

逐次三点法による真円度測定

— 工作機械上での測定 —

大阪電気通信大学大学院 ○堀 祐也 大阪電気通信大学 宇田 豊, 島田尚一
 精密測定研究所 清野 慧 株式会社ナガセインテグレックス 井村諒介

要 旨

逐次三点法の測定では加工形状と運動誤差を分離することができる特徴がある。前報¹⁾では、回転運動誤差が小さくて再現性の良いエアスピンドルを用いて内挿法の有効性を確認した。本報では汎用の工作機械の回転軸を利用して、オンマシンでの真円度測定を行い、有効性の確認を調べた。

1. 緒 言

市販の真円度測定機は、非常に回転精度の良い回転テーブルを用いて半径法による真円度測定が行われている。そのため、真円度測定は工作機械より取り外し、測定されるのが一般的である。一方、生産現場では、加工後に機上での真円度測定することが望まれている。そこで一回の測定で形状と運動誤差を分離することができる逐次三点法が有効な手段であると考えられる。しかし、サンプリング定理の制約より波長がプローブ間隔の2倍以上の成分しか扱えない問題があり、前報では扱える成分を高めるため、内挿法を考案し、回転精度が良くて運動誤差に再現性のあるエアスピンドルを用いて有効性を確認した。本報では、工作機械の回転軸を用いて機上での真円度測定を行い、有効性を確認する。

2. 逐次三点法による真円度測定原理

真円度測定における逐次三点法の変位計配置を図1に示す。3本のプローブ角度を φ の間隔で固定し、x方向、y方向の運動誤差成分を $e_x(\theta)$ 、 $e_y(\theta)$ とした場合、各出力を m_1 、 m_2 、 m_3 は次のようになる。このとき、各変位計出力は次式で与えられる。

$$m_1(\theta_i) = f(\theta_{i-1}) + e_x(\theta_i) \cos \varphi - e_y(\theta_i) \sin \varphi \cdots (1)$$

$$m_2(\theta_i) = f(\theta_i) + e_x(\theta_i) \cdots (2)$$

$$m_3(\theta_i) = f(\theta_{i+1}) + e_x(\theta_i) \cos \varphi + e_y(\theta_i) \sin \varphi \cdots (3)$$

2階差分することにより、運動誤差を含まない $\Delta\mu(\theta)$ が求められ、次式の漸化式を得る

$$f(\theta_{i+1}) = \Delta\mu(\theta_i) + 2f(\theta_i) \cos \varphi - f(\theta_{i-1}) \cdots (4)$$

形状を求めるには、初期値が二つ必要で、 $f(\theta_0) = 0$ 、 $f(\theta_1) = a$ としても、初期値 a の影響は1周期の正弦波として現れるため、真円度測定において偏心成分となり、取り除くことができる。

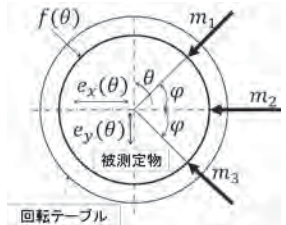


図1 逐次三点法による真円度測定

3. 内挿原理

スピンドルの回転中に、 φ/n 毎に各変位計の出力と回転角度を連続的に記録することによって、開始点の異なった n 組の逐次三点法の測定結果が得られる。 $(n : 正整数)$ 下記の手順で内挿を行う。

手順 1 測定開始点と終了点が同じ点である特徴よりの得られた n 組の測定開始点と終了点を一致させて傾きを修正することにより、各組の形状を求める。内挿される基準を $i = 1$ の形状とし、残りの組については個々に以下の手順を行う
 手順 2 基準となる点、内挿を行う点の偏心を取り除く。
 手順 3 図2に示すように基準の $f_1(\varphi \times (j - 1))$ より、内挿する点を以下の式を用いて直線近似により求める。

$$f_i(\varphi \times j + (i - 1) \times \varphi/n)$$

$$i : 1 \sim n \quad j : 0 \sim 2\pi/n$$

手順 4 内挿する測定結果と手順 2 で求めた点との差の二乗が最小になるように、残りの $(n - 1)$ 組の差を、最小二乗法により、基準とのY軸方向の差(半径差)を求める。

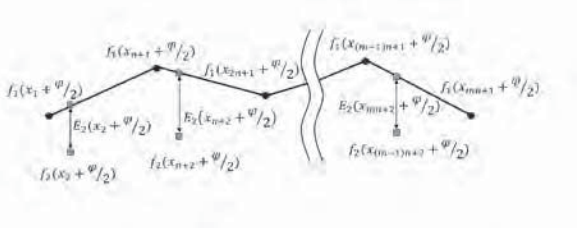


図2 プローブ間隔内へ直線近似

4. 測定方法, 評価方法, 実験内容

工作機械での真円度機上測定を行うため, 汎用のフライス盤を使用し, 測定物を主軸に, 変位計をテーブルに設置する. (図3) 測定物には三山成分が顕著に現れるように加工されたものを使用した. 市販の測定機 (Taylor Hobson TALYROND 290RSU) での結果は真円度 $3.69\mu\text{m}$ である. 変位計には接触式電気マイクロメータ (シチズン製 DTH-P20) を用いる. 主軸には静圧軸受を使用していないため, 前報で使用したエアスピンドルに比べ, 回転精度, 再現性ともに悪い軸受である. 複数回転のデータを処理し, 形状と回転誤差運動に分離して評価を行う. 回転運動誤差については, 工作物回転型として x 方向の運動誤差成分 $e_x(\theta)$ で行う.

