造装置開発、②良質のシリコン結晶製造技術開発を中心とし、③プロセス技術、④試験評価技術、⑤デバイス技術については、基礎的・共通的分野のみをテーマとした。そして、設計技術については、各社が独自に研究することになった。<sup>21)</sup>

ここでは製造装置開発に焦点を絞ってその成果を見てみる。<sup>22)</sup>製造装置開発の多くは、半導体製造装置企業が担当した。具体的には、電子ビーム露光装置は日本電子が、プロジェクション露光装置はキャノンが、ステッパ露光装置はニコンが、枚葉式ドライエッチング装置は日電アネルバが開発している。<sup>23)</sup>

超LSI研究組合は、発足に当たって通産省が大きな役割を果たしたが、基本的性格は、半導体企業と半導体製造装置企業の共同開発である。この共同研究の成果は、半導体産業だけでなく、半導体製造装置産業の競争力強化において重要な役割を果たしている。もちろん、この超LSI研究組合を過大評価するわけにはいかず、この共同研究がなかったとしても日本の半導体製造装置産業の競争力は1980年代に伸びたであろうが、少なくとも急速な世界市場への進出、および日米半導体製造装置産業の逆転という事態への「トリガー」にはなりえたとの評価が妥当であろう。<sup>24)</sup>ただし、検査装置開発には日本電信電話公社との共同研究が重要で、武田理研工業は1979年に武蔵野通信研究所の技術指導のもとに、超LSIテストシステムを開発している。<sup>25)</sup>

こうして、日本の半導体製造装置産業は超LSI研究組合などの成果も生かしながら、急速に競争力をつけ、日本市場では、多くの製造装置分野でアメリカにとってかわることになる。1985年段階では、約70%が日本製の製造装置となっている。<sup>26)</sup>

#### 4. 日本の半導体製造装置企業の世界市場進出期—1980年代後半以降

日本の半導体製造装置企業の競争力優位は、1980年代後半に入ると、はっきりとしてくる。やはり1985～1986年不況がターニングポイントであり、1988年には、Iでのべたように、日米半導体製造装置産業の逆転が生じる。また、日本の製造装置輸出が輸入を完全に上回るのも同じ1988年である。<sup>27)</sup>表3は、アメリカの製造装置の外国への依存度であるが、すでにステッパやレジストをはじめとじてかなりの装置が外国企業に依存するようになっている。当然のことながら、アメリカ以外の外国企業のほとんどは日本企業である。

この時期になると、日本半導体製造装置企業も積極的に海外に進出するようになる。

表3 アメリカの半導体製造装置の外国への依存度

製造装置	1988年の輸入比率
ステップ	68%
レジスト処理装置	69%
SEM	80%以上
ウェーハ・ソー	75%
ダイ・ボンダー	80%
TABボンダー	81%
モールド/封止装置	65%
モールドイング・プレス	75%
リード・トリム/フォーム装置	80%

（出所）日経BP社編『日経マイクロデバイス』1990年2月、160ページ、表3より作成。

1980年代に入ると、販売会社や保守・点検などのサービス網をアメリカやヨーロッパに展開し、1980年代後半になると、子会社設立や買収といった手段で生産拠点を海外とくにアメリカにおくようになってくる（表4参照）。具体的には、アドバンテストが工場を設立し、日本マイクロニクスも製造会社を設立している。また、キャノンはラム・リサーチ（Lam Research Corp.）のエピタキシャル部門の製造・販売権を獲得し、ソニーはMRC（Materials Research Co.）を買収している<sup>28)</sup>。

表4 日本半導体製造装置企業の海外生産拠点

企業名	海外生産拠点
東京エレクトロン(*)	米国にバリアン TEL 設立(バリアンとの合弁企業)
アドバンテスト	米国工場拡張
キャノン	ラム・リサーチのエピタキシャル部門の製造・販売権獲得→QTI 社設立
日本真空技術(*)	米国にBTU アルバック設立(BTU インターナショナルとの合弁企業)
日本マイクロニクス	米国に検査装置製造会社設立
ソニー	MRC(米)買収
住友金属工業	テスター企業のLTX(米)に資本参加

（出所）プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』プレスジャーナル社、1991年5月号、26～27ページ及び、プレスジャーナル社編『1990年度版 日本半導体年鑑』1990年、77～78ページより作成。

（注）\*の両社は、日本国内にそれぞれバリアン、BTU インターナショナルと合弁企業を設立している。1988年から1991年にかけての海外進出。

アメリカ企業も1980年代にはいると、新たな対応をとるようになる。すなわち、アメリカ企業は、日本法人を次々に設立し、独自の進出を行うという行動である。とくにアプライド・マテリアルやASM（Advanced Semiconductor Materials International N.V.）など

