ノート

ハイトゲージ校正の不確かさ算出

西村　信司＊1）　　中西　正一＊1）

Uncertainty evaluation of a height gauge

Shinji Nishimura[*1),] Shoichi Nakanishi[*1)]

キーワード：校正，不確かさ，ハイトゲージ
Keywords：Calibration, Uncertainty, Height gauge

1.　はじめに

ISO 9000 ファミリーや JNLA 制度の普及により，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。都産技研においても長さ測定機器の器差測定を行っている。トレーサビリティ確保のためには不確かさ評価を行う必要がある。中西らの報告[(1)]によってノギスに不確かさを付与した証明書の発行が可能となった。そこで都産技研幾何形状測定室で，ブロックゲージを標準器としてハイトゲージ（以下 HG）の校正を行ったときの校正の不確かさを評価したので報告する。

2.　評価対象

2．1　標準器　　HG の校正に使用する標準器は JIS 1 級相当のブロックゲージ[(2)]（以下 BG）100-600 mm を用い，600 mm 以上の測定には 2 つの BG を連結して校正に用いた。また，定盤には JIS 1 級の精密定盤[(3)]を用いた。

2．2　評価対象　　JISB 7517[(4)]に規定されている HG で最大測定長 1000 mm，測定表示分解能 0.01 mm の電子式デジタル表示のものを対象とした。評価点は 0 mm から 1000 mm までの間で 100 mm 毎の 11 点とした。

3.　校正の不確かさ評価

3．1　関数モデル　　HG の校正値は次式[(5)]で表される。

$$D = I - T + L_i \tag{1}$$

このとき，D は HG の校正値，I は HG の指示値，T は標準 BG の長さ，L_i は各補正項である。校正の合成標準不確かさ $u_c(D)$は（1）式の関数モデルから次式[(5)]により導くことができる。

$$u_c{}^2(D) = u^2(I) + u^2(T) + u^2(L_i) \tag{2}$$

ここで，$u(I)$ は HG 指示値の不確かさ，$u(T)$は BG の長さの不確かさ，$u(L_i)$は各補正項の不確かさである。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。

3．2　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 $u(I_1)$　　読み取り分解能として最小表示値の半値を限界値とする矩形分布として評価した結果。最小表示値が 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 μm の結果を得た。

（2）　繰返し性/ランダム効果 $u(I_2)$　　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，スクライバの平面度や定盤との平行度などの影響で測定値はばらつく。そこで，以下に示す条件で測定した結果から評価した。

①同一測定者において，測定範囲の 11 か所における繰返し 15 回の測定結果から，3 回繰返し測定における標準偏差を算出するために測定値の標準偏差を√3 で除し，5.1 μm の結果を得た。

②ISO/IEC 17025 では校正者は校正する測定機に対しての熟練を求められている。本報告では異測定者による測定は行わず，同一測定者での測定結果の最大差を異測定者による測定の最大偏差と仮定した。最大差 0.04 mm の半値を矩形分布で評価し、11.6 mm の結果を得た。

上記①及び②より，繰返し性/ランダム効果 $u(I_2)$を次式より得た。

$$u(I_2) = \sqrt{(5.1)^2 + (11.6)^2} = 12.7\ \mu\mathrm{m} \tag{3}$$

（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は次式より算出できる。

$$u(I_2) = \sqrt{\left(u(I_1)\right)^2 + \left(u(I_2)\right)^2} = \sqrt{(2.9)^2 + (12.7)^2} = 13.1\ \mu\mathrm{m} \tag{4}$$

3．3　標準 BG の長さの標準不確かさ *u(T)*　　標準 BG の長さの標準不確かさを標準器として使用する BG の校正値の無補正及び寸法の経年変化，さらに BG の連結によるものから評価した。

（1）　校正値の無補正 $u(T_1)$　　一般的に HG の校正では，BG 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 B 7506 [(2)]に規定されている 1 級の寸法公差を限界値とする矩

事業名　技術支援事業
＊1）高度分析開発セクター

形分布として算出する。ここで最大測長長は BG の寸法を超えているため，1000 mm の測定は 600 mm と 400 mm の BG を，長尺 BG における連結用の穴[2]と市販の治具を用いて連結する。それぞれの BG の寸法公差（600 mm では±3 µm，400 mm では±2.2 µm）を足し合わせ 5.2 µm を限界とする矩形分布として算出し 3.0 µm の結果を得た。

（2） 寸法の経年変化 $u(T_2)$　　JIS B 7506[2]により規定されている寸法の安定度（600 mm では±0.35 µm）を限界値とする矩形分布として算出でき，0.2 µm の結果を得た。

（3） BG の連結の影響 $u(T_3)$　　200 mm, 300 mm 及び 500 mm の BG を用いて BG 連結の影響を評価した。連結は指示値に影響を与えない範囲であるものと確認し，表示分解能 0.01 mm の半値である 0.005 mm を限界値とした矩形分布として評価し，2.9 µm の結果を得た。

（4） 標準 BG 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 BG の長さの標準不確かさは次式により算出できる。

$$u(T) = \sqrt{\left(u(T_1)\right)^2 + \left(u(T_2)\right)^2 \times 2 + \left(u(T_3)\right)^2} = 4.2\ \mu\mathrm{m} \quad (5)$$

