

「不確かさ」資料

【天びんの校正の不確かさの目安】

表 1 に、代表的な電子天びんの校正の不確かさ（目安）を示します。

表 1 校正の不確かさ（目安）

最小表示	機種	校正ポイント (風袋なし)	拡張不確かさ ($k=2$)
0.001mg	BM-20	1 g	0.019 mg
0.01mg	GH-202	50 g	0.17 mg
	GH-252	100 g	0.31 mg
	BM-252	100 g	0.29 mg
0.1mg	GR-120/GH-120	100 g	0.4 mg
	GR-200/GH-200/BM-200	200 g	0.6 mg
	BM-500	500 g	1.6 mg
0.001g	GX-200/GF-200	200 g	0.004 g
	GX-600/GF-600	500 g	0.004 g
	GX-1000/GF-1000	1 kg	0.005 g
0.01g	GX-2000/GF-2000	2 kg	0.04 g
	GX-6100/GF-6100	5 kg	0.05 g

- 注 1. 上記校正の不確かさは、良好環境下において電子天びんが正しく動作することを前提としています。
2. 校正不確かさの要因は、1) 校正分銅、2) 繰り返し性、3) 丸め誤差、4) 偏置誤差、5) 温度特性、として以下の数値を適用しています。
なお、校正の不確かさには通常“正確さ”（校正結果における偏差）が含まれますが、“正確さ”は、感度調整にて使用される分銅の精度に影響されるため、上記不確かさの目安においては“正確さ”の要因は組み込んでおりません。同様に、校正分銅の経年変化、校正分銅校正時の大気圧と天びん校正時の気圧変化についても、分銅の管理に依存するため、不確かさの要因として組み込んでおりません。
3. 電子天びんの状態、校正時の環境により不確かさは影響を受けますので、正確には校正を行う環境において実機での不確かさを見積もる必要があります。この為、上記校正の不確かさは、実機にて見積った校正の不確かさの例となり、不確かさを保障するものではありません。

1) 校正分銅による不確かさ

使用する校正分銅は、以下の拡張不確かさ（包含係数 $k=2$ ）を持つものとして計算しています。

公称値	拡張不確かさ ($k=2$)
1 g	0.018 mg
50 g	0.101 mg
100 g	0.15 mg
200 g	0.25 mg
500 g	1.0 mg
1 kg	1.5 mg
2 kg	3 mg
5 kg	5 mg

上記校正分銅の拡張不確かさは、(株) エー・アンド・デイ校正室にて、OIML E 2 級分銅を校正する場合の測定能力となります。

2) 繰り返し性による不確かさ

各天びんのカタログスペック（再現性）を適用しています。

3) 丸め誤差による不確かさ

該当する天びんの最小表示から求めています。

4) 偏置誤差による不確かさ

該当する天びんの製造時のスペックより求めています。

5) 温度特性による不確かさ

該当する天びんのカタログスペック（感度ドリフト）を元に、校正時の温度変化を $\triangle 2^{\circ}\text{C}$ 以内として求めています。

【はかり校正の不確かさ】算出事例

1. はじめに

以下に、GR-200を例とした、実際の“はかり校正の不確かさ”の算出事例を示します。

GR-200仕様

ひょう量 : *Max* 210 g
最小表示 (目量) : *d* 0.1 mg

校正の不確かさの要因は、以下のものを組み込んでいます。

- 1-1 校正分銅による不確かさ
- 1-2 校正作業による不確かさ
 - 1) 繰り返し性
 - 2) 偏置誤差
 - 3) 正確さ
- 1-3 その他の要因による不確かさ
 - 1) 温度特性
 - 2) 丸め誤差

2. 準備

取扱説明書に従い、適切な環境に設置し、指定された時間ウォームアップする。

(電源を投入した状態にしておく)。

3. 感度調整

必要に応じて校正前に感度調整を行う。ただし、感度調整を行った場合は、校正条件として校正結果に記録する。

4. 繰り返し性

例として、0.1 *Max* (ひょう量×0.1) 以上である200 gを試験荷重とし、以下の手順で繰り返し性を測定する。

測定回数 (n) は6回とする。

- 1) ゼロリセットを行い、指示値がゼロであることを確認する。
 - 2) 試験荷重に相当する分銅を皿の中央に負荷し、そのときの指示値を読み取る。
 - 3) その後、分銅を取り除く。
- 上記1)～3)を6回繰り返す。

測定結果の例

測定順序 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6
指示値 I_i	200.0000 g	200.0000 g	200.0001 g	200.0000 g	200.0001 g	200.0001 g
平均値 \bar{I}	200.00005g					
$I_i - \bar{I}$	-0.05mg	-0.05mg	0.05mg	-0.05mg	0.05mg	0.05mg

