

第5回放射線計測フォーラム
2015年12月7日 福島市ユニックスビル

事故由来放射性物質汚染廃棄物の 放射能計測に向けた取組み

国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター
山本貴士

本日お話しする内容

- ◆ 事故由来放射性物質汚染廃棄物と放射線・放射能計測
- ◆ 廃棄物関連試料の放射能濃度測定方法の検討
 - ◆ 代表性を担保した試料採取方法の検討
 - ◆ 焼却排ガス採取方法の検討
 - ◆ 廃棄物試料の放射能分析におけるクロスチェック
- ◆ 廃棄物集積場等での放射線・放射能計測
 - ◆ 新規開発デバイス(ポール型、ロット型サーベイメータ、シンチレーションファイバ、フレコンバッグ測定装置、ガンマカメラ)の現場計測への適用

廃棄物の区分

↓ 事故由来放射性物質廃棄物…「事故由来放射性物質汚染対処特措法」の世界

非放射性廃棄物	一般廃棄物	ごみ	主に家庭から排出されるごみ	「廃棄物処理法」の世界
		し尿		
	産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物。処理主体は事業者		
	災害廃棄物	災害により発生した廃棄物。処理主体は自治体*		
放射性廃棄物	低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	原子力発電所から発生するは放射性廃棄物、放射能レベルに応じ分類	「原子力基本法」の世界
		ウラン廃棄物	ウラン濃縮・燃料加工施設より発生	
		TRU廃棄物	半減期の長い超ウラン核種 (TRU)を含む廃棄物、再処理施設より発生	
	高レベル放射性廃棄物	使用済み燃料(ガラス固化体)再処理施設より発生		

* 「東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法」により国が処理を代行できる

事故由来放射性物質汚染廃棄物の放射線・放射能計測がなぜ必要か(1)

- 2011年3月の福島第一原発事故により大量の放射性物質が放出
 - ✓ ^{133}Xe 1.1×10^{19} Bq, ^{131}I 1.6×10^{17} Bq, ^{132}Te 8.8×10^{16} Bq, ^{134}Cs 1.8×10^{16} Bq, ^{137}Cs 1.5×10^{16} Bq
 - ✓ 東日本各地を広範囲に汚染
- 同年5月頃より高濃度の放射性Csを含む下水汚泥や焼却灰の発生事例が多数報告される



上下水道，廃棄物処理作業従事者や施設周辺住民の被ばく対策が求められる

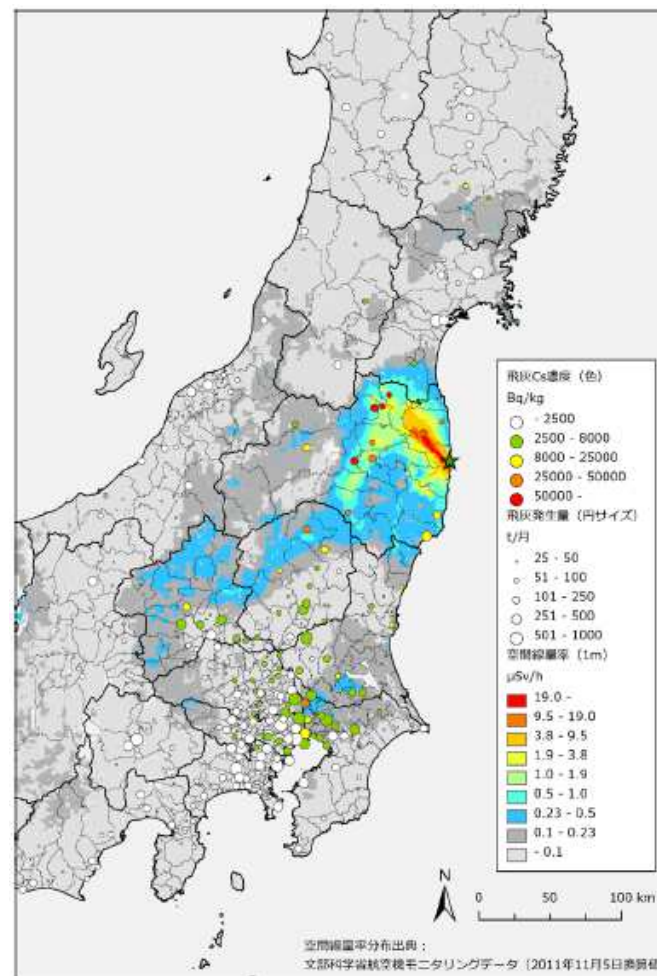


図 12.4 焼却飛灰・溶融飛灰の放射性セシウム濃度レベルと発生量の空間分布
(濃度は2011年7月測定値、Cs-134とCs-137の合計)

出典: 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料 第四版)(国環研, 2014/4)

事故由来放射性物質汚染廃棄物の放射線・放射能計測がなぜ必要か(2)

- 2011年8月に事故由来放射性物質汚染対処特措法が公布される

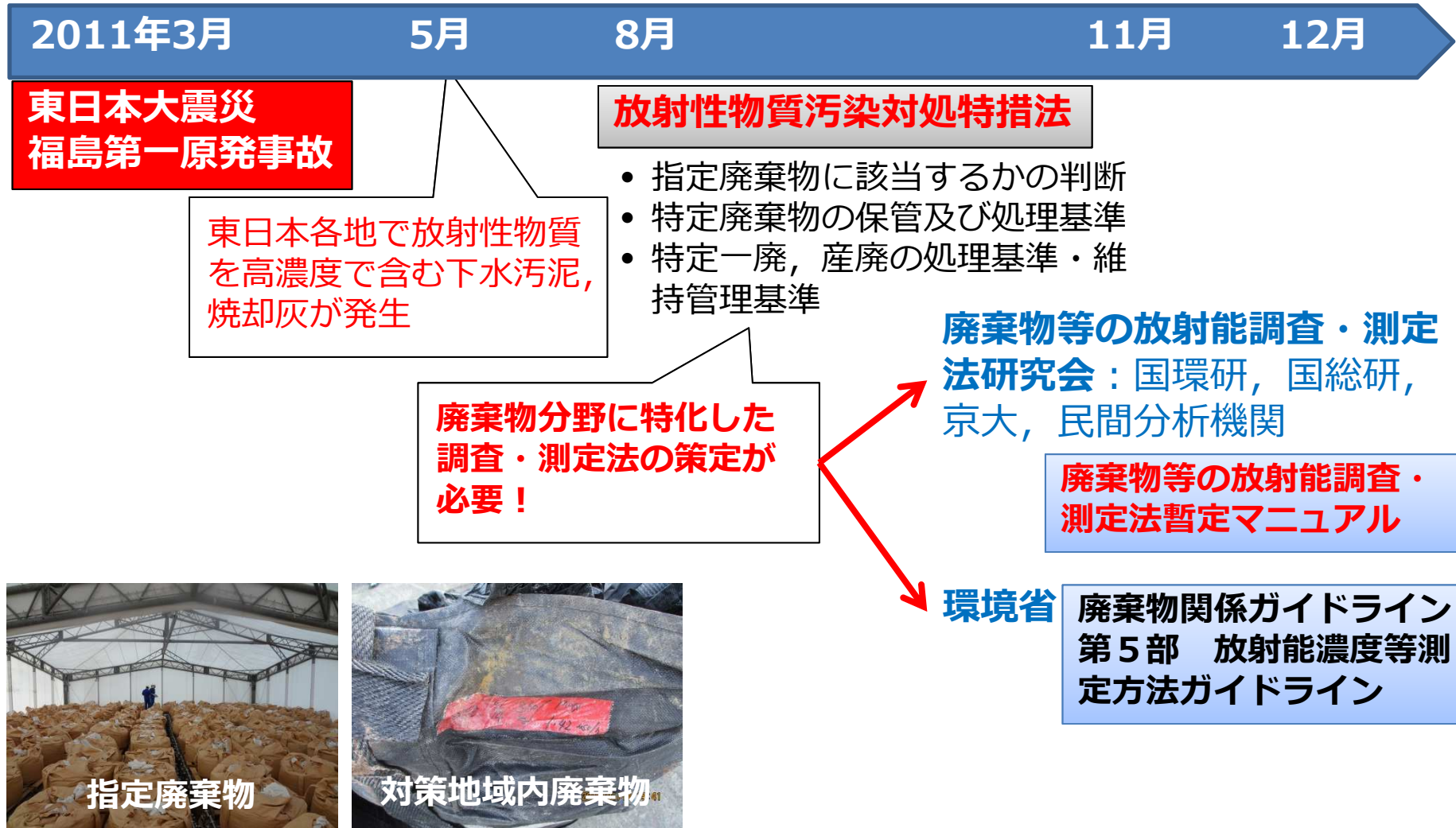
- ✓ 指定廃棄物...事故由来放射性物質(^{134}Cs 及び ^{137}Cs)の濃度が8,000Bq/kgを超える廃棄物
- ✓ 特定廃棄物(対策地域内廃棄物 + 指定廃棄物)の保管及び処理基準
- ✓ 特定一般廃棄物及び特定産業廃棄物の処理基準及び維持管理基準*



