

第4章 MOS IC と電卓

Fairchild

60年にMOS型TRがBell研によって開発される。62年にはRCAによりMOS型TRは増副作用が真空管より優れていることや、IC化した際の回路構成がBIPより単純化できることが発表され将来の有望技術であると大きな期待が持たれることになる。しかし、実用化にはいくつかの大きな課題が残されていた。これに大きく貢献したのがFairchildのChin-Tang SahをリーダーとするEdward Snow、Andrew Grove、Bruce Dealのグループだった。63年に特性の不安定性における最大の要因がNaイオンにあることを突き止め、Planar-IIと称されたプロセス技術を64年頃にはほぼ確立させMOS-ICの製品化に目途をつけた。開発部門のトップであるMooreが後に有名になる集積度が2年毎に2倍になるという法則を描いてみせたのは、このPlanar-II技術開発の翌年であった。現実にはそれ以上のペースで今日まで衰えることなくMOS-ICの集積度向上は続いている。後にMooreは法則を1年半毎に2倍と修正している。

こうしてMOS-ICへの実用化への道がFairchildによって開かれるが、これを機にこのPlanar-IIのプロセス確立に寄与したプロセス技術関係(Mountain Viewにある製造サイド、SahらはPalo AltoのR&Dサイド)のグループが64年にスピナウトし設立したGMEによって商品化が先行される。GMEは20ビットのシフトレジスタを65年に15ドルで発売する。しかし市場の立ち上がりが悪く、GMEは66年にPhilco-Fordに買収されPhilco-Ford Electronicsとなるが、この買収の直後にPhilco-Ford ElectronicsからスピノフしたAmerican Microsystems^{*1}が60年代後半から70年代初めにかけてMOS-IC市場をリードしていく。更には68年にPhilco-Ford Electronicsが閉鎖されると、この年から翌年にかけて半導体ベンチャー企業の設立ラッシュが起こる。こうしてGMEに流れを発生する企業群が数の上ではFairchildrenの中心的存在になるが多くは泡沫的なもので終わってしまう。

また、Hughes Aircraft^{*2}のRobert Bowerによって66年にSelf-aligned-gate技術が発明^{*3}されるが、プロセス技術の確立ではSi-Gate技術としてFairchildによって完成されるなど、Fairchildによってリードされていく。然しながら、MOS-ICの集積度は高まるものの、動作速度の遅さ、静電破壊など信頼性の低さにより応用面での制約があり、また(当時は)3電源が必要であり、入出力も当時普及していBIP標準TTL ICとの互換性に欠けておりシステム設計がやりにくいなど一般機器への応用は進まなかった。そのため当初はシフトレジスタ(一種のStatic RAM)と言う信号をバケツリレーするようなMSIレベルの素子や時計用^{*3}などへの応用にとどまっていた。FairchildはMOSには不熱心であったと言われるが、市場が未成熟であり、軍需や産業等が中心のFairchildにとってMOS-ICは将来技術であるとしても、当時は魅力あるものではなかった。

^{*1} American Microsystems は2000年代初めにファンドに買収され、2008年には10億ドルでOn Semiconductor(99年にMotorolaの半導体部門が分離して設立された)に買収されている。

*2 Hughes Aircraft は Bell 研が TR の発明を公表(49年)直後より TR の研究を開始する。また、早くから Si に着目し Si への取り組みも TI に次ぎ早かった。50年代から70年代中頃までは大手(米国でトップ10)の一角を占めていた。半導体製造工場はロサンゼルス郊外(南東40km)の Newport Beach にあった。軍・航空宇宙用が中心だが、70年代にはデジタル時計用 MOS-LSI のトップメーカーとなっている。尚、デジタル時計用 IC はヒューズが開発し時計メーカーに販売する形態の汎用品が主である。また、60年代から II (Ion Implantation) 装置の開発に着手するなど装置関連の開発にも積極的であり、II 装置を最初に開発したメーカーである。また Die-bonder や Wire-bonder 装置も手掛けていた。95年に Hughes Aircraft は GM に半導体関連も含む Hughes Electronics を売却している。Bonder 関係は同じく95年にファンドに売却され、更に2008年に Palomar Technologies に売却されている。

*3 Robert Bower によって考案された Self-aligned-gate 技術(どちらかと言うと Al-gate を前提としていた)はほとんど実用化できるものでは無かった。Fairchild の Thomas Klein によって Al-gate に対する Si-gate の優位性が解明され、Faggin によって製造プロセスが確立される。

半導体関連産業の発展と Fairchild

初期の半導体企業は製造装置を自社開発する必要があった。と言っても多くは研究用設備を若干モディファイした程度のもに過ぎないものだが。設備開発をリードしたのも Fairchild だった。そして、Fairchild との結びつきによって多くの企業が生まれていく。Fairchild はそれらを後押ししたと言われる。

60年に Fairchild からスピアウトした Cecil Lasch らによって Specialty Products(64年 Electroglas と改称)が設立されるが、これは組立用のワイヤボンダーに使われる治具 capillary tube の製造などを行っていた。60年代半ばには拡散炉や PP 試験(wafer process を完了したチップの試験)用の prove card などにも事業領域を広げている。

67年11月に Michael McNeilly*¹によって Mountain View に設立された半導体設備メーカーの Applied Materials(AMAT)は個人資金を募って設立されているが、その出資者には Fairchild の Moore、Grove、Noyce、Spork や既に Fairchild を去っていた Hoemi.などが名を連ねている。また Varian の様にシリコンバレーの在来企業の中にも半導体設備に参入していく企業が現れてくる。半導体設備産業もシリコンバレーを中心に発展していく。

日本企業においても、例えば63年に設立された東京放送(TBS)子会社の東京エレクトロは Fairchild と65年に IC Tester(Fairchild 4000*²は本格的に販売された世界初の IC Tester)や半導体製品の販売代理店契約を結んでいる。AMAT とともに半導体設備産業を代表する企業へと発展していく。また半導体関連部材においても Fairchild との結びつきにより飛躍のきっかけを掴む企業もあった。京セラ*³は68年に Fairchild がセラミックパッケージの開発を京セラに持ち掛けたのを契機に飛躍の足掛かりを掴んでいる。それまでのパッケージ(Can type、プラスチックやセラミック系の Cerdip)に比べ金属シールドタイプやフリットシールドタイプのセラミックパッケージは高コストではあるものの信頼性、精度、電気的特性に優れ、また多ピン化や小型化にも優れていた。

*1 McNeilly は東海岸の Union Carbide で Si wafer 製造用のトリクロロシランなどのガス関係の業務に携わったあと、65年に Richmond(サンフランシスコの対岸、北東10km)に半導体用の高純度ガスの製造販売の Apogee chemical Inc.を設立。67年に Apogee を去りガスの施設内供給システム関連機器製造の Applied Materials を East Palo Alto に設立。Fairchild の製造装置開発技術者を引き入れ Applied Materials は70年にエピタキシャル成長用の CVD 製造装置開発に乗り出し装置メーカ

一へと転じていく。

*2 日本企業において IC 生産が始まった頃は、Fairchild 4000M や TI553 など米国半導体メーカー製のテスターに依存していた。DC 試験を FC4000M で行い、ファンクション試験を TI553 で行っていたようだが、TI553 は故障が多く、おまけに大きすぎて(長さ 3.5m)工場に搬入するのに一苦労したようであり量産向きでは無かった様だ。IC 一個を試験するたびに紙テープが一回転する方式のため紙テープの摩耗と読み取り機の故障も多かった。

Fairchild 製はその後も FC5000、コンピュータ制御テスターの SENTRY-48 など 80 年頃まで使い続けられている。

*3 京セラは 59 年に松風からスピアウトした稲盛和夫によって設立される。当時、輸入に頼っていたブラウン管の電子銃を支える絶縁部品である U 字ケルシマの国産化で事業を立ち上げる。転機となるのは 66 年に IBM360 シリーズに搭載された Hybrid IC 用のアルミナ製基板の受託による。これが IC セラミックパッケージへと繋がる。68 年には鹿児島県川内市にセラミックパッケージ用工場を建設、71 年には San Diego に工場を建設している。低価格と高品質により、70-71 年および 74-75 年の半導体不況を経て、米国の草創期の半導体パッケージメーカーを市場から退出させセラミックパッケージにおいて米国で 80% のシェアを得る。

黎明期の MOS-IC 市場

MOS-IC の特性として低速であるが集積度が高いことがあげられる。集積度の高さは一方では量の確保のための必須な条件である汎用性の欠如という問題を持つ。IC 産業では量が必要であり、MOS-IC は高集積と量を兼ね備える応用を見いだせず、60 年代後半に至っても主なものとしてはシフトレジスタや時計用くらいのものであった。こういう状況の中で、集積度が高くかなりの量が見込めるものとして電卓用 LSI が登場してくる。

