

HIDAM 402 数 値 制 御 フ ラ イ ス 盤

Milling Machine Numerically Controlled by HIDAM 402

左 治 木 清 吾*
Seigo Sajiki

不 破 康 博**
Yasuhiro Fuwa

猪 瀬 武**
Takeshi Inose

松 本 源 次 郎***
Genjirō Matsumoto

片 桐 貞 一***
Teiichi Katagiri

内 容 梗 概

最近デジタル技術を導入した数値制御工作機が各方面で研究開発されてきた。

日立製作所においても、昨年中央研究所で HIDAM-401 を完成した。これは指令用テープとして紙テープを使用する方式であり、パルス分配器から工作機に直結される方式である。続いて日立製作所戸塚工場と川崎工場が協力して、指令用テープとしてアナログ録音(位相変調波)の磁気テープを使用する方式を開発し、これを HIDAM-402 と称している。

本稿は HIDAM-402 につき、その構成と性能につき報告する。

1. 緒 言

従来工作機械の自動制御にはテンプレートや母形を用いた、いわゆるならい制御が適用されてきたが、最近ではデジタル技術を導入した自動制御、すなわち数値制御が各方面で研究開発されてきた。中でも主としてフライス盤に適用される三軸連続制御は、1952年に MIT で開発されて以来、アメリカでは Numericode, Digimatic などの名で実用化されており、国内でも二、三のメーカーで試作されている。

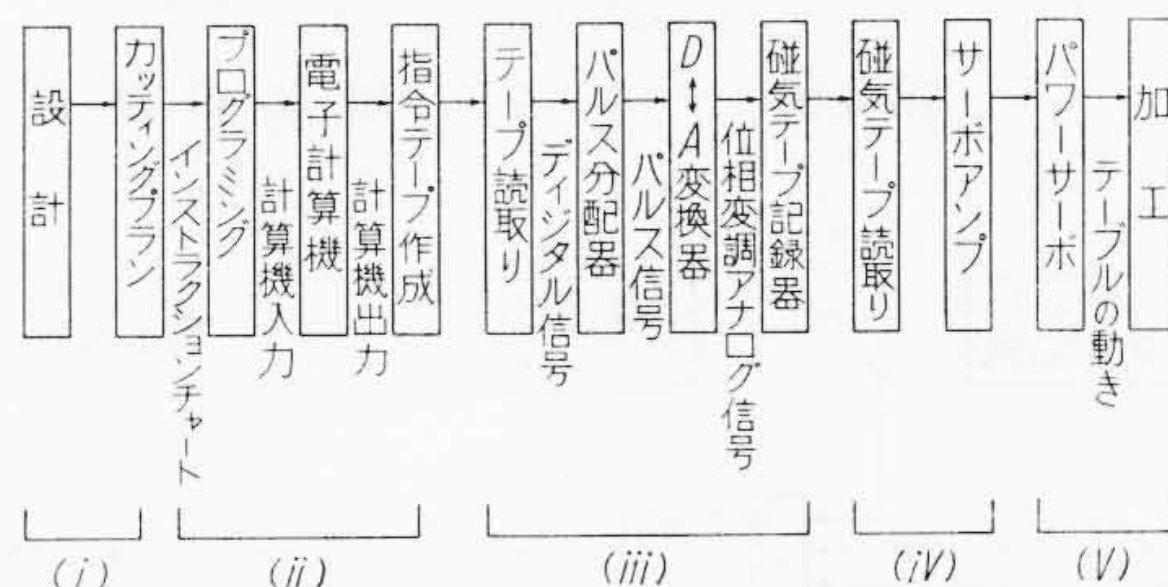
日立製作所においても昨年中中央研究所で HIDAM-401 を完成したが、続いて中央研究所と工業技術院機械試験所のご指導により、戸塚、川崎両工場が協力して HIDAM-402 を試作した。これらはともに電子回路がすべてトランジスタおよびゲルマニウムダイオードで作られている。HIDAM 402 においては D-A 変換に DPM (デジタル位相変調) 方式を開発して、D-A 変換の精度を向上させ、その位相変調波を磁気テープに記録することにより、工作機と、いわゆる on line な結合をせず、電子的デジタル回路よりなる指令部を工作現場より分離して全体としての信頼度を向上させ、また何台もの数値制御工作機の指令磁気テープを1台の指令部で製作できることから経済性を高めることが可能になった。

本稿ではこの HIDAM-402 の構成と各部分の諸性能について述べる。

2. 日立数値制御フライス盤の構成

2.1 概 要

HIDAM の運用ならび制御の系統は第1図に示すとおり5段階に大別できる。



第1図 HIDAM 系 統 図

2.1.1 カッティングプラン

これは主として機械技術者の処理すべきもので設計図面より、まず必要な座標点を決定し、素材の寸法、形状、取付具の形状、切削順序、工具の精度寸法、切削速度、送り速度、設定誤差などを決め、いわゆるインストラクションチャートを作成する。

2.1.2 プログラミングおよび計算

インストラクションチャートに基づき図面を設定誤差以内で折線の集合で近似し、カッタの径を考慮してカッタ中心の径路を求める。そのカッタ中心径路の各直線部を1ブロックとしてX, Y, Z成分に分解して各軸成分 ΔX , ΔY , ΔZ を求め同時に与えられた切削速度からそのブロック間の所要時間 ΔT を決めて指令テープを作成する。これらの計算は手計算でも可能ではあるが、一般的にはデジタル計算機を用いて行う。

2.1.3 指 令 部

指令テープに指示された各軸の変位量に相当したパルス列を各軸について指定時間内にほぼ一様に発生させ、そのパルス列から基準波に対してパルス数に比例した位相のずれをうける位相変調波を作り、磁気テープに記録する。

