

〔特別講演〕

マイコンの現状と動向

東京大学 大型計算機センター教授 石 田 晴 久

マイコンは1971年に出現して以来着実に進歩してきた。今日では、その心臓部であるマイクロプロセッサのLSIには10万個以上のトランジスタ等価回路が集積できるようになっている。こうしたマイコンの第1の応用分野は各種のコントローラとしての利用であり、ワンチップ・マイコンおよびワンボード・マイコンがいろいろな機器に続々と組み込まれている。第2の応用分野は汎用コンピュータとしてのパーソナル・コンピュータである。これも価格性能比の向上とともに広く普及しつつある。

1. はじめに

マイコン（マイクロコンピュータ）とは、そのCPU（中央処理装置）がワンチップ（1個のLSI=大規模集積回路）ないし数チップのマイクロプロセッサでできている微小なコンピュータを指す。マイクロプロセッサの集積度は、1971年にマイコンが初めて登場してきて以来、表1のように向上してきている。

こうしたマイコンの応用分野は大別すると、次の二つになる。

- (1) 制御部品としていろいろな機器やシステムに組込む——システム・コンポーネント
- (2) 独立の汎用コンピュータとして使う——パーソナル・コンピュータ（パソコン）

表 1 Development of microprocessor chips

Data width	CPU	Transistors	Announced
4 (Intel)	4004	2200	1971
8 (Intel)	8080	4800	1973
8 (Intel)	8085	6200	1976
8 (Zilog)	Z-80	8400	1975
8 (Intel)	8048	12400	1976
16 (Intel)	8086	29000	1978
16 (Motorola)	68000	75000	1980
32 (Intel)	432	100000	1981

〔注〕データ幅の数字は、いっぺんに扱えるデータの長さが、主として、4, 8, 16, 32 ビットであることを示す。カッコ内はチップを最初に設計したメーカーの名前である。

2. 組み込み部品としてのマイコン

組み込み部品として使われるマイコンは、最近では、マイクロプロセッサ、主記憶、入出力回路など微小なコンピュータを構成するのに必要な回路をすべてひとつのLSIの上に集積したワンチップ・マイコンが多い。表1の8048はその一例である。この型のマイコンでは、プロセッサは4ビット型あるいは8ビット型であり、主記憶はプログラムを固定的に入れておく大容量のROM（Read Only Memory, 読み出し専用メモリ）ま

たはPROM（プログラムブルROM）と、少量のデータを自由に読み書きするためのRAM(Random Access Memory）とに分れている。最近の8ビット型ワンチップ・マイコンには、次のようにROM容量が8kB（キロバイト）のものまであり、ROMの大容量化および全体的な高性能化が著しい。

ワンチップマイコンの例	PROM／ROM (キロバイト)	RAM (バイト)	入出力信号線の数	標準PROM相当品
HD68P01S0（日立）	2kB	128B	29本	2716
HD68P01V07（"）	4kB	"	"	2732
HD68P01M0（"）	8kB	"	"	2764
MPD7901G（日電）	BASIC内蔵	4kB	（全体で64ピン）	—
MPD7811G（日電）	4kB	256B	44本	（A／D変換器内蔵）

これらのチップでは、PROMの部分はROMの形のものもある。ROM型は半導体工場で内容を焼付けるものだから大量生産向きである。これに対してPROM型はPROMライターと呼ばれる機器があれば、それをパソコンなどにつないで、ユーザがその内容を書き込めるようになる。いずれにしても、ワンチップ・マイコンはプログラム入りのコンピュータ部分が完全なワンチップだから、コンピュータを内蔵させるときに、コンピュータ部分はわずかLSI1個をとりつけるだけとなる。しかもプログラムはPROMまたはROMに常駐だから、電源さえ入れれば、すぐに動き出すのである。これでマイコン組み込みが容易になることはもちろんだが、問題はソフトウェア開発であり、そのためには、MDS（マイクロコンピュータ開発システム）と呼ばれるようなパソコン形の機器が必要となる。この種のソフトウェアは普通アセンブラ語（機械語）で組むが、日電のMPD7901GのようにTiny BASICインタプリタが内蔵されたものでは、Tiny BASICも使える。

マイコンを組み込む場合に、ワンチップ・マイコンと並んでよく使われるのは、ワンボード・マイコンである。これは1枚の回路板の上にマイコンを構成するすべてのLSIおよび周辺回路をハンダ付けしたもので、ワンチップ・マイコンでは性能が低すぎる、もっと大容量のRAMが必要、構成がさらに複雑、ソフトウェアの互換性の面から汎用のプロセッサを使いたい、といったときに利用される。ワンボード・マイコンは自作することもできるが、自作となると、“インサートキット・エミュレータ”とか、“ロジック・アナライザ”などの測定器が不可欠となる。大量生産品でない限りは、回路ボードは自作するよりは、マルチバス型（インテル仕様）のような標準品をできるだけ使う方が無難である。自作するのは、実験機器や外部機器とのつなぎの部分（インターフェース）など必要最少限にする方がよい。市販されている回路ボードの例としては、次のようなものがある。

- iSBC 86／30 16ビット・プロセッサ（8086）+PROM64kB+RAM128kB
- iSBC 012B 512kB（キロバイト）のRAM
- iSBC 88／45 データ通信（HDLC／SDLC）コントローラ
- iSBC 589 直接メモリ・アクセス（DMA）コントローラ（8089型LSI使用）

ワンチップ64キロビット（8kB）のメモリ素子が安くなったおかげで、1枚の回路ボードに512kBものようになったのである。

ワンボード・マイコンの場合にも、MDSやパソコンのような開発機器あるいはミニコンや大型機の上で走るクロスソフトウェア（クロスアセンブラ、クロスコンパイラ、シミュレータなど）が必要である。プログラムの記述には、アセンブラ語、PL／I風のPL／M、スタックを多用し表現がコンパクトなFORTHなどがよく使われる。これらについては、後のマイコンのソフトウェアの項でさらにのべることにする。

