JCSS
Japan Calibration
Service System

JCSS 不確かさ見積もりに関するガイド

登録に係る区分：長さ
校正手法の区分の呼称：一次元寸法測定器
種類：マイクロメータ、ノギス及びハイトゲージ

第 5 版

（JCG201S51—05）

改正：2026 年 4 月 1 日

独立行政法人製品評価技術基盤機構
適合性評価推進センター　認定センター

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

目 次

事例 1 マイクロメータ.....3
事例 2 ノギス.....9
事例 3 ハイトゲージ.....13

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

事例１　マイクロメータ

（注）本事例は、不確かさの見積もりの一事例を示したものであり、実際には校正事業者は諸条件を考慮して見積もりを行うこと。また、不確かさの成分ごとに見積もられた数値は、校正事業者自らがその根拠を示せることが必要である。

１．測定の概要

測定範囲 0～25 mm、シンブル目量 0.01 mm の外側マイクロメータの校正値を、JIS１級相当の精度をもつブロックゲージを標準として校正する場合の不確かさを求める。校正室の空調は簡易一般空調なので、室温は季節により異なるが、年間を通じては 20 ℃～26 ℃範囲に保たれており、校正中の気温変化は 1 ℃/ｈ以下である。

GUM ガイドでは観測結果に対して、系統効果による補正を施した後の測定値のばらつきを評価することが求められているが、現場の校正では時間とコストの節約のため、補正は省略されることが多いので、これを前提として評価を行う。

２．関数モデル

マイクロメータの校正値 D は、次式で示される。

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

ここで D は校正値、I はマイクロメータの指示値、T は標準ブロックゲージの長さ、L_i は各種の各種の補正項である。校正の合成標準不確かさ $u_c(D)$は次式から導かれる。

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

ここで、$u(I)$はマイクロメータの指示値の不確かさ、$u(T)$はブロックゲージの長さの不確かさ、$u(L_i)$は各種補正項の標準不確かさである。以下これら各成分の標準不確かさの評価を行うこととする。

３．各成分の標準不確かさの評価

３．１ マイクロメータの指示値の標準不確かさ：$u(I)$

① 読み取りの分解能：$u(I_1)$

シンブルの最小目盛は 0.01 mm であるが、その 1/5 (2 μm)まで目測で読む事ができるのでその半分の±1 μm を読取の限界とする矩形分布と考えると、標準不確かさは、

$$u(I_1) = (1\ \mu\text{m}) / \sqrt{3} \ = 0.58\ \mu\text{m}$$

である。

② 繰返し性/ランダム効果：$u(I_2)$

測定力や熱動揺の小変動のようなランダムな影響は、マイクロメータの読みに不確かさを引き起こす。この標準不確かさを決定するための一つの方法は、マイクロメータの測定範囲の各点において、反復を含めて多くの独立な測定を繰返してその標準偏差を計算することである。20 回以上の繰返し測定の結果から、

$$u(I_2) = 0.52\ \mu\text{m}$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

が得られた。

③ $u(I)$の決定

①と②の結果から、

$$u(I) = [\, u^2(I_1) + u^2(I_2)\,]^{1/2} = [(0.58\ \mu m)^2 + (0.52\ \mu m)^2\,]^{1/2}$$
$$= 0.78\ \mu m$$

と見積もりことができる。

３．２ 標準ブロックゲージの長さの標準不確かさ：$u(T)$

① 校正値の無補正：$u(T_1)$

マイクロメータの校正に当たっては、ブロックゲージの寸法誤差（通常微小値）の補正は通常省略される。ブロックゲージの実寸法は、JIS 規格 1 級の寸法公差(25 mm までは±0.3 μm 以内)の範囲にあることが判っていれば、校正値の無補正による標準不確かさは、±0.3 μm を限界とする矩形分布として、

$$u(T_1) = (0.3\ \mu m) / \sqrt{3} \ = 0.17\ \mu m$$

が得られる。

② 標準ブロックゲージの校正：$u\,(T_2)$

標準ブロックゲージの校正証明書には、各ブロックゲージの校正値とその拡張不確かさが記載されている。拡張不確かさは包含係数 $k = 2$ で 0.08 μm と記されている。

したがって、

$$u(T_2) = (0.08\ \mu m) / 2 = 0.04\ \mu m$$

である。

③ ブロックゲージの寸法の経年変化：$u(T_3)$

校正に用いるブロックゲージは新品で校正経歴がなく、購入時の校正値のみが既知であるので、変化量の許容値 $\pm(0.05 + 0.0005\, L_n)$ μm/年（L_n は呼び寸法 mm）を限界値とする矩形分布と仮定し、校正周期を二年とすると（JIS 1 級ブロックゲージの寸法の安定度の規定から推定）、

$$u(T_3) = [2 \times (0.05 + 0.0005 \times 25)\ \mu m] / \sqrt{3} \ = 0.07\ \mu m$$

である。

④ $u(T)$の決定

JIS 規格 1 級の寸法許容差の判定に校正の不確かさが含まれると記載されているので、$u(T_2)$は計算に含めずに①及び③の結果から、

$$u(T) = [\, u^2(T_1) + u^2(T_3)\,]^{1/2} = [\, (0.17\ \mu m)^2 + (0.07\ \mu m)^2\,]^{1/2}$$
$$= 0.18\ \mu m$$

