

パネルディスカッション：マイクロコンピュータの過去・現在・未来

マイクロコンピュータの意義

The Significance of Microcomputers

森 亮一

Ryoichi MORI

筑波技術短期大学

Tsukuba College of Technology

1 はじめに

まず最初に、戦後から現在にいたる工業社会の特徴的な進展について振り返り、われわれの基本的姿勢を明らかにしよう。

日本の工業は、国民の勤勉性に支えられて戦後急激に成長したが、それに続いて環境やエネルギーの問題が広く認識されるようになった。これらの経験を通じて、われわれは環境の保全、公害の防止、資源およびエネルギーの節約などの諸条件をふまえた上で、安定かつ健全な経済の成長を目指すことが人類の繁栄のための最も主要な要件の一つであることを認識し、それを達成するための努力を続ける立場にあると考える。

マイクロコンピュータ関連産業は、このような目的のために非常に大きく、しかも、きわめて直接的な貢献をしており、今後もそれが継続することは明らかである。マイクロコンピュータは工業の各分野に新しい部分品すなわち「知能」を提供する。超小型であるという特長を活かして、知能という非物質的、非エネルギー的なものを提供する。このため、生産増大のためにも役立つ、同時に資源の節約のためにも役立つという、多面的な能力をもっている。

マイクロコンピュータは、その発明以来「革命」と呼ばれるほどの進歩を続けている。そのため、

その進展と産業や社会との関係についての種々の側面について明確にしておくことは重要な意味をもつ。以下の各節において、これらのことを明らかにしよう。

2 経済的基盤の確立

マイクロコンピュータはLSI技術によって実現されたコンピュータである。コンピュータの中心部である中央処理装置を、普通は1個、多くとも数個のLSIとして実現したものがマイクロプロセッサであり、マイクロプロセッサによるコンピュータがマイクロコンピュータである。

半導体技術は、集積度(一つのチップ上の素子数)が100個くらいまでの小規模集積回路(SSI)、1000個くらいまでの中規模集積回路(MSI)を経て、1970年頃には、さらに集積度の大きいLSIが市販されるようになった。この段階において、需要個数に関するつぎのような問題が起きはじめた。

当時のLSIの用途は、コンピュータ用のメモリと専用LSI(電卓やカメラなどの専用目的)の二つであった。ここで、メモリは集積度が大きくなれば使用される用途は十分広くなることは当然である。これに対して、例えば、電卓用の専用LSIを考えると、他の電卓用の専用LSIと複雑さや機能などは同程度であるにも係わらず、細部で異

なり共用できないのである。この場合、集積度は上がるが、その用途はむしろ限定されるという結果になる。これが大きな問題であった。

LSI 技術とは、ごく簡潔に表現すれば、微細な写真原版を用いて電子回路を複写し量産する技術である。そこで、

- (1) 生産諸設備と、原回路の設計およびマスク (写真原版) の生産のために大きい初期投資が必要である。
- (2) 量産するときの 1 個当たりの生産費増分は小さい。

という性質をもつ。したがって、LSI 製品は、

- (1) 生産数量が増すにつれて急激に価格が下がり、したがって需要がさらに増大するという正の循環が生じる。
- (2) 用途が限られ需要すなわち生産数量が減ると価格が上がり、したがってさらに需要が減ずるという負の循環が起きる。

という特徴をもつ。

ここで、上述の専用 LSI に関する問題を解決したのがマイクロコンピュータであるといえる。マイクロコンピュータはプログラムにより制御される LSI である。ソフトウェアをもつ LSI であるといってもよい。この性質によって、ハードウェアとしては同一であるマイクロコンピュータを、プログラムを変えることによって異なる用途に用いることができる。したがって、需要が増え、価格が下がり、それによってさらに需要が増えるという正の循環が起きた。この原理によって、半導体技術の持続的で急激な進歩を支える経済的基盤が確立されたのである。次節では、この点をもう少し詳しく見ていくことにする。

3 マイクロコンピュータと多品種少量生産

マイクロコンピュータにはつぎの三つの性質がある。

- (1) マイクロコンピュータはより大きなコンピュータに比べて、専用化に適する。
- (2) マイクロコンピュータは少品種多量生産製品であり汎用的製品である。
- (3) マイクロコンピュータは多品種少量生産製品への応用に適する。

