

論文

半導体製造装置企業の競争環境とイノベーション戦略

肥 塚 浩*

要旨

世界の半導体市場および半導体製造装置市場は 2017 年に活況を呈したが、それは主にメモリ市場を中心としたものである。地域的には東アジア市場が圧倒的な地位を占めている。半導体技術のイノベーションは、ムーアの法則が重要な役割を果たしてきたが、この経験則の限界が 2000 年代後半から顕在化し、これが持続するのかが問われている。ムーアの法則がもう一度作動することへの期待が高まっており、各社ともそのことを踏まえた戦略策定を行っている。

アプライド・マテリアルズ、ASML、東京エレクトロンの 3 社とも明確なイノベーション戦略を有しているが、とりわけ、アプライド・マテリアルズはイノベーション・リーダーシップ戦略を標榜し、世界上位の半導体企業へ売上の約半分の製品供給を行っているが、最先端半導体を製造する世界上位企業への製品供給自体が、半導体製造装置イノベーションを牽引することを可能にするのである。

キーワード

競争環境, 半導体製造装置企業, 半導体技術, ムーアの法則, イノベーション戦略

目 次

- はじめに
1. 半導体市場および半導体製造装置市場の現況
 2. 半導体技術のイノベーションをめぐる論点
 3. 半導体製造装置企業のイノベーション戦略
- おわりに

* 立命館大学専門職大学院経営管理研究科教授

はじめに

世界半導体市場は、2017年に活況を呈するようになった。とりわけ、メモリ市場は急速な市場拡大を見せ、それとともに、半導体市場全体が拡大していった。これは、世界の主要半導体市場において同様である。この原因の一つは、データセンターにおけるメモリ需要であり、この要因がいつまで継続するのかが半導体市場の今後の需給関係を見る上でたいへん重要である。当然のことながら、半導体製造装置市場も、この動向に大きな影響を受けている¹⁾。

他方で、半導体企業の経営戦略において、大きな影響を与える技術動向がしばらく前から生じている。それは、ムーアの法則と呼ばれる微細加工技術進歩のトレンドが2000年代後半あたりから遅くなっていることである。このトレンドは以前の軌道に回復しないのではないかと見られているが、他方で、この技術上の問題は技術的ブレイクスルーによって解決するのではないかという期待も寄せられている。半導体製造装置企業のイノベーション戦略にとって、この技術問題が重大な影響をもたらすことは言うまでもない²⁾。

イノベーション戦略とはイノベーションを創出し、競争優位を獲得しようとする戦略のことである。この場合のイノベーションは、製品か生産工程か、インクリメンタルかラディカルか、持続的か破壊的かなどの様々なありようを問わない。いずれの理解をしたとしても、イノベーションを意図的に創出しようとする企業の戦略的対応である。半導体産業や半導体製造装置産業は、技術イノベーションが速いことで知られており、技術的な変化の速さに様々な方法で対応してきた歴史を有している。半導体企業も半導体製造装置企業も、イノベーションの速さを前提とした経営戦略の策定と組織の対応を求められてきた。そこで、イノベーションの速さを踏まえつつも、イノベーション戦略のありようは、企業の競争優位性を明らかにするうえで、たいへん重要な論点である。ちなみに、競争優位があるということは、当該業界において平均以上の収益性を持続的に確保していることである³⁾。

半導体製造装置企業は、短期的な市場環境においても、中長期的な技術動向においても、機敏にあるいは基本的方向を常に明確に見定めた対応をしていくことが求められている。本稿では、半導体市場および半導体製造装置市場の現況と、半導体技術のイノベーションをめぐる中長期的な動向を検討した上で、米欧日を代表する半導体製造装置企業のイノベーション戦略を明らかにする。

1. 半導体市場および半導体製造装置市場の現況

(1) 半導体市場の現況

世界の半導体市場は、2017年に入って急激な市場拡大が見られた。2017年11月下旬段階では次のように予測されている。まず、地域別に見ると、2016年実績では、日本とアジア太平洋地域が3%超の成長であり、アメリカと欧州は4%台のマイナス成長であったのに対して、2017年はどの地域も二桁成長を遂げると見られている。アメリカは30%超と非常に大きな市場拡大を見せ、次いでアジア太平洋が20%弱、欧州が15%超、日本が12%程度の市場拡大になると考えられている⁴⁾。

製品別で見ると、2016年実績はセンサーが20%超と市場が拡大しているが、アナログICとディスクリットが5%前後の成長であり、他の製品分野は1%以下ないしマイナス成長であった。2017年は一転していずれの製品分野でも市場拡大が見られるが、特にメモリICは60%以上と突出した市場拡大となっているほか、センサーが15%超、ロジックIC、ディスクリット、アナログICが10%台の成長であり、他は一桁の成長にとどまっている。これに対して、2018年になると、いずれもプラス成長ではあるものの、一桁にとどまるとの予測である⁵⁾。

