

機械製造業におけるパソコンを利用した自動生産システムの開発 (第2報)

小林 政義, 多田 達実, 酒井 昌宏

Development of Automatic Manufacturing System with Personal Computer in Mechanical Manufacturing Industry (Part II)

Masayoshi KOBAYASHI, Tatsumi TADA,
Masahiro SAKAI

抄 録

本研究では、機械工場の生産技術と競争力の向上を目指して、受注・見積・加工・納品までの時間短縮を主眼とした自動生産システムの開発を行った。本システムの概要は、発注者側で作成したCADデータをパソコン通信で受注者側に送り、受注者側はCADデータを基にパソコンを用いて、見積、NCプログラム作成、加工シミュレーションを行った後に実際の加工を行い、加工終了後、納品する。受注から納品までの過程で作成されたデータは再発注に備えて、作業ファイルとして保存される。本システムは、基本的にはCADデータを基にしているが、見積、NCプログラム作成は作業者がパソコンと対話形式に必要なデータを入力して使用することもできる。

1. はじめに

道内の機械製造業においては、独自の製品を製造販売している企業は少なく、ユーザからの受注を基本とする受注機械加工業が主である。またその特質として、機械加工専業ではあるが、より細分化した専業ではなく、ある受注量を確保するため、加工作業の種類を限定せず、比較的広範囲な加工組立作業を行っている点にある。すなわち受注量にたいして、1企業あたりが保有している生産設備が多量であり、また取り扱う情報量の多様性が道内の機械製造業の特質でもある。このため土地の広さといまわって多面的設備の導入、治工具の多様性、多量の素材の蓄積などが投資効果の低下を招く要因となっている。

このような環境下で道内の機械製造業が健全に発展していくためには、これらの欠点を補いながら、高品質、低価格、短納期を実現する生産技術を獲得しなければな

らない。

本研究はこれらの問題意識の基に、道内の機械製造業、特に中小企業の生産技術の高度化を目的としたものであり、受注、見積、加工、納品の時間的短縮を主眼としたパソコンによる生産準備作業の合理化を可能とする自動生産システムの開発を行った。

2. 本システムの全体の概要

通常、企業間で行われている発注から受注、加工、納品までの一般的な流れは次の通りである。

- ① 発注側から引合いとして図面がファックス、郵送などで受注側に送られてくる。
- ② 受注側では、その図面をもとに費用、納期の見積りを行い、発注側に返答する。
- ③ 発注側が見積結果に満足すれば正式な発注となるが、図面の変更などにより、この作業が何回か繰り返

