

# VGX-100 超大型立形研削盤の開発

## Development of a VGX-100 Super-Large Vertical Grinding Machine

牧内 明 A. MAKIUCHI

Conventionally, the grinding of large workpieces has required a significant amount of manual operation. Now, JTEKT has developed a super-large vertical grinding machine that enables high-precision, fully-automatic grinding of large workpieces, from centering to final dimensional finishing.

**Key Words:** vertical grinding machine, space saving, large workpieces, TOYODA STAT BEARING®

### 1. はじめに

近年、地球温暖化に代表される環境問題への対応の1つとして、欧州諸国は風力発電による化石燃料消費量削減の取組みをけん引してきた。この取組みは最近では米国や中国などにも拡大している。このため、設備の需要も急激に増加しており、これを構成する大型部品を高効率に加工できる生産性の高い加工機への要求が高まっている。また、こうした大型部品も、さらなる性能向上のためミクロン単位での高い加工精度が要求されている。

このような要求にこたえるため、超大型の立形研削盤を開発したので紹介する。

### 2. 開発の狙い

立形研削盤は、工作物の自重により曲げ方向に働いたわみを回避できるため、大型部品でも高精度の真円度を得ることができる。また、外径、端面、内径などをワンチャッキング加工ができ、工程集約が可能である。

反面、マシン高さが大きいいため、分解搬入での現地組立てや工場床を掘り下げたピット設置など高コストと設置期間が長くなるという課題があった。

また、片持ちの砥石軸や高いコラムを持つなど構造的に工作物—砥石間の力の流れのループが長く、システム剛性上大きなハンディを負っている。さらに、砥石軸—コラムが前後方向に熱非対称構造のため機械温度や環境温度、および研削熱に対して敏感に反応する傾向があるという熱剛性上のハンディも抱えている。こうした点から、負荷のかかる高能率加工や高精度加工には課題があるという面があった。

今回、立形研削盤の長所を活かしつつ、これらの課題への革新的な解決を図ったコンパクトで高剛性、かつ高精度の超大型の立形研削盤を開発した。これを当社の大形軸受製造ラインに投入することで、事業部間のシナジ効果も図った。



図1 VGX-100 超大型立形研削盤  
VGX-100 super-large vertical grinding machine

### 3. VGX-100の特長

#### 3.1 主な機械仕様

機械のNC軸の構成は、砥石台トラバース送り（X軸）、砥石台上下送り（Z軸）、砥石台旋回軸（B軸）、回転テーブル軸（C軸）となっている（図2）。

主な機械仕様を表1に、全体図を図3に示す。

表1 主な仕様  
Main specifications

項目		単位	VGX - 100	
砥石台	装備台数	—	1	
	砥石の大きさ (外径×厚み×内径)	mm	φ355 × 80 × φ127	
	砥石最大回転速度 (正逆回転)	min <sup>-1</sup>	3 000	
	出力	kW	8	
	砥石軸の上下行程	mm	550	
	砥石軸の旋回範囲	°	− 1/31	
	砥石台の左右行程	テーブル中心より右へ	mm	1 180
		テーブル中心より左へ	mm	700
	左右早送り速度	mm/min	20 000	
	上下早送り速度	mm/min	10 000	
最小設定単位	mm	0.0001		
テーブル	最大研削外径	mm	φ1 000	
	最大加工高さ (治具高さ含む)	mm	400	
	最大搭載質量 (電磁チャック含む)	kg	2 500	
	テーブル回転速度	min <sup>-1</sup>	5 ~ 50	
	テーブル上面までの高さ	mm	チャック上面で 980	
	支持構成	—	静圧	
マシンスペース (幅×奥行き×高さ)		mm	4 220 × 3 435 × 3 557	
CNC		—	GC50	
オプション	オートバランス	—	○	
	ギャップセンサ	—	○	
	高圧洗浄	—	○	
	びびり監視	—	○	
	全体カバー	—	○	
	全自動芯出し装置	—	○	
	温度補正付機上寸法測定装置	—	○	
	永電磁チャック	—	○	