こうした実績と予測数値を見ると、2017年の成長が確認できることと、その大きな部分は

表1 世界半導体市場実績および予測

	市場規模（百万ドル）			成長率（パーセント）		
	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年
アメリカ	65,537	86,458	95,380	-4.7	31.9	10.3
ヨーロッパ	32,707	38,350	39,799	-4.5	16.3	4.6
日本	32,292	36,350	37,990	3.8	12.6	4.5
アジア太平洋	208,395	247,834	264,097	3.6	18.9	6.6
世界全体	338,931	408,691	437,265	1.1	20.6	7.0
ディスクリット	19,418	21,498	22,490	4.3	10.7	4.6
光エレクトロニクス	31,994	34,467	37,302	-3.8	7.7	8.2
センサー	10,821	12,537	13,439	22.7	15.9	7.2
IC	276,698	340,189	364,034	0.8	22.9	7.0
アナログ	47,848	52,711	55,909	5.8	10.2	6.1
マイクロ	60,585	63,147	65,331	-1.2	4.2	3.5
ロジック	91,498	101,413	108,467	0.8	10.8	7.0
メモリ	76,767	122,918	134,327	-0.6	60.1	9.0
世界全体	338,931	408,691	437,265	1.1	20.6	7.0

注) WSTS2017 秋予測会議（2017年11月16日～17日）

出所) WSTS ウェブサイトより一部修正

メモリの成長に多くを頼っている。メモリの成長要因は、スマートフォン需要とデータセンター需要と言われており、特にデータセンター需要はハードディスクドライブから DRAM へ移行しつつあることから、データセンターが世界中で増設されるだけでなく、各データセンターにおける DRAM 使用比率の高まりが、こうした半導体市場全体の成長を牽引していると言える⁶⁾。

(2) 半導体製造装置市場の現況

2016 年の世界の半導体製造装置市場は 13% の成長を遂げており、半導体市場がわずかに 1.1% の成長にとどまったのに対して、相当高い成長であった。最大の市場は台湾であり、2 位は韓国、3 位は中国、4 位が日本と上位はすべて東アジア市場となっており、5 位によやく北米であった。こうした半導体製造装置市場の地域別の成長率を見ると、中国が 32% 増と最も高い成長であり、次いで台湾の 27% 増、3 番目が欧州の 12% 増であった。韓国は 3% 増、北米はマイナス 12%、日本はマイナス 16% と地域別では最も低い結果であった⁷⁾。

2017 年の第 2 クォーターと第 3 クォーターを見ると、台湾が 1 位で 47.9 億ドルと 49.9 億ドルで、韓国が 27.6 億ドルと 23.7 億ドルであった。しかも、台湾は 2016 年と比較すると急激な成長であるのに対して、韓国はマイナス成長であった。中国は第 2 クォーターは前年比 35% 増であったが、第 3 クォーターは第 2 クォーターに比べてマイナス 23% であり、急速なブレーキとなっている。これに対して、日本は、2016 年とは一転してプラス成長で、第 2 クォーターは対前年比で 34% 増であり、第 3 クォーターは第 2 クォーターに比べて 11% 増を保っている。北米と欧州は 2017 年は市場拡大を見せている。北米の 2017 年第 2 クォーターは対前年比 43% 増、第 3 クォーターは第 2 クォーターに比べて 22% 増となった。欧州の 2017 年第 2 クォーターは対前年比 100% 増、第 3 クォーターは第 2 クォーターに比べて 61% 増と、非常に高い成長であった⁸⁾。

表 2 世界半導体製造装置の地域別市場の推移

(単位：億ドル)

	2015 年	2016 年	2016 /2015	3Q 2016 年	2Q 2017 年	3Q 2017 年	3Q2017 /2Q2017	3Q2017 /3Q2016
台湾	96.4	122.3	27%	20.9	47.9	49.9	4%	139%
韓国	74.7	76.9	3%	34.6	27.6	23.7	-14%	-32%
中国	49.0	64.6	32%	14.3	25.1	19.3	-23%	35%
日本	54.9	46.3	-16%	12.9	15.5	17.3	11%	34%
北米	51.2	44.9	-12%	10.5	12.3	15	22%	43%
欧州	19.4	21.8	12%	5.3	6.6	10.6	61%	100%
その他	19.7	35.5	80%	11.3	6.2	7.4	20%	-34%
合計	365.3	412.4	13%	109.8	141.1	143.3	2%	30%

出所) SEMI ウェブサイトより作成

このように、2017年の半導体製造装置市場の前半までは前年よりも相当高い成長を遂げているものの、後半になると全体としては、低い成長となっている。また、韓国と中国は後半にはマイナス成長に転じているのに対して、北米と欧州はかなりのプラス成長を維持している⁹⁾。

(3) 半導体企業の現況

2016年の半導体企業の1位はアメリカのインテル、2位は韓国のサムスン電子であり、10年以上にわたって上位2社の地位に変動はない。また、両社の売上高は3位以下と比べて大きな差があり、両社を合わせた市場シェアは3割近くあり、突出した存在となっている¹⁰⁾。ちなみに、2017年はメモリ分野の売上高の伸びが非常に急激であり、1位と2位が逆転すると言われている。

