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 ： 力計

（第 12 版）

（JCG204S11－12）

改正：2025 年 5 月 12 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（NITE）に属します。この指針の一部又は全部を転写、転載する場合は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 認定センター（IAJapan）の許可が必要です。

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（IAJapan）
住所 〒151-0066 東京都渋谷区西原二丁目 49-10
TEL 03-3481-1921（代）
FAX 03-3481-1937
E-mail jcss@nite.go.jp
Web page https://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/index.html

目次

1. はじめに 6
2. JIS B 7728 に規定された負荷手順に則る場合 6
2. 1. 参照用力計の校正結果の不確かさ 6
2. 1. 1 参照用力計に加えた校正力の相対標準不確かさ w_1 について 6
2. 1. 2 参照用力計のクリープの相対標準不確かさ w_5 について 7
2. 1. 3 容積型力計の温度変動の相対標準不確かさ w_7 について 8
2. 1. 4 内挿の相対標準不確かさ w_8 について 8
2. 1. 5 校正力－各校正点での相対合成標準不確かさの最良近似式について 8
2. 2. ヒステリシスに起因する不確かさの取り扱い 8
2. 3. 校正した参照用力計の使用時の不確かさ 9
3. ASTM E74 に規定された負荷手順に則る場合 9
3. 1. 一次標準による二次標準の基準力計の校正や一軸試験機校正で参照標準とする参照用力計の校正における校正結果の不確かさ 9
3. 2. 二次標準の基準力計による、一軸試験機校正で参照標準とする参照用力計の校正における校正結果の不確かさ 10
4. JIS B 7721 に規定された負荷手順に則る場合 10
4. 1. 概要 10
4. 2. おもりを使用する場合の、参照値の不確かさの評価 10
4. 2. 1. 概要 10
4. 2. 2. おもりの質量の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_wt}$ 10
4. 2. 3. おもりの質量の安定性の相対標準不確かさ $u_{_wt_stb}$ 11
4. 2. 4. 汎用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} 11
4. 2. 5. 力の作用方向と汎用力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{_aln}$ 11
4. 2. 6. 参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref} 12
4. 3. 参照用力計を使用する場合の、参照値の不確かさの評価 12
4. 3. 1. 概要 12
4. 3. 2. 参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tsd}$ 12
4. 3. 3. 参照用力計の使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{_tsd_tmp}$ 12
4. 3. 4. 参照用力計の安定性の相対標準不確かさ $u_{_tsd_stb}$ 13
4. 3. 5. 参照用力計の分解能の相対標準不確かさ $u_{_tsd_res}$ 13
4. 3. 6. 参照用力計の受感軸と汎用力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ $u_{_aln}$ 13
4. 3. 7. 参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref} 14
4. 4. 校正対象の汎用力計に起因する不確かさの評価 14
4. 5. 校正結果の拡張不確かさの評価 14
参考. 汎用力計を使用する際に考慮すべき不確かさ要因 15
付属書 A（規定） 校正事業者が自ら組み立て評価する場合の、参照標準の力基準機が発生する校正力の不確かさの評価 17

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。

A1. 実荷重式力基準機 17
A1．1 重錘の質量の相対標準不確かさ w_{mass} 17
A1．2 重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav} 17
A1．3 空気密度の変動による浮力の変動の相対標準不確かさ w_{bouy} 18
A1．4 力の作用方向の傾きによる相対標準不確かさ w_{algn} 19
A1．5 重錘の振動による遠心力の相対標準不確かさ w_{oscl} 19
A1．6 校正力の相対合成標準不確かさ w_1 19
A2. 油圧式力基準機 20
A2．1 力の増幅率の相対標準不確かさ w_{amp} 20
A2．2 力の増幅率の安定性の相対標準不確かさ w_{amp_stbl} 20
A2．3 力の増幅率に適用する補正係数の相対標準不確かさ w_{amp_crct} 20
A2．4 校正力の相対合成標準不確かさ w_1 25
A3. こうかん式力基準機 25
A3．1 こうかん比の相対標準不確かさ w_{amp} 25
A3．2 支点感度の相対標準不確かさ w_{flc_sens} 25
A3．3 こうかん比の安定性の相対標準不確かさ w_{amp_stbl} 25
A3．4 こうかん比に適用する補正係数の相対標準不確かさ w_{amp_crct} 26
A3．5 校正力の相対合成標準不確かさ w_1 26
A4. ビルドアップ式力基準機 26
A4．1 基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ w_{reftra_cal} 26
A4．2 基準力計の分解能の相対標準不確かさ w_{reftra_res} 27
A4．3 基準力計の安定性の相対標準不確かさ w_{reftra_stbl} 27
A4．4 基準力計の使用時の温度変化による相対標準不確かさ w_{reftra_tmp} 28
A4．5 基準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 w_{algn} 28
A4．6 校正力の相対合成標準不確かさ w_1 28
付属書B（参考） 力基準機の相互比較の不確かさの評価 29
B1. はじめに 29
B2. 参照値の不確かさ 29
B2．1 力標準機による力の単位実現の不確かさ 29
B2．2 トランスファ標準器に起因する不確かさ 29
B2．2．1 再現性（設置変更あり）の相対標準不確かさ $u_{_tsd_rep}$ 29
B2．2．2 分解能の相対標準不確かさ $u_{_tsd_res}$ 30
B2．2．3 感度ドリフトによる相対標準不確かさ $u_{_tsd_drf}$ 30
B2．2．4 トランスファ標準器に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_tsd} 30
B2．3 力標準機によるトランスファ標準器の校正で得られる参照値の不確かさ 30
B3. 力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ 31
B3．1 再現性（設置変更あり）の相対標準不確かさ $u_{_fcm_rep}$ 31
B3．2 分解能の相対標準不確かさ $u_{_fcm_res}$ 31
B3．3 負荷の前後での零点変化の差異による相対標準不確かさ $u_{_fcm_zer}$ 31

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。

B3．4 ヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_fcm_hys}$ 32
B3．5 参照値からの偏差の相対標準不確かさ $u_{_fcm_dev}$ 32
B3．6 力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ 32
B3．7 ビルドアップ式力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ 33
B4．力標準機と力基準機との間の比較測定の不確かさ 34
B5．力標準機との比較により確認される力基準機が発生する校正力の不確かさ 34

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

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計測系の校正に参照標準として用いられる参照用力計を、力基準機によって校正する方法として、JIS B 7728（またはその原規格である ISO 376。以下同じ）及び ASTM E74 に規定された方法がある。

また、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汎用力計（一軸試験機の力測定系の校正に参照標準として用いることはできない）も JIS B 7721 に規定された手順を準用して校正することができる。

このガイドは、力基準機によって JIS B 7728 に規定された負荷手順に則って参照用力計を校正する場合は2章において、ASTM E74 に規定された負荷手順に則って参照用力計を校正する場合は3章において、JCSS 登録校正事業者により校正されたおもりあるいは参照用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汎用力計の校正を実施する場合は4章において、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表現のガイド）に則って評価する方法について述べる。

2. JIS B 7728 に規定された負荷手順に則る場合

2. 1. 参照用力計の校正結果の不確かさ

参照用力計の校正結果の不確かさは、JIS B 7728 附属書 C の C.1 節に則って、先ず個々の校正点でそれぞれ次の不確かさ要因を考慮して評価する。

w_1：参照用力計に加えた校正力の相対標準不確かさ
w_2：校正結果の再現性の相対標準不確かさ
w_3：校正結果の繰返し性の相対標準不確かさ
w_4：指示装置の分解能の相対標準不確かさ
w_5：参照用力計のクリープの相対標準不確かさ
w_6：ゼロ点出力の変動の相対標準不確かさ
w_7：参照用力計の温度の相対標準不確かさ
w_8：内挿の相対標準不確かさ

2. 1. 1 参照用力計に加えた校正力の相対標準不確かさ w_1 について

特定標準器である力標準機との比較により校正される特定二次標準器の力基準機については、校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、力基準機の jcss 校正証明書に記載されている相対拡張不確かさから計算する。ここで、力基準機の参照用力計への負荷伝達条件が参照用力計により異なるため、力標準機との比較に用いられた特定の参照用力計に依存する校正点ごとの相対拡張不確かさではなく、校正に使用する力の範囲における相対拡張不確かさの最大値を一意的に使用することが妥当である。w_1 は、相対拡張不確かさの力の範囲ご

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。

との最大値 $U_{_cal_fcm}$ 及び包含係数 k から次式により計算する。

$$w_1 = \frac{1}{k} U_{_cal_fcm} \tag{1}$$

ただし、校正力の不確かさを力基準機の jcss 校正の不確かさのみで評価する場合、次の jcss 校正までの期間中に力基準機が十分安定していることが前提となる。

例えば、管理用力計を用いた経年変化の監視によりこうかん式力基準機のこうかん比が jcss 校正の不確かさに比べて無視できない程度に変動することが判明した場合などには、校正力の不確かさには力基準機の安定性に起因する不確かさ $u_{_fcm_stb}$ も考慮する必要がある。この不確かさ要因は、管理用力計を用いた経年変化の監視の複数回の実績に基づいて評価するとよい。

$$w_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{k} U_{_cal_fsm}\right)^2 + u_{_fcm_stb}{}^2} \tag{1'}$$

備考1: 力基準機の安定性に起因する不確かさ $u_{_fcm_stb}$ は、ある1台の力基準機について全レンジで整合した評価がなされている必要がある。

備考 2: 力基準機の不安定性が顕著で経年変化の監視の管理水準を超えている場合などには、不確かさ評価の見直しではなく力基準機の再校正が必要になる。

一方、質量標準にトレーサブルな JCSS 校正を受けた重錘の質量値と力基準機の設置場所の重力加速度の公知の定数値を使って、校正事業者が自ら組み立て評価する参照標準の力基準機については、校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、後述の付属書 A に従って評価する。

