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 ： 力
校正手法の区分の呼称 ： 一軸試験機

（第 13 版）
（JCG204S21－13）

改正：2026 年 4 月 15 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. はじめに 3
2. 参照値の不確かさの評価 3
2. 1 トランスファ標準器として参照用力計を使用する場合 3
2. 1. 1 参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tra}$ 3
2. 1. 2 参照用力計使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{_tra_tmp}$ 3
2. 1. 3 参照用力計の長期の不安定性による相対標準不確かさ $u_{_tra_stb}$ 4
2. 1. 4 参照用力計のヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_tra_hys}$ 5
2. 1. 5 参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref} 5
2. 2 トランスファ標準器としておもりを使用する場合 5
2. 2. 1 おもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_wt}$ 6
2. 2. 2 一軸試験機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_gra} 6
2. 2. 3 参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref} 6
3. 校正対象の一軸試験機に起因する不確かさの評価 6
4. 校正結果の拡張不確かさの評価 7
5. 校正結果の不確かさと JIS B 7721 に規定された等級分類の基準との対応について（参考） 7
5. 1 JIS B 7721 に規定された 0.5 級の最大許容値を満たす一軸試験機の力測定系を、参照用力計を用いて校正した場合の校正結果の拡張不確かさの計算例 9
5. 2 JIS B 7721 に規定された 1 級の最大許容値を満たす一軸試験機の力測定系を、参照用力計を用いて校正した場合の校正結果の拡張不確かさの計算例 9
附属書（参考） 一軸試験機を用いて力（荷重）を測定する際に考慮すべき不確かさ要因 10
A1. はじめに 10
A2. 一軸試験機の使用時に生じる力測定系由来の不確かさ要因の評価 10
A2. 1 一軸試験機の使用時の温度変動の相対標準不確かさ $u_{_utm_tmp}$ 10
A2. 2 一軸試験機の力測定系の長期の不安定性による相対標準不確かさ $u_{_utm_stb}$ 10
A2. 3 負荷の前後での零点の変化による相対標準不確かさ $u_{_utm_zer}$ 10
A2. 4 ヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_utm_hys}$ 11
A2. 5 相対偏差の相対標準不確かさ $u_{_utm_dev}$（相対偏差を補正出来ない場合） 11
A2. 6 一軸試験機の使用時における力測定系由来の不確かさの相対合成標準不確かさ $u_{c_use_utm}$ 11
A3. 一軸試験機の使用時における力測定系の不確かさの評価 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。

不確かさの評価に関するガイド
登録に係る区分：力
校正方法の区分の呼称：一軸試験機

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の力測定系を検証する方法として、JIS B 7721（又はその原規格である ISO 7500-1。以下同じ）に規定された方法及び ASTM E4 に規定された方法がある。このガイドは、JIS B 7721 に規定された手順に則る場合は２章において、ASTM E4 に規定された手順に則る場合は３章において、JCSS 登録校正事業者により校正された参照用力計あるいはおもりをトランスファ標準器として使用して一軸試験機の力測定系の校正を実施する場合において、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の表現のガイド）に則って評価する方法について述べる。

JIS B 7721 に規定されている「指示誤差」は、一軸試験機の力指示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。２章では、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。一軸試験機のユーザが校正された一軸試験機を用いて力（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、附属書を参照されたい。

ASTM E4 に規定されている「指示誤差」も同様であり、その不確かさを評価する方法について３章に記述している。

なお、トランスファ標準器である参照用力計及びおもりの校正値の不確かさに関しては、「JCG204S11 JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド（力／力計）」並びに「JCG203S11 JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド（質量／分銅等）」を参照されたい。

2. 参照値の不確かさの評価

２．１　トランスファ標準器として参照用力計を使用する場合

トランスファ標準器として参照用力計を使用する場合、考慮すべき不確かさ要因は、以下のとおりである。本節の各項の内容は JIS B 7721 による方法について記しているから、ASTM E4 による方法の場合は ASTM E4 規格の X2.2.1 項を参照すること。

【JIS B 7721 による方法】

参照用力計の校正値の不確かさ、参照用力計使用時の温度変動の影響、参照用力計の長期の不安定性の影響、参照用力計のヒステリシスの影響（減少方向の力を校正する場合のみ）

