

JAB NOTE 9

^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度測定に係る 不確かさの評価ガイドライン

JAB RL509 : ~~2017~~2018 第 4 版

第 4 版 : ~~2017~~2018 年 ~~9~~4 月 ~~1~~1 日

第 1 版 : 2014 年 5 月 1 日

公益財団法人 日本適合性認定協会

目次

序文—

3

1. 適用範囲	3
2. 不確かさの評価プロセス	3
3. 測定モデル式及び放射能濃度の不確かさ	4
3.1 測定モデル式	4
3.2 放射能濃度の不確かさ	6
4. 個別要因の標準不確かさの評価	9
4.1 ピーク計数効率校正の不確かさ(u_c)	9
4.2 試料放射能測定の不確かさ(u_R)	11
4.3 試料質量の不確かさ(u_w)	12
4.4 補正の不確かさ(u_k 、 u_k)	12
5. 不確かさの合成と報告	13
表 1 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにおける測定結果の不確かさ評価例 (マリネリ容器)	15
表 2 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにおける測定結果の不確かさ評価例 (U8 容器)	17
参考資料	19

^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度測定に係る不確かさの評価ガイドライン

序文

種々の量の測定における測定の不確かさは、その測定結果のばらつきの程度を示す重要な指標として理解されている。測定の不確かさは、試験結果とともに報告することにより、試験所の顧客に対して試験結果の信頼性を示すことだけでなく、不確かさのそれぞれの要因を評価することにより、測定のばらつきを低減するためのインプット信号を与えることに繋がる。

2011年3月11日の東日本大震災に起因する福島第一原発事故によって放出された放射性物質による汚染においても、食品、環境を中心として多くの放射能分析が行われており、その分析の信頼性は社会生活において重要な問題となっている。

本文書は、放射能分析における測定の信頼性向上を目的として、ゲルマニウム半導体検出器を用いるガンマ線スペクトロメトリーによって ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度測定を実施する場合の測定の不確かさを評価し報告するためのガイドラインを定めるものである。

1. 適用範囲

本文書は、ゲルマニウム半導体検出器を用いるガンマ線スペクトロメトリーによる ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度測定の不確かさ評価に適用する。

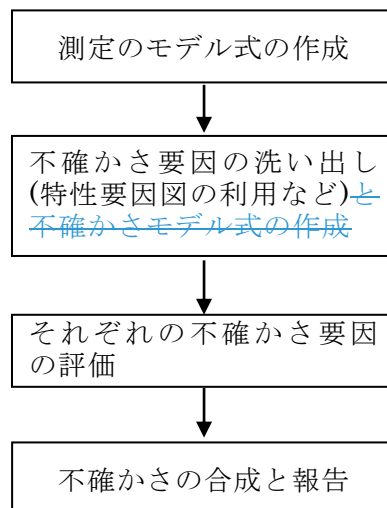
2. 不確かさの評価プロセス

測定の不確かさを評価・報告するための一般的な方法及び手順は、“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement Metrology (GUM)”として計量におけるガイドのための合同委員会(JCGM)及び国際標準化機構(ISO)から発行されている。その中で、測定の不確かさを求める際に測定のモデル化を行うことが推奨されている。測定のモデル化を行うことにより、測定の不確かさの要因がどのように測定結果に影響を与えるかを知ることができる。図 1 に不確かさ評価を行うプロセスのステップごとの流れの概略を示す。

- (1) 第一番目のステップは、測定のモデル化を行い、モデル式を立てることである。
- (2) 第二番目のステップは、この測定のモデル式から影響する不確かさ要因を洗い出す~~し、不確かさのモデル式にまとめる~~ことである。一般にそれぞれの不確かさの要因を標準不確かさと呼ばれている。また、補正因子とはならない測定(環境)条件などが測定結果に影響する場合には、それらについても不確かさ要因に加えなければならないので、特性要因図を用いてそれらを体系的に整理することが推奨される。
- (3) 第三番目のステップは、洗い出されたそれぞれの不確かさ要因を評価するための方法を模索し、実行することである。そのためには実験等により求めるもの(タイ

1 プ A)と文献等を元に求めるもの(タイプ B)に不確かさのタイプを分け、実験で求
 2 めるものについて合理的に求めるための実験計画を立て評価を進めることにな
 3 る。一般にタイプ A 不確かさの評価を行うためには分散分析法の利用が有効であ
 4 り、求めたい不確かさ要因を評価するのに適切な実験計画を立て、繰り返し性や
 5 その他のばらつきの要因を評価することが行われるが、放射能測定の場合、検出
 6 限界を下げるためには測定時間が長くなるなどの理由で、繰り返しが十分に行え
 7 ない場合がある。このような場合、繰り返し成分に相当する評価については計数
 8 から求める方法がある。これについては、4項簡条 4 で解説する。

- 9 (4) 第四番目のステップは、評価したそれぞれの不確かさ(標準不確かさ)を合成し、
 10 最後に拡張不確かさで報告することである。これについては 5項簡条 5 で紹介す
 11 る。



12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25 図 1 不確かさ評価のステップ

26
27 3. 測定のモデル式及び放射能濃度の不確かさ

28 ガンマ線スペクトロメトリーを行うには、標準線源を利用して使用するゲルマニウ
 29 ム半導体検出器のピーク計数効率(検出効率)を測定しなければ、計数率から放射能
 30 (放射能強度)に変換することができない。ピーク計数効率を求めるには、 γ 線エネ
 31 ルギーの関数で表した効率曲線法と測定試料中の該当核種と同じ標準線源を利用する
 32 比較法とがある。

33
34 3.1 測定のモデル式

35 (1) 効率曲線法を用いる場合

36 ~~γ 線エネルギーの関数で表した γ 線ピーク計数効率を用いる場合(効率曲線法)~~

初版：2014-05-01

第4版

20172018-0904-0101

1 ~~ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる~~¹³⁴Cs 及び
2 ¹³⁷Cs の放射能濃度 C (Bq/kg)は、該当する核種の γ 線エネルギー E_{cs} 注1 における γ 線
3 ピーク計数率 $\varepsilon_F(E_{cs})$ から(1)式で表せる。

$$C = \frac{R_s \times k}{W \times \varepsilon_F(E_{cs}) \times p_s} \quad \dots(1)$$

