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

計量器等の種類：トルクメータ及び参照用トルクレンチ

ビルドアップ式トルク基準機の評価方法

（第 3 版）

（JCG209S12-03）

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 3
2. 従来の不確かさの評価方法との違い 3
3. 特定標準器による特定二次標準器の校正(参考) 3
4. ビルドアップ式トルク基準機の不確かさの評価 4
4.1 はじめに 4
4.2 基準トルクメータ使用時の温度変動に伴う不確かさ 4
4.3 基準トルクメータの脱着時の指示の変動に伴う不確かさ 4
4.4 基準トルクメータの長期安定性に基づく不確かさ 5
4.5 トルク基準機に起因する不確かさ 5
4.6 有効自由度の評価 5
4.7 校正測定能力の見積もり 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。

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、ビルドアップ式トルク基準機において、内蔵の基準トルクメータを特定二次標準器としたときのトルク基準機による校正測定能力の評価方法について述べる。基準トルクメータを重要校正用機器と位置づけ、参照用トルクメータ又は参照用トルクレンチを仲介器的位置づけとした特定二次標準器とする従来の方法については JCG209S11 の附属書 A.1 並びに A.2 を参照のこと。不確かさの評価は 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「トルクメータ基準機」の評価方法、右段が「トルクレンチ基準機」の評価方法に固有の事項である。

2. 従来の不確かさの評価方法との違い

従来は、校正事業者がトルク基準機に対して校正測定能力の見積りを行う過程は次のようであった。

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) $w_{c_ref_v}$]
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}]
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_{BMC}]

ビルドアップ式トルク基準機の内蔵の基準トルクメータを特定二次標準器とした場合、従来の比較測定が行えない一方、仲介器としての特定二次標準器の校正の不確かさが加算されない分、校正測定能力の向上が期待できる。過程としては次のようになる。

1) 特定標準器(トルク標準機)による特定二次標準器(基準トルクメータ)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) $w_{c_ref_v}$]
2) 登録校正事業者によるトルク基準機の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_{BMC}]

3. 特定標準器による特定二次標準器の校正(参考)

ビルドアップ式トルク基準機に内蔵の基準トルクメータを特定二次標準器とする場合、特定標準器による校正は JCG209S11 の附属書 A.1 とは異なり、本文に記載されているトルク計測機器の

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。

校正方法と全く同様となる。すなわち JCG209S11 の式(20)をもとに、特定標準器による参照値の不確かさ W_{ref_v} は次式で表される。

$$W_{ref_v,i} = k \cdot w_{ref_v,i} = k \cdot \sqrt{w_{c_tsm}{}^2 + w_{c_tra,i}{}^2} \quad \cdots\cdots(1)$$

w_{c_tsm} はトルク標準機の実現トルクの相対標準不確かさであり、また w_{c_tra} は基準トルクメータに起因する相対合成標準不確かさで JCG209S11 の式(21)～(23)のいずれかで表される。

4. ビルドアップ式トルク基準機の不確かさの評価

4.1 はじめに

特定二次標準器が仲介器として位置づけられる場合、JCG209S11 の附属書 A.1 及び A.2 で解説されているように、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。しかしながらビルドアップ式トルク基準機の内蔵の基準トルクメータを特定二次標準器とする場合、特定二次標準器の相対拡張不確かさは特定標準器による参照値の不確かさとして式(1)で表されることを述べた。ここでは基準トルクメータをビルドアップ式トルク基準機に組み込んだ後のトルク基準機としての能力評価の方法について述べる。

4.2 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組み込んでトルク基準機として顧客のトルク計測機器の校正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、登録校正事業者は基準トルクメータの出力値の温度補正を行い、その上で温度変動の影響を評価するか、補正を行わずに全ての温度変動を包括して不確かさに考慮しなければならない。温度変動を・ t_{meas}、基準トルクメータの相対温度係数を・とすると、出力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 $w_{trq.tmp}$ は次式で計算される。

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

4.3 基準トルクメータの脱着時の指示の変動に伴う不確かさ

基準トルクメータは特定二次標準器として特定標準器により校正されるとき、トルク基準機から取り外されなければならず、校正後に再びトルク基準機に取り付けた際に、その指示が再現される保証はない。登録校正事業者は、基準トルクメータの校正前後において、高安定かつ高精度な管理用トルクメータ又は管理用トルクレンチを校正対象として校正し、前後の校正結果の差を不確かさとして考慮しなければならない。前後の校正結果をそれぞれ $\overline{S_{pre-dis,i}}$ 、$\overline{S_{post-dis,i}}$ とし、これらの平均値を $\overline{S_{mean-dis,i}}$ とすると、前後校正の変動幅を矩形分布の全幅と解釈し、相対標準不確かさ $w_{trq.dis}$ は次式で計算される。

