

# 万能投影機における測定の不確かさの算出について

機械材料科 機械スタッフ 木野浩成 大澤洋文 磯部賢二\*

## Estimation of Measurement Uncertainty with the Profile Projector

Hironari Kino, Hirofumi Osawa and Kenji Isobe\*

### 1. はじめに

万能投影機は、円の直径、2点間距離、2直線がなす角度等部品の形状を測定する装置である。工場等において加工された部品を迅速かつ簡便に検査できるので、多くの現場に導入され利用されている。測定は、X、Yステージ上に試料を載せ、試料に光を照射してスクリーンに映し出し、測定点の座標を装置に記憶させ、その測定点の移動量を計算させることで、長さ・角度等を測定する。

さて、測定結果の信頼性の指標として、測定結果がどれだけ真値に近いのかを示すために、1993年国際標準化機構等を含む7つの国際機関名で「計測における不確かさの表現ガイド」(Guide to expression of uncertainty in measurement:GUM)が発表された。

GUMにおける不確かさの定義は、「測定の結果に付随した、合理的に測定量に結びつけられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ」とされている。

そこで、セットリングを利用して測定用ジグを作製し、万能投影機を使用して直径を測定した場合、どの要因が、不確かさにどの程度寄与しているか検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 投影機の校正の不確かさの算出

投影機(ニコン(株):VB-24 計算装置付)の校正の不確かさを算出するため、ガラススケール(株)ミットヨ:HL3-250 18年10月校正済)を測定した。測定法は、以下のとおりである。ガラススケールは、図1のとおり、X軸に対して $\pm 45^\circ$ の角をなすように設置した。ガラススケールの0点の目盛線を基準として、0~150mmまで10mmごとに目盛線の左端を3点測定した。そして投影レンズの倍率を20、50、100倍と変えて、3日間測定した。

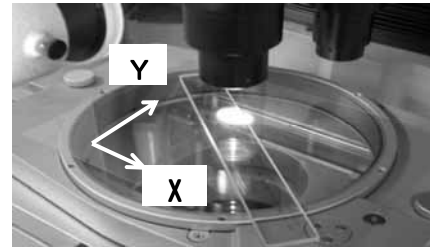


図1 ガラススケールの測定

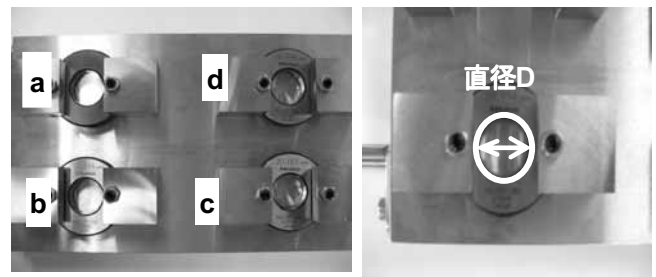


図2 測定に使用したジグ

#### 2.2 セットリングの直径測定

セットリング(株)ミットヨ:177シリーズ 鋼製)を図2のとおり数個を組み合わせ測定ジグを作成した。測定量は、各セットリングの直径Dである。測定手順は、以下のとおりである。測定ジグを恒温室(設定 $20^\circ\text{C}$ )に24時間置いて、室温にならす。なお、室温及び投影ランプ点灯時のセットリングの温度変化は、高精度サーミスタ温度計(TAKARA THERMISTOR(株):D642)を用いて測定した。

測定時には、反射照明用ランプのみを点灯し、投影レンズの倍率は20、50、100倍とした。測定は、3カ所の測定点が、セットリングの内径に沿って、正三角形になすようにして、セットリングa、b、c、dの直径Dを測定した。セットリングの測定は、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 、 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ の順で計10回、測定者は2名で、3日間測定した。

\*) 現 光電子科長

### 3. 結果・解析

#### 3.1 投影機の校正の不確かさの算出

投影機の校正の標準不確かさ  $u_s$  は、次の(1)式のとおり分解される。表1に測定結果を示す。

$$u_s^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 \quad (1)$$

$u_1$ : 測定の繰返しに起因する不確かさ

$u_2$ : ガラススケールの値と投影機の測定の不確かさに起因する不確かさ

$u_3$ : ガラススケールの不確かさ (L=150mm)  
(0.15 + 0.33 · L/1000)  $\mu\text{m}$  (k=2)