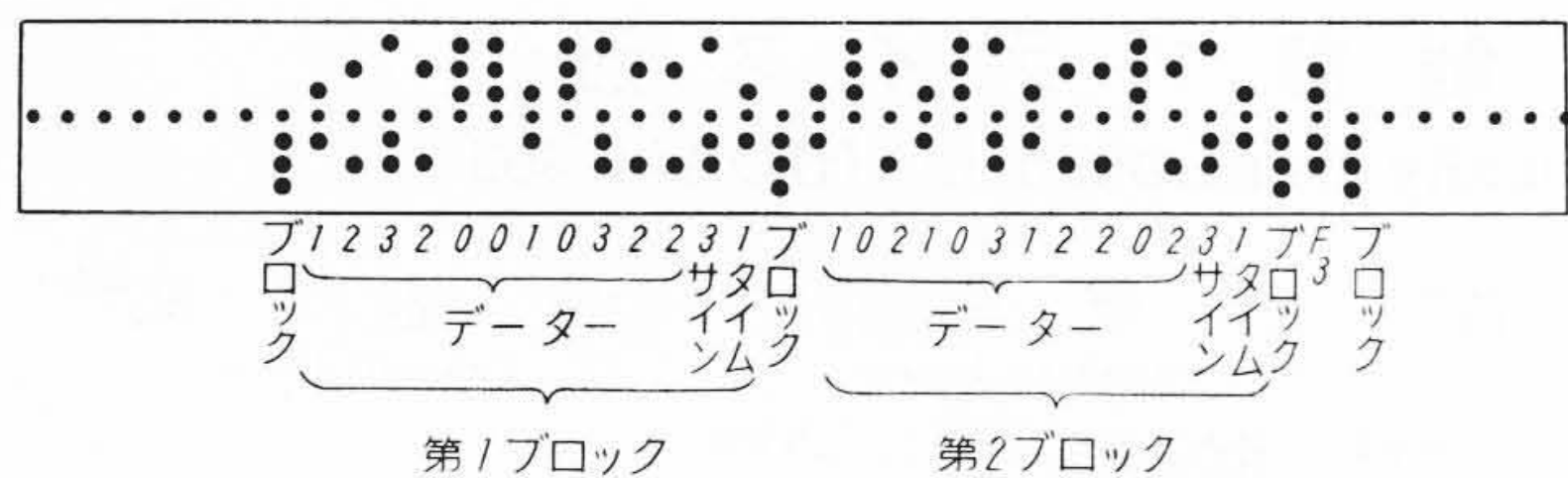
2.1.4 制 御 部

磁気テープを再生し、三相化した基準波でシンクロ

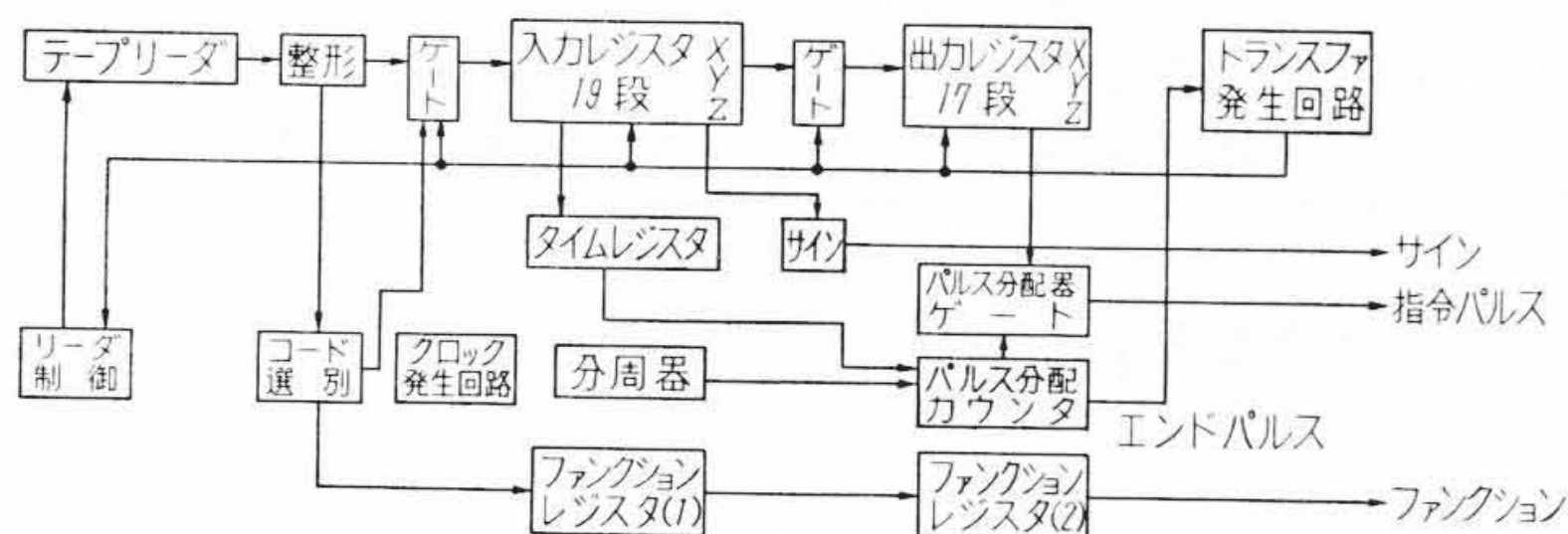
* 工業技術院機械試験所

** 日立製作所戸塚工場

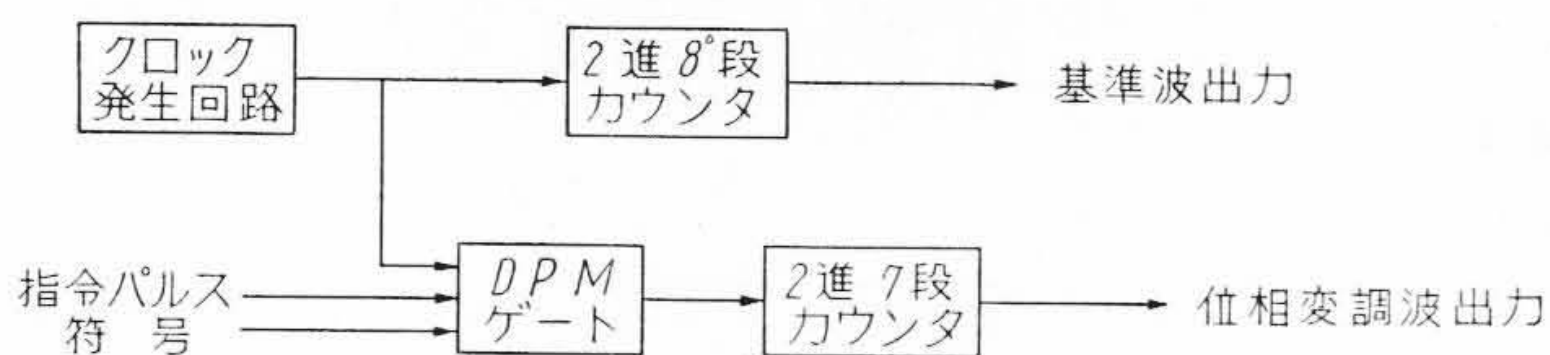
*** 日立製作所川崎工場



第 2 図 HIDAM-402 テープ記入例



第 3 図 パルス分配器の機構



第 4 図 DPM 回路

のステータを励磁し、テーブルと連動したロータのシグナルと各軸の位相変調波とを位相検波して、テーブルの送り量に比例した直流出力をうる。

2.1.5 アナログサーボ部

直流出力で、サーボバルブを作動し油圧シリンダを駆動して機械を動かす。また機械のテーブルの動きは、ギアトレインによりシンクロのロータの回転角へフィードバックされる。

2.2 指令部

指令部は入力装置、パルス分配器、DPM 装置、記録装置などからなる。

2.2.1 入力装置

入力テープのコードとしてはデータコード(タイム、サインを含めて)とファンクションコードよりなり、コード化に際してはチェックビットをもたせたので、データ間、ファンクション間のハミングの距離は 3 以上となり、ダブルエラー検出可能となったが、データファンクション間では距離が 2 のものがあり、シングルエラー検出しかできないので、タイムと 1 ブロックのライン数には一定の対応関係をもたせてチェックを行っている。読み込み方式としては第 2 図のように XYZ 3 軸 2 進並列読み込みで各ブロックがブロック信号で始まり、けた数の大きいものから入り、サイン、タイムで

次のブロックに移る。またファンクションは独立のブロックとして扱う。読み込み装置には、6 孔光電式テープリーダを使用した。

2.2.2 パルス分配器

第 3 図に示す構成をもつ。

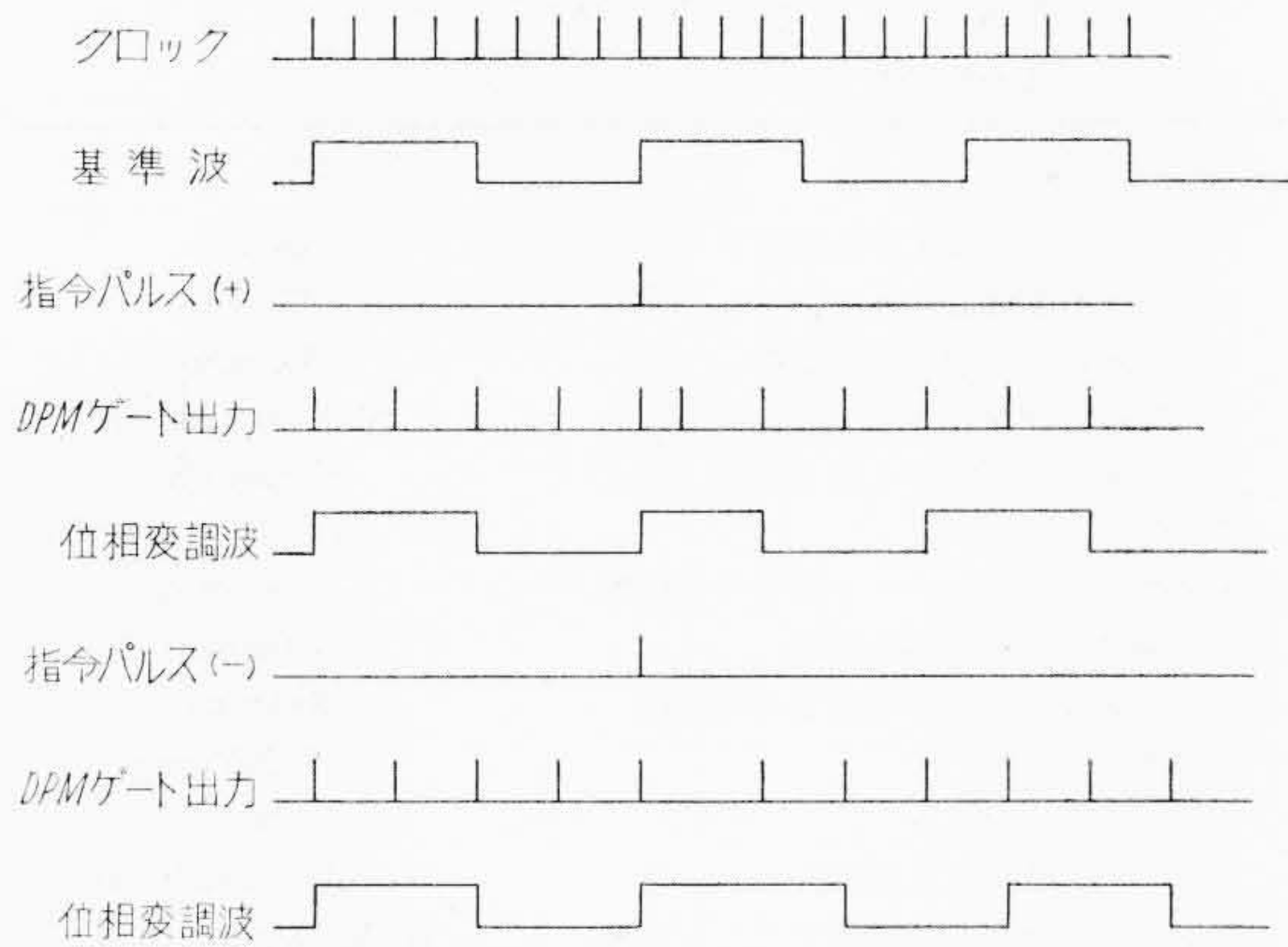
光電テープリーダからの入力整形されたのちコードエラー検出を行い、コード選別(データかファンクションか)をして、1 ブロックのデータが入力レジスタ(シフトレジスタ)に読み込まれる。次の出力レジスタが動作し終ると、トランスファパルスによりリセットされて入力レジスタの情報がゲートを通して出力レジスタに移され、入力レジスタには次のブロックが読み込まれる。入力レジスタの第 1 段、第 2 段はおののおのタイム、サインを表わしているが各軸の第 1 段を 2 進 3 けたの数字と考え、000→111 を $2^1 \rightarrow 2^8$ 秒に対応させる選択を行ってクロックレジスタに入る。サインもまたホールドされる。

パルス分配器はデータの出力レジスタ内の情報に従ってタイムレジスタで規定された時間内に 2^1 から 2^{16} までの各けたに相当するパルス分配用ゲートを開閉し、所要のパルスを XYZ 軸について発生させ、1 ブロックの切削の終了を示すトランスファパルスを出す機能をもつ。そのためにはパルス分配カウンタをもち、各段 2 進の分周回路となっていて、ある段を on にする入力がある段の出力になり、off にする入力が次の段を on にして各段出力を時間的に重ならないようにして、タイムレジスタで、そのカウンタのどこから分周器出力を入れるかを定める。こうしたパルス分配カウンタの出力と各けたのレジスタの出力の AND をとり、各けたの AND ゲート出力を集めると必要な指令パルスを得ることができる。各段出力は最終段出力(エンドパルス)が出るまで $1.2.4 \dots 2^n$ のパルスを出す。またトランスファパルスやテープリーダなどの制御はエンドパルスによって行われる。

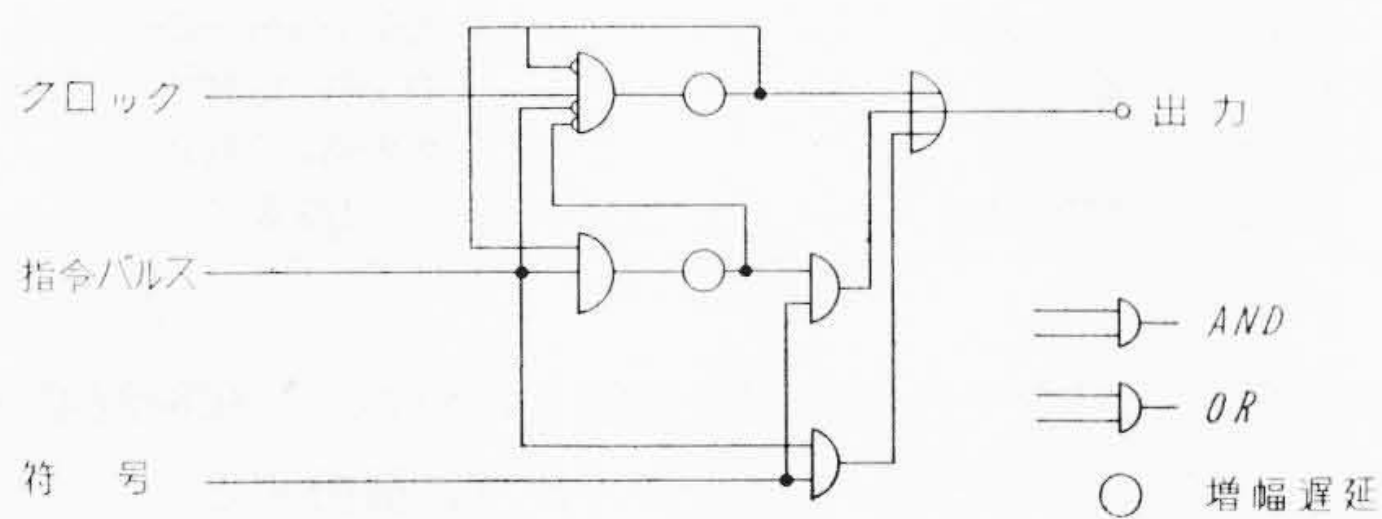
2.2.3 デジタル位相変調器(D. P. M)

デジタル位相変調器はパルス分配器で作られた指令パルスを位相変調されたアナログ信号に変換する装置である。第 4 図に示す構成をもつ。

クロック発生器は 102.4 kc のパルスを出し、これを 2 進 8 段のカウンタに入れると出力として 400 サイクルの矩形波が出てくる。これを基準波とする。一方通常なら $1/2$ に分周する働きをもつゲートで指令パルスがくると、その正負の符号により 1 発余計に出して元にもどるかまたは 1 発出力を減じて元にもどるようにし