である。もし、規格等に校正の不確かさが含まれていない場合や不明な場合は、①と②及び③の結

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

果から、

$$u(T) = [\, u^2(T_1) + u^2(T_2) + u^2(T_3)]^{1/2}$$

で求める。

３．３ 各種補正項による標準不確かさ：$u(L_i)$

① 熱的効果：$u(L_{thermal})$

長さ計の校正における熱的効果による標準不確かさ $u(L_{thermal})$は、GUM の付属書 H の H.1.2 より導かれた次式によって表わすことができる。

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\theta^2 u^2\,(\delta\alpha) + L^2\alpha_S^2 u^2\,(\delta\theta) + L^2 u^2\,(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (3)$$

ここで L はブロックゲージの長さ、α と α_S はそれぞれマイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数、θ と θ_S はそれぞれマイクロメータとブロックゲージの 20 ℃からの温度偏差、$\delta\theta=\theta-\theta_S$、$\delta\alpha=\alpha-\alpha_S$ である。(3)式は、$\delta\theta=0$ 及び $\delta\alpha=0$ という仮定のもとで導かれた式である。

さらに、実際の校正作業では熱膨張補正を行わなず θ を 0 とみなし、その平均的な偏差（かたより）は不確かさ成分に含めるため、

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\alpha_S^2 u^2\,(\delta\theta) + L^2 u^2\,(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (4)$$

により熱的効果による標準不確かさ $u(L_{thermal})$の不確かさを求める。

a) マイクロメータとブロックゲージの温度差：$u(\delta\theta)$

測定に先立ちマイクロメータとブロックゲージは定盤上で十分に温度ならしを行い、手袋を用いて作業を行うので測定中の両者の温度は±0.2 ℃の範囲内で等しいことが確かめられている。従って両者の温度差の標準不確かさは、±0.2 ℃を限界値とする矩形分布と考える。さらに、この温度差測定そのものの標準不確かさとして、使用した 2 本の温度計個々の標準不確かさの二乗和（同じ温度計の場合は、温度計校正の標準不確かさの$\sqrt{2}$倍）も考慮する。ここでは、各温度計の校正証明書の拡張不確かさは k=2 で 0.03 ℃であったとすると、

$$u(\delta\theta) = [\, (0.2\ ℃/\sqrt{3}\,)^2 + 2\times(0.03\ ℃/2)^2]^{1/2} = 0.12\ ℃$$

である。

（参考）温度計を自己校正して使用する場合及び温度測定のデータ数（自由度に係わる部分）は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

b) マイクロメータの温度の 20 ℃からの偏差値：$u(\theta)$

校正室の温度の範囲は、20 ℃から 26 ℃の範囲に保たれているので、温度偏差 θ の年間変動は 3 ℃±3 ℃であり、中心値 3 ℃で±3 ℃を限界値とする矩形分布と考えることができる。したがって、マイクロメータの温度の 20 ℃からの偏差値は、温度測定に使用した温度計の不確かさ（校正証明書の拡張不確かさ(k=2)で 0.03 ℃）も考慮し、

$$u(\theta) = [\, (3\ ℃)^2 + (3\ ℃\ /\sqrt{3}\,)^2 + (0.03\ ℃/2)^2]^{1/2} = 3.46\ ℃$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

と見積もることができる。

c) マイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数の差：$u(\delta\alpha)$

マイクロメータとブロックゲージは両者とも鋼系統の金属で、その熱膨張係数の値は$(11.5\pm1)\times10^{-6}\,\mathrm{K^{-1}}$の範囲とされている。したがってそれぞれの熱膨張係数の標準不確かさは　$\pm1\times10^{-6}\,\mathrm{K^{-1}}/\sqrt{3}$であり、2 つの熱膨張係数差の標準不確かさは、

$$u(\delta\alpha)=\sqrt{2}\times(1\times10^{-6}\,\mathrm{K^{-1}})/\sqrt{3}\ =8.17\times10^{-7}\,\mathrm{K^{-1}}$$

である。

（参考）マイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数が異なる場合は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

L = 25 mm として、以上の結果を(4)式に代入して計算すると熱的効果による標準不確かさ $u(L_{\mathrm{thermal}})$は、

$$\begin{aligned}u^2(L_{\mathrm{thermal}}) &= L^2\alpha_S^2\,u^2(\delta\theta)+L^2\,u^2(\theta)\,u^2(\delta\alpha)\\ &= (25\ \mathrm{mm})^2\,(11.5\times10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}})^2\,(0.12\ ℃)^2+(25\ \mathrm{mm})^2\,(3.46\ ℃)^2\,(8.17\times10^{-7}\,\mathrm{K^{-1}})^2\\ &= 6.184\times10^{-9}\,\mathrm{mm^2}\end{aligned}$$

$$u(L_{\mathrm{thermal}})=0.08\ \mu\mathrm{m}$$

と見積もることができる。

② 幾何学的効果：$u(L_{\mathrm{geometric}})$

幾何学的効果はマイクロメータの測定面間（アンビル側とスピンドル側）の平行度と平面度から生じる。この効果はゼロと見積られるが、この見積もりにはある不確かさがある。測定範囲が 25 mm の場合、規格における測定面の平面度と平行度の許容値はそれぞれ 0.6 μm および 2 μm である。$L_{\mathrm{geometric}}=0$ の限界値は、過去の実験検証の結果から±0.25 μm と見積もられるが、3.1 項のマイクロメータの指示値の不確かさに含まれると考えられるので、この不確かさは、ここでは見積もらない。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

