

# 断面にテーパや円弧を有するノズルの内面加工

三重大学工学部工学研究科技術部

○中川浩希 , 龍田雅夫 , 上野素裕 , 鈴木義和

nakagawa@mach.mie-u.ac.jp

## 1. はじめに

工学部では、断面にテーパや円弧を有するノズルを用いた流動現象の研究や実験が行われており、実験・実習工場では、そのノズルの加工依頼に対応している。ノズル加工は、加工径が小さく、テーパや円弧の寸法精度と滑らかな加工面が要求される。そこで本報告ではノズルの内面加工において、加工法の創意工夫をしたことについて報告する。

## 2. ノズルの概要

製作した2種類のノズルを、ノズル①(図1)とノズル②(図2)に示す。ノズル①は全長105mmで先端部(図1 A)にテーパを有する形状であり、内面最細部は穴径 $\phi 3\text{mm}$ の形状である。次にノズル②は全長83mmで最細部の穴径が $\phi 8\text{mm}$ であるが、角度の異なる二つのテーパを繋ぐ部分に半径20mmの円弧を有する形状である。材質は、ノズル①②ともに機械構造用炭素鋼鋼材 S45C を使用する。また、ノズル内面を出来る限り良好な仕上げ面とすることが求められた。

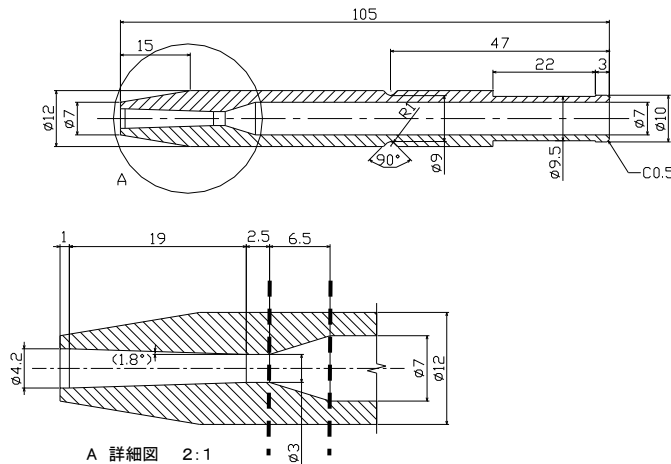


図1 ノズル①

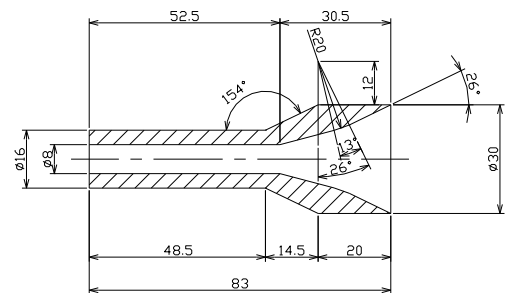


図2 ノズル②

## 3. 加工法の検討

円筒形状の内面加工は、旋盤を使ってドリルであけた穴を中グリバイト(穴削り刃)で正しい寸法に仕上げる中グリ加工を行うのが通常である。しかし、今回は、加工するノズルの形状について加工法の検討を行った結果、中グリバイトによる旋削加工ではなく、エンドミルを用いたミーリング加工で行う方法を考えノズルの内面加工を行った。

ノズル①は最細部が $\phi 3\text{mm}$ と細穴であるため、中グリでは加工が難行し、良好な仕上げ面とすることが困難であると考え、CNCフライス盤(図3)を用いたエンドミル加工で、プログラム運転によるテーパ加工を行うこととした。また、角度と向き異なるテーパ部があるため、図1の点線で分割してそれぞれの形状を加工した。ノズル②は、ノズル①と同様にCNCフライス盤で加工することを検討したが、

二つのテーパ部を繋ぐ半径 20mm の円弧の、加工経路のプログラミングが不可能であったため、その経路が加工可能な CNC 旋盤（図 4）のミーリング機能に着目し、エンドミルによる内面加工で加工を行った。表 1 に使用機械や工具および切削条件等を示す。



図 3 CNC フライス盤



図 4 CNC 旋盤

表 1 使用機械・工具等

	ノズル①	ノズル②
使用機械	CNC フライス盤 (春日製作所 (株) 製 : SNC-V2-B)	CNC 旋盤 (森精機 (株) 製 : NL2000-SY)
使用工具	φ 3 エンドミル (超硬) OSG 製 (WXL-LN-EDS 3×20 (深リブ型))	φ 7 エンドミル (超硬) OSG 製 (WX-PHSS 7)
切削条件 (回転数)	1300 (rpm)	3000 (rpm)
切削条件 (送り)	30 (mm/min)	500 (mm/min)
切削油	MQL セミドライ (ミスト加工)	水溶性切削油

#### 4. 表面性状（表面粗さ）の検討

ノズル内面を出来る限り良好な仕上げ面とするため、理論表面粗さの計算式を用いて表面性状を検討した。今回の加工法における仕上げ面の表面粗さは、算術平均粗さ Ra0.4~0.8 に相当する面粗さになることが計算結果より得られた。これは、滑らかな仕上げ面の区分に該当することから、実際の加工においては耐摩耗性が良く、高速加工が可能な超硬エンドミルを用いて、切り屑の排出に気をつけることで良好な仕上げ面が得られると考えた。