*特措法ではなく廃棄物処理法の上乗せ基準

指定廃棄物に該当するかの判断, 保管・処理基準や維持管理基準としての放射能濃度や空間線量率の測定が必要

廃棄物関連試料の放射線・放射能測定方法策定の経過(1)



廃棄物関連試料の放射線・放射能測定方法策定の経過(2)



ガイドライン第2版

マニュアル第2版

マニュアルとガイドラインの関係

- 発出がほぼ同時期
- いずれも廃棄物関連試料を対象
- **ガイドライン第2版では内容に不整合**



どちらを使えばいいの？

測定分析技術者
廃棄物処理施設管理者

「平成25年度廃棄物関連試料の放射能分析検討会」及び作業部会で改訂作業開始

マニュアル改訂作業

- GLとの整合を重視し相違点の解消に努める
- GLに記載のない試料取扱や作業安全確保、計測機器の解説や精度管理についても記載を充実



廃棄物の放射線・放射能計測上の課題

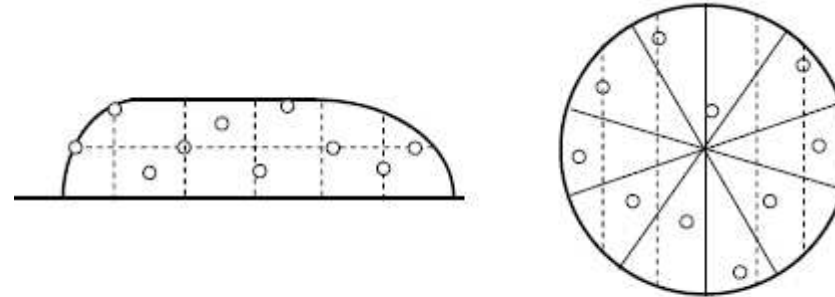


- ◆ 量が多く、組成が雑多、不均一である
→ 包括的な評価、大容量に対応した計測方法、または代表性を担保した試料採取が必要
- ◆ 「通常の」放射性廃棄物とは性状が異なる
→ 試料性状に適合した採取法、計測法の選択
- ◆ 適切な管理のための放射能濃度の基準値がある
→ 放射線量だけでなく放射能濃度の計測が必要
- ◆ 廃棄物の取扱者は放射線・放射能計測に必ずしも熟知していない
→ 簡易な方法が必要
- ◆ 屋外、高粉じん濃度等、計測者が被ばくするおそれ
→ 迅速な方法が必要

代表性を担保した試料採取方法の検討(1)



災害廃棄物の山



○印は採取箇所

堆積された試料の採取箇所の例(10箇所の場合)

出典：環境省：廃棄物関係ガイドライン第2版(2013)

- 廃棄物の山があったとして、どのように放射能Cs濃度を求めればよいか？
 - この山を**1ロット**として、**適切な数、サイズのインクリメント**を採取する
 - 全インクリメントを合わせた大口試料から適当な方法で縮分を行い分析用試料を調製する
 - 分析用試料をガンマ線スペクトロメトリーにより測定し、放射性Cs濃度を求める
- インクリメントの数、サイズについてどのように考えればよいか？
 - インクリメントの数：ロットの大きさによって決まる(廃棄物関係ガイドラインでは、特措法第16条調査に関して**4以上**、第18条調査に関して**10以上**)
 - インクリメントのサイズ：廃棄物の最大粒度によって決まる



そのように採取したとして、代表性のある結果が得られるか

代表性を担保した試料採取方法の検討 (2)

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する

方法

- 施設：関東地方の一般廃棄物焼却施設 (ストーカ式焼却炉)
- 調査期間：2011年12月の2日間
- 試料：主灰(燃え殻)及び飛灰(煤じん)
- 試料採取：飛灰は2日間に14インクリメント(各1 kg)、主灰は2日間に22インクリメント(3~12 kg)採取
- 試料調製：飛灰はよく混合して、主灰は20 mm篩下を分取
- 測定：各インクリメントについてGe半導体検出器を用いて放射性Cs濃度を測定
- 評価：①インクリメントのばらつき、②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)値を算出し、代表試料を得るための最適手法の検討、考察



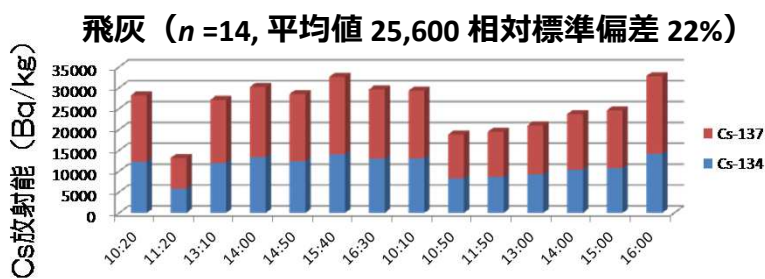
主灰(左)と調製作業(右)



飛灰(左)とインクリメント(右)

代表性を担保した試料採取方法の検討 (3)

結果 焼却灰インクリメント試料の測定結果



2日間の採取時刻

2日間の採取時刻

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)

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	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

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

- ✓ 飛灰、主灰試料の双方とも濃度に2倍以上の差。この原因として、主灰では性状のばらつき、飛灰ではボイラ灰の混入による希釈効果、投入ごみ質の変化等が考えられる。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を行うことが重要
- ✓ **インクリメント数については、ガイドラインの記載(インクリメント数4以上)を支持する方向の解析結果が得られた**

代表性を担保した試料採取方法の検討 (4)

目的

不燃物(コンクリートがら)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する

方法

- 施設：東北地方の産業廃棄物中間処理施設
- 調査期間：2013年1月
- 試料：コンクリートがら。ボード類建材破砕物(サイディング、スレート等。ガラス、瓦等若干混入)
- 試料のサイズ：概ね10 cm以下
- ストックパイル(ロット)の大きさ：12 m³ (推定)
- 試料採取：22インクリメント(各11 L)採取
- 試料調製：粉碎し、四分法により縮分
- 測定：各インクリメントについてGe半導体検出器を用いて放射性Cs濃度を測定
- 評価：①インクリメントのばらつき、②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)値を算出し、代表試料を得るための最適手法の検討、考察



①重機による試料の攪拌



②試料の採取

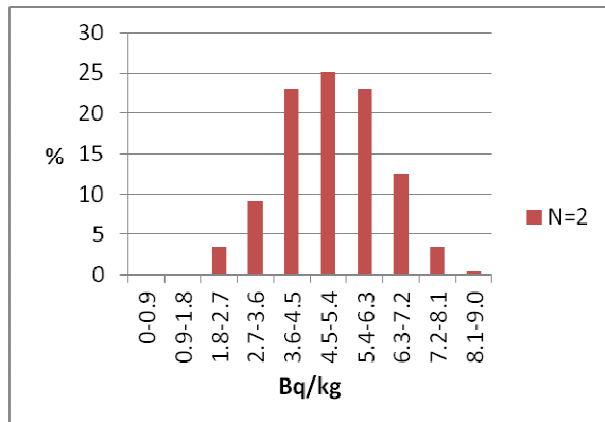


③破砕試料を四分法で縮分

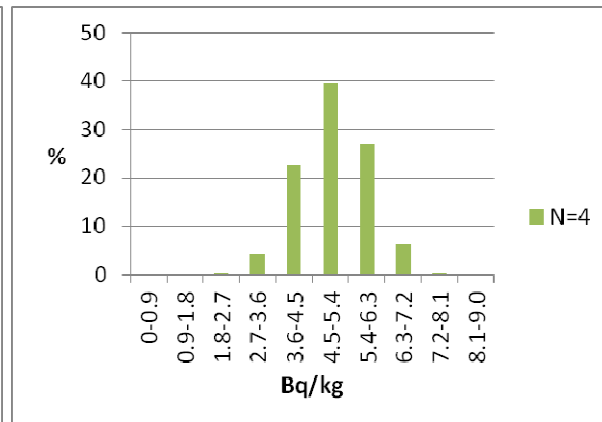
代表性を担保した試料採取方法の検討 (5)

結果

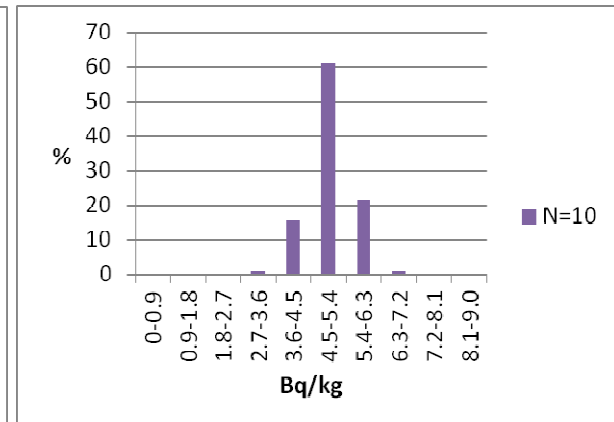
- ✓ コンクリートから22インクリメント試料の放射性Cs濃度：平均値5.04 Bq/kg、中央値5.26 Bq/kg、相対標準偏差 36.5%
- ✓ 不燃物1ロットに対して必要なインクリメント数を判断するに当たり、22個のデータセットから任意の数のデータをランダムに抜取り、サブセット平均値の相対標準偏差が許容できる値を下回った抜取数が必要なインクリメント数であると判断
- ✓ データ抜取数(インクリメント数)が増えるほど減少し、相対標準偏差が10%となる場合には**最低10と判断され、ガイドラインの記載を支持する結果**を得た