は日本市場を最も重要な市場と位置づけている。<sup>29)</sup>

この時期のもうひとつの特徴は、アメリカ企業との対等な提携関係の構築である。1960年代からの日本での合弁企業設立という形態は、日本側が技術を一方的に受ける立場であった。しかし、日本企業の技術力向上など競争力の強化や日本半導体製造装置市場の拡大によって、両者の関係は変化を見せるようになった。すなわち、日本とアメリカの企業が、グローバル・パートナーシップを結ぼうとする動きを強めている。具体的には、日本とアメリカの双方に合弁企業を設立しあったり、日本企業によるアメリカ企業への資本参加などである。例えば、東京エレクトロンとバリアンは、日本にテル・バリアンを、アメリカにバリアン・テルを設立しており、住友金属はLTXに5%、その日本法人に49.5%の資本参加をしている。ただし、こうした関係もすべてが長期的なものとはいえず、例えば、ラム・リサーチは、東京エレクトロンとの合弁を解消し、その後住友金属と合弁企業を新たに設立するなど様々な提携関係が、その時々<sup>30)</sup>の当該企業の経営戦略によって構築されている。

- 1) 日本の半導体製造装置産業の形成過程を検討したものに、佐久間昭光・米山茂美「イノベーションと産業進化—日本の半導体製造装置産業の形成と発展—」【ビジネスレビュー】Vol. 39, NO. 1, 1991年12月がある。本稿とは時期区分の仕方は若干異なる。
- 2) 中川靖造『日本の半導体開発』ダイヤモンド社, 1981年, 12~53ページ参照。
- 3) 相田洋『電子立国 日本の自叙伝 [上]』日本放送出版協会, 1991年, 257~258ページ。
- 4) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編『「半導体立国」日本—独創的な装置が築きあげた記録』日刊工業新聞社, 1991年, 15~17ページ参照。
- 5) 同上, 60~63および68ページ。
- 6) 同上, 68ページ。
- 7) 同上, 77~78ページ。
- 8) 久保脩治『トランジスタ・集積回路の技術史』オーム社, 1989年, 61ページおよび相田洋『電子立国 日本の自叙伝 [下]』日本放送出版協会, 1992年, 8~94ページ参照。
- 9) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編, 前掲書, 53ページ。
- 10) 同上, 290~298ページ。
- 11) 同上, 195~196および224~227ページ。
- 12) 同上, 222~223および254~256ページ。
- 13) 同上, 227ページ。
- 14) 同上, 257~258ページ。
- 15) 同上, 328ページ。
- 16) 志村幸雄「わが国半導体産業の特質と国際競争力」平和経済計画会議・独占白書委員会編『国民の独占白書第11号 半導体摩擦—日米先端産業の攻防—』1988年, 57~58ページ参照。政府の半導体産業振興策をささえた助成法には、電子工業振興臨時措置法(1957~1971), 特定電子工業及び特定機械工業振興臨時措置法(1971~1978), 特定機械情報産業振興臨時

措置法（1978～1985）がある。

- 17) プレスジャーナル社編『1984年度版 日本半導体年鑑』1984年，98ページ。
- 18) ダニエル・I. オキモト・菅野卓雄・F. B. ワインスタイン編（土屋政雄訳）『日米半導体競争』中央公論社，1985年，31ページ。超 LSI 研究組合が終了した1980年には，政府の補助割合は，2%未満になっている。
- 19) 久保脩治，前掲書，60および113ページ参照。
- 20) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編，前掲書，106および137ページ。
- 21) 垂井康夫「超 LSI 共同研究所の記録」『自然』1981年9月，34～41ページ参照。
- 22) 超 LSI 研究組合全体の評価については，垂井康夫『ICの話』日本放送出版協会，1982年，第5章；垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編，前掲書，第3章参照。
- 23) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編，前掲書，109～110および118ページ。
- 24) 同上，125～137ページ参照。
- 25) 同上，329ページ。
- 26) 日本電子機械工業会編『'86 IC ガイドブック』1986年，54ページ参照。
- 27) 日本半導体製造装置協会編『SEAJ Quarterly』第17号，1990年1月，57ページおよび同編『日本の半導体製造装置（1986年度～1989年度の販売統計）』1990年10月，4ページより計算。
- 28) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 82，1991年5月，26ページ参照。
- 29) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 89，1991年12月，4～6ページ参照。
- 30) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No. 90，1992年1月，25～30ページ参照。

### Ⅲ 半導体製造装置産業の企業類型

#### 1. 日本半導体製造装置産業における企業類型

本節では，日本における半導体製造装置産業の企業類型を明らかにし，企業間関係のあり様を提示することを課題とする。

まず，表5を見ると，各製造装置の市場規模とそれぞれの市場における上位企業のシェアがわかる。個別の装置では，露光装置，テスト，CVD，エッチングの順で市場規模が大きく，それぞれの装置における上位企業の市場シェアは極めて高い。これは，それぞれの装置毎の市場規模がそれほど大きくなく，ごく少数の企業が寡占を形成しているためである。半導体製造装置産業とは，こうした相対的に小さな市場において寡占体制を築いている企業の集合体として存在しているわけである。また，半導体製造装置企業は，一種類の装置だけではなく，いくつもの装置を生産している。東京エレクトロニクスや国際電気，あるいは日立製作所などは，とくに多くの種類の製造装置を販売している。

