

測定モニタリング管理手法 開発プロジェクト報告

資源循環・廃棄物研究センター
ライフサイクル物質管理研究室長
滝上英孝

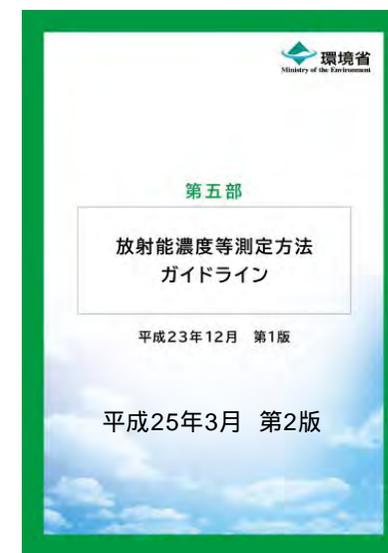
測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（全体概要）

プロジェクトの目的

- ・ 廃棄物関連試料（排ガス、焼却灰、汚泥、排水、土壌等）などに関する**試料の採取方法から前処理方法、検出方法、分析値の取扱い、精度管理**などについての検討を進める。
- ・ 廃棄物処理や再生製品リサイクルの各局面における放射能濃度、表面線量測定や空間線量率測定など、現行で実施されている取り組み事例のレビューを行い、情報を整理する。また、現場業務を合わせて、目的に応じた**最適なモニタリングスキーム（精密測定法、簡易測定法）**について検討を行い、**体系化**を目指す。

プロジェクトの成果の見定め

- ・ **放射能測定は種々の業務の基本**。他プロジェクトの連携、測定担当、所内多媒体Grpとの協調。
- ・ **廃棄物関係ガイドライン（放射能濃度等測定方法ガイドライン）**の改定対応に向けた検討を行う。
- ・ 「廃棄物等の放射能調査・測定法研究会」が作成した「**廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル**」について、標準マニュアルとしての策定や改定を行う。ガイドライン、マニュアルの両者の整合を図りつつ、暫定マニュアルについては、ガイドラインの解説やより先駆的な内容、調査・研究事例を参考資料として含むように検討を行う。



平成23年11月11日

「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」

はじめに

放射能に汚染された廃棄物等を今後長期的に適切に管理していく必要があり、そのためには、廃棄物等の特性やその処理処分施設における状況を踏まえた放射能の調査・測定法の標準化が必須です。

以上のような社会的要請を受けて、（独）国立環境研究所、国土技術政策総合研究所、（財）日本環境衛生センター、京都大学、（社）日本環境測定分析協会の協力関係の下に「廃棄物等の放射能調査・測定法研究会」を設けて、このほど「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」を作成しました。

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（概要と体制）

サブテーマ1：廃棄物・循環資源についての放射能分析方法の確立に向けた検討と適用

測定の目的に応じ、線量率や核種放射能濃度を検出するための機器や手法の選択について最新の情報知見を取りまとめる、適切な分析方法のあり方について検討する。手法論構築（規格化）を念頭。

サブテーマ2：廃棄物・資源循環プロセスにおける測定モニタリング管理手法の開発と適用

廃棄物・資源循環プロセスについても例えば既定的な調査（スポット調査）のみならず、非定常時の放射性物質の挙動や搬入、排出媒体の時系列変動を観察するなど、角度を変えた調査を行う。

サブテーマ3：種々の放射性核種や他の関連物質を俯瞰した包括的分析方法の検討とリスクコミュニケーションに資するデータセット確保の取り組み

天然放射性物質や化学物質を含め優先度を考慮しつつ、廃棄物・循環資源媒体における分析手法の基礎検討と適用を実施。試料アーカイブを意識した試料の収集、保管の取り組みも地道で重要。

研究体制



測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（成果サマリー）

この2年間はニーズに応じて、様々な媒体への対応例数を増やした活動業務を実施してきた。対象媒体として、焼却排ガス、焼却灰、汚泥（堆肥）、排水、その他固形廃棄物（草木類、不燃物、船舶等の廃製品）を対象に線量測定（現地スクリーニング）から放射能濃度測定（試料の採取から前処理、測定方法の検討）、分析値の精度管理に至るまで多角的な検討を行った。

