

# ALPSスラリー及び低レベルコンクリート等廃棄物の 分析方針

2023年6月5日

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

- 第107回特定原子力施設監視・評価検討会（2023.4.14）に示された技術会合スケジュールに基づき、「ALPSスラリー、低レベルコンクリート等廃棄物に対して必要な分析」について整理を行った。
- 本技術会合では、それぞれの分析計画の具体化に向けた考え方、方針について議論いただきたい。

## ■ 説明内容

1. ALPSスラリーの分析方針
2. 低レベルコンクリート等廃棄物の分析方針

表 技術会合スケジュール

	リスクマップにおける目標	Q1	Q2	Q3	Q4
水処理廃棄物等（不安定なもの）	脱水物・回収物・吸着材の固化処理方法の候補選定・要件整理	<ul style="list-style-type: none"> <li>NDFで検討されている処理技術の聴取・議論</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的要件の議論</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>候補選定・技術的要件の議論</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>候補選定・技術的要件の整理</li> </ul>
建屋解体物等（今後新たに生ずるもの）	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度・性状による保管・管理方針の策定</li> <li>建屋解体等により当面生ずるものの種類と量の特定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>量の特定と保管管理のあり方の検討のための論点整理</li> <li>東京電力に求めることの整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>論点に対する議論（支配核種、放射能濃度と表面線量率の比等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>東京電力からの回答について議論</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>減衰期間による分類、保管管理のあり方を整理</li> </ul>
核種分析	放射能濃度・性状把握		<ul style="list-style-type: none"> <li>東電・NDFの分析状況の説明</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2023年度の濃度・性状把握の進捗を総括</li> </ul>
	分析計画の更新	<ul style="list-style-type: none"> <li>ALPSスラリー、低レベルのコンクリート等廃棄物に対して必要な分析の議論</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>分析計画の更新と、それに基づき必要な分析体制強化の検討</li> </ul>

