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(呼称):形状測定器
計量器等の種類:球

第 2 版

(JCG201S91－02)

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 球直径(比較測定の場合) 3

事例2 球直径(絶対測定の場合) 9

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 球直径(比較測定の場合)

球直径(比較測定の場合)の不確かさの見積もりについては、次の参考文献に記載されている不確かさの見積もり事例及び本事例を参照のこと。

[参考文献]
日本計量振興協会発行:計量管理 2001 VOL.50 No.2, 特集 不確かさ評価事例, p.2-9「リング, プラグゲージの場合」, 産業技術総合研究所 堀田正美

(注)以下の事例は、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の諸条件を考慮して見積りを行うこと。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
本事例は、球直径校正に、ブロックゲージを用い、レーザ干渉測長器でスケールが校正された測長機により比較校正する場合を示す。
(参考)接触子が1つの接触法を用いる場合及び球の測定面を光学的に検出する方法を用いる場合は多少内容が異なるが基本部分については同様である。

2. 校正方法
球直径は、ブロックゲージを標準とし、2つの接触子を用いた接触法(測定範囲 10 mm～100 mm)により校正する。校正室の空調は、年間を通じては 20 ℃± 1 ℃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。

2. 1 引用規格
JIS B 7506「ブロックゲージ」

2. 2 校正に使用する標準器及び校正用機器
① 標準器
JIS B 7506 K 級相当の JCSS 校正された校正用ブロックゲージを用いる。
② 校正用機器
校正用機器は、横型測長機(読取り限度は 0.1 μm 以下のもの)を用いる。測長機のスケールは、特定二次標準器により連鎖して校正された長さ用 633 nm 実用波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置を用いた干渉測長器又はブロックゲージ又は JCSS 校正された計量器に連鎖して校正された同上のものにより校正されている。

2. 3 校正室の環境条件
校正室の環境条件は以下のとおりとする。
温度:20 ℃± 1 ℃、 湿度:70 %以下

2. 4 校正手順
① 測定準備
a) 校正器物
球の表面を清掃し、傷等がないか確認後、校正室内で温度ならしを行う。測定中は手袋等をして球に温度変化を極力与えないようにする。標準とするブロックゲージも同様な確認処置を行い、校正室内で温度ならしを行う。
b) 測長機
接触子の取り付け、測定力の調整等、外形測定が可能な状態に測長機を整えた後、接触子と装置の温

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。

度がほぼ平衡になるまで十分温度ならしを行う。

c) 測長機へ長さ標準の設置

ブロックゲージと球を測長機の測定台に取り付けジグを使用して取り付ける。このとき、ブロックゲージ及び球が変形等しないように留意する。取り付け後は温度ならしを実施する。このとき、球の温度をモニターして温度の安定性を確認する。

② 校正方法

校正マニュアルにて指定した箇所に測定軸と球測定面間の位置あわせ及び球の中心合わせを行いながらブロックゲージと球を交互に比較して測定し指示値の差を求める。測定中の球の温度を測定する。

③ 校正値の決定

指示値の差に以下の計算を行い、校正値とする。

校正値 = 指示値の差(必要ならスケールの誤差を補正する。) + ブロックゲージの値 + 温度補正
+ 弾性変形の補正

3. 不確かさ評価

校正の不確かさ評価についての基本は、「計測における不確かさの表現のガイド(GUM)」によるものとする。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、本事例ではこれを前提として評価を行う。

3.1 数学モデル

球直径の校正値 L は、次式で示される。

$$L = L_S + d + L_N(\alpha_S\theta_S - \alpha\theta)) + C \qquad (1.1)$$

ここで

L	:球直径の 20 ℃における長さ
L_S	:ブロックゲージの 20 ℃における長さ
d	:測定した球直径とブロックゲージの寸法差
L_N	:球直径の呼び寸法($L_S - L \leqq 1$ mm)
α	:球の熱膨張係数
θ	:球温度の 20 ℃からの偏差
α_S	:ブロックゲージの熱膨張係数
θ_S	:ブロックゲージ温度の 20 ℃からの偏差
C	:ブロックゲージと球の変形量と接触子の接触変形量の差

