Japan Calibration
Service System

JCSS
不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分：硬さ

校正手法の区分の呼称：ブリネル硬さ試験機等

計量器等の種類：ブリネル硬さ試験機、ブリネル硬さ標準片

（第 2 版）

（JCG218S31－02）

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

１．目的 3
２．引用規格及び関連文書 3
２．１　引用規格 3
３．感度係数 3
３．１ ブリネル硬さの定義式 3
３．２ 試験力の感度係数 4
３．３ ブリネルくぼみ直径の感度係数 4
３．４ 圧子直径の感度係数 4
３．５ 試験条件の感度係数 5
４．ブリネル試験機校正の不確かさ 5
４．１ ブリネル硬さ試験機の構成要素 5
４．２ 直接検証項目の不確かさ 6
４．３ くぼみ直径の不確かさ 8
４．４ 硬さ標準片を用いた硬さ値比較の不確かさと硬さ値のかたより 11
５．　標準片校正の不確かさ 12
５．１　標準片校正用試験機の不確かさ 13
５．２　硬さ測定の不確かさ（標準片の不均一による不確かさ） 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

不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分：硬さ
校正手法の区分の呼称：ブリネル硬さ試験機等
計量器等の種類：ブリネル硬さ試験機、ブリネル硬さ標準片

1．目的

このガイドは、ブリネル硬さ試験機の校正およびブリネル硬さ標準片の校正を行う場合に考慮すべき不確かさとその計算例について記載したものである。校正サービスを行う事業者が参照し不確かさの見積もりを行うための一助となることを期待する。

ブリネル硬さ試験機の校正では、JCSS 硬さ標準片を常用参照標準として試験機を校正する場合について、ブリネル硬さ標準片の校正では、JCSS 校正された力計又は一軸試験機及び JCSS 校正された一次元寸法測定器を常用参照標準とする組立によって標準片の校正を行う場合を想定している。

このガイドでは、共通の項目として各不確かさの要因の感度係数について述べる。その後、ブリネル硬さ試験機校正の不確かさの求め方およびブリネル硬さ標準片校正の不確かさの求め方についてそれぞれ章を分けて記述する。

2．引用規格及び関連文書

2．1 引用規格

JIS Z 2243:2008－ブリネル硬さ試験―試験方法

JIS B 7724:2017－ブリネル硬さ試験―試験機の検証

JIS B 7736:2017－ブリネル硬さ試験―基準片の校正

ISO 6506-1:2014 Metallic materials - Brinell hardness test - Part 1：Test method
（金属材料－ブリネル硬さ試験－第1部：試験方法）

ISO 6506-2:2017 Metallic materials - Brinell hardness test - Part 2：Verification and calibration of testing machines
（金属材料－ブリネル硬さ試験－第2部：試験機の検証）

ISO 6506-3:2014 Metallic materials - Brinell hardness test - Part 3：Calibration of reference blocks
（金属材料－ブリネル硬さ試験－第3部：基準片の校正）

3．感度係数

3．1 ブリネル硬さの定義式

ブリネル硬さは式 (1)により求められる。標準片の校正値は少なくとも 5 点のくぼみの平均値によって校正値とされる。

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

$$H = \frac{1}{9.80665} \times \frac{2F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

ここで、*H*: ブリネル硬さ [HBW], *F*: 試験力 [N], *D*: ボール圧子の直径 [mm], *d*: くぼみの平均直径 [mm] である。

ブリネル硬さの定義式から、1. 試験力、2. ブリネルくぼみの直径、3. 圧子直径について考慮が必要であることがわかる。また定義式を利用してそれぞれの感度係数は定義式を偏微分して求めることができる。

これ以外には、負荷時間や保持時間といった時間条件設定の不確かさと、標準片のばらつき(標準片校正の場合)や標準片測定のばらつき(試験機校正の場合)があるが、感度係数は実験等により求める必要がある。

単位の異なる各不確かさ要因 u_{xi} に起因するブリネル硬さの不確かさ u_H は, 感度係数 c_i を介して

$$u_H = c_i \times u_{xi}$$

により求められる。以下それぞれの不確かさ要因に対する感度係数を求める。

3. 2 試験力の感度係数

試験力を *F* [N] としたとき感度係数 c_i [HBW/mm]は

$$c_i = \frac{1}{9.80665} \times \frac{2}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} = \frac{H}{F} \ [\mathrm{HBW/N}]$$

