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：質量
校正手法の区分の呼称：はかり
（第 14 版）
（JCG203S21-14）

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. 前書き 3

1）常用参照標準の不確かさ 2）はかり及びその関連機器に起因する不確かさ
3）環境条件に起因する不確かさ 4）校正作業に伴う不確かさ

2. 校正の不確かさ評価事例 1（電子式非自動はかり） 4

2.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準
2.2 繰返し性の標準不確かさ u_{r}
2.3 丸め誤差の標準不確かさ u_{d}
2.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_{e}
2.5 正確さ
2.6 温度特性による相対標準不確かさ u_{t}
2.7 常用参照標準による相対標準不確かさ u_{s}
2.8 はかりの校正結果

3. 校正の不確かさ評価事例 2（電子式非自動はかり） 8

3.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準
3.2 繰返し性の標準不確かさ u_{r}
3.3 丸め誤差の標準不確かさ u_{d}
3.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_{e}
3.5 正確さ
3.6 温度特性による相対標準不確かさ u_{t}
3.7 常用参照標準による分散 v_s
3.8 はかりの校正結果

4. 校正の不確かさ評価事例3（機械式非自動はかり） 11

4.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準
4.2 繰返し性の標準不確かさ u_{r}
4.3 読み取り誤差の標準不確かさ u_{d}
4.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_{e}
4.5 正確さ
4.6 温度特性による相対標準不確かさ u_{t}
4.7 常用参照標準による相対標準不確かさ u_{s}
4.8 はかりの校正結果

5. 校正の不確かさ評価事例 4（電子式非自動はかり） 14

5.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準
5.2 繰返し性の標準不確かさ u_{r}
5.3 丸め誤差の標準不確かさ u_{d}
5.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_{e}
5.5 正確さ
5.6 温度特性による相対標準不確かさ u_{t}
5.7 常用参照標準による相対標準不確かさ u_{s}
5.8 合成標準不確かさ u_{c} の不確かさバジェット
5.9 目量の数が少ない大ひょう量はかりにおける繰返し性の標準不確かさ $u_{\mathrm{r(B)}}$
5.10 繰返し性のプールデータ s_{p} のある場合
5.11 測定回数を増やすことが可能な場合
5.12 正確さの測定に積増し方式を採用する場合

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。

電子式非自動はかり・機械式非自動はかりの校正の不確かさ評価（事例）

1. 前書き

はかり校正の不確かさを評価するために想定される要因について、以下のとおり列挙する。

1） 常用参照標準の不確かさ

はかり校正用の常用参照標準は、特定二次標準器により校正された又は特定二次標準器に連鎖した計量器により校正された分銅及びおもりで、校正事業を行う際の標準器として使用するものでなければならない。

分銅及びおもりに起因する不確かさは、

- 質量校正の不確かさ
- 安定性及び使用方法により生じる不確かさ
- 空気浮力に起因する不確かさ
- 磁性特性による不確かさ
- 環境との温度差による不確かさ

などからなる。

2） はかり及びその関連機器に起因する不確かさ

電子式非自動はかり及び機械式非自動はかりは、種々の形式により広い範囲の性能を有する製品が多数販売されている。これら多種多様なはかりの評価を行うために、はかりの特性に起因するものと、測定台や風防ケースなどの関連機器に起因するものとに分類して検討する。

はかりの特性に起因する要因としては、

- 感度誤差
- 非直線性
- ヒステリシス差
- 感度の温度特性
- 偏置荷重
- 指示値の丸め誤差（デジタル指示の場合）
- 指示値の読み取り誤差（アナログ指示の場合）
- 繰返し性
- 零点ドリフト
- クリープ
- 電気的な特性

などがある。

関連機器に起因する要因としては、

- 強度
- 磁性
- 操作性
- 帯電性

などがある。

3） 環境条件に起因する不確かさ

はかりは様々な環境条件で使用されるので、

- 空気の流れ
- 空気密度温度・湿度
- 振動
- 測定台の傾き
- 重力加速度の空間差
- 磁場
- 清浄性

などによって不確かさが生じ得る。

4） 校正作業に伴う不確かさ

校正作業に伴う不確かさは、

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。

・ 校正の方法(積増し法の採用等)
・ はかりの操作技術
などに起因するものが挙げられる。

はかりの校正は、質量測定の信頼性の確認を目指すユーザを対象に、その要求を実現する評価手法を確立することが求められる。このため、各種の不確かさの要因の中で有意なものを選択し、ユーザの使用状況に即した現実的な不確かさを評価することが重要である。

以下に、はかり校正の不確かさ評価の4事例を紹介する。これらの事例ははかりの使用場所において、増加方向の荷重に対する空気中での測定に適用するものである。この4つの事例について、1)メーカが開示している技術情報、2)メーカに照会して得た技術情報、3)経験に基づく専門家の判断などにより、次章以降に示すとおり校正の不確かさ要因を選択した。

事例 1 から事例 3 は、各校正ポイントで十分大きな有効自由度が確保されていて、全ての校正ポイントで信頼の水準約 95 %に相当する包含係数として $k = 2$ を採用できる場合の例である。一方、事例 4 は、十分な有効自由度が確保されないために、信頼の水準約 95 %に相当する包含係数として $k = 2$ を必ずしも採用できない場合の例である。包含係数 $k = 2$ を採用できない場合には校正証明書を受け取った顧客の混乱なども懸念されるため、これを避けるための対処についても併せて例示した。

なお、JCSS 制度におけるはかりの校正方法及びそれに伴う不確かさの評価方法はこれらの事例に限られるものではない。

2. 校正の不確かさ評価事例 1(電子式非自動はかり)

2.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準

ひょう量 Max =3100 g、目量 d =0.1 g

常用参照標準として管理された分銅を用いる。これらの分銅は、JCSS 校正証明書に記載された協定質量及びその不確かさ、並びに分銅の特性、協定質量の変化など分銅の使用時の不確かさを考慮して、協定質量についてはそれぞれ 200.0000 g、500.0000 g、1000.0000 g、1000.0000 g、2000.000 g で管理されており、また、相対拡張不確かさ U_S (信頼の水準約 95 %、包含係数 k =2)については 5.0×10^{-6} で管理されているものとする。

2.2 繰返し性の標準不確かさ u_r

目標の校正範囲全体に適用する測定の繰返し性の不確かさを評価するため、1つの代表的な荷重として、0.5 Max 以上 Max 以下の範囲内にある W_r =2000 g が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重はひょう量皿の中心に置かれた。繰返し測定は少なくとも 6 回以上行う。6 回測定の結果を表 1 に示す。

