

平成 30 年度放射線対策委託費
(放射能測定法シリーズ改訂) 事業
業務報告書

平成 31 年 3 月

公益財団法人 日本分析センター

本報告書は、原子力規制委員会 原子力規制庁の平成 30 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業における委託業務として、公益財団法人日本分析センターが実施した成果を取りまとめたものです。

目 次

1. 業務目的	1
2. 実施期間	1
3. 業務内容	1
3.1 概要	1
3.2 委員会開催	3
3.2.1 委員構成	3
3.2.2 委員会の開催状況	4
4. 放射能測定法シリーズ改訂に係る検討事項及び結果	6
4.1 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための 試料前処理法の改訂案の作成	6
4.1.1 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験	6
4.1.2 マニュアル改訂案の作成	13
4.1.3 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等の 指摘に対する対応	16
4.2 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	17
4.2.1 現状調査	17
4.2.2 サム効果補正について	21
4.2.3 サム効果補正におけるモンテカルロシミュレーションの利用	27
4.2.4 不確かさ評価	31
4.2.5 検出下限値	32
4.2.6 マニュアル改訂の方向性	39
4.2.7 参考資料	41
4.3 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正	70
4.3.1 IAEAにおける分析法報告書公開の進捗状況の把握	70
4.4 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見について	70
5. まとめ	71
参考資料 1 平成 30 年度 放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨	73
参考資料 2 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見	107
別冊 1 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」	

1. 業務目的

原子力規制委員会では、環境放射能の水準を把握するための調査や、陸域、海域及び空域の各種放射線モニタリングを実施している。また、地方公共団体、原子力事業者、研究機関等の様々な主体が放射線モニタリングを実施している。これらの様々な主体が適切に各種放射線モニタリングを実施するためには、標準的な分析・測定法に関するマニュアルを技術の進展に併せた形で整備しておく必要がある。

環境放射能分野における標準的な分析・測定法マニュアルとしては、「放射能測定法シリーズ」（以下「測定法」という。）が34種作成され、平成29年3月に1種、12月に1種の改訂がなされたものの、制定から40年程度経過しているものも存在しており、技術的な進展の反映や東京電力福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえ、その内容を精査し、必要に応じ改訂を順次行う必要がある。

以上より、本業務においては、最新の知見を踏まえて測定法の改訂を行うため、改訂すべき優先順位の高いものから改訂案の作成や必要な検討を行うことを目的とする。

2. 実施期間

平成30年4月2日～平成31年3月29日

3. 業務内容

3.1 概要

本業務の内容は(1)～(5)のとおりとする。業務の実施に当たっては、技術的妥当性に留意するとともに、適宜、原子力規制庁担当官と調整を行った。また、(1)～(3)に共通し、以下の項目に留意した。

- ・平成26年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業の業務報告書、平成28年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業の業務報告書及び平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業の実施内容を参照した。
- ・改訂の前後において、過去の測定結果との連続性を満たすこと。
- ・単位系等が現在国際的に使用されているものであること。
- ・記載された方法を実施するに当たり、現時点において機器の校正等に必要な線源や物品等が入手できること。
- ・測定法の記述が曖昧で分析・測定者の裁量に委ねられている手法がないこと。
- ・技術の進展が適切に反映されていること。
- ・新たに実験・検証が必要な項目がある場合、その事項を一覧にするとともに、原則として実験・検証を実施すること。
- ・必要に応じて、関連する測定法との統合について検討を行うこと。
- ・必要に応じて、環境放射線モニタリング技術検討チームにおける検討を踏まえること。

(1) 「放射能測定法シリーズ24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の改訂案の作成

平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業において検討を行った「放射能測定法シリーズ24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」に係る検討結果を反映して、「放射能測定法シリーズ24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の改訂案を作成した。

また、平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業で得られた検討結果や内容に不足がある場合は、追加的に検討を行い、この改訂案にその検討結果を

反映させた。

(2) 「放射能測定法シリーズ7 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」の改訂案の検討

「放射能測定法シリーズ7 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」の改訂案を作成するために必要な検討を行った。その際、平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業で得られた「放射能測定法シリーズ29 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」の改訂に係る検討結果を踏まえて検討を行った。

(3) 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正

平成28年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業で得られた「緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案」について、放射性ストロンチウム迅速分析法（土壌及び海水）に関して国際原子力機関（IAEA）から正式に報告書が公表された際には、必要に応じて、引用箇所等を含めて改訂案の修正を行うこととなっていたが、国際原子力機関（IAEA）から報告書は公表されなかったため、公表に向けた進捗状況の把握を行った。

(4) 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取

外部専門家や地方公共団体のモニタリング関係者等の専門的知見を持つ有識者で構成される改訂検討委員会を設置し、測定法の改訂内容の検討等を行った。具体的には、本改訂検討委員会については、(1)及び(2)の業務内容について十分に検討がなされるよう、委員、資料及び開催時期等について原子力規制庁と調整の上、(1)及び(2)の業務内容のいずれかに関する知見を有する者で構成し、委員会を4回開催した。

(5) 事業報告書の作成

(1)から(3)までの業務で得られた結果を取りまとめ、報告書を作成した。報告書の作成に当たり文献等を引用する場合には、その出典を明らかにした。

3.2 委員会開催

放射能測定法シリーズ改訂検討委員会を4回開催し、実施計画、内容、改訂案等について審議した。

委員構成及び委員会の開催状況を、3.2.1及び3.2.2に示す。

3.2.1 委員構成

放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

(五十音順、敬称略)

氏名	所属	役職名
(委員長) 中村 尚司	国立大学法人東北大学	名誉教授
阿部 琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課	主査
木村 芳伸	青森県原子力センター分析課	分析課長
紺野 慎行	福島県環境創造センター 環境放射線センター	主査
三枝 純	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター 廃棄物処理処分ディビジョン 廃棄物処理技術開発グループ	研究主幹
玉柿 励治	福井県原子力環境監視センター 福井分析管理室	主任研究員
長尾 誠也	国立大学法人金沢大学 環日本海域環境研究センター 低レベル放射能実験施設	センター長・教授
細見 健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部 環境監視課	チームリーダー
柚木 彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放射能中性子標準研究グループ	研究グループ長

3.2.2 委員会の開催状況

第1回、第2回、第3回及び第4回の放射能測定法シリーズ改訂検討委員会の日時又は期間、場所、出席者及び議題を次に示す。また、それぞれの委員会の要旨については、参考資料1に示す。

第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成30年5月29日（火）13時55分～15時50分
場所 航空会館B101会議室
出席者 中村委員長、阿部委員、木村委員、紺野委員、三枝委員、玉柿委員、細見委員、柚木委員
議題 (1) 平成30年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
(2) 実施計画、検討事項及び現状調査方法について
(3) その他

第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会（メール会合）

期間 平成30年11月28日（水）～平成30年12月5日（水）
出席者 中村委員長、阿部委員、木村委員、紺野委員、三枝委員、玉柿委員、長尾委員、細見委員、柚木委員
議題 (1) 第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
(2) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル素案について
(3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
(4) 「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」の改訂に係る検討状況について
(5) その他

第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成30年12月20日（木）13時30分～16時30分
場所 東京国際フォーラム G610会議室
出席者 中村委員長、阿部委員、木村委員、紺野委員、三枝委員、玉柿委員、長尾委員、細見委員、柚木委員
議題 (1) 第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会（メール会合）要旨について
(2) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル修正案について
(3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
(4) 「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」の改訂に係る検討状況について
(5) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
(6) その他

第4回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成31年2月26日（火）13時30分～16時30分

場所 東京国際フォーラム G510会議室

出席者 中村委員長、阿部委員、木村委員、紺野委員、三枝委員、玉柿委員、
長尾委員、細見委員、柚木委員

- 議題
- (1) 第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
 - (3) 技術検討チーム外部専門家、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について
 - (4) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル改訂案について
 - (5) 「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」の改訂に係る検討状況について
 - (6) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
 - (7) その他

4. 放射能測定法シリーズ改訂に係る検討事項及び結果

4.1 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法の改訂案の作成

4.1.1 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験

4.1.1.1 目的

改訂前の本法では、降下物及び降水並びに飲料水及び源水の前処理方法として、放射性核種のマリネリ容器等の測定容器壁への吸着を防止するために、塩化ナトリウムを添加することとしていた。今回の改訂に当たり、塩化ナトリウムの添加について、実際の緊急時での使用実績が少なく、また、放射性核種の吸着防止効果を裏付けるデータが見当たらないことから、塩化ナトリウムの添加の有無による放射性核種の吸着状況を比較検討した。また、「水道水等の放射能測定マニュアル」厚生労働省(2011)及び米国省庁間放射能実験室分析用プロトコル(MARLAP)¹の記載内容を踏まえ、塩化ナトリウムの代替品として、放射性ヨウ素についてはチオ硫酸ナトリウムを、放射性セシウムについては硝酸を用いることを考え、次の方法によって検討実験を実施した。

4.1.1.2 方法

(1) 対象核種

ヨウ素 131、セシウム 137

(2) 容器の種類

2 L マリネリ容器 (塩化ビニル製の内袋を使用)

(3) 方法

- ① 2 L マリネリ容器を 4 個用意して、水道水 2 L を入れて、重量を測定した。
- ② それぞれの 2 L マリネリ容器に、試料 1 L 当たり塩化ナトリウムを 3 g、チオ硫酸ナトリウムを 100 mg、又は硝酸 (13 mol/L) 1 mL を添加したものを用意した。なお、比較対照として、いずれも添加しないものを用意した。
- ③ ヨウ素 131 及びセシウム 137 の放射能濃度既知の水溶液を、2 L マリネリ容器に適量添加した。(ヨウ素 131 : 11 Bq/L、セシウム 137 : 4.2 Bq/L)
- ④ 添加剤の異なるそれぞれの 2 L マリネリ容器について、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。なお、容器に吸着する時間、また、ヨウ素 131 (半減期 ; 8.021 日) の減衰を考慮して、測定間隔を設定した。(測定間隔 : 0, 1, 2, 5, 10, 15 日程度)
- ⑤ 測定容器壁に放射性核種が吸着した場合、壁面に放射性核種が集積して、検出器と放射線源との幾何条件が変わることから、放射能濃度の推移を確認することにより、添加剤の有無の影響を調べた。
- ⑥ 測定開始後 15 日が経過したものについては、内容物を取り出し、イオン交換水でマリネリ容器の内袋を洗浄した。洗浄した内袋を測定して、内袋壁面に対象核種が存在するかどうか確認した。
- ⑦ 内袋壁面に吸着した放射性核種を脱着するため、硝酸溶液 (6.5 mol/L) で洗浄した。これを小型容器 (U-8 容器) に入れ、ゲルマニウム半導体検出器で測定して、添加剤の違いによる容器への吸着状況を調べた。

4.1.1.3 結果

添加剤の違いによるヨウ素 131 濃度の推移について比較した結果を図 1 に示す。塩化ナトリウム、硝酸をそれぞれ添加したものと及び添加なしについては、添加したヨウ素 131 放射能濃度 (11 Bq/L) に比べ、測定結果がやや高い値となる傾向で推移した。一方で、チオ硫酸ナトリウムを添加したものでは、添加した放射能濃度とよく一致した測定結果が得られた。ここで、チオ硫酸ナトリウムを添加したものの測定結果が、他の添加剤の結果と傾向が異なるため、確認のために、チオ硫酸ナトリウムを添加した試料を再度調製し同様に測定 (測定間隔 ; 0、1、4、7、12、15 日) を行ったが、同様の傾向であった。添加剤の違いによるヨウ素 131 濃度の推

¹ Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual, NUREG-1576, EPA 402-B-04-001B, NTIS PB2004-105421 (2004)

移について、添加0日目の測定結果を1とした場合の割合を比較した結果を図2に示す。いずれの添加剤についても、±5%の範囲で推移した。

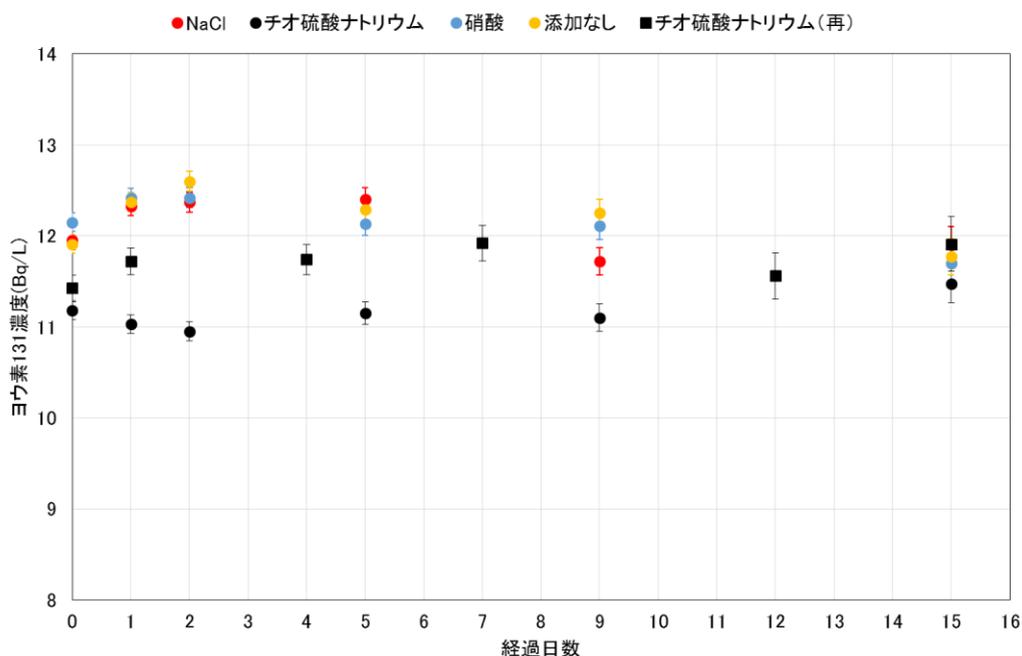


図1 添加剤の違いによるヨウ素131濃度の推移²
(ヨウ素131の添加値: 11 Bq/L、各プロットの縦軸の範囲は計数誤差を示す。)

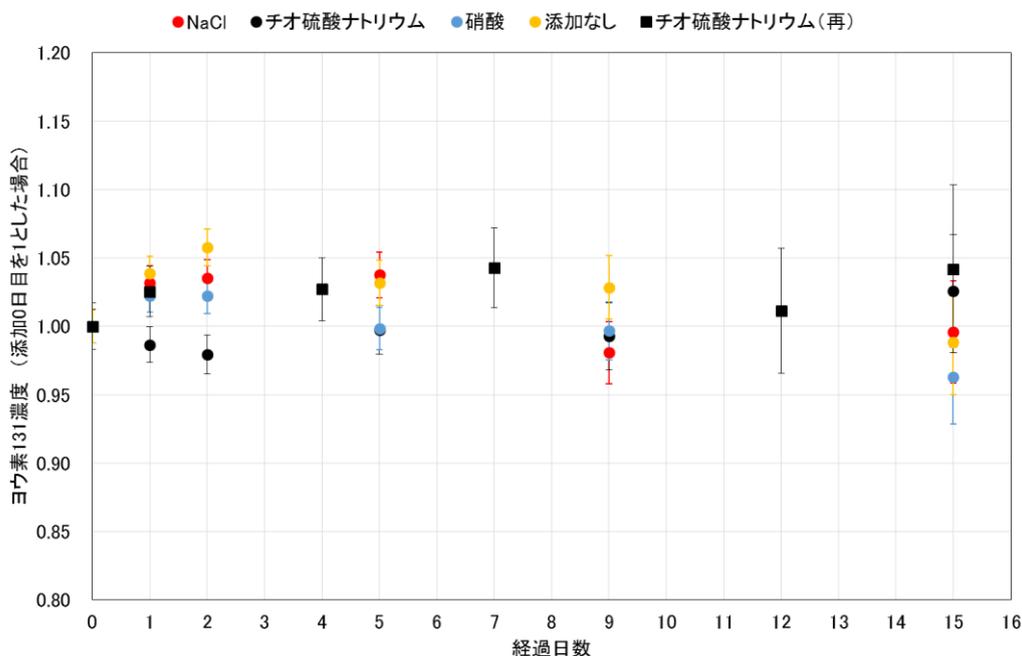


図2 添加剤の違いによるヨウ素131濃度の推移²
(添加0日目の濃度を1として規格化)

² チオ硫酸ナトリウム(再)は他の条件の後追いで検討を実施しており、減衰のため計数誤差が他条件より大きな値となっている。

また、添加剤の違いによるセシウム 137 濃度の推移について比較した結果を図 3 に示す。いずれの添加剤についても、添加したセシウム 137 放射能濃度 (4.2 Bq/L) の $\pm 5\%$ の範囲で推移した。添加剤の違いによるセシウム 137 濃度の推移について、添加 0 日目の測定結果を 1 とした場合の割合を比較した結果を図 4 に示す。いずれの添加剤についても、 $\pm 5\%$ の範囲で推移した。

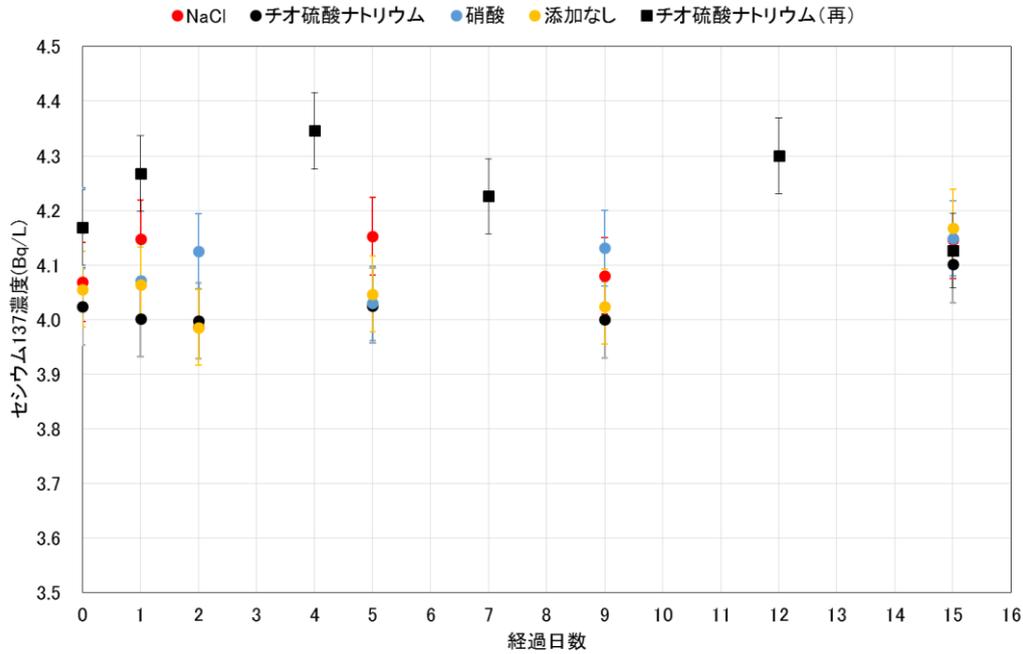


図 3 添加剤の違いによるセシウム 137 濃度の推移
(セシウム 137 の添加値 : 4.2 Bq/L、各プロットの縦軸の範囲は計数誤差を示す。)

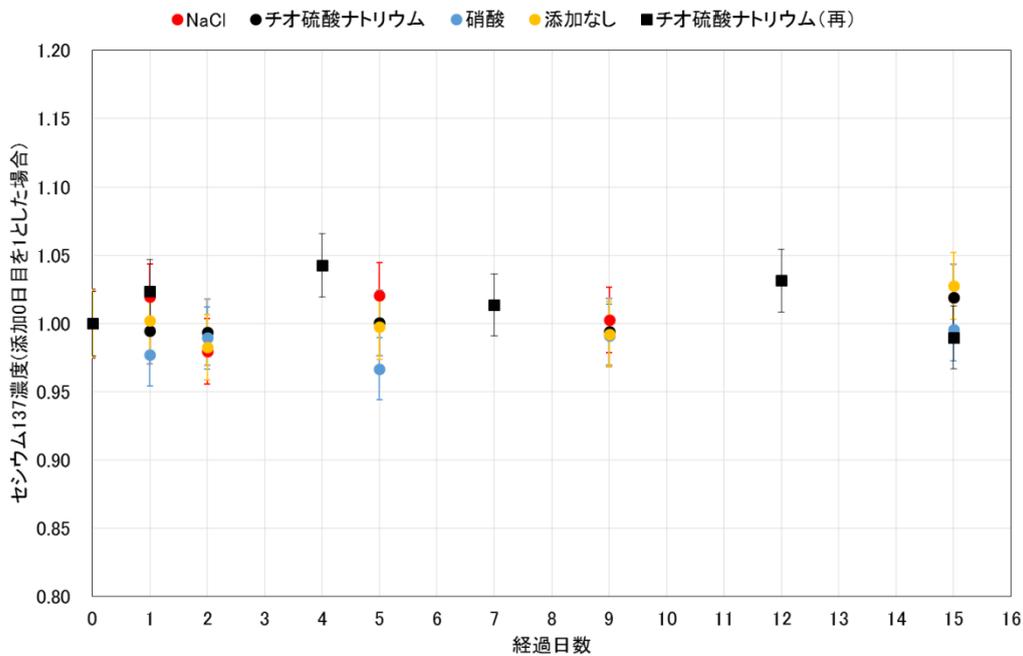


図 4 添加剤の違いによるセシウム 137 濃度の推移
(添加 0 日目の濃度を 1 として規格化)

次に、マリネリ容器の内容物を取り出し、イオン交換水で内袋を洗浄後、塩化ビニル製内袋をゲルマニウム半導体検出器で測定したところ、塩化ナトリウム添加については、ヨウ素 131 が検出され、セシウム 137 は不検出であり、内袋にヨウ素 131 が吸着していることが分かった。

また、硝酸添加及び添加なしについても同様の結果であった。一方、チオ硫酸ナトリウム添加については、ヨウ素 131 及びセシウム 137 とともに不検出であり、内袋への吸着は見られなかった。添加剤の違いによる吸着状況の違いについてまとめたものを表 1 に示す。チオ硫酸ナトリウムを添加していない場合、ヨウ素 131 の約 50% が内袋に吸着していると考えられ、チオ硫酸ナトリウムの添加が、ヨウ素 131 の吸着防止に有効であることが分かった。

さらに、ヨウ素 131 が吸着したマリネリ容器の塩化ビニル製内袋を硝酸溶液で洗浄した結果、洗浄液からはヨウ素 131 及びセシウム 137 は検出されなかった。よって、酸洗浄後の内袋について測定を行ったところ、前述の結果と同様にヨウ素 131 が検出され、塩化ビニル製内袋にヨウ素 131 が強く吸着していることが示唆された。

これらの結果を踏まえ、ポリエチレン製内袋を装着したマリネリ容器及び U-8 容器についても、チオ硫酸ナトリウムを添加した水道水にヨウ素 131 及びセシウム 137 を一定量添加し、吸着の有無について追加実験を行った。容器に試料溶液を入れてから 5 日後にゲルマニウム半導体検出器で測定したところ、両容器ともに測定結果は添加値とよく一致した。また、容器の内容物を取り出し、イオン交換水で内袋及び小型容器を洗浄後、ポリエチレン製内袋及び小型容器をゲルマニウム半導体検出器で測定したところ、ヨウ素 131 及びセシウム 137 は検出されなかった。これらの結果からも、チオ硫酸ナトリウムの添加が、ヨウ素 131 の吸着防止に有効であることが確認できた。

表 1 添加剤による吸着状況の違い

添加剤の種類	塩化ナトリウム	チオ硫酸ナトリウム	硝酸	添加なし
ヨウ素131	吸着あり (49%)※	吸着なし	吸着あり (52%)※	吸着あり (53%)※
セシウム137	吸着なし	吸着なし	吸着なし	吸着なし

※（ ）内の数値は、4.1.1.4 に示す吸着状況に関する計算シミュレーションの結果から塩化ビニル製内袋に吸着した割合を試算した結果を示す。

4.1.1.4 計算シミュレーションによるピーク計数効率の評価

(1) 計算シミュレーションの条件

水試料（2 L マリネリ容器、U-8 容器）にヨウ素 131 及びセシウム 137 が均一に分布した場合と、容器又は内袋に付着した場合について、計算シミュレーションによるゲルマニウム半導体検出器のピーク計数効率を評価した。シミュレーションの計算体系を図 5 に示す。なお、シミュレーション計算に当たっては、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 三枝純氏にご協力いただき、関連する図表についてもご提供いただいた。

- ・ 使用コード: MCNP-6.1
- ・ 検出器、試料(線源)等を三次元で模擬、ピーク計数効率を比較

相対効率40% n型Ge 2Lマリネリ容器

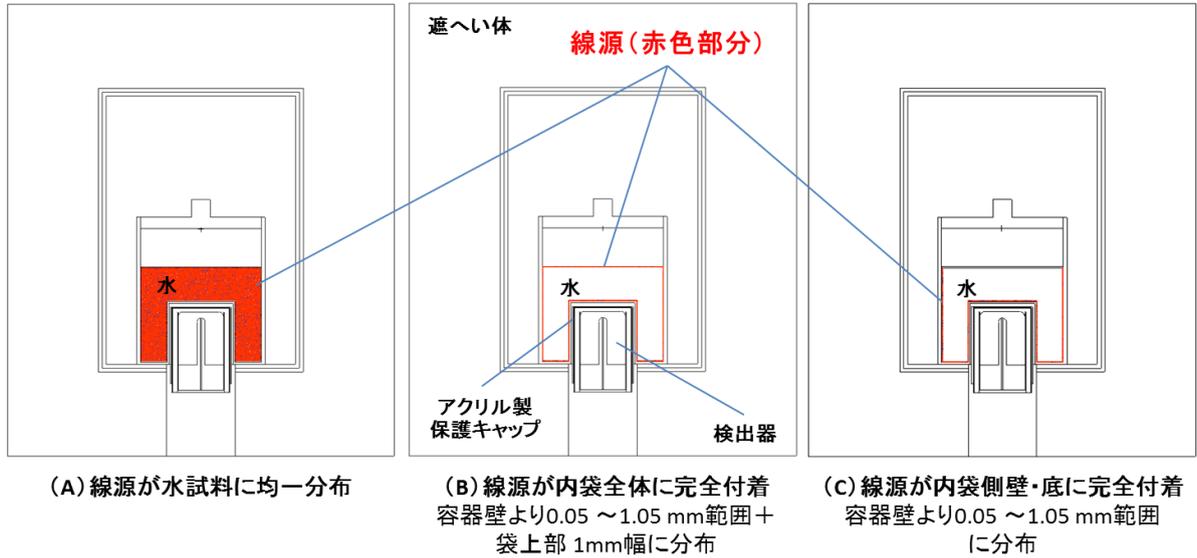


図5 シミュレーションの計算体系

(2) 計算シミュレーションの結果

(1) に示した条件で行った計算シミュレーションの結果を表2に示す。ここでは、マリネリ容器の内袋の材質として、塩化ビニル (PVC) 及びポリエチレン (PE) の2種類について計算を行った。線源が水試料に均一分布した条件 (A) と比較して、線源が内袋全体に完全付着した条件 (B) では、ヨウ素 131 で約 7%、セシウム 137 で約 6% のピーク計数効率の増加が見られた。また、条件 (A) と比較して、線源が内袋側壁及び底面に完全付着した条件 (C) では、ヨウ素 131 で約 21%、セシウム 137 で約 19% のピーク計数効率の増加が見られた。なお、表 B. 2 に示すように内袋の材質による差異はほとんど見られなかった。

同様の線源の分布条件において、前述の検討実験で使用した p 型ゲルマニウム半導体検出器 (相対効率 25%) を用いた場合の計算シミュレーションの結果を表3に示す。なお、内袋の材質は、検討実験で主に使用した塩化ビニルとした。条件 (A) と比較して、条件 (B) では、ヨウ素 131 で 3.1%、セシウム 137 で 0.38% のピーク計数効率の増加が見られた。また、条件 (A) と比較して、条件 (C) では、ヨウ素 131 で 17%、セシウム 137 で 12% のピーク計数効率の増加が見られた。

表2 各条件におけるピーク計数効率のシミュレーション結果
(相対効率 40% n 型 Ge、2 L マリネリ容器の場合)

核種 (エネルギー)	水均一(A)	内袋(上部含む)に 全て付着(B)		内袋(上部除く)に 全て付着(C)		$\frac{(B) - (A)}{(A)}$	$\frac{(C) - (A)}{(A)}$
I-131 (365 keV)	2.20×10^{-2}	PVC	2.35×10^{-2}	2.67×10^{-2}	+6.8%	+21%	
		PE	2.35×10^{-2}	2.67×10^{-2}	+6.9%	+21%	
Cs-137 (662 keV)	1.45×10^{-2}	PVC	1.53×10^{-2}	1.73×10^{-2}	+5.8%	+19%	
		PE	1.53×10^{-2}	1.73×10^{-2}	+5.8%	+19%	

表3 各条件におけるピーク計数効率のシミュレーション結果
 (検討実験と同条件、相対効率 25% p 型 Ge、2 L マリネリ容器の場合)

核種 (エネルギー)	水均一(A)	内袋(上部含む)付着(B)		内袋(上部除く)付着 (C)	$\frac{(B) - (A)}{(A)}$	$\frac{(C) - (A)}{(A)}$
I-131 (365 keV)	1.56×10^{-2} (1.17×10^{-2})	PVC	1.61×10^{-2}	1.82×10^{-2}	+3.1%	+17%
Cs-137 (662 keV)	1.02×10^{-2} (7.54×10^{-3})	PVC	1.02×10^{-2}	1.14×10^{-2}	+0.38%	+12%

() 内は検討実験における実測値を示す。

また、U-8 容器についても、線源が水試料に均一に分布した条件 (A) と、線源が容器壁及び底面に完全付着した条件 (C) のピーク計数効率について計算シミュレーションを行った。計算体系を図 6 に、計算シミュレーションの結果を表 4 に示す。条件 (A) と比較して、条件 (C) では、ヨウ素 131 で 23%、セシウム 137 で 24% のピーク計数効率の増加が見られた。

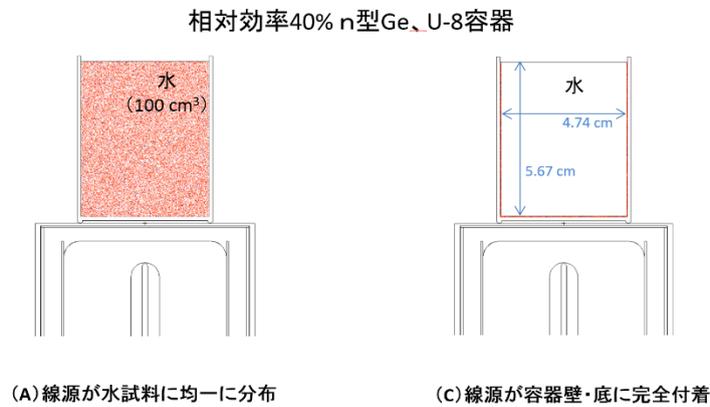


図6 シミュレーションの計算体系

表4 各条件におけるピーク計数効率のシミュレーション結果
 (相対効率 40% n 型 Ge、U-8 容器の場合)

核種 (エネルギー)	水均一(A)	容器壁・底付着(C)	$\frac{(C) - (A)}{(A)}$
I-131 (365 keV)	3.23×10^{-2}	3.99×10^{-2}	+23%
Cs-137 (662 keV)	2.03×10^{-2}	2.52×10^{-2}	+24%

