

令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金
(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(セシウム
吸着塔からの吸着材採取技術および固体廃棄物の分別
に係る汚染評価技術の開発))

最終報告(その1※)

令和5年6月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

※本研究開発は、“a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”と“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目について実施するものであるが、本資料では、令和4年度に完了した“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”に係る成果を示す。

報告の内容

1. 研究開発への取り組み方
2. 事業内容
 - a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発※
 - b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発
3. 研究開発の運営

※本資料では、令和4年度に完了した“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”に係る成果を示す。

1. 研究開発への取り組み方※

※本研究開発全体(“a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”と“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目)に係る「研究開発への取り組み方」を示す。

研究開発の背景・目的

福島第一原子力発電所の固体廃棄物対策については、2021年度の技術戦略プラン※において検討の進め方が示されており、具体的には以下に取り組む事としている。

- ◆ 固体廃棄物管理全体へ反映するため、**分析データの取得・管理**を行うとともに、**効率的な性状把握のための取り組み**を進める。
- ◆ 安全かつ合理的な保管・管理のため、**分別に必要となる汚染評価技術の開発**を行うとともに、物量低減のための減容・再利用技術に関する開発を行う。
- ◆ 処理技術に関し、低温処理の適用性に関する課題の検討、各種処理技術により作製された固化体の安定性に関する検討、低温処理技術の適用範囲の拡大に資するための中間処理技術に関する検討を行う。処分技術に関し、処分概念構築に必要な情報・知識を調査するとともに、処分施設における重要事象進展のストーリーボードの構築および安全評価手法の改良を開始する。



- ◆ 本研究開発では上述に資する以下の開発を行う事を目的とする。
 - ① 固体廃棄物管理全体へ反映する分析データの取得・管理をさらに進めるため、高線量試料採取技術の開発を行う。
 - ② 安全かつ合理的な保管・管理に資するため、分別に必要となる汚染評価技術(α核種による表面汚染評価技術)の開発を行う。

※東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021(原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2021.10.29公表)

1. 研究開発への取り組み方 ～ 研究開発の目標と実施内容 ～

◆ 研究開発の目標

- ① セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する**技術の検証**
- ② α 核種による表面汚染の測定システムに関し、**固体廃棄物管理へ適用できる範囲と制約条件の提示**

◆ 実施内容

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

- セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する際に新たに必要となる付帯機器の設計・製作
- 試料採取装置と製作した付帯機器を用いたセシウム吸着塔実機に対する検証試験

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

- 測定システムについて、測定に影響を与えるノイズ等の対策を検討し、固体廃棄物管理へ適用できる範囲と制約条件について確認
- 以下による測定システム性能の確認
 - 測定システムについて、シミュレーションや性能確認試験等を実施し、現地環境(β 汚染等)を想定した α 表面汚染測定の検出下限値等の適用範囲を確認
 - フィルタや同時測定等によるノイズ対策が困難な材質について、測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理
- 測定システムを利用した物品搬出測定等の福島第一原子力発電所廃炉におけるその他の測定作業への適用性について調査

1. 研究開発への取り組み方 ～ 他研究との関連性 ～

【本PJへのインプット】

ID	実施項目と具体的内容 (情報の用途)	必要情報	必要時期	入手先	備考
1	表面汚染システムの精度向上	福島第一原子力発電所で使用される表面汚染検出性能に影響を与える材質、環境条件等の情報	適時	東京電力HD	適宜 情報交換を実施
2	試料採取の再検討、および採取計画の最終確認	セシウム吸着塔に係る性状把握データ	適時	全体提案者	適宜 情報交換を実施

【本PJからのアウトプット】

ID	実施項目と アウトプットする内容	アウトプット先での 用途	必要時期	提供先	備考
1	セシウム吸着塔からの吸着材試料の種類、量、発生時期、収納容器の表面線量率等	処理・処分の検討対象となる廃棄物に関する性状把握のための分析	適時	全体提案者	適宜 情報交換を実施

注記)

東京電力HD: 東京電力ホールディングス株式会社

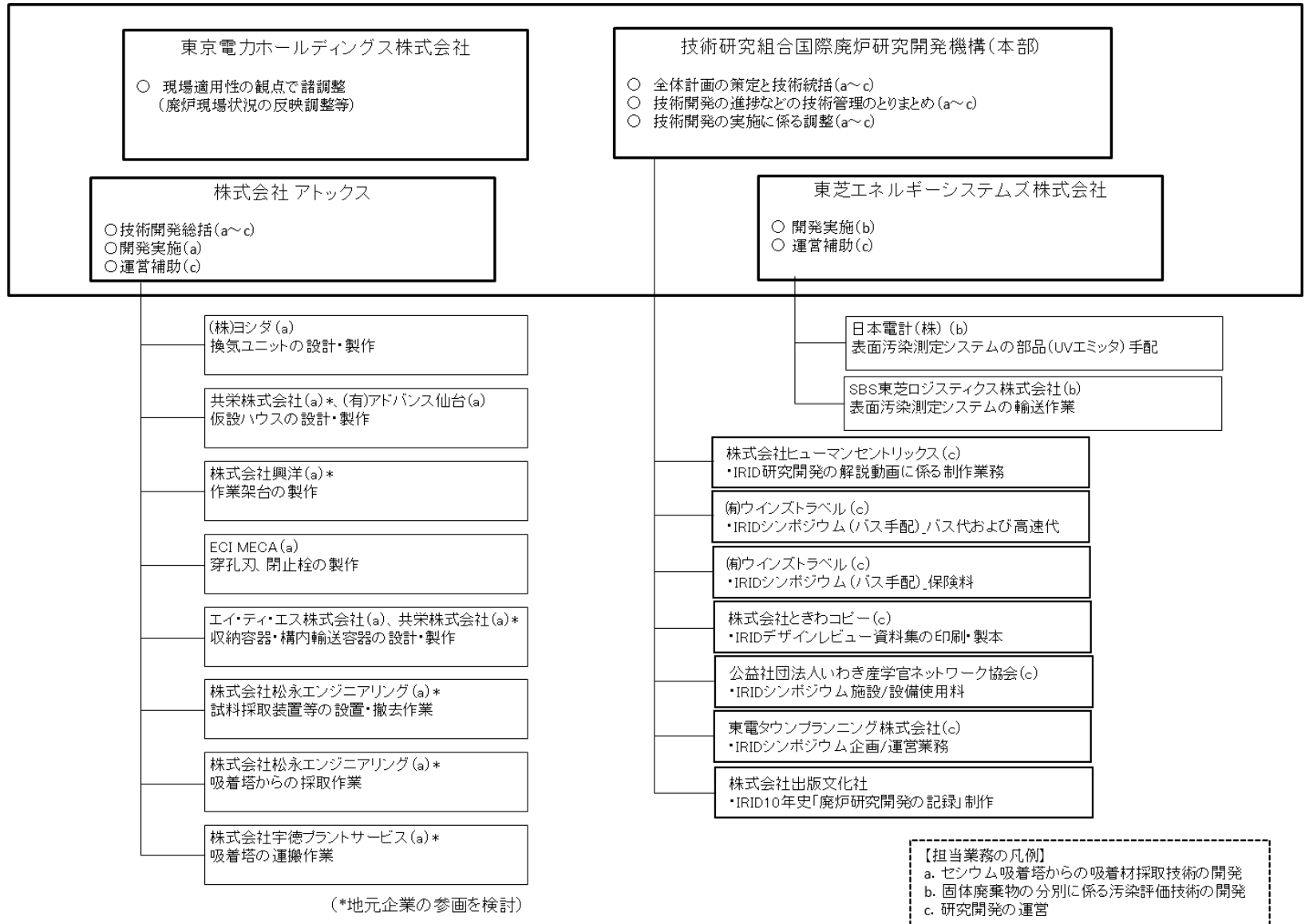
全体提案者: 「令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」を実施する事業者

1. 研究開発への取り組み方 ～ 実施スケジュール～

実施内容	計画 実績	2022年度												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発														
(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作				設計・製作				▽※1						
① 汚染拡大防止に係る機器(仮設ハウス, 等)				設計・製作				▽						
② 被ばく低減対策に係る機器(遠隔監視システム, 等)				設計・製作				▽						
③ 採取試料の取扱に係る機器(サンプリングヘッド, 等)				設計・製作				▽						
(b) サンプリング技術の検証		計画立案	▽											
・吸着塔実機を対象とした検証試験				準備作業&習熟訓練(オフサイト)				▽						
									検証試験(オンサイト)※2					
											まとめ			▽
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発														
(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理		想定すべき現場状況の整理						▽						
(b) 測定システム性能の確認				汚染源分布と発光源分布のモデル拡張										▽
① シミュレーションモデルの拡張検討														
② α 汚染検出下限図の確度向上検討														▽
③ ノイズ回避策の検討														▽
(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認				適用現場候補の整理及び使用環境・制約条件範囲の整理										▽
① 適用現場の制約条件整理														
② 適用性評価														検出下限図による適用性評価
														まとめ
														▽

※1 各作業ステップの完了期限目途を「▽」で示す。
 ※2 実施期間を延長して検証試験(オンサイト)を実施。

1. 研究開発への取り組み方 ～ 実施体制図 ～



2. 事業内容

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発※

b.固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a)測定に影響を与えるパラメータの整理

(b)測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

③ ノイズ対策が困難な材質に対してのノイズ回避策検討

(c)表面汚染測定システムの適用範囲の確認

※本資料では、令和4年度に完了した“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”に係る成果を示す。

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

- 2022年度実績(本補助事業は2018年度より開始)
 - 2020年度に福島第一原子力発電所(1F)サイト試験で確認されたノイズ発生をうけて課題を整理した。
 - 課題整理結果から、発光プロセスの定量的な整理と発光現象の特徴からの総合的なノイズ対策を実施した。
- 目標

1Fサイトの現地環境条件に応じたαカメラの適用可能性を評価するためのα汚染検出下限図を導出し、建屋解体前汚染分布をはじめとした候補プロセスについて評価することにより、固体廃棄物管理へ適用できる範囲と制約条件を提示する。

■ 実施内容

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理
環境条件を模擬するためのパラメータの検討を行う。

(b) 測定システム性能の確認

2021年度構築したシミュレーションモデル(α線およびβ線による窒素発光)を拡張し、β線の空間分布や窒素以外の発光源(養生シートなど)へと対応する。また、シミュレーション結果をもとに現地環境条件に応じたα汚染検出下限図(横軸:環境条件、縦軸:検出下限とした場合の関係図)を導出する。

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物のα汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じてα汚染計測システムの適用性を評価する。

■ 目標達成を判断する指標

- 導出した検出下限図に基づいてα汚染計測システムの適用範囲が提示されている。
- 終了時目標TRL: レベル4→4
(目標TRL詳細と判断指標をシートNo.117に示す)

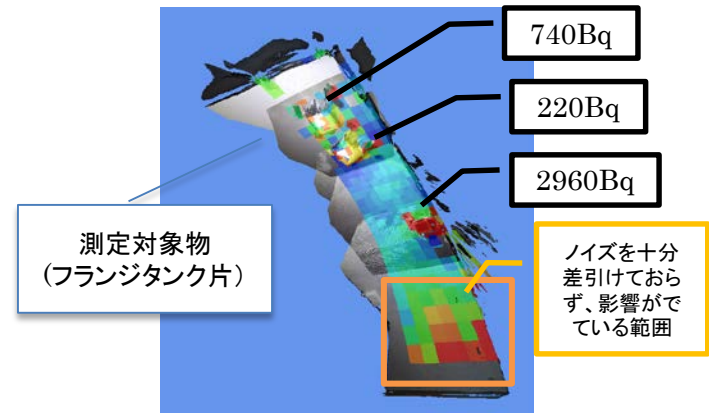


図1 1Fサイト試験で確認されたノイズ影響

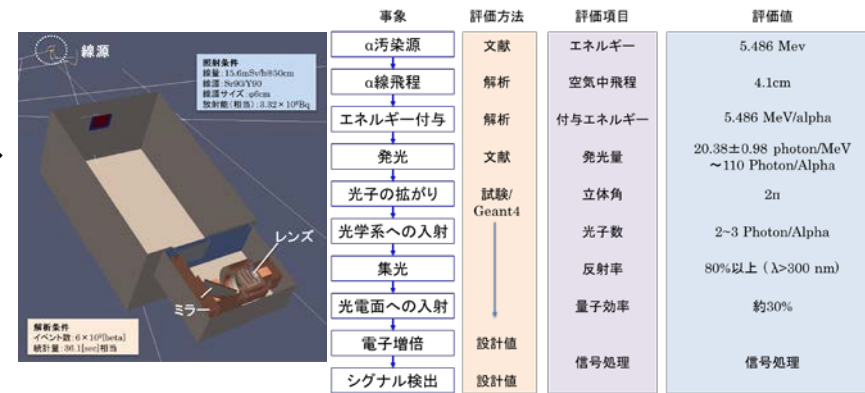


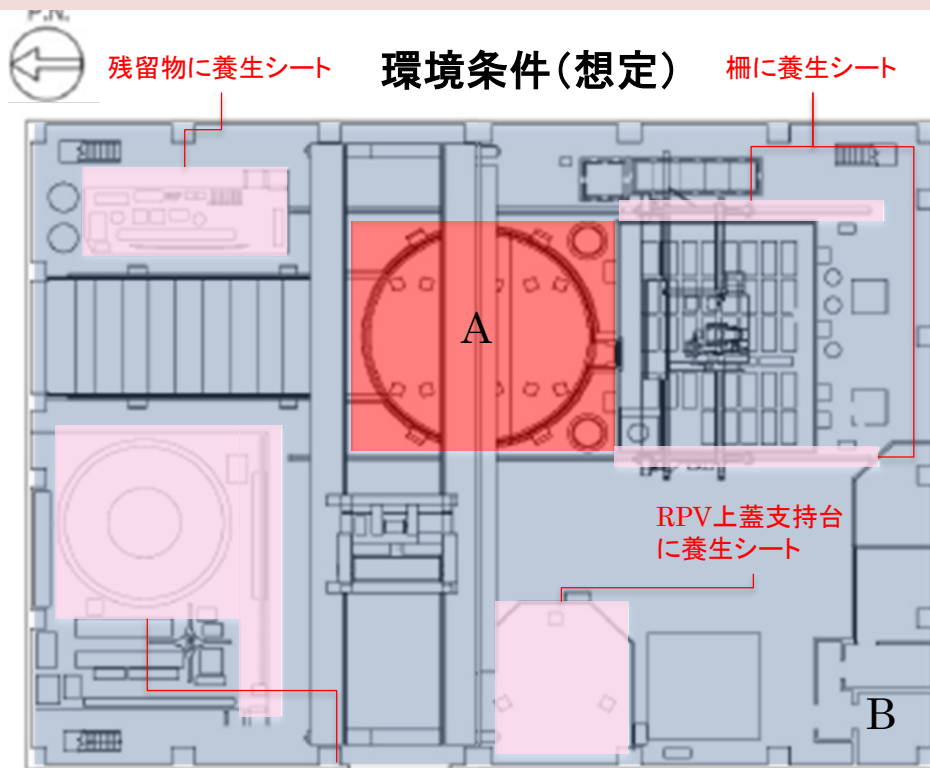
図2 2021年度構築したシミュレーションモデルとα線発光プロセス整理結果

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

本年度研究開発の目的

< 1F2号機オペフロ汚染測定の実例(1/2) >

目標: α汚染検出下限値を用いて環境条件に応じたαカメラの検出下限予測を可能に



性能予測値(数値は仮)

- ・Aエリア(高線量域)
α汚染検出下限: $100\text{Bq}/\text{cm}^2 (\pm 10)$
標準測定時間: $60\text{min}/\text{m}^2$
- ・Bエリア(低線量域)
α汚染検出下限: $9\text{Bq}/\text{cm}^2 (\pm 1)$
標準測定時間: $5\text{min}/\text{m}^2$
- ・Bエリア+養生シート
α汚染検出下限: $15\text{Bq}/\text{cm}^2 (\pm 1)$
標準測定時間: $20\text{min}/\text{m}^2$

...のようにαカメラの性能予測を
適用現場の環境条件に応じて
評価可能にすること

Aエリア 10mSv/h以上の高βγ線領域

Bエリア 10mSv/h未満の低βγ線領域

図1 環境条件の想定図(1F2号機オペフロ)

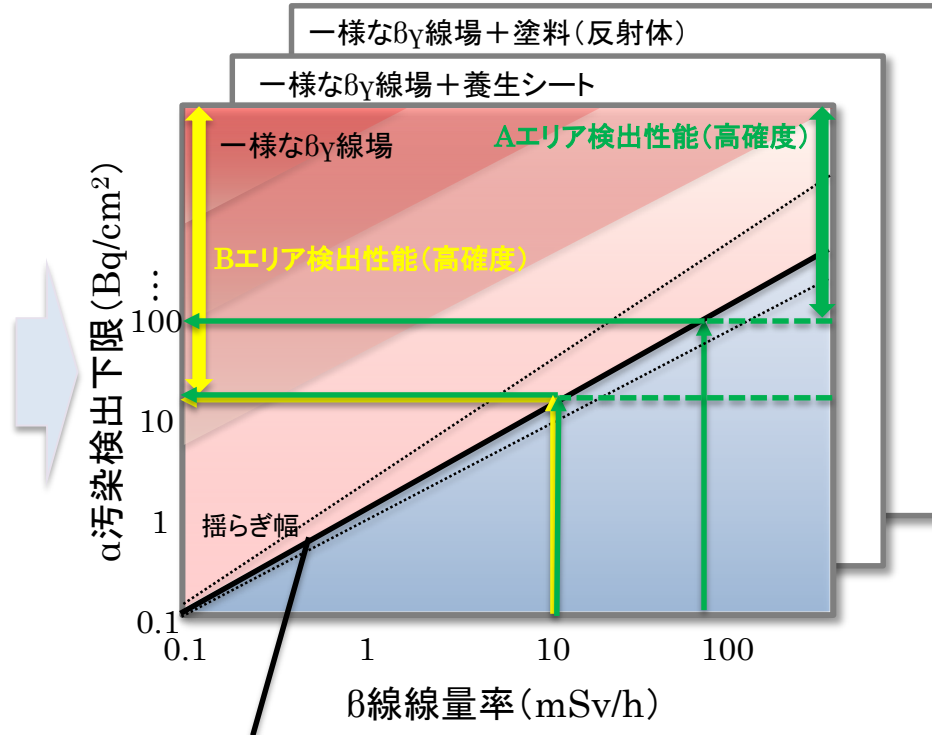
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

本年度研究開発の目的

< 1F2号機オペフロ汚染測定の実例(2/2) >

環境(インプット)条件

- ・βγ線量率
- Aエリア
10mSv/h~100mSv/h
- Bエリア
10mSv/h未満
- ・養生シート有無
- Aエリア 無
- Bエリア 有(面積比10%)
- ⋮



アウトプット(性能予測)

- ・Aエリア
α汚染検出下限: 100Bq/cm² (±10)
標準測定時間: 60min/m²
- ・Bエリア
α汚染検出下限: 9Bq/cm² (±1)
標準測定時間: 5min/m²
- ・Bエリア+養生シート
α汚染検出下限: 15Bq/cm² (±1)
標準測定時間: 20min/m²
- ⋮

(α汚染検出下限値での発光検出量) = (βγ線による発光検出量)となる境界

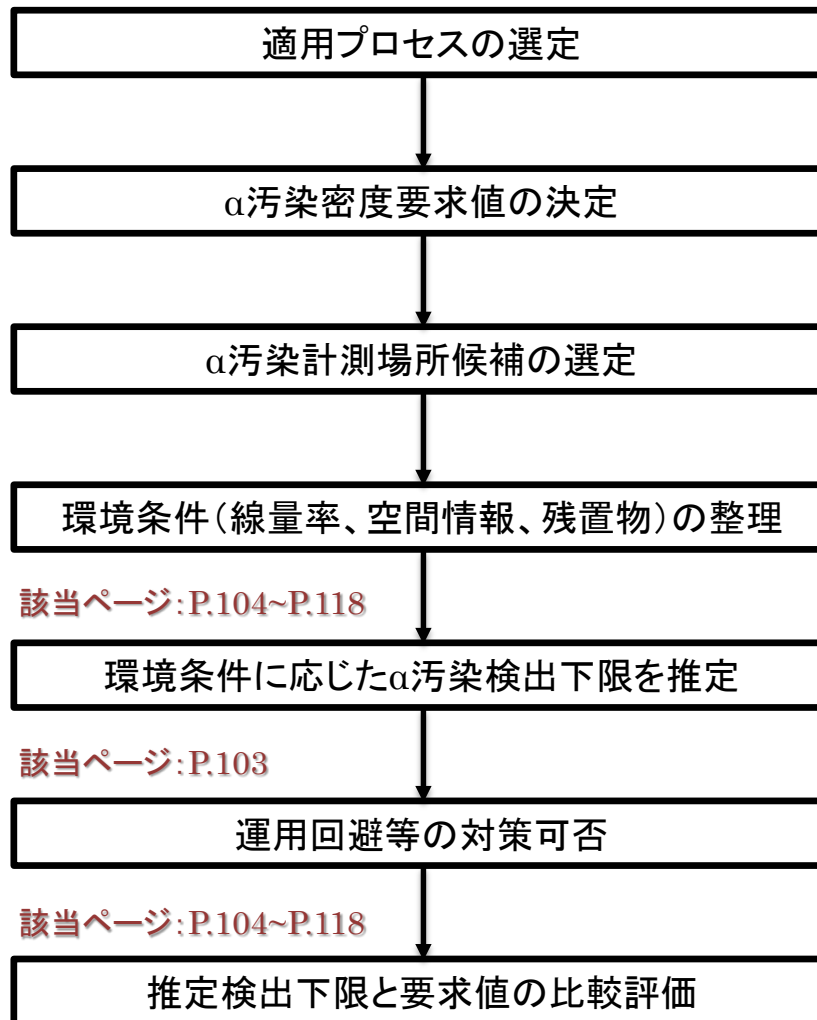
以下、このときの線量率を「境界線量率」と称する

図1 検出下限図の模式図

建屋解体前、解体後廃棄物⋯、各ニーズプロセスの現場環境条件に応じた性能予測

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

<適用性を評価するフロー>



本補助事業では「想定候補」という形で纏める

該当ページ:P.105、P.110、P.114、P.117

検出下限図(シミュレーション中心)による実現、本補助事業の主要内容

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

<本年度実施内容>

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対するのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

＜本年度実施内容＞

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対するのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

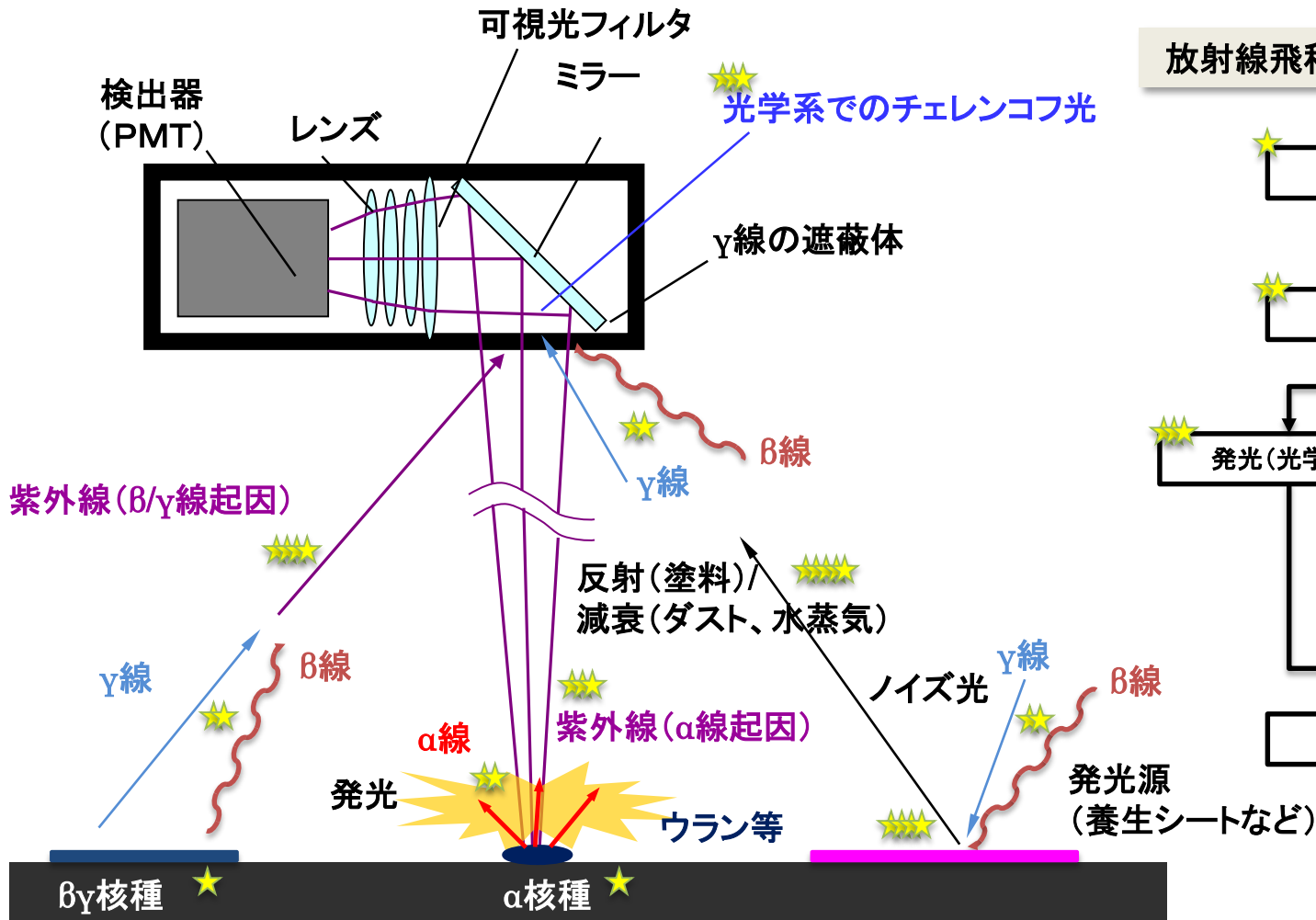
(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

< 発光現象の再整理 >



放射線飛程~発光検出までのプロセス

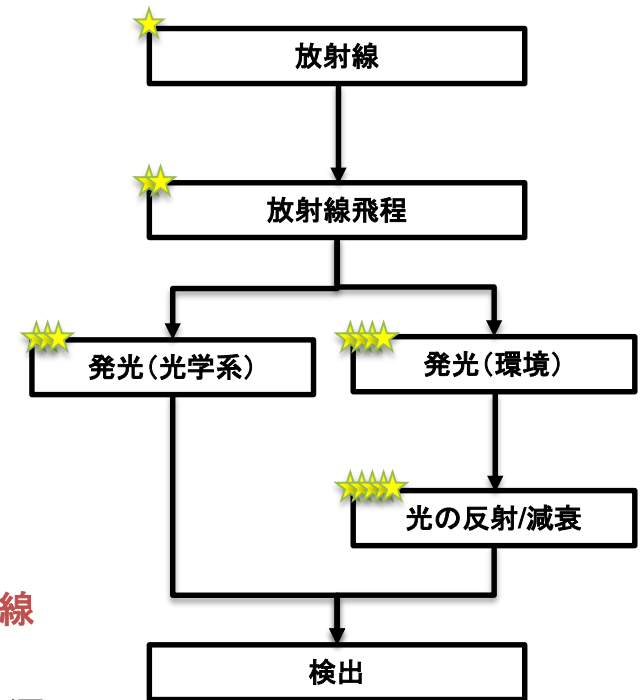


図1 αカメラにおける検出信号に影響を与える事象の整理図

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

<パラメータの優先順位付け結果>

表1 シミュレーション条件と優先順位

プロセス	項目	優先度	パラメータ	数値範囲など	モデル化および評価指標	備考
放射線	α線	高	核種(放射線エネルギー)	4.2MeV~5.8MeV	実施 Bq/cm ²	エネルギーは1Fに存在する核種から試験での精度評価可否の観点からAm-241をモデル化
			表面汚染密度	測定対象		
			分布	測定対象		
			表面状態(粗さ)	ブラストコンクリートなど	なし	
	β線	高	核種(放射線エネルギー)	0.5MeV~2.3MeV	実施 cps(発光量)/(mSv/h)	エネルギーが高いSr-90/Y-90を模擬
			線量率	~150mSv/h		現場の最大線量までを想定
			分布	汚染密度の床、壁への一様分布		汚染の拡がりを想定
	γ線	中	核種(放射線エネルギー)	~660keV	β汚染モデルの一部をγ線条件にすることで発光量の多寡を評価し、結果得られる比率を解析指標とする	現場の放射線核種からβ線と比較してエネルギーが低く、発光量は少ないと想定
			線量率	~150mSv/h		
分布			汚染密度の床、壁への一様分布			
放射線の飛程	水	低	遮蔽効果	—	なし	α汚染検出不可要因
発光	雰囲気	中	窒素濃度	78%~100%	最小限にモデル化、他のケースは解析的に評価	特定のモデルで窒素濃度範囲を設定
	養生シート	高	形状/配置	壁や機器に残置された状況	実施 cps/(mSv/h)	現場写真より想定 エネルギー損失あたりの発光量(単位: photon/MeV)を材質に相当するパラメータとして設定
			材質	ピンク		
	塗料	低	材質	—	なし	2021年度試験結果から発光作用は僅かであることを確認
光の反射/減衰	塗料	高	配置	一様β線モデル要素に追加設定	実施 床、壁、床壁	壁、床の塗料を模擬
			材質	反射率50%の乱反射		乱反射モデルを組み込み
	ダスト	低	ダストサイズ	~10μm	なし	過去試験による知見から評価、再試験実施
			ダスト濃度	~class11		
水蒸気	低	湿度	~100%	なし	過去試験による知見から評価	
光学系での発光	β線/γ線	低	入射窓近傍の空間線量率	~150mSv/h	なし	過去試験による知見から評価(シャッター開閉による対策)

優先度「高」: 想定環境条件範囲レベルでシミュレーション

優先度「中」: 一部シミュレーションを実施

優先度「低」: 過去試験による知見から評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

<本年度実施内容>

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対してのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

＜シミュレーションの手順フロー＞

シミュレーション全体のフローを定めたうえで進める手順を検討

P.18~P.28

膨大な空間配置に対する妥当な効率化検討

P.30~P.50

P.30~P.50

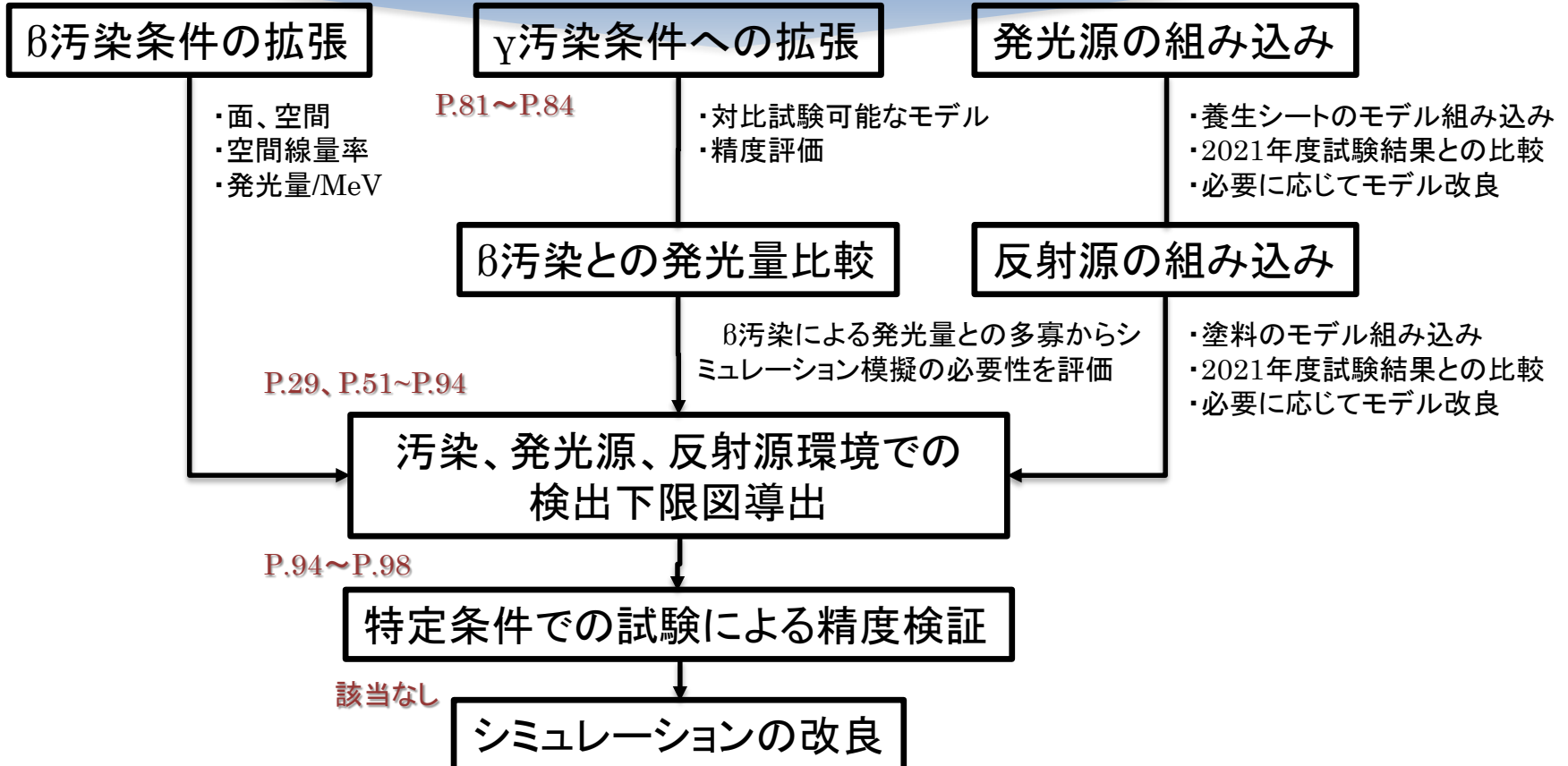


図1 シミュレーションの進め方を示すフロー図

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

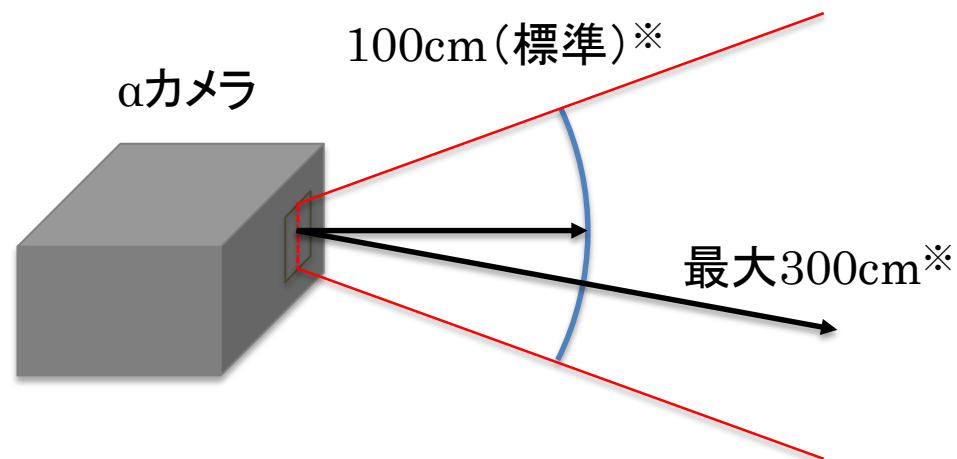
＜シミュレーションの効率化 αカメラ感度分布評価＞

目的：無限に想定される要素同士の空間配置に対して妥当な効率化を図る

着目点：計測に影響する主要な空間としてαカメラの視野で限定する

表1 αカメラの基本仕様(2020年度検討)

	項目	基本仕様
アクセス性	測定距離	標準100cm、最大300cm
	測定対象形状	球面, 凹凸, 平面
	重量	台車に依存
環境条件	環境線量	50mSv/h程度 (最大約150mSv/h)
	環境温度	-5℃~35℃
	環境湿度	最大100%
	照明	暗闇
	粉塵	屋外の粉塵量以上



※厳密には反射ミラーから測定対象までの距離

- ・αカメラの標準測定距離100cmを基準とし、最大測定距離300cmまでの範囲で感度分布を評価
- ・β汚染等のシミュレーションモデルは距離100cmでの計数率を求める計算を実施
- ・αカメラからの距離をパラメータとした検出下限図はこの感度分布を利用

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜αカメラシミュレーションモデル(Geant4※)＞

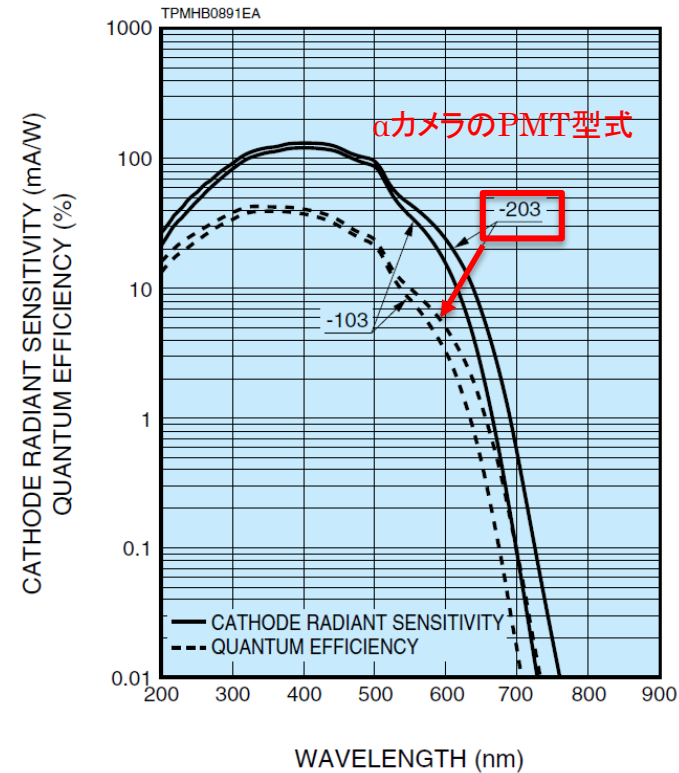
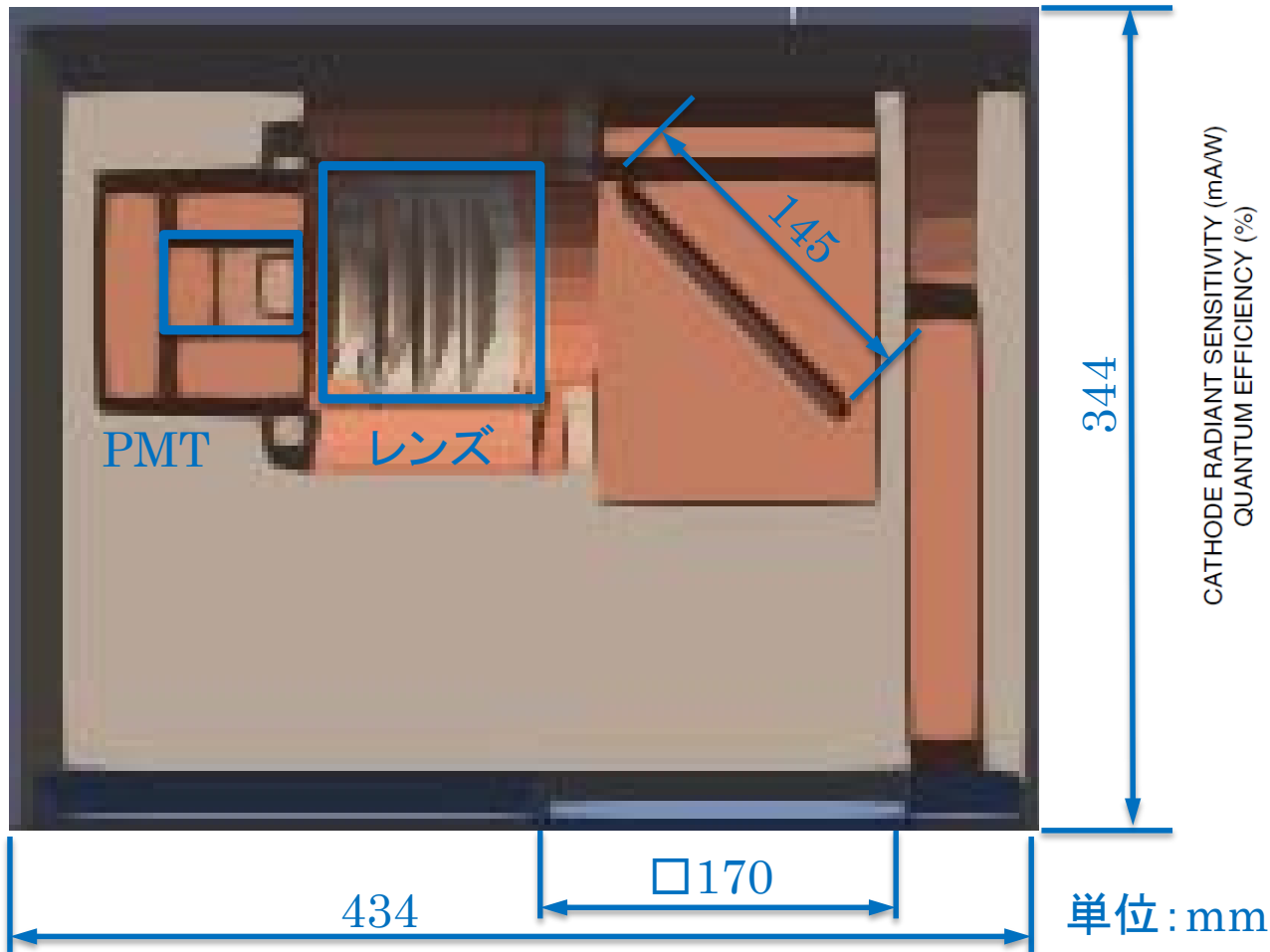


図2 PMT量子効率

※ モンテカルロ法を用いた「物質中における粒子の飛程」をシミュレーションする手法

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

＜感度分布評価方法(点光源による検出光量評価)＞

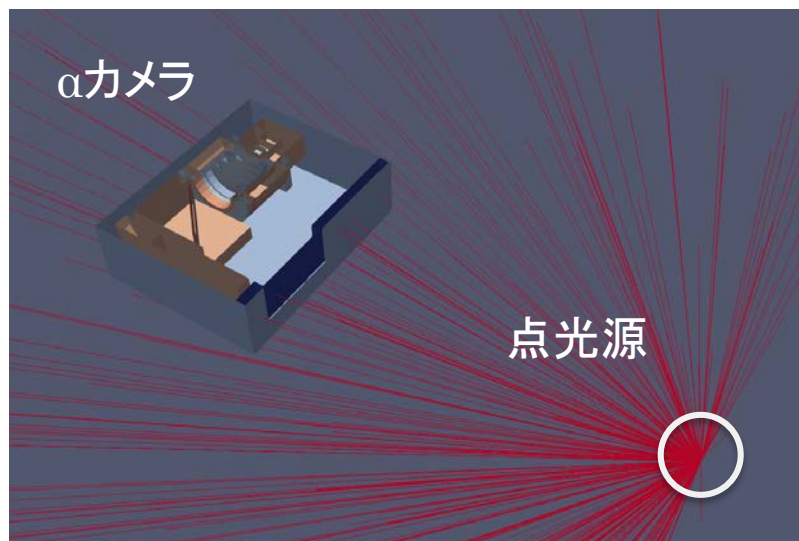


図1 感度分布評価モデル鳥観図

点光源を移動させαカメラ内で検知される光子数を算出

＜条件＞

- PMT : 8x8の64chをモデル化,
- 点光源 : 10^8 Photon、 4π に発生、評価は1/2対称
- 波長 : 窒素発光波長の発生割合で重みづけ
- 計数率 : 量子効率を考慮
- 算出値 : 8x8の総和値で感度変化を評価

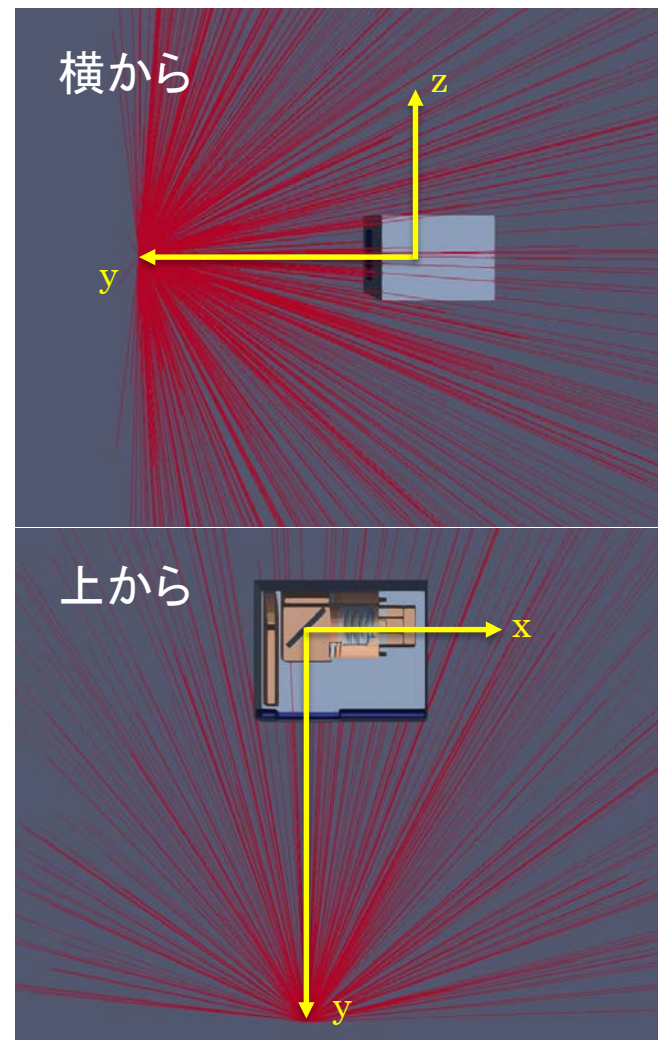
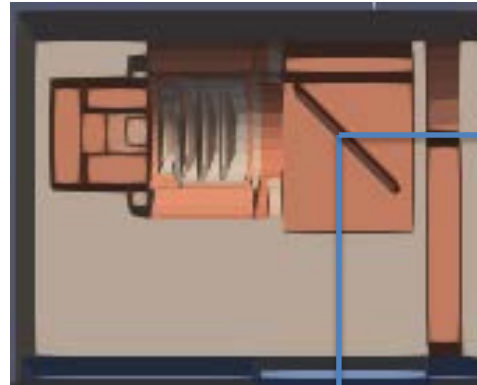


図2 感度分布評価モデル座標の説明図

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ① シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布シミュレーションの見方>



$(x, y, z) = (0, 100, 0)$
 の値で規格化

Z=0(レンズ光軸中心)面における感度分布

-x方向に対称の感度分布

Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Y												
50	3.56	2.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	1	0.86	0.72	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0.46	0.41	0.37	0.32	0.19	0.03	0	0	0	0	0	0
200	0.25	0.24	0.23	0.2	0.18	0.12	0.06	0	0	0	0	0
250	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.11	0.09	0.05	0.02	0	0	0
300	0.11	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09	0.08	0.06	0.04	0.02	0.01	0
350	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.03	0.02	0

