

## 電子計算機とその応用 (1)

## 電子計算機の概要

元 岡 達\*

## 1. まえがき

電子計算機は、計算の高速化を可能にただけでなく事務処理、生産、軍事などあらゆる面の自動化を可能にする技術の代表的なものとして、近來ますますその重要性が認められ、広く世間一般からもその価値が高く評価されるようになってきた。

ふつう電子計算機とよばれているものには、かなり広範囲の機種がふくまれており、一番広い意味で使う場合には、計算のような論作動作をする電子装置をさす場合すらある。ここでとりあつかう電子計算機は、これよりはるかに狭義のものであって、正確にはデジタル形逐次電子計算機とよばれるものである。

デジタル形逐次電子計算機とはどのようなものをさすかをまずはっきりさせておこう。計算機は、よくアナログ形とデジタル形に大別される。たとえば、ダムの水理設計をする場合を考えてみる。一番直接的な方法は実際のダムの何分の一かの模形を作って各部の流速、水圧などはかって設計する方法である。これをいくらか間接的にした方法としては、流速や水圧を、たとえば電流や電圧などにおきかえて模形を作る方法がある。さらに抽象化を進め、この模形をかなり広範囲の用途に利用できるようにするためには、水流の特性を示す微分方程式を作り、その微分方程式を構成しているそれぞれの演算子、たとえば微分、積分、加算、乗算などの演算子と同じ働きをする装置を集めて模形を作るのである。このように模形から進んで、類似の物理現象を利用する模擬装置（シュミレータ）を経て、数量を電圧、電流、あるいは長さといった物理量で表わし、この間の演算を行なわせる計算機、すなわちアナログ形（相似形）計算機に至るのである。アナログ形計算機のうち、もっとも簡単なものとしては、数量を長さで相似させた計算尺、計算図表などがあげられるが、今日一般にアナログ計算機と呼ばれているものは積分器、加算器、非直線要素などを組合わせて、各種の常微分方程式を解くことを主目的とした微分解析機をいう。最初に実用化された微分解析機は、1935年にMITのBush, V. などが完成した回転角によって数値を表わす機械式の微分解析機である。

\* 東京大学助教授工学部電子工学科

その後第2次世界大戦中に発達した自動制御、および電子工学の技術を応用して今日みるような形式になった。すなわち今日ではほとんどすべてのものが電圧によって数値を表わし、電子管を用いる電子管式アナログ計算機となっている。

このようなアナログ計算機に対して、そろばんにおける珠の位置のように、符号によって数値を表わすデジタル（数字式）計算機がある。筆算も数字という符号を用いて計算するので、デジタルな計算法の代表的なものである。今日電子計算機と呼び慣わされているデジタル計算機では、電圧パルスの有無、電圧の正負といった2つの状態の組合わせからなる2進的な符号を用いている。

デジタル計算機の部類に入るもので、最も古くからあるものは、そろばんや、十皮の骨であるが、今日広く使われている卓上計算器もこの範ちゆうに属し、これは17世紀にパスカル、ライブニッツなどによって発明された方式の進歩したものである。これらの卓上計算器では数値の符号化に歯車の回転位置の組合わせを用いている。

このように、デジタル計算機の歴史も非常に古いのであるが、現在電子計算機としてその価値を高く評価されているものには、卓上計算器とは本質的に異なった多くの面がある。すなわち、卓上計算器は人間がセットした2つの演算数の間の四則演算などを、一回にただ一度だけ行なうにすぎない。これに対して、電子計算機と一般に呼ばれているデジタル計算機は、数値や計算順序を記憶しておく記憶装置を持っており、これから計算命令を一つずつ読み出して、逐次実行する逐次制御形の自動計算機である。その上、計算結果をしらべて、その後の計算方式を判断し、適当な方式を選択する判断機能を持っている。このように電子計算機は、計算方式を適当な方法で指定することによって、同一の機械で簡単に、非常に広範囲の問題を自由に解くことができる自動機械である。電子計算機のように融通性に豊かな機械は従来なく、電子計算機の出現は、これによって人間の論理的な試行をほとんど完全に機械化できることの可能性がきらかになった点で画期的な価値があるわけである。すなわち、電子計算機が高く評価される理由は、電子管、トランジスタなどの電子装置を用いることによって、非常に高速で個々の演算ができることになったこととともに、上記の記憶、判断といった機能を持つことによって、複雑な動作も簡単な基本的な動作を逐次積み重ねることによって容易に実現できるようになったことにある。このことの意味は、今後述べる計算機の解説を通して一そうきらかになるだろう。

## 2. 電子計算機の生い立ち

このような逐次制御の自動計算機の着想は、電子計算機の出現とともに生れたものではなく、機能的には電子計算機とほとんど同じ機械の着想が100年以上前にすでに存在していた。すなわち英国の数字者 Babbage (1792~1871) が数値を記憶させる記憶装置や、計算方法を命令の組合わせで表わし、これを織物機械に使うジャカードの機構を利用して、機械に与える装置などを持った計算機 (Analytical Engine) の試作を行なっている。