で与えられる。

3. 3 ブリネルくぼみ直径の感度係数

くぼみの直径を *d* [mm]としたとき、感度係数 c_i [HBW/mm]は

$$c_i = -\frac{H}{d} \times \frac{D + \sqrt{(D^2 - d^2)}}{\sqrt{(D^2 - d^2)}} \ [\mathrm{HBW/mm}]$$

で与えられる。

3. 4 圧子直径の感度係数

ボール圧子の直径を *D* [mm]としたとき、感度係数 c_i [HBW/mm]は

$$c_i = -H\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{\sqrt{(D^2 - d^2)}}\right) \ [\mathrm{HBW/mm}]$$

で与えられる。

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

3．5 試験条件の感度係数

負荷時間や保持時間の感度係数は、定義式から容易に求めることができないため実験により求める必要がある。ここではイギリスの計量研究所である英国国立物理学研究所(NPL)によりその感度係数が HP に公表[4]されている。この元となったのがドイツ連邦物理工学研究所(PTB)による不確かさガイドである。負荷時間と保持時間の経験式は PTB のガイドに記載された実験式を用いる。

3．5．1 負荷時間

負荷時間, t_{appl} [s]の感度係数 c_i [HBW/s]は

$$c_i = 6.487 \times 10^{-2} + 2.173 \times 10^{-4} H \ [HBW/s]$$

である。ここで H はブリネル硬さ値である。

3．5．2 保持時間

保持時間の感度係数 c_i [HBW/s]は

$$c_i = -1.554 \times 10^{-1} + 1.454 \times 10^{-4} H \ [HBW/s]$$

である。

4．ブリネル試験機校正の不確かさ

4．1 ブリネル硬さ試験機の構成要素

試験機を校正するためには、試験力負荷機構とくぼみ測定装置の校正を行う。

標準片を上位標準として用いる試験機校正においては、以下①-1 および②-1 で計算する不確かさは標準片の測定に含まれるため厳密にはダブルカウントとなる。しかしながら、試験機の使用範囲を考慮して、試験力とくぼみ測定装置等の不確かさは不確かさを見積もる必要がある。従って試験機校正の不確かさは以下 ①～③を合成して求める。

① 試験力負荷機構

①-1 試験力 (4.2.3)

①-2 圧子直径(4.2.4)※

①-3 負荷時間(4.2.5)※

①-4 保持時間(4.2.5)※

②くぼみ直径測定

②-1 くぼみ測定装置(4.3.2)

②-2 くぼみ読み取りの繰返し性(4.3.4)

③硬さ値比較の不確かさ

③-1 硬さ値比較の不確かさ

③-2 硬さ値のかたよりの不確かさ

※ この項目は、硬さ値比較に含まれるため評価しなくても良い。

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

校正測定能力の不確かさを評価する場合には、⑤標準片測定の不確かさとして、実験的に評価した面内ばらつきを③-1 の不確かさとして評価することが望ましい。③-2 のかたよりは 0 として評価して良い。

以下、それぞれの項目に対する個別の計算手法を示す。

4．2 直接検証項目の不確かさ

4．2．1 試験力負荷機構の不確かさ

ブリネル硬さ試験機の試験力負荷機構は、試験片に規定の試験力かつ規定の試験サイクルで圧子を押し付け、試験片に永久変形くぼみを形成する。このため試験力、ボール圧子、試験サイクルについて検証と不確かさの算出が必要となる。

4．2．2 試験力(各位置での試験力測定とその測定不確かさ)

試験力負荷機構は、こうかん式や油圧式が一般的であり、試験力を発生させる位置により試験力が異なる。試験機製造事業者等や試験力を測定しフィードバック制御等を行っている場合を除き、基本的に試験力を発生させるための位置マークなどを考慮し、測定に用いる上限、中間、下限を考慮して 3 位置で少なくとも 3 回の測定を行う。

