

# JAB NOTE 4 不確かさの求め方 (電気試験／大電力試験分野)

JAB RL504:20~~2013~~

第~~32~~版：20~~2013~~年~~19~~月~~30~~~~25~~日  
第1版：2003年03月25日

公益財団法人日本適合性認定協会

## JAB NOTE 4

不確かさの求め方（電気試験／大電力試験分野）（第 ~~32~~ 版）~~November 01~~ ~~January 25, 2020~~ ~~13~~公益財団法人日本適合性認定協会—~~認定センター~~

## 目 次

1. はじめに.....	3
2. 適用範囲.....	3
3. 引用文書及び参考文書.....	3
4. 用語.....	3
5. 不確かさの推定に関する一般原理.....	6
5.1 不確かさの概念.....	6
5.2 不確かさの評価方法.....	6
5.3 タイプ A の不確かさの評価.....	7
5.4 タイプ B の不確かさの評価.....	7
5.5 合成標準不確かさの算出.....	8
5.6 拡張不確かさの算出と丸め方.....	9
5.7 結果の表示.....	10
6. 大電力試験における不確かさ推定のための指針.....	12
6.1 大電流測定システムにおける測定系の構成.....	12
6.2 大電流測定システムにおける不確かさに寄与する要因.....	14
6.3 大電流測定システムの不確かさ推定方法の例（ケース 1）.....	24
6.4 大電流測定システムの不確かさ推定方法の例（ケース 2）.....	25
6.5 大電流測定システムの不確かさ推定方法の例（ケース 3）.....	26
6.6 大電流測定システムの不確かさ推定方法の例（ケース 4）.....	27
7. おわりに.....	28
付録 1 ISO/IEC 17025 の測定の不確かさに関する要求事項.....	29
付録 2 一様分布の標準偏差.....	<del>31</del> <del>31</del>

## 1. はじめに

大電力試験場での特に電流値測定に関わる「不確かさ」の評価推定法について検討した。他の試験分野における不確かさ評価推定と手法の基本原理は大電力試験においても何ら変わることはない。しかし実際のケースに当てはめて見ると計算式の適用などで幾種類かの解釈の相違が出てくる可能性もある。

本文書は測定値の不確かさを評価推定する一般原理について述べるほか、特に実際に大電力試験において実際に使用されている測定器類を複数とりあげ、これらを使用した測定での「不確かさ」推定評価の具体例を示すことによって、大電力試験所で利用できるよう考慮したものである。

## 2. 適用範囲

本文書は、大電力認定試験所又は認定申請試験所における大電流測定システム及び測定結果に対する不確かさの推定及びその評価のために適用する。

## 3. 引用文書及び参考文献

- 1 ISO/IEC 17025:201705, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- 2 ISO/IEC Guide 2:2004, Standardization and related activities - - General vocabulary
- 3 International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms :2008 , issued by BIPM, IEC, ISO, IFCC, IUPAC, IUPAP and OIML (略称 VIM)
- 4 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement:1995, issued by BIPM, IEC, ISO, IFCC, IUPAC, IUPAP and OIML (略称 GUM) 日本語訳:計測における不確かさの表現のガイド(日本規格協会)
- 5 IEC 60060-1:2010, High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements
- 6 IEC 60060-2:2010, High voltage test techniques. Part 2: Measuring systems
- 7 IEC 62475:2010, High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems
- 8 CIGRE 33-96 (WG 03):1996, Uncertainty of HV Measurements – the Situation at IEC and CENELEC
- 9 STL GUIDE TO THE INTERPRETATION OF IEC 60060-2, 1999-11
- 10 測定の不確かさに関する入門ガイド (製品評価技術基盤機構 適合性評価センター)
- 11 ISO 3534-1:2006 Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 1: General statistical terms and terms used in probability
- 12+ JIS Z8101-1:2015+1999, 統計一用語と記号ー第1部: 確率及び一般統計用語及び確率で用いられる用語

## 4. 用語

- 測定量 (measurand) (VIM 2.36)

測定の対象となる特定の量。

- 真の値 (true value) (VIM 1.19)  
ある特定の量の定義と合致する値。
- ~~— (測定の) 誤差 (error) (VIM 3.10) —  
測定の結果から測定量の真の値を引いたもの。~~
- 測定の不確かさ (uncertainty of measurement) (VIM ~~2.263-9~~)  
測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ。
- 試験 (test) (ISO/IEC Guide 2)  
所定の製品、方法又はサービスについての一つ又はそれ以上の特性を決定する技術的な作業であって、規定された手順に従って行われるもの。
- 校正 (calibration) (VIM ~~2.396-11~~)  
計器又は測定システムによって指示される量の値、若しくは、実量器又は標準物質によって表される値と、標準によって実現される対応する値との間の関係を、特定の条件下で確定する一連の作業。
- 分解能 (resolution) (VIM 4.14 引文文書 10)  
有意に識別され得る表示装置の指示の間の最小の差異。(注) デジタル表示装置については、これは最小の有効数字が1ステップ変化するときの指示の変化である。意味のある識別が可能な最小の差 (例：デジタル表示の最後の桁にある数が「1」だけ変化する。)
- 正規分布、ガウス分布 (normal distribution, Laplace-Gauss distribution) (JIS Z8101-1, 1.25)  
確率密度関数が

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right], \quad -\infty < x < \infty$$

で与えられる連続変数の分布。

- 一様分布 (uniform distribution, rectangular distribution) (JIS Z8101-1, 1.24)  
確率密度関数が有限区間 [a, b] で一定の値、区間外で 0 となる分布。
  - 相関 (correlation) (JIS Z8101-1, 1.9 ISO 3534)  
2 つ以上の確率変数をもつ分布の範囲での、2 個又は数個の確率変数の間の関係。
  - 標準偏差 (standard deviation) (JIS Z8101-1, 1.14)  
分散の正の平方根。
  - 実験標準偏差 (experimental standard deviation) ~~(VIM 3.8)~~  
実験分散の正の平方根であり次式で表される。
- $$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$
- $x_i$  = 測定値  
 $\bar{x}$  = その平均値  
 $n$  = 測定回数
- 信頼水準 (level of confidence) (引用文書 10)  
結果に対する信頼度を表現する数値 (例、95%)。
  - 標準不確かさ (standard uncertainty) (GUM 2.3.1)  
標準偏差で表される、測定の結果の不確かさ。
  - 合成標準不確かさ (combined standard uncertainty) (GUM 2.3.4)  
測定の結果が幾つかの他の量の値から求められるときの、測定の結果の標準不確かさ。これは、これらの各量の変化に応じて測定結果がどれだけ変わるかによって重み付けした、分散又は他の量との共分散の和の正の平方根に等しい。

- 包含係数 (coverage factor) (GUM 2.3.6)  
 拡張不確かさを求めるために合成標準不確かさに乗ずる数として用いられる数値係数。
- 拡張不確かさ (expanded uncertainty) (GUM 2.3.5)  
 測定量に合理的に結び付けることができる値の分布の大部分を含むと期待される測定結果について一定の区間を定義する量。
  
- 国家標準 (national standard) (VIM ~~5.36.3~~)  
 国家的な決定によって認められた標準であって、当該量の他の標準に値付けするための基礎として国内で用いられるもの。
- 参照標準 (reference standard) (VIM ~~5.66.6~~)  
 一般に、ある場所又はある組織内で利用できる最高の測定性能をもち、そこで行われる測定の基になる標準。
- 計量トレーサビリティ (metrological traceability) (VIM ~~2.416.10~~)  
 不確かさがすべて表記された、切れ目のない比較の連鎖を通じて、通常は国家標準又は国際標準である決められた標準に関連づけられ得る測定結果又は標準の値の性質。  
 (注) この概念はしばしばトレーサブルという形容詞で表現される。
- 測定システム (measuring system) (VIM ~~3.24.5~~)  
 特定の測定をおこなうために組み立てられた、計器と他の装置との組合せ。
- rss 法 (root sum square method)  
 測定結果の不確かさに寄与する成分を合成して合成標準不確かさを求めるための計算方法。不確かさの伝播則により、各成分の二乗和の平方根 (root sum square) の計算になるので、このように呼ばれることがある。  
 例:  $\sqrt{2^2 + 3^2 + 6^2} = 7$
- 出力量 (output quantity)  
 測定量の、それを導出する過程における呼称。多くの場合、測定量は直接には測定されず、他の複数個の量から関数関係によって決定されるので、その関数によるプロセスの出力という意味で出力量とよばれる。
- 入力量 (input quantity(ies))  
 出力量を求めるために、直接測定される量、及び引用、推定等によって決定される量。通常、複数あり、これらから関数関係によって出力量が決定される。

## 5. 不確かさの**評価推定**に関する一般原理

### 5.1 不確かさの概念

ある測定を行う場合に、同じ測定を何回か繰り返して行くと、まったく同じ条件で行ったつもりでも、結果として得られる値はばらつく。測定者、測定装置、測定手法など、測定条件を変えて測定すれば、条件を変えたことによって測定の結果はばらつく。そのようなばらつきの幅が測定の不確かさである。

測定条件には制御できるものと制御できないものがある。測定を行う際には、前者（制御可能な条件）の全部又は一部が一定に保たれる。一定に保たれなかった条件（通常、制御の限界を超える部分）が測定結果に不確かさをもたらす。

「測定の不確かさ」を取り扱う中で、標準不確かさ  $u$ 、合成標準不確かさ  $u_c$ 、拡張不確かさ  $U$  の三つの概念が登場する。測定結果の報告に表記されるものは、通常、拡張不確かさである。