Babbageは、当時の技術からいって、やむをえないことではあるが、純機械式な方法でこれを実現しようと努力したが、ついに完成には至らなかった。

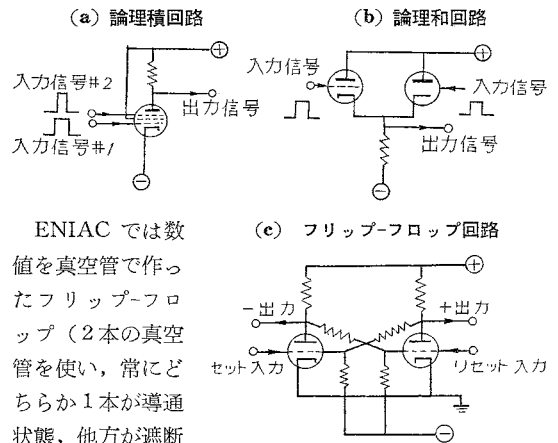
その後の計算の機械化の動きとしては、今日広く利用されているせん孔カードを使うパンチカードシステムと呼ばれる方式が、種々の統計処理の必要から、前世紀の終わりから今世紀の始めにかけて米国の Hollerith, H. や, Powers, J. などによって開発され、それぞれ今日の IBM 組織, RR 組織の元祖となっている。

自動計算機を作る試みは、Babbage以後しばらくとどえていたが、1937年になってハーバード大学の Aiken, H.H. などが、IBM の協力を得て、Automatic Sequence Control Calculaor (A.S.C.C.) と呼ぶ機械を完成した。機械の機能としては Babbage が考えていたものとほとんど同じで、かつ大部分が機械的な構造のものであるが、IBM がそれまでに開発していた種々の部品を使い、一部にリレーとかプランジャといった電磁部品を使うことによって、Babbage の夢を実現したわけである。

ASCC は機械式自動計算機であったが、電子部品を用いて計算機を実現し、その後の電子計算機発展の端緒を作ったのは1946年に、ペンシルバニア大学で Eckert, J.P., Mauchly, J.W. などが完成した。Electronic Numerical Integrator & Computer (ENIAC) である。電子管を18000本使用しており、規模からいえば今日の常識をもってしても非常に大形の機械であるが、このように大規模な電子機器が確実に動作することを明らかにして、その後の電子計算機の製作を勇気づけた点で不滅の功績があるといっても過言ではない。そして、図-1に示すような基本論理回路を用いており、このような基本回路を組合わせて、全体を構成するという考えは、その後の電子計算機設計の基礎となっている。

ASCC では、計算を制御する命令をせん孔紙テープで与えた。ENIAC では計算速度が速い (たとえば加算200 $\mu$ s) ので、紙テープによって制御していたのでは計算速度があがらない。このため命令は多数のスイッチや、プラグソケットを使って、与えるようになっている。ENIAC は弾道計算を主目的としたものなので、このような構造でもそれほど不便はないが、電子計算機が汎用計算機として飛躍的な発展をとげるためには、計算機の構成上さらに根本的な変革が必要であった。

図-1 ENIAC に用いられた基本回路



ENIAC では数値を真空管で作ったフリップフロップ (2本の真空管を使い、常にどちらか1本が導通状態、他方が遮断状態となるような構成になっており、新しい信号が来るまで前の状態を維持している2値素子、図-1参照) によって記憶しているが、もっと安価で安定に大量の情報を記憶できる記憶装置を作ることが、複雑な計算を行なうためには必要である。かつ、計算順序を指令する命令も適当に符号化して表わせば、数値と同じ形で表わすことができ、したがって同じ記憶装置に記憶させて使うことができるはずである。こうすれば、命令の変更もプログラムによって数値と同じように自動的に行なえるはずである。このように命令と数値とを同じ形式で表わし、同じ記憶装置に貯えるという考えは、1945年に von Neuman, J. によって提案され、プログラム記憶方式といわれている。今日の本格的な電子計算機ではすべてこのプログラム記憶方式を採用しており、後述するように、この方式を採用することによって計算機の融通性は飛躍的な向上をとげた。

### 3. 情報の表わし方

#### 3.1 数値の表わし方

アナログ計算機では、長さとか電圧といった量によって数値を表わすから、その測定精度や演算素子の精度によって計算精度が押えられ、 $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$ 程度がその限界である。精度をあげようとする、急激に高価なものとなり、技術的な限界もある。こはに対してデジタル計算機では、歯車の回転位置の組合わせとか、接点の開閉の組合わせ、パルスの有無の組合わせといった符号によって数値を表わすから、精度をあげるには組合わせの数を増せばよいわけで、原理的にはいくらかでも精度をあげることができる。これは筆算の際に桁数を増すことと同じで、計算機の精度を増しても価格は直線的に増加するにすぎない。