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。

$$w_{\mathrm{trq.dis,i}}{}^{2} = \frac{1}{3}\left(\frac{\overline{S_{\mathrm{post-dis,i}}} - \overline{S_{\mathrm{pre-dis,i}}}}{2\cdot\overline{S_{\mathrm{mean-dis,i}}}}\right)^{2} \quad \cdots\cdots (3)$$

ここで、校正前後において、特定標準器による基準トルクメータの校正結果を元にトルク基準機の補正値を更新してはならない。

4.4 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。

$$w_{\mathrm{trq.lgstb}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}(n_{\mathrm{cal}}-1)}\sum_{\mathrm{c}=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\overline{S_{\mathrm{c}}} - \overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right)^{2}} \quad \cdots\cdots (4)$$

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 %以上の値を校正事業者が任意に設定する。

4.5 トルク基準機に起因する不確かさ

トルク基準機に起因する相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$ は、トルク標準機で特定二次標準器(基準トルクメータ)を校正した時の参照値の相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_ref_v,i}}$、基準トルクメータ使用時の温度変動による相対標準不確かさ $w_{\mathrm{trq.tmp}}$、基準トルクメータ脱着時の指示の変動に伴う相対標準不確かさ $w_{\mathrm{trq.dis}}$ 基準トルクメータの長期安定性に基づく相対標準不確かさ $w_{\mathrm{rq.lgstb}}$ の合成により次式のように得られる。

$$w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}} = \sqrt{w_{\mathrm{c_ref_v,i}}{}^{2} + w_{\mathrm{trq.tmp}}{}^{2} + w_{\mathrm{trq.dis}}{}^{2} + w_{\mathrm{trq.lgstb}}{}^{2}} \quad \cdots\cdots (5)$$

4.6 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、JCG209S11「不確かさの見積もりに関するガイド(トルク計測機器)」の 2.4 節と同様に、$w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$ 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 JCG209S11 の 3 章により、$w_{\mathrm{c_ref_v,i}}$ において有効自由度は十分大きいと評価できる。

また、$w_{\mathrm{trq.tmp}}$、$w_{\mathrm{trq.dis}}$ 共に Type B の評価であり、有効自由度は十分大きいと評価できる。

一方、正規分布(Type A)として評価されるのは、基準トルクメータの長期安定性に基づく相対標準不確かさ $w_{\mathrm{trq.lgstb}}$ のみである。やや能力の低い基準トルクメータを特定二次標準器としたとき、こ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) $M_{\mathrm{trq,i}}$ における相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$ を全ての測定点 $M_{\mathrm{trq,i}}$ に対してプロットし、最小二乗法により「測定トルク M_{trq} ー相対合成標準不確かさ $w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$」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 $w_{\mathrm{c_TCM,i}}$ 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 $w_{\mathrm{c_TCM_cal,i}}$ のうちの最小値を

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。

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 $w_{c_TCM,i}$ との残差が表明する拡張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 $W_{TCM,i}$ は、各ステップに対して次式で与えられる。

$$W_{TCMi} = k \cdot w_{c_TCMi} \quad \cdots\cdots (6)$$

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」を決定しているので、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。従って信頼の水準約 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)で基準トルクメータの校正を実施する場合等特別な場合においては、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。

なお年数を経るごとに $w_{trq.lgstb}$ が十分な数で評価されるようになると、有効自由度も十分大きいと評価できるようになるので、その際には不確かさの最良近似曲線を用いることなく、k = 2 として評価が可能となる。

4.7 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_{BMC} 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、次式で評価する必要がある。

$$W_{BMC} = k \cdot w_{c_BMC} = k \cdot \sqrt{w_{c_TCM}^{\ 2} + w_{c_tra\text{-}B}^{\ 2}} \quad \cdots\cdots (7)$$

(参考 1) 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、u_{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)。

(参考 2)トルクレンチ基準機にあっては参照用トルクレンチが校正対象機器となるが、w_{c_tra-B} を求める際にレバー長さの再現性に基づく不確かさも評価しなければならない。校正測定能力を見積もる際に設定した最小レバー長さは、校正事業者が校正を行うことができるレバー長さ範囲を決定することに注意しなければならない。

最終的に、校正測定能力 W_{BMC} 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。

ビルドアップ式トルク基準機では、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。ただし最大トルク値よりも低い値から減少させたときの出力値を何らかの方法で推定できる場合はその限りではない。

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。

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 JCG209S11 の式(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。

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。