

日立床上形ならいフライス盤とその数値制御化

Hitachi Floor Type Tracer Controlled Milling Machines
and Their Numerical Controls

片 桐 貞 一* 植 和 夫*
Teiichi Katagiri Kazuo Ue

落 合 正 保*
Masayasu Ochiai

要 旨

日立ならいフライス盤に採用している2次元ならい方式の原理とこれを採用した床上形ならいフライス盤の構造、切削能力を述べ、最後にこれを数値制御化した場合の構成とその切削試験について概要を述べた。

1. 緒 言

近年の急速な産業の発展に伴い、加工部品に複雑な形状が要求されるようになり、特にプレス作業やプラスチックなどの成形分野においてプレス型、抜型、モールド用の型などの需要が年々急増している。ことにわが国における最近の自動車工業界の発展は、その飛躍の生産台数の向上がものごとく目ざましいものがあり、これに伴い大形プレス金型などの需要も増大している。この現状において能率的型彫機として中・小形のならいフライス盤に合わせ大形ならいフライス盤が脚光をあびている。

われわれは昭和25年ごろより2次元ならい方式の原理の研究に着手し、日立製作所独自のならい方式を確立している。この方式をひざ形フライス盤、ベッド形フライス盤、床上形フライス盤に採用し、ならいシリーズとして製品化してきた。

また最近国内においても特にその需要が増加してきている数値制御装置の採用もこれらならいフライス盤シリーズには簡単に採用ができるよう考慮されている。とくに自動車の外装部分となるプレス型は加工の基準はクレイモデルからの測定点から出発する。ここに数値制御の手法を取り入れると高能率、高精度の型加工ができるとともに各部の寸法が数値で完全には握できるため検査、工程の面でも著しい簡素化ができる。

本稿においては日立製作所独自の2次元ならい方式について簡単にふれ、この方式を採用した床上形ならいフライス盤について構造、切削能力を述べ、さらにこれを数値制御化した場合の構成、切削試験について概要を述べる。

2. 日立ならい方式の原理

日立製作所のならいフライス盤の系列はひざ型(CK形)、ベッド形(CB形)、床上形(MFT形)よりなり、それぞれ用途に応じて操作方法に若干の相違はあるが、ならい原理としては共通のものを使用して製品化している。以下このならい原理について説明する。

2.1 ならいの動作原理

ならい制御の主要な役割を受持つトレーサには3次元検出の電気マイクロメータ方式を用いており、図1はその原理を示している。スタイラスはスプリングで水平、上下、主軸軸方向に一樣な力で懸架されており、スタイラスがモデルに接すると、その接触点の法線方向にスタイラスが変位するようになっている。ならい動作を説明するため床上形ならいフライス盤の「上下方向ならい」(図2参照)の場合を例にとって述べる。また説明の都合上、水平方向をX軸、上下方向をY軸、主軸の軸方向をZ軸とする。まずならい運転のボタンを押すと制御装置内で発生している送り電圧によって、スタイラスとモデルは近づくようにカッターヘッドに前進の送りがかかり、スタイラスがモデルに接触する。このとき送り電圧はトレーサの検出電圧に切り換えられ、以後はトレーサの検出電圧によってならい

* 日立製作所川崎工場

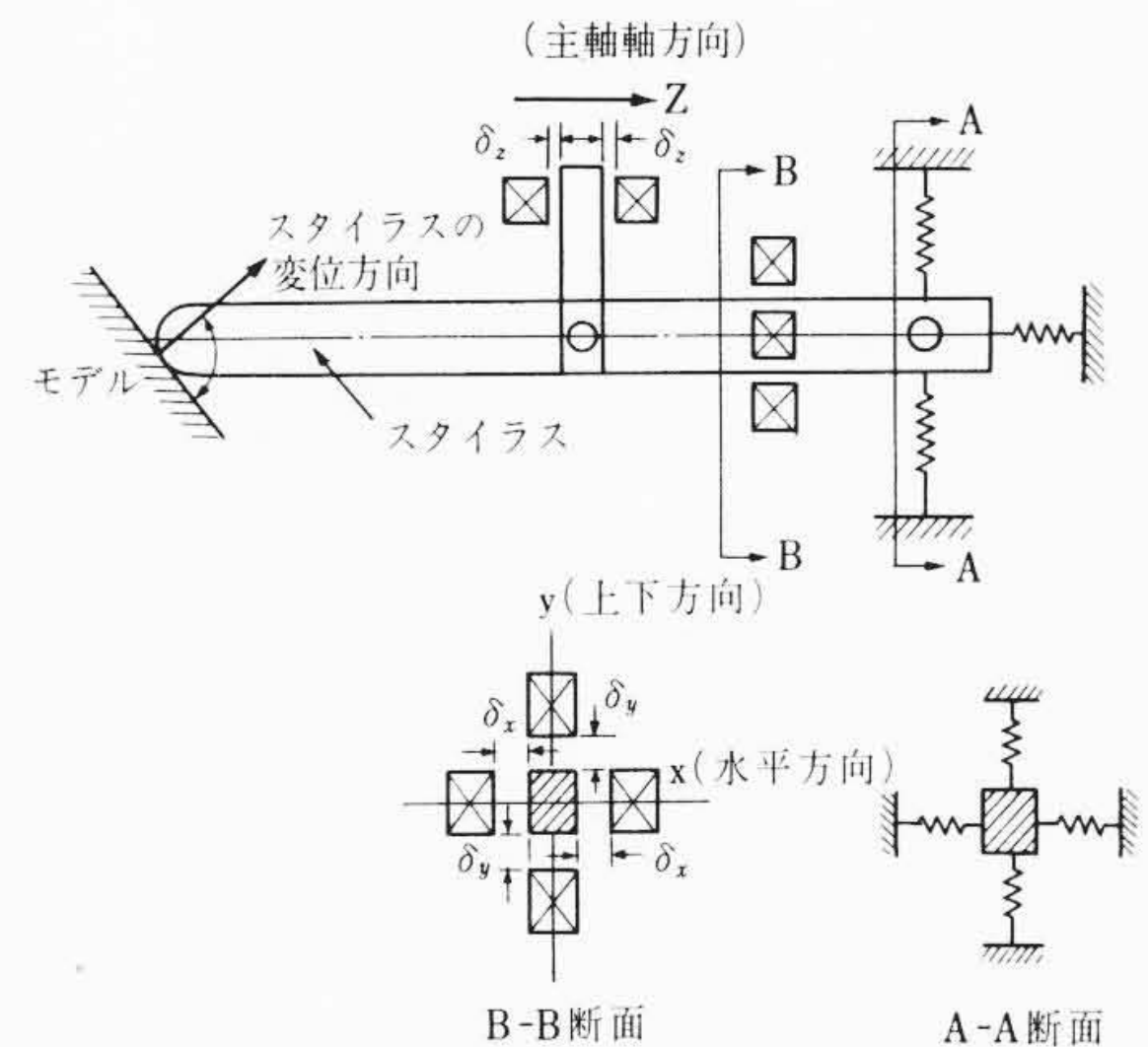


図1 トレーサの原理図

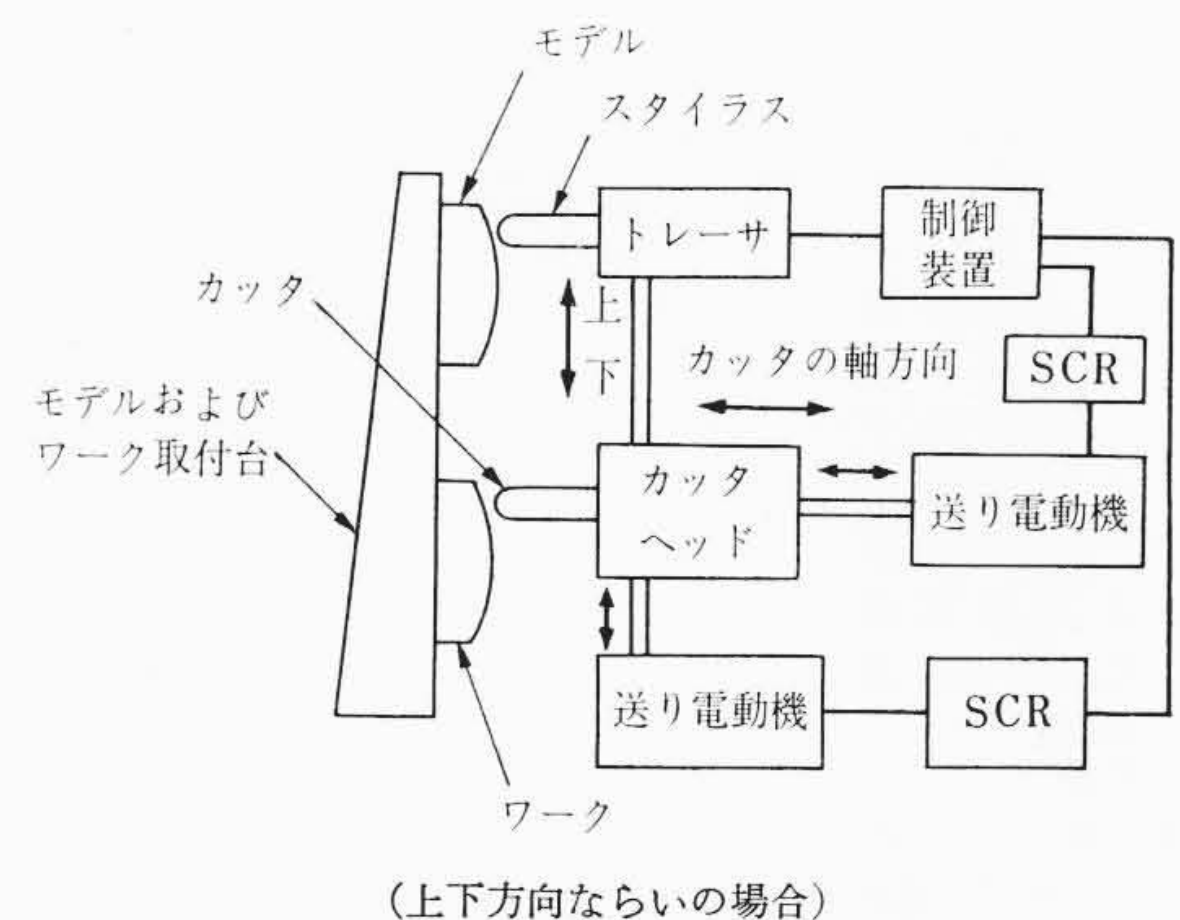


図2 MFT形ならい機構の原理図

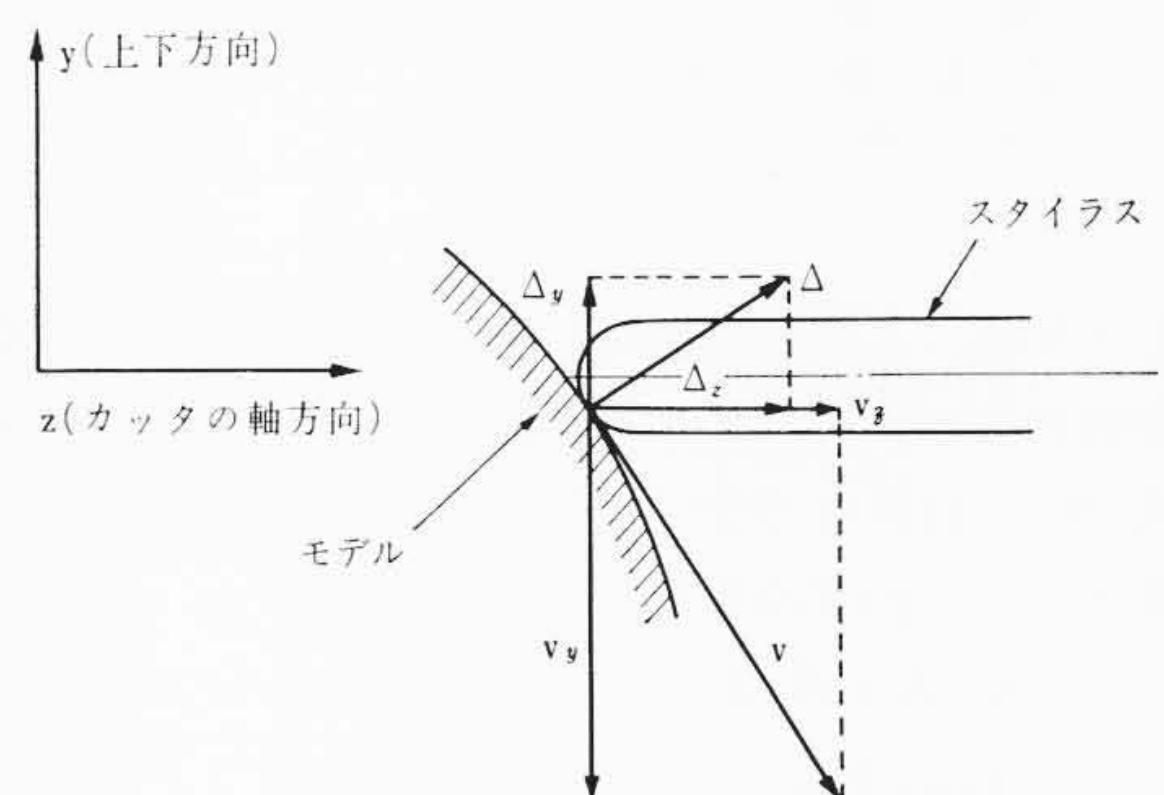


図3 スタイラスの変位および接線速度

動作が行なわれる。スタイラスがモデルに接触すると図3に示す Δ の変位をし、この変位は Δ_y と Δ_z の変位成分に分けられる。そこで Δ_y の変位は図1のトレーサ図の δ_y ギャップとなり

