

スロートツールサーボ加工による軸外し放物面鏡製作講習

○松下幸司，立花健二，大西崇文，叶哲生，鈴木和司，鳥居龍晴

教育・研究技術支援室 装置開発技術系

1 はじめに

天文学等の機器に用いられる光学部品は，球面，放物面，双曲面など様々な曲面形状を要求される．それらの光学部品の製作には，旋盤を用い材料を回転させて切削する方法を用いるのが一般的手法の一つである．しかし軸外しの曲面部品のように，回転中心軸から大きく離れた部分に材料を設置し，切削したときにできる曲面形状を必要とする場合があり，旋盤の材料固定用回転軸の大きさには限度があるため製作困難な形状もある．そのような形状の部品に対して，材料を回転中心軸近傍に設置し，材料固定用回転軸の回転位置と工具の位置関係を同期させて動かし，曲面を製作するスロートツールサーボ（STS）機能を持つ旋盤の利用が有効である．STS 加工を用いれば，旋盤の材料固定用回転軸の大きさに関わらず，製作可能な曲面形状の範囲を広められるという利点がある．そこで，広範囲の部品製作に役立つ知見を得るため，STS 加工を用いた軸外し放物面鏡の製作講習を受講したので，その結果を報告する．

2 スロートツールサーボ（STS）加工

通常の旋盤加工では，図1のように被削材料を回転させ，工具により被削材料を切削し軸対称形状を製作する．軸外し放物面などを加工することも図1のような加工方法で可能であるが，回転半径が加工機の固定可能範囲を超える場合は製作困難である．一方，STS 加工は，被削材料の回転位置と工具の位置の同期をとり，軸外し放物面，自由曲面などの非軸対称形状の製作を実現する旋削手法である．図2のように被削材料の形状が回転軸に対し非対称で，被削材料が1回転する間にZ方向の高さが変化する場合，通常の旋盤加工の工具の動作に加え，被削材料の高さに合わせ工具をZ方向に移動させて加工する点がSTS加工の特徴である．STS加工を用いれば，図1で示した形状でも，図3のように主軸の中心付近に設置し製作が可能であり，その他の非軸対称形状も同様の旋削加工により製作できる．

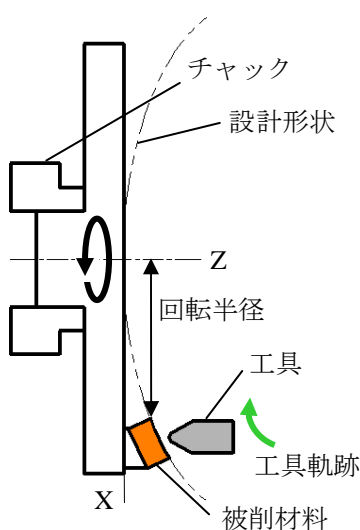


図1 通常旋盤加工

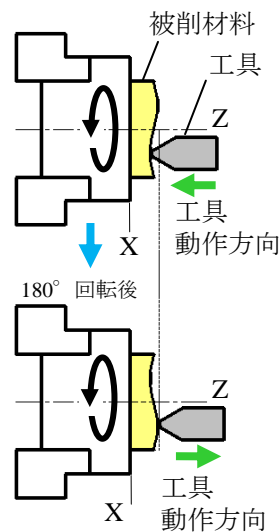


図2 STS加工動作一例

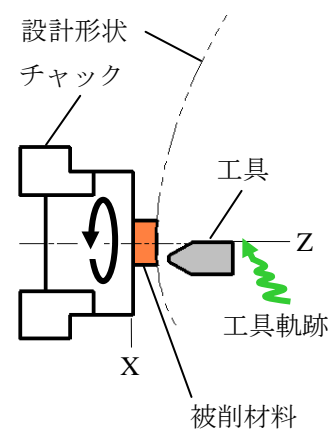


図3 非軸対称形状のSTS加工

3 製作方法

本講習は、株式会社クリスタル光学で受講した。

加工試料は材質 A5052 で、図 4 のように対称軸 (Y 軸) から外れた位置の放物面形状である。通常の加工機で仕上げ代を残し前加工したものを、超精密ダイヤモンド旋盤 Nanoform 250ultra (アメテック製) による STS 加工で仕上げた。加工後、超高精度三次元測定機 UA3P (Panasonic 製) で形状を測定し、非接触表面形状測定機 New View7200 (ZYGO 製) で面粗さを測定した。

加工機の仕様は表 1 のとおりである。STS 加工時の配置を図 5 に示す。加工試料を設置した回転軸には角度スケールが付いており、工具の位置を決める X, Z テーブル位置との同期をとることができる。

