資料-1

ふげん第2回クリアランス認可申請に係る前回審査会合の指摘事項等への対応状況について

2026年11月16日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
新型転換炉原型炉ふげん

概要(1/4)

・2026年6月1日公開審査会合で頂いたコメントを踏まえ，補正申請に向けた準備，再検討を実施している。

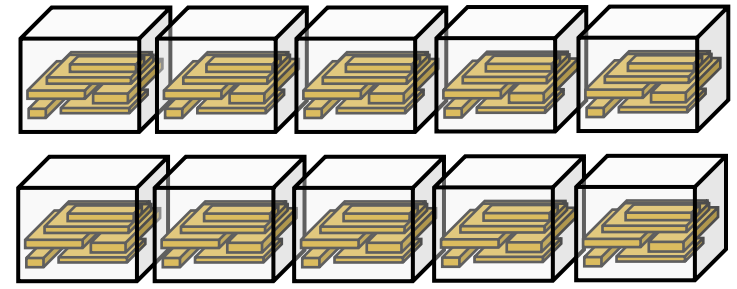
・内容の変更及び補足が必要となる主要事項は以下のとおりであり、現在の検討状況を報告する。

（詳細は後述）

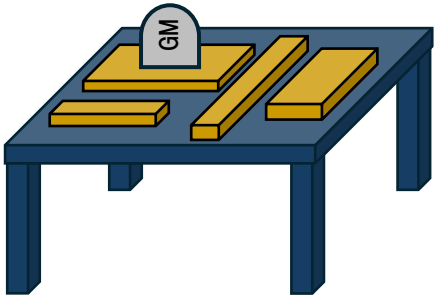
①代表サンプリングの妥当性（申請書本文　七、添付書類　五）

②1段階目の測定方法：汚染がおおむね同じであることを確認
（申請書本文　八、添付書類　六）

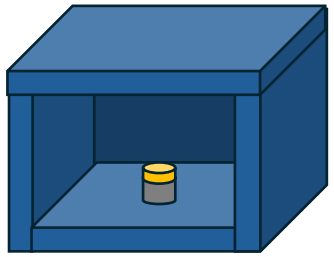
③2段階目の測定方法：Co-60の放射能濃度を決定
（申請書本文　八、添付書類　六）



評価単位：10トン以内（メッシュボックス10箱程度）



＜1段階目の測定＞
全表面をGM管サーベイメータ等で測定し汚染がおおむね同じであることを確認



＜2段階目の測定＞
代表測定対象物をGe半導体検出装置で測定し濃度を決定

概要(2/4)

①代表サンプリングの妥当性について

前回審査会合でのコメントに基づき、代表サンプリング手法のサンプル数(n数)、及び選定方法の妥当性に関する内容に関して、下記の項目について説明、表現の補足を行う。

- 10トン以内の評価単位については、汚染がおおむね同じであることを確認した上で対象物の放射能濃度の分布情報から、分布形状を評価せず保守的に放射能濃度を評価することができる片側チェビシェフの不等式を用いて30点以上の代表測定対象物を選定するとして説明してきた。
  - ➡ CL専用測定装置で測定した放射能濃度分布情報を用いて、代表測定対象物のn数、放射能濃度の評価方法について説明。

- タービン系の解体撤去物、原子炉建屋内の支持構造物、原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類のクリアランス対象物について二次的な汚染の有無、放射化汚染の程度について説明してきた。
  - ➡ CL審査基準への適合性の説明として、二次的な汚染がある対象物については全数除染することを記載。

- 評価単位からのサンプリング方法について代表測定対象物を30点以上選定し、評価単位を構成する各メッシュボックスから1点以上選定する考え方を説明してきた。
  - ➡ サンプリング方法について評価単位からランダムサンプリングする方針であることを記載。

概要(3/4)

②1段階目の測定方法(汚染がおおむね同じであることを確認)について

前回審査会合でのコメントに基づき、汚染がおおむね同じであることの基準及び走査測定と静止測定の考え方について、下記のとおり方針を変更する。

- 二次的な汚染がある対象物は除染を必須とせず、汚染がおおむね同じであることの基準をクリアランスレベルの10倍を超えないこととして説明してきた。
  - ➡ 1つの対象物の中の汚染の偏在や代表サンプリングしなかった対象物がクリアランスレベルを超えている可能性を排除するため、二次的な汚染がある物は全数除染し、汚染がおおむね同じであることの基準をクリアランスレベルとする方針に変更する。

- 対象物表面を走査測定し計数率が上昇する部位は静止測定に切り替える旨説明してきた。
  - ➡ 除染を前提とすることから、走査測定のみ実施し表面汚染が十分低いことを確認する方針に変更する。

概要(4/4)

③2段階目の測定方法 (Co-60の放射能濃度を決定)について

前回審査会合でのコメントに基づき、測定試料形状の考え方及びGe半導体検出装置のエネルギー弁別機能の利用に関して、下記のとおり方針を変更する。

- 測定用試料の大きさ・形状についてはGe半導体検出装置の遮へい箱に入り，検出窓を覆うことのできる大きさとすることを説明してきた。
  - ➡ 試料形状の単純化の観点から基本的には径が一定の大きさになるように加工して測定用試料とするように変更する。

- 計数率から放射能量への換算係数の設定について、平板と標準線源の組み合わせによる試験結果から説明してきた。
  - ➡ 対象物の形状を考慮してモンテカルロ計算コードにより計算する方法に変更する。

- エネルギー弁別が可能なGe半導体検出装置を使用する一方、放射能濃度を保守的に評価する観点から全計数を用いる方針であることを説明してきた。
  - ➡ 過剰な保守的評価を避けるためにCo-60のγ線ピーク計数から放射能濃度を計算する方法に変更する。