3. パーソナル・コンピュータの発展過程

マイコンのもうひとつの応用形態であるパーソナル・コンピュータ（以下では略してマイコンと呼ぶ）とは、LSI化されたマイクロプロセッサをベースにしたコンパクトで低価格な汎用コンピュータを指す。ただし低価格なのは、CPU（中央処理装置）や主記憶やキーボードからなる本体部分と、家庭用テレビ（または専用白黒ディスプレイ）および補助記憶としてのカセット・テープレコードを組み合わせたシステムの場合である。しかし、これでは補助記憶が遅くて信頼性が低く、ハードコピーもとれない。そこで、本格的な応用となると、図1の構成が必要となるが、そうすると価格は次のようになり、まだ必ずしも安いとはいえない。しかし、この価格は個人ベースで買うにはやや高いとしても、組織で買うのには十分安い。この種のマイコンは組織で買っても、実際に使うのは個人であるから、やはりパーソナル・コンピュータである。

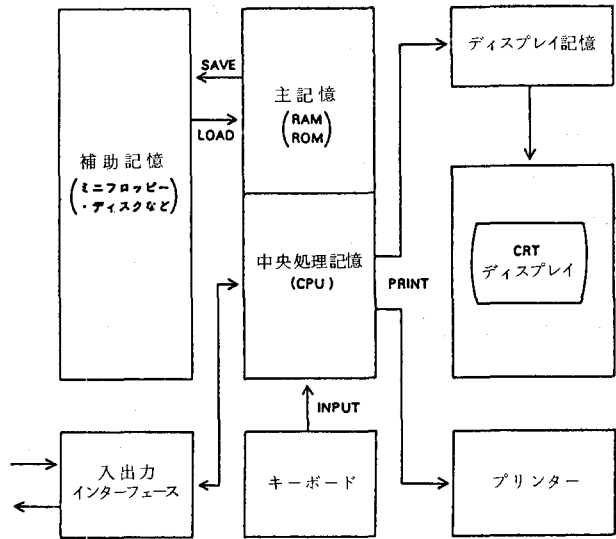


図1 パーソナル・コンピュータの構成
(SAVE などのことは BASIC でのコマンドを指す)

パーソナル・コンピュータの最初のものとしては、1974年末にアメリカのポピュラー・エレクトロニクス誌に発表され、表2のように、1975年春から出荷されるようになったMITS社のAltair マイコンがあげられる。これは、大型シャーシー付きのキットの型で出され、そこで使われた100ピン・コネクタ用のサイズ5インチ×10インチの回路ボードはアメリカで普及した。このボードは今日ではIEEE 696.1という標準規格になりつつあり、アメリカにはこのS 100 ボードの製品が多いので、自由に拡張できるマイコンを作るときには便利である。

マイコン本体	10万円～
カラー・ディスプレイ	15万円～
ミニ・フロッピー（2台）	30万円～
プリンタ	15万円～
合 計	70万円～

表 2 Development of personal computers

1975.4	Altair kit (MITS)----- S100 bus kit
1977.4	PET-2001 (Commodore)-- First P.C. (\$495)
1977.8	TRS-80 (Radio shack)
1979.5	PC-8000 (NEC)
1980.5	IF800/20 (Oki)-- All-in-one type; displays 640 200 points, 8 colors; 5" floppies (280KB)
1980.9	Basic Master III (HITACHI)-- Hiragana display
1980.11	3.5" floppy disc (Sony)
1981.5	Micro-8 (Fujitsu)----- 2 or 3 CPUs; displays Kanjis
1981.8	The P.C. (IBM)----- 16-bit CPU
1981.9	PC-8000 (NEC)----- 8" slim floppies (1MB); displays 640 400 points
1981.9	PA-7000 (Toshiba)----- Liquid crystal display 40 8 chars
1981.10	5" hard disc (NEC)----- 5.5MB; 16MB cartridge tape
1981.10	M23 (Sord) ----- 3.5" floppy; LCD display 80 8 chars

次に、完成された形になっていて、電源を入れればすぐ使える形のマイコンの原形は1977年に出したコモドール社のPETであり、ブラウン管つき（プリンタなし）で価格\$ 500、それにカセット・テープレコーダをつなげば使えるというので大いに反響を呼んだ。わが国初の本格的なパーソナル・コンピュータは1979年に出た日本電気のPC-8000である。

表2に示すように、マイコンはその後順調に発展してきているが、そのハードウェアに関して最近の動向をみると、次のような点が特徴的である。

- (1) CPUは8ビット型（とくにZ80A）が主流だが、最近ではCPU1個ではなく、FACOM Micro-8のようにCPUを2個（6809型）あるいは3個（Z80A付加可）使うものも出ている。またIBM機のように16ビット型CPUを使うマイコンも増え始めている。
- (2) 主記憶の容量は、8ビット型で64kB（キロバイト）から128kBないし256kBつくようになった。ただし、ユーザが自由に使える記憶領域はその割には小さいという問題がある。一方、16ビット型では256kB以上つくものもある。
- (3) 図形表示の分解能は640×200点（カラーの場合各点3ビット＝8色）から640×400点になりつつある。これに必要な画面メモリは1画面分で48kBから96kBである。
- (4) 表示できる文字種は、英大小文字とカタカナから、ひらがな、さらには漢字と拡大している。文字発生器に使われるROM（読み出し専用メモリ）としては、128kビット、256kビット、1×メガビットの素子が使われている。後者の場合、16×18点で表示される漢字は1個のLSIに3,760字収容できる。
- (5) 補助記憶として使われるフロッピー・

ディスクは表3のように多様化しているが、ミニ型（直径5.25インチ）の両面倍密度型で320kBから640kB、8インチ型で1MB（メガバイト）に達している。従来高さ8cm程度であったドライブ装置は、高さが半分（4cm）程度のスリム型になりつつある。

表 3 Floppy disc capacity

Single sided	5" floppy	8" floppy
Single density	70KB	250KB
Double density	140KB	500KB
Double-track	320KB	(1.5MB)
Double sided		
Double density	320KB	1 MB
Double-track	640KB	(3 MB)