なお、(1.1)式は相対不確かさで 10^{-7} 未満の不確かさ要因を省略している。式(1.1)に $\theta_S = \theta + \delta\theta$、$\alpha_S = \alpha + \delta\alpha$ を代入すると(1.2)式となる。

$$L = L_S + d + L_N\delta\alpha\theta + L_N\alpha_S\delta\theta + C \qquad (1.2)$$

ここで

$\delta\theta$	:ブロックゲージと球の温度差
$\delta\alpha$	:ブロックゲージと球の熱膨張係数の差

(1.2)式より GUM の方法を適用して合成不確かさを求めると(1.3)式となる。(1.3)式では、温度に関する補正を行わないことを前提としているため、$\theta = 0$、$\delta\theta = 0$、$\delta\alpha = 0$ と見なして計算している。

$$u_c^2 = u^2(L_S) + u^2(d) + (L_N\alpha_S)^2u^2(\delta\theta) + L_N^2u^2(\delta\alpha)u^2(\theta) + L_N^2u^2(\alpha_S)u^2(\delta\theta) + u^2(C) + u^2(ron) \qquad (1.3)$$

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。

従って、合成標準不確かさに影響する不確かさ成分は次のようになる。

$u(L_S)$:ブロックゲージの 20 ℃における長さの標準不確かさ
$u(d)$:寸法差の標準不確かさ
$u(\delta\theta)$:ブロックゲージと球の温度差の標準不確かさ
$u(\delta\alpha)$:ブロックゲージと球の熱膨張係数の差の標準不確かさ
$u(\alpha_S)$:ブロックゲージの熱膨張係数の標準不確かさ
$u(\theta)$:球温度の 20 ℃からの偏差の標準不確かさ
$u(C)$:ブロックゲージと球の変形量と接触子の接触変形量の差の標準不確かさ
$u(ron)$:球の形状による標準不確かさ

(注)(1.3)式は球とブロックゲージ間の温度、球の温度の 20 ℃からの偏差、球とブロックゲージ間の熱膨張係数差が零と見なせる校正状態及び材質が同一で熱膨張係数を零と見なしても必要な校正不確かさを得られることを前提にしている。このような方法で必要な不確かさを得られないときは温度補正を厳密に行う必要があり、その場合(1.2)式より合成不確かさの式を求める必要がある。但し、少し(1.3)式の項が異なるが、評価すべき不確かさ成分は異ならない。

3．2 不確かさの成分

不確かさ成分として以下の要因がある。

① ブロックゲージの 20 ℃における長さの標準不確かさ:$u(L_S)$

実際にはブロックゲージ校正の不確かさ $u(L_{S20})$、ブロックゲージの経年変化 $u(sc)$、及びリンギングによる不確かさ $u(r)$（リンギングしない場合はこれを除く）の合成された不確かさで次式によりあらわされるものである。

$$u^2(L_S)=u^2(L_{S20})+u^2(sc)+u^2(r)$$

② 寸法差の標準不確かさ：$u(d)$

寸法の不確かさに含まれる不確かさ要因は、測定値のばらつき（測定の再現性、反復性、繰り返し性によるもの）$u(y)$、スケール校正の不確かさ $u(s)$、ディジタル指示の分解能 $u(q)$、指示値のドリフト $u(D)$、接触子の平面度の不確かさ $u(f)$、接触子の平行度の不確かさ $u(p)$がある。$u(d)$は次式であらわされる。この事例は平行に配置された２つの平面接触子で球を挟む方法で校正する場合であるが、他の接触子を使用する場合においても $u(f)$及び $u(p)$が他の幾何的な不確かさ要因に置き換わるか、省略されるのみである。

$$u^2(d)=u^2(y)+u^2(s)+u^2(q)+u^2(D)+u^2(f)+u^2(p)$$

③ ブロックゲージと球の温度差の標準不確かさ：$u(\delta\theta)$
④ ブロックゲージと球の線膨張係数の差の標準不確かさ：$u(\delta\alpha)$
⑤ ブロックゲージの線膨張係数の標準不確かさ：$u(\alpha_S)$
⑥ 球温度の 20 ℃からの偏差の標準不確かさ：$u(\theta)$
⑦ ブロックゲージと球の変形量と接触子の接触変形量の差の標準不確かさ：$u(C)$
⑧ 球の形状による標準不確かさ：$u(ron)$

