



日本半導体産業のコスト競争力に関する一考察
—プロセス開発の初期過程に問題あり—

湯之上隆

Consideration of Cost Competitiveness of Japanese Semiconductor Industry:
There is a Problem in an Initial Stage of Process Integration

Takashi Yunogami

ITEC Working Paper Series

06-13

September 2006

日本半導体産業のコスト競争力に関する一考察
ープロセス開発の初期過程に問題ありー

同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター
ワーキングペーパー06-13

湯之上隆

同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター
〒602-8580 京都市上京区今出川通烏丸東入
Tel : 075-251-3836 Fax : 075-251-3139
yunogami@doshisha-u.jp

キーワード： 日本半導体産業、減価償却費、コスト競争力、プロセス開発、
工程数

本文内容の専門領域： 半導体産業論

著者の専門領域： 半導体産業論、半導体の微細加工技術、プラズマ応用工学

要旨：

日本半導体メーカーの収益力が低いのは、プロセス開発の初期過程にコスト意識が無いことに大きな原因があることを明らかにした。半導体デバイスの製造コストのうち、60%以上を製造装置の減価償却費が占める。製造装置の台数や仕様は、プロセス開発の初期過程において、プロセスフローを構築する際に、ほぼ決まる。つまりプロセスフローが量産工場に移管されて半導体デバイスの生産が始まる前に、コスト競争の勝負はほぼついている。そうであるにも関わらず、日本半導体メーカーは、性能を最優先してプロセスフローを構築するため、この過程にはコスト意識が全く無い。その結果、工程数が多くなり減価償却費が高騰する。一方、海外の高収益メーカーは、利益が出るようにデバイス原価を設定し、それに見合うようにコスト最優先でプロセスフローを構築している。このようなコスト意識に差が生じる原因には、日本半導体メーカーの技術者の意識に「技術とコストは別物」という誤認識があることを論じた。

謝辞：

本論文は以下の研究成果である。

①同志社大学における文部科学省 21 世紀 COE プログラム「技術・企業・国際競争力の総合研究」プロジェクト。

②平成 16 年度 NEDO 産業技術研究助成の研究テーマ「技術力から見た日本半導体産業の国際競争力の研究」。

日本半導体産業のコスト競争力に関する一考察
 -プロセス開発の初期過程に問題あり-

湯之上隆

1. 儲からない日本半導体メーカー

日本半導体メーカーの問題点は儲からないこと、つまり、コスト競争力が低いことにある。図1は、2004年および2005年における半導体メーカーの半導体売上高と営業利益率の関係をプロットしたものである[1]。この図から、世界の半導体メーカーは二種類に分類されることがわかる。

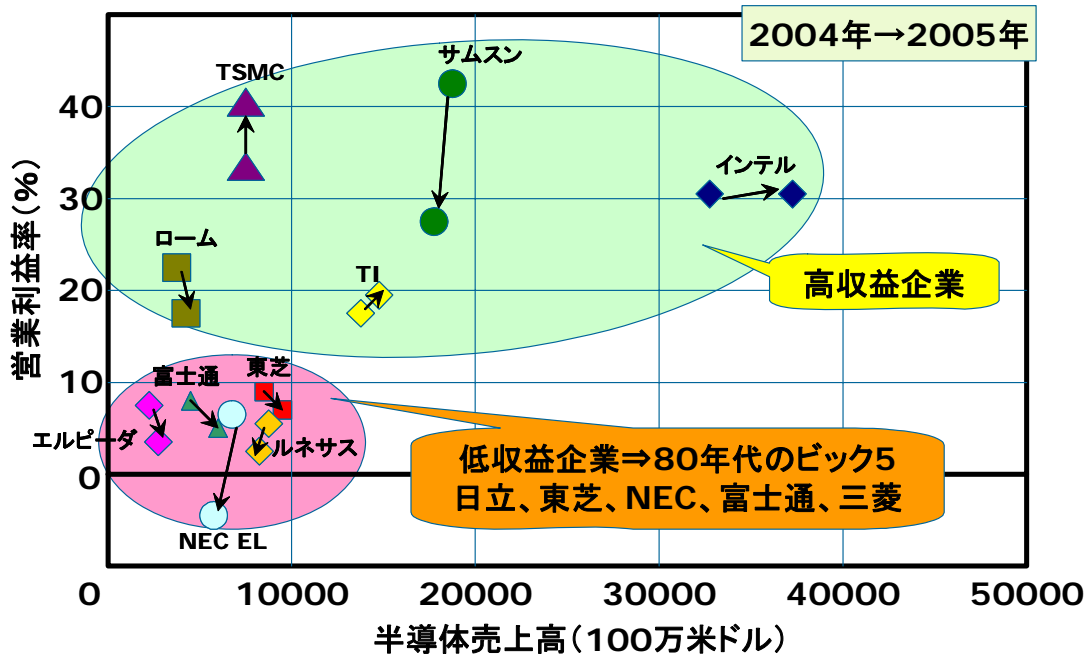


図1. 半導体メーカーの売上高と営業利益率[1]

