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:放射線・放射能・中性子

校正手法の区分の呼称:X 線測定器、γ線測定器

第3版

(JCG217S11－03)

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. 不確かさ算出の目的 ... 3
　2．1 本不確かさガイドの構成 ... 3
　2．2 引用規格及び関連文書 ... 4
　2．2．1 引用規格 ... 4
　2．2．2 関連文書 ... 5
3.『置換法』校正による不確かさ要因 ... 5
　3．1 照射場設定における不確かさ要因 ... 5
　3．2 量換算に係る不確かさ要因 ... 5
　3．3 校正時における不確かさ要因 ... 6
　3．4 DUT 校正の不確かさ ... 6
　3．5『線源法』に係る不確かさ ... 6
　3．6 実用校正導入の考え方 ... 7
4. 不確かさ見積もりで注意されたい事項 ... 7
　4．1 信頼の水準約95 %(95 %包含確率)の考え方(参考) ... 7
　4．2 不確かさ算出の資料について(参考) ... 7
　4．3 既知のかたよりを補正しない場合の不確かさについて ... 8
5. 基本的な不確かさ要因の計算例 ... 8
　5．1 照射場設定における不確かさ要因 ... 8
　5．2 量換算に係る不確かさ要因 ... 12
　5．3 校正時における不確かさ要因 ... 13
　5．4 まとめ ... 16
6. バジェット表の例 ... 17
附属書1 校正法の違いによる不確かさの概要 ... 18
　附属書1－1 内挿法 ... 19
　附属書1－2 モニター法 ... 20
　附属書1－3 同時照射法 ... 20
附属書2 『線源法』に関連する校正法等の概要 ... 22
　附属書2－1 線源法(γ 線源) ... 22
　附属書2－2 線源法(γ 線照射装置) ... 23
附属書3 DUT に係る不確かさの考え方 ... 24
　附属書3－1 DUT の不確かさの要因 ... 24
　附属書3－2 DUT の不確かさ見積もりの例 ... 24
参考資料 1 実用校正における不確かさの考え方 ... 25

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。

不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分:放射線・放射能・中性子
校正手法の区分の呼称:X 線測定器、γ 線測定器

1. はじめに

本ガイドは登録(認定)事業者の校正能力を算定するための不確かさの要因別の見積もり方法について、X線及び γ 線を用いる校正事業者が算定する方法について例示を含めまとめた不確かさガイドである。

(1) 校正事業者の「校正測定能力 (CMC*=Calibration and Measurement Capability)」見積もりに係る不確かさ

(2) 特定二次標準器を用いて被校正器物(以下、DUT **)を校正する際の不確かさ

(3) その他、国際的に用いられている選択可能な校正手法により要因が異なる場合の不確かさ(附属書に別記)

*過去、BMC=最高測定能力と定義されてきた不確かさの算定方法は、国際的にも CMC と同等との解釈がまとめられており、本不確かさガイドについてもCMCの用語を統一的に使用する。

**Device Under Testの略称として国際的に使われており、校正事業者が値付けする顧客の測定器をいう。

2. 不確かさ算出の目的

ILAC、BIPM における不確かさの議論においては、CMC の見積もりは上位の参照標準の DUT の要因の有無を参照することが望ましいとなっている。

校正事業者の基本的な不確かさ見積もりが、

(1) 照射場の設定に基づく不確かさ(校正施設、設備に起因する要因)

(2) 校正時における不確かさ(校正方法、繰り返し回数、校正の熟練度に起因する要因)

(3) DUT の不確かさ(DUT の用途/検出方法などに起因する要因)

から見積もられるものであるが、放射線関連の校正施設においては線種、照射量、バックグラウンドによっても照射場設定の条件は大きく異なる。

なお、X 線測定器に対する X 線発生装置などの核種線源以外の照射場の設定については、線源に係る要因評価の項目の最後にそれらの要因を列記しており、線源関係の要因と相互に入れ替えバジェット表をまとめることとなる。

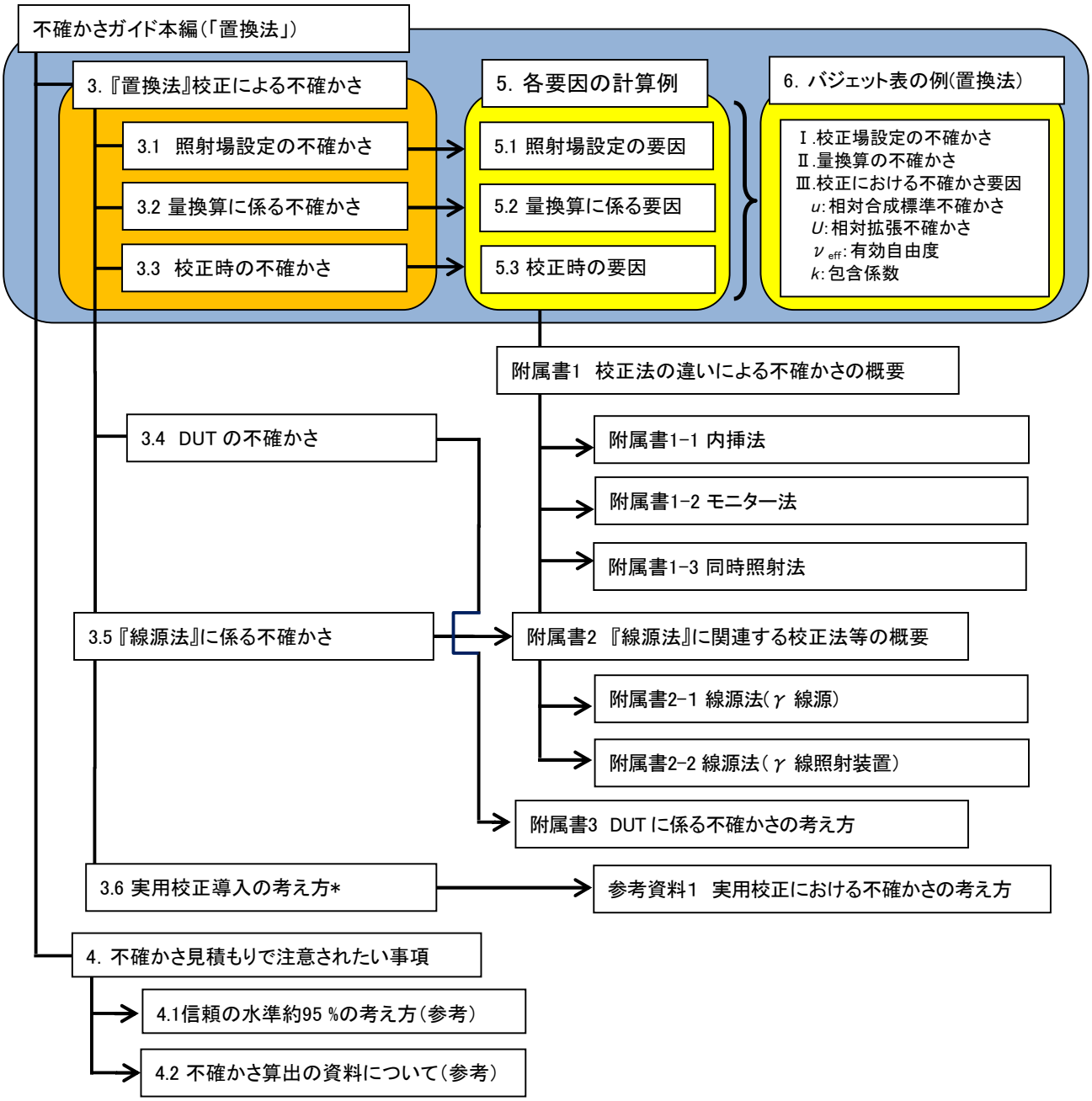
2.1 本不確かさガイドの構成

不確かさガイドの本編(3項~6項)には、特定二次標準器等の参照標準を用いた校正で行われている「置換法」の例をもとに説明し、照射場(線量)の設定から校正定数導出までの不確かさの見積もり例を6項のバジェット表に示した。また、附属書1、附属書2には、「置換法」の校正条件の追加情報や、γ 線源や γ 線照射装置を用いた「線源法」などの、「置換法」との差異、置き換える要因を例示しているので、校正方法の違いにより選択していただきたい。附属書3は「DUT」の種類に起因する不確かさの見積もり方法を述べたものであり、全ての校正方法に関係する要因となっている。