さて，半導体製造装置産業における企業類型であるが，資本関係を基準として分ける

と、この産業における企業間関係は、理解しやすい。大きくは、①独立企業（専業と兼業）、②半導体企業の系列企業と半導体企業それ自身、③外資系企業に分けられる。主な企業をあげるとつぎようになる。

(1) 独立企業

- 1) 専業：東京エレクトロン、新川、東京精密
- 2) 兼業：ニコン、キャノン

(2) 半導体企業の系列企業および半導体企業

- 1) 系列企業：アドバンテスト、安藤電気、日電アネルパ、国際電気
- 2) 半導体企業：日立製作所、東芝

(3) 外資系企業

AMJ、日本 ASM、テラデザイン

こうした企業類型が形成された経緯は前節で見たとおりであり、経営資源、とくに光学技術、真空技術、高周波技術などなんらかの技術的資源があったことが参入動機となっている場合が多い。

独立した企業のうち専業企業は、東京エレクトロンのように、半導体輸入商社として設立された企業や、新川のように日立製作所の下請けから出発したり、東京精密のように三鷹の小さな町工場から出発した企業など、多様な出自を有する企業がこの産業に参入を果たしている。<sup>1)</sup>これに対して、ニコンやキャノンは、カメラや事務用機器などすでに主軸となる事業を持っていて、既存の技術を生かした多角化の一貫として進出した企業である。<sup>2)</sup>

半導体企業の系列企業の場合、日電アネルパのようにアメリカとの合併企業として出発するパターンと、アドバンテストや安藤電気のように大手半導体企業の子会社として製造装置に取り組んでいるパターンがある。<sup>3)</sup>後者の多くは、それぞれの企業が有していた技術を生かしての参入である。半導体企業自身が製造装置を外販しているのは、筆者の確認では日立製作所と東芝だけであり、両社は半導体企業の中で製造装置を外部に販売している例外的存在である。<sup>4)</sup>その他の企業は、製造装置の内製化は盛んに行っているものの、それを外販してはいない。

外資系企業の多くは、日本の半導体製造装置産業がまだ未成熟であった段階から日本市場に参入している企業である。現在では相対的なシェアは落としているものの依然として成長を遂げており、また CVD 装置、イオン注入装置など特定の製品分野では高いシェアを獲得している。

表5 日本半導体製造装置市場の上位企業（1990年）（単位：億円，%）

製造装置種類	市場規模	3社集中度	上位企業
製造装置合計	5,097億円		
CAD	210(4.1)		○サン・マイクロシステムズ, ○ヒューレット・パッカード
結晶製造装置	87(1.7)		
単結晶引上装置	17(0.3)		国際電気, ○日本フェローフルディスク, ○ケイエックス・ハムコ
ウェーハ加工装置	70(1.4)		東京精密, ディスコ, 第一精機, ○スピードファム
リソグラフィ装置	1,675(32.9)		
露光装置	758(14.9)	92	ニコン(57), キヤノン(26), 日立製作所(9)
アライナ	77(1.5)		キヤノン, ○SVG リソグラフィ
ステップ	627(12.3)	98	ニコン(68), キヤノン(22), 日立製作所(8)
EB	54(1.1)		○日本イーテック, 日本電子, 日立製作所
レジスト処理	308(6.0)	92	東京エレクトロン(45), 大日本スクリーン(37)
エッチング装置	497(9.8)	67	日立製作所(27), 東京エレクトロン(22), ○AMJ(17)
ウェット	27(0.5)		
プラズマ	337(6.6)	88	日立製作所(40), 東京エレクトロン(33), 住友金属(11)
RIE	133(2.6)	83	○AMJ(54), 日電アネルバ(23), 日本MRC(6)
ドライアッシング	112(2.2)	77	東京応化工業(34), プラズマシステム(25), ラムコ(18)
熱処理, イオン注入	593(11.6)		
熱処理	257(5.0)		
拡散炉	233(4.6)	91	東京エレクトロン(54), 国際電気(31), △光洋リンドバーグ(6)
ランプアニール	24(0.5)	93	○AG アソシエイツ(48), ○ピークシステムズ(29), 大日本スクリーン(16)
イオン注入装置	336(6.6)		
大電流装置	209(4.1)	89	△テル・バリアン(41), △住友イートンノバ(37), ○AMJ(11)
中電流装置	127(2.5)	100	△テル・バリアン(40), 日新電機(39), 日本真空技術(21)
成膜装置	926(18.2)		
エピタキシャル成長	49(1.0)	84	○AMJ(44), ○ジェミニ/テトロン(29), 東芝機械(11)
CVD	591(11.6)	45	○AMJ(21), 東京エレクトロン(12), ○日本ASM(12)
常圧CVD	109(2.1)	90	○WJ(37), ○アルキャンテック(31), 天矢製作所(22)
減圧CVD	237(4.6)	78	東京エレクトロン(30), 国際電気(27), ジーナス(21)
プラズマCVD	245(4.8)	83	○AMJ(49), ○日本ASM(21), ○ノベラス・システムズ(13)
スパッタリング	286(5.6)	79	日電アネルバ(37), ○バリアン(22), 日本真空技術(20)