71 年には MOS-IC の米国採算学は約 1 億ドルに達するようになるが、その半分は電卓用であり、もっぱら日系企業が顧客となる。MOS-IC の主要企業として、AME、TI、Rockwell、GI^{*2}(General Instrument)の 4 社がそれぞれ 1 千万ドルを超え、INTEL も 9 百万ドルに達していたのに対し、Fairchild は精々 1~2 百万ドルに過ぎなかったと推定される。日系の電卓メーカーを主要顧客としていた企業が上位を占める。リコーの AMI、キャノンの TI、シャープの Rockwell、三洋の GI、その他、栄光ビジネスマシン (ユニトレックス) の Caltex Semiconductor^{*3} などというのが典型的な組み合わせで、ある程度だが主要な委託先というのがあった。

*1 キャピラリーチューブはガラス製で金線表面の汚れ・荒さが原因でキャピラリーの内面に汚れ等が付着して金線が切れ頻りに交換する必要があった。日本では 60 年代半ば過ぎには金線の伸線・焼鈍方式、洗浄方式の改善により、金線の精度を高めることによって解決している。

*2 GI は 1923 年に音波を使って水深などを測定する測深儀メーカーとしてニューヨークに設立されている。50 年代より買収を重ね半導体やケーブル TV 機器など広範な事業を展開している。半導体では 61 年に Sunnyvale の Pyramid semiconductor を買収している。64 ビットのシフトレジスタを製品化した AME に続き GI は 65 年には 256bit を製品化し、また 60 年末にはイタリアに MOS-IC の一貫工場を建設するなど早くから MOS に注力する。尚、GI は主力事業を 2000 年にモトローラに 170 億ドルで売却するなどによって解体されている。Pyramid semiconductor は 21 年に航空機部品メーカーの HEICO Corporation に買収されているが fabless 半導体メーカーとして存続している。

*3 Caltex Semiconductor は 71 年に Santa Clara に設立される。TI からスピアウトした台湾人技術者およびそのオレゴン州立大学の台湾人留学生仲間を中心にして電卓用高性能 1 チップ IC の開発を目的に設立された Fabless 半導体メーカーの先駆的企業。70 年当時、wafer process を持つ垂直統合型の企業がほとんどであったが、半導体不況の影響もあり生産を請け負う企業もあり Fabless 企業が生まれているが、安定的な委託先がないこともあり発展には限界があった。Fabless 半導体メーカーの隆盛は 90 年代に入ってから。尚、69 年にニューヨーク市に設立された LSI Computer Systems が最初の

Fabless 半導体メーカーだと言われている（電卓用 chip set の開発のために設立された Mos Technology の設立は 68 年と更に早い）。但し、大抵の Fabless 半導体企業は自社ブランドで事業を行っていたものは少ないようで、一種の設計請負業に近かった。74 年に Intel をスピンアウトした Faggin や嶋正敏によって設立された Zilog が自社ブランドを確立して大きな成功をおさめた最初の例と言える。Zilog の成功により多くの企業が続くことになるが、Faggin や嶋正敏は単にマイクロプロセッサの開発者として大きな貢献を成しただけではなく、今日の半導体産業の構造を作り上げたとも言え、極めて大きな役割を果たした。

尚、Caltex の設立資金は主に栄光ビジネスマシンが負担。栄光から派遣された 4 人の技術者がロジック設計をし、Caltex 側はそれのチップへの落とし込みを担当。71 年に電卓用 1 チップ LSI を完成させた。尚、栄光ビジネスマシンは 56 年に設立されたアパレルの栄光商事の子会社として設立されている。

電卓戦争

それまで計算器と言えば、機械系企業の事業分野でありタイガー計算器^{*1}(1923 年設立)などが代表的であった。これら機械式手動計算器メーカー^{*2}は電子化の進展とともに（ビジコンを除いてだが）淘汰されていく。電卓が登場した頃、当時の代表的なタイガーの機械式手動(手廻)計算機の価格は 3 万 5 千円（53 年から生産終了の 70 年までこの価格を維持）と 60 年代後半までは 30 万円から 50 万円程度した電子卓上計算機に比べて安く、販売は 60 年代後半になっても順調に増加していたが、70 年頃になると売上が急速に落ちていく。機械式の市場規模は 60 年代前半で年 4 万台、後半で年 7 万台程度だった。機械式計算器メーカーとしては、シェアで過半をしめるタイガー計算器のほかに太陽計算器(34 年設立、販売は内田洋行)、ビジコン^{*3}（富士星計算器製作所 42 年設立→日本計算器→ビジコンと改称）、東芝、パイロット事務機などがある。戦前および戦後しばらくの間は、精密金属加工技術はかなり劣ったもので、部品のバラツキが大きく 1 台 1 台調整しながらの作業で、例えば 2 台の計算器を分解し、それらを混ぜ合わせて再度 2 台の計算器を組み立て直そうとすると微妙に部品が組みあわず上手くは組立てられなかった。そのため 1 台ずつの手作りに近くスケールメリットが少なく、ある程度の技術的経験があれば参入可能であり小規模企業の生存余地もあった。参入障壁が低いというものの、機械式は摩耗もありアフターサービスが重要であり、全国に展開するタイガーの販売・サービス網は大きな優位性を持っていた。ビジコンなどは海外に販路を求め、機械式計算器やタイプライターなども輸出産業となっていた。

^{*1} タイガーは 36 年に電動式の高速自動計算器を販売しているがほとんど普及はしなかった。64 年には最後となる電動計算器 E64-21 など電動式も販売している。戦後しばらくの間は日本には高速回転に耐えるような鋼材の入手が困難だったこともあり、電動式は Monroe(ニュージャージー州)、Merchant(Oakland)、Friden(San Leandro)などの米国製やイタリアのオリベッティなどが輸入品に席卷される。とはいえ、電動式は手動に比し効率がかなり高かったが、価格が高いこともありそれほど普及しなかったようだが。電動式は数字キーが並んでいて、例えば掛け算の場合、掛け合わせる 2 つの数値を数字キーでセットし、掛け算の命令キーボタンを押すと歯車が自動的に回転し 10 秒から 20 秒程度で計算結果が求められる仕組みになっている。価格は 50 万円程度、重量は 30 kg と言ったところで、騒音・振動および計算時間が長くなることを除けば、初期のリレー式などの電卓に近いものだった。

尚、1946 年 11 月 12 日に、東京宝塚劇場で機械式電動計算機を使う米陸軍兵士 Thomas Wood と、ソロバンを使う日本通信院職員松崎喜義が公開試合を行った。四則演算および複合問題の計 5 問で争われ、結果は 4 勝 1 敗でソロバンが勝利した。機械式計算器は電動式でさえ、それほど効率は良くは無かったようで、日本ではパソコンの表計算ソフトが一般化する頃まで、電卓に押されるものの、そろばんは使い続けられる。尚、79 年にシャープからソロバン付き電卓 ELSI MATE EL-8048 ソロカルが発売されている。

^{*2} 50 年代から 60 年代半ばにかけて、機械式手動計算器メーカーとしてはタイガーなど 5 社の他に、主なメーカーとしてキーパー

計算器、ニッポーなどがある。また、機械式電動加算器(コンプトメーター)の主なメーカーとしては、東芝、栄光マイクロマシン(ユニトレックス、61年参入)、リコー、Frontier、ブラザー、シチズン、カシオなどがある。

*3 ビジコン(富士星計算機製作所)は小島和三郎によって設立された。小島和三郎は18年に満州奉天に昌和洋行(小島コンツルン)を設立、満州を拠点に中国各地に事業を展開していたが終戦で在外資産の全てを失う。例えば、中国の三大自転車メーカーに天津の「飛鶴自転車」、上海の「永久自転車」、同じく上海の「鳳凰自転車」があるが、これらはいずれも昌和洋行が設立した会社である。日本の拠点は日本計算機の他に、オートバイ生産の昌和製作所がある。昌和製作所は軽自動車開発(昌和ミニカ)に乗り出すも経営悪化により60年にヤマハ発動機に吸収されている。尚、ビジコンにおいて次々に新機軸を打ち出したのは、小島和三郎の息子の義雄。

電卓の誕生

19世紀末に電動モータを使った電動式計算器が誕生している。これは歯車を回転する方式であった。この方式の最期をかざったものに、64年に発売された東芝テックの機械式電動加算器トステック・シリーズがあるが、これは日本で大ヒットし米国にもかなり輸出されている。

一方、57年6月にカシオ*1によりモータや歯車類を一切使わない、約340個のリレーを使った機と一体になったタイプのリレー式計算機カシオ14-Aが開発され発売される。価格は機械式電動計算器とほぼ同価格の485千円だった。この計算器はリレーの開閉によるもので回路的には2進のデジタル回路であるが、開閉動作を伴う点では機械的である。現在の電卓と同じような配列のten-keyを持ち、表示部分も1つにしていた。機械式電動計算器はそれぞれの桁数に対応して10個ずつのキーがあり、また入力表示2つと結果表示1つの計3つの表示部があるのに比べかなり簡素化された現在の電卓の原型といえそうである。

