

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（第2報） —二つの校正方式による誤差の相違—

和合 健*、多田 三郎*

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において校正方式による誤差の相違を確認するため、ゼロ点比例式と基準点比例式の二つの校正方式でSN比 η 、誤差限界 $\pm 3/\sqrt{\eta}$ を算出し比較した。校正方式がゼロ点比例式の場合は誤差限界は $1.0\mu\text{m}$ となり、基準点比例式の場合は誤差限界は $1.6\mu\text{m}$ となった。SN比の要因効果図は、全体的な傾向は類似しているが細部で相違がみられる。

キーワード：リングプレートメソッド、三次元測定機、校正方式、品質工学

CMM Evaluation of Performance by Ring Plate Method (2nd) —Difference of Error between Two Calibration Methods—

WAGO Takeshi and TADA Saburo

For an evaluation of performance of CMM(Coordinate Measuring Machine)by Ring plate method, SN ratio η and its Error limit $\pm 3/\sqrt{\eta}$ from two types of calibration method, zero point proportional formula calibration and reference point proportional formula calibration, are obtained. In case of the error limit $\pm 3/\sqrt{\eta}$, that of zero point proportional formula calibration is $1.0\mu\text{m}$ and that of reference point proportional formula calibration is $1.6\mu\text{m}$, respectively. And in case of SN ratio η , factorial effects are almost similar between two methods and the differences in are discussed.

key words : ring plate method, CMM, calibration system, quality engineering

1 緒 言

三次元測定機（以下、CMM）の新しい誤差評価方法の提案として、計量研究所を中心とする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で「リングプレートメソッドによるCMMの誤差評価」を行い前報¹⁾で報告した。本報では、ゼロ点比例式と基準点比例式の二つの校正方式からSN比、誤差限界を求め校正方式による誤差の相違について考察を行った。ゼロ点比例式や基準点比例式などの校正方式や計測の誤差についての取り扱いは、1991年に品質工学の考え方に基いたJIS Z 9090（測定—校正方式通則）が規格化されたことにより、従来まちまちだった計測における校正の考え方の手順が明確に示され、実用的な活用において有効となっている。我々計測機器ユーザは、計測誤差を減らすために計測の割り付け実験や校正方式の活用により対処す

ることが求められており、本報は基本事項の確認として二つの校正方式による誤差の相違について実験を行った。

2 実験装置及び方法

2-1 リングプレートメソッドとは

図1にリングプレートゲージを示す。

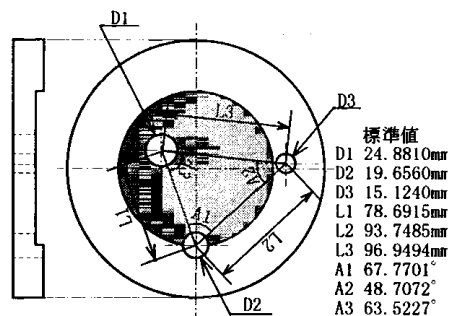


図1 リングプレートゲージ

* 電子機械部

表1にCMMの主な仕様、図2に実験に用いたCMMと標示因子を示す。

表1 CMMの主な仕様

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
保証精度	1軸(U ₁) 0.5+L/900(μm) 空間(U ₃) 0.8+L/600(μm) (L=測定長さmm)
プロービング方式	3軸フリー、2軸ロック1軸フリー