表 1 繰返し性評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5	6
指示値 I_i [g]	2000.1	2000.1	2000.1	2000.2	2000.1	2000.1

繰返し性の標準不確かさ u_r は、

$$u_r = s = 0.0408\,\mathrm{g} \qquad (2.1)$$

のように推定される。ここで、s は 6 回測定の標準偏差である。

2.3 丸め誤差の標準不確かさ u_d

測定前の指示値ゼロ設定及び測定の指示値 I の読み取りにより、指示値の丸めの標準不確かさ u_d は、

$$u_d = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{d}{2} = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{0.1\,\mathrm{g}}{2} = 0.0408\,\mathrm{g} \qquad (2.2)$$

のように推定される。

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。

2.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_e

校正における測定の偏置荷重による相対不確かさを評価する荷重として、0.3 Max 以上 Max 以下の範囲内にある W_e ＝1000 g が選ばれ、Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差を評価に用いる。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重の負荷位置及び測定順序を図 1 の“〇”に示す。ここで、負荷位置は図 1 に示すような四つの区分の中央とする。測定の結果を表 2 に示す。

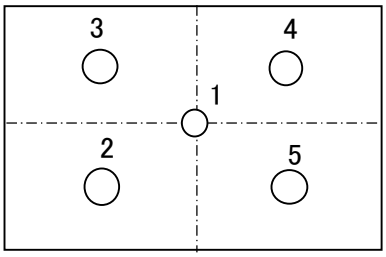


図 1 荷重の負荷位置

表 2 偏置誤差評価データ

荷重の負荷位置 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [g]	1000.0	999.8	1000.1	1000.2	999.9
中心との差[g]	―	−0.2	0.1	0.2	−0.1

偏置荷重による相対標準不確かさ u_e は、

$$u_e = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{E_1}{Max} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{E}{W_e} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{0.2\,\mathrm{g}}{1000\,\mathrm{g}} = 3.85\times10^{-5} \qquad (2.3)$$

のように推定される。ここで、E は中心と偏置荷重の指示値間の最大差 0.2 g で、E_1 は、

$$E_1 = E \times \frac{Max}{3\times W_e} \qquad (2.4)$$

のように Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差である。

2.5 正確さ

評価は風袋荷重なし及びありにおいて行われた。測定の結果を表 3 に示す。表 3 において、荷重 $W_1(W_5)$、$W_2(W_6)$、W_3、W_4 は計量範囲にわたってほぼ均等に選ばれ、測定順序 i =5、6 の場合は、0.25 Max 以上 0.5 Max 以下の範囲内にある1000 g の風袋荷重が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値のゼロ設定又は風袋引きを行い、荷重はひょう量皿の中心に負荷された。

それぞれの荷重における偏差の計算結果を表 3 に示す。

表 3 正確さ評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5	6
風袋荷重 T_i [g]	0	0	0	0	1000	1000
荷重 W_i [g]	700.0000	1500.0000	2200.000	3000.000	700.0000	1500.0000
風袋引き後の指示値 I_i [g]	700.0	1500.0	2200.1	3000.1	700.0	1500.1
偏差[g]	0.0	0.0	+0.1	+0.1	0.0	+0.1

2.6 温度特性による相対標準不確かさ u_t

はかりは、温度変動環境 Δt ＝2 K で校正された。また、感度の温度係数は $tk \le 5.0\times10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$ であることが、当該のはかりのメーカにより保証されている。温度特性による相対標準不確かさ u_t は、

$$u_t = \frac{1}{2\times\sqrt{3}} \times \Delta t \times tk = \frac{1}{2\times\sqrt{3}} \times 2\,\mathrm{K} \times 5.0\times10^{-6}\,\mathrm{K^{-1}} = 2.89\times10^{-6} \qquad (2.5)$$

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。

のように推定される。

2.7 常用参照標準による相対標準不確かさu_s

この事例では、校正時の空気浮力及び協定質量の変化等の影響は、常用参照標準の相対拡張不確かさU_sの範囲内で管理されており、その包含係数kは 2 であるので、常用参照標準による相対標準不確かさu_sは、

$$u_s = \frac{U_s}{k} = \frac{5.0\times10^{-6}}{2} = 2.5\times10^{-6} \qquad (2.6)$$

で与えられる。

2.8 はかりの校正結果

参照分銅の負荷荷重Wにおいて、はかりの校正結果の合成標準不確かさu_cは、

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_r{}^2 + u_d{}^2 + (u_e{}^2 + u_t{}^2 + u_s{}^2)\times W^2} \\ &= \sqrt{0.0408^2 g^2 + 0.0408^2 g^2 + (3.85^2 + 0.289^2 + 0.25^2)\times10^{-10}\times W^2 g^2} \end{aligned} \qquad (2.7)$$

で与えられる。

これらの不確かさ要因のうち、A タイプ評価されたのは繰返し性の不確かさu_rのみであり、校正結果の有効自由度v_{eff}は、

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_r^4}{6-1} + \frac{u_d^4}{\infty} + \frac{u_e^4\times W^4}{\infty} + \frac{u_t^4\times W^4}{\infty} + \frac{u_s^4\times W^4}{\infty}} = \frac{u_c^4}{\frac{u_r^4}{5} + 0 + 0 + 0 + 0} = 5\times\left(\frac{u_c}{u_r}\right)^4 \qquad (2.8)$$

で与えられる。

この有効自由度において、信頼の水準約 95 %に相当する包含係数kをt分布に基づいて求め、はかりの校正における拡張不確かさUを、

$$U = k\times u_c \qquad (2.9)$$

のように計算する。この事例では、すべての校正ポイントにおいて、有効自由度v_{eff} ＝29 以上となり、10 以上であるので、包含係数k＝2 が採用できる。

校正結果は表 4a の形で記載される。

表 4a 校正結果

風袋荷重	公称値	偏差	拡張不確かさ※
0 g	700 g	0.00 g	0.13 g
0 g	1500 g	0.00 g	0.16 g
0 g	2200 g	+0.10 g	0.21 g
0 g	3000 g	+0.10 g	0.26 g
1000 g	700 g	0.00 g	0.13 g
1000 g	1500 g	+0.10 g	0.16 g

