

# 小径レンズ金型加工用小型非球面加工機 ASP01

Compact Size Aspheric Generator for Microlens Molding Die ASP01

## キーワード

油静圧スライド，エアスピンドル，パソコン NC，機上計測装置，非球面レンズ，小径レンズ，金型，B 軸テーブル

プレジジョン事業部 技術部

清水 龍人

## 1. はじめに

不二越では空気や油を用いた非接触軸受の研究開発を行ない、1985 年よりこれらの技術を適用した精密機械を開発・商品化し販売してきた。中でも非球面加工機は機械の運動要素全てを非接触軸受により構成し、高精度、繰返し精度の良さ、制御性の良さを追求した超精密機械である。非球面加工機はこれまでに非接触軸受要素以外にも NC、モータ、位置検出器等の改善により年々高精度化を実現し、加工精度は世界のトップレベルに達した。

一方、近年では DVD、デジタルカメラ、光通信といった小径レンズの需要とともに高精度に加え、

機械の小型化・低価格の要望が高くなってきている。このニーズに応じて従来の高精度特性を損なうことなく省スペース・低価格を実現する小径レンズ金型加工用非球面加工機（ASP01）を開発したのでここに紹介する。

## 2. 本機の特徴

### 2.1 機械の構成

本機の外観と主な仕様を図 1 に示す。機械の大きさは従来の非球面加工機に比較して約 30%の省スペース化を実現している。図 2 に機械の構成を示す。機械構成は鋳物ベースの上に X、Z2 軸の油

#### 【スライドテーブル】

- ・スライド軸受：油静圧軸受
- ・送りねじ：油静圧ねじ
- ・駆動方式：AC サーボモータ
- ・位置検出器：レーザホログラムスケール  
分解能 1nm
- ・ストローク：X 軸 250mm，Z 軸 200mm

#### 【B 軸テーブル】

- ・軸受方式：油静圧軸受
- ・駆動方法：AC サーボモータ，ダイレクトドライブ

#### 【スピンドル】

- ・ワークスピンドル：エアスピンドル  
ビルトインモータ  
静圧油による強制冷却
- ・工具スピンドル：エアスピンドル  
エアタービン方式



#### 【機上計測装置】

- ・案内方式：エアースライド
- ・ストローク：±2mm（倣い測定法を採用）
- ・検出分解能：1nm

図 1 小型非球面加工機（ASP01）の外観と仕様

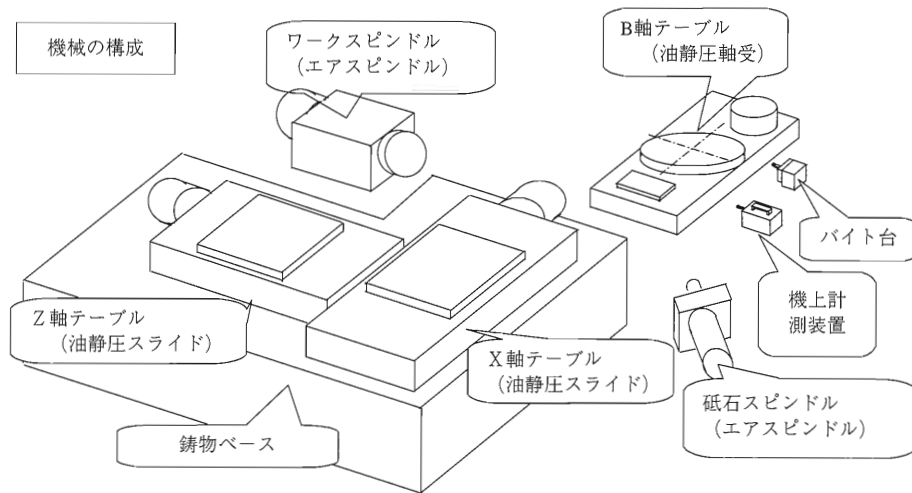
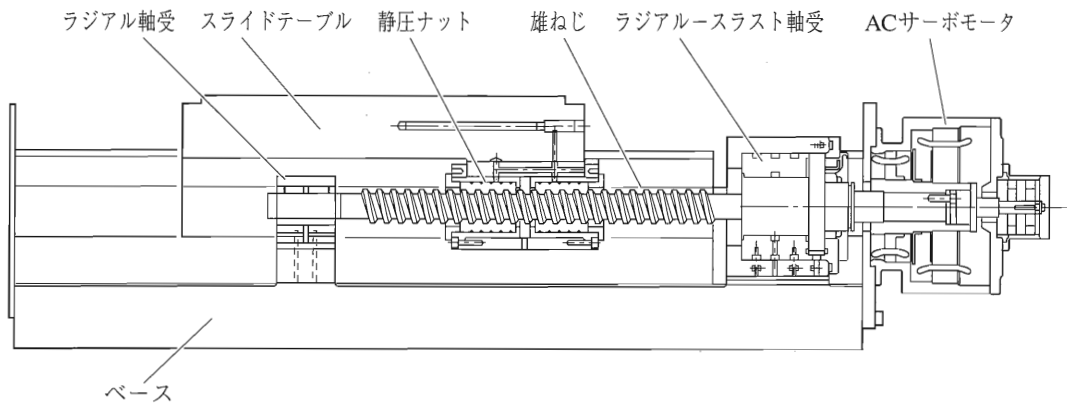