1. 申請書本文　七、添付書類　五　記載事項のうち、代表サンプリングの妥当性に係る事項について

＜再掲＞放射能濃度の決定を行う方法

2026年6月1日審査会合資料より抜粋

- クリアランス測定によって評価に用いる放射性物質の放射能濃度を決定する方法について記載

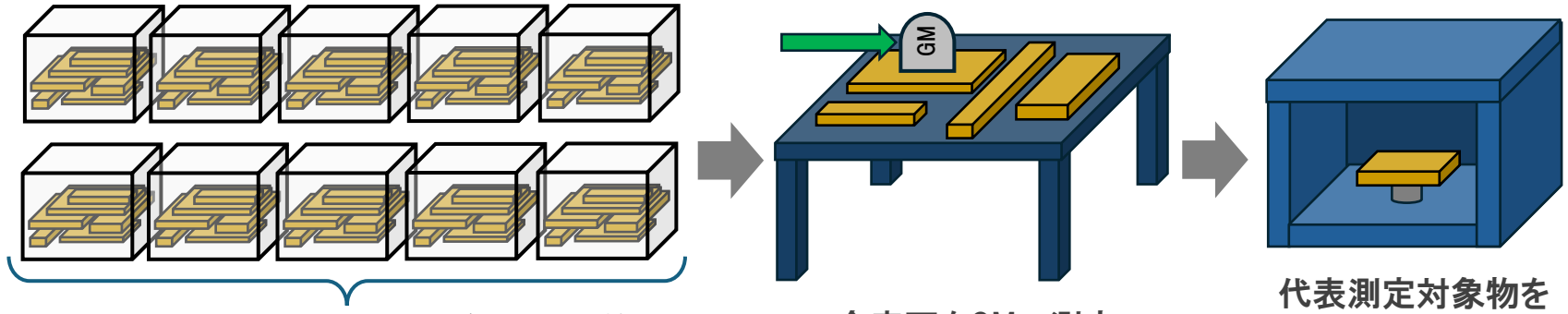
- 基本的な考え方
  - Co-60は放射化汚染と二次的な汚染を区別せずに放射線測定装置を用いて測定することにより評価する。
  - Cs-137は核種分析データから統計的手法で求めた母集団の平均値の95%上限値を用いる平均放射能濃度法により決定する。
  - これら評価した放射能濃度から不確かさを考慮したCo-60及びCs-137のΣ(D/C)が1を超えないことを確認する。

＜再掲＞放射能濃度の決定を行う方法

2026年6月1日審査会合資料より抜粋、一部編集

- Co-60の放射能濃度の決定の概要
  - 10トン以内の評価単位を構成する放射能濃度確認対象物について，放射能濃度がおおむね同じことを確認した上で，代表測定対象物を30点以上選定し，Ge半導体検出装置で放射能濃度を評価する。(具体的な方法は添付6に記載)
  - それらの評価結果から統計的に推定される，不確かさを考慮した評価単位での放射能濃度を評価する。
- 放射能濃度がおおむね同じであることの確認
  - 放射化汚染：中性子が局所的に照射される箇所はなく，中性子の測定結果等からも中性子線量の空間分布に局所的な偏りがないことを確認している。
  - 二次的な汚染：対象物は除染後にクリアランスレベル以下になると推定しているものの，局所的な汚染がないことを確認するため，全対象物の表面をGM管式サーベイメータで測定し，主要な核種であるCo-60の放射能濃度がおおむね同じであること(クリアランスレベルの10倍を超えないこと)を確認する。(具体的な方法は添付6に記載)

※二次的な汚染物の除染を必須としていない



2026年6月1日審査会合等でのコメント(概要)

- 代表サンプリング測定を採用するにあたり、サンプル数及び選定方法の妥当性を説明すること。

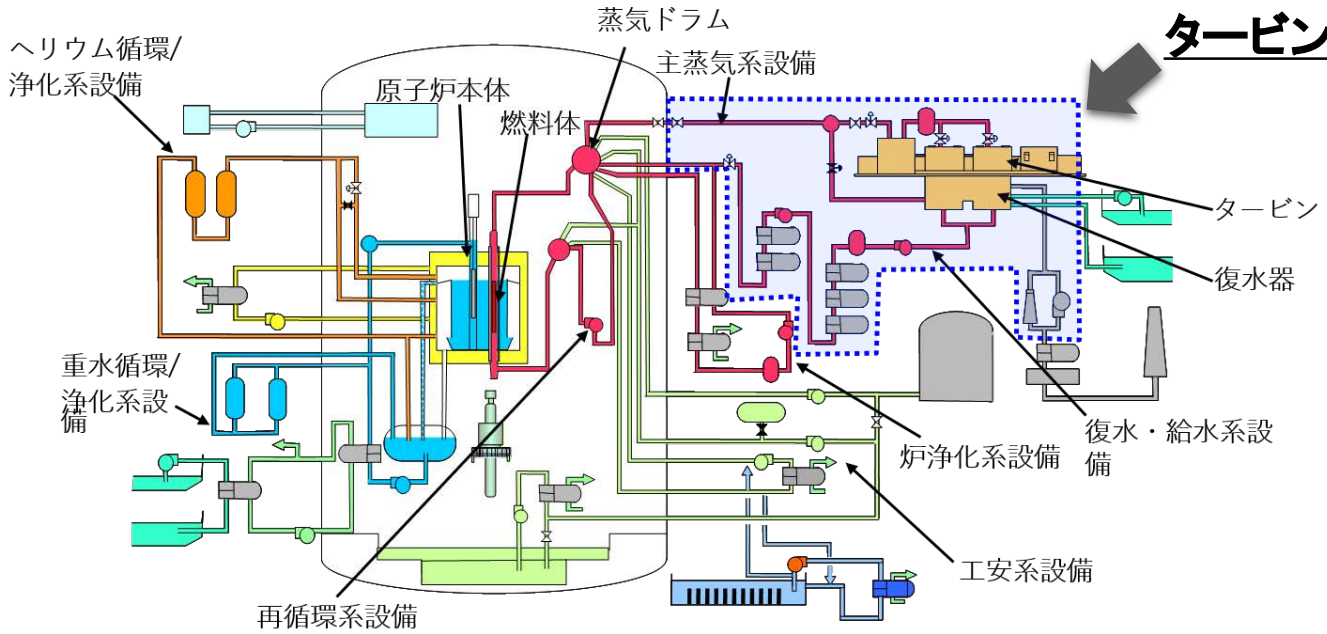
(1)タービン系の解体撤去物

対象物

- 単純形状のもの(平板，半割配管，配管等であり，表面汚染密度測定が可能な形状のもの)。

汚染は二次的な汚染と放射化汚染

- 原子炉冷却材による二次的な汚染⇒**全数除染を行う**
- 原子炉冷却材中のO-17が放射化して生成されたN-17のβ崩壊に伴う中性子による放射化汚染



(1)タービン系の解体撤去物

Co-60放射能濃度評価

1. 既認可におけるCL専用測定装置によるタービン系の解体撤去物を除染した後にクリアランス測定した結果(第一回～第八回の確認申請)からCo-60放射能濃度の分布評価を行う。

