

第5章 電卓用 LSI からマイクロプロセッサへ

電卓の進化

MOS-LSI 電卓の誕生

60年代後半、Fairchild や TI などが標準 TL-IC をシリーズ化する。このシリーズは 70 年代半ばころまで活発に製品化され毎週のように新製品が出され数百種類に及ぶシリーズとなって行く。これら標準 TTL-IC によりロジックが組みやすくなったことで、小型化、省電力化、多機能化などをターゲットにして電卓の開発競争が活発化し開発期間の短縮と機能の向上が競争のポイントとなっていた。

70 年 2 月にシャープは 4 個の Rockwell 製の MOS-LSI^{*1} と 1 個の MOS-MSI、および 1 個の BIP-IC を搭載した 8 桁電卓 Micro COMPET QT-8D を発売する。

*1 Micro COMPET QT-8D に搭載されたそれぞれの MOS-LSI の TR 数は 633 個、740 個、900 個、940 個、MSI は 240 個。尚、コンデンサーや抵抗を加えると 4 つの IC の素子数は優に 1,000 を超え LSI に分類された。LSI の定義は素子数 1,000 個以上、MSI が 100~999 個、SSI は 100 未満。超 LSI は 100,000 個以上と定義されていた。現代では NAND Flash memory は 1,000 億個を優に超え、ロジックでも 1,000 億個に迫っている。

尚、価格は LSI の 4 個のセットで 40ドル、発注は 25 万セットで 10 百万ドルだった。

プログラマブル電卓

62 年にカシオ計算機から科学技術用のリレー式計算機 AL-1 が発売されている。プログラム計算が可能で複雑な技術計算を迅速にこなすことができた。樹脂製歯車 6 枚(歯数 60)のユニットを使いユーザー自身が最大 58 ステップのプログラム(1 語 6 ビット)を組み、そのセットされた計算手順に従って計算を行えた。ユニットは取り外し可能で、ユニット交換によりプログラムを組み替える方式だった。電卓としての基本的な機能は四則演算に加え開平演算(平方根)があった。また、プログラミングではジャンプ命令は無かった。リレー 516 個搭載した本体のサイズはかなり大きく卓上計算機と言えるものではないが、尚、価格は 995,000 円だった。

1960 年に Faggin は、Olivetti が 64 年に発表し翌 65 年に発売する Programma101(P101)の試作機を作成している。P101 は 10cm×20cm のプラスチック製磁気カードにプログラム 120 ステップ(1 語 8 ビット)の命令を記録することができた。価格は 3,200ドルで米国を中心に 44,000 台が販売されている。電卓としての基本的な機能は四則演算に加え平方根があった。また、プログラミングではジャンプ命令もあった。重量は 32.5 kg で 610 mm×465 mm×275 mm、消費電力 350W で、64 年発売のシャープの CS-10A の重量 25kg、42 cm×44 cm×25 cm、消費電力 90W と比べると容積は 7 割、重量は 3 割、消費電力は 4 倍であるが、卓上に置くことはできた。

*1 歯車の歯の有無で 0:1 を表現する仕組みなので、プログラムするには 6 枚の樹脂製の歯車の歯を命令に併せて切断する必要があると思われる。それに比べ Olivetti の P101 は磁気カード方式なのでプログラム作成は容易だった。

ビジコンの課題

機械式計算器メーカーだったビジコン(日本計算器製造)は 66 年に磁気コアメモリーを搭載した TR 式電卓ビジコン 160 を 30 万円弱の価格で発売しヒットさせる。これにより価格競争の激化が始まったといわれる。ビジコンは自社ブランドでの販売に加え、OEM として RCA や伊 IME など欧米企業に供給していた。その際に、メモリー*1 の有無・方式の差異・容量の差異、レジスターの個数・容量の差異、キーの入力順序・配列・機能さによるキーの数の違い、表示やプリントアウトなど出力の違いを始めとして各社のアーキテクチャーなどの差異による開発負荷の増大に悩まされていた。また、汎用性の高い TR や DI の個別半導体素子の場合にはそれなりに対応できていたとしても、IC 化、更には LSI 化し汎用性に欠けてくると、個別に LSI の設計をせざるを得なくなり、その LSI 開発のために半導体メーカーへ支払う開発費や生産面における部材調達の厄介さなど数々の問題に直面する。それらの課題を解決するため、OEM 各社の電卓用に共通の LSI を開発しプログラム(ファームウェア)により様々な差異を吸収することを試みる*2。

ビジコンは 68 年に島正利らによりプログラム内蔵方式電卓 Basicom 162P(販売はされなかった)の試作をおこなっている。ビジコンは Basicom 162P の開発を機に、カスタム LSI によってプログラム内蔵方式電卓の多機種展開および低価格化することを決定する。ビジコンはこの時点までに、汎用的な機能である中央演算ユニット(CPU)、命令格納用 ROM、シフトレジスタ、データ格納用シフトレジスタと、機種毎の個別対応となる I/O 部のキーボード制御、表示制御、プリンター制御、データ格納(バッファー)との切り分けを行っている。そして、I/O 部の変更のみで多様な機種、それも単に電卓にとどまらず、キャッシュレジスターなど他の製品への応用も視野に入れていたようである。

この時、ビジコンは National Semiconductor(NS)の提案した ROM(MASK ROM)の内容を変更し自由に仕様を変えられる方式や、Fairchild の提案した IC 製造のバルク工程を共通化(Standard Gate Cell)し配線のみの変更による方式も検討している。NS の場合の難点は方式の異なる各社の仕様を LSI に織り込むと命令(マクロ的)の種類が増加してしまい回路規模が拡大し chip サイズを抑えることができずコスト高になる。また、新しい OEM を獲得する毎に回路が拡大し設計変更を要してしまう。Fairchild の提案は CAD システム(IC 設計用論理シミュレーション)の FAIRSIM*3 を持っており設計期間の短縮、開発費の削減など大きな効果が期待されるものの、配線領域が大きく増えやはり chip サイズを抑えることができずコスト高になってしまう。

ビジコンは結局設立して間もない Intel に委託することになるが、NS 案に沿ったものというより、ビジコン案と言うべきもので委託する。然し Intel が検討を進める内に開発費が膨れ上がることや、chip コストが当初の想定をかなり上回ってしまうなどの問題が判明していく。これに対し Intel は対案としてマクロ的な命令レベルをミクロ的な汎用性の高い命令にブレークダウンしてそれを組み合わせることによりマクロ的な命令を実行することで回路を単純化することや、10 進法から 2 進法への変更、開発 chip 数の削減(ビジコン案 8 種 10 個使い→Intel 案 5 種 9 個使い)、chip セットの価格の 270 ドルから 195 ドルへの引き下げなどを提案してくる。IBM が System 360 シリーズの設計において使ったマイクロ命令方式*5 と似たところがある。

*1 70 年頃、電卓に使われていたメモリーとしては、磁気コアメモリーや磁歪遅延線メモリー(例:ソニーが 67 年発売した SOBAX ICC-500)が主に使われていた。

*2 ビジコンは 69 年 4 月に Intel と仮契約を行い、6 月には 8 種類のカスタム LSI の論理設計(マクロ命令方式)を Intel に渡している。以降は Intel がそれを基に回路設計を行い MASK 製作など chip に落とし込みを行い、LSI を製造するという手順で、年末頃までには完成するはずであった。

*3 FAIRSIM は Fairchild が開発した IC 設計用の CAD(EDA)システム。通常は IBM360/67 などのタイムシェアリング機能を持つメインフレーム上で使われた。Fairchild は電卓メーカーなどの Fairchild の顧客に頒布(無償)していた。顧客は FAIRSIM を使って論理設計を行い、それを Fairchild ではなく AME や TI などに発注していた。

IBM は 50 年代末には EDA を使っていたが、IBM 在勤中に EDA の使用経験のあった James Koford が Fairchild で IC 設計用の EDA である FAIRSIM を 67 年に開発している。

*4 Intel の設立は 68 年 7 月、ビジコンとの仮契約は 69 年 4 月。尚、Intel の製品出荷は 69 年の 8 月から始まっている。Intel の最初の製品は BIP-IC であった。年末には Si-gate テクノロジーを使った 256 ビットの MOS-SRAM(i1101)を出荷している。69 年 12 月期の売上は 37 万ドル、損益は 191 万ドルの赤字だった。

*5 IBM System360 シリーズでは、同一の命令セット・アーキテクチャ(ISA)を上位機種から下位機種まで共通して使っている。上位機種では(可能な限り)ハードウェアで直接的に実装し高速処理できるものの回路規模は大きくなるのに対して、下位機種ではマイクロプログラム方式の活用により低速だが回路規模を小さくしている。尚、このマイクロ命令による方式は後に CISC(Complex Instruction Set Computer)と言われる命令セット・アーキテクチャで Intel の 32bit-CPU である i80386(85 年 10 月発売)まで踏襲されることになる。当初は回路規模を削減の効果があったものの命令数が大きく増え逆に回路も複雑化してしまうことになる。

ビジコンと Intel

69 年 4 月にビジコンは Intel と“プリンター付き電卓用 LSI”開発の仮契約を結ぶ。当時の Intel は製品出荷さえ未だ始まっていない設立 1 年(68 年 7 月設立、製品の初出荷は 69 年 7 月に 256 ビット SRAM を出荷)にも満たない会社だった。1k-DRAM で注目を浴びることになるのは、翌 70 年からであり、また、Si-Gate テクノロジー*1を持っていたとはいえ、その優位性が認識されるのも 1k-DRAM の成功によってである。Intel に有ったのは、Noyce や Moore の名声くらいのものであったかも知れない。

*1 Fairchild の R&D 部門の責任者の Gordon Moore は Intel 設立の 1 か月前の 68 年 6 月に Faggin に対し 10 月にワシントンで開かれる IEDM(IEEE International Electron Device Meeting :国際電子デバイス会議)で Si-Gate に関する論文発表をするよう指示している。これによって、Fairchild が特許申請をすることは封じられた。Moore らは Si-Gate を使った最初の素子である Faggin による Fairchild 3708(AI-gate の FC3705 の Si-gate 版)の完成後、Intel を設立している。Moore らは Si-Gate に大きなビジネスチャンスを見出したのであろう。Si-Gate を使った最初の製品である Fairchild 3708(8-bit analog multiplexer)が Faggin によって 4 月に完成していた。

ビジネスチャンスを見出すと集団でスピナウトするというのが Fairchild の伝統かもしれないが、Si-Gate テクノロジーは遂にトップである Noyce と Moore をもスピナウトさせることになった様だ。これにより、Fairchild の設立者である 8 人は全員 Fairchild を去ったことになる。

尚、Faggin は 68 年 2 月にイタリアの SGS-Fairchild から Fairchild に出向してきたばかりであった。ほんの 2~3 か月で Si-Gate 技術やそれに関連した Buried Contact 技術(FC3708 で既に使用)などを開発している。

i4004 の意義

i4004 は Marcian Hoff、Stanley Mazor、Federico Faggin、嶋正利の 4 人*1によって開発されたと云われる。これが世界初の CPU と云われることもある*2。

ただ、実際のところとしては、例えば点接触型 TR が発明されると真っ先に爆撃機搭載用のコンピュータ TRADIC が開発されたが、小型・高性能化を求める航空宇宙関連では、その延長として 1 chip CPU への流れは必然であり、70 年には i4004 に先立ち Garrett AiResearch が 20 ビット CPU の CADC(MP944)*2 の開発に至っている。1 chip とは行かないまでも航空宇宙関連では複数の IC を使い幾つかのコンピュータが製作されていたようだが、それらも製造技術の進歩により必然的に 1 chip CPU に至るものだったようである。民間でも、69 年の Four-Phase Systems 社 (Fairchild からスピアウト) の AL-1*5 があるが、Noyce は Four Phase System 社の出資者でもあり役員を務めており、当然のこと AL-1 について知っていたであろうし、Noyce から見れば 24 ビット(8 ビット×3 のビットスライス、8 ビット単体でも機能する)の AL-1 に比べ 4 ビットの i4004 は単なる電卓用のカスタム LSI 以上のものには見えなかったかもしれない。

1 chip CPU 開発の難点は数量の少なさであった様だ*6。開発負荷が大きい割にはほとんど数量が出ないため、半導体メーカーにとっては航空・宇宙関連を別にすればあまり旨みは無かった様だ。Intel では i4004 に若干遅れて、Computer Terminal Corporation(CTC:68 年 7 月設立、後に Datapoint と改称)の Datapoint 2200 用に 8 ビット CPU の chip セット(i8008)の開発を進めるが、CTC は 70 年 5 月に BIP-TTL ベースで Datapoint2200 を完成させ出荷する。そのためもあってか Intel は余り真剣に取り組んではいなかった様で開発は一時中断される。また CTC はそれを TI にも発注し、TI は Intel より早く完成させることになる。この TI のものが世界で初めて公開された 1 chip CPU TMX1795*3 である。

ただ、i4004 がそれと大きく異なるのは、ビジコンはそれを電卓はもとよりキャッシュレジスターや帳票発行機など、そして OEM 生産を通して多くの会社の製品に広く適用することを意図して設計された汎用性の高いところかもしれない。そして完成に至った i4004*4 は個別対応を要すと見做されていた I/O 部分も取り込み汎用性を更に高めビジコンの思惑を超えるものとなっていた。

*1 Hoff は Stanford 大学のコンピュータ研究所の研究者から 68 年に Intel が設立されるとほぼ同時期に入社。Mazor は 69 年 9 月に Fairchild から。Faggin は 70 年 4 月に同じく Fairchild から。嶋は東北大学で化学を専攻し 67 年にビジコンに入社し、70 年 4 月より Intel に派遣される。尚、Faggin は Si-Gate の開発者であり、この CPU chip セット開発において Si-gate の持つポテンシャルの高さを実証することになる。

*2 CADC(MP944)は 70 年に Garrett AiResearch と American Semiconductors によって開発されている。F-14 戦闘機の Central Air Data Computer(CADC)に搭載されたが、71 年に Garrett AiResearch が雑誌 Computer Design Magazine に投稿しようとした際、軍事機密として軍の検閲により差し止められ、存在が知られたのは 98 年に機密指定解除となつてからであり一般には知られることさえ無かった。

*3 TI の TMX1795(24 ピンパッケージ)は 71 年 3 月の Business Week 誌で紹介されている。これが最初に一般に公開された CPU であるが(Intel の i8008 は 70 年 10 月に Electronic Design 誌で簡単にだが紹介されているのだが)、これは、CTC が Intel に委託していた i8008(18 ピンパッケージ)同等品でインテルが仕様を作成し、CTC がその仕様を基に TI に依頼したものとされている。そもそも、CTC は MOS 1 chip 化に積極的であったわけではなく、i4004 の仕様作成の経験を生かした Mazor らの提案を受け入れたまでの事であった。TI は 70 年 4 月ごろ情報をキャッチし CTC にアプローチしている。結局 CTC は TI 製も Intel 製も採用しなかった。CTC は結局 80 年に至るまで速度で MOS に大きく勝る BIP-IC を使い続けることになる。

尚、TI の TMX1795 の chip 面積は 31 mm²(TR 数 3,078 個)と Intel の i8008 の 15 mm²(TR 数 3,098 個)に対して 2 倍であった。且つ、TMX1795 が 24 ピンパッケージであったのに対し i8008 は安い 18 ピンであった。単純計算では chip サイズが倍になると 2 インチ(69 年から導入されだしている。3 インチの導入は 72 年から始まる)程度のウェハーなら有効数は 4 割程度に落ち、且つ歩留まりは i8008 が 30%程度とすると MX1795 は 10%程度に過ぎず、i8008 に比べコストは数倍かかったものと推定される。TI が鳴り物入りで宣伝したものの販売を諦めたのはコスト高の要因もあったものと思われる。

Chip size の大きさは TI の chip レイアウトの未熟さもさることながら、Intel は Si-Gate を使ったのに対して TI は Al-Gate であったことがより大きな要因であったようだ。TI の TMX1795 は結局販売されることは無かったが、Intel は CTC から権利を買い取り TI の発表から 1 年遅れの 72 年 4 月に発売することになる。

Intel での i8008 の開発は当初混乱を極めたようで一時中断してしまい、結局 Faggin が i4004 の完成後に責任者として開発を完了させているが、当初の仕様とはかなり異なっていると思われる。i8008 は i4004 と同一の命令セット(45 種)を持った i4004 の up-grade 版となっている。嶋は日本に帰国しており i8008 の開発には関与していない。

尚、i4004 の Chip には Federico Faggin の頭文字 F.F. が焼き付けられている。嶋家の家紋(丸に三本線)入りの chip は i8080。この i8080 が多くの半導体メーカーにコピーされ本格的に普及する最初の CPU となり、後の x86 アーキテクチャーの起点となる。

*4 i4004 の chip サイズは 3 mm×4 mm で TR2,237 個を集積、10 ミクロンの PMOS-Si-Gate プロセスによって 6 枚のマスクを使って製造されている。2k ビットの Mask-ROM(i4001)、320 ビットのリフレッシュ回路内蔵の DRAM(i4002)、I/O(シフトレジスター、i4003)からなる計 4 種の LSI で構成されている。これら 3 種はマスク 5 枚である。いずれも 16 ピン・パッケージに納められている。ビジコン 141-PF には、メタルパッケージの i4004 が 1 個、プラスチックパッケージの i4001 が 4 個、i4002 が 2 個、i4003 が 1 個の計 8 個が搭載されている。i4003 と i4004 は本来なら 24 ピンとなるはずだがマルチプレクスして 16 ピンに抑え、コスト削減に努めたようだ。また、リフレッシュ回路内蔵の DRAM は一種の SRAM(疑似 SRAM)であり、SRAM とすべきところをコスト削減のために敢えて開発したものである。本来なら高価な SRAM を使うところを安い DRAM で代替することに成功している。加えて、ROM 容量の節減のための工夫、例えば 2 進法から 10 進法への変換を ROM に依存するのではなく 10 進補正命令を使うなど、コスト削減のための創意工夫が満載といったところである。