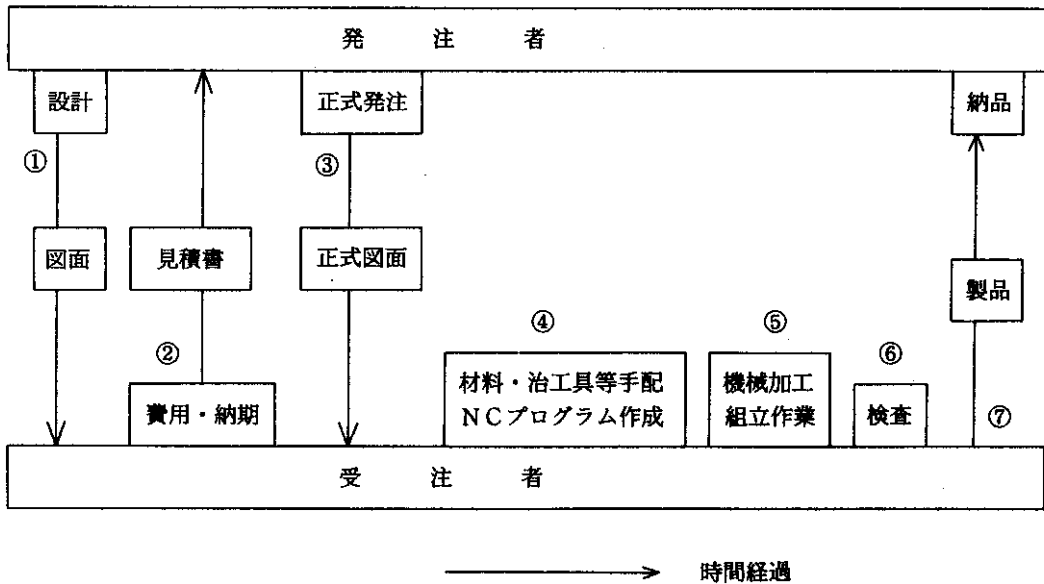


図1 発注から受注、納品までの流れ図

返されて正式な発注となる場合が生じる。

- ④ 受注側では正式な受注後、材料、治工具の手配、NCプログラム作成などを行う。
- ⑤ 加工の準備が整った後に機械加工、組立作業を行う。
- ⑥ 加工終了後、検査などを行う。
- ⑦ できあがった製品を納品する。受注から納品までの過程で作られた図面、作業データなどを再発注に備えて保管する。

この発注から受注、納品までの流れを図1に示す。

道内の中小企業の生産形態は不特定品種の少量生産が多く、そのため受注から納品までの過程で非加工時間(生産準備作業時間)の占める割合が非常に高いのが現状である。従って、この生産準備作業の合理化は、道内の中小企業の生産性の向上に大きく貢献するものと考えられる。

生産準備作業の中でも図1の①から④までは加工準備作業と呼ばれている。本研究ではパソコンを利用した加工準備作業の自動化システムを開発し、道内企業の素早い対応、納期短縮による競争力の強化・生産性の向上を図った。

近年、設計製図作業にCADシステムを利用する企業が急速に増えてきている。

本研究で開発したシステムは、図1の①で発注者側がCADシステムを用いて作成したCADデータをパソコン通信で受注者側に送り、②の受注者側が見積を行い、

その結果を返答する。図面変更、再見積などを経て正式な受注後、受注者側はCADデータを基にNCプログラムを作成する。また加工を始める前にCADシステムを用いて加工シミュレーションを行い、工作物、取り付け治具と工具の干渉チェックを行う。加工終了後、CADデータ、見積、NCデータなどを再発注に備えてデータファイルに保管する。なお本研究では、CADデータを基に使用するシステムのほかに、CADデータを利用しないで、利用者がデータをパソコンに対話形式で入力して使用できるスタンドアロンタイプのシステムも開発した。

3. 加工見積システムの開発

見積を行うためには製造原価を算出しなければならない。製造原価とは、原材料を加工して製品を得るために要した支出の総合計額であり、材料費と加工費とからなる。加工費を見積することは、作業の工数を見積ることになるから、加工見積は工数見積とも呼ばれる。

本研究では機械加工部品の中でも製作数が多く、種類も豊富なシャフト加工の自動見積システムを開発した。本システムはCADデータを基にしたものではなく、見積をする人が図面を見ながらシャフトの全長、最大径などのデータをパソコンに対話形式で入力して見積を行うものである。

3.1 入力項目と工数計算

本システムで、シャフト加工の工数見積を行うために計算される加工工程は、表1に示される12種類である。シャフト加工の全工数は、この12種類の加工工程のそれぞれの工数の総和で求められる。各加工工程における工数は段取り時間 (set up times) と主体作業時間 (task times) の和で求められる。段取り時間をSU, 主体作業時間をTTとすると、工数 (ST) は次式で表される。

$$ST = SU + TT$$

主体作業時間TTは、文献¹⁾に報告されている標準作業データTT₁をデータベースにして、そのTT₁に後述する材質係数(K), 長さ安定係数(K₀)などを乗じて求められる。

表1 機械加工の工程の種類

工 程	工 程
1 外径旋削	7 ネジ切り
2 溝加工	8 軸端加工
3 取り付け替え回数	9 中ぐり
4 キー溝加工	10 研削
5 キリ穴加工	11 突っ切り
6 スプライン加工	12 スタッドネジ切り

3.1.1 入力項目

工数見積を行うための入力データの項目数は、表2に示される17項目であり、データの入力時のテレビ画面を図2に示す。見積を行う場合は、この17項目のうち全長, 最大径, 段数, 材質の4項目は必ず入力しなければならない。その他の項目はシャフトに加工対象箇所があった場合に入力する。