第5図 DPM回路の動作図



第6図 DPMゲート

ておくと、次の2進7段カウンタの出力は通常なら400サイクルの矩形波が出ているが指令パルス1発により1サイクルの $1/256$ だけ位相がずれる位相変調波ができる。第5図はカウンタを2進2段および2進1段とした時の動作状態で、DPMゲートは第6図に示されている。

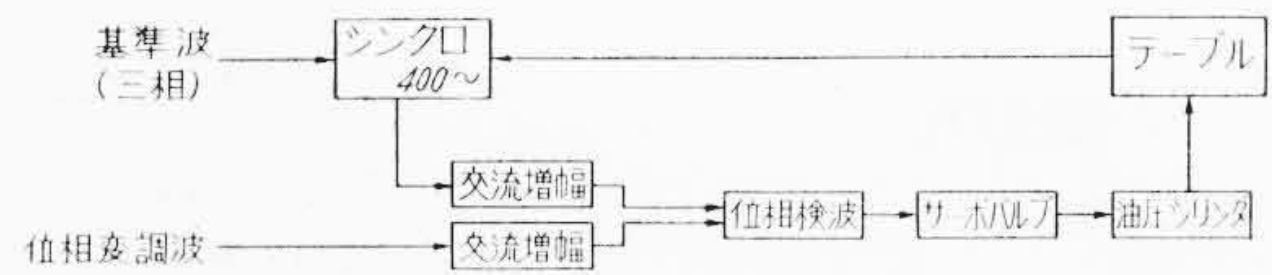
2.2.4 アラーム回路

指令部全体にわたって動作を確実にするため、5種類の誤動作検出を行っている。

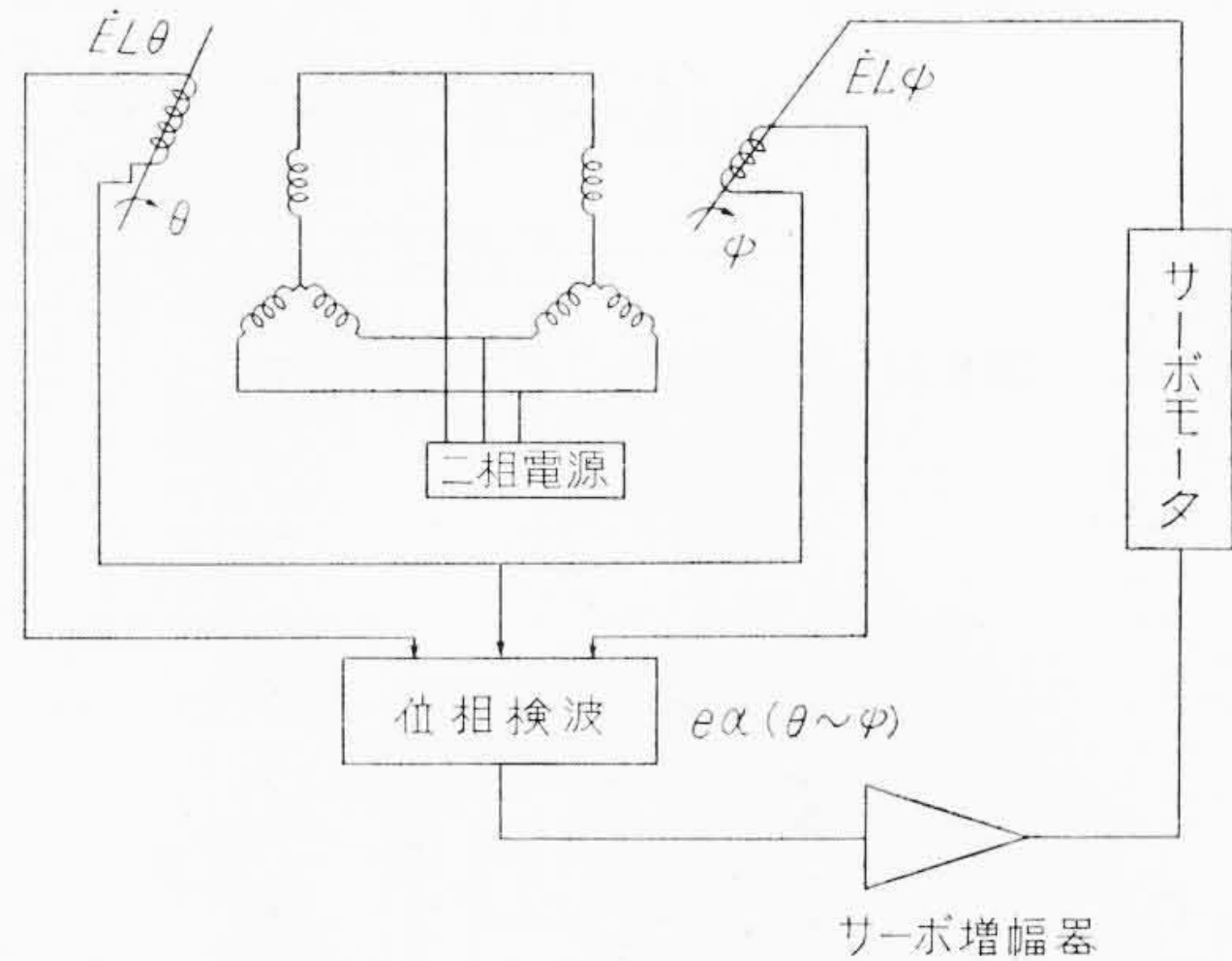
コードエラー。	紙テープ、テープリーダー、入力回路の誤りのチェック
ラインタイムエラー。	タイムとそれに相当して決められたライン数のチェック
パルス分配カウンタエラー。	パルス分配カウンタの誤動作のチェック
トランスファブロックエラー。	トランスファパルスが出るまで紙テープの1ブロックを読取ってしまわなかった場合のチェック。
DPMエラー。	1軸について2つのDPMゲートとカウンタを並列に動作させて出力信号の一致をみてチェックする。

2.2.5 ファンクション

ファンクションにはストップ、プランドストップの



第7図 制御部の機構



第8図 シンクロによるサーボ機構

ほかに on, off の制御をするファンクション F_{1on}, F_{1off}, F_{2on}, F_{2off} をもっておりコード選別によりおのおのファンクションレジスタからの出力がある。

