

函館工業高等専門学校 ○山田 誠
北海道大学 工学部 田中 文基 岸浪 建史

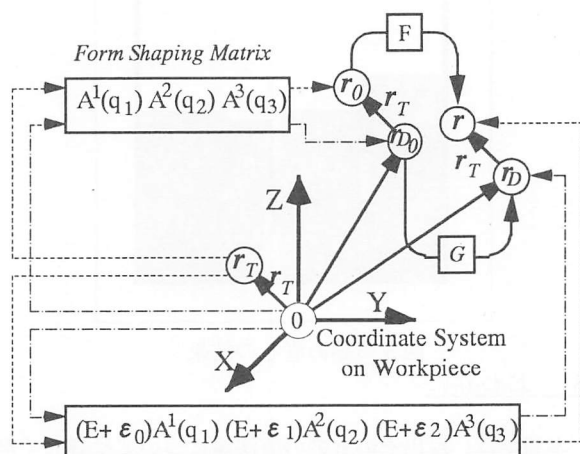
要 旨

本研究の目的は、フライス盤の各駆動軸間の直角度を推定・補償する方法を提案することである。本報では、工作機械上での基準ブロック測定による、角度誤差を推定する方法論について示す。また、その方法論に基づいて、実際のフライス盤の各駆動面を導出する方法ならびに角度誤差を補償する方法について考察する。本推定方法は、駆動面の法線ベクトルの関係から角度誤差を導出するものである。

1. はじめに

工作機械における形状加工精度は工作機械の中に存在する静的誤差、ならびに、加工時に発生する動的誤差に依存する。特に、構造上の幾何学的誤差に関しては、それがどのような状態であるかを認識できない限り、高精度加工を実現することはできない。そのため、それらを精密にかつ簡便に推定できる方法を開発しておくことが必要である。

これまで、フライス盤の各駆動軸間の直角度を推定する方法論について報告してきた。それは、工作機械上での基準ブロック測定により工作機械の駆動面を導出し、その駆動面間の法線ベクトルの関係から角度誤差を推定するものである。この方法の特徴としては、基準ブロックの測定によって駆動面を導出するため、工具軸のテーブルに対する姿勢に関係なく直角度を推定できること、工作機械の座標系に依存しない不変量として、法線ベクトル間の内積量により導出するので、取り付け誤差に依存しないこと、等があげられる。本報ではこの角度誤差推定のための方法論を示し、これに基づいて実機での試験方法および、推定された誤差からの補償方法に関して考察する。



r_0 : Ideal Machined Shape, r : Actual Machined Shape
 r_{D0} : Ideal Driving Plane, r_D : Actual Driving Plane

Fig. 1 Relationship between Machined Shape and Driving Plane.

2. 角度誤差推定のための方法論

工作機械での加工は、誤差が存在しない場合、加工により要求形状に等しい理想加工形状が得られる。工作機械の誤差を考慮した場合、工作機械を理想加工形状から実加工形状への形状変換器と考えることができる。その機能は、Work座標系上で定義される要求形状 r_0 (理想加工形状) から工作機械という座標変換器 F を通して、Work座標系における実加工形状 r を得るプロセスといえる。同様に、工具形状に無関係である工具軸駆動面に関しては、理想駆動面 r_{D0} からその変換系 G を通して実際の駆動面 r_D が得られる。本研究においては、この変換 F および G の構造を定義付ける工作機械のモデル化を、形状創成理論¹⁾に基づいて行う。

機構コード²⁾が123である立フライス盤を対象とした場合、理想加工形状 r_0 と実加工形状 r との関係、および、理想駆動面 r_{D0} と、実際の駆動面 r_D との関係は図1の通りである。図の中で、 A^i は工作機械の運動を表す並進運動マトリクスであり、そのパラメータ q_i は制御量を表す。また、 ε_i は駆動軸間の角度誤差を表す誤差マトリクスである。この誤差マトリクスは、 X, Y, Z 軸廻りの角度誤差を表す $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ を構成要素としている。

角度誤差の推定方法は、基準形状の測定により、実際の駆動面 r_D を導出し、その変換系である G の構成要素である角度誤差を推定するものである。実駆動面から剛体の回転変位を取り去った形状を r'_D とすると次式で表される。

$$r'_D = \begin{bmatrix} X'_D \\ Y'_D \\ Z'_D \\ 1 \end{bmatrix} = G r_{D0} = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma_1 & \beta_1 + \beta_2 + \alpha_2 \gamma_1 & 0 \\ 0 & 1 & \beta_2 \gamma_1 - \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{D0} \\ Y_{D0} \\ Z_{D0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

このように、フライス盤の構造内の角度誤差だけを考慮した場合、理想駆動面と実駆動面との関係は線形変換 G で表される。

本研究では、三つの駆動面の法線を n_1, n_2, n_3 としたとき、 $n_1 \cdot n_2 = 0, n_1 \cdot n_3 = 0, n_2 \cdot n_3 = 0$ の関係を満たすような、三面が互いに直交する直方体基準ブロックを使用し、直角度の評価を行うものとする。

式(1)において、 $[X_{D0}, Y_{D0}, Z_{D0}, 1]^T$ は工作機械に制御量 q_i が与えられた際の角度誤差がない場合に駆動する面、即ち、理想駆動面を表す。また、 $[X_D', Y_D', Z_D', 1]^T$ は理想駆動面に対する実駆動面を表している。