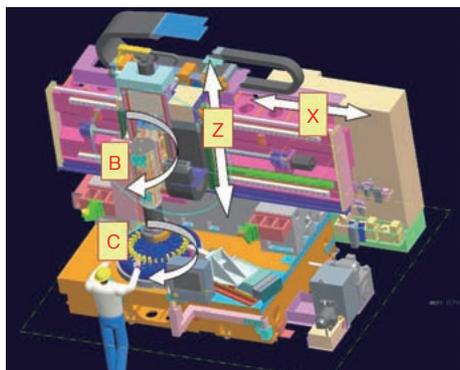


図2 NC 軸構成  
NC spindle structure

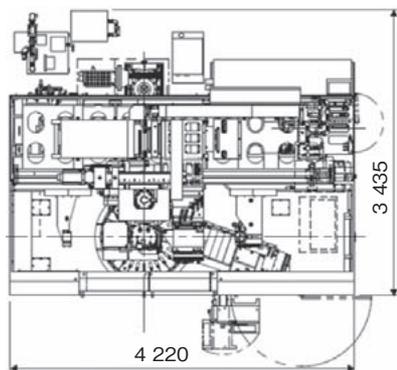
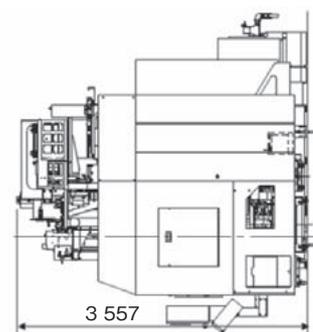


図3 全体図  
Machine layout



### 3.2 高精度静圧回転テーブル

真円度と円筒度を向上させるためには、テーブルの回転精度を向上させる必要がある。特に大型の回転テーブルの場合、転がり軸受支持では回転精度の確保が難しかった。また、摩耗や劣化があるため、使用年数により、軸受の定期交換が必要であった。本機では、円筒研削盤で数多くの実績と信頼性が高い TOYODA STAT BEARING® の技術を応用した静圧軸受テーブルを新規に開発した。

図4は本テーブルのリサーージュ波形で、回転精度は  $0.47\mu\text{m}$  と良好な結果が得られた。また、円筒工作物(直径  $\phi 500$ ) の実加工において真円度  $0.72\mu\text{m}$  と目標値  $1\mu\text{m}$  以下の結果を得た。

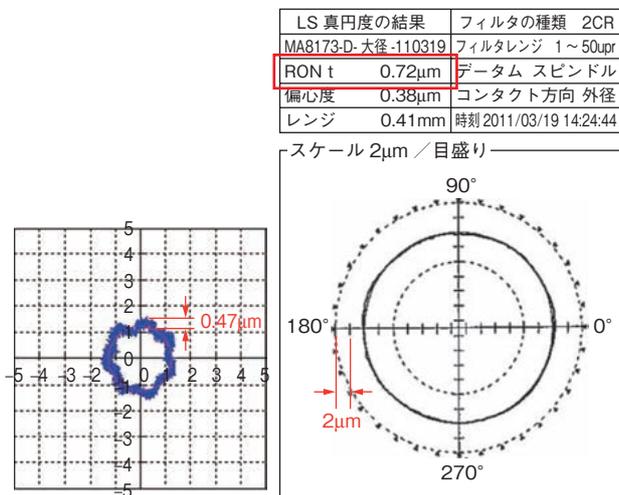


図4 静圧テーブルの回転精度と加工時の真円度  
Rotational accuracy of the hydrostatic table and roundness at processing

### 3.3 オートバランス内蔵高剛性砥石軸

立形研削盤の砥石軸は、工作物の内径も研削可能なため、片持ちでオーバーハングの大きな構成となり、剛性の確保が難しい。また、図5に示すように、軸先端に装着された砥石がアンバランスで軸全体の振動が発生しやすく、びびりなどの面性状不良要因となりやすい。特に、セラミック系や CBN など硬い砥石での高能率の研削を実現するためには、研削抵抗を十分に受けられる軸剛性と、砥石アンバランスを定常的に監視し除去する機能が必要である。

本機では、当社製高剛性・高精度軸受を使用し軸受スパンと軸受径を工夫することで、他社(従来)の2倍の

砥石軸剛性を実現した。また、理想的なバランス取りを実施するため、砥石の直下にオートバランスを埋め込む構成とした。これにより、高精度の自動バランス取りを実現し、びびりのない高品質の面性状を得ることができた。

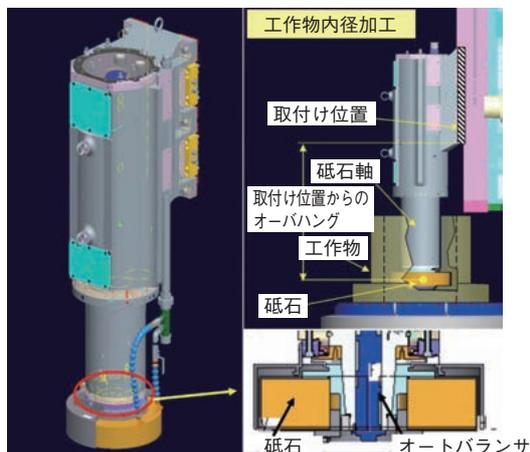


図5 オートバランス内蔵高剛性砥石軸  
High-rigidity wheel spindle with built-in auto balancer

### 3.4 送り軸構成

砥石台トラバース送り(X軸)は行程が長く、軸の移動による非加工時間が長くなるため、高速性と高剛性を両立させたころタイプのリニアガイドを採用した。また、リニアスケールを配置し、フルクローズドループ制御とすることで、高精度の位置決めを可能とした。