図2 機械の構成



- ・ 静圧ねじ，静圧スライドを用い，案内部の全てが非接触
- ・ モータと静圧ねじが直結している。バックラッシュが生じない構造。

図3 全静圧スライドの構造

静圧テーブルを T 型に構成し，X テーブル上に工具，Z テーブル上にワークスピンドルを搭載した。工具として砥石もしくはバイトを選定することにより，研削／切削の両方に対応することが可能である。加工は X，Z 軸テーブルの相対移動により描かれた軌跡をワークスピンドル上のワークに回転対称に転写する形で行なわれる。また特殊なケースではあるがワークの回転に同期させて Z テーブルを前後動作させることにより非回転対称の曲面を加工することも可能である。いずれもテーブルの運動精度，ワークスピンドルの回転精度が加工面に転写されるため，サブミクロンオーダーの精度が要求される光学レンズの加工において加工機のテーブル，スピンドルといった運動要素にはそれ以上の運動精度が要求される。次にそれぞれの要素の特徴について説明する。

## 2.2 ベース

本機は鑄物ベースを採用し，X，Z テーブルの案内面をベースと一体構造とした。ベースの加工において 2 軸の直角度を高精度に仕上げ，ベース材質と鑄造後処理の吟味により長期間にわたり高精度を維持することができる。また，機械のコンパクト化，コストダウンを実現するために機能を損なわず部品点数の削減を図った。さらに熱変形の点においてはベースとテーブルを同一材質とすることにより温度変化による熱膨張の差を無くし， $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  に温度コントロールされた作動油で機械温度を一定に保持することにより熱変位を抑えている。

## 2.3 スライドテーブル

非球面加工機にとってレンズ金型の曲線を創成する最も重要な要素である X，Z テーブルには油静圧スライドを採用している。スライドの構造を図 3

に示す。本スライドはテーブルを支持する軸受部、送りねじ部、送りねじを支持するラジアルスラストおよびラジアル軸受部と全ての軸受部に油静圧軸受を採用した。またモータをねじ端部に直接組み込むビルトイン方式としたことにより全ての運動部を非接触としている。特に送りねじには不二越独自の環状リセス型静圧ナットを採用しており以下の特長を有する。

- (1) ねじナット間に油圧が作用しているためガタが無くバックラッシュレスの動作が可能。
- (2) ナットフランク面全体に環状の軸受面を有しており軸受面積が大きく、高い送り剛性が得られる。
- (3) 円周方向に連続している軸受構造のためラジアル方向に油圧の力が作用せず、スライド真直度に影響を与えない。

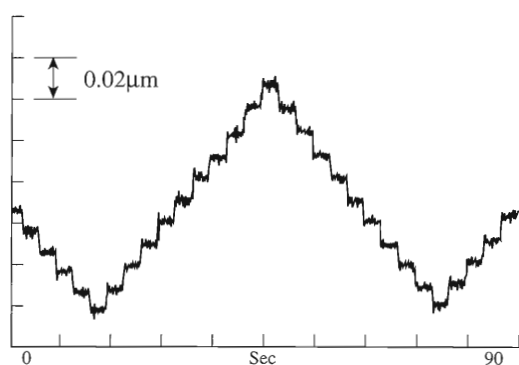
また作動流体として油を用いたことにより、空気軸受に比較して高減衰性と高剛性の特長があり、外乱振動に強く滑らかな加工を実現している。