表1 投影機の校正の標準不確かさ  $u_s$

	20倍	50倍	100倍
$u_1$	3.46	2.02	1.60
$u_2$	9.24	9.24	4.62
$u_3$	0.199		
$u_s$	9.87	9.46	4.89

#### 3.2 直径測定における不確かさの算出

セットリングの直径測定のモデル式を(2)式とした。

$$D = D_1 - (D_1 \times a \times \theta) \quad (2)$$

D: セットリングの直径

$D_1$ : セットリングの測定値

a: セットリングの線膨張係数

$\theta$ : セットリングの温度20°Cからの偏差

(2)式に不確かさの伝播則を適用して、合成標準不確かさ  $u_c$  を求めると(3)式になる。

$$u_c^2 = (1-a)^2 u^2(D_1) + (D_1 \theta)^2 u^2(a) + (D_1 a)^2 u^2(\theta) \quad (3)$$

$u(D_1)$ : セットリングの直径測定の標準不確かさ

$u(a)$ : セットリングの線膨張係数の標準不確かさ

$u(\theta)$ : 温度測定の標準不確かさ

$u(a)$  および  $u(\theta)$  について、検討した結果を示す。

① セットリングの線膨張率の標準不確かさ:  $u(a)$

セットリングの線膨張係数 a は、JIS B 7506 ブロックゲージの線膨張係数  $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  と同じと考え、また矩形分布するものとみなして、

$u(a) = 5.77 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  とした。

② 温度測定の標準不確かさ:  $u(\theta)$

測定室の温度変化は  $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  以内であり、温度計の最小目盛りが  $0.01^\circ\text{C}$  であることから、標準不確かさ  $u(\theta)$  を  $1^\circ\text{C}$  とした。投影ランプ点灯時は、投影レンズの倍率ごとに温度上昇幅が異なり、倍率 20

倍の場合に、セットリングの温度上昇は最大  $0.5^\circ\text{C}$ 、倍率 100 倍の場合には、最大  $1.5^\circ\text{C}$  であった。

これらの結果を(3)式に適用し、 $u(D_1)$  は次の4因子に分解できることから、(3)式は(4)式のとおりになる。

$$u_c^2 = u^2(D_1) = u_s^2 + u_b^2(D_1) + u_M^2(D_1) + u_R^2(D_1) \quad (4)$$

$u_s$ : 投影機の校正の標準不確かさ

$u_b(D_1)$ : 測定日による標準不確かさ

$u_M(D_1)$ : 測定者による標準不確かさ

$u_R(D_1)$ : 繰返しによる標準不確かさ

そして分散分析プログラム ((独) 産業技術総合研究所: AIST-ANOVA) を利用して、セットリングの直径測定の結果から標準不確かさ  $u_b(D_1)$ 、 $u_M(D_1)$ 、 $u_R(D_1)$  を算出した。そして表1の  $u_s$  の値から、合成標準不確かさ  $u_c$  を計算して、結果を表2に示す。

表2 直径測定結果の標準不確かさ

	20倍	50倍	100倍
$u_b(D_1)$	0	0	0
$u_M(D_1)$	0	1.42	0.64
$u_R(D_1)$	4.45	2.05	1.74
$u_c$	10.8	9.75	5.25

なお拡張不確かさ U は、各投影倍率における合成標準不確かさ  $u_c$  を2倍することで、算出される。

### 4. まとめ

万能投影機によるセットリングの直径測定の拡張不確かさ U (k=2) は、以下のとおりとなった。

20倍  $21.6 \mu\text{m}$ 、50倍  $19.5 \mu\text{m}$ 、100倍  $10.5 \mu\text{m}$

拡張不確かさ U は、投影倍率が高いほど小さくなっており、倍率 50 倍と 100 倍では拡張不確かさがほぼ半分になることから、投影レンズの倍率に影響されていることが判った。

今回の測定では、投影機の校正の標準不確かさの値が、セットリングの直径測定の拡張不確かさ U に大きな影響を与えていた。より精度良く校正の不確かさが算出できるように、ガラススケール以外の手段による校正法を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 飯塚幸三: 計測における不確かさの表現ガイド, 日本規格協会(1996)
- 2) 田中秀幸: 不確かさ評価のための分散分析と回帰分析, 化学と工業, 58(7), 812-815(2005)