

解 説

マイクロコンピュータの展望*

元 岡 達**

1. はじめに

マイクロコンピュータやマイクロプロセッサが手軽に入手できるようになり、また多くの分野で将来その利用が予想されることから、いろいろな機会にいろいろな場所で、さまざまな角度からマイクロコンピュータがとりあげられ、論じられている。

我が国ではマイクロコンピュータという言葉の方がマイクロプロセッサよりも親しみやすいためか、一般にマイクロコンピュータとして論じられているが、マイクロプロセッサの用途はコンピュータに限らず、より広い分野にわたっており、技術の本質もマイクロプロセッサにあると考えられる。したがって本特集の題もマイクロコンピュータとなっているが、ここではマイクロプロセッサ一般について論ずることにする。

ここでいうマイクロプロセッサとは、1ケ及至数ケの LSI によって構成できるプログラム記憶方式のプロセッサである。マイクロコンピュータは狭義ではこのマイクロプロセッサを中心に記憶や入出力装置をつけて構成した小形の汎用コンピュータを指す。ただし我が国では CRT 表示装置や POS のインテリジェント化にマイクロプロセッサを用いる場合などにもマイクロコンピュータと呼ぶ場合が多い。マイクロプロセッサの用途としては従来のコンピュータでは到底考えられなかったような小規模な装置の制御などの用途も考えられており、コンピュータの既成概念から脱してより広い応用分野を開拓してゆくためにマイクロプロセッサと言う用語を普及させることが望ましい。

以下にマイクロプロセッサとその周辺技術の現状について概観し、今後の方向について私見を述べる。

2. マイクロプロセッサ発達の経過

マイクロプロセッサが世の注目を集めるようになったのは 1971 年末に米国の Intel 社が 4004 と呼ばれる 4 ビットのプロセッサを PMOS の 1 チップ上に実現した製品を発表した時以来である。4004 出現の動機は電卓の LSI 化技術の発達と、RAM の出現を背景にプログラム制御方式の汎用カリキュレータの実現にあったといわれている。

引き続いて発表された Intel の 8 ビットプロセッサ 8008 は CRT 端末の制御を主目的に開発されたもので、一般の制御に利用したり、マイクロコンピュータとして用いようとする、その周辺に多くの IC を配置する必要があり価格の低減に余り貢献しないという批判が多かった。

Intel 8008 が 18 ピンの LSI であるのに対してこれと upward compatible の Intel 8080 は NMOS の 40 ピンの LSI となり、外部バスの中も広がり、割込みも 8 レベルまでプロセッサ内で取扱えるようになった。ミニコンピュータの下位につながるマイクロコンピュータとしての役割をはっきり意識した製品となっていると言える。

我が国では東芝が 12 ビットのプロセッサを 1974 年に発表している。制御用コンピュータとしての用途を意識し、周辺の記憶や制御回路を同時に準備して LSI ファミリの思想を打出した点で高く評価できよう。その後次々に新しいマイクロプロセッサが発表されており、1974 年中に米国では 45 種以上のマイクロプロセッサが発表されたというし、我が国においても各社が次々にマイクロプロセッサの市販を開始している。

表-1 (次頁参照) は国産マイクロプロセッサの概要を示したものであるが、4 ビット、8 ビットのプロセッサのほか、16 ビットのものも日電等から発表されてお

* Recent Trends of Microprocessors by Tohru MOTO-OKA
(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Tokyo)

