

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760091
 研究課題名 (和文)
 5 軸マシニングセンタのアーティファクトによる高精度、高能率な性能評価法
 研究課題名 (英文)
 Study on high-efficient estimation method of geometrical deviation in five-axis machining center
 研究代表者
 下嶋 賢 (SHIMIJIMA KEN)
 上智大学・理工学部・助手
 研究者番号：60385490

研究成果の概要：5 軸マシニングセンタの高精度・高能率な性能評価法として、アーティファクトを使った評価法を新たに提案し、その方法の妥当性について検討を行った。提案した評価方法は、球が3次元的に配置されたアーティファクトと、その球の中心座標を測定できる検出器で測定することで評価する方法である。計算機上にて、5 軸マシニングセンタの各運動軸間の幾何学的な偏差を与え、アーティファクトを測定した際の測定誤差から、それらの幾何学的な偏差を最小自乗法によって推定した。推定した偏差は高い精度で推定可能であることを示すことができ、本手法の妥当性を示すことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	0	1,600,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	270,000	2,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：5 軸制御マシニングセンタ、精度評価、アーティファクト、幾何学的偏差、最小二乗法

1. 研究開始当初の背景

近年、多軸工作機械の利用・製造が増加している。しかし、性能評価法に関しては共通の検査方法がなく、最新形の多軸工作機械に対応した規格が提案されているがその制定には至っていない。その中でも、5 軸制御マ

シニングセンタ (以下、5 軸 MC) の運動軸間の幾何学的な偏差 (以下、幾何偏差) の測定は各工作機械メーカーによる独自の方法で行われているのが現状である。そこで現在、ダブルボールバー (以下、DBB) による 5 軸 MC の幾何偏差同時測定方法¹⁾が提案されているが、測定時間、セッティング方法などに問題

が残っている。

2. 研究の目的

本研究では、この DBB による幾何偏差同時測定法（以下、DBB 法）の抱える問題点を実験的に明らかにする。さらに、これらの問題点を解決できる、より高能率な幾何偏差推定法を提案し、その妥当性をシミュレーションにより検討する。

3. 研究の方法

(1) DBB 法の問題点の明確化

図 1 は、測定対象となっている 5 軸 MC の軸構成と DBB による測定法を示している。DBB は現在、円運動精度の測定などに多く用いられている測定装置である。中央のバーに内蔵されているトランスデューサにより、円運動に生じる半径方向の微小な距離変動を測定できる。DBB 法では、5 軸 MC のうち回転 A・C 軸のどちらかを含む 3 軸同時運動で 4 種類の測定を行う。

測定対象となる幾何偏差は、その方向と偏差がどの軸間に存在するか、で表現する。例えば、Z 軸と X 軸の軸間に存在する X 方向の位置偏差は、 δx_{ZX} と示す。

DBB 法では、以下の 8 つの幾何偏差を求める。

位置偏差： $\{\delta x_{YA}, \delta y_{YA}, \delta z_{YA}, \delta y_{AC}\}$

角度偏差： $\{\alpha_{YA}, \beta_{YA}, \gamma_{YA}, \beta_{AC}\}$

図 2 は、4 段階の測定速度における幾何偏差測定結果を示している。また、各速度での測定の最大・最小値の幅を示している。速度の違いにより、測定結果は最大で $5 \mu\text{m}$ 、 0.001degree も異なることが分かった。さらに、同じ速度でも、再現性の低いパラメータがあることが分かった。

図 3 は、C, X, Y の 3 軸同時円弧補間運動において、測定する角度範囲を 120° , 200° , 300° , 360° と変化した時の中心座標を示している。各角度範囲で、測定開始位置を 90° ずつ変え、4 回の測定を行った。測定角度範囲が小さい場合、測定される中心座標には

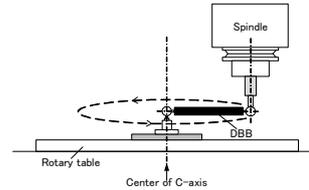
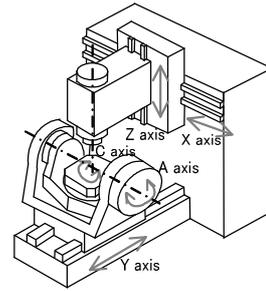