↓

2. CL専用測定装置より得られる分布情報を基に、代表サンプル数(n数) を決定する。(但し、CL専用測定装置とGe半導体検出装置とのサンプルサイズの違い、測定装置の保守性を考慮して算出する。)

↓

3. 算出されたn数のサンプルを対象物からランダムサンプリングし、Ge半導体検出装置で測定を行う。この評価で得られる算術平均値、標準偏差から評価単位の放射能濃度を決定する。

↓

Co-60の許容値以下であることの確認

得られた評価単位の放射能濃度が、許容値*以下であることを確認する。

(測定単位ごとの値においても許容値以下であることを確認する。)

＊Cs-137の核種分析データの母集団の平均放射能濃度の95%信頼上限値：1.09×10^{-3} Bq/gを考慮したCo-60の許容値は9.89×10^{-2} Bq/gである。(これらは2003年3月29日時点の値であり、実際には測定日に減衰補正を行った上で確認する。)

(1)タービン系の解体撤去物

Co-60放射能濃度の分布評価

CL専用測定装置



CL対象物の測定
(第一回～第八回
の確認申請)

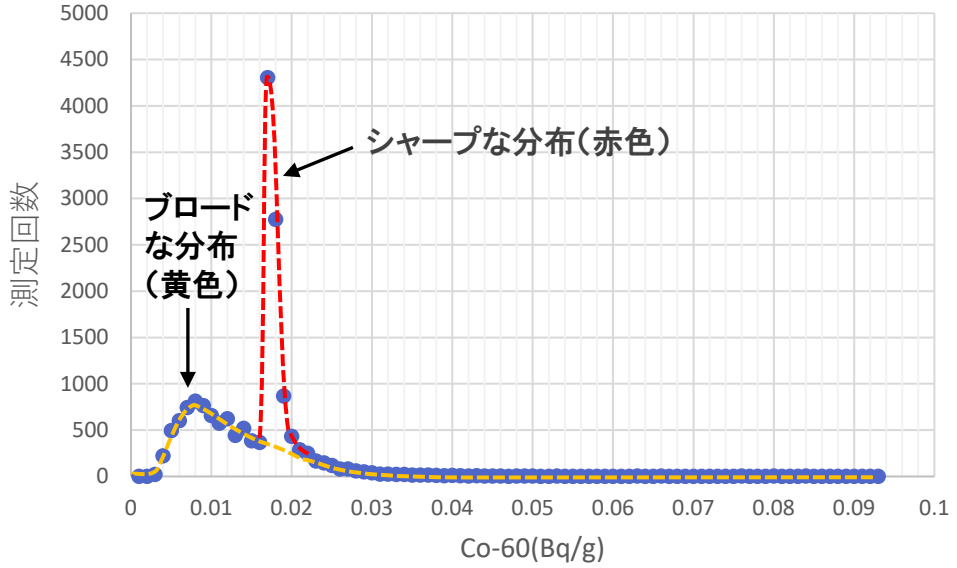


図:クリアランス対象物(タービン系)のCo-60放射能濃度の分布

分布形状が異なる分布が混在しているため全体の分布、ブロードな分布、シャープな分布それぞれの算術平均値$\overline{X_0}$、標準偏差σ_0の値を評価する。

(但し、シャープな分布は特定の重量の測定回数が多いことに起因しており、測定装置の重量依存性によるものであることを確認している)。

	全体の分布	ブロードな分布	シャープな分布
算術平均値 $\overline{X_0}$ (Bq/g)	0.015	0.012	0.018
標準偏差 σ_0 (Bq/g)	0.006	0.008	0.001

放射能濃度への影響が大きい分布を採用 → ブロードな分布が放射能濃度への影響が大きいため、n数試算の基本情報とする。

(1)タービン系の解体撤去物

n数の試算方法

CL専用測定装置で得られた分布情報（算術平均値$\overline{X_0}$、標準偏差σ_0）を基本情報として、CL専用測定装置の評価方法を考慮した因子αを$\overline{X_0}$にかけた算術平均値$\overline{X}$、Ge半導体検出装置との評価サイズの違いとCL専用測定装置の評価方法を考慮した因子βをσ_0にかけた標準偏差σとを用いてn数を算出する。

片側95%のチェビシェフの不等式を用いてn数を定める。

本評価を行う上で許容最大値Lの設定については、分布全体が放射能濃度の高い側にずれて、さらにこの後説明する放射能濃度評価方法を用いた放射能濃度の値がCL基準値を超えないことを考慮した値として設定し、本事象が起こる許容できる確率は5%とする。

$$n = \left(\frac{1-p}{p}\right)\frac{\sigma^2}{\left(L-\overline{X}\right)^2}$$

許容できる確率：p
算術平均値：$\overline{X} = \alpha \times \overline{X_0}$
標準偏差：$\sigma = \beta \times \sigma_0$
許容最大値：L

