

Title	半導体装置ビジネスにおける価値形成過程
Author(s)	菊池, 勉; 若林, 秀樹
Citation	年次学術大会講演要旨集, 37: 407-411
Issue Date	2022-10-29
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/18612
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

半導体装置ビジネスにおける価値形成過程

○菊池 勉（東京理科大学経営学研究科技術経営専攻），
若林 秀樹（東京理科大学経営学研究科技術経営専攻）
8821207@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

半導体製造装置の価値は、どのような過程を経て形成されるのか。

半導体製造装置は、ロジックやメモリに代表される半導体デバイス製造を担う装置であり、半導体製造に欠かせない存在である。

半導体産業は、デバイス回路パターンの微細化、高集積化と共に大きく成長を遂げ[1]、現在の市場は、約6,500億ドル規模であり、デジタル時代を牽引する存在である。この流れに乗り、半導体製造装置の市場も、前工程向け装置で910億ドル規模(2021年)であり、2022年は2019年の約2倍の約1,050億ドルになるとみられ、この先も大きく伸びると予測されている(図表1参照)[2]。

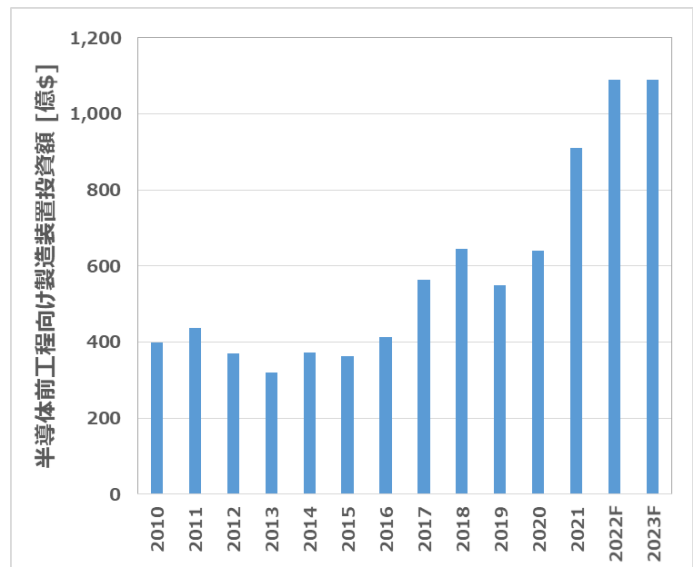
この市場において日本の半導体製造装置メーカーは高い競争力をほこり[3]、存在感を示している。例えば、コーター・デベロッパや熱処理装置など複数装置を手掛ける東京エレクトロン(TEL)や、ウェット処理装置を手掛けるSCREENホールディングス(SCREEN)が、世界シェアトップに君臨していることが一例である。多くの製品で機能の均質化が進み、機能や性能に紐づくモノの価値だけの差別化が困難となる中で、競争力を維持している点が非常に興味深い。この理由を探ることで、半導体製造装置の価値がどのような過程で、形成されるのかを明らかにできると考える。更には、強いモノづくりを実現する為の示唆も得られると考える。

2. 先行研究

半導体業界に関する研究は、多数存在する。しかし、デバイスに関するものが大半を占める。半導体製造装置に関する文献として、肥塚による研究[4]や、若林らの研究や書籍[5]、[6]、井田らの研究[7]などが存在する。肥塚は、製造装置メーカー同士の関係と、製造装置メーカーとデバイスメーカーの関係という視点から、製造装置産業の成り立ちと競争力について記している。若林らの研究では、業界外競争(装置 vs デバイス)と業界内競争(装置 vs 装置)について、定量評価を元に論考している。更に、半導体製造前工程の複雑な繰り返し、装置競争力に影響していることを指摘している。また、井田らの研究では、ボンダー(半導体後工程向け装置)を例に、価値を技術価値(物理的な単位があるもの)と、非技術価値(物理的な単位が無いもの)に分類し、装置競争力の源泉となる価値の所在を明らかにしている。

商品やサービスの価値形成に、サービスや商品を作るプロセスや、顧客やステークホルダーとの関係、物語(ストーリーやナラティブ)が影響することを記した文献[8]、[9]がある。これらの文献では、半導体製造装置のような、B2B製品に関する記載は少ないと共に、事例に基づく定性的な内容にとどまり、定量的な考察については限定的である。

半導体製造装置に関する先行研究では、装置の競争力や、価値に関する論考はされているが、装置の価値が創られる過程に関する内容が十分ではない。一方、製品の価値形成過程に関する研究では、半導



