

令和3年度  
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門  
合同研究成果報告会

# 原子力規制庁核燃料廃棄物研究部門の研究概要 及び 現実的な廃棄物封入モデルを用いた 放射能濃度評価に係る検討

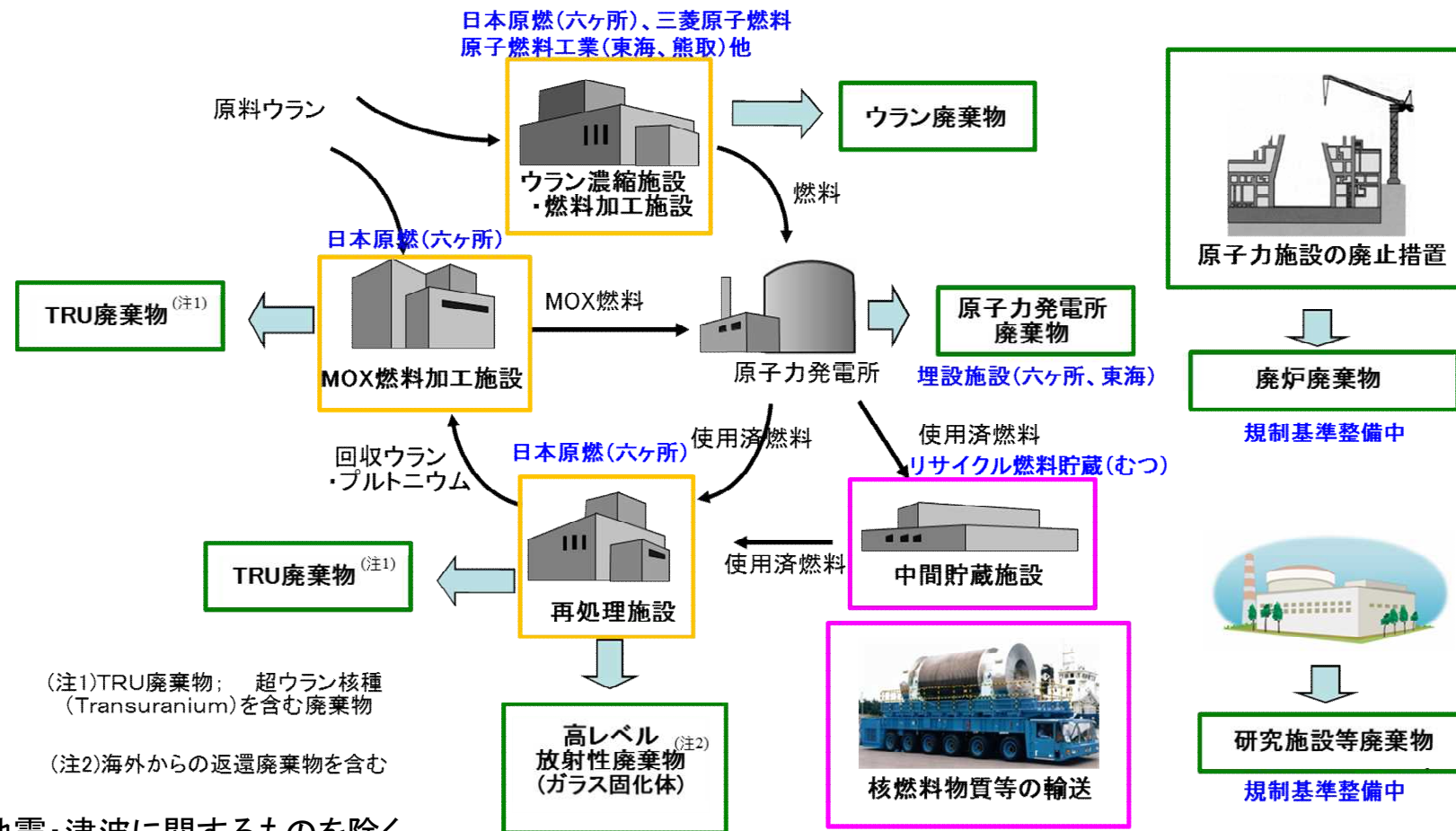
令和3年11月2日

原子力規制委員会原子力規制庁  
長官官房技術基盤グループ  
佐藤 由子



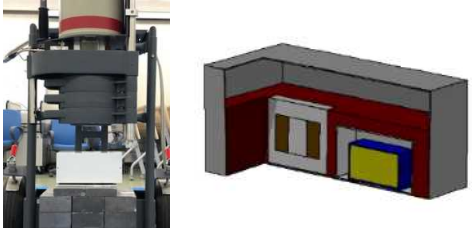
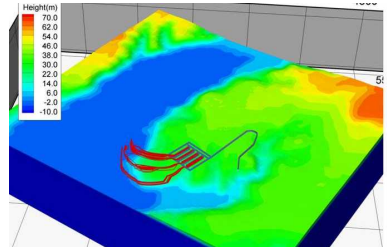
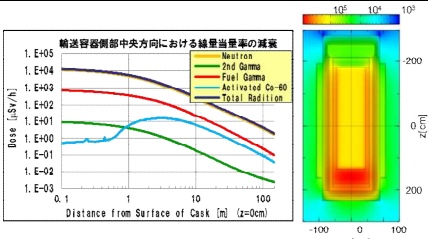
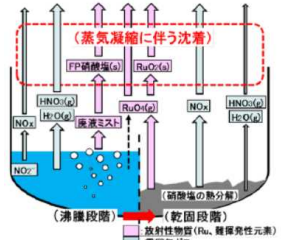
# 核燃料廃棄物研究部門の業務(1)

原子炉施設の廃止措置、その他施設の設計・建設・運転・廃止措置、施設間の輸送及び廃棄物(耐震・構造分野、火災防護分野、検査等業務を除く。)に係る安全研究、規制支援等を実施





# 核燃料廃棄物研究部門の業務(2)

技術分野	研究概要	
<p>廃棄・廃止措置分野</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ クリアランスの確認に関する研究</li> <li>✓ 廃棄体等の安全性確認に関する研究</li> <li>✓ 廃止措置リスク評価に関する研究</li> <li>✓ 長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に関する研究</li> </ul>	 <p>複雑形状対象物の内部遮蔽評価</p>