計算したn数 ⇒ n数が30を下回った場合、最低のn数として30を設定する。

(1)タービン系の解体撤去物

放射能濃度の評価方法

CL対象物の評価単位ごとに代表サンプルをランダムサンプリングにより
n数のサンプルを抽出し、それぞれGe半導体検出装置により測定する。

↓

放射能濃度分布を評価
（算術平均値$\overline{X}$、標準偏差σ）

放射能濃度の評価においては、分布形状を考慮しない保守的な評価手法として片側チェビシェフの不等式を用いた評価を行う。

$$P(X-\bar{X}) \geq \frac{k^2}{1+k^2}$$ ⇒ （95%以上の確率）k =4.5

算術平均値$\overline{X}$に4.5倍した標準偏差σを足した値を評価単位の放射能濃度とする。

$\bar{X} + 4.5\sigma$ (Bq/g) ⇒ 放射能濃度

↓

許容値以下であることを確認する。

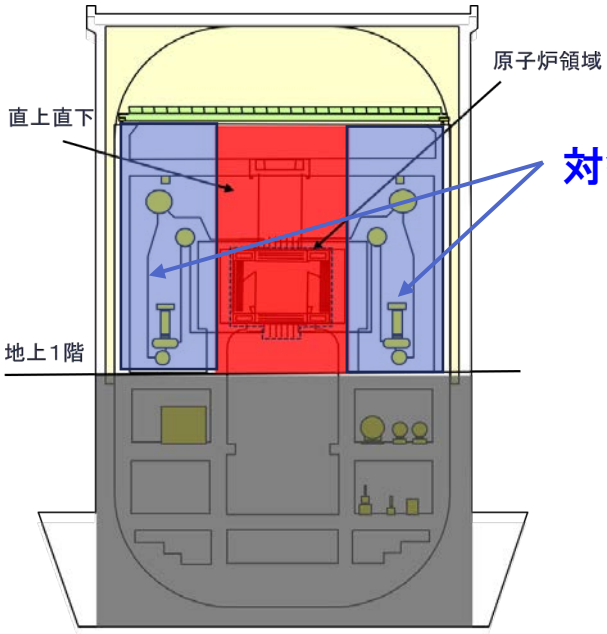
(2)原子炉建屋内の支持構造物

対象物

- 単純形状のもの(平板，H鋼，I鋼等であり，表面汚染密度測定が可能な形状のもの)。

汚染は放射化汚染

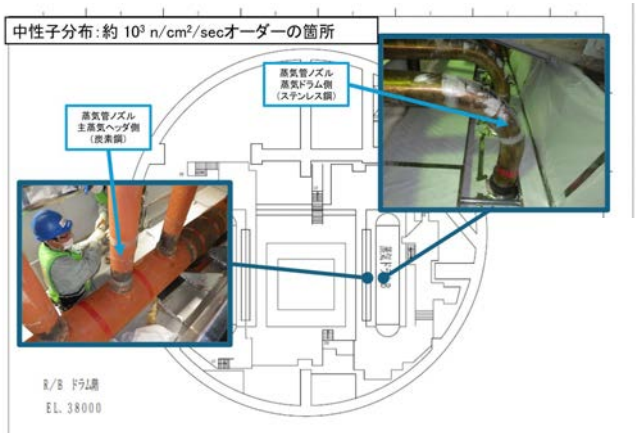
- 原子炉本体から発生する中性子，原子炉冷却材中のO-17が放射化して生成されたN-17のβ崩壊に伴う中性子による放射化汚染



原子炉建屋断面図

対象物はすべて炭素鋼であり、対象エリアの中性子束は10^2～10^3[n/cm^2/sec]で中性子束分布に偏りがない。

また代表箇所から実サンプルを採取して，CL基準値より10^{-1}～10^{-2}オーダーで低いことを確認している。



(2)原子炉建屋内の支持構造物

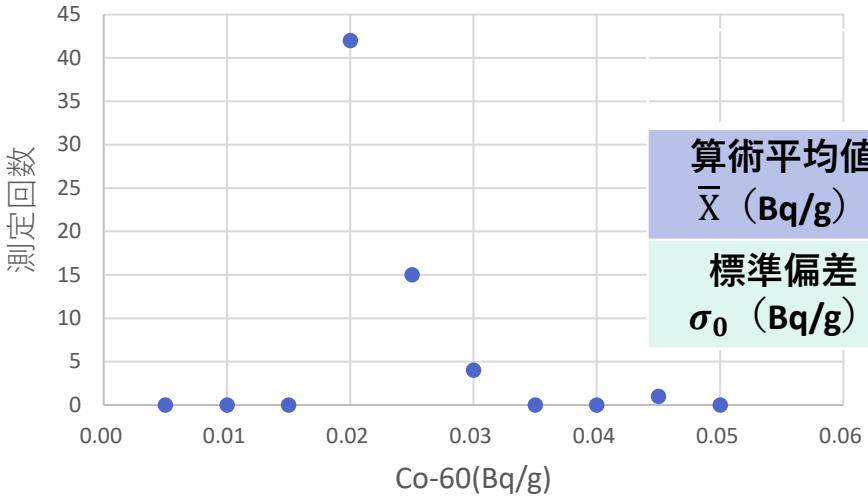
Co-60放射能濃度の分布評価

n数の検討のため原子炉建屋内の支持構造物の解体撤去物を複数のエリアから採取し除染した後に、CL専用測定装置を用いて測定した結果からCo-60放射能濃度の分布評価を行った。

CL専用測定装置



原子炉建屋内の複数エリアの支持構造物を採取して測定



	全体の分布
算術平均値 $\bar{X}$（Bq/g）	0.022
標準偏差 σ_0（Bq/g）	0.004

図：クリアランス対象物（原子炉建屋内の支持構造物）のCo-60放射能濃度の分布

n数の試算

原子炉建屋内の支持構造物の分布評価により得られた算術平均値、標準偏差の値と、タービン系の解体撤去物の分布から得られた値を比較すると、放射能濃度の評価に与える影響が大きいことからタービン系の評価から試算されるn数を用いて原子炉建屋内の放射能濃度評価を行う。

放射能濃度の評価

評価単位ごとにn数個のサンプルをGe半導体検出装置で評価し、タービン系と同様に片側チェビシェフの不等式により放射能濃度を評価する。

(3)原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類

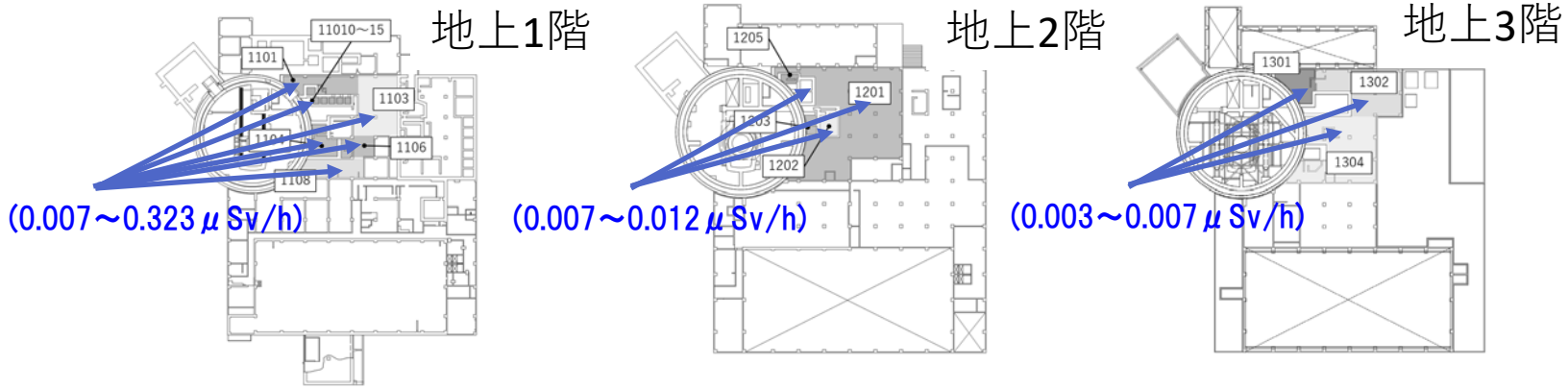
対象物

- 単純形状のもの(平板，半割配管，配管等であり，表面汚染密度測定が可能な形状のもの)。

汚染は二次的な汚染

- 原子炉冷却材による二次的な汚染
- 中性子源としてはタービン系の解体撤去物と同様に原子炉冷却材中のO-17が放射化して生成されたN-17のβ崩壊に伴う中性子であるが、系統構成上タービン系の解体撤去物よりも炉心から遠い位置にあることから中性子の影響は無視できる程度(実測された中性子線量率が1μSv/h以下)であり、放射化汚染の影響の考慮が不要

