

Title	製造装置業界の垂直水平競争力分析
Author(s)	若林, 秀樹; 井田, 琢也; 向, 喜一郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 35: 577-582
Issue Date	2020-10-31
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/17317
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

製造装置業界の垂直水平競争力分析

○若林秀樹（東京理科大学大学院経営学研究科技術経営専攻）、
井田琢也（東京理科大学大学院経営学研究科技術経営専攻、芝浦メカトロニクス）、
向喜一郎（SSIS 半導体産業人協会）
wakabayashi.hideki@rs.tus.ac.jp

1. はじめに

なぜ、日本は、半導体産業において、デバイスでは競争力を失ったのに、製造装置では、今なお競争力を維持しているのか。

まずデバイスから考えたい。日本の半導体デバイスのシェアは、90年代半ばには50%近かったが、現在は10%以下だ。この理由に関しては、言い尽くされているが、日経新聞2019年2月17日記事[1]「平成日本、失速の研究、日の丸半導体4つの敗因」の4識者のコメントにあるように、①組織と戦略の不適合(山本高稔 日立等社外取締役)、②経営者の質(坂本幸雄 紫光集団高級副総裁、元エルピーダ)、③強すぎる自前主義(若林秀樹 東京理科大教授)、④技術偏重、マーケティング軽視(東芝OB)、だろう。

シェアに関して、全体ではその通りだが、もう少し細かく見ると、90年代には市場離陸前だったが、この10年で高成長を遂げたCMOSセンサとNANDフラッシュでは、それぞれ、ソニーはトップ、東芝(現キオクシア)が2位で健闘している。全体でシェアを下げたのは、2000年以降、主流となったファブレス/ファンドリ企業の存在感がないからだとわかる。

その上で、半導体製造装置について、言及すると、2000年以降、一時シェアは低下したが、その後、和田木が予想したように回復した[2]。個々に見ると、露光機ではニコンが大きくシェアを落とし、またシステムLSIに重要なCVDやスパッタはAMAT、エッチャでLam、検査ではKLAが強い。しかし、拡散では旧日立国際、洗浄はスクリーン、テストはアドバンテスト、ダイサーではディスコの他、全体的にも、TELは複数トップ等、上位で健闘し、ベスト10に日本勢が不在のデバイスとは対照的だ。

2. 先行研究

そもそも、半導体関連の先行研究において、デバイスについては、アカデミック、アナリストも含め、数多い。製造装置については、アナリスト等のレポートは、業界全体も個別企業についても、数多いが、アカデミックは小数に留まり(92年肥塚浩など[3])、近年は殆どない。また、アナリストレポート等も、デバイスと製造装置を比較しながら、競争の優劣の要因に関して構造的に述べたものは少ない。

競争力の議論では、ニコンや露光機に関する研究は多く、ニコンが高シェア時代には、アカデミック論文では、摺合せ/モジュラーのアーキテクチャ論から、露光機は、日本が得意とする摺合せ型ゆえに強いと語られてきたが[4]、シェアをASMLに奪われ、その前提が崩れてからは、オープンイノベーションの導入遅れ、モジュール方式遅れが敗因という指摘が多い。ニコンの岡CFO(当時)も、ブラックボックス/クローズド型だったことを理由に挙げている[5]。ただ、2015年前後、関係者にヒヤリングしたところ、アナリストの間でも、ニコンの社内でさえ、見解は分かれ、経営者責任、マーケティングの問題、技術の過度な重視など多様だった。

筆者は、多くの種類がある装置の中で、露光機だけが、市場台数で一桁減り、単価が一桁増えたことから、経営重心も変化し、アーキテクチャも変わり、モジュール化と共に、オープンイノベーションが必須となったが、この変化への対応が遅れたことが真因だと考えている。

日本の製造装置全体の競争力に関しては、和田木等アナリストレポート以外は、少なく、2000年代前半に、DBJや湯之上の研究[6]がある。ここでは、要は日本のデバイスが強かったから強かったのであり、将来に関しては、やや慎重であった。

