

半導体の歴史

— その15 20世紀後半 半導体メモリの出現 —



ルネサスエレクトロニクス株式会社
生産本部 デバイス・解析技術統括部
MCU デバイス開発部 主管技師

おくやま こうすけ
奥山 幸祐

半導体メモリ

1947年にトランジスタが誕生してから20年程経つ1960年代後半になると、半導体はシリコン集積回路（IC）が主役となり、アメリカの軍需産業や日本の民生産業を中心に発達し大量生産時代に入る。日本のICを牽引する民生産業の中心は電卓であり、電卓の高性能化と小型化への要求が電卓に使用される複数のICチップを1チップ化に向かわせることでICの高集積化を促進させ、大規模集積回路（LSI）化が図られてくる。電卓の世代更新を2年毎に行うことで集積回路の大規模化を牽引したのがシャープの佐々木正であること、アメリカで発明されたトランジスタ、ICを民生用の電子製品を元に牽引する役割を大きく果たしたのが日本の電子機器メーカーであることを前項で述べた。

1960年代のその頃に、トランジスタやICが発明されたアメリカでは1960年代中頃に更に新しいデバイス、半導体メモリが生みだされる。半導体メモリは磁気コアメモリの置き換えとして生み出されるが、この半導体メモリ、取分け、その中のDRAM（Dynamic Random Access Memory）がその後の半導体デバイスの微細化、高集積化の牽引役を果たしてゆく。1970年代以降の急激なコンピュータの発達による半導体メモリの需要がそれを可能にする。

半導体メモリは保持特性から大別すると揮発性メモリ（Volatile Memory）、不揮発性メモリ（NVM：Non Volatile Memory）に分けられる。揮発性メモリは書き込まれている情報が電源電圧を切られてしまうと情報が破壊してしまうメモリである。これに対してNVMは電源を切っても情報は保持される。

一方、半導体メモリをデータの読み出し、書き込みの機能から大別するとRandom Access Memory（ランダムアクセスメモリ、RAM）とRead Only Memory（リードオンリメモリ、ROM）に分けられる。RAMは随時アクセスメモリともいい、格納されたデータに任意の順序でアクセスで

きる（ランダムアクセス）。ランダムということは、データのどんな断片でも、その物理的位置や前後のデータとの関係に関わらず、一定の時間で参照できることを意味する。アドレス信号によって番地情報を与えることにより任意の番地のメモリセルに対して読み出しや書き込みといった操作が出来る記憶装置である。RAMという言葉自体に読み書き（Read/Write）可能という意味はないが、読み書き共にランダムアクセスが可能なものに限ってRAMと呼ばれる。これに対して、ROMは製造時や使用初期に一度書き込まれた情報は、以後は読み出しのみが可能となるメモリである。情報としては命令プログラムや初期設定データなどであるため、記憶内容は電源を切られても保持されていなければならない、電源を供給しなくても記憶内容を保持する不揮発性メモリが必然的に用いられる。これに対して、RAMはほとんどが（MRAM、FeRAM、RERAMなどを除き）電源の供給を絶つと記憶内容が失われる揮発メモリである。機能面から考えると不揮発性メモリのフラッシュメモリも厳密にはRAMである。

