

数値制御工作機械のプログラミングについて

Programming for Numerically Controlled Machine Tools

片 桐 貞 一* 東 芳 宏*

Teiichi Katagiri Yoshihiro Higashi

内 容 梗 概

日立数値制御工作機械は昭和32年頃より開発に着手され、すでに川崎航空機株式会社をはじめとして、相当台数が実用操業にはいっている。最近になって数値制御工作機械のメリットがようやくわが国においても認められてきており、今後、従来の工作機械に代わって数値制御工作機械の需要が増加すると予想される。したがって数値制御工作機械のソフトウェア（計算機のプログラムによる情報処理）を開発して、実用の便宜をはかることが必要になってきた。ここに述べる数値制御工作機械のプログラミング方式は実際問題に直面した経験を生かして完成したものである。現在はこのプログラミング方式でテープサービスを行っており実用に供している。

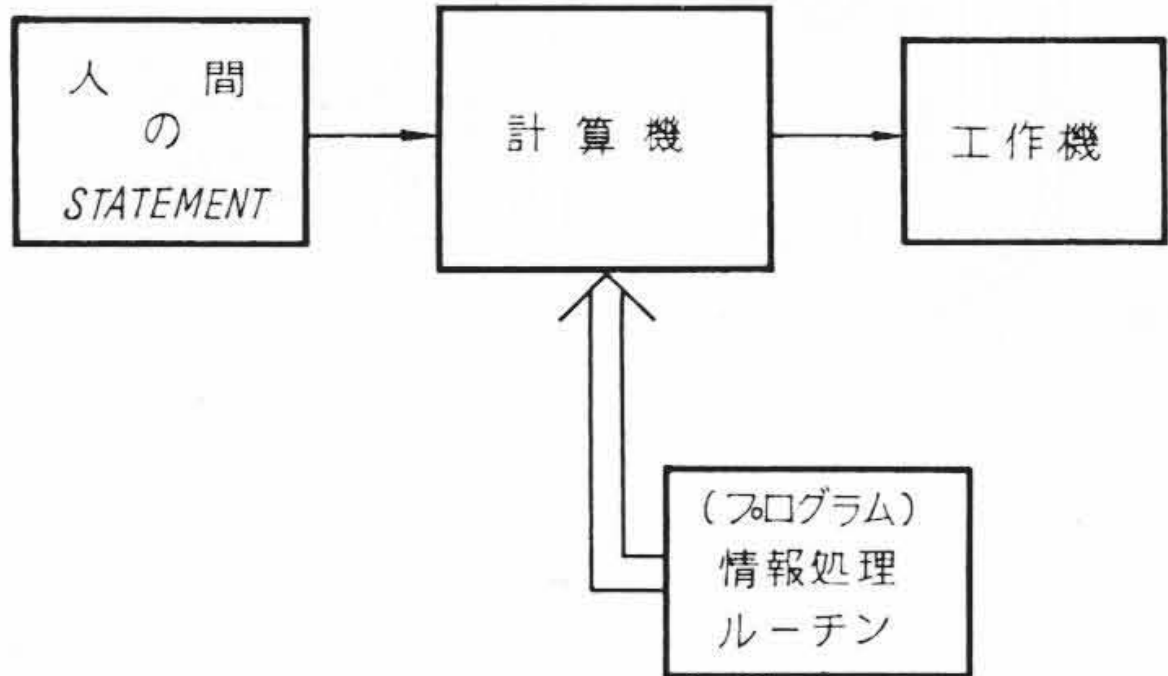
1. 緒 言

数値制御工作機械で部品を切削する場合、加工に必要な情報、つまり加工部品の形状、カッタ送り速度、カッタ径などの切削諸元をなんらかの形で人間が表現しなければならない。日立製作所の数値制御方式はこの情報を計算機に処理させ、工作機械に指令すべきカッタ中心移動量、あるいは送り速度からきまる移動に要する時間などを紙テープにパンチアウトし、次に紙テープの内容をいったん磁気テープに位相変調して記録し、これによって切削を行なうものである。数値制御工作機械のプログラミング方式を確立するためにはまず第一に加工に必要な情報を表現する言葉（Statement—これは人間が直接使用するのであるから人間の言葉に近いことが望ましい）を決定することと、第二にその言葉を計算機で処理させるための処理ルーチンを作成することの二つが必要である。言葉（Statement）は計算機にかけられると、処理ルーチンが働いて言葉は解読されて工作機械の解読できる言葉つまりカッタ中心の動く量、動くに要する時間などに変換され、これに基づいて工作機械は所要の形状を加工することになる。つまり計算機は人間の言葉を工作機械に通訳していることになる。言葉を用いて切削諸元を記述することをプロセスシートの作成にしているが、このプロセスシートの作成が実用上便宜かつできるだけ容易なものであることが望ましい。日立製作所では加工部品の形状、送りなど切削に必要な情報を簡単な英語の略語を用いて表現することにし、種々の操作に対応して約30種類の言葉を作成し実用に供している。

