

非接触式形状測定機の精度評価法*

和合 健**、池 浩之**

形状測定機は測定原理が多種多様であるため、測定の不確かさを算出するにはその測定機固有の測定原理に基づく不確かさ発生要因を考える必要がある。ここでは、非接触式形状測定機を利用して測定を行い、その測定における特徴や誤差を求めた。その結果、ゲージの凹凸形状に依存する誤差傾向が見られた。

キーワード：輪郭形状測定機、基準器、精度評価法、非接触測定

Accuracy Evaluation for Noncontact Shape and Contour-Measuring Machine

Takeshi Wago and Hiroyuki Ike

Calculating uncertainty for contour form measurements is difficult because different contour-measuring machines may use different measuring principles, leading to variations in uncertainties. At this stage, some characteristic errors are extracted and considered, and artifacts appear when lines and curves are measured by a noncontact contour-measuring machine. As a result, errors influence the dependence on both circular and rectangular gauge shapes.

key words: contour-measuring machine, artifact, evaluation method for measuring precise, noncontact measuring

1 緒言

形状測定機は測定原理が多種多様であるため、測定の不確かさを算出するにはその測定機固有の測定原理に基づく不確かさ発生要因を考える必要がある。形状測定機は接触式、または非接触式など多くの方式が存在し、測定範囲、分解能、測定可能な傾斜角度などそれぞれの検出器原理に依存する特徴を有する。本研究は、産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会の共同研究として実施し、形状測定機の精度評価法の構築が目的である。

ここでは、非接触式形状測定機を利用してパイロットラボが示すプロトコルに従って測定実験を行い、非接触測定機での形状測定における特徴や誤差を求めた。

2 実験方法

2-1 実験装置及び方法

非接触式形状測定機はレーザオートフォーカス式形状測定機 (NH-3SP、三鷹光器) を使用した。表 1 に主な仕様と測定条件を示す。本装置は一定の焦点距離で測定物表面を追尾しその Z 高さを光学式リニアスケールで取得する方式である。非接触式形状測定機の測定部は図 1 に示すとおり、対物レンズを測定物に近接して輪郭形状を測定する方式である。使用したゲージを図 2、図 3 に示す。ゲージは丸形ゲージと角形ゲージの 2 種類とし、丸形ゲージは羊羹形状の上端面に半径の大きさが異なる円形輪

表 1 主な仕様と測定条件

使用装置名	レーザAF式形状測定機(三鷹光器, NH-3SP)
公称精度	指示誤差: 1+3L/120 μm(Z方向), 0.5+2.5L/150 μm(X,Y方向)
使用プローブ情報	半導体レーザ(波長635nm), AFセンサ方式, 50倍, スポット径2μm
送り速度	0.11 mm/sec
サンプリング	100 pts/mm
測定室温度	21.1-21.5°C (Range 0.4°C)
コメント	丸型と角型で最適条件が一致したので測定は各1回のみ

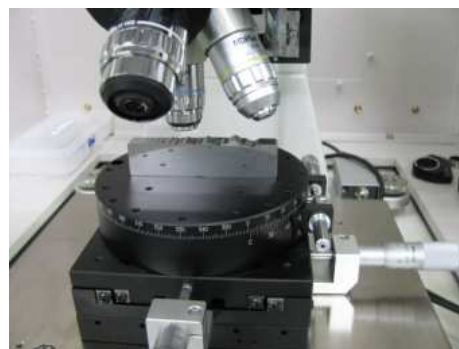


図 1 測定部

郭が連続して配置されたもので、上端部の直線部で回転軸を設定する。角形ゲージは 2 直線で構成する山が連続した形状である。アライメントに関するプロトコルの制

* 平成 23 年度 産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会 (共同研究)

