



**J C S S**  
**不確かさの見積もりに関するガイド**

**登録に係る区分：力**  
**校正手法の区分の呼称：力計**  
**種類：JIS B 7721 に準じる方法、**  
**ISO 7500-1 に準じる方法**  
**(第6版)**

**制定：2010年8月1日**

**改正：2022年6月1日**

**独立行政法人製品評価技術基盤機構**  
**認定センター**

この指針に関する全ての著作権は、独立行政法人製品評価技術基盤機構に属します。この指針の全部又は一部転用は、電子的・機械的（転写）な方法を含め独立行政法人製品評価技術基盤機構の許可なしに利用することは出来ません。

発行所 独立行政法人製品評価技術基盤機構  
認定センター  
住所 〒151-0066 東京都渋谷区西原2丁目49-10  
TEL 03-3481-8242  
FAX 03-3481-1937  
E-mail jcss@nite.go.jp  
Home page <https://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/index.html>

## 目次

1. はじめに.....	4
2. 参照値の不確かさの評価.....	4
2.1 参照標準としておもりを使用する場合.....	4
2.1.1 おもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{o,cal,wt}$ .....	4
2.1.2 おもりの質量の安定性の相対標準不確かさ $u_{wt,stab}$ .....	5
2.1.3 力計の校正を行う場所の重力加速度の相対合成標準不確かさ $u_{o,glac}$ .....	5
2.1.4 力の作用方向と力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{aln}$ .....	5
2.1.5 参照値の相対合成標準不確かさ $u_{o,ref}$ .....	5
2.2 参照標準として力計を使用する場合.....	6
2.2.1 参照力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{o,cal,tad}$ .....	6
2.2.2 参照力計の使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{tad,tmp}$ .....	6
2.2.3 参照力計の安定性の相対標準不確かさ $u_{tad,stab}$ .....	6
2.2.4 参照力計の分解能の相対標準不確かさ $u_{tad,res}$ .....	7
2.2.5 参照力計の受感軸と力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{aln}$ .....	7
2.2.6 参照値の相対合成標準不確かさ $u_{o,ref}$ .....	7
3. 校正対象の力計に起因する不確かさの評価.....	7
4. 校正結果の拡張不確かさの評価.....	8
参考. 力計を使用する際に考慮すべき不確かさ要因.....	8

## 不確かさの評価に関するガイド

登録に係る区分：力

校正手法の区分の呼称：力計

種類： JIS B 7721 に準じる方法、ISO 7500-1 に準じる方法

## 1. はじめに

材料の引張試験・圧縮試験に用いられる一軸試験機に内蔵された力測定系を校正する方法として、JIS B 7721 (またはその原規格である ISO 7500-1。以下同じ) に規定された方法がある。プッシュプルゲージ・フォースゲージ・テンションゲージ等を含む力計 (一軸試験機の力測定系の校正に参照標準として用いられる力計を除く) も JIS B 7721 に規定された手順を準用して校正される。

このガイドは、JCSS 登録校正事業者により校正されたおもりあるいは力計を参照標準として使用して JIS B 7721 に規定された負荷手順に則って力計の校正を実施する場合に、校正結果の不確かさを GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement: 計測における不確かさ表現のガイド) に則って評価する方法について述べる。

JIS B 7721 に記述されている「指示誤差」は、力計の指示値が基準となる参照値 (いわゆる「真の力」) からどれだけ偏っているかを表しており、校正結果そのものである。本文では、この偏差 (「指示誤差」) の不確かさを評価する方法について記述している。力計のユーザが校正された力計を用いて力 (荷重) を測定する際に考慮すべき不確かさ要因については、末尾を参考にいただきたい。

なお、参照標準であるおもりあるいは力計の校正値の不確かさに関しては、「JCG203S11 J C S S 不確かさの見積もりに関するガイド (質量/分銅等)」あるいは「JCG204S11 J C S S 不確かさの見積もりに関するガイド (力/力計/JIS B 7728 による方法、ISO376 による方法)」を参照されたい。

