

放射能測定法シリーズNo.7 「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」の改訂について

- 改訂検討委員会においてマニュアル改訂案
を作成中の放射能測定法シリーズ-

令和元年 1 2 月
原子力規制庁

第10回会合（3/22開催）で承認された基本方針

- 本マニュアルの対象者を環境放射線モニタリングを行う実務担当者とする。
- 現状使われている機器に対応した内容とする。
- サム効果補正方法について検証し、必要な内容の追加を検討する。
- モンテカルロシミュレーション等の数値計算モデルによるピーク効率の算出※について、サム効果補正や自己吸収補正も含め検証し、必要な内容を追加する。
※ γ 線がゲルマニウム半導体検出器に入射してエネルギーを検出器に付与する事象を、 γ 線と原子の相互作用の理論式等を用いて数値計算で再現することでピーク効率を算出する方法。
- ISO、IAEA等のマニュアル類を参考とし、国際的な動向に沿った内容となるよう検討する。
- 検出下限値については、現行のクーパー法に加え、国際的に使用されているISO11929による評価方法を記載する。

マニュアル改訂案作成の対応方針

○ γ 線スペクトル解析手法

スペクトル中の全エネルギー吸収ピークが解析対象となる。

ピーク位置	⇒	γ 線エネルギー	⇒	核種の定性
ピーク面積	⇒	γ 線の放出数	⇒	核種の定量

↑

γ 線スペクトルの解析手法に本質的な変更はない

したがって、具体的な改訂案作成にあたっては、前記基本方針に沿って

- ①現状にそぐわない内容の削除
- ②現状用いられている手法の取込みを行う。

改訂案での取扱い

マニュアルの対象者はモニタリング実務担当者とするという基本方針に従い、

【メーカーに関する事項】

- スペクトル解析は、メーカー等によって作製されたソフトウェアパッケージを使用することを前提とする。
- 本マニュアルでは、スペクトル解析の詳細な手法（プログラムコード）について細かく規定することは行わない。
- ソフトウェアが採用する解析手法の選択及び、その妥当性の確認と説明は、ソフトウェア作成者の責任とする。
（最低限、学術論文等で妥当性の根拠が示されており、実績のある手法であることを示すこと。）

【ユーザーに関する事項】

- マニュアルは、ユーザーが環境放射線モニタリングで必要とされる適切なデータを得るためのガイドラインを示すものとする。
- ソフトウェアの運用を含む一連の分析行為により得られる結果についての妥当性の確認は、ユーザーが行う。また、その確認方法を示すものとする。

マニュアルの構成案 (1 / 3)

- 本文には原理・原則や必須事項を記載する。（簡潔な記述とする。）
- 具体的な手順やデータ等の詳細は、「解説」に記載する。
- 現行マニュアルに記載されている解析手法のうち、参考として残すものについては「資料」に記載する。

マニュアルの構成案 (2 / 3)

現行マニュアル目次	改訂案	備考
第1章 序論	第1章 序論	
	第2章 用語の解説	
第2章 光子と検出器の相互作用及び 波高スペクトルとの関係	第3章 γ 線計測の基本原理	
第3章 測定機器	第4章 測定機器 (現行の3～5章を統合)	現状一般的に使用されている機器に合わせて記載内容を改訂
第4章 データ解析用計算機		
第5章 機器の設置と点検・調整		
第6章 標準線源とピーク効率	第5章 検出器の校正	標準線源の実測による校正を基本としたうえで、シミュレーション等の手法についても記載
	第6章 核データ	新規（最新データ(ENSDF)に更新し、核ライブラリへの登録データ選択の考え方を記載）
第7章 測定試料調製法	第7章 測定・解析手順 (現行の7～10章を統合)	不確かさの評価を追加
第8章 測定と記録		
第9章 スペクトル解析		
第10章 放射能濃度の計算		
第11章 データ解析用プログラム	【廃止】	プログラム仕様書的な内容なので廃止
	第8章 検出下限値	【新規】 ISO11929の概要説明等を記載
	第9章 分析結果の質の保証	【新規】 ISO17025の考え方に基づく妥当性評価について記載

マニュアルの構成案 (3 / 3)

