マイクロコンピュータ技術の現状と動向

石 田 晴 久*

Haruhisa Ishida

1. はじめに

マイクロコンピュータ（略してマイコン）は、ここ数年の間に著しい進歩をとげてきた。これは半導体製造技術の着実な進歩、利用の拡大に伴う量産効果による低価格化、いろいろな用途に応じたLSI（大規模集積回路）素子の多様化、ソフトウェアや周辺機器の発達などの結果である。初期には疑問視する向きもあった各種機器へのマイコン組込みも、今ではまったく常識となり、特に各種の家庭電化製品やゲーム機器やおモチャには大量の導入が始まっている。教材用のキット的なマイコンも数万円前後と安くなり、マイコン・ベースの個人用（パーソナル）コンピュータも電卓型で3万円、本格的なキーボード付きのもので20万円から150万円前後で入手できるようになった。マイコン応用製品を開発するためのツール（道具）も着々と充実しつつある。

マイコンがいかに発達・普及してきているかは、たとえばCPU（中央処理装置）素子の使用個数にみることができる。この数は正確につかむことは困難であるが、オーダーとしてはわが国の分だけでも次のようなものと推定できる。

	1977年	1978年	1979年
4ビット型CPU素子	531万個	1,150万個	2600万個
8ビット型CPU素子	108万個	125万個	235万個
16ビット型CPU素子	5万個	35万個	

つまり、マイコンの中核をなすCPU素子（マイクロプロセッサ）は今や年に何千万個も使われる時代になってきたのである。

2. マイコンのハードウェア

2.1 マイクロプロセッサ（CPU素子）

この面の進歩は、1個のLSI素子（チップ）に集積されるトランジスタの数でみるのがわかりやすい。表1のように進歩は急ピッチである。このうち8048（インテル）は下記（b）にあげたワンチップ・マイコンで2キロバイトの読出し専用メモリーをもっている。また16ビット機の8086（インテル）は内部で一部にマイクロプログラム方式を使っているので、CPUチップ内にやはりある程度のメモリー素子を含んでいる。

68000ではさらにナノプログラム方式をとっていることもあって、集積度は非常に高い。

表1 マイクロプロセッサの集積度

データ幅	UPC名	トランジスタ数	発表年
4	4004	2200	1971
8	8080	4800	1973
8	8085	6200	1976
8	Z-80	8400	1975
8	8048	12400	1976
16	8086	29000	1978
16	68000	75000	1980

マイクロプロセッサについて注目すべき動向を述べると、次のようになる。

- 汎用機種では8ビット型の8080系素子（8080, 8085, Z-80）が標準品としてすっかり定着した。他の有力機種は6800および6502である。これらについては、周辺回路用のLSIチップも出揃ってきた。
- 家電品などへの（やや特殊な）大量組込み用には、CPUのほかメモリーや入出力回路をも一緒に集積した多種多様なワンチップ・マイクロコンピュータ（主として4ビット型）が使われている。
- インテル8086、ザイログZ-8000のような16ビッ

昭和55年9月1日受付

* 東京大学大型計算機センター

（〒113 東京都文京区弥生2-11-16）

TEL 03-812-2111

ト並列処理の高性能マイクロプロセッサが使われ始めている。これは8ビット型ではスピードや機能が不足する場合やメモリーが足りないところから応用が始まった。

8ビット機ではアドレスは16ビットだからメモリーは64キロバイトまでしかつけられないが、16ビット機は、メガバイト(1000キロバイト)級のメモリーがつけられるように設計されており、スピードも従来のミニコン並みに速い。

