

パソコンを用いた CAD/CAM システム用 ライブラリの開発

川 島 豪

Development of Library for CAD/CAM System
with Personal Computer

Takeshi KAWASHIMA

Abstract

It is difficult to add original functions to a general CAD/CAM system for the softwares that are not opened to the public. Therefore, an original CAD/CAM system must be developed to use the accumulated knowhow in the company to the full. But a development of original CAD/CAM system costs a great deal. When utility programs and subroutines of general functions used in many CAD/CAM systems are offered as a library, the development will be easy. And the expenses can be cut down by using a personal computer, which has enough memory and enough calculation speed for CAD/CAM systems. In this study, subroutines for drawing symbols based on the standard, a NC simulator to check a cutter path of NC program, a program to generate a NC tape by sending the NC program in a personal computer to a tape puncher, and a database of cutting conditions for machine tools were developed as the library for the CAD/CAM system with a personal computer. In addition, using these programs, a plate cam CAD/CAM system was composed, and plate cams were manufactured by NC tapes generated in the CAD/CAM system. As a result, the utility of the developed programs was confirmed.

1. 緒 論

CAD/CAM システムは、コンピュータの機能を十二分に活用し、設計から生産まで一貫して、製品を高精度かつ能率的に開発するシステムである。開発競争の激しい今日、この CAD/CAM システムは、コスト低減や開発期間の短縮など企業が抱えている諸問題を解決する有力なツールとして注目を集めている。

しかし、現在市販されている CAD/CAM システムは、ソフトウェアの基本機能がブラックボックス化されており、機能の追加、拡張が困難である。したがって、CAD/CAM システムを購入した企業は、システムを改造することができず、企業に蓄えられているノウハウを生かすことができない。一方、企業のノウハウを生かすために CAD/CAM システムを独自に開発する場合には、非常に多くの人材と長い時間が必要とな

り、大きな経済的負担を覚悟しなければならない。これらの理由により、大型コンピュータを持ち、独自の CAD/CAM システムを開発する経済力のある大企業への CAD/CAM システムの導入は進んでいるが、経済的に苦しい立場にある中小、零細企業への CAD/CAM システムの導入はあまり進んでいない。

この経済的負担の大部分はソフトウェアの開発費で占められる。そこで、システムを構築する際に必要となる機能のうち少なくとも汎用性のある機能が汎用プログラム（ユーティリティプログラム）やサブルーチンなどの形で提供されるならば、企業のノウハウをソフトウェアに組み入れることに集中でき、独自の CAD/CAM システムを楽に自社で開発できるようになる。さらに、これらのプログラムが技術者に馴染み深い言語で書かれていれば、各自が使いやすいように自由に改造したり、コピーして類似のプログラムを作り出すことができる。しかしこのような汎用プログラムやサブルーチン群は、ごく限られた分野のものしか

提供されておらず^{1),2)}、解析、設計、製図から生産まで CAD/CAM システムの一貫性を考慮して提供されたものはない。

また、最近の IC 技術のめざましい進歩により、価格が安く会話形式で手軽に扱えるパーソナルコンピュータ（パソコン）でも、大容量の記憶装置や処理能力の高い CPU が備えられ、パソコンによる CAD/CAM システムが実現可能となってきた。

そこで本研究では、この低価格のパソコンを用いて企業のノウハウを生かした独自の CAD/CAM システムを自社開発する際に有用な汎用プログラムやサブルーチン群を集めたライブラリを開発する。さらに、開発されたプログラムを用いてばねで拘束された平端従動子用板カムの CAD/CAM システムを構築し、マシニングセンタによる実際のカムの加工を通してその有用性を確認する。

2. システム構成

CAD/CAM システムにおけるハードウェアは、図 1 に示すように、日本国内において最も普及している NEC の PC98 シリーズのパソコンに、プリンタ、プロッタ、およびパンチャーを接続して構成した。図 1 は左から順にプロッタ、パソコン、プリンタ、そしてパンチャーである。