次頁の「参考図」は、本不確かさガイドの項立てを解説するためにまとめたものであり、当該箇所を引くための一助となれば幸いである。

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。

参考図　不確かさガイドの構成



*JIS Z 4511附属書 JB で規定された実用標準測定器を用いた校正をいう。

2．2　引用規格及び関連文書

2．2．1　引用規格

ISO 4037-3(2019) X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part3

ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)（以下「GUM」という。）

JCT21701　JCSS 技術的要求事項適用指針（X 線測定器、γ線測定器）

JCT21703　JCSS 技術的要求事項適用指針（γ線測定器（γ線源、γ線照射装置））

URP23　IAJapan 計量トレーサビリティに関する方針

JCG200　JCSS 校正における測定の不確かさの評価

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 関連文書

JIS Z 4511(2018) X 線及びγ線用線量(率)測定器の校正方法

3.『置換法』校正による不確かさ要因

以下、参照標準を用いた照射場設定と常用参照標準を用いた校正の不確かさ要因等について解説する。

3．1 照射場設定における不確かさ要因

校正事業者が参照標準として使用する電離箱(jcss/JCSS 校正証明書付き)には、上位の標準からの不確かさの他に、当該電離箱の(測定時間の有限性も考慮に入れた)計量性能に由来する要因とからなっている。

照射場の設定では、大別すると以下の1)の測定器関係、2)の量換算及び3)の照射装置関係に係る要因に分けられる。

各要因の説明と計算例を「5.1 照射場設定における不確かさ要因」にまとめた。

1) 検出部及び計測部に起因する項目(測定器関係)

a) 参照標準の校正定数 ・・・

b)「自由空気中の空気カーマ(Ka)」(以下「空気カーマ」という)から、線量当量{H*(10)、H'(0.07)、及び Hp(d)}への換算

備考1: ISO 等国際基準対応に係る線量当量への換算の不確かさ(要因)

空気カーマから線量当量(率)を算出するために適用する換算係数の不確かさについては、国際比較等において ISO 4037-3(JIS Z 4511)における2 %(1σ)を採用している。

備考2: ISO 等国際基準対応に係る照射場設定の不確かさ(要因)

ISO4037-3(JIS Z 4511)では、Co-60, Cs-137線源を用い、PMMA プレートをその検出器前面に設置して校正する場合の照射場設定の不確かさは、1 %(1σ)としている。

3.3 校正時における不確かさ要因

DUT 校正の不確かさは、参照標準による照射場の不確かさに、DUT の計量性能に由来する要因を合成することで算出される。各要因の説明と計算例を「5.3 校正時における不確かさ要因」にまとめた。

また、実用標準測定器を参照標準に使用した照射場の設定の概要を参考資料1にまとめた。

1) 照射場の基準線量率 ・・・

3．6 実用校正導入の考え方

JIS Z 4511(2018)に規定された実用校正については、当該 JIS 規格の附属書 JB に記述されている。参考として、実用標準測定器と実用照射装置を用いて実用測定器(個人線量計を想定)を校正する場合の不確かさについては、以下の要因が示されている。

a) 実用測定器の指示変動誤差

b) 実用標準測定器及び実用照射装置の性能

本ガイドにおいても基本的な考え方は当該 JIS 規格の不確かさの見積もり方法によるが、実用照射装置の統計的な再現性及びばらつきを考慮した管理幅の設定など、実用校正全般の考え方については参考資料1を参照のこと。

4．不確かさ見積もりで注意されたい事項

本ガイドは不確かさ要因の説明のためにまとめられるものであるが、JCSS 登録及び認定の一般要求事項、不確かさの見積もりに関連する放射線校正の基礎的情報などに漏れが無いよう、以下に注意されたい事項をまとめた。

JCSS に係る要求事項は IAJapan から公表されている文書が基準となるが、下記の事項を参考として頂きたい。

4．1 信頼の水準約95 %(95 %包含確率)の考え方(参考)

IAJapan では、信頼の水準約95%の考え方を明示しており、放射線分野でもその考え方に従ってCMCを見積もることが求められる。有効自由度 ν_{eff} は Welch-Satterthwaite の式で計算することができる。

なお、合成標準不確かさ $u_c(y)$と Welch-Satterthwaite の式との関係は、次のとおり。

$$u_c(y) = \{u_1{}^2(y) + u_2{}^2(y) + u_3{}^2(y) + \cdots + u_n{}^2(y)\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\nu_{eff} = u_c{}^4(y) / \sum\{u_i{}^4(y)/\nu_i\}$$

約95%の信頼の水準をもつ区間を定める有効自由度 ν_{eff} に対するt 分布の t95(ν_{eff})の値(包含係数:k)は、次のとおりである(参照:GUM 附属書 G.6.6、表 G.2)

t 分布表													
ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	∞
k	12.71	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26	2.23	2.09	2.01	1.96

4. ポイント2:矩形分布要因(タイプB)の自由度は無限大として評価することができる。
ポイント3:矩形分布要因の大きさも、ワーストケースを想定した変動幅を見込むことで要求事項を満たすことができる。想定した変動幅を超えた場合の対応も検討しておくことが望ましい。
ポイント4:校正証明書に「信頼の水準約95 %」、「包含係数 k=2」と記載する場合は、バジェット表により有効自由度が十分大きいこと(一般的には10以上(※))が条件となる。「タイプA」の要因の割合が小さければ、タイプBの要因が大勢を占めるものとして「信頼の水準約95%」を満たしているとみなす事は可能である。
(※)詳細は GUM 附属書 G6.6及び JCG200を参照のこと。

これ以外の DUT については、次に示す資料を参考にして求めることができる。

・IAEA-TECDOC-1585(May 2008)
Measurement Uncertainty A Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories
・IEC60731(2011) Dosimeters with Ionization Chambers as used in Radiotherapy

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。

・IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.469
CALIBRATION OF REFERENCE DOSIMETERS FOR EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY
・ISO/ATSM 51707(2005) Guide for estimating uncertainties in dosimetry for radiation processing
・IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.457
DOSIMETRY IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY: AN INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE

ポイント5:GUM 等、国際的に認められた基準(ISO、IEC、IAEA 等の発行文書)及び不確かさガイドからの参照以外は、各不確かさ要因を説明できる根拠(データ等)を校正事業者自らが持つことが原則となる。

4.3 既知のかたよりを補正しない場合の不確かさについて

計測量xに既知のかたよりdがある場合、GUM ではそのかたよりを補正し、その上でdの不確かさu(d)を考慮することを強く推奨している。計測量xをn回測定して、平均値$\bar{x}$と標準偏差sを得た場合、かたよりを補正した量x_cとその不確かさ$u^2(x_c)$は

$$x_c = \bar{x} - d$$

$$u^2(x_c) = \frac{s^2}{n} + u^2(d)$$

で表せる。しかし、この補正を毎回測定することが困難であったりする時、補正を行わない場合がある。この場合、$\bar{x}$の不確かさとして

$$u^2(\bar{x}) = \frac{s^2}{n} + d^2$$

を使うことが推奨されている[1]。

[1]尾藤、榎原、精密工学会誌, 74, 6 (2008)

5. 基本的な不確かさ要因の計算例

不確かさの要因について具体的に評価するために以下のような校正条件を設定し、5.2及び5.3に不確かさの具体例を示した。本ガイドは、この不確かさの例をもってDUTの対象範囲と拡張不確かさの大きさを制限するものではなく、校正の不確かさ見積もりの参考として利用されたい。