【ASTM E4 による方法】

参照用力計の校正事業者が校正に用いた標準器の不確かさ、参照用力計の温度変動など環境が及ぼす影響、参照用力計の長期の不安定性の影響、参照用力計の校正における不確かさ、参照用力計の持ち運びや一軸試験機への取り付けに伴う再現性の不確かさ、参照用力計の校正時と使用時の温度などの環境の違いによる不確かさ

（注）参照用力計の校正における不確かさは、校正時の校正器物としての参照用力計に起因する不確かさであり、参照用力計の校正に用いた標準器の不確かさと合わせたものが校正結果の不確かさである。

２．１．１　参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tra}$

参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tra}$ は、参照用力計の JCSS 校正証明書に記載されている最大相対拡張不確かさ $U_{_cal_tra}$ から次式により計算する。

$$u_{c_cal_tra} = \frac{1}{k} U_{_cal_tra} \qquad (1)$$

ここに、k：参照用力計の JCSS 校正証明書に記載されている包含係数

２．１．２　参照用力計使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{_tra_tmp}$

JIS B 7728 では 18 ℃～28 ℃の温度範囲で±1 ℃で温度が安定した環境で参照用力計の校正を行うことを規定しているのに対し、JIS B 7721 では 10 ℃～35 ℃の温度範囲で各測

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。

定シリーズ中に温度変動が 2 ℃以内となる安定した環境で一軸試験機の校正を実施することを規定している。したがって、参照用力計の校正時の温度と参照用力計を使用して一軸試験機を校正する際の温度とは、必ずしも一致しない。一軸試験機を校正する際には、両者の温度差を考慮して参照用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。ただし、ほぼ全ての量産品のロードセルは、実験的に評価された相対温度感度係数が明示されておらず、カタログ値としてその許容幅が示されているのみである。この場合、温度影響の補正ができないので、不確かさ要因として考慮する。例えば、参照用力計の校正時と使用時の温度差 $\Delta T_{_use_tra}$ と、相対温度感度係数の許容幅 $\alpha_{_allowable}$ との積を、矩形分布の半幅とみなして評価することができる。

$$u_{_tra_env_diff} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|\alpha_{_allowable}\right|\left|\Delta T_{_use_tra}\right| \tag{2}$$

ここに、$\alpha_{_allowable}$：力計の相対温度感度係数の許容幅

その上で、一軸試験機を校正している間の温度変動 $\Delta t_{_cal_utm}$ の影響を評価する。温度変動による相対標準不確かさ $u_{_tra_tmp}$ 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。

$$u_{_tra_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|\alpha\right|\left|\frac{\Delta t_{_cal_utm}}{2}\right| \tag{3}$$

ここに、α：力計の相対温度感度係数（$\alpha_{_allowable}$ で代用してもよい）

ロードセルの場合は、(2)と(3)を、(4)式のようにまとめてもよい。

$$u_{_tra_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|\alpha_{_allowable}\right|\left(\left|\Delta T_{_use_tra}\right| + \left|\frac{\Delta t_{_cal_utm}}{2}\right|\right) \tag{4}$$

なお、トランスファ標準器として容積型力計を使用する場合は、一軸試験機の校正サイクル中の温度変動による水銀伸縮を考慮する必要がある。「JCG204S11　不確かさの見積りに関するガイド（力/力計）」2.1.3 項を参照されたい。

2．1．3　参照用力計の長期の不安定性による相対標準不確かさ $u_{_tra_stb}$

参照用力計の長期の不安定性の影響は、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。

$$u_{_tra_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal}-1}\sum_{i=1}^{n_{cal}}\left(\frac{X_{cal.i}-m_{Xcal}}{m_{xcal}}\right)^2} \tag{5}$$

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、同一の参照用力計を３回以上校正した場合に適用する。校正回数が少ない参照用力計については、参照用力計の製造者の提示する仕様を参考にするか、あるいは暫定的な値を使用する。暫定的な値の例として、ロードセルと高精度の指示装置を組み合わせて使用した場合に 2×10^{-4} 程度であったが、精度の低い指示装置を使用する場合や、環状ばね型力計などでは、より大きな値を採用するのが適切との報告もある [1]。

