旋削部品の図面自動入力による生産システムの開発*

中 沢 弘** 金 山 和 則***

Development of Manufacturing System by Automatic
Input of Drawings of Turning Parts

Hiromu NAKAZAWA and Kazunori KANAYAMA

This paper deals with the development of the integrated manufacturing system by input of the drawing of a turning part into personal computer which produces its NC program automatically and transfers it to the NC lathe. This system is called DREAMS which stands for "drawing recognizable automatic manufacturing system". The integrated CAD/CAM without any human assistance is proved to be possible even for turning parts. Also new recognition method is proposed.

Key words: drawing recognition, CAD/CAM, drawing, NC lathe, turning part, DREAMS, personal computer

1. ま え が き

近年は機械やシステムがますます高度化され、それらを動かすために機械に合わせて人間が情報を加工して与えている。しかし本来人間が普通に作り出せる情報を機械が理解してくれることが望ましい。

この観点から、図面がコンピュータ内に自動入力され、そこから加工情報を自動的に作成し、生産につながる道が開かれれば、その効果は計りしれない。

図面読取りの研究開発は、画像サイズが大きいとか機械加工部品の場合などは、図面が複雑すぎるなどの理由で、ほとんど手をつけられていなかった。しかしそのような環境にあっても、機械部品図面以外ではいくつかの実用化の試みがなされてきたが、特に機械部品に関しては図面入力から NC 加工まで一貫したシステムはまだ開発されていない^{1)~10)}。

このような状況にあって、筆者らは外周旋削部品に関する図面自動入力から NC パートプログラムの自動作成までの方法論を提案した¹¹⁾。しかし、この研究は入力図面制約条件などに制約事項が多くて、実用化にはまだ距離があった。今回はこれらを改良し、さらに新たな機能を加えて実用のレベルまでに達したシステムを開発したのでその結果を報告する。このシステムには *Drawing Recognizable Automatic Manufac-*

turing System の頭文字を取った DREAMS という名称を与えたので以下本システムを DREAMS と呼ぶ。

2. DREAMS の機能的要求

DREAMS の機能的要求は以下のとおりである。

(1) 図面入力から部品の出力まで一貫しており、途中に人間の操作を必要としない。

この項目は一度図面が入力されたら、立体解釈から加工条件の決定などまでを含めて、完全に自動化されることを要求している。

(2) できるだけ簡単な図面で部品製造を可能にする。

NC 工作機械を用いるシステムでは、部品の精度・表面粗さを決定する工具・加工条件の変更が容易である。その意味では図面は形状情報だけで十分である。これはまた作図作業の軽減につながる。

(3) 一度入力した図面情報を、書き直さなくても、自由に変更・修正でき、しかもその部品を加工できる。

この要求はシステムのフレキシビリティに関したものである。生産する部品は似た形状が多い。ほかの類似した形状の部品を加工するのに、いちいち図面を書き変えて入力するのでは効率が悪い。編集機能を利用することにより、形状寸法を自由に変えられ、しかもそれを加工することが望ましい。

3. 図面の制約事項

図面の自動入力とは、図面の意図する立体形状・寸

* 原稿受付 昭和 61 年 12 月 11 日。昭和 61 年度精密工学会春季大会学術講演会 (昭和 61 年 3 月 28 日) にて発表

** 正 会 員 早稲田大学理工学部 (東京都新宿区大久保 3-4-1)

*** 正 会 員 日本電信電話(株) (武蔵野市緑町 3-9-11)

Fig. 1 Elements of solid

法をコンピュータ内に入力し、以降のプロセスで利用できるように数値データに変換することである。

一般の機械加工部品の図面は2~3面図で表現されており、このような一般的な図面の入力から研究を進めることは大変な困難を伴う。そこで本研究ではまず1面図で立体が表現できる旋削部品図を対象とする。