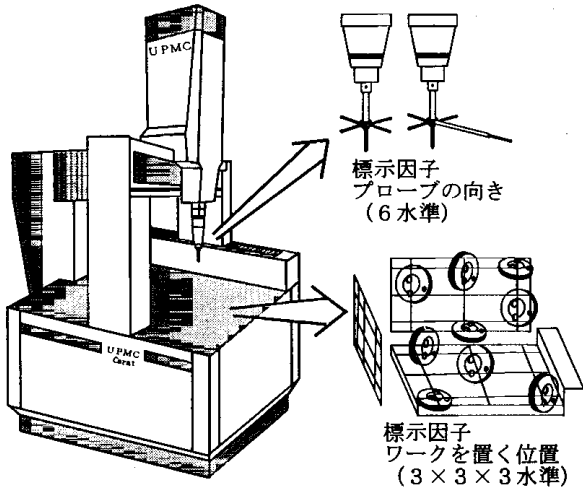


図2 実験に用いたCMMと標示因子

リングプレートメソッドとは、品質工学に基づいて標示因子、信号因子などを直交表L₁₈に割り付けた実験計画に従い、二次元測定を対象として3個のリングゲージが組み込まれた円盤状のゲージ(リングプレートゲージ)をCMMで測定し、得られたデータを計測のSN比により誤差評価を行う手法である²⁾。ここでの設定として、CNCモードによる自動測定、プロービング方式は3軸フリーとした。

2-2 ゼロ点比例校正式と基準点比例校正式

表2に校正式とその利点、図3にそれぞれの校正式を説明するのグラフを示す。

表2 校正式とその利点

	ゼロ点比例式	基準点比例式
校正式	$y = \beta M$ M : 標準の値 y : 標準Mの読み値 β : 感度	$y = y_0 + \beta (M - M_0)$ M : 標準の値 y : 標準Mの読み値 M ₀ : 基準点の表示値 y ₀ : その時の読み値 β : 感度
利点	<ul style="list-style-type: none"> M=0の時y=0を示すことから絶対基準となるゼロ点を通る。 計算が容易 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。

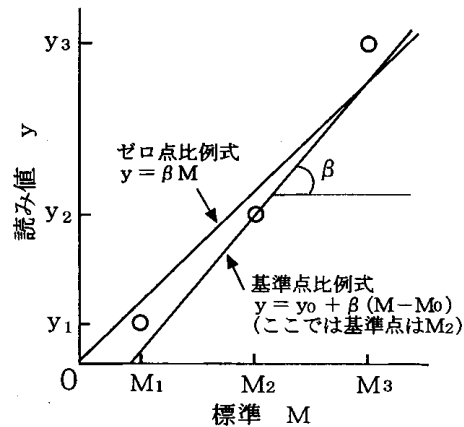


図3 校正式のグラフ

ゼロ点比例式 $y = \beta M$ では出力 y 、感度 β 、入力 M により構成され、計測機器の場合は基本的に $y = M$ が理想となるため感度 $\beta = 1$ が目標値となる。校正方法の種類には、ノギスのような点検(ゼロ点確認)だけの校正、マイクロメータのようなゼロ点校正(ゼロ点調整)、他には比例式による校正、一次式による校正など、それぞれ特色があるので状況に応じた選択が必要になる。

2-3 ゼロ点比例式によるSN比の算出

標準値の M_1, M_2, M_3 は、計量研究所から指定された $M_1 = 24.8810\text{mm}$ 、 $M_2 = 19.6560\text{mm}$ 、 $M_3 = 15.1240\text{mm}$ とした。一例としてD(4,軸)のNo.1のSN比を求める。D(4,軸)のNo.1とは直交表L₁₈において実験番号がNo.1、Dとは測定項目が内径測定(internal Diameter)、(4,軸)とはプロービング方式がCMMのガイド軸に平行方向のプロービングで、点数が4点である。

$$\text{有効除数 } r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 = 1234.157873$$

線形式 $L_1 \sim L_3$ の変動を求める

$$L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + M_3 y_{13} = 1234.172210$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + M_3 y_{23} = 1234.185654$$

$$L_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + M_3 y_{33} = 1234.178698$$

$$\text{全2乗和 } S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 + \dots + y_{33}^2 = 3702.599508$$

$$\text{比例項の変動 } S_\beta = (L_1 + L_2 + L_3)^2 / (3 \times r) = 3702.599507$$

$$\text{感度 } \beta = (L_1 + L_2 + L_3) / (3 \times r) = 1.000017$$

$$\text{誤差変動 } S_e = S_T - S_\beta = 2.89932 \times 10^{-7}$$

$$\text{誤差分散 } V_e = S_e / 8 = 3.62415 \times 10^{-8}$$

$$\text{SN比 } \eta = 1 / (3 \times r) \times (S_\beta - V_e) / V_e = 27593580.92 (\text{mm}^{-2})$$

$$\eta = 10 \times \log (1 / (3 \times r) \times (S_\beta - V_e) / V_e) = 74.40808 = 74.4 (\text{db})$$

