

半導体の歴史

— その24 20世紀後半 超 LSI への道 —
1980年代 DRAM における日本メーカーの台頭株式会社フローディア
代表取締役社長おくやま こうすけ
奥山 幸祐

今年のNHK大河ドラマは「平清盛」である。平家は清盛までの3代の努力と、特に清盛の知略、戦略により、栄華を極めるが、清盛の死後、短期間で滅びて行くことは日本人であれば誰もが知るころである。清盛の時代に平家一門が栄華を極めたことにより、その散り方、はかなさが日本人の心を捉える。「祇園精舎の鐘の聲 諸行無常の響きあり 沙羅双樹の花の色 盛者必衰の理をあらわす おごれる人も久しからず ただ春の夜の夢のごとし たけき者もついに滅びぬ 偏に風の前の塵に同じ」は鎌倉時代に成立したと思われる平家物語の冒頭部分である。平家物語は平家の栄華と没落を描いた軍記物語である。「盛者必衰の理」が醸し出す無常さが哀れさを感じさせる。平家の栄華と没落はDRAMに代表される日本の半導体産業を彷彿させるものがある。それは、1980年代の日本のDRAM産業が、急激に世界を席卷し、栄華を極め、10数年後の1990年代半ばには、その力を急激に衰退していく様子である。遂には、今年に入り、国内最後のDRAMメーカーであるエルピーダが会社更生手続きに入り、アメリカのマクロン・テクノロジー社の傘下に入ることになる。日本国内のメーカーがDRAMに触手を伸ばす1972年から、今年2012年までの40年間で、日本におけるDRAMを中心とする半導体産業の平家物語とも言える。その中において1970年代、1980年代は、日本半導体産業が無数の可能性を抱いて飛翔する時代である。

■ 1980年代日本半導体メモリ躍進への超 LSI 共同組合の役割 ■

1980年頃になると日本の半導体はDRAM製品を中心に売り上げを大幅に伸ばしていく。この要因の一つは、1971年にインテルが市場投入した1kビットDRAMを見て、1972年には日本電気や日立、富士通、三菱電機、東芝など

の主要メーカーがDRAM開発に着手し、各社間の少差はあれど1974年には4kビットDRAM、1976年には16kビットDRAMの研究開発を完了し、DRAM技術の力を、この時点で既に持ち合わせていたことである。日本からアメリカへの輸出は16kビットDRAMから本格化し、77年から80年にかけてシェアを拡大し始める。もう一つの要因は1973年のオイルショックをきっかけで始まった1974年、1975年の半導体不況に伴い、日本メーカーは民生分野から大型コンピュータ分野へと方向転換を始めたことであり、その歩調に合わせ、超LSI共同組合が結成され、この共同組合によりDRAMの研究開発を底上げしたことであり、64kビットDRAMにて急激にシェア拡大を果している。前稿まで記載した1976年から4年間の超LSI共同組合による共同研究所が果たした役割が大きい。それ以上に寄与したのが、共同研究所とともに設立されたコンピュータ総合研究所(CDL)と日電・東芝情報システム研究所(NTIS)である。CDLは富士通・日立・三菱電機の3社による総合研究所であり、NTISは日本電気と東芝による研究所である。1980年代に国内の1、2社のみではなく、これらの会社が一齐にDRAM製品への競争力を強める事ができた大きな原因はCDL、NTISによる所が大きい。ちなみに、CDLとNTISは共同研究所が解散した1980年以降も補助金なしの追加開発(前期1980年~1982年、後記1983年~1986年)でLSI実用化研究が続けられている。

これらの研究機関を通して豊富な資金を得られただけでなく、技術交流を図る中で各社間の底上げがなされたことが日本半導体メモリ躍進の原動力になる。共同研究所の目的は1MビットDRAMの基本技術の開発であるのに対し、CDLとNTISは実用化技術を目的とするが、研究テーマの重複は許されないため、CDLは高集積デバイス、NTISは高性能デバイスを目標とした実用化技術ということで研究開発が実施される。それぞれの研究所の立場から、当面の次世代技術として64kビット、256kビットDRAMへの実用化技術の研究開発を行う。CDL、NTISに共同組合を通じた国庫からの補助金と各社の開発費を合わせ、多額の資本が投資されることで各社の半導体開発の基礎体力を増強することになる。これらのメーカーが、半導体専業メーカーではなく、総合電機メーカーであり、体力的に大きく、資

