

## 5 軸マシニングセンタにおける S 字加工試験の検討

大阪工業大学 ○中井 立夫, 大阪工業大学 ◎井原 之敏

Study on the “S” Shaped Test Piece of 5-Axis Machining Center  
Osaka Institute of Technology, Tatsuo NAKAI, Yukitoshi IHARA

近年、複雑で高速かつ高精度な加工が要求される金型製造分野において 5 軸マシニングセンタが注目されている。5 軸マシニングセンタの工作精度検査規格である ISO10791-7 は、2014 年に改正されたが、追加で中国から航空機部品用の精度検査規格として S 字加工試験片が提案されており、現在は審議中である。本研究では、附属書として追加で 2015 年 5 月に提案された S 字加工試験に基づき、S 字加工試験片モデルの作成における問題点について検討する。

### 1. 緒 言

近年の工作機械は技術の発展にともない高速かつ高精度な加工が要求される金型製造分野において 5 軸マシニングセンタが注目されている。5 軸マシニングセンタの工作精度検査規格である ISO10791-7 は、2014 年に改正され、附属書に中国から提案された S 字加工試験が追加されようとしている。現在は ISO/TC39/SC2 で問題点について審議中である。

本研究では、旋盤形の複合加工機で S 字加工試験を行った。その際、モデルの作成から加工するまでいくつかの問題が発生し、それらの問題点について検討した。

### 2. S 字加工試験

S 字加工試験は傾斜のある S 字形状の立ち壁をエンドミルで同時 5 軸制御による加工を行い、形状誤差を測定することにより 5 軸マシニングセンタの工作精度を評価する方法である。図 1 に示すように試験片を水平面に投影すると、一面の立ち壁を作成するための異なる高さのスプライン曲線は平行ではなく、試験片の中心で交わっている。このようなスプライン曲線によって作成された試験片は S 字形状部分にねじれ角を生じる。つまり、S 字形状部分の傾斜角は常に変化しており、最大傾斜角は 15.5°、最小傾斜角は 0°である。そのため、5 軸マシニングセンタで S 字加工試験を行うと、工具軸の姿勢は S 字形状部分の側面に沿って常に変化する。よって、S 字加工試験は 5 軸マシニングセンタの直進軸と旋回軸の同期運動精度を検査することができる。

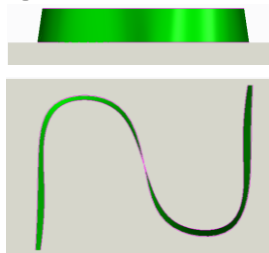


図 1 S 字試験片の水平面投影図

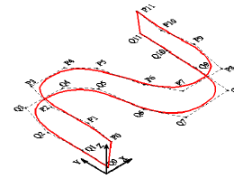
### 3. 実験方法

#### 3.1 モデルの作成方法

今までに発表された S 字加工試験片に関する提案または修正案では S 字形状部分を作成するための指示点の種類や数または座標が指定されているが、ソフトウェアについて指定されていない。そのため、本研究では Siemens PLM Software 社の 3DCAD/CAE ソフト NX Learning Edition (以下 NX と省略) を使用した。また、異なるソフトで作成した試験片の形状を比較するため、PTC 社の 3 次元 CAD ソフト Creo Parametric 2.0 (以下 Creo と省略) も使用

した。

4×12 点の制御点から 4 本の B スプラインを作成し、上下の曲線を繋ぎ、2 面のルールドサーフェスを作成する。次にサーフェスの端点を結び、S 字加工試験片の S 字形状部分を作成する。図 2 は 1 面のルールドサーフェスを作成するための制御点を示す。