これら 4 種で構成される MCS-4 Micro Computer Set(MCS-4)は、基本の 4 種 4 個使いなら価格は 47.65 ドル、これに追加の ROM 数×16 ドルを加えることになるが、かなり低価格であり、市場に受け入れられやすい価格であり、成功の大きな要因となったと思われる。徹底的な低価格化を主導したのは、50 ドルの積りが 300 ドルを吹っ掛けられてしまったビジコンサイドの嶋であったと思われる。

*5 TI は TMX1795 や one chip 電卓などの開発などを通じ “a single-chip processor” 特許などを持っていた。80 年代後半にそれによって大きな特許収入を得ることになる。Dell が 90 年に TI 特許の無効を求め、93 年に勝訴するが、その際に Dell が特許無効の為の先行事例として持ち出したのが Four-Phase Systems AL-1 だった。8 ビット 1 chip で CPU として機能することを実証した。90 年の Dell の売上は 546 百万ドル、利益 5 百万ドルで米国第 6 位のパソコンメーカーに育っていたとは言え、会社の存亡を賭けた提訴 (“bet the company” lawsuit) であったと云われる。

*6 当時(60 年代末)の小型コンピュータは Fairchild や TI などの標準 BIP-TTL シリーズの 8 ビット ALU である Fairchild 3800 や 4 ビットスライスの TI の SN 74181 を使って構築されるのが一般であった。これが標準 BIP-SSI で構成された CPU から MOS-1chip LSI-CPU への進化の過程の中間に位置するものとも言えるかもしれない。75 ゲート(TR 数で約 300 個)程度を集積したもので、BIP-IC にとっては当時の集積の限界に近いものであるが、Fairchild 3800 は 67 年に発売され、TI の SN 74181 は 70 年 3 月(68 年頃に販売され、74 シリーズに加えられたのが 70 年 3 月と思われる)に発売されている。特に SN 74181 は 70 年に発売された Datageneral のヒット商品である 16 ビットミニコン SuperNOVA に搭載されている。SN 74181 は改版され高速化されながら 90 年代初期まで使われることになる。単に、ALU のみではなく CPU として MOS で 1 chip 化することも可能であるが、量的な問題からそれを試みることは少なく、また試みたとしても性能面からほとんど成功したものはないと思われる。その失敗例が TI の TMS1795 や Intel の i8008(但し汎用 CPU としては成功する)なのかもしれない。MOS で 1 chip CPU を作るという発想は特に新規性が有るといえるほどのものでは無かった。日本では 75 年頃には東芝の TOSBAC-40L やパナファコム(松下・富士通合弁)の PFU-100 などのミニコンは CPU を 2~3 個の chip にまで集積化が進んでいた。更には富士通が 79 年にオフィスコンピュータ V830 で 1 万ゲートの CMOS 1 chip CPU(MB8830)を搭載していたが、その頃よりミニコンクラスの CPU の MOS 1 chip への移行が始まり出すようだ。MB8830 の chip サイズは 100 μm だったが、当時としてはかなり大きなサイズであった。DEC が 80 年に発売する VAX-11/750 に CMOS の 4 chip 構成の V-11 chip セットが搭載され、また 85 年には CMOS 1 chip の MicroVAX II chip を搭載している。90 年代には CMOS が BIP を性能(速度)面でも凌駕するようになり、BIP-LSI を使ったメインフレームコンピュータの終焉 (CMOS への移行) が訪れることになる。

Faggin と嶋

ビジコンは chip セットの開発費として 6 万ドル (+ROM のマスクチャージ 2,000 ドル/枚) を支払っている。但し、開発分担は不明確であり混乱を招いていたようである。この頃は半導体メーカーとユーザーの開発分担が未だ曖昧な時期であったのかもしれないが、MSI レベルならいざ知らず、汎用的な造りとはいえ LSI レベルの設計は製品に対する設計ノウハウを蓄積したユーザーが論理設計（及び試験パターン作成）までを行い、MASK 設計以降を半導体メーカーと言う分担であるが、その間にある回路設計に関しては分担が曖昧だったようである。

69 年 4 月の基本合意の後、ビジコンは 6 月に論理設計・回路設計を Intel に渡しているが、そこから紆余曲折が始まってしまう。Hoff はその複雑さに驚かされ、開発費用や製造コストが当初の想定を遥かに超えてしまうことに気づく。基本合意では、chip セットの価格が 50 ドル未満であったが、これが 270 ドル (Intel の当初の言い値は 300 ドル) にまで上がられてしまった。次に Hoff はマイクロプログラム方式の採用 (IBM の System360 の上位機種的なハード設計を下位機種的设计に変更するのと同義) によりハードの単純化 (8 種 10 個→5 種 9 個、最終的には 4 種 8 個) するとともにセット価格を 195 ドル (最終的には 4 種 8 個のセットで 99.65 ドルと思われる) への引き下げを提案し、それをビジコンが受け入れることになる。そして、Fairchild から Intel に移ったばかりの Mazor がビジコン側の要求も踏まえ仕様をまとめ上げ、ビジコンに受け入れられることになる。また回路設計も Intel が受け持つことになる。そして本契約が 70 年 2 月に結ばれる。然しながら、Hoff も Mazor も設計の経験が無かったため 4 月に Faggin が採用されることになる。

70 年 4 月に嶋が Intel へ進捗状況を確認のため訪れた。既に仕様決定から半年もたっていたのに設計は着手していなかった。訪問の僅か 2 日前に Faggin は着任したばかりだった。かなり複雑な LSI であり CPU から ROM/RAM、I/O 関係までと広範なものだったが、Hoff も Mazor もその困難さに対する認識が欠けており、3 か月 (Intel の正式回答は 6 か月、ビジコンの推定では 1 年) もあれば開発できると考えていたと云われる。ともあれ、この時よりイタリア人と日本人のコンビにより開発が進められ 71 年 3 月に完成することになる。それが歴史的に如何に大きな意義を持つものであったにせよ、誰もそんなことを意識していたわけではなく単にビジコンの電卓用 LSI を開発してただけの事であった。単に、MOS-IC の集積度の向上、ビジコンの電卓等に対する特異なニーズ、それらがコンピュータ技術と融合することにより i4004 は生まれることになる。

電卓市場の競争激化と構造変化

ビジコンは 71 年 1 月に世界初の 1 chip 電卓であるビジコン LE-120A を発売する。1 chip LSI は Mosteck 製の MK6010L (40 ピン metal-seal パッケージ) である。開発開始から 7 か月での完成であった。価格は 89,800 円と低価格電卓のはしりであった*1。72 年 2 月には LE-120S (価格 64,800 円) を発売する。そして、72 年 8 月にカシオが日立の LSI (および日電の MSI) を搭載したカシオミニを 12,800 円で発売する。

日本の電卓輸出は 70 年の 730 千台から、73 年には 6,366 千台、76 年には 35,192 千台へと跳ね上がる中、日系メーカーの攻勢により欧米メーカーは撤退ないしは独自仕様による開発・生産委託

(OEM)から、単なるブランド張替の ODM 調達に切り替わっていく。ビジコンの LE-120A は NCR や英 Broughtons、独 Quelle International などへ ODM 供給された。

ビジコンはこの MCS-4 Micro Computer Set を使い 141-PF(価格 159,800 円)を 71 年 10 月に発売する。開発を始めてから 2 年半が経過していた。価格競争の激化(カシオミニは 75 年には 4,800 円)、日本企業の輸出攻勢は電卓市場を大きく変えてしまっていた。電卓用 LSI の調達価格はカシオミニの様に 1 種の LSI で 100 万個を超える様なケースでは 72 年頃でも 1 個 2,000 円未満、75 年には 1,000 円を割っていたと推定される。この i4004 を搭載した 141-PF は電卓として注目を浴びることはなかった。その後、ビジコンはドルショック、オイルショックを経て 74 年 2 月に破たん*2 することになる。

*1 70 年 12 月にシャープが発売した 8 桁の EL-8(価格 84,800 円)は Rockwell 製の 4 chip(42 ピン metal-seal パッケージ)から成るもので、サイズは 102mm×70mm×164mm であったが、その僅か 1 か月後にビジコンが発売した 12 桁の EL-120A のサイズは 64mm×22mm×123mm と容積的には僅か 1/8 で世界初のポケット電卓であった。消費電力はシャープが 1W に対し、0.36W であった。

ビジコンの LE-120A に搭載された Mostek の MK6010L は 4.6 mm 角、chip 面積 21.2 mm²、TR 数 2,100 個。消費電力は通常なら 0.5W であるところを、拡散炉の代わりに Ion Implantation 装置を活用したことによって 0.05w に引き下げることに成功し、Al-Gate PMOS でポータブル電卓を実現している。Mostek はこれをベースに MK6011P を開発し(MK6010L とほとんど同じと思われる)、日本メーカーでは栄光の Unitorex 1200(OEM で米国では Colex 1200LP、Privileg 1200)などに搭載される。そして、この成功により Hewlett Packard の関数電卓 HP-35 用 chip セットの受託などにより Mostek は事業基盤を確立する。

尚、Ion Implantation 技術は出資者である Sprague Electric が抵抗の製造用に使用していたものをベースにして Sprague の協力によって半導体製造用装置用に開発された。II.での先行が Mostek の大きな強みとなる。

尚、TI は Mostek の MK6010 が 71 年 2 月(契約は 70 年 5 月、chip 完成は 70 年 11 月)に発表されるやいなや、1 chip 電卓用 LSI の開発に取り掛かり 71 年 9 月に TMS1802 を発表する。

MK6011P は i4004 の陰に隠れてしまい余り注目されることは無いが、MK6010(および TMS1802)はその後、組込型マイコン(マイクロ・コントローラ)として大きな発展をして行くものであり、こちらも大きな意義を持つものである。

尚、Mostek は 69 年 6 月に TI からスピニアウト(TI からのスピニアウトの第一号と云われる)した Leonce Sevin らにより、Sprague Electric の支援を受け設立されている。Intel 同様に設立 1 年にも満たない時期にビジコンは Mostek にアプローチしている。Intel、Mostek とともにその後は順調に成長し 80 年には Intel は売上 575 百万ドル、Mostek は 360 百万ドルと米国でそれぞれ 4 位、7 位の半導体メーカーに成長する。特に MOS メモリーにおいて両社は 70 年代後半にはトップを争っている。然し、日本勢の攻勢により、85 年に Intel は DRAM からの撤退を余儀なくされ、また Mostek も同年にこの実質的に破綻する。

*2 ビジコンの主力事業は電卓の他に三菱電機のコンピュータの販売・サポートが有ったが、三菱電機の提携先であった米 TRW 社のコンピュータ事業からの撤退により三菱電機のコンピュータ事業は大きな打撃を受けることになるが、ビジコンはそのあおりも受けてしまう。

米国では 70 年頃、IBM System 360 の成功により、GE、RCA、TRW などコンピュータ事業からの撤退が相次いでいた。

Computer On A Chip

TI は 71 年 6 月 7 日の Electronics 誌に“The Thrust in MOS/LSI”と題した全 3 ページの広告を打つ。TI は 212mils×224mils(5.4mm×5.7 mm)の chip に TR3,100 個を集積した 8 ビットの CPU 開発し、それによって Computer Terminal 社の Datapoint 2200 の CPU の 1 chip 化に成功したことを大々的に宣伝

する。後に TMX1795 と称されることになる 8 ビット CPU である。これは結局、Datapoint 2200 に採用されることは無く、少々先走りし過ぎてしまったようだ*1。

ともあれ MOS の級数的な集積度の向上により遂には”MOS can put a computer on a chip”に至るまでになったのは紛れもない事実である。

この TI の広告に若干先立って、Faggin が i4004 の chip セットを電卓以外の用途へ販売することを Noyce らに提案することになる。そして TI の広告が Intel 幹部を刺激したのか、Faggin の提案が受け入れられ、TI の広告の直後の 71 年 6 月から 8 月にかけて Intel はビジコンと交渉し、開発費 6 万ドルの返却と若干の chip セット価格引き下げ、および電卓メーカー以外への販売という条件で外販権を獲得する。そして、Intel は 71 年 11 月に MCS-4 chip セットとして製品発表を行う。

*1 Intel の Datapoint 2200 用 8 ビット CPU(後の i8008)は 70 年 10 月 25 日の Electronic Design 誌で小さく紹介されているが、出荷時期を 71 年第一四半期とするなど、TI と同様に実際とはかなり異なった内容であった。

Vendor Lock-in

i4004 を多様なユーザーニーズに応えさせるために、プログラマーズマニュアルなどのマニュアル類やデータシートなどの技術資料、エヴァリュエーションボード(デバッキングツール)、更にはアSEMBラーなどの言語やコンパイラ、顧客の用途に合わせたアプリケーションソフトのサポートなどの顧客サポートツールやサポート体制が整えられていく*1。この時に開発されたエヴァリュエーションボードである SIM4-01 Microcomputer Board が最初の Personal computer であると云われることもある。

CPU は単なる部品というよりシステムに近い製品であり、単にデバイスを供給すれば良いと言うものではなく、こうしたサポーターツールを必要とする。また、CPU ベンダーが提供するだけではなく、多様なニーズに応えるため寧ろサードパーティーに依存する度合いが高くなっていく。こうした広範なサポーターツールやユーザーの設計資産・ソフト資産やノウハウの蓄積が進んでいくことにより、ユーザーは囲い込まれていくことになる。

*1 CPU(マイコン)はシステムに近い製品であり単にデバイスだけを供給すれば良いというものではなく、通常の IC に比べ製造以外のところに多くのリソースを必要とするが、その割には顧客の所要数は少なく、そのため CPU の価格はかなり高めに設定されることになる。パソコンが登場し、所要数が 2~3 桁増えた時、Intel は既存市場の価格維持に努め、パソコン市場での価格対応に失敗することになる。

第二世代 CPU

4 ビット CPU に続いて 8 ビットの i8008 が Faggin や Harold Feeney らにより 72 年 4 月に開発される。これは当初 CTC(computer Terminal Corporation、後に Datapoint と改称)の Datapoint3300 の後継

の 2200 用に向けに開発していたものだが、CTC が BIP-TTL ベースで 2200 を別途開発し出荷したこともあり、一時開発が中断される。そこへ、精工舎*1からのアプローチがあり、更にそれに Sycor*2が続いたこともあり開発が再開されることになる。i8008 は Kodak のコピー機のコントローラなどある程度の量があるところもあるものの、寧ろ量の少ない広範な分野で使われることになる。しかし CTC に採用されることは無かった。

*1 精工舎は、68 年 5 月にハイブリッド IC ベースのプリンター、紙カードリーダー内蔵でプログラム機能を持つ技術計算用電卓セイコーデスクトップコンピュータ S-300 を発表する(695,000 円)。翌年にはその改良版で BIP-IC ベースの S-301(795,000 円)、そして、72 年には i8008 を使って S-500 を発売する。且つ、CPU ベースで回路設計に柔軟性が高いこともあって N20 型(155 万円)、N30 型(170 万円)、N40 型(189 万円)とシリーズ化する。主に土木建築業界に販売されていた。尚、精工舎の Intel へのアプローチはビジコンの i4004 を搭載した 141PF に影響されたもの。尚、これら精工舎の製品は基本的には Olivetti の P101 の流れを汲むプログラマブル電卓である。

*2 Sycor は HP からスピンアウトした Samuel Irwin らにより 66 年に設立される。Sycor はスタンドアロンのインテリジェンス端末メーカー。78 年に Northern Telecom(Nortel)に買収されている。CTC のライバル企業でもある。

Intel i8080

嶋は 141PF の開発が終わると、71 年 9 月にビジコンを退社しリコーに転社する。72 年春、Intel から誘いが来る。これは Faggin の熱心な誘いによる。Noyce が直接リコーの役員と交渉したと言われる。11 月に Intel に加わる。この時、リコーには結局戻ることは無かったが、リコーは嶋に 5 年内ならいつでも復帰できるという猶予を与えて送り出したという。

i8008 は PMOS のため速度が 300k Hz と遅すぎ NMOS 化を図ることになる。単に NMOS 化するだけでも 3 倍近くの高速度が達成されるが、プロセスルールを 10 μ から 6 μ へと微細化したこともあり 2MHz と大幅に高速化される。また i8008 では 18 ピンパッケージに納めたため設計上の制約が課されていたが、一挙に 40 ピン*1に増やされアドレスバスとデータバスが分離され、命令セットの数の 48 種から 65 種への拡張、メモリー容量の 4k バイトから 64k バイトへの増大などを行っている。また、i8008 とはアセンブリ言語(機械語)レベルでの互換性*2を維持しながら大幅に機能拡張がなされている。アーキテクチャー(仕様)の作成は Faggin、Hoff、嶋が行い、設計はほとんど嶋が単独で行っている。

74 年 4 月に完成した i8080 は ROM に格納された特定のアプリケーションのみを対象とするシングルタスク用として設計されたものである。SRAM が小容量のデータを一時的に記憶するために使われた。DRAM が使われるようになるのは 4k-DRAM が一般化した 75~76 年頃からであり、その頃開発された Z80 は DRAM refresh 回路を内蔵し DRAM を前提に開発されていたが、i8080 は小容量の SRAM が前提である。PC の様な汎用的な用途を意識して開発されたわけではなく、いわゆる Embedded Application 用に開発されたものであった。また絶対番地指定方式を使っており、ソフトウェアのバージョンアップなどの際には番地の修正を要すこともあった。電源電圧も +12V、+5V、-5V の 3 電源を要した。Floppy Disk 装置や DRAM が普及する前に開発が進んだため PC 時代に向け大きく改良すべき点が幾つかあった。初期の Altair などに搭載されるなど初期的にはリードするものの、Commodore PET や Apple IIなどに代表される PC 大衆化時代には適応できなかった。

*1 i8080 のピン配置が少々歪である。この頃はまだ規則正しく配置することが難しかったようである。これに比べると日電の 8 ビット CPU μ PD753(42 ピン)は整然と並んでいた。 μ PD753 は日電オリジナルであり i8080 とソフトウェア的にも互換性はない。日電は i8080 を分析し技術的な問題が多々あることを見つける。そこで、NEC では i8080 と同じものではなくそれを改良したのが μ PD753 である。然し全く売れなかった様である。技術資料や開発サポートツールは不十分、セカンドソースは無い、i8080 なら海外の技術者との話が通じるが、 μ PD753 では説明のしようもない。広く売るには少々無理があった様である。

