

# 複合加工機による高精度加工技術に関する研究

## Studies on High Accurate Machining by Integrated Machine Tools

### 各種工作機械の運動精度評価事例

#### Case Studies of Accuracy Testing on Various Machine Tools

加藤明・鈴木好明  
Akira Kato and Yoshiaki Suzuki

複合旋盤、NCフライス盤およびワイヤーカット放電加工機について、ボールバーによる円運動精度試験を行い、機器による差異を評価した。その結果、機器の組立精度や送り機構の種類が運動精度に影響することが分かった。

## 1. はじめに

金属加工用の工作機械は、加工方法や作業内容、操作方法、軸構成などにより、多岐に分類されている。JIS B0105<sup>1)</sup>によると、例えば穴加工に使用されるボール盤も、数値制御ボール盤や多軸ボール盤など8通りの分類がある。これらの工作機械の中には、円運動が可能な種類の装置も多い。そのため、部品の形状によっては、いくつかの加工機の中から、使用する加工機を選定することとなる。この場合は、一般的に加工精度やコストが考慮されるが、加工精度に大きく影響する加工機の運動精度に関しては、同一の測定方法による装置の種類の違いを評価した例が少ないため、十分な考慮がなされていないのが現状である。そこで、ここでは複合旋盤、NCフライス盤およびワイヤーカット放電加工機について、円運動精度測定を行い、工作機械の種類による運動精度の差異について調べた。

## 2. 各種工作機械の運動精度評価

### 2.1 運動精度測定機器

運動精度測定には、レニショー（株）製 QC10 ボールバーシステム（スモールサークルキット付き）を用いた。ボールバーシステムとは、両端に直径 10 mm の鋼球が取り付けられているトランスデューサを、測定対象とする工作機械の主軸やテーブル等に取り付け、工作機械を円運動させたときの鋼球間距離の変化を記録することで工作機械の運動精度を評価するものである。図 1 に測定概念図を示す。また、図 2 に測定装置の外観を、表 1 に測定装置仕様<sup>2)</sup>を

示す。

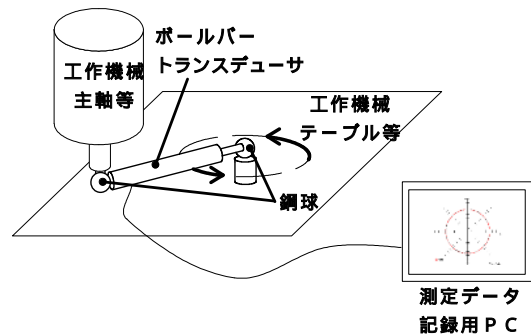


図 2 ボールバーシステム外観

表 1 ボールバーシステムの仕様

トランスデューサ長	ボール中心間 約 50mm (スモールサークルキット使用時)
分解能	0.0001 mm
トランスデューサ精度	±0.0005 mm
最大サンプリング	250 点/秒
キャリブレーション精度	±0.001 mm

### 2.2 運動精度測定の方法

#### 2.2.1 運動精度測定平面

複合旋盤では YZ 平面について、NC フライス盤とワイヤーカット放電加工機では XY 平面について測定を実施した。ここで、複合旋盤は旋削主軸を Z 軸とするため、YZ 平面は NC フライス盤の XY 平面に相当している。なお、本研究では X 軸が鉛直方向よ

り 30 度傾斜した複合旋盤を用いた。

### 2.2.2 測定用治具の固定方法

トランスデューサ両端の鋼球は、鋼球保持用治具 A、B および C を用いて測定対象装置に取り付けた。

表 2 に治具の仕様を、図 3 に治具の外観を示す。鋼球保持用治具の固定方法は次のとおりである。

#### 1) 複合旋盤

工具主軸の工具ホルダに直径 36 mm の鋼棒を取り付けた（鋼棒の突出長さ 110 mm）。鋼棒先端に磁石により鋼球保持用治具 A を取り付けた。また、主軸と心押台により固定した直径 40 mm の鋼棒(チャック - センター間距離 300 mm)の一部を、鋼棒の外周から中心に向かって 10 mm の深さに平面に削り、この平面に磁石により鋼球保持用治具 B を取り付けた。