2．1．2 参照用力計のクリープの相対標準不確かさ w_5 について

参照用力計のクリープの相対標準不確かさ w_5 は、校正力を増加・減少させる校正においても、校正力を増加させるだけの校正においても必ず考慮する。この不確かさ要因は、すべての校正力で一律の相対値となる。

なお、校正力を増加・減少させる校正における相対往復誤差 v は校正力によって異なるが、現行の JIS B 7728 (ISO 376)の附属書 C には v のどの値からクリープの相対標準不確かさ w_5 を評価するのかが明示されていない。JIS B 7728 (ISO 376)が改正されてこの点が明示されるまでは、クリープの相対標準不確かさ w_5 を評価するための相対往復誤差 v の値として、各校正点での往復誤差を変位の次元で表した時の絶対値の最大値を、最大校正力における変位 X_N で除した値を採用することを推奨する。例えば表 1 に示す事例では、往復誤差を変位の次元で表した時の絶対値の最大値は 0.0012 mV/V であり、これを最大校正力における変位 2.0102 mV/V で除した値は 0.060 %であり、この値を v として w_5 を評価すると 0.011 %となる。

表 1 往復誤差の最大値の計算例

校正力 / kN	校正力を増加した時の変位量 / (mV/V)	校正力を減少した時の変位量 / (mV/V)	往復誤差 / (mV/V)
20	0.4025	0.4030	0.0005
40	0.8033	0.8040	0.0007
60	1.2056	1.2068	0.0012
80	1.6078	1.6088	0.0010
100	2.0102		

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。

2．1．3 容積型力計の温度変動の相対標準不確かさ w_7 について

JCSS 技術的要求事項適用指針「JCT20401 力／力計」8.1 3)に定める補正方法によって、容積型力計の零点出力は補正され見かけ上ゼロとなる。歴史的経緯により、この伝統的手法を適用することで、相対零誤差もまたゼロとみなされる。しかし、校正サイクル中の僅かな温度変動により生じる出力変動は、不確かさ要因として考慮しなければならない。一例として、45 cm^3 の水銀を封じた容積型力計のスピンドル径が 8.5 mm であるとき、鉄と水銀の線膨張率はそれぞれ 1.2×10^{-5} ℃$^{-1}$ と 6.0×10^{-5} ℃$^{-1}$ 程度とされるので、体積膨張率を単純にその 3 倍とすれば、スピンドル先端での温度当たり水銀伸縮量は 0.11 mm/℃程度と見積もられる。定格力でのスピンドル変位が 15～30 mm 程度とされるので、校正サイクル中の温度変動が 0.1 ℃程度であっても、この影響は無視できない不確かさ要因である。校正中の温度変動を精密に随時記録することは現実的ではないので、簡便のため、零点出力補正前の零点変動量を、膨張率と温度変動の積に関係する値とみなして、これを w_7 として不確かさを見積もることを推奨する。一例として、負荷前後の零点変動量の最大値が 15 μm であり、定格力での変位が 15 mm であれば、零点出力補正前の零点変動量は 0.10 %であり、w_7 は 0.10 %となる。

ここで、上記の水銀伸縮は校正サイクル中の変動であることに留意する。校正時と異なる温度で力計を使用することに伴う影響を考慮する際には、使用時の温度で零点調整が行われ水銀伸縮が打ち消されるから、読み値の温度補正には、弾性係数の温度係数として一般に用いられる 0.000 27 ℃$^{-1}$ のみを用いて差し支えない。ただし、使用時の校正サイクル中にも温度変動を生じるならば、この影響は別途考慮すべきである。

2．1．4 内挿の相対標準不確かさ w_8 について

内挿の相対標準不確かさ w_8 は、内挿校正式を適用する場合にだけ考慮する。

2．1．5 校正力－各校正点での相対合成標準不確かさの最良近似式について

JIS B 7728 附属書 C の C.1.10.3 節のとおり、「各校正点で個々に評価した相対合成標準不確かさ」と「校正力」との関係に最良近似式を適用し、「最良近似式により計算される不確かさの値」を「各校正点における相対合成標準不確かさ」とする。「最良近似式による不確かさの計算値」が「各校正点で個々に評価した相対合成標準不確かさ」のうちの最小値より小さくなる場合は、過小評価となるのを避けるため、その校正点における相対合成標準不確かさとして「最良近似式による計算値」ではなく「最小値」の方を採用する。

最良近似式の形は校正結果を睨んで適宜選定すれば良いが、過剰な近似は避け、パラメータが 2 個～3 個程度の近似式を採用するとよい。

最良近似式による相対合成標準不確かさから相対拡張不確かさを求める際には、JIS B 7728 附属書 C の C.1.10.3 節のとおり、包含係数 k として常に 2 が適用できる。

校正測定能力を評価する場合も、通常の校正時と同様に、上記の不確かさ要因を考慮して評価すること。すなわち、力基準機が力計に加える校正力の不確かさだけではなく、校正器物の力計に起因する不確かさ要因も考慮すること。

2．2．ヒステリシスに起因する不確かさの取り扱い

前述のとおり、ヒステリシスに起因する不確かさは、参照用力計の校正結果の不確かさの要因としては考慮せず、校正した参照用力計を顧客が使用する際に不確かさの一要因として考慮する。

しかしながら、顧客から要望があった場合は、JIS B 7728 附属書 C の C.2.4 節のとおり、参照用力計の校正

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。

結果の不確かさにヒステリシスに起因する不確かさ要因を二乗和で加えても良い。ただし、その場合は、JCSS技術的要求事項適用指針「JCT20406 例示集（力／力計）」の校正証明書の見本のとおり、ヒステリシスに起因する不確かさ要因を含めて力計の校正結果の不確かさを算出している旨を明記すること。

2．3．校正した参照用力計の使用時の不確かさ

顧客から、校正した参照用力計を使用して力の測定を行う際に考慮すべき不確かさ要因について照会があった場合は、JIS B 7728 附属書 C の C.2 節に則って、次の不確かさ要因を考慮することが望ましい旨を助言するとよい。

a) 参照用力計の校正の不確かさ
b) 参照用力計の分解能
c) 参照用力計のヒステリシスの影響
d) 校正後の参照用力計の感度の変動
e) 校正時と異なる温度で参照用力計を使用することに伴う影響
f) 校正時と異なる参照用力計への負荷伝達条件で参照用力計を使用することに伴う影響
g) 校正時と異なる寄生分力を受ける状況で参照用力計を使用することに伴う影響
h) 校正時と異なる負荷の時間的変化の下で参照用力計を使用することに伴う影響
i) 内挿校正式を一次式で近似することに伴う影響（該当する場合のみ）
j) 指示装置を交換したことに伴う影響（該当する場合のみ）

3．ASTM E74 に規定された負荷手順に則る場合

3．1．一次標準による二次標準の基準力計の校正や一軸試験機校正で参照標準とする参照用力計の校正における校正結果の不確かさ

一次標準の力基準機を用いて、二次標準の基準力計（ビルドアップ式またはコンパレータ式の力基準機用のもの）を校正する場合や一軸試験機校正で参照標準とする参照用力計を校正する場合、校正結果の不確かさは、ASTM E74 規格の X1.4 節に則って、個々の校正点でそれぞれ次の不確かさ要因を考慮して評価する。

1) 力基準機が発生する校正力の不確かさ
   注：校正力の不確かさの評価に関しては、ASTM E74 規格の X1.4.1.1 項によるほか、本文書の附属書 A を参照してもよい。
2) 校正結果の再現性と内挿誤差の不確かさ
   注 1：ASTM E74 規格では、参照用力計の取付けのミスアラインメントによる不確かさは、設置変更した時の再現性の不確かさに含まれるとしている。
   注 2：内挿校正式を付与できない限定使用の参照用力計の場合は、各校正点で見積もった標準偏差の平均値を基に評価する（7.2.5 項及び 8.7.2 項を参照）
3) 負荷の前後でのゼロ点の変動の不確かさ
4) 代替指示装置の不確かさ（参照用力計が、指示装置と一体のシステムでではなく、力変換器単体で校正される場合：ASTM E74 規格の X2 節を参照）

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。

3．2．二次標準の基準力計による、一軸試験機校正で参照標準とする参照用力計の校正における校正結果の不確かさ

二次標準の基準力計（ビルドアップ式またはコンパレータ式の力基準機）を用いて、一軸試験機の校正に参照標準として用いる参照用力計を校正する場合は、ASTM E74 規格の X1.5 節および X1.6 節に則って、前節で述べた二次標準の基準力計を校正した時の不確かさに加えて、次の不確かさ要因も考慮して評価する。

1) 二次標準の基準力計の経年変化（安定性）の不確かさ
2) 一次標準の力基準機による二次標準の基準力計の校正時との負荷伝達機構の特性の差異による不確かさ
3) 一次標準の力基準機による二次標準の基準力計の校正時との温度の差異による二次標準の感度とゼロ点の変動の不確かさ

4．JIS B 7721 に規定された負荷手順に則る場合

4．1．概要

JIS B 7721 に記述されている「指示誤差」は、校正された汎用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。汎用力計のユーザが校正された汎用力計を用いて力（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、末尾を参考にしていただきたい。

なお、参照標準であるおもり又は参照用力計の校正値の不確かさに関しては、「JCG203S11 JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド（質量/分銅等）」又は本文書の2章を参照されたい。

4．2．おもりを使用する場合の、参照値の不確かさの評価

4．2．1．概要

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。

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

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

空気浮力の補正 ρ_{air}/ρ_{wt} については、鋼製またはステンレス鋼製分銅では補正値自体の大きさが 1.5×10^{-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値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。

4．2．2．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。

$$u_{c_cal_wt} = \frac{1}{k}U_{_cal_wt} \tag{2}$$

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($u_{c_cal_wt1}$ + $u_{c_cal_wt2}$ + $u_{c_cal_wt3}$ + ･･･)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。

4．2．3．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。

$$u_{_wt_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal}-1}\sum_{i=1}^{n_{cal}}\left(\frac{W_{cal.i}-m_{Wcal}}{m_{Wcal}}\right)^2} \tag{3}$$

