

半導体産業における企業間の取引関係

—自動車部品産業との比較の視点から—

佐藤 千洋

1. はじめに
 2. 先行研究レビュー
 - 2.1 アーキテクチャという考え方
 - 2.2 取引費用とアーキテクチャ
 3. 事例分析
 - 3.1 半導体産業の特徴
 - 3.2 製品と製造工程
 - 3.3 設計と製造の関係性
 - 3.4 製造装置と汎用化
 - 3.5 顧客との取引
 4. おわりに
- キーワード：半導体産業、資産特殊性、自動車部品取引、アーキテクチャ

1. はじめに

本研究は、半導体産業における企業間の取引関係について、日本の自動車産業における部品取引との比較の視点から分析し、その相違点を明らかにすることを目的とする。

自動車産業におけるメーカーとサプライヤーの企業間関係については、これまで多くの研究が積み重ねられてきた。自動車部品取引の性質として明らかになっていることは、完成車メーカーのみならず部品メーカー側の投資も大きいという事である。このことは、自動車の機能と構造の関係性に関する基本設計であるアーキテクチャという考え方が関連してくる。

一般的に自動車は、全体最適化のために、エンジン、ブレーキ、サスペンション、タイヤ等といった部品を相互に調整しながら開発しなければならないことから、インテグラル（擦り合わせ）型アーキテクチャとされる。そのため、サプライヤーは多数の部品をそのメーカー専用に個別設計し、各々の製品特性に合わせた最適設計に向けて、頻繁な擦り合わせを行う必要がある。

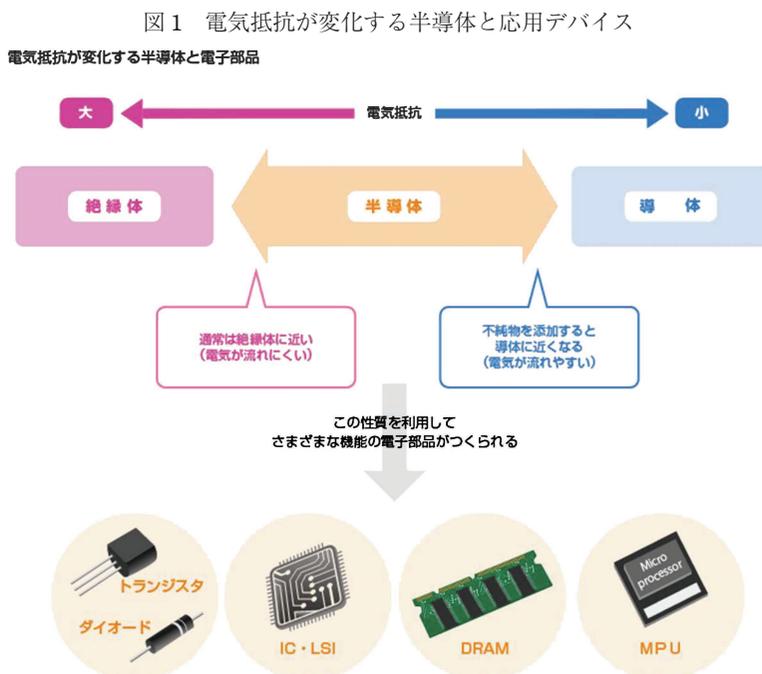
このような過程を経て開発される製品は、ある特定の顧客向けにある特定の用途で使用されるカスタム品であり、サプライヤーはカスタム設計に向けて、独自の機械設備や治具などの資産への投

資が求められることになる。その投資は、特定の部品取引において価値を持つものであり、それ以外の場合においては、設備や技能への投資は埋没コスト（回収ができなくなった投資費用）となることを意味する。しかしながら、サプライヤーは投資をすることでメーカーとの長期継続取引が可能となり、そのことがより資産への投資を促進していることにもつながっている。

一方、半導体産業ではどのような取引関係を構築しているのだろうか。半導体産業は、生産設備を整えるための初期投資はかなり大規模となるため、自動車部品産業と比較すると、顧客専用の設備とはなりにくいと考えられる。そうであれば、特定のメーカーとの長期継続取引に対する期待が資産への投資の促進材料となる自動車部品産業の場合とは異なり、半導体産業ではそのことがインセンティブにならず、短期の取引がスポット的に行われているのではないかと推測される。そこで本稿では、それら企業間の取引の実態について、半導体メーカーにおける製造工程、設計と製造、製造装置、そして顧客との取引の視点から分析していく。

では、半導体とはどのような性質を持った製品で、どのような市場を構成しているのだろうか。ここでは、半導体産業の現状について見てみることにする。

図1は半導体について説明したものだが、半導体とは、金属のように電気を通す「導体」と、ゴムやガラスのように電気を通さない「絶縁体」との中間の性質を持つ物質とされる¹。



出典：日本経済新聞社「全図解ニュース解説」<https://www.nikkei4946.com/zenzukai/detail.aspx?zenzukai=217>

¹ 日本経済新聞社「全図解ニュース解説」<https://www.nikkei4946.com/zenzukai/detail.aspx?zenzukai=217>（最終閲覧日：2020年10月30日）

半導体は様々な条件を変えることにより、電気を通したり、止めたり、電気を貯めたり出来るため、これらの特長を活かしていろいろな用途に使われている。例えば、電気を流す、止めるという特長を生かすことで、いろいろな制御や計算を行う、ロジック LSI、マイコン、プロセッサに活用される。また、電気を増幅する、減少させるという特長から、モータを回す、液晶を制御するパワーデバイス、ドライバ IC に活用される。さらに、電気を貯めるという特長から、データを記憶するメモリの開発にも生かされている²。

日本においては、1980 年代から 90 年代にかけて、半導体が「産業の米」と呼ばれ、国を挙げて育成すべき分野として注力されてきた。表 1 は 1980 年代の世界の半導体売上高ランキングを示しており、1989 年を見ると上位 10 社中 6 社も日本企業がランキングしているのが分かる。