** 材料技術部 (現 素形材技術部)

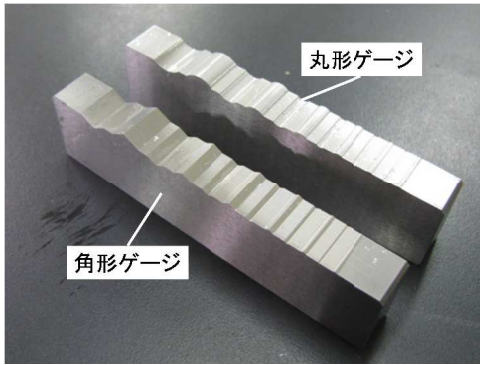


図2 各ゲージの外観

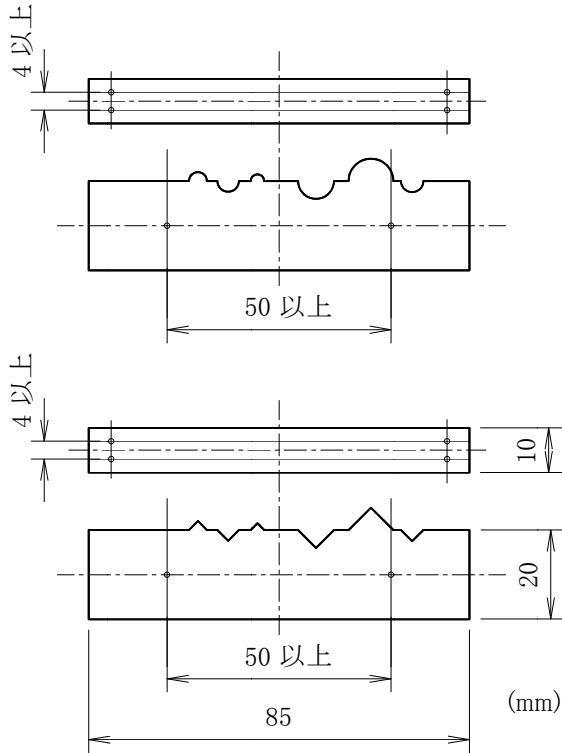


図3 各ゲージの概要
(上：丸形ゲージ、下：角型ゲージ)

表2 測定項目

名称	測定箇所	測定項目
丸形ゲージ	凹凸計12か所	円半径, 円中心座標X及びZ, 真円度
角形ゲージ	凹凸計12か所	成す角, 交点座標X及びZ, 各線の真直度

表3 因子と水準

因子	水準		
	1	2	3
A ゲージ	丸形	角型	
B 測定位置	y=3mm	y=5	y=7
C 繰り返し	1回目	2回目	3回目
D 測定条件	最適条件		
E 測定機械	NH-3SP		

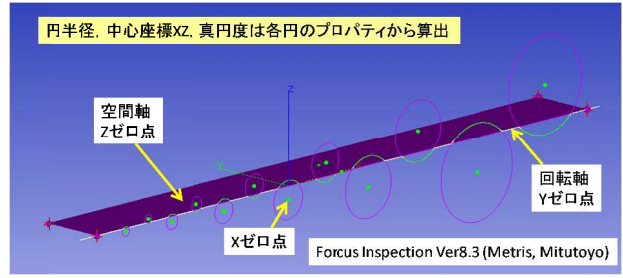


図4 丸形ゲージのワーク座標系

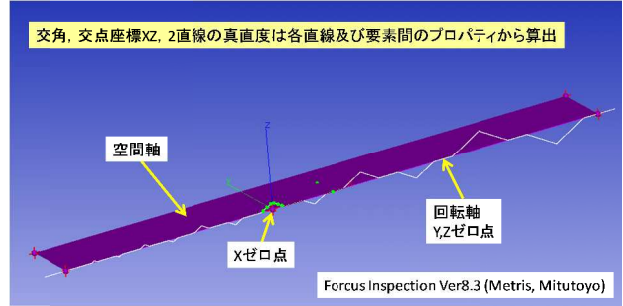


図5 角形ゲージのワーク座標系

限は、上端部で4mm以上、側面部で50mm以上の点間距離を取ることであった。測定条件は丸形と角形の各ゲージで最適条件が一致したので測定は各1回のみで行った。測定項目はプロトコルに指示された表2のとおりである。因子と水準は表3のとおりとした。

2-2 測定値の算出方法

NH-3SP で得られた点群を利用して点群評価ソフト (Forcus Inspection Ver8.3、Metris・Mitutoyo) により3次元形体を形成して各測定値を算出した。この方法を用いることで座標、形状、粗さのすべての形体が評価できるが、ここではワーク座標系を作成して一つのゲージあたり12か所の測定要素の位置座標と幾何形状及び寸法を算出した。ワーク座標系は丸形ゲージの場合は、図4のとおり空間軸：X軸直線上の2点とその点をY軸方向に複写した4点で形成する平面、回転軸：X軸直線上の2点で形成した直線、ゼロ点：Xゼロは凸4中心X座標、Yゼロは回転軸上Y座標、Zゼロは空間軸上Z座標とした。角形ゲージの場合も同様に図5のとおりワーク座標系を作成した。測定温度は21.1°C~21.5°Cの範囲で変動し、温度変動幅が0.4°Cであった。温度膨張補正は、測定長さが十分に小さいために温度膨張が無視できると考えで行わなかった。