業務の流れ

事前検討

現地調査

試料採取

試料調製

測定分析

精度管理

現地還元

知見総括

これまでの成果概要

現場での線量分布を得るためのスクリーニング調査（草木、船舶、堆肥等）（H24）

焼却排ガスのセシウム捕集法検討（H23, 24）

廃棄物ロット（灰、不燃物）についてのインクリメント試料数検討（H23, 24）

排水試料の分画・存在態確認（H24）

廃棄物中放射性Srの簡易法測定試行（H24）

焼却灰や土壌試料を共通試料とした測定クロスチェック（H23）

草木類の焼却炉投入に際してのスクリーニング情報知見還元（H23）

廃船舶の除染確認、作業マニュアルの作成・提出、自治体による撤去（H24）

環境省測定ガイドライン改定時の貢献（H24）

廃棄物測定暫定マニュアルの策定と改定作業（H23,24）



測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（焼却排ガス採取）

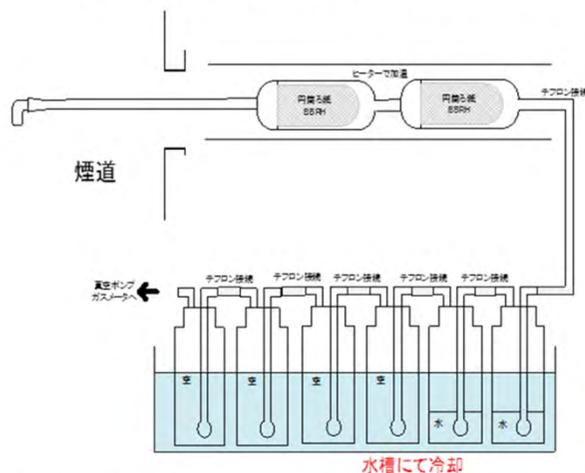
焼却排ガスのサンプリング方法検討

廃棄物焼却炉での排ガス中Cs放射能測定結果（1型と2型の比較）



排ガス採取用の試料採取器具
（JIS Z8808規定Ⅱ型）

採取ポイント	ろ紙	採取装置	採取管部		ろ紙部		捕集水部	
			Cs134 (Bq/m ³)	Cs137 (Bq/m ³)	Cs134 (Bq/m ³)	Cs137 (Bq/m ³)	Cs134 (Bq/m ³)	Cs137 (Bq/m ³)
焼却炉集じん機入口	円筒ろ紙	1型	/	/	58.5	75.7	<5	<5
焼却炉集じん機入口	円筒ろ紙	2型	9.3	12.8	41.9	53.1	<5	<5
焼却炉集じん機出口	円筒ろ紙	1型	/	/	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
焼却炉集じん機出口	円筒ろ紙	2型	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
溶融炉集じん機入口	円筒ろ紙	1型	/	/	648	824	<2	<2
溶融炉集じん機入口	円筒ろ紙	2型	10	14.7	685	845	<2	<2
溶融炉集じん機出口	円筒ろ紙	1型	/	/	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
溶融炉集じん機出口	円筒ろ紙	2型	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
煙突	円筒ろ紙	1型	/	/	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2



大容量排ガス試料採取器具の模式図

ストーカー炉での排ガス中Cs放射能測定結果（72時間連続採取時）

72時間採取試料名	ろ紙捕集部前段	ろ紙捕集部後段	液体捕集部
サンプリング日	平成25年1月23日～1月26日		
吸引ガス量 (m ³)	123.2260		
¹³⁴ Cs (Bq/m ³)	<0.0003	<0.0003	<0.0014
¹³⁷ Cs (Bq/m ³)	<0.0003	<0.0003	<0.0012
要求下限値(Bq/m ³)	0.0008	0.0008	0.0016
測定時間 (秒)	79038	50000	50000
測定日	平成25年2月1日	平成25年2月2日	平成25年2月5日

注1) ガス量は標準状態 (0° C、101.32kPa) のものである。

注2) 測定結果は試料採取終了日時で減衰補正した値である。

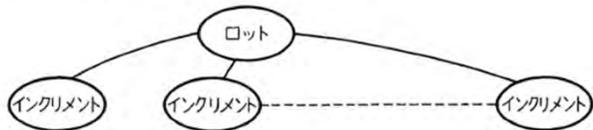
JISばいじん採取2型装置の適用可能性検証、長時間採取による現行採取法妥当性確認

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（最適サンプリング法検討）

焼却灰の放射能測定値ばらつきと試料代表性に配慮したサンプリング方法の検討

目的

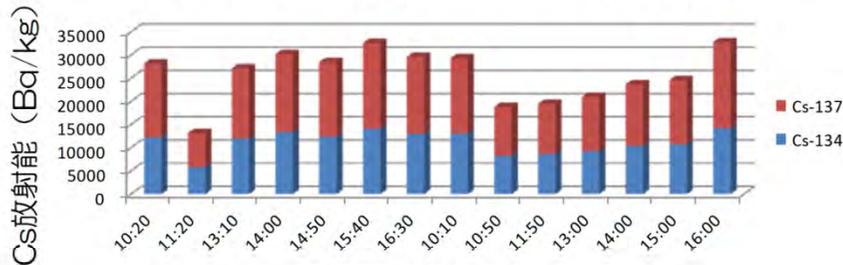
焼却灰を対象に採取する試料1ロットに対して代表性のあるインクリメントの取り方について検証を行う。



ロットとインクリメントの関係

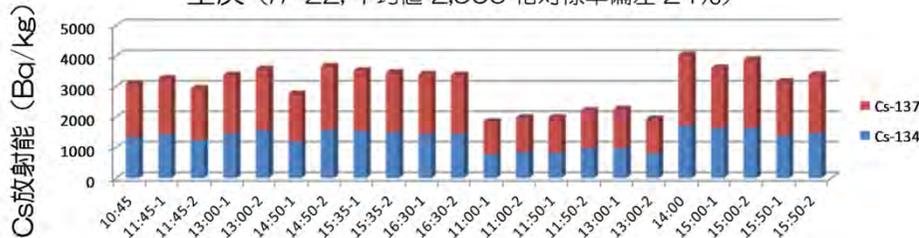
焼却灰インクリメント試料のGe半導体検出器による測定結果（濃度減衰補正後）

飛灰 (n=14, 平均値 26,600 相対標準偏差 22%)



2日間の採取時刻

主灰 (n=22, 平均値 2,900 相対標準偏差 24%)



2日間の採取時刻

試料採取

関東地方の一般廃棄物焼却施設（ストーカー式焼却炉）にて2日間採取（平成23年12月）



主灰の調製（20 mm篩下）



採取主灰（22インクリメント、各3-12 kg）



飛灰インクリメント試料



採取飛灰（14インクリメント、各1 kg）

ごみ性状や運転条件を考慮して、適切なインクリメントの取り方が重要であると考えられる。

インクリメント試料のランダムな組み合わせによる分析想定値試算結果

飛灰 (n = 14)				
インクリメント数	組合せ (通り)	平均 (Bq/kg)	標準偏差 (Bq/kg)	相対標準偏差 (%)
2	91	25647	3797	14.8
3	364	25647	2956	11.5
4	1001	25647	2439	9.5
5	2002	25647	2069	8.1
6	3003	25647	1780	6.9

主灰 (n = 22)				
インクリメント数	組合せ (通り)	平均 (Bq/kg)	標準偏差 (Bq/kg)	相対標準偏差 (%)
2	231	3037	463	15.2
3	1540	3037	368	12.1
4	7315	3037	310	10.2
5	26334	3037	269	8.9
6	74613	3037	239	7.9