組立装置	340( 6.7)		
ダイシング	46( 0.9)	97	ディスコ(58), 東京精密(39)
ボンディング	181( 3.6)	73	新川(45), 海上電機(15), ニチデン機械(13)
ワイヤボンダ	95( 1.9)	88	新川(50), 海上電機(23), K & S(15)
ダイボンダ	54( 1.1)	87	ニチデン機械(42), 新川(39), トーソク( 6)
TABボンダ	32( 0.6)	91	新川(42), 東芝(33), 海上電機(16)
パッケージング	113( 2.2)		
検査・測定装置	1,266(24.8)		
テスト	738(14.5)	72	アドバンテスト(46), 安藤電気(18), ミナトエレクトロニクス( 8)
ロジック	288( 5.7)	97	アドバンテスト(55), 安藤電気(33), アジアエレクトロニクス( 9)
メモリ	280( 5.5)	89	アドバンテスト(55), ミナトエレクトロニクス(19), 安藤電気(15)
リニア	139( 2.7)	65	テラダイン(26), 横川電機(22), シバソク(17)
その他テスト	31( 0.6)		
プローバ	151( 3.0)	99	東京エレクトロン(76), 東京精密(15), 日本マイクロニクス( 8)
ハンドラ	111( 2.2)	82	アドバンテスト(41), 安藤電気(25), 日立 DECO(16)
環境検査装置	90( 1.8)		
その他検査装置	176( 3.5)		

(注) 市場規模の括弧は全体に占める当該製品の比率, 上位企業の括弧は市場シェア, 企業名の○印は外資系, △印はアメリカ企業と日本企業の合併企業。

(出所) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report SPECIAL SURVEY XIII 1991 半導体製造装置・材料業界』プレスジャーナル社, 1991年, 18~114ページ, 及びプレスジャーナル社編『1991年度版 日本半導体年鑑』プレスジャーナル社, 1991年, 373~374ページより作成。

このように企業類型化できるが, それぞれの企業は, あくまでも製造装置毎に形成されている市場において競争している。しかも半導体製造装置企業は, 半導体企業の製造装置生産部門(内製部分)とも実質的には競争関係を有している。さらに競争関係において, 大きな影響を及ぼしているのは, 系列関係である。

## 2. 半導体製造装置産業における系列企業の位置と企業間関係

表6からわかるように, 半導体製造装置企業において, 半導体企業の系列企業は相当多く, 先に見た表5と重ね合わせると, その市場に占める位置が相当大きいことがわかる。系列別売上高では, 日立製作所系と日本電気系は企業数も売上高(1990年で約700億円と約600億円)も大きく, アドバンテスト(同年売上高565億円)を系列化している富士通系も売上高は大きい。それに対して, 日本半導体産業の第2位である東芝の系列企業は,

売上高（同年100数十億円）において、これらに大きく見劣りしている<sup>5)</sup>。

しかしこの系列関係はそれほど強固なものではなく、半導体企業は、系列企業以外にも製造装置を大量に購買している。何故なら、第1に、各製造装置別の市場規模はあまり小さくなく、またそのことと関わっているが、各製造装置市場における上位企業の市場集中度がきわめて高いことから、半導体企業も自らの系列企業だけですべての製造装置を調達できないためである。第2に、半導体企業は、系列企業の製造装置に固執すると、系列外企業のすぐれた製造装置を入手できず、技術革新の波に乗り遅れるからである。

系列企業の方も、自社の属している半導体企業のみ販売するという事になれば、規模の経済性を実現できないということが生じるため、実際には他の半導体企業にも製造装置を販売している。系列企業にとって、研究開発や販売上、系列化されていることのメリットはあるが、親企業以外の半導体企業への販売には系列関係が不利に働くことがある。

他方、独立した企業は、系列企業と逆のメリットとデメリットを有することになる。メリットは、市場において系列にとらわれないで販売活動ができることであり、デメリットは、製造装置開発において特定の半導体企業と密接な関係を持ちにくいことや、販売活動において系列企業と競争になる場合、不利な立場に立つ場合があることである。しかし、このデメリットも半導体企業が系列にとらわれていれば、半導体産業における競争に敗退する危険を認識しているため、過大評価するわけにはいかない。従って、系列関係が企業間関係に影響を及ぼしているとはいえ、系列関係を越えた取引関係が広範に存在することは、この産業の大きな特徴であるといえよう。