デジタル形電子計算機では、パルスの有無、真空管やトランジスタの遮断、導通の2状態といった2進符号が使われるので、数値を表わすのにも日常使用している

表-1 各種符号化 10 進数の例

	2進化10進符号	5-4-2-1符号	3あまり0符号	2 out of 5符号	2-5進符号
	8 4 2 1	5 4 2 1	8 4 2 1	7 4 2 1 0	5 0 4 3 2 1 0
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1	1 1 0 0 0	0 1 0 0 0 0 1
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0	0 0 0 1 1	0 1 0 0 0 1 0
2	0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 1	0 0 1 0 1	0 1 0 0 1 0 0
3	0 0 1 1	0 0 1 0	0 1 1 0	0 0 1 1 0	0 1 0 1 0 0 0
4	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1	0 1 0 0 1	0 1 1 0 0 0 0
5	0 1 0 1	1 0 0 0	1 0 0 0	0 1 0 1 0	1 0 0 0 0 0 1
6	0 1 1 0	1 0 0 1	1 0 0 1	0 1 1 0 0	1 0 0 0 0 1 0
7	0 1 1 1	1 0 1 0	1 0 1 0	1 0 0 0 1	1 0 0 0 1 0 0
8	1 0 0 0	1 0 1 1	1 0 1 1	1 0 0 1 0	1 0 0 1 0 0 0
9	1 0 0 1	1 1 0 0	1 1 0 0	1 0 1 0 0	1 0 1 0 0 0 0

10 進数を用いるよりも、機械としては 2 進数を用いる方が簡単である。すなわち、同じ精度で数値を表すにも 10 進数によるよりも 2 進数による方が使用する素子の数が少なくすむだけでなく、加減算、乗除算などの回路も簡単になる利点がある。しかし、2 進数は何といっても 10 進数に比べてなじみがうすく、計算機への出し入れの際には 10 進数へ変換して取扱う必要がある。内部での計算に比べて、入出力が多いときには、計算機内部でも 10 進数で取扱う方が便利である。したがって、機械内部でも 10 進数を取扱うようにした計算機も多い。ただし 10 進数の場合でも、10 進数 1 桁の各数字を表すには、2 進化された符号を用いることが多く、表-1 に示すような種々の符号が用いられている。2 進化 10 進数は、その代表的なもので、それぞれ 4 ビットからなり、0 から 9 までを 2 進表示したものである。3 余り符号はたとえば 2 なら 2 に 3 を加えた数、5 の 2 進表示をもって表わす 4 ビットの符号である。この符号は、補数が作りやすいこと、加算の際、桁上げ信号が簡単に得られること、などの利点がある。またデジタル計算機では、誤動作が皆無であることが望ましい。たとえば一連の計算中、途中に一度でも誤動作があると、その計算全部が無意味になってしまうことも往々にして起こる。そこで情報を表わす符号に誤動作を検出できる機能を付加することが望ましい。最もよく用いられている手法は 1 字とか 1 語に相当する一定の長さの 2 進符号について、“1” であるビット (2 進数字) の数を常に偶数、あるいは奇数となるようにしておき、情報の伝送の際に、この原則が守られているか否かをしらべる奇偶検査 (パリティ チェック) と呼ばれる手法である。この方式によれば 1 ビットの誤りの検出が可能である。ただし 2 ビットの誤動作があると、奇偶は元にもどるから検出できない。このほか、5 ビット中つねに 2 ビットが 1 となる 2 out of 5 符号、そろばんに似た 2-5 進符号なども誤動作を検出できる特性を備えた符号である。このほかにも、10 進数字を表わすいろいろな符号が考えられ、それぞれの目的に応じて用いられているが、2 進化 10 進数に誤動作検出用の奇偶検査ビットをつけた

符号が最も多く用いられている。事務用を主目的として設計された電子計算機では、数字のほかに文字も一応取扱えることが望ましいので、このような際には一字を表わすビットの数を増し、たとえば表-2 に示すように 8 ビットを 1 字あたりに使用した符号を用いている。

表-2 8 単位文字, 数字, 符号の例

A·B	0 0	0 1	1 0	1 1
D·8·4·2·1				
0 0 0 0 0	No Effect			
0 0 0 0 1	Space			
0 0 0 1 0	Start	A	ア	
0 0 0 1 1	End	B	イ	
0 0 1 0 0	Bell	C	ウ	
0 0 1 0 1	Upper	D	エ	
0 0 1 1 0	.	E	オ	ヒ
0 0 1 1 1	/	F	カ	フ
0 1 0 0 0	(	G	キ	ヘ
0 1 0 0 1	)	H	ク	ホ
0 1 0 1 0	(I)	I	ケ	マ
0 1 0 1 1	(J)	J	コ	ミ
0 1 1 0 0	(K)	K	サ	ム
0 1 1 0 1	(L)	L	シ	メ
0 1 1 1 0	(M)	M	ス	モ
0 1 1 1 1	(N)	N	セ	ヤ
0 0 0 0 0	0	O	ソ	ユ
1 0 0 0 1	1	P	タ	ヨ
1 0 0 1 0	2	Q	チ	ラ
1 0 0 1 1	3	R	ツ	リ
1 0 1 0 0	4	S	テ	ル
1 0 1 0 1	5	T	ト	レ
1 0 1 1 0	6	U	ナ	ロ
1 0 1 1 1	7	V	ニ	ワ
1 1 0 0 0	8	W	ヌ	ラン
1 1 0 0 1	9	X	ネ	ン
1 1 0 1 0	+	Y	ノ	ッ
1 1 0 1 1	-	Z	ハ	。
1 1 1 0 0				CR & LF
1 1 1 0 1				Lower
1 1 1 1 0				Middle
1 1 1 1 1				Delete