図表1 半導体前工程向け装置の市場規模推移

出所：SEMI 発表 Data をもとに筆者作成(2022年)

体製造装置を対象としたものは見当たらない。そこで、本稿では半導体製造装置の価値形成の仕組みや過程を、結果としてのモノからではなく、ユーザーとの相互作用や、エコシステム形成過程などの繋がりが、ナラティブに注目した視点と、定量データを用いての解明を試みる。

3. 半導体製造前工程と仮説

半導体デバイス製造前工程は、非常に複雑で、多くの繰り返し工程が存在する。世界最大の専業半導体ファウンドリである、台湾積体回路製造股份有限公司(TSMC)が製造する、先端ロジック(N7)における前工程数は、約900にも及ぶと想定される[10]。

半導体製造前工程は、ウェット処理、成膜・熱処理、CMP、露光、コーター・デベロッパ、エッチングの概略6工程に大別できる。工程は、成膜・熱処理⇒露光⇒コーター・デベロッパ⇒エッチング⇒ウェット処理の5工程を1サイクルとし、数十回以上に及ぶ繰り返しが主軸とし、ジョブショップ方式で進む。

図表2に大別した工程間での処理の流れと、各工程に参入している主要装置メーカ(シェア上位2~3社)を示す。ウェハの流れを矢印で記したが、複雑な工程間の関係や、繰り返し工程が特徴的であることが理解できるであろう。比較として、半導体後工程の例を示すと、工程数は約10で、ダイシング⇒マウンティング⇒ボンディング⇒モールド・と、一方向にワークが流れるジョブフロー方式であり、繰り返しが無い[11]。また、繰り返しが存在する製造工程として、液晶製造が挙げられるが、繰り返し回数多くても十数回程度であり、半導体前工程に比べ少ない。

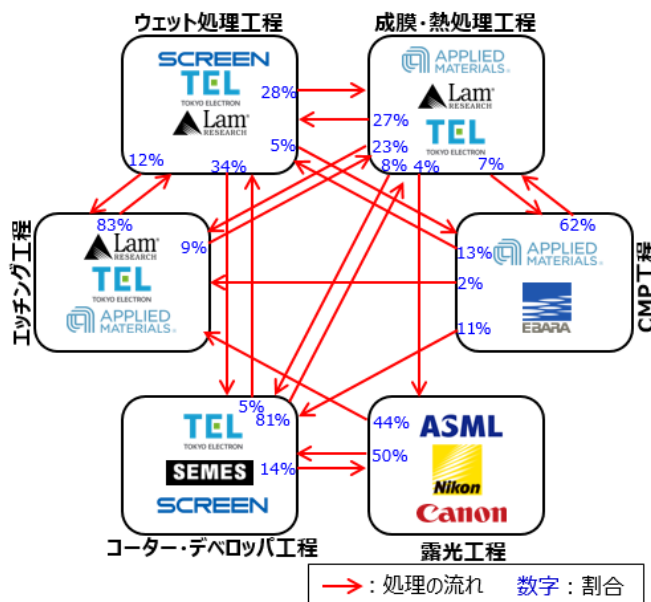
図表2に示した通り、主要装置メーカは、日本のメーカが5社(TEL、SCREEN、荏原、ニコン、キヤノン)、アメリカが2社(APPLIED MATERIALS、Lam RESEARCH)、ヨーロッパ(ASML)と韓国(SEMES)が1社となっている。特徴的なのはTELが4工程、APPLIEDとLamが3工程でシェア上位3社に入っていることである。

半導体前工程向け製造装置(露光工程の装置を除く)は、数億円から数十億円の価格帯にある。価格帯から分かるように、製造装置は大きなシステムであり、顧客工場内で稼働開始するまでに、多くのステップが存在する。装置メーカの立場からみた代表的なステップは、引き合い、仕様整合、価格決定、装置製造、据付け、調整/立ち上げ等が挙げられる。これらステップの中には、顧客とのやり取りの中で進むものが多く存在している。また、装置稼働後も定期的なメンテナンス作業が発生することが多く、顧客敷地内にメンテナンス人員などのサービス部隊が常駐するケースも存在する。このように、装置メーカと顧客の関係性は強いと共に、重要な位置づけとなっている。

工程が複雑に絡みあう半導体前工程では、繋がりが装置の価値を決定する要因になっているのではないだろうか。特に工程や装置間の繋がりが、人間の繋がりが、情報の繋がりを生むと共に、ナラティブが生まれ、装置の価値向上に寄与しているのではないだろうか。