** 東京大学工学部電気工学科

表-1 国産マイクロプロセッサ

名 称	μCOM-4	HMCS-4	HMCS-81	μCOM-8	M-58710S	MB-8861	TLCS-12	TLCS-12A	μCOM-16	L-16A
メーカ名	NEC	日立	日立	NEC	三菱	富士通	東芝	東芝	NEC	パナファコム
市販開始年	73/Ⅲ	75/Ⅰ	75/Ⅱ	75/Ⅰ	75/Ⅱ	75	74/Ⅲ	75/Ⅱ	75	75
プロセス	N-MOS	PMOS	PMOS	NMOS	NMOS	NMOS	PMOS	PMOS	NMOS	NMOS
ビット数	4	4	8	8	8	8	12	12	16	16
チップ数	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
電源(V)	12, 5, -5	-10, 5	-12, -5, 5	-5, 5, 12	-5, 5, 12	+5	-5, 5	-5, 5	-5, 5, 12	12, 5, -3
動作温度範囲	-10°~70°	0~70	0~70	-10~70	0~70		-20~80	~20~80	-10~70	
ピン数	28	16	40, 42	42	40	40	42	36	42	40
クロック(MHz/フーズ)	1/1	0.74/2	3/2	2/2	2/2	2/2	1/3	1.2/1	2/2	2/2
I/Oインターフェースチップ	I/O		I/O	I/O		I/O, BD	I/O, BD* GR, I	I/O, BD, GR, I	I/O	SCA, DMAC
制御方式	直接	直接	μp	直接	直接	直接	μp	μp	μp	直接
割込み数(ピン数)	—	—	8	1	1	3	8	8	1	3
スタック操作DMA	○ —	— —	○ ○	○ ○	○ ○	— ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
記憶容量	8KB, 4K×4KB, 1280×9		65KB	65KB	65KB	65KB	4KW	4KW	65KW	65KW
レジスタ加算速度(μs)	5	10.8	6μ	2	2	2	13	10	10	3
スタックレベル	4	3	265	RAM			RAM	RAM	4	RAM
レジスタ数	17		23	7	7	3	13	6	16	5
命令数	55	46	79	78	74	77	32(17**)	19	4*	33
備 考		4004 とコンパティブル		8080 ソフトコンパティブル	8080 ソフトコンパティブル TTL フルコンパティブル	MC 6800 ピン並びにソフトコンパティブル	*BD: Bus driver GR: General Register **基本命令		*マイクロ命令	

り、性能的にもミニコンピュータの初期のものとならぶ仕様のものになっている。

16ビットのマイクロプロセッサは低価格のミニコンピュータを目指したものが多く、Western Digital社のMCP-1600はDEC社のために開発したマイクロプロセッサであり、PDP-11をエミュレートしている。16ビットのマイクロプロセッサを1チップで実現したものもあるが、数チップに分割し、マイクロプログラム用の制御記憶も別にして高級機種をねらったものが多い。日電のμCOM-16は演算部、制御部に分かれており、制御記憶用ROMもこの外に必要なが、可成りの範囲のアーキテクチャをエミュレートできる機能をそなえており、今後のマイクロプロセッサの一つの方向を示すものと言えよう。

マイクロプロセッサの高級化の方向は、データのビット巾のほかに、周辺とのインターフェース、速度など、いろいろな方向を指向している。

高速化の方向として、マイクロプロセッサのバイポーラ化がある。低電力ショットキ・バイポーラによるものが殆んどであるが、TI社ではI²L構造の4ビットスライスの演算部を発表している。集積度の制限から、ビットスライス方式をとっているものが多く、

Intel社の3000シリーズは2ビットスライスの演算部を何個かと制御部、ROMなどの組み合わせでマイクロプロセッサが構成できるようになっている。サイクルタイムは85nsであり、16ビットの加算が300nsで実現できる。

集積度の限界を打破する方向として上述の例のようにビットスライス方式によるほかに、汎用モジュールによる方向がある。これはレジスタ転送レベルの汎用機能回路をLSI化し、この組み合わせで、マイクロプロセッサを実現しようとするものである。Fairchild社のマクロロジックはこの方向を目指したものであり、ビットスライス方式と両立して発展することが期待される。

このように数多くのマイクロプロセッサが発表され、今後とも新しい特色ある機種がでてくるものと思われるが、一方では標準化とまではいかなくとも機種が整理されることが望ましい。1974年に米国で市販されたマイクロプロセッサのうち、Intel社、Reckwell社、National Semiconductor社の3社で全売上げの85%を占めているとのことである。この比率は低下するにしても機種の整理は進むものと期待される。このことはマイクロプロセッサを利用するのに可成りの

程度のソフトウェア開発援助システムを用意する必要があり、また開発技術者も各種の機種に精通することの困難さから、限られた機種のうちから選択利用する傾向が強まることが考えられ、これらの要素が機種の整理に拍車をかけるものと思われる。

3. マイクロプロセッサの特徴

マイクロプロセッサが今日多くの分野から注目をあび、急速な発展が予想される理由は、マイクロプロセッサが従来のものにない顕著な特色を持っているからである。

先ず第一にマイクロプロセッサに期待できることは従来の集積回路によって構成される論理装置に比して桁違いに安価に論理装置を作成できるであろうという期待である。マイクロプロセッサの価格は一年の間に数分の一になるといった急激な値下りが続けており、今日なお下りつづけている。一年前に 10 万円近くしたプロセッサが今日では一万円程度で購入できるし、米国では、小形のものでは 10 ドル以下、高級のもので 50 ドルから 100 ドルとのことである。今後 2 ドルから 12 ドルを目標に値下りすると期待されている。

