

2833 パラレルメカニズムを用いた高速・高精度3次元座標計測システム (第18報, フレーム変形補正装置の改良)

Coordinate Measuring Machine using Parallel Mechanism (18th report) (Improvement of Compensation Device for Machine Frame Deformations)

○正 大岩 孝彰 (静大工) 寺澤 祐哉 (静大工)

Takaaki OIWA, Shizuoka University, Johoku3-5-1, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561
Yuya TERASAWA, Shizuoka University

This paper describes a compensation method for elastic and thermal deformations of the machine frame supporting the mechanism of the parallel kinematic machine (PKM). Three displacement sensors with Super-Invar rods measure distance variations among three joint supports connecting the mechanism. Thus, the base platform's dimensions of the PKM are calculated from these measured distance variations. Moreover, six other displacement sensors with rods measure the distance variations between the machine's surface plate and the three joint supports. Therefore, the forward kinematics of the hexapod mechanism calculates displacement and attitude variations of the base platform during operation from these measured displacements. Consequently, coordinates of the PKM's end effector can be compensated. In the previous reports, this device was installed in an experimental coordinate measuring machine using a three-degree of freedom parallel manipulator. This report describes an improvement of the device. Coordinate measurements using a master ball mounted on the surface plate showed that improved device decreased the influences of temperature fluctuation and external force on machine accuracy.

Key Words : parallel mechanism, error compensation, thermal expansion, machine frame, coordinate measuring machine

1. 緒 言

本研究では、3自由度空間パラレルメカニズムを用いた三次元座標測定機 (CMM) の開発を行ってきた¹⁾。しかし、従来の直交座標型CMMと同様に、室温変動による構造部材の熱的変形が発生する。さらに外力や重心移動などによる弾性変形のため、ツールと工作物の間の相対位置誤差が発生する。従来、これらの力学的変形を抑えるために機械構造物の高剛性化が図られてきたが、部材自体の質量増による変形や運動特性の悪化を引き起こす。さらに熱変形補正については、室温や機械の温度を測定し変形の解析・予測が行われてきたが、有限個の温度センサでは機械の局所的な温度しか測定できず、複雑な熱変形の補正を高精度に行うことは非常に困難であった。既報^{2,3)}ではメカニズムを支持するフレーム部の変形をインプロセスで直接測定し補正するシステムについて述べ、その改善結果を報告した。本報では、さらに改良した結果について報告する。

2. 原 理

工作物を設置する定盤を基準とし、そこから見たパラレルメカニズムのベースプラットフォーム (以下ベース) の大きさ、位置および姿勢をインプロセスで計測すれば、フレームの形状や構造さらにフレームを設置する基礎の変形などに関係なくフレームの力学的および熱的な変形補償が行える。そこで、図1に示すように基準点を定盤上とベース上にそれぞれ設置すれば、ベースの大きさ、位置および姿勢は基準点間距離 $t_1 \dots t_3$ および $u_1 \dots u_6$ により一意に決定される。ベースの位置と姿勢を求めるには、一般的な6自由度のヘキサポッドの順運動学を用いる。

3. 実 験 装 置

図2に示す測定装置をパラレル型CMM⁴⁾に組み込んだ。低膨張鋳鉄 (日本鑄造 LEX-SF1) にて製作された定盤上の点からフレーム上のジョイントサポート3箇所までの距離