- (6) プリンタは、英大小文字とカタカナはもちろん、点図形や漢字も印字できるものが低価格で出ている。インク・リボンカートリッジ型も使われ始め、英文清書用には安いデジザール型プリンタもある。
- (7) CRTに代わるディスプレイとしては、80字／行×8行の液晶ディスプレイも使われ始めた。
- (8) ソフトウェアの共用化の重要性が認識され、CP/M(OS)やUCSD PASCALが使えるように設計されるようになった。16ビット型パソコンではMS-DOSやUNIXも使われ始めている。

4. パーソナル・コンピュータのハードウェア

次にマイコンのハードウェアの動向を少し具体的に検討する。

(1) 中央処理装置

表4に示すように、CPUは依然として8ビット型が主流であるが、16ビット型もIBMを始めとして、いくつかのメーカーから出始めた。主な16ビット型マイクロプロセッサのメーカーは現在のところ、わが国では次のようになっている。

- インテル 8086 日電、三菱、富士通
- モトローラ 68000 日立
- ザイログ Z 8000 シャープ、東芝

表 4 New personal computers

	Fujitsu Micro-8	NEC PC-8800	Oki IF800/30	FACOM 9450	三 菱 Multi 16
CPU	6809*2+Z80A	Z80A	Z80B	1610A	8088
ROM	2 KB	40 KB	2KB	4 KB	?
RAM	64 KB	64 KB	256 KB	124 KB	128KB~384KB
B/W display	640×200	640×400	640×400	—	640×400
Color display	640×200, 8 c	640×200, 8 c	640×400, 8 c	—	
Display memory	48 KB	48 KB	96 KB×2	—	
Kanji	3418	2965	3418	3418	4000
Floppy disc	320 KB*2	320KB/1MB*2	1MB*2	320 KB*2	300 KB*2
CP/M	○	○	○	×	○
UCSD PASCAL	○	○	○	×	?

表 5 Speed comparison between 8086 and 8087

Instruction	Approximate Execution Time (5 MHz Clock) (microsec)	
	8087 chip	8086 Emulation
Multiply (single precision)	19	1,600
Multiply (double precision)	27	2,100
Add	17	1,600
Divide (single precision)	39	3,200
Compare	9	1,300
Load (single precision)	9	1,700
Store (single precision)	18	1,200
Square root	36	19,600
Tangent	90	13,000
Exponentiation	100	17,100

わが国で当面よく使われそうなのは、8086型である。このプロセッサには協同プロセッサ(coprocessor)として8087と呼ばれる浮動小数点数計算用のプロセッサ・チップがある。この8087を使うと、表5のように8086のソフトウェアのみの場合に比べ、約100倍速くなるから、クロック8MHzの8086+8087の組合せのマイコンは、8ビット型のマイコン(4MHzのZ80Aなど)に比し、数値計算では約1000倍速くなるものと期待される。

上述のように、わが国では、16ビット型CPUでは8086が有力であるが、IBMがThe Personal Computerに8086と命令体系が同じで、入出力バスのみが8ビットの8088を採用したところから8086系はさらに有力になると思われる。しかし、アメリカでは性能がより高い68000もかなり使われ始めている。

さらに16/32ビット型の新しいプロセッサとしては、インテル80286、モトローラ68010、68020、ナショナル16032なども発表されている。これらのチップの設計には、ひと昔前なら大型機の技術だったパイプライン制御、キャッシュ(バッファ)メモリ、仮想記憶、リング保護、仮想マシンといった概念が取り入れられており、いずれはスーパーミニコンに近い性能のものも表われると思われる。しかしソフトウェアの開発が大変だから、これらの新しいプロセッサが実用になるのはまだ数年先であろう。

(2) 主記憶装置と漢字ROM

ワンチップ64キロビット（8KB）のRAM素子が実用されたことから、これを1枚の回路ボードに32個、あるいは64個搭載し、256KBあるいは512KBの容量をもつS100バス型やインテル・マルチバス型メモリ・ボードが出始めた。IBMパソコン用には576KBのメモリをのせた“IBMカード”がある。マイコンでも今後は256KBないし1メガバイトの主記憶をもつものが増えてくるのは間違いない。すでに述べたように漢字パターンの入ったROMの実験も今後は珍しくなくなる。

(3) キーボード

1980年に筆者らの提案で新しいJIS規格（C6233）が制定されたが、最近のマイコンのキーボードは新しいJIS規格にもとづくものが大多数になってきた。図2に1例を示す。この例でLINE FEEDキーをやめて、代りにRETURNをもっと大きくした方がよいと思われるが、その他の面では、BREAK（COM

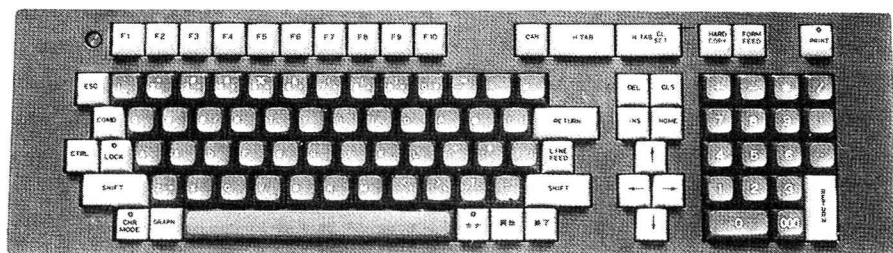


図2 マイコン・キーボードの例（沖 IF 800/30）

D）やLOCK（大文字ロック）、CTRLのキーもあり充実している。なお、カナは普通はあまり使わないものであるから、カナの刻印はキートップではなく、キーの前側面に打つ方がよいと思われる。日電5200/05、シャープPC 3200、日立BMジュニアなどの旧JIS規格キーボードは使いにくいのですめられない。いずれにせよ、キーボードは最も重要なマン・マシン・インターフェースであるから、その設計・選択には十分な注意が必要である。カタカナの配列についても、このままでいいかどうか検討が必要である。