- (d) マイクロコンピュータ応用システム全体の価格からみたとき、半導体素子、特にCPUチップの相対価格はきわめて安い。したがって、ひとつのシステム内でひとつのタスク(仕事)を1個のCPUに割当ててような形で、CPU素子をたくさん使う多重プロセッサ系が作りやすい。この形の方がソフトウェアの方も複雑なマルチプログラミングを行なうよりも単純で作りやすくなることが多い。CPU効率(稼働率)はもはや必ずしも問題ではなくなりつつある。「CPUはタダみたいにあいからふんだんに使え」という設計哲学が成り立つのである。研究面では、マイコンの多重プロセッサ系、マイコン・ネットワーク、それら用のメッセージ交換を主体と考えるプログラム言語やOSが研究対象として取りあげられている。
- (e) かつては高価だったメモリー素子も今や安くなっているから、メモリー素子もふんだんに使える。特にメモリーをたくさん使う方がソフトウェアは作りやすいのであれば、そうする方が賢明である。
- (f) 汎用CPU以外に、信号プロセッサのような特殊目的の専用CPUチップが数多く出始めており、応用目的によってはそれらを使うのが有利である。
- (g) このようなLSI中心の回路のチェックには、オシロスコープでは不十分であり、ロジック・アナライザのような複雑な測定器が必要である。
- (h) 以上のようなハードウェアの進歩により、マイコン・ハードウェアに関する主な仕事は周辺回路・外部機器とのインターフェース(接続)になっている。しかしこれも必要な回路がLSI化されてきているので、かなり楽になっている。
- (i) 開発コストの大部分はソフトウェア開発費で占められるようになってきている。このため汎用コンピュータとして使えるハードウェア・ツール(道具)およびソフトウェア工学手法に基づくソフトウェア・ツールの整備が重要視されつつある。
- (j) 開発用にも使えるパーソナル・コンピュータでは

フロッピー・ディスク用の標準OSが定着し、ほとんどすべてのプログラム言語が使えるようになってきた。画面エディタ、画面デバッガのようなソフトウェア・ツールも出てきている。

2.2 メモリー素子

メモリー素子には、RAM(普通に読み書きのできるランダム・アクセス・メモリー)、ROM(読み出し専用メモリー)、PROM(プログラマブルROM)、NVM(不揮発性RAM)などがあるが、最近の素子1個当たりの最大容量は次のとおりである。

スタティックRAM	16Kb = 2KB
ダイナミックRAM	64Kb = 8KB
PROM	32Kb = 4KB
ROM	128Kb = 16KB
NVM	{ MNOS素子 1Kb = 128B
	{ 磁気バブル 1024Kb = 128KB

(Kbはキロビット)
 (KBはキロバイト)
 1バイトは8ビット

以上あげたのは現在試用が始まったばかりの最高密度素子であり、これらが安く使えるようになるのは、一、二年先の話になるが、いずれにせよ、今後メモリーが安くなり、ふんだんに使えるようになるのは確実である。現在主流の16Kb = 2KBのRAMでも、32個は小さな回路板に取付けられ、それで64キロバイトになる。64Kbのメモリー・チップが使えれば、ワンボードに256キロバイトはのようになるのである。

2.3 周辺機器

周辺機器はマイコンを何かの機器に組み込むときは通常必要ないが、そのためのソフトウェアやハードウェアを開発するためのMDS(マイコン開発システム)やマイコン・ベースのパーソナル・コンピュータやオフィス・コンピュータ(オフコン)では、キーボード・ディスプレイ、プリンター、補助メモリー(カセット・テープやフロッピー・ディスク)が必要になる。CPUやメモリーの素子が安くなったおかげで、最近ではこれらの周辺機器自体にもマイコンが内蔵されるようになってきた。次にそれらを概観する。

(1) キーボード付CRTディスプレイ

CRTディスプレイには、リフレッシュ・メモリーを内蔵した独立型のもので、マイコンとメモリーを共用する型のものである。独立型ではマイコン内蔵で、DEC社のVT-100のように、なめらかなスクローリングができたり、文字サイズが変えられて、1行に(80字のみならず)132字表示できるものがあったり、インテリ

ジェント化が進んでいる。メモリー共用型のものは、CPUでリフレッシュ・メモリーに直接アクセスできるので、画面上でカーソルを動かしてテキスト編集を行なうのに向いている。

(2) プリンター

普通の大きさの普通紙に（1行80字以上）印字を行なうインパクト・プリンターでは、セイコーのGP-80や伊藤忠、沖、信州精機のものがある。前者は300bpsと遅いが、任意のドット・パターンで印字ができる。

