

◇ 砥粒加工学会技術賞 紹介記事 ◇

日本のものづくりの生産性を革新的に向上させる 超高精度テーブル自動旋回式円筒研削盤の開発

Innovatively improving the productivity of Japanese manufacturing
development of ultra-high precision automatic table rotating cylindrical grinding machine

深谷 学*1, 高橋宏美*1, 岡田紀久利*1, 平松孝章*1, 牧内 明*1, 長屋久幸*2
Manabu FUKAYA, Hiromi TAKAHASHI, Kikutoshi OKADA, Takaaki HIRAMATSU
Akira MAKIUCHI and Hisayuki NAGAYA

Key words : cylindrical grinding machine, automatic table rotating, the productivity of Japanese manufacturing,

1. 緒言

近年、自動車の電動化や、AIの台頭における半導体の高度化、宇宙開発や再生医療の進化など世界的な技術イノベーションが起きている。これに伴い今迄に存在していないような商品群が開発され、新形態の部品やナノ精度の部品が激増しつつある。こうした背景の中、新商品開発のための実験設備、試作品や難削材、精度が厳しい特殊品など自社製作が難しい部品類は、日本のものづくりを支えている社外の研削専用メーカに委託される場合が多い。いわゆる『一品もの』と称されるこうした部品は、小ロットで要求精度が厳しいため、生産性が上がらない厄介な仕事となっている。その大きな要因の1つに、工作物のテーパ出しやテーパ研削における角度調整があげられる。小ロット生産では、工作物が変わるたびテーパ出し作業を実施しなくてはならない。これは工作物長さが変わり心押台を移動するとテーパが変化してしまうためである。高精度の部品ほど、慎重に心出しをしなくてはならない。実際、心出し調整にかかる時間が15min、実研削加工が2minといった加工事例が日常的に見られ、如何に生産性を低下させているか物語っている。現場作業者は『研削作業とはそういうものだ』、『調整時間も製作費用に含まれているので問題なし』という意識があり、見過ごされてきた。

だとするなら、ここにメスを入れ生産性が向上できれば、発注側にも、受注側にも双方に大きな利益が甘受できる可能性がある。ひいては世界に対して日本のものづくりのさらなる底上げが図れると考えるが如何であろうか。

2. 砥石台旋回に対するテーブル旋回の優位性

近年の砥石台旋回型の複合機では、砥石を傾斜させてテーパ部の研削が可能であるが、テーパ当たりを確保するためには、面性状(面粗度、真直度)向上させる必要がある。このためトラバース研削で仕上げなければならない。この場合X,Z軸の同時2軸送りとなり、バックラッシュ、スティックスリップ、反転時のパルスだまりなどで直線軌道とならず、求められるテーパ

当たりが得られにくい。また、新しい機械であれば、比較的追従性は良いものの、古くなると直進性が極端に悪化する。

テーパ当たりはテーパ模範に精密に合致させる必要があり、テーブル送りのみの真直性を生かしたトラバース研削で加工するのが理想的である。この場合、テーブルを旋回するしか方策がない。高精度のテーブル自動旋回装置は、上述の有効性のため、市場のニーズが高く、世界中の研削盤メーカが取り組んできたものの、構造上の難易度が高く、いずれも精度が悪くまともに機能していないのが実情であった。

今回、新開発の超高精度の自動旋回装置と、ベッドやツーリング装置までこだわってテーパ変化を抑制した『超高精度にテーブルを自動旋回できる機構をもった円筒研削盤』を開発し、『砥粒加工学会技術賞』拝受させて頂いたのでその詳細を紹介したい。

3. 機械の概要

開発機は自動テーパ量計測装置、熱変位レス ツーリングシステム、高精度自動旋回機構付きテーブル、低熱変位ベッド&アイソレーションクレーラントパン、テーパ自動補正&研削システムで構成される(図1)。

