4. コンピューターにおける新しい話題

4-1 マイクロコンピューターと応用

東京芝浦電気株式会社総合研究所

浪 本 敬 二

1. ま え が き

半導体製造技術の発展とデジタル技術の浸透を背景にして LSI (Large Scale Integration) という概念が現実のものとなってきた。そのひとつは記憶回路の規則的な配列からなるメモリーであり、他のひとつは論理用 LSI の壁を破るマイクロプロセサーである。

マイクロプロセサーはコンピューターの処理機能の中心であるプロセサー部分を1個ないし数個の LSI に収めたものである。このマイクロプロセサーを中心にデータ記憶用の RAM (Random Access read/write Memory) とプログラム記憶用の ROM (random access Read-Only Memory) より構成されるマイクロコンピューターは機械命令のレベル、処理速度などの性能面ではもちろんミニコンピューターには及ばないが、それほどの性能を必要としない分野に広く浸透しつつある。

コンピューターは常に大型化への道をたどりながら発展しているが、ミニコンピューターは大型のコンピューターに遅れて世に現われた。しかし大型コンピューターでは適用され得ない分野で飛躍的な拡大を続けている。マイクロコンピューターはさらに遅れてつい2年あまり前に出現したにもかかわらず、ミニコンピューター以上の速さで発展し、あらゆる分野でその応用が検討されており、非常に大きなインパクトを与えている。

ここでは現在市販または発表されているマイクロプロセサーの種類、その構造、性能、応用分野などについて概観してみよう^{1)~3)}。

2. マイクロコンピューターの構造、分類、適用分野

マイクロコンピューターは 1971 年末に Intel 社より

4ビット並列マイクロプロセサーを中心とする MCS-4 が発表されて以来、米国を中心とする多くの半導体メーカーから種々のシステムが続々発表されてきている。

いわゆるマイクロコンピューターは、当初マイクロプログラムあるいはマイクロレベルの命令を実行する単純なプロセサーを中心とするきわめて小規模なコンピューターであったが、ここ2年あまりの間にシステムの種類、規模ともに非常に広範囲のものに展開されてきている。

マイクロコンピューターとかマイクロプロセサーと必ずしも明言されてはいないが、一般的にこの範疇に入られるシステムを構成するプロセサーは次の3種類に大別して考えることができよう。

- (1) 多桁直列プロセサー
- (2) シングルチッププロセサー
- (3) マルチチッププロセサー

多桁直列プロセサーは10進の演算処理に適しており、いわゆる電卓(電子式卓上カルキュレーター)の上位機種とも考えられる。

狭い意味でのマイクロプロセサーはシングルチッププロセサーの範囲に含まれるものが多い。この中には4, 8, 12あるいは16ビットのものまで並列ビット数、処理速度、処理方式などバラエティー豊かであり、その機能も電卓に近いものからミニコンピューターに近いものまである。命令体系は通常そのプロセサーについて固定である。

マルチチッププロセサーにおいては、使用するチップの個数によって8~32ビット程度までの種々のシステムが構成できる。命令体系もマイクロプログラムにより変えることができ、よりフレキシブルである。

多桁直列プロセサー、4ビット並列プロセサーは多桁10進演算が重要な分野、すなわち事務機関係で多く使用される傾向にあり、他方8, 12, 16ビット並列プロセサーは制御用、端末機器用により多く利用される傾向にあ

¹⁾ "4. Recent Topics on Computers; 4-1 Microcomputer and its Applications" by Keiji Namimoto (Toshiba Research and Development Center, Kawasaki)

る。

これらのマイクロコンピュータはその手軽さ、低価格、フレキシビリティを武器に、電卓からミニコンピュータにまたがるきわめて広い分野をカバーしうるロジックシステムとして注目を浴びており、表1にあげられた分野でその適用が期待されている。

表1 マイクロコンピュータの応用分野

プログラマブルカルキュレーター	レーダー信号処理
キャッシュレジスター	高速フーリエ処理
POS (Point of Sales) ターミナル	研究用コンピュータ
ビルディングマシン	省力化機器
自動販売機	プロセス制御
在庫/倉庫管理	ロボット
バッチ/カードリーダー	工作機械制御
予約ターミナル	製品検査システム
小型事務用コンピュータ	色調制御装置
家庭用機器制御	データ集収、編集システム
計測制御装置	ビデオ表示制御
医用計測装置	ディジタルカセットシステム
データ分析装置	通信制御システム
スペクトル分析装置	マルチプレクサ制御
放射線計測分析装置	データ転送ターミナル
自動検針装置	プリンター制御
教育機器システム	インテリジェントターミナル
音楽合成	テレメトリーシステム
楽器制御	入出力端末装置
交通制御システム	ファイル検索処理
ナビゲーションコントロール	OCR (Optical Character Reader)
エレベーター制御	パターン認識プロセサー
自動車制御装置	総合端末制御
車載制御装置	マルチプロセサーシステム
駐車場制御	ディストリビューテッドプロセッシングシステム
安全システム	コンピュータ周辺端末制御
公害計測装置	電話交換機制御
監視、警報システム	ネットワーク制御
環境制御	各種信号、装置のディジタル化