原子炉補助建屋
(地上1～3階)
1μSv/h以下



(3)原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類

- 原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類の汚染は、前述のとおりタービン系の解体撤去物と比較して中性子線量率がはるかに小さく、したがって放射化汚染の程度もタービン系と比較して考慮が不要なほど小さい。
- 二次的な汚染は原子炉冷却材の汚染となりタービン系と同様である。
- **二次的な汚染があるため全数除染を行う。**

n数の試算

放射化汚染は考慮不要なほど小さく、二次汚染についても全数除染を行うため、原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類の放射能濃度分布の算術平均値、標準偏差の値はタービン系の分布により評価された値より小さくなるもしくは大きく見積もっても同程度のため、タービン系の評価から試算されるn数を用いて原子炉補助建屋の放射能濃度評価を行う。

放射能濃度の評価

評価単位ごとにn数個のサンプルをGe半導体検出装置で評価し、タービン系と同様に片側チェビシェフの不等式により放射能濃度を評価する。

CL審査基準との適合性について

CL審査基準 3.3. 放射能濃度の決定方法(抜粋)

(4)一部の測定単位の放射能濃度に基づいて放射能濃度の決定を行う場合については、以下のとおりであること。

イ:汚染の履歴や放射線測定の履歴等を考慮して、選定した測定単位が代表性を有するものとして以下のいずれかに適合していること。

①:評価単位の放射能濃度確認対象物の構造や汚染の確認履歴、除染の履歴等から、当該対象物の放射性物質の濃度がおおむね同じであることが確認できること。

②:評価単位の放射能濃度確認対象物の放射性物質の濃度を保守的に評価できるよう測定単位の場所が選定されていること。

①の審査基準への適合性については下記の項目の実施により確認する。

1. 放射化汚染については、ふげんの定格出力運転中に実施した中性子線量当量率の測定結果等からも中性子線量の空間分布に局所的な偏りがないことを確認しており，中性子が局所的に照射される箇所はない。
2. 二次的な汚染がある対象物については全数除染し、クリアランス対象物すべてGM管式サーベイメータで測定し、表面汚染を確認する。

選定した測定単位の代表性の考え方について

放射能濃度確認対象物は複数の系統・設備を対象としており形状等が様々なため、放射能濃度を保守的に評価できるような測定単位の場所を選定することが困難なことから、放射能濃度分布の情報に基づいてn数を決定し、ランダムサンプリング法を用いて放射能濃度を評価する。

2. 申請書本文　八、添付書類　六　記載事項のうち、汚染がおおむね同じであることを確認するための測定方法(1段階目の測定方法)及びCo-60の放射能濃度を決定するための測定(2段階目の測定方法)について

＜再掲＞ 放射線測定装置の選択及び測定条件の設定

2026年6月1日審査会合資料より抜粋、一部編集

- 放射線測定装置及びその測定条件について記載

- GM管式サーベイメータによる二次的な汚染がおおむね同じであることの確認測定
  1. GM管式サーベイメータ(以下，GM管)の点検，バックグラウンド測定を実施する。
  2. 測定台に複数の対象物(100 kg以下)を並べ，GM管で全表面の走査測定を行う。
     - 走査中に計数率が上昇する部位があれば，GM管を静止させて静止測定を行う。
     - 測定中の最大計数率と換算係数を用いて，検出窓面積に対応するCo-60上限放射能量を評価する。
  3. 対象物の厚み(測定面に垂直な方向)を計測する。最も厚みの薄い対象物の厚みを最小厚みとする。
  4. Co-60 上限放射能量を最小重量で除してCo-60 上限放射能濃度を評価し，クリアランスレベルの10 倍を超えないことを確認する。
  5. 作業単位の終了後にはバックグラウンド測定を実施し，作業単位前後のバックグラウンド変動が計数に起因する統計的な変動の範囲内であることを確認する。

※事前の二次的な汚染物の除染を必須としていない

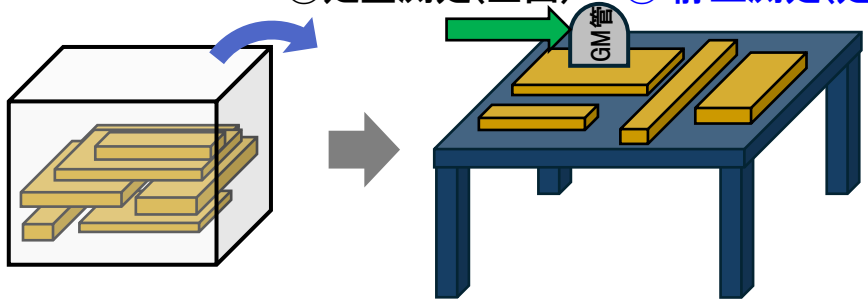
＜再掲＞ GM管式サーベイメータによる測定及び評価の概念図

2026年6月1日審査会合資料より抜粋

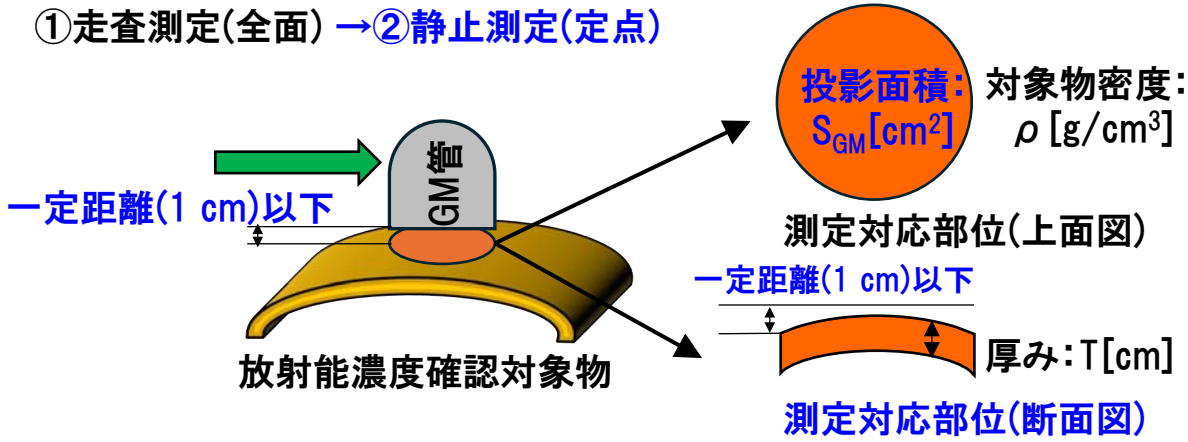


参考)メッシュボックスと解体撤去物
- ✓ 外寸:L約1.2 m×W約1 m×H約0.9 m
- ✓ 1箱あたり1トン程度の内容物
- ✓ 養生を実施

①走査測定(全面) →② 静止測定(定点)