スライドテーブルの位置検出器には 1.4nm 分解

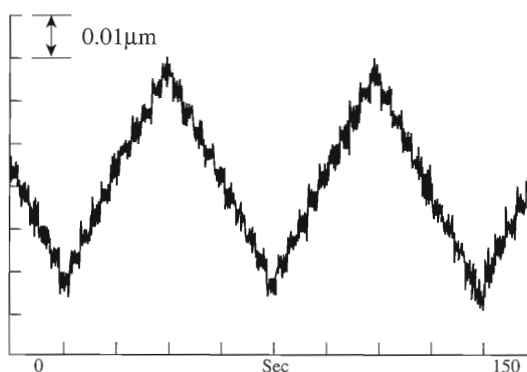
能の光学式レーザスケールを採用している。レーザスケールは高分解能、設置スペースが小さい、精度が環境の影響を受けにくい等の特長があり、従来のレーザ測長器における大きい、高価、環境条件が限定されるといった問題点を解消できる。図 4 に油静圧スライドの±方向に各 10 回のステップ移動指令を与えたときの位置決め分解能測定結果を示す。この結果より油静圧スライドがバックラッシュレスで正確に位置決めされることがわかる。

## 2.4 ワークスピンドル

ワークを回転させるスピンドルには自社製のエアスピンドルを採用した。図 5 に本機に搭載したワークスピンドルを示す。ワークスピンドルもスライド同様、直接加工精度に影響する重要な要素であるため高い運動精度が要求される。本スピンドルは 0.01 $\mu\text{m}$  オーダの回転精度（再現性）を有する。エアスピンドルは高精度、低発熱といった優れた特長より非球面加工機の主軸として採用されることが多

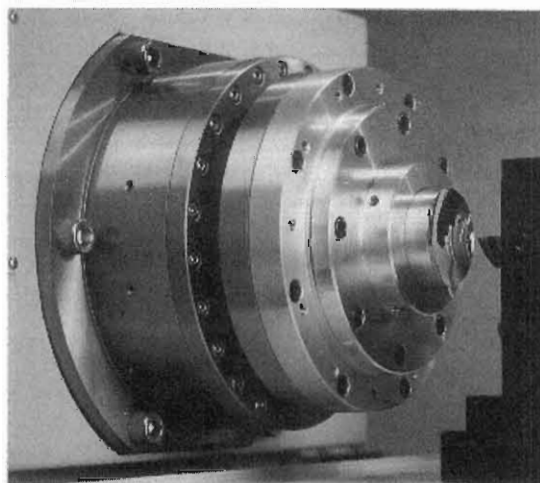


Z 軸：0.01 $\mu\text{m}$  ステップ



Z 軸 0.005 $\mu\text{m}$  ステップ

図 4 位置決め分解精度の測定結果



### 非球面加工機用 標準エアスピンドル

回転数	: MAX 2500rpm
モータ	: ACサーボ, インダクション
ワークサイズ	: $\phi 150\text{mm}$
チャック方式	: 真空, ねじ止め
供給圧	: 0.5 MPa

図 5 ワーク軸エアスピンドル

い。また剛性の点においても独自設計によりラジアル方向 40N/μm 以上, スラスト方向 100N/μm 以上の高い剛性を実現している。

## 2.5 NC 装置

NC 装置は WindowsNT を OS としたパソコン NC を採用した。非球面加工においては非球面形状を表す多数の点列座標を X, Z テーブルが滑らかに移動する必要があり, 滑らかな運動軌跡と高速処理能力の性能を実現する自社製パソコン NC を非球面加工専用開発した。標準ソフトも加工プログラム作成, 機上計測データ解析, 補正加工プログラム作成のほか, 各種のソフトを豊富に装備しパソコン感覚の操作性を実現した。

またパソコン NC, シーケンサのボードはパソコン内に収納されるため, 通常の NC に比較して省スペース化, コストダウンできるという利点もある。

## 2.6 オプション

### (1) 砥石軸スピンドル

研削仕様とする場合は砥石を回転させる砥石軸スピンドルを搭載する。砥石軸スピンドルも自社製のエアスピンドルを採用しており, 要望に応じてタービン駆動式またはモータ駆動式を選定することができる。

### (2) B 軸テーブル

B 軸テーブルはワークの形状に応じて工具を回転し, 常に工具の同じポイントで加工するために用いる。つまり, 工具形状精度の影響をキャンセルすることができるため, 0.1μm 以下の高い形状