2. 数値制御方式の概要と数値制御プログラミング

ここでは加工図面から数値制御工作機械で加工品が切削されるまでの全体のプロセスの概要を説明する。

まず与えられた加工図面をもとにして、材質などを考慮して送り、カッタ径、切込量などを決めるいわゆるマシニングプランがなされる。マシニングプランによって決まった切削に必要な情報すな



第1図 計算機の情報処理

* 日立製作所川崎工場

わち図面の形状、カッタ径、送りなどはシートに記入される。このシートを加工のプロセスを表わすものという意味でプロセスシートといっている。このプロセスシートは計算センタに送られると、計算機は所要のカッタ中心移動量、送り時間などを計算し、紙テープにパンチアウトする。日立製作所では、紙テープを録音機によって位相変調した指令信号として磁気テープに記録しこの磁気テープを現場に供給して数値制御工作機械を動かす方式を採用している。

3. プロセスシート作成用語

3.1 用語作成に考慮すべき点

前述したように加工に必要な情報を表現する言葉を決定することがまず第一である。この言葉は簡単明瞭でしかも融通性のあるものでなければならない。融通性のない言葉を用いると種々の加工部の形状を表現するのに無数の言葉を用意しなければならないことになるからである。どういう形式の言葉(用語)を使用するかは実にそのプログラム方式の特色を決定するものであって慎重を要するものであり、言葉の作成に当たっては必要とする言葉を種々の加工図面について広く検討して決めなければならない。

3.2 加工図面の検討

(1) 直線と円弧の組合せでできているもの(第3図)

この種の形状は一番よく見られる。図中の50Rの円の中心は図面には記入してないから、計算機で計算しなければならない。

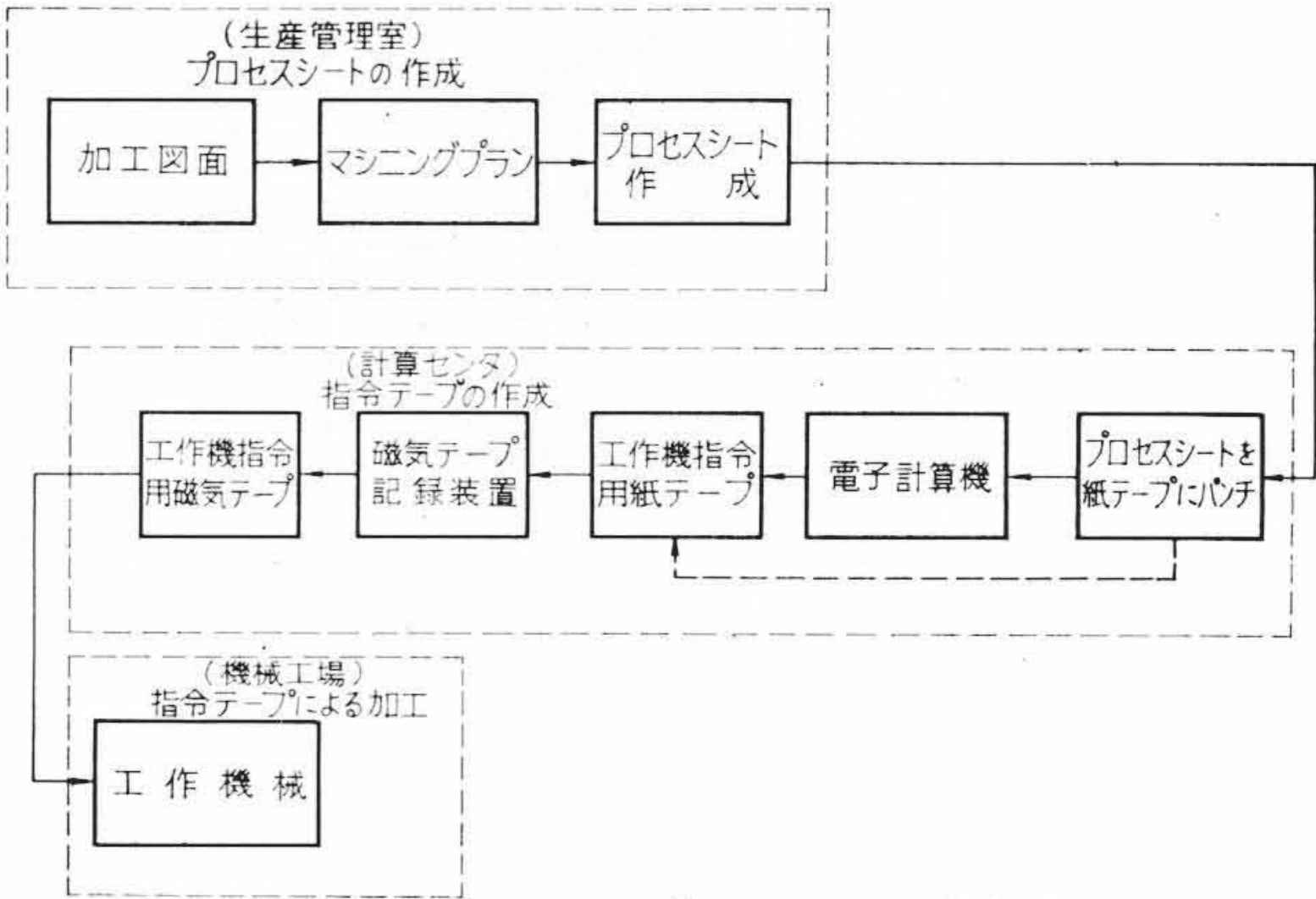
(2) 点群で表わされているもの(第4図左)