マイクロコンピュータを利用するに当たってまず最初に考慮されることは、その処理能力と価格であろう。処理能力は与えられた仕事が充分に行えるか否かによって判定される。コンピュータプログラムのフレキシビリティから考えると、この問題は処理速度に帰せられる。一方、マイクロコンピュータにおいても価格に最も影響を与えるのはメモリー容量である。したがって、与えられた仕事を処理するために必要なプログラム量、すなわちメモリー容量は重大な関心事である。これはマイクロプロセサーの命令体系がいかにその仕事にマッチしているかによる。

マイクロコンピュータの適用分野を処理速度の点から分類すると次のようになる。

- (1) 人の操作に応答するシステム
- (2) 機械的動作を制御するシステム
- (3) 電気的信号を処理するシステム

現在のマイクロコンピュータは集積度の点から MOS (Metal Oxide Semiconductor) 回路が使用されて

おり、バイポーラ回路が主体のミニコンピュータと比較すると低速である。しかし、人の操作に対しては 100 ms~1 sec のオーダーで応答すればよく、一般的にはこのような分野に対しては充分過ぎる処理速度をもっている。

機械的動作を制御するためには操作方法にもよるが、だいたい 1~10 ms のオーダーで応答し制御する必要がある。この程度の速度に対してはだいたい充分な処理速度であり、ある意味では最適である。

一方、電気的信号の処理に関しては、もちろん低速のものは問題ないが、100 μ s を切る時間が要求されるようになると、その処理内容にもよるが、だんだん苦しくなってくる。したがって、このような分野へ適用する際にはマイクロコンピュータの処理速度に関しては慎重な考慮が要求される。マイクロコンピュータにおいては、それぞれ命令のレベルがかなり異なっており、一概に命令の処理速度を比較しただけでは仕事を処理する速度の比較にならない点に注意する必要がある。

10 μ s を切る時間が要求されるようになると、現在のマイクロコンピュータでは無理であり、ハードワイヤードロジックに依存せざるを得なくなるであろう。

3. 多桁直列プロセサーを用いるシステム

多桁直列プロセサーは主としてカルキュレーターベースのシステムに使用される。この範疇に属するものとしては

Fairchild Semiconductor (FSC) の PPS-25¹⁾
National Semiconductor (NSC) の MAPS¹⁾
American Microsystem Inc. (AMI) の CK 114²⁾

などがある。これらのシステムは長い桁の 10 進数の演算処理に適するように設計されているので、小型事務用機器に最適であるが、制御用としても利用できる。

たとえば、PPS-25 においては 4 ビット BCD (Binary Coded Decimal) 1 桁が並列に処理され、最大 25 桁 (100 ビット) が 1 個のマイクロレベルの命令で処理される。このシステムは次の LSI ファミリーより成っており、その大略の構成は図1に示されている。

演算ユニット (3805)
制御ユニット (3806)
プログラム ROM (3810)
メモリーレジスター (3808/3809)
キーボード入力ユニット (3807/3803)
出力ユニット (3811)

いわゆるプロセサー部分は演算ユニットと制御ユニットにより構成されている。演算ユニットには 4 ビット 25 桁のアキュムレーターレジスター、4 ビット BCD 演算回路などが含まれている。制御ユニットはシステム全体を制御する中心部分である。プログラム ROM は 256

図1 PPS-25 システム構成

ワード×12ビットのマスクROMおよび制御回路を含んでいる。メモリーレジスタは4ビット並列25桁のシフトレジスタ3個とその制御回路より構成されている。

命令は12ビット1ワードで構成され、演算は4ビット並列、25桁直列に行われるが、実際に計算する桁数は制御ユニット内のマスクにより自由に指定できる。このシステムには最大26個までのROMが接続できる。

システムの同期をとるクロック周波数は最高400kHzすなわちディジットタイムは2.5μs、ワードサイクルタイムは62.5μsである。

1個の命令が実行されているときには、その命令実行サイクルにオーバーラップして次の命令が直列方式でROMからフェッチされる。データは4ビット並列に転送され、命令、および入力のバスラインとは分離されている。

入力データは入力ユニットから制御ユニットへ直列に転送される。出力データは演算ユニットから出力ユニットを介して4ビットの桁指定と4ビットのデータの形で出力される。

MAPS, CK-114においてもだいたい同様の構成であるが、これらはいずれも完全な直列処理で、それぞれ最大76ビットおよび14桁となっている。HP-35などの高級電卓に使用されているMOS/LSI⁶⁾もこの分類に属するものといえよう。