単に LSI パッケージの値下りだけでなく、プリント基板の小形・簡単化や電源の小形化が装置全体の低コスト化に大きく貢献しよう。

第二には、低価格化にともなって、従来複雑な制御をあきらめていた分野に計算機制御に類する高級な制御方式を導入できる可能性が生れてきたことである。自動車や家庭電気器具のようなものの制御に用いられる日も訪れることだろう。このことは将来の発展のために最も重視したい特徴である。

第三に、設計コストの低減が期待されていることがあげられる。論理回路の IC 化によって電氣的な知識が殆んどなくても論理装置の設計ができるようになったというものの、矢張り雑音の問題、タイミングの問題等皆無ではないし、試験の手数もわずらわしい。プリント基板の手直しをさけるために誤りのない設計を目指すことも、複雑な回路構成になると厄介な仕事である。マイクロプロセッサによってこのようなハードウェア設計の仕事の大部分がプログラム作成作業というより容易にみえる作業におきかえられるという期待である。しかしこのことを設計コストの低減と安易に結びつけることには危険がある。

第四には信頼性向上に対する期待である。電子回路の信頼性は接点やパッケージ間接続点の数によって支

配されることが多い。LSI 化によって、パッケージ数が大巾に減少するから外部環境に直接さらされる接続点数は桁違いに減少し、これがシステムの信頼性に大きく貢献することであろう。論理装置が安くなるから、システムの信頼度向上のために冗長な論理を付加することが可能になることもあげられる。

このような一般的な特徴から、明日にでもすべての論理装置がマイクロプロセッサによって構成されるようになると思うのは言うまでもなく早計である。現実のマイクロプロセッサには尚多くの制約があり、今後克服されなければならない多くの問題をかかえている。

先ずアーキテクチャの面からみると、少品種大量生産を前提とする技術を基盤としているために、汎用性に重点がおかれ、特定の目的からみたととき、必ずしも能率のよい構成になっていない。LSI パッケージのピン数の制限もアーキテクチャを制限する原因になっている。一方では MOS 技術が主流であるため、アーキテクチャの不備を速度でおぎなうことができない。この問題を更に詳細に述べてみよう。

マイクロプロセッサ用 LSI には当初 20 ピンのものが用いられていた。主記憶や入出力制御装置は当然この LSI の外部にとりつけられるから、これらに対するデータ転送用及び制御用の線はピンを通して外部に接続されなければならない。この線の本数を減らすための努力として入出力装置を主記憶の一つのアドレスのようにみなし、両者に対するインターフェースを共通にしている例が多い。更にデータ転送線の本数を減らすためにデータを半語長単位に 2 度に分割して転送したり、アドレス指定線をデータ転送線と共通にし、しかも数度に分割して転送するなどの方式がとられている。このような方式はピン数の節約にはなるが、主記憶や入出力装置とプロセッサ間のデータ転送に多数のマシンサイクルを必要とすることになり、低速化するわちプロセッサの性能低下につながる。他リソースへのデータ転送速度とピン数との間のトレードオフは使用目的を考えて慎重に考慮する必要がある。また初期のマイクロプロセッサではピン数の制限等から割込み機能がなかったり、あっても非常に貧弱で、このため入出力装置の効率的な制御が困難であったり、外部に多数の論理回路が必要になってシステム全体のコスト上昇の原因になり、不評をかった。当然のことながらインターフェースの制御線の節約も外部論理回路を複雑にすることにつながり、マイクロプロセッサを

使いにくいものにしてたり、システムのコスト上昇をまねくことになり勝ちである。このような事情からピン数は次第に増加する方向にあり、40本以上使うマイクロプロセッサが増えてきている。

マイクロプロセッサの規模の第一の目安は語長すなわちレジスタ類のビット数であり、4ビット、8ビット、16ビットが主なものであるが、12ビットのものもある。ビット長が長くなれば当然バス巾が長くなるのでピン数が増し、また一般に1チップ内のゲート数も増す。16ビットにもなると一つのチップ内にプロセッサの全機能を格納しようとするは無理が生じ、汎用的なものは作りにくくなるので、演算ユニットと制御ユニットといった分離が行われているものが多い。またマイクロプログラム制御方式をとって制御記憶も別チップになっているものが多い。マイクロプログラム制御方式をとり、制御記憶を別チップとすることは、プロセッサの速度向上の観点からは一般に得策ではないが、プロセッサに複雑な機能を付加したり汎用性を持たせるためにやむを得ない選択と考えられている。