※拡張不確かさは信頼の水準約 95 %に相当し、包含係数 k は 2 である。

表 3 の正確さ評価データにおいて、偏差を一次式で表わす場合は、相対偏差a_i

$$a_i = \frac{I_i - W_i}{W_i} \qquad (2.10)$$

の平均aと標準不確かさu_aを、

$$a = \frac{1}{n}\times\sum_{i=1}^{n} a_i = \frac{1}{6}\times\sum_{i=1}^{6} a_i = 0.000024 \qquad (2.11)$$

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。

$$u_{\mathrm{a}} = s_{\mathrm{a}} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\times\sum_{i=1}^{n}(a_{\mathrm{i}}-a)^2} = \sqrt{\frac{1}{6-1}\times\sum_{i=1}^{6}(a_{\mathrm{i}}-0.000024)^2} = 2.86\times10^{-5} \qquad (2.12)$$

のように推定する。

はかり指示値の偏差 ΔI は、

$$\Delta I = a\times W = 0.000024\times W \qquad (2.13)$$

で計算され、その合成標準不確かさ u_{c} は、

$$u_c = \sqrt{u_r{}^2 + u_d{}^2 + (u_e{}^2 + u_t{}^2 + u_s{}^2 + u_\alpha{}^2)\times W^2}$$
$$= \sqrt{0.0408^2\mathrm{g}^2 + 0.0408^2\mathrm{g}^2 + (3.85^2 + 0.289^2 + 0.25^2 + 2.86^2)\times10^{-10}\times W^2\mathrm{g}^2} \qquad (2.14)$$

で与えられる。

校正結果の有効自由度 ν_{eff} は、

$$\nu_{\mathrm{eff}} = \frac{u_{\mathrm{c}}^4}{\frac{u_{\mathrm{r}}^4}{6\text{-}1} + \frac{u_{\mathrm{d}}^4}{\infty} + \frac{u_{\mathrm{e}}^4\times W^4}{\infty} + \frac{u_{\mathrm{t}}^4\times W^4}{\infty} + \frac{u_{\mathrm{s}}^4\times W^4}{\infty} + \frac{u_{\mathrm{a}}^4\times W^4}{6-1}} = \frac{u_{\mathrm{c}}^4}{\frac{u_{\mathrm{r}}^4}{5} + 0 + 0 + 0 + 0 + \frac{u_{\mathrm{a}}^4\times W^4}{5}}$$

$$= 5\times\frac{u_{\mathrm{c}}^4}{u_{\mathrm{r}}^4 + u_{\mathrm{a}}^4\times W^4} \qquad (2.15)$$

で与えられる。

この場合においても、有効自由度 ν_{eff} ＝34 以上となり、包含係数 k＝2 が採用できて、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさ U は式(2.9)により計算される。

更に、各校正ポイントで評価した拡張不確かさを校正範囲全体に渡って一次式で近似する場合は、U の近似式は、

$$U_0 = 0.12\ \mathrm{g}\ (W = 0\,g)、U_{\mathrm{Max}} = 0.32\ \mathrm{g}\ (W = 3100\,\mathrm{g})$$

$$U = U_0 + \frac{U_{\mathrm{Max}} - U_0}{Max}\times W = 0.12\ \mathrm{g} + \frac{0.32\,\mathrm{g} - 0.12\,\mathrm{g}}{3100\,\mathrm{g}}\times W = 0.12\ \mathrm{g} + 0.000065\times W \qquad (2.16)$$

で与えられる。

この場合は、表 4a の偏差及び拡張不確かさは表 4b になる。拡張不確かさは、一次式の適用による不確かさを加味され、大きくなっていることがわかる。

表 4b 校正結果（一次式適用）

風袋荷重	公称値	偏差	拡張不確かさ
0 g	700 g	+0.02 g	0.17 g
0 g	1500 g	+0.04 g	0.22 g
0 g	2200 g	+0.05 g	0.26 g
0 g	3000 g	+0.07 g	0.31 g
1000 g	700 g	+0.02 g	0.17 g
1000 g	1500 g	+0.04 g	0.22 g

拡張不確かさは信頼の水準約 95 %に相当し、包含係数 k は 2 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。

3. 校正の不確かさ評価事例 2（電子式非自動はかり）

3.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準

ひょう量 Max ＝205 g、目量 d ＝0.1 mg

常用参照標準として管理された分銅を用いる。JCSS 校正証明書により、これらの分銅の協定質量と拡張不確かさ U_S（信頼の水準約 95 %、包含係数 k＝2）は表 5 に示されたものとする。

表 5 常用参照標準

分銅公称値	分銅番号	協定質量	±	拡張不確かさ
100 mg	1	100 mg ― 0.0017 mg	±	0.0050 mg
20 g	2	20 g + 0.025 mg	±	0.025 mg
50 g	3	50 g ― 0.032 mg	±	0.030 mg
100 g	4	100 g ― 0.040 mg	±	0.050 mg
200 g	5	200 g + 0.02 mg	±	0.10 mg

3.2 繰返し性の標準不確かさ u_r

この事例では、目標の各校正ポイントの荷重における校正結果の不確かさを評価するに当たり、繰返し性の不確かさを1つの代表的な荷重のみで評価したならば過大又は過小評価の恐れがあるとして、複数の荷重、W_{r1} =50 g、W_{r2} =200 g が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重はひょう量皿の中心に置かれた。この事例では、繰返し性の標準不確かさの自由度を増やすため、6 回ではなく 10 回の測定を行った。10 回測定の結果をそれぞれ表 6a、6b に示す。

表 6a 繰返し性評価データ（荷重 50 g）

測定順序 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [g]	50.0000	50.0000	50.0001	50.0000	50.0000
測定順序 i	6	7	8	9	10
指示値 I_i [g]	50.0000	50.0001	50.0000	50.0000	50.0000

表 6b 繰返し性評価データ（荷重 200 g）

測定順序 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [g]	199.9999	200.0000	200.0000	199.9999	199.9998
測定順序 i	6	7	8	9	10
指示値 I_i [g]	199.9998	199.9999	200.0000	199.9999	199.9998

繰返し性の分散 u_{ri}（i =1,2）は、

$$u_{r1} = s_1 = 0.0422 \text{ mg} \quad (W_{r1}\text{=50 g}) \tag{3.1}$$

$$u_{r2} = s_2 = 0.0816 \text{ mg} \quad (W_{r2}\text{=200 g}) \tag{3.2}$$

のように推定される。ここで、s_i（i =1,2）は 10 回測定の標準偏差である。u_{r1} は負荷荷重≤50 g、u_{r2} は 50 g＜負荷荷重≤ Max において適用される。