2.2.6 記録器

デジタル位相変調器の出力は基準波、各軸の位相変調波およびファンクション出力を磁気テープに記録する。

2.3 制御部

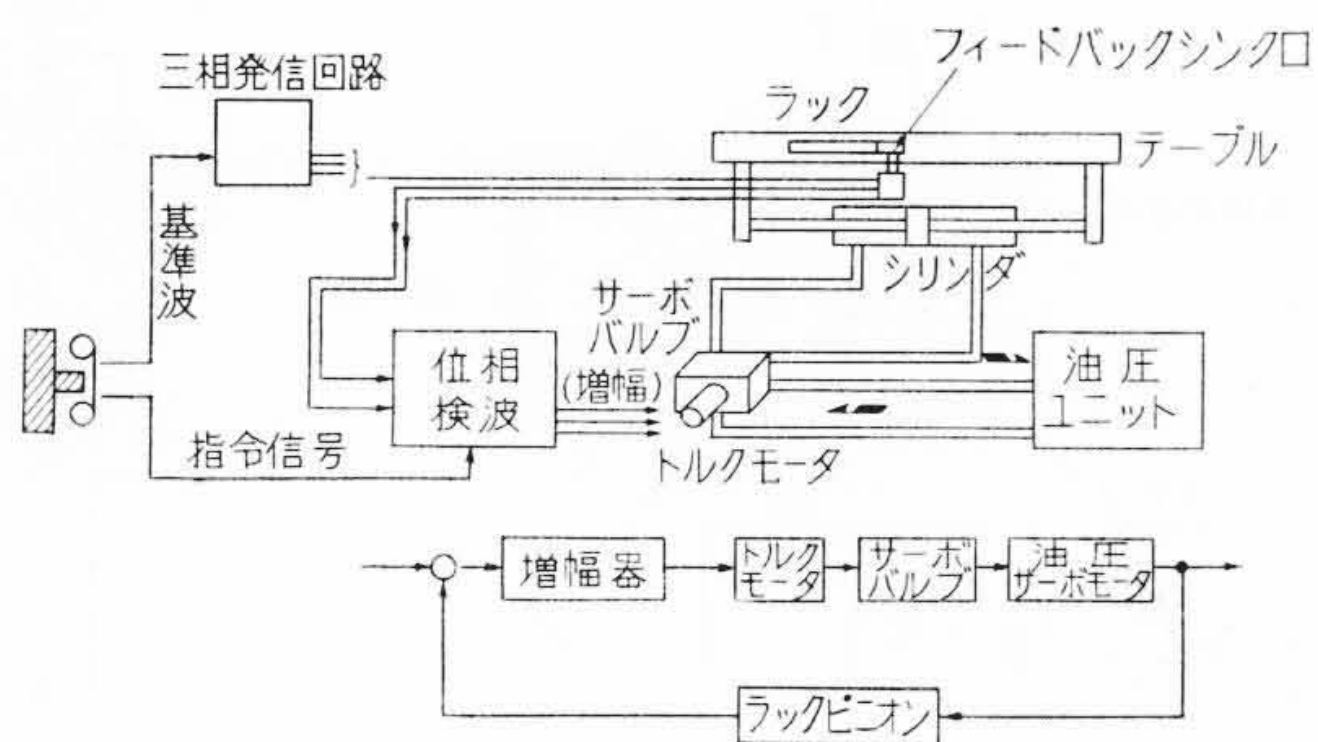
構成図を第7図に示す。

2.3.1 DPMの原理

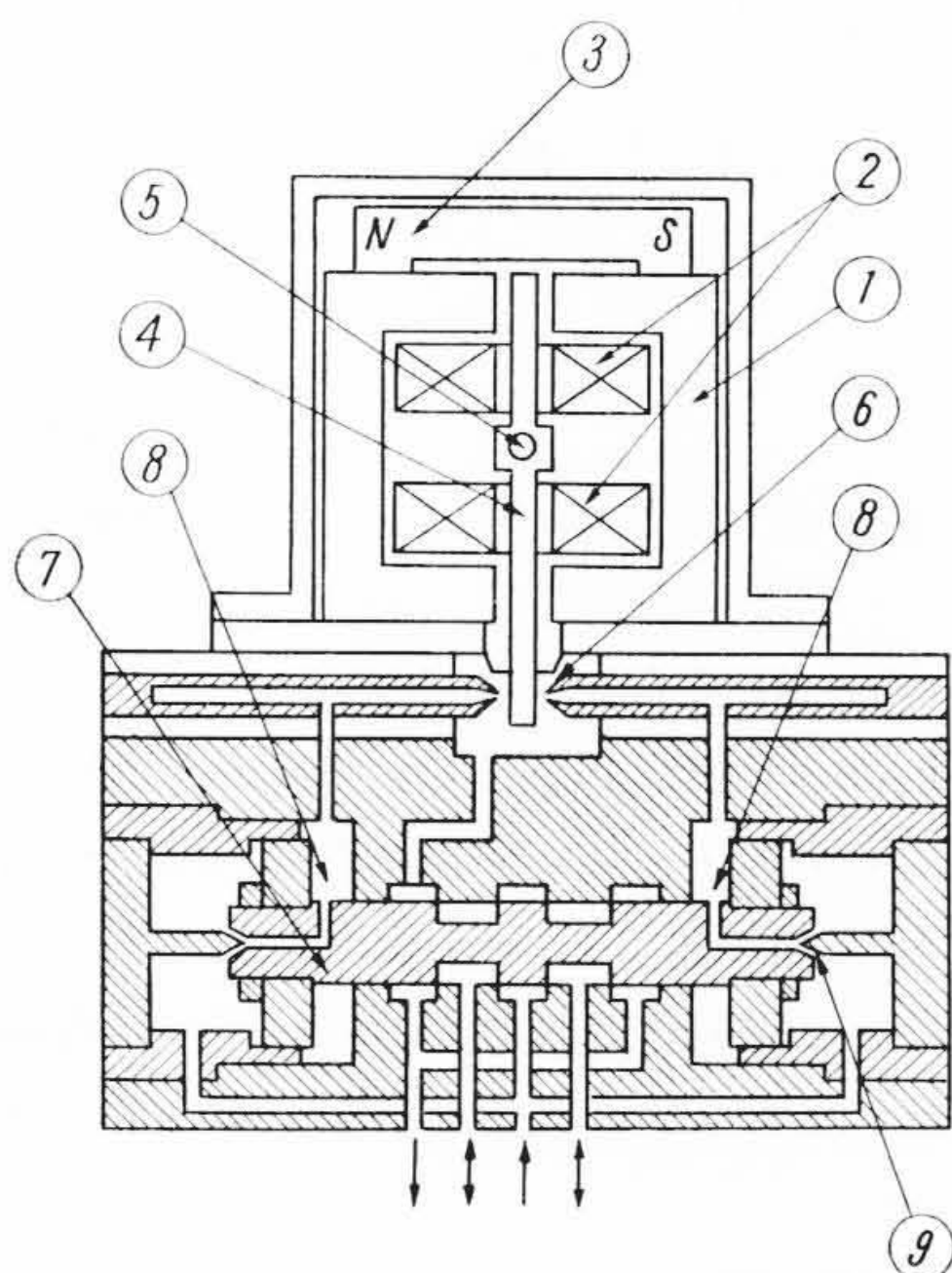
シンクロのステータの三相巻線に三相電圧を加えると、シンクロのロータにはその機械角に対応する電気的な位相角をもった正弦波が出てくる。第8図において左のシンクロのロータの機械角を θ にして右のシンクロのロータが ϕ とすればおのおのの出力は電気的に θ, ϕ の位相角をもつ。今、左のロータの機械角 θ を固定し、右のロータをサーボモータと同軸にしておくと2つのロータの出力信号を位相検波回路で検波すればその位相差に比例する電圧が出る。この出力を誤差信号としてサーボモータを駆動するとロータ出力の位相差が0すなわち $\theta = \phi$ の点で右のロータは停止する。DPM方式ではこの左のロータの出力(θ に比例した電気的位相をもつ出力)をパルス分配器の出力パルスから直接作ることにより、指令パルスに比例したロータ回転角をうるという原理にもとづいている。

2.4 アナログパワーサーボ機構および本体

本装置によって制御される工作機械は、日立 No.21 $\frac{1}{2}$ 立フライス盤であり、主軸頭上下、サドル前後、テーブル



第 9 図 アナログパワーサーボ部



第 10 図 サーボバルブ機構図

ル左右の 3 軸が数値指令により、アナログパワーサーボを介して制御され、加工物を切削する。アナログパワーサーボ機構は、そのブロック線図が第 9 図に示されるように、駆動部としての操作シリンダ部、電気的信号を油圧の信号に変換するサーボバルブ部およびフィードバック系を形成するシンクロ歯車系より構成されている。

このアナログパワーサーボ部の動作原理を簡単に説明する。まず前述した DPM 装置の出力の基準波と指令信号（主軸頭上下、サドル前後、テーブル左右の送り速度と送り量の指令）がいったん磁気テープに録音される。次にこの磁気テープは再生増幅部にかかけられ、ここで信号が読みとられ、アナログパワーサーボに供給される。まずその信号中、基準波は三相回路で三相化され、差動シンクロのステータを励磁する。次にそれぞれの軸（主軸頭上下、サドル前後、テーブル左右）の指令信号はフィードバック用のシンクロの機械的回転角（シンクロロータ軸の機械的回転角は電気的位相角に対応する性質を利用している）とその位相角が比較され、その位相角に

第 1 表 数値制御 No. 21½ 立フライス盤
仕様一覧表

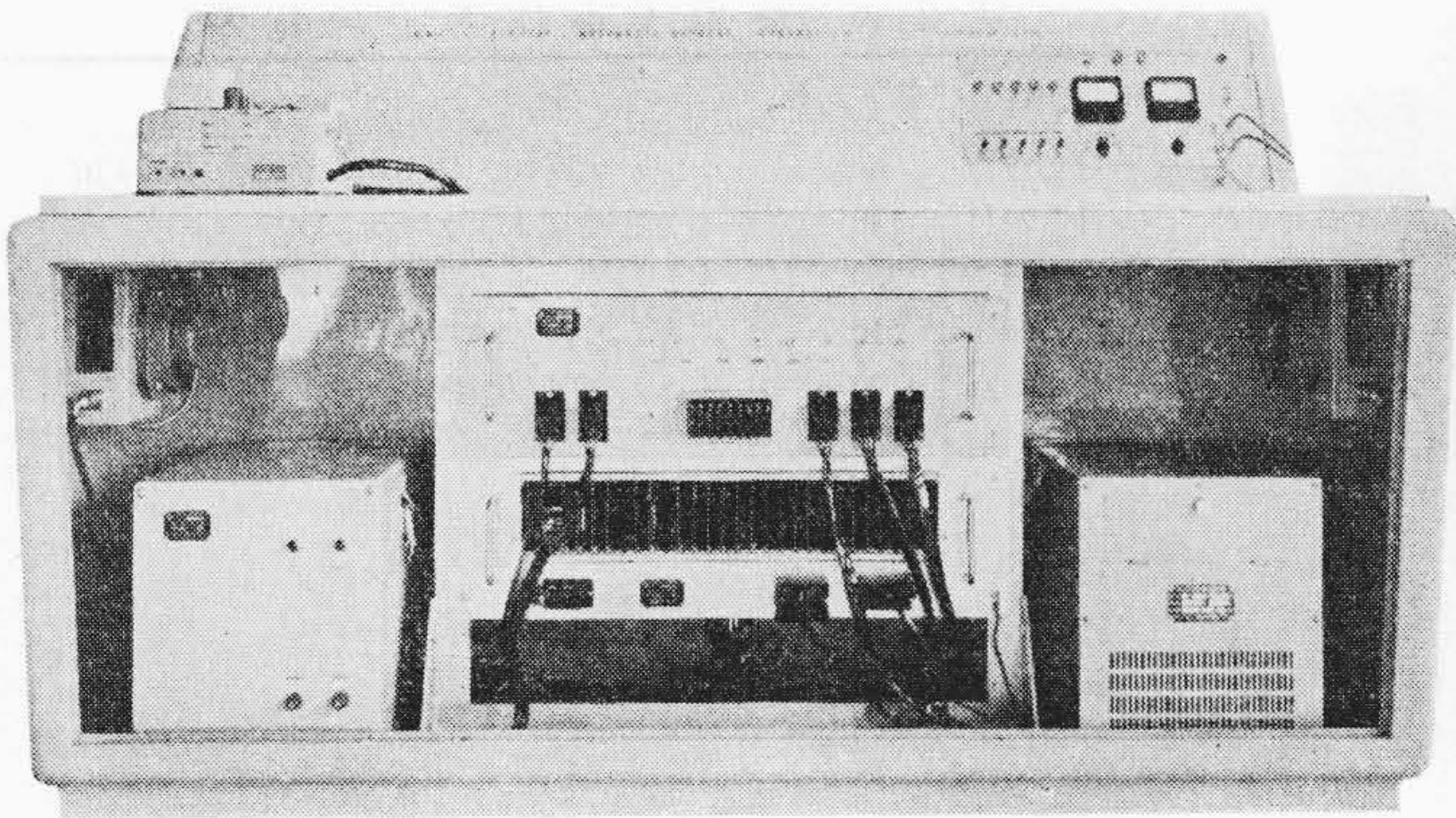
項 目	No. 21½ DMV
テーブルの左右最大移動距離	550 mm
テーブルの前後最大移動距離	280 mm
テーブルの上下最大移動距離	390 mm
テーブルの作業面寸法（長さ×幅）	1,500 mm×350 mm
テーブルの下溝寸法（幅×数）	20 mm×3
主 軸 テ ー バ 孔	ナショナルテーバ No. 50
主軸端面よりテーブル上面までの距離	0~460 mm
主軸頭の上下最大移動距離	100 mm
コラム前面より主軸中心までの距離	350 mm
主 軸 回 転 数	26~1,500 rpm
主 軸 回 転 変 換 数	16
テーブル送り速度（左右）	0~3,000 mm/min
テーブル送り速度（前後）	0~3,000 mm/min
主軸頭上下送り速度	0~3,000 mm/min
テーブル早送り速度（左右）	2,500 mm/min
テーブル早送り速度（前後）	2,500 mm/min
主軸頭上下早送り速度	2,500 mm/min
主 電 動 機	11 kW (15 HP)
油圧ポンプ用電動機	2.2 kW (3 HP)
冷却水ポンプ用電動機	125 W