<p>廃棄物処分分野</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自然事象の長期評価に関する研究</li> <li>✓ 廃棄物埋設における性能評価、線量評価手法に関する研究</li> <li>✓ 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究</li> <li>✓ 中深度処分及び浅地中処分に共通する課題に関する研究</li> </ul>	 <p>中深度処分施設から地表への放射性物質移行解析の例</p>
<p>管理施設・輸送分野</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究(遮蔽解析)</li> </ul>	 <p>輸送・貯蔵解析コードの整備</p>
<p>核燃料サイクル分野</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 蒸発乾固事象時の放射性物質の移行挙動に関する研究</li> <li>✓ グローブボックスに関する火災進展に関する研究</li> </ul>	 <p>蒸発乾固に関する研究</p>



## 核燃料廃棄物研究部門における安全研究の例

---

現実的な廃棄物封入モデルを用いた  
放射能濃度評価に係る検討



# 1. 背景

- トレンチ処分を対象に、新たな充填方法が採用された廃棄物の発生が想定されることから、原子力規制庁長官官房技術基盤グループでは、当該廃棄物の放射能濃度評価の妥当性確認に当たって留意すべき事項について検討



- トレンチ処分対象廃棄物は、これまで実績のあるピット処分対象廃棄物と異なり、非破壊外部測定をする場合に必要となる「密度分布」や「放射能分布」の情報が正確に得られないことが課題
- 非破壊外部測定による現実的な放射能濃度評価方法として、当部門が開発した「最大汚染モデル法」の適用性を、トレンチ処分対象廃棄物の特徴を踏まえて作成した現実的な廃棄物モデルを用いて検討した。