全ての校正用機器は、IAJapan計量トレーサビリティに関する方針(URP23)に従っている必要がある。

【参照標準の構成(例)】

校正方法 : 特定二次標準器を用いた置換法
検出器 : 開放型電離箱(例:指頭型)
線量率測定器 : 微小電流計 (高圧電源部も含む)
校正定数 : ^{137}Cs の校正定数●●. ●C・kg^{-1}・V^{-1}(校正証明書を参照)
校正用機器
照射装置 : コリメートされた^{137}Cs 線源
校正位置 : 台車により位置が可変(1m～5m)
環境測定器 : 温度計、気圧計、湿度計など

5.1 照射場設定における不確かさ要因

(1) 校正方法及び参照標準器の取り扱い方法

DUT の校正方法や参照標準の取り扱いについては、校正事業者が定めた校正手順(書)によって行う。

(2) 不確かさ要因別の算出方法及び計算例

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) 参照標準の校正定数に対する不確かさ

校正証明書に相対拡張不確かさとして1.5 %(*k*=2)と記載されている。包含係数 *k*=2の場合、相対標準不確かさは、

$$\frac{1.5\ (\%)}{2} = 0.75\ (\%) \quad \cdots \quad u_1$$

(注: X 線照射場は線質によってスペクトルが変化することから、スペクトルの違いに対する不確かさを見積もる必要がある。)

b) 参照標準による線量率測定値

照射時及びバックグラウンド(以下、BG と言う。)を測定し以下のようになった。(指示値は mV)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均値	実験標準偏差
照射時	500.5	499.7	500.3	500.7	500.9	500.4	0.46
BG	1.2	1.9	1.1	1.3	1.8	1.5	0.36

平均値の実験標準偏差はそれぞれ

照射時

$$\frac{0.46\ (\mathrm{mV})}{\sqrt{5}} = 0.21\ (\mathrm{mV})$$

バックグラウンド

$$\frac{0.36\ (\mathrm{mV})}{\sqrt{5}} = 0.16\ (\mathrm{mV})$$

となるので、正味の測定値(照射時−BG)に対する不確かさは、

$$\sqrt{0.21^2 + 0.16^2} = 0.26\ (\mathrm{mV})$$

よって相対標準不確かさは、

$$\frac{0.26\ (\mathrm{mV})}{500.4\ (\mathrm{mV}) - 1.5\ (\mathrm{mV})} \times 100 = 0.05\ (\%) \quad \cdots \quad u_2$$

c) 極性効果

プラス印加した場合500.0 mV、マイナス印加の場合は499.8 mV となった。値が小さいため、補正はせずに見積もる。ただし、極性効果が無い場合もあり、検証して極性効果が有った場合や無視できない大きさの場合のみ補正する。補正する場合については次にその値の概略をまとめた。値は矩形分布すると仮定し、

$$\frac{500.0\ (\mathrm{mV}) - 499.8\ (\mathrm{mV})}{2 \times \sqrt{3} \times 500\ (\mathrm{mV})} \times 100 = 0.01\ (\%) \quad \cdots \quad u_3$$

と見積もることができる[注)]。

注)確率変数*X* の値の如何に関わらず確率密度関数 F(*X*) が一定の値をとるような分布が矩形分布である。通常、変数*X* の値は限られており、たとえば下限が a で上限が b とすると、確率密度の総和を1

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。

とする取り決めから、確率密度関数 F(*X*)は、F(*X*)･(b−a)=1, すなわち F(*X*)=1/(b−a) となる。
この矩形分布の期待値 E(*X*)は、矩形の面積の総和であるから、E(*X*)= (a + b) /2、この分散（Vx）は、V x＝(b−a)²/12 である。（標準偏差は、$\sqrt{V_X} = (b - a)/2\sqrt{3}$ 、なお、b を＋a、a を－a の±a とすると$a/\sqrt{3}$ となる）

d） 大気条件

d−1）湿度

校正証明書の校正条件の範囲内であることを確認するために使用し、校正証明書の範囲内における影響は無視できるレベルであるため、不確かさは0（%）と評価した。 ・・・ u_4

d−2）大気圧

気圧計の校正証明書に記載されている相対拡張不確かさは0.3 %(*k*=2)であった。
よって標準不確かさは

$$\frac{0.3\ (\%)}{2} = 0.15\ (\%)$$

また、測定中の気圧変化幅が0.5 hPa であった（中心値は1013.25 hPa）。矩形分布すると仮定すると

$$\frac{0.5\ (\mathrm{hPa})}{2 \times \sqrt{3}} = 0.14\ (\mathrm{hPa})$$ （相対値としては $\frac{0.14\ (\mathrm{hPa})}{1013.25\ (\mathrm{hPa})} \times 100 = 0.01\ (\%)$）

の標準不確かさとなる。よって合成した相対標準不確かさは、

$$\sqrt{0.15^2 + 0.01^2} = 0.15\ (\%)$$ ・・・ u_5

d−3）温度

温度計の校正証明書の不確かさは0.3 ℃(*k*=2)であった。よって標準不確かさは

$$\frac{0.3\ (℃)}{2} = 0.15\ (℃)$$

また、校正時の最大最小の温度幅が1.0 ℃であった。値が矩形分布すると仮定すると

$$\frac{1.0\ (℃)}{2 \times \sqrt{3}} = 0.29\ (℃)$$

の標準不確かさとなる。ここで、感度係数は1/295.15 (K^{-1})であるため、標準不確かさの単位を℃から K に読み換えると、合成した相対標準不確かさは、

$$\frac{\sqrt{0.15^2 + 0.29^2}\ (\mathrm{K})}{295.15\ (\mathrm{K})} \times 100 = 0.11\ (\%)$$ ・・・ u_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。

e) 再結合補正

電離箱のイオン収集効率は、高線量率の測定では再結合による補正が必要になる場合がある。この例示では、再結合の補正が必要となる線量率以下であるため、不確かさの評価は必要ない。

(参照標準の校正証明書の範囲内) ・・・ u_7

備考:再結合の補正については、日本医学物理部会編 「外部放射線治療における吸収線量の標準測定法(標準測定法 O1)」を参考にするとよい。

f) 検出器の設定位置

位置設定は、レーザーの線幅±1mm の範囲内でばらつくと考え、標準不確かさは

$$\frac{1.0\ (\mathrm{mm})}{\sqrt{3}} = 0.6\ (\mathrm{mm})$$

よって1m 位置での相対標準不確かさは、

$$\frac{0.6\ (\mathrm{mm})}{1000\ (\mathrm{mm})} \times 2\ (\text{感度係数}) \times 100 = 0.12\ (\%) \quad \cdots \quad u_8$$

g) 検出器の角度設定

検出器を±2° 変化させた場合、出力の変動幅が±0.3%であった。矩形分布と仮定し、相対標準不確かさは

$$\frac{0.3\ (\%)}{\sqrt{3}} = 0.17\ (\%) \quad \cdots \quad u_9$$

h) 照射装置の安定性

γ 線源については繰り返し測定を行い、その測定値の変動幅が線量率の0.002 %であり、0.005 %以下でばらつきが小さいことから無視した。また、X線発生装置については5項の照射装置の γ 線源の条件と異なることからバジェット表へは記載しないが、次の計算例を利用することができる。

・・・ $u_{10\mathrm{A}}$

X線発生装置の安定性(例): およその校正作業の時間(例えば一時間)の前後で、繰り返し測定を行い、その線量率の差が0.3 %であった場合、以下のように見積もる。

$$\frac{0.3\ (\%)}{2 \times \sqrt{3}} = 0.1\ (\%) \quad \cdots \quad u_{10\mathrm{B}}$$

i) シャッター開閉速度

例示が「シャッターの開閉による量の照射ではない」(線量率の測定)ので評価(=0)しない。

・・・ u_{11}

(備考)量の校正の場合は、シャッターの端効果による寄与線量を評価のこと(線源移動方式を含む)。

j) 散乱線の寄与

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。

特定二次標準器を校正した場と、同様の特性をもつ照射場と考え散乱線の影響は考慮しない(＝0と算定)。

・・・ u_{12}

k) 照射場の非一様性

1 m 位置で、照射中心と中心から5cm ずらした位置での電流比が±0.5 %であった。校正においてはこの範囲内で行うものとし、相対標準不確かさは

$$\frac{0.5\ (\%)}{\sqrt{3}} = 0.29\ (\%) \quad \cdots \quad u_{13}$$

備考: 線量当量の校正の場合は、ファントムサイズを考慮した非一様性を見積もること

l) 内挿法による補間で線量率を設定する場合(逆二乗則を含む)