インクリメント数については現行のガイドラインの記載事項（インクリメント数4以上とする条件）を支持する方向の解析結果が得られた（不燃物で「10」以上の検討結果も得ている）。

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（放射能濃度測定簡易法検討）

コンベア式、可搬型NaI(Tl)シンチレーション式検出器を用いた廃棄物放射能濃度の簡易測定方法の検討（焼却灰への適用検討）



コンベア式測定器（コンベアモード）

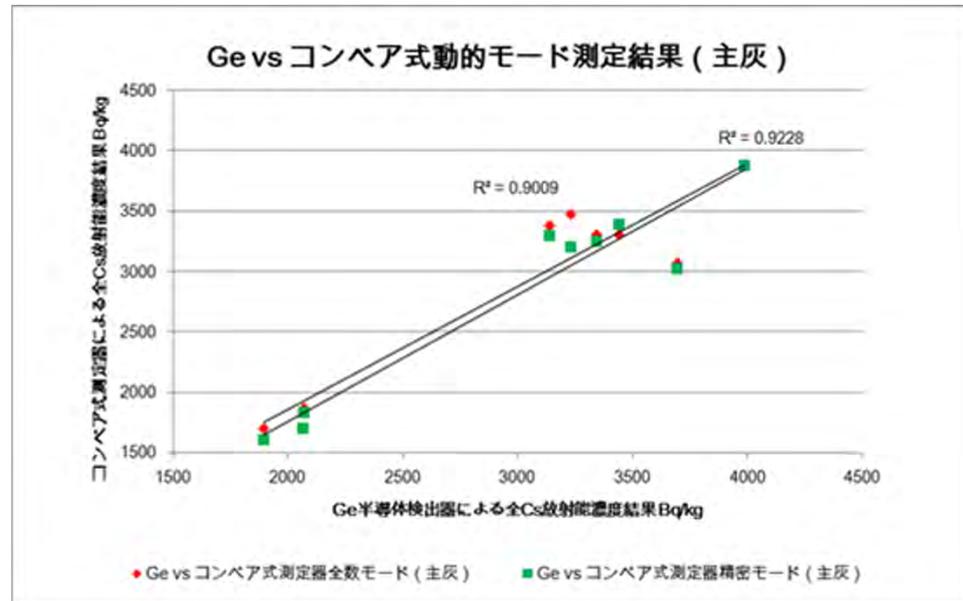


可搬型測定器

低バックグラウンド環境において、焼却灰試料の放射能濃度レベル（ $> 1,000 \text{ Bq/kg}$ ）の簡易モニタリングは十分可能である。主灰については分級や充填が重要になる。

簡易測定法の焼却灰中Cs放射能濃度に関する検出下限値

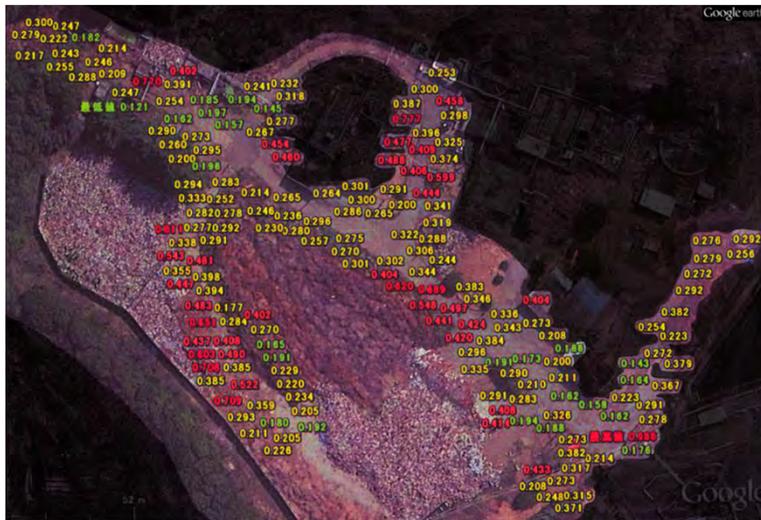
機器	モード	測定時間 (秒)	試料容積 (ℓ)	試料重量 (kg)	検出下限値 (Bq)	検出下限濃度 (Bq/kg)
コンベア式	サンプルモード	600	1.10	0.5	24.5	49
コンベア式	コンベア (全数モード)	7.7	11.9	5.9	902	153
コンベア式	コンベア (精密モード)	94.4	11.9	5.9	330	56
可搬型	現地遮蔽付	1000	0.10	0.05	9.98	200
可搬型	現地遮蔽付	300	0.10	0.05	18.2	384
可搬型	現場遮蔽付	300	1.00	0.45	16.7	37



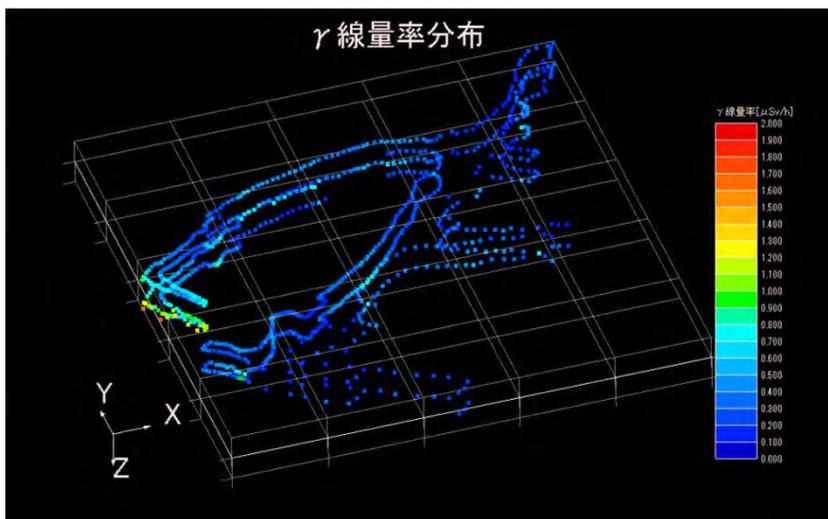
測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（現地線量測定評価）

