

超精密加工機 AHN15 シリーズ機の開発

Development of the Ultra High Precision Machine AHN15 Series

田中太宏 M. TANAKA

AHN15 series is the high precision machines that has been developed in order to be satisfied with the market that has required the more complex, the higher accuracy, the larger size. The X, Y, Z table has made up of the hydrostatic bearing, the new high performance linear motor, and the highest performance linear scale feedback. Therefore, it has been possible to move very smoothly. As the manufacturing of the die fast for the mass production was the most important development, not only the function that AHN05 has installed was improved more usefully but also the high precise adjustment tool device and the observed device for the processed surface on the machine was developed newly in order to make the working time on machine shortly between installing the work piece to the machine and making the die the higher accurately.

Key Words: high precision, aspheric and free-form surface machine, linear motor driving, linear scale feedback, on-the machine shape measuring device, easy operation

1. はじめに

超精密加工技術を必要とする業種は年々広がりを見せられており、その中でも、次世代ブルーレーザ、DVD、デジタルカメラ、光通信分野などにおいて小型レンズの需要が著しく増加してから久くなる。光通信分野の小型レンズ金型においては、ますます要求精度が厳しくなっており、形状精度 50nm 以下 ($1\text{nm} = 1/100 \text{万 mm}$)、表面粗さ 10nm 以下の要求も珍しくない。また、DVD の 2 焦点レンズ用金型のように、曲面上に微細溝を加工するなど、その形状は複雑化している。一方、最近では、一眼レフカメラなどの需要によるレンズの大型化が進むと共に、金型の量産化が指向され、生産性向上の要求が高まってきている。

このようなお客様のご要望にこたえるべく、生産性向上を一番の開発ターゲットとして、軸対称レンズ形状加工に特化した AHN15 と、軸対称レンズ形状および自由曲面形状 (3 次元形状) を加工できる AHN15-3D の 2 機種を開発した。もちろん、本シリーズ機はこれまで AHN05 で培われた技術を踏襲しており、X, Y, Z の送りは当社伝統の流体油軸受で支持し、さらに進化した高性能リニアモータ駆動で滑らか送りを実現した。図 1 に AHN15-3D の概観写真を示す。

本報では、AHN15 シリーズ機の特長を中心に紹介する。

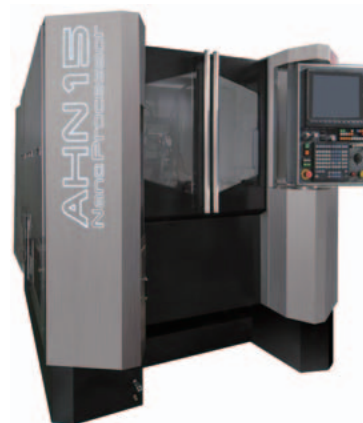


図 1 AHN15-3D 外観図
The view of AHN15-3D

2. 本機の機械構成

AHN15 は X, Z 軸スライドテーブルを備えた 2 軸を最小構成とし、B 軸回転テーブルを備えた同時 3 軸制御までを可能とする加工機である。また、AHN15-3D は X, Y, Z 軸スライドテーブルと、B 軸回転テーブルを備えた同時 4 軸制御加工機であり、主軸の割出し軸である C 軸を付加することにより同時 5 軸加工も可能であ

る。

各軸の構成は、ベッド上に設置された X 軸スライドテーブルと Z 軸テーブルの T 字型配置を基本構成とし、X 軸テーブル上には B 軸回転テーブルがオプション搭載される。また、Z 軸テーブル上には、工作物を固定するためのエア軸受製の主軸が搭載されている。さらに、AHN15-3D には主軸を上下させる Y 軸が搭載され、主軸に割出軸の C 軸がオプション搭載される (図2)。