３．４ 合成標準不確かさ

上記の結果から表１の不確かさ成分ごとの標準不確かさが得られる。

表 1 マイクロメータ校正の不確かさの成分ごとの標準不確かさ一覧

マイクロメータ校正の不確かさ成分	各成分の不確かさ	感度係数	$u(D)$への寄与 (μm)	タイプ
ﾏｲｸﾛﾒｰﾀの指示値の標準不確かさ $u(I)$	0.78 μm	1	0.78	
① 読み取りの分解能 $u(I_1)$	0.58 μm			B
② 繰返し性/ランダム効果 $u(I_2)$	0.52 μm			A
標準ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの長さの標準不確かさ $u(T)$	0.18 μm	1	0.18	
① 校正値の無補正 $u(T_1)$	0.17 μm			B
② ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの寸法の経年変化 $u(T_3)$	0.07 μm			B
各種補正項による標準不確かさ $u(L_i)$				
① 熱的効果 $u(L_{\text{thermal}})$			0.08	
1) ﾏｲｸﾛﾒｰﾀとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの温度差 $u(\delta\theta)$	0.12℃	$L\alpha_S$	0.04	B
2) ﾏｲｸﾛﾒｰﾀの温度の 20 ℃からの偏差値 $u(\theta)$・	3.46 ℃・	L	0.07	B
ﾏｲｸﾛﾒｰﾀとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$	8.17×10^{-7} K^{-1}			
② 幾何学的効果 $u(L_{\text{geometric}})$	-	-	-	-
二乗和 $u_c^2(D) = 0.6472$ μm^2				
合成標準不確かさ $u_c(D) = 0.804$ μm				

（感度係数の計算に用いた数値は次のとおり。L: 25 mm、α_S: 11.5×10^{-6} K^{-1}）

４．拡張不確かさの決定

得られた合成標準不確かさに包含係数 k=2 を乗じて、マイクロメータ校正の拡張不確かさを得る。

$$\begin{aligned} U(k{=}2) &= 2\times u_c(D) \\ &= 2\times 0.804\ \mu\text{m} \\ &= 1.6\ \mu\text{m} \end{aligned}$$

５．補足

本事例は測定範囲が 0～25 mm のマイクロメータの場合なので基点設定は簡単であるが、25 mm 以上の場合は基点設定、熱的効果、ビームのたわみ、マイクロメータの姿勢などによる不確かさが徐々に増加するので、これらの成分の不確かさの評価を適切に行う必要がある。

６．有効自由度の取扱い

６．１ 一般指針

信頼の水準約 95 %対応する拡張不確かさの決定においては、原則的に以下の考え方を採用してよい。なお、この一般指針は、事例２ノギス及び事例３ハイトゲージにおいても同様である。

・有効自由度 ν_{eff} が 9 以上ある場合は、信頼の水準約 95 %を持つ区間の包含係数 k として 2 が採用可能。(JCSS 校正方法と不確かさに関する表現(JCG200) 5 項)

・タイプ B 評価された標準不確かさの自由度 ν_i は、∞(無限大)と仮定可能。(GUM 付属書 G.4.3)

（参考）各要因の標準不確かさの自由度 ν_i が全て 9 以上の場合は、有効自由度 ν_{eff} が 9 以上となることが明らかであり、Welch-Satterthwaite の式（GUM 付属書 G.6.4）で有効自由度 ν_{eff} を計算する必要はない。ただし、不確かさ評価文書には、この考え方により信頼の水準約 95 %を持つ区間の包含係数 k を 2 とした旨の表明は必要である。

６．２ 有効自由度 ν_{eff} の計算

標準不確かさの自由度 ν_i に 9 未満のものがあり、その標準不確かさが合成標準不確かさに対して支配的に寄与する場合は、Welch-Satterthwaite の式（GUM 付属書 G.6.4）により有効自由度 ν_{eff} を計算する。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

（参考）「支配的に寄与する」の意味については、「JCSS 校正方法と不確かさに関する表現(JCG200)」の５．７注記を参照のこと。

本事例で紹介している「二次項（(4)式右辺第 2 項）」及び「かたよりを補正せずに不確かさに考慮した場合（$u(\theta)$に考慮した 20 ℃からの平均偏差）」の有効自由度の計算方法例については、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

事例２　ノギス

（注）本事例は、不確かさの見積もりの一事例を示したものであり、実際には校正事業者は諸条件を考慮して見積もりを行うこと。また、不確かさの成分ごとに見積もられた数値は、校正事業者自らがその根拠を示せることが必要である。

１．測定の概要

最大測定長 150 mm、副尺読み 1/20 mm の M 形ノギスの校正値を、JIS１級相当の精度をもつブロックゲージを標準として校正する場合の不確かさを求める。校正室の空調は簡易一般空調なので、室温は季節により異なるが、年間を通じては 20 ℃～26 ℃範囲に保たれており、校正中の気温変化は 1 ℃/ｈ以下である。