現行マニュアル目次	改訂案	備考
解説Ⅰ：計数値の統計性	解説A：γ線スペクトロメトリーにおける不確かさの評価	
解説Ⅱ：検出下限値について	解説B：検出下限値の計算例	ISO11929の計算例追加
解説Ⅲ：最小2乗法について	【廃止】	
資料A：標準容積線源の作製方法	解説C：測定試料の調製方法	標準線源→測定試料
	解説D：測定容器内不均一の影響（U-8容器の例）	【新規】
資料B：核データ	解説E：核データ表	
資料C：環境放射能モニタリングと線量当量の推定・評価	【廃止】	
資料D：効率図例	【廃止】	
資料E：障害とその対応	【現状に合わせて第4章に記載】	
資料F：用語集	【第2章に記載】	
付録Ⅰ：操作の簡略化を目指したγ線スペクトル解析プログラム	【廃止】	
付録Ⅱ：同定用ゲージ	【廃止】	
付録Ⅲ：スペクトル図例	解説F：スペクトル例	
	解説G：改良ピーク・トータル比	【新規】
	解説H：ピーク効率変換（Efficiency Transfer）	【新規】
	資料1：環境試料に対するγ線の減弱係数の計算例	【現行マニュアル第2章から一部移動】
	資料2：容積線源のピーク効率を求める例	【現行マニュアル第6章から一部移動】
	資料3：サム効果補正法	【新規】
	参考文献	

マニュアル改訂箇所等について（第1章）

第1章 序論

【概要】 本マニュアルの制定及び改訂の経緯、対象とする範囲を記載する。

また、ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーの概要について記載する。

【改訂箇所】

- 本マニュアルの対象（原子力施設等を対象とした環境試料（ラボでの測定））の明確化を図る。
- 50keV以下の γ 線や上記以外の試料は対象外とする。
- 緊急時の対応については、測定法シリーズNo.29「緊急時における γ 線スペクトル解析法」を合わせて参照する。

マニュアル改訂箇所等について（第2章）

第2章 用語の解説【新規】

【概要】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関する用語の解説を記載する。

【改訂箇所】

- 教科書的な使用も考慮し、できるだけ多くの用語を収録する。
- 略語についても正式名称とともに解説を記載する。

マニュアル改訂箇所等について（第3章）

第3章 γ 線計測の基本原理

【概要】 γ 線計測の基本原理である γ 線と物質との相互作用（光電効果、コンプトン散乱、電子対生成）についての解説を記載する。また、ピーク解析において考慮を要する「サム効果」及び「自己吸収」について記載する。

【改訂箇所】

- γ 線計測の基本原理については本質的な変更はないため、記載内容は現行マニュアルを踏襲する。（語句の整理等のみ実施）

マニュアル改訂箇所等について（第4章）

第4章 測定機器

【概要】ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーに必要な測定機器（ハードウェア）の説明を記載する。

【改訂箇所】

- 現状、一般的に使用されている機器を記載する。
- B I N電源、NIMモジュール等の現在一般的に使用されていないものは削除する。
- ハードウェアの調整や保守管理についても記載する。

マニュアル改訂箇所等について（第5章）

第5章 検出器の校正

【概要】ゲルマニウム半導体検出器で測定したスペクトルを解析するために必要となる校正（エネルギー校正、半値幅校正、ピーク効率校正）について記載する。

【改訂箇所】

- γ 線スペクトロメトリーで定量を行うために必要となる全エネルギー吸収ピークの効率を求めるための以下の手法を記載する。
 - ①標準ガンマ線源の実測による方法
 - ②標準ガンマ線源の実測と数値計算モデルによるピーク効率の算出手法とを組合せた方法
- 数値計算モデルによるピーク効率の算出手法を使用する場合にも、少なくとも1つのトレーサブルな標準線源の測定が換算の基となっていること。

マニュアル改訂箇所等について（第6章）

第6章 核データ

【概要】核データライブラリに登録する放射性核種を選択する考え方（環境試料中に検出される可能性のある天然放射性核種及び人工放射性核種）を記載する。

【改訂箇所】

- 上記の考え方により現行マニュアル及び「平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」に記載されている核種を掲載する。
- 対象核種の核データは、2019年8月時点の評価済核構造データファイル（ENSDF）から引用する。

マニュアル改訂箇所等について（第7章）

第7章 測定・解析手順

【概要】 測定試料の調製、測定、解析、評価までの一連の作業について記載する。

【改訂箇所】

- デッドタイムの増加などの測定上注意すべき事項について記載する。
- 複雑な γ 線スペクトルや放射性核種の誤認など解析上注意すべき事項について記載する。
- 不確かさの評価について記載する。

