

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 17 報) —冗長受動リンクを用いたキャリブレーション—

静岡大学 大岩 孝彰, 静岡大学院 ○三木 崇史

Coordinate Measuring Machine using Parallel Mechanism (17th report)

-Kinematic Calibration with Redundant Passive Link-

Shizuoka University Takaaki OIWA, Takashi MIKI

Abstract—This study proposes a coordinate measuring machine based on a three-degree-of-freedom parallel kinematic manipulator. This paper describes a kinematic calibration method using a passive link with a scale unit. The scale unit measures the change in distance between the moving platform and the machine frame when the platform moves in the workspace. The least square method using Jacobian matrix corrects 22 kinematic parameters so that the distance errors measured by the scale unit are minimized. The above calculations have been repeated in numerical simulations. When the passive link was mounted at two places, obtained kinematic parameters improved the measuring accuracy in length measurement simulation.

1. 諸言

パラレルメカニズムとは、複数の能動リンクを並列に連結させた機構である。このメカニズムを用いた 3 次元座標測定機は、従来の直交座標型 3 次元座標測定機と比べて、高精度、高速での移動が可能、さらに、高い剛性を持つと考えられている。しかし、組立段階で発生する誤差、測定機自体の自重、重心移動により発生するたわみなどの影響で測定誤差が発生する。その中でも機構の寸法を表す機構パラメータの誤差が測定精度に大きな影響を与えられ、したがって測定前に正確な機構パラメータを推定する必要があるが、完全なキャリブレーション方法はいまだ確立されていない。そこで本報では、測長器を内蔵した冗長受動リンクを用いて機構パラメータを推定し、寸法測定シミュレーションを行った結果について報告する。

2. 原理

2.1 パラレルメカニズムを用いた 3 次元座標測定機

パラレルメカニズム¹⁾を用いた 3 次元座標測定機の概略を図 1 に示す。このメカニズムは、アクチュエータを内蔵した 3 つの直動ジョイントを有する能動リンクによってベースとステージが連結されており、ベース上には球面ジョイント、ステージ上には回転ジョイントがそれぞれ用いられている。この機構全体の自由度は 3 である。ステージ中央にはタッチプローブが取り付けられており、3 本の能動リンクを伸縮させることによってプローブを移動させる。各能動リンクには測長器が内蔵されており、プローブ先端が測定物に接触した瞬間のリンクの伸縮量から順運動学を用いて先端の座標値を求めることが出来る。

2.2 機構パラメータの推定方法

本報では冗長受動リンクから得た伸縮量の誤差を用いて機構パラメータの推定を行う。図 2 に示すように、測長器を内蔵した冗長受動リンクがステージ中央に取り付けられており、プローブ先端が移動するに伴い受動的に伸縮する。

伸縮量の取得方法は図 2 のように 2 回に分けて行う。1 回目は冗長受動リンクをステージ中央から X 軸上に設置し、3 本の能動リンクでプローブ先端をいくつかの座標値に移動させ、そのときの冗長受動リンクの伸縮量を測長器から取得する。そして機構パラメータから逆運動学より伸縮量を算出する。

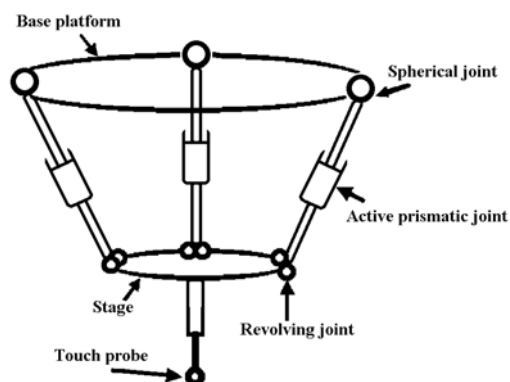


Fig.1 CMM using 3-DOF parallel manipulator

2 回目は Y 軸上に設置し、同様の方法で伸縮量を得る。これら測定で得られた伸縮量と逆運動学より求められた伸縮量の差を伸縮量誤差とし、その誤差が最小となるように最小二乗法を用いて真の機構パラメータを推定する。

この方法はボールプレートなどを用いる方法とは異なり、校正器の高精度な値付けを必要としない。また、プローブ先端を移動させるだけなので測定時間が短縮される。したがって測定中に生じる室温変化等の外乱の影響を受けにくい。

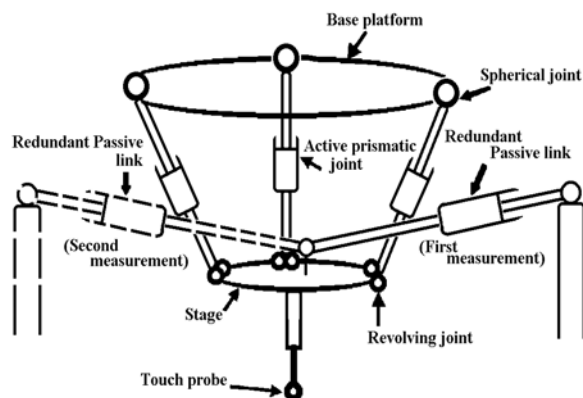


Fig.2 Passive link configuration

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション方法

推定を行う 22 個の真の機構パラメータに任意の誤差（長さ誤差最大 $\pm 0.7\text{mm}$ ，角度誤差最大 $\pm 0.7\text{mrad}$ ，測長器の読み取り誤差最大 $\pm 0.6\mu\text{m}$ ）を与えてプローブ先端の座標値を計算し，冗長受動リンクの伸縮量を算出する．そして伸縮量の誤差を小さくするように最小二乗法を用いて機構パラメータの推定を行う．