GUM ガイドでは観測結果に対して、系統効果による補正を施した後の測定値のばらつきを評価することが求められているが、現場の校正では時間とコストの節約のため、補正は省略されることが多いので、これを前提として評価を行う。

２．関数モデル

ノギスの校正値 D を表わす関数モデルは、次式で表わされる。

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

ここで D はノギスの校正値、I はノギスの指示値、T は標準ブロックゲージの長さ、L_i は各種の補正項である。校正の合成標準不確かさ $u_c(D)$は次式から導かれる。

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

ここで、$u(I)$はノギスの指示値の不確かさ、$u(T)$はブロックゲージの長さの不確かさ、$u(L_i)$は各種補正項（本事例では熱的効果 $u(L_{thermal})$）の標準不確かさである。以下これら各成分の標準不確かさの評価を行う。

３．各成分の標準不確かさの評価

３．１ ノギスの指示値の標準不確かさ：$u(I)$

① 読み取りの分解能：$u(I_1)$

副尺の最小目盛は 0.05 mm なので、±0.025 mm を限界値とする矩形分布と考えると、標準不確かさは次の値が得られる。

$$u(I_1) = (25\ \mu m) / \sqrt{3} = 14.4\ \mu m$$

② 繰返し性/ランダム効果：$u(I_2)$

測定力、熱の流れ、ジョウの平面度や平行度、Abbe の誤差などの小変動によるランダムな影響は、ノギスの読みにばらつきを引き起こす。この不確かさを決定するための一つの方法は、ノギスの測定範囲の各点において、反復を含めて多くの独立な測定を繰返してその標準偏差を求めることである。反復 2、測定者２、測定箇所 4、繰返し２の実測データの分散分析の結果から、読みのばらつきは測定値に対して±0.050 mm 以下であったので、それを限界値とする矩形分布として次の値が得られた。

$$u(I_2) = (50\ \mu m) / \sqrt{3} = 28.9\ \mu m$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

③ $u(I)$の決定

①と②の結果から次の値となる。

$$u(I) = [\, u^2(I_1) + u^2(I_2)\,]^{1/2} = [\, (14.4\ \mu m)^2 + (28.9\ \mu m)^2\,]^{1/2}$$
$$= 32.3\ \mu m$$

３．２ 標準ブロックゲージの標準不確かさ：$u(T)$

① 校正値の無補正：$u(T_1)$

ノギスの校正に当たっては時間と経費の節約のため、ブロックゲージの寸法誤差（通常微小値）の補正は通常省略される。ブロックゲージの実寸法は、JIS 規格 1 級の寸法公差(150 mm では±0.8 μm 以内)の範囲にあることが判っている。そこで±0.8 μm を限界とする矩形分布として、

$$u(T_1) = (0.8\ \mu m) / \sqrt{3} \ = 0.46\ \mu m$$

が得られる。

② 標準ブロックゲージの校正：$u\,(T_2)$

標準ブロックゲージの校正証明書には、各ブロックゲージの校正値とその拡張不確かさが記載されている。拡張不確かさは包含係数 $k = 2$ で 0.10 μm と記されている。したがって、

$$u(T_2) = (0.10\ \mu m) / 2 = 0.05\ \mu m$$

である。

③ ブロックゲージの寸法の経年変化：$u(T_3)$

校正に用いるブロックゲージは新品で校正経歴がなく、購入時の校正値のみが既知であるので、変化量の許容値 $\pm(0.05 + 0.0005\, L_n)$ μm/年（L_n は呼び寸法 mm）を限界値とする矩形分布と仮定し、校正周期を二年とすると（JIS １級ブロックゲージの寸法の安定度の規定から推定）、

$$u(T_3) = [2 \times (0.05 + 0.0005 \times 150)\ \mu m] / \sqrt{3} \ = 0.14\ \mu m$$

とする。

④ $u(T)$の決定

ブロックゲージ JIS １級の寸法許容差の判定には校正の不確かさが含まれていると記載されているので、$u(T_2)$は計算に含めずに、①及び③の結果から、

$$u(T) = [\, u^2(T_1) + u^2(T_3)\,]^{1/2} = [\, (0.46\ \mu m)^2 + (0.14\ \mu m)^2\,]^{1/2}$$
$$= 0.5\ \mu m$$

となる。もし、規格等に校正の不確かさが含まれていない場合や不明な場合は、①、②及び③の結果から、

$$u(T) = [\, u^2(T_1) + u^2(T_2) + u^2(T_3)]^{1/2}$$

で求める。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

３．３ 熱的効果の標準不確かさ：$u(L_{\text{thermal}})$

長さ計の校正における熱的効果による標準不確かさ $u(L_{\text{thermal}})$は、GUM の付属書 H の H.1.2 より導かれた次式によって表わすことができる。

$$u^2(L_{\text{thermal}}) = L^2\theta^2\, u^2(\delta\alpha) + L^2\alpha_S^2\, u^2(\delta\theta) + L^2\, u^2(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (3)$$

