

## 質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

株式会社村上市衡器製作所 技術開発部

伊藤 登

### 1. 不確かさとは

ISO ガイド“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”

通称「GUM」(ガム)

和文訳“計測における不確かさの表現のガイド”(日本規格協会)

不確かさの定義

測定の結果に付随した、合理的な測定量に結びつけられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ

### 2. 誤差と不確かさの違い

誤差の定義:測定値から真の値を引いた値

真の値は誰にも分からない理想的な量→真の値が分からないので誤差も知ることができない

不確かさ:最良推定値のばらつき→真の値は考慮しない

最良推定値:測定値の中で補正できるものがあれば補正した後の真の値に近いと思われる一番実現可能な値

### 3. 不確かさの求め方の手順

3. 1 不確かさの要因をリストアップする。

a) 測定量の不完全な定義

b) 測定量の定義が完全には実現されないこと

はかりの偏置荷重による不確かさ:分銅を皿の中心で測定する

c) 代表性のよくないサンプリングであることー測定試料が定義された測定量を代表していないこと

d) 測定に対する環境条件の効果が十分に知られていないこと、又は環境条件の測定が完全でないこと

e) アナログ計器の読み取りにおける人によるかたより

f) 有限である、機器の分解能又は識別限界

はかりの丸め誤差による不確かさ:電子天びん(デジタル表示)の目量での丸め

g) 計量標準及び標準物質の不正確な値

参照分銅の不確かさ:特定二次標準、常用参照標準の不確かさ

h) 外部の情報源から得られ、またデータ補正アルゴリズムに用いられる定数や他のパラメータの不正確な値

分銅密度の不確かさ:JIS 規格等のデータに記載されている不確かさ

i) 測定の方法及び手順に組み込まれる近似と仮定

j) みかけ上の同一の条件のもとでの、測定量の繰り返し観測の変動

ひょう量過程の不確かさ:反復測定におけるばらつき

3. 2 各々の要因のばらつき(標準不確かさ)を求める。

見積りの方法によって2種類ある(要因によってどちらかに決まるのではない)

Aタイプ:統計的方法によって評価されたもの

測定データを取り標準偏差を求める。

## 質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

Bタイプ:その他の方法によって評価されたもの

文献等のデータより分布を推定し分布に応じた計算を適用する。

すべての不確かさ成分に対して同様の労力をかけて不確かさ評価を行うことは実際的ではない。

過去のデータや経験により主要な不確かさ成分が抽出できるときは、その主要成分に対して特に慎重な評価を行うことにより、全体として効率的で信頼性の高い評価が可能となる。

3.3 上記で求めた標準不確かさを二乗和の平方根で合成し合成標準不確かさを求める。

3.4 合成標準不確かさに包含係数(k)を乗じて拡張不確かさを求める。

3.5 上記要因が一覧できる不確かさのバジェットシートを作成する。

3.6 BMC(Best Measurement Capability):最高測定能力

ある測定量の一つの単位又は一つ以上の値を定義、実現、保持又は再現しようとするほぼ理想的な測定標準(校正対象物)のおおよそ日常的な校正を実施する場合、又は該当する量の測定のために設計されたほぼ理想的な測定器のおおよそ日常的な校正を実施する場合において認定の範囲内で達成できる測定の最小不確かさ。

試験所は認定された BMC より小さい不確かさを報告できないが、等しいか又はより大きい不確かさを報告することができる。

当社の場合

- ・分銅・おもり校正: 精度に応じてクラス分けし、クラス毎の BMC を最大不確かさとして求め、証明書にはクラス毎の BMC を不確かさとして記載(不確かさの計算は校正毎に行わない)
- ・はかり校正: 目量・ひょう量毎に BMC を最小不確かさとして求め、証明書には BMC 若しくはより大きい不確かさを記載(不確かさの計算を校正毎に行う)

3.7 不確かさの利用方法

各々の不確かさの要因が最終的な測定値の不確かさにどれだけ影響しているかが数値で表される。

不確かさが大きい原因の追求に利用する。

不確かさの小さい測定が可能となる。

#### 4. 協定質量と分銅校正におけるひょう量法

##### 4.1 協定質量

20°Cの状態では1.2kg/m<sup>3</sup>の密度の空気中において、8000kg/m<sup>3</sup>の密度をもつ参照分銅と釣り合ったときの質量をいう。

