

Title	半導体：生存戦略の超克から競争戦略への転換(企業の研究開発戦略)
Author(s)	渡辺, 千仞; 藤井, 三康
Citation	年次学術大会講演要旨集, 18: 119-122
Issue Date	2003-11-07
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/6850
Rights	本著作物は研究・技術計画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 Science Policy and Research Management.
Description	一般論文

生存戦略の超克から競争戦略への転換

渡辺千仞, ○藤井三康 (東工大社会理工学)

《Contents》

1. 1-序論-背景としての投資自前主義の崩壊
1. 2 合従連衡の新構図(生存戦略の収斂先)
2. 1 線幅の微細化戦略/競争戦略のトリガー
2. 2 (図のみ)リソグラフィー開発競争の図式化
3. 1 ウエーハ大口径化/世代交替. 200 mmから300 mmへ

3. 2 300 mmラインのコストモデル(00年モデル)
4. 1 300 mmウエーハの世界標準化の問題点
4. 2 ファクトリ・デザイン
4. 3 300 mm工場の先発組とスタンバイ工場
5. 一結論-何が如何変わるのか, 変わらないのは何か
—批判的検討—

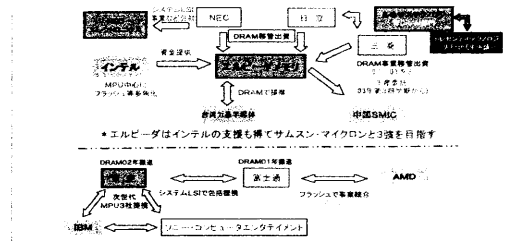
《References》

1. 1-序論-背景としての投資自前主義の崩壊

世界の半導体企業のコンソーシアムは、70年代の日本の「超LSI技術研究組合」(以下「超LS研」に統一)と、これに約10年後に反応した米国の「セマテック」がイニシアティブを執った。セマテックは米国の製造装置メーカーの企業連合であり、増大に歯止がかからない生産設備の標準化に成功した。一方の「超LS研」においては成果もデバイスの共同開発ではなく、製造装置取分けステップの開発に成功したことにある。このように両者には10年の隔たりを超えて共に国家戦略であったことで共通していた。その両者の戦術の現象面は、日米半導体摩擦に収斂され、日本は殆ど反発を見せずに、国内のセトメーカーは米国を中心とした外国製半導体輸入の割り当て数量を、「日米半導体協定」に準じて消化(外国製品購買シェア 20%)したのである。これを国辱的と看た(り、または沙汰止みの現在、業界の古老等が懐古的に、「日の丸半導体」再生を声高に煽る態度は、両方ともに間違っている。コンソーシアムの難さは日米ともに大差のない「普遍性」が既に顕在していたのだ。米国では「セマテック」以前にUSメモリーズなる、デバイス共同開発機構は、盟主意識が色濃かったIBM主導が災いして、設立後間もなく崩壊した。いわゆる「疑心暗鬼」が、そうさせたのであり、「超LS研」においても、pre-competitive分野を是とし、共同研究はステップの開発にバイヤスを強めたのである。すなわち「呉越同舟」や「同床異夢」を回避する為である。換言すれば、共同研究の核心は、取分けフリーライド回避の大儀のため、「市場に近からず、且つは市場からは遠からず」という、1歩間違えれば、「自縄自縛」に陥るかのこれらの詭弁を弄せざるを得ない、と言うのが、いまでもコンソーシアムの現実なのである。批判の矛先は近時の(コンソーシム)乱立傾向に向き始めてもいる。そうこうしている間にも半導体チップは、微細化・積層化・高速化の進行スピーに拍車がかかり、ウエーハにおいても大口径化が喫緊の課題となり、製造

設備の高額化を受容できる半導体メーカーは世界のトップ2くらいである。折からのリセッションに、投資を逡巡し続けたデバイスメーカーは事業継続が至難になった。取分け日本のデパート型の総合電機メーカーが顕著である。事業統合や戦略的アライアンスが採り得る最適項の相貌である。

1. 2 合従連衡の構図(生存戦略の収斂先)



図を整理すると、4極体制に収斂している、もはや単独でのR&Dや新ラインの建設投資負担は賄い切れず統合や提携が必須になったのである。

(1) 1DRAMに特化する「エルピーダ」は先ずは日立とNECが合流し、三菱のDRAM部門も参加する。東芝/富士通は既に、DRAM部門から撤退している。*富士通はフラッシュに特化し始めた。