第一の分類は、営業利益率20%以上の高収益企業。米国インテルおよびテキサスインスツルメント (TI)、韓国三星電子、台湾 TSMC がこの分類に入る。日本ではローム1社が入るのみである。

第二の分類は、営業利益率10%以下の低収益企業。欧州 ST マイクロエレクトロニクスその他、東芝、ルネサス、NEC エレクトロニクス、富士通、エルピーダメモリなど日本の多くの半導体メーカーがこの分類に入る。これらの日本半導体メーカーは、元をたどれば、1980年代に世界半導体売上高の上位を独占し、ビック5と呼ばれた東芝、日立、NEC、富士通、三菱の5社である。

これら日本半導体メーカーの営業利益率が低いことは、ここ数年の現象では

ない。図 2 に示したように、1975 年以降の日本半導体メーカーの営業利益率は、シリコンサイクルによって多少変動するものの、10%を越えたことは無い [2]。1980 年代中旬、世界市場で 8 割を超える DRAM を生産し、最強だった時代であっても日本半導体メーカーの営業利益率は低かった。

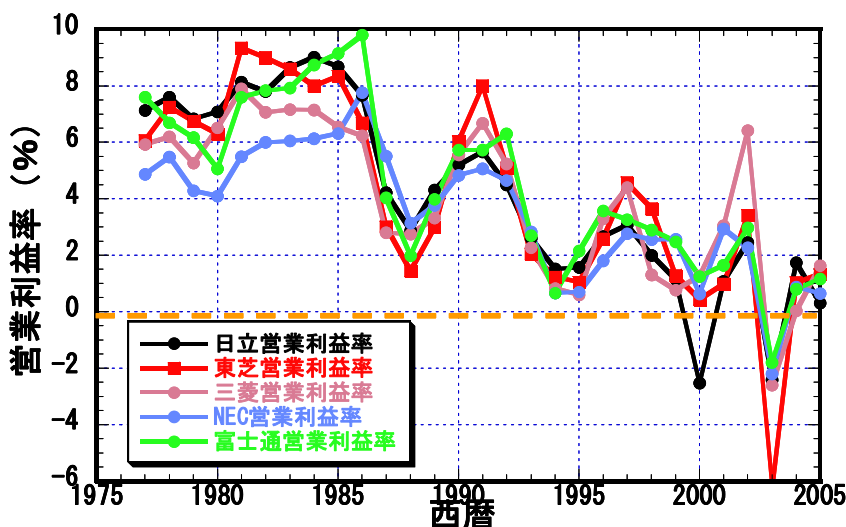


図2. ビック5(東芝、日立、NEC、富士通、三菱)の営業利益率

2. 半導体デバイスの原価に影響する要因

なぜ、日本半導体メーカーの営業利益率は低いのか？ その理由は日本が生産する半導体デバイスの原価が高いことにある。半導体デバイスの原価を左右する要因としては、歩留まり、チップ面積および製造コストが上げられる。そのうち、どれが主要因であるかを以下で考察する。

(1) 歩留まり

半導体デバイスは、20-30cm の円形のシリコンウエハ上に、数百個以上同じものを作りこむ。このうちの良品の割合を歩留まりという。歩留まりが高ければ高いほど、1枚のウエハから沢山の半導体デバイスを取得できる。したがって、歩留まりが高いほどデバイスの原価が下がり営業利益率も向上する。では、日本半導体メーカーの歩留まりは低いのであろうか？

前報で、日本から海外の半導体メーカーへ転職した技術者や、台湾のファウンドリーに生産委託している日本半導体メーカーの技術者をインタビューした。その結果、日本より韓国や台湾メーカーの方が歩留まり向上を徹底して行っていること、歩留まり向上速度が速いことなどが明らかになった [3]。確かにこの

ようなことも、営業利益率には関係してくるであろう。しかし、数十年にわたって、日本半導体メーカーの歩留まりが諸外国よりも低かったとは考えにくい。したがって、このことが日本半導体メーカーの低利益率の主要な原因とは思えない。

(2) チップ面積

歩留まりと同様、チップ面積もデバイス原価に大きく影響する。表1は、DRAM メーカー各社のチップ面積およびメモリーセルの集積密度を比較したものである[4]。この表から、エルピーダメモリのチップ面積 91mm² であり、三星電子の 71mm² より 30%ほど大きいことがわかる。逆に、メモリーセルの集積密度は、エルピーダメモリの方が 30%程度低い。

表1. 512MビットDRAMの比較

メーカー名	製品番号	メモリー容量 (Mビット)	チップ面積 (mm ²)	最小加工寸 法 (nm)	メモリーセル 集積密度 (Mビット/mm ²)
三星電子	K4T51083QC	512	71	90	7.21
インフィニオンテクノロジー	HYB18T512	512	87	110	5.89
エルピーダメモリ	E5104AE-5C-E	512	91	110	5.63