温度の参照値:  $t_{ref}=20^{\circ}\text{C}$

空気の密度に対する参照値:  $\rho_0=1.2\text{kg/m}^3$

分銅の密度に対する参照値:  $\rho_{ref}=8000\text{kg/m}^3$

質量  $m$  と協定質量  $m_c$  との関係は、分銅の密度を  $\rho$  とすると上記条件での釣り合いから

$$m\left(1 - \frac{1.2}{\rho}\right) = m_c\left(1 - \frac{1.2}{8000}\right)$$

となる。

##### 4.2 分銅校正におけるひょう量法

分銅の協定質量を決めるために、参照分銅と被校正分銅の質量比較による等量比較法(置換ひょう量法)が用いられる。参照分銅は、被校正分銅と等しい公称値のものが用いられ、小さな質量差を測定して相対的に高精度な校正を実現する。

ひょう量手順は天びん指示のドリフトの影響を補償するために A を参照分銅、B を被校正分銅として ABBA( $r_1 t_1 t_2$ ) の 4 回測定法若しくは ABA( $r_1 t_1 r_2$ ) の 3 回測定法が用いられる。

なお、何れの場合も電子天びんは比較器として用いるので測定の最後に感じ分銅の測定作業が入り、感じ分銅の測定により求められた天びんの感度係数を測定結果に乗ずることにより始めて質量値となる。

天びんの指示の差  $\Delta I$  は、ひょう量手順 ABBA の場合

$$\Delta I = (I_{t1} + I_{t2} - I_{r1} - I_{r2}) / 2$$

ひょう量手順 ABA の場合

$$\Delta I = I_{t1} - (I_{r1} + I_{r2}) / 2$$

天びんの感度係数  $f$  は感じ分銅の質量を  $m_s$ 、感じ分銅を負荷したときの読みの差を  $\Delta I_s$  とすると

$$f = m_s / \Delta I_s$$

参照分銅と被校正分銅の協定質量の差  $\Delta m_c$  は、分銅の公称値を  $m_0$  として

$$\Delta m = f \cdot \Delta I + m_0 C$$

$$\text{ここに、} C = (\rho_a - \rho_0) \cdot \left( \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right)$$

ただし  $\rho_a$  : 校正室の空気密度

$\rho_0$  : 参照空気密度 (1.2kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_r$  : 参照分銅の密度

$\rho_t$  : 被校正分銅の密度

となる。

上式で  $m_0 C$  の項は空気浮力補正の項である。分銅校正では空気浮力については不確かさの要因として予め見積もっているため校正時にはこれを無視する。

## 5. 分銅校正における不確かさの算出 (JIS B 7609:2000 分銅)

### 5.1 ひょう量過程の不確かさ(Aタイプ)

測定を  $r$  回反復したとき、ひょう量過程における標準不確かさ  $u_w$  は、予め評価された測定の標準偏差  $s_w$  から

$$u_w = s_w / \sqrt{r} \quad (1)$$

より計算される。

### 5.2 参照分銅の不確かさ(Bタイプ)

参照分銅の質量の標準不確かさ  $u_s$  は、包含係数  $k$  を用い、引用する校正証明書の拡張不確かさ  $U_s$  から

$$u_s = U_s / k \quad (2)$$

より計算される。

### 5.3 参照分銅の管理による不確かさ(Bタイプ)

参照分銅(ワーキングスタンダード)の値付けに於ける許容変化量を  $\pm d_{ws}$  とすると、参照分銅の管理による不確かさ  $u_{sd}$  は分布を一様分布と仮定して

$$u_{sd} = d_{ws} / \sqrt{3} \quad (3)$$

より計算される。

### 5.4 空気の浮力の不確かさ(Bタイプ)

空気の浮力の不確かさ  $u_b$  は

$$u_b = \sqrt{\left( m_r \cdot \frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_r \rho_t} \cdot u_{\rho_a} \right)^2 + [m_r \cdot (\rho_a - \rho_0)]^2 \cdot \left( \frac{u_{\rho_r}^2}{\rho_r^4} + \frac{u_{\rho_t}^2}{\rho_t^4} \right)} \quad (4)$$

