

ノート

長さ計測機器の校正における不確かさ評価

中西 正一^{*1)} 中村 弘史^{*2)} 樋口 英一^{*3)}

Uncertainty evaluation in calibration of length measurement equipment

Shoichi Nakanishi^{*1)}, Hiroshi Nakamura^{*2)}, Eiichi Higuchi^{*3)}

キーワード：校正，不確かさ

Keywords：calibration, uncertainty

1. はじめに

ISO9000 ファミリーや JNLA 制度等の普及により，測定結果の信頼性において計測機器のトレーサビリティは必要不可欠となってきている。計量法校正事業者登録制度 (JCSS) の階層化に伴い，現場で使用する計測機器にも JCSS 校正証明書が発行が可能である。トレーサビリティ確保のためには不確かさ評価が必要である。そこで本報告は，製造現場で多く使用されているノギスを，ブロックゲージを標準器として産技研西が丘本部精密測定室で行ったときの校正の不確かさを評価した。

2. 評価対象

2.1 標準器 ノギスの校正に使用する標準器は，25-200 mm の 8 個組，125-500 mm の 8 個組及び 600 mm でそれぞれ JIS⁽¹⁾ 1 級相当のブロックゲージを使用する。

2.2 対象ノギス JIS⁽²⁾ に規定されている最大測定長 600 mm までの M 形及び CM 形ノギスを対象とし，読取形式及び分解能をすべて含むものとする。本報告では，電子式デジタル表示で最小表示値 (分解能) 0.01 mm，最大測定長 600 mm のノギスを評価している。

3. 関数モデル

ノギスの器差 E は，次式⁽³⁾より求まる。

$$E = I - T + L_i \quad (1)$$

ここで， E は器差， I はノギスの指示値， T はブロックゲージの長さ， L_i は各種補正項である。ノギスの校正の合成標準不確かさ $u_c(E)$ は，(1) 式の関数モデルから次式により導くことができる。

$$u_c^2(E) = u^2(I) + u^2(T) + u^2(L_i) \quad (2)$$

ここで， $u(I)$ はノギスの指示値の標準不確かさ， $u(T)$ はブ

ロックゲージの長さの標準不確かさ， $u(L_i)$ は各種補正項の標準不確かさである。これらの成分の標準不確かさを算出し校正の不確かさ評価を行う。

4. 不確かさ評価

ノギスの校正の不確かさを以下のように評価した。

4.1 指示値の標準不確かさ $u(I)$ 指示値の標準不確かさを読み取り分解能と繰返し性/ランダム効果から評価した。

(1) 読み取り分解能 $u(l_1)$ 読み取り分解能として最小表示値の半値幅を限界値とする矩形分布として評価した。最小表示値 (分解能) が 0.01 mm の場合， ± 0.005 mm を限界値とする矩形分布として算出でき， $2.9 \mu\text{m}$ の結果を得た。

(2) 繰返し性/ランダム効果 $u(l_2)$ 繰返し性/ランダム効果としてアッベ (Abbe) の誤差，測定力の個人差やジョウの平面度・平行度などの影響で校正値にばらつきができる。そこで，以下に示す条件で測定した結果から評価した。

同測定者において，2 個のノギスを測定範囲の 6 箇所における繰返し 10 回の測定結果から標準偏差により評価した。測定結果から標準偏差により評価した結果， $5.3 \mu\text{m}$ の結果を得た。

異測定者 (3 名) において，測定範囲の 6 箇所における繰返し 5 回の測定結果から最大偏差を限界値とする矩形分布として評価した。測定結果から最大偏差 0.01 mm を限界値とする矩形分布から $5.8 \mu\text{m}$ の結果を得た。

上記及び から繰返し性/ランダム効果 $u(l_2)$ としては，次式より算出できる。

$$u(l_2) = \sqrt{\{5.3\}^2 + \{5.8\}^2} = 7.9 \mu\text{m} \quad (3)$$

(3) 指示値の標準不確かさ $u(I)$ の算出 (1) 及び (2) の結果から指示値の標準不確かさ $u(I)$ は，次式により算出できる。

$$u(I) = \sqrt{u(l_1)^2 + u(l_2)^2} = \sqrt{\{2.9\}^2 + \{7.9\}^2} = 8.5 \mu\text{m} \quad (4)$$

4.2 標準ブロックゲージの長さの標準不確かさ $u(T)$

標準ブロックゲージの長さの標準不確かさを標準器として

*1) 技術経営支援室

*2) 城東支所

*3) 城南支所

使用するブロックゲージの校正値の無補正及び寸法の経年変化から評価した。

(1) 校正値の無補正 $u(T_1)$ 一般的にノギスの校正では、ブロックゲージの寸法誤差の補正は時間等の節約のため省略することが多い。そこで、本報告においても寸法誤差の補正は省略し、補正しない分を不確かさに盛り込むことにした。JIS⁽¹⁾ に規定されている 1 級の寸公差 (600 mm では $\pm 3 \mu\text{m}$) を限界値とする矩形分布として算出でき、 $1.8 \mu\text{m}$ の結果を得た。

(2) 寸法の経年変化 $u(T_2)$ ブロックゲージを新規購入したため、過去の校正履歴からは算出できない。従って、JIS⁽¹⁾ に規定されている 1 級の寸法の安定度 (600 mm では $\pm 0.35 \mu\text{m}$) を限界値とする矩形分布として算出でき、 $0.2 \mu\text{m}$ の結果を得た。