半導体RAMは、記憶方式、構造などにより数多くの分類がされているが、大きくはDRAM（Dynamic RAM）とSRAM（Static RAM）に大別される。

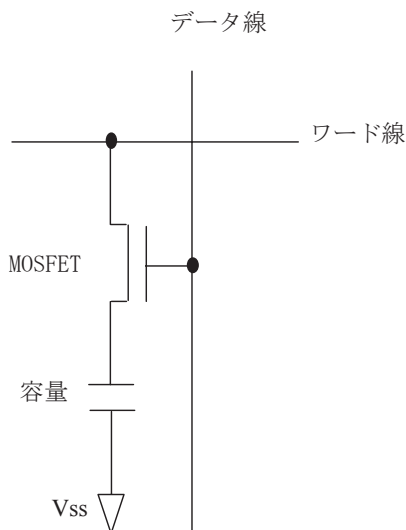


図1 DRAMメモリセル回路例（1MOS + 1容量素子）

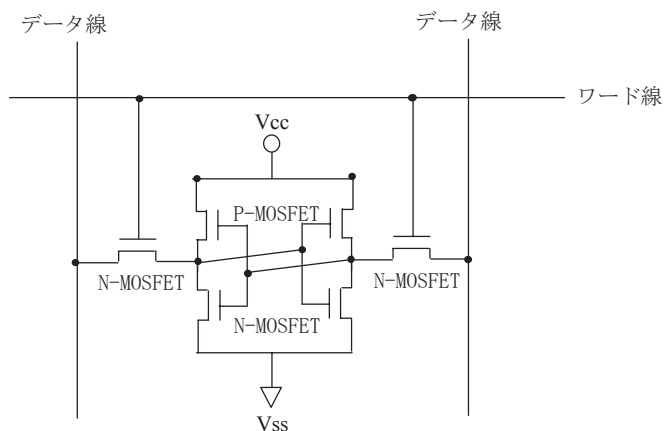


図2a SRAM メモリセル回路例
(CMOS プロセスによる6MOS 構成)

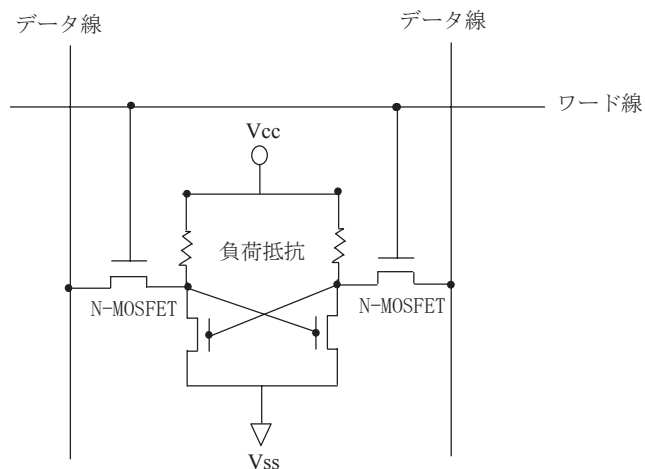


図2b SRAM メモリセル回路例
(NMOS プロセスによる4MOS + 2 負荷抵抗構成)

DRAM は、記憶データをコンデンサ（キャパシタ）の電荷として蓄えているため、一定時間経つと自然放電（半導体素子を構成する P/N 接合からの漏れ（リーク）電流が主原因）によりデータが消えてしまう。このため情報を維持するために定期的に情報を読み出し、再度書き込みをする必要がある。この動作をリフレッシュといい、記憶を保持するのに 1 秒間に数十回の頻度で繰り返しリフレッシュを行う必要があることからダイナミック（=動的）RAM と呼ばれている。アドレスを指定してからデータを読み出すまでの時間は SRAM よりも若干遅いものの、記憶部の構造が単純で、容量あたりのコストが安いという特徴がある一方、常にリフレッシュを行っているため、SRAM に比べ消費電力が高い。

SRAM は記憶部にフリップフロップ回路（2つのインバータ回路と2つのトランジスタで構成するため6個のトランジスタまたは4個のトランジスタと2個の負荷抵抗が必要）を用いており、リフレッシュ動作が必要ない。原理的に DRAM より低消費電力で高速動作させることができるが、記憶部の回路が複雑になるため容量あたりのコストが高い。

歴史的には、コンピュータの読み書き可能な記憶装置として、古くは SRAM として水銀遅延線が使われ、その後 1949年から1952年に磁気コアを用いた磁気コアメモリが開発される。コアメモリでは格子状に配置した磁気コアと呼ばれるリング状の磁性体に縦と横方向から電線を貫いた構造をしている。磁気コアメモリは半導体メモリによる RAM が登場する1960年代末から1970年代初頭まで広く使われている。放射線などの影響を受けにくいと、宇宙開発など

ではもっと最近まで用いられていた。磁気コアメモリ以前には水銀遅延線以外にもリレーや真空管が主記憶装置として使われている。LSIの集積度、高速性が驚異的に増した21世紀の現在ではコンピュータの主記憶装置のRAMはすべて半導体メモリになっている。

■ NMOS 型 SRAM の誕生

最初の半導体メモリは1964年にアメリカの IBM 社から発表されている。IBM 社は第3世代コンピュータの「360シリーズ」を発表し、演算回路に論理 IC を採用する一方で、バッファメモリとして高速バイポーラ型メモリを採用する。バッファメモリの考え方は、中央演算処理装置 (CPU) と磁気メモリで構成されたメインメモリとの間に高速メモリを置くことで、使用頻度の高い情報をここに蓄えておいてシステム全体の高速化を図るという、当時としては画期的な試みである。このバッファメモリとして使用されたバイポーラ型メモリが世界で最初の半導体メモリとなる。