A·B·C·D·8·4·2·1 の順に配置され、Cは偶数ビットとなるように選ばれている。

計算機内部では、ふつう小数点を表わす特別な記号を用いない。したがって小数点の位置をあらかじめ決めておくか、小数点の位置を表わす数値をいっしょに記憶しておかなくてはならない。前者を固定小数点方式と呼んでおり、小数点の位置の約束としては最上位の桁の前とし、したがって取扱う数の範囲が常に 1 より小さい数となるようにプログラムすることが多い。後者を浮動小数点方式とよんでいるが、数値を  $N = n \times 2^m$ 、あるいは  $n \times 10^m$  の形で表わし、有効数字  $n$  と指数  $m$  とを組合せて取扱う。

計算機で取扱う数値の桁数は、10 進数で 10 桁前後、2 進数で 40 桁程度がよく用いられる。これと正負符号を組合わせたものが、計算機で取扱う情報の単位となり、(単) 語といっている。数値を表わす単語と、命令を表わす単語とを区別して、それぞれ数値語、命令語と呼ぶことがある。一語の長さは計算機によって固定している

のが普通であるが、長さを自由に換えられるようになっているものもある。

### 3.2 命令の表わし方

プログラム記憶方式の計算機では、前にも述べたように命令を数値と同じように2進符号の組合わせで表わした単語で表わす。命令語は、命令の種類を表わす操作部と、その命令を実行するときに使う数値や結果などの格納場所を指定するアドレス部から成り立っている。このほか後述する指標レジスタを指定する指標部のあるものもある。

命令の方式は、一つの命令にふくまれるアドレスの数によって分類され、1アドレス方式、2-, 3-, 4-アドレス方式などという。たとえば、1アドレス方式の加算命令では、“累算器にある数値とアドレス部で指定した数値とを加え、和は累算器に入れよ”という命令になるのに反し、4アドレス方式では4つのアドレスを使ってそれぞれ加数、被加数、和の格納場所を指定し、さらに次に、実行する命令の格納場所をも指定する。1アドレス方式では、次に実行する命令の指定は行なわれないから命令は原則として記憶装置に入っている順番に逐次実施されることになる。しかし同種の演算を反復してやりたいとき、またそれまでの計算結果をみて、その後の計算方法に分岐を生ずる場合があるので、このようなときには命令の逐次実施をやめて、ほかのアドレスにある命令にとぶ必要がある。このような目的のために飛越し命令と呼ばれる命令がプログラム記憶方式の計算機には必ず備えられている。

飛越し命令には、その命令のところにくると必ずその命令が指定するアドレスのところへ飛ぶように定められた無条件飛越し命令と、飛越し命令が読み出されたときに、計算機内部の状態をしらべて条件が満たされたときには命令の指定するアドレスに飛ぶし、条件が満たされていないときには、この命令は無視されて次のアドレスにある命令が読み出される、条件付飛び越し命令とがある。条件付飛び越し命令は、条件によっていろいろなものが考えられるが、累算器の正負、0であるか否かといった条件がよく用いられる。4アドレス方式の命令では、各命令が無条件飛び越し命令となっていると考えればよい。

この条件付飛び越し命令は、計算機に判断の機能を付加する命令として注目される。この命令がいかに有効に使用され、どのような能力を発揮するかについては、プログラミングの解説で明らかにされるであろうが、人間の複雑な判断能力も、分析すればこのような単純な判断能力の集積と考えることができるので、この命令は機械の能力を人間の能力に近づけるものとして注目されている。命令は、加減乗除の命令、飛び越し命令のほか、各種レジスタと記憶装置との間の転送命令、入出力関係の

命令、論理演算命令などの種類に大別でき、計算機には3,40種から多いもので100種を超える命令が用意されている。

## 4. 計算機の構成と動作

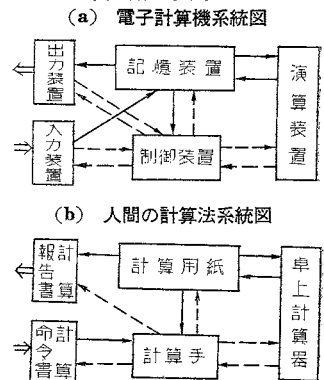
電子計算機は一般に、制御装置、演算装置、記憶装置、入力装置、出力装置とよばれる5つの部分から構成されて

いて、これらの装置の間を情報や制御信号が往き来して数値計算が行なわれるのであるが、図-2に示すように計算機の動作は、ちょうど卓上計算器を使って人間が数値計算を行なうときの動作と、よい対応を示している。換言すれば、人間が卓上計算器を使って行なう計算方式を、そのまま機械に

やらせるようにしたものが今日の電子計算機であるといってもよい。

電子計算機を使って計算するには、まず計算の手順や計算に必要なデータを計算機の言葉を使って計算機に指示する必要がある。命令語を組み合わせる計算方式を示したものをプログラムと呼ぶ。プログラムは符号化されたテープやカードにせん孔された情報として入力装置を通して計算機に与えられる。電子計算機のスタートボタンを押すと、まず入力装置が働いてプログラムを読み込み、これがいったん記憶装置に順々におきめられる。記憶装置にプログラムが入り終ると、いよいよプログラムにしたがって計算を始めるわけであるが、これには命令が1つずつ記憶装置から制御装置にある命令レジスタに取り出され、ここで符号の解釈が行なわれて、命令の指示する演算が、演算装置で逐行される。演算数などの情報も命令のアドレス部で指示され、記憶装置から取り出されて演算装置に送られる。一つの命令を実行し終ると、終了信号が出て、次の命令が取り出されることになる。次の命令のあり場所は4アドレス方式の命令では、前の命令の中で指示されているが、1アドレス方式などの命令では、逐次制御カウンターと呼ばれるレジスタがあって、ここに前の命令のアドレスが入っており、命令が1つ済むごとに逐次制御カウンターの内容は1つずつ増加するようになっており、これによって命令は記憶装置から1つずつ順次取り出されることになる。飛び越し命令がきて、命令の要求する条件を満たしているとき