相当した指令をそれぞれ交流増幅したのち、位相検波増幅し、さらに直流化してサーボバルブに供給する。

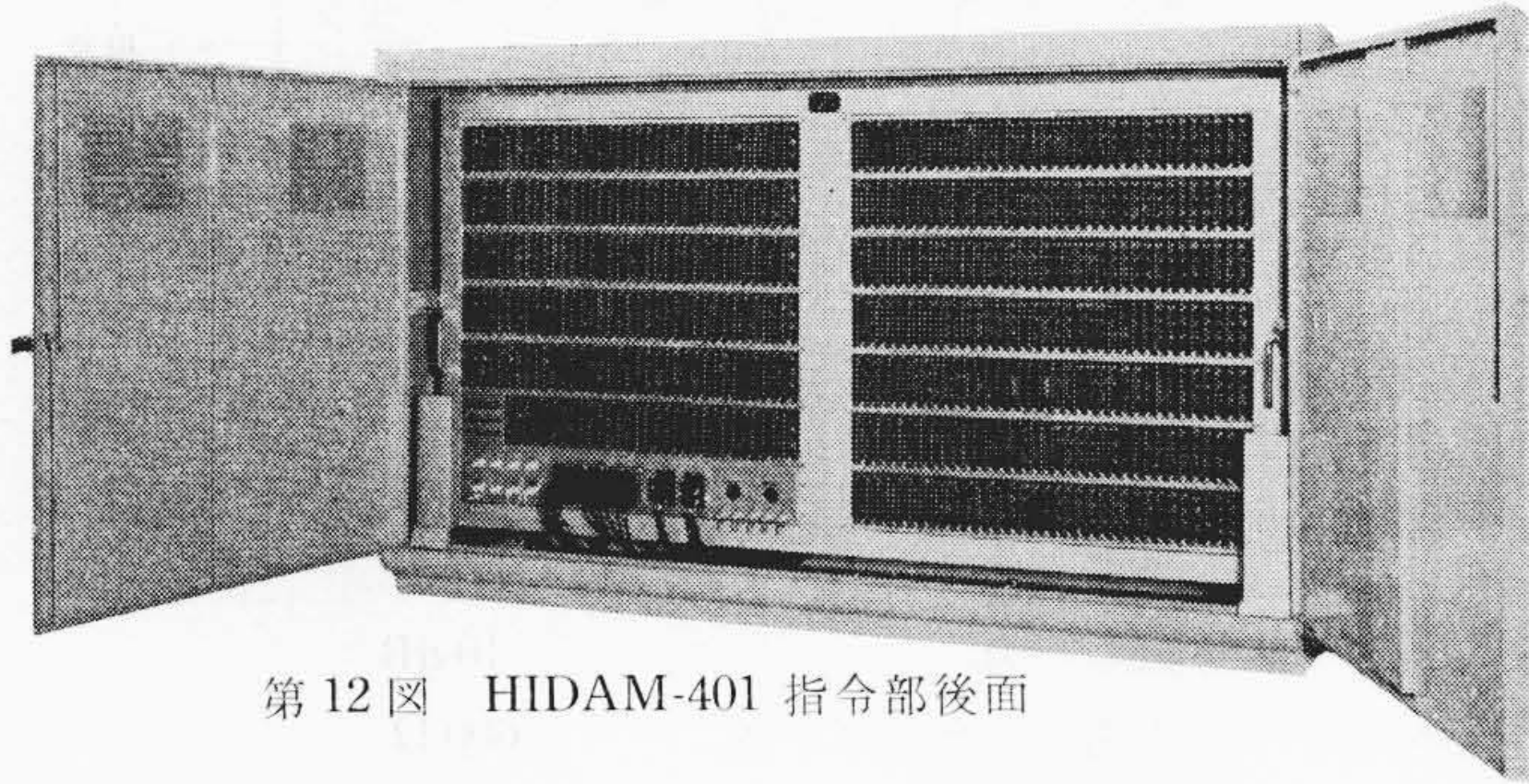
サーボバルブに供給された電気的入力、第 10 図のサーボバルブ機構図においてトルクモータ①に加えられる。コイル②は 2 つあって差動的になっているので、これに流れる電流の差に応じた磁束を生じ、これが永久磁石③の磁束と作用しあって磁極空隙部に磁気力を生ずる。この結果、フラップ④はこの磁気力によるねじりモーメントとフラップをささえるピン⑤のねじれによるモーメントとつり合う位置まで動かされる。その結果、向い合ったノズル⑥の間隙が左右で相違するから、その背圧変化によってスプール⑦両端の背圧作用面⑧に作用する油圧が相違し、その不平衡力によってスプールは動かされる。一方油圧源によって供給されている圧油は、制御オリフィス⑨およびスプール内部の通路を通り、ノズルに導かれるようになっており、背圧作用面について油圧が平衡する位置でスプールは静止する。したがって数値指令に相当する電気的入力に対してスプールの位置、すなわち操作シリンダへゆく圧油の流量が管制される。このようにして各軸ごとに制御された圧油の流量は、操作シリンダに供給され主軸頭上下、サドル前後、テーブル左右が駆動される。

次にこの駆動をラックピニオン機構（実際は精度向上のためラックの代りに精密に研削されたスクリーを使用している）によってフィードバックシンクロの回転角として検出する。このように駆動部はサーボ機構を形成しているから数値的指令信号に対して忠実に動作し、加工物を切削する。

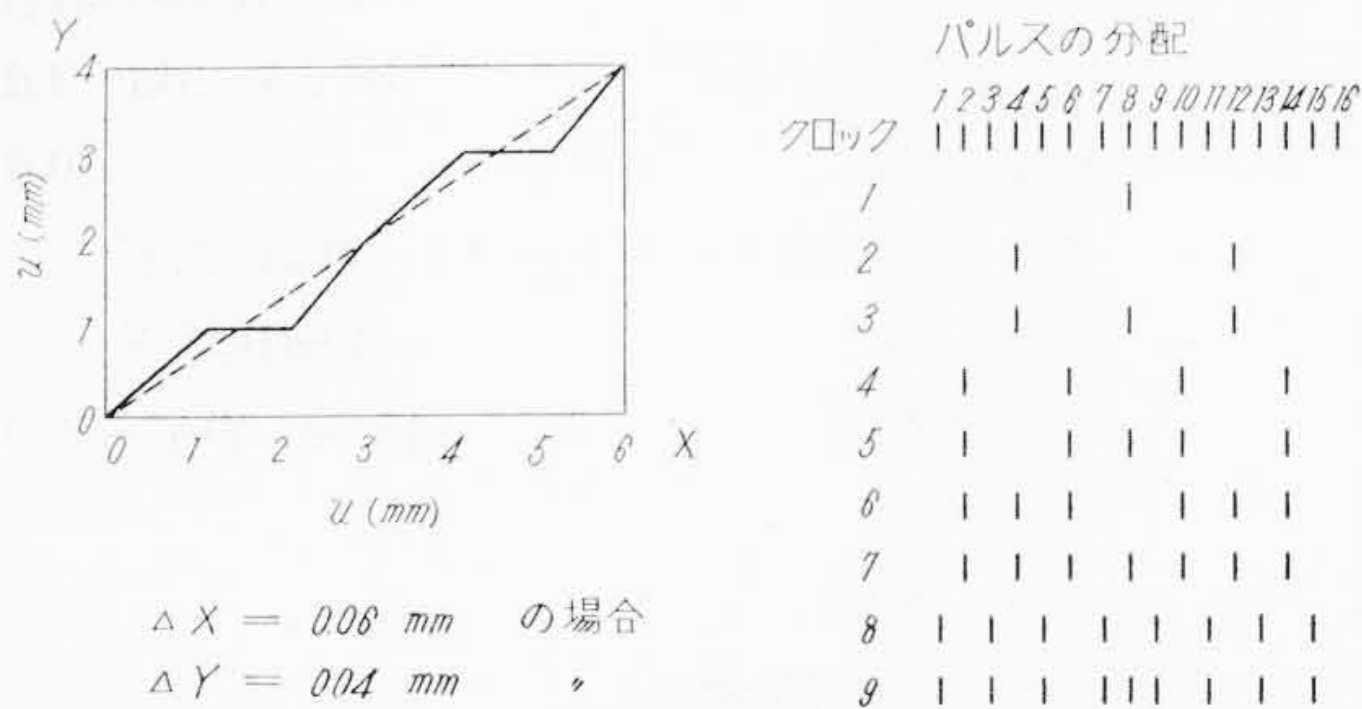
なお、本機は日立 No. 21½ 立フライス盤を改造したも



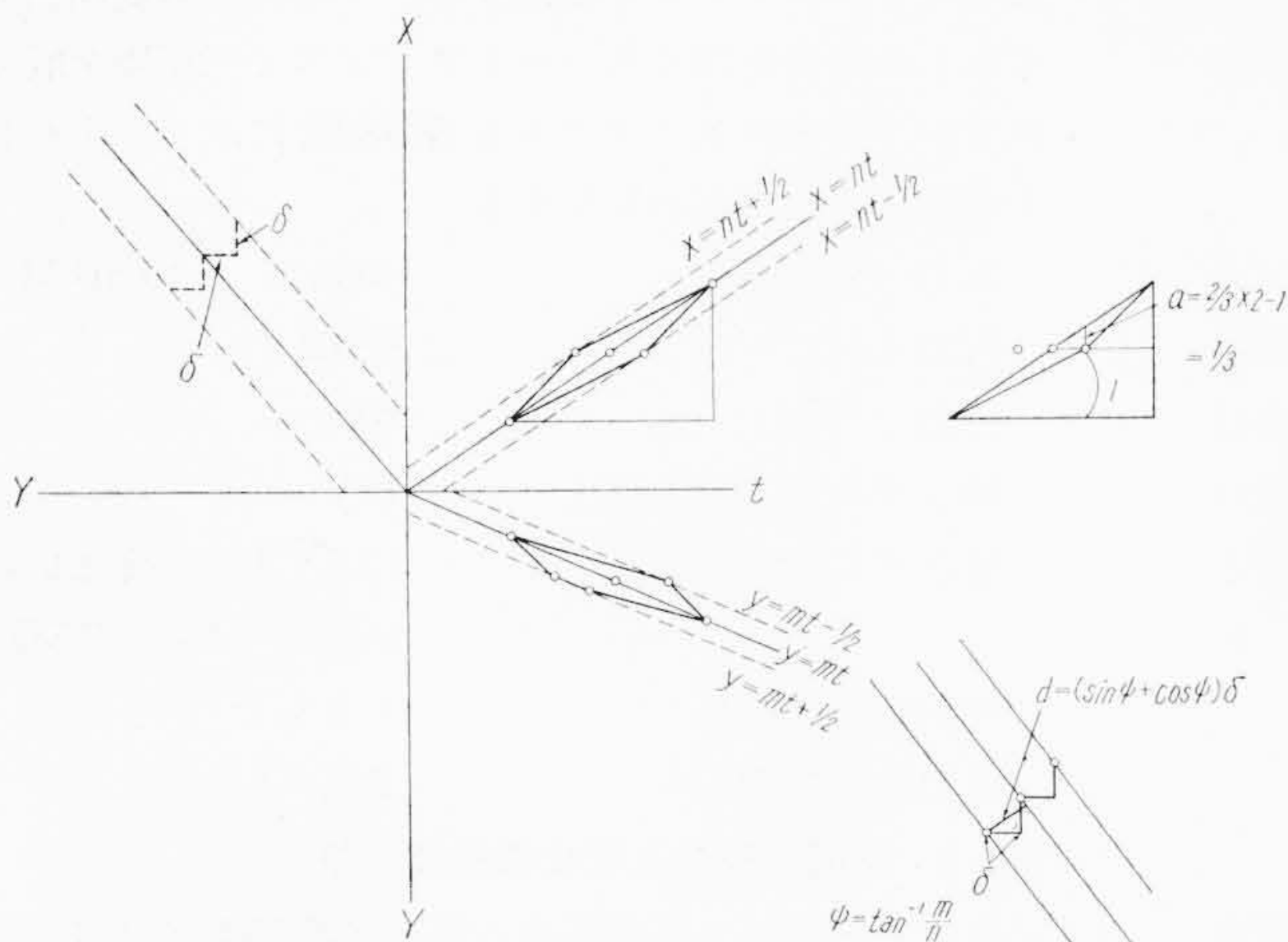
第 11 図 HIDAM-401 指令部前面



第 12 図 HIDAM-401 指令部後面



第 13 図 パルスによる運動経路およびパルス分配



第 14 図 パルス間隔の非一様性によるずれ

のであり、数値制御化されたフライス盤の仕様は第 1 表のとおりである。

3. 性 能

3.1 指 令 部

第 11, 12 図は指令部全体をおさめたものである。

3.1.1 入力指令および入力装置

設計図面に指定された公差は系全体の最終的誤差であって、プログラムの段階ではそれを考慮の上で十分小さい設定誤差内で直線近似をする。しかしデジタル化した長さの最小の単位として $1/100 \text{ mm}$ を採用しているため各軸変位量は $1/100 \text{ mm}$ を単位として表わされる。そのため、4 捨 5 入による誤差は $\pm 5/1,000 \text{ mm}$ であり過渡的なものを入れて最大誤差は $\pm 1/100 \text{ mm}$ でおさえられる。時間は $2, 2^1 \dots 2^7 \text{ s}$ しか取り得ず、切り上げて最も近いものを選ばれる。1 ブロックの長さは 2 進 17 けた、最大送り速度 300 mm/min が可能である。入力装置に使用した 6 孔光電テープリーダは 200 line/s の送りが可能でメカニカルリーダに比べてチャタリングなどの影響が少なく、ほぼ確実な動作をし入力のチェック回路と合わせて入力を完全なものにしている。