本投資し易かったことも要因として挙げられる。豊富な資金力を元に研究・開発・生産の3段階を、研究は研究所、開発は開発センター、生産は量産工場を抱える事業部と、それぞれ独立採算した3段階の部門を設けた3段階体制を作り上げる。この体制は主要メーカーの殆どが採用した体制である。

例えば、日立では半導体製品の主力となる DRAM の研究・開発・量産において、研究は中央研究所が担当し、開発をデバイス開発センター、事業を半導体事業部が担当するようになる。この中のデバイス開発センターは超 LSI 共同組合の中のコンピュータ総合研究所 (CDL) に参加する日立側の受け皿として1975年12月に武蔵工場の一角に設立されたものである。CDL は富士通・日立・三菱電機の3社の共同研究所であったが、1つの場所に統合した研究所を設けずに各社それぞれの敷地に分かれて運営する形式を採っている。日立はその研究所をデバイス開発センターとする。日立内では大型コンピュータ事業部門の管轄であり、大型コンピュータの演算処理用大規模 ULSI チップの開発量産が主務であり、それと並行して大型コンピュータの主メモリとして DRAM の開発を担う。これによって、日立は1972年から中央研究所を中心として開始された DRAM 開発に1976年から CDL 参加で得られた開発力を向けることになる。

.....



川本洋



清水真二

.....

「半導体のはなし19」に記載したように、1976年当時は既に中央研究所の伊藤清男らは64k ビットの研究を進め出している時期である。また、半導体事業部にて1k ビット DRAM から設計を担当していた川本洋やプロセス開発を担当していた清水真二らは16k ビット DRAM の製品化を終え、1976年に市場投入を開始した段階である。川本や清水らはデバイス開発センターが設立されるとともに半導体事業部から移籍し、彼らの元に開発人員を増強して行くことでデバイス開発センターの DRAM 開発体制が整えられて

行く。中央研究所の伊藤清男ら研究陣が将来有効になる要素技術の研究を行い、川本、清水らが各世代の製品設計・プロセス技術開発を行い、半導体事業部で事業部長である牧本次生の元でメモリ設計部部長の米山貞夫が事業（製品展開の為の設計、製造、販売）を推進して行く3段階体制である。この体制は64k ビット DRAM から持ち込まれる。これにより、日立は DRAM の開発力を大幅に向上させ、1980年に市場投入した64K ビット DRAM は1981年に世界シェアの40%を占め、64K ビット DRAM において世界一の売上を達成する。二位が富士通であり20%のシェアを獲得、三位、NEC の9%と、その他のメーカーも併せ日本メーカーのみで69.5%のシェアを獲得している。

清水の下には、毎年優秀な新人が部下として配属される。1976年に村田純、1977年に宮沢弘幸、1978年に土屋修、1979年に荻島敦史が新人で配属され、その研修員終了したての若い技術者達が第一線で働いてゆき、清水と共に日本 DRAM 産業の栄枯衰勢を経験して行くことになる。特に、最も若い荻島は清水と共に日立、エルピーダと2社に亘り DRAM 製造のためのプロセス開発に半生を捧げることになる。村田の研修員テーマは、酸化技術で、研修員後、1978年から1981年に64K の開発と量産を担当する。その後、海外留学し、帰国後、設計部の川本の下に移り、1986年の4M 開発から、DRAM に戻り、4M-16M の開発担当している。宮沢の研修員テーマは CCD である。研修員後、1979年から第一世代64K ビット DRAM (64K-A) のシリサイド技術開発を担当する。最初は、Mo メタルゲートとして中央研究所から提案されたものを、宮沢が特性劣化やゲート絶縁膜破壊などに少々苦労し、Mo シリサイドとして64K-A で1981年、実用化に成功している。その後、W シリサイドの装置が開発され、1M からは、材料が W に変わる。このシリサイド技術は、日立が最初にメモリで実用化し、その後の DRAM 標準プロセスとなったプロセスの1つである。その後、1983年から翌年にかけて1MDRAM のトレンチ構造メモリセルの開発を担当している。土屋の研修員テーマは、メモリセル容量部のシリコン基板に N + 拡散層を形成することにより容量値を効率的に増加させる Hi-C プロセス開発であり、研修員後、その発展として ONO 膜の実用化を担当し、第2世代64k ビット DRAM (64K-U) で実用化に成功している。この ONO 容量膜も、日立が最初に実用化し、その後の標準プロセスになる。その後、1981年から2年間、256K 開発を担当し、1984年にプレナー型1M ビット DRAM の開発を担当している。荻島の研修員テーマは、MOSFET のホットキャリアによる特性劣化の対策であり、研修員後、DRAM 製品の MOSFET デバイス全般を担当し、その後、1981年から土屋と共に256K、1M ビット DRAM の開発と量産立上を担当することになる。