*2 i8080A(MCS-80)では周辺素子などの開発も進み、システムコントローラ/バスドライバの i8228、割り込みコントローラ i8259、DMA コントローラの i8257/37、パラレル I/O の i8255、シリアル I/O の i8251、クロックジェネレータの i8224、タイマの i8253 がある。これらは IBM PC でも使われることになる。

互換 CPU

Intel 互換 CPU として NS から 4 ビットの chip セット INS4001~4 が出されている。また、カナダの Microsystem International Limited(MIL)*1 からも MF7114(CPU)、1601(ROM)、7115(RAM)が出されている。Intel は MIL に対し 70 年に広範な製品のライセンス供与を行っていた。i8008 では MIL から MF8008、Siemens から SAB8008 が出されている。

i8080 およびそのバグフィックス版の i8080A では互換 CPU が激増する。Advanced Micro Devices(AMD)*2 から i8080A と電気的特性が異なる AM9080A が先ず出され、直にほぼコンパチブルの AM8080A が出された。AM8080A は Intel とセカンドソース契約が結ばれていた。その他、米国では TI(TMS8080JL)、NS(NS8080AD)、Signetics(MP8080AI)、NTE(NTE8080A)などから出されている。日本企業では日電(μ P8080A)、東芝(TMP8090AP)、三菱(M5L8080AP)、沖(MSM8080A)、そして少々遅れて 富士通(MBL8080)*3 からも出されている。その他、欧州では Siemens(AB8008A)、更にはソ連(580BM80)、チェコ(Tesla MHB8080A)、ポーランド(MCY7880)など、日米欧、更には共産圏まで数多くの互換品が製造されている。

*1 MIL はカナダ政府の要請もあって Bell Canada の製造子会社である Northern Electric(76 年に Northern Telecom、98 年に Nortel と改称)によって 69 年に設立された半導体メーカー。Intel とのセカンドソース契約によって、1k-DRAM(i2103)の FM1103 や MF7114(i4004)、MF8008(i8008)などを製造している。

*2 AMD は Intel と同様に Fairchild からスピアウトした Jerry Sanders、John Carey 等により 69 年 5 月に設立された。Sanders は Motorola で営業を担当し辣腕ぶりを発揮し、Fairchild に引き抜かれ国際営業を担当していた。AMD の創立以来 2002 年まで CEO を務める。全従業員にストックオプションを与え、不況でも従業員を解雇しないなど、在職中は People first, products and profit will follow! を徹底して貫いた。

75 年に Intel と CPU のセカンドソース契約を締結、以後 i80286 まで続くが、i80386 以降は互換品の開発を行うが、現在では Intel と相互に命令コードを共通化することによって互換性を維持した上で独自開発を行っており、Intel と対等な立場となっている。Microsoft が Intel による CPU 独占を阻止するために、働きかけた結果であり、Intel の大きな失策と言える。隅谷・長島理論に従えば Microsoft にとっては利益急増、Intel の利益は 1/4 に激減する恐れがあるが、そんな提案を Intel は受け入れてしまった。そのためか、以前は Microsoft と拮抗していた Intel の株式の時価総額が現在では 10 倍の差がついてしまった。また、AMD の時価総額は Intel に拮抗するまでになっている。半導体製造部門は 2009 年 3 月に GlobalFoundries として分社化。

*3 Intel が電卓から出発したのに対し、Motorola は DEC のミニコン PDP-11 の 1 chip 化を目指したため、i8080 に比べ MC6800 はアーキテクチャ的に優れ、且つすっきりとして判りやすく、またアドレッシングモードも i8080 に比べて豊富でプログラムし易く、そのため富士通や日立は Motorola の MC6800 の互換品に注力していた。

パソコンOSの誕生

CP/M(Control Program for Microcomputer)の開発者 Gary Kildall は Monterey(Palo Alto の南方 97km)にある U.S.Naval Postgraduate School(NPS)でコンピュータサイエンスを教えるかたわら、i8080 用に PL/1 言語のコンパイラPL/M の開発や最初のパソコン用 OS となる CP/M を開発している。Intel に PL/M の開発を申し出て了承され、Intel に自由に出入りして開発を行ったり、NPS の DEC のミニコンに i8080 をエミュレートしたりして開発を進めた。

開発した PL/M の試験の為に i8080 ベースのコンピュータボードに FDD(Floppy Disk Drive)を繋ごうとする。そのために FDD にインストールしたプログラムを読み出し実行させる管理プログラムを開発する。これはその後拡張され DEC のミニコン用 OS の TOPS-10 などを模範として、同じような操作環境/コマンド体系を持つ 8 ビットマイコン用 OS へと拡張されていく。このソフトウェアを CP/M と名付けた。このような背景もあって CP/M はタイムシェアリングシステムを小型化したようなものになったと云われる。

CP/M は 73 年に完成し、Kildall は Intel に買い取りを依頼するが、PL/M compiler は Intel が興味を示し買い取るものの、Intel は CP/M の必要性を認識できず購入を見合わせてしまった*1。その為、Kildall は 74 年に Intergalactic Digital Research (後に Digital Research に改称) を設立。75 年と思われるが、雑誌に広告を出し通信販売*2に乗り出す。そして 77 年に IMSAI 8080*3(発売は 75 年 12 月)が CP/M を採用(バンドルして販売)することになると、以降、i8080(その互換品)や Z80 を搭載した多くの機種がそれに続くことになる。i8080 やその上位互換品である Z80 搭載システムで FDD 装置が接続されている装置なら若干の移植作業 (BIOS の書き換え) を要するが CP/M を使うことができる。

*1 Kildall からみると i8080 はコンピュータして十分なポテンシャルを持つと見えていたのに対し、Intel は当時におけるほとんど全ての用途である組込型マイクロプロセッサと言う位置づけに置いていたようである。そもそも i8008 できえインテリジェントターミナルとは言えスタンドアロンのコンピュータとしても使われていた DC の Datapoint2200 用に開発された 1 chip CPU であり鈍速とはいえコンピュータとしてのポテンシャルを持つものであった。この時、Intel が CP/M を購入(2 万ドル)していたならば、Intel は CPU のみではなく OS も支配し後のパソコン関連業界は大きく異なったものとなっていたかも知れない。

*2 CP/M は機種毎の依存性があり条件を満たす機種しか適応できないはずであり、通信販売で対象となりうるパソコンは Altair(発売 74 年 12 月)やその互換機に限られていたと思われる。CP/M を通信販売で購入した Altair やその互換機のユーザーならマニュアルを見ながら BIOS を呼び出し、メモリー容量などの設定を変更するなど、若干の設定変更で CP/M を使うことができたものと思われる。条件を満たす機種は i8080 ベース(Z80 も可)で、且つ、当時 FDD の標準規格であった IBM およびそれと互換性のある FDD が必要である。CP/M は直に、機種依存性の無い部分と依存性の有る部分に分離され、依存性の有る部分を BIOS として切り分けるが BIOS の書き換えのみで、i8080 ベースのパソコンなら移植できる仕組みとなっているが、BIOS の書き換え簡単ではなさそうである。

尚、i8080 が発売されるのは 74 年 5 月頃(72 年 11 月から開発着手)であるが、i8080 用である CP/M はそれ以前に完成している。73 年当時 Kildall は Intel のソフトウェアグループ(Kildall を含め 3 人)にコンサルタントとして所属し、嶋と密接な連携のもとで CP/M などの開発を進めていたようである。嶋はなにかにつけ、ソフトウェアグループの部屋を訪ねていたようで、73 年末に i8080 が初めて動いた時、嶋は真っ先に Kildall 達を呼びに行き、i8080 が動くところを見せたという。

*3 IMSAI 8080 は Altair8080 の互換機。76 年頃におけるシェアをみると MITIS のシェアが 25%程度、IMSAI が 15~20 % (IMSAI 8080、i8080 ベース)、Processor Technology が 10% 弱 (SOL-20、i8080 ベース)と Top3 を占めていたが、IMSAI-8080 も SOL-20 も Altair の互換機であり、これらが大きなシェアを占めていたこともあり、その後も多くの Altair 互換機が生まれている。CP/M や

Microsoft の Basic、更にはアプリケーションソフトなども開発されてきており、互換機であることの優位性があった。特にソフトウェアの流通の場合、当時はコピーされることが多く、そのためにも互換性が求められた。一方、CP/M(ソフト・マニュアルセットで 100ドル)などはコピーされることを前提にして、ソフトの販売とともにマニュアルで収益を上げられるよう、マニュアル(25ドル)を別売していたが、当初、通信販売に頼っていた頃はマニュアルの売上の方が多かったかも知れない。

とは言え、まだパソコンは草創期であり、売上台数も 76 年頃は精々 2~3 万台程度に過ぎず、販売も通信販売が主体であり、店舗販売があったとしてもローカルにはほんの数店舗で販売されている程度であり、Altair の規格がデファクトになるほどではないが。

Motorola MC6800

i8080 に半年ほど遅れて 74 年末(74 年 3 月に発表)に Motorola の MC6800 が発売される。MC6800 は相対番地指定方式を使い、且つ電源は 5V 単一だった。TR 数は 4,000 個、NMOS プロセスが使われた。Chuck Peddle と William Mensch によって開発され、DEC のミニコン PDP-8 の CPU を 1 chip 化する発想で開発されたという。MC6800 の命令セットは DEC のミニコンに似ており、後に DEC からクレームがついたと云われる。優れた CPU であったが、米国ではこれを搭載したパソコンにはヒット商品は生まれなかった。

76 年早々には富士通の MB8861^{*1}(サンプル出荷は 75 年 10 月)や日立の HD46800 が販売された。80 年代に入ってから Motorola は他のファミリーを含め富士通などとセカンドソース契約を結ぶことになる。この Motorola の系統には自動車のエンジン制御に特化した MC6801、MC6805 やパソコン用として機能強化された MC6809^{*2}がある。エンジン制御としては大きな成功を収めたものの、パソコン用としては、その OS である OS-9^{*3}と共に MC6809 を搭載するパソコンは少なかった。

*1 日本で MC6800 のサンプルが入手できるようになったのは 85 年 2 月であるから、富士通は 8 か月ほどで互換品を開発したことになる。富士通は回路検証作業を 5 月に完了、レイアウト作業および 4 命令追加などの作業を 8 月に完了させ、10 月にはサンプル出荷にこぎ付けている。70 年代半ばにおける互換品の開発作業は他社もこのようなものだったと思われる。

尚、日立は 75 年に Motorola と MC6800 のセカンドソース契約を結んでいる。

*2 1980 年頃、Z80 は 9ドル、MCS6502 は 6ドル程度だったのに対し、MC6809 は 37ドルとかなり割高だった。

*3 OS-9 は 77 年に設立された Microwave Systems(Clive, Iowa)が 80 年に開発した。Microwave Systems は MC6800 用の Basic を開発していたが、Motorola から MC6809 用の BASIC09 の開発依頼を受けて、それを開発するとともに、独自に OS-9 の開発をおこなった。OS-9 が搭載された代表的な機種としては、Tandy の TRS90 Color computer や Comodole の Super PET SP9000 などがあるが、標準実装されていたのは BASIC09 であった。

日本では富士通が 81 年発売した MC6809(MBM6809)ベースの FM-8 にも OS-9 が搭載されていたものも有るが、標準装備されていたのは F-BASIC(Microsoft の Basic をベースにしてカスタマイズ)であり、82 年に発売された FM-7、84 年発売の FM-77 にしても OS-9 が採用されたものは少なく、主に F-BASIC であったようだ。80 年代半ば頃までは FDD はそれほど一般的ではなく

スピニアウト

74 年の夏、Ralph Ungerman^{*1} が Intel を去る。続いて 11 月には Faggin も去る。そして、翌 75 年 2 月には嶋も去ってしまう。そして 6 月には石油会社の Exxon^{*2}(投資子会社の Exxon Enterprises)からの 50 万ドルの資金提供を受け Los Altos (Palo Alto の南東 8km)に Zilog を設立する。当時はオイルショックの影響も受け半導体は不況に入っていた。株価も低迷し、ベンチャーキャピタルの投資額も底をついていた時期であった。Z80 の開発は嶋の着任とともに開始され、75 年 1 月にはほぼ完成に至っている^{*2}。

Zilog は Fabless も考慮していたようで、当初は Synertek^{*3} へ生産委託をしていた。但し、Synertek は試作を担当した程度であり、量産初期には Mostek への委託に切り替えている。Zilog は 75 年 3 月に Z80 を Exxon に披露するが、その後追加出資を受け 6 月より Campbell(Palo Alto の南東 23km)で工場建設を始め年末には完成する。

一方、Motorola MC6800 を開発(場所は Arizona の開発センター)した Peddle は Mensch ら 7 人を引き連れは 74 年 8 月に Motorola を去り、ペンシルバニアの MOS Technologies(Mostek と混同されやすい)へ転社する。Peddle が MC6800 互換 CPU の開発プロジェクトを MOS Technologies に売り込んだようである。移るやいなや Mensch を中心に MCS6801/6802 の開発に取り組み 75 年 9 月に MCS6502 を発表する。尚、Mensch は 77 年 3 月に MOS Technologies を退社し、78 年 5 月に Peddle らの支援を受け Fabless の Western Digital Center(Western Digital と混同し易いので注意)をアリゾナに設立し、MCS6502 の CMOS 版の W65C02 や 16 ビット CPU の W65C816 などを開発する。

*1 Ralph Ungerman は microprocessor group を率いていて、嶋の上司にあたる。尚、Faggin は部長クラスで主に EPROM や SRAM など幾つかのグループを率いていた。Zilog の設立は Faggin が Ungerman にスピニアウトを持ちかけたのが発端である。Ungerman は一も二もなく(just an immediate response) 賛成したという。また、嶋には Faggin が Intel を去る際に打ち明け、直ぐにでも行動を共にしようとする嶋に対し、Faggin は新会社設立の資金の目途が立つまで Intel に留まるよう嶋に頼んだという。

*2 75 年 1 月に Z80 の開発がほぼ完了するが、その時点で Zilog の従業員数は 11 人だった。MASK パターン作成要因が 2 人いたが、作業がかなり遅れ気味だったようで、見かねた CEO の Faggin が手伝い過半を仕上げたと云われる。

*3 Synertek は Fairchild からスピニアウトした Robert Schreiner(ソフト開発に従事していた)らによって 73 年に設立された。当初、Zilog から Z80 の生産委託を受けていたが、試作を行った程度に過ぎない。尚、Synertek は MCS6502 のセカンドソーサーである。

*4 Exxon は当時積極的に IT 関連に投資をしていた。単なる投資ではなく、事業の多角化の意味合いもあった様であり、IBM へのチャレンジャーと自らを位置付けていたようである。Exxon の 80 年の純利益は 5,650 百万ドル(売上 103,142 億ドル)、一方、IBM は 3,562 百万ドル(売上 26,213 百万ドル)と、Exxon は利益で唯一 IBM を上回る企業だった。

Exxon の投資先の主だったところでは、ワードプロセッサの Videc、電子タイプライターの Quiz、ファクシミリの Quip、プリンターの Qume のほか、IT 関連で 20 社ほどを傘下に抱えていた。Zilog もそれらの 1 社に数えられる。

Z80 と MC6502

50 年代からリレー制御などにより工場の自動化が進められていく。68 年に PLC(Program Logic Controller)が GM と Bedford Associates によって開発され、リレーから TR や IC に置き換わり、且つソフトウェアによる制御となり工程変更などが柔軟に対応できるようになる。そして、70 年代半ば以降はマイコンが普及していき、PLC の CPU もマイコン^{*1}(組込マイコンボード)に置き換わっていくほか、個々の装置においてもミニコンなどで制御されていたものがマイコン制御に置き換わっていく。これら産業機器の場合、CPU のコストに占める比重は小さく、且つ所要数も少ない為、i8080 や MC6800 などは高価格維持が可能であり、一方、従来の IC とは異なる販売形態やユーザーサポートを要した。また、ユーザーにおけるノウハウ・ソフト資産は蓄積されて行きユーザーは rock-in されるため囲い込みがし易く、価格競争的には限定的なものであった。

74 年 11 月に Motorola は MC6800 を 360 ドル(i8080 と同一価格)で発売する。Chuck Peddle は、この硬直的な価格政策が CPU の市場を狭め、市場の発展を損なうとして営業部門と対立し、結果、発売前の 8 月

に Motorola を去ったと云われる。尚、75 年 4 月に 175 ドルに引き下がられている。ほぼ Intel に追随する価格政策を採っていた。

75 年 9 月に MOS Technologies は MCS6501/6502*4 を 25 ドルで発売する。i8080 や MC6800 に対して 1 桁近く異なる価格であった。

尚、Z80 は発売当時 200 ドルで売られたが、MCS6502 の発売、およびにパソコン市場の拡大と共に大きく値下げされ 78 年初頭には 22 ドル程度と MCS6502 並の価格で売られるようになり、パソコン用 CPU としては MCS6502 と Z80 の争いとなる。パッケージは共に高コストのメタルシールからプラスチックへと替わっていく。

	Die size mm ²	TR数 個	(Die sizeは発売当初)	
i8080	20.1	4,800	3電源	
MC6800	25.8	8,200	5V単一	
Z80	29.2	4,100	5V単一	depletion load使用
MCS6502	16.8	4,000	5V単一	depletion load使用

尚、Motorola の MC6800 は 3 インチ wafer で有効数 140 個、歩留まりは 20%程度だったと云われる。また Motorola は depletion load 技術*2を持たず、die size が大きく、そのため歩留まりは悪く、かなりの高コストであったようだ*3。また、MOS メモリーの大手は新鋭工場では DRAM の少品種大量生産を行い、古い工場では、ロジック品などの多品種少量生産を行うという住み分けをするのが一般であったが、それも低歩留の要因である。

*1 当初は i8080 など一般の CPU が使われていたが、現在、PLC の CPU として使われている組み込み用としては、96 年に発売された DEC の SA-110(StrongARM ファミリー)の流れを汲む Intel の ATOM などが代表的。

