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:トルク

校正手法の区分の呼称:トルク計測機器

種類:トルクメータ及び参照用トルクレンチ

(第 8 版)

(JCG209S11-08)

改正:2026年4月1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 4
2. 不確かさの評価方法 4
2.1 トルク基準機の不確かさ 5
2.2 校正対象のトルク計測機器に起因する不確かさ 5
2.2.1 校正結果 5
2.2.2 設置を変えた場合の再現性 6
2.2.3 設置を変えない場合の繰り返し性 7
2.2.4 レバー長さを変えた場合の再現性 8
2.2.5 内挿に基づく偏差 8
2.2.6 零点誤差 9
2.2.7 ヒステリシス 9
2.2.8 分解能 10
2.2.9 指示偏差 10
2.3 校正の不確かさ 10
2.3.1 トルクを電気的に指示し、内挿曲線が作成できるトルク計測機器の場合 11
2.3.2 予め決められたスケールを持ち、トルク単位で指示するトルク計測機器の場合 11
2.3.3 増加トルクのみの校正の場合 11
2.3.4 減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合 11
2.4 有効自由度の評価 12
3. 等級分類 13
3.1 等級判定の原則 13
3.2 等級判定の基準 13
1) 等級判定において測定範囲の下限値 T_{min} は下記を満たさなければならない。 13
2) 最小の校正ステップ数は下記を満たさなければならない。 13
3) 考慮しなければならない諸特性は下記のとおりである。 13
附属書 A.1 特定標準器による特定二次標準器の校正(参考) 15
A.1.1 はじめに 15
A.1.2 トルク標準機の実現トルクの不確かさ 15
A.1.3 特定二次標準器に起因する不確かさ 15
A.1.3.1 設置を変えた場合の再現性 16
A.1.3.2 設置を変えない場合の再現性 16
A.1.3.3 分解能 17
A.1.3.4 特定二次標準器に起因する不確かさ 17
A.1.4 参照値の不確かさ 17
A.1.5 有効自由度の評価 17
附属書 A.2 トルク基準機の不確かさの評価 18

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。

A.2.1 はじめに 18
A.2.2 トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の不確かさ 18
A.2.2.1 設置を変えた場合の再現性 18
A.2.2.2 設置を変えない場合の繰り返し性 19
A.2.2.3 レバー長さを変えた場合の再現性の差異 19
A.2.2.4 零点誤差の差異 20
A.2.2.5 分解能 20
A.2.2.6 参照値からの偏差 20
A.2.2.7 特定二次標準器の短期ドリフト 21
A.2.2.8 ロードセル式トルク基準機による特定二次標準器測定時の不確かさ 21
A.2.2.9 ビルドアップ式トルク基準機による特定二次標準器測定時の不確かさ 22
A.2.2.10 トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の不確かさ 22
A.2.3 トルク標準機とトルク基準機との比較測定の不確かさ 23
A.2.4 有効自由度の評価 23
A.2.5 校正測定能力の見積もり 24
A.2.6 環境温度に関する注意事項 25
A.2.7 自己組立におけるトルク基準機の評価 25
A.2.7.1 実荷重式トルク基準機 25
A.2.7.2 ロードセル式トルク基準機 26

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。

JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド
登録に係る区分:トルク
校正手法の区分の呼称:トルク計測機器
種類:トルクメータ及び参照用トルクレンチ

1. はじめに

このガイドは、JMIF015「トルクメータ校正事業者のガイドライン」(1)の TTSG-T102「第 2 編 トルクメータの校正事業者に必要な校正方法」、又は JMIF016「参照用トルクレンチ校正事業者のガイドライン」(2)の TTSG-W102「第 2 編 参照用トルクレンチの校正事業者に必要な校正方法」に従って校正されたトルク計測機器の、校正結果の不確かさを評価する方法を述べる。またトルク計測機器の等級判定基準を示す。さらにトルク基準機(実荷重式、ロードセル式、ビルドアップ式)を実用標準として事業を行う登録校正事業者の校正測定能力の評価方法を記述する。なお、不確かさの評価は ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement - Part 3(Guide to the expression of uncertainty in measurement :測定における不確かさの表現のガイド)に則って行われる。

なお、このガイドのうち左右二段組で記述されている箇所は、左段が「トルクメータ」の校正、右段が「参照用トルクレンチ」の校正に固有の事項である。

(1), (2) 一般社団法人日本計量機器工業連合会規格

2. 不確かさの評価方法

校正事業者が顧客のトルク計測機器に対して校正の不確かさを評価する過程は次のようになる。

(1) トルク単位の SI トレーサビリティを確保する場合

(1-1) 特定標準器(トルク標準機)による特定二次標準器(参照用トルクメータ又は参照用トルクレンチ)の校正[特定標準器の実現トルクの相対合成標準不確かさ w_{c_tsm}、特定二次標準器の校正の相対合成標準不確かさ(参照値の不確かさ) $w_{c_ref_v}$]

(1-2) 比較測定によるトルク基準機の不確かさ評価[トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の相対合成標準不確かさ w_{c_tcm}]

(1-3) 登録校正事業者によるトルク基準機の補正及び校正測定能力の見積もり[登録校正事業者の校正測定能力(相対拡張不確かさ) W_{CMC}]

(1-4) 顧客のトルク計測機器の校正、不確かさの評価、校正証明書の発行[顧客のトルク計測機器の校正の相対拡張不確かさ W]

(2) 自己組立によりトルクを実現する場合

(2-1) 質量、力、重力加速度、長さの JCSS(又は内部校正)によるトルク基準機の主要部の校正・測定[各校正・測定の相対合成標準不確かさ w_{mas}、w_{frc}、w_{grav}、w_{arm_lgt}]

(2-2) 自己組立によるトルク基準機の不確かさ評価[トルク基準機による実現トルクの相対合成標準不確かさ w_{c_tcm}]

(2-3) 登録校正事業者によるトルク基準機の補正及び校正測定能力の見積もり[登録校正事業者の校正測定能力(相対拡張不確かさ) W_{CMC}]

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。

(2-4) 顧客のトルク計測機器の校正、不確かさの評価、校正証明書の発行[顧客のトルク計測機器の校正の相対拡張不確かさ W]

(1-3)と(2-3)及び(1-4)と(2-4)は共通である。

(1-1)及び(2-1)については附属書 A.1 で、また(1-2)、(2-2)及び(1-3)、(2-3)については附属書 A.2 で述べる。本書では上記(1-4)、(2-4)の登録校正事業者によって校正されたトルク計測機器の不確かさ評価方法について述べる。

2.1 トルク基準機の不確かさ

トルク基準機の(実現トルクの)相対拡張不確かさ W_{TCM} は附属書 A.2 に従って評価される。2.3 節で述べるように、顧客のトルク計測機器に対する校正の相対拡張不確かさ W は、トルク計測機器に起因する相対合成標準不確かさ w_{c_tra} とトルク基準機の相対合成標準不確かさ w_{c_TCM} との合成により(また、包含係数を考慮することによって)得られる。

2.2 校正対象のトルク計測機器に起因する不確かさ

2.2.1 校正結果

まず、各校正ステップの増加トルクの測定値 S' 及び減少トルクの測定値 S'' は、各ステップでの指示値 I' 及び I'' から、その校正サイクルの初めの零指示値 I'_0 を差し引くことにより得られる。

$$S'_{ije} = I'_{ije} - I'_{0je} \quad \cdots\cdots (1a)$$

$$S''_{ije} = I''_{ije} - I'_{0je} \quad \cdots\cdots (1b)$$

ここで i、j、及び e は、トルクのステップ、サイクル、及びシリーズ(設置方向)のインデックスである。なお、増減トルクの別なく測定値を指す場合には S_{ije} を用いる。

校正結果 $\overline{S_i}$ は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルクの測定値の相加平均とし、式(2)で計算される。

$$\overline{S_i} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで n_{rot} は設置方向数である。S_{i1e} は、ステップ i、第 1 サイクル、シリーズ e 番目における測定値を表している。校正結果には第 2 サイクルの測定値は含めない。

まず、各校正ステップの増加トルクの測定値 S' 及び減少トルクの測定値 S'' は、各ステップでの指示値 I' 及び I'' から、その校正サイクルの初めの零指示値 I'_0 を差し引くことにより得られる。

$$S'_{ijeq} = I'_{ijeq} - I'_{0jeq} \quad \cdots\cdots (1a)$$

$$S''_{ijeq} = I''_{ijeq} - I'_{0jeq} \quad \cdots\cdots (1b)$$

ここで i、j、e、及び q は、トルクのステップ、サイクル、シリーズ(設置方向)、及びレバー長さのインデックスである。なお、増減トルクの別なく測定値を指す場合には S_{ijeq} を用いる。