4. 検証方法

工程間の繋がりが装置の価値向上に寄与しているかについて、工程の繋がりと、装置メーカ各社の経営数値の間に相関があるか調査を行った。工程の繋がりについては、図表2に記したTSMCのロジック(N7)工程をベースとした。他工程との繋がりが小さく、前工程の中では特殊な工程となる露光工程は、本研究の検証対象から除外した。経営数値は、有価証券報告書や決算発表資料等の公開資料から収集した値とした。



図表2 各工程間でのフローと代表プレイヤー
出所: Tech-Insight TSMC N7 想定フロー、野村証券発行のシェアデータをもとに筆者作成(2022年)

人の繋がりが装置の価値向上に寄与しているかについては、半導体前工程、後工程向け装置を手掛ける、国内装置メーカを調査対象とした。調査内容は、各社の経営数値と、各社が日経新聞を通じて公表している、2011年4月～2022年3月までの人事異動発令とした。人事異動発令を、日経新聞の記事から抽出し、データベース化し検証に用いた。日経新聞で公表される人事異動発令は、各社様々な公表基準を元にしていないと考えるが、各社が公表したデータとして一律の取り扱いとした。

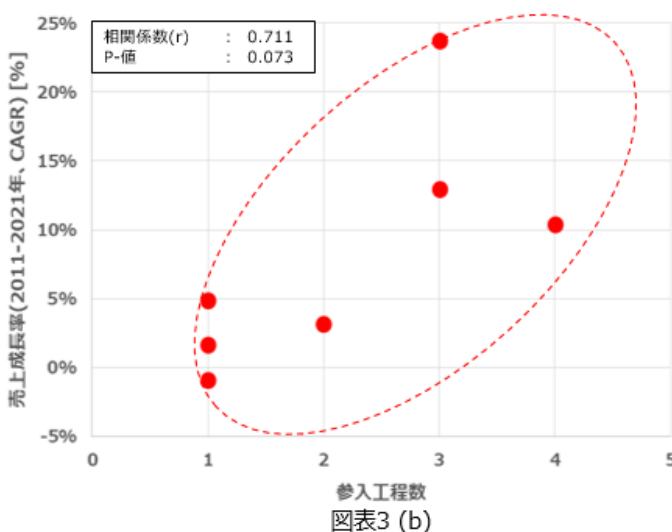
5. 検証結果

5-1. 工程間の繋がりの製造装置価値向上への寄与

前工程向け製造装置を販売している日本装置メーカ、海外装置メーカの中から主要7社を対象に調査を実施した。参入工程数は、各社HPや決算資料、証券会社の調査データ等を元とした。TELが4工程、APPLIEDとLamが3工程と、複数工程に参入している(図表3(a)参照)。

各社の参入工程数と、売上成長率(CAGR、2011年4月～2021年3月)の関係を、図表3(b)に示す。参入工程数と売上成長率は、正の相関があり(相関係数:0.71)、参入工程数が多い企業ほど、成長率が高い結果となっている。

図表3(a)	工程					参入工程数	平均売上成長率 (CAGR) [%] 2012～2021年度
	ウエット処理	成膜・熱処理	CMP	コーター・テパロツバ	エッチング		
TEL	○	○		○	○	4	10%
SCREEN	○			○		2	3%
荏原製作所			○			1	5%
芝浦メカトロニクス	○					1	2%
アルバック		○				1	-1%
APPLIED		○	○		○	3	13%
Lam	○	○			○	3	24%



図表3(a)

図表3(b)

図表3 各社の参入工程数と売上成長率の関係

出所：各社HP、決算発表資料などデータをもとに筆者作成(2022年)

5-2. 人の繋がりの製造装置価値向上への寄与

人の繋がりを示す指標として、人事交流度を定義した。人事交流度は、全人事異動発令に対する、営業部門から開発・技術部門、または、開発・技術部門から営業部門への異動発令の割合とした(式1参照)。本定義においては、営業、開発・技術部門は、組織、部門名に含まれる単語を元に分類した。営業、セールス、マーケティングが含まれる部門を営業部門、開発、研究、設計、技術が含まれる部門を、開発・技術部門とした。

$$\text{人事交流度} = \frac{\text{営業部門} \leftrightarrow \text{開発・技術部門間での発令}}{\text{人事異動発令数}} \dots\dots(式1)$$