$$\{\Delta_y = K(\delta_y \text{ のギャップ差})\} \dots\dots\dots (1)$$

Δ_z の変位は図1のトレーサ図の δ_z ギャップとなり

$$\{\Delta_z = K(\delta_z \text{ のギャップ差})\} \dots\dots\dots (2)$$

となる。トレーサでは δ_y および δ_z のギャップの差に比例した電

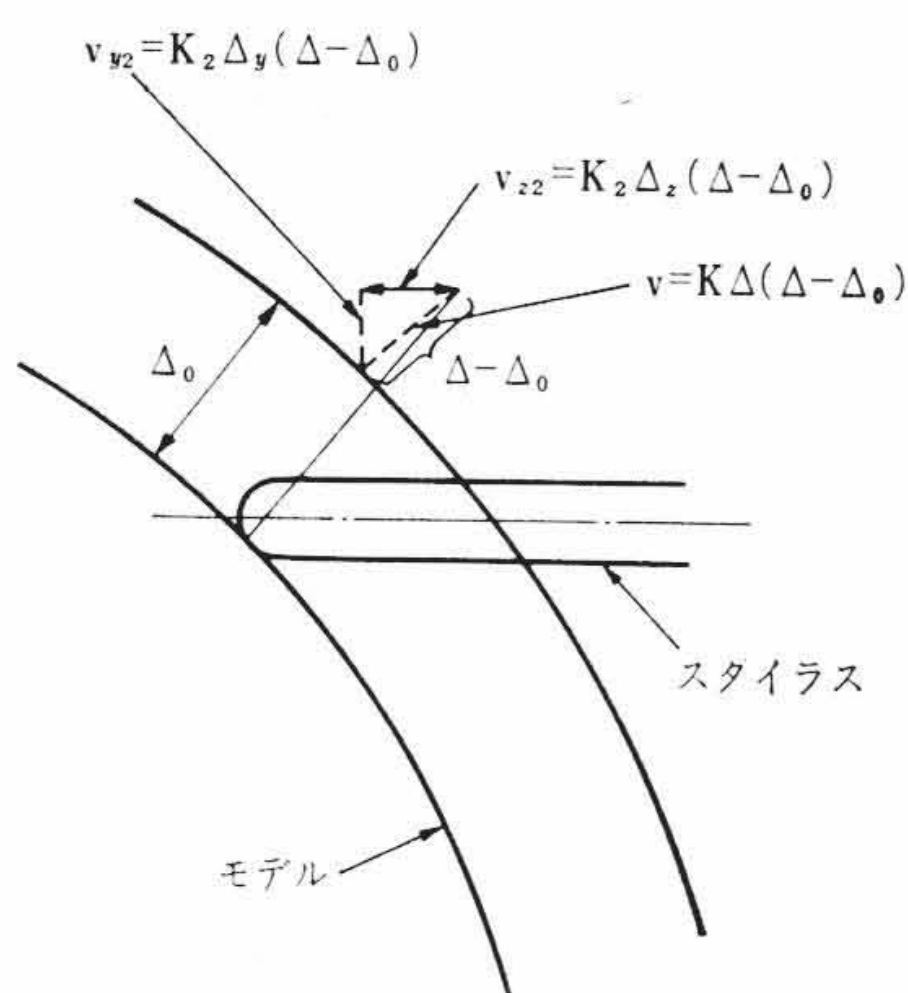


図 4 ならい動作のサーボ項説明図

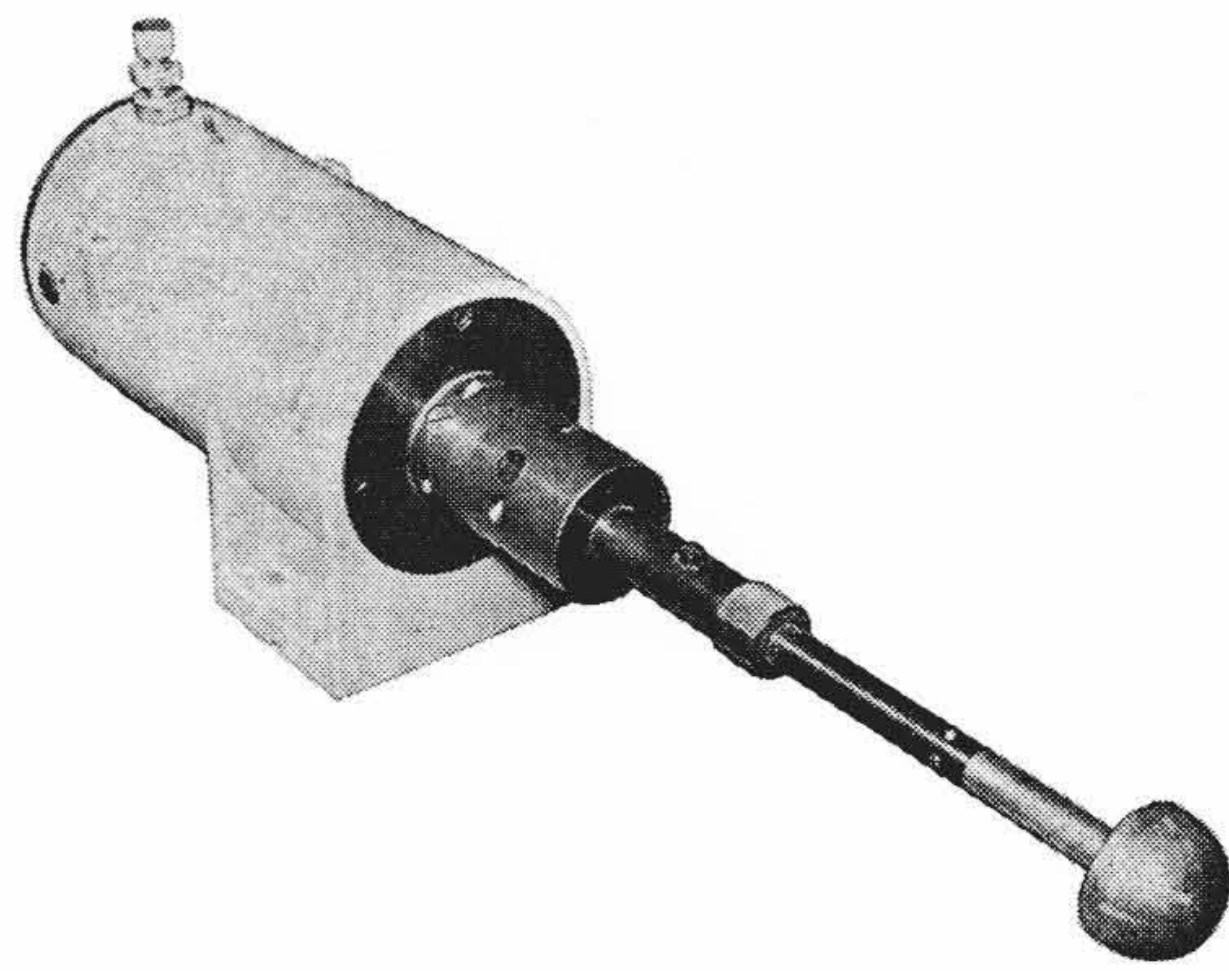


図 6 トレーサヘッド

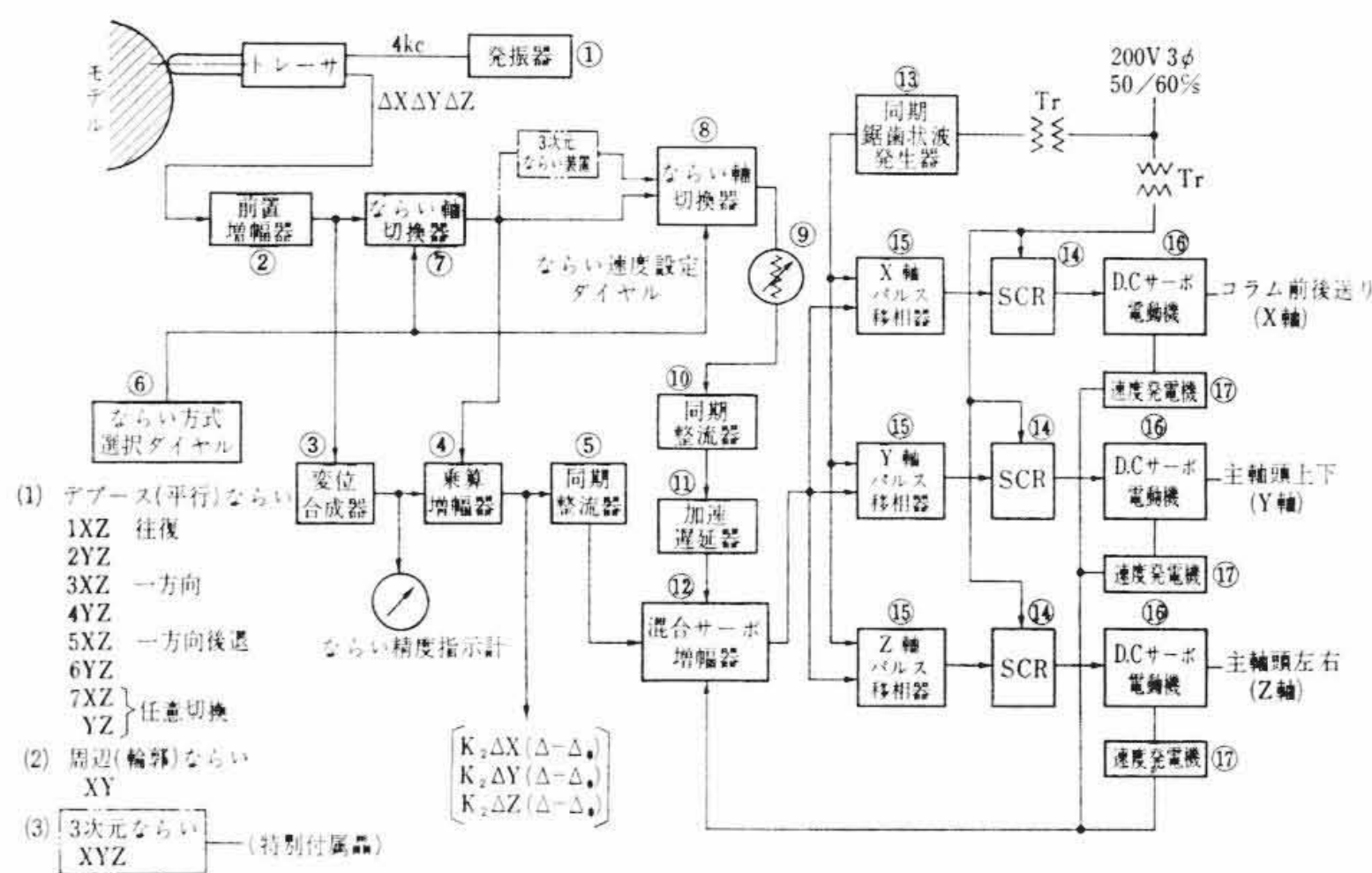


図 5 日立床上形ならいフライス盤のならい制御系の構成

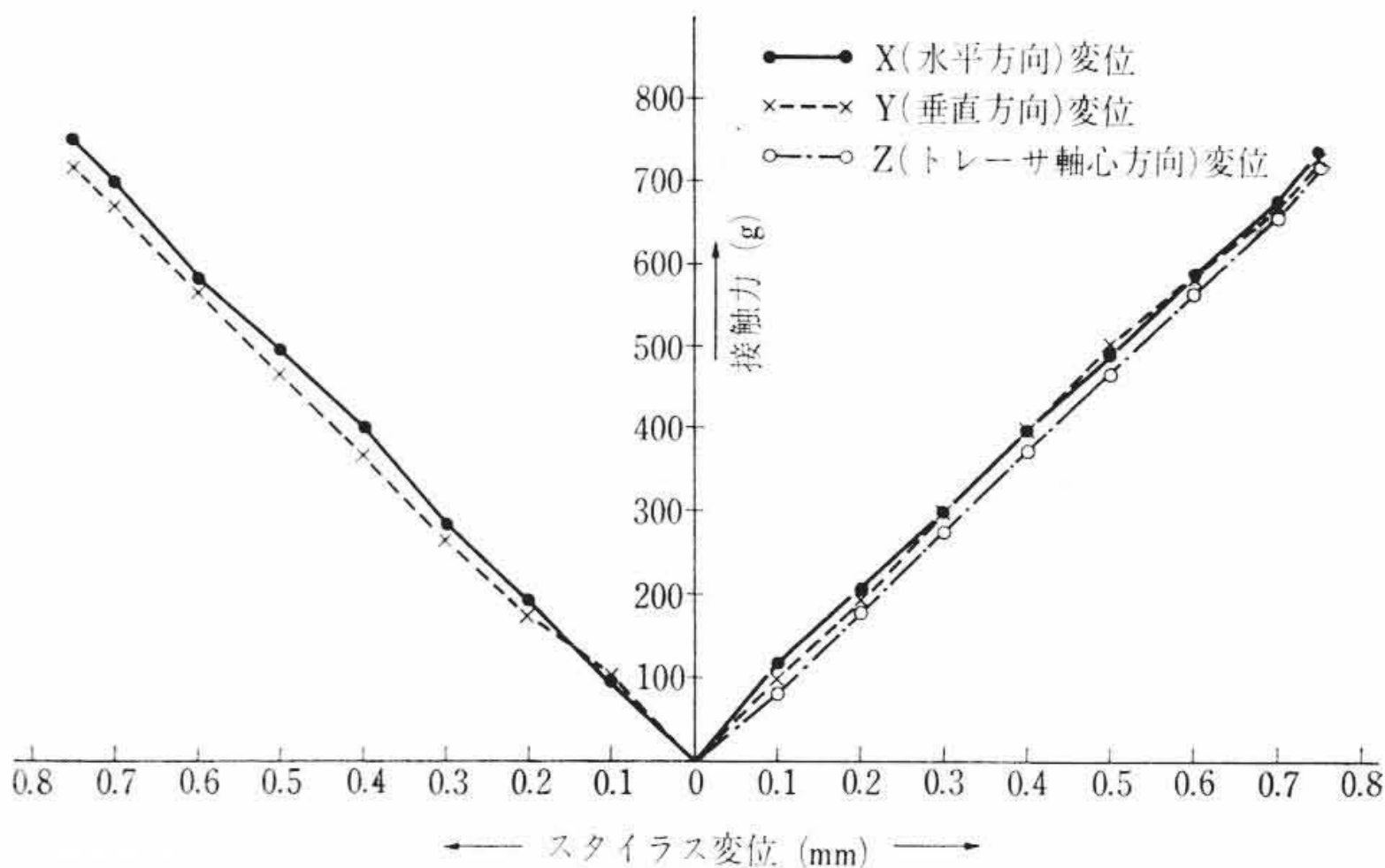


図 7 スタイラス変位と接触力の関係

表 1 床上形ならいフライス盤仕様			MFT-31A	MFT-21A	MFT-11A
主 軸 直 径	mm			120	
ク イ ル 直 径	mm			220	
主 軸 テ ー パ 穴	—			B&S 16	
主 軸 回 転 数	rpm			24~1,060	
カッタヘッド上下移動距離	mm		1,200	1,500	2,000
コ ラ ム 前 後 移 動 距 離	mm		2,400	3,000	3,500
カッタヘッド左右移動距離	mm		400	600	600
カッタヘッド前面よりクイル 前端までの距離	mm			200~440	
送 り 速 度 (無段階)	mm/min			20~600	
カッタヘッド上下早送り速度	mm/min		2,000	2,000	3,000
コ ラ ム 前 後 上 下 早 送 り 速 度	mm/min			1,500	
カッタヘッド左右早送り速度	mm/min			4,000	
主 電 動 機	kW			11	
各 送 り 電 動 機	kW		1.5	1.5	3
重 量 (本 機 の み)	kg		20,500	22,000	23,000

圧がそれぞれY軸、Z軸の検出電圧として誘発され、制御装置に送られる。制御装置は一種のアナログ計算機である（全半導体方式）。つまり次式(3)の計算を行ない、Y方向およびZ方向の送り速度に比例した電圧を送り出す役目をする。

$$\left. \begin{aligned} v_y &= \pm K_1 \Delta_z + K_2 \Delta_y (\Delta - \Delta_0) \\ v_z &= \mp K_1 \Delta_y + K_2 \Delta_z (\Delta - \Delta_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(3)式において