*2 depletion load 技術は NMOS において die size を拡大させずに単一電源化する技術。CMOS では不要。

*3 歩留は単純計算では、例えば 1 枚のウエハー上に 224 個の欠陥がランダムに有ったとして、それら欠陥を避けられた chip が幾つあるかという計算に単純化できる。MC6800 の場合、有効数 140 個なら、 $(139/140)^{224} \approx 20\%$ と計算できる。一方、MCS6502 の場合は有効数 250 個程度と推定されるので、 $(249/250)^{224} \approx 40\%$ となる。1 枚の wafer からの良品数は MC6900 が $140 \text{ 個} \times 20\% = 28 \text{ 個}$ に対して、MCS6502 は $250 \text{ 個} \times 40\% = 100 \text{ 個}$ となる。また、MOS Technologies は ParkinElmer 製の等倍投影露光方式(Micarlign 100)を使っていたようであり、密着露光方式を使っていた Motorola に比べ、更に歩留的に高かった様である。Motorola は 75 年 9 月に MOS Technologies が MCS6501/6502 を 20 ドルで発売すると、MC6800 の価格を 69 ドルに引き下げて対抗するとともに(Intel も同様に引き下げる)、MOS Technologies を特許侵害で提訴している。

尚、Motorola は Intel から depletion load 技術のライセンスを受け 76 年 7 月には MC6800 の Die size を 16.5 mm² にシュリンクさせるとともに価格を 35 ドルに引き下げている。

*4 MCS6502 のダウングレード品として MCS6507 がある。これは 77 年 9 月に発売された Atari のゲーム機 Atari 2600 に搭載された。Atari 2600 は世界で累計 3,000 万台売られている。82 年までに米国ではパソコンが累計で約 470 万台売られているが、それに対して同時期までに Atari 2600 は累計で 1,000 万台が販売されており、MCS6502 系は 8 ビット CPU として圧倒的なシェアを持っていた。尚、83 年に Atari shock と云われるゲーム専用機・アーケードゲーム市場の不況に見舞われる：—

- ・インヴェーダーゲーム(タイトーよりライセンス)やパックマン(ナムコ)により過熱したゲームブームの終焉
- ・Commodore と TI のパソコン価格がゲーム専用機並価格で販売され、ゲーム専用機との競合化
- ・Atari のコントロールの利かないサードパーティーによるソフトの投げ売りで、Atari のゲームソフト売上が急減

特にゲームソフト(8k バイトの ROM カートリッジ)のサードパーティーによる投げ売りが始まり、35 ドル程度だったものが5 ドル程度まで下がり、Atari のゲーム機器・ソフトの売上は激減し 83 年には▲5 億ドル程度の営業損を出し、親会社である Warner Communication を経営危機に陥らせる。

Warner International(Atariの親会社)業績

	売上	純利益
82/12期	4,090.7	257.8 百万ドル
83/12期	3,425.3	-417.8
84/12期	2,023.5	-586.1 ・・家庭用ゲーム・パソコン部門売却
85/12期	2,234.9	195.3 ・・アーケードゲーム部門を売却

日本企業の CPU 開発

日本による 1 chip CPU の開発で最も早い時期に着手されたのは、フォードモータースの EEC (Electric Engine Control) プロジェクト^{*1} に参画し CPU 開発を担当した東芝と言えそうである。東芝はフォード車のエンジン制御向けに 71 年より 12 ビット CPU TLCS-12(マイクロプログラム制御方式)の開発に着手し、73 年に完成させている。NMOS Si-gate 6 μ プロセス技術を使い 32 mm²(5.5mm×5.9mm)の chip に 2,800 個の TR を集積している。このフォードの 1 chip CPU の車への搭載を皮切りに一斉に自動車メーカーによる 1 chip CPU の搭載が始まることになる。

他の日本企業も早い時期から CPU の開発を進めていた。特に日電にいたっては 70 年代には世界でも熱心に CPU 開発に取り組んでいたのではないかと思われるほどである。シャープが 72 年に日本コカコーラ向けにポータブル型の端末機ビルペット^{*2}を開発しているが、それに搭載されていたのが、シャープの依頼により日電が 71 年 12 月に完成させた μ PD707/708 の 2 chip 構成の 4 ビット CPU だった。シャープはこれをベースにガソリンスタンド向けの POS システム BL-3700 なども開発している。日電はこの後、73 年には 1 chip の 4 ビットの μ PD751^{*3}(28 ピンパッケージ、TR 数 2,500)を開発する。これは CPU としては世界初の NMOS(7.5 μ プロセス)で作られたもので、そのため PMOS の Intel の i4004 が 108kHz だったのに対し、 μ PD751 は 1MHz と桁違いの高速性を持っていた。電卓やキャッシュレジスターなどに使われた。74 年には 8 ビットの μ PD753、同じく 74 年 11 月に 16 ビットの μ PD755/756^{*4}(2 chip 構成)と立て続けに開発(発表)している。その他、73 年 10 月に発売された日電のインテリジェントターミナル N6300 には 8 ビット CPU DT-1(3chip 構成)が搭載されるほか、Intel や Zilog の互換品開発など、かなりの数の CPU の開発を行っている。

また日本では 75 年頃には東芝の TOSBAC-40L やパナファコム(松下・富士通合弁)の PFU-100 などのミニコンは CPU を 2~3 個の chip にまで集積化が進んでいた。そして富士通が 79 年にオフィスコンピュータ V830 で 1 万ゲートの CMOS の 16 ビット 1 chip CPU MB8830 を搭載、また 82 年に発売された東芝の TOSBAC UX-300FII には 16 ビットの T-88000 (Silicon On Sapphire 技術)が搭載されるなど、LSI の集積度の向上により小型コンピュータの CPU の CMOS 1 chip への移行が 80 年前後には一般化していく。但し汎用的な CPU の性能向上により、プロプライエタリな CPU の開発はゲーム機など一部を除き 80 年代半ばにはほぼ終息していくことになる。

*1 70年に米国で大気汚染防止法(マスキー法)が制定される。それをクリアするため自動車メーカーはエンジンの電子制御技術の開発を推進するが、東芝は71年にフォードのEECプロジェクトに参加する。当時の日本の半導体産業は政府の手厚い保護のもとにあり、ICの輸入もSSI/MSIレベルの100素子未満(TR数で60個程度)が輸入自由化されていた程度であった。そんな日本の半導体企業にフォードはプロジェクトの要とも言えるCPUの開発を委託する。尚、当時、1 chip CPUを搭載したのはフォードのみであった。フォードに続き76年にGMがMotorolaと共同開発を進め、78年にCadillacにMC6802が搭載される。

TLCS-12は周辺LSIも整い、また温度や湿度などの過酷な環境条件に耐える設計になっており、東芝のプロセス制御用や製造ライン制御用のデジタルコントローラTOSDICなどにも搭載されている。そのほか、TLCS12Aマイコンキットとしても市販され、NECのTK-80キットがそれに続くことになる。

尚、フォードと東芝は秘密裏に開発を進めており、トヨタがフォードのマイコン制御に1 chip CPUを搭載したのを知ったのは75年になってから。急遽TLCS-12を入手し試作をする。77年に東芝と共同開発を始め80年にクラウンに搭載(Motorola系の8ビット)した。尚、日産はトヨタの先を越し79年にセドリック・グロリアに1 chip CPU(Motorola系)搭載している。

*2 ビルペットは営業マンが客先で販売情報を入力するための端末機器で、その情報は持ち帰られホストコンピュータに取り込まれた。現在のハンデターミナルのオリジンと言えそうである。

*3 μ PD751は、周辺 chip である μ PD752:(8ビット I/O ポート)、 μ PD757:(キーボードおよびスクリーン・コントローラ)、 μ PD758:(プリンタ・コントローラ)とあわせ、 μ COM-4を構成。これも日電オリジナルであり、Intelのi4004とは互換性はない。

*4 16ビットの μ PD755/756は横河電機の計測器やカシオや日電のオフィスコンピュータや端末に搭載されていた。発表されたのは74年と早かったが発売は76年になってからと思われる。顧客を得るのにかなりの時間を要したのかもしれない。

尚、16ビット1 chip CPUでは75年にパナファコム(松下と富士通の合弁)がPFL-16((松下電子工業が製造MN1610)を開発している。75年5月にトロントで開催されたIEEEや9月にサンフランシスコで開催されたWESCONに出品されているが、これが実質世界初の16ビットCPUと言えそうである。同年11月にはTIがTMS9900を発表しこれに続いている。PFL-16は富士通の77年発売されたL-Kit16や81年に発売されたインテリジェントターミナルF9450シリーズ(製造はパナファコム)などに搭載されたほか、パナファコムからのOEMで松下や日本ハネウェルからもF9450相当の機種が販売されている。尚、F9450はインテリジェントターミナルとして大きなヒット機種であった。

互換CPUの開発

70年代末までは集積度もさほど高くはなく、いわゆるリバースエンジニアリングの手法は単純なものであった。まず、chipを取り出し、オリンパスなどの顕微鏡写真装置(ポラドイドフィルム)で数百枚撮り、それを張り合わせスチール机2個分ぐらいの大きさのchipの拡大写真を作成する。写真から回路解読しi8080やMC6800クラスのCPUなら2週間ほどで回路図が出来上がる。これに独自の命令を追加(あまり得策とは言えない)したりして上位互換CPUが完成するという次第である。70年代半ばにはIon Implantation(I.I.)装置が熱拡散装置を代替するものとして導入されてくるが、I.I.を使われるとかなり回路が読みにくくなってくる。Z80の場合、嶋はI.I.で取替えてダミー的なTRを作り、解読を混乱させ時間稼ぎをしていた。ただし、この手法が通用したのは8ビットじだいままでの様である。

ここで問題となるのがバグの扱いである。日電はi8080Aの上位互換品 μ PD8080Aを開発した際にバグの扱いにかなりてこずっていた。 μ PD8080Aは割り込みの機能強化を行っており、AltairのユーザーなどはIntel製を取り外し日電製に置き換える者もいたと云われるが、i8080Aのバグ修正を施したために逆に混乱を招いてしまったといわれる。ユーザーはソフトウェア作成の際にバグに気づき回避策をとっていた。バグを修正すると逆にエラーが生じてしまうことになる。日電はバグを戻し μ PD8080AFとして改版をおこなっている。バグすら互換の一つと言うべきものだった。動作的に明らかに意味が無い回路も、動作を解析した上でしっかりコピーし、バグも再現することが必須であった。

後に日電が 16 ビット版の Intel CPU や Microsoft の 8 ビット版 BASIC 互換の 16 ビット版 BASIC をクリーンルーム方式により開発した際にはバグがきちんと再現されていたといわれる。そのため、妙な憶測をされたりするが、そこまで徹底することが必要であった。新規に BASIC を開発することはさほど厄介なことではない。マニアが趣味で作る程度のものである。いったい何種の BASIC が当時パソコン用に作られていたかは数えきれないほどであろう。外部仕様を頼りに他人の作ったソフトのバグまで互換化の方が遥かに困難である。マイクロソフトの MS-BASIC ではメモリ容量を押さえ機能を無理やり詰め込んだためその場しのぎ的な荒業が使われていたのは良いとして、Microsoft 自身が混乱してしまっていたと云われる。メモリー 1 バイトを節約する為に、分岐命令のディスプレイメントの 1 バイトを命令として活用するといったコーディングが随所にあった。結局、8 ビット版 MS-BASIC が多数の非互換バージョンに分岐してしまっただけでもあり、Microsoft 自身が 16 ビット版を新規に作り直し(GW BASIC)、8 ビット版との互換化は図られなかった。日電は徹底した互換化によってパソコンの 8 ビットから 16 ビットへの上方互換を維持した。PC98 が日本市場を制覇した大きな要因となった様である。

互換 CPU の開発において、日電はセカンドソース契約をほとんど行っていない。その為、幾度となく裁判沙汰に巻き込まれるが、大抵は勝っている。一方、他社はセカンドソース契約を行ったり、場合によっては事後的に契約したりしている。例えば富士通の場合を見ると、75 年に Motorola MC6800 の互換品 MB8861 の開発を行い 76 年から販売を始めるが、これに対し 8 年後の 83 年にセカンドソース契約を締結している。また 78 年には Intel の i8048 の互換品 MBL8048 を開発し、翌 79 年には i8086 の開発に着手している。ただ、i8086 の開発中に Intel からセカンドソース契約の話がもたらされ設計資料を貰うが、それらは確認に止め、当初の予定通り開発を進め、81 年にこのリバース品をセカンドソース品として契約を結んでいる。またこの際、i8089(I/O プロセッサ)の高速版(既存品の 4MHz→8MHz)の開発を受託することになるがかなり手こずった様である。一からやるより寧ろ困難だったようで、結局、200 個所余りの変更を必要とし、完成までに 2 年近くを要してしまうことになる。富士通は逆に Intel に対してマスクデータを供給する立場になっている。ただ、プロセスの違いなどで Intel は上手く製造できなかったのか、後には富士通が世界で唯一の i8089 の供給者となっている*1。

80 年代初頭における日本企業のセカンドソース契約の状況を見ると、

Intel: 東芝、三菱、富士通、沖、(事後的に日電*2)

Motorola: 日立、富士通

Zilog: 日立、東芝、シャープ、ローム、(日電も事後的にライセンスを受けている*3)

Mos Technologies: リコー (Rockwell のサブライセンス)

*1 Intel はかなり不誠実であったようで、例えば i80286 の場合、Intel は 5 回ほどバグ対策で改版を行うが、改版マスクの提供を意図的に遅らせ、最終の 5 回目の改版(E-version)は遂に提供さえしなかったという。また、富士通は CMOS 版の i8086 を 85 年早々に開発し、Intel に承認を求めると拒否されたりする。高速(10MHz)・低消費電力であり市場のニーズは高いが、悠長にセカンドソース交渉してから開発するのでは市場の要求について行けないような状況であった。尚、Intel は Harris(Intersill)と沖と CMOS 版の共同開発を行っていたようであるが、それとの競合があったためのものである。加えて、現行の 8086 の市場を奪われるのを恐れたのかかもしれない。尚、沖や Harris は CMOS 版開発に手こずったようで、かなり遅れて 87 年頃に沖から CMOS 版 M86C86 が出荷されるが、遅れた上に 5MHz と低速だった。当時、主流であった i8086-2 は 8MHz であり、i8086 並の 5Hz では市場性に乏しく、ほとんど売れなかったと思われる。また、M86C86 には Intel の著作権表示が無いなど、Intel の著作権管理は不徹底だったようで、後に Intel と日電の裁判で日電を救うことになる。但し、日電や富士通などの Intel 互換品はそもそもセカンドソースではなく独自開発したクローンもあり Intel の著作権が及ばないものも多い。

尚、CMOS版の開発においてはIntelもMotrolaも他社との共同開発を行うケースが多い様だ。例えば、Motorolaは16ビットCPUのMC68000のCMOSの開発を85年から日立と共同で行っている。

*2 日電のV20(i8088)/V30(i8086)はOlivetti PCS86などIBM PC互換機に搭載されている。日電は80年代半ば頃には、CPU+MCUのマイコン関連の金額シェア(86年:Dataquest)では17.8%のシェアを持つIntelに次ぐ13.9%のシェアを持っていた。Intelの最大のライバルであった。i8086/88の互換品であるμPD8086/88は事後的にIntelからライセンスを受けている。

*3 日電はi8080/Zilog80の上位互換の16ビット版であるV20(μPD70108)/V30(μPD70116)を逆にZilogにライセンス提供している。この提供はZilogとの訴訟合戦(83年6月にZilogが日電を提訴)の和解(84年3月)の際の条件であったようだ。ZilogはそれをZ70108/70116として販売している。Zilogの他にもソニーCXQ70108/70116、シャープLH70108/70116は日電のセカンドソース品である。

Zilogが著作権侵害で10百万ドルの賠償を求めて日電を訴えると、それに対して日電は特許侵害で29百万ドルを求めてZilogを訴えたが、Zilogにとっては極めて分が悪い裁判であった。日電は負けても失うものは僅かであるのに対し、Zilogは全てを失う恐れさえあった。おまけに、Zilogは日電による著作権侵害を5年間も放置しておいて、今更何を訴えているのかという、ほとんど意味をなさないものであった。然し、このような、既成概念では到底有り得ないような裁判が起こされたこと自体、大きな転換期を迎えつつあったのかもしれない。

Operation Crash

Intelはi8080で先行し当初こそAltairなど主要なパソコンに搭載されたものの、価格が高かったうえに性能的にも見劣りし(特に3電源)、Z80やMCS6502が発売されるとパソコン市場でのプレゼンスを失ってしまう。75年には179ドルとかなり高い価格だったが、ただ数量次第の様でありMITISは75年にAltair用に小売りでは300ドル程度で売られていたi8080Aを75ドル(発注数は200個と思われる)で入手し、Altairを397ドル(最小構成のキット価格、出荷時には439ドルに値上げ)という価格設定を行った。Altairは市販される世界初のパソコンであるとともに、その低価格で一層の話題を誘うことになる*1。一方、Appleは76年4月に発売したApple I(価格\$666.66)用にMC6800を入手しようとしたさいは175ドル(小売価格)だった。そのためAppleはMOS Technologiesから25ドルで発売されたばかりのMCS6502(セカンドソースのSynertek製)を採用することになる。

i8080Aはかなり広範なユーザーに使われ、ワープロ(76年6月発売のWang WPSなど)などに大量に使われるものもあるが、例えば製造装置の制御用など少量生産*2の製品に使われる方が寧ろ多かったと思われる。ROMもMASK-ROMが使われることは例外的で、多くはIntelの得意とするEPROM(紫外線消去、電氣的に書き換え可)が使われ、ソフトの変更に柔軟に対応が必要な分野などでは特にi8080Aは有用性を発揮していた。価格を下げてもらって数量が増加するようなものではなく、価格弾力性の低い市場を対象としていた。i8008に対して上位互換性(バイナリーレベルでの互換性は無い)もあり、Intelアーキテクチャーに対するソフト資産やノウハウの蓄積の形成が始まりつつあった。こうしたキャプティブに近い市場を抱え、それがあがる程度ながら成長していたこともあり、パソコンの黎明期はともかくとして、急速に市場が立ち上がって行く時期においてさえ、失うものが大きかったせいか柔軟な価格対応ができずパソコン用CPUにおいてはマイナーな存在となってしまう。i8080の価格は当初360ドルで発売され、75年には179ドル、その秋には69.95ドルとOEMの基準的な価格は下げられていくが(MC6800はほぼ追随)、特にMOS TechnologiesのMCS6502に比べ価格的に大きな隔たりがあった。