(4) ディスプレイ

最近のマイコンでは、CRTディスプレイ用には、主記憶とは別に、表示用記憶装置を設ける設計のものが増えている。例えば、各点当たり8色（3ビット）で、640×200点を表示する場合、表示用記憶の容量は、3ビット×640×200÷8ビット/バイト＝48KBとなる。解像度を変えると、所要記憶容量は例えば次のようになる。

解 像 度	カ ラ ー（各点）	記 憶 容 量
640 × 200	8 色（3 ビット）	48 KB
640 × 400	8 色（3 ビット）	96 KB
1024 × 1024	白黒（1 ビット）	128 KB
1024 × 1024	16色（4 ビット）	512 KB
2048 × 2048	白黒（1 ビット）	512 KB

ディスプレイに関して注目されるのは、日本電気が開発した7220型GDC（Graphic Display Controller）と呼ばれるLSIチップである。これは5.3mm×5.4mmのシリコン・チップの上に約13,000個のトランジスタを集積したもので、図3に示すように使われる。これは次の仕様をもつ。

- ① 5 MHzのクロックにより1点当たり800nsec（0.8 μsec）で描画できる。
- ② 512 KBまでの表示用記憶にアクセスできる。
- ③ 直線、四辺形、円弧を描く機能がある。

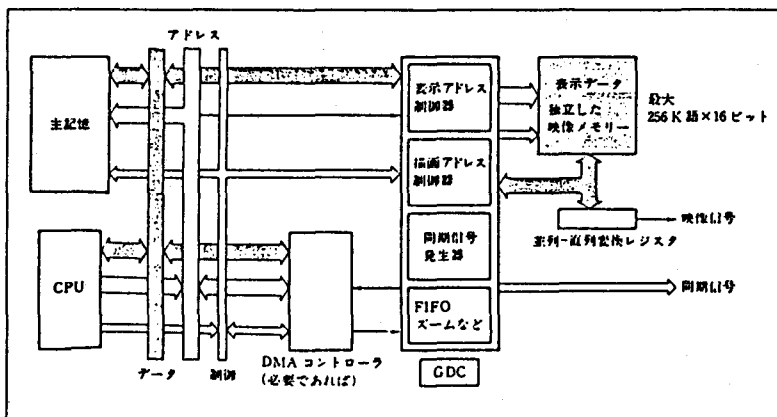


図3 GDC (グラフィック・ディスプレイ・コントローラ) チップの応用例

④表示図形の拡大・縮小ができる。

こうしたLSIの登場と、記憶コストの低下および走査線1200本の高解像度テレビの開発により、マイコンのCRTディスプレイ機能は今後非常に充実するものと思われる。

他方、ディスプレイとしては、液晶ディスプレイも使われ始め、すでに80字×12行までには達している。蛍光表示管やプラズマ・ディスプレイも同様である。

(5) 補助記憶装置

フロッピー・ディスクでは表6に示すように、ミニ型(5.25インチ径)で1枚両面の有効容量640KB、8インチ型で1MBまでのものが実用化されている。また、ソニーからは1枚片面で310KBの3.5インチ型マイクロ・フロッピーが発表されている。日立・松下・マクセルからは3インチ型のフロッピー・ディスクも発表された。さらに、今後の普及が注目されるのは、直径約5インチのコンパクトな固定ディスクである。容量は2枚板のもので5MBないし10MBあり、アクセスはそう速くはないが、回転数がミニフロッピー・ディスクの10倍あるため、データの転送速度もほぼ1桁向上する。

このほか、磁気バブル・メモリも国産のマイコンで使われ始めているが、まだ小容量(32KBないし128KB)で高い。

表6 Examples of disc specifications

	3.5" floppy (Sony)	5" floppy	8" floppy	5" hard disc	
				ST512	Micro Magnum
Unformatted	447 KB	1 MB	1.2 MB	12.7MB (2 discs)	6.75
Formatted	310 KB	640 KB	1 MB	5 MB (×2)	5 MB
Track size	4.5 KB	6.25 KB(u)	6.5 KB	8 KB	8
Sector size	512 B	256 B	256 B		256 B
sectors/track	9	16	26		32+1 予備
tracks/surface	70	80 (×2)	77 (×2)	306	311
Transfer	500 Kbps	250 Kbps	500 Kbps		555 KB/sec
Average access	365 msec	250 msec	180 msec	160 msec	84 msec
Rotation	600 rpm	300 rpm	360 rpm	3600 rpm	3443 rpm
bits/inch	7610 bpi	5922 bpi	6816 bpi	10,202 bpi	8617 bpi
tracks/inch	135 tpi	96 tpi	48 tpi	270 tpi	454 tpi

(cartridge あり)

(6) プリンタ、その他

マイコン用の低価格プリンタで重要なのは、図形や漢字の打てるドット・インパクト式のもの、美しい印字のできる英文用のディジー・ホイール・プリンタである。そのほか多色のペンが扱える15万円程度のXYプロッタも発達してきた。

一方、音声入出力装置の面では、音声出力用には音声合成LSIが入手しやすくなってきており、音声入力用には2枚板で60語、端末機で120語までの認識ができる装置がいずれも日本電気から発表されている。

(7) 入出力インターフェース

実験装置やデータ通信用変復調装置（モデム、音響カップラ）などの外部装置をマイコンで制御する場合に重要なのは、両者の間のつなぎ方である。このための代表的な入出力インターフェースの方式には次の三つがある。

- ① 直列（RS 232 C）インターフェース
- ② 並列（セントロニクス）インターフェース
- ③ IEEE 488 バス

このうち①は表7の信号を使う最も単純な接続法で、モデムやカップラ、あるいはRS 232 Cインターフェースをもつプリンタの接続に使われる。マイコンのBASIC言語ではこのインターフェースの制御機能はサポートされているのが普通である。また②は8ビットデータの出力用の標準方式で、プリンタにはこのインターフェースをもつものが多い。③は計測器の接続に用いられる方式で、HP-IBあるいはGP-IBとも呼ばれる。これは、計測器の標準インターフェースとして普及し、専用の制御用LSI（インテル8291, 8292, 8293）も出ている。