窓による遮光領域

赤ハッチング: 感度が1/10以下の領域

図1 感度分布評価結果とモデルとの位置関係

単位: cm

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

< 実測試験による検証 試験での測定位置 (=Amチェックソースの設置位置) >

実測試験とシミュレーション結果を比較評価し、シミュレーションの妥当性を確認

Y=100cm

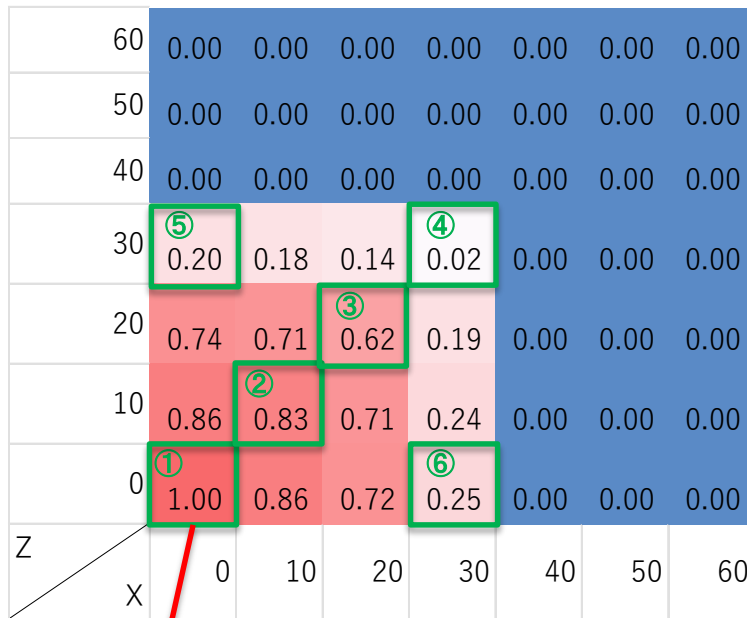


図1 8x8(全PMTの総和)感度分布 Y=100cm断面での整理 (XZ軸単位:cm、その他セル内単位:相対感度)

対角線上での相対感度を評価した(P.27参照)

Y=200cm

□ 配置したAmチェックソースが視野として含むchの範囲

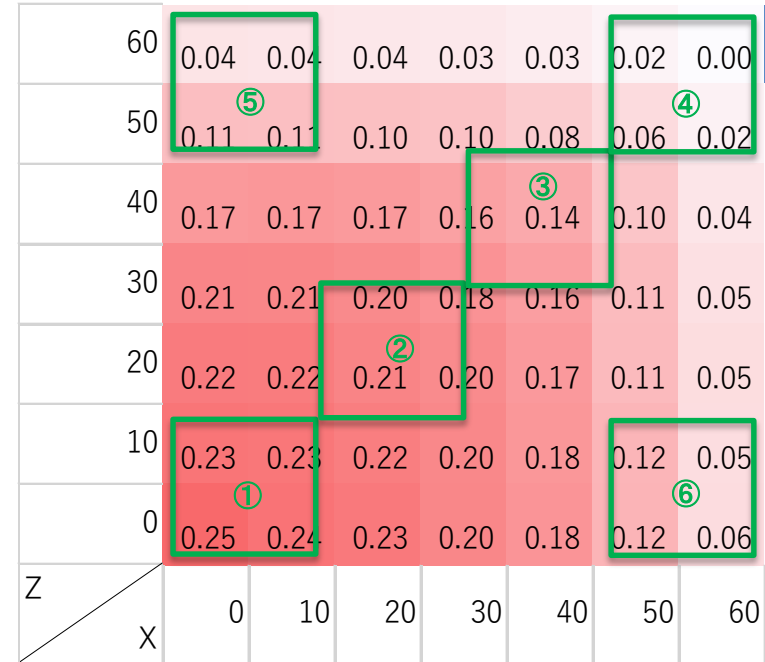


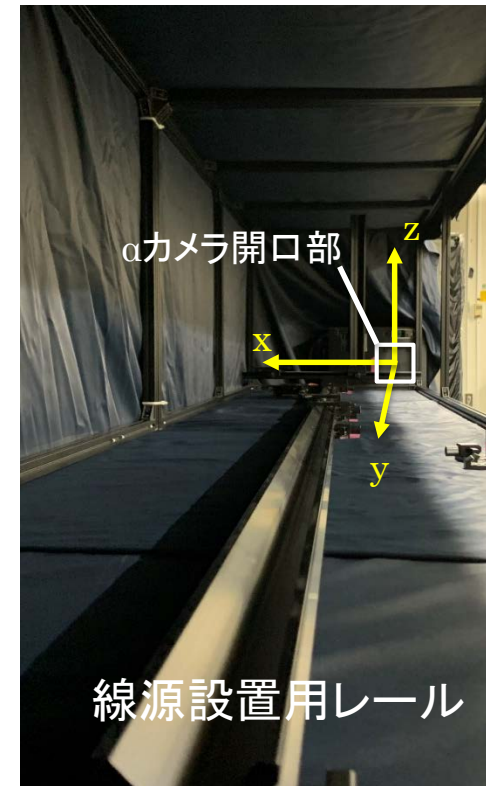
図2 8x8(全PMTの総和)感度分布 Y=200cm断面での整理 (XZ軸単位:cm、その他セル内単位:相対感度)

実測試験による検証項目

- ・ $(x, y, z) = (0, y, 0)$ の距離依存性
- ・ 図1の①～⑥に相当する位置の感度

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜実測試験による検証 試験体系＞

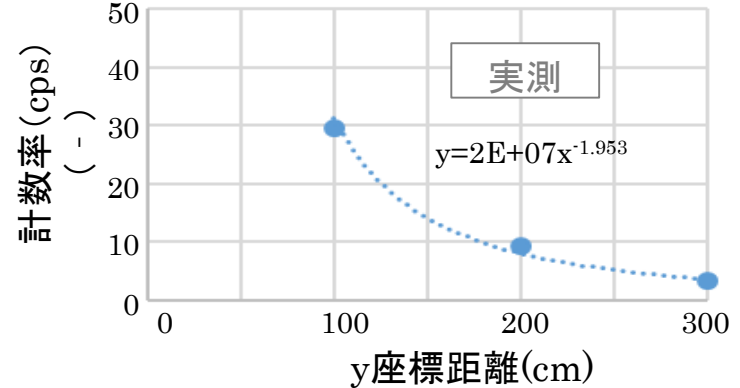
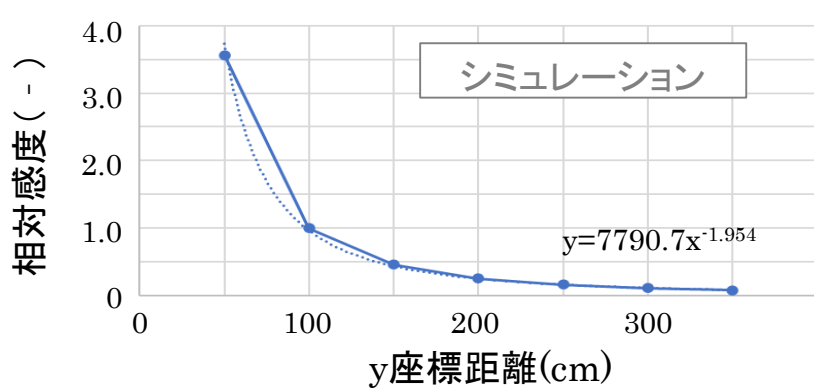


光源: 241-Am線源 9189Bq (4374 s^{-1} , 2π)、 $\phi 36\text{mm}$

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

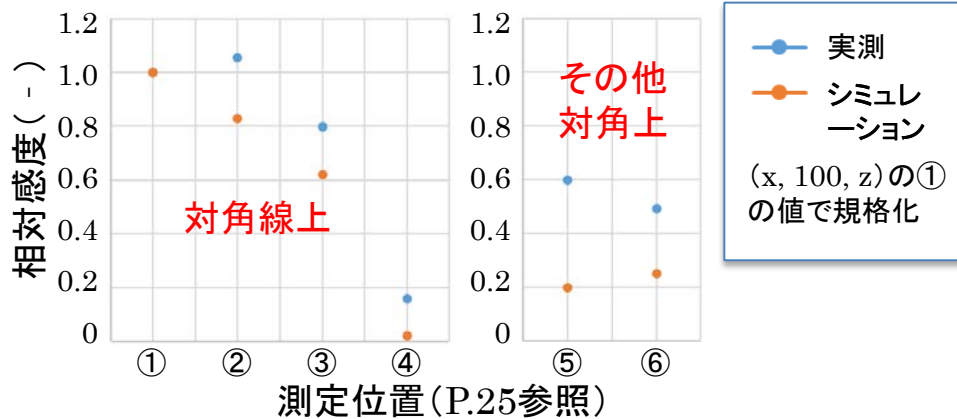
(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <実測試験による検証 試験結果とシミュレーション結果との比較>

・(x, y, z) = (0, y, 0)の距離依存性 (0, 100, 0)の値を1として規格化した場合の感度変化

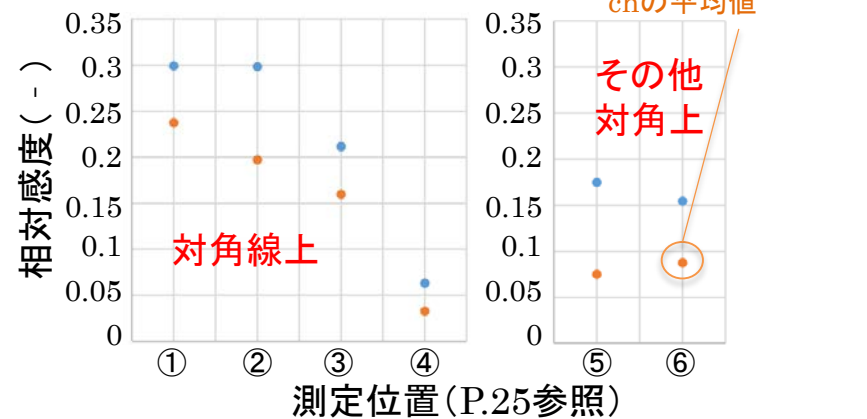


シミュレーション、実測ともに(1/(距離)²)の減衰傾向が一致した

・(x, 100, z)の感度分布



・(x, 200, z)の感度分布



線源サイズ(φ36mm)による光の拡がりの影響で実測が高い値となるが感度分布は同様の傾向を示した

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜αカメラ感度分布評価結果まとめとモデル化の方針＞

αカメラ感度分布評価結果まとめ

(1)αカメラの主要な視野は $(x, y, z)=(\pm 50\text{cm}, y, \pm 50\text{cm})$ の範囲と評価 (P.23、Z=50cmでほぼ全ての感度が1/10になったことより)

(2)y軸方向(αカメラから遠ざかる方向)は距離2乗則による減衰が支配的

モデル化における基本方針

- ・ミラー中心から100cm ($y=100$)を距離の基準としてモデル化(=基本モデル)
- ・ミラー中心から100cm以上離れた対象(最大300cmまで)は基本モデルに距離減衰率を乗じて評価
- ・シミュレーションの基本空間を100cm × 100cm × 100cmとする

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

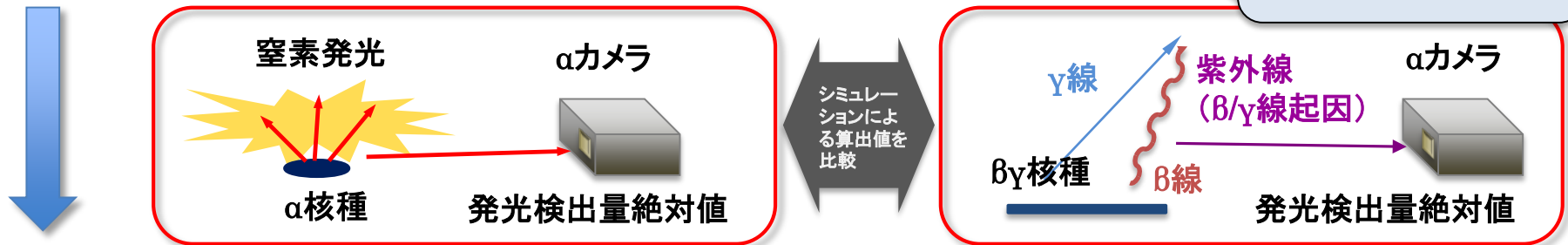
(b) 測定システムの性能確認 ① シミュレーションモデルの拡張検討

< 検出下限図の段階別整理 >

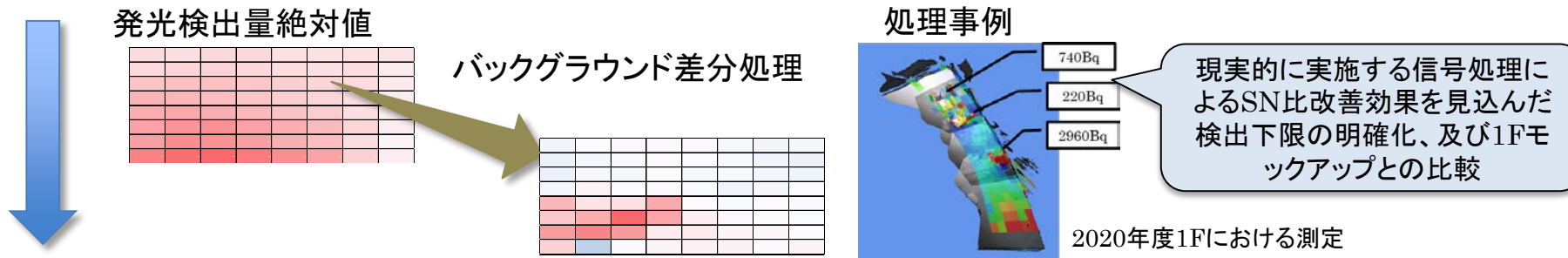
検出下限図の種類を実際の測定や信号処理に即して整理、順々に導出を検討

Phase1: 発光検出量の絶対値比較による検出下限図(以下、検出下限図Ph1)

αカメラを現状のまま持って行って測定できる検出下限の明確化



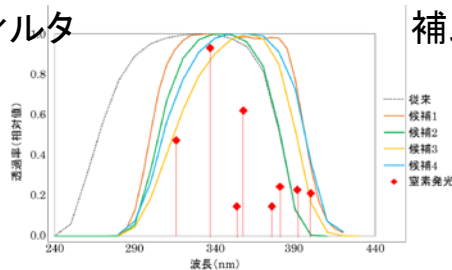
Phase2: 検出下限図Ph1のデータをもとにバックグラウンド差分処理を想定した検出下限図Ph2



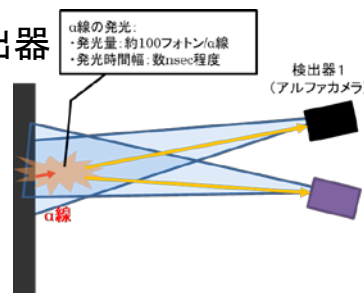
2020年度1Fにおける測定

Phase3: 検出下限図Ph2のデータをもとに2021年度実施のノイズ対策適用を想定した検出下限図Ph3

改良フィルタ



補助検出器



を適用した場合のSN比改善効果を見込む

2021年度実施のSN比改善施策の効果を見込んだ検出下限の明確化

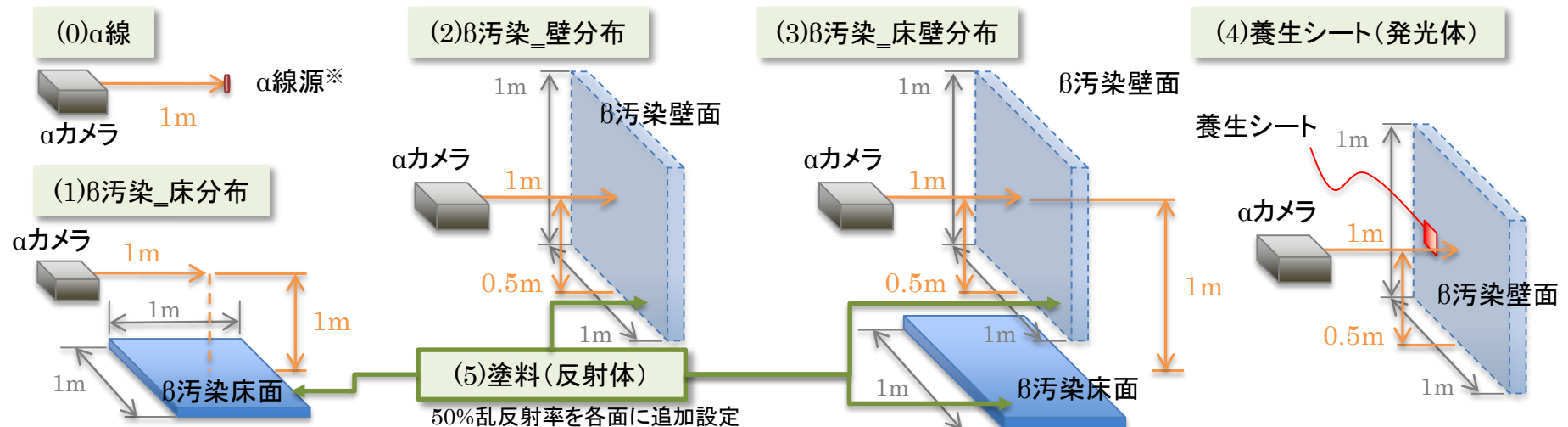
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ① シミュレーションモデルの拡張検討 < 優先度高パラメータに対する基本モデル >

空間配置効率化の検討結果に基づいてαカメラ視野の空間内に代表的な汚染の拡がりを想定して基本モデルを作成

表1 優先度の高いパラメータ

プロセス	項目	パラメータ	数値範囲など	備考
放射線	α線	核種(放射線エネルギー)	4.2MeV~5.8MeV	エネルギーは1Fに存在する核種から試験での精度評価可否の観点からAm 241をモデル化
		表面汚染密度	測定対象	
		分布	測定対象	
	β線	核種(放射線エネルギー)	0.5MeV~2.3MeV	エネルギーが高いSr 90/Y 90を模擬
		線量率	~150mSv/h	現場の最大線量までを想定
		分布	汚染密度の床、壁への一様分布	汚染の拡がりを想定
発光	養生シート	形状/配置	壁や機器に残置された状況	現場写真より想定
		材質	ピンク	エネルギー損失あたりの発光量(単位: photon/MeV)を材質に相当するパラメータとして設定
光の反射/減衰	塗料	配置	一様β線モデル要素に追加設定	壁、床の塗料を模擬
		材質	反射率50%の乱反射	乱反射モデルを組み込み



※モチーフとして距離1m先のα線源をモデル化

図1 シミュレーションの基本モデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

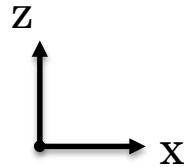
(b) 測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜優先度高パラメータに対する基本モデル＞

表1 各基本モデル設定の考え方

基本モデル	設定の考え方
(0) α 線	α 線源が1m先に存在するモチーフとして設定 (α 線源が空中に存在することを模擬したものではない)
(1) β 汚染_床分布	床面に一様に分布する β 汚染を模擬
(2) β 汚染_壁分布	壁面に一様に分布する β 汚染を模擬
(3) β 汚染_床壁分布	壁に接近して測定する状況を想定し、床面の汚染からの影響を模擬するため壁と床(壁が1m先に存在するケースとして床面は(1)の半分の面積)を組み合わせた状況を模擬
(4) 養生シート(発光体)	現場に残置されている養生シートのうち、測定に最も厳しい条件となるスポットで存在する場合を模擬
(5) 塗料(反射体)	(1)～(3)に対して塗料による乱反射を模擬

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(0) α 線 モデルとシミュレーション結果>



α 線模擬シミュレーションモデル

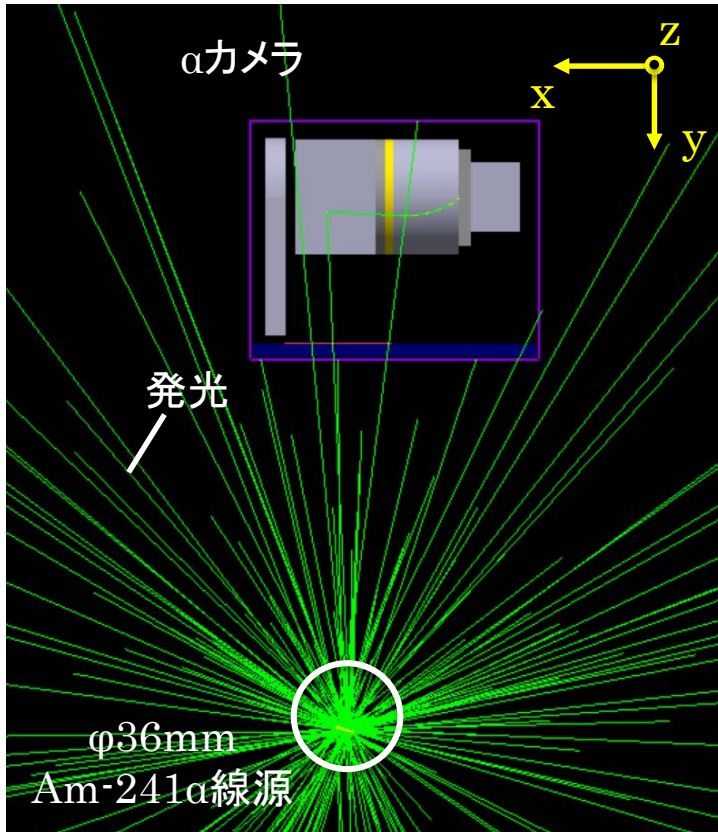
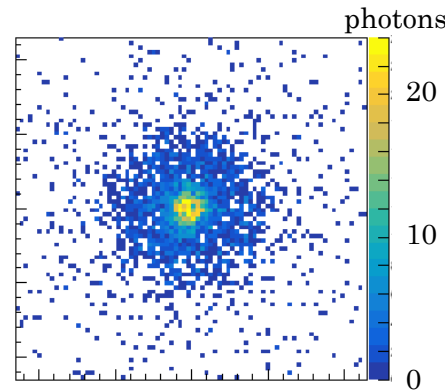


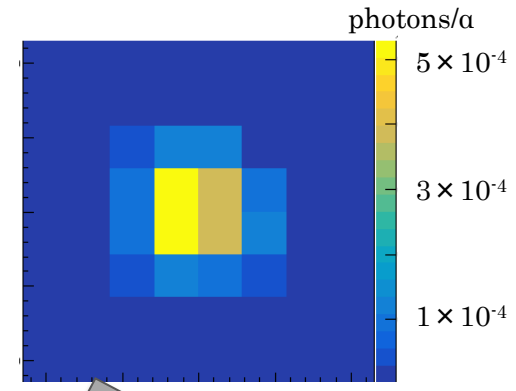
図1 α 線シミュレーションモデル

統計量^{※1}: 1×10^6 alpha
 その他: 床、壁を想定し、実質統計量は $1/2$ ^{※2}

α カメラからみた光子発生の様子



1 α 線あたりの検出光子数



cps/(Bq/cm²)^{※3}の各算出値

汚染密度あたりに規格化

4.07E-05	7.13E-05	9.16E-05	8.14E-05	9.67E-05	1.27E-04	6.11E-05	5.60E-05
6.62E-05	1.37E-04	1.73E-04	2.34E-04	2.24E-04	1.37E-04	1.07E-04	8.14E-05
8.14E-05	1.98E-04	6.31E-04	0.00142	0.001344	4.17E-04	1.68E-04	8.14E-05
9.16E-05	2.34E-04	0.001527	0.006285	0.00542	1.20E-03	1.78E-04	1.43E-04
1.12E-04	2.44E-04	1.50E-03	0.00627	0.005227	0.001354	2.19E-04	8.65E-05
7.13E-05	2.14E-04	4.38E-04	0.001303	1.22E-03	4.33E-04	1.78E-04	8.65E-05
8.14E-05	1.07E-04	1.37E-04	2.24E-04	2.19E-04	1.53E-04	1.02E-04	7.13E-05
4.07E-05	7.63E-05	7.13E-05	9.67E-05	1.02E-04	8.14E-05	4.58E-05	8.14E-05

図2 α 線シミュレーション結果

※1 シミュレーションの相対誤差の収束をもって決定(以降、同様)
 ※2 実際の α は床等に付着しており拡がりは 2π 方向となる
 ※3 各フォトマルの計数率を汚染密度あたりに規格化した値

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<基本モデル(1)β汚染_床分布 シミュレーションモデル>

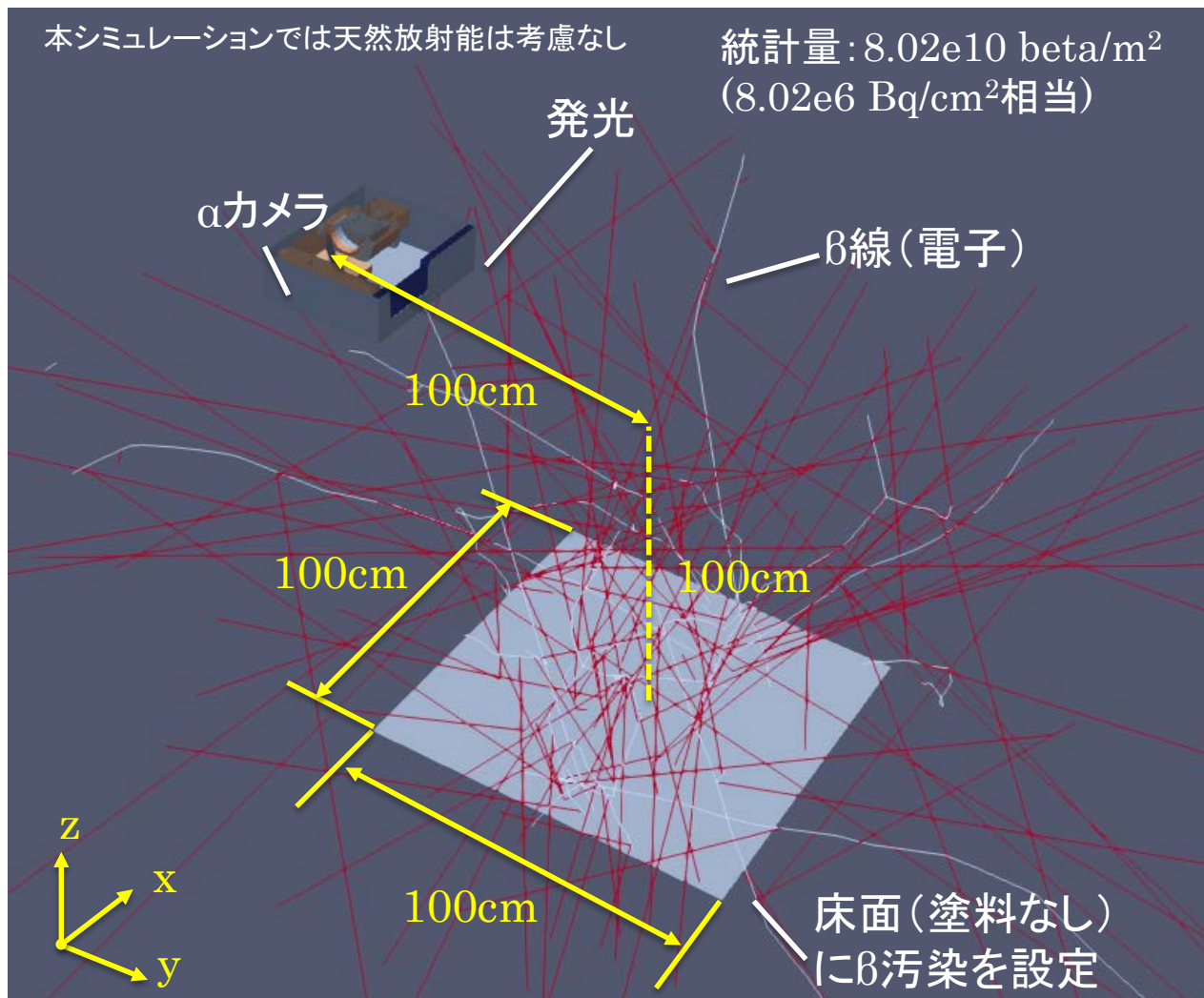


図1 床分布β汚染シミュレーションモデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(1)β汚染_床分布 シミュレーション結果>

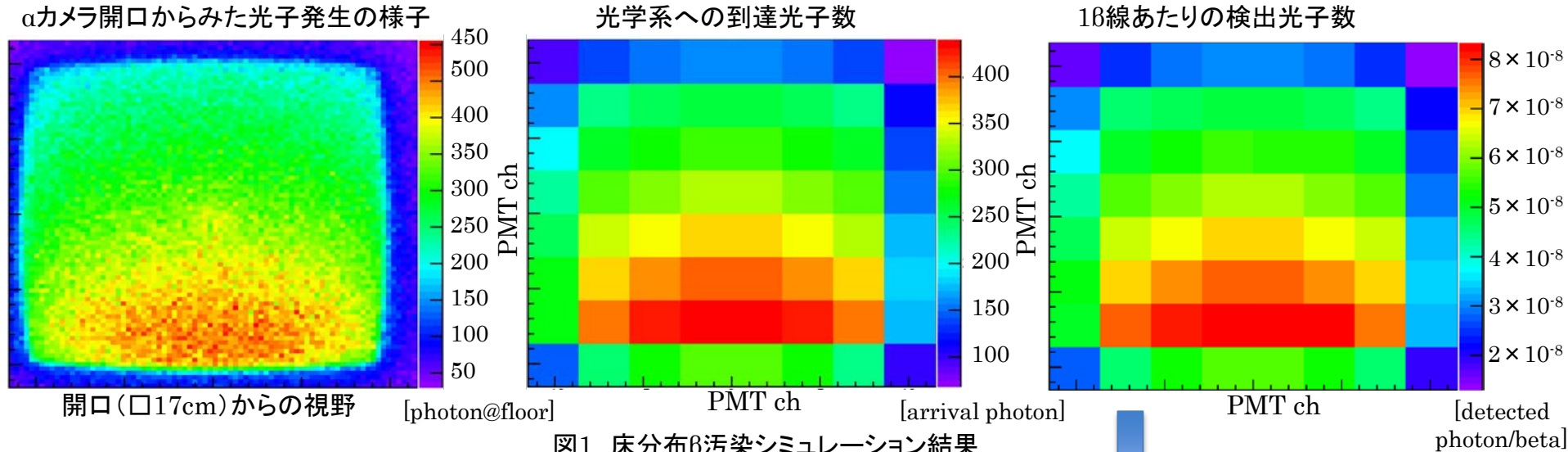
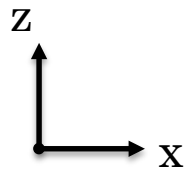


図1 床分布β汚染シミュレーション結果



cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る

1.71E-04	2.54E-04	2.89E-04	3.04E-04	3.04E-04	2.87E-04	2.51E-04	1.30E-04
3.08E-04	4.53E-04	4.71E-04	4.89E-04	4.82E-04	4.72E-04	4.39E-04	2.15E-04
3.73E-04	5.07E-04	5.33E-04	5.55E-04	5.43E-04	5.41E-04	4.98E-04	2.60E-04
4.24E-04	5.74E-04	5.99E-04	6.30E-04	6.24E-04	6.01E-04	5.64E-04	2.91E-04
4.68E-04	6.41E-04	6.72E-04	6.92E-04	7.01E-04	6.74E-04	6.36E-04	3.30E-04
5.09E-04	7.01E-04	7.45E-04	7.67E-04	7.65E-04	7.45E-04	6.93E-04	3.45E-04
5.08E-04	7.67E-04	8.15E-04	8.33E-04	8.24E-04	8.21E-04	7.49E-04	3.35E-04
2.83E-04	4.54E-04	5.32E-04	5.64E-04	5.64E-04	5.29E-04	4.53E-04	1.97E-04

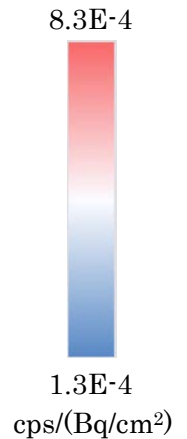


図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(2)β汚染_壁分布 シミュレーションモデル＞

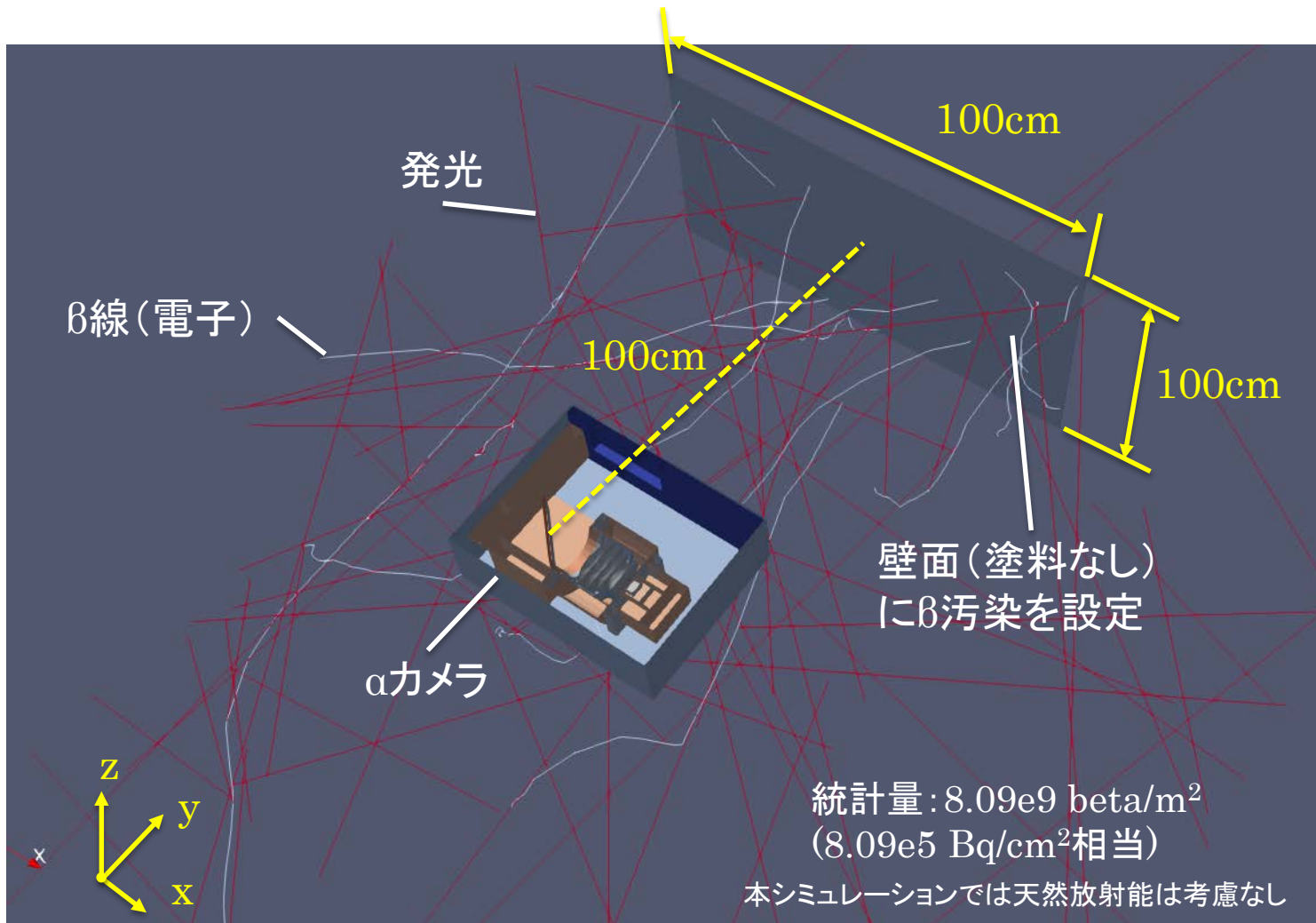


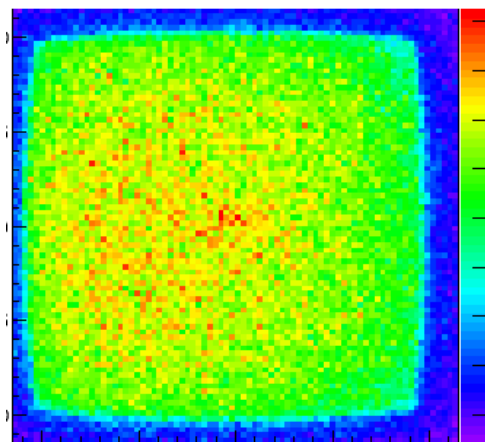
図1 壁分布β汚染シミュレーションモデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

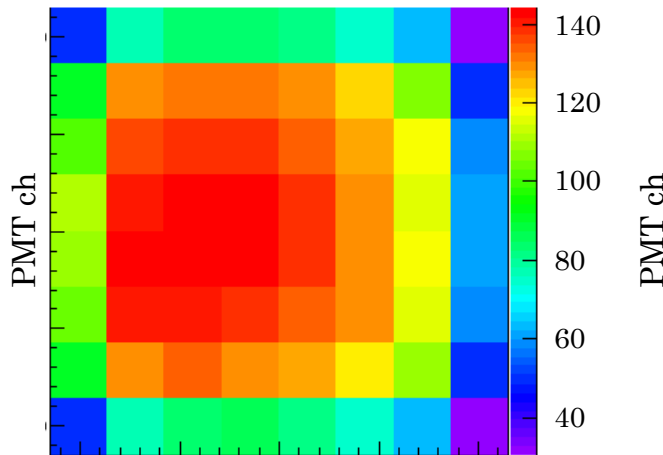
<基本モデル(2)β汚染_壁分布 シミュレーション結果>

αカメラからみた光子発生の様子



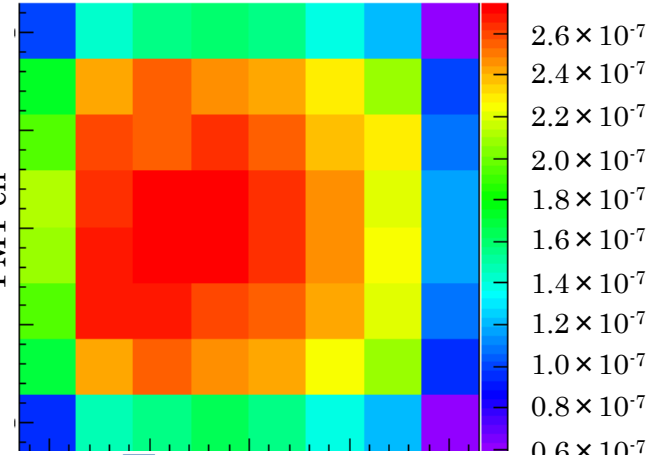
開口(□17cm)からの視野 [photon@wall]

光学系への到達光子数



PMT ch [arrival photon]

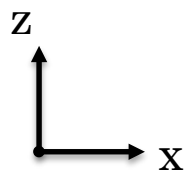
18線あたりの検出光子数



PMT ch [detected photon/beta]

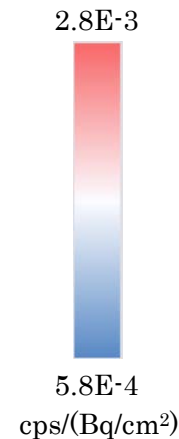
図1 壁分布β汚染シミュレーション結果
cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る



9.84E-04	1.43E-03	1.55E-03	1.58E-03	1.56E-03	1.40E-03	1.20E-03	5.86E-04
1.73E-03	2.40E-03	2.53E-03	2.45E-03	2.44E-03	2.31E-03	2.07E-03	9.81E-04
1.95E-03	2.58E-03	2.57E-03	2.62E-03	2.55E-03	2.40E-03	2.28E-03	1.07E-03
2.13E-03	2.64E-03	2.70E-03	2.72E-03	2.63E-03	2.47E-03	2.21E-03	1.17E-03
2.07E-03	2.67E-03	2.75E-03	2.70E-03	2.63E-03	2.48E-03	2.24E-03	1.16E-03
1.95E-03	2.69E-03	2.67E-03	2.61E-03	2.55E-03	2.42E-03	2.20E-03	1.09E-03
1.70E-03	2.43E-03	2.57E-03	2.47E-03	2.42E-03	2.24E-03	2.07E-03	9.61E-04
9.32E-04	1.46E-03	1.54E-03	1.63E-03	1.56E-03	1.39E-03	1.20E-03	5.91E-04

図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))



b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(3)β汚染_床壁分布 シミュレーションモデル＞

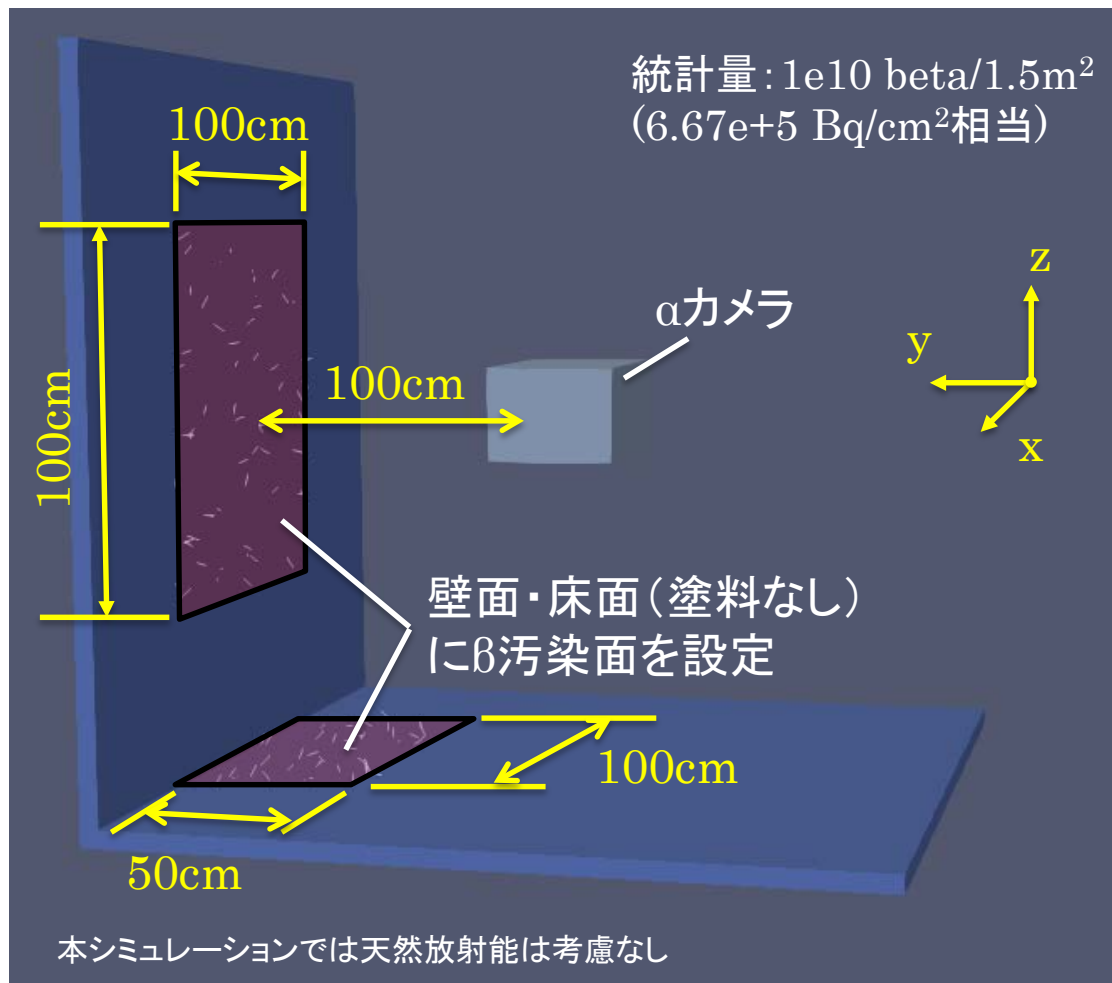
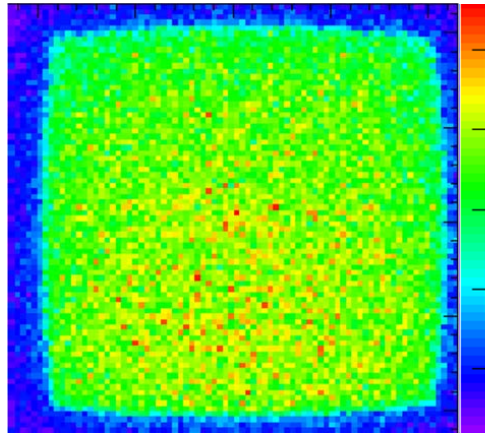


図1 床・壁分布β汚染シミュレーションモデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(3)β汚染_床壁分布 シミュレーション結果>

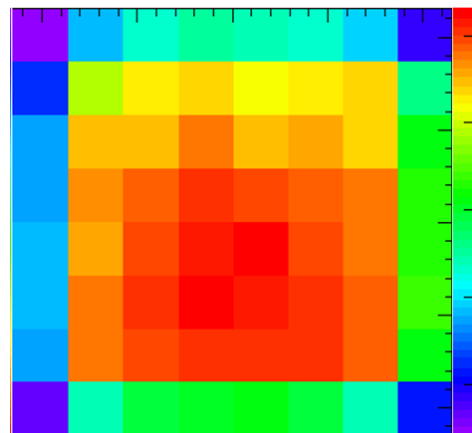
αカメラからみた光子発生の様子



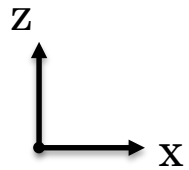
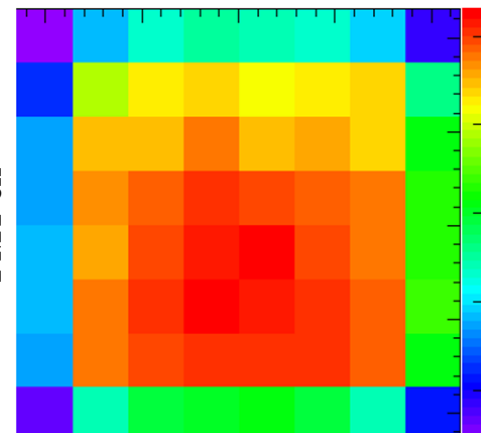
開口(□17cm)からの視野

[photon@wall and floor]

光学系への到達光子数



18線あたりの検出光子数



PMT ch [arrival photon]

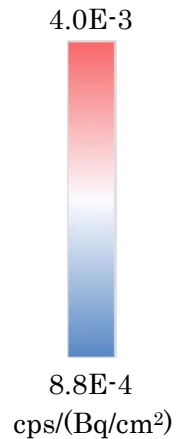
図1 壁分布β汚染シミュレーション結果
 cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

PMT ch [detected photon/beta]

統計数に応じた汚染密度で割る

1.28E-03	1.92E-03	2.15E-03	2.18E-03	2.19E-03	2.19E-03	1.92E-03	8.81E-04
2.34E-03	3.42E-03	3.52E-03	3.47E-03	3.59E-03	3.49E-03	3.21E-03	1.47E-03
2.74E-03	3.57E-03	3.66E-03	3.82E-03	3.86E-03	3.58E-03	3.35E-03	1.74E-03
2.79E-03	3.62E-03	3.71E-03	3.68E-03	3.75E-03	3.75E-03	3.53E-03	1.84E-03
2.81E-03	3.63E-03	3.68E-03	3.99E-03	3.86E-03	3.72E-03	3.51E-03	1.90E-03
2.67E-03	3.54E-03	3.74E-03	3.72E-03	3.78E-03	3.67E-03	3.63E-03	1.74E-03
2.36E-03	3.37E-03	3.51E-03	3.71E-03	3.60E-03	3.54E-03	3.25E-03	1.55E-03
1.34E-03	1.97E-03	2.30E-03	2.42E-03	2.26E-03	2.23E-03	2.04E-03	9.17E-04

図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))



b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(4)養生シート(発光体)のモデル化＞

2021年度の成果より

発光が最も多いことを確認(シンチレーション、チェレンコフの切り分けは困難)

シミュレーションでの養生シート模擬する手順

- シミュレーションモデルに組み込む際に放射線のエネルギー1MeVあたりの発光量 (photon/MeV)を物性値の代替とする
- 2021年度実施の発光試験と、同試験体系を模擬したシミュレーションモデルによる発光量算出結果から(photon/MeV)を算出
なお、算出対象は最も高い計数率を確認したピンク色の養生シート(ポリエチレン)を対象
- β 汚染モデルの一部表面に算出値を組み込むことで発光体としての作用を模擬

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(4)養生シート(発光体) photon/MeV導出(1/3)実測体系>