湯之上については、デバイスについても過剰品質論[7]を展開していたが、装置についても同様であった。しかしながら、2010年頃が日本の装置シェアは最低で、この後、シェアは回復しており、アナリストレポート(和田木[2])の指摘の通りである。

さらに、TEL 常石会長の「ナンバーワンの会社同士の連携・中略・開発する技術の中には多くの装置で使える共通技術や要素技術がある」[8] や、SEMI 会長の指摘 [9]「サプライチェーンが川上の部品やサブシステムのサプライヤーへと続いており、ここでも日本企業は大きなシェアを握っています。例えば、ドライポンプ、マスフローコントローラ、ガス除害装置といったガス系の重要部品/サブシステムで日本企業は高いシェアを持って」が正鵠を射ている。また、長年に亘って構築してきた世界中の拠点等のメンテ・サービス体制の存在も大きいだろう。

そこで、ここでは、デバイスと製造装置を比較しながら、同じような技術分野にも関わらず、なぜ、前者は競争力を失い、後者は維持しているのかに関して、業界構造の分析を試みる。

3. 装置の競争力の源泉

3.1 業界外競争力と業界内競争力

通常、競争力に関しては、特定の業界に関して、シェア等で語られる場合は多い。しかしながら、ポーターの 5F が示すように、隣接するユーザーやサプライヤー等の業界との緊張関係もある。その中で、ユーザーにせよ、サプライヤーにせよ、当該業界が複数の業界に依存している場合には、業界外との競争関係は大きくないが、半導体製造装置のように、デバイス業界に依存している場合には、デバイスと装置の競争関係が大きく、企業規模やそれぞれの寡占度から、単なる下請け関係でもない。

すなわち、デバイス業界の競争状態と装置の競争状態を比較した場合に、前者の方が後者よりシェアは分散かつ変動が激しく、後者の方が上位集中度は高く変動は少ないが、この状況は、業界外競争において、装置の方が強いと言えるのではないか。これは、例えばデバイスの MPU とユーザーである PC との関係でも同様であり、PC 業界の方が市場は大きくユーザーではあるが、競争過多で利幅も少ないが、MPU ではインテルが支配(インテル inside、プラットフォームともいえる)、サプライヤーであるデバイス側が業界外競争優位であるのと同様だ。サプライチェーンの上位にある業界がサプライヤーを支配する場合は、ケーレツの下請け構造、逆に下位にある業界が支配する場合は、プラットフォーム構造とも言えるが、これは、それぞれの業界の競争状況でも変わる可能性もあるだろう。

3.2 装置の競争状況は多様で密接

製造装置の競争状況は、(1)デバイスメーカーと装置業界全体との関係、(2)デバイスメーカーと個々の装置メーカーの関係、(3)装置業界での個々のメーカー同士の関係、(4)当該個別の装置業界でのシェア状況、(5)装置と装置部品や材料、などがあり、複雑かつ密接である。

図表 1 半導体関連業界の業界外競争力(デバイス vs 装置)と業界内競争力(各装置間) 出所:若林 2020



しかしながら、多くの先行研究、特に、アカデミック側からは、上記(4)の通常のシェアと競争からの視点が中心である。実際には、デバイスメーカーとの関係や、各工程でのイノベーションなどに影響され、装置間のシェア争いがあり、毎年、あるいはシリコンサイクルで、工程間シェアは変動する。

さらに、それぞれの工程の構成比は、多くとも 20%以下である。これに対し、各工程の装置市場シェアはトップ 80%以上が多く、中期でも、固定的となっている場合が多い(露光機のような逆転は珍しい)。

3.3 価値配分の決まり方に二種類

すなわち、ここでの論点は、全体の設備投資あるいは装置への価値配分が決まってから、各工程の配分が決まるのか、あるいは各工程の設備投資が決まっており、その後で、その合計として、全体の設備投資が決まるのか、である。