補間式と測定値とのずれを評価し、そのずれは0.5 %であった。よって、この値を補間による線量率の不確かさとする。

測定値からのずれを見込んで、それが±0.25 %の矩形分布であるとするならば、以下のように見積もる。

$$\frac{0.25\ (\%)}{\sqrt{3}} = 0.14\ (\%) \quad \cdots \quad u_{14}$$

m) 照射場設定における照射線量、空気カーマの不確かさ

【γ 線の例】

照射場設定における照射線量、空気カーマの不確かさは、γ 線源を用いた特定標準器による校正時において、W 値等の不確かさが含まれているため、照射線量から空気カーマへの換算においては特段不確かさを見込む必要はない(＝0と算定)。

・・・ u_{15A}

【X線の例】

X線の場合は、特定標準器による校正時において照射線量の不確かさにはW値の不確かさが含まれていない。W値の値は国際的に(CCRI の前身の CCEMRI において)合意されており、不確かさも含めて以下の値となっている。

$$\frac{W_{\mathrm{air}}}{e} = 33.97\ (\mathrm{J \cdot C^{-1}}) \pm 0.05\ (\mathrm{J \cdot C^{-1}})$$

よって、照射線量から空気カーマへの換算を行う際の不確かさは以下のようになる。

$$\frac{0.05\ (\mathrm{J \cdot C^{-1}})}{33.97\ (\mathrm{J \cdot C^{-1}})} \times 100 = 0.15\ (\%) \quad \cdots \quad u_{15B}$$

5．2 量換算に係る不確かさ要因

a) 線量当量換算係数の不確かさ

3．2に示したように自由空気中の空気カーマ(Gy)から線量当量(Sv)を算出するために適用する換算係数の不確かさについて、ISO 4037-3(JIS Z 4511)において不確かさを2 %(1σ)見込むと規定されてい

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。

るため、この値を見積もる。この他にも、光子スペクトルから見積もることは可能。

・・・ u_{21}

b) PMMAを使用する場合の不確かさ

3. 2に示したように荷電粒子平衡を作るために PMMA プレートを用いた場合、ISO 4037-3(JIS Z 4511)で示されている不確かさである1 %を見積もる。検出器自身で荷電粒子平衡が成り立っていることが確認されている測定器に関しては、PMMA プレートを用いなくてもよい。(PMMA プレートに関する不確かさを0と算定)・・・ u_{22}

5. 3 校正時における不確かさ要因

(1) 校正方法の設定

a)校正方法

・特定二次標準器を用いた内挿法

・登録した校正手順書による。(例では、測定回数を5回としている。)

b)DUT の仕様

・検出器: 密封型電離箱 (電離箱容積:300cm^3)

・測定量: 周辺線量当量{H*(10)}

・測定範囲: 10 μSv・h^{-1} ～ 10 mSv・h^{-1}

・光子エネルギー範囲: 50 keV ～ 2 MeV

・入射角度(或いは校正の基準面): 0° ≦ ϕ ≦45°

(2) 不確かさ要因別の算出方法及び計算例

1)照射場の基準線量率に係る要因

a) 基準線量率の不確かさ

上記の設定により、1 m 位置での線量率(H*(10))の相対合成標準不確かさは2.18 %となる。

・・・ u_{31}

2)DUT の測定値のばらつきに係る要因

a) 安定時間(電源をいれてからのエージング時間)

装置の電源投入直後からエージング完了まで指示値のばらつきを考慮する必要があるが、通常はエージングを完了させてから校正を実施するため不確かさを0と見なす。

(参考)安定時間の目安

DUT の性能によって安定時間の目安も変わるが、一般測定用のサーベイメータと参照標準として使用する電離箱式線量計では以下の安定時間をおくことが望ましい。

・サーベイメータクラス: 5分～10分

・参照標準器クラス: 1時間～6時間

b) 測定値の不確かさ

5 回の繰り返し測定を行い、以下のような結果となった。(デジタル表示のもの)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均値	実験標準の偏差
照射時	30.5	32.0	30.0	31.0	31.5	31.0	0.79
BG	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.05

平均値の実験標準偏差はそれぞれ

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。

照射時

$$\frac{0.79\ (\mu Sv \cdot h^{-1})}{\sqrt{5}} = 0.35\ (\mu Sv \cdot h^{-1})$$

バックグラウンド

$$\frac{0.05\ (\mu Sv \cdot h^{-1})}{\sqrt{5}} = 0.02\ (\mu Sv \cdot h^{-1})$$

となり、正味の測定値(照射時ーBG)に対する標準不確かさは、

$$\sqrt{0.35^2 + 0.02^2} = 0.35\ (\mu Sv \cdot h^{-1})$$

よって、相対標準不確かさは、

$$\frac{0.35\ (\mu Sv \cdot h^{-1})}{\{31.0\ (照射時平均値) - 0.1\ (BG\ 平均値)\}\ (\mu Sv \cdot h^{-1})} \times 100 = 1.13\ (\%) \quad \cdots \quad u_{32}$$

c) 設定位置の不確かさ

照射場の設定と同様に0.12 %とする。

$$\cdots \quad u_{33}$$

d) 大気条件

本例は密封タイプの電離箱サーベイメータの校正であることから、大気条件の補正を必要としない。そのため大気条件の不確かさを考慮しない。(不確かさは0)

$$\cdots \quad u_{34}$$

e) 設定角度のばらつき(サーベイメータを設置したときの設定精度による出力のばらつき)

目視で設定できる範囲として2度振ったとき、出力のずれは±1 %であった。よって、矩形分布として相対標準不確かさは

$$\frac{1.0\ (\%)}{\sqrt{3}} = 0.58\ (\%) \quad \cdots \quad u_{35}$$

f) 同一レンジ内での直線性

レンジ内の指示値の直線性は、メーカーの仕様書より±5 %であった。よって、矩形分布として相対標準不確かさは

$$\frac{5.0\ (\%)}{\sqrt{3}} = 2.89\ (\%) \quad \cdots \quad u_{36}$$

g) 温度特性によるばらつき

メーカー仕様で許容差は「15 ℃～30 ℃の範囲で±10 %」であった。校正時における温度変化

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。

は2 ℃であったので、変化量として

$$\frac{2\ (℃)}{15\ (℃:\text{変動幅})} \times 10\ (\%) = 1.33\ (\%)$$

矩形分布として、相対標準不確かさは

$$\frac{1.33\ (\%)}{\sqrt{3}} = 0.77\ (\%) \quad \cdots \quad u_{37}$$

h) 支持具からの散乱線の影響

(i) 特定二次標準器と同じ支持具で校正を行った。散乱線の影響は同じであるため不確かさは考慮しなかった。

(ii) 校正に発泡スチロールの台を使用した。支持具の有無で散乱線の影響が0.6 %あったので、これをかたよりと考え、全量を不確かさに計上した。

$$0.6\ (\%) \quad \cdots \quad u_{38}$$

i) 散乱線に対するエネルギー特性

メーカー仕様から、エネルギー特性は^{137}Cs を1とした場合150 keV で最大でとなり、そのレスポンスは1.15 であった。

照射場の散乱線の線量率比は^{137}Cs 線源に対して30 %であった。また、線量計のエネルギー特性は^{137}Cs を基準として、一方に偏っている訳ではなかった。