- 評価単位を構成するメッシュボックスから放射能濃度確認対象物(100 kg以下)を取り出して測定台に並べる。
- 表面をGM管で走査測定し，計数率が上昇した箇所で静止測定に切り替える。
- 測定で最大計数率を得る。
- 測定対象物の厚みを計測し，最小厚みを得る。



測定体系図

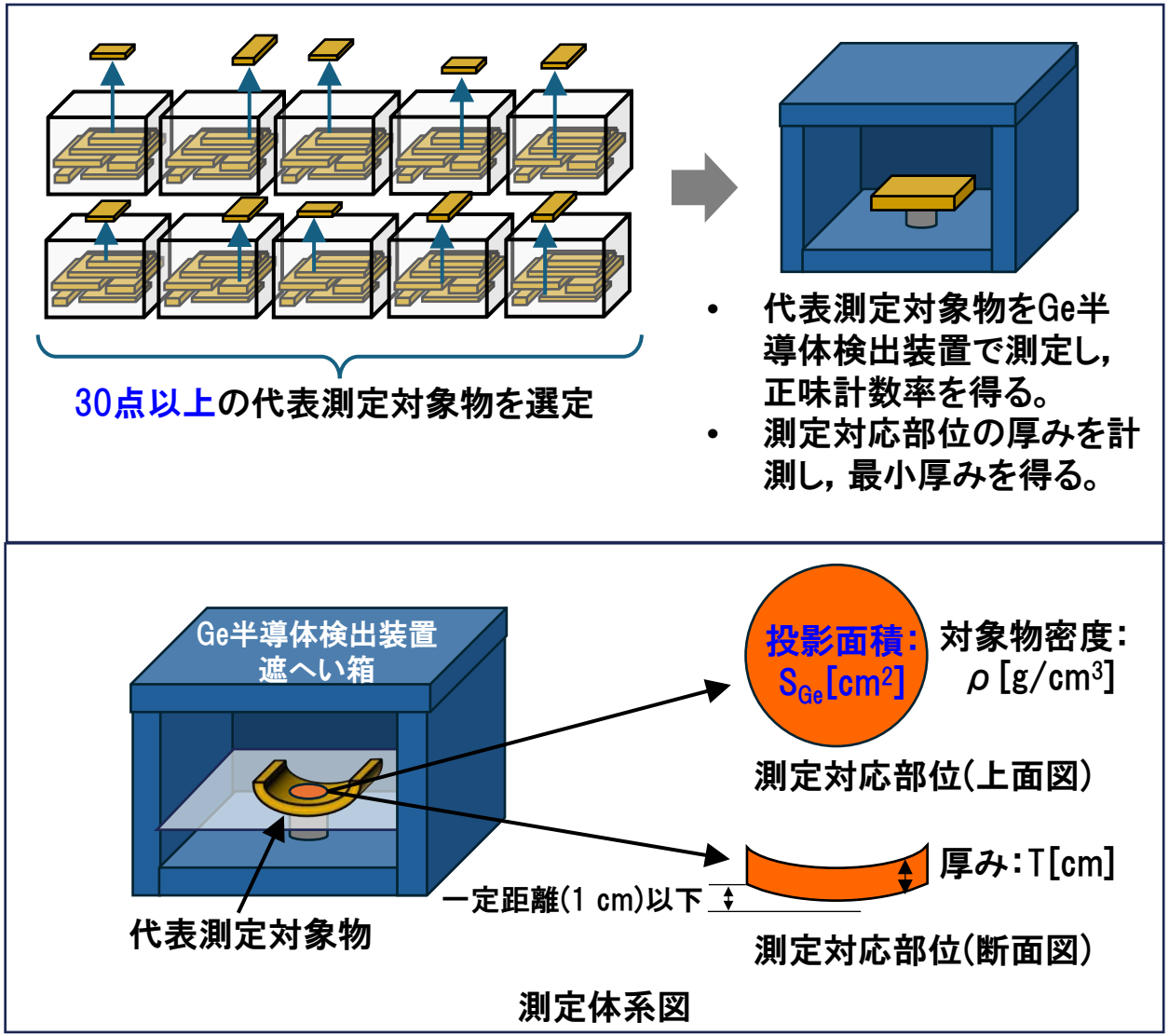
＜再掲＞ 放射線測定装置の選択及び測定条件の設定

2026年6月1日審査会合資料より抜粋、一部編集

- Ge半導体検出装置による代表測定単位の放射能濃度の測定方法
  1. 評価単位の中から代表測定対象物を30点以上選定する。
     - 評価単位を構成する各メッシュボックスから1点以上選定する。
     - Ge半導体検出装置（以下，測定装置）の遮へい箱に入り，検出窓を覆うことのできる大きさとする。
  2. 測定装置の点検，全チャンネルでのバックグラウンド測定を実施する。
  3. 対象物を測定装置の検出器上に設置し，全チャンネルの計数率を測定する。
  4. 測定対応部位について最小厚み（測定面に垂直な方向）を計測し，最小重量を評価する。
  5. 測定結果からCo-60放射能量を評価し，最小重量で除してCo-60放射能濃度を評価する。いずれの代表測定単位もクリアランスレベルを超えないことを確認する。
  6. 作業単位の終了後にはバックグラウンド測定を実施し，作業単位前後のバックグラウンド変動が計数に起因する統計的な変動の範囲内であることを確認する。

＜再掲＞ Ge半導体検出装置による測定及び評価の概念図

2026年6月1日審査会合資料より抜粋



測定体系図

2026年6月1日審査会合等でのコメント(概要)

(1)1段階目の測定(汚染がおおむね同じであることの確認)について

・代表サンプリングの妥当性について汚染がおおむね同じであることの根拠として1段階目の測定でクリアランスレベルの10倍以下であることとしているが，電力の先行例(判定基準：クリアランスレベルの1倍以下)に照らしても不適当と思われるため再度検討すること。