もし、エルピーダメモリと三星電子の歩留まりが同じならば、エルピーダメモリの DRAM 原価は、三星電子より 30%程度高くなる。また、エルピーダメモリの歩留まりが三星電子より 10-20%程度高くても、なお、エルピーダメモリの DRAM 原価は三星電子より高い。

2005 年 1 月に 4 ドルを超えていたパソコン用 256M ビット DRAM 価格は、同年 12 月には 2 ドル前後に下落した[5]。その結果、エルピーダメモリは、10-12 月期の決算で赤字に転落した模様である[6]。しかし、DRAM 売上高シェア 1 位の三星電子は、減収減益となったものの、赤字になる様子は無い[7]。このような差は、上記チップ面積の差も大きく関係していることが予想される。

つまり、コスト競争力に、チップ面積が関係している可能性は高い。それでは、日本半導体メーカーが生産するデバイスは、全てチップ面積が大きいのであろうか？ あらゆる調査をしたわけではないので断言はしないが、日本半導体メーカーの営業利益率が低い要因の全てがチップ面積にあるとは考えにくい。

(3) 製造コスト

筆者は、前報で、日本半導体メーカーは過剰技術で過剰性能、過剰品質の半導体デバイスを作っている仮説を提言した[8]。その理由は、日本半導体メーカーが特注した高価な製造装置を買っていること、各工程で極限性能を追求するため装置のスループットが悪いこと、デバイスの高性能化および高品質化を目指すため工程数が多くなりその結果装置台数も多いことなどが明らかになったからである。更に、このような技術文化は、25年前から定着していた可能性があることも指摘した。

第4節で詳述するが、半導体デバイスの原価に占める製造装置の減価償却費の割合はきわめて高い。上記を総合すると、日本半導体メーカーが低収益率なのは、高い装置を沢山買っているからではないかと推定できる。つまり、日本半導体メーカーは諸外国に比べて減価償却費が高いことが予想できる。日本半導体メーカーの営業利益率が昔も今も低いのは、このようなことが原因になっている可能性がある。

3. 研究の目的

前節で分析したように、日本半導体メーカーが低収益率であるのは、特注の高い装置を購入していること、スループットが悪くかつ工程数が多いため装置台数が多いことに原因があると思われる。その結果、製造コスト、特にその中でも減価償却費が高騰している可能性が高い。この仮説の検証は、今後の研究で実証したいと考える。

本研究では、上記仮説が正しいと仮定した場合、工程数が増大し減価償却費が高騰するのは、プロセス開発の初期過程において、プロセスフローを構築する際に、コスト意識が無いことが原因であることを明らかにする。更に、この根底には、日本半導体メーカーの技術者および経営者の意識の中に「技術とコストは別物」という誤認識があることを導く。

次節では、まず半導体デバイスの製造コストを分析し、製造コストに占める減価償却費が極めて高い比率であることを示す。

4. 半導体デバイスの製造コスト分析

製造コストに、研究開発費、販売変動費、および一般管理費などを上乗せしたものが、半導体デバイスの総コストとなる。表2に、メモリーおよびロジックデバイスにおけるこれらのコスト詳細を示す[9]。この表では、製造コストを

100%として、その内訳を前工程と後工程に分けて示している。更に、研究開発費、販売変動費および一般管理費の製造コストに対する相対比を表の下部に示している。

表2. 半導体デバイスの製造コスト

項目		メモリー	ロジック
製造コスト		100%	100%
前工程	直接材料	5%	5%
	直接労働件費	5%	5%
	変動経費	9%	8%
	減価償却費	40%	38%
	その他費用	12%	12%
後工程	パッケージ材料	2%	3%
	労働人件費・変動費	4%	4%
	減価償却費および固定費	23%	25%
研究開発費		15%	20-25%
販売変動費		5%	5%
一般管理費・販売固定費		5%	5%

この表から、メモリーおよびロジックともに、製造コストに占める設備の減価償却費の割合が非常に大きいことがわかる。前工程で38-40%、後工程で23-25%、合計で60%を超える。特に、前工程の減価償却費が大きい。前工程では、工程数が600を超える上、個々の装置価格も年々増大している。そのため、最先端工場では、前工程の減価償却費が50%を超える場合もあるという[10]。したがって、半導体デバイスのコストには、特に前工程の減価償却費が重くのしかかっているといえる。

ここで、2005年の半導体市場で最も売り上げが伸びたNANDフラッシュメモリに関するコスト事例を見てみよう。NANDフラッシュメモリの売上高シェア第1位は韓国の三星電子(2004年58.8%)、第2位は東芝(2004年27.9%)である[11]。2005年は、両社とも、前年比7~9%増の売上高となり、好調が伝えられている。

