

## 精密形状計測技術に関する研究 —三次元測定機プローブの評価—

精密測定課 山畑 利行, 加藤正倫, 有松春一, 新保 栄一

Applied Accurate Measurement for Form of Machine Parts  
~Evaluation of Two Typical Probes on the Coordinate Measuring Machine~

Toshiyuki YAMAHATA, Masamichi KATO, Harukazu ARIMATSU and Eiichi SHINBO

Z軸固定ができない倣いプローブでは、傾斜面や曲面では形状精度が劣る欠点がある。そこで、プローブの機構上の特徴を把握し、測定データに何らかの補正を施すことで、さらに高精度な形状測定が期待できるものと考えられる。

本年度は、リングゲージの内径を測定し、S/N比を計算することによりプローブを装着した状態でのCMMの誤差評価を行い、またリングゲージ内周面を輪郭測定を行った結果、次のことが得られた。

- 1) PH-9ではY軸, X軸, スタイラス長, スタイラス径に有意差があるが、MPP-2では制御因子に有意差は認められない。
- 2) 形状誤差は内径測定の誤差と比べると若干大きめである。

### 1. はじめに

金型や機械加工部品の形状が複雑になるに従って、寸法測定や形状測定に三次元測定機（以下CMM）が多くの企業で使用されている。CMMは、X軸, Y軸, Z軸のガイドとプローブヘッドから構成され、各ガイドに設置されたガラススケールからXYZ軸の座標値を読み取り、コンピュータによりデータを処理し、所要の寸法等を計算する装置である。

CMMのプローブには、機構別に分けるとタッチプローブと倣いプローブがある。タッチプローブの場合にはポイント測定をするために計測速度が遅い。また、倣いプローブは対象面に接触し連続測定ができることから計測速度を速くできる。しかし、Z軸固定ができない機種では、傾斜面や曲面では形状精度が劣ると言われている。

そこで、Z軸固定できない倣いプローブにおいて、機構上の特徴を把握し、測定データに何らかの補正を施すことによって、さらに高精度な形状測定が期待できるものと考えられる。

本年度は、リングゲージの内径を測定することでタッチプローブと倣いプローブの誤差評価をS/N比を用いて行い、また単純な形状を計測したときのプローブによる形状精度の違いを確認した。

### 2. 実験装置及び方法

実験に用いたガントリーベット型CMMの仕様は、以下のとおりである。

- ・測定範囲 : X=900mm, Y=500mm, Z=550mm
- ・最小表示値 : 0.5 μm
- ・各軸精度 :  $2.9 + 4L/1000 \leq 5 \mu m$
- ・空間精度 :  $3.6 + 4L/1000 \leq 6 \mu m$
- ・タッチプローブ : PH-9
- ・倣いプローブ : MPP-2

内径φ24.999, 50.000, 74.999mmの3種類のリングゲージを信号因子(M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>)とし、プローブの測定点数を変えて3通りの測定(4点測定, 8点測定, 16点測定)を行い、5回の反復測定を行った。制御因子はスタイラス径:D(φ2, φ5, φ8mmの3水準), スタイラス長さ:L(PH-9ではL=0, 20, 40mm, MPP-2ではL=20, 40, 70mmの3水準), X軸:X(X=100, 450, 800mmの3水準), Y軸:Y(Y=100, 275, 450mmの3水準), Z軸:Z(Z=0, 180, 320mmの3水準)の測定位置とした。プローブの向きは下向き方向のみで測定を行った。

S/N比は、真値が明らかな場合のゼロ点比例式を用いて求めた。

有効除数: r は、

$$r = r_0 \cdot (M_1^2 + M_2^2 + M_3^2)$$
 r<sub>0</sub>: 繰返し数  
全変動: S<sub>T</sub>及び信号因子の一次効果: S<sub>β</sub>は、