これに対し、61年10月にイギリスのSumlock Comptometer(Bell Punch Company*2の一部門)より小型真空管式(MT管)を使ったAnita Mark VIIとMark VIIIが公開され62年1月に発売されている。これが最初の電子式卓上計算機と云わる。Anita Mark VIIは消費電力も100kWと大きく重量は14kg、価格は355英ポンドだった。

また、日本では大井電気*3から63年パラメトロン*3を使った卓上計算機アプレゼロ101を開発し(64年3月に開かれた第16回神奈川県発明展覧会で公開)、64年4月から販売している。ビジネス的には失敗だったようで、累計1,000台弱を売ったのみで電卓市場から撤退している。

*1 カシオは46年に機械加工業の榎尾製作所として榎尾4兄弟(忠雄、俊雄、和雄、幸雄)の長兄忠雄により東京都三鷹に設立された。次兄の俊雄は通信省東京通信局(現:NTT)に技術者として勤めていたが、退職し兄忠雄の設立した榎尾製作所に46年に加わる。指輪パイプのヒットで得た資金を基に50年頃より計算器の開発に着手し完成させる。

*2 Bell Punch Companyは1878年に設立された、鉄道やバス、劇場などのチケットをパンチする器具やタクシーメータなど、主に交通に関係した事業の会社。1940年頃より電動式のキー操作の加算器であるコンプトメータ事業に参入、コンプトメータのトレーニング学校なども運営。

電卓事業としては、66年に分社しSumlock Anita Electronicsを設立、71年ごろがピーク。72年にはポケットタイプを投入している。73年にRockwellに売却され76年には電卓事業から撤退している。

*3 大井電気は東洋通信機(旧東洋無線電信電話、住友系、通信部門は2005年に日電に吸収されている)を退職した石田實の世田谷の自宅6畳間で49年に同僚であった4人とともに創業されている。同年に五反田に事業所を設け搬送装置を製造し、警視庁に納入、翌50年大井電気を設立。大井電気は1957年3月に完成した日本初のパラメトロン計算機MUSASINO-1号の制作に協力している。パラメトロン製造(TDKが作成したフェライトコアを日本電子測器が選別、そのコアを使

って)、およびプリント版への実装は大井電気が行っている。

通信機器メーカーは戦時中、軍事物資の生産がほとんどを占めており(例えば通信関連の専業だった富士通信機製造の場合、大戦末期には95%が軍需を占めていた)、戦後数年は、通信機メーカーは民需への転換が進まず人員削減、それに伴う労働争議に数年間を費やすが、その間に多くの従業員が去ることになる。大井電気の創業者たちもそうした中で退社して行った技術者であった。通信機メーカーが立ち直るのは52年8月に電電公社が設立され通信インフラ整備が始まる頃から。電話加入者数は回復し戦前のピーク時108万台を52年には140万台と超えるものの、回線は逼迫し、予約して特急(料金3倍、60年過ぎまで待ち時間によって市外電話料金の差があった)でも1~2時間待って電話できるという状況が続いていた。

*4 パラメロンは東京大学教授であった後藤栄一が大学院生の時に開発。フェライトコアに2つにコイルを巻きコンデンサーを組み合わせた素子。富士通のダパラメロン式コンピュータを開発したメーカーはTDK製のフェライトコアを使ってパラメロン製作を内作していた。50年代後半から60年代初にかけ、富士通や日立、日電等が販売したコンピュータはパラメロンが使われていたものが主流であった。当時はTRに比べ消費電力が大きいなどデメリットがあるものの価格が安く信頼性も高く且つ長寿命であった。TRの信頼性向上や価格低下によって60年代半ばにはパラメロンは廃れていく。但し、近年量子コンピュータなどで見直気運がある。

TR/IC 式電卓

カシオに続き、シャープは62年に伝票発行機能を持つリレー式計算機CTS-1(オフィスコンピュータ)を発売している。これがシャープにとっての初のデジタル機器となるが、その開発に携わった浅田篤(後シャープ副社長→任天堂会長)など若手技術者20人のチームを編成し60年9月より計算機の開発がすすめられていた。このチームが電卓開発に携わることになる。

64年3月18日にシャープ(CS-10A:フルキータイプ、翌年テンキータイプのS-20A)とソニー(Sobax MD-5 試作機)が電卓を同時発表する。これに続き、5月にはキャノン*1(Canola)が続く。シャープは6月に他社に先駆け販売を開始する。そして翌年にはカシオ、ビジコン*2、東京エレクトロン、シチズン、ゼネラルなど続々と参入していく*2。ただし、大して売れてはいなかった様で、65年の生産数量でも4千台に過ぎない。シャープCS-10AはGe-TRを530個、Ge-Diを2,300個、その他部品を2,900個使い消費電力90W、大きさは42cm×44cm×25cm、重量25kg、四則演算の12ケタ表示で価格は535千円と当時の自家用車並みの価格であった。シャープはCS-10Aを皮切りに電卓業界をリードしていく。

CS-10Aに続き、66年にはBIP-IC電卓コンペットCS-31Aが発売され、それには三菱製*3の汎用TTL28個(およびTR533個、Di1,549個)が使用され価格は35万円だった。翌67年には日立・日電のSSI/MSIレベルの56個のMOS-ICを搭載しフルIC化したCS-16A(価格23万円)を売り出すと、他社も一斉に追随する。その後、MOS-ICの調達には日本企業より進んでいた米国企業に依存するようになる。67年頃に米半導体産業は最初の不況に見舞われたこともあり、日本の電卓メーカーのアプローチに積極的に応じている。次々に米国で開発される標準(汎用)Logic-IC(SSI/MSI)をいち早く電卓に搭載することが競争に生き残るための必須の条件となり、更にはカスタムLSI化が始まるが、電卓メーカーは技術者を米国メーカーに常駐させることになる。こうした中でシャープは69年にはプログラム論理方式を採用したRockwell製の4個のカスタムMOS-LSIを搭載(他に2個の標準SSI/MSIを搭載)した8桁電卓マイクロコンペットQT-8Dを99,800円で発売する。そして他社も一斉に追随する。

真空管式電卓の誕生から、パラメロン、TR、標準BIP-IC、標準MOS-IC、そしてカスタムMOS-LSIへと電卓は10年ほどの間に一挙に進化を遂げることになる。そして更にはIntelとビジコンによる汎用MOS-LSIと言うべきマイクロプロセッサの開発へと繋がっていく。

日本のIC需要

	69年	70年	71年
電卓	53.4%	42.2%	31.9%
コンピュータ関連	28.6%	35.0%	34.1%
テレビ・ラジオ	7.5%	10.3%	19.7%
その他	10.5%	12.5%	14.3%

電卓用は MOS-IC、コンピュータ関連は BIP-Digital-IC、テレビ・ラジオ用は BIP-Analog-IC が主な用途である。電卓用 IC は米国からの輸入が中心だったが、72 年頃より急速に国産品に替わっていく。またシャープは Rockwell と技術提携し 70 年には奈良県天理市に 75 億円かけ LSI 量産工場と研究施設を建設する。

コンピュータ関連の標準 BIP Digital IC は TI が低価格で日本市場を席捲しており、日系のコンピュータメーカーは内製を中心に不足分を TI など米系企業からの調達で補っていた。テレビ・ラジオ関係もない製品の比率が高かったため、日本の C メーカーの外販においては、シャープが内製化したとはいえ電卓用 MOS-LSI の比率が高かった。72 年 8 月にカシオミニ*5(6 桁)が 12,800 円で発売されたのを契機として電卓の価格競争は激しさを増すとともに、電卓は個人ユースが主力となっていく。70 年に生産数 1,423 千台(内輸出 730 千台)だったものが 75 年には 30,040 千台(輸出 25,727 千台)と急拡大し、それに伴い電卓用 MOS-LSI 価格も下落が進む。

電卓の生産・輸出推移

	生産			輸出			生産			輸出	
	台数 千台	金額 百万円	平均価格 円	台数 千台	比率		台数 千台	金額 百万円	平均価格 円	台数 千台	比率
65年	4	1,823	418,600			71年	2,040	124,627	61,080	1,266	62.1%
66年	25	5,556	218,100			72年	3,886	118,479	30,490	2,612	67.2%
67年	63	11,478	181,800	20	31.4%	73年	9,960	173,019	17,370	6,366	63.9%
67年	163	25,671	157,100	74	45.5%	74年	15,453	179,788	11,640	10,215	66.1%
69年	454	54,694	120,500	237	52.1%	75年	30,040	161,983	5,392	25,727	85.6%
70年	1,423	130,809	91,890	730	51.3%	76年	40,426	184,747	4,570	35,192	87.1%

*1 キヤノンは 64 年 5 月に東京晴海で開催された第 28 回ビジネスショーに出品している。尚、この時に大井電気、シャープ、ソニーの計 4 社が電卓を出品している。尚、このビジネスショーでカシオはリレー式計算機 Casio 81 を発表している(発売に至らず)。これによりカシオは TR 採用に切り替え、1965 年 10 月に最初の TR 電卓 Casio 001 発売に至る。尚、IBM が System 360 を発表したのが、64 年 4 月である。世界は本格的なコンピュータ時代に入りかけていた。

