

## マシニングセンタに発生する幾何偏差の高精度検出 - 反射回数とロール測定精度の関係 -

金沢大学	金丸裕, 浅川直紀, 岡田将人, 中藪俊博
石川県工業試験場	廣崎憲一, 田村陽一
シグマ光機株式会社	谷内秀夫, 清水昭裕
津田駒工業株式会社	川原寛之
松浦機械製作所	天谷浩一

Highly accurate detection of geometric deviation on a machining center

-Relationship between number of reflections and roll measurement accuracy-

Kanazawa University Yu KANAMARU, Naoki ASAKAWA, Masato OKADA and Toshihiro NAKAYABU

Industrial Research Institute of Ishikawa Kenichi HIROSAKI and Youichi TAMURA

SIGMA KOKI CO., LTD. Hideo YACHI and Akihiro SHIMIZU

TSUDAKOMA Corp. Hiroyuki KAWARA

Matsuura Machinery Corporation Koichi AMAYA

On a machining tool, geometric deviations (positional and angular deviation) occur according to the movement of table, column, and so on. A laser measurement system has become popular, since it performs highly accurate measurement of the each geometric deviation except for roll deviation. In this paper, we focus on the improvement of measurement sensitivity of roll. For improvement of measurement sensitivity, reflecting prisms are attached on the rear-side of the interferometer to make number of laser path increase comparing with the conventional system. The measurement system is confirmed to have a sensitivity of  $3.2 \times 10^{-5} \text{mm}''$  (detected length/unit angle of roll) at maximum, which is four times better comparing with the previously system. From the experimental results, it is confirmed that measurement sensitivity is increased in proportion to the number of laser path.

### 1. はじめに

工作機械には、テーブルやコラムなどの移動に伴い位置偏差(運動方向の位置偏差, 運動方向に直角な2方向の直進偏差)と角度偏差(ピッチ, ヨー, ロール)が発生する。これらの幾何偏差を高精度に測定できる装置としてレーザ測長機が一般的に用いられている。しかし、実用的な干渉計と反射鏡が開発されていないためロール測定だけは未だに困難であり、測定には精密水準器を代用している<sup>(1)</sup>。しかし水準器によるロール測定では、移動機構の移動に伴う機械重心の移動が機械全体の倒れの原因となり、測定値に影響を及ぼす可能性がある。また、鉛直移動体に発生するロールについては水準器を使用できないという問題がある。そこで本報ではロールの測定に着目し、測定感度を向上させるためレーザの往復回数(反射回数)を従来に比べ増加させて実験を行った。その結果、レーザの往復回数と感度の関係を確認することができたので報告する。

### 2. ロールの測定

図1に直進偏差(真直度)測定装置を上下2段に重ねて用いたロール測定装置を示す。これは上下に長いハーフミラーと複屈折プリズムで構成された干渉計、図のようにV形に配置した2枚の平面鏡(以下V形反射鏡)と上下2段に分けた平行光を実現するためのハーフミラーと反射鏡で構成される。この装置の測定原理は、上段で測定した直進偏差 $\delta_1$ と下段で測定した直進偏差 $\delta_2$ の差 $D(=\delta_1 - \delta_2)$ を重ねた間隔 $2b$ より次式でロール $\gamma$ を求めるものである。

$$\gamma = \frac{D}{2b} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2b} \quad (1)$$

ここで、直進偏差測定装置は照射された測長用レーザ光を複屈折プリズムによりレーザ挟角 $2\phi$ でP波(水平直線偏光)とS波(上下直線偏光)に分光させ、直進偏差の変化に応じて各光(PとS)の光路長が変化する。レーザによる検出長さ $\Delta$ と発生した直