より計算される。

- ただし
- $\rho_a$  : 校正室の空気密度
  - $\rho_0$  : 参照空気密度 (1.2kg/m<sup>3</sup>)
  - $\rho_r$  : 参照分銅の密度
  - $\rho_t$  : 被校正分銅の密度

(4)式に於いて

空気密度の不確かさ  $u_{\rho_a}$  は、校正室の最大及び最小空気密度  $\rho_{a \max}$  及び  $\rho_{a \min}$  から分布を一様分布と仮定して

$$u_{\rho_a} = (\rho_{a \max} - \rho_{a \min}) / (2\sqrt{3}) \quad (5)$$

より計算される。

参照分銅の密度の不確かさ及び被校正分銅密度の不確かさ  $u_{\rho_r}$  及び  $u_{\rho_t}$  は、包含係数  $k$  を用い、

質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

JIS 規格 (JIS B 7609:2000 分銅) の付属書 2 表 14 の拡張不確かさ  $U_{\rho r} \cdot U_{\rho t}$  から

$$u_{\rho r} = U_{\rho r} / k \quad (6)$$

$$u_{\rho t} = U_{\rho t} / k \quad (7)$$

より計算される。

### 5.5 空気密度の求め方

#### 5.5.1 空気密度の表を用いる方法

表1 空気密度  $\rho_a(t,p,60)$ [kg/m<sup>3</sup>] t[°C],p[hPa],60[%]

	1011hPa	1012hPa	1013hPa	1014hPa	1015hPa
21.0°C	1.191	1.193	1.194	1.195	1.196
21.5°C	1.189	1.190	1.191	1.193	1.194
22.0°C	1.187	1.188	1.189	1.190	1.192
22.5°C	1.185	1.186	1.187	1.188	1.189
23.0°C	1.182	1.184	1.185	1.186	1.187
23.5°C	1.180	1.181	1.183	1.184	1.185
24.0°C	1.178	1.179	1.180	1.181	1.183
24.5°C	1.176	1.177	1.178	1.179	1.180
25.0°C	1.173	1.175	1.176	1.177	1.178

表2 相対湿度による補正量  $\rho_c(t,H)$ [kg/m<sup>3</sup>] t[°C],H[%]

	50%	55%	60%	65%	70%
21.0°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
21.5°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
22.0°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
22.5°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
23.0°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
23.5°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
24.0°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
24.5°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
25.0°C	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001

欠点:表に記載されている範囲に限られる

大気圧:1000~1030hPa、温度:10.0~30.0°C、湿度:30~80%

#### 5.5.2 計算式を用いる方法

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009024H \cdot \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (8)$$

ただし  $t$ :温度(°C)

$p$ :大気圧(hPa)

$H$ :相対湿度(%)

### 5.6 質量比較器(電子天びん)の不確かさ(Bタイプ)

質量比較器の不確かさ  $u_{ba}$  は

$$u_{ba} = \sqrt{u_{bs}^2 + u_{br}^2 + u_{bE}^2} \quad (9)$$

より計算される。

(9)式に於いて

天びんの感度  $u_{bs}$  は

質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

$$u_{bs} = \sqrt{\Delta m^2 \cdot \left( \frac{u_{ms}^2}{m_s^2} + \frac{u_{Is}^2}{I_s^2} \right)} \quad (10)$$

ただし  $m_s$  : 感じ分銅の質量  
 $u_{ms}$  : 感じ分銅の標準不確かさ  
 $I_s$  : 感じ分銅を付加したときの天びんの指示値の変化  
 $u_{Is}$  :  $I_s$  の不確かさ  
 $\Delta m$  : 試験分銅と参照分銅の質量差の平均値

より計算される。

丸め誤差  $u_{br}$  は電子天びんの目量を  $d$  とすると

$$u_{br} = \left( \frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \cdot \sqrt{2} = d / \sqrt{6} \quad (11)$$

より計算される。

偏置荷重  $u_{bE}$  は

$$u_{bE} = d_1 / d_2 \cdot D / (2\sqrt{3}) \quad (12)$$

ただし  $D$  : OIML R76-2 による偏置荷重試験の最大値と最小値の差  
 $d_1$  : 各分銅間の中心間の推定距離  
 $d_2$  : 皿の中心からその一つの隅までの距離