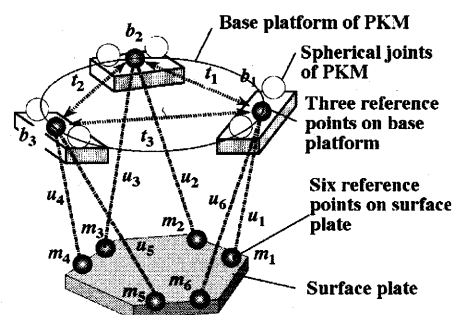


Fig. 1 Reference points on surface plate and base platform

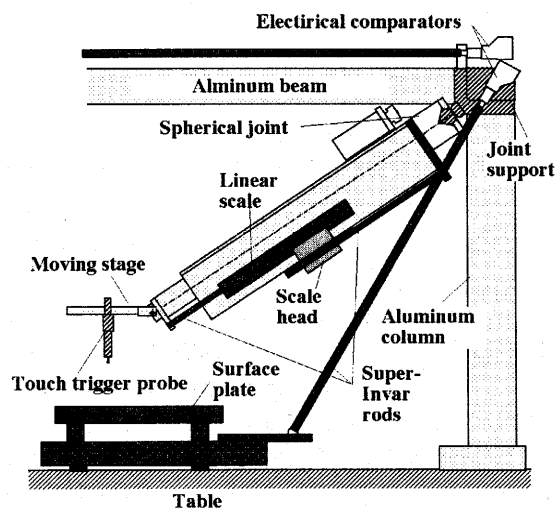


Fig. 2 Measurement device for frame deformation using Super-Invar rods

の変動を、6本のスーパーインバー製のロッド ($\phi 6$) と6台の電気マイクロメータ (Mahr社ミリトロン 1201 IC, 測定誤差 $\leq 0.05 \mu\text{m}$) により測定する。またジョイントサポート間の距離の変動は、同様にロッドと電気マイクロ3組で

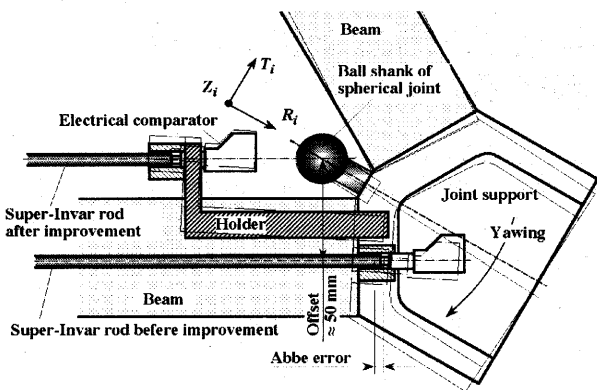


Fig. 3 Abbe error caused by angular motion error of joint support in yawing direction

測定した。同時にフレーム中央部と定盤付近の室温、フレーム（アルミ A6063S）の 3 本の柱の中間部分および直動リンク（アルミ A6063S）中央部の 3 箇所合計 8 箇所の温度をサーミスタ温度計（テクノセブン D642、分解能 0.01℃、精度 ±0.02℃）にて測定した。

4. ロッド位置の変更

図 3 は上方より見たジョイントサポートの垂直軸回りの姿勢誤差がある場合を表す。約 2℃ のフレーム温度変動時にて約 50 μrad のヨーイング誤差が観察された。ロッドと球面ジョイントとのオフセットは約 50 mm 程度なので、変位 Δ_i の測定誤差は約 2.5 μm となる。したがって、図のようにオフセットが小さくなるようにロッドの配置を変更した。

さらに図 4 はフレーム中心部から見たジョイントサポートを示している。図の左側は前報までの配置を表す。ロッド上部の電気マイクロメータはジョイントサポート両側部に配設されていたため、定盤上の基準点から球面ジョイントまでの直線に対するオフセットが約 80 mm 存在した。ジョイントサポートのローリング誤差が約 50 μrad とすると同様に 4 μm 程度の測定誤差が発生する。そこで図の右側のように球面ジョイントまでのオフセットが最小となるようにロッドの位置を変更した。

5. 実験結果

定盤上に径 1/2" の基準球（SUJ2、グレード 20）を固定し、極点 1 点と赤道 4 点を測定し球の中心座標を求め、それを 20 回繰り返した。測定時間は 40 min 程度であった。機械を設置している部屋の設定温度を 5° 上昇させ、フレームの平均温度を測定中に約 1~2℃ 程度上昇させた。図 5 は材質変更後における球中心座標測定値の一例を示す。温度上昇によりベースが上方へ移動するため、測定中に Z 座標値は徐々に負方向へ推移するが、補正により偏差が減少する。ブラケットの姿勢誤差の補正を含めた補正の効果を図 6 に示す。ロッド位置変更により、さらに偏差が小さくなっていることがわかる。