3．3 各成分における不確かさの評価

① ブロックゲージの 20 ℃における長さの標準不確かさ：$u(L_S)$

a) ブロックゲージの長さの不確かさ：$u(L_{S20})$
JCSS 校正証明書の拡張不確かさ(k=2) = 0.06 μm より、0.03 μm とする。

b) ブロックゲージの経年変化：$u(sc)$
過去のデータから 0.03 μm 以下であるが、最悪値を考えて、0.03 μm とする。

c) リンギングによる不確かさ：$u(r)$
実験結果より 10 nm 未満であるため無視する。

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。

② 寸法差の標準不確かさ：$u(d)$

a) 測定値のばらつき：$u(y)$
校正実験の結果標準偏差で 0.05 μm 以下であるから 0.05 μm とする。

b) スケール校正の標準不確かさ：$u(s)$
メーカ校正証明書の拡張不確かさ(k=2)=0.2 μm より、0.1 μm とする。

c) ディジタル指示の分解能：$u(q)$
ディジタル値で 0.1 μm の分解能で2点間の測定であるため、分解能の 1/2 を限度とした矩形分布と考え、$\sqrt{2}$ ×0.05 μm/$\sqrt{3}$ =0.1 μm/$\sqrt{6}$ =0.041 μm とする。これは、分解能を限度とした三角分布に等しい。

d) 指示値のドリフト：$u(D)$
測定中指示値が変化しないため無視する。

e) 接触子の平面度による標準不確かさ：$u(f)$
接触子の平行度は、カタログ値から0.10 μm程度であり、これによる標準不確かさは接触子の中央付近を使用し、不確かさが矩形分布するとして(0.10/2)/$\sqrt{3}$ =0.029 μmと推定する。

f) 接触子の平面度による標準不確かさ：$u(p)$
2つの接触子の平面度を光波干渉計等で確認したところ共に0.10 μm以下であった。これによる標準不確かさは矩形分布するとして $\sqrt{2}$ ×0.10 / $\sqrt{3}$ =0.081 μm と推定する。

③ ブロックゲージと球の温度差の標準不確かさ：$u(\delta\theta)$
蓄積したデータより球とブロックゲージ間には、± 0.1 K 以下の温度差しか生じていないのでこの幅で矩形分布するとして標準不確かさを 0.1 K / $\sqrt{3}$ =0.058 K とした。

④ ブロックゲージと球の熱膨張係数の差の標準不確かさ：$u(\delta\alpha)$
球の熱膨張係数は、ブロックゲージの線膨張係数と同等と考え、JIS B 7506 の規格より (11.5±1.0)×10^{-6} / K を採用し、標準不確かさが 1.0×10^{-6} /℃の幅で矩形分布するとして $\sqrt{2}$ ×(1.0×10^{-6} /K) / $\sqrt{3}$ =0.82×10^{-6} / K とした。

⑤ ブロックゲージの熱膨張係数の標準不確かさ：$u(\alpha_S)$
ブロックゲージの熱膨張係数は、JIS B 7506 の規格より(11.5±1.0)×10^{-6} /K の範囲にあるとして標準不確かさが 1.0×10^{-6} /K の幅で矩形分布すると考え(1.0×10^{-6} /℃) / $\sqrt{3}$ =0.58×10^{-6} /K とした。

⑥ 球温度の 20 ℃からの偏差の標準不確かさ：$u(\theta)$
校正された温度計で計測した球温度の不確かさは、温度計の校正の不確かさ値 $u(\theta)$=0.058 K とした。