4 式

5 式
6 ここで、

7 R_s : 試料測定時の該当する核種の γ 線エネルギー E_{cs} での γ 線ピーク計数率
8 (cps) 注2

9 W : 試料質量(kg)

10 $\varepsilon_F(E_{cs})$: γ 線エネルギーの関数で表した γ 線ピーク計数効率 $\varepsilon_F(E)$ において

11 $E = E_{cs}$ としたもの

12 p_s : 該当する核種の γ 線エネルギー E_{cs} での γ 線の放出割合

13 k : 該当する核種の γ 線エネルギー E_{cs} での γ 線による試料放射能の測定に関
14 わる補正係数

15
16
17 ここで、 $\varepsilon_F(E)$ は複数核種の標準体積線源 (校正用標準体積線源) を測定したとき
18 のそれぞれの γ 線エネルギー~~(E)~~における γ 線ピーク計数効率 ε_E から求めた近似効
19 率曲線により求める。この ~~ε_E~~ は(2)式で表される計算される。 k 及び k' には該当する
20 核種の γ 線エネルギー E の γ 線の自己吸収やサム効果などの補正が含まれる。

$$\varepsilon_E = \frac{R_r \times k'}{A \times p_r} \quad \dots(2)式$$

21 ε_E : ~~校正用~~標準体積線源の各 γ 線エネルギー~~(E)~~での γ 線ピーク計数効率

22 p_r : ~~校正用~~標準体積線源の各 γ 線エネルギー~~(E)~~での γ 線の放出割合

23 R_r : ~~校正用~~標準体積線源の各 γ 線エネルギー~~(E)~~での γ 線ピーク計数効率校
24 正時の γ 線ピーク計数率(cps) 注2

25 A : ~~校正用~~標準体積線源の放射能(Bq)

26 k' : ~~校正用~~標準体積線源の各 γ 線エネルギー~~(E)~~の~~校正用~~標準体積線源での
27 測定時の放射能測定の補正係数

28 注1 : E_{cs} は、¹³⁴Cs の場合は 605 keV や 796 keV 等、¹³⁷Cs の場合は 662 keV の γ 線
29 エネルギーを示す。

30 注2 : SI 単位では (s^{-1}) と表記する。

- 1 (2) ~~γ線エネルギーの関数で表したγ線ピーク計数効率を用いない場合~~
 2 ~~(測定試料と同じ核種の標準線源との比較法)比較法を用いる場合~~

3 該当する核種のγ線エネルギー E のγ線ピーク計数効率 ε_E は、標準体積線源からの
 4 γ線ピーク計数率だけから算出することができるので、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度 C
 5 (Bq/kg)は、(1)式において $\varepsilon_F(E)$ を ε_E に置き換えることにより該当する核種のγ線エネ
 6 ルギ $=E$ のγ線について(3)式のようにで表される。なお、この場合、γ線の放出割合
 7 は $p_s=p_r$ となるため相殺され、式には現れない。

$$8 \quad C = \frac{A \times R_s \times k}{W \times R_r \times k'} \quad \dots(3)\text{式}$$

9 また、一般に同じエネルギーのγ線に対し、~~効率曲線法と比較法で算出した $\varepsilon_F(E)$~~
 10 ~~と ε_E と $\varepsilon_F(E)$~~ は必ずしも同じ値にはならない。そのため、(1)式を用いて求めた放射
 11 能濃度と(3)式を用いて求めた放射能濃度は異なることがあることを認識する必要が
 12 ある。

14 3.2 放射能濃度の不確かさ

15 ~~ゲルマニウム半導体検出器による~~ガンマ線スペクトロメトリーにおける放射能測定
 16 は、~~効率曲線法あるいは比較法が利用されているが、~~一般には効率曲線法が使用され
 17 ている。~~からの~~ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度の不確かさ(u_c)の要因は、図2に示すと
 18 おり様々な要因から構成されている。~~ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペ~~
 19 ~~クトロメトリーによる放射能測定においては比較法と効率曲線法があるが、~~実際の測
 20 定には後者が多く用いられており、~~図2は効率曲線法を想定した利用した場合の~~不確
 21 かさの特性要因図の例である。

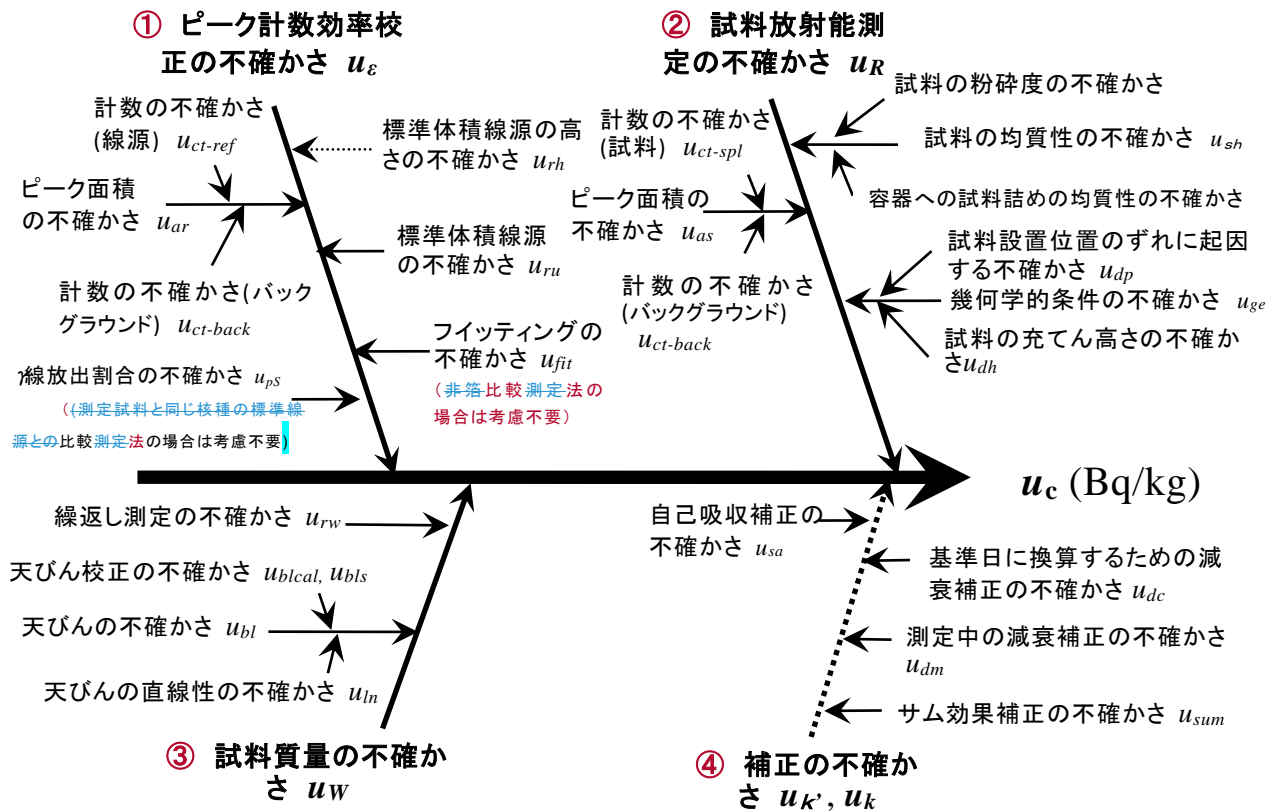


図2 ガンマ線スペクトロメトリーによる放射能濃度測定の不確かさの特性要因図(例)

