

# マシニングセンタに発生する幾何偏差の高精度検出 - レーザによるロール検出 -

金沢大学  
石川県工業試験場  
シグマ光機株式会社  
津田駒工業株式会社  
松浦機械製作所

金丸裕, 浅川直紀, 中藪俊博  
廣崎憲一, 田村陽一  
谷内秀夫, 清水昭裕  
川原寛之  
天谷浩一

## Highly accurate detection of geometric deviation on a machining center -Roll detection using laser-

Kanazawa University Yu KANAMARU, Naoki ASAKAWA and Toshihiro NAKAYABU  
Industrial Resrch Institute of Ishikawa Kenichi HIROSAKI and Youichi TAMURA  
Siguma Koki Corporation Hideo YACHI and Akihiro SHIMIZU  
Tsudakoma Corporation Hiroyuki KAWAHARA  
Matsuura Machinery Corporation Koichi AMAYA

On a machining tool, geometric deviations (positional and angular deviation) occurs according to the movement of table and column. A laser measurement system has become popular, because it performs highly accurate measurement of the geometric deviations in the field. We have developed a system which measures all geometric deviations by laser interferometers and mirrors placed on a machining center. In this paper, we focus on the measurement of roll. The system consists of a double-path optical heterodyne laser interferometer and a V-shaped reflector which composed of two plane mirrors. To improve measurement sensitivity, number of laser passes are increased comparing with the former system. From the experimental results, it is confirmed that measurement sensitivity is improved according to the number of laser pass.

### 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って3個の位置偏差(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3個の角度偏差(ピッチ, ヨー, ロール)が発生する。レーザ測長機は、これらの偏差を高精度に測定できる装置として広く普及している。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>。しかしながら、水準器によるロール測定では、テーブルやコラムなどの移動に伴って機械の重心が移動することにより、機械全体の倒れが測定値へ混入することが避けられない。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

今回用いたロール測定装置の構成を図1に、外観を図2に示す。干渉計はキューブコーナプリズム(CCP), パイプリズム(BP), 1/4波長板(QP), 偏光ビームスプリッタ(PBS), ターニング

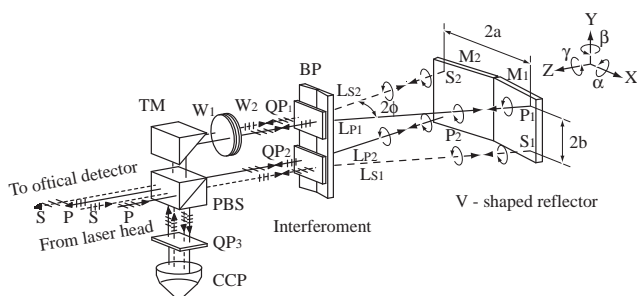


Fig.1 Optical path layout of roll measurement system

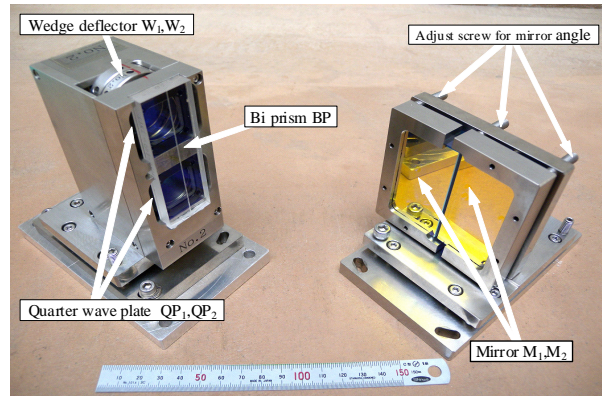


Fig.2 Interferometer and V-shaped reflector

ミラー(TM), 平行度調整用偏向子( $W_1, W_2$ )で構成され、反射鏡は図のようにV形に配置した2枚の平面鏡(以下V形反射鏡)で構成される。平面鏡は平面度 $\lambda/20$ の金蒸着鏡を採用している。

測定の原理は、照射された測長用レーザ光のP波(水平直線偏光)を光路 $L_{P1}, L_{P2}$ を経て $P_1, P_2$ で、S波(上下直線偏光)を光路 $L_{S1}, L_{S2}$ を経て $S_1, S_2$ でミラー $M_1, M_2$ に垂直に当てる。座標系を図1のように設定し、Z方向を被測定物の移動方向とする。V形反射鏡がZ軸回りの $\gamma$ 方向に回転すると $P_1, P_2$ はV形反射鏡の山側へ移動し、 $S_1, S_2$ は谷側へ移動するので、P波とS波が迎える光路長には相対的に差が発生する。したがってZ軸回りの角度変化であるロールを、Z方向からレーザの光路差の変化として検出できることになる。この光路差 $\Delta$ 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。ただし、b: 図1の $P_1$ と $S_2$ 、及び $S_1$ と $P_2$ の距離の1/2、 $\phi$ :  $L_{P1}$ と $L_{S2}$ 、及び $L_{S1}$ と $L_{P2}$ との挟角の1/2とする。