## 2. 参照値の不確かさの評価

## 2. 1 参照標準としておもりを使用する場合

参照標準としておもりを使用する場合、質量  $m$  のおもりに働く重力の大きさ  $F$  (力計への入力) は次式で与えられる。

$$F = mg_{loc} \left( 1 - \frac{\rho_{air}}{\rho_{wt}} \right) \quad (1)$$

ここに、 $g_{loc}$  : 校正を行う場所の重力加速度、

$\rho_{air}$  : 空気の密度、

$\rho_{wt}$  : 分銅の密度

空気浮力の補正  $\rho_{air}/\rho_{wt}$  については、鋼製またはステンレス鋼製分銅では補正值自体の大きさが  $1.5 \times 10^{-4}$  程度であるので、これに比べて力計の校正の不確かさが桁違いに大きい場合は、温度・湿度・気圧の変動による空気浮力の補正值への影響は無視してもよい。考慮すべきは、おもりの質量の不確かさと安定性、力計の校正を行う場所での重力加速度の不確かさ、並びに力の作用方向と力計の受感軸との傾き、である。

2. 1. 1 おもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさ  $u_{c\_cal\_wt}$ 

おもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさ  $u_{c\_cal\_wt}$  は、おもりの JCSS 校正証明書に記載されている質量の相対拡張不確かさ  $U_{cal\_wt}$  から次式により計算する。

$$u_{c\_cal\_wt} = \frac{1}{k} U_{cal\_wt} \quad (2)$$

ここに、 $k$  : おもりの JCSS 校正証明書に記載されている包含係数

備考： 複数のおもりを同時に使用する場合、おもりの質量の合計の不確かさは、おもりの質量の校正値間の相関を考慮し、個々のおもりの校正値の相対合成標準不確かさの線

形和( $u_{c\_cal\_wt1} + u_{c\_cal\_wt2} + u_{c\_cal\_wt3} + \dots$ )で評価する。

あるいは、個々のおもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさの中で最大の値を、そのおもり群の質量の相対合成標準不確かさの代表値として用いて、おもりの質量の不確かさを推定することも、この不確かさ要因を簡便に評価する一法として考えられる。

### 2. 1. 2 おもりの質量の安定性の相対標準不確かさ $u_{wt\_stb}$

おもりの質量の長期の不安定性の影響は、 $n_{cal}$  回の校正値  $W_{cal,i}$  の標準偏差程度であるとして次式で評価する。

$$u_{wt\_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal} - 1} \sum_{i=1}^{n_{cal}} \left( \frac{W_{cal,i} - m_{Wcal}}{m_{Wcal}} \right)^2} \quad (3)$$

ここに、 $m_{Wcal}$  :  $n_{cal}$  回の校正値  $W_{cal,i}$  の平均値

ただし、上式による評価は3回以上校正した場合に適用する。校正回数が少ないおもりについては、製造者の提示する仕様を参考にするか、あるいは暫定的におもりの質量校正の不確かさの3倍程度と評価する。

なお、この要因の評価方法は上記のタイプ A の評価に限るものではない。

### 2. 1. 3 力計の校正を行う場所の重力加速度の相対合成標準不確かさ $u_{c\_gloc}$

力計の校正を行う場所での重力加速度の相対合成標準不確かさ  $u_{c\_gloc}$  は、国土地理院の「重力加速度推定計算サービス」を利用して重力加速度値を補間推定した場合は、「JCG23002-01 JCS 重力加速度値の使用に関する不確かさガイド」のとおり、その不確かさは最大  $0.00037 \text{ m/s}^2$  程度と評価されるので、相対合成標準不確かさ  $u_{c\_gra}$  は  $1.9 \times 10^{-5}$  程度である。

相対重力計などを用いて測定する場合、重力加速度の相対合成標準不確かさは測定報告書に記載されている相対拡張不確かさ  $U_{gloc}$  から次式により計算する。

$$u_{c\_gloc} = \frac{1}{k} U_{gloc} \quad (4a)$$

ここに、 $k$  : 重力加速度の測定報告書に記載されている包含係数

重力加速度の測定値に不確かさが付されておらず有効桁数のみが判明している場合、重力加速度の相対標準不確かさ  $u_{c\_gloc}$  は、最小桁の1増分  $\Delta g_{loc}$  から矩形分布を仮定して次式により推定する。

$$u_{c\_gloc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{\Delta g_{loc}}{2} \right) \quad (4b)$$

