

JCSS はかり校正の内容について（参考資料）

■ JCSS（Japan Calibration Service System）とは？

JCSSの正式名称は計量法トレーサビリティ制度といい、同じく計量法の計量標準供給制度と校正事業者登録制度からなる任意の登録（認定）制度です。ザルトリウス・ジャパン(株)は、認定の要件となっているISO/IEC17025 (JIS Q 17025)に適合するマネジメントシステムを保有し、JCSS はかり校正事業者として登録（認定）されています。

JCSS 校正証明書には、校正値（偏差）と不確かさが付され、はかりの測定値に対し明確なトレーサビリティを証明します。

■ 不確かさとは？

従来は、測定値と真の値の差を表す「誤差」という考え方が多く使われていました。

しかし、どんなに精度良く測定しても真の値はわかりません。つまり、誤差も正確には知りえないことになります。

そして、測定値はいつでも同じではなく、ばらつきを持っています。このばらつきを数値化したものが不確かさです。

不確かさ評価は、誤差評価とは異なった観点からのアプローチと言えますが、やはり誤差の範囲を表すものには変わりありません。

不確かさの考え方は、1990年代に測定の信頼性を確保することを目的として使われるようになりました。また、計測に係わる国際的な7機関^{*1}により、計測分野における共通の評価方法としての国際文書（GUM^{*2}）が出版され、世界的に広まっています。

日本では、JCSS等を制度化し、JIS規格の中に不確かさ評価を採用するなどして国際整合化を目指しています。

*1= BIPM（国際度量衡局）、IEC（国際電気標準会議）、IFCC（国際臨床化学連合）、ISO（国際標準化機構）、IUPAC（国際純正及び応用化学連合）、IUPAP（国際純粋応用物理学連合）、OIML（国際法定計量機関）の7機関。

*2=Guide to the expression of Uncertainty in Measurement（計測における不確かさの表現ガイド）

■ はかり校正の不確かさ

はかり校正の不確かさの成分としては様々な要因が考えられますが、その中から寄与が高いと思われる要因についてそれぞれ不確かさを算出し、平方和法を用いて合成します。

そして包含係数（ $k=2$ ）を掛けた拡張不確かさとして校正値（偏差）と共に校正証明書という形

で結果の報告をします。また、個々の測定データと不確かさの分散は「添付資料 はかり校正データシート」で確認することが出来ます。

■ 不確かさの成分と計算式

■ 繰返し性（正規分布・Aタイプ）

1つの分銅を使って6回の繰返し測定データから標準偏差 s_w と分散 V_w を計算します。計算式は以下のようになります。

$$s_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \quad \text{ここで} \quad \bar{w} = \frac{1}{n} \sum w_i$$

$$V_w = s_w^2$$

■ 偏置荷重誤差（一様分布・Bタイプ）

ひょう量の約1/3からひょう量程度の分銅を中心に荷重し、次いで4箇所の偏置部分に荷重します。中心との最大差 E から不確かさ（分散 V_e ）を算出します。荷重がひょう量の1/3の条件を満たさない場合の計算は、ひょう量の1/3に正規化した誤差 E_1 を参照値として使います。計算式は以下のようになります。

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

$$V_e = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{E_1}{Max} \right)^2$$

■ 校正中の温度変動の効果（一様分布・Bタイプ）

取説や仕様書等には温度係数 TK （ ppm/K ）が記載されています。これはその天びんが環境温度の変動に対して指示値がどれぐらい影響するかを表しています。そして校正中の環境温度の測定データから最大温度変動幅 ΔT がわかります。これらを使って校正中の温度変動の効果の分散 V_T を計算します。計算式は以下のようになります。

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

■ 校正分銅の効果（正規分布・一様分布・Bタイプ）

JCSS はかり校正には常用参照標準という分銅を使用します。これは特定二次標準器という分銅を介して国家標準にトレーサビリティが確保されており、JCSS の校正証明書が付いています。証明書に記載されている不確かさの値 U を使って校正分銅の効果の分散 V_k を計算します。また常用参照標準の校正周期間の経時変化も考慮して分散 V_{sd} を計算します。さらに、環境条件が整えられた校正室以外の場所（現地校正）で校正を行った場合には、空気浮力の違いによる不確かさの分散 V_{ad} を計算し、校正分銅の効果に組み込みます。計算式はそれぞれ以下ようになります。

$$\text{分銅の校正証明書から } V_k = \frac{1}{4} \cdot (\sum U_i)^2$$

$$\text{経時変化 (} V_{sd} \text{)} \quad V_{sd} = \frac{1}{3} \cdot (\sum U_i)^2 \quad \text{※校正周期内で最大土} U \text{ の経時変化を推定}$$

$$\text{空気浮力による不確かさ (} V_{ad} \text{)} \quad V_{ad} = \frac{1}{3} \cdot (\text{分銅の質量} \times 0.000001)^2 \quad \text{※約 1 ppm と推定}$$

$$\text{JCSS 校正室での校正においては } V_k = \frac{1}{4} \cdot (\sum U_i)^2 + V_{sd}$$

$$\text{現地校正においては } V_k = \frac{1}{4} \cdot (\sum U_i)^2 + V_{sd} + V_{ad}$$

■ 指示値の丸め誤差（一様分布＋一様分布＝三角分布・Bタイプ）

電子天びんのデジタル指示値は、最終桁の更に1桁下（表示しない桁）の値を丸めて（四捨五入）表示しています。そのため最終桁は、いつでも最大1目量分の不確かさを含んでいます。丸め誤差の分散 V_r の計算式は以下ようになります。