#### 2) NC フライス盤

主軸には複合旋盤と同様の方法で、鋼球保持用治具 A を取り付けた。また、鋼球保持用治具 B をテーブルに取り付けた。

#### 3) ワイヤークット放電加工機

上ガイド付近に鋼球保持用治具 C をボルトにより取り付けた。また、テーブル上に厚さ 3 mm の鋼板を設置し、この上に固定用治具 B を取り付けた。

### 2.2.3 運動精度測定条件

運動半径については、複合旋盤の Y 軸ストロークが 160 mm であることとボールバースシステムの寸法を考慮し、半径 50 mm とした。

送り速度については、ワイヤークット放電加工機の送り速度の上限である 360 mm/min、およびその 1/10 の速度である 36 mm/min で行った。

円運動の方向は、時計回りおよび反時計回りとし、それぞれ 3 回の測定を行った。

また、測定を行った工作機械の外観と測定風景を図 4 ~ 6 に示す。

### 2.3 運動精度測定結果

#### 2.3.1 複合旋盤の測定結果

複合旋盤の測定結果例を図 7 に示す。真円度は約

表 2 鋼球保持用治具の仕様

治具名	全長(mm)	特徴
A	45mm	長さ 45mm ~ 50mm 調整可能
B	50mm	角度 ± 15 度調整可能
C	30mm	M8 ネジ穴あり



図 3 鋼球保持用治具



(A)装置外観

(B)測定風景

図 4 複合旋盤



(A)装置外観

(B)測定風景

図 5 NC フライス盤



(A)装置外観

(B)測定風景

図 6 ワイヤークット放電加工機

0.007 mm であった。図を見ると、右上の方向に 45 度の角度で軌跡が歪んでいることが解る。このような結果は、Y 軸と Z 軸の直角度に誤差がある場合生じると考えられる。測定対象装置は、静的精度試験

において、Y 軸と Z 軸の直角度が  $0.004 \text{ mm} / 100 \text{ mm}$  であり、この度の測定結果と良く一致していた。

図 7(a)を見ると各軸と軌跡の交点付近では、Y 軸のマイナス側を除いて、突起が観察される。この突起は軸の反転時にサーボによる修正が不十分であることから生じる反転突起と考えられる。サーボのゲイン調整によっては機械の振動を生じることもあるため、一般的にユーザー側での調整は困難である。しかし、送り速度を  $36 \text{ mm/min}$  とすると (図 7 (b)) 反転突起の大きさが半減した。このように反転突起は送り速度によって変化するため、仕上げ加工では反転突起が少ない送り速度で加工すること必要であることが分かる。

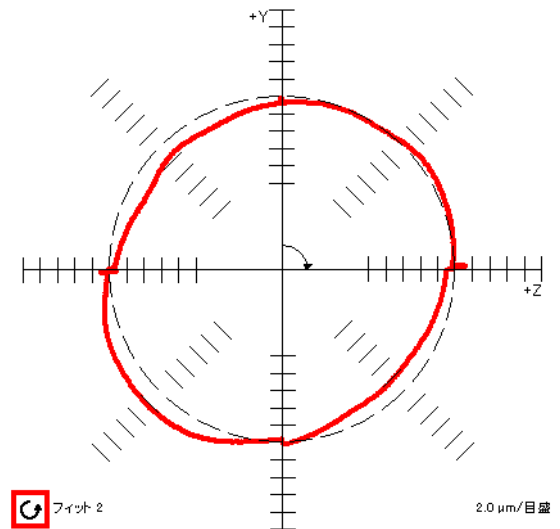
また、図 7 (a)、(b)より Y 軸のプラス側を除いて、バックラッシュの影響と考えられる段差が観察される。送り速度を変えても段差がほぼ同一であることから、バックラッシュは送り速度に影響されないことが分かる。なお、一般的にバックラッシュに対しては、バックラッシュ補正が行われるが、測定結果の段差は約  $0.001 \text{ mm}$  と微少であり、ボールパーシステムのトランスデューサ精度が  $\pm 0.0005 \text{ mm}$  であることを考慮すると、補正の必要性は低いと考えられる。