(3) 計算シミュレーション結果のまとめ

マリネリ容器内袋への線源の移行割合（沈着率）を p とした場合、移行割合 p の時のピーク計数効率 y は次の式で表される。

$$y = (1 - p)a + p \times b$$

このとき、 a は水試料に均一に分布した場合のピーク計数効率を、 b は内袋に完全沈着した場合のピーク計数効率を表している。前述の検討実験と同等の条件に該当する、表 3 条件 (A) 及び (C) の計算シミュレーション結果をこの式に当てはめてプロットしたものを図 7 に示す。図から、この条件の場合、内袋の沈着率が 50% ($p = 0.5$) の場合、ヨウ素 131 濃度を 8.5% 過大評価し、また、内袋に全て沈着 ($p = 1$) した場合、約 17% 過大評価することが分かる。なお、その他の試料形状、特殊検出器、沈着分布が異なる場合は別途の評価が必要である。

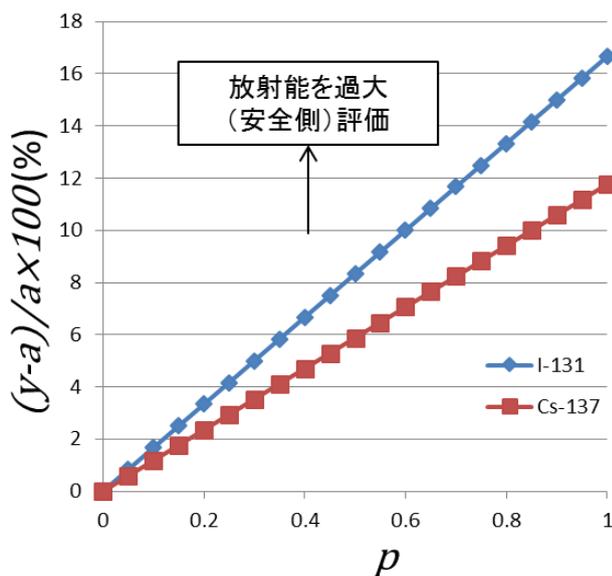


図 7 移行割合 p と効率増加割合の関係
(相対効率 25% p 型 Ge、2L マリネリ、内袋上部除く)

4.1.1.5 検討結果のまとめ

2 L マリネリ容器の塩化ビニル製内袋を用いて、ヨウ素 131 及びセシウム 137 の吸着状況を確認した。追加実験として、ポリエチレン製内袋、ポリプロピレン製小型容器 (U-8 容器) についても、吸着状況を確認した。ヨウ素 131 については、添加剤としてチオ硫酸ナトリウムを用いた場合、塩化ビニル製内袋への吸着は確認できなかった。また、塩化ナトリウム添加、硝酸添加及び添加していない場合には、塩化ビニル製内袋への吸着が確認された。セシウム 137 については、添加剤の種類にかかわらず、塩化ビニル製及びポリエチレン製内袋並びにポリプロピレン製小型容器への吸着は確認できなかった。吸着状況の計算シミュレーションの結果から、チオ硫酸ナトリウムを添加しなかった場合の吸着したヨウ素 131 の割合は、塩化ビニル製内袋に対しては約 50% であることが推定され、チオ硫酸ナトリウムの添加がヨウ素 131 の吸着防止に有効であることが分かった。

これらの結果を受け、降水物及び降水並びに飲料水及び陸水については、ヨウ素 131 が測定容器壁に吸着することを防止するため、チオ硫酸ナトリウムを添加することとした。添加量については、「水道水等の放射能測定マニュアル」厚生労働省 (2011) と同様とする。添加時期は、現行の前処理法と同様に、試料を測定容器に充填時とする。比較的短期間の保存をする場合、測定容器のままで保存することとする。この時点ですでにチオ硫酸ナトリウムを加えていることから、新たに添加剤を添加することは不要とする。長期保存する場合、放射性セシウムの吸着を考慮して、保存容器に酸を添加する。添加方法については、放射能測定法シリーズ No. 13 「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」及び放射能

測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」と同様とする。なお、海水及び牛乳試料については、放射能測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」と同様とした。

4.1.2 マニュアル改訂案の作成

平成29年度放射線対策委託費(放射能測定法シリーズ改訂)事業における検討結果を踏まえ、放射能測定法シリーズ No. 24「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の改訂案(素案)を作成した。作成した改訂案を放射能測定法シリーズ改訂検討委員会に諮り、委員及び原子力規制庁の方々からの意見を踏まえて修正を行い、マニュアル改訂案を作成した。

(1) 前処理作業の写真撮影

マニュアル改訂案の作成に当たっては、実試料を用いた手順の確認を行うとともに、前処理作業の写真撮影し、マニュアル改訂案に記載した。撮影した試料の一覧を表5に示す。また、前処理作業の写真の撮影状況の一部を図8に示す。

表5 マニュアル改訂に当たり撮影した試料の一覧

写真の掲載箇所	試料名
第4章 大気	ガラス繊維ろ紙
	活性炭カートリッジ
	長尺ろ紙
第5章 降下物及び降水	第6章を参照
第6章 飲料水及び陸水	飲料水
第7章 海水	第6章を参照
第8章 土壌	土壌
	海底土
第9章 野菜類	ピーマン
	サヤインゲン
	ハウレンソウ
	ハクサイ
	アスパラガス
	ブロッコリー
	ネギ
	ジャガイモ
第10章 果実類	ニンジン
	リンゴ
	カキ
	ブドウ
第11章 茶葉	イチゴ
	茶葉
第12章 穀類	精米
第13章 豆類	エダマメ
第14章 キノコ類	シイタケ
第15章 海藻類	ワカメ
第16章 肉類	牛肉
第17章 牛乳	牛乳
第18章 乳製品	粉乳
	バター
第19章 卵	鶏卵
第20章 魚介類	キビナゴ
	アジ
	アサリ
	イカ
	エビ
	ナマコ
第21章 指標生物(牧草を含む)	松葉
	ホンダワラ



サーベイメータによる試料受入れ時の測定



野菜類の水洗い
(ホウレンソウ)



野菜類の可食部の分別
(ジャガイモの皮むき)



野菜類の細切り
(ジャガイモ)



マリネリ容器への試料の充填
(ホンダワラ)



小型容器への試料の充填
(イチゴ)

図8 前処理作業の写真の撮影状況

(2) 専門家からの意見の聴取

マニュアル改訂に関して専門家からの意見を聴取するため、放射能測定法シリーズ改訂検討委員会の委員である三枝純氏の所属先である日本原子力研究開発機構を訪問した。内容は次のとおりである。

訪問日時：平成31年2月6日（水） 13時00分から14時30分

訪問場所：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 廃棄物処理技術開発グループ
茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

対応者：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター 廃棄物処理処分ディビジョン 廃棄物処理技術開発グループ
三枝 純 研究主幹

訪問者：日本分析センター 放射能分析事業部 試料採取・調製グループ
前山 健司 リーダー
篠原 宏文 サブリーダー
今野 裕太 技術員

聴取内容：事前に先方から送付された資料をもとに、打合せを行った。

1) 定量可能レベルについて

定量可能レベルという用語は放射能測定法シリーズに特徴的な表現であり、定義が定まっていなかったため、取扱いが難しい。また、今回の定量可能レベルの考え方のもととなった検出下限値（検出限界値）や定量下限値についても整理が必要である。

検出下限値の算出方法については、様々な考え方（Cooper法やCurrie法など）による提案がなされており、一方で、定量下限値については、分析化学の分野では、バックグラウンドにおける測定値の標準偏差の10倍値が用いられている。これらのことを踏まえて、定量可能レベルの算出方法について意見交換を行った。現行の放射能測定法シリーズ No.24「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」においては、平常時のバックグラウンド測定のスเปクトルを使用して定量可能レベルを算出しているようであるが、詳細については不明である。平常時のバックグラウンド測定のスเปクトルをもとにして、定量可能レベルを算出する方法もあるため、具体的な測定の方法は定めず、ユーザーに選択権を与える形にすることも検討した方が良いとのご意見をいただいた。また、マニュアル改訂案にあるような表で示す際には、定量可能レベルが安全側に偏りすぎると、必要以上に測定時間がかかることで作業効率が下がってしまう可能性があることを認識しておく必要があるとのご意見をいただいた。

以上のご意見を踏まえ、定量可能レベルについて再度検討を行い、マニュアル改訂案の作成を進めることとした。

2) 検討実験について

計算シミュレーションについて説明を受け、意見交換を行った。

ヨウ素131及びセシウム137のいずれの核種においても、すべて内袋に吸着された場合、ピーク効率が約20%上昇するため、見かけの放射能濃度も20%上昇すること、内袋の材質（ポリ塩化ビニル及びポリエチレン）によるピーク効率、スเปクトルの違いはわずかである（4.1.1.4表2参照）が、マリネリ容器及びU-8容器以外の形状の試料の場合、特殊な検出器の場合、さらには沈着分布が異なる場合（上記シミュレーションは内壁に均一に吸着されると仮定している。）については、別途評価が必要とのことであった。

また、詳細なシミュレーションを行うために、日本分析センターで使用しているゲルマニウム半導体検出器のデータ提供について依頼があり、データを提供することとした。（日本分析センターで使用しているゲルマニウム半導体検出器のデータを用いたシミュレーションの結果は4.1.1.4表3参照）

続いて、上記のシミュレーション結果を踏まえ、検討実験について意見交換を行った。

チオ硫酸ナトリウムを添加した試料は、添加した時点でヨウ素 131 の測定結果に差が出ていること、その後も他の試料の結果と比較して差があること、チオ硫酸ナトリウムを添加した、再調製した試料でも同様の傾向が見られることから、チオ硫酸ナトリウムの添加によってヨウ素 131 が内壁に付着することを防止する効果がある可能性が見られた。(4.1.1.4 図 1 及び 4.1.1.4 図 2 参照)

一方、セシウム 137 については、いずれの試料においても差が見られなかった。(4.1.1.4 図 3 及び 4.1.1.4 図 4 参照) ただし、打合せ時は、検討実験の途中で、測定結果がまだ出揃っていないため、今後の検討結果を見て、最終的に判断する必要がある。検討結果を踏まえ、試薬を添加するとした場合、どの時点で試薬を添加するのかについても考える必要があるとのことご意見をいただいた。なお、検討結果の結果が得られ次第、検討結果についてメール等で情報共有した。

3) その他

三枝氏が共著者として執筆した文献「放射能分析建屋内への放射性セシウムの混入状況及び低減策」(日本放射線安全管理学会誌 第 15 巻 2 号) の内容について質疑を行った。

作業を行う建屋内の汚染を低減するには、ハンドフットクロスモニタ等で確認し、汚染物質を室内へ持ち込むことを防ぐことも重要だが、ほうきなどを使って頻りに室内の掃除を行う方がより効果的とのことであった。マニュアル改訂案に上記論文を引用する旨を伝え、了解を得た。

また、第 4 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において、検討実験についてのシミュレーション結果について、三枝氏から説明することについてを了承していただき、その際の説明資料も作成していただくこととなった。

(3) 検討実験の実施

降下物及び降水並びに飲料水及び源水の前処理方法を一部変更するため、4.1.1 に示した内容の検討実験を実施し、その結果をマニュアル改訂案に反映した。

4.1.3 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等の指摘に対する対応

環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等から、本マニュアルの改訂の方向性及び改訂案に対する指摘を受け、放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において審議した。審議結果を踏まえて、マニュアル改訂案に反映させた。

4.2 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

4.2.1 現状調査

(1) 経緯

Ge 半導体検出器は γ 線スペクトル測定におけるエネルギー分解能が優れており、化学分離などを必要とせずに多核種の同時定量が可能であるため、環境試料中の γ 線放出核種を対象とした放射能分析の主要な分析法として普及し、広く利用されてきた。「放射能測定法シリーズ7 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」（平成4年改訂）（以下「現行マニュアル」という。）が制定された経緯を以下に示す。

・昭和51年（初版）

Ge 半導体検出器が普及してきた状況に対応し、環境放射能分析の実務担当者を対象として、環境中 γ 線放出核種の同時定量を行う手法として制定された。

・昭和54年（1訂）

Ge 半導体検出器や周辺機器の性能向上、電子計算機の普及に伴ってスペクトル解析法など測定技術が著しく進歩した状況に対応するため改訂された。

・平成2年（2訂）

高純度 Ge 検出器の一般化による取扱方法の変更及び、パーソナルコンピュータ (PC) の普及とスペクトル解析プログラムの開発に対応するため改訂された。

・平成4年（3訂）

簡易的な解析プログラムに関する記述が追加された。

(2) 現行マニュアルの特徴

環境放射能分析の実務担当者を対象とし、理工系の大学卒業者程度の知識を前提として記述されている。内容は、ある程度原理的な解説から測定現場における操作手順の記述まで、さらに、 γ 線スペクトル解析プログラムを作成する人を対象とした記述など広範囲に渡っており、実務担当者向けのマニュアルというよりは、解析プログラム作成者向けの技術資料という性格が強い内容となっている。

現行マニュアルは平成4年から現在まで改訂されなかったため、この期間の技術の進歩等による状況の変化に対応できず、現状にそぐわない内容となっている部分が多く存在する。本年度実施した改訂に関する検討に先立って平成26年度に実施された調査では、問題点、利用者からのコメントとして以下のことが指摘されている。（平成26年度放射能測定法シリーズ改訂事業報告書より抜粋）

- ・ Ge 半導体検出器を用いたガンマ線放出核種の定量分析法は、一般的な測定法として広く利用されている。
- ・ 「No. 29 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」の試料調製以外の部分を統合することにより合理化が図れる。

- ・測定機器やコンピュータ等の進歩に伴い、記述された測定システムは現在では使われていないものになっている。また、NIM規格による製品について図を使用して解説しているが、現在は一体型の機器が主流になっている。
- ・測定法に記述のある核種とは異なるが、機器校正用の標準線源は複数の核種が混合されたミックス線源が主流になっており、測定法に記述のある線源を個別に準備するよりも安価である。
- ・電子冷却や液体窒素蒸発防止装置等が市販されているため、これらの装置の説明も必要である。
- ・Liドリフトタイプから高純度 Ge (HPGe) タイプに替わり、相対効率が 100%を超える機器もラインアップされている。
- ・測定、スペクトル解析、機器の構成に重点を置いたマニュアルに再構成する必要がある。
- ・機器に関する解説や解析用プログラムに関する記述などは、巻末資料など参考程度の記述でよい。
- ・福島第一原子力発電所事故を踏まえた緊急時における短寿命核種の同定法・定量法や緊急時用核データライブラリの作成方法を記載する必要がある。
- ・親核種が検出されていないが子孫核種が検出された場合の対応など、福島第一原子力発電所事故における経験を踏まえ、内容を充実させる。
- ・福島第一原子力発電所事故では測定機器が汚染されたケースがあったため、汚染防止や汚染された場合の対処法（除染方法）等について記載する必要がある。
- ・平成4年以降改訂されておらず、資料編に掲載している核データライブラリも古いものとなっていることから改訂が必要である。
(なお、指摘された問題点及びコメントの一部については、平成30年に改訂された「No. 29 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」に反映された。)

(3) 調査の必要性と目的

上記の指摘事項を踏まえ、改訂案の作成にあたって Ge 半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリの現状を把握するため、文献調査及び機器メーカーからの聞き取り調査を実施した。

(4) 調査結果

調査結果の概要を以下に示す。なお、各メーカーからの聞きとり結果の詳細は 4.2.7 参考資料 B. に示した。

①測定機器

- ・ Ge 半導体検出器

Ge 結晶の製造技術の進歩により、リチウムドリフト型 (Ge(Li)) は姿を消し、高純

度 Ge (HPGe) 型に置き換わっている。大型の結晶が製造できるようになった事にもない、25cm 相対効率が 100%を超える検出器も製品として市販されている。

また、電極形状の改良により、p 型の Ge 結晶でありながら従来よりも低エネルギー領域の測定にも対応できるようになった検出器が製品化されている。

・測定回路

検出器からの信号パルス进行处理する回路のデジタル化が進み、前置増幅器の出力を直接デジタル変換する方式が使われるようになりスループット及び分解能が向上した。

γ 線スペクトロメータとして市販されている装置では、NIM モジュールはほとんど使用されておらず、必要な測定回路及び電源等を一つの筐体に納めた一体型の測定ユニットと PC で構成されるものが一般的となっている。PC では γ 線スペクトル解析プログラムが動作し、測定装置のハードウェアを制御する役割も担っている。このため、機器調整を行う必要のある部分が激減しており、従来の機器で行っていた、オシロスコープで信号の波形を見ながらアナログ回路を調整する等の操作はほとんど必要とされなくなった。

・その他の装置

Ge 検出器自体の基本構造は変わっておらず、使用時には液体窒素温度以下に冷却することが必須である。検出器の冷却装置には、従来より使われてきた液体窒素による冷却に加え、ペルチェ素子などを用いて電氣的に冷却する装置、液体窒素と蒸発防止装置（回収装置）を組み合わせたハイブリッド冷却システム等がある。

②解析手法（ソフトウェア）

現行マニュアルの制定から現在までに約 30 年が経過したが、 γ 線スペクトル解析の基本的な原理に変化はない。（ γ 線が Ge 検出器に入射して全エネルギーを検出器に付与した場合に生じる全エネルギー吸収ピークを解析対象とし、ピーク的位置からエネルギー情報を得て放射性核種の定性を、ピークの強度からその γ 線を放出した放射性核種の定量を行う。）

現行マニュアルの解析手法（及び、マニュアルに準拠したスペクトル解析プログラム）は環境放射線モニタリングの分野で広く使用されており、現在でも有効な手法であるが、状況の変化により次の事項が課題として挙げられる。

・サム効果の影響

検出器結晶の大型化によりサム効果の影響が増大し、補正は必須となっている。また、福島第一原子力発電所の事故以降はサム効果を起こす核種である ^{134}Cs が環境試料で検出されるようになったため、常にサム効果補正を適用することが要求されている。

・解析手法の高度化

Ge 検出器に γ 線が入射した際の応答をモンテカルロシミュレーション等の数値計算で再現する技術が一般化し、特に欧米では実務で使用されるようになっている。^{1), 2), 3)}

この機能を実装した解析ソフトウェアも複数市販されている。

また、シミュレーションはサム効果、自己吸収等の補正を行うにも有効な手段であり、線源の実測と組み合わせた半実験的な手法としても使われている。実測で得られたピーク効率をモンテカルロシミュレーション等により他のジオメトリでのピーク効率に換算する手法 (Efficiency transfer) が実用化され、様々な試料形状、測定ジオメトリに対応するために有効な手法として利用されている。^{4),5)}

Ge 半導体検出器のピーク効率シミュレーションを行えるコードは複数存在する。汎用のモンテカルロシミュレーションコードとしては、EGS4, EGSnrc, Geant3, Geant4, MCNPX が知られており、Ge 検出器に特化したコード (またはアプリケーションソフトウェア) としては、GESPECOR, VGSL 等が使われている。

Efficiency Transfer に対応したコードとしては、EFFTRAN, ETNA 等がある。

・ 検出下限値

現行マニュアルは Cooper 法⁶⁾を採用しているが、欧米では従来より Currie 法⁷⁾が使われてきており、近年ではその発展型である ISO 11929^{8),9)}への移行が進んでいる。

・ 不確かさ

分析・測定結果において不確かさを評価することは現在では必須事項であり、GUM ガイド¹⁰⁾に基づく不確かさ評価が一般的に行われている。これは γ 線スペクトロメトリーにおいても例外ではない。

また、近年、分析結果の質の保証、精度管理が重要視されており、精度管理においても不確かさの評価は必須となっている。

(5) 検討事項

現状調査の結果を踏まえ、本年度に実施した検討事項は次のとおりである。(詳細は別章に示す。)

・ サム効果補正について (4.2.2 章)

現行マニュアルのサム効果補正法 (ピーク・トータル比の経験式を用いた方法) について、¹³⁴Cs 体積線源の測定データを用いて検証した。

・ サム効果補正におけるモンテカルロシミュレーションの利用 (4.2.3 章)

モンテカルロシミュレーションを用いて各種測定条件 (点線源、U-8 容器、マリネリ容器) における Ge 検出器のピーク効率を計算し、サム効果の寄与を含めて実測のピーク効率が再現できることを確認した。この結果を用いて前項のサム効果補正法の検討を実施した。

・ 不確かさ評価 (4.2.4 章)

γ 線スペクトロメトリーにおける不確かさ評価方法について、IAEA 等による手法を調査し、とりまとめた。

・ 検出下限値 (4.2.5 章)

ISO 11929 は放射線計測における特性限界（決定しきい値、検出限界、信頼区間）評価の国際標準であり、主に欧米において従来から使用されてきた Currie 法に代わって利用されている。ISO 11929 の評価方法について調査し、現行マニュアルが採用している Cooper 法との比較を行った。

4.2.2 サム効果補正について

(1) 経緯

近年、Ge 検出器結晶の大型化が進んでおり、それに伴い γ 線に対する検出効率が向上したが、短時間に複数のカスケード関係にある γ 線を同時に放出する核種を測定した場合に起こるサム効果の影響も増大した。サム効果は検出効率と核種の壊変形式に依存し、場合によっては数10%にも達するため、補正が必須となっている。現行マニュアルではピーク・トータル比の経験式を用いたサム効果補正法（以下「PT法」という。）を採用している。（なお、ここでのサム効果補正とは、カスケードに放出される γ 線が同時に検出器にエネルギーを付与することにより、定量に用いる全エネルギー吸収ピークの強度が減少する現象（サム・アウト）に対する補正のことを指す。）

市販の γ 線スペクトル解析プログラム（現行マニュアル準拠）にはPT法によるサム効果補正機能が実装されており、 ^{88}Y 、 ^{60}Co 等のサム効果を起こす主要な核種に対して補正を行うことが可能となっている。しかしながら、環境放射線モニタリングで行う γ 線スペクトロメトリーにおいては、実際の環境試料でサム効果を起こす人工放射性核種が検出されるケースは極めて稀であったため、検出器の校正及び精度管理のための測定を除けば、実際の環境試料でサム効果補正が必要になったことはほとんどなかった。

しかし、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故以降は、カスケードに γ 線を放出する ^{134}Cs が環境試料中に頻繁に検出されるようになったため、環境試料の測定でもサム効果補正が必須となった。 ^{134}Cs のサム効果補正を行うことはPT法で可能であり、市販解析プログラムでも対応していたものの、事故直後は ^{134}Cs に対してサム効果補正が必要であるという認識が広く行き渡っておらず、補正が適用されずに結果が報告されてしまった例も見られた。その後はサム効果補正が必要であるとの注意喚起が行われたこともあり、未補正のデータが報告されるようなケースは減少したが、それでもなお、 ^{134}Cs の測定結果に対するサム効果補正が不十分で報告値が低めとなっている可能性を示す報告がある¹¹⁾。このことは、現行マニュアルのサム効果補正法そのものに改善すべき点がある可能性を示している。

以上のような状況を踏まえ、PT法に基づくサム効果補正の妥当性について、 ^{134}Cs 体積線源と市販解析プログラムを用いて検討を実施した。

(2) 検討方法

^{134}Cs の標準線源を測定して得られたスペクトルを二種類の市販解析プログラム（A、

Bとする)で解析し、線源の検定値と比較した。使用した線源及び測定条件は次のとおり。

- ^{134}Cs 標準線源の形状 : U-8 容器、充填高 0.5~4.8cm
- Ge 検出器 : CANBERRA GC2519-7915-30、p型、相対効率 31%
- サム効果補正 : 市販解析プログラムに実装された補正機能を利用
- 解析に用いたピーク効率 : 9核種混合体積線源 (U-8 容器、充填高 0.5~4.8cm)

現行マニュアルの PT 法によるサム効果補正では、全効率 (検出器に入射した γ 線のエネルギーの一部または全部が検出器に付与される確率) が必要であり、全効率を求めるためにはピーク効率と全効率の比であるピーク・トータル比を γ 線エネルギーの関数として求めておくことが必要とされる。ピーク・トータル比の定義を図 4.2.1 に示す。

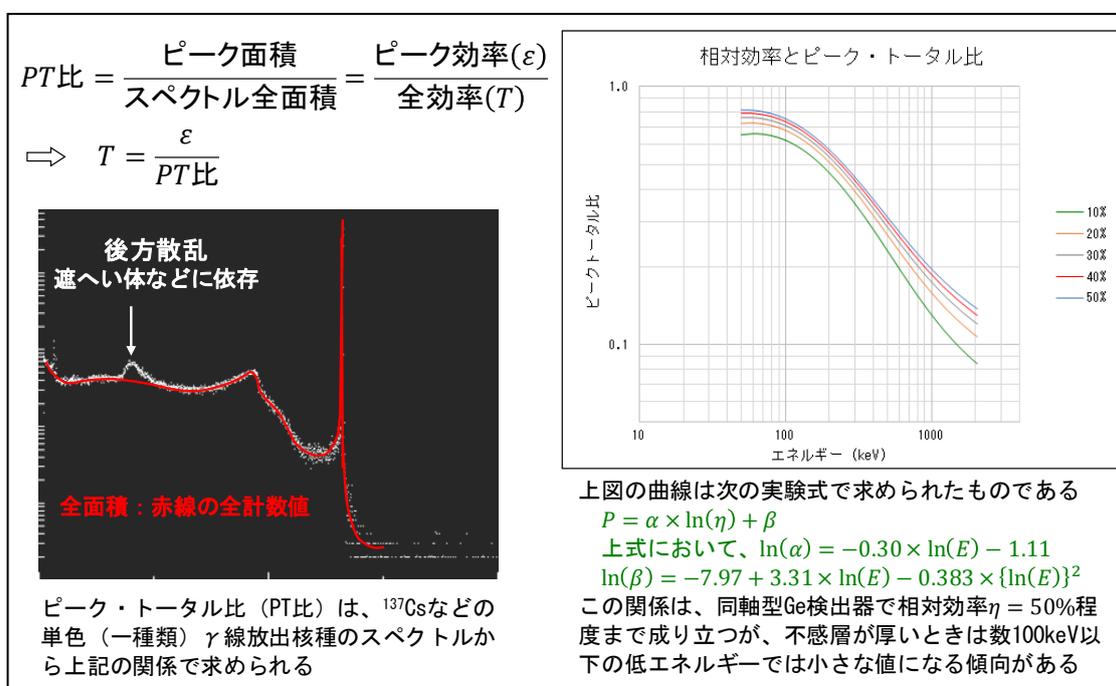


図 4.2.1 ピーク・トータル比の定義

ピーク・トータル比は検出器の大きさ、遮蔽体の材質や内容積によって影響を受けるが、実測で求めることは困難であるため、PT 法では点線源の実測結果から得られた経験式¹²⁾を採用している。

(3) 結果と考察

市販解析プログラム A, B による ^{134}Cs 線源の解析結果 (604.7keV 及び 795.9keV のピークを使用した) を図 4.2.2~図 4.2.3 に示した。各プログラムによる解析結果について、サム効果補正を適用した場合と適用しなかった場合の線源の検定値との比を示した。

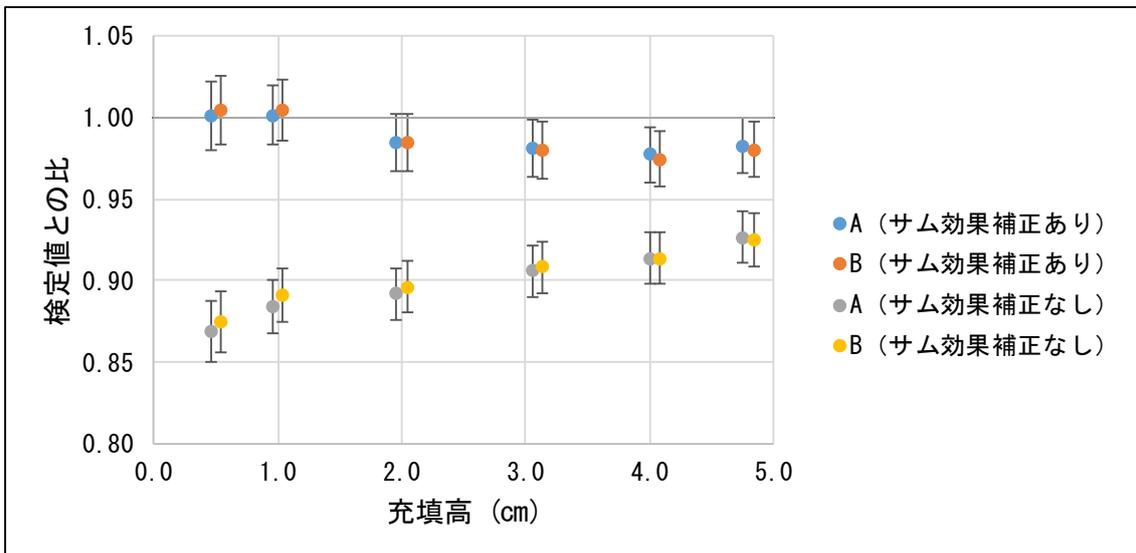


図 4.2.2 市販解析プログラム A, B による ^{134}Cs 線源の解析結果 (604.7keV)

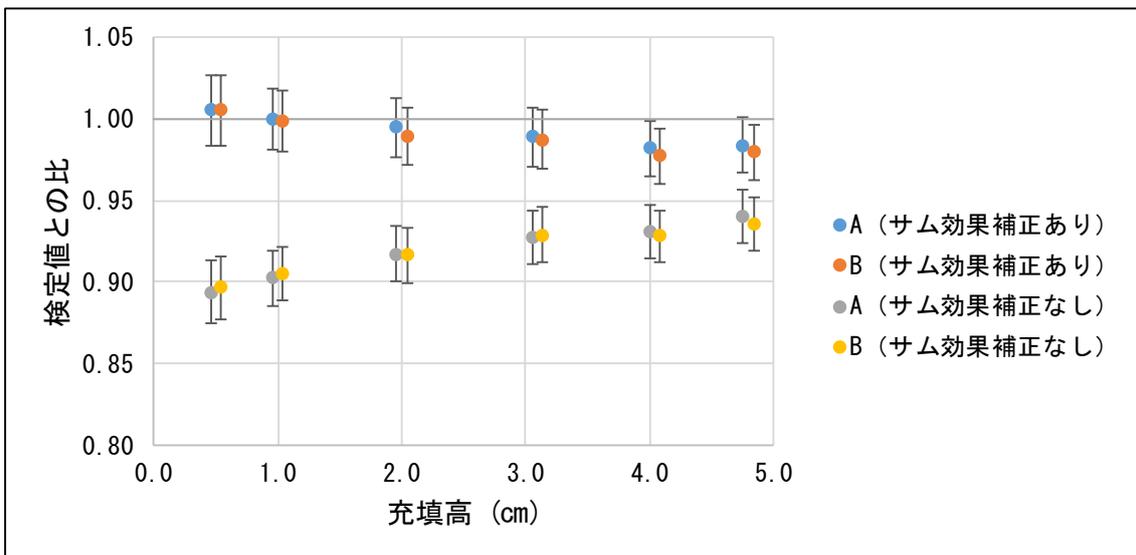


図 4.2.3 市販解析プログラム A, B による ^{134}Cs 線源の解析結果 (795.9keV)