・走査測定から静止測定への移行について判断基準を示すこと。

(2)2段階目の測定(Co-60の放射能濃度を決定)について

・高分解能のエネルギー弁別が可能なGe半導体検出装置を使用する一方で，Co-60のγ線ピーク計数ではなく全γ線計数を評価に用いる妥当性を説明すること。

(3)共通事項

・測定対象物の形状が多様である一方で換算係数を決定するための基礎試験を平板形状のみで行っていることの妥当性を説明すること。

放射能濃度確認対象物の形状

- 除染のための細断(縦割り等)が容易でない小口径配管（4B未満），弁，ポンプ，ファン類，モータ類，ラック，計装品は除外する。以下に，確認対象物の形状と確認対象物から除外する物の形状を例示する。（※写真は形状のイメージであり対象物そのものの写真ではない。）



4B以上の配管，
タンク，
熱交換器
→内面を露出



支持構造物→主はＨ鋼材，　Ｉ鋼材，角鋼材

対象



小口径配管（4B未満）



弁



ポンプ

モータ類



ファン類

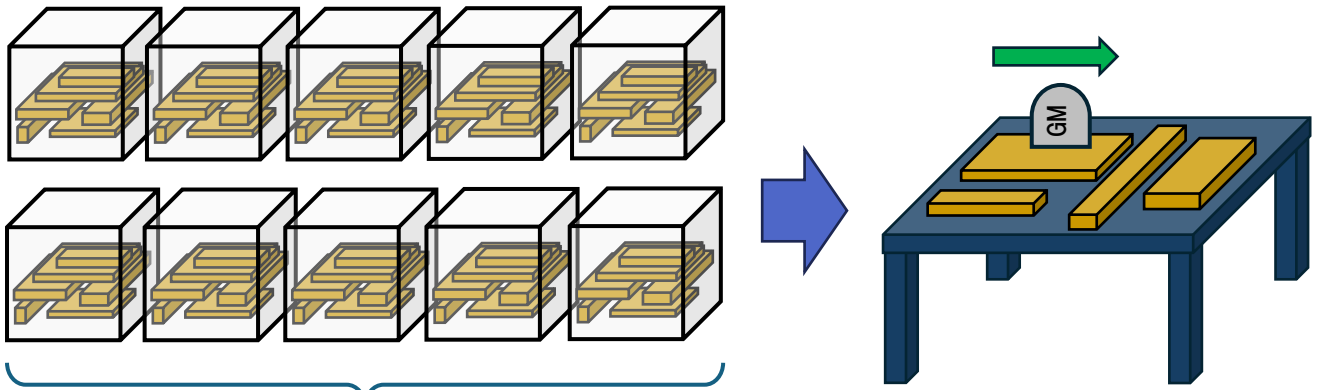


ラック，計装品

対象外

1段階目の測定方法

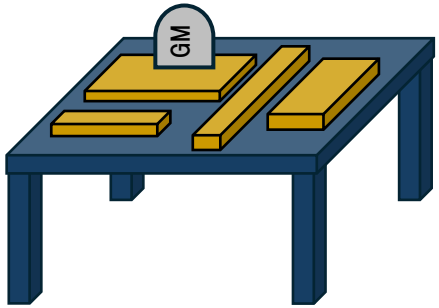
- 1段階目の測定の前に，**二次的な汚染を含む対象物**(タービン系の解体撤去物，原子炉補助建屋の原子炉冷却系関連機器類)**は全数除染を行う。**
- 対象物が走査が困難な形状である場合等は必要に応じ細断する。
- 1段階目の測定は基本的にGM管サーベイメータを用いる。**走査測定**で表面汚染密度を測定する。
- その上で，クリアランス対象物の全表面を測定し，汚染がおおむね同じであることを確認する。
- 評価対象核種はCo-60とCs-137の2核種であるものの、10頁に示すとおりCs-137の放射能濃度はCo-60の放射能濃度より十分小さい(1%程度)ため、GM管サーベイメータの検出感度のエネルギー依存性を考慮したとしても、汚染がおおむね同じであることの判断においてCs-137はほぼ寄与しない。



2段階目の測定方法(1/3)

- 1段階目の測定にて一定数対象物をサンプリングする。
- 放射能濃度確認対象物は様々な系統・設備から発生するため形状が様々であることから、2段階目の測定に先立ち、基本的に径が一定の大きさになるように加工して測定用試料とする。

  ⇒試料形状の単純化(放射能濃度を保守的に評価する形状)
- Geでは放射能濃度の換算係数の保守性等を考慮してクリアランス測定用のジオメトリを登録して測定。Co-60の放射能濃度を(全γ線計数ではなく)**γ線ピークの計数から決定**

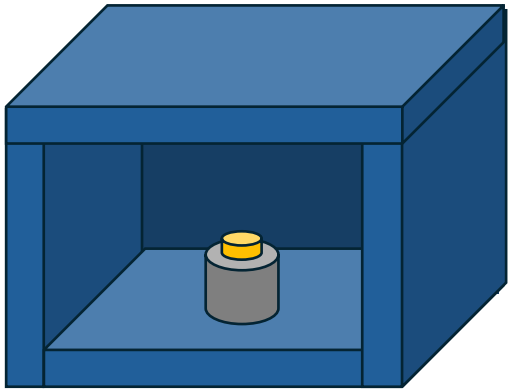




コアドリリング/
アニュラーカッター等で加工



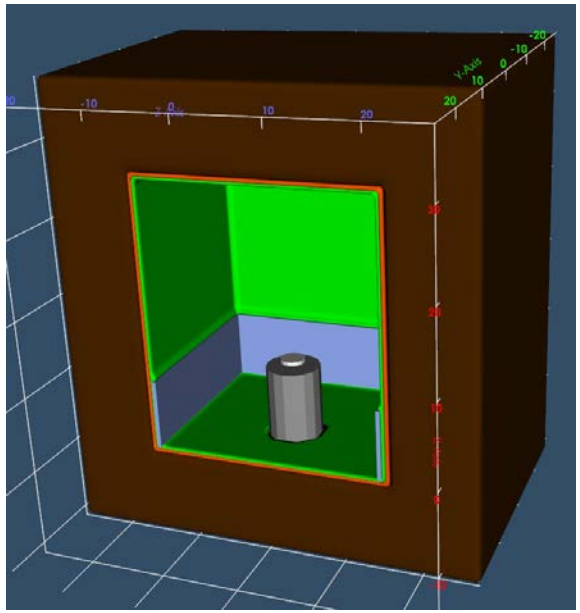
加工試料は，径が一定で高さが様々な円柱(配管から加工した場合は多少屈曲する)形状となり，これを測定用試料とする