抜取数2、相対標準偏差24.6%



抜取数4、相対標準偏差16.5%



抜取数10、相対標準偏差10.4%

焼却排ガス採取方法の検討(1)

■ 都市ごみ焼却炉と発電所廃棄物焼却炉の違い

■ 規模：数百トン/日

■ 焼却廃棄物と放射能レベル：
都市ごみ、～2000Bq/kg

■ 排ガス処理：薬剤噴霧+バグ
フィルタ(集じん機)

■ 排ガスの性状：水分量が10%
を超える場合も

■ 排ガスのモニタリング

■ 発電所廃棄物焼却炉：連続、オンライン

■ 都市ごみ焼却炉：月1回以上、オフライン



規模、排ガス処理、モニタリング方法の点で大きく異なる

原発ゴミ焼却炉と都市ごみ焼却炉の相違

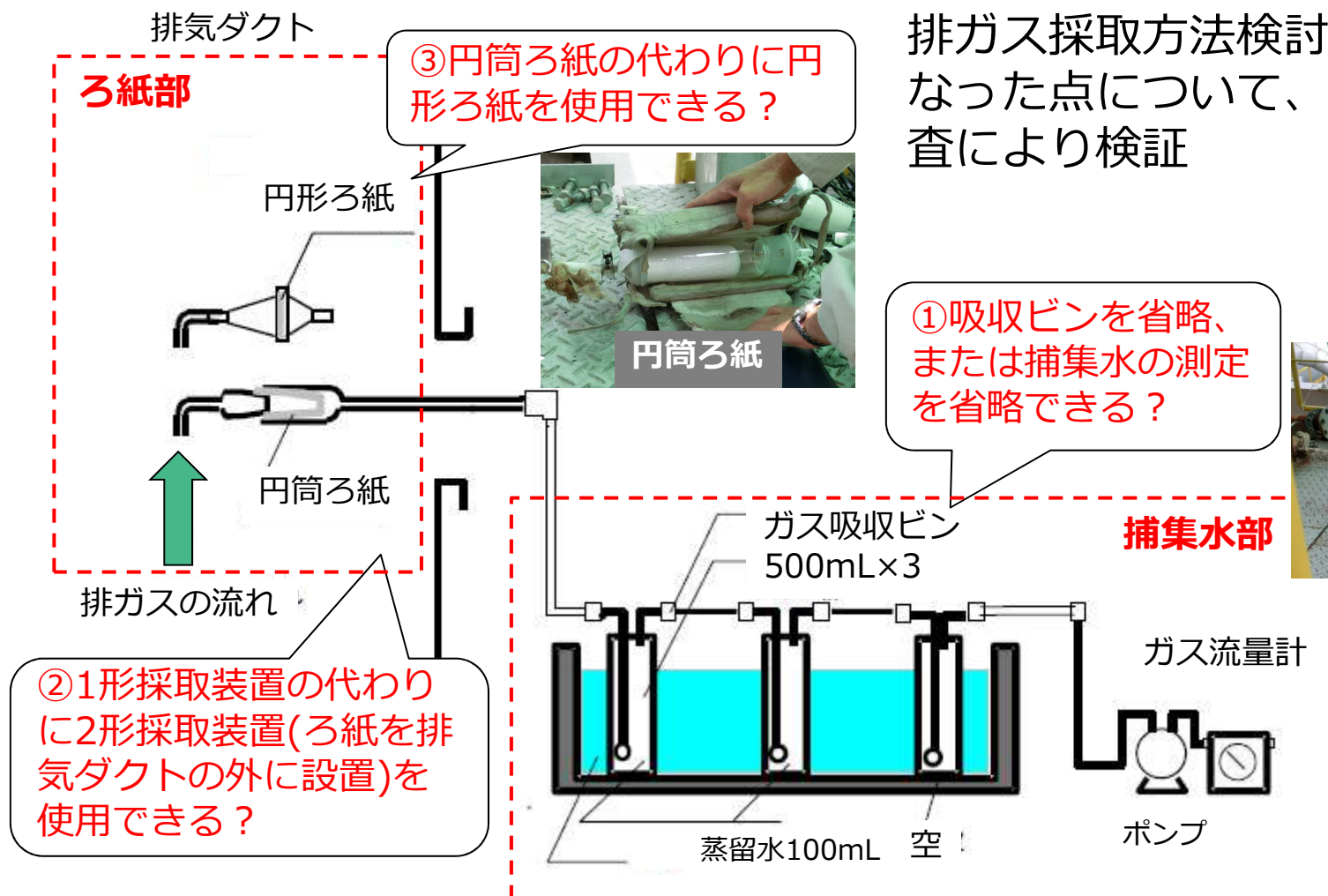
	原発ゴミの焼却炉	都市ごみ焼却炉
規模(1日の焼却量:トン)	1～4トン規模	平均的には数百トン規模
焼却対象物と放射能レベル	対象は発電所のメンテナンスなどで発生するゴミ。衣服、養生用ポリエチレンシート等。放射能は千Bq/kg～百万Bq/kg(平均10万Bq/kg)	対象は都市ごみ。 ・高線量地域で飛灰濃度が数万Bq/kgのときに燃焼ごみは平均1000～2000Bq/kgと推測 ・岩手・宮城の災害廃棄物で不検出～数百Bq/kg(非汚染のごみと混焼する場合はさらに低い)
環境保全対策の最大のターゲット	放射性物質	ダイオキシン類
一般的な排ガス処理構成	セラミックフィルター+HEPAフィルター	消石灰・活性炭粉末等吹き込み+バグフィルター
放射性セシウムの除去性能	99.999%以上の除去	99.9%以上の除去
モニタリング設備	自動放射能モニター	自動ダストモニター

国立環境研究所：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料第三版)(2012)

焼却排ガス採取方法の検討 (2)

目的

排ガス採取方法検討時に議論となった点について、実炉での調査により検証



焼却排ガス採取装置の構成(1形)

焼却排ガス採取方法の検討 (3)

方法

- 施設：関東地方の一般廃棄物焼却施設(ストーカ式焼却炉 + 灰溶融炉)
- 調査期間：2011年12月
- 試料の採取：「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」に従って実施
- 放射能濃度の測定：採取管部(2形のみ)、ろ紙部、捕集水部毎にGe半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより放射性Csを測定

結果

採取ポイント	ろ紙	採取装置	採取管部		ろ紙部		捕集水部	
			¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
焼却炉集じん機入口	円筒ろ紙	1形	—	—	58.5	75.7	<5	<5
	円筒ろ紙	2形	9.3	12.8	41.9	53.1	<5	<5
焼却炉集じん機出口	円筒ろ紙	1形	—	—	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
	円筒ろ紙	2形	<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形	—	—	648	824	<2	<2
	円筒ろ紙	2形	10	14.7	685	845	<2	<2
溶融炉集じん機出口	円筒ろ紙	1形	—	—	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
	円形ろ紙	2形	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2
煙突	円筒ろ紙	1形	—	—	<0.1	<0.1	<0.2	<0.2

- ✓ 捕集水部は不検出だったが、これを持って捕集水部を省略可能とするのは尚早
- ✓ 1形と2形捕集装置については測定値に大差なし。
- ✓ 円形ろ紙の使用は集じん機出口等煤じんの少ないケースで適用可

焼却排ガス採取方法の検討(4)

目的

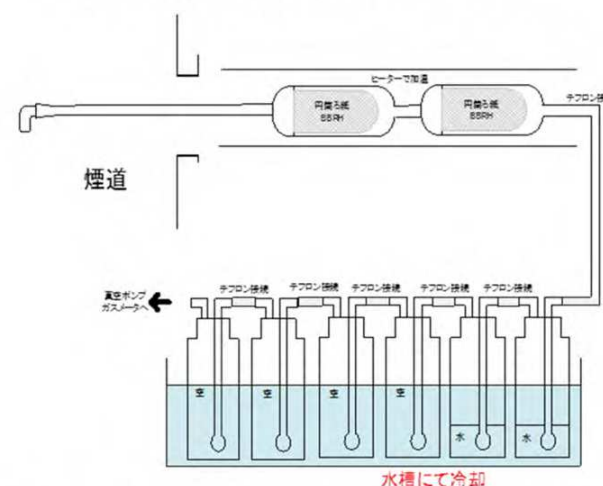
廃棄物焼却炉において大容量の排ガス試料を採取し、放射性Csの検出下限を低くした上でその存在態について確認する

方法

- 施設：東北地方の全連式一般廃棄物焼却施設(ストーカ炉)。処理計画量は120 t/日
- 調査期間：2015年1月
- 採取位置：バグフィルタ後段、煙突の手前
- 試料採取：JIS Z 8808に準拠。右図の2形採取装置を使用、30L/分で採取。排ガス中水分によりろ紙が破損しないようろ紙捕集部を加熱し、吸収ビンに捕集した水は6時間毎にポリビンに移して保存した
- 採取時間：24、48、72時間 (41~123 m³)
- 測定：ろ紙部前段、ろ紙部後段、捕集水部毎にGe半導体検出器を用いて放射性Cs濃度を測定



