

東京大学原子炉において用いた資材に含まれる 放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法の 承認申請書の概要について

(これまでのヒアリング内容を反映し、赤字及び赤点線枠は補正申請等に向けた修正を示す)

令和 8 年 9 月 7 日
東京大学大学院工学系研究科原子力専攻

本文一、二、三	名称、住所、代表者氏名、工場等の名称、所在地、施設の名称
本文四	放射能濃度確認対象物の種類、発生及び汚染の状況並びに推定される総重量
本文五	評価に用いる放射性物質の種類
本文六	評価単位
本文七	放射能濃度の決定を行う方法
本文八	放射線測定装置の種類及び測定条件
本文九	放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法
本文十	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
その他	スケジュール

本文一、二、三 名称、住所、代表者氏名、工場等の名称、所在地、施設の名称

一 名称及び住所並びにその代表者の氏名

名 称 国立大学法人東京大学
住 所 東京都文京区本郷7丁目3番1号
代表者の氏名 学長 藤井 輝夫

二 放射能濃度確認対象物が生じる工場等の名称及び所在地

名 称 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
所 在 地 茨城県那珂郡東海村白方白根2の22

三 放射能濃度確認対象物が生じる施設名称

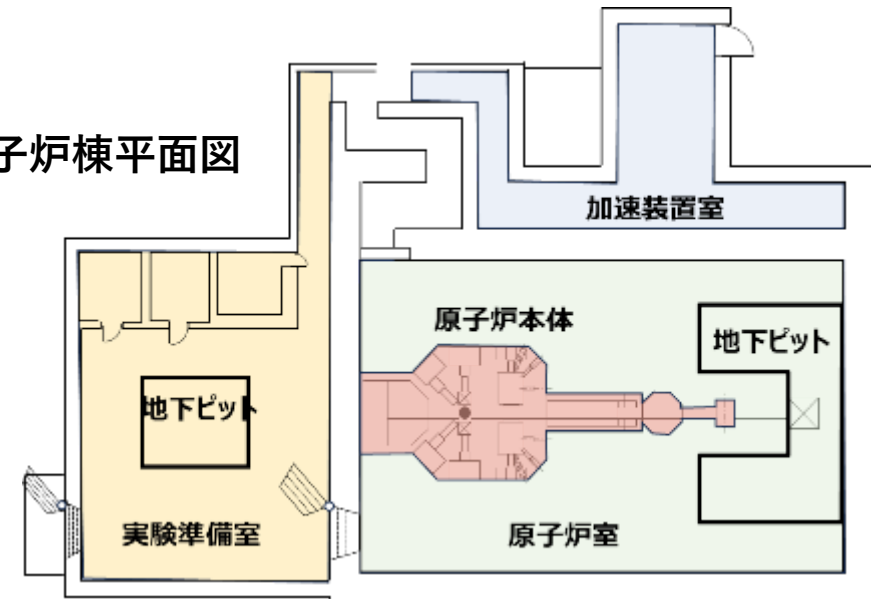
名 称 東京大学原子炉施設



東京大学原子炉の外観



原子炉棟平面図



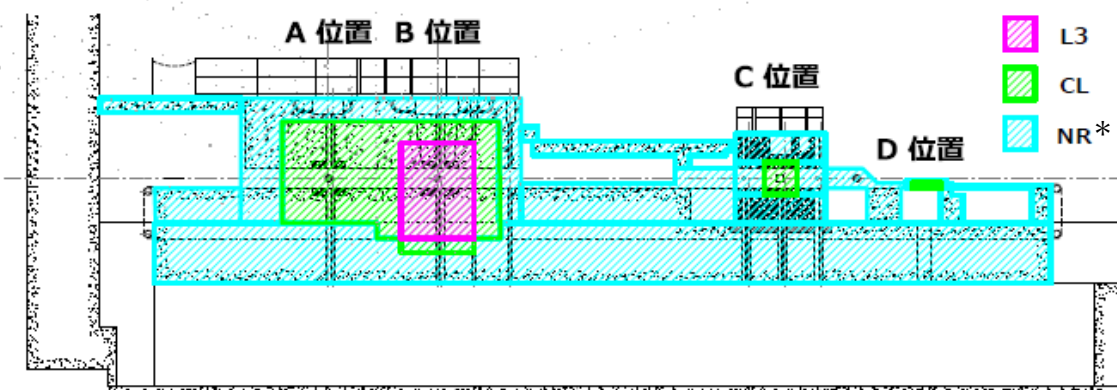
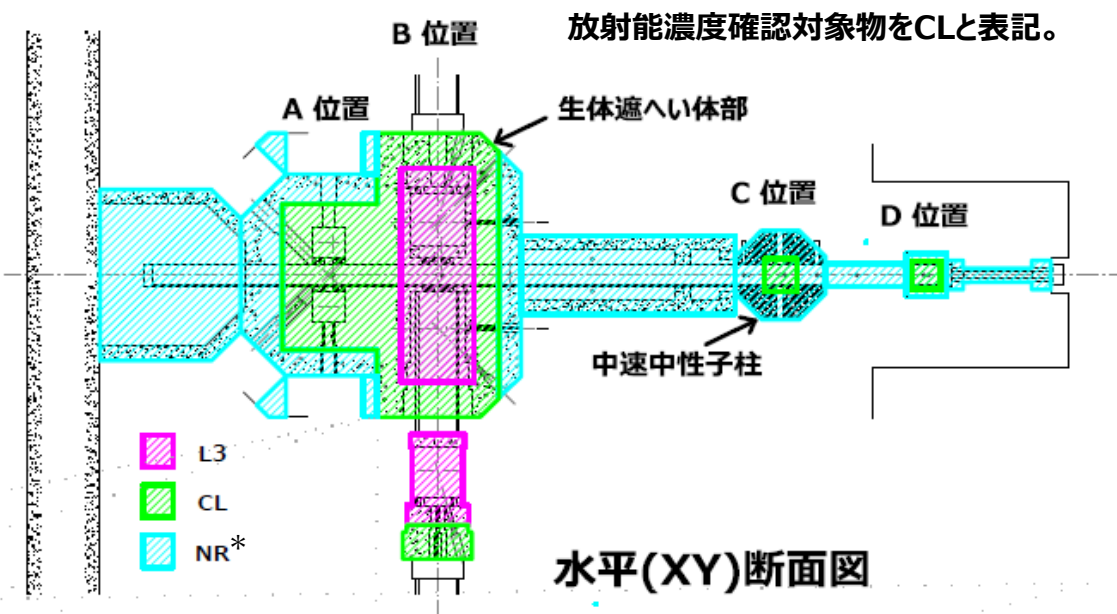
本文四のうち放射能濃度確認対象物の種類及び想定される総重量

放射能濃度確認対象物

- ✓ 放射能濃度確認対象物は、全て東京大学原子炉の廃止措置第2段階において**原子炉本体の解体撤去により発生**する。
- ✓ 東京大学原子炉は、空冷の原子炉で、燃料破損事故もなく、運転に伴う中性子線による**放射化汚染のみ**であり、**二次汚染物はない**。
- ✓ 放射能濃度確認対象物は右図の緑色で示す部分から生じる。
- ✓ **ただし、SUS材及び円筒状のプラグ・ポート等は除外する。**
- ✓ **本申請の承認後、放射能濃度確認対象物の解体を開始する。**

項目	内容
対象物	廃止措置第2段階において発生する解体撤去物
材質	コンクリート類(重コン、普通コン)、炭素鋼、鉛
申請重量	約325トン(重コン約200t、普通コン約80t、炭素鋼約32t、鉛約13t)
発生場所	- 重コン：運転位置(A,B位置)の生体遮へい体部分 - 普通コン：運転位置(A,B位置)の原子炉本体基礎及び床部 - 炭素鋼：全ての運転位置(A～D位置)の遮へい扉、プラグ等の被覆材、コンクリート内の鉄筋等 - 鉛：C位置の中速中性子柱炉心周りのブロック及びD位置のB反射板