4. シングルチッププロセサーを中心とするシステム

シングルチッププロセサーは典型的なマイクロプロセ

サーといえるが、その機能はチップの大きさにより比較的単純なものからミニコンピュータに近いものまであり、将来LSIの素子密度がさらに上ってくればその範囲はますます広がってくるであろう。

この範囲に入るものとしては

IntelのMCS-4⁷⁾

Microsystems Internal Ltd. (MIL)のCPS/1⁸⁾

Rockwell InternationalのPPS⁹⁾

日本電気のMPS (μPD 751 D)¹⁰⁾

IntelのMCS-8¹¹⁾

Intelの8080¹²⁾

SigneticsのPIP¹³⁾

東芝のTLCS-12¹⁴⁾¹⁵⁾

などがある。

MCS-4, CPS/1, PPS, およびMPSは4ビット並列、MCS-8, i-8080, およびPIPは8ビット並列、TLCS-12は12ビット並列のシステムである。さらに、General Instrument社が16ビット並列の1チッププロセサーを発表したというニュース(日刊工業新聞48.11.23)もある。

4ビット並列システムにおいては、データは4ビット単位で転送/処理されるので、10進の演算にも好都合である。命令は8ビットあるいはそれ以上になっており、アドレスは12ビット程度である。12ビットのアドレスは4ビットのデータバスを介して3回に分けて転送するタイプ(MCS-4)と、データとは別に直接並列に転送するタイプ(CPS/1, PPS, MPS)がある。命令は通常ROMに記憶されており、CPS/1を除いてRAMに記憶されるデータとは完全に分離されている。

これらにおいてはROMは8ビット単位、RAMは4ビット単位でアドレスされており、ROMからの命令はデータバスを介して2回に分けて読取られるもの(MCS-4, MPS)と8ビット並列に読取られるもの(PPS)がある。CPS/1においてはすべて4ビット(ニプル)単位でアドレスされており、命令とデータ、あるいはRAMとROMの区別は特でない。

これらのシステムに接続されるRAMおよびROMは制御回路を含む専用のRAM/ROMが用意されているもの(MCS-4, PPS, MPS)と周辺回路を付加して汎用のRAM/ROMを利用するもの(CPS/1)がある。CPS/1を除いてはI/O(入出力)ポート用LSIも用意されている。

8ビット並列システムにおいては、データは8ビットすなわちバイト単位で転送/処理される。基本的命令は1バイトであるが、3バイトまでの命令がある。いずれも割込線を1本もっており、本格的なコンピュータに近くなっている。

たとえば、MCS-8においては図2に示されているよ

図2 MCS-8 基本システム構成

うに、プロセッサー i-8008 とメモリまたは I/O デバイスとのデータ転送はすべて 8 ビットのデータバスを介して行われている。プロセッサーのデータバスは双方向でタイムマルチプレクスされているが、外部にバッファアー、デコーダー、マルチプレクサー、その他の回路が付加され、信号の分離が行われている。14 ビットのアドレスはデータバスを通して 2 回に分けてアドレスレジスターへ転送される。

このプロセッサーは 18 ピンの標準 DIP (Dual In-line Package) にコンパクトにまとめられているが、システム全体としてはかなりの数の周辺回路が必要となる。割込機能があるが、割込発生時には外部から割込操作の命令を与えなければならない。

i-8080 は i-8008 の高速バージョンであり、命令も拡張されているが i-8008 とはソフトウェアコンパティブルである。このプロセッサーは 40 ピンの DIP に収められており、アドレスは 16 本直接出力されている。データの入出力は 8 ビット単位で双方向のデータバスを介して行われる。したがって、このシステムには汎用の RAM/ROM を 64 k バイトまで比較的容易に接続することができる。

PIP (プロセッサー) は 40 ピンの DIP に収められており、15 本のアドレス線 (32 k バイトまでの RAM/ROM) 8 本の双方向データバスをもっており、命令体系はミニコンピューターのそれに近い。

TLC-12 は 12 ビット並列のシステムであり、基本命令は 12 ビットで構成されているが、修飾により 2 ワード命令になるものもある。アドレスとデータは 12 ビット

ット並列の双方向共通バス上でタイムマルチプレクスされ、プロセッサーとメモリあるいは入出力装置との間のデータ転送は、すべてこの共通バスを介して行われる。このシステムに関しては後で再びとりあげる。

シングルチッププロセッサーはマイクロプロセッサーの代表的な位置にある。その歴史はまだきわめて短い。初期には並列ビット数も少なく、端子数を減らすためにタイムマルチプレクスされるシングル共通バスが採用されており、シリコンゲート、 ϕ チャンネル MOS であった。マイクロプロセッサーの可能性が確かめられると、処理速度の点から並列ビット数が増加され、またアドレスとデータを分離するマルチバス方式になってきた。最近発表されているものはさらに高速化するために n チャンネル MOS が使用されるようになってきている。