より計算される。

## 5.7 合成標準不確かさ

合成標準不確かさ  $u$  は

$$u = \sqrt{u_w^2 + u_s^2 + u_{sd}^2 + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (13)$$

より計算される。

## 5.8 拡張不確かさ

拡張不確かさ  $U$  は

$$U = ku \quad (14)$$

より計算される。

## 6. 分銅校正における不確かさの算出の事例

1kgの分銅校正において OIML F1・F2 精度を想定した A・B を事例として考える

A	ひょう量手順	ABBA( $r_1t_1t_2r_2$ ) 4 反復
	被校正分銅	ステンレス、真鍮を想定
B	ひょう量手順	ABA( $r_1t_1r_2$ ) 3 反復
	被校正分銅	ステンレス、真鍮、鋳鉄を想定

### 6.1 ひょう量過程の不確かさ

事前の再現性測定(測定回数:10回)により AB 各々の標準偏差は 0.10mg、0.50mg となった。管理係数 3.0 を乗じた 0.30mg、1.50mg を標準偏差管理値(実際の校正に於いて管理値を超えた場合再校正とする)とするとひょう量過程の不確かさは(1)式より

$$A \quad u_w = 0.30 / \sqrt{4} = 0.15[mg]$$

$$B \quad u_w = 1.50 / \sqrt{3} = 0.87[mg]$$

となる。

### 6.2 参照分銅の不確かさ

1kg の常用参照標準(ワーキングスタンダード)は校正証明書記載の拡張不確かさ(k=2)が 0.50mg である。参照分銅の不確かさは(2)式より

$$u_s = 0.50 / 2 = 0.25[mg]$$

となる。

### 6.3 参照分銅の管理による不確かさ

常用参照標準は半年に一度校正し、過去の変化量は 1.00mg を見積もれば十分である。参照分銅の管理による不確かさは(3)式より

$$u_{sd} = 1.00 / \sqrt{3} = 0.58[mg]$$

となる。

### 6.4 空気の浮力の不確かさ

校正は温度  $23 \pm 3^\circ\text{C}$  の恒温室で行われ、湿度は加湿器及び除湿機によって 40~60% に調整されている。また校正を行う環境として大気圧 990~1035hPa を想定すると、校正室の空気密度は  $1.153 \sim 1.217 \text{mg/cm}^3$  となりその中心値は  $1.185 \text{mg/cm}^3$  である。空気密度の不確かさは(5)式より

$$u_{pa} = (1.217 - 1.153) / (2\sqrt{3}) = 0.018[mg / \text{cm}^3]$$

となる。

参照分銅の材質はステンレス鋼であり、その密度及び拡張不確かさは JIS 規格(JIS B 7609:2000 分銅)の付属書 2 表 14 より  $7950 \text{mg/cm}^3 \pm 140 \text{mg/cm}^3$  (k=2) である。参照分銅密度の不確かさは(6)式より

$$u_{pr} = 140/2 = 70[\text{mg}/\text{cm}^3]$$

となる。

被校正分銅の材質は A、B 各々について不確かさの最大値を見積もるために真鍮、鋳鉄とし、その密度及び拡張不確かさは JIS 規格 (JIS B 7609:2000 分銅) の付属書 2 表 14 より  $8400 \text{ mg}/\text{cm}^3 \pm 170 \text{ mg}/\text{cm}^3 (k=2)$ 、 $7100 \text{ mg}/\text{cm}^3 \pm 600 \text{ mg}/\text{cm}^3 (k=2)$  である。被校正分銅密度の不確かさは(7)式より

$$\text{A} \quad u_{\rho t} = 170/2 = 85[\text{mg}/\text{cm}^3]$$

$$\text{B} \quad u_{\rho t} = 600/2 = 300[\text{mg}/\text{cm}^3]$$

となる。

空気浮力の不確かさは(4)式より

$$\begin{aligned} \text{A} \quad u_b &= \sqrt{\left(1000000 \times \frac{7950 - 8400}{7950 \times 8400} \times 0.018\right)^2 + [1000000 \times (1.185 - 1.2)]^2 \times \left(\frac{70^2}{7950^4} + \frac{85^2}{8400^4}\right)} \\ &= 0.13[\text{mg}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B} \quad u_b &= \sqrt{\left(1000000 \times \frac{7950 - 7100}{7950 \times 7100} \times 0.018\right)^2 + [1000000 \times (1.185 - 1.2)]^2 \times \left(\frac{70^2}{7950^4} + \frac{300^2}{7100^4}\right)} \\ &= 0.29[\text{mg}] \end{aligned}$$