(3) フロッピー・ディスク

ソノシートのような磁性板を回転させて使うフロッピー・ディスクは、カセット・テープと異なってランダム・アクセスのできる簡易磁気ディスク装置である。この種のディスクも最近急速に発達してきて、直径8インチ（20センチ）の標準フロッピーと直径5.25インチ（13センチ）のミニ型のそれぞれについて、次のようにメモリー容量が多様化している。

標準型 フロッピー	標準密度（片面）	250KB
	倍密度（"）	500KB
	両面倍密度	1MB
ミニ・ フロッピー	標準密度（片面）	70KB
	倍密度（"）	140KB
	"（両面）	280KB
	4倍密度（片面）	300KB

(4) ハード・ディスクとカートリッジ・テープ

マイコン用には、従来の直径14インチのディスクに代わるものとして、フロッピー・ディスクと同じ直径8インチ（20センチ）の密閉型ディスクがIBMで開発され、1978年からアメリカを皮切りに使われ始めた。マイコン用を最初に実用化したのはIMI（インターナショナル・メモリーズ社）であり、容量は1メガバイトの倍密度フロッピー・ディスクより1桁多い10メガバイトである。マイクロポリス社の新製品を例にとると、仕様は次のようになっていて、スピードもフロッピー・ディスクより1桁速い。なお、ミニフロッピーと同型のハード・ディスクも1980年に始まった。

容 量	1枚（1面）	9メガバイト
	2枚（3面）	27 "
	3枚（5面）	45 "
インチ当たりビット数		8750bpi
インチ当たりトラック数		478tpi
平均アクセス時間		34ミリ秒
転送速度		705キロバイト/秒

現在のところ、ウィンチェスター型と呼ばれるこの種

のディスクは本体のみで\$3000~4000とまだ高いが、将来普及するようになれば、マイコンも巨大で高速な補助記憶をもてるようになる。

ところで、ウィンチェスター型ディスクはディスクが密閉されていて取りはずしが不可能だから、その中の情報をどうバックアップするかが問題となる。変更された情報のみをとっておくインクレメンタル・ダンプならフロッピー・ディスクでもよいが、トータル・ダンプとなるとカートリッジ・テープがいる。このため、カートリッジ・テープの高密度化も急ピッチですすめられており、3M社の0.25インチ幅のHCD-75テープは1巻で75メガバイトに達している。転送速度も300キロビット/秒とデジタル・カセット・テープより1桁以上速い。

3. マイコンのソフトウェア

周辺機器が問題となるマイコンでは、ソフトウェアがそれ以上に重要である。個数でなく、ユーザ数をもっとも多いという意味で、一番広く使われている8080クラスの汎用マイコンについて次に考えてみる。

3.1 モニターとOS（オペレーティング・システム）

16進数あるいはアセンブラ語でプログラムを入力するキット型・ワンボード型のマイコンでは、1ないし4キロバイトのモニター・プログラムがROMの形で供給されるが、フロッピー・ディスクが付くと、いわゆるディスクOS（DOS）が必要になる。

この種のDOSで現在代表的なのは、デジタル・リサーチ社のCP/Mとインテル社のISISである。特にCP/Mは数多くのフロッピー・ディスク付8080系マイコンで使われ、一種の標準品となっている。

さて、DOSの例として、CP/Mをとると（ISISも同様）、CP/Mの最大の特長は、フロッピー・ディスク上のファイルが名前を指定するだけで使えるようになっていることである。ユーザがキーボード・ディスプレイの前に坐って対話型で使えるように設計されていて、大

表2 CP/Mのコマンドの例

DIR	(directory) ファイルの一覧表を出す
ED	(edit) テキスト・エディタの起動
TYPE	ファイルの内容を表示する
PIP	ファイルのコピーなど
SUBMIT	マクロコマンドを実行する
M80, F80	ファイル内容をアセンブル・コンパイル
L80	プログラム・モジュールを結合して実行
LIB	プログラム・ライブラリの管理
DDT	プログラムのデバック（手直し）を行なう

型機よりむしろ使いやすい面がある。表2にCP/Mの代表的なコマンドを示す。CP/Mには、ファイル名の指定時に?で任意文字、*で任意文字列が指定できる機能があるので、**ですべてのファイルをまとめて指定できたりして便利である。