これらの性質、特に (2) と (3) はたがいに因果関係にあつて、マイクロコンピュータの重要性の基礎である。

より大きなコンピュータは大かたれ少なかれ汎用的である必要がある。価格が高く物理的にも大きければ、なるべく多量の、したがって多種の仕事処理させる必要があり、機能や構成は必然的にある程度似たところに落ち着く傾向がある。これに対して、マイクロコンピュータでは、個性の強い多くの機種があり、専用機種といえるものもある。

ただし、専用機種であっても少量生産品ではない。マイクロコンピュータの 1 機種当たりの生産数量はミニコンピュータ以上のコンピュータに比べて何桁も多い。そしてこのことがマイクロコンピュータの低価格のもっとも重要な理由の一つである。したがって、マイクロコンピュータの一つの機種を開発するとき、それができる限り多くの需要を満たしうること、すなわち汎用的であることが設計の重要な指針となる。カメラ用などに特注品があり、また市販機種でも電卓用、洗濯機用などの専用機種があるが、これらの専用機種は、いずれも 1 機種当たりの需要が極めて多量なものに限られるのであり、少量の用途に専用機種を開発することはよいやり方ではない。

マイクロコンピュータがこのように少品種多量生産製品でありうる理由は、プログラムの変更によって1種類のマイクロコンピュータがきわめて多くの異なる機能をはたすことができるからである。これが、マイクロコンピュータと、機械的製品や布線論理による電子的製品との最大の違いである。たとえていえば、プログラムを変えることにより、自動車が飛行機になるような変化だけではなく、タイヤがエンジンになるようなことが可能だと考えてよい。

これは、コンピュータが物質やエネルギーではなくデジタル情報というきわめて一様なものを取り扱うことと、マイクロコンピュータが著しく低価格、小型であることによって可能となるのである。この理由によって、マイクロコンピュータ自身は多量生産品であるが多品種少量生産品に適するのである。

プログラムを変えることによって機能を変えるこの方法は、従来の機械的製品や布線論理による電子的製品における機能変更に比べてはるかに容易なので、単に種々の専用製品、少量生産製品をこれによって実現するだけでなく、従来実現できなかった新しい応用が可能となる。

ただし、プログラムを変えることによって機能を変えうるこの性質は、マイクロコンピュータの性質、すなわちマイクロコンピュータ応用製品のうちの情報処理部分の性質である。マイクロコンピュータ応用製品においては、マイクロコンピュータと外部の世界とをつなぐハードウェアが応用製品の本体であり、プログラムはそれを制御するためのものである。このハードウェアはきわめて重要である。一般に、マイクロコンピュータで本体の機能の本質的欠点を補うことは不可能かまたは非常に高価になる。一方、プログラムによって、本体のもつ諸機能をきめ細かく組合せ、調和のとれたシステムにすることは非常に有効な場合が多い。

4 論理の複雑さによる位置づけ

この節では、社会における既存の論理機能(特に人間の脳)の論理的複雑さとマイクロコンピュータのそれとの比較について検討する。

この場合、われわれはそれらの内容の質についての最適な評価方法をもたない。なぜなら、マイクロコンピュータの能力そのものは、内在するプログラムによって、より詳しくいえば、そのコンピュータが現在ある論理状態によって異なるからである。したがって、われわれは能力そのものではなく、能力の容器の大きさをもって評価する手法をとることにする。

人間の場合にも、多くの生理学的研究などのようにある能力そのものの断面に注目するのではなく、能力の大きさのみに注目することにしよう。このようにすれば、評価は比較的容易である。

これは、建坪によって建物の性能を比較し、また号数の大小によって絵画の水準を比較しようとしているのであり、それが一定の危険を伴うことはいうまでもないが、これが現在できる最良の方法であると考えられる。

マイクロコンピュータが最初に生まれたとき、そのゲート数は約 $10^{2.9}$ であった。1ゲートを約 $10^{0.5}$ 個の素子に換算するとこれは二値素子の個数にして約 $10^{3.4}$ に当たる。現在のマイクロコンピュータチップは 10^5 を越えたものが多くある。これらは、マイクロコンピュータチップのみの評価であるが、記憶空間の大きさは、8ビット・マイクロコンピュータでは $10^{5.7}$ 、32ビット・マイクロコンピュータでは 10^9 を越えるものがある。

