

放射能濃度を決定する方法について（コメント回答）

審査会合でのコメントリスト

No	年月日	質問・コメント等	説明箇所
2	令和2年6月26日	拡張不確かさについて1に切り上げている根拠を説明すること。	18 ページ, 1. (3)の1～6行
3	令和2年6月26日	模擬線源で評価した安全率と不確かさ評価の安全率の関係を明確にすること。	19 ページ, 1. (4)の1～6行
4	令和2年6月26日	検出限界値を求めるに当たっては, 安全率の寄与を説明すること。	8 ページ, 1. (1) b. ⑩の1～2行
10	令和2年6月26日	データ処理における不確かさについて放射能濃度を求める計算過程を明確に説明すること。	2～10 ページ, 1. (1) a. b. の全体

面談でのコメントリスト

No	年月日	質問・コメント等	説明箇所
2	令和2年6月8日	拡張不確かさから安全率を求める方法を説明すること。	18 ページ, 1. (3)の1～6行
4	令和2年6月8日	模擬対象物の実測による安全率の評価がなされているが, 安全率の設定における前提条件を説明すること。	10 ページ, 51 ページ, 1. (1) b. 第2図及び別紙の(15)の1～23行
5	令和2年6月8日	模擬線源で評価した安全率と不確かさ評価の安全率の関係を説明すること。	19 ページ, 1. (4)の1～6行

No	年月日	質問・コメント等	説明箇所
6	令和2年6月8日	検出限界値を求めるに当たって、安全率の寄与を説明すること。	8 ページ, 1. (1) b. ⑩の1～2行
10	令和2年6月8日	測定対象物の放射能濃度 (Bq/g) を求めるに当たり、計算過程を示すこと。その中で、対象物の重量の補正や各検出器での測定値の扱いを説明すること。	2～10 ページ, 1. (1) a. b. c. の全体
14	令和2年6月8日	不確かさの計算の過程を詳細に説明すること。	12～20 ページ, 23～72 ページ, 1. (2), 2. (1)～(6), 別紙

【回答】

放射能濃度を決定する方法について、審査会合・面談にて頂いたコメントをふまえて以下の通り説明する。

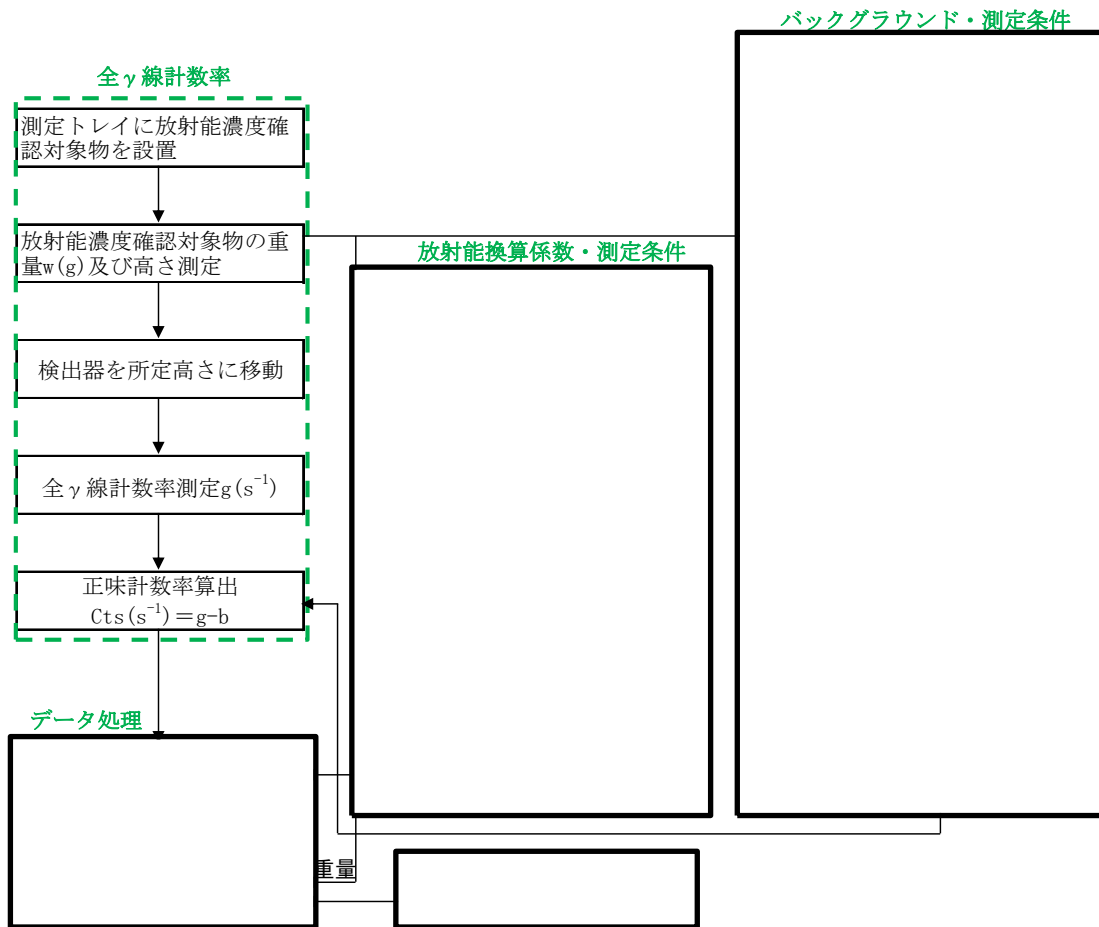
1. 放射能濃度を決定する方法

(1) トレイ型専用測定装置の計算過程について

a. 計算過程の概要

トレイ型専用測定装置は、放射線測定法により主要核種の放射能濃度を決定する。放射能濃度確認対象物をトレイ型専用測定装置の測定トレイに載せ全 γ 線計数率を測定する。全 γ 線計数率からバックグラウンドを差し引き、正味計数率を求める。正味計数率に放射能換算係数及び安全率を乗じ放射能量を算出する。放射能量を放射能濃度確認対象物の重量で除して放射能濃度を算出する。

以上の放射能濃度を決定する計算過程を第1図「放射能濃度を決定する処理フロー」に示す。



第1図 放射能濃度を決定する処理フロー

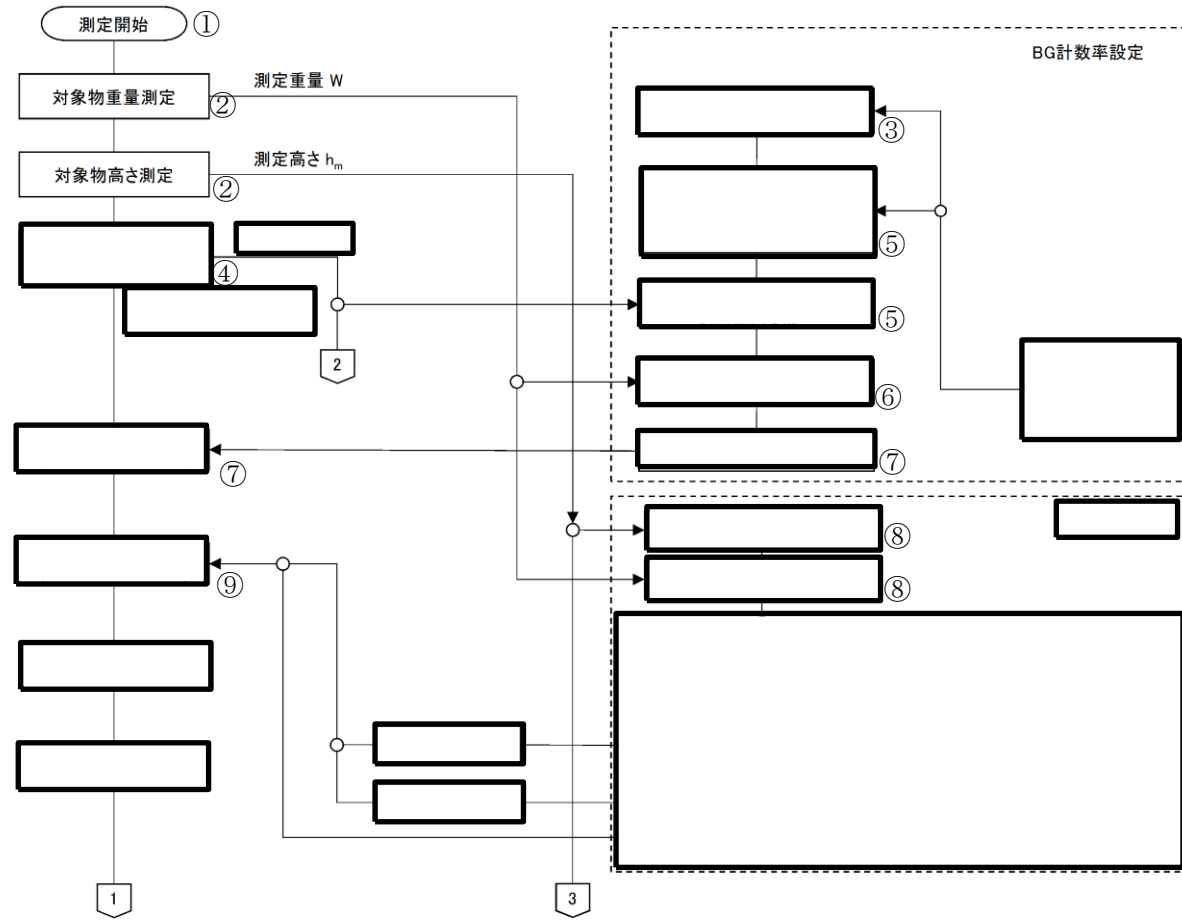
b . 計算過程の詳細

放射能濃度を決定する計算過程の処理フローを以下に示す。

計算過程の処理フロー（1 / 5）

計算過程の説明

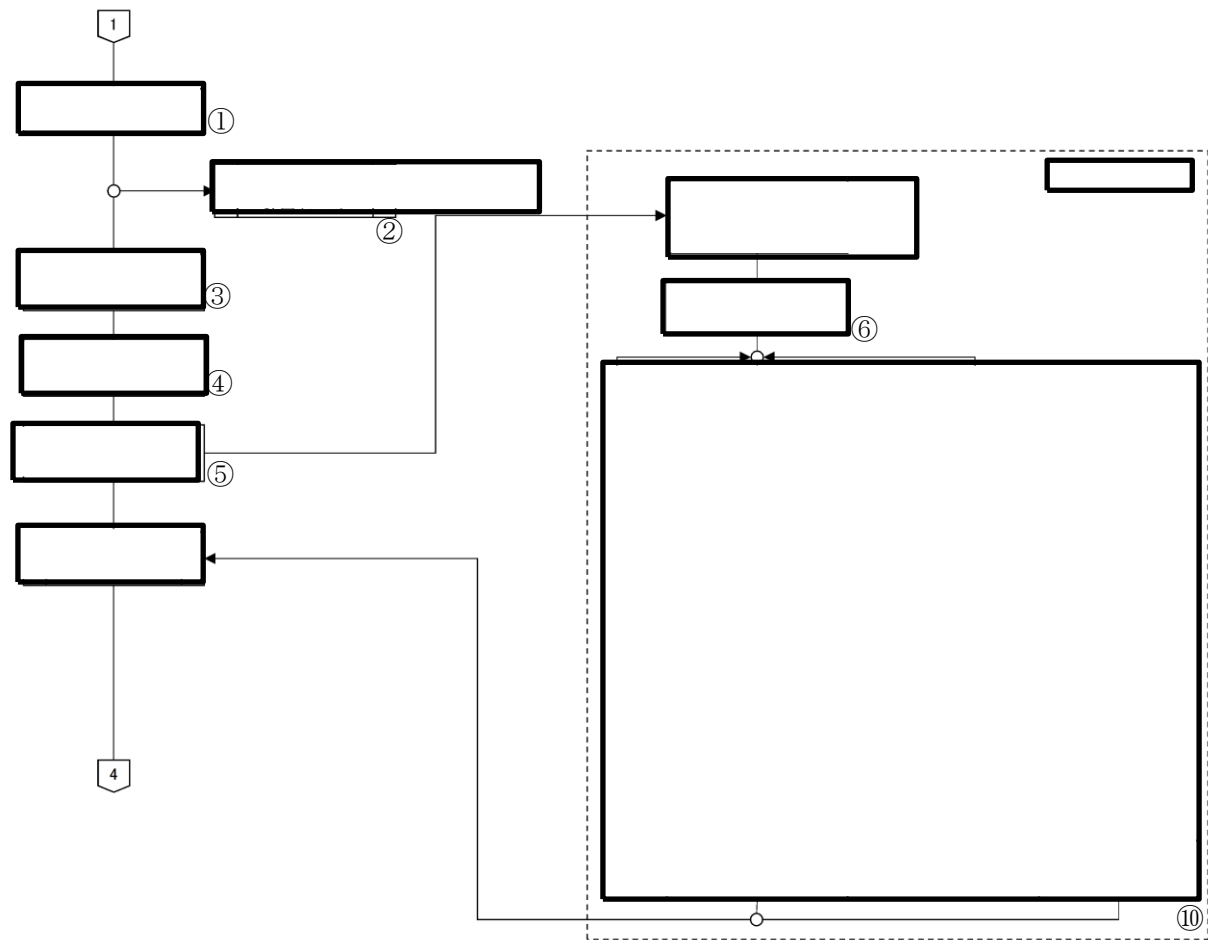
- ①トレイ型専用測定装置の測定トレイに放射能濃度確認対象物を載せて測定を開始する。
- ②放射能濃度確認対象物の重量及び高さを測定する。



(注) ○数字は計算過程の処理フローの○数字を説明する。

計算過程の処理フロー (2 / 5)