- v_y ：

Y方向の送り速度に比例した電圧

v_z ：

Z方向の送り速度に比例した電圧

K_1 ：

ならい速度を決める常数

K_2 ：

サーボのゲインを決める常数

Δ_y ：

(1)式による

Δ_z ：

(2)式による

Δ ：

トレーサの変位に対する電圧

Δ_0 ：

トレーサの変位の一定設定量に対する電圧

(3)式における右边第1項をわれわれは「速度項」と呼び加工物の接線方向の送りを行なうための項である。図3にはこの関係を示す。また第2項は「サーボ項」と呼ばれ、スタイラスの変位を一定にするための制御である。この関係は図4に示すとおりである。

2.2 ならい機構の一例

上述したならい動作原理を具体化した構成図を図5に示す。図5は床上形ならいフライス盤に採用した場合である。この構成を実現したものが後述する図8の外観図に示すとおりのものであり、すでに自動車産業において実用化され、その高能率、高精度については高く評価されている。

3. 構造上の主要点

日立製作所のならいフライス盤のシリーズ機種であるCK, CB, MFT機は、それぞれ数多くの構造上の特長を有しているが、その主要点は次のとおりである。おもな仕様を表1に示す。

3.1 トレーサヘッド

前述のならいの原理を具体化する一つのポイントにトレーサヘッドの構造がある。図6は本機のトレーサヘッドの外観図であり、スタイラス先端がモデルに接するとき、接触点におけるモデルの接線方向へスタイラスが変位する構造でX, Y, Z 3方向変位成分に比例した出力がそれぞれ別個に得られるものである。図7はX, Y, Z 3方向にスタイラス先端を変位させたときの接触力を測定したものである。X, Y, Z各方向ともほぼ1,000 g/mm の一様の特性が得られており、法線方向への変位を示すものである。

3.2 制 御 装 置

制御装置は前述のように全トランジスタ化された無接点電子回路である。またCK, CB, MFT機とも同じならい制御方式をとっていることから、機種間にわたるパッケージの標準化が行なわれ、互換

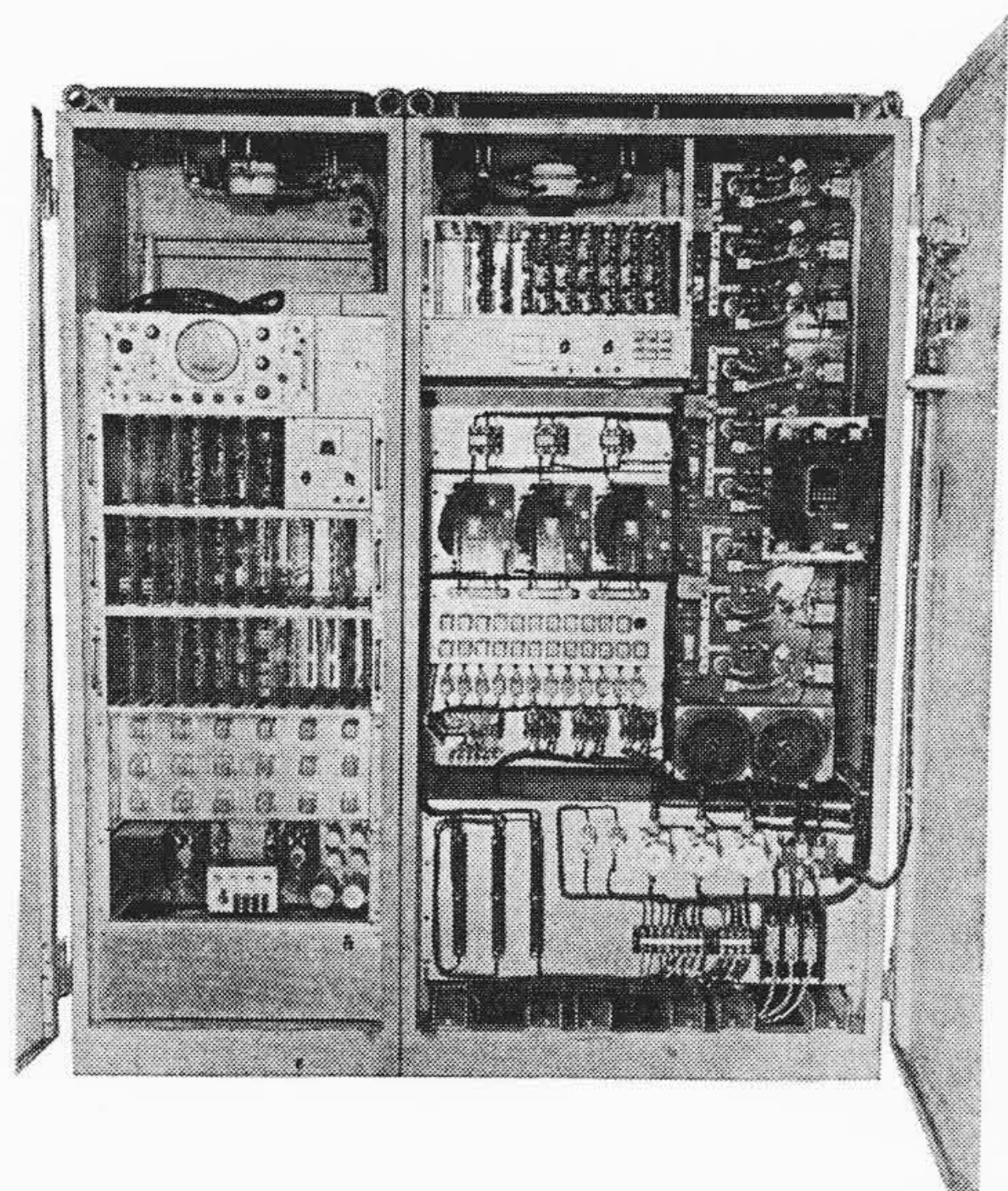


図8 自立制御盤

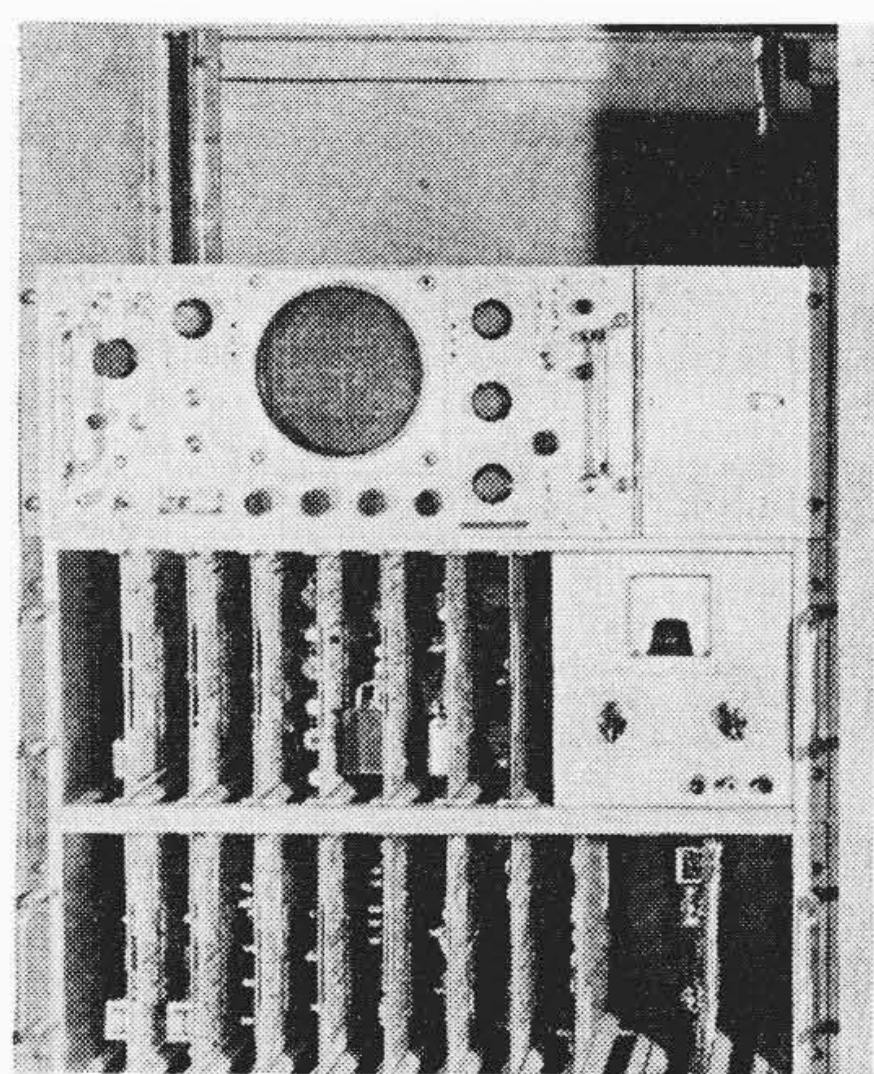


図9 チェックパネル

性を有している。図8は本機の制御装置で右側が電力制御装置、左側が信号処理装置である。図9は信号処理装置の一部を示したものであるが、これは電子回路の保守点検を容易にするため、各部の動作が表示されるメータおよびモニタオシロであり、このチェックパネルは標準付属品として装備されている。