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。

4．2．4．汎用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}

汎用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 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 $U_{_gloc}$ から次式により計算する。

$$u_{c_gloc} = \frac{1}{k}U_{_gloc} \tag{4a}$$

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 Δg_{loc} から矩形分布を仮定して次式により推定する。

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

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。

4．2．5．力の作用方向と汎用力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ u_{aln}

汎用力計を校正装置に取り付けた時に、汎用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

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。

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 θ rad 傾く可能性があると推定される場合、傾きによる不確かさは、角度で θ 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。

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

4．2．6．参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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_wt}^{2} + u_{_wt_stb}^{2} + u_{c_gloc}^{2} + u_{_aln}^{2}} \tag{6}$$

4．3．参照用力計を使用する場合の、参照値の不確かさの評価

4．3．1．概要

参照標準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、参照用力計の校正結果の不確かさ、参照用力計使用時の温度変動の影響、参照用力計の感度の安定性と分解能、及び参照用力計の受感軸と汎用力計の受感軸との傾きである。

4．3．2．参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tsd}$

参照用力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{c_cal_tsd}$ は、参照用力計の 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

$$u_{c_cal_tsd} = \frac{1}{k} U_{_cal_tsd} \tag{7}$$

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

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ことも一法として考えられる。

4．3．3．参照用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 ℃～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 に基づけば汎用力計の校正は 10 ℃～35 ℃の温度範囲で各測定シリーズの温度変動が 2 ℃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、参照用力計の校正時の温度と参照用力計を使用して汎用力計を校正する際の温度とは、必ずしも一致しない。汎用力計を校正する際には、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明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、無視できない程度に温度差があれば、不確かさ要因として考慮する。

その上で、汎用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。

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。

$$u_{_tsd_tmp} = \frac{1}{\sqrt{3}}|\alpha|\left|\frac{\Delta t_{_cal_fg}}{2}\right| \tag{8}$$

ここに、α：参照用力計の相対温度感度係数

4．3．4．参照用力計の安定性の相対標準不確かさ u_{tsd_stb}

参照用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。

$$u_{_tsd_stb} = \sqrt{\frac{1}{n_{cal}-1}\sum_{i=1}^{n_{cal}}\left(\frac{X_{cal.i}-m_{Xcal}}{m_{Xcal}}\right)^2} \tag{9}$$

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 2×10^{-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。

4．3．5．参照用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、参照用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。

$$u_{_tsd_res} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \tag{10a}$$

備考：ディ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。

$$u_{_tsd_res} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \tag{10b}$$

4．3．6．参照用力計の受感軸と汎用力計の受感軸との傾きの相対標準不確かさ u_{aln}

汎用力計と参照用力計を直列にして校正装置に取り付けた時に、汎用力計の受感軸が参照用力計の受感軸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 φ rad 傾く可能性があると推定される場合、傾きによる不確かさは角度で φ rad の半幅の矩形分布を仮定して次式で評価する。

$$u_{_aln} = \frac{1}{\sqrt{3}}(1-\cos\varphi) \tag{11}$$

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。

4．3．7．参照値の相対合成標準不確かさ u_{c_ref}

参照標準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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_tsd}^{\ 2} + u_{_tsd_tmp}^{\ 2} + u_{_tsd_stb}^{\ 2} + u_{_tsd_res}^{\ 2} + u_{_aln}^{\ 2}} \tag{12a}$$

備考： 内挿校正式を有する参照用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 $u_{_tsd_apx}$ とみなす。この場合、参照値の相対合成標準不確かさ u_{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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_cal_tsd}^{\ 2} + u_{_tsd_tmp}^{\ 2} + u_{_tsd_stb}^{\ 2} + u_{_tsd_res}^{\ 2} + u_{_aln}^{\ 2} + u_{_tsd_apx}^{\ 2}} \tag{12b}$$

4．4．校正対象の汎用力計に起因する不確かさの評価

校正対象の汎用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_{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、被校正汎用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。参照標準に参照用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、被校正汎用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汎用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、校正される汎用力計が、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。

4．5．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} および汎用力計に起因する不確かさ u_{c_fg} から、汎用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。

$$U_{_cal_fg} = k\sqrt{u_{c_ref}^{\ 2} + u_{c_fg}^{\ 2}} \tag{13}$$

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。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。

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。

参考. 汎用力計を使用する際に考慮すべき不確かさ要因

以上で述べた汎用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汎用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) 汎用力計の分解能
4) 汎用力計の保持方法・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]。また、ケーブルのインダクタンス及びリアクタンスの影響により、異なる搬送波周波数において出力に差異を生じ得る。

[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ー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*

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。

Up To 5 kHz、IEEE Trans. Instrum. Meas.、**66** (6) 、pp. 1531–1537、2017。

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。

付属書 A（規定） 校正事業者が自ら組み立て評価する場合の、参照標準の力基準機が発生する校正力の不確かさの評価

A1. 実荷重式力基準機

JCSS 校正された重錘の質量値と重力加速度の公知の定数値を基に校正事業者が自ら組み立てる場合の、参照標準の実荷重式力基準機が発生する校正力の相対（合成）標準不確かさ w_1 は、以下の要因を考慮して評価する。

w_{mass}：重錘の質量の相対標準不確かさ

w_{grav}：重力加速度値の相対標準不確かさ

w_{bouy}：空気密度の変動による浮力の変動の相対標準不確かさ

w_{algn}：力の作用方向の傾きによる相対標準不確かさ

w_{oscl}：重錘の振動による遠心力の相対標準不確かさ

A1．1 重錘の質量の相対標準不確かさ w_{mass}

重錘の質量の不確かさは、質量の校正値の不確かさ、質量調整後の残差の不確かさ、長期安定性の不確かさ等の要因を考慮して評価する。

質量の校正値 M の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{mass_cal}}$ は、重錘の質量の JCSS 校正証明書に記載されている拡張不確かさ $U_{\mathrm{mass_cal}}$ と包含係数 k から次式により計算する。

$$w_{\mathrm{mass_cal}} = \frac{U_{\mathrm{mass_cal}} / M}{k} \tag{A1.1.1}$$

重錘の質量調整をしてもなお質量校正の不確かさを超えるような目標質量値からの有意な残差 d_{M} が残る場合で、かつ力基準機の使用時に残差を数値的に補正しない場合は、残差の相対値 d_{M}/M を残差の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{mass_dev}}$ として考慮に入れる。

$$w_{\mathrm{mass_dev}} = d_{\mathrm{M}} / M \tag{A1.1.2}$$

力基準機に内蔵（防塵のための風防を設置、一年を通して結露のない環境を維持など）された約 1 kg 以上の重錘については、30 年余りに渡る質量変化の相対値が（2～3）x10^{-6} 程度であって質量校正の一般的な相対拡張不確かさ(5～15)x10^{-6} に比べると有意な変化を示さなかったとの実例があり、通常は重錘質量の長期安定性の不確かさは無視してもよい。ただし、重錘の置かれた環境は力基準機ごとに異なるので、再校正した時に質量校正の不確かさを超えるような有意な質量変化 ΔM がある場合は、ΔM を全幅とする矩形分布を仮定して長期安定性の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{mass_stbl}}$ を評価し、この要因を考慮に入れる。

$$w_{\mathrm{mass_stbl}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\Delta M}{2} \tag{A1.1.3}$$

以上より重錘の質量の相対標準不確かさ w_{mass} は以下のように評価する。

$$w_{\mathrm{mass}} = \sqrt{w_{\mathrm{mass_cal}}^{\ 2} + w_{\mathrm{mass_dev}}^{\ 2} + w_{\mathrm{mass_stbl}}^{\ 2}} \tag{A1.1.4}$$

ただし上述のとおり、右辺の第二項と第三項は影響が小さいことが確認できれば無視してもよい。

A1．2 重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav}

重力加速度値の不確かさ評価については、「JCG23002 JCSS重力加速度値の使用に関する不確かさガイ

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。

ド」を参照する。重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav} は他の不確かさ要因に比べて比較的小さい場合が多く、影響が小さいことが確認できれば無視できる場合が多い。

【相対重力計による測定】

力基準機の設置場所の重力加速度値 g_{loc} を、相対重力計を用いて近隣の重力基準点との比較により測定した場合は、相対重力計による測定の不確かさと重錘の重心の標高等の要因を考慮して評価する。

重錘の重心の標高 H が不確かさ約 3 m 以内で決定されている場合は、標高の不確かさによる重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav_hdif} は 1×10^{-6} 以下であり、かつ重力加速度値 g_{loc} の測定の相対不確かさ w_{grav_meas} も通常は 1×10^{-6} 以下なので、重力加速度値は定数と見做してその不確かさは無視してもよい。

一方、重錘の重心の標高 H の標準不確かさ u_H が 3 m 程度を超える場合で、かつ高さ補正を行わない場合は、正規重力の鉛直勾配（γ' =0.3086 mGal·m^{-1} （注：1 mGal = 1×10^{-5} m/s^2））の値を使って、高さの不確かさによる相対標準不確かさ w_{grav_hdif} として、この要因を考慮に入れる。

$$w_{grav_hdif} = \frac{\gamma' u_H}{g_{loc}} \tag{A1.2.1}$$

以上より重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav} は以下のように評価する。

$$w_{grav} = \sqrt{w_{grav_meas}^{\ 2} + w_{grav_hdif}^{\ 2}} \tag{A1.2.2}$$

ただし上述のとおり、右辺の第一項と第二項共に、影響が小さいことが確認できれば無視できる場合がある。

【補間計算による推定】

力基準機の設置場所の重力加速度値 g_{gloc} を、近隣の重力基準点を参照して推定（補間計算）した場合は、相対推定の不確かさと重錘の重心の標高等の要因を考慮して評価する。