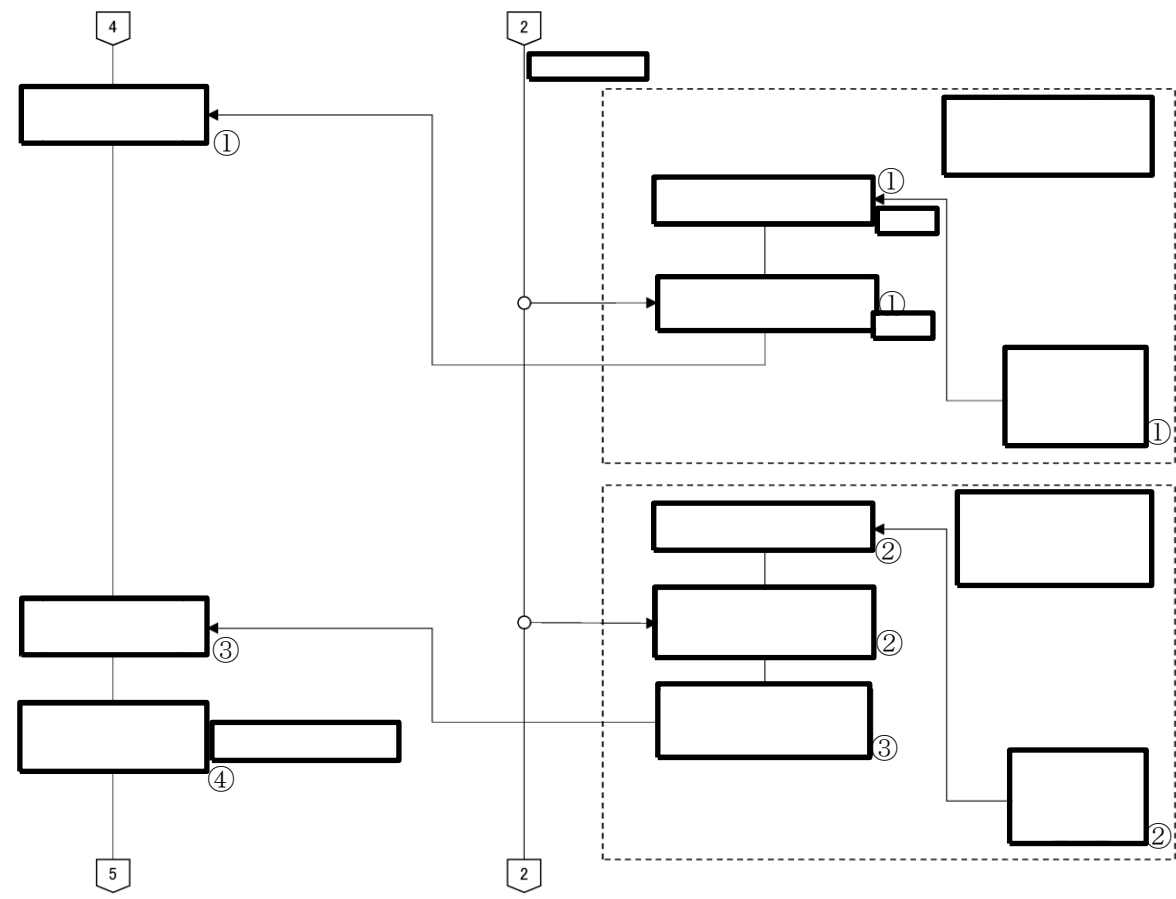
計算過程の説明



(注) ○数字は計算過程の処理フローの○数字を説明する。

計算過程の処理フロー (3 / 5)

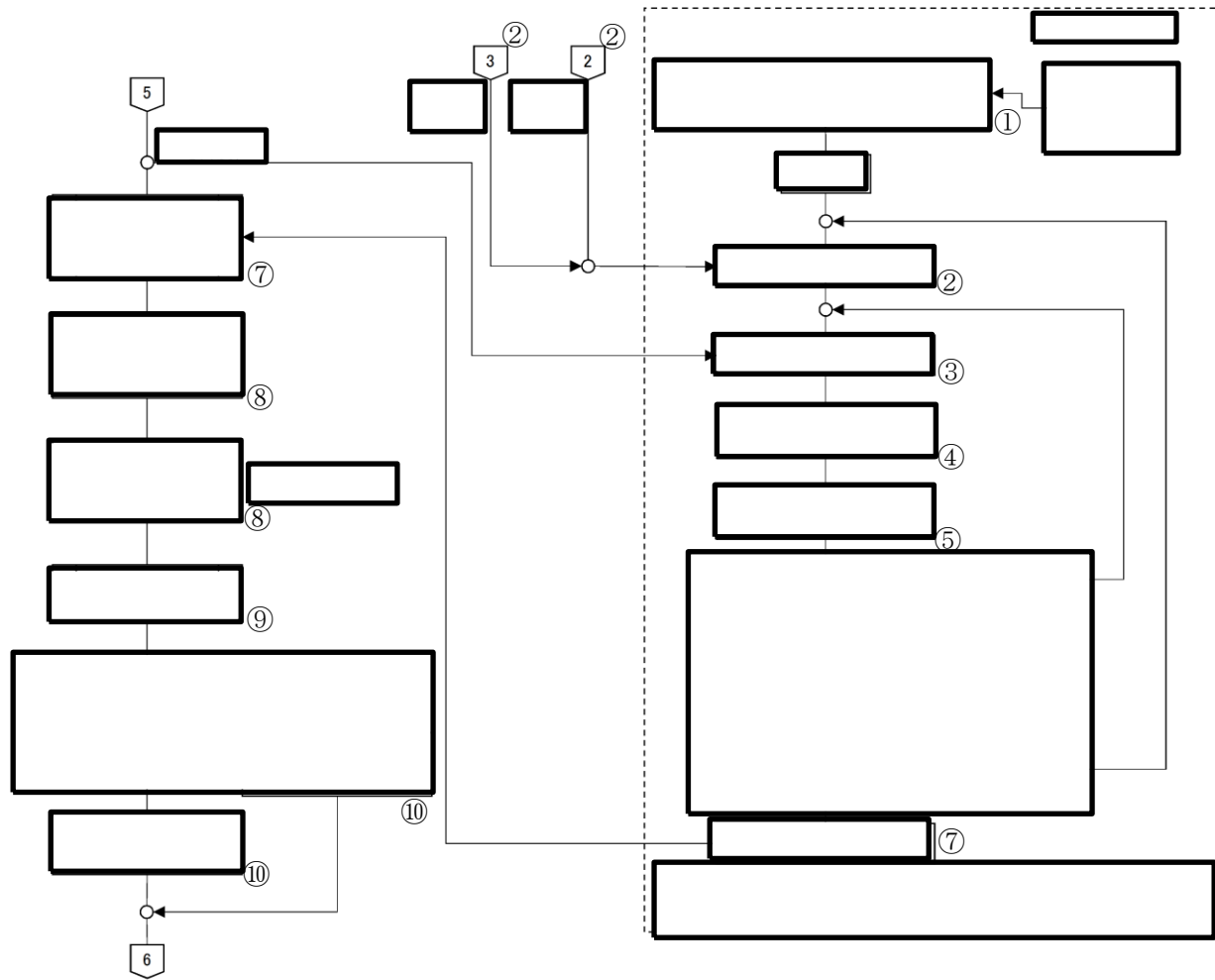
計算過程の説明



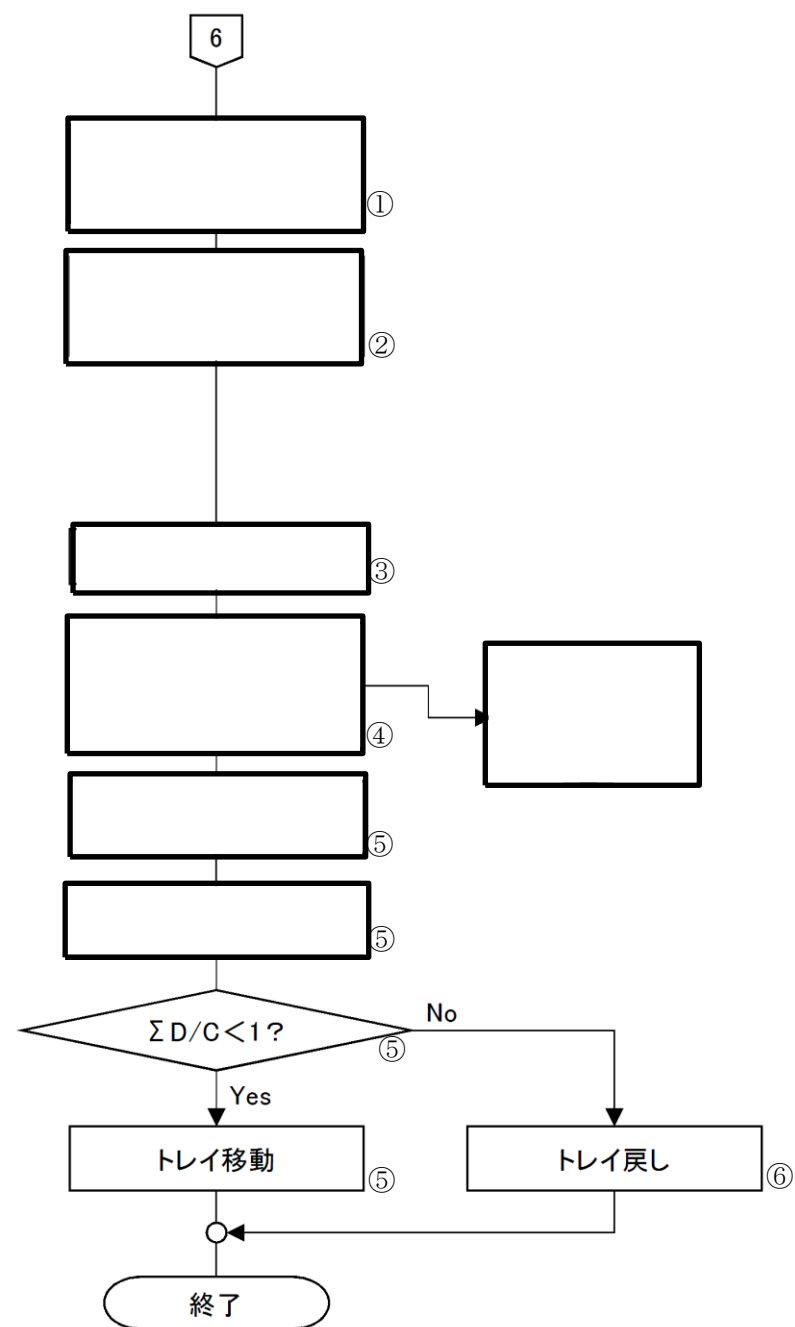
(注) ○数字は計算過程の処理フローの○数字を説明する。

計算過程の処理フロー（4 / 5）

計算過程の説明

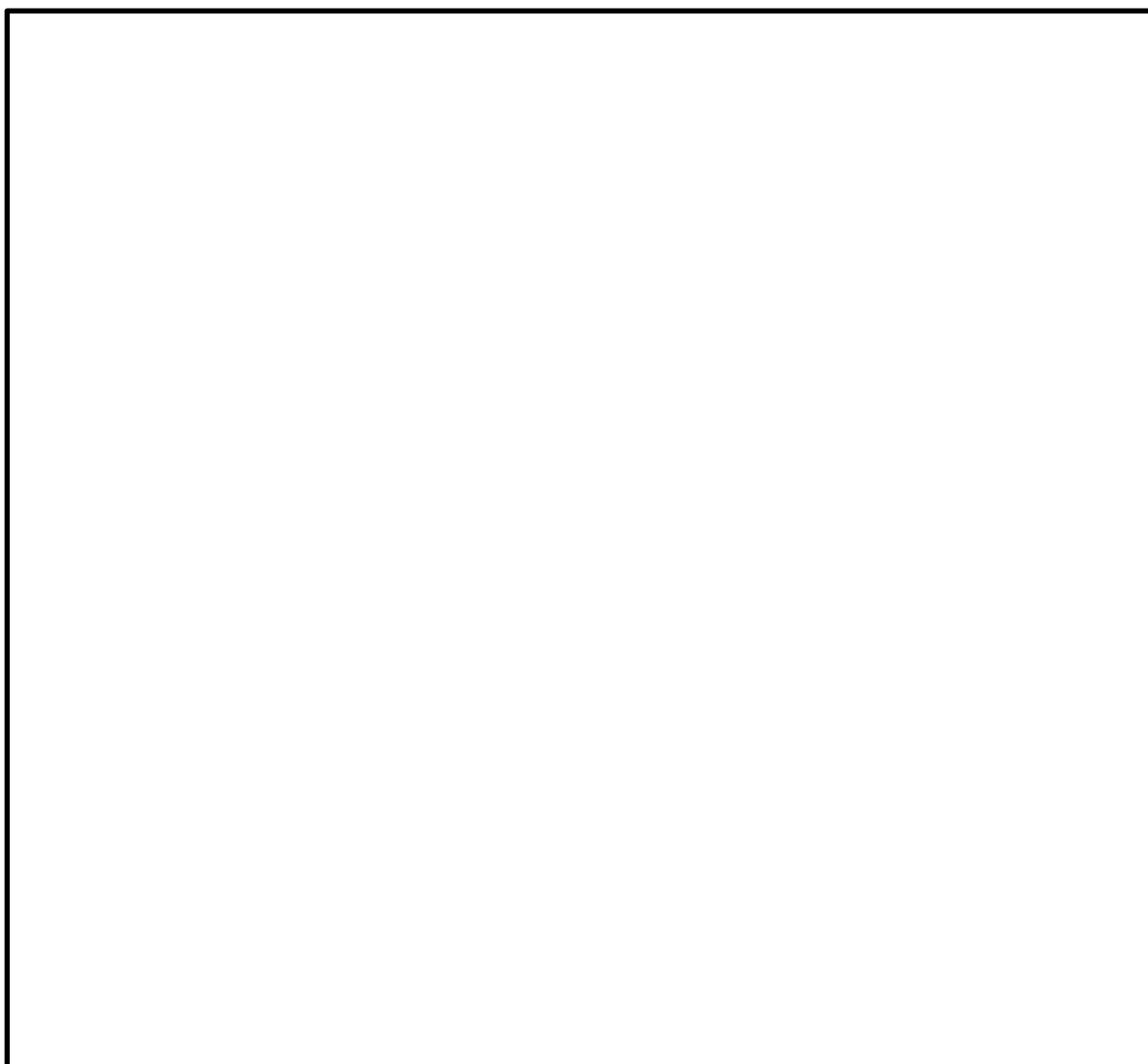


(注) ○数字は計算過程の処理フローの○数字を説明する。



- ⑤ $\Sigma D/C$ が 1 を下回れば、測定トレイがトレイ型専用測定装置の出口に進み測定を完了する。
- ⑥ $\Sigma D/C$ が 1 を上回る場合は、測定トレイが入口側に戻される。