Fig.1 Axis composition of machine tool and

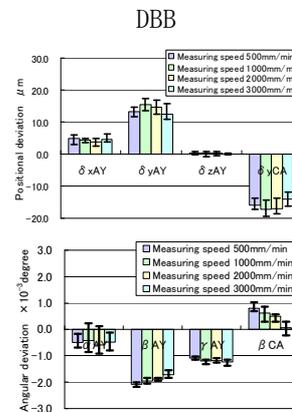


Fig.2 Measurement result of straightness

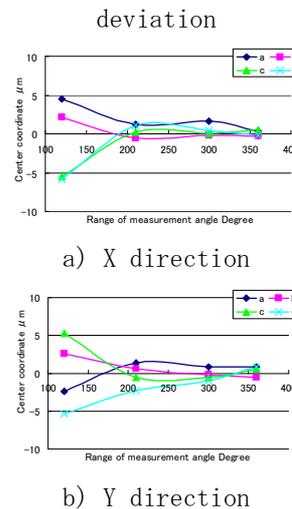


Fig.3 Measurement result of center coordinate

ばらつきが見られ、 360° に近づくにつれ、測定開始位置に関わらず同一の位置座標を算出できていることが分かる。これより、ク

レール形の回転テーブルなど、360°の回転での測定が行えないMCでは正確な測定結果が得られない可能性があることが分かった。

このように、DBB法には、測定結果のばらつきや安定性の低さ、MCの種類により設置方法や求められるパラメータが変わるなどの問題点があることが明らかになった。

(2) 新測定法の提案と妥当性の検討

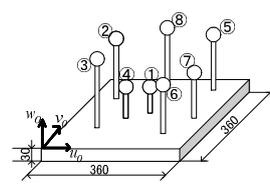
①測定方法

本研究では、より高効率な測定方法としてアーティファクト法の提案を行う。このアーティファクト法では、5軸MCに存在する加工に影響を与える全ての幾何偏差を1回の測定で求めることができる。

図4は、アーティファクト（測定対象）として用いるボールプレート（以下、BP）を示している。さまざまな位置・高さに球を配置し、その中心座標を測定する。今回は、シミュレーションを行うに当たって、図4のような配置のものを用いる。表1に、球の中心座標を、また表2に各測定点での測定における各軸の運動量を示す。

図5は、アーティファクト法具体的な測定方法である。MCのテーブル上にBPを設置し、主軸側に取り付けた非接触式の測定装置によって球の中心座標を測定する。工作機械の中には幾何偏差が存在するため、主軸は指令した位置とは異なる点に位置決めされる。この両者の差が工具-工作物間に生じる加工誤差となる。この残差を、各球の中心座標において測定する。その測定値を用いて、最小二乗法で各軸間の幾何偏差を推定する。

Table1 Coordinates on a ball-plate



	x(mm)	y(mm)	z(mm)
①	180	180	40
②	60	270	110
③	80	50	125
④	100	160	60
⑤	220	330	115
⑥	240	90	70
⑦	270	240	70
⑧	330	150	110

Fig.4 Ball-plate

Table2 Designated value of measurement

	x(mm)	y(mm)	z(mm)	a(deg)	c(deg)
①	0	0	-80	10	40
②	-109	120	-49	20	80
③	163	61	-17	30	120
④	82	19	-70	40	160
⑤	14	157	-150	50	200
⑥	-108	29	-71	60	240
⑦	75	55	-143	70	280
⑧	96	90	-185	80	320