表2 入力データ

1	全長	10	スプライン
2	最大径	11	おネジ, めネジ
3	段数	12	軸端加工
4	材質	13	中ぐり
5	溝加工	14	研削
6	取り付け替え回数	15	突っ切り
7	ロット数	16	スタッドネジ切り
8	キー溝	17	工作機械
9	キリ穴		

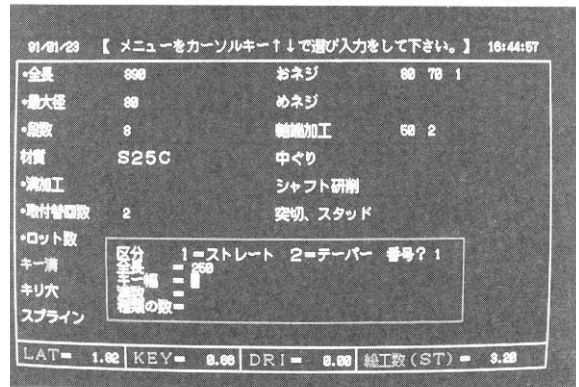


図2 データ入力時のメニュー画面

(1) 全長 (L)

シャフトの全長

(2) 最大径 (D)

シャフトの最大径

シャフトの全長と長さは、長さ安定係数に係わる。長さ安定係数とは、シャフトの全長とシャフトの最大径の比(L/D)に対する係数をいう。L/D値が大きくなるほど加工が困難になり切削工数は長くなる。本システムの長さ安定係数(K₀)を表3に示す。

表3 長さ安定係数

長さ安定係数 (K ₀)					
L/D	5>	5≤	10≤	15≤	20≤
K	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5

(3) 段数

軸端から最初の段を1段と数え、次の段を2段と順次数える。図3のシャフトは4段である。一般的に段数が増えると軸径も太くなって工数が長くなるので軸径係数

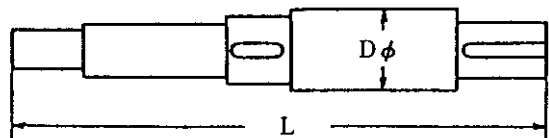


図3 シャフトの段数(4段)

表4 軸径係数

軸径係数 (K ₁)						
軸径	80以下	100	120	140	160	180
係数	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2

表 5 段数係数

		段数係数 (K ₂)						
段数	4以下	5,6	7,8	9,10	11,12	13,14	15以上	
係数	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.6	

(K₁), 段数係数 (K₂) を考慮した。軸径係数を表 4, 段数係数を表 5 に示す。

(4) 材質

加工が困難な材質は工数が長くなる。本システムは S S 材, S30C を標準として表 6 に示す 4 種類の材質係数 (K) を用いた。

表 6 材質係数

	材 質	係数值
1	S25C~S40C, SS系	1.0
2	S45C~S55C	1.3
3	NiCr	2.0
4	SUS系, SCM系	2.5

(5) 溝加工

溝部分の加工で外径の溝は一箇所につき 1 分, 内径の溝は 1.5 分とした。

(6) 取り付け替え回数

センターもみ, キー溝加工などのシャフトの取り付け替え(セット替え)の工数で, シャフトの長さに応じたデータとなっている。

(7) ロット数

汎用工作機械で加工する場合は, 加工個数(ロット数)が多くなるに従って加工に習熟し 1 個あたりの工数が短くなる。本システムは, 量産係数 (K₃) を用いた。

(8) キー溝

キー溝はストレートキーとテーパキーの 2 種類用意し, キー幅に応じたデータとなっている。キー溝の段取り時間 (SU) は従来の段取り時間以外にキー溝ケガキ時間を含めた。

(9) キリ穴

キリ穴の直径と深さで工数が求められる。キリ穴はドリル, タップ, リーマ加工の 3 種類あり, タップ加工はドリル加工の 2 倍, リーマ加工は 3 倍として計算される。段取り時間 (SU) は 18 分と定めているが, ケガキを要する場合は 30 分とした。