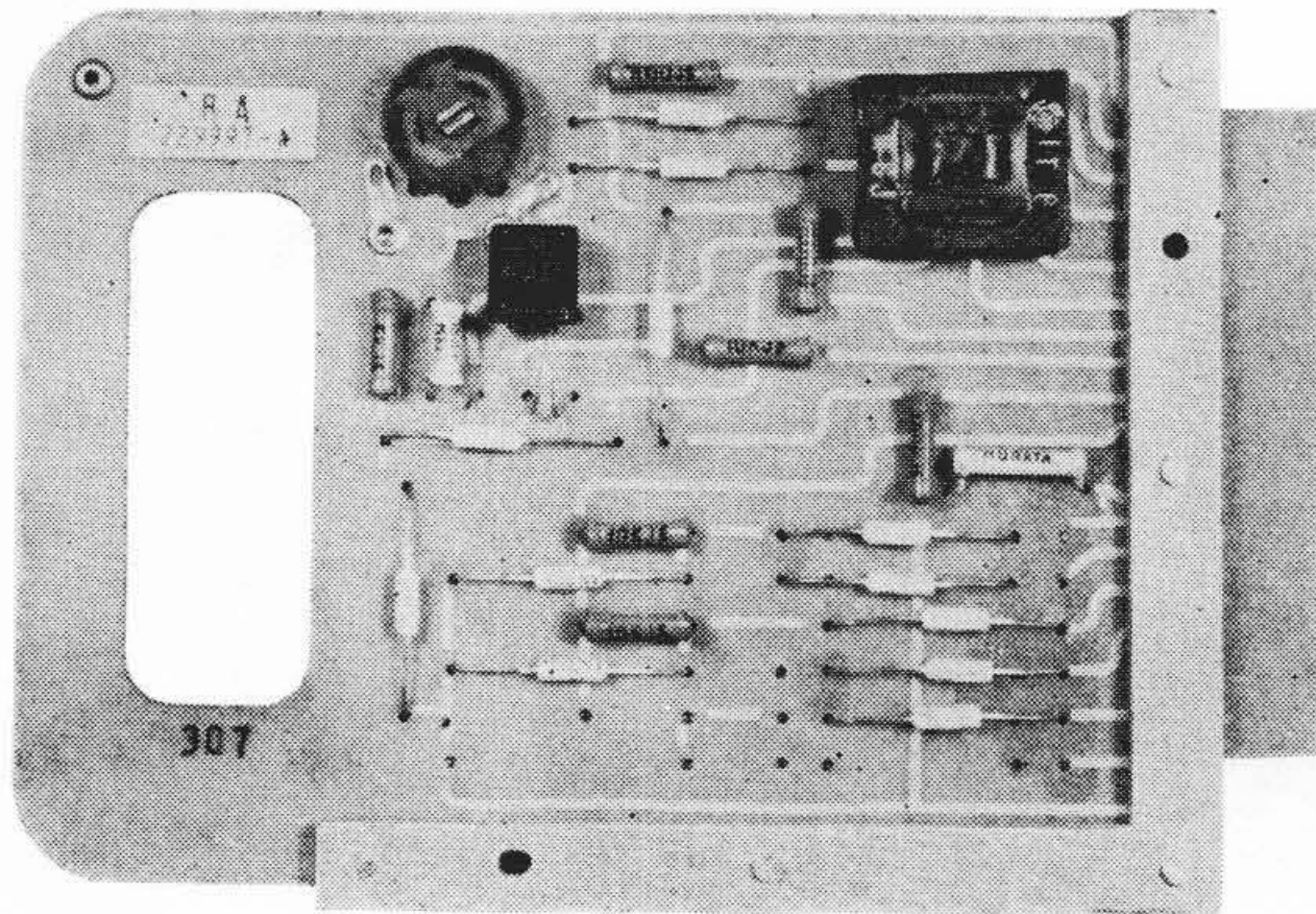
3.1.2 パルス分配器

パルス分配器内では動作がほとんどすべてデジタル的に行われるために誤差は入ってこないが指令パルスが一様性を欠くことから第 13 図のようにジグザグコースをたどり、瞬間的な切削速度にも一様性を欠き誤差の原因となる。カット軌跡は 2 進システムで構成されているのでパルスの間隔の最も広いところで 1:2 であり、各軸の指令パルス間隔が一定である場合からの速度のむらによる精度の悪化はそう大きくないことが示される。

今、X 軸 Y 軸の指令が $m \text{ Pulse/s}$, $n \text{ Pulse/s}$ とすると $m \cdot n \text{ Pulse}$ が等間隔で出てくると指令曲線は直線だが、それが 1:2 のばらつきをもつと第 14 図に示すような X-t, Y-t, X-Y の関係をもつ。

第 14 図から明らかなとおり、理想的な場合からのずれは

$$d = \delta \times \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\phi + 45^\circ)$$



第 15 図 パルス再生増幅器のパッケージユニット

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{m}{n}$$

$$\delta = J \cdot a$$

a : パルス間隔から決まる定数

J : 1 パルスが指定する移動量

で示され、これから

$$J = 0.01 \quad a = 1/3$$

$$d_{\max} = 0.0024 \text{ m}$$

となり最大誤差は 12/1,000 となる。しかしこの速度の変動はサーボ機構の時定数より速いと考えられるので影響があるとしても切削面の平均寸法よりむしろあらさにより多く影響する性質のものである。

3.1.3 指令部のデジタル回路

デジタル回路は主要な部分を占めるパルス再生増幅器には第 15 図に示すものを採用した。これはゲルマニウムダイオードで AND ゲート、OR ゲートを構成しトランジスタで減衰補償をし、1 周期おくらせて出力の出る同期式回路でクロックは 102.4 kc として使用した。構成半導体素子の数は第 2 表に示すとおりである。これらは単位となる機能ごとにプリント配線してパッケージユニットを作って全体を構成したため現場における製作を単純化し、保守を容易にしている。

3.1.4 記録器

記録器には磁気テープ記録器を使用した。1/2 インチテープで 7 トラックをもち、基準波、各軸位相変調波、ファンクション信号が記録される。テープ送り速度は 190 mm/s である。周波数特性による誤差への影響は十分無視できる。テープ 1 巻で約 1 時間分に相当するので連続運転の時間としては on line の数値制御に比べて制限をうけることになる。

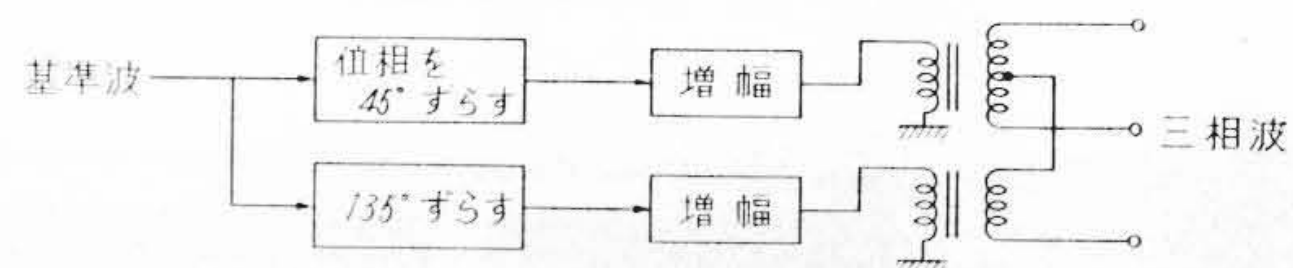
3.2 制御部

3.2.1 磁気テープ記録再生器

磁気テープに記録された基準波および各軸の位相変調波およびファンクション信号を再生するのであるが

第 2 表 使用半導体素子一覧表

品名	数量	適用
HJ 17D	50	主としてフリップフロップのバッファ用
HJ 22D	140	主としてフリップフロップ
HJ 55	350	主としてパルス再生増幅器
2N398	10	主として表示回路のスイッチング
2N301A	20	主として電源回路
其の他	30	
計	600(110)	
ダイオード	1N34A 2,770 1N38A 740 其の他 880 計 4,380(40)	AND, OR ゲート



第 16 図 三相回路

実際は指令部最終段の記録器とともに記録および再生の両機能をもたせたものをおのの使っている。おもな性能は次のとおりである。

入 力	-10 dB
入力インピーダンス	600 Ω
再生出力	-10 dB(600 Ω 負荷)
周波数特性	100 c/s ~ 5 kc 3 dB 以内
S/N 比	30 dB 以上
チャンネル間クロストーク	-30 dB 以下
ひずみ率	-40 dB 以下
テープ速度	15"/s 7 1/2"/s ± 1%
テープ幅	1/2"
トラック数	7