図-2 人間の計算法と電子計算機の系統の比較(ただし実線は情報、点線は制御信号の伝送路を示す)



は、逐次制御カウンターに命令レジスタのアドレス部が移され、これによって1つずつ増していた逐次制御カウンターの内容を変えて制御順序を変えることが可能となる。

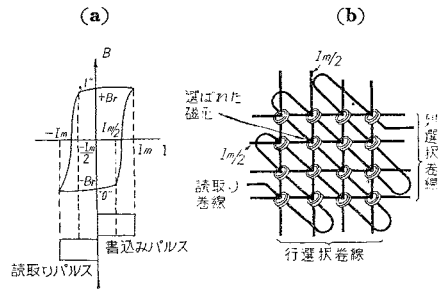
計算途中の結果も入力データやプログラムと同じように適宜、記憶装置に貯えられることはいうまでもない。このようにして計算が終ると、やはり命令の指示に従って、結果は出力装置を通して紙に印字される。このように計算順序を示すプログラムを記憶させる装置と、入力データや計算途中の結果などを記憶させる装置に同じ記憶装置を使うと、記憶装置の容量が有効に利用できるだけでなく、命令を、演算装置の助けをかりて数値と同じように、自由に変化させることができるので、計算機を使用する上の自由度を増し、計算機の能力を飛躍的に増大させることになる。このような方式のものを、プログラム記憶形計算機とよんでおり、小形のものや単機能ものをぞくとほとんどすべての電子計算機がこの方式をとっている。これに対して、記憶装置の容量が少ない小形計算機では、プログラムをプラグボード上の配線と与えるようにした方式が用いられる。この方式では、1つのプログラムにふくまれる命令の数も数十に制限され、計算途中でのプログラムの変更も簡単ではない。この種の計算機をプラグボード形計算機という。

## 5. 記憶装置

これまで述べてきたことから、記憶装置が電子計算機でいかに重要な役割を果たすものか、おわかりのことと思う。電子計算機が、従来の機械にくらべて能力が飛躍的に増大した主要な原因は、この記憶装置にあるといってもよく、記憶装置は計算機とともに進歩してきた装置といえる。記憶装置とは、多くの数値や命令などの情報を希望の期間貯えることができ、しかも必要に応じて任意の記憶場所にある情報をすみやかに読み出すことができ、また記憶させたい情報を希望の場所にすみやかに貯えることができるといった能力を備えた装置である。記憶装置では、通常1語を単位として記憶場所を分け、それぞれにアドレス番号を付して場所を指定するようになっている。記憶装置としては信頼度が高く、しかも安価であることが望ましいことはもちろんであるが、記憶容量が大きいことと、記憶場所を呼び出して書き込んだり読み出したりするのに必要な呼び出し時間が短いことが重要な特性となる。

記憶装置の技術は、電子計算機とともに発達してきたわけであるが、最初に本格的記憶装置として実用化されたものは、水銀を用いた超音波遅延回路である。これは、水銀中を超音波の形で情報を循環させながら記憶させる方式である。この方式では大容量となるとともに、呼び出し時間が長くなるのでこれに代る高速度、大容量の記

図-3 磁心記憶装置の原理



憶装置が望まれ、いろいろな方式が提案された。蛍光面に電荷の形で情報を貯える陰極線管記憶装置もかなり用いられたが、今日では高速記憶装置としては角形ヒステリシスを持った磁心の残留磁束の向きをまた進数の1, 0に対応させる磁心マトリックス記憶装置が確固たる地位を占めている。すなわち、磁心記憶装置では、図-3(a)に示すような磁気ヒステリシスループ上で、磁束の状態が  $+Br$  の点にあるか、 $-Br$  の点にあるかを、それぞれ2進数の1, 0に対応させ、1個の磁心で1ビットを記憶させる。このような磁心を図-3(b)に示すようにマトリックス状に配列し、それぞれに3本の線とおす、巻線のうち2本はそれぞれ同じ行や列にある磁心を貫通しており、残りの1本は全磁心を共通に通っている。マトリックス中の1つの磁心から情報を読み出すには、その磁心を貫通している行、列の巻線を選択して、それぞれに抗磁力より少し小さい負パルス電流  $-I_m/2$  を流す。選択された磁心では  $-I_m$  の電流が流れ、その磁心が“1”を記憶していると、磁束が反転して共通に通じた読み出し巻線に電圧を誘起する。“0”を記憶しているときには、磁束の変化はないから読み出し巻線に電圧は誘起されず、これによって記憶内容の読み出しができる。選択された磁心以外の磁心では電流が流れないか、流れても  $-I_m/2$  なので、磁束の変化は起こらない。情報“1”を特定の磁心に書き込むには、これと逆の手順で正パルス電流を用いて行なえばよい。“0”を書き込むには読み出したのち、 $I_m/2$  より大きな電流を流さないようにすればよい。この読み出し、書き込み方式を電流一致方式という。磁心には、Mn-Mg系フェライトで作られた外径2mm以下のドーナツ形のものが多く使用されている。1つのマトリックスに1000~2000個の磁心が使われ、これに共通巻線を通す仕事はかなり困難な手作業となるので、これを機械化する方法、フェライト板を用い、できるだけ印刷配線に頼る方法、磁性薄膜を用いる方法などが研究されている。

