JCSS
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：ビッカース硬さ試験機等

## 計量器等の種類：硬さ試験機・硬さ標準片

## （第3版）

*（JCG218S21－03）*

## 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. はじめに ..... 3
2. 硬さ試験機の不確かさ ..... 3
2.1 硬さ試験機の校正方法 ..... 3
2.2 硬さ試験機の校正で検証される項目と不確かさ ..... 3
2.3 直接検証によって求められる不確かさ ..... 3
2.3.1 試験力の不確かさ ..... 3
2.3.2 くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさ ..... 4
2.4 間接検証により評価される不確かさ ..... 6
2.4.1 硬さ値比較による不確かさ ..... 6
2.5 硬さ試験機の不確かさ ..... 7
3. 硬さ標準片の不確かさ ..... 8
3.1 硬さ標準片の校正方法と標準値の不確かさの表し方 ..... 8
3.2 硬さ標準片の校正に用いる硬さ試験機の不確かさが既知のレベルでの見積もり ..... 8
3.3 硬さ標準片の校正に用いる硬さ試験機の不確かさが未知のレベルでの見積もり ..... 9
3.3.1 ビッカース硬さの不確かさについての考え方 ..... 9
3.3.2 不確かさの内挿方法 ..... 9
3.3.3 不確かさの外挿方法 ..... 12
4.参考 ..... 14
4.1 感度係数について ..... 14
4.2 傾き係数, $K$ について ..... 15
参考文献 ..... 16

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:ビッカース硬さ試験機等
# 計量器等の種類:硬さ試験機・硬さ標準片

## 1. はじめに

このガイドは、登録事業者が行うビッカース硬さ試験機及び標準片の校正の不確かさを求めるための指針を示したものである。また、このガイドによらない不確かさ計算手法を排除するものではない。

## 2. 硬さ試験機の不確かさ

### 2.1 硬さ試験機の校正方法

硬さ試験機の校正はJIS B7725[1)]又はISO 6507-2[2)]に従って行う。その中でも硬さ標準片を校正するための硬さ試験機(以下、「校正用硬さ試験機」という。)の校正はJIS B7735[1)]又はISO 6507-3[2)]に従って行う。校正を行うためには、直接検証と間接検証を行う必要がある。JCSSにおける校正では校正される硬さ試験機とそれに用いる圧子の組合せが校正の対象となる。

### 2.2 硬さ試験機の校正で検証される項目と不確かさ

硬さ試験機の不確かさは、以下の2項目の不確かさを合成して求める。

(1) 直接検証による各検証項目の不確かさが硬さ測定値に与える影響

(2) 間接検証により評価される硬さ値の偏差と繰り返し性

校正される硬さ試験機により、試験力、読み取り長さなどは異なる。従って評価される不確かさは、本来検証された点のみについて有効なものである。

### 2.3 直接検証によって求められる不確かさ

直接検証の項目として、少なくとも以下の項目に関する不確かさを見積もる。

(1) 試験力の不確かさ

(2) くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさ

見積もりを行う試験力の位置は試験力負荷機構の硬さによる位置の違いの影響を含むようにすること、ユーザからの指定がない場合には、間接検証に用いる基準片における荷重位置(例えば200 HV, 600 HV, 900 HV) とするなどJISに基づき事前に取り決められていることが望ましい。

#### 2.3.1 試験力の不確かさ

試験力の不確かさ$u_F$は、検証に用いる力測定装置の不確かさ$u_{F_1}$と試験力測定値のばらつき$u_{F_2}$を合成して求める。力測定装置の不確かさ$u_{F_1}$は、通常は校正証明書に示された不確かさを標準不確かさに換算したもの、および校正時との環境の違いや、長期安定性による不確かさを合成して求める。試験力測定値のばらつき$u_{F_2}$は、試験力の直接検証のデータを用い規格値からの分散の平方根として求める。

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

【計算例】

294.2 N(HV30)における校正証明書記載の拡張不確かさが、0.04 %($k$=2)である力計で 294.2 Nの試験力を直接検証したときのデータが表2.3.1のようであったとする。

力測定装置の不確かさ$u_{F_1}$は、校正証明書記載の拡張不確かさ($k$=2)を2で割った標準不確かさは0.02 %である。また長期変動による不確かさ, $u_{F_stab}$は、複数回の校正がある場合にはその標準偏差から求めることができる。校正回数が少ない(<3)の場合には暫定的に0.02 %程度を用いることができる[3)]。

ビッカース硬さの場合にはHV30の基準値からの相対値として表記すことが後の計算に用いやすい。試験力の相対不確かさ$u_F/F$は基準値からの偏差(表2.3.2)を用いて、表2.3.3のように見積もることができる。ビッカース硬さの場合には感度係数が単純になるため相対値として表している。

**表 2.3.1 試験力測定データ例** 単位 [N]

| 測定位置 | 測定 1 | 測定 2 | 測定 3 |
|---|---|---|---|
| 位置 1 | 294.07 | 293.97 | 293.84 |
| 位置 2 | 294.19 | 294.10 | 293.76 |
| 位置 3 | 293.96 | 293.95 | 293.88 |

**表 2.3.2 試験力測定値の基準値からの偏差** 単位 [N]

| 測定位置 | 測定 1 | 測定 2 | 測定 3 |
|---|---|---|---|
| 位置 1 | −0.13 | −0.23 | −0.36 |
| 位置 2 | −0.01 | −0.10 | −0.44 |
| 位置 3 | −0.24 | −0.25 | −0.32 |