さて、製造装置開発にますます多くの資金力や高度な技術力が要求されていくために、半導体企業が製造装置を内製したり、半導体製造装置企業と共同開発するという動きが以前にも増して大きくなっている。製造装置の開発には、次のようなパターンが形成されている。半導体企業は、①装置の基本概念設計、実験機作成、量産機生産の全てを行う、②装置の基本概念設計および実験機作成を行うが、量産機生産は半導体製造装置企業にまかせる、③装置の基本概念設計は行うが、実験機作成および量産機生産は半導体製造装置企業にまかせる、というように製造装置によって半導体製造装置企業との関係を選択している。他方、半導体製造装置企業が性能や仕様に関するシーズを半導体企業からもらいながら共同開発したり、独自に開発する場合も当然存在している<sup>6)</sup>。

このように、半導体企業が量産機生産まですべてする場合（内製）だけではなく、系

表6 半導体製造装置産業における系列企業

装置	企業	日 本 電 気	東 芝	日 立 製 作 所	そ の 他
ウエーハ製造				国際電気(引上装置)	
ウエーハプロセス製造	露光・描画		東芝機械 (E. B. スピンナー)		
	成 膜	日電アネルパ (スパッタ, CVD)	東芝機械(CVD) 徳田製作所 (スパッタ)	国際電気 (CVD, 拡散炉) 日立 DECO(CVD)	日本建鐵(三菱系) (スパッタ, CVD) MRC(ソニー系) (スパッタ)
	エッチング	日電アネルパ	徳田製作所	国際電気	MRC(ソニー系)
	そ の 他	海上電機(洗 浄)	東芝機械	国際電気 日立プラント建設 (洗 浄)	島田理化学工業 (三菱系) (洗 浄) 日本建鐵(三菱系) (アッシャー)
組 立	ニチデン機械 (ダイボンダ) 海上電機 (ワイヤボンダ) 日本アビオニクス (TAB ボンダ)	東芝精機 (ボンダ)	日立東京エレクトロ ニクス(ボンダ)	九州松下電器 (松下系) (ボンダ)	
検 査 ・ 試 験	安藤電気 (テスタ) アンリツ (光計測)	ABT(SEM) アジアエレクトロニ クス (テスタ) トプコン(検査装置)	国際電気 日立建機 日立メディコ(検査) 日立冷熱(ハンドラ) 日立 DECO (テスタ, ハンド ラ, 検査)	アドバンテスト (富士通系) (テスタ, ハンド ラ) ソニーエレクトロニ クス(ソニー系) (テスタ) 桑野電機(沖系) (バーンイン, テ スタ, ハンドラ)	

(出所) プレスジャーナル調査部編【VLSI Report】No. 83, 1991年6月, 28~29ページの表より作成。

列企業に実験機作成や量産機生産を行わせる場合も多い。つまり、量産装置の生産は、系列企業の技術力や製造能力を利用した形態で進めるわけである。内製化のメリットとデメリットを整理すると次のようになる。最先端装置を入手できる可能性がある反面、開発競争に乗り遅れる危険性も常にある。従って、研究開発資源をどの製造装置の開発に投入するかが問われることになる。

表7 半導体企業と半導体製造装置企業の共同開発

開発技術分野	関 係
イオン注入 ドライエッチング	日本真空技術—NTT・通信研究所 日電アネルパ—日立製作所 徳田製作所—東芝
ステッパ プロジェクションアライナ	日本光学—超 LSI 共同研究所 キャノン—同上
X線アライナ X線マスク	日本光学—NTT・通信研究所 大日本印刷—NTT・通信研究所
電子ビーム露光装置	日本電子—富士通・超 LSI 共同研究所 東芝—超 LSI 共同研究所 日立製作所—同上
テスト	アドバンテスト—NTT・通信研究所 安藤電気—日本電気
レティクル検査装置	日本光学—NTT・通信研究所

（出所）日本電子機械工業会編『86 IC ガイドブック』1986年，55ページ，表6-2。

系列関係とは関係ない共同開発は、NTTのような政府系機関か超 LSI 研究組合などがほとんどで、日電アネルパと日立製作所によるドライエッチング装置開発のような系列を越えて行われる共同開発は少ない（表7参照）。従って、こうした共同開発の進展では、系列関係がますます重要な位置を占めるようになってきていることを示している。

この産業では、研究開発面での半導体企業のイニシアチブが大きくなっており、系列関係が利用される側面が増大している。他方で、取引の側面では、各製造装置市場の市場集中度の高さもあって、系列を越えた関係が依然として主要な側面として存在している。

