

パラレルメカニズム・マシニングセンタにおける 機構パラメータキャリブレーション方法

A Method to Calibrate Kinematic Parameters of Parallel Mechanism Machining Center

○准 松下 哲也 (オークマ) 正 茨木 創一 (京都大)

Tetsuya MATSUSHITA, Okuma Corporation, Oguchi-chou 5-25-1, Niwa-gun, Aichi
Soichi IBARAKI, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

To make Parallel Kinematics Mechanism Machine Tool accurate, the calibration of kinematic parameters is needed. A method to calibrate kinematic parameters with DBB (Double Ball Bar) was proposed. However this method does not calibrate kinematic parameters for table of the machine, and rotations of the calibrated coordinate with measurements for table are needed. Therefore this method needs a long time to do, and it is required to shorten them. This paper presents a new method of calibration with a special jig that consists of Ball Plate with 7 ball and Stoppers to table. With this jig, the calibration for table is not needed, and the time for the calibration is shortened.

Key Words: Parallel Mechanism, Kinematic Parameter, Calibration, Double Ball Bar

1. 緒言

昨今の自動車量産部品の加工ラインでは、製品の短寿命化により、従来の専用機による少品種大量生産から、ラインを短時間で立ち上げられるマシニングセンタなどの汎用機による多品種少量生産に移行している。そのような中、オークマ㈱が開発したパラレルメカニズム・マシニングセンタは高速・高自由度の特性から導入され、生産性の面からもユーザから有効性を認められている。

このような加工ラインでは、故障や部品劣化などの際には如何にすばやく部品を交換し復帰することが必要となる。

一方、パラレルメカニズム機では、大幅な部品交換を行う場合には機構パラメータのキャリブレーションが必要となる。この方法として、著者らが提案した DBB (ダブルボールバー) 測定¹⁾を用いた方法²⁾を行い、さらにテーブルに対するエンドエフェクタの運動をダイヤルゲージ等で計測し座標系の傾きを修正するテーブルに対するキャリブレーションを行うという手順を踏むことから、作業時間が長くなるという課題があった。

著者らが提案した治具³⁾を用いてテーブル基準でのキャリブレーションを行うことで、テーブルに対するキャリブレーション作業を不要とし、大幅な作業時間短縮が可能になる。しかし、治具着脱時の煩雑さや再現精度の課題がある。

本研究では、上記課題を解決すると共に、可能な限り DBB 測定箇所を減らし、さらなる作業時間の短縮をすることを目的とする。

2. DBB を用いた機構パラメータキャリブレーション

2-1. 機構パラメータ

本研究に用いるパラレルメカニズム・マシニングセンタは、一般にスチュワートプラットフォームと呼ばれる構成で、図 1 に示すようにジョイントの位置とストラット基準長の合計 42 個の機構パラメータを有する。ここで、エンドエフェクタ・ジョイントの 18 個は 3 次元測定機による測定

が可能であるためキャリブレーションの対象外とする。

2-2. 計算式

n 個の機構パラメータ $P = [p_1, \dots, p_n]^T$ と、DBB 測定における 2 つの球の中心間距離 r との関係には式(1)が成り立つ。

$$r_i = f(P, T_i) \quad (1)$$

ここで、 f は順運動学関数であり、 T はエンドエフェクタの位置及び姿勢の指令値である。

式(1)から、機構パラメータの誤差 $\Delta P = [\Delta p_1, \dots, \Delta p_n]^T$ と DBB 測定値 Δr の関係は線形近似することで式(2)として表すことができる。

$$\Delta r_i = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial p_j} \Delta p_j \quad (2)$$

実際には、自重による各部材の変形など機構パラメータ以外の誤差が存在するため、 Δe として考慮すれば、式(3)として表される。

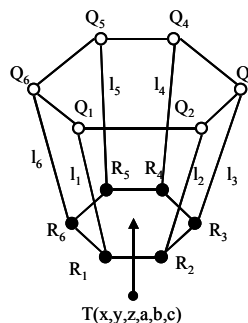
$$\Delta r_i = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial p_j} \Delta p_j + \Delta e_i \quad (3)$$

さらに、DBB 測定により異なる位置及び姿勢で m 点のデータを取得されるため、式(4)が得られ、これを解くことで機構パラメータ誤差 ΔP が得られる。

$$\Delta R = A \cdot \Delta P \quad (4)$$

ここで、

$$\Delta R = \begin{bmatrix} \Delta r_1 - \Delta e \\ \vdots \\ \Delta r_m - \Delta e_m \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial p_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial p_n} \end{bmatrix}$$



Q_{1-6} ; Base Joint coordinate
 R_{1-6} ; End Effector Joint coordinate
 l_{1-6} ; Initial Strut length

Fig.1. Kinematic Parameters

3. 治具を用いないキャリブレーション

DBB 測定は 2 球の中心間距離の相対測定であるため、治具を用いない場合、機構パラメータであるベース・ジョイントの 6 自由度は冗長となり同定することができない。したがって、合計 18 個の機構パラメータをキャリブレーションの対象とする。