まず、規格に規定された許容値等と比較する場合を考える。それぞれの位置において試験力の測定を 3 回(n=3)行う。その平均値をその測定位置での試験力とする。

$$\bar{x} = \frac{1}{3}\sum_i x_i = \frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3)$$

3 回の測定値の標本標準偏差, u_x(不偏分散, u^2_x の平方根)を求める。

$$u_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2 + (x_2-\bar{x})^2 + (x_3-\bar{x})^2}{3-1}}$$

3 回の測定値から平均値を求めるため平均値の不確かさは、$\sqrt{3}$で除して(分散が $1/n$ となる)求まる。

$$u_{\bar{x}} = t\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.32\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2 + (x_2-\bar{x})^2 + (x_3-\bar{x})^2}{3-1}}$$

ここで、測定回数が n=3 と少ないため、分散の推定精度が悪い。試験機校正規格では、このため標準不確かさ(正規分布においては約 68 %を包含する区間)相当とするため、自由度 2 に対する係数 t= 1.32 を乗じて*推定している。

*この手法は統計的にはあまり良い方法ではないが、試験機校正規格で参考に記載された方法である。

※自由度:測定が 3 点、計算に必要な不偏分散を平均値からの偏差として求めている。平均値を求めたため自由度が1減少し、3-1=2 となる。平均値の代わりに規格値からの偏

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

差として推定する場合、自由度を減少させる要因がないので、自由度=測定回数=3 である。
それぞれの測定を行うにあたり、用いた力計の不確かさは力計の校正不確かさ, u_{std} と力計の長期安定性, u_{stb} を考慮して、標準不確かさは以下のように求まる。

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_{std}^2 + u_{stb}^2}$$

力計の校正不確かさは校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数(通常は包含係数, k=2)で除して求める。力計の安定性は複数回の校正などから推定できるが、回数が少ない場合等は 0.02 % (200 ppm)を見積もる。
この場合、それぞれの不確かさの自由度は十分大きいものとみなすことができ、後で包含係数 k=2 を乗じて拡張不確かさ(正規分布であれば約 95 %の信頼区間を与える)とみなすことができる。
この測定値と拡張不確かさを用いて、各位置で測定された試験力とその不確かさは以下となる。

$$\bar{x} \pm 2u$$

これを規格等の許容差と比較することができる。
この計算を各測定位置について行い、その最大値を利用して不確かさとすることもできるが、上記で計算された平均値とその不確かさがある許容値内に入っていることを確認し、その許容値を用いて不確かさを計算することが一般的である。次節でその場合の計算方法について示す。
※ここで計算した不確かさは試験機校正規格の参考に記載された試験力の不確かさに相当する。但し試験力 [N] 単位の不確かさである。試験機校正規格では相対不確かさで表記されていることに留意する必要がある。相対不確かさにするには校正を行った試験力で除して 100 倍し [%] で表す。

4. 2. 3 試験力(試験力が許容値に含まれる場合の不確かさ)

ここでは前節の手法により各位置で測定された試験力が試験機校正規格の試験力許容差範囲内にすべて含まれている場合について考える。
試験機校正規格の場合試験力の許容範囲は ± 1.0 %である。任意の位置で試験を行ったときに発生する試験力はこの範囲内にすべて含まれるとすると、全幅 $2a$=2.0 %の矩形分布を仮定して試験力の不確かさを求めることができる。その時不確かさは以下で求めることができる。

$$u = a/\sqrt{3}$$

例: HBW 3000 の場合、試験力を F= 29420 N として、 許容差は ±1.0 %であるから範囲 $2a$ は 2.0 %。つまり全幅 $2a$= 2 × 294.2 N の矩形分布として求める。従ってその不確かさは、以下の通り。

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

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{29420 \times 0.01}{\sqrt{3}} = 29420 \times 5.77 \times 10^{-3} = 1.70 \times 10^{2}\ [\mathrm{N}]$$

※ 標準片校正規格の場合、許容差は±0.1 %であることから 17.0 N となる。

4．2．4 圧子直径

ボール圧子は消耗品であり通常交換を伴うこと、またその直径は校正時に直接検証することはないため、付属の校正証明書あるいは成績書により考慮する。

規格の許容値より矩形分布を仮定して不確かさを求める。

例: D= 10 mm のボール圧子の許容差は ±0.005 mm である。全幅 2a= 0.010 mm より、その不確かさは以下の通り。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{0.010}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-3}\ [\mathrm{mm}]$$