III DRAM をピークルにした半導体製品の開発

日立の3段階体制の3段階目の半導体事業部は日立の電子事業本部内の事業部であるが、「半導体のはなし11」に記載した日立中央研究所のトランジスタ研究所が独立して設立された武蔵工場が母体となって出来あがった事業部である。デバイス開発センターが設立される1975年以前は中央研究所で研究開発されるか、直接、半導体事業部で開発されたものが、半導体事業部で生産される、所謂、2段階体制で研究・開発・生産が進められていたが、1975年以降にデバイス開発センターが設立されたことによりDRAMの開発のみが3段階体制になる。この体制は、各世代においてプロセス開発のピークル製品となるDRAMにのみ限って進められており、SRAMやASIC、マイコンなどの製品の開発には中央研究所と半導体事業部の2段階体制を用いている。半導体事業部から中央研究所に依頼研究として開発テーマを依頼するか、中央研究所側で自発研究するか、または半導体事業部にて直接開発することにより、そこで目のあるテーマを半導体事業部で開発し製品化する方式である。これらはDRAMの生産の為に設備投資された開発環境、及び生産ラインにて開発、生産されていくことにより、大きな設備投資を殆ど必要とすることなく低コストで製品化を図れるようになる。また、SRAMが単にDRAMによる先行設備投資を利用しているだけではなく、DRAMとSRAMの開発は互いに補間し合いながら進められている。「半導体のはなし20」に記載した2重Well型CMOS構造はSRAMで1978年に製品化されるが、後の256kビットDRAMからDRAM製品の低消費電力化のために採用されている。更にDRAMの電源電圧が64kビットDRAMからSRAMと同一の5V単一電源になると、MOSFETデバイス構造もSRAMが先行する。これはSRAMにはDRAMより高速化が要求されるためである。MOSFETデバイスをスケールングして行く過程で信頼性の問題に出くわすのがDRAMよりもSRAMの方が先になる。当時、MOSFETを動作する電源電圧が顧客の回路基板の都合から5Vの電圧のまま、数世代の間、MOSFETデバイスのスケールング（定電圧スケールング）を行わざるを得ず、MOSFETのチャネル電界が高くなることでホットキャリア耐性による信頼性低下が各世代で問題になる。

ちなみに、日立にてホットキャリア耐性が最初に問題になったのは12V電源を用いていた16kビットDRAMである。1978年末にIBMに入庫するための認定試験にてIBMに指摘され、その頃、中央研究所の主任研究員であった浅井章二郎と半導体事業部にてプラズマCVDナイトライド(p-SiN)保護膜の製品適用技術を技師として担当していた伊藤達の2人がアメリカのIBM社に出張し、実使用上問題ないことを説明し、初めてIBM大型コンピュータ用DRAMとして日立製品購入を可能にさせている。ホット

キャリアによる特性劣化がp-SiN膜に含まれる浮遊水素で加速されることを調べていた伊藤は特性劣化の電圧加速データを示し通常動作では問題ないことを説明すると、浅井がその場で電子温度を計算し、電圧加速性のデータを裏付けすることなどでIBM側を納得させている。この一連の問題解決の中で浅井の部下で研究員の武田英次がホットキャリアの内のホットホールの発生量を示す基板電流量と特性劣化量の規則性から、ホットホールが特性劣化に強く影響していることを見出している。伊藤達はその後、半導体事業部内のメモリ設計部に異動し、CMOS版256kビットDRAMの設計を担当し、後年、部長に昇格し、以後、牧本、米山の下で日立のDRAMを中心としたメモリ事業を牽引してゆくことになる。

ホットキャリア耐性を向上させる対応策はデバイス構造改良による電界緩和や保護膜材料の最適化による劣化因子の1つである浮遊水素量の低減、シリコン酸化膜(ゲート酸化膜)形成方法やシリコンとゲート酸化膜界面の単位制御によるシリコン界面の安定化などの工夫であるが、DRAM製品の電源がSRAMと同じ5V単一電源になると、これらの対策は最初にSRAMで施され、SRAMで用いた対策手法が1世代後のプロセス世代のDRAMにフィードバックされてゆくと言った具合である。1世代先にSRAMでデバイス構造が検討されていることにより、DRAMの開発では開発課題を少なくでき、メモリセルや配線などの微細化に特化した開発が進めやすくなるメリットを持つ。そして、そこで得られた微細化技術を更にSRAMにフィードバックしてゆくと言った循環が出来あがる。これらの半導体メモリ製品を元にして出来あがったLSIの基本プロセスや製造設備がASICやマイコン製品の開発、生産に転用されてゆくことで半導体製品全体の生産コストを低くする。この循環システムはDRAMと言う大量に生産され、多額の収益をもたらす半導体メモリ製品が牽引すればこそ成り立つシステムである。