目的向きにマイクロプログラムを書きなおせば、一般の機械語を使う場合に比して可成りの高能率を達成できる可能性があり、これがマイクロプロセッサでマイクロプログラム制御が用いられる理由の一つである。

しかしこれを実際の個々の応用分野で達成するためにはマイクロプログラムの作成を応用システム設計者に開放し、応用システム設計者が十分に使いこなせる必要がある。しかしこの条件は今日までのところ十分達成できているとはいえない。マイクロプログラミングの開放の困難性は、使用の際の制限条件を十分に明らかにすることのむずかしさや、使用説明書を完備することのむずかしさにあるといわれている。ユーザ側の困難さとしては、理解のむずかしさとマイクロアセンブラやシミュレータなどの不備によるプログラム作成のむずかしさがあげられる。一方では周辺記憶など各種の制御装置の設計には今日でもマイクロプログラム技術を用いることが一般化してきており、マイクロプロセッサのマイクロプログラミングをユーザに開放することは徐々に浸透してゆくものと考えられる。マイクロプロセッサの場合、データのビット巾の制限(ピン数の制限)から余り長いマイクロ命令は考えられず、32ビットが限度であろう。したがって垂直形のマイクロ命令となり、コード化も進んでいる。マイクロ命令の形式が余り複雑な構成にはならないので、マイ

クロプログラミングも余りむずかしくはならない。

別の言い方をすれば、マイクロ命令のビット数の制限から、同時に並列に制御されるバスの数に限界ができるために、複雑なアーキテクチャはとれないということである。チップ内部のゲート数に対する制限からも勿論バスの数に対する制限が生れる。このこともマイクロプロセッサの性能に限界を与える大きな要素になっている。

マイクロプロセッサの信頼性に関連する問題として、今日市販されているマイクロプロセッサにはパリティチェック回路のようなものはどこにもない。当然のことながら誤動作を発見した場合の再試行のために特別に用意された機能のようなものは見当たらない。システムの信頼度向上のために必要ならば、すべて外部に適当な回路を付加するなり、2台以上のマイクロプロセッサを並列動作させて比較するなどの手段をとらなければならない。

マイクロプロセッサ自体の価格は大中に低下することが期待できるとしても、その周辺に使用される制御回路や記憶の価格が余り下らないのではシステム全体の価格低減にはつながらないことになってしまう。たとえばマイクロプロセッサを使って周辺機器の制御装置を作った場合、制御装置の価格が大中に下ったとしても周辺機器の性能が十分に発揮できなくなったのではそのシステムの性能/価格比は悪くなることも起る。これをさけようとしてマイクロプロセッサの周辺に余分の制御回路をおくと、余り価格上の利点が得られない結果になるといったことが起り勝ちである。

このような問題は必ずしもハードウェア面だけではない。ソフトウェア面でもプログラム作成のための援助システムが完備していない場合には、プログラム作成に予想外に手間取ることも予想される。援助システムが完備している場合にも、その使用料を含めると設計コストが安くならないことが起るかもしれない。

いずれにしても、マイクロプロセッサの利用の特色として、従来純ハードウェア的に設計されていたものをハードウェアとソフトウェアの組み合わせによって設計する場合には、ハードウェアとソフトウェアのトレードオフの利害得失について慎重な考慮が必要である。

4. マイクロプロセッサの位置付け

マイクロプロセッサの初期のものは電子卓上計算器の汎用化を目指して設計されたという説がある。一方

ではシステム構成上の制御素子としての用途に着目して、多くの人々が応用面の開発に努力をはらっている。最近の動きをみると、従来の計算機のシリーズの一員としての位置付けが重視され、マイクロコンピュータという言葉がマイクロプロセッサと殆んど同義語として使われている。

