

## E07 高精度加工機の高速度運動時の輪郭運動誤差の解析

### Analysis of Motion Error at High speed motion of High precision MC

○ 大下 功 (安田工業), 正 松原 厚 (京都大学)  
正 茨木 創一 (京都大学)

Isao OSHITA, YSDA PRECISION TOOLS K.K. 1160 Hamanaka, Satoshio, Okayama, Japan

Atsushi MATSUBARA, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, Japan  
Soichi IBRAKI, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, Japan

In this study, we analyzed it about the motion error of High precision MC. We used a simulation model and the measurement result of the machine for analysis. High precision MC has the friction-less drive system that combined a hydro static guide way with linear motor drive. In addition, the motion error measured the relative displacement on the X-Y plane between the spindle-table by a grid encoder and we used the Offset-Path Method to do and calculated it. As a result.

1. In a diamond-shaped command trajectory, a motion error to produce by the dynamic-characteristic difference between the axis was confirmed at the corner.

2. We confirmed a motion error at the corner part like the experiment results by simulation. In the case of the velocity-loop proportional gain setting that synchronized the difference in dynamic-characteristic difference, the motion error to be caused by the difference in dynamic characteristics was not seen.

**Key Words** : High precision MC Motion error, Offset-Path Method, friction-less

#### 1. 結 論

近年, 光学関連部品および医療機器関連部品などの小型部品の需要が高まると同時に, 高精度化, 高品位化と高能率化という要求も高くなっている。このような要求に対し, 高精度加工機と呼ばれる汎用加工機が市場に投入されつつある。

高精度化と高能率化を両立するためには, 高速運動時の運動誤差を極力少なくする必要がある。

送り駆動系における輪郭運動誤差は各直線軸の真直度および, 軸間の直角度による静的な誤差と, 各移動軸の運動によって生じる, 動的な誤差に分けられる。静的な誤差の場合, 繰り返し性を有するために, 事前に測定し補正を行うことでその誤差を取り除くことが可能になる。

一方, 動的な誤差は, 運動速度が高くなるにつれ大きな影響を受け, 高速切削時には特に重要な誤差要因となる。

そこで, 本研究では動的誤差の低減を目的とし, 高速運転時の運動誤差について, モデルを用いシミュレーションを行い, 実際の測定結果を用いて解析を行う。

#### 2. 輪郭運動誤差発生要因

動的な輪郭運動誤差はさまざまな要因によって引き起こされる。

図 1 にコーナ運動における誤差発生 of 支配的要因について, コーナ部の実際の位置及びオフセットパス法<sup>1)</sup>を用いた, 誤差軌跡を模式的に示す。図 1.(a)は制御系の応答遅れによって生じる, コーナだれを表す。各送り軸は目標位置に対して遅れを持って追従するために, 実際の位置がコーナ頂点に達する前に次の送り指令が実行される為, コーナ内側を回る位置応答軌跡となる。コーナだれは, 内向きのピークとして現れる。

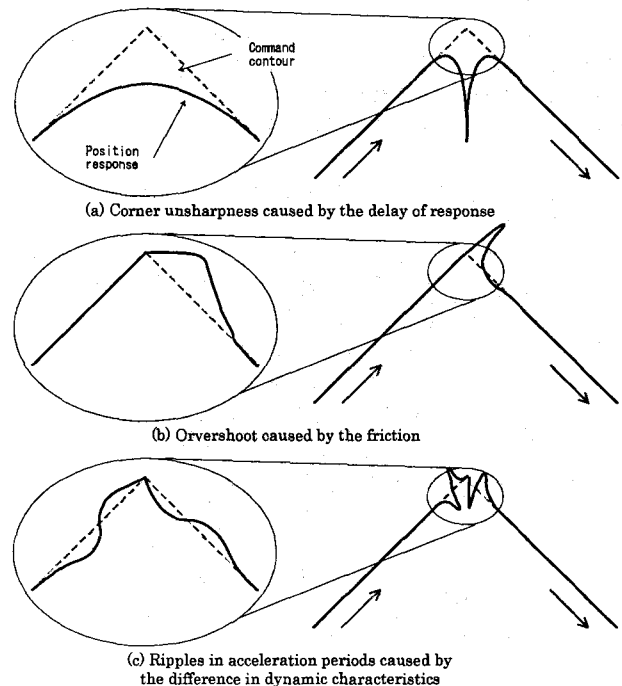


Fig1 Error factors appeared on the magnified error profile

図 1.(b)は, 送り軸が運動方向を反転する際にクーロン摩擦によって, 停止状態となるために生じる, オーバーシュートである。摩擦によるオーバーシュートはコーナ先の線分に垂直な方向へ伸びる突起状の誤差軌跡として現れる。

図 1.(c)は, コーナ運動に関与する軸間の動特性差によって生じる, 各軸の加減速時のふれである。コーナ手

前, コーナ直後の各軸の加減速指令に対する, 追従性が異なると, コーナ内向き, 外向きが対となる誤差として現れる.

本研究においては, 3項目の各軸の動特性差による誤差要因について解析を行う.

### 3. ケーススタディ

#### 3.1 輪郭運動誤差の測定及び解析方法

動特性差による輪郭運動誤差の解析をするにあたり, リニアモータ駆動と油静圧案内機構を組み合わせた, 非接触駆動系を有する, 高精密加工機を用いて測定実験を行う. 輪郭運動誤差測定は, 図2に示す, ダイヤモンド型の運動パスを与え, 機械主軸-テーブル間のX-Y平面内の相対変位をグリッドエンコーダにより測定し, オフセットパス法で算出する.

