旋削用NC言語による非回転体旋削システム*

鍵和田忠男^{*1}, 金内忠彦^{*1},
高橋正人^{*2}

A Nonrevolving Solid Turning System utilizing Turning NC Language

Tadao KAGIWADA, Tadahiko KANAUCHI and Masato TAKAHASHI

The machining of a nonrevolving solid has been carried out by means of a copying lathe. However, this method is limited to simple forms and low efficiency due to limitations in the ability to follow the stylus movements on the model. To improve efficiency and diversity of non revolution machining, a lathe incorporating an electro-hydraulic servo system for positioning the cutting tool in phase with the rotation of the workpiece has been developed. However, this system is very expensive. In the present investigation, an automatic programming system to machine a nonrevolving solid using a regular NC lathe and NC language without other adaptations was developed. This system uses the nonfixed screw cycle to machine a nonrevolving solid. A wide variety of outlines can theoretically be machined with this system, but more work is necessary to develop the practical potential.

Key words: Cutting, Turning, Nonrevolving solid, Noncircular outline, System, NC lathe, NC language, Screw, Nonfixed screw cycle, Servo system

1. 緒 言

従来、旋盤を使用してカムシャフトやロータリーエンジンのロータなど断面が円形でない非回転体を旋削加工する場合、マスタモデルを用いた倣い加工が用いられていた。しかしこの方法では単純形状のものに限られ、また、倣いの追従性に限界があり能率も良くなかった。最近、主軸の回転をロータリーエンコーダでとらえ、その情報処理をパソコンで行い、それに基づき電気油圧サーボを使って刃物台の微妙な動きを制御する方法で、非回転体をNC加工する装置が開発されたが⁽¹⁾この装置はかなり高価である。

本研究においてはそれらの装置などを用いずに、通常のNC旋盤とそれに用いられる通常のNC言語を用いて、非回転体を旋削加工するための自動プログラミングシステムを開発した。なおここではNC旋盤およびNC装置として大隈鉄工LB10とOSP5000Lを用いている。

2. 加工原理

非回転体形状を旋削しようとするとき、1回転当りのバイトの半径方向の送り量を用いて通常の直線切削サイクルで加工する方法が考えられるが、OSP5000Lにおいては主軸の回転と工具の動きが同期していないため不可能である。そこで本システムにおいてはねじ切りサイクルを利用して、非回転体を周方向に細分し、その各部分を端面ねじの一部であると考えて、各々異なるピッチのねじが一周分にわたって連続するようにプログラムする。ねじ切りサイクルにおいては、ねじピッチとねじ切り終点座標のデータが必要であるが、ねじピッチは始点座標(一つ前の終点座標)と終点座標から計算できるので、必要なデータは各終点座標のみで良いことになる。ここで、連続している各々ピッチの異なるねじの各終点座標を局所終点座標と呼ぶことにする。

図1に示したように加工物のZ断面を極座標で表し、 θ 方向に $\Delta\theta$ 間隔で細分して各 θ に対する表面の半径を $r=f(\theta)$ とする。この $r=f(\theta)$ を形状関数と呼ぶことにする。ねじサイクルにおける終点座標は

* 昭和62年8月21日 第65期全国大会講演会において講演、原稿受付 昭和63年8月19日。

^{*1} 正員、北海道大学工学部(〒060)札幌市北区北13条西8丁目。

^{*2} 学生員、北海道大学大学院。

X方向の直径値として $2r$ で与えれば良い。形状関数は自由形状のものについては数値データとして入力し、幾何学的形状に対してはシステム内で計算する。

図1において r_0 から r_1 まで削る場合は、現在位置 r_0 において、ピッチ $P_1=2\pi|r_1-r_0|/\Delta\theta$ のねじを局所終点座標 r_1 まで削れば良い(図2参照)。 r_1 から r_2 まで削る場合は、現在位置 r_1 において、ピッチ $P_2=2\pi|r_2-r_1|/\Delta\theta$ のねじを局所終点座標 r_2 まで削る。以下、一回回転が終了したら、Z方向に送りを入れた後同様のことを行う。また素材から最終形状までの過程は、自由形状の場合は最終の形状関数に一定値(切込み深さ×最終形状までの工程数)を加えた形状関数を用い、幾何学的形状の場合は最終の幾何形状をもとにそれぞれ別の形状関数を設定して繰り返す。なおプログラム上では r の添え字を i として配列で表す。