市販解析プログラム A 及び B の結果はほぼ一致しており、各プログラムの違いは見られず、充填高が変化した場合の傾向も同じであった。

サム効果補正を適用しなかった場合には、 ^{134}Cs の放射能値は検定値に対して 10~14% 程度低くなっているが、充填高が大きくなるほど値は大きくなり検定値に近づく傾向が見られた。充填高が小さい試料では検出器に近いジオメトリのためサム効果の寄与が大

きくなっているためと考えられる。

これに対して、サム効果補正を適用した場合は、放射能値は不確かさの範囲で検定値と一致しており、市販解析プログラム A、B ともに問題なく補正が行われていることが確認できた。ただし、充填高 0.5cm 及び 1cm では放射能値は検定値とほぼ一致するが、充填高が大きくなるにつれて値が低めとなる（サム効果補正が不足する）傾向が見られた。充填高が大きくなるとサム効果補正が不足することは、サム効果補正係数にジオメトリ依存性があることを示している。

PT 法で用いているピーク・トータル比の経験式は、点線源の測定結果から算出されたものであり、体積線源に対して求められたものではない。そのためピーク・トータル比が実際の測定条件における値と異なり、サム効果補正係数に影響した可能性がある。

実際に点線源と体積線源のピーク・トータル比に違いがあるかどうかを確認するため、 ^{137}Cs 体積線源（U-8 容器、充填高の異なるセット）を測定したスペクトルからピーク・トータル比を実験的に求め、PT 法の経験式と比較した。結果を図 4.2.4 に示した。

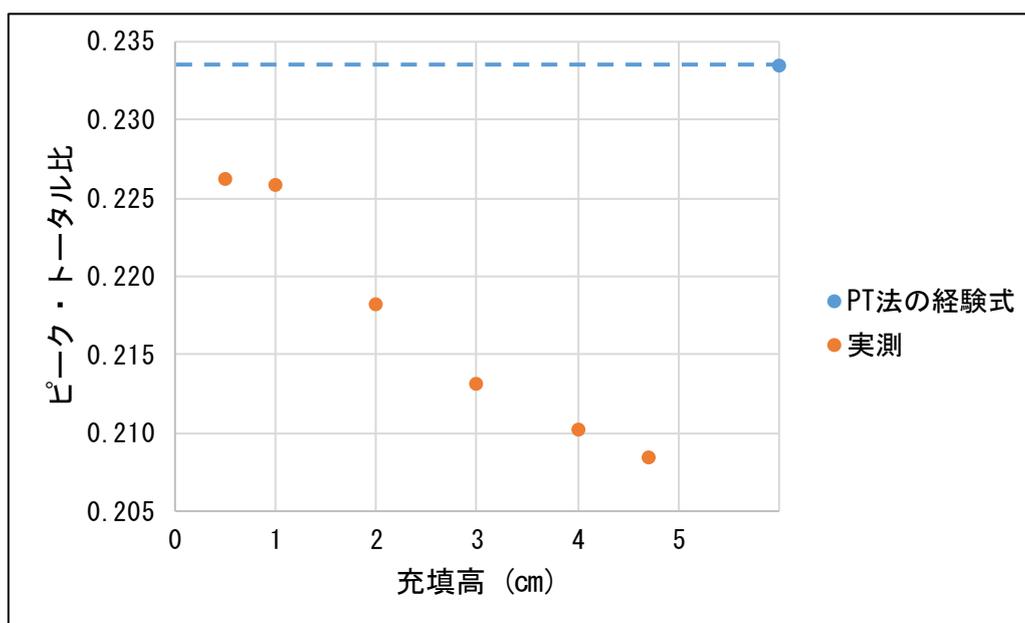


図 4.2.4 ^{137}Cs 体積線源のピーク・トータル比

^{137}Cs 体積線源の実測値から求めたピーク・トータル比は、点線源から求めた経験式に比べて小さい値となり、かつ、充填高が大きくなるに伴って低下する傾向が見られた。この結果から、体積線源の測定結果に対して PT 法の経験式を適用した場合、ピーク・トータル比が過大評価となり、充填高さが大きくなるほどその割合も大きくなることが判明した。ピーク・トータル比の過大評価により、実際に起こっているサム効果を過小評価することになり、その結果としてサム効果補正が不足したと考えられる。

(4) PT法の改良の検討

体積線源のサム効果補正をより適切に行うためには、PT法で用いている経験式に換えて「体積線源のピーク・トータル比」を用いることが出来れば改善できる可能性がある。前章の検討において、 ^{137}Cs 体積線源のピーク・トータル比は得られているが、 ^{134}Cs を含む他の核種のサム効果補正を行うためには、他の核種の γ 線エネルギーに対する値が必要となる。しかしながら単色の γ 線放出核種の体積線源を複数のエネルギーに対して用意することは現実的な方法ではない。

そこで、 ^{137}Cs 体積線源の実測で得られたピーク・トータル比を、モンテカルロシミュレーションを用いて他のエネルギーでの値に換算することを試みた。

$$\text{体積線源PT比} = PT(661.7) \times \frac{PT_{MC}(E)}{PT_{MC}(661.7)}$$

$PT(661.7)$: 661.7keVの実測によるPT比

$PT_{MC}(661.7)$: 661.7keVのシミュレーションによるPT比

$PT_{MC}(E)$: エネルギーEのシミュレーションによるPT比

体積線源 (U-8 容器、充填高 0.5~5cm) について求めたピーク・トータル比と γ 線エネルギーの関係を図4.2.5に示した。

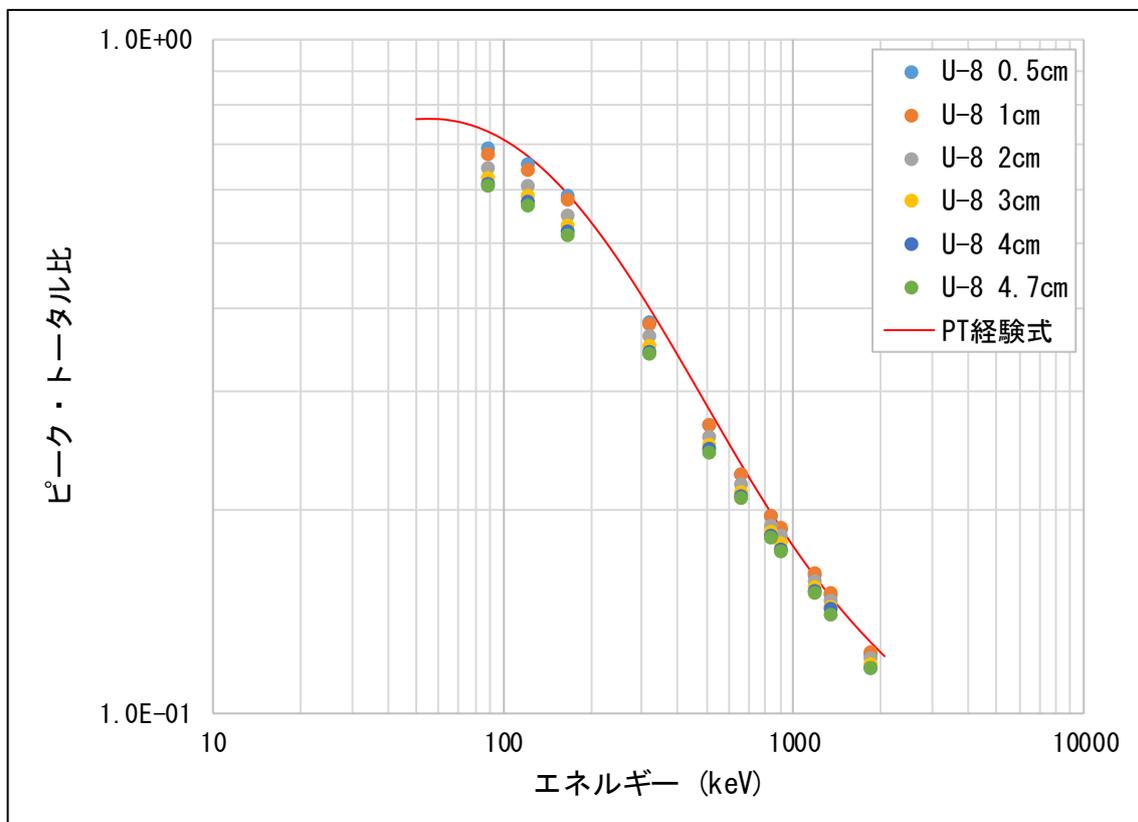


図 4.2.5 体積線源のピーク・トータル比

現行の PT 法で使用している経験式を、図 4.2.5 の体積線源のピーク・トータル比と γ 線エネルギーの関係式に置き換えてサム効果補正を行い、市販解析プログラム A、B で ^{134}Cs 標準線源を解析した結果を図 4.2.6~4.2.7 に示した。

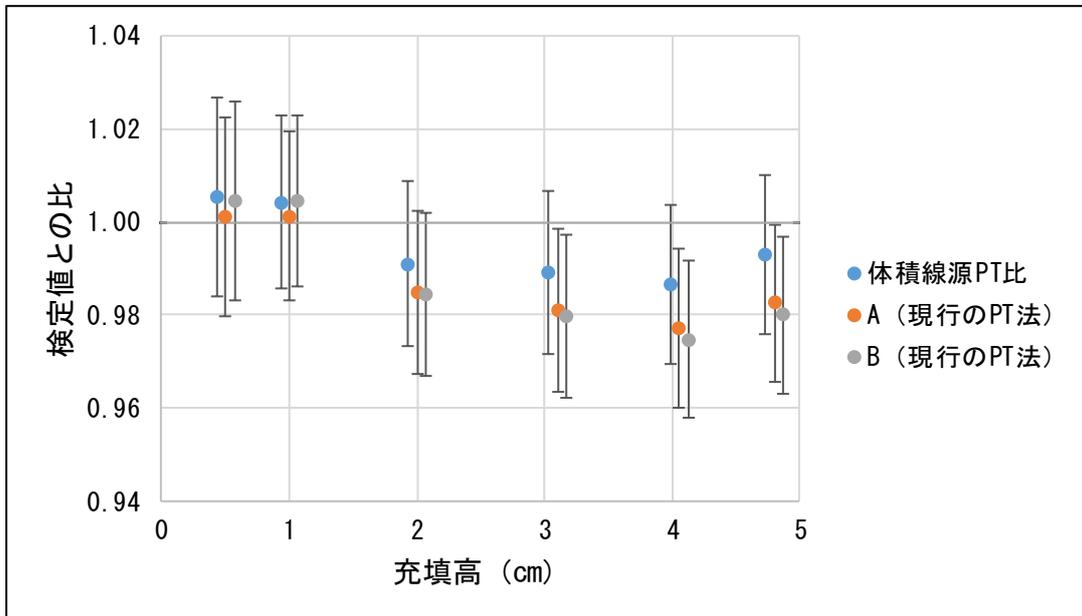


図 4.2.6 体積線源のピーク・トータル比を用いた ^{134}Cs 線源の解析結果 (604.7keV)

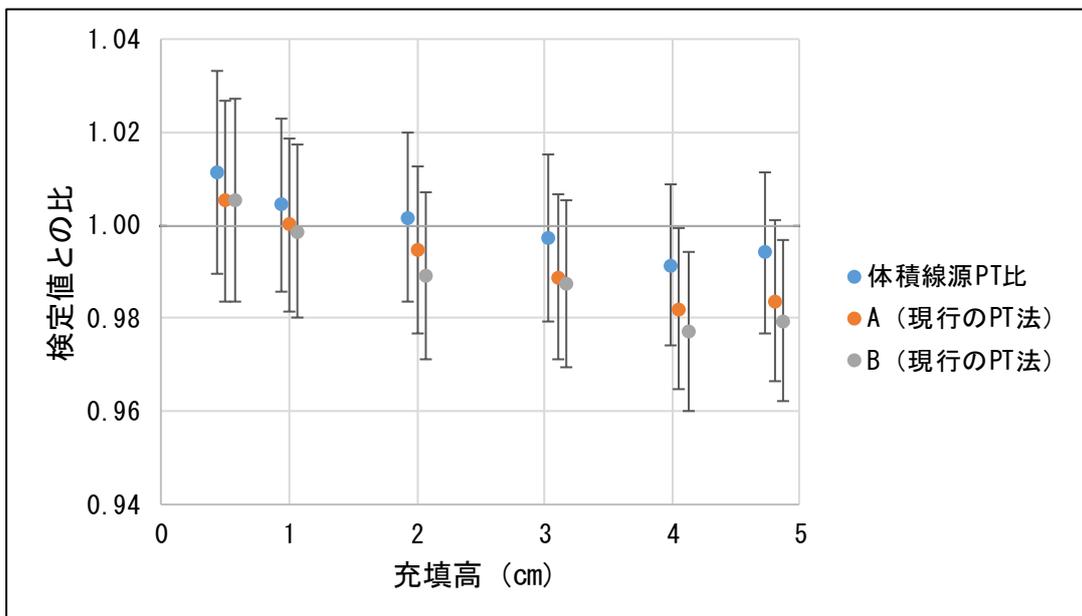


図 4.2.7 体積線源のピーク・トータル比を用いた ^{134}Cs 線源の解析結果 (795.9keV)

結果は検定値により近い値となり、サム効果補正の不足が改善された。

(5) 検討結果のまとめ

現行の PT 法によるサム効果補正法は、U-8 容器の体積線源で ^{134}Cs を測定した場合にも適用可能であることが確認できた。ただし、測定試料の充填高が大きくなると、実用上問題が生ずる範囲ではないがサム効果補正が不足するようになる傾向が見られた。

体積線源に対してサム効果補正が不足する原因は、現行の PT 法で使用しているピーク・トータル比の経験式が点線源の実測結果から求められたものであり、体積線源を測定した際のピーク・トータル比とは差異が生じるためと考えられた。体積線源に対するサム効果補正の不足は、体積線源の実測値とモンテカルロシミュレーションから求めたピーク・トータル比を用いることで改善でき、現行の PT 法の改良版として利用できる可能性がある。

4.2.3 サム効果補正におけるモンテカルロシミュレーションの利用

(1) 目的

4.2.2 章において体積線源のピーク・トータル比を求める過程において、 ^{137}Cs 線源の実測値から他のエネルギーにおけるピーク・トータル比への換算係数を算出するためにモンテカルロシミュレーションを使用した。シミュレーションではサム効果の寄与を含んだピーク効率を求めることも可能である。その場合、ピーク・トータル比を使用せずにサム効果の補正が可能となり、点線源と体積線源でピーク・トータル比の差異がある問題を回避できる。

そこで、サム効果補正におけるモンテカルロシミュレーションの有効性について検討を行った。

(2) 方法

Ge 半導体検出器 (p タイプ同軸型、相対効率 31%) を用い、点線源及び体積線源 (U-8 容器、0.7L マリネリ容器、2L マリネリ容器) について、シミュレーションコード EGS5 で全エネルギー吸収ピーク効率を計算し、線源の測定結果から求めた実測値と比較した。

(3) 結果

点線源の計算結果を表 4.2.1 及び図 4.2.8、体積線源の計算結果を表 4.2.2 及び図 4.2.9 に示した。なお、実測値は、サム効果補正を行っていない値である。

320keV 以上の γ 線を放出する核種については実測値と計算値の差が 4%以内、低エネルギー側の核種については 2L マリネリ容器の ^{109}Cd を除き 5%以内という結果が得られた。

カスケードに γ 線を放出しサム効果を起こす ^{60}Co 及び ^{88}Y については、サム効果によるピーク効率減少の寄与も含めて実測値とよく一致する計算値が得られた。

表 4.2.1 点線源の実測ピーク効率とシミュレーションの比較

核種	エネルギー (keV)	エンドキャップからの距離 (cm)					
		0	1	2	3	4	5
^{109}Cd	88.034	0.69%	-1.25%	-1.67%	-2.47%	-2.59%	-2.07%
^{57}Co	122.06	-1.06%	-0.58%	-1.29%	-2.08%	-1.24%	-2.55%
^{137}Cs	661.66	-0.27%	-0.10%	0.24%	0.08%	0.05%	-0.10%
^{54}Mn	834.85	-2.40%	-0.21%	0.26%	0.37%	-1.03%	0.18%
^{60}Co	1173.23	1.22%	0.00%	0.20%	0.83%	0.57%	-0.74%
	1332.49	1.34%	0.93%	-0.29%	1.15%	-1.71%	-1.94%

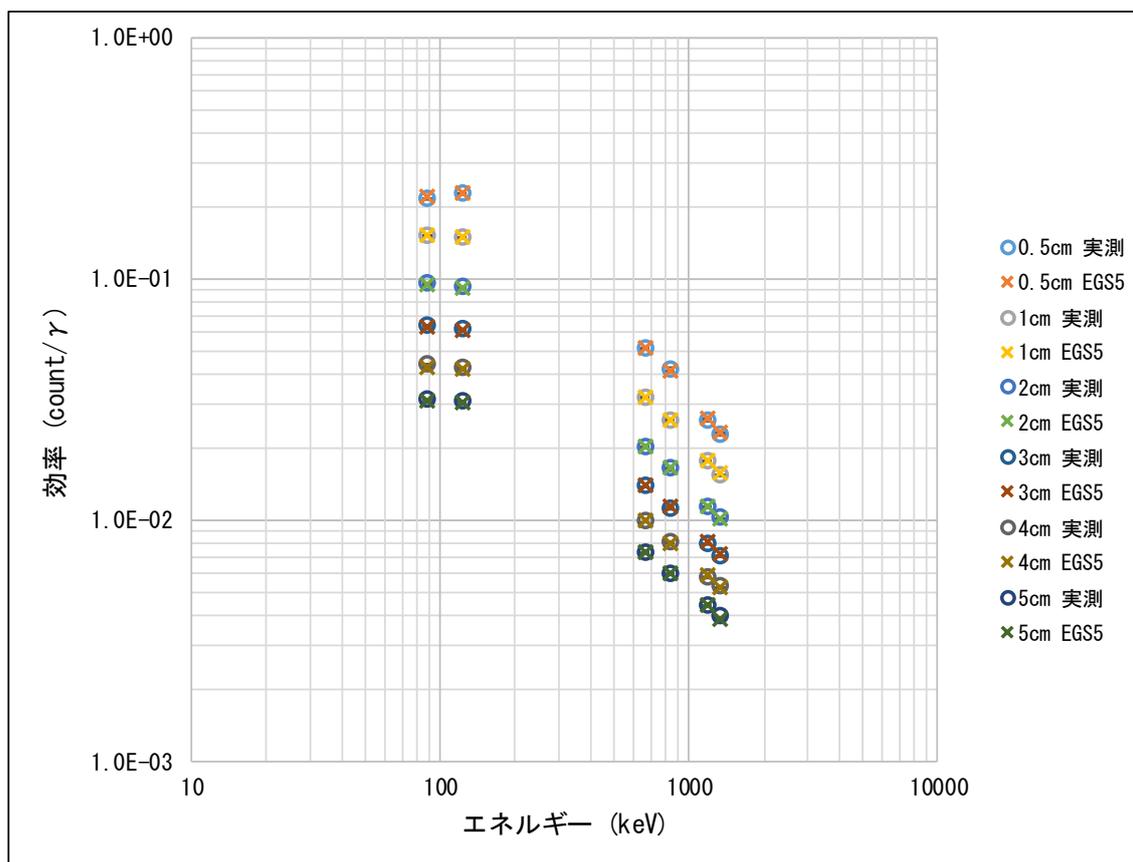


図 4.2.8 実測ピーク効率とシミュレーションによる計算結果の比較 (点線源)

表 4.2.2 体積線源の実測ピーク効率とシミュレーションの比較

核種	エネルギー (keV)	実測値との差異							
		U-8容器 (充填高)						マリネリ容器 (体積)	
		0.5cm	1cm	2cm	3cm	4cm	4.7cm	0.7L	2L
¹⁰⁹ Cd	88.03	-4.2%	-3.9%	-4.1%	-3.7%	-4.5%	-3.2%	-4.8%	-6.6%
⁵⁷ Co	122.06	-2.6%	-2.6%	-2.4%	-1.7%	-1.1%	-0.9%	0.8%	-1.2%
¹³⁹ Ce	165.86	4.4%	4.0%	3.2%	2.4%	3.9%	3.5%	1.0%	0.6%
⁵¹ Cr	320.08	1.0%	0.7%	1.0%	1.2%	2.1%	2.4%	1.7%	1.2%
⁸⁵ Sr	514.01	-2.8%	-1.7%	-2.7%	-1.6%	-0.3%	0.3%	-0.6%	-1.7%
¹³⁷ Cs	661.66	-0.8%	-1.1%	-1.4%	-0.8%	0.7%	0.4%	0.9%	-0.2%
⁵⁴ Mn	834.85	-1.8%	-1.5%	-1.5%	0.0%	0.7%	0.4%	0.5%	-0.7%
⁸⁸ Y	898.04	0.8%	0.5%	0.5%	0.9%	2.3%	1.3%	1.0%	0.7%
	1836.06	0.8%	0.9%	0.9%	0.8%	1.7%	2.2%	2.2%	0.7%
⁶⁰ Co	1173.23	1.5%	1.7%	1.8%	2.0%	3.0%	3.2%	1.8%	0.4%
	1332.49	1.0%	0.5%	2.3%	2.8%	3.1%	2.6%	0.2%	0.4%

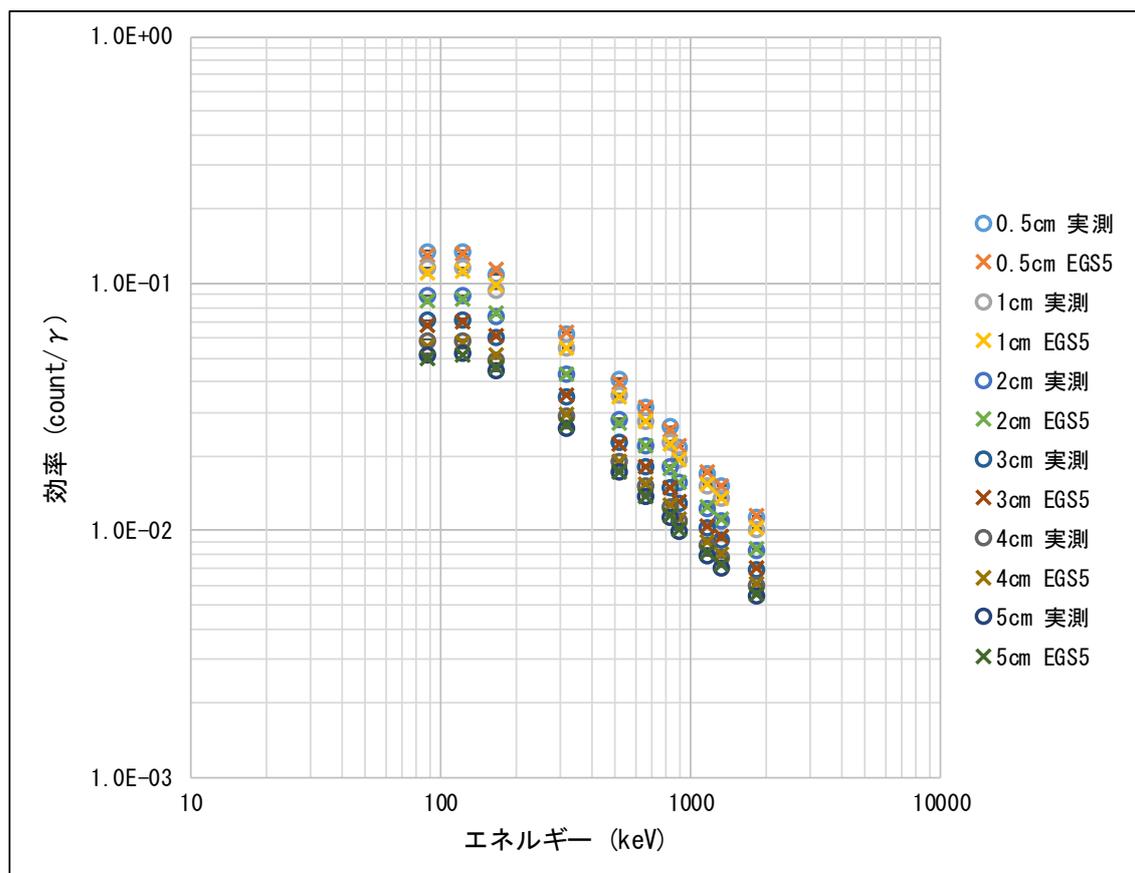


図 4.2.9 実測ピーク効率とシミュレーションによる計算結果の比較 (体積線源 (U-8))

シミュレーションで求めた体積線源のピーク効率（サム効果の寄与を含む）を用いて ^{134}Cs 体積線源のスペクトルを解析し、放射能値を求めて検定値と比較した結果を図 4.2.10、4.2.11 に示した。

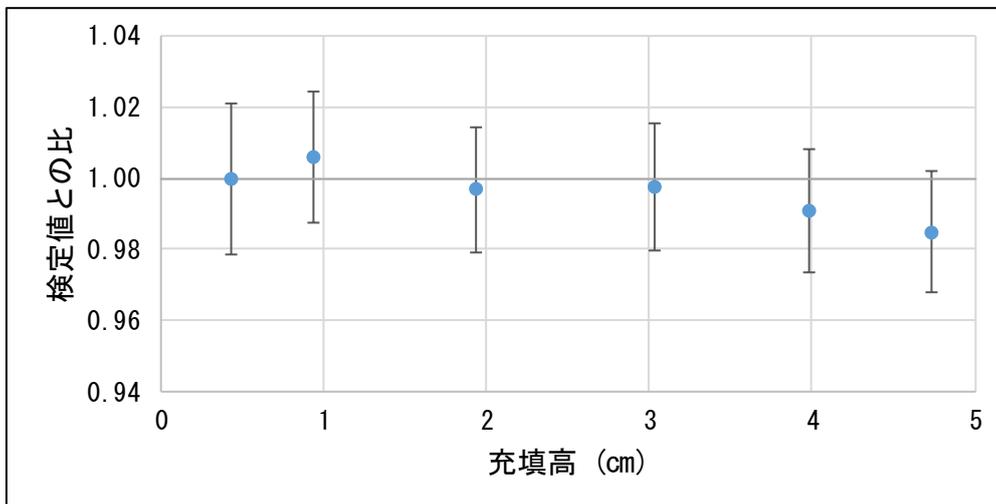


図 4.2.10 シミュレーションで求めたピーク効率による ^{134}Cs (604.7keV) 解析結果

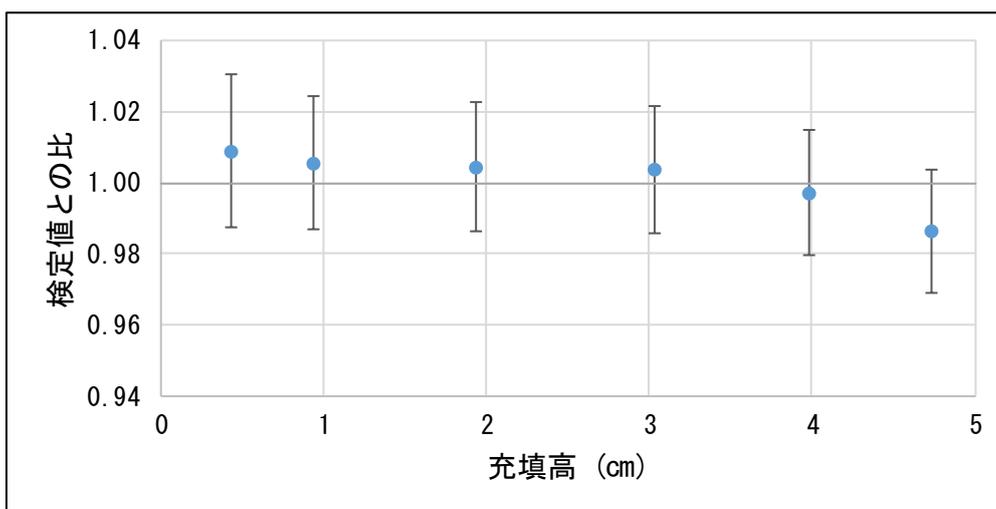


図 4.2.11 シミュレーションで求めたピーク効率による ^{134}Cs (795.9keV) 解析結果

(4) まとめ

- ・ EGS5 を用いたモンテカルロシミュレーションにより、体積線源を検出器直上で測定した条件においてサム効果の寄与を含んだピーク効率を再現できることを確認した。
- ・ シミュレーションで求めたピーク効率（サム効果の寄与を含む）を用いて ^{134}Cs 体積線源を解析したところ、検定値とよく一致する結果が得られた。（PT 法及び前章で検討した改良版 PT 法より良好な結果であり、ピーク・トータル比を使用せずにサム効果補正を行えることを確認できた。）

- ・ただし、シミュレーションで計算したピーク効率の値を用いて放射能値を求めた場合、トレーサビリティをどう確保するかの問題が生ずる。
- ・シミュレーションはサム効果の寄与を評価するのに有効な方法であり、サム効果が起きている条件と起さない条件のそれぞれでシミュレーションを行い、両者の比較から換算係数（サム効果補正係数）を求めるという方法も可能である。
 その場合、ピーク効率校正はトレーサビリティを確保した標準線源で行い、サム効果の補正係数はシミュレーションで求めるという方法が有効と考えられる。

4.2.4 不確かさ評価

(1) 目的

現行マニュアルでは、測定データに付随する誤差は計数誤差のみであり、不確かさは評価されていない。分析・測定の分野では参考文献¹⁰⁾に基づいて評価することが標準であり、放射線計測の分野においても同様に適用される。

γ 線スペクトロメトリーにおける不確かさ評価方法として、計算方法の一例^{13), 14)}を4.2.7 参考資料C. ~E. に示した。

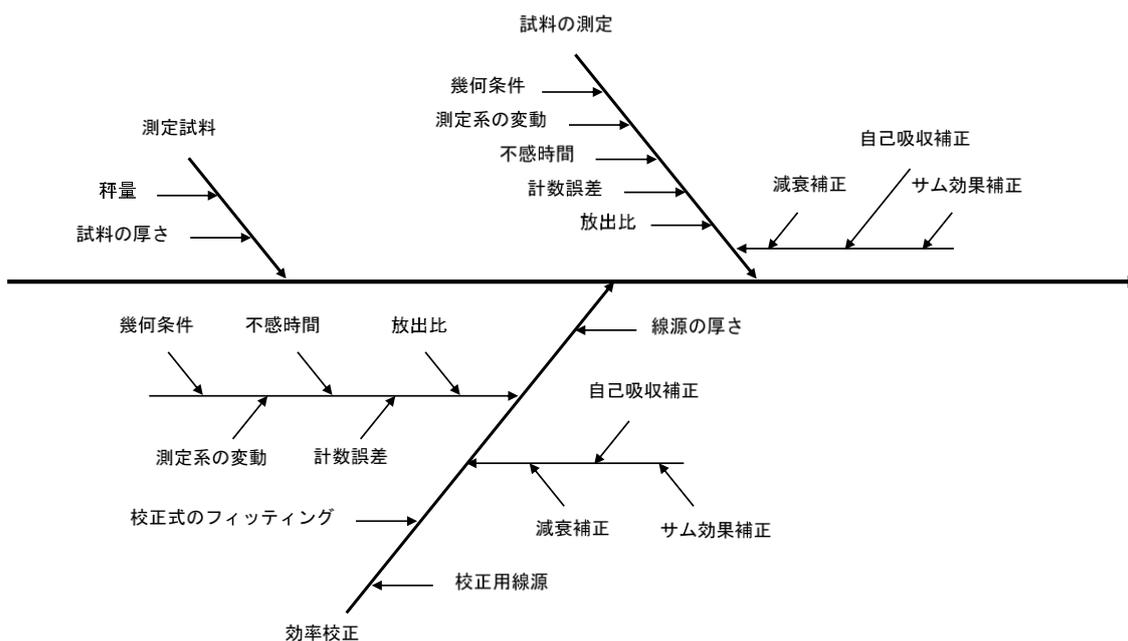


図 4.2.12 特性要因図

(2) 改訂案における対応

不確かさの具体的な計算方法を示すための資料としてバジェットシートを掲載し、実務担当者が対応できるような形とする。

4.2.5 検出下限値

(1) 検出下限値の概念

γ 線スペクトロメトリーにおける検出下限値の主な算出方法には、現行マニュアルが採用している Cooper 法、主に欧米で利用されてきた Currie 法及び、その発展型として検討が進められてきた ISO 11929 がある。