表3 世界半導体企業上位10社（2015年－2016年）

単位：百万ドル，%

2016年	2015年	企業名	2016年売上高	2016年市場シェア	2015年売上高	2015-2016成長率
1	1	インテル（米）	54,091	15.7	51,690	4.6
2	2	サムスン電子（韓）	40,104	11.7	37,854	5.9
3	4	クオルコム（米）	15,415	4.5	16,079	-4.1
4	3	SKハイニックス（韓）	14,700	4.3	16,374	-10.2
5	17	ブロードコム（米）	13,223	3.8	4,543	191.1
6	5	マイクロン・テクノロジー（米）	12,950	3.8	13,816	-6.3
7	6	テキサス・インスツルメント（米）	11,901	3.5	11,635	2.3
8	7	東芝（日）	9,918	2.9	9,162	8.3
9	12	NXPセミコンダクターズ（蘭）	9,306	2.7	6,517	42.8
10	10	メディア・テック（台）	8,725	2.5	6,704	30.1
		その他	153,181	44.6	160,562	-4.6
		合計	343,514	100	334,934	2.6

出所）Gartner.com ウェブサイトより一部修正

3位はアメリカのクオルコムで、4位が韓国のSKハイニックスと前年と逆のランクとなっている。5位から7位はいずれもアメリカ企業であり、8位は日本の東芝、9位はオランダのNXPセミコンダクター、10位は台湾のメディア・テックである。5位のブロードコムは前年の17位から急激な順位の上昇であるが、これはM&Aの結果である。国別に見ると、アメリカが5社と半分を占め、韓国が2社で、後は日本、台湾、オランダが1社ずつである¹¹⁾。

このように、現在では、アメリカ企業と韓国企業には高い競争優位性がある。これに対して、日本企業はわずか1社しか入っておらず、しかも当該企業の東芝はガバナンス問題を抱えており、東芝メモリはM&Aされ、米韓日企業によって所有されることが確定している。なお、半導体製造請負で世界1位の台湾のTSMCは、自社ブランドで半導体を販売しているわ

けではないので、表 3 には掲載されていないが、その売上高は約 294 億ドルで、実質的には 3 位に位置している¹²⁾。

(4) 半導体製造装置企業の現況

半導体製造装置企業の 1 位はアメリカのアプライド・マテリアルズ、2 位はオランダの ASML、3 位はアメリカのラム・リサーチ、4 位は日本の東京エレクトロンである。1 位のアプライド・マテリアルの売上高は 2 位の売上高とは一定の差があるが、2 位から 4 位はそれほど大きな差ではない。これに対して、4 位と 5 位とは 2 倍近くの売上高の差があり、5 位と 6 位以下とも 2 倍近くの差となっている。このように、半導体製造装置企業の売上高は 4 位までと 5 位以下では大きな差があり、かなりの寡占的市場であることが分かる¹³⁾。

表 4 半導体製造装置企業 2016 年売上高上位 10 社

単位：百万ドル

ランク	企業名	国・地域	売上高	前年比
1	アプライド・マテリアルズ	米国	9,875.5	17.9%
2	ASML	オランダ	7,343.7	8.8%
3	ラム・リサーチ	米国	6,375.0	8.0%
4	東京エレクトロン	日本	6,064.2	15.5%
5	KLA テンコール	米国	3,199.6	13.4%
6	スクリーン・ホールディングス	日本	1,786.5	34.1%
7	アドバンテスト	日本	1,415.0	7.0%
8	テラダイン	米国	1,368.5	13.9%
9	日立ハイテクノロジーズ	日本	1,129.1	21.7%
10	ASM パシフィック・テクノロジー	香港	930.1	22.8%

出所) VLSI Research.com ウェブサイトより作成

国・地域別に見ると、アメリカと日本が 4 社ずつで、あとはオランダと香港が 1 社ずつである。半導体企業ランキングとは異なり、アメリカ企業とともに日本企業が上位を占めており、半導体製造装置分野においては、日本企業の競争力はかなり高いと言える¹⁴⁾。

2. 半導体技術のイノベーションをめぐる論点

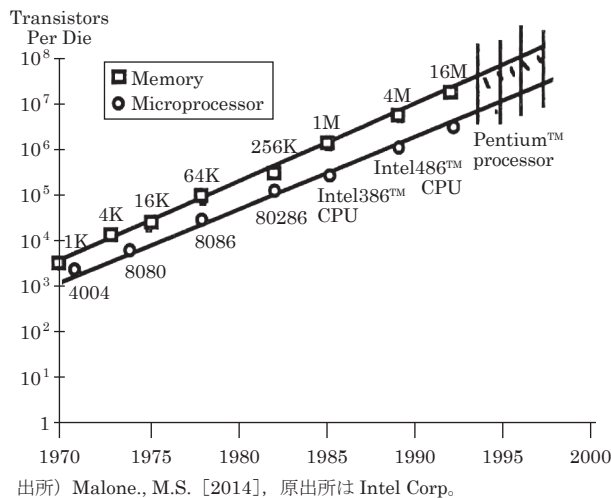
(1) ムーアの法則について

半導体製造装置企業のイノベーション戦略を分析する上で、半導体技術のイノベーションをめぐる論点を検討することは、たいへん重要である。特に、中長期的な技術動向を明確にしておかないと、各企業の戦略の方向性を見定めることは困難である。