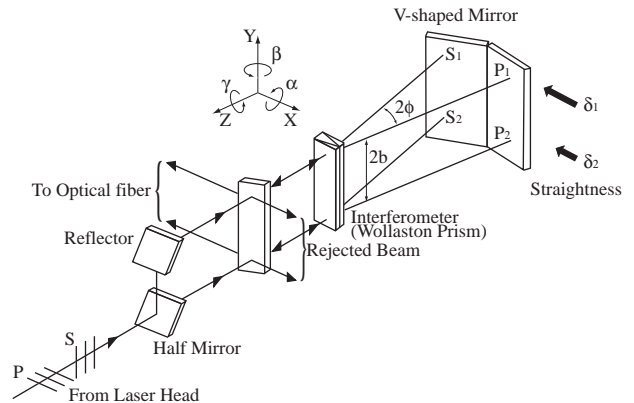


Fig.1 Roll measurement method using straightness measurement system

進偏差 $\delta$ との関係は、式(2)のようになり、これを式(1)に代入することで、式(3)のようにロール $\gamma$ を求めることができる。

$$\delta = \frac{\Delta}{(2 \sin \phi)} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\left( \frac{\Delta_1}{2 \sin \phi} - \frac{\Delta_2}{2 \sin \phi} \right)}{2b} = \frac{(\Delta_1 - \Delta_2)}{(4b \sin \phi)} \quad (3)$$

しかし、図1の方法では上下段の測定データの取得の際に、2チャンネルを要する。そこで図2のように、上段と下段のPとSの並びを逆にすることで、1チャンネルでのロール検出を可能にした。これは、2チャンネルのデータを干渉計の構造により引き算していることになる。この装置でのロール $\gamma$ は以前の報告結果<sup>(2)</sup>より次式によって求めることができる。

$$\gamma = \frac{\Delta}{(4b \sin \phi)} \quad (4)$$

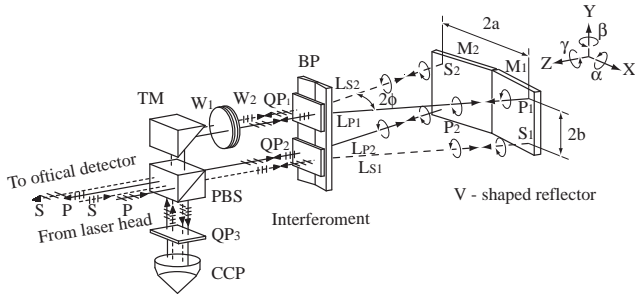


Fig.2 Optical path layout of the roll measurement system

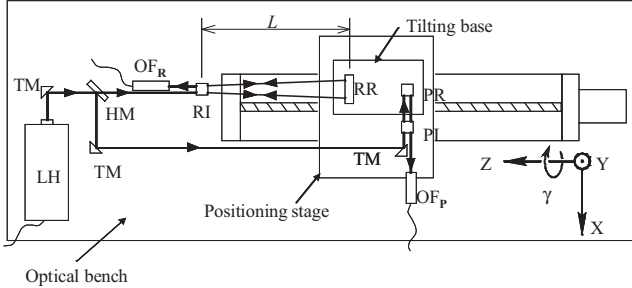


Fig.3 Sensitivity calibration method

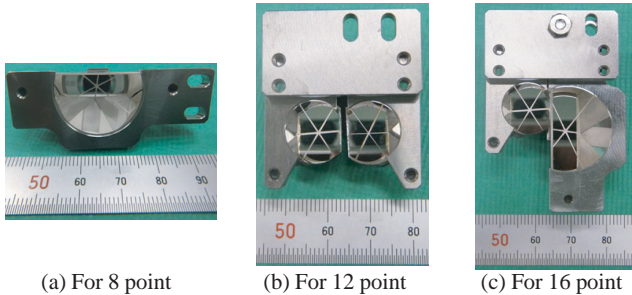


Fig.4 Cube corner prism (CCP)

3. 実験装置、方法

図3は光学ベンチ上で行ったレーザー測長機によるロール感度校正時の機器配列を示す。レーザー測長機(ZYGO製ZMI4000:LH)とロール測定用干渉計(RI)は光学ベンチ上に固定してある。同じく、光学ベンチ上にはV型反射鏡(RR)と干渉計との距離Lを変化させるための移動ステージを固定してある。移動ステージ上には、Z軸回りに回転する手動式微動回転台が固定してあり、微動回転台上にはRRと、ロールをX方向からピッチとして検出するためのピッチ測定用反射鏡(PR)を固定してある。ピッチ測定用干渉計(PI)はステージ上に固定した。HMはハーフミラー、TMはターニングミラーを示す。用いたレーザー測長機の分解能はシングルパスでλ/2048であり、ロールとピッチの各干渉光は光ファイバー OF<sub>R</sub>、OF<sub>P</sub>で受光した。