パソコンは、16 ビットの CPU を持ち、1M バイトタイプのディスクドライブを 2 台有するものを使用した。これにシステムの応答時間を短縮するために、記憶装置の一種である RAM ディスクを取り付けた。この RAM ディスクは必ずしも必要ではないが、大きなデータベースを使用する CAD/CAM システムの場合には、大容量の記憶装置であるハードディスクが必要となる。

設計計算した結果を出力するプリンタと製図した図面を出力するプロッタは、セントロニクス社の仕様に基づいた 8 ビットパラレルインターフェースでパソコンと接続し、切り換え器を用いて使い分けた。また、機械工場内にある NC 工作機械とパソコンをオンラインで接続するにはしっかりしたノイズ対策が必要となるため、NC 工作機械を制御する NC プログラムは紙テープを使用して伝達することにした。ISO 規格に基づいて送られてきた 8 ビットコードの NC プログラムを紙テープに穿孔するパンチャーは、RS-232C 規格に基づいたシリアルインターフェースによりパソコン

と接続した。NC 工作機械には、図 2 に示すような、FANUC 社の制御装置を持つ立型マシニングセンタを使用した。

CAD/CAM システムにおけるソフトウェアは、技術者が一般に最も慣れ親しんでいる Fortran 言語を用いて書くことにし、各企業において自由に改造できるようにした。コンパイラおよびリンカとしては、Fortran77 の規格に準拠し、PC98 シリーズのパソコン上で走る Pro-Fortran77 を使用した。この Pro-Fortran77 は、Pro-Graph をリンクすることにより CAD/CAM システムの構築に必要なグラフィック命令を使用することができるようになる。Pro-Graph によりサポートされるグラフィック命令は CAD/CAM において比較的広く普及している Calcomp 系の命令である。ただし、現状ではプロッタにより作画命令が異なるため、Pro-Graph によりサポートされていないプロッタを使用する場合にはプロッタに合わせて作画命令を変更するサブルーチンを追加する必要がある。今回使用したプロッタは、パソコン用として最も一般的な A3 サイズのもので、Pro-Graph によりサポートされているものである。

また、NC 工作機械を制御する NC プログラム用の命令には NC 制御装置や工作機械に依存したものもあるが、できるかぎり JIS 規格 (JISB6311-6314) に準拠している命令を使用してプログラミングするようにした。

3. 製図記号用サブルーチン群

CAD/CAM システムにおいて、CAD (Computer Aided Design; 計算機援用設計) システムは大きく 2 つのシステムに分けることができる。一つは仕様書などにより要求された事項を満たすよう形状を決定し、強度を確認し、システムの中で確実に作動をするかシミュレーションなどにより調べる設計システムと、もう一つは設計された結果を図面に表す製図システムである。

設計システムは設計対象により内容が大きく異なり、企業のノウハウを生かさなければならない部分なので、各々の CAD/CAM システムにおいて独自に構築する必要がある。しかし、規格化されている製図記号を用いる製図システムでは、製図する際に必要となる製図記号を規格に基づいてサブルーチン化し、ライブラリとして登録しておくことにより、CAD/CAM シ

システムの構築を容易にすることができる。そこで、次に示す18種類の製図記号用サブルーチン群を開発した。

○寸法記号(縦方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標を入力すると、縦方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法が表示される。

○寸法記号(横方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標を入力すると、横方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法が表示される。

○寸法許容差を含む寸法記号(縦方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標および上下の寸法許容差を入力すると、縦方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法と許容差が表示される。

○寸法許容差を含む寸法記号(横方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標および上下の寸法許容差を入力すると、横方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法と許容差が表示される。

○直径寸法記号(縦方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標を入力すると、縦方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法が直径記号と共に表示される。

○直径寸法記号(横方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標を入力すると、横方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法が直径記号と共に表示される。

○寸法許容差を含む直径寸法記号(縦方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標および上下の寸法許容差を入力すると、縦方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法と許容差が直径記号と共に表示される。

○寸法許容差を含む直径寸法記号(横方向)表示用サブルーチン

2本の寸法補助線の始点と寸法線上の任意の点の計3点の座標および上下の寸法許容差を入力すると、横方向の寸法線とそれに垂直な2本の寸法補助線が引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された寸法と許容差が直径記号と共に表示される。