いま、理想駆動面を平面として、各面の法線ベクトルを n_i ($i=1,2,3$)と置き、実駆動面の法線ベクトルを n_i' ($i=1,2,3$)と置くと、実駆動面の法線ベクトルは次式で与えられる。

$$n_i' = (G^{-1})^T n_i = \begin{bmatrix} n_{ix}' \\ n_{iy}' \\ n_{iz}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \gamma_1 & 1 & 0 \\ -(\beta_1 + \beta_2) & -\beta_2 \gamma_1 + \alpha_2 & 1 \end{bmatrix} n_i \quad (2)$$

この法線ベクトルの内積量を求め、それらの関係により、駆動軸間の角度誤差を推定することができる。それを次式に示す。

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= n_2' \cdot n_3' \\ \beta_1 + \beta_2 &= -n_1' \cdot n_3' \\ \gamma_1 &= n_1' \cdot n_2' + \alpha_2(\beta_1 + \beta_2) \\ &= n_1' \cdot n_2' - (n_2' \cdot n_3')(n_1' \cdot n_3') \end{aligned} \quad (3)$$

3. 測定方法と角度誤差補償のための方法論

角度誤差を実際に推定するために、以上の方法論を用いて行う。基準ブロックの測定から、実駆動面を導出するためには、実駆動面に対して、垂直な距離測定が必要となる。実際の測定時に、電気マイクロメータの接触子を、駆動面に対して厳密に垂直な方向に向けることは、非常に困難である。そのため、図3に示すように、ある点を測定する際、駆動面に対して垂直な方向にあるべき軸方向に既知量(Off)オフセットして距離測定をする。これにより、角度誤差が微小であれば、この方向を駆動面に対して垂直な方向と、みなすことが可能である。この基準ブロック上の点の測定により、基準ブロックに対する駆動面の角度関係を、最小自乗法を通して導出するこ

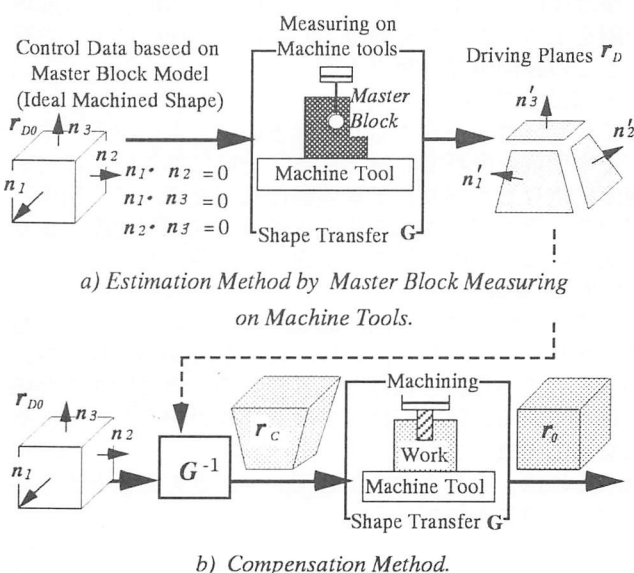


Fig. 2 Concept of Estimation and Compensation Method.

とができる。それ故に、実駆動面と理想駆動面との関係を導出でき、角度誤差を推定することができる。

角度誤差を補償する概念は、図1(b)に示すとおり、推定された角度誤差から工作機械の理想駆動面と実駆動面間の変換系である G を導出し、その逆変換をとることにより、誤差を補償する駆動面 r_c を計算することができる。

$$r_c = G^{-1} r_{D0} \quad (4)$$

これは、実駆動面から観測した基準ブロックの形状を表し、それをもって補償駆動面とすることができる。しかしながら、工作機械の駆動軸間の角度誤差が大きければ、本測定方法では駆動面を求める際の誤差が大きくなる。この問題に関しては、誤差推定のための測定と誤差補償とを繰り返し行うことにより回避することが可能である。

4. 結 論

フライス盤の各駆動軸間の運動の直角度の推定方法・補償方法に関して、以下の結論を得た。

- 1) 工作機械のモデルと基準ブロック測定を基にした、フライス盤の駆動軸間の角度誤差推定のための方法論を示した。
- 2) 駆動面間関係を導出するための、基準ブロックの測定方法を示し、それによる駆動軸間の運動の直角度を推定・補償する方法論について示した。

参 考 文 献

- 1) D.N.Reshetov, V.T.Portman: Accuracy of Machine Tools, ASME PRESS,(1988)
- 2) 春本玲子, 稲崎一郎: 形状創成理論による工作機械の誤差解析, 精密工学会誌, 59,06 (1993)915
- 3) 山田他, フライス盤での基準形状測定による駆動軸間の直角度補償方法に関する研究, 精密工学会春季大会講演論文集(1996)
- 4) JIS B-6333 数値制御ひざ形立フライス盤の試験及び検査方法

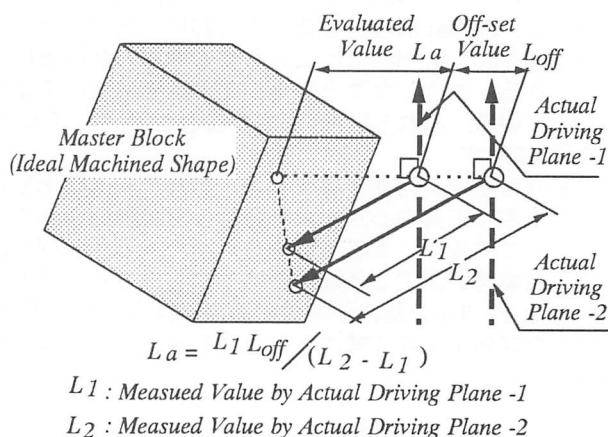


Fig. 3 Measuring Method to derive Actual Driving Plane.