*1 Altair は当時電子関連の雑誌では最大の発行部数(30~40 万部)を持つ Popular Electronics 誌の 75 年 1 月号(発行日 74 年 11 月 29 日)の表紙を飾り、且つカバーストーリー (P.33-38) が掲載された。表紙には”World’s First Minicomputer Kit to Rival Commercial Models, Altair8800— Save over \$1000”と書かれ、一方、カバーストーリーの方には”Altair 8800 The most powerful mini computer project ever presented — can be built for under \$400”と題されていた。また、カバーストーリーでは、”made by Popular Electronics/MITS”となっており、共同プロジェクトであるかのように紹介されている。「個人でも所有できるコンピュータが欲しい」という読者の投稿を受け、編集者の Leslie Solomon が以前会ったことがあった Edward Roberts に話を持ち掛けたのが発端だったとも云われる。また Altair と名付けたのは Solomon の幼い娘だった。

部品リストの詳細が記載されているが、それらを個別に個人が揃えようとするなら、\$1,400(Save over \$1,000)程度は掛かるものが僅か \$400 で提供されるというのが最もセンセーショナルだったかもしれない。

尚、Altair をパソコンとして使うには入出力装置としてテレタイプが必要で BASIC が紙テープで提供されていたが、毎回 BASIC をテレタイプで読ませるところから作業を始める必要があった。

*2 民生用機器、例えば電子レンジなど量が大きく低機能で十分な用途に搭載するのは TI が 2~3 ドルで販売していた TI1000 の様な MASK-ROM や RAM を内蔵した 1 chip のマイクロコントローラが使われた。

それに対し、72 年頃よりスタンドアロン型の FDD 内蔵のワープロ専用機(価格は当初 2 万ドル弱)が Lexitron(Raytheon)、Linolex、Vydec(Exxon)、Wang や DEC などから発売されるが、初期的には i4004 などが搭載(MASK ROM の i4001 は EPROM の i1702 など置き換え)され、70 年代半ば以降は i8080 など 8 ビット CPU にアップグレード(DEC は 12 ビットの Intersill 6100)され CPU の主要なユーザーとなっていた。尚、米国ではワープロ専用機のピークは 81 年で、価格が高かったこともあり(81 年頃 Wang の Wangwriter は 6,400 ドルまで下がっていたが)、以後はパソコンベースのワープロソフト(Word Star や Word Perfect) への移行が進み、この移行はパソコンの特にビジネスユースの市場拡大に寄与する。

一方、日本ではパソコンとはほぼ同じ時期にワープロが誕生するが、寡占的な市場になったパソコンに対して、ワープロ市場は競争的であったこともあって価格が急速に下がったこともあり、83 年の販売台数はパソコン 885 千台、ワープロ 96 千台であったものが、3 年後の 86 年にはパソコン 1,235 千台に対しワープロは 2,047 千台と急増し、90 年代に入ってもワープロの出荷台数がパソコンを上回ることになる。またゲーム専用機の急成長もあって、日本でのパソコンの普及は妨げられることになる。尚、ワープロの価格は 79 年 2 月発売の東芝 W-10 が 630 万円、80 年 5 月の富士通 OASYS100 が 300 万円だったのが、84 年 8 月の富士通 OASYS Lite は 22 万円、85 年 7 月の東芝ルボ JW-R10 は 99,800 円と 80 年代半ばには普及価格帯に到達した。

産業用と家庭用

コンシューマー用パソコン市場は価格弾力性の高い市場であり、パソコンメーカーは売れ筋の価格帯に価格を押さえこみ、且つ機能強化を図るためにコスト削減が必須であり安い CPU を必要としていた。また MCS6502 はパイプライン的な機能を持ち画像処理能力に優れ 8 ビットアプリに多いゲームに適していた。パソコンの世界シェアを見ると、80 年には Tandy(Z80)が 23.1%、英 Sinclair^{*1}(Z80 互換の日電製 μ PD780) が 14.7%、Apple(MCS6502)13.6%、コモドール 13.0%(MCS6502)とこの 4 社で約世界シェアの 2/3 近くを占めていたが、上位のほとんどは Z80 や MCS6502 であり、主要機種で Intel 系が使われたものはほとんど無かった。また、用途別にみると、Tandy、Sinclair や Apple はビジネス系にも強く、一方 Commodore は家庭用と言えたが、ビジネス系は 81 年の IBM PC の発売、およびその互換機メーカーの躍進とともにシェアを失っていく^{*2}。一方、コモドールやアタリ(MCS6502)など家庭用は IBM PC の影響はほとんど受けずシェアを伸ばして行ったものの、83 年 7 月(米国発売 85 年 10 月)に発売され大ヒットした任天堂ファミコン(リコー製の MCS6502 系である RP2A03 搭載)や同じく 88 年 10 月(に米国 89 年 8 月)発売されたセガのメガドライブ(MC68000 搭載)との競争でゲームユースにおいて敗退し勢いを失っていく^{*1}。パソコン出荷台数は 96 年には世界で 900 万台に達するが、任天堂のファミコンだけで同年には 390 万台を売り、ゲームユースの大きかった Commodore64(MCS6510 搭載)などに打撃を与えることになる。

尚、80年代には日電や東芝、エプソンなどの日本勢が健闘しているが、日電は主に日本市場で圧倒的なシェアを持っていたこと、東芝はフラットディスプレイを搭載したラップトップ/ノートパソコン(DynaBook)で世界トップシェアを持っていたことによる。

パソコン世界シェア

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
IBM	0.00	1.06	3.23	5.34	12.03	16.10	12.32	12.82	11.24	11.15	11.85	11.38
Apple	13.55	13.55	7.25	6.95	8.94	7.87	7.82	9.05	9.22	7.42	7.45	9.05
Commodore	12.99	12.82	18.39	23.94	19.41	13.23	11.44	9.69	8.46	8.07	7.06	8.32
日本電気(NEC)	4.60	4.49	5.27	3.90	3.25	4.10	5.30	5.01	4.81	5.37	5.61	5.81
Compaq	0.00	0.00	0.00	0.49	0.95	1.53	1.84	2.40	2.75	3.05	3.91	3.99
東芝(Toshiba)	0.84	1.15	0.70	0.57	0.63	0.84	0.56	1.44	1.22	2.77	3.68	2.03
Atari	4.19	4.54	4.95	6.43	5.36	2.64	3.73	5.13	4.49	4.24	3.06	2.05
Tandy	23.05	12.76	5.92	4.09	6.39	6.51	3.95	4.13	3.20	2.66	2.65	1.91
Epson	0.00	0.06	0.16	0.47	0.38	0.86	1.57	1.68	2.06	2.58	2.47	1.17
Packard Bell	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	2.06	2.16	2.46

*1 初期のCPUの大きなユーザーとしては、家庭用ゲーム専用機があげられる。76年11月にFairchild Camera and InstrumentsからFairchildの8ビットCPU F-8(独Olimpia Welkeが開発したCPUがベース)を搭載した家庭用ゲーム専用機Fairchild Channel F(169.95ドル)を販売する。年に10万台程度売れている。翌77年にはAtariがMCS6502を搭載したAtari VCSを発売し初年度に40万台、翌年は55万台(25万台ほど売れ残りAtariは経営危機に陥る)ほど売れている。当時、家庭用ゲーム専用機への参入が相次ぎ、BallyのArcade(Z80ベース、299ドル)、更にはGIの16ビットCPUであるCP1610(75年にHoneywellの制御システム用に開発)を搭載したMattelのIntellivision(299ドル)など第二世代の家庭用ゲーム専用機がパソコンに先立ちCPU市場をリードしていた。米国では83年頃までに累計で1,500万台のコンソールタイプの家庭用ゲーム専用機が普及していたと云われる。そして突如、83年にゲーム専用機市場が崩壊してしまう。いわゆるAtariショックと称されるものであるが、Atariの親会社であるWarner Communications(映画会社のWarner Brothersなどを傘下に持つ)の経営さえ揺るがすことになる。Warner Communicationsは83年12月期に▲418百万ドル、84年12月期に▲586百万ドルの損出を計上し、Atariは解体され家庭用ゲーム部門は84年にCommodoreを追われたJack Tramielに売却され、アーケードゲーム部門は85年にナムコへ売却されたが、共に昔の勢いを取り戻すことはできなかった。

一方、Fairchildは77年にはF-8ベースのパソコンVideoBrain Family Computerを発売し、パソコンに進出する、同じくAtariも79年11月にMCS6502ベースのパソコンAtari400を発売する。この際、MOS TechnologiesはAtariに対してMCS5602とI/O Chipのセットを12ドルで販売している。

Apple II、コモドールPET、TRS-80によるホームコンピューター革命とも言える現象が始まっており、ゲーム専用機からパソコンへの移行が進む様に見えた。任天堂の成功はこの流れを逆流させてしまったようだ。初期のゲーム機の売上台数を見ると；ー

任天堂

83年07月発売 ファミコン 6,191万台 (米国85年10月、3,400万台)・・MCS6502系(RP2A03)

90年11月発売 スーパーファミコン 4,910万台 (米国91年08月、2,335万台)・・MCS6502系(MCS65C816)

96年06月発売 NINTENDO 64 3,293万台 (米国96年09月、2,063万台)・・MIPS R4300

セガ

88年10月発売 メガドライブ 3,075万台 (米国89年08月、2,000万台)・・MC68000+Z80

94年11月発売 サターン 926万台 (米国95年05月、126万台)・・SH-2

ソニー

94年12月発売 Play Station(初代) 12,240万台 (米国95年09月、3,967万台)・・MIPS R3000

(Play Station 初代から5までで21年末までに47,890万台)

90年代に入る頃には、ゲーム主体の家庭用パソコンはほとんど淘汰されてしまい、IBM PCおよびその互換機がパソコン市場の9割を占めることになる。

Intel の凋落

Z80 は i8080 と同じく 40 ピン・パッケージであったがピン・コンパチブルではなかったため単純には置き換えられないが、バイナリーレベルでのソフトウェアの上位互換性があり Intel の資産を継承できる強みがあった。Digital Research(DRI)の CP/M や Microsoft の BASIC など i8080 用に書かれたソフトウェアは Z80 でそのまま使えた。Intel は Z80 対抗の為 i8085(単一 5V)を開発するが、これはあまり成功しなかった。日本では日電が 76 年 8 月にトレーニングキット TK-80 に i8080 をしたものの、日本初のパソコンである 79 年 9 月に発売された PC-8001 などにおいては日電も Z80(日電製互換品)を採用することとなる。パソコン用としては i8080 や MC6800 は Z80 や MCS6502 用に書かれた流通ソフトの移植はけっこう厄介だったと思われる。Z80 には多くの追加された命令が有り、且つ、i8080 の絶対番地方式に対し相対番地方式の違いもある。また MCS6502 は画像処理の高速化の為にアセンブリ言語を使って MCS6502 にハード依存性のあるソフトの作りになっていたものが多いと思われ、且つ、MC6800 が big egg に対して MCS6502 パソコンには little egg であるという違いもあり、i8080 や MC6800 を搭載しようにも、単に価格面のみではなく、そもそも既に搭載は困難だったようだ。

また、Motorola は 70 年代末には MC6800 を自動車産業向けにカスタマイズした MC6801/2 や MC6805 やモジュール化した、例えば GMC(M(General Motors Control Module)の形で自動車産業に強みを発揮していた。また MC6800 系の命令セットは DEC のミニコンに似ており、それに慣れた技術者たちにとっては使いやすかったこともあり embedded の分野で Intel を凌いでいく。i8080 は販売数量こそ増加傾向にあっただろうが、パソコンの成長と共にシェアを大きく落として行くことになる。

*1 Sinclair は Clive Sinclair によって 61 年に設立された Sinclair Radionics にその起源を持つ。75 年には TI の電卓用 TMS0803 chip セットを搭載した電卓 Sinclair Scientific を世界的にヒットさせている。80 年に ZX80 を£99.95(約 52,000 円、米国では\$199.95)で販売し、初めて 100 ポンド/200 ドルを切ったパソコンとなった(キットとしても£79.95 で販売)。翌 81 年には ZX81 を£69.95(約 31,000 円)、キットで£49.95 で販売するなど更に価格を引き下げている。

尚、これら 8 ビットパソコンの後継として 16 ビット版を開発するために 83 年末から開発が始まり 85 年に完成したのが ARM 1 (Acorn RISC Machine 1)である。シンプルな構造でその為消費電が少なかったが性能は高かった。翌 86 年に最初の製品となる ARM2 が完成する。80 年代末、Apple と共同開発に取り組んだが、その際に、分社化して Apple の出資(43%)も受け Advanced RISC Machines を設立、91 年には ARM6 が開発され、Apple はこれをベースに ARM610 を開発し Newton に搭載する。これを足掛かりに ARM は飛躍することとなる。93 年にリリースされた ARM7 Core family は Apple の iPod、任天堂やセガの携帯ゲーム機、HP の電卓や多くの携帯電話などモバイル機器分野を中心に広く使われることとなる。現在、ARM Core として広くライセンスされ、多くの企業によって ARM Core をベースとした CPU や MCU(マイクロコントローラー)が開発されている。現在では Intel・AMD に対し十分に対抗できるところまで来ていると言っても過言ではないかも。

飛び出した茹でガエル

茹でガエルの譬えがあるが、実際に実験してみると、カエルは耐えられなくなる前に飛び出してしまふ様である。

70 年代末には Zilog と MOS Technologies が勃興してきたパソコン市場のほとんどを獲得し、一方、Motorola は自動車のエンジン制御などの産業分野を切り開きつつあった。

これに対し、70年代末に Intel は Operation Crush と称された積極的な拡販策に乗り出す。価格を大幅に下げ、例えば i8080A の価格は 80 年には 5 ドルまで低下する。16 ビットの i8086 に関してもかなりの低価格を提示していた。この頃から intel は i80186 や i80286 への Road Map や将来の価格へのコミットをするようになる。それも Noyce が率先してユーザーに向きトップセールスを展開する。その為、CPU や MCU の価格は下落し採算性はしばらく低い状態が続くことになる。この積極的な低価格に加えサポートの良さや i8080 (更には Z80) などによって築かれたソフトウェア資産やユーザーに形成されたノウハウ、それに加え 8086 は性能的に見劣りしたが出荷時期が比較的早かったこともあって、一応は産業用などの市場においてはプレゼンスを獲得していたようであるが、パソコン市場には受け入れられるほどのものでは無かった様だ。

パソコン市場が立ち上がりつつあった 78 年における CPU のシェア(Dataquest)を見ると、8 ビット市場においては Intel はトップを維持しており、その互換品がほぼ 4 割程度を占め、金額的には更に高いシェアを占めていたと思われるが、低価格が求められた第二世代ゲーム機や立ち上げり出したパソコン市場では主要機種においてはほとんど採用されることは無かったようだ。4 ビットにおいてはほとんど敗退し、8 ビットにおいては市場の伸びによって数量的には増加するものの、Z80 や MCS6502 に対しては後塵を拝することになる。パソコン市場が立ち上がり出した 78 年の 8 ビット CPU のメーカー別の出荷個数を見ると;—

8ビットCPU出荷数(千個)

Intel	i8080	1,661	Mostek	Z80/F-8	670
Fairchild	F-8	951	Rockwell	Z80	660
Motorola	MC6800	950	Zilog	Z80	540
NS	i8080	750	AMD	i8080	445
Synertek	MCS6502	740	GI	LP8000	425

IBM PC の i8088 採用

Operation Crash の最大の成果が IBM PC の i8088^{*1} 採用であった。IBM と Intel の IBM と Intel の関係は既に IBM Displaywriter(ワープロ)に i8086 を採用した実績があったほか、80 年頃に提携を結び IBM はバブルメモリ技術と交換に Intel の CPU に関するライセンスを得ている^{*2}。

i8088 の内部処理は 16 ビットであるのに対してバスは 8 ビットであり 8 ビットと 16 ビットの間間的と言っても良い様な CPU であり、実質は 8 ビット CPU の高速版と言う位置づけである。バスが 8 ビット幅のため 8 ビット CPU 用の安価な周辺回路(周辺 LSI)がそのまま使えるほか、当時の DRAM は 1 ビット構成だったので、16 ビットバスなら最低 16 個必要なところが 8 個で済ますことができるなど、低コストを志向したものと思われる^{*3}。また、i8086/88 は 8080 と流石にバイナリーレベルの互換性はないのでユーザーが保有している 8 ビット機用のパッケージソフトなどは使えないものの、ソフトウェアハウスにとっては i8080 用に開発されたソフト(アセンブラ)に一切の手を加えることなく再アセンブルするだけで、i8086/88 用のバイナリを生成する事も出来、移植がし易かった(アプリケーションソフトから見て 64k バイトのメモリー空間など i8080 と同じ環境を設定することができた)。

IBM PC の CPU 採用に関しては、Zilog は Exxon (Exxon Enterprise) の子会社であったことが不利だったと云われる。当時、An Affiliate of Exxon Enterprise, Inc.として、Exxon の関係会社であることを前面に出した新興企業群がワープロ、ファクシミリ、電子タイプライター、レーザープリンター、OMR システム、カラーグラフ

ィカルディスプレイ、データ通信など新分野でプレゼンスを確立しつつあり Zilog もその一つであり、新規分野においては Exxon と IBM との競合が始まっていた。また、Z8000 はハードワイヤド方式を採っており、そのバグ修正に手間取り出遅れてしまったことに加え、周辺 LSI ではほとんど使えるものは無く、おまけに Z80 に対して互換性が低い*4 というより別物と言うべきものであった。その為、築き上げられた Z80 の資産は i8086/88 の方に継承されることになる。Z8000 は Amdahl で CPU 装置のアーキテクチャグループにいたフランス人の Bernard Peuto が開発の中心であり、コンピュータ技術者が開発をリードするようになり本格的なコンピュータ技術が取り込まれていく。その為、8 ビット CPU に対し大きなアーキテクチャーの差異があった。