*2 70 年頃には電卓メーカーが数十社あったと言われる。主な企業を列記しておく:—

家電系: シャープ、東芝、日立、三洋、ソニー、ゼネラル、松下、

光学系: キヤノン、ミノルタ、チノン、ヤシカ、

計算機計: カシオ、ビジコン、タイガー、太陽ビジネスマシン、

金銭登録機系: 日本金銭機械、キング工業、

音響系: 日本コロムビア、ビクター、

時計系: 服部セイコー、シチズン

事務機系: リコー、コクヨ、三和プレシーザ、信和デジタル、

通信系: 大井電気、日本通信工業、

精密機械: オムロン、ブラザー、シルバー精工、

商社系: 内田洋行、東京エレクトロン、東邦通商、不二商、

その他: 栄光、シグマ、クラウンラジオ、東興化学工業、システック、無電テレビ工業、タマヤ計測システム、SATEK、日満電気、東京電子応用研究所、星電器製造、

外資系: 横河ヒューレットパッカード、日本オリベッティ

*3 ビジコンは機械式手動計算器メーカーであり、また Anita MarkVIIIの輸入を手がけている。65年5月にビジコン160を発売したが、価格が55万円と高く不調に終わる。翌66年7月に磁気コアメモリを採用したビジコン161を発売。298,000円という当時の電卓としては低価格かつ高性能(桁数は16ケタと多く、磁気コア搭載によるメモリー機能、平方根計算機能などもあり当時としては最高性能、IME84とほぼ同仕様)を有し、また発表時には比較広告を日本経済新聞で展開、一気にメジャーの一角に食い込むが、部材調達難により伸び悩む。イタリアのMontecatini Edison (IMEの親会社)から技術導入し、64年(発表は3月のミラノでの見本市)に発売されたIME84(価格1,700ドル)をベースにして開発されたものと思われるが、IME84はコアメモリを搭載しているせいか、424個のTR、1,074個のDiと部品点数が同性能の他機種に比べ部品点数が4割ほど少ない。ビジコン161(詳細データ不明)は大幅なコスト削減できていたと思われる。尚、ビジコンはNCRやMontecatini EdisonなどにOEM供給するなど海外企業からの開発・生産受託が多かったが、そのためハード開発工数が膨れ上がり、その対策として、ハード依存性の無いマイクロコンピューター方式の採用を進めることになる。

尚、他社もOEM生産を手掛けており、北米を見ると、NCRのビジコンの他、Commodoreのリコー、Fridenの日立、Burroughsのシャープ、Monroeのキャンソ、Remington Randのカシオ、SCMの東芝など。米電卓メーカーは日系企業やEMSの先駆けの米Bawmar社などへ委託していたものが多い。

尚、59年設立のIME(Industria Macchine Elettroniche) S.p.A.がIME84を開発した。尚、IMEは60年代前半に主力事業の電力を国有化され新規事業を模索していたMontecatini Edisonに買収されている。

*4 68年にTIと日本の半導体企業はライセンス契約を締結する68年までは、日本メーカー製のICを搭載した場合、輸出、特に対米輸出はTI特許の関係でできなかったものと思われる。

*5 カシオミニは大ヒットし、発売後10ヶ月で販売台数が100万台を突破、翌73年末には販売台数は200万台に達した。最終的にはシリーズ全体で1,000万台に達する。以後、カシオが電卓業界をリードし、2006年に電卓の累積売上が10億台を突破、17年には15億台を突破している。

カシオは機械系の機器のエレクトロニクス化による代替を進め、且つ普及価格にすることを開発のポイントにしており、電卓に始まり、デジタルウォッチ(74年)、金銭登録機(76年)、ファクシミリ(77年)、パソコン(78年)、電子楽器(80年)、電子辞書(81年)、液晶TV(83年)、液晶シャッター式ページプリンター(85年)、電子カメラ(87年)と次々に開発し、且つ激しい価格競争をリードする。

低価格Ge-TRと日本の優位性

カシオのリレー式計算機はコンピュータの代用物として大学などの研究機関や大企業など十分に販売されている。コンピュータが導入される前は、米Monroe社^{*1}などの機械式電動計算機やカシオの計算機がこうした機関に導入されていた。米国の大学や研究機関などは既に60年頃にはIBM1400シリーズなどの導入が進んでおり既にコンピュータ時代に入っており、また機械式電動計算機も普及していた。日本は未だソロバンを超えた計算需要を満たすためのこうした機械式電動計算機の普及さえ十分には進んでおらず、普及の余地が十分にあった。

電卓の製品化を推進したもう一つの要因として、TRラジオの成功による量産効果により原価低減を果たしたGe-TRやGe-Diを始め小型電子部品の存在があった。Ge-TRの価格は欧米に比し半額以下であり、コンパクトで安い電卓を可能にした。そして、電卓は価格低下と共に、また日本の高度経済成長とともに、研究部門などから一般企業へ、更には個人へと需要が拡大していき、同時に国際競争力をもった製品として、TRラジオに続き世界市場を席卷する。

*1 Monroeは1912年に設立。Pinwheel式で且つ世界初のボタン操作の計算機を開発している。日本では丸善が18年より輸入を行っている。50年代末、日本製の手動式計算機が3万円台だったのに対し、Monroeの電動式計算機は40万円程度だった。71年まで機械式計算機の製造を続けた。

電卓と日本の MOS IC の立ち上がり

シャープは最初電卓の LSI 化を日本メーカーに打診したが断られたと云われる。そのため Rockwell と 68 年から共同開発を進めている。集積度の高さによる躊躇も有ったのだろうが、もう一つの問題として TI 特許の問題があった。日本で販売される場合には問題はないとしても、IC の対米輸出だけではなく日本製 IC を組み込んだ機器の輸出もできないという状況にあった。まして IC のかたまりの様な電卓をそれもアメリカに輸出することはトラブルが生じ、これも日本の IC メーカーが躊躇する要因だったのだろう。68 年には TI の日本への直接進出をソニーとの合弁の形で認め、TI が特許を公開しこの問題は解決する。

日本の IC の市場規模(国内需要)は 70 年代初期には 2 億ドルに達する。当時の米国市場規模が IBM や WE 等内製分を除いて 10 億ドル程度と言われている。日本の市場規模は実質米国の 6 分の 1 から 7 分の 1 程度に達することになる。しかも、将来性を期待される MOS-IC のみならば、電卓市場に牽引された日本市場(需要 200 億円)は米国(生産は 1 億ドルあったが日本への輸出割合が高かった)とほぼ同じ規模かないしは日本がまさっていた。

MOS-LSI は日本の電卓メーカーが最大ユーザーであり、米国企業の MOS プロセスの立ち上がりに大きく寄与することになる*1。但し 70 年代に入ると、日系半導体メーカーも力を付けて来ており、71 年の不況の頃から積極的にそれもかなりの低価格で応じるようになってくる。また 71 年頃に米国製の電卓用 MOS-LSI の不良が続出する。MOS-LSI の集積度の向上により静電気に弱くなっていたのが原因だが、そうしたこともあり日系メーカー製に切り替わっていくとともに、輸出に牽引され電卓生産は急増する。70 年に 73 万台だった輸出は 76 年には 3,519 万台と約 50 倍に増える。電卓用 MOS-LSI は量が膨大であるがそれ以上に価格は極めて厳しかった。電卓の価格競争も激しかったが、それ以上に電卓用 MOOS-LSI の競争は激しかった。この過程で日系の半導体企業は強力なコスト競争力や MOS-LSI の量産技術を確立していく。

この電卓用 MOS-LSI により培われた競争力はその応用製品にも競争力をもたらすことになる。デジタル時計用、オーディオ用、多種の通信機器関係*2、TV 関連や VTR など、ほんの数年前には応用製品が見いだせなかったものが、集積度の向上に伴う実質級数的な価格低減により、様々な製品への応用が日本主導で進んでいき、それら応用製品とともに日本の IC 産業も高い競争力を確立していく。

70 年末になると VTR 等でも日本メーカーが世界を席卷するが、電卓用と同様に VTR 用 IC は半導体企業にとって量に関しては大きな魅力があるものの、大手家電メーカーは IC メーカーでもあり、外部発注の際には厳しい価格要求や仕様であった。VTR ではソニーのベータとビクターの VHS の競争が良く知られているが、如何に機能を折り込み且つ軽量化させ、価格も引き下げることがポイントであり、それらを同時に実現する手段が LSI 化であった。そのため AV 製品のデジタル化の進展に伴い松下電子、東京三洋、シャープなどの家電系メーカーも内製主体だがデジタル系の LSI メーカーとして登場してくる。松下電子は松下が 60 年代半ばにはコンピュータから撤退したものの世界のトップを切って 16bit MPU を製品化するなど MOS デジタル LSI にも積極的に取り組んでいたし、DRAM の準大手でもあった。