3.3 送り駆動系

ならいフライス盤として、またこれの数値制御化に対して機械の送り軸の高速応性が要求されるため、その送り駆動系には機械構造上次の2項目が特に要求される。

- (1) 駆動系の弾性変形も含めた総合バックラッシュがわずかであかつ安定性のあること
- (2) 平滑なしゅう動特性を有すること

(1)の要求に対し駆動系の短縮化と合わせ、近年、中・小形機ではボールネジが多く用いられている。しかし大形機の場合特にX軸(本機の場合コラムのベッド長手方向送り)などは、ボールネジが長大となり、ボールネジ製作上の問題、駆動トルクによるねじれおよび自重による変形などの問題がある。本機では図10に示すようにベッドにウォームラックをはりつけ、ダブルウォームラック駆動により本問題を解決している。(2)の要求に対しては、静摩擦動摩擦

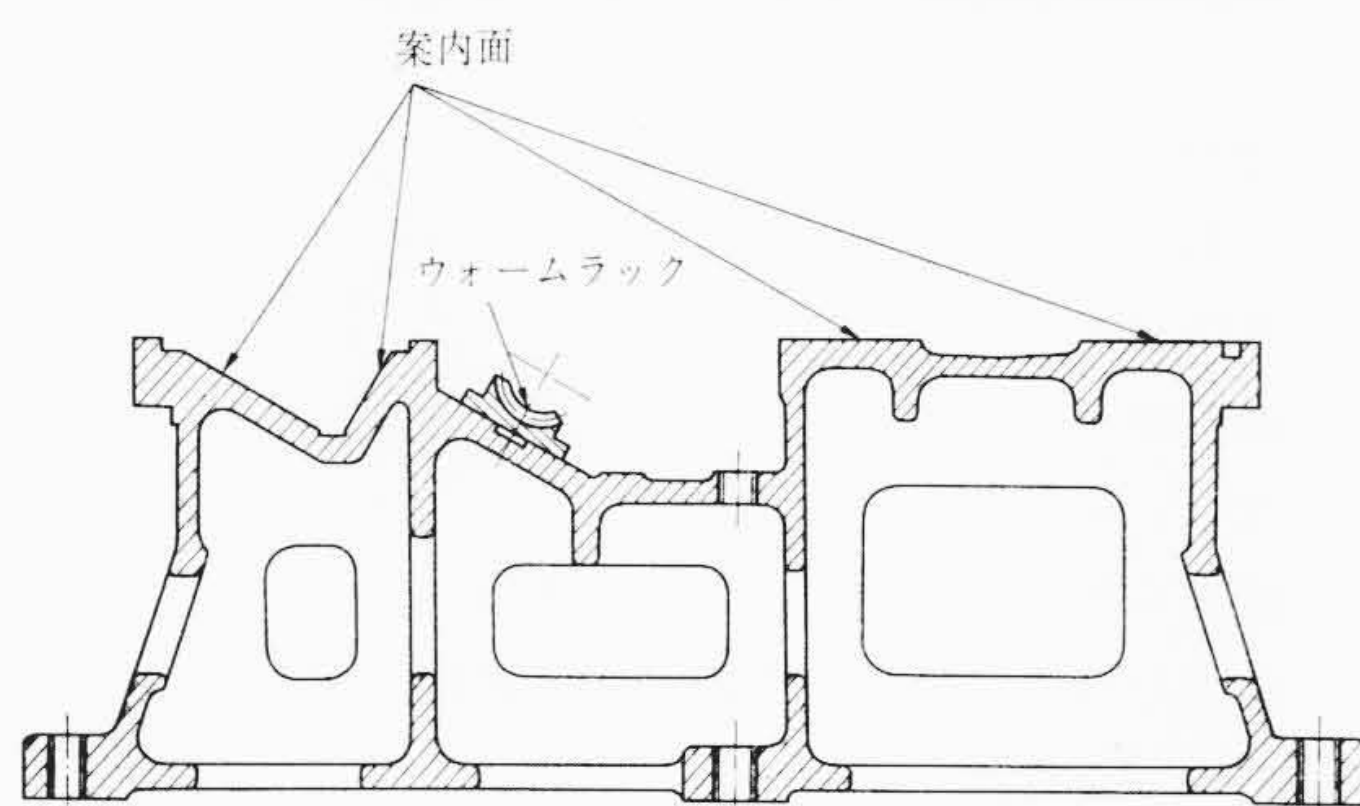
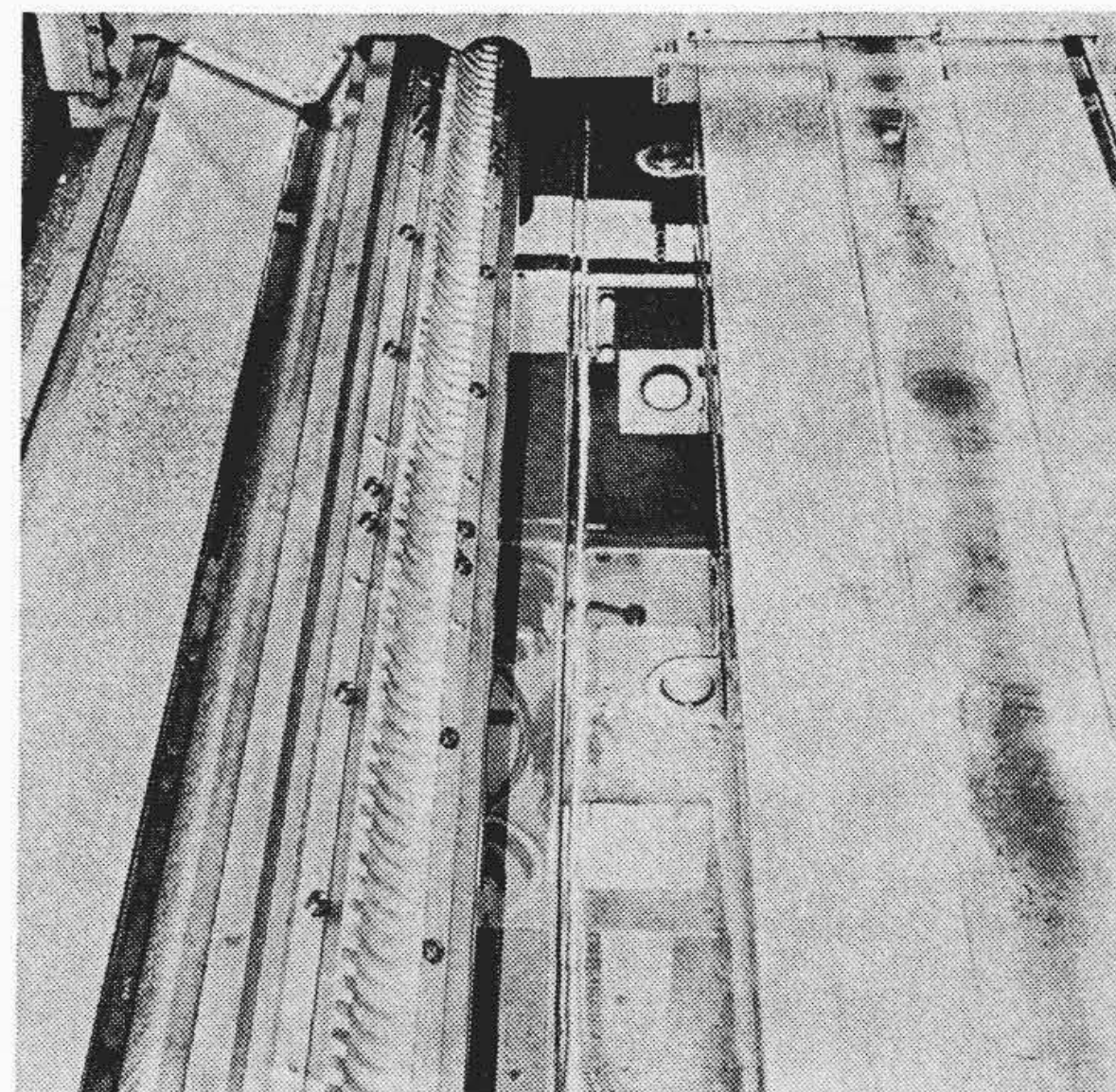


図10 ウォームラックとベッド案内面形状

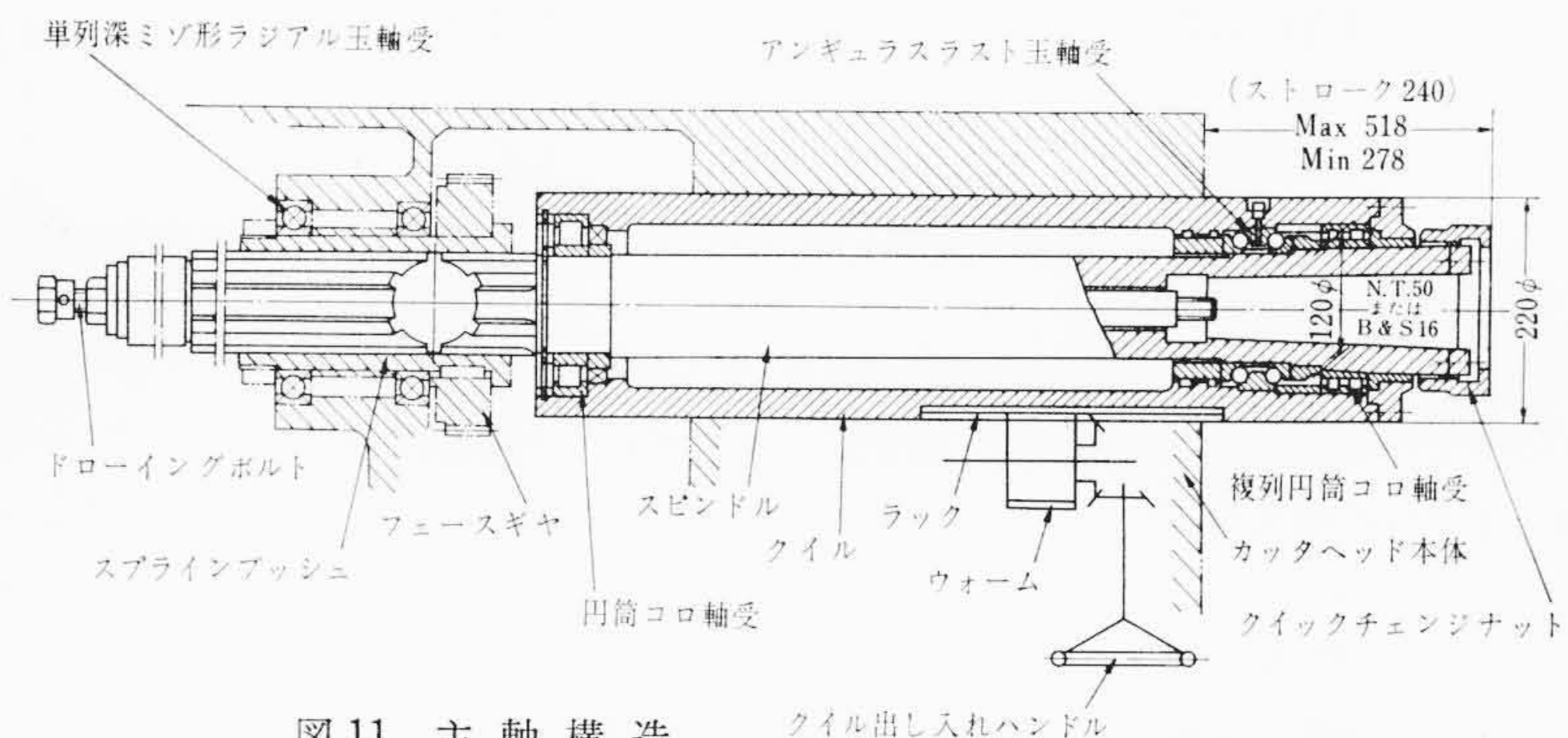


図11 主軸構造

の差の少ないかつしゅう動特性の安定性ある合成樹脂のしゅう動面への適応、ローラガイドの採用などがその対策としてとられている方法である。本機では各部のしゅう動面に重切削性に対して劣る後者を避け、前者を独自の強制潤滑法と合わせ採用し成功している。