(10) スプライン

スプラインの工数は, 長さ 1,000mm につき 1 分とした。

(11) おネジ

ネジの径によってネジ切り用データベースから算出する。ネジの形状は標準ネジと台形ネジの 2 種類用意されており, 台形ネジは標準ネジの 3 倍の工数として計算される。ネジの加工は複雑であり, ネジの加工箇所によっても加工の難易度が異なる。従って, 本システムは難易度係数を入力することができるようになっている(指定のない時は自動的に 1 に設定される)。

(12) めネジ

めネジ工数の計算方法は, おネジと同じで, おネジの時の 1.5 倍として算出される。

(13) 軸端加工

シャフトの端の部分の加工で, 軸端加工を選択するとテレビ画面上に図 4 の 6 種類のパターンが表示される。この中から目的のパターンを選びデータを入力する。図 4 の番号 1 はセンターもみ, 2 は端面インロー加工, 3~6 は小物角フライス加工である。

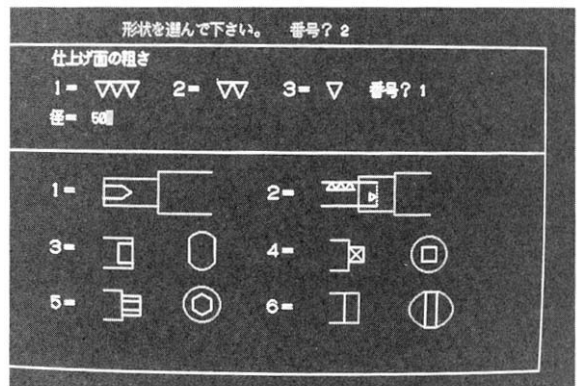


図 4 軸端加工のデータ入力

(14) シャフト研削

研削盤による研削加工で, 工数は研削部分の直径と長さからデータベースより算出される。

(15) 突っ切り

旋盤による突っ切り加工で, 工数は軸径からデータベースより算出される。

(16) スタッドネジ

シャフトの両端部の長いネジ切りで, 直径と長さからデータベースより算出される。

(17) 工作機械

旋盤は汎用旋盤とNC旋盤の2種類選択できる。シャフトのフライス盤と研削盤による加工は、比較的簡単な形状の加工なので汎用機を使用するものとして計算される。

3.1.2 工数計算

前述したように各工程の工数は、段取り時間 (SU) と主体作業時間 (TT) の和で求められる。

汎用旋盤による外径旋削工数 (ST₁) は次式で求まる。

SU と TT₁ は文献¹⁾ の標準作業データを用いた。

$$ST_1 = SU \cdot K_3 + TT_1 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K$$

中ぐり加工の主体作業時間は外径加工の主体作業時間を1.5倍したものであり、段取り時間は外径加工の場合と同じである。内径側のネジ切り、溝加工などは同じく外径側の主体作業時間を1.5倍したものである。

3.1.3 補正係数

実際に見積を行うにあたって、加工の実態は企業によって、また工作機械の性能、作業者の熟練度などによって異なると考えられる。本システムは各工程の工数計算に補正係数を用いて、この問題の解決を図った。補正係数はスタンダードファイルとユーザーズファイルの2種類のファイルが用意されている。スタンダードファイル

の係数は全部1で固定されており変更できないが、ユーザーズファイルは任意に変更することができる。

3.2 工数見積試験

本研究で開発したシステムを用いて、図5に示される形状のシャフトの工数見積試験を行った。試験に用いたシャフトの材質はS45Cであり、使用した工作機械はNC旋盤である。

3.3 試験結果

見積試験結果を表7に示す。見積試験では、段取り時間の合計が37分55秒、主体作業時間の合計が6分6秒となった。実際の加工試験結果は、段取り時間が12分、主体作業時間が5分45秒となった。

この結果、主体作業時間は誤差が21秒(6%)と良い結果を得ることが確認されたが、段取り時間は誤差が25分55秒(214%)と大きな違いを生じた。

この原因は、本見積システムは段取りとして治工具がセットされていないものとして計算されており、今回の試験では治工具がセットされており短時間で段取り、取り付け替えが行われたからである。