*1 日本は MOS ではかなり遅れていたものと思われるが、キャッチアップするのは早かった様である。Intel が 70 年 10 月に Si-Gate の 3TR 型の PMOS-1kbit-DRAM i8103 を発表(HP が開発した RAM 技術を使い HP の協力で開発された。それに先立ち 70 年 2 月の International Solid-State Circuits conference で i1102 を発表している)すると、日本のコンピュータ系半導体メーカーはサンプルを入手しリヴァースエンジニアリングで開発を進めるが、富士通の場合、72 年初には完了する(MB8103)。Intel は東京エレ

クローン経由で富士通の MB8103 を入手し評価しているが、完成度はかなり高かった様で Intel がさんざん苦労を重ねて解決した問題点がクリアされており Intel の最終版と比べ遜色はなかった。Intel は歩留まりが上がらず 5 回のマスク改版を経て量産というレベルに達するのは 71 年の秋頃であるから、大した遅れではないかも知れない。但し、富士通は大型コンピュータの要求仕様を満たす為に更に MB8103 の改良を重ねることになり、結局はより性能に優れる N チャンネル型の開発に進み、当時世界最高速を達成した MB8201 を完成させ Amdahl470/V6 などに搭載されることになる。

また、東京エレクトロンは 72 年に同一の Si-gate P 型 MOS-LSI(12 桁プリンター出力付き電卓用カスタム LSI)を Intel と富士通の 2 社へ発注しているが、ほぼ同時期に完成しており、ほとんど甲乙を付けられないレベルであった。

富士通は電電公社の DIPS-11/30、Amdahl470/V6、自社の M シリーズのプロジェクトが進行しており、ハード性能で IBM を超えることを目標とし、そのための LSI 開発に全力で取り組む。75 年の Amdahl470/V6 の成功、および信頼度の高さにより富士通の LSI 技術の高さが実証され、世界の多くのコンピュータメーカーなどから MOS Memory の引き合いを受けることになる。これに日電・日立等も続く。本格的な輸出が始まるのは 16k-DRAM の量産が始まる 77 年春ごろからである。そして早くも 77 年末には日本の半導体輸出攻勢に対する米半導体業界との摩擦が生じる。そして、79 年 5 月には DRAM のパイオニアである Intel は DRAM からの撤退に追い込まれる。

*2 例えば、無線機器などに使われる PLL シンセサイザーなど原理的には古くからあったものの、TR など構成すると回路規模が大きくなり過ぎて高性能であっても、多数の水晶を使うクリスタル・シンセサイザーの相手となるものでは無く実用化されなかったものが、MOS-LSI により実現することになる。ユニデンやアイコムなどが PLL 搭載のトランシーバーなどの対米輸出により成長の足掛かりを得ている。

*3 ソニーのベータは技術的には優れていたものであったのだろうが、そのため部品点数は多く重量も重かった。

ソニーは 75 年 4 月(発売 5 月)に SL-6300(1 時間録画、重量 18.5kg、価格 229,800 円)、SL-7800(1 時間録画、重量 20.5kg、価格 298,000 円)を出す。一方、1 年 4 か月遅れでビクターが 76 年 9 月(発売 10 月)に HR-3300(2 時間録画、重量 13.5kg、価格 256,000 円)を出が:—

録画時間の長さ(β のテープ長 150m、VHS248m)は単に長時間録画ができるというのみではなく、当時数千円と高価だったカセットテープの費用を考慮するならランニングコストに大きな優位性を持つものだった。また、重量が 13.5 kg というのは購入者が持ち帰り可能な重量であり、小売店の配送・設置の負担を軽減するものであり、部品点数の少なさは修理などアフターサービスの負担を軽減するものでもあり、また製造的にも心臓部と言うべきヘッドブロック製作は厄介としても他は製造的に容易な構造であった。いわゆる消費者、販売店、そして世間ならぬメーカーの三方良しの製品であった。

加えて、ビクターは製品の開発は完了しても発表は急がずファミリー作りに注力し、松下・シャープ・日立・三菱などを陣営に加えることに成功する。また発売後は、77 年 12 月のドイツの SABA を皮切りに、翌 78 年にはフランスの Thomson、イギリスの Thorn ENI、ドイツの Telefunken などに OEM 供給の契約を結ぶなど欧州を取り込んでしまうなど迅速な対応をおこない、米国でも少しマイナーだが Magnavox(カラー TV で RCA、Zenith に次ぐ 3 位)Sylvania(8 位)などと OEM 契約を結び、VHS の優位性を決定づけている。振り返ってみると、ソニーの SL-6300 やビクターの HR-3300 の発売はエポックメイキングとも言えそうだが、実のところ当初は特には注目されるほどの事でも無かったかもしれない。1975 年のソニーのベータの生産は 2 万台であり、ソニーは米国市場重視で展開してきており、輸出も多かったようで、国内では 1 万台にも満たなかった様である。ソニーは 65 年に世界初と言える家庭用 VTR であるオープンリール方式の CV-2000(198,000 円)を発売している、そして 71 年にはカセット方式の VP-1100 を主に米国市場をターゲットに発売しているが、単にその延長に過ぎなかったのかも知れない。東芝(67 年 GV101C)や松下(68 年 NV-2300)、ビクター(70 年 KV-340)も後を追って家庭用 VTR に参入しているが、ほとんどが不発に終わっている。

それらとの違いと言えば、カラーであること、Video camera がオプションとしてあり VTR(録画に使う)に繋いで撮影ができたこと、記録密度の向上もあり Video tape の価格が半額以下になったこと、LSI の採用により録画予約、裏番組録画などコマースカットなど高機能化が一挙に進んだことが挙げられる。加えて、アメリカでは既に 77 年末からレンタルビデオ店が開業しているが、日本でも 82 年頃から映像ソフトの販売も本格化し(映像ソフト売上数:81 年 476 千巻、82 年 1,010 千巻、83 年 1,948 千巻、84 年 3,089 千巻)、83 年ごろからは既に 2,000 店ほどに成長していたレンタルレコード店などがビデオも扱いはじめ、映像ソフトの流通も VTR の普及を促進するようになる。

	生産台数 千台	生産金額 百万円	単価 円	β台数 千台	βのシェア	輸出台数 千台	輸出比率
75	20			20	100.0%	-	-
76	290			180	62.1%	-	-
77	762	126,044	165,400	420	55.1%	402	52.8%
78	1,470	204,121	138,900	590	40.1%	973	66.2%
79	2,199	296,168	134,700	850	38.7%	1,671	76.0%
80	4,441	562,825	126,700	1,490	33.6%	3,444	77.6%
81	9,498	1,086,789	114,400	3,020	31.8%	7,355	77.4%
82	13,134	1,284,987	97,800	3,720	28.3%	10,652	81.1%
83	18,217	1,515,991	83,200	4,570	25.1%	15,237	83.6%
84	28,611	2,090,021	73,000	6,040	21.1%	22,071	77.1%

輸出が急増するが、対米摩擦は生じなかった。米国には既に VTR に参入するほどの余力を持つ企業は無かった。長年に渡って米家電業界をリードしてきた RCA は 86 年に GE に吸収され、翌年には家電部門は仏 Thomson に売却される。カラーTV の主力工場であるインディアナ州の Bloomington は縮小しながらもカラーTV の生産を続けたものの 98 年には生産を打ち切っている。一方、欧州では Philips などが VTR の新規格を作り参入し、貿易摩擦が生じるが、ほとんどシェアを採るに至らず撤退する。日本メーカーは完成品の関税が高いこともあって現地に直接進出する。

欧米の電卓メーカー

電卓の開発は欧州で進んでいた、61 年のイギリスの Sumlock の Anita に続き、Philips が翌 62 年に 3 機種でラインアップされた TR 式計算機(コアメモリー搭載)の試作機を雑誌“Der Büromaschinen Mechaniker (Office machine mechanic)”の 62 年 3 月号において掲載しているが、それは発売を予告するものではなく、且つ発売されることはなかった。機械式計算機はコンピュータ化の進展により既に衰退が始まっており、それを高価格の電子式で代替するというのは事業性が乏しいと判断されたようである。続いて 63 年にはイタリアの IME が TR 式でコアメモリー内蔵の IME84 を開発(販売は 64 年末)している。IME84 は 40 数か国に輸出されており、黎明期の電卓市場をリードしている。尚、Olivetti は Programma101 を 64 年のニューヨーク万博に出品し翌 65 年から販売しているが(60 年に Faggini が試作機を作成)、これは科学技術計算用電卓とも言え、この系統は 68 年の HP の HP9100A^{*1}に引き継がれる。