**表 2.3.3 試験力 294.2 Nにおける相対不確かさ**

| 試験力 294.2 N (HV30) | 不確かさ | 試験力の相対不確かさ [%] |
|---|---|---|
| 力計の不確かさ $u_{F_2}$ | 0.06 N | 0.020 |
| 力計の長期変動 $u_{F_stab}$ | 0.02 % | 0.020 |
| 試験力測定値のばらつき, $u_{F_2}$ $\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(F_i-294.2)^2}{n}}$ | 0.264 N | 0.090 |
| 試験力の相対不確かさ, $u_F/F$ | − | 0.094 |

### 2.3.2 くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさ

くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさ$u_d$は、検証に用いる長さ標準(例えば標準尺)の不確かさ$u_{d_1}$とその標準を対角線長さ測定装置で測定したときのばらつき$u_{d_2}$、対角線長さ測定装置の読み取り分解能の不確かさ$u_{d_3}$を合成して求める。この測定はその硬さ試験機で用いる対物レンズが数種あり、ユーザからの要請がある場合には対物レンズごとに行われる必要がある。

長さ標準の不確かさ$u_{d_1}$は通常は校正証明書に示された不確かさを標準不確かさに換算して用いる。標準を対角線長さ測定装置で測定したときのばらつき$u_{d_2}$は対角線長さ測定範囲のうち少なくとも5点を測定したときの校正値からの分散の平方根として求める。読み取り分解能の不確かさ$u_{d_3}$は読み取りの目量(分解能)を

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

一様分布とみなしたときの不確かさから求める。分解能が 0.1 μmであれば 0.029 μm （= 0.1/√12)である。

【計算例】

くぼみ対角線長さ測定装置について 標準尺を用いて 0.10 mm ～ 1.00 mmまで0.1 mmごとに行う場合について考える。以下長さはμmを単位として用いる。対角線長さ測定装置の分解能が0.1 μmである。拡張不確かさが 0.4 μm の標準尺を用いて検証を行ったときのデータが表2.3.4のようであったとすると、標準尺の校正値からの偏差は、表2.3.5のように計算される。従って、くぼみ対角線長さの測定装置の不確かさ$u_d$は表2.3.6のように表される。

※ ここでは、200 μm 以上のくぼみの測定のみを考慮して 100 μm ステップで1 mm まで行った例を示した。試験力が小さく、対角線長さが短い対角線長さを測定する硬さ試験機では、測定範囲に応じて、適切な測定位置を用いること。検証範囲によるが非線形性が評価できるように、10 以上の測定位置を用いて行われることが望ましい。

**表 2.3.4 対角線長さ測定装置の測定データ例**

| 測定位置 [μm] | 器差 [μm] | 校正値 [μm] | 測定値 1 | 測定値 2 | 測定値 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 100 | 0.02 | 99.98 | 100.0 | 100.0 | 100.1 |
| 200 | 0.03 | 199.97 | 200.1 | 199.9 | 200.1 |
| 300 | −0.02 | 300.02 | 300.1 | 299.9 | 300.0 |
| 400 | −0.05 | 400.05 | 399.8 | 399.9 | 400.0 |
| 500 | −0.02 | 500.02 | 499.9 | 499.9 | 500.1 |
| 600 | 0.02 | 599.98 | 600.0 | 600.1 | 600.2 |
| 700 | 0.01 | 699.99 | 700.0 | 700.1 | 700.1 |
| 800 | −0.04 | 800.04 | 800.1 | 800.0 | 799.9 |
| 900 | 0.04 | 899.96 | 900.1 | 900.1 | 899.9 |
| 1000 | −0.04 | 1000.04 | 999.9 | 1000.2 | 1000.1 |

**表 2.3.5 対角線長さ測定装置の校正値からの偏差**

| 測定位置, $d_i$ [μm] | 測定値 1 | 測定値 2 | 測定値 3 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 100 | 0.02 | 0.02 | 0.12 |
| 200 | 0.13 | −0.07 | 0.13 |
| 300 | 0.08 | −0.12 | −0.02 |
| 400 | −0.25 | −0.15 | −0.05 |
| 500 | −0.12 | −0.12 | 0.08 |
| 600 | 0.02 | 0.12 | 0.22 |
| 700 | 0.01 | 0.11 | 0.11 |
| 800 | 0.06 | −0.04 | −0.14 |
| 900 | 0.14 | 0.14 | −0.06 |
| 1000 | −0.14 | 0.16 | 0.06 |

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 2.3.6 対角線長さ測定装置の不確かさ**

*d*: 対角線長さ [μm]

| | 不確かさ | | 相対不確かさ [%] |
|---|---|---|---|
| 標準尺の不確かさ $u_{d_1}$ 校正証明書より | 0.20 | μm | $20/d$ |
| 対角線長さ測定装置のばらつき, $u_{d_2}$ $\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(d_{ij}-d_i)^2}{n}}$ | 0.112 | μm | $11.2/d$ |
| 対角線長さ測定装置の分解能の不確かさ, $u_{d_3}$ | 0.029 | μm | $2.9/d$ |
| 対角線長さ測定装置の相対不確かさ, $u_d/d$ | | – | $23.1/d$ |

## 2.4 間接検証により評価される不確かさ

間接検証にはJCSSもしくはjcssのシステムにより校正され、硬さ値が測定された標準片を用いる。くぼみの大きさにより硬さ値が異なる可能性があるため、校正証明書に記載された試験力で評価する必要がある。

不確かさは校正された標準片と校正器物による硬さ測定値を比較して評価する。測定値のばらつきを評価するためには校正された面内のばらつき等を評価するため統計的に十分なデータ数を確保する必要がある。間接検証による硬さ値の比較によって不確かさを評価すると、被校正硬さ試験機付属の圧子の不確かさが含まれた形で評価される。