3 実験結果及び考察

各ゲージとも測定要素凸1~6、凹1~6の計12か所の測定要素を1か所につきY方向3か所及び繰り返し3回の計9回測定した。この9回測定した値の平均値と標準偏差を測定項目毎に算出した。表4に丸形ゲージの平均値と標準偏差、表5に角形ゲージの平均値と標準偏差を示す。丸形ゲージの標準偏差の半径では、半径の大小で標準偏差の差が見られない。接触式の場合、特にCMMを使用した場合にはチップ径が大きい影響から測定対象

表4 丸形ゲージの平均値と標準偏差

要素	平均値 (mm)				標準偏差: σ (μm)			
	半径	中心X	中心Z	真円度	半径	中心X	中心Z	真円度
凸1	0.4970	-23.4196	-0.3518	0.0024	0.87	0.53	1.09	0.53
凹1	0.4953	-20.2197	0.3512	0.0030	1.12	0.50	1.09	0.00
凸2	0.8072	-16.7997	-0.5714	0.0037	1.64	0.50	1.67	0.50
凹2	0.8034	-13.1600	0.5673	0.0029	1.42	0.00	1.58	0.33
凸3	1.2883	-9.1797	-0.9116	0.0027	0.71	0.50	0.73	0.50
凹3	1.2869	-4.8600	0.9103	0.0027	0.60	0.00	0.50	0.50
凸4	2.0496	0.0000	-1.4484	0.0030	0.73	0.00	0.73	0.00
凹4	2.0500	5.4000	1.4498	0.0027	0.87	0.00	0.83	0.50
凸5	3.2798	11.6690	-2.3183	0.0033	1.20	0.00	1.00	0.50
凹5	3.2806	18.8090	2.3191	0.0029	0.73	0.00	1.05	0.33
凸6	5.2468	27.3393	-3.7099	0.0030	0.83	0.50	0.78	0.00
凹6	5.2469	37.2592	3.7110	0.0029	0.60	0.44	0.71	0.33
平均値	-	-	-0.0002	0.0029	1.00	0.35	1.04	0.39

表5 角形ゲージの平均値と標準偏差

要素	平均値 (mm)				標準偏差: σ (μm)				
	成す角度 (deg)	交点X	交点Z	真直度L	成す角度 (deg)	交点X	交点Z	真直度R	
凸1	120.0178	-23.4198	0.2028	0.0020	0.0017	176.39	0.44	0.44	0.00
凹1	120.0572	-20.2197	-0.2012	0.0022	0.0020	170.20	0.71	0.44	0.00
凸2	120.0367	-16.7991	0.3298	0.0020	0.0020	67.33	0.33	0.44	0.00
凹2	120.0336	-13.1591	-0.3278	0.0023	0.0020	61.94	0.33	0.44	0.50
凸3	119.9999	-9.1794	0.5264	0.0021	0.0026	26.55	0.53	0.53	0.33
凹3	119.9727	-4.8592	-0.5244	0.0020	0.0020	28.27	0.44	0.53	0.00
凸4	119.9933	0.0000	0.8381	0.0027	0.0018	9.35	0.00	0.33	0.50
凹4	119.9943	5.3998	-0.8376	0.0019	0.0028	15.57	0.44	0.53	0.33
凸5	119.9991	11.6698	1.3393	0.0023	0.0020	7.56	0.44	0.50	0.50
凹5	119.9938	18.8091	-1.3396	0.0020	0.0020	9.00	0.33	0.53	0.00
凸6	120.0049	27.3396	2.1421	0.0020	0.0020	3.06	0.53	0.33	0.00
凹6	119.9924	37.2593	-2.1419	0.0020	0.0021	2.13	0.50	0.33	0.00
平均値	120.0080	-	0.0005	0.0021	0.0021	76.61	0.45	0.45	0.31