#### 5. ノズル①の加工

ノズル①は、CNC フライス盤で内面加工を行った。ここでは、大径 7mm、小径 3mm、長さ 6.5mm のテーパ加工について報告する。加工の概略図を図 5 に示す。

材料の固定は、テーブル上に三つ爪チャックを固定し、普通旋盤であらかじめ外周加工と穴あけ加工を行った材料をチャッキングした。次に φ3.0mm の超硬エンドミルを使用して、NC プログラムの自動運転でテーパ形状の加工を行った。NC プログラムは、工具半径 (1.5mm) を考慮し、微小な切削面積で加工を進めるプログラムとした。大径

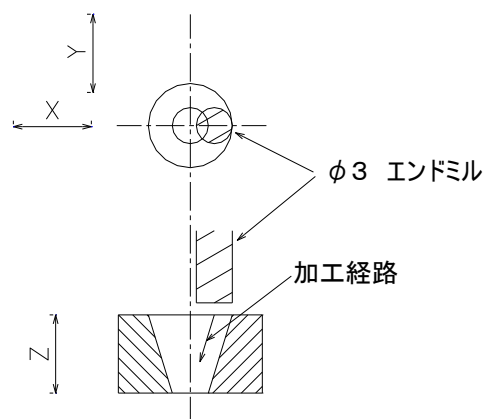


図 5 ノズル① 加工概略図

の仕上げ寸法（φ7mm）となるように X, Y 座標値を指令し、X, Y, Z の 3 軸制御で小径 3mm 深さ 6.5mm まで動きを繰り返して加工を行った。加工部の様子を図 6 に示す。また X, Y 座標値は、図 7 に示すように分割した角度  $\theta$  のときの X, Y 座標を関数「 $X=R \times \cos(\theta)$ 、 $Y=R \times \sin(\theta)$ 」で演算指令するマクロプログラムを組み込んだ。このとき、分割角度を細かく設定することで滑らかな仕上げ面を得ることが出来る。



図 6 CNC フライス盤 加工部の様子

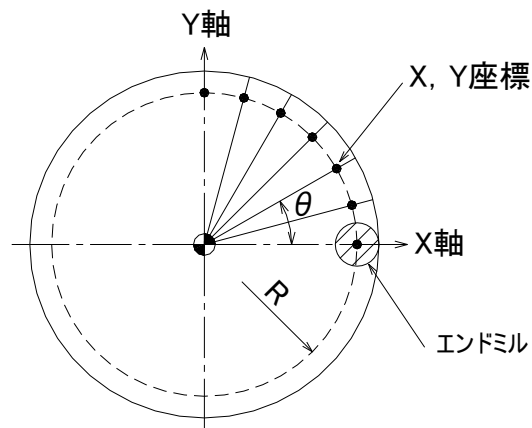


図 7

## 6. ノズル②の加工

ノズル②は、CNC 旋盤のミーリング機能とチャックの角度位置決め機能（C 軸制御）を使って、φ7.0 mm の超硬エンドミルで加工を行った。加工の概略図を図 8 に示す。また、加工部の様子を図 9 に示す。

普通旋盤で、外周加工と穴あけ加工を行った材料を油圧チャックに固定し、C 軸制御で角度位置決めを行い、X, Z 軸制御でテーパから円弧そしてテーパを切削する NC プログラムで加工した。加工中は C 軸角度を変えながら X, Z 軸は同じ動きを繰り返すため、プログラム中に加法形演算で C 軸位置を演算するマクロプログラムを組み込んだ。

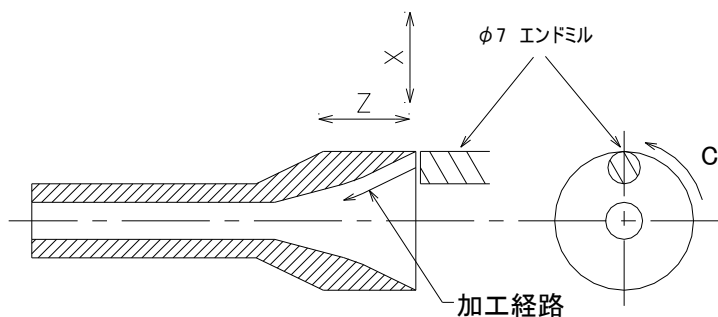


図 8 ノズル② 加工概略図



図 9 CNC 旋盤 加工部の様子

## 7. おわりに

断面にテーパや円弧を有するノズルの内面加工について、エンドミルを用いたミーリング加工で行う加工方法を考え、実際の委託作業で実施し完成することが出来た。そして、加工したノズルは依頼された研究者の、流動現象の研究や実験で使用されている。

今回の加工方法について、切削工具メーカーの方と話す機会があり、その中で「このような加工方法は、はじめて聞きました。」とのことで、加工方法の創意工夫が出来たと思われる。また、工具の選定や切削条件の見直しと加工経路の工夫で、色々な形状の加工や、さらに良好な仕上げ面を得られると思うので、今後の加工で応用していきたい。