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く、経験に基づいて参照用力計使用時の不確かさを加味したタイプ B の評価を行ってもよい。また、経験に基づいて過去の一部の校正値を評価に用いない判断をすることもあり得る。例として、感度推移が明らかに単調増加又は単調減少の傾向を示す参照用力計に関する過去データや、感度推移の不連続性をもたらす参照用力計にかかる校正環境の変化（校正機関の変更や力基準機の改修など）前後のデータなどは、その一部のみを評価に用いるという判断もあり得る。

参考：同一の一軸試験機の力測定系を十数台の参照用力計で繰り返し校正した実例があり、それらの例では、使用した参照用力計の違いにより校正結果（いわゆる指示誤差 q）は標準偏差で～0.15 %程度のばらつきを示した。

[1]　眞弓、力計の長期不安定性について、力学量標準トレーサビリティ・ワークショッ

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。

プテキスト、**21**、2019。

2．1．4　参照用力計のヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_tra_hys}$
（減少方向の力を校正する場合のみ）

一軸試験機の校正で減少方向の力を校正する場合で、かつ参照用力計の JCSS 校正証明書に記載された校正結果の不確かさに参照用力計のヒステリシスの不確かさが含まれていない場合は、参照用力計のヒステリシスの不確かさを次式（JIS B 7728 の C.2.4 参照）により計算し考慮する。ただし、一軸試験機の校正は力の増加方向のみで行い、相対往復誤差を決定するためだけに減少方向の力を測定する場合は、相対指示誤差の不確かさを計算するために参照用力計のヒステリシスの不確かさを考慮する必要はない。

$$u_{_tra_hys} = \frac{v}{\sqrt{3}} \tag{6}$$

ここに、v：参照用力計の相対往復誤差

2．1．5　参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref}

トランスファ標準器として参照用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_{c_ref} は、次式で与えられる。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_tra}{}^2 + u_{_tra_env_diff}{}^2 + u_{_tra_tmp}{}^2 + u_{_tra_stb}{}^2} \tag{7}$$

備考　内挿校正式を有する参照用力計をトランスファ標準器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、その試験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 $u_{_tra_apr}$ とみなす。この場合、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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_tra}{}^2 + u_{_tra_env_diff}{}^2 + u_{_tra_tmp}{}^2 + u_{_tra_stb}{}^2 + u_{_tra_apr}{}^2} \tag{7'}$$

一軸試験機の校正で減少方向の力を校正する場合は、参照用力計のヒステリシスの不確かさ $u_{_tra_hys}$ を加えて次式により計算する。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_tra}{}^2 + u_{_tra_env_diff}{}^2 + u_{_tra_tmp}{}^2 + u_{_tra_stb}{}^2 + u_{_tra_hys}{}^2} \tag{8}$$

2．2　トランスファ標準器としておもりを使用する場合

トランスファ標準器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（一軸試験機への入力）は次式で与えられる。

$$F = mg_n\left(1 - \frac{\rho_{air}}{\rho_m}\right) \tag{9}$$

ここに、g_n：校正を行う場所の重力加速度、
ρ_{air}：空気の密度、
ρ_m：分銅の密度

空気浮力の補正 ρ_{air}/ρ_m については、鋼製又はステンレス鋼製分銅の場合は補正値自体の大きさが 1.5×10^{-4} 程度であるので、温度・湿度・気圧の変動による空気浮力の補正値への影響は通常考慮に入れなくてもよいと考える。考慮すべき不確かさ要因は、以下のとおりである。本節の各項の内容は JIS B 7721 による方法について記しているから、ASTM E4 による方法の場合は ASTM E4 規格の X2.2.1 項を参照すること。

【JIS B 7721 による方法】

おもりの質量の不確かさ、一軸試験機の校正を行う場所での重力加速度の不確かさ

【ASTM E4 による方法】

おもりの校正事業者が校正に用いた標準器の不確かさ、一軸試験機の校正を行う場所での

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。

重力加速度の不確かさ、おもりの質量の経年変化の不確かさ、おもりの校正における不確かさ、おもりの持ち運びや一軸試験機への取り付けに伴う再現性の不確かさ

（注）おもりの校正における不確かさは、校正時の校正器物としてのおもりに起因する不確かさであり、おもりの校正に用いた標準器の不確かさと合わせたものが校正結果の不確かさである。

