

5軸制御マシニングセンタにおける同時3軸制御運動測定装置の互換性

東京農工大学 ○崔 成日, 堤 正臣, 茨木 創一, 井原 之敏, 清水 伸二, 三島 望

Compatibility of measuring instruments for simultaneous three-axis movement in five-axis machining centers

Tokyo University of Agriculture and Technology Chengri CUI, Masaomi TSUTSUMI, Ibaraki Soichi, Ihara Yukitoshi, Shimizu Shinji, Mishima Nozomu

Testing methods for simultaneous three-axis control movements with two linear axes and a rotary axis will be specified as an ISO standard for checking the accuracy of five-axis machining centers. Two kinds of measuring instruments are proposed for the measurement. One is a ball-bar measuring system with a single sensitive direction and the other is an instrument having three sensors, which is called "R-test measuring system". In this paper, we confirmed the compatibility between the two measuring systems through experimental works on several five-axis machining centers.

1. 緒言

5軸制御マシニングセンタの精度検査方法として直進2軸と旋回1軸を組み合わせて行う同時3軸制御運動¹⁾がISO案に規定されることになっている。その同時3軸制御運動は測定器のセンサの感度方向をそれぞれ旋回軸の軸方向, 半径方向, 接線方向を保つようにして測定を行うことにより旋回軸と直進軸との直角度・平行度や旋回軸の回転具合を評価することができる。

その運動を測定する測定器として一次元測定器であるボールバーと同時に3方向の変位が検出できるR-testがある。本研究では実機においてR-testとボールバーを用いて同時3軸制御運動測定を行い, その互換性について調査した。

2. 測定原理

2.1 ボールバー 図1にボールバーを示す。ボールバーはマシニングセンタの精度検査に広く使われている測定器であり, 全世界に既に7000セット以上販売されているといわれている。この測定器は精度が十分に保証された2つの鋼球の間に, 伸縮可能なバーを持つ構造をしている。測定を行うときには鋼球を支持するための永久磁石を備えたソケットを主軸とテーブルに取付け, 2球の中心と中心との, 基準長さからの変位量を検出

する。

ボールバーにより同時3軸精度運動を測定する場合は図2に示すように一つの旋回軸に対してボールバーをそれぞれ旋回軸の軸方向, 半径方向及び接線方向に取付け, 3回測定する必要がある。

2.2 R-test 3つの変位計を内蔵したプローブとマスタ球を組み合わせて測定を行う。図3にプローブを示すが, 上から見て120°置き, 正面から見て45度傾いた向きに板式の変位計が配置されている。測定を行う際にはプローブを回転しない方, 例えばテーブル旋回形マシニングセンタの場合は主軸側に取り付け, テーブル側に取り付けたマスタ球にプローブを当て3つのセンサの出力が0になるようにマスタ球を調整してから図4に示したように直進軸と旋回軸を同期させて測定を行う。但し, 同時に3方向の変位を検出できるようにボールバーを使った場合のように一つの旋回軸に対して3回に分けて測定を行う必要はなく, 一回の測定で回転軸の3方向の偏差を測定することが出来る。3つのセンサの出力はデータを取るためソフトウェアR-test CaptureによりX, Y, Z方向の変位に算出される。次にR-testの解析ソフトR-test AnalysisによってX, Y, Z方向の変位から更に軸方向, 半径方向, 接線方向の変位を算出し円グラフにプロットする。従って2回の座標変換計算が必要となる。