Qi	POS-X	POS-Y	POS-Z	Pi	POS-X	POS-Y	POS-Z
Q0	2.40	1.00	0	P0	4.80	1.00	16
Q1	3.60	22.80	0	P1	8.40	22.80	16
Q2	2.00	48.40	0	P2	4.80	48.40	16
Q3	10.00	74.00	0	P3	10.80	70.40	16
Q4	38.00	72.80	0	P4	36.80	70.00	16
Q5	52.00	58.00	0	P5	49.20	56.80	16
Q6	54.80	26.00	0	P6	56.80	26.80	16
Q7	67.20	4.00	0	P7	68.00	7.20	16
Q8	102.00	5.60	0	P8	98.40	6.80	16
Q9	104.80	34.00	0	P9	103.60	34.00	16
Q10	104.40	56.40	0	P10	100.00	56.40	16
Q11	105.60	79.00	0	P11	103.20	79.00	16

図 2 S 字形状部分の制御点座標

#### 3.2 加工方法

本研究では図 3 に示すような混合形の 5 軸マシニングセンタと同じ軸構造を持つ旋盤形の複合加工機で実験を行った。また表 2 に示すように実験対象機の可動範囲が限られているので、試験片を 0.4 倍に縮尺し、加工を行った。加工条件や使用工具は表 1 に示すように規格に推奨されたものを使用した。

試験片の S 字形状部分は複雑な曲面であるため、加工には CAM システムが必要となる。そこで本研究では DP Technology 社の CAM システム ESPRIT を用いて、3 軸荒加工は 1mm×16 回の加工パス、5 軸中仕上げ加工は 0.5mm×9 回の加工パス、5 軸仕上げ加工は 0.3×3 回、0.1×1 回の加工パスの NC プログラムを作成した。

表 1 加工条件

送り速度	1000mm/min
工具回転速度	5000rpm
使用工具	フラットエンドミル 直径 10mm
使用材料	A2017 (規格推奨 : A7075)

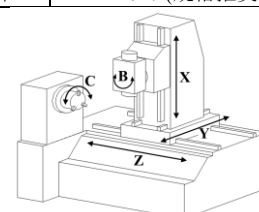


図 3 実験対象機の軸構造と移動量

表2 実験対象機の各軸における移動量

X 軸移動量 [mm]	380
Y 軸移動量 [mm]	±105
Z 軸移動量 [mm]	460
B 軸移動量 [deg]	±120
C 軸移動量 [deg]	360

### 3.3 測定方法

本研究ではリニアスケールによるフルクローズドループ制御を行っている直進3軸マシニングセンタとタッチトリガプローブ、Form Control という測定専用ソフトウェアを用いて試験片の形状誤差を測定した。Form Control は工作物の形状計測を目的としており、3DCAD モデル上で指定した測定点の座標とタッチトリガプローブが実際に接触した点の座標との差を X 成分, Y 成分, Z 成分ごとに結果として出力するソフトウェアである。

形状誤差は S 字加工試験で指定されている座標について測定を行う。形状誤差の測定点は2面のルールドサーフェスの異なる高さ(Z=14.0mm, Z=9.2mm, Z=4.4mm)にそれぞれ25点が指定されている。計150点の測定を行った。形状誤差の許容値は100 $\mu$ m である。

## 4. 結果及び考察

### 4.1 3次元CADによるS字試験片モデルの誤差

Form Control で試験片モデルに測定点を配置するとき、規格に記載された測定点における3つの座標(X, Y, Z)のうちの2つを指定することで、残り1つの座標は試験片モデルの形状によって得られる。この取得値と規格に記載されたもう1つの座標を比較した。両者の差は試験片モデルを作成するときに生じた誤差であると考えられる。このようにNXで作成した試験片モデル1の誤差を図2、Creoで作成した試験片モデル2の誤差を図3に示す。

