

---

 解 説
 

---

## ミニコンおよびマイクロプロセッサの応用

相 磯 秀 夫\*

## 1. はじめに

コンピュータの応用分野の拡大ならびに利用経験の蓄積に伴って、ミニコンピュータ（以下、ミニコンと略称）の存在意義はもはや不動のものになっている。ミニコンそのものの技術は次第に定着しつつあるとはいえ、半導体を中心とした電子技術の著しい進歩に大きな影響を受けている。

ミニコンに関する一般的な解説は種々の文献<sup>1)~4)</sup>に見ることができるので、改めて行うつもりはないが、本稿ではミニコンを取りまく一連の技術動向とその意義について、特にミニコンの応用という立場から眺めてみることにする。

## 2. ミニコンとマイクロプロセッサ

半導体技術の進歩に伴って、コンピュータのハードウェアは次第に LSI 化している。すでに数千ゲートの論理回路を単一チップ上に実現する技術的な基盤はできており、後は需要に密接な関係のある経済性との釣合が残された問題といわれる。もともと、半導体技術は大量生産の上に成立つ技術であり、需要次第でかなりの規模の LSI が極めて安価に実現できる可能性をもっている。このような意味では、比較的単純かつ標準的な構造をもち、しかも将来とも大量の需要が保証されている卓上計算機やミニコンなどはその対象として最適とされている。

現在すでにコンピュータの本体を一つの半導体チップ上に実現する試みが行われている。いわゆる“1チップ CPU”、“マイクロコンピュータ”あるいは“マイクロプロセッサ”<sup>5)</sup>と称するものがこれである。今までに Intel 社の MCS-4 をはじめ十数種が開発され

ているが、その多くのものは卓上計算機用で機能的にはミニコンに遠く及ばない<sup>6)</sup>。しかしながら、機能が単純で、記憶容量が少くともコンピュータとしての役割を経済的に、しかも小さなディメンジョンの中に果たすことができれば、画期的な機能改善が期待できる応用分野は無数に展開すると思われる。また、現在のミニコン・レベルのものはここ数年のうちに数種類の LSI モジュールで実現できると予想される。しかしながら、マイクロプロセッサが高性能化されるとはいつても、アーキテクチャには半導体技術の面からかなりの制約が与えられ、十分な機能をもったコンピュータを得るところまで行かないと思われる。特に高速性と複雑な制御機能という点に大きな問題が残る、これらを補うという意味でミニコンは重要な役割を果たすといえる。それにしてもマイクロプロセッサがコンピュータ技術全般に与える影響は測り知れないものがあり、いろいろな意味で技術革新をもたらすと期待される。

## 3. 応用から見たシステムの階層

ミニコンやマイクロプロセッサの主な特徴はその機能ではなく、低価格性にある。しかも適用範囲が非常に広いことも特色の一つである。したがってそれぞれの応用分野で、その技術を活かすために自からシステムに階層ができてくる。それは用途毎に、

- (1) 論理装置として用いる、
- (2) 特定の入出力機器制御に用いる、
- (3) 特定用途のための専用データ処理装置として用いる、
- (4) 中型または小型コンピュータ、つまり汎用データ処理装置として用いる

場合に大別できる。

これからの技術的な発展を予測すれば、(1)、(2)のような単純な機能と小容量の記憶ですむ応用分野にはマイクロプロセッサが用いられ、(3)、(4)のように高速のデータ処理とかなり高度の機能が要求される

\* 慶応義塾大学工学部電気工学科

\*\* マイクロプロセッサの呼称は 1 チップ CPU のような小型 LSI コンピュータを指す場合とマイクロプログラム制御コンピュータを指す場合に用いられている。本稿では前者の呼称として用いている。

分野では高性能のミニコンが多用されるものと思われる。(3)、(4)の分野で、最近特に注目されているのは複数台のミニコンまたはマイクロプロセッサを結合した複合システム (complex system) である。この課題については後述するが、今後の研究をまって急速に普及するものと考えられる。また、この技術に関連して、(4)の分野で、ファイル・システムを完備した従来の中型コンピュータの応用分野がどの程度ミニコンまたはマイクロプロセッサ複合システムによって置換えられるかが注目される。

