

## リングプレートメソッドによる三次元測定機の誤差評価\*

和合 健\*\*

リングプレートメソッド<sup>1)</sup>により、CNCモード3軸フリー検出器三次元測定機(以下CMM)の誤差評価を行った。制御因子と信号因子を直交表L<sub>18</sub>に割り付けて実験を行い、基準点比例式によるSN比を算出した結果、プロービング点数及びプローブの接触方向、ワークテーブル上のワーク位置による有意差はみられず、誤差限界 $\pm 3/\sqrt{\eta}$ (95%信頼限界)は $\phi 20\text{mm}$ 程度の内径測定で $\pm 1.8\mu\text{m}$ を得た。

キーワード：三次元測定機、タグチメソッド、誤差評価、SN比

## CMM Evaluation of Performance by Ring Plate Method

WAGO Takeshi

We made an evaluation of performance on CMM(Coordinate Measuring Machine) with CNC mode, three dimension free probe by Ring plate method. Controllable factors and signal factor are arranged at L<sub>18</sub> matrix table, We made an experiment and calculated s/n ratio  $\eta$ , As a result, factorial effects are not significant by probing number, contact direction and work position on the work table, Error limit of  $\pm 3/\sqrt{\eta}$  is  $\pm 1.8\mu\text{m}$  for  $\phi 20\text{mm}$  hole diameter measurement.

key words : CMM, Taguchi method, evaluation of performance, SN ratio

### 1 結 言

近年、金型や機械加工部品は、形状が複雑になりそのような製品の長さ測定、形状測定には三次元測定機(CMM)が使用される。架空の基準点からの長さや点群の集合したカーブ測定などは、ノギスやマイクロメータなどの一次元測定器具では不可能となり、その場合には三次元測定機は非常に有効となる。

三次元測定機は、X軸、Y軸、Z軸のガイドとプローブヘッドから構成されて、各ガイドに設置されたスケールから長さを読み、プローブヘッドにより入力信号を得る。XYZ軸は互いに直交しておりその複雑な構造から誤差が生じる可能性がある。さらに、最近では計算機の支援により多項目の測定が可能になったことに起因し、測定値の確からしさを過信する傾向さえ見受けられる。

そこで、新しい三次元測定機の誤差評価方法の提案として、計量研究所を中心とした機械金属連合部会計測分科会傘下プラスチック計測技術研究会の共同研究の一環

として、リングプレートメソッドによるCMMの誤差評価を行った。

### 2 実験計画及び実験方法

#### 2-1 誤差原因の仮定

CMMの構造を図1に示し、CMMの仕様を表1に示す。実験に用いたCMMの基本構造は、ワークテーブル固定でブリッジが移動する構造となっている。Y方向を測定するには、図に示す2カ所のY軸可動部の駆動によりブリッジ全体が動きY方向のプロービングが行われる。X方向の測定では、X軸可動部の駆動によりZ軸を構成する支柱が動きX方向のプロービングが行われる。このように、ブリッジ移動型の場合、ブリッジ全体の移動によるブリッジの倒れ、駆動部と反対側の遅れ、慣性の影響、剛性の問題など多くの誤差原因が考えられる。

また、プローブヘッドの構造は、特許などの関係からメーカー独自の方式で設計されて、それぞれの方式に起因

\* CNCモード3軸フリー検出器の場合

\*\* 電子機械部

する誤差が指摘されており、特に斜め方向からのプロービングにより誤差が生じる可能性が高いと言われている。

2)