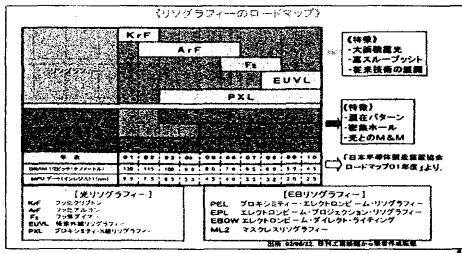
(2) 「ルネサステクノロジ」は、日立と三菱の非DRAM部門の統合である。既に日立と台湾/UMCは、01年3月には300mmウエーハ工場、「トレンセンティ・テクノロジー」を立ち上げ準備万端のところ、これが合流する。

(3) NECの非DRAM部門は本体からスピンオフさせ資本市場から資金の直接調達を始めた。

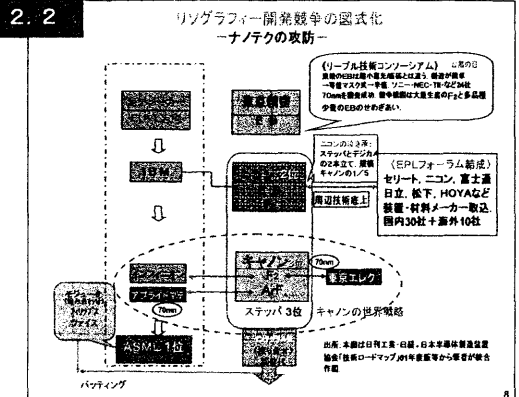
(4) 東芝のみ世界3位の實力で、総合電機会社の半導体セグメントとして孤高を保っている。従来の半導体大手5社が1つ減っただけに見えるが、新構図は合従連衡の極みであり、図にあるように外国企業とのアライアンス鑑みれば、その内容は、破壊→選択→集中→創造の坩堝である。

2.1 線幅の微細化戦略／競争戦略のトリガー

半導体の集積度はムーアの「経験」法則で3年で4倍、すなわち、18箇月で2倍のペースでコンスタントに増加し続け、メモリでいえば現在の 256DRAMもそれを体現してきた。あと10年ほどはこの軌跡の基本は変わらない。本稿では、半導体(前工程)製造装置の中の超精密機械、ステップ&リピート&スキャンのテクノロジー・ノードを提示し、ムーアの法則の裏付けに迫る。



は、(1)のイメージが確認できよう。



3.1 ウエーハ大口径化／世代交替, 200 mm から 300 mm へ

(1)微細化の中心装置と位置付けられるステッパの開発競争は、正にデバイスと装置の極地技術が火花を散らすナレッジ・マネージメントの「場」であり、言わば、半導体技術者の《梁山泊》である。ここが競争戦略のトリガーになり、且つはウエーハ大口径化への『登竜門』でもあり、「科学」の試練なのである。

(2)03, 04年度を筆者は大きなテクノロジー・ノードと見た。03年度のDRAMの線幅が100nm (0.1 μ m) MPUは 65nm (0.065 μ m)で、対して04年度のそれは 90nm と 53nm である。露光方式を見ると、光リソでの光源は、KrF、弗化クリプトン、ArF、弗化アルゴンレーザーの端境期が看取れる。EB リソではPELとEBDWがオーバーラップしている。簡単化のためDRAMに焦点化すると、90nm は本稿の中心をなす 300 mmウエーハの要素技術であり、また補完技術でもある。

(3)実は、皮肉なことに、微細化の本質は、線幅をより微細化することで、配線の密度を上げ、チップサイズを小さくし、ウエーハからの[チップ取れ数]を高め、コスト削減を図ることが、「金科玉条」であった。更にハイブリッド化や高速化などが相乗効果を齎すはずであったが、取分け DRAM チップは長方形という属性／配線の制限から、世代交替の度に旧世代の 1.6 倍サイズアップになってしまう。このトレードオフの改善は、やはり後述の本稿の中心テーマ、ウエーハの 300 mm化に、解決を委ねる術しかない。ウエーハの大口径化が必須のようである。(ようと、突き放すのは本稿の筆者結論が批判的だからである。)

(4)とはいえ、このロードマップの実践は、ステッパ・メーカーが、如何いう戦略を以って実際にステッパの開発競争を展開し、リソ革命の陣取り合戦に注力しているかの様相である。次の図で