ここで L はブロックゲージの長さ、α と α_S はそれぞれノギスとブロックゲージの熱膨張係数、θ と θ_S はそれぞれノギスとブロックゲージの 20 ℃からの温度偏差、$\delta\theta=\theta-\theta_S$、$\delta\alpha=\alpha-\alpha_S$ である。(3)式は、$\delta\theta=0$ 及び $\delta\alpha=0$ という仮定のもとで導かれた式である。

さらに、実際の校正作業では熱膨張補正を行わなず θ を 0 とみなし、その平均的な偏差（かたより）は不確かさ成分に含めるため、

$$u^2(L_{\text{thermal}}) = L^2\alpha_S^2\, u^2\,(\delta\theta) + L^2\, u^2\,(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (4)$$

により熱的効果による標準不確かさ $u(L_{\text{thermal}})$の不確かさを求める。

① ノギスとブロックゲージの温度差：$u(\delta\theta)$

測定に先立ちノギスとブロックゲージは定盤上で十分に温度ならしを行い、手袋を用いて作業を行うので測定中の両者の温度は±0.5 ℃の範囲内で等しいことが確かめられている。したがって両者の温度差の標準不確かさは、±0.5 ℃を限界値とする矩形分布と考える。さらに、この温度差測定そのものの標準不確かさとして、使用した 2 本の温度計個々の標準不確かさの二乗和（同じ温度計の場合は、温度計校正の標準不確かさの$\sqrt{2}$倍）も考慮する。ここでは、各温度計の校正証明書の拡張不確かさは k=2 で 0.03 ℃であったとすると、次の値が得られる。

$$u(\delta\theta) = [\,(0.5\ ℃/\sqrt{3}\,)^2 + 2\times(0.03\ ℃/2)^2\,]^{1/2} = 0.29\ ℃$$

（参考）温度計を自己校正して使用する場合及び温度測定のデータ数（自由度に係わる部分）は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

② ノギスの温度の 20 ℃からの偏差値：$u(\theta)$

校正室の温度の範囲は、20 ℃から 26 ℃の範囲に保たれているので、温度偏差 θ の年間変動は 3 ℃±3 ℃であり、平均値 3 ℃に対し±3 ℃を限界値とする矩形分布と考えることができる。したがって、ノギスの温度の 20 ℃からの偏差値は、温度測定に使用した温度計の不確かさ（校正証明書の拡張不確かさ(k=2)で 0.03 ℃）も考慮し、

$$u(\theta) = [(3\ ℃)^2 + (3\ ℃\ /\sqrt{3}\,)^2 + (0.03\ ℃/2)^2\,]^{1/2} = 3.46\ ℃$$

と見積もることができる。

③ ノギスとブロックゲージの熱膨張係数の差：$u(\delta\alpha)$

ノギスとブロックゲージは両者とも鋼系統の金属で、その熱膨張係数の値は$(11.5\pm1)\times10^{-6}\,\text{K}^{-1}$ の範囲とされている。したがってそれぞれの熱膨張係数の標準不確かさは$\pm1\times10^{-6}\,\text{K}^{-1}/\sqrt{3}$ であり、2 つの熱膨張係数差の標準不確かさは、

$$u(\delta\alpha) = \sqrt{2}\times(1\times10^{-6}\,\text{K}^{-1})/\sqrt{3} = 8.17\times10^{-7}\,\text{K}^{-1}$$

である。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

（参考）ノギスとブロックゲージの熱膨張係数が異なる場合は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

L＝150 mm とした場合、以上の結果を(4)式に代入して計算すると熱的効果による標準不確かさ $u(L_{\mathrm{thermal}})$は、

$$u^2(L_{\mathrm{thermal}}) = L^2\alpha_S^2\, u^2(\delta\theta) + L^2 u^2(\theta)\, u^2(\delta\alpha)$$
$$= (150\ \mathrm{mm})^2\,(11.5\times10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}})^2\,(0.29℃)^2 + (150\ \mathrm{mm})^2\,(3.46\ ℃)^2\,(8.17\times10^{-7}\ \mathrm{K^{-1}})^2$$
$$= 4.300\times10^{-7}\ \mathrm{mm^2}$$

$$u(L_{\mathrm{thermal}}) = 0.7\ \mu\mathrm{m}$$

と見積もることができる。

３．４ 合成標準不確かさ

上記の結果から表１の不確かさ成分ごとの標準不確かさが得られる。

表 1. ノギス校正の不確かさ成分ごとの標準不確かさ一覧

ノギス校正の不確かさ成分	各成分の不確かさ	感度係数	不確かさへの寄与 (μm)	タイプ
ﾉｷﾞｽの指示値の標準不確かさ $u(I)$	32.3 μm	1	32.3	
① 読み取りの分解能 $u(I_1)$	14.4 μm			B
② 繰返し性/ﾗﾝﾀﾞﾑ効果 $u(I_2)$	28.9 μm			B
標準ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの標準不確かさ $u(T)$	0.5 μm	1	0.5	
① 校正値の無補正 $u(T_1)$	0.46 μm			B
② ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの寸法の経年変化 $u(T_3)$	0.14 μm			B
熱的効果の標準不確かさ $u(L_{\mathrm{thermal}})$			0.7	
1) ﾉｷﾞｽとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの温度差 $u(\delta\theta)$	0.29 ℃	$L\alpha_S$	0.5	B
2) ﾉｷﾞｽの温度の 20 ℃からの偏差値 $u(\theta)$・ ﾉｷﾞｽとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$	3.46 ℃・ 8.17×10⁻⁷ K⁻¹	L	0.4	B
二乗和 $u_c^2(D) = 1044.03\ \mu\mathrm{m}^2$				
合成標準不確かさ $u_c(D) = 32.3\ \mu\mathrm{m}$				