ここではまず計算機のシリーズの一員としての位置付けについて考え、そのあとでより一般的なシステム構成素子としての位置付けについて考えてみることにする。

4ビットのマイクロプロセッサの時代には、計算機とは可成り異質の素子としてその用途が考えられていたと思われるが、8ビットのマイクロプロセッサで可成り高級な機能をそなえたものや、16ビットのマイクロプロセッサが次々に市場に現われるようになると、従来ミニコンピュータが占めていた分野の少くとも下の方はマイクロコンピュータに遠からずおきかえられることになろう。1チッププロセッサには自ら限界があるが、ビットスライス方式や機能分割方式のLSIを組み合わせて構成されるプロセッサを考えると、今日ミニコンピュータが占めている市場がマイクロプロセッサによって占拠される日も近いものと思われる。中形以上の計算機のLSI化が行われる時点では、マイクロコンピュータから大形計算機にいたるまで、使用されるLSIの数に差があるだけで、性能的には連続した分布となり、明確な境界をつけることは困難になろう。ミニコンピュータと小形計算機の境界が今日では既に不明確になっているが、ミニコンピュータの誕生当時には可成りはっきりした守備範囲の境界があった。この点についてはマイクロコンピュータも同じ経過をたどるものと思われる。今日ミニコンピュータと小形機との間に差があるとすれば、製造するメーカーの差といえよう。マイクロコンピュータの場合にもこの点はより明確な形で現われる可能性がある。

従来の計算機のシリーズは大形から小形にいたるまで、汎用計算機が主流をなして発展してきた。この傾向は大形機ほど明確であり、大形機の分野では事務用計算機と科学技術用計算機との区別も殆んどない。超大形機の分野では科学計算用が指向された時代もあったが、今日ではアレイプロセッサ等の特殊プロセッサが大形計算機に取付けられる方向で要求が満され、汎用機としては科学技術用と事務用の区別は少なくなっている。しかし小形機の分野では制御用計算機やオフィスコンピュータなど明確な差があり、次第に分化が

進んでいる。マイクロコンピュータは汎用のものから専用化されたものまで多種類の製品となって世に現れようが、そこで用いられるLSIが別設計となるか、同一設計のものになるかは市場の発達の経過に左右される要素が多く、何ともいえない。将来の方向を支配する要素としては、(1)生産台数の増加率、(2)生産台数の絶対値、(3)1チップ上での集積度、(4)LSIの設計技術、(5)LSIプロセス技術、(6)LSIのパッケージ技術、(7)LSIの検査技術など多くの要素が考えられる。

LSI技術がマイクロコンピュータから次第に大形計算機に浸透してゆく経過を予測することは興味のあることであり、また今後の計算機業界の動向を把握する重要な鍵の一つである。現存機種種のLSI化といった観点に立って考えると純粋に製造原価といった経済性を中心に考えることができる。この場合にはLSI化は小形機から順次進行して、単一チップの集積度の向上や、LSIプロセッサの速度向上につれて次第に大形機の方へ浸透してゆくことが予想される。浸透が徐々に進行する場合には性能/価格比の点から小形機の普及が進み、情報処理の分散や多重プロセッサシステムの使用技術が発達することになろう。一方プロセッサの高速化のためには小形化、したがってLSI化が不可欠であり、この面からの超大形計算機のLSI化を促進する要因がある。比較的小数のLSIでも経済的に生産できる技術が確立すれば、計算機のLSI化は一気に達成されよう。この場合にも、生産台数を多くすることは必須条件となるから、超大形システムを実現するにはできるだけ小規模のプロセッサを多数台用いた多重プロセッサシステムに依存することが望ましく、このようなシステム構成技術の確立に努力する必要がある。

いずれにしても多重プロセッサシステムの構成ならびに使用技術はLSI化と切りはなすことのできない技術である。また同一LSIの生産数がどの位になったときにSSIやMSIによる製品と原価の点で競合できるようになるのかが、最大の問題点である。 10^4 といった規模がよく話題になるが、厳密に原価計算によった数とは思えない。LSI技術は現在急速な発展途上にあり、簡単に予測することは困難であるが、設計・製造・検査技術の進歩によって 10^2 の規模まで下げることを目標にしたいものである。これが実現した時点ではマイクロコンピュータは上位コンピュータとの境界を完全に失うことになろう。

以上計算機の立場からみたマイクロプロセッサの位

置付けについて述べてきたが、マイクロプロセッサに期待されている役割として従来のコンピュータでは考えられなかった情報処理用のシステム構成要素としての役割がある。どのような用途にどの程度の需要が期待できるかは、マイクロプロセッサの価格に支配される面が大きい。この分野で使用されるマイクロプロセッサは特殊用途を意識して設計される目的向きプロセッサと、比較的広範囲の用途を意識して設計される汎用プロセッサに大別されよう。自動車用や家庭電器用などは前者が主流となろうし、プロセス制御システムなどの構成要素として用いられるものでは後者が主流となろう。いずれにしても従来の計算機概念にとらわれない新しいアーキテクチャをとるものの出現が期待できる。少し横道にそれるが、PLA (Programmable Logic Array) などのもこの一種と考えることができよう。PLA はオートマトンモデルとの対応がよく、対象によっては設計がより直接的で容易である。マイクロプロセッサの範疇を逸脱することになるかもしれないが、逐次制御のプロセッサではなく、アナコンのように同時制御のシステムなども検討する必要があるう。