校正結果 $\overline{S_i}$ は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルクの測定値の相加平均とし、式(2)で計算される。

$$\overline{S_i} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e1} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで n_{rot} は設置方向数である。S_{i1e1} は、ステップ i、第 1 サイクル、シリーズ e 番目、レバー長さ 1 番目(平均的レバー長さ)における測定値を表している。校正結果には第 2 サイクルの測定値、並びにレバー長さを変えた場合の測定値は含めない。

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。

2.2.2 設置を変えた場合の再現性

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 b_i は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_i = \frac{1}{|\overline{S_i}|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e}} - \overline{S_i})^2} \quad \cdots\cdots (3)$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差であり、次式で計算される。

$${w_{\mathrm{rot,i}}}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}}{b_i}^2 \quad \cdots\cdots (4)$$

b_i の計算には第 2 サイクルの測定値は含めない。

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 b_i は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_i = \frac{1}{|\overline{S_i}|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e1}} - \overline{S_i})^2} \quad \cdots\cdots (3)$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差であり、次式で計算される。

$${w_{\mathrm{rot,i}}}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}}{b_i}^2 \quad \cdots\cdots (4)$$

b_i の計算には第 2 サイクルの測定値及びレバー長さを変えた場合の測定値は含めない。

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。

2.2.3 設置を変えない場合の繰り返し性

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 b'_i は、設置方向 0° でのみ校正サイクルを 2 回繰り返した場合、次式で計算される。

$$b_i' = \frac{S_{i21} - S_{i11}}{\left| \frac{1}{n_{rep}} \sum_{j=1}^{n_{rep}} S_{ij1} \right|} \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで n_{rep} は同一設置方向での校正サイクル繰り返し回数である。S_{ij1} は、ステップ i、第 j サイクル、第 1 シリーズにおける測定値を表している。

相対標準不確かさ $w_{rep,i}$ は、b'_i を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{rep,i}^2 = \frac{1}{3} b_i'^2 \quad \cdots\cdots (6)$$

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 b'_i は、設置方向 0° でのみ校正サイクルを 2 回繰り返した場合、次式で計算される。

$$b_i' = \frac{S_{i211} - S_{i111}}{\left| \frac{1}{n_{rep}} \sum_{j=1}^{n_{rep}} S_{ij11} \right|} \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで n_{rep} は同一設置方向での校正サイクル繰り返し回数である。S_{ij11} は、ステップ i、第 j サイクル、第 1 シリーズ、レバー長さ 1 番目(平均的レバー長さ)における測定値を表している。

相対標準不確かさ $w_{rep,i}$ は、b'_i を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{rep,i}^2 = \frac{1}{3} b_i'^2 \quad \cdots\cdots (6)$$

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。

2.2.4 レバー長さを変えた場合の再現性

特になし。

校正ステップ i における、レバー長さを変えた場合の相対再現性 $b_{l,i}$ は、最終設置方向における平均的レバー長さと最小レバー長さで得られた測定値の間の偏差とし、次式で計算される。

$$b_{l,i} = \frac{S_{i132} - S_{i131}}{\left| \frac{1}{n_{lvr}} \sum_{q=1}^{n_{lvr}} S_{i13q} \right|} \quad \cdots\cdots(7)$$

ここで n_{lvr} はレバー長さの変更回数である。S'_{i13q} は、ステップ i、第 1 サイクル、最終設置方向(ここでは仮に設置方向変更回数を 3 回としている)において、レバー長さ変更 q 番目における測定値を表している。

相対標準不確かさ $w_{lvr,i}$ は、$b_{l,i}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{lvr,i}{}^2 = \frac{1}{3} b_{l,i}{}^2 \quad \cdots\cdots(8)$$

2.2.5 内挿に基づく偏差

まず、n ステップの校正結果 $\overline{S'_i}$ を用いて、増加トルクに対する校正式を最小二乗法により計算し、係数を求める。校正式は次式のように測定値 S' とトルク T を関係づける多項式とする。

$$S' = A_0 + A_1 \cdot T + A_2 \cdot T^2 + \cdots + A_m \cdot T^m \quad \cdots\cdots(9a)$$

校正式に定数項を含めるか否かは校正事業者の手順又は顧客の仕様による。

また、必要であれば減少トルクに対する校正結果 $\overline{S''_i}$ を用いて、次式のように減少トルクに対する校正式を計算し、係数を求める。

$$S'' = A_0{}' + A_1{}' \cdot T + A_2{}' \cdot T^2 + \cdots + A_m{}' \cdot T^m \quad \cdots\cdots(9b)$$

このとき、最大トルク T_{max} における計算値が式(9a)と式(9b)とで一致するように係数を決定しなければならない。

一次、二次あるいは三次の校正式を計算するが、ステップ数 n に依存して、適用する次数は下記に従うことが望ましい。

n < 5 : 一次式まで

n < 8 : 二次式まで

n ≥ 8 : 三次式まで

内挿に基づく相対偏差 f_a は、各次数の校正式から得られた計算値 $S_{a,i}$ と校正結果 $\overline{S_i}$ との差より、各ステップに対して次式に従って求める。

$$f_{a,i} = \frac{\overline{S_i} - S_{a,i}}{|S_{a,i}|} \quad \cdots\cdots(10)$$

相対標準不確かさ $w_{int,i}$ は、選択した次数の校正式に基づく f_a を矩形分布の半幅として、次式から求める。

$$w_{int,i}{}^2 = \frac{1}{3} f_{a,i}{}^2 \quad \cdots\cdots(11)$$

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。

次数の選択は校正事業者の手順又は顧客の仕様による。

(参考)次数の選択の基準として、例えば全ステップにおける f_a の最大値が最も小さくなる次数の校正式を選択するという方法がある。

予め決められたスケールを持ち、電気的に指示値を校正値にフィットさせることができないトルク計測機器に関しては、w_{int} の代わりに、2.2.9 項で述べる、相対指示偏差に基づく不確かさ w_{ind} を用いる。

なお、校正証明書にはトルク T から測定値 S'(又は S'')を求める式(9a)及び式(9b)に加えて、測定値 S'(又は S'')からトルク T を求められる次式の校正式を記載することが望ましい。

$T = B_0 + B_1 \cdot S' + B_2 \cdot S'^2 + \cdots + B_m \cdot S'^m$ (増加トルクに対して) ……(12a)

$T = B_0' + B_1' \cdot S'' + B_2' \cdot S''^2 + \cdots + B_m' \cdot S''^m$ (減少トルクに対して) ……(12b)

2.2.6 零点誤差

各サイクルの初めと終わりにおける零指示値の差を相対零点誤差 f_0 とする。f_0 は次式で計算される。

$$f_{0,e} = \frac{S''_{01e} - S'_{01e}}{\left|S'_{n1e}\right|} \quad \cdots\cdots (13)$$

ただし f_0 には増加のみのサイクルは含めない。

ここで、S'_{01e} 及び S''_{01e} は、第 1 サイクル、第 e シリーズで校正されたサイクル初め及びサイクル終わりの零値をそれぞれ表す。また S'_{n1e} は、当該サイクルのステップ n における、すなわち最大トルク負荷時の測定値を表す。

相対標準不確かさ w_{zer} は、f_0 の絶対値の最大値 $f_{0,max}$ を矩形分布の半幅とし、次式で計算される。

$$w_{zer}^2 = \frac{1}{3} f_{0,max}^2 \quad \cdots\cdots (14)$$

各サイクルの初めと終わりにおける零指示値の差を相対零点誤差 f_0 とする。f_0 は次式で計算される。

$$f_{0,e} = \frac{S''_{01e1} - S'_{01e1}}{\left|S'_{n1e1}\right|} \quad \cdots\cdots (13)$$

ただし、f_0 には、増加のみのサイクル及びレバー長さを変えたサイクルは含めない。

ここで、S'_{01e1} 及び S''_{01e1} は、第 1 サイクル、第 e シリーズ、レバー長さ 1(q = 1、平均的レバー長さ)で校正されたサイクル初め及びサイクル終わりの零値をそれぞれ表す。また S'_{n1e1} は、当該サイクルのステップ n における、すなわち最大トルク負荷時の測定値を表す。

相対標準不確かさ w_{zer} は、f_0 の絶対値の最大値 $f_{0,max}$ を矩形分布の半幅とし、次式で計算される。

$$w_{zer}^2 = \frac{1}{3} f_{0,max}^2 \quad \cdots\cdots (14)$$

2.2.7 ヒステリシス

校正ステップ i における相対ヒステリシス h_i は、同じ増減サイクルの増加ステップと減少ステップの測定値の差を求め、それら絶対値の平均値とする。h_i は次式で計算される。

$$h_i = \frac{\frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} \left| S''_{i1e} - S'_{i1e} \right|}{\left| \overline{S'_i} \right|} \quad \cdots\cdots (15)$$