表 1 1980 年代の世界における半導体売上高ランキング

ランク	1981年	1986年	1989年
1	TI (米)	NEC (日)	NEC (日)
2	Motorola (米)	東芝(日)	東芝(日)
3	NEC (日)	日立製作所 (日)	日立製作所 (日)
4	Philips (欧)	Motorola (米)	Motorola (米)
5	日立製作所 (日)	TI (米)	TI (米)
6	東芝(日)	NSC (米)	富士通(日)
7	NSC (米)	富士通(日)	三菱電機 (日)
8	Intel (米)	Philips (欧)	Intel (米)
9	松下電子工業 (日)	松下電子工業 (日)	松下電子工業 (日)
10	FCI (米)	三菱電機 (日)	Philips (欧)

出典：EE Times 「自前主義でモノづくりの自由度を失った日本」
https://eetimes.jp/ee/articles/1606/27/news017_2.html

表 2 は、2018 年の世界の半導体企業の売上高ランキングのトップ 10 を示したもののだが、上位 10 位中、日本企業は 1 社もランキング入りしていない。一方、米国は 10 社のうち 5 社もランキング入りしていることが分かる。このように近年の日本企業はグローバル市場での競争力を失い、かつてほどの成長は見られなくなってきているのが現状である。

では、日本企業の市場シェアはどのようになっているのだろうか。表 3 は、同じく 2018 年の日本の半導体企業売上高ランキングのトップ 10 を示したものである。

東芝メモリは 1 位にランキングされ、日本の半導体企業全体の 25% の市場シェアを獲得している。また、東芝メモリ、ルネサンスエレクトロニクス、ソニーセミコンダクタソリューションズの

² A 社の会社資料より。

表2 2018年の世界における半導体企業売上高ランキングトップ10

2018 Rank	2017 Rank	Vendor	2018 Revenue	2018 Market Share (%)	2017 Revenue	2017-2018 Growth (%)
1	1	Samsung Electronics	73,649	15.5	61,158	20.4
2	2	Intel	66,290	14.0	58,725	12.9
3	3	SK hynix	36,240	7.6	26,370	37.4
4	4	Micron Technology	29,742	6.3	22,895	29.9
5	6	Broadcom	16,261	3.4	15,405	5.6
6	5	Qualcomm	15,375	3.2	16,099	-4.5
7	7	Texas Instruments	14,593	3.1	13,651	6.9
8	11	ST Microelectronics	9,213	1.9	8,021	14.9
9	9	Western Digital	9,078	1.9	9,159	-0.9
10	10	NXP Semiconductors	9,022	1.9	8,746	3.2
		Top-10	279,463	58.8	240,229	16.3
		Others (outside Top 10)	195,168	41.2	181,494	7.5
		Total Market	474,631	100.0	421,723	12.5

Source: Gartner (April 2019)

出典：マイナビニュース「2018年の半導体企業ランキング（確定版）」

<https://news.mynavi.jp/article/20190418-810958/>

表3 2018年の日本における半導体企業売上高ランキングトップ10

2018年日本順位	企業名	2018年売上高 (百万ドル)	前年比増減率 (%)	国内売上高シェア (%)
1	東芝メモリ	10,588	18.7	24.0
2	ルネサス エレクトロニクス	6,707	-3.1	15.2
3	ソニーセミコンダクタソリューションズ	6,613	1.2	15.0
4	ローム	3,016	4.0	6.8
5	東芝	2,852	-3.1	6.5
6	日亜化学	2,150	-1.5	4.9
7	三菱電機	1,542	3.4	3.5
8	サンケン電気	1,339	4.8	3.0
9	パナソニック	1,053	-1.2	2.4
10	ソシオネクスト	1,039	6.0	2.4
	トップ10社合計	36,899	4.8	83.5
	その他の企業合計	7,304	4.3	16.5
	日本半導体企業合計	44,203	4.7	100.0

出典：マイナビニュース「2018年の日本半導体企業ランキングトップ10 - IHS 調べ」

<https://news.mynavi.jp/article/20190315-789167/> をもとに筆者作成。

上位3社で、日本全体の半導体企業における総売り上げの50%以上を占めていることが分かる。

世界の半導体企業を見てみると、世界市場ではSamsungを筆頭に上位5社で全体の約50%を占め、上位10社では約60%を占めている。(表2参照)一方、国内では、上位5社で約70%、上位10社で約80%を占めており、海外、国内ともに特定のメーカーによる寡占化が進んでいると言える。

日本の半導体メーカーは世界規模でかなり劣勢の状態にあると言えるが、これまで市場を牽引してきたパソコンやスマートフォンといった製品に加えて、IoTやデジタル化が急速な進展を見せている今、これからの需要増が期待される。

これらのことを踏まえて、これまでの半導体産業の取引関係を、同じくハイテク製品とされる自動車部品産業の取引と比較をしながら検討したい。

2. 先行研究レビュー

ここでは、先行研究の検討として、基本的な設計思想とされるアーキテクチャと、本テーマに対して重要な示唆を与える取引費用理論について検討する。

2.1. アーキテクチャという考え方

Clark and Fujimoto (1991) が行った自動車産業における製品開発とパフォーマンスに関する日米欧メーカーでの実証分析によれば、サプライヤーが外注部品の開発に関与する割合は、米国が約20%に対して日本は約70%も占めているとされる。また、生産コスト全体に占める部品調達コストの割合についても、米国が52～55%に対して、日本は70%を占めるなど、日本の自動車メーカーの部品取引の特長の一つとして、外注率の高さが指摘されている。