参照した過去試験体系

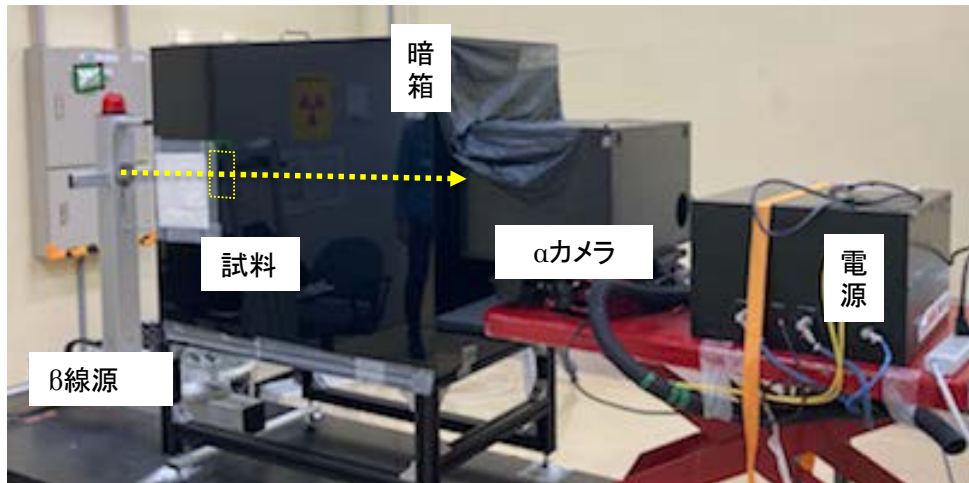


図1 養生シート発光計測試験体系の外観(2021年度実施)

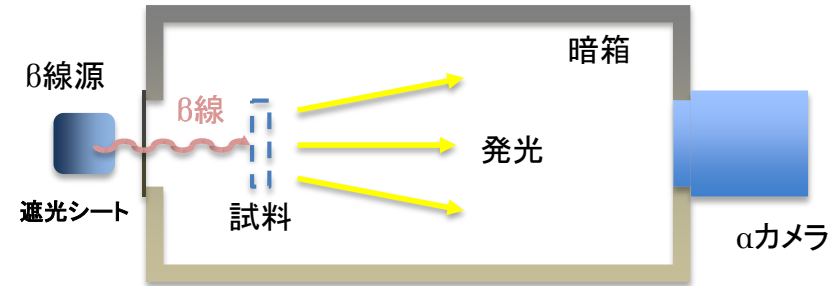


図2 養生シート発光計測試験体系

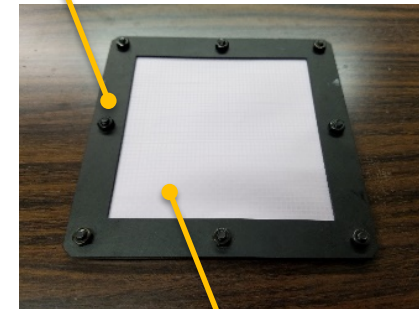
表1 照射線源

線源	線量率※1	距離※2	評価対象	外観
Sr-90/ Y-90	15.6 mSv/h	50cm	窒素発光、シンチレーション光、チェレンコフ光	

※1 試料位置表面における線量率

※2 β線源から試料までの距離

枠(アルミフレーム)



養生シート(ピンク※) 10cm × 10cm

図3 試料(養生シート)外観

※萩原工業社製ターピー TPノンハロ帯電防止クロスFR
<https://hagihara-pls.com/productview/product-323/>

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<基本モデル(4)養生シート(発光体) photon/MeV導出(2/3)モデル>

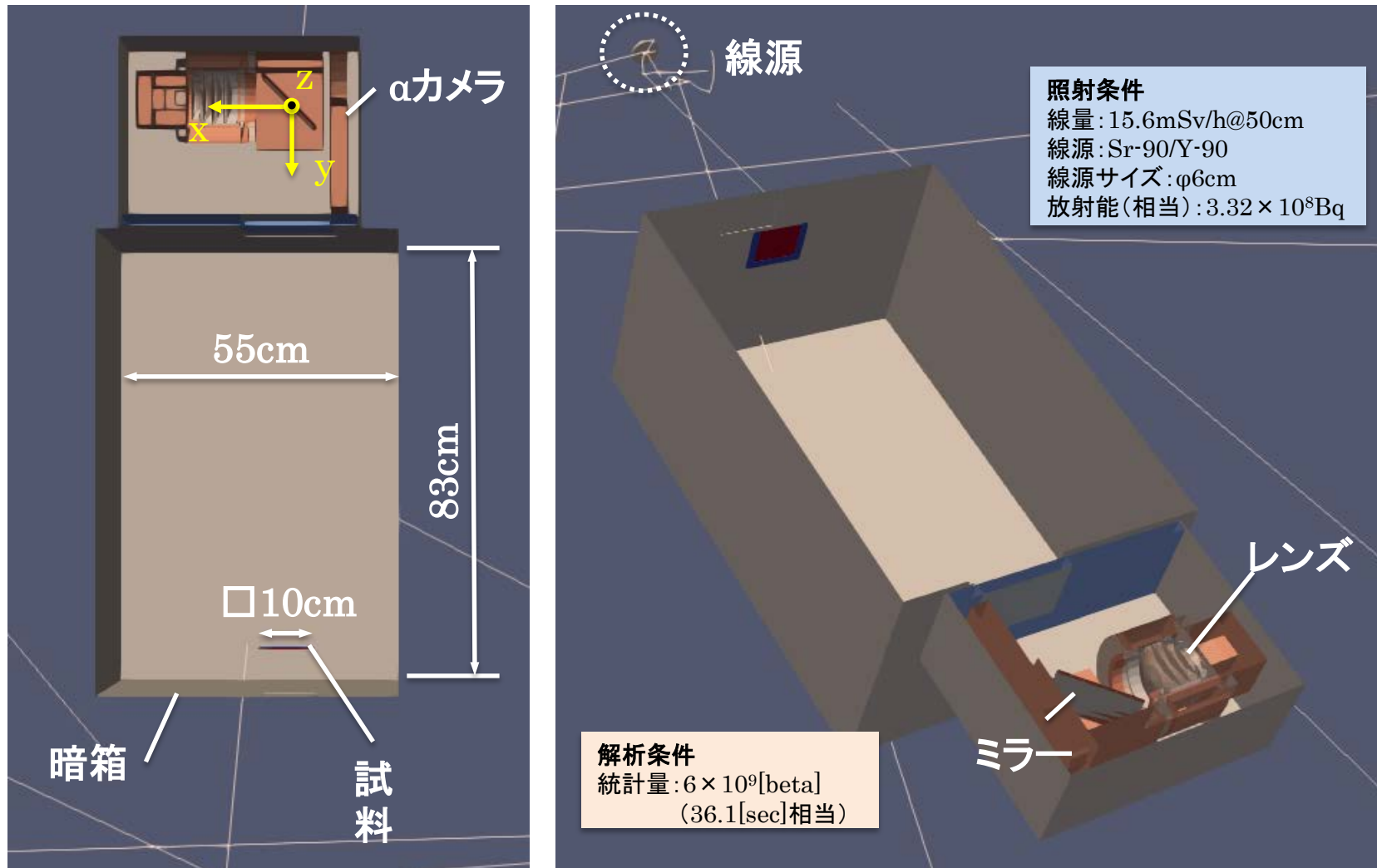
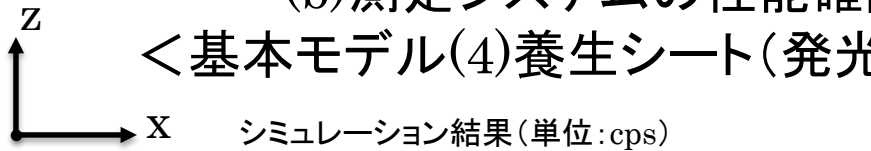


図1 養生シート発光計測試験模擬シミュレーションモデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<基本モデル(4)養生シート(発光体) photon/MeV導出(3/3)結果>



実測(単位: cps)

1.2	2.4	2.7	3.0	2.6	2.7	2.2	1.1
1.8	3.8	4.6	5.2	5.0	4.1	3.3	1.6
2.5	4.9	7.1	8.6	8.1	5.8	4.1	2.1
2.7	5.8	8.6	20.2	17.9	7.1	4.2	2.2
2.5	5.7	8.5	19.3	17.4	7.2	4.2	2.1
2.1	4.8	6.4	7.8	7.6	5.8	3.9	2.1
1.8	3.4	4.2	4.4	4.4	3.9	3.0	1.7
1.2	2.1	2.7	2.8	2.8	2.6	2.0	1.1

図1 シミュレーション結果(実測と比較)

シミュレーションが実測に対して倍半分の精度であることを確認

シミュレーションの妥当性補足確認

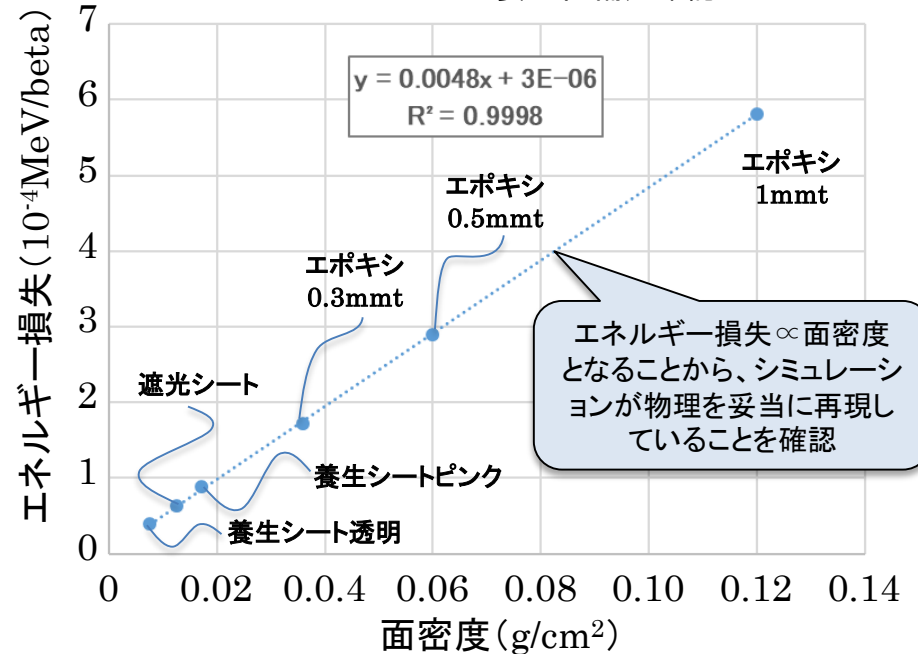


図2 16線当たりのエネルギー損失

シミュレーションによる算出値

- 発生した全光子数: 0.2215 photon/beta
- 養生シート要素に落とすエネルギー: 8.86×10^{-5} MeV/beta

算出値: 2500photon/MeV

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(4)養生シート(発光体) シミュレーションモデル＞

算出したphoton/MeVを設定して養生シートをモデル化

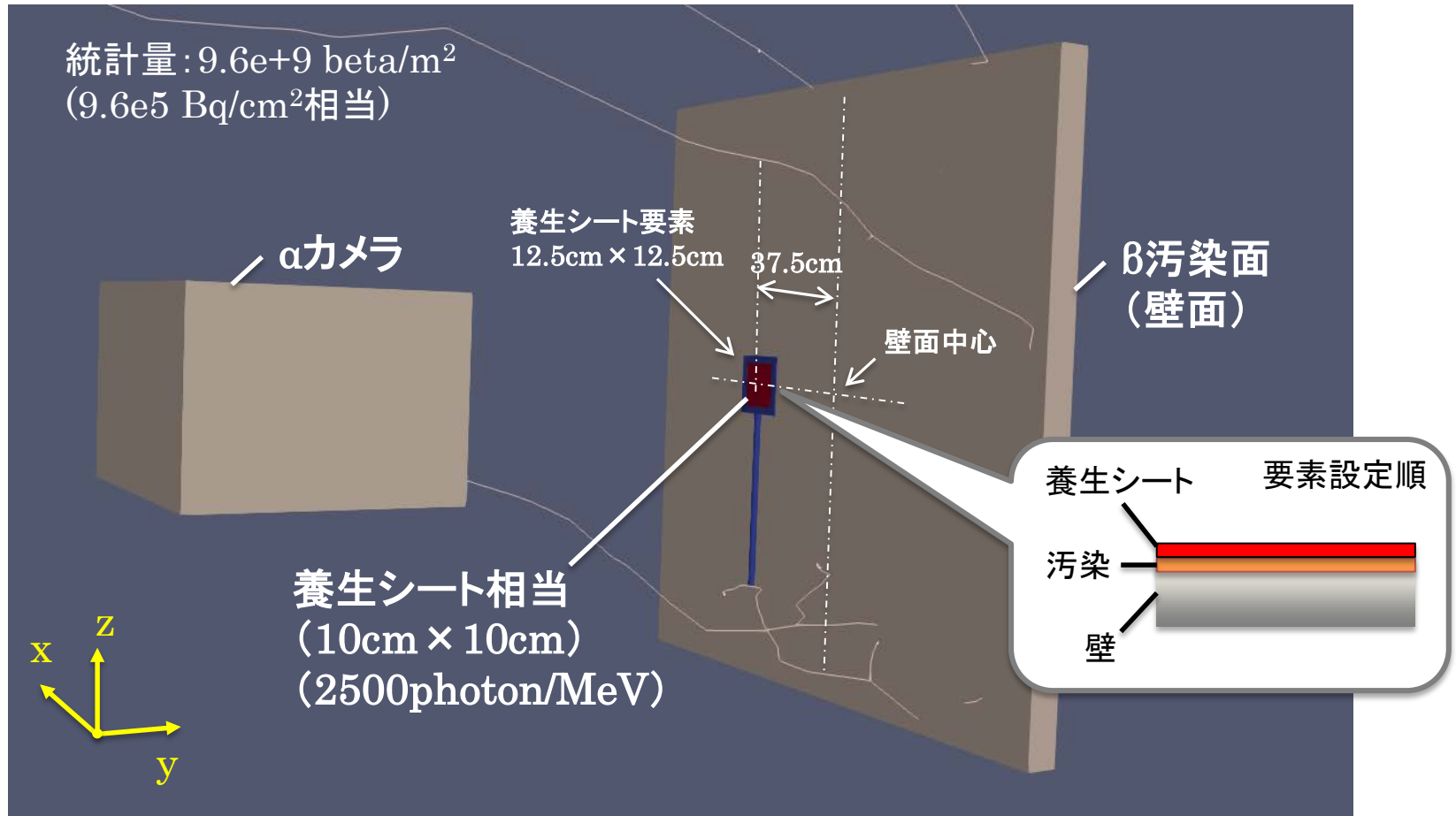
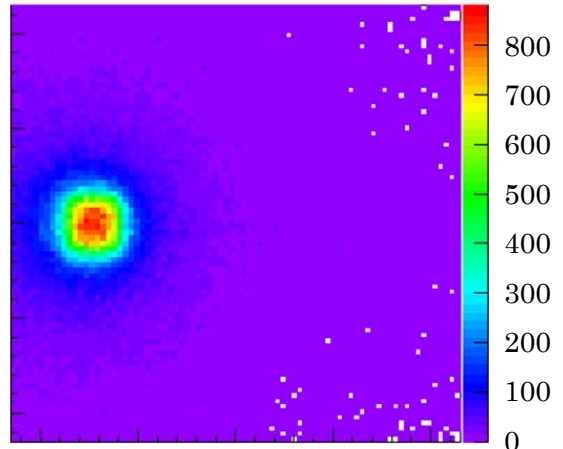


図1 養生シート(発光体)β汚染シミュレーションモデル
現場に残置されている養生シートの様子のうち、最も厳しいノイズ源となるスポット要素を設定

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(4)養生シート(発光体) シミュレーション結果>

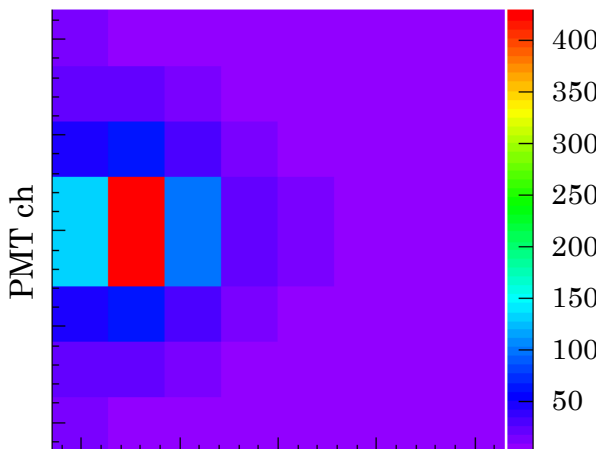
αカメラからみた光子発生の様子



開口(□17cm)からの視野

[photon]

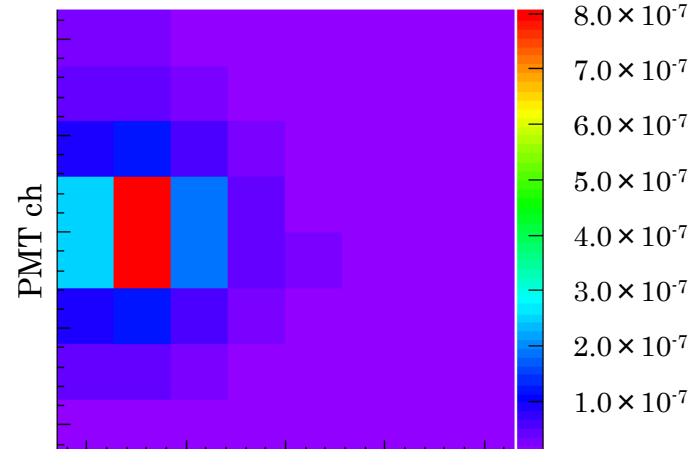
光学系への到達光子数



PMT ch

[arrival photon]

18線あたりの検出光子数



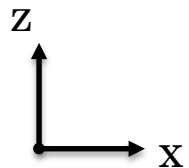
PMT ch

[detected photon/beta]

図1 壁分布β汚染シミュレーション結果

cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る



1.20E-03	1.64E-03	1.72E-03	1.72E-03	1.66E-03	1.46E-03	1.25E-03	6.34E-04
2.13E-03	2.84E-03	2.85E-03	2.66E-03	2.56E-03	2.39E-03	2.14E-03	1.04E-03
2.90E-03	3.81E-03	3.25E-03	2.94E-03	2.72E-03	2.51E-03	2.37E-03	1.15E-03
4.71E-03	1.10E-02	4.59E-03	3.18E-03	2.83E-03	2.60E-03	2.34E-03	1.28E-03
4.63E-03	1.11E-02	4.65E-03	3.17E-03	2.87E-03	2.62E-03	2.37E-03	1.30E-03
2.90E-03	3.92E-03	3.35E-03	2.94E-03	2.72E-03	2.52E-03	2.28E-03	1.16E-03
2.10E-03	2.83E-03	2.90E-03	2.66E-03	2.54E-03	2.33E-03	2.15E-03	1.02E-03
1.13E-03	1.66E-03	1.70E-03	1.77E-03	1.65E-03	1.46E-03	1.25E-03	6.38E-04

1.1E-2

6.3E-4

cps/(Bq/cm²)

図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(5)塗料(反射体_床) シミュレーションモデル＞

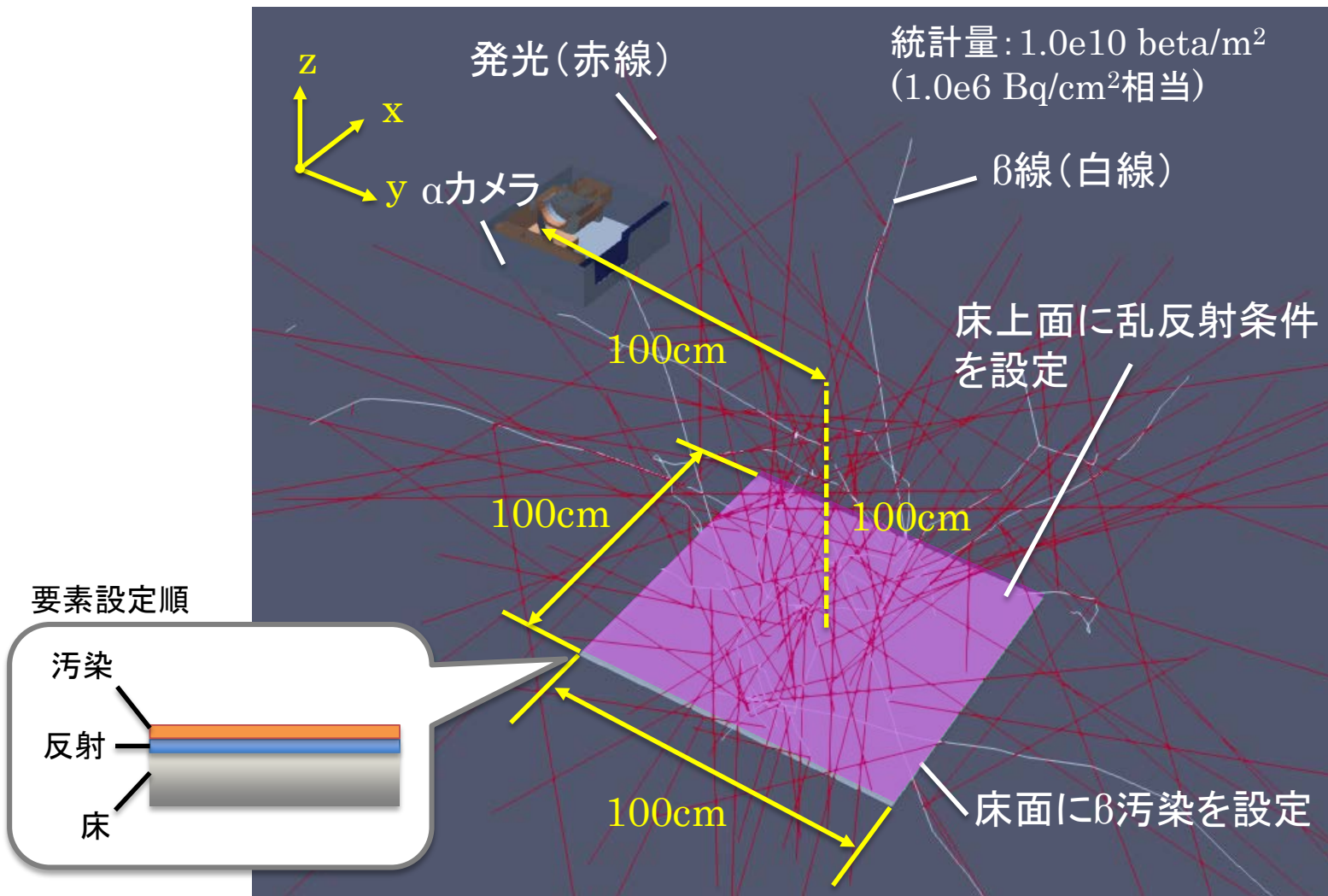
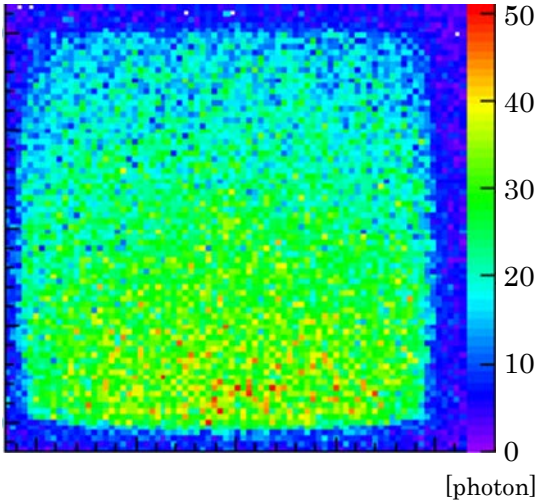


図1 塗料(床設定)シミュレーションモデル

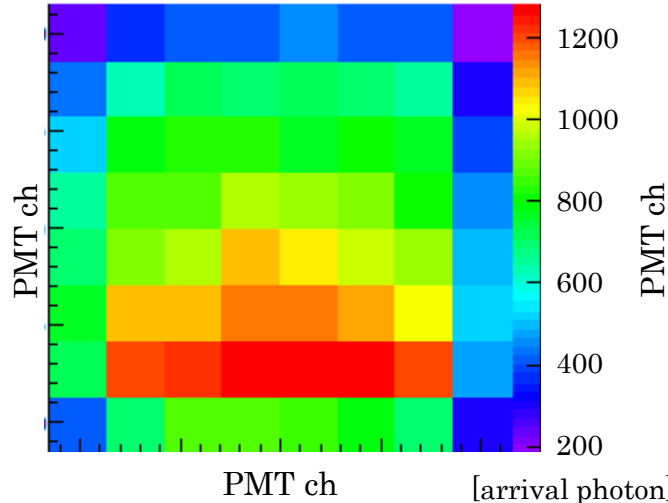
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(5)塗料(反射体_床) シミュレーション結果>

αカメラからみた光子発生の様子



光学系への到達光子数



18線あたりの検出光子数

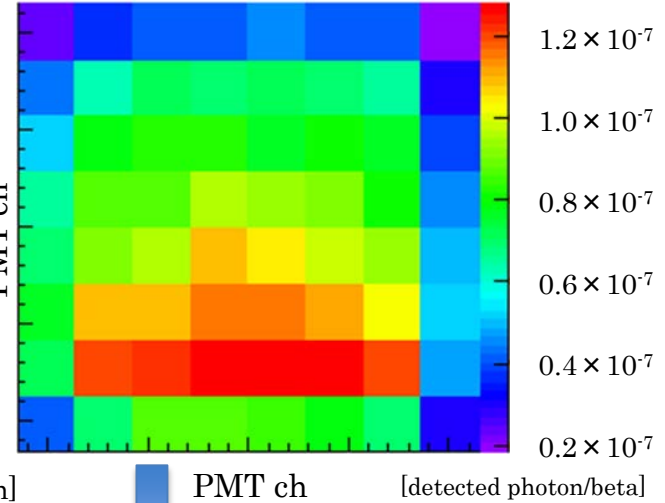
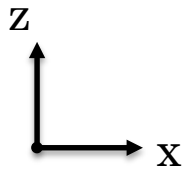


図1 塗料(床設定)シミュレーション結果
 cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る



2.42E-04	3.83E-04	4.05E-04	4.23E-04	4.55E-04	4.17E-04	4.05E-04	1.87E-04
4.34E-04	6.26E-04	7.10E-04	7.05E-04	7.32E-04	6.94E-04	6.62E-04	3.05E-04
5.12E-04	7.77E-04	8.26E-04	8.24E-04	7.69E-04	8.07E-04	7.72E-04	4.00E-04
6.62E-04	8.77E-04	8.75E-04	9.66E-04	9.35E-04	9.21E-04	8.17E-04	4.57E-04
6.97E-04	9.21E-04	9.70E-04	1.09E-03	1.04E-03	9.81E-04	9.41E-04	4.92E-04
7.57E-04	1.09E-03	1.08E-03	1.16E-03	1.16E-03	1.11E-03	1.03E-03	5.29E-04
7.13E-04	1.19E-03	1.22E-03	1.28E-03	1.26E-03	1.28E-03	1.21E-03	4.86E-04
4.11E-04	7.00E-04	8.62E-04	8.68E-04	8.60E-04	7.93E-04	6.88E-04	3.15E-04

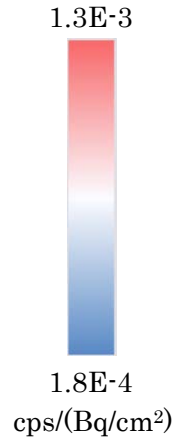


図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(5)塗料(反射体_壁) シミュレーションモデル＞

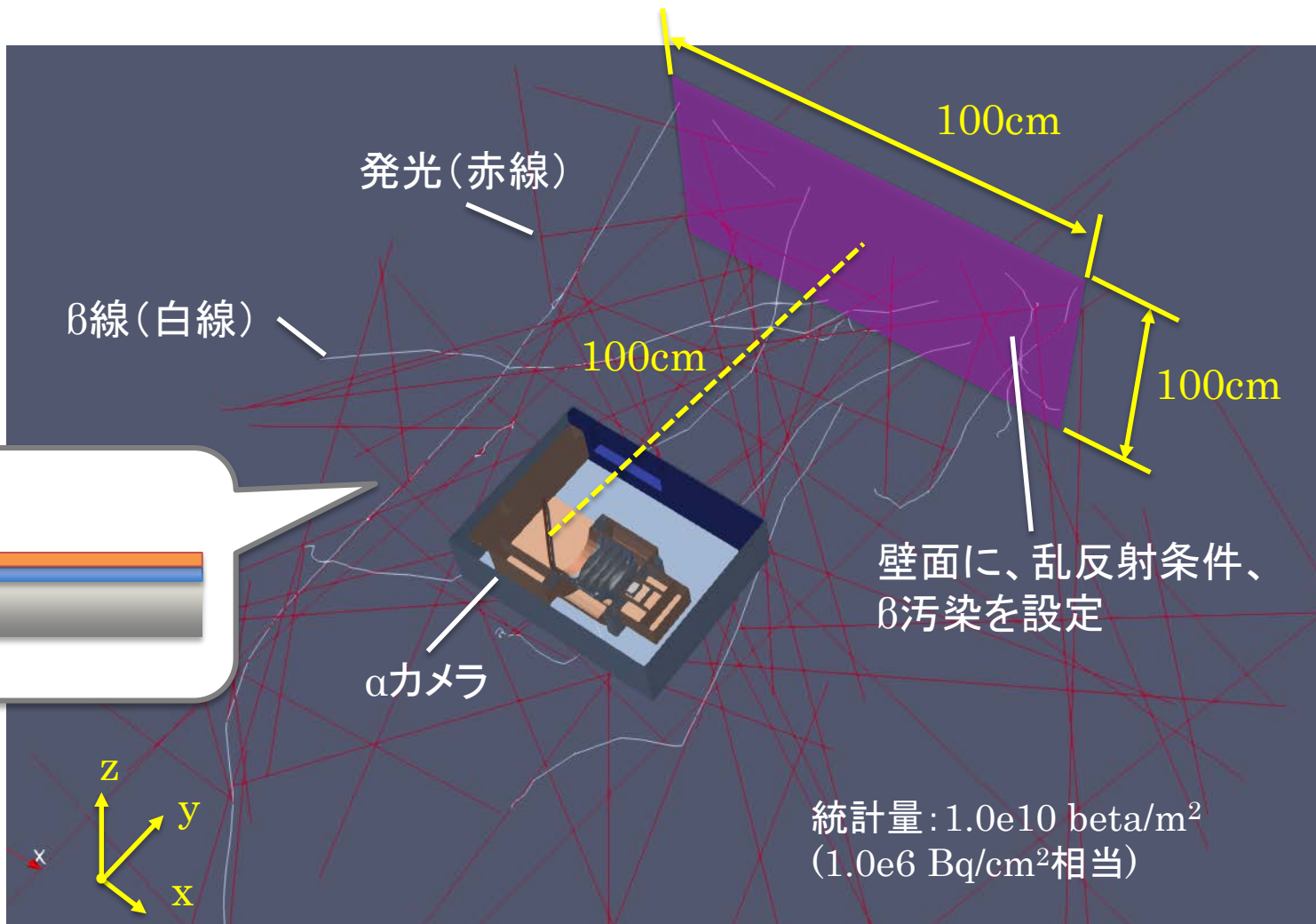
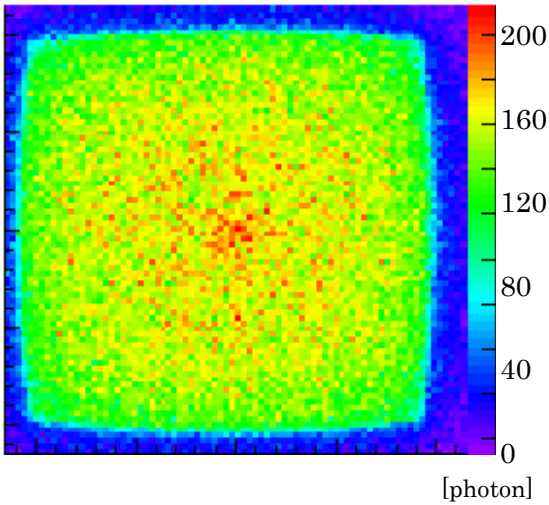


図1 塗料(壁設定)シミュレーションモデル

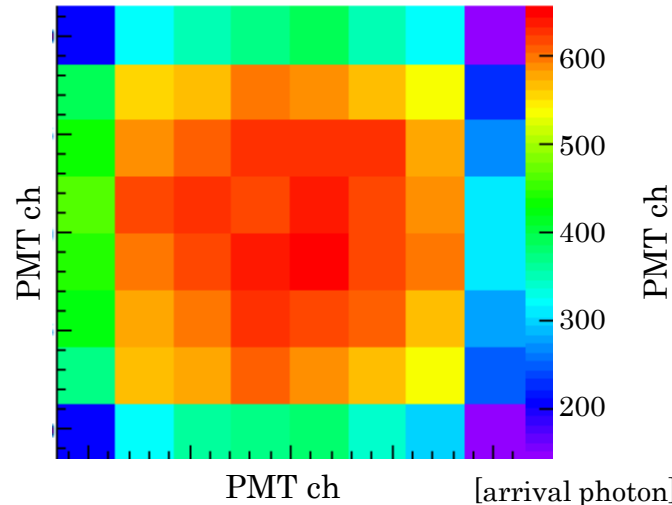
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(5)塗料(反射体_壁) シミュレーション結果>

αカメラからみた光子発生の様子



光学系への到達光子数



16線あたりの検出光子数

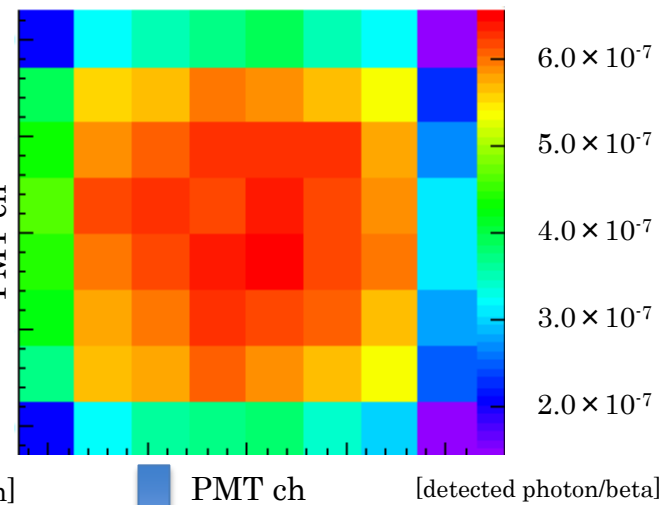
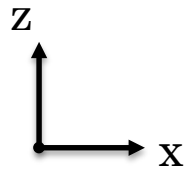


図1 塗料(壁設定)シミュレーション結果
 cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る



2.09E-03	3.23E-03	3.55E-03	3.70E-03	3.90E-03	3.55E-03	3.19E-03	1.44E-03
3.92E-03	5.52E-03	5.73E-03	5.96E-03	5.86E-03	5.65E-03	5.39E-03	2.34E-03
4.31E-03	5.92E-03	6.10E-03	6.29E-03	6.25E-03	6.24E-03	5.82E-03	2.74E-03
4.62E-03	6.16E-03	6.26E-03	6.22E-03	6.41E-03	6.14E-03	5.94E-03	3.06E-03
4.47E-03	6.02E-03	6.14E-03	6.36E-03	6.56E-03	6.23E-03	5.95E-03	3.09E-03
4.23E-03	5.74E-03	5.97E-03	6.24E-03	6.18E-03	6.07E-03	5.71E-03	2.82E-03
3.73E-03	5.67E-03	5.81E-03	6.09E-03	5.87E-03	5.62E-03	5.39E-03	2.51E-03
2.07E-03	3.21E-03	3.64E-03	3.77E-03	3.80E-03	3.43E-03	3.06E-03	1.47E-03

6.6E-3

1.4E-4

cps/(Bq/cm²)

図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜基本モデル(5)塗料(反射体_床壁) シミュレーションモデル＞

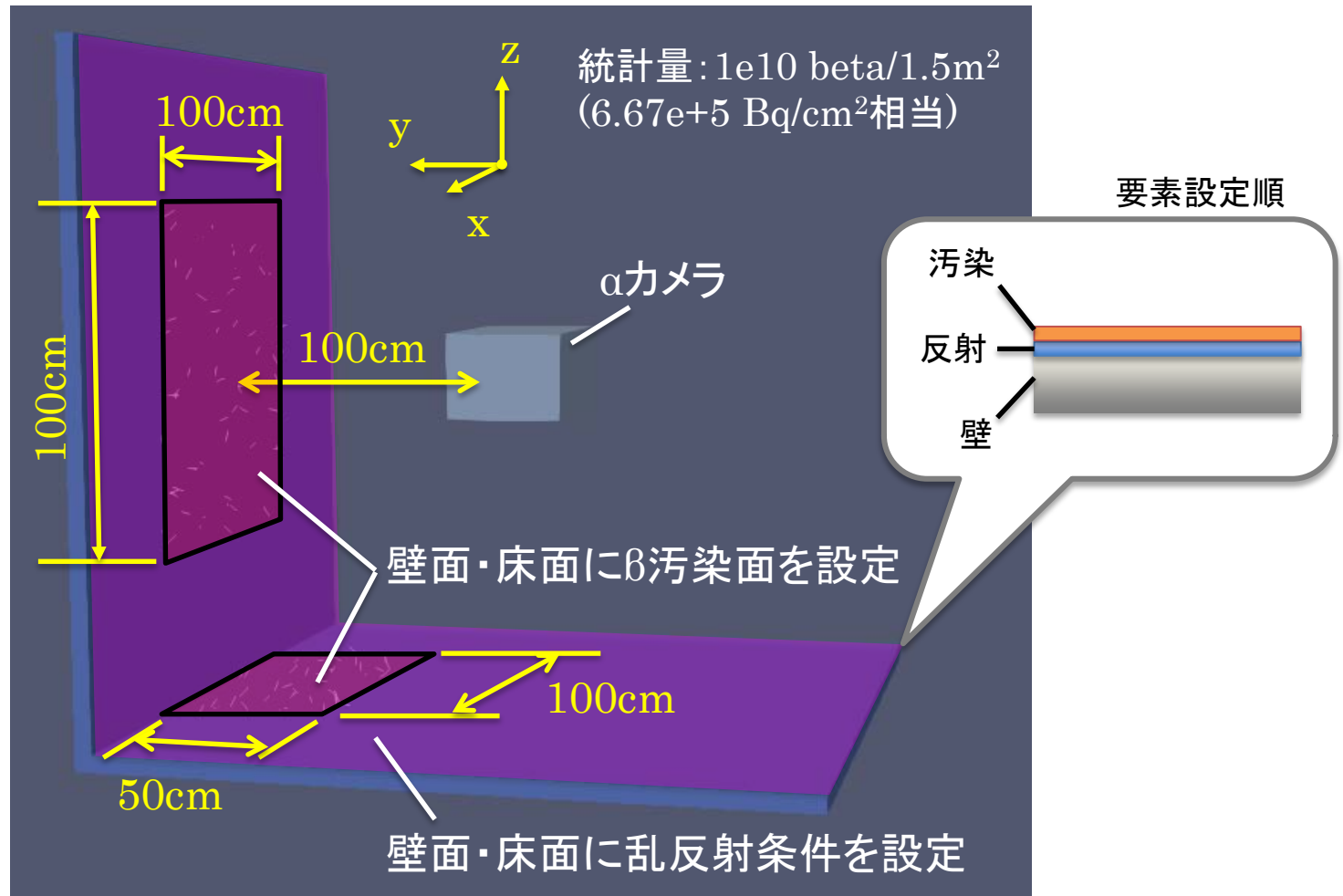
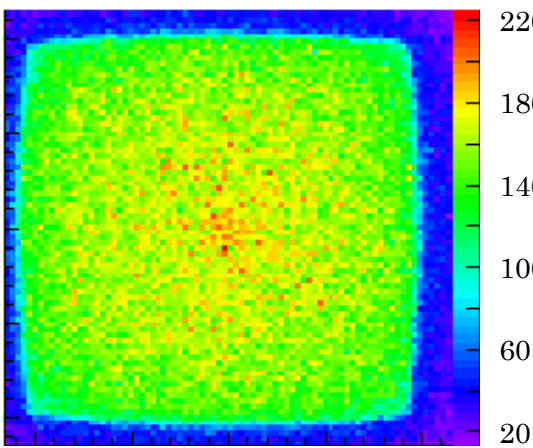


図1 塗料(床・壁設定)シミュレーションモデル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

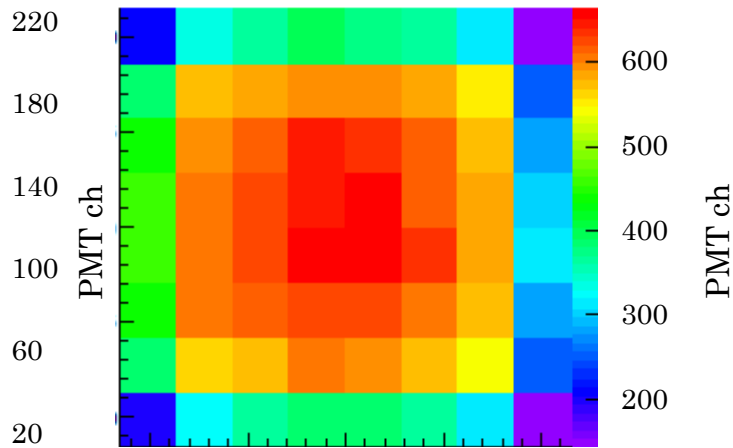
(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <基本モデル(5)塗料(反射体_床壁) シミュレーション結果>

αカメラからみた光子発生の様子



[photon]

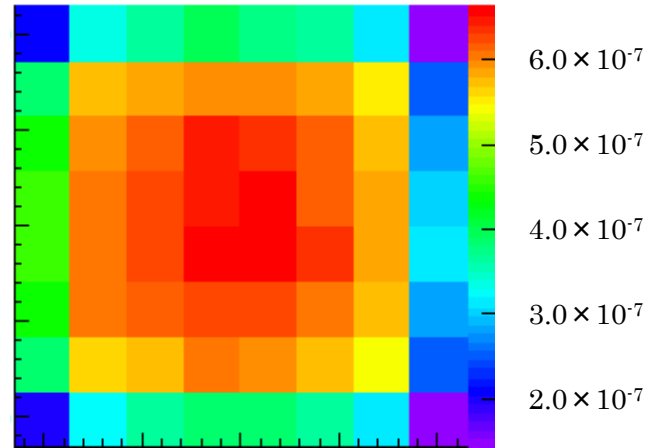
光学系への到達光子数



PMT ch

[arrival photon]

16線あたりの検出光子数



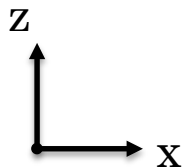
PMT ch

[detected photon/beta]

図1 塗料(床・壁設定)シミュレーション結果

cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

統計数に応じた汚染密度で割る



3.18E-03	5.04E-03	5.43E-03	5.97E-03	5.59E-03	5.50E-03	4.75E-03	2.25E-03
5.74E-03	8.59E-03	8.82E-03	9.02E-03	9.01E-03	8.72E-03	8.28E-03	3.80E-03
6.65E-03	8.89E-03	9.23E-03	9.69E-03	9.49E-03	9.32E-03	8.57E-03	4.26E-03
6.92E-03	9.11E-03	9.45E-03	9.72E-03	9.80E-03	9.23E-03	8.87E-03	4.50E-03
6.90E-03	9.07E-03	9.38E-03	9.79E-03	9.97E-03	9.56E-03	8.85E-03	4.67E-03
6.64E-03	9.05E-03	9.25E-03	9.45E-03	9.33E-03	9.11E-03	8.60E-03	4.24E-03
5.74E-03	8.39E-03	8.67E-03	9.04E-03	8.90E-03	8.72E-03	8.16E-03	3.77E-03
3.06E-03	4.93E-03	5.45E-03	5.76E-03	5.85E-03	5.49E-03	4.78E-03	2.16E-03

1.0E-2

2.1E-3

cps/(Bq/cm²)

図2 各chの計数率(photon/(Bq/cm²))

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜シミュレーション結果の使い方＞

「①床分布」のcps/(Bq/cm²)算出結果 (P.34)

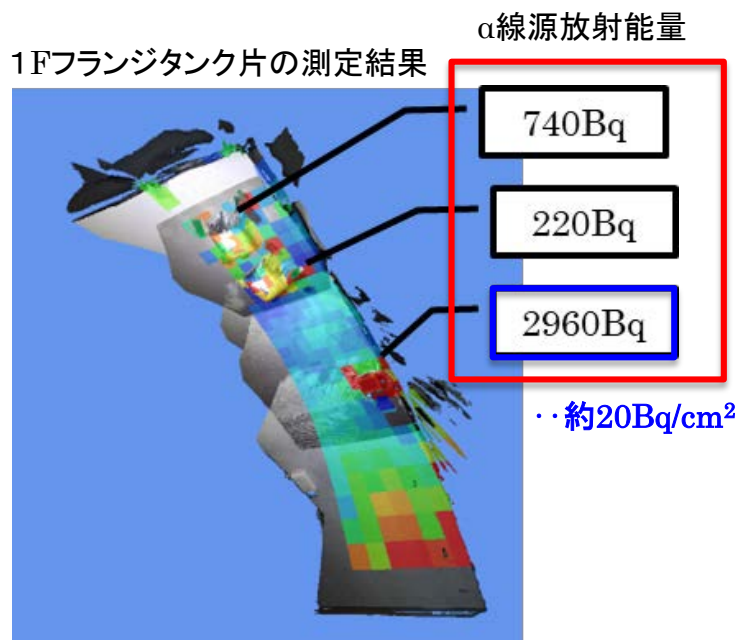
1.71E-04	2.54E-04	2.89E-04	3.04E-04	3.04E-04	2.87E-04	2.51E-04	1.30E-04
3.08E-04	4.53E-04	4.71E-04	4.89E-04	4.82E-04	4.72E-04	4.39E-04	2.15E-04
3.73E-04	5.07E-04	5.33E-04	5.55E-04	5.43E-04	5.41E-04	4.98E-04	2.60E-04
4.24E-04	5.74E-04	5.99E-04	6.30E-04	6.24E-04	6.01E-04	5.64E-04	2.91E-04
4.68E-04	6.41E-04	6.72E-04	6.92E-04	7.01E-04	6.74E-04	6.36E-04	3.30E-04
5.09E-04	7.01E-04	7.45E-04	7.67E-04	7.65E-04	7.45E-04	6.93E-04	3.45E-04
5.08E-04	7.67E-04	8.15E-04	8.33E-04	8.24E-04	8.21E-04	7.49E-04	3.35E-04
2.83E-04	4.54E-04	5.32E-04	5.64E-04	5.64E-04	5.29E-04	4.53E-04	1.97E-04

実際に検出下限図を用いるためには

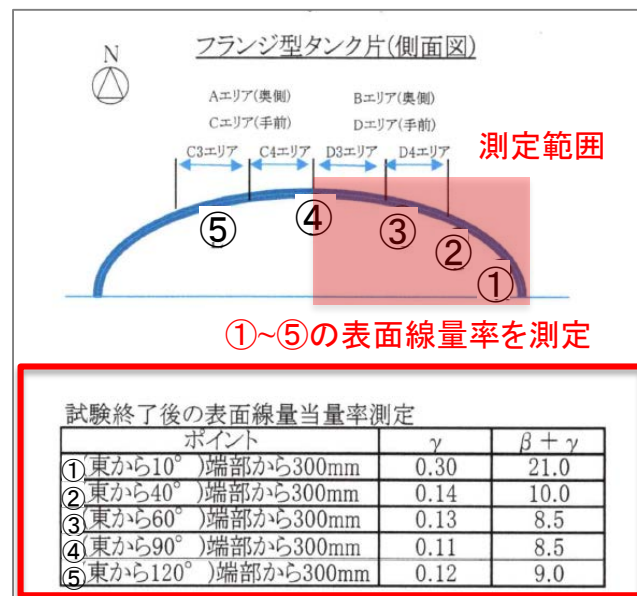
汚染密度から現場の管理指標である空間線量率 (mSv/h、μSv/h、nSv/h) に変換

現時点で検出下限図の検証を行うために

1Fフランジタンク片では表面線量率を実測したため、本補助事業における横軸は表面線量率とする



1Fモックアップ試験時のサーベイ結果



今後の方針: β汚染密度Bq/cm²をβ線表面線量率 (mSv/h、μSv/h) に変換し
検出下限図の横軸のデータとする。詳細は次ページ以降を参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜β汚染密度からβ線表面線量率への変換(1/3)＞