先行研究などの分類でも指摘され、各社も公言しているが、装置メーカーには、工程全体を手掛けようという AMAT や TEL(前工程総合型)と、個別の装置で高いシェアを持つ、スクリーン(旧 DNS)、ディスコ、アドバンテスト(個別ニッチ型)がある。

図表 2 装置には、隣接上下工程依存度と工程繰り返し回数で、統合型と個別型がある 出所:若林 2020

	中身	工程繰り返し	技術	総合型	個別型
前工程	フロントエンド	同じ工程を何度も繰り返す	露光以外は、化学、	TEL、	ASML、ニコン、日新電、
	バックエンド	プラットフォーム化進む	反応プロセス	AMAT	スクリーン
後工程	テスト、切断、組立	工程繰り返しが1回程度	メカトロが多い		アドバンテスト、ディスコ

前工程は、更に、半導体素子を形成する基板工程(フロントエンド)、配線工程(バックエンド)があり、前者は、拡散炉、インプラなど、やや個別性が強いものと、スパッタ、CVD、エッチなど、隣接工程と密接に関係し、前工程総合型が強い分野に分けられる。また、前工程では、同じ工程を何度も、繰り返すことが特徴であり、物性、反応化学などの技術をベースとし、隣接する上下流工程の依存性が強い。

このため、特に、配線工程が多いロジック半導体では、よりプラットフォーム化が進み、かつては、インテル、近年は TSMC が、ロードマップの上で、プロセス開発を、装置メーカーと共に進め、共通化、標準化が進んでいる。その中で、AMAT が日立国際の装置部門を統合、個別ニッチ型から、前工程総合型に更に進んでいる。前工程の中で、総合型でないのは、やや技術も異なり、装置の大きさや価格も異なる露光機と、スクリーンが健闘する洗浄関係くらいだ。後工程では、工程繰り返しは1回程度であり、切断、テスト、組立と分かれ、全体はこれまでは、プラットフォーム化されていない。そのためか、それぞれの工程で個別ニッチ高シェアであり、組立を除き、日本メーカーが強い。

こうした物性、化学反応、メカトロといった技術要素は、韓国台湾や中国よりも、日米が優位であり、装置の部品も先進国からの調達が多い。技術では、日本はエレクトロニクスだけでなく、機械、光学、化学、材料など幅広い分野に人材が展開、欧米も、基礎科学に人材が厚い。これに対し、過去は、サムスンなど韓国、台湾もエレクトロニクスに集中し、化学や材料、機械は、リソースが薄かった。

こうした状況から、半導体工程といっても、前工程と後工程は大きく異なり、対デバイスメーカーとの関係も含め、競争条件や価値配分も異なる。

図表 3 装置の基盤技術と繰り返し回数 出所：若林 2020

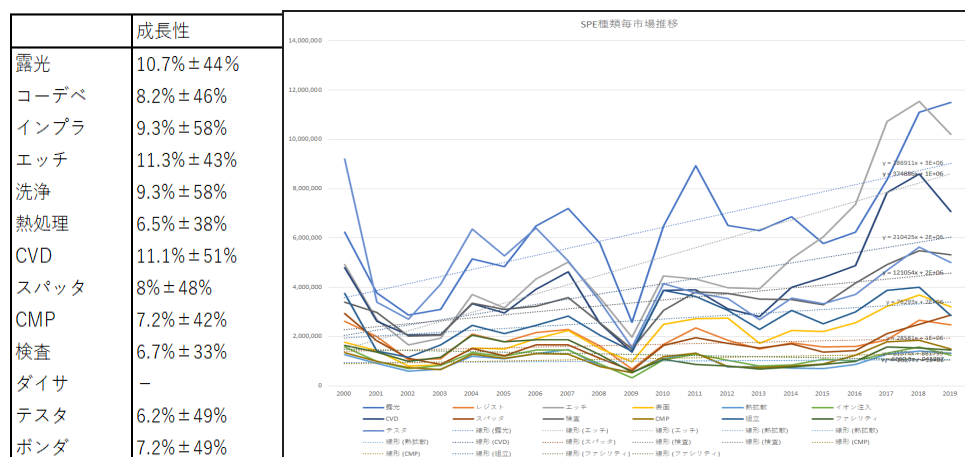
	ソフト ソフト	電子回路 IC	駆動 メカトロ	物理化学反応 炉など	流体(排水、冷却) 配管、管	繰り返し回数
露光	○	○	○	×	△	多数
コーデベ	△	△	△	△	○	多数
インプラ	△	△	△	○	△	数回
エッチ	△	△	△	○	○	多数
洗浄	△	△	△	△	○	多数
熱処理	△	△	△	○	△	多数
CVD	△	△	△	○	△	多数
スパッタ	△	△	△	○	△	多数
CMP	△	△	○	△	○	数回
検査	○	○	○	×	×	多数
ダイサ	○	○	○	×	△	1回
テスト	○	○	△	×	×	2回
ボンダ	○	○	○	×	×	1-2回

