

# 旋盤による 3 次元形状曲面加工

Three-dimensional Surface Machining by Lathe

樋 口 俊 郎\*  
Toshiro HIGUCHI

## 1. ま え が き

CAD の発展によって機械設計者は規矩とコンパスの世界から解放されて、直線と円弧のほかに自由な曲線と曲面を容易に扱えるようになった。これにともない自由曲面を含む 3 次元形状加工の重要性が増してきている。金型など、いわゆる角ものを対象とした自由曲面の CAM は NC フライス盤を基礎として発展し、すでに広く利用されている。一方、旋削加工については NC 旋盤によって CAM 化は急速に進んでいるが、3 次元形状の加工を行える旋盤は特殊な例<sup>1)</sup>を除き開発されていない。断面が円形である、つまり輪郭形状が主軸の回転角  $\theta$  に依存しない製品形状は、中心軸を含む XZ 平面上の 2 次元曲線で表現できることからわかるように、非円形輪郭の旋削を含まない加工は 3 次元形状の旋削加工とは言い難い。

3 次元形状の旋削加工に不可欠の要素である非円形輪郭切削を行うには、図 1 に示すように旋盤の主軸の回転に同期してバイトを往復運動させる位置決め機構が必要である。著者らは、これを電気油圧サーボ機構を用いた計算機制御によって実現しており、逆伝達関数補償法を用いることによってサーボ機構の遅れを補償できることを基礎実験により明らかにした<sup>2)</sup>。

本速報では、3 次元形状の旋削加工を目的として試作した加工装置の説明を行い、比較的単純な 3 次元形状の加工例を紹介する。

## 2. 非円形輪郭旋削実験装置

非円形輪郭の旋削加工においては主軸の回転角に正確に同期したバイトの位置決め機構が不可欠であるが、能率良く旋削加工を行うためには主軸の回転数を高くする必要があり、この位置決め機構には高速応答性が要求される。また、この位置決め機構には切削抵抗に十分対抗できるパワーが要求されるとともに、数値制御が可能でなければならない。

そこで、バイトの位置決め機構として、計算機制御による電気油圧サーボ機構を用いることにした。通常の NC 旋盤で利用されているサーボモータとボールねじで構成される送り機構を改造することも考えられるが、現在の技術では油圧サーボ機構に匹敵するパワーと応答性を得ることは困難であると思われる。

図 2 に実験装置の写真を示し、図 3 に装置の概要と制御系の構成の説明図を示す。旋盤本体は普通旋盤であり、これを改造して NC 化している。Z 軸の位置決め制御系はボールねじとステップモータで構成した。

バイトは油圧シリンダで駆動され、油圧シリンダと直結したサーボ弁とで電気油圧サーボ系を構成している。油圧シリンダの位置を差動トランスを用いて検出しフィードバック信号を得ている。

旋盤の主軸にはロータリエンコーダを取り付け回転角を検出しており、この実験装置では 1 回転 1000 パルスの出力のエンコーダを用いている。

目標とする輪郭形状が与えられると、このデータから主軸の回転角に対するバイトの位置決めサーボ系への指令値を計算することができる。この指令値のデータをあらかじめ計算機内のメモリに格納しておき、エンコーダからの主軸回転検出信号に応じて回転角に対する指令値を順次出力する。出力された位置指令データは DA 変換器を介してサーボ増幅器へ入力される。

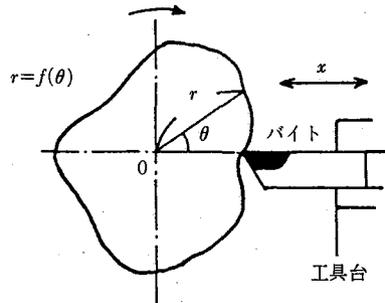


図 1 旋盤による非円形輪郭切削

\* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報

このようにバイトの位置決め制御系の基本構成は単純なものであるが、実際には電気油圧サーボ系の入出力間には遅れが存在し、主軸の回転角に対する指令値を単にサーボ増幅器に入力するだけでは正確な形状を加工することはできない。加工能率を高めるためには主軸の回転数を高くする必要があり、回転数が高いほど、また輪郭形状が複雑になるほど、サーボ系の入内に高い周波数成分が多く含まれるようになり、サーボ系の遅れの問題が