ICRUの組成(ICRU 4-element tissue)のファントムを用いて、一様なβ汚染(Sr-90)による空間線量を評価した。

- エネルギースペクトルはRADARのSr-90およびY-90のエネルギー分布を1:1で足し合わせた分布を仮定。
- ファントムの形状は、底面:直径30cm、高さ15cmの円柱。
- 表面から70μmでの3cm四方(9cm²)において、1電子あたりの吸収線量[Gy/electron]を計算。
- 1Sv=1Gyと換算して、70μm線量当量率を評価。
- 上記における汚染密度と線量当量率から変換係数を算出。

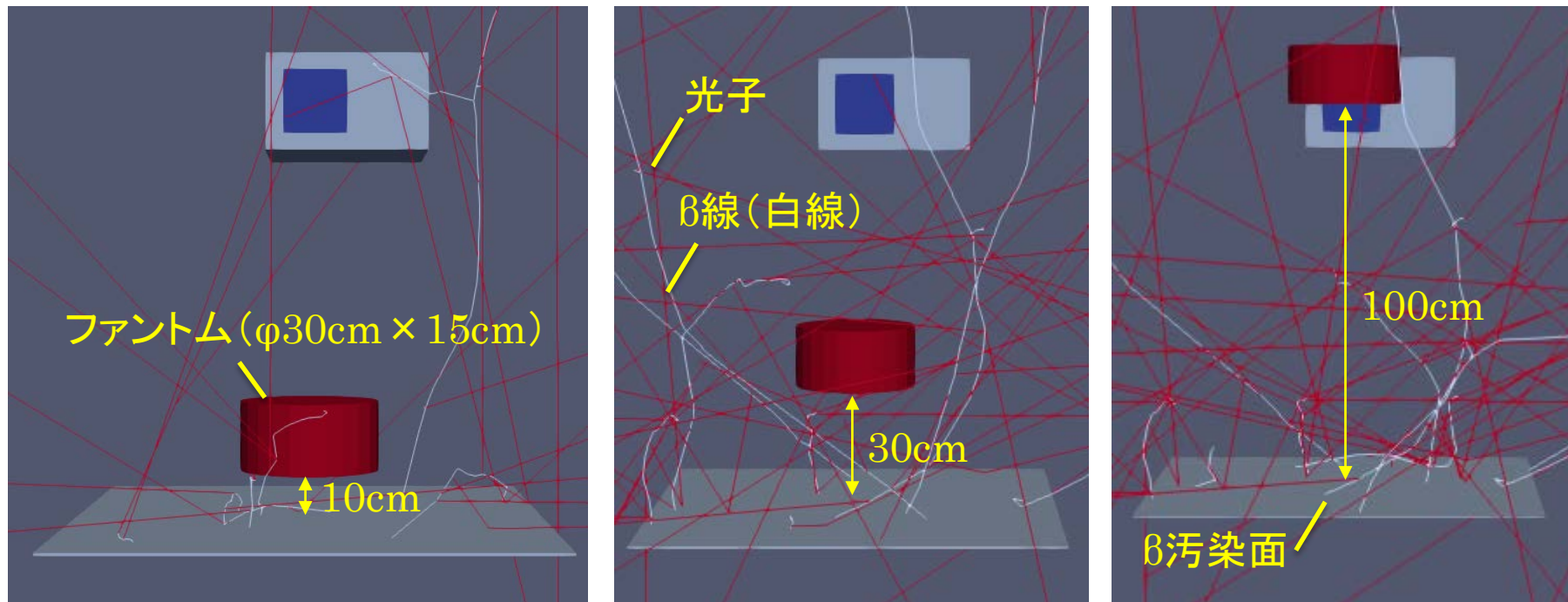
評価体系

β汚染面100cm x 100cmの一様線源に対して、面中心からの位置:5、10、20、30、50、70、100cmに模擬ファントムをモデル化

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜β汚染密度からβ線線量率への変換(2/3)＞

ファントムはβ汚染面の中心軸上を移動



統計量: $1e10$ [beta]

図1 線量率評価モデル(10cm、30cm、100cmの例)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜β汚染密度からβ線線量率への変換(3/3)＞

β汚染密度(Bq/cm²)と70μm線量当量率(mSv/h)の変換係数評価結果

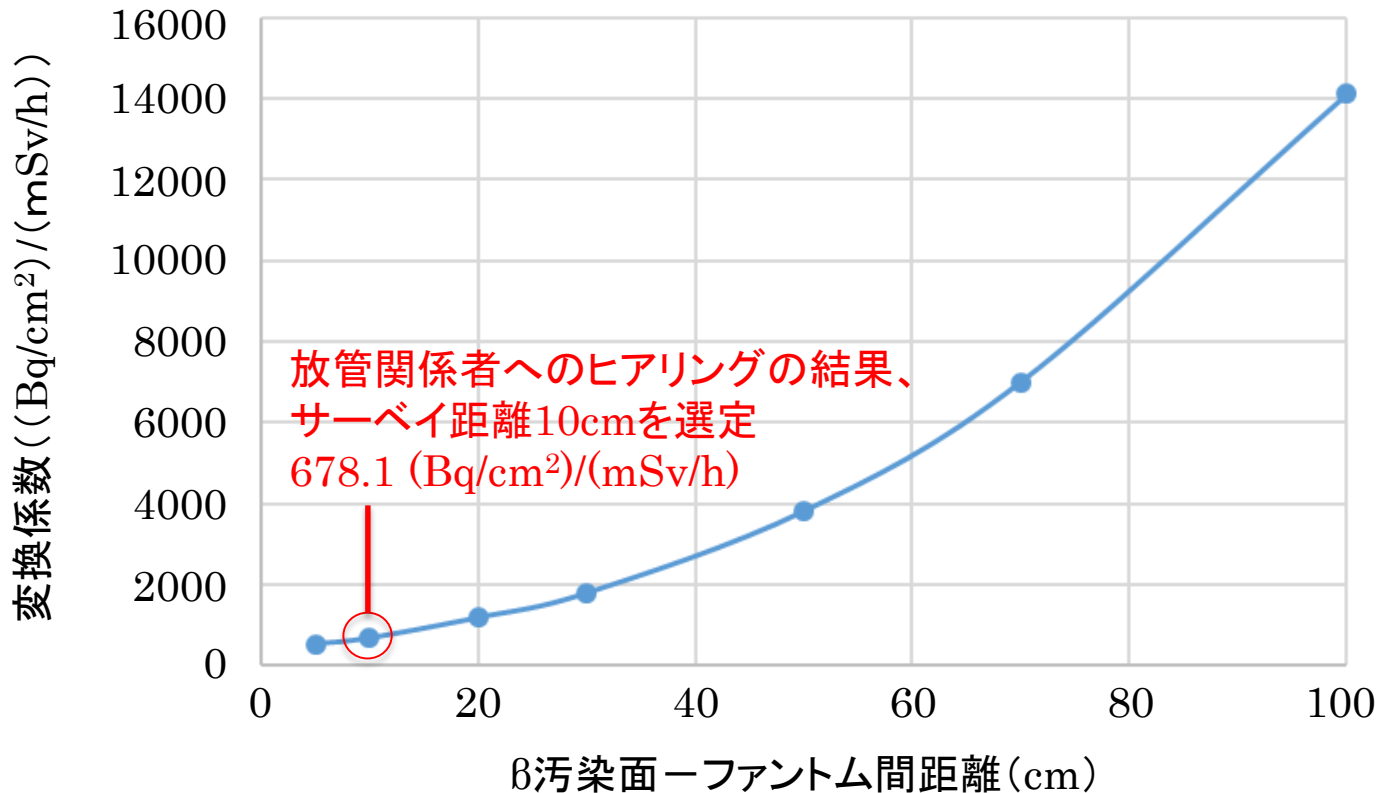


図1 線量率変換係数評価結果

検討結果: 各シミュレーションにおける汚染密度を表面線量率へ変換

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限αPh1導出方法(1/2) SN比=1の求め方>

α汚染による信号(S)がβ汚染によるノイズ(N)を上回れば計測可能

SN比

信号(S_α)

cps/(Bq/cm²)

4.07E-05	7.13E-05	9.16E-05	8.14E-05	9.67E-05	1.27E-04	6.11E-05	5.60E-05
6.62E-05	1.37E-04	1.73E-04	2.34E-04	2.24E-04	1.37E-04	1.07E-04	8.14E-05
8.14E-05	1.98E-04	6.31E-04	1.42E-03	1.34E-03	4.17E-04	1.68E-04	8.14E-05
9.16E-05	2.34E-04	1.53E-03	6.29E-03	5.42E-03	1.20E-03	1.78E-04	1.43E-04
1.12E-04	2.44E-04	1.50E-03	6.27E-03	5.23E-03	1.35E-03	2.19E-04	8.65E-05
4.07E-05	7.63E-05	7.13E-05	9.67E-05	1.02E-04	8.14E-05	4.58E-05	8.14E-05

最大計数率を示したchの計数率を利用

(P.32での算出結果)

× (汚染密度)

信号(N_床)

cps/(Bq/cm²)

1.71E-04	2.54E-04	2.89E-04	3.04E-04	3.04E-04	2.87E-04	2.51E-04	1.30E-04
3.08E-04	4.53E-04	4.71E-04	4.89E-04	4.82E-04	4.72E-04	4.39E-04	2.15E-04
3.73E-04	5.07E-04	5.33E-04	5.55E-04	5.43E-04	5.41E-04	4.98E-04	2.60E-04
4.24E-04	5.74E-04	5.99E-04	6.30E-04	6.24E-04	6.01E-04	5.64E-04	2.91E-04
4.68E-04	6.41E-04	6.72E-04	6.92E-04	7.01E-04	6.74E-04	6.36E-04	3.30E-04
5.09E-04	7.01E-04	7.45E-04	7.67E-04	7.65E-04	7.45E-04	6.93E-04	3.45E-04
5.08E-04	7.67E-04	8.15E-04	8.33E-04	8.24E-04	8.21E-04	7.49E-04	3.35E-04
2.83E-04	4.54E-04	5.32E-04	5.64E-04	5.64E-04	5.29E-04	4.53E-04	1.97E-04

(P.34での算出結果を例)

変換

70μm表面線量当量率(距離:10cm)への変換係数を使用

cps/(mSv/h)

1.16E-01	1.72E-01	1.96E-01	2.06E-01	2.06E-01	1.95E-01	1.70E-01	8.79E-02
2.09E-01	3.07E-01	3.20E-01	3.32E-01	3.27E-01	3.20E-01	2.97E-01	1.46E-01
2.53E-01	3.44E-01	3.61E-01	3.76E-01	3.68E-01	3.67E-01	3.37E-01	1.76E-01
3.45E-01	4.75E-01	5.05E-01	5.20E-01	5.19E-01	5.05E-01	4.70E-01	2.34E-01
3.44E-01	5.20E-01	5.53E-01	5.65E-01	5.59E-01	5.57E-01	5.08E-01	2.27E-01
1.92E-01	3.08E-01	3.61E-01	3.82E-01	3.82E-01	3.59E-01	3.07E-01	1.33E-01

最大計数率を示したchの計数率を利用

× (線量率)

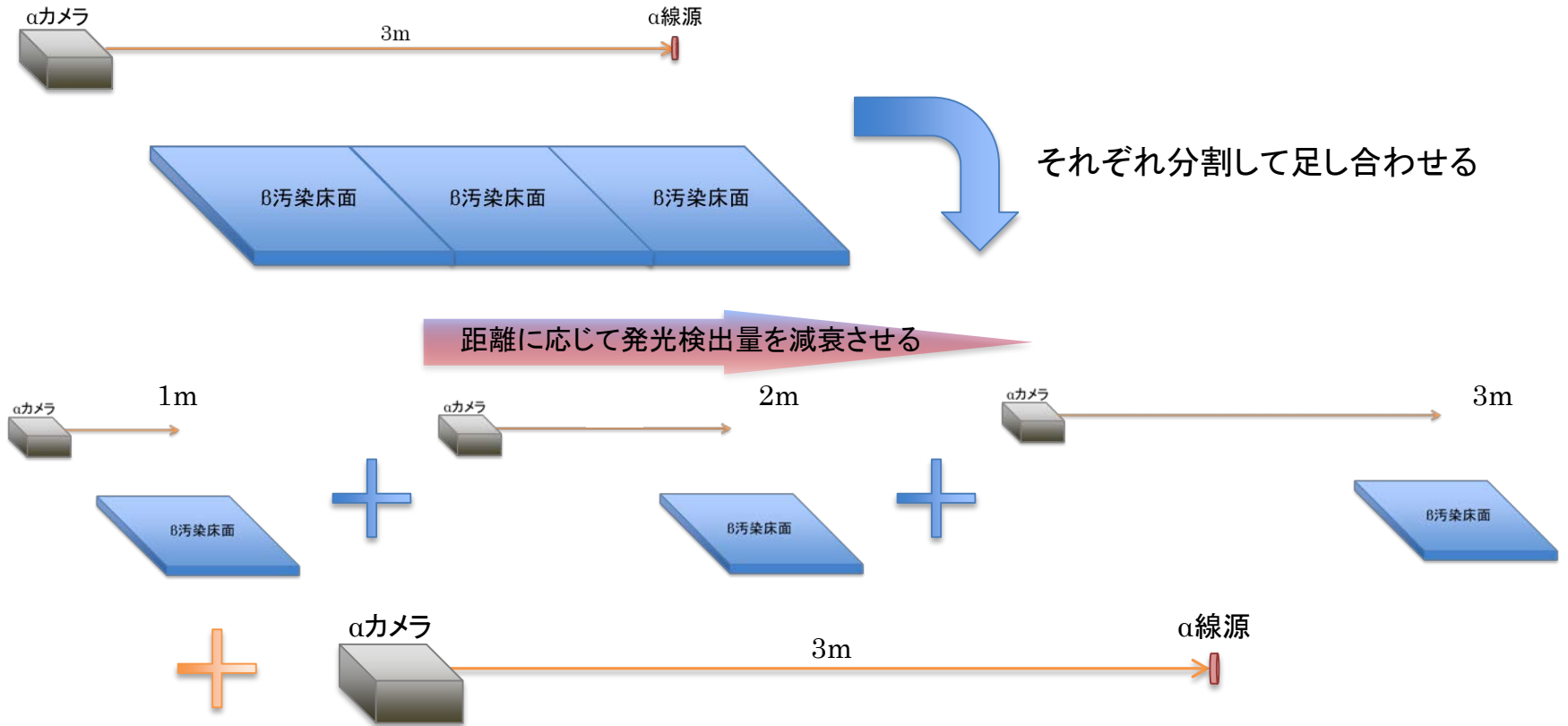
- ・SとNが等しくなる汚染密度(検出下限)、線量率(境界線量率)の関係を求める
- ・上記はβ汚染_床分布(1m)、α汚染(1m)の例示であり、各種組み合わせに応じてシグナルとノイズを算出する。次ページ以降に具体例を説明する。

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜検出下限図Ph1導出方法(2/2) 基本モデルの組み合わせ＞

「1m先のβ汚染床、1m先のα線源」から「3m先までのβ汚染床、3m先のα線源」の検出下限図を作る場合の例

上記想定ケースを示す概念図



組み合わせ方針：距離1mの発光検出量を基本として距離に応じた減衰を考慮し足し合わせる

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(1/6) 床分布 その1>

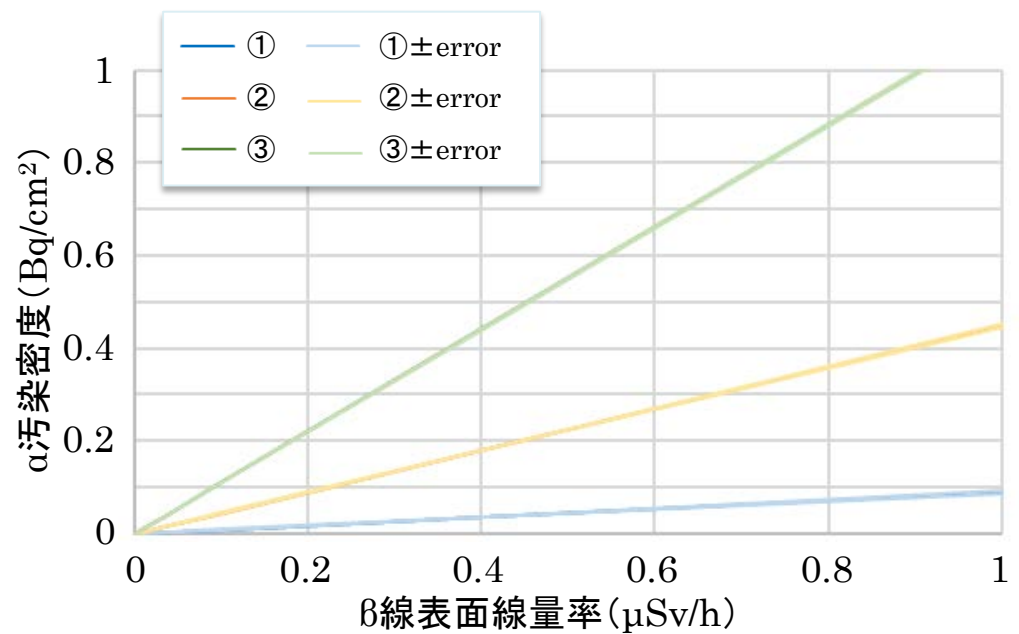
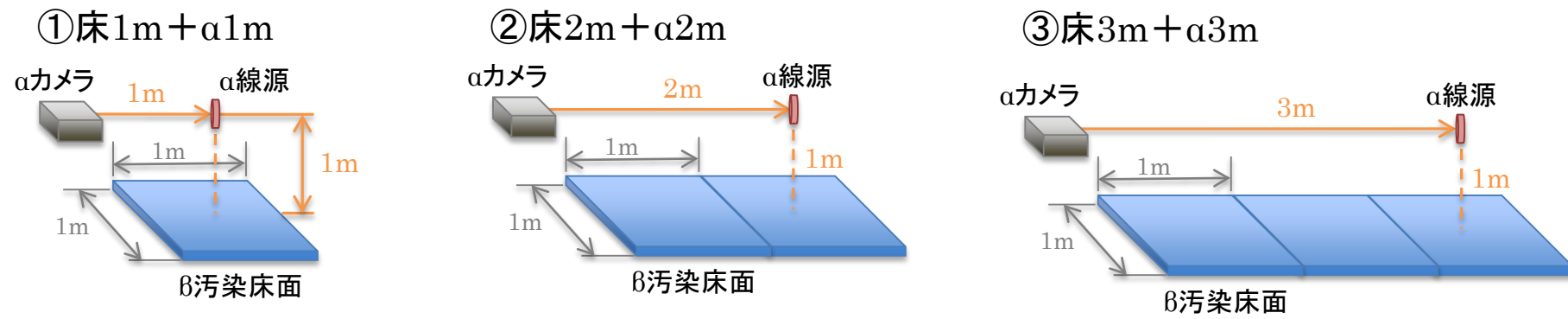


表1 代表的な汚染密度での境界線量率

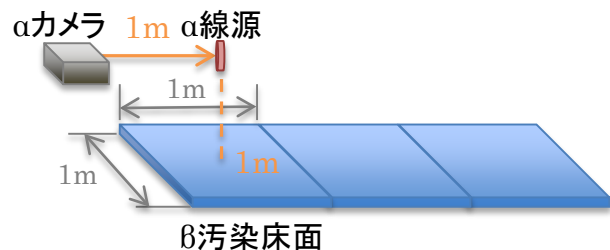
No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	0.4	4.45E-03	1.31E-04
	4	4.45E-02	1.31E-03
	20	2.23E-01	6.56E-03
②	0.4	8.90E-04	6.56E-06
	4	8.90E-03	6.56E-05
	20	4.45E-02	3.28E-04
③	0.4	3.63E-04	1.19E-06
	4	3.63E-03	1.19E-05
	20	1.82E-02	5.95E-05

図1 床分布検出下限図(Phase1)①~③

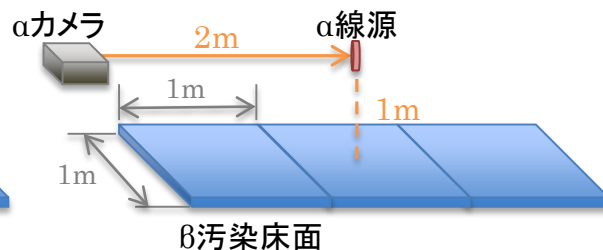
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(2/6) 床分布 その2>

④床3m+α1m



⑤床3m+α2m



⑥床3m+α3m

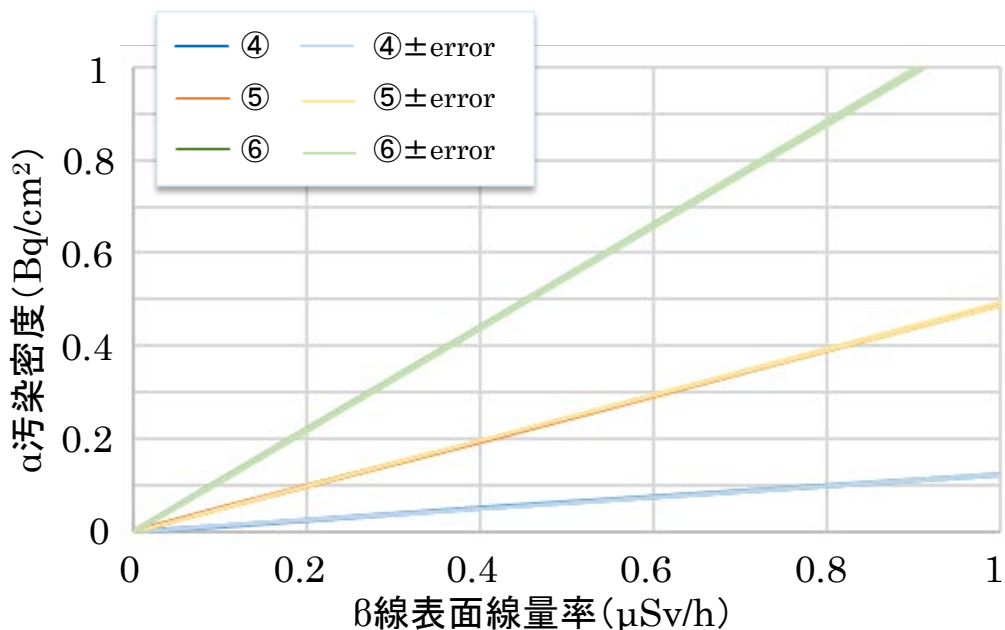
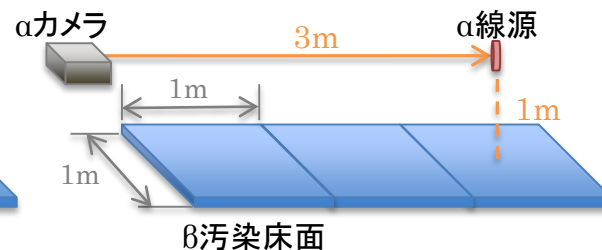


図1 床分布検出下限図(Phase1)④~⑥

表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
④	0.4	3.27E-03	9.31E-05
	4	3.27E-02	9.31E-04
	20	1.64E-01	4.66E-03
⑤	0.4	8.18E-04	5.86E-06
	4	8.18E-03	5.86E-05
	20	4.09E-02	2.93E-04
⑥	0.4	3.63E-04	1.19E-06
	4	3.63E-03	1.19E-05
	20	1.82E-02	5.95E-05

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(3/6) 壁分布>

⑦壁1m+α1m

⑧壁2m+α1m

⑨壁3m+α1m

⑩壁3m+α2m

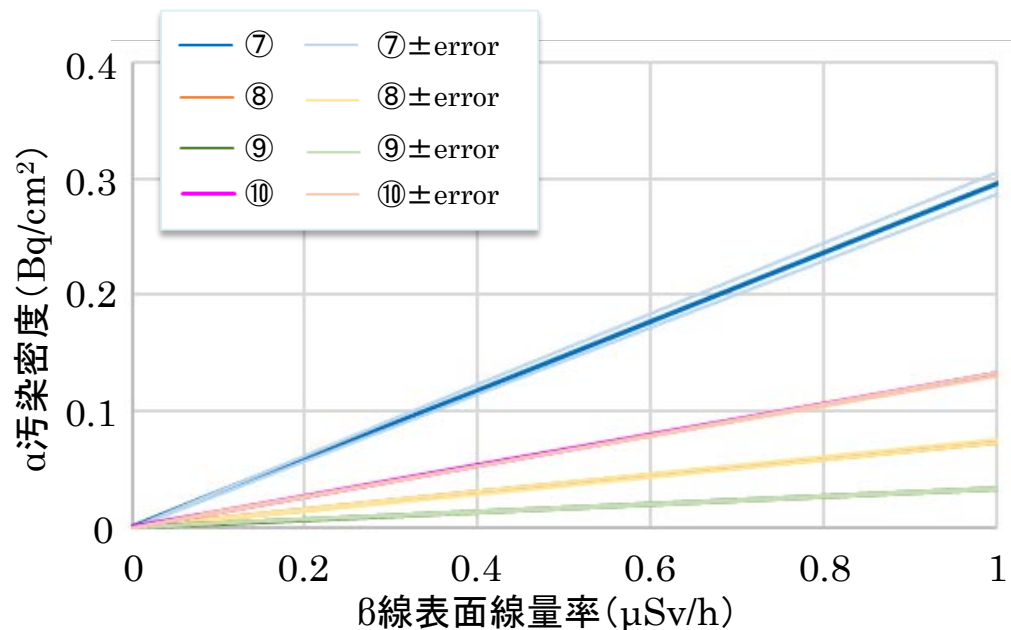
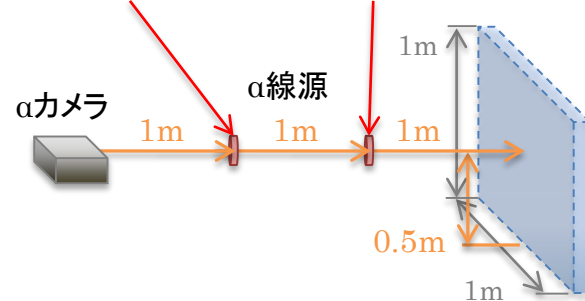
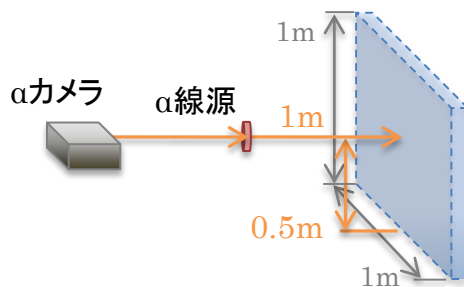
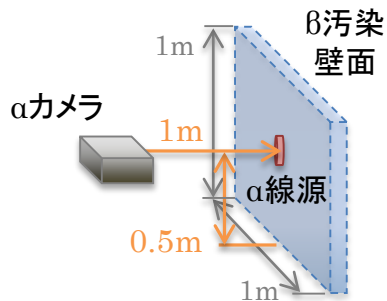


図1 壁分布検出下限図(Phase1)⑦~⑩

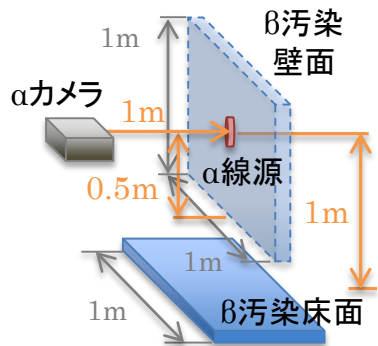
表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑦	0.4	1.35E-03	4.26E-05
	4	1.35E-02	4.26E-04
	20	6.75E-02	2.13E-03
⑧	0.4	5.40E-03	1.55E-04
	4	5.40E-02	1.55E-03
	20	2.70E-01	7.74E-03
⑨	0.4	1.22E-02	3.46E-04
	4	1.22E-01	3.46E-03
	20	6.08E-01	1.73E-02
⑩	0.4	3.04E-03	3.09E-05
	4	3.04E-02	3.09E-04
	20	1.52E-01	1.55E-03

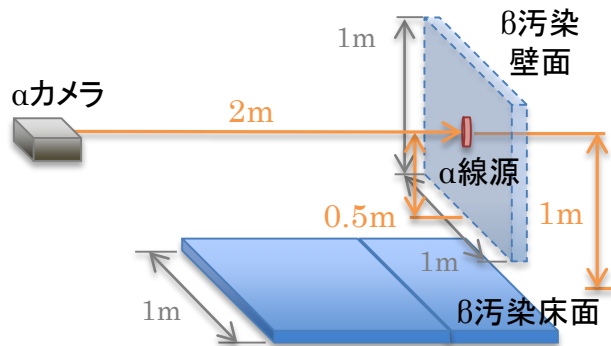
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(4/6) 床壁分布>

⑪床壁1m+α1m



⑫床壁2m+床1m+α1m



⑬床壁3m+床2m+床1m+α1m

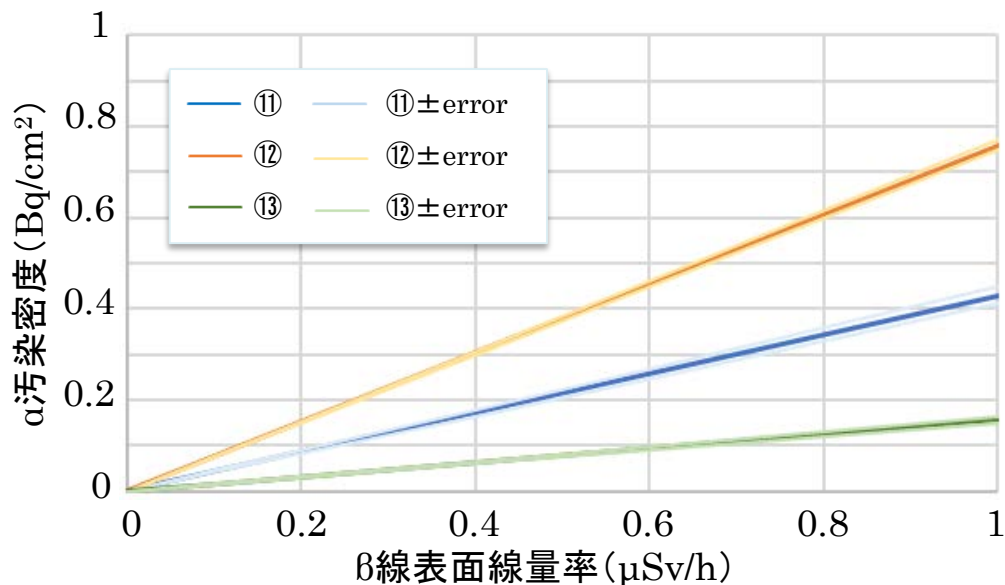
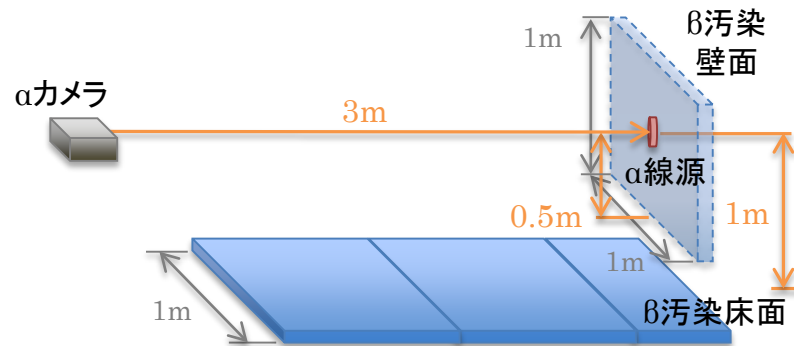


図1 床壁分布検出下限図(Phase2)⑪~⑬

表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑪	0.4	9.29E-04	9.46E-06
	4	9.29E-03	9.46E-05
	20	4.64E-02	4.73E-04
⑫	0.4	5.27E-04	2.35E-05
	4	5.27E-03	2.35E-04
	20	2.63E-02	1.18E-03
⑬	0.4	2.55E-03	3.58E-05
	4	2.55E-02	3.58E-04
	20	1.28E-01	1.79E-03

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(5/6) 養生シート>

⑭養生シートon壁1m+α1m

⑮壁1m+α1m(比較用)

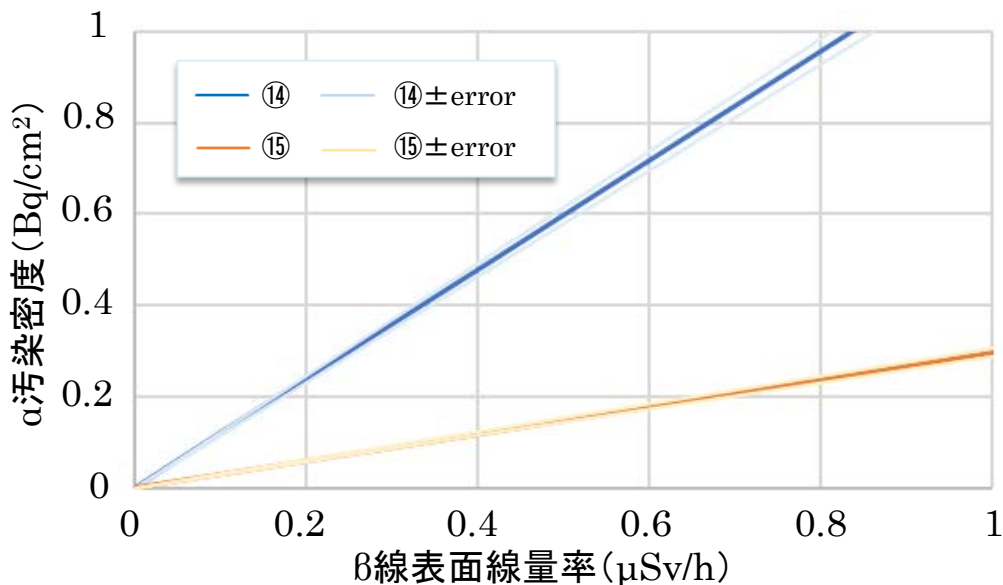
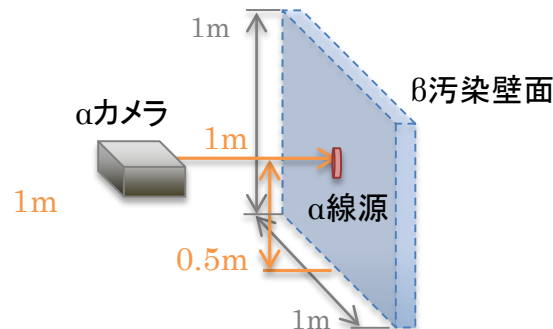
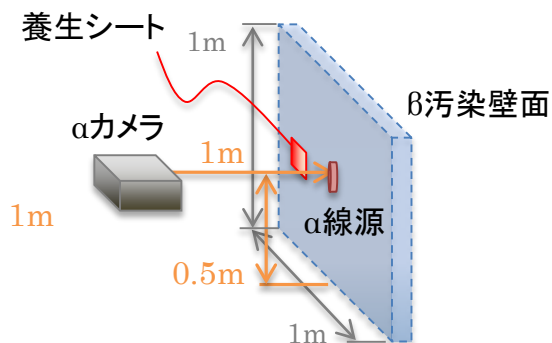


図1 養生シート検出下限図(Phase1)⑭、⑮

表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑭	0.4	3.34E-04	1.38E-05
	4	3.34E-03	1.38E-04
	20	1.67E-02	6.90E-04
⑮	0.4	1.35E-03	3.99E-05
	4	1.35E-02	3.99E-04
	20	6.75E-02	1.99E-03

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph1導出結果(6/6) 反射>

⑬床反射1m+α1m

⑭壁反射1m+α1m

⑮床壁反射1m+α1m

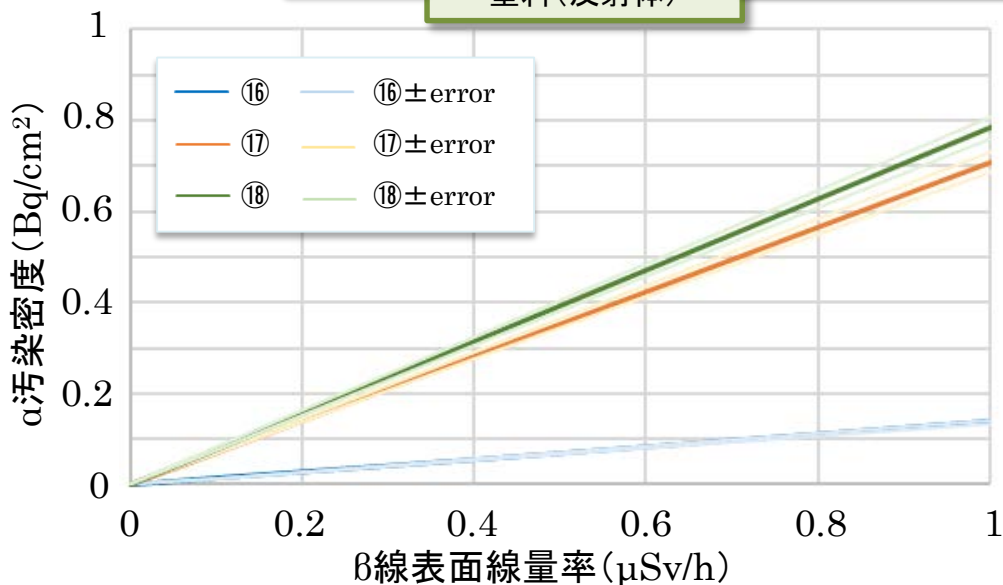
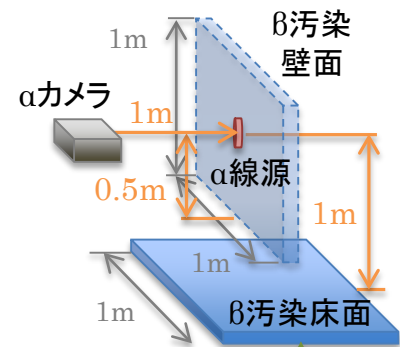
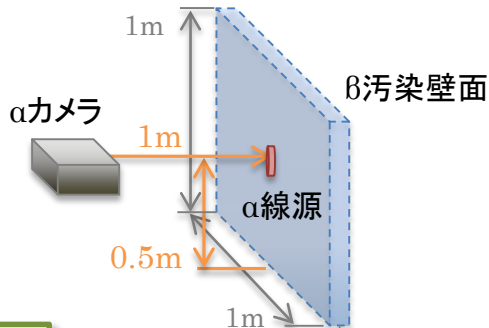
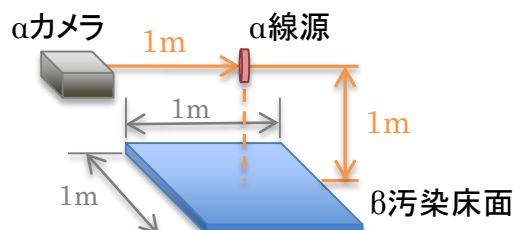


表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑬	0.4	2.90E-03	9.14E-05
	4	2.90E-02	9.14E-04
	20	1.45E-01	4.57E-03
⑭	0.4	5.65E-04	1.67E-05
	4	5.65E-03	1.67E-04
	20	2.83E-02	8.34E-04
⑮	0.4	5.11E-04	1.52E-05
	4	5.11E-03	1.52E-04
	20	2.56E-02	7.58E-04

図1 養生シート検出下限図(Phase1)⑬、⑭

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<検出下限図Ph1 境界線量率サマリ>

表1 0.4Bq/cm²に対する境界線量率(Ph1)

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h	No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	0.4	4.45E-03	1.31E-04	⑩	0.4	1.22E-02	1.24E-04
②		8.90E-04	6.56E-06	⑪		9.29E-04	9.46E-06
③		3.63E-04	1.19E-06	⑫		5.27E-04	2.35E-05
④		3.27E-03	9.31E-05	⑬		2.55E-03	3.58E-05
⑤		8.18E-04	5.86E-06	⑭		3.34E-04	1.38E-05
⑥		3.63E-04	1.19E-06	⑮		1.35E-03	3.99E-05
⑦		1.35E-03	4.26E-05	⑯		2.90E-03	9.14E-05
⑧		5.40E-03	1.55E-04	⑰		5.65E-04	1.67E-05
⑨		1.22E-02	3.46E-04	⑱		5.11E-04	1.52E-05

サブμSv/h～10μSv/h程度
に境界線量率が存在
(距離1mの体系ではサブ
μSv/h～μSv/hオーダー)

表1 20Bq/cm²に対する境界線量率(Ph1)

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h	No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	20	2.23E-01	6.56E-03	⑩	20	6.08E-01	6.19E-03
②		4.45E-02	3.28E-04	⑪		4.64E-02	4.73E-04
③		1.82E-02	5.95E-05	⑫		2.63E-02	3.70E-04
④		1.64E-01	4.66E-03	⑬		1.28E-01	5.27E-03
⑤		4.09E-02	2.93E-04	⑭		1.67E-02	4.94E-04
⑥		1.82E-02	5.95E-05	⑮		6.75E-02	2.13E-03
⑦		6.75E-02	2.13E-03	⑯		1.45E-01	4.27E-03
⑧		2.70E-01	7.74E-03	⑰		2.83E-02	8.39E-04
⑨		6.08E-01	1.73E-02	⑱		2.56E-02	7.58E-04

10μSv/h～サブmSv/h程度
に境界線量率が存在

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 <検出下限図Ph2 導出手順>

検出下限図Ph1のデータ(発光検出量の絶対値)をもとに差分処理を想定した検出下限図Ph2を作成

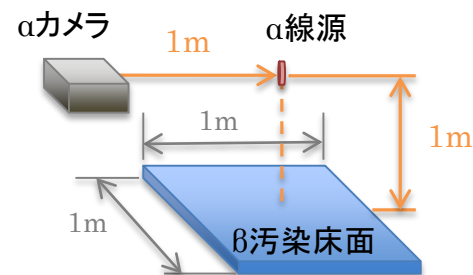
☆☆事例:α汚染密度20(Bq/cm²)、70μ表面線量当量率20(mSv/h_β)の場合☆☆

α線、β線による発光が重畳した計数率

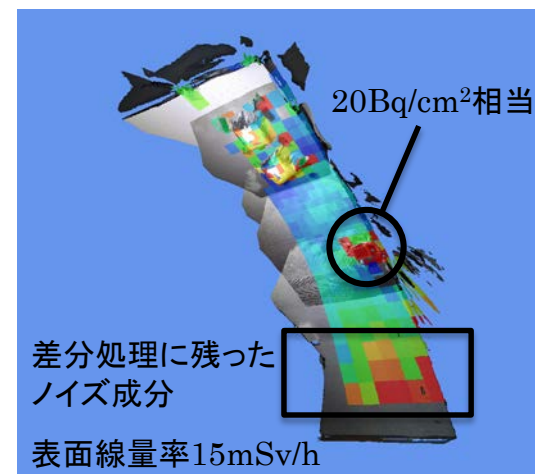
α線源位置

1.74E+00	2.59E+00	2.94E+00	3.10E+00	3.09E+00	2.92E+00	2.55E+00	1.32E+00
3.13E+00	4.61E+00	4.80E+00	4.98E+00	4.90E+00	4.80E+00	4.46E+00	2.19E+00
3.79E+00	5.16E+00	5.43E+00	5.67E+00	5.55E+00	5.51E+00	5.07E+00	2.64E+00
4.31E+00	5.84E+00	6.13E+00	6.53E+00	6.45E+00	6.14E+00	5.74E+00	2.97E+00
4.76E+00	6.53E+00	6.87E+00	7.17E+00	7.23E+00	6.88E+00	6.47E+00	3.35E+00
5.18E+00	7.13E+00	7.59E+00	7.83E+00	7.80E+00	7.58E+00	7.05E+00	3.51E+00
5.17E+00	7.80E+00	8.29E+00	8.48E+00	8.39E+00	8.35E+00	7.62E+00	3.41E+00
2.88E+00	4.62E+00	5.41E+00	5.74E+00	5.74E+00	5.39E+00	4.61E+00	2.00E+00

検出下限図Ph2試導出モデル

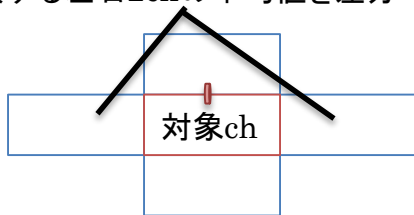


1Fフランジタンク片での差分処理後の結果



実際の測定で行う差分処理を想定
 (ノイズ低減処理に相当)

隣接する左右2chの平均値を差分



一番左上の計算例: $2.47E-1 = 2.59 - (1.74 + 2.94) / 2$

前提条件: 差分処理はスポット※1で存在するα汚染に対して有効

差分結果の例

2.47E-01	1.02E-01	7.88E-02	8.30E-02	1.00E-01	4.29E-01
6.43E-01	3.56E-03	1.31E-01	1.07E-02	1.20E-01	9.65E-01
5.46E-01	1.53E-02	1.84E-01	-4.34E-02	2.02E-01	9.90E-01
6.23E-01	-6.11E-02	2.42E-01	1.17E-01	4.41E-02	1.19E+00
7.11E-01	2.11E-02	1.16E-01	2.11E-01	2.53E-02	1.35E+00
7.46E-01	1.13E-01	1.29E-01	9.81E-02	1.58E-01	1.50E+00
1.07E+00	1.53E-01	1.35E-01	-2.61E-02	3.51E-01	1.74E+00
4.69E-01	2.37E-01	1.61E-01	1.76E-01	2.13E-01	9.15E-01

残存したノイズの最大値

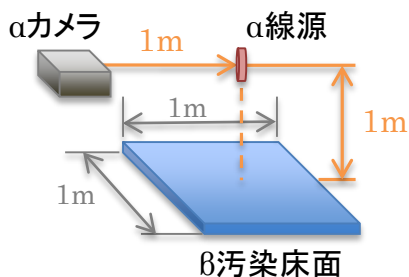
Ph2導出方針: 差分処理後のα線シグナル最大値と残存ノイズの最大値から検出下限図を再作成、さらに差分処理と検出下限図直線の傾き※2を求める計算での誤差伝播を考慮(誤差伝播の求め方は参考資料参照)

※1 測定対象のα汚染と同じサイズ ※2 傾き = SN比が1になるα汚染密度と70μ表面線量当量率の比

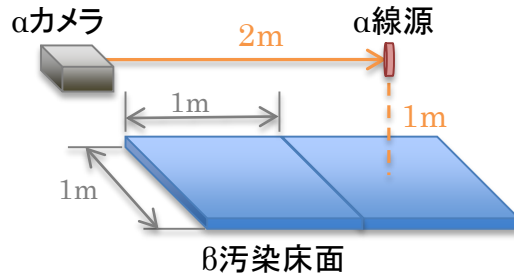
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(1/6) 床分布 その1>

①床1m+α1m



②床2m+α2m



③床3m+α3m

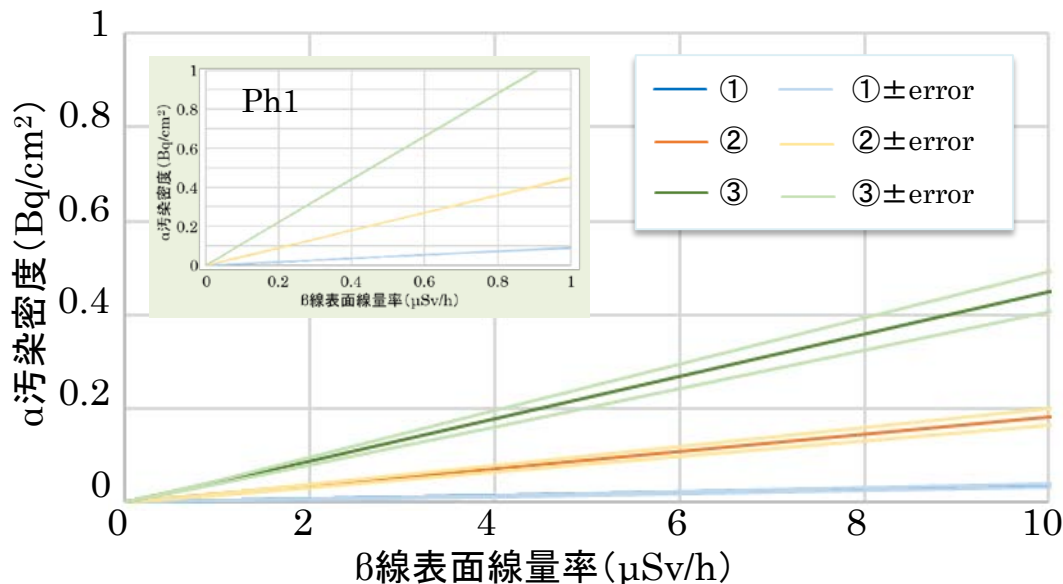
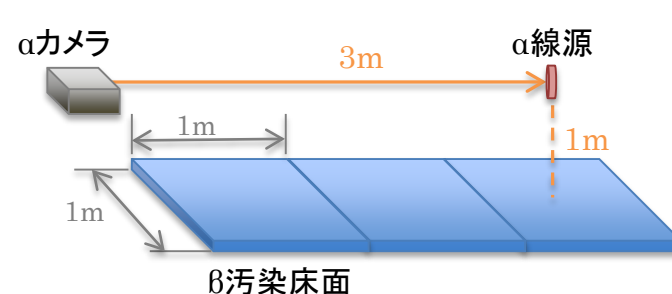