2．2．1 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。

$$u_{c_cal_wt} = \frac{1}{k} U_{_cal_wt} \tag{10}$$

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 ($u_{c_cal_wt1} + u_{c_cal_wt2} + u_{c_cal_wt3} + \cdots$)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。

2．2．2 一軸試験機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_gra}

一軸試験機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_gra} 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 ＪＣＳＳ 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 0.000 37 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 1.9×10^{-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 $U_{_gra}$ から次式により計算する。

$$u_{c_gra} = \frac{1}{k} U_{_gra} \tag{11}$$

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_gra} は、最小桁の 1 増分 Δg_n から矩形分布を仮定して次式により推定する。

$$u_{c_gra} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{\Delta g_n}{2}\right) \tag{11'}$$

なお、重力加速度が有効数字５桁以上で測定又は補間推定されている場合、本要因は他の不確かさ要因に比べて十分小さいので無視してもよい。

2．2．3 参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref}

トランスファ標準器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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{{u_{c_cal_wt}}^2 + {u_{c_gra}}^2} \tag{12}$$

3. 校正対象の一軸試験機に起因する不確かさの評価

校正対象の一軸試験機に起因する不確かさ要因は、以下のものが挙げられる。

【JIS B 7721 による方法】

測定値のばらつき、力指示計の分解能、等

JIS B 7721 の附属書に則って各々評価し、二乗和平方根によって一軸試験機に起因する合成標準不確かさ u_{c_utm} を得る。

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。

【ASTM E4 による方法】

2 回の負荷サイクルでの結果の繰り返し性の不確かさ、一軸試験機の力測定系の分解能の不確かさ

ASTM E4 規格の X2.2.2 項に従って以下の不確かさ要因を考慮して評価する。

各校正点で、当該校正点での 2 回の結果の差だけからではなく、当該校正点及びその直近の 4 つの校正点（合計 5 点）におけるそれぞれ 2 回の結果の差から、繰り返し性の不確かさを評価する。

力測定系の分解能は、負荷時の分解能と無負荷時の分解能の両方を考慮する。

指示装置を持たず、重錘とこうかんにより力を作用させる試験機は、ASTM E4 規格の X1.6 項に従って感度限界の検証を行い、感度限界を分解能と読み替える。

繰り返し性の不確かさが分解能の不確かさ以下に小さくなる場合だけ、分解能の不確かさを一軸試験機に起因する不確かさに含める。

【すべての方法】

指示値を読み取る際に力がゆっくり変化する場合、参照用力計と一軸試験機の力測定系との間でサンプリング時期がずれることによる、系統的な偏差を生じることがある。必要であれば、不確かさ要因に含める。測定する際の指示値の変動速度は一つの目安となり得る。例えば、参照用力計又は一軸試験機の指示値が、読み取りごとにその分解能程度しか変化しないならば、サンプリング時期のずれによる系統的な偏差はその程度であり、影響しないと判断してよい。

4. 校正結果の拡張不確かさの評価

一軸試験機の力測定系の校正結果の不確かさは、以下のように評価する。

【JIS B 7721 による方法】

参照用力計あるいはおもりをトランスファ標準器とした場合の参照値の不確かさ u_{c_ref} 及び一軸試験機に起因する不確かさ u_{c_utm} から、一軸試験機の力測定系の校正結果の拡張不確かさ $U_{_cal_utm}$ は、次式で与えられる。

$$U_{_cal_utm} = k\sqrt{u_{c_ref}{}^2 + u_{c_utm}{}^2} \tag{13}$$

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。規格が限定的な不確かさ要因のみを列挙していることも考慮し、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、(1) JIS B 7728 に規定する力計の使用時の不確かさについて子細に検討する、(2) 技能試験などにおいて上記の想定より小さな校正の不確かさを報告したうえで満足な結果となることを示すなど、校正の不確かさが過小評価とならぬよう校正能力を十分に検証することが望ましい。

【ASTM E4 による方法】

一軸試験機の力測定系の校正結果の不確かさは、ASTM E4 規格の X2.4 項に従って、上記の参照値の不確かさと校正対象の一軸試験機に起因する不確かさを合成して評価する。