なお、重力加速度が有効数字5桁で測定または補間推定されている場合などで、他の不確かさ要因に比べて十分小さい場合は、本要因は無視してもよい。

### 2. 1. 4 力の作用方向と力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{aln}$

力計を校正装置に取り付けた時に、力計の受感軸がおもりに作用する重力の方向(鉛直方向)からどれだけ傾く可能性があるか、傾きの最大値を推定する。最大で  $\theta$  rad 傾く可能性がある場合、傾きによる不確かさは、角度で  $\theta$  rad が半幅に相当する矩形分布を仮定して次式で評価する。

$$u_{aln} = \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - \cos \theta) \quad (5)$$

### 2. 1. 5 参照値の相対合成標準不確かさ $u_{c\_ref}$

参照標準としておもりを使用した場合の参照値の相対合成標準不確かさ  $u_{c\_ref}$  は、次式で与えられる。

$$u_{c\_ref} = \sqrt{u_{c\_cal\_wt}^2 + u_{wt\_stb}^2 + u_{c\_gloc}^2 + u_{aln}^2} \quad (6)$$

## 2. 2 参照標準として力計を使用する場合

参照標準として力計を使用する場合、考慮すべき不確かさ要因は、参照力計の校正結果の不確かさ、参照力計使用時の温度変動の影響、参照力計の安定性と分解能、並びに参照力計の受感軸と力計の受感軸との傾きである。

### 2. 2. 1 参照力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c\_cal\_tsd}$

参照力計の校正値の相対合成標準不確かさ  $u_{c\_cal\_tsd}$  は、参照力計の JCSS 校正証明書に記載されている相対拡張不確かさ  $U_{cal\_tsd}$  から次式により計算する。 $U_{cal\_tsd}$  は、各校正力ごとに

$$u_{c\_cal\_tsd} = \frac{1}{k} U_{cal\_tsd} \quad (7)$$

ここに、 $k$ ：参照力計の JCSS 校正証明書に記載されている包含係数

備考： $U_{cal\_tsd}$  は校正力ごとの値を使用してもよいが、校正力の範囲内での  $U_{cal\_tsd}$  の最大値をその範囲で一律の不確かさとするのも一法として考えられる。

### 2. 2. 2 参照力計の使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{tsd\_tmp}$

JIS B 7728 では 18 °C ~ 28 °C の温度範囲で  $\pm 1$  °C で温度が安定した環境で参照力計の校正を行うことを規定しているのに対し、JIS B 7721 に基づけば力計の校正は 10 °C ~ 35 °C の温度範囲で各測定シリーズの温度変動が 2 °C 以内となる安定した環境で実施することになる。したがって、参照力計の校正時の温度と参照力計を使用して力計を校正する際の温度とは、必ずしも一致しない。力計を校正する際には、両者の温度差を考慮して参照力計の出力値にまず温度影響の補正を行わなければならない。その上で、力計を校正している間の温度変動  $\Delta t_{cal\_fg}$  の影響を評価する。温度変動による相対標準不確かさ  $u_{tra\_tsd}$  は、温度が一様にドリフトするものと仮定して矩形分布を適用し、次式により計算する。

$$u_{tsd\_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \alpha \left| \frac{\Delta t_{cal\_fg}}{2} \right| \right| \quad (8)$$

ここに、 $\alpha$ ：参照力計の相対温度感度係数

### 2. 2. 3 参照力計の安定性の相対標準不確かさ $u_{tsd\_stb}$

参照力計の長期安定性の影響は、 $n_{cal}$  回の校正値  $X_{cal,i}$  の標準偏差程度であるとして次式で評価する。

$$u_{tsd\_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal} - 1} \sum_{i=1}^{n_{cal}} \left( \frac{X_{cal,i} - m_{Xcal}}{m_{Xcal}} \right)^2} \quad (9)$$

ここに、 $m_{Xcal}$ ： $n_{cal}$  回の校正値  $X_{cal,i}$  の平均値

ただし、上式による評価は、同一の力計を 3 回以上校正した場合に適用する。校正回数が少ない力計については、参照力計の製造者の提示する仕様を参考にするか、あるいは暫定的に  $2 \times 10^{-4}$  程度と評価する。