3.3 丸め誤差の標準不確かさ u_d

測定前の指示値ゼロ設定及び測定の指示値 I の読み取りにより、指示値の丸めの標準不確かさ u_d は、

$$u_d = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{d}{2} = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{0.1\,\text{mg}}{2} = 0.0408\,\text{mg} \tag{3.3}$$

のように推定される。

3.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_e

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。

校正における測定の偏置荷重による不確かさを評価する荷重として、0.3 Max 以上 Max 以下の範囲内にあるW_e＝100 g が選ばれ、Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差を評価に用いる。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重の負荷位置及び測定順序を図 2 の“〇”に示す。ここで、負荷位置は図 2 に示すような四つの区分の中央とする。測定の結果を表 7 に示す。

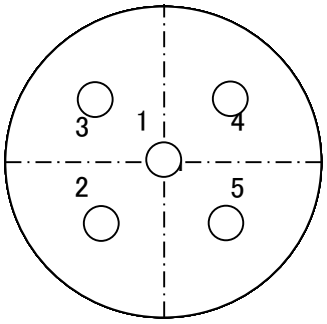


図 2 荷重の負荷位置

表 7 偏置誤差評価データ

荷重の負荷位置 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [g]	100.0000	99.9997	100.0002	100.0003	99.9998
中心との差[mg]	―	−0.3	0.2	0.3	−0.2

偏置荷重による相対標準不確かさu_e は、

$$u_e = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{E_1}{Max} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{E}{W_e} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{0.3\,\mathrm{mg}}{100000\,\mathrm{mg}} = 5.77\times10^{-7} \qquad (3.4)$$

のように推定される。ここで、E は中心と偏置荷重の指示値間の最大差 0.3 mg で、E_1 は式(2.4)

$$E_1 = E \times \frac{Max}{3\times W_e}$$

のように Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差である。

3.5 正確さ

本事例では、依頼者との合意に基づいて、はかり校正の不確かさの推定において風袋荷重の影響を考慮しないものとする。

測定の結果を表 8 に示す。表 8 において、荷重W_iは計量範囲にわたってほぼ均等に選ばれた。その中で、W_1 は計量範囲の下限近くでの荷重である。ただし、下限近くでの荷重の選定方法はこの事例に限るものではない。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重はひょう量皿の中心に負荷された。

それぞれの荷重において偏差を計算し、結果を表 8 に示す。

表 8 正確さ評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5
分銅番号	1	2	3	2、3	4
荷重 W_i [g]	0.0999983	20.000025	49.999968	69.999993	99.999960
指示値 I_i [g]	0.1000	20.0000	50.0000	70.0001	100.0000
偏差[mg]	+0.00	−0.03	+0.03	+0.11	+0.04
測定順序 i	6	7	8	9	―
分銅番号	2、4	3、4	2、3、4	5	―
荷重 W_i [g]	119.999985	149.999928	169.999953	200.00002	―
指示値 I_i [g]	120.0000	149.9999	169.9999	199.9999	―
偏差[mg]	+0.02	−0.03	−0.05	−0.12	―

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。

3.6　温度特性による相対標準不確かさ u_t

はかりは、温度変動環境 Δt ＝1 K で校正された。また、感度の温度係数は $tk \leq 1.5\times10^{-6}$ K^{-1} であることが、当該のはかりのメーカにより保証されている。温度特性による相対標準不確かさ u_t は、

$$u_t = \frac{1}{2\times\sqrt{3}}\times\Delta t\times tk = \frac{1}{2\times\sqrt{3}}\times 1\mathrm{K}\times 1.5\times10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1} = 4.33\times10^{-7} \qquad (3.5)$$

のように推定される。

3.7　常用参照標準による標準不確かさ u_s

この事例では、校正目標の不確かさに比べて校正時の空気浮力及び協定質量の変化等による不確かさは無視できるものとする。したがって、常用参照標準による標準不確かさ u_s は、

$$u_s = \frac{\sum_j U_{ij}}{k} = \frac{\sum_j U_{ij}}{2} \qquad (3.6)$$

で与えられ、表 9 のように計算される。ここで、j は常用参照標準の分銅の組合せ数である。

表 9　常用参照標準による標準不確かさ

分銅番号	1	2	3	2、3	4
荷重 W [g]	0.0999983	20.000025	49.999968	69.999993	99.999960
標準不確かさ u_s [mg²]	0.0025	0.0125	0.015	0.0275	0.025
分銅番号	2、4	3、4	2、3、4	5	―
荷重 W [g]	119.999985	149.999928	169.999953	200.00002	―
標準不確かさ u_s [mg²]	0.0375	0.040	0.0525	0.050	―

3.8　はかりの校正結果

参照分銅の負荷荷重 W において、はかり校正の合成標準不確かさ u_c は、

$$u_c = \sqrt{u_r{}^2 + u_d{}^2 + u_s{}^2 + (u_e{}^2 + u_t{}^2)\times W^2}$$
$$= \sqrt{\mathrm{u_r}^2 + 0.0408^2\mathrm{mg}^2 + \mathrm{u_s}^2 + (5.77^2 + 4.33^2)\times10^{-14}\times W^2\mathrm{mg}^2} \qquad (3.7)$$

で与えられる。

これらの不確かさ要因のうち、A タイプ評価されたのは 10 回測定による繰返し性の不確かさ u_r のみであり、十分な繰返し回数による測定を行ったので十分な有効自由度が確保できている。したがって、包含係数 k＝2 が採用できて、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさ U は式(2.9)のように計算される。

校正結果は表 10 のように記載される。

表 10　校正結果

公称値	偏差	拡張不確かさ※
0.1 g	+0.00 mg	0.12 mg
20 g	−0.03 mg	0.12 mg
50 g	+0.03 mg	0.14 mg
70 g	+0.11 mg	0.22 mg
100 g	+0.04 mg	0.24 mg
120 g	+0.02 mg	0.26 mg
150 g	−0.03 mg	0.29 mg
170 g	−0.05 mg	0.32 mg
200 g	−0.12 mg	0.36 mg

※拡張不確かさは信頼の水準約 95 %に相当し、包含係数 k は 2 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。

4. 校正の不確かさ評価事例3（機械式非自動はかり）

事例 3 として、日本産業規格 JIS B 7611-1 の技術要件を満たしている台手動はかりの校正の不確かさ評価例を紹介する。

4.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準

台手動はかりは掛量 1/50 で、定量増おもりは 5 kg、10 kg(No.1)、10kg(No.2)、20 kg 及び 50 kg のものから構成される。目盛さおの計量範囲は 0 kg～5 kg である。