図2の中で太い水平線に斜めに入る斜線が、放射能濃度に関する不確かさを導出する主要な不確かさの要因であり、①ピーク計数効率校正の不確かさ (u_ϵ)、②試料放射能測定の不確かさ (u_R)、③試料質量測定の不確かさ (u_w)、④ γ 線放出割合の不確かさ (u_{ps})及び放射能測定時における補正の不確かさ ($u_{k'}, u_k$)がある。ここで、補正の不確かさは、①及び②に密接に関係している。また、これらの主要な要因の不確かさの斜線に注がれている短い水平線は、各要因の不確かさを構成する二次的な要因であり、さらにこの水平線に注ぐ小さな斜線は三次的な不確かさを構成する要因である。このように放射能濃度の不確かさは、三次的な不確かさの要因から二次的な不確かさの要因、主要な不確かさの要因に積み上がって導き出される。本ガイドラインでは三次的な不確かさの要因から二次的な要因を算出する詳細は省略する。

①ピーク計数効率校正の不確かさ (u_ϵ)は、ゲルマニウム検出器におけるエネルギーピーク計数効率曲線を得るために生じる不確かさで、校正用標準体積線源の放射能の不確かさ (u_{ru})、ピーク面積の不確かさ (u_{ar})、 γ 線放出割合の不確かさ (u_{ps})、フィッティングの不確かさ (u_{fit})、標準体積線源の高さの不確かさ (u_{rh})及び補正の不確かさ (u_k)が含まれる。なお、ピーク面積の不確かさ (u_{ar})は、標準体積線源を測定したときの計数

1 の不確かさ(u_{ct-ref})とバックグラウンド測定したときの計数の不確かさ($u_{ct-back}$)からなる。

2 ②試料放射能測定の不確かさ(u_R)は、ピーク面積の不確かさ(u_{as})に加え、試料の均質
3 性の不確かさ(u_{sh})、試料を詰める高さの違いなどの幾何学的条件(ジオメトリー)の不確
4 かさ(u_{ge})及び補正の不確かさ(u_k)が含まれる。なお、ピーク面積の不確かさ(u_{ar})は、試
5 料を測定したときの計数の不確かさ(u_{ct-spl})とバックグラウンド測定したときの計数の不
6 確かさ($u_{ct-back}$)からなる。また、試料の均質性の不確かさ(u_{sh})は、試料の粉砕度の不確
7 かさや容器への試料詰め均質性の不確かさからなるが、各要因を個別に評価するこ
8 とが困難なことから一括して評価する。さらに、幾何学的条件の不確かさ(u_{ge})は、測
9 定試料を測定位置に設置するときの位置のずれに起因する不確かさ(u_{dp})と試料を容器
10 に充てんするときの充てん高さの不確かさ(u_{dh})からなる。

11 ③試料質量測定の不確かさ(u_w)は、天びんの不確かさ(u_{bl})及び試料測定の一貫性
12 の不確かさ(u_{rw})が含まれる。なお、天びんの不確かさ(u_{bl})は、天秤校正の不確かさ(u_{blcal})
13 と天秤の表示値の直線性の不確かさ(u_m)からなる。

14 ④校正用標準体積線源を測定・解析した際の補正の不確かさ(u_k)及び試料放射能を測
15 定・解析した際の補正の不確かさ(u_k)は、それぞれの放射能測定における γ 線自己吸収
16 補正の不確かさ(u_{sa})、基準日に換算するための減衰補正の不確かさ(u_{dc})、測定中の減衰
17 補正の不確かさ(u_{dm})及び γ 線のサム効果(加算同時計数)補正の不確かさ(u_{sum})などの
18 各種補正を行うときの不確かさからなる。

19 以上のことから放射能濃度の不確かさは、主要な①、②、③の三つの不確かさの要
20 因を合成することによって求められ、(4)式のように表される。本来、三つの不確かさ
21 の単位は各々異なっているので、ここでは相対標準不確かさを表し、最終的には放射
22 能濃度(Bq/kg)になるように単位をそろえる必要がある。

23 なお、測定試料中の該当核種と同じ核種の標準線源を利用するとの比較法での測定
24 の場合、 γ 線放出割合の不確かさ(u_p)、及びフィッティングの不確かさ(u_{fit})は合成標準
25 不確かさの算出に含まれない。

$$27 \quad u_c = \sqrt{u_\varepsilon^2 + u_R^2 + u_w^2} \quad \dots(4)式$$

28 ここで、ピーク計数効率校正の不確かさ(u_ε)は、

$$29 \quad u_\varepsilon = \sqrt{u_{ru}^2 + u_{ar}^2 + u_{fit}^2 + u_p^2 + u_{rh}^2 + u_k^2} \quad \dots(5)式$$

30 で表され、また、試料放射能測定の不確かさ(u_R)は、

$$31 \quad u_R = \sqrt{u_{as}^2 + u_{ge}^2 + u_{sh}^2 + u_p^2 + u_k^2} \quad \dots(6)式$$

32 で表される。

1 試料質量測定の不確かさ(u_w)は、

$$2 \quad u_w = \sqrt{u_{bl}^2 + u_{rw}^2} \quad \dots(7)式$$

3 で表される。それゆえ、(4)式の合成標準不確かさ u_c は、(4)式に上記(5)~(7)式を代入
4 し、次の(8)式のとおりとなる。

$$5 \quad u_c = \sqrt{u_{ru}^2 + u_{ar}^2 + u_{fit}^2 + u_p^2 + u_{rh}^2 + u_k^2 + u_{as}^2 + u_{ge}^2 + u_{sh}^2 + u_p^2 + u_k^2 + u_{bl}^2 + u_{rw}^2}$$

6 $\dots(8)式$

8 4. 個別要因の標準不確かさの評価

9 4.1 ピーク計数効率校正の不確かさ(u_ε)

10 4.1.1 校正用標準体積線源の放射能の不確かさ(u_{ru})

11 校正用標準体積線源の放射能の不確かさ(u_{ru})は、標準体積線源に対して発行された校
12 正証明書に記載された不確かさを採用する。

14 4.1.2 ピーク面積の不確かさ(u_{ar})

