

パラレルメカニズム工作機械の 高精度キャリブレーション法

京都大学工学研究科精密工学専攻 宜川武史, 垣野義昭, 茨木創一
株式会社オークマ 中川昌夫, 松下哲也

1. 緒言

本研究ではパラレルメカニズム型工作機械のキャリブレーション法について考察する。図1に示すスチュワートプラットフォームを用いた Hexapod 型工作機械を研究対象とする。

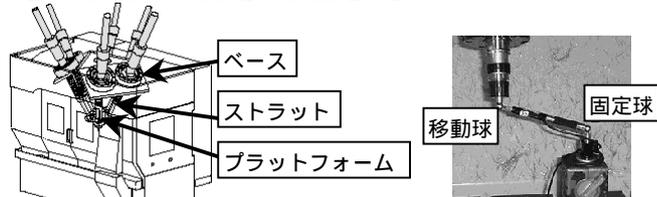


Fig.1 A Hexapod-type parallel mechanism machine tool, COSMO CENTER PM-600 by Okuma Corp.

Fig.2 A DBB device.

従来の多軸加工機と比較して安価に多自由度制御が実現できるという特長を持つパラレルメカニズム型工作機械であるが、現在、幅広く活用されるには至っていない。パラレルメカニズム型工作機械の運動精度を向上させるためには、機構パラメータの正確な同定が必要不可欠である。著者らは DBB(Double Ball Bar)装置(図2)を用いた円弧運動試験に基づき、(1)各ストラットの初期設定長さの誤差、(2)ベアジョイントの位置の誤差、という機構パラメータのキャリブレーションを行った。その結果、重力の影響の小さい条件下では従来30 μ m程度あった真円度誤差を7 μ m程度にまで減少させることに成功し、従来型のマシニングセンタと比較しても遜色のない精度が得られるようになった¹⁾。

しかし、DBB法をパラレルメカニズム型工作機械のキャリブレーションに利用するには根本的な問題がある。DBB測定において得られるのは2球間の相対距離である。すなわち、キャリブレーションは固定球の位置を基準とした相対的な座標系での運動誤差に基づいて行われるが、従来法では工作機械の CNC による位置決めにより固定球位置を決定しているため、テーブルを基準とした絶対的な座標系上での位置決め誤差が評価されているわけではない。結果としてキャリブレーション後も作業領域全体を網羅する絶対的な座標系上での位置決め精度は必ずしも保証されないという問題がある。

2. DBB 測定のための治具

前章で述べた問題を解決する方法として、DBB測定の際に固定球を再現性良く固定する治具を用いることを提案する。それにより治具を基準とした座標系が定義され、その座標系上での絶対的な位置決め誤差が DBB 法により評価できるようになる。また、治具をテーブル上の T 字溝などを基準として固定することで、テーブルに対する平面度、真直度なども十分な精度が得られる可能性がある。製作された治具の外観を図3に示す。治具は同一平面上に9つの穴を持ち、そこに先端に固定球が取り付けられた支持ユニットをはめ込む構造としている。



Fig.3 A jig for DBB measurements.

Fig.4 Ball locations on the jig.

3. 検証実験の方法

従来法と治具を用いる DBB 法により実際にキャリブレーションを行い、その精度を比較する。なお、DBB法を従来のマシニングセンタなどの運動精度検定に用いる場合、通常固定球の取り付け誤差などをキャンセルするために、得られた半径誤差データから円弧の中心位

置を求め、そこからの半径誤差を再計算して用いる必要があるが、一方でその取り付け誤差を予め測定し補正する方法もあるため、この方法も併せて比較する。ただし、たとえ測定における誤差が完全に補正されたとしても、第1章で述べた本質的な問題は解決されないことに注意されたい。なお、これより従来法を Conv-A、従来法で固定球の取り付け誤差などを測定して補正する場合を Conv-B、本研究で提案した治具を用いる DBB 法を Proposed と表記する。

4. 実験結果と考察

表1及び図4に治具を用いたキャリブレーションにおける円弧中心位置を示す。Conv-A, Conv-B, Proposedの手法でキャリブレーションを行った後、治具上で再び DBB 測定を行い、円弧中心の位置誤差を8条件で比較した。結果を表2に、また条件kについて円弧補間運動誤差軌跡を比較したものを図5に示す。Defaultはパラメータとして設計値を用いた場合を示す。なお全ての DBB 測定において、送り速度は1,000mm/min、円弧半径は150mmとした。治具を用いることでキャリブレーション後の中心位置決め誤差が平均47.9 μ mから平均8.6 μ mまで改善された。これは作業領域の全体で治具を基準とした座標系上の位置決め精度が大きく向上したことを示している。ただし、真円度誤差については条件kの場合Conv-Aが4.6 μ mに対してProposedが5.7 μ mとなるなど従来法の方が僅かに良い場合もあった。

Table 1 Center locations of DBB tests for calibration.

Name	Center *1	Z *2	Name	Center	Z	Name	Center	Z
a	9	1	f	9	2	k	9	3
b	4	1	g	3	2	l	4	3
c	6	1	h	5	2	m	6	3
d	8	1	i	7	2	n	8	3
e	2	1	j	1	2	o	2	3

*1: The location of the fixed ball on the jig (Fig.4) in each DBB test.

*2: The location of the platform in the z-direction. 1(lowest) - 3(highest).

Table 2 Comparison of calibration results - Center deviation (unit: μ m)

Position	Default	Conv-A	Conv-B	Proposed
a	0.0	0.0	0.0	0.0
d	72.1	13.6	25.3	12.9
f	91.9	26.2	26.8	1.9
h	212.0	51.6	20.9	15.0
j	26.5	9.4	54.0	17.8
k	96.7	81.9	52.1	3.1
l	158.7	72.0	64.6	4.9
n	65.1	80.7	58.4	4.7

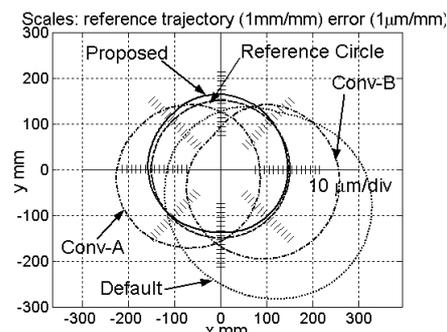


Fig.5 Comparison of contouring error trajectories at the position k.

5. 結論

従来、マシニングセンタなどの運動精度検定に DBB 法を用いる場合、円弧運動誤差軌跡の中心のずれは測定時の取り付け誤差をキャンセルするために無視するのが一般的であった。本研究では、パラレルメカニズム型工作機械のキャリブレーションのためには円弧運動誤差軌跡の中心ずれを評価することが重要であることを示した。それを評価するために治具を用いたキャリブレーションを行い、治具(テーブル)を基準とした絶対的な座標系全体で位置決め精度が向上することがわかった。

参考文献

- 1) 中川昌夫, 松下哲也, 梨木政行, 垣野義昭, 井原之敏: 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精度キャリブレーション, 精密工学会誌, 67, 8 (2001), 1333.