自動車用部品は、民生向けの部品とは異なり、その多くは特注部品となるが、このことは自動車のアーキテクチャがインテグラル型であることに起因する。アーキテクチャとは、「どのようにして製品を構成部品や工程に分割し、そこに製品機能を配分し、それによって必要となる部品・工程間のインターフェースをいかに設計・調整するかに関する基本的な設計構想」のことである(藤本, 2001, p.4)。これは大きく、モジュラー型とインテグラル型の二つに区別される。(Ulrich, 1995, p.422; 青島・武石, 2001, p.33; 藤本, 2001, p.4) モジュラー型とは、製品の構成要素と製品機能が一対一で対応しており構成要素間の相互作用は低く、そのため予めモジュールとして設計された部品を組み合わせることで完成することができる。部品やモジュール間のインターフェースが予め明確に定義されることで、統一化されているのが特徴である。一方、インテグラル型は、製品の構成要素と製品機能が一対一対応ではなく複雑な対応をしており、部品設計において微調整しながら最適設計を実現する必要があるとされる。

モジュラー型とインテグラル型は、さらに表4に示すように、企業を超えた連結が「オープン(業界標準)」か「クローズド(囲い込み)」かに分けられる。(藤本, 2003, p.13)

この分類によれば、パソコンは部品のインターフェースが業界標準としてオープン化されているため、組み合わせ(モジュラー)型製品に分類される一方で、自動車は擦り合わせの技術を用いて、

表4 設計情報のアーキテクチャ特性による製品設計

		部品設計の相互依存性	
		インテグラル (擦り合わせ)	モジュラー (組み合わせ)
企業を超えた連結	(困り込み) クローズド	<u>クローズド・インテグラル</u> 例：乗用車 オートバイ 軽薄短小型家電	<u>クローズド・モジュラー</u> 例：メインフレーム 工作機械 レゴ (おもちゃ)
	(業界標準) オープン		<u>オープン・モジュラー</u> 例：パソコン パッケージソフト 新金融商品 自転車

(出所) 藤本 (2003, p.13)。

基本設計が社内で閉じられた状態で開発されるため、「クローズド・インテグラル型」に分類される。自動車は、一つ一つの部品を最適設計することで製品全体のパフォーマンスを高めていくことが求められる。そのため、モデルごとに部品が最適設計され、製品全体の最適化を図る目的で部品間の微調整がどうしても必要になってくることから、汎用部品の比率は低くなり、特注部品やカスタム部品の割合が必然的に高くなるのである。

次に半導体産業に焦点を当てたアーキテクチャ戦略について見てみることにする。

三輪 (2001) は、「土台」とされる半導体素子の微細加工技術 (生産プロセス) と、「上部構造」とされる「土台」に対応した制度、システム、仕組み等とがミスマッチを起こした時にアーキテクチャの革新が起こるとした。さらに、1960 年以降の半導体産業では、「標準汎用・オープン」、「専用・クローズド」というアーキテクチャのダイナミックな変遷が見られ、産業構造も垂直統合型から独立・オープンな専門化への展開や編成が見られると述べている。

また、藤本 (2004, p.145) は、半導体のアーキテクチャについて、少なくとも半導体設計の中身に関しては、モジュラー化は進んでいないとした。さらに半導体は、製品設計という点では組み立て製品の側面が強く、工程設計という点ではプロセス産業の側面が強く出てくることから、二つの側面を持ち合わせているとしている。その一方で、近年の半導体産業は企業間分業が進展し、半導体の集積度も上がってきていることから、工程設計やレイアウト設計の制約を予め考えずに論理設計をしてしまうと、完成品が信号遅れや混信などでうまく動作せず、結局は設計のやり直しに追い込まれてしまうこともあると説明している。このようなことは、自動車のように複雑な擦り合わせが求められる開発では当然のこととされるが、半導体においても集積度が上がってくるにつれて、開発プロセスの各ステップ間の密な擦り合わせがより必要になってくるとしている。

2.2. 取引費用とアーキテクチャ

複雑な環境下で行われる市場取引には取引費用が発生する。企業は多大な取引費用を回避するために、組織内取引か市場取引かの選択を決めていくことになる。

Williamson (1989, pp.177-178) は、経済主体者が「その意図としては」合理的に振舞ってはいるものの、複雑な問題の処理と解決、および情報処理において限界があることから、限られた合理性しか持ち得ないという「限定合理性」と、すべての経済主体は、自分の利益を悪徳的に追及するものであるという「機会主義」の仮説のもとで、経済主体間において取引が行われる場合には、コストが発生すると説明している。

また、Williamson (1989, pp.179-180) は、取引の状況は、取引の頻度、不確実性、資産特殊性の3つの要因に依存するとし、中でも資産特殊性が重要な要因として認識している。

資産特殊性は、場所の特殊性、物的資産の特殊性、人的資産の特殊性などからなるが、これらの特殊性は、特定の相手との取引においてのみ高い価値を持ち、他に転用することができないとされる。言い換えれば、特殊性の高い資産を特定の取引以外に用いた場合には、ほとんど価値を持つことはなく、それへの投資は埋没コスト (sunk cost) になることを意味する。

資産特殊性がある場合には、スポット的な取引では十分な投資が見込まれないこともあるため、長期継続取引が期待される。資産の特殊性の程度が高くなればなるほど、市場取引の優位性は低下し、この継続取引は企業内取引へと変化してくる。一方で、資産の特殊性の程度が低い場合には、取引コストに影響を与えないため、市場取引のほうが有利となる。

藤本 (2009) は、取引費用とアーキテクチャの関係性について次のように述べている。ある製品の製品・工程アーキテクチャがインテグラル寄りである場合には、その製品の機能と構造の対応関係は複雑なものとなり、必要な機能をインテグラル・アーキテクチャの人工物 (設計された事物) によって調達しようとする、モジュラー・アーキテクチャの場合よりも取引費用を多く払う必要があるとしている。また、製品自体が差別化されていれば、より取引特殊的でもあり、アーキテクチャがインテグラルへと移行するにつれて、全部品に占める特殊部品の割合が増えるため、機会主義のコスト、あるいはその回避コストが高くなるとしている (藤本, 2009, p.11)。これらのことから、製品がインテグラル寄りの場合には、モジュラー・アーキテクチャの場合よりも取引特殊的になるとし、自動車のようなインテグラル・アーキテクチャの製品の場合には、長期継続取引が可能となるが、その反面取引特殊的とならざるを得ないと指摘している。