本システムの開発により、未熟練者でもシャフトの見積が可能となった。また今まで経験と感に頼って行われ

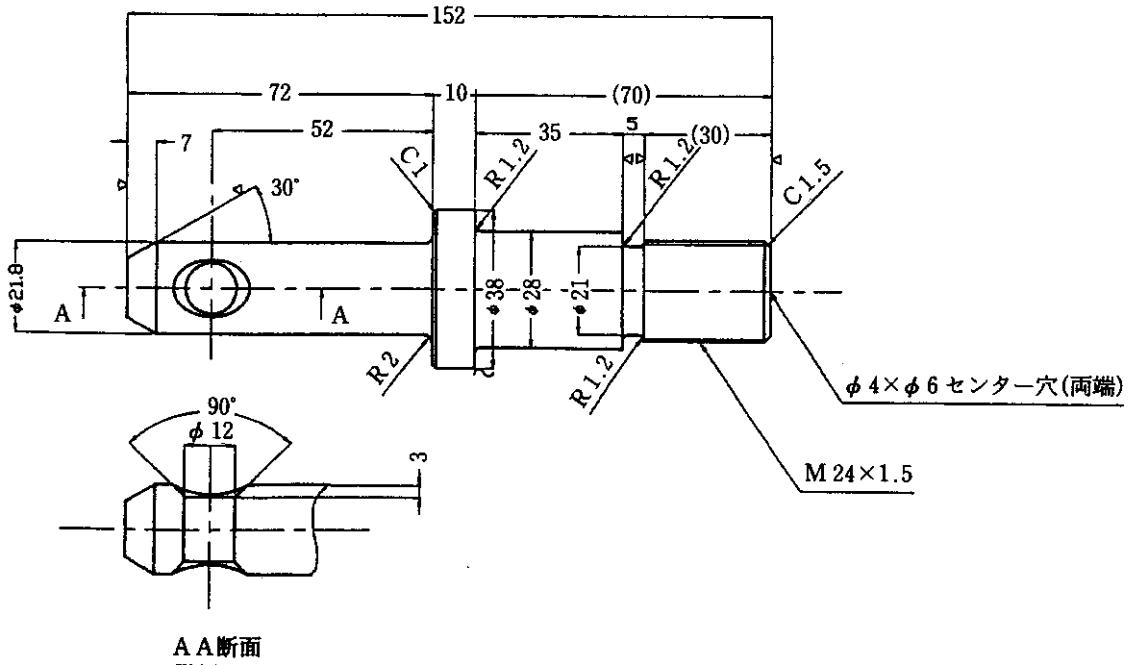


図5 工数見積試験用シャフト形状

表7 見積試験結果

	段取り時間	主体作業時間
外径旋削工数	24分	1分48秒
溝加工工数		60秒
取り付け替え時間	6分43秒	
軸端加工工数	7分12秒	1分12秒
おネジ加工工数		1分12秒
キリ穴加工工数		54秒
総工数	37分55秒	6分 6秒

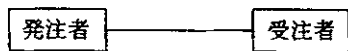
ていた見積作業を論理的に解析し、自動化することが可能となった。

4. CADデータ交換試験とCADデータを基にしたNCプログラミングシステムの開発

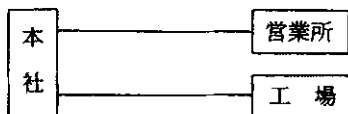
4.1 CADデータ交換試験

近年、コンピュータの発達に伴いCADシステムの機能向上、低価格化が進み、道内の企業においてもパソコンCADを中心としたCADシステムの普及が著しい。CADシステムは多くのメーカーが開発、販売しており、道内にも多種類のCADシステムが普及している。このCADシステムを有効に活用していくためには、異なるCADシステム間の図面データの共通化、パソコン通信を利用した企業間のネットワーク化が必要である。図6にパソコン通信を利用したCAD/CAMシステムの活用例

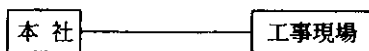
(1) 加工の発注と受注



(2) 本社と営業所、工場



(3) 土木、建築などの現場と本社



(4) 設計データからNC加工データ作成



図6 パソコン通信を利用したCADシステムの活用例

を示した。

CADシステムのデータ交換用中間ファイルとして代表的なものにIGES、DXFファイルフォーマットがある。IGESファイルは歴史的にも古く、多くのCADシステムで利用されているが、データ量が多く比較的大型のCADシステムに適している。DXFファイルはパソコンCAD用に開発されたファイル形式で、最近のパソコンCADシステムに多く利用されている。