堆積草木・土砂類の線量・放射能濃度測定（目的 堆積草木類の焼却に際しての事前調査、放射能濃度スクリーニング可能性検討）

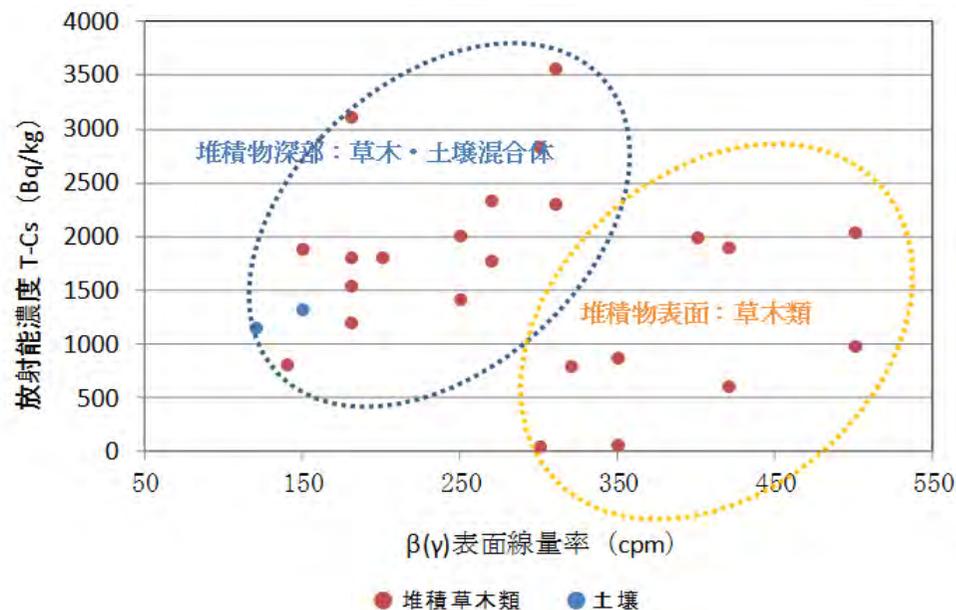
草木類保管場所の1 cm高さの地表の表面線量率の分布



ポール型サーベイメータによる1cm高さ
1m高さの線量率分布可視化例



堆積草木類等の表面線量率（GM, cpm）と放射能濃度の関係



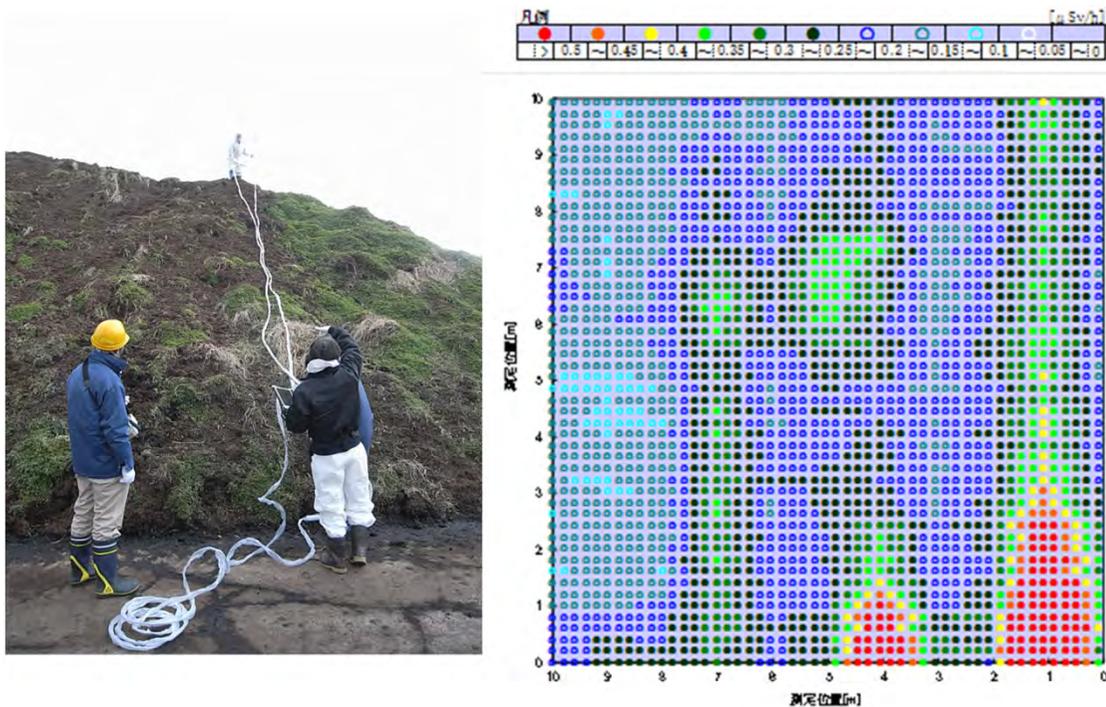
草木類等の線表面線量率の現場測定結果と、草木類等の放射能濃度について相関性を見出すことは難しい。体積を有する多数の線源が混在する現場であることや、堆積物そのものの厚みによる放射線量の増減の影響を考慮する必要がある。

GM管式サーベイメータによる測定対象表面の線計数率(cpm)と採取した試料の放射能濃度には、採取試料の特徴や採取位置に応じて一定の相関を見ることが出来る。スクリーニングを行う上で、ケースバイケースの現場確認が必要である。