表 7 Serial interface signals

RS232C interface		Connection	Modem	Terminal
Pin	Signals		Coupler	(ADM-3A)
1 FG	Protective ground	—	1 FG	1 FG
2 SD	Send data	←→	2 SD	← 2 SD
3 RD	Receive data	←→	3 RD	→ 3 RD
4 RS	Request to send	←→	4 RS	← 4 RS
5 CS	Clear to send	←→	5 CS	→ 5 CS
6 DR	Data set ready	←→	6 DR	--- 6 DR
7 SG	Signal ground	—	7 SG	— 7 CD
8 CD	Carrier detect	←→	8 CD	→ 8 CD
20 DTR	Data terminal ready	←→		← 20 DTR

5. パーソナル・コンピュータのソフトウェア

マイコンのハードウェアの前述のような機能向上に呼応して、ソフトウェアの方も最近では発展が著しい。表8に各種言語処理系およびOS（オペレーティング・システム）の発展の様子を示す。以下ではとくに、

- ・マイクロソフトBASIC
- ・CP/M（フロッピーディスク用OSおよびCP/M用ソフトウェア）
- ・UCSD Pascal システム
- ・実時間用OS

について述べる。なお、表8のTiny BASICは、マイコンの主記憶が数キロバイトと小さかったときに珍

重されたが、今では4 KBのROMをもつワンチップ・マイコン（NECの7901 Gなど）でしか使わなくなっ
てしまった。

表 8 History of language processors

1974	CP/M (OS by G.Kildall at Digital Research)
1975	Hexadecimal monitor (MITS Altair)
1975	BASIC interpreter (8KB, by Bill Gates at Microsoft)
1976	Tiny BASIC interpreter (2kB, by Lichen Wang)
1976	FORTRAN compiler (Microsoft)
1977	UCSD Pascal System (Univ. of California at San Diego)
1979	C, Tiny C, Tiny PASCAL, LISP, APL
1979	BASIC compiler (Microsoft)
1980	PL/I compiler

(1) マイクロソフト BASIC の機能

マイコンで最も広く使われているのは、BASIC 言語であるが、そのインタプリタは世界的にマイクロソフト社のものが広く使われ、したがって言語仕様もマイクロソフト版が事実上の標準になっている。最近のマイクロソフト BASIC の特徴は、次のようなハードウェア機能がサポートされていることで、インタプリタのサイズは40 KBにも達している。

- ・フロッピー・ディスクへのデータ入出力
- ・カラー図形表示 (LINE, CIRCLE, PSET, ……)
- ・ライトペンやプリンタ
- ・キーボードと機能キー
- ・データ通信インターフェース
- ・カレンダー・クロックとタイマ

とにかく、今日のマイコン BASIC は基本 BASIC 標準価格に比べると機能が大幅に拡張されていて、BASIC はもはや小さくて単純な言語ではないのである。

さて、こうして BASIC が拡張された結果として出てきた問題は、異なるマイコン間での BASIC の互換性が失われることと、主記憶が128 KBあるマイコンでも、ユーザの使える領域は60 KBしかない機種があることなどである。

(2) CP/M (フロッピー・ディスク用 OS)

CP/M は 8080 / 8085 / Z80 A 用に開発された簡単な OS であるが、Z80 A の普及とともに広まり、今ではマイコンの最も標準的な OS になっている。このため、表 9 の例に示すように、アメリカで1978 年以来、C

表 9 Cost of language processors

Language	First advertized	Original price	Current Price	Japanese Price
CP/M [OS]	1978.9	\$145	(up) \$170	¥ 60,000
MP/M [OS]	1980.8	\$300	\$300	¥105,000
FORTRAN	1978.9	\$400	(up) \$435	¥153,000
COBOL (MS)	1978.9	\$625	(up) \$710	¥249,000
PL/I	1980.4	\$500	\$500	¥175,000
PASCAL/M	1980.1	\$175	\$175	¥ 49,000
PASCAL/Z	1980.7	\$395	\$395	¥158,000
Tiny C	1979.8	\$ 75	(up) \$105	¥ 42,000
C (BDS)	1979.8	\$110	(up) \$150	¥ 82,000
C (Whitesmith)	1979.10	\$630	\$630	¥298,000
LISP (mu SIMP/mu MATH)	1979.11	\$190	(up) \$260	¥ 91,000
APL	1979.4	\$350	(up) \$500	¥200,000
BASIC interpreter	1978.9	\$300	(up) \$335	¥118,000
BASIC compiler	1979.8	\$350	(up) \$360	¥126,000

P/M向けにいろいろなプログラム言語処理系が開発されているが、そうしたソフトウェアの改良版の出現（version up）の度に価格が少しづつ上昇してゆく傾向がみられる。またひとつの言語をとったときに、その処理系はいろいろあるが、日本ではこうしたものが全く開発されていないこともあって、表 10 に示すように、よい処理系（コンパイラ）になると、20～30万円もするものがある、ハードウェアに比して非常に高くなっている。

次に表 11 は、CP/M処理系の大きさの例である。CBASICやPASCAL/Mでインタプリタとコンパイラの両方があてであるのは、コンパイラで中間言語にコンパイルし、それをインタプリタで解釈実行す

表 10 Examples of software prices

Software	Standard		High-Class	
CP/M (OS)	Intel MDS	¥ 60K	for IF800	¥ 70K
Screen editor	Word Master	¥ 51K	Word Star	¥156K
Linker	—	—	PLINK II	¥140K
PASCAL	PASCAL/M	¥ 49K	PASCAL/MT+	¥228K
FORTRAN	Microsoft	¥153K	SSS	¥198K
C	BDS	¥ 82K	Supersoft	¥228K
PL/I	Digital Research	¥175K	—	—
Cobol	Nevada	¥ 82K	CIS	¥298K
BASIC interpreter	CBASIC-2	¥ 58K	XYBASIC	¥220K
BASIC compiler	Microsoft	¥126K	SBASIC	¥158K