4. 競争力の検証手法

4.1 各工程の成長性とボラ(ボラティリティ)からの評価

ファンドや事業を評価する尺度として、リターンだけでなく、その安定性も考慮したシャープレシオがあるが、シャープレシオで使われている、分子をリターン、分母で標準偏差の代りに、分子を成長率平均、分母を標準偏差として、各工程の価値を評価する。事業にとって、成長性や収益性が高いことは重要だが、同時に、標準偏差＝ボラが低く安定していることも重要であり、これを指標としている。

図表4 装置の成長性とボラ 出所：SEMI データベースに和田木氏レポートを元に若林作成



装置事業にとって、シリコンサイクルの中で、成長性も勿論だが、そのボラが低いことは、市況が厳しい場合でもデバイスメーカーが発注する製品であり、価値訴求が高いといえる。2000 年以降の装置工程別の成長率の平均と標準偏差では、平均成長率が 10%を超えているのは、露光機、エッチ、CVD だが、そのボラは CVD が高く、エッチが低く、重要であったことがわかる。ボラが低いのは検査装置であり、これも安定的に不可欠な装置であるといえる。成長性では、検査とテスタは 6%台だが、テスタのボラが高く、デバイスの市況性に左右されやすいともいえる。

4.2 装置のボラの評価

装置市場の中で、構成比が安定的で、毎年のボラも低いものは、デバイスメーカーにとって重要である。構成比、実金額のボラが高いものは、シリコンサイクルに振られやすく、価値訴求が弱いのではない。この考えのもとで、2000 年以降の毎年の傾向を見ると、双方のボラが低いのは、検査機、組立、実金額ボラは高いが構成比ボラが小さいのは、CVD、スパッタ、洗浄、実金額ボラが低く、構成比ボラが高いのはコーデベ、熱拡散、インプラという前工程でフロントエンド系、両方のボラが高いのは露光機とテスタであった。

金額ボラは、よりシリコンサイクルの影響が大きく、構成比ボラは、デバイスメーカーから見た工程間の優先度合からくる。露光機は、かつては、配線パターン微細加工が最重要とリソグラフィに依存しており、優先度が高かっただろうが、近年は、配線も複数の工程による微細化や、優先度合が低下している。メモリでは、NAND が 3D 化の対応、ロジックでは、多層配線が進み、バックエンドの配線工程に必要な CVD やスパッタを優先する傾向だろう。それゆえ、シリコンサイクルの底でも、一定の割合を維持し、シリコンサイクルの上昇局面では、金額も増えるため、実金額ボラは高くなる。

4.3 業界外競争と業界内競争(工程内)

成長性の平均値とボラ、工程構成比ボラと工程実額ボラから、価値訴求において、デバイスメーカーにも強く、装置業界内でも強いのは、検査、スパッタ、CMP であり、両方とも弱いのはテスタである。

図表5 業界外競争(対デバイス)と業界内(工程内)競争 工程別金額ボラと構成比ボラ 出所若林 2020

		業界外競争(対デバイスメーカー)	
		強	弱
業界内競争 (工程内)	強	検査	露光
		スパッタ	コーデベ
		CMP	
	弱	CVD	テスタ
		組立	

		工程別装置金額ボラ	
		小	大
工程別装置 構成比ボラ	小	検査	CVD
			スパッタ
		組立	CMP 洗浄
	大	コーデベ	露光
		熱拡散	テスタ
		インプラ	