5. マイクロプロセッサの用途

初期のマイクロプロセッサは4ビットプロセッサであり、アーキテクチャ的にも、速度的にも限られた性能であったために、電子キャッシュレジスタやPOS端末のインテリジェント化など比較的限られた用途で用いられてきた。このような分野はこれまでミニコンピュータは高価なために使用できなかった分野であり、新しい市場の開拓であった。

しかし今日では8ビットから更に進んで16ビットのプロセッサまでがマイクロプロセッサとして提供され、割込み機能や命令セット、内部レジスタなどいずれの点からみてもミニコンピュータにならぶ機能をそなえたマイクロプロセッサが発表され、用途も従来の限られた分野から、これまでミニコンピュータで占めていた分野にまで、その応用分野を拡張しつつある。

たとえば端末の分野ではCRT表示装置についてみると、従来は図形表示装置などの高級機種のみがミニコンピュータによるインテリジェント化の対象となっていたが、マイクロプロセッサの利用によって文字表示装置などのインテリジェント化も急速に進んでいる。プリンタ端末などもマイクロプロセッサの利用によって電子化が進み、機械部分を減らして低雑音、ノ

ンインパクト、高速、高信頼度のプリンタ端末が実現可能となっており、同時にインテリジェント化も進められている。機構部品の保守の問題が端末の普及に大きな障害になると考えられていたことを考え合わせると、マイクロプロセッサのプリンタ端末に及ぼした影響の大きさがわかってきた。通信制御装置などもマイクロプロセッサ化に適した恰好の対象である。このため各種の測定器などのオンライン化が容易になり、オンラインシステムがいろいろな分野で急速に普及する可能性が生れてきた。

生産ラインやプロセスなどの制御分野はマイクロプロセッサの典型的な応用分野の一つと考えられる。一つは工作機械の数値制御のように従来から自動化、省力化が進んでいた分野で、従来の制御装置をマイクロプロセッサ化することにより、価格を下げ普及を促進させたり、インテリジェント化によってより高級な制御のできる制御装置にすることである。もう一つは工場ごとに個別に設計・製作されていた自動生産機械にマイクロプロセッサを用いることである。これまで機構部品にたよっていた複雑な制御をマイクロプロセッサによって電子化することによって、設計・製造の原価を大巾に下げることが期待される。このような目的には汎用のマイクロプロセッサの利用が考えられる。生産機械のように多品種少量生産の場合には、ソフトウェアが容易に作成できるようにソフトウェア援助システムの完備したマイクロプロセッサが用いられることになる。プロセス制御における制御ループの制御用などには従来のDDC用ミニコンピュータに代ってマイクロプロセッサが用いられる例が増えてきている。

多数のマイクロプロセッサを使って並列処理システムやパイプライン処理システムを構成する研究やパターン情報処理に適した多重プロセッサシステムなどの研究が始められており、マイクロプロセッサの価格低下にともなって各所で試作が今後進められるものと期待される。多数のマイクロプロセッサを用いた目的向き情報処理システムを実現することがマイクロプロセッサの将来の重要な応用分野の一つと考えられる。

交通制御や自動車エンジンの制御などは量産の可能性のある応用分野として注目されているが、普及をみるまでには価格的に多くの障害を克服する必要があるう。

6. マイクロプロセッサの問題点

マイクロプロセッサはなお急速な発展の途上にあ

り、数々のアーキテクチャ上の問題点が新たにマイクロプロセッサが発表されるごとに次々に解決されるといった経過を辿っている。したがってマイクロプロセッサの性能、速度といった問題点を考えるときに、どの時点までに開発されたり、市販されている機種を対象にするかによって内容が変ってくる。価格の点についても同様なことがいえる。したがってここでは主としてマイクロプロセッサを使ってシステムを設計する場合の問題点を中心に論じることとする。