#### 4. 技術動向と問題点

##### 4.1 ハードウェア

この種のコンピュータのハードウェアほど半導体技術の進歩に影響されるものはない。前述のマイクロプロセッサはその典型的な表われである。LSI 化によってミニコンは高速・高性能化および小型・高信頼化が容易になる。LSI 化には機能の標準化と構成モジュールへの分割が先ず問題となる。一般に、機能の標準化ならびに融通性はマイクロプログラミング技術<sup>6)</sup>で保証し、構成モジュールとしては、(i)演算論理モジュール、(ii)マイクロプログラム制御モジュール、(iii)記憶モジュール、および(iv)入出力制御モジュールとに分割されるものと思われるが、多様性が要求される入出力制御モジュールの構成に最も難かしい問題が含まれている。

マイクロプログラム制御方式の良さは早くから指摘されており、経済性と処理速度に難点があるにもかかわらず、ハードウェア的に制約をもちながら広範囲の応用分野をかかえているミニコンには最も望ましい方式として普及しつつある。しかしながら、高速性が要求される特殊な目的に対しては、従来通り配線論理 (wired logic) が適用されよう。

マイクロプログラミングに関して最近注目されている技術はユーザがマイクロプログラミングに直接関与できる、いわゆるユーザ・あるいはダイナミック・マイクロプログラミング<sup>7)</sup>である。上述の利点はこのことによってさらに高められると思われるが、実際には OS などにも影響を与えるため大規模なソフトウェアの上に動作している従来の大型コンピュータなどには当面は直ぐに役立つとはいえない。むしろ、ユーザ自身が OS の大部分を開発する立場にあるミニコンの分野でその良さが発揮されると期待できる。

主記憶装置の半導体化、LSI 化も一つの大きな傾向

である。これによって処理速度が上がるほか、連想処理機能の付加なども可能になる。現在の問題点は経済性、信頼性および記憶の揮発性であるが、これらは近い将来技術的にも解決されよう。情報の保護と高速性を保証する手段として主記憶の一部を固定記憶に置き換えることも普及している。

ミニコンの応用分野でも、最近の使用経験が深まるにつれ大容量のファイル記憶を必要とする場合が多い。このため、手軽に使える安価な固定ヘッド・ディスク、フロッピー・ディスク、カセット磁気テープなどの開発が目立っている。またファイル記憶の普及に伴い、Prime Computer 社の PRIME<sup>8)</sup>に見られるような、ハードウェアによる仮想記憶 (virtual storage) 化も注目されている。ここで問題になるのは仮想記憶のマッピング・ハードウェアの経済性と処理速度の低下であるが、プロセス制御のように高速性と高信頼性を第一に要求する分野ではあまり歓迎しない向きはある。仮想記憶の利点も種々あることから、事務的なデータ処理には適しているといえる。

入出力機器はミニコン・システムの 70~80% 以上の価格を占めるといわれる。したがって、それぞれの応用分野に適し、手軽に使い、信頼性に富んだ、安価な機器の開発が要求されている。なかでも堅固で安価なタイプライタや CRT 入出力装置が必要とされている。

ミニコンに限らず一般の入出力機器には人間機械系の改善のために、“知的機能”を備えることが望まれている。いわゆる“インテリジェント端末 (intelligent terminals)”または“スマート端末 (smart terminals)”と称するものがこれである。これを実現するには入出力機器に論理機能を植付ける必要があり、機器自身がミニコン化することを意味している。おそらく、将来の入出力機器の多くはマイクロプロセッサなどを常備し、機器自身で局所的に種々の論理的な仕事を処理するものと考えられる。この傾向はコンピュータ本体から見ても、また OS という観点からも大変望ましいことである。

入出力制御の上で基本的に重要なものは割込み機構であるが、実時間処理を目的とする分野で厳しく評価され、多重割込みレベル、優先順位処理、外部割込みへの配慮ならびにハードウェア化による高速処理が重要視されている。

チャネル機構に関しては、DMA (Direct Memory Access) の高速化が問題であると同時に、入出力イン

タフェースを単純に標準化することが望まれている。DEC 社の PDP-11<sup>9)</sup> や Lockheed Electronics 社の SUE (System-User-Engineered)<sup>10)</sup> コンピュータのようにチャンネルの概念を弱め、単一インタフェース上に各入出力機器を他の装置とほぼ同一レベルで接続する方式が高く評価されている。この方式は機器の取扱いが安易になる他に、マルチプロセッサ構成を実現する上に都合がよい。