図1 床分布検出下限図(Phase2)①~③

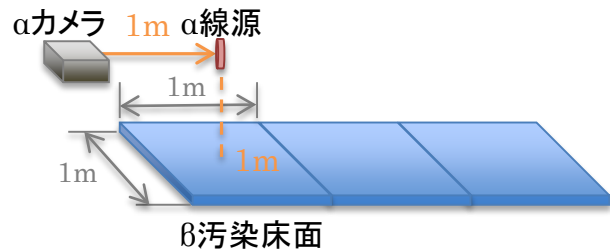
表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	0.4	1.09E-02	1.06E-03
	4	1.09E-01	1.06E-02
	20	5.46E-01	5.31E-02
②	0.4	2.18E-03	2.12E-04
	4	2.18E-02	2.12E-03
	20	1.09E-01	1.06E-02
③	0.4	8.91E-04	8.67E-05
	4	8.91E-03	8.67E-04
	20	4.46E-02	4.34E-03

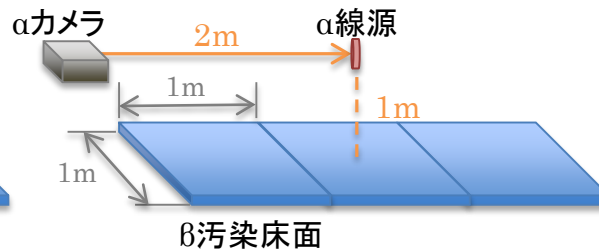
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(2/6) 床分布 その2>

④床3m + α1m



⑤床3m + α2m



⑥床3m + α3m

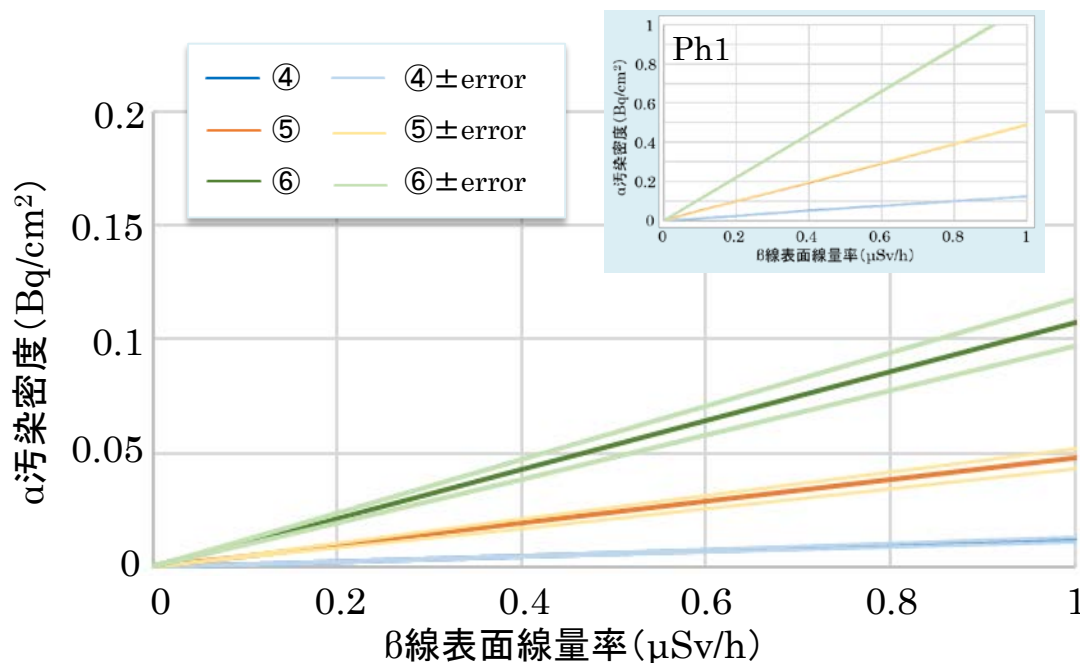
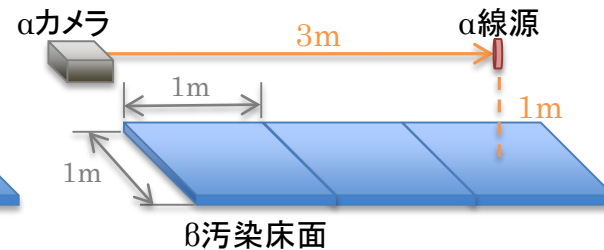


図1 床分布検出下限図(Phase2)④~⑥

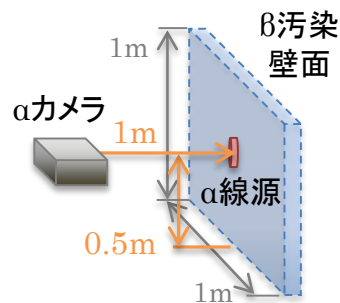
表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
④	0.4	8.02E-03	7.80E-04
	4	8.02E-02	7.80E-03
	20	4.01E-01	3.90E-02
⑤	0.4	2.01E-03	1.95E-04
	4	2.01E-02	1.95E-03
	20	1.00E-01	9.76E-03
⑥	0.4	8.91E-04	8.67E-05
	4	8.91E-03	8.67E-04
	20	4.46E-02	4.34E-03

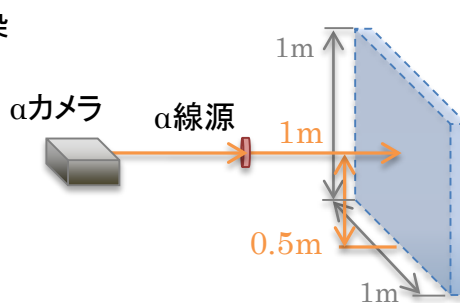
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(3/6) 壁分布>

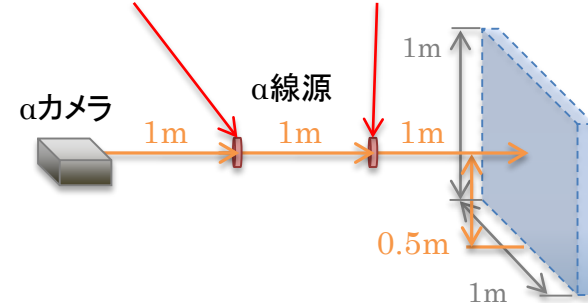
⑦壁1m+a1m



⑧壁2m+a1m



⑨壁3m+a1m



⑩壁3m+a2m

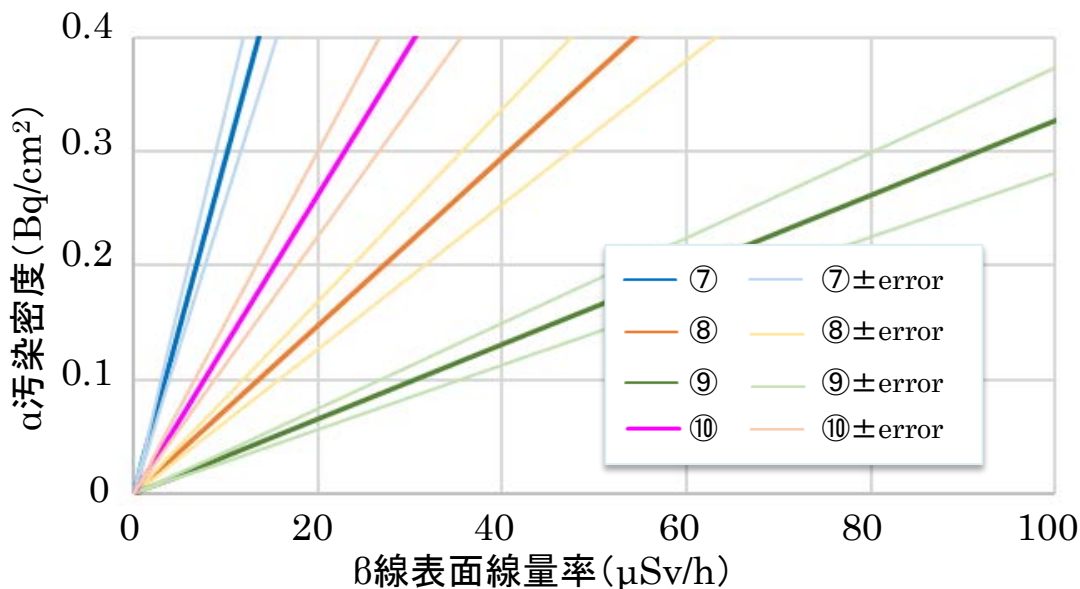
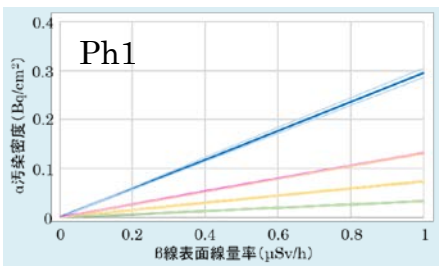
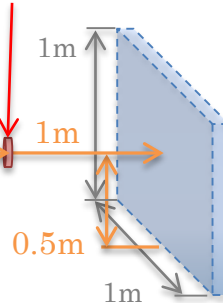


図1 壁分布検出下限図(Phase2)⑦~⑩

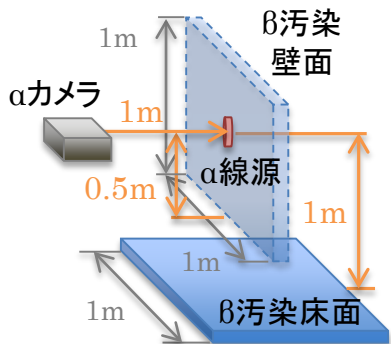
表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑦	0.4	3.47E-03	4.60E-04
	4	3.47E-02	4.60E-03
	20	1.74E-01	2.30E-02
⑧	0.4	1.39E-02	1.96E-03
	4	1.39E-01	1.96E-02
	20	6.95E-01	9.81E-02
⑨	0.4	3.13E-02	4.42E-03
	4	3.13E-01	4.42E-02
	20	1.57E+00	2.21E-01
⑩	0.4	3.13E-02	4.44E-03
	4	3.13E-01	4.44E-02
	20	1.57E+00	2.22E-01

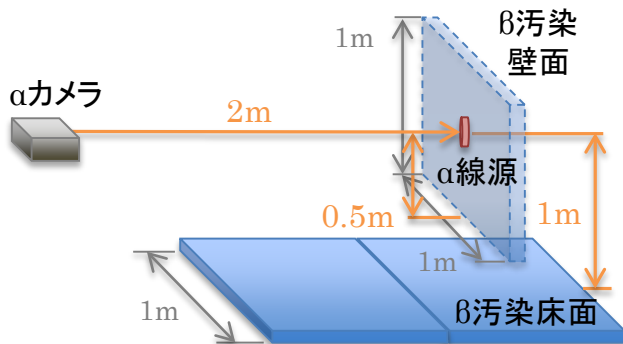
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(4/6) 床壁分布>

⑪床壁1m+α1m



⑫床壁2m+床1m+α1m



⑬床壁3m+床2m+床1m+α1m

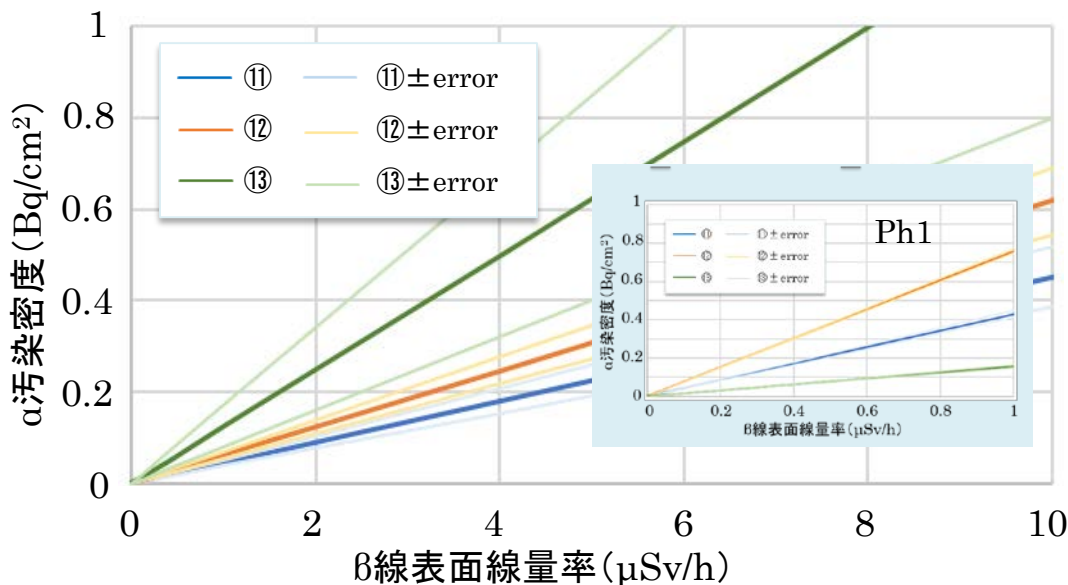
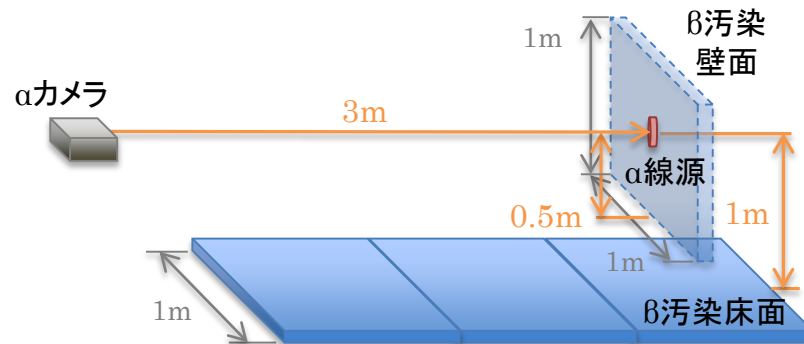


図1 床壁分布検出下限図(Phase2)⑪~⑬

表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑪	0.4	7.81E-03	1.11E-03
	4	7.81E-02	1.11E-02
	20	3.91E-01	5.54E-02
⑫	0.4	2.53E-03	3.72E-04
	4	2.53E-02	3.72E-03
	20	1.27E-01	1.86E-02
⑬	0.4	1.39E-03	1.66E-04
	4	1.39E-02	1.66E-03
	20	6.96E-02	8.29E-03

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(5/6) 養生シート>

⑭養生シートon壁1m+α1m

⑮壁1m+α1m(比較用)

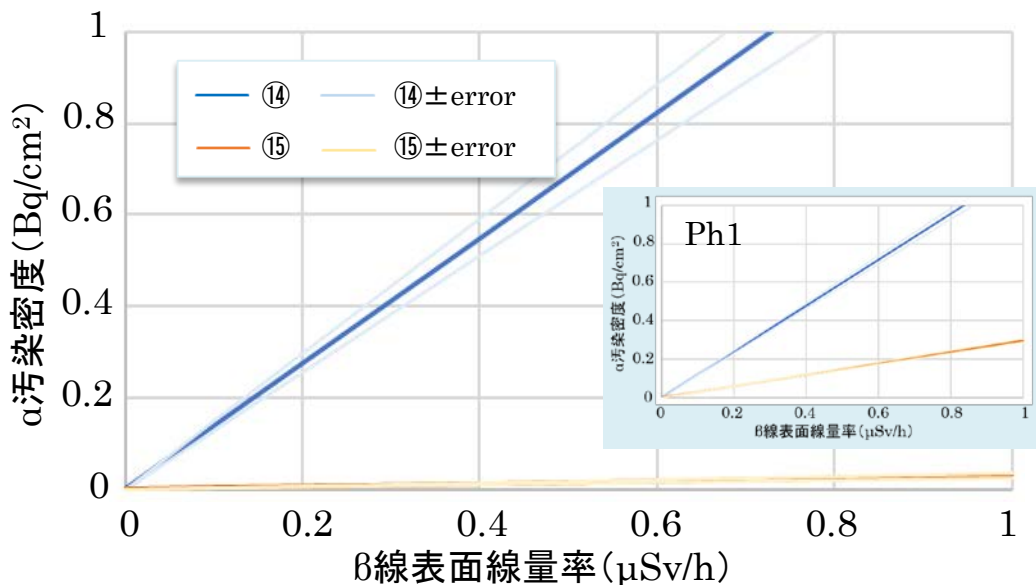
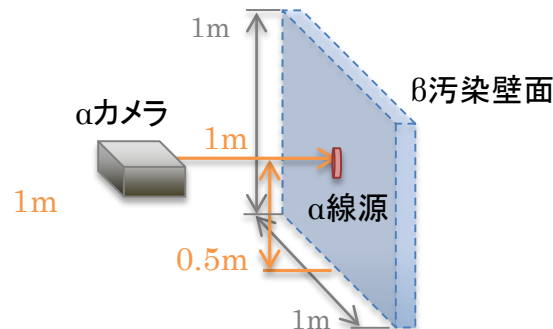
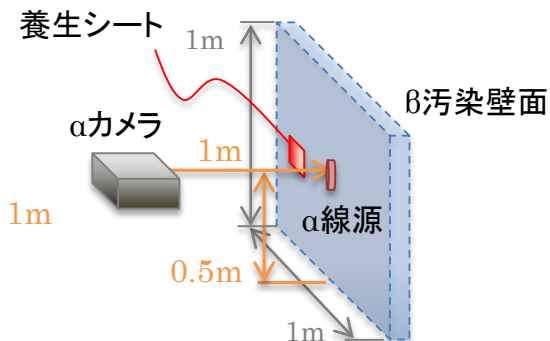


表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑭	0.4	7.35E-04	2.64E-04
	4	7.35E-03	2.64E-03
	20	3.68E-02	1.32E-02
⑮	0.4	2.91E-04	2.18E-05
	4	2.91E-03	2.18E-04
	20	1.46E-02	1.09E-03

図1 養生シート検出下限図(Phase2)⑭、⑮

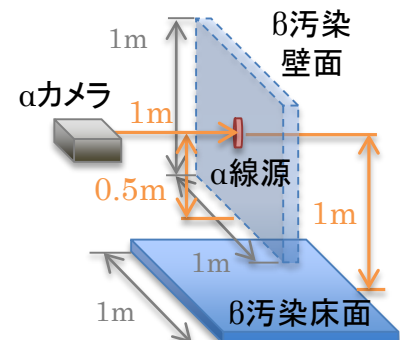
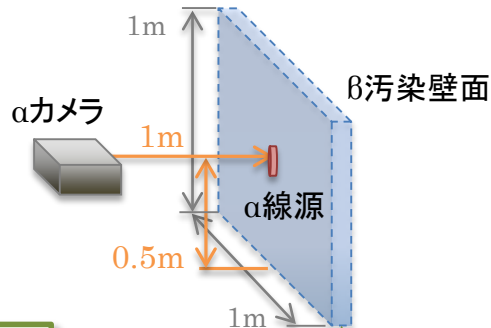
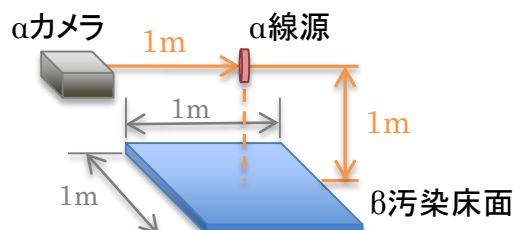
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2導出結果(6/6) 反射>

⑬床反射1m+α1m

⑭壁反射1m+α1m

⑮床壁反射1m+α1m



塗料(反射体)

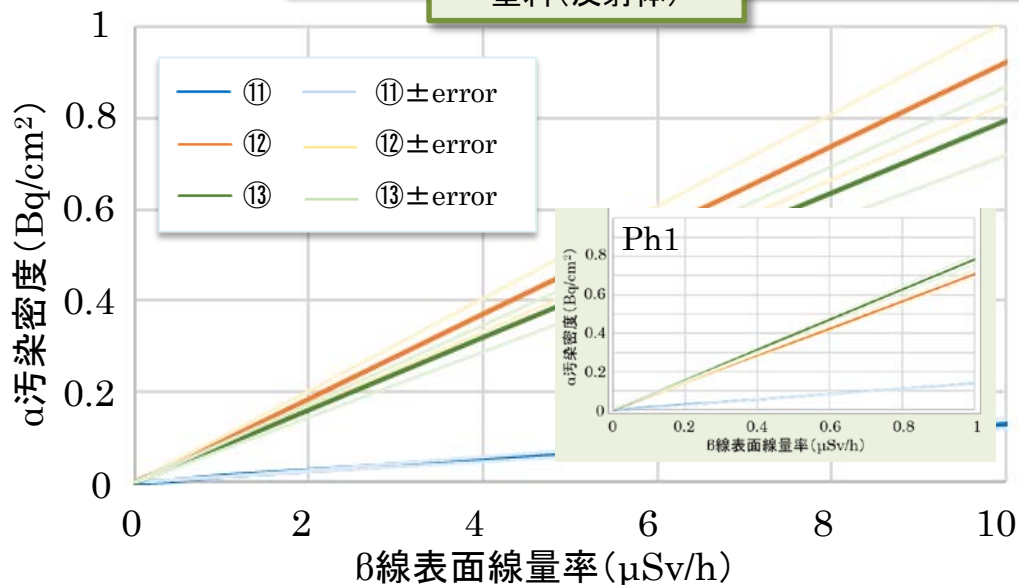


表1 代表的な汚染密度での境界線量率

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
⑬	0.4	3.47E-03	4.60E-04
	4	3.47E-02	4.60E-03
	20	1.74E-01	2.30E-02
⑭	0.4	7.21E-03	7.03E-04
	4	7.21E-02	7.03E-03
	20	3.61E-01	3.52E-02
⑮	0.4	1.23E-03	1.21E-04
	4	1.23E-02	1.21E-03
	20	6.17E-02	6.06E-03

図1 養生シート検出下限図(Phase2)⑬、⑭

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<検出下限図Ph2 境界線量率サマリ>

表1 0.4Bq/cm²に対する境界線量率(Ph2)

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h	No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	0.4	1.09E-02	1.06E-03	⑩	0.4	3.13E-02	4.44E-03
②		2.18E-03	2.12E-04	⑪		7.81E-03	1.11E-03
③		8.91E-04	8.67E-05	⑫		2.53E-03	3.72E-04
④		8.02E-03	7.80E-04	⑬		1.39E-03	1.66E-04
⑤		2.01E-03	1.95E-04	⑭		7.35E-04	2.64E-04
⑥		8.91E-04	8.67E-05	⑮		2.91E-04	2.18E-05
⑦		3.47E-03	4.60E-04	⑯		3.47E-03	4.60E-04
⑧		1.39E-02	1.96E-03	⑰		7.21E-03	7.03E-04
⑨		3.13E-02	4.42E-03	⑱		1.23E-03	1.21E-04

サブμSv/h～10μSv/h程度
に境界線量率が存在
(遠いα汚染、養生シートに効果
が小さい)

表1 20Bq/cm²に対する境界線量率(Ph2)

No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h	No	α 汚染密度 Bq/cm ²	境界線量率 mSv/h	絶対誤差 δ mSv/h
①	20	5.46E-01	5.31E-02	⑩	20	1.57E+00	2.22E-01
②		1.09E-01	1.06E-02	⑪		3.91E-01	5.54E-02
③		4.46E-02	4.34E-03	⑫		1.27E-01	1.86E-02
④		4.01E-01	3.90E-02	⑬		6.96E-02	8.29E-03
⑤		1.00E-01	9.76E-03	⑭		3.68E-02	1.32E-02
⑥		4.46E-02	4.34E-03	⑮		1.46E-02	1.09E-03
⑦		1.74E-01	2.30E-02	⑯		1.74E-01	2.30E-02
⑧		6.95E-01	9.81E-02	⑰		3.61E-01	3.52E-02
⑨		1.57E+00	2.21E-01	⑱		6.17E-02	6.06E-03

数十μSv/h～mSv/h程度
に境界線量率が存在

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph2 Ph1に対する改善度> ※1以上で改善

(改善度) = (Ph1の検出下限図傾き)/(Ph2の検出下限図傾き)※と定義

表1 Ph1に対する改善度

No	α 汚染 距離	β 汚染 分布、距離	改善度 傾きの比	改善の有無	No	α 汚染 距離	β 汚染 分布、距離	改善度 傾きの比	改善の有無
①	100cm	床、100cm	10.29	有	⑩	200cm	壁、300cm	10.05	有
②	200cm	床、200cm	10.26	有	⑪	100cm	床壁、100cm	9.53	有
③	300cm	床、300cm	10.28	有	⑫	200cm	床壁、200cm	12.28	有
④	100cm	床、300cm	10.28	有	⑬	300cm	床壁、300cm	1.25	僅かに有
⑤	200cm	床、300cm	10.28	有	⑭	100cm	養生、100cm	0.87	無
⑥	300cm	床、300cm	10.28	有	⑮	100cm	壁、100cm	10.04	有
⑦	100cm	壁、100cm	10.04	有	⑯	100cm	床反射、 100cm	10.64	有
⑧	100cm	壁、200cm	10.06	有	⑰	100cm	壁反射、 100cm	7.67	有
⑨	100cm	壁、300cm	10.08	有	⑱	100cm	床壁反射、 100cm	9.86	有

- ・信号処理による検出下限の改善を確認
- ・⑭養生シート(=スポット的な発光源)が存在する環境では差分処理は有効に作用しない

改善効果総括: 広範囲に分布するβ汚染でのα汚染ホットスポットに対してPh2での評価は有効

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <一部モデルにおけるPh2とPh1の比較の例>

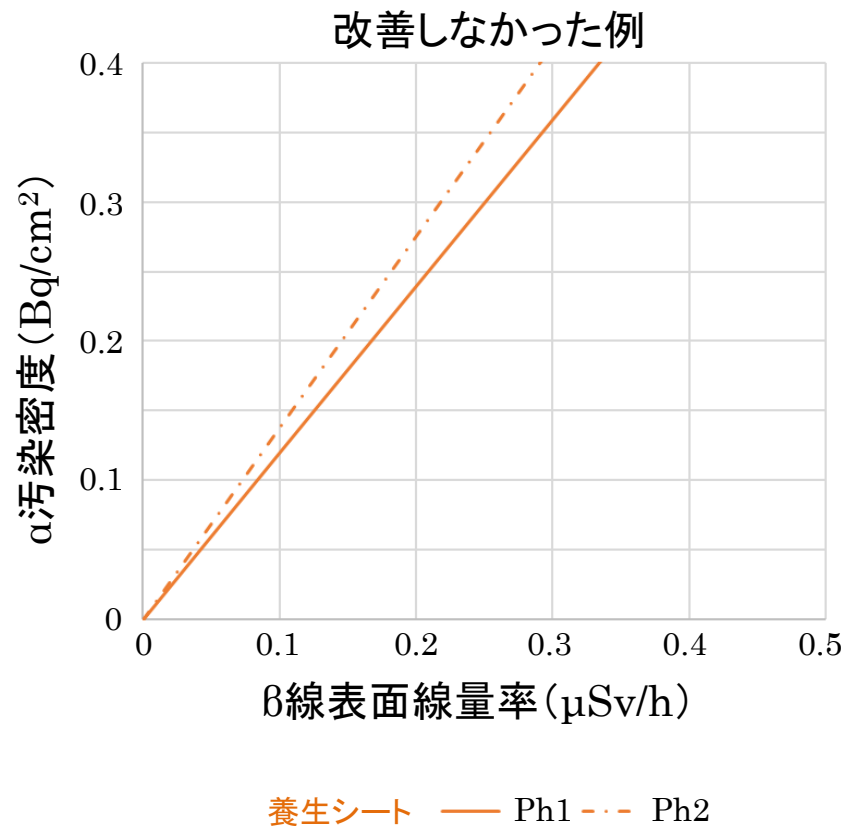
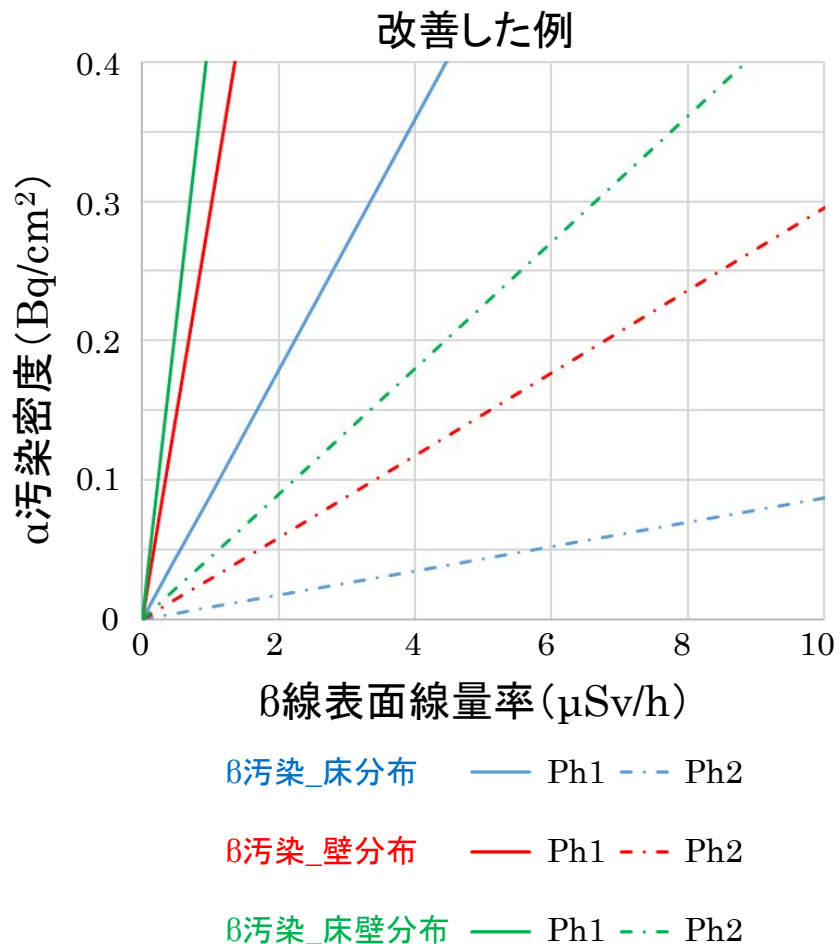


図1 Ph2とPh1の比較
 (左)床、壁、床壁 (右)養生シート

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph3 改良フィルタによるSN比改善>

2021年度成果資料より抜粋

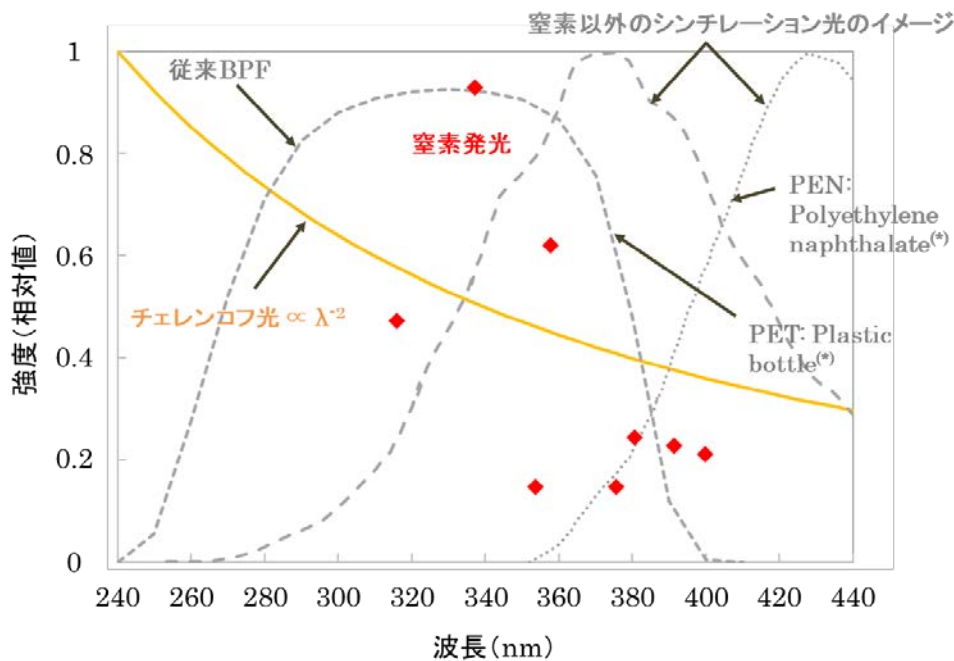


図1 各種発光のスペクトル

2021年度試作の改良フィルタ特性

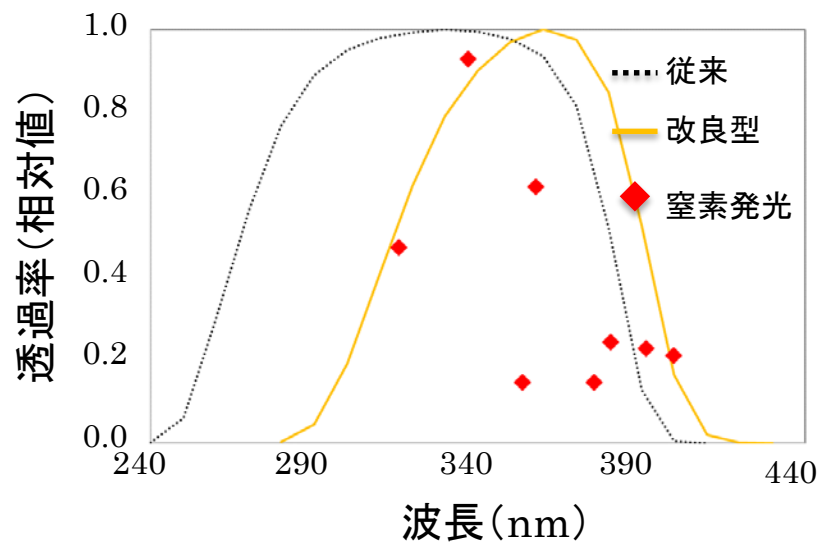


図2 改良バンドパスフィルタ特性

- ・発光原理が同じα線、β線、γ線の窒素発光にはフィルタの効果はない
- ・窒素発光とスペクトルが異なる養生シート発光やシンチレーション光に効果

(*) H.Nakamura et.al., “Evidence of deep-blue photon emission at high efficiency by common plastic”, EPL, 95 (2011)

検討方針: 改良バンドパスフィルタ(ノイズ対策)による養生シート発光による検出下限値への効果を試算

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph3 改良バンドパスフィルタによるSN比改善(2/2)>

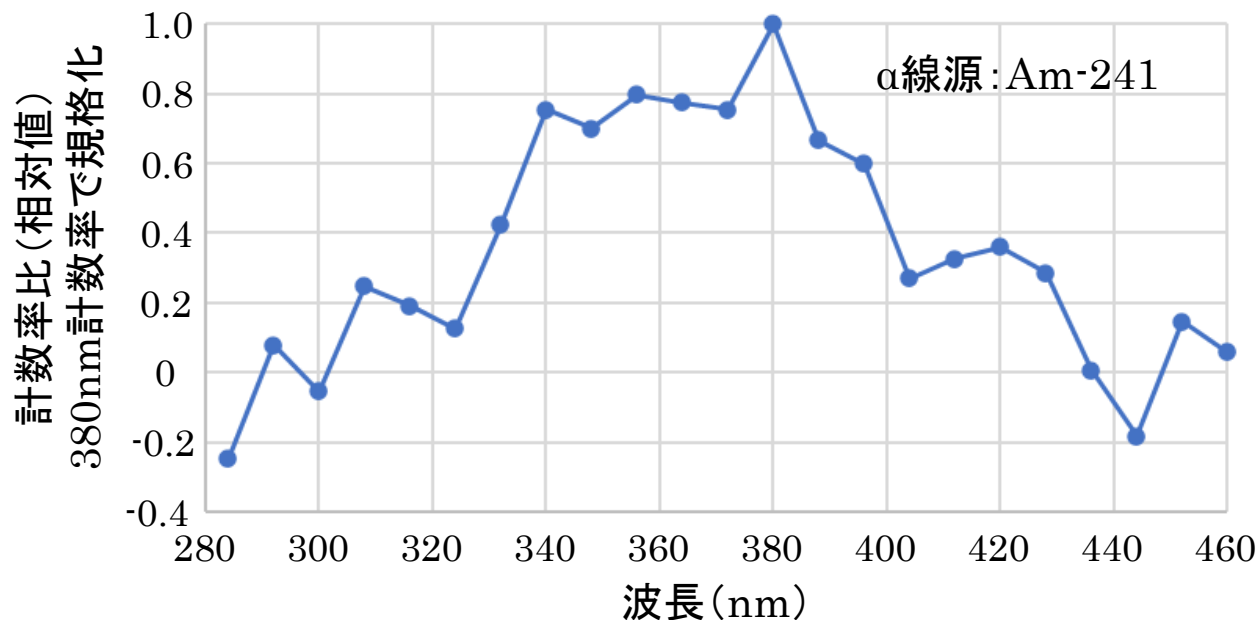


図1 養生シートの発光スペクトル(実測値)

改善効果の算出方法

- 1) P.74図2に示すフィルタ特性と以下の2つを掛け合わせる
 - ・図1養生シートのスペクトル
 - ・窒素発光輝線スペクトル
- 2) 掛け合わせた前後でシグナルの減衰量を算出する
- 3) 養生シートの減衰量と窒素発光輝線の減衰量の比からSN比改善見込みを算出する

表1 フィルタ効果試算結果

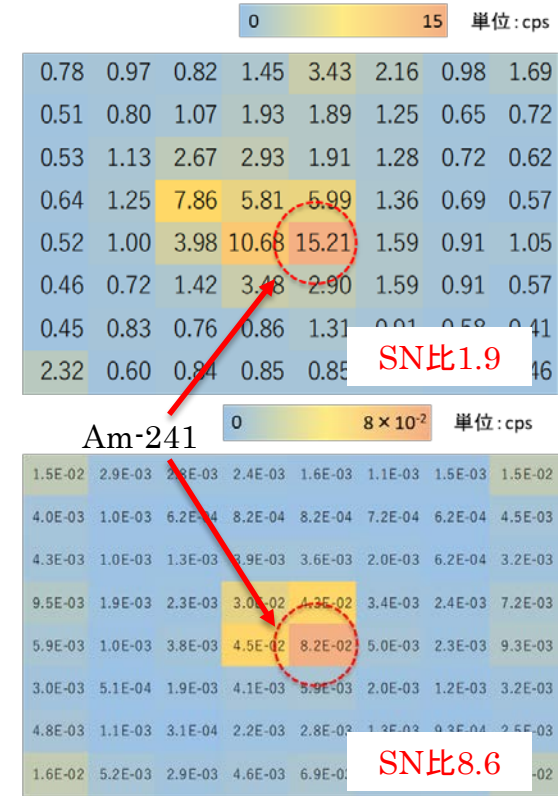
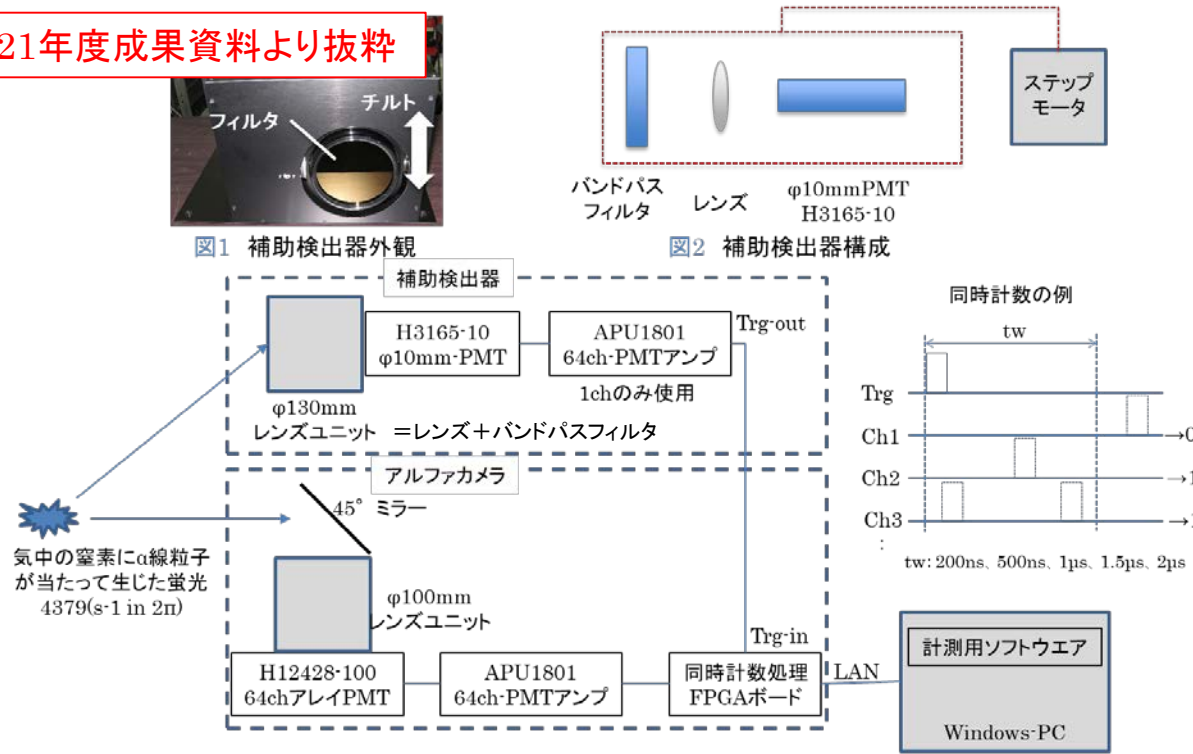
発光種類	効果(フィルタなしからの減衰値)	SN比改善見込み
窒素発光	0.782	1.11倍
養生シート発光	0.702	

改善効果試算結果: 養生シートの検出下限図への改善効果は1.11倍に留まる

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図Ph3 補助検出器を用いたSN比改善(1/3)>

2021年度成果資料より抜粋



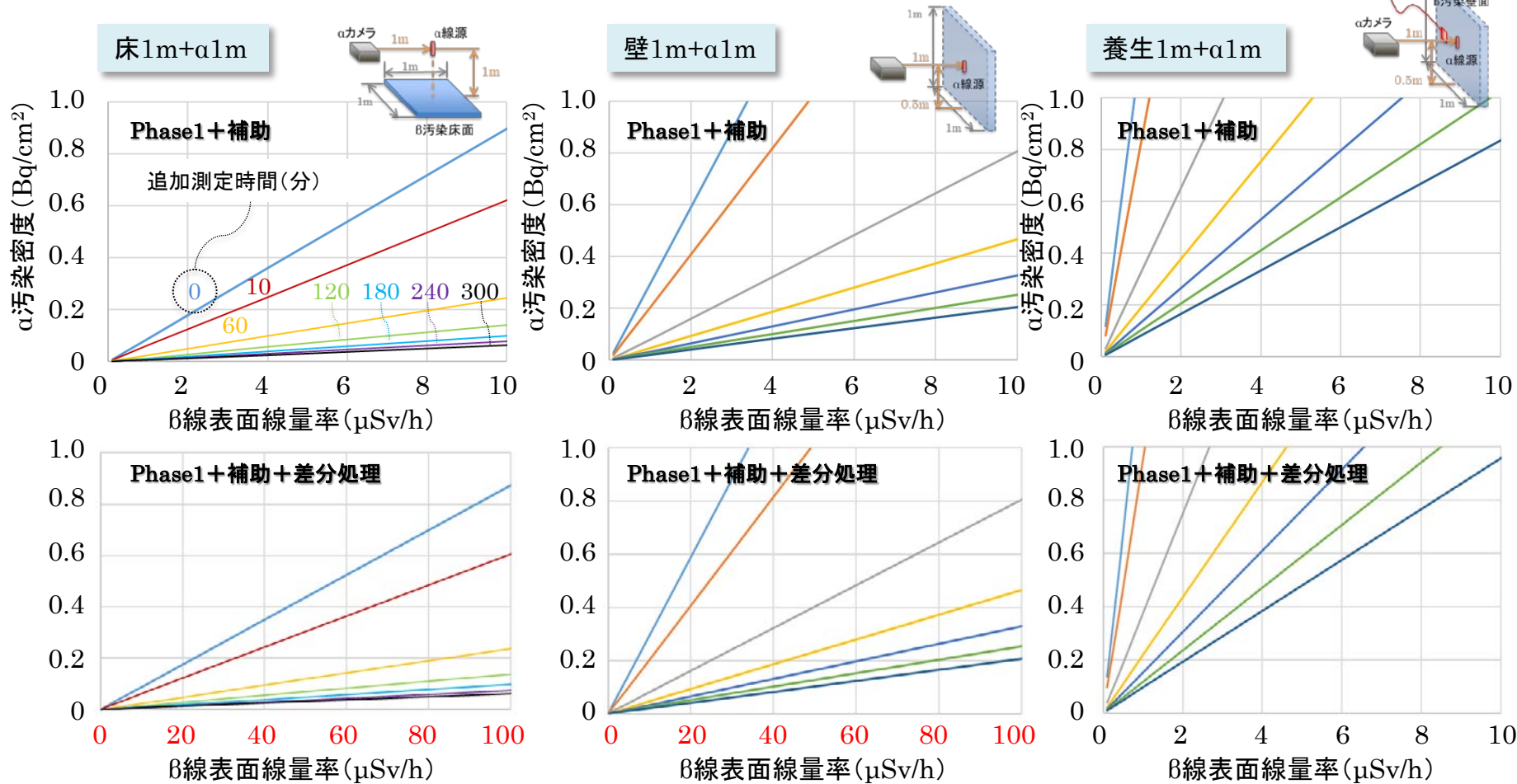
- ・SN比は1.9から8.6に改善
- ・上記の改善効果を得るために計測時間が約16倍(効果はある程度計測時間に比例)
- ・補助検出器はφ10mmPMTによって特定の領域に絞ったノイズ計測を併用するため、視野を限定した高感度化を64chの各chに対して実施するものである。従って、長い距離での測定は効率が低下(適用距離は1m)する。

Ph3導出方針: 補助検出器によってSN比は追加測定時間10分あたり0.4447※のSN比改善を見込む

※(8.9(適用後のSN比)-1.9(適用前のSN比))/(160(適用後の測定時間)・10(適用前の測定時間))で1分当たりのSN比改善を算出し10倍した値

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 < 検出下限図Ph3 補助検出器を用いたSN比改善(2/3) >