Cooper 法は日本以外の国ではほとんど利用されていないのが現状であり、欧米では Currie 法が主流であった。近年、不確かさの概念を取り込んで発展してきたのが ISO 11929 であり、Currie 法からの移行が進んでいる。2019 年 3 月時点では、日本国内において ISO 11929 はほとんど取り入れられていない。

3 種類の検出下限値計算方法について、概念の比較を表 4.2.3 に示した。

表 4.2.3 検出下限値の概念

Cooper 法	Currie 法	ISO 11929
検出下限値を、測定誤差で決定する	検出下限値を、検出判断の統計学的な信頼度で決定する	
測定誤差がある割合という要求を満たす最小の計数または放射能	検出の判断に対する信頼度がある値という要求を満たす最小の計数または放射能	
ある一定以上の測定精度ならば、検出できるはずと考えるもの	「存在しないものを存在する」とする誤りと「存在するものを存在しない」とする誤りを議論し、それらの誤りを一定レベル以下にできる量として考えるもの	
通常、 3σ	通常、信頼度 95%	

Cooper 法、Currie 法、ISO 11929 の概念図を図 4.2.13～4.2.15 に示す。

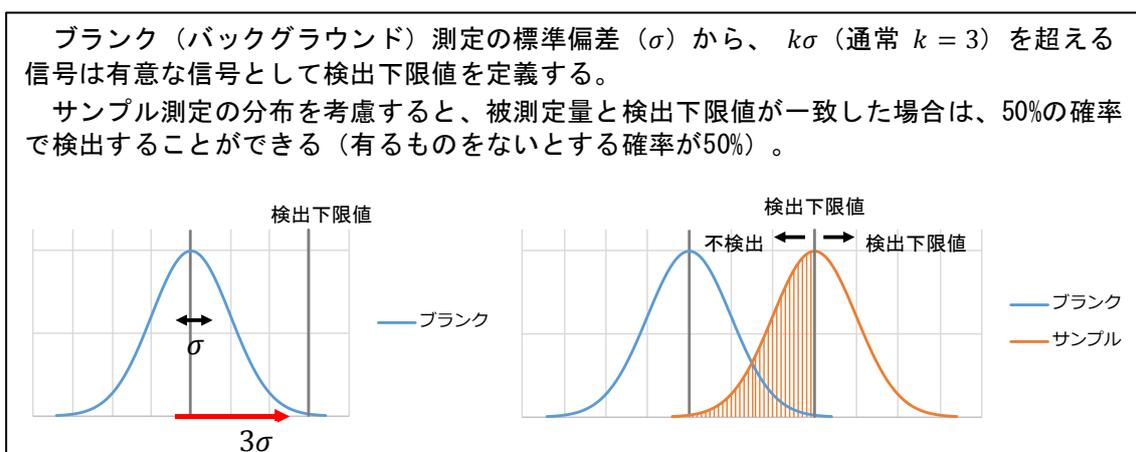


図 4.2.13 Cooper 法の概念図

ブランク（バックグラウンド）及びサンプルの測定のばらつきを示す分布を、平均値 μ_B 及び μ_S 、標準偏差 σ_B 及び σ_S （それぞれ計数誤差）の正規分布とする。

棄却限界 L_C ：ブランク（バックグラウンド）測定の分布において危険率 α （信頼度 $1 - \alpha$ 、通常 $\alpha = 5\%$ ）の区間の上限値。

検出下限 L_D ：サンプル測定の分布において危険率 β （信頼度 $1 - \beta$ 、通常 $\beta = 5\%$ ）の区間の下限値が棄却限界と一致する測定値。

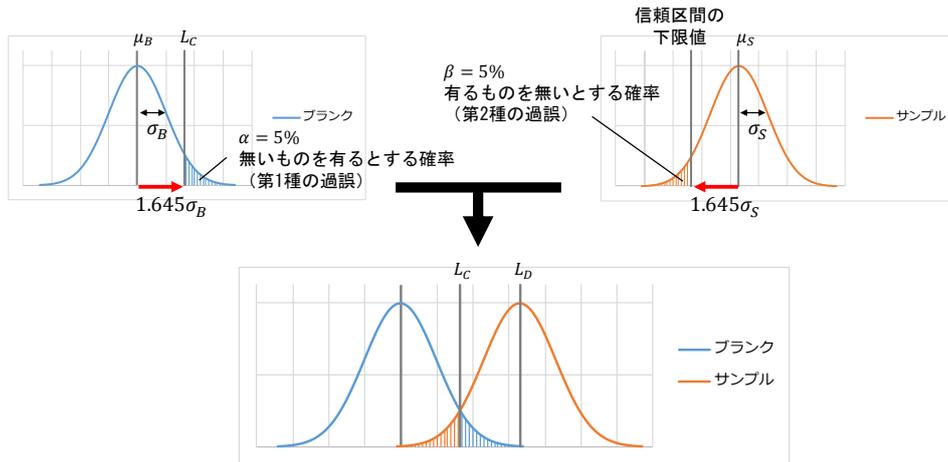


図 4.2.14 Currie 法の概念図

基本的な概念は Currie 法と同一である。

測定のばらつきを示す分布の標準偏差にCurrie法では計数誤差を用いるが、ISO 11929では測定に係る不確かさを用いる。

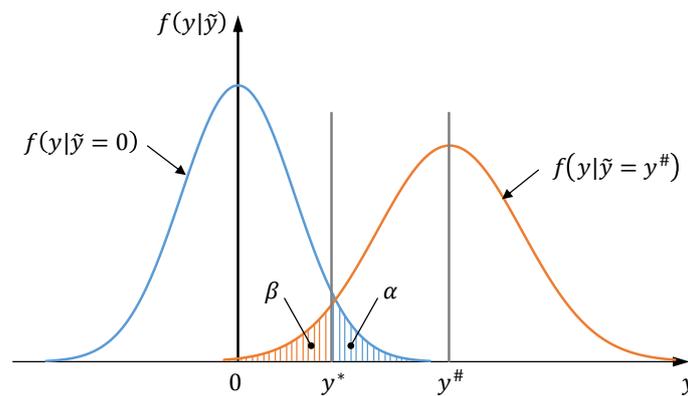


図 4.2.15 ISO 11929 の概念図

(2) 改訂案における対応

ISO 11929 への移行は世界的な動向であり、国際的な標準に適合させるという意味において、マニュアル改訂案に盛り込まれるべきと考えられる。(福島第一原子力発電所事故後、日本の食品の測定結果を外国へ報告する際に Currie 法と Cooper 法の違いが問題とされ、換算を要請されたケースがある。) このように、特に輸出に関連する測定においては、国際的なルールに従う必要性が高いと考えられる。

ただし、ISO 11929 を採用するにあたり、Cooper 法の取扱いをどうするかの問題が生じる。(2つの方法を併記するのか、基本は ISO 11929 とするが、移行期間として Cooper 法での下限値報告を認めるのか等)

行政的な判断にも関連するため、マニュアル改訂案でどこまで踏み込むかについては行政当局及び関係機関で検討する必要があると考えられる。

(3) 実際のスペクトルデータによる計算例

環境試料を測定して得られた γ 線スペクトルに対して、Cooper 法及び ISO 11929 を用いて検出下限値を試算した。試算の結果、ISO 11929 で求めた値は Cooper 法で求めた値の 1.04~1.08 倍であった。計算例の詳細を次に示す。

・ 計算例 1 スペクトルの解析領域にピークがない場合

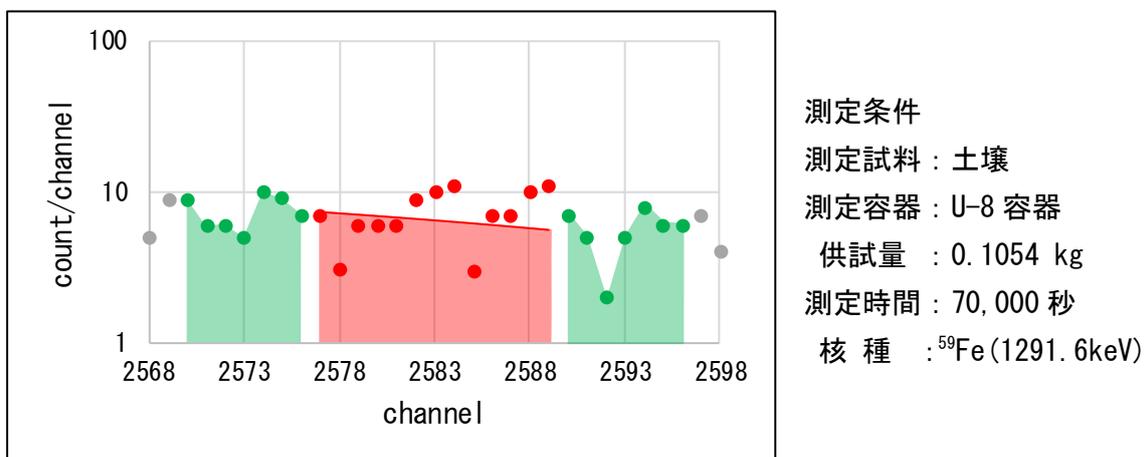
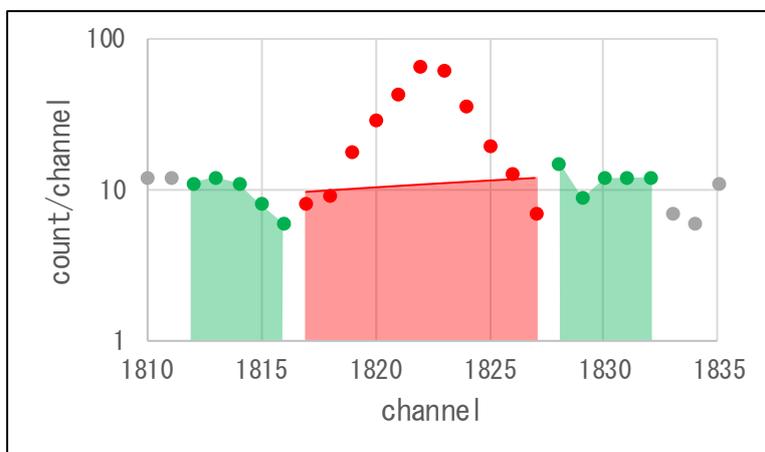


図 4.2.16 計算例 1 測定スペクトル

表 4.2.4 計算例 1 検出下限値の比較

ISO 11929 (Bq/kg)	1.728
Cooper 法 (Bq/kg)	1.654
ISO 11929 / Cooper 法	1.045

- ・ 計算例 2 スペクトルの解析領域にピークがあり、ベースライン領域がピーク領域の両端で平坦の場合



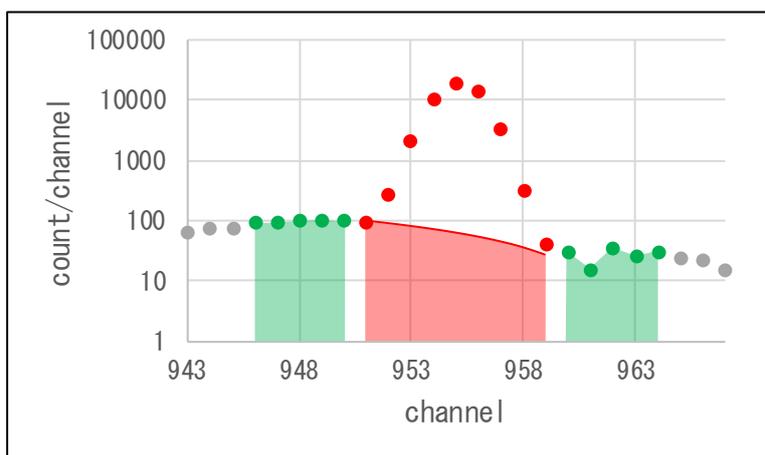
測定条件
 測定試料：土壌
 測定容器：U-8 容器
 供試量：0.1054 kg
 測定時間：70,000 秒
 核種： ^{228}Ac (991.2keV)

図 4.2.17 計算例 2 測定スペクトル

表 4.2.5 計算例 2 検出下限値の比較

ISO 11929 (Bq/kg)	2.651
Cooper 法 (Bq/kg)	2.509
ISO 11929 / Cooper 法	1.057

- ・ 計算例 3 スペクトルの解析領域にピークがあり、ベースライン領域がピーク領域の両端で階段状の場合



測定条件
 測定試料：大気浮遊じん
 測定容器：U-8 容器
 供試量：113,030 m³
 測定時間：71,291 秒
 核種： ^7Be (477.6keV)

図 4.2.18 計算例 3 測定スペクトル

表 4.2.6 計算例 3 検出下限値の比較

ISO 11929 (mBq/m ³)	4.499×10^{-3}
Cooper 法 (mBq/m ³)	4.161×10^{-3}
ISO 11929 / Cooper 法	1.081

- ・ 計算例 4 スペクトルの解析領域にピークがあり、ベースライン領域が離れている場合

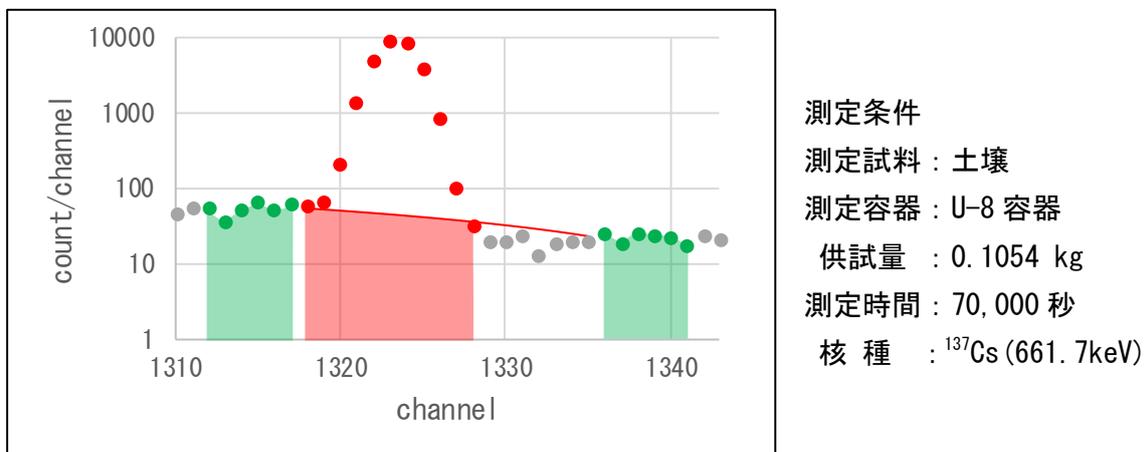


図 4.2.18 計算例 4 測定スペクトル

表 4.2.7 計算例 4 検出下限値の比較

ISO 11929 (Bq/kg)	1.137
Cooper 法 (Bq/kg)	1.096
ISO 11929 / Cooper 法	1.037

参考 ISO 11929:2010 について

1 Scope

This International Standard specifies a procedure, in the field of ionizing radiation metrology, for the calculation of the “decision threshold”, the “detection limit” and the “limits of the confidence interval” for a non-negative ionizing radiation measurand, when counting measurements with preselection of time or counts are carried out, and the measurand results from a gross count rate and a background count rate as well as from further quantities on the basis of a model of the evaluation.

この国際規格は、電離放射線計量の分野において、時間またはカウントの事前選択を伴う計数測定をする場合および評価モデルに基づいて総計数率とバックグラウンド計数率並びに更なる量から測定量を生じる場合の、非負の電離放射線測定量に対する「決定しきい値」、「検出限界」および「信頼区間の限界」の計算手順を規定している。

2 Characteristic Limits

特性限界

— the “decision threshold” gives a decision on whether or not the physical effect quantified by the measurand is present

「決定しきい値」は、測定量によって定量化された物理的効果が存在するかどうかの決定を与える

— the “detection limit” indicates the smallest true value of the measurand which can still be detected with the applied measurement procedure

「検出限界」は、適用された測定手順で依然として検出可能な測定量の最小真値を示す

— the “limits of the confidence interval” enclose, in the case of the physical effect recognized as present, a confidence interval containing the true value of the measurand with a specified probability

「信頼区間の限界」は、存在すると認識された物理的効果の場合、特定の確率で測定量の真の値を含む信頼区間を囲む

記号の定義

ISO 11929

y	測定量の1次測定結果
y^*	測定量の決定しきい値
$y^\#$	測定量の検出下限値
G	モデル関数
x_m	入力量の推定値
$k_{1-\alpha}$	第1種の過誤（無いものを在るとする過誤）を起こさない信頼区間の包含係数
$k_{1-\beta}$	第2種の過誤（在るものを無いとする過誤）を起こさない信頼区間の包含係数
$\tilde{u}(0)$	測定量の真の値が0であるときの標準不確かさ
$\tilde{u}(y^\#)$	検出下限値の標準不確かさ

IAEA AQ48⁹⁾

A	放射能
A^*	決定しきい値
$A^\#$	検出下限値
w	ピーク面積から放射能への換算係数
$u_{rel}(w)$	換算係数の相対標準不確かさ
k	包含係数
n_n	ピーク領域の正味のカウント
n_0	ピーク領域のベースライン部分のカウント
x_g	ピーク領域のチャンネル数
x_0	ベースライン領域のチャンネル数の合計

表 4.2.8 決定しきい値及び検出下限値

	ISO 11929:2010	IAEA AQ48 ⁹⁾
測定的一般モデル	$y = G(x_1, \dots, x_m)$	$A = n_n \cdot w$
決定しきい値	$y^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0)$	$A^* = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{n_0 \cdot \frac{x_g}{x_0} \cdot \left(1 + \frac{x_g}{x_0}\right)}$
検出下限値	$y^\# = y^* + k_{1-\beta} \cdot \tilde{u}(y^\#)$	$A^\# = \frac{2A^* + k^2 \cdot w}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)}$

4.2.6 マニュアル改訂の方向性

(1) 現行マニュアルの位置付け

現行マニュアルは、 γ 線スペクトル解析の基本的な原理や方法について記載したものであり、環境放射線モニタリングで行われている γ 線スペクトロメトリーの標準的な手法の根拠となっている。 γ 線スペクトル解析には市販の解析プログラムが用いられるケースがほとんどであることから、現実的には、 γ 線スペクトロメトリーの実作業の大部分は解析ソフトウェアの操作で占められることになる。そのため、現行マニュアルが実務担当者の作業手順を直接規定するのではなく、「現行マニュアルに準拠した γ 線スペクトル解析プログラム」が作成され、それがモニタリングの現場で使われているというのが実情である。

現行マニュアルの記述内容は多岐にわたり、操作手順に留まらず教科書的な解説も多い。そのため、実務担当者向けのマニュアルというより、「解析プログラム作成者向けの技術資料」という性格の内容が多く含まれている。

(2) 改訂後のマニュアルに必要とされる要件

放射能測定法シリーズのマニュアルは、原子力災害対策指針の補足参考資料の下位文書として位置づけられ、モニタリングに用いるべき標準的な手法を定めるものとされている。

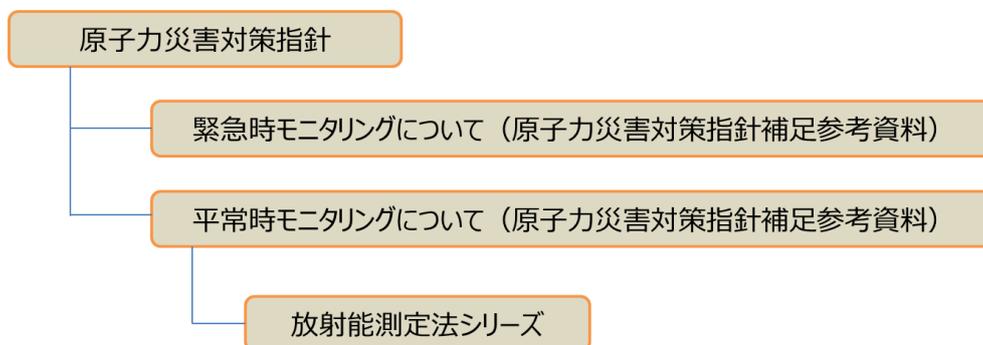


図 4.2.20 放射能測定法シリーズの位置づけ

従って、改訂後のマニュアルに想定される対象は、環境放射線モニタリングを行う機関の実務担当者となり、マニュアルには実務担当者が Ge 半導体検出器を用いて信頼できるモニタリングデータを得るために用いるべき標準的な手法を示すことが必要となる。

なお、 γ 線スペクトル解析は市販の専用ソフトウェアを用いて行うことが一般的であるため、現実的には作業のかなりの部分が市販解析ソフトウェアの運用で占められることになる。そのため、改訂後のマニュアルには、「測定法シリーズ7 準拠の γ 線スペクトル解析ソフトウェア」の必要要件を提示することも必要とされる。

以上の点を考慮すると、原子力災害対策指針の下位文書としての放射能測定法シリーズ7「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」に必要とされるのは、「モニタリングを行う機関(担当者)がGe半導体検出器と解析ソフトウェアを適切に運用し、信頼できるデータを出すための体制(品質保証を含む)を構築するためのガイドラインを示すこと」と考えられる。

(3) 改訂の方向性(基本方針)

本年度に実施した検討結果を踏まえ、次年度にマニュアル改訂案を作成するための方向性(基本方針)を次のようにすることを提言する。

- ・ 環境放射線モニタリングの実務担当者を対象としたマニュアルとする。
(解析プログラム開発者向けの技術資料という位置づけにはしない。)
- ・ γ 線スペクトロメトリーにおける技術の進歩を取り入れ、現状使われている機器に対応した内容に改訂する。
- ・ 国際的な基準に沿った内容とする。
(ISO規格、IAEA等のマニュアル類等を参考とする)
- ・ 本文には基本的な原理、方法を記載することとし、詳細は解説、付録に置く構成とする。

4.2.7 參考資料

4.2.7 参考資料 A. 参考文献

- 1) R. G. Helmer, J. C. Hardy, V. E. Iacob, M. Sanchez-Vega, R. G. Neilson, J. Nelson, The use of Monte Carlo calculations in the determination of a Ge detector efficiency curve, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A*, 511, 360-381 (2003)
- 2) H. Moser, F. J. Maringer, A quick technique to improve the geometry characterisation of aged HPGe detectors for MC code efficiency calculation, *Applied Radiation and Isotopes*, 109, 532-534 (2016)
- 3) G. Lutter, M. Hult, G. Marissens, H. Stroh, F. Tzika, A gamma-ray spectrometry analysis software environment, *Applied Radiation and Isotopes*, 134, 200-204 (2018)
- 4) T. Vidmar, N. Çelik, N. Cornejo Díaz, A. Dlabac, I. O. B. Ewa, J. A. Carrazana González, M. Hult, S. Jovanović, M.-C. Lépy, N. Mihaljević, O. Sima, F. Tzika, M. Jurado Vargas, T. Vasilopoulou, G. Vidmar, Testing efficiency transfer codes for equivalence, *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 355-359 (2010)
- 5) Tim Vidmar, Günter Kanisch, Gaj Vidmar, Calculation of true coincidence summing corrections for extended sources with EFFTRAN, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 908-911 (2011)
- 6) J. A. Cooper, Factors Determining the Ultimate Detection Sensitivity of Ge(Li) Gamma-Ray Spectrometers, *Nucl. Instr. Method*, 82, 273 (1970)
- 7) CURRIE, L. A., Limits for qualitative detection and quantitative determination, Application to radiochemistry, *Anal. Chem.*, 40(3), 586 (1968)
- 8) ISO 11929:2010, Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application
- 9) IAEA, Determination and Interpretation of Characteristic Limits for Radioactivity Measurements Decision Threshold, Detection Limit and Limits of the Confidence Interval, IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 48 (2017)
- 10) ISO/IEC Guide 98-3: 2008, GUM: Guide to the expression of Uncertainty in Measurement
- 11) 米沢 伸四郎, 柿田 和俊, 高橋 孝紀, 青野 辰雄, 前田 智史, 荒川 史博, 木方 展治, 秋山 正和, 石津 秀剛, 岡田 往子, 吉田 充哉, 南村 慎也, 山田 隆志, 平井 昭司, ^{134}Cs のサム効果補正に関する共同実験結果, BUNSEKI

KAGAKU, 67(4), 213-220(2018)

- 12) 水本 良彦, 日下部 俊男, 岩田 志郎, ゲルマニウム検出器のピーク対トータル効率比, RADIOISOTOPES, 36, 20-23(1987)
- 13) Alessia Ceccatelli, Ashild Dybdal, Ales Fajgelj, Aurelien Pitois, Calculation spreadsheet for uncertainty estimation of measurement results in gamma-ray spectrometry and its validation for quality assurance purpose, Applied Radiation and Isotopes 124, 7-15(2017)
https://nucleus.iaea.org/rpst/ReferenceProducts/Analytical_Methods/index.htm
- 14) M C Lépy, A pearce, O sima, Uncertainties in gamma-ray spectrometry, Metrologia 52, 123-145(2015)

B. メーカー聞き取り調査結果

実施日 8月28日 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社
 8月31日 セイコー・イージーアンドジー株式会社

調査内容及び結果

1. 測定機器に関して

(1) 一般的な測定機器の構成例

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> ・ Ge 検出器、遮蔽体 ・ 一体型 MCA : 画面なし、PC 制御（本体操作なし）、USB/Ethernet ・ 市販 PC (Windows) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ge 半導体検出器、遮蔽体、冷却システム ・ 波高分析器 (MCA) ・ データ処理装置 (PC、プリンタ)

(2) 一般的な検出器の性能、検出器の性能を示す指標

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> ・ 相対効率 : 20~40%、25%前後 ・ 分解能 : 1.7keV 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 相対効率 : 20~40%、30%が中心
基本的には分解能と相対効率 <ul style="list-style-type: none"> ・ ^{57}Co (122keV) : FWHM, FWTM ・ ^{60}Co (1332keV) : FWHM, FWTM, ピーク・コンプトン比, 相対効率 	相対効率と分解能 <ul style="list-style-type: none"> ・ ^{57}Co (122keV) : FWHM, FWTM ・ ^{60}Co (1332keV) : FWHM, FWTM, ピーク・コンプトン比, 相対効率

(3) 検出器の種類

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> ・ Ultra-LEGe : 超低エネルギー用 (0.3~300keV) ・ LEGe : 低エネルギー用 (3~1000keV) ・ BEGe : ブロードエネルギー (3~3000keV) ・ 同軸型 Ge : 40keV~10MeV ・ REGe : N 型 (3keV~10MeV) ・ XtRa Ge : P 型 (3keV~10MeV) ・ Well Ge : ウェル型 ・ スモールアノードウェル型 Ge : 一般のウェル型より高分解能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GEM シリーズ (P 型) ・ GMX シリーズ (N 型) 3keV~ ・ Profile シリーズ (P 型) 5keV~

(4) MCA の各機能

アナログ信号とデジタル信号の違い

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> ・ 信号処理能力（処理スピード及び波形整形）の向上により不感時間を縮小し、データのスループット及びピーク分解能の向上を図る ・ アナログ回路を可能な限り減らすことにより温度安定性を図る ・ アナログ的な調整がなくなり、コンピュータによる数値入力のみで全て設定が可能となり、測定条件の再現性が向上する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ デジタル信号処理では微分器を通した後、すぐ ADC でデジタル化 ・ 波形整形処理は DSP (Digital Signal Processor) で実現→高速 ・ 温度安定性の向上、装置の小型化

(5) 冷却システムの種類とそのメリット・デメリット

キャンベラ	セイコー
<p>蒸発防止装置、電気冷却</p> <p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 定期的に補充する手間がない ・ 火傷しない ・ 液体窒素のコスト削減（含人件費） ・ 液体窒素の入れ替えが必要ないので装置深部に組み込める ・ 電気冷却の場合、液体窒素を使わないため WBC などにおいて人的被害がない <p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壊れるリスク ・ マイクロフォニックによる分解能の悪化 ・ 騒音 ・ 電気使用 ・ 消耗部品があるため計画的な交換が必要 ・ 電気冷却は停電によって検出器が温まるリスクがある 	<p>液体窒素</p> <p>メリット：停電の影響を受けない、故障の頻度が少ない</p> <p>デメリット：ランニングコストが大きい（液体窒素）</p> <p>電気冷却</p> <p>メリット：ランニングコストが小さい</p> <p>デメリット：停電時使用できない、再冷却に時間を要する</p> <p>蒸発防止装置</p> <p>メリット：ランニングコストが小さい、停電時も使用可能</p> <p>デメリット：初期投資が大きい</p>

2. 解析プログラムについて

(1) マニュアルに記載されている測定容器のうち、自己吸収、サム効果等の各種補正が可能なもの

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> 自己吸収補正：U-8、0.7L・2L マリネリ サム効果補正：全体効率から計算しているため、特定の容器に限定しない Genie では、ジオメトリファイルを使って形状を考慮したサム補正を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 自己吸収：U-8 などの小径柱状容器、0.7L・2L・1L マリネリ サム効果補正：容器に依存しない

(2) 解析プログラムに付随している核データライブラリの種類とその出典

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> 測定法シリーズ No. 7 測定法シリーズ No. 29 線源核種（9 核種混合）については Table of isotope 第 7 版と第 8 版 ^{241}Am については放射線データブック（地人書館） サム補正用の核データは Table of isotope 第 8 版、一部第 7 版 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー校正用、効率校正用：Table of isotope 第 7 版 分析用：測定法シリーズ No. 7 一部ピークを取捨選択 ^{208}Tl の放出率（^{212}Bi からの分岐比を乗じている） 系列核種の半減期

(3) サム効果補正に関して

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> 対象核種を増やすことは可能ではあるが、ユーザーが直接入力するインターフェイスは用意していない。 サム効果補正については、今後 Genie を利用する方向を検討中。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象核種 ^{58}Co, ^{60}Co, ^{59}Fe, ^{88}Y, ^{133}Ba, ^{134}Cs, ^{46}Sc, ^{22}Na, ^{152}Eu, ^{154}Eu $^{110\text{m}}\text{Ag}$ を追加した実績がある。 出典は放射線データブック（地人書館）

その他マニュアルとの差異、参考文献等

キャンベラ	セイコー
<p>参考文献 検出限界：「ぶんせき」1995年11月号 p924-933</p>	<p>マニュアルとの差異</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 効率校正：高さ補正（内挿法） Gamma Station で実装していない 機能：KCl 法、効率曲線の平行移動 ・ 自己吸収補正：厚さによる効率変化を考慮しない ・ サム効果補正：体積試料についても平均的な効率で補正 ・ ピーク探査 ・ ピーク面積：面積計算（コベル法が初期値）