⑦ ブロックゲージと球の変形量と接触子の接触変形量の差の標準不確かさ：$u(C)$
接触子によるブロックゲージと球の変形量は、ヘルツの公式にて算出できる。材質の違いがブロックゲージと校正する球との間にある場合は、注意が必要である。
事例として材質が同じものを使用し、平行に配置された平面の接触子により球を校正する場合を紹介する。この場合、球と接触子の接触による変形のみが関係し、この変形量 δ は、球の直径を D、測定力の値を P としたとき次式で表される。k は接触子と球の材料による係数である。ブロックゲージ、球及び接触子が鋼製で、D=50 mm、P=1 N であるときこの変形量は 0.22 μm となり、この値が C の値となる。

$$\delta = C = k(P^2/D)^{1/3}$$

この変形量の標準不確かさは次式で計算できる。

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。

$$(u(\delta)/\delta)^2=(u(C)/C)^2=(u(k)/k)^2+(2/3)^2(u(P)/P)^2+(1/3)^2(u(D)/D)^2$$

ここで

$u(\delta)/\delta$：変形量の相対標準不確かさ

$u(k)/k$ ：係数の相対標準不確かさ

$u(P)/P$ ：測定力の相対標準不確かさ

$u(D)/D$ ：球の相対標準不確かさ

である。

$u(k)/k$＝0.1、$u(P)/P$＝0.01、$u(D)/D$＝0.001 であるとき $u(C)/C$＝0.10 となり、標準不確かさは 0.022 μm と推定できる。

⑧ 球の形状による標準不確かさ：$u(ron)$

平均直径を算出するに当たり、球の形状偏差(球の真円度)の影響を受ける。ここでは，真円度測定機により値を算出した結果、50 nm であった。本不確かさは、矩形分布とし、$50/\sqrt{3}$ ＝29 nm。

３．４ 合成標準不確かさ

上記の結果から合成標準不確かさを表1に示す。

表1 球直径校正(比較測定)の不確かさのバジェット表(直径 20 mm の例)

不確かさ成分	標準不確かさ	感度係数 c_i	不確かさへの寄与 (μm)	ﾀｲﾌﾟ
ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの 20 ℃における長さの標準不確かさ:$u(L_S)$ ① $u(L_{S20})$ ブロックゲージ校正の不確かさ ② $u(sc)$ ブロックゲージの経年変化	0.042 μm 0.03 μm 0.03 μm	1	0.042	 B B
寸法差の標準不確かさ:$u(d)$ ① $u(y)$ 測定値のばらつき ② $u(s)$ スケール校正の標準不確かさ ③ $u(q)$ ディジタル指示の分解能 ④ $u(f)$ 接触子の平面度による標準不確かさ ⑤ $u(p)$ 接触子の平行度の不確かさ	0.147 μm 0.05 μm 0.1 μm 0.041 μm 0.029 μm 0.081 μm	1	0.147	 A B B B B
ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞと球の温度差の標準不確かさ:$u(\delta\theta)$	0.058 K	$L_N\alpha_S$	0.033	B
ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼと球の熱膨張係数の差の標準不確かさ・球温度の 20 ℃からの偏差の標準不確かさ: $u(\delta\alpha)$・$u(\theta)$	0.82×10^{-6} / K・0.058 K	L_N	0.002 (無視)	B
ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞの熱膨張係数の標準不確かさ・ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞと球の温度差の標準不確かさ: $u(\alpha_S)$・ $u(\delta\theta)$	0.58×10^{-6} / K・0.058 K	L_N	0.002 (無視)	B
ﾌﾞﾛｯｸｹﾞｰｼﾞと球の変形量と接触子の接触変形量の差の不確かさ:$u(C)$	0.022 μm	1	0.022	B
球の形状による標準不確かさ：$u(ron)$	0.029 μm	1	0.029	
合成標準不確かさ u_c			0.159	
拡張不確かさ $U(k=2)$			0.318	

感度係数の計算に用いた数値は次のとおり。L_N：20 mm、α_S：11.5×10^{-6} /℃

３．５ 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 を乗じて球直径校正の拡張不確かさを得る。小数点以下２桁目を切り上げて U＝0.4 μm となる。

４．非接触法の場合の不確かさ評価

非接触法による校正の不確かさ評価は、上記の接触法の不確かさ評価に加え、非接触法における

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。

特有の不確かさである位置検出の不確かさを加えまた不要な不確かさを除き評価すること。

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 球直径(絶対測定の場合)