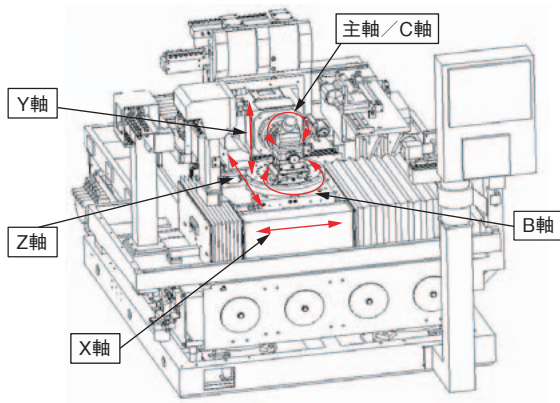


図2 機械構成図
Machine construction

一方、X 軸上には刃先位置を B 軸回転中心と一致させるための、工具位置調整台と工具が取り付けられるが、B 軸を付加した場合には、加工は直行する X、Z 軸により、工作物と工具の位置を制御するとともに、B 軸の回転により工具の角度制御をし、工具の輪郭精度が工作物の形状精度に影響しない、いわゆるシングルポイント加工が可能となっている。また工具位置調整台上の砥石軸ホルダ、バイトホルダは容易に交換でき、研削・切削両方に対応できるようになっている。また、本機と周辺機器のコンパクト化により、省スペース性と操作性を両立させた。表1に AHN15 と AHN15-3D の主な仕様を示す。

3. 本機の特長

本機は AHN05 で培われた技術を踏襲し、さらなる高精度化と操作性の向上を実現した。

表1 仕様
Specification

項目	AHN15	AHN15-3D
	仕様	仕様
最大加工径, mm	φ150 (φ250)	φ150 (φ250)
スライドテーブル移動距離, mm	X : 400, Z : 250	X : 400, Y : 100, Z : 250
B 軸回転角度, °	360	360
主軸回転速度, min ⁻¹	4 500	4 500
C 軸モード回転速度, min ⁻¹	—	(50)
早送り速度, mm/min	XZ : 1 000	XYZ : 1 000
切削送り速度, mm/min	XZ : 1 000	XYZ : 1 000
B 軸回転速度, min ⁻¹	5	5
最小設定単位 (XZ), nm	1	1
最小設定単位 (B), °	(0.00001)	0.000001
最小設定単位 (C), °	—	(0.000001)
制御軸	X, Z, (B)	X, Y, Z, B, (C)
同時制御軸数	2 (3)	4 (5)
制御の種類形式	インクリメンタル/アブソリュート	インクリメンタル/アブソリュート
最小指令単位 (XYZ), nm	1	1
最小指令単位 (B), °	(0.000001)	0.000001
最小指令単位 (C), °	—	(0.000001)

() は、オプション仕様

3.1 高精度化

3.1.1 ベッド

超精密加工機は加工精度を確保するため、通常は±1℃以下に室温が制御された恒温室に設置される。しかし、長時間においては、1サイクルの加工時間が数時間から数十時間にも及ぶことがあり、この間の室温変動が加工機の熱変位を引き起こし、形状精度を劣化させるという問題があった。本機のベッドはAHN05で採用されている熱安定化ベッドの設計を踏襲し、ベッド温度が外気温変動に対して追従しにくくなる工夫を施している。

3.1.2 送り機構

本機の駆動装置にはX、Y、Zの直線3軸に、超滑らかな送りを実現するための、特殊なリニアモータを採用している。このリニアモータはコアレス構造のため、滑らかな磁力変化によりコギングがないことと、駆動方向と垂直方向の磁気吸引力が皆無という特徴をもっている。レンズ加工におけるボールねじ駆動の問題点として、振れまわりによる規則正しい周期的なうねりの発生が挙げられており、コアレスのリニアモータはすでにAHN05で採用しこのようなうねりを解消しているが、本機ではさらにバージョンアップした小型高推力のリニアモータを開発し、直進性の向上を図った。また、ハイゲイン制御が可能な高速演算CNCの採用と従来比約4倍の分解能を持つ0.069nmリニアスケールフィードバック機構とあいまって、AHN05で高い評価を得ていた超滑らか機構に一層磨きをかけ、さらに、安定した位置決めを可能とした。

3.2 操作性の向上

3.2.1 内製化した機上形状測定器

超精密加工では、加工形状精度を高めるため補正加工が重要な役割を担っている。中でも機上形状測定は、工作物の着脱、芯出し工程が不要なため、生産性および加工精度の向上に必要な機能となっており、機上で形状測定と補正加工を繰返しながら、迅速に要求精度まで到達させることができる。当社の超精密加工機においても、従来から機上形状測定器を搭載しているが、さらなる高精度化、フレキシブル性向上を目的に機上形状測定器を開発した。

