

工 作 機 群 管 理 シ ス テ ム

Computerized Numerical Control System

石 川 真 佐 男* 関 進**
Masao Ishikawa Susumu Seki

宮 本 捷 二** 初 田 茂***
Shoji Miyamoto Shigeru Hatsuta

要 旨

複数台の工作機を1台の計算機で制御する群管理システムは、無人化工場実現の基礎技術として重要なものである。日立製作所においては数年前から、計算機制御技術、数値制御技術を結集して経済的、かつ高信頼度のシステムを研究してきた。日立群管理システム HIDAM MASTERはこの研究をもとに完成したもので、ハードウェア的にはハイアラキ構成、直接制御式と標準形 NC 制御の併用可能といった特徴をもっている。またソフトウェア的には加工データの量を大幅に減少できる繰返し加工機能、データの入替えが容易なポイント機構を持ったデータ記憶法の採用により、機能を大幅に増加させることに成功した。本システム1号機はすでに治工具生産現場に導入され所期の目的を達している。

1. 緒 言

最近、“無人化工場”の実現を期待する声が強い。特に労働力の不足から、多くの熟練労働者を必要とする機械工業界ではその必要性がより大きくなっている。しかし一口に無人化といっても、その実現のためには、下記のような大きな分野を自動化する必要がある。

- (1) 素材、工具類の貯蔵と運搬
- (2) 素材、工具類の工作機械への取付けと取りはずし
- (3) 機械加工そのものの完全自動化
- (4) 製品検査

これらは単にハードウェアの開発のみならず、全体を有機的に結合するためのソフトウェアが必要となり、一挙に実現することは困難であるが、当面効果の大きい加工の自動化が焦点となろう。

従来、加工を自動化するものとして NC(数値制御)の研究が盛んで、多くの分野に採用されて効果の大きいことが報告されている。これは大きな進歩ではあるが、さらに生産性を高めるためには、全体を総合的に把握(はあく)するとともに、人間の経験にたよっていた作業をしだいに機械に肩代わりさせていく必要がある。

このような発想から生まれたものが、複数台の工作機を1台の計算機で同時制御する群管理システムである。日立製作所においては、制御用計算機に論理判断をさせる直接制御の研究を行ってきたが44年10月には試作システムとして発表し、大きな反響を呼んだ。その後、具体的な職場を選定し、主としてソフトウェアを開発してきたが、46年4月より実稼動にはいり、大きな効果をあげている。

日立群管理システム HIDAM MASTER は、このような研究・実績をもとに完成したものであり、広い応用範囲を持つものと確信している。ここにその概要を述べ各位のご批判を待つものである。

2. 日立群管理システムの基本構想

機械加工を自動化する場合、単に機械の制御を自動化しても不じゅうぶんである。すなわち機械加工の前段階として設計があり、加工時には材料投入から完成まで最短時間で済むような手順の決定が必要である。これらを1台の計算機で行なうことは必ずしも良策ではない。それは機械の制御は本質的にリアルタイムを要求されるのに対し、設計はバッチ処理的なものでよいからである。また手順の

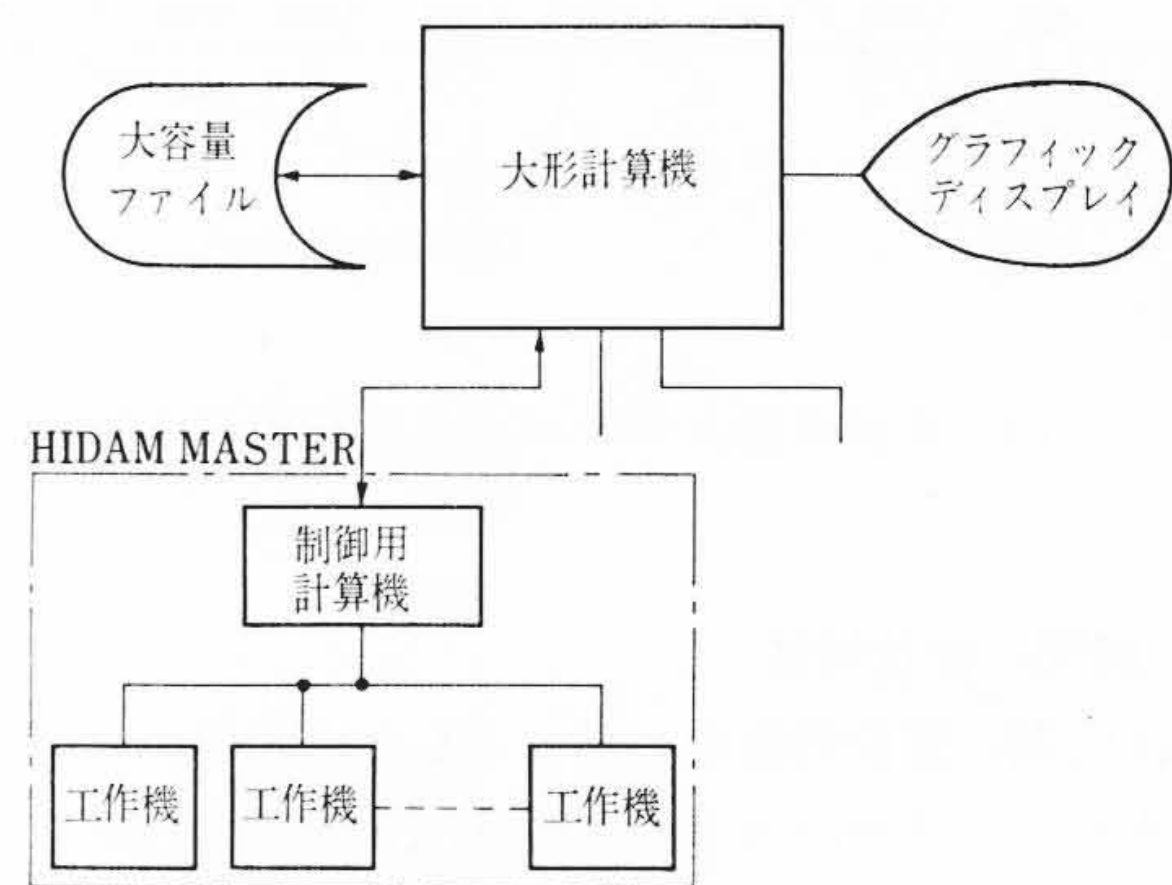


図1 群管理システム

決定(スケジューリング)には多くのデータを必要とすることから大きなファイルが必要である。

図1はハイアラキ構成による群管理システムで、大形計算機により自動設計(CAD: Computer Aided Design)を行なう。CADをより充実したものにするため、ディスプレイ装置などが使われる。またファイルも大容量として単に機械加工のみならず、経営情報管理、一般技術計算などに利用できるものとする。一方、工作機械を制御する計算機は、制御用に設計されたものを使用し、1台で10~30台の工作機械を制御する。この二つの計算機をオンラインで結合すれば制御用計算機のファイルは不要となり、かつ計算機故障時の影響を局部的に限ることができる。したがって経済的、かつ信頼度の高いシステム構成となる。

大形の計算機と制御用計算機をオンラインで結合する方式は、鉄鋼、電力など計算機利用の進んだ分野ではすでに実用期にはいっており、ハードウェア的には特に問題ない⁽¹⁾。また世界的にみてもGE社のComman Dir Systemをはじめ、主要メーカーがハイアラキ構成の群管理システムを発表している⁽²⁾。