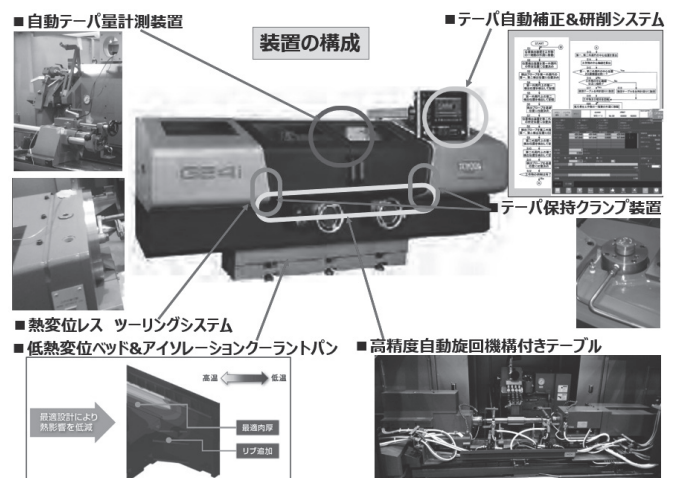


図1 装置構成

*1 株式会社ジェイテクトグライディングシステム:〒444-0113 愛知県額田郡幸田町菱池江尻1-ps3

*2 株式会社ジェイテクト:〒448-8652 愛知県刈谷市昭和町1-1

(1) 自動テーパ量計測装置

機上で工作物をセンシングしてテーパ量を計測する装置。

(2) 熱変位レス ツーリングシステム

主軸台は工作物駆動のための電動機をもっており、発熱元となる一方で心押台は発熱元を持っておらず、この発熱差がテーパ変化をもたらすことがわかっている。

本機は、テーブル上のツーリング装置において熱非対称を排除し、テーパ変化が発生しない構成を取っている。

図2は熱変位により研削中心が変化する挙動を示す。

(3) 高精度自動旋回機構付きテーブル

従来のテーブル旋回機構は、手でテーブルを旋回する方式であった。台形ネジを回すハンドルが付いており、これでテーブル内部のナットを駆動しテーブルを旋回する方式である。この方式のままハンドルの代わりにサーボモータを設置し、NC化しても精度の高い位置決めは期待できない。本機では、この点を徹底的に解析し、世界初のリンク方式を採用することで高精度の位置決めが達成できるようにした。

また、制御はクローズドループ制御を採用しており、スティックスリップの生じない滑らかな動作を実現した(図3)。

また、テーブルにはクランプ装置が付いており、電源OFF時にもテーパが変化しないようにした。熱変位対策をしっかり実施していることで、前日と同様のテーパ精度が朝一番の起動時にも継続することから、お客様より好評を得ている。

(4) 低熱変位ベッド&アイソレーションクーラントパン

ベッド回りも熱変位にくい技術を取り入れることで、テーブル上のテーパ変化を抑制する効果がある。本機では、ベッドの形状やリブの配置に工夫を凝らした低熱変位ベッドを採用した(図4)。また、加工後のクーラント熱によりベッドを熱変位させないよう、ベッド鋳物でクーラントを受けるのではなくクーラントパンで受けるようにした。CAE解析を用いて、熱影響を受けないクーラント経路を解析し、空気層で熱を遮断することで、ベッドに熱を伝達させないよう工夫した(図5)。

(5) テーパ自動補正 & 研削システム

工作物のテーパ量を自動計測し、テーブル旋回位置を補正することで、自動で高精度のテーパ研削を実現した。

4. 高精度テーブル旋回機能を用いた加工事例

4.1 スピンドル加工事例

両端にテーパ部をもったスピンドルの自動研削事例を紹介する。この手の工作物は、テーパ当たりを出すための調整作業だけでなく、工作物の左右反転姿勢替えや駆動金具の取り替えなど厄介な作業を必要とする。これは主軸台側のテーパ研削時に駆動金具と砥石の干渉があり、研削ができないためであり、いわゆる逆テーパと呼ばれる。また、左右反転姿勢替えのため工作物をセンタから外してしまうと、中心が微妙に変ってしまい同軸度に影響がでてしまう。このため慎重に調整時間をかけなければ精度を担保できなかった。