また、Y 軸のプラス側では、段差が現れないのは、この工作機械の Y 軸が鉛直より  $60$  度傾いていることから、Y 軸プラス側の反転ではバックラッシュの影響が小さくなるためと考えられる。

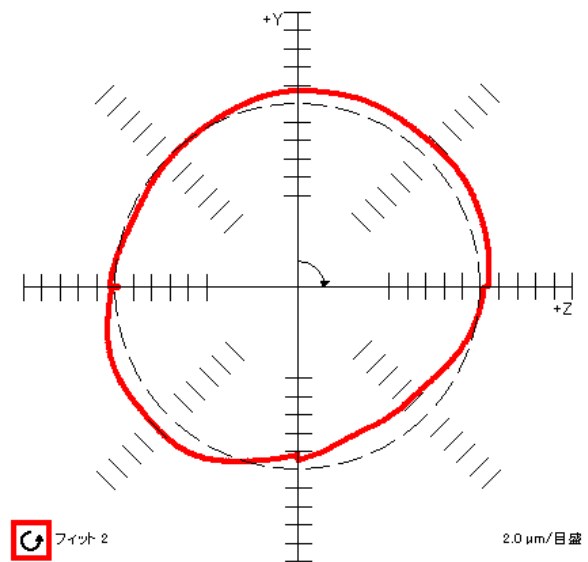
### 2.3.2 NC フライス盤の測定結果

NC フライス盤の測定結果を図 8 に示す。真円度は約  $0.020 \text{ mm}$  であった。この測定では、各軸と軌跡の交点での段差の原因であるバックラッシュが X 軸は約  $0.05 \text{ mm}$ 、Y 軸では約  $0.011 \text{ mm}$  観察された。また、反転突起は測定軌跡上では小さく観察された。

この測定結果を基にバックラッシュ補正を行い、再度精度測定を行った。補正後の測定結果を図 9 に示す。この図より、バックラッシュ補正の効果で、象限切り替え時の段差が減少したことが分かる。真円度は約  $0.013 \text{ mm}$  に向上した。さらに、バックラッシュ補正前は軌跡に小さく現れた反転突起が、補正後は