安価なシステムを実現するためには性能さえ十分であれば4ビットのプロセッサを使うのが一番ハードウェアコストは安く済むはずである。従来の汎用計算機とは異なり、システムの要素として使う場合には用途は限定されており、プログラムもROMに格納され、変更を前提としない場合が多い。したがって要求性能が与えられ、これをもっとも安価に実現するという設計方針をとるのが普通である。

マイクロプロセッサの価格に比して周辺の制御回路やROM、RAMの価格は無視できないどころか、用途によっては周辺や記憶のコストの方が全コストの主要部分を占める場合も少なくない。ROMやRAMの必要ビット数は高級なマイクロプロセッサを用いた方が少なく済む可能性も多いのでマイクロプロセッサの選択には十分注意する必要がある。換言すれば簡単なマイクロプロセッサを使うことが必ずしもシステムの価格を下げることにしない場合がある。

同一システムを多数作る場合には設計費用は余り問題にならず、ハードウェアコストの最小化を念頭におけばよいが、製作台数が少ない場合にはプログラムの作成といった設計費用を下げることに十分な注意を払う必要がある。したがって研究用試作システムなどではソフトウェア援助システムの完備しているマイクロプロセッサを選ぶ必要がある。

同様なことが、入出力インターフェースや周辺制御についてもいえる。安価なマイクロプロセッサで入出力インターフェースが簡単であれば、一般にその分だけ周辺制御装置の設計は複雑になり、周辺制御回路のコストが上昇する。周辺制御用のLSIがどの程度まで準備されているかもマイクロプロセッサを選ぶ上で重要な判断基準になる。

上述の考察でふれた問題点を列挙し、以下に詳述することにする。

1) ソフトウェア援助システム

マイクロプロセッサをシステム構成要素として自由

に使いこなすためには、マイクロプロセッサのクロスアセンブラやシミュレータなどソフトウェアを容易に作成できるシステムが手軽に安価に使える必要がある。このためFORTRANなどで書かれ、ポータブルなクロスアセンブラや代表的なTSSシステムのライブラリに格納されて公開されているクロスアセンブラ、シミュレータなどが準備されている場合が多くなってきた。更に高級言語を用意する動きもある。代表的な入出力装置の制御プログラムを始め各種のライブラリが将来要求されるようになるかもしれない。このようなソフトウェアの負担はマイクロプロセッサのアーキテクチャの自由な発展を抑制し、アーキテクチャの標準化を促進する可能性もある。これをさけるために汎用アセンブリ言語や汎用シミュレータの研究も進められているが、プログラム開発時のコストを考えると、能率のよいアセンブラやシミュレータが要求され、標準化が進む可能性が強い。

高級言語も汎用化の一方方向であるが、入出力制御など時間関係の問題になるプログラムが多いことを考えると、高級言語によって能率よいプログラムを書くことには多くの困難がありそうである。

2) 入出力インターフェース

ピン数の制限から入出力インターフェースが極度に単純化され、時系列的に信号の伝送が行われる場合が多い。このことは一見ハードウェアの単純化につながるようにみえるが、周辺の入出力装置を複雑にし、制御にも時間がかかって処理能力を低下させることになる。

また周辺装置の制御回路のLSI化がマイクロプロセッサのLSI化を実効あるものとするための必要条件と考えられるようになってきており、テレタイプ、フレキシブルディスクなど代表的な入出力装置の制御回路のLSI化が進められている。これらの周辺制御回路を自由に使いこなすためにも、入出力インターフェースの標準化が望まれてくる。マイクロプロセッサのアーキテクチャ同様、入出力インターフェースについても標準化ないし機種の統一の動きがでてくるものと思われる。

3) 記 憶

マイクロプロセッサは専用化して使う場合が多いので、プログラムはROMに、データはRAMに格納する場合が多い。記憶の価格が高くてはマイクロプロセッサの利点は生きてこない。masked ROMは量産

化しなければ低価格にならないから、単品生産や開発段階用には Programmable ROM, Writable ROM, または、不揮発性 RAM のいずれかが必要になる。これらの記憶が安価に入手できるようになることが今後の発展のための必須条件になる。