### 2.4.1 硬さ値比較による不確かさ

硬さ値比較による不確かさ$u_{comp}$ は、標準片の硬さの平均値の不確かさ$u_{CRM}$、校正器物による硬さ測定のばらつき$u_{dH}$、を合成して求める。検証に用いる標準片の不確かさ$u_{CRM}$ は、校正証明書に示された不確かさを標準不確かさに換算して用いる。

硬さ測定のばらつきは、校正された標準片に対して行った硬さ測定値の校正値からの分散の平方根として求める。

【計算例】

公称硬さ 600 HV30 の JCSS 校正された標準片 2 個に対して硬さ値比較を行った場合について考える。校正値がそれぞれ 599.5 HV30 (基準片 1), 605.2 HV30(基準片 2)であり、その標準不確かさはともに 1.25 %であるとする。それぞれについて硬さ測定を行った結果が表 2.4.1 であったとする。 それぞれ校正値からの偏差は表 2.4.2 となる。これらの結果から、硬さ値比較の不確かさは表 2.4.3 のように求められる。このとき相対値は公称硬さ 600 HV で割って求めている。

※ この硬さ値比較の不確かさには、読み取りの個人差や測定に用いた観察光学系の照明、対物レンズ、拡大率などの偏りの影響が含まれている。

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

**表 2.4.1 標準片の硬さ測定結果**

| 基準片 1 | 基準片 2 |
|---|---|
| 603 | 609 |
| 605 | 610 |
| 606 | 611 |
| 605 | 610 |
| 604 | 609 |
| 608 | 612 |

**表 2.4.2 硬さ測定結果の校正値からの偏差**

| 基準片 1 | 基準片 2 |
|---|---|
| 3.5 | 3.8 |
| 5.5 | 4.8 |
| 6.5 | 5.8 |
| 5.5 | 4.8 |
| 4.5 | 3.8 |
| 8.5 | 6.8 |

**表 2.4.3 硬さ値比較の不確かさ**

| | 不確かさ | 不確かさ［%］ |
|---|---|---|
| 標準片の不確かさ, $u_{CRM}$<br>校正証明書より | | 1.25 |
| 校正値からのばらつき, $u_{dH}$<br>$\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(H_{ij}-H_i)^2}{n}}$ | 5.49 HV | 0.915 |
| 硬さ値比較の不確かさ, $u_{comp}/HV$ | | 1.55 |

## 2.5 硬さ試験機の不確かさ

硬さ試験機の不確かさ$u_M$は、2.3.1より求められる試験力の不確かさ$u_F$、2.3.2 より求められるくぼみ対角線長さ測定装置の不確かさ$u_d$, および2.4.1より求められる間接検証により評価される不確かさは$u_{comp}$を合成して求める。

【計算例】

公称硬さ600 HV30 を用いて行われた硬さ試験機の校正について以下の不確かさが得られたとする。試験力の相対不確かさ$u_F$= 0.094 %、くぼみ対角線長さ測定装置の相対不確かさ$u_d$, = 23.1/$d$ %、間接検証により評価される不確かさは$u_{comp}$= 1.55 %であるとする。このとき公称硬さ値を与えるくぼみ対角線長さ $d$ = 0.3045 mm である。それぞれ検証された相対不確かさに関する感度係数, $c_X = \frac{(u_{HV}/HV)}{(u_X/X)}$ は表2.5.1で与えられる。従って硬さ試験機の標準不確かさは、表2.5.2で与えられる。従って、例示した 600HV30レベルにおける拡張不確かさ（$k$ = 2）は3.12 %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

**表 2.5.1 相対不確かさに対する感度係数。**

| $X$ | $c_X$ |
|---|---|
| 試験力 | 1 |
| 対角線長さ | 2 |
| 硬さ値比較 | 1 |

**表 2.5.2 ビッカース硬さ試験機の相対不確かさ**

| | $u_X/X$ [%] | $c_X$ | $u_{HV}/HV$ [%] |
|---|---|---|---|
| 試験力の不確かさ, $u_F/F$ | 0.094 | 1 | 0.09 |
| 対角線長さの不確かさ, $u_d/d$ @ $d$=304.5 μm | 23.1/$d$ | 2 | 0.15 |
| 硬さ値比較の不確かさ, $u_{comp}/HV$ | 1.55 | 1 | 1.55 |
| 硬さ試験機の不確かさ, $u_M/HV$ | | | 1.56 |
| 硬さ試験機の拡張不確かさ $U_M/HV$ | | | 3.12 |

## 3. 硬さ標準片の不確かさ

### 3.1 硬さ標準片の校正方法と標準値の不確かさの表し方

硬さ標準片の校正は、JCSS校正された校正用硬さ試験機を用い、JIS B 7735 又はISO 6507-3 に従って行う。試験片 1個に対して複数の測定[注1)]を行い、その算術平均値をもって校正値とする。その校正値の不確かさは、標準片を繰り返し測定したときの平均値の不確かさとする。

破壊試験であるため、厳密な意味での繰り返し測定はできないが、校正測定能力を求めるに当たっては、十分なデータを用いて統計的に検討を行うことが必要である。

注1) ISO JISともに5点。5点を超える場合には測定点数を明記すること(JIS)

### 3.2 硬さ標準片の校正に用いる硬さ試験機の不確かさが既知のレベルでの見積もり

硬さ標準片の校正値の不確かさは、校正に使用する機器の不確かさと標準片を測定したときのばらつきから、すなわちJCSS校正を受けた校正用硬さ試験機の不確かさ$u_M$、くぼみ読み取りの不確かさ$u_R$、および硬さ平均値の不確かさ, $u_H$を合成して求める。