つぎに人間の脳を二値素子の個数に換算することを考える。アボガドロ数が 6.023×10^{23} であるから、これに仮に 1kg を掛け、炭素 C の原子量 12 で割れば、約 10^{26} という数字を得る。この数字を人間の脳を構成する二値素子の個数に対応すると見なすことは、以下に述べるような理由によって

妥当なものである。

- (1) 炭素原子 1 個または水素原子 6 個は明らかに 2 状態以上をとりうる。したがって、実際の数値は、 10^{26} より大きくなる。ここでの要旨は、この数値が天文学的に大きく、われわれのもつ最大級のコンピュータもこれに全く匹敵できないということにある。
- (2) これらの原子は、空間的に異なる位置をとりうるので、可能な状態は 10^{26} のさらに何乗かになる。
- (3) 原子の代わりに分子あるいは塩基をとっても、大局を変えることはない。
- (4) 脳を構成するおよそ 10^{26} の素子がとりうる組合せについて、ある制限があるという点について、本論文が比較しようとする脳と電子計算機とは同一である。すなわち、電子計算機の中央処理装置における素子の構成および主メモリ内におかれる情報の構成は、ランダムではなく、設計者および使用者によって最適な構成が選択される。これに対して、生物の脳やその他の組織の分子の原子的構成もやはりランダムではなく、本論文の意図する議論の水準においては最適化されているとみなしてよい。

一般に、過去にさかのぼるほどに生体の機能が低く評価されてきたことは議論の余地のない事実である。例えば視覚や学習あるいは分子レベルにおける遺伝機構の解明など、研究が進むほど生体の機構が一種のデジタル信号処理系であって、その緻密さが分子の水準にまでさかのぼることは確実になりつつある。したがって、本論文の上述の推定は一つの漸近線として妥当なものであると筆者は考える。

上述のようにマイクロコンピュータは $10^6 \sim 10^9$ の論理的複雑さの水準に現在あるが、この値は非

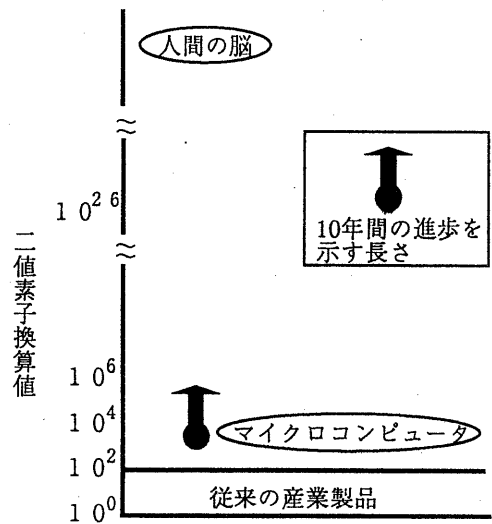


図 1: マイクロコンピュータと人間の脳の比較

常に急激に変化しており、集積回路の 1 チップ当たりの集積度は年におよそ $10^{0.15}$ の速度で増大しているのである。

以上の関係を図 1 に示した。

結論をまとめればつぎのようになる。

- (1) マイクロコンピュータを含むすべての産業製品の低い水準と、人間の高い水準との間には、天文学的な隔りがある。
- (2) 集積回路技術の急激な進歩が持続している。

ここで、特に現在の状態がきわめて特殊なものであることを強調するべきである。 10^{26} よりはるかに高い人間の知能の水準は、われわれが達成するかもしれない論理的複雑さの最終段階であるか、もしそうではないとしても一つの重要な段階である。上で述べた論理的複雑さの水準を縦軸にとると、百万年を超える長い期間ほとんど 10^0 の軸に密着したまま水平に存在したものが、毎年の進歩を $10^{0.15}$ とすればおよそ 200 年ほどの間にほとんど垂直に、機械が人間を超えるかもしれないという決定的なある水準へと上昇し始めているのだと

いうことができる。この上昇は、近年における産業革命に始まったといえるし、遠く見れば有史時代そのものがこの急激な上昇の始まりに当たると見ることもできよう。いずれにせよ、われわれはきわめて急激な、そしていまだかつて経験したことのない変革の時代にいるのである。