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（迅速スクリーニング法適用）

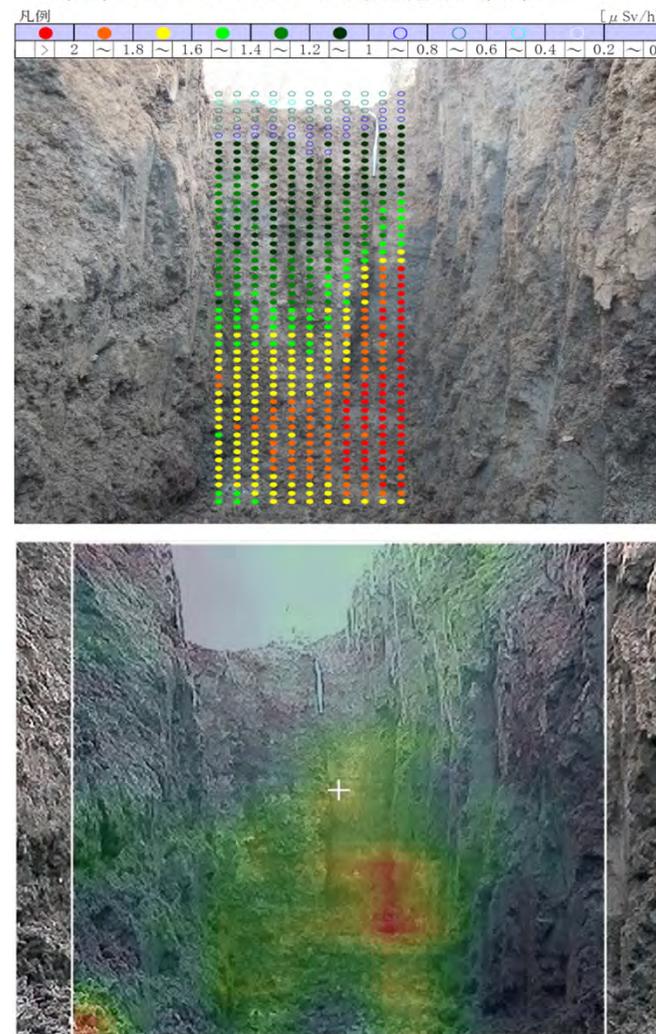
堆肥ヤードにおける放射線量の面的スクリーニング

低線量山斜面の測定風景（上）とプラスチックシンチレーションファイバによる線量率測定結果（下）



シンチレーションファイバ及びガンマカメラの両測定法は、**高線量箇所（ホットスポット）の探索**や**測定時間の短縮**において優れた性能を有すると考えられる。

高線量山掘削部急斜面のプラスチックシンチレーションファイバによる線量率測定結果（上）とガンマカメラ測定結果（下）



ガンマカメラ結果
最大値：AUTOモード：全256ピクセル中の最大値を赤色に表示。
最大値：0.00478 cps

廃船舶の適正処理に向けた調査（NIESへの協力依頼）

調査内容（2012年7月23-26日）

- ・震災後、残置されているFRP船の放射能及び残置場所の環境放射能を多点測定し、線量分布の可視化に努めた。
- ・2艘、FRP船を選定し、船舶に堆積する土砂、溜り水の除去、及びFRP船部材表面等に付着していると考えられる放射性物質の除去を試みて、除去前後のFRP船の放射線量の変化について調べた。
- ・一部のFRP船部材等は採取の上、暫定的な放射能の定量を行い現場にて評価する。詳細な測定を必要とする採取試料については、国立環境研究所に持ち帰り、精密分析を行う。
- ・以上を踏まえて、FRP船及び残置場所の放射能を総合的に評価し、廃棄物処理（広域処理）の可能性についての検証する。