この結果から、繰り返しによる分散 (V_r) を次式により求め。

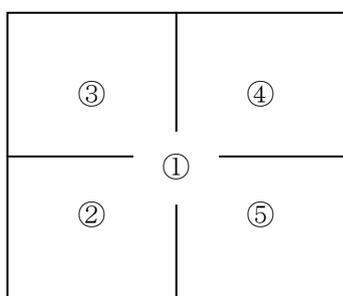
$$V_r = S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2 \quad \text{ここで } \bar{I} \text{ は指示値の平均値}$$

$$= 3.0000 \times 10^{-3} \text{ mg}^2 \quad \dots (1)$$

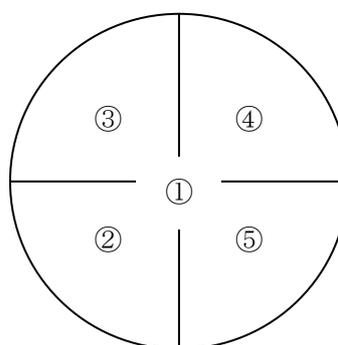
5. 偏置誤差

例として、 0.3 Max 以上である 100 g を試験荷重 (P) とし、以下の手順で偏置誤差を測定する。

- 1) 測定開始前にゼロリセットを行い、指示値がゼロであることを確認する。
- 2) 試験荷重に相当する 100 g 分銅を皿の中央①に負荷し、そのときの指示値 I_1 を読み取る。
- 3) 次に、同一分銅を②の位置に負荷したときの指示値 I_2 を読み取る。
- 4) 同様に、同一分銅を③、④、⑤の位置に順番に負荷したときの指示値、 I_3 、 I_4 、 I_5 を読み取る。



四角形の計量皿の場合



円形の計量皿の場合

②～⑤の位置は、4分割された面積の中央とする。

測定結果の例

測定順序 i	1	2	3	4	5
測定位置	①	②	③	④	⑤
指示値 I_i	100.0000g	99.9999g	100.0002 g	100.0001 g	99.9998 g
中心との差		-0.1mg	0.2mg	0.1mg	-0.2mg

この結果から、

中心荷重と偏置荷重との最大の差 $\triangle E$ から、 $\text{Max}/3$ の試験荷重に正規化した偏置誤差 E_1 を求める。

$$E_1 = \triangle E \cdot \frac{\text{Max}}{3P}$$

Max (ひょう量) = 210 g 、 P (試験荷重) = 100 g 、偏置誤差測定から、 $\triangle E = 0.2 \text{ mg}$ を代入すると

$$E_1 = 0.2 \text{ mg} \times 210 \text{ g} / 300 \text{ g} = 0.14 \text{ mg}$$

偏置誤差の相対分散 V_e は、 $\triangle E$ ($\pm \triangle E$) を最大とする一様分布と推定され

$$V_e = U_e^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 \times \left(\frac{E_1}{\text{Max}} \right)^2 = \frac{1}{3} \times \left(\frac{0.14}{210000} \right)^2$$

$$= 1.4815 \times 10^{-13} \quad \dots (2)$$

6. 正確さ

例として、下記分銅によって風袋荷重の有り／無しを含めた試験荷重にて、正確さを測定する。

分銅種類	用途	公称値	協定質量	拡張不確かさ U (k = 2)	校正分銅の 不確かさの分散 V _s
W1	校正用	200g	200g+0.15mg	0.25mg	1.5625×10 ⁻² mg ²
W2	校正用	50g	50g-0.06mg	0.101mg	2.5503×10 ⁻³ mg ²
T1	風袋荷重用	50g	/	/	/
T2	風袋荷重用	100g			
T3	風袋荷重用	150g			

注) T3の150gは、T1とT2の組み合わせで構成してもよい。

校正分銅の不確かさの分散V_sは、包含係数k=2であることから、以下の式で算出する。

$$V_s = (U/2)^2$$

- 1) 測定前にゼロリセットを行う。指示値がゼロであることを確認し、校正用分銅W1を皿の中央に負荷し、指示値I1を読み取る。その後、皿から分銅を取り除く。
- 2) 1)と同様に、校正用分銅W2を負荷したときの指示値I2を読み取る。
- 3) 風袋荷重用として分銅T1を負荷し、風袋引きを行う。指示値がゼロであることを確認し、校正用分銅W2を皿の中央に負荷し、指示値I3を読み取る。その後、皿から分銅を取り除く。
- 4) 3)と同様に、風袋荷重用として分銅T2を負荷した状態において、校正分銅W2の指示値I4を読み取る。
- 5) 3)と同様に、風袋荷重用として分銅T3を負荷した状態において、校正分銅W2の指示値I5を読み取る。

試験荷重と測定結果の例

測定順序 i	1	2	3	4	5
風袋荷重	0g	0g	50g	100g	150g
風袋用分銅	—	—	T1	T2	T3
校正分銅	W1	W2	W2	W2	W2
校正分銅値	200.00015g	49.99994g	49.99994g	49.99994g	49.99994g
指示値 I _i	200.0000 g	49.9998 g	49.9999 g	50.0000 g	49.9999 g
偏差	-0.15mg	-0.14mg	-0.04mg	0.06mg	-0.04mg