さて、半導体技術における最大のテーマは、言うまでもなくムーアの法則をどのように理解するのかである。ムーアの法則とは、端的に言うと、同一面積での素子数を増やせば増やすほ

ど、素子の単位当たりコストが低減し、3年で4倍の速度でそれは実現されるというものである。1965年にアメリカの *Electronics Magazine* という技術誌に掲載されたフェアチャイルド・セミコンダクタにいたゴードン・ムーアの論文では、次のように指摘している。「部品コストが最小になる集積度は、年に2倍になる割合で増加している。短期的にこのペースが速くならなくとも、持続することは期待できる。長期的な増加割合は不確実ではあるが、少なくとも10年にわたってほぼ一定の増加をしないであろうと信じる理由はない。それはコストが最小になる集積回路あたりの部品数は1975年までに65,000であることを意味する。このように大規模な回路を単一のウェーハ上に作ることは可能だと信じる。」¹⁵⁾

図1 ムーアの法則



集積度は1年で2倍から1年半で2倍に修正されたものの、この「法則」はその後、40年にわたって実現されてきたことから、この「予測」はいつしか「法則」として多くの半導体産業関係者に信じられるようになり、またこの「法則」を実現すべく研究者、技術者、企業等が行動するようになっていった。ムーア自身は「法則」ではないと常に言っており、半導体産業とそれを取りまくビジネス社会との社会的な契約であると言ってもよい。いずれにせよ、予測自体が現実を縛る事態を生じせしめる一方で、この「法則」も通用しなくなるとの指摘がされるようになっていった¹⁶⁾。

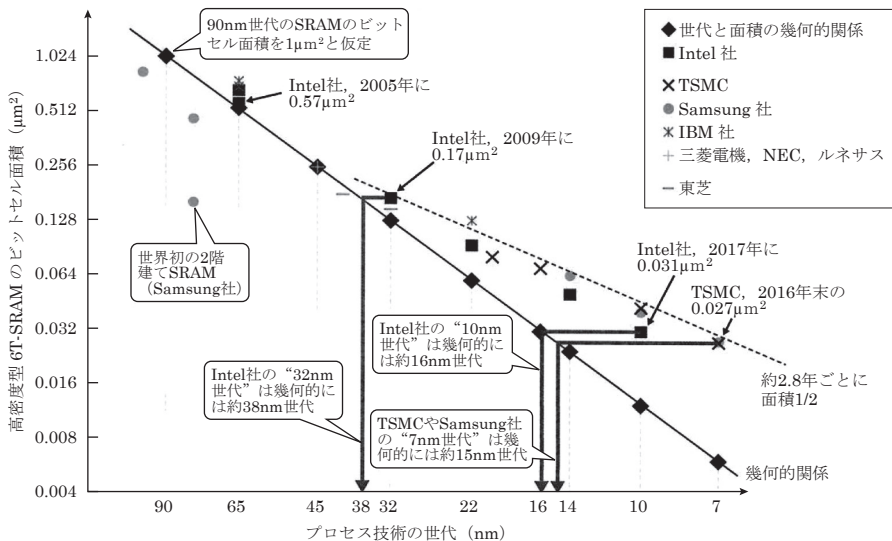
(2) ムーアの法則の限界

2000年代半ば以降、微細化にブレーキがかかる事態が生じている。そして、ムーアの法則に則らない集積度の半導体製品が増大している。例えば、NAND フラッシュメモリでは、微細化による集積度の向上は現在量産中である16～15nm世代で終わり、微細化によるメモリ

容量は 128G ビット前後で終わるのではないかと考えられている。また、DRAM では、現在の 4G ビットの次は 8G ビットではなく 6G ビットとなり、1 チップ 32G ビット以上の容量はこのままでは無理であると考えられている¹⁷⁾。

微細化が進まない最大の理由は、リソグラフィ（露光・現像）・コストの増大である。半導体はリソグラフィ技術でトランジスタ数を増大させてきたわけであるが、集積回路の最小加工寸法が露光装置の光源波長を下回るようになっており、露光を繰り返す（ダブルパターニング）などの工夫をしている。しかし、こうした技術的対応は製造コストの上昇をもたらしており、それが微細化メリットに見合うのかが問われている¹⁸⁾。

図 2 SRAM の各社の世代の技術トレンド（ムーアの法則）とのずれ



出所) 日経 BP 社編 [2017] 26 頁, 図 3。

したがって、こうしたムーアの法則を実現してきた現行の技術が製造コストに耐え切れなくなると、半導体企業にも半導体を使用する企業にもこれまでとは異なる対応を迫ることになる。半導体企業は、チップ設計と量販製品については汎用性を追求してきたが、カスタマイズ化を志向することが求められる。技術世代の選択については、常に最先端を導入するということがあったが、用途に応じた使い分けが重要になってくる。トランジスタについては大量消費であったが、効率的に利用することが求められる¹⁹⁾。