指令送り速度は 3m/min, 加速度は 1m/s<sup>2</sup> として測定を行う.

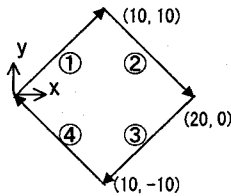


Fig.2 Command Path

軸間の動特性差によって生じる誤差要因を解析するために, 計算機シミュレータ(Simlink, Math Works Ink.)上に, 測定実験対象とした高精密加工機のシミュレーションモデルを構築し確認することとする.

高精密加工機の送り系を図3に示す. 図中の  $K_f$  [%] はフィードフォワード係数,  $K_{pp}$  [rad/s] は位置比例ゲイン,  $K_t$  は推力定数,  $m$  は被駆動体質量,  $x_r$  は位置指令,  $x_t$  は位置応答である.

軸間の動特性差を一致させるような速度ループ比例ゲインの設定を行うことで, 動特性差に起因する輪郭運動誤差が抑制されることが示されている<sup>2)</sup>. この抑制の効果を確認するため動特性差の有無による比較を行う.

表1にサーボパラメータの設定を示す. 表中の  $\omega_v$  [rad/s] は速度制御帯域である. 通常速度制御器のゲインは外乱抑制の観点から可能な限り高く設定する. そのため軸間で速度制御帯域  $\omega_v$  は必ずしも一致はしない. 表中の2条件は, 実際の設定と動特性を一致させた場合を示している. 運動誤差測定は実際の設定で, シミュレーションは実際と一致させた場合の2条件で行う.

#### 3.2 測定及び解析結果

図4に測定した輪郭運動誤差軌跡を示す. 各コーナ部及びX,Y原点付近での始動, 停止時に内向き, 外向きが対になった誤差が見られる. これは, 軸間の動特性差により発生する誤差と考えられる. また, コーナ部で約 5  $\mu$ m の制御系の応答遅れによるコーナだれが生じているがコーナ先でのオーバーシュートは生じていない. これは, 高精密加工機に採用している, 非接触駆動系によるものだと考えられる.

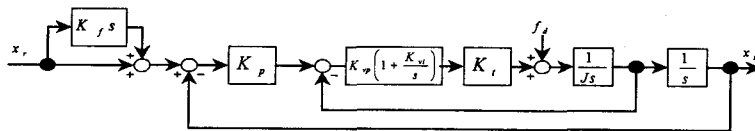


Fig.3 Block diagram of the feed system

Table 1. Servo parameters of the feed system

Position proportional gain $K_{pp}$ rad/s	140
Bandwidth of velocity control loop $\omega_v$ rad/s	(standard) X : 430, Y : 695 (matched) X : 430, Y : 430
Velocity integral gain $K_{vi}$ rad/s	110
FF coefficient $K_f$ %	100
Driven mass $m$ kg	X : 500, Y : 120

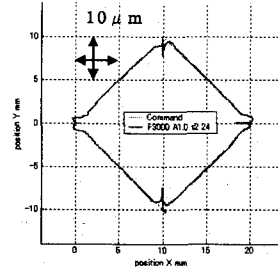
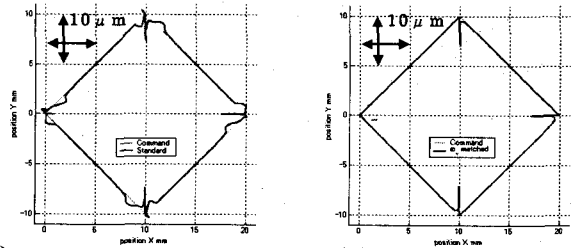


Fig4. Magnified error profiles by Offset-path Method



(a) Standard gain condition (b) Gain condition with matched  $\omega_v$

Fig5. Magnified error profiles by Offset-path Method Influence of the difference in dynamic characteristics

図5に指令送り速度 3m/min, 加速度は 1m/s<sup>2</sup> の場合の位置応答をシミュレーションした結果を示す. 図5(a)は図4の実際の測定時と同じ, 動特性差が存在する通常のゲイン設定の場合である. 実験結果と同様にコーナだれのほかに動特性差に起因する  $\pm 1 \mu$ m 程度の誤差の発生を確認できる. 図5(b)に動特性差を一致させたゲイン設定の結果を示す. コーナだれのみが生じており, 動特性差に起因する誤差は見られない.

### 4. 結言

本研究において, 次の結果を得た.

1. ダイヤモンド型の運動パスにおいて軸間に動特性差による輪郭運動誤差が発生することを確認した.
2. シミュレーションにより, 軸間の動特性差を一致させた場合, 動特性差に起因する, 輪郭運動誤差が発生しないことを確認した.

### 参考文献

- 1) 洪 策符, 長岡 弘太郎, 飯塚 厚史, 松原 厚, 茨木 創一: 工作機械送り系の輪郭運動制御に関する研究 (第1報) - 動的輪郭運動誤差の解析 -, 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会, 神戸大学, pp.71-72, Sep. 2009.
- 2) 穴澤 裕一, 非接触駆動型高精密加工機の運動誤差に関する研究, 京都大学修士学位論文(2008)