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{33}^2$$

$$S_\beta = (y_1 M_1 + y_2 M_2 + y_3 M_3)^2 / r$$

誤差変動： $S_e$ 及び誤差分散： $V_e$ は、

$$S_e = S_T - S_\beta \quad k: \text{信号因子の数}$$

$$V_e = S_e / (k r_0 - 1)$$

SN比： $\eta$ ，デシベル値： $\eta'$ ，測定誤差： $e$ は、

$$\eta = (S_\beta - V_e) / (r \cdot V_e)$$

$$\eta' = 10 \cdot \text{Log } \eta$$

$$e = 3 / \sqrt{\eta}$$

で表すことができる。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 制御因子による比較

図1～図2に直交表に割り当てられた条件でのSN比及び測定誤差を示す。PH-9及びMPP-2の最適条件及び最悪条件は4点、8点、16点測定の実験値から算出した値を用い、以下の結果となった。

PH-9 最適条件 No. 18: D3L2X1Y2Z3

最悪条件 No. 8 : D2L3X2Y1Z3

2つのプローブは最適条件や最悪条件は必ずし

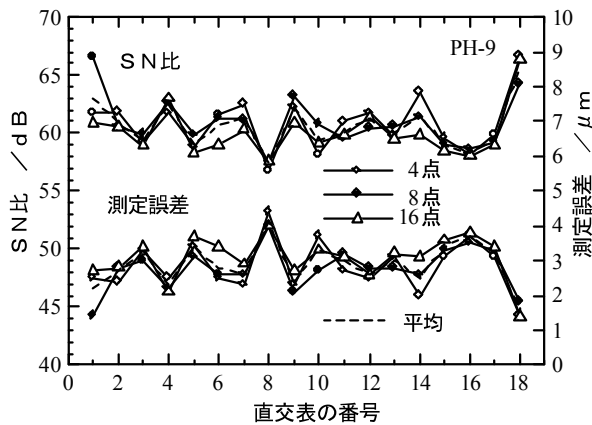


図1 直交表による比較 (PH-9)

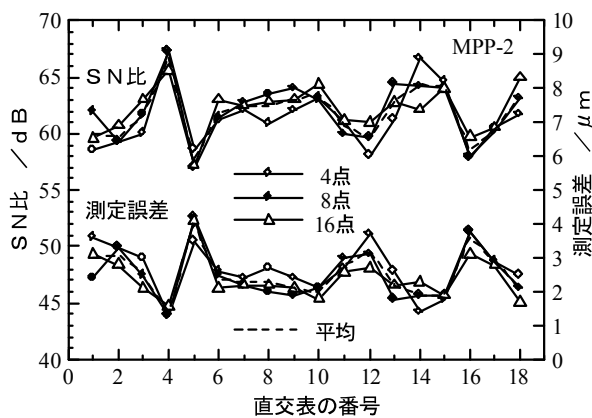


図2 直交表による比較 (MPP-2)

も一致しなかった。測定機構上の違いが多少影響しているものと考えられる。

#### 3.2 制御因子による比較

図3～図7に各制御因子におけるSN比及び測定誤差の比較を示す。図中のプロットマークは4点、8点、16点測定の実験値で表示している。PH-9では、スタイラス長が大きくなるにつれて測定誤差が大きくなる傾向である。また、X軸においてはいずれのプローブとも左位置(X=100mm)の測定位置で測定誤差が最も小さい。X軸の右側には駆動DCモータ等の機構が取り付けられているためだと考え