燃焼度1MWd/t以下、総放射能インベントリ約10GBq、原子炉総重量約1,000t

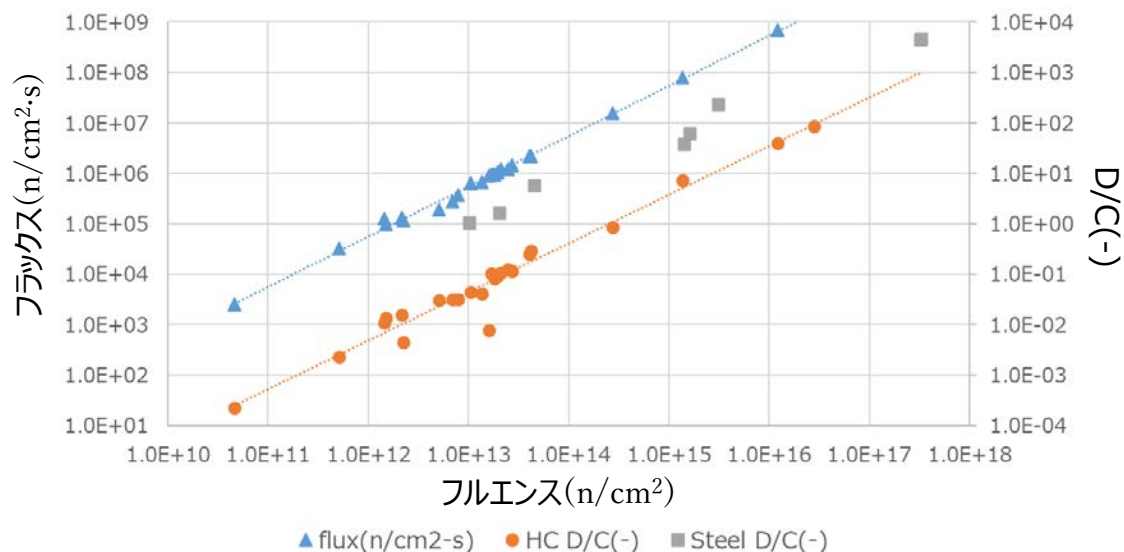


* 保安規定で定める国のガイドラインに従ったNR規程類に則って措置する。

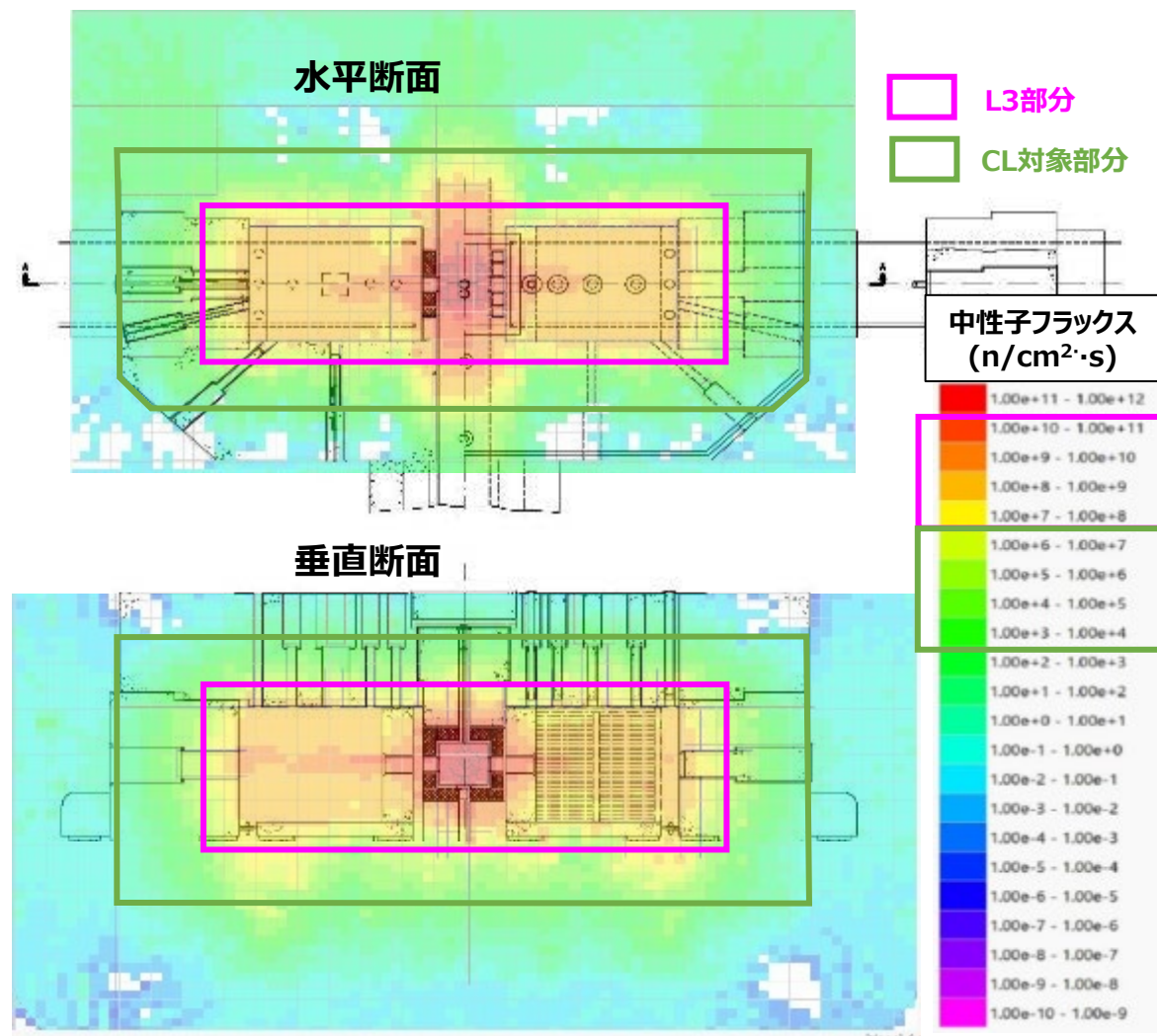
鉛直(YZ)断面図

放射化汚染の状況

- B位置における運転履歴と放射化計算より、重コンの放射化汚染とフルエンス及びフラックスの関係、 $D/C_{\text{重コン}} = 1$
 $\Rightarrow 3 \times 10^{14} (\text{n/cm}^2) \div 1 \times 10^7 (\text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$ 。
- これは、解体前のB位置における原子炉本体各部からの重コン採取試料に対する、分析結果(^{60}Co , ^{55}Fe)と整合。
- また、P.8,9で示す原子炉本体に挿入された重コンプラグからの採取試料分析結果とも整合。
- 炭素鋼については、 $D/C_{\text{炭素鋼}} = 1$
 $\Rightarrow 2 \times 10^{13} (\text{n/cm}^2) \div 0.8 \times 10^6 (\text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$

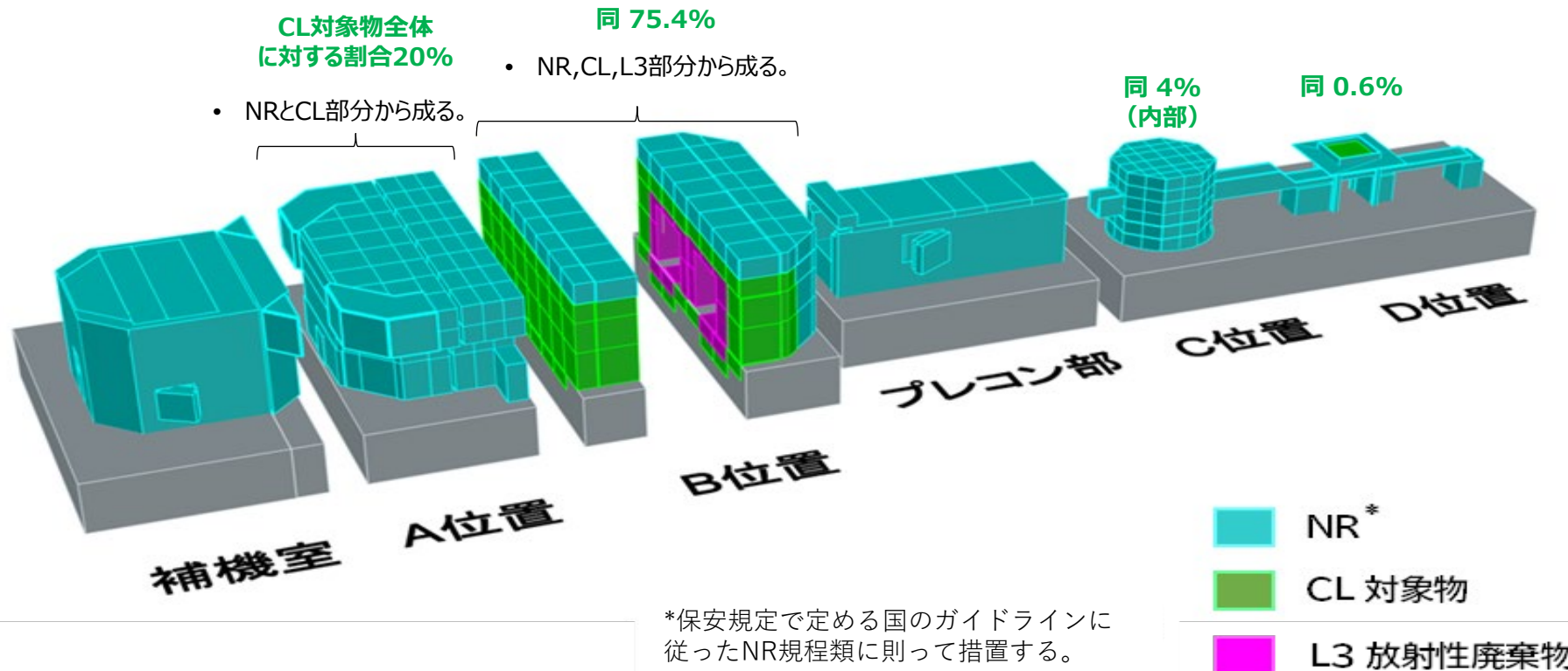


B位置(全体の97%の放射化汚染が集中)のフラックス分布



原子炉本体の解体工法

- ✓ 粉塵が飛散しないように複数のグリーンハウス(GH)を設け、乾式コアドリル及び乾式ワイヤーソーを用いた**ブロック状解体工法**により、重コンクリート、普通コンクリート、炭素鋼、鉛から成る原子炉本体を解体。
- ✓ コンクリートブロックの**破碎には重機を使用**。
- ✓ **CL対象領域の解体**は、CL測定及び評価の方法と関係することから、**CL申請承認後に開始**。