3.4 主軸構造

最近の大形ならいフライス盤はその数値制御化とあわせ、特に高速送り形彫削が要求される一方、普通フライス、中ぐり、ドリルなどの汎用性も要求される。このため主軸には低速から高速回転まで高度の剛性と回転精度が要求される。図11は本機の主軸構造で、大なる突出し量に対しても十分なる剛性をもたせるためクイルタイプとし、前部に高精度のNNU49K形の複列円筒コロ軸受およびアンギュラスラスト軸受を、後部には円筒コロ軸受を配している。

3.5 そのほか

ベッド、コラム、サドル、主軸頭などの大物基本構成部品は、それぞれ強固な箱形断面形状に合理的なリブを配し、切削力、切削振動に対し大なる剛性を有している。また図10に示すVおよび平の組合せのベッド案内面形状のように、高精度案内面およびその保持に対しても十分の考慮が払われている。

4. ならい制御方式よりみた特長

前述の日立製作所の連結制御ならい方式についての特長を次に列記する。

- (1) 高精度
- ① 往復ならいの往き戻りの段差の解消

② 仕上面荒さの向上

③ 輪郭ならい時の象限切換による段差の解消

④ ならい速度モデルの傾斜角などに無関係な一定の補正量 (Δ_0)

⑤ カッタの摩耗などを考え、上記一定の補正量 (Δ_0) を一定範囲内で任意に選択できる。
- (注) ならい切削精度の実例については後述する。
- (2) 高 能 率
- ① ならい速度の向上

② 傾斜に無関係な一定なならい速度

③ ならい面の切換をならい中でも切換スイッチにより行なうことができる

④ 同一のトレーサヘッドにより往復ならい、輪郭ならいはもちろんのこと、3次元ならいもできる

⑤ 型製作に必要な多くのならい動作が可能で、図 12 にその例を示す

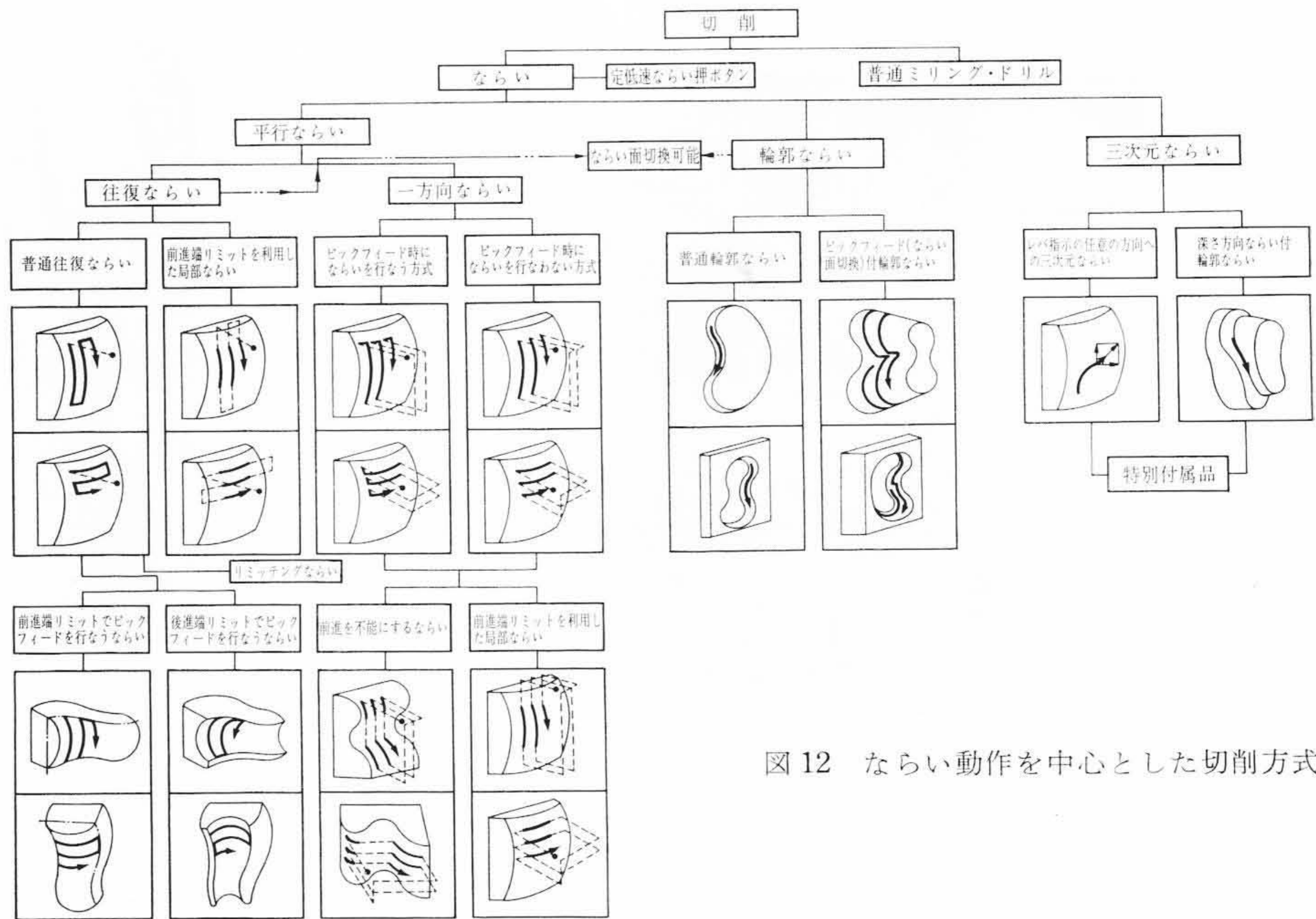


図 12 ならい動作を中心とした切削方式

表 2 静 的 精 度 の 一 例 (単位 mm)

項 目	JIS 許容値	本 機 の 実 例
主軸中心線とコラムスベリ面との直角度	0.03/1,000	0.008~0.02/1,000
主軸中心線とベツドスベリ面との直角度	0.03/1,000	0.005~0.018/1,000
主軸穴の振れテストバー口元で	0.015	0.005~0.008
300 の位置で	0.03	0.01~0.02
主軸の振れ	0.015	0.005~0.008
カッタヘッド左右運動の真直度		
垂直面内で	0.02/500	0.01~0.015/500
水平面内で	0.02/500	0.005~0.01/500

表 3 平行ならい加工精度の一例 (単位 mm)

加 工 長		L ₁	L ₂	L ₃		
モ デ ル 寸 法		100.03	152.92	55.08		
呼 び 寸 法 (加工されるべきワーク寸法)		103.48	149.48	58.53		
加工された寸法	送り 100 mm/min	103.53	149.39	58.57		
	送り 200 mm/min	103.52	149.43	58.52		
誤 差	送り 100 mm/min	+0.05	+0.09	+0.04		
	送り 200 mm/min	+0.04	+0.05	-0.01		
加工面のバラツキ	加 工 面		A	B	C	D
	往き	送り 100 mm/min	0.01	0.01	0.01	0.02
		送り 200 mm/min	0.03	0.02	0.04	0.01
	戻り	送り 100 mm/min	0.03	0.01	0.01	0.02
		送り 200 mm/min	0.02	0.01	0.01	0.02
	往き戻りの段差					
	送り 100 mm/min	0.04	0.04	0.02	0.03	
	送り 200 mm/min	0.03	0.04	0.06	0.04	
切 削 条 件	主 軸 回 転 数		210 rpm			
	切 削 速 度		19 m/min			
	送 り 速 度		100, 200 mm/min			
	一 刃 当 り 送 り		0.08, 0.16			
	ピ イ ッ ク フ ィ ード 量		8			
	ス タ イ ラ ス 径		34.45			
	エ ン ド ミ ル 径		30			
	材 質		F C 20			
モ デ ル (ワ ーク) 状	切 込 深 さ		1			
	ス タ イ ラ ス (カ ッ ト)					
備 考	ならい方向：主軸上下・左右ならい 往復ならい切削回数：8往復					

5. MFT 機の精度および切削能力

5.1 静 的 精 度

本機の静的精度は JIS B6222 横中ぐり盤(床上形)精度検査法にもとづいて作成された規格によって測定記録されている。表 2 は MFT 機の主要静的精度を JIS 許容値と比較したものである。

5.2 ならい 精 度

(1) 平 行 な ら い

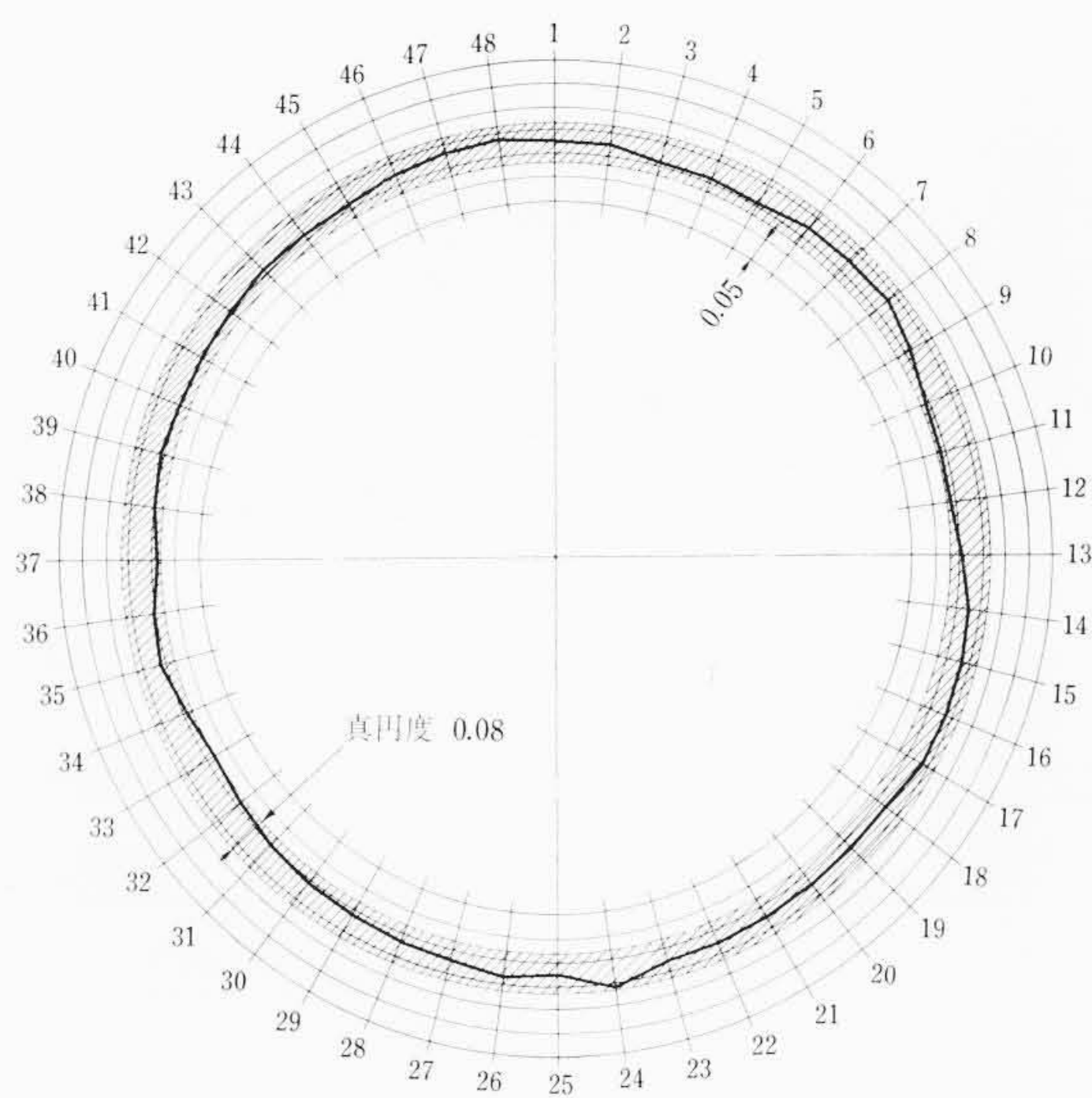
ならい精度の定義は確立されていないが、表 3 は平行ならいとしては最も過酷な 90 度の傾斜面を有するモデルを、ならい加工した実例を示したものである。これは主軸上下・左右方向ならいの場合である。通常のならいフライス盤では表 3 中に示すモデル(ワーク)の ABCD 面の切削において上りこう配で切削した部分と下りこう配で切削した部分では、いわゆる往き戻りの段差凹凸が生ずる。日立製作所のならい方式では、前述のならいの原理からわかるように、スタイラス先端変位一定のならいを行なっているため、この往き戻りの凹凸がない。表 3 の結果にもこの特長がよく表われている。