7. 温度特性

はかり校正時の温度変化(ΔT)を以下の様に規定する。温度変動幅は、 $\frac{1}{2} \Delta T$ を最大とする一様分布と推定される。温度特性値TK(感度ドリフト)は、はかりのスペックにより、温度特性の相対分散V_tを以下の式で求める。

ΔT=2℃ … はかり校正時の温度変化を2℃と規定

TK=2 ppm/℃ … 天びんのスペック

$$V_t = U_t^2 = \left(\frac{\Delta T}{2\sqrt{3}} \times TK \right)^2 = \frac{1}{12} (\Delta T \times TK)^2$$

$$= \frac{1}{12} \left(2^\circ\text{C} \times \frac{2 \text{ ppm}}{^\circ\text{C}} \right)^2 = 1.3333 \times 10^{-12} \quad \dots \quad (3)$$

8. 丸め誤差

表示の分解能（目量 d ）に対する不確かさは、 $d/2$ を最大とする一様分布として推定される。測定前のゼロ点および測定値読み取りにより、以下の様に推定される。

$$V_d = U_d^2 = \left(\frac{d}{2\sqrt{3}} \right)^2 \times 2 = \frac{1}{6} \times d^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 0.1 \text{ mg}^2 = 1.6667 \times 10^{-3} \text{ mg}^2 \quad \dots \quad (4)$$

9. 拡張不確かさ

以下の式により、“6. 正確さ”の各測定ポイントにおける拡張不確かさ U （包含係数 $k=2$ ）を求める。

$$U = k \times \sqrt{[V_r + V_d + V_s + V_e \times W_i^2 + V_t \times W_i^2]} = k \times \sqrt{V}$$

ここで、

V_r : 繰り返し性の分散、“4. 繰り返し性”の算出結果（1）を代入する。

V_d : 丸め誤差の分散、“8. 丸め誤差”の算出結果（4）を代入する。

V_s : 校正分銅の不確かさの分散、“6. 正確さ”の測定で使用した校正分銅の不確かさから求める（“6. 正確さ”を参照）。

V_e : 偏置誤差の相対分散、“5. 偏置誤差”の算出結果（2）を代入する。

V_t : 温度特性の相対分散、“7. 温度特性”の算出結果（3）を代入する。

W_i : 校正分銅

k : 包含係数（ $k=2$ ）

注）偏置誤差（ V_e ）、温度特性（ V_t ）については、各不確かさが計量値に比例するものとして、分散を算出する。

		校正分銅	
		W1 (200g)	W2 (50g)
繰り返し性	V_r	$3.0000 \times 10^{-3} \text{ mg}^2$	
丸め誤差	V_d	$1.6667 \times 10^{-3} \text{ mg}^2$	
校正分銅	V_s	$1.5625 \times 10^{-2} \text{ mg}^2$	$2.5503 \times 10^{-3} \text{ mg}^2$
偏置誤差	$V_e \times W_i^2$	$1.4815 \times 10^{-13} \times (200000 \text{ mg})^2$ $= 5.9259 \times 10^{-3} \text{ mg}^2$	$1.4815 \times 10^{-13} \times (50000 \text{ mg})^2$ $= 3.7037 \times 10^{-4} \text{ mg}^2$
温度特性	$V_t \times W_i^2$	$1.3333 \times 10^{-12} \times (200000 \text{ mg})^2$ $= 5.3333 \times 10^{-2} \text{ mg}^2$	$1.3333 \times 10^{-12} \times (50000 \text{ mg})^2$ $= 3.3333 \times 10^{-3} \text{ mg}^2$
分散合計	V	$7.9551 \times 10^{-2} \text{ mg}^2$	$1.0921 \times 10^{-2} \text{ mg}^2$
拡張不確かさ ($k=2$)	U	0.6mg	0.3mg

注）拡張不確かさの結果は、求める桁の下1桁を切り上げて算出する。

W1 (200g) の場合

$$U = k \times \sqrt{V} = 2 \times \sqrt{(7.9551 \times 10^{-2} \text{ mg}^2)} = 0.56 \text{ mg} \rightarrow 0.6 \text{ mg}$$

W2 (50g) の場合

$$U = k \times \sqrt{V} = 2 \times \sqrt{(1.0921 \times 10^{-2} \text{ mg}^2)} = 0.21 \text{ mg} \rightarrow 0.3 \text{ mg}$$

10. 校正結果

“6. 正確さ” および “9. 拡張不確かさ” の結果から、はかりの校正結果は以下のとおり。

風袋荷重	公称値	偏差	拡張不確かさ
0g	200g	-0.15mg	0.6mg
0g	50g	-0.14mg	0.3mg
50g	50g	-0.04mg	0.3mg
100g	50g	0.06mg	0.3mg
150g	50g	-0.04mg	0.3mg

拡張不確かさは、包含係数 $k=2$ としている。

以上

【参考書】

JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係わる区分：質量

計量器等の区分：はかり

(第7版)

ASG104 不確かさの入門ガイド