相対標準不確かさ w_{rev} は、h_i を半幅とする矩形分布を仮定して次式により算出する。

校正ステップ i における相対ヒステリシス h_i は、同じ増減サイクルの増加ステップと減少ステップの測定値の差を求め、それら絶対値の平均値とする。h_i は次式で計算される。

$$h_i = \frac{\frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} \left| S''_{i1e1} - S'_{i1e1} \right|}{\left| \overline{S'_i} \right|} \quad \cdots\cdots (15)$$

相対標準不確かさ w_{rev} は、h_i を半幅とする矩形分布を仮定して次式により算出する。

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。

$$w_{\mathrm{rev,i}}{}^2 = \frac{1}{3} h_{\mathrm{i}}{}^2 \quad (16)$$

ここで S''_{i1e} は、第 1 サイクル、第 e シリーズで校正されたステップ i の測定値を表す。h_{i} の計算には増加のみのサイクルは含めない。

$$w_{\mathrm{rev,i}}{}^2 = \frac{1}{3} h_{\mathrm{i}}{}^2 \quad (16)$$

ここで S''_{i1e1} は、第 1 サイクル、第 e シリーズ、レバー長さ 1(q = 1、平均的レバー長さ)で校正されたステップ i の測定値を表す。h_{i} の計算には増加のみのサイクルは含めない。

2.2.8 分解能

分解能 r は、アナログ表示の場合は読み取り可能な最小目盛比とする。ディジタル表示の場合は最終桁の1増分とする。無負荷状態で指示が変動している場合は、変動幅の半幅とする。r はトルク値で表す。分解能に基づく相対標準不確かさ w_{res} は、矩形分布を仮定して次式のように算出する。

$$w_{\mathrm{res,i}}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r}{2T_i}\right)^2 \quad \text{(指示が変動していない場合)} \quad (17a)$$

$$w_{\mathrm{res,i}}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r}{T_i}\right)^2 \quad \text{(指示が変動している場合)} \quad (17b)$$

ここで、T_{i} は各ステップにおけるトルクの値[N·m]である。なお、w_{res} は、測定値が各ステップの指示値とそのサイクル初めの零値との差から得られることを考慮して、$\sqrt{2}$倍されている。

注)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、例えば最終桁が 0 と 1 の表示を繰り返している場合は 2 digits であり、0 から 2 まで変動している場合は 3 digits であることに注意しなければならない。

2.2.9 指示偏差

予め決められたスケールを持ち(トルクの単位で直接指示される)、電気的に指示値を校正値にフィットさせることができないトルク計測機器に関しては、w_{int} の代わりに相対指示偏差 d_{a} を計算する。d_{a} は次式を用いて計算される。

$$d_{\mathrm{a,i}} = \frac{\overline{S_i} - T_i}{T_i} \quad (18)$$

相対指示偏差に基づく標準不確かさ w_{ind} は次式で計算される。

$$w_{\mathrm{ind,i}}{}^2 = d_{\mathrm{a,i}}{}^2 \quad (19)$$

2.3 校正の不確かさ

校正の相対拡張不確かさ W_{i} は、トルク基準機の相対拡張不確かさ W_{TCM} を包含係数 k = 2 で除した相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_TCM}}$ と、トルク計測機器に起因する相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_tra,i}}$ の合成により、次式で計算される。

$$W_i = k \cdot w_{\mathrm{c_cal,i}} = k \cdot \sqrt{w_{\mathrm{c_TCM}}{}^2 + w_{\mathrm{c_tra,i}}{}^2} \quad (20)$$

W_{i} は各校正ステップに対して求め、校正範囲の中で最も大きい不確かさもそのトルク計測機器の代表的な校正の不確かさとして校正証明書に記載しなければならない。しかし登録校正事業者は、結果として得られた W_{i} が登録を受けた校正測定能力 W_{CMC} より小さくなった場合でも校正測定能力よりも小さい不確かさを記載することはできない。

$w_{\mathrm{c_tra,i}}$ は、目標の等級並びにトルク計測機器が予め決められたスケールを持つか否かに依存して、下記のように評価される。

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。

2.3.1 トルクを電気的に指示し、内挿曲線が作成できるトルク計測機器の場合

内挿に基づく相対偏差 $f_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $w_{c_tra,i}$ は次式で計算される。

$$w_{c_tra,i}^2 = w_{rot,i}^2 + w_{rep,i}^2 + w_{int,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(0.05～0.5 級の場合) ……(21a)

$$w_{c_tra,i}^2 = 2w_{rot,i}^2 + w_{int,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(1～2 級の場合) ……(21b)

ここで等級 1～2 級の場合、同一設置方向でのサイクル繰り返しがないため、設置を変えた場合の不確かさを 2 回分考慮している。

内挿に基づく相対偏差 $f_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $w_{c_tra,i}$ は次式で計算される。

$$w_{c_tra,i}^2 = w_{rot,i}^2 + w_{rep,i}^2 + w_{lvr,i}^2 + w_{int,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(0.05～0.5 級の場合) ……(21a)

$$w_{c_tra,i}^2 = 2w_{rot,i}^2 + w_{lvr,i}^2 + w_{int,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(1～2 級の場合) ……(21b)

ここで等級 1～2 級の場合、同一設置方向でのサイクル繰り返しがないため、設置を変えた場合の不確かさを 2 回分考慮している。

なお、顧客との協議により内挿曲線を作成しない場合、式(21)において $w_{int,i}$ は考慮されない。ただしこの場合、校正結果は校正されたトルクステップ以外に適用はできない。

2.3.2 予め決められたスケールを持ち、トルク単位で指示するトルク計測機器の場合

相対指示偏差 $d_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $w_{c_tra,i}$ は次式で計算される。

$$w_{c_tra,i}^2 = w_{rot,i}^2 + w_{rep,i}^2 + w_{ind,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(0.05～0.5 級の場合) ……(22a)

$$u_{c_tra,i}^2 = 2w_{rot,i}^2 + w_{ind,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(1～2 級の場合) ……(22b)

相対指示偏差 $d_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $w_{c_tra,i}$ は次式で計算される。

$$w_{c_tra,i}^2 = w_{rot,i}^2 + w_{rep,i}^2 + w_{lvr,i}^2 + w_{ind,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(0.05～0.5 級の場合) ……(22a)

$$u_{c_tra,i}^2 = 2w_{rot,i}^2 + w_{lvr,i}^2 + w_{ind,i}^2 + w_{zer}^2 + w_{rev,i}^2 + w_{res,i}^2$$

(1～2 級の場合) ……(22b)

なお、内挿曲線を作成せずに $w_{ind,i}$ により不確かさを評価した場合、校正結果は校正されたトルクステップ以外で適用することはできない。

2.3.3 増加トルクのみの校正の場合

顧客の要求により、トルク計測機器を増加トルクのみで校正する場合、式(21a)、(21b)又は式(22a)、(22b)における $w_{c_tra,i}$ には、相対ヒステリシス $w_{rev,i}$ 及び相対ゼロ点誤差 $w_{zer,i}$ は含めない。

2.3.4 減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合

顧客の要求により減少トルクの不確かさを増加トルクとは別に評価する場合、附属書 A.1 の A.1.3 節に示す校正を実施し、それぞれのトルクステップで $w_{rot,i}$、$w_{rep,i}$、$w_{int,i}$ 及び $w_{res,i}$ を要因として考慮する。

顧客の要求により減少トルクの不確かさを増加トルクとは別に評価する場合、附属書 A.1 の A.1.3 節に示す校正を実施し、それぞれのトルクステップで $w_{rot,i}$、$w_{rep,i}$、$w_{lvr,i}$、$w_{int,i}$ 及び $w_{res,i}$ を要因として考慮する。

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。

2.4 有効自由度の評価

式(20)において、$w_{c_cal,i}$ はトルク計測機器の校正の相対合成標準不確かさ、k は包含係数であるが、校正の相対拡張不確かさの算出においては、有効自由度と包含係数の評価が必要であり、次のように考えることができる。

まず、w_{c_TCM} は有効自由度は十分大きく、k = 2 と評価できる。

一方、$w_{c_cal,i}$ における各不確かさ要因の中で、正規分布(Type A)として評価されるのは唯一、設置を変えた場合の再現性に基づく相対標準不確かさ $w_{rot,i}$ のみである。ほぼ理想的なトルク計測機器を校正対象とする場合は、$w_{rot,i}$ も小さく、有効自由度は十分大きくなるが、やや能力の低いトルク計測機器を校正対象としたとき、$w_{rot,i}$ が支配的となり、有効自由度が 10 を下回るようなトルクステップが現れるケースがある。そこで有効自由度をステップ毎に考慮するのではなく、一つの校正サイクル全体の中で考えることとする。