測定時間の増加に応じてSN比が改善し、検出下限図の傾きが小さくなる(=検出下限が小さくなる)ことを確認

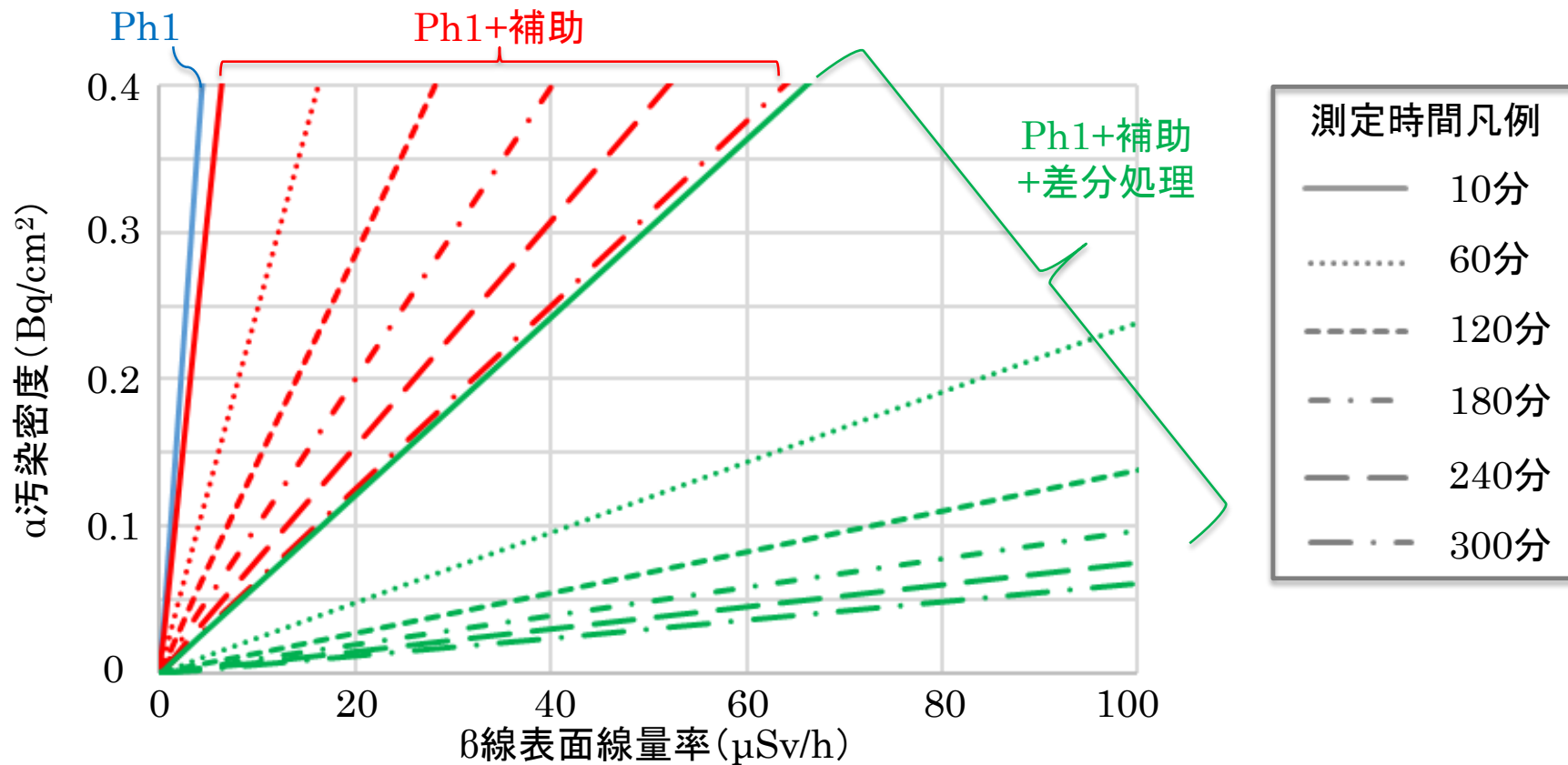
検討結果: 補助検出器検出下限効果を確認、長時間測定が許容されるプロセス※での適用性を評価する

※一例として「デブリ付着の可能性のある原子炉周辺の高放射線廃棄物の夜間測定」のように時間をかけても測定する価値がある対象物を含むプロセスが考えられる。

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

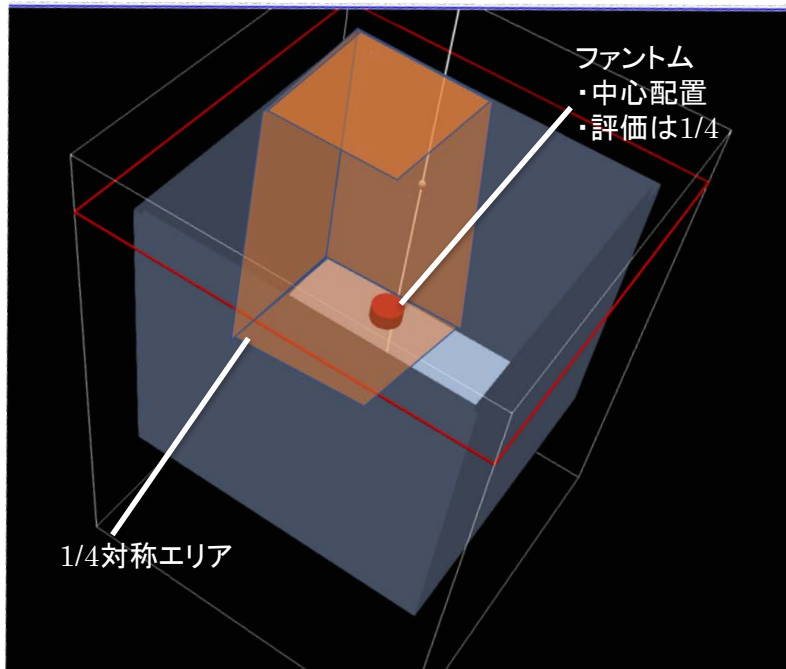
(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
<検出下限図Ph3 補助検出器を用いたSN比改善(3/3)>

β 汚染_床分布を例に、Ph1、Ph1+補助、Ph1+補助+差分処理を図示

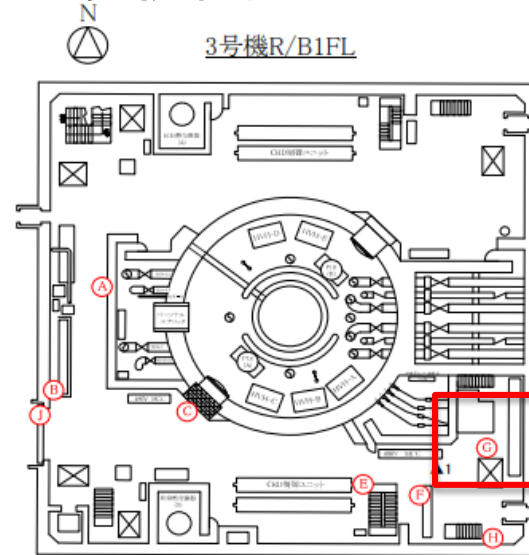


b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <検出下限図 空間線量率への変換検討>



- ・部屋(3m × 3m × 3m)の中心にファントムを設置
- ・内面にβ汚染を設定(γ線は考慮せず)
- ・1/4対象で計算し、結果を4倍
- ・線源はSr-90/Y-90
- ・統計量は 10^{10} event
- ・70μm線量当量率を評価



比較的計算体系と類似した現地環境

	β汚染密度 [Bq/cm ²]	空間線量率 [mSv/h]	汚染密度あたりの 空間線量率 [(mSv/h)/(Bq/cm ²)]
シミュレーション結果	7.41×10^4	51.1	6.90×10^{-4}
現地環境の調査結果(3号R/B1FL)	2.70×10^2 *	4.5 **	1.67×10^{-2}

* 壁、床のスミア結果の平均値

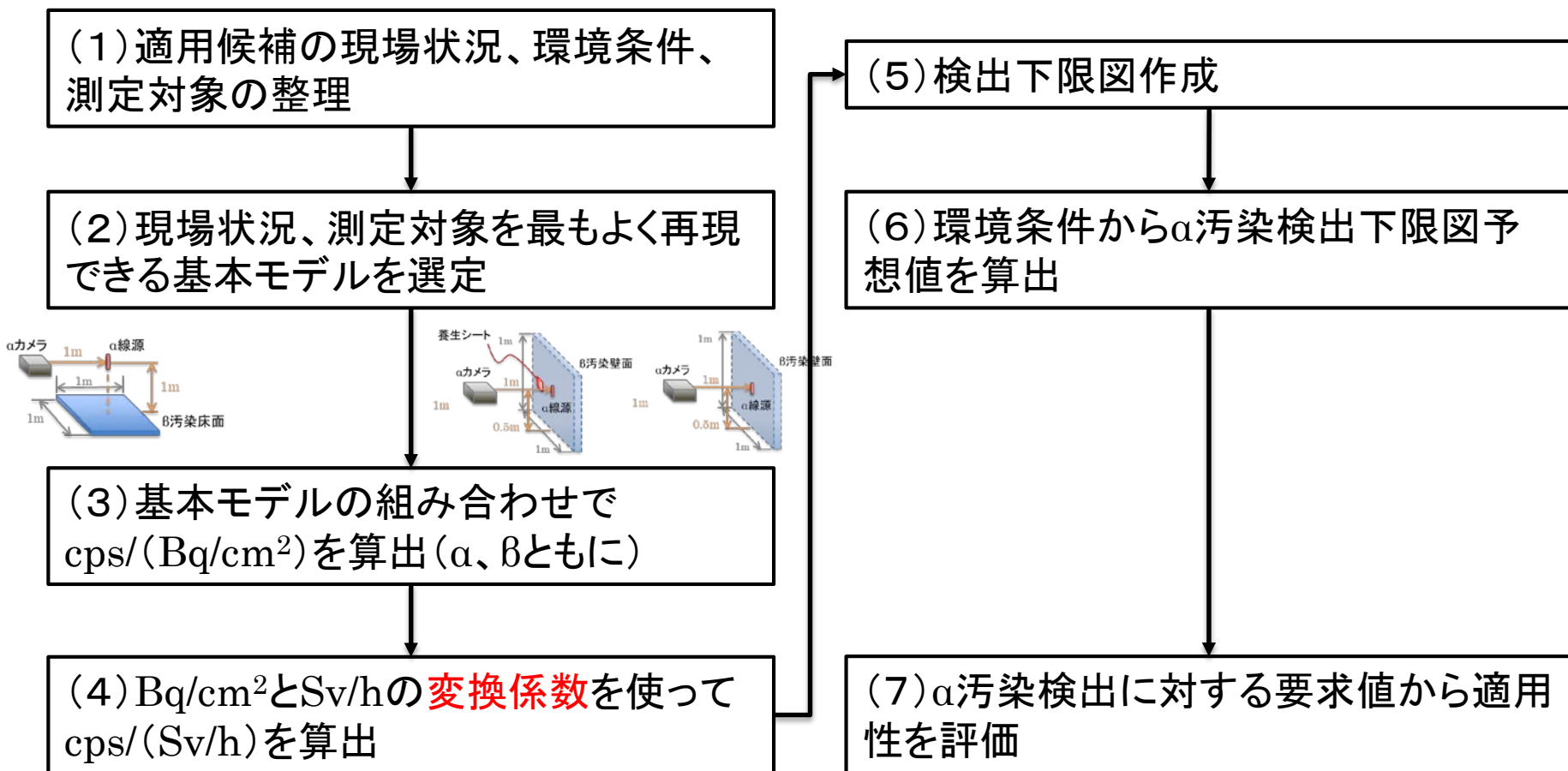
** 壁から1m、床から1.4m離れた点の空間線量率

空間線量率への変換に関する課題: 一様な汚染分布による空間線量率の一般化を試みたが、現実の空間(周囲の物や汚染の分布)における放射線の作用を再現には課題

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
〈検出下限図 横軸を空間線量にするためのステップ〉

ここまでで確率した検出下限図導出ステップのまとめ



今後の課題: 空間線量率(70 μ m線量当量率)予測技術の取り込み

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜優先度「中」のパラメータ＞

表1 シミュレーション条件と優先順位

プロセス	項目	優先度	パラメータ	数値範囲など	モデル化および評価指標	備考
放射線	α線	高	核種(放射線エネルギー)	4.2MeV~5.8MeV	実施 Bq/cm ²	エネルギーは1Fに存在する核種から 試験での精度評価可否の観点からAm-241をモデル化
			表面汚染密度	測定対象		
			分布	測定対象		
			表面状態(粗さ)	ブラストコンクリートなど	なし	
	β線	高	核種(放射線エネルギー)	0.5MeV~2.3MeV	実施 cps(発光量)/(mSv/h)	エネルギーで核種を模擬
			線量率	~150mSv/h		現場での最大線量までを想定
			分布	汚染密度の床、壁への一様分布		汚染の拡がりを想定
	γ線	中	核種(放射線エネルギー)	~660keV	β汚染モデルの一部をγ線 条件にすることで発光量の 多寡を評価し、結果得られ る比率を解析指標とする	現場の放射線核種からβ線と比較してエネルギーが低く、発 光量は少ないと想定
			線量率	~150mSv/h		
分布			汚染密度の床、壁への一様分布			
放射線の飛程	水	低	遮蔽効果	—	なし	α汚染検出不可要因
発光	雰囲気	中	窒素濃度	78%~100%	最小限にモデル化、他の ケースは解析的に評価	特定のモデルで窒素濃度範囲を設定
	養生シート	高	形状/配置	壁や機器に残置された状況	実施 cps/(mSv/h)	現場写真より想定
			材質	ピンク		発光量photon/MeVを材質に相当するパラメータとして設定
塗料	低	材質	—	なし	2021年度試験結果から発光作用は僅かであることを確認	
光の反射/減衰	塗料	高	配置	一様β線モデル要素に追加設定	実施 床、壁、床壁	壁、床の塗料を模擬
			材質(乱反射率)	反射率50%の乱反射		乱反射モデルを組み込み
	ダスト	低	ダストサイズ	~10μm	なし	過去試験による知見から評価、再試験実施
			ダスト濃度	~class11		
水蒸気	低	湿度	~100%	なし	過去試験による知見から評価	
光学系での発光	β線/γ線	低	入射窓近傍の空間線量率	~150mSv/h	なし	過去試験による知見から評価(シャッタ開閉による対策)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ① シミュレーションモデルの拡張検討

< γ線発光量試験による検証 >

目的: γ線発光量をシミュレーションで評価可能か試験により検証

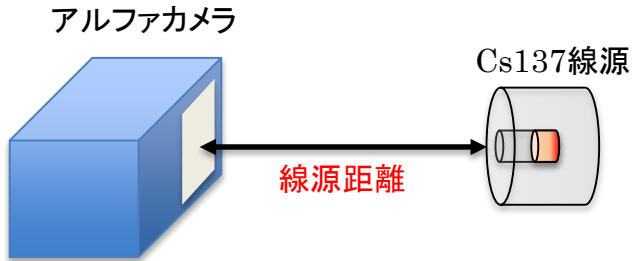


図1 γ線発光試験体系

- ・Cs-137(約8.5 GBq)をアルファカメラのレンズ中央軸上に配置
- ・線源距離は1.0mで計数率を測定

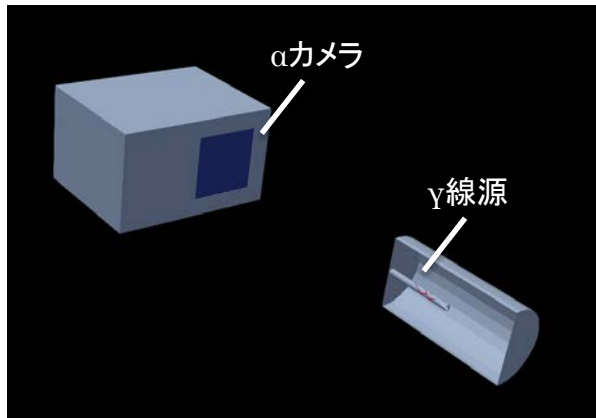


図2 γ線発光シミュレーションモデル

- ・0.662 keVのγ線を線源として配置
- ・統計量は 9.53×10^9 events

全8*8

中心2*2

単位: cps

13.4	16.7	20.3	22.0	20.9	19.5	15.8	10.3
14.7	20.4	25.1	28.3	27.2	23.7	18.9	12.2
18.8	27.4	38.0	51.8	50.1	35.0	24.0	15.7
19.8	29.7	49.9	171.6	157.7	45.2	26.1	16.4
19.1	28.3	46.5	125.5	118.5	40.9	24.7	16.0
18.7	26.0	34.4	43.6	41.6	31.4	23.5	15.7
15.1	20.7	25.1	26.7	25.9	22.7	19.4	13.2
13.4	18.5	21.9	23.4	22.6	20.8	17.4	10.0

図3 γ線発光試験結果

単位: cps

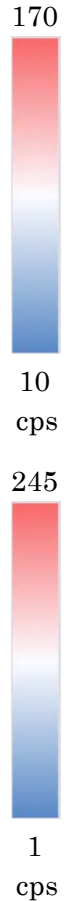
3.5	6.1	8.8	2.6	2.6	2.6	5.3	0.9
5.3	8.8	7.0	11.4	7.0	7.9	6.1	6.1
3.5	7.9	14.0	18.4	21.0	13.1	11.4	2.6
9.6	13.1	20.2	244.5	120.9	21.9	8.8	2.6
4.4	13.1	23.7	228.7	113.9	20.2	6.1	4.4
5.3	9.6	10.5	15.8	27.2	12.3	10.5	3.5
4.4	7.0	6.1	12.3	7.9	8.8	4.4	5.3
2.6	3.5	2.6	5.3	4.4	2.6	3.5	4.4

図4 γ線発光シミュレーション結果

表1 γ線発光検出量評価結果

和ch	Sim(cps)	Exp(cps)	Sim/Exp(-)
中心2*2和	708	573.3	1.2351
全8*8和	1220	2057.6	0.5929

Sim: シミュレーション算出値 Exp: 実測値



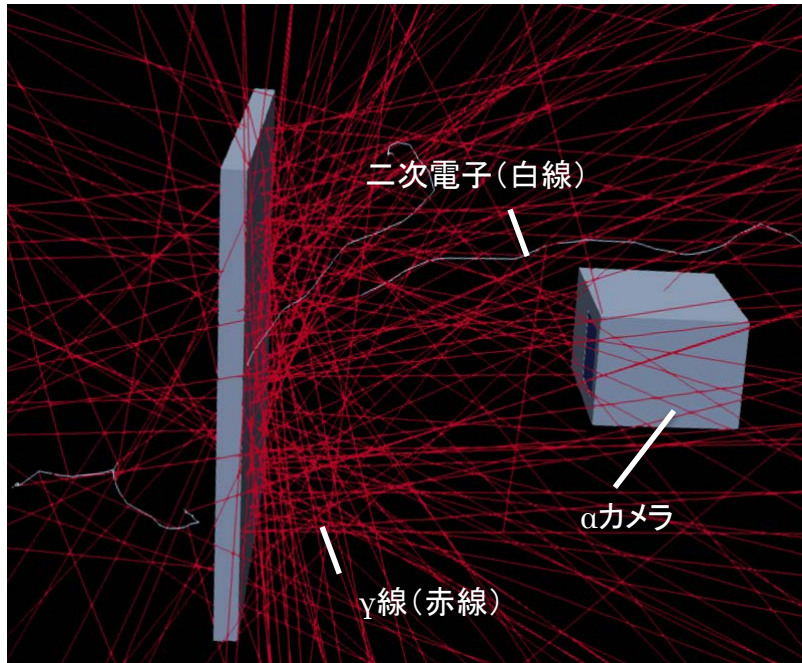
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<γ線発光量評価>

目的:β線との発光量多寡を比較し、検出下限図作成時にγ線の効果を見込む方法を決定

- ・線源Cs-137を想定し0.662 MeVのγ線を模擬
- ・β線源の評価と同様に1m先の壁が汚染していると仮定
- ・統計量 10^{10} gamma
- ・γ線と二次電子によって発生する窒素発光を評価



図ではγ線とそれにより生じた二次電子のみを表示

cps/(Bq/cm²)へ計算した結果

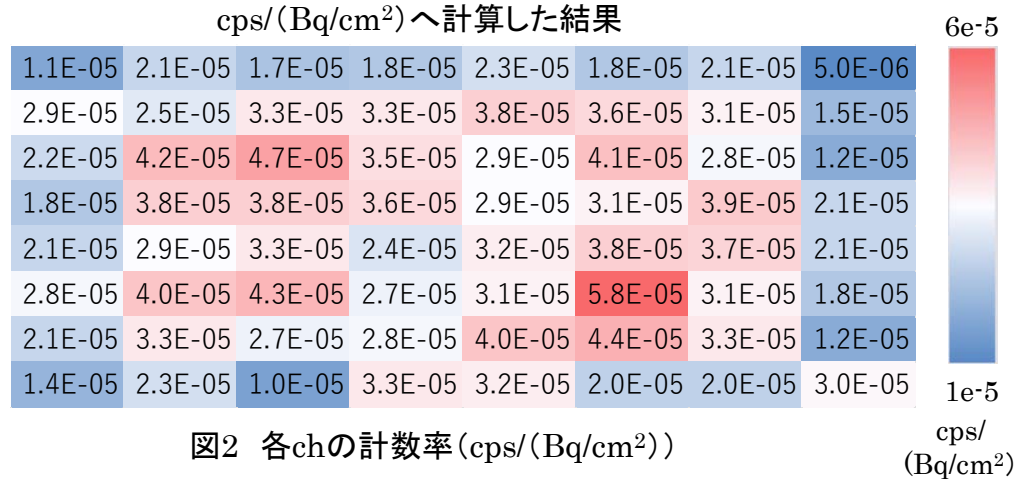


図2 各chの計数率(cps/(Bq/cm²))

表1 β汚染との比較

放射線	計数率総和(cps/(Bq/cm ²))
β線	1.28×10^{-1} (β汚染_壁分布(1m)より算出)
γ線	1.8×10^{-3} ↓ 約1/100

ノイズ光検出量の算出式

$$CPS_{\gamma} = CPS_{\beta} \times R_{\gamma} / 100 = CPS_{\beta} \times (1 - R_{\beta}) / 100$$

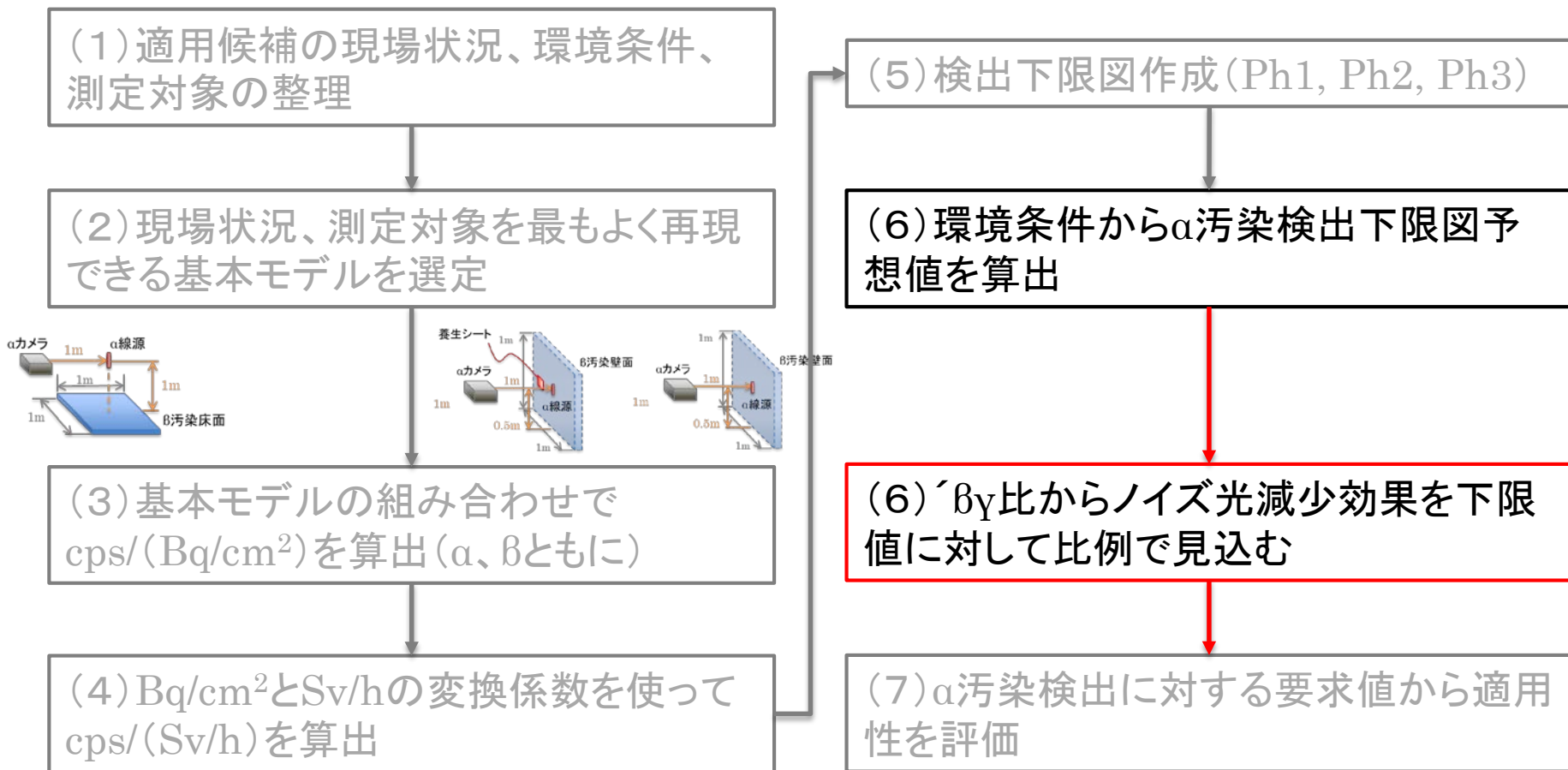
$$CPS_{all} = CPS_{\beta} \times R_{\beta} + CPS_{\beta} \times (1 - R_{\beta}) / 100$$

R_{β} :線量率におけるβ線の割合 R_{γ} :線量率におけるγ線の割合

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜ γ 線環境での性能評価方法＞

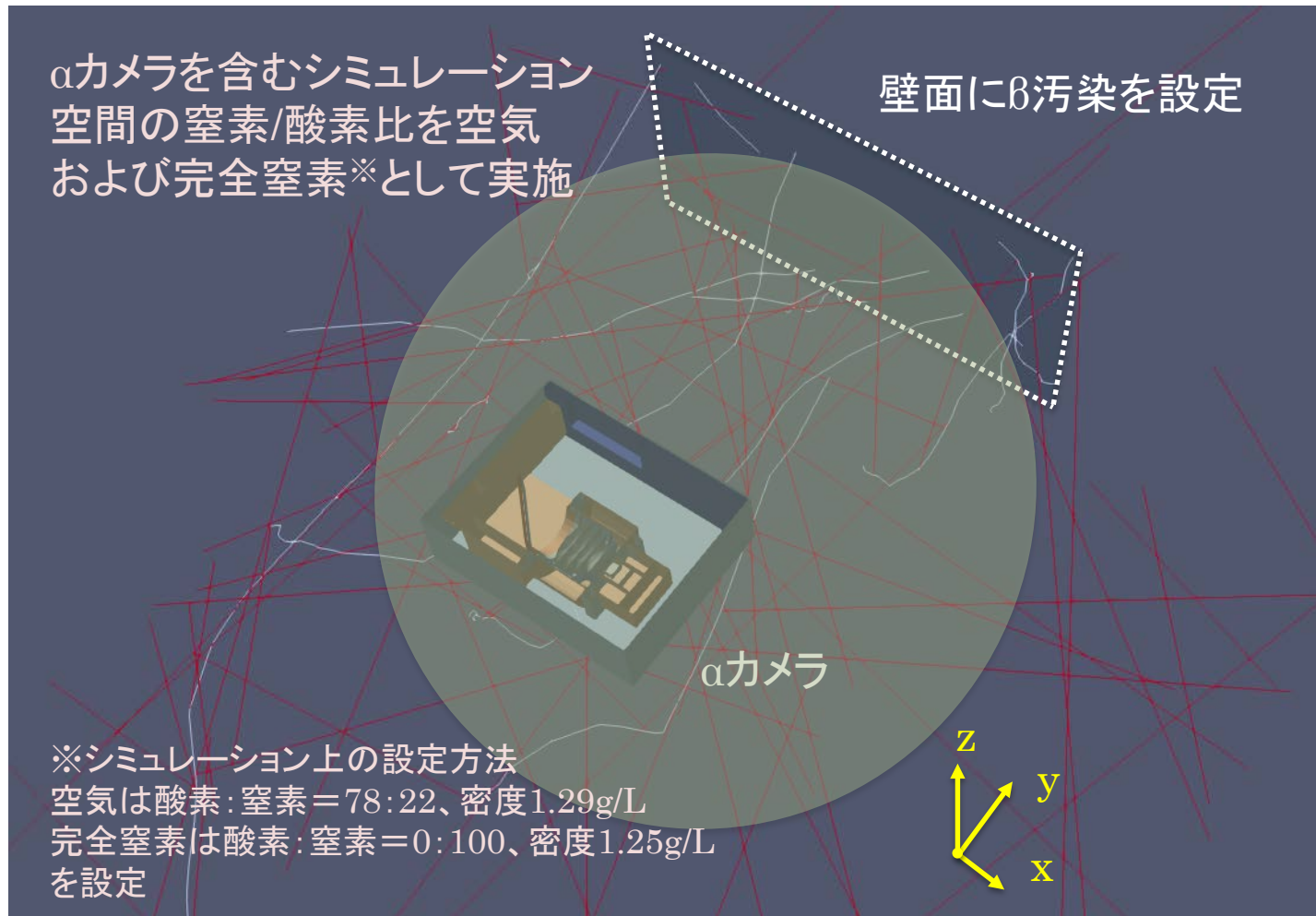
現場の線量率測定結果において $\beta\gamma$ 比が得られた場合の評価フロー



b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜窒素濃度の影響評価モデル＞

雰囲気の影響として窒素濃度を变化させて発光量を評価



b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <窒素濃度の影響 窒素発光以外の現象影響調査>

窒素発光量自体は増加しないが、窒素100%置換の場合はクエンチング(消光)効果を持つ酸素がないことで結果として発光検出量が増える

Table 5.8: Intrinsic (radiative) lifetimes τ_0 in nanoseconds for the initial states $C^3\Pi_u(v' = 0, 1)$ of the 2P system of and $B^2\Sigma_u^+(v' = 0)$ of 1N system.

Molecule	2P($v' = 0$)	2P($v' = 1$)	1N($v' = 0$)	Reference
N ₂	0.11 ± 0.00	0.29 ± 0.00	5.00 ± 0.17	this work
	0.13 ± 0.02	0.29 ± 0.03	-	Pancheshnyi et al. [36]
	0.12 ± 0.01	0.25 ± 0.01	-	Morozov et al. [32]
	0.10 ± 0.01	0.22 ± 0.03	3.80 ± 0.26	Nagano et al. [34]
	0.07	0.23	2.90	Bunner [14]
O ₂	2.76 ± 0.01	2.70 ± 0.03	5.24 ± 0.79	this work
	3.00 ± 0.30	3.10 ± 0.30	-	Pancheshnyi et al. [36]
	2.62 ± 0.19	2.77 ± 0.45	2.39 ± 0.40	Nagano et al. [34]
	1.35	-	8.38	Bunner [14]
H ₂ O	5.43 ± 0.12	5.78 ± 0.17	16.02 ± 1.09	this work
	3.90 ± 0.40	3.70 ± 0.40	-	Pancheshnyi et al. [36]
	7.10 ± 0.70	6.70 ± 0.70	-	Morozov et al. [32]

対象分子の状態と電子準位によって決まる遷移軌道

数値が大きい
 ほどクエンチン
 グ効果が高い

“Spectral resolved Measurement of the Nitrogen Fluorescence Yield in Air induced by Electrons”, T. Waldenmaier, Institut für Kernphysik, 2006

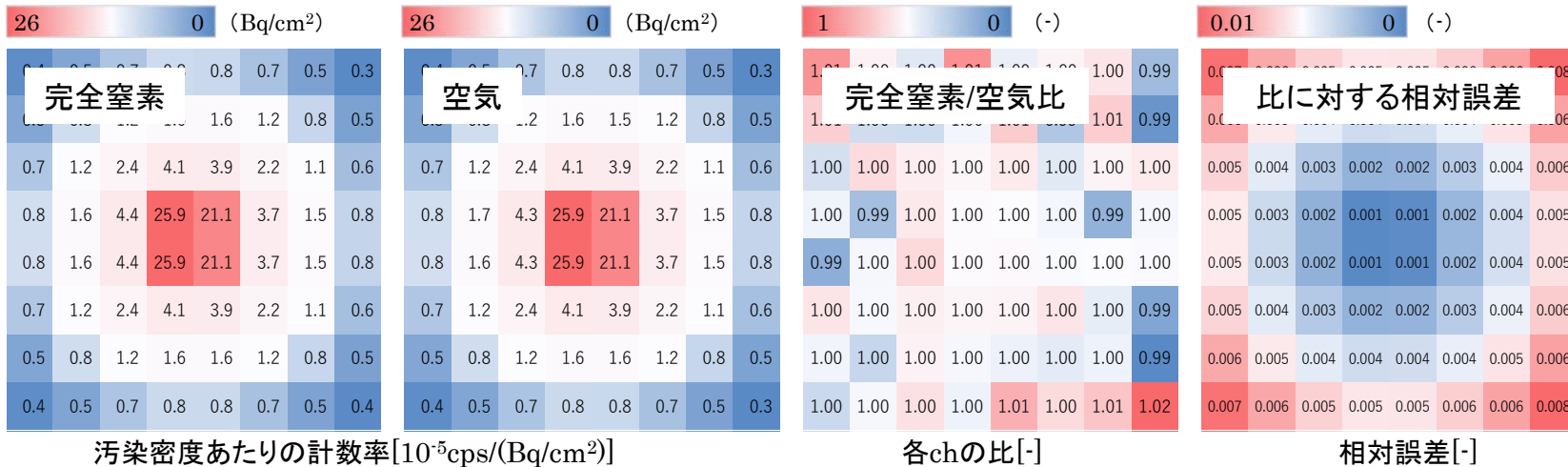
文献調査結果: 100%窒素置換によってクエンチング効果の高いO₂がなくなるため、
 検出感度を高められる可能性あり

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

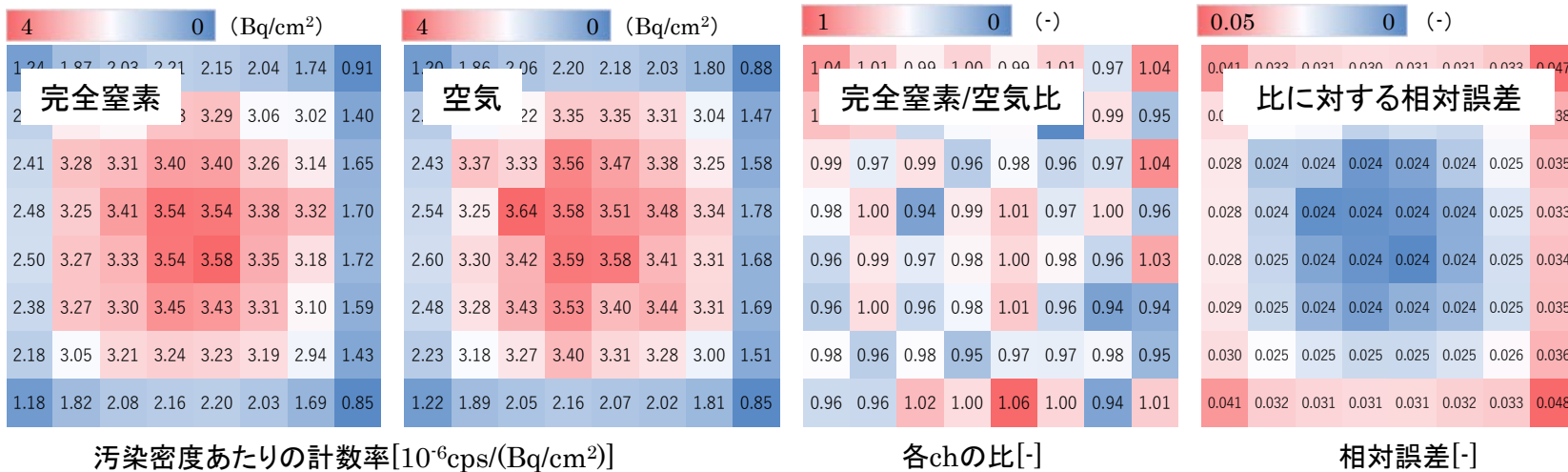
(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討

<窒素濃度の影響評価結果>

α線に対する発光



β線に対する発光



評価結果: α線による窒素発光量はエネルギー依存であり、空気の完全窒素置換は発光量を増減しない

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜優先度「低」のパラメータ＞

表1 シミュレーション条件と優先順位

プロセス	項目	優先度	パラメータ	数値範囲など	モデル化および評価指標	備考
放射線	α線	高	核種(放射線エネルギー)	4.2MeV~5.8MeV	実施 Bq/cm ²	エネルギーは1Fに存在する核種から試験での精度評価可否の観点からAm-241をモデル化
			表面汚染密度	測定対象		
			分布	測定対象		
			表面状態(粗さ)	ブラストコンクリートなど	なし	
	β線	高	核種(放射線エネルギー)	0.5MeV~2.3MeV	実施 cps(発光量)/(mSv/h)	エネルギーで核種を模擬
			線量率	~150mSv/h		現場での最大線量までを想定
			分布	汚染密度の床、壁への一様分布		汚染の拡がりを想定
	γ線	中	核種(放射線エネルギー)	~660keV	β汚染モデルの一部をγ線条件にすることで発光量の多寡を評価し、結果得られる比率を解析指標とする	現場の放射線核種からβ線と比較してエネルギーが低く、発光量は少ないと想定
			線量率	~150mSv/h		
			分布	汚染密度の床、壁への一様分布		
放射線の飛程	水	低	遮蔽効果	—	なし	α汚染検出不可要因
発光	雰囲気	中	窒素濃度	78%~100%	最小限にモデル化、他のケースは解析的に評価	特定のモデルで窒素濃度範囲を設定
	養生シート	高	形状/配置	壁や機器に残置された状況	実施	現場写真より想定
			材質	ピンク	として設定	
塗料	低	材質	—	とを確認		
	光の反射/減衰	高	配置	一様β線モデル	乱反射モデルを組み込み	
			材質(乱反射率)	反射率50%の乱反射		
ダスト	低	ダストサイズ	~10μm	なし	過去試験による知見から評価、再試験実施	
		ダスト濃度	~class11			
	水蒸気	低	湿度	~100%	なし	過去試験による知見から評価
光学系での発光	β線/γ線	低	入射窓近傍の空間線量率	~150mSv/h	なし	過去試験による知見から評価(シャッタ開閉による対策)

過去検討条件を精査した結果、補足するための追加検討が必要と判断

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜ダストの影響 再確認項目＞

過年度報告では単一波長で検証 →窒素発光域で波長データを拡充、影響を確認する

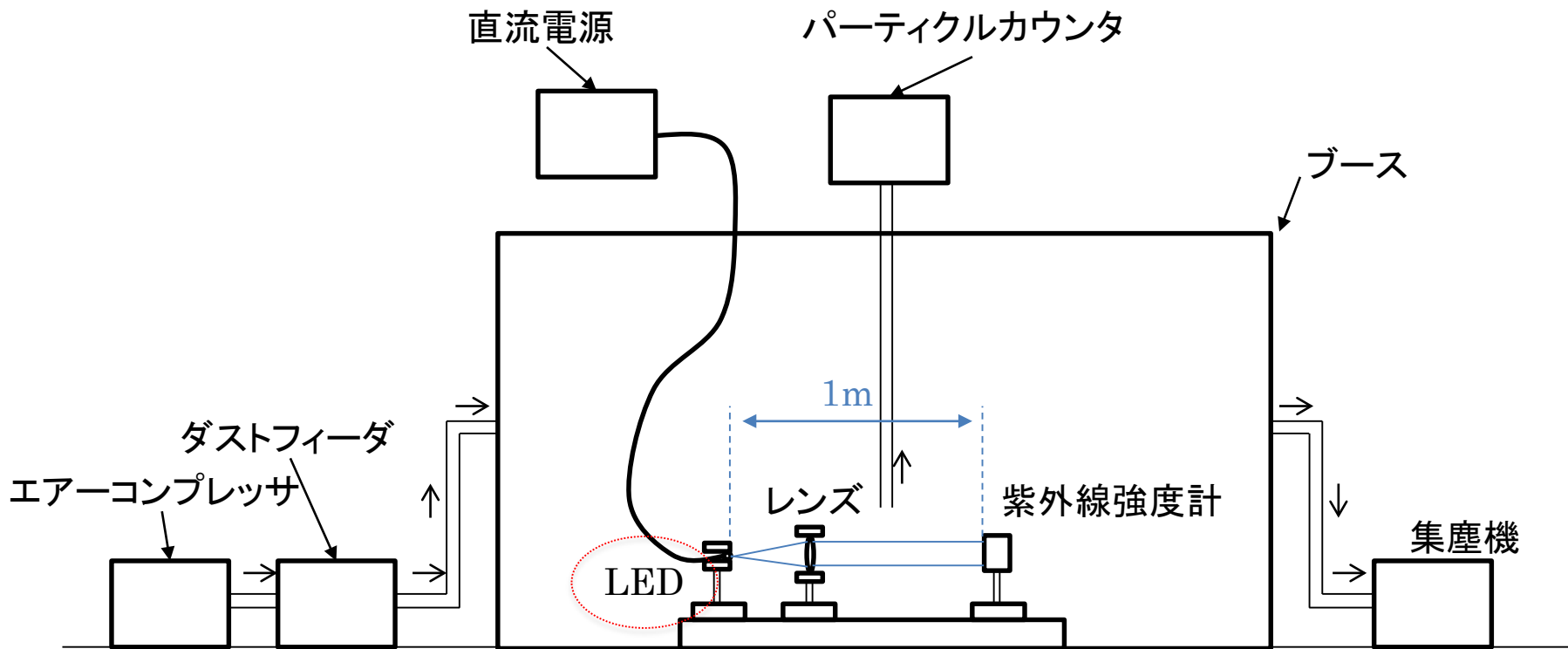


図1 ダスト影響検証試験体系(2018年度検討、2022年度使用)

- ・2018年度は310nm±5nmのみの波長で検証
- ・2022年度ではαカメラに使用するバンドパスフィルタ内の波長を追加、波長変化に対する特性を検証

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜ダストの影響再確認試験機器＞

表1 ダスト影響確認試験機器一覧

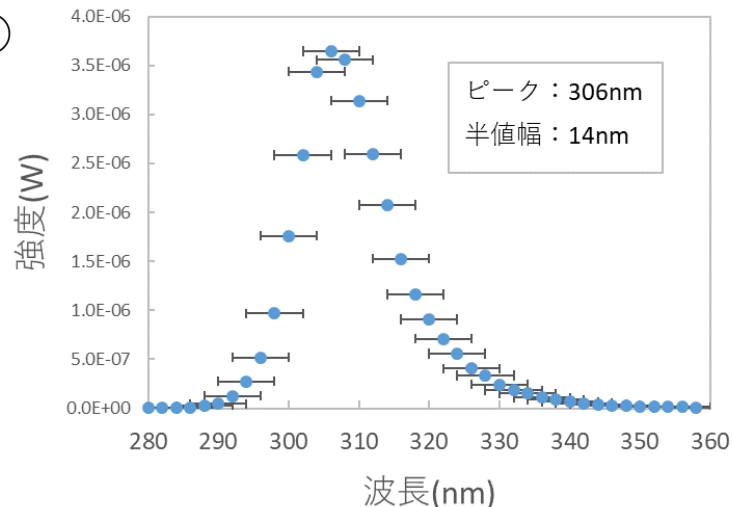
No.	名称	メーカー, 型番	主な仕様
1	エアーコンプレッサ	PUMA, SR-101N, SR-L12MPT	—
2	ダストフィーダ	柴田科学, DF-3	供給エアー流量: 20L/min
3	ブース	—	大きさ: 3m(L) × 1m(D) × 1m(H)
4	LED	Marktech Optoelectronics ①MTE310H21-UV ②MTE340H21-UV ③MT3700N3-UV	発光ピーク波長(仕様値): ①310±5nm, 340±5nm, 370±7.5nm
5	直流電源	エクシオテクノロジー, PSW-360H800Y1W	定格360W, 電圧0～800V, 電流0～1.44A
6	レンズ	エドモンドオプティクス, #67-273	f=57.3mm(@337.1nm)
7	紫外線強度計	CUSTOM, UV-340C	感度波長範囲: 250～390nm 受光部の径: φ15mm
8	パーティクルカウンタ	LMS(Beckman Coulter), HHPC6+	方式: レーザ散乱式 測定粒径範囲: 0.3μm以上 サンプリング流量: 2.83L/min 1回の測定時間: 5min
9	集じん機	CHIKO, CKU-080AT3-HC	ガス吸引流量: 11～15m ³ /h
10	模擬粉じん	日本粉体工業技術協会, JIS試験用粉体 I-11種	一般名: 関東ローム焼成粉末 主成分: SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ オーバサイズ50%(質量基準)の粒径: 約2μm

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

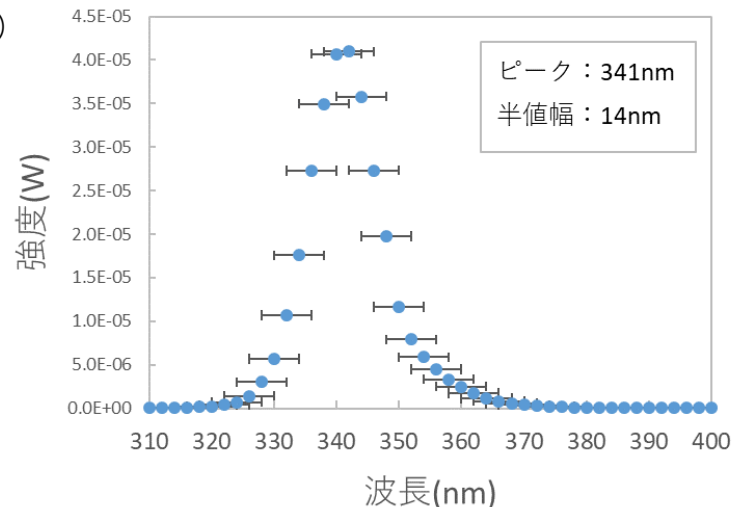
(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜ダストの影響再確認試験結果(1/2)＞

目的:各種LEDが所定の波長成分の光を出すことをスペクトル測定によって確認

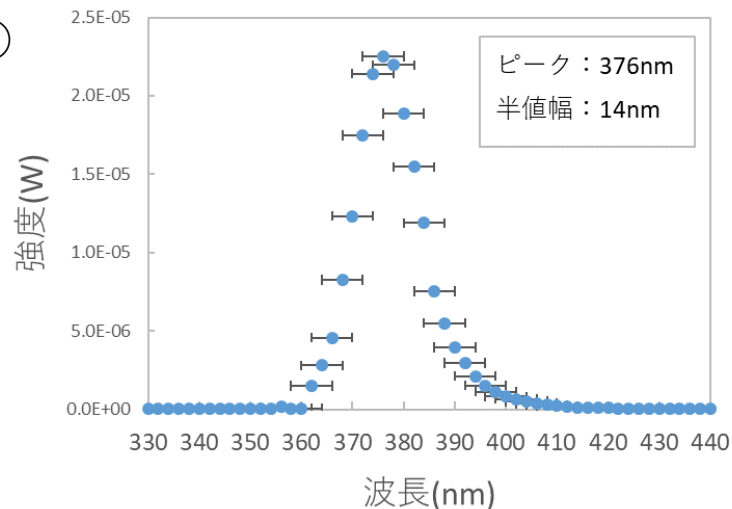
LED①



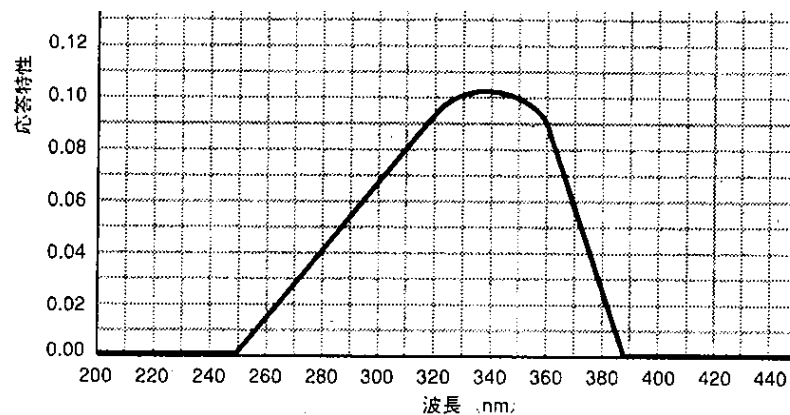
LED②



LED③



参考:UVセンサの分光感度特性



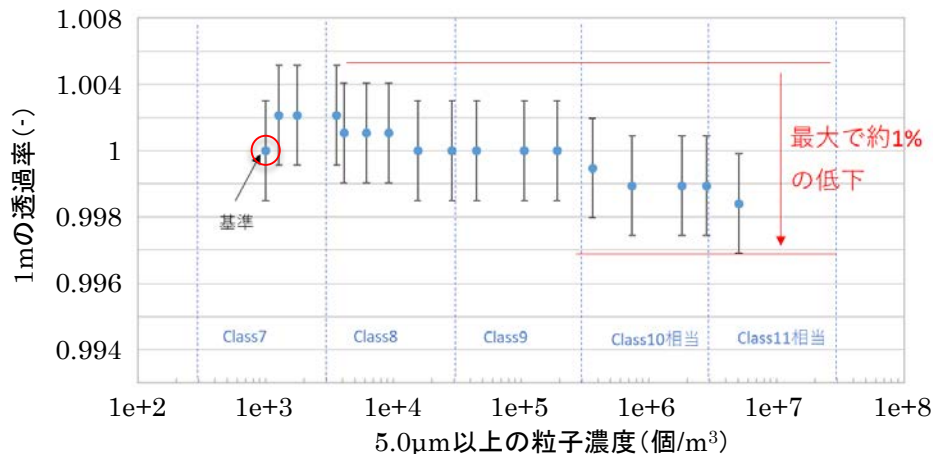
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 <ダストの影響再確認試験結果(2/2)>