03年度 (FY)も第4Q期に突入、第 1Q期から半導体製造装置の活発な受注が期待されていた。第3章と第4章は野村證券金融研究所のアナリスト・和田木哲哉氏の卓越した分析を中心に、ウエーハ大口径化の含意を考究する。尚、資料(『NOMURA』. 03/01/17. No03-020)の引用・転載に付いては、本人の快諾を得ていることを断わり書きしておく。同氏は半導体業界自体からも優秀なアナリストとして認知されている。

冒頭は、現在計画中の 300 mmラインを4半期ごとに調査した結果、05年度末には約30本のラインが稼働している、という。取分け03年度中には、300 mm工場に追加投資が行われる。何故ならば、現存稼働中の 300 mm工場の殆どは計画の半以下の製造装置しか設置していない。不況の影響もあるが、工場稼働のノウハウ不足としている。主たるものは①装置のネットワーク化とAGV・OHT(ファクトリ・イメージ図参照)などとのインターフェースの欠落や、②生産管理の欠陥、③露光工程やイオン注入工程での「スループット」の低下を挙げている。本稿p1図の右上にあるルネサス・テクノロジーに先行せる日立の子会社「トレスエンティ・テクノロジー」は、既に00年に世界初の 300 mmウエーハでの試作に成功し、翌年には同じく世界初の量産工場に成っただけではなく、全工程に枚葉式生産法を採用込んだ。今後は追加の設備投資と操業維持が希求されることと。この 1 例を見ても、03年度の活況が見えてきていると予測している。

3. 2 300 mmラインのコストモデル(00年モデル)取れ数は

図の*へ行く

下の図表*は00年にデバイス・メーカーが発表したビジネスモデル。ここでは、300 mm工場のウエーハ処理枚数を 200 mm工場の半分と想定する。工場当たりのチップの取れ数は下図の*を、計算上は面積比で2.25 倍なるも大口径によるデッドスペースの減少(歩留の向上)のため、2.4 倍にしている。

* 0.5(ウエーハ処理枚数) × 2.4(ウエーハ当たりチップ取れ数) = 1.2倍

となり、その結果200mmラインに比べ全体で約3割のコストダウンを見込み、その内設置では4割強のコストダウンを見こんでいる。 ※筆者注: 計算上の面積比では、2.25倍になるが、大口径によるデッドスペースの減少(歩留の向上)のため、2.4倍にしている。(スライド130のシフト参照)

《300mmラインのコストモデル》

	200mm	スケールアップ	300mm	チップ当たりコスト 対200mm比
ウエーハ当たりチップ取れ数	1		2.4	1.2倍
処理枚数	1		0.5	0.5倍
チップ取れ数	1		1.2	1.2倍
	百万円	%	百万円	%
設備投資	50	2.6%	40	2.6%
建設費	743	36.4%	520	33.2%
設備費	135	7.6%	216	13.8%
その他諸費	1,006	52.8%	790	50.2%
合計	1,934	100%	1,566	100%

《試算》チップ当たりコスト対200mm

= 設備 520 / 743 ÷ 1.2 = 58%

※合計 1,566 / 1,934 ÷ 1.2 = 67%

《試算》

※合計では33%のコストダウンが計算された。(100 - 67 = 33)

※合計をチップ換算すると、200mmは、2,320億円、300mmは1,566億円となる。

《注》 デバイス・メーカーは、半導体売上における固定費の割合の軽減を企図している。が、2,000億円を誇る最盛期が、1,500億円超えにシフトしてもデバイス側の新規投資は従来の約、1.1倍(自前主観とは合わない。片や装置側には300mmがデバイス側の自動搬送の導入に半導体市場に占める半導体装置市場は微小圧力/パイプがかる。としている。そのシフトの後は、半導体市場は、シクリカル/cyclical(景気変動に連動)ながら市場上りが見込まれ、中期的には大きく成長する。が、その成長に新たなパイプがかかるという点で、業界の中期成長を否定しているのではない。と氏は断わり書きはしているものの、装置側としては、毎週、(※多量注文)では経営が成り立たない。このことは本稿の結論で、更に時味する。以下は氏が300mm化が装置市場に与える影響を予測する上でのパラメータとしている。