5 社会との関わり

1950年頃から始まった一つの期間が人類の歴史における区切りとして重要な意味をもつことはまちがいない。この期間の特徴は、マイクロコンピュータに象徴されるコンピュータ技術と集積回路技術である。これを契機として社会は大きく変わった。そう考える理由はつぎの二つである。

- (1) 人類はここではじめて「知能」を産業製品としてもつようになった。人類が他の生物に対して優位に立てるほとんど唯一の理由はその知能にあることを考えると、このことの意義がどれほど本質的で、かつ、限らない可能性を含むかは容易に想像できる。
- (2) かつては、億を越える高価な価格の機械と同程度の論理的複雑さや能力をもつ製品が千円あるいはそれ以下で販売されるようになっていく。すなわち、この高々30数年の間に、価格が数万分の1に低下しており、しかも、今後さらに何十年かは同様に急激な低下が続くと予想される。

上述のようにこの区切り点は、1950年頃のコンピュータの出現によって始まった。したがって、つぎのような考えかたが述べられるのは当然である。

この区切り点は要するにコンピュータ時代の始まりである。その後に出現したマイクロコンピュータ等もまたコンピュータにすぎず、単に量的な向上が起こった

だけであり、本質的には何も変わっていない。

もし、この考えかたが正しいならば、マイクロコンピュータを特別に扱う必要はない。ところが、現在、社会で起こっている現象は、マイクロコンピュータを特別に扱う必要があることを強く示唆している。では、上の考えのかたどこに誤りがあるのか。これについては、つぎのように考えられる。

上記の考えかたの誤りは、コンピュータすなわち工業生産された知能(以下、論理機能と読み換えてもよい)が、社会における既存の知能と競合する関係を十分に把握していないところにある。

図2によって説明しよう。コンピュータが出現するまで、社会には大別して2種類の知能があった。一つは生体、とくに人間の知能である。他の一つは、冷蔵庫が庫内の温度に従って電動機を起動したり停止したりするような単純な機械的知能である。

マイクロコンピュータ以前のコンピュータは非常に高価であった。それだけの費用を投じて、人間が容易にできることを、人間よりも下手に遅く処理するのでは価値がない。そこで、マイクロコンピュータ以前のコンピュータは、人間の高度な知能と競争するという、その能力とはかけ離れた重い荷物をはじめから負わされていたのである。このため、「コンピュータはパターン認識が苦手である」とか、「コンピュータは柔軟性に欠ける」などと言われるようになった。

ところが、マイクロコンピュータは安価なので、初期の競争相手は人間ではなく、冷蔵庫などのような単純な機械類である。これらの競争相手に比べれば、マイクロコンピュータの方が、パターン認識や柔軟性に優れているという、一見逆説的なことが成り立つのである。ここで、社会とマイクロコンピュータの将来にとって最も重要と考えられる残された分野について述べよう。

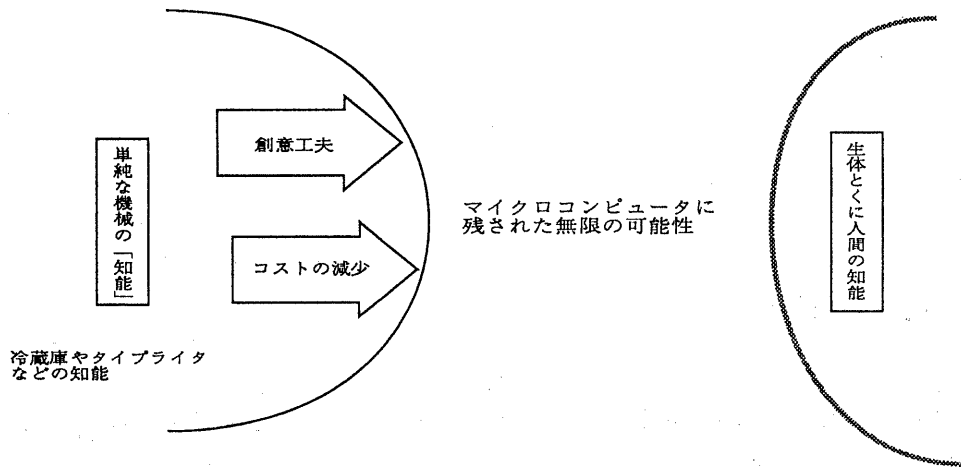


図 2: マイクロコンピュータの可能性

図 2において、左側の分野(単純な知能)と右側の分野(複雑な知能)の間には、非常に大きな隔りがある。冷蔵庫の知能と大型計算機の知能の論理的な複雑さは著しく異なる。これらと人間の知能との間にはさらに大きい天文学的な違いがある。それでは、これらに間に本質的な越えられない線のようなものがあるのか。そのようなものがないことは明確に知られている。