(3) 標準ブロックゲージの長さの標準不確かさ $u(T)$ の算出 (1) 及び (2) の結果から標準ブロックゲージの長さの標準不確かさ $u(T)$ は、次式により算出できる。

$$u(T) = \sqrt{u(T_1)^2 + u(T_2)^2} = \sqrt{(1.8)^2 + (0.2)^2} = 1.9 \mu\text{m} \quad (5)$$

4.3 各種補正項の標準不確かさ $u(L_i)$ 各種補正項の標準不確かさとして熱的効果を次式⁽⁴⁾ から評価した。

$$u^2(L_{\text{thermal}}) = L^2 \theta^2 u^2(\delta\alpha) + L^2 \alpha^2 u^2(\delta\theta) + L^2 u^2(\theta) u^2(\delta\alpha) \quad (6)$$

ここで、 L はブロックゲージの長さ、 α はノギスの熱膨張係数、 θ はブロックゲージの熱膨張係数、 $\delta\alpha$ はノギスの 20 からの温度偏差、 $\delta\theta$ はブロックゲージの 20 からの温度偏差、 θ はブロックゲージとノギスの熱膨張係数の差、 $\delta\alpha$ はブロックゲージとノギスの温度差である。(6) 式の $u^2(\delta\alpha)$ 、 $u^2(\delta\theta)$ 及び $u^2(\theta)$ を算出することにより、この標準不確かさを評価することができる。また、本報告ではノギスとブロックゲージは同材質の鋼製で、熱膨張係数は $(10.8 \pm 1) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ としている。

(1) ブロックゲージとノギスの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$ ブロックゲージとノギスの材質による熱膨張係数の最大偏差を限界値とする矩形分布として算出でき、 $7.22 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ の結果を得た。

(2) ブロックゲージとノギスの温度差 $u(\delta\theta)$ 温度慣らし後、実測により温度差を求め、その温度差を限界値とする矩形分布として算出でき、 0.09 の結果を得た。

(3) ノギスの 20 からの温度偏差 $u(\theta)$ 産技研精密測定室の温度環境を 1 年間実測し、 0.26 の結果を得た。

(4) 各種補正項の標準不確かさ $u(L_i)$ の算出 (1)、(2) 及び (3) の結果から (6) 式を使って熱的効果 $u(L_{\text{thermal}})$ を算出した結果を次式に示す。

$$\begin{aligned} u^2(L_{\text{thermal}}) &= (600\text{mm})^2 (0.1)^2 (7.22 \times 10^{-7} \text{K}^{-1})^2 \\ &+ (600\text{mm})^2 (10.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1})^2 (0.09)^2 \\ &+ (600\text{mm})^2 (0.26)^2 (7.22 \times 10^{-7} \text{K}^{-1})^2 \\ &= 0.7 \mu\text{m} \quad (7) \end{aligned}$$

5. 評価結果

表 1 にノギスの各成分での不確かさ評価結果を不確かさバジェット表として示す。

表 1. ノギス (600 mm) 校正の不確かさバジェット表
(分解能 : 0.01 mm)

不確かさ成分	各成分の	感度係数	u_c への寄与 (μm)	タイプ
	不確かさ			
ノギスの指示値の標準不確かさ $u(I)$		1	8.5	
読み取り分解能 $u(I_1)$	2.9 μm			B
繰返し性/ランダム効果 $u(I_2)$	7.9 μm			A
標準BGの長さの標準不確かさ $u(T)$		1	1.9	
校正値の無補正 $u(T_1)$	1.8 μm			B
BG寸法の経年変化 $u(T_2)$	0.2 μm			B
各種補正項による標準不確かさ $u(L_i)$				
熱的効果 $u(L_{\text{thermal}})$			0.7	
(a) ノギスとBGの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$	$7.22 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$L\theta$	0.05	B
(b) ノギスとBGの温度差 $u(\delta\theta)$	0.09	$L\alpha_s$	0.62	B
(c) ノギスの温度 20 からの偏差 $u(\theta)$	0.26	$Lu(\delta\alpha)$	0.13	B
合成標準不確かさ			$u_c(D) = 8.8 \mu\text{m}$	
拡張不確かさ ($k=2$)			$U = 0.02 \text{mm}$	

6. 不確かさの合成

各成分の合成標準不確かさは、表 1 より $8.8 \mu\text{m}$ となった。また拡張不確かさ U は、合成標準不確かさ $u_c(E)$ と包含係数 k から次式により求める。

$$U = k \times u_c(E) \quad (8)$$

計量法トレーサビリティ制度などでは一般的に信頼の水準が 95 % となる $k=2$ が使われている。従って、ここでは包含係数を 2 として、拡張不確かさは 0.02mm となった。

7. まとめ

今回、ノギスの校正における不確かさ評価を行った。結果として最大測定長 600 mm、最小表示値 (分解能) 0.01mm のノギスは拡張不確かさで 0.02mm ($k=2$) を得た。

産技研では、「電気」区分及び「温度」区分の JCSS を取得しているが、今回の結果で「長さ」区分においても将来的に JCSS 取得が可能である。また、不確かさを付与した信頼性の高い校正結果を供給することで中小企業の品質管理や製品の品質保証のサポートに役立つものと期待される。

(平成 21 年 7 月 9 日受付, 平成 21 年 10 月 6 日再受付)

文 献

- (1) JIS B 7506, ブロックゲージ (2004)
- (2) JIS B 7507, ノギス (1993)
- (3) 社団法人日本計量振興協会: 「不確かさの事例集」平成 15 年 1 月 (第一版)
- (4) 日本規格協会: ISO 国際文書「計測における不確かさの表現のガイド」(1996)