

解説

校正証明書の数値について

たろうまる株式会社

〒920-8203

石川県金沢市鞍月 5-177 AUBE 2

TEL: 076-201-8806

担当: 中山 和彦

校正の作業内容

- 外観検査（クリップ、ボタン、電池室の検査）
- 動作チェック（起動～使用まで）
- 画面表示の検査（バックライト、液晶検査）
- 温度変化に対する測定値検査（すべての機器を恒温槽で検査）
- 音・振動・光アラームによる線量警告の動作検査
- 赤外線ポートによる通信検査
- 放射線を照射しての校正検査
- 警告アラームの誤検出の頻度を検査（一定時間内に規定回数以下の誤検出アラームが作動するかどうかを検査）

校正証明書の数値

測定器の校正証明書には、こちらの項目があります。各項目の計算方法や、校正の合否判定について、こちらで解説いたします。

こちらは校正証明書の例です。一番上の行が照射する放射線量を示しています。照射する放射線量は、各項目の桁範囲 0～9.9 の中からランダムに選ばれます。0.8, 8, 800 と 8 が選ばれることが多いですが、6 などの場合もあります。

DER 線量率	Background 背景放射線[μ Sv/h]	0.8 μ Sv/h 照射線量#1	8 μ Sv/h 照射線量#2	800mSv/h 照射線量#3	8000 mSv/h 照射線量#4
Tolerance 許容誤差[%]	-	± 23	± 20	± 21	± 36
\bar{H}_j 測定の平均線量率[μ Sv/h]	0.10	0.95	8.20	780	7850
Q_j 測定の相対誤差[%]	-	12.5	9.96	-4.33	-1.92
δ 誤差の信頼度(0.95)[%]	-	14.5	11.8	6.8	4.88

校正は、基準となる放射線測定器(A)と、放射線を照射する放射線源(B)と、校正対象の放射線測定器(C)=利用者の測定器の3つで行われます。

(A)と(B)は、校正設備の一部です。ベラルーシ国家 国立度量衡局 Belgim(Belarus state institute of Metrology)による認証を受けた機器です。相対誤差は、4%程度です。

手順 1

最初に基準となる放射線測定器(A)で、背景の線量率を 5 回、測定して平均値 \bar{H}_Φ を次式で計算します。これが "Background" の項目に記載されます。

$$\bar{H}_\Phi = \sum_{i=1}^5 \bar{H}_{\Phi j} i$$

手順 2

上の表の校正では、線源(B)と基準測定器(A)を使い、 $0.8 \mu\text{Sv/h}$, $8 \mu\text{Sv/h}$, 800mSv/h , 8000mSv/h の4つの強さの放射線を設定します。これが表の一番上の項目に、照射線量 #1,2,3,4 として記載されます。

手順 3

測定器(C)に、各線量を 5 回ずつ照射します。5 回の測定値の平均 \bar{H}_j を次式で計算したものが、測定の平均線量率 \bar{H}_j の項目になります。

$$\bar{H}_j = \sum_{i=1}^5 \bar{H}_{j i}$$

手順 4

5 回の測定結果から、測定の相対誤差 Q_j を次式で計算します。ここで、 \bar{H}_{oj} は、照射線量です。

$$Q_j = \left| \frac{(\bar{H}_j - \bar{H}_\Phi) - \bar{H}_{oj}}{\bar{H}_{oj}} \right| \times 100 [\%]$$

次に相対誤差 Q_j の 0.95 での信頼確率を計算します。今回の測定では、5 回だけの測定を行っていますが、仮に多数回測定した場合を想定して 95%の確率で誤差がどれくらい大きくなるかを想定した数値が 0.95 の信頼確率 δ になります。

$$\delta = 1.1 \sqrt{(Q_o)^2 + (Q_j)^2}$$

ここで、

Q_o は、基準となる測定器の相対誤差[%]です。

Q_j は、各相対誤差[%]の値です。

0.95 での信頼確率 δ は、95%の確率で考えた場合の相対誤差[%]の値になります。

手順 5

校正証明書の商品 **Tolerance** は、各測定器のカタログに記載された仕様値です。校正で計算された誤差と、カタログの仕様値が比較されます。

たとえば、PM1703MO-1BT の場合には、カタログの仕様で誤差を以下の値として定義しています。

$$\pm \left(20 + \frac{\kappa_1}{H} + \kappa_2 H \right) \%$$

ここで H は線量率[mSv/h], $\kappa_1=0.0025$ mSv/h, $\kappa_2=0.002$ (mSv/h)⁻¹ の係数です。

上記がカタログ上での誤差 (Tolerance)です。

相対誤差の 0.95 での信頼確率 δ が、Tolerance 以下である場合に、校正をパスしたと見なします。

以下の表で、Tolerance > δ であることが確認できます。

DER 線量率	Background 背景放射線[μ Sv/h]	0.8 μ Sv/h 照射線量#1	8 μ Sv/h 照射線量#2	800mSv/h 照射線量#3	8000 mSv/h 照射線量#4
Tolerance 許容誤差[%]	-	± 23	± 20	± 21	± 36
\bar{H}_j 測定の平均線量率[μ Sv/h]	0.10	0.95	8.20	780	7850
Q_j 測定の相対誤差[%]	-	12.5	9.96	-4.33	-1.92
δ 誤差の信頼度(0.95)[%]	-	14.5	11.8	6.8	4.88