計量範囲 Min ～ Max ＝2.5 kg～100 kg、目量 d ＝50 g、目盛さおの目盛はひょう量皿側と外側に両面あり、目盛さおを釣合わせ、読み取り限界は目量 d の 1/10 とする。

本事例では、依頼者との合意に基づいて、はかり校正は目盛さおのひょう量皿側目盛のみについて行う。

校正には常用参照標準として管理された分銅を用いる。これらの分銅は、JCSS 校正証明書に記載された協定質量及びその不確かさ、並びに分銅の特性、質量の経時変化など分銅の使用時の不確かさを考慮して、協定質量についてはそれぞれ 50.000 g、500.00 g、2.0000 kg、5.0000 kg、10.0000 kg、20.000 kg で管理されており、また相対拡張不確かさ U_S（信頼の水準約 95 %、包含係数 k＝2）については 5.0×10^{-4} で管理されているものとする。ただし、50 g の分銅は指示値を読み取り可能にするための調整荷重である。また、20 kg 分銅は 5 個である。

4.2 繰返し性の標準不確かさ u_r

目標の校正範囲全体に適用する測定の繰返し性の不確かさを評価する代表的な荷重として、0.5 Max 以上 Max 以下の範囲にある W_r=60 kg が選ばれた。定量増おもりとして、5 kg、50 kg が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値をゼロに調整され、荷重はひょう量皿の中心に置かれた。繰返し測定は少なくとも 6 回以上行う。6 回測定の結果を表 11 に示す。

表 11 繰返し性評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5	6
指示値 I_i [kg]	59.980	59.970	59.970	59.960	59.970	59.980

繰返し性の標準不確かさ u_r は、

$$u_r = s = 7.53\ \mathrm{g} \qquad (4.1)$$

のように推定される。ここで、s は 6 回測定の標準偏差である。

なお、この事例でも、それぞれの校正ポイントの荷重における校正結果の不確かさ評価するに当たり、繰返し性の不確かさを1つの代表的な荷重のみで評価したならば過大又は過小評価の恐れがある場合は、複数の荷重を用いて評価するのは1つの対処方法である。例えば、3.校正の不確かさ評価事例 2 はその一例である。

4.3 読み取り誤差の標準不確かさ u_d

本台手動はかりは、JIS B 7611-1 に定められた構造要件に満足しており、読み取り誤差の上限は目量 d の 1/3 とする。したがって、測定前の指示値ゼロ調整及び測定の指示値 I の読み取りにより、読み取り誤差の標準不確かさ u_d は、

$$u_d = \sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{d}{3} = \sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{50\,\mathrm{g}}{3} = 13.6\ \mathrm{g} \qquad (4.2)$$

のように推定される。

4.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_e

校正における測定の偏置荷重による不確かさを評価する荷重として $0.3Max$ 以上 Max 以下の範囲内にある W_e＝40 kg が選ばれ、Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差を評価に用いる。定量増おもりとして、5 kg、10 kg(No.1)、20 kg が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値をゼ

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。

ロに調整され、荷重の負荷位置及び測定順序を図 1 の“〇”に示す。測定の結果を表 12 に示す。

表 12 偏置誤差評価データ

荷重の負荷位置 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [kg]	39.980	39.990	39.975	39.970	39.975
中心との差[g]	ー	10	ー5	ー10	ー5

偏置荷重による相対標準不確かさ u_e は、

$$u_e = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{E_1}{Max} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{E}{W_e} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}} \times \frac{10\,\mathrm{g}}{40000\,\mathrm{g}} = 4.81\times10^{-5} \qquad (4.3)$$

のように推定される。ここで、E は中心と偏置荷重の指示値間の最大差 10 g で、E_1 は式(2.4)

$$E_1 = E \times \frac{Max}{3\times W_e}$$

のように Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差である。

4.5 正確さ

測定の結果を表 13 に示す。表 13 において、荷重 W_1 、W_2 、W_3 、W_4 及び W_5 は計量範囲にわたってほぼ均等に選択された。ただし、定量増おもりの組み合わせは依頼者との合意によった。はかりは各測定の前に指示値のゼロ調整を行い、荷重はひょう量皿の中心に負荷された。それぞれの荷重において、偏差を計算し、結果を表 13 に示す。

表 13 正確さ評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5
定量増おもり C_i [kg]	0	20	50	5、20、50	5、10、10、20、50
荷重 W_i [kg]	2.5000	25.000	50.050	75.050	100.000
指示値 I_i [kg]	2.500	24.985	50.025	75.015	99.955
偏差[g]	0	ー15	ー25	ー35	ー45

4.6 温度特性による相対標準不確かさ u_t

台手動はかりは、温度変動 Δt が 2 K 以内の環境で校正された。本台手動はかりは JIS B 7611-1 の技術要件を満たしており、校正時の温度変動幅では、温度特性による影響が無視できるため、温度特性による相対標準不確かさ u_t を 0 とする。

（注）例えば、ばねはかりなど温度特性による影響が無視できない機種もある。

4.7 常用参照標準による相対標準不確かさ u_s

この事例では、校正時の空気浮力及び質量の経時変化等の影響は、常用参照標準の相対拡張不確かさ U_s の範囲内で管理されており、その包含係数は k＝2 であるので、常用参照標準による相対標準不確かさ u_s は、

$$u_s = \frac{U_s}{k} = \frac{5.0\times10^{-4}}{2} = 2.5\times10^{-4} \qquad (4.4)$$

で与えられる。

4.8 はかりの校正結果

参照分銅の負荷荷重 W において、はかり校正の合成標準不確かさ u_c は、

$$u_c = \sqrt{{u_r}^2 + {u_d}^2 + ({u_e}^2 + {u_t}^2 + {u_s}^2) \times W^2}$$
$$= \sqrt{7.53^2\mathrm{g}^2 + 13.6^2\mathrm{g}^2 + (0.481^2 + 0^2 + 2.5^2) \times 10^{-8} \times W^2\mathrm{g}^2} \qquad (4.5)$$

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。

この事例においては、6回の繰り返し測定によってAタイプ評価された標準不確かさが合成標準不確かさの約8割以下であるので、10以上の有効自由度が確保できる。したがって、包含係数k＝2が採用できて、信頼の水準約95 %に相当する拡張不確かさUは式(2.9)のように計算される。