※ 但し、圧子直径による不確かさの寄与は非常に小さいため、試験機校正においては硬さ標準片の測定に含まれるとして考慮しなくても良い。

※ 標準片校正事業者が自ら組み立てを行う場合には必ず考慮する必要がある。

4．2．5 試験サイクルの不確かさ

試験サイクルは通常ストップウオッチ等を用いて測定される。測定に用いる上位標準の不確かさを含め±0.5 s 程度の範囲として推定する。全幅 2a= 1.0 s から不確かさは以下の通り。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{1.0}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-1}\ [\mathrm{s}]$$

但し、負荷時間が 7 s、保持時間が 14 s の場合、感度係数を乗じても不確かさの寄与は小さいため、試験機校正においては硬さ標準片の測定に含まれるとして考慮しなくても良い。

※ 標準片校正事業者が自ら組み立てを行う場合には負荷速度および全試験力保持時間について必ず考慮する必要がある。

4．3 くぼみ直径の不確かさ

ブリネルくぼみの場合には、くぼみ直径測定装置の校正不確かさ等の装置に起因する不確かさとともに、硬さや光学系により異なるくぼみのエッジ部分の決定精度が大きく影響する。このため、くぼみ測定装置の校正、装置の目量(分解能)および、くぼみのエッジ決定精度として繰返し性を見積もることが必要となる。

4．3．1 くぼみ測定装置(特定の測定長さでの測定不確かさ)

くぼみ測定装置の校正は、試験機校正規格により、測定範囲内で最低 4 区間以上(標準片

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

校正規格では 5 区間以上)の測定長さについて検証を行う必要がある。検証の方法にはいくつかの方法がある。機器のばらつきを勘案して適切な手法をとることが必要となる。

例: 個別の測定長さに対する機器の校正値と不確かさ
測定長さ L=5.000 mm について校正されたガラス製の標準尺を用いて 3 回(n=3) の測定を行い、その平均値を用いて測定値とする場合を考える。校正された温度は 20 ℃であり、校正実施条件は 23 ℃ ± 3 ℃とする。校正証明書に記載された熱膨張係数は 8.5×10^{-6} /K であり、5.000 mm の長さに対して 23 ℃では 約 5.00013 mm となる。以下標準尺の校正値は 23 ℃の値に(L= 5.00013 mm)に補正されたものとして考える。
3 点の平均値を測定値とする。平均値とその平均値の不確かさは、試験力と同様に、以下のように求められる。

$$\bar{x}=\frac{1}{3}\sum_i x_i=\frac{1}{3}(x_1+x_2+x_3)$$

3 回の測定値の標本標準偏差, u_x(不偏分散, u^2_x の平方根)を求める。

$$u_x=\sqrt{\frac{\sum_i(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+(x_3-\bar{x})^2}{3-1}}$$

3 回の測定値から平均値を求めるため平均値の不確かさは、$\sqrt{3}$で除して(分散が $1/n$ となる)求まる。

$$u_{\bar{x}}=t\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_i(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=1.32\frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+(x_3-\bar{x})^2}{3-1}}$$

ここで、測定回数が n=3 と少ないため、分散の推定精度が悪い。試験機校正規格では、このため標準不確かさ相当とするため、自由度 2 に対するスチューデントの t (t= 1.32)を乗じて推定*している。

標準尺のある長さを測定した時の測定値の標準不確かさは、この平均値の不確かさに用いた標準の校正不確かさ, u_{std}、測定装置の分解能 u_{res} および熱膨張による標準尺の長さ変化の影響 u_{exp} を考慮する。標準尺の長期安定性は通常小さいので無視する。標準不確かさは以下で与えられる。

$$u=\sqrt{u_{\bar{x}}^2+u_{std}^2+u_{res}^2+u_{exp}^2}$$

ここで、熱膨張の影響は以下のように推定できる。
校正実施条件が 23 ℃ ± 3 ℃ であり、この 6 ℃の温度範囲における熱膨張の全幅 2a は

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

$$8.5 \times 10^{-6} \times 6 = 2.55 \times 10^{-4}\ [\mathrm{mm}]$$

である。従ってこの範囲 2*a* を全幅とする矩形分布として推定する。

$$u_{e.xp} = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{2.55 \times 10^{-4}}{2\sqrt{3}} = 7.36 \times 10^{-4}\ [\mathrm{mm}]$$