日立製作所では制御用計算機による工作機械の制御をHIDAM MASTERと呼び、ハイアラキ構成でも独立したシステムでも使用できるよう設計されている。

3. HIDAM MASTER のハードウェア

3.1 計算機制御の方式検討

工作機械の制御はすでにNC(数値制御装置)として紙テープによる方式が確立されているため、原理的には紙テープ情報と等価な情

* 日立製作所大みか工場

** 日立製作所中央研究所

*** 日立製作所戸塚工場

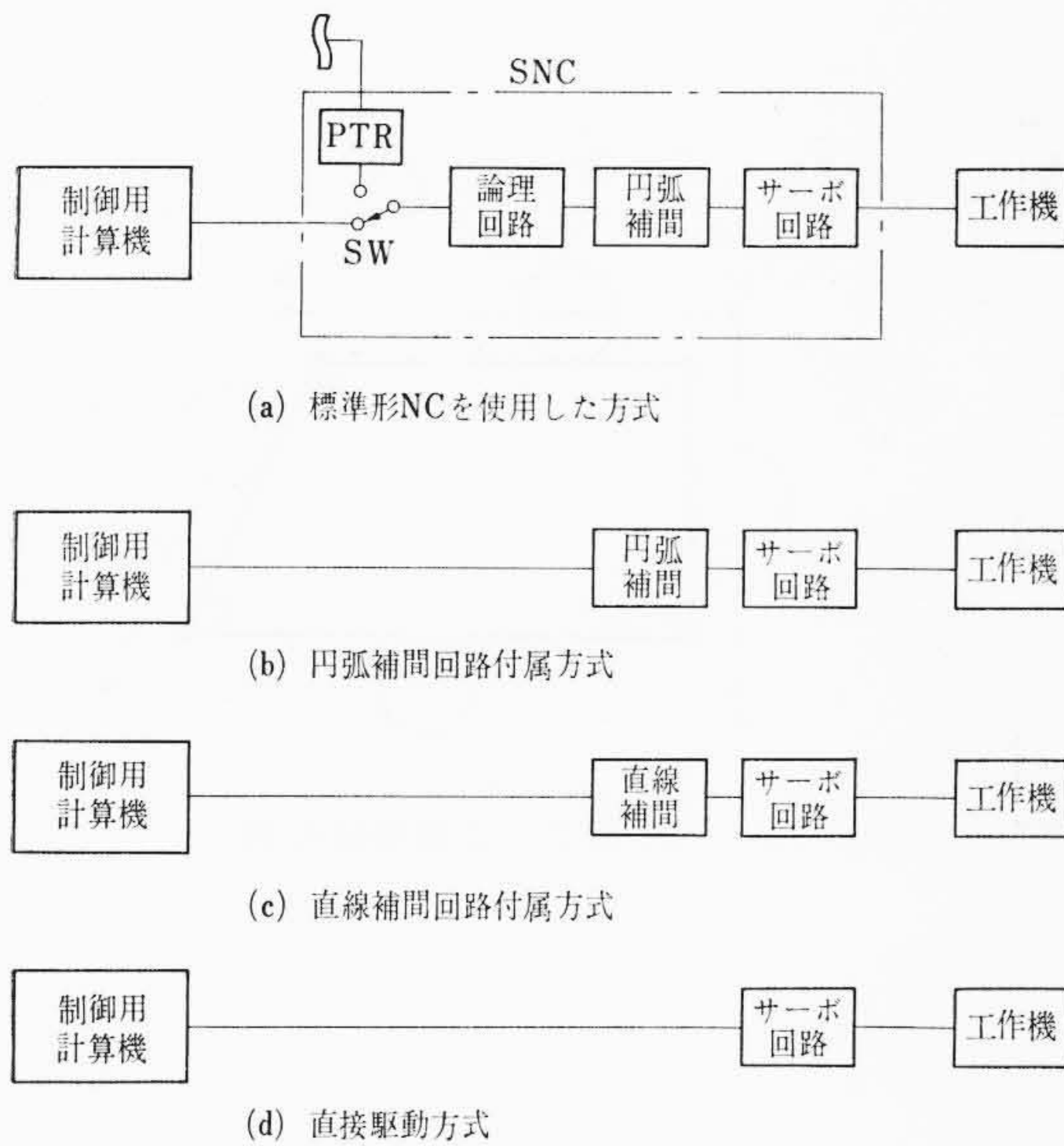


図2 計算機制御の方式説明図

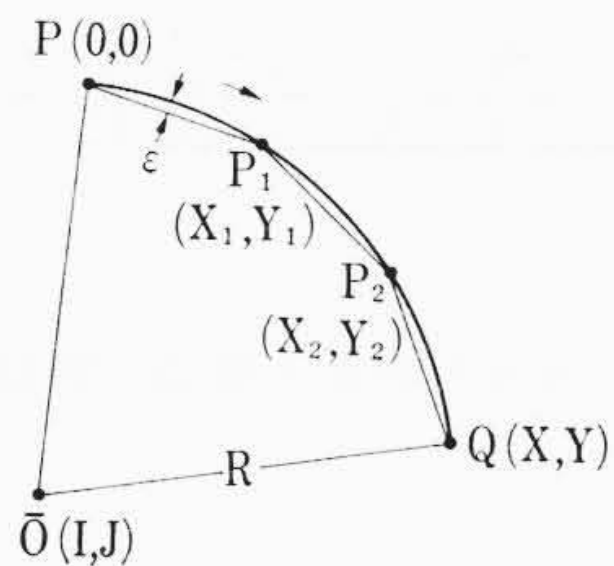


図3 円弧補間と直線補間の関係

報を計算機から送ればよいことになる。しかし NC の機能は工作機械の工具あるいはテーブルを移動させる「サーボ回路」とそこに指令を与える「指令部」に分けられる。前者はいわゆるパワーの供給部分であるから省略することはできないが、後者は論理動作であり、計算機のソフトウェアで処理可能なものである。

図2はこれらの条件を考えてまとめた各種の方式である。(a)は独立した NC (これを SNC と呼ぶことにする) にデータを送る最も基本的なものである。本方式は高価となるが、紙テープにより独立して使用できるという大きなメリットのため利用される機会が多いと考えられる。(b)は SNC のうち各種の計算や判断といった部分(論理回路)を計算機のソフトウェアに吸収したものである。本方式では図3の円弧 $\widehat{PQ}$ を作るのに純ハードウェアの補間回路を使用し、そこに2進数でデータを与える。本方式は工具径補正のように論理回路が複雑になる場合には経済的に有利となる。

(c)は円弧を図3に示すように直線 $\overline{PP_1}$, $\overline{P_1P_2}$, $\overline{P_2Q}$ で近似するもので誤差 ε が許容値にはいるよう計算機内部で P_1 , P_2 などの座標を決定し、各直線間に直線補間回路を用いるものである。(b)よりさらに安価になるが、計算機の負担は大きくなる。

(d)は(c)の直線補間回路を1ビットにしたと同じもので、計算機内部で刻々のパルスの有無を計算し、有の場合にパルスを直接サーボ回路に送るものである。価格的にはいちばん有利であるが、計算機の占有率は増大する。

このように各方式には長短があり、簡単に方式を決めることは困難となる。方式決定の要因としては下記のものがあげられる。

- (1) 制御できる台数ができる限り多いこと。
- (2) 工作機械は独立しているため増設、移設が一般のプロセス

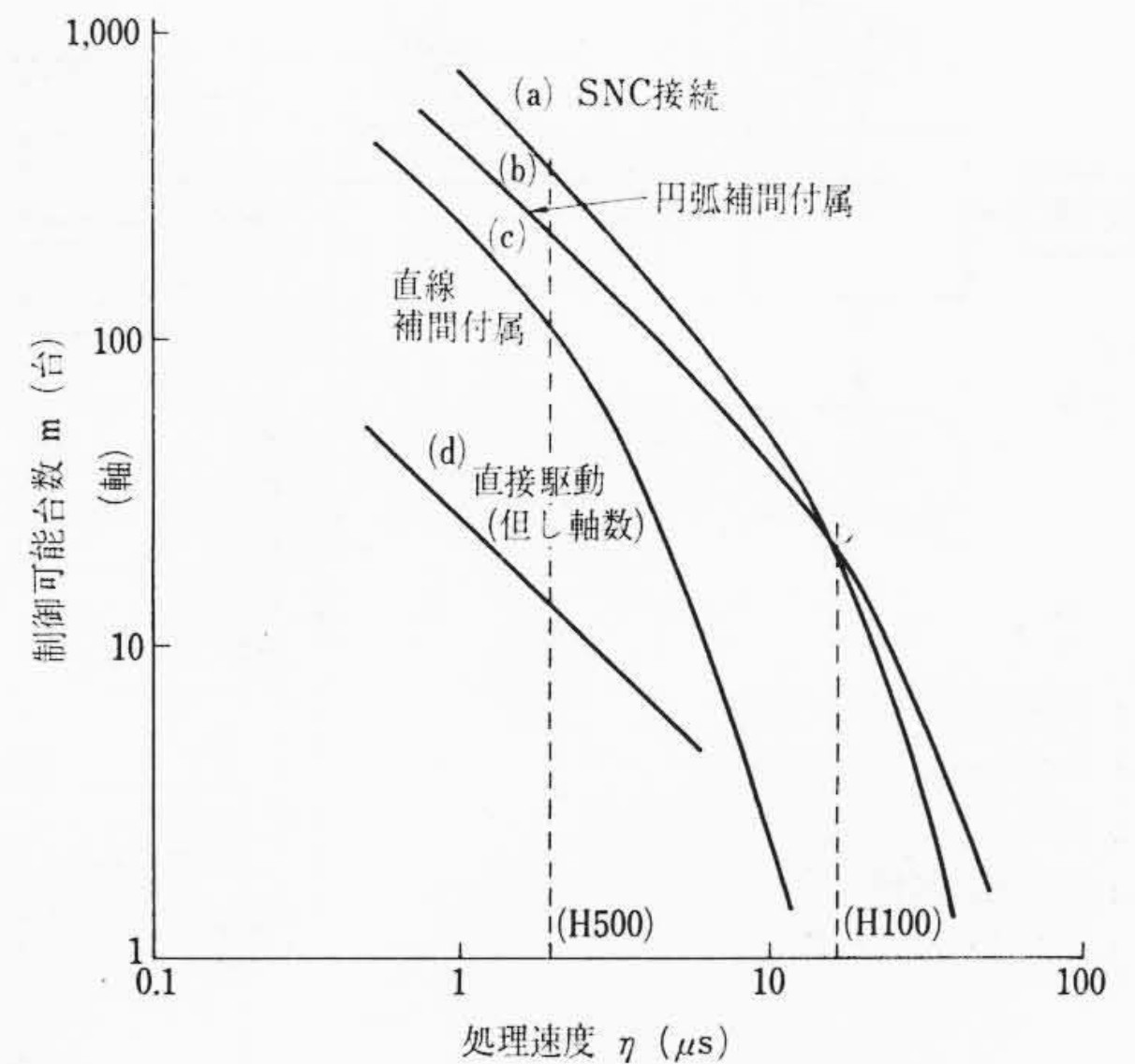


図4 各方式の処理能力

工業に比較して多い。したがってそれに適したシステム構成が可能なること。

- (3) 工具交換、ワークのロード・アンロードなど工作機械そのものの機能が増設された場合、それに伴って NC としても補助機能の増設が可能なること。
- (4) 各種の制御用計算機に共通の方式であること。

