

ロータリーエンコーダによる二球間距離計測を用いた工作機械の誤差測定

京都大学 ○岡尚哉, ◎松原厚, 山路伊和夫, 河野大輔

要旨

工作機械の運動精度を測定するために、ロータリーエンコーダを用いて二球間距離を測定する装置を開発した。本論文では、本装置を用いた直角度の測定方法を提案する。高さの異なる複数の平行な平面内の円弧補間運動中に、主軸—テーブル間の距離を本装置で測定し、その測定値から円の中心位置を求めた。そして、高さによる中心位置の変化量から、直角度が測定可能か検証した。

1. 緒言

工作機械の運動精度を測定するには、主軸のテーブルに対する相対変位を測定する必要がある。変位から運動精度を測定する装置としては Double Ball Bar (DBB) 装置が広く用いられているが、測定範囲の狭さから円弧以外の運動軌跡において運動精度を測定することは難しい⁽¹⁾。比較的長距離を少ない誤差で測定するものとしてはリニアエンコーダ・レーザ干渉計が挙げられる。しかし、リニアエンコーダは測定方向に大きなスペースが必要になり、レーザ干渉計は測定時の雰囲気が大きく影響されるという欠点をもつ。

そこで測定範囲が広く雰囲気の影響を受けにくい、かつセットアップ作業の時間を短縮できる測定装置、Linked Ball Bar (LBB) が開発された。LBB はロータリーエンコーダを用いて二球間距離を測定するものである。

本論文では LBB を用いて工作機械の直角度を測定する方法を提案する。そして本測定方法で測定した直角度と直角マスタを用いて測定した直角度とを比較することで、本測定方法の測定精度を検証した。

2. 測定装置と測定原理

2.1 測定装置

本研究で用いる LBB はロータリーエンコーダ (HEIDENHEIN) を中心とした二本のバーがリンクをなしている。ロータリーエンコーダはアブソリュート型であり、分解能は 25 ビットである。LBB の模式図を図 1 に示す。同図において、 l はエンコーダの軸中心から一方の球中心までの長さ、 L はもう一方の球中心までの長さである。 θ はエンコーダ軸中心から球中心までの二本の線分間の角度である。このとき r で示した二球の中心間距離は余弦定理から

$$r = \sqrt{l^2 + L^2 - 2lL\cos\theta} \quad (1)$$

で表される。 l 、 L は一定であると考え、エンコーダによって角度 θ を測定することで二球間距離 r を測定する。測定範囲はおおよそ

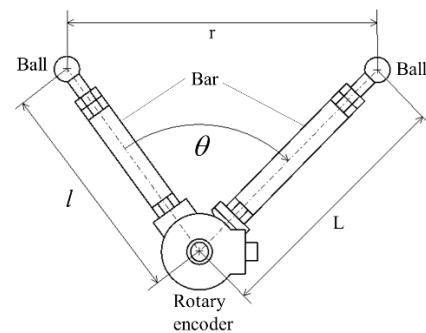


Fig.1 Schematic drawing of LBB

200 mm から 380 mm までである。

2.2 直角度の測定原理

LBB を用いて、平面を構成する二軸とそれ以外の軸との直角度を測定する方法を提案する。ここでは例として、立型工作機械で XY 軸と Z 軸との直角度を測定する方法を説明する。測定の様子を図 2 に示す。LBB の一方の球をテーブルに取り付けた球面座に、もう一方の球を主軸に取り付けた球面座に取り付ける。そして、ある高さの XY 平面 (基準面) でテーブル側の球を中心として、主軸側の球を円弧補間運動させ、その際の距離測定値から円弧補間運動の中心位置を測定する。続けて、高さを変えて同様の測定を行い、中心位置を測定し、基準面における中心位置との差を求めるとして、各高さにおける中心位置の差から直角度を測定する。