誤差限界(これはほぼ95%信頼限界に相当する。)

$$\pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.0005711 (\text{mm}) = \pm 0.57 (\mu\text{m})$$

2-4 基準点比例式によるSN比の算出

同様にD(4, 軸)のNo.1のSN比を求める。標準値は、 $M_1=24.8810\text{mm}$ 、 $M_2=19.6560\text{mm}$ 、 $M_3=15.1240\text{mm}$ である。M₂を基準点とするためにそれぞれの差をとると、 $M_1=5.2250\text{mm}$ 、 $M_2=0\text{mm}$ 、 $M_3=-4.5320\text{mm}$ となる。

$$\text{有効除数 } r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 = 47.839649$$

線形式L₁~L₃の変動を求める

$$L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + M_3 y_{13} = 47.8421922$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + M_3 y_{23} = 47.8418776$$

$$L_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + M_3 y_{33} = 47.8427840$$

$$\begin{aligned} \text{全2乗和 } S_T &= y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 + \dots + y_{33}^2 \\ &= 143.534762 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{比例項の変動 } S_B &= (L_1 + L_2 + L_3)^2 / (3 \times r) \\ &= 143.5344761 \end{aligned}$$

$$\text{感度 } \beta = (L_1 + L_2 + L_3) / (3 \times r) = 1.000055$$

$$\text{誤差変動 } S_e = S_T - S_B = 9.24396 \times 10^{-7}$$

$$\text{誤差分散 } V_e = S_e / 8 = 1.15549 \times 10^{-7}$$

$$\begin{aligned} \text{SN比 } \eta &= 1 / (3 \times r) \times (S_B - V_e) / V_e \\ &= 8655256.942 (\text{mm}^{-2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 10 \times \log (1 / (3 \times r) \times (S_B - V_e) / V_e) \\ &= 69.372799 = 69.4 (\text{db}) \end{aligned}$$

誤差限界 (これはほぼ95%信頼限界に相当する。)
 $\pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.0010197 (\text{mm}) = \pm 1.01 (\mu\text{m})$

2-5 校正式

以上の計算により求められた校正式を以下に示す。

ゼロ点比例校正式

$$M = y / 0.999988 \pm 0.0010 (\text{mm})$$

基準点比例校正式

$$\begin{aligned} M &= 19.6560 + (y - 19.6557) / 1.000037 \\ &\pm 0.0016 (\text{mm}) \end{aligned}$$

3 実験結果及び考察

3-1 誤差限界での比較

表3にゼロ点比例式と基準点比例式の内径測定での誤差限界 $3/\sqrt{\eta}$ (mm)を示す。表3よりゼロ点比例式の方が基準点比例式より全体の平均値で $0.6 \mu\text{m}$ 小さい値となっている。プローブの向きでは因子A1~A4まではほとんど等しいが、ゼロ点比例式の方が因子A5で $1.0 \mu\text{m}$ 、因子A6で $2.4 \mu\text{m}$ 小さい値となっている。前報では作業員から死角になりプロービングが難しい場合のA5はA1~A4と比較して大きな誤差となり作業員のプロービング誤差によるものと推測されたが、ゼロ点比例式ではA5はA1~A4と等しい値となっている。延長シャフトを取り付けた場合のA6は、基準点比例式では $4.3 \mu\text{m}$ 、ゼロ点比例式では $1.9 \mu\text{m}$ となり大きな相違が生じた。これは、CMMの利用における大きな示唆