となる。

#### 6. 5 質量比較器 (電子天びん) の不確かさ

校正に用いる質量比較器は目量 0.01mg の電子天びんである。感じ分銅の質量は 10mg でありその拡張不確かさ (k=2) は 0.008mg 即ち標準不確かさは 0.004mg となる。また感じ分銅を負荷したときの指示値は 10.00 でありその不確かさは事前の再現性測定 (測定回数: 10 回) により 0.01 である。試験分銅と参照分銅の質量差として A、B 各々について OIML F1、F2 の最大許容誤差である 5mg と 15mg を見積もる。

天びんの感度の不確かさは(10)式より

$$\text{A} \quad u_{bs} = \sqrt{5^2 \times \left(\frac{0.004^2}{10^2} + \frac{0.01^2}{10^2}\right)} = 0.005[\text{mg}]$$

$$\text{B} \quad u_{bs} = \sqrt{15^2 \times \left(\frac{0.004^2}{10^2} + \frac{0.01^2}{10^2}\right)} = 0.016[\text{mg}]$$

丸め誤差による不確かさは(11)式より

$$u_{br} = 0.01/\sqrt{6} = 0.004[\text{mg}]$$

となる。

電子天びんの皿は半径 100mm であり、ひょう量時の分銅中心間のズレを 20mm と推定する。また OIML R76-2

## 質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

による偏置荷重試験の結果として最大 0.05mg、最小-0.03mg(最大差 0.08mg)が測定されている。

偏置荷重による不確かさは(12)式より

$$u_{bE} = 20/100 \times 0.08 / (2\sqrt{3}) = 0.005[mg]$$

となる。

以上より質量比較器の不確かさは(9)式より

$$A \quad u_{ba} = \sqrt{0.005^2 + 0.004^2 + 0.005^2} = 0.008[mg]$$

$$B \quad u_{ba} = \sqrt{0.016^2 + 0.004^2 + 0.005^2} = 0.017[mg]$$

となる。

### 6. 6 合成標準不確かさ

合成標準不確かさは(13)式より

$$A \quad u = \sqrt{0.15^2 + 0.25^2 + 0.58^2 + 0.13^2 + 0.008^2} = 0.66[mg]$$

$$B \quad u = \sqrt{0.87^2 + 0.25^2 + 0.58^2 + 0.29^2 + 0.017^2} = 1.11[mg]$$

となる。

### 6. 7 拡張不確かさ

拡張不確かさは(14)式より

$$A \quad U = 2 \times 0.66 = 1.32[mg]$$

$$B \quad U = 2 \times 1.11 = 2.22[mg]$$

となり、想定した OIML F1・F2 最大許容誤差の 1/3 である 1.5mg と 5.0mg 以内に入っている。

## 7. はかり(電子天びん)校正における不確かさの算出

(校正の不確かさの見積りに関するガイド集 はかり 第3版)

製品評価技術基盤機構 (<http://www.nite.go.jp/>) - 認定センター - JCSS - 公開文書一覧

### 7.1 はかり校正の測定方法

・環境測定

校正実施場所の温度、湿度及び気圧を測定する。

・繰り返し性

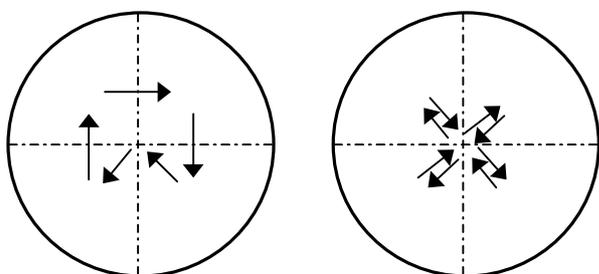
ひょう量の0.1倍～ひょう量に相当する荷重を負荷して測定値を読み取る作業を6回以上繰り返す。