ではなぜこの空隙が存在しているのか。それはこの空隙の範囲の知能が、人類の歴史において、実用化可能な費用で提供されることがなかったからである。一言で言えば、「マイクロコンピュータがなかったから」である。

単純な機械では、その知能は機械的に実現された(たとえばタイプライタがベルを鳴らす)。このような知能は、実は、社会のあらゆるところに存在する。玄関の扉を鍵で開くことなども知能であると考えられる。ただ、機械的に実現された知能の性能/価格比は著しく低く、したがって、それによって実現できる論理の複雑さには限度があった。このために、中心となる骨組みの論理以外は実現されなかったのである。

たとえば、内燃機関を例にとろう。燃料のエネルギーを回転エネルギーに変換するための機械的論理は実現され、また、この回転エネルギーを大きくするための機械的論理も実現された。しかし、エネルギー変換の効率を論理的に最良値に十分近づけるための機械的論理は実現されなかった。第一に、機械的装置の性能、特に論理処理速度が不十分であったし、また仮にできたとしてもその費用が大きすぎて、節約されたエネルギー量に相当する金額では到底見合わなかったからである。

このために、中間の無限の分野が人間にとって未知の分野として残されてきたといえる。マイクロコンピュータによって、われわれは、数ミリ角のシリコン小片上に、千分の数ミリ角以下の素子を単位とする論理構造を、実用可能な費用で作りがつ組み合わせることが可能となったのである。ここで、従来とは性能/価格比がまったく変わったのである。

そこで、この領域の未来は「われわれの創造性」というただひとつの条件だけに依存することになる。創造性には当然の前提条件としての技術的習練が必要であることは付け加えておかねばならぬ

い。他の産業においては、この創造性と同様な条件として費用の問題があった。しかし、この費用の点で、マイクロコンピュータは著しい特長をもつ。すなわち、電子的論理素子の価格は、およそ6年余ごとに1/10になるという急激さで低下しているということである。この低下は、今後何十年かの間は継続することが明らかである。このことは、多くのマイクロコンピュータ応用において、その実現は時間の問題であることを意味する。すなわち、他の産業において重要な問題となる「費用」の困難は、マイクロコンピュータの応用の多くについて、ある意味では存在しないのである。

6 マイクロコンピュータの影響

これまで、マイクロコンピュータのいくつかの側面について述べてきた。この節では、マイクロコンピュータの誕生から現在までの間にどのような変化が起こったかについて述べ、その変化とマイクロコンピュータの基本的性質がどのように関係しているかを解説する。

(1) ハードウェア性能の優劣よりむしろソフトウェアの比重が系の性格を特徴づけるようになった

マイクロコンピュータの集積度の向上は持続し、大量のマイクロコンピュータの需要を創出することによりさまざまなメリットが生まれる。したがって、従来はソフトウェアで提供されていたような種々の汎用的な機能をハードウェア化することには大きなメリットがある。しかし、社会でのマイクロコンピュータの応用において、ハードウェア化が容易である分野と、容易でない分野があることはこれまでの経験から明らかである。たとえ計算量が巨大であっても、論理的複雑さや不規則さが小さいような処理は、ハードウェア化が容易であると考えられる。このようなハードウェア