(注) ○数字は計算過程の処理フローの○数字を説明する。



第 2 図 モデル形状対象物

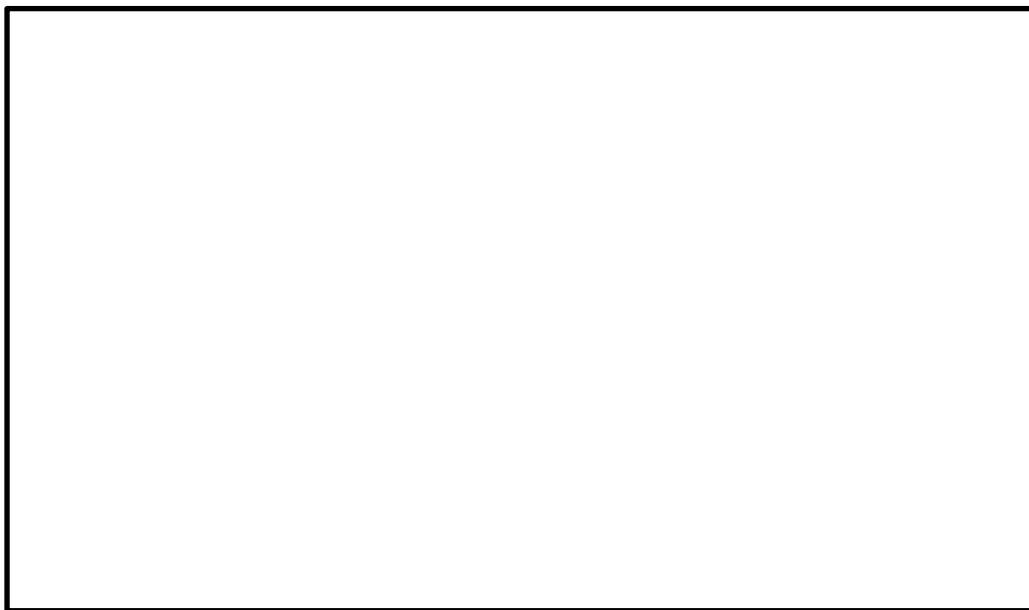
c. 対象物の重量補正

放射能濃度確認対象物の重量補正は、BG 計数率に対し行う。

計算過程の詳細（1 / 5）の⑥に重量による BG 計数率の補正を示す。具体的には、トレイ型専用測定装置で測定する放射能濃度確認対象物の重量は、重量に係数 a を乗じて係数 b を足した重量補正係数を高さ補正した BG 計数率に乗じることで補正する。

上記を式化すると、 になる。BG 計数率は、放射能濃度確認対象物の自己遮蔽により変化する。放射能濃度確認対象物がない状態（B）から放射能濃度確認対象物がある状態（A）における補正を で表す。

係数 a , b は、100kg 以内^{※1}までの BG 計数率の実測データに基づき下図のとおり設定した。



※1：申請書 表-1 の測定重量（20～100kg）より。

(2) 不確かさの計算の過程について

不確かさの評価は「測定における不確かさの表現のガイド GUM ハンドブック（以下「ハンドブック」）」に基づき実施した。ハンドブックに基づく不確かさの評価方法を第3図「不確かさの評価の流れ」に示す。第3図「不確かさの評価の流れ」に従った計算過程を説明する。

a. 測定プロセスの明確化及び測定モデルの構築

ハンドブックでは、測定プロセスの明確化の準備段階として測定の原理や測定方法などを明確化すること、測定モデルの構築では測定モデルの不確かさの要因を列挙することが求められる。

① 測定プロセスの明確化

対象とする測定プロセスは、トレイ型専用測定装置による放射線測定法である。以下に放射線測定法の各プロセスと審査基準の該当箇所を示す。

放射線測定法の項目	放射線測定法のプロセス	審査基準 ^{*1}
全γ線計数率	グロス計数率の算出	放射線測定値
	BG計数率の算出	放射線測定値 測定条件（測定場所周辺のBGの変動）
放射能換算係数	校正定数の算出	測定効率（放射線検出器の校正）
	自己吸収補正係数の算出	測定効率（測定対象物内部での放射線の減衰） 測定条件（実際の測定条件と測定効率を設定した条件との違い）
	汚染位置に係る補正 ^{*2}	測定条件（測定対象物と放射線測定器の位置関係）
放射能濃度確認対象物の重量	放射能濃度確認対象物の重量の算出	データ処理（放射能換算）

※ 1 : 該当箇所は 3.3 (1) イ

※ 2 :

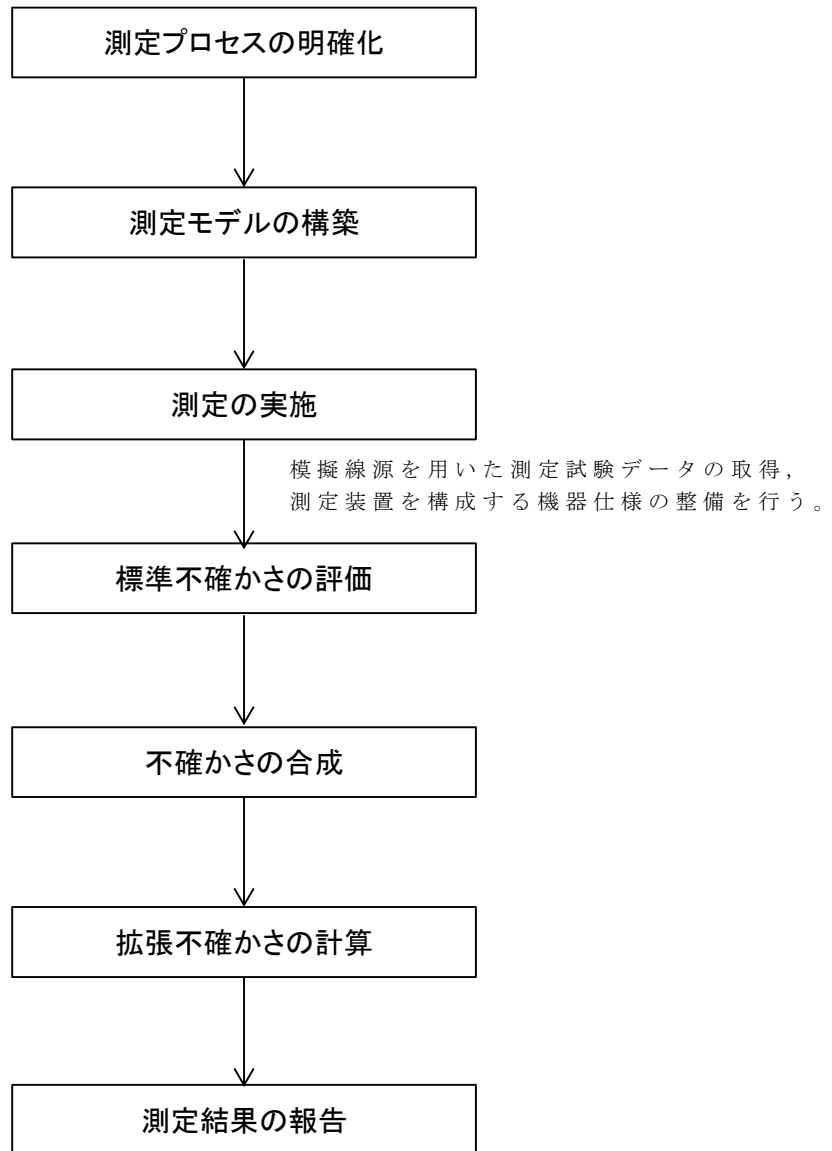


② 測定モデルの構築

放射線測定法のプロセスの測定モデルは、特性要因図に分解し、不確かさの要因を列挙する。なお、ハンドブックに従い、各プロセスに対し、複数の不確かさを抽出する。

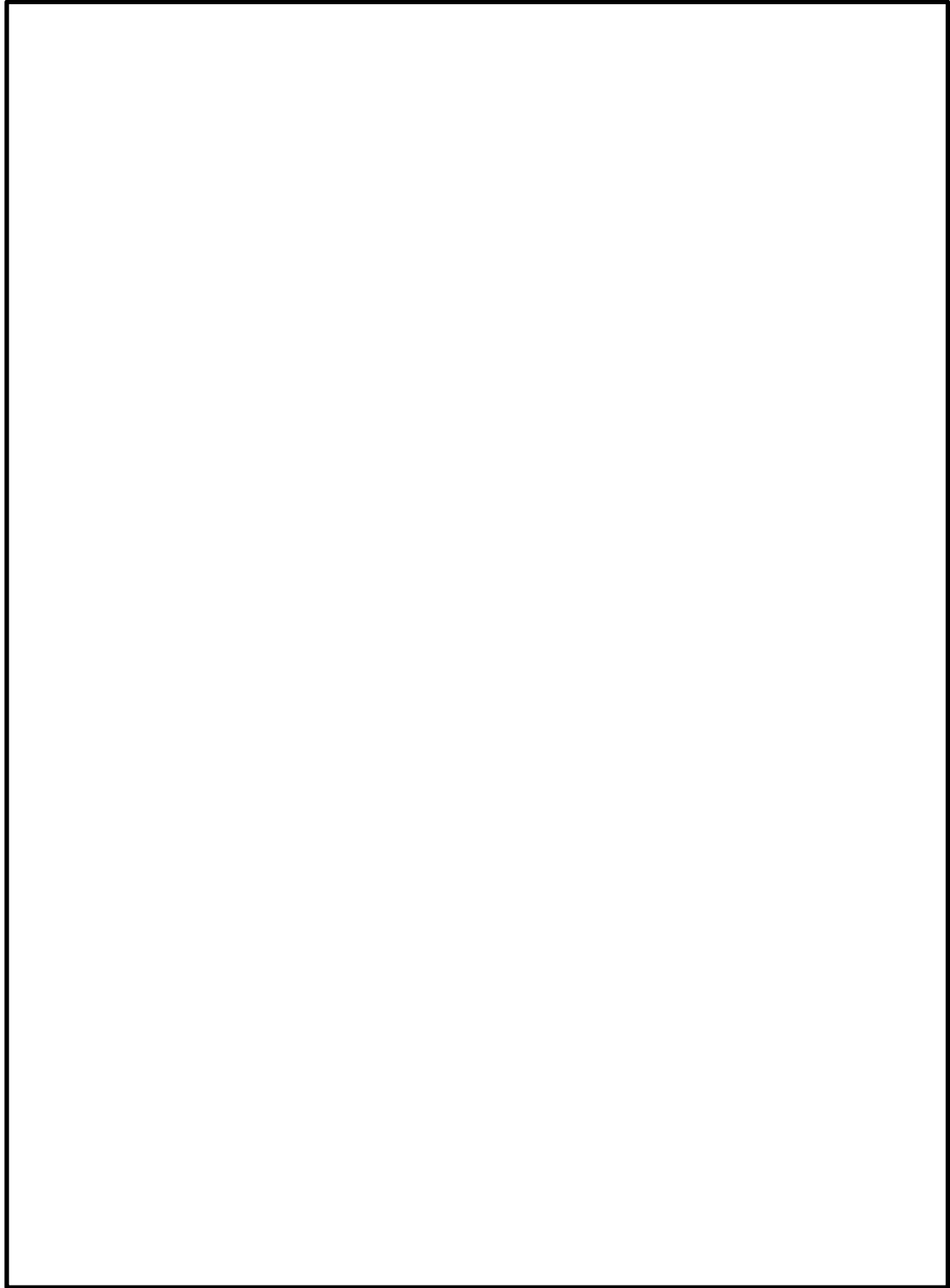
特性要因図を第 4 図「放射線測定法のプロセスの特性要因図」に示す。特性要因図作成の考え方は以下のとおりである。

- 各プロセスを太い幹とした。
- 各プロセスを構成する要素を第 1 図「放射能濃度を決定する処理フロー」から抽出し、太い幹の下に細い幹とした。
- 各プロセスを構成する要素の不確かさの要因を抽出し細い幹の下に枝とした。



(出典) ハンドブック 1.2.4 不確かさの評価の流れ図 1.5 不確かさ評価の流れ

第3図 不確かさの評価の流れ



第 4 図 放射線測定法のプロセスの特性要因図

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

b. 測定の実施及び標準不確かさの評価

抽出した不確かさの要因の標準不確かさを見積もるため、放射能濃度確認対象物の前提条件を整理する。

項目	前提条件	根拠
放射能濃度		
重量		
高さ		
放射能換算係数		
計数率		

※1：対象物の放射能濃度は、計数率に換算係数を乗じたものを重量で除すことで求まる。測定条件（対象物重量及び高さ）は、この関係式を基に放射能濃度の相対標準偏差が大きくなる条件より設定した。

誤差伝搬の法則により、放射能濃度の相対標準偏差は、計数率、放射能換算係数、重量の偏差の二乗和の平方根となる。各項目の重量変動、高さ変動に対する応答を以下に示す。

- ・計数率の相対標準偏差：定性的な挙動として、測定高さが大きいほど検出器から線源を見込む立体角の減少に

より計数率が小さくなる。計数率の相対標準偏差は、対象物高さの増加に対し、単調増加の関係にある。なお、重量に関しては、対象物の放射能濃度一定とした場合、重量増加により放射エネルギーが増加することによる計数率の増加と、自己吸収の効果による計数率の減少の相反する影響が存在する。

- ・放射能換算係数の相対標準偏差：放射能換算係数は、校正定数に自己吸収補正係数を乗じて求める。計数率の相対標準偏差の挙動と同じ理由により、校正定数は対象物高さの大きいほど計数率が小さくなり、結果として校正定数の相対標準偏差は大きくなる。一方、自己吸収補正係数は、かさ密度に依存するため、重量を一定とした場合、対象物高さの増加に対し、自己吸収補正が小さくなり、結果として自己吸収補正相対標準偏差は大きくなる。放射能換算係数の相対標準偏差は、対象物高さの増加に対し、単調増加する。
- ・重量の相対標準偏差：対象物高さは重量の相対標準偏差に寄与しない。重量の増加に対し、偏差一定とすると重量の相対標準偏差は単調減少の関係にある。