校正用硬さ試験機の不確かさは、JCSS校正証明書に示された拡張不確かさを標準不確かさに換算して(包含係数で除して)用いる。くぼみ読み取りの不確かさは、くぼみの読み取りに際して生じる、焦点合わせ、個人差、日間・月間変動などの要素による不確かさを考慮する必要がある。

標準片の校正値の不確かさは $u_H$ は、硬さ標準片に値付けを行ったときの硬さの測定データの標準偏差を用いて見積もるか、あるいは事前に繰り返して測定された標準片の面内ばらつきの標準偏差を用いてもかまわない。どちらにしても、標準片を校正する際に用いた繰り返し測定の数(標準片一個あたりの測定数)の平方根で標準偏差を除した値(平均値の不確かさ)を用いる。

合成標準不確かさに、ここでは約95 %の信頼水準を与えるものとして包含係数$k$ = 2を乗じたものを拡張不確かさとし、95 %信頼水準を与えるものとして $k$=2を用いたことを併記する。

【計算例】

200 HV30 の jcss 標準試験片を用いて、JCSS 校正を受けた校正用硬さ試験機の拡張不確かさが($k$ = 2)で 3.12 %であり、標準不確かさは 1.56 %である。これまで同一レベルの標準片から繰り返して見積もられた硬さ

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

の面内ばらつきの標準偏差(1σ) が 0.65 %であった。このばらつきを求めるに当たって、同一試験片による測定日変更、測定者変更による影響、およびデータの分解能(この場合 1 HV)による不確かさなど、くぼみ読み取りの不確かさ $u_R$ がすでに含まれているものとする。標準片校正においては 5 点の測定を行い、その平均値として校正値を求めた。このため、標準片校正値の不確かさ, $u_H$ は 5 点の平均であるため、期待されるばらつき 0.65 %を 5 の平方根で除して、0.29 %である。

このとき、200 HV30 における硬さ標準片校正の標準不確かさは、上記校正用硬さ試験機の 200 HV30 での不確かさと、校正値の不確かさを合成して求める。その後包含係数 $k$ = 2 を乗じて拡張不確かさを求める。従って表 3.2.1 に示すとおり、標準片校正の拡張不確かさは 3.17 % ($k$ = 2)となる。

**表 3.2.1 標準片校正の拡張不確かさ**

| | *uHV/HV* [%] |
|---|---|
| 校正用硬さ試験機の不確かさ,$u_M$ | 1.56 |
| くぼみ読み取りの不確かさ, $u_R$<br>硬さの面内ばらつき, $u_H$ | 0.29 |
| 標準片校正の不確かさ | 1.59 |
| 標準片校正の拡張不確かさ | 3.17 |

### 3.3 硬さ標準片の校正に用いる硬さ試験機の不確かさが未知のレベルでの見積もり

#### 3.3.1 ビッカース硬さの不確かさについての考え方

「2.2 硬さ試験機の校正で検証される項目と不確かさ」に述べたように、硬さ試験機校正で検証されるのは離散的なものである。ビッカース硬さにおいては試験力と硬さの組合せが多く存在するため、そのすべてを検証することは現実的ではない。

一方、ビッカース硬さの不確かさ要因について、その主要因がくぼみの読み取りに起因することがわかっている (例えば 樋田「ビッカース硬さ標準の精度向上に関する研究」計量研究所報告、Vol.26, No.4(1977))。このとき読み取りの個人差はそれぞれ異なるものの、ある特定観測者の個人差はくぼみの大きさに関係なく一定値とみなしてよいことが示されている。この結果を元に、ビッカース硬さの不確かさがほぼくぼみの対角線長さに関係して異なるものと仮定し、検証外のレベルまで拡張することとする。

この拡張を行うに当たっては、推定ができるだけの十分な校正点数と、仮定条件を満たすための十分な硬さ試験機の安定性が必要である。このためJCSSにおける不確かさの内挿方法の適用は校正用硬さ試験機のみを対象とする。

#### 3.3.2 不確かさの内挿方法

校正証明書に記載された、各硬さレベル、試験力の硬さ値に対してビッカース硬さの算出式(参考: 感度係数を参照)から対角線長さ, $d$ を計算する。それぞれの校正点の不確かさは校正証明書記載の不確かさを標準不確かさに換算する。そのとき不確かさの表記が相対不確かさでない場合には、標準不確かさ, $u$ を校正された硬さ値, $H$ で除し100倍した、相対不確かさ, $u$ [%]に換算して用いる。

**方法 1** 具体的には、内挿範囲内で一番大きい相対不確かさを用いて内挿範囲全体の不確かさとする。校正範囲の最大の相対不確かさを内挿する校正範囲点すべてに用いる。

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

**方法 2.** 傾き係数 $K = u\ d$を計算し一番大きい傾き係数 $K_{Max}$を選ぶ。そのとき内挿領域での標準不確かさは $u$ [%] = $K_{Max}/d$で表される。不確かさの主成分がくぼみ測定の不確かさとし、その最大の相対不確かさを校正範囲すべてに用いる場合である。

(注) 傾き係数についての詳細は、「参考」を参照のこと

**方法 3** 通常対角線長さ, $d$ がある一定の大きさ以上になると、くぼみの対角線長さ読み取りの不確かさの影響が小さくなる。対角線長さが一定の長さ以上では方法1を適用。それ以下では方法2を適用する。方法2で計算される不確かさと方法1で計算される不確かさが一致する対角線長さで両方法を区分する。