表 11 Size of language processors

	Interpreter	Compiler	Library	Linker
BASIC (MS5.0)	24 KB	—	—	—
BASIC (Compiler)	—	30 KB	50 KB	10 KB
CBASIC-2	18 KB	20 KB	—	—
FORTRAN (MS3.3)	—	26 KB	24 KB	10 KB
PL/I	—	89 KB [3]	41 KB	13 KB
PLMX	—	107 KB [5]*	11 KB	9 KB
PASCAL/M	14 KB	32 KB	8 KB	—
Tiny C	6 KB	—	—	(Editor 10KB)
C (BDS)	—	22 KB	12 KB	4 KB
C (Whitesmith)	—	163 KB [4]**	48 KB	19 KB
APL	32 KB	—	14 KB	—
LISP	8 KB	—	—	—

* includes 18 KB-assembler

** includes 36 KB-AN assembler

ようになっているからである。また PL/I などで、[3] のような表示があるのは、コンパイラが大きすぎて64KB程度の主記憶に入りきらず、コンパイラ自体が三つに区分されて、3 フェーズでコンパイルが行われることを示す。実際使ってみると、PL/I, PLMX, C (Whitesmith) の場合、フロッピー・ディスクではコンパイルに時間がかかりすぎることからみて、これらの本格的利用には固定ディスクが必要である。

このCP/Mを使うための主なコマンドは表 12 の通りである。CP/Mは割込みを

表 12 CP/M commands

Built-in commands	
ERA file	(erase a file)
DIR	(list file names)
REN new=old	(rename files)
SAVE file	(save into a floppy)
TYPE file	(list file content)
Transient commands	
ASM =file	(assemble)
DDT	(debug)
DUMP	(dump)
ED file	(editor)
LOAD	(link with library)
MOVCPM	(reconfigure OS)
PIP new=old	(copy files)
STAT **	(list file sizes)
SUBMIT file	(execute a command file)
SYSGEN	(make a new floppy disc)

使わない（したがって移植しやすい）単一タスクのOSであるが、使い勝手はかなりよい。とくに、Wordmasterなどの画面エディタがあればプログラムやテキストの編集は効率よくできる。このCP/Mを使って、いろんな言語を使うコンパイル・リンク・実行などの手順は表13の通りである。ここでedはエディタの呼出しを表わす。

なお、このCP/Mには64KB*
nのメモリをバンク切換で管理し、マルチ・タスク/マルチ端末をサポートするMP/M、およびマイコンネットワーク用のCP/NETという拡張版がある。また16ビット・マイコン8086 / 8088用のCP/M-86やマルチタスキングのできるコンカレントCP/Mも使われ始めている。

(3) UCSD Pascal システム

これはカリフォルニア大(UC)サンディエゴ分校(SD)のK. Bowlesのグループがもともと開発したシステムで、Z80Aのみならず、6809やLSI-11のような異なるマイコン間ではほぼ共通に使える移植性の高いシステムである。最近のシステムでは、その構成はファイル上の大きさでいうと表14

のようになっている。特徴的なのは、Pascalプログラムをコンパイラでコンパイルして、pコード・インタプリタで解釈実行するようになっていることで、システムには画面エディタが含まれている。

最近のUCSDシステムで特筆すべきことは、亀の子幾何(turtle geometry)グラフィックスの機能が含まれていることである。これを使うと、例えば五角形は、“まっすぐ100歩進んで72°度曲がれ”というコマンドの繰返しで書けることになる。なお、このシステムにはFORTRANやBASICのコンパイラもあ

表 13 Examples of language use

```
(1) BASIC interpreter
>ed testb.bas
10 print "I am a computer."

>basic
run "TESTB"

(2) BASIC compiler
>ed test.bas
10 print "I am a computer."

>bascom =test
>180 test/e,test/n
>test

(3) FORTRAN compiler
>ed testf.for
write(5,500)
500 format('I am a computer.')
end

>f80 =testf (→testf.rel)
>180 testf/e,testf/n (→testf.com)
>testf

(4) PASCAL p-code interpreter
>ed testp.pas
program test (input, output);
begin writeln ('I am a computer.')
end.

>prun pascal
source?..... testp (→testp.pco)
>prun testp

(5) APL interpreter
>apl
S ← 'I AM A COMPUTER.'
S

(6) C compiler
>ed testc.c
main( ) { printf("I am a computer.\n"); }

>ccl testc.c (→testc.crl)
>clink testc (→testc.com)
>testc

(7) CBASIC
>ed test.bas
10 print "I am a computer."

>cbas2 test
>crun test
```

表 14 Sizes of the UCSD Pascal System

OS (SYSTEM.PASCAL)	17 KB
Compiler (SYSTEM.COMPIILER)	38 KB
Linker (SYSTEM.LINKER)	11 KB
P-code interpreter (SYSTEM.INTERP)	15 KB
Fileer (SYSTEM.FILER)	14 KB
Editor (SYSTEM.EDITOR)	27 KB
Library (SYSTEM.LIBRARY)	14 KB
Error messages (SYSTEM.SYNTAX)	7 KB
Assembler (SYSTEM.ASEMBLER)	27 KB
Total	170 KB

る。

(4) エンド・ユーザ向けの簡易言語

ビジネス応用ユーザ向けには、テーブルの形のデータの処理が質問（メニュー）に応える形でできるソフトウェアがいろいろ開発されている。例えば VisiCalc, PIPS, SuperCalc などがそれで、テーブル内のデータのソートや検索あるいはグラフ化が簡単にできるようになっている。

(5) 実時間制御用 OS と汎用 OS

マイコンはいろいろな実時間（real time）制御の目的に使われることも多いが、その場合には、実時間 OS が必要である。この種の OS で重要なマルチ・タスクの同期をとる方式としては、次の二つがある。

セマフォアと P/v 操作

ECB（event control block）と POST/WAIT 操作

OS について注目すべきことは、インテル 80130 チップにみられるように OS の核の部分を LSI 化する試みが出てきたことである。80130 は 8086 または 8088 と組合せて使うシリコン OS であり、RMX という実時間 OS の基本機能をもっている。

次に汎用 OS としては、前記 CP/M の上位 OS である CP/M-86 が有力であるほか、ベル研究所で開発された UNIX の流れをくむ OS も、表 15 のように主として 16 ビット・マイコン用に使われ始めている。UNIX は今までミニコンやスーパーミニコン（VAX シリーズ）で使われているが、次のような特徴をもつ TSS 用 OS（単一ユーザで使ってもよい）である。