図4は各方式が何台((d)方式は何軸)の制御が可能かの目安を示すものである。もちろんこれは加工条件、計算機とのデータ伝送方式などによって大幅に変化するが、全体の傾向は変わらない。これから計算機に HIDIC 500 を用いれば、(c), (d)いずれかの方式も採用可能であるが、HIDIC 100 では採用不可能である。

補助機能も含めて価格を検討すると、(b), (c)方式は大きな差はなく(d)は2~3台の小規模なシステムにしか採用できない。

結局、紙テープによる運転が可能なる(a)方式と、経済的な(b)方式(これを直接制御 NC(DNC)と呼ぶ)の併用がシステムのみにて最も適しているとの結論を得た。

3.2 実装方法とデータ伝送方式

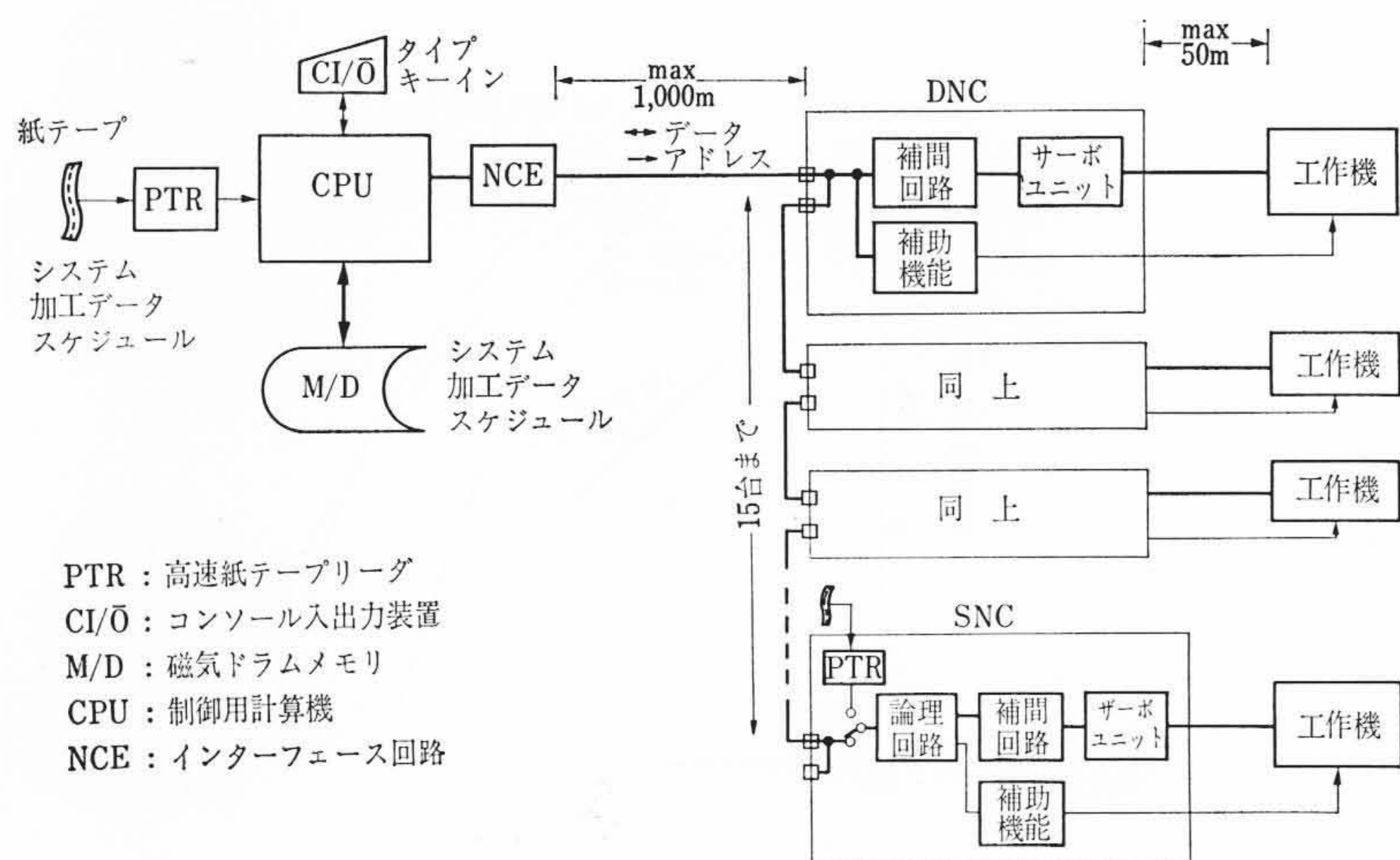
標準形 NC を利用するときは、おのおのが1個の独立した装置であり、実装上特に問題はなく、データもテープと等価な情報ということから8ビットあればよい。ただ群管理にした場合に機能を増加して表示出力の増大やコントロールパネルの情報を計算機に取り込むことができるようなものでなければならない。

一方、円弧補間回路のみを使用する DNC 方式では、補間回路を計算機の近くにまとめるか、機械の近くに置くかが問題となる。経済的には前者がいくぶん有利になるが、工作機械は1台ごとに増設されることが多いことや、データ伝送を補助機能と合わせることを考え後者の方式を標準とした。

このようにしてデータ伝送は計算機から出る16ビット1語のデータを必要な語数送る方式を採用した。補助機能も1語でBCD 4けたの伝送するため、必要な機能に応じて語数を増加させればよいわけである。

さらに計算機室と離れた所に機械がまとまることを考慮し、いわゆるイモズル式布線ができるよう、データ伝送にはデータのほかに機械選択と語選択より成るアドレス信号を含ませることにした。これによって各 NC から計算機室に1:1でケーブルを布線する必要をなくした(特許出願中)。また各 NC のメンテナンス時、任意に電源を切っても計算機側とインターロックが取れるよう考慮した(特許出願中)。