近隣の重力異常が比較的小さいと確認できている場合は、重力加速度値 g_{loc} の推定の相対不確かさ w_{grav_eval} は高々2×10^{-6} 程度なので、定数と見做してその不確かさは無視してもよい。

一方、重錘の重心の標高 H の標準不確かさ u_H が 3 m 程度を超える場合で、かつ高さ補正を行わない場合は、正規重力の鉛直勾配（γ' =0.3086 mGal·m^{-1}）の値を使って、高さの不確かさによる相対標準不確かさ w_{grav_hdif} として、この要因を考慮に入れる。

$$w_{grav_hdif} = \frac{\gamma' u_H}{g_{loc}} \tag{A1.2.1}$$

以上より重力加速度値の相対標準不確かさ w_{grav} は以下のように評価する。

$$w_{grav} = \sqrt{w_{grav_eval}^{\ 2} + w_{grav_hdif}^{\ 2}} \tag{A1.2.3}$$

ただし上述のとおり、右辺の第一項と第二項共に、影響が小さいことが確認できれば無視できる場合がある。

A1．3 空気密度の変動による浮力の変動の相対標準不確かさ w_{bouy}

重錘に働く空気浮力の変動の影響は以下のように評価する。空気密度は CIPM の国際式を簡略化した次式により計算する。

$$\rho_a = \frac{3.4851\,p - 0.008863\,h \times \exp(0.062\,t)}{273.15 + t} \tag{A1.3.1}$$

ここで、ρ_a ：空気密度[kg/m^3]、p：気圧[kPa]、h：相対湿度 [%]、t：温度[℃]である。

校正事業者が自らの校正実施条件として定めた気圧・湿度・温度の変動の上限及び下限から、空気密度は、

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。

気圧上限・湿度下限・温度下限において最大ρ_{a_max}となり、気圧下限・湿度上限・温度上限において最小ρ_{a_min}となる。典型的な校正実施条件では空気密度は相対値で数%程度変動する。空気密度の変動により重錘に働く浮力は一様にドリフトすると考えて矩形分布を適用すると、浮力の変動による相対標準不確かさ w_{bouy} は以下のように評価する。

$$w_{\mathrm{bouy}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{1.2}{8000}\right)\left(\frac{\rho_{\mathrm{a_max}} - \rho_{\mathrm{a_min}}}{(\rho_{\mathrm{a_max}} + \rho_{\mathrm{a_min}})/2}\right)\right\} \tag{A1.3.2}$$

A1．4 力の作用方向の傾きによる相対標準不確かさ w_{algn}

校正器物の力計を力基準機に設置する際には、力計の受感軸が力基準機の発生する校正力の方向に一致するように設置することが必要である。しかし、力基準機から力計まで力を伝達する機構は完全な剛体ではないので、負荷中に最大でθ rad の傾きが発生すると推定すると、力の作用方向の傾きによる相対標準不確かさ w_{algn} は、半幅θ rad の傾きの矩形分布を仮定して以下のように保守的に評価する。

$$w_{\mathrm{algn}} = \frac{1}{\sqrt{3}}(1-\cos\theta) \tag{A1.4.1}$$

A1．5 重錘の振動による遠心力の相対標準不確かさ w_{oscl}

校正器物の力計に重錘を負荷した後又は一部の重錘を除荷した後に、力計の出力を読み取っている間にも依然として重錘が振れ続けている（例えば目視でわかる程度に触れている）場合は、重錘の振動による遠心力の相対標準不確かさ w_{oscl} も考慮に入れる必要が生じる。

校正力 F_i を負荷した時に、重錘を支持する点から距離 L の位置に重心のある重錘が振幅 A で振れ続けている場合、最大で以下の遠心力 F_{cntf_max} が生じる。

$$\frac{F_{\mathrm{cntl_max}}}{F_i} = \left(\frac{A}{L}\right)^2 \tag{A1.5.1}$$

例えば、支持する点から重錘の重心までの距離 L が 1 m で、重錘の振幅 A が 4 mm の場合、遠心力 F_{cntf_max} は相対値で校正力 F_i の最大 1.6×10^{-5} と無視し難い程度になることがある。したがって、重錘が振れ続けている場合の振動による遠心力の相対標準不確かさ w_{oscl} は、この最大値を半幅とする矩形分布を仮定して以下のように保守的に評価する。

$$w_{oscl} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{F_{cntf_max}}{F_i}\right) \tag{A1.5.2}$$

ただし、この不確かさ要因は、重錘が負荷後又は一部の重錘の除荷後に振れ続けていなければ、影響が小さいことが確認できたとして無視してよい。

A1．6 校正力の相対合成標準不確かさ w_1

以上より実荷重式力基準機が発生する校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、次式で求められる。

$$w_1 = \sqrt{{w_{\mathrm{mass}}}^2 + {w_{\mathrm{grav}}}^2 + {w_{\mathrm{bouy}}}^2 + {w_{\mathrm{algn}}}^2 + {w_{\mathrm{oscl}}}^2} \tag{A1.6.1}$$

ただし上述のとおり、右辺の第二項と第五項は影響が小さいことが確認できれば無視してもよい。

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。

A2. 油圧式力基準機

参照標準の油圧式力基準機が発生する校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、A1節で述べた実荷重式力基準機についての不確かさ要因に加えて、以下の要因を考慮して評価する。

w_{amp}：力の増幅率の相対標準不確かさ

w_{amp_stbl}：力の増幅率の安定性の相対標準不確かさ

w_{amp_crct}：力の増幅率に適用する補正係数の相対標準不確かさ（補正係数を適用する場合）

A2. 1 力の増幅率の相対標準不確かさ w_{amp}

油圧式力基準機については、主ラムシリンダ及び計測ラムシリンダのそれぞれの有効断面積の計算に用いた直径の測定値の相対標準不確かさ w_{D1} と w_{D2} から力の増幅率の相対標準不確かさを次式により評価する。

$$w_{amp} = \sqrt{2\,w_{D1}^{\ 2} + 2\,w_{D2}^{\ 2}} \qquad \text{(A2.1.1)}$$

A2. 2 力の増幅率の安定性の相対標準不確かさ w_{amp_stbl}

当該の油圧式力基準機と力標準機又は実荷重式力基準機との比較を複数回繰り返した時に、参照値からの相対偏差 d が比較の不確かさを超えるような特段に有意な変動を示した場合には、d を全幅とする矩形分布を仮定して、力の増幅率の長期安定性の相対標準不確かさ w_{amp_stbl} として評価し、この要因を考慮に入れる。

$$w_{amps_stbl} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{d}{2} \qquad \text{(A2.2.1)}$$

ただし、この不確かさ要因は、特段に有意な変動を示していなければ、影響が小さいことが確認できたとして無視してよい。

A2. 3 力の増幅率に適用する補正係数の相対標準不確かさ w_{amp_crct}

当該の油圧式力基準機と力標準機又は実荷重式力基準機との比較測定に基づいて当該の油圧式力基準機の力の増幅率に補正係数を適用する場合、補正係数の相対標準不確かさ w_{amp_crct} は比較測定の相対合成標不確かさ w_{cmp} 程度と評価する。比較測定の相対合成標不確かさ w_{cmp} の評価では、参照する力標準機又は実荷重式力基準機（以下、参照する力標準機等と表記）による仲介器の力計の測定の相対標準不確かさ w_{ref} と比較対象の当該の油圧式力基準機（以下、当該の力基準機と表記）による仲介器の力計の測定の相対標準不確かさ w_{lab} とを、以下のように考慮する。

$$w_{amp_crct} = w_{comp} = \sqrt{w_{ref}^{\ 2} + w_{lab}^{\ 2}} \qquad \text{(A2.3.1)}$$

1 回の比較測定について相対合成標不確かさ w_{cmp} を評価する際には、先ず比較する各校正力において個々に不確かさを計算する。

w_{ref} は、仲介器の力計を参照する力標準機等で前後2回測定した結果 $\overline{X}_{ref_pre}$ と $\overline{X}_{ref_pst}$ の平均値（参照値）の相対合成標準不確かさであり、次式から計算される。

$$w_{ref} = \sqrt{(w_{ref_pre}^{\ 2} + 2\,w_{ref_pre}\,w_{ref_pst} + w_{ref_pst}^{\ 2})/4 + w_{drf}^{\ 2}} \qquad \text{(A2.3.2)}$$

ここに、

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。

$w_{\mathrm{ref_pre}}$：参照する力標準機等による前測定の結果の相対合成標準不確かさ

$w_{\mathrm{ref_pst}}$：参照する力標準機等による後測定の結果の相対合成標準不確かさ

w_{drf}：仲介器の力計の感度のドリフトの相対標準不確かさ

前測定及び後測定の結果の不確かさ $w_{\mathrm{ref_pre}}$ 及び $w_{\mathrm{ref_pst}}$の評価では、前測定・後測定のそれぞれについて「参照する力標準機等による力の単位実現の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{fsm_ref}}$」、「参照する力標準機等での仲介器の力計の測定値のばらつきによる相対標準不確かさw_{rep}（$w_{\mathrm{rep_pre}}$又は$w_{\mathrm{rep_pst}}$）」、「仲介器の力計の分解能の相対標準不確かさw_{res}（$w_{\mathrm{res_pre}}$又は$w_{\mathrm{res_pst}}$）」を考慮に入れるが、「負荷の前後での零点変化の差異による不確かさ$w_{\mathrm{zer_dif}}$」と「ヒステリシスの差異による不確かさ$w_{\mathrm{hys_dif}}$」は当該の力基準機による校正結果の不確かさの側で考慮する。

$$w_{\mathrm{ref_pre}} = \sqrt{w_{\mathrm{fsm_ref}}^{2} + w_{\mathrm{rep_pre}}^{2} + w_{\mathrm{res_pre}}^{2}} \tag{A2.3.3a}$$

$$w_{\mathrm{ref_pst}} = \sqrt{w_{\mathrm{fsm_ref}}^{2} + w_{\mathrm{rep_pst}}^{2} + w_{\mathrm{res_pst}}^{2}} \tag{A2.3.3b}$$