精度を狙うためには必須のオプションである。B 軸テーブルも形状精度に影響する要素であるため高い回転精度が要求されるが, 油静圧軸受の採用を AC サーボモータのビルトインにより, 高精度な回転と位置制御を実現している。

### (3) 機上計測装置

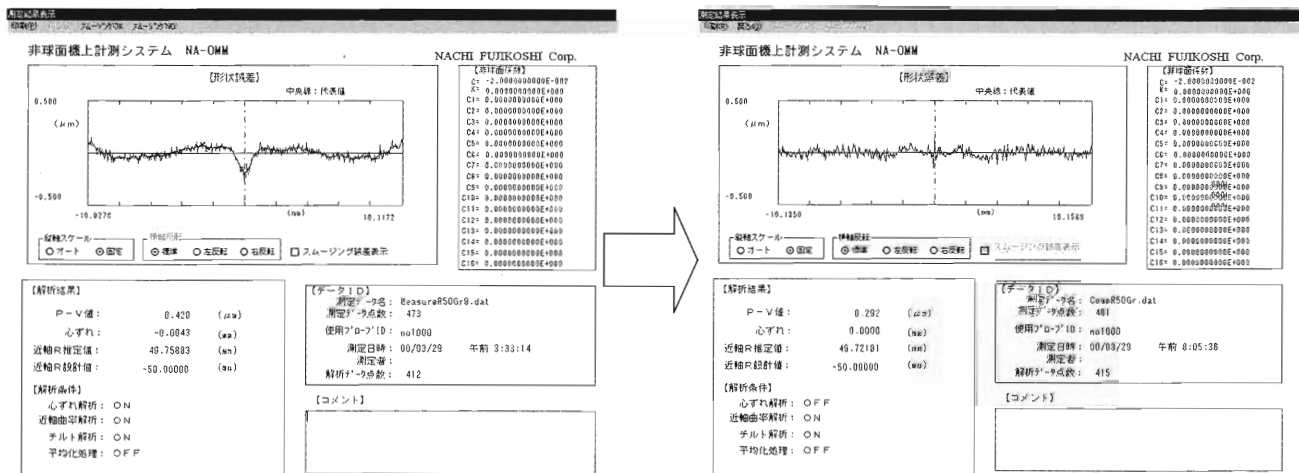
従来の機外測定ではワークの着脱による誤差分以上の加工量が必要となり, 砥石の磨耗により切れ味が低下し十分な補正ができないという問題があった。本機では機上計測装置をオプションとして選択することにより, ワークを機械から取り外すことなく加工後の形状精度を計測することができる。これにより最小限の加工量で補正加工することができ, 高い加工形状精度と加工時間の短縮を実現できる。

また付属の解析ソフトを用いて形状解析結果に基づく補正加工プログラムも簡単に作成することができるほか, 加工における工具原点のずれ量, 設定工具 R のずれ量など補正加工に必要な情報を得ることもできる。図 6 に機上計測により形状精度を測定した結果とこれに基づき補正加工した形状精度を示す。

## 3. 加工例

### 3.1 球面ミラーの切削加工

当社では機械の性能確認のため黄銅ワークの球面加工を実施する。ダイヤモンドバイトによる非鉄金属の切削加工は機械精度の転写性が高く, 機械の総合精度を確認するのに都合が良い。図 7 は X, Z,



一次加工結果および補正曲線

補正加工結果

図 6 補正加工前後の機上計測結果

φ50 球面切削加工（真鍮）

- ・ XZB 軸：3 軸同時制御加工
- ・ ワークスピンドル：1000rpm
- ・ 送り速度：5mm/min
- ・ 切り込み：5μm
- ・ 工具：0.5R 単結晶ダイヤモンドバイト