15 測定モデル式の(2)式での γ 線ピーク計数率(R_r)は、正味ピーク面積(計数)(A)
16 と計数時間(t)から $R_r=A/t$ で算出される。計数時間についての不確かさを無視すると、
17 γ 線ピーク計数率の不確かさは、正味ピーク面積(計数)の不確かさとなる。図3に示
18 されるように γ ガンマ線線スペクトロメトリメトリーでは、ピーク総面積(計
19 数)($G(=A+B)$)をまず算出し、演算によりピーク総面積(総計数)からバックグラウンド
20 面積(計数)(B)を差し引き、正味ピーク面積(計数)(A)を算出する。そのため、正味ピー
21 ク面積(計数)の不確かさ(u_{ar})は、ピーク総面積(総計数)の不確かさとバックグラウン
22 ド面積(計数)の不確かさが合成されて表される。このとき、チャンネル幅 n のピーク
23 領域のバックグラウンド面積(計数)は、ピーク領域前の低エネルギー側のチャンネル
24 幅 m_L での面積(計数)(S_L)とピーク領域後の高エネルギー側のチャンネル幅 m_H での面
25 積(計数)(S_H)から算出されるので、バックグラウンド面積(計数)の不確かさは低
26 エネルギー側の面積(計数)の不確かさと高エネルギー側の面積(計数)の不確かさが合
27 成される。

28 以上のことを式で表すとピーク面積の不確かさは(9)式のように表される。

$$29 \quad u_{ar} = \sqrt{A + B + \left(\frac{n}{2m_L}\right)^2 \cdot S_L + \left(\frac{n}{2m_H}\right)^2 \cdot S_H} \quad \dots(9)式$$

30 u_{ar} : 正味ピーク面積(計数)の標準不確かさ

31 A : 正味ピーク面積(計数)

1 B : ピーク領域でのバックグラウンド面積 (計数)

2 $A+B=G$: ピーク総面積 (計数)

3 n : ピーク領域のチャンネル幅

4 m_L : 低エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅

5 m_H : 高エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅

6 S_L : 低エネルギー側のバックグラウンド領域の面積(計数)

7 S_H : 高エネルギー側のバックグラウンド領域の面積(計数)

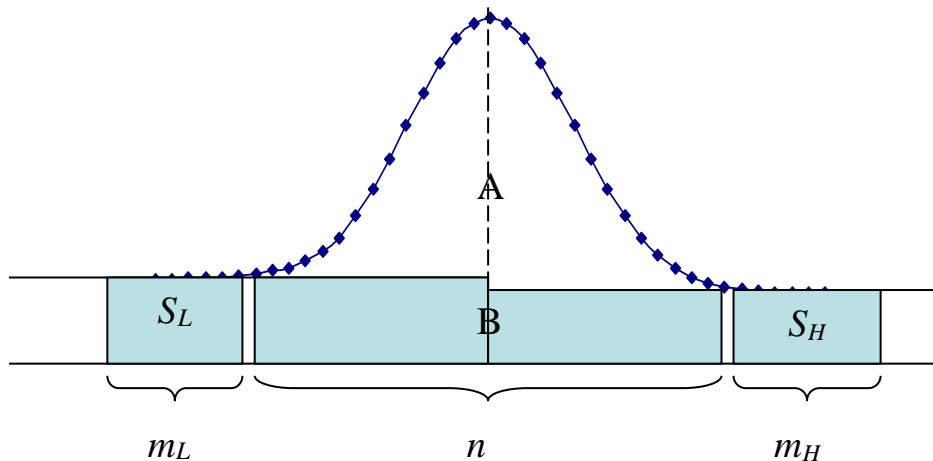
8 なお、 B は(10)式から算出される。

$$9 \quad B = \left(\frac{n}{2m_L}\right) \cdot S_L + \left(\frac{n}{2m_H}\right) \cdot S_H \quad \dots(10)\text{式}$$

10 このとき、低エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅(m_L)と高エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅(m_H)を等しいチャンネル幅(m)にすると(9)式と(10)式は、簡単な(9)' 式と(10)' 式に表される。

$$13 \quad u_{ar} = \sqrt{A + B\left(1 + \frac{n}{2m}\right)} \quad \dots(9)' \text{ 式}$$

$$14 \quad B = \frac{n}{2m} \cdot (S_L + S_H) \quad \dots(10)' \text{ 式}$$



15 図3 段差のベースラインを仮定したピーク面積の求め方

18 4.1.3 フィッティングで得られたピーク検出計数効率曲線の不確かさ(u_{fit})

19 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる放射能分析
 20 装置ゲルマニウム半導体検出器でのピーク検出計数効率曲線は、通常、多核種標準体
 21 積線源を測定することにより求められ、残差が最少になるように最適化されたフィッ
 22 ティング式が与えられる。このフィッティング式で得られたピーク検出計数効率曲線

1 の不確かさ(u_{fit})を実験などにより求めることは難しい。そのため、簡易的に核種ごとの
2 残差(測定値とフィッティング値の差)により評価することができる。

3 なお、標準体積線源に含まれていない核種(例えば ^{134}Cs)のフィッティングによる不
4 確かさは、全ての核種での残差の最大値あるいは着目する γ 線エネルギーの近傍に該
5 当する核種(この場合は ^{137}Cs)での残差を便宜的に用いて評価してもよいことができ
6 える。

7 8 4.1.4 標準体積線源の高さの不確かさ(u_{rh})

9 標準体積線源の高さの不確かさ(u_{rh})は、長さ測定装置の不確かさ、測定の繰り返し
10 性及び測定の再現性の不確かさからなる。これらは4.2.2項に記載する幾何学的条件(ジ
11 オメトリー)の不確かさの一つの要因である標準体積線源と試料の高さの違いに起因
12 する不確かさに同様な要因が含まれるため、標準体積線源の高さの不確かさとして単
13 独に評価しなくてもよい。標準体積線源の高さと試料高さの違いによる不確かさに高
14 さの違いの最大差を設けてそれによって不確かさを評価する場合には、上述の要因が
15 その中に含まれるよう最大差を設定するほうがよい。

16 17 4.2 試料放射能の測定の不確かさ(u_R)

18 4.2.1 ピーク面積の不確かさ(u_{as})

19 ピーク面積の不確かさ(u_{as})は、測定された γ 線スペクトルから 4.1.2 項で示した(9)
20 式あるいは(9)' 式と同様に算出される。すなわち、

$$21 \quad u_{as} = \sqrt{A + B + \left(\frac{n}{2m_L}\right)^2 \cdot S_L + \left(\frac{n}{2m_H}\right)^2 \cdot S_H} \quad \dots(11)\text{式}$$