調査会社が両者のNANDフラッシュメモリの総コストを比較した。それによれば、1G-NANDフラッシュメモリでは、三星電子が4.54米ドルに対して、東芝が5.97米ドルとなっており、東芝のコストが約30%高い[12]。また、2G-NANDフラッシュメモリにおいては、三星電子が6.5米ドルに対して、東芝が8米ドルとなっており、やはり東芝のコストが約23%高い[13]。三星電子は、売上高のうち数%をライセンス料として東芝に払っている。したがって、このことを考慮すれば、上記のコスト差は、もっと拡大する。

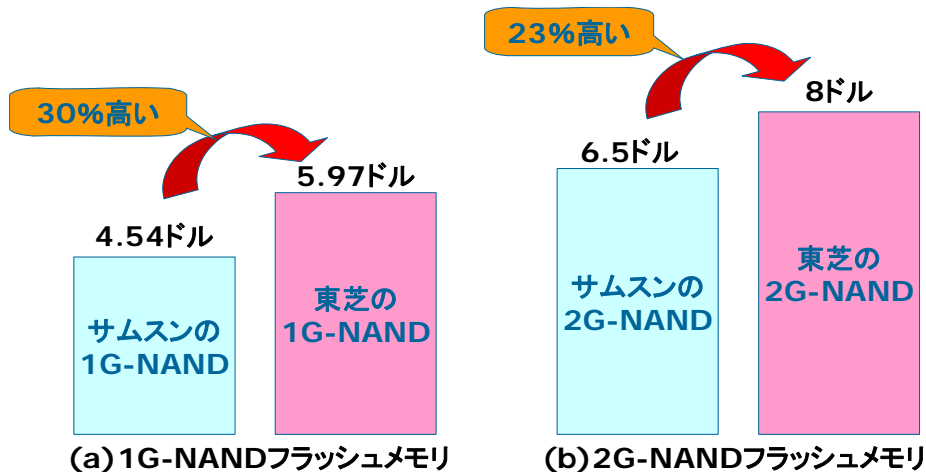


図3. NANDフラッシュメモリのコスト比較

このようなコスト差は主としてどこから生じるのだろうか？ 上記文献[12]によれば、東芝の減価償却費は三星電子の 1.6 倍になっている。やはり、予想通り、東芝の減価償却費は三星電子より高い。更に、ダミーウエハなど消耗品および工場のライン・オペレータが、それぞれ、三星電子の 1.55 倍および 2 倍となっている。以上のデータ比較から、以下が予想できる。

東芝は、特注の装置を高い値段で購入している可能性がある。また、東芝の工程数は三星電子より長いために、相対的に三星電子よりも多くの装置を購入している可能性がある。その結果が、三星電子の 1.6 倍の減価償却費につながっている。また、東芝は三星電子より、装置のメンテナンスなどに用いるダミーウエハが多いこと、ラインのオペレータも多いことから、工程数が多いこと、装置台数が多いことが予想できる。その結果として、減価償却費も高くなり、三星電子に対して、製造コストが 2-3 割高くなっていると考えられる。

すなわち、このような例からも、工程数が多いこと、装置台数が多いことは、減価償却費を高騰させ、製造コストを高くする大きな要因になっていると思われる。

5. プロセス開発の初期過程に問題あり

筆者は、これまでの調査でも、多くの日本半導体メーカーの工程数が多いこと、装置台数が多いことを指摘してきた[14]。日本半導体メーカーが低利益率であるのは、工程数が多いこと、装置台数が多いこと、装置の価格が高いことなどに主要な原因がありそうである。この仮説の検証は、今後の研究で実証する。

本節では、この仮説が正しいと仮定した場合、設計、プロセス開発および生産のどこに問題があるのか？ すなわち、半導体デバイスを作るどの過程に、減価償却費を高騰させる原因があるのかを明らかにしたい。

(1) 半導体デバイスを作る流れ

図3に、半導体デバイスの設計、プロセス開発、量産までの流れを示す。まず設計では、システム設計、論理および回路設計、それからレイアウトなどのデバイス設計の順に進む。デバイス設計の結果からマスクが製作され、更にプロセス設計に進む。ここでは、インテグレーション技術によりプロセスフローを構築する。その工程数は600以上になる。このフローにしたがって、試作を行いデバイスの動作を確認する。問題があればフローを見直す。仕様通りにデバイスが動けば、フローは量産工場に移管される。量産工場では、フローに基づいて製造設備を揃え、デバイスを量産する。