3.1 図面の構成要素に関する仕様

旋削部品は内周・外周とも図1に示す円柱、円すい台、隅肉、丸めで構成されているものとする。

図面の構成要素は(1)外形線、(2)中心線(一点鎖線)、(3)文字(記号)とする。

次に各構成要素の用法を以下に示す。

- (1) 外形線を構成する線分は、外・内周旋削部に相当する円柱と円すい台の側面あるいは端面を表す。
- (2) 内周旋削部の形状表記法は断面図とする。
- (3) 内周旋削部の径は図面の右側開口部から左へ向かって単調に減少するものとする。
- (4) 寸法線、寸法補助線を構成する線分は、外形線あるいは寸法線どうしと結合して外・内周旋削部の寸法を示す。その種類と用法を図2に示す。
- (5) 中心線は図中の中央に唯一用いられる。
- (6) 文字は0から9, R, C, ϕ , . (小数点)の14種だけとし、必ず寸法線に付属する。

3.2 作図法に関する仕様

作図は次の仕様を満たすものとする。

- (1) 図面はコントラストのはっきりした黒色で描かれ、にじみのないものとする。
- (2) 直線は定規を用いて描く。
- (3) 中心線から側面を表す上下の外形線までの距離の比は0.9~1.1の間にあること。
- (4) 線はすべて同じ線幅でよい。

Fig. 2 Allowable dimensioning

- (5) 文字に外接する矩形(高さが長辺となる)を考えたとき次の条件が満たされていること。

- ① 長辺 ≤ 10 mm
- ② 長辺/短辺 ≤ 4
- ③ $3 \text{ mm}^2 \leq \text{矩形の面積} \leq 100 \text{ mm}^2$

- (6) 文字列は次の条件が満たされていること。

- ① 文字と文字の距離は8 mm以下とする。
- ② 文字列を構成する文字数は6個以下とする。
- ③ 文字の並び方向の角度は水平方向から時計方向に $3\pi/8$ 、反時計方向に $5\pi/8$ の間とする。

- (7) 文字は寸法線に接してはならない。

以上は実際に普通の製図作業を観察して決めたものであるからそれほど厳しい制約ではない。

4. システムの構成と処理

DREAMSのシステム構成を図3に示す。本システムのハードウェア構成は、システムのソフト処理を行うパーソナルコンピュータ、図面入力装置、およびNC旋盤からなる。

4.1 図面入力部

画像データの inputs は、A5サイズの図面を一次元CCDカメラによる主走査とXYプロッタの機械的副走査により行われる。A5より大きなサイズの図面はコピーによりA5に縮小して入力する。

CCDカメラの分解能は0.1 mm、XYプロッタによる副走査ピッチも0.1 mmとしたので、画像データ1画素のサイズは0.1 mm $\times$ 0.1 mmとなる。

一般に機械図面は、用紙いっぱいには描かれておらず、図面の周囲には空白の部分が存在する。そこで長方形のクリッピングを行い、図面本体のみのデータを

Fig. 3 System configuration

取り出す。これにより、ディスク上のデータ量が節約されると同時に、図面入力時に発生しやすい、図面用紙周辺の雑音も除去される。

4.2 図面構成要素抽出部

入力された図面の2値化画像データは、以下に述べる手順により寸法データ、寸法線を構成する線分データおよび外形線・寸法補助線・中心線を構成する線分データに変換される。

4.2.1 文字の分離

2値化画像データから文字を検出する作業は、画像データの中からある狭い領域に収まる連結した黒画素のかたまりを抽出する処理である。前述の作図法に関する仕様の(5)に述べた3つの条件をすべて満足する黒画素領域は、文字であるとみなす。

ここで文字と判定された黒画素領域は、画像データより切り出された文字認識部へ渡される。一方、文字データが消去された画像データは線分処理部へ渡される。

4.2.2 文字認識

文字認識部の設計思想は、対象文字を必要最小限に限定してシステムをコンパクトにするとともに、認識の信頼性を向上させることである。したがって対象文字は前述の14文字とした。文字認識はセグメントパターンを用いた方法で行ったが詳細は省略する。

4.2.3 線分抽出

まず図本体の2値化画像データ中の白画素と境界をなす黒画素列を、チェーンコードで表現する。これは図4(a)において、境界画素の探索開始点を黒画素 a_0

としたとき、同(b)の中心を a_0 に合わせる。図4を反時計方向(線分ループの内側は時計方向で行っている)に調べて、黒画素 a_1 が現れたとき、 a_0 から見た a_1 の方向を図(b)によって符号化する。次に a_1 に図(b)の中心を合わせて同様に a_2 を符号化する。この操作の繰返しにより図(c)に示すような境界画素列がチェーンコードとして求まる¹²⁾。