$$2\Delta = 8b \sin \gamma \cos \phi \quad (1)$$

また式に a (図1の P<sub>1</sub> と S<sub>2</sub>, 及び S<sub>1</sub> と P<sub>2</sub> の距離の 1/2) が含まれないことから γ (ロール) が微小であれば干渉計と反射鏡との距離や回転中心の位置に関係なく次式でロールが算出することができる。

$$\gamma \cong \frac{\Delta}{(4b \cos \phi)} \quad (2)$$

なお、測長機からは Δ/2 が出力される。

**3. 実験**

図3は定盤上で行ったレーザ測長機によるロール測定時の機器配列を示す。レーザ測長機 (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 軸回りに回転するジンバル構造の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1はロール測定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の (a) のような再帰反射プリズムを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 8 回にしたものと、更に小型再帰反射プリズム 2 個から成る図4の (b) を干渉計後部に固定することにより合計反射数を 12 回にしたものを用いた。また図3の RI と RR の距離 L を 200mm, 400mm, 600mm と変化させ固定してからロールの測定を行った。

**4. 結果**

図5に L=400mm の時の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、図6は干渉計と反射鏡の距離を変化させて比較したものを各々示す。図6のデータは理解のため、検出量の初期値を L=400mm では 0.02mm, L=600mm では 0.04mm へ移動して図示している。また表1には回帰直線

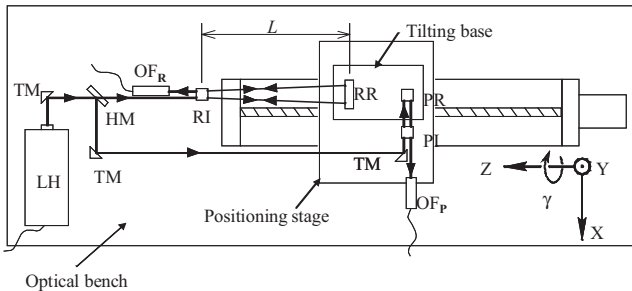
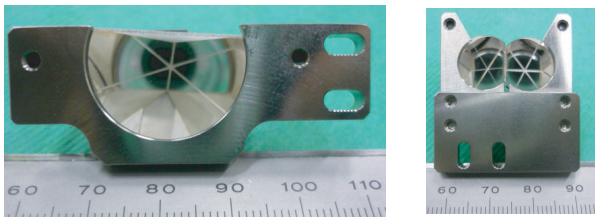


Fig.3 Method of sensitivity calibration



(a) For 8 point method (b) For 12 point method

Fig.4 Cube corner prism (CCP)

の傾きから得られる単位ロールあたりの検出長さ、すなわちシステムの感度を比較したものを示す。

これらより、同一反射回数の傾斜が一定であることから感度は干渉計と反射鏡との距離に関係なく一定であることが分かる。またシステムの感度は反射回数に比例して向上することが分かる。

**5. おわりに**

今回開発したレーザ干渉計においてレーザ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 点反射法では 0.827 × 10<sup>5</sup>(mm/"), 8 点反射法では 1.638 × 10<sup>5</sup>(mm/"), 12 点反射法では 2.489 × 10<sup>5</sup>(mm/"), と推定された。
- (2) 12 点反射法では 4 点反射法の 3 倍の感度が得られることを確認した。

**謝辞**

本研究は、経済産業省の平成 18 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業の一部として行ったものであり、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

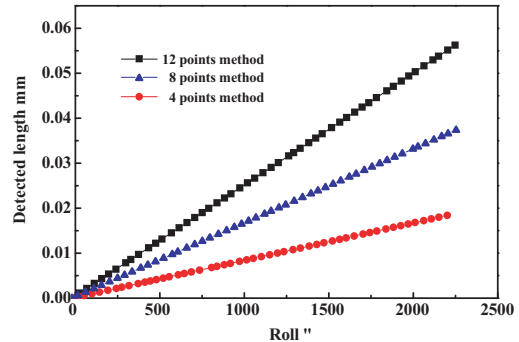


Fig.5 Relation between sensitivity and number of reflection on mirror (L=400mm)

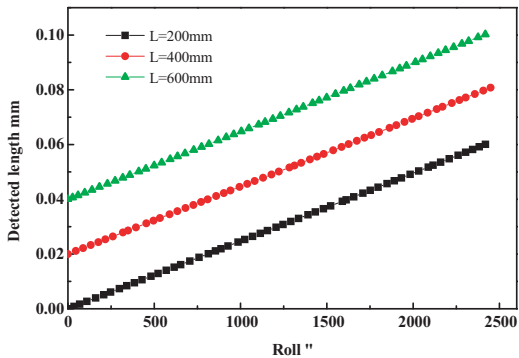


Fig.6 Relation between sensitivity and reflector distance (12points method)

Table1 Sensitivity of the system

Reflector dist L (mm)	Sensitivity C (mm/")		
	4 point method	8 point method	12 point method
200	0.822×10 <sup>5</sup>	1.643×10 <sup>5</sup>	2.510×10 <sup>5</sup>
400	0.827×10 <sup>5</sup>	1.642×10 <sup>5</sup>	2.463×10 <sup>5</sup>
600	0.831×10 <sup>5</sup>	1.628×10 <sup>5</sup>	2.493×10 <sup>5</sup>