参照する力標準機等による力の単位実現の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{fsm_ref}}$ の値は、参照機関から提供を受ける。例えば NMIJ が維持・管理する力基準機の場合は以下のとおりである。

$$w_{\mathrm{fsm_ref}} = 0.00054\ \%\ \text{（実荷重式力標準機）} \tag{A2.3.4a}$$

$$w_{\mathrm{fsm_ref}} = 0.0040\ \%\ \text{（1 MN こうかん式力標準機、20 MN 油圧式力標準機）} \tag{A2.3.4b}$$

$$w_{\mathrm{fsm_ref}} = 0.0043\ \%\ \text{（5 MN 油圧式力標準機）} \tag{A2.3.4c}$$

参照する力標準機等による前測定あるいは後測定における仲介器の力計の測定値のばらつきによる相対標準不確かさ w_{rep}（$w_{\mathrm{rep_pre}}$ 又は $w_{\mathrm{rep_pst}}$）は、次式で評価する。

$$w_{\mathrm{rep}} = \sqrt{\frac{1}{nm(nm-1)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{X_{ij}-\overline{X}}{\overline{X}}\right)^{2}} \tag{A2.3.5}$$

ここに、

n：仲介器の力計の設置方向の数

m：各設置方向での校正サイクルの繰り返し回数（通常は 1 回とする場合が多い）

X_{ij}：参照する力標準機等による前測定あるいは後測定における i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルでの力計の出力

$\overline{X}$：参照する力標準機等による前測定あるいは後測定における $n \times m$ 回の測定値 Xij の平均値

仲介器の力計の分解能の相対標準不確かさ w_{res}（$w_{\mathrm{res_pre}}$ 又は $w_{\mathrm{res_pst}}$）は、参照する力標準機等による前測定あるいは後測定のそれぞれについて、次式で評価する。

$$w_{\mathrm{res}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{\mathrm{r}}}{2}\right) \tag{A2.3.6}$$

ここに、

f_{r}：仲介器の力計の最小桁の1増分を各負荷で除した相対分解能。ただし、無負荷状態における零点の変動が

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。

指示装置の最小桁の1増分より大きい場合は、零点変動の全振幅（Peak-to-peak）を各負荷で除した相対値。

仲介器の力計の感度のドリフトの相対標準不確かさ w_{drf}は、参照する力標準機等による前後測定の結果 $\overline{X}_{\mathrm{ref_pre}}$と $\overline{X}_{\mathrm{ref_pst}}$から、次式で評価する。

$$w_{\mathrm{drf}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|\frac{\overline{X}_{\mathrm{ref_pre}} - \overline{X}_{\mathrm{ref_pst}}}{\overline{X}_{\mathrm{ref_pre}} + \overline{X}_{\mathrm{ref_pst}}}\right| \tag{A2.3.7}$$

w_{lab} は、仲介器の力計を当該の力基準機で校正した結果 $\overline{X}_{\mathrm{lab}}$ の相対合成標準不確かさであり、「当該の力基準機での仲介器の力計の測定値のばらつきによる相対標準不確かさ $w_{\mathrm{rep_lab}}$」及び「当該の力基準機による校正時の仲介器の力計の分解能による不確かさ $w_{\mathrm{res_lab}}$」、「参照する力標準機等と当該の力基準機とによる測定における負荷の前後での零点変化の差異による不確かさ $w_{\mathrm{zer_dif}}$」、「参照する力標準機等と当該の力基準機とによる測定におけるヒステリシスの差異による不確かさ $w_{\mathrm{hys_dif}}$」を考慮し、次式で計算する。

$$w_{\mathrm{lab}} = \sqrt{w_{\mathrm{rep_lab}}^{2} + w_{\mathrm{res_lab}}^{2} + w_{\mathrm{zer_dif}}^{2} + w_{\mathrm{hys_dif}}^{2}} \tag{A2.3.8}$$

当該の力基準機での仲介器の力計の測定値のばらつきによる相対標準不確かさ $w_{\mathrm{rep_lab}}$は、(A2.3.5)式と同様に、次式で評価する。

$$w_{\mathrm{rep_lab}} = \sqrt{\frac{1}{nm(nm-1)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{X_{\mathrm{lab}\,ij} - \overline{X}_{\mathrm{lab}}}{\overline{X}_{\mathrm{lab}}}\right)^{2}} \tag{A2.3.9}$$

ここに、

n: 仲介器の力計の設置方向の数

m: 各設置方向での校正サイクルの繰り返し回数（通常は 1 回とする場合が多い）

$X_{\mathrm{lab}\,ij}$: 当該の力基準機による測定における i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルでの力計の出力

$\overline{X}_{\mathrm{lab}}$: 参照する力標準機等による前測定あるいは後測定における $n \times m$ 回の測定値 $X_{\mathrm{lab}\,ij}$ の平均値

当該の力基準機による校正時の仲介器の力計の分解能による不確かさ $w_{\mathrm{res_lab}}$は、(A2.3.6)式と同様に、次式で評価する。

$$w_{\mathrm{res_lab}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{\mathrm{r_lab}}}{2}\right) \tag{A2.3.10}$$

ここに、

$f_{\mathrm{r_lab}}$: 仲介器の力計の最小桁の1増分を各負荷で除した相対分解能。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、零点変動の全振幅（Peak-to-peak）を各負荷で除した相対値。

参照する力標準機等と当該の力基準機とによる測定における負荷の前後での零点変化の差異による不確かさ $w_{\mathrm{zer_dif}}$ は、次式で評価する。

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。

$$w_{\mathrm{zer_dif}} = \left| \frac{b_{0_\mathrm{lab}}}{3} - \frac{b_{0_\mathrm{ref}}}{3} \right| \tag{A2.3.11}$$

ここに、

b_{0_ref}：仲介器の力計を参照する力標準機等で校正した時の、負荷の前後での零点の差異を最大校正力での出力 X_{N} で除した相対値を全校正サイクルについて平均した値を、更に前測定と後測定について平均した値

b_{0_lab}：仲介器の力計を当該の力基準機で校正した時の、負荷の前後での零点の差異を最大校正力での出力 X_{N} で除した相対値を全校正サイクルについて平均した値

であり、それぞれ次式で与えられる。

$$b_{0_\mathrm{ref}} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(X_{0}{}'_{\mathrm{pre}_ij} - X_{0\,\mathrm{pre}_ij}\right)}{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{N\,pre}_ij}} + \frac{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(X_{0}{}'_{\mathrm{pst}_ij} - X_{0\,\mathrm{pst}_ij}\right)}{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{N\,pst}_ij}} \right\} \tag{A2.3.12}$$

ここに、

$X_{0\mathrm{pre}_ij_}$：参照する力標準機等による前測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷前の零点での力計の出力

$X_{0}{}'_{\mathrm{pre}_ij_}$：参照する力標準機等による前測定、$i$ 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷後の零点での力計の出力

$X_{\mathrm{Npre}_ij_}$：参照する力標準機等による前測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける最大校正力での力計の出力

$X_{0\mathrm{pst}_ij_}$：参照する力標準機等による後測定、i番目の設置方向、j番目の校正サイクルにおける負荷前の零点での力計の出力

$X_{0}{}'_{\mathrm{pst}_ij_}$：参照する力標準機等による後測定、$i$ 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷後の零点での力計の出力

$X_{\mathrm{Npst}_ij_}$：参照する力標準機等による後測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける最大校正力での力計の出力

$$b_{0_\mathrm{lab}} = \frac{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(X_{0}{}'_{ij_\mathrm{lab}} - X_{0\,ij_\mathrm{lab}}\right)}{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{N}\,ij_\mathrm{lab}}} \tag{A2.3.13}$$

ここに、

$X_{0\mathrm{lab}_ij_}$：当該の力基準機による後測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷前の零点での力計の出力

$X_{0}{}'_{\mathrm{lab}_ij_}$：当該の力基準機による後測定、$i$ 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷後の零点での力計の出力

$X_{\mathrm{Nlab}_ij_}$：当該の力基準機による後測定 i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける最大校正力での力計の出力

参照する力標準機等と当該の力基準機とによる測定におけるヒステリシスの差異による不確かさ $w_{\mathrm{hys_dif}}$ は、次式で評価する。

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。

$$w_{\mathrm{hys_dif}} = \left| \frac{\nu_{\mathrm{lab}}}{3} - \frac{\nu_{\mathrm{ref}}}{3} \right| \tag{A2.3.14}$$

ここに、

ν_{ref}：仲介器の力計を参照する力標準機等で校正した時の、当該の校正力における負荷の増加時と減少時の力計の出力 X と X' との差を負荷の増加時の当該の負荷での出力 X で除した相対値を全校正サイクルについて平均した値、更に前測定と後測定について平均した値

ν_{lab}：仲介器の力計を当該の力基準機で校正した時の、当該の校正力における負荷の増加時と減少時の力計の出力 X と X' との差を負荷の増加時の当該の負荷での出力 X で除した相対値を、全校正サイクルについて平均した値であり、それぞれ次式で与えられる。

$$\nu_{\mathrm{ref}} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(X'_{\mathrm{pre}_ij} - X_{\mathrm{pre}_ij} \right)}{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{pre}_ij}} + \frac{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(X'_{\mathrm{pst}_ij} - X_{\mathrm{pst}_ij} \right)}{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{pst}_ij}} \right\} \tag{A2.3.15}$$

ここに、

$X_{\mathrm{pre}_ij_}$：参照する力標準機等による前測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の増加時の当該の校正力での力計の出力

$X'_{\mathrm{pre}_ij_}$：参照する力標準機等による前測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の減少時の当該の校正力での力計の出力

$X_{\mathrm{pst}_ij_}$：参照する力標準機等による後測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の増加時の当該の校正力での力計の出力

