

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-

静岡大学 大岩 孝彰, 静岡大学(院) 山下 栄介

Coordinate Measuring Machine using Parallel Mechanism

- Kinematic Calibration with Redundant Passive Link -

Shizuoka University Takaaki OIWA and Eisuke YAMASHITA

This study proposes a three degree-of-freedom Parallel kinematic Coordinate Measuring Machine (PCMM). This paper describes a kinematic calibration method to estimate kinematic parameters by minimizing length errors of a redundant passive link. First, fundamentals of the PCMM and the calibration method are described. Second, we simulated the kinematic calibration with the passive link set parallel to each orthogonal axes, moreover a length measurement to evaluate an effect of the calibration. Finally, we present another calibration method with the passive link replaced in x-direction or y-direction.

第1章 緒言

パラレルメカニズムとは、複数のリンクを並列に連結させた機構であり、従来の直交座標型三次元座標測定機に比べて、高精度、高剛性、高速度での測定が可能である。しかし、実際に測定機として用いる際には、測定値に様々な誤差が含まれる。その誤差の主な原因として、機構パラメータの誤差が考えられる。よって、実機の機構パラメータを正しく求める必要がある。従来は、この機構パラメータ推定のために校正器としてボールプレート¹⁾やダブルボールバー²⁾を用いてきたが、校正器自体の値付けを正確に行うことが困難であった。

本研究では、既報のパッシブ(受動)リンクを用いた校正方法³⁾を元に、パッシブリンクを取り付ける方向を変化させて高精度化を図る。この方法ではパッシブリンクに内蔵される測長器を用いて校正を行うため、より高精度な校正が可能であると考えられる。ここでは、校正方法とシミュレーション結果を報告する。

第2章 原理

2-1 パラレルメカニズム型三次元座標測定機(PCMM)

本研究の対象となるPCMMの機構を図1に示す。ベース上のジョイントは球面ジョイントで3自由度、ステージ上のジョイントは回転ジョイントで1自由度である。これらを1自由度のアクティブ直動ジョイントで連結し、機構全体の自由度は3である。直動ジョイントには測長器が内蔵されており、プローブが被測定物に接触したときの直動ジョイントの長さから、順運動学を用いてプローブ先端の座標を求める。

2-2 パッシブリンク

パッシブリンクを装着したPCMMの概略図を図2に示す。パッシブリンクは測長器を内蔵しており、その両端はベース、ステージに球面ジョイントで連結されている。プローブ先端を複数の定点に移動させ、順運動学の計算からパッシブリンクの長さを得る。また、内蔵される測長器からもパッシブリンクの長さを得ることができる。この2つの長さが等しくなるように機構パラメータの校正を行う。

校正対象となる機構パラメータは、ベース上球面ジョイントの位

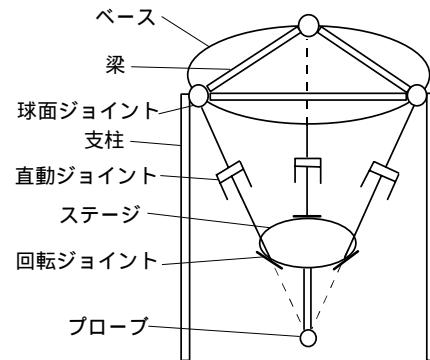


図1. PCMM概略図

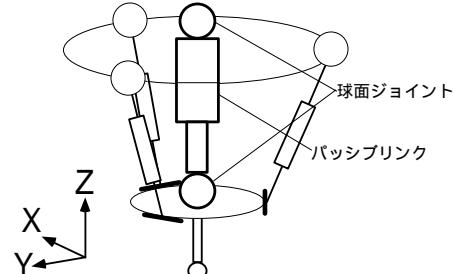


図2. z軸に平行なパッシブリンク

置 r_{bi} , b_i , ステージ上回転ジョイントの位置姿勢 r_{si} , s_i , s_i , s_i , 直動ジョイントの初期長さ l_i , パッシブリンクのベース側ジョイント位置 $x_{plb}, y_{plb}, z_{plb}$, ステージ側ジョイント位置 $x_{pls}, y_{pls}, z_{pls}$, 初期長さ l_{pl} である。すべてのパラメータを同時に校正することができないので、パッシブリンク配置を変えてパラメータを分割して校正を行う。パッシブリンクをx軸、y軸に平行に取り付けた場合は15パラメータ、z軸に平行に取り付けた場合は24パラメータ推定可能であった。
 x軸: $x_{pls}, x_{plb}, l_{pl}, l_b, b_i, r_{si}, s_i$
 y軸: $y_{pls}, y_{plb}, l_{pl}, l_b, b_i, r_{si}, s_i$
 z軸: $x_{pls}, y_{pls}, z_{pls}, l_{pl}, l_b, l_i, r_{bi}, b_2, b_3, s_2, s_3, r_{si}, s_i$
 $(i=1,2,3)$