○中心を通る直径寸法記号表示用サブルーチン

円の中心と寸法線上の任意の点の座標および半径を入力すると、中心を通る寸法線が引かれ、寸法線に沿って計算された寸法が直径記号と共に表示される。

○寸法許容差を含み中心を通る直径寸法記号表示用サブルーチン

円の中心と寸法線上の任意の点の座標、半径および上下の寸法許容差を入力すると、中心を通る寸法線が引かれ、寸法線に沿って計算された寸法と許容差が直径記号と共に表示される。

○半径寸法記号表示用サブルーチン

円の中心と寸法線上の任意の点の座標および半径を入力すると、中心より円弧まで寸法線が引かれ、寸法線に沿って寸法が半径記号と共に表示される。

○角度寸法記号表示用サブルーチン

角度を表示したい2本の寸法補助線の交点(中心点)と各線上の任意の点の計3点の座標および交点から角度寸法線までの距離(半径)を入力すると、2本の寸法補助線と円弧状の角度寸法線が反時計回りに引かれ、寸法線に沿って自動的に計算された角度が表示される。

○面取り寸法記号表示用サブルーチン

面取り前の角の点と寸法線上の任意の点の計2点の

座標および面取り寸法と寸法線を表示する方向を入力すると、面に垂直な方向に寸法線が引かれ、寸法が面取り記号と共に表示される。

○円弧による面取りの半径寸法記号表示用
サブルーチン

反時計回りに円弧の両端点の座標および半径（面取り寸法）と寸法線を表示する方向を入力すると、45°の方向に寸法線が引かれ、寸法が半径記号と共に表示される。

○仕上げ記号表示用サブルーチン

仕上げ記号を表示する位置の座標と傾きおよび仕上げ記号の数を入力すると、指定された位置に指定された数の仕上げ記号が表示される。

○引出し線作図用サブルーチン

引出し線の始点と記号や文字を書き出す点の計2点の座標および引出し線上に書かれる25文字以内の記号や文字を入力すると、引出し線が引かれ、その上に指定された記号や文字が表示される。

○一点鎖線作図用サブルーチン

一点鎖線の両端点の座標を入力すると、一点鎖線が引かれる。

○破線作図用サブルーチン

破線の両端点の座標を入力すると、破線が引かれる。

これらのサブルーチン群をライブラリとしてCAD/CAMシステムに登録し、グラフィック命令と共に使用することにより、図6に示すような図面を簡単に描くことができるようになる。

4. NCプログラムシミュレータ

CAD/CAMシステムにおいて、CAM（Computer Aided Manufacturing；計算機援用生産）システムはCADシステムで設計された製品の図形データを基に製品を加工できるよう工作機械を制御するNCプログラムを作成し、紙テープに出力する部分である。この過程で、設計通りに製品が加工されるかどうか紙テープに出力する前に作成されたNCプログラムをチェックできれば、試作品を加工する工程を大幅に短

縮できる。そこでCAMシステムにおける汎用プログラムとして、与えられたNCプログラムにより工具が被削材に対してどの様に動くかを表示するNCシミュレータを開発した。NCシミュレータはパソコン上であってもリアルタイムで応答するものでなければ実用的でないので、このNCシミュレータでは、対応できる命令を被削材に対する工具の動きを中心に基本的なもののみに限定した。限定された命令の種類と意味、およびNCシミュレータ上での機能を次に示す。

G00：与えられた座標まで工具を早送りさせる命令で、赤色の直線で表示される。

G01：与えられた座標まで工具を直線補間させる命令で、緑色の直線で表示される。

G02：与えられた座標まで工具を時計回りに円弧補間させる命令で、与えられた半径または中心座標より未知の中心座標または半径が計算され、青色の曲線で表示される。このとき、中心座標は増分値で与えられ、円弧が180°以上になる場合の半径は負の値で与えられなければならない。

G03：与えられた座標まで工具を反時計回りに円弧補間させる命令で、与えられた半径または中心座標より未知の中心座標または半径が計算され、シアン色の曲線で表示される。このとき、中心座標は増分値で与えられ、円弧が180°以上になる場合の半径は負の値で与えられなければならない。