排ガス採取用の試料採取器具
(JIS Z8808規定Ⅱ型)



大容量排ガス試料採取器具の模式図

焼却排ガス採取方法の検討 (5)

結果

- ✓ 今回の大容量試料採取では、放射性Csの目標検出下限を非常に低く設定し*、いずれの採取時間、ろ紙部、捕集水部においてもこの目標検出下限を満足した
- ✓ いずれの試料においても、排ガスからは放射性Csは検出されなかった

表 1-6 大容量排ガス試料の測定結果 (24 時間採取)

24 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 17 日～1 月 18 日		
吸引ガス量 (m ³)	41.2325		
¹³⁴ Cs (Bq/m ³)	<0.0010	<0.0009	<0.003
¹³⁷ Cs (Bq/m ³)	<0.0009	<0.0009	<0.004
要求下限値 (Bq/m ³)	0.0025	0.0025	0.005
測定時間 (秒)	54,009	56,000	53,288
測定日	平成 25 年 1 月 29 日	平成 25 年 1 月 30 日	平成 25 年 1 月 28 日

注 1) ガス量は標準状態 (0℃、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。

表 1-7 大容量排ガス試料の測定結果 (48 時間採取)

48 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 21 日～1 月 23 日		
吸引ガス量 (m ³)	80.9995		
¹³⁴ Cs (Bq/m ³)	<0.0005	<0.0012	<0.0017
¹³⁷ Cs (Bq/m ³)	<0.0005	<0.0009	<0.0020
要求下限値 (Bq/m ³)	0.0012	0.0012	0.0025
測定時間 (秒)	50000	16329	50000
測定日	平成 25 年 1 月 31 日	平成 25 年 2 月 1 日	平成 25 年 2 月 4 日

注 1) ガス量は標準状態 (0℃、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。

表 1-8 大容量排ガス試料の測定結果 (72 時間採取)

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℃、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。

*40 m³採取時にろ紙部0.0025 Bq/m³ (¹³⁴Cs、¹³⁷Csそれぞれ、捕集水部0.005 Bq/m³ (同))

廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (1)

目的

廃棄物関連試料のクロスチェックを通じて、当該試料の取扱い、機器の取扱いその他測定操作に関して留意すべきことなど、精度管理上の留意事項等を抽出整理し、精度改善のための対応策とその現実的運用について検討する

クロスチェックの実施方法

- 参加機関：放射性Csの核種濃度分析を実施している6機関
- 実施期間：2012年1～3月
- 実施手順：参加機関は、配布試料（次スライド参照）及び分析データ等記入ファイルを受け取り、試験を実施した。配布試料は、順に同一試料が回し届けられ、核種濃度分析に供された
- データの提出：参加機関は、基本的に3回の独立した測定結果を取得し、生データと減衰補正を実施したデータを記入したファイルを国環研へ提出した

廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (2)

配布試料について

- 試料：濃度段階別に採取・調製した土壌及び焼却灰
- 配布形態：回付試料及び有姿試料の2形態
 - 回付試料：U-8容器に各種試料を予め封入したものであり、参加機関による核種濃度分析のばらつきを評価するために準備
 - 有姿試料：核種濃度分析のばらつきに加え、各参加機関が実施する分析前処理操作(U-8容器への封入作業)に関するばらつきを評価するために準備



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〕

廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (3)

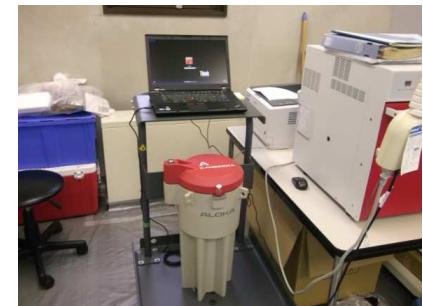
核種濃度分析

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
	NaI(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	テクノエーピー社製 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	NaI(Tl)シンチレーション 検出器	パーキンエルマー社製 2480 Wizard2



Ge半導体検出器



NaI(Tl)シンチレー
ション検出器

廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (4)

データ解析について

- **データ処理**：機関内及び機関間の各測定データについて、平均値、標準偏差及び相対標準偏差を算出した
- **機関内の測定データのばらつき**：試料媒体別の相対標準偏差の比較評価を行い、試料性状及び検出器の違いとの関連性について解析した
- **機関間の測定データのばらつき**：各試料の相対標準偏差の比較評価を行い、試料性状、分析前処理操作及び検出器の違いとの関連性について解析した

廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (5)

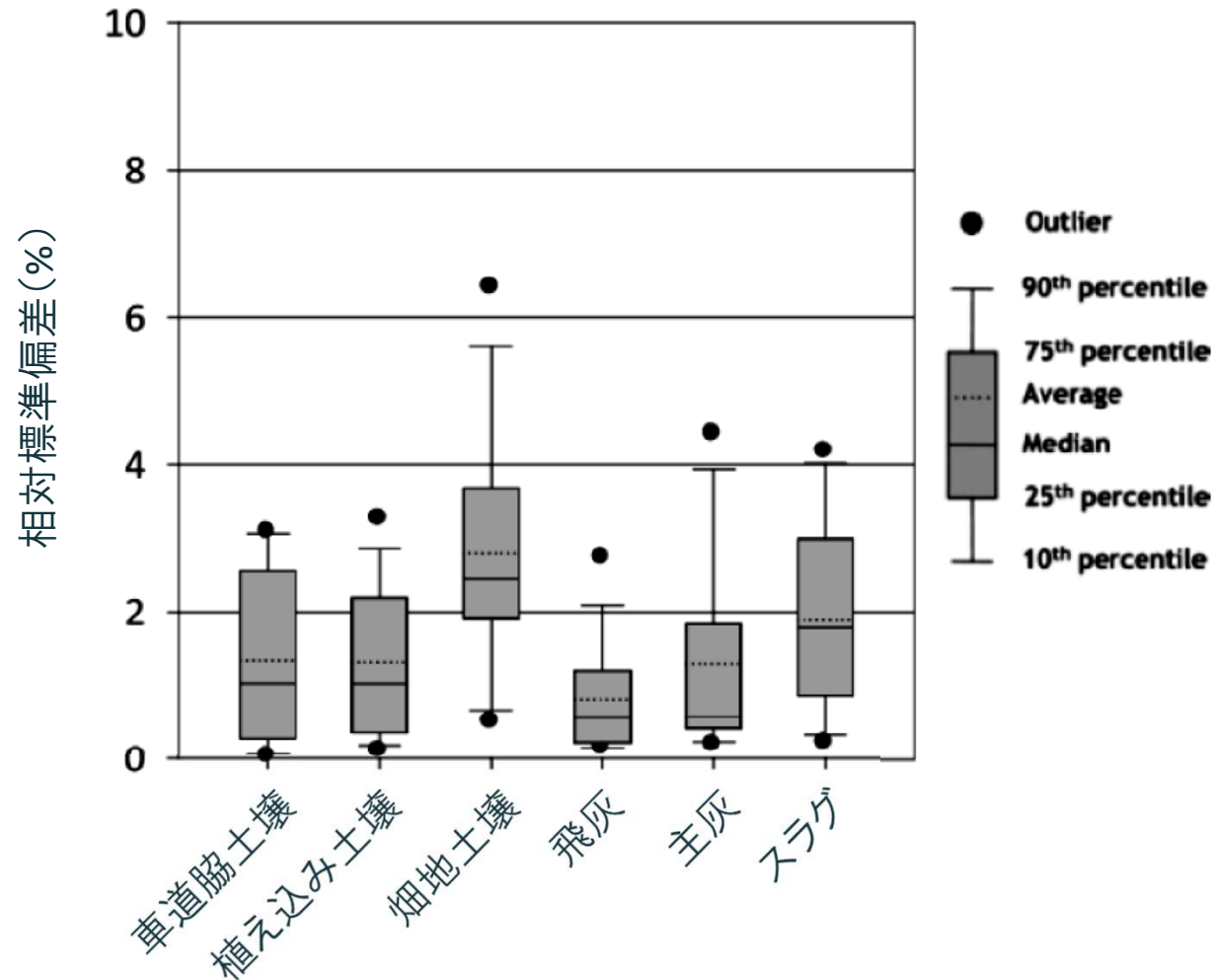
結果 – 放射性Cs濃度の機関間の平均値及び中央値

試料名	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ (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)