球直径(絶対測定の場合)の不確かさの見積もりについては、本事例を参照のこと。

(注)以下の事例は、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の諸条件を考慮して見積りを行うこと。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

本事例は、球直径校正に、レーザ干渉測長器を搭載した測長機により絶対測定する場合を示す。

2. 校正方法

球直径は、レーザ干渉測長器をスケールに持つ測長機により校正を行う。校正室の空調は、年間を通じては 20 ℃± 1 ℃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。

2. 1 校正に使用する校正用機器

校正用機器は、長さ用 633 nm 実用波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置(標準器)を用いた干渉測長器をスケールに持つ横型測長機。

2. 2 校正室の環境条件

校正室の環境条件は以下のとおりとする。
温度:20 ℃ ± 1 ℃、 湿度:70 %以下

2. 3 校正手順

① 測定準備

a) 校正器物

球の表面を清掃し、傷等がないか確認後、校正室内で温度ならしを行う。測定中は手袋等をして球に温度変化を極力与えないようにする。

b) 測長機

接触子の取り付け、測定力の調整等、外形測定が可能な状態に測長機を整えた後、接触子と装置の温度がほぼ平衡になるまで十分温度ならしを行う。

c) 測長機へ長さ標準の設置

球を測長機の測定台に取り付けジグを使用して取り付ける。このとき、球が変形等しないように留意する。取り付け後は温度ならしを実施する。このとき、球の温度をモニターして温度の安定性を確認する。

② 校正方法

球測定する前に、零点を算出するために接触子同士を合わせる。その後、測定台に球を配置し、測定を実施する。この作業を繰り返し実施する。測定中の球の温度を測定する。

③ 校正値の決定

測長機のスケールから算出された測定値に測定中の球の温度と熱膨張係数を考慮した補正値を算出し、校正値を測定値と補正値を使用して算出する。

3. 不確かさ評価

校正の不確かさ評価についての基本は、「計測における不確かさの表現のガイド(GUM)」によるものとする。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、本事例ではこれを前提として評価を行う。

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。

３．１ 数学モデル

平行平面の接触子を使用した球直径の校正値 L は、次式で示される。

$$L = m\lambda - L_o\alpha\theta - \delta_{AL} + \delta_D + \delta_f + \delta_p + \delta_{ron} \quad (1.1)$$

ここで

L	:球直径の 20 ℃における長さ
m	:反射鏡の距離内の波長数
λ	:空気中におけるレーザ波長
L_o	:球直径の公称値
α	:球の熱膨張係数
θ	:球温度の 20 ℃からの偏差
δ_{AL}	:レーザ干渉計のコサイン誤差の補正
δ_D	:球と接触子の接触変形量の補正
δ_f	:接触子の平行度の影響
δ_p	:接触子の平面度の影響
δ_{ron}	:球の形状による影響

また、校正における不確かさのモデル式は、以下のように表される。

$$u(L)^2 = m^2 \times u(\lambda)^2 + L_o^2 \times \theta^2 \times u(\alpha)^2 + L_o^2 \times \alpha^2 \times u(\theta)^2 + u(\delta_{AL})^2 + u(y)^2 + u(\delta_D)^2 + u(\delta_f)^2 + u(\delta_p)^2 + u(L_{RES})^2 + u(\delta_{ron})^2 \quad (1.2)$$

従って、合成標準不確かさに影響する不確かさ成分は次のようになる。

$u(\lambda)$	:空気中の波長の不確かさ
$u(\alpha)$	:球の熱膨張係数の不確かさ
$u(\theta)$	:球の温度測定の不確かさ
$u(\delta_{AL})$	:レーザ干渉計のコサイン誤差
$u(y)$	:測定のばらつきによる不確かさ（測定の再現性、反復性、繰り返し性、零点だしの不確かさ等による不確かさ）
$u(\delta_D)$	:球と接触子の接触変形量の補正の不確かさ
$u(\delta_f)$	:接触子の平行度による不確かさ
$u(\delta_p)$	:接触子の平面度による不確かさ
$u(L_{RES})$	:レーザ干渉計の分解能
$u(\delta_{ron})$	:球の形状による不確かさ