図5は代表的なシステムのハードウェア構成を示したものであ



PTR : 高速紙テープリーダ
CI/O : コンソール入出力装置
M/D : 磁気ドラムメモリ
CPU : 制御用計算機
NCE : インターフェース回路

図5 ハードウェア構成

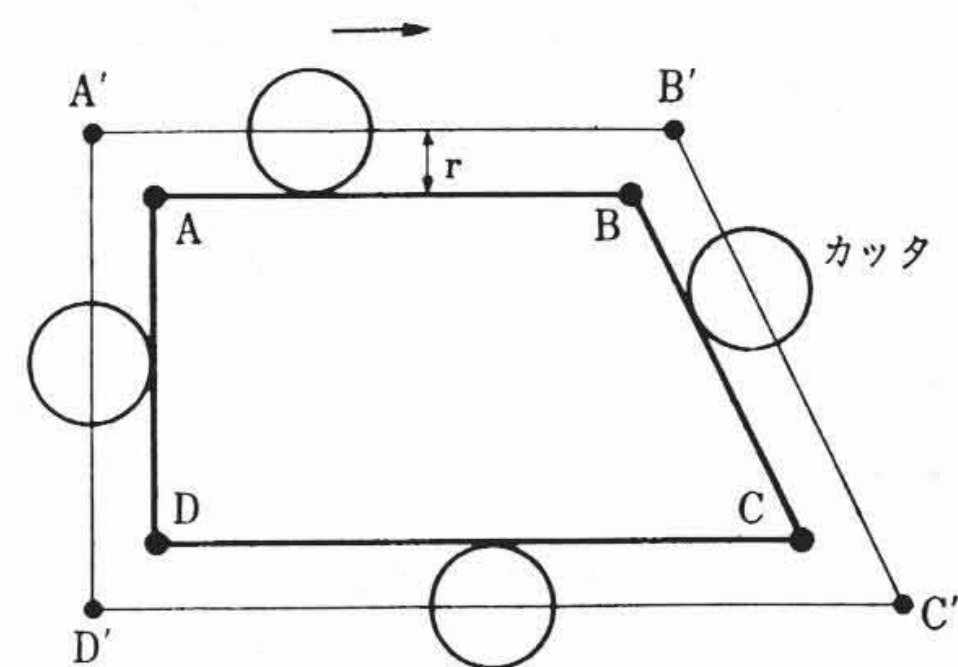


図7 切削形状の例

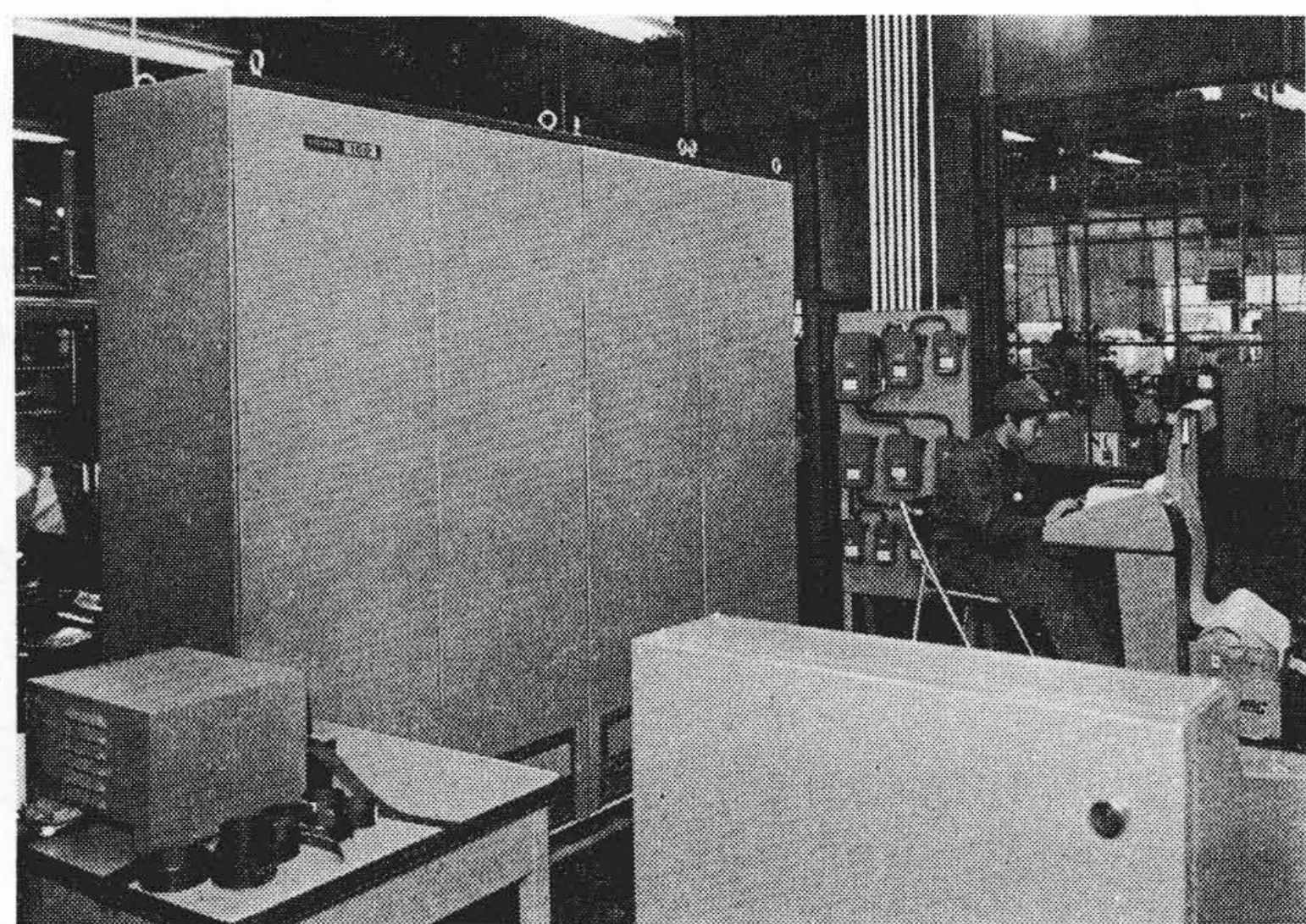


図6 計算機システム

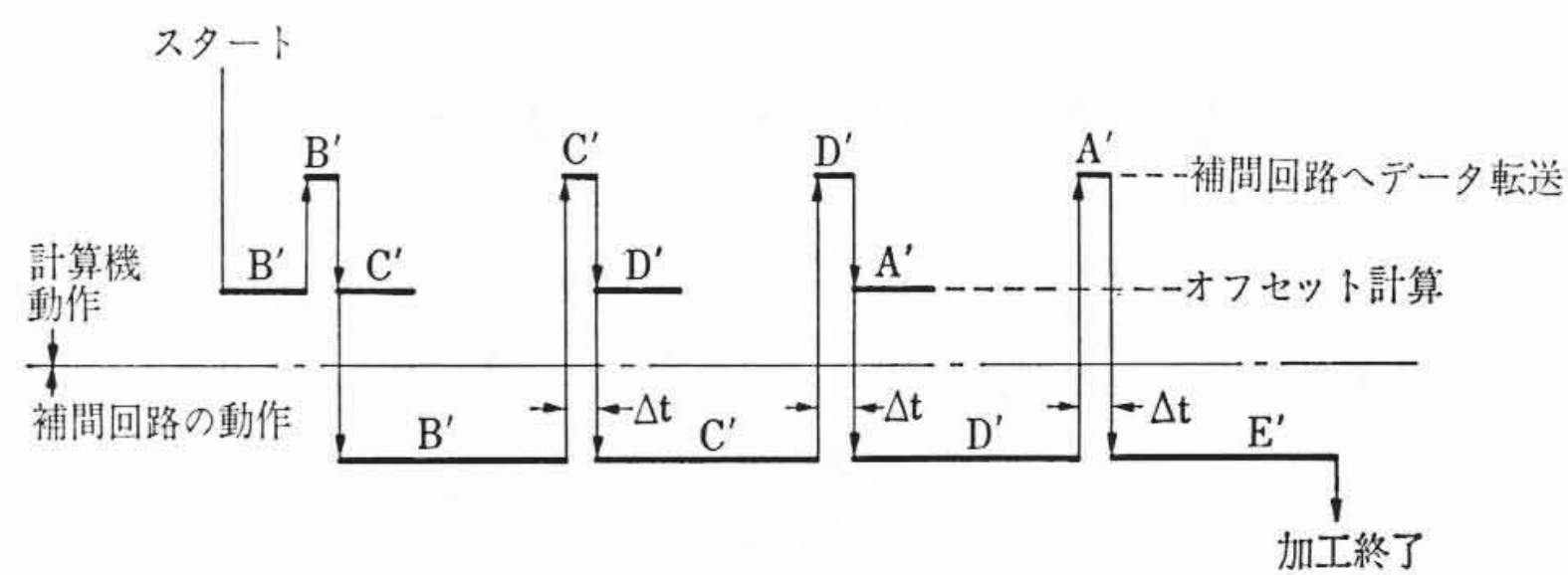


図8 オフセット計算と補間回路動作の関係

る。一般的には DNC 方式で工作機械を制御するが、工作機によっては SNC 方式も併用し、15 台を制御する予定である。図 6 は計算機システムを示したものである。本システムは小規模ではあるが、スケジュールに従った運転ができるように考慮されており、加工データ（一般にパートプログラムと呼ばれるが、計算機プログラムとまぎらわしいため、加工データと呼ぶ）の修正などもオンラインでできるようにしている。

計算機に HIDIC 500 を使用すれば、制御可能台数も多くなり、より多くの機能を追加することができる。表 1 は標準的な仕様であるが実際には各ショップの要求に応じたシステム構成、機能の追加が行なえることはいうまでもない。

4. HIDAM MASTER のソフトウェア

群管理システムにおける工作機制御は完全な多重動作であり、しかも速い応答性が要求される。また加工データは図形処理の結果であり、多くの場合大きな容量となる。そこで記憶容量の減少を図るとともに、データの消去、追加の容易なソフトウェアが必要になる。

4.1 補間回路へのデータ転送

ごく簡単な加工例として図 7 のような加工の例をあげる。いま ABCD の形状のものを半径 r なるカッタで製作する場合、 r が摩耗することなどを考えると、あらかじめ A', B', C', D' の値を与えることはできず、計算機内部で求めなければならない（これをオフセット計算と呼ぶ）。この時間は HIDIC 100 の場合には 100~300 ms になるため、前のブロックの補間が終了してから計算していたのでは、その間カッタが停止し、仕上精度に影響がでる。そこで図 8 に示す