半導体を使用する企業は、微細化のトレンドを前提に設計してきたが、今後は微細化だけに頼らない設計が求められる。また、製造コスト意識については、これまで微細化による単位当たり性能向上がコストを変えないままで可能であったのに対して、性能向上とコスト上昇のバランスを重視するというごく普通の対応が常に求められるようになる²⁰⁾。

(3) ムーアの法則の持続か限界か

このような状況のもと、リソグラフィ技術のイノベーションの可能性があるのでないかとの見方も出てきている。それは、EUV (Extreme Ultra Violet : 極端紫外線) リソグラフィである。EUV は 2000 年代前半よりオランダの ASML によって開発が行われているが、ニコンとキヤノンは EUV 開発から撤退している。そして、現在、ASML の EUV 開発は本格的実用化直前ではないかと言われている。上述したように、2000 年代後半から微細化速度が低下してきており、実際、インテルでは 45nm から 14nm 世代まで約 2.5 年を要し、10nm 世代には約 3 年を要する事態となっている。こうしたことからポストムーア時代とも言われているが、もう一度ムーアの法則が持続するかどうか注目されている²¹⁾。

DRAM, NAND フラッシュメモリ, ロジックともに、現時点では約 15nm が事実上の最小加工寸法である。例えば、ロジックでは、これを打破するには、ArF 液浸の 4 重露光か EUV の実用化であると言われている。EUV の実用化はマスクの枚数や工程数を抑えられる点では、ArF 液浸の 4 重露光よりも設計自由度でもコスト的にも有利である。実際、EUV の本格的実用化に向けた動きが出てきている。2017 年 6 月の DAC (Design Automation Conference) という半導体設計関連の国際会議において台湾の TSMC や韓国のサムソン電子から EUV 関連の報告が幾つも行われている²²⁾。

また、ASML は EUV 露光装置 : NXE: 3400B の受注が 21 台となったことを 2017 年第 1Q 決算報告発表で行っている。このように、開発状況から見ても、ASML の受注状況から見ても、EUV が本格化する可能性がかなり高まっていることが分かる。もちろん、世界 1 位の露光装置企業である ASML が 10 年以上にわたって、EUV の本格的実用化に成功できていないことも事実である。例えば、光源の出力の低さや消費電力の大きさなどにおいて課題がまだ残されている²³⁾。

これに対して、キヤノンは、EUV ではなく、ナノインプリントリソグラフィ : NIL の開発を 2004 年以降行っており、2017 年に入って相次いで納品を行うようになっている。NIL はウェーハ上の塵の数、欠陥密度、生産性、重ね合わせ精度などに課題があるが、これらは解決可能ではないかとの期待が持たれている。なお、ニコンの半導体装置事業は 2016 年度に 1,000 名の人員削減を行うなど事業再建中であり、ようやく 2018 年 3 月期に黒字化の目途がつきつつある段階である²⁴⁾。

このように、ムーアの法則がなお持続される可能性もあり、その場合は、これまでの技術トレンドを前提としたビジネスが展開されうることになる。現在は、この分岐点に来ていると考えられる。

3. 半導体製造装置企業のイノベーション戦略

(1) アプライド・マテリアルズ

世界 1 位の半導体製造装置企業である米国のアプライド・マテリアルズの 2017 年 10 月期の売上高は約 145 億ドルであり、前年比 34% 増であった。また、研究開発費は約 18 億ドルであった。2017 年 12 月時点で詳細が分かる 2016 年売上高は 108.3 億ドル、営業利益 19.9 億ドルであり、そのうち半導体製造装置は 68.7 億ドル (64%) で、サービスは 25.9 億ドル (24%) であった。同社は、前工程のうち露光装置を除く多くの製造装置分野で大きなシェアを有している²⁵⁾。

表 5 アプライド・マテリアルズの地域別売上高

単位：億ドル

国・地域	2014 年		2015 年		2016 年	
	売上高	比率	売上高	比率	売上高	比率
台湾	27.02	30%	26.00	27%	28.43	26%
中国	16.08	18%	16.23	17%	22.59	21%
韓国	9.65	10%	16.54	17%	18.83	17%
日本	8.17	9%	10.78	11%	12.79	12%
東南アジア	3.56	4%	4.32	4%	8.03	7%
東アジア小計	64.48	71%	73.87	76%	90.67	83%
アメリカ	19.66	22%	16.30	17%	11.43	11%
欧州	6.58	7%	6.42	7%	6.15	6%
合計	90.72	100%	96.59	100%	108.23	100%