砥石台トラバーススライドを支えるコラムは通常、門形の構成であるが、支柱の中間点に砥石台が移動すると、自重によるたわみにより、砥石先端の姿勢変化が生じる。本機では、クーラント排出口を側面に設置するなど、後部からのメンテナンスを廃止し、門形構成でなく一体のコラム構成とした。これにより、X軸移動による砥石の姿勢変化を低減し、真直性を高めることができた。

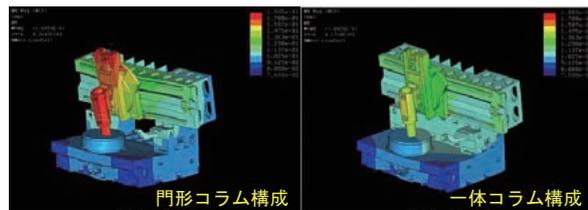


図6 一体コラム構成の効果  
Advantages of an integrated column structure

砥石台上下送り（Z 軸）は当社の高精度マシニングセンタで実績のある角すべりスライドを用いた。これにより、高剛性と高い減衰性を確保した。また、スライド長さをスライド幅に対し十分に確保することで、真直性を確保しやすい構成とした。さらに、Z 軸もフルクローズドループを採用し、高精度の位置決めを実現した。

砥石台旋回軸（B 軸）は、ワンチャッキングでの円筒+テーパ研削など高精度の複合研削を実現するため、高い回転精度が必要不可欠である。一般的に回転機構には、ウォーム方式を用いるが、反転時に発生するバックラッシによるばらつきがあることや高い精度を得るためにウォームホイール径を大きくするなど、精度やスペース確保に課題があった。本機では、バックラッシのないボールねじ送りのリンク機構（フルクローズドループ）を採用し、また、旋回中心からの駆動部の半径を十分に大きくすることで高精度の角度割出しを実現した。

### 3.5 低熱変位設計

本機のベッドやコラムなどの主要部品は、徹底したシンメトリ形状とし、熱対称構成とした。

また、室温の変化に対しても、曲がりや反りが生じない本体構成とするため、CAE を用いた熱容量解析を繰返し実施し、熱容量的にバランスの高い形状とした。

発熱源である各軸のサーボモータ取付け部には冷却油を通し、断熱カップリングを設けて、本体やボールねじに熱が伝達しない構成とした。制御盤は、省スペース化を優先させるためにベッド後部に取付ける構成としたが、熱を伝達させないための配慮として、厚さ 10mm の断熱板を使用し、直接ベッドとは接触しないように設計した。

もう 1 つの熱源である加工による研削熱を遮断するため、研削後のクーラントはベッドとコラムに直接触れないよう、エアギャップを設けたアイソレーションカバー構成とした。一方、工作物やチャックからも研削熱が伝達するが、テーブルは一定油温に管理された静圧軸受油上に浮上しているため直接ベッドには伝達しない。

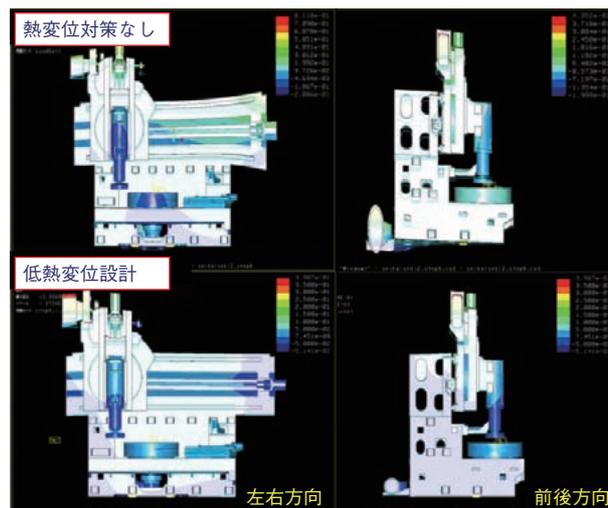


図7 低熱変位設計の効果

Advantages of low thermal displacement design

### 3.6 温度補正付機上寸法測定装置

大型の工作物の加工寸法を管理するためには、工作物の加工熱による膨張を常に把握する必要がある。従来、作業者は加工途中で工作物の温度を測定し、その温度により仕上寸法を手動で補正する必要があった。