式(20)により求めた、各校正トルクステップ(校正点) T_i における校正の相対合成標準不確かさ $w_{c_cal,i}$ を全ての校正点 M_i に対してプロットし、最小二乗法により「校正トルク Tー相対合成標準不確かさ $w_{c_cal,i}$」の最良近似曲線を決定する。ただし最良近似曲線で計算される値 $w_{c_cal_a,i}$ が、各トルクステップにおける校正値の相対合成標準不確かさ $w_{c_cal,i}$ のうちの最小値を下回る場合は、その最小値を $w_{c_cal_a,i}$ の下限値として適用する。なお、最良近似曲線の形としては、各ステップにおける $w_{c_cal,i}$ と $w_{c_cal_a,i}$ との残差が最終不確かさの有効数字二桁目に影響を及ぼさないように適切な近似式を選択する。

このようにして、トルク計測機器の校正の相対拡張不確かさ W_i は、各ステップに対して次式で与えられる。

$$W_i = k \cdot w_{c_cal_a,i} \quad \cdots\cdots(23)$$

例えば、トルク基準機を用いたトルク計測機器の校正が 8 ステップで行われることを標準とすると、8 つの校正点について、各校正点で少なくとも 3 方向以上の設置方向でもって測定を繰り返し行い、3 次以下の多項式近似によって「校正トルクー不確かさ最良近似曲線」を決定する場合、各校正点での有効自由度は少なくとも 2 以上あり、最良近似曲線で計算される不確かさの有効自由度は少なくとも 12 (= 2 × 8 − 4)以上あって常に十分大きいと考えられるので、信頼の水準約 95 % に相当する拡張不確かさの包含係数として k = 2 を適用できる。

少ない校正点数(8 ステップ以下)で校正を実施する場合、設置方向が 2 方向である場合、特殊な近似式を採用する等特別な場合においては、各ステップ毎に Welch-Satterthwaite の式を用いて有効自由度を評価して、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさの包含係数を決定する等の方法が考えられる。

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。

3. 等級分類

本章に示す等級分類は、JMIF015「トルクメータ校正事業者のガイドライン」の TTSG-T103「第 3 編 トルクメータの校正事業者に必要な不確かさの評価方法」、及び JMIF016「参照用トルクレンチ校正事業者のガイドライン」の TTSG-W103「第 3 編 参照用トルクレンチの校正事業者に必要な不確かさの評価方法」に準じて規定されたものであるが、必要に応じて見直しを行う。

3.1 等級判定の原則

等級判定の範囲は、校正された全てのトルクに対して、すなわち最大トルクから始まって下限のトルクまで順次考察することによって決定する。等級判定範囲は 3.2 節の要求事項が満たされる最後のトルクまでである。全校正範囲にわたり、等級判定は多くても 3 段階までとする。

3.2 等級判定の基準

1) 等級判定において測定範囲の下限値 T_{min} は下記を満たさなければならない。
   (ア)最大トルク T_{max} の 20 %以下(0.2 級以下となる場合)
   (イ) T_{max} の 40 %以下(0.05 及び 0.1 級となる場合)
2) 最小の校正ステップ数は下記を満たさなければならない。
   (ア)8 ステップ以上(0.05 及び 0.1 級)
   (イ)5 ステップ以上(0.2 及び 0.5 級)
   (ウ)3 ステップ以上(1 級以下)
3) 考慮しなければならない諸特性は下記のとおりである。

(ア)設置を変えた場合の再現性 (イ)設置を変えない場合の繰り返し性 (ウ)零点誤差 (エ)内挿に基づく偏差又は指示偏差 (オ)ヒステリシス (カ)分解能 ただし増加トルクのみの校正の場合、又は減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合、(オ)項は考慮しない。	(ア)設置を変えた場合の再現性 (イ)設置を変えない場合の繰り返し性 (ウ)レバー長さを変えた場合の再現性 (エ)零点誤差 (オ)内挿に基づく偏差又は指示偏差 (カ)ヒステリシス (キ)分解能 ただし増加トルクのみの校正の場合、又は減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合、(カ)項は考慮しない。

表 1 に、トルク計測機器の等級に対応する諸特性の限界値を示す。

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。

表 1 トルク計測機器の等級判定基準

等級	トルク計測機器の最大許容誤差 / %					トルク最小値	校正トルク
	相対再現性	相対繰り返し性	相対零点誤差	相対往復誤差	相対内挿偏差又は指示偏差		計測の不確かさ[注)]
	b, b_l	b'	f_0	h	f_a, d_a	T_{min}	T_{TCM} / %
0.05	0.05	0.025	0.0125	0.063	0.025	≧ 4000 r	0.01
0.1	0.1	0.05	0.025	0.125	0.05	≧ 2000 r	0.02
0.2	0.2	0.10	0.050	0.25	0.10	≧ 1000 r	0.04
0.5	0.5	0.25	0.125	0.63	0.25	≧ 400 r	0.1
1	1	---	0.25	1.25	0.5	≧ 200 r	0.2
2	2	---	0.5	2.5	1	≧ 100 r	0.4

注)校正トルクの計測の不確かさは、トルク基準機の相対拡張不確かさ(信頼の水準約 95 %)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。

附属書A.1 特定標準器による特定二次標準器の校正(参考)

A.1.1 はじめに

トルク単位の SI トレーサビリティを確保する場合、トルク計測機器の登録校正事業者が保有する実用標準、すなわちトルク基準機は、特定二次標準器である参照用トルクメータ又は参照用トルクレンチをトランスファ標準器として使用して、特定標準器であるトルク標準機との比較測定を行うことによりその実現トルクの不確かさが評価される。この比較測定は、最高精度の結果を出すための特別な方法であり、登録校正事業者が特定二次標準器を用いてトルク基準機の評価を行う際に、また保有する複数のトルク基準機の相互比較を実施する際にも参考となる。ここでは特定標準器であるトルク標準機による特定二次標準器の校正方法並びに不確かさの評価方法を述べる。

A.1.2 トルク標準機の実現トルクの不確かさ

トルク標準機で実現されるトルクの相対合成標準不確かさ w_{c_tsm} は、おもりの質量、アームの長さ、設置場所の重力加速度等、各要素の厳密な評価の積み重ねから得られる値であり、トルク標準機相互の比較や諸外国のトルク標準機との国際比較により確認される。国家計量標準機関(NMI)が保有するトルク標準機群の不確かさは以下のように評価されている。

10 N·m 実荷重式トルク標準機(校正範囲 100 mN·m～10 N·m): w_{c_tsm} = 0.0033 %

1 kN·m 実荷重式トルク標準機(校正範囲 2 N·m～20 N·m): w_{c_tsm} = 0.0033 %

1 kN·m 実荷重式トルク標準機(校正範囲 5 N·m～1 kN·m): w_{c_tsm} = 0.0025 %

20 kN·m 実荷重式トルク標準機(校正範囲 200 N·m～20 kN·m): w_{c_tsm} = 0.0033 %

A.1.3 特定二次標準器に起因する不確かさ

特定標準器による特定二次標準器の校正は、細部において JMIF015「トルクメータ校正事業者のガイドライン」の TTSG-T102「第 2 編 トルクメータの校正事業者に必要な校正方法」又は JMIF016「参照用トルクレンチ校正事業者のガイドライン」の TTSG-W102「第 2 編 参照用トルクレンチの校正事業者に必要な校正方法」と異なる方法で行われる。すなわち、設置方向 0° において増加及び減少の校正負荷サイクルを 2 回行い、設置方向 120° 及び 240° において増減サイクルを 1 回行う。さらに特定二次標準器が参照用トルクレンチの場合は 240° においてレバー長さを変えて増減サイクルを 1 回実施する。以上の負荷サイクルにより、増加及び減少の各ステップにおいて校正値を次のように得ることができる。

校正結果は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルク又は減少トルクの測定値 S_{i1e_tsd} の相加平均とし、式(A1)で計算される。

$$\overline{S_{i_tsd}} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e_tsd} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A1)$$

ここで n_{rot} = 3 である。校正結果には、第 2 サイクルの測定値は含めない。

校正結果は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルク又は減少トルクの測定値 S_{i1e1_tsd} の相加平均とし、式(A1)で計算される。

$$\overline{S_{i_tsd}} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e1_tsd} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A1)$$

ここで n_{rot} = 3 である。校正結果には、第 2 サイクル及びレバー長さを変えた場合の測定値は含めない。

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。

特定二次標準器に起因する不確かさ要因としては、設置を変えた場合の再現性、設置を変えない場合の繰り返し性及び分解能が挙げられる。その他の諸特性、レバー長さを変えた場合の再現性及び零点誤差は、トルク基準機の不確かさ評価を行う際に考慮される(附属書 A.2 参照)。また、減少トルクも校正値として評価されるため、ヒステリシスは考慮されない。

A.1.3.1 設置を変えた場合の再現性

特定二次標準器は、それが校正されたときの条件と同じ条件で使用されることを前提に、その不確かさが評価される。すなわち、設置を変えた場合の不確かさは、設置方向数を考慮した平均値の実験標準偏差とする。