このことは佐藤 (2018a, 2018b, 2019) の論文でも指摘されている。佐藤 (2018a) が行った車載市場への傾斜を強めている電子部品メーカーを事例とした分析によれば、総合電子部品メーカーは、特に自動車向け複合部品の開発においては、自動車開発の初期段階から関与し、顧客ごとの擦り合わせを行っていくため、自社の製品もまたインテグラル・アーキテクチャに誘導されやすくなるが、これに対して、複合部品内部をモジュール化して構成部品を共通化し、他の顧客への転用を図るなど、アーキテクチャの位置取りをできる限り「中モジュラー・外インテグラル」に向かわせる努力をしている。このように、投資が取引特殊的とならざるを得ない反面、モジュラー化を活かした製品開発を行うことで、収益性や競争力を維持していること実証を踏まえて明らかにしている。

また、佐藤（2019）が行った車載ビジネスを強化している専門部品メーカーと総合部品メーカーの比較分析では、総合メーカーのほうが専門メーカーよりも技術の幅が広く、アーキテクチャの階層が一つ増えた複合部品を開発できることから、必然的にアーキテクチャが「外インテグラル」になると指摘する一方で、部品メーカー側でも自動車メーカーの開発体制に合わせていくと、アーキテクチャが「中インテグラル」になりやすく、この場合どうしても開発への投資が取引特殊的となり、特定の顧客に拘束されてしまうことになることを説明している。

3. 事例分析

ここでは、半導体の開発・製造を行っているA社を事例に、取引の実態を見てみることにする。研究内容は、インタビュー調査で入手した一次資料と、公開されている二次資料（公表資料、雑誌記事、各社資料など）に依拠する。インタビュー調査を用いる理由は、企業における製品開発や顧客との取引の本質的な部分の情報収集は、対面調査でなければ十分に入手できないからである。

事例分析は、特に断りのない限り2020年8月31日および10月19日の2回にわたり、A社において、生産本部（開発統括）統括部長のC氏³に対するインタビューによるものである。併せて、メールなどによる追加的な聞き取り調査を行い、研究を展開する上での補足を行っている。

3.1. 半導体産業の特徴

半導体産業には大きく2つのビジネスモデルが存在する。一つは、IDM（Integrated Device Manufacturing）と呼ばれる垂直統合型デバイスメーカーで、設計から製造、販売まで自社ですべてまかなう企業である。もう一方は、ファウンドリ（Foundry）と呼ばれる分業モデルである。このモデルは、半導体製品の設計と販売を自らは行わず、製造工程に特化した水平分業型のビジネスモデルである。

これまで日本企業は、設計と製造の分業というよりは、設計と製造の統合を基本とする垂直統合型の事業形態に力を入れてきた。しかし、半導体業界では、90年代から一社で完結するのではなく、複数の企業にまたがった分業体制が主流になってきた。ファウンドリ事業では、台湾のTSMC（Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited）が、世界シェアの約50%を占めるなど⁴、圧倒的な強さを見せている。一方、IDMでは、米国のIntelや韓国のSamsungなどが世界シェアを握っている。

半導体産業では、製造設備の能力が競争力の源泉とされる。そのために継続的な投資が求められるが、最新の設備を投入するためには高額なコストを要するため、製造工程を分業させる動きが進んだとされる。

ではなぜ、日本のメーカーはファウンドリへの移行について消極的だったのだろうか。その理由

³ 所属および役職はインタビュー当時のものである。

⁴ アジア経済ニュース「TSMC、ファウンドリーシェア5割超えへ」（2019/9/5）
<https://www.nna.jp/news/show/1946998>（最終閲覧日：2020年10月25日）

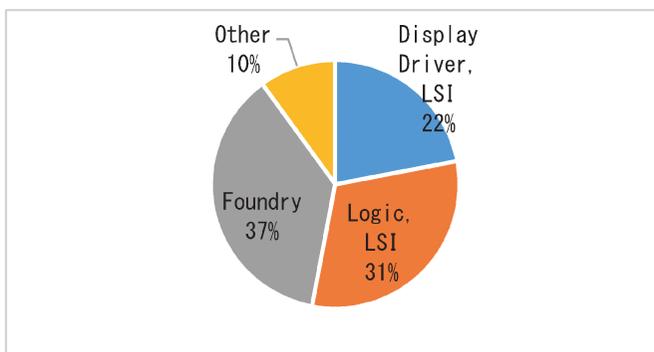
の一つとして、既に自社に製造工程があり水平分業に移行させるためには、雇用等の問題が障壁になったと考えられる。A社のようにファウンドリを事業の一部として取り入れている企業もあるが、その背景には、利益率の高いカスタム品だけで設備や生産ラインを埋めることが現実的には難しく、ラインの稼働率を上げるためには利益率が多少低くとも、ファウンドリ事業を取り入れるほうが良いという考えに基づくものである。

3.2. 製品と製造工程

A社は、主に8インチシリコンウェハでの大規模集積回路（LSI: Large Scale Integration）の開発・製造を行っている。主軸商品は、「低消費電力技術」、「高周波回路技術」、「デジアナ混載技術」など、特長ある差別化技術を活かした「ローパワーマイコン」、「通信用LSI」、「ロジックLSI」および「表示用ドライバLSI」である。また、他社が設計したものを製造するファウンドリビジネスも主軸の一つである。同社は、多品種少量生産を得意とし、多くの半導体プロセスを保有しており、業界トップクラスのラインナップと性能の実現を通じて、家電、OA機器などの民生や自動車、社会インフラ向けなど幅広い分野に製品を供給している。