4) マイクロプログラム

16ビットプロセッサなど高級なマイクロプロセッサはマイクロプログラム制御方式をとる例が多く、また制御記憶は別チップになっていることが多い。これは制御記憶を変えることによって希望の機能をもったマイクロプロセッサを作り得ることを意味する。マイクロプログラムをユーザが自由に書きかえられるためには、マイクロプログラムのユーザへの開放が前提になる。このためにはメーカは厳密な仕様書の公開をする必要があり、いろいろな意味から踏み切れない場合が多かった。しかしマイクロプロセッサの場合は比較的機能も簡単であり、マイクロプログラムの作成も機械語プログラムの作成と余り変らない労力のできるから、今後次第にユーザに開放される方向に向うものと考えられる。このための努力をメーカ側でもユーザ側でも真剣にはらう必要がある。マイクロプログラムを使いこなす技術を身につけることがマイクロプロセッサの応用範囲を拡張するためには将来必須の条件となろう。

7. 今後の動向

多種多様のマイクロプロセッサが発表され、けんをきそっているが、一方では機種統合・整理も徐々に進行している。特定の目的専用のプロセッサは別にしてシステム構成要素として一般に用いられる汎用のプロセッサでは先ず単体の価格を下げるためには量産が必要であり、自由市場における価格競争にうち勝たねばならない。これが機種統合・整理を促進する第一要因である。次に汎用プロセッサではソフトウェア作成の援助システムを完備させる必要があり、ユーザとしても余り多種のマイクロプロセッサを使いこなすまでに知ることを好まない。このことがセカンドサプライヤを育成する要因として働く。我が国の製造業者にもこの方向を辿ろうとするものが多い。マイクロプロセッサの製造業者に対してはプロセッサ本体だけでなくその周辺に使用される記憶や入出力装置の制御回路を LSI 化し、完備した LSI ファミリーを提供することが求められ、この要求は強まる方向にある。これは入出力インターフェースの整理・統合とも関連して、

今後新しいマイクロプロセッサファミリーを生み出すことを妨げる方向に働く要因となる。

マイクロプロセッサの性能をおさえる原因の一つに MOS であるために低速であることがあげられている。しかし集積度をあげれば MOS も高速になり、MOS が本質的に低速である訳ではないといわれており、一方では高速化のためにバイポーラのマイクロプロセッサも TTL のほか、I²L や CML のものが次々に発表されている。前述のように LSI 化は高速化に必須の条件でもあり、近い将来必要などころでは高速のマイクロプロセッサが使われることになろう。

マイクロプロセッサの機能上の高性能化も着実に進行しており、4ビットや8ビットのプロセッサについて16ビットのプロセッサも市販されており、数ケの LSI に分割されるものの、マイクロプログラム制御によって一般の計算機に比して遜色のない機能をそなえるに至っている。高性能のマイクロプロセッサは今後次々に世に現われることと思われるが、問題はどの程度のマイクロプロセッサが主流を占めるかである。高性能プロセッサは低性能プロセッサの代用として使えるが、逆は簡単にはゆかない。機種を整理して大量生産効果をあげるために高性能プロセッサが主流となることも考えられるが、LSI の製造技術の進歩とも深く関わり合いのある問題であり、予測はむずかしい。4ビットプロセッサと8ビットプロセッサの価格が同じであれば、4ビットプロセッサの存在意義は殆んどなくなる。

高性能プロセッサを追求すれば、複数個の LSI への分割の問題が必ず起る。16ビットプロセッサでは、演算ユニット、逐次制御ユニット、制御記憶ユニットといった機能分割が行われているし、バイポーラ・プロセッサでは2ビットスライス、4ビットスライスといった分割法や、更に細かな機能分割が行われている。上手に機能分割した機能モジュールが安価に多種類市販されるようになれば、殆んど論理装置は計算機を含めてこれを使って構成されるようになる。

高度の処理能力が必要となきに、その実現方法としては上述の機能モジュールを組み合わせた単一プロセッサとして実現するか、より簡単なマイクロプロセッサによる多重プロセッサシステムとして実現するかは、目的によっても変わってくるし、その時代の設計技術によっても変わってくる。しかし単一マイクロプロセッサの多数利用が望まれるとすれば、並列処理システムなど後者の設計法について研究を重ねる必要があ

る。

8. お わ り に

マイクロプロセッサのアーキテクチャの詳細や個々の応用については本特集の他の論文で詳述されているので、ここではマイクロプロセッサの使用形態を中心にできるだけマクロな立場から技術的な問題点を眺め

るように努力したつもりである。

マイクロコンピュータの出現がこれまでの計算機技術の方向にも革新的な影響を及ぼすことは勿論であるが、それと同時にこの新しい技術がこれまで対象外におかれていたような応用分野の開拓に用いられて、われわれに新しい夢を与えてくれることを願うものである。
(昭和51年1月10日受付)