なお、この要因の評価方法は上記のタイプ A での評価に限るものではない。

### 2. 2. 4 参照力計の分解能の相対標準不確かさ $u_{tsd\_res}$

分解能の相対標準不確かさ  $u_{tsd\_res}$  は、参照力計の指示装置の最小桁の 1 増分を当該校正力で除した相対値  $f_{r\_tsd}$  に対して、この幅を持つ区間での矩形分布を仮定し、次式で評価する。ただし、無負荷状態における零点の変動が指示装置の最小桁の 1 増分より大きい場合は、最小桁の 1 増分の代わりに変動幅を各校正力で除した値をもって相対値  $f_{r\_tsd}$  とする。

$$u_{\text{tsd\_res}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{f_{r\_tsd}}{2} \right) \quad (10a)$$

備考： デジタル表示で指示が変動している場合の変動幅は、例えば最小桁が 5 と 6 の表示を繰り返していれば（指示値は 4.5 以上 6.5 未満の範囲にあると考え）変動幅は 2 増分であり、5 から 7 までの表示を繰り返していれば（指示値は 4.5 以上 7.5 未満の範囲にあると考え）変動幅は 3 増分であることに注意しなければならない。

なお、各校正力での測定値がその校正力での指示値と負荷サイクル前の無負荷状態での指示値との差から決定される場合は、分解能の影響を二重に考慮する。

$$u_{\text{tsd\_res}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( \frac{f_{r\_tsd}}{2} \right) \quad (10b)$$

### 2. 2. 5 参照力計の受感軸と力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{\text{aln}}$

力計と参照力計を直列にして校正装置に取り付けた時に、力計の受感軸が参照力計の受感からどれだけ傾く可能性があるか、傾きの最大値を推定する。最大で  $\varphi$  rad 傾く可能性がある場合、傾きによる不確かさは角度で  $\varphi$  rad の半幅の矩形分布を仮定して次式で評価する。

$$u_{\text{aln}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - \cos \varphi) \quad (11)$$

### 2. 2. 6 参照値の相対合成標準不確かさ $u_{\text{c\_ref}}$

参照標準として力計を使用した場合の参照値の相対合成標準不確かさ  $u_{\text{c\_ref}}$  は、次式で与えられる。

$$u_{\text{c\_ref}} = \sqrt{u_{\text{c\_cal\_tsd}}^2 + u_{\text{tsd\_tmp}}^2 + u_{\text{tsd\_stb}}^2 + u_{\text{tsd\_res}}^2 + u_{\text{aln}}^2} \quad (12a)$$

備考： 内挿校正式を有する力計を参照標準として使用する場合、二次以上の内挿校正式を一次式で近似することは一般には推奨できない。止むを得ず直線近似せざるを得ない場合は、その校正力における内挿校正式による値からの近似値の相対偏差を直線近似の標準不確かさ  $u_{\text{tsd\_apx}}$  とみなす。この場合、参照値の相対合成標準不確かさ  $u_{\text{c\_ref}}$  は、直線近似による不確かさも考慮し、次式で与えられる。

$$u_{\text{c\_ref}} = \sqrt{u_{\text{c\_cal\_tsd}}^2 + u_{\text{tsd\_tmp}}^2 + u_{\text{tsd\_stb}}^2 + u_{\text{tsd\_res}}^2 + u_{\text{aln}}^2 + u_{\text{tsd\_apx}}^2} \quad (12b)$$

## 3. 校正対象の力計に起因する不確かさの評価

校正対象の力計に起因する不確かさ要因としては、測定値のばらつき、分解能等が挙げられる。JIS B 7721 の附属書に準じて各々評価し、二乗和平方根によって力計に起因する合成標準不確かさ  $u_{\text{c\_fg}}$  を得る。内挿校正式を適用する場合、内挿による不確かさ要因も考慮する。

なお、被校正力計の指示値の単位が力の単位 "N" 以外である場合の相対指示誤差の標準偏差は、参照標準におもりを使用する場合など、各測定シリーズで同一の校正力を負荷できるとみなせる場合は、指示値の標準偏差で代えることができる。参照標準に力計を使用する場合など、各測定シリーズで僅かに校正力が異なり得る場合は、被校正力計の指示値を校正式により力の単位に換算し、相対指示誤差の標準偏差を得る。ただし、その際に校正証明書に記載する被校正力計の指示値を力の単位 "N" に換算する必要はない。

備考： 製造者が提示する仕様などから、校正される力計が、負荷の変化率の影響、温度変動の影響、あるいは寄生分力の影響などを受けやすいと判断される場合は、これらの要因による不確かさも適宜考慮する必要がある。