よって、30×0.15＝4.5 %を最大値として見込み、矩形分布を仮定して不確かさに計上した。

$$\frac{4.5}{\sqrt{3}} = 2.60\ (\%) \quad \cdots \quad u_{39}$$

備考:^{137}Cs 線源の置かれている状態*)により、散乱線の寄与が異なり、ISO では逆二乗則(空気の吸収補正あり)からのずれが5 %を越えない範囲を照射場と規定している。

この散乱線の寄与の程度により、被校正測定器のエネルギー特性によっては、測定結果(校正定数)に影響する。この散乱線の測定結果への寄与は、スペクトル解析を行い、シミュレーションにより求めてもよい。

なお、電離箱式測定器以外の測定器を DUT とする場合は、もっと大きなエネルギー特性を持つことが多い。

＊照射装置の形状によって散乱線スペクトルが変化することが考えられる。そこでもっとも散乱線成分が多くなると考えられる照射装置(線源周りにスペースがなく散乱体が近くにある状態)を模擬してシミュレーションを行い、国内主要メーカーの電離箱サーベイメータのエネルギー特性を参照して、その出力のばらつきを検討した。その結果、±5 %の範囲に入っていることから、矩形分布を想定し不確かさは3 %となった。現状の電子式個人線量計では、±7 %の範囲に入っており、この場合の不確かさは4 %となる。

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。

5．4 まとめ

（1） DUT の校正定数

参照標準による基準線量率は、32.5 μSv･h^{-1}であった。

DUT の測定値の平均値は、5．3（2）2）b）より、31.0 μSv･h^{-1}であった。

よって、校正定数は、

$$\frac{32.5\ (\mu\mathrm{Sv}\cdot\mathrm{h}^{-1})}{31.0\ (\mu\mathrm{Sv}\cdot\mathrm{h}^{-1})} = 1.05$$

（2） DUT の校正定数の不確かさ

DUT の校正定数の合成標準不確かさ u は、基準線量率の不確かさ u_{31}と、DUT の測定値の不確かさ u_{32} 〜 u_{39}の合成不確かさであり、u の相対合成標準不確かさは、

$$\sqrt{\sum_{i=31}^{39} u_i^2} = \sqrt{2.18^2 + 1.13^2 + 0.12^2 + 0.58^2 + 2.89^2 + 0.77^2 + 0.6^2 + 2.6^2} = 4.74\ (\%)$$

また、4.1の Welch-Satterthwaite の式より有効自由度 ν_{eff}は1238となり、信頼の水準約95 %を満足する包含係数 k = 2 が採用でき、DUT の校正定数の相対拡張不確かさは、9.5 %となる。

なお、基準線量率の不確かさ u_{31}は、校正場設定の不確かさ u_1 〜 u_{14}と量換算の不確かさ u_{21} の合成不確かさである。

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。

6. バジェット表の例

(拡張不確かさの計算例(特定二次標準器を用いた方法で、DUT を含む))

要因	記号	各要因	測定値(両幅)	確率分布	除数	標準不確かさ	感度係数	相対標準不確かさ(%)	自由度
Ⅰ. 校正場設定の不確かさ		例示							
標準測定器の校正定数	u_1	校正証明書に「1.5%(k=2)」と記載	1.5 %	正規	2	0.75 %	1	0.75	∞
標準器による線量率測定	u_2	測定値平均500.4 mVに対して、BG平均値1.5 mV	mV	正規		0.26 mV	1/(500.4−1.5)	0.05	4
極性効果	u_3	±の電流値の差が0.2mV(500mVに対して)	0.2 mV	矩形	2√3	0.058 mV	1/500	0.01	∞
大気条件 湿度	u_4	校正定数の校正範囲に含まれているため、影響を0と評価	0 %R.H.	矩形	√3	— %R.H.		0.0	∞
大気圧	u_5	気圧計の拡張不確かさ0.3%(k=2)と測定中の変動0.5hPaの合成値となる		正規		0.15 %	1	0.15	∞
温度	u_6	温度計の不確かさ0.3℃(k=2)と測定中の変動幅1℃の合成値となる	℃	正規		0.33 ℃	1/293.15	0.11	∞
再結合補正	u_7	再結合補正が必要となる線量率以下のため、影響を0と評価	0	矩形	√3	—		0.0	∞
検出器の設定位置	u_8	レーザー線の幅1mmを設定位置1m±1mmに置き換えた時の不確かさ	±1 mm	矩形	√3	0.6 mm	2/1000	0.12	∞
検出器の角度設定	u_9	設定角度のずれ±2° の時の出力変動幅が0.3%とした不確かさ	0.3 %	矩形	√3	0.17 %	1	0.17	∞
線源駆動装置の安定性	u_{10}	繰り返し測定で線源駆動装置の変動幅は小さいことから、影響を0と評価	0	—		—	—	0.0	—
シャッター開閉速度	u_{11}	シャッターの開閉により照射率は変動しないので、影響を0と評価	0	—		—	—	0.0	—
散乱線の寄与	u_{12}	参照標準校正と同じ校正場と見なし、影響を0と評価	0	—		—	—	0.0	—
γ線場の非一様性	u_{13}	照射野の中心から5cmずれた位置での測定値が0.5%減少した時の不確かさ	0.5 %	矩形	√3	0.29 %	1	0.29	∞
逆二乗、内挿による補間	u_{14}	補間式と測定値とのずれは0.5%と見なした時の不確かさ	0.5 %	矩形	2√3	0.14 %	1	0.14	∞
空気カーマ	u_{15}	特定標準器からW値等不確かさが含まれるととして、影響を0と評価	0	—		—	—	0.0	—
相対標準不確かさ								0.86	
Ⅱ. 量換算の不確かさ		例示							
空気カーマ→線量当量(率)	u_{21}	ISO 4037-3の不確かさ見積り係数	2.0 %	正規		2.0 %	1	2.0	∞
ISO等国際基準対応に係る要因	u_{22}	ISO 4037-3のPMMA 1%については、これを用いないため0とする	0.0 %	正規		0.0 %	1	0.0	—
Ⅲ. 校正における不確かさ要因		例示							
基準線量率の不確かさ	u_{31}	線量当量 設定時の不確かさから	%	正規		%		2.18	
測定値の不確かさ	u_{32}	測定値平均31 μSv/hに対してBG 0.1 μSv/h		正規		0.35 μSv/h	1/(31.0−0.1)	1.13	4
設定位置の不確かさ	u_{33}	検出器の設定位置の不確かさと同じ	±1.0 mm	矩形	√3	0.6 mm	2/1000	0.12	∞
大気条件	u_{34}	密封タイプの電離箱式サーベイメータであることから大気補正は影響を0と評価		-		—		0.0	—
設定角度	u_{35}	2度角度を変えたとき出力は変化が1%とした時の不確かさ	1.0 %	矩形	√3	0.58 %	1	0.58	∞
同一レンジ内の直線性	u_{36}	メーカー仕様により±5 %	±5 %	矩形	√3	2.89 %	1	2.89	∞
温度特性によるばらつき	u_{37}	メーカ仕様上温度変化15℃に対し10%の変動幅がある状態の2℃の不確かさ	1.33 %	矩形	√3	0.77 %	1	0.77	∞
支持具からの散乱線の影響	u_{38}	指示具による散乱線の影響が0.6%とした時の不確かさ	0.6 %	偏り		0.6 %	1	0.6	∞
散乱線に対するエネルギー特性	u_{39}	メーカー仕様から150keVが最大で1.15倍、場の散乱線の線量比は30%	4.5 %	矩形	√3	2.60 %	1	2.60	∞

相対合成標準不確かさ u = 4.74 %

(有効自由度 V_{eff}= 1238 包含係数 k= 1.96)

相対拡張不確かさ(k=2) U = 9.5 %

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1 校正法の違いによる不確かさの概要

放射線測定器の校正においては、置換法の他に、特定二次標準器等(以下「参照標準」という)によってあらかじめ線量率が値づけられた照射場を利用する内挿法があり、さらに、参照標準に連鎖モニターを用い、連続照射中の照射場の線量をモニターして校正に用いる方法(モニター法)や、同じ照射野に参照標準とDUT を置いて指示値を比較して校正する方法(同時比較法又は同時校正法をもいう)がある。