表 1 HIDAM MASTER 標準仕様

項 目	HIDAM MASTER 30	HIDAM MASTER 10
CPU	HIDIC 500	HIDIC 500
コ ア	8~32K 語 (16 ビット/語)	4~16K 語 (16 ビット/語)
メ モ リ	0.9μs	2μs
	1.8μs	16.5μs
M/D	64~512K 語	32~256K 語
CI/O (ASCII コード)	ASR-33 [タイプライタ, キーボード, 10 字/秒 [紙テープパンチ, 紙テープリーダ]]	
PTR (任意コード可)	400 字/秒	200 字/秒
NC 接続台数 { 標準 (SNC+DNC) 最大 }	15 30	5 10
DNC, SNC 概略仕様	対 象 位置決め, 直線切削, 円弧切削 軸 数 5 軸同時 3 軸~2 軸同時 1 軸 速 度 切削 1~1,200 m/min, 早送り 4,800 mm/min 以下 サーボ系 レノルバーによるセミクロズドループ サーボ DC モータ, 電気油圧モータ モータ MST は BCD 各 2 けた 補助機能	
追加可能機器	・ラインプリンタ ・カードリーダ ・X-Yプロッタ ・キャラクタディスプレイ装置 ・高速紙テープパンチ ・カードパンチ ・磁気テープメモリ ・プロセス入出力装置 ・他のコンピュータとのリンケージ	・カードリーダ ・高速紙テープパンチ ・プロセス入出力装置 ・他のコンピュータとのリンケージ
ソフトウエア	標 準	・工作機制御 ・スケジュール運転 ・実績表タイプアウト
	オプション	・自動パートプログラミング (HAPT-2D) ・パートプログラム修正 ・パートプログラムの確認

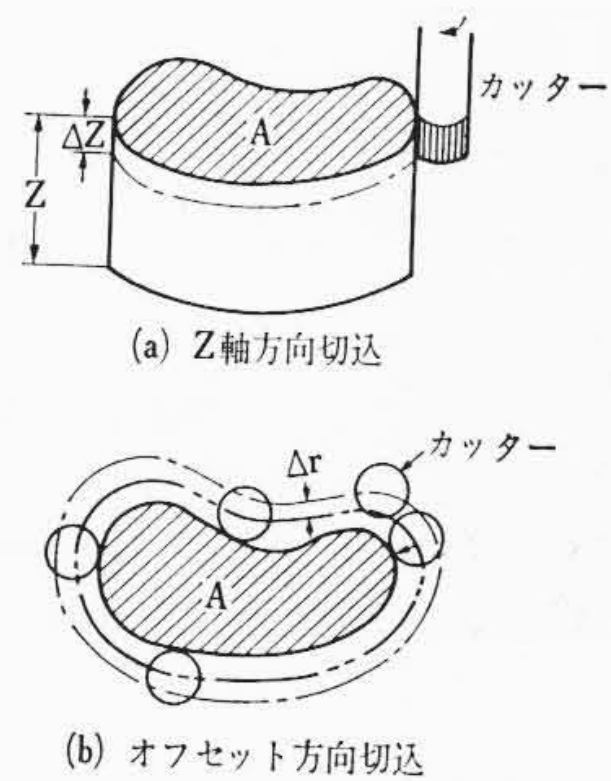


図9 フライス盤の繰返し動作

ように、1ブロック先回りして計算しておき、終了時にはそのデータを転送するだけとした。したがってカッターの停止時間 Δt は、せいぜい5ms (HIDIC 100の場合)とすることが可能となり、影響はほとんどない(この時間をブロック間停止時間と呼ぶが、どの程度まで許せるかは材質、工具、精度によって変わる)。

図8からわかるように同時制御可能台数は補間している時間と計算の時間比で決まることになる。補間の時間は切削速度と距離によって決まり治工具の例では平均して2~4秒であることがわかった。図4はこれをもとにして算出した処理能力である。

2台以上のDNCの補間動作がほぼ同時に終了した場合は、オフセット計算中でもデータ転送を優先して行なうことはもちろんである。またSNCの場合は1キャラクタを送るのに3ms程度必要になるが、NC側の要求速度は5ms (PTR速度200字/秒)であるから問題はない。

以上は制御用計算機としてHIDIC 100を使用した場合であるが、HIDIC 500を使用すれば、演算時間が速くなるばかりでなく、データ転送もコアメモリから直接行なうチャンネル動作を用いることができ、同時制御台数を大幅に増加させることができる。

4.2 繰返し機能の活用

機械加工を行なう場合、1回の切込み量には一定の限界があり、仕上げ完了までは何度も同じような加工を繰り返すのが普通である。図9はフライス盤の繰返し動作で、(a)の場合にカッターの長さ方向の送りを行なって与えられた輪郭を切削する。(b)はカッターの半径方向(オフセット)の切込みを行ないつつ、与えられた輪郭を切削するものである。前者の1回の送りを ΔZ 、切削量を Z 、また後者の切込み量を Δr 、切削量を R とすれば繰返し回数は、

$$n = \frac{Z}{\Delta Z} \times \frac{R}{\Delta r}$$

となる。

紙テープによる制御ではほとんど同じ加工データを n 回必要とする。多くの場合これは大きな問題で、たとえ大形の電子計算機を使用してテープパンチの手数を減らしても紙テープの長さを減少させることはできない。このほか旋盤においても同じような繰返しがあり、ボール盤では等ピッチで数多くの穴をあけるケースは非常に多い。このため実際の運用においては同一テープを何度もセットしたり、補助のテープリーダーを併用したりするのが一般的であり、NC活用上ネックとなっている。

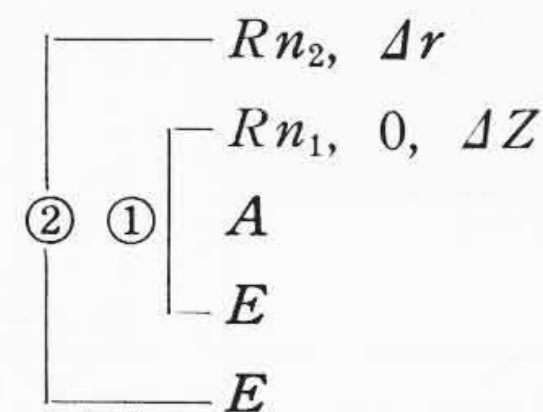
ところが計算機を使用する群管理システムでは、この問題を比較的容易に解決することができる。それはコアメモリや磁気ドラムメモリがランダムアクセスであるため同一部分を何度も任意に使用できるうえに、紙テープのように寿命に関係しないからである。具体的には下記の表現とする。

$Rn, \Delta r, \Delta Z$

A (切削する輪郭のパートプログラム)

E

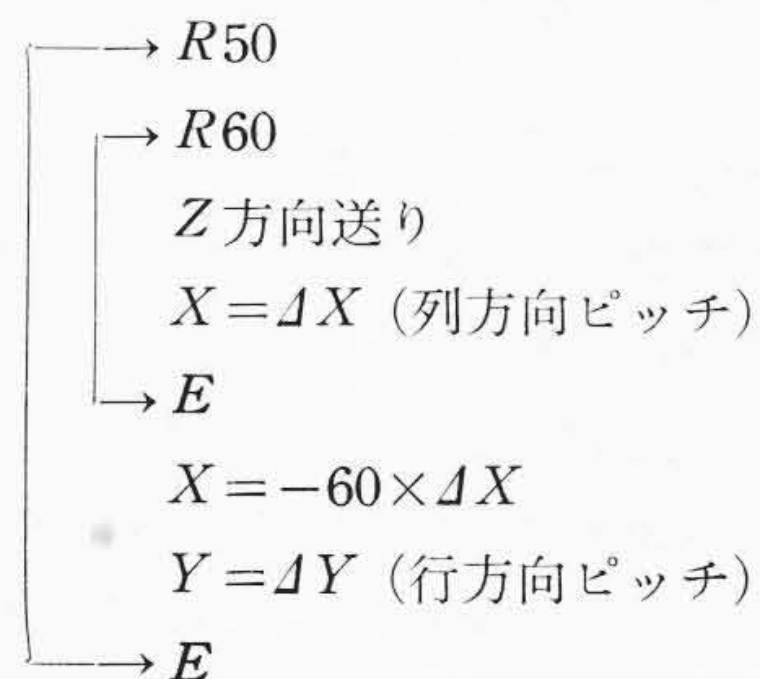
すなわち、 R と E のキャラクタではさまれたパートプログラムを n 回繰り返すものとする。このとき1回の切削が終了するたびにオフセット量を Δr 変化するとともに、 Z 方向へ ΔZ だけ送るよう計算機が動作する。図10の場合にはオフセット方向と Z 方向は独立しているため下記の表現となる。



n_1 は Z 方向の送り回数、 $Z/\Delta Z$ 、 n_2 はオフセット方向の切込回数で $R/\Delta r$ を意味する。この場合はまず Z 方向をすべて切削したのち、オフセットを変更して再び Z 方向を送るものとする。これは繰返しが二重の場合であるが、同一材料から同じものを2個以上製作する場合も考え四重まで処理できるプログラムを開発した。