十分な同定精度を得るために、DBB 測定を 15 ヶ所行い、これら測定データを基に 18 個の機構パラメータを同定する。

ここで、DBB の固定球は取り付け誤差が発生するため、円軌跡誤差には中心オフセット量として現れる。通常、3 軸直交機で評価を行う場合は、中心オフセット量は意味を持たないため計算により除去している。しかし、キャリブレーションの場合、除去することは同定精度の悪化を招く。そこで、チルト角度を変化させながら円弧運動させることにより中心オフセット量を減少させた上で、計算にて除去し、固定球の取り付け誤差を排除する。

このようにキャリブレーションされた機構パラメータは、対象から外した 6 自由度のベース・ジョイント座標から決定される座標系に対して得られる。しかし、マシニングセンタとしては工作物の基準となるテーブルの座標系に対して精度が確保される必要がある。

そこで、DBB によるキャリブレーションの後に、テーブルに対するエンドエフェクタの運動をダイヤルゲージ等で計測し、座標系の傾きを修正 (図 2 参照) して、テーブルに対するキャリブレーションを行う事となる。

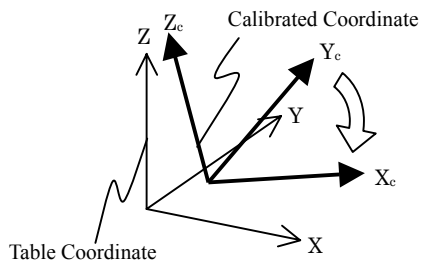


Fig.2 Rotation of the calibrated coordinate

4. 治具を用いたキャリブレーション

治具を用いてテーブル基準でキャリブレーションを行う方法を提案する。

図 3 は今回開発した治具であり、複数の鋼球を有するボールプレートと、ボールプレート配置の基準となる X/Y 方向ストッパで構成される。ボールプレートの各球中心座標をあらかじめ 3 次元測定機にて計測しておき、ストッパによりボールプレートをテーブルに対して平行に配置することで、テーブル座標系で各球の中心座標が得られる。

DBB 測定においては各球を固定球とするため、円軌跡誤差の中心オフセット量を除去することなく評価対象にすることが可能となる。

なお、治具により座標系が決定されるため、機構パラメータとしてはベース・ジョイント 6 自由度の冗長がなくなり、24 個の機構パラメータをキャリブレーションの対象と

することができる。また、このことから Z 方向の感度を上げる必要があり、DBB を傾けて測定する。

以上から次の効果が得られる。

- (1) テーブルに対するキャリブレーションが不要となる
- (2) DBB 測定を 15 から 7 ヶ所に削減できる
- (3) 各球は固定のため、着脱³⁾時の課題は解決される
- (4) 治具を用いない場合と同等の機械精度が得られる

図 4 に示す様に、治具の有無によるキャリブレーションの実際の作業時間を比較すると、治具を用いることにより作業時間が約 1/2 と大幅に短縮された。

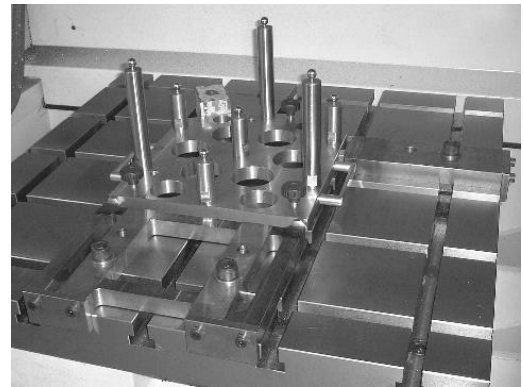


Fig.3 Jig for calibration

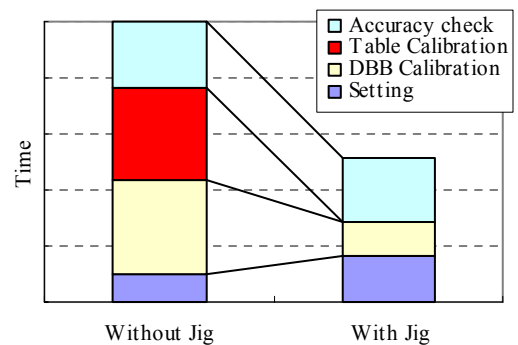


Fig.4 Comparison of working time for calibration

5. 結言

開発した治具を用いた DBB による機構パラメータのキャリブレーションにより、治具を用いない場合と比較して、工程の削減が可能になり、作業時間を大幅に短縮することができた。

参考文献

- 1) 垣野ほか: NC 工作機械の運動精度に関する研究 (第 1 報) - DBB 報による運動誤差の測定と評価 -, 精密工学会誌, 57, 7 (1986) 1193.
- 2) 中川ほか: Hexapod 型パラレルメカニズム工作機械の精度向上に関する研究 (第 1 報) - 重力の影響の少ない条件下でのキャリブレーション -, 精密工学会誌, 67, 8 (2001) 1333.
- 3) 茨木ほか: Hexapod 型パラレルメカニズム工作機械の精度向上に関する研究 (第 2 報) - 絶対座標系上での位置決め誤差を評価するキャリブレーション法 -, 精密工学会誌, 70, 4 (2004) 557.