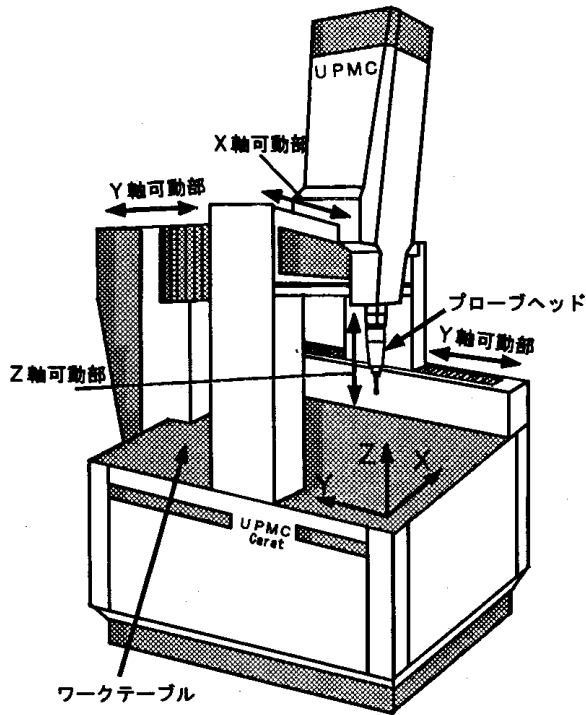


図1 CMMの構造

表1 CMMの仕様

本体	
型式	UPMC550-CARAT-HSS
メーカー	ZEISS
構造	ブリッジ移動型
測定範囲	X=550、Y=500、Z=450mm
測定精度	1軸( $U_1$ ) $0.5+L/900(\mu m)$ 空間( $U_3$ ) $0.8+L/600(\mu m)$ (L=測定長さmm)
ワークの許容重量	600Kg
3Dユニバーサルプローブヘッド	
分解能	スチリング*範囲が $\pm 0.2mm$ の時、 $0.1\mu m$
最大変位量	$\pm 2.5mm$
測定圧	電気的に発生、0.1N、0.2N、0.4N、1.0N (通常測定は0.2N)

2-2 制御因子

制御因子と水準を表2に示す。プローブの向き(図2)、ワークテーブルにワークを置く位置(図3)の2つを制御因子として設定した。これらを表3のように直交表 $L_{18}$ に割り付けた。

表2 制御因子と水準

記号	制御因子	水準
A	プローブの向き	6水準(①~⑥)
C	誤差列	
D	X軸での位置	3水準(左、中、右)
E	Y軸での位置	3水準(奥、中、前)
F	Z軸での位置	3水準(低、中、高)
G	誤差列	
H	誤差列	

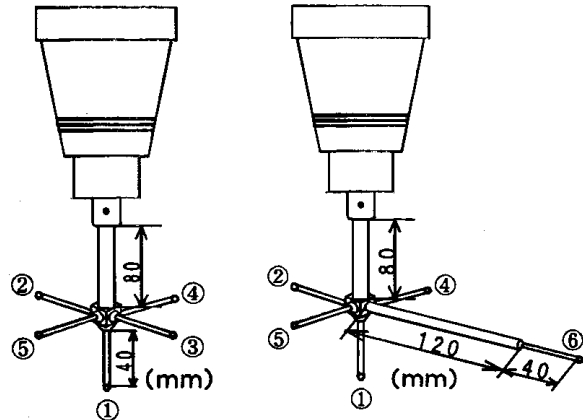


図2 プローブの向き(制御因子)

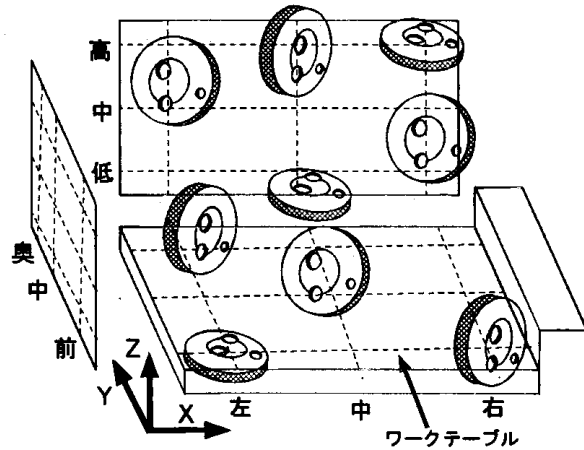


図3 ワークを置く位置(制御因子)

2-3 信号因子

リングプレートゲージ(図4)の内径、中心間距離、挟角を信号因子として、表3のように直交表 $L_{18}$ の外側に割り付けた。誤差因子は単純な測定の繰り返しのみとした。