翼形などのように点群をなめらかに結んだ形状を切削したい場合がこれである。

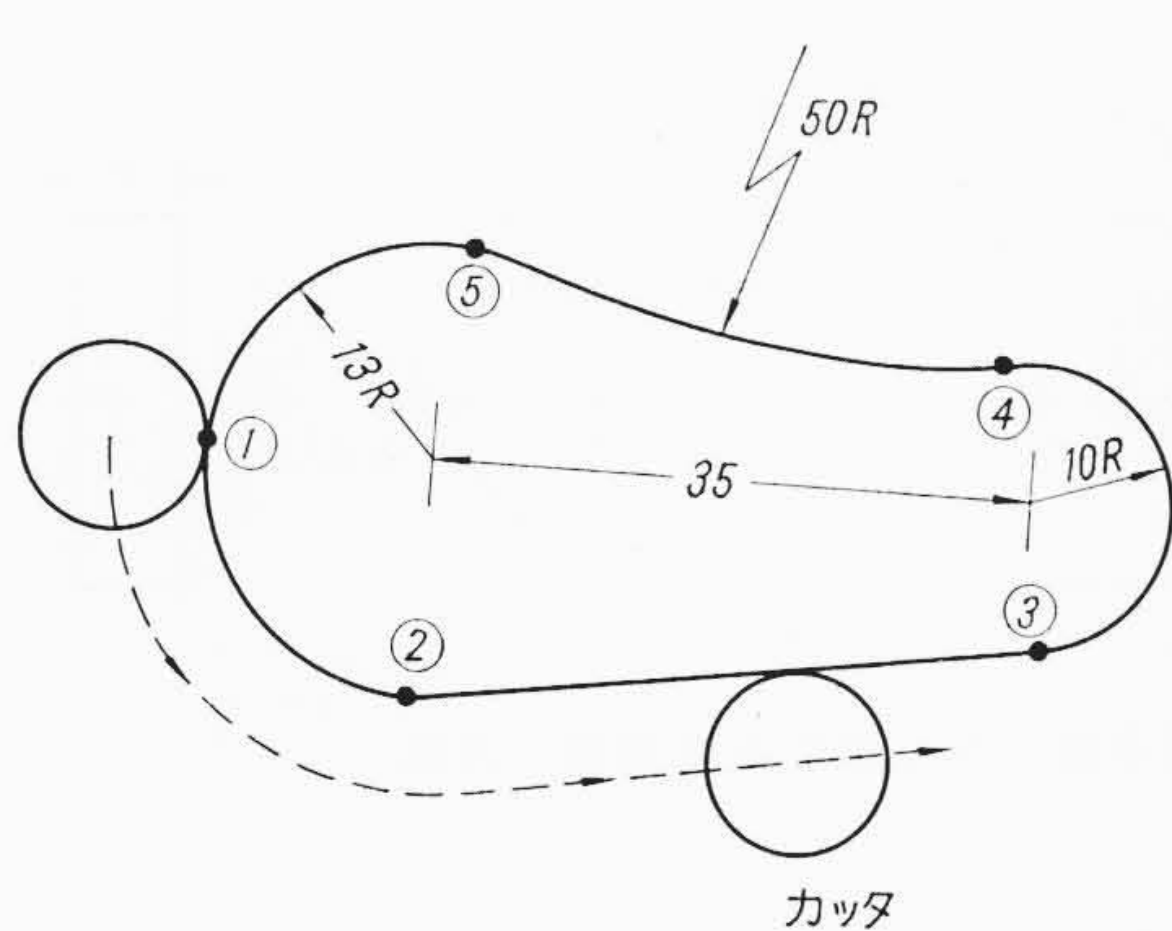
(3) 方程式で与えられている場合(第4図右)