もし熱膨張の補正を行わないで校正を行った場合には、20 ℃ ± 6 ℃ の温度範囲を仮定し、上記の 2 倍となり、大体 0.15 μm 程度(標準不確かさ)である。これに包含係数 *k*=2 を乗じて、拡張不確かさを求める。

従って、平均値とその不確かさから、測定した点における測定値とその不確かさは以下で求まる。

$$\bar{x} \pm 2u$$

これを用いて規格に示された許容値と比較することができる。

試験力の場合と同様に、規格値(あるいは上位標準の校正値)と比較してその最大値を許容値として求めることもできるが、規格に示された値もしくはあらかじめ許容値を設定しその範囲内であるとして不確かさを求めることが一般的である。次節でその場合の不確かさの計算方法を示す。

4．3．2 くぼみ測定装置(くぼみ測定装置の測定値が許容差に含まれる場合の不確かさ)

以下、測定を行う各区間の長さがすべて試験機校正規格の許容差範囲内であり、くぼみ測定装置は測定領域すべてに対して許容差を満たしている場合を考える。測定されるくぼみの直径を *d* mm とし、許容差は ± 0.5 %である。同様に全幅 2*a* = 0.010*d* mm の矩形分布について不確かさは以下のように推定できる。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01d}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-3} d\ [\mathrm{mm}]$$

※標準片校正規格の場合、*d* > 2.5 mm に対する許容差は±0.002 mm であり、全幅 2*a* は 0.004 mm である。矩形分布を仮定し不確かさは以下のように推定できる。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{0.004}{2\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-3}\ [\mathrm{mm}]$$

4．3．3 くぼみ測定装置の分解能

くぼみ測定装置の分解能を 0.002 mm とする。全幅 2*a* = 0.002 mm の矩形分布についてその不確かさは以下のように推定できる。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{0.002}{2\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-4}\ [\mathrm{mm}]$$

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

4．3．4 くぼみ読み取りの繰返し性

ブリネルくぼみの直径計測において、対物レンズの選び方(倍率および開口数)や照明の状況、あるいは焦点合わせによりくぼみのエッジのコントラストが変化する。特に鏡面の試料で、低い開口数を持つ対物レンズを使用し、対物レンズを通じて照明する場合に、特に影響が大きいことが知られている。多種多様な装置の構成に対して実験的に求める必要がある。

試験機校正規格では、測定されるくぼみの直径を d mm とし、許容差は ±0.5 %である。全幅 $2a$ = 0.010d mm の矩形分布について不確かさは以下のように推定できる。

$$u = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01d}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-3} d \,[\mathrm{mm}]$$

※ 標準片校正事業者が自ら組み立てを行う場合には、同等以上の事業者あるいは研究所等と比較する等、実験的に検討し不確かさを算出すること。

4．4 硬さ標準片を用いた硬さ値比較の不確かさと硬さ値のかたより

ここでは、上位標準として JCSS 校正されたブリネル硬さ標準片を用いる。被校正試験機によりこの標準片の測定を行う。試験機により得られた測定値とその比較測定の不確かさについて推定する。

硬さ標準片の校正値は H_{ref}、その拡張不確かさは $U_{ref} = 2u_{ref}$ 、包含係数 k=2 とする。

n=5 点の測定を行い、そのそれぞれの測定値 x_i について、平均を取り測定値とする。

$$\bar{x} = \frac{1}{5}\sum_i x_i = \frac{1}{5}(x_1 + \cdots + x_5)$$

5 回の測定値の標本標準偏差, u_x(不偏分散, u^2_x の平方根)を求める。

$$u_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_5 - \bar{x})^2}{5-1}}$$

5 回の測定値から平均値を求めるため、平均値の不確かさは$\sqrt{5}$で除して(分散で 1/n)求める。

$$u_{\bar{x}} = t\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.14\frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_5 - \bar{x})^2}{5-1}}$$