22 あるいは

$$23 \quad u_{as} = \sqrt{A + B\left(1 + \frac{n}{2m}\right)} \quad \dots(11)'\text{式}$$

24 となる。

25 なお、(11)' 式は、低エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅(m_L)と
26 高エネルギー側のバックグラウンド領域のチャンネル幅(m_H)が、等しいチャンネル幅
27 (m)のときのピーク面積の不確かさである。

28 29 4.2.2 幾何学的条件(ジオメトリー)の不確かさ(u_{ge})

30 幾何学的条件(ジオメトリー)の不確かさ(u_{ge})は、校正時の標準体積線源の高さと測
31 定試料の充てん高さの違いに起因する不確かさ(u_{dn})及び校正時の標準体積線源の高
32 さと試料の設置位置の違い(ずれ)に起因する不確かさ(u_{dp})からなる。前者は、想定
33 できる高さの最大差(管理幅で規定されることが多い)で効率の繰り返し測定を行い、

1 その測定結果の差分を一様分布とみなす。これを単位高さあたりの効率として求め、
2 実際に測定した高さの違いを代入して不確かさを求める。後者は、校正時の標準体
3 積線源と試料容器の設置位置の違い（ずれ）がある場合に発生する。その場合には、
4 最大差を発生すると思われる位置で測定を実施し、その結果を試料の設置位置の違
5 い（ずれ）に起因する不確かさ(u_{dp})とする。いずれの場合も測定装置（ノギスなど）の
6 校正及び測定の繰り返しについて、あらかじめ不確かさを評価しておくことが望ま
7 しい。

9 4.2.3 試料の均質性に起因する不確かさ(u_{sh})

10 試料の均質性に起因する不確かさ(u_{sh})は、粉砕時の試料の粉砕度に起因する不確か
11 さ及び粉砕後の容器への試料詰め均質性に起因する不確かさからなる。これらの要
12 因は、大きな不確かさとなり得ることがあるので、予め評価しておくことが望ましい。
13 前者の試料の粉砕度に起因する不確かさについて、個々の試料についての粉砕度に起
14 因する不確かさを実験で正確に評価することは、それぞれの試料の組成などにより非
15 常に難しいため、代表的な試料について予め評価することが望まれる。また、後者の
16 容器への試料詰め均質性に起因する不確かさについては、改めて試料を詰め直して
17 再度測定するなどによって評価することができる。

18 なお、多くの場合、個々の試料の均質性に起因する不確かさを詳細に評価すること
19 が困難であるので、試料の粉砕や容器への充てんには、測定の不確かさ全体への影響
20 を最小化するように、できるだけ試料を均質に粉砕・混合することに十分に留意する
21 必要がある。

22 備考) 表 1 及び表 2 の不確かさの評価例では、この要因を考慮していない。

24 4.3 試料質量の不確かさ(u_w)

25 試料質量の不確かさ(u_w)は、天びんで試料を測定するときの天びんの不確かさ(u_{bi})
26 及び繰り返し測定の不確かさ(u_{rw})からなる。

27 天びんの不確かさ(u_{bi})は、天びんを校正したときに付帯する校正証明書に記載され
28 た天びん校正の不確かさ(u_{bical})あるいは、天びんメーカーが発行する仕様書に記載さ
29 れている質量測定の最大許容差(精度等級に相当するもの)(u_{bls})としてもよい。最大許
30 容差を用いる場合は、その分布は一様分布として扱う。

31 なお、天びんの校正値に重大な偏りがない限り、天びんの直線性の不確かさ(u_m) は
32 他の要因に比べて十分に小さいので評価する必要がない。天びんの直線性は、質量
33 と電気信号との回帰直線の相関性をいう。

36 4.4 補正の不確かさ(u_k 、 u_k)

37 4.4.1 γ 線自己吸収補正の不確かさ(u_{sa})

38 ピーク計数効率校正に用いた標準体積線源と試料のかさ密度の差及び材質(元素組
39 成)の違いにより自己吸収補正を行うが、市販の分析ソフトを使用する場合には補正
初版：2014-05-01

1 の大きさは把握できるものの、補正の不確かさを測定者自身が評価することは難し
2 い。市販の分析ソフトの場合、試料材質の選択を行えるが、この材質の選択の違い
3 が大きな不確かさ要因となり得るので適切な材質を選択することが重要である。

4 なお、選択した材質の違いは不確かさの評価ではないが、測定結果の違いを確認し
5 ておくことが望ましい。

6 備考) かさ密度：固体粒子のたい（堆積）の単位体積あたりの質量
7 JIS Z 9211:1982「エネルギー管理用語（その1）」より
8

9 4.4.2 基準日に換算するための減衰補正の不確かさ(u_{dc})

10 半減期データに不確かさ情報が付記されているものもあり、これを利用することが
11 可能であるが、この補正の不確かさは無視できるほど十分に小さい。

12 13 4.4.3 測定中の減衰補正の不確かさ(u_{dm})

14 半減期の短い核種を測定する場合には、測定時間との関係で測定結果に影響が出る
15 ため測定中の減衰について補正し、その補正の不確かさについて核データからの出
16 典により評価が必要であるが、このガイドの測定対象である放射性セシウムの測定
17 の場合には、測定中に減衰する量は極めて少ないため補正は不要であり、このため
18 不確かさは無視できるほど十分に小さい。

19 20 4.4.4 サム効果補正の不確かさ(u_{sum})

21 サム効果（加算同時計数）は、 γ 線測定において測定対象とする放射性核種の壊変
22 様式により発生する現象である。そのため、カスケード状に γ 線を放出する核種に
23 着目する場合には、サム効果を考慮する必要がある。放射性セシウム（ ^{134}Cs 及び
24 ^{137}Cs ）に着目した場合には、 ^{137}Cs はカスケード状に γ 線を放出する核種ではないの
25 で、サム効果の補正を行う必要はないが、 ^{134}Cs はカスケード状に γ 線を放出する核
26 種であるので、サム効果の補正を行う必要がある。市販されている分析装置の多く
27 は、サム効果を補正するプログラムが組み込まれているので、それを利用するのが
28 よい。しかし、測定者は、この補正プログラムによる補正の大きさを把握できるも
29 の、補正の不確かさを測定者自身が評価することは難しいので、補正プログラム
30 においてサム効果補正の有無による測定結果の違いを確認しておくことが望ましい。