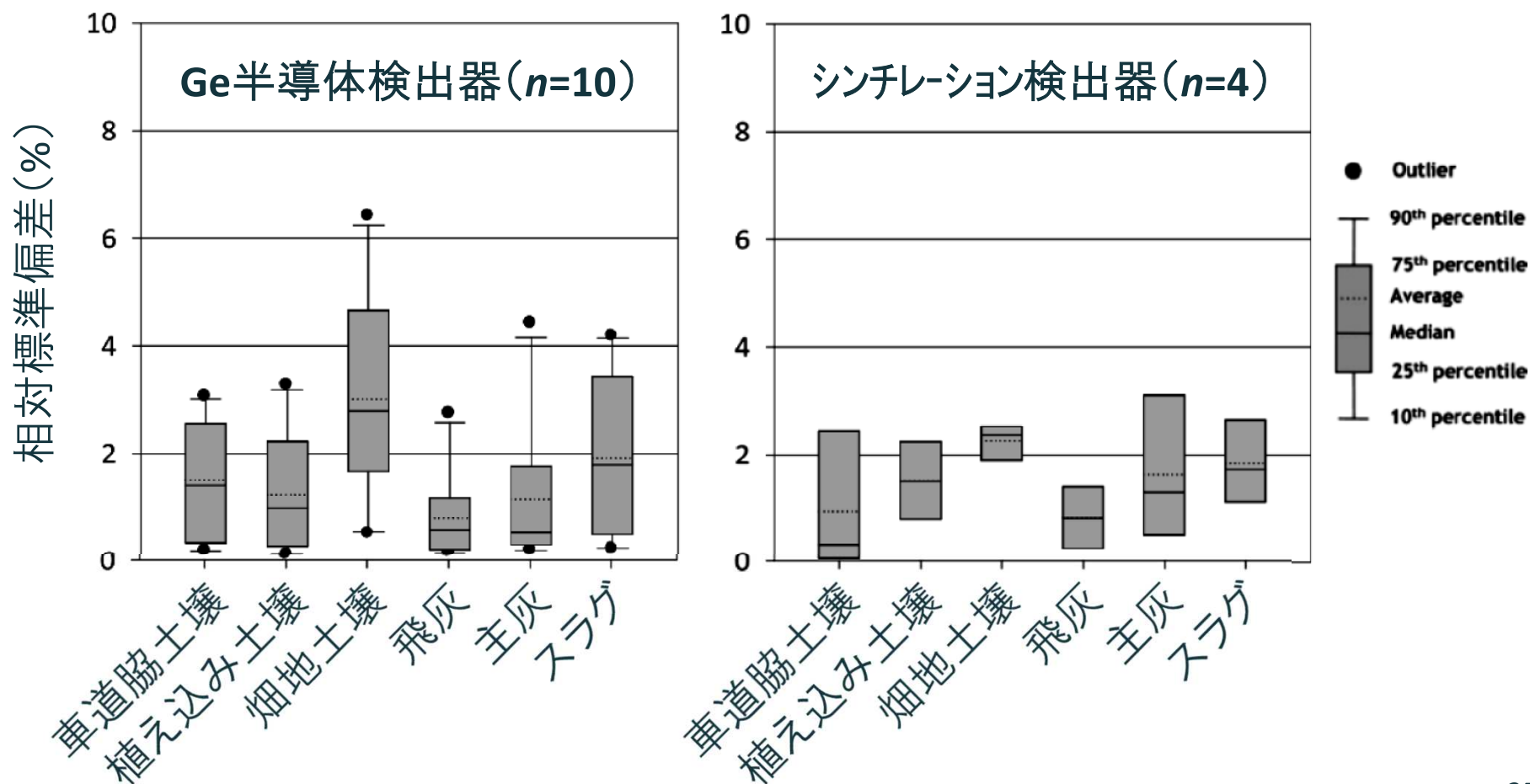
廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (6)

結果 - 試料性状・濃度差が機関内データに与える影響



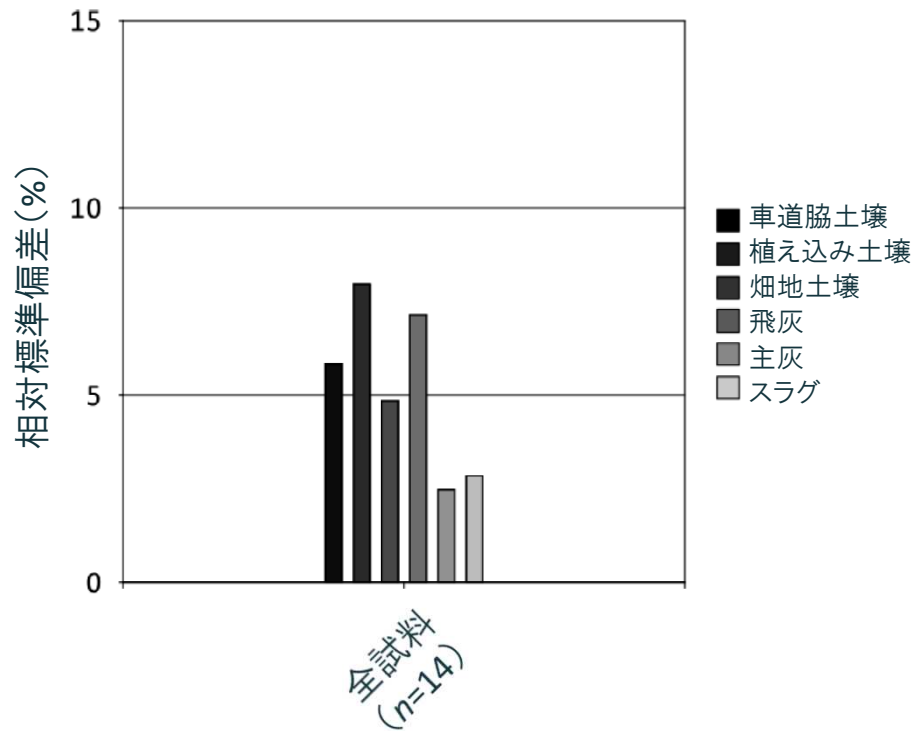
廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (7)

結果 – 検出器の違いが機関内データに与える影響

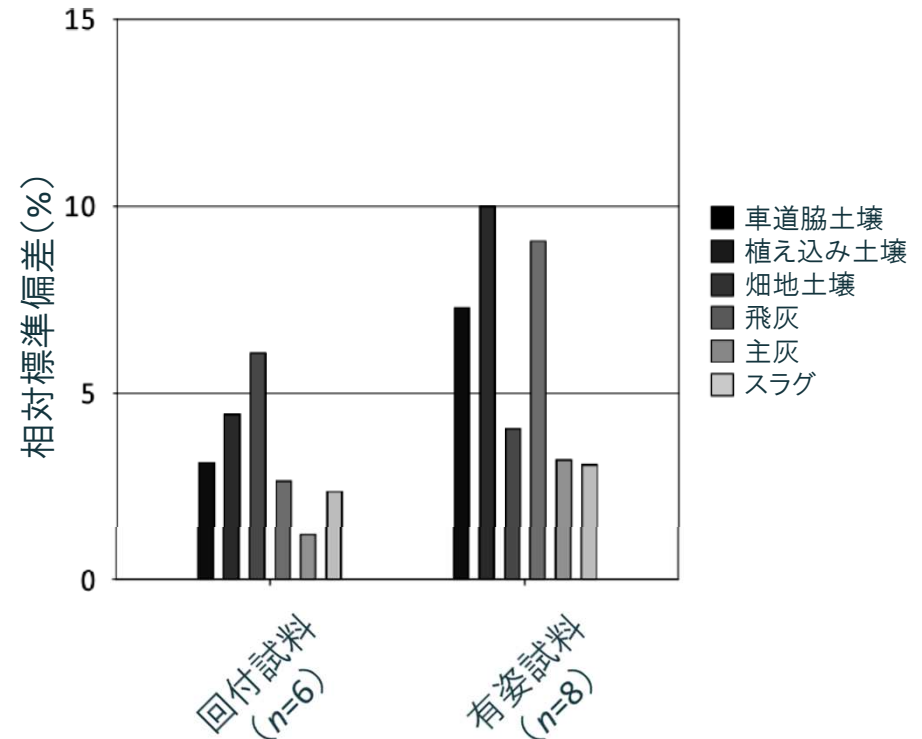


廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (8)

結果 - 試料性状・濃度差が
機関間データに与える影響



結果 - 分析前処理操作が機関間
データに与える影響



廃棄物関連試料の放射能分析 クロスチェック (9)

- ✓ **機関内の測定データのばらつき**：試料媒体別の相対標準偏差の比較評価を行い、試料性状及び検出器の違いとの関連性について解析した
- ✓ **機関間の測定データのばらつき**：各試料の相対標準偏差の比較評価を行い、試料性状、分析前処理操作及び検出器の違いとの関連性について解析した
 - ✓ いずれのばらつきも、相対標準偏差で10%以下と小さく、参加機関で再現性の良いデータが取得されていた
 - ✓ 定量手法が限定されていない検出器は、測定器メーカーの定量手法の差異、補正方法、不確かさなどを要検証
 - ✓ 放射性セシウムの存在状態を考慮した調製も重要

草木系廃棄物仮置場における放射線・放射能計測（1）



- ◆ 関東地方の草木系廃棄物仮置場
- ◆ 発災後程なく発生した剪定枝等の草木系廃棄物約7,000トンを集積。約1年半集積している
- ◆ 焼却処理にあたり、焼却灰の濃度が極端に高くないようにコントロールして焼却したい



目的：高濃度の草木系廃棄物を集積した位置の特定
表面線量率・汚染密度から放射能濃度の換算

草木系廃棄物仮置場における放射線・放射能計測 (2)