A社の2018年度製品別売上⁵は、図2の通りである。表示用ドライバLSIとロジックLSIを合わせると、全体の50%以上を占めていることが分かる。

図2 2018年度製品別売上比率

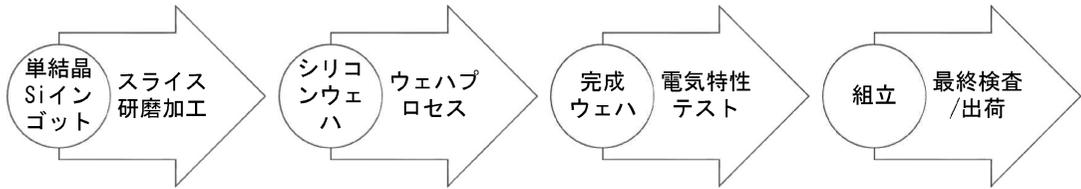


(出所) A社の会社資料より

次に、半導体の製造工程について見てみることにする。半導体の製造工程は、大きく分けて「設計」、シリコンウェハ上に集積回路を搭載する「前工程」、チップごとに個片化させる「後工程」、そして、「検査工程」である。図3は、「前工程」の概要を示したものである。

⁵ 製品原価ベースの売上比率を表す。

図3 半導体の製造工程

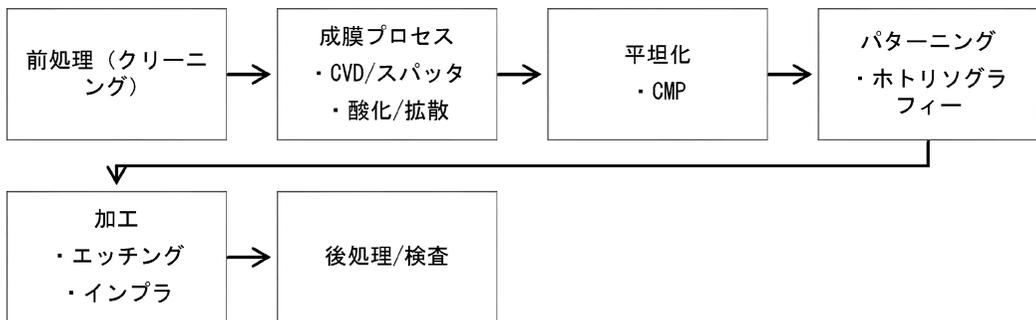


(出所) A社の会社資料より

まず、単結晶シリコンインゴットをスライス研磨加工し、シリコンウェハを作成する。ウェハプロセスでは、成膜、パターニング、加工を行い、ウェハを完成させた後に、プロービングと呼ばれる電気特性テストを行い、組立を経て、最終検査後に出荷されるという工程である。

続いて、同社の主力製品であるLSIの製造工程を見てみる。(図4参照)

図4 LSIの製造工程



(出所) A社の会社資料より

まず、前処理（クリーニング）後、成膜プロセスに移る。ここでは、ウェハ表面に薄膜を形成する「CVD/スパッタ」、ウェハに熱酸化膜を形成し、不純物を拡散する「酸化/拡散」を行う。その後、表面を研磨し、パターンの凹凸を平坦化させる。

次に、ホトリソグラフィ工程に移る。この工程では、レジストコート、露光、現像、検査などを行い、ウェハ上に微細なパターンを形成していくことになる。最初に、感光材をウェハの表面に塗布し（レジストコート）、マスクをしてウェハの表面に回路を焼き付ける（露光）。次に、写真の原理を使い、レンズで極小に焼き付け（現像）、ガラス基板上にクロムでパターン描画を行うことで、ウェハ上に微細なパターンを形成していく。その後、ウェハに不純物を打ち込み（インプラ）、レジストを利用して不要な膜を除去し（エッチング）、最後に、後洗浄・検査を行う。

基本的なサイクルは、「成膜⇒パターニング⇒加工」という流れになるが、製品によって異なるものの製造にかかる日数は1サイクル1~2日で、40サイクル程度要することになる。

このように、成膜、平坦化、パターニング、加工などの要素技術を順番に何度も繰り返すことで、製品（LSI）を完成させていく。その一つ一つが設計資産であり、生産部門では、それらを組み合わせることで顧客仕様に合わせていくことになる。

3.3. 設計と製造の関係性

ここでは、A社における製品開発について見てみよう。

開発とは、回路図を引いてそれをレイアウトに落とし込む作業のことである。設計部門がトランジスタやダイオードなどの素子のインプットやアウトプットを考えながら回路設計を行う。「もう少し消費電力を落としたい」、「待機電流が多すぎて改善したい」など、顧客からの要望を直接聞きながら設計を行っており、顧客とは非常に密なコミュニケーションを構築している。

回路設計を行う際には、トランジスタの特性を見極めながら、どれくらいの電圧をかければどれくらいの電流が流れるのか、基本仕様を考えることから始まる。工場によっては、微妙に製造プロセスにおけるパラメータが変わってくることもあるため、その情報を製造部門から設計部門へ提供するとともに、そのパラメータを使用し、パッケージ化した際にどのような出力になるのかを調整し、顧客仕様に合わせておく必要がある。

例えば、CMOSのゲート電圧が0ボルトの場合は電流が流れないが、時計向けなどでは、信号を検知するのに最低限必要とする電圧付近になると、回路上本来絶縁されている部分から電流が漏れだす現象（リーク電流）が起きることがある。この現象は、半導体集積回路の微細化が進んだことが原因の一つとして考えられているが、これを低減していくためには設計部門と製造部門の擦り合わせが要求される。

トランジスタ単独の場合はリーク電流を抑えることができるが、集積化した回路の場合には、隣接するトランジスタの寄生容量⁶が生まれたり、本来流れてはいけないうちに電流が流れたりするなどの不具合が発生することもあり、それらを抑制するために配置場所を変えるなど様々な工夫を行う。一方でトランジスタをいくつか積み上げてどのような出力にするのか、また最も少ないトランジスタの使用で最大の出力を得られるかなど、設計ノウハウをいかにしながら開発していく。実際には、製造部門が提供したプロセスデータをもとに設計しても、リーク電流や寄生容量の影響によって機能しなくなることがあるため、回路パターンの配置の改善や、電流を流れやすいレイアウトへの変更、不純物の濃度の調整など、設計部門と製造部門が密接なコミュニケーションのもと連携して開発していくことになる。つまり、設計部門と製造部門が擦り合わせを行い、お互いのノウハウを活用しながら、不具合を抑えていく必要があるのである。