サプライチェーンの業界外であるデバイス側にも強く、業界内、工程内でも強い検査、スパッタ、CMP だが、いずれも、米系であり、KLA、AMAT である。特に、AMAT は、前工程のバックエンド中心に、M&A も含め、工程を一気通貫支配するプラットフォームとなり、よりデバイスメーカーや隣接する上下流工程の装置メーカーへの競争力を高めている。TEL も AMAT 同様に、前工程で総合化を進めているが、フロントエンドが中心であり、工程毎には分断され、一気通貫となっておらず、そこを前工程でニッチプレーヤーに奪われている。

幻の統合となったが、もし AMAT と TEL が一緒になっていれば、前工程全体が一気通貫で提供できるプラットフォームであり、デバイスメーカーには脅威であった。また、他の装置メーカーも、一部、露光機や検査があっても、点と点であり、繋がりがなく、個別撃破されることになる。この繋がりが一気通貫の強さは、単純に、前工程全体のシェアや、個々の工程シェア以上のものがあり、さらに、下のレイヤーの部品や薬液メーカーへの支配力を高めるだろう。

4.4 装置メーカーの競争優位

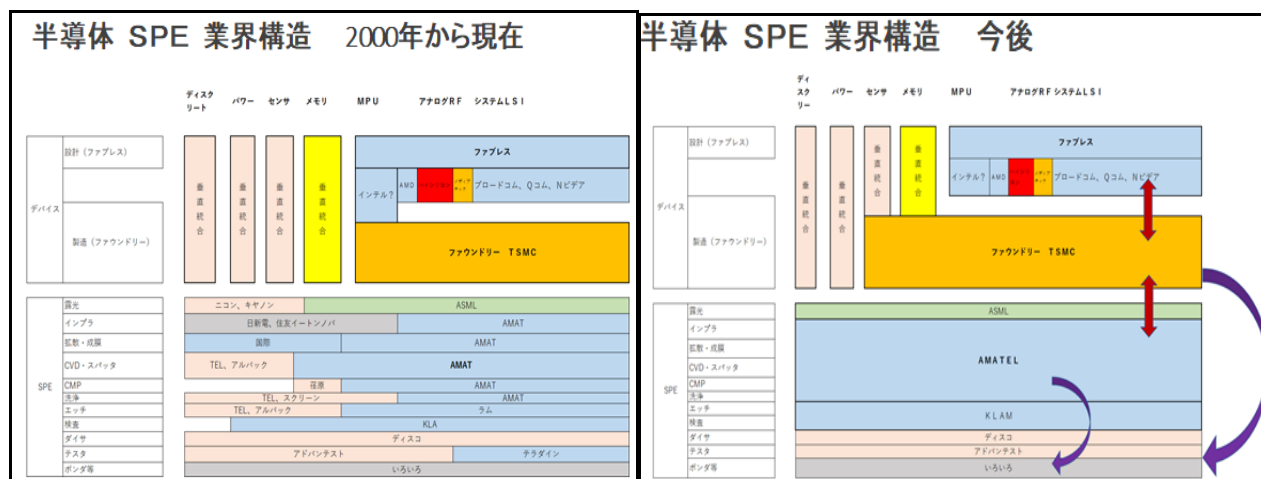
デバイスメーカーと異なり、装置メーカーで日米欧が高シェアを維持している理由は、第一に、前工程では、AMAT や TEL が、工程内での一気通貫による価値訴求力を高め、第二に、要素技術が、物性や化学など、台湾韓国中国が弱いものが多いからであろう。また、日本が優位な背景は、TEL 以外では、スクリーンに見られるように、一気通貫が十分でない工程で、化学や流体などの要素技術の強み、サプライヤーとの関係によるところが大きいだろう。