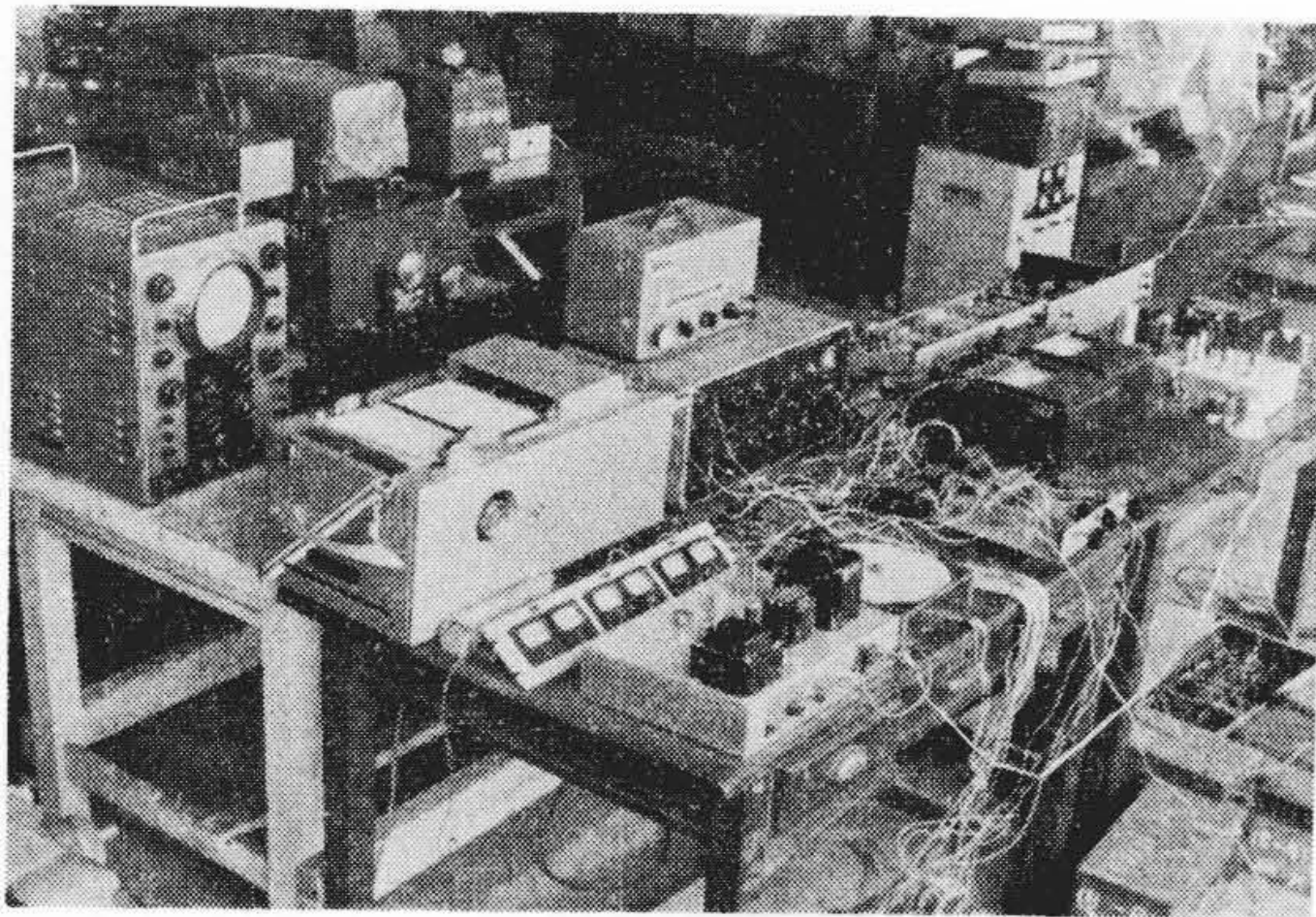
3.2.2 三相回路

再生された 400 サイクルの基準波は三相回路で三相波となり、シンクロを励磁する。三相化は 90 度位相をずらしたものを作りスコットトランスで三相波を取り出すが、そのダイアグラムを第 16 図に示す。またおもな性能は次のとおりである。

入力 交流単相	400 c/s -10 dB M
入力インピーダンス	600 Ω
出力 三相	400 c/s
無ひずみ最大出力電圧	10 V
無ひずみ最大出力	13.5 VA (負荷は星形結線にて 1 枝路 7.5 Ω)
各相間電圧偏差	± 1%
出力波形ひずみ	2%

3.2.3 交流増幅および位相検波回路

シンクロのロータの出力と位相変調波はおのの交流増幅ののち位相検波される。そのダイアグラムを第



第20図 実験装置の器具全体図

第3表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 30 kg/cm²

入力振幅 ±6.50

印画紙上の出力の振れ Max ±43 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
0.9	5.7	—	—	—	約90
1.275	8.0	31.0	46.0	17.0	90~100
2.7	17.0	17.8	24.5	11.3	90~100
4.5	28.0	9.0	12.1	5.4	105~115
6.3	40.0	6.0	8.0	1.8	115~125
7.64	48.0	5.0	6.7	0.2	120~140
9.0	57.0	3.8	5.0	-2.3	130~135
12.75	80.0	2.8	3.7	-4.9	150

第4表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 30 kg/cm²

入力振幅 ±11.9度

印画紙上の出力の振れ Max ±42 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
2.7	17	31.5	47.0	11.9	99~100
4.5	28	18.5	25.5	6.6	114~117
6.3	40	13.0	17.6	3.4	104
7.64	48	8.5	11.4	-0.4	110~130
9.0	57	8.5	11.4	-0.4	117~125
12.75	80	8.8	11.8	-0.1	120~140
17.8	112	7.0	9.4	-2.0	140~160

第5表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 50 kg/cm²

入力振幅 11.9度

印画紙上の出力の振れ Max ±43 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
2.7	17	35.0	54.5	13.2	95~115
4.5	28	23.0	32.3	8.7	95~105
6.3	40	21.0	29.2	7.8	109
7.64	48	16.0	21.9	5.3	110
9.0	57	13.5	18.3	3.7	110~125
12.75	80	11.5	15.5	2.3	135~155
17.8	112	7.0	9.3	-2.1	170

第6表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 70 kg/cm²

入力振幅 11.9度

印画紙上の出力の振れ Max ±43 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
2.7	17	37.5	61.0	15.7	95~100
4.5	28	26.5	38.0	10.1	97~113
6.3	40	20.0	27.8	7.4	105~120
7.64	48	14.0	19.0	4.0	110
9.0	57	14.0	19.0	4.0	110~120
12.75	80	11.5	15.5	2.3	135~140
17.8	112	8.5	14.0	-0.4	160

第7表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 30 kg/cm²

入力振幅 21.5度

印画紙上の出力の振れ Max ±40 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
6.3	40	26.5	41.5	5.7	93~107
9.0	57	22.0	33.5	3.8	109~112
12.75	80	13~14	19~20.5	-0.1~ -0.04	119~135
17.8	112	10	14.5	-3.4	141
25.5	160	11	16	-2.6	154~165
38.2	240	—	—	—	—

第8表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 50 kg/cm²

入力振幅 21.5度

印画紙上の出力の振れ Max ±40 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
6.3	40	28.0	44.5	6.3	109
9.0	57	20.0	30.0	2.9	91~120 (111)
12.75	80	18.5	27.5	2.2	123
17.8	112	14.0	20.5	-0.04	125~145
25.5	160	13.0	19	-1.8	148~167 (160)
38.2	240	5.5	8	-8.6	216~290

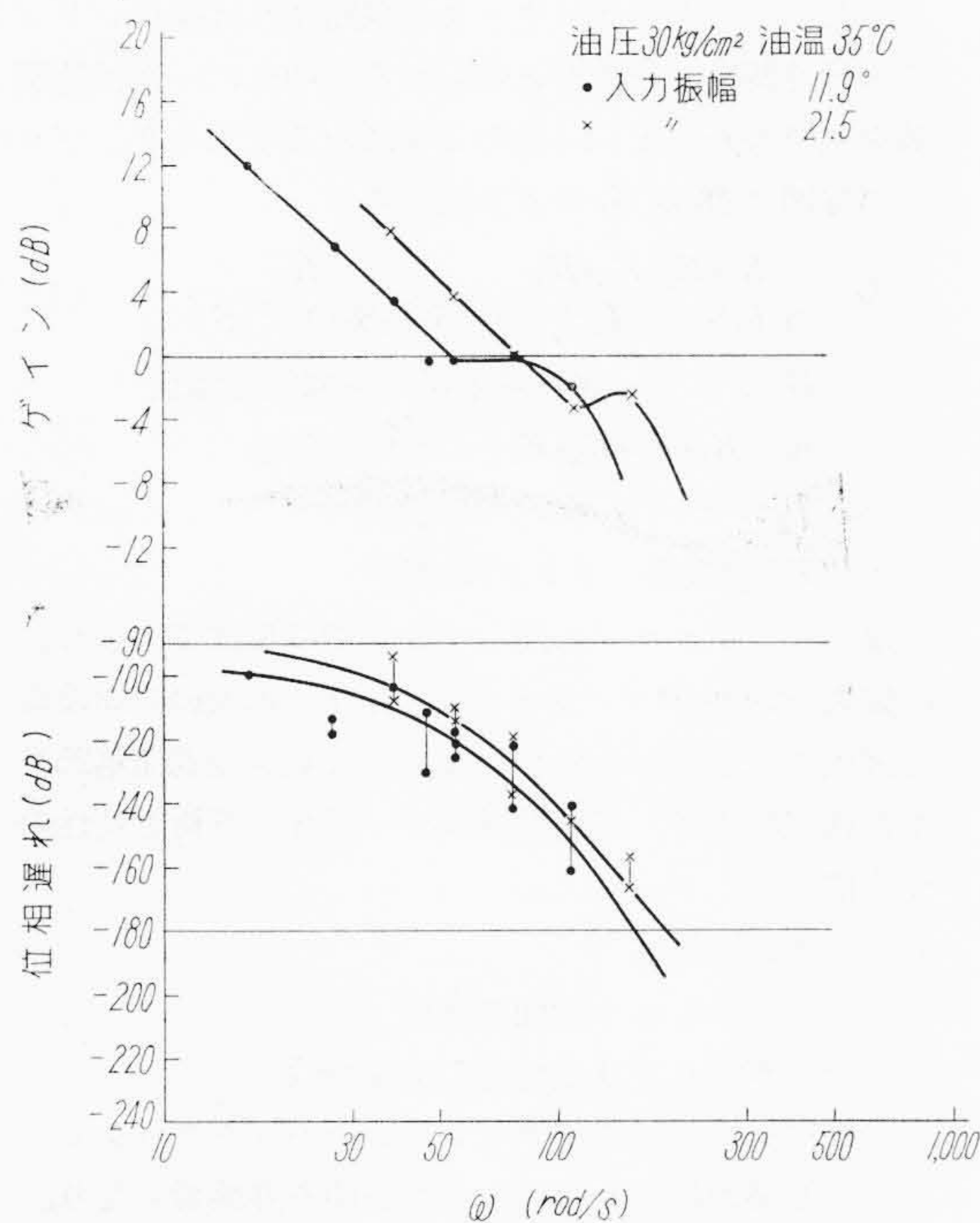
第9表 テーブル周波数応答試験データ

油 圧 70 kg/cm²

入力振幅 21.5度

印画紙上の出力の振れ Max ±40 mm

振 動 数		印画紙上の振幅 (±mm)	出力振幅 (±deg)	ゲイン (dB)	位相おくれ (-deg)
f(c/s)	w(rad/s)				
6.3	40	28.0	44.5	6.3	110~118
9.0	57	20.5	31.0	3.2	110~130
12.75	80	18.0	27.0	2.0	113~129
17.8	112	14.0	20.5	-0.04	115~144
25.5	160	—	—	—	—
38.2	240	—	—	—	—



第 21 図 テーブル周波数応答特性曲線

れ連結させておく。

したがって操作シリンダの動きはフィードバック歯車列を介してフィードバックシンクロのロータ軸の回転角となり、それに比例した電圧がとり出される。この場合、フィードバックシンクロからの出力電圧の正負の符号を弁別させるためにオッシレータから 400c/s の基準波を弁別回路に入れておき、この位相とフィードバックシンクロからの位相を比較して、その符号を弁別させ、整流してオシログラフ用アンプに入れ電磁オシロの上に記録させる。