3.2 言語プロセッサ

マイコン用のプログラム言語について最近はっきりしてきたのは、マイコン特有の汎用言語は結局発達しそうもないということである。これは一般のコンピュータ用の言語と違っていろいろの意味で不便だということであろう。特にマイコンをワーク・ステーションとして大型コンピュータにつないで使うときなど、マイコンでソース・プログラムを準備し、テスト的にコンパイルして誤りのないことを確かめてから、そのプログラムを大型機に送りたくなる。この場合、マイコンのプログラム言語は大型機のそのサブセットになっていて、マイコンでも大型機でも基本的に同じ言語の使えることが要請されるわけである。

こうした次第で、マイコンで使われる言語は次のような一般のコンピュータ言語である。

BASIC	(大型機のものより拡張されており、インタプリタの他にコンパイラもある。)
FORTRAN (インテル版はFORTRAN77)	
COBOL	
PL/I, PL/M	
PASCAL, ALGOL, C	
APL, LISP	
構造化アセンブラ	

これらのうち、BASIC, FORTRAN, COBOLのプロセッサについては、CP/Mのもとではたらくマイクロソフト社のものが数多くのシステムに採用されて、すっかり標準品になっている。

一方、BASIC以外の言語を使うには、56キロバイト以上の主メモリとフロッピーディスクがいる。つまり主メモリの不足をフロッピー・ディスクで補うわけで、この意味では現在の8ビット機の64キロバイトのメモリ制限は高水準言語にはきついわけであり、高水準言語の本格的な使用は今後16ビット型マイクロプロセッサで行なわれることになるであろう。8ビット機にもっともふさわしい言語はBASICである。

4. マイコン開発システム

マイコン応用システムを開発するにあたって重要なことは、ソフトウェア開発の効率化である。これには、何

といっても、作業能率の上がるようなよいツール(道具)を使うのがよい。そうしたツールの代表はもちろんマイコンそのものである。この目的に使われるマイコンをマイコン開発システム(MDS=Microcomputer Development System)という。MDSのCPUとしては、応用システム(ターゲット・システム)で使おうとしているCPUと同じものがよい。この意味で、使用機種を次のような代表的なCPUに選べば、いろいろなMDSが使用可能で便利だということになる。

80系CPU.....8080, Z80, 8085
 68系CPU.....6800, 6809
 48系CPU.....8048 (ワンチップ・マイコン=ROM, RAM, I/O内蔵)

MDSの構成は通常次のようになっている。

CPU.....上記いずれか
 PROM.....2~4キロバイトのモニタ格納
 RAM.....主記憶64キロバイト
 補助記憶.....8インチまたは5インチのフロッピーディスク2台
 プリンタ.....1行80字以上
 キーボード.....(新JIS規格のものがよい)
 CRTディスプレイ.....80字×24行/画面
 PROMライタ.....PROMにデータを書きこむ回路
 ICE.....インサーキット・エミュレータ(実時間のハードウェア・デバッグ)

こうしたMDSであると便利なソフトウェア・ツールには次のものがある。

画面エディタ 上下左右にスクロールできるもの
 画面型シンボリック・デバッガ マイコンの動きをトレースして、トレース情報を画面一杯に表示しつつデバッグできるもの

言語プロセッサ PL/M, C, PASCAL, FORTRANなどのコンパイラ

一方、手許にミニコンやあるいはTSSがある場合は、それらの上に、クロスアセンブラ、クロスコンパイラ、シュミレータなどのいわゆるクロスソフトウェアをのせて、それをMDSとして使うことも可能である。とくにTSSは、大きなディスク・ファイルやラインプリンタが使えるほか、チップの入手しにくい新機種マイコンにシュミレータで対応できるとか、多機種のマイコンを使うときに開発法の統一ができるなどの利点がある。

最後に、市販されているマイコンやMDSにどんなものがあるかについては、日経エレクトロニクス、インターフェース、ASCII(アスキー)、RAMなどのマイコン関係雑誌をみて頂きたい。