- 1) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編，前掲書，290～298ページ。
- 2) 岩井正和『ニコン—ビッグを追わずベストに挑む—』東洋経済新報社，1990年；キャノン史編集委員会編『キャノン史—技術と製品の50年—』1987年参照。
- 3) 東洋経済新報社編『IC革命—影の主役たち』1982年を参照。
- 4) 日本半導体製造装置協会編『1990 会員名簿』1990年，132～143ページの半導体製造装置取扱品目別一覧表で確認できる限り，両社だけが外販している。
- 5) 『日本経済新聞』1991年5月12日付け。
- 6) 日経BP社編『日経マイクロデバイス』1990年10月，71～78ページ参照。

## IV 露光装置における日米企業の逆転

### 1. ステップの市場規模

本節の課題は、露光装置を事例として日米半導体製造装置企業の競争力の逆転がどのようにして生じたのかを明らかにし、日本半導体製造装置産業の現在の到達点を示すことである。ⅡやⅢで明らかにしたように、日本市場においてアメリカ企業が優位に立っている装置はあり、世界市場全体でも同様である。そのことを前提にしながらも、日本の半導体製造装置企業が全体として、世界市場において、アメリカ企業を売上高において追い抜いていることの象徴として、この露光装置の検討を行う。

露光装置日本市場は、1983年に289億円であったものが、1989年には1,110億円へと急速に成長を遂げたが、台数の増大とともに、露光装置一台当りの高騰も成長の一因である。1980年当時1台あたり3,000万円であったのが、1990年には1台あたり1億5,000万円以上になっており、急速に高価格になっている。<sup>1)</sup>

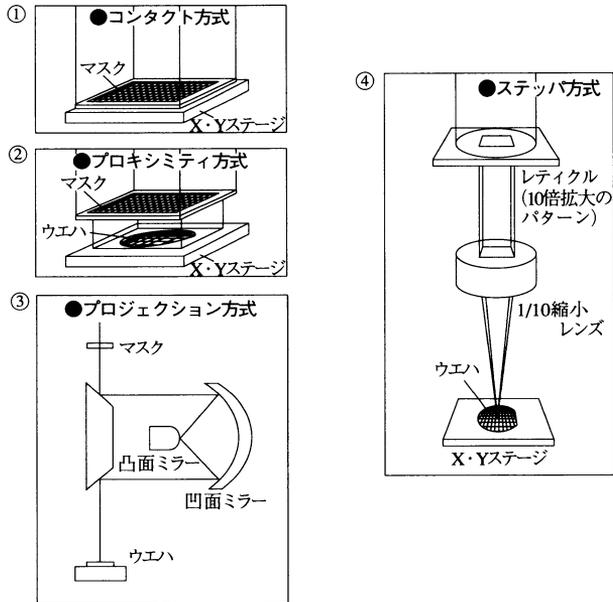
露光装置の主流となっているステップ市場について簡単に見ると次のようになっている。1990年は、世界全体で11億2,070万ドル（前年比1.6%増）、880台（同12.6%減）の販売であった。このうち、g線ステップは、6億3,450万ドル（前年比19.7%減）、478台（同33.1%減）であり、i線ステップは、4億3,800万ドル、330台（前年比33.1%増）であった。ステップ市場は、全体としての市場規模は前年とあまりかわらないが、より波長の短い<sup>2)</sup>ためにより微細な加工が可能であるi線ステップに急速におきかわりつつある。

次に、地域別生産台数を見ると、日本が733台、アメリカが88台、そしてヨーロッパが59台と大半が日本で生産されている。さらに、地域別販売台数を見ても同様で、日本が465台、アメリカが205台、韓国が78台、ヨーロッパが75台、その他が57台となっている。日本での販売台数の多さと同時に、ヨーロッパが韓国よりも販売台数が少ないことは、世界の半導体産業の今後の動向に大きな意味を持つと考えられる。<sup>3)</sup>

### 2. ステップ以前の露光装置（アライナ）

露光装置は、次のような種類がある（図4参照）。①マスクとウェーハを直接接触させて露光するコンタクト・アライナ、②マスクとウェーハをごくわずかあけて露光するプロキシミティ・アライナ、③マスクの等倍の像を光学系を用いてウェーハ上に投影するプロジェクション・アライナ、④レティクルを使用してその5分の1ないし10分の1の

図4 露光装置の種類



(出所) 日本電子機械工業会編『91 IC ガイドブック』1991年、97ページ。

パターンをウェーハ上に露光するステッパである。①と②は密着露光方式，③は投影露光方式，④は縮小投影露光方式ともいう。全体として，①から④に発展してきた。ここで検討の対象としている露光装置は，ウェーハ処理工程で使用される転写装置の方であり，マスク製造工程で使用される方は除外している<sup>5)</sup>。