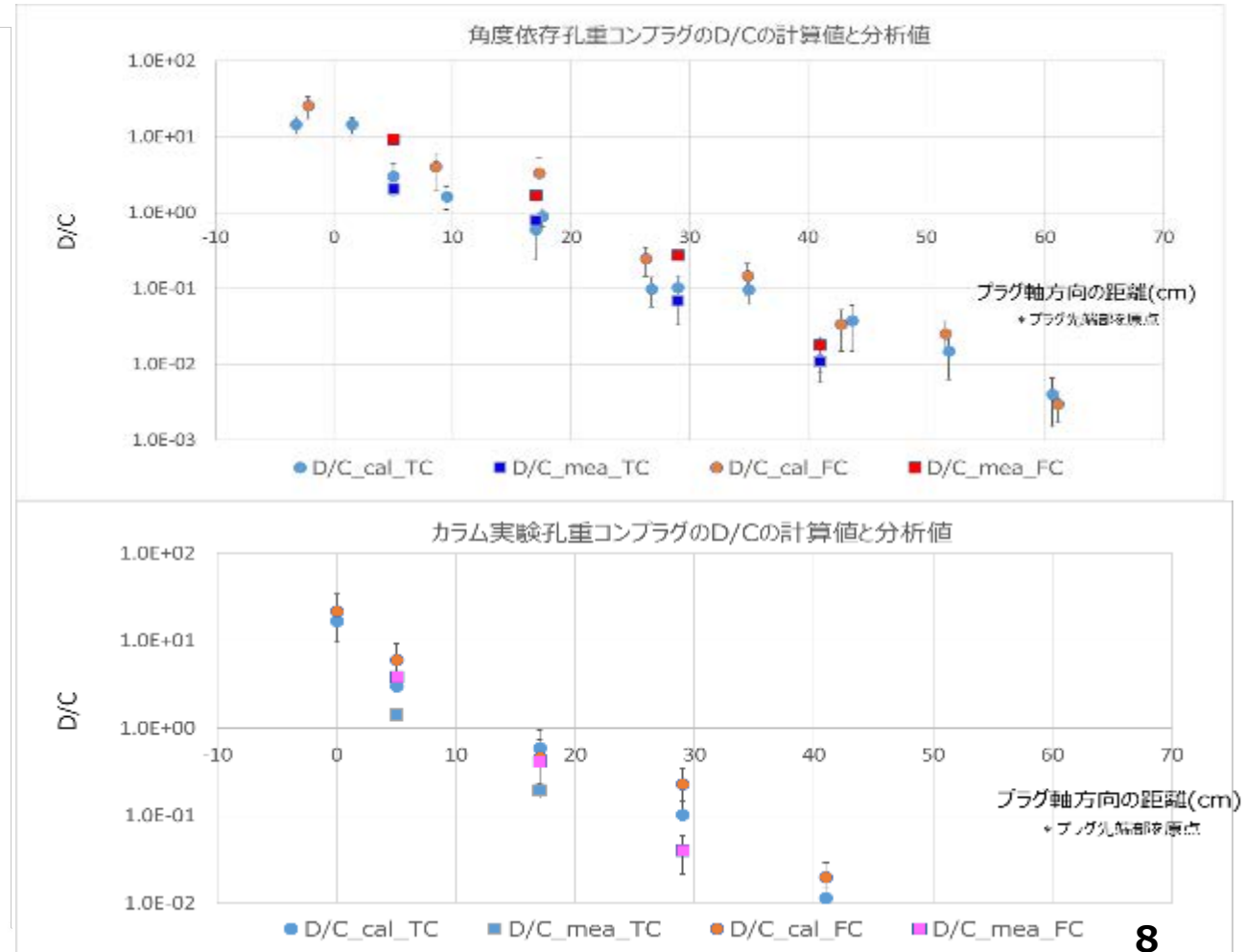
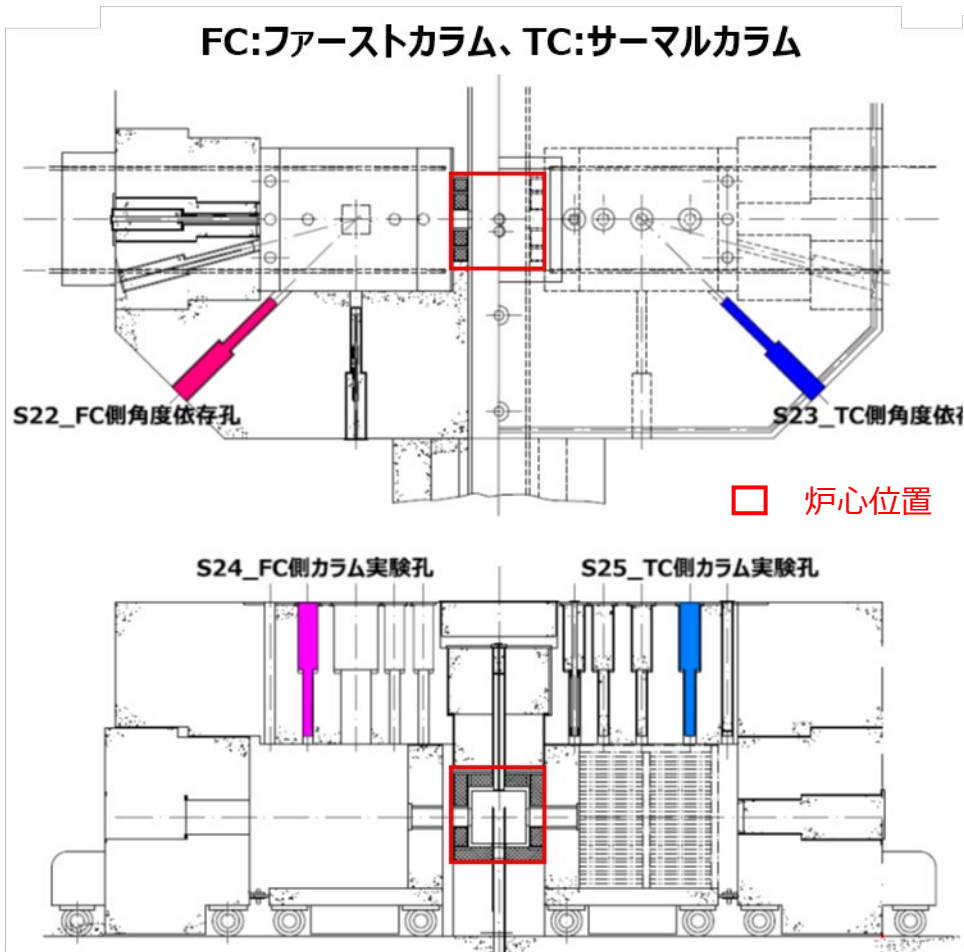


評価に用いる放射性物質の選定

- ✓ 評価に用いる放射性物質の選定において、放射化汚染を放射化計算法によって算出することから、**使用実績のある放射化計算コード**（SCALEコードシステムVer. 6.3.1、ORIGENライブラリ[約2300核種]）を使用。
- ✓ 放射性物質の種類が幅広く選定されるよう、**合理的な範囲**で計算に用いる**入力パラメータ**（親元素の組成、中性子束、照射時間等）を設定。
- ✓ 合理的な範囲を、**実際の放射能濃度確認対象物における想定可能な変動幅**を指すものとした。
- ✓ **親元素の組成**
 - ミルシート、JPDR廃止措置完了届、NUREG報告書のデータを採用
 - 特に、コンクリート類中の放射化断面積が大きい微量元素のユーロピウムについては、**ICP-MS/MS分析で元素濃度を測定**し計算に使用
 - **想定可能なユーロピウムの初期濃度の変化**が、放射性物質の選定に及ぼす影響は極めて低い
- ✓ **中性子束**
 - 約40年間にわたる燃焼(放射化)・冷却サイクル計算における年変動は1%以下
 - **想定可能なコンクリート類中のスペクトル形状の変化**が、放射性物質の選定に及ぼす影響は極めて低い
- ✓ **照射時間等**
 - 年間積算出力を、年度初期の連続運転とするか年度終期のそれとするかは、冷却期間が15年と長く、**放射性物質の選択において短半減期の核種は無視できる**ことから、ここでは放射性物質の濃度減衰が保守的になるように、年度終期の連続運転とした。

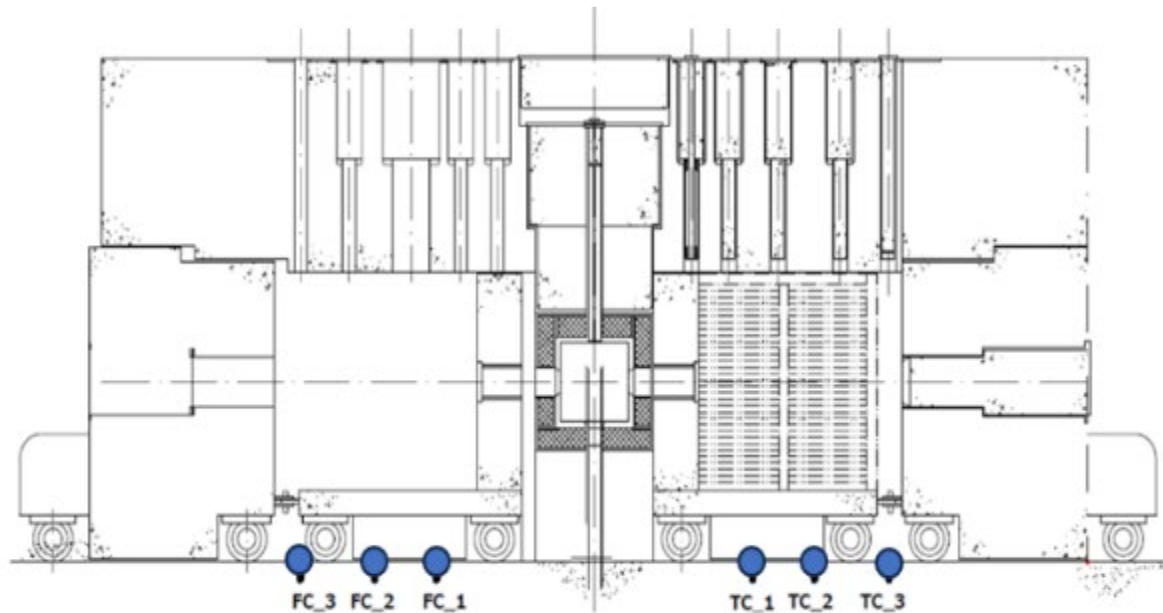
放射化計算法の妥当性確認 (重コン)

- ✓ 放射化計算法の妥当性確認として、原子炉本体のB位置における、ファーストカラム(FC)及びサーマルカラム(TC)に用いられている重コンプラグからの採取試料の分析結果と計算結果とを比較し、良い一致を得た。

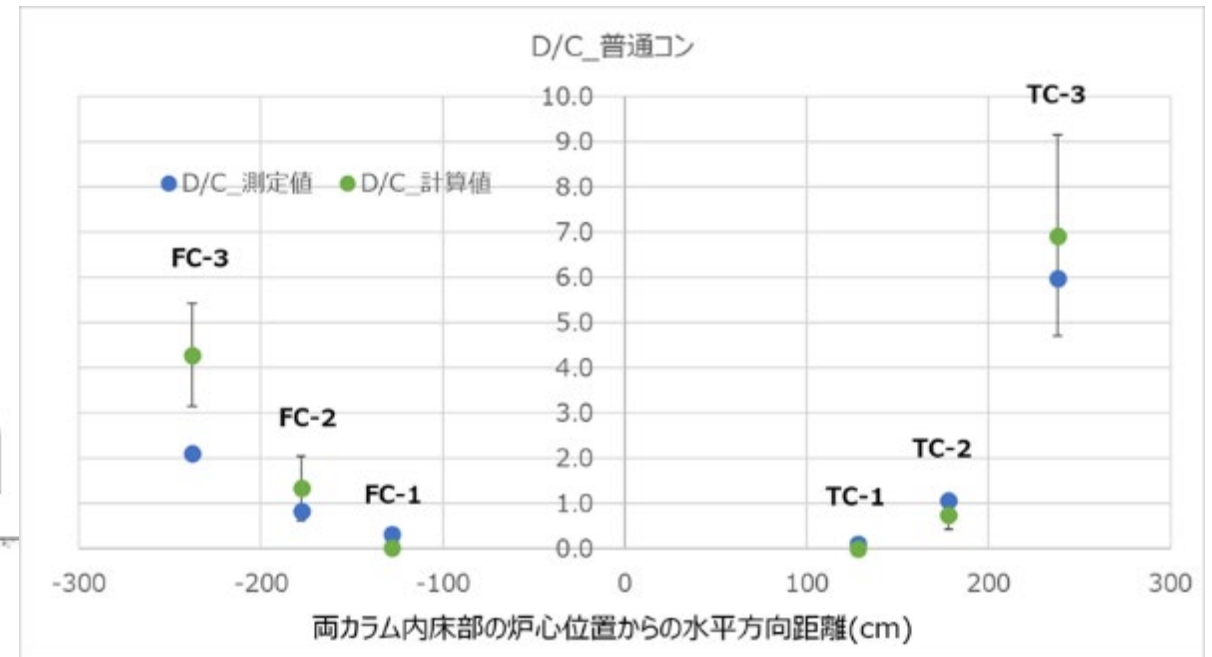


放射化計算法の妥当性確認（普通コン）

- ✓ 放射化計算法の妥当性確認として、原子炉本体のB位置における、ファーストカラム(FC)及びサーマルカラム(TC)の床材の普通コンからの採取試料の分析結果と計算結果とを比較し、良い一致を得た。