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 $b_{\mathrm{i_tsd}}$ は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_{\mathrm{i_tsd}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{i_tsd}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e_tsd}}-\overline{S_{\mathrm{i_tsd}}})^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A2})$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tsd.rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差と考えられ、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tsd.rot,i}}{}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}} b_{\mathrm{i_tsd}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A3})$$

$b_{\mathrm{i_tsd}}$ の計算には、第 2 サイクルの測定値は含めない。

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 $b_{\mathrm{i_tsd}}$ は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_{\mathrm{i_tsd}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{i_tsd}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e1_tsd}}-\overline{S_{\mathrm{i_tsd}}})^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A2})$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tsd.rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差と考えられ、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tsd.rot,i}}{}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}} b_{\mathrm{i_tsd}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A3})$$

$b_{\mathrm{i_tsd}}$ の計算には、第 2 サイクルの測定値及びレバー長さを変えた場合の測定値は含めない。

A.1.3.2 設置を変えない場合の再現性

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 $b'_{\mathrm{i_tsd}}$ は、設置方向 0° における校正サイクル 2 回の繰り返しから、次式で計算される。

$$b'_{\mathrm{i_tsd}} = \frac{S_{\mathrm{ij1_tsd,max}} - S_{\mathrm{ij1_tsd,min}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{rep}}}\sum_{j=1}^{n_{\mathrm{rep}}} S_{\mathrm{ij1_tsd}}\right|} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A4})$$

ここで $n_{\mathrm{rep}} = 2$ である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tsd.rep,i}}$ は、$b'_{\mathrm{i_tsd}}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tsd.rep,i}}{}^2 = \frac{1}{3} b'_{\mathrm{i_tsd}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A5})$$

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 $b'_{\mathrm{i_tsd}}$ は、設置方向 0° における校正サイクル 2 回の繰り返しから、次式で計算される。

$$b'_{\mathrm{i_tsd}} = \frac{S_{\mathrm{ij11_tsd,max}} - S_{\mathrm{ij11_tsd,min}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{rep}}}\sum_{j=1}^{n_{\mathrm{rep}}} S_{\mathrm{ij11_tsd}}\right|} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A4})$$

ここで $n_{\mathrm{rep}} = 2$ である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tsd.rep,i}}$ は、$b'_{\mathrm{i_tsd}}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tsd.rep,i}}{}^2 = \frac{1}{3} b'_{\mathrm{i_tsd}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A5})$$

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。

A.1.3.3 分解能

分解能 $r_{_tsd}$ に基づく相対標準不確かさ $w_{tsd.res,i}$ は、矩形分布を仮定して次式のように算出する。

$$w_{tsd.res,i}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r_{_tsd}}{2M_i}\right)^2$$ (指示が変動していない場合) ……(A6a)

$$w_{tsd.res,i}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r_{_tsd}}{M_i}\right)^2$$ (指示が変動している場合) ……(A6b)

A.1.3.4 特定二次標準器に起因する不確かさ

A.1.3.1～A.1.3.3 項で述べた要因を考慮すれば、特定二次標準器に起因する相対合成標準不確かさ $w_{c_tsd,i}$ は次式で計算される。

$$w_{c_tsd,i}{}^2 = w_{tsd.rot,i}{}^2 + w_{tsd.rep,i}{}^2 + w_{tsd.res,i}{}^2$$ ……(A7)

A.1.4 参照値の不確かさ

トルク標準機の実現トルクの不確かさ及び特定二次標準器に起因する不確かさから、トルク基準機を評価するための参照値の相対合成標準不確かさ $w_{c_ref_v,i}$ が次式で与えられる。

$$w_{c_ref_v,i}{}^2 = w_{c_tsm}{}^2 + w_{c_tsd,i}{}^2$$ ……(A8)

A.1.5 有効自由度の評価

参照値の相対合成標準不確かさ $w_{c_ref_v,i}$ の有効自由度は、本書 2.4 節と同様の方法で下記のように評価されており、相対拡張不確かさ W_{ref_v} を算出する際には $k = 2$ とすることができる。

w_{c_tsm} は国家計量標準機関が保有するトルク標準機群の相対合成標準不確かさであり、事前に有効自由度は十分大きいと評価されている。

$w_{c_tsd,i}$ は特定二次標準器に起因する相対合成標準不確かさであるが、8 ステップでの校正及び 3 次の不確かさ最良近似曲線を求めており、同様に有効自由度は十分大きいと評価されている。

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。

附属書A.2 トルク基準機の不確かさの評価

A.2.1 はじめに

トルク単位の SI トレーサビリティを確保する場合、トルク基準機の不確かさ評価のために、トルク標準機で特定二次標準器を校正する前後においてトルク基準機による特定二次標準器を用いた測定を実施する。その測定方法は、附属書 A.1 で述べた方法と全く同様とする。前後測定の実施によって、特定二次標準器の短期ドリフトを不確かさに考慮することができる。ここではトルク基準機による特定二次標準器の前後測定実施時の測定の不確かさ、並びにトルク標準機とトルク基準機との比較測定の不確かさの評価方法を述べる。特に断らない限り、測定値並びに諸特性は、前後測定の平均値を用いる。

自己組立によりトルクを実現する場合、A.2.7 項を参照のこと。

A.2.2 トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の不確かさ

トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の不確かさ要因としては、設置を変えた場合の再現性、設置を変えない場合の繰り返し性、レバー長さを変えた場合の再現性の差異、零点誤差の差異、分解能、参照値からの偏差、及び特定二次標準器の短期ドリフトが挙げられる。ロードセル式及びビルドアップ式トルク基準機の場合、これらの要因に加えて、基準力計又は基準トルクメータの校正の不確かさ、温度係数、及び長期安定性が考慮される。

A.2.2.1 設置を変えた場合の再現性

設置を変えた場合の不確かさは、トルク標準機による特定二次標準器の校正と、設置変更に関して同等以上の好条件で校正が行われることを前提とし、設置方向数を考慮した「平均値」の実験標準偏差とする。

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 $b_{\mathrm{i_tcm}}$ は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_{\mathrm{i_tcm}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{i_tcm}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e_tcm}} - \overline{S_{\mathrm{i_tcm}}})^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A9})$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tcm.rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差と考えられ、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tcm.rot,i}}{}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}} b_{\mathrm{i_tcm}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A10})$$

$b_{\mathrm{i_tcm}}$ の計算には、第 2 サイクルの測定値は含めない。

校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 $b_{\mathrm{i_tcm}}$ は、各設置方向における第 1 サイクルの測定値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_{\mathrm{i_tcm}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{i_tcm}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{\mathrm{rot}}-1)}\sum_{e=1}^{n_{\mathrm{rot}}}(S_{\mathrm{i1e1_tcm}} - \overline{S_{\mathrm{i_tcm}}})^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A9})$$

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tcm.rot,i}}$ は平均値の実験標準偏差と考えられ、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tcm.rot,i}}{}^2 = \frac{1}{n_{\mathrm{rot}}} b_{\mathrm{i_tcm}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A10})$$

$b_{\mathrm{i_tcm}}$ の計算には、第 2 サイクルの測定値及びレバー長さを変えた場合の測定値は含めない。

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。

A.2.2.2 設置を変えない場合の繰り返し性

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 $b'_{\mathrm{i_tcm}}$ は、設置方向 0° における校正サイクル 2 回の繰り返しから、次式で計算される。

$$b'_{\mathrm{i_tcm}} = \frac{S_{\mathrm{ij1_tcm,max}} - S_{\mathrm{ij1_tcm,min}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{rep}}}\sum_{j=1}^{n_{\mathrm{rep}}} S_{\mathrm{ij1_tcm}}\right|} \quad \cdots\cdots (A11)$$

ここで $n_{\mathrm{rep}} = 2$ である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tcm.rep,i}}$ は、$b'_{\mathrm{i_tcm}}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tcm.rep,i}}{}^2 = \frac{1}{3} b'_{\mathrm{i_tcm}}{}^2 \quad \cdots\cdots (A12)$$

校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 $b'_{\mathrm{i_tcm}}$ は、設置方向 0° における校正サイクル 2 回の繰り返しから、次式で計算される。

$$b'_{\mathrm{i_tcm}} = \frac{S_{\mathrm{ij11_tcm,max}} - S_{\mathrm{ij11_tcm,min}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{rep}}}\sum_{j=1}^{n_{\mathrm{rep}}} S_{\mathrm{ij11_tcm}}\right|} \quad \cdots\cdots (A11)$$

ここで $n_{\mathrm{rep}} = 2$ である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tcm.rep,i}}$ は、$b'_{\mathrm{i_tcm}}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tcm.rep,i}}{}^2 = \frac{1}{3} b'_{\mathrm{i_tcm}}{}^2 \quad \cdots\cdots (A12)$$