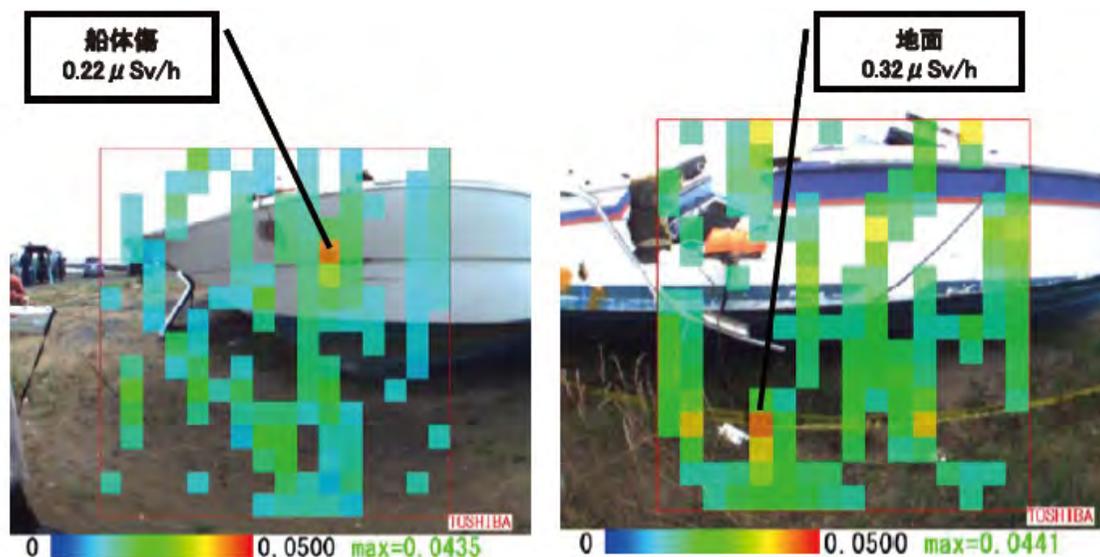
環境省
福島県内
支援チーム
及び
相馬市と
連携

本業務内容は、土木学会論文集へ投稿中



測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（廃船舶スクリーニングと除染）

廃船舶のガンマカメラ撮影結果



左：放射線のホットスポットが船体から検出され、船体傷部分の表面線量が比較的高いことが確認できた例

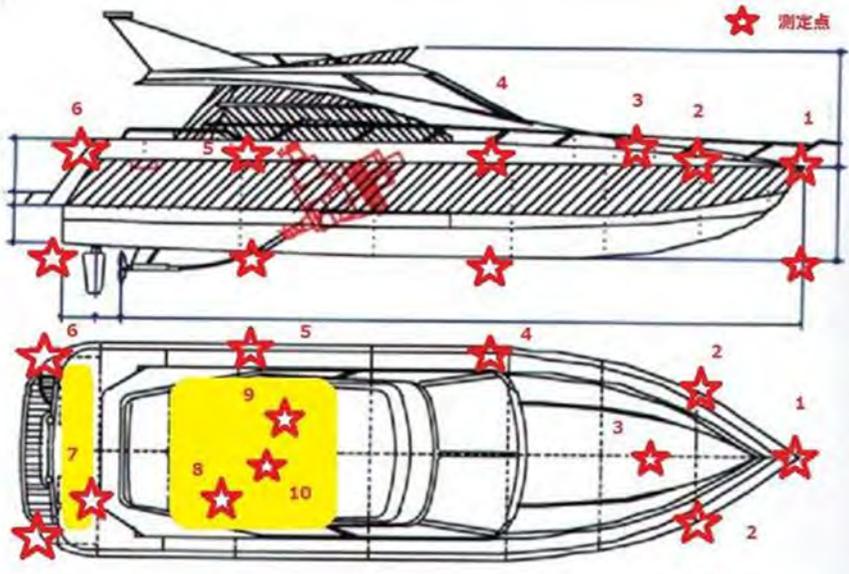
右：放射線が地面から検出され、船体の放射線も地面（バックグラウンド）からの影響を受けていることを示唆する例

高圧洗浄装置を用いた除染試験（船体の構造を理解した除泥、排水管理が重要）



測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（除染効果検証と行政貢献）

高圧洗浄装置を用いた船舶除染試験結果



	堆積物除去前（洗浄前）	除去後（洗浄後）
測定点①	0.14 μ Sv/h	0.10 μ Sv/h
測定点①下	0.18 μ Sv/h	0.18 μ Sv/h
測定点②左	0.12 μ Sv/h	0.13 μ Sv/h
測定点②左下	0.12 μ Sv/h	0.13 μ Sv/h
測定点②右	0.13 μ Sv/h	0.11 μ Sv/h
測定点②右下	0.13 μ Sv/h	0.12 μ Sv/h
測定点③	0.11 μ Sv/h	0.11 μ Sv/h
測定点④	0.18 μ Sv/h	0.16 μ Sv/h
測定点④下	0.29 μ Sv/h	0.30 μ Sv/h
測定点⑤	0.18 μ Sv/h	0.15 μ Sv/h
測定点⑤下	0.29 μ Sv/h	0.24 μ Sv/h
測定点⑥左	0.17 μ Sv/h	0.15 μ Sv/h
測定点⑥左下	0.17 μ Sv/h	0.19 μ Sv/h
測定点⑥右	0.18 μ Sv/h	0.15 μ Sv/h
測定点⑥右下	0.20 μ Sv/h	0.28 μ Sv/h
測定点⑦	0.47 μ Sv/h	0.16 μ Sv/h
測定点⑧	0.85 μ Sv/h	0.15 μ Sv/h
測定点⑨	0.50 μ Sv/h	0.17 μ Sv/h
測定点⑩	0.27 μ Sv/h	0.14 μ Sv/h

廃船舶のGM計数管による調査結果例



・相馬市へ船舶除染作業要領案の提出（H24, 8月）
 ・船舶搬出が開始されている
 ・現場での洗浄、解体作業、線量測定方法について本要領案が活用されている

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（廃棄物測定精度管理）

土壌および焼却関連試料中のセシウム放射能濃度分析クロスチェック（平成24年1月）

対象試料：濃度段階別の土壌及び焼却関連試料（充填試料、有姿試料、2mm以下に分級）



車道脇土壌〔高濃度〕 植え込み土壌〔中濃度試料〕 畑地土壌〔低濃度試料〕
 飛灰〔高濃度試料〕 主灰〔中濃度試料〕 スラグ〔低濃度試料〕

核種濃度分析で使用された検出器

機関	検出器	メーカー
A	Ge半導体検出器	キャンベラ社製 GC2018
	Nal(Tl)シンチレーション検出器	GEORADIS社製 RT-50
	LaBr ₃ (Ce)シンチレーション検出器	テクノエービー社製 TS100B
B	Ge半導体検出器	キャンベラ社製 7500SL
C	Ge半導体検出器	—
D	Ge半導体検出器	セイコーEG&G社製（オルテック社製）
E	Ge半導体検出器	オルテック社製 GEM20-70
F	Nal(Tl)シンチレーション検出器	パーキンエルマー社製 2480 Wizard2

配布試料中の放射性セシウム濃度の機関間の平均値及び中央値

試料名	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs (Bq/kg)*		
	機関間平均値	機関間中央値	標準偏差
車道脇土壌	63929	64100	3725
植え込み土壌	5611	5515	447
畑地土壌	356	351	17
飛灰	21162	20950	1513
主灰	3644	3670	91
スラグ	670	668	19

*本クロスチェックで得られた測定値 (n=14)