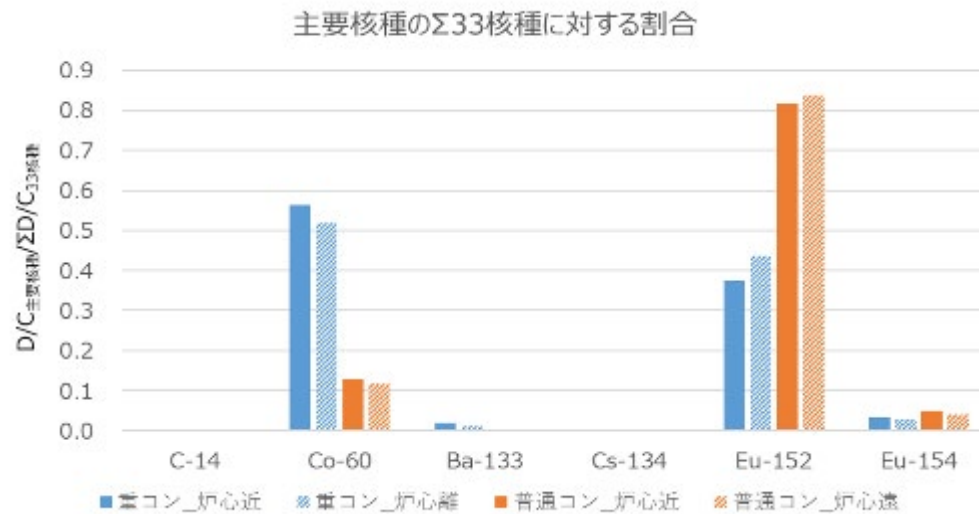


両カラム内床部の試料採取位置

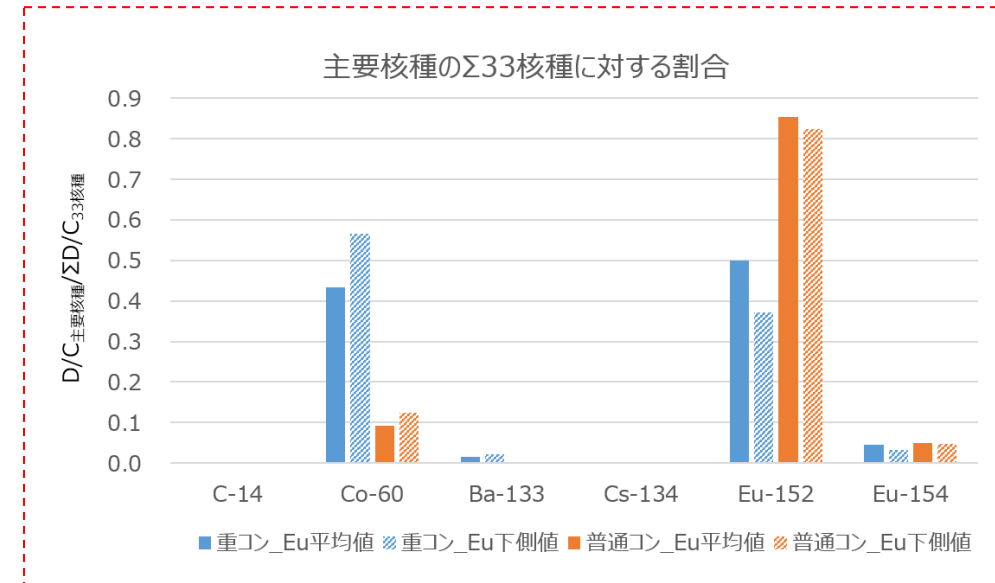


放射性物質選定の妥当性確認

- ✓ コンクリート類の評価に用いる放射性物質の選定において、放射化計算に用いる入力パラメータ（親元素の組成、フラックス、照射時間など）の合理的な設定範囲を、実際の放射能濃度確認対象物における想定可能な変動幅を指すものとした。
- ✓ コンクリート類のエネルギースペクトル形状変化及び微量元素(Eu)の初期濃度について、想定可能な変動を考慮した場合の核種選定に及ぼす影響を調べた。
- ✓ 炉心から遠ざかりスペクトルが熱化すると、 ^{152}Eu が増加する。また、Eu元素濃度の最低値においても、相対的に ^{60}Co の比率が増え、 ^{152}Eu が減る等の影響のみである。



エネルギースペクトル形状の変化



Euの初期濃度の変化

図の差し替え

- ✓ その結果、想定可能なエネルギースペクトル形状及びEuの初期濃度の変動を考慮した場合においても、その影響は限定的であり、 ^{60}Co 及び ^{152}Eu 以外の核種が評価対象核種として選定される可能性は極めて低い。

評価に用いる放射性物質の種類を選択

- ✓ 放射能濃度確認対象物の材質毎に、審査基準^{注1}の別記第1号に掲げる33核種のなかから重要なものを評価対象核種として選択する。
- ✓ **本申請を行う時期（2026年4月1日）から、廃止措置における全ての解体物を搬出する時期（2032年3月31日）までの約6年の間、**評価対象核種の $\Sigma(D_i/C_i)$ が、審査基準33核種の $\Sigma(D_i/C_i)$ に対して占める割合が、常に90%以上となるように評価対象核種を選択した。

			2026年4月1日	2032年3月31日
構成材料	計算モデル	評価対象核種	$\Sigma_k (D_k/C_k)/\Sigma_{33}(D_i/C_i)$	$\Sigma_k (D_k/C_k)/\Sigma_{33}(D_i/C_i)$
重コン	B位置	$^{60}\text{Co}, ^{152}\text{Eu}$	0.93	0.93
普通コン		$^{152}\text{Eu}, ^{60}\text{Co}$	0.94	0.95
炭素鋼		^{60}Co	0.96	0.99
鉛	C,D位置	$^{108\text{m}}\text{Ag}$	0.94	0.95 ^{注2}

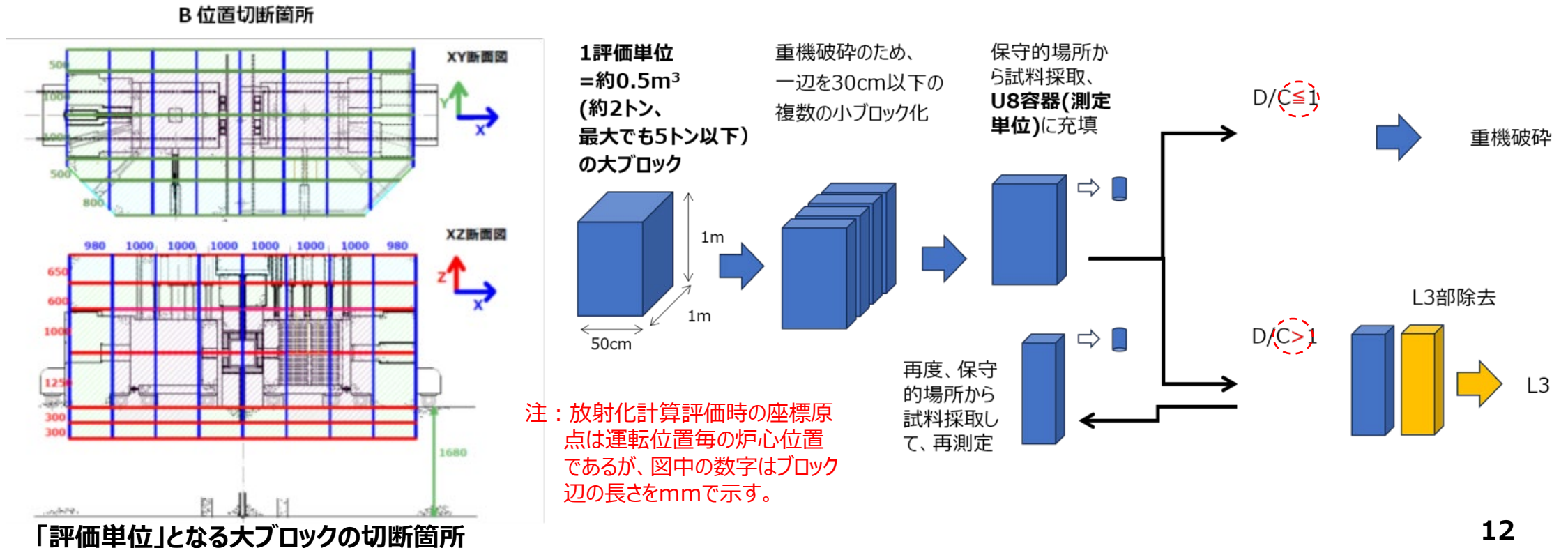
注1：「放射能濃度について確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」

注2：鉛は核種選定においては評価期間を2032年3月31日までとしたが、放射能濃度決定のタイミングは確認申請前の任意の時点とする。

本文六 評価単位(1/3)