$$V_r = \frac{1}{12} d^2 (I) \quad \text{から}$$

$$\text{指示値が 0 の時+荷重が負荷された場合 } V_r = \frac{1}{12} \{d^2 (I=0) + d^2 (I=L)\}$$

$$V_r = \frac{1}{12} d^2 + \frac{1}{12} d^2 \quad \text{となり、}$$

$$\text{結果として } V_r = \frac{1}{6} d^2$$

■ 正確さ 1（非直線性）、正確さ 2（添付資料の「校正結果」の欄）

正確さの測定は、風袋を設定し、試験荷重分銅を負荷する方法と、風袋を設定せずに試験荷重分銅を直接負荷する2通りの方法で行っています。この結果から相対偏差、平均相対偏差、平均相対分散が計算できますが、これはばらつき成分というよりも偏り成分であると考え拡張不確かさの計算には含みません。正確さの測定によって得られるのは、校正結果にある校正值（偏差）です。

尚、平均相対偏差は、その天びんの直線性の傾きが、だいたいどれぐらいかを表しています。参考データとしてお考えください。

■ 有効自由度と包含係数

拡張不確かさ（ U ）は、信頼の水準約95%に基づく包含係数(k)を掛け合わせた不確かさで表されています。包含係数の決定には下記 Welch-Satterthwaite の計算式で有効自由度 ν_{eff} を評価する事が必要となります。

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{s_w^4(V_w)}{5} + \frac{s_r^4(V_r)}{\infty} + \frac{u_k^4(V_k)}{\infty} + \frac{u_e^4(V_e) \times W^4}{\infty} + \frac{s_T^4(V_T) \times W^4}{\infty}}$$

算出された有効自由度 ν_{eff} が 10 以上の場合、包含係数 $k=2$ を用いる事が出来ます。逆に算出された有効自由度 ν_{eff} が 10 未満の場合、95%の信頼水準を実現可能な 2 より大きい包含係数を用いなければなりません。有効自由度 ν_{eff} が 10 未満の場合は全体の不確かさのうち、繰り返し性の不確かさ比率が支配的な場合や、小さい校正ポイントを校正する場合によくみられます。

■ 拡張不確かさ（ U ）

測定の不確かさは A タイプ評価法（統計を用いた不確かさの推定・通常、繰り返し行われた読み取りデータから得られます。）と B タイプ評価法（A タイプ以外のすべての情報を用いた不確かさの推定）の成分からなります。繰り返し性、丸め誤差及び分銅の効果は負荷に独立であり、その他の不確かさの成分はすべて計量値 W に比例すると考えます。

A タイプまたは B タイプ評価法によって計算した個々の標準不確かさは、「平方和法」（「二乗和の平方根」ともいう）によって合成され、合成標準不確かさとなります。

拡張不確かさ（ U ）は、信頼の水準約95%に基づく包含係数(k)を掛け合わせた不確かさで表されています。計算式は以下ようになります。

$$U = k \cdot \sqrt{V_w + V_r + V_k + (V_e + V_T) \cdot W^2}$$

V_r は各校正ポイントでの目量 d_i による丸め誤差にて算出します。

V_k は各校正ポイントでの分銅の効果にて算出します。

■ 値の丸め

校正値の丸め（偏差の丸め）

校正値（偏差）の丸め方は、加えた荷重に対する当該目量 $d(d_i)$ の $0.1d(d_i)$ とし、その一桁下の値を四捨五入するか、不確かさの有効桁数を考慮して、その桁数に合わせて四捨五入して記載しています。（場合により $10d$ となることがあります。）

不確かさの値の丸め

U の値は目量 $d(d_i)$ の $0.1d(d_i)$ で表示するか、不確かさの有効桁数を 2 桁程度にするよう調整して記載しています。この場合は、最終桁のさらに 1 桁下の桁を切り上げて表示しています。（場合により $10d$ となることがあります。）

■ 校正証明書の内容の理解について

「添付資料はかり校正データシート」の「校正結果」の欄にある拡張不確かさは、実際の測定データ等から計算した値がそのまま記載されています。これは参考データとしてお考えください。一方、JCSS 校正証明書 2 頁目の校正結果の拡張不確かさは、計算された不確かさの値よりも大きな値が記載されている場合があります。

これはザルトリウス・ジャパン(株)が JCSS の認定を取得するにあたり表明した「校正測定能力」によるものです。この校正測定能力より小さな拡張不確かさの値を JCSS のロゴが付いた校正証明書に記載することは出来ません。

JCSS 校正証明書の校正結果にある、拡張不確かさと校正値の絶対値の和は、その天びんの測定値（真の値を含み）がおおよそその範囲（±）に入るということと、最大限考えられる誤差の範囲もまたその程度であると考えることが出来ます。

この（参考資料）をご一読していただき天びんの合否を判定するための材料として、また JCSS 校正証明書がお客様の電子天びんの適切な維持管理にお役に立てることを願っています。

ザルトリウス・ジャパン株式会社
LPS 技術部 JCSS 校正室