## トレンチ処分対象廃棄物の特徴

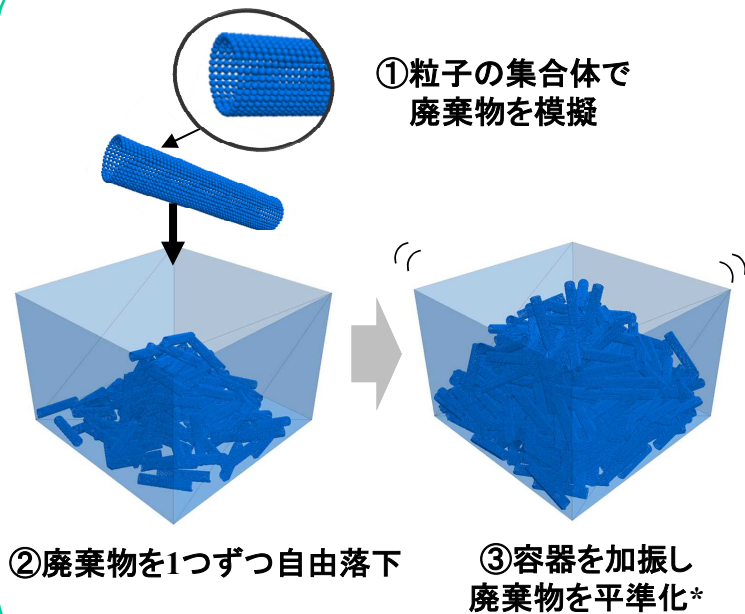
- 物量が多く、廃棄物を容器に整然と収納することは難しい。種々様々な形状の廃棄物を雑多に収納する可能性がある。(密度分布と放射能分布が複雑)
- ピット処分と異なり、容器に固型化しないため、収納時と放射能評価時で収納状態が変わる可能性がある。(密度分布と放射能分布が変化)



## 2.現実的な廃棄物モデルの作成

対象容器 : 200Lドラム缶、角型容器(外寸1.3 m×1.3 m×0.9 m)  
廃棄物性状 : 長さ0.3mの50A配管<sup>1)</sup>(外径60.5 mm、内径54.9 mm)  
使用コード : 個別要素法による粒状体挙動解析コードPFC3D Suite Ver.5.02.1.2.1<sup>2)</sup>  
(ITASCA Consulting Group, Inc.)

### 現実的な廃棄物モデルの作成手順



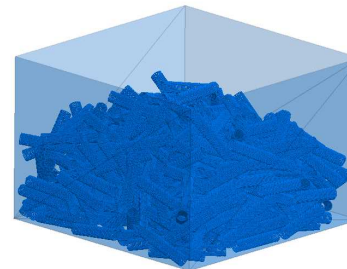
\*) x軸及びy軸方向に対し、容器幅の2分の1の振幅の正弦波を与えて加振

### a) 200Lドラム缶モデル



内容物 : 長さ 0.3 m 50A配管  
本数 : 66本  
材質 : SUS304  
質量 : 79.7 kg  
充填高さ : 0.68 m  
かさ密度 : 469 kg/m<sup>3</sup>  
汚染性状 : 配管内部の表面汚染  
線源 : <sup>60</sup>Co

### b) 角形容器モデル



内容物 : 長さ 0.3 m 50A配管  
本数 : 448本  
材質 : SUS304  
質量 : 540.9 kg  
充填高さ : 0.71 m  
かさ密度 : 452 kg/m<sup>3</sup>  
汚染性状 : 配管内部の表面汚染  
線源 : <sup>60</sup>Co