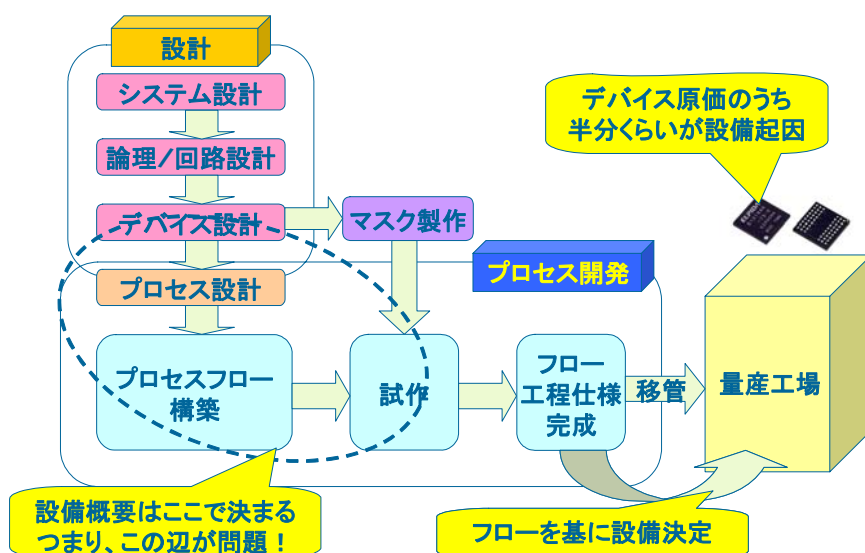


図3. 減価償却費はどこで決まるか。

半導体デバイスの製造コストのうち、40%以上が前工程装置の減価償却費であることをこれまでに説明した。装置の台数や仕様は、プロセスフローを元に決定される。このプロセスフローは、プロセス開発の初期過程でインテグレーション技術により構築される。開発センターにおける試作結果を元にプロセスフローを修正することはあるが、フローの骨組みまで大きく変えることは頻繁に起きることでは無い。また量産工場においては、プロセスフローを作り変えることはきわめて難しい。

つまり、減価償却費を決定する装置台数や仕様は、プロセス開発の初期過程において、プロセスフローを構築した段階で、ほぼ決まってしまうのである。すなわち、半導体デバイスの製造コストについては、量産する前に、プロセス開発の初期過程で、収益力の勝負がほぼついているといえる。では、この過程において、高収益メーカーと低収益メーカーとの間にはどのような差があるのだろうか？

(2) ある高収益半導体メーカーのケース

ある米国の高収益半導体メーカーを調査した[15]。その結果、このメーカーは、以下のようにしてプロセスフローを構築していた (図4)。

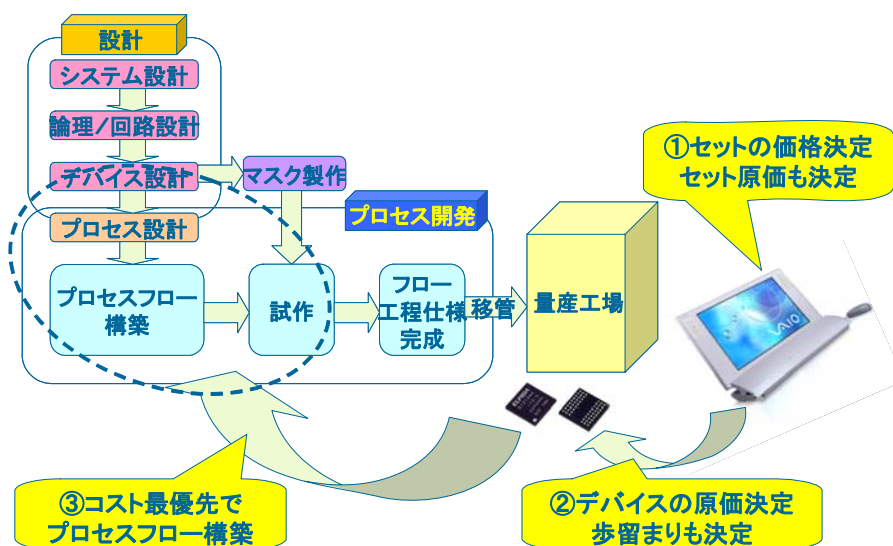


図4. 高収益半導体メーカーのケース

- ①まず、生産する半導体デバイスが組み込まれるセット (例えばパソコン) の価格を想定する。そこからセットの原価も予想する。
- ②上記セットの原価から、半導体デバイスの原価を決める。更に、この原価を実現する歩留まりを決める。またデバイスの納期なども決める。
- ③上記で決めたデバイス原価に見合うようにプロセスフローを構築する。その際、コストは最優先するという。したがって、極力短いフローを組もうとするし、極力各工程をシンプルにしてスループットをあげる努力をする。また、目標とする歩留まりや納期が達成できるようにフローを工夫するという。