$X'_{\mathrm{pst}_ij_}$：参照する力標準機等による後測定、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の減少時の当該の校正力での力計の出力

$$\nu_{\mathrm{lab}} = \frac{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(X'_{\mathrm{lab}_ij} - X_{\mathrm{lab}_ij} \right)}{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} X_{\mathrm{lab}_ij}} \tag{A2.3.16}$$

ここに、

$X_{\mathrm{lab}_ij_}$：当該の力基準機による校正、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の増加時の当該の校正力での力計の出力

$X'_{\mathrm{pre}_ij_}$：当該の力基準機による校正、i 番目の設置方向、j 番目の校正サイクルにおける負荷の減少時の当該の校正力での力計の出力

以上より、1 回の比較測定における各校正力での相対合成標不確かさ w_{cmp} が、(A2.3.1)式により求められる。

次に、各校正力 F_k で求めた比較測定の相対合成標不確かさ w_{cmp_k} をすべての校正力に対してプロットし、最小二乗法により校正力 F_k ー 相対合成標準不確かさ w_{cmp_k} の最良近似曲線を決定する。近似曲線の形は 2 次式（双曲線）を基本とするが他の多項式でもよい。この最良近似曲線で計算される値を、改めてそれぞれの校正力における相対合成標準不確かさ w_{cmp} とする。ただし、最良近似曲線で計算される値が、各校正力における校正値の相対合成標準不確かさのうちの最小値を下回る場合は、最小値を w_{cmp} の下限値として適用する。

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。

A2．4 校正力の相対合成標準不確かさ w_1

以上より油圧式力基準機が発生する校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、前節で実荷重式力基準機について考慮した不確かさ要因に加えて、本節で述べた要因も考慮して次式で求める。

$$w_1 = \sqrt{(w_{\mathrm{mass}}{}^2 + w_{\mathrm{grav}}{}^2 + w_{\mathrm{bouy}}{}^2 + w_{\mathrm{algn}}{}^2 + w_{\mathrm{oscl}}{}^2) + (w_{\mathrm{amp}}{}^2 + w_{\mathrm{amp_stbl}}{}^2 + w_{\mathrm{amp_crct}}{}^2)} \qquad \text{(A2.4.1)}$$

ただし上述のとおり、右辺の第二項・第五項・第七項は影響が小さいことが確認できれば無視してもよいし、第八項は力の増幅率に補正係数を適用しないなら考慮しなくてよい。

A3．こうかん式力基準機

参照標準のこうかん式力基準機が発生する校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、油圧式力基準機と同様に、A1節で述べた実荷重式力基準機についての不確かさ要因に加えて、以下の要因を考慮して評価する。

w_{amp}：こうかん比の相対標準不確かさ

$w_{\mathrm{flc_sens}}$：支点感度の相対標準不確かさ

$w_{\mathrm{amp_stbl}}$：こうかん比の安定性の相対標準不確かさ

$w_{\mathrm{amp_crct}}$：こうかん比に適用する補正係数の相対標準不確かさ（補正係数を適用する場合）

A3．1 こうかん比の相対標準不確かさ w_{amp}

こうかん式力基準機については、こうかんの力点と支点間の長さ L_1 及び支点と作用点間の長さ L_2 の測定値の相対標準不確かさ w_{L1} と w_{L2} からこうかん比の相対標準不確かさ w_{amp} を次式により評価する。

$$w_{\mathrm{amp}} = \sqrt{w_{\mathrm{L1}}{}^2 + w_{\mathrm{L2}}{}^2} \qquad \text{(A3.1.1)}$$

複こうかん式の場合は、こうかんの各段の全ての長さの測定値の相対標準不確かさを二乗和の平方根で足し合わせて考慮する。

なお、こうかん比をこうかんの各部の寸法測定の結果から求めずに、力標準機又は実荷重式力基準機との比較により求める場合は、後述の A3．4項に示すこうかん比に適用する補正係数の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_crct}}$ を評価するのと同様の方法で、こうかん比の相対標準不確かさ w_{amp} を評価する。

A3．2 支点感度の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{flc_sens}}$

合計の質量が M の増しおもりにいくつかの異なる質量の微小分銅を載せて、支点の不感帯の大きさ（感度限界）を評価する。感度限界に当たる微小分銅の質量を m とすると、m/M を全幅とする矩形分布を仮定して支点感度の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{flc_sens}}$ を次式により評価する。

$$w_{\mathrm{flc_sens}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(m/M)}{2} \qquad \text{(A3.2.1)}$$

なお、こうかん比をこうかんの各部の寸法測定の結果から求めずに、力標準機又は実荷重式力基準機との比較により求める場合は、この要因は考慮しなくてよい。

A3．3 こうかん比の安定性の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_stbl}}$

当該のこうかん式力基準機と力標準機又は実荷重式力基準機との比較を複数回繰り返した時に、参照値からの相対偏差 d が比較の不確かさを超えるような有意な変動を示した場合には、d を全幅とする矩形分布を仮定して力の増幅率の長期安定性の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_stbl}}$ として評価し、この要因を考慮に入れる。

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。

$$w_{\mathrm{amps_stbl}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{d}{2} \tag{A3.3.1}$$

特に使用頻度の高いこうかん式力基準機については、この不確かさ要因の影響について確認しないまま最初から無視してはいけない。一方、特段に有意な変動を示していなければ、影響が小さいことが確認できたとして無視してよい。

A3．4 こうかん比に適用する補正係数の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_crct}}$

当該のこうかん式力基準機を力標準機又は実荷重式力基準機と比較して、こうかん比の補正係数を求めて適用する場合は、こうかん比に適用する補正係数の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_crct}}$ を、A2．3項に示したのと同様の方法で評価し、この要因を考慮に入れる。

A3．5 校正力の相対合成標準不確かさ w_1

以上よりこうかん式力基準機が発生する校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、A1節で実荷重式力基準機について考慮した不確かさ要因に加えて、本節で述べた要因も考慮して次式で求める。

$$w_1 = \sqrt{(w_{\mathrm{mass}}{}^2 + w_{\mathrm{grav}}{}^2 + w_{\mathrm{bouy}}{}^2 + w_{\mathrm{algn}}{}^2 + w_{\mathrm{oscl}}{}^2) + (w_{\mathrm{amp}}{}^2 + w_{\mathrm{flc_sens}}{}^2 + w_{\mathrm{amp_stbl}}{}^2 + w_{\mathrm{amp_crct}}{}^2)} \tag{A3.5.1}$$

ただし上述のとおり、右辺の第二項・第五項・第七項・第八項は影響が小さいことが確認できれば無視してもよいし、第九項は力の増幅率に補正係数を適用しないなら考慮しなくてよい。しかし、使用頻度の高いこうかん式力基準機の場合、第八項はその影響について確認しないまま最初から無視してはいけない。

一方、こうかん比を力標準機又は実荷重式力基準機との比較により求めている場合は、A2．3項に示したのと同様の方法で評価した相対標準不確かさ $w_{\mathrm{amp_crct}}$ が力の増幅率の相対標準不確かさ w_{amp} になるので、校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は次式により評価する。

$$w_1 = \sqrt{(w_{\mathrm{mass}}{}^2 + w_{\mathrm{grav}}{}^2 + w_{\mathrm{bouy}}{}^2 + w_{\mathrm{algn}}{}^2 + w_{\mathrm{oscl}}{}^2) + (w_{\mathrm{amp}}{}^2 + w_{\mathrm{amp_stbl}}{}^2)} \tag{A3.5.2}$$

ただし上述のとおり、右辺の第二項・第五項・第七項は影響が小さいことが確認できれば無視してもよい。

A4．ビルドアップ式力基準機

JCSS 校正された基準力計を参照する、参照標準のビルドアップ式力基準機が発生する校正力の相対（合成）標準不確かさ w_1 は、以下の要因を考慮して評価する。

$w_{\mathrm{reftra_cal}}$：基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ（ヒステリシスの不確かさ $w_{\mathrm{reftra_hys}}$ を含む）

$w_{\mathrm{reftra_res}}$：基準力計の分解能の相対標準不確かさ

$w_{\mathrm{reftra_stbl}}$：基準力計の安定性の相対標準不確かさ

$w_{\mathrm{reftra_tmp}}$：基準力計の使用時の温度変化による相対標準不確かさ

w_{algn}：基準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

A4．1 基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_cal}}$

基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_cal}}$ は、基準力計の JCSS 校正証明書に記載されている相対拡張不確かさ $W_{\mathrm{reftra_cal}}$ と包含係数 k から次式により計算する。$W_{\mathrm{reftra_cal}}$ は、各校正力ごとに

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。

$$w_{\mathrm{reftra_cal}} = \frac{W_{\mathrm{reftra_cal}}}{k} \tag{A4.1.1}$$

で計算する。

備考: $W_{\mathrm{reftra_cal}}$ 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 $W_{\mathrm{reftra_cal}}$ の最大値をその範囲で一律の不確かさとすることも一法である。

なお、基準力計の JCSS 校正を依頼する際に選択が可能なら、ヒステリシスの不確かさを校正の不確かさに含めるように依頼する。基準力計の JCSS 校正の結果の不確かさにヒステリシスの不確かさを含めることが出来ない場合は、ヒステリシスの不確かさ $w_{\mathrm{reftra_rev}}$ を、校正の際に得られる相対往復誤差 ν の値から JIS B 7728 の C.2.4 節に従って自ら評価し、次式のとおり基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_cal}}$ に加える。

$$w_{\mathrm{reftra_cal}} = \sqrt{\left(\frac{W_{\mathrm{reftra_cal}}}{k}\right)^2 + w_{\mathrm{reftra_rev}}{}^2} \tag{A4.1.2}$$

A4．2 基準力計の分解能の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_res}}$

基準力計の分解能の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_res}}$ は、基準力計の指示値の最小桁の1増分を当該校正力で除した相対値 $f_{\mathrm{r_reftra}}$ 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値の最小桁の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 $f_{\mathrm{r_reftra}}$ とする。

$$w_{\mathrm{reftra_res}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{\mathrm{r_reftra}}}{2}\right) \tag{A4.2.1}$$