(2) 輪 郭 な ら い

図 13 は外径約 200 mm のモデルの外周ならい切削精度の一例を示したものであるが、本例からも前述の連続ならい制御を行なっていることから、X Y 座標軸上あるいは 45 度ライン上のいわゆる象限切換時の段差が解消されていることがわかる。

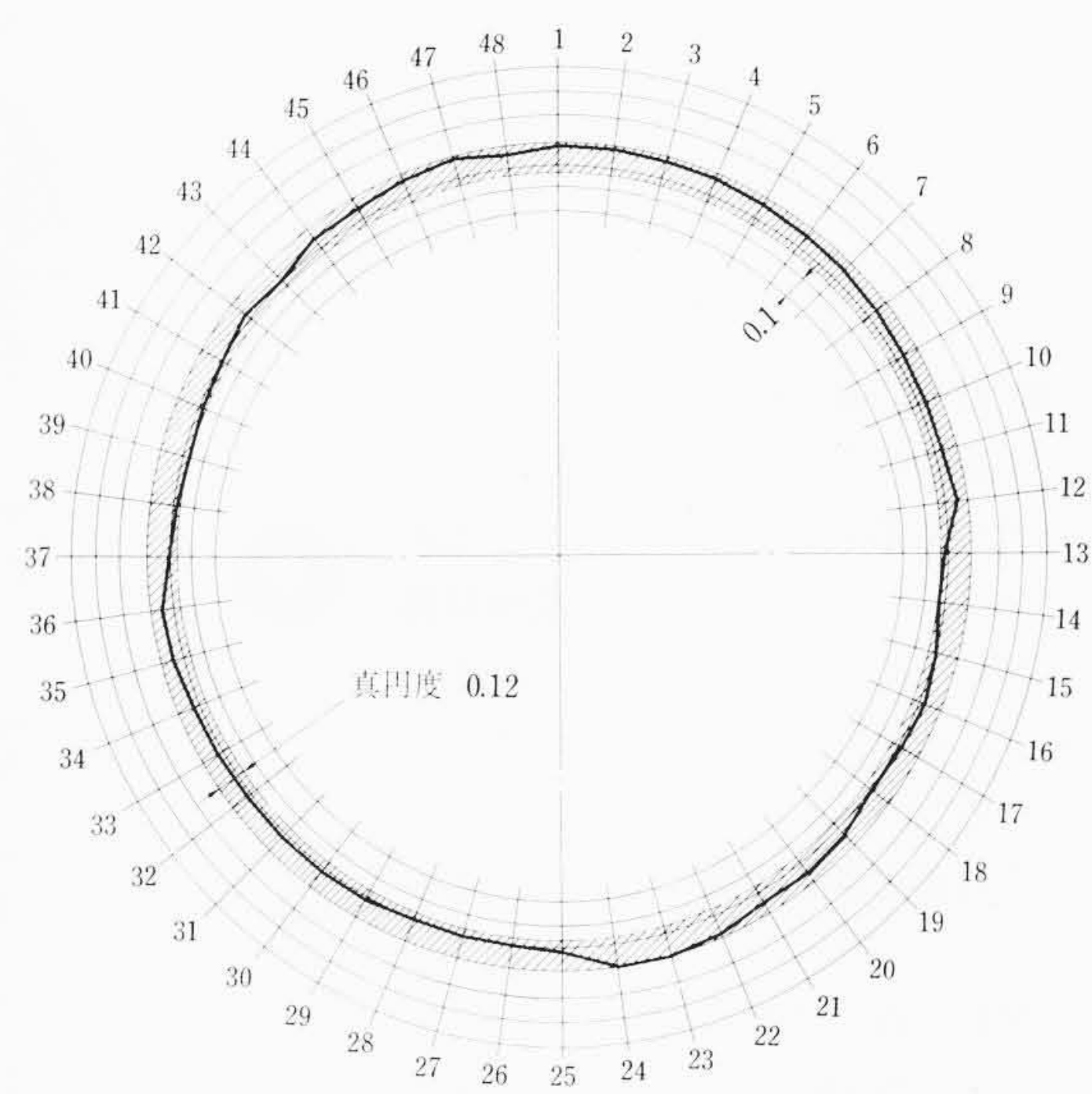
(3) く り 返 し な ら い 精 度

図 14 はコラム前後(水平方向)、主軸左右(主軸軸方向)の一方ならい方式で、同一モデル面を 90 回約 3 時間にわたりならい運動を行なわせ、ならい精度の安定性を確認したものである。



切 削 条 件			切 削 条 件		
回 転 数	rpm	132	モ デ ル 径	mm	186
切 削 速 度	m/min	16.5	ス タイ ラ ス 径	mm	44.8
送 り 速 度	mm/min	100	エ ン ド ミ ル 径	mm	39.6
切 込	mm	2	被 切 削 材		FC25
切 削 幅	mm	20			

図13 輪郭ならい加工精度の一例



切 削 条 件			切 削 条 件		
回 転 数	rpm	1,060	モ デ ル 径	mm	186
切 削 速 度	m/min	83.5	ス タイ ラ ス 径	mm	30.1
送 り 速 度	mm/min	550	エ ン ド ミ ル 径	mm	24.95
切 込	mm	0.8	被 切 削 材		FC25
切 削 幅	mm	20			

図16 高速ならい切削の加工精度の一例

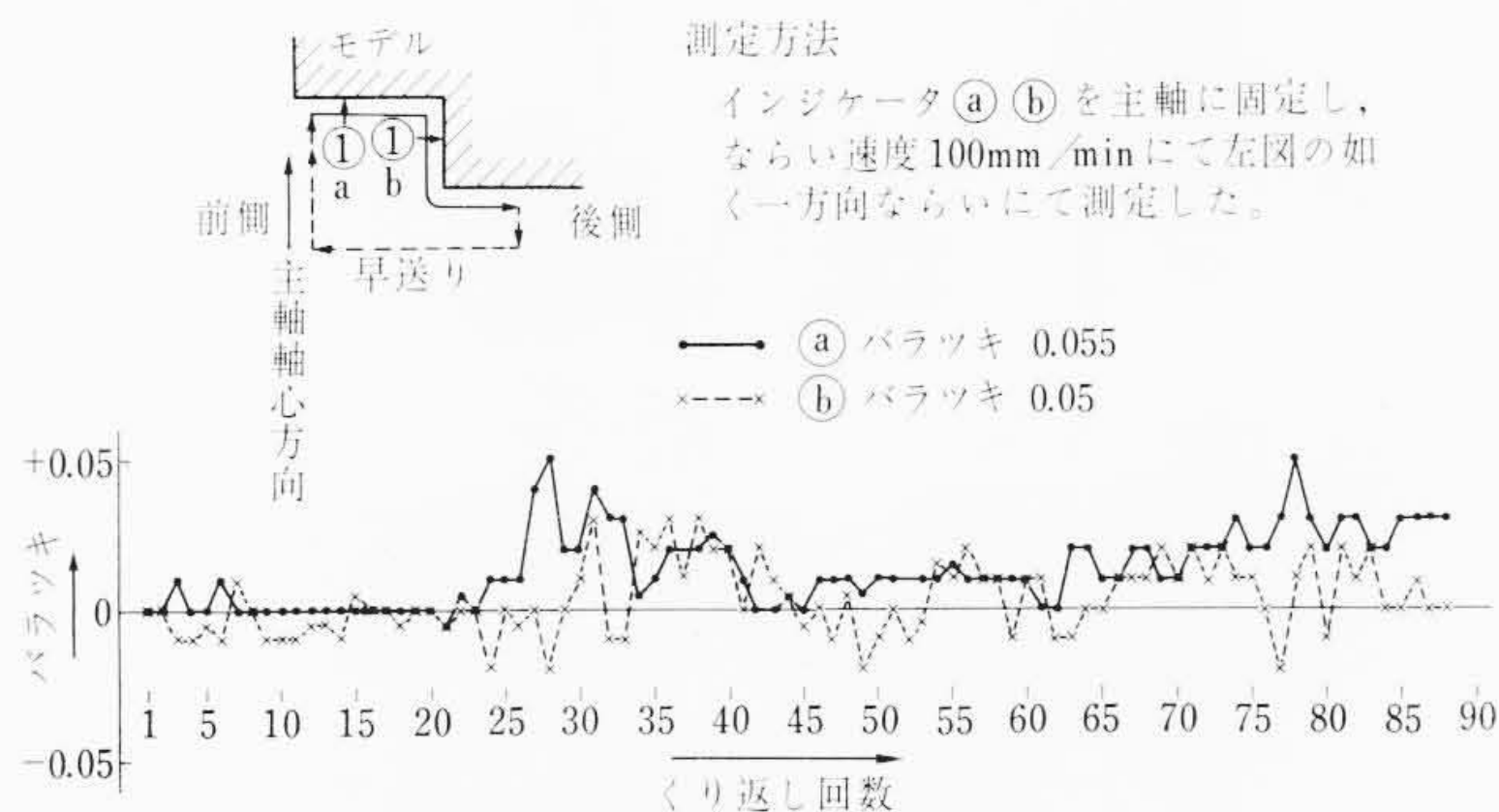
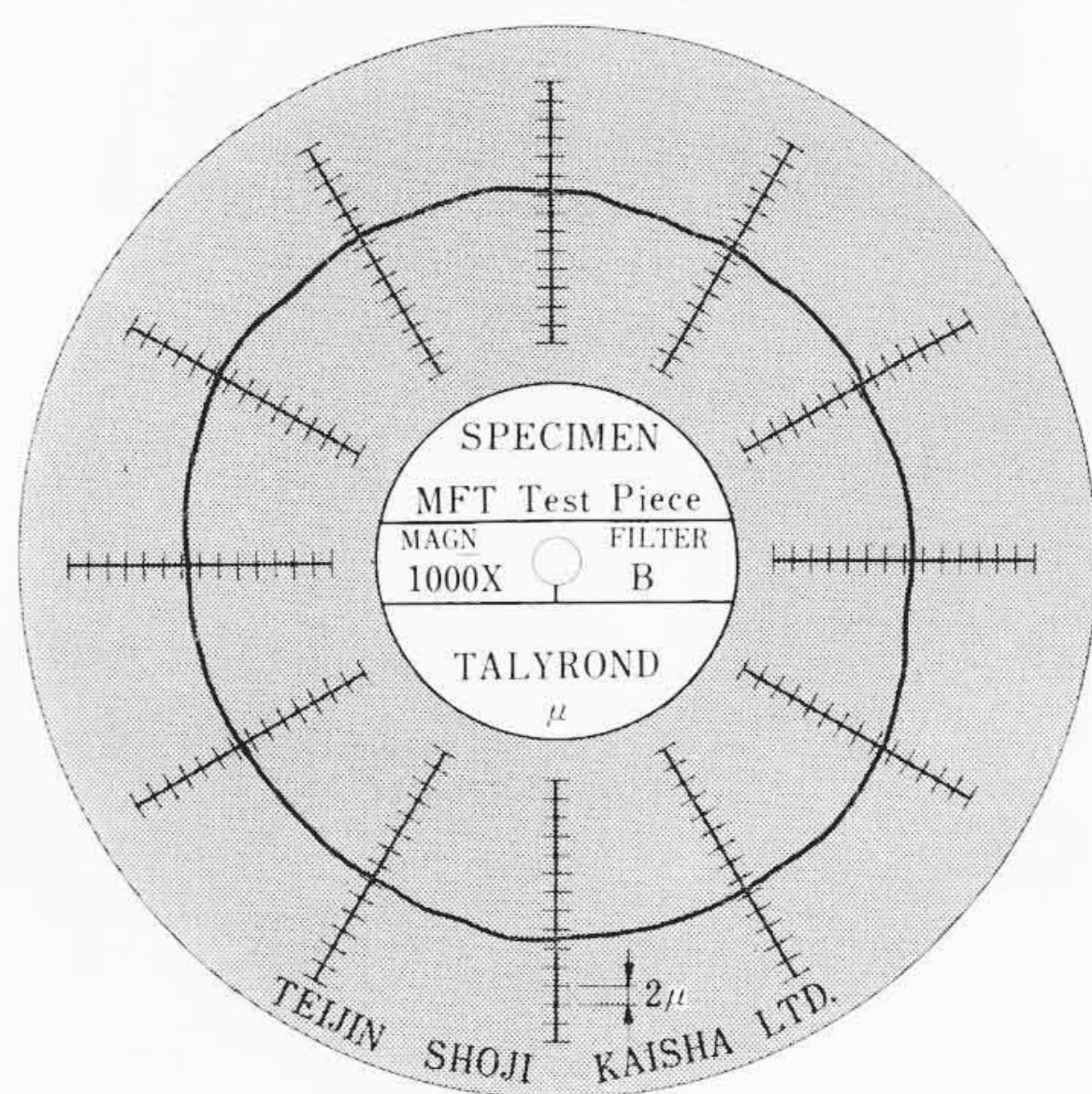