すなわち、このメーカーは、全て最終セットの価格から逆算して、半導体デバイスの利益を確保するようにプロセスフローを構築していた。

(3) ある日本半導体メーカーのケース

一方、ある日本半導体メーカーを調査した[16]。その結果、上記高収益半導体メーカーとは、全く逆の思想で作っていることがわかった (図 5)。

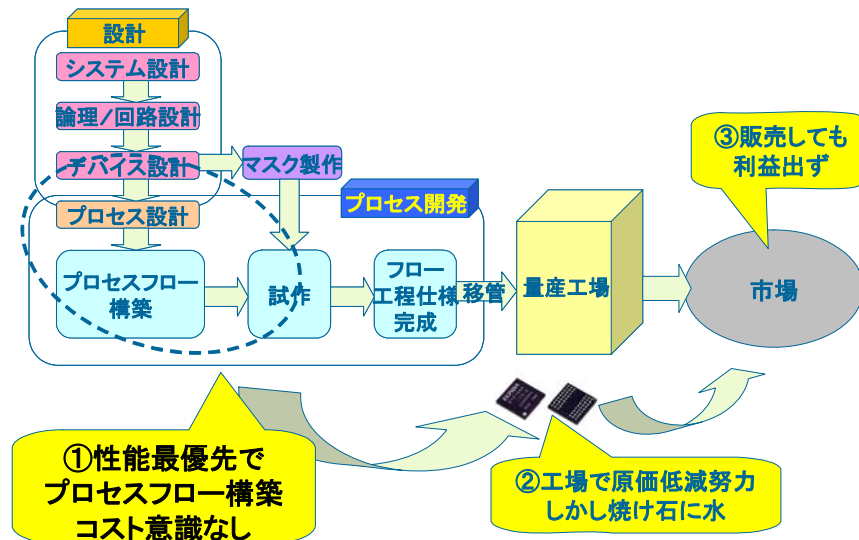


図5. 多くの日本半導体メーカーのケース

- ①プロセスフローを構築する際、デバイス性能を最優先する。より高性能なデバイスを作るように注力する。その際、コストに関する考慮は全く無い。その結果、プロセスフローは長くなる。また、各工程のプロセスは複雑になりスループットが悪くなる
- ②プロセスフローが量産工場へ移管される。このプロセスフローに基づいて装置を導入する。当然のごとく、長いプロセスフローに比例して装置は多くなる。また、複雑なプロセスを実現するために、装置は特注になる。その後、コスト削減の努力をするが、ウエハ価格や材料価格の低減に努力するのが精一杯であり、まさに「焼け石に水。工場ではコスト削減問題が火を噴く」とのことである。
- ③このようにして半導体デバイスを生産するが利益は出ない。

つまり、このメーカーは、減価償却費に最も影響するプロセスフローの構築段階に、全くコスト意識が無い。その結果、量産工場でのコスト低減はほとんど奏効せず、減価償却費が高騰し利益が出ない。

筆者のこれまでの調査によれば、ほとんどの日本半導体メーカーがこれと同じような作り方をしている。すなわち、多くの日本半導体メーカーは、プロセスフロー構築の際にコスト意識が無いために、低収益になっている可能性が高い。