測定を多数回行ったとして、ほとんどすべての場合に、測定結果が値  $y$  を中心として  $y-U$  から  $y+U$  までの間に入ると期待されるとき、 $U$  が拡張不確かさである。「ほとんどすべての場合」をどの程度とするかは任意であるが、多くの場合、95%の信頼の水準が採用される。95%の信頼の水準とは、同じ測定を20回行くとすればそのうちの19回はこの範囲を外れないと期待されるということの表現である。

### 5.2 不確かさの評価方法

不確かさの求め方の手順を図 5.1 に示す。

多くの場合、測定量  $Y$  は直接には測定されず、他の  $N$  個の量  $X_1, X_2, \dots, X_N$  から決定される。この関数関係を数学モデルとよび、GUM に倣って、次式で表現することとする。

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

ここで、 $Y$  を出力量、 $X_1, X_2, \dots, X_N$  を入力量とよぶ。

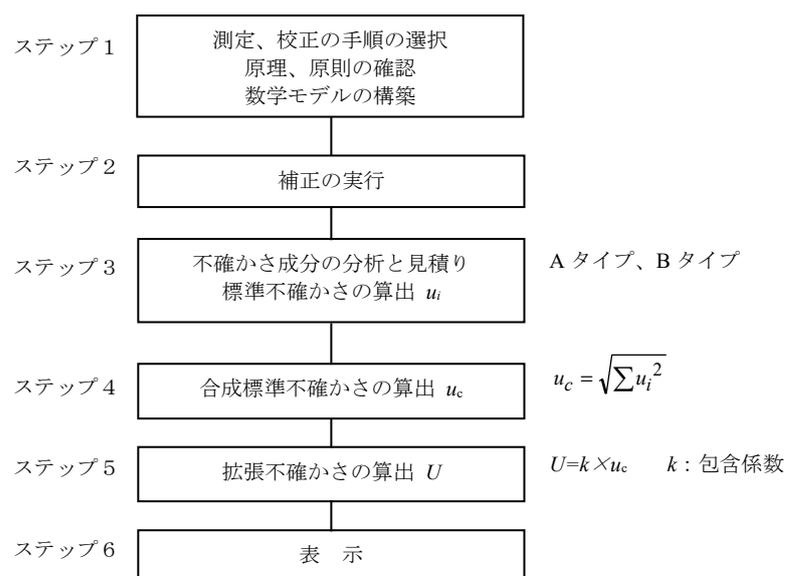


図 5.1 不確かさの求め方の手順

不確かさの評価方法には、次に示すA、B、2つのタイプがある。

タイプA：一連の繰り返し測定結果の統計解析による評価。統計解析によって得られた標準偏差をもって標準不確かさとする。通常、正規分布（ガウス分布）を仮定する。

タイプB：統計解析以外の方法による評価。分布の形（一様分布であるか、正規分布であるか、など）に注意を払う必要がある。

### 5.3 タイプ A の不確かさの評価

多くの場合、測定は同一条件のもとで実験を何回か繰り返して行う。すなわち、測定量  $Q$  の推定値  $q$  を求めるために、実験を  $n$  回繰り返して行い、各実験で得られる観測値  $q_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) の平均値  $\bar{q}$  を求め、 $\bar{q}$  を推定値  $q$  とする。

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (2)$$

$q$  の確率分布の分散  $\sigma^2$  を推定するためには、観測値の実験分散  $s^2(q_k)$  を用いる。

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 \quad (3)$$

この実験分散の正の平方根  $s(q_k)$  が実験標準偏差である。今の場合、実験標準偏差の自由度は  $n-1$  である。

平均値  $\bar{q}$  の分散は  $\sigma^2(\bar{q}) = \frac{\sigma^2}{n}$  で与えられる。従って、その推定値として

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (4)$$

を用いる。 $s^2(\bar{q})$  を平均値の実験分散とよび、その正の平方根  $s(\bar{q})$  を平均値の実験標準偏差とよぶ。

以上の実験及び統計解析により、測定量  $Q$  の推定値  $q$  を平均値  $\bar{q}$  として求め、その標準不確かさ  $u(\bar{q})$  は平均値の実験標準偏差  $s(\bar{q})$  に等しいとして求める。

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (5)$$

(注意1) 繰り返し実験の回数  $n$  が少ないからといって、上のようにして求めた標準不確かさに  $t$  値を乗じて信頼の水準95%に相当する拡張不確かさとし、これを2で除して改めて標準不確かさとするようなことをしてはならない。

### 5.4 タイプ B の不確かさの評価

繰り返し観測から求めたものではない入力量の推定値については、それに付随する標準不確かさを、入手できるすべての情報に基づく科学的判断によって評価する。評価して決定すべきものは、確率分布の形、標準不確かさ、及び（もし必要なら）自由度である。

確率分布には、正規分布、一様分布、三角分布、台形分布、U字分布などがある。これらの中

で最も多く使われる正規分布及び一様分布を図 5.2 に示す。

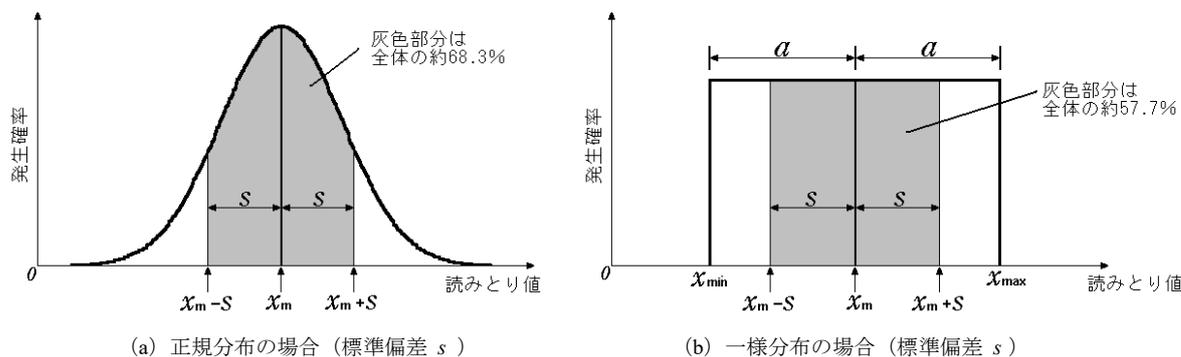


図5.2 正規分布 (a) と一様分布 (b) の標準偏差  $s$

入力量の推定値が下限  $x_{\min}$  と上限  $x_{\max}$  の間にあり、その間のどの値をも平等に取り得ると評価されるのであれば、それは図 5.2(b) に示す一様分布であり、標準不確かさは(6)式で表される。

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{6}$$

ここで、

$$a = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \tag{7}$$

である。本書では、 $a$  を (一様分布の) 半幅と呼ぶことにする。

タイプBの評価をした不確かさの自由度  $\nu$  は、もし不確かさが校正証明書等に記載されたものであって、そこに包含係数及び信頼の水準への言及があれば、それらの情報から推定することができる。その様な言及がない場合には、**評価推定**した不確かさがどの程度信頼できるかを判断し、次式を使って求める。

$$\nu \doteq \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\Delta u(x)}{u(x)}\right)^2} \tag{8}$$

ここで  $\Delta u$  は不確かさ  $u$  の不確かさである。

すなわち、例えば**評価推定**した不確かさに25%程度の不確かさがあると判断されるのであれば、これは  $\frac{\Delta u(x)}{u(x)} = \frac{1}{4}$  ということであるから、 $\nu = 8$  と求められる。

### 5.5 合成標準不確かさの算出

出力量の標準不確かさは、各入力量の標準不確かさを不確かさの伝播則に基づく方法、すなわち感度係数を乗じて二乗し、それらの和の平方根をとる方法 (rss法)、によって合成して求める。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2} \quad (9)$$

ここで、 $u(x_i)$  は  $i$  番目の入力量  $X_i$  の標準不確かさ、 $c_i$  は  $Y$  の  $X_i$  に対する感度係数である。

感度係数は、(1)式の数学モデルから、偏導関数  $\frac{\partial f}{\partial X_i}$  の  $X_i = x_i$  における値として求めることができる。関数の形が明確でないときなどは、 $X_i = x_i$  の近傍で  $x_i$  を微小量  $\Delta x_i$  だけ変化させ、その時の  $Y$  の値の変化  $\Delta y$  から

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \quad (10)$$

として求めることができる。

(参考1) (9)式は入力量の間に関連がない場合の式である。関連がある場合の扱いについては、GUM等を参照していただきたい。

(参考2) (9)式は不確かさの値（相対値ではない。）に関する式である。数学モデルの関数が入力量の積（商、べき乗を含む。）であるときは、(9)式をそのまま使うと感度係数に多くの因子が入ってきて計算が複雑になる。この場合には、感度係数に含まれる因子に注意を払って(9)式を変形すれば、相対不確かさに関して単純なrss法の式となる。

(参考3) 合成標準不確かさの算出は何段階かに分割して行ってもよい。特に、ある入力量の推定値の不確かさに寄与する成分が複数あるとき、それらの成分の標準不確かさを合成して当該入力量の標準不確かさとして求めておくことは、不確かさの評価を整理する上から望ましい。6.2に示す不確かさの計算例では相対不確かさについてrss法を用い、各成分の標準不確かさを合成している。

