2019 年 1 月 24 日

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[μSv/h]	0.8μSv/h 照射線量#1	8μSv/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
$\overline{\dot{H}_j}$ 測定の平均線量率[μSv/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 institure 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$\bar{\dot{H}}_{\Phi}$を次式で計算します。これが "Background" の項目に記載されます。

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

手順２

上の表の校正では、線源(B)と基準測定器(A)を使い、0.8μSv/h, 8μSv/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$\bar{\dot{H}}_{j}$を次式で計算したものが、測定の平均線量率$\bar{\dot{H}}_{j}$の項目になります。

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

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、$\bar{\dot{H}}_{oj}$は、照射線量です。

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

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ぐ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。

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

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

校正証明書の項目 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], κ_1=0.0025 mSv/h, κ_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、Tolernace > δ であることが確認できます。

DER 線量率	Background 背景放射線[μSv/h]	0.8μSv/h 照射線量#1	8μSv/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
$\overline{\dot{H}_j}$ 測定の平均線量率[μSv/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×標準偏差です。

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

たとえば、正規分布の場合には、1.96×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

(qchisq(0.025, 2*x)/2, 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して、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。

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

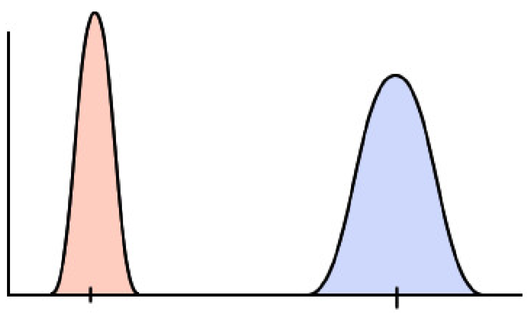
次に、平方根の中身ですが、基準となる測定器(A)の誤差Q_oと、校正対象の測定器(C)の誤差Q_jを 2 乗和の平方根が取られています。

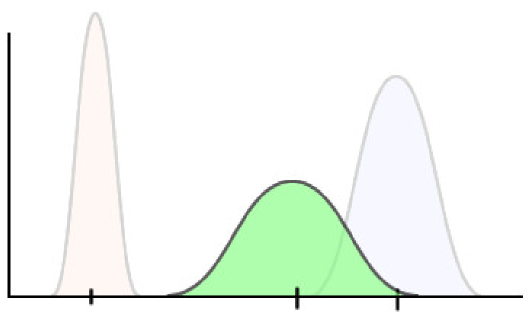
$$\delta = 1.1\sqrt{(Q_o)^2 + \left(Q_j\right)^2}$$

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。





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。

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

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。