以上の関係から、対象物高さが高いほど、計数率及び放射能換算係数の相対標準不確かさが大きくなる。このため、測定条件の内、最大高さである [] を対象物高さの条件とした。重量の測定条件は、上記で示したように計数率相対標準偏差に及ぼす影響と、重量相対標準偏差に及ぼす影響を考慮する必要がある。対象物高さ [] を拘束条件とし、測定装置の受入れ重量である [] における計数率及び重量の合成標準偏差が最も大きくなる条件として [] を測定条件とした。

次にハンドブックに従い各不確かさの要因をタイプA及びタイプBへの区分、値の決定及び標準不確かさの評価を行う。各不確かさの要因の評価を別紙「各不確かさの要因の計算の過程」（以下、「別紙」という）に示す。

c. 不確かさの合成

ハンドブックに従い、標準不確かさを合成し合成標準不確かさを求める。別紙に示す標準不確かさ等を第6表「不確かさの評価結果」に整理した。

第6表「不確かさの評価結果」の相対標準不確かさを二乗和で合成し合成標準不確かさを求める。合成標準不確かさは である。第7表「合成標準不確かさ及び拡張不確かさの評価結果」に合成標準不確かさを示す。

d. 拡張不確かさの計算及び測定結果の報告

① 拡張不確かさの計算

ハンドブックに従い、包含係数を選択し、包含係数に合成標準不確かさを乗じて拡張不確かさを求める。包含係数は、片側 95% 信頼区間を示す 1.645 を切り上げて 2 とする。

包含係数 2 に合成標準不確かさ を乗じると拡張不確かさは である。第7表「合成標準不確かさ及び拡張不確かさの評価結果」に拡張不確かさ及び包含係数を示す。

(3) 拡張不確かさに加算している 1 について

拡張不確かさに加算する 1 の求め方について以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{Co-60 測定値} &= \text{実測値 } D + \text{不確かさ} \\ &= \text{実測値 } D + \text{実測値 } D \times \text{拡張不確かさ} \\ &= \text{実測値 } D (1 + \text{拡張不確かさ}) \\ &= \text{実測値 } D \times \text{安全率} \end{aligned}$$

上記の式から安全率 = 1 + 拡張不確かさが成立する。

(4) 模擬線源で評価した安全率と不確かさ評価の安全率の関係

不確かさで評価した安全率は、模擬対象物で評価した安全率も包含している。測定トレイ上での汚染位置を不確かさ要因の一つとして考慮しているためである。

不確かさ評価に基づく安全率の設定において、汚染位置による影響も加味されている。なお、汚染位置による不確かさ影響を評価する際に、模擬線源を用いた実測データを活用している。

2. 不確かさの妥当性

不確かさは、公開文献であるハンドブックの各要求事項に基づいて設定しており、妥当である。

(1) 測定プロセスの明確化

測定方法等の明確化が要求事項であり、1. (2) a. ①のとおり、放射線測定法による測定方法のプロセスを明確化した。

(2) 測定モデルの構築

測定モデルを書き下ろすこと及び不確かさの要因を列挙することが要求事項である。測定モデルを書き下ろすことは、1. (2) b. のとおり、計算過程の詳細（1 / 5 ～ 5 / 5）を測定モデルとした。不確かさの要因の列挙は、1. (2) a. ②に示すとおり、特性要因図（第4図「放射線測定法のプロセスの特性要因図」）に不確かさを列挙した。

(3) 測定の実施

測定値を求めることが要求事項である。1. (2) b. 及び別紙のとおり、各不確かさの要因の測定値を見積もった。

(4) 標準不確かさの評価

標準不確かさを求めることが要求事項である。1. (2) b. 及び別紙のとおり、各不確かさの要因について、標準不確かさを評価した。

(5) 不確かさの合成

合成標準不確かさを計算することが要求事項である。1. (2) c. のとおり、第6表「不確かさの評価結果」で合成標準不確かさを計算した。

(6) 拡張不確かさの計算

拡張不確かさを計算することが要求事項である。1. (2) d. のとおり、第7表「合成標準不確かさ及び拡張不確かさの評価結果」で拡張不確かさを計算した。

3. 審査基準への適合性

審査基準の要求事項を満たしていることをもって、審査基準の適合性を判断する。

審査基準(1)イでは、「不確かさに関する適切な説明がなされていること。」とある。適切な説明がなされていることとは、ハンドブックに従って拡張不確かさを評価することと理解する。このため、特性要因図（第4図「放射線測定法のプロセスの特性要因図」）に抽出した不確かさの要因全てに対し、標準不確かさを評価していることにより、審査基準の適合性を判断する。

審査基準(2)で「放射性物質の $\Sigma D_j/C_j$ の水準を片側95%としたときの上限値（95%上限値）が1を超えないこと」とある。95%上限値が1を超えないことは、審査基準(1)イに起因する不確かさを考慮した95%上限値を個別に求めておくことにより評価することができるため、1を超えない評価方法を示すことで審査基準への適合性を示す。

(1) 放射線測定値

トレイ走査速度や検出器高さ等の全 γ 線計数率の不確かさを評価した（別紙の1. (1)～(3)）。特性要因図の不確かさの要因を標準不確かさに評価したため、審査基準に適合する。

(2) 測定効率（放射線検出器の校正）

校正定数や標準線源等の不確かさを評価(別紙の 3. (1)～(11))した。特性要因図の不確かさの要因を標準不確かさに評価したため、審査基準に適合する。

(3) 測定効率（測定対象物と放射線測定器との位置関係）

測定対象物と放射線測定器との位置関係は、測定トレイ上の測定対象物と放射線測定器の位置により測定効率に影響を与えることと理解する。測定対象物がトレイの隅に存在するほど放射線測定器に入射するγ線が少なくなり測定効率が低下する。

このため、トレイ上の汚染位置が測定対象物と放射線測定器との位置関係で評価する不確かさに該当する。別紙の 3. (15)に示すとおり、標準不確かさを評価したため、審査基準に適合する。

(4) 測定効率（測定対象物内部での放射線の減衰等）

測定対象物内部での放射線の減衰は、自己吸収補正係数により表している。自己吸収補正係数の不確かさは、別紙の 3. (12)～(14)のとおり評価した。特性要因図で抽出した不確かさの要因の標準不確かさを評価したため、審査基準に適合する。

(5) 測定条件（実際の測定条件と測定効率を設定した条件との違い）

実際の測定条件は、申請書添付書類六 2. 4 に示す。測定効率を設定した条件（測定効率を構成する校正定数及び自己吸収補正係数）は、申請書添付書類六 2. 1 に示す。具体的には以下のとおり。

- ▶ 校正定数は、上下の検出器間距離に応じた線源校正結果から算出する。
- ▶ 自己吸収補正係数は、模擬対象物の中心に線源を置いた計算体系から算出する。

実際の測定条件と測定効率を設定した条件とは、校正定数の検出器高さ、自己吸収補正係数の測定高さ、検出器高さ及び測定重

量が異なる。それぞれの不確かさは、別紙の 3. のとおり評価したため、審査基準に適合する。

(6) 測定条件（測定場所周辺の BG の変動等）

測定場所周辺の BG の変動は、トレイ型専用測定装置の設置エリア周辺における BG の変動による不確かさを評価していることと理解する。

測定場所周辺の BG の変動は、別紙の 2. (2)BG 変動等で評価したため、審査基準に適合する。

(7) データ処理（放射能換算等）

データ処理（放射能換算等）は、計算過程の処理フロー（1 / 5 ~ 5 / 5）に示した一連の過程における不確かさと理解する。

放射能濃度は、 γ 線計数率を放射能換算係数及び安全率で乗じて、放射能濃度確認対象物の重量で除して換算する。放射能濃度の算出に用いる全 γ 線計数率、放射能換算係数、放射能濃度確認対象物の重量及び対象物高さ測定等の測定条件に対し生じる不確かさを別紙の 1. ~ 4. により評価したため、審査基準に適合する。

(8) 信頼の水準を片側 95%としたときの上限値が 1 を超えないこと

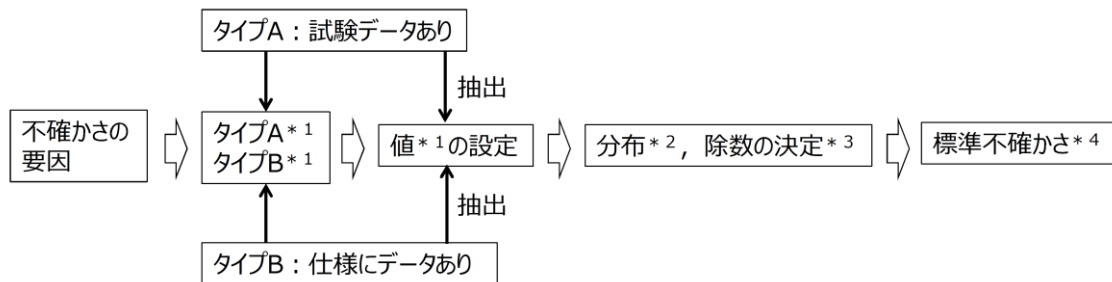
安全率を放射能換算係数に乗じることで 95% 上限値が 1 を超えないことを評価する。安全率は拡張不確かさに 1 を加算したものである。拡張不確かさは片側 95% 信頼区間に相当する信頼の水準 90% の包含係数を合成標準不確かさに乗じたものである。

このため、安全率を乗じた放射能濃度確認対象物の $\Sigma D_j / C_j$ が 1 を超えないことを確認することで審査基準に適合させる。

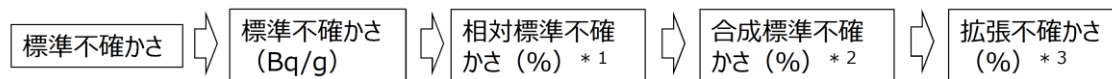
以上

各不確かさの要因の計算の過程

不確かさの要因から相対標準不確かさを求めるには、以下の手順により行う。



単位換算



(出典) 第3回クリアランスに関する審査会合 資料1 (P18~P19)

(*1~*4の説明を除く)

1. 全 γ 線計数率の不確かさの計算の過程

計算結果は、原則2桁で表示するが、3桁以下の桁も含めて計算する。2桁で計算すると記載した値と異なる計算結果があることに注意する(2.以降も同様)。

(1) トレイ走査速度

トレイ走査速度は、測定トレイが検出器を通過する速度の変動により、測定対象物が検出器の検出範囲内に滞在する時間が変動することに起因した計数率の不確かさの要因である。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：島根原子力発電所でトレイ型専用装置による速度の試験を実施し12データを取得したが、正

規分布を形成できるほどのデータがないため、
タイプ B に区分する。

- ・ 値 :
- ・ 確率分布 :
- ・ 除数 :

※ 1 : 速度の試験の最大値及び最小値

※ 2 : 測定データの最大値及び最小値の差を矩形分布の幅とし、2 で除して半幅を求める。

b . 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・ 標準不確かさ :
- ・ 単位換算 (A) :
- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

※ 3 : 速度の試験結果 (第 5 図「トレイ速度と通過時間の関係」) から検出器の通過時間 s とトレイ速度 mm/s との傾き

※ 4 :

※ 5 :



第5図 トレイ速度と通過時間の関係

(2) 検出器高さ

検出器高さは、以下の範囲で放射能濃度確認対象物の高さにより変動する。検出器高さにより、検出器から放射能濃度確認対象物を見込む立体角が異なることで γ 線の検出効率が変動する。このため、検出器高さは、放射能濃度の不確かさの要因である。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・評価区分：

・値：

・確率分布：

・除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算 (A)：

・単位換算 (B)：

・単位換算 (C)：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

※1：第6図「検出器高さの評価モデル」から求める。



第 6 図 検出器高さの評価モデル

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(3) 統計誤差

放射能濃度確認対象物の測定を再現しても同じ値にはならない統計誤差が生じる。統計誤差が不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・評価区分：

・値：

・確率分布：

・除数：

※1：

※2：トレイ型専用測定装置の測定時間（申請書表－1）

※3：トレイ型専用測定装置の検出器の個数（申請書表－1）

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算（A）：

・単位換算（B）：

・単位換算（C）：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

2. BG 計数率の不確かさの過程

(1)

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・ 評価区分：

・ 値：

・ 確率分布：

・ 除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・ 標準不確かさ：

・ 単位換算（A）：

・ 単位換算（B）：

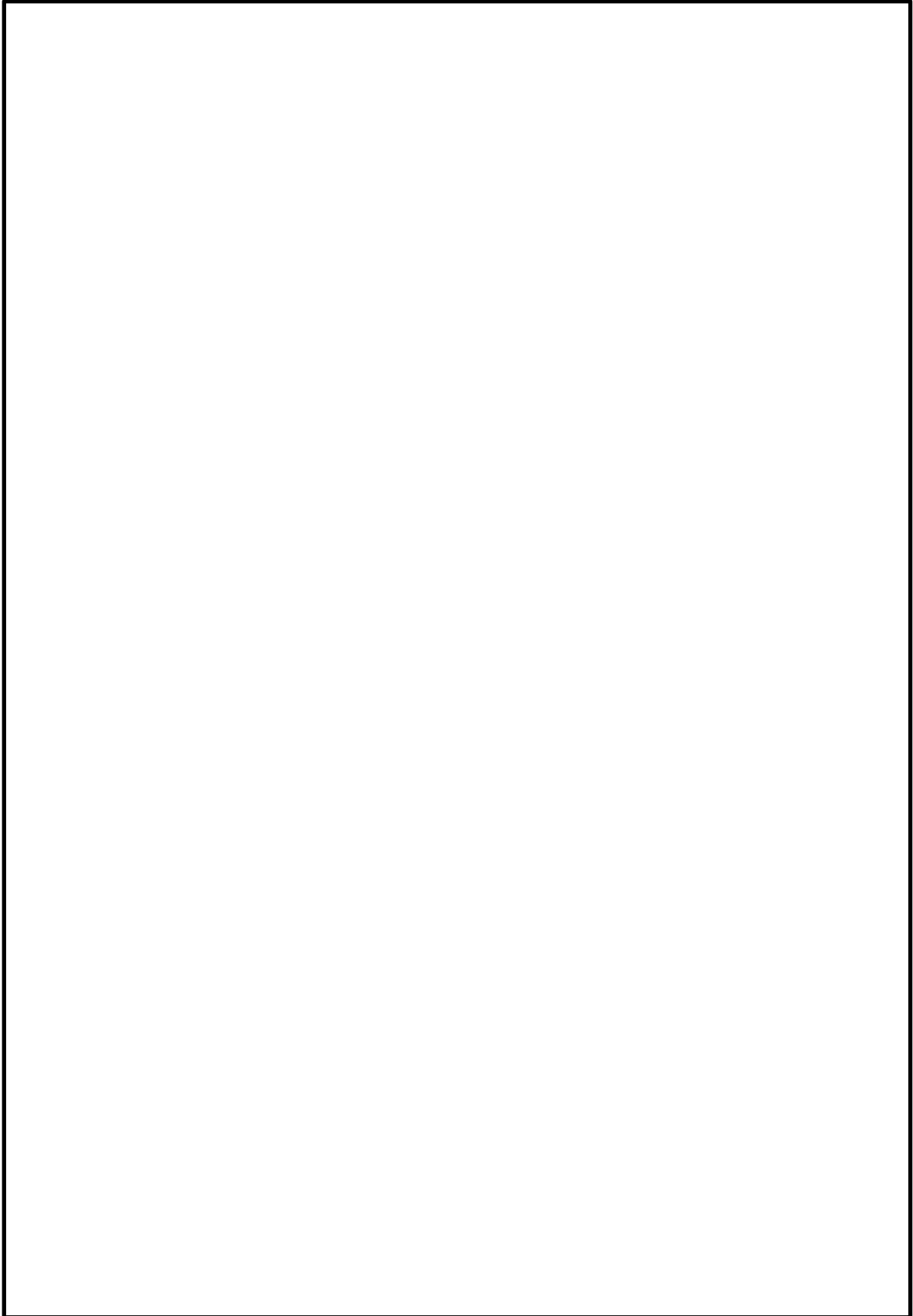
・ 単位換算（C）：

・ 標準不確かさ：

・ 相対標準不確かさ：

※ 1：

※ 2：



第7図 20cm 高さへの依存性評価

(2) BG 変動

BG は、測定環境の影響を受け経時変化するため、BG 変動が不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