3.3 用語の決定

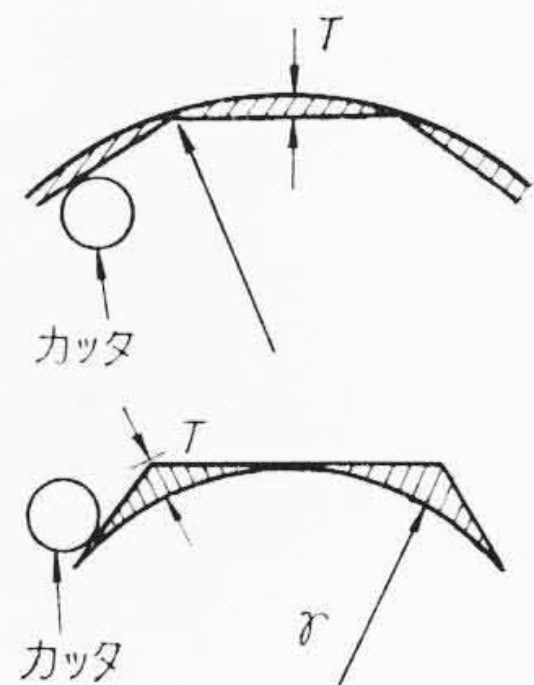
筆者らは加工図面は上の三つのパターンに分類できると思ったの



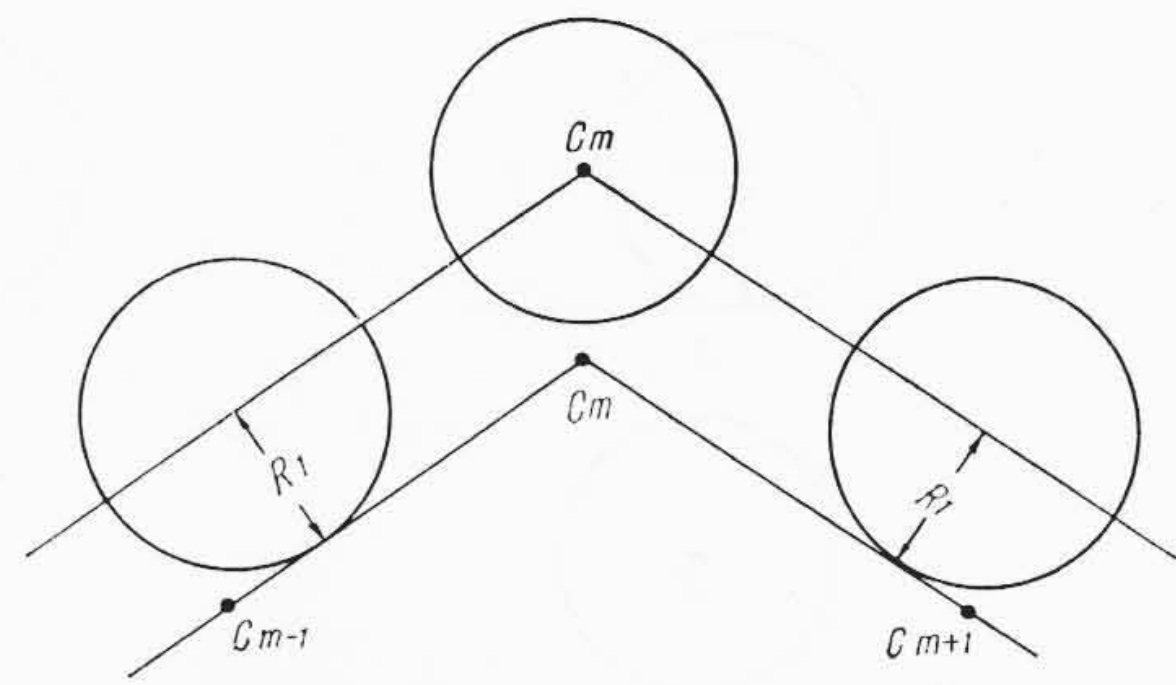
第2図 日立数値制御方式系統図



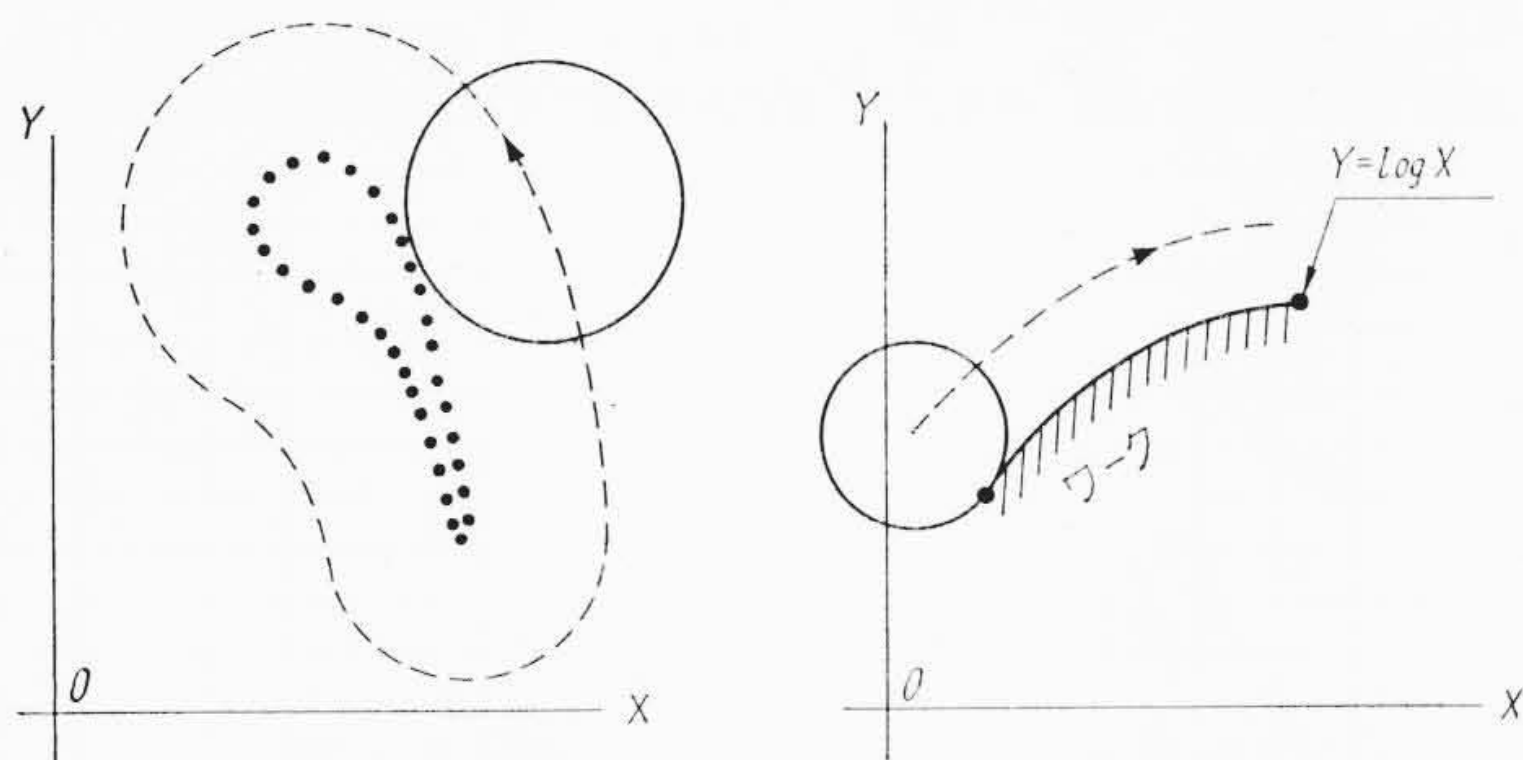
第3図 直線と円弧の組合せでできている加工品



第5図 円弧分割
(両図において斜線部分がいずれも切り残し部分である)



第6図 カッタ中心移動量



(左) 点群で表わされている加工品
(右) 方程式で表わされている加工品

第4図 点群および方程式で与えられた加工品

でその各々に属する図面を分析しその加工に必要と思われる必要最小限の用語 30 余を決定し、この 30 余の用語を用いてプロセスシートを作成することにした。

4. 情報処理ルーチン

さてプロセスシートに記入された用語は計算機にかけられその用語の意味が解読され、必要な計算を行ないカッタ中心の移動量および移動時間などをパンチアウトする。日立製作所ではこの計算機として汎用の HITAC 301 を使用している。したがって汎用電子計算機 (General Purpose Computer) で数値制御工作機械の情報処理に使用するための処理ルーチンを作成することが必要である。日立製作所ではこの処理ルーチンを約 1,800 記憶容量 (Words Memory) を用いて完成している。

4.1 電子計算機の計算内容

電子計算機のおもな計算内容は次の三つである。

(1) 円弧分割

現在日立製作所で製作している数値制御工作機械はテーブルが回転しないので、円弧の切削はテーブルの前後左右運動で近似している。そのために円弧を第5図の許容誤差 t を満足するように分割し多数の短い線分で近似している。