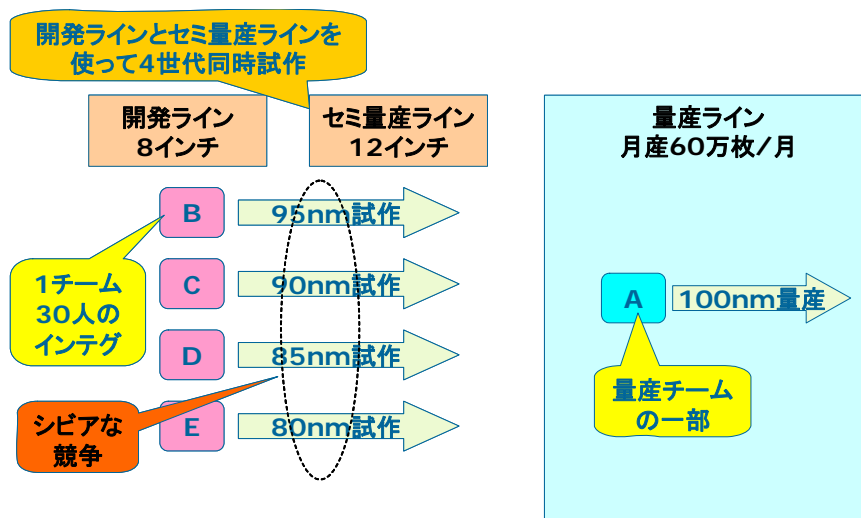
6. コスト意識の差が生じる原因

プロセスフロー構築の際、なぜ、このようにコスト意識の差が生じるのだろうか？ 本節では、この原因について考察する。

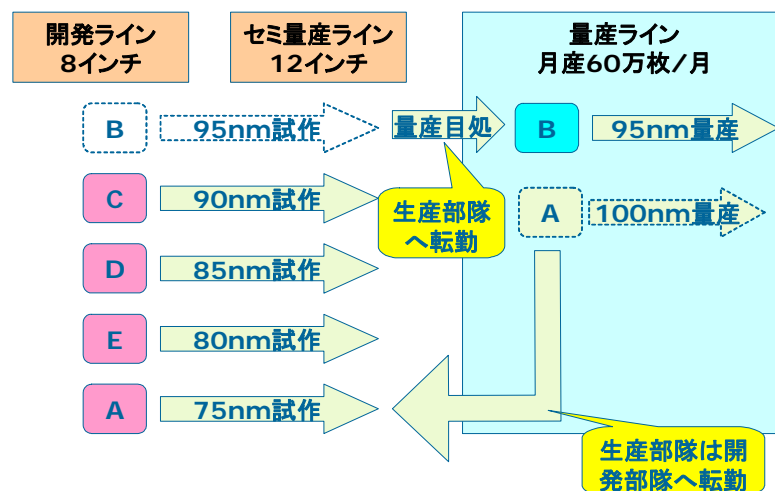
(1) ミッションおよび組織

前節で調査した海外の高収益半導体メーカーでは、開発プロジェクトの成否を、「どれだけの最終製品をいくらかで出荷できたか」という評価で判断するという[17]。つまり、プロセス開発の技術者は、このプロセスフローが量産工場に移管された後の歩留まりはもちろん、最終製品まで視野に入れてプロセスフローを構築していると予想できる。

また、別の海外の高収益半導体メーカーでは、図6に示したような仕組みでプロセス開発と量産を行っている[18]。



(a)開発チームと量産チームの構成



(b)開発チームと量産チームが入れ替わる

図6. ある海外の高収益半導体メーカーのプロセス開発と量産

まず、図 6(a)のように、A チームが中心となって、最小加工線幅 100nm の半導体デバイスを量産しているとする。一方、プロセス開発においては、B~E までの 4 チームが、それぞれ、最小加工線幅 95nm~80nm の次世代半導体デバイスの試作を同時に行っている。この際、一つのチームは、インテグレーション技術者を中心とした 30 人体制である。また、B~E は、開発ラインとセミ量産ラインの二つの設備を用いて試作を進める。B~E のチーム間には、生き残りをかけた熾烈な開発競争がある。

開発チームの一つ B チームが試作する半導体デバイスが量産に移行できる段階になったとする。すると、図 6 (b)に示したように、B チームは量産部隊へ異動となり、95nm デバイス量産立ち上げの主力になる。一方、これまで、100nm デバイスを量産していた A チームは、開発部隊へ異動となり、新たに 75nm デバイスの開発に着手する。

このように、この半導体メーカーでは、開発から量産へ、または量産から開発へと、チームが入れ替わる。つまり、ある半導体デバイスのプロセス開発を行う際、最初から量産立ち上げを視野にいれ、歩留まりを向上しやすいプロセスフローを構築しなくてはならない。なぜなら、自分達のチームが開発した半導体デバイスは、自分達のミッションとして量産しなくてはならないからである。このような体制を敷くと、プロセス開発から量産までの全体最適を常に心掛けることになる。その結果、自然と歩留まり向上への意識やコスト意識が根付くと予想できる。

一方、多くの日本半導体メーカーでは、開発部隊と量産部隊が、組織的に明確に分離されている。開発部隊は、開発センターで構築したプロセスフローを、出張対応などで量産工場に移管したら、仕事はほぼ終わる。歩留まりを向上させる仕事は、量産部隊の仕事になる。したがって、プロセスフローを構築する際、歩留まり向上に対する意識やコスト意識は希薄である。

ある日本半導体メーカーの技術者によれば、「開発部にいる技術者は、開発にしか興味が無い」という [19]。また、別の日本半導体メーカーの技術者によれば、多くの技術者が「コスト削減は工場の仕事と考えている」とのことである [20]。多くの日本半導体メーカーは組織の分業化、縦割り化が進み、全体最適ができない組織構造になっていると思われる。

(2) 技術とコストは別物という誤認識

プロセス開発の初期過程にコスト意識が希薄である原因として、上述したミッションや組織の影響も無視できない。しかし、筆者は、日本半導体メーカーの技術者が「技術とコストは別物」と誤認識していることに理由があると考え

る。その根底には、日本人は技術を「崇高なもの」「神聖なもの」と意識していること、コストについては「金儲け」につながるものであって、それは低級なこと、汚いものと意識していることがあると考える。

そのような意識から、例えば、技術者が溝や孔の微細加工技術を開発する際は、如何に精緻で完全な溝や孔を加工するかということだけに全力を尽くす。その技術開発は崇高で神聖なものであり、コストのような低俗なことと混同してはならないと思っている。その結果、製造装置は特注化し極限まで高性能化を推し進める。プロセス技術は複雑になり処理に時間と手間がかかるようになる。

また、インテグレーション技術者がプロセスフローを構築する際は、如何に高性能なトランジスタを形成するか、如何に高速性、低消費電力性、高集積性を実現するかなどに全力をつくす。このとき、高性能トランジスタを開発することが崇高で神聖な行為であり、それにコストが幾らかかるのかなどとは考えない。その結果、マスク枚数や工程数が増大することになる。