を与える結果となった。

表3 ゼロ点比例式と基準点比例式の内径測定での誤差限界 ($3/\sqrt{\eta}$) の比較

因子		ゼロ点比例式				基準点比例式				
		プロービング方式 4, 軸 4, 45 8			AVG	プロービング方式 4, 軸 4, 45 8			AVG	
プローブの向き	A1	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8	1.4	1.2	1.1	
	A2	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	
	A3	0.7	0.8	1.0	0.9	0.8	1.6	0.6	1.0	
	A4	0.6	0.6	0.9	0.7	0.6	1.0	0.5	0.7	
	A5	1.1	1.5	0.6	1.1	2.5	2.1	1.7	2.1	
	A6	2.6	0.7	2.3	1.9	4.1	4.4	4.5	4.3	
	AVG	1.1	0.9	1.1	1.0	1.6	1.8	1.5	1.6	
ゲージを置く位置	X軸	D1	1.3	0.9	1.2	1.1	1.7	2.0	1.5	1.7
		D2	1.2	0.9	1.1	1.1	1.3	1.6	1.3	1.4
		D3	1.1	0.9	1.1	1.0	1.7	1.8	1.6	1.7
	Y軸	E1	1.0	0.9	1.1	1.0	1.5	1.9	1.5	1.6
		E2	1.2	0.9	1.1	1.1	1.8	2.2	1.6	1.9
		E3	1.0	0.8	1.0	0.9	1.4	1.4	1.2	1.3
	Z軸	F1	0.9	0.8	1.0	0.9	1.6	1.6	1.3	1.5
		F2	0.9	0.8	1.1	0.9	1.4	2.0	1.5	1.6
		F3	1.3	0.9	1.1	1.1	1.7	1.8	1.6	1.7
	AVG	1.1	0.9	1.1	1.0	1.6	1.8	1.5	1.6	

注) AVGは平均値

表4に表3で用いた語句の説明を示す。

表4 表3で用いた語句の説明

記号	説明
4, 軸	CMMのガイド軸に平行方向で4点
4, 45	CMMのガイド軸から45°方向で4点
8	円周上を均一に8点
A1~A6	プローブの向きは、A1~A6の6水準
D1~F3	ワークを置く位置は、X軸でD1~D3の3水準、Y軸でE1~E3の3水準、Z軸でF1~F3の3水準

3-2 SN比の要因効果図での比較

図4、5にゼロ点比例式と基準点比例式の内径測定でのSN比の要因効果図、図6、7に感度の要因効果図、表5、6にD(4, 軸)(No.1)の分散分析表を示す。ゼロ点比例式と基準点比例式のSN比を比較すると全体的な傾向は類似しているが、D(4, 45)の因子A5、A6の場合など細部で相違した傾向が見られる。

一方、感度の要因効果図でゼロ点比例式と基準点比例式は類似性は見られず、ゼロ点比例式の方が偏差の指標となる目標値 $\beta=1$ に値が近づいている。

また、SN比と感度の両方において基準点比例式の方がばらつきが大きい。

SN比と感度の定義は、

$$\text{SN比 } \eta = \beta^2 / \sigma^2$$

$$\text{感度 } \beta^2 = (S_B - V_e) / r$$

$$\text{誤差分散 } \sigma^2 = V_e$$

と表され、SN比はばらつきの指標となり、感度は偏差の指標となる。要因効果図からゼロ点比例式の方がばらつきも偏差も小さいことから表2より誤差限界で $0.6 \mu\text{m}$ 小さな結果が表れている。つまり、ゼロ点比例式と基

準点比例式では基準値が異なるため標準値からの偏差と線形性を表す近似直線の傾き β (感度) が異なる算出式で計算されたためにSN比、感度で誤差の影響が微妙に相違したものと推測される。

この結果より計測機器の場合は、入力が0の時は出力が0が基本となることから、通常はゼロ点比例式を用いるべきであり、基準点比例式を用いる場合は基準点の決定を慎重に行うべきである。