次に具体的な例によりこの機能の効果を説明する。プレス抜型加工は荒仕上げ、仕上加工に分けられる。有効切刃長 $Z=6$ mm、エンドミル径 2.5ϕ として、荒仕上げ時は $\Delta Z=0.5$ mm、よって繰返しは12回。仕上げは $\Delta Z=2$ mm、よって3回繰り返すことになる。この場合もし繰返し機能がないと15回分の加工データとなる。しかるに繰返し機能を用いれば、荒仕上げ、仕上げの2個のパートプログラムになる(ΔZ がおおのこのケースで異なる)。これから約1/8テープでよいとの結論が得られる。これはそのままドラムメモリの容量を節約できることを示している。

また、治具板に50行×60列計3,000個の穴をあける例では1穴あたりのテープは30cm、テープ作成時間は5分となるから、もし繰返し機能がなければ、計算機を利用しないかぎりテープ作成は不可能になる。これを次のように表現することにより、テープの長さを約1/3,000にでき、計算機を使用しなくてもテープをパンチすることができる。



このほかにも繰返し機能の効果の大きい例は多数あり、平均してテープの長さを1/10にすることができる。

4.3 加工データの記憶法

群管理システムにおいて大きな問題は加工データの記憶である。それは日々新たな部品が設計されており、それをすべて制御用計算機のファイルとして持つことは経済的に不可能だからである。一方、磁気コアメモリは高価であるため、現在加工中のデータを入れることすら不可能で、結局速いアクセスタイムを持つ磁気ドラムメモリが不可欠のものとなる。そして少なくとも現在加工中のものをそこに格納する。さらに多種類のものを加工する方法としては下記の方法が考えられる。

- (1) 加工種類(パートプログラム)の変わるたびに、紙テープで加工データを読み込ませる。
- (2) 磁気ドラム容量を増加し、半日ないし1日分の加工データをあらかじめ記憶させる。
- (3) 容量をさらに増加し、1週間ないし1ヶ月の計画に合うデータを記憶させる。

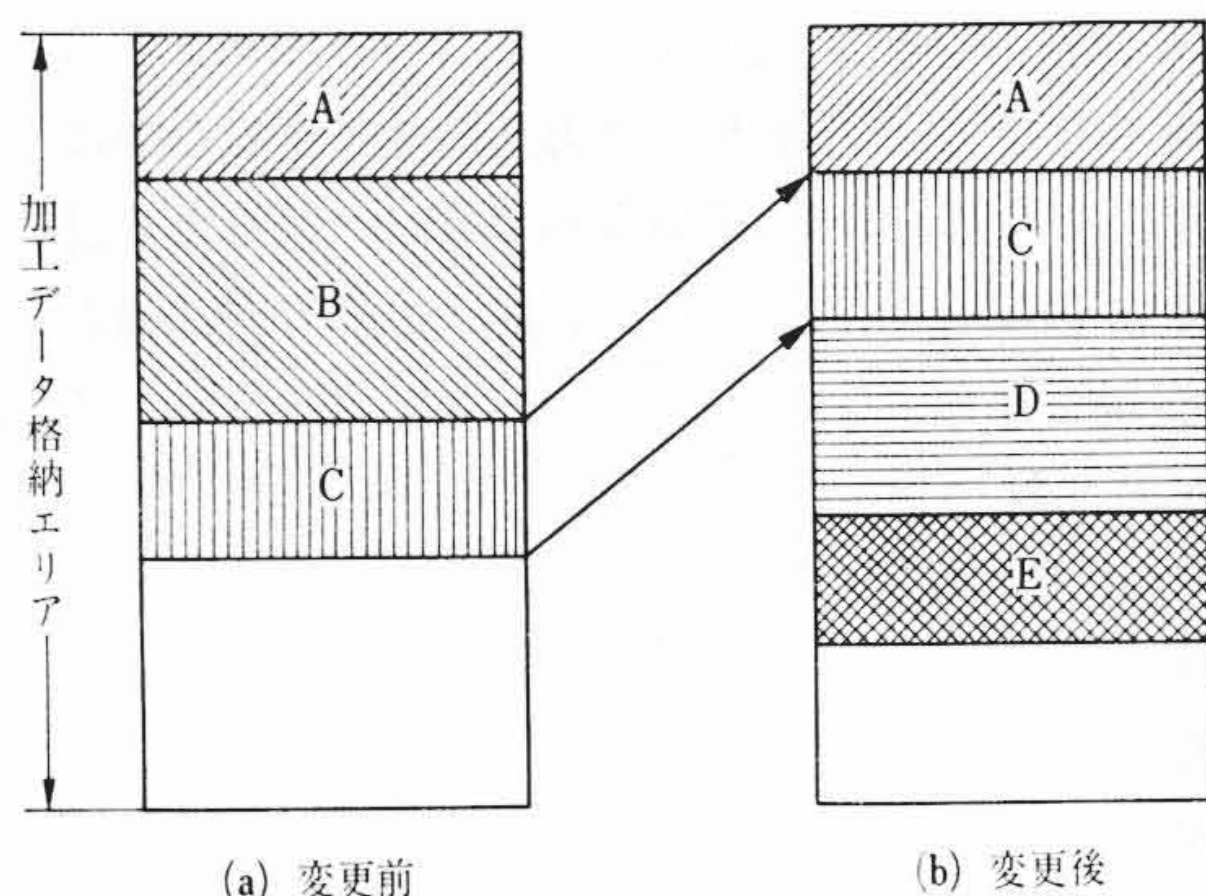


図10 加工データのドラム格納法(1)

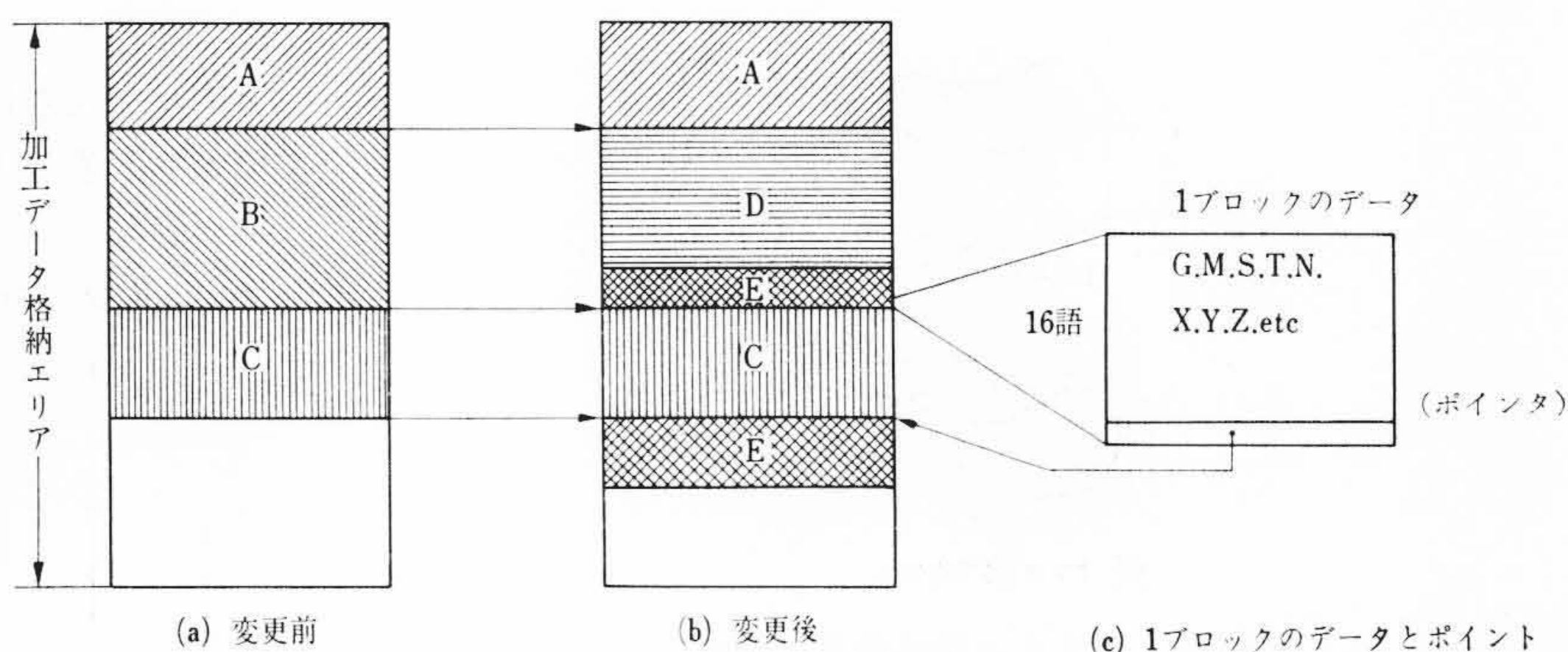


図11 加工データのドラム格納法(2)