#### 4. 校正結果の拡張不確かさの評価

参照値の不確かさ  $u_{c\_ref}$  および力計に起因する不確かさ  $u_{c\_fg}$  から、力計の校正結果の拡張不確かさ  $U_{cal\_fg}$  は、次式で与えられる。

$$U_{cal\_fg} = k\sqrt{u_{c\_ref}^2 + u_{c\_fg}^2} \quad (13)$$

信頼の水準約 95 % に相当する拡張不確かさについては、包含係数  $k$  の値として、JIS B 7721 (ISO 7500-1) で推奨されている  $k=2$  を採用する。

なお、JIS B 7721 は、その 6.1 項の式(2)において浮力補正の省略を容認していることから、元来校正の不確かさとして 0.1 % 程度より大きな値を持つことを想定していると考えられる。また、本来力計の校正を前提とした規格ではなく、JIS B 7728 と比して一部の不確かさ要因しか考慮していないことにも留意し、とりわけ特定二次標準器の力基準機を参照標準とする等、参照値の不確かさが上記の想定より著しく小さい場合には、校正の不確かさが過小評価とならぬよう十分に検討することが望ましい。

#### 参考. 力計を使用する際に考慮すべき不確かさ要因

以上で述べた力計の校正結果の不確かさは、校正の時点でのみ有効であることに注意を要する。ユーザが校正された力計を用いて力を測定する際には、校正結果の不確かさに加えて、以下に挙げる要因も適宜考慮する必要がある。

- 1) 校正後の感度の変化 (ドリフト)
- 2) 測定値のばらつき
- 3) 力計の分解能
- 4) 力計の保持方法・アライメントや寄生分力の加わり方の違い
- 5) ヒステリシス

注： 増加および減少の双方向で続けて力を測定する場合

- 6) 偏差  
注： 実用上の理由等により、校正結果に基づいて偏差を補正しない場合
- 7) 力を負荷する時間の違い  
注： 負荷の変化率の影響を受けやすい力計の場合

- 8) 校正時と使用時の温度の違いおよび使用中の温度変動の影響  
注： 温度の影響を受けやすい力計の場合

更に、力変換器と、校正事業者が保有する指示装置との組み合わせで校正され、ユーザが保有する指示装置を接続して力を測定する場合は、以下に挙げる要因も適宜考慮する必要がある。

- 9) ユーザが保有する指示装置の指示値の不確かさ
  - 9-1) 参照値からの偏差 (指示装置の校正結果) の不確かさ  
注： なお、個々の指示装置を電気量の次元で校正してそれらの差異を補正した場合でも、指示装置の群によっては、力の次元で校正した際の校正値に 0.2 % 以上の偏差を生じた報告がある [1]。
  - 9-2) ユーザが保有する指示装置の、電気標準による参照値からの偏差  
注： 指示装置の偏差を補正しない場合
  - 9-3) 印加電圧の相違に起因する不確かさ  
注： 力変換器の校正時と使用時との印加電圧が異なる場合、または使用時の印加電圧が不明の場合。なお、印加電圧を 2.5 V から 10 V まで変更した際、校正値に最大 0.07 % の偏差を生じた報告がある [2]。
  - 9-4) 印加電圧の搬送波周波数の相違に起因する不確かさ  
注： 力変換器の校正時と使用時とで、印加電圧が DC と AC とで異なる、あるいは AC の搬送波周波数が異なる場合。なお、搬送波周波数を 225 Hz から 4.8 kHz まで変更した際、静ひずみ校正器の出力に約 0.02 % の偏差を生じた報告がある [3]。

[1] 林、4.8 kHz 交流搬送波を用いた力計指示装置の代替可能性に関する実験的検証、材料試験技術、62 (4)、pp. 221–226、2017。



- [2] 青木ら、*力計の代替指示装置について*、力標準トレーサビリティワークショップテキスト、**11**、2009。
- [3] Beug ら、*A New Calibration Transformer and Measurement Setup for Bridge Standard Calibrations Up To 5 kHz*、IEEE Trans. Instrum. Meas.、**66** (6) 、pp. 1531–1537、2017。

## 第6版 主な改正のポイント

- ①規格で規定された不確かさ要因が限定的であることを踏まえ、校正の不確かさが過小評価とならぬよう注意事項を追記。