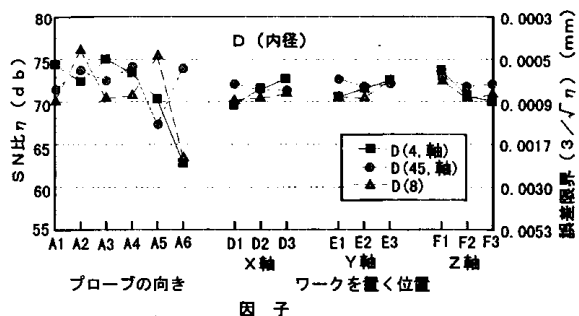


図4 ゼロ点比例式による内径測定でのSN比の要因効果図

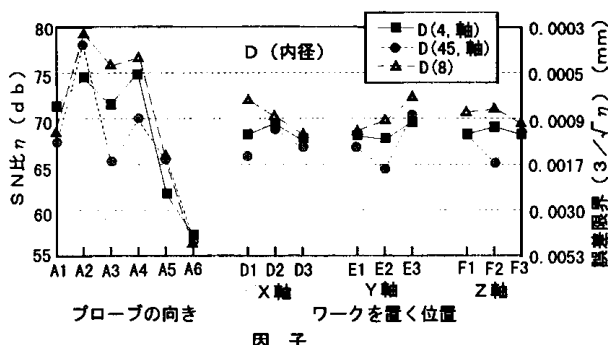


図5 基準点比例式による内径測定でのSN比の要因効果図

表5 ゼロ点比例式によるD(4,軸)(No.1)の分散分析表

(単位: μm^2)

要因	f	S	V
β	1	3.70E+09	3.70E+09
e	8	0.29	0.04
T	9	3.70E+09	-

表6 基準点比例式によるD(4,軸)(No.1)の分散分析表

(単位: μm^2)

要因	f	S	V
β	1	1.43E+08	1.43E+08
e	8	0.92	0.12
T	9	1.43E+08	-

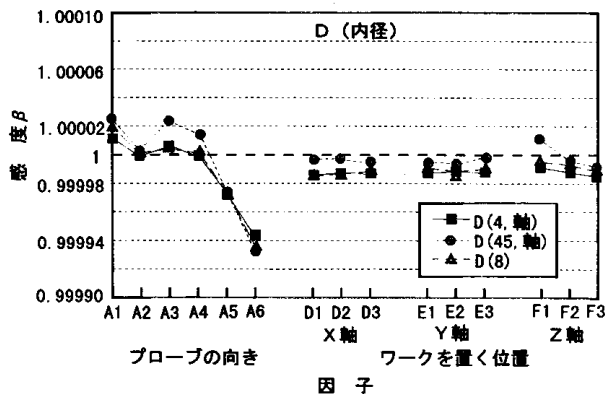


図6 ゼロ点比例式による内径測定での感度の要因効果図

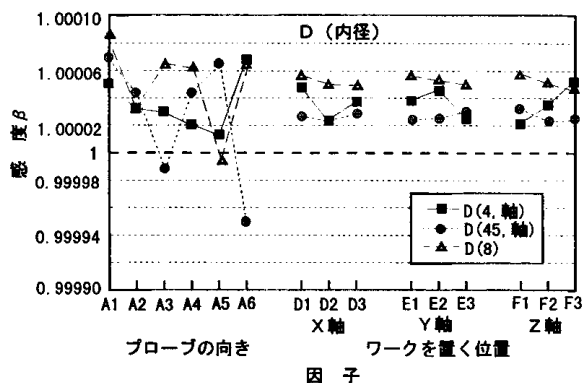


図7 基準点比例式による内径測定での感度の要因効果図

4 結 言

1) ゼロ点比例式と基準点比例式により算出した誤差限界 $3/\sqrt{\eta}$ (mm) を比較すると、本報での実験の場合ではゼロ点比例式が基準点比例式よりも全体的に誤差が小さく出力されており、これは二つの算出式の評価基準の相違によるものと思われる。

2) 以上より、ゼロ点比例式と基準点比例式では、ばらつきの指標となるSN比と標準値からの偏差の指標となる感度で、二つの式において異なる結果が表れた。このように校正式によって評価が変わるので、校正式を適正に使うには目的に合った校正式を選択が重要となる。

謝 辞

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

文 献

- 1) 和合 健: リングプレートミッドによる三次元測定機の誤差評価、岩手工技セ研報、第3号、29(1996)
- 2) 松田ほか: リングプレートミッドによる三次元測定機の誤差評価、精密工学会秋季大会論文集(1994)