化が進化した例として、デジタルシグナルプロセッサや3次元ICを利用した画像処理用プロセッサなどが代表的である。

(2) 世代間移行性の重要性の認識と開放型システムの定着

既存系との互換性の保持の問題は、あらゆる分野で重要な問題である。マイクロコンピュータ応用製品においては、いつかは次世代の機種に移行しなければならないという宿命がある。この移行時に、それまで蓄積した開発支援のハードウェア・ソフトウェア、社内技術者教育、周辺機器などを継承できるようにすることがメーカ、ユーザ双方の利益になる。このため、世代間の移行性が機種選定の重要な基準になった。これに対して、機種選定の理由としての性能のもつ意義は、相対的に小さいものとなった。なぜなら、同一世代の機種間の性能の優劣は、その世代の機種の性能と次世代機種のそれとの差にくらべてはるかに小さいからである。また、世代間の移行の困難さにくらべても小さいからである。このような経験を通して、開放型システムの重要性が認識され、現在では異機種間の接続が常識となっている。

これに関連して、別の見かたをしてみよう。開放型システムでは、周辺機器の接続、ソフトウェア資産の継承、ネットワーク環境との整合性が特に重視されている。したがって、外部バスやネットワークプロトコル、オペレーティングシステムは標準化が行われたかあるいは行われている最中である。しかし、それらを動作させるマイクロコンピュータの標準化は、行われなかった。大型計算機分野では、命令セットでの上位互換性が最大の要求であったことと好対照をなしている。UNIXワークステーションのCPUがCISC中心か

ら、RISC 中心へと変化したことをみると興味深い。これは、従来は融通がきかないと考えられていたハードウェアが、マイクロコンピュータの出現によって、われわれの創意工夫に基づいて柔軟に設計できるようになったことの一つの証明である。

(3) あらゆる方向への多用化が進んだ。

マイクロコンピュータの性能/価格比が継続的に向上するという性質は、その応用に対する潜在的エネルギーを蓄積し続けていることを意味している。このエネルギーは、開放される必要があるが、これは、通常二つの分野に向けられる。一つは、新応用分野の開拓であり、もう一つは、既存系との競争である。これらの新分野として、代表的なものは日本語データ処理技術(日本語ワードプロセッサ)であり、デジタルオーディオの進歩である。ここで、マイクロコンピュータの著しい特長によって、このような新分野を開拓したのちにも潜在エネルギーの蓄積は継続し、同一分野内での多様化の方向に発散されるということに注目すべきである。処理の複雑さとその時点でのマイクロコンピュータの能力を注意深く吟味し、創造性を発揮することにより、種々の分野に大きなブレイクスルーが得られることが示されている。

7 むすび

マイクロコンピュータは、さまざまな工業製品に「知能」を提供し、かつ広範な産業領域に刺激を与えつつ自らも発達してきた。その歴史から見て、きわめて大きなポテンシャルをもっていることが明らかである。また、マイクロコンピュータの特質はその多様性にあるため、技術のわずかな進展が多方面で結実してきた。そのため、工業製品の発達を表面的に眺めていたのでは、マイクロ

コンピュータの本質に由来する発展の方向性を見定めるのは困難である。ただ、基本的につきのことがいえるだろう。

マイクロコンピュータの発達によって、われわれの文明が機械的色彩を強めるであろうという考えは誤りである。むしろ人間に比べて、コンピュータを含む従来の産業諸製品がどれほど幼稚であったかが明らかになってゆくだろう。現在までに、機械が人間に比肩し、また陵駕しうるかのようには考えられたところは、実は、きわめて限られた分野なのである。

また、機械は人間の肉体労働の必要性を減じたが、人間の価値を減じることはなかった。同様に、マイクロコンピュータは人間の単純な計算・記憶・制御の能力の必要性を減じるが、人間の価値を減じることはない。人間の高度な機能の多くは、少なくとも歴史的な長さにわたって、機械に卓越することが広く認識されるようになるだろう。

マイクロコンピュータの応用は、人間のもつことも高度な諸機能に向かって、無限の進歩を続けるだろう。このような機能として、知・意・情のうちで、従来、工業にかかわることの少なかった後者の重みが増すことになる。すなわち、今後のマイクロコンピュータ応用において、従来に比較して、より留意すべきところは、まず人間の情、すなわち、情感・嗜好・趣味のような高度に総合的な機能にかかわるものであると考えられる。

参考文献

- [1] 日本電子工業振興協会：“マイクロコンピュータに関する調査報告書”，昭和 50, 51, 52, 53, 54, 55 年版
- [2] 森 亮一：“マイコンの位置づけ”，「マイコンストーリー」(誠文堂新光社，昭和 62 年)，pp.63-79