上記の例においては、MCS-4、MCS-8、TLC-12 は共通バス方式、 ϕ チャンネル MOS であり、CPS-1、PPS はマルチバス方式、 ϕ チャンネル MOS、MPS、PIP、i-8080 はマルチバス方式、 n チャンネル MOS である。

5. マルチチッププロセッサーのコンピューター

マルチチッププロセッサーは現段階においては 1 個の LSI では実現し難い規模、速度、あるいはフレキシビリティをもつシステムを構成するために利用されている。この分類に属するものとしては

NSC の GPC/P⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

AMI の 7200⁽¹⁸⁾ および 7300

Singer-FSC の SKC-3000⁽¹⁹⁾

Computer Automation の NAKED MINI/LSI⁽²⁰⁾

などがあげられよう。

これらのプロセサーはいずれもビットスライスされており、だいたい4ビットあるいは8ビット並列のレジスターおよび演算論理ユニット (ALU) を含むチップを何個か並列に置き、それに制御回路と何個かのマイクロプログラム ROM チップを加えて構成される。したがって、8ビット程度から32ビット程度まで種々の構成が可能である。しかしマイクロコンピューターとしては、8ビットあるいは16ビット構成が標準的で、基本的な命令は16ビットである。いずれも割込機能 (割込線1~4本程度) をもっており、処理速度、命令体系など、一段とミニコンピューターに近い性能をもつシステムになっている。

これらのシステムはいわゆるマイクロプロセサーというよりはミニコンピューターの下位機種、あるいはそのサブセットを構成するときの中心的な部分をLSI化したもの、すなわちLSIビルディングブロックとも考えられる。したがって、構成はフレキシブルで処理速度もある程度速いが、それだけに周辺回路を多数必要とし、全体としては複雑になっている。

たとえば、GPC/P においてはプロセサー用のLSIビルディングブロックとしては

RALU: 4ビットのレジスターおよびALU

CROM: マイクロプログラム用ROM

が用意されている。RALUは4ワードのゼネラルレジスター、16ワードのスタック、並列ALU、および入出力マルチプロセサーより成る。CROMは100ワード×23ビットのマスクROMおよび制御回路より構成されている。

標準とされている16ビットの汎用プロセサーIMP 16Dは図3に示されているように、4個のRALUと1個のCROMを中心に標準TTL (Transistor-Transistor Logic) 回路を加えて構成されている。1個のCROMでミニコンピューターのレベルに近い42個のマクロ命令を実装することができるが、必要に応じて複数のCROMを接続することも可能である。

256ワードのRAM、512ワードのPROM (Programmable ROM)、および周辺装置用バッファをもつこのプロセサーは約60個の集積回路から構成されており、1枚のプリントカード (8.5 in × 11 in) に実装されている。システムメモリー (マクロ命令がストアされるRAM/ROM) は16ビットのインターナルデータバスを介して接続され、64kワードまで拡張できる。

AMI 7200では8ビットのプロセサーは3個のLSI、すなわち、

レジスターおよびALUチップ

マクロコントロールチップ

図3 GPC/P IMP 16D プロセサー系統図

マイクロ命令ROM

を中心に構成される。レジスターおよびALUチップを2個並列に使用すれば16ビットのプロセサーが構成できる。マイクロ命令ROMには512×24ビットのマイクロプログラムが格納される。メモリーおよびI/Oデバイスは16ビットのバスを介して接続される。バス動作は非同同期式に制御されており、DMA (Direct Memory Access) も可能である。

SKC-3000は特殊目的のために開発されたようであるが、汎用性もあり、強力なコンピューターである。

NAKED MINI/LSIは4個のプロセサーチップと3個のコントロールチップを中心に構成されている。16ビット並列のコンピューターで、まさにミニコンピューターの下位機種である。

6. マイクロコンピューターの内部構造例

マイクロコンピューターあるいはマイクロプロセサーの構造は現在のところ各社各様で非常にバラエティーに富んでおり、どれかひとつのシステムが代表的であるといえる段階ではない。また、マイクロコンピューターの適用分野の広さからみても、統一された機種ですべてをまかなうような状態にはなり得ないと考えられる。

ここでは、LSIコンピューターの一例としてTLCS-12をとりあげ、その内部構造について若干検討してみよう。

LSI コンピューター TLCS-12 を構成する MOS/LSI ファミリーは次のとおりである。

シングルチッププロセッサ (T 3153)
 128×4 ビット RAM (T 3151)
 512×4 ビット PROM (T 3146/T 3181)
 512×4 ビットマスク ROM (T 3233)
 メモリー制御ユニット (T 3216)
 入出力制御ユニット (T 3218)
 双方向バスドライバユニット (T 3217)
 汎用 I/O レジスタ (T 3220)
 割込ラッチユニット (T 3219)