① ファイルは文字の集まりというだけの単純で一般的な構成で、レコードやブロックを考慮の必要がない。それでいて、ファイルのディレクトリはツリー状（ハイアラーキー）になっている。

② コマンド（プログラム・モジュール）は次のようにパイプライン機構で連結して使える。

who | sort | head - 15 | tail - 5

ここで、who は“TSS ユーザのリストを出せ”，sort は“それをアルファベット順に並べかえよ”，head - 15 は“その結果の先頭 15 行をとれ”，tail - 5 は“その結果のうしろ 5 行をとれ”というコマンドである。

③ 端末ディスプレイ（CRT）とファイル、キーボードとファイルが同格で、次のような切換えができる。

sort file1 (ソート結果を CRT へ)

sort file1 > file2 (結果を file 2 へ)

sort file1 >> file2 (結果を file 2 へ追加)

ed file1 < file2 (エディタへのコマンドを file 2 から受け取れ)

④ ソフトウェア・ツールが揃っている。

⑤ 英文のワード・プロセッシング用ソフトウェアが豊富にある。

⑥ UNIX 間のネットワークが組める。

表 15 UNIX-like OS

XENIX	(Microsoft)	8086, Z8000, 68000
Idris	(Whitesmith)	8086, 68000
Coherent	(Mark Williams)	8086, Z8000, 68000
V7 (Borkeley)	Unisoft	68000
μ NIX	(Morrow Design)	Z-80
OS-9	(Microware)	6809 (マイクロ UNIX)

6. パーソナル・コンピュータの将来

パーソナル・コンピュータは今や非常に多様な応用目的に使われ、低価格の下位機種へも、機能の豊かな上位機種へも急ピッチで発展している。今後の上位機種は、プロセッサは 16 ビット型（あるいは 32 ビット型）

になり、主記憶は 256 KB 以上となって、非常に高性能化することは疑いない。表 16 は次世代のマイコンで予想される構成例である。この構成要素のいくつかについて次に述べる。

表 16 Configuration of a future super - personal - computer

Processor	16-bit CPU or 32-bit CPU
Main storage	256KB ~ 1MB ~
Display	1024×1024 dots (128KB) ~ 2048×2048 dots (512KB) *Flat screen for Kanji and image
Discs	5" hard disc (10MB ~) 3.5" floppy disc (0.5MB ~) *Laser discs (DADC=2500MB ~)
Tape	Cartridge backup tape
I/O	*Fax (image) input/output *Voice input/output
Network	Ethernet or other networks
OS	UNIX-like
Languages	Ada, Smalltalk, Prolog

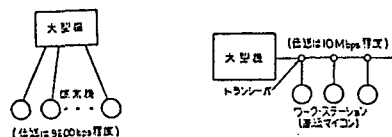
(Note) *needs further developments

(1)ディスプレイ：現在のマイコンで最もかさばるのは CRT ディスプレイである。しかし CRT ディスプレイは近い将来高精細度テレビ管の登場により、カラーで 1000 × 1000 点程度にまで発展することが予想されるため、ディスプレイの主流であり続けるものと考えられる。しかし一方、平面型でコンパクトな（カラーでない）ディスプレイとしては液晶や蛍光表示管で 80 字 × 12 行のものが実用化され、プラズマ・ディスプレイでも 80 字 × 12 行あるいは 512 点 × 512 点の表示ができるようになっており、これらもマイコンにだんだん採用されていくものと思われる。

(2)補助記憶：マイコンはコンパクトな方が望ましいから、補助記憶として発展を期待したいのは、直径 3.5 インチと 3 インチのフロッピーディスクと 5 インチの固定ディスクである。後者のバックアップとしては、小型のカートリッジ・ディスクも重要である。将来、光ディスクが使えるようになれば、補助記憶容量は膨大なものになる。

(3)入出力機器：OA 機器としてのマイコンではとくに、文字や図形のはかに、今後は手書き文書、印影、写真などの画像も扱いたいという要求が強まってくるとと思われる。この目的にあう入出力機器はファクシミリである。また音声入出力機器もある程度は使われるようになるであろう。

(4)ネットワーク機能：マイコン同志、あるいはマイコンと大型機の交信ができることは今後不可欠である。これにはマイコンが単に図 4(a)のような端末機として使えるだけでなく、図 4(b)のように構内ネットワークにつなわれ、それがさらに電々公社の DDX パケット交換網のような広域ネットワークにつながることが望ましくなる。



(a) 現在の集中処理 (b) 構内ネットワーク

図 4 スター状ネットワークから回線多重利用ネットワークへ

以上のようにして、光ディスクやファクシミリ機器が

使えるようになれば、マイコンとそれらは図 5 のようにつながることが考えられる。こうなれば紙の文書は写真も含めて、光ディスクに格納され、ファックスやディスプレイで自由に出し入れができるようになり、電子郵便もやりやすくなるであろう。

一方、ソフトウェアの面ではこれからもOSの設計に大きな影響を与えると思われるのはUNIX*である。UNIXがそのまま使われるかどうかは別にして、UNIXに特徴的な機能はいろいろなシステムに取込まれてゆくと思される。プログラム言語としては、従来の言語のほかに、米国防省が推進しているAdaが重要になると思される。Adaはすでに32ビット・マイコン(インテル432)の主力言語にもなっており、実時間処理やマルチタスキングなどの記述も可能な万能汎用語として期待されている。このAdaのほかに、今後のマイコンに大きな影響を与えそうな言語としては、PrologとSmalltalkがある。Prologは人工知能の分野で自然言語の解析などにLISPとともに使われている研究用言語で、通産省の第五世代コンピュータ開発プロジェクトでも取上げられている。