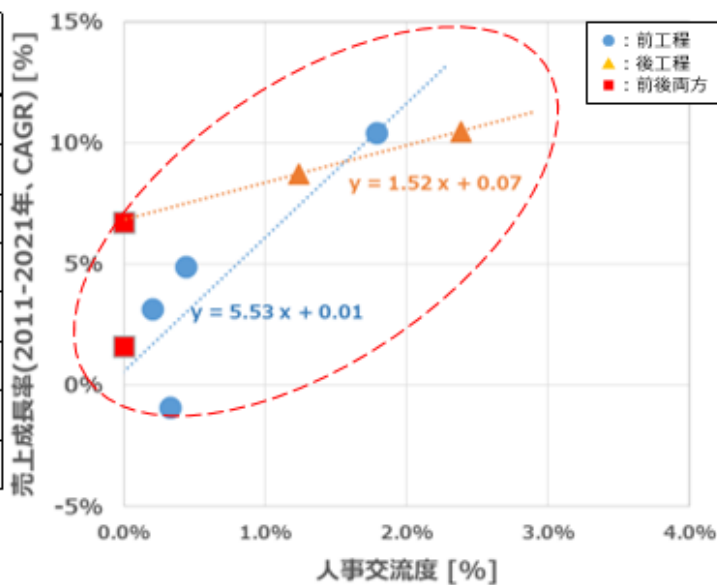
前工程向に参入している4社、後工程に参入している2社、前後工程両方を手掛ける2社を対象に調査を実施した(図表4(a)参照)。人事交流度と売上成長率(CAGR、2011年4月から2021年3月)の関係を、図表4(b)に示す。全体的に人事交流度と売上成長率は、正の相関(相関係数:約0.6)がある。また、図表4(c)に、対象データを変えた場合の傾きと相関係数、P値を示す。各々の傾きに注目した場合、全データでの傾き(3.7)に対して、前工程のみの傾き(約5.3)が大きく、後工程のみの傾き(約1.5)が最も小さい結果である。

サンプル数が少なく、信頼性確保の為に、さらなるデータの追加は必要であるが、全体で見た時に相関係数が 0.6 程度で一定の相関が認められること、前工程、後工程のみの傾きを比較した場合と、前後工程両方に参入しているメーカーを加えて比較した場合の関係が、前工程>後工程となり一致することから、一定の確からしさは有るものと判断している。

		人事交流度 [%]	平均売上成長率 (CAGR) [%] 2012~2021年度
前工程	TEL	1.8%	10.4%
	SCREEN	0.2%	3.1%
	荏原製作所	0.4%	4.9%
	アルバック	0.3%	-0.9%
後工程	ディスコ	1.2%	8.7%
	アドバンテスト	2.4%	10.5%
両方	芝浦メカトロクス	0.0%	1.6%
	東京精密	0.0%	6.7%

他業界人事交流度代表例
東京電力：0.0%
JR東日本：0.2%

図表4 (a)



図表4 (b)

対象データ	傾き	相関係数 (r)	P値
全データ	3.70	0.604	0.113
前工程のみ	5.53	0.869	0.131
後工程のみ	1.52	1.000	—
前工程+両方	4.07	0.448	0.373
後工程+両方	2.75	0.464	0.536

図表4 (c)

図表4 人事交流度と売上成長率の関係

出所：日経新聞、決算発表資料などのデータをもとに筆者作成(2022年)

6. 考察

半導体前工程では、参入工程数が多いほど、売上成長率が高い結果となった。各々の工程の繋がり強さが異なる為、ばらつきは発生するが、参入工程数は繋がり強さの強さと同意と捉えることができる。参入工程数が多い TEL に着目すると、3章に記した、前工程主要繰り返し5工程のうち、4工程に参入している。4工程には、特に関係性の強い、エッチング、ウェット処理と成膜・熱処理が含まれていることがわかる。エッチングとウェット処理の強い繋がり、ウェット処理と成膜・熱処理工程の強い繋がり、装置競争力の向上に活かしているのではないだろうか。

例えば、前後工程が与える影響を把握し、前後工程との関係の中で、自工程に要求される機能や性能を具現化する。これにより、装置の性能や機能が、顧客のニーズとマッチし高い競争力を示す。このように考えると、工程の繋がり、情報の繋がりを生み、競争力の源泉となると考察できる。更に加えるのであれば、情報の繋がり、開発のスピード、正確性にも影響する。正確性やスピードは、顧客からの信頼獲得や、顧客の安心感を生む。安心、信頼等の顧客情緒的価値向上は、装置メーカーとしての評価を高めると共に、装置の価値を高めることにも影響していると考えられる。