3. 障害とその対応について

(1) ユーザーに日常点検して欲しい項目とその許容範囲

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none"> ・ ピーク中心位置 (^{60}Co 1332keV) ・ 分解能 (^{60}Co 1332keV→4keV での簡易確認) ・ 体積線源または標準試料を定量分析し、^{137}Cs の定量値を確認 ・ スペクトル全景及び拡大ピークの目視による形状の確認 (ベースライン変動、ノイズ、非対称性など) ・ 測定試料中の ^{40}K のピーク位置や半値幅を随時確認 ・ バックグラウンドの定期的な評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ピークのずれ：1332keV で<1keV ・ エネルギー分解能：<2keV ・ ピーク計数率 <p>JAB RL364 第5版を参照</p>

(2) 障害が生じた際にユーザーに確認して欲しい項目

キャンベラ	セイコー
<ul style="list-style-type: none">・ エンドキャップの結露・ ピーク形状、分解能・ ベースラインの変化、特に低エネルギー領域・ デッドタイムの増加・ 納入時の ^{60}Co のスペクトルと現在のスペクトルをコンペア表示し、左右対称性や裾の広がり方を見比べる・ 循環式冷却装置の場合は液体窒素の残量（重量）のチェック	<ul style="list-style-type: none">・ 分解能・ 雑音（ノイズ）・ デッドタイム・ スペクトル形状・ ピークシフト

C. ガンマ線スペクトロメトリーにおける不確かさの要因及び評価方法（分析センターで現状用いている方法）

不確かさの要因	評価方法	備考
試料調製		
秤量	天秤の不確かさと繰り返し測定による評価を合成	<p>天びんの不確かさには、(1) 繰り返し性の不確かさ、(2) 丸め誤差の不確かさ、(3) 偏置加重の不確かさ、(4) 正確さ、(5) 温度特性、(6) 校正分銅の不確かさがある。天びんの不確かさは、1 目量の 1.3 倍～2 倍であることから、天びんの不確かさを 1 目量の 2 倍とし、測定試料重量との比を相対標準不確かさとする。</p> <p>繰り返し測定による評価は、10 回程度繰り返し測定を行い、その平均値および標準偏差を算出し、相対標準不確かさを求める。</p>
試料の厚さ	計測器の精度と繰り返し測定による評価を合成	<p>計測器の不確かさは目幅の許容差を上下限とする矩形分布とする。</p> <p>繰り返し測定による評価は、厚さの変動に対する効率の変動を評価する（評価する基準のエネルギーは 661.7keV とする）。</p>
効率校正		
線源の厚さ	計測器の精度と繰り返し測定による評価を合成	試料調製。試料の厚さと同様。
校正用線源	校正証明書の値	校正用線源に含まれる各核種について、300keV 未満及び 300keV 以上で分割し、成績書に記載されている標準不確かさ (%) (k=1) の最大値を使用する。

不確かさの要因	評価方法	備考
幾何条件	繰り返し測定による評価	検出器と測定試料に関する幾何学的条件についての不確かさは、繰り返し測定により評価できるが、ホルダー等を用いて所定の位置に試料を設置できるようにしてある場合、再現性の不確かさは小さく、他の要因と比較して無視できると考えられるので省略する。
不感時間	評価せず	不感時間（検出器回路の動作不能時間）に起因する不確かさは小さく、他の要因と比較して無視できると考えられるので省略する。
測定系の変動	評価せず	校正時の測定期間内における測定系の変動に起因する不確かさは小さく、他の要因と比較して無視できると考えられるので省略する。
計数誤差	$\sqrt{\text{正味計数値}}/\text{測定時間}$	計数誤差を標準偏差として用い、正味ピーク面積に対する相対計数誤差を算出し、その値を標準不確かさとする。ただし、各々の核種について算出した相対計数誤差のうち、300keV で分割した各領域に対して、最大値をその領域における標準不確かさとして使用する。
放出比	核データ	解析に使用している核データを参照して相対誤差を算出し、標準不確かさとして使用する。ただし、算出した相対誤差のうち、300keV で分割した各領域に対して、最大値をその領域における標準不確かさとして使用する。
校正式フィッティング	フィッティング曲線/実測値の頻度分布の変動係数	300keV で分割した各領域で、核種（ γ 線）の校正データより、[フィッティング値/実測値]を算出し、[フィッティング値/実測値]の標準偏差を、校正式のフィッティングの標準不確かさとする。

不確かさの要因	評価方法	備考
サム効果補正	評価せず	サム効果補正に含まれる不確かさは見積もることが困難であるため、現在は実施していない。
自己吸収補正	評価せず	校正に寒天やアルミナを用い、水や灰化物等の通常環境試料を測定する場合、自己吸収補正による不確かさは大きな要因ではないので省略する。
減衰補正	核データ及び計算より算出	解析に使用している核データを参照して、半減期、半減期+ σ のそれぞれで校正日から測定日までの経過日数までの減衰補正係数を算出し、その差の相対値を相対標準不確かさとする。ただし、算出した相対標準不確かさのうち、300keVで分割した各領域に対して、最大値をその領域における標準不確かさとして使用する。
測定		
幾何条件	繰り返し測定による評価	効率校正。幾何条件と同様。
不感時間	評価せず	効率校正。不感時間と同様。
測定系の変動	精度管理による許容基準から評価	設定されている変動幅の許容基準（相対値）を上下限とする矩形分布とする。
計数誤差	$\sqrt{\text{正味計数値}} / \text{測定時間}$	効率校正。計数誤差と同様。
放出比	核データ	効率校正。放出比と同様。
サム効果補正	評価せず	効率校正。サム効果補正と同様。
自己吸収補正	評価せず	効率校正。自己吸収補正と同様。

不確かさの要因	評価方法	備考
減衰補正	核データ及び計算より算出	<p>解析に使用している核データを参照して、半減期、半減期+σのそれぞれで基準日（試料採取日等）から測定日までの経過日数までの減衰補正係数を算出し、その差の相対値を相対標準不確かさとする。ただし、算出した相対標準不確かさのうち、300keV で分割した各領域に対して、最大値をその領域における標準不確かさとして使用する。</p>

D. IAEA¹³⁾による不確かさの要因及び評価方法

不確かさの要因	求め方	備考
測定の再現性	再現性条件下で実施されたサンプルの反復測定、または装置の品質管理（効率安定性試験）から。	
測定再現性	再現性条件下で実施されたサンプルの反復測定から。	
校正用線源の放射能	核種は校正証明書から。	校正用線源に存在しない核種については、調査対象の核種の γ 線エネルギーに近いエネルギーの2つの核種のうち、大きい方の放射能の不確かさが考慮される。
サンプルの正味ピーク面積	スペクトル解析ソフトウェアから。	
校正用線源の正味ピーク面積	スペクトル解析ソフトウェアから。	校正用線源に存在しない核種については、調査対象の核種の γ 線エネルギーに近いエネルギーの2つの核種のうち、大きい方の正味ピーク面積の不確かさが考慮される。
全吸収ピーク効率フィット	対象核種が校正用線源に存在しない場合、フィッティングされた校正曲線の残差の解析から。	

不確かさの要因	求め方	備 考
サンプル質量の測定 (再現性)	$U = \frac{s}{\bar{m}}$ <p>\bar{m} : 正味質量の平均</p> $\bar{m} = \frac{\sum_{n=1}^x (\text{gross}_n - \text{tare})}{x}$ <p>(注) 論文では $x = 3$</p> <p>s : 正味質量の平均の標準偏差、</p>	<p>計算に使用された入力値は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 総質量 (グラム) の 3 つの測定結果 - 風袋質量のグラム単位の測定結果
サンプル質量の測定 (天びんの分解能)	$u = \frac{S_{\text{balance}}}{\bar{m}}$ <p>S_{balance} : 天びんの分解能</p> <p>\bar{m} : 正味重量の平均</p>	
体積の測定	<p>体積の測定による放射能濃度 c_A の相対標準不確かさの要因は次のとおりである。</p> $\left. \frac{S_{c_A}}{c_A} \right _V = \sqrt{\left(2 \times \frac{S_{\text{caliper}}}{d} \right)^2 + \left(\frac{S_{\text{caliper}}}{h} \right)^2}$ <p>d : 容器の直径 [mm]</p> <p>h : 容器内のサンプルの高さ [mm]</p> <p>S_{caliper} : 容器の直径とサンプルの高さを測定するために使用される計測器の分解能</p>	

不確かさの要因	求め方	備考
乾燥質量の測定	<p>乾燥質量の測定による放射能の相対標準不確かさの要因は、次のとおりである。</p> $\frac{S_a}{a} \Big _w = \sqrt{\left(\frac{S_{m_d}}{m_w - m_d}\right)^2 + \left(\frac{m_d}{m_w - m_d} \times \frac{S_{m_w}}{m_w}\right)^2}$ <p>S_{m_d}, S_{m_w} : m_d [g], m_w [g]の標準不確かさであり、 天びんの分解能から決定される。</p>	<p>サンプルの相対水分含有量Wは、次のように表される。</p> $W = \frac{m_w - m_d}{m_w}$ <p>m_w : 湿潤サンプル質量[g] m_d : 乾燥サンプル質量[g]</p>
補正		
バックグラウンド	<p>バックグラウンド補正による放射能の相対標準不確かさの要因は、次のとおりである。</p> $\frac{S_a}{a} \Big _{bkg} = \frac{S_{R_b}}{R_c^{bkg}}$ <p>S_{R_b} : R_b [s⁻¹]の標準不確かさ S_{R_b} は測定値から直接得られないため、次のように計算できる。</p> $S_{R_b} = \frac{S_{R_b}}{R_b} \times R_b$ <p>ここで、$\frac{S_{R_b}}{R_b}$とR_bは、スペクトル解析ソフトウェアからの情報を使用して簡単に計算することができる。</p>	<p>バックグラウンドに対して補正されたサンプルスペクトルの対象ピークにおける正味の計数率R_c^{bkg}は、次のように表される。</p> $R_c^{bkg} = R_m - R_b$ <p>R_m : サンプルスペクトルの対象ピークの計数率[s⁻¹] R_b : ブランクスペクトルの対象ピークの計数率[s⁻¹]</p>

不確かさの要因	求め方	備 考
ジオメトリと自己吸収	文献から（比較と異なる ET (Efficiency Transfer) コードの等価性）。体積試料から体積試料への ET の場合は、約 2%と推定できる。	ET コードで入力パラメータの有限変動を実行することによって評価される不確かさはごくわずかである。
サム効果（校正用線源）	文献から（サム効果のためのコードの比較）。約 3%と推定できる。	
サム効果（サンプル）	文献から（サム効果のためのコードの比較）。約 3%と推定できる。	

不確かさの要因	求め方	備 考
スペクトルの干渉	<p> スペクトルの干渉補正による放射能の相対標準不確かさの要因は、次のとおりである。 </p> $\frac{S_a}{a} \Big _{interf} = \frac{A_2}{A} \times \frac{I_\gamma^2(E)}{I_\gamma^1(E)} \times \frac{s_{R_2}^*}{R_2^*}$ <p> A_2 : 核種 2 の放射能 [Bq] $I_\gamma^1(E)$: 核種 1 の対象となるガンマ線の放出率 $I_\gamma^2(E)$: 核種 2 の対象となるガンマ線の放出率 $\frac{s_{R_2}^*}{R_2^*}$: スペクトル干渉のない、ピーク*内の核種 2 の計数率の相対標準偏差 </p>	<p> 2つのピークが数学的アルゴリズムを用いてデコンボリューションすることができないトータルオーバーラップの場合には、スペクトル干渉について補正された、サンプルスペクトル中のエネルギーEにおける対象ピークにおける正味の計数率R_c^{interf}は次のとおりである。 </p> $R_c^{interf} = (R_1 + R_2) - R_2$ <p> R_1 : 核種 1 によるサンプルスペクトルの対象ピークの正味の計数率 [s⁻¹] R_2 : 核種 2 によるサンプルスペクトルの対象ピークの正味の計数率 [s⁻¹] </p> <p> R_c^{interf} の決定に手動アプローチを使用する場合、R_2 は核種 2 の放射能A_2 の計算によって得られるスペクトル干渉のない核種 2 の別の適切なピークの分析によって決定される。 </p>

不確かさの要因	求め方	備 考
デッドタイム	<p>デッドタイム補正による放射能の相対標準不確かさの要因は、次のとおりである。</p> $\frac{S_a}{a} \Big _{DT} = R_c^{DT} \times s_\tau$ <p>R_c^{DT} : サンプルスペクトルの対象ピークの正味の計数率 s_τ : τ [s]の標準不確かさ</p>	<p>デッドタイムを補正した、サンプルスペクトルの対象ピークの正味の計数率R_c^{DT}は、次のように表される。</p> $R_c^{DT} = \frac{R_m}{1 - R_m \times \tau}$ <p>R_m : サンプルスペクトルの対象ピークの計数率[s⁻¹] τ : アナログ-デジタルコンバータ (ADC) のデッドタイム[s]</p>
減衰	<p>減衰補正による放射能の相対標準不確かさの要因は、次のとおりである。</p> $\frac{S_a}{a} \Big _{Decay} = \frac{\ln(2) \times \Delta t}{T_{1/2}^2} \times s_{T_{1/2}}$ <p>$T_{1/2}$: 核種の半減期[d]</p>	<p>減衰補正されたサンプルスペクトルの対象ピークにおける正味の計数率R_c^{Decay}は、次のように表される。</p> $R_c^{Decay} = R_m \times e^{-\lambda \Delta t}$ <p>R_m : サンプルスペクトルの対象ピークの計数率[s⁻¹] λ : 対象核種の壊変定数[d⁻¹] Δt : 測定日と基準日の間の経過時間(測定時間中の減衰を無視する)</p>

不確かさの要因	求め方	備考
核データ		
半減期, $T_{1/2}$	核データベースから	
γ 線の放出率, I_γ (放射性核種と見なされる)	核データベースから	
γ 線の放出率, I_γ (妨害核種)	核データベースから	

E. 文献¹⁴⁾による不確かさの要因及び評価方法

不確かさの要因	求め方	備 考
検出器+エレクトロニクス スペクトルサイズ		<p>ピーク領域を定義する際は低い不確かさを得るために対象とするピークの幅に対応して適切なチャンネルを設定する必要がある。</p> <p>*統計的に有意な計数を維持するためにスペクトルサイズを広げすぎてはいけませんが、ピーク領域のチャンネル数が少ないとフィッティングがうまくいかない。</p>
検出器+エレクトロニクス 計数率とデッドタイム		<p>低い計数率を与える線源を固定した状態で、別の核種の線源を徐々に近づけて計数率を増加させることで、適度な計数率を保證する実験条件を選択する。</p>
検出器の安定性		<p>温度変動などの環境要因は検出器の性能を低下させる可能性があるため避けるべきで、追加的な不確かさの要因を含めるためにその影響を定量化する必要がある。</p>

不確かさの要因	求め方	備 考
点線源		<p>点線源を自作する場合、サンプリングの不確かさを見積もるため、少なくとも5つの点線源を準備するのが望ましい。</p> <p>検出器からの25cmおよび10cmにおける軸方向線源位置の1mmの不確かさは、それぞれ0.8%および2.0%の相対的な不確かさを誘発する。</p>
体積線源 容器底部の厚さ及び形状		γ線の減衰の変化、線源－検出器の距離の変化
体積線源 容器充填高		<p>減衰および効率の変化</p> <p>* 充填高に関連する不確かさは、異なる充填高でいくつかの線源を調製し、関連する計数変動を測定することによって実験的に推定することができる。</p>
体積線源 線源物質の均一性		試料の均質性は、実験的に評価することが困難なもう1つの不確かさの原因である。極端な状況は異なる再分配プロファイルによってモデル化することができる。
ピーク面積 積算法	$u(N_i) = \left\{ \sum_{i=L}^H C_i + \frac{n^2 (\sum_{i=L-m+1}^L C_i + \sum_{j=H}^{H+m-1} C_j)}{4m^2} \right\}^{1/2}$	<p>N_i : エネルギーEにおける正味ピーク面積</p> <p>L, H : ピーク領域の低エネルギーおよび高エネルギー側の境界チャンネル。</p> <p>m : ベースライン領域のチャンネル幅 (3~5)</p>

不確かさの要因	求め方	備考
ピーク面積 関数適合	$\frac{u(S(E))}{S(E)} = \left\{ \frac{u^2(\sigma)}{\sigma^2} + \frac{u^2(G)}{G^2} + \frac{2u(\sigma, G)}{\sigma \cdot G} \right\}^{1/2}$	$S(E)$: ガウスフィッティングされた面積 σ : 標準偏差 G : ピークの振幅 $u(\sigma, G)$: σ と G の共分散
ピーク面積	$\frac{u(N_i)}{N_i} = \left\{ \frac{u^2(AP_i)}{AP_i^2} + \frac{u^2(C_{AP})}{(C_{AP})^2} \right\}^{1/2}$	AP : ピーク面積の最良推定値 C_{AP} : 系統的効果を考慮した補正係数
減衰補正 基準日から測定開始まで	$\frac{u(C_T)}{C_T} = \ln(2) \cdot \frac{T_m - T_0}{T_{1/2}} \cdot \frac{u(T_{1/2})}{T_{1/2}}$	C_T : 減衰補正係数 T_m : 測定開始時間 T_0 : 基準時間 $T_{1/2}$: 半減期
減衰補正 測定中	$\frac{u(C_{Dec})}{C_{Dec}} = \left\{ 1 + C_{Dec} \cdot \exp\left(-\ln(2) \cdot \frac{T_r}{T_{1/2}}\right) \right\} \cdot \frac{u(T_{1/2})}{T_{1/2}}$	C_{Dec} : 測定中の減衰補正係数 T_r : 測定時間 (リアルタイム)
自己吸収補正	$\frac{u(C_{Self}(E))}{C_{Self}(E)} = \left \frac{\exp(-\mu(E) \cdot x)}{C_{Self}(E)} - 1 \right \cdot \sqrt{\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2 + \left(\frac{u(\mu(E))}{\mu(E)}\right)^2}$	$C_{Self}(E)$: エネルギー E における自己吸収補正係数 $\mu(E)$: エネルギー E の線減弱係数 x : 試料の厚さ
		自己吸収補正の現実的な値はモンテカルロシミュレーションから得ることができる

不確かさの要因	求め方	備 考
ジオメトリ		多くのパラメータが干渉する可能性があるため、ジオメトリ補正係数に関連する不確かさはほとんど計算できない。したがって、モンテカルロ法を使用して、その確率分布に従ってサンプリングされた多数の入力パラメータのシミュレーションを実行することによって、最終的な不確かさを推定することが推奨される。
サム効果補正		モンテカルロシミュレーションによってのみ現実的に評価することができる。
バックグラウンド補正	$u(N_i) = (N_{(Si)m} + N_{(Bi)m} + N_{(Si)0} + N_{(Bi)0})^{1/2}$	$N_{(Si)}$: グロスピーク面積 $N_{(Bi)}$: 対応するバックグラウンド 添え字 $m, 0$: 測定およびバックグラウンド条件
ピーク効率 単一ピーク	$\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i} = \left\{ \frac{u^2(n_i)}{n_i^2} + \frac{u^2(A)}{A^2} + \frac{u^2(I_i)}{I_i^2} + \sum_j \frac{u^2(C_{ij})}{C_{ij}^2} \right\}^{1/2}$	ε_i : ピーク効率 n_i : 正味計数率 A : 放射能 I_i : γ 線放出率 C_{ij} : 補正係数 (補正係数間に相関関係がない)

不確かさの要因	求め方	備 考
ピーク効率 フィッティングカーブ	$u^2(\varepsilon_i) = \left(\frac{1}{A \cdot I_i}\right)^2 \cdot u^2(n_i) + \left(\frac{n_i}{A^2 \cdot I_i}\right)^2 \cdot u^2(A)$ $+ \left(\frac{n_i}{A \cdot I_i^2}\right)^2 \cdot u^2(I_i)$ $\frac{u(\varepsilon_i, \varepsilon_j)}{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_j} = \frac{u^2(n_i)}{n_i^2} \cdot \delta_{ij} + \frac{u^2(A)}{A^2} + \frac{u(I_i, I_j)}{I_i \cdot I_j}$ $U_{\varepsilon_i, j} = u(\varepsilon_i, \varepsilon_j) \text{ および } U_{\varepsilon_i, j} = u^2(\varepsilon_i)$	<p>フィッティングされた値に関連する不確かさは、最小自乗フィッティング手順から導き出すことができ、実験データの数が多の場合、最終的に実験的データよりも不確かさを低くする可能性がある。系統的バイアスを隠すことができるので、これが本当に有意義かどうかを検討しなければならない。一つの示唆は、過度に楽観的な不確かさを招くこの状況を回避するために、実験的なものの最小値でフィッティングの不確かさを維持することであろう。</p>
モンテカルロシミュレーション		<p>モンテカルロ法での不確かさは、一般的に計算の統計的側面を指し、非常に低い値を達成することができることに注意することが重要である。したがって、現実的な不確かさは、それぞれの不確かさの要因に応じて異なる入力値（JCGM 2008b）でモンテカルロシミュレーションを繰り返すことによって評価されるべきである。</p>

不確かさの要因	求め方	備 考
放射能 単一エネルギー	$\frac{u(A)}{A} = \left\{ \frac{u^2(n_i)}{n_i^2} + \frac{u^2(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i^2} + \frac{u^2(I_i)}{I_i^2} + \sum_j \frac{u^2(C_{ij})}{C_{ij}^2} \right\}^{1/2}$	
放射能 複数ピークの加重平均	$u(A) = \left\{ \left(\frac{1}{2 \cdot \varepsilon_1} \right)^2 \cdot u^2(n_1) + \left(\frac{n_1}{2 \cdot \varepsilon_1^2} \right)^2 \cdot u^2(\varepsilon_1) \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{2 \cdot \varepsilon_2} \right)^2 \cdot u^2(n_2) + \left(\frac{n_2}{2 \cdot \varepsilon_2^2} \right)^2 \cdot u^2(\varepsilon_2) + \frac{n_1 \cdot n_2}{2 \cdot \varepsilon_1^2 \cdot \varepsilon_2^2} \cdot u(\varepsilon_1, \varepsilon_2) \right\}^{1/2}$	<p>同じ重み ($\omega_i = 1$) のエネルギー E_1 および E_2 を有する 2 つのガンマ線を放射する核種の場合で、簡略化のために、I_i および C_i が 1 として、効率値のみの相関を仮定して、共分散 $u(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ を誘導する。</p>

F. 調査文献リスト

文献番号	タイトル	著者	出典	号数	発行年	ページ
1	ISO 11929:2010, Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application	ISO	ISO 11929:2010		2010	
2	JCGM 101:2008, Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" — Propagation of distributions using a Monte Carlo method	JCGM	JCGM 2008		2008	
3	JIS Q 17025:2018, 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項	JIS	JIS Q 17025:2018 (ISO/IEC 17025:2017)		2018	
4	Ge 検出器を用いたγ線スペクトロメトリにおけるコインシデンス・サム効果の簡単な補正法	渡邊 鑑, 吉田 真, 大井 義弘, 滝 光成, 間邊 巖	RADIOISOTOPES	48	1999	690-694
5	¹³⁴ Csのサム効果補正に関する共同実験結果	米沢 仲四郎, 柿田 和俊, 高橋 孝紀, 青野 辰雄, 前田 智史, 荒川 史博, 木方 展治, 秋山 正和, 石津 秀剛, 岡田 往子, 吉田 充哉, 南村 慎也, 山田 隆志, 平井 昭司	BUNSEKI KAGAKU	67(4)	2018	213-220
6	Calculation of coincidence summing in gamma-ray spectrometry with the EGS5 code	Tsuyoshi Kajimoto, Satoru Endo, Nguyen Tat Thanh, Kiyoshi Shizuma	Applied Radiation and Isotopes	95	2015	53-58
7	Calculation of true coincidence summing corrections for extended sources with EFFTRAN	Tim Vidmar, Günter Kanisch, Gaj Vidmar	Applied Radiation and Isotopes	69	2011	908-911
8	APPLICATION AND VALIDATION OF EGS5 CODE TO ESTIMATE DETECTION EFFICIENCIES OF MULTI-CASCADE NUCLIDES	Y. Unno, T. Sanami, M. Hagiwara, S. Sasaki, T. Kurosawa	Proceedings of the Nineteenth EGS Users' Meeting in Japan	2012-7	2012	10-15
9	Equivalence of computer codes for calculation of coincidence summing correction factors	T. Vidmar, M. Capogni, M. Hult, S. Hurtado, J. Kastlander, G. Lutter, M.-C. Lépy, J. Martinkovič, H. Rameback, O. Sima, F. Tzika, G. Vidmar	Applied Radiation and Isotopes	87	2014	336-341
10	REPORT IND 04-12 PROCEDURAL GUIDE FOR CALCULATION OF TRUE COINCIDENCE SUMMING CORRECTION FACTORS FOR SAMPLES IN METALLURGICAL INDUSTRY		INDO4 MetroMetal Ionising radiation metrology for the metallurgical industry		2013	
11	Monte Carlo calculations of coincidence-summing corrections for volume sources in gamma-ray spectrometry with Ge detectors	Eduardo García-Toraño, Milagros Pozuelo, Francesc Salvat	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	544	2005	577-583
12	ゲルマニウム検出器のピーク対トータル効率比	水本 良彦, 日下部 俊男, 岩田 志郎	RADIOISOTOPES	36	1987	20-23
13	放射線防護計測機器の工業標準化動向	柚木 彰	Isotope News	718(2)	2014	34-37
14	A new approach to counting measurements: Addressing the problems with ISO-11929	John Klumpp, Guthrie Miller, Deepesh Poudel	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	892	2018	18-29
15	Applying ISO 11929:2010 Standard to detection limit calculation in least-squares based multi-nuclide gamma-ray spectrum evaluation	G. Kanisch	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	855	2017	159-173

文献番号	タイトル	著者	出典	号数	発行年	ページ
16	Determination and Interpretation of Characteristic Limits for Radioactivity Measurements Decision Threshold, Detection Limit and Limits of the Confidence Interval	IAEA	IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 48		2017	
17	Detection limit calculations for peak evaluation methods in HPGe gamma-ray spectrometry according to ISO 11929	Günter Kanisch	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	855	2017	118-132
18	Minimum detectable activity, systematic uncertainties, and the ISO 11929 standard	J. M. Kirkpatrick, R. Venkataraman, B. M. Young	Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	296	2013	1005-1010
19	Practical implementation of ISO 11929: 2010	P. De Felice, S. Jerome, A. Petrucci	Applied Radiation and Isotopes	126	2017	256-262
20	放射能の不均一分布がゲルマニウム半導体検出器を用いた食品の放射能測定値に及ぼす影響	吉田 充, 西塚 菜穂子, 村上 恵理, 八戸 真弓, 濱松 潮香	日本食品科学工学会誌	63(3)	2016	132-135
21	Ge 検出器 - γ 線スペクトロメトリによる玄米認証標準物質中 ^{134}Cs , ^{137}Cs 及び ^{40}K の分析 - 第2部 不確かさ評価-	米沢 伸四郎, 城野 克広, 原賀 智子	BUNSEKI KAGAKU	66(1)	2017	27-37
22	A practical evaluation of measurement uncertainty in gamma-ray efficiency curve determination through an analytical approach	Katsuhiro Shirono, Yasuhiro Unno, Rio Furukawa, Chushiro Yonezawa	Applied Radiation and Isotopes	121	2017	131-141
23	Calculation spreadsheet for uncertainty estimation of measurement results in gamma-ray spectrometry and its validation for quality assurance purpose	Alessia Ceccatelli, Ashild Dybdal, Ales Fajgelj, Aurelien Pitois	Applied Radiation and Isotopes	124	2017	7-15
24	The jackknife as an approach for uncertainty assessment in gamma spectrometric measurements of uranium isotope ratios	H. Ramebäck, A. Vesterlund, A. Tovedal, U. Nygren, L. Wallberg, E. Holm, C. Ekberg, G. Skarnemark	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, B	268	2010	2535-2538
25	Uncertainties in gamma-ray spectrometry	M C Lépy, A pearce, O sima	Metrologia	52	2015	123-145
26	Uncertainty of gamma-ray spectrometry measurement of environmental samples due to uncertainties in matrix composition, density and sample geometry	S. Kaminski, A. Jakobi, Chr. Wilhelm	Applied Radiation and Isotopes	94	2014	306-313
27	A gamma-ray spectrometry analysis software environment	G. Lutter, M. Hult, G. Marissens, H. Stroh, F. Tzika	Applied Radiation and Isotopes	134	2018	200-204
28	A quick technique to improve the geometry characterisation of aged HPGe detectors for MC code efficiency calculation	H. Moser, F.J. Maringer	Applied Radiation and Isotopes	109	2016	532-534
29	Efficiency transfer using the GEANT4 code of CERN for HPGe gamma spectrometry	S. Chagren, M. Ben Tekaya, N. Reguigui, F. Gharbi	Applied Radiation and Isotopes	107	2016	359-365
30	EFFTRAN — A Monte Carlo efficiency transfer code for gamma-ray spectrometry	Tim Vidmar	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	550	2005	603-608
31	Testing efficiency transfer codes for equivalence	T. Vidmar, N. Çelik, N. Cornejo Díaz, A. Diabac, I.O.B. Ewa, J.A. Carrazana González, M. Hult, S. Jovanović, M.-C. Lépy, N. Mihaljević, O. Sima, F. Tzika, M. Jurado Vargas, T. Vasilopoulou, G. Vidmar	Applied Radiation and Isotopes	68	2010	355-359

文献番号	タイトル	著者	出典	号数	発行年	ページ
32	The use of Monte Carlo calculations in the determination of a Ge detector efficiency curve	R. G. Helmer, J. C. Hardy, V. E. Jacob, M. Sanchez-Vega, R. G. Neilson, J. Nelson	Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, A	511	2003	360-381
33	Uncertainty analysis in environmental radioactivity measurements using the Monte Carlo code MCNP5	S. Gallardo, A. Querol, J. Ortiz, J. Ródenas, G. Verdú, J. F. Villanueva	Radiation Physics and Chemistry	116	2015	214-218
36	Precise measurement and calculation of coincidence summing corrections for point and linear sources	Octavian Sima, Dirk Arnold	Applied Radiation and Isotopes	70	2012	2107-2111
37	On within sample homogeneity testing using gamma-ray spectrometry	Rares Suvaila, Elena Stancu, Octavian Sima	Applied Radiation and Isotopes	70	2012	2144-2148
38	Calibration of a low-level anti-Compton Underground gamma-spectrometer by experiment and Monte Carlo	Octavian Sima, Iolanda Osvath	Applied Radiation and Isotopes	81	2013	109-113
39	CALCULATION OF THE ABSOLUTE PEAK EFFICIENCY OF GAMMA-RAY DETECTORS FOR DIFFERENT COUNTING GEOMETRIES	L. MOENS, J. De DONDER, LIN Xi-lei, F. De CORTE, A. De WISPELAERE, A. SIMONITS, J. HOSTE	Nuclear Instruments and Methods	187	1981	451-472
40	Assessing sample attenuation parameters for use in low-energy efficiency transfer in gamma-ray spectrometry	M. Bruggeman, L. Verheyen, T. Vidmar, B. Liu	Applied Radiation and Isotopes	109	2016	547-550
41	Application of GUM Supplement 1 to uncertainty of Monte Carlo computed efficiency in gamma-ray spectrometry	Octavian Sima, Marie-Christine Lépy	Applied Radiation and Isotopes	109	2016	493-499
42	検出限界と定量下限の考え方	上本 道久	ぶんせき	5	2010	216-221
43	ピーク・トータル比に基づくサム効果補正方法の検証	三枝 純, 前田 智史, 岡崎 勤, 依田 朋之, 武石 稔	放射線安全管理学会要旨集		2014	