チェーンコードは一般に単一ではなく、図面中に存在するループの内側と外側を表すものがある。図はこれらのチェーンコードの集合によって、その輪郭形状を表現することができる。本処理以降は図の2値化画像データは不要となる。チェーンコードの方が相対位置が簡単に計算できるので、後の処理は都合がよい。

次にチェーンコードの点列に対して線分に近似する処理を行う。紙面の都合で詳細は省略する¹³⁾。

次にこのようにして線分近似された図面の輪郭線分データから、矢印線分を抽出・分離する処理を行う。この処理も紙面の都合で割愛する。抽出された矢印線分の矢印は抽出・消去される。

4.2.4 線分の統合

矢印線分の抽出・消去によって得られた輪郭線データを統合することにより、細線化処理を行う。その結果、原図の心線にあたる線分データ、すなわち外形線・寸法線・寸法補助線・中心線が抽出される(但し本処理においては各線分の種類までは認識しない)。

処理の方法は隣接して存在する2線分から等しい距離にある中間の線を求め、その長さは2線分がずれている場合重複する部分の長さとするので、元の2線分よりは短くなる。したがって各線分の交点は一般にわずかな距離ではあるが離れることになる。

4.2.5 寸法線の抽出・消去

本処理では前項で得られた図を構成する線分から、

Fig. 4 Slit pattern of character

Fig. 5 Segments of character

以上の処理で得られた寸法データと矢印線分データを用いて、寸法線データを抽出・消去する。

以上一連の処理例を図5に示す。図(a)は入力した画像データをそのまま出力したものである。

図(b)は文字を抽出・消去し、線分抽出で輪郭形状を認識した結果を、図(c)はこの各輪郭形状線分から心線を抽出した結果を、図(d)はそれからさらに寸法線を消去した状態を示してある。

4.3 立体解釈部

立体解釈部では、上記で求められた図面を構成する線分データと寸法データから外・内周旋削部を表す立体を認識し、これを基本立体データとして出力する。外周および内周旋削部の立体解釈処理手順は次のとおりである。

- (1) 旋削部品図の軸対称性および構造的特徴に注目して、部品の輪郭形状線上にある、中心線に対称な屈曲点あるいは分岐点を探索・抽出する。
- (2) 抽出された対称な屈曲・分岐点から、基本立体を構成する4点を編成する。
- (3) 寸法データと寸法線データを、(2)で得られた対称な屈曲・分岐点へあてはめて、基本立体データのパラメータを決定する。

基本立体データは、図1において $(x, y, d_1, d_2, r, x_0, y_0)$ というパラメータの集合によって表現する。ただし、円柱・円すい台においては最後の3つのパラメータは定義されない。

A-K : dimension data

①-⑪ : dimension line data

Fig. 6 Pattern code of segments

前節までの処理で寸法データと寸法線データは軸方向、直径方向、半径方向の3つに分類されて(例えば図6の例ではAと①は軸方向のデータとして)記憶される。ただし本図はデータの分類を説明するためのもので、立体解釈で扱う図は図5(d)に示すものである。次に立体解釈処理手順(1)~(3)の詳細

を説明する。

まず外周旋削部の外形形状を表し、中心線に軸対称な屈曲点・分岐点(以下対称屈曲・分岐点と呼ぶ)を探索する。探索にあたっての開始点は図7において部品の左上角の点(p_a)となる。なお p_a は、部品の左端面を表す対称屈曲分岐点の中から、中心線からの距離を基準として決定する。

外形形状探索のアルゴリズムは以下のとおりである。

○ : open end

● : corner or turning point

◎ : corner of turning point symmetrical to center line

a-k, a'-k' : code of corner or turning point

⑫-⑳ : code of line

Fig. 7 Chain coding system for extraction of contours

る。

- (1) p_a に連結するすべての線分のもう一方の端点で対称屈曲・分岐点となるものを探索する。
- (2) 2 点以上対称屈曲・分岐点が存在する場合は、
 - (a) p_a と y 座標の差の大きい方の点をとる。
 - (b) p_a と探索された点の x 座標値の差が大きい値 (1.4 mm) より小さい値を持つ対称屈曲・分岐点は外す。