磁心の読み出し、書き込み周期に要する時間は10  $\mu$ s前後で、現在商用されている計算機にとっては、ほぼ満足すべき速度といえるが、計算機の応用分野が広がるとともにますます高速の計算機の要求が高まりつつある。

これにともなって、記憶装置の呼び出し時間に対しても  $1\ \mu\text{s}$  あるいはそれ以上の高速化が要求されており、磁心記憶装置の高速化、磁性薄膜による高速記憶装置などの研究が活発に行なわれつつある。

磁心記憶装置は、このようにすぐれた特性を備え、実際に内部記憶装置として多くの計算機に実用されているが、1ビットの記憶に100円以上の経費がかかり、安価とはいえない。事務処理などには非常に多くのデータを記憶させたい要求が往々にして起こり、呼び出し速度をいくらか犠牲にしてもさらに安価にできる大容量の記憶装置も必要となる。このような、比較的低速度の大容量記憶装置を有効に使うためには、その中のデータを使うときに一群のデータをまとめて、呼び出し時間の短かい内部記憶装置に移してから、計算機で処理するようにすると、計算全体に要する時間のうち、記憶装置の呼び出しに要する全時間、すなわち平均の呼び出し時間は比較的少なくすませることができる。このように数十語以上からなるグループを単位として、転送を行なうようにした記憶装置のことを前述の1語単位で出し入れする内部記憶装置に対して、外部記憶装置という。外部記憶装置には、大形の磁気ドラム、磁気テープ、磁気ディスクなどがよく用いられている。これらはいずれも磁性面に磁気録音テープと同じ原理で、デジタル情報を記憶させるもので、録音テープでは特性の直線性が問題になるのに対し、記憶装置では高速であること、きずなどによって生じる雑音が絶対がないことなどが重要な特性上の要求となる。

磁気ドラムでは、回転円筒の表面を磁性面にして、母線に沿ってヘッドを配置し、円周上に記憶させている。呼び出し時間を短くするためには、回転速度をあげる必要がある。ヘッドを表面に接触させると摩耗するので、ヘッドを表面からわずかに離してある。この間隔は数  $10\ \mu$  の大きさであり、これが変わると出力に大きな変化を生ずるので、磁気ドラムの工作精度はかなり高いものでなくてはならない。磁気ドラムを外部記憶装置として使うときには、呼び出し速度よりも記憶容量に重点をおいて設計するので、回転速度は  $3000\ \text{rpm}$  程度であるが、直径や長さを大きくして  $10^6\ \text{bits}$  程度記憶できるようにしたものも多く用いられている。これに対して中形計算機のように磁気ドラムが安価であることを利用してこれを内部記憶装置として使う場合には、呼び出し速度をあげるために回転速度を  $10000\sim 20000\ \text{rpm}$  程度まで上げ、その代り小形にして記憶容量は  $10^5\ \text{bits}$  前後である。

磁気ディスク記憶装置は、磁気ドラムが回転円筒を用いるのに対して回転円板を用い、多数の円板を同軸回転させて、3次元的に記憶させ、記憶容量を飛躍的に増そうというものである。ヘッドを X, Y 2方向に動かし、

円板と、その上のチャンネルを選択させるようにする。IBM 社で開発したものが有名であるが、これは 50 枚の円板を  $1200\ \text{rpm}$  の速度でまわし、 $5\times 10^6$  字記憶させるようになっている。呼び出し時間はヘッドの移動速度で押えられるが1秒以下である。

磁気テープになると、平均の呼び出し時間はさらに遅く、高速度の入出力装置としての用途も多くなる。マイラテープに磁性材料を塗布したものが良く用いられ、巾  $1/2\sim 3/4\ \text{in}$  のテープに  $6\sim 10$  トラックが並列に入れられる。テープの送り速度をあげることで、短時間で起動、停止ができることが、計算機用に用いるときには必須の条件となり、 $100\ \text{in/sec}$  程度の送り速度で、1in 当り 100 字前後を記憶させ、起動、停止は  $10\ \text{ms}$  程度で行なえるものが実用されている。

計算機の記憶装置はこのように内部記憶装置と、外部記憶装置に大別でき、大形の計算機ではこの両者を有機的に運用することによって、速度をほとんど犠牲にしないで大きな記憶容量を安価に得ている。このためには、内部記憶装置にも一通りの計算をするに必要な命令とデータを記憶することができる容量が必要である。この容量は、普通  $2000$  語前後と考えられているが、偏微分方程式などを解くためには、もっと大容量であることが望ましい。