表3 直交表L<sub>18</sub>の割り付け

番号	因子			内径(D)												
				軸方向4点				45°方向4点				8点				
				M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	
1	1	左	前	低	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)
2	1	中	中	中	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)
3	1	右	奥	高	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)
18	6	中	前	中	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)

中心間距離(L)											
軸方向4点				45°方向4点				8点			
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)

挟角(A)											
軸方向4点				45°方向4点				8点			
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	SN比
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	(db)

注) R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>は繰り返し

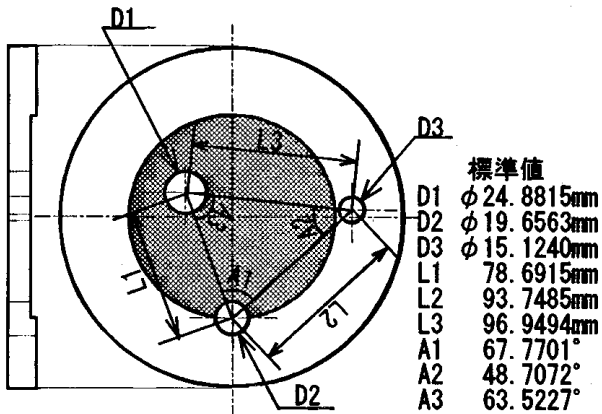


図4 リングプレートゲージ (信号因子)

2-4 測定

表4に測定条件、図5にプロービングの位置、表5にプロービングの点数及び接触方向を示す。リングプレートゲージの内径、中心間距離、挟角を軸方向4点、45°方向4点、8点と3通りのプロービング方法により測定した。CNC測定プログラムは、作業者の手動操作の

ティーチングプレイバック方式により作成した。測定の反復は行わず、測定の繰り返しを3回行った。

表4 測定条件

操作方法	CNCモードによる測定
接触圧	0.2N
プロービング方式	3軸フリー(ベクトルプロービングYes)
プローブ校正方式	たわみ補正あり(DI15228)
校正球	φ30mm
測定プローブ	φ5mm、L=40mm
温度補正機能	無効
ワーク温度	平均値20.45℃、レンジ0.3℃

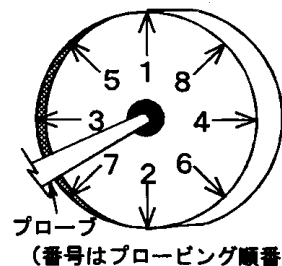


図5 プロービングの位置

表5 プロービングの点数及び接触方向

プロービングの 点数、方向	D:内径 L:中心間距離 A:挟角		
	軸方向4点	L(4,軸)	A(4,軸)
45°方向4点	1, 2, 3, 4	D(4,45)	A(4,45)
8点	5, 6, 7, 8	D(8)	A(8)

2-5 SN比の算出<sup>3)</sup>

標準値の $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ は、 $L_{13}$ のNo.1~3のD(4,軸)の測定値が最も真の値に近いと思われるので、この平均値(9個の平均値)を標準値とした。計算式は、 $M_2$ を基準点とする基準点比例式で動的SN比を求めた。基準点比例式は、比例式の重心近くを基準に補正するため全体的に最小の補正量ですむことから、元の測定値が大きく変化せず適切な補正が出来ると思われる。また、基準値で差をとり補正するため有効桁数が多い計算に適していると思われる。以下に、基準点比例式の一般式を示す。

$$y = y_0 + \beta (M - M_0)$$

標準値 $M$ 、標準 $M$ の読み値 $y$ 、基準点の表示値 $M_0$ 、そのときの読み値 $y_0$ 、感度 $\beta$ で表される。

2-5-1 内径のSN比の算出

D(4,軸)のNo.1のSN比を求める。

信号因子は、 $M_1 = 24.8815\text{mm}$ 、 $M_2 = 19.6563\text{mm}$ 、 $M_3 = 15.1240\text{mm}$ である。 $M_2$ を基準点として補正すると、 $M_1 = 5.2252$ 、 $M_2 = 0$ 、 $M_3 = -4.5323$ となる。