A.2.2.3 レバー長さを変えた場合の再現性の差異

特になし。

校正ステップ i における、レバー長さを変えた場合の測定値の変化は、トルク標準機による特定二次標準器の校正時の相対再現性 $b_{l,\mathrm{i_tsd}}$ とトルク基準機による測定時の相対再現性 $b_{l,\mathrm{i_tcm}}$ との差を取ることで得られ、特定二次標準器に固有の影響は相殺される。注意しなければならないのは、単に最大値からの最小値の差を求めるのではなく、それぞれ最小レバー長さでの測定値の平均的レバー長さでの測定値からの偏差を取ることである。相対再現性は次式で計算される。

$$b_{l,\mathrm{i_tsd}} = \frac{S_{\mathrm{i132_tsd}} - S_{\mathrm{i131_tsd}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{lvr}}}\sum_{q=1}^{n_{\mathrm{lvr}}} S_{\mathrm{i13q_tsd}}\right|} \quad \cdots\cdots (A13a)$$

$$b_{l,\mathrm{i_tcm}} = \frac{S_{\mathrm{i132_tcm}} - S_{\mathrm{i131_tcm}}}{\left|\frac{1}{n_{\mathrm{lvr}}}\sum_{q=1}^{n_{\mathrm{lvr}}} S_{\mathrm{i13q_tcm}}\right|} \quad \cdots\cdots (A13b)$$

ここで $n_{\mathrm{lvr}} = 2$ である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tcm.lvr,i}}$ は、相対再現性の差を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tcm.lvr,i}}{}^2 = \frac{1}{3}\left(b_{l,\mathrm{i_tcm}} - b_{l,\mathrm{i_tsd}}\right)^2 \quad \cdots\cdots (A14)$$

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。

A.2.2.4 零点誤差の差異

各サイクルの始めと終わりにおける零指示値の変化は、トルク標準機による特定二次標準器の校正時の相対零点誤差 f_{0_tsd} とトルク基準機による測定時の相対零点誤差 f_{0_tcm} との差を取ることで得られ、特定二次標準器に固有の影響は相殺される。ここで注意すべきことは、それぞれの零点誤差は絶対値を取らないということである。

f_{0_tsd} 及び f_{0_tcm} は次式で計算される。

$$f_{0,e_tsd} = \frac{S''_{01e_tsd} - S'_{01e_tsd}}{|S_{n1e_tsd}|} \quad \text{(A15a)}$$

$$f_{0,e_tcm} = \frac{S''_{01e_tcm} - S'_{01e_tcm}}{|S_{n1e_tcm}|} \quad \text{(A15b)}$$

ただし零点誤差には増加のみのサイクルは含めない。

$f_{0_tsd,max}$ 及び $f_{0_tcm,max}$ は、式(A15)における零点誤差の絶対値が最大のものと定義される。

相対標準不確かさ $w_{tcm.zer}$ は、相対零点誤差の差を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{tcm.zer}{}^2 = \frac{1}{3}(f_{0_tcm,max} - f_{0_tsd,max})^2 \quad \text{(A16)}$$

f_{0_tsd} 及び f_{0_tcm} は次式で計算される。

$$f_{0,e_tsd} = \frac{S''_{01e1_tsd} - S'_{01e1_tsd}}{|S_{n1e1_tsd}|} \quad \text{(A15a)}$$

$$f_{0,e_tcm} = \frac{S''_{01e1_tcm} - S'_{01e1_tcm}}{|S_{n1e1_tcm}|} \quad \text{(A15b)}$$

ただし零点誤差には増加のみのサイクル及びレバー長さを変えたサイクルは含めない。

$f_{0_tsd,max}$ 及び $f_{0_tcm,max}$ は、式(A15)における零点誤差の絶対値が最大のものと定義される。

相対標準不確かさ $w_{tcm.zer}$ は、相対零点誤差の差を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{tcm.zer}{}^2 = \frac{1}{3}(f_{0_tcm,max} - f_{0_tsd,max})^2 \quad \text{(A16)}$$

A.2.2.5 分解能

分解能 $r_{_tcm}$ に基づく相対標準不確かさ $w_{tcm.res,i}$ は、矩形分布を仮定して次式のように算出する。

$$w_{tcm.res,i}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r_{_tcm}}{2M_i}\right)^2 \quad \text{(指示が変動していない場合)} \quad \text{(A17a)}$$

$$w_{tcm.res,i}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r_{_tcm}}{M_i}\right)^2 \quad \text{(指示が変動している場合)} \quad \text{(A17b)}$$

A.2.2.6 参照値からの偏差

特定二次標準器をトルク基準機で測定した時の測定値は、特定二次標準器をトルク標準機で校正した時の測定値からの偏差を持つ。この偏差を近似式(多項式、対数、定数等)により補正することが可能である。ここで注意しなければならないのは、偏差が安定的に得られない限り、補正はすべきではないということである。

補正後の相対残差、又は補正をしないのであればもとの相対偏差 $d_{rel.dev,i}$ は、次式で計算される。

$$d_{rel.dev,i} = \frac{\overline{S_{i_tcm}} - \overline{S_{i_tsd}}}{|\overline{S_{i_tsd}}|} \quad \text{(A18)}$$

ここで$\overline{S_{i_tcm}}$は前測定と後測定の測定結果(平均値)の平均値である。

相対標準不確かさ $w_{rel.dev,i}$ は、相対偏差を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$u_{rel.dev,i}{}^2 = \frac{1}{3}d_{rel.dev,i}{}^2 \quad \text{(A19)}$$

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。

A.2.2.7 特定二次標準器の短期ドリフト

特定二次標準器をトルク基準機で測定した時の測定値は、特定二次標準器をトルク標準機で校正する前後 2 回の測定の平均値を使用する。従って前後測定の測定値の相対ドリフト $d_{\mathrm{tsd.dft}}$ を考慮しなければならない。

相対ドリフト $d_{\mathrm{rel.dft,i}}$ は、次式で計算される。

$$d_{\mathrm{tsd.dft,i}} = \frac{\overline{S_{i_\mathrm{tcm.post}}} - \overline{S_{i_\mathrm{tcm.pre}}}}{\left|\overline{S_{i_\mathrm{tcm}}}\right|} \quad \text{(A20)}$$

ここで$\overline{S_{\mathrm{i_tcm.pre}}}$及び$\overline{S_{\mathrm{i_tcm.post}}}$はそれぞれ前測定、後測定の測定結果(平均値)である。

相対標準不確かさ $w_{\mathrm{tsd.dft,i}}$ は、相対偏差を矩形分布の全幅と解釈し、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{tsd.dft,i}}{}^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{d_{\mathrm{tsd.dft,i}}}{2}\right)^2 \quad \text{(A21)}$$

A.2.2.8 ロードセル式トルク基準機による特定二次標準器測定時の不確かさ

ロードセル式トルク基準機の場合は、上記 A.2.2.1～A.2.2.7 項の要因に加えて、基準力計に起因する下記の要因を考慮しなければならない。

1) 基準力計の校正値の不確かさ

基準力計の校正値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_frc.cal}}$ は、基準力計の校正証明書に記載されている相対拡張不確かさ $W_{\mathrm{frc.cal}}$ を包含係数 k で除すことにより、次式のように計算される。

$$w_{\mathrm{c_frc.cal,i}} = \frac{1}{k} W_{\mathrm{frc.cal}} \quad \text{(A22)}$$

2) 基準力計使用時の温度変動に伴う不確かさ

JCT20901「技術的要求事項適用指針(トルク計測機器)」では、18～28 ° C の温度範囲で、±1 ° C の安定した環境下での校正を規定している。基準力計が校正された時の温度と、基準力計を用いて特定二次標準器の測定を行う時の温度が著しく異なっている場合、又は基準力計の出力感度の温度係数が著しく大きい場合、登録校正事業者はまず基準力計の測定値の温度補正を行い、その上でトルク基準機で特定二次標準器を測定している間の温度変動の影響を評価するか、補正を行わないならば全ての温度変動を包括して不確かさに考慮する。温度変動を・ t_{meas}、基準力計の温度係数を・とすると、測定値の変動幅を矩形分布の全幅と解釈し、相対標準不確かさ $w_{\mathrm{frc.tmp}}$ は次式で計算される。

$$w_{\mathrm{frc.tmp}}{}^2 = \frac{\beta^2}{3}\left(\frac{\Delta t_{\mathrm{meas}}}{2}\right)^2 \quad \text{(A23)}$$

校正室の温度環境が、23 ° C ± 1 ° C である場合はこの影響は通常無視できるほど小さい。

3) 基準力計の長期安定性に基づく不確かさ

校正回数 n_{cal} = 3 以上の再校正が基準力計に対して行われている場合、長期安定性に基づく相対標準不確かさ $w_{\mathrm{frc.lgstb}}$ は校正値における平均値の実験標準偏差とみなし、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{frc.lgstb}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}(n_{\mathrm{cal}}-1)}\sum_{c=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\overline{S_c} - \overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right)^2} \quad \text{(A24)}$$