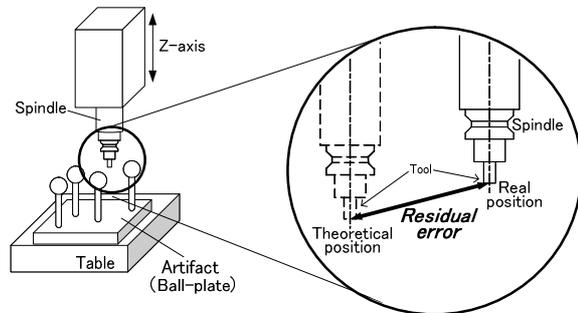


Fig.5 Method of measurement

②結果および考察

5軸MCにおいて、加工誤差に影響を与える幾何偏差は、以下の13個であると考えられる。

$$Z-X \text{ 軸間} : \{ \alpha_{ZX}, \beta_{ZX}, \gamma_{ZX} \}$$

$$X-Y \text{ 軸間} : \{ \alpha_{XY}, \beta_{XY}, \gamma_{XY} \}$$

$$Y-A \text{ 軸間} : \{ \alpha_{YA}, \beta_{YA}, \gamma_{YA} \}$$

$$A-C \text{ 軸間} :$$

$$\{ \delta y_{AC}, \delta z_{AC}, \alpha_{AC}, \beta_{AC} \}$$

これら以外の幾何偏差 $\{ \delta x_{ZX}, \delta y_{ZX}, \delta z_{ZX}, \delta x_{XY}, \delta y_{XY}, \delta z_{XY}, \delta x_{YA}, \delta y_{YA}, \delta z_{YA}, \delta x_{AC}, \gamma_{AC} \}$

は、MCの原点設定によってリセットされるため、加工にも影響を与えない。そのため、本研究では考慮しない偏差とする。また、これら13個の偏差のうち、 α_{YA} と α_{AC} は偏差の方向が同じであり、それぞれを独立に推定することが困難である。しかしながら、2つ

の角度偏差の和を α_{YA} として、両者の統合偏差として推定し、その値を補正することにより、両偏差の影響を無くすることができる。

図6は、5軸MCを対象とし、幾何偏差が存在していることを想定して、その幾何偏差推定のシミュレーションを行った結果を示している。各棒グラフの左側に代入した値を、右側に求めた推定値を示している。また、図7は、図6で推定された幾何偏差を用いて各軸間の位置および角度を補正した場合の残差を示している。

図6より、代入した幾何偏差に対して、本測定法による計算から推定が行えていることが分かる。特に角度偏差に関しては、高い精度で推定できている。その結果、図7のように加工精度への影響を大幅に改善できている。

これにより、提案した測定法は、加工誤差に影響を与えるすべての幾何偏差を一度のセッティングと測定で求めることが可能であるということが分かった。

4. 研究成果

(1) DBBによる幾何偏差測定方法は、効率の問題に加え、測定条件による結果のばらつきや測定の安定性の低さ、MCの種類により測定方法等が変わるなどの問題点があることが分かった。

(2) 新たな測定法として、アーティファクトと非接触式の測定装置を用いた幾何偏差推定法を提案し、シミュレーションにより、その妥当性を示した。

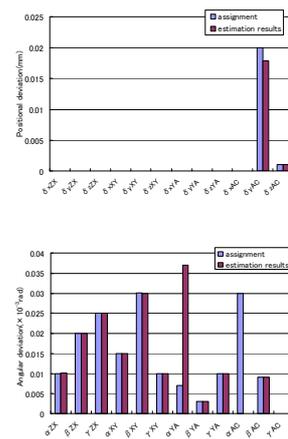


Fig.6 Estimated results of each geometric deviations

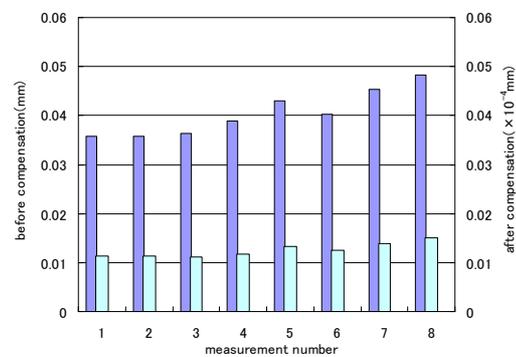


Fig.7 Results of compensation in residual error

[参考文献]

1). A. Saito, M. Tsutsumi, K. Ushiku : Development of Calibration Method of 5-axis Controlled Machining Centers (2nd Report), Precision Engineering, Vol.69, No.2 (2003)

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 下嶋 賢, 後藤 小百合, 清水 伸二, 堤 正臣, DBB による 5 軸マシニングセンタの幾何偏差測定における留意点, 日本機械学会 第 7 回生産加工工作機械部門講演会講演論文集, 2008 年 11 月 21 日, 長良川国際会議場

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下嶋 賢 (SHIMOJIMA KEN)
上智大学・理工学部・助手
研究者番号：60385490

(2) 連携研究者

清水 伸二 (SHINJI SHIMIZU)
上智大学・理工学部・教授
研究者番号：70146801