## 5.6 拡張不確かさの算出と丸め方

拡張不確かさ  $U$  は、(9)式で求めた合成標準不確かさ  $u_c(y)$  に包含係数  $k$  を乗じて算出する。

$$U = k u_c(y) \quad (11)$$

包含係数  $k$  は、測定自由度  $\nu$  及び信頼水準  $p$  に応じて決定される。包含係数は、一般論としてはスチューデントの分布 ( $t$  分布) から求めるべきであるが、多くの場合、 $k=2$  を採用し、信頼水準  $p=95\%$  であるとされる。 $k=2$  で  $p=95\%$  を主張できるのは測定自由度  $\nu$  が20程度以上の場合である。

測定自由度  $\nu$  としては、合成標準不確かさに合成された各不確かさの自由度  $\nu_i$  を用いて、(12)式によって計算される有効自由度  $\nu_{eff}$  を用いる。

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (12)$$

ここで、

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (13)$$

である。

表5.1 スチューデントの  $t$  分布  
(測定数  $n$  の関数として、特定の信頼水準  $p\%$  に対する  $t$  の値)

$n \backslash p\%$	68.3	95.0	99.7
5	1.14	2.78	6.62
6	1.11	2.57	5.51
7	1.09	2.45	4.90
8	1.08	2.36	4.53
9	1.07	2.31	4.28
10	1.06	2.26	4.09
20	1.03	2.09	3.45
無限大	1.00	1.96	3.00

不確かさとして決定された数値自体も不確かさをもつ。不確かさの評価は、通常、その不確かさのもつ不確かさが5%程度に収まるように配慮して行う。多くの測定において  $k=2$  としてよいという根拠は、多くの測定において  $\nu \geq 20$  は達成されているがゆえに  $k=2$  で  $p=95\%$  を主張できるというところにある。

算出された拡張不確かさ  $U$  の値の表示は、その拡張不確かさの不確かさに見合ったものとする。通常、不確かさの不確かさは5%程度あると考えられるので、有効数字の桁数は2桁にとどめ、3桁以上にしない。

(参考4) 有効数字2桁に丸める場合、3桁目を4捨5入すればよい。このケースで不確かさの過小評価が最大となる1.04...の場合でも、3桁目を4捨5入したことによる不確かさの過小評価は5%未満だからである。しかし、有効数字1桁に丸める場合で切捨てによる過小評価が5%以上になる場合には、切上げる。(例：8.4→9)

## 5.7 結果の表示

不確かさを付与した測定結果は(14)式のように表される。

$$y \pm U (A) \quad (14)$$

ここで、 $y$  アンペアは測定結果、 $U$  アンペアは拡張不確かさである。

大電流の測定の場合、不確かさを百分率  $\frac{U}{y} \times 100$  (%) で表示することが多い。この場合、測定結果を不確かさをも含めて数式によって表示しようとするなら、(15)式ようになる。

$$y (1 \pm \Delta \times 10^{-2}) (A) \quad (15)$$

(注意2)  $y (A) \pm \Delta (\%)$  のような表示は避けなければならない。

(参考5) 拡張不確かさ  $U$  の最下位の有効桁は測定結果の値  $y$  の最下位の有効桁に揃える。

(参考6) 包含係数  $k$  を、本文書では一般的であるという理由で常に2としているが、GUMでは特定の数值にすることとせず、要求される信頼の水準を基に選択することとし、一般に2と3の間にあるとしている。いずれにせよ、 $k$  にどのような値を用いたかは不確かさの値と共に表記する。更に、もし可能であれば、自由度及び信頼の水準も表記する。

(例：○ $\pm\Delta(A)$  ここで、記号 $\pm$ に続く数は拡張不確かさであり、自由度 $\nu=50$ に対する  $t$  分布に基づく包含係数  $k=2$  を用いて決定されたもので、95パーセントの信頼の水準をもつと推定される区間を定める。)

6. 大電力試験における不確かさ評価推定のための指針

6.1 大電流測定システムにおける測定系の構成

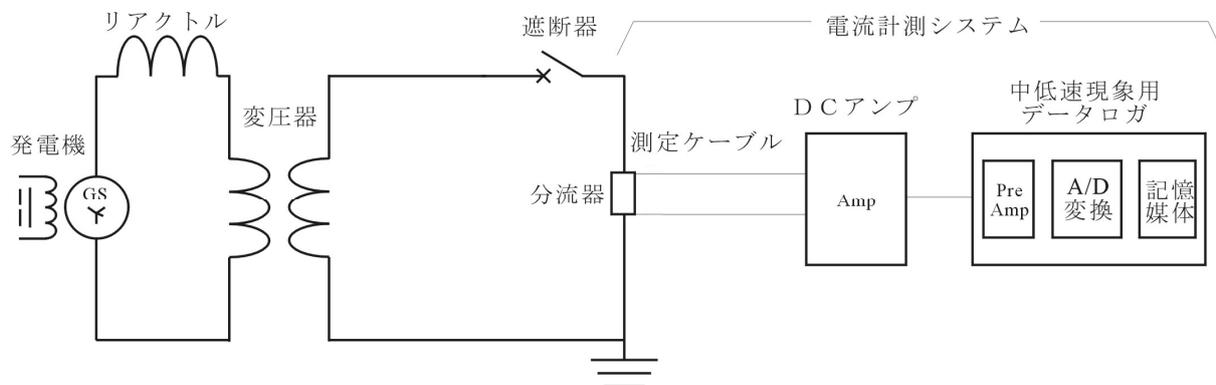


図 6.1 電流測定システムの代表例

大電流測定システムは、検出器、伝送系、増幅器及び変換器の構成要素から成り立っている。大電力試験所で一般的に使用されている測定システムの構成は、大別して次の4ケースが考えられる (表 6.1 参照)。他に検出器としてログウスキーコイルや光変流器を使用する方法もあるが使用実績、データ共少ないためここでは取扱わない。

- ケース 1 デジタル光リンクを介して分流器により測定するシステム
- ケース 2 アナログ光リンクを介して分流器により測定するシステム
- ケース 3 同軸ケーブルを介して分流器により測定するシステム
- ケース 4 変流器出力を分流器で電圧信号とし、同軸ケーブルを介して測定するシステム

表6.1 大電流測定システムにおける測定系の代表的な構成

構成部位 \ ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
① 検出器	①-1 分流器		①-2 変流器/分流器	
② 伝送系	②-1 光ケーブル (デジタルE/O-O/E)	②-2 光ケーブル (アナログE/O-O/E)	②-3 同軸ケーブル	
③ 増幅器		③ D/Cアンプ		
④ 変換器	④ A/D変換器			
⑤ データ処理	⑤ ソフトウェア			

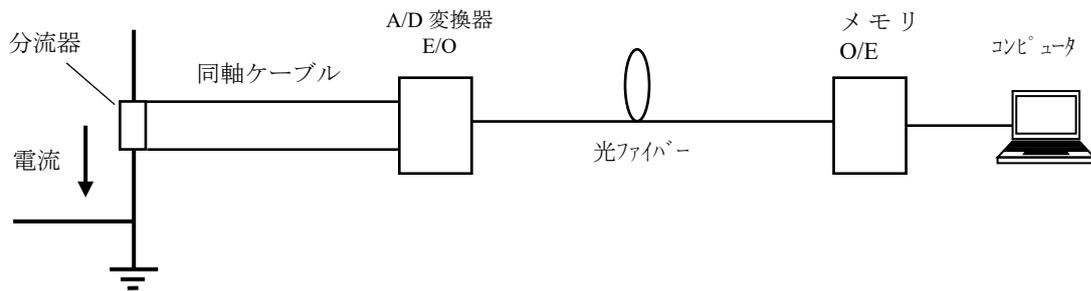


図6.2 大電流測定システム (ケース1)

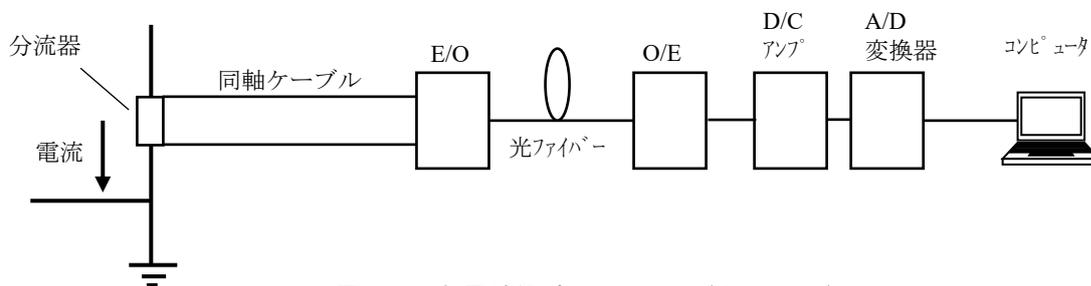


図 6.3 大電流測定システム (ケース2)

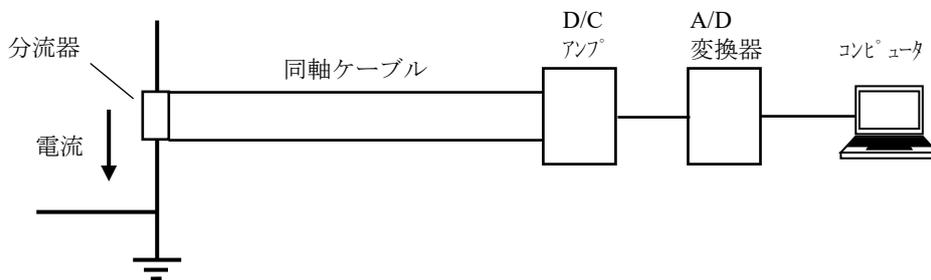


図 6.4 大電流測定システム (ケース3)