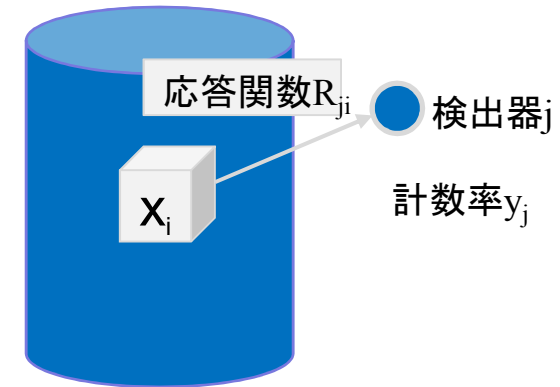


### 3. 非破壊外部測定による放射能評価の方法

一般的に、容器周囲の測定計数率から容器内の対象物の放射能を求める場合  
対象物をN個の小領域に分割する場合j位置の検出器における測定計数率 $y_j$ は

$$y_j = \sum_{i=1}^N R_{ji} x_i$$

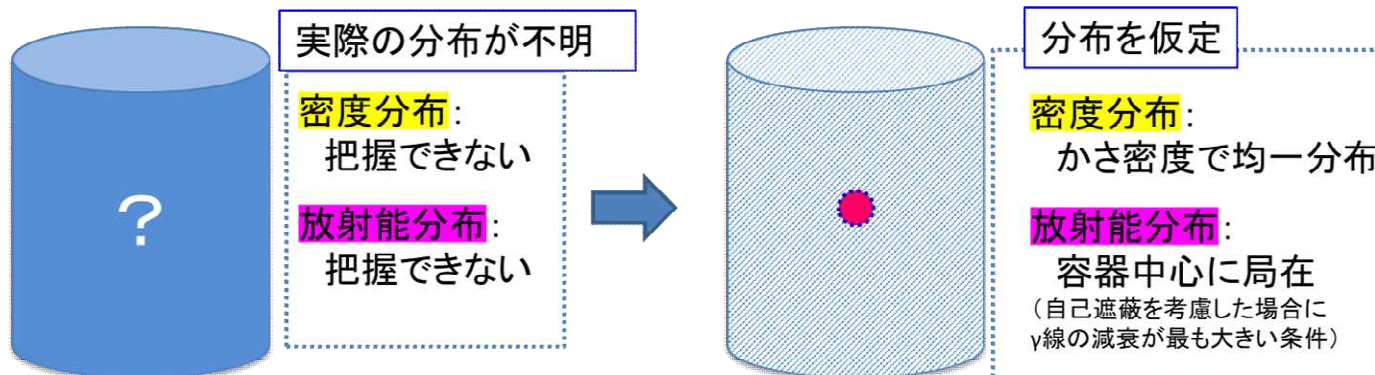
ここに、  
 $R_{ji}$ : 小領域iからの応答関数  
 $x_i$ : 小領域iの放射能



ここで、測定における総放射能 $x_{total}$ は  
上式で $x_i$ の解又は近似解が求まる場合には、

$$x_{total} = \sum_{i=1}^N x_i$$

ただし、応答関数を求めるためには、対象物の密度分布及び放射能分布が必要  
不明な場合には、過度に保守的な評価とせざるを得ない



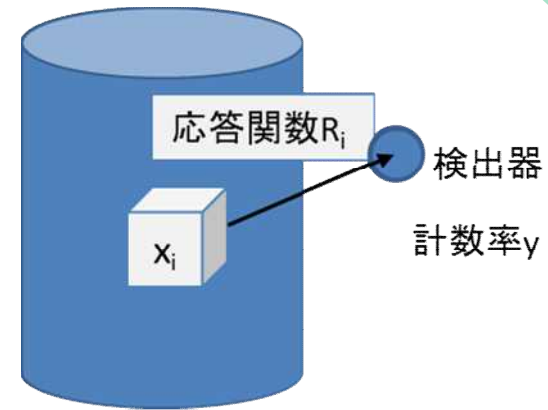


# 4.現実的な保守性を見込む評価方法

前述の一般式では現実的な解を求めることが難しいため、小領域に存在し得る最大放射能を既知情報とした制約条件を導入して解を求める方法を検討

## 最大汚染モデル法<sup>3)</sup>

- ✓ 対象物の存在領域(充填高さを上端とした円柱又は直方体を容器形状に応じて設定)を密度一様、各々の体積が同一となるよう分割した小領域からの応答関数を計算
- ✓ 応答関数の小さい領域から順番に、応答関数に小領域に存在し得る最大の放射能を乗じ、(1)式を満たす小領域の数 ( $1 \leq n \leq N$ )を導出



$$y \leq \sum_{i=1}^N R_i x_i \quad \begin{cases} x_i = \text{Const.} & \text{for } i = [1, n] \\ x_i = 0 & \text{for } i = [n+1, N] \end{cases} \quad (1)$$

$$x_{total} = k \sum_{i=1}^N x_i \quad \begin{cases} x_i = \text{Const.} & \text{for } i = [1, n] \\ x_i = 0 & \text{for } i = [n+1, N] \end{cases} \quad (2)$$

$y$  : 対象物の周囲での  $\gamma$  線測定計数率  
 $R_i$  : 小領域*i*の応答関数  
 $x_i$  : 小領域*i*中の最大放射能  
 $N$  : 分割した最大の小領域数  
 $n$  : 式を満足する最小の小領域数  
 $k$  :  $n=N$ の場合の調整項

### 小領域の最大放射能 $x_i$ の設定

$$x_i = V_i \times \rho \times S_v \times C$$

ここに、

$x_i$  : 小領域中の最大放射能[Bq]

$V_i$  : 小領域*i*の体積[m<sup>3</sup>]

$\rho$  : 対象物のかさ密度[kg/m<sup>3</sup>]

$S_v$  : 対象物の比表面積[m<sup>2</sup>/kg]

$C$  : 対象物の表面汚染密度の  
最大値 [Bq/m<sup>2</sup>]