また、上位の参照標準により線量率が値付けされた γ 線照射装置や γ 線源のような常用参照標準がある。このような常用参照標準を利用した線源法(逆二乗法)がある。

これらの方法は、登録申請の添付資料の中で記述することにより、照射場の活用として取り扱われる。

付表1 不確かさ算出のマトリックス(参考)

凡例
- ● : 本編に記述されている項目
- ー : 該当しない項目
- □ : 選択的手法(条件付き適用)
- ◎ : 使用する選択的手順、見積もる不確かさ
- ≒ : 上位標準とDUTが同等になる。
- ← : 見積もるDUT

項目番号	要因	方法名	置換法				線源法		DUT	備考
			置換法	内挿法	モニタ法	照射法 同時	γ線源	射装置 γ線照	DUT	
		附属書番号	本編	1−1	1−2	1−3	2−1	2−2	3	
5．1 照射場設定の不確かさ										
	参照標準の校正定数	u_1	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	参照標準による線量率測定	u_2	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	極性効果	u_3	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	大気条件 湿度	u_4	●	ー	◎	ー	ー	ー	◎	
	大気圧	u_5	●	ー	◎	ー	ー	ー		
	温度	u_6	●	ー	◎	ー	ー	ー		
	再結合補正	u_7	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	検出器の設定位置	u_8	●	ー	ー	ー	◎	ー		
	検出器の角度設定	u_9	●	ー	ー	ー	ー	ー	◎	
	線源駆動装置の安定性	u_{10}	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	シャッター開閉速度	u_{11}	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	散乱線の寄与	u_{12}	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	場の非一様性	u_{13}	●	ー	ー	ー	ー	ー		
	逆二乗、内挿による補間	u_{14}	●	ー	ー	ー	□	□		
	空気カーマ	u_{15}	●	ー	ー	ー	ー	ー		
(1) 校正場設定における選択的手法による不確かさ(附属書1より)										
	基準線量率(内挿式)の補間	u_{a1}	ー	□	ー	ー	ー	□		
	半減期補正	u_{a2}	ー	□	ー	ー	□	□		半減期補正はどの段階で行っても良い。
	モニターの繰り返し性	u_{b1}	ー	ー	□	ー	ー	ー		
	モニターの再現性(長期安定性)	u_{b2}	ー	ー	□	ー	ー	ー		
	目盛りの直線性(モニター)	u_{b3}	ー	ー	□	ー	ー	ー		
	大気条件	u_{b4}	ー	ー	□	ー	ー	ー		
	製品特性のばらつき(被校正器)	u_{c1}	ー	ー	ー	□	ー	ー		エネ特は異なる形式を校正する場合
	目盛りの直線性(参照標準拡大部分)	u_{c2}	ー	ー	ー	□	ー	ー		参照標準から範囲の拡大(上、下)を行う場合
(2) 線源法による校正場設定の不確かさ(附属書2より)										
	逆二乗則からのずれ	u_{d1}	ー	□	ー	ー	□	□	ー	
5．2 量換算の不確かさ										
	照射線量→空気吸収線量→空気カーマ	u_{15}	ー	◎	◎	◎	◎	◎		
	自由空気中の空気カーマ→線量当量(率)	u_{21}	●	◎	◎	◎	◎	◎		
	ISO等国際基準対応に係る要因	u_{22}	●	◎	◎	◎	◎	◎		線量当量換算の場合
	半減期補正		ー	ー	ー	ー	◎	◎		半減期補正はどの段階で行っても良い。
5．3 校正時における不確かさ要因										
	基準線量率の不確かさ	u_{31}	●	◎	◎	◎	◎	◎	←	
	測定値の不確かさ	u_{32}	●	◎	◎	◎	◎	◎	←	
	設定位置の不確かさ	u_{33}	●	◎	◎	◎	◎	◎	←	
	大気条件	u_{34}	●	◎	◎	≒	◎	◎	←	
	設定角度のばらつき	u_{35}	●	◎	◎	◎	◎	◎	←	
	同一レンジ内でのばらつき(直線性)	u_{36}	●	◎	◎	≒	◎	◎	←	
	温度特性によるばらつき	u_{37}	●	◎	◎	≒	◎	◎	←	
	支持具からの散乱線の影響	u_{38}	●	◎	◎	≒	◎	◎	←	
	散乱線に対するエネルギー特性	u_{39}	●	◎	◎	≒	◎	◎	←	
附属書3 DUTの不確かさ										
	目盛りの直線性(被校正器)	u_{f1}				□			◎	

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1－1 内挿法

1) 校正方法の概要

参照標準を用いて γ 線照射装置の照射軸上の線量率を3点以上測定し、線源からの距離と線量率について内挿式(フィッティング関数)を作成した後、内挿式から校正点の線量を求める(以下フィッティング関数を用いる方法を「内挿法」という。)。次に、DUT の校正項目に応じた量に換算をして参照線量(基準線量率)とし、DUT を校正する方法をいう。

置換法は校正の都度、参照標準による照射場の設定(参照線量の測定)が必要になるが、置換法の一部である内挿法に半減期による減衰補正を適用することで、線源からの距離と線量率の関係が求められるので、効率的に校正作業を進めることができる。

①参照標準

・特定二次標準器又は常用参照標準(特二次標準器と同等の電離箱式に限る)

②照射場の設定条件

・線　源　＝ γ 線源{γ 線照射装置(コリメート式又は非コリメート式)}であること。

・測定距離 ＝ 線源からの距離が30 cm 以上で、校正距離と線量率の関係が、γ 線の空気による減弱補正を行い、5 %以内で逆二乗則に合致する距離範囲

・半減期による減衰補正 ＝ 行える

③校正対象　一般測定器(サーベイメータ、個人線量計など)

2) 要因の特定

①内挿式(フィッティング関数)を用いた線量評価の不確かさ

内挿式の不確かさは、内挿式として用いる関数に依存する。

②半減期による減衰補正の不確かさ

放射性核種の壊変に伴う減衰補正は、用いる半減期データに不確かさが付随する。この不確かさを減衰補正の不確かさの要因とする。

放射性核種の半減期データは、BIPM(国際度量衡局)の「Monographie BIPM-5」で公開されている。平成24年1月現在の URL は http://www.bipm.org/en/publications/monographie-ri-5.html である。(BIPM-5には、Vol.1-6があり、オンラインデータベースもある。)

3) 要因の説明

内挿に用いた全ての測定距離における実測値と内挿式から求めた計算値との差を各点の不確かさと考えることができる。実測値と計算値の差が小さい場合には、差の最大値をもって内挿式の不確かさとすると不確かさの評価を簡略化できる(タイプAからタイプ B への移行)。

なお、内挿法で半減期による減衰補正を適用する場合の不確かさは、半減期に由来する不確かさを明らかにして適用すること。

(備考)半減期による減衰補正を適用する期間については、校正手順に計量確認周期として含めること。

例えば、「タイプ B で算定可能な半減期補正の不確かさは、特定二次標準器の校正周期の期間までとする」など。

4) バジェット表の記載例

付表1－1　内挿法の不確かさ(主な個別要因)

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
基準線量率(内挿式)の補間	u_{a1}	内挿式による近似値の不確かさ	内挿値と参照標準による測定した値との比較	矩形	√3		値、それに適用する確率分布を決め、標準不確かさを求める。
半減期による減衰補正	u_{a2}	半減期の不確かさ	出典の数値から	矩形	√3		同上
線量当量(率)換算係数	u_{a3}	空気カーマから Sv へ換算する場合	C･kg^{-1}, Gy→Sv 換算･本編5.2 a)を参照(＝u_{21}, 2%)	－	－		ﾓﾉﾋﾟｰｸから見積もることは可能