（感度係数計算の数値は次のとおり。L：150 mm、α_S：$11.5\times10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$）

４．拡張不確かさの決定

得られた合成標準不確かさに包含係数 k=2 を乗じて、ノギス校正の拡張不確かさは、

$$U(k=2) = 2\times u_c(D)$$
$$= 2\times32.3\ \mu\mathrm{m}$$
$$= 64.6\ \mu\mathrm{m}$$
$$\fallingdotseq 0.07\ \mathrm{mm}$$

となる。

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

事例３　ハイトゲージ

（注）本事例は、不確かさの見積もりの一事例を示したものであり、実際には校正事業者は諸条件を考慮して見積もりを行うこと。また、不確かさの成分ごとに見積もられた数値は、校正事業者自らがその根拠を示せることが必要である。

１．測定の課題

目盛長さ 500 mm、副尺読み 1/20 mm のハイトゲージの校正値を、JIS ２級相当の精度をもつブロックゲージを常用参照標準として校正する場合の不確かさを求める。校正室の空調は簡易一般空調なので、室温は季節により異なるが、年間を通じては 20 ℃～26 ℃範囲に保たれており、校正中の気温変化は 1 ℃/ｈ以下である。

GUM ガイドでは観測結果に対して、系統効果による補正を施した後の測定値のばらつきを評価することが求められているが、現場の校正では時間とコストの節約のため、補正は省略されることが多いので、これを前提として評価を行う。

２．関数モデル

ハイトゲージの校正値 D を表わす関数モデルは、次式で表わされる。

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

ここで D はハイトゲージの校正値、I はハイトゲージの指示値、T は標準ブロックゲージの長さ、L_i は各種の補正項である。校正の合成標準不確かさ $u_c(D)$は次式から導かれる。

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

ここで、$u(I)$はハイトゲージの指示値の不確かさ、$u(T)$はブロックゲージの長さの不確かさ、 $u\ (L_i)$は各種補正項の標準不確かさである。以下にこれら各成分の標準不確かさの評価を行う。

３．各成分の標準不確かさの評価

３．１ ハイトゲージの指示値の標準不確かさ：$u(I)$

① 読み取りの分解能：$u(I_1)$

副尺の最小目盛は 0.05 mm なので、±0.025 mm を限界値とする矩形分布と考えると、標準不確かさは次の値が得られる。

$$u(I_1) = (25\ \mu\text{m}) / \sqrt{3} \ = 14.4\ \mu\text{m}$$

② 繰返し性/ランダム効果：$u(I_2)$

測定力、熱の流れ、ジョウの平面度や平行度、Abbe の誤差などの小変動によるランダムな影響は、ハイトゲージの読みにばらつきを引き起こす。この不確かさを決定するための一つの方法は、ハイトゲージの測定範囲の各点において、反復を含めて多くの独立な測定を繰返してその標準偏差を求めることである。反復 2、測定者２、測定箇所 4、繰返し２の実測データの分散分析の結果から、標準偏差は 0.065 mm であった。したがって、

$$u(I_2) = 65.0\ \mu\text{m}$$

となる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

③ $u(I)$の決定

①と②の結果から次の値となる。

$$u(I) = [\ u^2(I_1) + u^2(I_2)\ ]^{1/2} = [\ (14.4\ \mu m)^2 + (65.0\ \mu m)^2\ ]^{1/2}$$
$$= 66.6\ \mu m$$

３．２ 標準ブロックゲージの寸法の不確かさ：$u(T)$

① 校正値の無補正：$u(T_1)$

ハイトゲージの校正に当たっては、ブロックゲージの寸法偏差（実寸法－呼び寸法。通常微小値）の補正は通常省略される。ブロックゲージの実寸法は、JIS 規格 2 級の寸法公差(500 mm では±4.4 μm 以内)の範囲にあることが判っている。そこで±4.4 μm を限界とする矩形分布として、

$$u(T_1) = (4.4\ \mu m) / \sqrt{3}\ = 2.54\ \mu m$$

が得られる。

② 標準ブロックゲージの校正：$u(T_2)$

標準ブロックゲージの校正証明書には、各ブロックゲージの校正値とその拡張不確かさが記載されている。500 mm の場合は拡張不確かさは包含係数 $k = 2$ で 0.14 μm と記されている。したがって、

$$u\ (T_2) = (0.14\ \mu m) / 2 = 0.07\ \mu m$$

である。

③ ブロックゲージの寸法の経年変化：$u(T_3)$

校正に用いるブロックゲージは新品で校正経歴がなく、購入時の校正値のみが既知であるので、経年変化量の許容値 $\pm(0.05 + 0.0005\ L_n)$ μm/年（L_n は呼び寸法 mm）を限界値とする矩形分布と仮定し、校正周期を二年とすると(JIS２級ブロックゲージの寸法の安定度の規定から推定)、

$$u(T_3) = [2 \times (0.05 + 0.0005 \times 500)\ \mu m] / \sqrt{3}\ = 0.35\ \mu m$$