31 32 5. 不確かさの合成と報告

33 4.項簡条4で求めた個別要因の不確かさ（標準不確かさ）の合成(u_c)は、(8)式に従っ
34 て行う。これを合成標準不確かさと呼ぶ。また、それぞれの標準不確かさを確率分布
35 {正規分布、一様分布(矩形分布)、三角分布など}から算出する場合には、確率分布に応
36 じたその除数を決定する必要がある。個々の標準不確かさを合成するには、それぞ
37 れの標準不確かさの測定量の単位を揃えて合成する必要がある。複数の測定量がある場
38 合には、まず、個々の相対標準不確かさを算出し、これを合成し、最後に最終的な測
39 定量に換算するのがよい。

初版：2014-05-01

第4版

1 試験報告書に拡張不確かさを表記する場合は、通常、約 95 % 包含確率に相当する包
2 含係数 $k=2$ を用い、合成標準不確かさに包含係数を掛けた値で表示する。また、包含
3 係数が $k=2$ であることを必ず試験報告書に明示する。

4 不確かさを放射能あるいは放射能濃度で表記する場合には、不確かさと測定結果の
5 有効桁数を合わせる必要がある。相対不確かさで表す場合には、拡張不確かさは通常 1
6 または 2 桁で表す。

7 以上のことから、試験報告書には測定結果、拡張不確かさ及び包含係数を表記し、
8 測定結果及び拡張不確かさにはそれぞれに単位を明瞭に表示する。

9 例えば、測定結果：○○○ Bq/kg、拡張不確かさ：△△ Bq/kg ($k=2$)、~~包含係数： $k=2$~~
10 ~~のときには、~~○○○ Bq/kg ± △△ Bq/kg ($k=2$) あるいは (○○○ ± △△) Bq/kg
11 ($k=2$) のように記載する。

12
13 最後に、~~ゲルマニウム半導体を用いる~~ガンマ線スペクトロメトリーによる ^{134}Cs 及び
14 ^{137}Cs の放射能濃度測定の不確かさを評価するガイドラインを理解していただくため、
15 ^{137}Cs の放射能濃度 (~~10070~~ Bq/kg 程度) の試料を γ 線測定したときの不確かさの評価事
16 例を表 1 (マリネリ容器を用いた場合)及び表 2(U8 容器を用いた場合)に示す。

表 1 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにおける測定結果の不確かさ評価例（マリネリ容器）

一般食品の基準値レベル(放射性セシウム 100 Bq/kg)での ^{137}Cs (70.0 Bq/kg)の不確かさの評価推定

<校正条件> 2 L マリネリ容器入り標準体積線源使用 測定時間：5000 秒

<測定条件> 試験品：密度 0.75 g/cm³ 容器：2 L マリネリ容器使用 測定時間：2000 秒

不確かさの要因		引用値又は測定値	出典/ 標準偏差	タイプ 確率分布	除数	標準不確かさ	相対標準 不確かさ	相対合成 標準不確かさ	備考
(1) ピーク計 数効率校正 の不確かさ (u_c)	標準体積線源の 放射能の不確かさ	3800 Bq	校正証明書 4.7 % ($k=2$)	B 正規分布	2	89.3 Bq	2.35 %	3.12 %	5000 秒測定
	標準体積線源の質 量測定の不確かさ	試料質量測定の不確かさと相関があるため、 試料質量測定の不確かさで評価			—				
	ピーク面積の不確 かさ	50000 counts	効率校正時データ 240 counts	A	1	240 counts	0.48 %		
	フィッティングの 不確かさ	—	フィッティング 残差	B	1	—	2.0 %		
(2) 試料放射 能測定の不 確かさ(u_R)	ピーク面積の不 確かさ	1000 counts	解析プログラム で自動計算	A	1	33.6 counts	3.36 %	4.43 %	2000 秒測定 ※ 1 標線の ±5 mm に試 料を充てんし た時の計数値 の差で評価し た。
	試料の均質性に 起因する不確か さ	試料をできるだけ均質に混ぜることで無視 できるほど小さいとみなす。			—				
	校正時と試料の 充てん高さの違 いによる不確か さ	10000 counts	検証データ ※ 1 ±500 counts	B 一様分布	$\sqrt{3}$	289 counts	2.89 %		

(3) 試料の質量測定の不確かさ (u_w)	天びんの不確かさ	1500 g	校正証明書 0.24 g ($k=2$)	B 正規分布	2	0.12 g	0.008 %	0.008 %	—
							相対合成標準不確かさ 合成標準不確かさ	5.42 % 3.79 Bq/kg	
							相対拡張不確かさ ($k=2$) 拡張不確かさ ($k=2$)	11 % 7.6 Bq/kg	

※1：十分なピーク面積が得られる測定条件下（例えば、20000 秒測定）で、試料充てん高さが試験結果に与える影響（充てん高さともリネリ容器の標線の差が与える影響）を検証しておく。試料充てん高さが標線の上側と下側では、実際の測定値は対称とはならないが、ここでは一様分布として不確かさを評価した。

表2 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにおける測定結果の不確かさ評価 例 (U8 容器)

一般食品の基準値レベル(放射性セシウム 100 Bq/kg)での ¹³⁷Cs(70.0 Bq/kg)の不確かさの評価推定

<校正条件> U8 容器入り標準体積線源使用 測定時間：20000 秒

<測定条件> 試験品：密度 0.75 g/cm³ 容器：U8 容器使用 測定時間：3600 秒

不確かさの要因		引用値又は 測定値	出典/ 標準偏差	タイプ 確率分布	除数	標準不確かさ	相対標準 不確かさ	相対合成標準 不確かさ	備考
(1) ピーク計 数効率校正 の不確かさ (<i>u_c</i>)	標準体積線源の放射能の不確かさ	3800 Bq	校正証明書 4.7 % (k=2)	B 正規分布	2	89.3 Bq	2.35 %	3.24 %	20000 秒測定
	標準体積線源の質量測定の不確かさ	試料質量測定の不確かさと相関があるため、 試料質量測定の不確かさで評価			—				
	ピーク面積の不確かさ	10000 counts	効率校正時データ 100 counts	A	1	100 counts	1.0 %		
	フィッティングの不確かさ	—	多核種標準体積線源によるフィッティング残差	B 一様分布	√3	—	2.0 %		
(2) 試料放射能測定の不 確かさ(<i>u_R</i>)	ピーク面積の不確かさ	300 counts	解析プログラムで 自動計算	A	1	20.0 counts	6.67 %	6.73%	3600 秒測定
	試料の均質性に起因する不確かさ	試料をできるだけ均質に混ぜることで無視 できるほど小さいとみなす。			—				