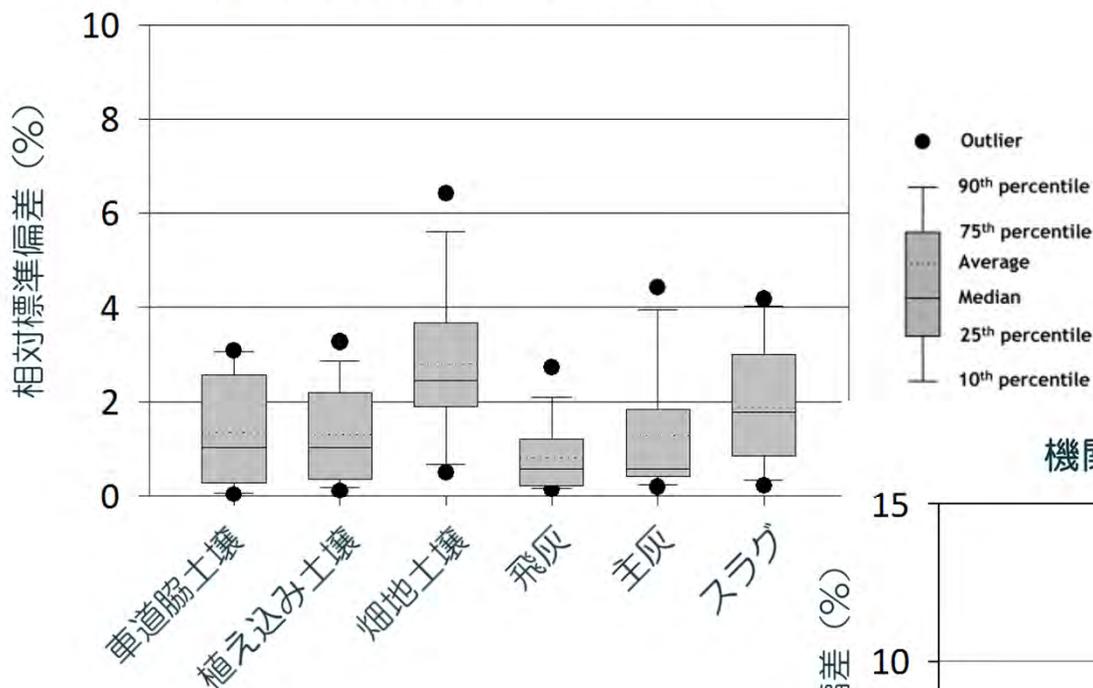
データばらつき（機関内、機関間）を解析し、濃度、性状、検出器との関連性を調べた。

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（クロスチェックによる精度担保）

土壌および焼却関連試料中のセシウム放射能濃度分析クロスチェック結果のまとめ

機関内データの相対標準偏差のボックスプロット

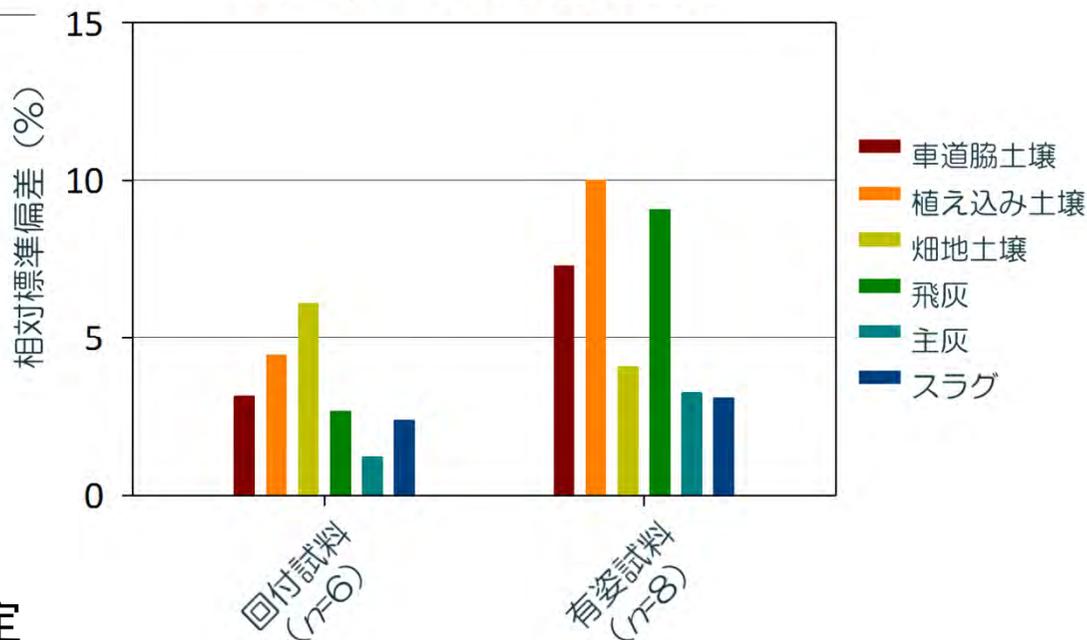
試料性状・濃度差の影響 (n=14)



機関内ばらつきは低濃度試料（畑地土壌、スラグといった数百Bq/kgレベルの試料）で大きくなる傾向だが、非常に低い。検出器の違いによる有意差は検出されていない。

機関間ばらつきも低く抑えられている (< 10%)。回付試料（充填済）が有姿試料（各機関にて充填）に比べてばらつきが小さい。

機関間データの相対標準偏差



本業務内容は、「分析化学」掲載予定

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（環境省測定ガイドライン改定）



測定ガイドライン改定点（抄）
 空間線量率測定時の時定数の規定、廃棄物搬入時の敷地境界線量率許容値の設定改定、排ガス採取法への2形追加、固形物採取時のインクリメントサイズ規定、検出下限値取り扱い等について改定。

ガイドライン解説
 やより先駆的な内容、
 また調査・研究事例を紹介する
 ものとして位置付け

↓ 公定法として
 上位に位置 ↑

平成 23 年 11 月 11 日
 「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」

はじめに
 放射能に汚染された廃棄物等を今後長期的に適切に管理していく必要があり、そのためには、廃棄物等の特性やその処理処分施設における状況を踏まえた放射能の調査・測定法の標準化が必須です。