(2) 接点および円弧の中心を求めること

円弧と直線、円弧と円弧の接点を計算することもたびたび必要となる。また中心が与えられていない円弧ではその中心座標を計算する必要がある。かくして、すべての図形は直線と中心座標と半径の決まった円弧との組み合わせで表現される。第3図の例でいえば円弧と直線の接点②③、円弧と円弧の接点④⑤、与えられていない半径 $50R$ の円弧の中心座標を計算する。

(3) カッタの移動量および移動時間の算出

数値制御工作機械を動かすに必要な指令はカッタ移動量および移動に要する時間である。ところでカッタ中心はワークよりカッタ半径だけオフセットされた点を動かさなければならない。前述の

ように円弧は直線で近似されるのであらゆる図形は線分からできているからカッタ中心は相交る二つの線分に平行でカッタ半径だけ離れた2線分の交点(第6図の C_m) から交点へと移動させなければならない。また移動に要する時間 t は移動量を L とすると

$$t = \frac{L}{V} \times 60 \text{ 秒(s)}$$

で与えられる。ここで V は送り速度 (mm/min)。

4.2 処理ルーチン作成上とくに考慮したこと

(1) 円弧の弦近似と接線近似

円弧を線分で近似する場合に、弦近似(第5図の上)と接線近似(第5図の下)の2通りがある。線分の分割数を多くすれば両者の差は小さくなるが、分割数を大きくすると計算機使用時間が長くなり費用が大きくなる。一般に部品を切削する場合、荒加工、仕上加工の二段に分けて行なわれる。特に荒加工では t を大きくとってもよいので分割数を小さくするが、これで円弧の外側切削で弦近似を行なうとワークを t だけ切りすぎるので接線近似しなければならない。逆に内側切削では弦近似しなければならない。そこでわれわれは円弧の内側を切削するのか外側で切削するのかを計算機に判断させ、内側切削の場合弦近似、外側切削の場合接線近似を行なっている。これによって切りすぎによるワークの不良をだすことをさけている。

(2) カッタ移動量と二線分の交角

カッタ移動量は前述したようにプロフィールからカッタ半径だけオフセットした二線分の交点から定まる。第7図に示すように二線分の交角を θ とするとき図の $l = r \cot(\theta/2)$ であるから θ が小さくなると二線分の交点 P はワークから著しく離れてしまう。

そこで筆者らは $\theta \geq \pi/2$ に応じた計算機にこの交角が鈍角か鋭角かを判断させ、鋭角の場合は第7図のように P' , Q' 点を求め、カッタ中心が $O \rightarrow P' \rightarrow Q' \rightarrow Q$ の方向に動いて切削するようにした。

(3) 円弧終点の座標の保証

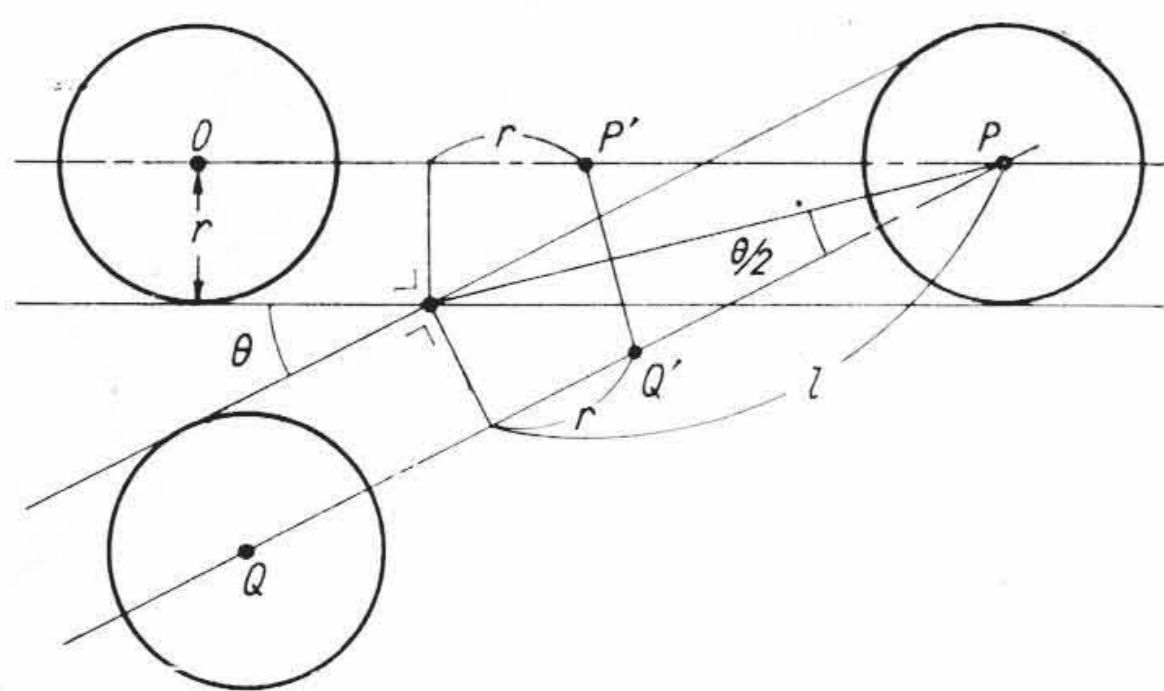
ある円弧を切削する場合、その切削の終点座標をプロセスシート上に数値で与えるがこの数値は有効数字の関係や計算の誤差により正しく円周上に乗っていない場合がある。カッタがその数値をもとにして計算された経路を進んで切削すると、ワークに傷をつけることがある。そこでわれわれは与えられた数値の近傍にある円周上の正確な点を計算機に求めさせ終点座標を正しく円周上におくことによってこの問題を解決している。