前年度はパソコン通信のNTT PCネットワークを利用して、IGESファイルを用いてMICRO CADAMとAUTO CADシステムのデータ交換試験を行い、MICRO CADAMからAUTO CADへの、楕円データの交換が不可能であることを報告した。その原因はMICRO CADAMの楕円データは中心座標、長軸、短軸であり、AUTO CADは16個の円弧近似データと、両システム間で異なっていたからである。

本年度はMICRO CADAMからAUTO CADへの、楕円データのデータ交換を図った。図7は今回開発した楕円を円弧近似で行う手法である。楕円は長軸と短軸を半径とする2円と中心を通る直線との2つの交点から、それぞれ垂線を引いた交点の軌跡である。そこで次に述べる手法で楕円の円弧近似を行った。

- ① 長軸、短軸を半径とする2円と90°を4分割する直線L1、L2、L3との交点から、それぞれ垂直におろした直線の交点C、D、Eを求める。

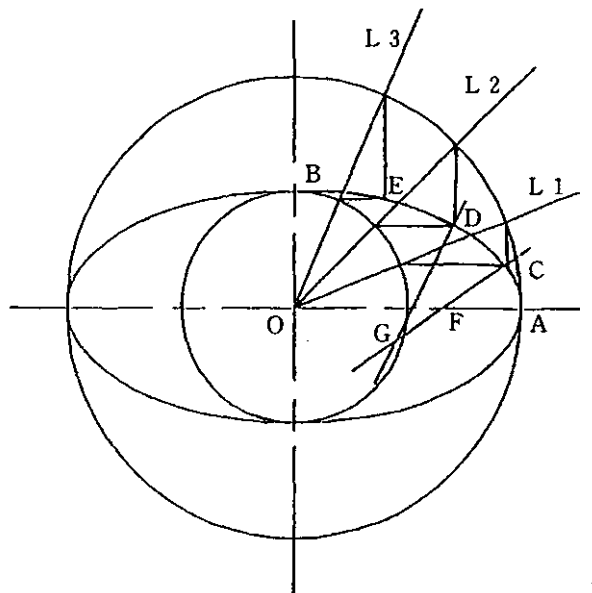


図7 だ円の円弧近似

- ② CD間の円弧を例にとると、点Cにおいて、楕円と接する直線と垂直に交わる直線(CG)を求める。点Dにおいても同じように直線(DG)を求める。
- ③ この2直線の交点Gを求め、線分CG、DGの長さの平均値を求める。
- ④ 点C、点Dを中心とし、前項で求めた平均値を半径とする2円の交点を求め、その交点の中で楕円の中心点Oに近い方の点が求める円弧の中心点であり、前項で求めた平均値が円弧の半径となる。
- ⑤ 同様の方法で順次、円弧の中心点と半径を計算して、楕円の円弧近似を行う。

この方法により、楕円の円弧近似試験を行い、良好な結果を得た。本試験の結果、MICROCADAMとAUTO CADシステム間のデータ交換が可能となった。

4.2 CADデータを基にしたNCプログラミングシステムの開発

前年度までにパソコンを利用したNCフライス盤、NC旋盤用自動プログラミングシステムを開発した。このシステムはパソコンと対話形式で図形データを入力して、NCプログラムを作成するものである。

本年度はパソコンCADシステムのCADデータを基にした、NC旋盤用プログラミングシステムを開発した。CADデータは、パソコンCADシステムのデータ交換用ファイルとして普及しているDXFファイルを用いた。

本システムは、AUTOCADシステムで作成した図面のDXFファイルのデータを読み込み、前年度に作成したNC旋盤用自動プログラミングシステム用のデータに変換した後、NCプログラムを作成するものである。