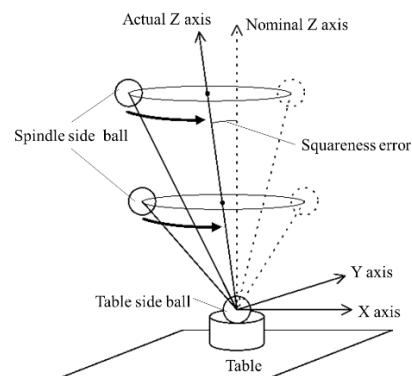


Fig.2 Squariness error test

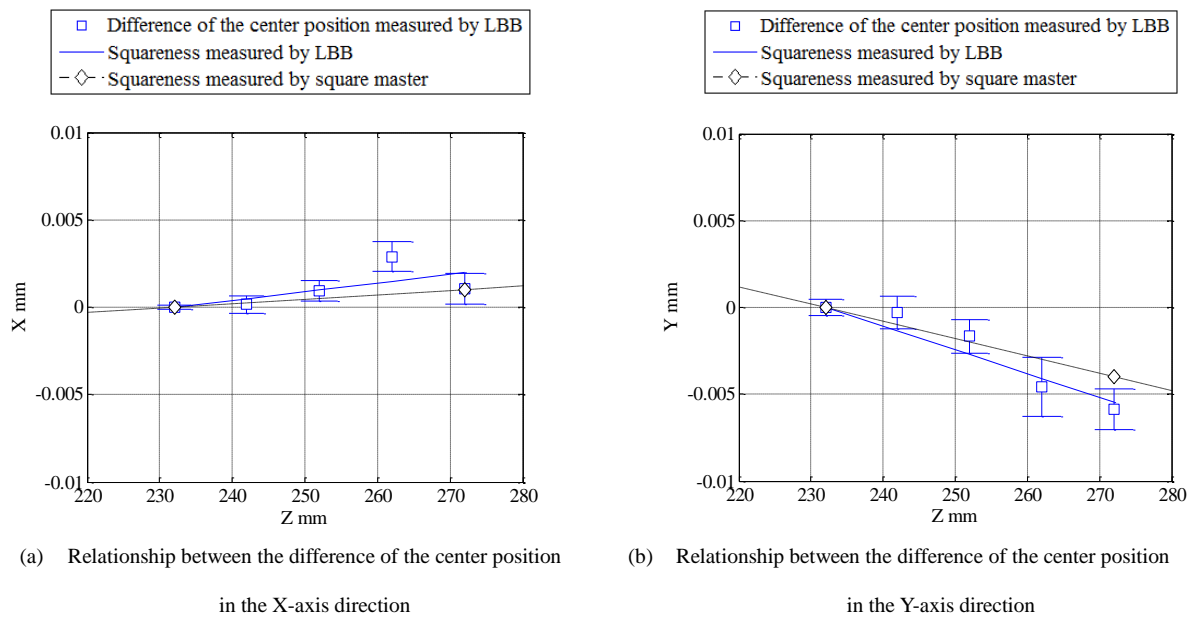


Fig.3 Relationship between the difference of the center position of the circular interpolation motion

3. 直角度測定

3.1 測定方法

2章で述べた測定方法を用いて、立型工作機械のXY軸とZ軸との直角度を測定する。Z方向の測定範囲は基準面から正方向に40mmの範囲とし、それを10mm刻みした各高さで測定を行う。円弧補間運動の半径は150mm、送り速度は700mm/min、サンプリング周波数は1000Hz、測定回数は5回である。また、測定値の比較を行うために、直角マスタとダイヤルゲージを用いて直角度の測定を行った。

3.2 結果と考察

LBBと直角マスタでの測定結果を図3に示す。同図(a)はX軸とZ軸の直角度を示し、同図(b)はY軸とZ軸の直角度を示す。同図では、各高さにおける中心位置の差を5回の平均値で示し、その平均値を最小二乗法でフィッティングした直線(LBBで測定した直角度)を記載している。エラーバーの長さは標準偏差の3倍である。また、直角マスタで測定した直角度を一点鎖線で示す。

LBBで測定した直角度と直角マスタで測定した直角度には、図3(a)よりX軸とZ軸の直角度で $+0.98 \mu\text{m}/40\text{mm}$ 、図3(b)よりY軸とZ軸の直角度で $-1.43 \mu\text{m}/40\text{mm}$ の差があることがわかる。また、中心位置の変化量における標準偏差より、LBBで測定した円弧補間運動の中心位置には $\pm 1 \mu\text{m}$ のばらつきがあることがわかる。よって、LBBと直角マスタによる直角度の差は、LBBのばらつきの範囲にあると考えられるので、今回提案した直角度の測定方法は有効であると考えられる。

更に、このばらつきは高さによってあまり変化しないので、Z軸

方向の測定距離を長くすると、より正確に直角度を測定できることが期待できる。

4. 結言

ロータリーエンコーダを用いた二球間距離測定装置、LBBを用いて平面を構成する二軸とそれ以外の軸との直角度を測定する方法を提案した。そして、本方法を用いて立型工作機械の直角度を測定し、直角マスタで測定した直角度と比較した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) LBBと直角マスタとの測定値を比較すると、X軸とZ軸の直角度で $+0.98 \mu\text{m}/40\text{mm}$ 、Y軸とZ軸の直角度で $-1.43 \mu\text{m}/40\text{mm}$ の差があった。また、LBBで測定した円弧補間運動の中心位置には、高さによって変化しない $\pm 1 \mu\text{m}$ のばらつきがあった。よって、今回提案した工作機械の直角度の測定方法は有効であると考えられる。
- (2) 高さによって中心位置のばらつきが変化しないので、Z軸方向の測定距離を長くすると、より正確に直角度を測定できることが期待できる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ロータリーエンコーダを提供していただいたDR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbHに深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 垣野義昭, 井原之敏, 亀井明敏, 伊勢徹: NC工作機械の運動精度に関する研究: 第1報: DBB法による運動誤差の測定と評価, 精密工学会誌, 52, 7 (1986) 1193.