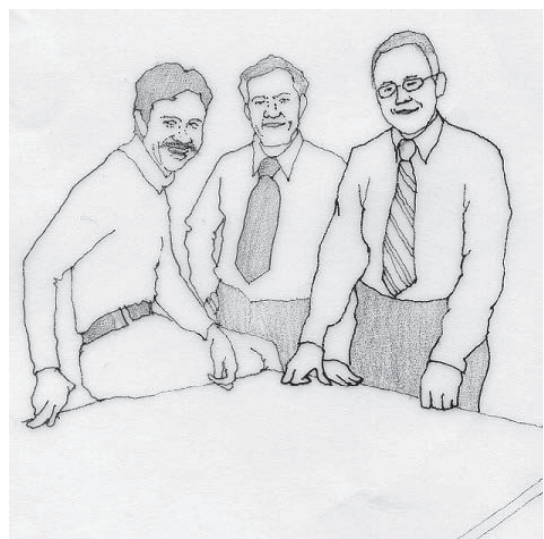
IBM 社の「360シリーズ」発表は日本のコンピュータメーカーや当時の通産省に危機感を与えたことは「半導体のはなし10」に触れた。この危機感から通産省工業技術院を中心にした大型プロジェクト「超高性能電子計算機」が1966年に発足する。NECはこのプロジェクトの中で NMOS 型メモリを担当する。1968年に電気試験所の指導のもとに NEC によって開発された144ビット NMOS 型メモリが日本で最初、世界で IBM について2番目の半導体メモリである。この半導体メモリは NMOS 型としては世界初の半導体メモリとなる。IBM のバイポーラ型メモリもこの NMOS 型メモリとともに SRAM である。日本におけるこの開発テーマの

計画・委託に関わった電子技術総合研究所の前身、電気試験所の垂井康夫は後に「MOS トランジスタについては、我々は電総研での研究で見通しがあったが、まだ一般的には不安定性が心配されており、とても N チャネルトランジスタが LSI レベルにつくられ、電算機につかわれるとは誰も考えなかったのである。開発する LSI の目標を決める委員会で、メーカーの委員から「MOS トランジスタを採用するなど、国の研究目標を個人的な趣味で決めては困る」とまで言われたものである」と言っている。垂井達が NMOS を計画に組み込んだ理由は、先々、LSI は集積度の面から MOS がバイポーラに取って代わると見込んだことと、当時の表面安定化技術のレベルでは汚染に強い PMOS が主流であったが、IBM と同じように半導体メモリをバッファメモリとして使用した場合、PMOS では駆動能力が低く、IBM のバイポーラ型メモリに匹敵するメモリとするためには PMOS に比べて 3 倍程度の駆動能力を出せる NMOS が不可欠であると考えた為である。チップサイズは 4.3mm×3.0mm で、当時のウェーハは 1.5 インチ径であり、1 枚のウェーハには 80 個のチップしか載らない大きさである。最初の量産ではパターンずれやゴミ、キズ、汚れなどで歩留まりが悪く、NEC は初めてのダウンフロー型クリーンルームの設置を決め、約 3 ヶ月で立ち上げることで一気に歩留まりを改善している。性能的にも NMOS の採用で 40 ナノ秒と満足できる応答速度を達成している。この成果は 1969 年 2 月の国際固体回路会議 (ISSCC) で発表され、好評を得る。NEC は 1966 年にも ISSCC に 1 ビットのアイソシアティメモリに関する論文を発表しており、この論文は、MOS 型メモリについての世界最初の発表となっている。144 ビットの NMOS 型メモリは、その後電電公社 (現 NTT) で開発した大型コンピュータ「DIPS-1」に搭載される。1969 年に採用が決定され、同年 9 月に評価装置用に 1000 個 (16K バイト分)、70 年 4 月に本番用として 4000 個 (64K ビット分) を出荷している。しかしながら最初から順調なスタートとは行かず、量産に入る前に信頼性の問題が浮上してくる。NMOS の採用で心配していた Na イオン汚染によるチップ表面での電流のリーク (漏れ) やしきい値電圧のドリフト問題が、予想されていたことではあったが発生している。当時、NEC が採用していたシリコン表面の厚い酸化膜と燐ガラス層による保護膜では不十分であった。この問題に加わっていた黒沢敏夫らは、開発仲間の柴宏と常光秀夫が考案したアルミニウムの陽極酸化膜を採用することで解決している。通常アルミニウム配線の場合、蒸着されたアルミニウムは配線部分を残して他の部分の不要部分をエッチングで除去しているが、この配線方法ではエッチングの代わりに陽極酸化を行い、配線部分以外をアルミナの絶縁膜に変えてしまう方法である。アルミナが Na イオン汚染の侵入をブロックすることにより信頼性の問題は