4.3 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正

平成 28 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業で得られた「緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案」について、国際原子力機関（IAEA）から放射性ストロンチウム迅速分析法（土壌及び海水）報告書が正式に公表された際には、必要に応じて、引用箇所等を含めて改訂案の修正を行う。また、平成 28 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業の報告書に記載されている牛乳、土壌及び海水以外の環境試料について、必要に応じて、対象試料としてこの改訂案に盛り込むことを目的とする。

4.3.1 IAEA における分析法報告書公開の進捗状況の把握

IAEA における放射性ストロンチウム迅速分析法（土壌及び海水）報告書の公開に向けた進捗状況の把握を行った。その結果、以下に示す段階を踏む必要があるため、報告書の公開は平成 31 年度以降であることを確認した。

- ①分析法に対する意見や問題点を検討するため、 ^{89}Sr のトレーサーを入手し、IAEA において検討実験を行う。
- ②検討結果を反映してドラフト案を作成する。このドラフト案作成は、平成 31 年 3 月末頃を目途としている。
- ③分析法の妥当性確認に参加したエキスパートラボラトリー（日本分析センターも含む）にドラフト案を送付し、レビューを行うこととしている。
- ④レビュー後のドラフト案は、IAEA 内部において表現や記述の整合等の修正を行った後、公開されることとなる。

4.4 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見について

本事業を実施するに当たって、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会を通じて、マニュアル改訂案の主なユーザーとなる地方公共団体の分析機関から意見を聴取した。

詳細については参考資料 2 に示す。

5. まとめ

原子力規制委員会では、環境放射能の水準を把握するための調査や、陸域、海域及び空域の各種放射線モニタリングを実施している。また、地方公共団体、原子力事業者、研究機関等の様々な主体が放射線モニタリングを実施している。これらの様々な主体が適切に各種放射線モニタリングを実施するためには、標準的な分析・測定法に関するマニュアルを技術の進展に併せた形で整備しておく必要がある。

本年度については、以下の項目について、業務を実施した。業務に当たっては、専門的知見を持つ者から意見を聴取する等、技術的妥当性に留意するとともに、適宜、原子力規制庁担当官と調整を行った。

- ・ 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法（No. 24）の改訂案の作成
- ・ 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（No. 7）の改訂案の検討
- ・ 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正
- ・ 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取
- ・ 事業報告書の作成

(1) 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法（No. 24）の改訂案の作成

放射能測定法シリーズ No. 24「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の改訂案を作成するに当たっては、福島第一原発事故の教訓を取り込み、更なる実効性の向上を図るために、実試料による手順の確認、作業状況の写真撮影を行った。また、計算シミュレーションによる検出効率の評価を行った上、放射性核種の測定容器壁への吸着状況を検討した。それらの結果を踏まえ、緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法（No. 24）の改訂案を作成した。その際に、原子力規制委員会に設置された環境放射線モニタリング技術検討チームの委員等から指摘された事項に対応した。

(2) 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（No. 7）の改訂案の検討

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（No. 7）の改訂案を作成するために必要な検討を行った。

文献調査等によりガンマ線スペクトロメトリーに用いられている測定機器類及び解析手法の現状を調査し、シミュレーションを用いたサム効果補正、ISO11929に基づく検出下限値の評価、ガンマ線スペクトロメトリーにおける不確かさ評価について検討を行った。

(3) 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正

国際原子力機関（IAEA）から放射性ストロンチウム迅速分析法（土壌及び海水）報告書の公開に向けた進捗状況の把握を行った。平成 30 年度末までに、当該報告書のドラフト案の作成を目指していることから、公開は平成 31 年度以降になることを確認した。

(4) 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取

本業務を実施するに当たっては、学識経験者等からなる委員会「放射能測定法シリーズ改訂検討委員会」を設置し、検討内容及び検討結果、マニュアル改訂案等について、総合的な評価・検討を行った。

(5) 事業報告書の作成

(1) 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法（No. 24）の改訂案の作成については、検討結果を取りまとめるとともに、改訂案を作成した。(2) 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（No. 7）の改訂案の検討については、改訂案作成するための必要な検討を行い、取りまとめた。(3) 緊急時における放射性ストロンチウム分析法の改訂案の修正については、IAEA 報告書の公開時期を確認した。これらについて、事業報告書に取りまとめた。

本事業を実施するに当たって、改訂案の主なユーザーとなる地方公共団体の分析機関に対して、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会を通じて、意見聴取した。その他に、改訂案及び検討に必要な事項を調査するために、国内の機関を訪問するとともに、文献を入手して調査を実施した。

参考資料 1 平成 30 年度 放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

平成 30 年度 第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 30 年 5 月 29 日(火) 13 時 55 分～15 時 50 分

2. 場所 航空会館 B101 会議室

3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
委員	阿部琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	木村芳伸	青森県原子力センター
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	三枝純	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	長尾誠也	金沢大学(欠席)
原子力規制庁	小此木裕二	企画官、二宮久課長補佐、山田純也課長補佐
	松田秀夫	解析評価専門官、(齋藤公明技術参与 欠席)
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株)	(阿部敬朗)、
	ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株)	(酒井国博、鈴木孝宏)
事務局	公益財団法人 日本分析センター	
	磯貝、岸本、太田(裕)、前山、新田、太田(智)、篠原、鈴木、今野	

4. 議題

- (1) 平成 30 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
- (2) 実施計画、検討事項及び現状調査方法について
- (3) その他

5. 配付資料

資料 1-1	平成 30 年度放射能測定法シリーズ改訂検討委員会名簿
資料 1-2	平成 30 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
資料 1-3	緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法(No.24)の改訂案の作成
資料 1-4	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ガンマ線スペクトロメトリー」の改訂に係る検討
資料 1-5	「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
常備資料	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ガンマ線スペクトロメトリー No. 24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法

6. 議事概要

議事に先立ち、原子力規制庁小此木企画官から挨拶があった。また、日本分析センター磯貝より、委員の紹介後、本委員会の委員長を中村委員に依頼した。

(1) 平成 30 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について

事務局より、資料 1-2 に基づき、平成 30 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について説明があった。

①委員より、7 月～8 月に開催予定である環境放射線モニタリング技術検討チームにおいてマニュアル改訂の方向性について議論するとあるが、何を議論するのかとの質問があった。

原子力規制庁より、本委員会で検討した No. 24（緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法）の改訂の方向性について、不足事項等が無いかを議論すると
の回答があった。

(2) 実施計画、検討事項及び現状調査方法について

1) 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法 (No. 24) の改訂案の作成

事務局より、資料 1-3 に基づき、緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法 (No. 24) の改訂案の作成について説明があった。

- ①委員より、野菜類の洗浄方法の選定の根拠について質問があった。事務局より、昨年度に実施した現状調査を踏まえて、野菜類を食する場合にどのような方法で洗浄するかということに着目して選定したと回答があった。
- ②委員より、食する場合に洗浄するか否かに着目した場合、精米については洗浄することになるのではないかと質問があった。事務局より、緊急時の前処理において、実際にどういった前処理が必要かを含めて検討したいと回答があった。
- ③委員より、指標生物としてムラサキガイは入れないのかとの質問があった。事務局より、ムラサキガイは指標生物として重要であると考えているので追記したいと回答があった。
- ④委員より、貝類の可食部がむき身とあるが、貝の種類によってはむき身からさらに内臓を除去する場合もあるので、一律にむき身にしなくともよいのではないかとコメントがあった。
- ⑤委員より、大気試料の捕集材については用途によって数種類あるので、準備すべき捕集材及び前処理方法（ろ紙の打ち抜き方、マリネリ容器へのつめ方等）について整理すべきとのコメントがあった。また、大気試料の用途別の捕集材については現行の No. 24 に限らず、大気試料を取り扱っている他のマニュアルにおいても整理をしてほしいとの要望があった。
- ⑥委員より、マリネリ容器の内袋は扱いにくい（破れやすい）ため、ポリプロピレン製のディスプレイブルタイプのマリネリ容器をメーカーなどで検討してもらいたいとの要望があった。オブザーバーより、メーカーで製品化するのは難しいと思われるが、要望があれば検討したいとの回答があった。
- ⑦委員より、マニュアルに写真を取り入れるとユーザーにとって分かりやすいマニュアルになるのでよいとのコメントがあった。
- ⑧委員より、定量可能レベルについては、算出方法をできるだけ詳細に記載してほしいとの要望があった。事務局より、今回示した数値は実際に得られたスペクトルを元に算出したものなので、算出方法について解説に記載したいと回答があった。
- ⑨委員より、分析化学の分野では検出下限は 3σ 、定量下限は 10σ を用いるのが常なので、定量可能レベルを解説する際に、検出下限、定量下限については補足説明を記載した方がよいとのコメントがあった。
- ⑩委員より、現行のマニュアルには定量可能レベルについての記載があるのかとの質問があった。事務局より、現行マニュアルの P4～P5 に記載があるとの回答があった。
- ⑪委員より、緊急時においてどこまでの定量可能レベルを設定するのか、試料の重要性も加味して整理をする必要があるとのコメントがあった。
- ⑫委員より、大気試料の捕集材について使用前に汚染状況を確認するとあるが、どのような方法で確認するのかとの質問があった。また、捕集材のロット単位で確認した事例が紹介された。事務局より、マニュアルへの表記の仕方も含めて今後検討したいと回答があった。
- ⑬原子力規制庁より、本委員会のコメントを踏まえ、No. 24 の改訂の方向性について環境放射線モニタリング技術検討チームに諮りたいとの要望があった。原子力規制庁と事務局でスケジュールを調整しながら本委員会としての改訂の方向性をまとめることとした。

2) 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ガンマ線スペクトロメトリー」の改訂に係る検討

事務局より、資料 1-4 に基づき、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の改訂に係る検討について説明があった。

- ①委員より、本マニュアルの対象者が実務担当者となった場合、現行マニュアルの技術情報は参考資料としては残るのかとの質問があった。事務局より、技術情報の有効性（必要性）を整理し、必要なものは残すとの回答があった。
 - ②委員より、シミュレーションによる校正についてはどのように扱うのかとの質問があった。事務局より、かなり有用な手法であるが、トレーサビリティがとれるかが問題であるとの回答があった。
 - ③委員より、シミュレーションによる効率評価でも大きく外れた値にはなっていないとは聞いているが、計量法におけるトレーサビリティの観点からは線源での校正が必要であるとのコメントがあった。
 - ④事務局より、平成 28 年度に改訂された No. 33 (ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法) では、シミュレーションによる校正については解説に記載したと説明があった。
 - ⑤委員より、既に改訂版が公表されている No. 29 (緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法) 及び No. 33 (ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法) と比較して齟齬がないようにした方がよいとのコメントがあった。事務局より、内容について整理をして No. 7 の改訂案を作成するとの回答があった。
 - ⑥委員より、現行マニュアルに解析プログラムに関する記述があることで、機器メーカーの解析プログラムが一定のレベルを満たしているとの利点もある。機器メーカーが解析プログラムの作成時に使用する技術情報は残してほしいとの要望があった。
- 3) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
- 事務局より、資料 1-5 に基づき、緊急時における放射性ストロンチウム分析法改訂案の修正について説明があった。
- ①委員より、改訂案に下限値の算出方法について記載があったかとの質問があった。また、記載がなければ追記してほしいとの要望があった。事務局より、確認して対応したいとの回答があった。
 - ②委員より、平成 28 年度に作成した改訂案において、放射性ストロンチウム分析のための土壌試料の前処理方法についてどのように記載されているか質問があった。事務局より、確認するとの回答があった。
- (3) その他
- 1) 次回の委員会(第 2 回)について
事務局より、次回の委員会は 10 月頃にメール会合として実施すると説明があった。

以上

平成 30 年度 第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会（メール会合）要旨

1. 期間 平成 30 年 11 月 28 日(水)～平成 30 年 12 月 5 日(水)

2. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
委員	阿部琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	木村芳伸	青森県原子力センター
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	三枝純	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	長尾誠也	金沢大学
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所
オブザーバー	小此木裕二	原子力規制庁
	二宮久	原子力規制庁
	斎藤公明	原子力規制庁
	武藤保信	原子力規制庁
	松田秀夫	原子力規制庁
事務局	公益財団法人日本分析センター	

4. 議題

- (1) 第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
- (2) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル素案について
- (3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
- (4) 「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」の改訂に係る検討状況について
- (5) その他

5. 配付資料

- 資料 2-1 平成 30 年度第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨（案）
- 資料 2-2 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」
（マニュアル素案）
- 資料 2-3 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験（案）
- 資料 2-4 「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」の改訂に係る
検討状況

6. 議事概要

- (1) 第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
委員から、一部の表記について修正意見があった。
6. (2) 1) ⑥の「ポリプロピレン製のマリネリ容器」を「ポリプロピレン製のディスポーザブルタイプのマリネリ容器」に変更。
- (2) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル素案について
委員からの意見・コメントを別紙に示す。意見・コメントについては、第 3 回委員会で議論することとする。

- (3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
委員からの意見・コメントを別紙に示す。意見・コメントについては、第3回委員会で議論することとする。
- (4) 「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」の改訂に係る検討状況について
委員からの意見・コメントを別紙に示す。意見・コメントについては、第3回委員会で議論することとする。