主軸台と心押台の間でテーパ変化が発生する

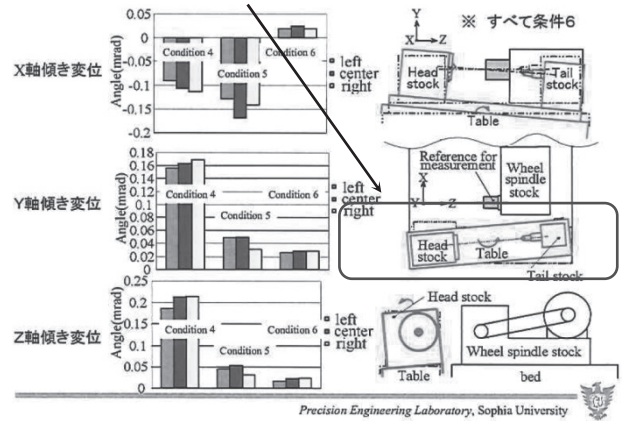
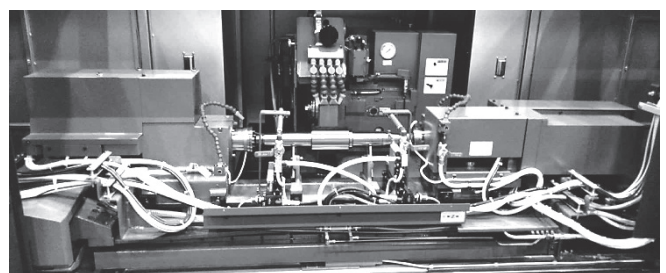
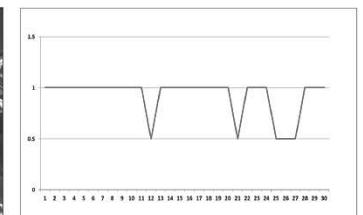
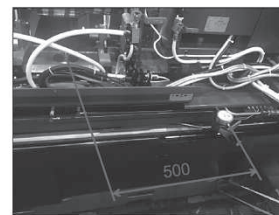


図2 主軸台、心押台およびテーブルの熱変位挙動¹⁾



旋回精度測定位置

測定結果(繰り返し精度)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
測定値	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+0.5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+0.5	+1	+1	+1	+0.5	+0.5	+1	+1	+1	

角度バラつき: 0.00006° (30回)

図3 超高精度テーブル旋回装置と旋回精度

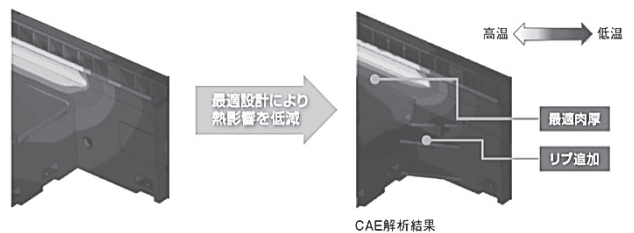


図4 低熱変位ベッド

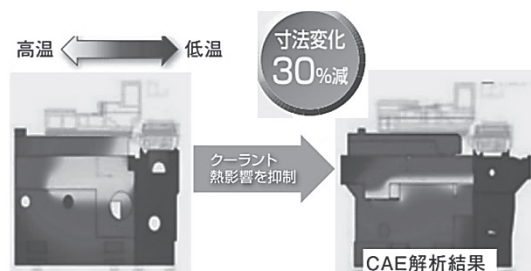


図5 アイソレーションクーラントパンの効果

まず、工程をわかりやすくするため現状の手動機での研削工程を説明する(図6).

- ① 円筒部の研削を実施する.
- ② テーブルを手動で左回転させテーパ研削する.
- ③ テーパの当たりが出るまで試し研削→測定→テーブル微調整旋回を繰り返す.
- ④ ③の調整が完了したところで、本研削を実施する.
- ⑤ 主軸台側のテーパ部研削のため工作物を取り外し反転させる. これによりテーパ部が心押台側になる.
- ⑥ テーパの当たりが出るまで試し研削→測定→テーブル微調整旋回を繰り返す.
- ⑦ ⑥の調整が完了したところで、本研削を実施する.
- ⑧ テーブル旋回を元の位置へ戻す.
- ⑨ 全研削完了.

本機ではこの①から⑧までの作業が全自動で可能となる. なお、駆動金具の段取り替えは弊社が得意とする駆動金具が不要の両センタ駆動を用いることで回避できる(図7).

加工条件

- 材質: SCM415
- といしWheel 外径: φ510mm 幅: 30mm
- といし周速度 45m/sec
- 取代(振れ含む): φ0.2mm
- 実研削時間(荒): 70min (19工程)
- (中仕上): 28min (13工程)

4.2 加工方法の様子

実際の動作は紙面では表現しきれないが、YouTube に動画がアップロードされており、視聴可能となっている.