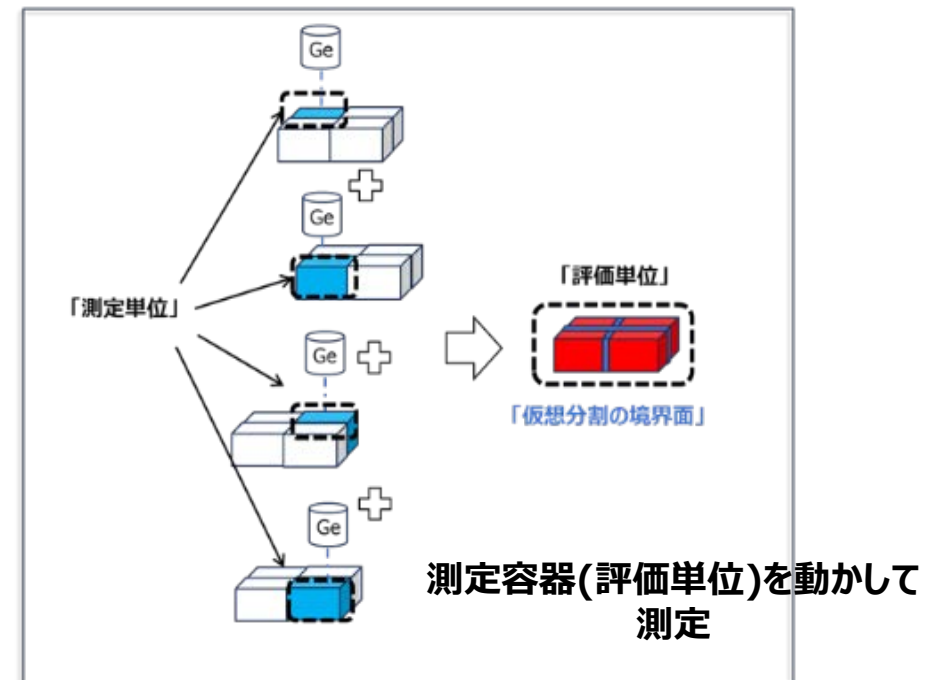
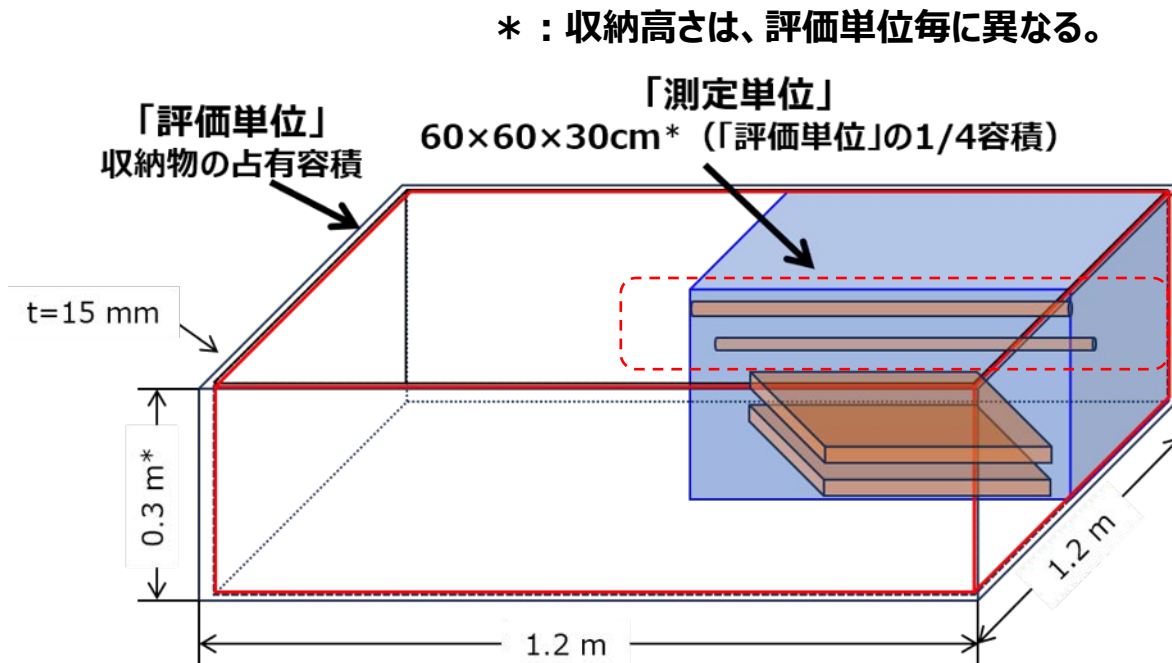
【コンクリート類】

- コンクリート類(重コン, 普通コン)の放射能濃度確認対象物は、**切断解体時の大ブロックを評価単位とする。**
- 評価単位を、直接放射線方向(炉心及び両カラムからの中性子線方向)に沿って複数の小ブロックに切断し、各々の小ブロックより放射能濃度の**保守的场所から試料を採取し、粉碎、粒度調整後、U8の測定単位を得る。**
- 一つの小ブロックについて $D/C > 1$ となった場合、L3部除去後に、**再度、保守的场所から試料を採取して測定して D/C が1を超えないことが確認できるまで繰り返す。**
- 評価単位の重量は約2トンで最大5トン以下、測定単位の重量は重コン約300g、普通コン約200gとする。



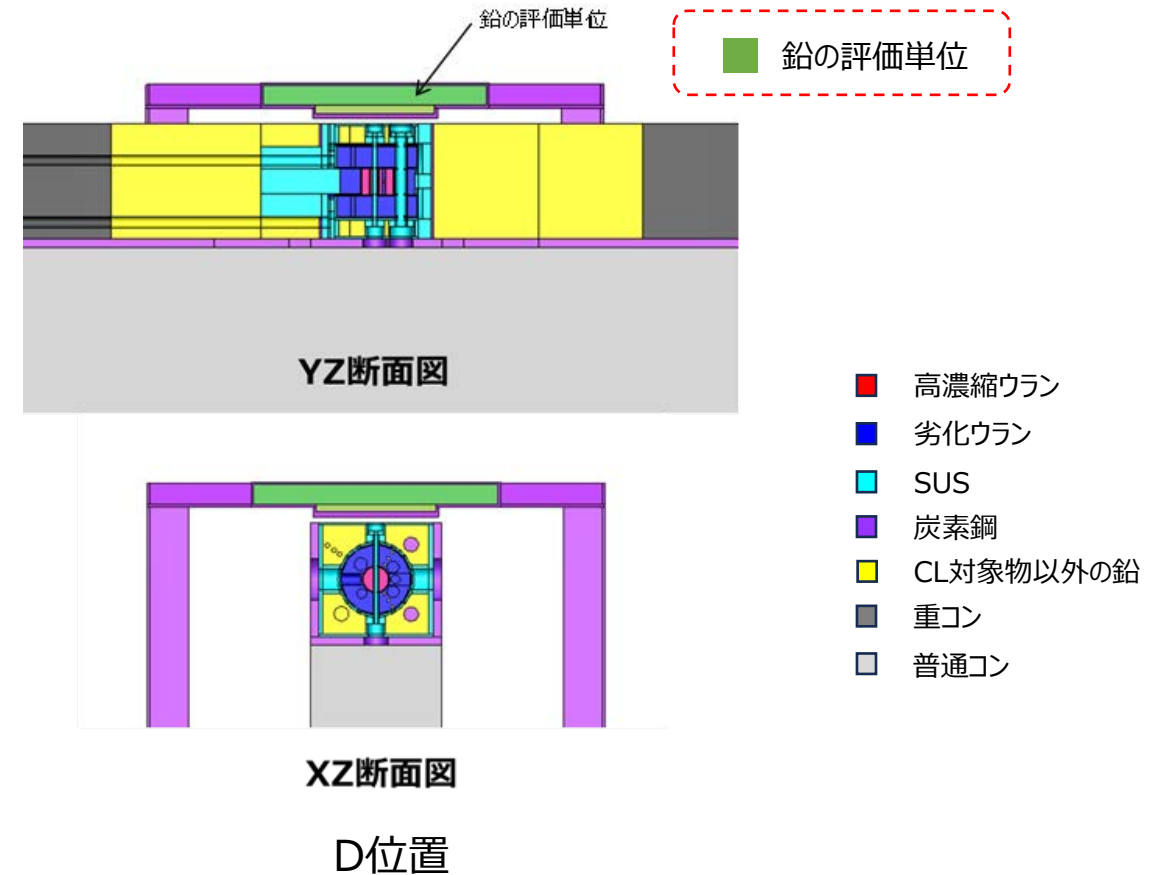
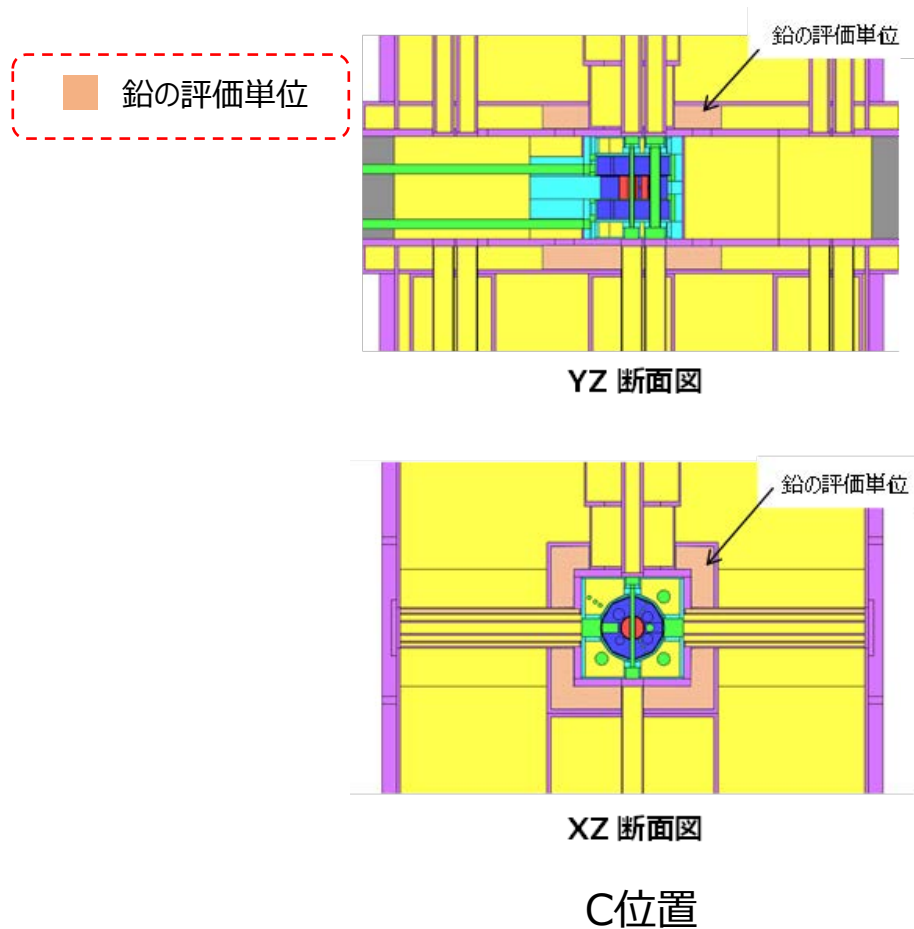
【炭素鋼】