人事交流度が、半導体前工程、後工程向け装置メーカーの両方において成長に影響していることが分かった。ここではまず、人事交流度の絶対値についてふれる。代表的な人事交流度は、東京電力で0.0%、JR東日本で0.2%であり、図表4に示した半導体製造装置業界の1%以上の人事交流度は大きいと言える。人事交流度は、メーカー内における営業と技術部門間の、人員ローテーションを示す指標である。このことから、人員ローテーションが装置の価値を高めていると捉えられる。人員ローテーションにより、技

術的な知識を備えた人員が営業活動を行うことになる。これは、顧客満足度の向上や、顧客に提供する情報、顧客から入手する情報の量、精度の向上に寄与する。また、営業から技術・開発への異動により、顧客ニーズを把握した人員が、技術活動に参画することになる。これにより、顧客要求をタイムリーに製品に反映できる効果があると考えられる。

人事交流度が成長に与える影響を、前工程と後工程で比較すると、前工程での影響が大きい。これは、前工程と後工程における、情報影響範囲の違いと捉えると納得がいく。前工程では、前後工程を含めて様々な工程と繋がっており、装置の価値向上には、多方面からの多様な情報が必要である。人事ローテーションは情報量、精度の向上をもたらす為、前工程で大きな効果を生み出したと捉えられる。前工程と後工程の装置規模の違い、プロセス装置であるかの違い等の影響も含まれていると考えるが、人事交流が、新たな情報の繋がりを生み、装置の価値向上に影響していることを示す結果であると言える。

また、人事交流度と売上成長の因果関係についてふれる。ここまでは、人事交流をすることで、売り上げが伸びることについて論考した。一方、逆の関係である、売上が成長したから人事交流度が高くなったと、考えることができるだろうか。各社の企業規模と人事交流度に相関がなさそうであることや、図表4に示した、前工程と後工程の傾きの違いが、これを否定する要素であると考えている。

人の繋がりについては、日経新聞を通じて公開された、人事異動発令を元としている。公開の考え方は、各社各様であると共に、調査を行った期間中に、公開基準や、公開決定プロセスに変更があった可能性も否定できない。また、各社で公開範囲の違いも存在しているだろう。これらの違いも含めて、結果として公開された件数と捉えると、人事異動のデータではあるが、企業の文化や体質を示す一つの指標と、大きく捉えることもできるのではないだろうか。本稿の中で定義した、人事交流度は、企業の文化や体質を示す一つの指標であり、企業成長は文化や体質と密接に関わっていることを示しているとも言える。

装置価値向上の過程を、工程の繋がりを、人の繋がりを起点として論考した。装置価値向上は、工程の繋がりを、人の繋がりが起点となり、情報の繋がりを生み、装置の価値が向上する流れである。更に、繋がりは、安心や信頼等の情緒的価値向上にも働き、装置の価値向上プロセスに少なからず影響をあたえる。このことから、繋がりは製造業、更には、モノづくり全般で、価値向上に対する重要な要素であると言えるであろう。

7. おわりに

半導体製造装置における事例研究から、半導体製造装置の価値形成の過程に、工程や人の繋がりが関与していることを示した。更に、繋がりは安心や信頼等の情緒的な価値向上にも影響することを示し、半導体製造装置に限らず、多くの製造業で価値向上に寄与する重要な要素であることを指摘した。

本報で、繋がりが半導体製造装置以外でも、価値向上につながる共通の要素であると指摘したが、定量的な実証には至っていない。今後、定量的に実証することが課題である。半導体業界のデータ積み上げと、半導体業界以外の事例研究を進め、繋がりが製造業において、価値向上に寄与していることを証明すると共に、価値向上過程の一般化を試みたい。

最後に、本研究が日本の製造業、モノづくりに役立つことを期待して結びとする。

参考文献

- [1]経済産業省 半導体戦略(概略)
<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210604008/20210603008-4.pdf>
- [2]SEMI WORLD FAB FORECAST レポート (2022/6) 他 SEMI 公開資料
- [3]湯之上隆, 強いと思われた日本の「半導体製造装置」産業も凋落の危機に瀕していた, Business Journal
- [4]肥塚浩, 日本半導体製造装置の分析(1992)
- [5]若林秀樹, 他, 製造装置業界の垂直水平競争分析
- [6]若林秀樹, 他, デジタル列島進化論, 日本経済新聞出版
- [7]井田琢也, 他, 半導体と装置の価値は競争か共創か: パッケージとチップボンダーのケース
- [8]尾原和啓, プロセスエコノミー あなたの物語が価値になる, 幻冬舎
- [9]本田哲也, ナラティブカンパニー 企業を変革する「物語」の力, 東洋経済新報社
- [10]Tech-Insight TSMC N7 想定フロー
- [11]SEAJ, 半導体のできるまで 後工程