このように半導体を製造する際には、装置をただ購入してきただけでは、求められる性能を達成することはできないことから、企業独自のノウハウを生かした微調整、つまり擦り合わせプロセス

⁶ 向かい合う2つの導体（電線・端子など）に電圧を掛けると、その間には目に見えないコンデンサ（電気の溜まり）が発生する。「浮遊容量」とも呼ばれ、その導体につながっている機器に誤動作などを起こす原因となる。（パナソニック株式会社 https://jpn.faq.panasonic.com/app/answers/detail/a_id/79261/p/4399）

が必要となり、そこが競合他社との差別化のポイントとなるのである。

半導体製造ラインの不具合は、大きく二つに分けられる。一つ目は、システムティックな欠陥、つまり設計はきちんとできているが何らかの不具合があるものと、もう一方は、ランダム欠陥と呼ばれる突発的に起きる欠陥のことである。特に後者においては、パーティクルと呼ばれる装置内で半導体をつくるシリコン基板上の微小粒子の発生が、歩留まりに大きな影響を与えることになる。

半導体装置は、様々なガスや熱を使用するため、装置側が経年変化してくる。製造側では初期の設定を維持する努力をしているが、経年変化に伴う装置の汚れなどにより、装置そのものの特性が動くだけでなくパーティクルが発生することで、断線が起きたり隣同士の配線がショートしたり、回路不良が発生する。このパーティクルを低減させていくことが重要であり、製造側が持つ量産の安定性や再現性のためのノウハウが、半導体メーカーには重要になってくるのである。

3.4. 製造装置と汎用化

半導体は、環境に非常に敏感である。そのため、半導体工場では、温度、湿度、埃などを厳格に管理することが求められる。クリーンルームでは、塵埃が除去された空間で温度、湿度が一定に保持されることで、外部から塵埃侵入を防いでおり、また、LSIは静電気に弱いいため、塵埃を吸い寄せない静電気対策も行われている。

同社は、オペレーションの自動化をコンセプトとした工場設計を行っており、ロット搬送の際には、工程間にはリニアモータ、工程内は自動走行ロボットを使用している。工場レイアウトも搬送効率や生産効率の高いフィッシュボーン（魚の骨）を採用し、外観検査などの一部作業をオペレータが行っている。

ホトリソグラフィ工程でパターン形成に使用する露光装置は、半導体プロセスの中では最も高額であり、1台数億円する装置である。製造工程では、製造フローに沿って大型の生産システムを効率よく配置しており、量産している間は、ライン切り替えはほぼできない。理由としては、半導体は一つ一つの装置が、非常に大型で容易に動かすことができないからである。また、クリーンルームなどは壁に埋め込まれており、それぞれの装置にはガス、薬液、廃液などいろいろな配管が密集しているため、それらを切り離して動かすには時間もコストもかかる。したがって、既に設置された装置の入れ替えや移動はほとんど行わない。様々な製品要求に対しては、装置のパラメータを変更することで対処しており、その一方で、汎用化をも実現している。

つまり装置は固定しておくという考えである。例えば新製品を製造する場合でも、機械設備等の微調整は必要なものの、そのために新規の装置を導入せずに、既存の機械設備を使用することで、新たな投資の必要性は基本的にはなくなってくる。このことによって、多くの製造業が行っているJIT（Just in Time：ジャストインタイム）、セル生産、多能工などの様々な改善活動が馴染まないのである。加えて、LSIは多層構造となっているため、工程の組み合わせや順番が異なるだけで、同じ工程の繰り返しであることも理由の一つである。

このように装置を固定するという制約がある中で、特に開発コストがかかるカスタム品や特注品についても、既にある装置の仕様や条件の変更で対応できるように努力しているのである。

次に、「レシピ」について触れておく。「レシピ」とは、通常、製造するための処理条件やプログラムを意味する。半導体製造装置に対してあらかじめ、命令、設定、およびパラメータを指定して、ウェハにとって最適な処理環境を決めるものである⁷。このレシピの変更によって他の製品も製造できるならば新たな投資は不要となり、プロセスフロー、使用設備、治具、レシピなどの製造情報を組み合わせによって効率的な生産が可能となるのである。熱処理装置などは、温度領域が異なるところで使用すると、その製品だけのための専用装置が必要になることがある。そのような場合、それだけのために投資することもあるが、そのようなことは稀で、大概は「レシピ」で対応することが可能であり、「レシピ」が高い汎用性を持っていることが分かる。

この「レシピ」は、社内に蓄積されたものである。例えば、初めに顧客から引き合いがあった場合には、A社側で顧客のスペックに応じて装置とレシピなどを検討していくことになる。フィージビリティ評価の際には、まず既存の装置やレシピが活用できるかどうか、それらを活用して工程が作れるのかどうかを検討する。その組み合わせの中で実現が難しい場合には、投資すべきかどうかを検討し、費用対効果が認められれば新しい「レシピ」を開発することになるが、この新規に開発された「レシピ」は汎用性のある資産として同社に蓄積されていくのである。

3.5. 顧客との取引

顧客との取引について、A社の主力製品のひとつであるマイコンを例に挙げて検討してみる。

マイコンは、多数の抵抗やコンデンサ、トランジスタなどの電子部品を超小型にして集積化したLSIのことである。以前は多数の電子部品を用いて機器が作られていたため、電子回路部分が巨大化してしまうことがあったが、マイコンによってこれら電子回路部分を集積化することができるようになり、このことが機器の小型化につながった⁸。

現在、マイコンは、冷蔵庫や洗濯機などの家電をはじめとした多くの電子機器に組み込まれている。他にも、ロボットなどの産業機器、体温計やヘルスケア機器、また時計などにも使用されている。

同社のローパワーマイコンは、家電製品、住宅設備機器、社会インフラ、産業機器まで幅広いアプリケーションに最適な汎用タイプをはじめとして、高温対応、低消費電力、低電圧動作、音声再生など、特定の目的に応じた製品がラインナップされている。