まず，日本市場がどのように形成されたかを見てみる。はじめに，密着露光装置の一種であるコンタクト・アライナがアメリカより輸入されてくる。東京エレクトロンがエレクトログラスの装置を輸入したのは1965年であり，国際電気がキャスパーの装置を輸入したのは1970年，そして東京エレクトロンがコピルトの装置を輸入したのが1974年であった<sup>6)</sup>。コンタクト・アライナ時代は，このようにアメリカから輸入した装置によって日本市場が形成されたわけである。

次に，投影露光装置であるプロジェクション・アライナは，パーキンエルマーが1974年に開発し，またたくまに世界市場を支配するようになった。ちなみに，日本では兼松が輸入し販売を行った<sup>7)</sup>。

これに対して、日本企業のこの装置への参入はどうであったらうか。キャノンが、まず密着露光の一種であるプロキシミティ・アライナ（近接投影方式）で成功する。この装置が発売されたのは、1973年であった。キャノンがプロジェクション・アライナ装置を発売するのは、パーキンエルマーにかなり遅れ、1980年であった。このため、プロジェクション・アライナでは1970年代を通して、パーキン・エルマーが独占状態であった。しかし、現在では、キャノンが<sup>8)</sup>ほぼ国内市場を独占し、世界的にもキャノンが優位にたっている。

### 3. 縮小投影露光装置（ステッパ）

ステッパは、GCA（GCA Corp.）が1978年に開発し、1980年代前半は同社が世界市場を支配した。<sup>9)</sup>当初、プロジェクションからステッパへ移行するには、①解像力を上げるためのレンズの開発、②一つ一つ作り込むためにステージをいかに正確に早く移動させるか、③ウェーハ面積が増大するため、熱処理でウェーハが変形し歩留りが悪化するのをどのように解決するのかなどが問題<sup>10)</sup>になったが、次第に解決され、1980年代には、急速にステッパにおきかわっていった。

日本企業では、ニコンがステッパ市場に1980年に進出し、1984年には国内市場で優位に立っている。キャノンは、プロジェクションで成功したため、ステッパでは出遅れ、1984年にステッパ市場に進出することになる。<sup>11)</sup>現在は、世界のステッパ市場の半分をニコン1社が占め、同社とキャノンで世界市場を<sup>12)</sup>ほぼ支配している。

ところで、日本の半導体企業がDRAM市場で成功した理由の一つにこの露光装置がある。プロキシミティという安い装置で高い生産性を実現したということである。1980年代初頭の64KDRAM時代、ステッパでは1時間当たり20枚しか処理できなかったのに対して、プロキシミティでは60枚が処理可能であった。日米半導体企業の競争力逆転にとって重要な時期であった1980年代初頭は、プロキシミティとプロジェクションとステッパが日本半導体産業において共存していた時期である。64KDRAMをプロキシミティでも製造できたということは、日本半導体企業の製造技術の高さを示している。<sup>13)</sup>このように、それぞれの装置は一度におきかわるのではなく、重なり合っている時期が存在する。とくにプロキシミティとプロジェクションはほぼ同時期に日本市場に投入されており、その競争関係は、1970年代を通じてあった。

次に、日本の露光装置製造企業が優位に立った理由を指摘する。第1に、自前のレンズを持っていたことである。GCAなどはレンズを競争相手の日本企業に依存しており、

レンズを持たなかったことは製品の競争力強化において不利な立場にあった。<sup>14)</sup>

第2に、技術革新が激しく、次々に新しい製品が登場したわけだが、そのときにタイミングよく新製品を投入できたことである。とくにキャノンもニコンも、1976～1979年の超LSI研究組合による開発依頼による成果で市場に新製品を投入した。ニコンのステッパは、この研究組合による最大の成果であるという評価も存在するほどである。<sup>15)</sup>露光装置に限らず、日本の半導体製造装置産業においてこの研究組合の果たした役割はやはり大きい。

第3に、サービス体制の問題を指摘する必要がある。アメリカ企業の日本市場におけるサービス体制の不備は、1980年代に入るまでほとんどの企業に見られた現象である。<sup>16)</sup>

第4に、製造装置の高度化・複雑化・高価格化に伴って必要とされる、高度な技術力と豊富な資金力である。ニコンやキャノンはこの点で決定的に有利である。もともとこの市場への参入は、自らの有する技術資源を生かした、多角化の一貫としてであった。露光装置は、相対的に市場規模が大きく、装置一台当りの価格も大きいため、企業規模の小さいアメリカの露光装置製造企業は、製品開発競争を継続していく上で不利であった。製品開発競争継続の点で露光装置はとくに日米で格差が生じたが、製造装置の高度化・複雑化・高価格化を考えると、露光装置以外の装置でこれまで先行者の利益を得ていたアメリカ企業も、いつまでもこれを持続することはできないのではないかという恐れがある。