とする。

④ $u(T)$の決定

ブロックゲージ JIS２級の寸法許容差の判定には校正の不確かさが含まれていると記載されているので、$u(T_2)$は計算に含めずに、①及び③の結果から、

$$u(T) = [\ u^2(T_1) + u^2(T_3)\ ]^{1/2} = [\ (2.54\ \mu m)^2 + (0.35\ \mu m)^2\ ]^{1/2}$$
$$= 2.6\ \mu m$$

となる。もし、規格等に校正の不確かさが含まれていない場合や不明な場合は、①、②及び③の結果から、

$$u(T) = [\ u^2(T_1) + u^2(T_2) + u^2(T_3)\ ]^{1/2}$$

で求める。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

３．３ 各種補正項による標準不確かさ：$u(L_i)$

① 熱的効果：$u(L_{thermal})$

ハイトゲージの校正における熱的効果による標準不確かさ $u(L_{thermal})$は、GUM の付属書 H の H.1.2 より導かれた次式によって表わすことができる。

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\theta^2 u^2(\delta\alpha) + L^2\alpha_S^2 u^2(\delta\theta) + L^2 u^2(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (3)$$

ここで L はブロックゲージの長さ、α と α_S はそれぞれハイトゲージとブロックゲージの熱膨張係数、θ と θ_S はそれぞれハイトゲージとブロックゲージの 20 ℃からの温度偏差、$\delta\theta=\theta-\theta_S$、$\delta\alpha=\alpha-\alpha_S$ である。(3)式は、$\delta\theta=0$ 及び $\delta\alpha=0$ という仮定のもとで導かれた式である。

さらに、実際の校正作業では熱膨張補正を行わなず θ を 0 とみなし、その平均的な偏差（かたより）は不確かさ成分に含めるため、

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\alpha_S^2 u^2(\delta\theta) + L^2 u^2(\theta)\, u^2(\delta\alpha) \qquad (4)$$

により熱的効果による標準不確かさ $u(L_{thermal})$の不確かさを求める。

a) ハイトゲージとブロックゲージの温度差の不確かさ：$u(\delta\theta)$

測定に先立ちハイトゲージとブロックゲージは定盤上で十分に温度ならしを行い、手袋を用いて作業を行うので測定中の両者の温度は±0.5 ℃の範囲内で等しいことが確かめられている。したがって両者の温度差の標準不確かさは、±0.5 ℃を限界値とする矩形分布と考える。さらに、この温度差測定そのものの標準不確かさとして、使用した 2 本の温度計個々の標準不確かさの二乗和（同じ温度計の場合は、温度計校正の標準不確かさの$\sqrt{2}$倍）も考慮する。ここでは、各温度計の校正証明書の拡張不確かさは k=2 で 0.03 ℃であったとすると、次の値が得られる。

$$u(\delta\theta) = [\,(0.5\ ℃/\sqrt{3}\,)^2 + 2\times(0.03\ ℃/2)^2]^{1/2} = 0.29\ ℃$$

（参考）温度計を自己校正して使用する場合及び温度測定のデータ数（自由度に係わる部分）は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

b) ハイトゲージの温度の 20 ℃からの偏差値：$u(\theta)$

校正室の温度の範囲は、20 ℃から 26 ℃の範囲に保たれているので、温度偏差 θ の年間変動は 3 ℃±3 ℃であり、平均値 3 ℃に対し±3 ℃を限界値とする矩形分布と考えることができる。したがって、ハイトゲージの温度の 20 ℃からの偏差値は、温度測定に使用した温度計の不確かさ（校正証明書の拡張不確かさ(k=2)で 0.03 ℃）も考慮し、

$$u(\theta) = [\,(3\ ℃)^2 + (3\ ℃\ /\sqrt{3}\,)^2 + (0.03\ ℃/2)^2]^{1/2} = 3.46\ ℃$$

と見積もることができる。

c) ハイトゲージとブロックゲージの熱膨張係数の差：$u(\delta\alpha)$

ハイトゲージとブロックゲージは両者とも鋼系統の金属で、その熱膨張係数の値は$(11.5\pm1)\times10^{-6}\,K^{-1}$ の範囲とされている。したがって、それぞれの熱膨張係数の標準不確かさは、$\pm1\times10^{-6}\,K^{-1}/\sqrt{3}$ であり、2 つの熱膨張係数の差の標準不確かさは、

$$u(\delta\alpha)=\sqrt{2}\times(1\times10^{-6}\,K^{-1})\ /\sqrt{3}\ = 8.17\times10^{-7}\,K^{-1}$$

である。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

（参考）ハイトゲージとブロックゲージの熱膨張係数が異なる場合は、「JCSS 不確かさ見積に関するガイド：長さ・一次元寸法測定器（ブロックゲージ）」の事例２を参照のこと。