以上

平成 30 年度第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会委員等からの意見・コメント

(1) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」(マニュアル素案)について

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
1	P1 1.1	現行マニュアルの「昭和 61 年に発生したチェルノブイル原子力発電所事故に伴う放射能影響調査を機に、…」などの記載が削除されているが、本法 (No. 24) の制定経緯として重要な記載である。
2	P1 1.1	冒頭に、「緊急時モニタリングは、原子力災害対策指針において、放射性物質若しくは放射線の異常な放出又はそのおそれがある場合に実施する環境放射線モニタリングをいい、警戒事態においてその準備を行い、施設敷地緊急事態において開始するとされている。また、防護措置の判断等のための初期モニタリング、周辺環境に対する全般的影響の評価・確認等のための中期モニタリング、復旧段階における復旧期モニタリングの 3 段階に分かれるとされている。」を追記すべき。 以下、「緊急時における… (No.24) は、この緊急時モニタリングにおいて使用されるものである。」と続ける
3	序論	序論において、汚染防止対策や保存方法について、具体的な記載をしているが、序論はあくまで序論なので、具体的な対応方法は別に章を立てるべき。 序論には、改訂に関する方針を記載するところまでとしてはどうか(見出しに「見直し」と記載している部分が対象)。
4	序論	「1.1 はじめに」以外については、見直しとの観点でなくポリシーを記載すべき。(1.3、1.4、1.5、1.6)
5	序論	第 1 章序論のうち、1.3~1.7 は、新たに第 2 章とし、全般的事項として書いた方がよい。
6	P2 1.2(2)①	「土壌等中」という表記は分からない。
7	P3 上から 4 行 目	「福島第一原発事故」ではなく「福島第一原子力発電所事故」と記載すべき。(解説 A(2)(4)等、同じ記載についても同様)
8	P3 1.4 項	作業者が注意する事柄と、施設管理者が注意する事柄は、段落を変えることによって区別されているが、作業者に対する要求事項と施設に対する要求事項を整理し、章や節を分けて記した方が明確である。
9	P3 1.4 項	汚染防止策について、前処理作業を行う環境の養生などが記載されているが、使用する物品が汚染されていないことが大前提であり、必要に応じて汚染検査も必要になることが考えられる。(当該施設が汚染地域に属している場合に保管してあった物品が汚染する可能性があることと、新品を購入した場合においても納品元の倉庫等が汚染地域に属していれば、汚染している可能性があるため。) また、養生シートやポリろ紙の上に新聞紙などを敷く場合も、汚染地域以外から古新聞を取り寄せるなどの考慮が必要。 分析センターの経験から記載可能な知見があれば、記載することが有意義である。 前処理を実施する場所と測定を実施する場所が離れていて、その間の移動に屋外に出る可能性がある場合には、当該地域が汚染の可能性があれば浮遊している放射性物質によるコンタミを防止する策を考える必要がある。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
		<p>例えば、建屋間の屋外を試料を持って移動する場合は、ビニール袋で覆うなどの措置を記載するとよい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・作業エリアの区画についての記載を追加。（靴の履き替え、粘着マットなど） ・水試料とそれ以外では汚染防止策も異なるのではないかと。（ろ紙を敷いたバットを使用するなど） ・使用する水道水の測定は毎日実施する等の記載があってもよい。 ・作業終了後の汚染検査等の記載 ・汚染エリアとそうでないエリアの区画についての記載 ・養生に関する原発事故の知見を盛り込んでもよい（古新聞やディスプレイ養生シートなど） ・サーベイメータ養生については脚注ではなく本文に記載した方がよい。 ・本文中の「イオン交換水」と「純水」の用語を統一。 ・前処理法も含め、原発事故時の知見が反映されているかを要確認。
10	P3 1.4(1)	「採取した周辺環境の放射線レベルによって、放射性核種の放射能濃度が変化すると考えられる。」の意味が不明確に思われます。そのまま読むと、採取を行う現地の放射線レベルと試料濃度の関係を述べているように読めますが、後の文書のつながりを見ると試料表面の線量率と濃度の関係を述べているようにも理解ができます。クリアに書く必要があります。
11	P4 (2)	記載が重複している箇所（「実験台については、…実験台及びその周辺を養生することによって…」や「試料ごとに養生シートを交換するなど、…試料ごとに新たなものを使用することが…」等）については修正が必要。
12	P4 (2)	試料のクロスコンタミや作業者を媒体とする汚染拡大も留意すべき事項だが、作業者の放射性物質の吸入による内部被ばくは絶対に避けなければならない。このため、作業者の汚染防止策の部分にマスクを追加し、作業者の放射性物質の吸入防止を追記すべき。
13	P4 図1タイトル	要センタリング
14	P4 本文下から2行目	汚染の具体的な確認方法の記載が必要
15	P5 (3)上から10行目	<p>「ホット作業者は容器の外側に触れないように分担する」とのことだが、容器の外側に触れずに試料を充填することが本当にできるのか疑問である。</p> <p>特に小型容器に試料を入れる場合、隙間を埋めるために容器を抑えたり、詰まり具合を確認したりするために手に取る必要があるのではないかと。触れないようにする具体的な手法があるのであれば、写真を付けて解説すべき。</p>
16	P5 1.5.1 P26～ 第8章	本文中で参考資料Hを参照すべき。
17	P5 1.5.1上から3行目	「表1に、原子力災害対策指針で示されているOIL6を示す。」という文は唐突である。表1と当該文書を削除し、本文1行目のOIL6において参考資料Aを参照させればよい。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
18	P5 1.5.1 上から4行目	「改訂前」とは何の改訂のことか記載が必要
19	P5 1.5.1 上から4行目	「改訂前においては、野菜類は…」は正確には「改訂前においては、葉菜類は…」である。（現行マニュアル P27 に「野菜類のうち、ホウレンソウ、ハクサイ、キャベツ等の葉菜類を測定試料に調製する前処理方法および保存方法について示す。」とある。）
20	P5 1.5.1 上から5行目	「…、付着している土など落とした上で水洗いを実施すること…」の“水洗い”の部分に水道水の汚染確認を参照するように追記した方がよい。
21	P7 1.5.2	本文中に検証実験結果への繋がりを明示する。 検証実験結果は参考資料として示す。
22	P7 1.5.2 (2) 上から2行目	「灰化処理を行う際には、核種又は化学形態によっては、揮発等することがあるために、他の試料及び使用機器への汚染等に注意する必要がある」について、揮発に伴う周囲の汚染も重要であるが、揮発による「損失」があることにも言及すべき（測定法 No. 13 P5 の注(1)には、「蒸発中に揮散損失することがあるから…」との記載あり）。
23	P7 1.5.2 (2) 上から4行目	汚染も問題だが、先ず、試料の放射能が変化することの注意喚起も必要。
24	P7 1.5.2 (2) 上から4行目	「必要がある」に句読点を追記して「必要がある。」と修正すべき。
25	P7 1.6	「緊急時におけるγ線スペクトロメトリの定量値は、環境試料に含まれる放射性核種の影響を受け変動することから、」の意味が不明確です。「定量値」は「定量下限値」でしょうか。
26	P8 表 2 P9 表 3	検出限界値の算出方法を記載した方がよい。また、計算過程や誤差の考え方についても記載した方がよい。
27	P9 表 3	大気(1000m ³)の Cs134 の定量可能レベル「0.0001」を「0.001」に修正。
28	P10 1.7 上から7行目	本方法と本法が混在している。「本方法に従って」を「本法に基づいて」に変更すべき。
29	P10 1.7.1 下から4行目	「タルク等」という表記は分からない。
30	P10 1.7.1	本文中「(C)」は「(c)」に修正。
31	P11 1.7.2 上から4行目	「ビータ効率」は「ピーク効率」の誤記か。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
32	P11 1.7.2 上から4行目	「ピーク効率に大きな影響を及ぼす」については、標準線源の充填高さと同じ高さにした上で、高さが異なった場合にピーク効率がどの程度異なるのか定量的に示すことが望ましい。
33	P11 1.7.2 上から4行目	粒子状の試料については、机等に叩きながら容器に充填すると、粒径の細かいものが沈降して測定結果に影響を与える可能性がある旨を記載してはどうか。
34	P11 1.7.2 上から5行目	何のためにやるのか記載が必要。「平行を容易に確認できるよう、あらかじめ」と文頭に記載してはどうか。
35	P11 1.7.2 上から5行目	「…軽く押して圧力を…」とあるが、具体的に何で押すのか例示した方がよい。
36	P11 下から1行目	100mlの水を入れて標線をつけておくこととしているが、小型容器は使いきりなので、ひとつひとつ水を入れて、標線を引いていくことは現実的ではない。 また、各論においてマリネリには標線まで詰めるとあるが、小型容器には標線まで入れるとの記載がなく、必要性が分かりにくい。ただし、詰める際の目安になると思うので、標線を引いた容器を横において比べるなどの方法があると考える。
37	P13 第3章 前文	参考資料Eのさわりを記載し、参考資料Eを本文中から参照する形とすべき。
38	P13 ~ 第3章全般	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジのクロスコンタミ対策記載の必要。 ・ 参考資料に記載されているが、丸形ろ紙とロール型ろ紙各々について前処理方法が異なるため記載すべき。 ・ ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジの汚染防止対策の記載が必要（採取法マニュアルでの扱いの方がよいか。） ・ 捕集材を小型容器に詰め替える具体的手順は必要か。 ・ 脚注の位置が誤っている箇所がある。 ・ 脚注5 1行目の「活性炭カートリッジ」は「活性炭ろ紙」か。一般的には活性炭カートリッジよりも活性炭ろ紙を使用しているのか。 ・ 3.2 試料採取時の注意点③記載のように、水平方向の装着が必ずしも適していないわけではない。（可搬型サンプラーは水平方向の装着である。）
39	P13 ~ 第3章全般	指針及び補足参考資料を踏まえれば、「オートサンプルチェンジャ付きヨウ素サンプラ及び可搬型ヨウ素サンプラ」で採取した試料の前処理法を記載すべき。
40	P13 ~ 第3章全般	基本的にろ紙とカートリッジは一對になると考えられますが、チェンジャの設置数からみて少なくとも1日に32対の試料が発生するため、回収時に取り違えないよう識別する工夫が必要（通常のモニタリングでも、カートリッジの取違えが発生している。）。
41	P13 ~ 第3章全般	第8回モニタリング技術検討チーム会合で、大気モニタのろ紙を使いヨウ素濃度を推定することとしたと聞いている。よって長尺ろ紙が使われる場合の考慮（切り抜き処理の記載）も必要。参考資料Eの内容を第3章に記載できないか。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
42	P13 ～ 第3章全般	記載はまだ不完全な状態だと思うが、方針としてコメントする。緊急時の大気の採取は大気モニタとオートサンプルチェンジャ付きのヨウ素サンプラを用いることが決まっている。原災指針には単一試料を採取するエアサンプラも機材として記載されているが、必要性は低いと思われる。本マニュアルは「採取法」ではないため、適用範囲は試料が納入されることからでよいのではない。 記載するのであれば、現在の緊急時の試料採取にきちんと対応できる記載とする必要がある。（緊急時モニタリングを担当する自治体以外ではヨウ素サンプラを整備することはないと考えられ、一般的にはローボリウムサンプラを使用することになる。）
43	P13 脚注5	具体例や図表又は文献を引用してはどうか。 例) http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main_pdf_series_g1.html
44	P14 3.2③	ローボリウム・エアサンプラは横向きが多いが対応は可能か。
45	P14 3.3上から 1行目	「小型容器」の例を提示できないか。標準線源に依存するが、チャック付ポリ袋封入は不可か。
46	P14 脚注6	「飲食物摂取制限」と大気は無関係ではないか。
47	P14 脚注8	根拠となる文献等提示することが望ましい。
48	P14 脚注8	脚注8の記述は改善方法にはなりえない。
49	P15 図4	空気の流れの向きを示した方がよいのではないか。
50	P16 参考下から 1行目	「…器具を介した相互汚染に十分注意…」とあるが、汚染だけでなく試料のジオメトリにも注意が必要である。このため、1.7.2を参照するよう追記した方がよい。
51	P17～ 第4章	<ul style="list-style-type: none"> ・水試料の取扱いとなるため、汚染拡大防止等の記載が必要である。 ・なるべくディスポーザブルの器具（駒込ピペット→ディスポチップ）を使用 ・具体的手順の記載がない（第8章以降のように記載） ・緊急時における水試料についてはメスシリンダーで測るのではなく、マリネリ標線までいれればよいのではないか。（汚染器具を減らすため）以降同じ
52	P17 4.2タイトル	「試料採取時」なのか「試料搬入時」なのか両方か。他章と整合を取った方がよい。
53	P17 4.2②	サーベイメータを使用してどのように検査すればよいのか、対象試料ごとに測定例の写真を掲載した方がよい。試料によって搬入される形態が異なるためどのような状態のものを、どうやって検査をするのか事例があるとよい（自治体では手探りで実施しているのが現状なので）。 また、結果に応じて「適切な措置」としているが、章を立てて、そこを引用するような記載が適切である。
54	P17 4.2③	4.3に記載すべき。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
55	P17 4.2③	「2L 以下のときは小型容器を…」とあるが、汚染がないことを確認した蒸留水等でかさ増しして測定することはできないか。例えば、試料が 1.9L あった場合、100mL 分取するよりも蒸留水等を 100mL 加えて 2L マリネリ容器で測定した方が検出下限値は小さくなる。
56	P17 4.3.1	封入後のマリネリと小型容器の写真があった方がよい。
57	P17 4.3.1	内袋の口の止め方を追記した方がよい。
58	P17～ P18	「供試料」は「供試量」の誤記
59	P18 4.3.2 1)	「…メスシリンダーに移し入れ、…」とあるが、使い捨てのチップを装着できるマイクロピペットを使用した方が相互汚染のリスクが少ないのではないか。以下の液体試料も同様。
60	P18 4.3.2 2)③	液体試料のための漏れ防止対策を記載すべき。
61	P18 4.3.2 脚注 6 脚注 7	「脚注 6」「脚注 7」は大気試料の捕集材についての注記である。
62	P18 4.4 1)	再測定のための比較的短期間の保存について、マリネリ容器の場合は「内袋のまま」と記載されているが、「マリネリ容器から内袋ごと取り出し、…」と正確に記載した方がよい。
63	P18 4.4 2)	長期保存方法について酸を添加するとあるが、現記載では測定後開封して入れるようにも読み取れる。開封することは控えた方がよいので、基本的には長期保存が見込まれる試料にはあらかじめ入れておくほうがよい。
64	P18 4.4 2) P20 5.4 2)	チオ硫酸ナトリウムの添加については記載しないのか。 酸等の添加について、検証実験結果への繋がりを明示する。 検証実験結果は参考資料として示す。
65	P18 4.4 2) P20 5.4 2) P23 6.4.2	「酸（塩酸又は硝酸）を 1 L あたり 1 mL 程度添加する。」と記されているが濃度が示されていない。濃度を追記するか、質量あるいは物質量で記すべき。
66	P19～ 第 5 章	<ul style="list-style-type: none"> ・液体のまま長期保管する場合に内袋＋ポリエチレン袋で保管できるのか。（他の試料も同じ） ・野菜等の長期保管で灰化するのであれば、蒸発乾固してもよいのではないか。（原発事故時の測定済み試料の保管について自治体等の情報を参考にすること）
67	P19～ 第 5 章 P96～ 参考資料 F	本文中に、どのような場合に分離して測定するのか、どのような場合には分離せずに測定するのかを記載し、参考として参考資料 F を参照すべき。また、懸濁物質を測定する場合にはどのように行うのかを参考資料 F 中に記載。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
68	P19～ 第5章 P21～ 第6章	河川水・湖水についてろ過は行わないのか。降雨の影響があるときには懸濁粒子の存在割合が高く、そのまま測定する場合には、懸濁粒子が沈降し、容器底面に堆積した場合には放射能濃度が高めに計測される可能性がある。この点については、緊急時においては考慮しないのか。それとも後日、粒子濃度の高い試料についてはろ過を行い溶存成分と懸濁成分の再測定を実施するのか。同様な状況は沿岸域の海水試料についても起こり得る。
69	P20 脚注13 P23 脚注19	脚注7を参照とあるが、脚注7は大気試料の捕集材についての脚注である。脚注25は脚注15と同じ文章であるが、脚注を参照するのではなく、同じ文章を記載している。整合させた方がよい。
70	P20 脚注14	「酸を添加してはいけない。」の記述は第4章にも必要。水試料に限らず、後日ヨウ素129を測定する可能性もあるので、記載を考慮した方がよい。
71	P20 脚注14	酸を添加してはいけない理由を追記すべき。
72	P21～ 第6章	<ul style="list-style-type: none"> ・「海藻等の異物は沈降法等で除く」とあるが、どこまで除去するのか。大きなものだけか。 ・長期保存する場合は容器を移し替えるのか。
73	P21 6.2③	「汚染防止供試量の決定等」を「汚染防止、供試量の決定等」に修正。
74	P21 脚注15 脚注16	脚注番号のフォントを要確認のこと。
75	P21 脚注15 P26 脚注25	純水について、水道水の汚染を確認しておくとの記載があるが、「純水」とは何らかの浄水機を経た後のイオン交換水や超純水のことを示すとすれば、水道水の検査は不要ではないか。
76	P21 脚注16	電子天秤の仕様として「プリンタ付き」まで求める必要はないので、「望ましい」程度の記載でよい。（以下、電子天秤について同様）
77	P22 6.3	丁寧に記載されている。他章の「試料の前処理法」も第6章にならって記載してほしい。
78	P22 6.3	海水試料は体積ではなく重量を測定する意味は何か。
79	P22 6.3(1)⑤	「…ビニールテープを用いて…」とあるが、内袋の材質によっては、結束バンドや輪ゴムの方が適している場合もあるので、列記した方がよい。
80	P22 6.3(1)④	「④マリネリ容器に専用の内袋を入れ」は「①マリネリ容器用内袋を、マリネリ容器内に隙間なく装着する。」と重なっているので削除
81	P22 脚注17	「測定用器」は「測定容器」の誤記
82	P24～ 第7章	<ul style="list-style-type: none"> ・冒頭に、「本法は河底土、湖底土及び海底土にも適用できる。」と記載されているため、あまりにも水分を多く含んだ試料であった場合の分取について、どのようにすべきかの記載があった方がよい。 ・測定容器に記載する事項（Ge測定を行うにあたり必要な事項）を明確にすべき。 ・解析時には密度も必要（土試料など）以降同じ
83	P24 第7章前文	参考資料Gのさわりを記載し、参考資料Gを本文中から参照する形とすべき。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
84	P24 7.2 7.3	土壌の前処理法では、沈着密度も求めることができるようにしておくことを標準として本文に記載すべき。
85	P24 7.2②	土壌採取に関して、具体的な採取法が書かれていません。「200g 以上の表層土壌を採取する」と書かれていますが、どのような広さのどの深さまでの土壌をどのように採取するかは重要な情報ですので（特に沈着密度を求める場合）、これに言及する必要があります。
86	P24 7.3	土壌がどのような状態で搬入されることを想定されているのか。搬入時の土壌の状態に応じて前処理が変わってくる。参考資料 G に記載があるが、規制庁のコメントのとおり標準的な採取方法を想定して、標準的な前処理法を規定すべき。今回想定した標準的な方法はどのような方法か。また、混合方法については具体的な記載が必要。
87	P24 7.3	湖底土や海底土についても適用できるとあるが、泥について湿土を試料とする場合はしばらく静置して上澄みを取り除く必要があるのではないかと。湿土を試料とした経験はないが、重量に大きく影響するので水の除去は重要である。
88	P24 7.3②	「よく混合する。」とあるが、どのようにするのか具体例を記載した方がよい。
89	P24 7.3②⑤	写真があった方がよい。
90	P24 7.3④	緊急時の試料採取・処理であるので、適宜柔軟に処理過程の変更、簡略化を行うことも可能とするマニュアルとすべきであると考えます。例えば、土壌試料に関して、十分な量の土壌を採取して処理施設でよく混合して、湿度のままの測定と乾土率を測定することになっています。しかし、福島事故の事例を考えてもわかるように、多量の試料を採取したのち施設内で高濃度の土壌試料の混合や乾土率測定と行った作業を行うことが難しいケースもあり得ます。従って、福島後の環境調査で行われたように、現地で試料の混合を行うオプションや、乾土率測定は省略することも可能とするような柔軟性のあるマニュアルの書き方にする必要があります。（「乾土率を計算しなくて良い」という記述が注にあります。が、「乾土測定は状況に応じて省略できる。」旨本文に書くのはいかがでしょうか。）
91	P26～ 第 8 章	<ul style="list-style-type: none"> ・「洗浄方法」に水道水で洗浄する旨が記載されているが、水道水中のバックグラウンド放射能を確認しておけば、純水ではなく水道水で洗浄してもよいのか。（他の“水道水で洗浄”の部分も同様） ・短時間の保存場所は、必ずしも冷蔵庫に入れられないため「冷蔵庫又は冷暗所」とした方がよい。（他の試料も同様） ・サーバイメータの養生については、本文と脚注で分けるよりも本文にまとめて記載したほうがわかりやすい。（以降同じ）
92	P26～ 第 8 章	写真があった方がよい。（特に葉菜）
93	P26～ 第 8 章	なお書きで、ヨモギなどを指標生物として分析する場合には第 20 章指標生物の方法によるべきことを追記すべき。
94	P27 8.2	丁寧に記載されている。他章の「試料搬入時の注意点」も第 8 章にならって記載してほしい。
95	P27 8.3	野菜類等の試料前処理方法の①～⑥は、留意事項または注意事項として項目を立てた方がよい。また、⑤の使い捨ての器具を大型ろ紙に包んで廃棄することについては最後に記載すべき。加えて、使い捨てのカッター刃や包丁は分別が必要だと思うが、素案の記載で問題ないか要検討。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
96	P27 8.3	野菜試料の前処理の項(8.3)の最初に書かれている事項(①から⑥)は野菜試料のみに限られた内容ではなく、ほとんどの試料処理に共通した事項のように思われます。共通事項として整理してはいかがでしょうか。
97	P27 8.3 ③~⑥	ホットとコールドを分けた作業例の写真を記載すべき。
98	P27 8.3 ⑤の後	洗浄後に行うことがある食用外部部位の除去について追記すべき。
99	P27 脚注 28	「1uGy/h(1uSv/h)のとき」を「サーベイメータによる測定で1uGy/h(1uSv/h)のとき」に修正。 *他の同表記についても同様
100	P27 脚注 28 P89 上から 4 行 目	根拠データがあると望ましい(JRIAによるサーベイメータによる試料表面の線量率と放射能濃度の関係など)。また、アナログ回路を使った場合とDSPのシステムでデッドタイムが異なってくるのでどちらか記載してはどうか(P89:上から4行目も同様)。
101	P28 (2)タイトル	「いも類」は表5と整合させ「イモ類」とカタカナ表記にすべき。
102	P29 表 5	イチゴを野菜か果実の章に具体例として記載すべき。
103	P29 表 5	ネギは外皮を除去しないので、書き方を工夫すべき。
104	P34 9.3.1①	洗浄の程度が分かりづらいので、追記すべき。イモと同じ表現がよい。「水道水で洗浄し、付着した土壌等を取り除く。」
105	P34 9.3.1	みかん、バナナ等の注書きがあるとよい。
106	P35 表 6	ブドウは種ありもあるので、工夫して記載すべき。
107	P38~ 第 10 章	茶葉について、生茶についてのみの記載であることを明記する必要がある。「補足資料 1-1 指摘への対応」において、「注釈に追加」とありますが、未記載である。
108	P38~ 第 10 章	茶葉の洗浄を行わない理由を記載すべき。
109	P39 10.2③④	③がふたつあるため番号がずれている。
110	P42~ 第 11 章	写真を多用する方向性のため、試料ごとの前処理方法について写真を掲載するのか。(以降、同じ。)
111	P46~ 第 12 章	なお書きで、さやいんげん等の未成熟豆類は第8章の野菜類によることを追記すべき。
112	P53~ 第 14 章	なお書きで、ホンダワラ等を指標生物として分析する場合は第20章指標生物の方法によることを追記すべき。
113	P59~ 第 16 章	牛乳を液体のまま長期保存する必要があるのか。
114	P59~ 第 16 章以降	第16章(牛乳)以降、「試料の前処理方法及び測定容器への充填」へとタイトルが変更になり、前処理方法も容器への充填に1行で追加されている。前処理の記載は別に立てた方が分かりやすい。別立てにすることにより、容器への充填については、各試料で重複している記載を、引用する形式に変更することができる。容器への充填や保存方法が重複して記載されておりボリュームも大きくなっている。写真などを増やす分、重複は解消して資料としても分厚くならないようにした方がよい。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
115	P60 16. 3. 1	量り取る前に試料の混合は不要か。
116	P60 16. 3. 1 ③	「2L の」の表記は不要
117	P61 16. 4. 2③	ホルマリンを添加して保存の場合の耐用年数を概数で記載すべき。
118	P66～ 第 18 章	脚注として記載すべきもの、本文中に記載すべきものの整理が必要。
119	P69 表 7	棘皮動物の例にウニを追記。
120	P69～ 第 19 章	魚介類について、体液の損失に注意するとあるが、可食部を切り取る際に内臓を含む血液の大半は取り除くことになる。この記載の意図は何か。
121	P74～ 第 20 章	なお書きで、ヨモギ、海藻等を食用として分析する場合は該当する章によることを追記すべき。
122	P74～ 第 20 章	茨城県や原子力機構ではアラメを海藻類（食用）として平常時モニタリングの項目に採用している。アラメを指標植物として採用している機関もあれば食用としている機関もあるので、海洋指標生物の具体例としてアラメをマニュアルに記載する場合は、但し書きなどで、食用として扱う場合は海藻類の処理方法に従うなどの追記が必要。 指標生物とは、「環境汚染等の環境条件の変化に敏感に反応し、その生物の生育状況を観察することによって、環境条件変化のめやすを得られるような生物を指標生物という。原子力関係に限ると、放射性物質の生体濃縮の速度や度合が大きく、かつ、その地域で容易に採取できる生物」であるので、「指標生物＝食べない」と最初から分類するのは狭義になりすぎる。生物に対する前処理方法の考え方を、生物の種類ではなく、その測定結果の利用目的で使い分けることを序論に記載してはどうか。生物の放射能濃度を 0IL6 や被ばく評価を目的として測定するのであれば、食用に供する形での前処理（水洗い、可食部選定など）をする、汚染状況や水準調査を目的とするならば指標生物（土壌などと同じ）として前処理（水洗いしないなど）をするなど。
123	P74～ 第 20 章	・試料の保存場所を冷蔵庫、冷凍庫とした場合、物理的に考えて現実的か。 ・長期保管時にデシケータが必要なのか。
124	P74 表 8	陸上指標生物に杉葉を追記。
125	P75 20. 3. 1	「可食部の分別」とありますが、指標植物は食さないことが前提となっており、「部位の選別」との記載に変更してはどうか。また、海洋指標生物の海藻類は水洗いしないが、水切りは必要。
126	P78 解説 A	「目的に応じて、前処理及び測定時間の全体を考慮して対応していくこと」を強調して記載すべき。参考資料 A には記載があるが、解説 A として総括してはどうか。
127	P78 解説 A (2) 1) 上から 1～3 行目	緊急時用のマニュアルとして、よく用いられる相対効率 30%程度の例を参考に掲載するのはよいが、各現場において実際に使用している検出器や試料種類に応じて、測定時間と定量可能レベル（検出下限）の一覧表を緊急時に備えて準備しておくことを促した方がよい。No. 7 の改訂案でクーパ法以外の検出下限値評価法を乗せる場合、ここでの数値も変わってくるので、説明が必要である。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
128	P78 解説 A (2)1) 上から 1~3 行目	デッドタイムができるだけ高いスペクトルを基準として選んだのは安全側に考えての意図か。特に ^{131}I の検出下限値は高エネルギー側のコンプトン等に強い影響を受けるので、この方法でやる場合、算出に使用した波高分布を示すべき。
129	P78 解説 A (2)1) 上から 1~3 行目	「検出下限値 (^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs) を定量可能レベルとした」については、検出下限値＝定量可能レベルの意味と理解すると、表 2, 3, A-1, A-2 に記された値は大きいのではないか。
130	P78 解説 A (2)2)①	デッドタイム 54%は例として大きすぎるのではないか。(本文で 10%以下を推奨している。)
131	P78 解説 A (2)1)①	基準スペクトルのデッドタイムを 54%としているが、本測定法では、デッドタイムを 5~10%になるように調整することとなっている。54%のスペクトルを基準にするのは数値が悪くなる方向に評価し過ぎるのではないか。 食品衛生法の基準値(飲料水の 10Bq)を全く評価できない測定方法が適用されることについて疑問がある。一方で食品衛生の分野では、同様の方法で測定できるとしているのではないか。
132	P79 解説 A (3) 上から 2 行目	「表 2 及び表 3」を「表 2(p8) 及び表 3(p9)」というように、表が記載されているページを示した方が分かりやすい。
133	P79 解説 A (3)	有効数字 2 桁としているので、表 2、3 の供試量の表記も 2 桁表示でよいのではないか。
134	P79 解説 A (3)	現行マニュアルに示した定量可能レベルと改訂マニュアルに示したものは、機器の相対効率が異なるだけでなく計算に用いたスペクトルが異なる点がある。その場合、現行マニュアルとの違いを論ずるのは複雑となるので、現行マニュアルの値についてはあまり触れず、今回の算出方法についてのみ詳述するのがよい。
135	P79 解説 A (3)	検討結果の定量可能レベルがこれまでの規定と比べて変わった理由について、もう少し丁寧に、分かりやすい記載とすることが望ましい。
136	P80 解説 A (4) 上から 4 行目	「計数誤差」は誤差という表記ではなく「計数統計に基づく不確かさ」と表記すべき。
137	P80 解説 A (4) 上から 6 行目	「望ましいと考える。」を「望ましい。」に修正。 ※「目安とするのが適切である」や「望ましい」に加えて、「と考える」まで付けなくてもよい。
138	P83~ 参考資料 A	表 A-2、A-3 を使った前処理の考え方は理解できるが、表に載せた定量可能レベルはあくまでも 1 つの条件で試算したものである。実際の事故時は核種放出状況が試算の場合や東京電力福島第一原子力発電所事故の場合と異なり、定量可能レベルも大きく変わるので、詳細に記載しすぎている懸念がある。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
139	P83～ 参考資料 A	表 A-4 に関する記述（特に後半部分）の意図がよく理解できない。
140	P86 表 A-4 タイトル	「食品衛生法における基準値」を「食品衛生法における〇〇〇の基準値」に修正。
141	P86 本文の上から5行目	「飲食品衛生法」を「食品衛生法」に修正。
142	P88～ 参考資料 B	本文の全般的事項へ格上げして記載すべき。
143	P88～ 参考資料 B	試料採取の記載があるが、本マニュアルに必要なか。記載するのであれば、「分析室に汚染を持ち込まないようにするための対応」を中心として整理しておく方がよい。拠点において、資機材や人員の管理も重要である。
144	P88～ 参考資料 B	試料量を減らす方法が記載されているが、もう少し具体的な操作を記載した方がよい。マリネリ容器の試料の場合、一度試料を全部取り出すのかどうか、小型容器の場合、容器の上からとったものを試料とするのか、下に残ったものを試料とするのか、また、試料調製した時以上に、開封時には注意が必要である。
145	P90 参考資料 C 上から2行目	「短時間測定 of γ 線スペクトロメトリーに加えて」を「 γ 線スペクトロメトリーに加えて」に修正。“短時間測定 of”という限定は不要。
146	P90 参考資料 C(1)	「保存することがある。」を「保存することができる。」に修正。さらに、「ただし」で続けて、ホルマリンを添加して保存した場合の耐用年数を概数で記載した方がよい。
147	P90 参考資料 C(2)	「平常モニタリングは…。そのため…長期保存の必要がある。」という論理の展開が分かりにくい。
148	P90～ 参考資料 C	試料の灰化に関する記載があるが、試料を灰化することによりどのくらい放射性物質が揮発するか記載した方がよい。
149	P90～ 参考資料 C	灰化の際の注意点などが記載されているが、参考資料ではなく、本文の方に保存方法として項目を立てて記載する方がよいのではないかと。
150	P92～ 参考資料 D	冒頭で以下の事項を記載すべき。 ・緊急時モニタリングの測定済試料を廃棄する場合には、その時点の関係法例に従って適正に処分する必要があること。（参考として IF 事故の場合を記載する。）
151	P92～ 参考資料 D	廃棄物についての記載のうち、公共の水域等の測定方法について記載されているが、記載の趣旨は何か。留意事項としては、濃度以下であることを確認することだけでよいのではないかと。
152	P94～ 参考資料 E	大気試料の前処理方法については、標準的な方法になっているので、参考資料ではなく、この方法を標準としてマニュアル化する必要がある。巻き取った状態では標準線源で効率校正できないなどの問題がある。
153	P94～ 参考資料 E	灰化の項目において、灰化できないろ紙（キャンベラ製、iCAM ロール (TFE)）があるので、追記した方がよい。
154	P94 参考資料 E タイトル	「長尺（連続）ろ紙」は「長尺（連続）ろ紙及び大型ろ紙」とすべきか検討してほしい。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
155	P96 参考資料 F 本文の上から 3 行目	内訳として…であった。」を「内訳として、溶存態は 0.002~1.5Bq/L (〇〇~〇〇%)、懸濁物質は 0.007~18.2Bq/L (〇〇~〇〇%) であった。」に修正。
156	P96~ 参考資料 F	参考資料 F は参考になる情報だが、本マニュアルの趣旨からすると詳しすぎる。緊急時、ガンマ線スペクトロメトリー、前処理、のキーワードに関係する部分の抜粋や、他のマニュアルに掲載するなど、他と整合をとった方がよい。
157	P96~ 参考資料 F	参考資料 F において、ろ過方法をこれほど列記する必要はあるのか。測定法シリーズではマリネリ容器しか想定していないため、測定法シリーズで適用できる程度に記載すればよいのではないかと(様々なモニタリングを想定しているということであれば、ろ過後の前処理方法についても記載を追記すべき)。
158	P96~ 参考資料 F	溶存体の粒径に応じたセシウム分布の報告はいくつかあるのではないかと(2015 年環境放射能研究会)。粒径によって分布が変わるので、懸濁体とは何かを定義するのが重要。「一般に 1 μ m や 0.45 μ m」との記載があるが、どのような測定方法でどのような孔径が使用されているのか、「一般」となるところを記載しておくべき(JIS 工場排水試験法や公共用水域の常時監視、水道水検査マニュアルなど)。
159	P98 参考資料 G 1. (1) (2)	各採取器の写真を添付した方がよい。
160	P98~ 参考資料 G	土壌の採取についての詳細な記載が必要か。また、前処理方法については、本文よりも記載が充実しており、違和感がある。
161	P98~ 参考資料 G	参考資料 G は参考になる情報だが、本マニュアルの趣旨からすると詳しすぎる。緊急時、ガンマ線スペクトロメトリー、前処理、のキーワードに関係する部分の抜粋や、他のマニュアルに掲載するなど、他と整合をとった方がよい。
162	P98 参考資料 G	深度分布測定における土壌試料の採取方法についてコアサンプリングとスクレーパープレートを用いる方法の 2 種類について記載していますが、前者に対する記載がアンバランスに詳細である印象を受けます。また、コアサンプルによる試料の採取は簡便な方法であり、緊急時に短時間に土壌を採取するという観点からは優れていますが、異なる層の土壌試料間でクロスコンタミネーションが起こる可能性があり、精度的には高い方法ではありません。その点についても言及する必要があると思います。
163	P99 参考資料 G 2. (1)	冒頭で、1. (1) (2) も沈着密度の測定に使用できることを書いたうえで、2. (1) の方法も使えるとして記載した方がよい。
164	P99 参考資料 G 2. (1) 上から 8 行目	「ml」は他と整合させ「mL」とすべき。
165	P99 参考資料 G 2. (1)	本文中の①②③の場合の結果を具体的に示した方がよい。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
166	P99 参考資料 G 2. (1)下から 2 行目	「1 採取地点当たり 5 ポイントの採取」について、何㎡で 5 ポイントなのかを追記した方がよい。
167	P100 参考資料 G 表 G-1	土壌試料間の濃度のばらつきを示す指標として変動係数を示すのに、Cs-134 と Cs-137 に分けて細かな数字で表していますが、核種別のこのような詳細な数字はあまり意味がない気がします。表 G-1 を参照した分布状況調査の報告書に記載されている図 4-13 (変動係数の分布) を示し、変動係数の平均値が 36%であるという情報を加えてはいかがでしょうか。
168	P101 参考資料 G 表 G-1	平均に標準偏差を追記した方がよい。
169	P101 参考資料 G 表 G-1	単位を kBq/m ² とし、指数表示をやめた方がわかりやすい。
170	全般	各章によって記載に差がある。全章に以下の項目を入れるように統一すべき。 (試料搬入時の注意点) ・ 試料への識別番号の付与 (試料の前処理方法の項) ・ 内袋挿入 (マリネリ)、シールテープ巻 (U8) ・ 容器への記入、風袋重量測定 ・ 試料高さ測定 (U8) ・ 容器外側の拭き取り ・ 全重量測定 ・ 容器の袋入れ
171	全般	マニュアルで出てくる 2L のマリネリ容器がどのようなものか最初の方で触れておくことが望ましい (Marinelli beaker でインターネット画像検索すると多くがポリプロピレン製のものであり、内袋を必ずしも必要としない)。
172	全般	相互汚染防止は重要であるが、環境負荷低減の観点から、使い捨てる物品と再利用する物品の整理や代替案の提示をしてはどうか。 ・ 駒込ピペットの代わりにマイクロピペッターやスポイトの利用。 ・ 包丁については汚染検査の上再利用できる場合も多い。 ・ メスシリンダーについては相互汚染の可能性に触れていないので、言及が必要。
173	全般	「アーカイブ」という言葉が多用されているが、これは分析の世界での一般用語なのか。広辞苑では文書の記録やコンピュータ上のファイルのとりまとめとして使用されているようだが、業界用語的な言葉であるならば表現を修正した方がよい。
174	全般	試料の保存に関して、特にアーカイブとしての長期保存に関しては、試料そのものに加えて、試料に関連した情報の正確な管理が重要になります。そのことについても記載する必要があると考えます。情報の内容としては、試料採取年月日、場所 (可能な限り緯度・経度の情報、写真)、採取者、処理及び測定の内容・結果について残しておくことが重要になります。このことについて記載しておいたほうが良いと思います。
175	全般	P4 図 1 と同様に作業者の汚染防止策を実施した写真を掲載した方が分かりやすい。

No.	該当箇所	委員等からの意見・コメント
176	全般	アクリル(2L マリネリ容器、押し棒等)に対しエタノールを使用すると膨潤を起しヒビが入るので、留意事項として記載が必要。
177	全般	小型容器(U8)への試料充填量は容量の70~80%にした方がよい。素案では降下物や陸水等の水試料は100mL、土壌や指標植物等の固形試料は100gとしているが、こちらを充填すると試料の高さが5cmを超えてしまい、効率が外挿値になってしまう可能性がある。また、試料上部がねじ部分になってしまう、試料の高さを正確に測定できない等の支障をきたす。
178	全般	陸水や海水等の液体試料において2Lのマリネリ容器を使用する際、試料項目ごとの書き方が統一されていない。 詳細に記載する書き方に統一した方がよい。
179	全般	緊急時の試料採取・処理であるので、適宜柔軟に処理過程の変更、簡略化を行うことも可能とするマニュアルとすべきであると考えます。
180	全般	野菜試料の前処理の項(8.3)の最初に書かれている事項(①から⑥)は野菜試料のみに限られた内容ではなく、ほとんどの試料処理に共通した事項のように思われます。共通事項として整理してはいかがでしょうか。
181	その他	現行マニュアルではタバコの記載があるが、マニュアル素案では記載されていない。
182	その他	保存用の薬品の添加について、「規制庁の対応要求」では『測定後の保存』のためではなく、『採取以降の損失を回避する』ための検討が求められている。この場合、前処理ではなく、試料採取の時点で必要な試薬を添加する必要がある。緊急時の試料採取法は別に策定されると認識しているが、試薬の添加をどの時点で行うのか、それをどの測定法に規定するのかを、実験結果によって添加することになるようであれば、整理が必要である。
183	その他	規制庁の要求への対応について、改訂案では対応のほとんどが測定法の本文ではなく(解説でもなく)、参考資料に記載されている。データは参考資料に記載すべきと思いますが、留意事項の記載などは本文に記載すべき。
184	その他	試料の受け入れについて、試料の取り違いなどを防止するための対策に関する記述が必要ではないか。タグをつける、ラベルを付ける、バーコード管理するなどの方法がある。
185	その他	素案の段階なので、改訂案の記載には、文章として読みにくい箇所や類似した内容が重複して記載されている箇所などが見受けられる。

(2) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験（案）について

No.	委員からの意見・コメント
1	「塩化ナトリウムを添加しない場合、測定値にどの程度影響するのか、安全側であるのか、どの程度まで許容できるのか示すこと。」とのコメントについては、標準線源による実測や計算によって、検出効率の違いを定量化して示すことが望ましい。
2	下記の文献によると、ポリエチレンより塩化ビニルのほうが吸着が大きいと報告されている。試験する内袋の素材をどちらか一方に絞る場合は、吸着の大きい塩化ビニルで評価するほうがよい。（もしくは、両方の素材について試験をするべき。） https://www.jstage.jst.go.jp/article/radioisotopes1952/8/1/8_1_43/_pdf
3	検討後の対応方針を確認したい。セシウムとヨウ素に別々の試薬を添加する場合、試料も別々に分轄しておく必要があり、これは試料の採取量や方法にも関わってくる。ヨウ素のための添加剤としてチオ硫酸ナトリウムを検討するということだが、この検討により差が生じた場合には、標準的な方法として改訂案に追記するのか（「差がある」という判断基準も課題となる。）。 “影響はあったが、添加するかしないかはユーザーの判断に任せる。”といった参考資料程度の記載となることには抵抗感がある。
4	検討には水道水を用いるとのことだが、セシウムの多くは懸濁体で存在し、懸濁体のまま容器に吸着してしまうものと考えられる。このため、懸濁体の少ない水道水では問題ない場合でも、有機物や懸濁体の多い、降水や河川水（水道原水）では影響が出る可能性があるのではないかと。本法の適用範囲は水道水だけではないことから、水道水以外についても確認しておくほうがよい。
5	放射性物質の容器壁への吸着による効率変化に対する許容値を現状調査結果により決定すべき。そして、その変化が分かるように、放射能や測定時間等の測定条件を設定すべきである。
6	放射性物質の容器壁への吸着が原因で効率変化が生じるため、吸着率の測定の方が直接的である。吸着は測定結果だけではなく洗浄作業にも影響する。従って、セシウム137による確認だけでなく、より短い期間でのヨウ素131の吸着の確認も必要ではないか。また、試験に際しては吸着率が分かるように、放射能や測定時間等の測定条件を設定すべきである。
7	2項(3)②で硝酸1mLと記されているが濃度が示されていない。濃度を追記するか、質量あるいは物質量で記すべき。
8	検討実験のフロー図を追加した方がよい。
9	内袋の材質を2種類提示しているため、塩化ビニルとポリエチレンの両方で同様の実験を行うべき。
10	添加剤ごとに1試料しか分析を行わないことになっているが、少なくともn=3は必要ではないか。可能であればn=5で検討すべき。

(3) 「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」の改訂に係る検討状況について

No.	委員からの意見・コメント
1	サム効果「計算方法の高度化（シミュレーション）」については、わが国ではまだ広く使われていないので難しい課題と思われるが、どのように記載するのか。
2	サム効果「検出器の大型化により影響が増大」について、補正のための P/T 校正が重要になるが、実際に P/T 校正を行うと現行マニュアルだけでは情報が不十分である。また、この方法によるサム効果補正係数の不確かさをどのように考えるか、マニュアルに記載することが望ましい。
3	サム効果補正に関して、結晶サイズの大型化や、形状の違い（同軸、プレナー）、遮蔽体構造の違いにより、P/T 比を関数（経験式）から求めることに限界がきているのではないかと危惧している。現行マニュアルにある P/T 比の関数の適応範囲について検証するべきである。また、P/T 比を実測する手法についても、測定室内に物質が全く無い状態で点線源によりもとめた P/T 比が、測定室内にマリネリのような大きな試料がある状態に適用できるかについてもシミュレーションなどによる検討が必要。トータル効率の場合、物質による自己吸収だけではなく、散乱線なども考慮すべきである。
4	サム効果に関する事象として、2011 年以降複数機関で実施された共同分析では、現行マニュアルに準拠した解析プログラムでは有意に低いセシウム 134 放射能濃度が得られるという結果が示されている。従って、解析手法（進歩した点）とのくくりでなく、もう一步踏み込み、改善が必要な項目として扱うべき。
5	東電事故を踏まえ、サム効果補正を行うべき核種の候補を記載すべき。また、一般ユーザーがスペクトル分析ソフトウェアを用いて分析するにあたり、それらの核種を適切に追加することの敷居が高いようであれば、ソフトウェアメーカーがあらかじめ用意することを促すような記載が必要である。
6	測定機器（ハードウェア）の信号処理回路について、どのような処理（計算）が行なわれているのか、また、旧式の計測器には装備されていたモジュールの仕事をどのように処理しているのか等も記載があるとよい。
7	信号処理がデジタル化された場合、アナログ式整形アンプのときの整形時間（shaping time）が rise time と flat top の組み合わせになるので、デジタル整形（台形フィルター）についての解説を付け加える必要がある。
8	P 型でも低エネルギーを測定できるようになった旨を記載するにあたり、現行マニュアルではほとんど言及されていない低エネルギー光子の測定に関する注意点の記載（校正用線源核種、校正曲線の形状（← 経験的に高低エネルギーを 2 関数でフィッティングすることが難しいと感じています）、X 線とのサムコインデンスなどを想定）が必要である。
9	ピーク解析はコベル法ではなく関数適合が主流になっている。また、MCA 及び解析 PC などの機器性能も向上していることから、MCA のチャンネル設定を 8192ch でゲイン 0.25keV/ch（フルスケールは 2000keV）を採用することについての解説を追加するのが望ましい。 0.5keV/ch では、関数適合に使用するピーク領域のチャンネル数が少なく（例えば、低エネルギー側だと 2~3ch がピーク領域）、適合結果の FWHM などの不定性が大きくなっている。メーカーなどの検査では 8192ch (0.5keV/ch) が使われているので、MCA のチャンネル設定とそれに対するピーク解析時等のメリット・デメリットについての解説があるとよい。（メーカー側は 8192ch を推奨したいが、本マニュアルによって 4096ch 設定に制約されないように配慮すべき。）
10	モンテカルロシミュレーションによるピーク効率の計算が有用なのは認識しているが、問題点（例えば、計算と実測とで絶対値が異なる、不感層の仮定が必要）が多々あるので、それらを明記する必要がある。

No.	委員からの意見・コメント
11	<p>バックグラウンドスペクトルの測定方法について、測定室内をブランクにして測定する場合と、模擬試料を置いて測定する場合の違いについての解説を加えてはどうか。バックグラウンドスペクトルにピークが見られ、それが遮蔽体から放出されている場合、試料の測定時は試料容器が検出器を覆っていることによる遮蔽効果があると考えられる。特にマリネリではこの効果が大きいと考えられる。測定室内をブランクにして測定したバックグラウンドスペクトルにピークが確認されたら、模擬試料を置いたバックグラウンド測定も実施して、そのピークカウントに変化があるかどうかについて調べておくなどの説明があるとよい。（原発事故影響の Cs-137 が除染しきれずに残っている遮蔽体を使う場合などは特に注意が必要。）</p>
12	<p>現状調査の結果に含まれるべき変化として、測定者の拡大と結果に求められる説明性の増大があげられる。正しい測定結果を提供するのは測定者の責任だが、その実現に必要な内部精度管理、外部精度管理、品質保証システムについて触れる必要がある。また、正しい測定結果を得るために、測定者が知らなければならないこと、製造業者が製品に造り込まなければならないこと及び製造業者が測定者に伝えなければならないことを記すのが望ましい。</p>
13	<p>改訂方針の検討に際し、解析方法に関しては、今年3月に改訂された No. 29 緊急時の解析法との棲み分けを整理するのがよい。</p> <p>ゲルマニウム半導体検出器による測定は、今回の No. 7 がベースとなるものであり、No. 29 は緊急時に特に注意すべき点などが取り上げられるような構成になると思う。明確な線引きは難しいかもしれないが、『ここまでは No. 7 に記載、ここからは No. 29 に記載』という整理をしておくこと、改訂案作成時に、整理しやすくなる。</p>

平成 30 年度 第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 30 年 12 月 20 日 (木) 13:30~16:30

2. 場所 東京国際フォーラム G610 会議室

3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
委員	阿部琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	木村芳伸	青森県原子力センター
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	三枝純	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	長尾誠也	金沢大学
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所
原子力規制庁	小此木裕二企画官、二宮久課長補佐、武藤保信解析評価専門官、 松田秀夫解析評価専門官	
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株) (板津英輔、阿部敬朗)、 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株) (竹内光男、酒井国博)	
事務局	公益財団法人 日本分析センター 川原田、磯貝、太田(裕)、前山、新田、太田(智)、篠原、鈴木、今野	