入出力インタフェースの標準化はミニコンを普及させる上にも大変重要なことであるが、実際には機器の多様性、技術改革の可能性から考えて、国家的レベルで期待することは無理である。むしろ特定の応用分野に属するユーザから特定の標準機器インタフェースが提案される傾向にある。原子力関係の計測器のための CAMAC<sup>11)</sup> などはそのよい例である。おそらく今後ともこのようにユーザからの提案に基づいて種々の標準化が行われるものと考えられる。もう一つ期待できる技術は、マイクロプログラミングの助けを借りて、ユーザにインタフェースを適当に定義させる方式である。すでに英国において研究が行われ、その成果の一端<sup>12)</sup>が発表されている。

#### 4.2 ソフトウェア

適用分野の性質が多様多様である割りに、ハードウェア、特に主記憶容量が少ないミニコンに大きな汎用性をもったソフトウェアの完備を求めることは期待できない。むしろ、応用分野固有のソフトウェアをファームウェアとの関連においてユーザ自身が開発することが常識化しつつある。現在のミニコンは一応標準的なソフトウェアとして、アセンブラや JIS 水準 3000 以上の FORTRAN コンパイラをもち、若干のライブラリを備えているのが普通である。マイクロプロセッサに至っては当然のことながら全く裸同然といえる。したがって、これらは特定の目的に沿ったソフトウェアの生産性を高める技術を確立することが一般的な主要課題といえる。

まず第一にユーザの処理形態別に開発すべきソフトウェアを類型化し、汎用的なソフトウェア・システムを開発する努力が大切である。プログラムのモジュール化、インタフェースの標準化、ライブラリ化、リンケージおよび編集機能の完備によって目的のアプリケーション・プログラムを作成できるようにすることが考えられる。第二は問題向き言語の開発である。アプリケーション上の機能を要素に分解し、その記述に便利な方式を設定し、目的向き言語体系を確立すること

である。いずれもそれぞれの応用分野毎のユーザの努力に大きな期待がかけられている。

同様に OS の開発に関しても機能をモジュール化し、標準的な開発法を作り上げる必要がある。また OS の保護などについても十分配慮しておく必要がある。

一般にミニコン・ソフトウェアの開発に際してはプログラム開発のために異種の大型コンピュータを使用する場合と自分自身を使用する場合がある。当然のことながら、ミニコンがもつ機能的な制約から考えて前者の方法をとることが望ましい。このため、大型コンピュータの上でプログラムの作成およびデバッグを行うクロスコンパイラ、クロスアセンブラ、およびシミュレータの開発が一般化している<sup>13)</sup>。この場合、ミニコンはソースプログラムを実行するだけの役割しかもたないが、大型コンピュータの上でプログラムのデバッグをどこまで行うかが問題になる。特に、リアルタイム処理を含むプログラムをデバッグする場合はシミュレータ作りが大変な作業になる。

ここで、ミニコンのソフトウェアに関連した最近の話題を簡単にまとめて列挙すれば、

- (1) マイクロプログラミングの活用によるデータ処理の効率化、
- (2) プログラムの保護、
- (3) 問題向き言語の開発とマクロ機能の統一、
- (4) 言語機能の強化、
- (5) ファイル・システムを含むリアルタイム OS の開発、
- (6) ライブラリの完備、
- (7) 入出力処理などの制御の分散と並列処理の手法開発、
- (8) OS のモジュール化と開発の標準化<sup>14)</sup>、
- (9) プログラミングの階層化と手わけによる開発<sup>15)</sup>、
- (10) 大型コンピュータによるプログラム作成、およびリアルタイム・システムのシミュレータ開発、
- (11) ドキュメントの標準化

などである。現在までのところどれをとっても十分な検討が行われておらず、中途半端であるが、ミニコン・ソフトウェアの生産性を向上するために解決しなければならぬ問題である。そのためには、各応用分野における経験・知識の蓄積、仕事の整理・標準化、およびユーザ・メーカー協調体制の確立が先ず必要と思わ

れる。

## 5. マイクロプロセッサの応用

2節で概要を述べたように、現在開発されているマイクロプロセッサはいずれも機能的にミニコンに及ばず、実装密度の向上に主眼を置いたものが多い。総体的に割込みを含めた入出力制御機能が低く、演算機能も十分でない。しかも処理速度が遅いのが致命的欠陥である。しかしながら、現在のミニコン程度の本体(CPU)を1チップ上にLSI化する努力はされており、ここ数年のうちに実用化されるものと考えられる<sup>16)</sup>。