解決される。また、アルミナは硬い膜であるため組み立て工程のひっかきキズによる損傷も激減している。この対策により、スケジュールの遅延もなく出荷を完了している。NEC はこの 144 ビット NMOS 型 SRAM の開発により、NMOS 型半導体メモリに自信を持つようになり、次節で述べる NMOS 型 DRAM へと開発をつなげていく。1970 年時点で NMOS プロセスを物にした日本企業は NEC と「半導体のはなし 11、13」で触れた日立の 2 社であり、NEC は大型プロジェクト「超高性能電子計算機」で半導体メモリを担当する機会を得て成功させたことで、NMOS 型半導体メモリの日本における先駆者となる。

III インテルの誕生

「半導体のはなし 9」でふれたアメリカのフェアチャイルド半導体社の話に戻る。フェアチャイルド半導体社は 1957 年にロバート・ノイスら 8 人組によって設立されるが、プレーナー技術と、それをういた IC の技術という、その後の IC 技術の中核技術開発に成功し、1961 年に世界初の商品 IC 売り出すことで莫大な利益を上げ、1960 年代半ばまでに企業規模は急激に拡大成長する。しかしながら、この急激な成長は長く続かず、1967 年には赤字に陥り、その後、下降線をたどる。フェアチャイルドはあたかも打ち上げ花火のように、大空に舞い上がり、すぐに散ってしまったように消えてゆく。その原因として、後に、ノイスとともにインテルを創立するゴードン・ムーアは、技術的な面から「フェアチャイルドは MOS 構造の解明に貢献したほか、MOS トランジスタの商用化にいち早く成功したにも関わらず、



インテルの創始者達 (左からグローブ、ノイス、ムーア)
(絵 奥山 明日香)

バイポーラ製品で多大な成果を取めたことでMOS製品への切り替えが遅れたことが大きい」と振り返り、ノイス、ムーアとともにインテルの草創期とその後重要な役割を果たしたアンディ・グローブは「フェアチャイルドが失敗したのは経営規律の甘さであり、フェアチャイルドではとにかく正しい行動を取るのに骨が折れた」という。グローブはMOSプロセスに詳しく、早い段階からこのプロセスを推奨していたが、社内では受け入れられるまでの障壁が高いことがにじみ出ており、バイポーラ製品で急激に大きな成功を取めたことで社内での改革が進まなかったことが窺われる。一度、大きな成功体験を行うと、たとえ自社の製品やプロセスが市場の支持を失うと判っていても、それを捨て去るのは容易なことではないということである。ムーアやグローブは、後年、インテルでこの体験を生かし、常に改革を続けることで市場に対応してゆく企業へとインテルを導いてゆくことになる。

また、フェアチャイルドでは社内組織面でも大きな問題を抱えるようになる。研究開発（R & D）部門と製造部門との対立である。両部門の間には従来から溝が存在したが1965年に入ると対立がかなりのところまで広がっている。画期的な開発に成功しても、これが生産ラインに乗るまで長い時間を要するようになり、安定して半導体を供給する力を急速に失ってゆく。

ノイスは既に1962年頃に日本半導体メーカーの幹部に「会社はせいぜい300人くらいの規模の時が一番活気があり、全員の気持ちが一貫して毎日が楽しい。フェアチャイルドは大きくなり過ぎ、効率が悪くなった」と言っており、この頃には副社長兼ゼネラルマネージャーのノイスにもコントロールが利かなくなっているようである。1967年の赤字により、親会社のフェアチャイルドインストルメント（FCI）はフェアチャイルドのCEO（経営最高責任者）のカーターを解任し、副社長のホジソンを昇格させCEOに据えるが6ヶ月後にはホジソンも解任する。社内にはノイスのCEOを望む声が大きかったがFCIは別の人間をスカウトする。赤字になるとFCIの技術を知らない財務関係者が研究開発のテーマ、従業員数、組織、日常業務の細々したこと口をだすようになる。会社運営に不満を持つようになっていたノイスは、ホジソンの後任人事に反発し、自分は退社し新たな起業を考えていることをムーアに述べ、行動を共にして欲しいと持ちかける。