有効除数 $r$ を求める

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 \\ = 47.84445833$$

$L_1 \sim L_3$ の変動を求める

$$L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + M_3 y_{13} \\ = 47.84438904$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + M_3 y_{23} \\ = 47.84407439$$

$$L_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + M_3 y_{33} \\ = 47.84498085$$

全2乗和 $S_T$ を求める

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 + \dots + y_{33}^2 \\ = 143.53351369$$

比例項の変動 $S_\beta$ を求める

$$S_\beta = (L_1 + L_2 + L_3)^2 / (3 \times r) \\ = 143.53351357$$

比例定数の変化の変動 $S_{N \times \beta}$ を求める

$$S_{N \times \beta} = (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) / r - S_\beta \\ = 0.0000000089$$

感度 $\beta$ を求める

$$\beta = (L_1 + L_2 + L_3) / (3 \times r) \\ = 1.0000004827$$

非線形を中心とするその他の変動 $S_0$ を求める

$$S_0 = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta} \\ = 0.0000001111$$

誤差分散 $V_0$ を求める

$$V_0 = S_0 / 6 = 0.0000000185$$

$$V_N = (S_{N \times \beta} + S_0) / 8 \\ = 0.000000015$$

SN比 $\eta$ を求める

$$\eta = 1 / (3 \times r) \times (S_\beta - V_0) / V_N \\ = 66685315.345(\text{mm}^{-2})$$

$$\eta = 10 \times \log (1 / (3 \times r) \times (S_\beta - V_0) / V_N) \\ = 78.240302092(\text{db}) \\ = 78.2(\text{db})$$

誤差限界を求める。これはほぼ95%信頼限界に相当する。

$$\pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.000367372(\text{mm}) \\ = \pm 0.37(\mu\text{m})$$

2-5-2 中心間距離のSN比の算出

L(4,軸)のNo.1のSN比を求める。

信号因子 $M_1 = 78.6915$ 、 $M_2 = 93.7485$ 、 $M_3 = 96.9494$ として、 $M_2$ を基準点とする基準点比例式で、動的SN比を求める。

$$\text{SN比 } \eta = 78.13993953(\text{db})$$

$$\text{誤差限界 } \pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.000371642(\text{mm}) \\ = \pm 0.37(\mu\text{m})$$

2-5-3 挟角のSN比の算出

A(4,軸)のNo.1のSN比を求める。

信号因子 $M_1 = 48.7072$ 、 $M_2 = 63.5227$ 、 $M_3 = 67.7701$ として、 $M_2$ を基準点とする基準点方程式で、動的SN比を求める。

$$\text{SN比 } \eta = 76.75547462(\text{db})$$

$$\text{誤差限界 } \pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.000435861(\text{mm}) \\ = \pm 0.44(\mu\text{m})$$

2-5-4 校正式

基準点比例式の校正式を以下に示す。校正式は標準値 $M_0$ 、標準を測定した時の読み値 $y_0$ 、感度 $\beta$ 、誤差限界 $\pm 3 / \sqrt{\eta}$ より構成され、実際の測定値 $y$ を入力し推定値 $\hat{M}$ を求めることにより真の値を推定することができる。

$$\hat{M} = (y - y_0) / \beta + M_0 \pm 3 / \sqrt{\eta}(\text{mm})$$

3 実験結果及び考察

SN比の要因効果図を図6~図8、感度の要因効果図を図9、D(4,軸)(No.1)の分散分析表を表6、内径測定での誤差限界を表7に示す。

プローブの向きの因子A6は、延長シャフト120mmを取り付けたものである。A6は、表7内径測定での誤差

限界で、A1～A4と比較すると+4.2 μm大きくなっている。これは、プローブのたわみが影響し誤差が大きくなっていると推測される。中心間距離と挟角は延長シャフトによる誤差の影響が見られない。これは、中心間距離と挟角は円の中心より算出されるので、誤差が平均化されたためと思われる。