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1－2 モニター法

1) 校正方法の概要

主にX線発生装置を用いた校正において、まず、照射線量を参照標準で値付けした量をモニターを用いてモニタリングする。次に、参照標準を DUT に置き換え(同一位置での置換)て、参照標準で値付け(測定)した発生装置の条件で照射し、それをモニタリングした値で参照標準の値に換算して基準線量とし、DUT が示した値と比較して校正する方法。

なお、JCT21701において、「照射場の活用については、校正方法の中の置換法の解釈の中で取り扱うことができ、登録申請の添付資料の中で記述することで照射場の活用ができる。」とする指針があるが、この照射場の活用に、モニター法を含めることができる。

①参照標準

・特定二次標準器又は常用参照標準(特二次標準器と同等の電離箱式に限る)

②照射場の設定条件

・線　　量 ＝ 参照標準によりモニターの値付け

・DUT の型 ＝ 参照標準と同型又は異なる型式のいずれでもよい。

(備考) モニターで照射量を測定する分、不確かさは大きくなる。

・測定距離 ＝ 参照標準と DUT は等距離(同位置)

③校正対象

・空気カーマ(率)、空気吸収線量(率)、線量当量(率)

2) 要因の特定

モニターの計量性能(繰り返し性、長期安定性及び目盛りの直線性)を要因とする。

(備考)

参照標準で値付けした装置の繰り返し性及び長期安定性(再現性)は、不確かさに含める。

3) 要因の説明

モニターの繰り返し性は繰り返し測定から、長期安定性は、仕様書あるいは長期使用した結果から、また、目盛りの直線性は参照標準との比較測定から求める。

(備考)

仕様書のデータは、測定の積み重ねから検証することが望ましい。

モニター法は、参照標準の校正範囲内に限り、モニタリングした結果について、モニターの直線性が確認されている線量(率)の範囲において活用できる。

4) バジェット表の記載例

付表1－2　モニター法の不確かさ(主な個別要因)

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
モニターの繰り返し性	u_{b1}	繰り返し性	繰り返し測定	正規	1		値、それに適用する確率分布を決め、標準不確かさを求める。
モニターの再現性(長期安定性)	u_{b2}	長期安定性	参照標準との比較の再現性	正規	1		同上
目盛りの直線性(モニター)	u_{b3}	モニターの目盛りの直線性	レンジ内、レンジ間	正規	1		同上
大気条件	u_{b4}	大気条件の変動に対する不確かさ	本編5.1 d)を参照(＝u_4,～u_6)	正規	1		同上

附属書1－3 同時照射法

1) 校正方法の概要

常用参照標準として γ 線線量計を用いる校正において、参照標準と DUT(参照標準と同じ形式に限る)

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。

を線源から等距離に並べて置いて、参照標準と DUT の測定値を求め、次に参照標準とDUTを置く位置を相互に入れ替えて測定値を求め、入れ替え前後での参照標準と DUT のそれぞれの測定値の平均値を比較する方法。

(備考) 参照標準とDUT(参照標準に同じ形式に限る)を線源から等距離(同位置)に交互に置いて直接比較する場合は、置換法として扱う。

サーベイメータ等の実用測定器を校正する場合にあっては、参照標準(DUT と同型器に限る)と実用測定器(DUT)のばらつきの不確かさを同じと見なす事が可能である。これから校正の不確かさを計算すると、例えば、参照標準の相対拡張不確かさが7.7 %(k=2)の場合、校正の不確かさ(相対拡張不確かさ)は、

$$U = \sqrt{(\text{参照標準の標準不確かさ})^2 + (\text{DUT の標準不確かさ})^2} \times 2 \quad (k = 2)$$

$$= \sqrt{\left(7.7/2\right)^2 + \left(7.7/2\right)^2} \times 2$$

$$= 5.444\,(\%) \times 2 \fallingdotseq 11\,(\%) \quad (k=2)$$

となる。ただし、参照標準の校正証明書から「基準線量率の不確かさ」が分かれば、重複要因をキャンセルできる場合がある。

①参照標準

常用参照標準(線量計に限る。以下同じ。)

②照射場の設定条件

線　　源　＝ 値付けしない
DUT の型　＝ 参照標準に常用参照標準を用いる場合は、参照標準と同一の形式に限る。
測定距離　＝ 参照標準と DUT は同じ校正面の等距離に設置する。

③校正対象

参照標準と同一形式の測定器で、かつ、同一単位の量の校正に限る。(量の換算は行えない。)

(例)参照標準が線量当量(率)測定器の場合、同一形式の DUT の線量当量(率)目盛りの校正に限られる。

2) 要因の特定　　JCT21701を参照すること。

3) 要因の説明

DUT の最小定格範囲(エネルギー範囲に入射角度を含む)における製品のばらつき(同一ロット内及び製造ロット間)を特定し、不確かさを求める。

入射角度を含むエネルギー範囲については、JCT21701を参照すること。

4) バジェット表の例

付表1－3 同時照射法の不確かさ(主な個別要因)

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
製品特性のばらつき(DUT)	u_{c1}	チルト特性、エネルギー特性の差異	同一ロット内のレスポンスのばらつき及び異なるロット間のばらつき	矩形(又は三角)	√3(又は √6)		値、それに適用する確率分布を 決め、標準不確かさを求める。
目盛りの直線性(参照標準拡大部分)	u_{c2}	参照標準の校正点からの拡大部分の目盛りの直線性	線量計 線量率計	正規	1		同上

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。

附属書2 『線源法』に関連する校正法等の概要

特定二次標準器又は常用参照標準により値付けられた γ 線源あるいは照射装置を用い、任意の距離における照射量を計算して照射場を設定し、DUT の校正を行う方法をいう。

附属書2－1 線源法(γ 線源)

1) 校正方法の概要

常用参照標準として γ 線源を用いる校正において、校正(値付け)された γ 線源を測定標準とし、線源からの線量が距離の二乗に反比例するという原理(逆二乗則)に基づいて任意の校正点の線量を計算して、その線量を参照標準として DUT の測定値と比較する方法。

① 参照標準

γ 線源(専用の治具に組み込まれ、スタンドにのせられた状態で線量(率)が校正されたγ線源等)

② 照射場の設定条件

・照射量 ＝ 線源が値付けられた条件と同様に線源を設置し、予め照射距離、線種などの特性を考慮し、逆二乗則(空気の吸収補正を含む)を適用し決める。

・ 測定距離 ＝ 参照標準(線源)から照射する線量に応じた距離を決定する。

(備考)

・線源の校正値は、散乱線成分を含まない。

・散乱成分の評価には、シャドーシールド法等がある。

・散乱線の影響を評価し、測定値の補正を行い、 校正値を求めてもよい。

③ 校正対象

照射線量(率)、吸収線量(率)、空気カーマ(率)及び線量当量(率)

2) 要因の特定

JCT21703を参照すること。

3) 要因の説明

校正(値付け)された線源の線量率(空気カーマ率)は、室内等の散乱線を含まない値なので、散乱線の寄与及び線源からの距離の精度が不確かさの要因となる。

4) バジェット表の例

付表2－1 線源法(γ線源)の不確かさ(主な個別要因)

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
逆二乗則からのずれ	u_{d1}	理論値と実測値の逆二乗則からのずれ	測定器による測定 (JCT21703参照)	矩形	√3		逆二乗則からのずれが5%以内の範囲のものに限る。 (非コリメート型の場合) 4 m×4 m×3 m の室内で30 cm から130 cm という例示がある。 測定器の実効中心の変位に注意のこと。
半減期補正	u_{d2}	半減期の不確かさ	出典を明確にし、その値から	正規	1		
線量当量(率)の場合	u_{d3}	一方向平行照射条件での測定値から	·H＊(10)の測定 ·本編5.2 a)を参照(＝u_{21})				$H_p(10)$の場合、ファントムサイズ(入射の一様性)に注意

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2－2 線源法(γ 線照射装置)