3．4　各種補正項の標準不確かさ

（1） 熱的効果 $u(L_{thermal})$　　各補正項の標準不確かさとして，まず熱的効果を次式[6]から評価した。

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

ここで L は BG の長さ，α は HG の線膨張係数，α_s は BG の線膨張係数，θ は HG の 20 ℃からの温度偏差，θ_s は BG の 20 ℃からの温度偏差，$\delta\alpha$ は HG と BG の熱膨張係数差，$\delta\theta$ は BG と HG 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，BG と HG は同材質の鋼製で，熱膨張係数は（10.8±1）×10^{-6} K^{-1} としている。

①BG と HG の熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$　　BG と HG 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，8.17×10^{-7} K^{-1} の結果を得た。

②BG と HG の温度差 $u(\delta\theta)$　　十分に温度慣らし後の BG と HG の温度差は 0.5 ℃を超えない範囲であると予想できる。このため，BG と HG の温度差を 0.5 ℃を限界値と仮定した矩形分布として算出した。結果として 0.29 ℃を得た。

③HG の 20 ℃からの温度偏差 $u(\theta)$　　都産技研幾何形状測定室の温度環境は 20±0.5 ℃の仕様である。温度を 2 週間測定した結果，仕様範囲内であることを確認した。十分に温度慣らしした，HG の使用後の温度変化を考慮すると，±0.1 ℃範囲を超えないと仮定して 0.59 ℃の結果を得た。

④熱的効果補正項の標準不確かさ $u(I_{thermal})$の算出　①，②及び③の結果から（6）式を用い，熱的効果を算出した結果を字式に示す。

$$\begin{aligned} u^2(L_{thermal}) &= (1000\ mm)^2(0.5℃)^2(8.17\times10^{-7}\ ℃^{-7})^2 \\ &+ (1000\ mm)^2(10.8\times10^{-6}℃^{-1})^2(0.29℃)^2 \\ &+ (1000mm)^2(0.59\ ℃)^2(8.17\times10^{-7}\ ℃^{-7})^2 = 0.0102\ \mu m^2 \\ \mathrm{u}(L_{thermal}) &= 3.2\ \mu m \end{aligned} \quad (7)$$

（2） 定盤の平面度 $u(L_{flat})$　　校正に用いた定盤は新規購入したもので，検査証が添付されている。この平面度は 10 µm であり JIS 1 級の平面度許容値を満たしている。この検査証より定盤の平面度による標準不確かさは±5 µm を限界値とする矩形分布と考え，2.9 µm の結果を得た。

3．5　評価結果及び不確かさの合成

表 1 に HG 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.　HG 校正の不確かさバジェット表

不確かさ成分	各成分の不確かさ	感度係数	uc への寄与(µm)	タイプ
指示値の標準不確かさ $u(I)$		1	13.1	
読み取り分解能 $u(I_1)$	2.9 µm			B
繰返し性/ランダム効果 $u(I_2)$	12.7 µm			A
標準 BG の長さの標準不確かさ $u(T)$		1	4.2	
校正値の無補正 $u(T_1)$	3.0 µm			B
寸法の経年変化 $u(T_2)$	0.2 µm			B
BG の連結の影響 $u(T_3)$	2.9 µm			B
各種補正項の標準不確かさ			4.4	
熱的効果 $u(L_{thermal})$			3.3	
BG とハイトゲージの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$	8.17×10^{-7} ℃$^{-1}$	$L\theta$	(0.4)	B
BG とハイトゲージの温度差 $u(\delta\theta)$	0.29 ℃	$L\alpha$	(3.2)	B
ハイトゲージの 20 ℃からの温度偏差 $u(\theta)$	0.59 ℃	$Lu(\delta\alpha)$	(0.5)	B
定盤の平面度 $u(L_{flat})$	2.9 µm	1	2.9	B
合成標準不確かさ			u_c^2(D) = 14.5 µm	
拡張不確かさ(k=2)			U = 0.03 mm	

表 1 より各成分の合成標準不確かさは，14.5 µm となった。また，包含係数 k を k=2 としたときの拡張不確かさは 0.03 mm となった。拡張不確かさは測定分解能を超える範囲であり，測定分解能の約 3 倍の値となっている。

4.　まとめ

今回，HG の校正における不確かさ評価を行った。最大測定長 1000 mm，最小表示分解能 0.01 mm の HG は拡張不確かさで 0.03 mm（k=2）の結果を得た。

本報告で HG の不確かさ評価手法が確立できた。今後さらなる評価を行うことで，不確かさが低減でき「長さ」区分の登録及び範囲拡大に役立つものと期待できる。

（平成 24 年 5 月 18 日受付，平成 24 年 8 月 10 日再受付）

文　　献

（1）中西正一，中村弘史，樋口英一：「長さ計測機器の校正における不確かさ評価」，東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 4, pp. 68-69 (2009)
（2）日本規格協会：「JIS B 7506　ブロックゲージ」，(2004)
（3）日本規格協会：「JIS B 7513　精密定盤」，(1992)
（4）日本規格協会：「JIS B 7517　ハイトゲージ」，(1993)
（5）製品評価技術基盤機構：「JCSS 不確かさ見積もりに関するガイド(長さ(マイクロメータ，ノギス及びハイトゲージ))」，(2011)
（6）日本規格協会：ISO 国際文書「計測における不確かさの算出のガイド」，(1996)