出所) アプライド・マテリアルズウェブサイトアニュアルレポートより一部修正

また、地域別売上高は、台湾が 28.4 億ドル (26%)、中国が 22.6 億ドル (21%)、韓国 18.8 億ドル (17%)、日本 12.8 億ドル (12%)、米国 11.4 億ドル (11%)、東南アジア 8.0 億ドル (7%)、欧州 6.2 億ドル (6%) であった。東アジア地域が世界全体の 83% を占めており、同社にとって非常に重要な市場であることが分かる。さらに、顧客別に見ると、TSMC が 16%、サムソン電子が 13%、マイクロン・テクノロジーが 11%、インテルが 11% であり、この 4 社で 51% と約半分を占めていることが分かる。この 4 社の世界市場シェアは約 40% (TSMC はダブルカウント) であり、同社は最先端半導体を製造しているこれらの企業を顧客としている²⁶⁾。

さて、2016 年 9 月に、同社は 2019 年度までのイノベーション・リーダーシップ戦略を次のように策定した。ウェーハ製造装置の設備投資は 2012 年の 53% (設備投資額全体に占める割合) から、2016 年には 62% (同) までに増大させる。技術的には、3D NAND, 10nm/7nm 世代のロジックとファウンドリへの投資、材料ベースのパターニングなど複数年を要する投資、また、中国での新工場投資などを重視する。これらは全体として、リソグラフィベースの微細化

から材料ベースの微細化への転換を反映している。言い換えれば、2000年代半ば以降のムーアの法則が通用しなくなってきたことの反映である。特に、これまでの微細化技術から材料技術への技術開発領域の重点の変化は、マテリアル・エンジニアリングを得意とする同社のイノベーション・リーダーシップ戦略にとって、有利な技術状況ともいえる。また、最先端半導体を製造している企業を顧客としているという意味でも、イノベーション・リーダーシップを発揮していると言える²⁷⁾。

(2) ASML

世界2位の半導体製造装置企業であるオランダのASMLの2016年の売上高は67.9億ユーロ、営業利益は16.6億ユーロ、研究開発費は11.1億ユーロであった。同社は露光装置分野で世界シェア約80%を占め、圧倒的な競争力を有している。研究開発拠点はオランダ、米国、台湾にあり、生産拠点はオランダ、米国、台湾、韓国、中国である。装置の地域別売上高は、台湾が16.4億ユーロ（35.9%）、韓国が8.8億ユーロ（19.1%）、米国が6.9億ユーロ（15.1%）、中国が6.0億ユーロ（13.1%）、日本が2.0億ユーロ（4.3%）であった。台湾、韓国、中国で68.1%を占めており、同社にとって東アジア地域が最も重要な市場であることが分かる²⁸⁾。

露光装置別の2016年売上高を見ると、ArF：フッ化アルゴンが34.9億ユーロ（76.3%）、KrF：フッ化クリプトンが5.4億ユーロ（11.9%）、EUVが3.34億ユーロ（7.3%）、ArF Dryが1.3億ユーロ（2.8%）、i-lineが0.8億ユーロ（1.7%）であった。i-lineは波長365nm、KrFは波長248nm、ArFは波長193nmであり、これより短い波長の場合はEUVとなる。顧客が最も多く購入しているのはArFであり、EUVを購入する顧客が現れていることが分かる²⁹⁾。

ASMLのイノベーション戦略は、露光装置の主要部分である光源、レンズ、ステージ、土台をモジュール化およびアウトソーシングして、同社で組立を行うというオープン・イノベーション戦略である。キャノンやニコンの一貫戦略に比して、開発速度と開発費用の調達という両面において優位に立つことが可能となった。また、圧倒的な市場シェアとなった後には、半

表6 ASMLの2016年地域別売上高

地域	売上高	比率
台湾	16.43億ユーロ	35.9%
韓国	8.75億ユーロ	19.1%
アメリカ	6.92億ユーロ	15.1%
中国	5.99億ユーロ	13.1%
日本	1.96億ユーロ	4.3%
その他	5.54億ユーロ	12.1%
合計	45.71億ユーロ	100.0%

表7 ASMLの2016年製品別売上高

製品	売上高	比率
ArF：フッ化アルゴン	34.87億ユーロ	76.3%
KrF：フッ化クリプトン	5.42億ユーロ	11.9%
EUV	3.34億ユーロ	7.3%
ArF Dry	1.30億ユーロ	2.8%
i-line	0.79億ユーロ	1.7%
合計	45.71億ユーロ	100.0%

注) i-lineは波長365nm、KrFは波長248nm、ArFは193nm
出所) ASMLウェブサイト IR資料より作成

出所) ASMLウェブサイト IR資料より作成

導体企業のリスク懸念に対応して、インテル、サムスン電子、TSML などに出資を仰ぎ、独占的地位の乱用懸念を払拭しようとしている³⁰⁾。

(3) 東京エレクトロン

世界 4 位の半導体製造装置企業である日本の東京エレクトロンの 2017 年 3 月期の売上高は 7,997 億円、営業利益は 1,556 億円 (19.5%) であった。同社の売上のうち、半導体製造装置が 7,498 億円で 93.8% を占めており、後は液晶製造装置が 493 億円で 6.2% であった。同社は露光装置を除く前工程および後工程の広範な製品分野を手がけている。地域別売上高は、台湾が 2,259 億円 (30.1%)、韓国が 1,377 億円 (18.4%)、米国が 1,015 億円 (13.5%)、日本が 912 億円 (12.2%)、中国が 906 億円 (12.1%)、欧州が 599 億円 (8.0%) であり、台湾、韓国、日本、中国の東アジア市場で 72.7% を占めており、たいへん重要な市場となっている³¹⁾。