元日立製作所の技術者は、「日本人の血に流れている巧みの精神のなせる業ではないか」といった[21]。確かに精緻さ、完璧さを求めるその姿勢には、美意識が感じられ、芸術に取り組んでいるようにすら見える。このような日本的意識が、技術とコストは別物と認識してしまう根源にあるのではないか？

しかし、半導体ビジネスを続けるためには、年間千億円以上の投資をし続けなくてはならない。また、間違いなく、今後も熾烈なコスト競争が続く。したがって、日本半導体メーカーが生き残っていくためには、コスト競争に打ち勝って、利益を上げ続けなくてはならない。その道を打開するのは、やはり、技術しかない。それはどんな技術か？

2005年11月、「65nmの民生用SoC (System on Chip) 量産で松下電器産業が一番乗り」というニュースがあった[22]。これまで、二番手または三番手グループに甘んじていた松下電器産業が、世界の大手半導体メーカーを尻目に、65nmの半導体デバイス量産で先行した。ここに、日本半導体メーカー復活のヒントがある。松下電器産業の古池氏は、「ほとんど必要ない高速型を捨て、低消費電力化と高集積化に特化してトランジスタを開発した」と述べている。つまり、全ての面で高性能化を図るのではなく、必要無い性能については仕様を緩め、必要な性能だけ向上するように技術開発を行った。その結果、65nmの量産で、世界一番乗りを果たすことができた。

上記の思想を参考にすれば、例えば、プロセスフローを作る際、その半導体デバイスが使われる場面を想定し、緩めていい仕様は緩める手段が考えられる。もちろん、勝負をかける仕様については精緻に開発する。微細加工を行う際も、

全て精緻に完璧に行うのではなく、まけていい部分はまける。このようにプロセス開発の精度にメリハリをつける。あるいは、どこまで緩めていいか、どこまでまけてもいいか、どこまで工程を短縮してもいいか、などの研究開発に専門に行うことも重要だ。

そうすることによって、プロセス開発は非常に楽になり、早くなる。工程数も短縮でき、歩留まりも向上するのではないか。要するに、半導体デバイスの全体を見渡して、社員全員で「儲けるプロセス」を構築し、「儲かる半導体デバイス」を生産することが、日本半導体メーカーには必要であると考えている。

参考文献など：

- [1]朝倉博史 (2006) 「1 ケタ成長時代の勝ちパターン、売り手優先で乗り切る」日経マイクロデバイス、2006年1月号、26 ページ。
- [2]会社四季報のデータを用いて筆者が作成。
- [3]湯之上隆(2004)「技術力から見た日本半導体産業の国際競争力ー日本の生産技術は大丈夫か？ー」技術革新型企業創生プロジェクト (ルネッサンスプロジェクト) Discussion Paper Series #04-11。
- [4]Geoff MacGillivray(2005)「DRAM メーカーの技術力を検証、Samsung 社が集積密度で先行」EE Times Japan、67 ページ。
- [5]日本経済新聞、2006年1月14日朝刊。
- [6]日本経済新聞、2006年1月14日朝刊。
- [7]日本産業新聞、2006年1月16日。
- [8]湯之上隆(2005)「技術力から見た日本半導体産業の国際競争力ー日本は技術的をはずしているー」日経マイクロデバイス 2005年10月号、49 ページ。
- [9]泉谷渉 (2004)「図解、半導体業界ハンドブック」東洋経済新報社、90 ページ。
- [10]2005年12月21日、筆者による元東芝の部長へのインタビュー結果による。
- [11]「マーケットデータブック 2006年度版」EE Times Japan2006年1月号特別付録、E2 パブリッシング株式会社、25 ページ。
- [12]三宅常之、木村雅秀 (2005)「儲からない日本の半導体『コストから逃げるな』」日経マイクロデバイス 2005年6月号、57 ページ。
- [13]Tech On! (2006)「『まだまだ伸びる NAND 型フラッシュ需要』メモリー・シンポ報告(市場編)」Silicon Online、半導体デバイス製造技術の最新情報サイト、2006年2月1日。
- [14]前掲書[3]および[8]。
- [15]2005年11月4日、筆者による元インテル社員へのインタビュー結果による。
- [16]2005年11月4日、筆者による元東芝の社員へのインタビュー結果による。
- [17]2005年11月3日、筆者によるインテル社員へのインタビュー結果による。
- [18]2005年3月27日、筆者による元富士通の社員へのインタビュー結果による。
- [19]2006年1月13日、筆者による元 NEC の社員へのインタビュー結果による。
- [20]2005年11月4日、筆者による元東芝の社員へのインタビュー結果による。
- [21]2005年11月18日、筆者による元日立製作所の社員へのインタビュー結果による。
- [22]大石基之 (2005)「65nm の民生用 SoC 量産で松下電器産業が一番乗り」日経エレクトロニクス、2005年11月7日号、33 ページ。