[注] 上記内挿の方法を用いるに当たっては、縦軸に標準不確かさ, $u$ [%]. 横軸に対角線長さの逆数, $1/d$ とした図を作成すると理解しやすい。方法1は対角線長さが数100 μm以上の領域で有効な方法であり、方法2はそれ以下の領域について有効な方法である。このため範囲が広い硬さ試験機では方法3を取ることが望ましい。

【計算例】

200 HV1, 200 HV10, 600 HV1, 600 HV10, 900 HV1, 900 HV30 に対しJCSS校正された硬さ試験機があり、そのときの不確かさは拡張不確かさ(相対値)で表3.3.1の通りとする。

校正証明書記載の拡張不確かさ [%]を 包含係数($k$ = 2)で除し、標準不確かさ(相対値)とする。校正証明書記載の硬さ値から、対角線長さを算出する。

**表 3.3.1 校正証明書から得られる不確かさと標準不確かさ**

| 公称硬さ | 硬さ値 [HV] | 拡張不確かさ [%] | 標準不確かさ [%] | 対角線長さ, $d$ [mm] |
|---|---|---|---|---|
| 200 HV1 | 199 | 4.51 | 2.26 | 0.0965 |
| 200 HV10 | 197 | 2.99 | 1.49 | 0.3068 |
| 600 HV1 | 591 | 7.52 | 3.76 | 0.0560 |
| 600 HV10 | 591 | 4.58 | 2.29 | 0.1771 |
| 900 HV1 | 904 | 9.58 | **4.79** | 0.0453 |
| 900 HV30 | 902 | 3.00 | 1.50 | 0.2483 |

**方法1の場合:**

公称硬さ 900 HV1の時の不確かさが 4.79 [%] と最大であり、これを標記対角線長さ範囲にすべてに用いる。ただし対角線長さ範囲は 0.01 [mm] を単位として丸める。この場合、対角線長さ範囲は 0.04 mm 以上− 0.31 mm 以下で標準不確かさ $u$ = 4.79 % である。

**それ以外の方法の場合**:

対角線長さと標準不確かさから傾き係数, $K$ を求め、表を対角線長さについて整理する(表3.3.2)。

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 3.3.2 対角線長さと傾き係数**

| 公称硬さ | 対角線長さ, $d$ [mm] | 対角線長さの逆数, $1/d$ [$mm^{-1}$] | 標準不確かさ, $u$ [%] | 傾き係数, $K$ |
|---|---|---|---|---|
| 200 HV10 | 0.3068 | 3.26 | 1.49 | **0.458** |
| 900 HV30 | 0.2483 | 4.03 | 1.50 | 0.373 |
| 600 HV10 | 0.1771 | 5.65 | **2.29** | 0.406 |
| 200 HV1 | 0.0965 | 10.36 | 2.26 | **0.218** |
| 600 HV1 | 0.0560 | 17.86 | 3.76 | 0.210 |
| 900 HV1 | 0.0453 | 22.08 | 4.79 | 0.217 |

**方法2の場合:**

表3.3.2の傾き係数の最大値 $K$ = 0.458 より、対角線長さ範囲 0.04 mm 以上− 0.31 mm 以下で標準不確かさは $u = 0.458/d$ %である。

**方法3の場合: 方法1、2を対角線長さで区別して用いる場合。**

対角線長さの逆数, $1/d$ を計算。縦軸に標準不確かさ, $u$ [%]と横軸に$1/d$を取ったプロットを作成。$1/d$が小さく($d$が大きく)不確かさの対角線長さ依存性が小さくなる領域と、$1/d$が大きく($d$が小さく)不確かさの対角線長さ依存性が小さくなる領域とに区分する。

図3.3.1は表3.3.2によるJCSS校正から得られた不確かさを$1/d$に対してプロットしたものである。この場合、不確かさの対角線長さへの依存性が、$1/d$ =10程度以下の領域で、小さくなっているとみなせる。またそれ以上の領域では、明らかに対角線長さへの依存性が見られる。

従って、$1/d$が10以下の領域では方法1により、$u$ =2.29 % とし、$1/d$が10以上の領域では方法2から、その領域での傾き係数の最大値 0.218を用いて $u = 0.218/d$ %とする。その領域の区分は、それら2直線の交点 $2.29 = 0.218/d$ から $d = 0.095 \fallingdotseq 0.10$ mm である。

従って、対角線長さ範囲 0.04 mm 以上 0.10 mm 未満で標準不確かさ $u = 0.218/d$ %、対角線長さ範囲 0.10 mm以上 0.31 mm以下で標準不確かさ $u$ =2.29 % と求められる。この合成された内挿範囲の標準不確かさに包含係数$k$=2を乗じたものを拡張不確かさとし、報告書には$k$=2を用いたことを併記する。