注:$u(\delta_f)$、$u(\delta_p)$は平行平面による接触子を使用した場合の不確かさ要因で、二つの球面測定子の場合は測定子の球面の芯ぶれによる不確かさ及び被測定球の中心検出による不確かさと置き換える必要がある。

３．２ 不確かさの成分

不確かさ成分として以下の要因がある。

〇長さに依存しない

① 測定のばらつきによる不確かさ：$u(y)$
　測定の再現性、反復性、繰り返し性、零点だしの不確かさ等によるもの

② 球と接触子の接触変形量の補正の不確かさ:$u(\delta_D)$

③ 接触子の平行度による不確かさ：$u(\delta_f)$

④ 接触子の平面度による不確かさ：$u(\delta_p)$

⑤ レーザ干渉計の分解能：$u(L_{RES})$

〇長さに依存する

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。

⑥ レーザ干渉計の空気中の波長の不確かさ：$u(\lambda)$
⑦ 球の温度測定の不確かさ：$u(\theta)$
⑧ 球の熱膨張係数の不確かさ：$u(\alpha)$
⑨ レーザ干渉計のコサイン誤差：$u(\delta_{AL})$

〇校正対象固有のもの
⑩ 球の形状による不確かさ:$u(\delta_{ron})$

３．３ 各成分における不確かさの評価
〇長さに依存しない項目
①測定のばらつきによる不確かさ：$u(y)$
校正マニュアルにより設定された接触圧により球を 10 回以上繰り返し測定し、その標準偏差(プロービングによる不確かさ) $u(P)$から不確かさを算出する。実験結果から、この不確かさは、10 nm であった。
また、零点だしの不確かさ $u(\delta_{ZERO})$は、校正マニュアルにより設定された接触圧により零点だしのための測定を 10 回以上実施し、その標準偏差から不確かさを算出する。実験結果から、この不確かさは、10 nm であった。この不確かさは、両側の測定に影響するため、測定のばらつきの不確かさは、$u(y)=\{u(P)^2+u(\delta_{ZERO})^2\}^{1/2}=(10^2+10^2)^{1/2}=14$ nm と推定する。

② 球と接触子の接触変形量の補正の不確かさ:$u(\delta_D)$
測定の際、加える測定力は、被測定物を変形させる。ブロックゲージとの比較測定では、この影響は無視できる程度であるが、絶対測定では、この値は、無視することができないので補正する必要がある。プロービング力による被測定物の変形はヘルツの弾性接近量であると仮定して、その大きさを推定する。プロービング力による弾性接近量は文献（精密測定、津村喜代治著）により計算する。プローブは平面、被測定面は球であるので、その大きさは片側で

$$k\left(\frac{p^2}{2r}\right)^{1/3}\ [\mu m] \qquad (1.1)$$

である。ここで p はプロービング力であり、測長機の接触圧を 0.5 N に設定し、測定したとする。r は球の半径（単位：mm）であり直径 20 mm のものを測定した場合その半径は 10 mm、プローブと被測定物は超硬合金であると仮定すると $k=0.32$ である。この時の変形量は両側で 149 nm である。またいずれも鋼と同じヤング率とポアソン比を持つと仮定すると $k=0.42$ であり、この時の変形量は 195 nm である。これらは、補正を実施するため、上記２つの場合の差 $\delta_D=46$ nm より影響が大きいことはないと仮定する。

注:この例と異なり、測定子が平面でない場合、測定力が異なる場合又は他の材質の測定子や被測定物の場合はそれらに対応した検討が必要である。

③ 接触子の平行度による不確かさ：$u(\delta_f)$
接触子の平行度は、確認の結果0.10 μm程度であり、これによる標準不確かさは接触子の中央付近を使用し、不確かさが矩形分布するとして$(0.10/2)/\sqrt{3}=0.029$ μmと推定する。

④ 接触子の平面度による不確かさ：$u(\delta_p)$
２つの接触子の平面度を光波干渉計等で確認したところ共に0.10 μm以下であった。これによる標準不確かさは矩形分布するとして$\sqrt{2}\times0.10/\sqrt{3}=0.081$ μm と推定する。