米国では、タイプライターや機械式計算機メーカーである Friden(65 年に Singer に買収される)が IME やシャープとほぼ同じ時期に電卓を開発し、64 年末に EC-130(価格 2,200 ドル)の販売を始めている。欧米でも、多くの企業が電卓に参入するが、TR 電卓でも参入は少なく、若干遅れて 60 年代末の MOS-LSI 化してから参入が本格化している。且つ自社生産ではなく日系企業や米 Bowmar(51 年設立の航空宇宙用などの精密歯車製造の会社)など EMS 企業への委託生産が多かった。Bowmar は主に米国での生産だが、MOS-LSI 化によって部品点数が激減したことや 71 年 8 月のドルショック以降のドル安もあって米国での製造のコスト的デメリットが軽減したようで 70 年代初期に製造請負で急成長している。電卓は当たり外れが大きく、また製品モデルのサイクルが短かったこともあり自社生産する会社は少なく Bowmar などへ委託生産^{*2}する会社がほとんどだった。米国では電卓メーカーとして初期的には機械式計算機やタイプライターなどのメーカーが目立ったが、日系メーカーに押されそれらは撤退していくが、替わって TI^{*3}、Rockwell、National Semiconductor などの半導体メーカーやハイエンドの科学技術計算用電卓の HP が米国市場で目立つようになる。ベンチャー企業も多く有ったのだからあまりプレゼンスは無かった。

Intel は 71 年 7 月にデジタルウォッチの Microma 社^{*4}を買収し、また 72 年末には電卓も試作して

いるが発売には至らなかった。デジタルウォッチもセイコー^{*5}(73年10月LCD表示のクォーツ LC V.F.A、135,000円)、シチズン(74年4月LCD表示クォーツリキッドクリスタル、98,000円)、カシオ(74年11月LCD表示カシオトロン、58,000円^{*6})等の日本勢の参入で価格低下が激しく小売価格ベースでは70年代初期には150ドルだったのが末期には30ドル程度(安値では10ドル)に低下し、Intelは78年にはMicroma社を売却し撤退する。同様にNSも73年には電卓やデジタルウォッチに参入し、75年にはゲーム機器、更に78年には日立からOEM供給を受けIBM370互換機も手掛けている。IntelやNSなどの半導体メーカーは70年代には多角化に積極的であった。それが成長のため、生き残りのために必須であると考えられていた。

後にパソコンメーカーとして活躍する企業のなかには、電卓と関りを持っていた企業も多い。世界最初のパソコンと云われるAltairのMITS社は電卓の組立キットを手掛けていた。また、初期の代表的なパソコンメーカー^{*7}であるCommodoreは大手の電卓メーカーであったし、Tandy(Radio Shack)も70年代初期よりEC-250など電卓を手掛けている。AppleのSteve Wozniak^{*8}はHPで電卓開発に従事していたし、TI^{*9}、HP、NSなどもパソコンに参入するが、電卓の延長上にパソコンがあったと言えそうである。

*1 HPのHP9100AはOlivettiのProgramma101との類似性があまりにも高く、OlivettiからクレームがついたのかHPはOlivettiに対し90万ドルをライセンス料として支払うことになる。

*2 日本企業の場合も所要変動により同様の問題を抱えていたが、下請けへの委託が大きな割合を占めており需給変動を下請けへの発注量の増減によって調整していた。電卓の組み立てはほとんど手作業であり、下請けで柔軟に対応できた。尚、自動化が進むのは2010年代に入ってから。

尚、海外工場展開は、カシオの場合、78年台湾、79年香港、87年韓国、88年米・メキシコ、90年マレーシア、95年中国と続く。各社の海外進出により、国内生産は85年の86,032千台をピークに減少に転じ、95年には5,565千台、2002年には683千台にまで減少。一方、(逆)輸入は、86年には11,698千台と10百万台を超え、94年には国内生産20,171千台に対し輸入30,143千台と生産を超える。

*3 TIは67年にKilbyが携帯型電卓(Electronic hand-held calculator)を開発し特許を取得している。キャノンに技術供与しキャノンから70年10月に世界初のMOS型の3個のLSIからなる電卓用チップセットを搭載した充電池内蔵の携帯型電卓ポケトロニクが発売される。当初、TIは電卓用LSIの販売には熱心に取り組んでいたが電卓の販売には消極的だったが、72年中頃にTI2500 Datamathを発売し参入する(メインの機能は1チップ化されている)。一時は米国でトップシェアを取るまでになる。現在もハイエンドからローエンドまで広範な電卓を販売している。

尚、TIは76年にはデジタルウォッチにも参入している。価格は20ドルだった。

*4 Micromaは74年にCMOSのインテルi5810を使って1チップのデジタルウォッチを開発している。

*5 セイコーがクォーツ時計で世界をリードする。

1927年に最初のクォーツ時計がベル研究所のWarren Marrisonらによって作成されたが真空管を使用していたためタンス並のサイズだった。セイコーはTR化や温度補正技術の開発により、公式時計担当となった東京オリンピックでは壁掛けサイズまでの小型化に成功する。そして、69年にはIC化し腕時計アストロン(45万円)を発売。70年代には特許を公開し、これによってクォーツとる化が進み、且つ急激な価格低下により米国の機械式時計メーカーのほとんどが破綻したと云われ、スイスの時計業界も大きな打撃を受ける。

尚、クォーツLC V.F.A.に搭載されたICはIntersillに委託され、その共同創業者であるJohn HallとJean Hoerniによって低消費電力のCMOS技術を使って開発されたと云われる。

尚、電子式(電機駆動式)の方式としては、1957年、米Hamilton(1892年ペンシルバニアで創業)による「テンブ駆動式電池腕時計Ventura」、1960年に米BULOVA(1875年ニューヨーク市で創業)が開発した音叉時計「ACCUTRON」などもあり、60年代後半には電子式の置き時計や電子式時計付きTRラジオなどが普及している。例えば、ソニーは69年に電子式時計付きのTRラジオDigimatic 8FC-59Wを発売している(尚、ソニーはセイコー製の機械式時計付きのTRラジオは60年に発売)。また、Hamiltonは72年(発表は70年)にLED表示の電子腕時計Pulsar(2,100ドル、販売数400個)を販売している。

*6 カシオトロンは翌75年には29,000円、78年には10,000円を割り、80年には3,900円。販売数は75年には150万個、80年には1,500万個に達し電卓と共にデジタルウォッチでもトップシェアを獲得する。

*7 75年のAltairに続き、多くの企業がPC(microcomputer/home computer)に参入する。76年頃におけるシェアをみるとMITISのシェアが25%程度、MSAIが15~20%(IMSAI 8080、i8080ベース)、Processor Technologyが10%弱(SOL-20、i8080ベース、\$1,495)、SWTPCも10%弱(SWTPC 6800、MC6800ベース、\$395)の4社が6割程度のシェアを占めていたようだ。ただ、形態も価格も様々であり同じ製品とは言えるのかは別にしてだが。その他に目立つ企業としては、Cromemco、(Cromemco Z-2、Z80ベース、\$1,299)、NASCOM(NASCOM-1、キット、Z80ベース、\$300)、そしてAppleもApple I(MCS6502ベース、\$666.66)を175台販売している。恐らく数十社がMITISに続いたようである。

そして、翌77年になると、6月にApple II(MCS6502ベース、\$1,298)、8月にTandyのTRS-80(Z80ベース、\$600)、10月にCommodoreのPET2001(MCS6502ベース、\$795)が発売され一挙に市場が開花することになる。特にTandyは子会社のRadio Shack 3,000店で販売し、ホビースト向けだったパソコン(Home computer)を一挙に大衆向けの製品に変貌させることに成功する。モニター、データレコーダー付きで600ドルの安さに加え、直にフロッピーデスクやHDDなども販売され、またゲームソフトからビジネス用の表計算ソフトなどアプリケーションが充実されて行き、家庭からビジネス用途にまで市場を広げていく。

*8 HPは72年にハンディタイプの科学計算用電卓HP-35を発売、また同年分散処理型のミニコンHP-3000を発売しともにプレゼンスを確立する。そうしたHPに対して、Wozniakは75年頃にパソコンの事業化提案をするが、5回提案して5回拒絶されてしまう。Apple Iの設計図はその際に提出されていたと云われる。そのため、WozniakはSteve Jobsの誘いに乗りAppleが設立されることになる。WozniakはHP製の電卓を手放し、Jobsは車を手放しての起業であった。

HPは80年代にも電卓事業を積極的に進めていく。80年にはHP-80シリーズを発売する。そのシリーズの上位機種HP-85の価格は3,250ドルとパソコン以上の価格であり、モニター、プリンター、磁気テープ式記憶装置、キーボードが一体化したもので、アセンブリやBASICでプログラミングできる科学技術計算用の高機能電卓であった。HPがパソコンに参入するのは83年になってからである。

*9 TIは79年6月にパソコンに参入し83年9月に撤退している。この時もTI哲学を実践し、低価格こそが勝ち残るための最も有効な手段とし積極策に出たものの、結局はパソコン売上4億ドルに対し、5億ドル以上の損失を被ったと云われる。TIと入れ替わるように、TIからスピンアウトしたJoseph Canion、James Harris、William Murtoの3人によってCompaqが設立され、83年3月にIBM PC互換機Compaq Portableが発売される。