5. 結 言

パラレルメカニズム型機械の性能向上のために、フレームの力学的および熱的変形の両方をインプロセスで計測・補正する装置の改良を行い、効果を確認した。本研究の一部は科研費補助金、(財)カシオ科学振興財団、(財)中部電力基礎技術研究所および(財)マザック財団の助成金によ

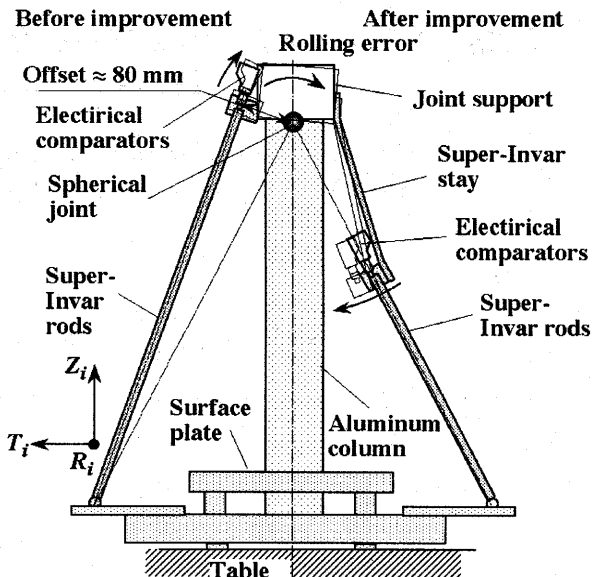


Fig. 4 Angular motion error of joint support in rolling direction

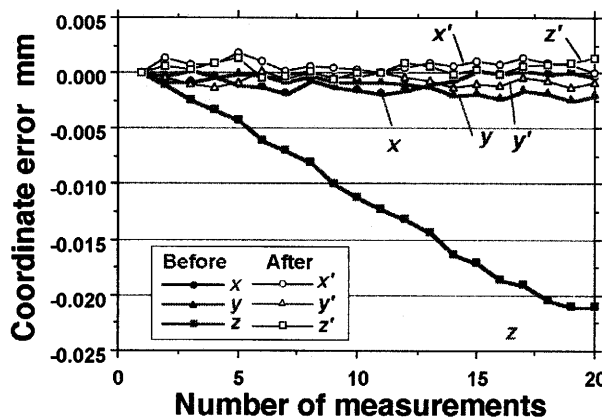


Fig. 5 Variation of measured coordinate during measurement of master ball on surface plate

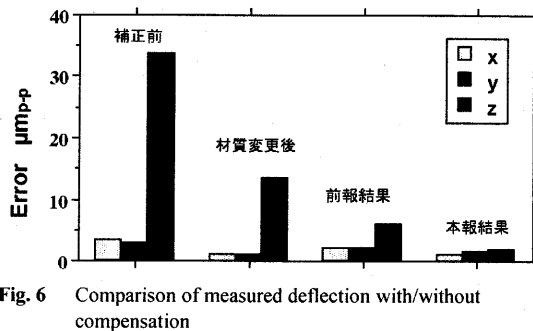


Fig. 6 Comparison of measured deflection with/without compensation

り行われたことを記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 例えば Oiwa, T., *Int. J. JSPE*, 31, 3 (1997) 232-233.
- 2) 大岩：日本機械学会第 2 回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, (2002) 131-136.
- 3) Oiwa, T: Accuracy Improvement of Parallel Kinematic Machine - Error Compensation System for Joints, Links and Machine Frame-, *proc. 6th ICMT2002*, (2002) 433-438.
- 4) 大岩, 大林, 山下: 精密工学会秋季大会講演論文集, (2002) 237.
- 5) 大岩, 伊藤: 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集, IV (2004) 77-78.
- 6) 大岩, 馬場: 精密工学会誌, 66, 11 (2000) 1711-1715.