次に、A社が実際に顧客との取引関係をどのようにして構築しているのか、その取引の実態について見てみよう。

同社は、電機メーカーB社向けの腕時計や関数電卓に使用される特注部品の開発を行っている。B社が開発している腕時計が模倣品の被害に苦しんでいた時期があり、このことが特注部品開発に関わるきっかけとなったのである。

図5はB社の売上高に占めるセグメントを示したものである。この図が示すように、全売り上

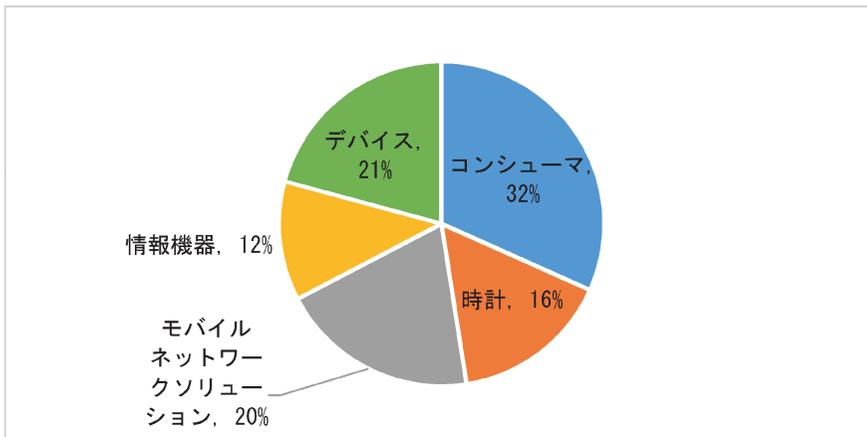
⁷ 東芝デジタルソリューションズ株式会社 <https://www.toshiba-sol.co.jp/pro/recipewizard/>（最終閲覧日：2020年9月13日）

⁸ ラピスセミコンダクタ株式会社「1-1 マイコンとは？マイコンってなに？」

<https://www.lapis-tech.com/jp/common/miconlp/tips/tips-1/article-1/>（最終閲覧日：2020年9月15日）

げに占める電卓、電子辞書などのコンシューマが約 32%、電子時計が 16%、これに携帯電話などのモバイルネットワークソリューションなどを加えると、小型電子機器が全売上の約 70%を占めていることが分かる。

図5 電機メーカー B 社のセグメント別売上高



(出所) 小山 (2005) をもとに筆者作成

小山 (2005) によれば、小型電子機器の構造を大まかに分類すると、機器の頭脳部分にあたる LSI などが入ったモジュール部分と、外装のケース部分とに分けることができる。20 年以上前は模倣品製造国の技術力がそれほど高くなかったために、ケース部分を見ただけで材質や嵌合などの品質の違いから模倣品と判断できるものだったが、最近は模倣品の高品質化が進み、専門的に判断しないとわからないほど精巧化してきた。このような模倣対策の一環として、同社では、モジュール部分を特注仕様にするすることで、完全な模倣品を製造することができないように工夫している。

このモジュール部分の差別化という強い要求を受けて、A 社は、汎用品ではなく IC の専用化など設計から作り込みを行った。例えば、時計に搭載する IC は、低消費電力でも動作するものや、電波時計や GPS など様々な機能を詰め込むなど、他社のスマートウォッチとの差別化を図っている。

このような差別化された IC は、「こんな仕様を理解できるのは A 社だけだ」、「A 社に言えばわかってもらえる」などのように、長期の継続的な関係性に基づく開発となっている。同社にとっても、特定のメーカーとの開発を含めた取引を行うことは、自社にノウハウやリソースが蓄積され、技術力の向上にも貢献し、また、特定の顧客と製品を作り込むことで、次の開発につなげている。

もう一つの取引例を見てみよう。北米のあるメーカーとの取引の場合、A 社側では、装置もカスタマイズし、この顧客専用ラインを作っている。顧客側ではカスタム製品を製造できるメーカーを何社か抱える戦略を取っているために、A 社の他に、国内 2 社と海外 1 社の計 4 社との取引を

行っている。A社は常に競合他社とベンチマークされる状況にあるが、コスト競争で不利になることはあるものの、リードタイムと品質を強みとして、長期継続取引を行っている。このように、カスタム品については特定の顧客と長期継続取引が構築されていることが明らかとなった。

では、汎用品の取引はどのように行われているのだろうか。汎用品は、A社側で顧客の使用環境や希望スペックに合わせて設計された製品ではなく、顧客側が多少のカスタマイズを行って使用する製品である。

同社の汎用品は主に民生分野に供給されている。家電など民生向けの製品の多くは、1年に1回はモデルチェンジを行う等、製品のサイクルも短周期で入れ替わることが多い。汎用品の場合には、既にピン数、動作電圧や周波数などのスペックが顧客側で決められており、それらのスペックを満たした上で、A社も競合他社と横並びに競争させられることになる。サンプル、納められる数量およびコスト、多少の微調整に応じられるのか等の評価段階を経て選定される。当然、価格面で折り合いがつかないと、不採用となる。同社は、かつて某海外掃除機ブランド向けの汎用マイコンを納品していたが、コスト競争に巻き込まれ次期モデルからは受注が見送られたことがあった。

このように汎用品の場合には、多くがスポット取引となるため、価格競争に陥りやすことから、汎用品を主流としていないA社のような企業にとっては、競争力を維持することは難しい。したがって、汎用品についてはカスタム品とは異なり長期継続取引にはなりにくいのである。

4. おわりに

本稿では、半導体産業における企業間の取引関係について、製品と製造工程、設計と製造の関係性、製造装置と汎用化、そして顧客との取引の観点から見てきた。半導体メーカーの取引について、車載取引との比較の視点から見てみると、自動車メーカーとの取引を行うサプライヤーは、その顧客専用の設備や工具を準備することで、長期継続取引を築くことが可能となる。それらの投資は取引特殊となるが、カスタム品を開発する場合には、どうしても必要な投資となるのである。