これらの LSI を接続することによりコンピューターのメインフレーム部分は簡単に要求に応じた規模に構成できる。このシステムの基本的構成は図 4 に示されている。メモリー部分はメモリー制御ユニットの下に汎用の RAM, PROM, およびマスク ROM を自由に組合せることができる。入出力装置とのインターフェースは個々の要素に対応して個別に設計されるが、プロセッサとのコミュニケーションは入出力制御ユニットを介して行われ、双方向バスドライバユニット、汎用 I/O レジスタを利用すれば簡単に構成できるようにされている。このような LSI が用意されているのは、マイクロコンピューターを使用する際にはいかに入出力周辺を単純化するかが経済的にもきわめて重要な要素であるためである。

TLCS-12 の標準マイクロコンピューター構成の一例を写真 1 に示す。

多くのマイクロコンピューターの命令がマイクロレベルであるのにくらべ、TLCS-12 の命令はマクロレベルである。したがって、1 個の命令実行時間は比較的長くなっているが、1 つの仕事処理する時間は短くなる。

プロセッサ内部には 8 個のゼネラルレジスタがあるが、1 個はプログラムカウンタに、さらに 1 個は割込マスクとコンディションコードに利用されている。したがって、アキュムレータ、インデックスレジスタなどとしてプログラマーがまったく自由に使用できるのは 6 個のレジスタである。これらのゼネラルレジスタにはメモリーアドレスの一部が割当てられているので、ゼネラルレジスタの中に命令を入れて実行させることもでき、簡単なテストなどにはメモリーは使わなくてもよく、きわめて有用である。

基本的な命令は 18 種類であるが、アドレス修飾などのバリエーションを含めると 80 命

図 4 TLCS-12 基本システム構成

(a) 標準コンピューターセット 4k ワード(RAM/PROM), テレタイプライターインターフェース付

(b) プロセッサおよびメモリーコントロールカード (115.2mm 角)

(c) 入出力コントロールカード (スタートアドレス割込ラッチ I/O バス分離) (115.2mm 角)

(d) 512ワード×12ビットRAMカード (115.2mm 角)

(e) 1024ワード×12ビット再書替え可能 PROM カード (115.2mm 角)

写真 1 TLCS-12 標準マイクロコンピューター構成例プリントカード

令,あるいは細かく分類すると108命令になる。これらの中には乗除算やビット処理命令も含まれており,総合的な処理時間の短縮に寄与している。さらに,これらとは別にコントロールパネルの基本的機能を行う4種のコマンドをもっている。

割り込み機能はきわめて強力であり,割り込み要求線を8本もっている。各割り込み線には独立にプログラムで指定できるマスクビットをもっており,優先度のある割り込みとか多重割り込みの処理が簡単にプログラムできるようになっている。

プロセサーとメモリーあるいは入出力装置との間のコミュニケーションは,12ビットのコモンバスを用いて完全に非同期式に行われているので,任意の速度のメモリーあるいは入出力装置を簡単に接続でき,さらにDMA機能も容易に実装することができる。

このシステムの論理的中心であるプロセサーのペレットブロック図を写真2に示す。このプロセサーには

12ビット並列演算論理ユニット
ワーキングレジスター
特殊関数ユニット
ゼネラルレジスター
ステータス制御ユニット
割り込制御ユニット
コモンバス制御ユニット
マイクロプログラム ROM
マイクロ分岐制御ユニット
タイミングゼネレーター

が含まれており,内部のデータの流れは12ビットの内部バスを中心に行われている。

内部の各ユニットはマイクロ命令の各フィールドにより直接制御されている。マイクロ命令は29ビットで構成されており,内部ROMには128ステップのマイクロルーチンが格納されている。

このプロセサーは5.5mm×5.9mmのチップ上に約11,000個のMOSトランジスタを集積しており,プロセサー機能のすべてを包含しているひとつの例であるが,マイクロプロセサーとしては,これらの機能の一部を外部に出した構造のものも多い。

タイミングゼネレーターは通常のマイクロプロセサーでは外部回路を利用している。TLCS-12においては,スタティック回路構成を採用し,タイミングゼネレーターを内蔵することによって,きわめて広い動作温度範囲(一般用-20°~80°C,特殊用-40°~125°C)を保証しているが,MOS回路の特性から温度により動作速度が変化する(約0.4%/°C)ので,正確な時間を命令数から割出すことができなくなる欠点がある。

一方,命令ビット数の短縮のためにアキュムレータを1個に固定しているもの,さらにメモリーへのアクセスはポインター方式と呼ばれているように,常に間接的に行うものも多い。これらはマイクロプログラムROMに相当する部分がなく,マイクロ命令がそのまま利用されているといった感じのものが多い。

写真2 12ビット並列プロセサー (T 3153) のペレットブロック図

また、マイクロプログラム ROM を外部に付け、マイクロプログラムをユーザー側で自由に作る方式のものもある。この方式ではフレキシビリティは高いが、ソフトウエアサポートおよびコストの面から難点がある。