本機では、寸法測定装置に温度センサを付属し、研削途中の工作物の温度を自動で測定し、寸法補正する機能を備えた。これにより、自動運転で一発精度出しを可能とした。

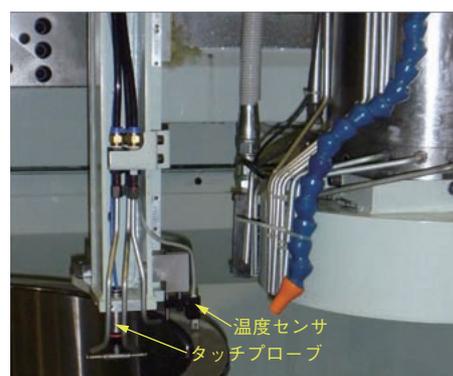


図8 温度補正付機上寸法測定装置

On-machine size measuring device with temperature compensation

### 3.7 工作物自動芯出し装置（特許出願中）

今回、作業者の手作業軽減のため、搬入した工作物を自動で高精度に芯出しする装置を新たに開発した。工作物を正確に芯出しするためには、ミクロン単位での正確な工作物の移動を実現しなくてはならない。しかし、直径 1m の工作物の場合、数℃ の温度変化でも、工作物

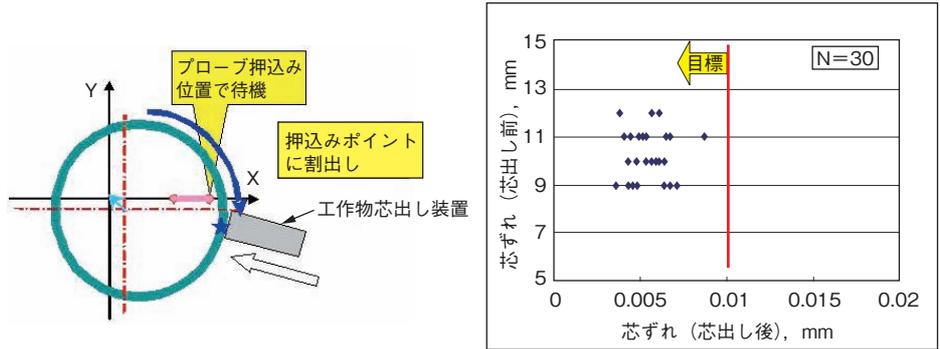


図9 工作物自動芯出し装置  
Automatic centering device for workpieces

の外径寸法は大きく変わるうえ、移動を実施する側の芯出し装置の先端座標も熱変位で変化する。このため、芯出し装置のNC座標基準では正確な工作物の移動は不可能であった。本機では、工作物のずれ量とずれ方向を算出し、芯出し装置と対向する位置にプローブを待機させ、ON信号が発生するまで工作物を移動させるプローブ基準の方式を採用した。これにより、工作物の微少で正確な移動が可能となり、10 $\mu$ m以下の芯出しまで全自動で可能となった。本装置では、 $\phi$ 700～ $\phi$ 1 000mmまでの工作物を外径、内径どちらの基準でも、無段取りで芯出しできる。

### 3.8 省スペース設計

マシン高さが大きくなれば、揺れや振動が発生しやすくなる。これを防止するためには、接地面積が大きく、厚みを十分とった高剛性のベッドが必要となる。また、その上にテーブルを積み上げる構成にして、剛性を十分確保すると、マシンスペース、機械高さ共に増大する。本機は、構造解析により、リブ厚さとリブ配置の適正化を実施し、薄型で高剛性のベッド構成とした。また、ベッドにテーブルユニットを内蔵する構成で、テーブル高さを抑え、マシン高さの低減を図った。

この結果、従来設けていた工場床へのピット設置が不要となり、また本体主要部分を分解することなく搬送できるので、迅速な搬送、搬入、据付け作業が可能である。

### 3.9 保守・安全性の向上

立形研削盤は、各軸が高所にあり、給油、調整など保守・保全時には、危険な高所作業となるだけでなく、昇降も作業者の大きな負担となる。

本機は、ボールねじやガイドなどの給油はすべて強制

潤滑方式とし、調整バルブなども作業者の手の届く範囲に配置して、保守・保全性の向上を図った。

## 4. おわりに

今回、本機種の開発において、長年研削盤メーカーとして培ってきた静圧軸受などの技術を盛り込むことにより、高精度と高生産性を両立させた性能を備えることができた。また、芯出し作業など手動作業に頼っていた大型工作物の加工が、全自動で可能となり、従来機にはない高い付加価値を実現した。

今後も、市場や生産現場のニーズを先取りし、お客様に満足してご使用いただける機械の開発に努力していきたい。

## 筆者



牧内 明\*  
A. MAKIUCHI

\* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械技術部

工作機械・メカトロニクス他