⑤ レーザ干渉計の分解能:$u(L_{RES})$

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。

シングルパスのレーザ干渉計が持つ分解能は、10 nm であるが、本システムでは、ダブルパスの干渉システムとなっているため、その分解能は5 nm。この影響による不確かさは、不確かさの分布が三角分布するとして $5/\sqrt{12}=1.4$ nmである。

〇長さに依存する項目

⑥ レーザ干渉計の空気中の波長の不確かさ:$u(\lambda)$

・レーザの周波数の不確かさ

レーザの周波数（つまり真空中の波長）は、所内の校正依頼により633 nmよう素安定化ヘリウムネオンレーザとのビートを取って測定し、その値を使って長さ測定を行う。周波数の変動も同時に測定した結果、最大で1.5 MHzであると所内校正報告書に記載されているためレーザ干渉計の周波数の不確かさを 1.5 MHzとする。この範囲で矩形分布であると仮定できる。この要因による長さ測定への影響は3.17×10^{-9}である。これを20 mm換算すると、$3.17\times10^{-9}\times0.02$=0.06 nmとなる。以上から、周波数の不確かさは、本測定においては無視できる大きさである。

・環境温度の変化によるレーザ干渉計の波長の不確かさ

長さ測定に用いるレーザ干渉計の波長は、真空中の波長と環境の温度、湿度、気圧を用いてCiddorの式により計算する。温度は二つのセンサを用いて校正の前後に測定する。実際の測定値の変動幅を不確かさとし、矩形分布にて長さに対する影響を計算する。ここでは、95 mKの変動幅が得られたとして計算すると、長さ測定への影響は、53 nmである。これを20 mm換算すると、53 × 0.02=1 nmとなる。

・気圧の変化によるレーザ干渉計の波長の不確かさ

レーザ干渉計の波長に対する気圧の影響を測定する。気圧は校正の前後に測定する。実際の測定値の変動幅を不確かさとし、矩形分布にて長さに対する影響を計算する。ここでは、53 Paの標準偏差が得られたとして計算すると、長さ測定への影響は、141 nmである。これを20 mm換算すると、141 × 0.02=3 nmとなる。

・環境湿度によるレーザ干渉計の波長の不確かさ

レーザ干渉計の波長に対する湿度の影響を測定する。湿度は校正の前後に測定する。実際の測定値の変動幅を不確かさとし、矩形分布にて長さに対する影響を計算する。ここでは、0.64 %の標準偏差が得られたとして計算すると、長さ測定への影響は、8 nmである。これを20 mm換算すると、$8\times0.02=1.6\times10^{-2}$ nmとなる。以上から、環境湿度の不確かさは、本測定においては無視できる大きさである。

・CO_2 濃度によるレーザ干渉計の波長の不確かさ

レーザ干渉計の波長に対するCO_2濃度の影響を考える。この値は経験的に50 ppm程度と仮定して不確かさを見積もった。本影響による分布は、矩形分布と仮定すると、長さ測定への影響は、4 nmである。これを20 mm換算すると、$4\times0.02=0.8\times10^{-2}$ nmとなる。以上から、CO_2濃度の不確かさは、本測定においては無視できる大きさである。

⑦ 球の温度測定の不確かさ:$u(\theta)$

たとえ温度計自体が正しくても、球の温度そのものを測定していることにはならないので、この不確かさの要因が存在する。経験的に±10 mK よりよい精度で測定できると判断し、球の温度測定の不確かさを 10 mK とする。この要因は矩形分布と考えられる。また、温度測定の不確かさには温度計自体の値付けの不確かさも考慮する必要がある。これは、経験的に±5 mK 以下である。この不確かさは、正規分布である。また温度計の自己発熱の補正は行っていない。使用する電流値は 0.5 mA であり、その際の自己発熱による影響は 2 mK 程度である。この要因は長さに換算する際には球の熱膨張係数に掛け合わされ、その大きさは、$0.01\times11.5\times10^{-6}\times2\times20/\sqrt{3}$=2.7 nm 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。