(4) プロセスシート作成誤りの検出

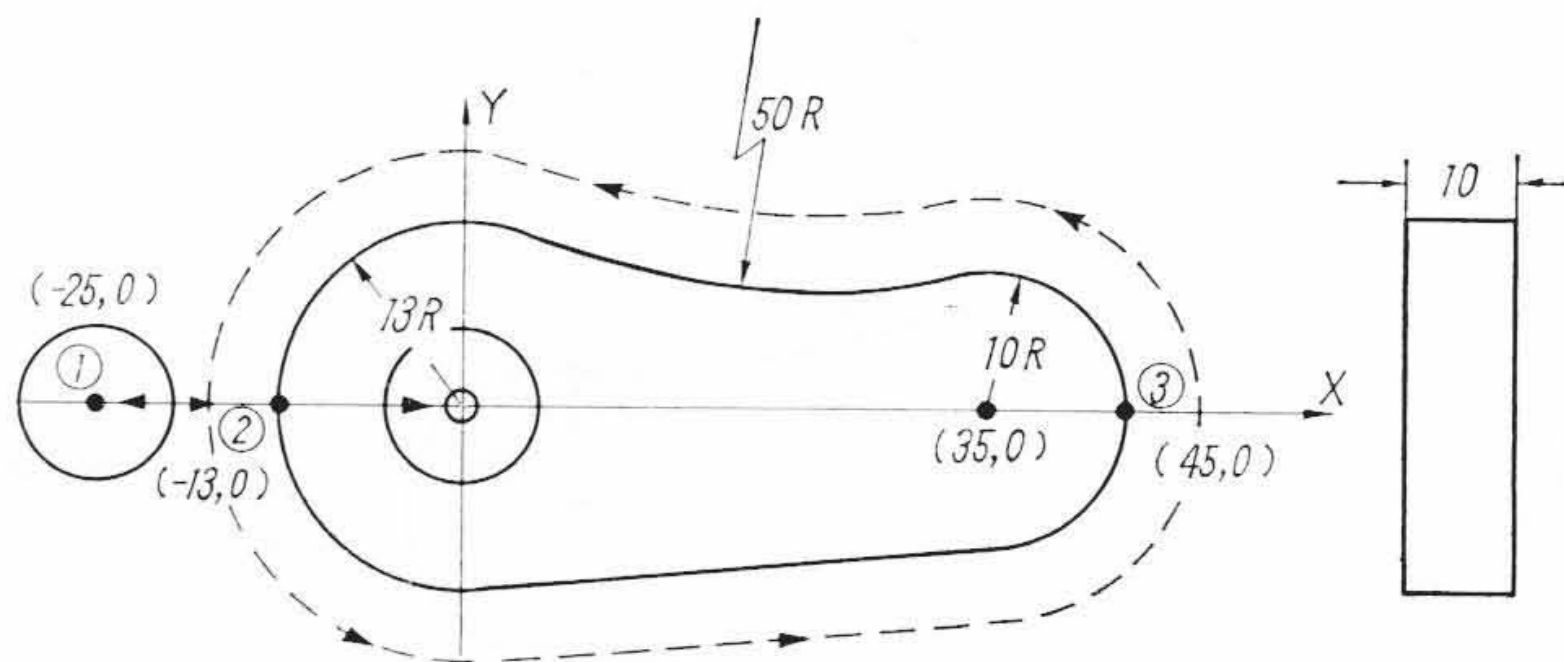
切削諸元を一定の言葉を使ってプロセスシートに記入することは前述したがこの過程において言葉のつづりを誤った場合“Mistake”とプリントさせ計算機を停止 (Halt) させる。