## 6. 入出力装置

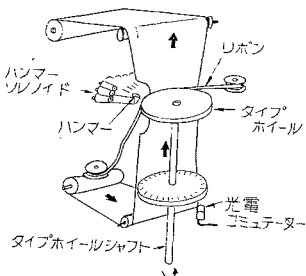
命令やデータを計算機に与え、また結果を取り出すためには、入出力装置が用いられる。入出力情報の媒体としては、せん孔テープ、せん孔カードなどが主として用いられ、出力はこのほか、直接紙に印字されることも多い。初期には機械式のテープ読み取り器や、タイプライターが主として用いられ、これらは1秒高々  $10$  字程度の速度であったので、入出力速度が計算速度を押える最大の隘路となっていた。

今日では、テープ読み取り器は光電式のものか広く用いられ、毎秒  $200$  字から  $1000$  字、テープせん孔器も  $200\ \text{字/sec}$  のものが作られている。カードについても、光電式読み取り器では毎分  $450$  枚、せん孔機も  $100\ \text{枚/min}$  以上のものが作られている。しかしデータの多いときは、これでもなお計算速度にくらべておそいので、中間媒体として前述の磁気テープが使用され、計算機と直結して使うものは磁気テープを主とする方式が、大形計算機では多く採用されている。このときは低速入出力装置は磁気テープと情報の交換を行なうことになる。

印字機についても高速のものが種々開発され、1字ずつ印字するものでは針金の先のモザイクで字を形成して印字するワイヤ印字機などがあり、毎秒  $100$  字程度の速度である。一行を並列に一度に印字する形式のものでは活字を細長いバーにつけ、これを1行分 ( $120$  字程度)

並べて、毎秒2行の速度で印字するものが統計機として早くから発達していたが、円板の周辺に活字をつけた回転輪を行の字数だけ並べたり、**図-4**のように一つの回転輪で済ませる方式が発達し、5~10行/secの速度が得られている。さらに高速のものとしては、陰極線管の中に文字のパターンを切り抜いたスクリーンを入れた Charactron, Typotron などと呼ばれる文字表示管を乾式写真技術を応用した Xerography, Electrofax などとを組み合わせた方式が開発され20000~30000字/secの高速印字機が完成している。

図-4 シングル ホイール形 プリンタ



## 7. 演算および制御装置

演算および制御装置は情報に対する種々の論理操作を実行するところである。これらの論理操作を取り扱う数学が論理代数であるが、これは記号論理学とも呼ばれるように論理積、論理和、否定といった演算子を使ってあらゆる論理操作を取り扱うことができる。これらの演算子に相当する基本論理回路と、情報をおくれさせ記憶させる フリップ クロップなどの記憶回路とを組み合わせ、制御および演算装置が作られるわけであるが、これらの基本回路がトランジスタで作られるか、あるいは真空管、パラメトロンなどによって作られるかによって、トランジスタ計算機、真空管計算機、パラメトロン計算機などとよばれている。論理回路についてゆっくりのべるゆとりはないので、代表的な回路を2,3説明するにとどめる。レジスタは1語または数語あるいは数桁の情報を記憶する装置で、特定の目的に使用され、随時使用できるようにしたものである。代表的なものとしては、制御装置の中心にあって計算機の動作を決定する命令を貯える命令レジスタ、加、減算などの結果を貯える累算器(アキュムレータ)、乗算に使う乗数を貯える乗数レジスタ、命令の修飾などに使う指標レジスタなどがある。

演算装置を構成する主要回路は、これらのレジスタと加算器である。通常演算装置は2つの数値についての加減乗除を行なう機能を備えている。その中乗除算の方法には九九の表や、各種倍数回路を用いる方式もあるが、大部分は卓上計算器でやるように桁送り加減算のくり返しによっているから、回路としては加算器と適当な制御回路があればよい。

加算器には各桁に一つずつ1桁の加算回路をおき、桁上げ信号を度外視すれば一度に加算してしまふ並列方式

と1桁の加算回路1つと桁上げ信号の遅延回路だけからなり、信号は各桁が時間的に直列にくる直列方式とがある。計算速度をあげるには並列方式の方がよいことはいうまでもないが、連続桁上げ信号が一番下の桁で発生して最上位まで達する場合を考えると、直列方式とほとんど同程度の時間かかることも考えられる。したがって連続桁上げ信号をいかにして速やかに伝送するかが高速度化の一つの重要な課題となっている。

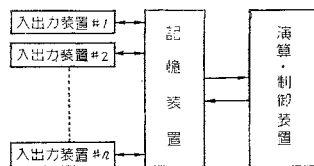
減算に対しては減算器を別にもうけることも考えられるが、補数回路と加算器を組み合わせる減算を行なっているものが多い。

直列方式、並列方式という考え方は、情報の伝送のさいに必ずつきまとう問題で、計算機を分類する大きな項目となっている。

## 8. あとがき

以上、電子計算機の構成の概略をのべたが、電子計算機の応用面が拡大し、種々の自動制御系の中枢部として用いられる場合や、大形の計算機の場合には種々の入力、出力を計算機が適当に処理して、全体として無駄なく動作するようにシステムを構成しなくてはならなくなる。