以上の条件を満足する一点を決定してこれを次の開始点 p_a とする。一方、元の p_a とその対称点を外形形状を構成する対称屈曲・分岐点として登録する。

- (3) 上の処理で新たな p_a が見つからず、元の p_a から到達できる対称でない屈曲・分岐点が中心線に達したとき、または中心線位置を越えた場合に探索を終了する。そうでなければ (1) へもどる。

この処理の結果、図 7 の例では外形形状を構成する線分の探索順序は ⑬→⑭→⑮→⑯→⑰→⑱ となり、探索点対は $a-a'$ 、 $b-b'$ 、 $c-c'$ 、 $d-d'$ 、 $e-e'$ 、 $f-f'$ 、 $g-g'$ となる。

このデータをもとに基本立体を構築する。方法は上記の対称屈曲・分岐点の組から 2 組ずつ 4 点を順番にとっていく。ただし、その 4 組で基本立体が構築できるかどうかのチェックも行う。例えば (a, b, b', a') は基本立体となるが (b, c, c', b') は成立しない。

基本立体が構築できた段階で、軸方向寸法を示す線分の両端が上述の対称屈曲・分岐点のどれに接続するかを調べて基本立体のデータを定める。

内周旋削部については、探索開始点が穴の右上隅から始まるが、基本的には外周旋削部と同じであるので説明を省略する。

4.4 NC プログラム自動作成

NC プログラム自動作成は、基本立体データからパートプログラムを自動的に作成し CNC 旋盤に供給する過程において、次の 3 点に関する処理を行う。

- (1) 必要な場合は図面自動入力によって得られた基本立体データを修正拡張する。(簡易 CAD 機能)
- (2) 基本立体データを実際の加工に対応できるように汎用データ (NC プログラム) に変換する。(簡易 CAM 機能)
- (3) CNC 旋盤とシステム (パソコン) 間での NC プログラムの通信、およびシステム上での NC プログラムの確認。

そのために、本処理部は以下の 3 つの機能を持つ。

- (1) 基本立体データの編集機能
- (2) NC プログラムの自動作成機能

(3) CNC 旋盤との通信機能

以下順をおって説明する。

4.4.1 基本立体データの編集機能

この機能は、大別して次の 4 種類のコマンドから構成されている。(1) 基本立体データの編集コマンド (変更、追加・挿入、削除)、(2) 基本立体データのグラフィック表示コマンド、(3) 基本立体データのファイル処理コマンド、(4) その他のコマンド (たとえばコマンドの説明など)。以下特に (1) について説明する。

基本立体データの編集コマンドが実行されると、干渉チェックが自動的に行われる。その内容は、外周旋削部と内周旋削部の交差するところはないか、途中で直径が 0 になるところはないか、あらかじめ用意されている工具で加工不可能なところはないかなどである。

本機能により、新たに図面を書かなくても近い形状の図をもとにして、新しい形状を創成しそれを自由に加工できる。本機能の実現により CAD が生産に直結される場合のメリットが実証される。

4.4.2 NC プログラム自動作成機能

ここでは前述の基本立体データをもとに部品外形形状を決定する (たとえば各コーナの) ポイント座標からなるポイントデータを作成する。

基本立体データのデータ構造が外形形状を決めるポイントデータを導出しやすくなっているために (前述のパラメータ表示)、CAD と CAM の直結が可能となっている。

ここではポイントデータを外・内周旋削部に分けて、加工シーケンスの決定を行う。工具は外周用 4 本 (うち突切りバイト 1 本)、内周用 3 本 (うちドリル 1 本) を用意してある。

加工シーケンス決定の際には、バイト別の領域分割処理という新しい概念を取り入れた。すなわち各バイトに対しその前切れ刃角 α をもとに図 8 に示す最大切削可能テーパ角 $\theta_{\max}$ を決める (β は余裕角)。このデータをもとに前切れ刃角の小さな荒削りバイトから順番に切削可能な領域を同図のように割当てて加工シーケンスを決定する。内周に関しても同様の処理を行う。