3. 測定条件

テーブル旋回形マシニングセンタにおいてボールバーとR-testを用いて同時3軸制御運動測定を行った。

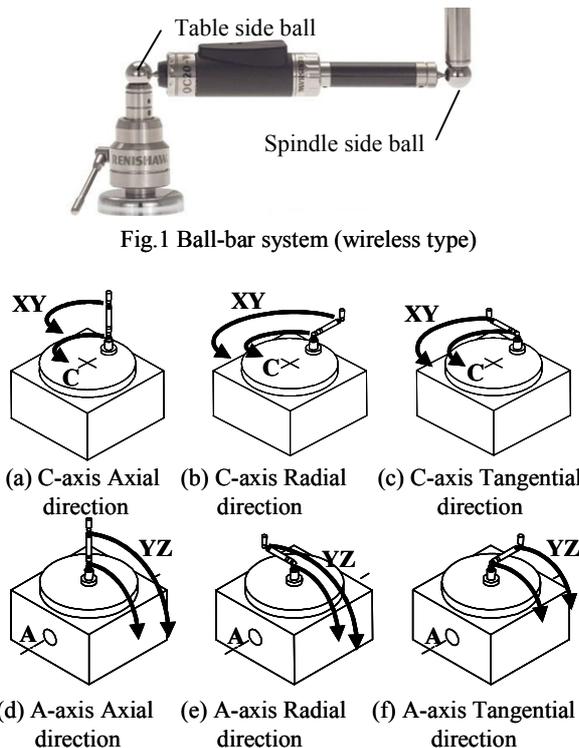


Fig.2 Simultaneous three-axis motions by ball-bar

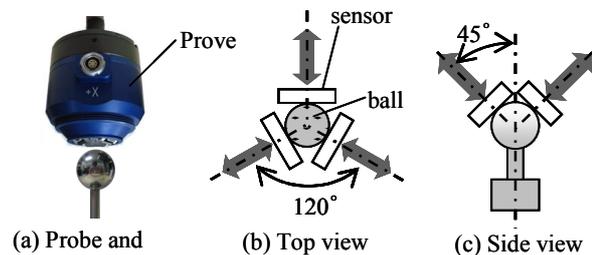


Fig.3 R-test measuring system

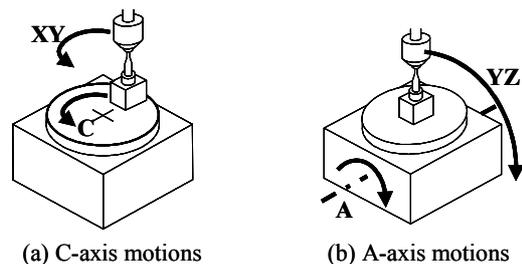


Fig.4 Simultaneous three-axis motions by R-test

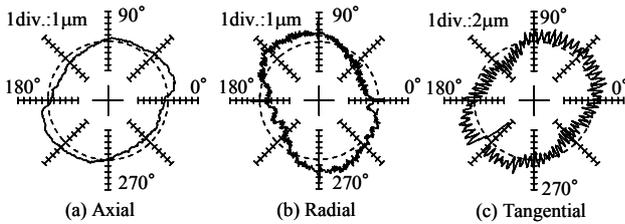


Fig.5 Measurement result by ball-bar on C-axis motion

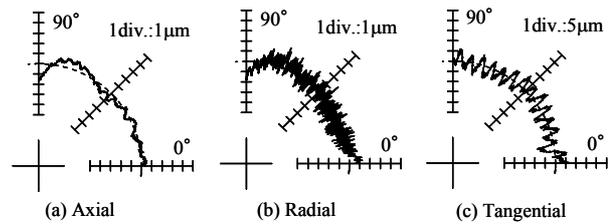


Fig.6 Measurement result by ball-bar on A-axis motion

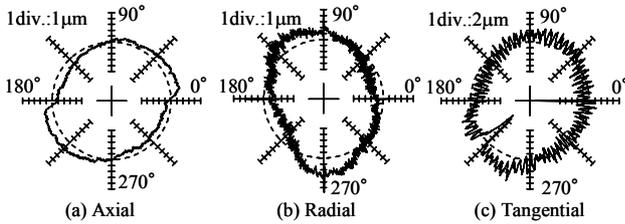


Fig.7 Measurement result by R-test on C-axis motion

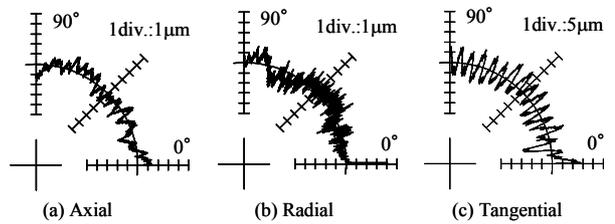


Fig.8 Measurement result by R-test on A-axis motion

ボールバー測定においてC軸を含んだ同時3軸制御運動(以下C軸運動と呼ぶ)については、軸方向と接線方向の運動についてはボールバーのテーブル側球をC軸の回転中心から100mmオフセットさせて設置し、半径方向の同時3軸制御運動についてはテーブル側球をC軸の中心に設置し、XY軸により描かれる円弧の半径を100mmとして測定を行った。