(a) 送り速度  $360 \text{ mm/min}$



(b) 送り速度  $36 \text{ mm/min}$

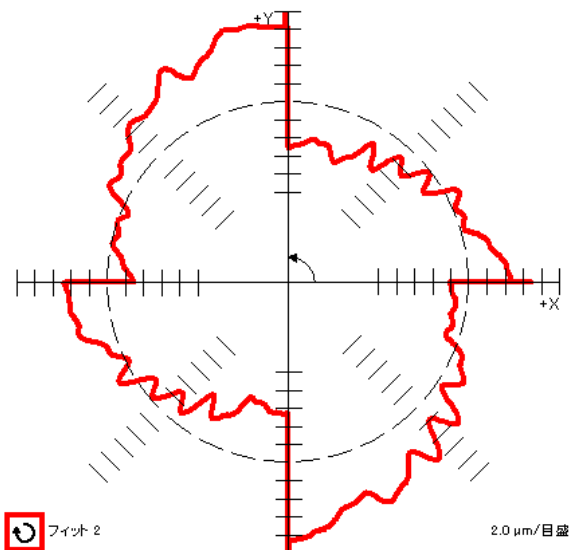
図 7 複合旋盤の円運動精度測定結果例

大きく現れていることが分かる。バックラッシュが大きいと、軌跡の同じ位置に存在する反転突起の情報が十分現れない場合があると考えられる。

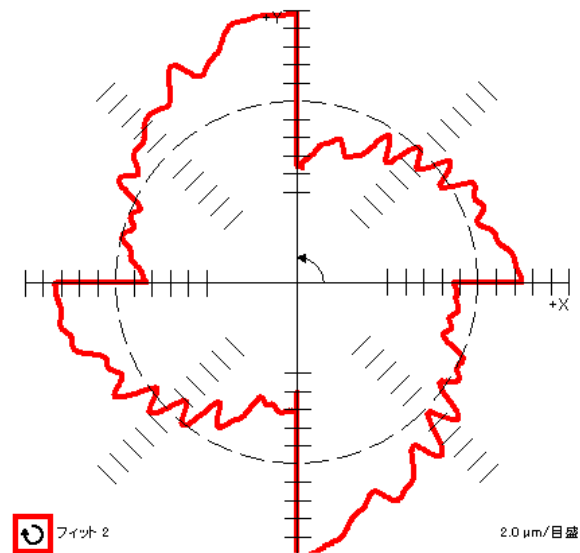
また、図 7 と図 8 を比較すると、図 8 では軌跡の曲線に不均一な凹凸の成分が加わっていることが分かる。この凹凸は、工作機械の運動が滑らかに行われていないためと推測され、滑り案内面の潤滑が不足していると考えられる。

### 2.3.3 ワイヤークット放電加工機の測定結果

ワイヤークット放電加工機の測定結果を図 10 に



(a) 送り速度 360 mm/min



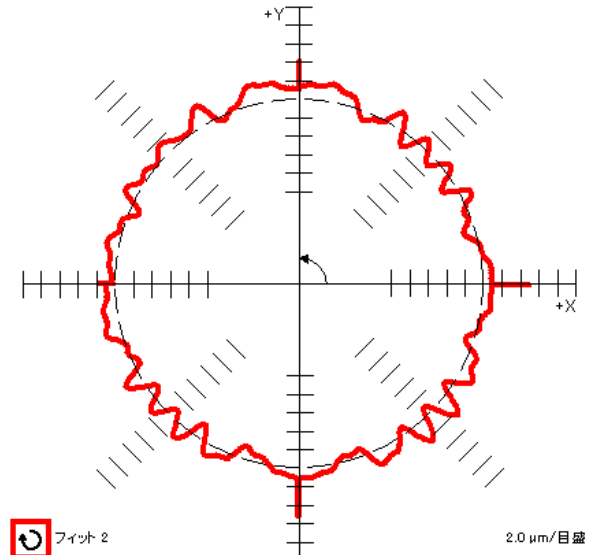
(b) 送り速度 36 mm/min

図8 NCフライス盤円運動精度測定結果例  
(バックラッシュ補正前)

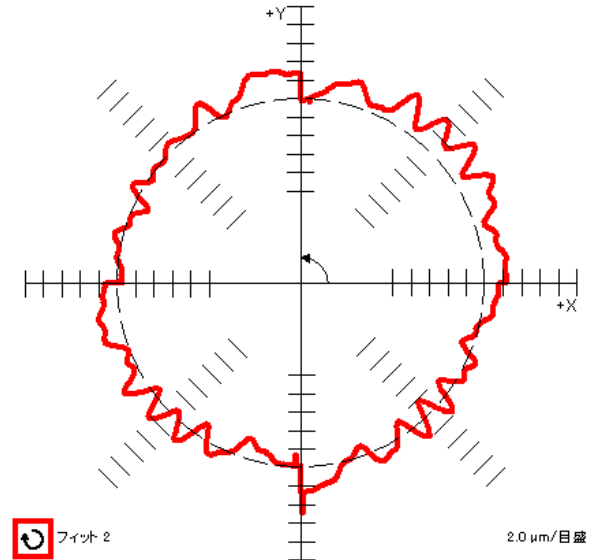
示す。真円度は約 0.003 mm であった。

測定したワイヤーカット放電加工機は、リニアモータ駆動のため、バックラッシュは生じない構造であり、測定結果においても、バックラッシュがある場合に生じる段差は現れなかった。

また、微小な反転突起が観察されるが、ワイヤーカット放電加工機の実加工速度は、高速な場合でも数十 mm/min 程度であり、今回の測定条件の送り速度は非常に高速なため、サーボの応答が遅れたためと思われる。また、図 10(b)のように送り速度を 36 mm/min とすると、反転突起は無くなった。ワイヤ