校正結果は表14の形で記載される。

表14 校正結果

公称値	偏差	拡張不確かさ※	定量増おもり
2.5 kg	0 g	31 g	0 kg
25 kg	−15 g	34 g	20 kg
50 kg	−25 g	40 g	50 kg
75 kg	−35 g	49 g	5kg、20kg、50 kg
100 kg	−45 g	60 g	5 kg、10 kg、10 kg、20 kg、50 kg

※拡張不確かさは信頼の水準約95 %に相当し、包含係数kは2である。

(注)校正は目盛さおのひょう量皿側目盛のみについて行った。

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。

5. 校正の不確かさ評価事例 4（電子式非自動はかり）

5.1 校正対象のはかりと校正用の常用参照標準

ひょう量 Max ＝300 kg、目量 d ＝20 g

常用参照標準として管理された取手付き円盤型 50 kg、100 kg 及び 200 kg 分銅を用いる。これらの分銅は、JCSS 校正証明書に記載された協定質量及びその不確かさ、並びに分銅の特性、協定質量の変化など分銅の使用時の不確かさを考慮して、協定質量については公称値で管理されており、また、相対拡張不確かさ U_S（信頼の水準約 95 %、包含係数 k＝2）については 10×10^{-6} で管理されているものとする。

5.2 繰返し性の標準不確かさ u_r

目標の校正範囲全体に適用する測定の繰返し性の不確かさを評価するため、1つの代表的な荷重として、0.5 Max 以上 Max 以下の範囲内にある W_r =200 kg が選ばれた。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重はひょう量皿の中心に置かれた。繰返し測定は少なくとも3回行う。3回測定の結果を表 15 に示す。

表 15 繰返し性評価データ

測定順序 i	1	2	3
指示値 I_i [kg]	200.00	200.00	200.02

繰返し性の標準不確かさ u_r は、

$$u_r = s = 11.5\ \mathrm{g} \tag{5.1}$$

のように推定される。ここで、s は 3 回測定の標準偏差である。

5.3 丸め誤差の標準不確かさ u_d

測定前の指示値ゼロ設定及び測定の指示値 I の読み取りにより、指示値の丸めの標準不確かさ u_d は、

$$u_d = \sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{d}{2} = \sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{20\ \mathrm{g}}{2} = 8.16\ \mathrm{g} \tag{5.2}$$

のように推定される。

5.4 偏置荷重による相対標準不確かさ u_e

校正における測定の偏置荷重による相対不確かさの評価荷重として、0.3 Max 以上 Max 以下の範囲内にある W_e ＝100 kg が選ばれ、Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差を評価に用いる。はかりは各測定の前に指示値をゼロに設定され、荷重の負荷位置及び測定順序を図 1 の“〇”に示す。負荷位置は図 1 に示すような四つの区分の中央とする。測定の結果を表 16 に示す。

表 16 偏置誤差評価データ

荷重の負荷位置 i	1	2	3	4	5
指示値 I_i [kg]	100.00	99.98	100.00	100.02	100.00
中心との差[kg]	―	−0.02	0.00	0.02	0.00

偏置荷重による相対標準不確かさ u_e は、

$$u_e = \frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{E_1}{Max} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}}\times\frac{E}{W_e} = \frac{1}{3\times\sqrt{3}}\times\frac{20\ \mathrm{g}}{100000\ \mathrm{g}} = 3.85\times10^{-5} \tag{5.3}$$

のように推定される。ここで、E は中心と偏置荷重の指示値間の最大差 20 g で、E_1 は式(2.4)のように Max の 1/3 の荷重に正規化された中心と偏置荷重の指示値間の最大差である。

5.5 正確さ

本事例では、依頼者との合意に基づいて、はかり校正の不確かさの推定において風袋荷重の影響を考慮しないものとする。

測定の結果を表 8 に示す。表 8 において、荷重 W_i は 50 kgから 300 kgまで 50 kgの間隔で均等に選

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。

ばれた。はかりは各測定の前に指示値のゼロ設定を行い、荷重はひょう量皿の中心に負荷された。
それぞれの荷重において偏差を計算し、結果を表 17 に示す。

表 17 正確さ評価データ

測定順序 i	1	2	3	4	5	6
荷重 W_i [kg]	50.0000	100.000	150.000	200.000	250.000	300.000
指示値 I_i [kg]	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00
偏差[kg]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5.6 温度特性による相対標準不確かさ u_t

はかりは、温度変動 Δt が 2 K 以内である環境で校正された。また、感度の温度係数は $tk \le 10\times10^{-6}$ K^{-1} であることが、当該のはかりのメーカにより保証されている。温度特性による相対標準不確かさ u_t は、

$$u_t = \frac{1}{2\times\sqrt{3}} \times \Delta t \times tk = \frac{1}{2\times\sqrt{3}} \times 2\,\mathrm{K} \times 10\times10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1} = 5.77\times10^{-6} \qquad (5.4)$$

のように推定される。

5.7 常用参照標準による相対標準不確かさ u_s

この事例では、校正時の空気浮力及び協定質量の変化等の影響は、常用参照標準の相対拡張不確かさ U_s の範囲内で管理されており、その包含係数は $k=2$ であるので、常用参照標準による相対標準不確かさ u_s は、

$$u_s = \frac{U_s}{k} = \frac{10\times10^{-6}}{2} = 5.0\times10^{-6} \qquad (5.5)$$

で与えられる。

5.8 合成標準不確かさ u_c の不確かさバジェット

参照分銅の負荷荷重 W において、はかり校正の合成標準不確かさ u_c は、

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{{u_r}^2 + {u_d}^2 + ({u_e}^2 + {u_t}^2 + {u_s}^2)\times W^2} \\ &= \sqrt{11.5^2\mathrm{g}^2 + 8.16^2\mathrm{g}^2 + (3.85^2 + 0.577^2 + 0.5^2)\times10^{-10}\times W^2\mathrm{g}^2} \end{aligned} \qquad (5.6)$$

で与えられる。

これらの不確かさ要因のうち、A タイプ評価されたのは繰返し性の不確かさ u_r のみであり、校正結果の有効自由度 v_{eff} は、

$$v_{\mathrm{eff}} = \frac{u_c^4}{\dfrac{u_r^4}{3\text{-}1} + \dfrac{u_d^4}{\infty} + \dfrac{u_e^4\times W^4}{\infty} + \dfrac{u_t^4\times W^4}{\infty} + \dfrac{u_s^4\times W^4}{\infty}} = \frac{u_c^4}{\dfrac{u_r^4}{2} + 0 + 0 + 0 + 0} = 2\times\left(\frac{u_c}{u_r}\right)^4 \qquad (5.7)$$