顕著になる。この問題に対して、油圧サーボ系の伝達関数と逆の伝達特性を有する要素を油圧サーボ系の前に直列に加える方法（逆伝達関数補償法）の考えに基づき、これと等価の演算を計算機内で行う方法を開発し<sup>2)</sup>、サーボ系の遅れの問題を大幅に改善することに成功している<sup>3)</sup>。

3. 3次元形状曲面の加工例

主軸回転角に対してバイトの位置を制御することによって非円形輪郭形状の断面を得ることができるが、この輪郭形状をZ軸方向に関して変化させることによって3次元形状曲面を加工することが可能となる。旋削が可能な任意の3次元形状を現段階の実験装置によって加工するには、形状データ格納のためのメモリを補強する必要があり容易ではない。そこで、ここでは3次元形状曲面旋削の初歩的な実験として、断面形状がZ軸に関して規則性をもって変化するいくつかの場合についての加工を行った。図4に加工例を示す。被加工材はアルミニウム合金であるが、鋼や黄銅についても同様の加工を行えている。



図2 3次元形状施削実験装置

図4の(a)の断面形状は近似的な楕円形であり、Z軸

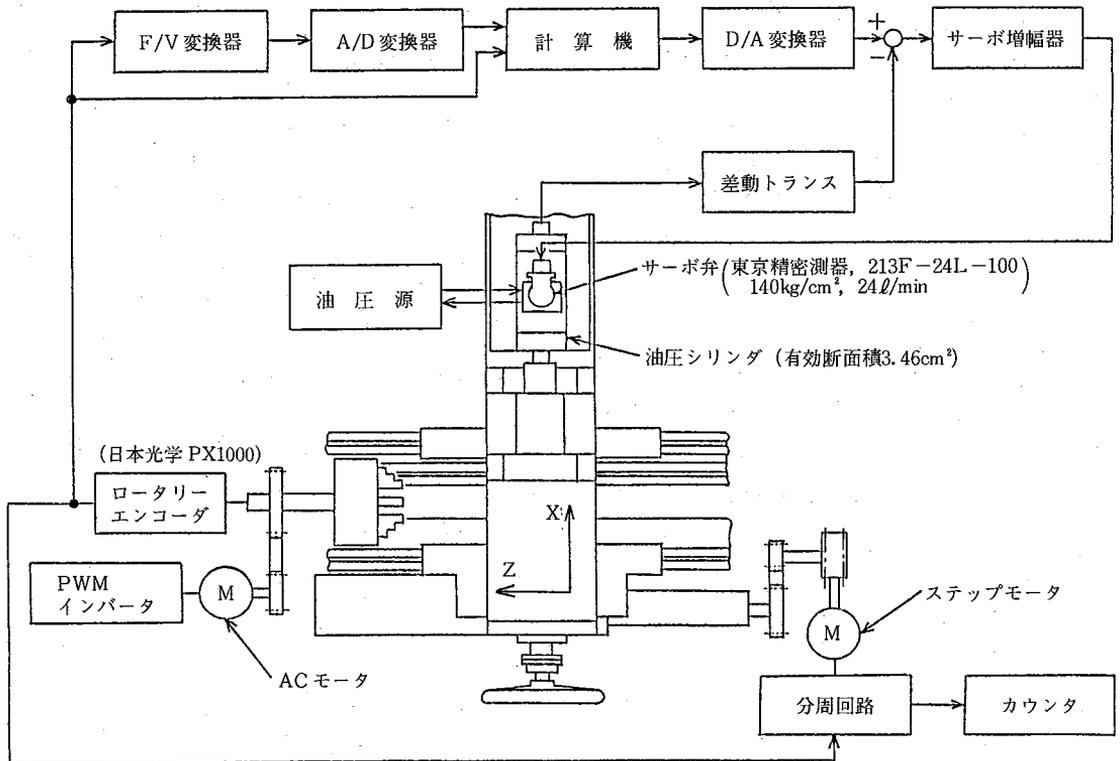


図3 3次元形状施削実験装置の制御系

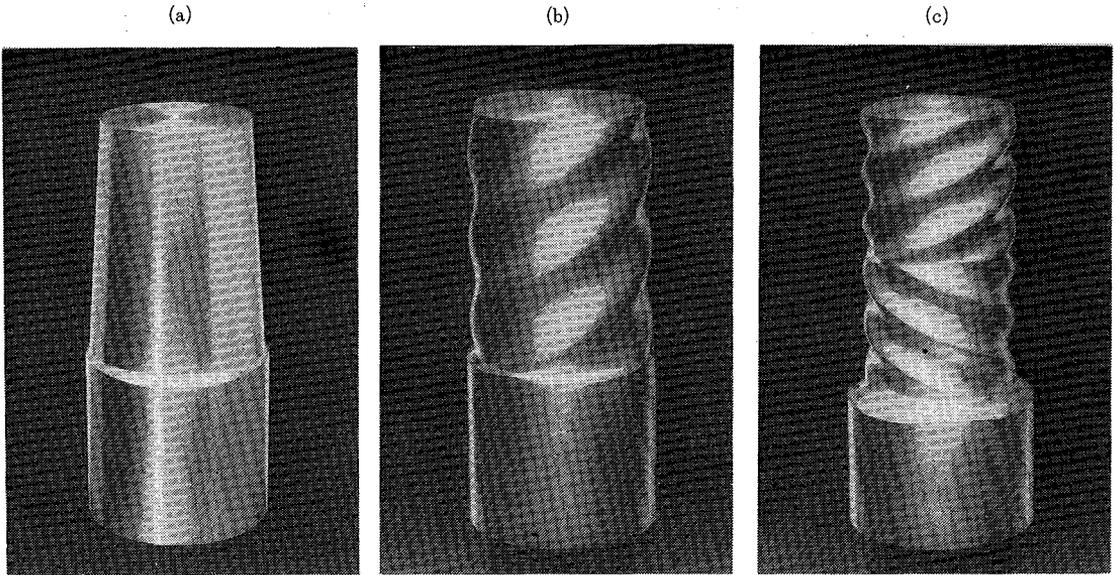


図 4 旋削加工例

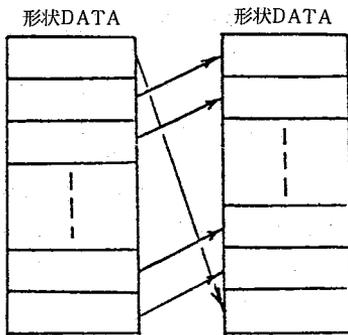


図 5 形状データのシフト

方向に関してテーパを付けたものである。