- 炭素鋼の放射能濃度確認対象物を専用の測定容器に収納し、容器内の占有容積部分を評価単位とする。また、占有容積部分を仮想的に4分割した各ブロックを測定単位とする。
- 汚染の程度が大きく異なる物が1つの測定単位とならないように、測定単位のD/Cが10を超えないことを確認する。
- 評価単位重量は1トン以下、測定単位重量は250kg以下とする。



【鉛】

- C位置の中速中性子柱炉心部周辺の**矩形状 8つの鉛ブロック**をC位置における**評価単位**とする。
- D位置のB反射板の鉛を、**上下方向 2つに分けて**D位置における**評価単位**とする。

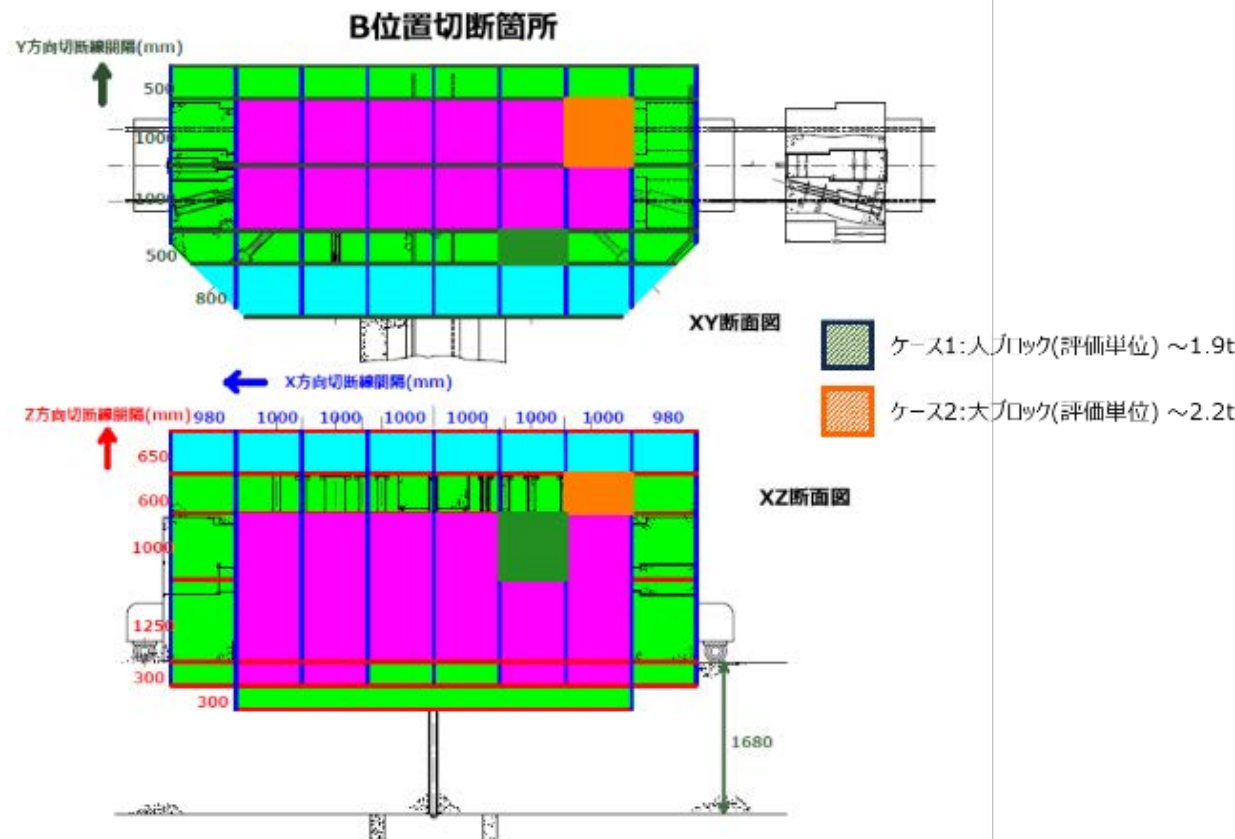
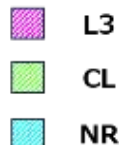


【コンクリート類】 保守的場所の選定

- 「審査基準3.3.(1)イ：放射線測定法によって放射能濃度の決定」⇒「同(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」⇒「同イ②：保守的に評価できる測定単位の場所の選定」
- 放射能濃度確認対象物中の放射化計算により保守性を確認した範囲で、試料採取可能な場所を保守的場所として選定できることを確認。
- 保守的場所の選定に対するビームポート部のストリーミングの影響についても確認。

ケーススタディ
(B位置断面図)

対象領域

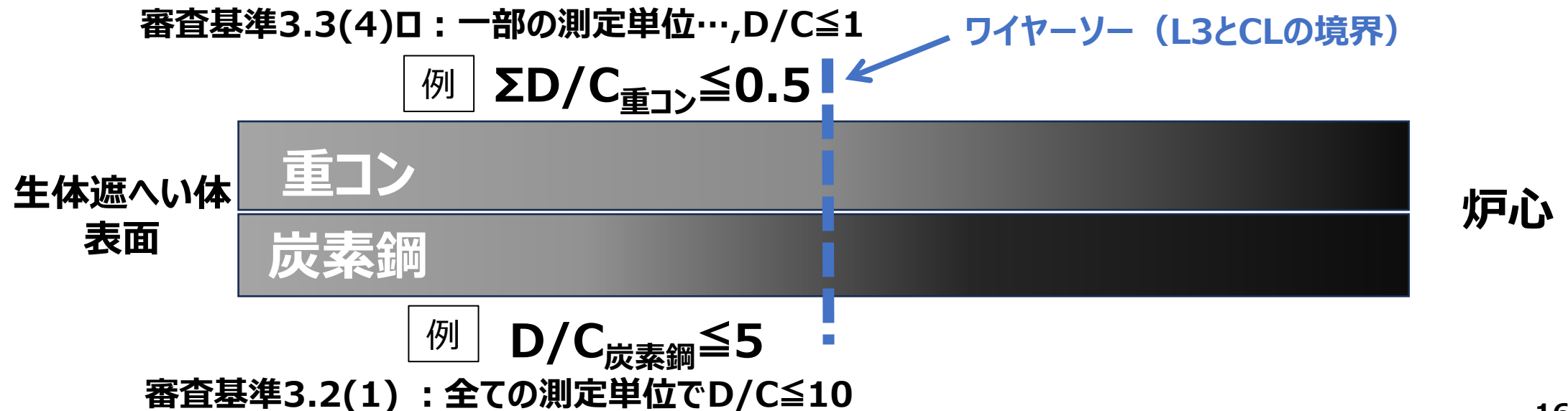


本文七 放射能濃度の決定を行う方法 (2/3)

【炭素鋼】

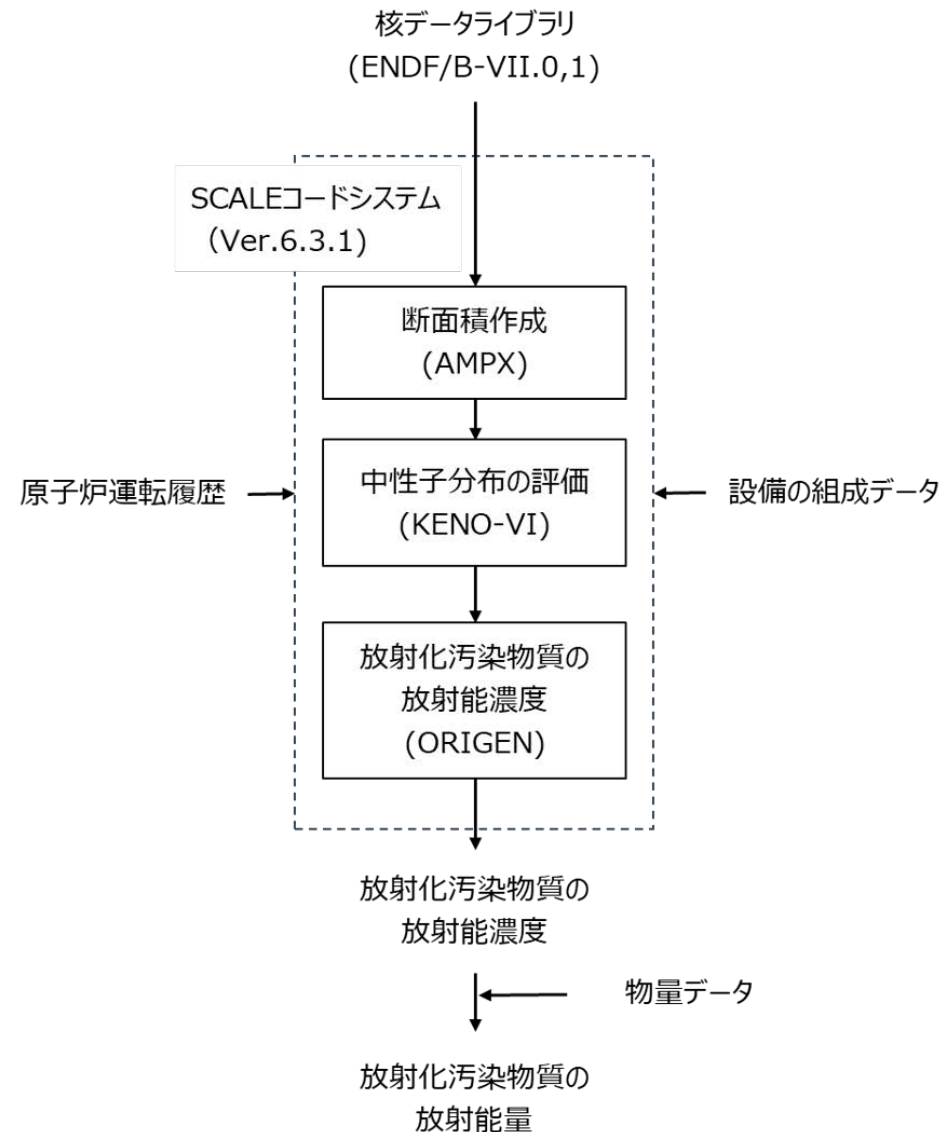
コンクリート類と炭素鋼のD/Cの関係

- コンクリート類の評価単位について、**保守的场所を放射化計算により推測**。
- コンクリート類の小ブロックから採取した**U8の測定単位の $\Sigma D/C \leq 1$** を、Ge半導体検出器の測定により確認。
- コンクリート類の測定単位の最大値により、**評価単位の $\Sigma D/C \leq 1$ を測定により確認**。
- 炭素鋼（コンクリート類と同じ小ブロックに含まれる）の**最大放射能濃度を放射化計算により推測**。
- コンクリートの保守的场所に含まれる炭素鋼の保守的场所からの採取試料から、**溶解液**の γ 線分析により**保守的放射能濃度を測定**。
- 炭素鋼を最大汚染モデルを用いて放射能換算係数を求め、専用測定装置による測定により、**いずれの測定単位においても $D/C \leq 10$ であること、かつ、評価単位の $D/C \leq 1$ を確認**