現在のものでも、若干の改良が加えられれば、大きな記憶容量を必要としない、単純なデータ処理を行う応用分野には十分利用できるものと考えられるが、ここでさらにマイクロプロセッサが高性能化され、安価になり、比較的自由に使えるようになった場合を想定してみよう<sup>17)</sup>。おそらく安価なマイクロプロセッサはシステム構成コンポーネントとして使えるようになり、現在の論理回路の一部を置き換えることになると予想される。その結果、

- (1) マイクロプロセッサは専用的に使われ、タスクの切替えはあまり行わない、
- (2) 制御の分散が常識化し、並列処理が主要な方式となる、
- (3) 目的に沿った特定のマルチプロセッサ・システム構成が普及する、
- (4) 特殊機能をハードウェアで容易に実現できる、
- (5) 新しいアルゴリズム、方式、およびシステムなどが開発される、
- (6) 新しい世代の大型コンピュータにも大きな影響を与える

ものと予想される。

これらのいずれの場合も、実際にはマイクロプロセッサ単体では不可能で、後述する複数台のマイクロプロセッサによる複合システム、またはポリプロセッサ・システム<sup>18)</sup>として実現される。このためには、マイクロプロセッサを複合化するための機能を特に改善しなければならないが、システム設計者も新しい発想に基づいて開発に取り組む必要がある。つまりハードウェアの階層がよりマクロな機能単位に移ったことによって、システムを構成するための理論的方法や経験がないことが悩みになる心配がある。この問題は物事をよりマクロなレベルでとらえることと新しい理論や設

計法を確立する必要性を示唆しているといえる。

## 6. 複合システム

ミニコンやマイクロプロセッサが普及するに伴って一つの仕事をより効率よく処理する目的で、複数台のプロセッサを結合して使用するマルチプロセッサ・システム、あるいはより一般的に複合システム、またはポリプロセッサ・システム(poly-processor system)<sup>18)</sup>と呼ばれるものが注目されている。マイクロプロセッサによる複合システムはまだ見られないが、ミニコンによる実用システム<sup>19), 20)</sup>は既にいくつか開発されている。最近ではさらに大規模なシステム<sup>21)~25)</sup>の開発研究が行われているが、いずれも従来の中型または大型コンピュータ・システムの一部を置き換える可能性を示している。

ミニコン複合システムを例にとりその特徴を列挙すれば、

- (1) ミニコンが安価なため、Groschの法則が成立たず、むしろマルチプロセッサ構成の方が価格性能比がよくなる。ただし、最適構成は応用によって異なる、
- (2) ミニコンは比較的単純な作業に適しているので、それぞれに特定のタスク処理を割当て専用化することによって、タスク切替えによるシステム・オーバヘッドが削減でき、処理効率が向上する、
- (3) 負荷や制御が分散している場合に適している、
- (4) 稼働率(availability)が高い。高信頼性システムをより容易に実現できる、
- (5) システムの拡張性および融通性を強く要求する応用分野に適する、
- (6) コンピュータ網としての利点を活かし、種々のリソースの共用ならびに人間機械系の改善が可能である、
- (7) 応用分野に適したシステム作りが可能、
- (8) ハードウェアの生産性が高い。逆にソフトウェアはシステム毎に異なる可能性があり、生産性が問題になる

である。

複合システムに関連して今後検討すべき技術的な問題点を簡単に述べれば、

- (a) ミニコンやマイクロプロセッサによるマルチプロセッサ構成は一般的、かつ標準的なものは

なく、応用毎に決まることが多い。したがって、特にシステム構成の融通性やソフトウェアの生産性が問題になる。

(b) ハードウェア機構については、

接続方式、各種インタフェースの統一、割込み機構、記憶の共有・保護制御、ファイル記憶制御、マルチポート入出力機器制御、相互診断機能、再構成機構、LSIアーキテクチャ、およびコンピュータ・モジュールの開発などの検討が今後の課題である。

(c) ソフトウェアには極めて問題が多い。その主なものは、

OSのモジュール化、制御の分散、並列処理の手法、スケジューリング、共通OSと応用別OSの標準化、手わけによるプログラミング技法、システムの記述、ダイナミック・マイクロプログラミングの活用、フェイル・ソフト・システムの確立