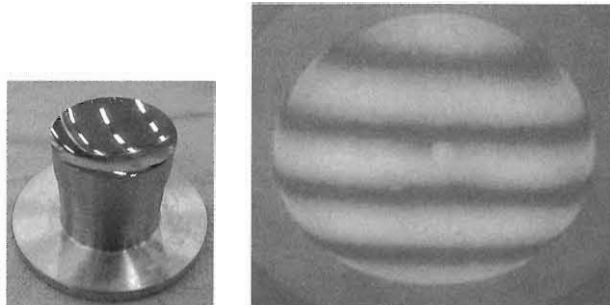
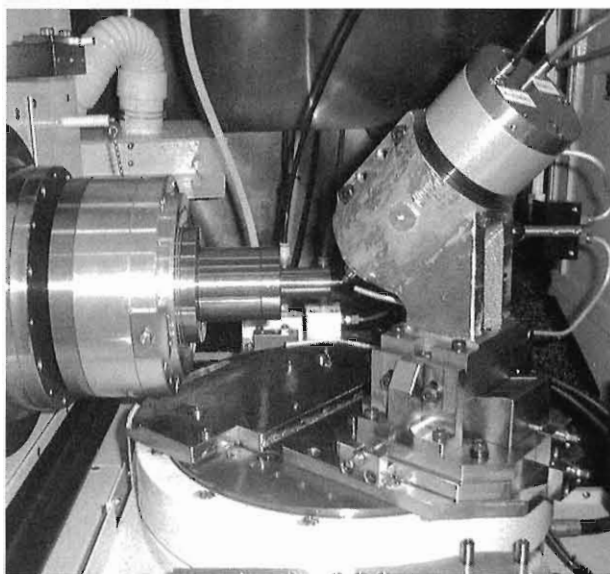


図7 真鍮ミラーの切削加工



- ・ ワーク：超硬
- ・ 形状：R1.6mm 凹非球面

図8 小径レンズ金型の研削加工

B3 軸同時制御でφ50-凹 R50 の球面を切削した黄銅ワークである。形状精度を評価した干渉縞写真より滑らかで高精度な加工面であることが確認できる。

### 3.2 小径レンズ金型の研削加工

通常、デジタルカメラ用などφ5mm 以上のレンズ金型を研削加工する場合はソロバン玉形の砥石を垂直な砥石軸スピンドルに取り付けて加工することが多い。しかし近年 DVD、光通信の用途で小径レンズの必要性が高まっている。φ2mm 以下の形状が深い凹 R 形状を加工する場合は砥石軸とワークの干渉

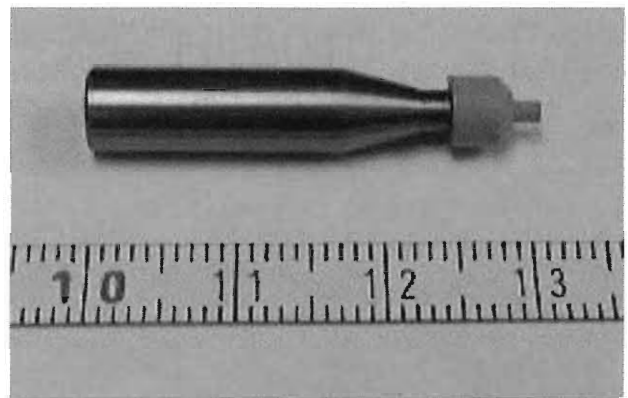
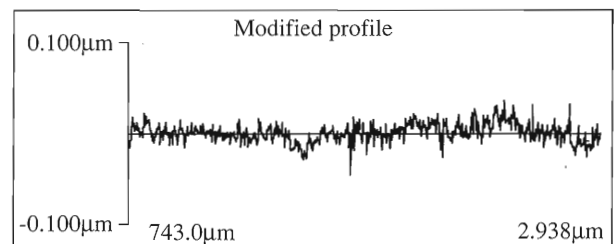


図9 小径レンズ金型用加工砥石



形状：凹 R2mm 球面  
形状精度：0.081μmP-V

図10 小径レンズ金型加工精度

を避けるために砥石軸を傾斜させて加工することになる。図8に本機にて小径レンズ金型を加工している様子を示す。ワークは約φ2mmの超硬で加工形状はR2mmの凹球面である。砥石は加工形状より小さいRとする必要があり、この加工においてはφ1.5mmの砥石を使用した(図9)。小径レンズの加工は比較的軽負荷加工であるため砥石軸はタービンスピンドルを使用した。また砥石軸を45度傾斜させ、加工点の高さが同じになるようX、Z、B3軸制御で加工を行った。図10に加工したワークの形状精度を示す。研削加工において加工範囲で0.1μm以内の形状精度が得られることを確認した。

## 4. おわりに

今回、小型非球面加工機の開発を行い従来精度を維持しながら約30%の省スペース化、低コスト化を達成した。これまでも加工精度においては多くのユーザーに評価いただいていたが、2001年9月に小型非球面加工機を販売開始してからはコストパフォーマンスの点においても好評を博し、これまでに以上に多方面のレンズ金型メーカーから引き合いをい

ただいている。これからは、さらにソフト面を充実しより操作性の優れた機械を開発していく予定である。