・偏置荷重

ひょう量の0.3倍～ひょう量に相当する荷重をはかりの皿の

中心・左前・左後・右後・右前・中心 または 中心・左前・中心・左後・中心・右後・中心・右前

に順次載せ測定値を読み取る。



・正確さ

測定	風袋荷重	試験荷重
1	0	$P_1$
2	0	$P_2$
3	0	$P_3$
4	0	$P_4$
5	$T_1$	$P_2$
6	$T_1$	$P_3$

ただし  $0.8\text{Max} \leq P_1 \leq \text{Max}$

$$0.2\text{Max} \leq P_2 \leq 0.28\text{Max}$$

$$0.4\text{Max} \leq P_3 \leq 0.6\text{Max}$$

$$0.6\text{Max} \leq P_4 \leq 0.8\text{Max}$$

$$0.25\text{Max} \leq T_1 \leq 0.5\text{Max}$$

$$T_1 + P_3 \leq \text{Max}$$

### 7.2 繰り返し性の不確かさ(Aタイプ)

標準偏差は測定値  $W_1 \sim W_n$  より

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}$$

$$\text{ただし、} \bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad (15)$$

不確かさは

$$u_w = s \quad (16)$$

より計算される。

### 7.3 丸め誤差による不確かさ(Bタイプ)

#### ■単目量、複目量のはかりの場合

目量を  $d$  とすると丸め誤差による不確かさは

$$u_r = d / \sqrt{6} \quad (17)$$

より計算される。

#### ■多目量はかりの場合

目量を  $d_1, \dots, d_i$  とすると、各々の目量での丸め誤差による不確かさは

$$u_r = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_i^2}{12}} \quad (18)$$

より計算される。

### 7.4 偏置荷重による不確かさ(Bタイプ)

偏置荷重と中心荷重との指示値の最大差を  $E$ 、試験荷重を  $P$ 、ひょう量を  $Max$  とすると

$Max/3$  に正規化された誤差は

$$E_1 = E \frac{Max}{3P} \quad (19)$$

となり、偏置荷重の相対分散は

$$v_e = \frac{1}{3} \left( \frac{E_1}{Max} \right)^2 \quad (20)$$

不確かさは

$$u_e = \sqrt{v_e} \cdot W \quad (21)$$

より計算される。

### 7.5 正確さ

試験荷重を  $P_1 \sim P_n$ 、試験荷重の協定値を  $p_1 \sim p_n$ 、測定値を  $W_1 \sim W_n$  とすると、それぞれの荷重においての偏差は

$$a_i = W_i - (P_i + p_i) \quad (22)$$

より計算される。

### 7.6 温度特性による不確かさ(Bタイプ)

予測される使用条件の温度範囲の幅を  $\Delta T$ 、メーカーのデータによる温度効果(ppm/K)を  $TK$  とすると温度効

果の相対分散は

$$v_t = \frac{1}{12}(\Delta T \cdot TK)^2 \quad (23)$$

不確かさは

$$u_t = \sqrt{v_t} \cdot W \quad (24)$$

より計算される。

#### 7.7 校正分銅の不確かさ(Bタイプ)

試験に使用した常用参照標準の拡張不確かさを $U_i$ 、常用参照標準の管理における許容変化量を $\pm d_i$ とすると、校正分銅の不確かさは

$$u_s = \sum \sqrt{(U_i/k)^2 + (d_i/\sqrt{3})^2} \quad (25)$$

より計算される。

#### 7.8 合成標準不確かさ

合成標準不確かさ $u$ は

$$u = \sqrt{u_w^2 + u_r^2 + u_s^2 + (v_e + v_t) \cdot W^2} \quad (26)$$

より計算される。

#### 7.9 拡張不確かさ

拡張不確かさ $U$ は

$$U = ku \quad (27)$$

より計算される。

### 8. はかり(電子天びん)校正における不確かさの算出の事例

#### 8.1 測定条件

はかりの特性

ひょう量  $Max = 3100g$ 、目量  $d = 0.1g$  (単目量はかり)

温度特性  $TK = 5 ppm / K$

はかり校正時の環境条件は、

	温度	湿度	気圧	空気密度
校正前	22.0 °C	58 %RH	1022 hPa	1.200 mg/cm <sup>3</sup>
校正後	26.0 °C	50 %RH	1022 hPa	1.183 mg/cm <sup>3</sup>