※筆者注: スケールアップ(300mm)の機械設備(4工枚数)のウエーハ(6インチ)のチップ取れ数、歩留率の向上

φ直径 300 mm ± 0.2、φ表面粗さ(100 ± 1)
φ厚さ 775 μm ± 25 μm、反り最大 100 μm

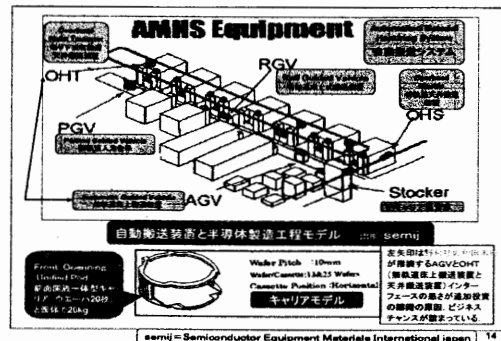
4. 2 ファクトリ・デザイン

競争があまり意味を持たない分野の標準化の行間には、実は大きな陥穽が在ることに業界は無頓着に見えなくもない。取分けウエーハ搬送キャリアの自動化は、生産方式が 300 mmウエーハになれば枚葉式が必須で、キャリアの自動化(マテハン/オートマチック)を標準化すれば、自ずと聖域になり、個別企業の技術開発の芽を摘むことになる。既に野村證券の和田木氏の指摘でも 300 mm工場の投資が一時的に頓挫の傾向はファクトリ・オートメーションと製造設備の取り扱いノウハウが欠落としているのではないかと、キャリアの自動化は pre-competitive 分野では決してないのであり、比較優位のチャンスを放棄することの懸念がある。国際標準化が悪いわけではないが、多くの経験で「自縄自縛」はよく在ることである。1例を挙げれば、300 mmがチップの取れ数向上を含め、約3割のコストダウンを齎すことはもはや言を待たないが、チップ取れ数の向上の一方で、例えばDRAMは世代交替ごとに、チップサイズが 1.6 倍にサイズアップしている現実もある。300 mmウエーハの25枚 FOUP(ウエーハ前部閉閉型キャリア)は重量が 20kgにも成り、自動搬送が不可欠である。まして短TAT (Turn Around Time/デバイス工場にウエーハが入庫してから、ペア・チップまたは、パッケージ・チップとして工場を出庫するまでの時間)が至上ことになるので、キャリア搬送の自動化は必須である。実は、筆者は利益の源泉は、この自動化の運営稼動にあると信じている。日本の搬送ロボットやトランスファー・マシンは移動倉庫技術も含め世界に比類ないものと思っている。蛇足的だが、このシステムのオペレータをヒューマノイド・ロボットに任せる手立てもある。コンソーシアムの問題でも、この標準化(特に世界ゆえの)問題でも、搬送船団方式が二重写しに見えるのである。後れた軍団の手枷足枷が期待利益を毀損してしまわねばいいが。

4. 1 300mm ウエーハの世界標準化問題

ウエーハ大口径化の遷歴で、150 mmから未だ主流の 200 mmへは業界全体として移行の際の半導体メーカーの足並みが揃わなかった。それに追従する装置・材料のベンダーもバラバラで、関連業界全体としても、移行に大きなコストが架かり、取分け先行メーカーは大きな損失を被ったとされ、この反省を踏まえながら、SEMIへの委託を前提に、第1回シリコンウエーハ・サミットが開かれ、当面のテーマはウエーハの口径サイズとそれに伴う工場の自動化が課題であった、としている。主たる合意事項は、①口径は 300mm。②ウエーハの細部仕様。③搬送キャリアの標準化。④量産の適時期は 1999 年等であった。②の要諦は以下である。

半導体工場のファクトリ・デザインのイメージ図である



4. 3 300 mm工場の先発組とスタンバイ工場

野村社の4半期ごとの調査によれば05年度までに稼動している 300 mm工場は30ラインになるとある。合併・統合の合従連衡を以て膨大化に歯止がかからないR&Dや新規設備はこれら広義のアライアンスを招来したように、間違いなく競争戦略への回帰が観られ、300mm ウエーハや微細化の極致&ハイブリッド化も相俟って半導体産業/企業は明示的に上昇気流を掴んだようだ。その動向を示す要因である 300mm 工場の稼動済と後発・スタンバイ新設ラインの実態を見る。《蘇生産業》の10社をラインアップする。