一方、80 年に発売された Motorola の MC68000 は内部処理が 32 ビット、バス幅は 16 ビットで i8088(内部処理が 16 ビット、バス幅 8 ビット)に比し一世代上の CPU であり高性能すぎた*5。本来は完全な 32 ビット CPU(84 年発売の MC68020)として開発されるはずのものであったが、半導体の集積技術がまだ十分なレベルまで達しておらずバスを 16 ビットとした。こうした高性能 CPU の場合、機器ベンダーが周辺回路を設計し独自色を出すのが一般であり、その為、周辺回路用 LSI がそろっていなかった。

*1 i8088 の出荷数、平均単価(互換品含む)の推移を見ると(Dataquest):—

81 年 470 千個 平均単価 7.00ドル
 82 年 900 千個 平均単価 4.50ドル
 83 年 2,400 千個 平均単価 3.25ドル

*2 Intel が多くの企業に供与したセカンドソース契約とは異なる。後に、Cyrix など Fabless の Intel 互換 CPU メーカーは IBM に製造委託することにより Intel との特許問題等を回避することができた。IBM の他には Mostek (STMicroelectronics が Mostek 買収により継承)、HP などとも Intel は包括的な royalty-free のライセンス契約を結んでおり、互換機メーカーは IBM や STMicroelectronics をファブドリーとして利用している。それら企業とライセンス契約を締結した当時は Fabless を想定していなかった。それに対し Intel が後に、例えばサンヨーと結んだ契約では”Sanyo-designed and Sanyo-manufactured products”と言う制約を設けている。

*3 IBM PC はビジネス用のイメージが強いが、当初は家庭用の位置づけであったようで、Atari から OEM 供給を受けたり、また Atari の買収も検討したこともあったようだ。また、販売チャネルとしてはシアーズ・ローバック(当時最大の小売りチェーン)や、全米に 200 店近い店舗を持つコンピュータランドでの販売を決めていた。

*4 Z8000 の失敗の要因として Z80 との互換性の低さがあげられるが、それ以上に半導体製造技術の弱さも大きな弱点であったようだ。70 年代末期には Intel も Motorola も DRAM の大手として設備投資競争をリードし、ウェハーの大口径化(75 年頃より 4 インチ化が始まる)、そしてフォトでは GCA の DSW の導入が始まり、蒸着では真空蒸着からスパッター、拡散では Ion Implantation が更に普及し、エッチングもウェットからドライへの移行が始まり、超 LSI の玄関口とも言える 64k-RAM 量産化への対応が進展していた時期であった。Z8000 と MC68000 を比較すると Z8000 は 1 世代の遅れが有った様である。MC68000 の TR 数は Z8000 の 4 倍に対し、chip サイズは 1 割程度の増加に留まっている。i8086 に対してもかなりの製造技術の遅れが目立っていた。実質、Zilog は先端 LSI を 3 インチ 16k-DRAM レベルの工場、Intel や Motorola の 4 インチ 64k-DRAM レベルの工場と戦いを強いられていたようなもので、TR 数も制限され、それなのに Chip サイズも大きく、そもそも勝ち目は無かったと思われる。

		TR数	Chip size
		個	mm ²
i8086	78年4月	29,000	33
Z8000	79年初	17,500	39
MC68000	79年9月	68,000	44

*5 MC68000(8 ビットの MC6800 とはほとんど互換性は無い)を搭載したシステムは OS として UNIX を採用するケースが多かった。UNIX というマルチユーザ OS を採用した為に Engineering Work Station(EWS)として、シングルユーザ・シングルタスクの PC-DOS

(MS-DOS)を採用した IBM PC とは別の発展を遂げ、10 年後には IBM のメインフレーム事業を大きく揺るがし、IBM は 91 年から 93 年にかけて 3 年連続の赤字に追い込まれ大胆な構造改革を迫られることになる。

IBM 業績(単位:10 億ドル)

	売上	純損益		売上	純損益		売上	純損益
1988	59.68	5.80	1991	64.79	-2.82	1994	62.67	3.02
1989	62.71	3.70	1992	64.52	-4.96	1995	71.94	4.17
1990	69.02	6.02	1993	62.72	-8.10	1996	73.42	5.42

32ビット版(但し BUS は 16ビット)である MC68000 を搭載した 83 年 1 月発売の Apple の Lisa、84 年 1 月発売の Apple Macintosh(84 年 MC68000→89 年にはフルの 32 ビットの MC68030)、Commodore Amiga(85 年)、Atari ST(85 年 MC68000→90 年 MC68030)の 3 機種のみでも 91 年には約 350 万台と PC 市場 1,880 万台の約 19%を占めるまでに成長する。また MC68000 系の CPU はパソコン市場での成功に加え、Apollo Computer(80 年設立)の DN 100 Work Station、Sun Microsystems(82 年設立)の Sun-3 Work Station、NEXT(Steve Jobs が創立)の NEXTcube や HP の HP 9000 など EWS にも広く採用され高性能 CPU 市場が大きく拡大していき RISC アーキテクチャーへと繋がることになる。また、MC680x0 系はゲーム機器(88 年 10 月発売のセガメガドライブには MC68000 が搭載され、累計で 3,075 万台売られた)やレーザープリンター制御、グラフィックやサウンドのコントロール、産業機器の制御用など広く使われていた。

尚、MC680x0 は Big endian であり、本来ならば Big endian である IBM のコンピュータシステムと相性が良い。それに対し、Intel は Little endian であり、当時であればこの endianness 変換はかなり困難であり(Data 通信ができない)、それが IBM にとっては逆に製品構成上のメリットだったかも知れない。メインフレームなどに接続されるとインテリジェント端末などを置き換えてしまうどころか、MC680x0 ならメインフレームコンピュータ用のアプリケーションソフトがパソコンに移植される恐れさえ生じてしまう。

然しながら、直にそうした危惧は現実のものとなってしまふ。例えば、82 年末に Auto CAD がリリースされる。i8088 ベースで OS は CP/M-86 の Victor Technologies(Chuck Peddle が 1980 年に設立した Sirius System Technology が前身)の Victor9000 (Display 800x400)向けに先ず販売された。かなりローエンドの CAD であるが、その動きは直にハイエンドの CAD にも波及することになる。例えば、日本における IBM PC(5550)には日本語処理の負荷の大きさもあって i8088 ではなく i8086 が搭載されていたほか、モニターの解像度も高く(1,024 ドット×768 ドットの XGA)、そのため、米 CADAM と川崎重工の合弁会社であるキャダムサービス社は 84 年からメインフレーム用 AD である CADAM のパソコン版の Micro CADAM の開発をすすめ、日本 IBM が 85 年 9 月に販売を始め(90 年 6 月 OS/2 版、UNIX 版の EWS)、富士通も 88 年より Micro CADAM の EWS 版の販売を始める。当初は CAD を導入していない中小企業などに市場を広げるものであったが、メインフレーム CAD を使用していた大企業においても EWS 化が一挙に進捗することになりダウンサイジング化が進展する。

CPU の採算性

CPU は現在では寡占的な市場となっており採算性は高いと言えるが、80 年代前半などは採算性が必ずしも高いとは言えなかった様である。セカンドソースの供与を各社とも行っており、またコピー品も多く、機種間の競争に加え、互換品との競争もあり高価格の維持は困難であった。例えば、i8080 の場合、AMD などにセカンドソースを供与していたほか、Zilog や日電が上位互換品を出すなど寡占的な価格維持は困難であった。パソコン用 CPU として、当初こそ i8080 は採用されたものの、市場の立ち上がり期には競合も出揃い価格対応できず、且つ性能的にも劣りほとんどパソコン市場ではプレゼンスを得ることができなかった。然しながら、Z80 が有ったからこそ、IBM PC の立ち上がりは順調だったのかもしれない。Z80 用のパッケージソフトの IBM PC への移植は比較的容易だったようである*1。

i8088/80286 系の CPU においては Intel のほか AMD と日電が主要なメーカーだった。AMD はセカンドソースとして IBM の需要の 30%を確保していた。日電は独自開発の V シリーズを自社の PC9801 に搭載していたほか、IBM PC 互換機メーカーへの供給(85 年当時、互換機を含む IBM PC に搭載されている CPU

シェアでは Intel と日電はそれぞれ 4 割のシェアでほぼ拮抗していた)もあり、売上では Intel に次ぐ大手だった。Dataquest によると:—

MPU金額シェア

	85年	86年
Intel	24.4	17.8 %
NEC	13.6	13.9
Motorola	9.9	9.6
Hitachi	4.0	6.8
Toshiba	—	6.3
TI	3.2	—

Intel が 16 ビットで供与したのは著作権をベースとしたセカンドソース契約であるが、この場合は Intel が提供する Mask に依存することになる。その際、Intel がプロセスを確立してから Mask が提供されるが、当然のこと入手は遅れることになり、またセカンドソーサーは Intel とプロセスが異なり量産化に手間取ることになる。そのため Intel が新版を出荷しているのに対して旧版で対応せざるを得ず競争は不利となる。また Intel 自身でさえシリコンバレーやオレゴン製の試作工場から量産工場へ移管する際に製造装置の違いなどにより立ち上げに手間取り 90 年代に入ってもトラブル続きで試行錯誤を続けていたほどで*2、まして大きく異なるプロセスを使うセカンドソーサーにとってはハンディがあった。後発でありハンディを抱え量産性に劣り原価は高く、且つ Intel より低価格でないと売れないような状況であり、Intel はセカンドソーサーに対し優位性を持っていたが、Intel 自体も採算性がそれほど高かった訳ではなかった。83~84 年は半導体にとって好景気の時期であり、81 年から 84 年の 3 年間で Intel の売上は倍増したが、85~86 年の半導体不況の影響、および日本勢の躍進もあり、Intel は 86 年には創業当初を除けば初めての欠損を計上する。

Intel 業績推移(百万ドル)

	売上	純利益		売上	純利益
Dec-79	661.0	77.8	Dec-83	1,121.9	116.1
Dec-80	854.6	96.7	Dec-84	1,629.3	98.2
Dec-81	788.7	27.4	Dec-85	1,365.0	1.6
Dec-82	899.8	30.0	Dec-86	1,265.0	-203.2

*1 それに対し、Motorola の MC68000 は MCS6502(MC6800 とも)とはほとんど互換性がなかったこともあり、それを搭載した 83 年 1 月に発売された Apple の Lisa にはパッケージソフトウェアがほとんど揃わず、且つ 9,995 ドルと価格が高かったこともあり大量に売れ残り、また MC68020 を搭載した 84 年 4 月に発売された Macintosh(2,495 ドル)は大々的な宣伝の効果もあり発売当初こそ売れたもののなかなかパッケージソフトが揃わず直に売り上げは落ち込んでしまう。それでも徐々に Macintosh の性能の高さを生かしたソフトが売り出されたこともあり売上は比較的順調に伸びていく。85 年のデスクトップパブリッシングの Aldas の Pagemaker や 90 年の Adobe の Photoshop などネイティブな Mac 向けのソフトの販売が進んだ。Apple は互換性より性能を重視して発展してきた企業であるが、それが成功に導いた大きな要因であると言えそうである。

Macintosh販売台数(台)

1984	372,000	1988	900,000	1992	2,500,000
1985	200,000	1989	1,100,000	1993	3,300,000
1986	380,000	1990	1,300,000	1994	3,800,000
1987	550,000	1991	2,100,000	1995	4,120,000

*2 Intel に於いて、試作工場から量産工場への製造移管がやっとスムーズに行なえるようになったのは 93 年末に操業を開始したアイルランドの Dublin の西郊外に新設した Leixlip(FAB10)への i486 と Pentium の製造移管においてであった。この際に Copy Exactly と称される手法が使われた。

コンピュータ技術の 1 Chip CPU への implantation

74 年に開発された i8080 の TR 数は 4,800 個であった。それに対し 10 年後の 84 年に開発された MC68020 の TR 数は 20 万個であった。10 年度 40 倍であるが、半導体の集積度の向上は衰えることなく、ほぼこのペースで現在でも続いている。

70 年代中頃の大型コンピュータの CPU の TR 数は 50 万個程度であった。並列的な機構が増えたため 80 年代末にはかなり増えるがそれでも 1,000 万個程度であった。BIP の ECL 回路が使われ、ECL は高速ではあるが発熱が高く集積が困難だった。微細化の進展による CMOS の高速化により ECL は優位性を失っていき、90 年代半ば頃には大型コンピュータの CPU も CMOS 化されていく。BIP の高速化技術は過去の遺物となってしまふ。当初こそ、大型コンピュータの CPU の CMOS 化は Multi-chip 構成であったが、直に One-chip 化され、それも汎用の RISC をベースにしたものに移行し、パソコン用 CPU などと特に差異はなくなっていく。違いと言えば、並列化(クラスター化)により性能を高める方式のためピン数(バンプ数)がパソコン用 CPU の場合は数百本程度なのに対し、数倍多かった点、その為の実装が特殊となる点、および水冷などの冷却を要したこと、及び価格がけた違いに高かったことなどを除けば、パソコン用 CPU と基本的には差異は少ない。

ミニコンの 1 Chip CPU 化

ミニコンの 1chip 化の動きは既に 60 年代末より始まっていた。70 年には i4004 に先立ち Garrett AiResearch が 20 ビット CPU の CAD(CMP944)の開発に至っている。1 chip とは行かないまでも小型・軽量化が求められる航空宇宙関連では IC を使い幾つかのコンピュータが製作されていたようだが、それらも製造技術の進歩により必然的に 1 chip CPU に至るものだったようである。民間でも、69 年の Four-Phase Systems 社の 8 ビット×3 のビットスライスの 24 ビット CPU(8 ビット単体でも機能する)を搭載した AL-1 があつた。

Intel では i4004 に若干遅れて、Computer Terminal Corporation(CTC)の Datapoint 2200 用に 8 ビット CPU の chip セット(i8008)の開発を進めるが、TI は Intel より早く完成させることになる。但し、速度面で劣っており Datapoint2200 には採用されなかった。1 chip CPU 開発の難点は性能的に劣ること

に加え、数量の少なさであった様だ。開発負荷が大きい割にはほとんど数量が出ないため、半導体メーカーにとっては航空・宇宙関連を別にすればあまり旨みは無かった様だ。

これに対し、ミニコンのアーキテクチャーをベース*1にした汎用の CPU が 70 年代半ばに開発されていく。DEC の PDP-8 (65 年)を 1 chip 化した 12 ビットの Intersil IM6100(75 年)、TI のミニコン TI990(75 年)を 1 chip 化した 16 ビットの TMS9900*2(76 年)、Data General(DG)の Nova(69 年)を 1 chip した Fairchild の 16 ビット F9440(77 年)などが代表的と言えそうである。但し、速度の面で劣っており DEC の PDP 11/03(Western Digital の汎用の 16 ビットの MCP-1600 搭載)など下位機種のみニコンに汎用の CPU が採用されることがあった程度である。

一方、日本では 75 年のパナファコム製の 16 ビットの PFL-16((MN1610)などの 1 chip CPU が開発されていたが、米国と異なり、オフコン(ミニコン)メーカーが半導体メーカーでもあり、ほとんどが社内ユースであり、一般に販売されたものは少なかったが、自社製オフコンなどに搭載するために開発されていた。商用計算や帳票処理などが主体であり高速性はそれほど求められなかった。代表的なのは富士通の CMOS 10,000 ゲート(4 万 TR 程度)の 16 ビット CPU MB8830 で、これは 79 年に発売された V シリーズに搭載されていた。

80 年代に入ると LSI の集積度が向上、CMOS(電力速度積が NMOS に比し著しく低い)による高速化により、同世代のミニコンを 1chip 化することが可能なレベルまで達し、更に半導体の集積度(速度)向上はミニコンの性能向上を上回るペースで続いて行く。いずれはメインフレームの中型クラス、更には大型クラスさえ上回ることが予想されていた。90 年代中頃には大型メインフレームも CMOS CPU ベースとなって行く。また、CPU のアーキテクチャーは 70 年代半ば頃よりコンピュータ技術からの影響を強く受けるようになり、開発もコンピュータに対しては素人的な半導体技術者から、コンピュータサイエンス系の技術者が中心になって行く。

83 年 1 月には Apple が MC68000 搭載の Lisa を発売しパソコンの 32 ビット時代が直に到来すると思われる。DEC などのミニコンメーカーや、Intel、Motorola、Zilog などの半導体メーカーも高性能 CPU の開発をめざした。また、大型コンピュータの CPU の 1 chip 化を目指す動きが早くも 70 年代後半には出てくる。75 年に Amdahl をスピンアウトした Fred Buelow や John Zasio らが Microtechnology Corp を設立し、CMOS 技術を使い One Chip Mainframe Computer の開発を試みる。少し早すぎたのか上手くは行かず Microtechnology Corp は 79 年に英 STC(Standard Telephone & Cables)に買収される。Buelow と Zasio は 90 年代に入り Hal Computer で 64 ビット RISC CPU の SPARK 64 の開発を主導することになる。

*1 ミニコンの 1chip 化は半導体メーカーがミニコンメーカーの了解なしに開発したものであり、ミニコンメーカーに訴訟を起こされたりすることもあった。Fairchild の F9440 および F9445(ミリタリー規格 1750 準拠)は DG から訴訟を起こされ Fairchild が 52 百万ドルを DG に支払うことで 86 年に和解している。

*2 TI の TMS9900 は 79 年 6 月に発売された TI の 16 ビットパソコン TI-99/4(価格 1,150 ドル)、その後継機種である 81 年 6 月に発売された TI-99/4A(525 ドル)に搭載されている。TI-90/4 は 16 ビットパソコンとしては世界初である。99/4A は 81 年 6 月に発売され 84 年 3 月までに 280 万台販売されており、81 年 8 月に発売された IBM PC を数量的には上回っており 82 年の世界シェアは 99/4A が 13.9%に対して IBM PC は 3.2%に過ぎず、特にコンシューマー市場では 99/4A や Commodore の VIC-20 や 64 に圧倒され IBM PC はほとんど売れず、想定に反しビジネス用がほとんどであった(IBM PC 売上台数 81 年 35 千台、82 年 240 千台)。99/4A はほぼ同時に発売された 8 ビットの Commodore VIC-20(生涯 250 万台)、および後継の 82 年 8 月発売の 8 ビットの Commodore 64(1700 万台)と激しい競争を行い一時は互角に戦っていた。TI は積極的な価格攻勢に出ている。価格推移を見ておくと:—