4.2.1 DXFファイルの構造

DXFファイルはASCIIテキストファイルであり、次の4つのセクションで構成される。

- (1) HEADER (見出し) セクション
図面の全般的な情報が入っている。
- (2) TABLES (テーブル) セクション
LTYPE (線種) ,LAYER (画層) ,STYLE (字体) , VIEW (視点) の4つのテーブルで構成される。
- (3) BLOCKS (複合図形) セクション
複合図形定義のデータが入っている。
- (4) ENTITIES (データ) セクション
図形、文字などのデータが入っている。

4.2.2 NCプログラム作成システム

図8に本システムの流れ図を示す。NC旋盤用自動プログラミングシステムは、図形の大きさに応じて表示画面の表示範囲を変えているので、HEADERセクションから図面範囲データを取り込む。TABLESセクションからは図形データに必要な線種、画層データを取り込む。ENTITIESセクションから線分、点、円、円弧、ポリラインのデータを取り込み、NC自動プログラミングシステムのデータ構造に変換した後、NCプログラムを作成する。

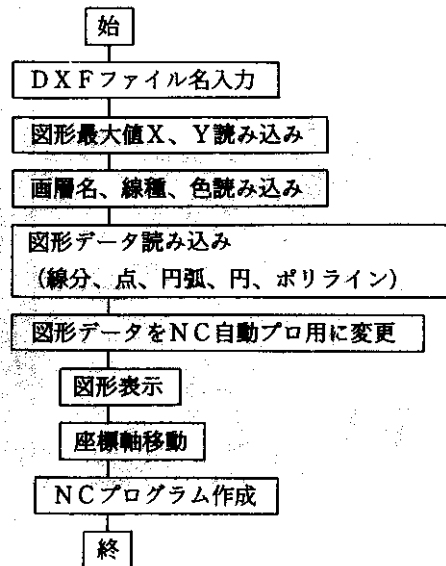


図8 DXFファイルからNCプログラム作成システムの流れ図

4.2.3 加工試験

AUTO CADシステムで作成したシャフトの画面を図9に示す。図9のDXFファイルを読み込み、座標軸を移動した後の画面を図10に、NC旋盤用自動プログラミングシステムでNCプログラムを作成した画面を図11に示す。

NC旋盤による加工の様子を図11に、フライス盤による穴加工後の製品を図12に示す。本試験のDXFファイル読み込み、NCプログラム作成に約5分要した。

4.2.4 結果

CADデータを利用することにより、NCプログラム作成に要する労力の軽減と時間の短縮、データ入力ミスの防止が図られた。DXFファイルを利用することにより、AUTO CADシステムだけでなく、他のCADシステム