マニュアル改訂箇所等について（第 8 章）

第 8 章 検出下限値

【概要】 ガンマ線スペクトロメトリーの検出下限値の基本的な概念について記載する。

【改訂箇所】

- 現行マニュアルの解説に記載されているクーパー法に基づく検出下限値の考え方を整理して記載する。
- ISO11929に基づく検出下限値の概要説明を記載する。
- クーパー法とISO11929の両者の結果の違い及びその使い分けについて記載する。
- 詳細な内容は解説 B に記載する。

マニュアル改訂箇所等について（第9章）

第9章 分析結果の質の保証【新規】

【概要】適切な分析結果を得るために必要となる下記要件について記載する。

- ①機器の健全性確認
- ②測定のトレーサビリティのための校正
（国家標準にトレーサブルな標準線源を用いた校正）
- ③測定・解析手法の妥当性確認
標準物質の測定等による確認
外部精度管理（相互比較分析プログラム）への参加の推奨等

マニュアル改訂箇所等について（解説 A）

解説 A γ 線スペクトロメトリーにおける不確かさの 評価【新規】

【概要】ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーにおける不確かさ（測定試料に係る不確かさ、効率校正に係る不確かさ、試料の測定に係る不確かさ）の評価方法を記載する。また、バジェットシートによる計算例を記載する。

マニュアル改訂箇所等について（解説 B）

解説 B 検出下限値の計算例【新規】

【概要】 現行のクーパー法及び国際標準となっている ISO11929に基づく検出下限値の概要を説明し、計算例を記載する。

ISO11929については、IAEAの文献に記載されているモデル式を用いて、解析領域にピークが存在しない又は存在する場合それぞれの計算例を記載する。

マニュアル改訂箇所等について（解説C、解説D）

解説C 測定試料の調製方法

【概要】採取した環境試料をγ線スペクトロメトリーのための測定試料とする方法を記載する。測定容器の種類とその選択、試料の充填方法、注意事項について記載する。

【改訂箇所】

- 現行マニュアルの第7章に記載されていた内容を現状使用されている容器や方法等に見直して記載する。

解説D 測定容器内不均一の影響【新規】

【概要】測定容器内の試料の不均一性が測定結果や不確かさに与える影響を、シミュレーションにより評価した結果について記載する。

マニュアル改訂箇所等について（解説 E）

解説 E 核データ表

【概要】 第 6 章の考え方にに基づき選定した核種の核データを核種別及びエネルギー順の表形式で記載する。

【改訂箇所】

- 核データの引用元を「Table of Isotope 7th」から評価済核構造データファイル（ENSDF）2019年8月版に変更する。

マニュアル改訂箇所等について（解説 F）

解説 F スペクトル例

【概要】 核種同定作業の一助とするため、特徴的な環境試料のスペクトル例を掲載する。

【改訂箇所】

- 海外の原発事故時のスペクトルに加え、福島第一原発事故時のスペクトルを掲載する。
- 長時間のバックグラウンドを測定したスペクトルを掲載する。

マニュアル改訂箇所等について（解説G、解説H）

解説 G 改良ピーク・トータル比【新規】

【概要】 体積線源を実測した結果からピーク・トータル比を算出し、サム効果補正を行う方法を記載する。

解説 H ピーク効率変換（Efficiency Transfer）【新規】

【概要】 標準線源の実測で得られたピーク効率を他のジオメトリ、エネルギーでのピーク効率に変換する方法を記載する。

マニュアル改訂箇所等について（資料 1、資料 2）

資料 1 環境試料に対する γ 線の減弱係数の計算例【現行第2章から一部移動】

【概要】測定試料（体積試料）中での γ 線の自己吸収を評価するため、相互作用断面積の近似式を使って減弱係数を求める方法を記載する。

資料 2 容積線源のピーク効率を求める例【現行第6章から一部移動】

【概要】異なる厚さの多核種混合線源を使用して、任意の充填高さの容積試料のピーク効率を求める方法を記載する。

マニュアル改訂箇所等について（資料 3）

資料 3 サム効果補正法【新規】

【概要】 サム効果についての説明及びサム効果を補正するための手順が記載されている。

参考資料

【概要】 本マニュアルを改訂するにあたり引用した文献を記載する。