表 3.3.3 および図 3.3.1に上記各方法で算出した場合の内挿による不確かさを示した。

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

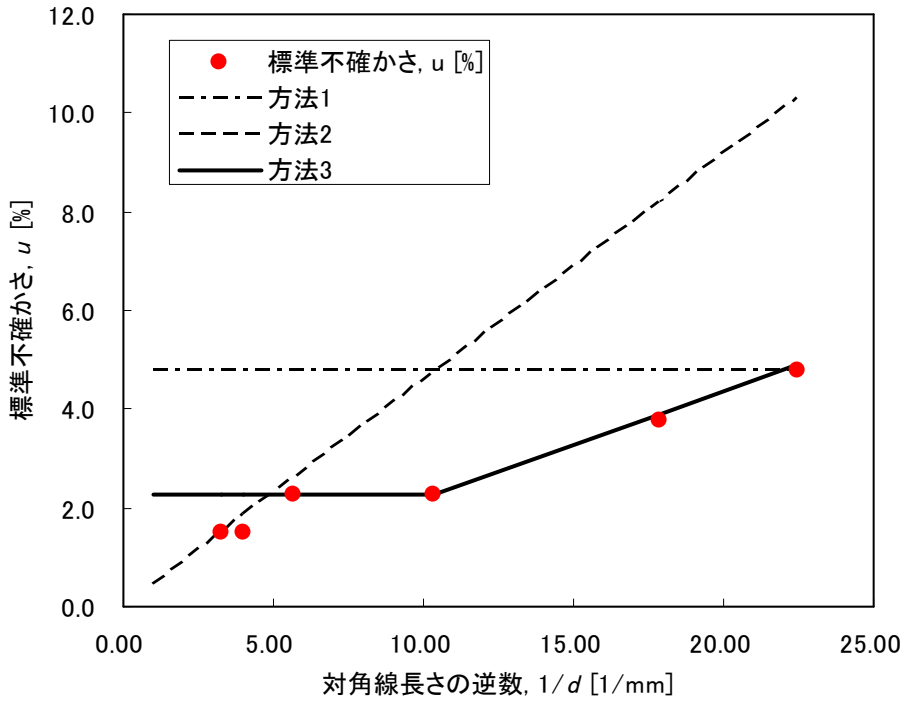



**図3.3.1 標準不確かさの対角線長さ依存性と内挿された不確かさ**

**表 3.3.3 内挿された不確かさ**

| 対角線長さ, $d$ [mm] | 対角線長さの逆数, $1/d$ [$mm^{-1}$] | 標準不確かさ, $u$ [%] | 方法 1, $u$ [%] | 方法 2, $u$ [%] | 方法 3, $u$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.0000 | 1.00 | – | 4.79 | 0.46 | 2.29 |
| 0.3065 | 3.26 | 1.49 | 4.79 | 1.49 | 2.29 |
| 0.2480 | 4.03 | 1.50 | 4.79 | 1.85 | 2.29 |
| 0.1772 | 5.64 | 2.29 | 4.79 | 2.58 | 2.29 |
| 0.0965 | 10.36 | 2.26 | 4.79 | 4.75 | 2.29 |
| 0.0950 | 10.53 | – | 4.79 | 4.82 | 2.29 |
| 0.0560 | 17.86 | 3.76 | 4.79 | 8.18 | 3.89 |
| 0.0445 | 22.47 | 4.79 | 4.79 | 10.29 | 4.90 |
| 0.0200 | 50.00 | – | – | 22.90 | 10.90 |

### 3.3.3 不確かさの外挿方法

不確かさの外挿には外挿範囲において用いられる試験力およびくぼみ対角線長さ測定装置の不確かさが校正されている必要がある。HV30 までの校正を受けた硬さ試験機をHV50まで拡張する場合には、490.3 N の試験力について校正されており用いるくぼみ対角線長さ測定装置も外挿範囲について校正されている必要がある。このとき拡張する硬さ試験機の校正証明書にこれらの検証結果が記載されている必要がある。

外挿を行うには前述の不確かさの内挿方法を援用する。従って内挿の不確かさが見積もられていることが前提となる。対角線長さが大きくなる方向への外挿は方法1を適用し、対角線長さが小さくなる方向への外挿は方法2を適用するものとする。まず上述の内挿方法によって不確かさの内挿範囲と内挿された不確かさを求める。

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

#### 3.3.3.1 対角線長さ, *d* が大きくなる方向への外挿方法

内挿範囲で*d*が一番大きいところでの内挿不確かさ, *u* [%] をそのまま外挿不確かさの最良値とする。試験力の不確かさ、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさがそれら内挿範囲の最大不確かさより大きい場合、拡張範囲の不確かさを合成する。小さい場合には合成を行う必要がない。そのとき試験力については相対不確かさで大小を評価し、くぼみ対角線長さ測定装置については、絶対値 μm で大小を評価する。

【計算例】

対角線長さ範囲 0.10 mm以上 0.31 mm以下で内挿された標準不確かさが*u* = 2.29 % であるとする。外挿したい範囲の試験力の最大の不確かさ, *u* = 0.10 %、内挿範囲内の試験力の最大不確かさが 0.08 %であり、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさは内挿範囲の最大値で0.30 μm、外挿範囲において、0.33 μmであるとする。試験力、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさについて大小を評価し、試験力、対角線長さともに外挿範囲で内挿範囲の最大不確かさより大きいため、両方ともに合成する必要がある。

まず、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさを相対不確かさに換算する。

内挿範囲でくぼみの大きさが一番大きいところ、0.31 mmにおいて、不確かさが0.33 μm =0.00033 mmであると考える。くぼみ読み取りの不確かさ、$u_d$ = 0.00033/0.31 = 0.00106 = 0.106 %

外挿範囲の標準不確かさは、内挿の標準不確かさ、2.29 %、試験力の不確かさ 0.10 %、くぼみ読み取りの不確かさ 0.106 % をそれぞれ合成する。

$u^2 = 2.29^2 + 0.10^2 + 0.106^2$ より $u$ = 2.29 %と求められる。

この合成された外挿範囲の標準不確かさに包含係数*k*=2を乗じたものを拡張不確かさとし、報告書には*k*=2を用いたことを併記する。

#### 3.3.3.2 対角線長さ, *d* が小さくなる方向への外挿方法

内挿範囲で*d*が一番小さいところでの内挿不確かさ, *u* [%] を用いる。方法1によって求められている場合には、もっとも*d*が小さいときの、*d*を利用して傾き係数 *K*を求めて適用する。試験力の不確かさ、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさがそれら内挿範囲の最大不確かさより大きい場合、拡張範囲の不確かさを合成する。小さい場合には合成を行う必要がない。そのとき試験力については相対不確かさで大小を評価し、くぼみ対角線長さ測定装置については、絶対値 μm で大小を評価する。