G90：以後の座標の指定を絶対値により行わせる命令で、この命令以降に与えられた座標値は絶対値として認識される。

G91：以後の座標の指定を増分値により行わせる命令で、この命令以降に与えられた座標値は増分値として認識される。

G92：座標系の設定を行わせる命令で、与えられた値で座標系が設定される。

M02：プログラムの終わりを示す命令で、この命令によりシミュレーションが終わる。

M30：プログラムの終わりを示しプログラムをリワインドさせる命令で、この命令によりシミュレーションが終わる。

NCシミュレータにより工具の軌跡は、図7(a)に示すように、X-Y、X-Z、Y-Z面の3つの平面図と工具の

動きを立体的に把握できる右斜め上方からの投影図の4面で表示される。さらにこれらの表示は図7(b)に示すように各々単独でも可能であり、詳しい工具の軌跡を知ることができる。また、丸め誤差による影響をNC制御器と同じにするため、最小設定単位は工作機械に合わせて0.001 mmとした。

5. NC テープ作成用プログラム

CAM システムにおける汎用プログラムとして、NC シミュレータの他に、パソコン上で作成されたNCプログラムをパソコンからパンチャーに伝達し、紙テープに出力するためのプログラムを開発した。このプログラムは、まずテープの始まりを示すコード(‘%’), 次に人間が紙テープを識別するために使用するリーダー部、NCプログラムの始まりを示すコード(‘L F’), そしてパソコンのディスク上に作成されたNCプログラム、最後にテープの終わりを示すコード(‘%’)をRS-232Cに準拠したインターフェースで接続されているパンチャーにISOコードで出力するものである。リーダー部はNC制御器にとっては無意味な部分であり、省略することができる。また、NCプログラムの各行の終わりを示すコードには、JIS規格(JISB6311)に基づき、キャレッジレターンおよびラインフィード(‘C R+ L F’)を使用した。

6. 加工条件用データベース

またCAMシステムでは、ライブラリとしてNCプログラムを作成するのに必要な加工条件を蓄積したデータベースも開発した。このデータベースは、本研究で使用する工作機械にあわせてエンドミルの切削加工条件、すなわち、切削速度と送りを荒切削と仕上げ切削の場合に関して被削材の種類ごとに記憶させておくものである。被削材の種類は、鋼、鋳鉄、アルミニウム、アクリルの4種類とした。しかし、加工条件は各企業のノウハウであり、加工条件用データベースは企業のノウハウを生かして作成されるべきものである。したがって、このデータベースを基に各企業で独自のデータベースを作成できるよう本研究での開発はデータベースの書式に重点を置き、エンドミルの加工条件のみをまずデータベース化した。

7. 板カムのCAD/CAMシステム

これまでにライブラリとして開発してきた汎用プログラムやサブルーチン群の有用性を確認するために、ばねにより拘束された平端従動子用板カムのCAD/CAMシステムを構築した。このCAD/CAMシステムは、パソコンとの会話形式で解析を行いながら仕様に適したカムの各パラメータを決定し、その結果を基に自動的に製図を行い、マシニングセンタでカムの輪郭を切削するためのNCプログラムを自動的に作成し、出力するシステムである。一般にCADシステムといわれているものはコンピュータのスクリーン上で製図を行う装置を指すことが多いが、このCADシステムは、設計対象を板カムに限定することにより、製図だけでなく、解析、設計をもパソコンと会話しながら一貫して行うことのできるシステムである。また、一般のCAMシステムはCADシステムで描かれた図面を基に加工法を考慮して再度図形情報を入力しなければならないことが多いが、このCAMシステムは、CADシステムで設計されたカムの図形情報をそのまま利用できるようにしてあり、それにデータベースとしてパソコンに蓄えられている加工情報を付加することによりNCプログラムを自動的に作成するシステムである。

このばねにより拘束された平端従動子用板カムのCAD/CAMシステムの概略を次に示す。なおカム曲線としては、ばね拘束の平端従動子用板カムに最適な片停留正弦曲線を用い³⁾、緩衝曲線としてはサイクロイド曲線を用いた。