(a) 送り速度 360 mm/min



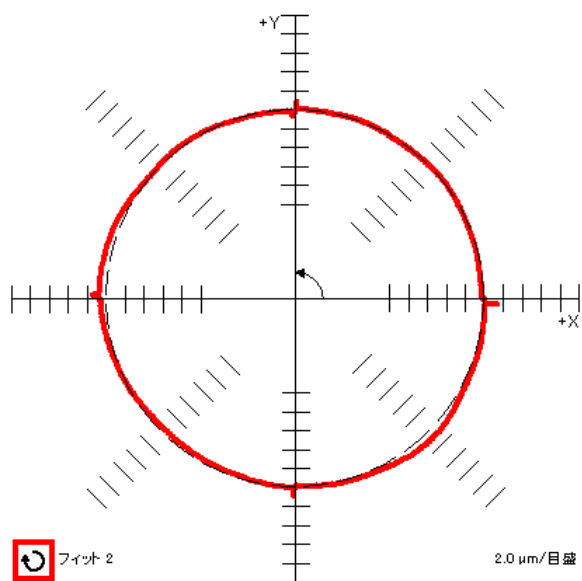
(b) 送り速度 36 mm/min

図9 NCフライス盤円運動精度測定結果例  
(バックラッシュ補正後)

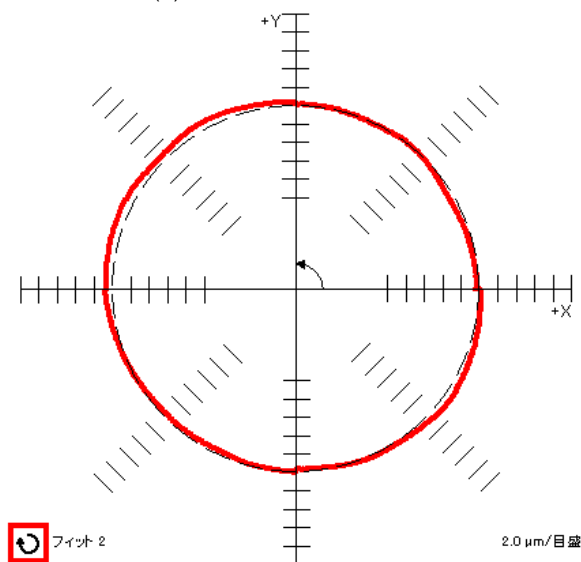
ーカット放電加工機の実加工領域は、高速域でも数十 mm/min 程度であり、実加工では反転突起による加工品の影響は無いと思われる。

#### 2.3.4 工作機械の種類による測定結果の差違

本研究では、ワイヤーカット放電加工機の運動精度が高いことが示された。これは、リニアモータ駆動のためバックラッシュが生じない機構であることが大きい。また、ワイヤーカット放電加工機は、複合旋盤などの切削加工機器に比べて装置が軽量であることから、慣性モーメントが小さく、位置決め制御が行いやすいと考えられる。



(a) 送り速度 360 mm/min



(b) 送り速度 36 mm/min

図 10 ワイヤークット放電加工機の円運動精度測定結果例

NC フライス盤については、真円度がバックラッシュ補正後も他の 2 機種に比べて劣っていた。本研究で測定対象とした NC フライス盤は制御分解能が 0.001 mm であり、0.0001 mm の分解能であるワイヤークット放電加工機や、表示上は 0.001 mm ながら内部では 0.0001 mm の分解能により演算を行っている複合旋盤に比べ、演算精度が劣っていることも一因と考えられる。

複合旋盤は、工具主軸とそのベースを合わせると、400 kg を超える重量が影響し、たわみや大きな慣性

モーメントを生じるため、運動精度ではワイヤークット放電加工機に劣ることとなった。しかし、複雑形状の加工が高効率に可能であるという装置の特性を考慮すると、測定結果の運動精度は良好であったと言える。

### 3. おわりに

3 種類の工作機械について円運動精度測定を行い、以下のことがわかった。

- 1) 機械の直角度などの組立精度が運動精度に影響を与える。
- 2) リニアモータ駆動装置は、バックラッシュが無いことなどから、運動精度が高い。
- 3) 複合旋盤は、複雑形状の高効率加工が可能である装置でありながら、運動精度は良好である。

### 文 献

- 1) JIS B 0105 工作機械-名称に関する用語, 日本規格協会, p.4-5 (1993).
- 2) QC10 ボールバーシステムカタログ, レニショー, p.5 (2008).