$f_{\mathrm{r_lab}}$: 仲介器の力計の最小桁の1増分を各負荷で除した相対分解能。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、零点変動の全振幅（Peak-to-peak）を各負荷で除した相対値。

備考: ディ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校正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、ゼロ点での分解能と当該校正力での分解能の両方の影響を考慮する。

A4．3 基準力計の安定性の相対標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_stbl}}$

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

$$w_{\mathrm{reftra_stbl}} = \sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}-1}\sum_{i=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\frac{X_{\mathrm{cal}.i} - \overline{X}_{\mathrm{cal}}}{\overline{X}_{\mathrm{cal}}}\right)^2} \tag{A4.3.1}$$

ここに、

$\overline{X}_{\mathrm{cal}}$: n_{cal} 回の校正値 $X_{\mathrm{cal}.i}$ 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

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。

ては、基準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 2×10^{-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。

A4．4 基準力計の使用時の温度変化による相対標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_tmp}}$

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基準力計の校正を行うことを規定しているが、基準力計が校正された時の温度と基準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基準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 ΔT の影響を評価する。温度変動による相対標準不確かさ $w_{\mathrm{reftra_tmp}}$ 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。

$$w_{\mathrm{reftra_tmp}} = \frac{1}{\sqrt{3}}|\alpha|\left|\frac{\Delta T}{2}\right| \tag{A4.4.1}$$

ここに、

α :基準力計の相対温度感度係数（自ら評価するかあるいは基準力計の製造者が提示する仕様を参照する）

A4．5 基準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 w_{algn}

校正器物の力計と基準力計を直列にして校正装置に取り付けた時に、力計の受感軸が基準力計の受感軸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 ϕ rad 傾く可能性があると推定される場合、傾きによる不確かさは角度で ϕ rad の傾きの矩形分布を仮定して以下のように保守的に評価する。

$$w_{\mathrm{algn}} = \frac{1}{\sqrt{3}}(1-\cos\phi) \tag{A4.5.1}$$

A4．6 校正力の相対合成標準不確かさ w_1

以上より基準力計を参照するビルドアップ式力基準機による校正力の相対合成標準不確かさ w_1 は、本節で述べた要因を考慮して、次式で求める。

$$w_1 = \sqrt{w_{\mathrm{reftra_cal}}^2 + w_{\mathrm{reftra_res}}^2 + w_{\mathrm{reftra_stb}}^2 + w_{\mathrm{reftra_tmp}}^2 + w_{\mathrm{algn}}^2} \tag{A4.6.1}$$

なお、同一型式・同一容量の力計を 3 台並列に組んで基準力計とする場合は、当該力計を校正事業に導入する際に少なくとも一度は、並列に組むことによる影響が有意でないことを確認しておくこと。すなわち、短期間のうちに 3 台の力計をそれぞれ単体で校正すると共に 3 台並列に組んだ状態でも校正を受け、単体で校正した結果の和算と並列に組んだ状態での結果とに、校正の相対拡張不確かさを超えるような有意な差異がないことを確認しておくこと。もし有意な差異（相対値で d_{bldup}）が認められる場合は、3 台並列に組んだことによる相対不確かさを次式で評価し、(A4.6.3)式のとおりビルドアップ式力基準機による校正力の相対合成標準不確かさ w_1 に加える。

$$w_{\mathrm{bldup}} = \frac{1}{\sqrt{3}}d_{\mathrm{bldup}} \tag{A4.6.2}$$

$$w_1 = \sqrt{w_{\mathrm{reftra_cal}}^2 + w_{\mathrm{reftra_res}}^2 + w_{\mathrm{reftra_stb}}^2 + w_{\mathrm{reftra_tmp}}^2 + w_{\mathrm{algn}}^2 + w_{\mathrm{bldup}}^2} \tag{A4.6.3}$$

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。

付属書B（参考） 力基準機の相互比較の不確かさの評価

力基準機の定期管理としては、

(1) 力基準機の定格容量に対応する管理用力計を毎年校正して、力基準機の経年変化を監視する方法があり、この手順は中間チェックとして必須である。これに加えて、複数の力基準機を保有している場合は、

(2) 2 基の力基準機の間で、重なる力範囲で管理用力計を仲介器として、2.5 年～3 年毎を目安に相互比較し整合性を確認する方法

も併せて実施することが望ましい。

その際、相互比較の不確かさは、B2．3項を参照して、比較する一方の力基準機を「参照する力標準機等」、他方を「当該の力基準機」と見做して計算するとよい。

B1．はじめに

力計の登録校正事業者が保有する力基準機は、参照用力計をトランスファ標準器として使用して、特定標準器である力標準機との間で比較測定を行うことによりその不確かさが評価される。力標準機と力基準機との比較測定における不確かさの評価方法は、各登録校正事業者における力基準機の群管理のための力基準機間の相互比較における不確かさの評価にも適用できるので、参考のために本付属書Bに示す。

B2．参照値の不確かさ

力標準機によるトランスファ標準器の校正で得られる参照値の不確かさ要因には、力標準機に起因する要因とトランスファ標準器に起因する要因がある。

B2．1 力標準機による力の単位実現の不確かさ

力標準機による力の単位実現の不確かさは、分銅の質量の校正値の不確かさ・設置場所の重力加速度の不確かさ・増幅率の不確かさ（増幅機構を有する場合）等の諸要因を精密に評価することにより決定され、力標準機相互の比較（群管理）や諸外国の力標準機との国際比較により確認される。産業技術総合研究所計量標準総合センターが保有する実荷重式・こうかん式・油圧式の力標準機の不確かさは、相対合成標準不確かさ u_{c_fsm} で以下のように評価されている。

実荷重式力標準機: u_{c_fsm}= 0.0010 % (B1)

こうかん式力標準機: u_{c_fsm}= 0.0050 % (B2)

油圧式力標準機: u_{c_fsm}= 0.0050 % (B3)

B2．2 トランスファ標準器に起因する不確かさ

トランスファ標準器に起因する不確かさ要因としては、測定値のばらつき、指示装置の分解能、力標準機による前後2回の校正で明らかになるトランスファ標準器の感度ドリフト、が挙げられる。また、トランスファ標準器の零点の変化及びヒステリシスも考慮する必要があるが、これらの要因の影響はB3節で取り上げる。

B2．2．1 再現性（設置変更あり）の相対標準不確かさ u_{tsd_rep}

測定値のばらつきの影響は、トランスファ標準器の設置方向を m 回変更しかつ各設置方向で各々n 回の負荷サイクルを繰り返して測定した$m \times n$個の測定値X_{ij}から、タイプAの不確かさとして、負荷ステップ毎に次式で評価する。

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。

$$u_{_tsd_rep} = \sqrt{\frac{1}{mn(mn-1)}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{X_{ij}-m_X}{m_X}\right)^2} \tag{B4}$$

ここに、m_X：各負荷ステップでの $m \times n$ 回の測定値 X_{ij} の平均値

B2．2．2 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、トランスファ標準器の指示装置の最小桁の1増分を各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。

$$u_{_tsd_res} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \tag{B5a}$$

備考： ディジタル表示で指示が変動している場合の変動幅とは、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、各負荷ステップでの測定値が、その負荷ステップ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トランスファ標準器の場合は、分解能の影響を二重に考慮する。

$$u_{_tsd_res} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \tag{B5b}$$

B2．2．3 感度ドリフトによる相対標準不確かさ $u_{_tsd_drf}$

力基準機を力標準機と比較する際には、力基準機によるトランスファ標準器の測定（いわゆる「現地校正」）の前と後に力標準機によりトランスファ標準器を校正し（いわゆる「前校正」と「後校正」）、その平均をとって参照値としている。感度の変動は矩形分布に従うと仮定すると、感度ドリフトの影響は次式で評価される。

$$u_{_tsd_drf} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|\frac{b_{_tsd_drf}}{2}\right| \tag{B6}$$

ここに、$b_{_tsd_drf}$：力標準機による前後2回のトランスファ標準器の校正値の差、すなわち比較測定期間中の感度の変動幅を各校正力で除した相対値

B2．2．4 トランスファ標準器に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_tsd}

B2．2．1項からB2．2．3項で述べた要因を考慮すれば、トランスファ標準器に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_tsd} は次式で与えられる。

$$u_{c_tsd} = \sqrt{u_{_tsd_rep}^{\ 2} + u_{_tsd_res}^{\ 2} + u_{_tsd_drf}^{\ 2}} \tag{B7}$$

B2．3 力標準機によるトランスファ標準器の校正で得られる参照値の不確かさ

力標準機自体の不確かさ及びトランスファ標準器に起因する不確かさから、力標準機によるトランスファ標準器の校正で得られる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。

$$u_{c_ref} = \sqrt{u_{c_fsm}^{\ 2} + u_{c_tsd}^{\ 2}} \tag{B8}$$

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。

B3. 力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ

力基準機でトランスファ標準器を測定する際の測定値の不確かさ要因としては、測定値のばらつき、指示装置の分解能、トランスファ標準器の零点変化の差異、トランスファ標準器のヒステリシスの差異、が挙げられる。更にビルドアップ式力基準機の場合は、これらの要因に加えて基準力計の使用に伴う不確かさ要因も考慮する必要がある。

B3. 1 再現性（設置変更あり）の相対標準不確かさ $u_{_fcm_rep}$

測定値のばらつきの影響は、トランスファ標準器の設置方向を m 回変更しかつ各設置方向で各々n 回の負荷サイクルを繰り返して測定した $m \times n$ 個の測定値 X_{ij} から、タイプAの不確かさとして、各負荷ステップ毎に次式で評価する。

$$u_{_fcm_rep} = \sqrt{\frac{1}{mn(mn-1)}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{X_{ij}-m_X}{m_X}\right)^2} \qquad \text{(B9)}$$