(1) CADシステムにおけるカムの設計システム

カムの行程、割り付け角、基礎円半径、幅、回転速度および緩衝曲線に関する間隙と緩衝角度が入力されると、平端従動子の動きがカム曲線に一致するようにカムの輪郭が算出され、図3に示すようにカム曲線と共に表示される。さらに、従動子の動きを確認するためにカムの各回転角における平端従動子の変位が計算され、図4に示すように表示される。図4(a)は計算途中の図で、赤色の線がカム曲線の理論値、黄色の線が計算値である。このとき、カムに干渉や切り欠きが生じないかどうか調べるために輪郭の曲率も計算され、その結果が表示される。そして面積時間などのパラメータが算出され、カムの行程、割り付け角、基礎円半径、幅および輪郭の座標が図形情報としてパソコン

のディスクに保存される。

次に、ばねで拘束された従動子には、バウンス、ジャンプ、サージングなど性能を劣化させる現象を生じる恐れがあるので、設計されたカムが入力された速度で回転してもこれらの現象を生じないか調べられる。まず、従動子用ばねの取り付け力、平均径、線径、線間すぎまが入力されると、有効巻数、ばね定数、圧縮応力などのパラメータが算出され、表示される。さらに、サージングが発生し始める可能性のある回転速度が計算され、サージングが生じないよう従動子用のばねが設計される^{4),5)}。設計されたばねのパラメータと新たに入力される従動子の等価質量およびばね定数を基に、入力された速度でカムが回転したときの従動子の動きが Runge-Kutta 法によりシミュレーションされ、図5に示すように表示される。図5(b)はバウンスやジャンピングが発生している場合である。

このCAE部は、これらの表示を参考に常に設計者が入力条件を変えられるよう判断文がプログラムされており、コンピュータの助けをかりながら設計者が最適な設計をすることができるよう設計されている。

(2) CADシステムにおけるカムの製図システム

図面の表題欄に記入される設計者名、製図年月日、図面番号、材質が入力されると、パソコンのディスクに保存されている図形情報を用いて、開発した製図記号用サブルーチン群やグラフィック命令により板カムの図面が自動的に製図される。図6に自動的に製図された図面を示す。図面は、表題欄、平面図、立面図、そして、カムの図面特有の輪郭の座標値表よりなる。ただしプロッタの作画領域がA3までであるので、A3の大きさ内に作画されるよう縮尺は自動的に決められる。

(3) CAMシステム

被削材の材質、荒切削用、仕上げ切削用工具の情報(番号、径、刃数)、プログラム番号などが入力されると、加工条件を記憶しているデータベースより切削条件を読み込み、ディスクに保存されている図形情報を用いて、板カムの輪郭をエンドミルにより切削するNCプログラムが自動的に作成され、パソコンのディスクに保存される。荒切削は0.5mmの仕上げ代を残してアップカットにより行われ、仕上げ切削はダウンカットにより行われる。仕上げ代は粗削り用工具の径補正を大きくとることにより残される。また、CADシ

ステムにおいて実数型で算出されたカムの輪郭の座標値を加工に使用するマシニングセンタの最小設定単位0.001mmで四捨五入すると丸め誤差により干渉が生じる場合があるので、干渉が生じた座標を無視して加工するようにプログラムされている。

次に、作成されたNCプログラムが、紙テープに出力される前に開発したNCシミュレータによりチェックされる。図7に示すように、作成されたNCプログラムがディスクから読み込まれ、板カムの輪郭を切削する工具の軌跡が確認できるようNCシミュレータにより表示される。

最後に、開発したNCテープ作成用プログラムによりNC制御器のテープリーダーが読み込めるような形式でNCプログラムがパンチャーに送られ、紙テープに出力される。

(4) マシニングセンタによる加工

作成されたNCテープにより板カムが加工できるか確認するために、NCテープよりNCプログラムをNC制御器に読み込ませ、図2に示すマシニングセンタにより板カムを切削加工した。板カムの加工は図8に示すように加工用ジグにアクリル板をねじ止めして行った。その結果、図9に示すように板カムを加工できることが確認され、このCAD/CAMシステムによりばねで拘束された平端従動子用板カムの設計、製図およびNCプログラムの作成を一貫して行えることが明らかになった。さらに、CAD/CAMシステムを開発する際に有用なライブラリとして開発された製図記号用サブルーチン群、NCシミュレータ、NCテープ作成用プログラム、加工情報用データベースなどが、板カムのCAD/CAMシステムの開発を通して開発期間の短縮などの点で有用であることが確認された。