である。

#### 8.2 繰返し性の不確かさ

荷重として  $P = 2000g$  が選ばれた。その測定値は

測定回数	荷重	測定値 $W_i$	偏差	標準偏差
1	2000 g	2000.1 g	0.1 g	0.041 g
2		2000.1 g	0.1 g	
3		2000.1 g	0.1 g	
4		2000.2 g	0.2 g	
5		2000.1 g	0.1 g	
6		2000.1 g	0.1 g	

繰返し性の不確かさ  $u_w$  は(15)(16)式より

$$u_w = s = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (W_i - \bar{W})^2} = 0.041[g]$$

が得られる。

#### 8.3 丸め誤差による不確かさ

1目量  $d = 0.1g$  の丸め誤差による不確かさ  $u_r$  は(17)式より

$$u_r = 0.1 / \sqrt{6} = 0.041[g]$$

である。

#### 8.4 偏置荷重による不確かさ

荷重として  $P = 1000g$  が選ばれた。測定の結果は、

負荷位置	測定値(中心)	測定値(偏置)	中心との差
左前	1000.0 g	999.8 g	-0.2 g
左後	1000.0 g	1000.1 g	0.1 g
右後	1000.0 g	1000.0 g	0.0 g
右前	1000.0 g	999.9 g	-0.1 g

質量計の管理における、はかり・分銅の「不確かさ」の求め方について

中心荷重との指示値の最大差  $E$  は 0.2g であり  $Max/3$  に正規化された誤差  $E_1$  は(19)式より

$$E_1 = 0.2 \times \frac{3100}{3 \times 1000} = 0.21[g]$$

であり、偏置荷重の相対分散  $v_e$  は(20)式より

$$v_e = \frac{1}{3} \times \left( \frac{0.21}{3100} \right)^2 = 1.48 \times 10^{-9}$$

となる。

### 8.5 正確さ

荷重  $P_1 \sim P_6$ 、測定値  $W_1 \sim W_6$  の測定の結果は、(22)式より

測定回数	風袋荷重	荷重	協定値	測定値	偏差
1	0 g	3000 g	-0.00007 g	3000.1 g	0.10007 g
2	0 g	700 g	-0.00024 g	700.0 g	0.00024 g
3	0 g	1500 g	-0.00092 g	1500.0 g	0.00092 g
4	0 g	2200 g	0.00061 g	2200.1 g	0.09939 g
5	1000 g	700 g	-0.00024 g	700.0 g	0.00024 g
6	1000 g	1500 g	-0.00092 g	1500.1 g	0.10092 g

となる。

### 8.6 温度特性による不確かさ

はかりは温度変動  $\Delta T = 4K$  で校正された。また、温度ドリフトは  $TK = 5 ppm / K$  であることが当該のはかりメーカーにより保証されている。(製品評価技術基盤機構 (<http://www.nite.go.jp/>) - 認定センター - JCSS-JCSS 質量(はかり)校正対象機種技術情報公開支援サービス 事業者リスト)

温度特性による相対分散  $v_t$  は(23)式より

$$v_t = \frac{1}{12} \times (4 \times 5 \times 10^{-6})^2 = 3.33 \times 10^{-11}$$

となる。

### 8.7 校正分銅の不確かさ

常用参照標準による不確かさ  $u_s$  は常用参照標準の拡張不確かさを管理における許容変化量として、

公称値	拡張不確かさ	参照標準の不確かさ	管理による不確かさ	常用参照標準による不確かさ
200 g	0.30 mg	0.15 mg	0.17 mg	0.23 mg
500 g	0.75 mg	0.38 mg	0.43 mg	0.57 mg
1000 g	1.5 mg	0.8 mg	0.9 mg	1.1 mg
2000 g	3.0 mg	1.5 mg	1.7 mg	2.3 mg

となる。

校正分銅の不確かさは(25)式のように正確さの測定で使用した常用参照標準による不確かさの和となる。

### 8.8 はかり校正の結果

はかり校正の偏差(校正値)と拡張不確かさ $U(k=2)$ は、(26)(27)式より

風袋	公称値	偏差	拡張不確かさ
0 g	3000 g	0.10007 g	0.27 g
0 g	700 g	0.00024 g	0.13 g
0 g	1500 g	0.00092 g	0.17 g
0 g	2200 g	0.09939 g	0.21 g
1000 g	700 g	0.00024 g	0.13 g
1000 g	1500 g	0.10092 g	0.17 g

となる。