同社の製品市場シェアの高いエッチング装置 (23%)、成膜装置 (59%)、洗浄装置 (20%) の 3 分野は、半導体前工程装置市場の約半分を占めており、半導体製造装置市場で成長を続ける分野において競争力が高い。研究開発費は 839 億円 (売上高比 10.5%)、設備投資額は 207 億円 (同 2.6%) であった。研究開発拠点は日本、韓国、台湾、米国であり、主要市場に拠点を置いていることが分かる³²⁾。

表 8 東京エレクトロンの半導体製造装置の地域別売上高

	2016 年 3 月期決算		2017 年 3 月期決算	
	売上高	比率	売上高	比率
台湾	1,619 億円	27%	2,259 億円	30%
韓国	995 億円	16%	1,377 億円	18%
米国	1,034 億円	17%	1,015 億円	14%
日本	1,162 億円	19%	912 億円	12%
中国	636 億円	10%	906 億円	12%
欧州	510 億円	8%	599 億円	8%
その他	170 億円	3%	428 億円	6%
合計	6,126 億円	100%	7,498 億円	100%

出所) 東京エレクトロン ウェブサイト IR 資料より作成

同社のイノベーション戦略では、3D NAND では一層の多層化、DRAM ではさらなる大容量化、ロジックでは微細化対応のパターニング技術開発などの重点分野を設定している。デバイスの進化としては、EUV が 2020 年代には本格化することを予測し、その技術水準に対応する自社製品技術水準の向上を目指している。すなわち、解像度の向上とともに、多層化が一層進むと見ており、同社の競争力の高い製品分野での対応を急速に進めようとしている。また、NAND フラッシュメモリ市場の拡大が他の製品分野より一層急速と予測であるし、エッチング装置市場の拡大時にさらなる市場シェア拡大が可能となる新製品開発を重視してい

る³³⁾。

おわりに

半導体製造装置市場の競争環境は、短期的にはメモリ市場の拡大によって活況を呈しているものの、シリコンサイクルは今も変わっておらず、どこかの時点で市場の縮小局面がおとずれ。しかしながら、IoT、AIをはじめとするイノベーションによって半導体需要は中長期的には成長市場でありつづけると予測されている。当面、半導体生産は韓国、台湾、中国などの東アジア地域が世界の3分の2以上を占め、半導体製造装置企業もこれに米国を加えた地域にある半導体工場へ製造装置を供給し続けると考えられている。

技術イノベーションとしては、ムーアの法則がもう一度作動するのか、ポストムーア時代に突入するかで、各社の経営戦略およびイノベーション戦略は大きく変わる。現時点では、ムーアの法則がもう一度作動することへの期待が高まっており、各社ともそのことを踏まえた戦略策定を行っている。

アプライド・マテリアルズ、ASML、東京エレクトロンの3社とも明確なイノベーション戦略を有しているが、とりわけ、世界1位のアプライド・マテリアルズはイノベーション・リーダーシップ戦略を標榜し、それに相応しい世界上位の半導体企業を顧客として、製品供給を行っている。こうした最先端半導体を製造する世界上位企業への製品供給自体が、半導体製造装置イノベーションを牽引することを可能にするのである。

<注>

- 1) WSTS ウェブサイト（2017年12月5日閲覧）。
- 2) 日経BP社編 [2015] 30～35頁，日経BP社編 [2017] 24～41頁。
- 3) Christensen., C.M. [1997]，肥塚浩 [1996]。
- 4) WSTS ウェブサイト（2017年12月5日閲覧）。
- 5) 同上。
- 6) 『日本経済新聞』2017年11月28日。
- 7) VLSI Research.com ウェブサイト（2017年12月12日閲覧）。
- 8) SEMI ウェブサイト（2017年12月12日閲覧）。
- 9) 同上。
- 10) Gartner.com ウェブサイト（2017年12月12日閲覧）。
- 11) 同上。
- 12) TSMC ウェブサイト（2017年12月12日閲覧）。
- 13) VLSI Research.com ウェブサイト（2017年12月12日閲覧）。
- 14) 同上。
- 15) Malone., M.S. [2014] p.110.