図1 加工物のZ断面の分割模型

図2 ねじピッチの作成

3. システムの構成

本システムは以下の7つの部位からなる(図3)。

(1) 目的形状の選択

断面形状が自由形状であるか幾何学的形状であるかの選択をする。

(2) 目的形状、初期条件等の入力

本システムにおいては、原理的にはいかなる断面形状のものでも加工できる。幾何学的形状の場合はその種類(楕円、正多角形)を選択する。他の形状についても半径値 r 作成のためのプログラムが容易に作成され、必要に応じそれを付け加える。

楕円の場合は、長径 A 、短径 B 、Z方向始点座標、Z方向終点座標、X方向切込み量、Z方向切込み量、 $\Delta\theta$ 、主軸回転数 N を入力する。偶数角の正多角形の場合には、楕円における長径と短径の代わりに、角数 n と対辺の距離 B (図5)を入力する。奇数角の正多角形の場合には、偶数角における B の代わりに図6に示した A_B を入力する。

(3) 形状関数の算出

断面が自由形状の場合には、最終の形状関数をキーインまたはファイルから読み込む。幾何学的形状の場合は、入力された形状の種類とデータから最終の形状関数 $r=f(\theta)$ を算出する。楕円、偶数角および奇数角の正多角形の場合の最終の形状関数はそれぞれ以下の通りである(図4～6参照)。

図3 システムの構成

$$r = \sqrt{A^2 \sin^2 \theta + B^2 \cos^2 \theta} \quad (\text{楕円, } B: \text{短径}) \dots\dots\dots (1)$$

$$r = B / \{2 \cos(\pi / n - \Theta)\},$$

$$\Theta = \theta \bmod (2\pi / n)$$

$$(n: \text{偶数, } B: \text{対辺の距離}) \dots\dots\dots (2)$$

$$r = A_B \cos(\pi / n)$$

$$/ \{ \{1 + \cos(\pi / n)\} \cos(\pi / n - \Theta) \},$$

$$\Theta = \theta \bmod (2\pi / n)$$

$$(n: \text{奇数}) \dots\dots\dots (3)$$

(4) 途中過程の形状関数の決定

素材から最終形状に至る途中の形状関数は、自由形状の場合は最終の形状関数に一定値(切込み量×最終形状までの工程数)を加えたものを用いる。

幾何学的形状の場合は図4～6に例示したように、最終の幾何形状をもとに各過程ごとの形状関数を計算する。各過程を変数 j で表し、半径 r を添え字 i , j の二次元配列としてファイルに記録する。各形状についての具体的な方法は以下の通りである。

I. 楕円 図4に示したように、長径 A , 短径 B の楕円を直径 D の円柱形素材から加工することを考える。ただし $D \geq A$ である。初めに直径切込み量を d_x として、OSP5000Lが持つ自動プログラム機能であるLAPにより素材を直径 A の円柱形に削る。次に過程数 m を

$$m = \text{INT}\{(A - B) / d_x\} \dots\dots\dots (4)$$

として求め、 j ($j = 0 \sim m$) 回目の形状関数を長径が A , 短径が $B + (m - j) d_x$ の楕円として式(1)と同様に求める。ここで $j = m$ 回目が最終形状であり、式(1)そのものとなる。

II. 偶数角の正多角形 素材直径は、 $D \geq B / \cos(\pi / n)$ でなければならない。過程数 m は

$$m = \text{INT}\{(D - B) / d_x\} \dots\dots\dots (5)$$

図4 楕円における形状関数

で求められる。ただし B は対辺の距離である。 j 回目の形状関数は対辺の距離を $B + (m - j) d_x$ として式(2)と同様に求める(図5)。

III. 奇数角の正多角形 素材直径は、 $D \geq A_B / \{1 + \cos(\pi / n)\}$ でなければならない。過程数 m は

$$m = \text{INT}\{[D - 2A_B \cos(\pi / n)] / \{1 + \cos(\pi / n)\} / d_x\} \dots\dots\dots (6)$$

で求められ、 j 回目の形状関数は A_B の代わりに $A_B + (m - j) d_x$ を用いて式(3)と同様に求める。

(5) 局所終点座標とねじピッチの算出 ファイルから半径値 r を読み込み、X方向の終点座標を $2r$ で与える。ねじピッチは $2\pi |r_{i+1} - r_i| / \Delta\theta$ で算出する。