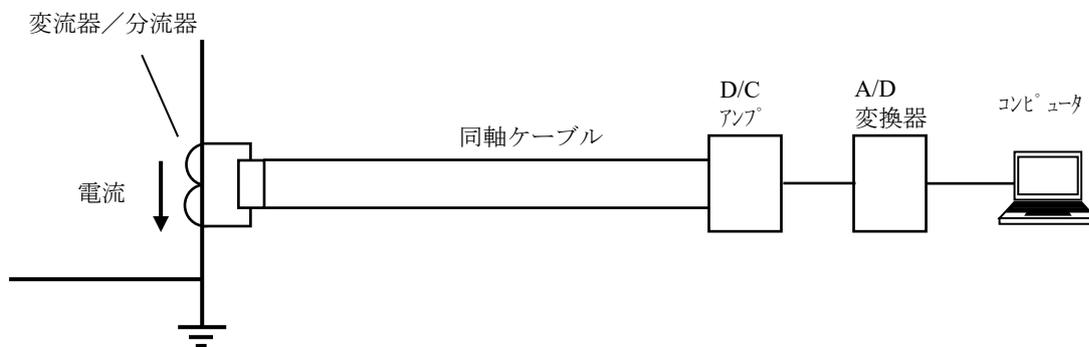


図 6.5 大電流測定システム (ケース4)

## 6.2 大電流測定システムにおける不確かさに寄与する要因

この測定システムの不確かさを評価推定するためには、大電流測定時において、通常、考慮される各種の寄与成分毎に不確かさ（又は標準偏差）をあらかじめ評価推定する必要がある。ただし、標準シャントとの比較校正による不確かさの算出方法は、別途定めるものとする。

まず、測定システムの構成部位毎に不確かさに寄与する主要な要因を下表に示す。

表 6.2 測定システムにおける不確かさに寄与する主要な要因と分類

構成部位	構成部位種類	不確かさの要因	重要度	タイプ	確率分布	標準不確かさの算定式
① 検出器	①-1 分流器	【 $u_1$ 繰り返し測定によるデータのばらつき】	○	A	正規分布	(5)式
		【 $u_2$ ダブルブリッジの校正値の不確かさ】	○	B	正規/一様分布 (※1)	(5)/(6)式
		【 $u_3$ 環境温度による温度効果】	△	B	一様分布	(6)式
		【 $u_4$ 通電加熱による温度効果】	△	B	一様分布	(6)式
		【 $u_5$ 電流経路による近接効果】	△	B	一様分布	(6)式
	①-2 変流器/分流器	【 $u_6$ 繰り返し測定によるデータのばらつき】	○	A	正規分布	(5)式
		【 $u_7$ 二次側分流器の校正値の不確かさ】	○	B	正規/一様分布 (※1)	(5)/(6)式
		【 $u_8$ 二次側分流器の温度効果】	△	B	一様分布	(6)式
		【 $u_9$ 変流器の非直線性】	△	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{10}$ 電流経路による近接効果】	△	B	一様分布	(6)式
② 伝送系	②-1 光ケーブル (デジタル E/O-O/E)	【 $u_{11}$ 温度ドリフト】	△	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{12}$ 非直線性】	△	B	一様分布	(6)式
	②-2 光ケーブル (アナログ E/O-O/E)	【 $u_{13}$ 温度ドリフト】	○	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{14}$ 非直線性】	△	B	一様分布	(6)式
	②-3 同軸ケーブル	商用周波数ではこの項は無視できる				
③ 増幅器	③ D/C アンプ	【 $u_{15}$ 利得 (利得調整含む)】	○	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{16}$ 非直線性】	○	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{17}$ 温度ドリフト】	○	B	一様分布	(6)式
④ 変換器	④ A/D 変換器	【 $u_{18}$ デジタル分解能】	○	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{19}$ 温度ドリフト】	△	B	一様分布	(6)式
⑤ データ 処理	⑤ ソフトウェア	【 $u_{20}$ 最小二乗法】	○	B	一様分布	(6)式
		【 $u_{21}$ 3波高値法】	○	B	一様分布	(6)式

⑥	⑥ 動特性の不確かさ	周波数特性	○	不明	不明	
---	---------------	-------	---	----	----	--

上表は、測定の特ラサビリティのある参照標準を使用して試験所内でダブルブリッジの校正を行う場合を想定している。

「重要度」について ○：不確かさの算定に、考慮すべき寄与成分

△：正当な理由があるとき、不確かさの算定に、省略されることがある寄与成分

※1 不確かさの記載が校正証明書にあるかないかによって、評価方法が異なり、「正規分布」の場合と「一様分布」の場合とがあり得る。

表 6.2 中の番号を用い、以下に構成部位毎の不確かさの要因及び標準不確かさの計算例を示す。

## ①検出器

### ①-1 分流器

分流器は電流波形を電圧変換して検出するための抵抗体であり、正確に抵抗分電圧を測定するために大電流用では同軸形分流器が一般的に用いられる。分流器の不確かさは抵抗値に関係し、抵抗の測定値、周囲温度および通電発熱による抵抗変化等を要因として挙げることができる。通常、分流器は温度による抵抗変化を極力抑えるように材料を選定し、仕様に対する通電熱容量を考慮した設計となっている。

#### (a) 分流器抵抗測定値の不確かさに寄与する要因

【 $u_1$  繰り返し測定によるデータのばらつき】

表 6.3

測定回数	抵抗測定値 (mΩ)
1	0.3971
2	0.3968
3	0.3969
4	0.3970
5	0.3970
6	0.3970
7	0.3971
8	0.3971
9	0.3972
10	0.3972
平均値	0.39704
標準偏差	0.000126
抵抗変化の割合	0.0317 (%)

トレーサブルな測定器を用いて抵抗測定を例えば 10 回行ない、その平均値と標準偏差から変化の割合を求め、正規分布とみなして標準不確かさを導く。表 6.3 に一例を示す。

$$\frac{0.000126}{0.39704} = 0.0317(\%)$$

【 $u_2$  ダブルブリッジ（抵抗測定器）の校正値の不確かさ】

校正証明書に記載されている不確かさを用いる、不確かさの記載がない場合は、証明書の精度データから、精度を半幅とする一様分布として不確かさを導く。

#### (b) 使用条件（温度変化）に関する要因

【 $u_3$  環境温度による温度効果】

一般に、分流器の抵抗材料としては温度係数の小さいマンガン線材や板材が使われる。この場合、温度係数は  $25 \times 10^{-6}$  であり、周囲環境温度を  $0 \sim 40^\circ\text{C}$ 、分流器校正時の温度を  $20^\circ\text{C}$  とすると、最大温度差  $20^\circ\text{C}$  となり、抵抗変化は下記となる。

$$25 \times 10^{-6} \times 20 = 0.0005 \quad (\rightarrow 0.05\%)$$

これは一様分布と考えられ、標準不確かさは $\sqrt{3}$ で除して0.029%となる。

【 $u_4$  通電発熱による温度効果】

通電時の発熱による温度上昇を60℃とすると、上記と同じように抵抗変化は  
 $25 \times 10^{-6} \times 60 = 0.0015$  (→0.15%)

となり、標準不確かさは $\sqrt{3}$ で除して0.087%となる。

【 $u_5$  電流経路による近接効果】

単相電流経路から、0.5m離れた分流器を導体を接続せずに並行に配置する。通電経路に100kAを通電した際に誘導により50Aと検知された場合50A/100kA=0.0005 (0.05%)となり、標準不確かさは $\sqrt{3}$ で除して0.029%となる。

①-1

【 $u_1$  繰り返し測定によるデータのばらつき】

$$(5)式より、u_1 = \frac{0.0317}{\sqrt{10}} = 0.01(\%)$$

【 $u_2$  ダブルブリッジの校正値の不確かさ】

校正証明書に記載してある拡張不確かさ ( $k=2$ ) が0.05 (%)であったとする。

$$u_2 = \frac{0.05}{2} = 0.025(\%)$$

【 $u_3$  環境温度による温度効果】

$$25 \times 10^{-6} \times 20 = 0.0005 \text{ (→0.05\%)} \quad \text{従って(6)式より、} u_3 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\%)$$

【 $u_4$  通電加熱による温度効果】

$$25 \times 10^{-6} \times 60 = 0.0015 \text{ (→0.15\%)} \quad \text{従って(6)式より、} u_4 = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.087(\%)$$

【 $u_5$  電流経路による近接効果】

$$50A/100kA = 0.0005 \text{ (0.05\%)} \quad \text{従って(6)式より、} u_5 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\%)$$

①-2 変流器／分流器

変流器を使用して電流を測定する場合の、変流器の不確かさを求める方法としては、当該変流器を校正された分流器と直列に接続した状態で、電流通電試験を行い、それぞれの測定値を比較することが、現時点では最も妥当性があると考えられる。

変流器は大電流の交流分と直流分（直流分減衰時定数）によりその性能が異なるため、比較校正した電流値（交流分及び直流分）以下の条件での不確かさとする。

電流通電試験時の条件と評価方法は以下とする。

- ・変流器の状態：電流通電時に使用する状態（一次電流通電経路、二次電流回路、負担、負担力率等）とする。
- ・通電電流の条件：直流分を含んだ電流通電（電流通電開始第1波目の波高値は、通電電流実効値の2.5倍以上）とする。
- ・評価方法：変流器と分流器により測定した電流について、直流分の重畳した電流の0-Peak値について比較する。