5. プロセスシート作成例

プロセスシートの作成例を第3図の加工図面について説明する。適当な座標軸をとって加工図面の形状を座標値で表わす(第8図参



第 7 図 カッタ中心の軌跡



第 8 図 加工図面を座標値で表現

照)。このプロセスシート記入例を第 9 図に示す。

まず第一行の“TOL 0.01”は円弧を線分で分割する場合円弧と線分の片寄り (Deviation) (第 5 図の t) を 0.01 以内にとる。

次に“DIA”はカッタ径を意味しその右の 10R と記入したのは 10φ で切削にあたってカッタ中心がワークの右 (Right) 側にあることを示す。

“STP”は出発点 (Start Point) の略で、その右の座標値 (0, 0, 10) によって出発点は原点上 10 mm にあることを示す。

“FEED”は送り速度 (Feed Rate) の略で送りを 500 mm/min にすることを示す。

次の“DRIFT 25-0”はカッタ中心を点 (-25, 0) へ移動させるための言葉である。負の符号は数値の後に書く。このときの送りは前の FEED で 500 mm/min と定義されている。

“PLUNGE”は切り込みを示す言葉でその右の 20 によって 20mm 切り込むことになる。

次の“FEED 100”で送りを 500mm/min より切削送り 100mm/min におとす。

“START 13-, 0”によって切削開始点は点 (-13, 0) であることを示す。

次の“CLC”によって点②から点③ (45, 0) まで円弧 (C) → 直線 (L) → 円弧 (C) に沿って切削する。最初の円の中心座標、半径、および最後の円の中心、半径はプロセスシートの円の中心座標、円の半径の欄に記入する。円の半径の右の“CC”は円弧切削方向は反時計方向 (Counter Clockwise) であることを示す。切削方向が時計方向の場合は“CW”で示す。

次の“CCC”は③点から②点までは三つの円弧からできているので“CCC”という言葉を用いてある。まず中心 (35, 0) 半径 10 の円弧を反時計方向に切削し、次に半径 50 の円弧を時計方向に切削し、最後に中心 (0, 0) 半径 13 の円弧を反時計方向に切削して点②にくる。“CCC”の右の U は半径 50 の円弧の中心は最初の円弧の中心と最後の円弧の中心を結ぶ線上の上側 (Upper Side) にあることを示す。以下同様にして最後の“END”によって切削は完了したことを意味し、工作機械を止める信号を紙テープにパンチアウトするとともに計算機の計算を停止させる。

われわれはこのように切削に必要なデータを記号化してプロセスシートに記入する。これらの記号は計算機にかけられ数値制御工作

HIDAM

プロセスシート

御依頼	名称	例題	テープ番号	御依頼先	作成	審査	承認	受付	日付	日付	日付	頁
③ 工場 部 課	図番	材料		日付	署名			署名		署名		1/1

プログラム点	命令	終点座標 (その他)										送り速度	円の中心座標		円の半径	CW	許容誤差	工具径	R																			
		X (R)	Y (θ)	Z									X ₀ (R ₀)	Y ₀ (θ ₀)																								
1	TOL	11	12	14	15	19	20	22	23	27	28	30	31	35	36	39	40	41	43	44	48	49	51	52	56	57	59	60	64	65	66	67	71	72	74	75	78	79
	DIA																																					
0	STP	0																																				
	FEED																																					
5	1	DRIFT	25	-																																		
	PLUNGE																																					
	FEED																																					
	2	START	13	-																																		
	3	CLC	45																																			
10	2	CCC	U																																			
			13	-																																		
15		FEED																																				
	1	DRIFT	25	-																																		
		RAISE																																				
	0	DRIFT	0																																			
		END																																				
20																																						

Hitachi, Ltd.

第 9 図 プ ロ セ ス シ ー ト

機械の感知できる量に変換される。計算機という通訳を通してわれわれの意志を言葉に表現して数値制御工作機械を動かしていることになる。この意味で数値制御 (Numerical Control) というかわりに記号化制御 (Symbolic Control) といってもさしつかえない。

われわれが作成してすでに実際作業に使用されている 30 余のプロセスシート作成用語の各々についての説明は紙面の関係上割愛する。

6. 結 言

以上数値制御工作機のプログラミングについて日立製作所的方式を説明した。日立製作所では、電子計算機、工作機の両者をいっしょにまとめ、電気と機械とを統合した総合技術を生かして本形式の数値制御工作機械を完成し、現在すでに、川崎航空機株式会社をはじめ日立製作所内において実用に供し、100 種以上の部品を加工しており、さらにその数は増加している。

今後、プログラミングはもちろん、機械本体についても研究を重ね性能の向上を図っていきたい。

終わりに本プログラムシステムの完成に協力して下さった日本ビジネスコンサルタント株式会社本間主任および日立製作所神奈川工場浦城氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) Automatic Programming of Numerically Controlled machine Tools-Interim Engineering Report 6873-IR-3 for Period January 1, 1957 to March 31, 1957