<https://www.youtube.com/watch?v=AbwNEZluKoo>

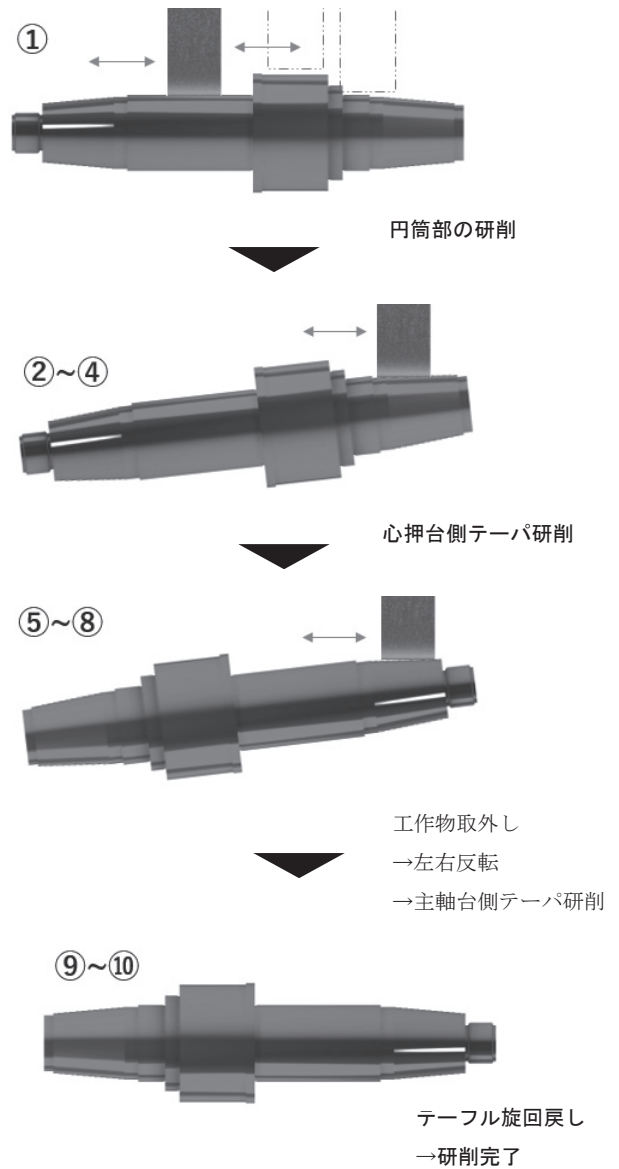


図6 手動機での研削工程

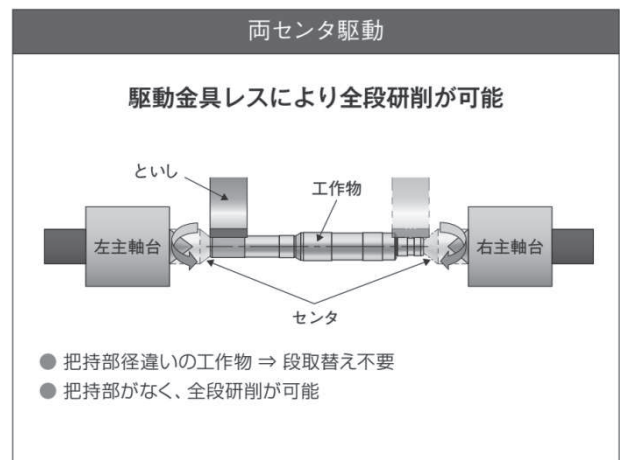


図7 両センタ駆動

4.3 テーパゲージ当たり

テーパあたりは90%以上を確認できた。

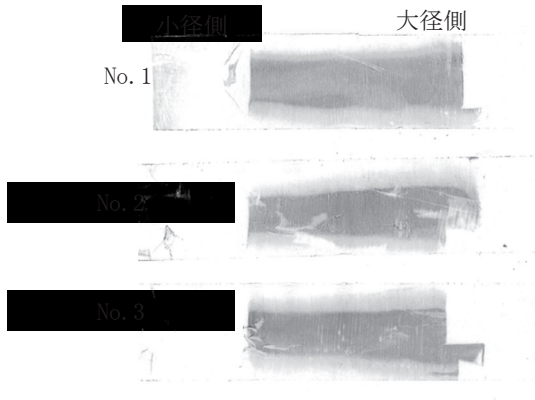


図8 テーパ当たりの様子

4.4 同軸度

工作物姿勢左右反転が不要となるため、同軸度の向上が得られた。

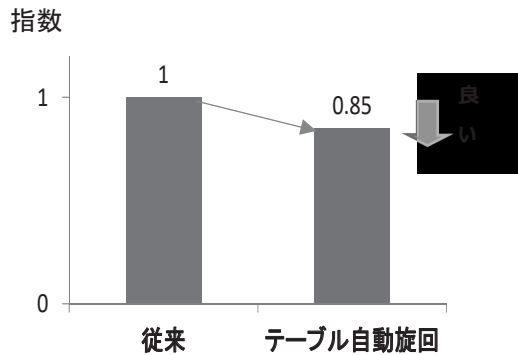


図9 同軸度の測定結果

4.5 段取り替えの時間

全自動研削が可能となったことで、段取り替え時間の大幅な削減ができた。

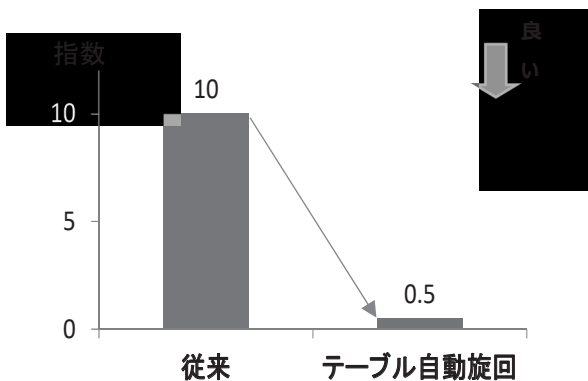


図10 段取り替え時間

4.6 テーパ部の角度誤差

実際の加工済みの工作物のテーパ角度の測定値である。10° のテーパ角度に対し 0.0039° 以内での加工ができた。

	角度	
	主軸台側	心押台側
目標	10.000	
1	10.0021	9.9973
2	10.0023	9.9957
3	10.0019	9.9957
4	10.0022	9.9972
5	10.0012	9.9983
6	10.0035	9.9993
7	10.0030	9.9996
8	10.0033	9.9995
9	10.0004	9.9982
10	10.0009	9.9981
11	10.0006	9.9978
MAX	10.0035	9.9996
MIN	10.0004	9.9957
	0.0031	0.0039