- ・ 評価区分：正規分布を形成できるほどの BG 測定結果がないため、タイプ B に区分する。

・ 値 :

・ 確率分布 :

・ 除数 :

※ 1 : BG 測定で得られた BG 測定結果のうち最大の変動割合

を時間あたりに換算

※ 2 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算（A）：

・単位換算（B）：

・単位換算（C）：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

(3) 統計誤差

BG 計数率を再現しても同じ値にはならない統計誤差が生じる。
統計誤差が不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・評価区分：BG 測定により BG 計数率が得られているため，
タイプ A とする。

・値：

・確率分布：

・除数：

※ 1：前提条件における BG 計数率

※ 2：トレイ型専用測定装置の BG の測定時間

※ 3：トレイ型専用測定装置の検出器の個数

(B) 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算（A）：

・ 単位換算（B）：

・ 単位換算（C）：

・ 標準不確かさ：

・ 相対標準不確かさ：

(4) 検出器高さ

検出器高さは 以下の範囲で放射能濃度確認対象物の高さにより変動する。検出器高さを再現する際に生じるずれにより検出器高さ補正が異なるため、不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・ 評価区分：

・ 値：

・ 確率分布：

・ 除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・ 標準不確かさ：

・ 単位換算（A）：

・ 単位換算（B）：

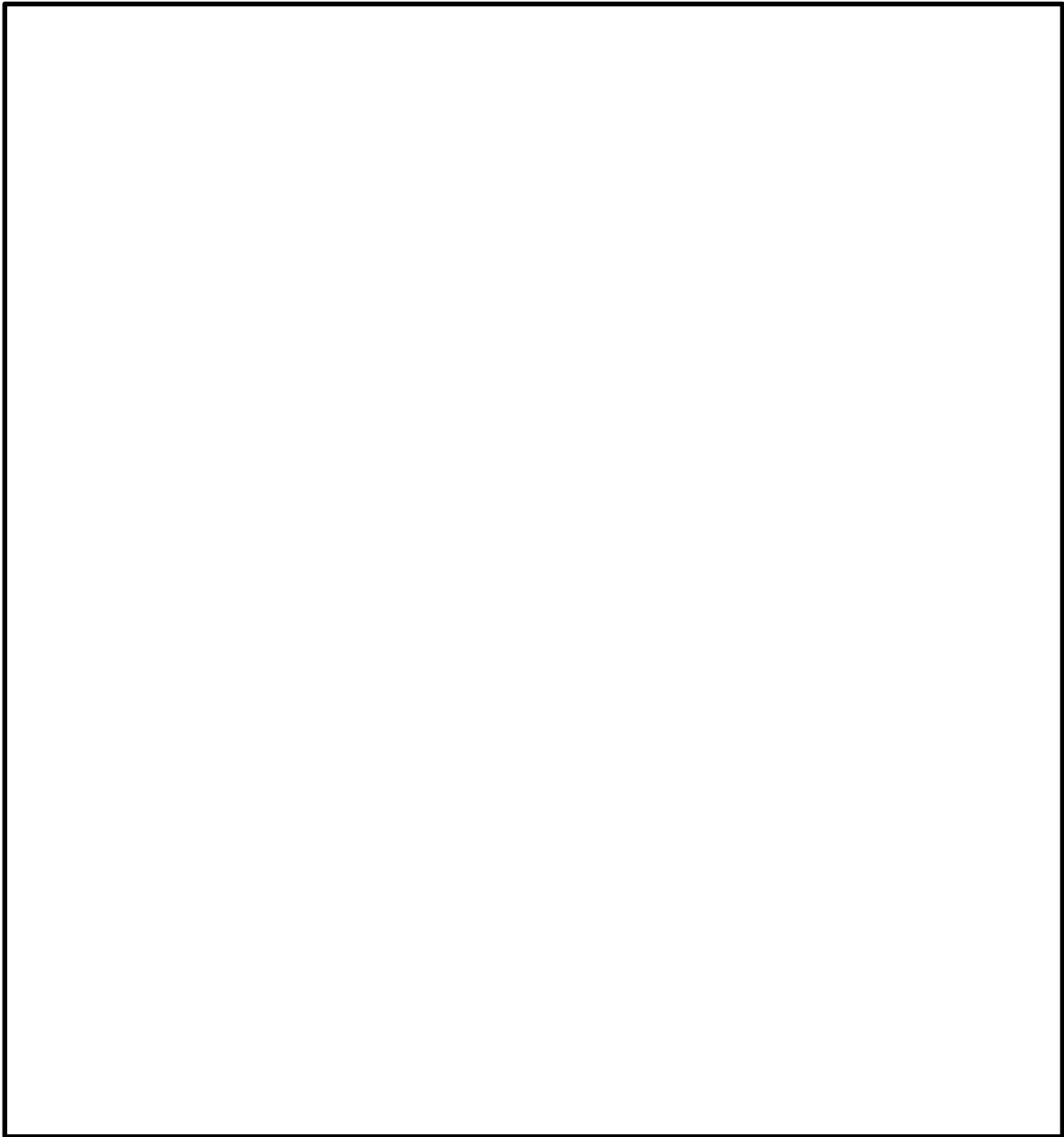
・ 単位換算（C）：

・ 標準不確かさ：

・ 相対標準不確かさ：

※ 1 : 第 8 図「模擬対象物の測定高さの依存性評価」から求める。

※ 2 : 前提条件における BG 計数率



第 8 図 模擬対象物の測定高さの依存性評価

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(5) 校正試験中の BG 変動

校正試験は、上下の検出器の間に線源を配置し測定を行う。校正試験中において BG 測定値は変動する。校正試験で得られる値を用いて、校正定数等の放射能換算係数を構成する定数を求めるため、校正期間中の BG 変動が放射能濃度の測定における不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

- ・ 評価区分：トレイ型専用測定装置の BG 測定から値を設定するが正規分布を形成できるほどのデータがないため、タイプ B に区分する。

- ・ 値 :
- ・ 確率分布 :
- ・ 除数 :

※ 1 : BG 測定で得られたデータのうち最大の変動割合 を時間あたりに換算

※ 2 : を矩形分布の幅とし幅の半分を求めるため、2 で除した。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・ 標準不確かさ :
- ・ 単位換算 (A) :
- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

(6) 検出器高さ

校正試験中の検出器高さは、(4)の検出器高さと同じく、
以下の範囲で放射能濃度確認対象物の高さにより変動する不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、
である。

(7) 統計誤差

校正試験の BG 計数率を再現しても同じ値にはならない統計誤差が生じる。統計誤差が不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：試験により BG 計数率が得られているため，タイプ A とする。

- ・値：
- ・確率分布：
- ・除数：

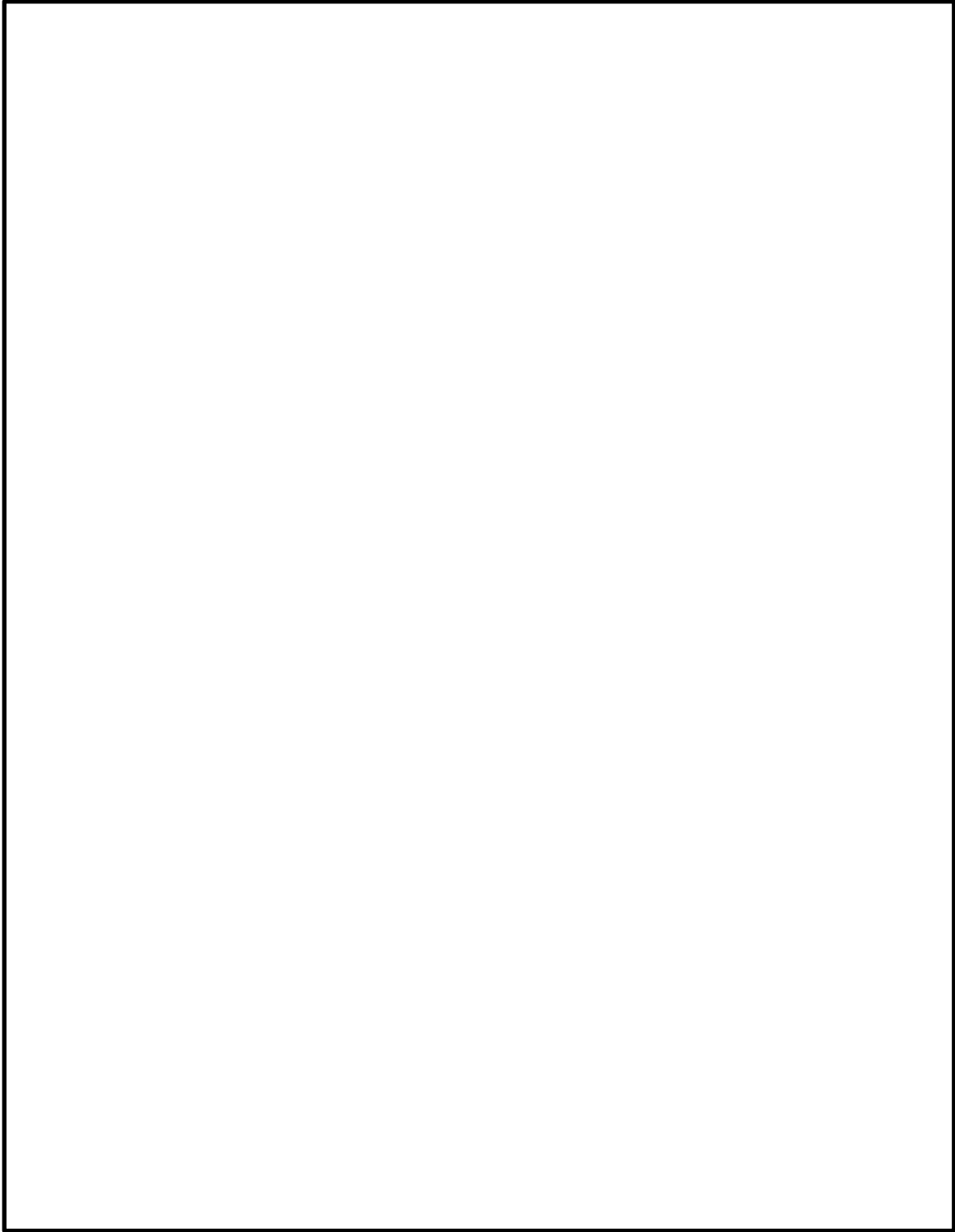
※ 1：校正試験の BG 測定結果

※ 2：校正試験の BG 測定時間

※ 3：校正試験で測定した検出器の個数（検出器の上下 1 組）

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・標準不確かさ：
- ・単位換算（A）：
- ・単位換算（B）：
- ・単位換算（C）：
- ・標準不確かさ：
- ・相対標準不確かさ：



第9図 BG 計数率の変動の評価

(8) 測定重量

測定重量は、放射能濃度確認対象物の重量の不確かさを構成する不確かさの要因を纏めたものである。BG 計数率を求めるための重量補正係数の評価に測定重量を摘要するため、測定重量はBG 計数率にも影響する不確かさの要因である。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：試験以外の方法により値を求めるため，タイプ B に区分する。

・値 :

・確率分布 :

・除数 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ :

・単位換算 (A) :

・単位換算 (B) :

・単位換算 (C) :

・標準不確かさ :

・相対標準不確かさ :



※ 1 : 前提条件における BG 計数率

※ 2 :


※ 3 :




(9) BG 変動

校正試験中の BG 変動は，(2)の BG 変動と同じく，基準である  の BG の測定場所により BG 計数率が変動する不確かさの要因である。このため，相対標準不確かさは， である。

(10) 統計誤差

校正試験中の統計誤差は，(3)の統計誤差と同じく，BG 計数率の測定による統計誤差が生じるため，不確かさの要因になる。このため，相対標準不確かさは， である。

(11) 測定重量

校正試験中の測定重量は，(8)の測定重量と同じく，トレイ型専用測定装置の重量の測定と同じなため，不確かさの要因になる。このため，相対標準不確かさは， である。

3. 放射能換算係数の不確かさの過程

(1) 標準線源不確かさ

標準線源不確かさは，校正定数の設定に用いる標準線源の放射エネルギーの不確かさの要因である。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：正規分布を形成できるほどのデータがないため，タイプ B に区分する。