で与えられる。

この有効自由度において、信頼の水準約 95 %に相当する包含係数 k を t 分布に基づいて求め、はかりの校正における拡張不確かさ U を式(2.9)のように計算する。

はかり校正の合成標準不確かさ u_c の不確かさバジェット及び拡張不確かさ U は表 18a のようになる。表 18a からわかるように、A タイプ評価された繰返し性の標準不確かさが支配的であり、かつその自由度が小さいため、合成標準不確かさ u_c の有効自由度 v_{eff} が小さくなり、包含係数 $k=2$が採用できない。

このような場合は、校正事業者における校正データ処理の煩雑さの増大や不適合業務を予防するための作業負担の増加、校正証明書を受け取った顧客の混乱などが懸念される。そこで、このような問題を避けるための対処について以下に例を示す。

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 18a 不確かさバジェット(A タイプ評価)

		記号	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	Type	自由度 v
不確かさ要因	繰返し性	u_r	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	A	3−1＝2
	丸め誤差	u_d	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	B	∞
	偏置荷重	$u_e \times W$	1.9 g	3.8 g	5.8 g	7.7 g	9.6 g	11.5 g	B	∞
	温度特性	$u_t \times W$	0.3 g	0.6 g	0.9 g	1.2 g	1.4 g	1.7 g	B	∞
	参照標準	$u_s \times W$	0.3 g	0.5 g	0.8 g	1.0 g	1.3 g	1.5 g	B	∞
合成標準不確かさ		u_c	14.3 g	14.6 g	15.3 g	16.2 g	17.2 g	18.4 g	—	—
有効自由度		v_{eff}	4.7	5.2	6.2	7.7	9.9	12.9	—	—
包含係数		k	2.78	2.57	2.45	2.36	2.26	2	—	—
拡張不確かさ		U	40 g	38 g	38 g	38 g	39 g	37 g	—	—

5.9 目量の数が少ないはかりの場合

目量の数が一万程度以下の(目の粗い)はかりの場合、繰返し測定 3 回のばらつきは、経験上で大きくても 1 目量分程度以内と考えられる。

そこで、3 回繰返し性測定の最大値と最小値との差に、デジタル指示による丸めている影響の 1 目量分を考慮に入れ、これを矩形分布の全幅として B タイプで評価する。

この事例においては、繰返し性の標準不確かさu_rは

$$u_r = \frac{[\max(I_i) - \min(I_i)] + d}{2\times\sqrt{3}} = \frac{200020\ \text{g} - 200000\ \text{g} + 20\ \text{g}}{2\times\sqrt{3}} = 11.5\ \text{g} \qquad (5.8)$$

で与えられる。

B タイプ評価された繰返し性の標準不確かさの自由度は十分大きいため、合成標準不確かさu_cの有効自由度v_{eff}が大きくなり、信頼の水準約 95 %に相当する包含係数としてk＝2 が採用できる。

はかり校正の合成標準不確かさu_cの不確かさバジェット及び拡張不確かさUは表 18b のようになる。

表 18b 不確かさバジェット(B タイプ評価)

		記号	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	Type	自由度 v
不確かさ要因	繰返し性	u_r	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	B	∞
	丸め誤差	u_d	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	B	∞
	偏置荷重	$u_e \times W$	1.9 g	3.8 g	5.8 g	7.7 g	9.6 g	11.5 g	B	∞
	温度特性	$u_t \times W$	0.3 g	0.6 g	0.9 g	1.2 g	1.4 g	1.7 g	B	∞
	参照標準	$u_s \times W$	0.3 g	0.5 g	0.8 g	1.0 g	1.3 g	1.5 g	B	∞
合成標準不確かさ		u_c	14.3 g	14.6 g	15.3 g	16.2 g	17.2 g	18.4 g	—	—
有効自由度		v_{eff}	∞	∞	∞	∞	∞	∞	—	—
包含係数		k	2	2	2	2	2	2	—	—
拡張不確かさ		U	29 g	29 g	31 g	32 g	34 g	37 g	—	—

なお、繰返し性測定 3 回のばらつきの幅が 2 目量以上の場合は、極めてまれで、むしろ当該のはかりに何らかの異状がある疑いもあり、校正を続けるよりも異状の原因を究明することが先決と思われる。

5.10 繰返し性の標準偏差のプールデータs_pが利用できる場合

例えば、メーカによってはかり校正に適した繰返し性の標準偏差のプールデータが開示された場合、又は十分な数の同じ型番のはかりに対して同じ条件で行った以前の繰返し測定から蓄積された評価結果を適用できる場合は、繰返し性の標準不確かさの自由度を増やすため、これらのプールデータを積極的に活用すべきであろう。

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。

校正前の受付検査などではかりの状態が正常であると確認し、さらに繰返し測定を行ってはかりの繰返し性が標準偏差のプールデータs_pから外れていないかを検証した上で、プールデータs_pを適用する。

繰返し性の検証には、例えば、式(5.9)のように繰返し性測定の最大値と最小値との差がプールデータs_pの統計的な許容幅内にあるかどうかによって判断するのが、一法である。

$$\frac{[\max(I_i)-\min(I_i)]}{2} \le 2\times s_p \qquad (5.9)$$

この事例においては、はかりの繰返し性のプールデータs_pが 7 g 以内とメーカによって開示されるとすると、式(5.9)は式(5.10)のようになり、プールデータs_pの適用が妥当であると判断される。

$$\frac{200020\,\mathrm{g}-200000\,\mathrm{g}}{2}=10\,\mathrm{g}\le 2\times 7\,\mathrm{g}=14\,\mathrm{g} \qquad (5.10)$$

メーカによって開示される繰返し性のプールデータs_pには十分な自由度があるので、包含係数としてk＝2 が採用できる。

はかり校正の合成標準不確かさu_cの不確かさバジェット及び拡張不確かさUは表 18c のようになる。

表 18c 不確かさバジェット(プールデータによる評価)