#### 【 $u_6$ 繰り返し測定によるデータのばらつき】

変流器と直列に接続したトレーサブルな交流分流器を用いて、同じ電流を  $n$  回通電し、その平均値と標準偏差から変流比変化の割合を求め、正規分布と見なして標準不確かさを導く。通電電流の第一波高値の比較から**評価推定**する。表 6.4 に測定結果例を示す。

表 6.4 変流器および直列に接続した比較用交流分流器の測定結果例(繰り返しのばらつき)

交流分流器 計測値 $I_m$ [kA]	変流器 計測値 $I_i$ [kA]	比率 ( $=I_i / I_m$ )
53.05	52.63	0.9921
57.30	56.90	0.9930
53.17	52.74	0.9919
57.39	56.97	0.9927
53.13	52.73	0.9925
57.24	56.82	0.9927
53.32	52.90	0.9921
57.49	57.06	0.9925
52.97	52.58	0.9926
57.40	56.95	0.9922

比率の平均値：0.9924  
 標準偏差：0.000345  
 割合： $\frac{0.000345}{0.9924} = 0.0348(\%)$

#### 【 $u_7$ 二次側分流器の校正値の不確かさ】

校正証明書に記載されている不確かさを用いる、あるいは校正証明書の精度データから、精度を半幅とする一様分布として不確かさを導く。

#### 【 $u_8$ 二次側分流器の温度効果】

$u_3$  と同様。

#### 【 $u_9$ 変流器の非直線性】

変流器と直列に接続したトレーサブルな交流分流器を用いて、測定範囲内で5段階程度に分けた電流を通電し、その平均値からの最大変化幅の割合を求め、一様分布と見なして標準不確かさを導く。通電電流の第1波高値の比較から**評価推定**する。表 6.5 に測定結果例を示す。

表 6.5 変流器および直列に接続した比較用  
交流分流器の測定結果例(非直線性)

交流分流器 計測値 I <sub>m</sub> [kA]	変流器 計測値 I <sub>i</sub> [kA]	比率 (=I <sub>i</sub> / I <sub>m</sub> )
21.61	21.44	0.9921
29.53	29.34	0.9936
36.11	35.91	0.9945
44.96	44.77	0.9958
55.88	55.45	0.9923

比率の平均値 : 0.9937

最大変化幅 : 0.9937 - 0.9958 = 0.0021

割合 :  $\frac{0.0021}{0.9937} = 0.211(\%)$ 【u<sub>10</sub> 電流経路による近接効果】

単相電流経路から、0.5m離れた変流分流器を導体を接続せずに並行に配置する。通電経路に 100kA を通電した際に誘導により 50A と検知された場合 50A/100kA=0.0005 (0.05%)

となり、標準不確かさは $\sqrt{3}$ で除して 0.029%となる。

## ①-2 計算式

【u<sub>6</sub> 繰り返し測定によるデータのばらつき】

変流比変化の割合(標準偏差/平均値)を 0.0348%、n=10 として、 $u_6 = \frac{0.0348}{\sqrt{10}} = 0.011(\%)$

【u<sub>7</sub> 二次側分流器の校正値の不確かさ】

校正証明書の精度を 0.01%として、 $u_7 = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006(\%)$

【u<sub>8</sub> 二次側分流器の温度効果】

$25 \times 10^{-6} \times 20 = 0.0005$  (→0.05%)、環境温度による効果のみ考慮する。 $u_8 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\%)$

【u<sub>9</sub> 変流器の非直線性】

変流比変化の割合(最大変化幅/平均値)が 0.211%なので、a=0.211 の一様分布として、

$$u_9 = \frac{0.211}{\sqrt{3}} = 0.122(\%)$$

【u<sub>10</sub> 電流経路による近接効果】

50A/100kA=0.0005 (0.05%) 従って(6)式より、 $u_{10} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\%)$

## ②伝送系

## ②-1 光ケーブル (デジタル E/O-O/E) 及び ②-2 光ケーブル (アナログ E/O-O/E)

電気信号を光信号に変換し、光ファイバー・ケーブルを通して再び光信号を電気信号に変換することにより、現象の測定を行う伝送系である。光信号で伝送することにより、高電位

部での測定を可能とし、伝送中のノイズを受けにくく、また他の測定信号と干渉しにくいことから高電圧大電流を扱う測定ではよく用いられている。この光ケーブル伝送系は、光ファイバーを伝送する信号形態によりアナログ光信号方式とデジタル光信号方式の2種類の方式がある。

アナログ光信号方式は、主にアナログ送信部 (E/O)、光ファイバー・ケーブルそして受信部 (O/E) で構成される。一方、デジタル光信号方式は、主に A/D 変換器、デジタル送信部 (E/O)、光ファイバー・ケーブル、受信部 (O/E) そしてデータメモリ部で構成される。デジタル方式では、A/D 変換器はデジタル送信部 (E/O) に内蔵され、データメモリ部は受信部 (O/E) に内蔵されている。

光ケーブル伝送系の不確かさに寄与する主要因としては、次の項目が挙げられる。

- ・ゲイン
- ・直線性
- ・温度ドリフト

これらの不確かさを評価する場合、メーカーから供給される光ケーブル伝送系の検査証(入手不能な場合は仕様書でも可)に記載されている精度等の値を用いてタイプ B の不確かさとして算出する。

光ケーブル伝送系において、ゲイン及び温度ドリフトを自動調整する機能(オートキャリブレーション)を備えた機種があり、この場合、自動調整機能を考慮に入れた不確かさの評価が可能である。比較的精度の良くないアナログ光信号方式では、この機能を使った計測が必須である。

②-1	<p>【<math>u_{11}</math> 温度ドリフト】 使用温度を 0~40°C (屋外で使用) としてメーカー検査書のゼロレベルドリフト (0.02%/°C) から基準温度 20°C に対する温度ドリフト (0.4%) を半幅とする一様分布。<math>u_{11} = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.231(\%)</math></p>
	<p>【<math>u_{12}</math> 非直線性】 メーカー検査書の直線性誤差 (0.075%) を半幅とする一様分布。 <math>u_{12} = \frac{0.075}{\sqrt{3}} = 0.043(\%)</math></p>
②-2	<p>【<math>u_{13}</math> 温度ドリフト】 使用温度変化を ±5°C (屋内で使用) としてメーカー検査書のゼロレベルドリフト (0.16%/°C) から温度ドリフト (0.8%) を半幅とする一様分布。 <math>u_{13} = \frac{0.8}{\sqrt{3}} = 0.462(\%)</math></p>
	<p>【<math>u_{14}</math> 非直線性】 メーカー検査書の直線性誤差(2%)を半幅とする一様分布。<math>u_{14} = \frac{2.0}{\sqrt{3}} = 1.155(\%)</math></p>

### ③増幅器

## ③D/C アンプ

電気信号は D/C アンプを通して測定することにより、高周波ノイズや大電力試験時に発生する過大なサージ電圧から測定器を保護することができる。D/C アンプを使用する場合に不確かさに寄与する項目としては次の項目が挙げられる。

- ・利得の不確かさ
- ・直線性
- ・周波数特性
- ・温度ドリフト

特に留意する点は温度ドリフトである。これは試験前の調整だけでなく長時間の試験が継続される場合には適時ドリフト調整を行う事が推奨される。

③

【 $u_{15}$  利得 (利得調整含む)】

仕様書から、半幅 0.2% の一様分布。  $u_{15} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115(\%)$

【 $u_{16}$  非直線性】

試験成績書の直線性のばらつきから、半幅 0.05% の一様分布。  $u_{16} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029(\%)$

【 $u_{17}$  温度ドリフト】

仕様書より 0.03 (%/°C) とし、室温変化を  $\pm 5^\circ\text{C}$  とすると、  $u_{17} = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.087(\%)$

## ④変換器

## ④A/D 変換器

電気信号をコンピュータにてデータ処理するためには、アナログ信号をデジタル信号に変換する A/D 変換器を用いる。A/D 変換器を使用することによる不確かさの要因は主に以下が考えられる。

- ・デジタル分解能
- ・温度ドリフト

これらの不確かさを評価する場合は、使用する変換器の分解能や、フルスケールに対する信号の最小振れ幅の比率、メーカーから供給される仕様書に記載の精度データを用いて、B タイプの不確かさ評価をする。

A/D 変換器を使用する場合、測定する波形により、下記に留意し選定及び使用することが望ましい。

## (a) 縦軸 (電圧軸) の量子化誤差の低減

A/D 変換器のビット分解能を生かすためには、信号レベルの最大値が A/D 変換器のフルスケールレンジに可能な限り近くすることが重要である。信号の最小振れ幅においてもフルスケールの 30 % 以上とすることが望ましく、ビット分解能については、12 ビット以上が使われている。

## (b) 横軸 (時間軸) の量子化誤差の低減

A/D 変換器のサンプリング周波数は信号の最大周波数の 2 倍以上とする事が重要であ

る。2倍未満の場合は、実際の信号周波数より低い周波数として変換されてしまうエイリアス現象が現れる場合がある。信号の最高周波数が不明な場合は、ローパスフィルタ（アンチエイリアシングフィルタ）を入れて防止する方法もある。サンプリング周波数は、商用周波の場合は10kHz以上が使われている。