・値：

・確率分布：



・ 除数 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・ 標準不確かさ :

・ 単位換算 (A) :

・ 単位換算 (B) :

・ 単位換算 (C) :

・ 標準不確かさ :

・ 相対標準不確かさ :

(2) 検出器高さ

校正定数の検出器高さは、1.(2)の検出器高さと同じく、検出器高さにより、検出器から放射能濃度確認対象物を見込む立体角が異なることで γ 線の検出効率が変動することに起因する不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、である。

(3) 線源位置

線源校正時に線源が設定する場所からずれると校正定数が変動する。このため、線源位置は不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・ 評価区分 : 正規分布を形成できるほどのデータがないため、タイプ B に区分する。

・ 値 :

・ 確率分布 :

・ 除数 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算（A）：

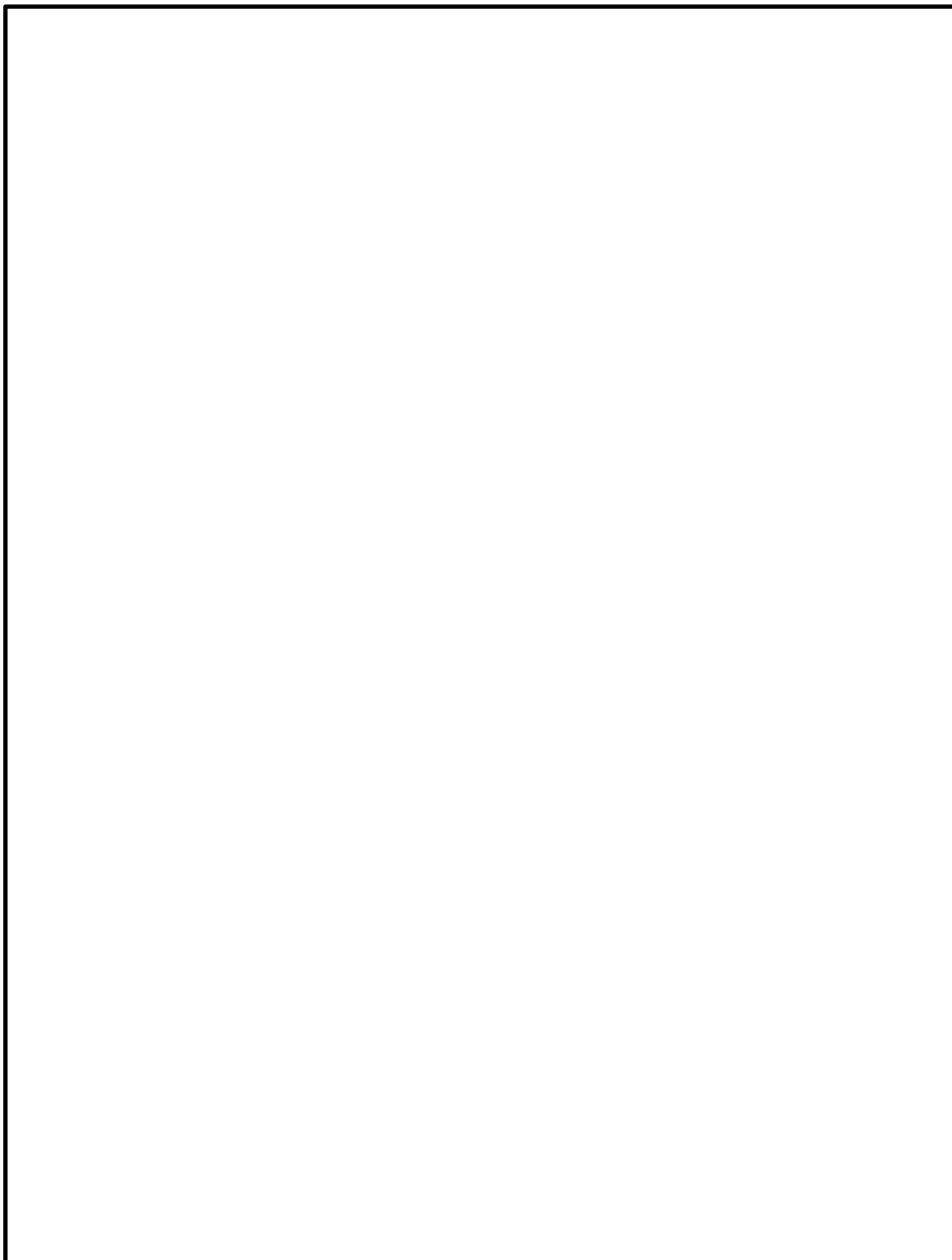
・単位換算（B）：

・単位換算（C）：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

※1：第10図「線源位置の評価モデル」から求める。



第 10 図 線源位置の評価モデル

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(4) 統計誤差

校正定数 a_i は、校正試験結果から算出する。統計誤差が存在することにより、校正定数が変動することから統計誤差が不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：校正試験により計数率が得られているため，タイプ A とする。

・値：

・確率分布：

・除数：

※1：第2表「線源位置毎の値の評価結果」参照

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算 (A)：

・単位換算 (B)：

・単位換算 (C)：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

(5) BG 時間変動

校正試験中の BG 時間変動により、校正定数が変動する。このため、BG 時間変動は不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：トレイ型専用測定装置の BG 測定から値を設定するが正規分布を形成できるほどのデータが

ないため、タイプ B に区分する。

- ・ 値 :
- ・ 確率分布 :
- ・ 除数 :

※ 1 : BG 測定で得られた BG 測定結果のうち最大の変動割合

※ 2 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・ 標準不確かさ :
- ・ 単位換算 (A) :
- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

※ 3 : 第 3 表「校正試験時の計数率」の計数率変動割合

(6) 検出器高さ

定数内挿の検出器高さは、1.(2)の検出器高さと同じく、検出器高さにより、検出器から放射能濃度確認対象物を見込む立体角が異なることで γ 線の検出効率が変動することに起因する不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、

である。

(7) 標準線源不確かさ

標準線源強度の標準線源不確かさは、校正 a_i と同じ標準線

源による不確かさの要因である。このため、(1)と同じく相対標準不確かさは、 である。

(8) 検出器高さ

校正定数 b_i の検出器高さは、1.(2)の検出器高さと同じく、検出器高さにより、検出器から放射能濃度確認対象物を見込む立体角が異なることで γ 線の検出効率(幾何効率)が変動することに起因する不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、 である。

(9) 線源位置

校正定数 b_i の線源位置は、(3)の線源位置と同じく線源校正時に線源が設定する場所からずれると校正定数が変動することに起因する不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは である。

(10) 統計誤差

校正定数 b_i は、校正定数 a_i と同様に校正試験から算出するため、統計誤差が生じる。このため、不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・評価区分：校正試験により計数率が得られているため、タイプAとする。

・値

・確率分布

・除数

※1：第4表「線源位置毎の値の評価結果」参照

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ

・単位換算(A)

- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

(11) BG 時間変動

校正試験中の BG 時間変動により，校正定数 a_i と同様に校正定数変動する。このため，BG 時間変動は不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・ 評価区分：トレイ型専用測定装置の BG 測定から値を設定するが正規分布を形成できるほどのデータがないため，タイプ B に区分する。

- ・ 値 :
- ・ 確率分布 :
- ・ 除数 :

※ 1 : BG 計数率の最大の変動値

※ 2 :

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・ 標準不確かさ :
- ・ 単位換算 (A) :
- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

※ 3 : 第 5 表「校正試験時の計数率」参照

(12) 測定高さ

測定高さは、放射能濃度確認対象物の高さであり、かさ密度を算出するための要素である。放射能濃度確認対象物の測定により求めることから、測定高さは不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

- ・ 評価区分 :
- ・ 値 :
- ・ 確率分布 :
- ・ 除数 :

※ 1 : 矩形分布の幅を とし、幅の半分を求めるため、2 で除した。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・ 標準不確かさ :
- ・ 単位換算 (A) :
- ・ 単位換算 (B) :
- ・ 単位換算 (C) :
- ・ 標準不確かさ :
- ・ 相対標準不確かさ :

※ 2 : 以下※ 3 の自己吸収補正係数に標準不確かさ の変動を与えた自己吸収補正係数

※ 3 : 1. (1) ~ (3) の前提条件における自己吸収補正係数

[Redacted]

$\varepsilon_0, \varepsilon_1$ は申請書添付書類六「2 測定条件の設定
(3) 式」参照

(13) 検出器高さ

検出器高さは、放射能濃度確認対象物の高さ（測定高さ）に
検出器と放射能濃度確認対象物の間の空間を加えた高さであ
る。上部検出器が測定高さへの検出器を移動する。検出器高さ
を設定する際の高さ調整のずれが不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・評価区分：

・値：

・確率分布：

・除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算(A)：

・単位換算(B)：

・単位換算(C)：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

※1：以下※2の自己吸収補正係数に標準不確かさ [Redacted]

の変動を与えた自己吸収補正係数

※2：1.(1)～(3)の前提条件における自己吸収補正

係数

算出は「(12) 測定高さ」を参照

(14) 測定重量

測定重量は、放射能濃度確認対象物の重量の不確かさを構成する不確かさの要因を纏めたものである。かさ密度の算出に摘要する。ロードセルに誤差があることから不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：試験以外の方法により値を求めたため、タイプ B に区分する。

- ・値：
- ・確率分布：
- ・除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・標準不確かさ：
- ・単位換算(A)：
- ・単位換算(B)：
- ・単位換算(C)：
- ・標準不確かさ：
- ・相対標準不確かさ：

※1：以下※2の自己吸収補正係数に標準不確かさ

の変動を与えた自己吸収補正係数

※2：1.(1)～(3)の前提条件における自己吸収補正

係数

算出は「(12) 測定高さ」を参照

(15) 汚染位置

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：分布を形成できるほどの計数率がないため，タイプBに区分する。

・値

:

・確率分布：

・除数：

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ

:

・単位換算(A)：

・単位換算(B)：

・単位換算(C)：

・標準不確かさ：

:

・相対標準不確かさ：

:

4. 放射能濃度確認対象物の重量の不確かさの過程

(1) ロードセル再現性

放射能濃度確認対象物の重量はロードセルで測定する。ロードセル再現性は、測定による誤差が生じる不確かさの要因である。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

- ・評価区分：正規分布を形成できるほどの測定値がないため，タイプ B に区分する。

- ・値 :
- ・確率分布 :
- ・除数 :

--

※1：ロードセルの仕様である総合誤差（参考－2「ロードセルの仕様」参照）

※2：矩形分布の半分を求めるため，2で除した。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・標準不確かさ :
- ・単位換算（A）:
- ・単位換算（B）:
- ・標準不確かさ :
- ・相対標準不確かさ :

--

--

--

※3 :

※4 :

※5 :

--

※ 6 :

(2) 温度特性 ロードセル：ゼロ点

温度環境によりゼロ点変動する。このため、ロードセルのゼロ点の不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・評価区分：正規分布を形成できるほどの測定値がないため、タイプ B に区分する。

- ・値 :
- ・確率分布 :
- ・除数 :

※ 1 : ロードセルの仕様であるゼロ点の温度影響 (参考 - 2 「ロードセルの仕様」参照)

※ 2 : 測定環境の温度

※ 3 : ロードセルの仕様であるゼロ点の温度影響が 10℃ あたりのため (参考 - 2 「ロードセルの仕様」参照)。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

- ・標準不確かさ :
- ・単位換算 (A)
- ・単位換算 (B)
- ・標準不確かさ :
- ・相対標準不確かさ :

※ 4 : トレイ型専用測定装置の定格出力

※ 5 :

※ 6 : トレイ型専用測定装置の測定重量の上限（添付書類六表 6 - 1）

※ 7 :

(3) 温度特性 ロードセル：出力

ロードセルは仕様によりゼロ点の温度影響がある^{*1}。測定場所の温度影響によりロードセルのゼロ点の変動するため、不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・評価区分：正規分布を形成できるほどのデータがないため，タイプ B に区分する。

・値 :
・確率分布 :
・除数 :

※ 1 : ロードセルの仕様である出力の温度影響（参考 - 2 「ロードセルの仕様」参照）

※ 2 : 測定環境の温度

※ 3 : ロードセルの仕様である出力の温度影響が 10℃あたりのため（参考 - 2 「ロードセルの仕様」参照）。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ :
・単位換算（A）:
・単位換算（B）:

・標準不確かさ :

・ 相対標準不確かさ :

※ 4 : トレイ型専用測定装置の定格出力

※ 5 :

※ 6 :

(4) 温度特性 表示器 : ゼロ点

表示器は、温度特性^{※1}があり、温度環境によりゼロ点変動する。このため、表示器のゼロ点是不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・ 評価区分 :

・ 値 :

・ 確率分布 :

・ 除数 :

※ 1 : 表示器の仕様であるゼロ点の温度特性 (参考-3「表示器の仕様」参照)

※ 2 : 測定環境の温度

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・ 標準不確かさ :

・ 単位換算 (A) :

・ 単位換算 (B) :

・ 標準不確かさ :

・ 相対標準不確かさ :

※ 3 :

※ 4 :

(5) 温度特性 表示器：出力

表示器は，温度特性^{*1}があり，温度環境により出力が変動する。このため，表示器の出力は不確かさの要因になる。

a. 評価区分，値，確率分布及び除数の設定

・評価区分：正規分布を形成できるほどのデータがないため，タイプ B に区分する。

・値 :

・確率分布 :

・除数 :

※ 1：表示器の仕様であるスパンの温度特性（参考－3「表示器の仕様」参照）

※ 2：測定環境の温度

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ :

・単位換算 (A) :

・単位換算 (B) :

・標準不確かさ :

・相対標準不確かさ :

※ 3 :

※ 4 :

※ 5 :

※ 6 :

(6) 分銅重量

校正用の分銅重量の測定値に偏りが存在する。このため、分銅重量は不確かさの要因になる。

a. 評価区分、値、確率分布及び除数の設定

・評価区分：分布を形成できるほどのデータがないため、タイプ B に区分する。

・値

・確率分布

・除数

※ 1 : 50kg の分銅試験 (20kg + 20kg + 10kg の分銅) の 20kg 及び 10kg の拡張不確かさを包含係数 2 で除して求める (参考 - 4 「分銅の校正結果」 参照)。

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ

・単位換算 (A)

・単位換算 (B)

・標準不確かさ

・相対標準不確かさ

[]