8. 結 論

パソコンを用いて企業のノウハウを生かした独自のCAD/CAMシステムを開発する際に有用なライブラリとして、製図規格に基づいた18種類の製図記号用サブルーチン群、入力されたNCプログラムにより工具が被削材に対してどの様に動くかを表示するNCシミュレータ、パソコンのディスク上に作成されたNCプログラムをパンチャーに出力するNCテープ作成用プログラム、加工情報を記憶しているデータベースなどが開発された。さらに、ばねで拘束された平端従

動子用板カムの CAD/CAM システムの開発を通して開発期間の短縮などの点でこれらの汎用プログラムやサブルーチン群が有用であることが確認された。

最後に、開発を進めるにあたってご協力いただいた当時本学学生の大塚武君、佐倉賢次郎君、ならびに須田和男氏を始め本学機械工場の方々に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) パソコンを使った機械設計システムの開発テクニック, 機械設計別冊(1987-8), 日刊工業新聞社。
 - 2) 竹内芳美, パソコン CAD/CAM—機械加工への応用—, 工業調査会。
 - 3) 日本機械学会編, 機械工学便覧(新版)B1, pp. 198。
 - 4) 大道寺達, 増訂ディーゼル機関設計法, 工業図書, pp. 191。
 - 5) 長屋幸助, 弁ばねの設計を考慮した内燃機関の動弁系の振動解析, 日本機械学会論文集, 53 巻, 495 号 C 編 (昭 62-11), pp. 2283。
- 1) パソコンを使った機械設計システムの開発テク

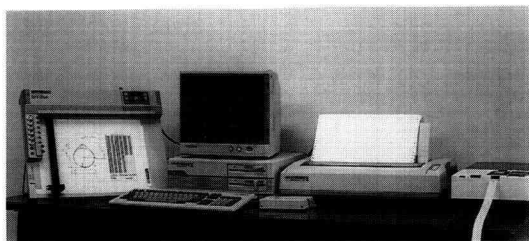


Fig. 1. Hardware of CAD/CAM system using personal computer



Fig. 2(a) Machine tool with NC controller



Fig. 2(b) NC controller for machine tool

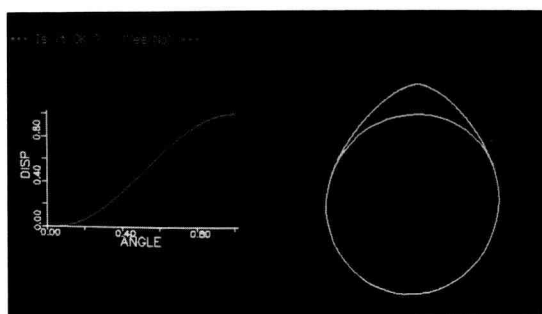


Fig. 3. Display of cam curve and profile

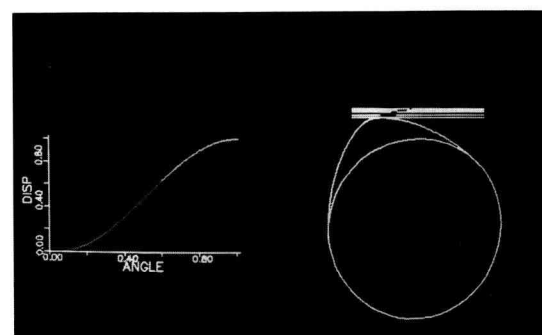


Fig. 4(a) Display to check on follower displacement (halfway)

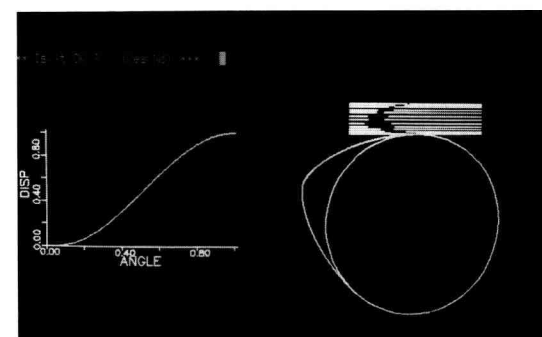


Fig. 4(b) Display to check on follower displacement (final)