いわゆるコンピューターとしては割り込み機能と DMA 機能は非常に重要である。もちろん、このような機能がないマイクロコンピューターも多く、それなりに用途も広い。使用しない機能をもっていることは経済的にも有害でさえある。しかし、種々の処理が高度化されていくと、この 2 つの機能はきわめて有用になってくる。これらの機能は割り込み制御ユニットおよびコモンバス制御ユニットに含まれているので、より裸のマイクロプロセサーではこの部分はもっと小さくなるであろう。

他方、サブルーチンのコール／リターンなどを簡便化するためにレジスタスタックをプロセサー内にもっているものもある。

7. IC メモリー (RAM および ROM)

マイクロコンピューターにおいても、プログラムあるいはデータの記憶用として大量のメモリーを必要とする。現在のコンピューターという形態をとる限り、システムのコストの大きな部分はメモリーで占められる。

マイクロコンピューターで使用されるメモリーはプロセサーとの接続およびコストの点から半導体メモリーが多い。プログラムの実行中に書替えられるデータ（あるいはプログラム）の部分にはいわゆる RAM が使用される。マイクロコンピューターは固定のプログラムで利用されることが多いので、使用上の便利さ、経済性、信頼性などの点からプログラム部分は通常 ROM にされる。

半導体メモリーとしては小容量高速のバイポーラ RAM がコンピューター関係の分野では早くから使用されていたが、コアメモリーに代りうるものとしては、大容量の MOS メモリーが出現してからであった。汎用コンピューターのメインメモリー用としてはビット容量の点から 1k~4k ビット／チップ程度のダイナミック型（通常 1~2ms ごとにリフレッシュを必要とするタイプ）が主流になってきているが、マイクロコンピューターにおいては、本質的に小容量であるために簡便さの点から 256~1k ビット／チップ程度のスタティック型（リフレッシュ不要）RAM が使われることが多い。ただし、不揮発性（電源が切れても記憶内容が破壊されない性質）のメモリーが必要な場合には、依然としてコアメモリーも使用されている。消費電力の小さいメモリーとしては CMOS メモリーも出はじめている。

半導体の不揮発性メモリーとしては、シリコン窒化膜 Si_3N_4 と非常に薄いシリコン酸化膜 SiO_2 の界面に電荷

を捕獲して記憶する MNOS (Metal Nitride Oxide Semiconductor) 構造のトランジスタなどが開発されているが、本格的に実用されるにはまだ時間がかかるであろう。

半導体の読出し専用メモリーとしては製造時のマスクで記憶内容が決まるマスク ROM とフィールドで記憶情報を書込むことができる PROM に分けられるが、PROM はさらに記憶内容の消去が可能なものと不可能なものに分類される。消去可能なものは紫外線などで消去されるものから電氣的に書替えが行える RAM に近いもの (Read Mostly Memory) まである。

再書替え可能な PROM としては、シリコン酸化膜の中に多結晶シリコンのフローティングゲートが埋込まれた 2 端子素子より成る FAMOS (Floating gate Avalanche MOS) と、さらにフローティングゲートの上にコントロールゲートを付加した構造の SAMOS (Stacked gate Avalanche MOS) タイプのものが多く使用されている。SAMOS タイプは MOS としては構造的に複雑になるが、書込み時間が短縮できるうえに、電氣的消去（バルク消去）も可能になる利点をもっている。このような PROM は、そのテストに時間がかかるため、現在ではかなり高価（10 円／ビット程度）であるが、使い方によっては非常に便利である。現在 2k ビット／チップ程度が標準的である。

この他に電氣的書替え可能 PROM としては非晶質（ガラス）半導体からなるいわゆるオーボニクスメモリースイッチ素子 (OMS) を使ったメモリーがあるが、結晶と非晶の相変化を利用しているので、その可逆性に問題があり、まだあまり広くは使用されていない。

消去不可能な PROM としては、バイポーラ素子によるダイオード破壊型とフューズ切断型のメモリーが広く用いられている。これらはいずれも書込みが素子の一部を破壊することによって行われているので、書替えはできない。バイポーラ素子を使用しているため 1~2k ビット／チップ程度の容量で読出し時間が 100 ns 以下と高速であるが、価格も高い。マイクロコンピューター用としては他の MOS メモリー程度の速度（0.3~1 μ s 程度のアクセスタイム）で安価な書放し PROM の出現が望まれる。

マイクロコンピューター用 ROM としては、システム開発用あるいは汎用型の装置用には再書替え可能 PROM、プログラムは固定であるが少量の用途には再書替え可能 PROM または書放し PROM が経済的であり、プログラムが固定で大量に使用される場合にはマスク ROM がよい。

8. ミニコンピューターとの比較

マイクロコンピューターは電卓とミニコン（ミニコンピューター）のギャップを埋めるシステムとして注目を集めているが、それがいわゆるコンピューターの形態をとっているために、よくミニコンと比較される。