TI の 99/4A は 81 年 6 月 525ドルで発売、ほぼ同時期に Commodore が VIC-20 を 299.95ドルで発売する。対抗のため 99/4A は年末には 449.95ドルに引き下げられる。82 年末に 99/4A および VIC-20 が共に 200ドルまで下げられる。そして 83 年 4 月には共に 100ドルまで引き下げるとい激しい価格競争を行う。

共にいわゆる Razor & blade model の商法であり、本体はロスでもアフターマーケットで回収できれば良いのだが、TI はそもそも 16 ビットであり本体の原価は高く、また周辺機やソフトの売上は思うようにはいかなかったようだ。83 年は半導体の好況時であったにも関わらず、TI は第二四半期(4-6 月)に▲119.2 百万ドル、第三四半期にも▲110.8 百万ドルの損失を計上し、10 月にはパソコンビジネスからの撤退を発表する。83 年に TI はパソコン事業で▲660 百万ドルの損失を出したと云われる。83 年は半導体が好景気で有ったものの、TI は結局、年間で▲145 百万ドルのロスを経験することになる。TI はゲームソフトを自社開発品およびライセンス供与したサードパーティーを抱え込む方式を採っていたが、パソコンの設置台数がクリティカルマスを超えることが必須でありパソコンの拡販を積極的に行ったが、MCS6502 系で開発されていたソフトの TMS9900 ベースのパソコンへの移植はそもそも厄介であり、ソフトが少なすぎた上に、特にビジネス用の Wardstar や VisiCalc などの人気ソフトがほとんど移植されなかったため、ビジネス用の周辺機器であるプリンターなどの売上も期待外れであり、結局はゲーム市場の崩壊もあって多額のロスを出し撤退に追い込まれる。

一方、Commodore は 82 年(6 月が決算期であるが比較の為暦年に組み替え)の売上 459.9 百万ドル、純利益 67.4 百万ドルから、83 年には売上 1,042.3 百万ドル、純利益 126.1 百万ドルと売上利益とも倍増するなど絶好調だった。

Atari を崩壊させ、TI のパソコン事業を破綻に追い込み 1 人勝の Commodore であったが、翌 84 年末頃から業績は変調をきたす。ゲーム専用機におけるソフトの価格崩壊がパソコン用ゲームソフトにも波及したためと思われる。

Commodore業績(暦年に組み替え)

	売上	純利益		売上	純利益
81	230.4	32.0	84	1,209.4	100.3 百万ドル
82	459.9	67.4	85	798.6	-237.2
83	1,042.3	126.1	86	837.7	-10.0

Intel i80286 と Motorola MC680x0

83 年 3 月に IBM PC XT が発売される。その際に XT/370 という PC XT としても使え、且つ、メインフレームコンピュータの端末、および、メインフレームから中・小規模のアプリケーションソフトなら XT/370 のメモリーにロードし、エミュレーションして使うことができる機種が発売された。XT/370 には PC XT に対し 2 個の MC68000 が搭載された基板などが追加されていた。価格は 12 千ドル程度だった。DRAM を追加で 512k バイト搭載していたが、これは IBM の 74 年に発売された小型機 370/125 の主記憶は 96k~128k バイトでありそれを超えていた。処理スピードはかなり劣るとは言え、XT/370 はクライアント機としては十分な機能を備えていた。後の SAA の前駆と言えようである。

そして、Sun Microsystems が 83 年 11 月に MC68010^{*1}、DRAM 4Mバイトを搭載した Sun-2/120(価格 29,300 ドル)、DRAM 8M の Sun-2/160(48,800 ドル)など Sun-2 シリーズ^{*2}を発売する。8Mバイトのメモリー容量と言うのは、IBM が 75 年に発売したフラッグシップとも言える大型機 370/168 のメモリー容量に匹敵した。Sun-2 はメインフレームによる集中処理から分散処理への移行、および UNIX システムによるクライアント・サーバーへの移行が進みだす。

MC68000 は 24 ビットアドレッシングによって最大 16M バイトのメモリー (ROM や Video RAM を併せ) を使える。8 ビットの i8080 などが最大 64k バイト^{*3}であったのに対し 512 倍の容量だった。桁違いに大きかったものの、DRAM のビット価格の級数的な低下により、MC68000 の膨大なメモリー容量を使いこなす EWS^{*4}が誕生する。CPU の性能向上のみではなく、DRAM 価格の級数的な下落(2 年で半額)や HDD などの下落がもたらしたものであった。HDD は標準で 42Mバイトであったが、380M バイトまで拡張できた(IBM370/168 の HDD の基本構成は 317.5M バイト)。

MC68000 は 32 ビット CPU^{*5}として 79 年 9 月に開発された(発表 79/9、サンプル XC68000 の出荷 80/2、量産 MC68000 の出荷 80/11)。8 ビットの MC6800 との互換性は無いが、その後開発される MC68020 などは MC68000 との互換性が強く意識されて開発されている。MC6800 と同様に DEC の PDP-11 のアーキテクチャーの影響を受けていると云われ、命令セットアーキテクチャなど PDP-11 と同様に UNIX との親和性が高かったと云われる。

一方、Intel は i8086/88 に続き 82 年 2 月に i80286(TR 数 134,000 個と i8086/88 の 29,000 個の 4 倍超)を開発するが、パイプラインや仮想記憶などを取り入れ 16 ビット CPU とは言えかなり高度なものであった。然しながら、IBM PC/AT やその互換機で使われる限りは MS-DOS が i8086/88 用であり i80286 の能力を使い切れていなかったため、MC68000 搭載機の方が性能を大きく上回っていた。また、85 年 10 月に開発された i80386(TR 数 275,000 個)は 32 ビットとはいえ、16 ビット版の MS-DOS や Windows が使われる限りは単に 16 ビット CPU の高速版と言う以上の機能は無かった。その為か、Microsoft の Excel でさえ 85 年 9 月には Mac 版(MC68000 搭載)が発売されるが、IBM PC(及び互換機)に移植されるのは 87 年 10 月に発表された Windows 2.0 まで待つことになる。Intel の 32 ビット CPU がその機能を十分に発揮^{*6}できるようになるのは、93 年 7 月の Windows NT3.1(EWS 用)および 95 年の Windows 95(PC 用)まで待たねばならなかった。

*1 MC68010 は MC68000 に対して仮想記憶やエミュレーション機能等を強化(仮想マシン)したもの。

*2 Sun Microsystems が 82 年 5 月に MC68000 を搭載した Sun-1 を発売する。販売台数は 200 台弱に過ぎなかったと云われる。性能的に DEC の VAX に比べるとかなり見劣りした。256k バイトのメモリーを搭載(最大 4M バイトまで拡張)し価格は 8,900 ドルだった。

MC68000 搭載機種は第一世代(80 年～)の EWS と云われ、当時、性能の基準とされた VAX 11/750 に対し 0.2~0.3 程度に過ぎなかった。

MC68010 搭載機種(専用グラフィックプロセッサも搭載)が第二世代(83 年～)、VAX 11/750 に対し 0.3~1.0 程度の性能を持ち、そしてフルの 32 ビット CPU である MC68020 搭載機種は第三世代(85 年～)と云われ、VAX 11/750 に対し 1~3 程度に達し、大抵の CAD/CAM/CAE 業務をカバーできる能力に達していた。部品点数の多い航空機や自動車などの Digital Assembly などの機械系 CAM/CAE を除けばたいの CAD による設計開発業務は遜色の無いレベルに達してきていた。但し、CAD は更に進歩していき第三世代 EWS では直ぐに能力的に不十分なものになってしまうが。第三世代 EWS の時代は DEC の VAX に対して Low end から Middle end という位置づけに置かれており、且つ、市場の拡大もあり DEC の業績も相変わらず好調だった。

*3 i8088 は最大 1M バイトメモリー容量を持た。但し、ROM や Video RAM で 400k バイト程度を占有してるので RAM としては最大 640k バイト搭載可能。81 年の IBM PC に実際に搭載されていたのは 16k~256k バイト。

Altair に標準搭載されていた RAM は 256 バイト、AppleII が 4k バイト(4k バイト単位で 48k バイト程度まで増設可)であった。

*4 EWS は Motorola の MC680x0 と共に急速に進化を遂げて行く。EWS の主要なユースとしては 80 年代後半においては 4~5 割が CAD(CAD/CAM/CAE)であったが、CAD の場合、EWS 以前には DEC や Data General のミニコンに搭載され、CAD ソフトベンダーがターンキーシステムとして販売するケースが多かった。80 年代始め頃は DEC の VAX シリーズが代表的であった。一方で、CADAM や CATIA(両方とも主に IBM が販売)などのメインフレーム CAD があった。

*5 厳密な意味での 32 ビット CPU の定義としては、内部処理 32 ビット、32 ビットアドレッシング、32 ビット外部データバスを持つものであるが、MC68000 はそれぞれ 32 ビット、24 ビット、16 ビットであるので、32 ビット CPU としてはかなり不完全なものであり、16 ビット CPU とも言えそうである。84 年に開発された MC68020 になって、内部処理 32 ビット、32 ビットアドレッシング、32 ビット外部データバスとなり完全な 32 ビット CPU となる。尚、TR 数は MC68000 が約 7 万個(68,000 個と言われるが実際には 7 万個程度あった)に対し MC68020 は 20 万個である。

*6 MS-DOS ベースの i80386(DX)搭載パソコンの機能は限定的であったが、UNIX 系の OS を搭載した i80386 ベースの

EWS はコストパフォーマンスが高く Sun Microsystems の SUN386i などに搭載されていた。だが本格的な UNIX が搭載されるのは寧ろ少数派であり、大抵は Santa Cruz Operation の SOC UNIX など機能を絞った PC 版の UNIX が搭載されていたが、その為か low end の WS/EWS とした位置づけに置かれ i80386 の機能は十分には引き出されてはいなかった。i80386 は本来なら MC68020 に対抗するものであったが、逆に外部バスを 16 ビットに落とした i80386SX (MC68000 相当) を 88 年 6 月に発売され、これが主流となる。

尚、Compaq が 86 年 9 月に PC/AT 互換機の Desk Pro386(8,000 ドル)を発売しているが、外部バス幅の違いを解消するのにかなり苦労したようである。FLEX Architecture という新バスアーキテクチャを開発し、chip セットも独自に開発するなど、騙し騙しであるが、i80386DX を搭載した PC/AT 互換機を開発する。当時としては大して i80286 と性能差は無かったようだが、翌 87 年 12 月発売される Windows 2.0 や 90 年 5 月の Windows 3.0 によりグラフィカル処理など CPU の内部処理能力の高さが生かされてくると、i80386(SX で十分だが)を搭載する価値が出てくる。

DEC ミニコンの 1 Chip CPU

DEC は 70 年に発売された 16 ビット機の PDP-11 で急成長した。広範なユーザーに使われ、PDP-11 の OS は VAX の DOS-11 は分化し、それぞれ特定業種向けに細分化され互換性が欠如してしまう。その為、業種を超えて超えて販売されるソフトウェアはそれぞれの OS に移植する必要がある流通を妨げるという弊害が生じた。75 年より DEC は Star(ハード)/Sterlet(OS)プロジェクトが開始される。

78 年に DEC は 32 ビット機の VAX シリーズの VAX 11/780 を発売する。PDP-11 の互換モードを備え、PDP-11 からのソフトウェア資産の継承を図った。価格レンジで 1000 対 1 に及ぶ大型からデスクトップまでのシリーズ全体に対し、唯一の OS である VMS に対応し、単一アーキテクチャーによるネットワークと分散処理の構築を可能とした。

そして DEC は半導体製造^{*1}に乗り出す。84 年 2 月に 32 ビット 1 chip CPU の MicroVAXII(125 千 TR、chip 面積 82 mm²) が製造され、翌年これを使ったミニコン MicroVAXII は 2 万ドル弱で売られヒットする。更に 87 年 2 月には同じく MicroVAXII CPU を使って MicroVAX 2000 を 4,600 ドル(最小構成)で販売する。これは生涯に 6 万台出荷された。MicroVAXII CPU は外販されなかったものの汎用的な CPU として十分な条件を満たしていた。その後、DEC は 87 年に 2.5MIPS(VAX-11/780 の 2.5 倍の能力)の CVAX(180 千 TR、94 mm²)、更に 89 年に 7MIPS の Rigel(320 千 TR、146 mm²、35~43MHz)、90 年には 11MIPS の Mariah(Rigel を改版、55~71MHz)、91 年には 50MIPS の NVAX(1,300 千 TR、237 mm²、62.5~83.3MHz)を開発する。

そして 86 年より VAX の後継システムとして Prism プロジェクトが Dave Cutler をリーダーとして開始される。CPU は RISC 64 ビットの Micro Prism、OS は MICA と名付けられた。しかし RISC プロセッサの独自開発から MIPS Computer Systems の MIPS プロセッサ採用に方針を転換する。Dave Cutler は 88 年 10 月に Microsoft に移り Windows NT^{*2}開発の責任者となる。93 年 7 月に Windows NT3.1 として発売される。一方、Micro Prism は後に Hudson の半導体グループが開発を再開し、92 年に RISC の Alpha21064(1,680 千 TR、234 mm²)として完成される。

	型番		Chip面積	開発年月	TR数	プロセス		速度
F11	DC303(Control)	16bit	22mm ²	1979年3月	23,000	6.0μ	NMOS (AMI製造)	3.6MHz
J11	DC335(Control)	16bit	81mm ²	1982年7月	80,000	4.0μ	CMOS (Harris製造)	4.5MHz
MicroVAX II	MicroVAX 78032	32bit	82mm ²	1985年5月	125,000	3.0μ	NMOS	5.0MHz
CVAX	CVAX 78034	32bit	72mm ²	1987年	134,000	2.0μ	CMOS	11.11-12.5MHz
Rigel	REX 520	32bit	146mm ²	1989年7月	320,000	1.5μ	CMOS	35-43MHz
Mariah		32bit				1.0μ	CMOS	55-71MHz
NVAX		32bit	237mm ²	1991年	1,300,000	0.75μ	CMOS	62.5-83.3MHz
Alpha	Alpha21064(EV4)	64bit	234mm ²	1992年11月	1,680,000	0.75μ	CMOS	192MHz
Alpha	Alpha21064(EV4S)	64bit		1993年	1,680,000	0.675μ	CMOS	200MHz
NVAX++		32bit		1994年		0.50μ	CMOS	133MHz

*1 DEC の半導体工場はマサチューセッツ州 Hudson に建設された。81 年末より操業が開始され、92 年には 4 億ドルをかけ拡張された。DEC が Intel を訴えた特許訴訟の和解条件として 97 年に Intel に 7 億ドルで売却され、Intel の FAB17 として 2014 年まで稼働。

尚、Mostek の創業者である Robert Palmer が 85 年に DEC に移り半導体部門のトップとなり、92 年には DEC の CEO となる。

*2 Windows NT、略して WNT は VMS のそれぞれの文字を 1 文字づつずらすと W→V、M→N、S→T となり、VMS の後継を意識して名付けられたようである。

DEC の凋落(ミニコンから EWS、更にはパソコンへ)

DEC の業績(6 月期決算)を見ると、90 年頃に失速してしまう。それは、DEC の 1 chip CPU の開発の進展と軌を一にするかのように業績が悪化していく。

DEC業績推移(百万ドル)

売上	純利益	売上	純利益	売上	純利益	売上	純利益				
1977	1,059	109	1982	3,881	417	1987	9,389	1,137	1992	14,027	-2,796
1978	1,437	142	1983	4,272	284	1988	11,475	1,306	1993	14,371	-251
1979	1,804	178	1984	5,584	329	1989	12,866	1,073	1994	13,451	-2,156
1980	2,368	250	1985	6,686	447	1990	13,085	74	1995	13,813	122
1981	3,198	343	1986	7,590	617	1991	14,024	-617	1996	14,563	-112

一方、DEC に替わるかのように、80 年代初期に創立された UNIX 系の EWS メーカーが急成長して来る。

Sun Microsystems(単位: 百万ドル)

売上	純利益	売上	純利益	売上	純利益	売上	純利益				
85/06	115	9	90/06	2,481	111	95/06	5,902	336	00/06	15,721	1,854
86/06			91/06	3,260	190	96/06	7,095	476	01/06	18,250	927
87/06	538	36	92/06	3,628	173	97/06	8,598	762	02/06	12,496	-587
88/06	1,052	66	93/06	4,309	157	98/06	9,791	763	03/06	11,434	-3,429
89/06	1,769	61	94/06	4,690	196	99/06	11,726	1,031	04/06	11,185	-388

コンピュータ産業史の観点で DEC を見るなら、ミニコンピュータを半導体技術、ソフトウェア、通信技術の進歩と歩調を合わせ高度化させ、対話型計算システム、ネットワーキング、分散処理というパラダイムを打ち立て、メインフレームコンピュータに対し破壊的なイノベーションと言う技術水準まで高めることに成功したといえそうである。コンピュータサイエンスの最先端、例えば Bell 研や MIT、Stanford や UC Berkley などの研究機関などでデファクトとして利用されていたコンピュータは IBM のメインフレームではなく、DEC のミニコンであった。

69 年に Bell 研の Kenneth Thompson と Dennis Ritchie により UNIX が開発されるが、それは DEC の PDP-11(当初は DP-7)の為の proprietary な OS とさえ言え、PDP-11 に対するハード依存性が極めて高かった。

UNIX の改良・拡張が続き、ハード依存性の高いアセンブリー言語から C 言語に書き換えられるなど、徐々に PDP-11 への依存性を低下させ、78 年には Interdata 社^{*1}のミニコンへ移植されるなど、新たな展開が始まる。