ここで$\overline{S_c}$は基準力計の各校正時の校正値、$\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}$は全校正値の平均値である。

校正回数が 3 回に満たない基準力計については、これまでの高精度力計の実績から推定し、暫定的に 0.02 %とする。

一方で、基準力計が 3 回以上校正されていて、信頼性のある長期安定性が評価でき、また適切な管理を継続する限りにおいて、その後の基準力計の校正を省略することが可能である。

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。

A.2.2.9 ビルドアップ式トルク基準機による特定二次標準器測定時の不確かさ

ビルドアップ式トルク基準機の場合は、上記 A.2.2.1～A.2.2.7 項の要因に加えて、基準トルクメータに起因する下記の要因を考慮しなければならない。

1) 基準トルクメータの校正値の不確かさ

基準トルクメータの校正値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_trq.cal}}$ は、基準トルクメータの校正証明書に記載されている相対拡張不確かさ $W_{\mathrm{trq.cal}}$ を包含係数 k で除すことにより、次式のように計算される。

$$w_{\mathrm{c_trq.cal,i}} = \frac{1}{2} W_{\mathrm{trq.cal}} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A25})$$

2) 基準トルクメータ使用時の温度変動に伴う不確かさ

基準トルクメータが校正された時の温度と、基準トルクメータを用いて特定二次標準器の測定を行う時の温度が著しく異なっている場合、又は基準トルクメータの出力感度の温度係数が著しく大きい場合、登録校正事業者はまず基準トルクメータの測定値の温度補正を行い、その上でトルク基準機で特定二次標準器を測定している間の温度変動の影響を評価するか、補正を行わないならば全ての温度変動を包括して不確かさに考慮する。温度変動を・ t_{meas}、基準トルクメータの温度係数を・とすると、測定値の変動幅を矩形分布の全幅と解釈し、相対標準不確かさ $w_{\mathrm{trq.tmp}}$ は次式で計算される。

$$w_{\mathrm{trq.tmp}}{}^2 = \frac{\beta^2}{3}\left(\frac{\Delta t_{\mathrm{meas}}}{2}\right)^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A26})$$

校正室の温度環境が、23 ° C ± 1 ° C である場合はこの影響は通常無視できるほど小さい。

3) 基準トルクメータの長期安定性に基づく不確かさ

校正回数 n_{cal} = 3 以上の再校正が基準トルクメータに対して行われている場合、長期安定性に基づく相対標準不確かさ $w_{\mathrm{trq.lgstb}}$ は校正値における平均値の実験標準偏差とみなし、次式で計算される。

$$w_{\mathrm{trq.lgstb}} = \frac{1}{|\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}|}\sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}(n_{\mathrm{cal}}-1)}\sum_{c=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\overline{S_c} - \overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right)^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A27})$$

校正回数が 3 回に満たない基準トルクメータについては、これまでの高精度トルクメータの実績から推定し、暫定的に 0.02 %とする。

一方で、基準トルクメータが 3 回以上校正されていて、信頼性のある長期安定性が評価でき、また適切な管理を継続する限りにおいて、その後の基準トルクメータの校正を省略することが可能である。

A.2.2.10 トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の不確かさ

トルク基準機による特定二次標準器測定時の測定の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_tcm,i}}$ はトルク基準機の形式に依存して、下記のように計算される。

1) 実荷重式トルク基準機

$$w_{\mathrm{c_tcm,i}}{}^2 = w_{\mathrm{tcm.rot,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.rep,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.zer}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.res,i}}{}^2 + w_{\mathrm{rel.dev,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tsd.dft,i}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A28})$$

$$w_{\mathrm{c_tcm,i}}{}^2 = w_{\mathrm{tcm.rot,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.rep,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.lvr,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.zer}}{}^2 + w_{\mathrm{tcm.res,i}}{}^2 + w_{\mathrm{rel.dev,i}}{}^2 + w_{\mathrm{tsd.dft,i}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A28})$$

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) ロードセル式トルク基準機

$$w_{c_tcm,i}^2 = w_{tcm.rot,i}^2 + w_{tcm.rep,i}^2 + w_{tcm.zer}^2 + w_{tcm.res,i}^2 + w_{rel.dev,i}^2 + w_{tsd.dft,i}^2 + w_{c_frc.cal}^2 + w_{frc.tmp}^2 + w_{frc.lgstb}^2 \quad \cdots\cdots(A29)$$

$$w_{c_tcm,i}^2 = w_{tcm.rot,i}^2 + w_{tcm.rep,i}^2 + w_{tcm.lvr,i}^2 + w_{tcm.zer}^2 + w_{tcm.res,i}^2 + w_{rel.dev,i}^2 + w_{tsd.dft,i}^2 + w_{c_frc.cal}^2 + w_{frc.tmp}^2 + w_{frc.lgstb}^2 \quad \cdots\cdots(A29)$$

3) ビルドアップ式トルク基準機

$$w_{c_tcm,i}^2 = w_{tcm.rot,i}^2 + w_{tcm.rep,i}^2 + w_{tcm.zer}^2 + w_{tcm.res,i}^2 + w_{rel.dev,i}^2 + w_{tsd.dft,i}^2 + w_{c_trq.cal}^2 + w_{trq.tmp}^2 + w_{trq.lgstb}^2 \quad \cdots\cdots(A30)$$

$$w_{c_tcm,i}^2 = w_{tcm.rot,i}^2 + w_{tcm.rep,i}^2 + w_{tcm.lvr,i}^2 + w_{tcm.zer}^2 + w_{tcm.res,i}^2 + w_{rel.dev,i}^2 + w_{tsd.dft,i}^2 + w_{c_trq.cal}^2 + w_{trq.tmp}^2 + w_{trq.lgstb}^2 \quad \cdots\cdots(A30)$$

A.2.3 トルク標準機とトルク基準機との比較測定の不確かさ

トルク標準機とトルク基準機との間の比較測定の結果として得られる相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$ は、トルク標準機で特定二次標準器を校正した時の参照値の相対合成標準不確かさ $w_{c_ref_v,i}$ と、トルク基準機で特定二次標準器の測定を行った時の測定の相対合成標準不確かさ $w_{c_tcm,i}$ との合成により次式のように得られる。

$$w_{c_TCM_cal,i} = \sqrt{w_{c_ref_v,i}^2 + w_{c_tcm,i}^2} \quad \cdots\cdots(A31)$$

A.2.4 有効自由度の評価

トルク基準機の(実現トルクの)相対拡張不確かさの算出においては、本書の 2.4 節と同様に、$w_{c_TCM_cal,i}$ の有効自由度と、包含係数の評価が必要であり、次のように考えることができる。

まず、附属書 A.1 により、$w_{c_ref_v,i}$ において有効自由度は十分大きいと評価できる。

一方、$w_{c_tcm,i}$ における各不確かさ要因の中で正規分布(Type A)として評価されるのは、設置を変えた場合の再現性に基づく相対標準不確かさ $w_{tcm.rot,i}$ 並びにロードセル式及びビルドアップ式トルク基準機の場合における長期安定性に基づく相対標準不確かさ $w_{frc.lgstb}$、$w_{trq.lgstb}$ のみである。やや能力の低いトルク計測機器を特定二次標準器としたとき、これらの因子が支配的となり、有効自由度が 10 を下回るようなトルクステップが現れるケースがある。そこで有効自由度をステップ毎に考慮するのではなく、一つの校正サイクル全体の中で考えることとする。

まず、特定標準器による特定二次標準器 1 台の校正、並びに特定二次標準器を用いたトルク基準機による前後測定は 8 ステップとすることが前提である。

式(A31)により求めた、各測定トルクステップ(測定点) $T_{tcm,i}$ における比較測定の相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$ を全ての測定点 $T_{tcm,i}$ に対してプロットし、最小二乗法により「測定トルク T_{tcm} ー相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$」の最良近似曲線を決定する。ただし最良近似曲線で計算される値 $w_{c_TCM,i}$ が、各トルクステップにおける測定値の相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$ のうちの最小値を下回る場合は、その最小値を $w_{c_TCM_cal,i}$ の下限値として適用する。なお、最良近似曲線の形としては、各ステップにおける $w_{c_TCM_cal,i}$ と $w_{c_TCM,i}$ との残差が最終不確かさの有効数字二桁目に影響を及ぼさないように適切な近似式を選択する。

このようにして、トルク基準機の相対拡張不確かさ $W_{TSM,i}$ は、各ステップに対して次式で与えられ

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。

る。

$W_{TCM,i} = k \cdot w_{c_TCM,i}$ ……(A32)