Smalltalkの方は、ゼロックス社のパロアルト研究所で、Alan Kayらが同所開発のAltoコンピュータ用に開発してきたオブジェクト指向型のプログラム言語である。Altoコンピュータの特徴は、同社のSTARワーク・ステーション(高級マイコン)と同じく、808×606点の高分解能CRTディスプレイをもつことである。Smalltalkを使うと、CRT画面の上に窓(window)を定義することで、紙の上に紙を重ねるような表示、鉛筆でスケッチしたような絵、簡単なアニメーションなどがやりやすい。また図6のような形の

いわば図形型のプログラミングが可能になる。この場合、画面の上半分に表示されているプログラム要素を表す図形をマウスと呼ばれるカーソル移動装置でピックアップして、下半分のDANCE ACTの領域に並べてゆくことでプログラミングができる。あらかじめ定義しておいたプログラム・モジュールは、名前の指定だけでよい。図のPeek・a・Booは、“カメの頭を上げて、ひっこめ、また上げて、ひっこめる”ことを表すモジュールである。このプログラム方式が本当に汎用になるかどうかはまだ明らかではないが、これならプログラミングがかなりやさしくなるのは確かであろう。図形のプログラミングのはしりとして注目される。

以上のように見てくると、今後はパーソナルコンピュータのハードウェアの性能が大幅に向上し、OSや言語プロセッサも整備されてくるから、大きさは桌上型ながら、性能的には一昔前の大型機並みのコンピュータのパワーをふんだんに使える時代がやってくるのは確実である。しかし問題はソフトウェアであり、現在までの

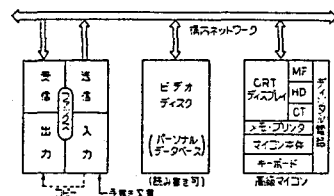


図5 将来のOA機器のイメージ例、図のMFはマイクロフロッピー、HDは小型ハード・ディスク、CTはカートリッジ・テープ

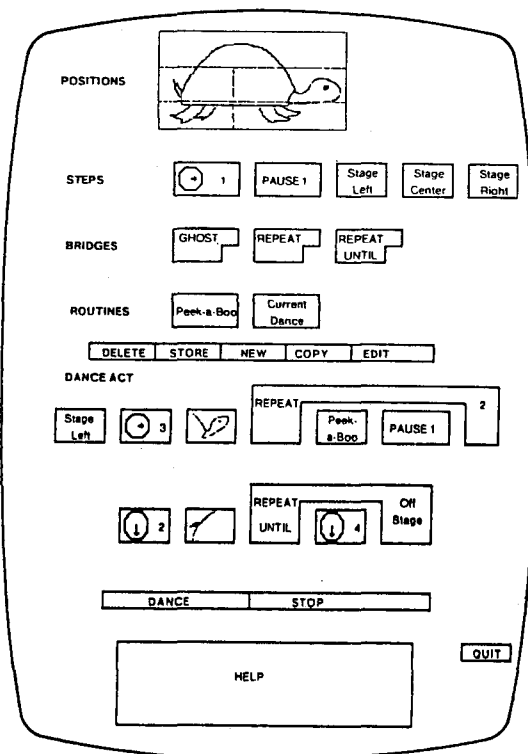


図6 Smalltalk プログラムの例
(上半分はプログラム要素、下半分がプログラム)

* UNIXについてはbit誌(共立出版)に1981年10月号より石田による連載記事が出ている。

ようなソフトウェア価格上昇の傾向が続けば、ハードウェアは入手できても、ソフトウェアが高すぎて買えないということになる。したがって、今後重要なのは、ソフトウェアの互換性を高めて量産効果によるコスト低下をはかることや、応用ソフトウェアを開発しやすくするためのプログラミング環境を整えることであろう。

参考文献

- 1) 石田編：パーソナル・コンピュータ，日経サイエンス別冊，日本経済新聞社（1981）
- 2) マイクロコンピュータ導入設計ガイド，電子技術，23巻11号（1981）
〔CP/M，3.5" マイクロフロッピー・ディスクなど説明〕
- 3) 1ドットを800 ns で描画できるラスタ走査CRT用グラフィック・コントローラ，日経エレクトロニクス，
No. 275，pp. 186 - (1981. 10 - 12)
- 4) 小型化と大容量化の進むフロッピー・ディスク装置，日経エレクトロニクス，No. 288，pp. 129 - 145
(1982. 4. 12)
- 5) 池田ほか：計測器用高級言語（BASIC）インタプリタの開発とその自動データエントリへの応用，電子通信学会論文誌（D），Vol. J64 - D，No. 10，pp. 911 - 918（1981）
- 6) 石田：マイコンBASIC入門，日本放送出版協会（1982）
- 7) R. Zaks（村瀬監訳）：標準CP/Mハンドブック，アスキー出版（1981）
- 8) マイクロソフト（小原訳）：マイクロコンピュータ FORTRAN，工学図書（1981）
- 9) カーニハン，リッチー（石田訳）：プログラミング言語C，共立出版（1981）
- 10) マクラッケン（石田訳）：PL/Mマイクロコンピュータ・プログラミング，産業図書（1979）
- 11) 中村：マイクロコンピュータによるPascal，工学図書（1981）
- 12) Abelson, et al. : Turtle geometry: The computer as a medium for exploring mathematics,
MIT press（1981）
- 13) 機種対応に顔を揃えた16ビット・マイクロコンピュータ用OS，日経エレクトロニクス，No. 275，
pp. 122 - (1981. 10. 12)
- 14) C・マクミン他：リアルタイム・マルチタスク処理機能を内蔵するシリコンOS，日経エレクトロニクス，
No. 281，pp. 157 - 170（1982. 1. 4）
- 15) 32ビット・マイクロプロセッサが続々登場 — ISSCC の発表から，日経エレクトロニクス，No. 259，
pp. 60 - 65（1981. 3. 2）
- 16) 16ビット汎用OSの標準を目指すCP/M，MS-DOS，UNIX，日経エレクトロニクス，No. 298，pp. 119 - 144
(1982. 8. 30)
- 17) 万能の汎用言語を目指すAdaの動向，日経エレクトロニクス，No. 264，pp. 138 - 150（1981. 5. 11）
- 18) Smalltalk 言語特集，BYTE，Vol. 14，No. 8（1981）