※

※事前のサンプリング等を踏まえ、測定対象物の特性に応じて設定


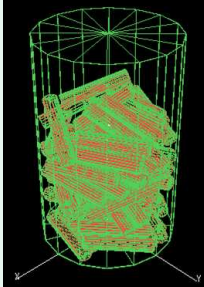
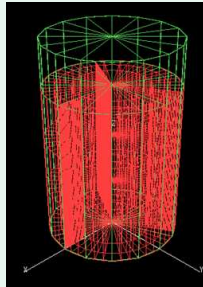
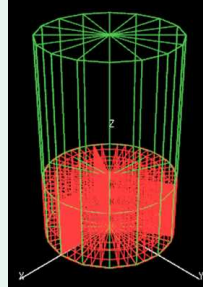
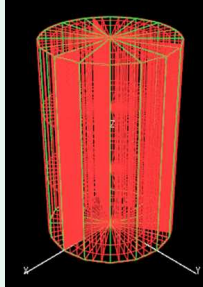
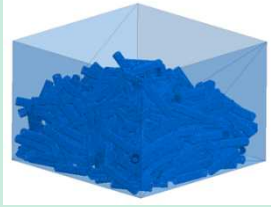
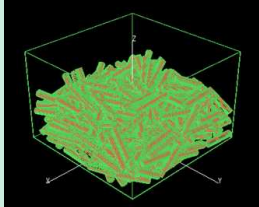
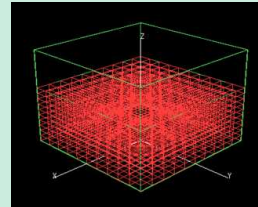
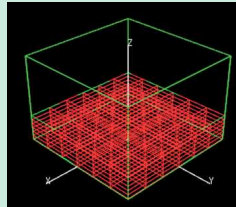
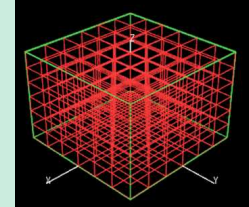




## 5.最大汚染モデル法による放射能評価(1)

最大汚染モデル法に用いる $\gamma$ 線計数率\*及び応答関数は点減衰核積分コード**QAD-CGGP2R**<sup>4)</sup>を用いて計算した。

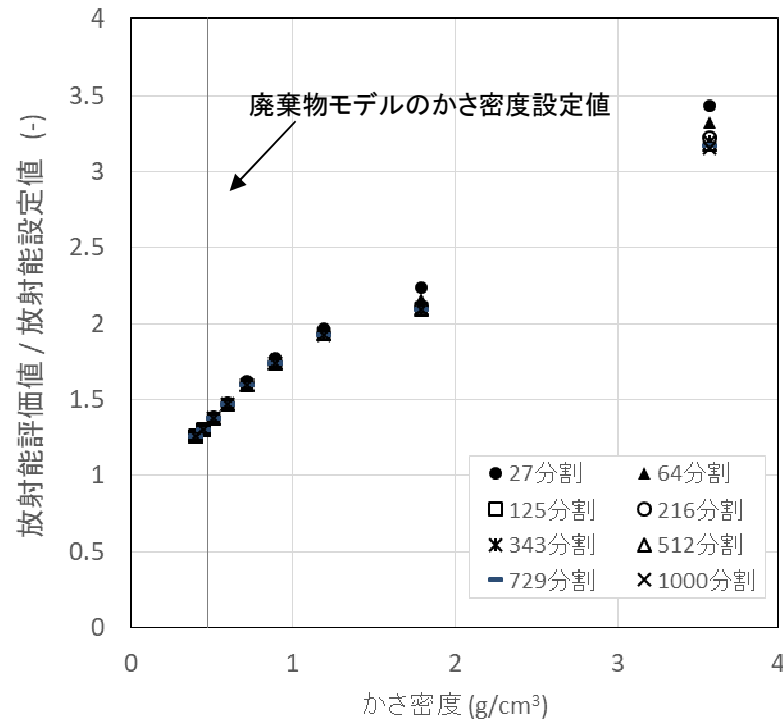
最大汚染モデル法では、対象物の密度を一様とみなして評価するが、実際の測定では、容器内の対象物の存在領域のかさ密度を厳密には把握できないため、質量一定として容器中の充填率を変化(10%から100%)させた場合の影響を評価した。