⑧ 球の熱膨張係数の不確かさ:$u(\alpha)$

球の熱膨張係数は、通常メーカによって示されている値を使用する。通常スチール製の球の熱膨張係数は、11.5×10^{-6} /K であり、その標準不確かさは、1×10^{-6} /K 程度である。よって、ここでは、熱膨張係数の標準不確かさを 1×10^{-6} /K とし、計算する。この不確かさの要因は、球の温度の 20 °C からの差に掛け合わされた形で、合成不確かさに寄与する。したがってこの要因の影響を極力小さくするためには、球の温度を極力 20 °C に近くして測定すべきである。ここでは、測定した校正中の球の平均温度が 19.8 °C であった場合、その大きさは、$0.2\times1\times10^{-6}\times20/\sqrt{3}$=2.3 nm である。

⑨ レーザ干渉計のコサイン誤差:$u(\delta_{AL})$

レーザと測定機の駆動軸は可能な限り一致するようにする。アライメント用４分割ダイオードを用いてセッティングすると長さ 1000 mm に対して、0.1 mm 以下の誤差にすることは可能である。この影響は、5 nm/1000 mm。この範囲で矩形分布すると仮定するとレーザのアライメントのコサイン誤差は、これを $\sqrt{3}$ で割って 3 nm/1000 mm である。

〇校正対象固有の項目

⑩ 球の形状による標準不確かさ:$u(\delta_{ron})$

平均直径を算出するに当たり、球の形状偏差（球の真円度）の影響を受ける。ここでは，真円度測定機により値を算出した結果、50 nm であった。本不確かさは、矩形分布とし、$50/\sqrt{3}$ ＝29 nm。

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

上記の結果から合成標準不確かさを表1に示す。

表1 球直径校正(絶対測定)の不確かさのバジェット表(直径 20 mm の例)

不確かさ成分	標準不確かさ	感度係数 c_i	不確かさへの寄与 (μm)	ﾀｲﾌﾟ
○長さに依存しない項目 ① 測定のばらつきによる不確かさ:u(y)	14 nm	1	0.014	A
② 球と接触子の接触変形量の補正の不確かさ:$u(\delta_D)$	46 nm	1	0.046	B
③ 接触子の平行度による不確かさ：$u(\delta_f)$	29 nm	1	0.029	B
④ 接触子の平面度による不確かさ：$u(\delta_p)$	81 nm	1	0.081	B
⑤ レーザ干渉計の分解能:$u(L_{RES})$	1.4 nm	1	0.001	B
○長さに依存する項目 ⑥ レーザ干渉計の空気中の波長の不確かさ:$u(\lambda)$ ・レーザの周波数の不確かさ ・環境温度の変化によるレーザ干渉計の波長の不確かさ ・気圧の変化によるレーザ干渉計の波長の不確かさ ・環境湿度によるレーザ干渉計の波長の不確かさ ・CO_2 濃度によるレーザ干渉計の波長の不確かさ	 1.5 MHz 95 mK 53 Pa 0.64 % 50 ppm		 (無視) 0.001 0.003 (無視) (無視)	 B A A A B
⑦ 球の温度測定の不確かさ:$u(\theta)$	2.7 nm		0.003	B
⑧ 球の熱膨張係数の不確かさ:$u(\alpha_{SPH})$	2.3 nm		0.002	B
⑨ レーザ干渉計のコサイン誤差:$u(\delta_{AL})$	3 nm / 1000 mm	L_o	(無視)	B
○校正対象固有の項目 ⑩球の形状による標準不確かさ:$u(\delta_{ron})$	29 nm	1	0.029	B
合成標準不確かさ u_c			0.103	
拡張不確かさ $U(k=2)$			0.206	

感度係数の計算に用いた数値は次のとおり。L_o：20 mm、α：11.5×10^{-6} /K

3．5 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 $k=2$ を乗じて球直径校正の拡張不確かさを得る。小数点以下3桁目を切り上げて $U=0.21$ μm となる。

4．非接触法の場合の不確かさ評価

非接触法による校正の不確かさ評価は、上記の接触法の不確かさ評価に加え、非接触法における特有の不確かさである位置検出の不確かさを加えまた不要な不確かさを除き評価すること。

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。

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。