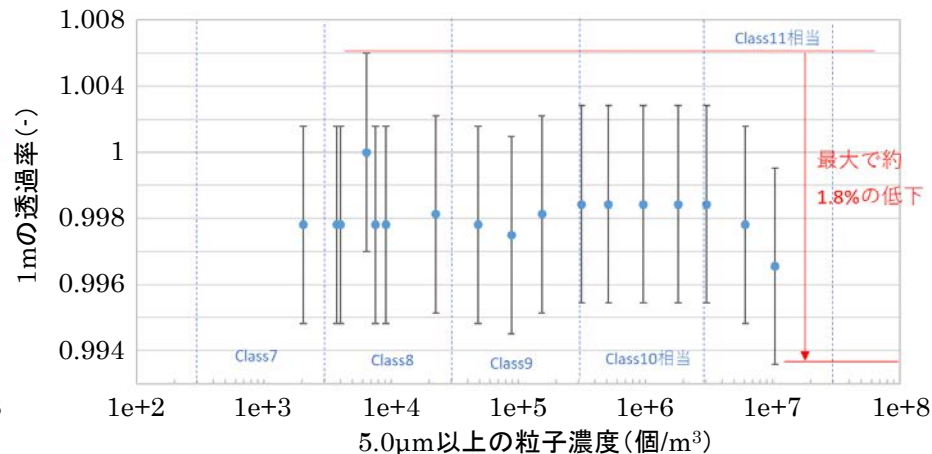
ダスト濃度を変化させながら各種LED光の透過率(下記赤丸の点を基準)を評価

エラーバーは各LEDの安定性より評価

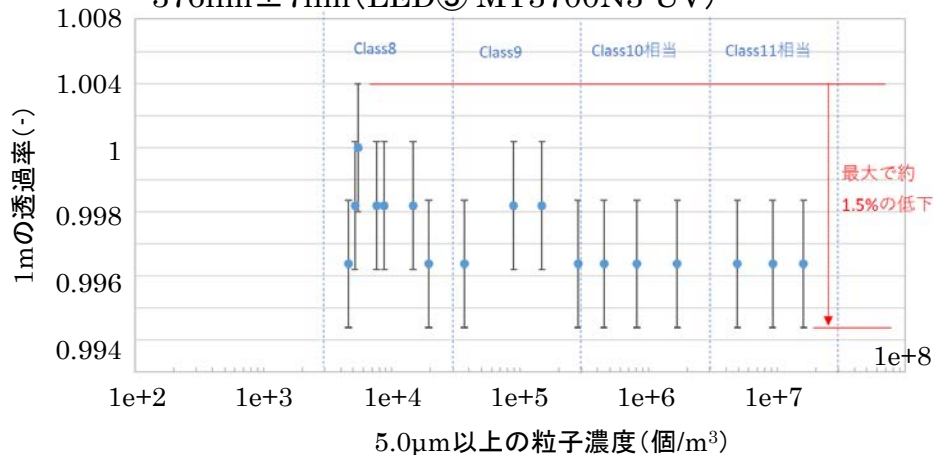
306nm±7nm(LED① MTE310H21-UV)



341nm±7nm(LED② MTE340H21-UV)



376nm±7nm(LED③ MT3700N3-UV)



- ・306nm、341nm、376nmの透過率測定はエラーバーを考慮しても最大1.8%
- ・ダスト濃度は屋外相当の 10^3 倍まで実施



ダストの影響は小さいと再評価

図中のClass7~Class11について
 空気清浄度に関するISO規格(14644-1)
 Class7は $0.5\mu\text{m}$ 粒子が352,000個/ m^3 を上限、Classが1あがるごとに
 上限粒子濃度が10倍になる、Class8が屋外相当

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜水蒸気による減光影響再評価＞

1. 水蒸気による光の散乱はダストによる散乱と同じ物理現象である → 前述の評価通り、影響は小さい
2. 水蒸気による光の吸収はモデル式が確立されている

$$T = e^{-\mu x} \quad T : \text{透過率} (-) \quad \mu : \text{吸収係数} (\text{m}^{-1}) \quad x : \text{透過距離} (\text{m})$$

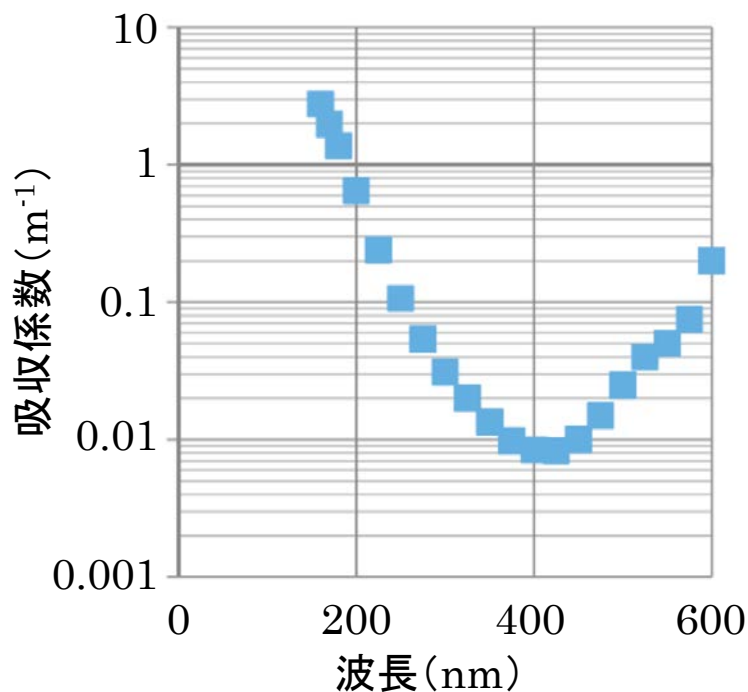


図1 水蒸気の吸収係数

表1 窒素発光スペクトル範囲内の紫外光減衰

波長λ (nm)	30℃, 相対湿度100%RH, 透過距離1mでの透過率T (-)
300	0.99
325	0.99
350	0.99
375	0.99
400	0.99

水蒸気による窒素発光の吸収も僅かであると評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討
＜水蒸気(湿度)によるα線飛程の阻害評価＞

α線の飛程 R を求める式

$$R = \frac{\rho}{\rho_0} \times \sqrt{\frac{A}{A_0}} \times R_0 \text{ (cm)}$$

ρ : 物質の密度 (kg/cm³)

ρ_0 : 飛程が既知の物質の密度 (kg/cm³)

A : 物質の質量数

A_0 : 飛程が既知の物質の質量数

R_0 : 飛程が既知の物質での飛程 (cm) →ここでは空気

α線の空気中での飛程 R_0 を求める式

$$R_0 = 0.318 \times E^{3/2} \text{ (cm)}$$

E : α線のエネルギー (MeV)

表1 湿度による空気の密度変化

温度(°C)	湿度(%)	密度(kg/m ³)	比率
10	30	1.25	1.06
10	100	1.24	1.06
25	65	1.18	1
30	30	1.16	0.99
30	100	1.15	0.98



5.4MeV α線の場合3.89cm～4.23cm



- ・窒素発光量
 - ・飛程の変化による光の拡がり
- がαカメラの視野外に対して無視できるほど小さい

1m以上離れたαカメラにとっては、湿度の影響は無視できるレベル

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ①シミュレーションモデルの拡張検討 ＜まとめ＞

☆優先度「高」パラメーター☆

- ✓ シミュレーション効率化のため α カメラ感度領域を評価
- ✓ シミュレーションモデルを拡張し、面 β 汚染、発光体、反射体の模擬を完了
- ✓ 想定される測定環境シチュエーションを基本モデルの組み合わせから作り、 α 汚染シグナル、 β 汚染ノイズそれぞれの最大値からSN比=1となる α 汚染密度と線量率の関係(検出下限図)を導出するプロセスを確立した
- ✓ 検出下限図を計数絶対値の比較で導出するPhase1、信号処理を想定したPhase2、補助検出器によるSN比改善を考慮したPhase3に分類し、それぞれ導出(または導出プロセスの構築)を完了

☆優先度「中」パラメーター☆

- ✓ β 汚染_壁分布に γ 線を模擬したシミュレーションを完了
- ✓ β 線による発光検出量に対して γ 線の場合約1/100になることを確認
- ✓ 放射線の β/γ 比に応じて検出下限図へ反映するプロセスを定めた

☆優先度「低」パラメーター☆

- ✓ ダスト影響試験により影響が小さい(低下率最大1.8%)ことを複数の波長に対して再確認
- ✓ 水蒸気による減衰について散乱モデルよりダストと同様に影響が小さいと評価
- ✓ 湿度の変化による α 線の飛程変化を試算、測定への影響は小さいと評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

<本年度実施内容>

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対するのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ② α 汚染検出下限関の確度向上
＜ β 線照射試験による検証内容＞

目的

β 線照射試験での計数率から検出下限関の確度検証(オーダーレベル)

制約

面状に分布する β 汚染源が存在しないことから有限サイズの線源を利用

方法

- ・JAEA放射線標準施設(FRS)の β 線源を利用
- ・ α 線源チェックソース($20\text{Bq}/\text{cm}^2$)を併用
- ・ β 線源および α 線源の計数率実測値を評価
- ・放射線や発光の分布が最も近いと想定される「壁分布」の検出下限関を用いて計数率実測値の結果と比較評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ②α汚染検出下限図の確度向上
 <β線照射試験体系と計数率評価結果>

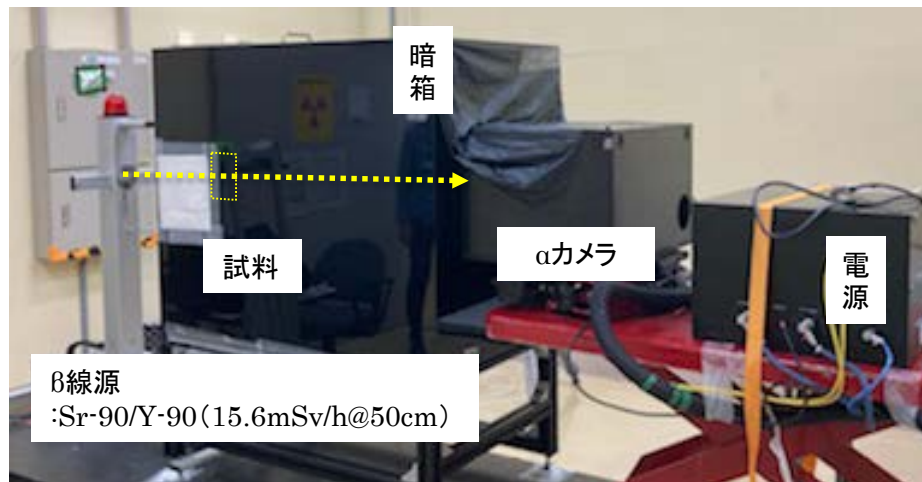


図1 β線照射試験体系

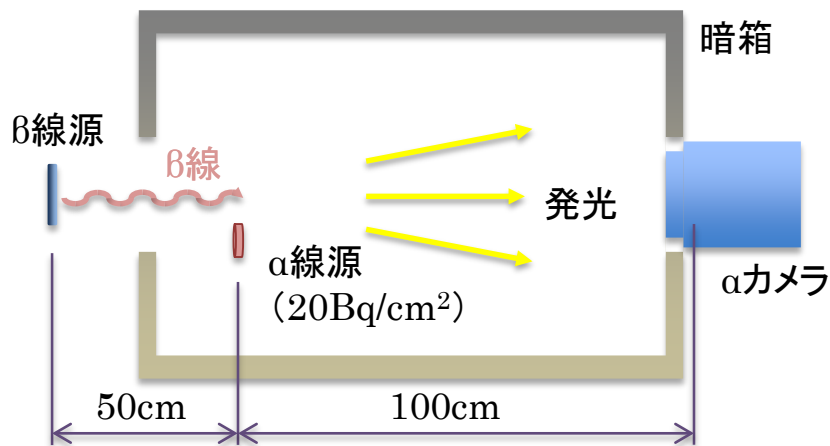


図2 暗箱内の体系図

α線源からの計数率(cps)

0.47	0.63	0.48	0.50	1.09	0.43	1.09	0.76
0.46	0.51	0.47	0.47	0.32	0.28	0.25	0.39
0.46	0.78	1.05	0.67	0.39	0.25	0.31	0.31
0.60	1.81	13.08	2.89	0.98	0.31	0.28	0.28
0.49	1.61	10.37	2.95	0.98	0.32	0.28	0.52
0.39	0.62	0.91	0.68	0.52	0.35	0.29	0.28
0.40	0.43	0.49	0.44	0.37	0.28	0.29	0.25
0.58	0.50	0.45	0.48	0.40	0.41	0.37	0.26

β線源からの計数率(cps)

1.09	1.38	2.18	2.93	2.72	2.33	1.49	0.86
0.85	1.78	4.07	6.03	6.02	4.04	1.84	0.85
1.28	4.45	10.15	17.62	16.86	9.34	4.25	1.41
1.84	6.98	19.45	153.52	124.43	16.19	5.50	1.41
1.81	7.44	22.66	315.71	231.16	18.69	5.70	1.40
1.31	4.79	13.22	27.54	25.08	11.73	4.76	1.37
1.01	1.65	4.79	7.77	7.86	4.87	1.82	0.94
1.00	1.70	2.49	3.04	3.04	2.58	1.73	0.97

図3 β線照射試験結果

表1 β線照射試験解析結果

線源	8x8計数総和(cps)	αカメラまでの距離(cm)
α線源 (Am-241、φ36mm)	60.9	100
β線 (Sr-90/Y-90、φ60mm)	1176.7	150

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システムの性能確認 ②α汚染検出下限図の確度向上 <β線照射試験結果の考察(1/2)>

表1 β線照射試験結果の考察に用いた数値

項目	数値(既知情報)
β線源の線量率(実験に用いた線源の仕様)	15.6mSv/h@β線源から0.5m
α線源(Am241チェックソース)汚染密度	20Bq/cm ²
実験体系:β線源とαカメラとの距離(P.98)	1.5m
実験体系:α線源とαカメラとの距離(P.98)	1.0m
実験値:β線源からの発光計数率(P.98)	1176.7cps
実験値:α線源からの発光計数率(P.98)	60.9cps
β汚染_壁分布、距離1.5mの検出下限図	下図

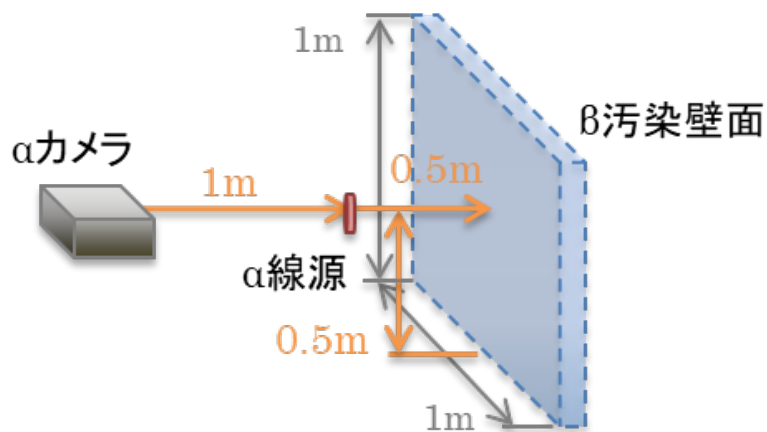


図1 β線照射試験相当の想定モデル

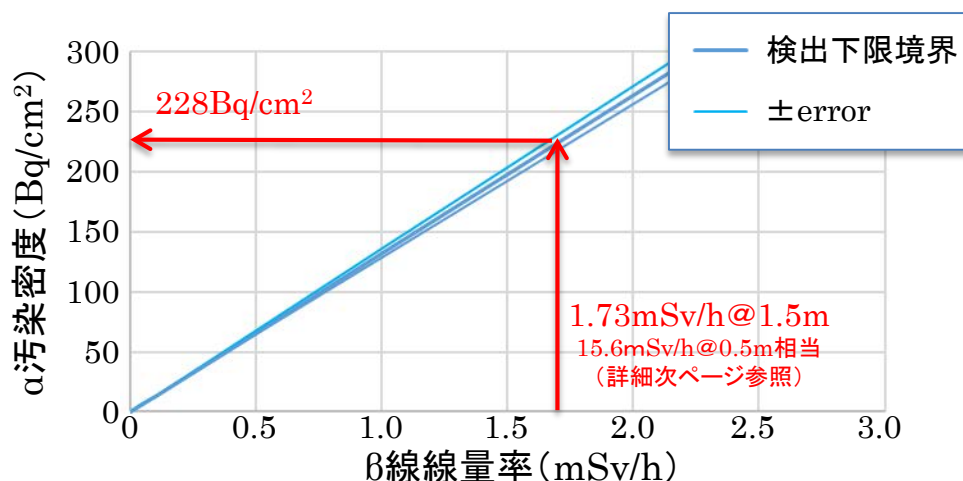


図2 β汚染_壁1.5m検出下限図

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ② α 汚染検出下限図の確度向上
＜ β 線照射試験結果の考察(2/2)＞

線量率:

有限サイズ線源の一方照射であるため、(距離)⁻²に比例すると想定。すなわち、 α カメラと β 線源の距離150cmから、 15.6mSv/h (P.99表1参照) \times $(50\text{cm}/150\text{cm})^{-2} = 1.73\text{mSv/h}$ に相当。

検出下限予測値(P.99図2参照):

上記線量率において「壁分布1.5mの検出下限図」から予測検出下限値は 228Bq/cm^2

α 汚染密度比率:

実際に用いた α 線源の汚染密度(P.99表1参照)と上記 α 汚染密度の予測検出下限値との比をとると $(20\text{Bq/cm}^2)/(228\text{Bq/cm}^2) = 8.78 \times 10^{-2}$

β 線源の計数率(実測)から比率計算して求まる α 線源からの計数率期待値:

$(\beta$ 線計数率総和 1176.7cps (P.99表1参照)) \times $8.76 \times 10^{-2} = 103.12\text{cps}$

実測値との比較:

$(\alpha$ 線計数率総和 $60.9\text{cps})/(\text{計数率期待値}103.12\text{cps}) = 0.59$

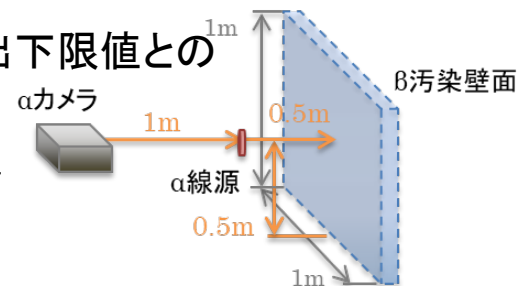


図1 壁分布1.5mモデル

計数率期待値に対する実測値のずれの要因

- 1) 実験における線量率の算出(暗箱の窓などで実際は線量率がもっと低い可能性)
- 2) 実験と対比させた基本モデルとの幾何的な β 汚染分布の差異(本ページ図1とP.98図1)
- 3) 本補助事業で構築したシミュレーションの精度は現状 $\pm 50\%$ 以内



妥当性評価結果: 本試験の結果と検出下限図による予測値は倍半分精度内で整合
→ 検出下限図はオーダーエスティメイトの手段として有効と評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ② α 汚染検出下限図の確度向上
〈まとめ〉

β 線照射試験による検出下限図の確度評価

- ✓ 有限サイズの β 線源を用いて「壁分布」検出下限図との比較評価を実施
- ✓ 試験における β 線線量率から検出下限図を用いて α 汚染密度の検出下限を算出
上記汚染密度において想定される計数率と実測を比較した結果0.59
- ✓ 当社シミュレーション精度が倍半分程度であることを考慮し、検出下限図がオーダーエスティメイトに有効であると評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

＜本年度実施内容＞

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対してのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b)測定システムの性能確認 ③ノイズ対策が困難な材質に対してのノイズ回避策 ＜運用による回避対象と対策内容＞

表1 運用回避対象と対策一覧(各プロセスにおいて性能向上による対策が困難な事象を抽出)

プロセス	項目	事象	回避対策
放射線	α線	粗さ(凹凸)	α線の飛程(例 5MeVで約4cm)以上の凹凸は凹凸内部がαカメラ視野に含まれるような俯瞰姿勢の測定を検討
放射線の飛程	水	α線飛程の障害	計測不可範囲として記録のうえ、滞留水のサンプリング測定や乾燥後の測定を検討
発光	養生シート等の強い発光源	劣化した状態、あるいは局所部分的な残置によるスポット的なノイズ光の発生	1)RGB画像による存在確認、検出下限図と線量率情報から事前に発光量を予測 2)計測不可範囲として記録し、除去後の測定を検討
光の反射／減衰	水蒸気	非常に濃い蒸気発生(例 火口の湯煙)	常態的に存在する熱源に起因する場合は計測不可範囲、一時的な現象であれば発生しなくなるまで待機 結露は可能な範囲で乾燥空気をパージ
	ダスト	台風等の強風により一時的にシルト、砂などが1e+8個/m ³ 以上の濃度で舞う	一時事象中は測定を停止
光学系での発光	β線/γ線	筐体内光学系でのチェレンコフ光発生	シャッター開閉前後の計数率を確認、有意な計数がみられる場合はBGとして差分処理
その他	外部光	残置された人工光源	単色LEDの場合は波長フィルタ、白色光の場合は手動停止可否を検討
		太陽光や月明り	遮光シート敷設可否を検討、測定環境上可能な場合は遮光ボックスを設置

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

<本年度実施内容>

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理

現場環境条件を模擬するためのパラメータ検討

(b) 測定システム性能の確認

① シミュレーションモデルの拡張検討

パラメータを模擬するためのシミュレーションモデル拡張と発光プロセスを定量的に整理、パラメータに応じた α 汚染検出下限を導出

② α 汚染検出下限図の確度向上検討

試験によるシミュレーションモデルの精度確認、必要に応じモデルを改良し検出下限図の確度を向上

③ ノイズ対策が困難な材質に対するのノイズ回避策検討

表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

建屋解体前の汚染分布計測や解体後廃棄物の α 汚染評価など、想定適用プロセスの環境条件に応じて α 汚染計測システムの適用性を評価

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズの整理結果 (1/2) >

項目No.	想定フェーズ	廃棄物発生前				廃棄物発生後		
	ニーズ (大分類)	解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握				大量発生した廃棄物の分類		
	ニーズ (小分類)	(1) 解体前建屋の汚染分布把握	(2) 解体前建屋の汚染検査	(3) 作業員の汚染管理	(4) 解体廃棄物表面のデブリ付着有無確認	(5) 物品搬出時の汚染確認	(6) 物品搬出時の汚染検査	(7) 固体廃棄物の分別用測定
1	目的	汚染状況の定性把握	汚染状況の定量測定	レッドゾーン退出基準以上の汚染確認	固体廃棄物表面のデブリ有無の確認	汚染有無の定性把握	汚染の定量測定	分別方法を定めるための定量測定
2	測定対象	解体前の建屋、装置	解体前の建屋、装置	作業員 (携行品)	解体廃棄物	解体廃棄物 (デブリ付着なし)	廃棄物などの収納容器、装置	廃棄物全般
3	測定項目	α 汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²) 定量測定	・ 表面汚染密度の濃淡 ・ 定性評価	・ デブリ有無 (定性評価) ・ 付着位置の大きな同定	汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²)	核種別の放射能濃度 (Bq/kg)
4	測定性能	μ Sv/h未滿: 1Bq/cm ² mSv/h未滿: 10Bq/cm ² mSv/h以上: 100Bq/cm ²	検出下限: 10Bq/cm ² 測定誤差: \pm 1Bq/cm ²	検出下限: 0.4Bq/cm ²	μ Sv/h未滿: 1Bq/cm ² mSv/h未滿: 10Bq/cm ² mSv/h以上: 100Bq/cm ²	検出下限: 1Bq/cm ²	検出下限: 1Bq/cm ² 測定誤差: \pm 0.1Bq/cm ²	核種・処理・処分方法に依存
5	装置の可動性	無人かつ可動	手押し台車での可搬	不要	固定式	固定式	固定式	固定式
6	マッピング機能	必要	必要	不要	不要	必要	不要	不要
7	β γ 線量率	\sim 150mSv/h	\sim 150mSv/h	環境放射線はサブ μ Sv/h以下に遮蔽	廃棄物の β γ 汚染密度に準ずる 環境放射線の空間線量率は μ Sv/hオーダー以下	廃棄物の β γ 汚染密度に準ずる 環境放射線の空間線量率は μ Sv/hオーダー以下	廃棄物の β γ 汚染密度に準ずる 環境放射線の空間線量率は μ Sv/hオーダー以下	廃棄物の β γ 汚染密度に準ずる 環境放射線の空間線量率は μ Sv/hオーダー以下
8	β γ 同時計測	困難	可能	可能	可能	可能	可能	可能
9	発光源有無	有 (養生シート)	事前撤去	タイベックが発光体	事前撤去	対象全体が発光する可能性あり	対象全体が発光する可能性あり	可能性あり
10	反射体有無	測定対象	測定対象	なし	測定対象の場合あり	測定対象の場合あり	測定対象の場合あり	測定対象の場合あり
11	測定対象形状	- (物品搬出前の現場)	- (物品搬出後の現場)	ヒト型	1m \times 1m \times 1m以下	1m \times 1m \times 1m	1m \times 1m \times 1m	1m \times 1m \times 1m以下
12	遮光環境	要遮光	建屋内、要外部光遮断	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能
13	湿潤環境	湿度100%以下、雨滴環境は要回避	湿度100%以下、雨滴環境は要回避	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
14	粉塵環境	ISO規格14644-IIにおけるclass11相当以下	ISO規格14644-IIにおけるclass11相当以下	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
15	標準測定時間	10min/m ²	10min/m ²	数min	10min/m ²	10min/m ²	10min/m ²	10min/箇所
16	その他	測定距離を原則1mとする 養生シート (ピンク) を含むエリアは別途検討	mSv/h以上の高線領域では補助検出器を利用し、測定時間を長くする	測定距離を1mとすることで測定時間を低減	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	α 線スペクトルや発生時間 (半減期) の測定、汚染密度定量測定手法の開発が必要

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズの整理結果 (2/2) >

項目No.	想定フェーズ	廃棄物発生前				廃棄物発生後		
	ニーズ (大分類)	解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握				大量発生した廃棄物の分類		
	ニーズ (小分類)	(1) 解体前建屋の汚染分布把握	(2) 解体前建屋の汚染検査	(3) 作業員の汚染管理	(4) 解体廃棄物表面のデブリ付着有無確認	(5) 物品搬出時の汚染確認	(6) 物品搬出時の汚染検査	(7) 固体廃棄物の分別用測定
1	目的	汚染状況の定性把握	汚染状況の定量測定	レッドゾーン退出基準以上の汚染確認	固体廃棄物表面のデブリ有無の確認	汚染有無の定性把握	汚染の定量測定	分別方法を決めるための定量測定
2	測定対象	解体前の建屋、装置	解体前の建屋、装置	作業員 (や携行品)	解体廃棄物	解体廃棄物 (デブリ付着なし)	廃棄物などの収納容器、装置	廃棄物全般
3	測定項目	α 汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²) 定・表面汚染密度の濃淡量測定	定・表面汚染密度の濃淡・定性評価	・デブリ有無 (定性評価) ・付着位置の大まかな同定	汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²)	核種別の放射能濃度 (Bq/kg)
4	測定性能	μ Sv/h未満・1Bq/cm ² mSv/h未満・10Bq/cm ² mSv/h以上・10Bq/cm ²	検出下限: 10Bq/cm ² 測定誤差: ±0.1Bq/cm ²	検出下限: 10Bq/cm ² 測定誤差: ±0.1Bq/cm ²	μ Sv/h未満・1Bq/cm ² mSv/h未満・10Bq/cm ² mSv/h以上・100Bq/cm ²	検出下限: 1Bq/cm ²	検出下限: 1Bq/cm ² 測定誤差: ±0.1Bq/cm ²	核種・処理・処分方法に依存
5	装置の可動性	無人かつ	手押し台車	固定式	固定式	固定式	固定式	固定式
6	マッピング機能	必要	必要	必要	必要	必要	必要	必要
7	β γ 線量率	~150mSv/h	~150mSv/h	~150mSv/h	~150mSv/h	~150mSv/h	~150mSv/h	~150mSv/h
8	β γ 同時計測	困難	可能	可能	可能	可能	可能	可能
9	発光源有無	有 (養生シートの現場)	事前撤去	事前撤去	事前撤去	事前撤去	事前撤去	事前撤去
10	反射体有無	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象の場合あり
11	測定対象形状	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)	— (物品搬出後の現場)
12	遮光環境	要遮光	建屋内、要遮光	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能
13	湿潤環境	湿度100%以下、雨滴環境は要回避	湿度100%以下、雨滴環境は要回避	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
14	粉塵環境	ISO規格14644-1におけるclass11相当以下	ISO規格14644-1におけるclass11相当以下	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
15	標準測定時間	10min/m ²	10min/m ²	数min	10min/m ²	10min/m ²	10min/m ²	10min/箇所
16	その他	測定距離を原則1mとする 養生シート (ピンク) を含むエリアは別途検討	μ Sv/h以上の高線領域では補助検出器を利用し、測定時間を長くする	測定距離を1mとすることで測定時間を低減	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	α 線スペクトルや発生時間 (半減期) の測定、汚染密度定量測定手法の開発が必要

要求性能に対して評価

1) 定量評価について
 現 α カメラに対して β γ 線量率や発光体の発光特性をもとにした解析技術などが不可欠 → 現時点での評価は難しい

2) 定性評価について
 廃炉プロセスが明確になっていないため、環境放射線や測定対象の想定は安全側にならざるを得ない、また α 汚染密度検出下限要求値 (α 廃棄物管理方針) も定まっていない
 → 現 α カメラが適用可能になるシチュエーションを想定した適用可能性について纏める

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(1)(1/2) >

表1 1μSv/hに対する検出下限(Ph1)

No	組み合わせ		β線線量率 μSv/h	α汚染検出下限 Bq/cm ²
	β汚染	α汚染		
①	床1	α1	1.0	0.09
②	床2	α2		0.45
③	床3	α3		1.10
④	床3	α1		0.12
⑤	床3	α2		0.49
⑥	床3	α3		1.10
⑦	壁1	α1		0.30
⑧	壁2	α1		0.07
⑨	壁3	α1		0.03
⑩	壁3	α2		0.13
⑪	床壁1	α1		0.43
⑫	床壁2床1	α2		0.76
⑬	床壁3床2床1	α3		0.16
⑭	養生1	α1		1.20
⑮	壁1	α1		0.30
⑯	床反射1	α1		0.14
⑰	壁反射1	α1		0.71
⑱	床壁反射1	α1		0.78

(1)一部で1Bq/cm²を超えるものの、検出下限は1.2Bq/cm²以下
(2)βγ比率に応じて検出下限は向上する



信号処理(Ph2)や補助検出器(Ph3)を利用することなく測定が可能と評価

表2 1mSv/hに対する検出下限(Ph1)

No	組み合わせ		β線線量率 mSv/h	α汚染検出下限 Bq/cm ²
	β汚染	α汚染		
①	床1	α1	1.0	89.9
②	床2	α2		449.3
③	床3	α3		1100.7
④	床3	α1		122.3
⑤	床3	α2		489.2
⑥	床3	α3		1100.7
⑦	壁1	α1		296.2
⑧	壁2	α1		74.1
⑨	壁3	α1		32.9
⑩	壁3	α2		131.7
⑪	床壁1	α1		430.6
⑫	床壁2床1	α2		759.6
⑬	床壁3床2床1	α3		156.8
⑭	養生1	α1		1195.9
⑮	壁1	α1		296.2
⑯	床反射1	α1		138.1
⑰	壁反射1	α1		707.5
⑱	床壁反射1	α1		782.7

(1)「測定距離3mの床+3m先のα」、「養生シート」が最も検出下限が大きい
(2)α汚染までの距離を1mに限定することで、養生シートを除くケースで1mSv/hに対して検出下限は800Bq/cm²
(3) βγ比率に応じて検出下限は向上する



・要求検出下限を10Bq/cm²とした場合は、1000/(800/10)=12.5μSv/hまでは対応可能
なお、床分布のみの環境では1000/(122.3/10)≒82μSv/hまで対応可能
・要求検出下限を100Bq/cm²とした場合は125μSv/h～820μSv/hで対応可能
・制約として養生シートなどのスポット光源を含まないこと

「床1、α1」は距離1mのβ汚染_床分布、距離1mのα線源のモデルを示す

“No”はP.57～P.62に記載の基本モデルの組み合わせの番号と同じ(以降同様)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(1)(2/2) >

表1 ニーズ(1)に対する適用性評価まとめ

項目No.	想定フェーズ		廃棄物発生前
	ニーズ(大分類)		解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握
	ニーズ(小分類)		(1) 解体前建屋の汚染分布把握
17	適合性	Ph1	$\mu\text{Sv/h}$ 未満: 1Bq/cm^2 →適用可能 mSv/h 未満: 10Bq/cm^2 →測定距離を1m、養生シート等のスポット光源を除いて、床汚染は約 $82\mu\text{Sv/h}$ 、その他は約 $12\mu\text{Sv/h}$ の場合対応可能、ただし β γ の比率に応じて最大 10^2 倍まで対応可能 mSv/h 以上: 100Bq/cm^2 →測定距離を1m、養生シート等のスポット光源を除いて、床汚染は約 $820\mu\text{Sv/h}$ 、その他は約 $120\mu\text{Sv/h}$ の場合対応可能、ただし β γ の比率に応じて最大 10^2 倍まで対応可能
		Ph2	養生シートなどのスポット的な発光源が存在する状況以外では検出下限が1/10まで対応可能
		Ph3	高線量率域に限り、夜間測定等で300min測定とした場合にPh2(差分処理)との組み合わせで検出下限への最大効果として1/100を見込み、数 Bq/cm^2 が検出できる可能性あり
		総評	$\mu\text{Sv/h}$ の低線量率域は測定が可能だが、 $10\mu\text{Sv/h}\sim\text{mSv/h}$ では測定距離や対象を限定して適用可能、ただし100% β 線の評価であり β γ 比に応じて適用範囲は広がる。重要度が高く高線量な対象については信号処理や補助検出器の利用を想定すると数 Bq/cm^2 まで検出できる可能性がある。

Ph1、Ph2、Ph3の定義はP.29参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズの整理結果 (2/2) 再掲 >

項目No.	想定フェーズ	廃棄物発生前				廃棄物発生後		
		解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握		実施対象		大量発生した廃棄物の分類		
		(1) 解体前建屋の汚染分布把握	(2) 解体前建屋の汚染検査	(3) 作業員の汚染管理	(4) 解体廃棄物表面のデブリ付着有無確認	(5) 物品搬出時の汚染確認	(6) 物品搬出時の汚染検査	(7) 固体廃棄物の分別用測定
1	目的	汚染状況の定性把握	汚染状況の定量測定	レッドゾーン退出基準以上の汚染確認	固体廃棄物表面のデブリ有無の確認	汚染有無の定性把握	汚染の定量測定	分別方法を定めるための定量測定
2	測定対象	解体前の建屋、装置	解体前の建屋、装置	作業員（や携行品）	解体廃棄物	解体廃棄物（デブリ付着なし）	廃棄物などの収納容器、装置	廃棄物全般
3	測定項目	α汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²) 定量測定	・ 表面汚染密度の濃淡 ・ 定性評価	・ デブリ有無（定性評価） ・ 付着位置の大まかな同定	汚染の有無、分布	表面汚染密度 (Bq/cm ²)	核種別の放射能濃度 (Bq/kg)
4	測定性能	μSv/h未満：1Bq/cm ² mSv/h未満：10Bq/cm ² mSv/h以上：100Bq/cm ²	検出下限：10Bq/cm ² 測定誤差：±1Bq/cm ²	検出下限：0.4Bq/cm ²	μSv/h未満：1Bq/cm ² mSv/h未満：10Bq/cm ² mSv/h以上：100Bq/cm ²	検出下限：1Bq/cm ²	検出下限：1Bq/cm ² 測定誤差：±0.1Bq/cm ²	核種・処理・処分方法に依存
5	装置の可動性	無人かつ	手押し台車での可搬	不要	固定式	固定式	固定式	固定式
6	マッピング機能	必要	必要	不要	不要	必要	不要	不要
7	βγ線量率	~150mSv/h	~150mSv/h	環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下	環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下	環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下	環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下	環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下
8	βγ同時計測	困難	可能	可能	可能	可能	可能	可能
9	発光源有無	有（養生シート）	事前撤去	対象の想定は安全側にならざるを得ない	対象の想定は安全側にならざるを得ない	対象の想定は安全側にならざるを得ない	対象の想定は安全側にならざるを得ない	対象の想定は安全側にならざるを得ない
10	反射体有無	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象	測定対象
11	測定対象形状	-（物品搬出前の現場）	-（物品搬出後の現場）	-（物品搬出後の現場）	-（物品搬出後の現場）	-（物品搬出後の現場）	-（物品搬出後の現場）	-（物品搬出後の現場）
12	遮光環境	要遮光	建屋内、要遮光	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能	遮光可能
13	湿潤環境	湿度100%以下、雨濁環境は要回避	湿度100%以下、雨濁環境は要回避	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）
14	粉塵環境	ISO規格14644-1におけるclass11相当以下	ISO規格14644-1におけるclass11相当以下	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）	問題なし（管理可能）
15	標準測定時間	10min/m ²	10min/m ²	数min	10min/m ²	10min/m ²	10min/m ²	10min/箇所
16	その他	測定距離を原則1mとする養生シート（ピンク）を含むエリアは別途検討	mSv/h以上の高線領域では補助検出器を利用し、測定時間を長くする	測定距離を1mとすることで測定時間を低減	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	測定距離などの固定化できるものは固定	α線スペクトルや発生時間（半減期）の測定、汚染密度定量測定手法の開発が必要

要求性能に対して評価

1) 定量評価について
 現αカメラに対してβγ線量率や発光体の発光特性をもとにした解析技術などが不可欠。現時点での評価をペンディング

2) 定性評価について
 廃炉プロセスが明確になっていないため、環境放射線や測定対象の想定は安全側にならざるを得ない。またα汚染密度検出下限要求値(α廃棄物管理方針)も定まっていない

→ 現αカメラが適用可能になるシチュエーションを想定した適用可能性について纏める

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(3)(1/3) >

表1 ニーズ(3)再設定

項目No.	想定フェーズ	廃棄物発生前	
	ニーズ(大分類)	解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握	
	ニーズ(小分類)	(3) 作業員の汚染管理	(3) 作業員の汚染管理(再)
1	目的	レッドゾーン退出基準以上の汚染確認	レッドゾーン退出基準以上の汚染確認
2	測定対象	作業員(や携行品)	作業員(や携行品)
3	測定項目	・表面汚染密度の濃淡 ・定性評価	・表面汚染密度の濃淡 ・定性評価
4	測定性能	検出下限: 0.4Bq/cm ²	検出下限: 0.4Bq/cm ²
5	装置の可動性	不要	不要
6	マッピング機能	不要	不要
7	βγ線量率	環境放射線はサブμSv/h以下に遮蔽	環境放射線はサブμSv/h以下に遮蔽
8	βγ同時計測	可能	可能
9	発光源有無	タイベックが発光体	タイベックが発光体
10	反射体有無	なし	汚染検査エリア内を無反射遮光シートで覆う
11	測定対象形状	ヒト型	ヒト型
12	遮光環境	遮光可能	遮光可能
13	湿潤環境	問題なし(管理可能)	問題なし(管理可能)
14	粉塵環境	問題なし(管理可能)	問題なし(管理可能)
15	標準測定時間	数min	数min
16	その他	測定距離を1mとすることで測定時間を低減	・測定距離1m以下

表1 1μSv/hに対する検出下限(Ph1)

No	組み合わせ		β線線量率 μSv/h	α汚染検出下限 Bq/cm ²
	β汚染	α汚染		
①	床1	α1	1.0	0.09
②	床2	α2		0.45
③	床3	α3		1.10
④	床3	α1		0.12
⑤	床3	α2		0.49
⑥	床3	α3		1.10
⑦	壁1	α1		0.30
⑧	壁2	α1		0.07
⑨	壁3	α1		0.03
⑩	壁3	α2		0.13
⑪	床壁1	α1		0.43
⑫	床壁2床1	α2		0.76
⑬	床壁3床2床1	α3		0.16
⑭	養生1	α1		1.20
⑮	壁1	α1		0.30
⑯	床反射	α1	0.14	
⑰	壁反射1	α1	0.71	
⑱	床壁反射1	α1	0.78	

タイベックと読み替える

- ・タイベックに付着したβγのスポット汚染が養生シートと同じ効果
- ・差分処理(Ph2)は有効に作用しない
- ・測定時間の観点から補助検出器(Ph3)も不可

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(3) (2/3) >

$\beta\gamma$ 検出器を併用した場合の適用性を検討

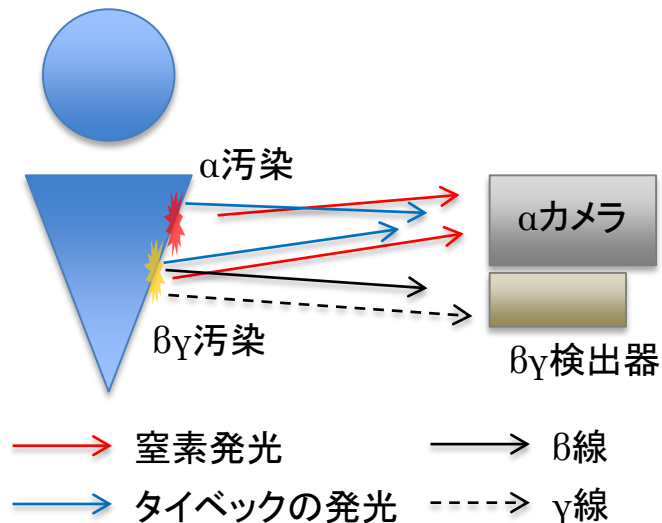


図1 ニーズ(3) 汚染管理 汚染測定イメージ図

α カメラでの検出

$\alpha\beta\gamma$ 起因の全発光

α 起因の正味発光

放射線検出器の検出

減算処理

$\beta\gamma$ 線線量率

算出

$\beta\gamma$ 線起因の発光

図2 $\beta\gamma$ 線量率の情報活用イメージ

検出下限 0.4Bq/cm^2 を実現するための要件

- 1) $\beta\gamma$ 検出器での測定結果から α カメラの計数率からノイズ除去すること
- 2) ノイズは環境放射線量が $0.3\mu\text{Sv/h}$ (100% β 線) のレベルまで低減できること

P.110

⑭	養生1	$\alpha 1$	1.20
⑮	壁1	$\alpha 1$	0.30

タイベックと読み替える

検出下限図Ph1による分析から $1\mu\text{Sv/h}$ での検出下限は 1.2Bq/cm^2
これを 0.4Bq/cm^2 にするには $\beta\gamma$ 線情報を活用したノイズ低減量を
 $0.4/1.2=1/3$ とすればよい、従って $1\mu\text{Sv/h}/3 \approx 0.3\mu\text{Sv/h}$

□ $\beta\gamma$ 汚染が残っていない場合

⑭「養生1」は考慮する必要がなく、適用可能

□ $\beta\gamma$ 汚染が残っている場合

レッドゾーン退出時の汚染確認では、

- ・測定対象材質はタイベックなど決まっている
- ・測定対象形状は体格レベルの揺らぎ
- ・測定距離の揺らぎはほぼない
- ・ α カメラと $\beta\gamma$ 検出器の位置関係は固定

であることから技術開発は必要であるが $\beta\gamma$ 線情報を活用したノイズ低減の見込みはあると判断

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(3)(3/3) >

表1 ニーズ(3)に対する適用性評価まとめ

項目No.	想定フェーズ		廃棄物発生前
	ニーズ(大分類)		解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握
	ニーズ(小分類)		(3) 作業員の汚染管理
17	適合性	Ph1	サブ μ Sv/hまで環境線量率を下げることを、数minで測定するための技術開発、を前提 <ul style="list-style-type: none"> ・ 汚染対象表面にβ γ汚染が付着していない場合 ・ 汚染対象表面にβ γ汚染が付着していない場合 β γ の計測結果からSN比を向上する技術を追加の前提として、0.4Bq/cm ² への適用可能性あり
		Ph2	誤差増大のリスク回避のため実施しない
		Ph3	測定時間の観点から実施しない
		総評	β γ 検出器の併用および技術開発を前提として適用可能性あり

Ph1、Ph2、Ph3の定義はP.29参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

＜想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(4)および(5)の共通想定状況＞

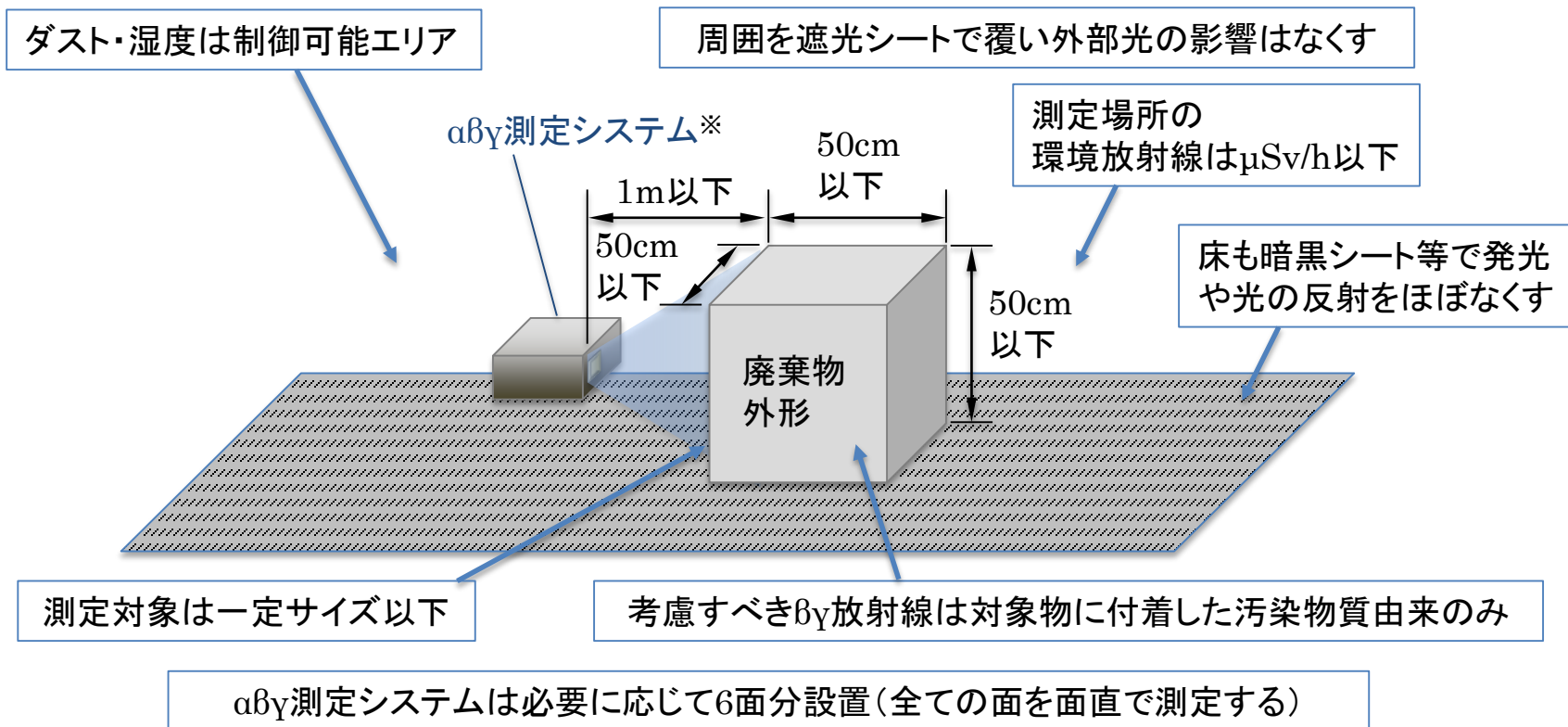


図1 ニーズ(4)および(5)の想定システム・環境

留意事項: αカメラでの測定は容器に入れる前、材質別に測定する必要がある。

(※ P.112 表1の総評より、当該適用性の評価では“αβγ測定システム”を想定)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(4) (1/3) >