今回開発した機上形状測定器の構成を図3に示し、表2に主な仕様を示す。

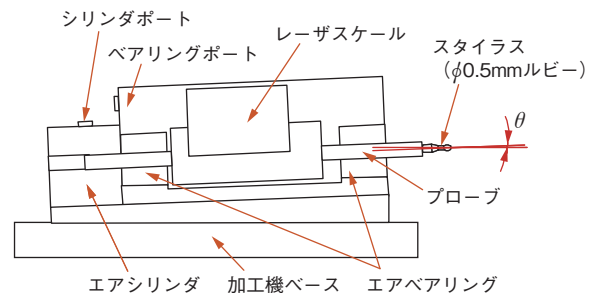


図3 機上形状測定器の構成

On-machine shape measuring device construction

表2 機上形状測定器の主な仕様

The specification of on-machine measuring device

測定形式	接触式
ストローク, mm	10
測定分解能, nm	0.07
測定力	供給圧力調整により可変
最大測定角度	±40°
本体重量, kg	約3
外形寸法	85 (W) × 245.5 (D) × 78 (H)
エアベアリング供給圧力	0.5MPa ± 10%
エアシリンダ供給圧力	max0.2MPa

測定器は、信頼性の高い接触式を採用していて、プローブ先端にルビースタイラスを搭載している。プローブは低摩擦で滑らかな動きを実現するため精密エアベアリングで支持している。また、高分解能レーザースケールを搭載し、サブnmの位置検出を可能にしている。さらに本測定器は、プローブの前側を水平面からわずかに上方に傾けている。このため、測定力とは逆方向の力をプローブ自重により発生させ、エアシリンダ力との差圧により測定力を発生させている。

測定解析ソフトでは、球面・非球面の形状誤差を解析する基本機能に加え、上述した測定器の傾き誤差や設置時の取付誤差補正、またピッチ誤差補正といった機能を盛り込み、高精度化を実現している。また、機外測定器(UA3P: 松下電産製など)との測定精度の互換性も取れており信頼性の確認も出来ている。

3.2.2 超微動送りの工具位置調整台

回転対称工作物の場合、加工精度を向上させるには、工具刃先をX、Z軸にて加工形状に沿って動作させ、B軸で加工回転形状に対し常に法線方向を向くような同時3軸制御を行ない、工具刃先の輪郭精度が加工精度に影響しないようにする方法が有効である。この時、形状誤差を発生させないためには、工具刃先をB軸旋回中心

上に正確に一致させる必要がある。このため本機には、アリ溝構造の粗動送り機構の上段に、弾性変形機構を採用した超微動送り機構を設けた2段構造の工具位置調整台（図4）を新規開発し採用した。これにより、調整ねじにより粗動では±10mm、超微動では±2μmで工具位置調整をすることが可能となり、2種類の調整機構を使用することにより短時間に工具の位置決めができるようになった。



図4 工具位置調整台
The precise adjustment tool device

3.2.3 機上工具位置検出装置

一方、工具位置調整台により位置決めされた工具刃先位置を画面上で把握するため、ストロボスコープと顕微鏡を備え、非接触で高精度な工具位置の確認を可能としている。これにより、回転している工具刃先位置をも正確に知ることができる。この機能により検出された工具の位置画面は、最大2000倍で操作盤モニタに写し込まれ、サブミクロン以下の位置ずれを観察できる。図5に工具位置を検出している様子、図6にモニタ上に表示された工具を示す。