液晶・太陽電池と電卓

液晶は1888年にオーストリアの植物学者Freidrich ReinitzerとドイツのOtto Lehmannの協力によって発見される(物性としての液晶が知られることになる。液晶自体はそれ以前に発見されていた)。そして、1962年にRCAのRichard Williamsが液晶の電気光学特性を発見し、68年にはRCAのGeorge Heilmeyerらが表示装置の試作に成功する。これはテレビのブラウン管の代替を狙ったものだった。しかし当時の技術ではテレビ用の大画面を作るには歩留まりが低すぎてコスト的に見合わず、また輝度や表示速度、更には視野角、寿命などの面でもテレビ用としては耐えられるものではなかった。RCAは70年代初めには開発を打ち切る。

71年にスイスの化学・製薬メーカーのF.Hoffmann-La Rocheが液晶で時計用の表示パネルを開発に成功する。70年代にはスイス企業が初期の液晶産業をリードする。液晶の歩留まりは画面サイズ比例し大きく低下するが時計用はサイズが小さく十分な歩留まりを達成でき、コントラスト比などの面でも当時の水準で特には問題がなかった。

世界で最初の液晶電卓はBusicom LC-120で1971年1月のビジネス・ショーに出品され、価格は9万円前後で8月発売予定だったが、液晶の安定性が十分でなかったことから販売されなかった*1。73年6月に

シャープは液晶表示のポケット電卓 EL-805*2を発売する。シャープは 69 年より液晶の自社開発に取り組み RCA 社の開発した DSM 液晶をベースに液晶剤の改良などにより長寿命化や表示性能の向上に成功する。シャープは液晶の薄型・軽量・低消費電力に着目し、RCA に電卓表示部への適用を打診したが技術的に困難だとして断られている。やむなくシャープは 69 年より液晶の研究開発を行う。この時以来シャープが世界の液晶産業をリードすることになる。液晶が日本企業を中心に発展*3してきた原点は電卓用や時計用液晶にあり、また液晶需要が日本に集中していたことにある。

また、76 年 12 月にシャープは太陽電池式(充電内蔵)電卓 EL-8026 を発売する。価格は 24,800 円(電池式の約 3 倍)と高かったこともあり普及は進まなかった。当時、省電力化が進み 1,000 時間を超えるものも販売されており、電池交換不要と言うのはそれほどの優位性は無かったのかも。80 年頃には価格も電池式と比べ大きな差もなくなり 80 年 8 月に売り出されたシャープの EL-826 の価格は 4,500 円と普及価格帯となっている。尚、80 年 9 月には三洋がアモルファスシリコン製太陽電池搭載の電卓発売し、アモルファスシリコン太陽電池の実用化に成功する。太陽電池*4、また小型電池においても電卓の果たした役割は大きかった。

液晶産業は 90 年代半ばよりパソコン用の大型 TFT-LCD パネルの急成長により 2000 年には約 230 億ドルに達する産業に成長する。シャープが 90 年代半ばには 30%程度のシェアを持っていたほか、ほぼ日系企業の独壇場となるが、韓国、台湾企業の相次ぐ参入により日系企業のシェアは低下し続ける。

半導体に関しては、日本の敗退の分析が多くなされているが、的外れのようなものである。液晶、太陽光等、多くの製品が半導体の後を追うように敗退して行く。原因は基本的に同じと言っても過言では無いのかもしれない。共通する要因を分析すべき様である。

液晶は液晶 TV 時代の入り口に差し掛かり市場が飛躍的に伸びる時期に日本勢の設備投資が急速に落ち込む。韓国・台湾企業による大型 TV に対応できる第五世代工場の建設ラッシュが始まった時、日本勢の第五世代建設は皆無であった。その後、シャープが一人気を吐き 6 世代、8 世代、10 世代と積極投資を行うが、結局は経営危機に陥ってしまう。

*1 ビジコンは 71 年に表示部に LED を搭載した 12 ケタのポケット電卓 LE-120A を発売している。モステック製の 1 チップ LSI が搭載されていた。10 時間電池がもった。LED に比べ LCD は表示性能が大きく劣っていた。

*2 シャープの EL-805 の消費電力は更にビジコンのポケット電卓 LE-120A に比し更に電力消費が 1 桁少ない 0.02W/H だった。EL-805 は CMOS LSI を使い更に 1 枚の強化ガラス板上に、CMOS LSI、液晶、キー接点など全てを一体化した COS (Calculator-on-Substrate) 技術を使うなど、徹底した省電力化・軽量化を図っていた。サイズは 78mm×118mm×20mm とほぼ同じだが、重さ 210g を実現した。単三乾電池一本で 100 時間動いた。

尚、カシオは 74 年 11 月にデジタルウォッチ・Casiotron 04-501 に液晶を搭載するが、使われた液晶はスイス Brown Boveri 製。カシオは 74 年から液晶の研究開発に着手、自社製液晶を最初に搭載したのは 78 年 9 月発売のデジタルウォッチ Casiotron 31-CS10B より。

*3 東芝も液晶への取り組みは早く、開発・製品化においてもほぼシャープと足並みを揃えていた。

*4 太陽電池においては米国が独走していた。太陽電池の歴史は 1839 年にまで遡ることができるが、実用化に耐えることができるのは、1954 年に Bell 研によって変換効率 4%の太陽電池が開発されたときから始まる。56 年には GE が太陽電池駆動の TR ラジオを試作している。翌 57 年にはニュージャージー州の Acopian technology(現 Acopian Power Supply)が太陽電池駆動の TR ラジオを発売しているが TR1 個/Di1 個/可変抵抗器 1 個、その他に抵抗などで構成され 7.5cm×5cm×1.7cm という超小型で且つ \$ 12.95 という安さであったが性能的に劣り普及は限定的であったようだ。無電源する駆動の鉱石ラジオの鉱石を TR/Di と太陽電池によって置き換えたものである。TR も太陽電池も軍用等の派生品を低価格で入手したものと思われる。キットとして主に売られたものと思われる。

58年には米海軍が人工衛星ヴァンガード1に太陽電池は搭載されているが、太陽電池は衛星搭載用を主に初期的には開発が進められる。

太陽光発電としては、Alcoが1982年には早くもカリフォルニア州のHesperiaに1MWの太陽光発電所(メガソーラ)を完成させ、84年には同じくカリフォルニア州のCarrizo Plainに5.2MWの完成させている。日本でメガソーラが建設されるのは、それらに遅れ30年後の2014年に双日が北海道斜里郡小清水町に建設した9.1MWの小清水太陽光発電所が最初である。

米国は太陽光発電にとって優位な日照時間の長い砂漠地帯など立地に恵まれてはいたものの、電力料金が安く、且つ、太陽熱利用の発電(例えば、カリフォルニアのモハベ砂漠に84年から稼働したSEGS-Iの14MWを皮切りに90年のSEGS-IXまでの合計発電量は394MW)との競合もあり普及はあまり進まなかった。

一方、日本はシャープが81年に22.2KWの太陽光発電をシャープの天理社宅に設置し実証実験を行っているのが最初のようにある(実験以外では83年に奈良県高市郡高取町の壺阪寺にシャープ製の35Wモジュール40枚から成る1.4KWのシステムが設置されている。これは40年近く経過した現在も稼働を続けており、且つ、当初の性能を維持している)。

日本は電力料金の高さにより太陽光にとっての劣位性が相対的に緩和され、家庭用を主に融資制度・補助金制度に後押しされ普及が進み、1993年より住宅用の販売(同年24MW設置)が始まり、2000年頃までには累積設置容量330MWに達している。99年には生産量で米国を抜きトップに立ち2005年頃までは、日本は太陽電池生産・新規設置ともに世界の約5割を占めリードする。2006年までシャープが世界第一位の生産量(発電容量ベース)を誇り、一時はシャープの他、京セラ、松下、三菱電機を含めて、上位5社のうち4社を日本勢が占める等、日本は非常に高いシェアを有していたが、以後、太陽光発電が世界的に本格普及するとともにコスト競争力を持つ中国・台湾勢が大きくシェアを伸ばし、2009年になるとトップ10に入る企業は2社となり日本企業のシェアは10%、2012年には日本企業はトップ10から姿を消しシェアも6%に低下する。現在(21年)では日本の生産シェアは1%にも満たない。

欧州企業の半導体

70年代半ばには欧州における現地生産も含めた米国系メーカーの市場占有率は約7割に達していたが、MOS ICでは更に欧州企業は立ち遅れていた。MOS ICに対しては電卓やコンピュータ関連(特にDRA等)など需要面で牽引するものが少なかった。日本と同様に、エレクトロニクス関連企業の一部門であることが多い、且つ日本もそうだが真空管時代からの企業が生き残っていることも特徴と言えそうである。