ムーアは1957年のフェアチャイルド設立時からノイスの事業パートナーであり、ノイスの右腕的な存在である。ショックレー半導体会社時代からノイスに人間的に惚れ込み、行動を共にしてきている。1957年から1959年までエンジニアリング・マネージャーを務め、1968年に退社するまで研究開発部門担当取締役（R & D ディレクター）を務めている。1965年には「ムーアの法則」を提唱し、半導体産

業界に計り知れないほど大きな影響を及ぼしている技術者でもある。

ノイスから誘いを受けたムーアは、ノイスがいなくなった後のフェアチャイルドでの立場、例えば自分の上司がノイスでなく、新しい上司の下で働くことになった場合などを想定し、また、10年以上も前にショックレー半導体会社でノイスに出会ってから苦楽を共にしてきたことを思い、ノイスと行動を共にすることを決断する。

ムーアはこの事をグローブに話すことになる。この様子はリチャード・S・テドロ著『修羅場がつくった経営の巨人 アンディ・グローブ』に記載されている。

1968年6月に固体デバイス分野のコンファレンスがあり、ムーアは社内でも多くの会議を抱えていたため、グローブが一日先に出席し、遅れてきたムーアにコンファレンスの状況を説明していた時、ムーアが上の空であったため、事情を尋ねたところ、ムーアは「フェアチャイルドに辞表を出すことにした」という。グローブは興味津々に、「それでどうするつもりですか？」と訊ねる。「新しく半導体メーカーを立ち上げるつもりだ」。グローブは思わず「私もついてゆきます」と口にしてしまう。

……中略……

ムーアの口からさらに驚くような言葉がでた。ノイスも新会社に加わるというのだ。「それはそうと、ノイスも事業に加わる」というような表現だった。グローブは「何と……」とつぶやいた。業界広しといえども、グローブを除いては誰もこんな反応も示さなかっただろう。何しろ相手はかのノイスである。新会社の設立もノイスの発案だった。彼は文字通り打ち出の小槌を持っていた。彼がベンチャー事業を夢見たら、アーサー・ロックは一も二もなく資金を提供してくれるはずだった。誰もが胸を躍らす知らせだったが、グローブだけは、何とか自分を納得させなくてはならなかった。……

以上がムーアからグローブがフェアチャイルドを退社することを打ち明けられたときの様子である。グローブがノイスに抱く心情もふくまれた内容であるが、このようにしてインテルを牽引してゆくノイス、ムーア、グローブの3人はフェアチャイルドを退社し、新しい半導体メーカーへと走り出してゆく。

ノイスとムーアはそれぞれ24.5万ドルずつ出し合う。フェアチャイルド社を設立するときに、ショックレーから「8人の裏切り者」と言われたメンバーが出し合ったそれぞれの500ドルの株式に出資したが、その株価が退社時には24.5万ドルになっていたのである。2人で出し合った49万ドルでは足りず、ノイスがフェアチャイルド社を設立した時に世話になったアーサー・ロックに電話で相談すると、ロックは250万ドルを調達し、自分でも1万ドルを出資する。ノイスとロックは特別に仲がよく、2人で山歩きやキャンプ

をする仲であり、ノイスからロックに会社設立に関して電話一本で相談するだけで、ロックは納得し、その日の午後15人の知人達に電話をかけ、その日のうちに15人の投資家から資金を調達する。資金調達にはICを発明したノイスの名声だけで十分であった。この資金でノイスとムーアの会社が1968年7月に産声を上げる。ノイスとムーアはそれぞれ1株当たり1ドルで24万5千株を取得、ロックも同じ株価で1万株を取得し、他の投資家には合計25万株が1株10ドルで売られている。ロックが会長、ノイスが社長兼CEO、ムーアが研究開発担当副社長となる。ロックが41才、ノイスが40才、ムーアが39才である。そして、この会社にグローブ、32才が自ら加わる。会社の名前は、当初ノイスとムーアの頭文字をとって、「NMエレクトロニクス」とするが、すぐに「インテグレートド・エレクトロニクス」を略した「インテル」と言う名に変え、従業員数100名で出発する。インテルは設立時に300万ドルであった時価総額が2006年には1016億ドルに成長し、世界の半導体製造会社となる。この成長により、ノイスとムーアはやがて莫大な富を得、億万長者になる。グローブはインテル従業員の第一号者であり、1株1ドルで購入する権限は与えられていない。ロックによってロック、ノイス、ムーアの3人とグローブの間には会社の所有権という意味で明確な線引きがなされる。インテルの最初の本社はパロアルトにあるフェアチャイルド社の工場のごく近場である。ノイスらの主要メンバーが去った後のフェアチャイルドは1987年にナショナル・セミコンダクター（NS）に買収され、創立30年で姿を消す。