ここに、m_X：各負荷ステップでの $m \times n$ 回の測定値 X_{ij} の平均値

B3. 2 分解能の相対標準不確かさ $u_{_fcm_res}$

分解能の相対標準不確かさ $u_{_fcm_res}$ は、トランスファ標準器の指示装置の最小桁の1増分を各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} とみなす。

$$u_{_fcm_res} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \qquad \text{(B10a)}$$

備考： ディジタル表示で指示が変動している場合の変動幅の考え方は、B2. 2. 2の備考を参照。

なお、各負荷ステップでの測定値が、その負荷ステップ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トランスファ標準器の場合は、分解能の影響を二重に考慮する。

$$u_{_tsd_res} = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\frac{f_{r_tsd}}{2}\right) \qquad \text{(B10b)}$$

B3. 3 負荷の前後での零点変化の差異による相対標準不確かさ $u_{_fcm_zer}$

トランスファ標準器を力標準機で校正する場合においても、力基準機で測定する場合においても、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。力標準機での校正時の零点の変化量と力基準機での測定時の零点の変化量との差をとれば、トランスファ標準器に固有の影響はほとんど相殺されて、零点の変化に関する力標準機に対する力基準機の差異による影響が評価できると考えられる。

ここでは、各負荷サイクルにおける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 3 σに相当するような正規分布に従うものと仮定する。零点の変化に関する力標準機に対する力基準機の差異による影響は次式で評価される。

$$u_{_fcm_zer} = \left|\frac{b_{0_fcm}}{3} - \frac{b_{0_fsm}}{3}\right| \qquad \text{(B11)}$$

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。

ここに、b_{0_fcm}：トランスファ標準器を力基準機で測定する場合について、負荷前と負荷後の零点の変化量を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

b_{0_fsm}：トランスファ標準器を力標準機で校正する場合について、負荷前と負荷後の零点の変化量を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

備考：各設置方向を均等に扱うため、各設置方向各々n回の負荷サイクルの測定値全てを平均していることに注意。

B3．4 ヒステリシスによる相対標準不確かさ $u_{_fcm_hys}$

トランスファ標準器を力標準機で校正する場合においても、力基準機で測定する場合においても、各負荷ステップにおいて校正力が増加する場合と減少する場合とで、力計の指示装置の示す値には差異が生じる。各負荷ステップにおける力標準機での校正時のヒステリシスと力基準機での測定時のヒステリシスとの差をとれば、トランスファ標準器自体のヒステリシスの影響はほとんど相殺されて、ヒステリシスに関する力標準機に対する力基準機の差異による影響が評価できると考えられる。ただし、力標準機での校正時と力基準機での測定時に負荷速度を可能な限り一致させておくことが肝要である。

ここでは、校正力増加時のトランスファ標準器の指示値は、増加時の各負荷ステップでの測定値を中心として集中的に分布しており、各負荷ステップでの増加時の測定値と減少時の測定値との差が 3σに相当するような正規分布に従うものと仮定する。同様に、校正力減少時のトランスファ標準器の指示値は、減少時の各負荷ステップでの測定値中心として集中的に分布しており、各負荷ステップでの増加時の測定値と減少時の測定値との差が 3σに相当するような正規分布に従うものと仮定する。ヒステリシスに関する力標準機に対する力基準機の差異による影響は次式で評価される。

$$u_{_fcm_hys} = \left| \frac{\nu_{_fcm}}{3} - \frac{\nu_{_fsm}}{3} \right| \qquad \text{(B12)}$$

ここに、$\nu_{_fcm}$：トランスファ標準器を力基準機で測定する場合について、各負荷ステップにおいて校正力の増加時と減少時の指示値の差を各校正力で除した相対値を、全負荷サイクルについて平均した値

$\nu_{_fsm}$：トランスファ標準器を力標準機で校正する場合について、各負荷ステップにおいて校正力の増加時と減少時の指示値の差を各校正力で除した相対値を、全負荷サイクルについて平均した値

B3．5 参照値からの偏差の相対標準不確かさ $u_{_fcm_dev}$

トランスファ標準器を力基準機で測定した時の測定値には、力標準機で得られる参照値に対していくらかの差異がある。この参照値からの偏差の影響は、差異自体が正規分布の標準偏差（1σ）に相当すると見なして次式で評価する。

$$u_{_fcm_dev} = \left| b_{d_fcm} \right| \qquad \text{(B13)}$$

ここに、b_{d_fcm}：各負荷ステップにおける参照値からの偏差の絶対値を各校正力で除した相対偏差を、全負荷サイクルについて平均した値

B3．6 力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ

B3．1項からB3．5項で述べた要因を考慮すれば、力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の相対合成標準不確かさ u_{c_lab} は次式で与えられる。

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。

$$u_{\mathrm{c_lab}} = \sqrt{u_{\mathrm{_fcm_rep}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_res}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_zer}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_hys}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_dev}}^{2}} \tag{B14}$$

B3. 7 ビルドアップ式力基準機によるトランスファ標準器測定時の測定値の不確かさ

ビルドアップ式力基準機の場合は、上記の要因に加えて基準力計の使用に伴う不確かさ要因も考慮する必要がある。考慮すべき要因とその影響は以下の通り。

a) 基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_cal_reftra}}$

基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_cal_reftra}}$ は、基準力計の校正結果の最大相対拡張不確かさ $U_{\mathrm{_cal_reftra}}$ から次式により計算する。

$$u_{\mathrm{c_cal_reftra}} = \frac{1}{2} U_{\mathrm{_cal_reftra}} \tag{B15}$$

b) 基準力計使用時の温度変動による相対標準不確かさ $u_{\mathrm{_reftra_tmp}}$

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力計の校正を行うことを規定している。基準力計が校正された時の温度と、基準力計を使用してトランスファ標準器の測定を行う時の温度とは、必ずしも一致しない。トランスファ標準器の測定を行う際には、両者の温度差を考慮して基準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、ビルドアップ式力基準機においてトランスファ標準器を測定している間の温度変動 $\Delta t_{\mathrm{_meas}}$ の影響を評価する。温度変動による相対標準不確かさ $u_{\mathrm{_reftra_tmp}}$ 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。ただし、ビルドアップ式力基準機でトランスファ標準器を測定している間の温度変動が小さい場合やトランスファ標準器の温度感度係数が小さい場合は、この要因は無視できるほどに小さいかもしれない。

$$u_{\mathrm{_reftra_tmp}} = \frac{1}{\sqrt{3}} |\alpha| \left| \frac{\Delta t_{\mathrm{_meas}}}{2} \right| \tag{B16}$$

ここに、α：基準力計の相対温度感度係数

c) 基準力計の長期の不安定性に起因する相対標準不確かさ $u_{\mathrm{_reftra_stb}}$

基準力計の長期の不安定性の影響は、n_{cal} 回の校正値 $X_{\mathrm{cal}.i}$ の標準偏差程度であるとして次式で評価する。

$$u_{\mathrm{_reftra_stb}} = \sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}} - 1} \sum_{i=1}^{n_{\mathrm{cal}}} \left(\frac{X_{\mathrm{cal}.i} - m_{\mathrm{Xcal}}}{m_{\mathrm{Xcal}}} \right)^{2}} \tag{B17}$$

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

ただし、上式による評価は、同一の基準力計を3回以上校正した場合に適用する。校正回数が少ない基準力計については、他の参照用力計の評価結果に基づいて暫定的に 2×10^{-4} 程度と評価する。

これらの要因も考慮し、ビルドアップ式力基準機の場合のトランスファ標準器測定時の測定値の相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_lab}}$ は次式により計算される。

$$u_{\mathrm{c_lab}} = \sqrt{u_{\mathrm{_fcm_rep}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_res}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_zer}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_hys}}^{2} + u_{\mathrm{_fcm_dev}}^{2} + u_{\mathrm{c_cal_reftra}}^{2} + u_{\mathrm{_reftra_tmp}}^{2} + u_{\mathrm{_reftra_stb}}^{2}}$$

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。

(B14')

B4. 力標準機と力基準機との間の比較測定の不確かさ

力標準機と力基準機との間の比較測定における各荷重点での相対合成標準不確かさ $u_{_c_cmp}$ は、力標準機によるトランスファ標準器の校正で得られる参照値の不確かさ及び力基準機によるトランスファ標準器の測定値の不確かさから次式で与えられる。

$$u_{c_cmp} = \sqrt{{u_{c_ref}}^2 + {u_{c_lab}}^2} \tag{B18}$$

力標準機と力基準機との間の比較測定においても、力計校正の場合と同様に、「各荷重点で個々に評価した相対合成標準不確かさ」と「荷重（力）」との関係に最良近似式を適用し、「最良近似式により計算される不確かさの値」を「各荷重点における相対合成標準不確かさ」とする。「最良近似式による不確かさの計算値」が「各荷重点で個別に評価した相対合成標準不確かさ」のうちの最小値より小さくなる場合は、過小評価となるのを避けるため、その荷重点における相対合成標準不確かさとして「最良近似式による計算値」ではなく「最小値」の方を採用する。

最良近似式の形は校正結果を睨んで適宜選定すれば良いが、過剰な近似は避け、パラメータが 2 個～3 個程度の近似式を採用するとよい。

最良近似式による相対合成標準不確かさの計算値を基に比較測定の相対拡張不確かさを求めた場合には、常に十分大きな有効自由度が確保できているので、包含係数 k として 2 が適用できる。

B5. 力標準機との比較により確認される力基準機が発生する校正力の不確かさ

現在の技術で得られる最高水準の精度と安定度を有する力計をトランスファ標準器として使用して力標準機との間で比較測定を行うことにより評価される、上述の力標準機と力基準機との間の比較測定における相対拡張不確かさが、力基準機が発生する校正力の最大相対拡張不確かさとして現行の技術・方法で確認し得る最良の推定値である。

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12版 主な改正のポイント

①計量器の種類について、従来の校正方法による定義から「参照用力計」「汎用力計」の語による定義に改めたことに伴い、不確かさガイドの語句も修正。

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。