④

【 $u_{18}$  デジタル分解能】

12ビット器で最小振れ振幅をフルスケールの30%とする

$$\frac{1}{2048 \times 0.3} \times \frac{1}{2} \times 100 = 0.08 \text{ (\%)} \quad \text{従って } u_{18} = \frac{0.08}{\sqrt{3}} = 0.046 \text{ (\%)}$$

【 $u_{19}$  温度ドリフト】

$$\text{仕様書記載の精度から、半幅 } 0.005\% \text{ の一様分布。 } u_{19} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ (\%)}$$

## ⑤ データ処理

## ⑤ ソフトウェア

大電力試験所が実施する各種試験のデータは、一般に、不確かさを考慮した測定システムにより自動測定・解析されている。一般には、検出器、伝送系、増幅器、変換器を経て、デジタルデータとして記録され、データ処理が行われるが、このデジタルデータの処理にどの手法を適用するかは、個々の試験所の責任で、各試験所のノウハウとして維持されている。設置するハードウェア、データ処理のアルゴリズムを含むソフトウェアなど、試験所が自由に選択し、試験データの自動処理が行われている。その意味では「ブラックボックス化」していると言える。不確かさの算出に対して、十分な共通情報が得やすい検出器、伝送系、増幅器、変換器に比べ、データ処理システムのそれは不十分である。データ処理システムの重要性は、測定システムの高度化、高機能化が一般的となったことなどを踏まえ、国際的に短絡試験規格や技術を検討する STL (Short-circuit Testing Liaison) において、大電力試験所における試験データの自動評価に用いる共通のデータ処理手法に関するガイドラインの提供を目的とした報告のとりまとめが進んでいることにも現れている。

この報告案には、適用するアルゴリズムに対しての評価例、推奨するデータ処理システムの仕様などが示されている。さらに、この報告にも示されているコンピュータ用ソフトウェアの検証のための一連の代表的な基準波形（校正波形）発生器が STL において製作された。

## ⑤ 計算式

【 $u_{20}$  最小二乗法】【 $u_{21}$  3波高値法】

試験結果を評価するためには、デジタル量として計算機に取り込まれた測定値から、規格に定められた「試験値」を求める必要がある。その過程で、適用する計算アルゴリズムに起因する不確かさが入り込む。ここでは、電流実効値評価における不確かさを例にとって述べる。

電流実効値を求める方法のひとつとして、図 6.6 に示す 3 波高値法によるものとする。即ち、連続した 3 個の波高値 A、B、C を用い、それらを通る 2 本の平行な直線  $f(t)$ 、 $g(t)$  を決め、それらの離間距離  $D-D'$  を  $\sqrt{8}$  で割った値を実効値とする方法である。この

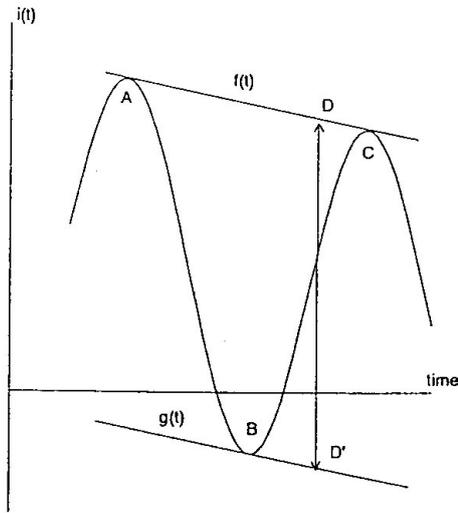


図 6.6 3波高値法

場合、次の2種類の不確かさがある。

【最小二乗法に含まれる不確かさ】

波高値を求める時に適用する最小二乗法に含まれる不確かさ。

波高値が含まれる時間範囲で20点のデータを抜き取って最小二乗法によって放物線で近似すれば、一様分布の半幅を波高値の0.5%として標準不確かさを求めることができる。

$$u_{20} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289(\%)$$

【3波高値法の不確かさ】

3波高値法が真の電流波形に対して持つ不確かさ。

元の電流波形が次式で表されるものとし、この式の値に対して、3波高値法が有する不確かさを評価できる。

$$I(t) = I_m \left\{ \sin(\omega \cdot t + \phi) - \sin(\phi) \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right\}$$

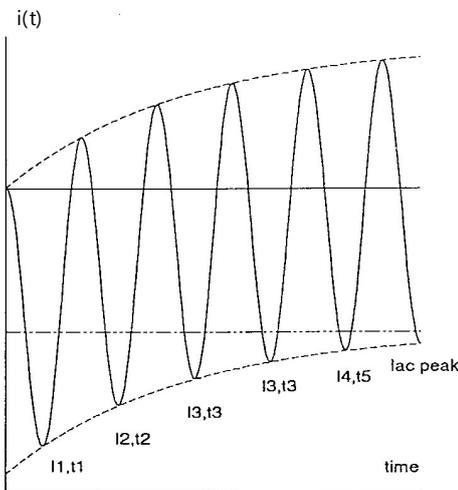
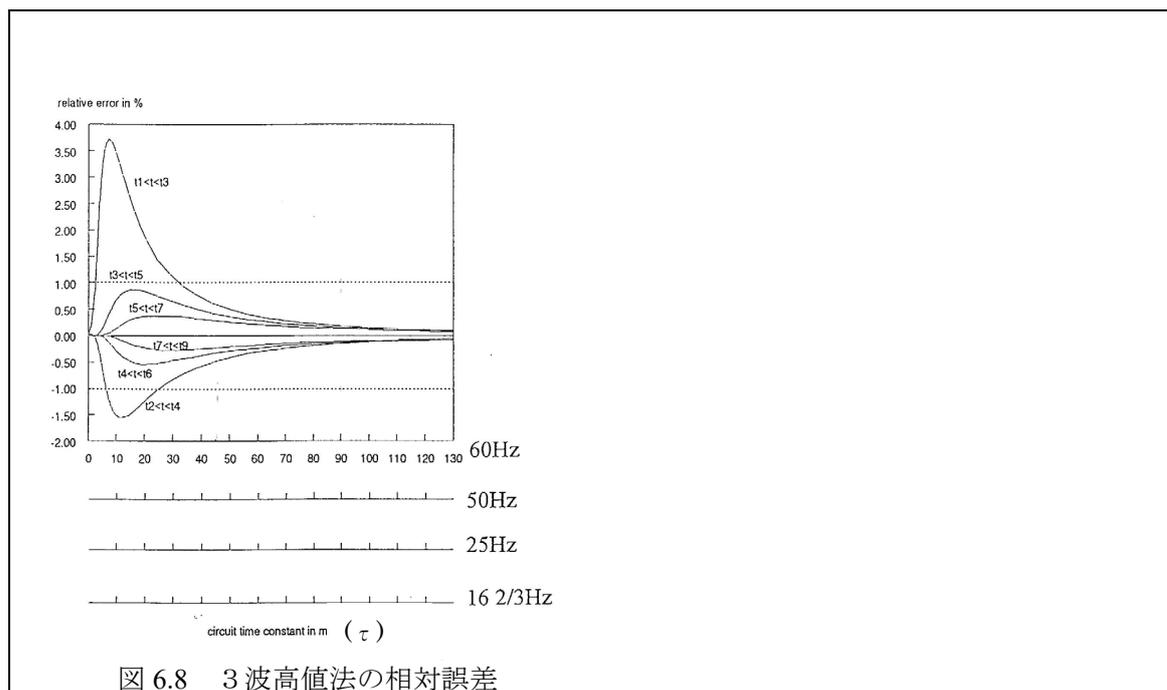


図 6.7 rms 値の計算

最大の直流分が含まれる  $\phi = \frac{\pi}{2}$  の時、不確かさは、回路の直流分減衰時定数  $\tau$  と、短絡後のどの期間で計算するか (図 6.7 参照) という事に影響を受ける。計算結果を図 6.8 に示す。通常の短絡試験所では、 $\tau = 100$  ms 程度は十分得られるから、図 6.8 より一様分布の半幅を 0.2% として標準不確かさを求めることができる。

$$u_{21} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115(\%)$$



#### ⑥ 動特性の不確かさ (校正を直流で行った場合)

IEC 62475 第 9.4 項によれば、短時間交流の試験の不確かさの要求が 5% 以下の場合に、測定システムの周波数特性が IEC 62475 表 7 (JAB RL357 5.6.2.2.2 の表) で規定する周波数範囲において偏差が 15% 以下であれば、不確かさの要求 (5% 以下) を満たして、周波数特性による不確かさは無視できるとしている。

従って、周波数特性の最大偏差が **評価推定** された不確かさに対して 3 倍以下の場合には、周波数特性の不確かさは無視し、周波数特性の最大偏差が **評価推定** された不確かさの 3 倍を超える場合は、周波数特性の偏差の 3 分の 1 を測定全体の **評価推定** 不確かさとする。