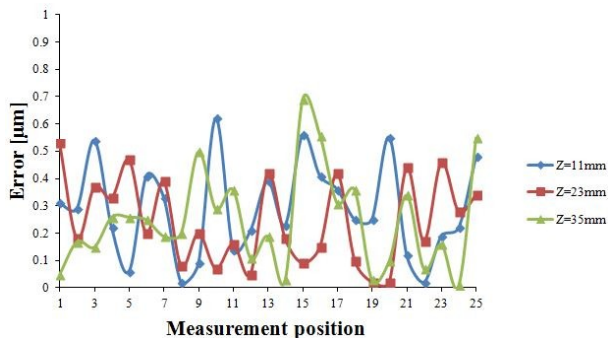


図2 試験片モデル1における測定点からの誤差 (NX)

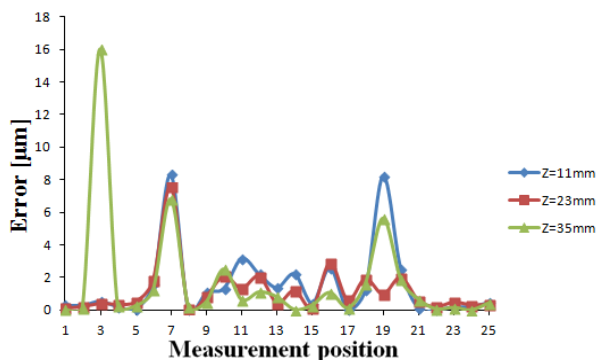


図3 試験片モデル2における測定点からの誤差 (Creo)

NXで作成した試験片モデル1における測定点の誤差は最大0.7 $\mu$ m程度である。Creoで作成した試験片モデル2における測定点の誤差は最大16 $\mu$ mの誤差がある。2つの試験片モデルを比較すると、異なる3次元CADソフトで作成した試験片モデルの形状が異なることがわかる。規格に記載された測定点はNXで作成した試験片モデルから得られたと推定している。以上のことからS字加工試験を精度よく行うとすると、3次元CADソフトの指定が必要であると考えられる。

そのため、最新のS字加工試験における提案ではSTEPファイル形式の基準試験片が示された。

### 4.2 実加工の測定結果

NXで作成した試験片モデル1では測定点との誤差がほとんど見られないので、本研究では試験片モデル1を用いて実験を行い、形状誤差の測定を行った。

加工後の試験片を図4に、測定結果を図5に示す。



図4 S字加工試験片

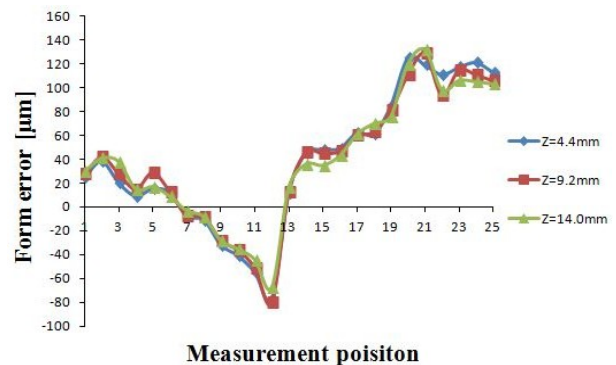


図5 S字加工試験片の形状誤差

試験片における形状誤差は11点目から徐々に大きくなる傾向が見られた、そして、20点目から形状誤差は許容値100 $\mu$ mを超えて、最大130 $\mu$ mとなった。

11点目から15点目はS字形状部分の傾斜方向が切り替わる箇所である。そのため、実験対象機では傾斜軸を用いて工具の姿勢を切り替えるときに誤差が発生したと考えられる。

## 5. 結 言

混合形5軸マシニングセンタと同じ軸構造を持つ複合加工機でS字加工試験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 現段階の問題点は、異なる3次元CADソフトを用いて、作成したS字加工試験片モデルが微妙に異なる。
- 2) 結果を得られるのに時間がかかるなどの問題がある。また、試験片の材料が高価である。

## 謝 辞

実験機を貸与していただいたMachine Tool Technologies Research Foundation (MTTRF) に感謝いたします。