なお、信頼の水準約 95 %に相当する校正結果の拡張不確かさは、ASTM E4 規格の X2.4 項に従って包含係数を 2 として求めればよい。

5. 校正結果の不確かさと JIS B 7721 に規定された等級分類の基準との対応について（参考）

一般に一軸試験機の力測定系は、JIS B 7721 に規定された手順によりその諸特性が検証される。一軸試験機の力測定系の校正も同様の手順で実施されるが、GUM に則って校正値の不確かさを評価する場合の個々の不確かさ要因の計算方法と、JIS B 7721 に則って一軸試験機を等級分類する場合の諸特性の計算方法とは、必ずしも一致しない点に注意を払う必要がある。すなわち、校正結果の不確かさと JIS B 7721 に規定された等級分類の基準とは一意的には対応しない。

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。

ここでは、校正結果の不確かさと JIS B 7721 に規定された等級分類の基準との大凡の対応について、力計をトランスファ標準器として用いて校正した場合の例を２件示す。

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。

５．１　JIS B 7721 に規定された 0.5 級の最大許容値を満たす一軸試験機の力測定系を、参照用力計を用いて校正した場合の校正結果の拡張不確かさの計算例

不確かさ要因（相対値）	大きさ	備　考
参照用力計の校正値の合成標準不確かさ $u_{c_cal_tra}$	0.063%	
温度変動による不確かさ $u_{_tra_tmp}$	0.002%	係数 0.003%/℃、変動 2 ℃として。温度感度係数が実験的に評価されていないロードセルの場合は、校正時と使用時の温度差による不確かさとして、$u_{_tra_env_diff}$ を合わせて見積もる。
参照用力計の不安定性に起因する不確かさ $u_{_tra_stb}$	0.020%	一例
直線近似に起因する不確かさ $u_{_tra_apr}$	－	直線近似せざるを得ない場合のみ考慮
参照用力計の要因の合成標準不確かさ u_{c_ref}	0.066%	
繰り返し性の標準不確かさ $u_{_utm_rep}$	0.102%	例えば繰り返し３回(n=3)として
分解能による標準不確かさ $u_{_utm_res}$	0.072%	
－	－	零点の変動の影響は使用時に考慮
－	－	ヒステリシスの影響は使用時に考慮
－	－	相対偏差（相対指示誤差）は校正値
一軸試験機の不確かさ要因の合成標準不確かさ u_{c_utm}	0.125%	
一軸試験機の校正値の拡張不確かさ $U_{_cal_utm}$　(k=2)	0.28%	

	JIS B 7721 の 0.5 級の最大許容値
参照用力計の等級	0.5 級
相対繰り返し性誤差 b	0.500%
相対分解能 a	0.250%
相対零点誤差 f_0	0.050%
相対往復誤差 v	0.750%
相対指示誤差 q	0.500%

５．２　JIS B 7721 に規定された１級の最大許容値を満たす一軸試験機の力測定系を、参照用力計を用いて校正した場合の校正結果の拡張不確かさの計算例

不確かさ要因（相対値）	大きさ	備　考
参照用力計の校正値の合成標準不確かさ $u_{c_cal_tra}$	0.126%	
温度変動による不確かさ $u_{_tra_tmp}$	0.002%	係数 0.003%/℃、変動 2 ℃として。温度感度係数が実験的に評価されていないロードセルの場合は、校正時と使用時の温度差による不確かさとして、$u_{_tra_env_diff}$ を合わせて見積もる。
参照用力計の不安定性に起因する不確かさ $u_{_tra_stb}$	0.020%	一例
直線近似に起因する不確かさ $u_{_tra_apr}$	－	直線近似せざるを得ない場合のみ考慮
参照用力計の要因の合成標準不確かさ u_{c_ref}	0.128%	
繰り返し性の標準不確かさ $u_{_utm_rep}$	0.204%	例えば繰り返し３回(n=3)として
分解能による標準不確かさ $u_{_utm_res}$	0.144%	
－	－	零点の変動の影響は使用時に考慮
－	－	ヒステリシスの影響は使用時に考慮
－	－	相対偏差（相対指示誤差）は校正値
一軸試験機の不確かさ要因の合成標準不確かさ u_{c_utm}	0.250%	
一軸試験機の校正値の拡張不確かさ $U_{_cal_utm}$　(k=2)	0.56%	