4. 議題

- (1) 第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会(メール会合)要旨について
- (2) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル修正案について
- (3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
- (4) 「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」の改訂に係る検討状況について
- (5) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
- (6) その他

5. 配付資料

- | | |
|----------|---|
| 資料 3-1 | 平成 30 年度第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会(メール会合)要旨(案) |
| 資料 3-2 | No. 24 マニュアル素案に対する第 2 回メール会合での委員等からの意見・コメントと対応について |
| 資料 3-3 | 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」
(マニュアル修正案) |
| 資料 3-4 | 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討(案) |
| 資料 3-5-1 | 「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」の改訂に係る検討状況 |
| 資料 3-5-2 | シミュレーションによるサム効果補正の検討 |
| 資料 3-5-3 | ISO 11929 に基づく検出下限値の評価方法 |
| 資料 3-5-4 | ガンマ線スペクトロメトリーにおける不確かさの要因及び評価方法 |
| 資料 3-6 | 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について |
| 追加資料 | 「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」の改訂に係る検討状況 |

- 常備資料 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ガンマ線スペクトロメトリー
No. 24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法

6. 議事概要

議事に先立ち、日本分析センター川原田理事より挨拶があった。

- (1) 第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会（メール会合）要旨について
事務局より、資料3-1に基づき、メール会合の要旨について説明があった。

①委員より、P.2の3行目の「表記を」を「表記について」に修正すべきとの指摘があり、修正することとなった。

- (2) 「緊急時におけるγ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル修正案について

事務局より、資料3-2及び資料3-3に基づき、「緊急時におけるγ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル修正案について説明があった。なお、()内は、資料3-2のコメントNo.を示す。

①委員より、初期モニタリング、中期モニタリング及び復旧期モニタリングを分けた場合、各段階においてモニタリングの目的が異なるので前処理方法もかわってくるため、マニュアルの記述方法も段階ごとに記載する必要があるのではないかとのコメントがあった。原子力規制庁より、東京電力福島第一原子力発電所事故後、様々な目的のために多様な方法で調査がなされており、全てを網羅することはできないため、それらを妨げないとした上で、緊急時モニタリングで実施する代表的な前処理方法について標準的に示すことが本マニュアルの目的であると回答があった。(資料3-2 No.2)

②事務局より、資料3-3の「1.1」と「1.2」以降を別の章立てにすることでよいか確認依頼があった。事務局案でよい旨承認された。(No.3)

③事務局より、汚染防止策の記載方法について確認依頼があった。委員より、作業者に対する要求事項と施設に対する要求事項が明確になるように修文することでよいとの意見があった。(No.8)

④事務局より、OIL6を示した表の取扱いについて確認依頼があった。委員より、P.2の(2)2)に載せてはどうかとの意見があった。P.2の(2)2)に載せる場合は、OIL2も記載する必要があるとの意見があった。表の記載方法について検討することとなった。(No.17)

⑤事務局より、オートサンプルチェンジャ付きヨウ素サンプルラ及び可搬型ヨウ素サンプルラの記載の有無について確認依頼があった。委員より、ろ紙とカートリッジは別々に測定するのかとの質問があった。原子力規制庁より、環境放射線モニタリング技術検討チームにおける大気サンプリングの運用についての検討結果を踏まえて判断したいとの意見があった。(No.39)

⑥委員より、「小型容器」の例として「U8等」の記載があった方が明確であるとの意見があった。(No.45)

⑦委員より、陸水の測定は初期段階では現状を把握することが目的で復旧期には放射性物質の移行を把握することが主な目的となる。各段階において前処理の方法が異なると思うが、どのように記載するのかとの質問があった。事務局より、溶存態と懸濁態の放射性物質については研究者の間でも議論されている最中なので、事例紹介に留め、参考資料とする。陸水の前処理方法としては初期段階を想定して記載するとの回答があった。(No.67、No.68)

⑧事務局より、類似した試料前処理操作の記載方法について確認依頼があった。共通事項についても、試料ごとに記載することで承認された。(No.96、No.114)

⑨事務局より、牛乳を長期保存する方法について確認依頼があった。牛乳の長期保存方法については、灰化を行うことで承認された。(No.113、No.117)

⑩事務局より、参考資料A（緊急時モニタリングにおける実施項目及び内容の考え方について）の記載内容について確認依頼があった。表A-5を削除するなど参考資料Aの内容を見直すことが承認された。(No.138)

- ⑪事務局より、参考資料 B（高濃度試料への対応について）の取扱いについて確認依頼があった。参考資料 B の内容を本文に移行するか事務局で検討することとなった。(No. 142)
- ⑫事務局より、ホルマリンを用いた保存方法の取扱いについて確認依頼があった。ホルマリンについての記載は削除することで承認された。(No. 146)
- ⑬事務局より、灰化処理をした試料を保存した事例があるか確認依頼があった。委員より、東京電力福島第一原子力発電所事故の際に福島県で採取した日常食についてはすべて灰化処理をして保存しているとの情報提供があった。(No. 149)
- ⑭事務局より、参考資料 F（陸水中のセシウムの存在状態について）の取扱いについて確認依頼があった。本文との結びつきを明記した上で参考資料として留めることで承認された。また、土壌のモニタリングの目的やフェーズに応じて異なるモニタリングの具体例を示した方がよいとの意見があった。(No. 156 及び No. 157)
- ⑮委員より、資料 3-3 の P. 88 20. 3. 2 (3) ③について、平常時モニタリングではむき身の水切りは行わないが、緊急時には実施するののかとの質問があった。
- ⑯委員より、資料 3-3 の P. 90 (2) 4 行目について、「(デッドタイムが) 高いスペクトル」ではなく「低いスペクトル」ではないかとの指摘があった。
- ⑰委員より、資料 3-3 の参考資料 F（陸水中のセシウムの存在状態について）について、陸水中のセシウムについて目的別の前処理方法を冒頭に記載した方がよいとの意見があった。
- (3) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
事務局より、資料 3-4 に基づき、放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について説明があった。
- ①委員より、塩化ナトリウムを添加しているのは保存のためか。担体の意味があったのではないかとの質問があった。事務局より、引用文献が見当たらない旨回答した。
- ②委員より、陸水中のイオン強度を上げることが目的である場合、汎用性を考慮して塩化ナトリウムを採用したのではないかとの質問があった。また、塩化ナトリウム添加を削除しなくてもよいのではないかとの意見があった。
- ③原子力規制庁より、担体の有無の影響を含め、さらに文献調査をしてほしいとの要望があった。
- (4) 「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」の改訂に係る検討状況について
事務局より、資料 3-5-1～資料 3-5-4 及び追加資料（「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」の改訂に係る検討状況）に基づき、検討状況について説明があった。
- ①委員より、追加資料 No. 8 について、Am-241 等を測定する場合もあるので、低エネルギー領域の関数適合等の記載があってもよいとの意見があった。事務局より、状況を確認した上で記載について検討するとの回答があった。
- ②委員より、資料 3-5-4 について、測定試料調製（試料の均質性）の不確かさも考慮した方がよいとの意見があった。事務局より、検討する旨回答があった。
- ③資料 3-5-2 について、シミュレーションによる検討で、サム効果の影響が極大になる条件（例えば、点線源を検出器のエンドキャップから 0 mm に置く）で評価したほうがよいとの意見があった。
- (5) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
事務局より、資料 3-6 に基づき、説明があった。
- (6) その他
事務局より、第 4 回委員会の日程調整を行う旨の連絡があった。

以上

平成 30 年度 第 4 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 31 年 2 月 26 日（火） 13 : 30~16 : 30
2. 場所 東京国際フォーラム G510 会議室
3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	国立大学法人 東北大学	
委員	阿部琢也	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	
	木村芳伸	青森県原子力センター	
	紺野慎行	福島県環境創造センター	
	三枝純	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター	
	長尾誠也	国立大学法人 金沢大学	
	細見健二	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	
	柚木彰	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	
原子力規制庁	小此木裕二	企画官、二宮久課長補佐、武藤保信解析評価専門官、 松田秀夫解析評価専門官、齋藤公明技術参与	
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株)	(板津英輔、阿部敬朗)、 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株)	(竹内光男、一瀬昌嗣)
事務局	公益財団法人 日本分析センター	川原田、磯貝、太田(裕)、前山、新田、篠原、今野、鈴木	
4. 議題
 - (1) 第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について
 - (3) 技術検討チーム外部専門家、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について
 - (4) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル改訂案について
 - (5) 「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」の改訂に係る検討状況について
 - (6) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
 - (7) その他
5. 配付資料
 - 資料 4-1 平成 30 年度第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨(案)
 - 資料 4-2 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討
 - 資料 4-3 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験結果
 - 資料 4-4 放射能測定法シリーズ No. 24 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」改訂マニュアル(原案)に対する技術検討チーム外部専門家からの意見
 - 資料 4-5 測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協加盟機関からの意見
 - 資料 4-6 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」(マニュアル改訂案)
 - 資料 4-7-1 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ガンマ線スペクトロメトリー」の改訂の方向性について
 - 資料 4-7-2 シミュレーションによるサム効果補正の検討

- 資料 4-7-3 ISO 11929 に基づく検出下限値の評価方法
- 資料 4-7-4 検出下限値の概念
- 資料 4-7-5 IAEA による不確かさ計算シート
- 資料 4-7-6 容器内不均一による不確かさへの影響の検討
- 資料 4-7-7 モンテカルロ法による粒子の輸送計算
- 資料 4-8 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について
- 資料 4-9 平成 30 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業報告書について

- 常備資料 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ガンマ線スペクトロメトリー
 - No. 24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法

6. 議事概要

- (1) 第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について

事務局より、資料 4-1 に基づき、第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨（案）について説明があり、了承された。
- (2) 放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験について

三枝委員より、資料 4-2 に基づき、放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討について説明があった。引き続き、事務局より、資料 4-3 に基づき、放射性核種の測定容器壁への吸着状況の検討実験結果について、説明があった。

 - ①委員より、シミュレーション計算結果が高いのはなぜか、不感層の影響なのかとの質問があった。三枝委員より、不感層の影響もあると考えられ、この程度の差異は通常の範囲であるとの回答があった。
 - ②委員より、ヨウ素を中心に検討しているように思えるが、セシウムについてはどのように考えているのかとの質問があった。事務局より、塩化ナトリウムを添加する根拠、出典等が明確でなかったが、厚生労働省、MARLAP などのマニュアルにチオ硫酸ナトリウムを添加する記述があったことから、検討実験を実施することとした、また、セシウムについては放射能測定法シリーズにあるように酸添加が一般的であると考えているとの回答があった。
 - ③委員より、添加したトレーサーはキャリアフリーかとの質問があった。事務局より、市販のトレーサーを購入していることから、キャリアが入っているものを使用したとの回答があった。
 - ④委員より、添加剤の違いによるヨウ素 131 濃度の推移の結果の見方として、添加値より高めになっているのは吸着されていると考えてよいのかとの質問があった。事務局より、シミュレーション計算結果と整合しているとの回答があった。
- (3) 技術検討チーム外部専門家、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について

原子力規制庁・武藤解析評価専門官より、資料 4-4 に基づき、放射能測定法シリーズ No. 24 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」改訂マニュアル（原案）に対する技術検討チーム外部専門家からの意見について説明があった。引き続き、玉柿委員より、資料 4-5 に基づき、測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協加盟機関からの意見について説明があった。意見に対する回答に関しては、議題（4）で説明することとなった。
- (4) 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル改訂案について

事務局より、資料 4-6 に基づき、「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」のマニュアル改訂案について説明があった。

- ①委員より、第1章序論で、「線量当量」という文言が出てくるが、今は使用されていないので、「被ばく線量」などの文言が適当ではないかとの質問があった。事務局より、当時、使用されていた文言を使用しているとの回答があり、そのまま使用することになった。
- ②委員より、第2章2.3.1の作業者の汚染防止策を示した写真に、何を着ているのか追記した方がよい。白衣ではないビニル製の前掛けを使用するのであればその旨追記した方がよいとの意見があった。事務局より、ビニル製の前掛けは背中側で留めるようになっており、白衣として、市販されているものであるとの回答があった。
- ③委員より、第2章2.3.2において、試料や器具を洗浄する際に使用する水道水及び純水について、事前に汚染状況を確認するとあるが、他のページでは、使用する純水に放射性物質が含まれていないことを使用前に確認することとなっている、この違いは何かとの質問があった。事務局より、野菜類の洗浄には水道水を使用することを基本としているが、委員等からの意見を踏まえ、水道水の汚染が確認された場合は純水を使用することに修正した、また、その場合は純水について使用前に汚染されていないことを確認することを記載しているとの回答があった。
- ④委員より、マリネリ容器の汚染検査の方法について質問があった。事務局より、マリネリ容器の汚染検査はGe測定で行うことを想定しているとの回答があった。
- ⑤委員より、第2章2.5において、検出下限値の計算方法はNo.7マニュアルに示された方法を使うとしているが、No.7マニュアルが改訂された後に、No.24マニュアルの記述も改めるのかとの質問があった。事務局より、今後も使用できるかどうかも含めて、議論していただきたいとの回答があった。
- ⑥委員より、文中の「重量」は「質量」の方がよいのではないかとの意見があった。事務局より、原則として「質量」が正しいと考えられるが、ユーザーの使いやすさに配慮して修正するかどうか検討するとの回答があった。
- ⑦委員より、第3章のモニタリングポストの解説文について、内容が古い部分もあるので、最新のものに修正した方がよいとの意見があった。
- ⑧委員より、第3章のゲルマニウム半導体検出器の解説文にJISを引用しているが、分かりにくいので、修正した方がよいとの意見があった。
- ⑨委員より、第3章の定量可能レベルの解説文について、分析化学における定量下限の考え方と混同しないように、修正した方がよいとの意見があった。
- ⑩委員より、第4章の文章に「大気モニタ」という言葉が出てくるので、第3章の用語の解説に大気モニタの解説を追加してほしいとの意見があった。事務局より、大気モニタについては、調べて対応したいとの回答があった。
- ⑪委員より、第4章4.3.2において、マリネリ容器に大量のろ紙を充填しているが、大気ダストの測定では、どのようなシチュエーションを想定しているのかとの質問があった。事務局より、直接マリネリ容器に詰めているのは、長尺ろ紙を大量に測定することを想定している、また、活性炭カートリッジとろ紙を別々に測定する旨を記載し、一緒に測定するケースについては、注釈に記載しているとの回答があった。
- ⑫委員より、第4章4.3.2のマリネリ容器への大量のろ紙の充填について、測定の正確さを考えると、ろ紙を1枚ずつ充填・測定することが望ましいので、注釈を入れた方がよいとの意見があった。
- ⑬委員より、第4章4.3.3に、活性炭を小型容器に充填する際、「…飛散しないよう十分注意する。」とあるが、除電器の使用やアルミホイルを容器の下に敷くなどの対処策を追記したほうがよいとの意見があった。
- ⑭委員より、第8章8.4.2に海底土のろ過の写真が出てくるが、土壌の処理方法に該当しないのではないかとの質問があった。事務局より、第1回委員会で試料の分類を決めた際、土壌には河底土、湖底土及び海底土を適用するとしたためであるとの回答があった。
- ⑮委員より、第9章9.1等の必要な機器、用具等において、カッターの注釈として、使用前にエタノールなどを使って、表面に塗ってある錆防止の油を除去しておくことを追記した方がよい、カッター以外の使い捨ての用具としてディスプレイブルメスも有効なの

- で、追記した方がよいとの意見があった。また、アクリル製品をエタノールで拭くと膨張してひびが入ることがあるので、その旨を注記した方がよいとの意見があった。
- ⑯委員より、第 20 章 20.3.2(3)貝類の砂抜きに、採取現場付近で採取した海水を使うとあるが、マニュアル No. 16 においては真水を使用するとある、その根拠及び理由は何かとの質問があった。事務局より、一般に食用にすることを想定したためであるが、マニュアル No. 16 を踏まえた記載内容にしたので、再度確認して検討するとの回答があった。
 - ⑰委員より、解説 A の定量可能レベル計算について、No. 24 マニュアルに掲載されているスペクトルから計算されているが、通常、検出下限値はバックグラウンドスペクトルから計算するものと考えられるため、追加説明が必要であるとの意見があった。
 - ⑱委員より、解説 A.3 に「両ピークのうち、高い計算結果を採用した」とあるが、常に高い方を採用することを推奨しているとの誤解を招くおそれがあるとの意見があった。事務局より、A.3 については、安全側を考慮したものであるが、記述については、誤解を招かないように修正したいとの回答があった。
 - ⑲委員より、解説 A.5 図 A.1 の見出しについて、他の図に合わせて、「採取場所：福島県創造センター（福島県福島市）」とした方がよいとの意見があった。
 - ⑳委員より、付録 3 の小型容器（U-8）について、アイソトープ協会山田氏の論文にもあるが、他のタイプの U-8 もあったと思うので、それについても記載してはどうかとの意見があった。
 - ㉑委員より、参考 2.1 に試料採取時における留意点について記載があるが、前処理法のマニュアルなので、試料採取から受入れまでの留意点を記載してはどうかとの意見があった。
 - ㉒委員より、参考 3 に高濃度試料の灰化時の留意点について記載があるが、灰化した場合、試料が濃縮され放射能濃度が高まること、また、電気炉への汚染に十分注意する必要があることを追記した方がよいとの意見があった。
 - ㉓委員より、参考 3 からトリチウムに関する事項が削除されたが、 γ 線スペクトロメトリー以外の分析についても記述があり、トリチウムはそれ以外の分析に入らないのかとの質問があった。原子力規制庁より、トリチウムに関しては、放射能測定法シリーズにトリチウム分析法があるので、そちらで対応したいとの回答があった。
 - ㉔委員より、参考 4 に試料を廃棄する際の留意点として、放射性物質汚染対処特措法に基づき処理するとあるが、基準を超えていないものを廃棄する旨を追記した方がよいのではないかと意見があった。事務局より、文言を修正するとの回答があった。
 - ㉕委員より、資料 4-3 のチオ硫酸ナトリウム（再）の誤差が大きいのではなぜかとの質問があった。事務局より、チオ硫酸ナトリウム（再）は、再確認する意味で後から実施したため、日数が経過して、他のものよりも減衰のため誤差が大きくなったとの回答があった。委員より、注釈に記載しておくことよとの意見があった。
 - ㉖原子力規制庁より、ヨウ素 131 の吸着を防止するために、チオ硫酸ナトリウムを加えるが、これによって従前の塩化ナトリウム添加と同様のイオン強度を高める効果についても期待できるのかとの質問があった。委員より、200 mg ではイオン強度は十分であるとは言えないと思うとの回答があった。
 - ㉗原子力規制庁より、チオ硫酸ナトリウムは採取時に添加するのがよいのではないかと意見があった。事務局より、委員等の意見を踏まえて、今回の改訂では前処理を中心としてとりまとめるとしたため、添加のタイミングについては、現在のところ、測定容器に添加するというようにしているとの回答があった。
 - ㉘原子力規制庁より、検討実験の結果をマニュアルに記載する際、吸着状況のシミュレーション結果は貴重な情報なので、是非盛り込んでほしいとの依頼があった。事務局より、解説に掲載する予定であるとの回答があった。

(5) 「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」の改訂に係る検討状況について

事務局より、資料 4-7-1～資料 4-7-7 に基づき、「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」の改訂に係る検討状況について説明があった。

- ①委員より、資料 4-7-1 について、シミュレーションに関する記載に計量トレーサビリティとの関係についても盛り込んでほしいとの意見があった。
- ②委員より、資料 4-7-1 について、マニュアルが公表された際に、ユーザーがすぐにマニュアルに準拠した状態で機器を使えるようにしてほしいとの意見があった。
- ③委員より、資料 4-7-2 について、充填高の検討に加えて、密度が変化した場合に PT 比がどう変わるかについてもシミュレーションしてほしいとの意見があった。事務局より、検討する旨回答があった。
- ④委員より、資料 4-7-2 の表で示した不確かさの範囲について、線源の不確かさなども加味した拡張不確かさで評価しているのかとの質問があった。事務局より、ピーク面積計算に関する不確かさだけで評価しているとの回答があった。
- ⑤委員より、資料 4-7-2 について、PT 比を求める方法として「マニュアル記載」及び「実測」と記載されているが、前者は正しくは「マニュアル記載の経験式」であるため、その旨追記した方がよいとの意見があった。
- ⑥委員より、資料 4-7-2 について、セシウム 134 からの 604.7 keV 及び 795.9 keV を例としたサムエスケープの場合の調査であるが、サムコインシデンスの場合も検討してはどうかとの意見があった。
- ⑦委員より、資料 4-7-3 について、校正用線源も含めた検出下限値としているのかとの質問があった。事務局より、資料は計数のみを焦点としたものであり、他の要因も含めて評価する必要があるとの回答があった。
- ⑧委員より、資料 4-7-6 について、容器内不均一とは充填の不均一のことであり、粒径の不均一のことではないという認識でよいかとの質問があった。事務局より、充填の不均一のことであるとの回答があった。
- ⑨原子力規制庁より、各自治体において調査結果を報告する際、検出下限値をどのように取り扱っているのかとの質問があった。委員より、自治体によって違うのではないかとの回答があった。原子力規制庁より、各自治体における検出下限値の取扱いについて、放調協などを通じて調べてほしいとの要望があった。委員より、要望があれば、調査して回答することは可能であるとの回答があった。

(6) 「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正について

事務局より、資料 4-8 に基づき、「緊急時における放射性ストロンチウム分析法」改訂案の修正に関する業務内容について説明があった。

(7) その他

事務局より、資料 4-9 に基づき、平成 30 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業報告書について説明があった。

事務局より、第 4 回委員会の要旨等について、近日中に委員に送付して、内容確認を依頼すると連絡があった。

以上

参考資料 2 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見

測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協加盟機関からの意見

1 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法について

1	試料のグループ化の検討結果（資料 1-35 頁）について、「放射能測定法シリーズ 16 環境試料採取法」においては、降下物と降水（定時降水）を明確に区別していることから、分類を区別するべきである。
2	<p>分類、試料名の表記について</p> <p>① 漢字、カタカナ、ひらがなが混在して使用されており、例えば、漢字とカタカナに統一する、厚労省の分類を参照するなどして整理してはどうか。</p> <p>② 「飲料水及び原水」は、飲料水以外に河川水や湖沼水を対象としていることから、「陸水」とするなど整理した方がよい</p> <p>③ 「野菜類」の対象候補試料とされている「茎根類」と「ネギ属野菜類」、「いも類」と「根菜類」は重複していると思われるため、具体的に検討される際はわかりやすい記載としてほしい。</p> <p>④ 卵の分類名は、厚労省マニュアルに準じて、卵類としてはどうか。</p> <p>⑤ 「淡水、海産生物」の表記は、淡水産生物、海水産生物としたほうがよい。</p> <p>⑥ 魚介類の対象候補試料として、頭足類、甲殻類などを加える必要がある。</p> <p>⑦ 『指標生物』の分類の下に、試料として「指標生物」、「牧草」とあるが、「指標生物」ではなく、「指標植物」、「海産指標生物」としたほうがよい。</p> <p>※「指標生物」という言葉の範囲を考える上でおかしいのではないか</p>
3	<p>緊急時の大気モニタ用のろ紙の扱いについて</p> <p>① 緊急時には大気モニタのろ紙を定期的に回収し、ガンマ線放出核種を測定することになるが、現行マニュアルでは試料の採取方法も含めた記述となっている。また、一方で「大気中の放射性物質の濃度の測定方法」の検討が予定されているものと承知しており、緊急時と平常時の区分での整理に加え、大気に関する測定法をどのように取りまとめていく予定なのか『改訂のポイント』に追加すべきである。</p> <p>② 大気の連続測定については、採取方法（間隔等）、汚染防止対策、前処理及び測定方法等について統一した考え方を示したほうが使いやすいのではないか。</p>
4	指標植物としてアラメを採用している例があることにも配慮いただきたい。
5	腐敗する試料の灰化処理について、灰化処理設備への汚染に関する留意事項を追加すべきである。
6	試料の洗浄水や前処理残さの処理方法に関する記載があったほうがよい。 ※下水道や環境への不用意に排出してよいのか懸念がある

2 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

1	日本分析センターの研修において、マリネリ容器に内袋を密着させる際、吸引ポンプで隙間の空気を吸引すると効果的と伺った。これを記載してはどうか。
2	定量可能レベルの試算結果が記載されているが、これを踏まえて検出レベルから測定時間を決めることができるような早見表などがあるとよい。

3 緊急時における放射性ストロンチウム分析法

1	Sr レジンを使用することを規定しているが、マニュアル検討段階で評価された「Sr RAD Disk」や G L サイエンス「MetaSEP AnaLig Sr-01」などの他社製品についての情報を記載しておくことができないか検討いただきたい。
---	---

4 その他

1	平常時モニタリングに係る原子力災害対策指針補足参考資料が策定され、大気モニタによる連続監視等が位置づけられるなど、新たな考え方や測定項目が示されたことを踏まえ、技術的根拠となる測定手法や採取方法等について、測定法シリーズを早急に策定、これに反映してもらいたい。
---	--

『緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法』関係

○汚染対策について

1) 汚染確認

マリネリ容器は繰り返し使用することを想定して記載されているが、水やろ紙などと同様に、汚染検査により確認することを注釈にも記載してはどうか。

2) 試料の計量

水系の試料はメスシリンダーにより計量することとされているが、相互汚染防止の観点からは、天秤を用いて重量測定による手法が有効であり、作業も効率化できるのではないか。汽水域の試料などについては比重を確認する必要があるが、特に水道水であれば大きな誤差にはならないと考えられる。

3) サーベイメータ

受け入れ段階において NaI サーベイメータを使用している例があるが、汚染対策として GM 管式サーベイメータを用いてスミア試験をしていた例がある。受け入れ時の対策として有効であり、取り入れるべきではないか。

○定量可能レベルについて

表によって相対効率が異なるが、統一できないか。

また、表中の単位が「Bq/kg」と記載されているが、生重量か乾燥重量かが判断できないため、単位を「Bq/kg 生」とするか注釈に記載してはどうか。

○大気について

1) 大気の採取方法の記述 (1)

他の項目と比較して大気のみ捕集方法が記載されている。他の試料との整合性をとったほうがよい。今後緊急時の試料採取法がまとめられるのであれば、本マニュアルはあくまで前処理法に特化してとりまとめられたい。

または、土壌の採取方法については注釈や解説にまとめられているが、同様に大気の採取についても解説に移し、必要に応じて他の試料も採取方法を解説にとりまとめてはどうか。

測定対象ごと記載内容が異なっていると、ユーザーとしては使いにくいと考えられる。

2) 対象とする核種

(案)では冒頭「ヨウ素を捕集する」としているが、対象はヨウ素だけではない。緊急時モニタリング全般に関して本マニュアルを適用するのであれば、他の γ 線放出核種も対象に含めた記載とすべきである。

3) 活性炭カートリッジ

活性炭ろ紙に対して「TEDA 等の薬品を塗布したもの」としているが、捕集材で TEDA を含むものと含まないものが販売されている（アドバンテック）のは活性炭カートリッジである。カートリッジについても TEDA の有無について記載する。

また、「等」には他の薬品が塗布されたものも販売されているということか。

4) 大気の採取方法の記述 (2)

4.1.2 捕集手順の記述に、「所定の向きにエアサンプラーを設置し…」とある。「所定の向き」について考え方を明示してほしい。

考慮すべき事項としては、発電所方向、障害物のない方向、主風向等があると考えられる。

5) 大気試料の回収方法

4.1.2 捕集手順の記述に、「吸引終了後、…ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを取り出し、ポリエチレン袋に入れる。」とあるが、その後の測定手順等を考慮すると、ろ紙とカートリッジは別に封入するのが合理的と考える。

6) ろ紙の前処理方法

4.2.3 大量のろ紙はマリネリ容器を用いるとあるが、マリネリ容器で測定するためには、灰化するか、細かく裁断する必要がある。4.4 には細断する方法が記載されていないが、灰化した試料だけを想定しているのか確認したい。

○土壌について

1) 充填重量

小型容器への充填量を 80g としているが、充填後に重量測定をすることから、食品などと同様に充填量の記載は不要である。

2) 採取方法

注釈に小型容器による採取方法の記載があり、「混合した後、元の小型容器に戻す」とあるが、容器の外表面には土壌が付着しているので、汚染防止の観点からは違う容器に入れた方が良いのではないかと考える。

○その他の詳細な事項

- ・ 1.3 4行目（最新版 2.25 行目）は、改行する必要がない。
- ・ 1.4(1)（最新版 2.3(1)）「試料を梱包する袋等が汚染されているという前提で作業を行う必要がある。また、試料だけでなく、試料を梱包する袋等も汚染されていることが考えられることから…」 下線部分が重複している。
- ・ 3.4（最新版 4.4） 「東日本大震災」「震災後」は、他の記載に合わせて「福島第一原発事故」、「福島第一原発事故後」に修正してはどうか
- ・ 牛乳の小型容器への注入量が 100ml のままであり、80ml への修正が必要である。

『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』、『緊急時における放射性ストロンチウム分析法』に関連した意見はありません。

放調協加盟機関の意見（第4回改訂検討委員会事前送付資料に対するもの）

該当箇所	内 容
4.2 他	「被ばく及び汚染を防止する観点から使い捨ての手袋及び白衣を着用する」旨の記載があるが、手袋・白衣は被ばく防止にはならないのではないか。
4.2 他	「デッドタイムを予想する」旨の記載があるが、方法を記載してほしい。
4.3.1 等	ビニールシート上の「大型ろ紙」について、日本分析センターで新聞紙を使用した事例があると聞いたことがあるので、注9と同様の記載をしてはどうか。
4.3.2	原子力規制庁が示している大気モニタ用ろ紙の測定の考え方に沿った方法になっていない。6時間ごとに測定し、後に1時間毎にも測定できるようにしておく等、現時点で反映できることがあれば記載した方が良いのではないか。
6章冒頭 および 注釈1	<p>「目的やフェーズで異なる手法が用いられる」ことを踏まえ、本編では溶存態と懸濁態の分離を行わない前処理法を説明し、参考5で分離操作のいくつかを紹介しているのは適切であると考えます。</p> <p>ただし、P27 脚注に「<u>緊急時には通常</u>、迅速性や操作の簡便性を優先し、分離等を行わない」との記述があるが、分離を行わないのが標準であるかのような説明は、以下の理由からやや不適切と思われるので、削除（または修正）を検討されたい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 飲用前提で考えるのであれば、緊急時であっても、砂分が入り混じったり、著しい濁りがみられるものが、そのまま飲用されることは想定できない。 ・ 放射性セシウム等が吸着した懸濁質の分離を行わずに測定した場合、分離を行う場合よりも安全側の測定が行われるということで、住民防護の観点からは望ましいと捉えられる面はある。ただし、測定中に懸濁質が底部に沈殿することから、均質な状態よりもさらに値が上昇する。二重の意味で安全側にシフトする測定値を用いることの是非は個別に議論すべきであり、分離しないのが標準的であるかのような説明は好ましくない。
5.3.1 他	小型容器に入れる試料量約 80g と記載されているため、チオ硫酸ナトリウムの添加量も 80g 当たりの量を併記した方がわかりやすい。

付録 1	<p>本編に出てくる機器・用具の一部が記載されているが、すべて記載した方がわかりやすい。</p> <p>例えば、紙皿、ビニールテープ、シールテープ、ブルーシート、新聞紙等。</p> <p>リスト化しておくことも有効である。</p>
------	---

別冊 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」