これら①から⑥の分類と実際の大電力試験によって得られる測定結果を基に、不確かさの **評価推定** 具体例を表 6.6 から表 6.9 に示す。

6.3 大電流測定システムの不確かさ評価推定方法の例（ケース1）

デジタル光リンクを介して分流器により測定するシステムについて不確かさの評価推定方法の例を下表に示す。

表 6.6 ケース 1

構成部位	構成部位種類	不確かさの要因	推定評価根拠	校正証明書の値、実測値等	確率分布	除数	感度係数	標準不確かさ $u_i$ (%)	自由度 (n-1)
① 検出器	①-1 分流器	$u_1$ 繰り返し測定によるデータのばらつき	実測	0.01 %	正規分布	1.0	1.0	0.01	9
		$u_2$ ダブルブリッジの校正値の不確かさ	校正証明書に記載の拡張不確かさ	0.05 %	正規分布	2.0	1.0	0.03	無限大 (※2)
		$u_3$ 環境温度による温度効果	仕様書	20 °C	一様分布	$\sqrt{3}$	$25 \times 10^{-4}$ (% / °C)	0.03	無限大 (※2)
		$u_4$ 通電加熱による温度効果	仕様書	60 °C	一様分布	$\sqrt{3}$	$25 \times 10^{-4}$ (% / °C)	0.09	
		$u_5$ 電流経路による近接効果	実測	50A	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.03	無限大 (※2)
② 伝送系	②-1 光ケーブル (デジタルE/O-O/E)	$u_{11}$ 温度ドリフト	仕様書	20 °C	一様分布	$\sqrt{3}$	$2 \times 10^{-2}$ (% / °C)	0.23	無限大 (※2)
		$u_{12}$ 非直線性	仕様書	0.075 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.04	無限大 (※2)
③ 増幅器									
④ 変換器									
⑤ データ処理	⑤ ソフトウェア	$u_{20}$ 最小二乗法	計算式	0.5 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.29	無限大 (※2)
		$u_{21}$ 3波高値法 (※1)	計算式	0.2 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.12	無限大 (※2)
合成標準不確かさ (%) $u_c$					正規分布			0.40	$> 10^7$
拡張不確かさ (%) $U$ ( $k=2$ )					正規分布			0.80	$> 10^7$

※1 6.2 ⑤の「3波高値」に関する記述を参考のこと。

※2 仕様書及び計算式は正しいと仮定しているので自由度は無限大になる。

⑥動特性の不確かさを加えた測定全体の不確かさ

例1 周波数特性の最大偏差が2%の時 (0.8%の3倍以下だから) : 0.8%

例2 周波数特性の最大偏差が3%の時 (0.8%の3倍超だから) : 1.0%

6.4 大電流測定システムの不確かさ評価推定方法の例（ケース2）

アナログ光リンクを介して分流器により測定するシステムについて不確かさの推定評価方法の例を下表に示す。

表 6.7 ケース 2

構成部位	構成部位種類	不確かさの要因	推定評価根拠	校正証明書の値、実測値等	確率分布	除数	感度係数	標準不確かさ $u_i$ (%)	自由度 (n-1)
① 検出器	①-1 分流器	$u_1$ 繰り返し測定によるデータのばらつき	ケース 1 参照						
		$u_2$ ダブルブリッジの校正値の不確かさ							
		$u_3$ 環境温度による温度効果							
		$u_4$ 通電加熱による温度効果							
		$u_5$ 電流経路による近接効果							
② 伝送系	②-2 光ケーブル (アナログE/O-O/E)	$u_{13}$ 温度ドリフト	仕様書	5°C	一様分布	$\sqrt{3}$	$1.6 \times 10^{-1}$ (% / °C)	0.46	無限大 (※2)
		$u_{14}$ 非直線性	仕様書	2.0 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	1.15	無限大 (※2)
③ 増幅器	③ D/C アンプ	$u_{15}$ 利得 (利得調整含む)	仕様書	0.2 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.12	無限大 (※2)
		$u_{16}$ 非直線性	仕様書	0.05 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.03	無限大 (※2)
		$u_{17}$ 温度ドリフト	仕様書	5°C	一様分布	$\sqrt{3}$	$3 \times 10^{-2}$ (% / °C)	0.09	無限大 (※2)
④ 変換器	④ A/D 変換器	$u_{18}$ デジタル分解能	仕様書	0.08 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.05	無限大 (※2)
		$u_{19}$ 温度ドリフト	仕様書	0.005 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.003	無限大 (※2)
⑤ データ処理	⑤ ソフトウェア	$u_{20}$ 最小二乗法	ケース 1 参照						
		$u_{21}$ 3波高値法 (※1)							
合成標準不確かさ (%) $u_c$					正規分布			1.29	$> 10^9$
拡張不確かさ (%) $U$ (k=2)					正規分布			2.6	$> 10^9$

※1 6.2 ⑤の「3波高値」に関する記述を参考のこと。

※2 仕様書は正しいと仮定しているので自由度は無限大になる。

⑥動特性の不確かさを加えた測定全体の不確かさ

例 1 周波数特性の最大偏差が 7% の時 (2.6% の 3 倍以下だから) : 2.6%

例 2 周波数特性の最大偏差が 9% の時 (2.6% の 3 倍超だから) : 3%

6.5 大電流測定システムの不確かさ評価推定方法の例（ケース3）

同軸ケーブルを介して分流器により測定するシステムについて不確かさの推定評価方法の例を下表に示す。

表 6.8 ケース 3

構成部位	構成部位種類	不確かさの要因	推定評価根拠	校正証明書 の値、実測 値等	確率 分布	除数	感度 係数	標準 不確かさ $u_i$ (%)	自由度 (n-1)
① 検出器	①-1 分流器	$u_1$ 繰り返し測定によるデータのばらつき	ケース 1 参照						
		$u_2$ ダブルブリッジの校正値の不確かさ							
		$u_3$ 環境温度による温度効果							
		$u_4$ 通電加熱による温度効果							
		$u_5$ 電流経路による近接効果							
② 伝送系	②-3 同軸ケーブル	商用周波数ではこの項は無視できる							
③ 増幅器	③ D/C アンプ	$u_{15}$ 利得（利得調整含む）	ケース 2 参照						
		$u_{16}$ 非直線性							
		$u_{17}$ 温度ドリフト							
④ 変換器	④ A/D 変換器	$u_{18}$ デジタル分解能	ケース 2 参照						
		$u_{19}$ 温度ドリフト							
⑤ データ 処理	⑤ ソフトウェア	$u_{20}$ 最小二乗法	ケース 1 参照						
		$u_{21}$ 3波高値法（※1）							
合成標準不確かさ (%) $u_c$					正規分布			0.37	$>10^7$
拡張不確かさ (%) $U$ ( $k=2$ )					正規分布			0.74	$>10^7$

※1 6.2 ⑤の「3波高値」に関する記述を参考のこと。

⑥動特性の不確かさを加えた測定全体の不確かさ

例 1 周波数特性の最大偏差が 2% の時（0.74% の 3 倍以下だから）：0.74%

例 2 周波数特性の最大偏差が 3% の時（0.74% の 3 倍超だから）：1.0%

6.6 大電流測定システムの不確かさ **推定評価** 方法の例（ケース4）

変流器出力を分流器で電圧信号とし、同軸ケーブルを介して測定するについて不確かさの **推定評価** 方法の例を下表に示す。

表 6.9 ケース 4

構成部位	構成部位種類	不確かさの要因	<b>推定評価</b> 根拠	校正証明書 の値、実測 値等	確率 分布	除数	感度 係数	標準 不確かさ $u_i$ (%)	自由度 (n-1)
① 検出器	①-2 変流器/分流器	$u_6$ 繰り返し測定によるデータのばらつき	実測値	0.01 %	正規分布	1.0	1.0	0.01	9
		$u_7$ 二次側分流器の校正値の不確かさ (※2)	校正証明書の精度データ	0.01 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.006	無限大
		$u_8$ 二次側分流器の温度効果	仕様書	20 °C	一様分布	$\sqrt{3}$	$25 \times 10^{-4}$ (% / °C)	0.03	無限大 (※3)
		$u_9$ 変流器の非直線性	実測	0.211 %	一様分布	$\sqrt{3}$	1.0	0.12	無限大
		$u_{10}$ 電流経路による近接効果	実測		一様分布	$\sqrt{3}$	1.0		無限大
② 伝送系	②-3 同軸ケーブル	商用周波数ではこの項は無視できる							
③ 増幅器	③ D/C アンプ	$u_{15}$ 利得 (利得調整含む)	ケース 2 参照						
		$u_{16}$ 非直線性							
		$u_{17}$ 温度ドリフト							
④ 変換器	④ A/D 変換器	$u_{18}$ デジタル分解能	ケース 2 参照						
		$u_{19}$ 温度ドリフト							
⑤ データ処理	⑤ ソフトウェア	$u_{20}$ 最小二乗法	ケース 1 参照						
		$u_{21}$ 3波高値法 (※1)							
合成標準不確かさ (%) $u_c$					正規分布			0.37	$> 10^7$
拡張不確かさ (%) $U$ (k=2)					正規分布			0.74	$> 10^7$

※1 6.2 ⑤の「3波高値」に関する記述を参考のこと。

※2 ここでは  $u_2$  と違い、校正証明書に不確かさの記載が無かったと仮定して、校正証明書の精度データから、精度を半幅とする一様分布として標準不確かさ  $u_6$  を算出している。

※3 ※2 仕様書は正しいと仮定しているので自由度は無限大になる。

## 7. おわりに

本文書は、大電力試験所が ISO/IEC 17025 に適した試験所を構築するために必要な不確かさの**推定評価**の具体例を大電力技術分科会で検討し、まとめたものである。