III 半導体メモリへの着手と DRAM の誕生

インテルはムーアの発案の元に設立されたとも言える。ノイスがそれまで培ってきた名声と彼自身の人間的な魅力によって資金を集め、これを起爆剤としてインテルを設立し、ムーアの持っている半導体メモリ技術の製品化をグローブの実行力で成し遂げてゆく。

ムーアが1967年、フェアチャイルドの研究室で、半導体メモリについて新しい着想を検討しているときに、ノイスに「これは何年間に一度の着想だ。このアイデアがあれば新しい会社を興せるだろう」と語りかけている。ノイスはインテル設立の目的を「コンピュータの記憶装置として使われている磁気コアメモリを半導体メモリに置き換える」ことに定める。

ムーアはフェアチャイルドに在籍していた1967年に新プロセスとして彼の部下が発案したシリコンゲート MOS プロセスの研究開発を進めている。MOS は Metal-Oxide-Silicon の略であり、それまでの MOSFET はゲート電極にアルミニウムなどの金属を用いている。シリコンゲートは、ゲート電極に多結晶シリコン（ポリシリコン）を用いた構造である。金属ゲートの MOS に比べゲート電極加工後に

高温の熱処理が加えることができる。金属ゲートではソース・ドレイン拡散層を形成するための熱処理工程を終えてから、ゲート電極形成のためのメタル蒸着、ホトレジスト塗布を行い、ソース・ドレイン拡散層にマスク合わせすることで、ソース・ドレイン拡散層間にゲート電極を形成している。これに対してシリコンゲートでは耐熱性が高く、ゲート電極加工後にソース・ドレイン拡散層形成用の熱処理を施すことができる。これによって、ゲート電極をソース・ドレイン拡散層形成用の不純物ドーピングのマスクとして用いることでゲート電極に対して自己整合（マスク合わせが不要）的にソース・ドレイン拡散層を形成できるようになり、デバイスのスケール（縮小）を図りやすくなる。このシリコンゲートプロセスは今日まで用いられ、MOS プロセスの主流となる。

このシリコンゲートプロセスを用いた DRAM のイメージがフェアチャイルド時代のムーアの案であったと考えられる。この最終製品を完成させるために、シリコンゲートプロセスを用いた半導体メモリの基本プロセスを SRAM で立ち上げ、その後にこのプロセスをベースに DRAM を開発し製品化する手法を選択する。そして、ノイスとムーアはこれらを成し遂げるための実務総責任者として業務オペレーション担当ディレクターに若干32歳のグローブを抜擢する。グローブは、全く何もない環境から2年後の1970年10月に世界初の DRAM 製品出荷を可能にするが、この間、人材、製造設備、設計環境などやオフィス環境などの些細なことも含めて半導体メモリを製品化するのに必要な全ての事柄に関して指揮を取り、インテルの礎を築いてゆくことになる。

グローブはハンガリー生まれのユダヤ人で、ハンガリーにおける共産党からの迫害をさけるためにアメリカに亡命し、1963年にフェアチャイルドに入社後、ムーアの下で R & D 部門においてアシスタント・ディレクターを担当している。ノイスにとってムーアが無くてはならない関係であるとともにムーアにとってはグローブが無くてはならない関係である。ノイス、グローブが外交的であるのに対してムーアは内向的で物静かな性格であり、ムーアが2人の中の緩和の役割も担っている。ロックに言わせれば、「インテルが繁栄を築くためには、ノイス、ムーア、グローブの3人が欠かせませんでした。しかも、この順番が大きな意味を持ったのです」と明かしている。グローブはフェアチャイルド時代の1968年まで、博士論文に肉付けして4本の論文を完成させ、発表したほか、さらに26本の論文を単独、あるいは共同で執筆し、2つの特許を申請している。また、母校カリフォルニア大学バークレー校で半導体物理の教鞭をも執り、教鞭内容をもとに教科書『グローブ 半導体デバイスの基礎』を刊行している。この教科書は優れたもので、日本の多くの半導体技術者にも活用されている。このよう