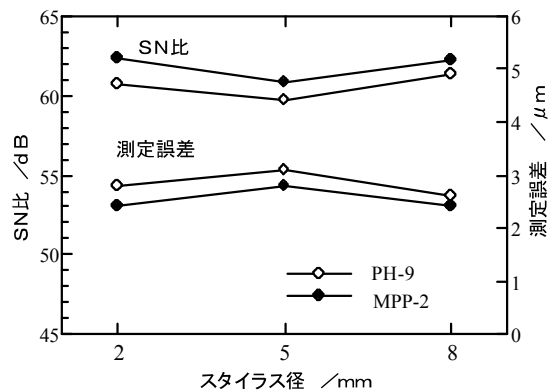


図3 スタイラス径

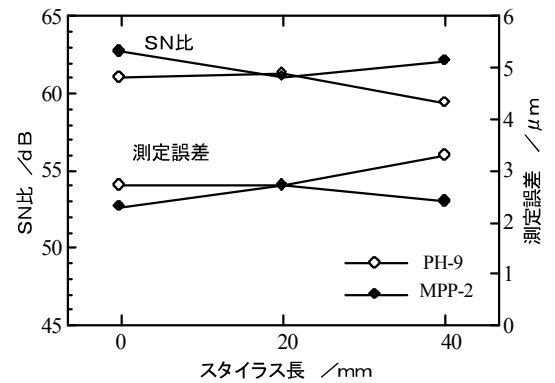


図4 スタイラス長さ

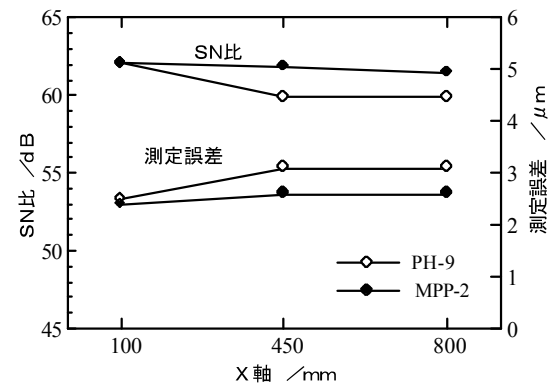


図5 X軸の測定位置

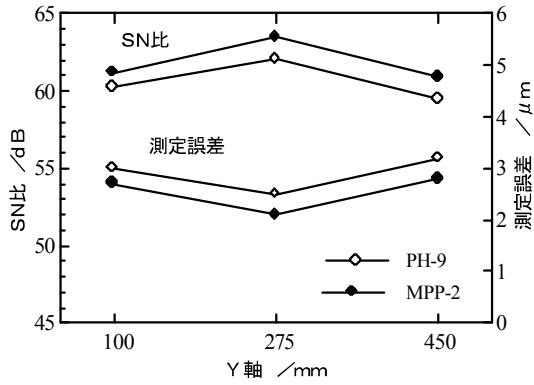


図6 Y軸の測定位置

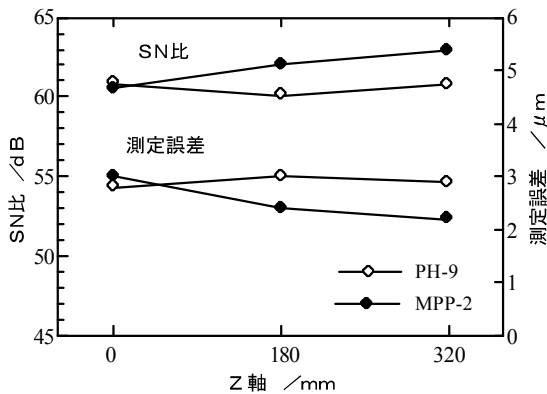


図7 Z軸の測定位置

られる。Y軸においては、中央部(Y=275mm)で測定誤差が最も小さい。これは、ブリッジ・ベッド型CMMの構造的特徴によるもので、両端部では撓みが大きくなるが、中央部では剛性が高いためであると考えられる。

### 3.3 分散分析表

表1～表2にSN比の分析分散表を示す。F分布において $F_{7,2}(0.05)=4.74$ であることから、分散比に注目すると、PH-9ではY軸、X軸、スタイラス長、そしてスタイラス径に有意差があると言える。また、MPP-2においては制御因子の分散比がF分布値より小さいことから、有意差が認められない。