欧州で代表的な半導体メーカーと言えば、Philipsであるが、今振り返ってみるなら、ある意味では世界で最も成功^{*1}した半導体メーカーと言っても過言ではないが、70年代には売上こそトップクラス(80年にはTI、Motorolaに次ぐ3位)であったが、先端のMOS-Memory^{*2}などにおいてはほとんどプレゼンスがなかった。寧ろ合弁の松下はDRAMにおいても準大手^{*3}でありMOSのウェットも高かったが、MOSは松下の自主開発でありPhilipsからの技術導入ではなかった。ただ、Philipsの技術水準が低かった訳ではなさそう、日本企業の場合、70年代末にはWEやFairchild^{*4}への特許支払から解放されるが、それに対しPhilipsへは多額の特許料を支払わされることになる^{*5}。Philipsは縮小露光装置(ステッパー)の開発・販売^{*6}を行ったり、LOCOSなど微細加工技術の開発も早くから進めていたが、MOSメモリーなど先端分野においてほとんどプレゼンスはなかった。MOS-LSIでは通信関連やデジタル家電用に注力していた。

Philipsは90年代半ばにIBM^{*7}との合弁でドイツのBoblingen(Stuttgart近郊)にSubmicron Semiconductor Technology GmbHを設立し16M-DRAMに参入するが98年には提携を解消するとともに、工場もロジックに転換してDRAMからは撤退している。

Siemensは70年代よりDRAMに参入^{*8}しているが、ほとんどプレゼンスはなかった。目立ち出すのは93年に、当時DRAM技術をリードしていたIBMと東芝との256M-DRAMの共同開発プロジェクトに参加してからであるが、Siemensも技術的な蓄積は十分にあったと思われる。IBMとの合弁でフランスのCorbeil-Essonnes(パリ近郊)にALTIS Semiconductorを設立する。2000年にはDRAM売上で日本勢を押さえ、

Micron、Samsung、Hynix に次ぎ 4 位(東芝 6 位、IBM16 位)となっている。Siemens もヨーロッパの半導体企業に多いのだが、アナログ系やパワー半導体関係で通信や重電、その他産業機器関係用途に強みを持っており、現在(2021 年)においてパワー半導体においては Siemens (Infineon)が世界トップであり、2 位は ST Microelectronics (SGS と Thomson が統合)であり欧州勢が健闘している。パワー半導体関連においては欧州が最大の市場である。

TR から参入した企業としては、イタリアの Olivetti が目立つ程度の様である。Olivetti は Aziende Tecniche Elettroniche (ATES) を 57 年に設立している。また Olivetti は 60 年代には Fairchild との合弁で SGS Fairchild を設立し、72 年に両社は統合し、SGS-ATES Componenti Elettronici (85 年に SGS-Microelettronica と改称)となるが、ヨーロッパでは Philips に次ぐ大手となる。66 年頃には MOS のプロセス技術はかなり確立されており、67 年には製品化されていた。Federico Faggin は Fairchild に派遣される前に、ここで MOS プロセスの開発や製品設計を経験しており、後の Fairchild での Si-Gate 技術の開発もそれらの経験が有ったからこそであろう。Olivetti の他では Bosch や Semikron など TR からの参入であるが、主に産業機器や自動車関連のパワー半導体などが主である。

*1 半導体でもっとも成功と言えば Intel と一般には云われそうだが、株式の時価総額と言う観点から見ると：—
時価総額(22/04/01)

TSMC 5,344 億ドル・・・Philips が筆頭株主として設立

ASML 2,704 億ドル・・・Philips から分社して誕生

Intel 1,967 億ドル

Philips が合弁として設立した 2 社の時価総額の合計は Intel の 4 倍にのぼる。尚、ASML の成長は TSMC によるところが大きい。ASML は世界の半導体投資の 3 割近くを占める TSMC をキャプティブ市場として持ち、更に Intel との取引の多い 4 位の SVG(Parkinson Elmer など)が統合して設立)を買収し、2000 年頃にはニコンを抜きトップに立つ。TSMC、Intel、それに Micron も以前より抑えており、ニコン、キャノンなどに対し優位に立ち、且つニコンの開発した液浸方式のスキャナー(基本特許はニコン)をいち早く製品化しほとんど独占に近いシェア(95%程度)を得るに至っている。ニコンは 2006 年(ASML は 2005 年)より販売しているが現在でも数%のシェアしか確保できていない。更には次世代の ASML が 18 年より出荷している EUV(極端紫外線、装置価格は約 2 億ドル/台)ではニコンが開発を打ち切ったこともあり独占が確定している。

隅谷・長島理論に則すなら、半導体産業を支配するのに何も半導体を作る必要はなく、些細なものであろうが、何か一つでも、参入障壁が高く、且つ、避けることができない様な何かを独占できるならそれで十分に支配ができると言う理論の ASML はその実践者である。

尚、半導体関連企業の時価総額では、セガや任天堂、更にはソニーに育てられた NVIDIA が最大である。

NVIDIA 6,904 億ドル

*2 DRAM の競争は設備投資競争でもあった。設備の陳腐化が早く常に最新の設備を導入し且つ大量生産により累積生産を増大する必要があった。例えば 4k-DRAM から 64k-RAM にかけて、Wafer の口径は 3 インチ、4 インチ、5 インチと拡大し、ライナーは密着露光から投影露光、更にはステッパーとなり、エッチングはケミカルウェットエッチからフィジカルのドライエッチへ、拡散も拡散炉による熱拡散からイオン・インプランテーションへ、配線も真空蒸着からスパッターへ、クリーンルームのクリーン度も急速に向上し、空調等のコントロールも格段に向上する。歩留まりは 20%台から量産化に入り、累積生産効果、およびプロセス改善により 1 年程度で 60%台まで向上する。設備の自社開発力も問われた。この DRAM の競争に対応できたのは、日系企業及び日本に DRAM 生産の拠点を持つ TI くらいであった。こうした中、MOS MEMORY のパイオニアである Intel は 80 年代半ばには RAM から撤退、4k-DRAM で圧倒的シェアを獲得した MOSTECH は破綻する。一方、マクドナルド向けジャガイモ販売で成功を収めたアイダホのジャガイモ業者の John Simplot が Micron を買収し 82 年より DRAM に参入し DRAM 業界をリードすることになる。

*3 松下は 91 年 4 月の Palo Alto で開かれた ISSCC で東芝、富士通、三菱と並んで 64M-bit DRAM の発表をおこなっている。開発面では DRAM の大手企業にひけをとらなかつたようだ。尚、東芝に比べるとかなり劣っていたが、富士通・三菱とは同レベルであった。

*4 Fairchild 特許は日電からサブライセンスを受ける形だったが、当初 4.5%であった。その後、4.1%、3.8%と下がり、73年には日電の再実施権はなくなり Fairchild との直接契約となるが 3.2%程度に下がっている。メインは planer 特許であるが、これは「製造過程で出来た酸化膜を保護膜として使用する」と言うのが特徴であるが、直に日本企業は「製造過程でできた酸化膜を一旦除去してしまい、新しく酸化膜を付け直す」ことによって Planer 特許から逃げて特許料を大幅に削減することに成功する。また、MOS-IC は製法が異なり Planer 特許の対象外である。

*5 Philips の特許で最も有効だったのが 66 年の LOCOS(Local Oxidation Of Silicon)特許。16K-DRAM の頃から必須の技術になる。この時、日立は上手くクロスに持ち込むことに成功し、無償または低い額で LOCOS 特許の使用権を取得したと云われる。この時の日立の特許は 64 年の MOS の低電圧化を可能にし集積化を促進した結晶関係の技術であった。尚、日立は Si wafer の開発製造を 99 年に信越半導体に営業譲渡するまで続けていた。他の日系半導体メーカーは 70 年頃までには Si Wafer の開発・製造から手を引いていた。尚、ロームは一部であるが現在も結晶関連の開発・製造を行っている。尚、TSMC は Philips の特許によってカバーされ守られていた。

*6 85 年当時、10 数社がステッパー(縮小投影露光装置)を手掛けていた。パイオニアの GCA(米)に加え、ニコン、キヤノン、日立、ParkinElmer(米)、Philips、TRE(米)、Ultratech(米)、Optimetrix(米)などがあつた。一時はニコン、キヤノンで圧倒的なシェアを占めた。90 年代末には、ニコン、ASML(Philips)、キヤノン、SVG (parkinelmer)、Ultratech の 5 社に減る。

*7 IBM は、東芝、Siemens、Philips と合弁で、それぞれと DRAM/Flash Memory の製造会社を設立している。東芝とは 96 年 2 月にバージニア州 Manassas(ワシントン D.C.郊外)に Dominion semiconductor を設立、翌 97 年操業開始、2000 年 12 月提携解消。翌年末、Dominio の工場は Micron に売却される。

*8 欧州で DRAM に参入していたのは、Siemens の他に、米Motorola、SGS、Thomson の 4 社が有り、これら 4 社が 87 年 7 月に日本製 DRAM/EPROM(TI を含む)に対してダンピング提訴するが、EC 委員会により調査は行ふものの特には具体的な罰則等は無く調査のみで終わっている。輸入制限等を行っても、それを代替することがヨーロッパメーカーにとってはほとんど不可能であったことが要因のようである。但し、これに対し日系企業は自主規制を行い、価格の適正化を行っている。Samsung などは、これに乗り、日系メーカーより若干安い価格によってシェアを伸ばしていく。