STS 加工の仕上条件は、表 2 のとおりである。NC プログラムでは、加工試料の回転角度 3° ごとに、通過点の X 座標, Z 座標, 加工試料の回転角度を指令する。よって、指令点をつなぎ合わせると加工面全体で渦巻き状の経路として描かれる。一方、軸対称の加工試料の断面形状は 1 通りだけであるので、1 断面分の指令点で NC プログラムが構成され、指令点をつなぎ合わせると断面形状を示す 1 本の曲線となる。したがって、STS 加工を要する形状では、軸対称形状に比べ NC プログラムの指令点は多くなりやすい。指令点間は、NC プログラム運転中に加工機内で計算した曲線経路で移動する。また、指令値と実際のテーブル位置の比較および位置ずれの修正をリアルタイムでおこなうシステムとなっており、高精度加工を実現している。

設計形状に上げるための工程として、STS 加工前に、加工試料の中心および工具の中心を加工機主軸の回転中心に合わせることで、加工試料の設置角度を加工機に認識させることがある。特に後者は、軸対称部品の旋盤加工の場合と異なっている点あり、加工試料の回転角度と工具の位置が同期関係にある STS 加工の特徴的な作業である。

STS 加工で扱う自由曲面などは、加工試料が 1 回転する間に、Z 方向の加工位置が切込深さよりも著しく大きく変化するため、加工試料を正しい位置に設置できていない場合は、加工機や工具の損傷を伴う衝突が

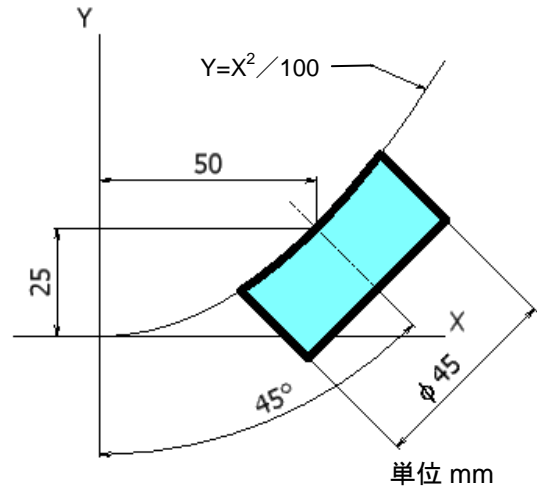


図 4 加工試料形状

表 1 加工機仕様

加工機	超精密ダイヤモンド旋盤 Nanoform250ultra, アメテック社
テーブル移動範囲	X 220mm, Z 220mm
テーブル位置決め フィードバック分解能	4.3 nm
テーブル駆動方式	AC リニアモータ
テーブル案内構造	油静圧式
ワークスピンドル (C 軸) 最大回転数	1500min^{-1}
ワークスピンドル (C 軸) フィードバック分解能	0.01 秒
ワークスピンドル 案内構造	エアースピンドル

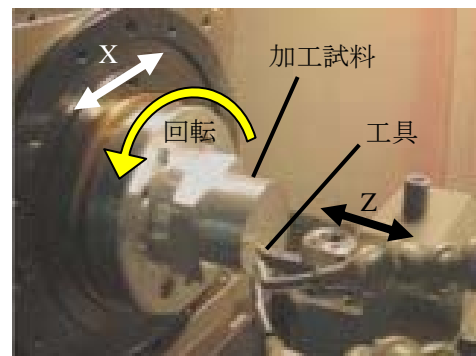


図 5 加工時配置

起こりうる。したがって STS 加工では、加工試料と工具の位置が、NC プログラムで指令した同期関係になっていることを、十分確認のうえ加工を開始する。

4 製作結果

図 6, 図 7 に、超精密ダイヤモンド旋盤による STS 加工前後の放物面形状部品を示す。STS 加工後は、鏡面になっていることがわかる。

4.1 形状測定

形状精度を図 8 の超高精度三次元測定機 UA3P で測定した。UA3P は、プローブと測定物の原子間力を一定に保ちながら走査し、形状測定をおこなう方式である。仕様は、測定精度 $0.05 \mu\text{m}$ 以内、再現精度 $0.05 \mu\text{m}$ 以内、測定力 $0.15\text{--}0.3\text{mN}$ 、 $R2.5 \mu\text{m}$ ダイヤモンドプローブである。

製作した試料の測定値と設計値を比較し、 $0.126 \mu\text{m}$ RMS, $0.695 \mu\text{m}$ PV の形状精度であった。加工面全体の形状精度を図 9 に示す。