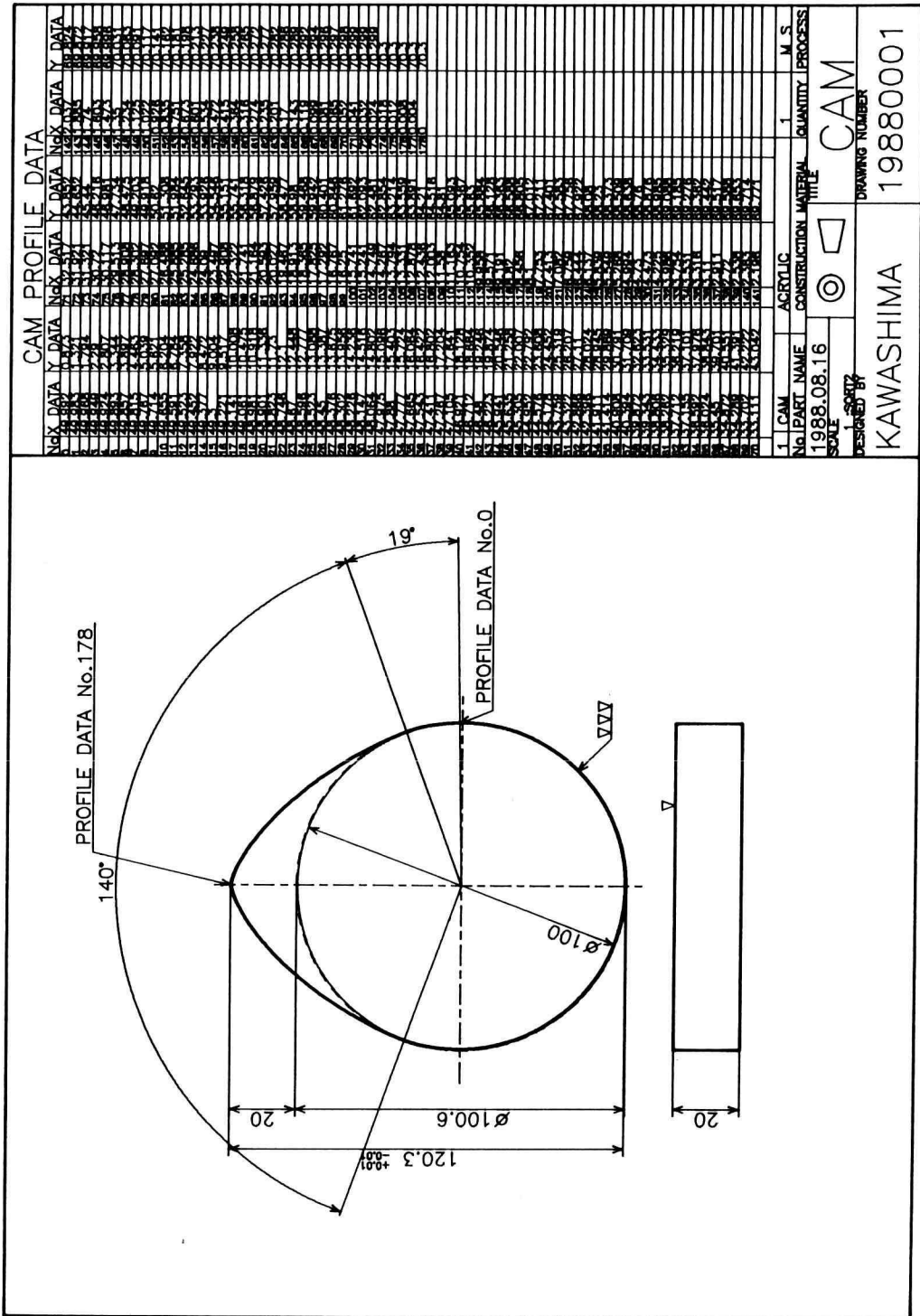


Fig. 6. Drawing of plate cam drawn by CAD system

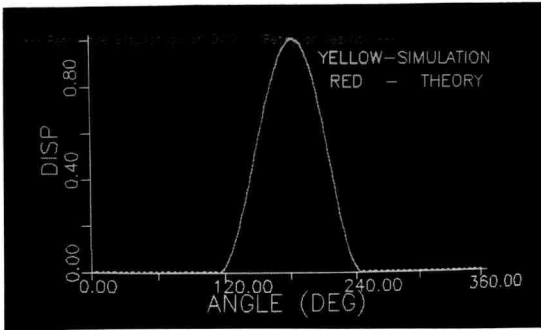


Fig. 5(a) Display to check on dynamic behavior of follower
(in case of follower moving smoothly)

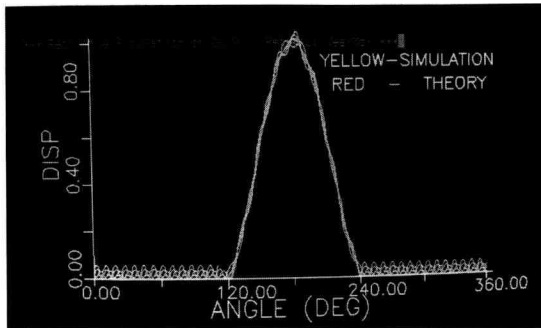


Fig. 5(b) Display to check on dynamic behavior of follower
(in case of follower bouncing and jumping)

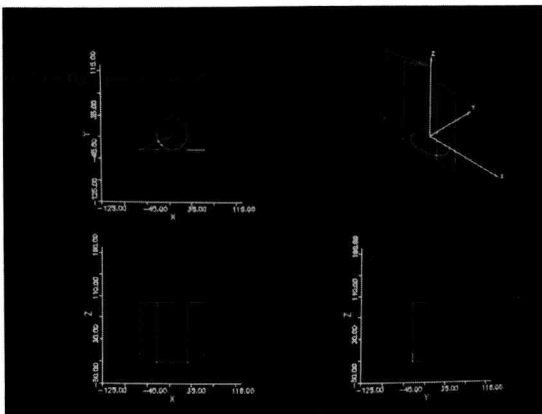