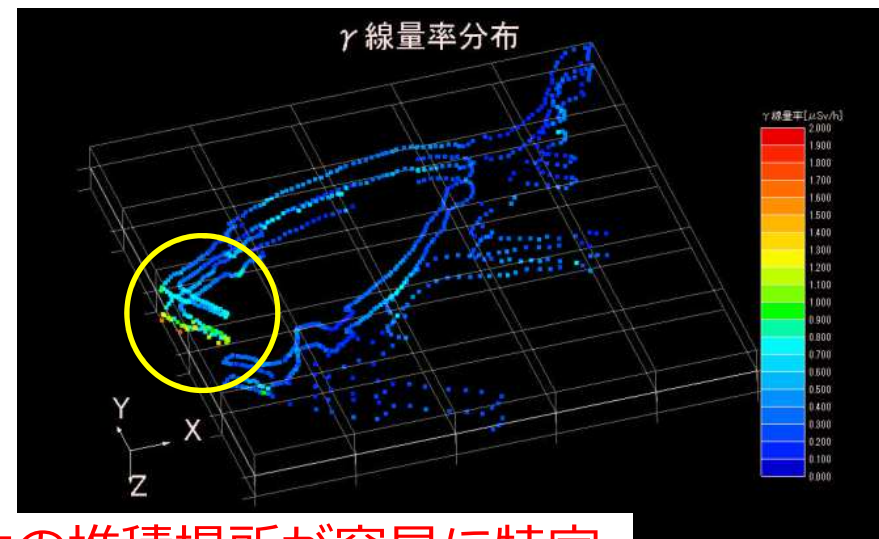
従来の方法では…

場内にメッシュを設定し、各点でサーベイメータで空間線量率を測定、記帳する



ポール型サーベイメータ

- 日本放射線エンジニアリング製ES-7410
- 1m高さと1cm高さの空間線量率、位置(GPS)を同時に測定可能

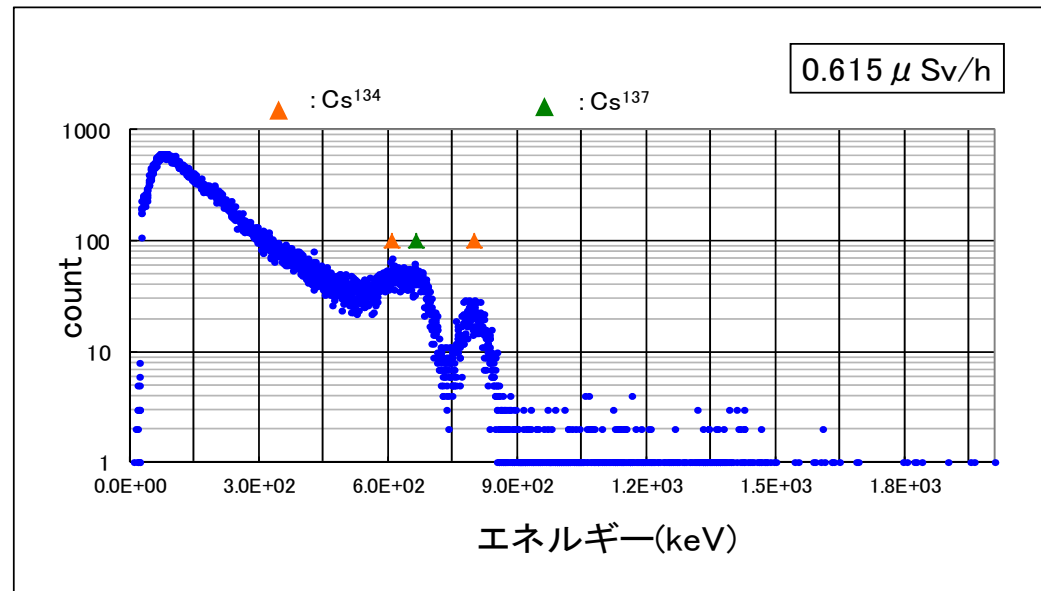


✓ 高濃度汚染された草木の堆積場所が容易に特定

草木系廃棄物仮置場における放射線・放射能計測 (3)

CsIロッド型サーベイメータ

- 日本放射線エンジニアリング製ES-7427
- ロッド先端にCsIシンチレーション検出器を備えガンマ線スペクトルを取得可能

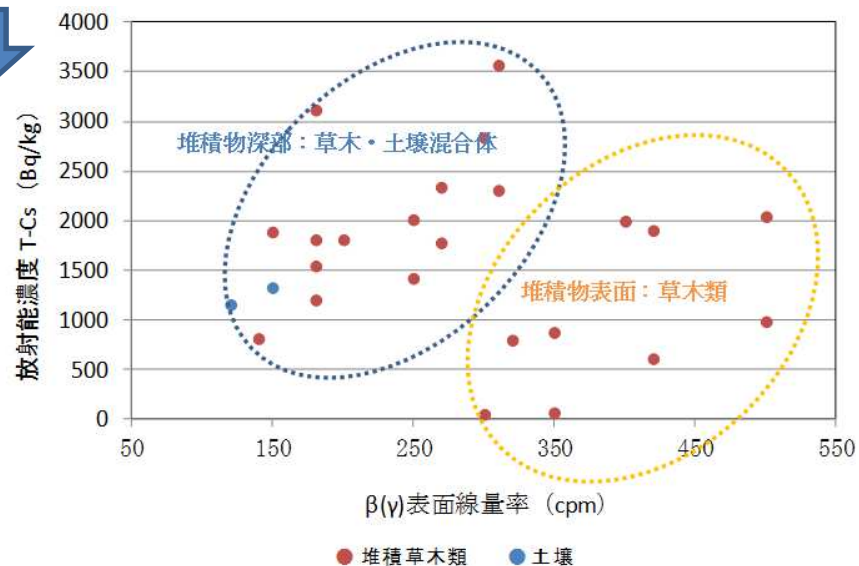
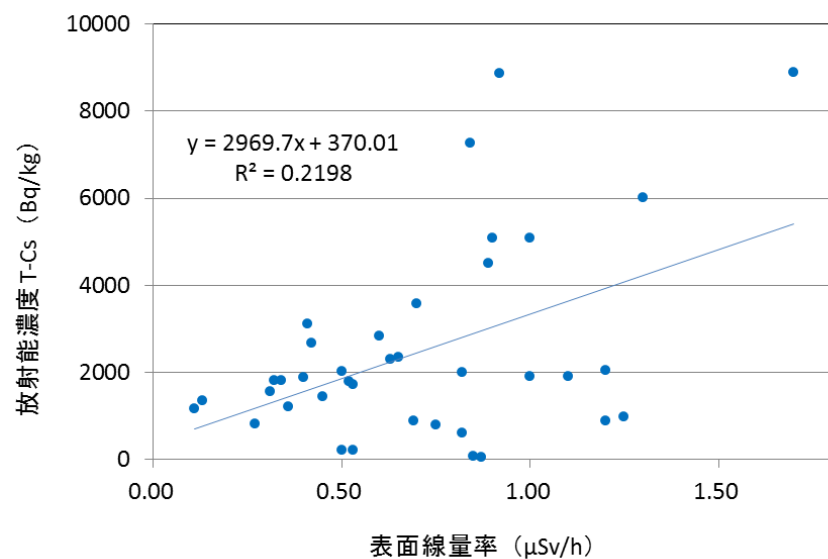


年.月.日	2012/10/30
時刻	11:56
測定時間(sec)	180 (SEC)
線量	0.615 (μ Sv/h)

草木系廃棄物仮置場における放射線・放射能計測 (4)



- NaIサーベイメータで廃棄物表面の線量率を、GMサーベイメータで計数率を測定
- 同位置で採取した廃棄物を持ち帰り、放射能濃度を測定



- ✓ 表面線量率と放射能濃度との相関性はあまり高くない…周辺のガンマ線の影響か
- ✓ β線計数値と放射能濃度は、堆積物表面と深部それぞれ緩い相関がありそう

汚染堆肥集積場における放射線・放射能計測（1）



- ◆ 東北地方の堆肥製造施設。下水汚泥、バーク等を混合して堆肥を製造
- ◆ 事故後受け入れた高濃度下水汚泥から製造した堆肥は出荷せず場内保管している
- ◆ 表面汚染密度、空間線量率の測定を簡易に行いたい



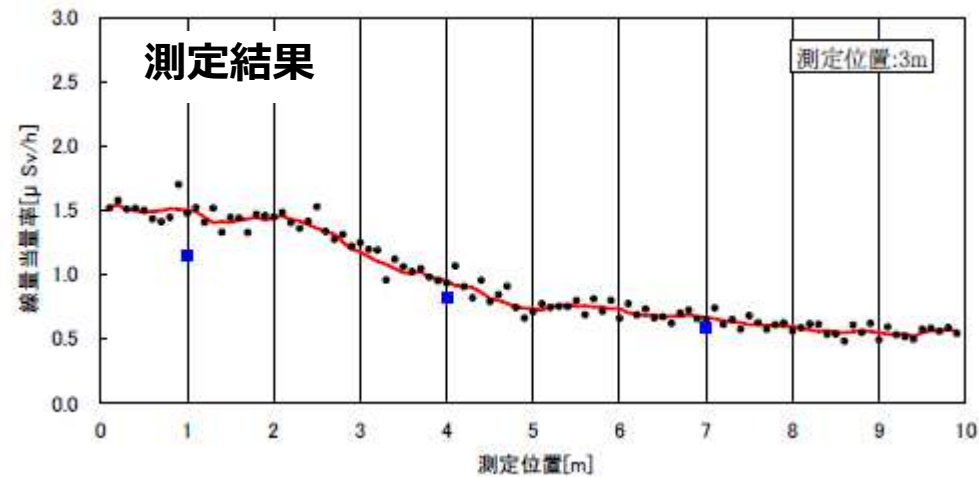
目的：蓄積された堆肥の表面線量率の簡易・迅速なスクリーニング測定方法について検討