図2はロール測定用干渉計と反射鏡の基本的な構成を示すもので、V形反射鏡へのP波とS波の合計反射数は4回である。しかし、これではロール検出の感度が低いため、図4に示すような再帰反射プリズムを作製し、干渉計後部に固定することにより、干渉計から光検出器へ戻ろうとする干渉光を再び干渉計へ入射させ、当初の光路を逆に辿らせて反射鏡での合計反射数を増加させた。今回は図4の(a),(b),(c)を用いて合計反射回数を4回、8回、12回、16回とした場合の測定を行い、反射回数と感度(単位ロールあたりの検出長さ)の関係と標準偏差による評価を行った。

4. 結果

図5に干渉計と反射鏡の距離L=200mmの時に発生するロールに伴って検出される測長量を反射回数毎に比較したものを、表1に帰線直線の傾き(ロール測定感度)を数値化して比較したも

のを示す。図5より、反射回数の増加に伴い傾きが急になっていることがわかる。また、帰線直線傾きはシステムの感度(単位ロールあたりの検出長さ)に相当し、表1から反射回数に比例して向上していることがわかる。

表2に反射回数に応じた標準偏差を比較したものを示す。これより、反射回数を増加させることによってデータのバラツキも減少していることがわかる。なお、ロール測定感度はLに関係しないことを確認している。

5. おわりに

今回開発したレーザー干渉計においてレーザーの反射回数を変化させた実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) ロール検出感度は、4点反射法で  $0.822 \times 10^{-5}(\text{mm}/\text{")}$ 、8点反射法で  $1.643 \times 10^{-5}(\text{mm}/\text{")}$ 、12点反射法で  $2.510 \times 10^{-5}(\text{mm}/\text{")}$ 、16点反射法で  $3.369 \times 10^{-5}(\text{mm}/\text{")}$  と推定された。
- (2) 16点反射法では4点反射法の4倍の感度が得られることを確認した。
- (3) 反射回数を増加させると感度の向上だけでなく、バラツキを抑えられることを確認した。

謝辞

本研究は、経済産業省の平成17～19年度地域新生コンソーシアム研究開発事業のフォロー研究として実施したものであり、お世話になった経済産業省や財団法人石川産業創出支援機構を始めとする関係各位に感謝いたします。

参考文献

- (1) Test conditions for machining centers -Part2, JIS B6336-2 (2002-01-20), Japanese Standard Association.
- (2) 中藪俊博, 岡路正博, 他: ロール測定用高性能レーザー干渉計の開発, 日本機械学会論文集, C編, 75(756), 2245-2252, 2009-08-25

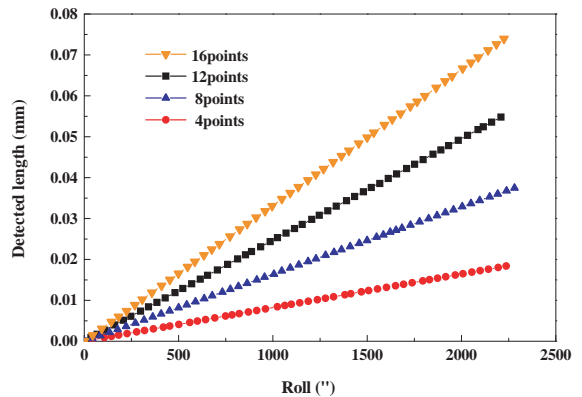


Fig.5 Relation between sensitivity and number of reflection on mirror (L=200mm)

Table1 Sensitivity of the system

Number of reflections	Sensitivity C(mm/")
4	$0.822 \times 10^{-5}$
8	$1.643 \times 10^{-5}$
12	$2.510 \times 10^{-5}$
16	$3.369 \times 10^{-5}$

Table2 Standard deviation of the system

Number of reflections	Standard deviation (")
4	2.481
8	1.437
12	0.598
16	0.289