【鉛】

- 鉛の評価単位の放射能濃度を、 **^{108}mAg** を**評価対象核種**として**放射化計算法**によって求め、不確かさを考慮しても $D/C \leq 1$ を確認する。
- C位置の中速中性子柱の「評価単位」の評価対象核種の放射能濃度は、**C位置の運転履歴から燃焼計算**によって求める。
- D位置のB反射体の「評価単位」の評価対象核種の放射能濃度は、**D位置の運転履歴から燃焼計算**によって求める。
- 燃焼計算にあたっては、使用実績のある放射化計算コードを用い、「評価単位」における評価対象核種の放射化計算に用いる**入力データは使用前検査時のミルシートの値**を用いる。**また、計算の評価日は確認申請前の任意の時点とする。**



【コンクリート類】

(1) 放射線測定装置の種類

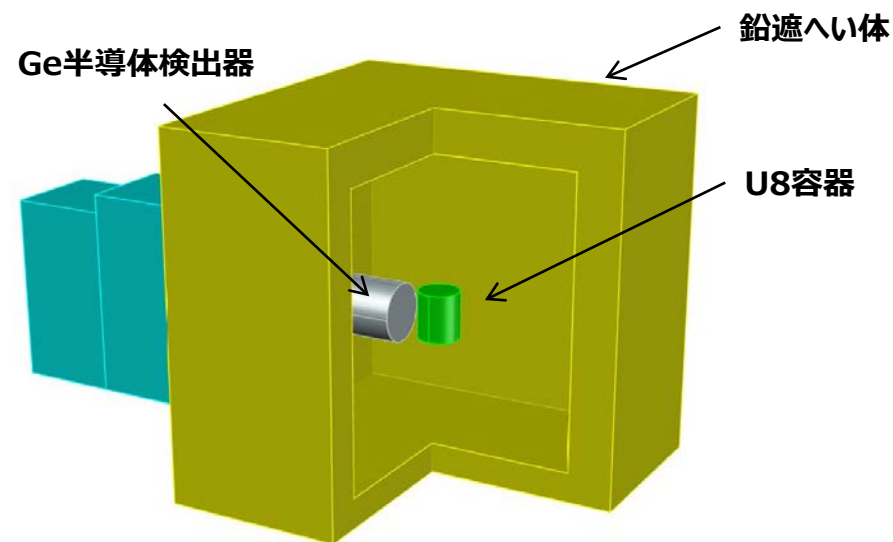
- 放射線測定装置は、 ^{60}Co 及び ^{152}Eu はガンマ線を放出する放射性物質であることから、汎用の**Ge半導体検出器**とする。
- コンクリート類を粉砕、粒度調整しU8に充填した後、定置型の遮へい機能付Ge半導体検出器で放射能濃度を測定する。
- 小ブロックの保守的場所より試料採取する際、**追加汚染防止及び試料間のコンタミ防止等の措置**を行う。

(2) 放射線測定装置の測定条件

^{60}Co 及び ^{152}Eu の測定の不確かさを各々 σ_1 及び σ_2 、放射能濃度を各々 μ_1 及び μ_2 とすると、両核種を合わせた検定式は、片側5%有意水準の1.645を考慮し、 $\mu_1 + \mu_2 + 1.645\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \leq 0.1\text{Bq/g}$ (^{60}Co と ^{152}Eu を合わせた $\Sigma D/C \leq 1$)が確認できる測定条件とする。

(3) 放射能濃度測定の不確かさ

- JCGM 100 (GUM) に基づき**不確かさを決定。



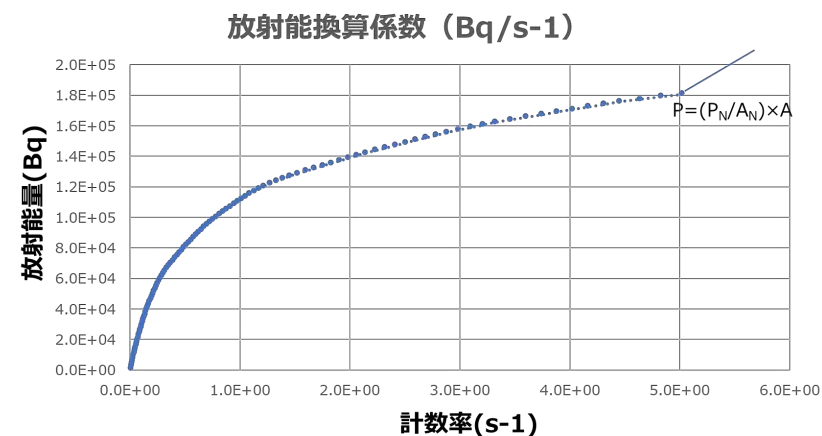
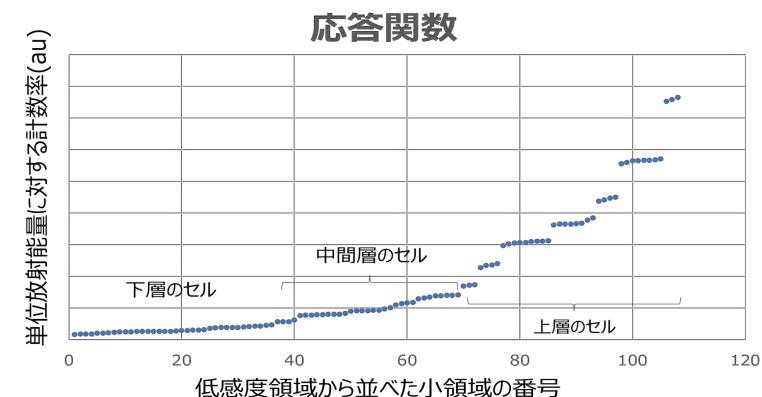
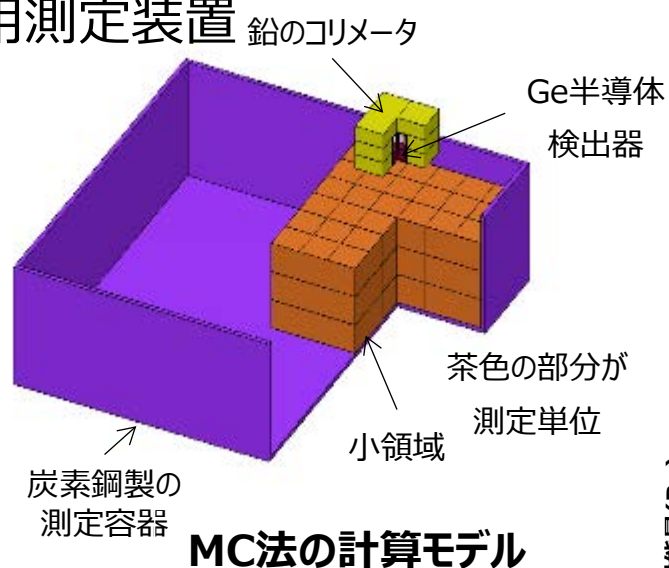
【炭素鋼】

(1) 放射線測定装置の種類

- 炭素鋼の**保守的放射能濃度**を、保守的場所から試料を採取し溶解後に、**溶解液に対するガンマ線分析で確認**。
- 保守的放射能濃度を用いた放射能換算係数を用い、**測定単位が $D/C \leq 10$ であること、及び評価単位が $D/C \leq 1$ であることを確認**。

(2) 汎用Ge測定器を組み込んだ専用測定装置

- 最大汚染モデル**を用いて、測定単位を仮想の小領域に分割し、モンテカルロ法による遮蔽計算により、各小領域からの応答関数を求める。
- Ge測定器に対して最遠方の小領域から、**保守的放射エネルギーを割り当て**、得られた計数率と放射エネルギーとの関係を示す**放射能換算係数**より、測定単位の放射エネルギーを求める。



(3) 放射能濃度測定の不確かさ

- 放射能換算係数を求める際の複数の要因**を分析し、評価を行う。

【炭素鋼】(続)