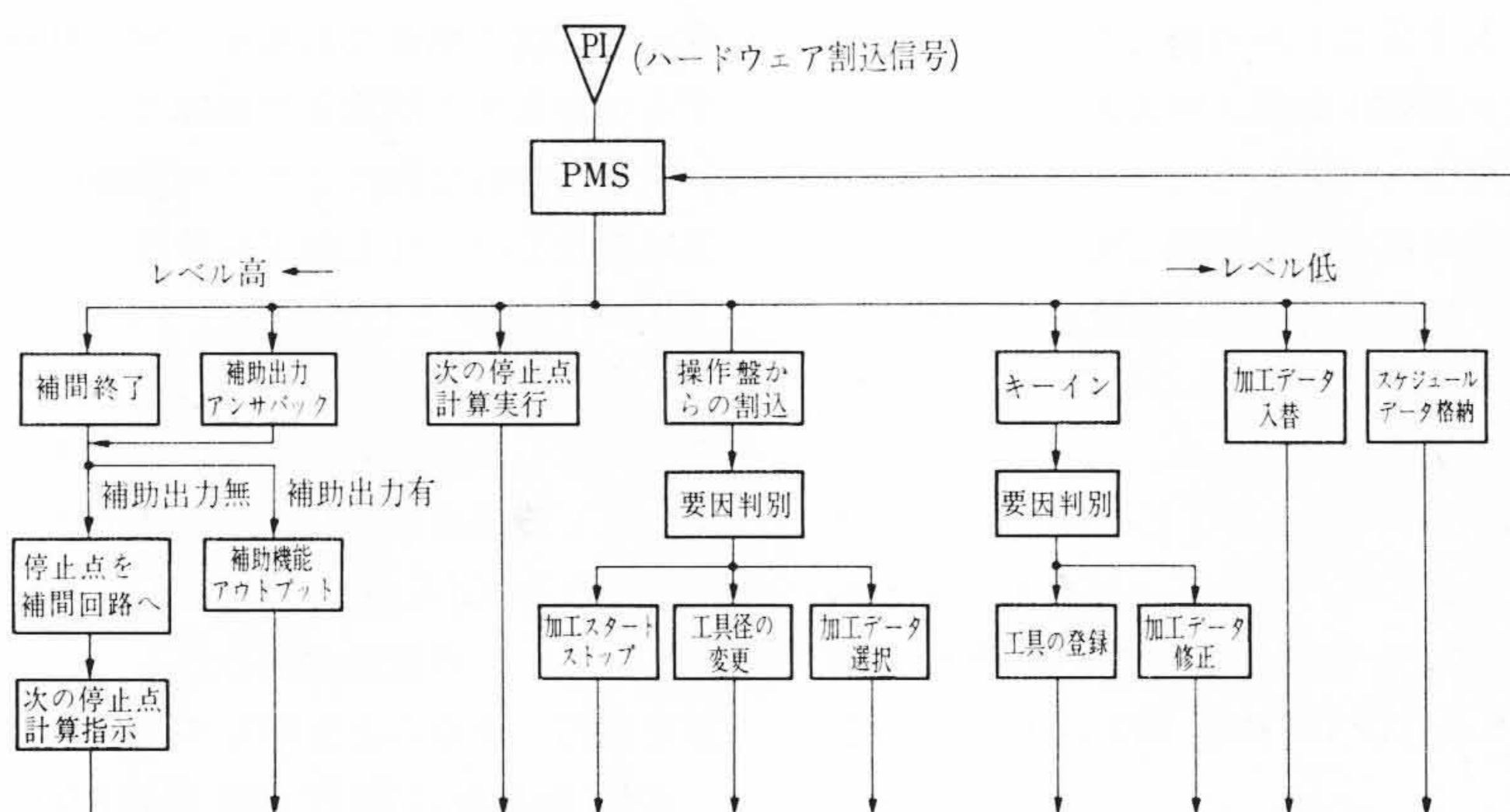


図12 ソフトウェア構成

- (4) 磁気テープのように低速であるが、大容量のファイルを持ち、そこから必要に応じて磁気ドラムに転送して使用する。
- (5) 大形計算機とオンラインで結合し、そのファイルを利用する。

このうちどれを採用するかは、ロット数、加工データの量、自動設計システムとの関係などを考慮し、ケースバイケースで決めなければならない。今回は(2)の方式で半日ごとに不要となるパートプログラムを消去し必要なものを追加していくことにしたが、どの方式を採用しても磁気ドラム上の加工データは頻繁(ひんぱん)に入れ替わることになり、しかもおのおのの加工データの長さが異なることに注意しなければならない。

図10は、最初にA、B、Cプログラムを必要としたとき単純に読み込ませた順に記憶したもので、もしBを消し、D、Eのプログラムを増加させる場合にはCを前につめ、そのあとにD、Eを入れなければならない。このため工作機械を制御している途中でこの入替えを行なうことはできず実用上問題となる。

そこで今回は図11に示すように、使用中の加工データをそのまま残し、不要となったところに新しいデータを入れていく方式とした。この場合には図でもわかるように途中で分断されるケースがでてくるのでこの場合のチェーンのしかたが問題となる。そこで加工データの1ブロックの情報は同時3軸制御でも15語あればじゅうぶんであることに注目し、これに次のブロックの所在を示すポイントを1語追加して1ブロック16語とした。16語は磁気ドラムの1セクタに相当し、ポイントの値はセクタアドレスとすることにより約65,000ブロックまで扱える方式である。

ポイント方式の採用により、オンライン中に任意に加工データを入れ替えることが可能となるばかりでなく、試切削中に発見される加工データの不良をすみやかに修正(特にブロックの追加と削除)が

可能となる利点を持っている。

4.4 ソフトウェアシステム

群管理システムは単に工作機が2台以上同時に制御されるだけでなく、それに伴って磁気ドラムからのデータ読出し、加工データの入替え、さらには操作盤からの割込み要求などいくつかのプログラムが並列に動作することになる。このため全体の動作を統括するプログラムが必要となる。このプログラムに制御用オペレーティングシステムとして広く採用されているPMS(Process Monitor System)を採用して、ソフトウェア的にも機能の拡張を容易にした。

PMSは外部からの割込信号(含補間信号)計算機内部に所有するタイマからの割込信号の優先順位を判定して、最も優先度の高い仕事を実行させるとともに、ドラムやタイプライタなどの標準入出力機器とのデータ転送を管理するものである。図12はPMSと各プログラム(TASKと呼んでいる)との関係で、レベルの高いものほど優先的に処理することを示している。

プログラムは工作機械を制御するもののほか、操作盤からの割込みで加工を開始、停止したり、工具の実寸法を入力したり、スケジュールによらないで任意の加工データを選択できるように考慮した。またキーインにより、工具を事前に登録したり、加工データを修正することも可能になっている。

加工データの入替えとスケジュールデータの格納は、計算機の近くに簡単なスイッチパネルを設けて、ワンタッチで指令ができるようにした。これは操作の頻度(ひんど)が多く、キーイン方式では操作上好ましくないからである。スケジュールデータは加工データとロット数の関係を加工順に並べたもので、工場経営管理システムからも出力できるようになっているが、手動でパンチしてもさしつかえない。