		記号	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	Type	自由度 v
不確かさ要因	繰返し性	u_r	7.0 g	7.0 g	7.0 g	7.0 g	7.0 g	7.0 g	A	∞^*
	丸め誤差	u_d	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	B	∞
	偏置荷重	$u_e\times W$	1.9 g	3.8 g	5.8 g	7.7 g	9.6 g	11.5 g	B	∞
	温度特性	$u_t\times W$	0.3 g	0.6 g	0.9 g	1.2 g	1.4 g	1.7 g	B	∞
	参照標準	$u_s\times W$	0.3 g	0.5 g	0.8 g	1.0 g	1.3 g	1.5 g	B	∞
合成標準不確かさ		u_c	11.0 g	11.5 g	12.3 g	13.3 g	14.6 g	15.9 g	—	—
有効自由度		v_{eff}	∞	∞	∞	∞	∞	∞	—	—
包含係数		k	2	2	2	2	2	2	—	—
拡張不確かさ		U	22g	23 g	25 g	27 g	29 g	32 g	—	—

*:メーカによって開示された情報であり、A タイプ評価されているが、十分大きい自由度をもつとみなせる。

5.11 測定回数を増やすことが可能な場合

式（5.7）からわかるように、実際に実行可能ならば、測定回数を増やして繰返し性の標準不確かさの自由度を増やすことが、合成標準不確かさu_cの有効自由度v_{eff}を十分に確保するためには効果的である。この事例の場合、測定回数を 3 回ではなく 6 回に増やすことが可能ならば、表 18d のように有効自由度v_{eff}はすべての校正ポイントで 10 以上になるので、信頼の水準約 95 %に相当する包含係数としてk＝2 が採用できる。6 回測定の結果を表 19 に示す。

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 18d 不確かさバジェット(A タイプ評価、ただし測定回数増加)

		記号	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	Type	自由度 ν
不確かさ要因	繰返し性	u_r	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	A	6−1＝5
	丸め誤差	u_d	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	B	∞
	偏置荷重	$u_e \times W$	1.9 g	3.8 g	5.8 g	7.7 g	9.6 g	11.5 g	B	∞
	温度特性	$u_t \times W$	0.3 g	0.6 g	0.9 g	1.2 g	1.4 g	1.7 g	B	∞
	参照標準	$u_s \times W$	0.3 g	0.5 g	0.8 g	1.0 g	1.3 g	1.5 g	B	∞
合成標準不確かさ		u_c	11.8 g	12.2 g	13.0 g	14.0 g	15.2 g	16.5 g	—	—
有効自由度		ν_{eff}	21.2	24.9	31.7	42.7	59.3	83.2	—	—
包含係数		k	2	2	2	2	2	2	—	—
拡張不確かさ		U	24 g	24 g	26 g	28 g	30 g	33 g	—	—

表 19 繰返し性評価データ(測定回数増加)

測定順序 i	1	2	3	4	5	6
指示値 I_i [kg]	200.00	200.00	200.02	200.00	200.00	200.00

5.12 正確さの測定に積増し方式を採用する場合

主に大ひょう量はかりを校正する際には、各測定点の測定間で指示値をゼロ設定することなく次の校正点まで荷重を積み増して測定を行う積増し方式が採用されることがある。この場合、参考文献(*1)より、積増しによる標準不確かさu_lには、荷重を積み増して測定を行う間のゼロドリフトの影響等を考慮する。
例えば、u_lは、積増し測定開始時から終了時までのゼロ点の変動幅を Z に、デジタル指示の丸めの影響であるはかりの 1 目量 dを加味し、これを半幅とする矩形分布の不確かさと仮定して、

$$u_l = \frac{Z+d}{\sqrt{3}} \tag{5.10}$$

で推定される。
ただし、参考文献(*2)のデータを参考に、校正対象であるはかりがひょう量 100 kg 以上であり、かつ JIS B7611−1 又は JIS B 7611−2 の計量要件及び技術要件に適合しているか、又は同程度の性能であることを担保する妥当な証拠があれば、ゼロ点の変動幅のみを考慮し、積増しによる標準不確かさu_lは、

$$u_l = \frac{Z}{\sqrt{3}} \tag{5.11}$$

で推定される。

表 20 に示す積増し方式による正確さの測定を行った結果により、その標準不確かさu_lを評価する事例を以下に示す。なお、ここでは式(5.11)を適用できないはかりを校正対象とする。

表 20 正確さ評価データ(積増し方式)

測定順序 i	測定前の指示値	1	2	3	4	5	6	ゼロ点の変動幅
荷重 W_i [kg]	−	50.0000	100.000	150.000	200.000	250.000	300.000	−
指示値 I_i [kg]	0	50.00	100.00	150.02	200.04	250.02	300.02	0.02
偏差[kg]	−	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.02	−

この時積増しによる標準不確かさu_lは

$$u_l = \frac{Z+d}{\sqrt{3}} = \frac{20+20}{\sqrt{3}} = 23.1\ \mathrm{g} \tag{5.12}$$

で与えられる。

はかり校正の合成標準不確かさu_c の不確かさバジェット及び拡張不確かさU は表 18e のようになる。

表 18e 不確かさバジェット(積増し方式)

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。

		記号	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	Type	自由度 v
不確かさ要因	繰返し性	u_r	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	11.5 g	A	3−1＝2
	丸め誤差	u_d	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	8.2 g	B	∞
	偏置荷重	$u_e \times W$	1.9 g	3.8 g	5.8 g	7.7 g	9.6 g	11.5 g	B	∞
	温度特性	$u_t \times W$	0.3 g	0.6 g	0.9 g	1.2 g	1.4 g	1.7 g	B	∞
	参照標準	$u_s \times W$	0.3 g	0.5 g	0.8 g	1.0 g	1.3 g	1.5 g	B	∞
	積増し	u_l	23.1 g	23.1 g	23.1 g	23.1 g	23.1 g	23.1 g	B	∞
合成標準不確かさ		u_c	27.1 g	27.4 g	27.7 g	28.2 g	28.8 g	29.5 g	―	―
有効自由度		v_{eff}	62.1	64.0	67.5	72.2	78.6	86.6	―	―
包含係数		k	2	2	2	2	2	2	―	―
拡張不確かさ		U	54 g	55 g	55 g	56 g	58 g	59 g	―	―

参考文献

(*1) 孫建新、他：大ひょう量はかりの校正における荷重の積み増しによる不確かさに関する実験的考察，第 26 回センシングフォーラム資料，P31-34, 2009.
(*2) 大平岳史：はかり校正における評価方法 -積み増し方式-，力学量標準トレーサビリティ・ワークショップ［ⅩⅧ］テキスト，P37-42，2016.

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。