	試料の充てん高さ に起因する不確か さ	0.0200 (50 mm)	検証データ ※1 ±0.0003 (±1 mm)	B 一様分布	√3	0.00017	0.866 %	※1 試料の充 てん高さの違い によるピーク計 数効率の差で評 価した。
	試料を置く位置の ずれによる不確か さ	1000 counts	検証データ ※2 5 counts	B 一様分布	√3	2.88 counts	0.288 %	
(3) 試料の質 量測定の不 確かさ (u_w)	天びんの不確かさ	75 g	校正証明書 0.24 g ($k=2$)	B 正規分布	2	0.12 g	0.16 %	0.16%
相対合成標準不確かさ							7.5 %	
合成標準不確かさ							5.25 Bq/kg	
相対拡張不確かさ ($k=2$)							15%	
拡張不確かさ ($k=2$)							11 Bq/kg	

※1：試料の充てん高さに起因する不確かさは、マリネリ容器の場合(表 1)はピーク計数効率校正時と試料測定時の試料の充てん高さの違いとしてカウント数 のばらつきとして評価した。U8 容器の場合(表 2)は、試料の充てん高さは、通常、ピーク計数効率との関係を予め得ることにより測定因子として扱われ、この不確かさは、本文 3.1 項の測定モデル式(1)の γ 線ピーク計数効率(ϵ)の不確かさになる。試料の充てん高さに対するピーク計数効率は、U8 容器に詰めた試料表面の最大-最少の高さにあるものとして、ここでは半値幅が 1 mm の一様分布として、高さの異なる複数の標準体積線源を用いて高さ 662keV に対する効率の関係を求め、不確かさをピーク計数効率の値として評価した

※2：検出器の中央部に設置した場合と 10 mm ずらした場合で 20000 秒間測定を行い、その違いを効率の最大幅として一様分布で評価した。

参考資料

表 2 で示す U8 容器を使用した場合の試料の充てん高さに起因する不確かさの評価に関し、次のようなデータがあるので参考にするとよい。

試料高さ と ピーク 計数 効率 の 関係 について (例)

