

パラレルメカニズム型工作機械の重力誤差補正

京大工 高岡寛也, 垣野義昭, 茨木創一
 オークマ(株) 中川昌夫, 松下哲也
 本田技研工業(株) 神通邦彦

1. 結論

本研究では, パラレルメカニズム型工作機械の運動誤差補正について考える. 特に, 図1に示すようなスチュワートプラットフォームを用いた Hexapod 型パラレル機構工作機械を研究対象とする.

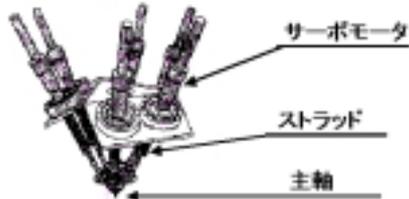


図1. スチュワートプラットフォーム型パラレル機構

パラレルメカニズム型工作機械の特長として, 姿勢の制御が容易であること, 複数のアクチュエータを用いるので高出力であること, 可動部が軽量なために高能率であることが挙げられる. しかし実際にはこれらの長所を生かす設計は難しく, 十分な実用レベルには至っていない. よく知られた問題点の一つとして, 送り運動精度のキャリブレーションの難しさがある. これに対し, 著者ら[1]は DBB (Double Ball Bar) 法を用いた試験によって機構パラメータを同定する手法を提案した. その結果可動域の中心付近では真円度 $10\mu\text{m}$ 以下の運動精度を得ることができたが, 主軸が大きく傾く条件や, ベースと主軸とを結びリンクの傾きが大きくなる可動域の端近くでは重力による機構のたわみが大きくなり, 真円度で数十 μm 程度の精度しか達成できていない. これは姿勢変化が容易であるというパラレルメカニズムの特長を生かしきれない要因となる.

2. 重力に起因する誤差のシミュレーション

本研究では, 主軸が任意の位置・姿勢にあるときに重力によって生じる弾性変形を計算して誤差量を予測し, どのような条件において大きな誤差が生じるかを考察する. さらに計算された誤差量を指令値から差し引くことで実機において精度が改善されるかどうかを確認する.

弾性変形量の計算には機構解析プログラム DADS (LMS International 社製) を用いる.

今回は, 主軸が大きく傾き, 可動域中心から離れた条件での誤差とその補正を対象とする. 主軸を XY 平面内で円運動させることを想定し, 与えられた円軌道と主軸のチルト角に対し, 円周上 15° ごとの計 24 点について静変形解析を行い, 工具先端位置の誤差の X, Y, Z 軸方向の成分を計算する.

計算を行った条件を表1に示す. DADS での計算においては, ストラット部分のみを弾性体と仮定した. また, ストラットを構成する各ナット・軸受については, 適当な数箇所においてその伸縮を考慮した. さらに, ストラットの長さを制御するサーボモータユニットの重量が及ぼすモーメントの影響も考慮した.

表1 計算条件

番号	円中心座標(mm)			円半径 (mm)	チルト角度($^\circ$)		
	X	Y	Z		a	b	c
①	0	100	-1050	150	-23	0	0
②	-100	0	-1050	150	0	-23	0
③	0	-100	-1050	150	23	0	0
④	100	0	-1050	150	0	23	0
⑤	70	70	-1050	150	-17	17	0
⑥	-70	-70	-1050	150	17	-17	0

~ の条件について計算した結果, 次のことがわかった.

- 条件 ⑤ で重力誤差が最も大きく, その値は XY 平面内での真円度誤差で $72.6\mu\text{m}$, Z 軸方向への最大誤差で $-126.5\mu\text{m}$ であった.

- いずれの条件においても誤差は, 対となったベースジョイント方向, すなわち 120° おきの 3 方向に生じる傾向がある. また, 生じる誤差はベースジョイントに近づくほど大きくなる傾向がある..
- プラットフォームの下がっている方向とベースジョイント方向が同方向である場合には誤差量が大きくなる傾向がある.

3. 実機による検証

以上のシミュレーション手法を用いて, 実機による誤差補正の検証を行った. 実験では Hexapod 型工作機械 COSMO CENTER PM-600 (オークマ(株)製) を用いた. おもな仕様は文献[1]参照.

表2 検証を行った測定条件

条件	円中心座標(mm)			円半径 (mm)	チルト角度($^\circ$)		
	X	Y	Z		a	b	c
A	0	100	-1008	144	-23	0	0
B	-100	0	-1008	144	-17	17	0

表2に示した2つの円軌道に対し, 5° 分割した計 72 点における運動誤差の X, Y, Z 軸方向成分の予測演算を行った. そのデータを元に各角度における誤差の半径方向成分 R を求めた. さらにその間を直線補間により 0.1° 分割した合計 3600 点の R のデータを作成した. (図2)

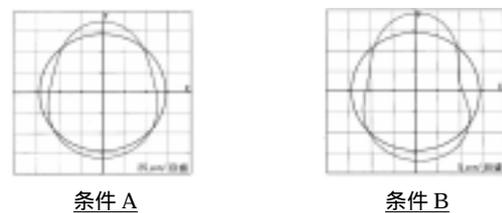


図2. 計算によって得られた R

この R を指令値から差し引くことで運動誤差を補正する.

条件 A, B における補正前, 補正後の DBB 測定結果を図3に示す.

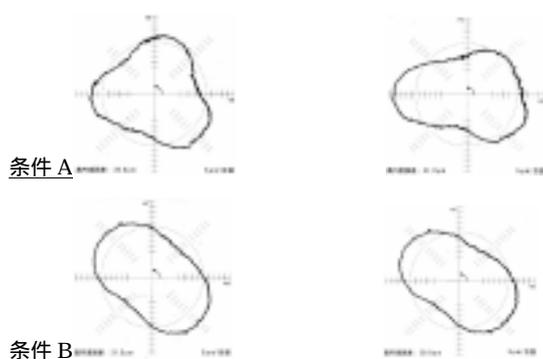


図3. 補正前・補正後の DBB 軌跡

条件 A においては, 補正によって真円度誤差 $24\mu\text{m}$ \rightarrow $41.0\mu\text{m}$ と悪化している. これは図における 3 つ山形状に見られるように, シミュレーションで考慮された以外の誤差が大きかったためである.

条件 B においては補正前の真円度誤差 $31.5\mu\text{m}$, 補正後の真円度誤差 $30.9\mu\text{m}$ とほとんど変化はなかった. これは補正量が半径方向で最大 $4.8\mu\text{m}$ と微小であったためである.

4. 結論

今回研究対象とした工作機械の運動精度を向上させるためには重力誤差以外の運動誤差原因について考察し補正する必要がある. その他の運動誤差原因としては, ジョイント部に生じる摩擦抵抗やパラメータチューニングにおける誤差などが考えられる.

[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, Vol.67, No.8, pp.1333 - 1337, 2001