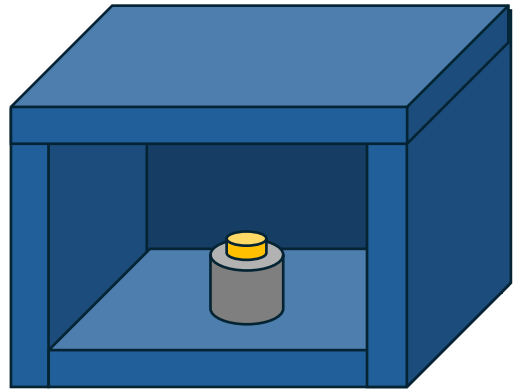
クリアランス測定のためにジオメトリを登録して測定

2段階目の測定方法(2/3)

- クリアランス対象物の形状を考慮して，加工により作製する測定用試料の放射能量換算係数をモンテカルロ計算コードにより計算。材質、汚染形態(二次汚染、放射化汚染)、試料高等をパラメータとして複数のパターンを検証。
- 計算結果より，単純化された形状に基づき保守的な換算係数を設定。
- 計算結果の検証のため，実測との比較を行う。



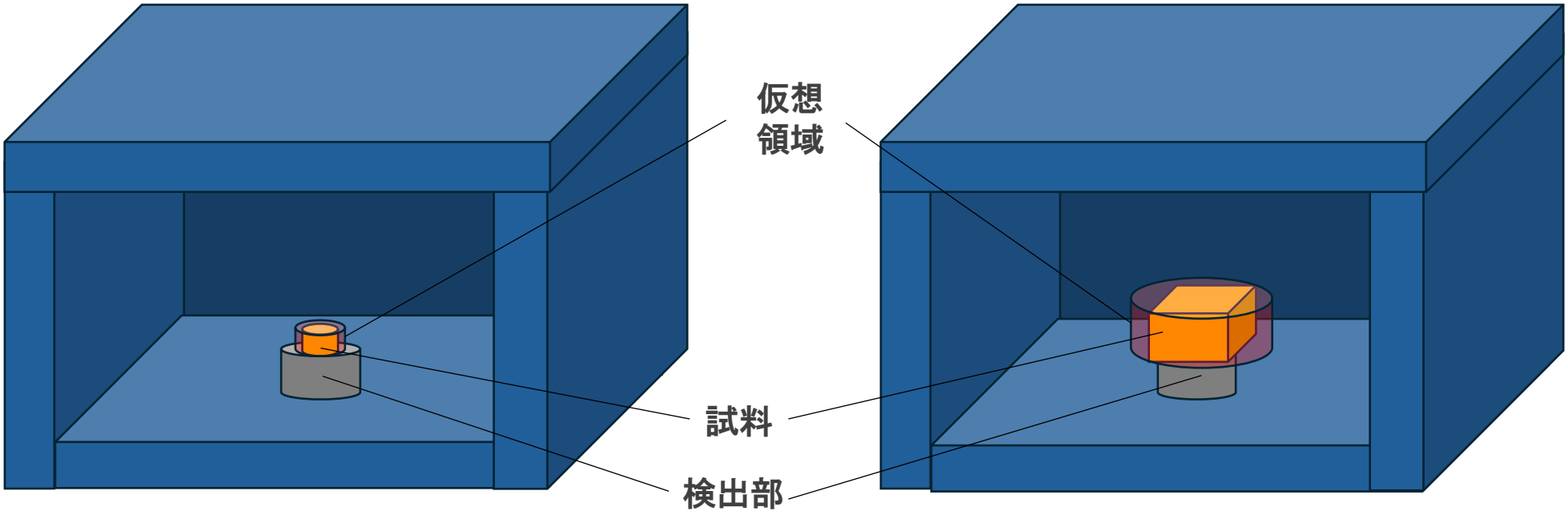
クリアランス対象物を含めた測定体系をモンテカルロ計算でモデル化し換算係数を計算



放射能濃度が既知の試料の実測結果との比較検証

2段階目の測定方法(3/3)

- Co-60のγ線計数率から放射能量への換算は試料形状や検出部との位置関係に基づく仮想領域を考慮し保守的に実施



コア抜き試料加工が可能な場合(基本ケース)
⇒試料高×保守性を持たせた試料径の仮想領域を考慮し保守的に放射能量を評価する。

コア抜き試料加工が困難な場合(金属の厚みが大きい)
⇒四角状に切り出して、試料が包含されるような仮想領域を考慮し保守的に放射能量評価する。

今後の主要検討事項(1/2)

添付書類の項目	主要検討事項 (カッコ付青字は11/16会合までに基本概念の検討を終えた事項)
一　放射能濃度確認対象物が生ずる施設に関すること。	・特記事項なし
二　放射能濃度確認対象物の種類，発生状況，汚染の状況及び推定される総重量に関すること。	・特記事項なし
三　評価に用いる放射性物質の選択に関すること。	・特記事項なし(ただし、申請書において評価対象核種の判断に係る定量的評価の補足、拡充が必要)
四　評価単位に関すること。	・評価単位と測定単位の関係の精査
五　放射能濃度の決定を行う方法に関すること。	(・代表サンプリングの妥当性) ・代表サンプリングの実際の方法 ・不確かさの評価

今後の主要検討事項(2/2)

添付書類の項目	主要検討事項 (カッコ付青字は11/16会合までに基本概念の検討を終えた事項)
六　放射線測定装置の選択及び測定条件の設定に関すること。	①1段階目の測定： ・測定方法(汚染がおおむね同じであることの判断方法を含む) ②2段階目の測定： (・試料形状の考え方) (・モンテカルロ計算コードを用いた換算係数算出の基本的な考え方) (・Ge半導体検出装置のエネルギースペクトルの取扱い) ・測定試料の加工の作業性の検証 ・モンテカルロ計算を用いた換算係数の設定 ・実測による換算係数の検証 ・Ge半導体検出装置の校正方法 ③不確かさの評価
七　放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法に関すること。	・放射能濃度確認対象物の処理フローの精査
八　放射能濃度の測定及び評価に係る品質マネジメントシステムに関すること。	・特記事項なし
九　前各号に掲げる事項のほか，原子力規制委員会が必要と認める事項	―