汚染堆肥集積場における放射線・放射能計測 (2)



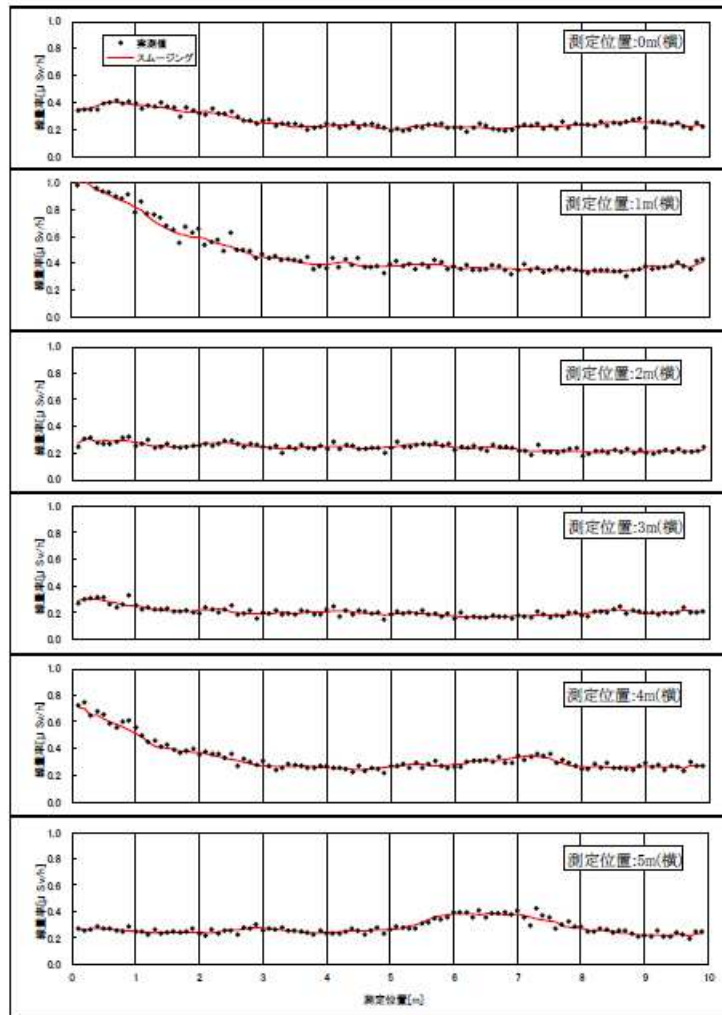
プラスチックシンチレーションファイバ検出器

- テクノエーピー/日立GEニュークリア・エナジー製 D-Phod
- 検出原理：ガンマ線がプラスチックシンチレーションファイバ (PSF)に入射して発光し、両端の光検出部で検知する。光の検出時間差と計測率からガンマ線入射位置と強度を測定する。位置分解能は1 m以下、10 cm毎の線量率($\mu\text{Sv/h}$)が60~120秒の測定で得られる

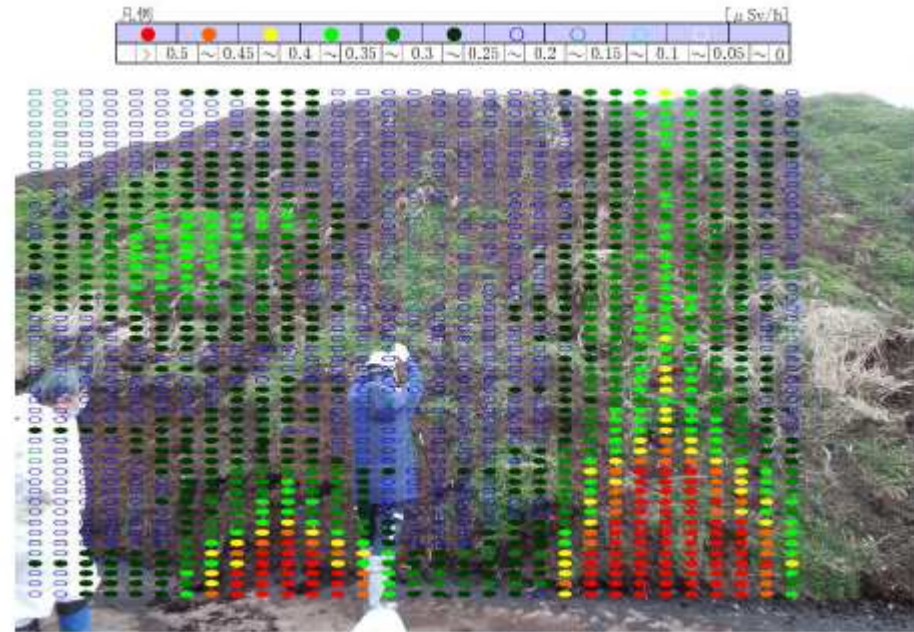


✓ NaIシンチレーション式サーベイメータでの測定値 (■)とよく一致

汚染堆肥集積場における放射線・放射能計測 (3)



←1mおきに移動して複数回の測定を実施



写真と重ねて表示することで堆肥の表面線量率を可視化

災害廃棄物仮置場における放射能・放射線計測(1)



- ◆ 東北地方の災害廃棄物(サイトA)、一時帰宅の際に排出された一般廃棄物(サイトB)の仮置場
- ◆ 災害廃棄物、一般廃棄物ともフレコンバッグに充填して仮置き。災害廃棄物は未分別、一般廃棄物は分別



目的：フレコンバッグの放射能濃度を迅速に、ある程度の精度を持って測定する

災害廃棄物仮置場における放射能・放射線計測 (2)

フレコンバッグ測定装置



項目	仕様
形式	フレコン廃棄物用放射能測定装置
寸法	幅2,400 mm×高さ2,600 mm×重さ2.5 t
検出方式	プラスチックシンチレータ(2インチφ×2インチL)×4本 (側面3本、底面1本)
放射能レベルのスクリーニング	(標準測定時) 8,000 Bq/kg～10,000 Bq/kg at 周囲バックグラウンド2.5 μSv/h、測定時間30秒、測定質量1,000 kg (精密測定時) 300 Bq/kg (計算値) at 周囲バックグラウンド2.5 μSv/h、測定時間30秒、測定質量1,000 kg
電源	AC 100V/200V 3A 以下

- 日立造船製 はるか
- 測定原理・方法：検出部は周囲を遮蔽体で覆ったプラスチックシンチレーション検出器であり、側面3本、底面1本の計4本のプラスチックシンチレーション検出器を備えている。回転台パレット上にフレコンを載せ、重量や高さを測定する。その後、フレコンを回転(約1rpm)させ、側面及び底面の検出器で単位時間あたりの放射線を計数し、換算式により放射性Cs濃度を求める

災害廃棄物仮置場における放射能・放射線計測 (3)

フレコンの選定

表面線量の高低・内容物種類から、災害廃棄物として適切なサンプルとなるようフレコンを選定



探索状況



内容物確認



フレコン選定

サンプリング

スクリーニング装置の輸出器の高さ(2か所)の3~4か所および底部から5~20L程度試料を採取【計7~8箇所/1フレコン】



試験試料



サンプリング



採取試料(例)

試料調製

サンプリング試料を重機や手作業により破砕・粉砕し、混合・篩分後、測定容器に採取



重機での破砕



手作業による裁断



測定試料(例)

測定へ

方法

■フレコン中廃棄物の放射能濃度の測定

- 定法：「放射能濃度等測定方法ガイドライン」(環境省)に従い、フレコンを破袋し、7~9インクリメント(5~11 L)を採取。インクリメントを破砕・縮分し、それぞれについてNaIシンチレーション検出器を用いて放射性Cs濃度を測定。その平均値をフレコンバッグ1袋の濃度とする