例えば、8 つの測定点について、各測定点で少なくとも 3 方向以上の設置方向でもって測定を繰り返し行い、3 次以下の多項式近似によって「測定トルクー不確かさ最良近似曲線」を決定する場合、各測定点での有効自由度は少なくとも 2 以上あり、最良近似曲線で計算される不確かさの有効自由度は少なくとも 12 (= 2 × 8 − 4)以上あって常に十分大きいと考えられるので、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさの包含係数として k = 2 を適用できる。

少ない校正点数(8 ステップ以下)で比較測定を実施する場合等特別な場合においては、各ステップ毎に Welch-Satterthwaite の式を用いて有効自由度を評価して、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさの包含係数を決定する等の方法が考えられる。

A.2.5 校正測定能力の見積もり

JCT20901「技術的要求事項適用指針(トルク計測機器)」の 9.1 節に記載されているように、校正測定能力 W_{CMC} は、各特定二次標準器 1 台の測定範囲の中での最大値 w_{c_TCM} に加えて、最良のトルク計測機器を校正した場合のトルク計測機器に起因する相対合成標準不確かさ w_{c_tra-B} も考慮して、次式で評価することが望ましい。

$W_{CMC} = k \cdot w_{c_CMC} = k \cdot \sqrt{w_{c_TCM}{}^2 + w_{c_tra-B}{}^2}$ ……(A33)

(参考) w_{c_tra-B} の考慮の仕方として、校正範囲の代表的ないくつかのステップにおいて、トルク計測機器の定格容量における 1 ステップ校正を実施し、必要最小限の不確かさ因子を考慮するという方法がある(この場合、w_{c_tra-B} の寄与率は低いので、有効自由度が小さくなることはなく、k = 2 と考えることができる)。

最終的に、校正測定能力 W_{CMC} を全校正範囲の中で一つの数値とするか、数段階に分けて記載するかは、登録校正事業者の判断となる。JCT20901「技術的要求事項適用指針(トルク計測機器)」の「附属書 3 登録申請書の記載例」も参照すること。

実荷重式トルク基準機では、校正測定能力が一意に決まる校正範囲内であれば、最大トルクを任意に設定して減少トルクステップを実現できる。ロードセル式及びビルドアップ式トルク基準機では、基準力計及び基準トルクメータが校正されたときの最大トルク値から減少させるときのみ減少トルクステップが実現可能である。

また、顧客の校正器物の校正においては、校正の不確かさは式(20)によって評価するが、そのときに用いる w_{c_TCM} が、ステップにより異なるか($w_{c_TCM,i}$)、ある範囲での最大値を用いるかは、登録校正事業者の判断による。

なお、特定標準器による特定二次標準器の校正範囲を超えて校正範囲を設定する場合(外挿する場合)、次のように考えることができる。以下では「比較できる」とは、特定標準器による校正、並びに技能試験(又は技能試験以外の試験所間比較)が実施できる場合のことを言う。低トルク側への拡大では、その比較できる最低トルクでの絶対拡張不確かさをその大きさのままで適用する事が考えられる。高トルク側への拡大では、一つのトルク基準機の校正範囲(ロードセル式及びビルドアップ式においては一つの基準力計及び基準トルクメータの校正範囲)において、比較できる最高トルクまで比較できている場合には、負荷の増大による寄生分力の影響、支点感度の影響等を付加的に考慮する程度で良いと考えられる。

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。

A.2.6 環境温度に関する注意事項

本比較測定においては、測定時の環境温度は 23 ° C ±1 ° C を前提としている。もし登録校正事業者の校正室環境がこの温度範囲から外れるならば、上記の不確かさ($w_{c_TCM_cal,i}$)に特定二次標準器の出力感度の温度係数及び各トルク基準機の温度特性(例えば実荷重式の場合はアーム長さ、ロードセル式の場合は基準力計の温度係数、ビルドアップ式の場合は基準トルクメータの温度係数)を考慮した測定値の補正又は付加的な不確かさを追加する必要があるかもしれない。その考え方は A.2.2.9 項の 2)と同様である。

本比較測定時と顧客の校正器物の校正時とで校正室の環境温度が異なるならば、同様に $w_{c_TCM_cal,i}$ に特定二次標準器の出力感度の温度係数及び各トルク基準機の温度特性を考慮した測定値の補正又は付加的な不確かさを追加する必要があるかもしれない。

A.2.7 自己組立におけるトルク基準機の評価

自己組立によりトルクを実現する場合、トルク基準機の形式により、校正の上位標準となる特定二次標準器又は常用参照標準は異なる。(A31)式におけるトルク基準機の実現トルクの相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$ はそれぞれ実荷重式、ロードセル式トルク基準機で次項のように評価される。

A.2.7.1 実荷重式トルク基準機

実荷重式トルク基準機の場合、分銅又はおもりの質量、設置場所の重力加速度及びアームの長さがそれぞれ校正(又は測定)される。

分銅又はおもりは JCSS 校正事業者により校正を受ける。その相対標準不確かさ w_{mas} は、校正証明書の拡張不確かさを各読み値における相対拡張不確かさとした後、包含係数 k で除すことにより得られる。

設置場所の重力加速度は、重力計による直接測定又は重力基準点からの補間により決定される。その相対標準不確かさ w_{grav} は、校正証明書の拡張不確かさを各読み値における相対拡張不確かさとした後、包含係数 k で除すことにより得られる。不確かさの程度によっては重力加速度を定数と見なしても良い。

アームの長さは JCSS 校正事業者により校正(又は測定)できる場合には校正(又は測定)を実施してもらう。JCSS 校正事業者による校正(又は測定)が実施できない場合には、JCSS 校正事業者により校正を受けた長さ区分における計量器により不確かさの付随した測定を自ら行った結果を参照標準の値として採用することができる。その相対標準不確かさ w_{arm_lgt} は、校正証明書又は測定結果の拡張不確かさを各読み値における相対拡張不確かさとした後、包含係数 k で除すことにより得られる。

実荷重式トルク基準機の場合の実現トルクの相対合成標準不確かさ $w_{c_TCM_cal,i}$ は例えば次式のように評価される。

$$w_{c_TCM_cal,i} = \sqrt{w_{mas}{}^2 + w_{grav}{}^2 + w_{buoy}{}^2 + w_{arm_lgt}{}^2 + w_{sr}{}^2} \quad \cdots\cdots(A34)$$

ここで w_{mas} は分銅又はおもりの質量校正の相対標準不確かさ、w_{grav} は設置場所の重力加速度の相対標準不確かさ、w_{buoy} は空気浮力の相対標準不確かさ、w_{arm_lgt} はアーム長さの相対標準不確かさ、w_{sr} は支点感度限界の相対標準不確かさである。最終的に求める校正測定能力の程度に応じて、無視できる項目や、別途考慮しなければならない項目もあるかもしれない。

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。

(参考)トルク基準機の設置場所における重力加速度の値の評価に関しては、「JCSS 重力加速度値の使用に関する技術指針」(JCG23001)および「JCSS 重力加速度値の使用に関する不確かさガイド」(JCG23002)を参照。

A.2.7.2 ロードセル式トルク基準機

ロードセル式トルク基準機の場合、力計の力並びにアームの長さが校正(又は測定)される。

力計は JCSS 校正事業者により校正を受ける。その相対標準不確かさ w_{frc} は、校正証明書の相対拡張不確かさを包含係数 k で除すことにより得られる。なお、力計の JCSS 校正事業者が対応できない範囲については、適切な不確かさ評価によりトルク値での外挿を行っても良い。

アームの長さは JCSS 校正事業者により校正(又は測定)される場合には校正(又は測定)を実施してもらう。JCSS 校正事業者による校正(又は測定)が実施できない場合には、JCSS 校正事業者により校正を受けた長さ区分における計量器により不確かさの付随した測定を自ら行った結果を採用することができる。その相対標準不確かさ $w_{\mathrm{arm_lgt}}$ は、校正証明書又は測定結果の拡張不確かさを各読み値における相対拡張不確かさとした後、包含係数 k で除すことにより得られる。

ロードセル式トルク基準機の場合の実現トルクの相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$ は例えば次式のように評価される。

$$w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}} = \sqrt{{w_{\mathrm{frc}}}^2 + {w_{\mathrm{arm_lgt}}}^2 + {w_{\mathrm{sr}}}^2} \quad \text{(A35)}$$

ここで w_{frc} は基準力計校正の相対標準不確かさ、$w_{\mathrm{arm_lgt}}$ はアーム長さの相対標準不確かさ、w_{sr} は支点感度限界の相対標準不確かさである。最終的に求める校正測定能力の程度に応じて、無視できる項目や、別途考慮しなければならない項目もあるかもしれない。例えば力計については長期安定性、温度変動の影響、荷重軸のずれ・傾きの影響等を考慮しなければならない。

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。

主な改正事項

1. 組織改編に伴う名称の変更等

以上

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。