表1 全自動研削によるテーパ部の角度誤差の実測値 (三次元測定器 単位 °)

5. 結言

超高精度テーブル自動旋回機構付きの円筒研削盤により、従来ネック工程であったテーパ調整作業を革新的に削減できた。

また、テーブルと砥石台(Z軸, X軸)の同時2軸制御でのテーパ研削と比較して、テーブル軸(Z軸)のみの真直性を生かした研削は、テーパあたり精度を安定的に向上できることが確認できた。

実際使用されているお客様の声として『経年によるテーブル自動旋回繰り返し精度の劣化がほとんどなく、生産性向上に大変役立っている』、『熟練者に頼らず、自動全工程加工により省人化に貢献できている』との感想を頂いており、大変光栄に感じている。

以上により、ささやかながら日本のものづくりを支える一助になることができたと考える。

今後もこうした新しい取り組みの開発を継続し、社会貢献につなげていきたい。

6. 参考文献

- 1) 清水 伸二, 山下 敬美, 坂本 治久, 円筒研削盤用熱変位測定装置の開発 2012年度精密工学会春季大会.
- 以下, 本研究の参考となる文件を記す.
- 2) 向井良平, 牧内明, 高橋宏美, 近藤貴則, 西尾臣司:高精度 CNC 円筒研削盤 GL4-SIII PREMIUM の開発, 砥粒加工学会誌, 60, 2 (2016), 66.
- 3) 清水伸二, 山下敬美, 坂本治久:円筒研削盤用熱変位測定装置の開発 (砥石軸回転に伴う熱変位測定法の検討), 日本機械学会論文集 C 編 77(782)(2011), 3589.
- 4) 清水伸二, 上野洋輔: 砥石台切込み方向運動に伴う円筒研削盤の熱変位特性, 2014 年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, S39, (2014), 1297.