【計算例】

対角線長さ範囲 0.04 mm 以上 0.10 mm 未満で標準不確かさ $u = 0.218/d$ % であるとする。外挿したい範囲の試験力の最大の不確かさ, $u$ = 0.1 %、内挿範囲内の試験力の最大不確かさが 0.08 %であり、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさは内挿範囲の最大値で0.30 μm、外挿範囲において、0.33 μmであるとする。試験力、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさについて大小を評価し、試験力、対角線長さともに外挿範囲で内挿範囲の最大不確かさより大きいため、両方ともに合成する必要がある。

まず、くぼみ対角線長さ測定装置の不確かさを相対不確かさに換算する。

くぼみの大きさ$d$ とし、$u_d = 0.00033/d = 0.033/d$% と計算される。

外挿範囲の標準不確かさは、内挿の標準不確かさ $u = 0.218/d$ %, 試験力の不確かさ 0.10 %、くぼみ読み取りの不確かさ、$u_d = 0.033/d$ % をそれぞれ合成すると、

$$u^2 = \left(\frac{0.218}{d}\right)^2 + 0.10^2 + \left(\frac{0.033}{d}\right)^2 = \left(\frac{0.220}{d}\right)^2 + 0.10^2 \fallingdotseq \left(\frac{0.220}{d}\right)^2$$

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

と求められる。ここで試験力の不確かさは後述※の議論により無視した。この合成された外挿範囲の標準不確かさに包含係数$k$ = 2を乗じたものを拡張不確かさとし、報告書には$k$ = 2を用いたことを併記する。

※ 通常対角線長さが小さい範囲に拡張する場合、試験力の不確かさは、くぼみ読み取りの不確かさに比較して無視できることが多いため以下の評価を行っておく。

この式は、$d$ が最大の場合に第一項が一番小さくなる。ここで外挿しようとしている$d$の範囲は0.04 mm以下であることから、$d$ = 0.04 mmのときに第一項は最小(第2項の影響は最大)となる。表 3.3.4に$d$ = 0.04 mmとして計算を行った場合について述べる。内挿の標準不確かさを1としたとき、試験力の不確かさは0.02であり対角線長さの不確かさは0.14である。一番大きなものに比べて割合で0.1程度の割合であれば合成したときに0.01変化することになるため、対角線長さの不確かさは無視できないが、試験力の不確かさは0.1未満でありほぼ無視できることがわかる。

**表 3.3.4 不確かさの影響**

| | 一般形式 | $d$=0.04mm | 割合 |
|---|---|---|---|
| 内挿の標準不確かさ, $u$ [%] | 0.218/$d$ | 5.45 | 1 |
| 試験力の不確かさ, $u_F$ [%] | 0.10 | 0.10 | 0.02 |
| 対角線長さの不確かさ,$u_d$ [%] | 0.033/$d$ | 0.83 | 0.15 |

## 4.参考

### 4.1 感度係数について

ビッカース硬さ, HV の定義式は、試験力, $F$、圧子の対面角 $\alpha$ = 136 °, くぼみ対角線長さ, $d$ [mm]とする。また硬さ記号の試験力を表す数字を $L$ ($L$= $F$ / 9.80665)とする。

$$\mathrm{HV} = \frac{1}{9.80665}\frac{2F\sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{2L\sin(\alpha/2)}{d^2}$$

である。従って試験力に対する感度係数は、

$$\frac{\partial HV}{\partial F} = \frac{1}{9.80665}\frac{2\sin(\alpha/2)}{d^2}$$

となる。試験力の不確かさを $u_F$とすると、 $\frac{\delta HV}{HV} = \frac{u_F}{F}$ となる。具体的には、試験力の相対不確かさが $u_F/F$ = 1 %に対応する硬さ変化は 1 % であり、不確かさも 1 %である。

また、くぼみ対角線長さに対する感度係数は、

$$\frac{\partial HV}{\partial d} = -\frac{2}{9.80665}\frac{2F\sin(\alpha/2)}{d^3}$$

となる。従って、くぼみ対角線長さ読み取りの不確かさを $u_d$とすると $\frac{\delta HV}{HV} = -2\frac{u_d}{d}$ となる。
具体的には、読み取りの相対不確かさ $u_d/d$ = 1 %に対応する硬さ変化は −2 %であり、不確かさは 2 %である。
またこのときくぼみ対角線長さ, $d$ [mm]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

$$d = \sqrt{\frac{2L\sin(\alpha/2)}{HV}}$$

で表される。

### 4.2 傾き係数, *K*について

ビッカース硬さの不確かさはくぼみの読み取りがその主要因である。例えば、顕微鏡でくぼみの読み取りを行うに当たって、用いるのは光学拡大像とその拡大された明暗像である。この明暗像は、照明の設定、光学顕微鏡の倍率と開口数、焦点の合わせ方、あるいはくぼみ先端への測定線の合わせ方などさまざまな要因に影響される。

これまで、測定者やその読取装置が異なることで、同一のくぼみの長さが、異なって測定されることは良く知られた問題である。これを不確かさに組み込むに当たって、以下の仮定を置いている。