メーカー	Fab	Product	μm	プロセス	キャリアードパス		
					スタート	マダス	
ソニー	大阪	DRAM	013	08年	03年9月	3,000	20,000
東芝	四日市	NandFlash	0085		09年		25,000
日立	新潟	シナプス	118	04年Q1	04年Q1	17,000	17,000
インテル	福岡	MPU	009	03年3月	04年Q1		25,000
IBM	イースピ	SOC	01	02年	03年	4,000	17,000
TSMC	台湾	SOC	013	03年Q4	04年		30,000
UAC	Fab12A	PLC/Gate	015	01年Q1		12,000	40,000
サムスン	Fab12	DRAM	013	08年		13,000	23,000
STマイクロ	カネア	Logic	013	02年			15,000
マイクロン	リッチモンド	DRAM	011	02年Q3	03年Q3		34,000

5. 一結 論—何がどう変わるのか、変わらないのは何か —批判的検討—

300 mmウエーハのコストモデルに戻ってみる。対 200 mm比のチップ当たりのコストで偶然にも建屋負担分のコストダウンはトータルのコストダウンと同じ比率の33%である。クリーンルームの高性能/高額化には触れてないが、検討が要る。変動費はウエーハ(材料費)が大きくなる分とそれに追隨する材料費が増大して当然で、133%である。その他の経費(オーバーヘッド)も35%の低減要因である。克目すべきは装置投資が42%ダウンである。300 mmはプロセス処理が、従来のパッチ方式(ロット処理)から枚葉式(1枚ごと)に変わることと、カセット/キャリア(25枚入り)が重くなるので自動化・マテハン化の追加投資は避けられない。にも関わらず42%の低減の意味合いは、核心的な装置投資である拡散炉・洗浄装置・コーター・CVD・ステッパ・エッチャーなどのプロセス装置市場の縮小圧力(短期的には)となり、事実上シュリンクに繋がる。

* デバイス側の合理化は装置側にマイナスに作用し、正にトレードオフである。

日本での半導体の産業間技術革新は、70-80年代は支援産業に当たる装置企業が輸入装置をアレンジしてデバイス側に供給し、コンソーシアム/「超し研」では、デバイス側はステッパの統一仕様に合意して、世界に冠たるニコンのステッパを開発した。その後のコラボも双方の協調・協力で(例えばベンダー側への R&D 提供や装置の立ち上げへの双務協調)良好な関係であったが、時間の経過でカスタマ化が進み、①注文書の不備・遅延②曖昧な検収③支払いの悪化(米国では出荷後30日で 90%が現金化に対し、日本は検収後 120 日を超える現金化)など取引慣行の悪化が常態化し、現在も続いている。この状況下で支援産業市場がシュリンクすれば、ここでも、経済合理性の正論は否定すべくもないが、両者間の深層化しつつある確執(ゼロサムではないにしても)は《先憂後楽》が開放されるまでは依然として居座ろう。

変わるのはウエーハの大口徑化という製造革命。変わらないのが悪い取引慣行ならば、装置/支援産業の価格低下が収斂し、またぞろ日本の半導体産業全体が利益なき繁忙に陥り、近時の上昇気流を掴みきれずに、停滞産業を超えて衰退産業になろうことを憂える。慚愧なことである。

《References》

- 『日本経済新聞』、『日刊工業新聞』、『週間東洋経済』、『ウエッジ』等の半導体関連スクラップ。
 - 菊地正典『半導体のすべて』日本実業出版社。2002。
 - アナリスト・和田木哲哉「再び動き出 300 mm工場」、『NOMURAN』03-020。03。01.17。
 - 小宮啓義 監修『グローバルスタンダードへの挑戦—300 mm半導体工場へ向けた標準化の歴史—』SEMIジャパン。03.05.30。
 - 経済産業研究所編。2000 年度研究「国際競争力研究会」報告書。01.08.27。
 - 財団法人半導体製造装置協会『半導体製造装置産業が直面する課題と将来展望の検討』03.11。
 - 佐久間昭光「産業間関係と技術革新—日本の半導体デバイス産業と製造装置産業—」、『一橋論叢』。第 115 巻 第 5 号 1996。5 月号。
 - 宮田由紀夫『共同研究開発と産業政策』勁草書房。1997。
- 略 語 1. Semij=Semiconductor Equipment and Materials International Japan
- 略 語 2. SEAJ=Semiconductor Equipment Association of Japan:(社)日本半導体製造装置協会
- ☆《紙幅の都合で、SEAJ・専務理事・菊池正典氏と、同、技術部長・頼金雅春氏から特段の資料の提供を受けたが、筆者の怠慢の為、引用/掲載が叶わなかったことを記してお詫び申し上げます。》