一方、半導体メーカーの場合には、カスタム品の開発であっても、社内に蓄積されている「レシピ」を活用することで、多くの場合において、そのための特別な機械設備や工具を導入せず、既存の機械設備を活用して対応できていることから、取引特殊的資産の性質を有する投資が行われていないと考えられる。

それは、装置産業とよばれる半導体産業特有の性質に起因するものと推測される。半導体産業では、クリーンルームをはじめとして大型で高額な設備を配置して生産を行う。基本的に設備を変えるのではなく、装置に様々な処理条件を持たせることで汎用性を高め、製品のバリエーションに対応している。それを可能にしているのは、「レシピ」と呼ばれる装置一つ一つの中に処理条件を持たせるプログラムであり、ウェハにとって最適な処理条件を用意するものである。したがって、新規の顧客要求を受けても、この「レシピ」を変更することで、新たな機械設備への投資は必要とせず、新たな受注に対応できるのである。また、費用対効果が期待される新たな「レシピ」を開発した場合でも、この新規に開発された「レシピ」はノウハウとして社内に蓄積されていくのである。

このようにスポット取引が可能な汎用品以外のカスタム品や特注品に関しては、取引特殊的資産の性質が伴わないにも関わらず、顧客との長期にわたる継続的な取引関係が構築されていた。

自動車メーカーとサプライヤーの関係性のように、取引特殊的資産への投資を行うことによってスポット取引ではなく長期的に継続取引が行われることになるが、半導体の場合にはこれらの取引特殊的資産への投資を行わなくとも、長期継続的な取引関係が構築されていることは事例から導き出されたことである。

半導体産業の企業間関係について資産特殊性に注目し、自動車産業における部品取引との比較の視点から実証的に明らかにした点は、これまでの半導体企業の製品開発や取引における既存研究でも指摘されてこなかった点であり、今後半導体産業が厳しい環境の中で生き残り、成長を続けるためには重要な示唆を与えるものである。

本稿は、半導体メーカー1社を事例とした分析を行ったに過ぎず、半導体メーカーの実証としては、得られた結論が他のメーカーにも適応するのかどうかを検討する必要がある。以上の点を今後の課題としたい。

参考文献

- 青島矢一, 武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一 編『ビジネス・アーキテクチャ』2章 (pp.27-70). 有斐閣.
- Clark, K. B., & Fujimoto, T. (1991). *Product development performance*. Boston, MA: Harvard Business School Press. 邦訳, 藤本隆宏, キム B. クラーク (1993) 『製品開発力』 田村明比古訳. ダイアモンド社.
- 藤本隆宏 (2001) 「アーキテクチャの産業論」 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一 編『ビジネス・アーキテクチャ』1章 (pp.3-26). 有斐閣.
- 藤本隆宏 (2003) 「組織能力と製品アーキテクチャー下から見上げる戦略論—」 『組織科学』 36(4), 11-22. 組織学会.
- 藤本隆宏 (2004) 『日本のもの造り哲学』 日本経済新聞社.
- 藤本隆宏 (2009) 「アーキテクチャとコーディネーションの経済分析に関する試論」 『経済学論集』 75(3), 2-39. 東京大学大学院経済学研究科.
- 三輪晴治 (2001) 「半導体産業におけるアーキテクチャの革新」 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一 編『ビジネス・アーキテクチャ』3章 (pp.73-100). 有斐閣.
- 小山雅夫 (2005) 「G-SHOCK 模倣品対策への取組み」 『特技懇』 236, 50-55. 特許庁技術懇話会.
- 佐藤千洋 (2018a) 「総合部品メーカーのアーキテクチャ戦略と開発組織の適合性—車載事業への傾斜を踏まえて—」 『工業経営研究』 32(1), 16-27. 工業経営研究学会.
- 佐藤千洋 (2018b) 「電子部品産業における専業メーカーの競争優位—アーキテクチャ戦略と製品開発体制の適合性の観点から—」 『赤門マネジメント・レビュー』 17(3), 111-130. グローバルビジネスリサーチセンター.
- 佐藤千洋 (2019) 「アーキテクチャの位置取り戦略と製品開発組織—電子部品メーカーの車載事業傾斜を事例とした分析—」 東北大学大学院経済学研究科博士論文.
- Williamson Oliver E. (1986). *Economic Organization: Firms, Markets and Policy Control*. Wheatsheaf Books Ltd. ウィリアムソン O.E (1989) 『エコノミック・オーガニゼーション：取引コストパラダイムの展開』 井上薫・中田善啓訳.

晃洋書房.

Ulrich, K. (1995) . The role of product architecture in the manufacturing firm, *Research Policy*, 24, 419-441.

【参考ウェブサイト】

ラピスセミコンダクタ株式会社 (<https://www.lapis-semi.com/jp/>)

株式会社カシオ計算機 (<https://casio.jp/>)

Inter-firm transactions in Japan's semiconductor and automotive parts industries: A comparative perspective

SATO Chihiro

The purpose of this paper is to analyze inter-firm transactions in the semiconductor industry by comparing them with those in the automotive parts industry and to determine the differences between the two industries. Focusing on transaction-specific investment costs, this paper examines how inter-firm transactions are conducted in the semiconductor industry by exploring a case study.

The analysis yields the following results. In Japan's automotive industry, suppliers establish long-term, continuous transactions with automobile manufacturers by making transaction-specific investments into machine equipment and jig. By comparison, however, transaction-specific investment costs do not exist as long-term, continuous transactions in the semiconductor industry.

This difference might be attributable to the industrial characteristics of the semiconductor industry that require expensive and large-sized devices, such as clean room equipment, be used for production. This corresponds to widely diversified product variations that can be realized by changing the "receipt," which is a program that manages the processing conditions of devices and provides optimum processing conditions without any need to invest in new equipment.

Therefore, even when a new request from a customer is received, transaction-specific investment is not required by changing the "receipt" of existing devices in most cases. Newly developed "receipts" are accumulated as know-how and efficiently utilized to optimize and generalize production.