コンピューターとしての形態、性能、価格、ソフトウェアなどを比較することは、マイクロコンピューターの理解とその位置づけには有効であろうが、それによって使いものにならないとか、ミニコンを駆逐するとかといった見方をするのは誤っているといえよう。すでに汎用の大型コンピューターとミニコンは、それぞれそれなりの位置を占めている。マイクロコンピューターとミニコンも、またそれなりの位置を占めて発展していくものと考えられる。もちろん境界が明確にあるわけではなく、一部では互いに競合する部分も出てこよう。ミニコンが出現してはじめてそれが適用される分野が発展してきたように、マイクロコンピューターの展開とともに、それが適用される分野も大きく発展することが期待される。

マイコン（マイクロコンピューター）の出現によってミニコンの適用分野にも確かに影響を与えることになるが、最も大きな影響を受けるのは、これまでハードワイヤードロジックが使用されていた分野であろう。手軽にしかも経済的に使用できるマイコンは、かなりの部分でいままでのハードロジックに置かわるものと考えられる。

マイコンの価格は、その目玉であるマイクロプロセサーの価格で代表され、非常に安価な印象を与えている。確かにプロセサー部分は現在でもだいたい数万円以下であり、これまでのハードワイヤードロジックのプロセサーと比較すれば1桁程度安い。しかし、処理能力も低下していることは確かである。ミニコンはシステム全体の価格が数百万円といわれ、それが直接比較されてセンセーショナルにいわれる場合があるが、フェアな比較ではない。そもそも、いかに半導体製造技術が発展しているとはいえ、突然同じ性能のものが一挙に1桁も安い価格で出現することはない。しかし、性能は低いとはいえ安価なプロセサーが出現したことの影響は大きい。これまでコンピューターがその価格の面で利用できなかった分野がほとんど無限に残されているからである。

コンピューター部分の価格に最も大きな影響を与えるメモリー部分は、いずれのコンピューターの場合にも性能および価格の面で本質的な差異はない。それぞれのコンピューターにとって、その性能および価格がマッチしているメモリーが選択されているに過ぎない。

マイコンはミニコンほどの性能は要求しないが、もっ

と手軽で経済的なものが必要とされている分野に適するシステムである。マイコンが多く分野で利用されるようになれば価格も一段と下がり、それが他の分野にも大きな影響を与えざるを得なくなることも確かであろう。

性能の面においてもミニコンとマイコン、あるいはマイコンどうしの比較は必ずしも容易ではない。一般にミニコン、マイコンのレベルでは並列ビット数、命令の数、命令の実行時間などが比較の対象になるが、並列ビット数はともかく、命令の数は数え方によって異なり、命令実行時間はその命令のレベルによって違ってくる。あるプロセサーでは通常のコンピューターと同じレベルの機械命令であったり、また別のプロセサーではマイクロ命令であったりする。命令実行時間もマイクロレベルのサイクルをいう場合とマクロレベルのその場合とがある。

しかし、きわめて大ざっぱにいうとミニコンの命令実行時間はだいたい $0.5 \sim 3 \mu\text{s}$ であり、マイコンでは $2 \sim 20 \mu\text{s}$ 程度である。命令の数はそのビット数からして実効的にはミニコンはマイコンの数倍になるであろう。

実際の処理能力は、ある仕事を処理するに要する時間とメモリー容量で比較されなければならないであろう。実効的な処理速度の面で比較すればマイコンはミニコンの数分の1から数十分の1とみるのが妥当であろう。メモリー容量の比較はさらに困難である。一般的に言えば、高度な命令の方がメモリー容量は少なくなるが、比較的単純で小さい仕事の場合には短いビット数の単純な命令でも能率は決して悪くはない。

マイクロプロセサーはLSIとしてのパッケージ、ピン数、および消費電力の点からその性能がかなり制限されている。しかし、これがまた経済的優位性を醸し出しているといえよう。

ソフトウェアサポートの面からみると現在のマイコンはミニコンに比して相当見劣りがする。また機械命令のレベルが一般的に低いのでプログラミングにはより時間がかかる。大部分のマイコンが半導体メーカーから発売されており、論理素子とコンピューターの中間的性質をもっているの、いままでのコンピューターとは若干様相を異にしている。マイコンを使用する際にはソフトウェアサポートが必要なことはいうまでもないが、だからといってソフトウェアもハードウェアメーカー側で完備されていなければ使えないといった議論には必ずしも首肯できない。

マイコンはミニコン以上に、プログラムを開発するコンピューターではなく、プログラムを実行するコンピューターであるといえよう。したがって、マイコンのプログラミングはより大型のホストマシンで行われるのが普

通である。しかし、小規模なプログラムの作成、あるいは最終的なプログラムデバッグにはマイコン自身が使用される場合も多い。

いずれのマイコンにおいても、プログラミングサポートとして少なくともアセンブラー言語が用意されており、プログラムのデバッグのためにシミュレーションプログラムおよびハードウェアシミュレーターが利用されている。さらに、コンパイラレベルのプログラミング言語（たとえば Intel 社の PL/M）が用意される傾向にあり、マイコンのプログラミングもかなり容易に行えるようになってきている。