本文書は、必ずしも完全なものとは言えないが、今後各界のご批判を仰ぐこと及び審査の経験を積み重ねていくことにより、継続して改善していくことにする。

## 【JAB NOTE4 作成メンバー (第2版発行年月日現在、敬称略、50音順)】

## JAB 試験所技術委員会／大電力技術分科会

	氏名	所属	
(主査)	平 澤 邦 夫	株式会社日立製作所	
(委員)	石 井 博 美	日新電機株式会社	
	井 上 博 史	一般社団法人日本電機工業会	
会社	葛 間 泰 邦	一般財団法人電力中央研究所	
	坂 本 昌 也	株式会社東芝	
	澤 田 達 男	三菱電機株式会社	
		中 島 昌 俊	富士電機株式
			会社
	野 中 重 夫	システム科学研究所	
	萩 森 英 一	元九州工業大学	
	松 井 芳 彦	明電 T&D 株式会社	
(事務局)	佐々波 浩 一	公益財団法人日本適合性認定協会	

## 付録1—ISO/IEC 17025 の測定の不確かさに関する要求事項

~~4 — 管理上の要求事項~~~~4.12 — 記録の管理~~~~4.12.2 — 技術的記録~~

~~4.12.2.1 試験所・校正機関は、観測原本の記録、監査の追跡を確保するための誘導データ及び十分な情報、校正の記録、職員の記録、並びに発行された個々の試験報告書又は校正証明書のコピーを、規定された期間維持する。個々の試験・校正に関する記録は十分な情報を含み、可能な場合、**不確かさ**に影響する因子の特定を容易にし、元の条件にできるだけ近い条件での試験又は校正の繰返しを可能とするものである。記録は、サンプリング、個々の試験・校正の実施及び結果のチェックに責任をもつ要員の識別を含む。~~

~~5 — 技術的管理事項~~~~5.1 — 一般~~

~~5.1.2 要因が拡張的な**測定の不確かさ**に寄与する程度は、個々の試験（の種類）及び個々の校正（の種類）によってかなり異なる。試験所・校正機関は、試験・校正方法及び手順の開発において、要員の教育・訓練及び資格認定において、並びに使用する設備の選定及び校正において、これらの要因を考慮する。~~

~~5.4 — 試験・校正の方法及び方法の妥当性確認~~~~5.4.1 — 一般~~

~~試験所・校正機関は、業務範囲内のすべての試験・校正について適切な方法及び手順を用いる。それらの方法には、試験又は校正を行うべき品目のサンプリング、取扱い、輸送、保管及び準備が含まれ、また、適切な場合、**測定の不確かさ**の推定及び試験・校正データの分析のための統計的手法が含まれる。以下省略。~~

~~5.4.5 — 方法の妥当性確認~~

~~5.4.5.3 妥当性が確認された方法によって得られる値の範囲及び正確さは[例えば、結果の**不確かさ**、検出限界、方法の選択性、直線性、繰返し性及び/又は再現性の限界、外部影響に対する頑健性又は試料・試験対象の母材からの干渉に対する相関感度(cross-sensitivity)]は、意図する用途に対する評価において依頼者のニーズに適する。以下省略。~~

~~参考3 妥当性確認は、つねにコスト、リスク及び技術的可能性のバランスによる。情報の不足によって、値の範囲及び**不確かさ** [例えば、正確さ、検出限界、選択性、直線性、繰返し性、再現性、頑健性及び相関感度(cross-sensitivity)]を簡略化された方法でしか示し得ない場合が多く存在する。~~

~~5.4.6 — **測定の不確かさ**の推定~~

~~5.4.6.1 校正機関又は自身の校正を実施する試験所は、すべての校正及びすべてのタイプの校正について**測定の不確かさ**を推定する手順をもち、適用する。~~

~~5.4.6.2 試験所は、**測定の不確かさ**を推定する手順をもち、適用する。ある場合には、試験方法の性質から厳密で計量学的及び統計学的に有効な**測定の不確かさ**の計算ができないことがある。このような場合には、試験所は少なくとも**不確かさ**のすべての要因の特定を試み、合理的な推定を行い、報告の形態が**不確かさ**について誤った印象を与えないことを確実にする。以下省略。~~

~~参考1 **測定の不確かさ**の推定において必要とされる厳密さの程度は、次のような要因に依存する。~~

~~— 試験方法の要求事項~~

~~— 依頼者の要求事項~~

~~— 仕様への適合性を決定する根拠としての狭い限界値の存在~~

~~参考2 広く認められた試験方法が**測定の不確かさ**の主要な要因の値の限界を定め、計算結果の表現形式を規定している場合には、試験所はその試験方法及び報告方法の指示に従うことによってこの項目を満足すると考えられる。(5.10 参照)~~

~~5.4.6.3 **測定の不確かさ**を推定する場合には、適切な分析方法を用いて当該状況下で重要なすべての**不確かさ**の成分を考慮する。~~

~~参考1 **不確かさ**に寄与する源には、用いた参照標準及び標準物質、用いた方法及び設備、環境条件、試験・校正される品目の性質及び状態並びに試験・校正実施者が含まれるが、これらに限定されない。~~

~~参考2 予想されている試験・校正品目の長期の挙動は、通常、**測定の不確かさ**を推定する際に考慮に~~

~~入れない。~~

~~参考3 この問題についてさらに情報を得るには、JIS Z 8402 及び “測定の不確かさの表現(GUM)” を参照する。(附属書Bの参考文献参照)~~

## ~~5.6 測定の特雷サビリティ~~

### ~~5.6.2 特定要求事項~~

#### ~~5.6.2.1 校正~~

~~5.6.2.1.1 (省略) 校正機関は、自身の測定標準及び測定機器の SI に対する特雷サビリティを、それらの標準及び機器と、該当する SI 単位の一次標準とをつなぐ切れ目のない校正又は比較の連鎖によって確立している。SI 単位へのつながりは、国家計量標準への参照によって達成されるであろう。国家計量標準は、SI 単位の一次実現又は基礎物理定数に基づく SI 単位の合意された代表値による一次標準であるか、又は他国の国家計量機関によって校正された二次標準であってもよい。外部の校正サービスを利用する場合には、業務の適格性、測定能力及び特雷サビリティを実証できる校正機関の校正サービスを利用することによって測定の特雷サビリティを確実にする。これらの機関が発行する校正証明書は、測定の不確かさ及び又は特定された計量仕様への適合性の表明を含め、測定結果をもつ(5.10.4.2を参照)。~~

#### ~~5.6.2.2 試験~~

~~5.6.2.2.1 試験所においては、試験結果の不確かさの全体に対する校正の寄与分がごくわずかであると確認されていない限り、測定設備及び測定機能を利用する試験設備に対して 5.6.2.1 に規定する要求事項が適用される。この状況において、試験所は、使用する設備が必要とされる水準の不確かさを与え得ることを確実にする。~~

~~参考 5.6.2.1 の要求事項にどの程度まで従うべきか、全体の不確かさに対する校正の不確かさの寄与の割合に依存している。校正が主要な要因である場合には要求事項に厳密に従うことが望ましい。~~

## ~~5.10 結果の報告~~

### ~~5.10.3 試験報告書~~

~~5.10.3.1 c) 適用可能な場合、推定された測定の不確かさに関する表明。試験報告書中の不確かさに関する情報は、試験結果の有効性又は利用に関係する場合、依頼者の指示が要求する場合、若しくは不確かさが仕様の限界への適合性に影響する場合に必要とされる。~~

### ~~5.10.4 校正証明書~~

~~5.10.4.1b) 測定の不確かさ及び又は特定された計量仕様若しくはその項目に対する適合性の表明~~

~~5.10.4.2 校正証明書は、数量及び機能試験の結果だけに関するものとする。仕様に対する適合性が表明される場合には、この表明は、仕様のどの項目に適合又は不適合であるかを特定の示す。測定結果及び付帯する不確かさを省略した形で仕様への適合性を表明する場合には、校正機関は、これらの結果を記録し、将来起こり得る引用に備えて維持する。適合性の表明を行う場合には、測定の不確かさを考慮する。~~

## 付録2 一様分布の標準偏差

量  $X$  が値  $x$  をとる確率密度が下限  $\mu - a$  と上限  $\mu + a$  の間で一様に分布する場合を考える。この分布に確率密度関数を  $f(x)$  とすると、それは次の式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{2a} \quad (\mu - a \leq x \leq \mu + a)$$

$$= 0 \quad (x < \mu - a, \mu + a < x)$$

この分布の平均は  $\mu$  であり、分散  $\sigma^2$  は以下のように計算される。

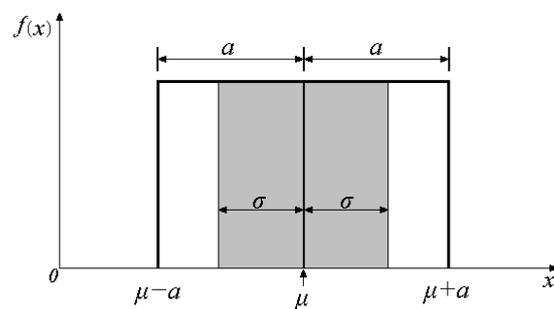
$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot (x - \mu)^2 dx$$

$$= \frac{1}{2a} \int_{-a}^a x^2 dx$$

$$= \frac{a^2}{3}$$

従って、標準偏差  $\sigma$  は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$$



付図1 一様分布



公益財団法人 日本適合性認定協会

〒~~108-0014~~~~141-0022~~ 東京都~~港区芝 4 丁目 2-3~~ 品川区東五反田 1 丁目 ~~22-1~~

~~NMF 芝ビル 2F~~ ~~五反田 AN ビル 3F~~

Tel.03-~~6823-5700~~~~3442-1217~~ Fax.03-~~5439-9586~~~~5475-2780~~

本協会に無断で記載内容を引用、転載及び複製することを固くお断りします。