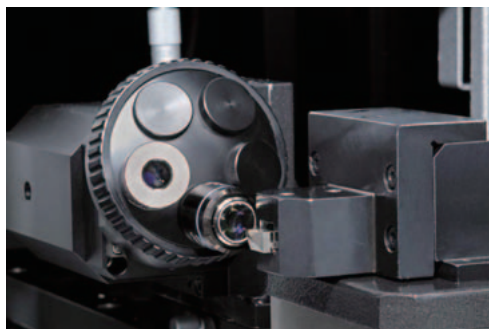


図5 工具位置検出装置
On-machine tool position detector

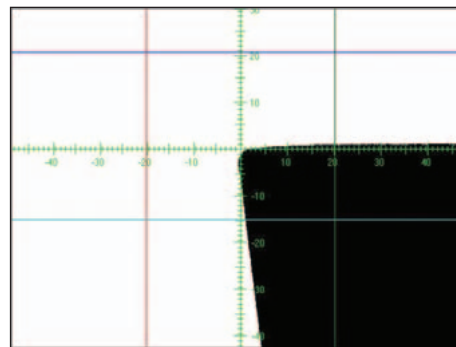


図6 工具位置検出画面
The view of using on-machine tool measuring device

3.2.4 加工面観察装置

さらに、回転対称の工作物の加工を行う最初の段階では、工作物の中心が分からないため、タッチプローブなどを使って、おおよその形状中心位置を決定し、試し削りを行ってその加工面状態を観察することにより想定した中心位置と本来の中心位置がどのようにずれているかを把握し工具の芯だしを行っていく必要がある。これまでは、このような作業を機外の顕微鏡装置などを使って観察を行っていたが、加工した工作物の脱着に時間がかかっていた。本機では、機上で加工面を観察しその起伏を干渉縞で表示できる加工面観察装置を新規開発し採用した。加工面は、操作盤のモニタに表示され、その干渉縞で写し込まれた加工面の様子から、加工中心のずれの原因が何であるかが迅速にわかるので、前述の工具位置調整台と機上工具位置検出装置を駆使して、すばやく工具の芯合わせを行うことができる。図7に加工面観察装置と図8に加工面の表示画面を示す。

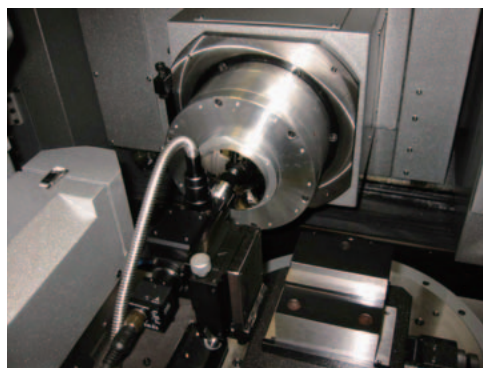


図7 加工面観察
The observed device for the processed surface on the machine

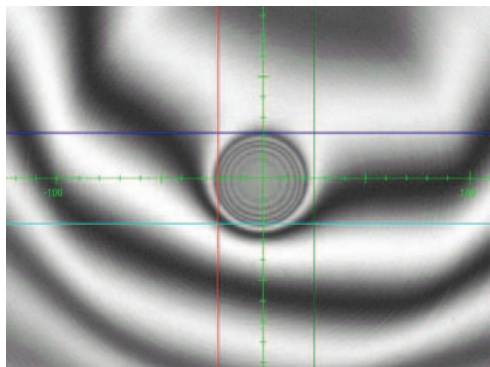


図8 加工面の表示

The view of surface on the work piece

3.2.5 自動プログラミング装置

本機では、回転対称形状や三次元自由曲面加工用の NC プログラムは、自動プログラミング装置により作成する。ユーザは加工範囲、加工ピッチ、加工面形状を表わす数式の係数、砥石半径を入力するのみで、簡単にデータ作成ができる。また計算の途中で砥石の干渉状態が生じた場合、それをユーザに知らせる機能や、算出した誤差量を表示する機能をもっており、その情報を基にして、加工ピッチや砥石半径を調整することで、適切な NC データを再生成することができる。また、前述の机上形状測定装置との連携により、補正 NC データ作成も容易に行なえる。

3.2.6 机上ツルーイング装置

本機ではさまざまな形状の加工が可能であるが、工作物によって砥石先端を適切な形状および寸法に成形する必要がある。また自由曲面加工時のように、砥石先端の輪郭精度が工作物に転写される場合、高精度な砥石成形が要求される。さらに砥石摩耗による切れ味の劣化、形状崩れが生じた場合、再現性良く同一形状に修正しなければならない。本機では $10 \text{ 万 } \text{min}^{-1}$ の高速回転が可能な、エアタービン製のツルーイング装置を搭載しており、X、Z 同時 2 軸制御の機械運動によって砥石成形するため、任意の形状が高精度に成形可能である。

4. おわりに

お客様からの加工需要は高精度化とともに多様化してきている。これらの要望に対応するため、本機を使用し、さらなる加工技術開発の向上に努めていきたい。また、本機で開発した技術はお客様からの意見を反映しつつ、他のラインナップ機への技術展開を図っていきたい。

筆者



田中太宏*

M. TANAKA

* 研究開発センター 工作機械開発部