Fig. 7(a) Display of cutter path for plate cam cutting drawn by NC simulator (multiple view type)

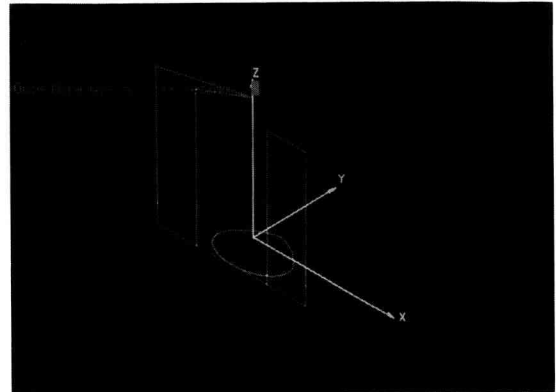


Fig. 7(b) Display of cutter path for plate cam cutting drawn by NC simulator
(single view type)

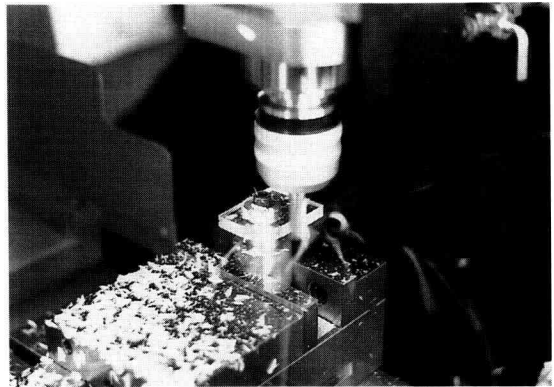


Fig. 8(a) Cutting of plate cam (roughing)



Fig. 8(b) Cutting of plate cam (finishing)



Fig. 9. Finished plate cam