最後に工具刃先のノーズ半径補正を行って NC プログラムを完成させる。

さらに自動作成した NC プログラムを、コンピュータの CRT 上でシミュレートする機能を持っている。

4.4.3 CNC との通信機能

NC プログラムの CNC への転送は RS 232-C による双方向のシリアル通信で行う。NC プログラムは

I : domain for tool I
II : domain for tool II
III : domain for tool III
IV : domain for tool IV

Fig. 8 Allocation of removing domain for tools

Fig. 9 Example of turning part

(a) Finished part of example drawing (b) Finished part modified by integrated CAD

Fig. 10 Machined parts

PC 9801 側ではアスキーコード, CNC 側では EIA コードにより記述されているため, 転送時に相互のコードを変換する処理を行っている。

5. 実験および結果

実験を行ったうちで, 最も複雑な形状の図面例を図 9 に示す。その加工結果を図 10 (a) に示す。

この入力図面に編集機能を用いて溝を追加し, 加工した例を同図 (b) に示す。この例では図面入力部に

240 s, 図面構成要素抽出部に 630 s, 立体解釈部に 60 s, NC プログラム自動作成部に 30 s の時間を要している。なおエディタで溝を追加する作業は処理時間も含めて 60 s である。これを従来のように人がプログラムすることを考えれば, かなり生産性が向上できると考えられる。しかもプログラマは不要であり, さらに加工時間を計算し, それから加工コストを見積るソフトを付加すれば, 加工前にコストの見積も容易に行える。

6. ま と め

手書き旋削部品図面を自動入力し, NC プログラムを自動作成し, NC 旋盤と直結してその部品を自動一貫加工できるシステム DREAMS を開発して, その有効性を実証した。機械部品図面に対しても CAD/CAM の途中で人手を介さない一貫したシステムが可能であることを実証することができた。

最後に, 本研究に協力してくれた大学院生松岡弘君および研究を援助してくれた森精機製作所に感謝します。また本研究は早稲田大学特定課題研究費の援助を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 出沢正徳, 柴田 碧: 図面の自動読み取りのための方法, 日本機械学会講演論文集, **730**, 3 (1973).
- 2) S. Kakumoto, Y. Fujimono and J. Kawasaki: Logic Diagram Recognition by Divide and Synthesis Method, in Proc. IFIP Artificial Intelligence and Pattern Recognition in Computer Aided Design, J. C. Latombe ed., North-Holland, France, (1978) 457-476.
- 3) J. F. Jarvis: The Line Drawing Editor: Schematic Diagram Editing Using Pattern Recognition Techniques, Computer Graphics and Image Processing, **6**, 5, (1977) 452.
- 4) 穂坂 衛, 木村文彦: 手書き図面入力とその幾何モデル生成への応用について, 日本機械学会論文集 (C 編), **45**, 389 (1979) 75.
- 5) 吉田真澄, 榊井 猛, 長田茂美, 織田 勇: 手書図面の自動入力/処理装置, 情報処理, **22**, 4 (1981) 300.
- 6) 恒川 尚, 下辻成佳: 図面読取装置 TOSGRAPH, 電子通信学会論文誌, **J 68-D 4** (1985) 466.
- 7) 伊藤公俊, 篠崎健二, 林 国一: 幾何モデルを用いた機械図面からの立体解釈, 昭和 58 年度精機学会春季大会学術講演会講演論文集 (1983) 715.
- 8) 伊藤公俊, 篠崎健二, 林 国一: プランニングネットワークを用いた機械図面の二次解釈, 日本機械学会・精機学会第 1 回設計自動化工学講演会講演論文集 (1983) 28.
- 9) 伊藤公俊, 堀内正人, 蔭田裕之: 階層的プランニングを用いた画像認識の一手法, **IE 80-16** (1980) 61.
- 10) 久保田一成, 荒川 弘: 線順次アルゴリズムを用いた論理回路入力法, **PRL 82-17** (1982) 17.
- 11) 中沢 弘, 北川 誠: 外周旋削部品に関する図面自動入力, 精密工学会誌, **52**, 6 (1986) 1009.
- 12) 田村秀行: コンピュータ画像処理入門, 総研出版 (1985).
- 13) 名倉正計: 手書き線図形の直線と円弧による近似, 電子通信学会誌, **J 64-D-9** (1981) 839.