5. 考察

日本の製造装置が競争力を維持している理由は、既に指摘されているトップメーカー同士の連携やサプライチェーンだけでなく、特に前工程で見られる工程繰り返し等、隣接工程間の相互依存性や、デバイス等との業界外競争や業界内競争(主として工程同士)の複雑な関係性にある。通常は業界シェアとは、工程毎の各社のシェアとなり、そこでは寡占度合いが進んでいるが、それよりも、工程間構成比や工程同士の深く密な関係性、その中での装置全体でのシェアや、ユーザーであるデバイス側への装置業界全体の寡占度合いによる競争優位性が重要だろう。

デバイスと装置業界の関係は、過去 30 年、それぞれの業界構造が変わる中でも変化してきた。図表 6 に業界の競争状態の変化を示す(なお、シェアはイメージ、簡略化している、ピンクは日本勢、青は米)。

図表 6 半導体と SPE 業界構造 2000 年から現在、今後 出所：若林 2020



90 年代までは、ディスクリート、メモリ、MPU といった、品種によらず、デバイスは設計も製造も一気通貫の垂直統合モデルであり、装置では、日本が強いメモリなど中心に、ニコンや TEL などが優勢であった。システム LSI でも、ファブレス/ファウンドリモデルはまだ小さかった。90 年代後半から、特に、IT バブル崩壊後の 2000 年以降は、一変し、ファブレス/ファンドリモデルが進むが、ディスクリートやパワー、メモリは垂直統合が中心である。

今後は、大きな流れでは、デバイスでは、TSMC の存在、装置では、AMAT の存在がより大きくなり、プラットフォーム的存在にもなりつつある。

AMAT と TEL の幻の経営統合も、実務的には、個々の装置でのシェアを議論されていたが、本来は、前工程全体を議論すべきだったろうが、もし、実現していれば、装置業界全体を支配されるだけでなく、デバイス業界の立場が不利になるため、デバイス側が反対したのだろう。逆説的にいえば、前工程で、洗浄やコーデベ等で、日本メーカーが健闘しているのは、こうしたデバイス側が、AMAT 寡占を嫌っているため、あるいは、デバイス側と装置側のパワーゲームの中で、微妙な応力バランスの隙地がある(強国同士の争いの中で、バランスの中で小国が生きている)状態かもしれない。

6. おわりに

半導体関連業界で、デバイスでは日本がシェアを低下させているのに、製造装置ではなお競争力を維持している背景として、業界関係者から指摘されているトップメーカー同士の連携やサプライチェーン関係力を工程間の相互依存関係性等から論じ、さらに、業界外競争優位と業界内競争力を検証するため、金融分野で知られているシャープレシオの概念を適用し、定量的に評価した。ここから、日本の装置の競争力維持は、デバイス側と装置側が、お互いに、相手業界の寡占化を回避するためコントロールしようとするパワーバランス、装置内でのパワーバランスの可能性を指摘した。

参考文献

- [1] 日経新聞編集委員西条氏 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO41242510T10C19A2TJC000/>
- [2] 和田木哲哉アナリスト(野村證券)レポート「半導体製造装置の基礎」：2016 年 11 月
- [3] 肥塚浩「日本半導体製造装置産業の分析」1992 年 http://ritsumeikeizai.koj.jp/koj_pdfs/41104.pdf
- [4] 湯之上 <https://xtech.nikkei.com/dm/article/COLUMN/20060522/117316/>
- [5] ニコン元 CFO <https://www.okatai.com/blog/2016/11/08/nikon-jimae-syuuchaku-urame-difference-with-asml/>
- [6] 湯之上 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamsjsaam/14/0/14_75/_pdf/-char/ja
- [7] 湯之上 https://yunogami.net/ej_src/984/EJ09%E5%B9%B48%E6%9C%88%E5%8F%B7.pdf
- [8] TEL 常石会長 2018 日経 BP <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00134/103000176/?P=3>
- [9] SEMI ジャパン浜島会長 2018 日経 BP <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00010/00001/>