図13はコアメモリとドラムメモリの利用状況を示したものであ

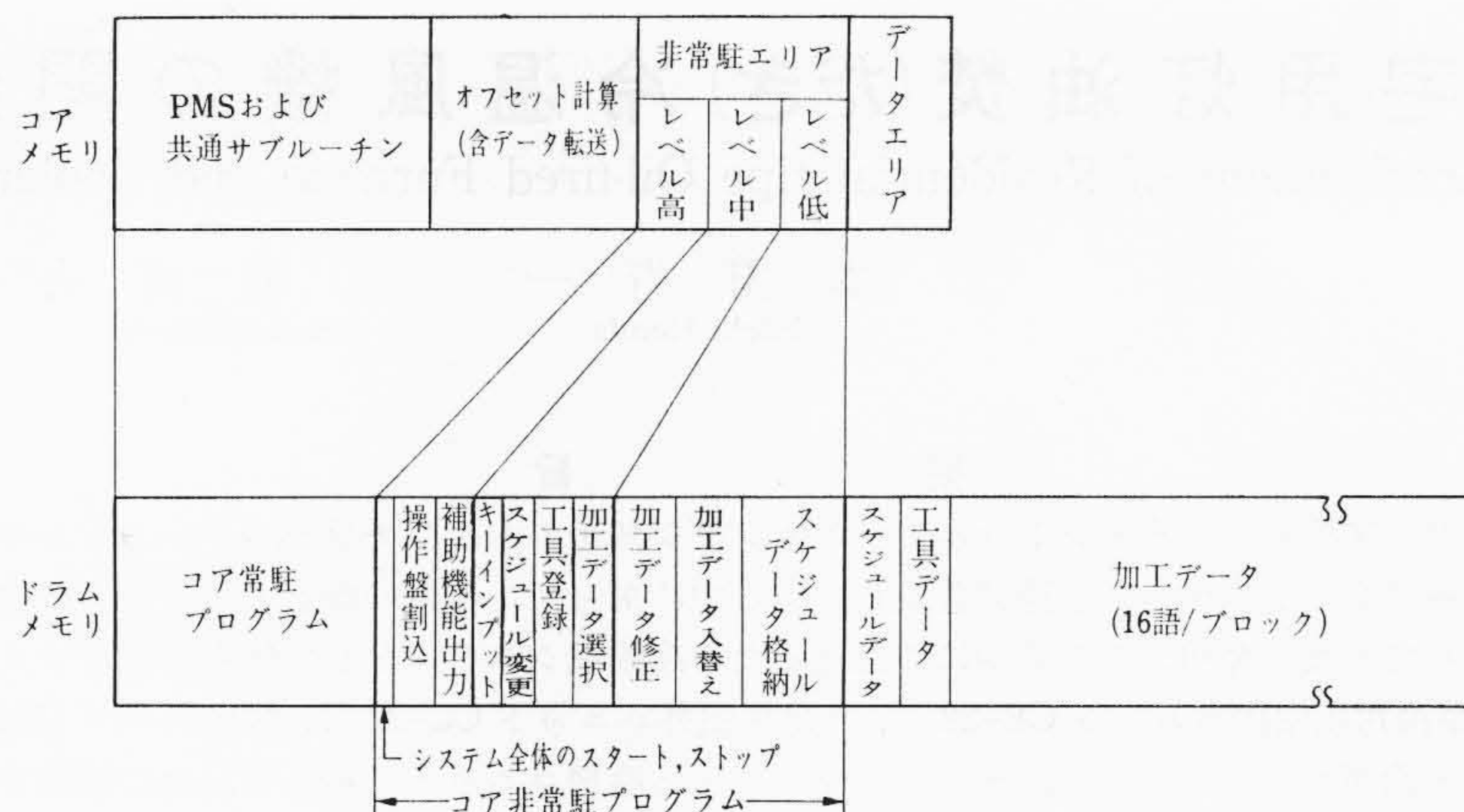


図13 記憶装置の利用状況

る。プログラムをすべてコアメモリに持つことは応答性のうえからは好ましいが価格的な問題があり、PMS、サブルーチン、それに加工に直接影響のあるオフセット計算と補間回路へのデータ転送までをコアに常駐させ、あとはすべてその都度ドラムメモリからコアメモリへ呼び出して実行させる方式とした。これによりコアメモリの容量を大幅に減少することができた。ただコア常駐プログラムまでドラムに置くことはむだなようであるが、メンテナンス後のシステムスタートを容易にするためにこの方式とした。

コアメモリのデータエリアは、各NCの加工データのバッファエリア、オフセット計算のワーキングなどであり、1台の工作機械につき256語必要である。したがって工作機台数が増せばそれに応じてコアメモリを増設する必要がある。

5. 結 言

工場無人化へのアプローチとして、群管理システムへ関心が集まっているおり、数値制御技術と計算制御技術をもとに日立群管理システムHIDAM MASTERを開発し実用化することに成功した。HIDAM MASTERは、ハードウェア的には、

- (1) SNCとDNCの混用可能

- (2) 現場ブランチ方式(芋づる式)布線の採用
- (3) ハイアラキ構成可能

といった大きな特徴をもち、またソフトウェア的には、

- (1) カッタ停止時間の減少
- (2) 繰返し機能の採用による加工データの減少
- (3) 任意入替え可能なデータ格納法
- (4) スケジュール運転による手順の合理化
- (5) 融通性の大きいオペレーティングシステムの採用

など将来の本格的群管理システムを志向しつつ、現状に適したシステムとなっている。

もちろん群管理システムのみが独立して存在できるわけではなく、今回の成功もオフライン(紙テープ)ではあるが、大形計算機と自動設計、スケジュールリングの両面で結合したシステムであることは、同種システムの導入を計画されているかたがたに対し、一つの指針になるものと考ええる。

参 考 文 献

- (1) 宅間, 浅田, 川野, 三森: 日立評論 52, 1157 (昭45-12)
- (2) P.G. Mesniaeff: Control Engineering, 18, 65 (March, 1971)



特 許 の 紹 介



特許第553324号(特公昭44-4134号)

安藤 賢次

記憶装置の記憶内容破壊防止方式

この特許は、特許第574224号(特公昭43-18650号)の改良発明に関し、コア記憶装置に限らず、一般の記憶装置における停電、復帰時の記憶内容破壊防止方式である。

図はこの一実施例を示すもので、停電ならびに復帰時に記憶の書込み、読出しに携わる電流駆動用電源 S_3 を他の S_3 を除く $S_1 \sim S_6$ の電源よりも停電時には早く、復帰時には遅く電気弁 SCR_1, SCR_2 によって切、入し、電源 S_3 を除く他の電源の停電、復帰時の過渡状態における論理回路の不安定時には常に駆動用電源 S_3 をしゃ断しておき、かつ停電、復帰の際の電源 S_3 切、入の事前には停電予告信号、復帰信号を計算機本体へ発し、すでに記憶されている内容はもちろん、書込み、読出し最中においてもこの予告信号により、記憶内容の破壊ならびに記憶動作最中の誤動作をきわめて簡単、かつ半永久的で小形の回路で防止する。

(川田)

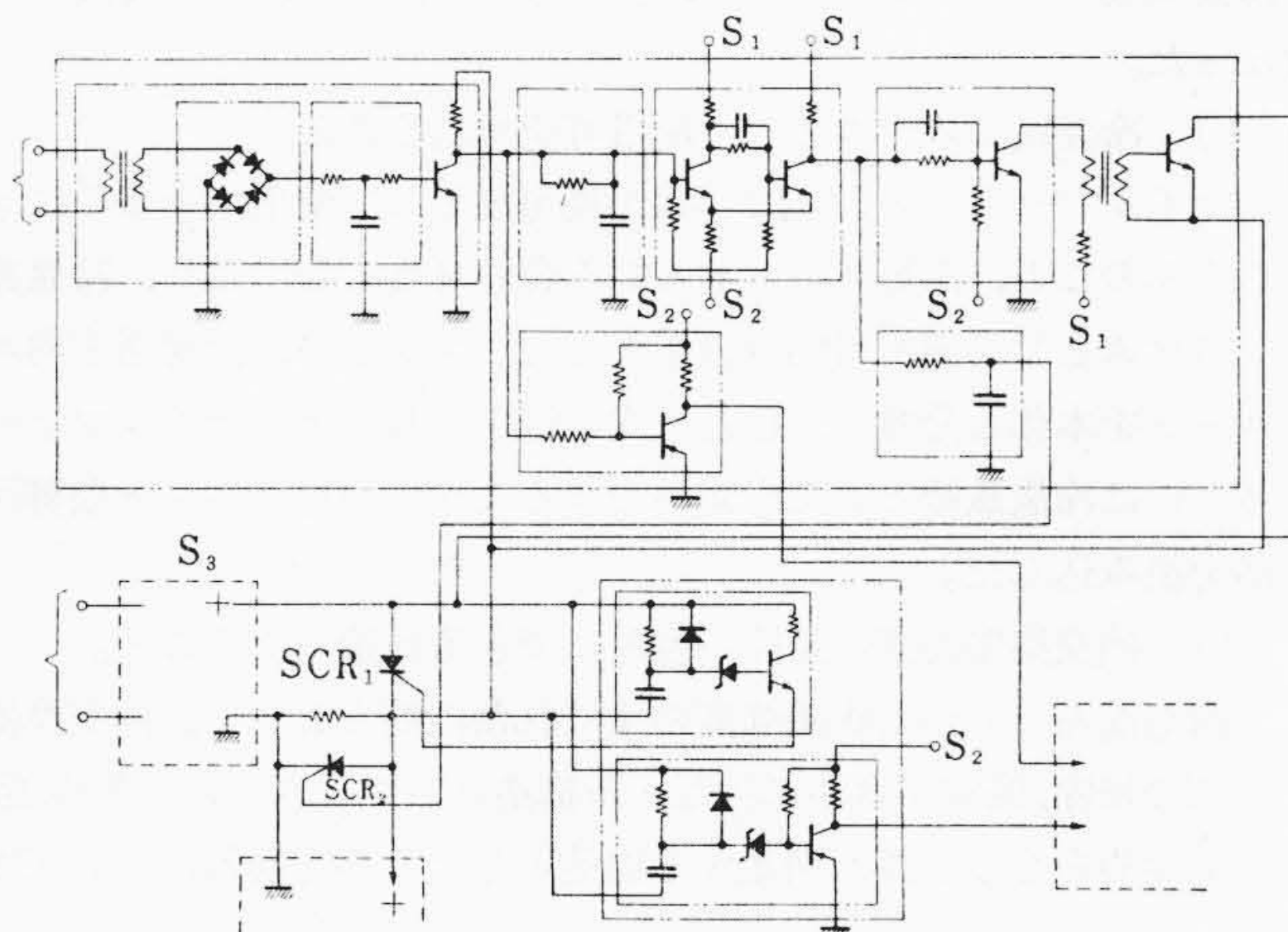


図 1