マイコンにおいては他のコンピューターと異なり、プログラムは通常 ROM に記憶されることが多く、プログラム実行中に書替えることはできない。したがって、プログラムを作成するときは書替える可能性のある部分と固定の部分（いわゆるピュアプロシージャ）を明確に区別しておくことが必要になる。したがって、プログラミングテクニックもいままでのものとは若干異なる部分も出てくる。このためにサブルーチン、割込ルーチンなどのリンケージに特別な工夫がこらされているものもある。また ROM 容量はコストに直接影響を与えるので、能率の良いプログラムの作成、あるいは能率の良いオブジェクトプログラムを生成するコンパイラーなどがいままで以上に要求されるようになるであろう。

9. む す び

マイクロコンピューターは MOS/LSI 技術上の成果であり、新しい技術分野を開きつつある。その前途は洋々たるものであるが、コンピューターとしての使いやすさは内部回路の増大とともにソフトウェアサポートにも深く関係してくるであろう。また、最大の利点であるその低廉さは LSI がある程度量産されてはじめて達成されるものであり、そのためには真に汎用性のある本質的な機能が追求されなければならないであろう。

現在のマイクロコンピューターの弱点のひとつはその総合的処理速度であろう。もちろん速度をそれほど必要としない分野もかなり多いであろうが、ひとたびマイクロコンピューターが使われ始めると、処理速度向上への要求は強くなるであろうし、それが達成されればますます適用分野も広がってくるであろう。すでに高速化への要求は強いものがある。高速用としては n チャンネル MOS 化は時間の問題であり、SOS (Silicon On Sapp-

hire) の CMOS、あるいはバイポーラ素子の利用なども検討されている。端子数と消費電力の制限の下にいかにして処理能力を向上させるかは、その低価格とともに素子、コンピューターアーキテクチャー両面で非常に大きな、そしてきわめて興味深い問題である。

しかし、マイクロコンピューターの真価は、それが装置の奥深くに入り込み、もはやコンピューターをまったく意識しない状態で使用される分野で発揮され、またそのような分野で最も多く使用されるものと期待される。

最後に、マイクロコンピューターの開発に貢献された多くの関係者に謝意を表する。（昭和 49 年 1 月 9 日受付）

〔参 考 文 献〕

- 1) G. Lapidus: MOS/LSI launches the low-cost processor, IEEE Spectrum, Nov. (1972) 33-40
- 2) B. Gladstone: Designing with microprocessors instead of wired logic asks more of designers, Electronics, Oct. 11 (1973) 91-104
- 3) 浪本: マイクロコンピュータのハードウェア, 日刊工業新聞社講演会資料 (1973. 7)
- 4) 石田: フェアチャイルド社 PPS-25 とその応用, 日本経営科学協会講演会資料 (1973. 10) 12-18
- 5) A. Goldberger: AMI CK 114—Microprogrammable serial processor, 1972 WESCON Session 26, (Mar. 1972)
- 6) T.M. Whitney & R.J. Paluck: MOS circuit development for the HP-35, Comcon 72, Sept. (1972)
- 7) MCS-4 Micro computer set users manual, Intel Corp. Feb. (1973) Rev. 4
- 8) MF 7114 Central Processor Unit, Microsystems international Ltd. (Mar. 1972)
- 9) W.E. Wickes: Application notes Parallel Processing System, Rockwell International (Apr. 1973)
- 10) 松村, 堺: 日本電気におけるマイクロ・コンピュータ, 日本経営科学協会講演会資料 (1973. 10) 19-36
- 11) 8008 8-bit parallel central processor unit MCS-8 Users manual, Intel Corp. (Nov. 1972) Rev. 2
- 12) Single chip 8-bit parallel central processor unit 8080, Intel Corp. (July 1973).
- 13) Programmable Integrated Processor, Signetics Corp. (Apr. 1973)
- 14) 東芝 LSI Computer System-12 システム動作説明書, 東芝 (1973. 8)
- 15) 浪本, 高橋, 鈴木: 12ビット並列のマイクロコンピュータ "LCS-12", 日経エレクトロニクス (1973. 8. 13) 50-76
- 16) Product Description General Purpose Controller/Processor MOS/LSI System kit, National Semiconductor Corp. (Mar. 1972)
- 17) G. Reyling: LSI building blocks for parallel digital processors, 1973 IEEE Intercon Session 21 (Mar. 1973)
- 18) G.W. Schultz & R.M. Holt: MOS LSI minicomputer comes of age (1972 FJCC) 1069-1080
- 19) G. Keith, E. Leuthold & V. Schnathorst: The SKC 3000 LSI Computer, 1972 WESCON Session 26, (Mar. 1972)
- 20) P.A. Kaufman: How about the low cost (\$ 1000) minicomputer, 1973 WESCON Session 11 (Sept. 1973)