- 16) *Ibid*, pp.113-114. ムーアの法則には、DRAM の発明者であるロバート・ドナルドが 1974 年に発表したスケーリング則も重要な役割を果たしている。スケーリング則とは、「トランジスタの各寸法を比例的に縮小すると動作速度や消費電力が改善する」というもので、微細化による集積度を高める強い動機となっている。日経 BP 社編 [2015], 36 ~ 37 頁参照。
- 17) 日経 BP 社編 [2015] 30 ~ 31 頁。
- 18) 同上, 32 頁。
- 19) 同上, 33 ~ 34 頁。
- 20) 同上, 34 ~ 35 頁。
- 21) 日経 BP 社編 [2017] 25 ~ 26 頁。
- 22) 同上, 29 頁。
- 23) TSMC ウェブサイト (2017 年 12 月 20 日閲覧)。
- 24) 日経 BP 社編 [2017] 38 ~ 41 頁, ニコン ウェブサイト (2017 年 12 月 20 日閲覧)。
- 25) アプライド・マテリアルズ ウェブサイト (2017 年 12 月 20 日閲覧)。
- 26) 同上。
- 27) 同上。
- 28) ASML ウェブサイト (2017 年 12 月 20 日閲覧)。
- 29) 同上。
- 30) 同上。
- 31) 東京エレクトロン ウェブサイト (2017 年 12 月 20 日閲覧)。
- 32) 同上。
- 33) 同上。

<参考文献>

(日本語)

- 加藤秀雄 [2015] 『外需時代の日本産業と中小企業—半導体製造装置産業と工作機械産業—』新評論
- 岸本千佳司 [2017] 『台湾半導体企業の競争戦略—戦略の進化と能力構築—』日本評論社
- 肥塚浩 [1996] 『現代の半導体企業』ミネルヴァ書房
- 肥塚浩 [2011] 「半導体製造装置産業の現状分析」『立命館経営学』第 49 巻第 5 号
- 日経 BP 社編 [2015] 『日経エレクトロニクス』(2015 年 4 月号), 日経 BP 社
- 日経 BP 社編 [2017] 『日経エレクトロニクス』(2017 年 9 月号), 日経 BP 社
- 和田木哲哉・横山貴子著 / 奥村勝弥監修 [2009] 『徹底解析 半導体製造装置産業』工業調査会
- 吉岡英美 [2010] 『韓国の工業化と半導体産業—世界市場におけるサムスン電子の発展—』有斐閣

(英語)

- Burgelman., R.A. [2002] *Strategy is Destiny-How Strategy-Making Shapes a Company's Future-*, New York, The Free Press. (石橋善一郎・宇田理監訳 (2006) 『インテルの戦略—企業変貌を実現した戦略形成プロセス—』ダイヤモンド社)
- Chesbrough., H. [2003] *Open Innovation The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Boston MA, Harvard Business School Press. (大前恵一朗訳 [2004] 『OPEN』INNOVATION—ハーバード流イノベーション戦略のすべて—』産業能率出版部)
- Christensen., C.M. [1997] *The Innovator's Dilemma*, New York, Harper Collinns Publisher. (玉田俊平太 / 伊豆原弓訳 [2001] 『増補改訂版イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき—』翔泳社)

Malone., M.S. [2014] *the intel trinity*, New York, Harper Collinns Publisher. (土方奈美訳 [2015] 『インテルー世界で最も重要な会社の産業史ー』 文芸春秋)

〈ウェブサイト〉

アプライド・マテリアルズ <http://www.appliedmaterials.com/>

ASML <https://www.asml.com/asml/en/s427>

Gartner.com <https://www.gartner.com/newsroom/>

SEMI <http://www.semi.org/en/>

東京エレクトロン <http://www.tel.co.jp/>

TSMC <http://www.tsmc.com/english/default.htm>

ニコン <http://www.nikon.co.jp/>

VLSI Research.com <http://www.semi.org/en/members/vlsi-research-inc>

WSTS <https://www.wsts.org/>

The competition environment and innovation strategy of the semiconductor equipment enterprise

Hiroshi Koezuka *

Abstract

World semiconductor market and World semiconductor equipment market gave activity in 2017, but that made the memory market the center mainly. East Asia market occupies the overwhelming status. Semiconductor demand is estimated by innovation such as IoT and AI to keep being a grown-up market in medium and long-term. East Asia area in South Korea, Taiwan and China doesn't change into a situation which accounts for more than 2/3 of the world for a while for semiconductor production. It's thought that a semiconductor equipment enterprise also keeps supplying a production unit to the semiconductor factory in the area where USA has been added to East Asia.

A Moore's Law has played the important role innovation of a semiconductor technology. The limit of the empirical rule which is so clarifies from the second half in 2000's, and it's asked about whether this continues. An expectation more Moore's Law's continue rises, and each enterprise is also doing strategy-making subject to this thing in present.

Applied Materials, ASML and Tokyo Electron possess a clear innovation strategy. Applied Materials of the 1st place of world professes an innovation leadership strategy above all, and is doing product supply to a semiconductor enterprise of suitable world dominance. Product supply to the world dominance enterprise which produces such most advanced semiconductor enables that it itself tows semiconductor equipment innovation.

Keywords:

competition environment semiconductor equipment enterprise semiconductor technology
Moore's Law innovation strategy

* Professor, Graduate School of Management, Ritsumeikan University