A軸含んだ同時3軸制御運動(以下A軸運動と呼ぶ)については、テーブル側球をC軸の中心において半径方向と接線方向の運動についてはA軸の回転中心から150mm、軸方向の運動については200mm離れた位置に取付けて測定を行った。

R-testを用いた測定ではC軸運動ではマスタ球をC軸の中心から100mmオフセットさせて測定を行い、A軸運動ではマスタ球をC軸の中心においてA軸の回転中心から約230mm離れた位置に取付けて測定を行った。

4. 測定結果と考察

ボールバーとR-testの測定結果の表示方法が異なることから、比較しやすくするために、生データを取りだし、両方とも同じ表示方法で測定結果をプロットした。図5にボールバーを用いたC運動の測定結果を、図6にA軸運動の測定結果を示す。また、図7にR-testを用いたC軸運動の測定結果を、図8にA軸運動の測定結果を示す。

まず、図5(a)と図7(a)のC軸運動の軸方向の結果を比較すると、その軌跡がほぼ完全に一致することが分かる。

次に図5(b)と図7(b)の半径方向の結果ではR-testの結果の方に周波数の高い振動成分がボールバーの結果より大きく含まれているが軌跡形状はほぼ一致することが分かる。

図5(c)と図7(c)の接線方向の測定結果では両方ともC軸を駆動するウォームギヤのピッチ誤差ははっきりと測定されている。また、両方とも225°付近で軌跡が内側大きく切込んでいるが、それはギヤの摩耗によるものであり、これについては既に確認されている。全体的な軌跡形状は若干異なっているが、それは図2(c)と図4(a)で分かるように直進軸の動作が異なるため、直進軸の影響が異なる形で現れた可能性がある。

図6(a)と図8(a)からA軸運動の軸方向の測定結果は両方とも波状の周期的な変動が現れている。その大きさはR-testの方が圧倒的に大きい。しかし、全体的な形状はほぼ一致している。

図6(b)と図8(b)の半径方向の測定結果では両方とも周波数の高い振動が現れていることが分かる。また、軌跡形状はR-test

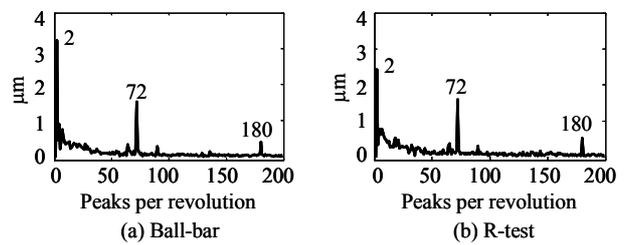


Fig.9 FFT result of C-axis tangential motion

法で80°付近にボールバーの結果ではない段差が現れているが、その原因については直進軸が描く円弧の半径の違いやマシニングセンタの繰返し性などが考えられる。

図6(c)と図8(c)の接線方向の測定結果ではテーブル側に取付ける球のA軸回転中心からの距離がR-testの方がボールバーの約1.5倍であるために、A軸を駆動するウォームギヤのピッチ誤差がR-testの方でより大きく現れているが全体的な傾向は良く一致することが分かる。

最後にC軸運動の接線方向結果についてFFT解析を行った結果を図9に示すが、両方とも2山、72山の成分が大きく現れている。また180山の成分がやや大きく現れている。2山の成分は軌跡が楕円形状になっているために現れているものであり、72山の成分はC軸を駆動するギヤの歯数に相当する。180山成分の原因についてはまだ分かっていない。

以上の結果からボールバーとR-testの測定原理の違いにより直進軸の動作が異なるために測定軌跡が細かい範囲で多少異なることはあるが、ほぼ一致しており、十分互換性があると言える。

5. 結言

本研究ではボールバーとR-testを用いて同時3軸制御運動測定を行い、以下のような結論が得られた。

- 1) 同時3軸制御運動のボールバーとR-testの測定結果が良く一致し、互換性がある。

参考文献

- 1) 斎藤明徳, 堤正臣, 牛久健太郎: 5軸制御マシニングセンタのキャリブレーション方法に関する研究(第2報)同時3軸制御運動を用いた位置偏差および角度偏差の推定, 精密工学会誌, Vol.69, No.2(2003)PP.268-273.