### 3.4 校正式

次のように、内径測定 of 校正式は表せる。

$$M = y / \beta \pm 3 / \sqrt{\eta}$$

M: 推定される真値

y: 測定値      β: 感度

総合的に校正式パラメータは、810個のデータから算出して、PH-9, MPP-2はそれぞれ

$$\beta_{PH} = 1.0000297, \quad 3/\sqrt{\eta_{PH}} = 0.0032$$

$$\beta_{MP} = 1.0000234, \quad 3/\sqrt{\eta_{MP}} = 0.0031$$

となる。

表1 分散分析表 (PH-9)

要因	自由度 f	平方和 S	分散 V	分散比 F <sub>0</sub>
スタイラス径	2	8.2590	4.1295	7.4669
スタイラス長さ	2	14.2779	7.1390	12.9085
X軸	2	15.6591	7.8295	14.1572
Y軸	2	17.8710	8.9355	16.1570
Z軸	2	1.6676	0.8338	1.5077
誤差	7	3.8713	0.5530	
計	17	61.6059		

表2 分散分析表 (MPP-2)

要因	自由度 f	平方和 S	分散 V	分散比 F <sub>0</sub>
スタイラス径	2	8.1249	4.0625	1.0007
スタイラス長さ	2	8.8330	4.4165	1.0879
X軸	2	0.9022	0.4511	0.1111
Y軸	2	23.2093	11.6046	2.8586
Z軸	2	17.6224	8.8112	2.1705
誤差	7	28.4165	4.0595	
計	17	87.1083		

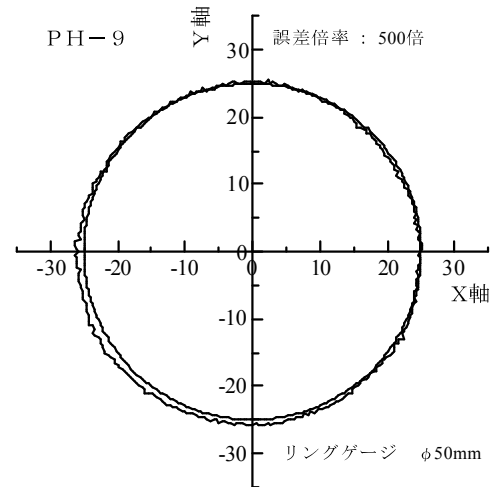


図8 リングゲージの輪郭測定 (PH-9)

### 3.5 形状誤差

単純な円筒内周面形状の測定例として、内径φ50.000mmのリングゲージの内周面を輪郭測定した記録図を図4に示す。測定条件は、スタイラス径φ2mm、測定ピッチ0.1mmとした。なお、リングゲージの真円度は0.4μm程度である。その測定結果は、半径誤差はPH-9で5μm、MPP-2で4μmであり、内径測定 of 誤差と比べると誤差成分が加算されるために若干大きめである。

#### 4. まとめ

リングゲージの内径を測定し、S/N比を計算することによりプローブを装着した状態でのCMMの誤差評価を行い、またリングゲージ内周面を輪郭測定を行った結果、次のことが得られた。

- (1) PH-9ではY軸，X軸，スタイラス長，スタイラス径に有意差があるが，MPP-2では制御因子に有意差は認められない。
- (2) 形状誤差は内径測定の誤差と比べると若干大きめである。

#### 参考文献

- 1) 山畑：平成10年度千葉県機械金属試験場研究報告, No. 28, 5 (1998)
- 2) 中村，真下：群馬県工業試験場研究報告, 53 (1994)
- 3) 花岡，若林，丸山：機械金属連合部会第24回計測分科会予稿集, 25 (1995)
- 4) 石田，小池，他6名：S/N比による計測方法の評価と管理，日本規格協会, 177 (1987)
- 5) 矢津：すぐに役立つ実験の計画と解析基礎編，日本規格協会 (1997)