信頼確率の計算式についての考察

信頼確率 δ の計算方法は、分布から決まる係数 \times 標準偏差です。

$$\delta = \text{係数} \cdot \text{標準偏差} = 1.1 \sqrt{(Q_0)^2 + (Q_j)^2}$$

たとえば、正規分布の場合には、 $1.96 \times$ 標準偏差という式です。t分布の場合には、 2.776 が係数です。ポアソン分布の場合には、また別の係数 1.08 となります。

メーカーのこの式の算出方法を確認しましたが、提供できるのは、この式だけです。ということで、追加の説明をもらうことはできませんでした。メーカーの方では、これ以上は、説明を出さないようなので、以下、私が考察します。

メーカーは、ポアソン分布であるというところまでは、教えてくれました。放射線の測定は、すべてポアソン分布に従うことはよく知られています。そのため、こちらを見ました。

<http://ms.mcmaster.ca/peter/s743/poissonalpha.html>

Confidence Intervals for the Mean of a Poisson Distribution

"Exact" 95% Confidence Intervals

Let x be a single observation from a Poisson distribution with mean μ . Then "exact" 95% confidence limits for μ are given by the formula

$$(\text{qchisq}(0.025, 2*x)/2, \text{qchisq}(0.975, 2*(x+1))/2)$$

These limits can be computed in S or taken from chi-square tables.

x	Lower Limit	Upper Limit
0	0.0000	3.6889
1	0.0253	5.5716
2	0.2422	7.2247
3	0.6187	8.7673
4	1.0899	10.2416
5	1.6235	11.6683
6	2.2019	13.0595
...

測定回数5回ですので、 $x=5-1$ の4のところを見ます。-1は、表の記載が0から始まっているからです。 $x=4$ の時の95%の分布の下限と上限の係数が記載されています。下限だけを考えると、 $1.0899 = 1.1$ と解釈しているのではないかと思います。

ということで、係数 = $1.0899 = 1.1$ と想像します。

$$\delta = \text{係数} \sqrt{(Q_o)^2 + (Q_j)^2}$$

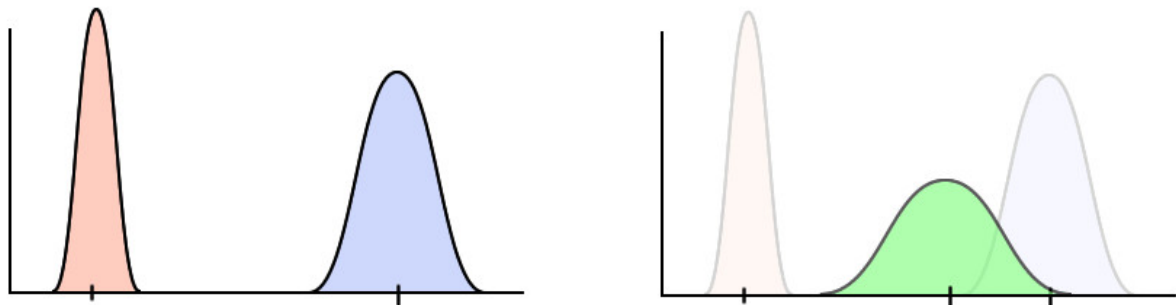
次に、平方根の中身ですが、基準となる測定器(A)の誤差 Q_o と、校正対象の測定器(C)の誤差 Q_j を2乗和の平方根が取られています。

$$\delta = 1.1 \sqrt{(Q_o)^2 + (Q_j)^2}$$

この部分を考えるために、たとえば測定器Xと測定器Yの2台で測定した測定結果Zを考えた場合を考えてみます。測定結果Zには、測定器2台分の誤差が含まれているといえるためです。

測定結果Zは、2つの測定器の測定結果の和です。測定器Xの誤差と、測定器Yの誤差の合計の誤差が、測定結果Zになっていると考えられます。

左の図で、2つの測定器X,Yのそれぞれの測定結果の分布が示されています。それを元にした測定結果Zは、右の図のような誤差になるはずですが。



2つの分布の合計の分散は、各分散の2乗和の平方根であることは、分布の基本的な定義です。

$$\sigma_Z = \sqrt{(\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2}$$

この式は、上記式(4)とかなり似ていることが分かります。

$$\delta = \text{係数} \sqrt{(Q_o)^2 + (Q_j)^2}$$

つまり、この式の平方根の中身は、合計の誤差を示しているように思います。それに、係数 1.1 をかけて、ポアソン分布で 95% の範囲を示す数値の下限ぐらいの値を想定しているのではないか、、、と思います。