(6) NCプログラムの作成 以上で求めた終点座標、ねじピッチ及び先に入力された加工条件等を用いてNCプログラムを作成する。

(7) NC旋盤への出力 パソコンで作成されたNCプログラムをNC旋盤へ出力する。

4. 制限事項

OSP5000Lのねじサイクルにおいては、主軸回転数 N とピッチ P に関して以下の制限がある。

$$\text{加工可能ピッチ} \quad 0.001 \leq P \leq 1000.000 \text{ mm}$$

図5 偶数角の正多角形における形状関数

図6 奇数角の正多角形における形状関数

速度制限 X 軸 $N \times P < 12000 \text{ mm/min}$

Z 軸 $N \times P < 12000 \text{ mm/min}$

したがってたとえば $r_{i+1} = r_i$ の場合のようにピッチが上の値未満の場合は $P=0.001$ と置き換えることにする。また、仮にピッチの最大値が 100 mm であったとすると、主軸回転数は 120 rev/min が上限となる。なお本来ねじ切りを行うとき、切り始めと切り終わりには余裕をとる必要があるがここでは考慮していない。

5. 実行例

図7は端面ねじによる楕円の近似の様子を示したものであるが、近似の様子が分かりやすく、また作成されたNCプログラムが短く内容が分かりやすいことを目的として極端に粗い分割 ($\Delta\theta = \pi/4$) を用いたものである。図7において⑧→①の範囲では端面ねじの軌跡は目的の形状より少し切り込んでおり、①→②は目的の形状より少し膨らんでいるのが分かる。しかし分割を細かくすることにより近似の精度は急速に良くなる。図8はこの例に対して本システムにより作成されたNCプログラムである。ただし中間部を省略して示した。

また、長径50mm、短径30mmの楕円を直径切込み量1mm、 $\Delta\theta = 10^\circ$ で旋削する例について、主軸回転数10rpm および 70rpm の場合について実行した。素材として黄銅を用いた。図9に加工された楕円の外観を示した。10rpm の場合 [図9(a)] は目的とする形状通りに加工されたが、70rpm の場合 [図9(b)] には目的とする形状の通りには加工されず、少し円に近い形になった。これはNC旋盤の能力によるものと考えられるが、制御不能とはならず楕円を保つところが興味深い点である。また低速ではあるが目的の形状が得られたことは意義がある。主軸回転数に対する誤差の関係が明らかになれば、それを考慮して形状関数の

図7 端面ねじによる楕円の近似 ($\Delta\theta = \pi/4$)

```

N0001 G00 X500.000 Z500.000 T0707
N0002 G00 X 50.000 Z500.000 M03 M41 S 100
N0003 Z= 70.000 M08
N0004 G34 Z= 75.000 F 5.000
N0005 ZS= 70.000
N0006 ZE= 65.000
N0007 ZZ=ZS
N0008 X 50.000 Z=ZS F 5.000
N0009 X 48.969 F 4.122
N0010 X 48.000 F 3.878
N0011 X 48.969 F 3.878
N0012 X 50.000 F 4.122
N0013 X 48.969 F 4.122
N0014 X 48.000 F 3.878
N0015 X 48.969 F 3.878
N0016 X 50.000 F 4.122
:
N0121 ZZ=ZZ- 1
N0122 IF[ ZZ LT 65 ] N0125
N0123 Z=ZZ
N0124 GOTO N0112
N0125 X 50.000 Z=ZS F 5.000
N0126 X 36.380 F 54.478
N0127 X 30.000 F 25.522
N0128 X 36.380 F 25.522
N0129 X 50.000 F 54.478
N0130 X 36.380 F 54.478
N0131 X 30.000 F 25.522
N0132 X 36.380 F 25.522
N0133 X 50.000 F 54.478
N0134 ZZ=ZZ- 1
N0135 IF[ ZZ LT 65 ] N0138
N0136 Z=ZZ
N0137 GOTO N0125
N0138 G00 X500.000 Z500.000 M09 M05
N0139 M02

```

図8 作成されたNCプログラムの例

(a) $N=10 \text{ rpm}$ (b) $N=70 \text{ rpm}$
(長径50mm, 短径30mm, $\Delta\theta = 10^\circ$)

図9 楕円の加工例

補正する方法も可能と思われる。

6. 結 言

通常のNC旋盤とそれに用いられる通常のNC言語を用いて、原理的には如何なる断面形状のものでも加工できるシステムが開発され、低速回転ではあるが実際に旋削加工出来ることが確認された。

文 献

- (1) 機械と工具, 29-10(昭60), 85.