に、アンディ・グロブは優秀な技術者でもある。そのグロブを研究開発部門ではなく、業務オペレーション部門担当ディレクターとして抜擢することでインテルの基礎が築かれてゆく。

インテルは、このシリコンゲート型 MOS プロセスを量産プロセスとして立ち上げるまでの期間に1年を要している。このため、当初の半導体メモリプロセスとして、バイポーラと MOS の2つのプロセスを並行開発することになる。この並行開発はシリコンゲートプロセスが未完であるだけでなく、MOS プロセスそのものに完全な自信を持てなかったためでもある。安定した MOS 特性、信頼性を作りこむための実力をこの時点で持ち合わせておらず、MOS 一本に絞り込むことができていない。この並行開発によって、インテルは1969年8月に最初の製品としてメモリ容量64ビットのショットキーバイポーラ SRAM（製品型名3101）の出荷を始める。開発ベースでは IBM、NEC に次いで3番目であり、製品出荷ベースでは IBM に次ぐ2番目の半導体メモリである。小さいながらも市場はあったようであるが、まだ、大成功というデバイスとはなっていない。創業後の何ヶ月かのあいだはインテルの先行きを楽観できるものはほとんどなく、それに追い討ちをかけるように1969年にはコンピュータ業界を不景気が襲う。1968年秋には、インテルの従業員数は30名に減少し、50万ドルの損失を計上している。翌9月には、最初の MOS 型の256ビット SRAM（製品型名1101）を発表している。MOS 型メモリとしては NEC に次ぐ2番目の半導体メモリであるが、メインフレーム市場ではまったく相手にされていない。1970年に入ると、この時点でもインテルの事業が軌道に乗ったとは言えず、経営陣はパニック状態になる。しかしながら、この SRAM の製品化により、DRAM 製品をつくるための MOS プロセスの基礎が次第に完成してゆく。とは言っても、DRAM の製品化は SRAM のそれに比べ、更に難しい。記憶容量を1つのキャパシタに蓄積するのが DRAM であるが、蓄積された電子がキャパシタやそれに接続されている MOSFET の拡散層の P/N 接合の欠陥を介してリーク電流として漏れてしまう。このため情報を維持するために定期的に情報を読み出し、再度書き込みをするリフレッシュと言う動作をいれることは前にのべた。P/N 接合の欠陥状態が悪いと、このリフレッシュ時間が短くなり、短くなりすぎると消費電力の面から製品として成り立たなくなる。このため、汚染や欠陥による微小リーク電流の対策が必要となり、初期のクリーン化技術が発達していない MOS プロセスでは至難の業である。グロブらはこの製品をなかなか生産ラインに乗せられず悪戦苦闘し、漸く、1970年10月に世界初の DRAM（製品型名1103）を完成させる。容量素子が1個と MOSFET が3個から成るメモリセルである。メモリ容量は1kビットで価格10ドルで販売する。当時、コンピュータ市場の

75%を占めている IBM コンピュータの顧客に追加メモリとして売り込む戦略が大当たりし爆発的に売れ出す。

1103が顧客のもとに届いてから、何千個も出荷した後にあって不良が発生する。特定の条件の下では記憶動作ができなくなるものである。それでもインテルはひるまずに製品を出荷し続ける。この製品の欠陥は最後まで完全に対策されることは無かったが、顧客側が次第に工夫しだして使いこなして行くようになる。インテルのマーケティング担当副社長を務めたエド・ゲルボーは、「1103は顧客のシステム上で完璧に動いたことが一度も無いが、それでも役割を果たした」と述べ、ムーアによれば「これまで世に出された集積回路の中で、使いこなすのが最も難しい製品」と言っている。それでも顧客は使いこなしたのである。1チップ当たり1Kビットで10ドルと言うコストが、磁気コアメモリと互角に戦い、それに取って代わるのに十分であったためである。この後、半導体メモリの容量が増大してゆくことで、宇宙などの特別用途以外はほとんどが半導体メモリに置き換えられてゆく。100ビット/ドルが磁気コアメモリと半導体メモリとの境界ラインであったとも言える。