などについて解決する必要がある。これらの問題がむしろ複合システムの普及の鍵をにぎっているといえる。

このような問題点からも明らかのように、この種の複合システムでは従来のような問題のとらえ方では十分でなく、新しい発想が大切である。少なくとも与えられたコンピュータ・システムに適合するように問題を整理するのではなく、むしろ問題の解決に適合するようなコンピュータ・システムを構成したり、マルチプロセッサ構成や並列処理の利点がでるように問題を整理してみるアプローチが必要と思われる。

## 7. あとがき

ミニコンピュータはすでに一般社会においても有用な道具として不可欠なものになっている。この傾向はその応用分野が急速な発展をとげるにつれ、ますます助長されるものと考えられる。半導体技術の進歩はマイクロプロセッサの時代をもたらし、現在のミニコンをさらに高性能化しよう。また、新しい応用分野の開拓に伴って、複合システムが常識化すると思われるが、これはミニコンやマイクロプロセッサがもつ潜在的な能力を活用する場として、今後も興味深い話題を提供してくれるものと期待できる。それにしても、この成否はユーザ・メーカー体になった一層の努力にかかっているといえる。

## 参考文献

- 1) 日本電子工業振興協会編：ミニコンピュータに関する調査報告書（第1報），昭和47年3月。
- 2) 日本電子工業振興協会編：ミニコンピュータに関する調査報告書（第2報），昭和48年3月。
- 3) 相磯秀夫他：ミニコンの現状と将来，昭和48年電気学会全国大会シンポジウム。
- 4) E. M. Aupperle (Ed.): Special Issue on Minicomputers, Proc. IEEE, 61, 11, Nov. 1973.
- 5) G. Lapidus: MOS/LSI Launches the Low-Cost Processor, Spectrum, 9, 11, pp. 33~40, Nov. 1972.
- 6) マイクロプログラミング特集号，情報処理，14, 6, 昭和48年6月。
- 7) ダイナミック・マイクロプログラミング・シンポジウム報告集，情報処理学会，昭和48年7月。
- 8) PRIME 300 Computer, Prime Computer Inc., 1973.
- 9) PDP 11 Handbook, DEC, 1969.
- 10) SUE Computer Handbook, Lockheed Electronics Co., 1972.
- 11) CAMAC Bulletin, EURATOM Research Center, No. 1~4, June 1971~July 1972.
- 12) C. Whitby-Strevens, et al.: Systemware—A Technique for Digital Emulation and Interfacing, Proc. ACM Conf., 27, pp. 590~598, 1972.
- 13) 淵一博他：汎用大型計算機による小型計算機のプログラム作成の方式，昭和45年度情報処理学会全国大会論文予稿集，40。
- 14) D. L. Parnas: On the Criteria to be Used in Decomposing Systems into Modules, Carnegie-Mellon University, Computer Science Department Report, Aug. 1971.
- 15) E. W. Dijkstra: Notes on Structured Programming, Academic Press, 1972.
- 16) マイクロプロセッサ——設計のための予備的検討，パターン情報処理システム調査・研究報告，電子技術総合研究所，昭和48年10月。
- 17) 相磯秀夫：コンピュータ・コンプレックスの諸問題，昭和48年電気学会連合大会シンポジウム，344（予稿なし）。
- 18) 元岡達：ポリ・プロセッサ・システム，昭和48年電気四学会連合大会シンポジウム，341。
- 19) C. B. Newport: Applications and Implications of Minicomputers, Proc. SJCC, 1970.
- 20) 相磯秀夫他：ミニコン複合体システム，昭和49年電気学会全国大会シンポジウム。
- 21) C. G. Bell, et al.: The CMU Multiminiprocessor Computer, CMU-CS-72-112, Aug. 1971.
- 22) H. B. Baskin, et al.: PRIME—An Architecture for Terminal Oriented System, Proc.

- SJCC, 1972.
- 23) G. A. Korn: Back to Parallel Computation: Proposal for a Completely New On-Line Simulation System Using Standard Minicomputers for Low Cost Multiprocessing, SIMULATION, Aug. 1972.
- 24) F. E. Heart, et al.: A New Minicomputer/  
Multiprocessor for the ARPA Network, Proc. NCC, 1973.
- 25) D. J. Farber, et al.: The System Architecture of the Distributed Computer System, Proc. Symp. Computer-Communications Networks and Teletraffic, 1972.

(昭和48年12月20日受付)