ここで、測定回数が n=5 と少ないため、分散の推定精度が悪い。試験機校正規格では、このため標準不確かさ相当とするため、自由度 4(= 5−1)に対するスチューデントの t (t= 1.14)を乗じて推定している。

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

上記により測定値(5 点の平均値), $\bar{x}$ とその平均値の不確かさが求まった。試験機の測定値のかたよりは校正値と測定値との差(かたより:バイアス), b は以下で求める。

$$b = \bar{x} - H_{ref}$$

硬さ値の差 b の標準不確かさは $\sqrt{u_x^2 + u_{ref}^2}$ で求められる。

A 通常この差を用いて補正は行わないので、硬さ値の差を不確かさに見積もる。
従って、硬さ値比較の不確かさは

$$u = \sqrt{b^2 + u_x^2 + u_{ref}^2}$$

で求められる。

B 従って、硬さ値比較の不確かさは

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_{ref}^2}$$

で求められる。
※この場合、測定された硬さの最大偏差は、全体の拡張不確かさ, U を求めた後、

$U_{Href} = b + U$で求められる。

5. 標準片校正の不確かさ

ブリネル硬さ標準片校正を行うために、JCSS 校正された力計又は一軸試験機及び JCSS 校正された一次元寸法測定器を常用参照標準とする組立によってブリネル硬さ標準片校正装置を用い、その不確かさを見積もるためには、4.1 で示した手法を用い、標準片校正規格に準拠した標準片校正用試験機を用いて標準片の校正を行い、その不確かさを評価する必要がある。

具体的には以下の通りであり、標準片校正用試験機の不確かさと硬さ測定の不確かさを合成して求める。

① 試験力負荷機構
- ①-1 試験力 (4.2.3)
- ①-2 圧子直径(4.2.4)

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

①-3 負荷時間(4.2.5)

①-4 保持時間(4.2.5)

②くぼみ直径測定

②-1 くぼみ測定装置(4.3.2)

②-2 くぼみ読み取りの繰返し性(4.3.4)

③硬さ値測定の不確かさ(5.2)

本章では、その不確かさ評価例について記載する。

5.1 標準片校正用試験機の不確かさ

標準片校正規格に準拠した試験機について不確かさを評価する。上位の標準片にトレーサビリティを求める場合には評価の手順は4章に記載した試験機校正の不確かさと全く同じである。硬さ以外のトレーサビリティにより組立てを行った場合の不確かさは同様に 4 章に記載の評価項目の内①～③全てについて考慮して評価する。

必要であれば安定性等を評価することを考慮すること。

5.2 硬さ測定の不確かさ(標準片の不均一による不確かさ)

標準片校正用の試験機を用いて、標準片の面内測定を行い、測定値の平均値を標準片の校正値とする。

n=5 点の測定を行い、そのそれぞれの測定値 x_i について、平均を取り測定値とする。

$$\bar{x} = \frac{1}{5}\sum_i x_i = \frac{1}{5}(x_1 + \cdots + x_5)$$

その時のばらつきを評価して、標準片の不確かさとする。

n=5 点の測定値の標本標準偏差, u_x(不偏分散, u^2_x の平方根)を求める。

$$u_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_5 - \bar{x})^2}{5-1}}$$

5 回の測定値から平均値を求めるため、平均値の不確かさは$\sqrt{5}$で除して(分散で 1/n)求める。

$$u_{\bar{x}} = t\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.14\frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_5 - \bar{x})^2}{5-1}}$$

ここで、測定回数が n=5 と少ないため、分散の推定精度が悪い。試験機校正規格では、このため標準不確かさ相当とするため、自由度 4(= 5-1)に対するスチューデントの t (t= 1.14)を乗じて推定している。

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

※ 通常この不確かさは実験データを用いて推定される。

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

表1 ブリネル硬さ試験機校正(硬さレベル:350 HBW10/3000)の不確かさ (バイアス成分を除く)