1. 測定者や、くぼみ読取装置によるくぼみ読み取りの不確かさに比べて、測定日ごとの変動は同等かそれより小さく保たれている。
2. 少なくともビッカース硬さの相対不確かさは数%程度であり、他の要因( 試験力 0.1 %、 読み取りデバイス 0.5 %以下)の影響は小さい。非常に大胆な仮定として、これらの要因による不確かさが対角線長さに換算して1 μm程度であり、くぼみの大きさに依存しない定数と考える。またくぼみが十分小さい部分(たとえば200 μm 以下)では、ビッカース硬さの不確かさは、ほぼくぼみ読み取りの不確かさのみで決まると考える。

このように考えたとき、くぼみの読み取りの不確かさ, $u_R$ とビッカース硬さ校正の不確かさ $u_{HV}$ [HV] は以下のようになる。

$$\frac{u_{HV}}{HV} = 2\frac{u_R}{d}$$

左辺はビッカース硬さの相対不確かさであり、右辺はくぼみ読み取りの相対不確かさである。傾き係数 K は

$$K = \left(u_{HV} / HV \times 100\right)d = -2u_R \times 100$$

としているので、くぼみ読み取りの不確かさが定数であれば傾き係数は定数となる。

下記表(4.2.1) では、くぼみの読み取りの不確かさ, $u_R$ を 1 μm としたときの例を示している。その不確かさによるビッカース硬さの相対不確かさは、対角線長さが 20 μm の時には 10 %、対角線長さが 100 μm の時には 2 %となる。同様に標準不確かさを対角線長さの逆数を図 4.2.1 に図示した。対角線長さが長くなると極端にくぼみの読みによる影響は小さくなっていくが、同時に他の不確かさ要因の影響が相対的に大きくなり、この仮定が成り立たなくなる。図に 2009 年現在の NMIJ の標準不確かさ($k$ = 1)を図示した。NMIJ では対角線長さが 200 μm より大きいところでは1 %の不確かさ(拡張不確かさは 2 %)で供給を行っている。このため JCSS のトレーサビリティ制度では 1 %が下限となる。

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

**表 4.2.1 くぼみ読み取りの不確かさと傾き係数**

| 対角線長さ, $d$ | | $u_R$を 1μm とする | | 標準不確かさ, $u_{HV}/HV$ [%] | 傾き係数, $K$<br>$K = u\ d$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 対角線長さ, $d$ [mm] | $1/d$ [1/mm] | 不確かさ, $u_R$ [mm] | 相対不確かさ, $u_R/d$ [%] | | |
| 0.020 | 50.0 | 0.001 | 5.0 | 10.0 | 0.2 |
| 0.025 | 40.0 | 0.001 | 4.0 | 8.0 | 0.2 |
| 0.030 | 33.3 | 0.001 | 3.3 | 6.7 | 0.2 |
| 0.040 | 25.0 | 0.001 | 2.5 | 5.0 | 0.2 |
| 0.050 | 20.0 | 0.001 | 2.0 | 4.0 | 0.2 |
| 0.060 | 16.7 | 0.001 | 1.7 | 3.3 | 0.2 |
| 0.080 | 12.5 | 0.001 | 1.3 | 2.5 | 0.2 |
| 0.100 | 10.0 | 0.001 | 1.0 | 2.0 | 0.2 |
| 0.150 | 6.7 | 0.001 | 0.7 | 1.3 | 0.2 |
| 0.200 | 5.0 | 0.001 | 0.5 | 1.0 | 0.2 |
| 0.500 | 2.0 | 0.001 | 0.2 | 0.4 | 0.2 |
| 2.000 | 0.5 | 0.001 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |

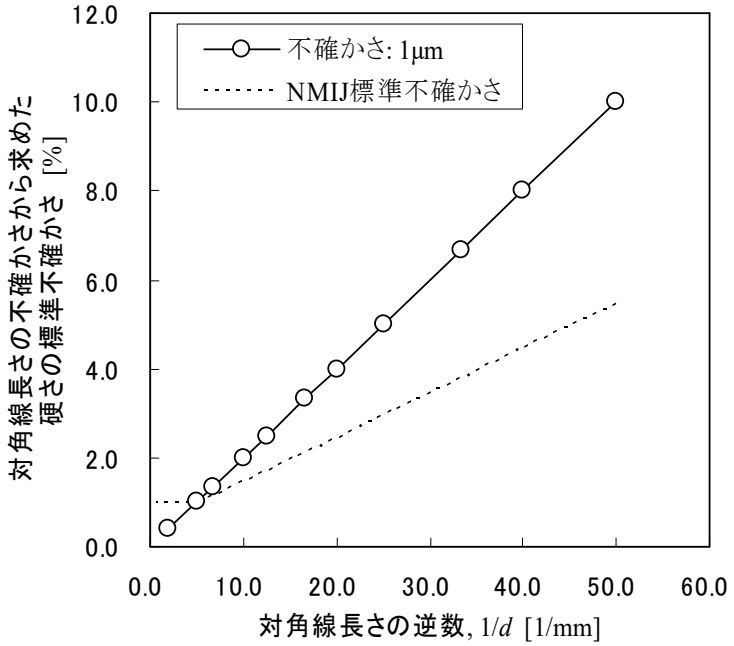



**図 4.2.1 くぼみ読み取りの不確かさが 1 μm のときの硬さの標準不確かさ**

## 参考文献:

1. JIS Z2244 ビッカース硬さ－試験方法
   JIS B7725 ビッカース硬さ－試験機の検証
   JIS B7735 ビッカース硬さ－基準片の校正
2. ISO 6507 Metallic materials - Vickers hardness test
3. JCG204S21 不確かさの見積もりに関するガイド(力／一軸試験機)

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