Motorola の MC680x0(更には RISC プロセッサ)と UNIX の組み合わせは EWS への参入をかなり容易にした。日本でもコンピュータ系の 6 社に加え、松下、ソニー、シャープ、更に住友電工は MIPS Computer Systems とスーパーワークステーション S シリーズの共同開発を行い参入する。それらに加え、直接参入ではないが、久保田鉄工は MIPS Computer Systems の筆頭株主(2 位は DEC)であり、且つ、Arden Computer を傘下に持っていた。また日本鉱業が Gould のコンピュータ部門を 11 億ドルで買収している。その他、新日本製鐵が Concurrent Computer(旧 Interdata)と合弁の販売会社コンカレント日本を設立、川崎製鐵が Charles River Systems のコンピュータを輸入販売、旭化成工業が旭テクノコンピュータを設立し Stellar の販売代理店となるなど、80 年代後半には様々な企業が EWS にビジネスチャンスを見出す。そうした中、DEC は築き上げてきた優位性の多くを喪失し始める。

そして 93 年 7 月の Windows NT3.1(EWS 用)、94 年 9 月には Windows NT3.5、および 95 年 8 月に Windows 95(PC 用)が出荷される。ほぼ NT3.1/3.5 から 95 の出荷に至るまでの時期に一齐に UNIX(EWS)版のアプリ、特に CAD ソフトなどは NT および(未出荷)の 95 に移植されている。NT と 95 の共通機能を使い両 OS に対応させるというのが一般であったと思われる。95 の出荷される半年ほど前から 95 対応のアプリ(95 Ready^{*2})が既に出回っていた。それも当初は”とりあえず動く”程度で移植されたものも多かったようで、UNIX 版に比べると処理速度が極端に低下するものも多かった。この低速と言う問題は単にアプリ側の作り込みの問題が主であったようだ。

Windows NT3.5上でのCAD描画速度比較(95年2月日経CG)

	メーカー	線分	円	文字	
ICAD/SX	富士通	0.4	0.4	0.6	秒
CADPAC-WIN	デザインオートメーション	0.8	0.9	1.1	
Micro Station	Bentley Systems	1.1	1.0	0.8	条件
CADRA	MentorGraphics	1.3	1.2	2.0	CPU i486DX2 66Hz、主記憶20Mバイト
ME10	Hewlett-Packard	3.9	2.6	2.6	線分10,000本、円600個、文字40文字×30行
Century		2.5	8.3	1.6	

これらの CAD ソフトも UNIX 版では大した差異が無かったと思われるものが Windows NT 版では大きな差異が生じていた。富士通の ICAD/SX にしても高速の UNIX 版に慣れたユーザーから見ればどうにか使える程度だったと思われる。当時、富士通の ICAD/SX は富士通製の EWS では速度が十分では無かった様で、Sun Microsystems の EWS に全面的に切り替えられターンキーシステムとして販売されていたが、かなりの処理速度が求められていたようだ。95 が販売されるようになると ICAD/SX は急速に EWS からパソコンに切り替わっていた。Windows95 が 95 年 8 月、そして 95 年 11 月には i486(89 年 4 月発売)に比べクロック周波数が 3 倍近い Pentium Pro (150~200MHz) がリリースされており、ICAD/SX の場合には Pentium Pro 搭載版なら EWS と比べて特には遜色の無いレベルに達したものと思われる。これにより、主記憶や HDD の増設等をすると 200 万円程度の UNIX EWS から主記憶や HDD を増設しても数十万円程度のパソコンが CAD のプラットフォームとなって行く。この EWS からパソコンへの移行によるハード価格の低下は同時に CAD ソフトの価格低下を引き起こしている。当時、UNIX 版の CAD ソフトの場合、200 万円程度が中心価格帯だったと思われるが、パソコン版の場合は当初 100 万円程度に価格設定がなされている。ハードとのセットで UNIX 版が 400 万円程度だったのがパソコン版は 150 万円程度に下がり、価格弾力性の高い新規市場^{*3}が

大きく広がり、且つ Auto CAD 等の既存のパソコン CAD との競合もあり、そうした価格設定がなされたようだ。

初期的には CAD ソフトにおいては、ICAD/SX など一部のみが Windows への対応(Windows native)ができたのみであろうが、数年で特にクライアントに関してはパソコンへの移行がかなり進んでいく。Sun Microsystems も 90 年代末までは好調を維持していた。

*1 Interdata 社は 1966 設立。73 年に半導体露光装置メーカーの PerkinElmer に買収される、そのコンピュータ部門となるが、85 年に Concurrent Computer として分社・独立し、86 年に NASDAQ に上場される。

IBM System 360 に似たマイクロコードアーキテクチャーを採用しており、アーキテクチャー的には DEC のミニコンの対極に位置している。74 年に世界初の 32 ビットミニコンである Interdata 7/32 を DEC に先駆けて発売する。翌 75 年には 7/32 を発売するが、77 年にオーストラリアの Wollongong 大学(7/32)や Bell 研(8/32)によってこれらに V6 UNIX が移植され、DEC の PDP 以外で初めて UNIX が稼働することになる。直に、同系統のアーキテクチャーである IBM メインフレームやその互換機である Amdahl や富士通のメインフレームへも移植され UNIX は一挙に大型メインフレームコンピュータからミニコンに至る共通 OS へと進化を遂げることになる。また、Bell 研は UNIX のソースプログラムを公開しており、また UC Berkley の BSD 版は無償でライセンスされ UNIX は Open 且つ Free な OS として流通・発展していく。

*2 リストに挙げられた 6 種の CAD の内、ICAD/SX は Windows 95 に先立って開発(95 年 1 月と思われる)されるが、既に 95 年 8 月にリリースされる Windows 95 に対応していた。他の 5 種の Windows95 への対応に関しては不明だが、そもそも Windows NT3.5 にさえ十分に対応しているとは言い難い様なレベルのものが多い。

*3 パソコン CAD の新規市場としては、それまで導入が限定的であった中堅中小企業への裾野の広がりに加え、既存の大企業等のユーザーにおいても、部門で共有化されていたものが価格低下によりパーソナル化が進んでゆく。また、既に設置されているパソコン(Windows 95 以降)などにも CAD ソフトがインストールされるが、これらは一般に使用頻度の低いため、料金体系の異なるネットワークライセンス(接続端末数や同時使用数の制限による料金体系)などの比率が増えたりしており、販売数の数え方自体が曖昧化したりする。

CAD ソフトの場合、図面資産(過去に作成された図面を基に流用設計されるケースが多い)の蓄積が進み、これを継承することが必須であるが、ハードや OS が変わっても同一の CAD ソフトなら特には問題無く、メインフレームやミニコンから EWS への移行、更にはパソコンへの移行はスムーズであったようだ。但し、他の CAD ソフトへの移行に関しては、大抵の図面資産は容易に変換できるとは言え、様々なオプション機能や業種毎の特殊機能、更に CAM や CAE 機能などもリンクしており、他の CAD システムへの移行は簡単では無いようであり継続性が強いと言える。

それに比べると、OS や CPU などに対する異存はほとんどないと言えのかもしれない。ICAD/SX を見ると、敢えて自社製(富士通)の EWS を捨て、ライバルとも言える Sun Microsystems の EWS に切り替えているが、CPU も異なり、OS も UNIX 系とは言え Solaris に切り替える(最適化しフルに性能を引き出している)のはそれほど容易では無かったと思えるが。そして、Windows 95 には実質的には一番乗りの様である。CAD ソフトのプラットフォーム(ハード・OS)の動向を見ると、コンピュータ産業における継続性重視と言うのはほとんど意味をなしていない様にさえ思えるほどである。そんな拘りはそもそも皆無であり、性能が十分であるなら、コストパフォーマンスの良いライバルメーカーのハードでさえ、敢えて多大な開発費をかけてでも移行してしまう様である。MC680x0 とともに発展を続けてきた EWS は、より優れた MIPS や SPARC の登場により、あっけなく MC680X0 を見捨ててしまう。そして、MIPS や SPARC も直に見捨てられてしまうことになる。80 年代後半から 90 年代末までの間にコンピュータ業界は大きな変革の時代を迎えるが、CAD の動向を見ると理解し易い様である。

尚、ICAD/SX は 2020 年 11 月に iCAD SX V8 を販売開始しているが、これは 300 万部品の大規模な機械装置の 3 次元データを 0.2 秒で処理する性能を実現するなど、世界最高速の様であり、相変わらず高速な様である。

CISC と RISC

RISC (Reduced Instruction Set Computer)は IBM の John Cocke によって 74 年に考案された。これは多くの命令のうち実際に高い頻度で使われているのは限られた命令に過ぎないことに着目したものである。一般に 20/80 ルール(いわゆるパレートの法則)と云われるもので 20%の数の命令が 80%の処理に使われ、数

多くの追加された命令はかなり限界効率の悪いものであり、よって、命令セットを使用頻度の高い 20%の命令に制限し、それを **hardwired logic** で実装し高速処理を行い、他の 80%の命令は実装した命令を組み合わせることで実行することによって、全体としての処理速度は向上^{*1}するというものである。

一方、**microcode** 方式を採用する **CISC (Complex Instruction Set Computer)** はアSEMBラーレベルの命令セットを持ち、1 命令のアSEMBリコードで高度な処理を行えるが、その分プロセッサ内の回路が複雑になり、当初、回路の単純化の為に採用されたマイクロプログラム方式は逆効果となって来ていた。また命令を実行するために必要なサイクル数(クロック数)が増加するほか、**microcode** を解釈・実行するための負荷も大きい。しかしアSEMBリ言語で記述する場合^{*2}、高機能命令は一つの処理を記述するのに必要な命令数が少なくソフト開発の高率が高まる。また CPU 開発において回路設計と **microcode** 作成を分離でき、それぞれ独立に作業を進められ、ハードのバグ修正も **microcode** 変更というソフトの修正(ハードのバグにソフトによってパッチをあてる)のみで済むため柔軟に対応できる。そのためもあって、互換性を維持しながらの機能拡張が容易であるなどメリットがある。

現在では純粋な **CISC** はほとんど無く、93 年に発売された Intel の Pentium にしても x86 命令を直接実行するのではなく **RISC** 風の単純な命令に分解してから実行する方式となっており、x86 アーキテクチャーを継承しながらハード性能を高め **RISC** に対抗できる性能を実現している。

*1 特に IBM system 360 以降(60 年代半ば以降)は、マイクロコード(プログラム)方式が大型機からミニコン、更にはマイクロプロセッサにまで主流となってきていた。命令をマイクロシーケンサで逐次解釈・実行する為、コンピュータの中にさらにナノコンピュータがあるような構造(プログラマから見える命令セットと CPU の間に中間的な処理の層が介在)となっている。

マイクロコードを ROM 等に追加することによって、比較的容易に新規の命令を実装できたこともあり、命令数は増加の一途をたどっていた。命令数を増やすことにより、1 つの処理のために必要な命令数が減少し、ソフトウェア開発は容易になると考えられていたが、一方で、マイクロコード方式のコンピュータでは追加的な処理を要し高速化の妨げにもなっていた。

一方、命令を使用頻度の高い 20%のものに限定し、代わりに **hardwired logic**(布線論理)で命令を実装することで、命令を高速に実行できる **RISC** が誕生した。残りの 80%の命令に関しては複数の命令を組み合わせることで実行するが、これによる追加的な処理時間はそれほど多くなく、むしろ固定長命令や固定的な実行サイクルなどの採用によりパイプライン処理などが円滑化されることもあり高速化が可能になっている。高速化の要因は実際のところ固定長命令によるパイプライン処理の円滑化によるところが大きい。

尚、パイプライン自体は 83 年に発売された **CISC** である i80286 でも既に採用されており、更に 93 年発売の Pentium ではパイプラインの強化と共に、**hard wired** での処理の命令をかなり増やすなど **RISC** 風になって来ていた。半導体の集積度が現代に比べ低かった 90 年代には **RISC** の優位性が顕著であったが、その後は **CISC** も **RISC** 風になるなどもあり差は無くなっていると言えそうである。一方、**RISC** は **ARM (Acorn RISC Machine/Advanced RISC Machines)** に引き継がれていると言え、現在では **ARM** 系 CPU が Intel/AMD 系を凌いでいるとも言えそうである。尚、**ARM** 社はイギリスの電卓メーカー Sinclair を起源とする会社であり、Apple に見いだされ発展のチャンスを掴んでいる。現在はソフトバンクグループ HD の傘下にある。

パソコンの 32 ビット化の遅れ

MC68000(内部処理 32 ビット、外部データバス 16 ビット) が 79 年に開発されると、それらは先ず Appollo Computer や Sun Microsystems などの EWS に搭載される。続いて 83 年 1 月発売の Apple の Lisa、84 年 1 月発売の Apple Macintosh(84 年 MC68000→89 年にはフルの 32 ビットの MC68030)、同じく Tandy

TRS-80 Model 12(83 年 3 月)、Atari ST(85 年 6 月 MC68000→90 年 MC68030)、Commodore Amiga 1000(85 年 7 月)など主要なパソコンメーカーは 80 年代半ばには 32 ビット機を発売する。

そして Motorola は 84 年に MC68020(内部処理 32 ビット、外部データバス 32 ビット)が開発し、一方、Intel も 85 年には 32 ビット CPU の i80386(内部処理 32 ビット、外部データバス 32 ビット)を開発する。半導体製造技術の進歩は 80 年代半ばには既に 70 年代半ば頃の大規模メインフレームコンピュータの CPU を処理速度は遅いとは言え回路的には 1 chip 化ができる水準にまで達していた。32 ビットパソコンの時代が本格化することは、かなり明らかなことであったと思われる。あとは、IBM から 32 ビット機がリリースされるのを待つだけとも言えた。

IBM は 81 年 8 月に i8088 搭載の IBM PC を発売する。オープンアーキテクチャーであったため、OS の BIOS の著作権さえクリアできれば容易に互換機を開発できた。Columbia Data Products(82 年 6 月 MPC1600)や Compaq(82 年 11 月 Compaq Portable)がクリーンルーム方式を使い BIOS を開発し PC 互換機市場に参入したのを皮切りに参入が続く。Phoenix Technologies の様に BIOS を開発し外販^{*1}する会社もあり互換機参入は更に容易になっている。PC/AT(84 年 8 月)の互換 BIOS では Phoenix の他に Award Software、AMI、Quadtel などの参入もあり、互換 BIOS の開発・販売競争自体が激しかった様である。

そして IBM は 87 年 4 月に i80386DX を搭載した 32 ビットパソコンの PS/2 Model 80 (9,000 ドル)を発売する^{*2}。しかし、これはクローズドアーキテクチャーであり、基本的に IBM のプロプライエタリーシステムであり、既に大きく成長していた PC/AT に対する互換性^{*3}より、寧ろ IBM のメインフレームコンピュータからパソコンまでを一貫したアーキテクチャー(SAA: Systems Application Architecture)のもとで統合化を図ったものであった。その為もあって、32 ビットコンピューティングの普及は実質 IBM が単独で進めることになるが、32 ビット OS である OS/2 2.0 の出荷が 92 年 4 月と遅かったこともあり、機能を十分に発揮できなかったことや、互換機メーカーが追随できなかったこともあり普及は限定的なものとなり、結局、32 ビットコンピューティングは Windows 95 が発売されるまで待つことになる。

パソコンの場合、Windows 95 以前は基本的には 16 ビットである。32 ビット CPU の i80386 が搭載されていても、それは 16 ビットの高速版(Intel 互換 CPU メーカーは i80286 の高速化で対抗していた)として使われていたに過ぎないと言える。蓄積されたユーザー資産の継承のためハード・ソフトの両面における互換性が求められ、おいそれとは移行できなかったようだ。

*1 Phoenix Technologies が 81 年 8 月発売の IBM PC 用の BIOS を開発し外販するのは 84 年 5 月とかなり遅れていた。一方、84 年 8 月発売の PC/AT 用の BIOS に関しては半年遅れ程度で販売されることになり、AT 互換機への参入が早期に始まることになる。

*2 IBM は 87 年 4 月に 32 ビットパソコン PS/2 Model 80 の発売時に、16 ビット機の Model30(i8086 搭載)、Model 50(i80286 搭載)なども同時に発売している。但し、OS は 16 ビットの OS/2 1.0 を 87 年 12 月、更に 32 ビットの OS/2 2.0 は 5 年後の 92 年 4 月と遅れて出荷される。

*3 PS/2 はソフトウェア的には PC/AT との互換性を考慮したとはいえ、MCA(Micro channel Architecture)という新しい 16/32 ビットバスのアーキテクチャを採用したこともあり、既に大きく発展していた PC/AT 市場では;

- PC/AT とハードウェア的な互換性が乏しいこと、
- PS/2 は IBM からライセンスを受けざるを得なかったこと、
- PS/2 には IBM が開発したカスタム IC など入手困難な部品(およびモジュール)が多用されており部材調達が困難なこと、

- 32ビットコンピューティングの能力を十分に引き出すための32ビットOSであるOS/2 2.0の出荷が92年4月と5年も後であったこと、
 - 16ビットのi80286搭載のModel 60でディスプレイを込むと約7,000ドル、32ビットのi80386搭載のModel 80で約9,000ドルと価格が高かったこと、
 - コンシューマー市場で求められていたのは1000~2000ドル程度の価格帯であり、また、高性能が要求されるようなソフトはほとんど無く、表計算やワープロソフトが快適に動けば十分であり、
 - PS/2が対象とする市場はIBMのメインフレームを導入している企業向け市場が主体と言え、互換機メーカーにとっては参入しにくいこと、
 - 既に市場はEWSやPCなどでの分散処理時代に入りつつあり、メインフレーム離れが進んできており、メインフレームコンピュータを中心に据えたとも言えるSAA構想自体が時代にそぐわなくなってきたこと、
- 等々、要因を挙げたらキリがないが、PC/AT機からPS/2機への移行は限定的であり、IBMでさえPC/ATへの回帰を進めることになる。
- PS/2に対し、互換機メーカー9社(Compaq、Zenith Data Systems、Tandy、HP、Olivetti、日電、AST Research、エプソン、WYSE)により”Gang of Nine”が結成され、PS/2で採用されたMCA規格に対抗してEISA(Extended Industry Standard Architecture)規格が作成される。ただし、これはMCA同様に(以上に)普及するに至らず、ATバスが使われ続けられることになる。