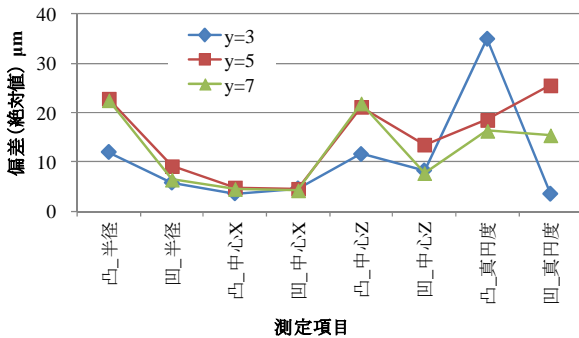


図6 丸形ゲージの偏差

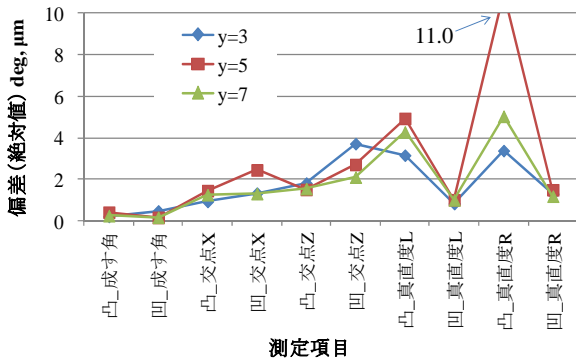


図7 角形ゲージの偏差

半径が小さい場合にサンプリング数が少なくかつ部分円真円度においても半径の大小で明確な差が生じていない。角形ゲージの標準偏差では測定要素が大きい程、成す角で明らかに標準偏差が小さく良好である。角度算出では

個々の直線の方向ベクトルが重要になり線の腕の長さが大きい程、その線を形成する点の個数が多くなり正確な方向ベクトルが決定できる。一方で線の腕の長さが短い測定要素の場合に成す角度のばらつきが大きくなった。測定の制限によりばらつきが大きくなる傾向が予想される。ここでの測定方法の場合はレーザースポット径が $2\mu\text{m}$ かつ対物レンズ50倍の効果から半径の大小で標準偏差に差が見られない。同様に標準偏差の中心 X、中心 Z、他の交点 X、交点 Z、真直度 L、真直度 R については測定要素の大小に起因する標準偏差の違いは見られなかった。図6に丸形ゲージの偏差、図7に角形ゲージの偏差を示す。Y軸方向の3水準毎に分離して図示した。特に1水準毎に凸6個、凹6個の計12個の結果を平均化しているがプラス値とマイナス値を加算して相殺されないように絶対値に変換してから平均値を算出した。そのため平均後の結果はすべてプラスで図示されている。標準値は各ゲージの“測定結果(2011年産総研)”を使用した。丸形ゲージで凸半径が3水準とも大きく最大値 $22.8\mu\text{m}$ となった。対して凹半径では最大値 $9.1\mu\text{m}$ となり凸測定で半径の偏差が大きくなる傾向が見られた。中心座標はZ方向で最大値 $21.8\mu\text{m}$ 、X方向で最大値 $4.8\mu\text{m}$ となりZ方向で偏差が大きい。

角形ゲージでは丸形ゲージと比較して偏差が非常に小さく、凸真直度Rの $11.0\mu\text{m}$ が特出して大きい、ほとんどが $4.0\mu\text{m}$ 以下となっていた。丸形ゲージとの大きな形状の違いは角形ゲージはすべてが直線で形成された要素であった。

4 結 言

非接触式形状測定機の誤差傾向を把握するために、異なる凹凸形状のゲージを利用して測定した結果、以下の結論が得られた。

- (1) ばらつきを評価した場合は、丸形ゲージの場合は測定要素の大小において標準偏差の違いは見られない。角形ゲージの場合は、特に成す角(deg)の算出において測定要素が小さい程、標準偏差が大きくなる傾向が見られた。
- (2) 偏差を評価した場合は、丸形ゲージが角形ゲージと比較して非常に偏差が大きくなった。特徴的なのは丸形ゲージの凸半径で偏差が大きい傾向が見られた。角形ゲージではほとんどが偏差 $4.0\mu\text{m}$ 以下となり、両者の違いは、角形ゲージがすべて直線で形成された要素であった。

謝 辞

本研究は、産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会の共同研究として行われた。実験を行うにあたり本共同研究に参加された NMIJ/AIST、公設試及び企業の研究員の方々には貴重なご指導を頂き、この場を借りて感謝を表す。