同様にプローブの向きの因子A5は、L<sub>13</sub>の中でNo.13～15のプローブ番号5番である。表7内径測定での誤差限界で、A1～A4と比較すると+1.7 μm誤差が大きくなっている。これは、プローブ番号5番は、リングプレートの位置がCMMのブリッジ駆動部のカバーの陰になり作業員から測定位置が見ずらく、作業員の手動操作により測定位置にプロービングさせるには、CMMの裏側の狭い部分からのぞき込む体制になるため測定面に対して垂直かつ、基準面から同一高さの円周上にプロービングすることが難しいと思われる。

CNCプログラム作成は、基本的に作業員の手動操作によるプロービングのティーチングプレイバック方式なので人的影響が少なからずあると思われる、A5の誤差は作業員のプロービングによる影響が考えられる。

プロービングの点数及び接触方向は、表7内径測定での誤差限界からD(4,軸)、D(4,45)、D(8)のばらつきの範囲は0.6 μmである。誤差は十分小さいことから、D(4,45)などの斜め方向からのプロービングの誤差はないと思われる。

ワークを置く位置は、表7の内径測定での誤差限界よりD1～F3までのばらつきの範囲は0.5 μmである。誤差が小さく特徴的な傾向は見られないことからワークを置く位置による誤差はないと思われる。

誤差が大きくなった項目について、今後の実験で誤差原因の追及が必要と思われる。

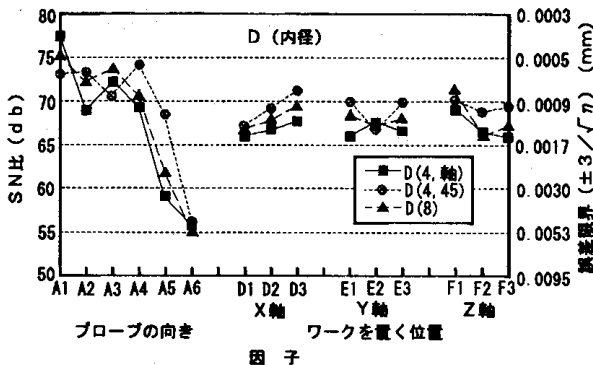


図6 SN比の要因効果図(内径)

表6 D(4,軸)(No.1)の分散分析表

要因	f	S	V
$\beta$	1	143.53	143.53
$S_{\beta}$	2	8.85E-09°	4.43E-09
e	6	1.11E-07°	1.85E-08
$e$ (°印を $\beta$ - $\mu$ )	8	1.20E-07	1.50E-08
T	9	143.53	—

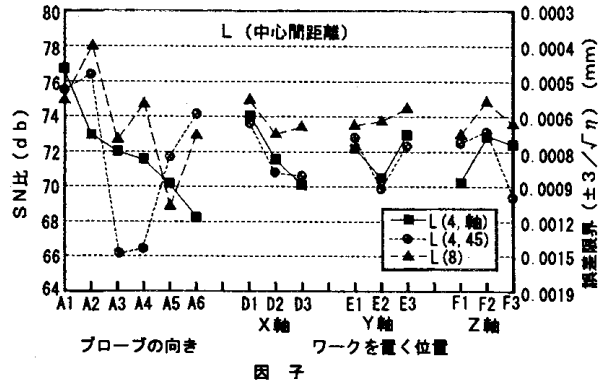


図7 SN比の要因効果図(中心間距離)

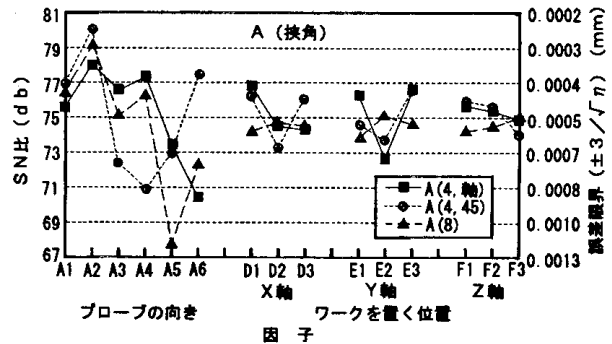


図8 SN比の要因効果図(挟角)