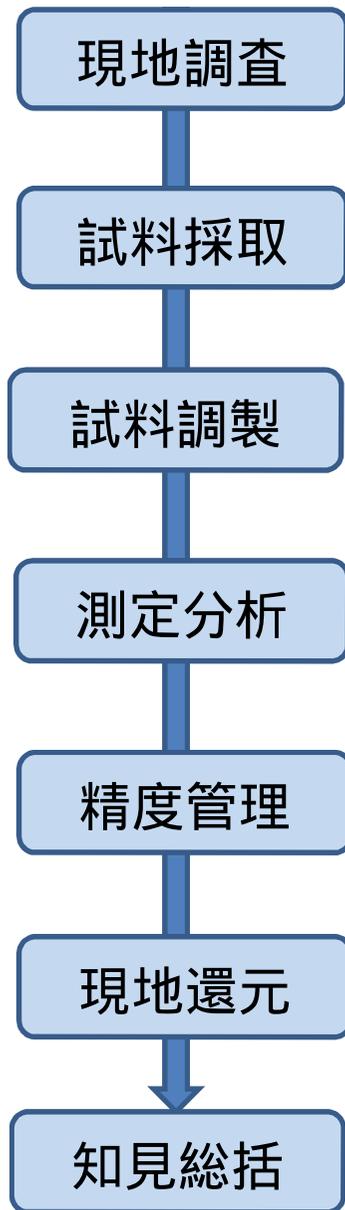
以上のような社会的要請を受けて、（独）国立環境研究所、国土技術政策総合研究所、（財）日本環境衛生センター、京都大学、（社）日本環境測定分析協会の協力関係の下に「廃棄物等の放射能調査・測定法研究会」を設けて、このほど「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」を作成致しました。

暫定マニュアルとガイドラインの構成の比較

	暫定マニュアル	測定方法ガイドライン
測定項目	放射性セシウム及び放射性ヨウ素	放射性セシウム
測定対象	排ガス(4章), 灰・汚泥(5章), 廃水・浸出水(6章), 受入廃棄物(7章), 土壌(8章), 作業環境(9章), 一般環境の空間線量(第10章)	空間線量率(2章), 排ガス(3章), 粉じん(4章), 排水及び公共の水域の水(5章), 周縁地下水(6章), 燃え殻・ばいじん・排水汚泥・溶融スラグ・溶融飛灰(7章), 溶出量(8章)
排ガスの採取方法	ろ紙によるろ過捕集 + 吸収瓶による液体捕集 + <u>活性炭による吸着捕集</u>	ろ紙によるろ過捕集 + 吸収瓶による液体捕集
固体試料の採取箇所数	4	放射性物質汚染対処特措法第16条調査にあつては4以上, <u>第18条調査にあつては10以上</u> (汚泥, 煤じん, 焼却灰等は4以上)
固体試料の1箇所当たりの採取量	規定なし	JIS K 0060 「産業廃棄物のサンプリング方法」に準拠
水試料の採取量	500 mL程度(検出下限濃度を低くする場合は2 L)	2 L
水試料の調製方法	浮遊物質を除いて測定する場合 1 µm または 0.45 µm 孔径相当のメンブレンフィルターでろ過	規定なし
放射能濃度の測定機器	ゲルマニウム半導体検出器	ゲルマニウム半導体検出器, <u>NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ</u> , <u>LaBr₃(Ce)シンチレーションスペクトロメータ</u>

測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（これまでのまとめ）

これまでの成果要点



現場での線量分布を得るためのスクリーニング調査
（草木、船舶、堆肥等）

「放射能濃度」を迅速にスクリーニングできないか？

焼却排ガスのセシウム捕集法検討

小型焼却炉でのごみ焼却モニタリング（旧警戒区域）

廃棄物ロット（灰、不燃物）についてのインクリメント試料数検討

排水試料の分画・存在態確認

処分場浸出水、除染濁水、灰洗浄水等への適用
（測定精度、処理性の確認）

廃棄物中放射性Srの簡易法測定試行

放射性Srを選択的に吸着する固相であるSr rad diskやSr Resinを使用した簡易測定法について、供試量を調整する等により通常のイオン交換法（公定法）による測定と同等の測定結果が得られる可能性がある。

焼却灰や土壌試料を共通試料とした測定クロスチェック

他媒体の放射能濃度や「線量率」測定のクロスチェック

草木類の焼却炉投入に際してのスクリーニング情報等知見還元

環境省測定ガイドライン第2版改定時の貢献
廃棄物測定暫定マニュアルの策定と改定作業（今後も）

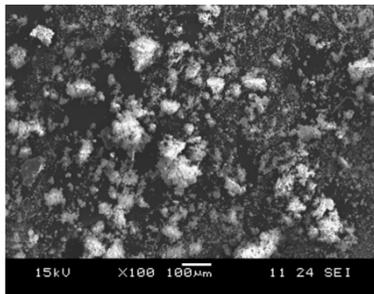
測定モニタリング管理手法開発プロジェクト（今後の課題）

対象フィールド

- ・ **複合部材からなる製品系廃棄物**（家電、フィルター等）への分析対応機会が増えるものと考えられる。
- ・ 旧警戒区域内の**高濃度廃棄物**への対応機会を考慮しておく（焼却挙動調査等）。

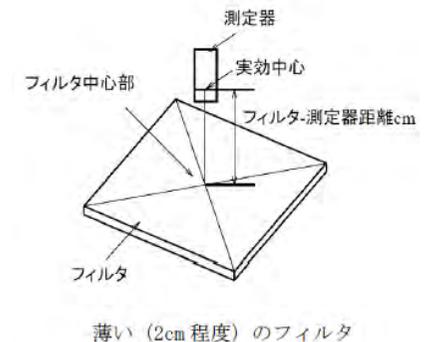
分析技術

- ・ 放射能のみならず、**元素分析や表面分析**などの分析も組み合わせて放射能挙動を考察するために、総合的に試料分析に取り組むケースも増えており、複合分析的な対応が重要となっている。
- ・ **他の放射性核種**への分析対応の準備を図る。



適用方法論

- ・ 業務年度は3年目を迎え、廃棄物測定暫定マニュアルの改定とともに、**廃棄物の放射能測定の方法論について取りまとめ**を進める。
- ・ **線量率から放射能濃度を推定**するための検討を一層、強化する。
- ・ **除染の効果**を定量的に測定するための方法論を検討する。



測定分析モニタリング班

滝上英孝 山本貴士 鈴木剛
竹内幸生 田野崎隆雄 千村和彦 深町孝一
新井裕之 長谷川亮

環境省福島再生事務所（循環C福島分局）

高田光康 金松雅俊