3.2 測定点配置による影響

既報²⁾では，図 3 のようにプローブ先端の座標値をワークスペースの範囲内に設けられた 3 段の長方形の外周に配置していたが，本報ではワークスペース内にランダムに座標値を取り，座標値ごとの冗長受動リンクの伸縮量が同一とならないように配置した．図 4 に配置の違いによる機構パラメータ誤差の平均値を示す．既報の配置では推定前と比べて長さに関する機構パラメータの誤差を 78%，角度に関する誤差を 120%とするにとどまったのに対し，本報の配置では推定前と比べて長さに関する誤差を 15%，角度に関する誤差を 77%とすることができた．

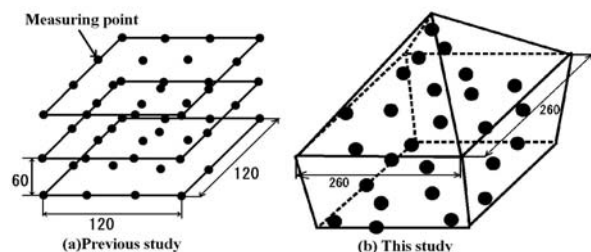


Fig.3 Measuring point arrangement
(number of measuring points: 26)

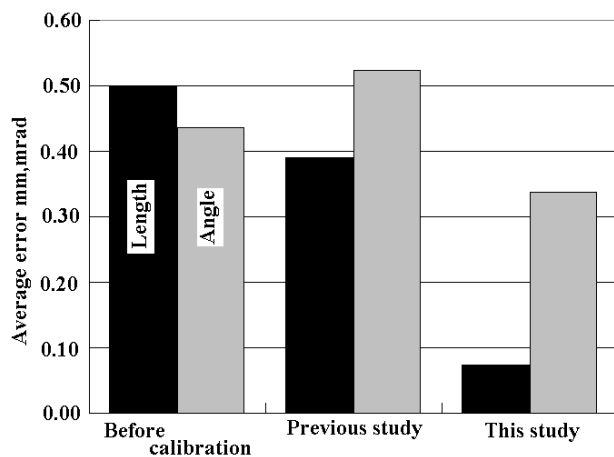


Fig.4 Parameter errors before and after calibration

3.3 寸法測定シミュレーション

推定した機構パラメータの妥当性を検証するため，10mm のブロックゲージの寸法測定を想定したシミュレーションを行う．図 5 のように 18 箇所 X，Y，Z 方向についての長さを算出し，平均誤差を求めて評価する．図 6 より，本報の配置での平均誤差はすべての方向において $1\mu\text{m}$ 以下にすることができた．特に Z 方向においては $0.40\mu\text{m}$ にまで誤差を減らすことができた．

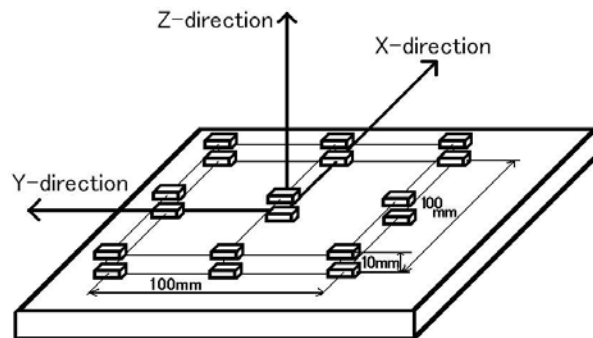


Fig.5 Measuring point in length measurement simulation

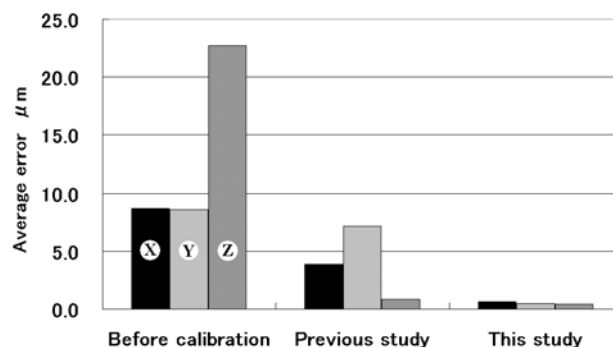


Fig.6 Length measurement error
before and after calibration

4. 結言

本報ではパラレルメカニズムを用いた 3 次元座標測定機の測定精度に大きな影響を与える機構パラメータの誤差を推定する方法として，冗長受動リンクを 2 ヶ所に配置する方法を提案した．そして，冗長受動リンクの伸縮量を得るための測定点配置による影響を調べた．その結果，冗長受動リンクの伸縮量が同一とならない本報の配置では長さに関する機構パラメータの誤差を 15%，角度に関する誤差を 77%まで減らすことができた．また寸法測定シミュレーションの平均誤差の結果においてもすべての方向において $1\mu\text{m}$ 以下にすることができた．

謝辞

本研究の一部は H16 年度科研費基盤 B，マザック財団，カシオ科学振興財団，中部電力基礎技術研究所の研究助成により行われたことを記し，謝意を表する．

参考文献

- 1) T.Oiwa : Int. J. Jpn. Soc. Prec. Eng., 31,3 (1997) 232.
- 2) 大岩孝彰，山下栄介：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 15 報）—冗長受動リンクを用いたキャリブレーション—，2004 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(2004) 1319-1320.