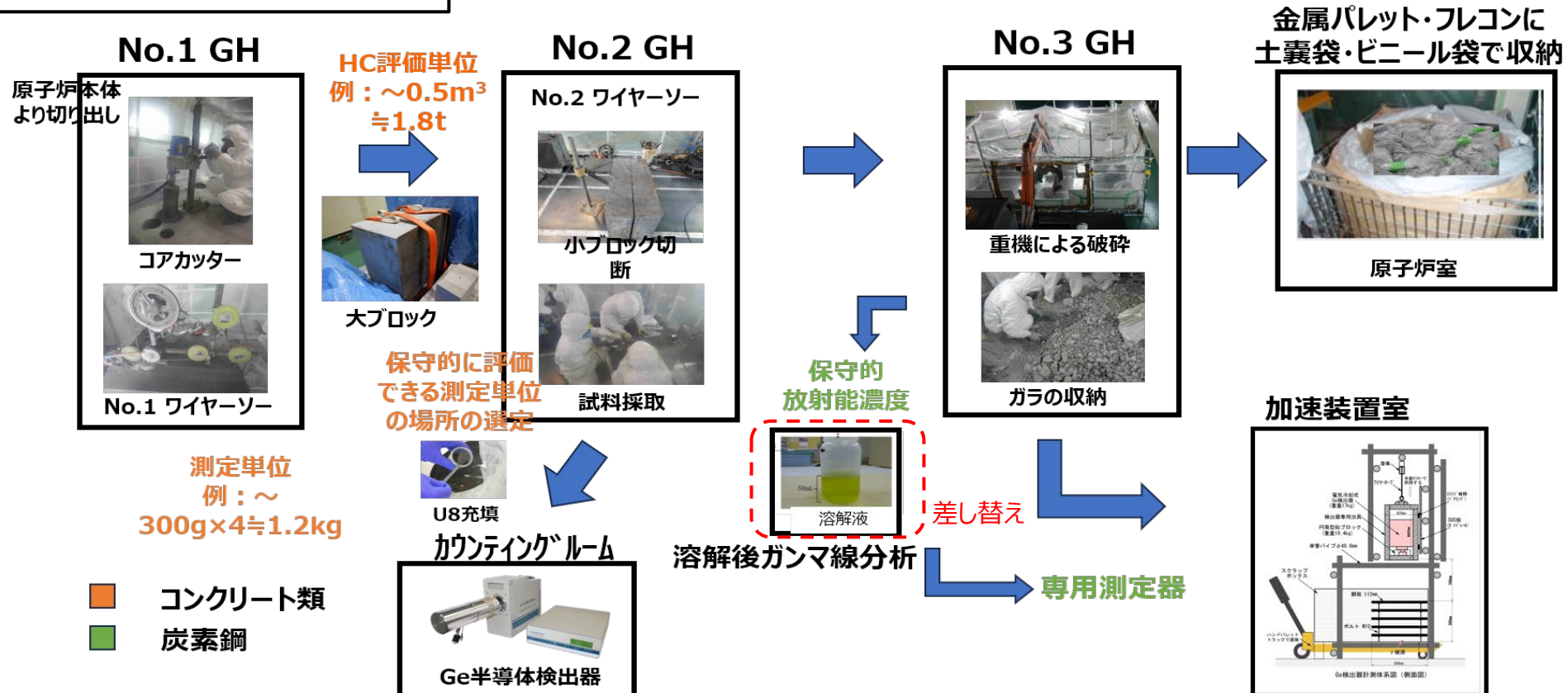
(4) ヒアリングの結果を受けた今後の予定

- クリアランス対象物である放射化炭素鋼について、放射能濃度測定前の収納方法を検討する。
- クリアランス対象物の推定放射能濃度がクリアランス基準と比較して無視できない領域のクリアランス対象物については、前頁のボックス型に加えてトレイ型の採用についての検討を行い、この場合の妥当性確認試験は汚染状況を考慮して実施する。
- 弥生の放射化炭素鋼の汚染状況を考慮した、適切な不確かさ（保守量を含む）の設定を行う。
- 必要に応じてクリアランス対象物の範囲の見直しを行う。

解体・分別・収納エリア（原子炉室）

- 原子炉本体の切断解体に伴う粉塵を各GH内に封じ込め、局排で建屋換気系より排気、原子炉室内に出さない。
- 各GH内で十分な空気清浄化の後に、GH天井を開口し、天井クレーンを使って解体物の移動。
- 同様に、収納容器を車両を用いて、同一のタイミングで実験準備室へ移動する。

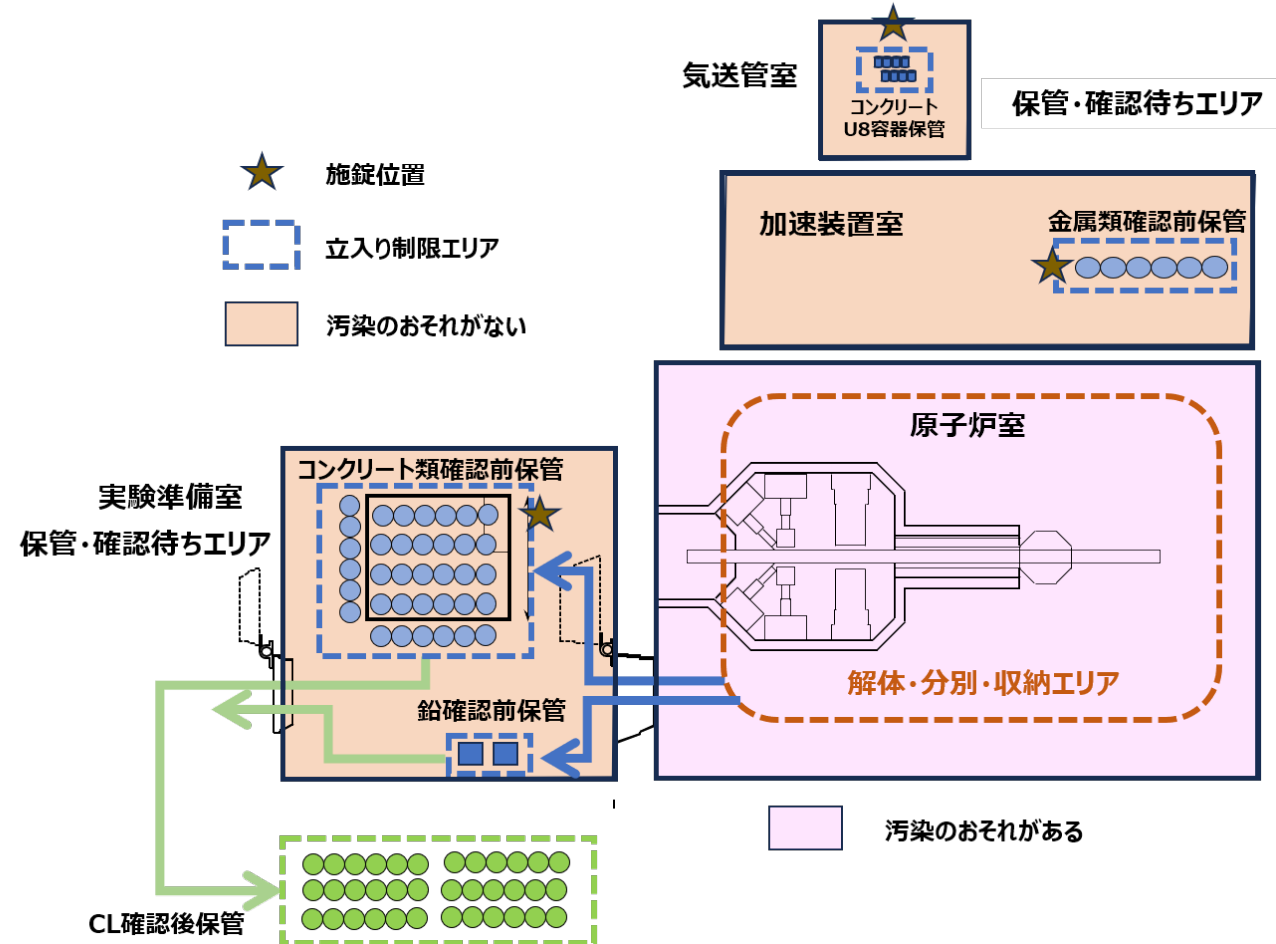
コンクリート類と炭素鋼の流れ



保管・確認待ちエリア（実験準備室、加速装置室）

- 放射能濃度確認対象物のコンクリート類、炭素鋼、鉛は、国の確認を受けるまで汚染のおそれのない場所で保管する。
- 区域管理の定めを保安規定に明記する。**
- これらの保管場所においては、追加汚染防止・異物の混入防止及び許可のない人が立ち入らない措置を講じる。
- コンクリート類は、実験準備室において2回に分けて、国の確認を受ける。
- コンクリート類について、国の確認後は、屋外で一時保管する。

汚染のおそれの有無に係る区域管理



➤ クリアランス業務と品質保証活動

東京大学原子炉施設に係る品質保証活動は、学長をトップマネジメントとする品質保証計画指針（以下、「品質マニュアル」という。）として定めており、廃止措置計画及び原子炉保安規定にも明記している。

放射能濃度の測定及び評価並びに放射能濃度確認対象物の採取、選別及び保管・管理に係る業務（以下、「クリアランス業務」という。）についても、この品質マニュアルに定めるQMS活動に基づいて実施する。

➤ クリアランスGr.とクリアランス検認責任者

東京大学原子炉施設における廃止措置計画を円滑に進めるために、弥生廃止措置計画プロジェクトチームを設置し、そのチームリーダを専攻長が任う。

諮問委員会、総括・規制対応チーム、廃止措置作業チーム、放射線管理チーム、事務局を置く。

更に廃止措置作業チームの一つとして、クリアランスに係る一連の業務を行う「クリアランスGr.」を置き、そのGrリーダを「クリアランス検認責任者」とする。

➤ 業務報告と不適合管理

クリアランス業務に関する作業の立案、検討、実施等の状況については、適宜廃止措置プロジェクトチームミーティング（以下、「DPTM」という。）にて報告し、保安上重要な事項についてもDPTMで決定する。また、クリアランス業務のQMS活動の断続的な改善として、是正措置プログラム（CAP）委員会において、不適合の有無を判断し、処置の必要性評価及び計画並びに処置の有効性確認を定期的に行う。

その他 スケジュール

年度	2026				2027				2028				2029				2030				2031				2032			
	8				9				10				11				12				13				14			
廃止措置計画/保安規定の変更申請																												
	二次汚染性設備の解体							△申請			△認可																	
エリア2A・2Bの解体																												
周辺部分（CD位置、プレコン、補器室等）の解体																												
生体遮へい体（AB位置_NR部分）の解体																												
クリアランス(CL)申請	△申請						△認可																					
生体遮へい体部（AB位置）の解体・分別・測定・保管・搬出等											二期工事																	
											クリアランス対象物の保管置き場の準備																	
											クリアランス対象物の検認測定																	
											国の確認後の屋外保管置場の準備																	
CL確認申請													△申請		△確認				△申請		△確認	CL物の措置						
L3搬出				△搬出				△搬出				△搬出				△搬出					△搬出				△搬出			
原子炉本体以外の設備解体	排水配管撤去																											
					冷却系統施設の解体																汚染検査・管理区域解除							
					制御室等の整理																							

解体廃棄物の責任移転

終了確認申請