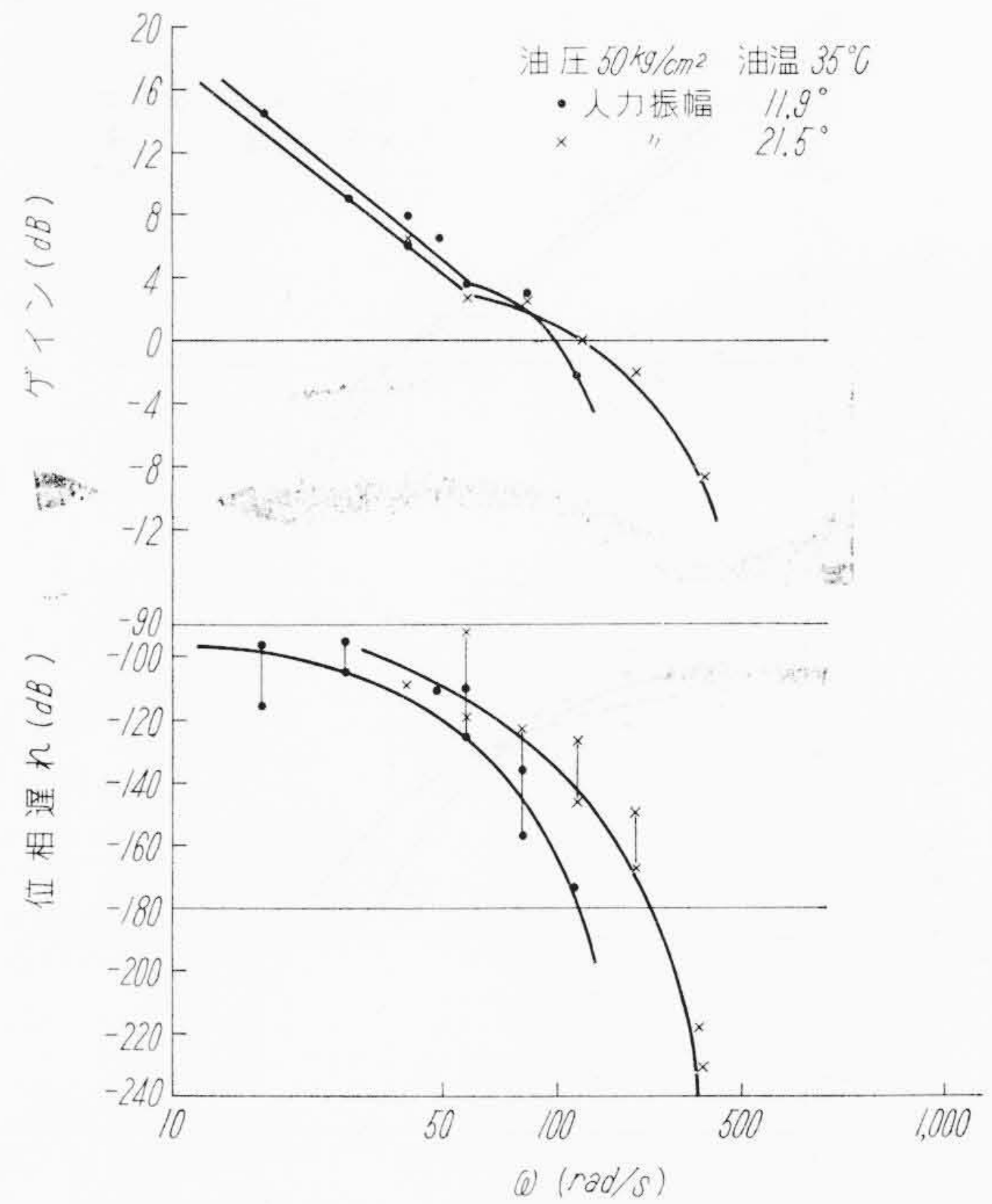
このようにして指令信号に対する操作シリンダの動きを検出して電磁オシログラフに記録させ、前述した指令信号と比較する。

この場合に系はオープンループで実験するため、指令を sine 状に入れても操作シリンダが sine 状の運動をしながら一方に動く恐れがある。これを一定の位置に保持するため、指令シンクロと差動シンクロの組み合わせを使用した。またこの場合にフィードバックシンクロ出力の 0 点近傍もずれる恐れがあり、これを調整用シンクロとフィードバックシンクロの組み合わせで調整して実験を行った。

本装置に使用した実験の器具全体図を第 20 図に示す。

3.3.3 実験方法

決められた実験条件に駆動系統、検出系統とも合わ



第 22 図 テーブル周波数応答特性曲線

せたのちにサーボボードをまわして、一定周波数の sine wave を入れてテーブル軸の操作シリンダを振動させ、その指令信号と操作シリンダの動きの信号を同時に電磁オシログラフに記録させた。

この場合の実験条件としては

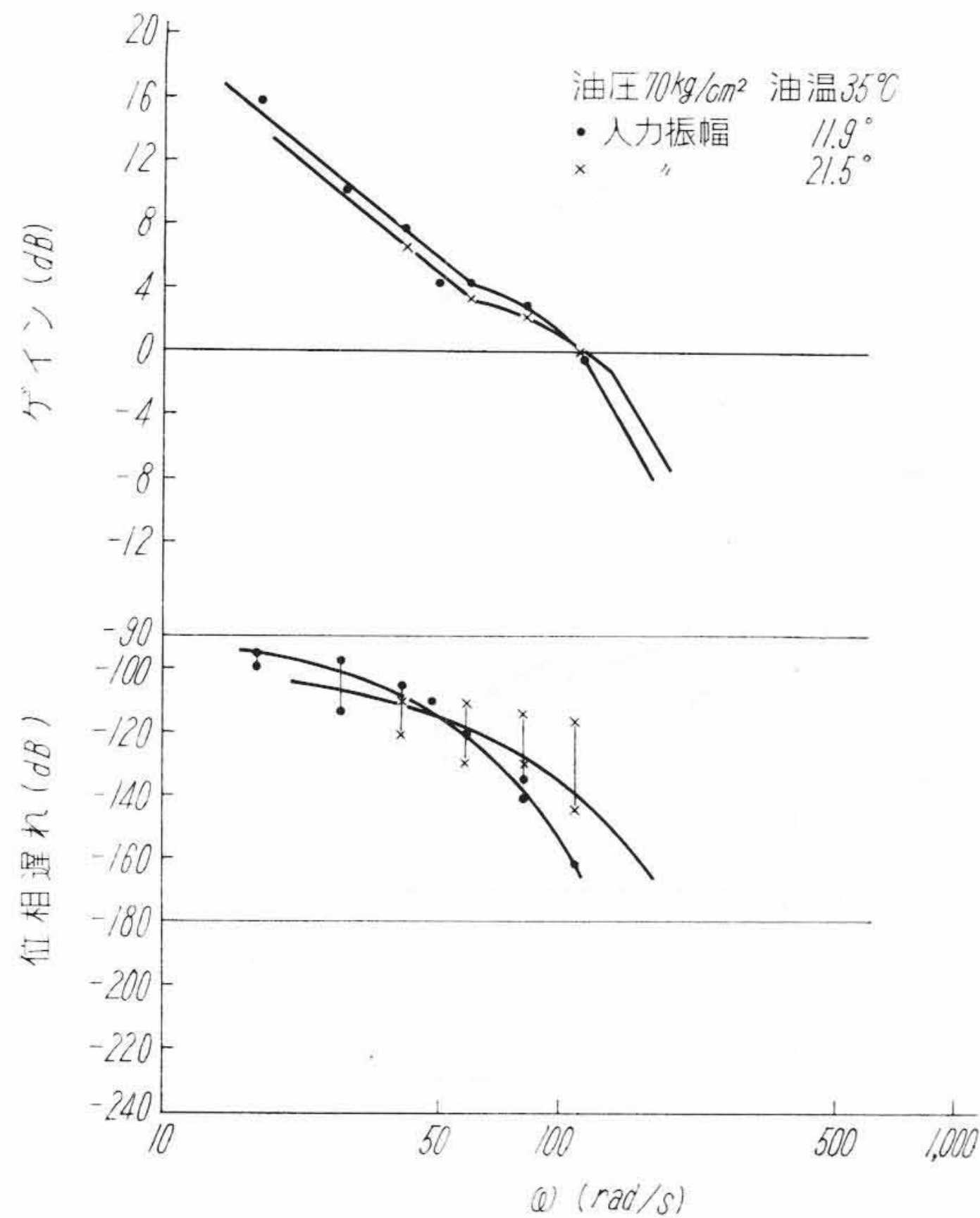
- (1) 油圧 30 kg/cm² 油温 35°C サーボバルブの Dither なし 補償回路なし
 - (2) 油圧 50 kg/cm² 油温 35°C サーボバルブの Dither なし 補償回路なし
 - (3) 油圧 70 kg/cm² 油温 35°C サーボバルブの Dither なし 補償回路なし
- の 3 種の場合につき実施した。

なお、実験条件として装置内でチェックした量は次のとおりである。

- (1) 直流電源電圧 (バッテリー) 12V
- (2) 三相回路の出力電圧 1V (200 c/s)
- (3) Buffer Amp. の出力 (二位相検波回路入力) 160 mV
- (4) サーボバルブの電流 (平均) 4.5 mA
- (5) 検出部オッシレータの出力 2V (400 c/s)
- (6) 検出系シンクロ用 Amp. の出力 2V
- (7) 弁別整流回路の入力 max 300 mV

3.3.4 実験結果

以上の実験結果をまとめると第 3～9 表のとおりである。これをボーデ線図に図示すれば第 21～23 図の



第 23 図 テーブル周波数応答特性曲線



第 24 図 本サーボ系のブロック線図

とおりとなる。

3.3.5 考 察

(1) Gain 曲線に関しては 100 rad/s 付近まで 20 dB/dec であり、ここから操作シリンダ部の時間遅れが現われ、ブレイクしている。したがって系の時定数は約 0.01 s である。

これはこの種のサーボ系としてはかなり速応性のよい系であることを物語っている。

(2) Gain 曲線のブレイクポイント付近の周波数では位相曲線が -135 度付近である。

したがってこのデーターより判断すれば操作シリンダの伝達関数は一次形とみられる。ゆえに一巡伝達関数を式で表わすと(1)式のようなになるであろう。ブロック線図は第 24 図のようになる。

$$G = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} = \frac{K}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} \dots (1)$$

G : アナログサーボ系の一巡伝達関数

$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$: ゲイン常数

T_1 : サーボバルブ時定数

T_2 : 操作シリンダ時定数

(なおサーボバルブに関してはすでに単体で実験し、時定数 数 ms のデーターが出ており、本実験の周波数範囲内では影響があらわれない。日立評論別冊第 25 号 工作機械特集号、工作機械用サーボ弁の解析と特性の項参照)

しかし本制御系は

○テーブルしゅう動面の摩擦

○サーボバルブ 0 点付近の流量特性

○検出シンクロのギヤトレインのバックラッシュ

などが系の特性を左右し、いわゆる非線形となり、

(1) 式のような単純な形にはならないであろう。

4. 結 言

以上で HIDAM-402 方式による数値制御フライス盤の構成ならびに性能につき簡単に紹介した。

数値制御工作機械は今後の急速な発展により加工能率と精度向上に偉大なる威力を発揮し、各会社、工場に採用されるようになる日も近いと思う。

しかし開発されてからいまだ日が浅く、たとえば、カッティングプラン作成に関する問題、保守の問題、指令テープ作成上の問題など、今後解決しなければならぬ問題を残しているが、それらについては製造者と使用者が一体になって解決していきたい。

終りに本試作研究に終始ご協力いただいた工業技術院機械試験所杉本所長、浮田部長および関係各位ならびに東京大学生産技術研究所大島助教授に深く感謝の意を表する。