	JIS B 7721 の１級の最大許容値
参照用力計の等級	１級
相対繰り返し性誤差 b	1.000%
相対分解能 a	0.500%
相対零点誤差 f_0	0.100%
相対往復誤差 v	1.500%
相対指示誤差 q	1.000%

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。

附属書（参考） 一軸試験機を用いて力（荷重）を測定する際に考慮すべき不確かさ要因

Ａ１．はじめに

本文では一軸試験機の力測定系の校正値の不確かさを評価する方法について述べたが、校正値の不確かさは校正時点でのみ有効であることに注意が必要である。ユーザが校正された一軸試験機を用いて力（荷重）を測定する際には、一軸試験機の使用時の温度変動、一軸試験機の力測定系の長期の不安定性、負荷の前後での零点の変動、ヒステリシス、など使用時に派生する力測定系由来の不確かさの諸要因の影響を、一軸試験機の力測定系の校正値の不確かさに加えて考慮することが必要である。この附属書では、一軸試験機の使用時における力測定系由来の不確かさの諸要因を評価する方法について述べる。

なお一軸試験機を使用して材料の引張・圧縮試験を行う際には、力測定系由来の不確かさの諸要因以外にも、試験片取り付け時のアライメント、取り付けジグの特性、といった荷重の作用時に生じる不確かさの要因、そして測定値のばらつきなど様々な要因をユーザにおいて併せて考慮することが必要である。

以下の項では、JIS B 7721 規格について記載しているが、ASTM E4 規格であっても、同様の考慮が必要である。

Ａ２．一軸試験機の使用時に生じる力測定系由来の不確かさ要因の評価

Ａ２．１　一軸試験機の使用時の温度変動の相対標準不確かさ $u_{_utm_tmp}$

JIS B 7721 では 10 ℃～35 ℃の温度範囲で各測定シリーズ中に温度変動が 2 ℃以内となる安定した環境で一軸試験機の校正を実施することを規定している。一般に一軸試験機校正時の温度と使用時の温度とは、必ずしも一致しない。一軸試験機を使用する際には、両者の温度差を考慮して力測定系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、一軸試験機で測定している間の温度変動 $\Delta t_{_use_utm}$ の影響を評価する。温度変動による相対標準不確かさ $u_{_utm_tmp}$ 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。

$$u_{_utm_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \alpha_{_utm} \right| \left| \frac{\Delta t_{_use_utm}}{2} \right| \tag{A1}$$

ここに、$\alpha_{_utm}$：一軸試験機の力測定系の相対温度感度係数

相対温度感度係数については、一軸試験機の製造者の提示する仕様を参考にするなどすればよい。

使用時に温度影響の補正を行わない場合は、校正時と使用時の平均温度の差 $\Delta T_{_use_utm}$ も考慮し、矩形分布を仮定して、例えば次式で評価する。

$$u_{_utm_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \alpha_{_utm} \right| \left(\left| \Delta T_{_use_utm} \right| + \left| \frac{\Delta t_{_use_utm}}{2} \right| \right) \tag{A1'}$$

Ａ２．２　一軸試験機の力測定系の長期の不安定性による相対標準不確かさ $u_{_utm_stb}$

一軸試験機の力測定系の長期の不安定性の影響は、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。

$$u_{_utm_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal} - 1} \sum_{i=1}^{n_{cal}} \left(\frac{X_{cal.i} - m_{xcal}}{m_{Xcal}} \right)^2} \tag{A2}$$

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、一軸試験機の力測定系を３回以上校正した場合に適用する。校正回数が少ない場合は、製造者の提示する仕様を参考にするなどして適宜評価する。

参考：参照用力計でも長期安定性は相対値で 2×10^{-4} 程度である。

Ａ２．３　負荷の前後での零点の変化による相対標準不確かさ $u_{_utm_zer}$

一般に負荷を加えた後の零点は、負荷前の零点とは一致しない。一軸試験機が試験力の増加する方向のみで使用される場合でも、負荷の前後での零点の変化の影響を考慮に入れてお