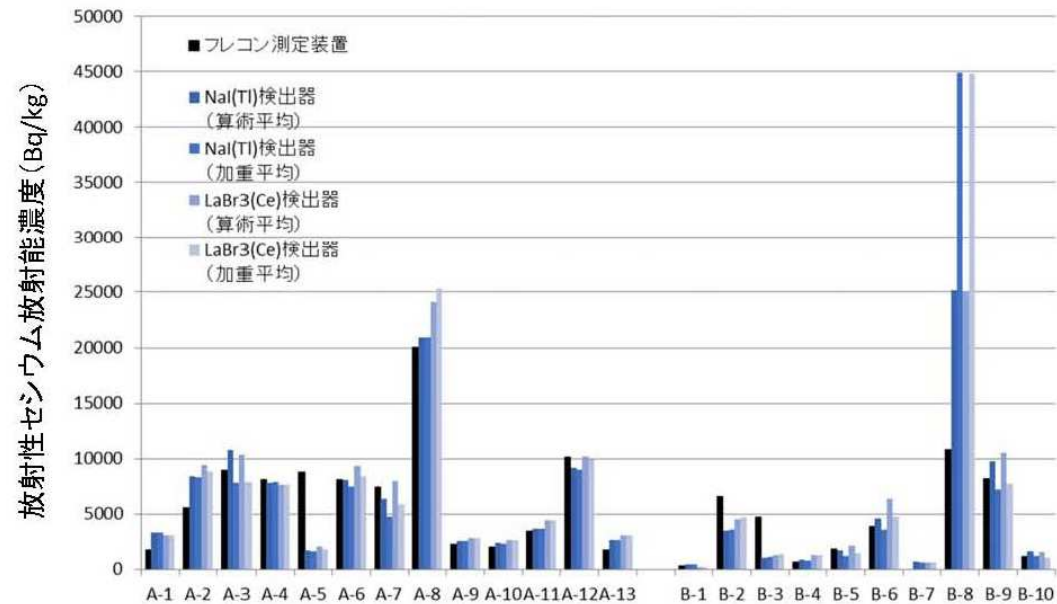
- フレコンバッグ測定装置：フレコンバッグ測定装置により測定した放射性Cs濃度をフレコンバッグ1袋の濃度とする

- 両者の測定結果を比較し、フレコンバッグ測定装置の有用性を評価

災害廃棄物仮置場における放射能・放射線計測(4)

結果

- ✓ フレコンバッグ測定装置の性能評価：
 - ✓ 300~20,000Bq/kgの濃度範囲で試料を測定可能
 - ✓ 再現性(変動係数)は1,000Bq/kg以上の濃度の試料で5%未満
- ✓ フレコンバッグ測定装置と公定法による測定結果の比較
 - ✓ 測定結果はよく一致
 - ✓ 一部試料(A-5, B-8)で結果に差違が見られたが、フレコン内容物の不均一性に起因するものと考えられた
→不均一性の高い試料についてもフレコン全体の濃度を丸めて評価できるフレコンバッグ測定装置の利点が活かされる可能性がある



被災建築物解体現場における放射能・放射線計測(1)



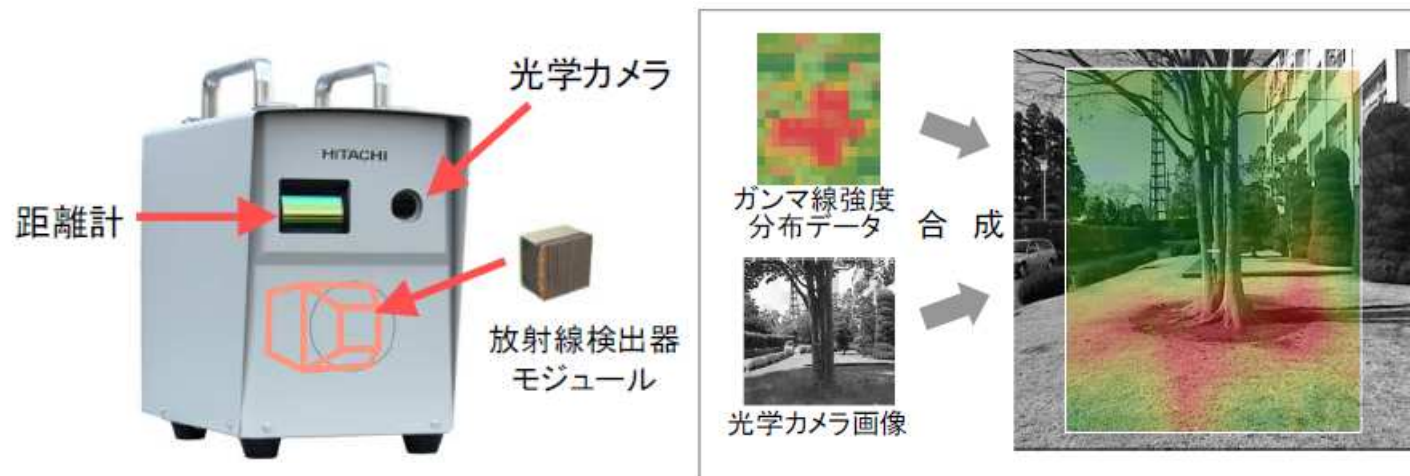
- ◆ 避難指示解除準備区域、居住制限区域の被災建築物
- ◆ 家屋解体が線量率の低減に寄与するのではという視点も



目的：被災建築物解体前後の線量率の変化や放射性物質の分布状況を包括的・可視的に把握する

被災建築物解体現場における放射能・放射線計測 (2)

ガンマカメラ



- 日立アロカメディカル製
- 測定原理・方法：放射線検出器モジュールは16×16ピクセルのCdTe半導体検出器を持ち、放射線の検出位置と計数率の情報を得る。得られた放射線飛来方向と計数率の情報を光学カメラで撮影した可視画像と重ね合わせ、放射線源分布状況を可視化する



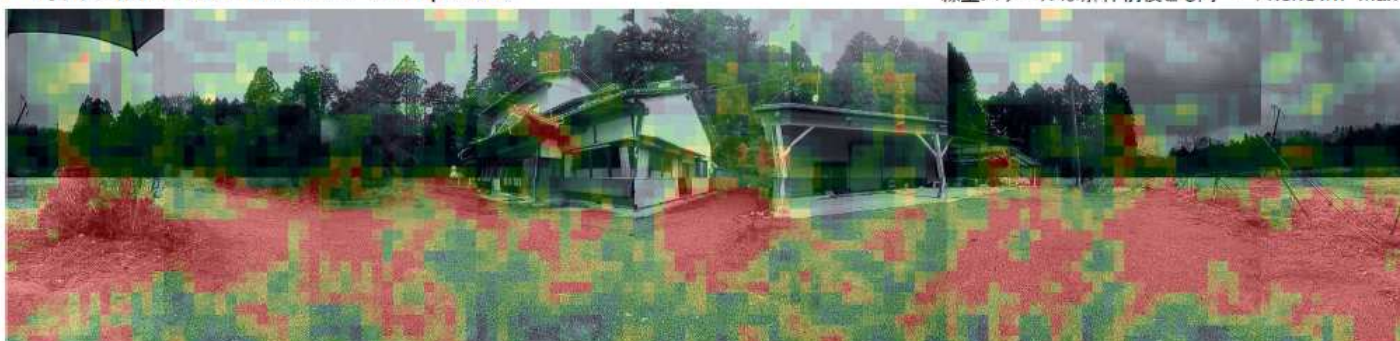
ガンマカメラ測定の様子

被災建築物解体現場における放射能・放射線計測 (3)

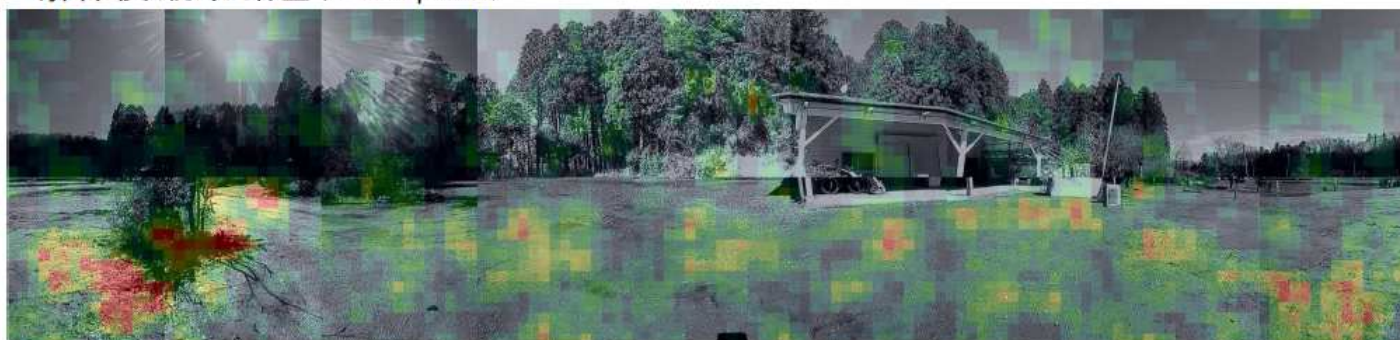
結果

■解体前(視野内線量率: 2.41 μ Sv/h)

線量スケールは解体前後とも同一 : 1.0nSv/h Max



■解体後(視野内線量率 1.02 μ Sv/h)



- ✓ ガンマカメラによる放射線強度分布を取得できた
- ✓ 画面各領域からの寄与度の定量的解析により、家屋解体工事後の線量率低下の各部位からの寄与率を見積もることもできた

ご清聴ありがとうございました

謝辞:本研究は、国立環境研究所の環境省受託研究及び(一社)廃棄物資源循環学会の環境省委託業務の枠組みで実施したものである。研究に参画頂いた諸兄、ご協力頂いた皆様方に深く感謝申し上げます。