表1 ニーズ(4)再設定

項目No.	ニーズ (小分類)	(4) 解体廃棄物表面の デブリ付着有無確認	(4) 解体廃棄物表面の デブリ付着有無確認 再設定
1	目的	固体廃棄物表面のデブリ有無の確認	固体廃棄物表面のデブリ有無の確認
2	測定対象	解体廃棄物	解体廃棄物
3	測定項目	・ デブリ有無 (定性評価) ・ 付着位置の大きかな同定	・ デブリ有無 (定性評価) ・ 付着位置の大きかな同定
4	測定性能	$\mu\text{Sv/h}$ 未満: $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ mSv/h 未満: $10\text{Bq}/\text{cm}^2$ mSv/h 以上: $100\text{Bq}/\text{cm}^2$	3.7kg/容器以下 容器内体積 49.6cm × 49.6cm × 29.8cmH
5	装置の可動性	固定式	固定式
6	マッピング機能	不要	不要
7	$\beta\gamma$ 線量率	廃棄物の $\beta\gamma$ 汚染密度に準ずる環境放射線の空間線量率は $\mu\text{Sv/h}$ オーダー以下	付着している $\beta\gamma$ 汚染の表面線量率上限を 1mSv/h とする環境放射線は $1\mu\text{Sv/h}$ 以下
8	$\beta\gamma$ 同時計測	可能	可能
9	発光源有無	事前撤去	事前撤去
10	反射体有無	測定対象の場合あり	塗装面はないものと想定
11	測定対象形状	1m × 1m × 1m以下	49.6cm × 49.6cm × 29.8cmH以下
12	遮光環境	遮光可能	遮光可能
13	湿潤環境	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
14	粉塵環境	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
15	標準測定時間	10min/m ²	10min/m ²
16	その他	測定距離などの固定化できるものは固定	・ 測定距離固定 ・ 表面のみを対象として測定し、人が接近できるかを判断する

【仕分け判定基準の考え方】

●仕分け分類と判定基準(現状の考え方を整理した暫定案)

仕分け分類	仕分けの主な目的	判定基準(暫定)		
		(右記のいずれも満足しない)	燃料デブリ中のU-235濃度: 1.5wt%相当の反応度以下	核物質量が、核物質防護対象、保障措置終了となる量(未定)以下
a: 収納缶 (内径220mm、高さ約1m)	○	-	-	-
b: 緩和型収納缶 (内径400mm)	● 取り出しスリーブの向上 ● 燃料デブリ保管規模の縮小	-	○	-
c: 廃棄物保管容器 (管理レベル)	境界安全の確保	-	-	○
d: 廃棄物保管容器 (汚染レベル)	廃棄物の保管・管理の合理化	-	-	○

*1: 収納缶PJの過去の評価で、燃料デブリが全てU-235とU-238で構成されると仮定した場合に、燃料デブリに占めるU-235の重量割合が1.7wt%程度以下であれば、内径400mmの収納缶が適用できるという結果が得られていることから、この1.7wt%に余裕を見込んで1.5wt%と設定
*2: 保管時の配置・段積み等を考慮して、最小臨質量(約30kg)を8個の廃棄物保管容器で等分して設定

容器種類	容器形状	評価モデル (単位: mm)
1. ユニット缶 φ 210mm × 200mmH 板厚2mm [Ref. デブリ取り出しPJ]	 図 ユニット缶の構造案 平成30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業員補助金 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 最終報告書(最終報告) 令和3年3月より	 水平断面 鉛直断面
2. 収納缶 φ 240mm × 928mmH 板厚10mm [Ref. 収納缶PJ]	 図 収納缶(最終設計構造/内径220mm/遮光増強型)の構造案 平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業員補助金(燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発)」2020年度最終報告書2021年6月より	 水平断面 鉛直断面
3. 廃棄物内容器 500mm [□] × 300mmH 板厚2mm [Ref. 処理・処分PJ]	 図 廃棄物保管容器の構造案 平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業員補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」2018年度最終報告書2020年7月より	 水平断面 鉛直断面

令和2年度開始廃炉・汚染水対策事業補助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発(燃料デブリと放射性廃棄物の仕分け技術の開発)」最終報告より

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(4) (2/3) >

3.7kg/容器ウランの表面汚染密度

- ・廃棄物内のウランは均一に分布している
 - ・廃棄物形状はP.113記載の6面体
 - ・表面汚染は表層1mmのウラン量で決まると仮定
- 以下、表1に示す通りウランの表面汚染密度を算出

表1 ウランの想定汚染密度算出結果

容器	
L	49.6cm
W	49.6cm
H	29.8cm
ウラン	
重量	3.7kg
放射能	46,045,700Bq
LW面の放射能	154515.7Bq
LW面の汚染密度	62.8Bq/cm ²



- ・要求α汚染密度を60Bq/cm²で再評価
- ・βγ線量率は1mSv/h以下

表2 1mSv/hに対する検出下限(Ph1)

No	組み合わせ		β線量率 mSv/h	α汚染検出下限 Bq/cm ²
	β汚染	α汚染		
①	床1	α1	1.0	89.9
②	床2	α2		149.9
③	床3	α3		1100.7
④	床3	α1		192.8
⑤	床3	α2		189.2
⑥	床3	α3		1100.7
⑦	壁1	α1		296.2
⑧	床3	α3		774.1
⑨	壁3	α1		92.9
⑩	壁3	α2		131.7
⑪	床壁1	α1		190.6
⑫	床壁2	α2		156.8
⑬	床壁3	α3		1100.7
⑭	養生1	α1		1195.9
⑮	床	α3	210.2	
⑯	床反射1	α1	138.1	
⑰	壁反射1	α1	707.5	
⑱	床壁反射1	α1	782.7	

「発光体が存在する場合」と読み替える

- (1)測定可能な条件
β/γが0.2以下の条件では60Bq/cm²での測定が可能
- (2)信号処理
βγ線量率からノイズ光計数率を減じることで測定可となる可能性
- (3)補助検出器(Ph3)
SN比5倍のために追加で110分以上の測定を行うことで高いβγ汚染が存在する箇所に対して測定可能と見込む

発光体の事前除去による運用回避

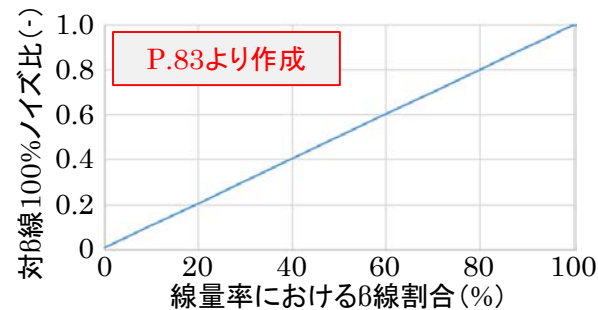


図1 β線比率によるノイズ比

測定条件の限定や条件付きで測定可能と評価



b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(4)(3/3) >

表1 ニーズ(4)に対する適用性評価まとめ

項目No.	想定フェーズ		廃棄物発生前
	ニーズ(大分類)		解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握
	ニーズ(小分類)		(4) 解体廃棄物表面の デブリ付着有無確認
17	適合性	Ph1	以下の条件付きで60Bq/cm ² の測定が可能 付着しているβγ汚染の線量率1mSv/h、β/γ比が0.2以下
		Ph2	βγ線量率情報からノイズ光計数率の減算処理適用で測定可能性あり
		Ph3	補助検出器を併用して追加測定時間110分以上行うことで60Bq/cm ² 測定可能
		総評	測定環境、対象を限定したうえで 表面のα汚染測定に対して適用可能な条件あり

Ph1、Ph2、Ph3の定義はP.29参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(5)(1/2) >

表1 ニーズ(5)再設定

ニーズ (小分類)	(5) 物品搬出時の汚染確認	(5) 物品搬出時の汚染確認 再設定
1 目的	汚染有無の定性把握	汚染有無の定性把握
2 測定対象	解体廃棄物 (デブリ付着なし)	解体廃棄物 (デブリ付着なし)
3 測定項目	汚染の有無、分布	汚染の有無、分布
4 測定性能	検出下限: 1Bq/cm ²	約100kBq/cm ² 六ヶ所低レベル廃棄物貯蔵センターにおける廃棄物埋設を行う放射性廃棄物に含まれる放射性物質うち全α核種に対する最大放射能濃度および総放射能量 5.55×10 ⁸ Bq/tonより、廃棄物に均一に汚染物質が分布し、表面は1mm深さで決まると仮定
5 装置の可動性	固定式	固定式
6 マッピング機能	必要	必要
7 βγ線量率	廃棄物のβγ汚染密度に準ずる環境放射線の空間線量率はμSv/hオーダー以下	付着しているβγ汚染の表面線量率上限を1mSv/hとする
8 βγ同時計測	可能	可能
9 発光源有無	対象全体が発光する可能性あり	対象全体が発光する可能性あり
10 反射体有無	測定対象の場合あり	測定対象の場合あり
11 測定対象形状	1m×1m×1m	49.6cm×49.6cm×29.8cmH以下
12 遮光環境	遮光可能	遮光可能
13 湿潤環境	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
14 粉塵環境	問題なし (管理可能)	問題なし (管理可能)
15 標準測定時間	10min/m ²	10min/m ²
16 その他	測定距離などの固定化できるものは固定	・測定距離固定 ・表面のみを対象として測定し、人が接近できるかを判断する

表2 100mSv/hに対する検出下限(Ph1)

No	組み合わせ		β線線量率 mSv/h	α汚染検出下限 kBq/cm ²
	β汚染	α汚染		
①	床1	α1	100	89.9
②	床2	α2		449.3
③	床3	α3		1100.7
④	床3	α1		122.3
⑤	床3	α2		489.2
⑥	床3	α3		1100.7
⑦	壁1	α1		29.62
⑧	壁2	α1		74.1
⑨	壁3	α1		32.9
⑩	壁3	α2		131.7
⑪	床壁1	α1		430.6
⑫	床壁2床1	α2		759.6
⑬	床壁3床2床1	α3		156.8
⑭	養生1	α1		119.59
⑮	壁1	α1		296.2
⑯	床反射1	α1		138.1
⑰	壁反射1	α1		707.6
⑱	床壁反射1	α1		782.7



・β汚染の線量率が100mSv/h場合、5.55×10⁸Bq/ton (均一分布)の検出境界が現れる
 ・β線線量率を事前にサーベイし、スポット100mSv/h(β100%)以上がない環境では5.55×10⁸Bq/tonの表面α汚染は検出可能

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 ニーズ(5)(2/2) >

表1 ニーズ(5)に対する適用性評価まとめ

項目No.	想定フェーズ		廃棄物発生後
	ニーズ(大分類)		大量発生した廃棄物の分類
	ニーズ(小分類)		(5) 物品搬出時の汚染確認
17	適合性	Ph1	約100kBq/cm ² 六ヶ所低レベル廃棄物貯蔵センターにおける廃棄物埋設を行う放射性廃棄物に含まれる放射性物質のうち全α核種に対する最大放射能濃度および総放射能5.55×10 ⁸ Bq/tonより、廃棄物に均一に汚染物質が分布し、表面は1mm深さで決まると仮定
		Ph2	上記基準とした場合は信号処理(Ph2)は不要
		Ph3	上記基準とした場合は補助検出器(Ph3)は不要
		総評	100mSv/h(β100%)以上の汚染環境以外では表面のα汚染測定に対して適用可能

Ph1、Ph2、Ph3の定義はP.29参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

まとめ

■ これまでの成果

- (a) α カメラでの測定に影響を与えるパラメータを整理、模擬すべき優先度を評価した。
- (b) 測定システム性能の確認を行い、以下の成果を得た。
 - ① 面 β 汚染をはじめとしたシミュレーションモデル拡張を完了、複数の想定ケースを事例に検出下限図の導出を完了した。
 - ② β 線照射試験を実施し、検出下限図が α カメラの性能をオーダーエスティメイトする手段として有効であることを確認した。
 - ③ 検出下限図による評価から判明したスポット的な発光源をはじめとして、 α カメラの測定性能向上により対策が困難な材質や要因に対して回避策を定めた。
- (c) α カメラによる α 汚染測定ニーズと環境条件想定を整理した。当該環境条件をもとに検出下限図を用いて各ニーズにおける適用性を評価した。

■ 今後の課題

- ✓ 空間線量率が予測可能になった際の検出下限図作成プロセスへの取り込み
- ✓ 想定ニーズにおける α 汚染計測の必要性の見極め、従来汚染計測手法とのベストミックスの検討
- ✓ β _Y線シグナルの活用などによるさらなる性能向上

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

用語集

単語	説明(内数字は初回登場ページ)
検出下限図	α 汚染起因の発光検出量(シグナルS)と、その他放射線起因の発光検出量(ノイズN)が等しくなる(SN比=1)境界を示した図(6)
α カメラ	α 線によって生じる窒素発光(紫外光)を測定することで α 汚染を遠隔で測定する装置。特に、本補助事業では広範囲を測定するために8ch×8ch(全64ch)のマルチアノード光電子増倍管(MAPMT)を利用して一定の広さを網羅的に測定が可能。(10)
境界線量率	検出下限図においてある α 汚染密度を決めた場合に、SN比=1に対応する線量率(表面線量率や空間線量率)。(11)
光学系でのチェレンコフ光	荷電粒子が空気や水などの媒質中を運動する時、荷電粒子の速度がその媒質中を進む光速度よりも速い場合に光が放射される現象をチェレンコフ光という。 α カメラにおいては β 線や γ 線がミラーやレンズに到達することで生じる。(15)
cps	計数率の単位、1秒間あたりの光子検出数。cps = count per second(16)
Geant4	モンテカルロ法を用いた「物質中における粒子の飛程」のシミュレーションコード。(20)
量子効率	光電流として取り出される電子あるいは正孔の数を入射光子数で割った値。(20)
チェックソース	放射線測定器の校正のために用いる線源。標準線源。(25)
バックグラウンド	測定対象事象以外の、背景事象(環境放射線や外部光、装置内ノイズなど)に起因したノイズ成分。(29)
補助検出器	α カメラ本体とは別に配置し、シグナルとノイズの弁別に利用するPMT。(29)
統計量	Geant4にて模擬する粒子の発生数に等しい。(33)
絶対誤差	シミュレーションにより求めた値に対して、誤差を同じ単位で求めたもの。(57)
BPF	バンドパスフィルタ。(74)
クエンチング	蛍光がなんらかの作用によって強度低下する現象。窒素発光の場合、酸素原子(消光物質)との衝突で励起エネルギーを失うことで発光量が低下する。(86)
レッドゾーン	福島第一原子力発電所では汚染のレベルによって区分されており、汚染のレベルが高い順にR(レッド)、Y(イエロー)、G(グリーン)ゾーンに分けられている。(105)
タイベック	放射性物質の付着を防ぐための防護服。正確にはタイベックは材料名称であるが、防護服の意で使用。(105)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

まとめ(目標に照らした達成度)

項目	目標達成の判断基準となる指標	TRL		参照 シート No.
		目標	結果	
b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発				
(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理				
・ アルファ核種表面汚染測定に影響を与えるベータ汚染やガンマ汚染の分布、 養生シートなど発光源となる材質の空間的な位置に関してパラメータの検 討・整理が行われている。		4	4	P16
(b) 測定システム性能の確認				
・ 現地環境を想定したアルファ汚染測定の検出下限値等の適用範囲の確認、およ び、表面汚染測定システムの運用によるノイズ回避策等の検討・整理を行い、 測定システムの性能確認が行われている。		4	4	P.95、P.101、P.103
(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認				
・ 福島第一原子力発電所廃炉におけるアルファ核種表面汚染測定システムの適用 範囲と制約条件の確認が行われている。		4	4	P.104~P.118

3. 研究開発の運営※

※本研究開発全体(“a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”と“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目)の2022年度における「研究開発の運営」を示す。

～ 叡智の結集、廃炉産業集積、人材育成～

■ 国内外の叡智の結集

- IRIDにて委嘱している外部の専門家等に参加いただき、本年度研究開発実施事項の計画、実施方法、進捗状況等に係るデザインレビュー(IDR)、並びに作業会(WG)を実施。

6/24 α 表面汚染計測技術開発IDR: 模擬パラメータの検討状況のレビュー

8/23 Cs吸着塔からのサンプリング技術開発: 装置適用性及び試験計画のレビュー

11/25 α 表面汚染計測技術開発WG: 中間成果の確認

■ 福島への廃炉産業集積、福島イノベーション・コースト構想の実現

- 廃炉関連産業への地元企業参画を進めるため、福島県浜通り地域等の地元企業と協働することの検討を行い、「セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発」に係る試験装置製作の一部等を地元企業3社と協働で実施。

■ 中長期的視点での人材育成

- 日本保全学会 第18回学術講演会(2022.7)にて α 汚染遠隔計測に関する2件の講演(α 汚染遠隔計測装置における環境放射線の影響評価、および α 汚染遠隔計測におけるカラー情報を利用した3次元空間再構築技術の開発)を実施し、理解促進および啓発活動を実施。
- IRIDホームページにて研究開発成果等の掲載を行い、研究成果や今後の計画の紹介を通して理解促進および啓発活動を実施中。

～ 条件・仕様の明確化、指標の設定、他の研究開発との連携 ～

■ 試験条件や開発仕様の明確化

- 関係者間で 事業のアウトプット内容等の意見交換を行い、試験条件や仕様の明確化を図った。

■ 目標達成を判断する指標の設定

- 着手にあたって、事業の目標達成の判断基準となるべき指標の検討を行い、目標とする技術成熟度(TRL)を設定した。

■ 廃炉作業や他の研究開発との連携

- 関連プロジェクト間にて定期的な打合わせを実施することにより、各プロジェクトの進捗状況、および課題などに関する情報を共有した。また、これまでに構築している事業計画や成果の情報管理を共有化するしくみを継続・活用中。
- 燃料デブリ取り出しに伴い発生する固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発を遺漏なく推進するため、収納缶プロジェクトおよびデブ取プロジェクト※¹等との意見交換・情報共有を実施。
- 関連プロジェクト※²間で、得られた成果が廃炉作業や研究開発事業にどのように寄与するのかを共有し、連携・協力を実施。

※¹ 収納缶プロジェクト:「燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発」プロジェクト

デブ取りプロジェクト:「燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」プロジェクト

※² 関連プロジェクト: 令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)

～ 研究管理、事業の報告、情報発信、代替案 ～

■ 研究の管理

- 本事業に係る関係者が一同に会した会議(プロジェクト調整会議)を毎月定期的を開催し、研究開発の進捗状況を共有するとともに、発生した問題点などについての解決方針などを討議。

〔 2022年4月11日、5月9日、6月6日、7月4日、8月1日、9月5日、10月3日、11月7日、12月5日
2023年1月10日、2月6日、3月9日 〕

■ 事業の報告

- 前月末の進捗状況をMRI事務局主催の定例会議にて報告を実施。また、9月30日の中間報告会により半期の進捗状況を報告。

■ 情報発信の充実

- IRID ホームページに本事業の成果を掲載し、一般の人を対象にわかりやすく情報発信を実施。また、7月に開催された日本保全学会第18回学術講演会において、 α 表面汚染計測技術の開発状況について紹介を行う等、本事業成果の情報発信を実施。

■ 代替案の事前準備

- 事業が予定通りに進捗しなかった場合に備え、必要に応じて、事前に代替案を検討。具体的には、セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発において、実施期間を延長してオンサイト検証試験等を実施。

以上

参考資料

* 報告を担当するIRID組合員.

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(c) 表面汚染測定システムの適用範囲の確認

< 想定ニーズに対する適用性評価 >

項目No.	想定フェーズ		廃棄物発生前				廃棄物発生後		
	ニーズ (大分類)		解体作業計画立案のための汚染状況の概略把握				大量発生した廃棄物の分類		
	ニーズ (小分類)		(1) 解体前建屋の汚染分布把握	(2) 解体前建屋の汚染検査	(3) 作業員の汚染管理	(4) 解体廃棄物表面のデブリ付着有無確認	(5) 物品搬出時の汚染確認	(6) 物品搬出時の汚染検査	(7) 固体廃棄物の分別用測定
17	適合性	Ph1	<p>$\mu\text{Sv/h}$未満: 1Bq/cm^2 →適用可能 mSv/h未満: 10Bq/cm^2 $\rightarrow 10\mu\text{Sv/h} \sim 100\mu\text{Sv/h}$ までは対応可能 mSv/h以上: 100Bq/cm^2 $\rightarrow 1\text{m}^2$以上にスポット汚染や発光源がないことが条件</p>	<p>検出下限は(1)と同様 現状測定誤差は10%程度であるため高汚染密度を対象とした場合に誤差は数Bq/cm^2となる また、定量測定するための技術開発が必要</p>	<p>サブ$\mu\text{Sv/h}$まで環境線量率を下げることで、$\beta\gamma$の計測結果からSN比を向上する技術開発を前提として0.4Bq/cm^2が達成できる可能性がある と推定 ただし、数minで測定するための技術開発も必要</p>	<p>高線量廃棄物の場合、1m^2の均一な汚染面ではない可能性が高く、検出下限は100Bq/cm^2に満たないと推定 ただし、本ニーズでは不確定要素が多く、均一な汚染面では(1)と同じ検出下限となる</p>	<p>高線量廃棄物の場合、1m^2の均一な面ではない可能性が高く、検出下限は100Bq/cm^2に満たないと推定 ただし、本ニーズでは不確定要素が多く、均一な汚染面では(1)と同じ検出下限となる</p>	<p>性能評価は(2)と同じ。</p>	<p>核種同定、濃度定量評価と目的が異なるため評価困難</p>
		Ph2	<p>養生シートなどのスポット的な発光源が存在する状況以外では検出下限が1/10まで対応可能</p>	<p>検出下限は向上するが誤差伝播による誤差増大が3倍~最大30倍生じる</p>	<p>誤差増大のリスク回避のため実施しない</p>	<p>差分処理によるSN比改善効果が発現するシチュエーションは少ないと推定</p>	<p>差分処理によるSN比改善効果が発言するシチュエーションは少ないと推定</p>	<p>差分処理によるSN比改善効果が発言するシチュエーションは少ないと推定</p>	<p>同上</p>
		Ph3	<p>高線量率域に限り、夜間測定等で300min測定とした場合にPh2(差分処理)との組み合わせで数Bq/cm^2が検出できる可能性あり</p>	<p>Ph1との組み合わせにより誤差増大を抑制しながらSN比を改善する手段として有効 ただし、長時間測定が許容される対象に限る</p>	<p>測定時間の観点から実施しない</p>	<p>高線量廃棄物の物量が夜間等を活用した長時間測定を許容できる場合、数十Bq/cm^2オーダーの検出可能性あり</p>	<p>高線量廃棄物の物量が夜間等を活用した長時間測定を許容できる場合、数十Bq/cm^2オーダーの検出可能性あり</p>	<p>高線量廃棄物の物量が夜間等を活用した長時間測定を許容できる場合、数十Bq/cm^2オーダーの検出可能性あり</p>	<p>同上</p>
		総評	<p>$\mu\text{Sv/h}$以下の低線量率域は測定が可能だが、mSv/h以上では長時間測定が許容される測定対象は適用可能性あり</p>	<p>現時点では適用困難 定量評価手法の実現ハードルが高い</p>	<p>現時点では適用困難 課題解決の可能性はある</p>	<p>現時点では適用困難 不確定要素が多い</p>	<p>現時点では適用困難 不確定要素が多い</p>	<p>現時点では適用困難 不確定要素が多い</p>	<p>現時点では適用困難</p>

Ph1、Ph2、Ph3の定義はP.29参照

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(b) 測定システム性能の確認

【追加実施項目】 α 線の水中での飛程

出典: https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/temp/graph_11230.png

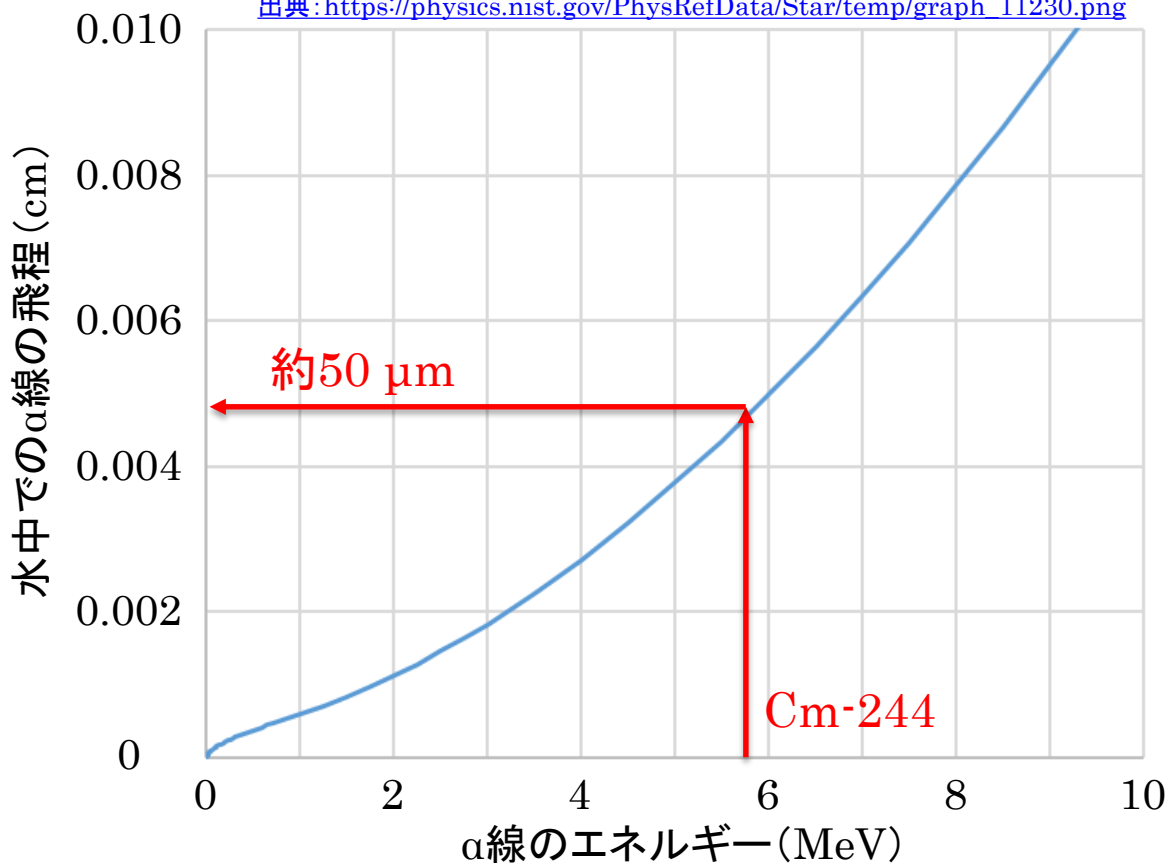


図1 水中における α 線の飛程

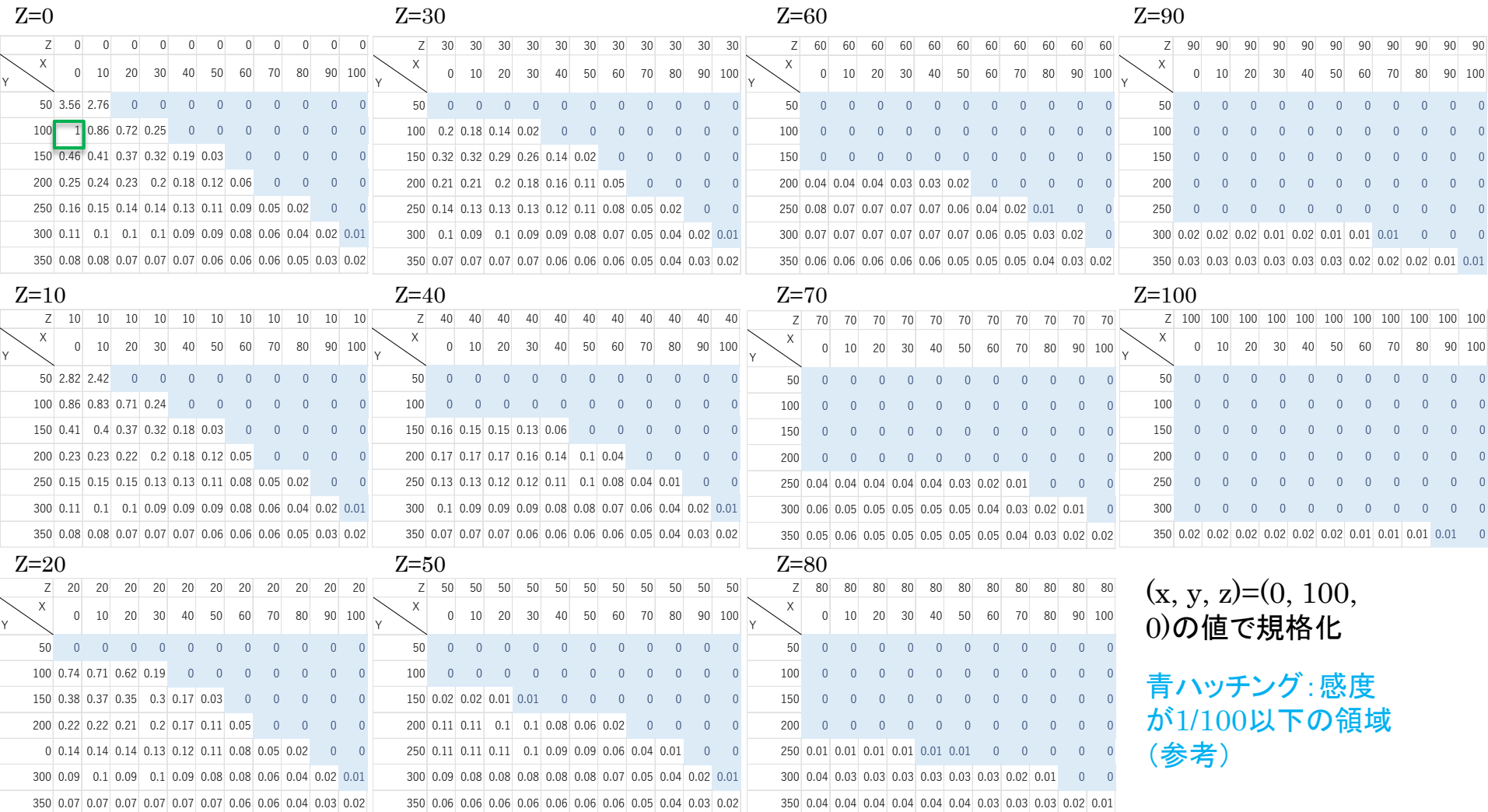
表1 1Fにおける α 核種とエネルギー

核種	エネルギー [keV]
U-234	4774.6
U-235	4397.8
U-238	4198.
Pu-238	5499.03
Pu-239	5156.59
Pu-240	5168.17
Am-241	5485.56
Cm-244	5804.7

結論: 濡れている表面で想定される核種による α 線は遮蔽される

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布評価結果 8x8(全ch)の総和>



(x, y, z)=(0, 100, 0)の値で規格化

青ハッチング: 感度が1/100以下の領域 (参考)

図1 8x8(全PMTの総和)感度分布 1/100低下領域強調

単位: cm

有効数字3桁で記載

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布評価結果 中心4x4の総和>

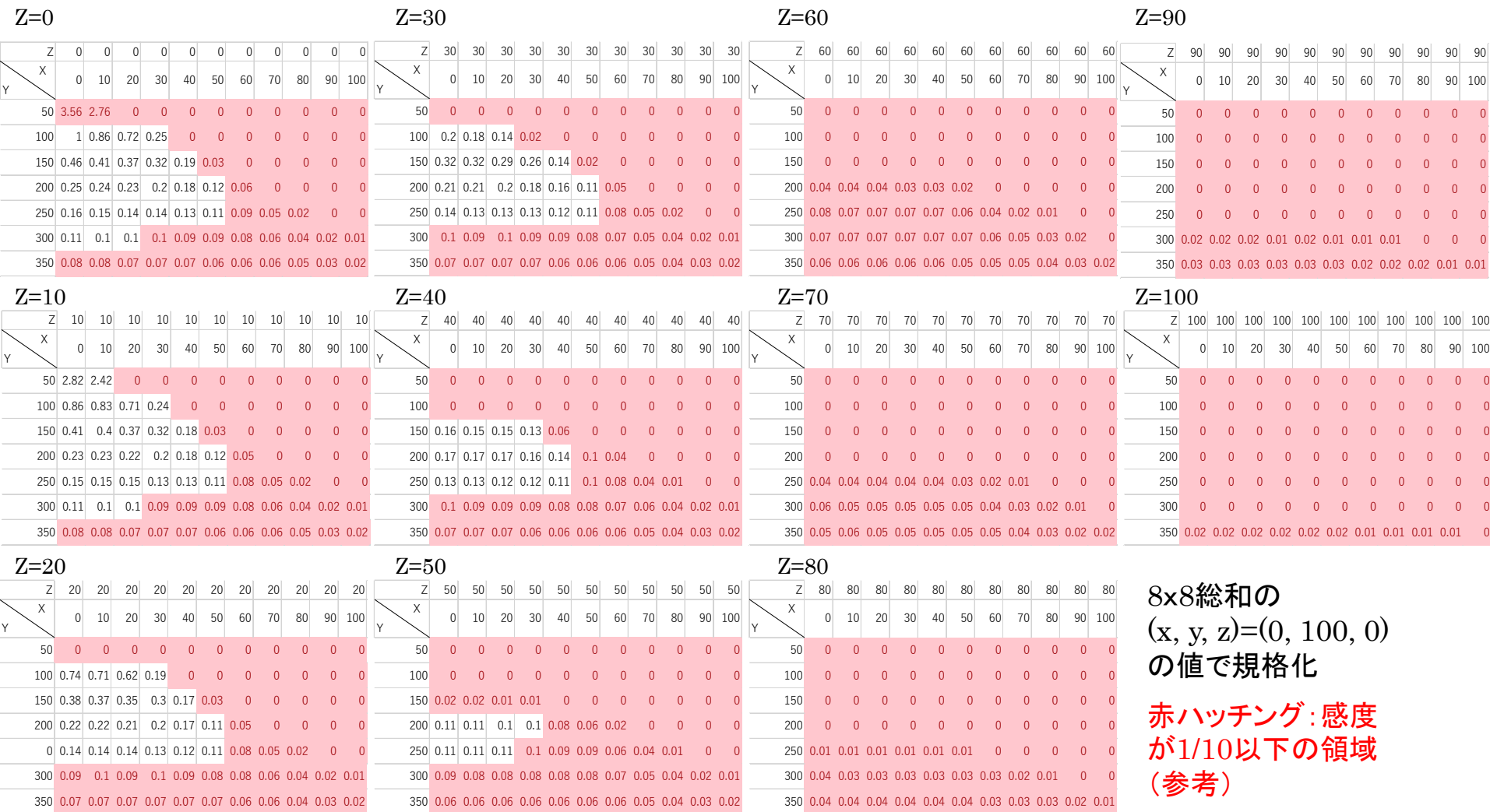
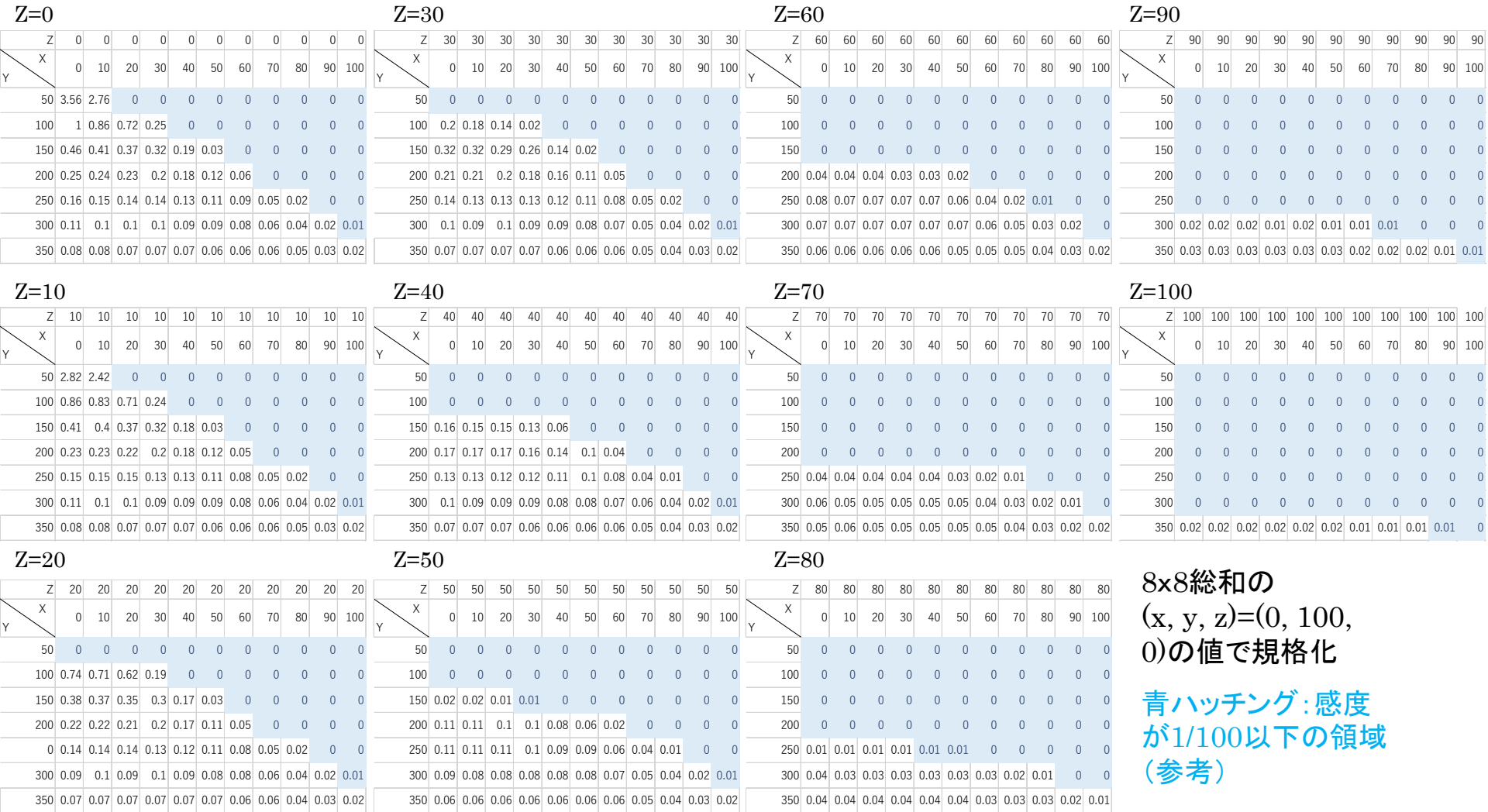


図1 中心4x4感度分布 1/10低下領域強調

単位: cm

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布評価結果 中心4x4の総和>



8x8総和の
 (x, y, z)=(0, 100,
 0)の値で規格化

青ハッチング: 感度
 が1/100以下の領域
 (参考)

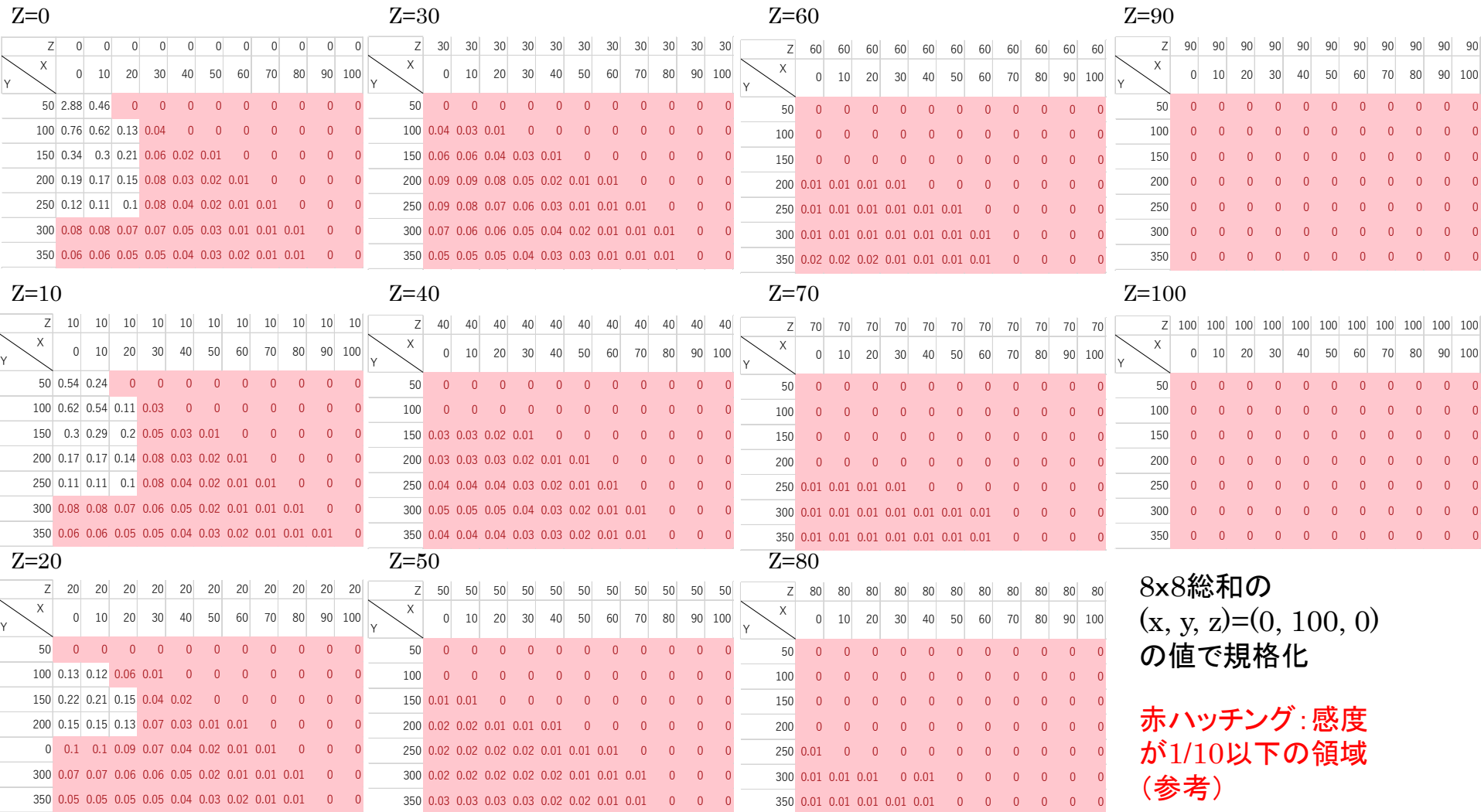
図1 中心4x4感度分布 1/100低下領域強調

単位: cm

有効数字3桁で記載

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布評価結果 中心2x2の総和>



8x8総和の
 (x, y, z)=(0, 100, 0)
 の値で規格化

赤ハッチング: 感度
 が1/10以下の領域
 (参考)

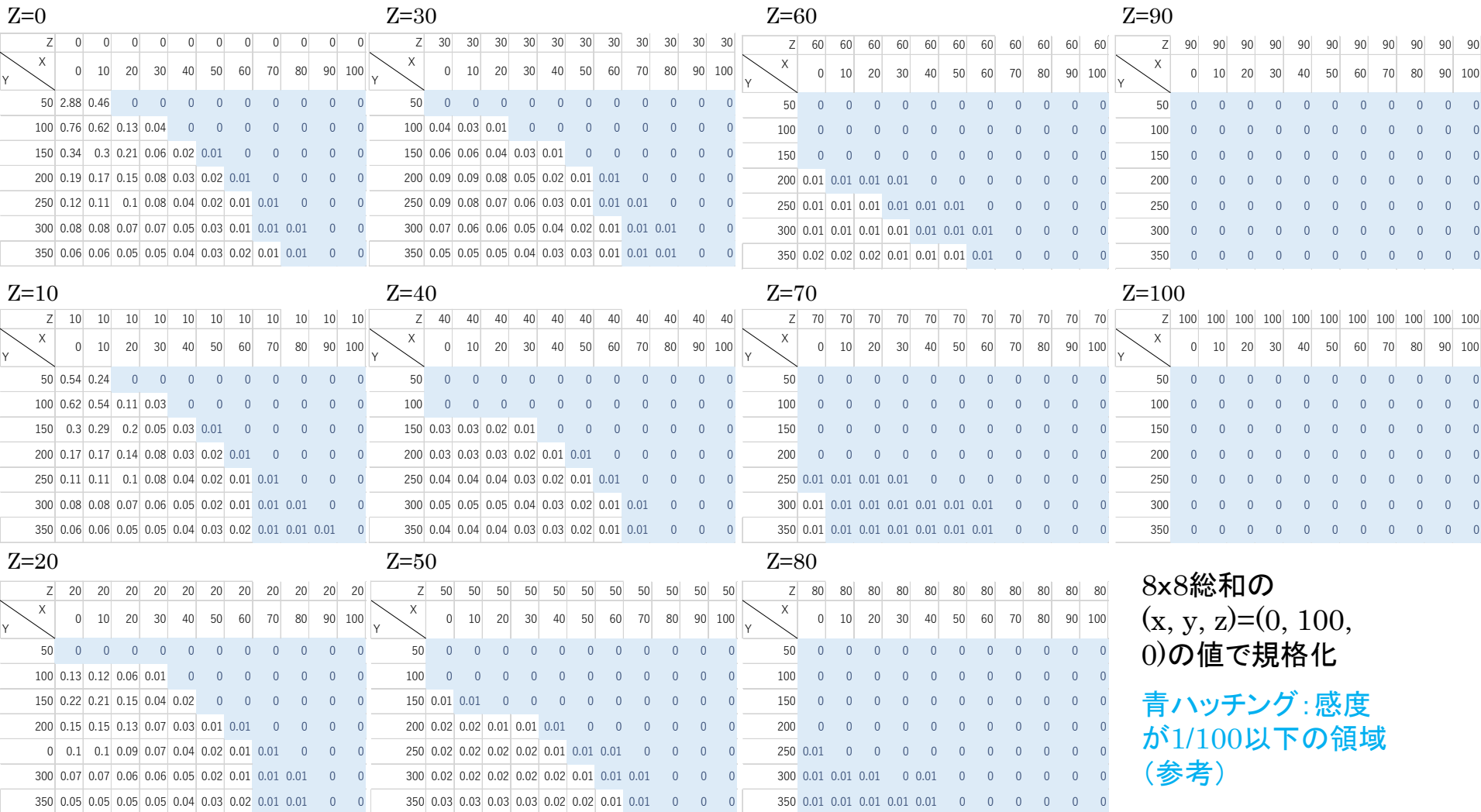
図1 中心2x2感度分布 1/10低下領域強調

単位: cm

有効数字3桁で記載

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

(a) 測定に影響を与えるパラメータの整理 ①シミュレーションモデルの拡張検討
 <αカメラ感度分布評価結果 中心2x2の総和>



8x8総和の
 (x, y, z)=(0, 100,
 0)の値で規格化

青ハッチング: 感度
 が1/100以下の領域
 (参考)

図1 中心2x2感度分布 1/100低下領域強調

単位: cm

有効数字3桁で記載