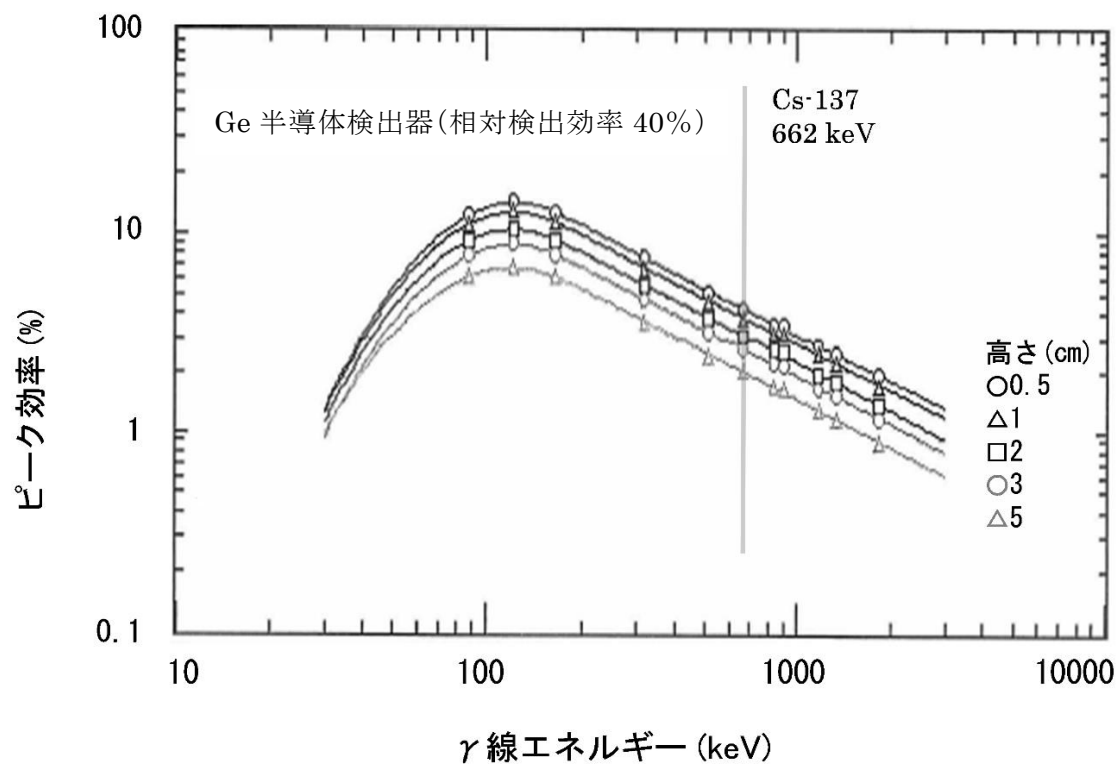


図 3 U8 容器の異なる試料高さにおけるピーク効率曲線

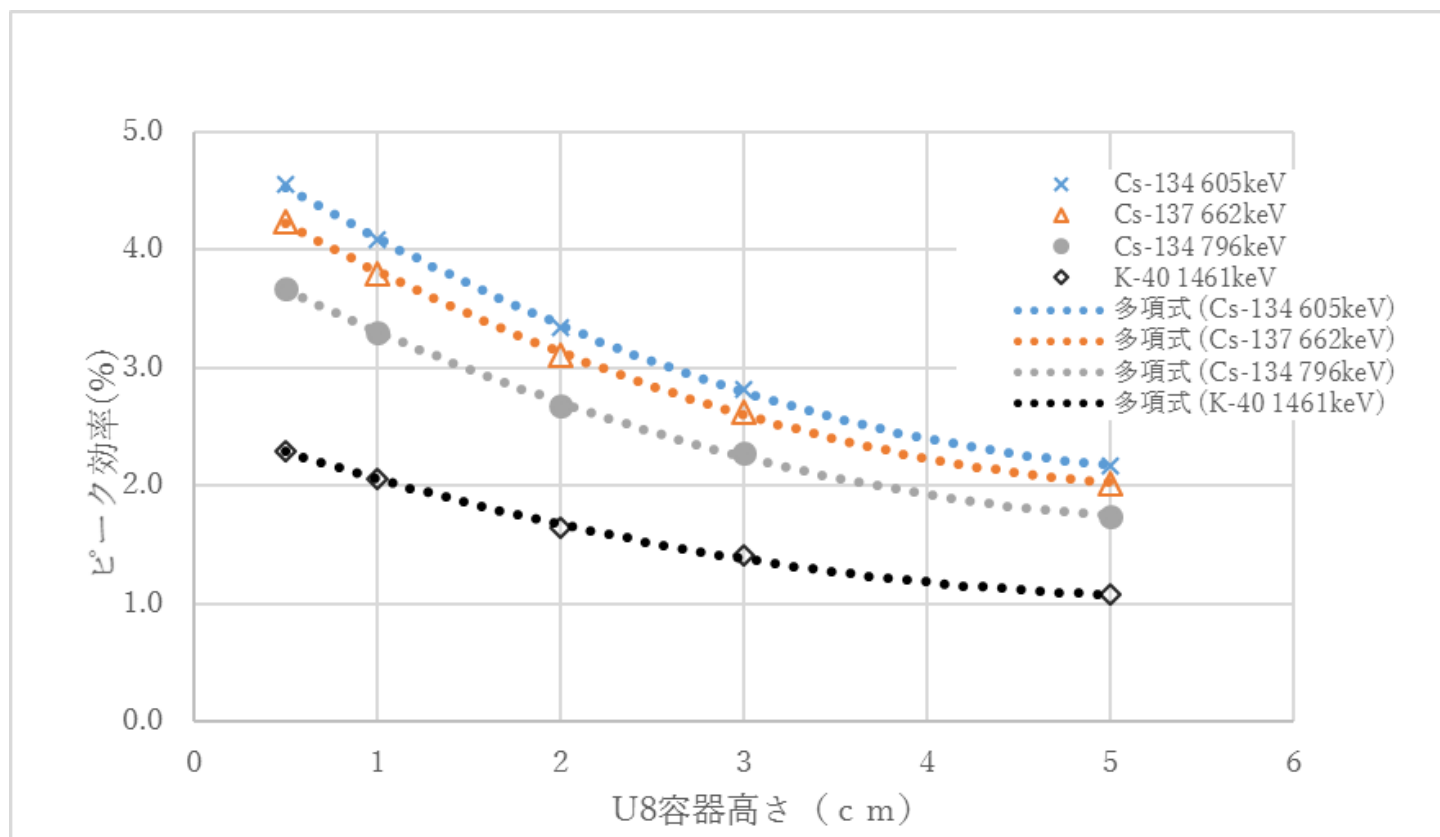


図4 U8 容器の試料高さ とピーク効率の関係

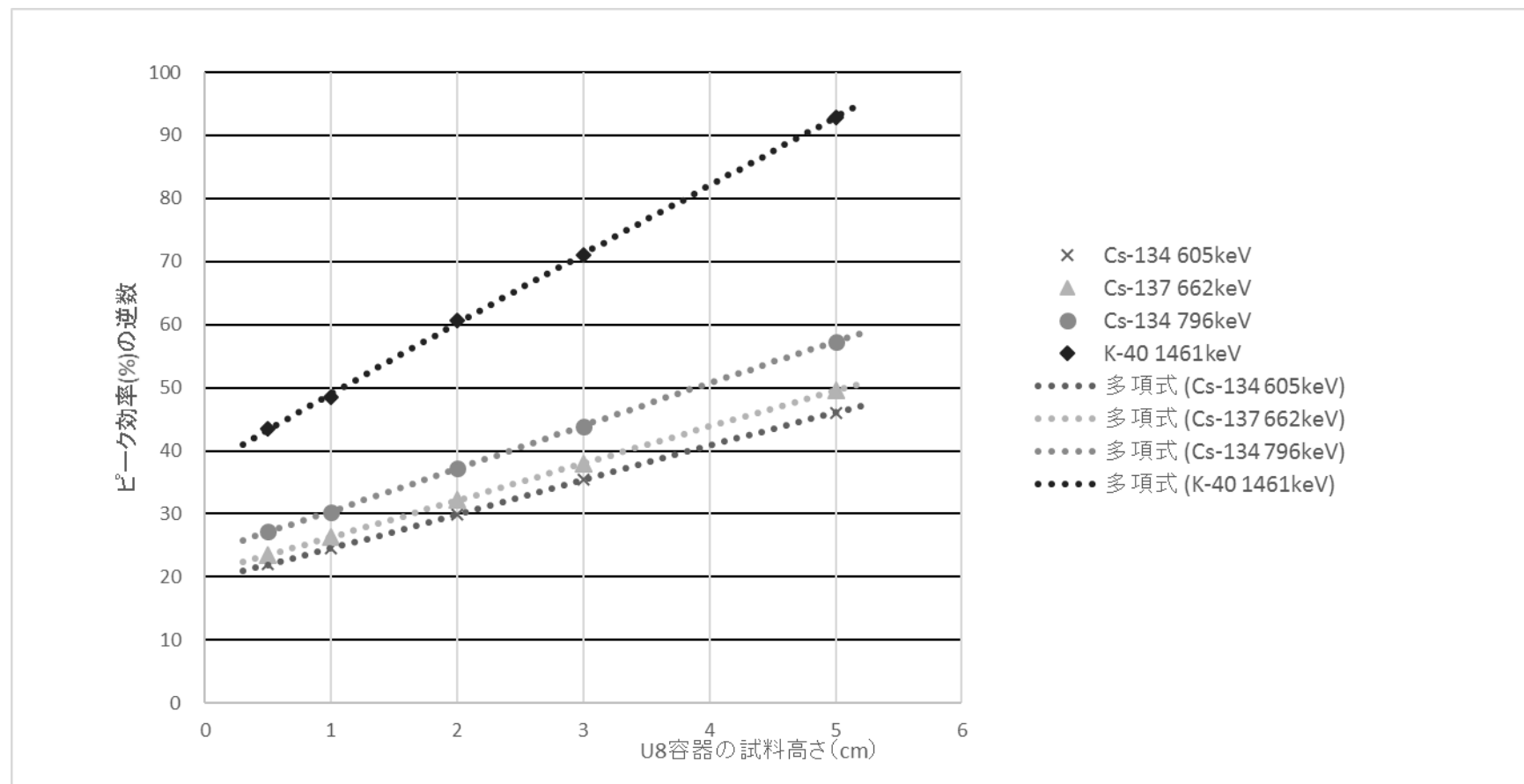


図5 U8 容器の試料高さ とピーク効率の関係

改定履歴（公開文書用）

版番号	改定内容概略	発行日	文書責任者	承認者
1	新規発行	2014-05-01	PM (放射能・放射線)	試験所技術委員会
2	用語の整合性を図った	2015-01-01	PM (放射能・放射線)	試験所技術委員会
3	(7)式に抜けがあったので追記した	2015-05-01	PM (放射能・放射線)	試験所技術委員会
4	3.1項のモデル式を修正、また(3)式を追加した。 U8容器を使用した場合の試料の充てん高さに起因する不確かさ評価について、参考資料を追加した。 その他エディトリアル修正。	20178-12XX-01XX	PM (放射能・放射線)	試験所技術委員会

公益財団法人 日本適合性認定協会

〒141-0022 東京都品川区東五反田 1 丁目 22-1

五反田 AN ビル 3F

Tel.03-3442-1217 Fax.03-5475-2780

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致します。