日本のメインフレームメーカーで1103の使用に踏み切ったのは東芝のみである。インテル日本法人が各メーカーにコアメモリの置き換えを働きかけるが他のメーカーは「使えない」と断っている。東芝は1968年にアメリカの GE 社と大型コンピュータを共同開発する π プロジェクトを開始したが、アメリカ側の担当者の事故死でプロジェクトが中止になり、GE は1970年5月にコンピュータ部門をハネウエル社に売却する。このハネウエル社が1103を採用していたため、東芝は何万個単位で購入する。設計担当の山崎銀蔵らは購入した DRAM をカタログスペック通りに設計して使用しても全く動かない。エラーチェックの方式を変えたり、チップ内の回路を解析したり、使いこなすために色々苦労しながら工夫をこなしゆく。そして、動作しない原因が「フローティングラインやデータラインの電位がノイズで変動してしまう」ことをつかむ。対策としてデータにアクセスした後にゼロレベルに抑える「ポストチャージ」を入れると、トラブルがピタリと止まっている。この方法は東芝内部の情報としてインテルには伝えていない。これで漸く、大型コンピュータ「6500」に使うことになり、メモリボードに作りこみ、動作を確認し安心して夏休みに入ったが、休み明けに再び動作させると動かない。山崎らは「パッケージ」を疑い、更に高温高湿試験として80℃、80%の雰囲気中で動作させると、ボロボロとエラーになる。インテル側に「すぐ直せ」と言うとともに、自分達で独自にパッケージをじゃぶじゃぶとコーティングすることで対策し、「6500」に適用している。

このように、顧客側は多くの問題を抱え込み、DRAM が難しいデバイスであることを実感しながらも使いこなして

ゆく。ムーアは「半導体業界では、コアメモリ分野のエンジニアたちが1103に激しい抵抗を示しました。コアメモリはきわめて高度な技術に支えられていましたから、エンジニアリング面で手厚いサポートを必要としました。エンジニアたちは当初、1103に渋い顔をしたのですが、やがて、これもまた難しい技術を使っているため、自分たちの技術が活かされるとわかり、態度を和らげたのです」と言っている。不良品を売り込んだ側の人間が言う言葉かと言う人もいるかも知れないが、妙を得た言葉である。

インテルはDRAMの安定供給を図るため「セカンドソーシング」を行う。これは、インテルの工場に地震などの不慮の出来事があった場合でも安定供給するために、代替供給者を設けることである。そのために、他社に技術供与を行うことになる。インテルは創業を開始したばかりの小さな新興企業であるため、IBMなどの大企業から「セカンドソーシング」による安定供給を求められたのである。カナダの企業であるマイクロシステムズ・インターナショナルに技術供与をおこなっている。技術供与の対価として150億ドルを得ている。1968年の創業以来1970年まで損失を垂れ流していたため、インテルとしても資金を必要ととしており、これによって、1971年は黒字化し、株式の一般公開を果たしている。プロセス技術と製品を移転して、工場の設定作業支援まで行い、インテル自身が行っていることを、そのまま再現させている。ライセンス契約は期限つきで、1972年12月31日まで続く。インテルは、この後、製品やプロセスに改良を加えても、その内容を相手に伝えずに独占できる。その後、インテルは1103の生産を2インチウェーハから3インチウェーハに切り替えることでチップコストの大幅ダウンを図る。このウェーハ切り替えにより1枚当

たりのチップ取得数が2倍になる。マイクロシステムズ・インターナショナルもこのインテルの動き、ウェーハ大口径化に追随しようとしたが失敗し、顧客は必要な量を確保することができなくなる。これによって、需要に応じて量産し出荷できるのがインテルだけとなり、独占的な立場を保つことになる。

1972年までに1103は世界一の売上高を誇る半導体となり、インテルの売上高2,340万ドルの90%以上を占めるようになる。1970年代全般にわたり、DRAM事業はインテルの中核事業であり続ける。

(文中、敬称を略させていただきます)

参考文献

- 工業調査会発行 大内淳義、西澤潤一 共編『日本の半導体』
- ダイヤモンド社発行 志村幸雄著 『にっぽん半導体半世紀』
- 日刊工業新聞社発行 谷村光太郎著 『半導体産業の軌跡』
- 日刊工業新聞社発行 谷村光太郎著 『半導体産業の系譜』
- 日刊工業新聞社発行 傳田信行著 『インテルがまだ小さかった頃』
- ダイヤモンド社発行 リチャード・S・テドロウ著、有賀裕子訳『修羅場がつくった経営の巨人 アンディ・グローブ 上』
- ダイヤモンド社発行 ロバート・A・バーゲルマン著、石橋善一郎、宇田理監訳『インテルの戦略』
- ウイキペディア フリー百科事典 Random Access Memory

次回

第17回 半導体の歴史 —その16 20世紀後半 半導体メモリの発展—