III 1970年代～1980年代の技術革新の光と影

1980年代初期に日本の半導体メーカーは1970年代の努力により漸く、DRAMと言う強力なデバイスを手の中にする。DRAMの世界市場は、1976年頃に1億\$、1981～83年に10億\$を越え、1989～92年には100億\$に近づくほどに急成長し、その後の1993～95年のバブル成長で400億\$規模にまで達し、その後市場は飽和し、現在に至るまで、100～400億\$を推移していく。(図1) この中の1980年代から1990年代前半までのDRAMの成長期を日本メーカーが独占的にリードして行くことになる。そして、このDRAM市場の急成長時期をもたらすための技術革新時期が1970年代半ばから1980年代後半までの10数年であり、この時期が日本半導体技術開発の黄金期となる。この時期に日本の機械、化学、

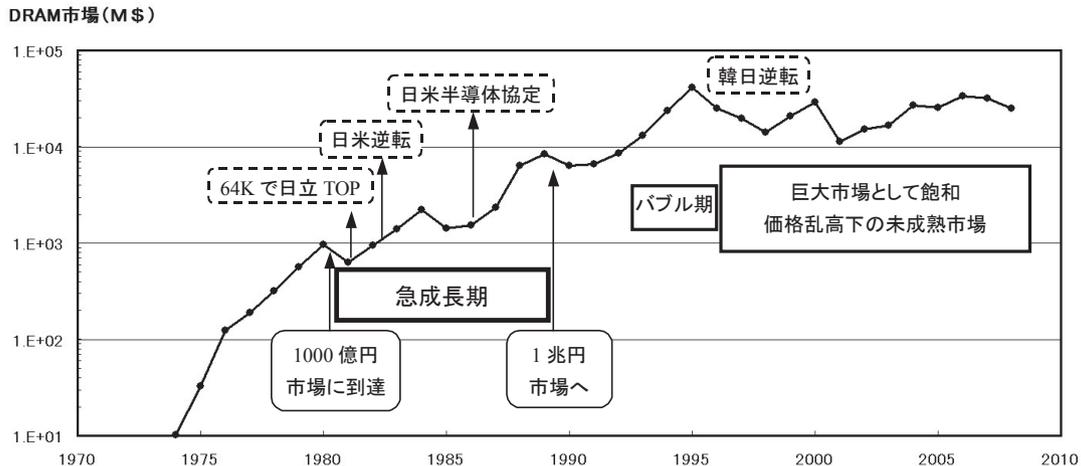


図1 DRAM市場の推移

電気、電子、光、物理、情報システムなどの全ての科学技術がDRAM製品技術に注ぎ込まれる。

一方、DRAMを形成するプロセス技術の開発過程で1つ1つの製造技術が製造装置を中心にノウハウも含めてパッケージ化されてゆく。ホトリソグラフ、ドライエッチング、洗浄、CVD、拡散、イオン打ち込み、スパッター、CMP、外観検査などの装置と共にまとめ上げられてゆく。1980年代後半までにDRAMメモリの主要技術が確立されてくると、製造装置開発は生産性向上に向いてゆく。1990年代前半からDRAM産業にアジアの新興国が台頭してくることができた要因は、資金投資により、これらの装置を購入することで容易にDRAM製造が可能になったこととこれらの新興メーカーがDRAMの適用先を大型コンピュータのメモリではなく、パソコンを中心とした一般大衆製品用のメモリに照準を合わせたことによる。勿論、製造装置を揃えても、如何にプロセス工程、詳細条件を組み上げるかのインテグレーション技術がなければ製造は不可能であるが、アジアの新興国はそれぞれの日本企業と技術供与契約を結びその中で積極的に吸い上げると共に、インテグレーション技術を担当していた日本企業の多くの技術者達を高待遇で雇い入れ、これらのノウハウを急速に吸収していくことで成り遂げていく。技術供与契約による技術吸収の遣り方は1950年代の日本メーカーもアメリカのメーカーから行った方法である。どの様な形であれ、一旦築き上げられた技術は水が流れるように、遅かれ早かれ流出してゆくものである。1950年代に自ら経験している技術供与を、30年後にいと簡単に何故行ったかについては多くの意見がある所ではあるが、技術供与における対価の他に、「日本でのDRAM技術は高度であり、韓国ではそう簡単に作れるものではない。特に、高歩留りに仕上げるのは難しいはず。」と言う奢りが有ったのではないかと推察される。「おごれる