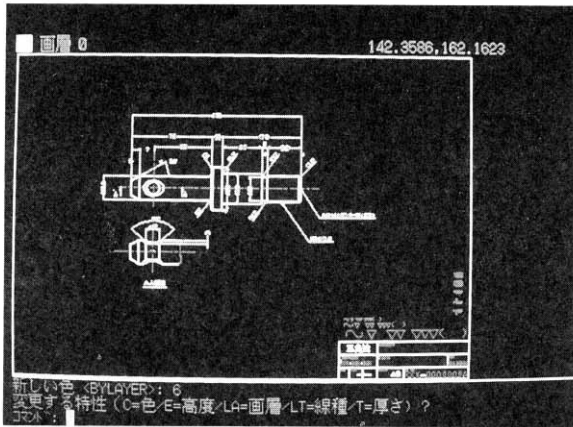


図9 AUTO CAD システムで作成したシャフトの画面

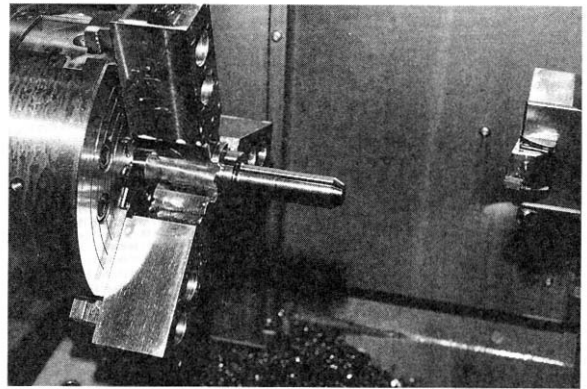


図12 シャフトのNC旋盤加工

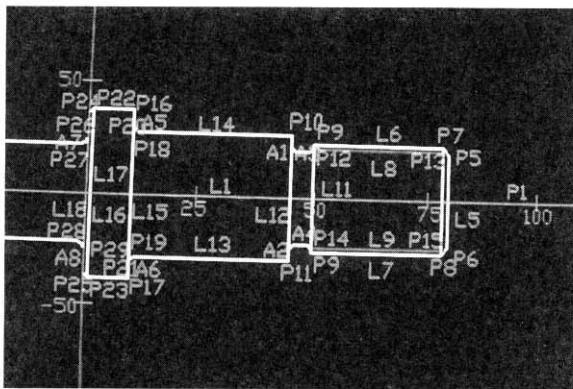


図10 NC旋盤用自動プログラミングシステムの画面

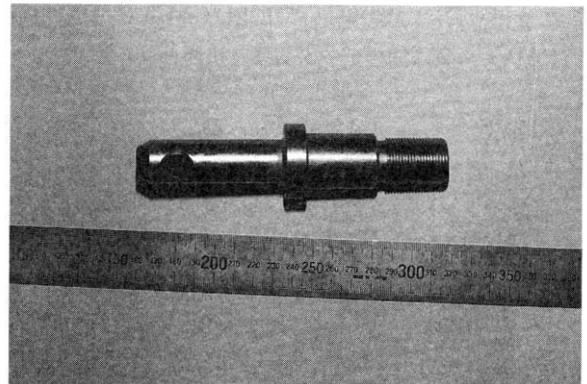


図13 加工終了後の製品

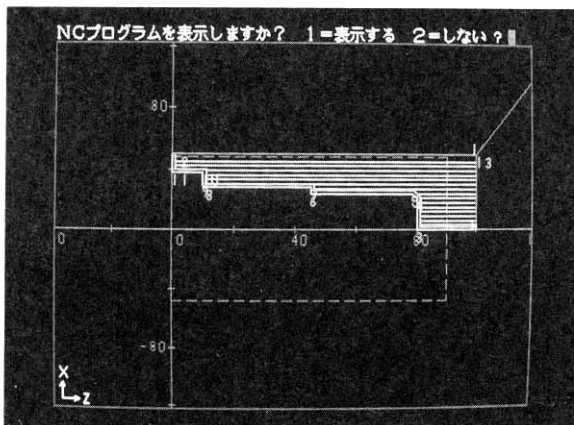


図11 NC自動プログラミング

のデータを利用した NC プログラム作成が可能となった。

5. まとめ

本年度はパソコンと対話形式による自動加工見積システム、CAD データを基にした材料見積、NC プログラム作成システムの開発を行った。また前年度の CAD データ交換試験でデータ交換が不可能であった、楕円形状のデータ交換を可能にした。

本年度の研究結果を下記に示す。

(1) 機械加工部品のなかで製作数の多いシャフトの自動加工見積システムを開発し、加工時間算出に良い結果が得られたが、作業準備時間の算出に大きな誤差がでた。この原因は治工具の設定状態が、その時によって異なっているからであり、今後治工具を含めた段取り状態の解析を行う予定である。

(2) Auto CAD システムの DXF ファイルから NC プログラムを作成するシステムを開発した。その結果、短時間で正確に NC プログラムの作成が可能となった。

(3) その他の CAD システムの DXF ファイルを調査し

た結果、異なる CAD システム間の DXF ファイルの互換性がとられていないことが判明した。今後は独自にデータ交換用中間ファイルを開発し、この問題の解決を図る予定である。

(4) Auto CAD と MICRO CADAM システムの IGES ファイルのデータ交換で、交換が不可能であった楕円が交換可能となり、両システム間のデータ交換が可能となった。

引用文献

- 1) 土屋 哲：現場での機械工作見積法,1989
- 2) 小野 茂：加工コスト見積技術,1988
- 3) 戸根木光次：工程設計・工数見積の自動化,1986
- 4) 小林,多田：機械製造業におけるパソコンを利用した自動生産システムの開発,1990