最後に、アメリカの露光装置製造企業がどのような変遷をたどったかを見ておく。パーキンエルマーは、半導体製造装置部門をSVG(シリコンバレーグループ)に1989年に売却(1989年)し、現在同部門はSVGリソグラフィシステム(SVG Lithography Systems, Inc.)となっている。GCAは経営不振のため、ゼネラル・シグナル(General Signal Technology Corp.)に買収(1988年)されている。この他、ASMリソグラフィはフィリップス(N. V. Philips' Gloeilampenfabriken)に買収(1988年)され、イートン・オブティメトリックは撤退した。<sup>17)</sup>このように、露光装置企業は次々に身売りせざるをえない状況に追い込まれたわけである。もちろん新世代の露光装置の開発をアメリカ企業が断念したわけではなく、SVGリソグラフィシステムはステップ・アンド・スキャンというコンセプトによる新製品を発表している。<sup>18)</sup>

1) 市場規模については、プレスジャーナル社編『1985年度版 日本半導体年鑑』1985年、187ページ、図10および、日本半導体製造装置協会編『日本の半導体製造装置(1986年度～1989年度の販売統計)』1990年、4ページ参照。装置の金額については、日本電子機工業会

- 編『IC 1981集積回路ガイドブック』1981年、34ページ、表18、およびプレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No.82、1991年5月、28ページ参照。
- 2) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No.82、1991年5月、28ページ図1参照。
  - 3) 同上、29ページ、図2参照。
  - 4) 日本電子機械工業会編『91 IC ガイドブック』1991年、97ページ参照。
  - 5) このマスク製造装置の主流となっている電子ビーム露光装置は、日本電子が基本特許を有しており、現在ではアメリカのイーテック・システムズとともに世界市場で優位にある。
  - 6) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編、前掲書、190ページ、年表1参照。
  - 7) 同上、190ページ、年表1参照。
  - 8) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report SPECIAL SURVEY XIII 1991 半導体製造装置・材料業界』1991年、63～64ページ参照。
  - 9) キヤノン史編集委員会編、前掲書、208～209ページ参照。
  - 10) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編、前掲書、170～171ページ。
  - 11) キヤノン史編集委員会編、前掲書、308～309ページ参照。
  - 12) プレスジャーナル調査部編『VLSI Report』No.82、1991年5月、30ページ。
  - 13) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編、前掲書、172ページ。
  - 14) 同上、154ページ。ただし、パーキンエルマーは戦前、天体望遠鏡生産を行っており、すぐれた反射鏡技術を有していた。
  - 15) 同上、130～131ページ。
  - 16) 同上、78～79ページ。
  - 17) プレスジャーナル社編『月刊 Semiconductor World』各月版。
  - 18) プレスジャーナル社編『1991年度版 日本半導体年鑑』1991年、377～378ページ。

### 結びにかえて

本稿では、次のことを明らかにした。第1に、日本半導体製造装置産業の形成過程は次のようであった。1960年代後半より、それまで輸入装置にほぼ独占されていた日本市場に対して、一方でアメリカ企業との合併企業形態などによってすぐれた技術を吸収し、他方でサービス体制を構築することによって、日本の半導体製造装置企業は製造装置市場のシェアを上昇させていった。1970年代後半に入ってようやくアメリカの製造装置とおきかわり、1980年代後半に入ると世界市場でアメリカ企業と対等に、しかもグローバルに競争するまでになり、かなりの製造装置でアメリカ企業より優位になった。

第2に、日本半導体製造装置産業の企業類型は、独立企業（専業と兼業）、半導体企業の系列企業および半導体企業それ自身、外資系企業の3つに分けられるが、それぞれの企業は製造装置毎の市場で個別の競争関係にある。そこでの企業間関係に大きな影響を与えているのは、系列関係の存在と半導体企業の製造装置内製化である。系列企業と独

立企業および外資系企業はそれぞれのメリットを武器にして競争を行っている。

さらに第3に、露光装置を事例として、日米半導体企業の逆転が1980年代後半に生じたことを明らかにした。露光装置はとくに日米で格差が大きくなったが、アメリカ企業がいくつかの製造装置で有している優位も持続していく保障はない。

次に、全体を通じてさらにいえることを指摘しておく。第1に、半導体企業だけでなく半導体製造装置企業も主要な研究開発主体であるということである。各半導体製造装置企業は、半導体企業と研究開発など共同の関係をもちながら、個別の装置市場で激しい競争関係を形成している。しかし、今後、研究開発が半導体企業主導に移行していく可能性がある。第2に、技術水準の高い半導体製造装置企業を数多く有することは、一国の半導体産業の競争力に大きく影響するということである。このことが、日米半導体産業の競争力逆転において大きな意味をもったわけである。

以上、日本の半導体製造装置産業について検討を行ってきたが、日本半導体産業の競争力を明らかにするには、半導体製造装置産業以外の周辺産業の検討も必要である。これらの検討は、今後の課題としたい。

\* 本稿は「文部省科学研究費補助金」による研究成果の一部である。

(1992年3月23日脱稿)