人も久しからず」なのかも知れない。韓国を中心としたメーカーはインテグレーション技術も含めて生産技術を手に入れると、如何に生産性を高められるかに集中してプロセスの改良を図ることで競争力を付ける。この改良は、それまで大型コンピュータ向けの高信頼性の考え方に縛られた日本メーカーに比べ容易であったとも考えられる。1990年代に入ると市場が大型コンピュータからパソコンに移行しており、新興メーカーは如何に安価に大量生産できるかに特化した生産性を図り競争力をつけて行く。

1970年代後半から開始された超LSI共同組合は各社の製造技術を摺合せ、製造技術を大きく前進させる役割を果し、その後10数年の日本半導体の黄金期を作り出すとともに、この期間の技術開発とその「摺合せ」がDRAM製造技術を製造装置にパッケージ化することを可能にし、一般技術へと昇華させてゆくきっかけを作ったとも考えられる。これによって、1990年代前半に日本メーカーによる主要技術開発がほぼ完了すると1990年代後半にはDRAM産業が技術革新を要する産業から投資産業へと変貌させ、DRAMにより、大きく発展した半導体産業が日本に留まる意味合いを無くしてゆく。インフラを整える資金力と低価格で製造できる環境を持った国や地域で製造されるようになる。日本のDRAMを中心とした半導体産業は1990年代後半から低迷期に入る。韓国メーカーが台頭してきた要因は製造装置を中心としたDRAM技術のパッケージ化、日韓メーカー間の技術提携や日本人技術者の韓国流出などによる技術流出、日本メーカーの大衆製品用メモリへのコスト対応も含めた市場切り替えの遅れ、円高などの他に、日本メーカーの事業選択と投資タイミングによる所も大きい。数百億円の投資までなら半導体に手を出せるが、シリコンサイクルにより大きく売上げが触れる産業には投資額が数千億円から1兆円を越すものになると、手を出すことを危険と判

断した重電機メーカーは2000年初期に事業選択肢から半導体を切り離してゆく。短期的な投資産業に不慣れな重電機メーカーには向かない産業となったのである。期ごとに予算管理し、赤字が2期も続けば事業部の経営陣が責任を取られる様な事業運営では大きな先行投資ができない。シリコンサイクルの底の期間には赤字になる可能性が高いが、この時期に先行投資し、上昇の初期で回収する様な荒業は分かっていても会社内の予算管理の事情でできない。これに対して、韓国の財閥メーカーは、トップ自ら判断し、戦略的に投資する。シリコンサイクルの上昇期が最も利益が高くなるが、先行投資を行っていない日本メーカーは立ち上がりが遅く大きな利益を得られずに、多少の利益が出るようになってから投資し、その投資で生産量が増加するところにはシリコンサイクルは下降期に入ってしまう、トータルとして赤字になる。この様な中でシリコンサイクルを数回繰り返すと、先行投資したメーカーと大きな格差が生じてくる。1990年代以降はこの循環を繰り返すことになる。1993年に発売開始されたインテルのMPU Pentium32プロセッサの工夫から1台当たりのパソコンに使用されるDRAMの個数が大きく増加しなくなり、市場の拡がり小さくなると、日本メーカーは益々苦しくなり、2000年前半にエルピーダを残し、全てが撤退し、そのエルピーダも今年、

資金繰りが厳しくなり会社更生手続きに入り、アメリカのマクロン・テクノロジー社の傘下に入ることになる。半導体メモリとして新たなNAND Flashメモリを立ち上げた東芝のみが、DRAMで経験した投資産業への心構えを保ちながら唯一の国内半導体メモリメーカーとして生き続けている。

(文中、敬称を略させていただきます。)

挿絵 奥山 明日香

参考文献

- 1) ダイアモンド社発行 志村行雄著「にっぽん半導体半世紀 20世紀最大の技術革新を支えた人と企業」
- 2) 日刊工業新聞社発行 谷光太郎著「半導体産業の軌跡 日米攻防の半世紀」
- 3) 工業調査会発行 牧本次生著「一国の盛衰は半導体にあり」
- 4) 清水真二 日立社内講演資料「研究開発史 1M/4M/16Mの意味」

次回

第26回 半導体の歴史

—その25 20世紀後半 超LSIへの道—
1980年代 DRAMメモリセルの進化と選択