図 4 の (b) の断面形状は  $r=31+2\sin 4\theta$  (mm) であり、形状データのアドレスを図 5 に示すように主軸の数回転ごとにシフトさせることによって Z 軸に関して断面形状の位相を連続的に変化させたものである。

図 4 の (c) の断面形状は  $r=25.5+1.5\sin 4\theta$  であり、形状データのアドレスのシフトの方向を途中で逆転させて得たものである。

主軸の回転数は 240 rpm で加工しており、通常の旋削加工における回転数に比べると低いが、たとえば (c) の

加工ではバイトが 1 秒間に 16 回往復していることからわかるように、非円形輪郭形状の旋削加工としては、従来のほかの形式のものに比べてかなり高速であると言える。

#### 4. あとがき

数値制御による電気油圧サーボ機構を利用することによって、3次元任意形状旋削加工への発展が期待できる非円形輪郭旋削加工機構を開発することができた。現在、加工精度の向上を目的としたバイト位置決め制御方法と、3次元任意形状旋削を行うためのソフトウェアの開発を進めている。

おわりに、本研究に協力していただいた元研究生、三本勝と星武彦の両氏に謝意を表す。

(1985年9月2日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 鴻田隆, 藤本千敏: 旋盤による三次元加工, マシニスト (1976.6) 16-22
- 2) 樋口俊郎, 水野毅, 管井博, 尹昌朝: 電気油圧サーボ機構を利用した非円形輪郭切削に関する基礎研究, 生産研究 36, 2.109-111
- 3) 樋口俊郎, 三本勝, 水野毅: 非円形輪郭切削における油圧サーボ系の遅れの補償について, 昭和 59 年春季油圧学会講演会講演論文集, 57-60