図-5 多数の入出力が時分割式で記憶装置に結合された計算システム

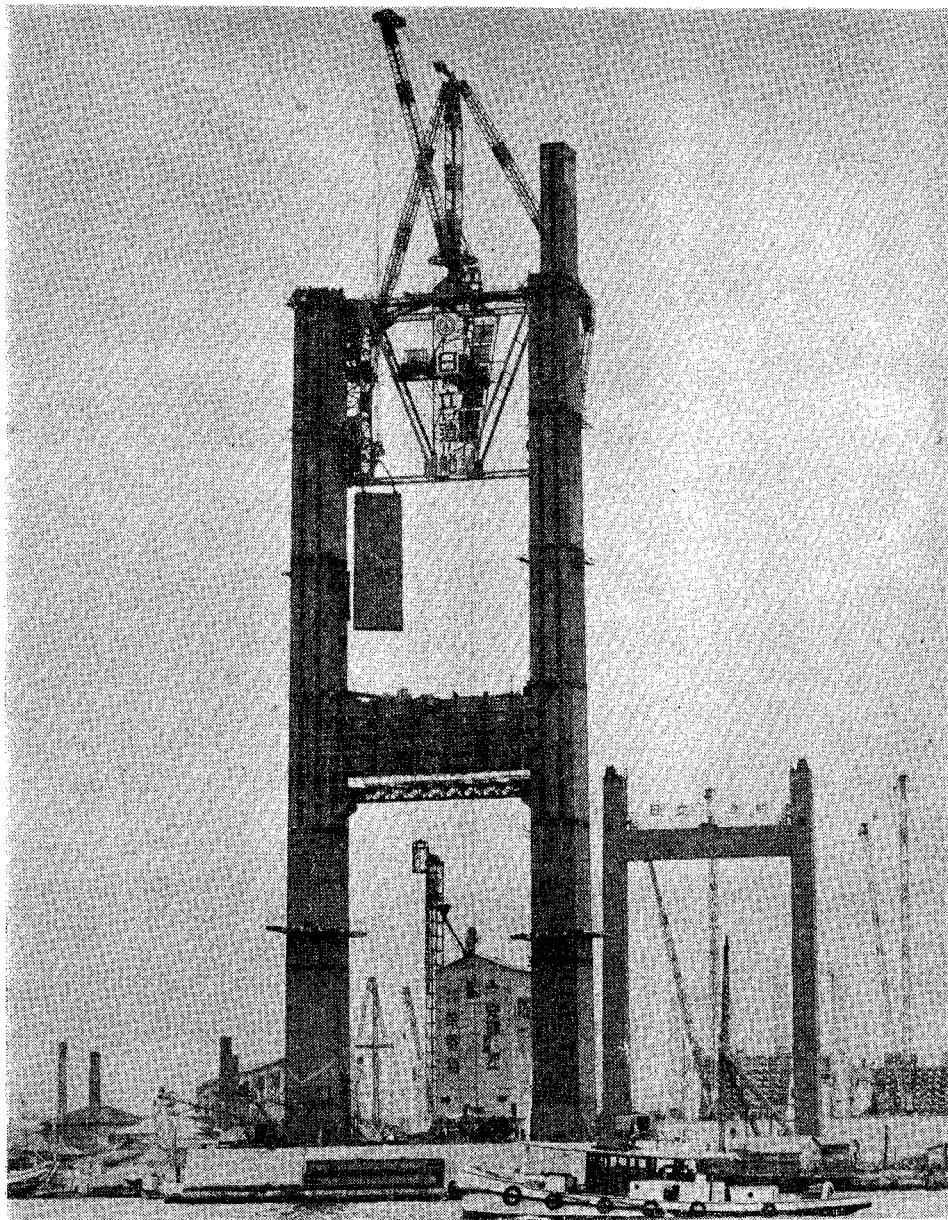


**図-5**はこの一例で、多数の入出力が記憶装置に時分割方式で結合されている例である。

電子計算機の今後の発展の方向としては、種々の偏微分方程式など莫大な計算を実行するための超高速、大容量の計算機の製作という問題とともに、言葉のほんやく文字や音声の判別、幾何や論理の証明など、人間の脳が行なうもろもろの機能を計算機に行なわせるという問題がある。これらの仕事は、それぞれの目的をもった特別の機械によって行なわせることも考えられ、また現存するような万能形の計算機を使ってプログラムで行なわせることも原理的には可能である。文字の認識の問題一つをとり上げてみても、手でかいた文字を読みとらせるには、人間の認識の機構に対するかなり立ち入った研究まで必要となり、正確には読もうとする文字だけでなく、その文字をふくむ単語なり文章なりまでも考慮する必要が起ってきて、今後研究すべき多くの問題をふくんでいる。これらの研究は、現状ではプログラムないし方式の研究段階であるが、実用の見とおしが立てば、単機機を作った方が能率がよいものが得られるはずである。このような計算以外への目的にも今後計算機の技術は広く応用されてゆくものと考えられる。(原稿受付:1960.9.8)



# 若戸大橋主塔の建設進む！



若松市と戸畑市を結ぶ洞海湾に、東洋一の規模といわれる吊橋「若戸大橋」の建設が日本道路公団によって進められております。

日立造船はこの建設工事の中核となる塔柱を架設中でありますが、その製作にはドイツ・シース製の超大型高性能の一九〇がボーリング盤により高精度を確保するとともに、その架設にも当社独自の技術を生かした画期的なトラベリングクリーパー方式を採用しております。



橋梁は  
日立造船

●本社 大阪市北区中之島 2 丁目 25 ●支社 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20