L=500 mm として、以上の結果を(4)式に代入して計算すると熱的効果による標準不確かさ $u(L_{thermal})$ は、

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\alpha_S^2\,u^2(\delta\theta) + L^2\,u^2(\theta)\,u^2(\delta\alpha)$$
$$= (500\text{ mm})^2\,(11.5\times10^{-6}\text{ K}^{-1})^2\,(0.29\text{ ℃})^2 + (500\text{ mm})^2\,(3.46\text{ ℃})^2\,(8.17\times10^{-7}\text{ K}^{-1})^2$$
$$= 4.78\ \mu\text{m}^2$$

$$u(L_{thermal}) = 2.2\ \mu\text{m}$$

と見積もることができる。

② 定盤の平面度：$u(L_{flat})$

校正に用いようとする定盤の領域(350 mm×350 mm)内の12箇所で、50 mm のブロックゲージの中央部の高さを測り、その最大値と最小値との差が１級定盤の平面度許容値(8 μm)以下の領域内をハイトゲージの校正可能面とし、許容値を超える領域は校正には使用しないものとする。実験の結果、300 mm×250 mmの領域の最大値と最小値の差が8 μm以下の値に収まった。定盤の平面度による標準不確かさは、±4 μmを限界値とする矩形分布と考えて、次の値となる。

$$u(L_{flat}) = (4\ \mu\text{m}) / \sqrt{3} = 2.3\ \mu\text{m}$$

３．４ 合成標準不確かさ

上記の結果から表１の不確かさの成分ごとの標準不確かさが得られる。

表 1　ハイトゲージの校正の不確かさの成分ごとの標準不確かさ一覧

ハイトゲージ校正の不確かさ成分	各成分の不確かさ	感度係数	不確かさへの寄与 (μm)	タイプ
ﾊｲﾄｹﾞｰｼﾞの指示値の標準不確かさ$u(I)$	66.6 μm	1	66.6	
① 読み取りの分解能 $u(I_1)$	14.4 μm			B
② 繰返し性/ﾗﾝﾀﾞﾑ効果 $u(I_2)$	65.0 μm			A
標準ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの寸法の標準不確かさ $u(T)$	2.6 μm	1	2.6	
① 校正値の無補正 $u(T_1)$	2.54 μm			B
② ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの寸法の経年変化 $u(T_3)$	0.35 μm			B
各種補正項の標準不確かさ $u(L_i)$				
① 熱的効果 $u(L_{thermal})$			2.2	
1) ﾊｲﾄｹﾞｰｼﾞとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの温度差 $u(\delta\theta)$	0.29 ℃	$L\alpha_S$	1.7	B
2) ﾊｲﾄｹﾞｰｼﾞの温度の20 ℃からの偏差値 $u(\theta)$・	3.46 ℃・	L	1.4	B
ﾊｲﾄｹﾞｰｼﾞとﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの熱膨張係数の差 $u(\delta\alpha)$	8.17×10^{-7} K^{-1}			
② 定盤の平面度による不確かさ $u(L_{flat})$	2.3 μm	1	2.3	B
二乗和 $u_c^2(D) = 4452.5\ \mu\text{m}^2$				
合成標準不確かさ $u_c(D) = 66.7\ \mu\text{m}$				

（感度係数計算の数値は次のとおり。L：500 mm、α_S：11.5×10^{-6} K^{-1}）

４．拡張不確かさの決定

ハイトゲージ校正の拡張不確かさは、合成標準不確かさに包含係数 k=2 を乗じ、

$$U(k=2) = 2\times u_c(D)$$
$$= 2\times66.7\ \mu\text{m}$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

= 133.4 μm
≒0.14 mm

とする。

【参考】ハイトゲージの校正に用いる精密定盤の平面度の影響の検証法について

ハイトゲージの校正に用いる定盤は、JIS B 7513(精密定盤)に規定する１級相当の平面度が要求されているが、2001 年 3 月現在では精密定盤の平面度校正は JCSS 認定となっていない。このため、JCSS 認定対象となるまで、当面の間は、精密定盤の平面度による影響を校正作業のばらつきとして、例えば次の方法により不確かさの評価を行うことが考えられる。この評価の定期的に実施することが望ましい。

(検証の方法の例)

校正に用いようとする定盤の領域（少なくとも 300 mm×300 mm）内の 10 箇所以上で、図１のようにブロックゲージの中央部の高さを測り、その最大値と最小値との差が１級定盤の平面度許容値以下の領域内をハイトゲージの校正可能面とし、許容値を超える領域は校正には使用しないものとする。定盤の性能による不確かさの評価例は、上記の不確かさ評価の 3.3 を参照のこと。

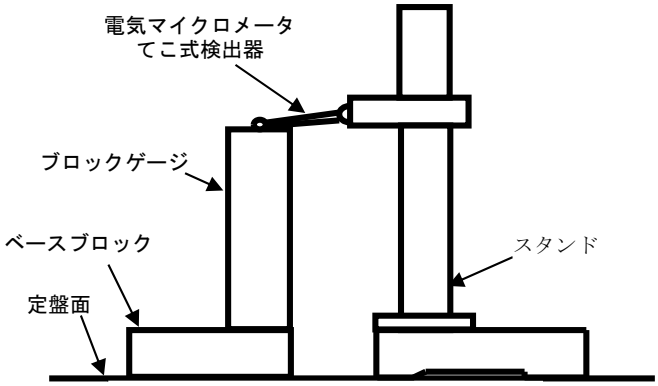


図 1　定盤の平面度の影響の検証法

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

今回の改正のポイント

組織改編に伴う名称の変更等

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。