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。

くことが望ましい。ここでは、基準となる零点は負荷前の零点の値を中心として集中的に分布しており、負荷前と負荷後の零点の差が 3σ に相当するような正規分布に従うものと仮定する。負荷前と負荷後の零点の差を当該レンジの最大容量で除した相対値を、全負荷サイクルについて

平均した値を b_{0_utm} とすれば､負荷の前後での零点の変化による影響は次式で計算される。

$$u_{_utm_zer} = \left| \frac{b_{0_utm}}{3} \right| \tag{A3}$$

Ａ２．４　ヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_utm_hys}$

各負荷ステップにおいても、試験力が増加する場合と減少する場合とで一軸試験機の力指示計の指示値には差異が生じる。力が減少する際の指示値（測定値）の不確かさ評価については、一軸試験機を力の減少方向で校正する際の校正値の不確かさ評価に関する記述ではあるが、JIS B 7721 の附属書を参照するとよい。

Ａ２．５　相対偏差の相対標準不確かさ $u_{_utm_dev}$（相対偏差を補正出来ない場合）

JIS B 7721 に記述されている「相対指示誤差 q」は、一軸試験機の力指示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相対値で表しており、校正結果そのものである。この参照値からの偏差は、一軸試験機の使用に際して何よりもまず補正されるべきである。もし何らかの理由で参照値からの偏差を補正しない場合、この偏差は正規分布の標準偏差（1σ）に相当する影響を及ぼすとみなす。この要因による相対標準不確かさ $u_{_utm_dev}$ は次式で評価される。

$$u_{_utm_dev} = |q| \tag{A4}$$

Ａ２．６　一軸試験機の使用時における力測定系由来の不確かさの相対合成標準不確かさ $u_{c_use_utm}$

一軸試験機の使用時における力測定系由来の不確かさの相対合成標準不確かさ $u_{c_use_utm}$ は次式で与えられる。

$$u_{c_use_utm} = \sqrt{u_{_utm_tmp}^{\ 2} + u_{_utm_stb}^{\ 2} + u_{_utm_zer}^{\ 2} + u_{_utm_hys}^{\ 2}} \tag{A5}$$

もし参照値からの偏差を補正しない場合は、一軸試験機の使用時における力測定系由来の不確かさ要因の相対合成標準不確かさ $u_{c_use_utm}$ は次式で評価する。

$$u_{c_use_utm} = \sqrt{u_{_utm_tmp}^{\ 2} + u_{_utm_stb}^{\ 2} + u_{_utm_zer}^{\ 2} + u_{_utm_hys}^{\ 2} + u_{_utm_dev}^{\ 2}} \tag{A5'}$$

Ａ３．一軸試験機の使用時における力測定系の不確かさの評価

以上で述べた不確かさの諸要因を考慮すると、一軸試験機の使用時における力測定系の相対拡張不確かさ $U_{_use_utm}$ は、次式で与えられる。

$$U_{_use_utm} = k\sqrt{u_{c_cal_utm}^{\ 2} + u_{c_use_utm}^{\ 2}} \tag{A6}$$

ただし、

$$u_{c_cal_utm} = \frac{1}{k} U_{_cal_utm} \tag{A7}$$

であり、包含係数 k の値については、計算した有効自由度に基づいて評価することも可能だが、JIS B 7721 (ISO 7500-1)で推奨されているように、k=2 を採用する。

なお冒頭でも述べたように、一軸試験機を使用して材料の引張・圧縮試験を行う際には、上述の力測定系の不確かさ以外にも、試験片取り付けのアライメント、取り付けジグの特性、といった荷重の作用時に生じる不確かさの要因、そして測定値のばらつきなど様々な要因をユーザにおいて併せて考慮することが必要である。

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。

第13版　改正のポイント

① 参照用力計の長期の不安定性について、一部の過去校正データのみを評価に用い得る場合を例示。
② 一定の力ではなくゆっくり変化する力による校正を行う場合に影響を検討すべき、参照用力計と一軸試験機の力測定系とのサンプリング時期ずれについて追記。
③ 誤記等の修正。
④ 組織改編に伴う名称の変更等。

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。