5. 測定結果, 考察

複数回の測定した真円度測定結果と同時に検出した x 方向運動誤差を図4, 図5, 図6に示す. 真円度測定結果を比較すると $0.27\mu\text{m}$ のばらつきはあるが, ほぼ同一形状の3山が顕著に表れている. 一方, 回転運動誤差は, 異なり, 運動誤差の測定開始点と終了点が一致しない結果が得られた. この原因として, 軸受の回転体が測定開始点と終了点で異なった位置に移動したためと考えられる. 回転運動誤差が $4\mu\text{m}$ ある工作機械でも, $0.3\mu\text{m}$ 以下の機上真円度測定が可能であることが確認できた.

6. 結言

逐次三点法は形状と運動誤差を分離することができる特徴を利用し, 汎用のフライス盤の回転軸を用いて逐次三点法での機上による真円度測定を行った. その結果, 周期性がなく, 形状より大きな運動誤差を持つ回転軸を用いても, 形状の特徴を再現することができ有効性を確認した. しかし, エアスピンドル用いた測定結果より凹凸があることからさらなる検討が必要である.

参考文献

- 1) 堀, 宇田 : 2014 年度精密工学会北海道支部講演(2014)
- 2) Uda Y, et al. Proc.23-ASPE Annual Meeting(2008)
- 3) 宇田, 他 : 2012 年度精密工学会北海道支部講演(2012),
- 4) 宇田, 他 : 2013 年度精密工学会北海道支部講演(2013)

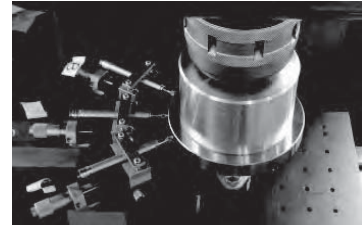


図3 フライス盤を用いた測定

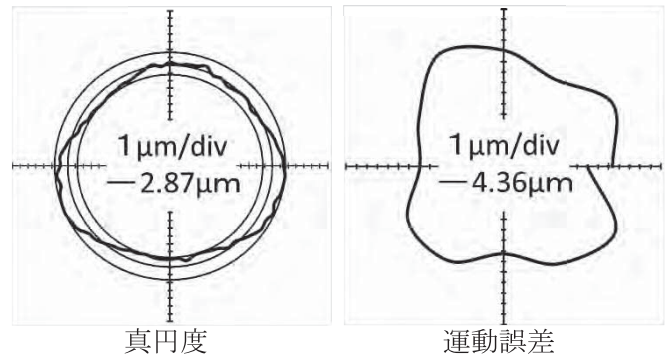


図4 真円度と運動誤差 (その1)

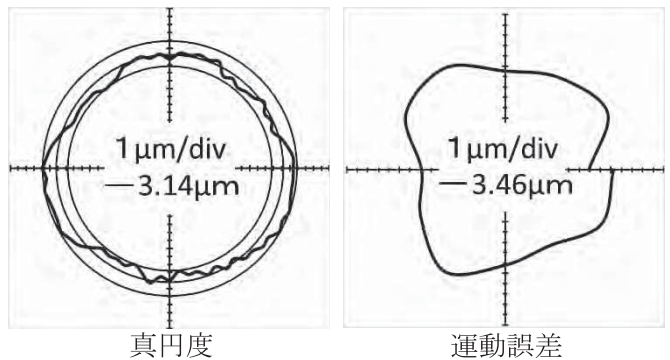


図5 真円度と運動誤差 (その2)

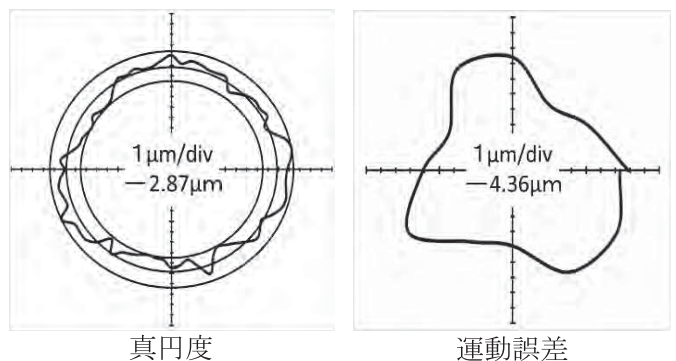


図6 真円度と運動誤差(その3)