1) 校正方法の概要

常用参照標準として γ 線照射装置を用いる校正において、γ 線照射装置の校正(値付け)された線量(率)を測定標準として、DUT の測定値と比較する方法。

① 参照標準

照射状態にある線源からの線量(率)が校正(値付け)された γ 線照射装置

② 照射場の設定条件

・照射量 ＝ γ 線照射装置から、距離毎に複数の測定点が与えられている場合、測定点の内挿又は逆二乗補正を行って照射量を決定する。

γ 線照射装置の場合、1点の出力(照射量)は、付属書2－1の γ 線源で扱うこと。

・測定距離 ＝ 参照標準(γ線照射装置)から照射する線量に応じた距離(内挿した距離を含む)を決定する。

(備考)

・γ 線照射装置の校正値には、散乱線成分が含まれる。

・散乱成分の評価には、シャドーシールド法があるが、コリメート型 γ 線照射装置等の線源近傍からの散乱線の評価に、この方法は適さない。

・散乱線の評価には、スペクトル解析法、あるいはモンテカルロ法などのシミュレーションがある。

③ 校正対象

照射線量(率)、吸収線量(率)、空気カーマ(率)及び線量当量(率)

2) 要因の特定

JCT21703を参照すること。

3) 要因の説明

校正(値付け)された γ 線照射装置の線量率(空気カーマ率)は、散乱線の寄与及び線源からの距離の精度が不確かさの要因となる。

4) バジェット表の例

付表2－2 線源法(γ線照射装置)の不確かさ(主な個別要因)

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
内挿式による補間	u_{e1}	内挿式の精度	内挿値と参照標準による測定値の比較 ($=u_{14}$)	矩形	$\sqrt{3}$		内挿式に散乱線の寄与を含める場合がある。
半減期補正	u_{e2}	半減期の不確かさ	出典を明確にし、その値から	正規	1		
検出器の設定位置(内挿位置含む)	u_{e3}	長さ計の精度	長さ計の精度から ($=u_{8}$)	矩形	$\sqrt{3}$		
線量当量(率)の場合	u_{e4}	換算係数の適用条件	・DUTへの入射の一様性、コリメート型、非コリメート型測定器から計算 ・本編5.2 a)を参照 ($=u_{21}$)	矩形	$\sqrt{3}$		$H^*(10)$の場合 $H_p(d)$の場合

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3　DUT に係る不確かさの考え方

DUT については、計量器の種類毎に特性、安定性などの基礎データが異なることから、当該計量器の特性等を把握して DUT の不確かさを見積もる必要がある。

また、医療分野などの高い精度が求められる計量器、放射線作業場で使用される実用校正レベルの計量器などがあり、不確かさの程度は大きく異なる。

DUT の不確かさ見積もりの考え方及び校正器種類別の不確かさの例を以下に示す。

附属書3－1　DUT の不確かさの要因

DUT 校正の不確かさには、測定値のばらつきと DUT の特性に起因するものに分けられる。

一般に、測定値のばらつきは、線量率が低いほど大きくなり、測定回数を増やすほど不確かさが小さくなる(測定の信頼度が向上する)。一方、DUT に起因する特性には、①エネルギー特性、②方向特性、③温度特性、④気圧特性があげられ、DUTの種類によっては、構造的に不確かさを考慮しなくて良い要因がある。例えば、密閉型の電離箱式線量計では、温度、気圧が変化しても電離箱内の気体の有効体積は変化しないため、不確かさの評価は必要ない。

付表3－1　DUT の種類と不確かさの要因

不確かさの要因 / DUT の種類		エネルギー特性及び／又は方向特性	目盛りの直線性	温度特性	検出器の有効体積 大気圧補正	備考
電離箱式	開放型	○	○	○	○	ベント方式
	密閉型	○	○	○	×	
GM計数管式		○	○	○	×	
シンチレーション式		○	○	○	×	
半導体式		○	○	○	×	

○:不確かさを考慮する、 ×:構造的に不確かさを考慮する必要はない

附属書3－2　DUT の不確かさ見積もりの例

開放型電離箱における温度、気圧補正の不確かさについては、本編5. 1(2)d)を参照する。

DUT の特性に起因する不確かさの見積もりには、校正の対象となる DUT の取扱説明書等(以下「仕様書等」という)に記載された性能を用いることができる。

なお、DUT の校正条件に係る不確かさについては、本編5. 3の事例を参照する。

1)バジェット表の記載例

付表3－2　DUT の性能や仕様書のデータを用いた不確かさの見積もり

要因	記号	要因の説明	見積もりの方法	確率分布	除数	感度係数	備考
目盛りの直線性(DUT)	u_{f1}	校正範囲の目盛りの直線性	DUT の直線性は仕様書等より	矩形	$\sqrt{3}$		附属書1-2(u_{b3})及び附属書1-3(u_{c2})の要因とは厳密には一致せず、一般のDUTを指す
温度特性(依存性)	u_{f2}	校正試験中の温度変化の幅と DUT の温度特性から評価	DUT の温度特性は仕様書より($=u_6$)	矩形	$\sqrt{3}$		測定回路に温度依存性がある場合に確認
検出器の角度設定	u_{f3}	検出器の設置角度のずれ幅と DUT の方向特性から評価	DUT の角度特性は仕様書等より($=u_9$)	矩形	$\sqrt{3}$		チルト特性は事業者自ら確認
散乱線の寄与(同型以外)	u_{f4}	照射場の散乱線の割合と DUT のエネルギー特性から評価	DUT のエネルギー特性は仕様書等より($=u_{e1}$)	矩形	$\sqrt{3}$		DUT 間の性能の差異

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。

参考資料 1　実用校正における不確かさの考え方

JIS Z 4511(2018)に規定された実用校正については、当該 JIS 規格の附属書 JB に記述されている。参考として、実用標準測定器と実用照射装置を用いて実用測定器(個人線量計を想定)を校正する場合の不確かさについては、以下の要因が示されている。

a) 実用測定器の指示変動誤差

b) 実用標準測定器及び実用照射装置の性能

本ガイドにおいても基本的な考え方は当該 JIS 規格の不確かさの見積もり方法によるが、実用照射装置の統計的な再現性及びばらつきを考慮した管理幅の設定例などを次に示す。

1) 実用標準測定器及び実用照射装置の性能

JIS Z 4511の解説に「線量当量実用標準測定器によって ICRU 球、或いは ICRU スラブ線量当量(率)が値付けされた実用照射装置を用いて校正する方法」に係る不確かさの考え方が記載されている。

ただし、実用照射装置をワーキングスタンダードとすることはできない。

参考付表1－1 実用校正に使用する照射装置等の使用例

管理項目	基準値	備考
実用標準測定器の性能	同一の照射条件で4回以上照射したときの変動係数が0.03以下	γ線照射装置(^{137}Cs又は^{60}Co)による
照射装置の性能	JIS Z 4511附属書JB.2.3のとおり	個々の測定データにより確認し、照射装置毎に管理
安定性(再現性)	実用照射装置で実用標準測定器を同一照射条件で4回以上照射したときの変動係数が0.05以下	

2) 実用標準測定器の指示変動誤差(測定の再現性を含む)

DUT と同じ型式の実用標準測定器であっても不確かさはそれぞれ別に見積もる必要がある。DUT の不確かさは校正方法によって異なる。以下では、個人線量計(直読形)を実用標準測定器とした場合について例示する。

参考付表1－2　実用標準測定器の校正方法別の使用例

測定器の種類	校正方法の別	基準値の例
個人線量計(直読形)	置換法 モニタ法	X線・γ線の場合: レスポンスの再現性　3％ (繰り返し測定の変動係数;3 %未満) (備考)場の設定を行った照射装置を用いて実用標準測定器の再現性を確認
	同時校正法	レスポンスの再現性　5 ％ (繰り返し測定の変動係数;5 %未満) (備考)実用標準測定器を用い、実用照射装置による再現性を測定し、そのばらつきを算出

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。

改正のポイント

組織改編に伴う名称の変更等以上

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。