(7) ロードセル再現性

校正のロードセル再現性は、(1)と同じくロードセルによる不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、[]である。

(8) 温度特性 ロードセル：出力

校正のロードセルの出力は、(3)と同じくロードセル出力による不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、[]である。

(9) 温度特性 表示器：出力

校正の表示器の出力は、(5)と同じく表示器による不確かさの要因である。このため、相対標準不確かさは、[]である。

(10) 温度特性 (丸め誤差含む)

温度特性 (丸め誤差含む) は校正曲線 (無負荷点と定格負荷点を結ぶ直線) による不確かさの要因である。

a. 評価区分, 値, 確率分布及び除数の設定

- ・評価区分: 正規分布を形成できるほどのデータがないため、タイプ B に区分する。

- ・値 :
- ・確率分布 :
- ・除数 :

[]

※ 1 : 表示器のフルスケールの値

※ 2 : 表示器の仕様であるリニアリティ (参考 - 3 「表示器の仕様」参照)

※ 3 : 丸め誤差 [] (表示分解能) (参考 - 3 「表示器の仕様」参照)

b. 標準不確かさ及び相対標準不確かさの設定

・標準不確かさ：

・単位換算（A）：

・単位換算（B）：

・標準不確かさ：

・相対標準不確かさ：

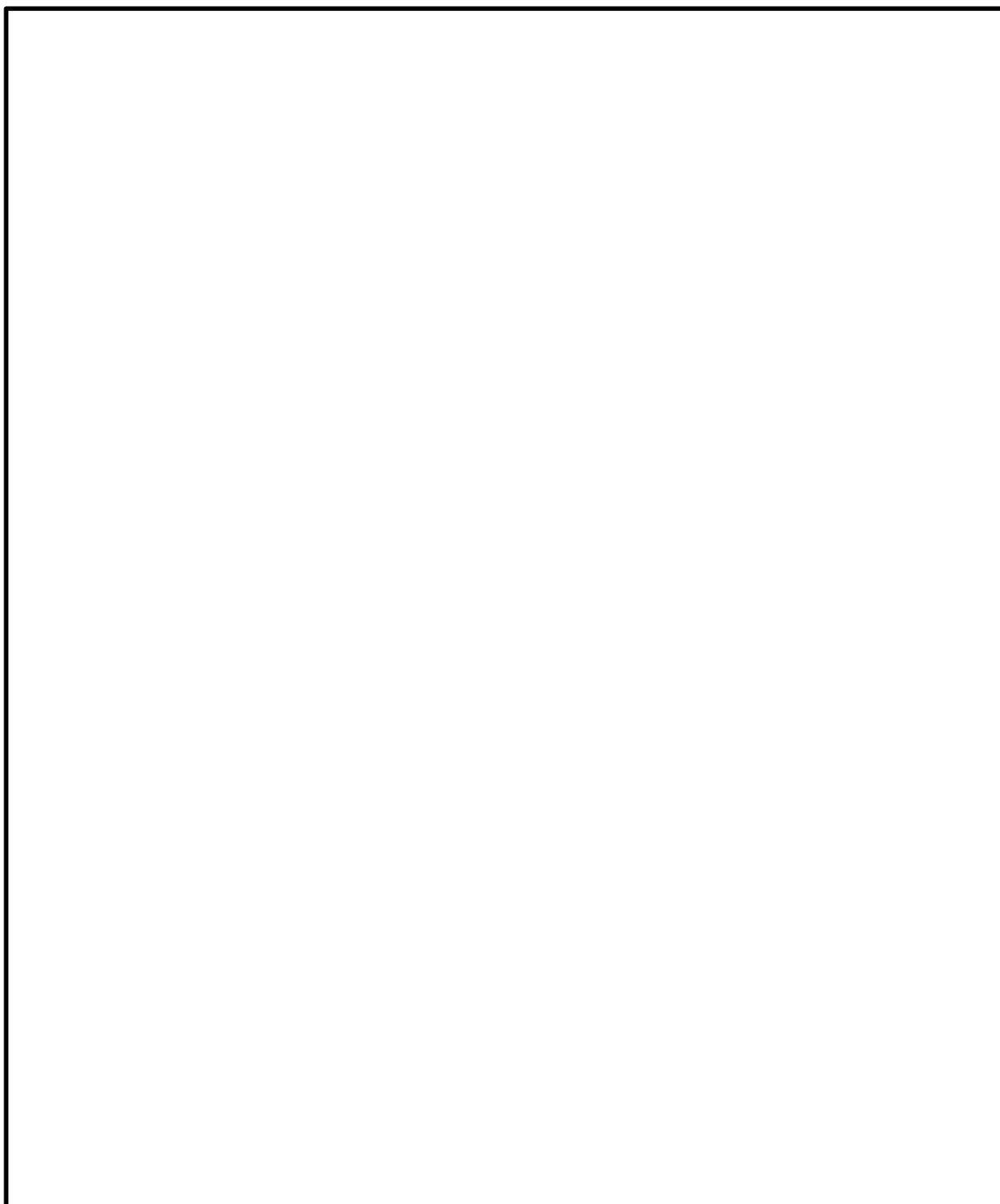
--

--

第 1 表 測定重量の値の設定

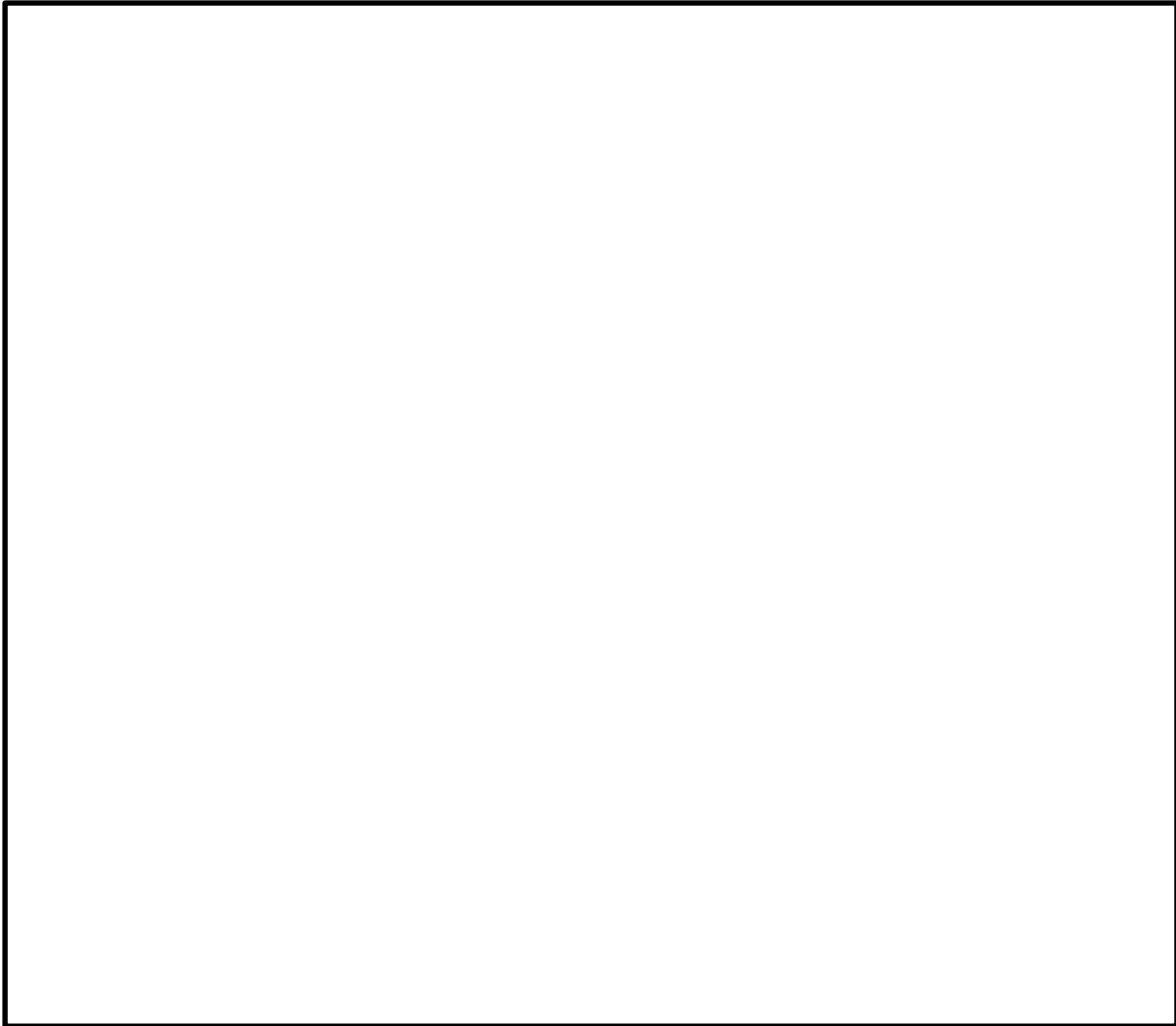
不確かさの要因	相対標準不確かさ	備 考
ロードセル再現性		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（ロードセル：ゼロ点）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（ロードセル：出力）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（表示器：ゼロ点）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（表示器：出力）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
分銅重量不確かさ（校正証明書）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
ロードセル再現性		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（ロードセル：出力）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
温度特性（表示器：出力）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
直線性（丸め誤差含む）		放射能濃度確認対象物の重量に計算過程を示す。
値		二乗和の平方根で評価

第 2 表 線源位置毎の値の評価結果



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第3表 校正試験時の計数率



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第4表 線源位置毎の値の評価結果

--

第 5 表 校正試験時の計数率



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第6表 不確かさの評価結果

項目	不確かさ項目	不確かさ要因	評価区分	値	確率分布	除数	標準不確かさ	単位変換 (A)	単位変換 (B)	単位変換 (C)	標準不確かさ (Bq/g)	相対標準不確かさ (%)
全 γ 線計数率	全 γ 線計数率	—	—									
	グロス計数率	—	—									
	再現性	—	—									
		トレイ走査速度	B									
		検出器高さ	B									
		統計誤差	A									
	BG計数率	—	—									
	基準BG計数率	—	—									
	再現性	—	—									
		BG変動	B									
		統計誤差	A									
	BG補正係数	—	—									
	高さ補正係数	—	—									
	再現性	—	—									
		検出器高さ	B									
	校正	—	—									
	BG補正 (内挿)	—	—									
	再現性	—	—									
		校正試験中のBG変動	B									
		検出器高さ	B									
		統計誤差	A									
	質量補正係数	—	—									
		測定重量	B									
校正	—	—										
重量-BG補正一次式	—	—										
再現性	—	—										
	BG変動	B										
	統計誤差	A										
	測定重量	B										
放射能換算係数	—	—										
校正定数	—	—										
校正定数 a_i	—	—										
基準校正定数 a_j	—	—										

項目	不確かさ項目	不確かさ要因	評価区分	値	確率分布	除数	標準不確かさ	単位変換 (A)	単位変換 (B)	単位変換 (C)	標準不確かさ (Bq/g)	相対標準不確かさ (%)
	標準線源強度	—	—									
		標準線源不確かさ	B									
	再現性	—	—									
		検出器高さ	B									
		線源位置	B									
		統計誤差	A									
		BG 時間変動	B									
	定数内挿	—	—									
	再現性	—	—									
		検出器高さ	B									
	重み補正 w_i	—	—									
	校正定数 B_i	—	—									
	標準線源強度	—	—									
		標準線源不確かさ	B									
	再現性	—	—									
		検出器高さ	B									
		線源位置	B									
		統計誤差	A									
		BG 時間変動	B									
	自己吸収補正係数	—	—									
	自己吸収補正計算	—	—									
	測定高さ	B										
	検出器高さ	B										
	測定重量	B										
汚染位置に係る補正	—	—										
汚染位置	—	—										
	汚染位置	B										
放射能濃度確認対象物の重量	—	—										
再現性	—	—										
	ロードセル再現性	B										
その他	—	—										
	温度特性 (ロードセル: ゼロ点)	B										
	温度特性 (ロードセル: 出力)	B										
	温度特性 (表示)	B										

項目	不確かさ項目	不確かさ要因	評価区分	値	確率分布	除数	標準不確かさ	単位変換 (A)	単位変換 (B)	単位変換 (C)	標準不確かさ (Bq/g)	相対標準不確かさ (%)
		器：ゼロ点)										
		温度特性（表示器：出力）	B									
	校正											
	偏り											
		分銅重量	B									
	繰り返し性											
		ロードセル再現性	B									
	その他											
	温度特性（ロードセル：出力）	B										
	温度特性（表示器：出力）	B										
	温度特性（丸め誤差含む）	B										

第 7 表 合成標準不確かさ及び拡張不確かさの評価結果

項 目	不確かさ (%)
合成標準不確かさ	
拡張不確かさ ^{*1} (合成標準不確かさ×包含係数 ^{*2})	