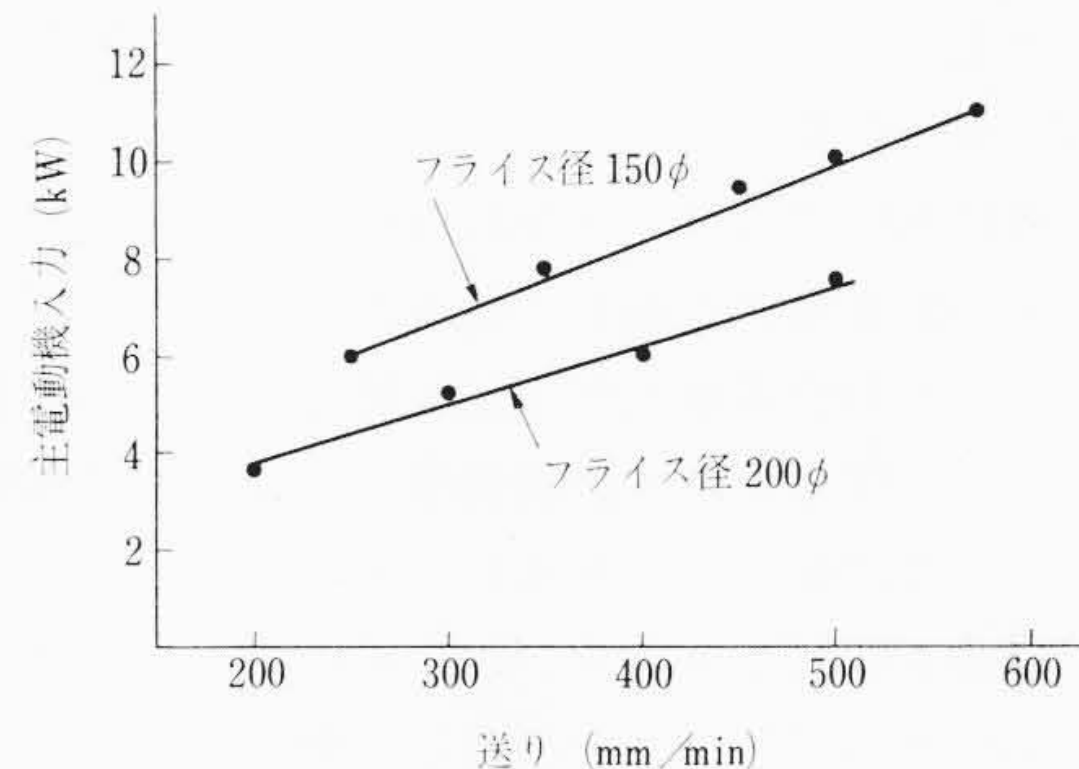
図14 くり返しならい精度



真円度 2 μ

切 削 条 件	
切 削 直 径	80 mm
主 軸 回 転 数	310 rpm
切 込	0.1 mm
送 り (主軸頭送り)	25 mm/min (0.08 mm/rev)
被 切 削 材	FC25

図15 真円度測定器による中ぐり加工精度記録



切 削 条 件		
正 面 フ ラ イ ス 直 径	150	200
刃 数	6	18
主 軸 回 転 数	210	132
切 削 幅	120	160
切 り 込 み	5	5
被 切 削 材	FC25	FC25

図17 正面フライス切削動力

表4 正面フライスおよびエンドミル切削の加工精度の一例

項 目	許 容 値	本機の実例
正面フライス削りの精度	平 面 度	0.02/300
	段 差	0.02
エンドミル側面切削の精度	直 角 度	0.02/300
	平 行 度	0.02/300

(4) 普通フライス・中ぐり加工精度

表4に正面フライスおよびエンドミル切削の加工精度を、図15に主軸頭左右送りによる片持中ぐり切削の真円度を、真円度測定器により測定した一例を示す。いずれも本機の高精度の汎用性を裏づけるすぐれた結果が記録されている。

5.3 切 削 能 力

図16は超硬エンドミルを用いならい送り速度 550 mm/min で切削した加工精度の一例であり、最近の高速度切削への要望に対する本機の適応性を示す一例である。図17は正面フライス切削にお

る動力消費を示すもので、高速送りにおいてほぼ本機の定格出力に達していることがわかる。

6. 数値制御化

6.1 数値制御化

本機には連続制御ならい方式を採用しているため送り駆動系は完全な連続サーボ系となっている。したがってこれを数値制御化（以下NCという）することはきわめて簡単であり、本機に対する改造作業はつぎの2項目である。

- (1) 位置検出器を各軸に取り付けること。
- (2) NC装置の信号（アナログ信号）をならい制御に使用している直流増幅器に結線し、補償回路常数を調整すること。

である。

本機をNC化した場合の系統図を図18に示す。われわれは既設の床上形ならいフライス盤にHIDAM 7060方式NC装置（日立連続切削用NC装置）を取り付け、上記の改造を行ない、切削試験を試みた。

まずNC化としての必要な各要素について簡単に説明してみる。

(1) 位置検出器

NC工作機においてはテープからの指令信号に対して機械の動きが忠実であるかを常に監視しているためのフィードバック機構が必要である。この位置検出器は加工精度を左右する重要な要素である。本機における位置検出機構は、各軸の直線運動をラックピニオンによって回転運動に変換し、その回転をレゾルバによって電気信号位相として取り出す。またギヤ列のバックラッシュを除去するためにサーボモータを使用して常に1方向にトルクをかけておくようにしてある。この機構の精度を左右するものはラック、ギヤ列およびレゾルバの電気的精度である。このためにラックには29°台形ネジを使用した。このスクリューはネジ研削盤により仕上げされた単一ピッチ誤差0.01mm以下、累積ピット誤差0.015mm/300mm以内の精度をもっている。位置検出器の取付状況を図19に示す。図19はX軸（コラム水平運動方向）における取付状況であり、同様のものがそれぞれY軸（カッタヘッド上下運動）とZ軸（主軸軸方向運動）に取り付けるわけである。またレゾルバには特に位相誤差を要求した特注品を使用している。

(2) 送り駆動系

送り駆動系はならいフライス盤の場合とまったく共通のものが使用できる。したがってその構成は前述してあるので省略する。

(3) NC装置

本機に使用したNC装置は日立HIDAM 7060方式連続切削用NC装置である。図20は方式の概要を示したものである。

本方式の特長とするところは

- (a) 円弧計算内蔵の2次元切削ができる。
- (b) 直線補間の3次元切削ができる。
- (c) 2次元切削の場合は工具径をダイヤルセットできる。
- (d) 送り速度はテープ指令に対して±50%のダイヤル変速が切削中にできる。
- (e) 原点自動復帰装置がついている。

などである。

構成動作原理についての詳細は日立評論第47巻第9号「数値

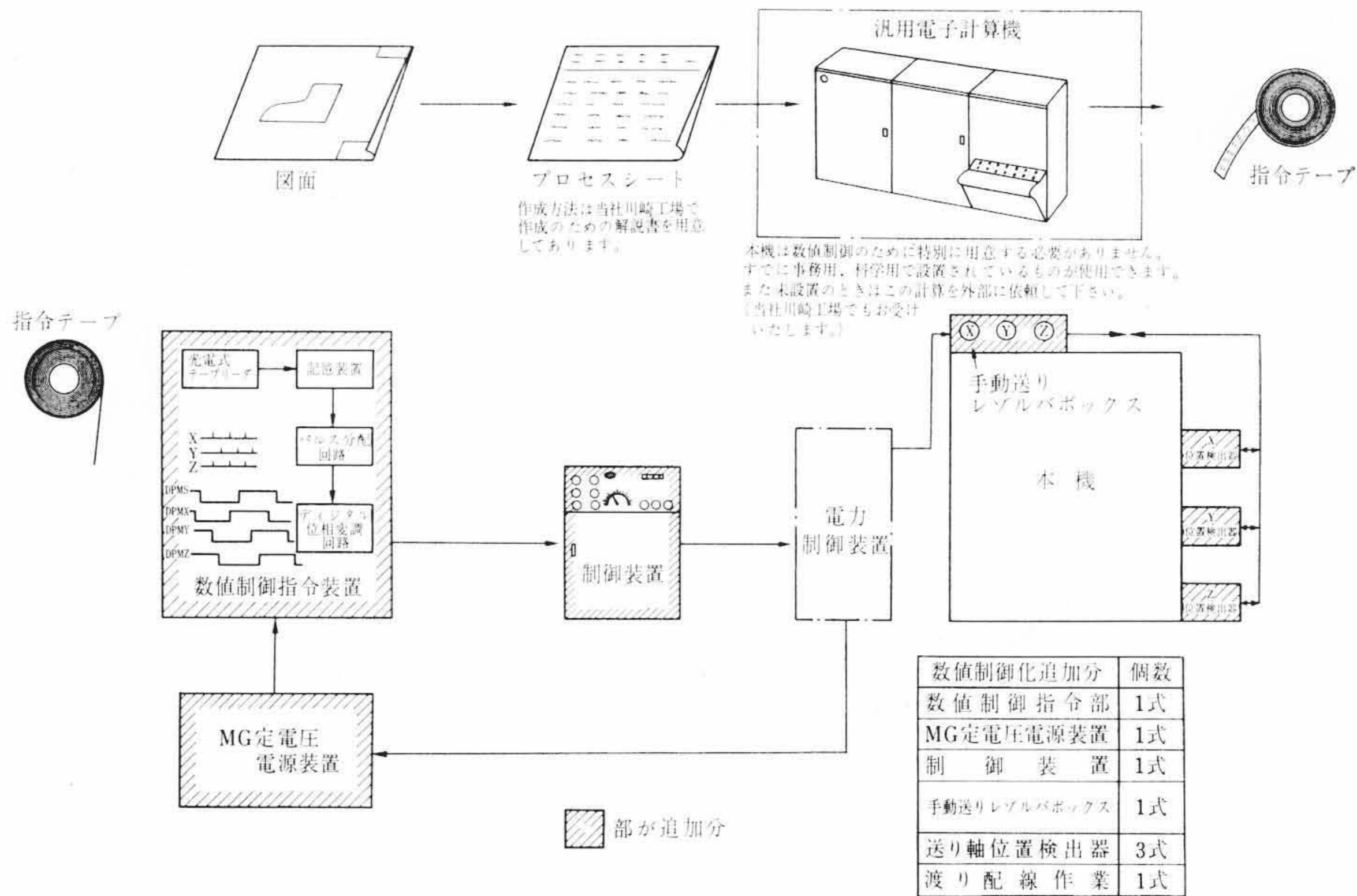
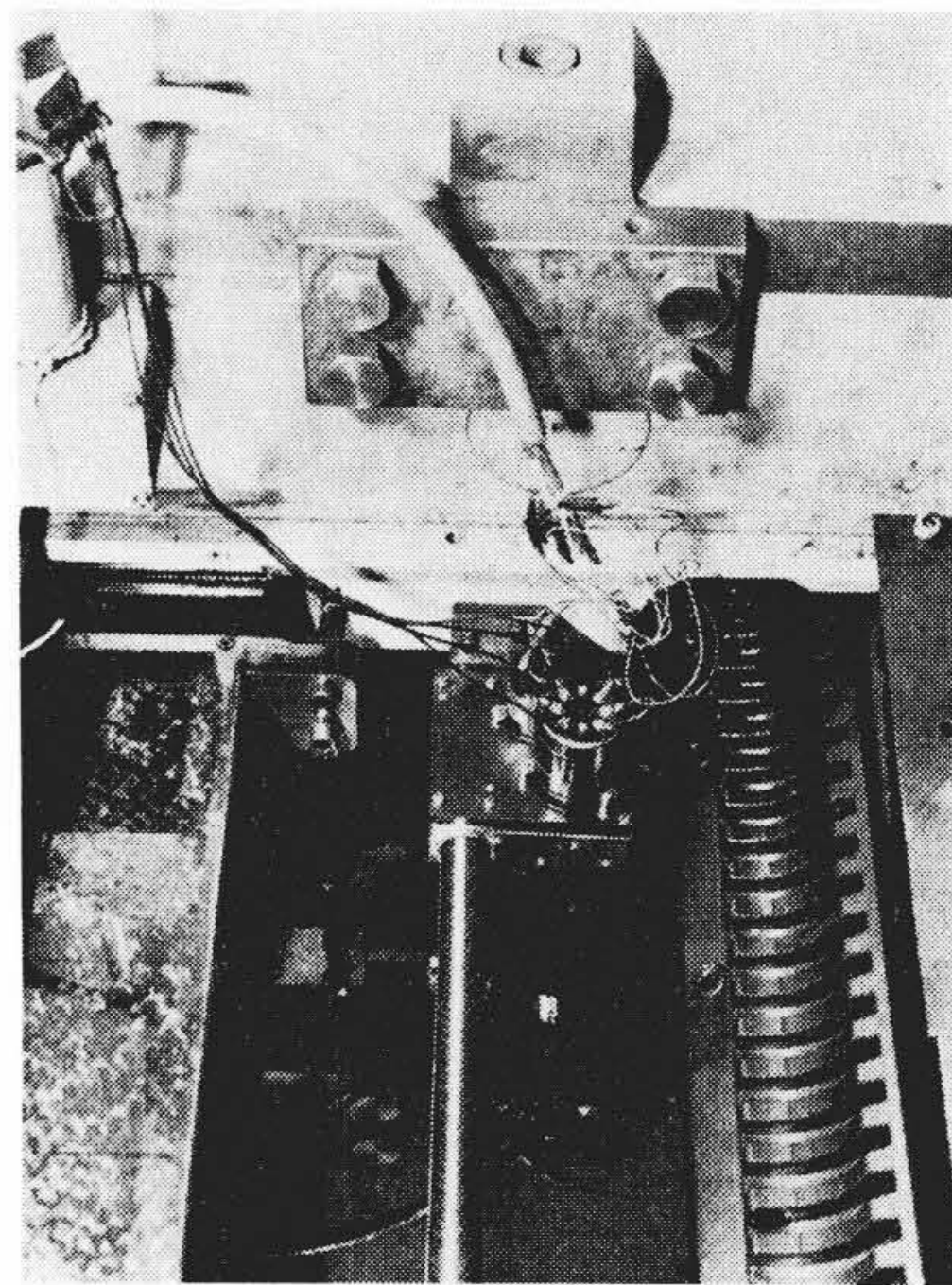