	廃棄物モデル	QADモデル	QAD均質モデル		
			廃棄物モデル	30%充填の例	100%充填の例
ドラム缶					
角型容器					

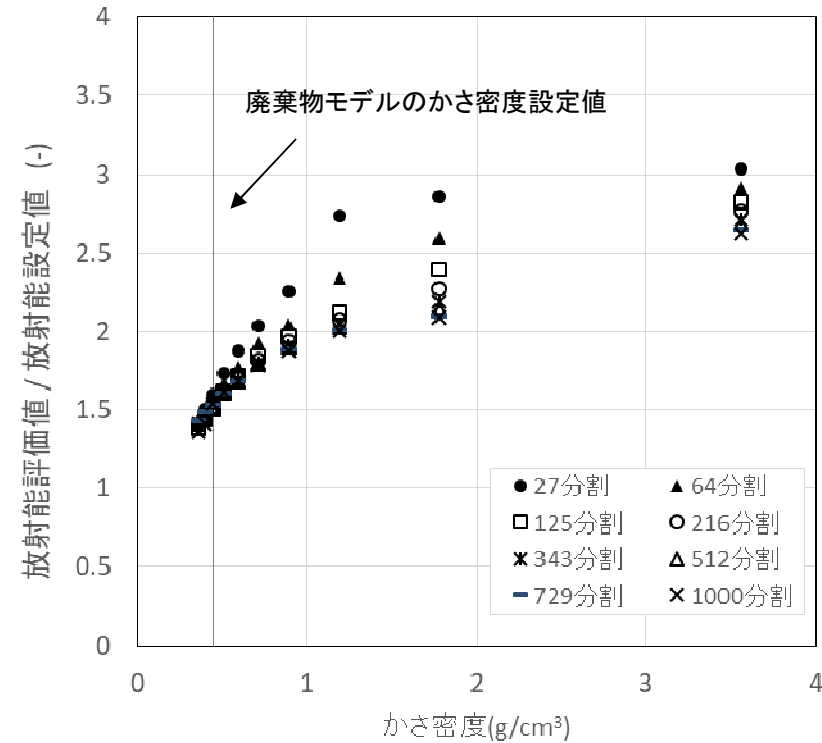
- \*  $\gamma$ 線計数率は、検出器の構造及び検出器固有の応答関数により異なるため、本検討では検出器の構造を考慮せず、検出器設置位置(=評価点)での $\gamma$ 線束を $\gamma$ 線計数率に代えて用いた。



# 5.最大汚染モデル法による放射能評価(2)



(a) ドラム缶



(b) 角型容器

かさ密度 : 廃棄物充填率が容器高さに対して10~100%となる密度

小領域数 :  $n^3$  ( $n=3\sim 10$ ) (27、64、125、216、343、512、729及び1000の8種類)

分割方法 : ドラム缶 (円周方向に均等 $n$ 分割、高さ方向に均等 $n$ 分割、小領域の体積が同一となるように半径方向に $n$ 分割)  
角型容器 (縦方向、横方向、高さ方向に均等に各 $n$ 分割)

検出器数 : ドラム缶 (検出器各段36個×5段で計180個)、角型容器 (検出器各段20個×5段で計100個)

放射能設定値: 現実的な廃棄物モデルの配管の内面のみ表面汚染しているものとして設定

小領域中の最大放射能: 現実的な廃棄物モデルの配管の内面及び外面が表面汚染しているものとして設定



## 6. 結論

- 現実的な廃棄物モデルを作成し、容器中の廃棄物の密度分布や放射能分布が正確に把握できない場合でも、小領域の最大放射能を既知情報とした制約条件を導入して容器中の廃棄物の放射能を求める「最大汚染モデル法」が適用できることを確認した。
- 「最大汚染モデル法」を用いることで、実際のかさ密度よりも低いかさ密度で評価した場合であっても、放射能設定値に対して現実的な保守性を見込むことができる。
- 同じ充填率でも小領域数によって放射能評価値が異なる結果となり、小領域数が少ない(=小領域の体積が大きい)ほど放射能設定値に対する放射能評価値が大きくなる傾向を確認した。

### 【参考文献】

1. 財団法人原子力環境整備センター「低レベル放射線廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」、平成10年3月
2. Itasca Consulting Group, Inc., PFC3D Suite Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 5.0
3. 吉居大樹、川崎智  $\gamma$ 線によるウランクリアランス対象物中のウラン量測定方法に関する検討, 日本原子力学会2016年春の年会
4. Sakamoto Y., QAD-CGGP2 and G33-GP2 : Revised Version of QAD-CGGP and G33-GP, JAERI-M 90-110, 1990

本資料で示した内容は著者等の見解であり、原子力規制委員会の見解を示したものではありません