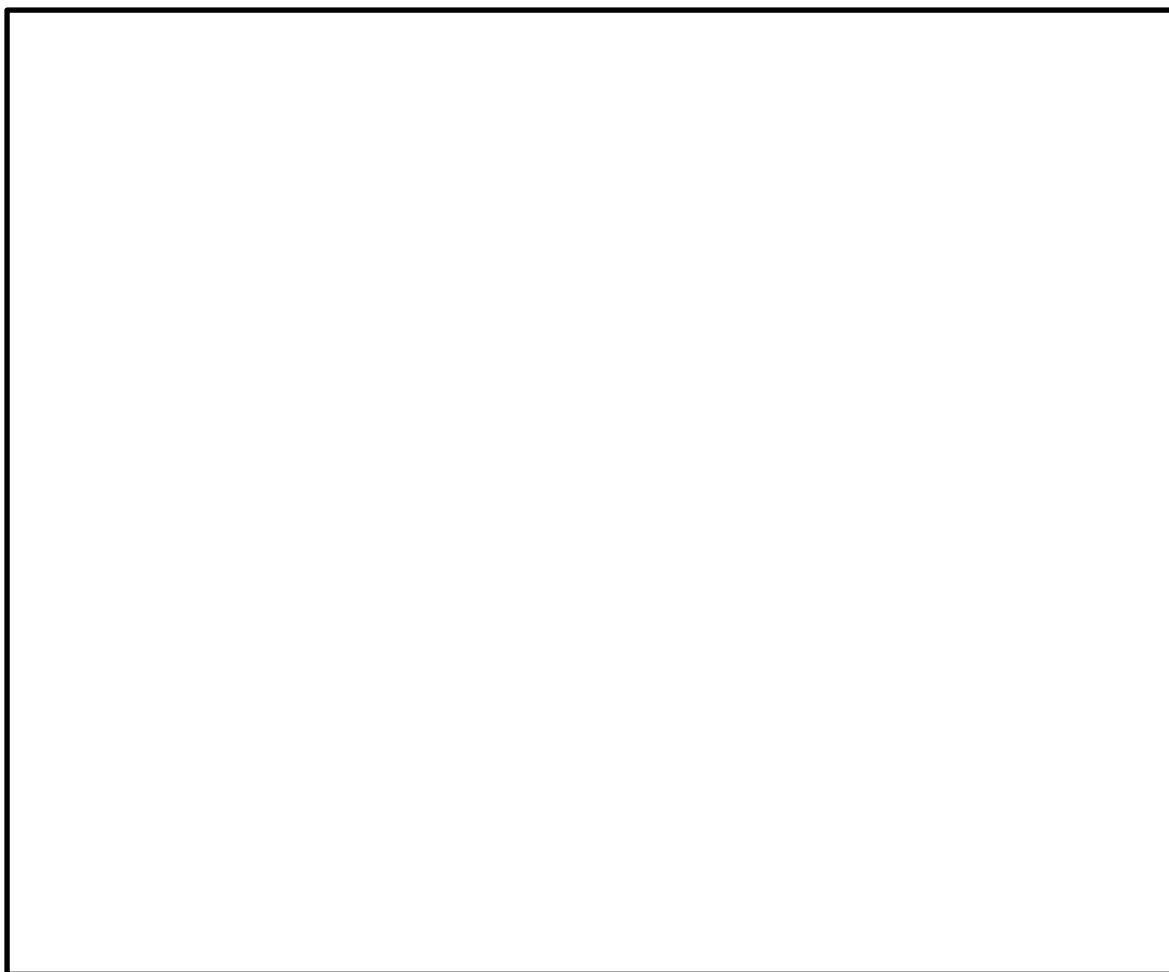
※ 1 : 95% 上限値である信頼の水準 90% の区間を示す量である。少数第一位以下の桁を切り上げて求める。

※ 2 : 信頼の水準を 90% としたときの包含係数 1.645 を切り上げて 2 とする。以下に信頼の水準に対応する包含係数を示す。

信頼の水準 (%)	包含係数
68.27	1
90	1.645
95	1.960
95.45	2
99	2.576
99.73	3

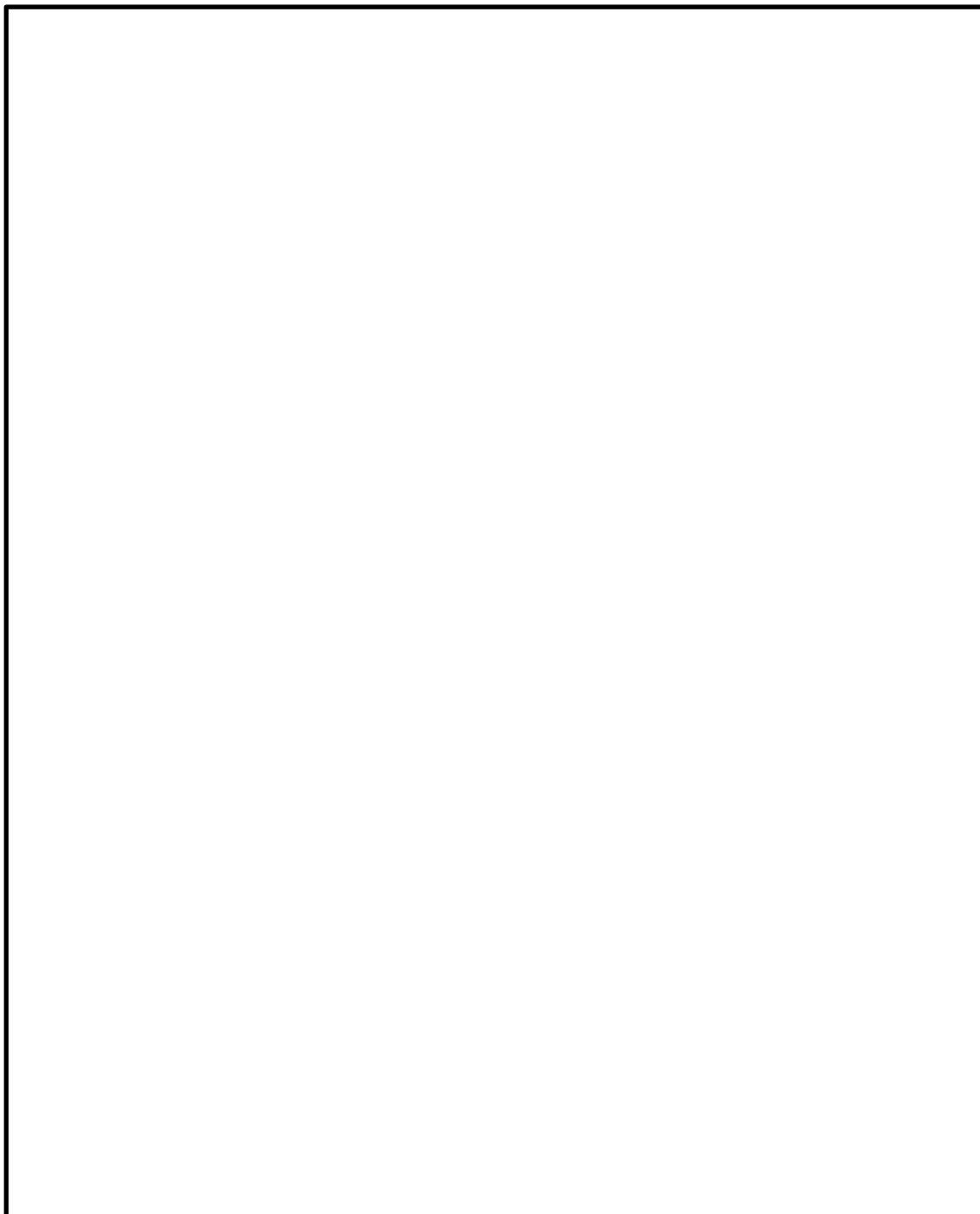
出典：測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック (一般財団法人 日本規格協会)

参考 - 1 標準線源の校正証明書



赤枠：評価に摘要した拡張不確かさ及び包含係数

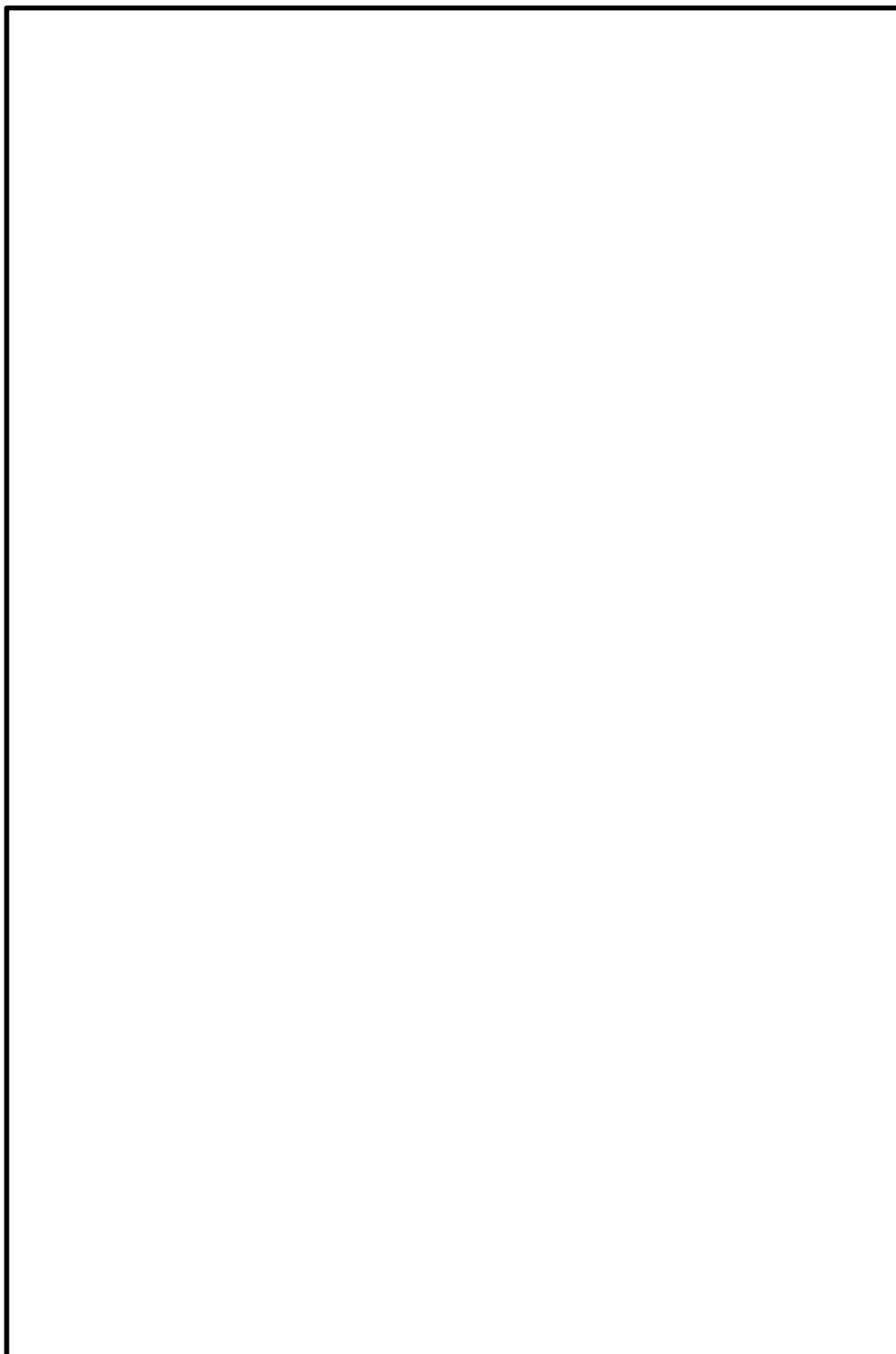
参考－２　ロードセルの仕様



赤枠：評価に摘要した仕様

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

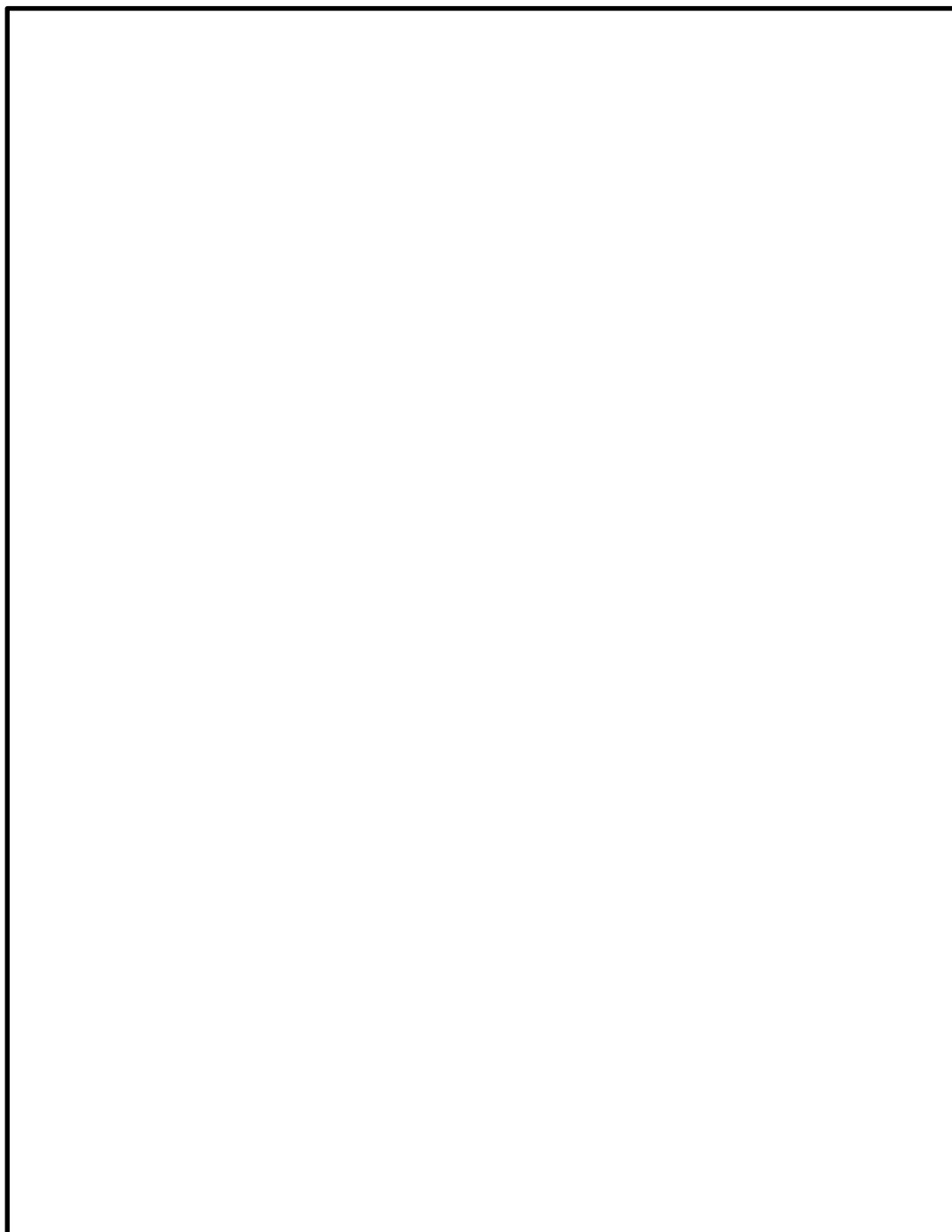
参考 - 3 表示器の仕様



赤枠：評価に摘要した仕様

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

参考－４ 分銅の校正結果



赤枠：評価に摘要した拡張不確かさ

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。