第3章 シミュレーション

3・1 パラメータ推定シミュレーション

図3に示す48ヶ所の測定点にプローブ先端を移動させたと仮定し、逆運動学から直動ジョイント長さ I と実際のパッシブリンク長さ I_{pla} を計算する。次に、校正対象となる機構パラメータに任意の誤差 ($\pm 0.5\text{mm}$, $\pm 0.15^\circ$) を与え、誤差を含む機構パラメータを用いて定点を計算し、計算によるパッシブリンク長さ I_{plc} を求める。最小二乗法によって、長さ誤差 $|I - I_{plc}|$ がゼロになるようにパラメータを修正する。スケール誤差として、パッシブリンクの読取値 (I_{pla}) に $\pm 0\text{ }\mu\text{m}$, $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, $\pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の間でランダムに加えてパラメータ推定する。 x 軸方向にパッシブリンクを取り付けてシミュレーションを行った場合の長さ誤差の変化を表1に示す。 y , z 軸方向に取り付けた場合も類似の結果を示す。

3・2 長さ測定シミュレーション

推定したパラメータの妥当性を検討するため、10mmのゲージブロックの測定シミュレーションをプログラム上で行う。結果を図4に示す。スケール誤差が $\pm 0\text{ }\mu\text{m}$ のとき、測定誤差は生じないが、スケール誤差が大きくなると誤差も大きくなる。また、 x 軸方向の誤差は、パッシブリンクを x 軸に平行に取り付けたときに最小となる。 y , z 軸方向の誤差も、パッシブリンクを y , z 軸に平行に取り付けた時にそれぞれ最小となる。

3・3 パッシブリンクを2軸方向に付けかえる

ある軸方向の誤差は、パッシブリンクをその軸方向に取り付けることによって減少可能であることが確認できたので、パッシブリンクを2軸方向に付けかえることによって更なる高精度化を図る。まず x 軸方向にパッシブリンクを設置し測定点にプローブ先端を移動させ、直動ジョイント、パッシブリンクの長さを得る。次に y 軸方向にパッシブリンクを設置し直し、同様にリンク長さを得る。この2つのデータを統合して、最小二乗法を用いてパラメータ推定シミュレーションを行う。

シミュレーションしたパラメータを用いて長さ測定シミュレーションを行った結果を、図5に示す。この方法では、スケール誤差を与えない場合でも誤差が生じるが、スケール誤差の影響を受けにくく、高精度なパラメータの推定が可能である。

第4章 結言

今回はパッシブリンクを用いた機構パラメータ校正方法を提案し、以下のような結果を得た。

- ・パッシブリンクのある軸に平行に取り付けて校正を行った場合、その軸方向の誤差を減少させることができる。
- ・パッシブリンクを2軸方向に付けかえて校正を行うことによって、スケール誤差の影響の少ない高精度なパラメータを推定することができる。

今後の課題を示す。

- ・実機でパッシブリンクを用いたパラメータ校正を行う。
- ・パッシブリンクを3軸方向に付けかることによって、更に高精度化を図る。

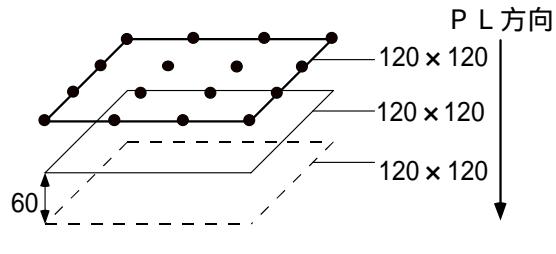


図3. 測定点配置

表1. x 軸方向パッシブリンク長さ誤差の $p - p$ 値 μm

スケール誤差	± 0	± 0.1	± 0.5
校正前	522.6	522.4	521.8
校正後	0	0.2	1.1

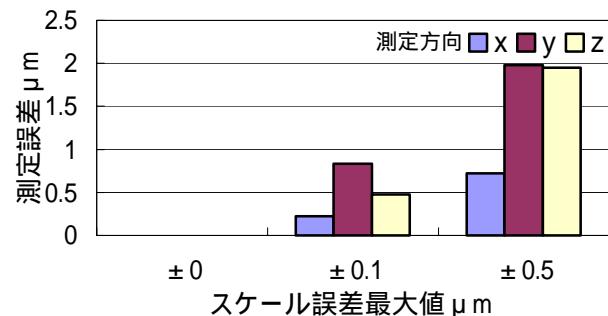


図4. パッシブリンクを x 軸方向に設置した場合

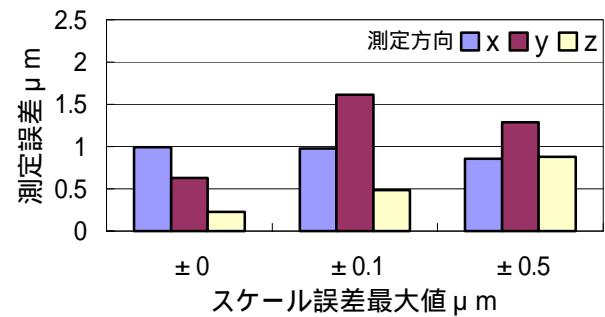


図5. パッシブリンクを x , y 軸方向に設置した場合

参考文献

- (1)大岩 孝彰, 京極 正人, 山口 浩希: パラレルメカニズムを用いた三次元座標測定機(第5報) 立体的なボールプレートを用いたキャリブレーション 精密工学会誌, 68, 1 (2002) 65-69.
- (2)大岩 孝彰, 片岡 賴洋: パラレルメカニズムのキャリブレーションに関する研究 ダブルボールバーとタッチプローブを用いたキャリブレーション 精密工学会誌, 69, 2 (2003) 222-226.
- (3)大岩 孝彰, 首藤 圭一: 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14報) 冗長受動リンクを用いたキャリブレーション 2003年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 3/26 (2003) 505