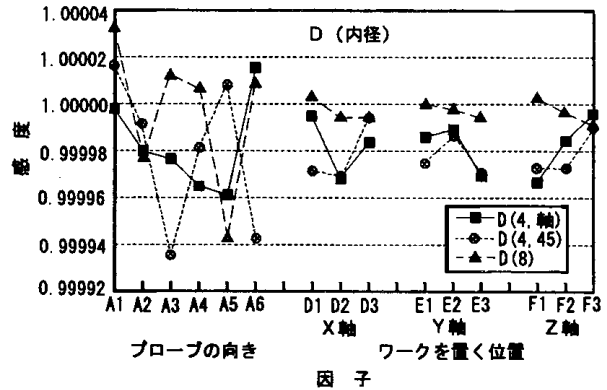


図9 感度の要因効果図(内径)

表7 内径測定での誤差限界 ( $\pm 3/\sqrt{\eta}$ )

因子		プロービング点数、接触方向			(mm)	
		D(4, 軸)	D(4, 45)	D(8)	平均値 AVG{D(4, 軸)~D(8)}	
プローブの 向き	A1~A4	0.0009	0.0008	0.0007	0.0008	
	A5	0.0034	0.0016	0.0025	0.0025	
	A6	0.0049	0.0048	0.0053	0.0050	
	AVG(A1~A6)	0.0019	0.0016	0.0018	0.0018	
ワークを置く 位置	X軸	D1	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020
		D2	0.0017	0.0015	0.0016	0.0016
		D3	0.0019	0.0012	0.0018	0.0016
	Y軸	E1	0.0019	0.0014	0.0017	0.0017
		E2	0.0019	0.0018	0.0020	0.0019
		E3	0.0018	0.0015	0.0017	0.0017
	Z軸	F1	0.0016	0.0015	0.0015	0.0015
		F2	0.0018	0.0016	0.0019	0.0018
		F3	0.0022	0.0016	0.0020	0.0019

#### 4 結 言

リングプレートメソッドによりCMMの誤差評価を品質工学の考え方に基つて行った。その結果以下のことが明らかとなった。

1)  $\phi 20\text{mm}$ 程度の内径測定を実施し基準点比例式によるSN比から誤差限界を求めたところ、 $\pm 3/\sqrt{\eta}$  (95%信頼限界)は $\pm 1.8\mu\text{m}$ である。

延長シャフト120mmを取り付けて測定した結果、誤差限界 $\pm 3/\sqrt{\eta}$ は内径測定で $\pm 5.0\mu\text{m}$ となり、延長シャフトをつけない時より、 $+4.2\mu\text{m}$ 大きくなった。これは、プローブのたわみの誤差が含まれたものと推測される。

プローブの向きの因子A5は、内径測定で誤差限界 $\pm 3/\sqrt{\eta}$ が $\pm 2.5\mu\text{m}$ となり、A1~A4と比較して大きな値となった。これは、プローブ番号5番は、リングプレートの位置がCMMのブリッジ駆動部のカバーの陰になり、作業者によるプロービングの誤差が考えられる。

以上のことから測定形態ごとに誤差の大きさが変動することに十分注意して利用すべきである。

2) プロービングの点数及び接触方向(3種類)は、内径測定で誤差限界のばらつきの範囲が $0.6\mu\text{m}$ なので誤差は十分小さいことから、プロービングの点数及び接触方向の誤差はないと思われる。

3) ワークを置く位置は、内径測定で誤差限界のばらつきの範囲が $0.5\mu\text{m}$ なので誤差は十分小さいことから、ワークを置く位置による誤差はないと思われる。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり御指導頂いた計量研究所の松田次郎主任研究官に深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1)井地重人：RPMによるCMMのラウンドロビンテストについて、第48回プラスチック計測技術研究会資料、1994
- 2)丸山六男：三次元検出器の動作特性、機械の研究、39、3、1987
- 3)田口玄一他：品質工学応用講座転写性の技術開発、日本規格協会、1992