要因, x_i	呼び値	全幅 (矩形の場合)	分布等	標準不確かさ, u	単位	感度係数, c_i/xi	不確かさ寄与, c_iu_i/ HBW	備考、自由度
試験力, F/N	*29420*	±1.0 % F = 2.0 % F	矩形	1.7E+02	N	1.19E−02	2.02	±1.0F % , ∞
圧子直径, D/mm ※	10	±0.005 mm = 0.010 mm	矩形	2.9E−03	mm	−2.02E+00	0.01	±5 µm
負荷時間, t_{AP}/s ※	7	1 s	矩形	2.9E−01	s	1.41E−01	0.04	±0.5 s, ∞
保持時間, t/s ※	14	1 s	矩形	2.9E−01	s	−1.05E−01	0.03	±0.5 s, ∞
くぼみ測定装置, d/mm	3.258	±0.5 % d = 1.0% d	矩形	9.4E−03	mm	−2.21E+02	2.08	±0.5 %,
測定装置分解能, d/mm 分解能	0	0.01 mm	矩形	2.9E−03	mm	−2.21E+02	0.64	10 µm
繰り返し, d/mm ※	0	0.010 mm	矩形	2.9E−03	mm	−2.21E+02	0.64	10 µm
硬さ値比較, b /HBW	0	2.0 % H	矩形/5 点 平均値	1.0E+00	HBW	1.00E+00	1.03	JIS/ISO では直径に 対し 1.0d %
合成標準不確かさ							3.21	HBW
拡張不確かさ							6.41	HBW
相対合成標準不確かさ							0.92	%
相対拡張不確かさ							1.83	%

※ これらの要因は試験機校正規格では不確かさ見積もり項目として挙げられていない。

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

表2 ブリネル硬さ標準片校正(硬さレベル:350 HBW10/3000)の不確かさ

要因, x_i	呼び値	全幅 (矩形の場合)	分布等	標準不確かさ, u	単位	感度係数, c_i/xi	不確かさ寄与, c_iu_i/ HBW	備考、自由度
試験力, F/N	*29420*	±0.1 % F = 0.2 % F	矩形	1.7E+01	N	1.19E−02	0.20	0.1 % , ∞
圧子直径, D/mm	10	±0.005 mm = 0.010 mm	矩形	2.9E−03	mm	−2.02E+00	0.01	±5 µm
負荷時間, t_{AP}/s	7	1 s	矩形	2.9E−01	s	1.41E−01	0.04	±0.5 s, ∞
保持時間, t/s	14	1 s	矩形	2.9E−01	s	−1.05E−01	0.03	±0.5 s, ∞
くぼみ測定装置, d/mm	3.258	±0.002 mm = 0.004 mm	矩形	1.2E−03	mm	−2.21E+02	0.26	±2 µm,
測定装置分解能, d/mm 分解能	0	0.001 mm	矩形	2.9E−04	mm	−2.21E+02	0.06	10 µm
繰り返し, d/mm	0	0.010 mm	矩形	2.9E−03	mm	−2.21E+02	0.64	10 µm
ブロック不均一, b /HBW in %	0	2.0 % H	矩形/5 点 平均値	1.0E+00	HBW	1.00E+00	1.03	JIS/ISO では 直径に対し 1.0d %
合成標準不確かさ							1.26	HBW
拡張不確かさ							2.51	HBW
相対合成標準不確かさ							0.36	%
相対拡張不確かさ							0.72	%

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

文献:

[1] ISO 6506-1:2014 Metallic materials－Brinell hardness test -- Part 1: Test method
JIS Z 2243:2008 ブリネル硬さ試験 －試験方法

[2] ISO 6506-2:2017 Metallic materials－Brinell hardness test－Part 2: Verification and calibration of testing machines
JIS B 7724:2017 ブリネル硬さ試験－試験機の検証及び校正

[3] ISO 6506-3:2014 Metallic materials－Brinell hardness test－Part 3: Calibration of reference blocks
JIS B 7736:2017 ブリネル硬さ試験－基準片の校正

[4] NPL: Hardness methods and sensitivity coefficients, http://www.npl.co.uk/science-technology/mass-and-force/hardness/ , Oct. 2017

[5] PTB: Guideline to the determination of the uncertainty of the Brinell and Vickers measuring method. Sep. 1999.

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

改正の要旨

主な改正は、以下のとおりである。

・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