図18 NC付床上形フライス盤の系統図



(コラム左右送り軸の場合)

図19 NC付床上形フライス盤の位置検出器

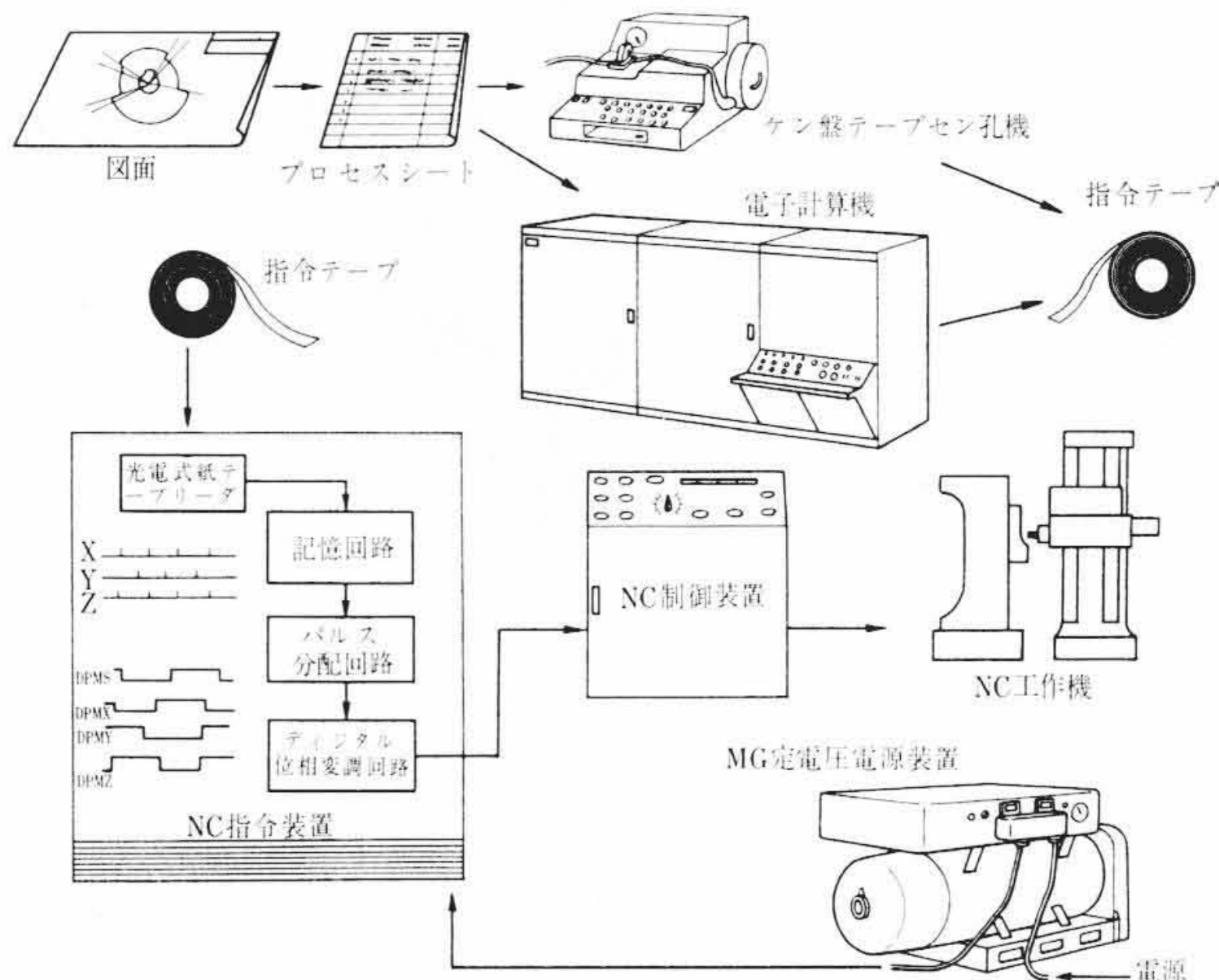


図20 NC床上形フライス盤のシステム

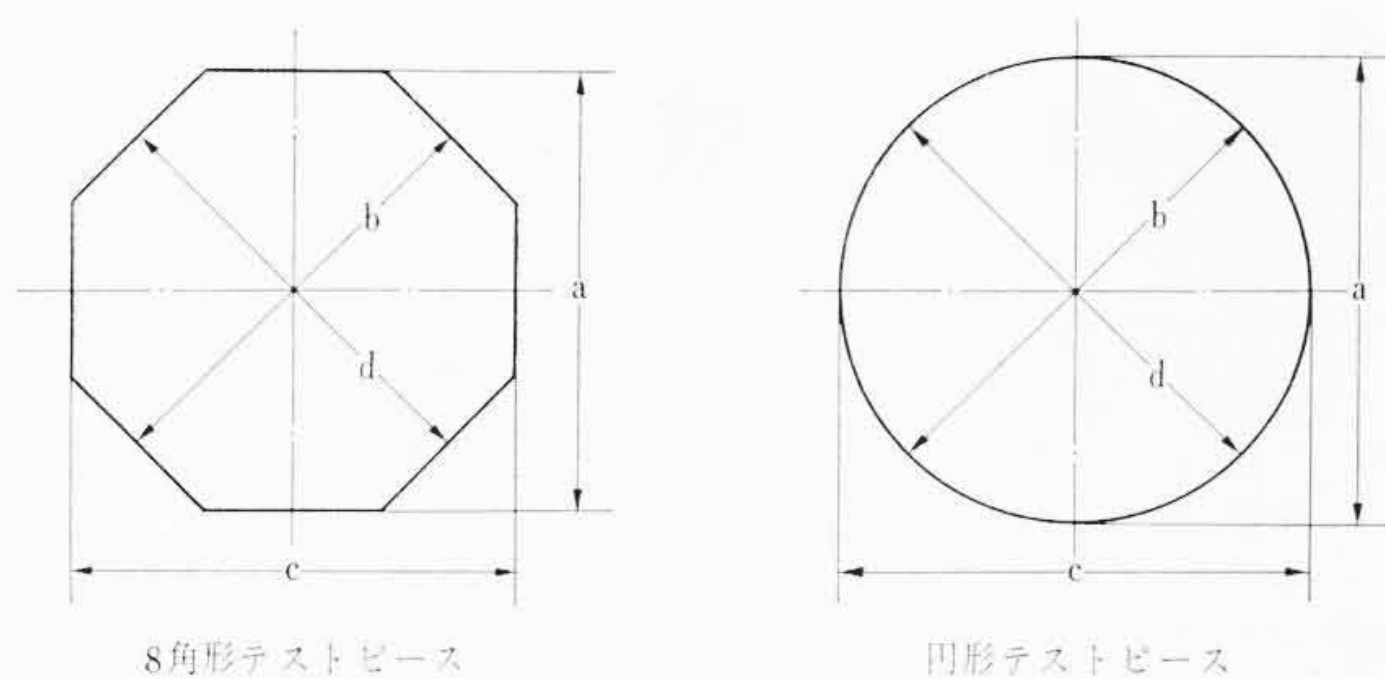


図 21 NC 切削試験用テストピース形状

制御指令装置 HIDAM 8060」に説明してあるのでここでは省略する。

6.2 NC による切削実例

NC 化された本機の使用目的で最も多い作業はプレス型の切削である。この場合に最も重要な作業は NC 指令テープの作成である。

(1) 指令テープの作成

指令テープ作成には図面寸法または測定点をもとにして電子計算機を使用して作成する。この場合の電子計算機の処理プログラムが重要である。この NC 自動プログラムにはすでに世に知られている APT 方式 (Automatically Programmed Tools) がある。

しかしこれは大形電子計算機を使用する必要がある (メモリ 32 kW 以上), 他方国内ではまだこのような大形電子計算機の使用が容易でないという事情もあって (普及されていないため), APT はほとんど利用されていない。そこでわれわれは独自で開発した日立製作所の NC 自動プログラムを使用している。この自動プログラムはメモリ 8 kW 以上の電子計算機であれば使用できる。

今回の切削試験においてもわれわれの開発した自動プログラムを使用して指令テープを作成した。

なお自動プログラムにはたとえば円と直線より形成された 2 次元形状の切削用のもの, または任意の曲線導関数で与えられたデータを処理して切削用指令テープを作成するものなど, 種々の内容があるが, 本プログラムにおいては特に注目すべき内容は自動車のプレス型を切削するために, その入力データは X, Y, Z の点群であり, これを処理して 3 次元切削用指令テープを作成するプログラムである。今回は紙面の都合上その詳細は省略するが, 手順はつぎの三つに分けられている。

(i) 入力データ

測定機によってモデルを測定した X, Y, Z の座標値の点群

(ii) スムース化

モデルの製作誤差と測定の誤差により, X, Y, Z の点群はそれをそのまま結ぶと面がうねる恐れがある。

そこでこれをなめらかにするように電子計算機により, ある一定のルールを決めてスムース化する (これを Fairing と称している)。

(iii) 3 次元切削テープの作成

スムース化の結果は, 修正された X, Y, Z の座標値とその点

表 5 切削条件

(a)	テストピース材質	FC20
(b)	カッタ	38φ 高速度鋼エンドミル
(c)	カッタ回転数	210 rpm
(d)	送り速度	150 mm/min
(e)	切込	カッタ軸方向 5 mm カッタ半径方向 3 mm

表 6 テストピースの加工精度の一例

テストピース形状	測定箇所	呼び寸法	実測値	誤差
8 角形	a	156.15	156.15	0
	b	156.15	156.30	+0.15
	c	156.15	156.15	0
	d	156.15	156.04	-0.11
円形	a	176.15	176.26	+0.11
	b	176.15	176.23	+0.08
	c	176.15	176.10	-0.05
	d	176.15	176.02	-0.13

における Tangent Vector が求められ, これを使用して 3 次元切削用テープを電子計算機により作成する。

本機による切削試験ではこの点群処理プログラムを使用して実際に自動車のプレス型の加工も実施した。

(2) 切削試験

切削試験は, 加工精度の確認を主体として正 8 角形と円を切削した。

テストピース形状を図 21 に示す。切削条件は表 5 に示すとおりである。その加工寸法精度はマイクロメータで測定し, 表 6 のようになる。

なおこのほかわれわれは実際に自動車の部品を前述したように点群 → Fairing → 3 次元切削 NC 指令テープ作成という過程によって指令テープを作成し, 本機により 1~2 の例題の切削試験を完了し, 好成績を納めている。

7. 結 言

以上は日立ならいフライス盤のならい動作原理と, それを応用した床上形ならいフライス盤の構成と特長および切削能力につき紹介し, 最後に本機を NC 化した場合の構成とその切削試験結果について述べた。

自動車産業をはじめとして今後はますます型加工の高能率化, 高精度化が要求される。このような時期にならいと数値制御を共用した日立床上形フライス盤の出現は精度の向上, 能率の増進に寄与するところ大であると信ずる。

参 考 文 献

- (1) 植, 力石: 機械と工具 1964 年 9 月
- (2) 尾塔, 仲瀬, 安藤, 関: 日立評論 47, 1554 (昭 40-9)
- (3) 片桐, 植, : 機械設計 9, 10