4.2 粗さ測定

加工面粗さを図 10 の非接触表面形状測定機 NewView7200 で測定した。NewView7200 は走査型白色干渉計を用いた測定器で、測定面の各位置で干渉強度が最大になる高さを垂直走査して探す方式である。仕様は、垂直分解能 0.1nm 、RMS 再現性 0.01nm RMS 未満、垂直測定範囲 $150 \mu\text{m}$ 、CCD 画素数 640×480 である。

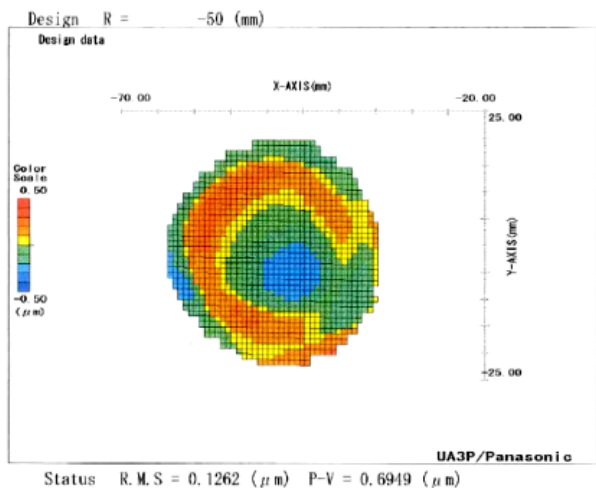


図 9 形状精度測定結果

表 2 STS 加工仕上条件

被削材料	A5052
回転数	50 min^{-1}
最大切削速度	7 m/min
送り速度	$3 \mu\text{m/rev}$
切込深さ	$4 \mu\text{m}$
移動指令間隔	3°
工具	単結晶ダイヤモンド ノーズ R : 0.45 mm すくい角 : 0° 逃げ角 : 10°
切削油	鉱油ミスト

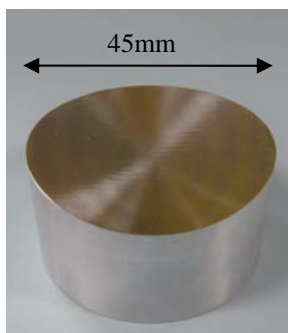


図 6 STS 加工前



図 7 STS 加工後



図 8 超高精度三次元測定機 UA3P



図 10 非接触表面形状測定機
NewView7200

加工面粗さは、2.7–3.4 nmRMS, 48.7–123.2 nmPV であった。測定結果の一例を図 11 に示す。筋状の形状は工具の送り方向に対し垂直になっており、旋盤加工の特徴が観察できる。図 12 のパワースペクトル密度分布では、横軸の空間周波数は 1 mm 長さあたりの波数を示しており、330/mm 程度の波形が加工面に存在することがわかる。これは、送り速度 $3 \mu\text{m/rev}$ に起因すると考えられる。

5 まとめ

旋盤加工により自由曲面を製作可能なスローツールサーボ加工について講習を受け、加工の特徴、製作手順、加工精度に関する知見を得ることができた。今後、軸外し曲面や自由曲面の実験装置を必要とする研究者へ STS 加工の提案や、STS 加工に適した装置設計などに、講習で学んだことを活用したい。

本講習は、平成 25 年度技術研鑽プログラム経費によりおこなわれたものである。

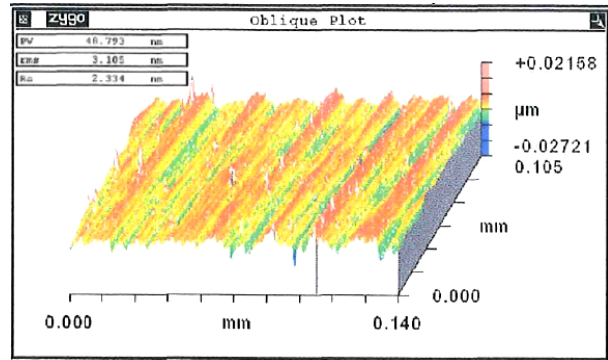


図 11 加工面粗さ測定結果 (50x)

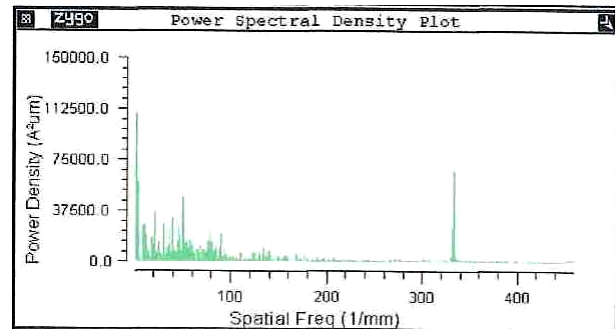


図 12 パワースペクトル密度