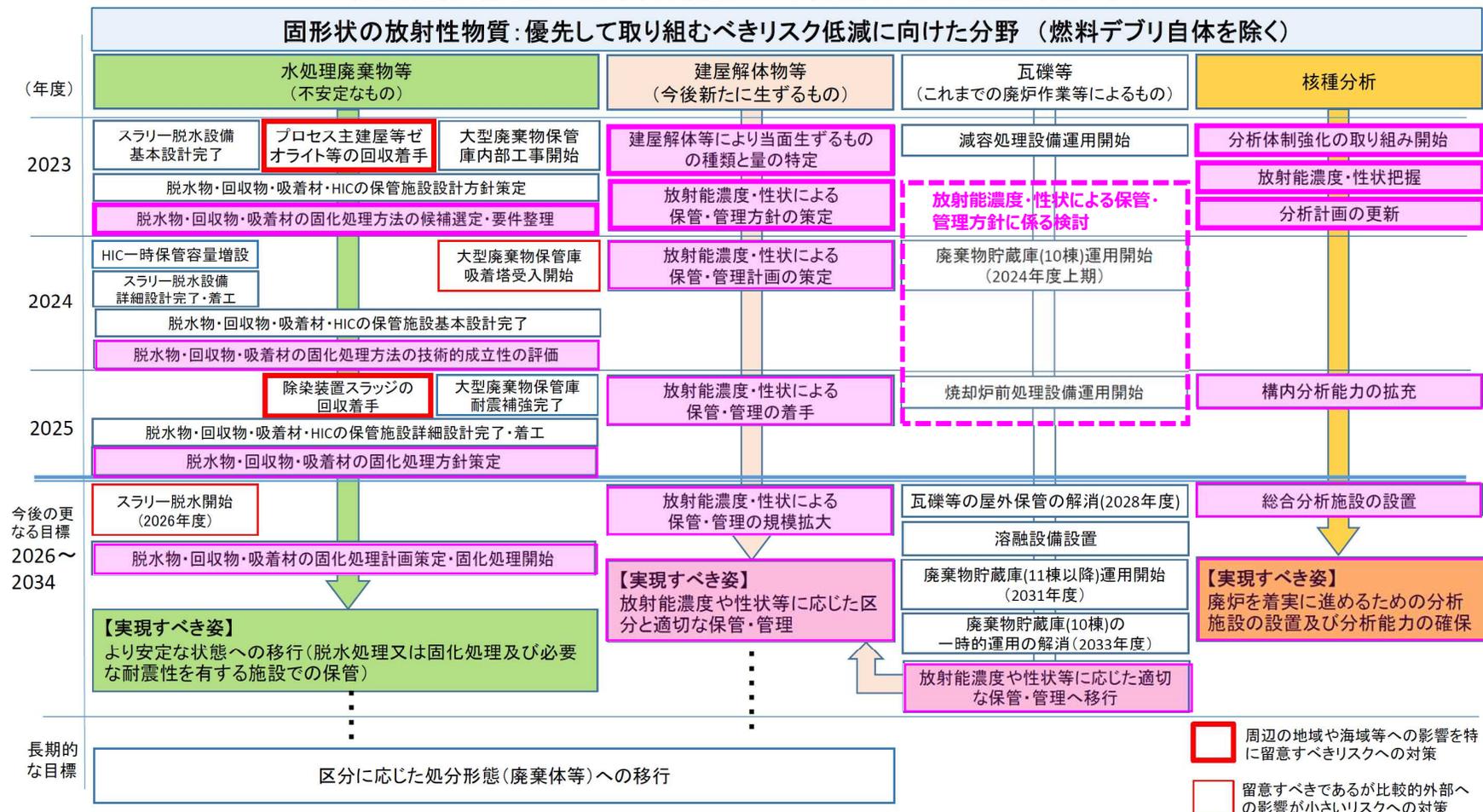
第107回特定原子力施設監視・評価検討会（2023.4.14）資料抜粋

# 中長期リスクの低減目標マップとの関係

## ■ 中長期リスクの低減目標マップとの関係

- 本年度技術会合スケジュールの議題及びその延長として考えられる範囲を [ ] で示した。
- 水処理二次廃棄物は、2025年度の固化方針策定を念頭に、ALPSスラリーの検討を優先して進める。
- 「放射能濃度・性状による保管・管理方針」に係る検討は、建屋解体物の発生時期を勘案し、瓦礫等に対する対応を優先したい（点線部）。建屋解体物等に関する検討は、解体モデルケース検討と併せて対応したい。

東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ



# 1. ALPSスラリーの分析方針

- 1-1 既存の知見
- 1-2 検討の前提
- 1-3 技術要件
- 1-4 分析方針

## ■ 分析実績

### • 分析数

炭酸塩スラリー：20

鉄共沈スラリー：7

- **分析対象核種**：Mn-54, Co-60, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Sb-125, Cs-137, Eu-152, Eu-154, U-234, U-235, U-236, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-239+240, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Am-241, Cm-244

(下線の核種はND)

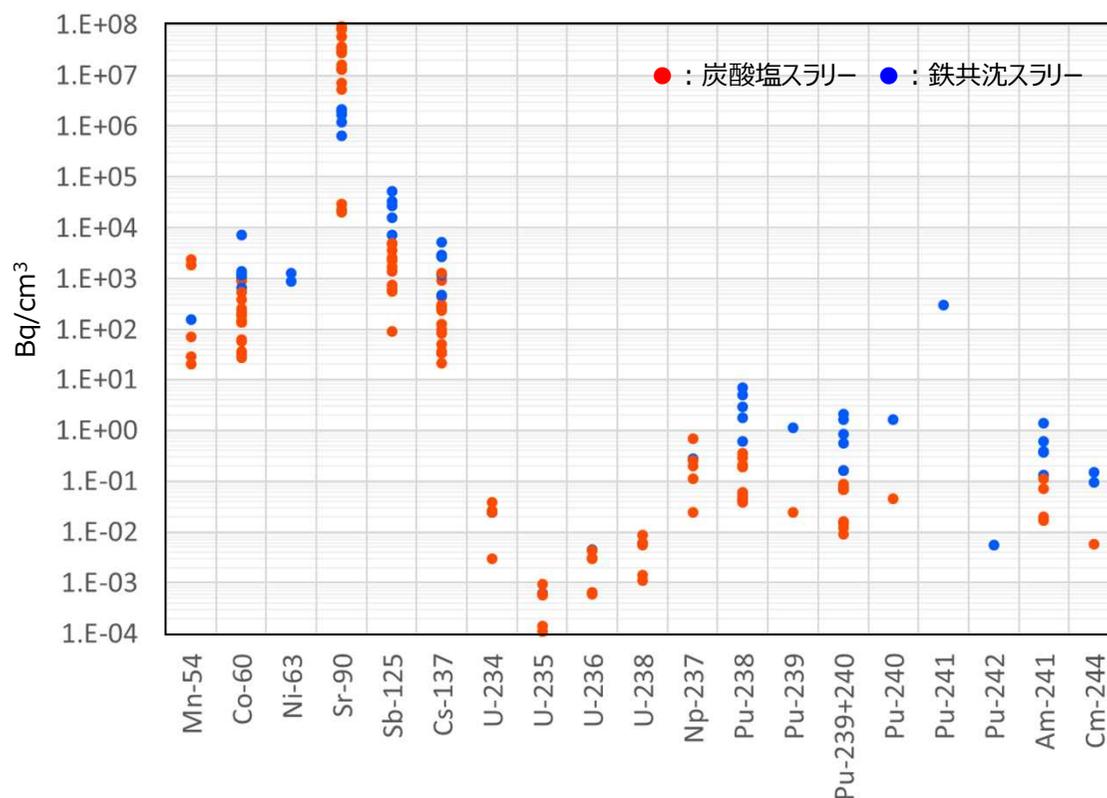


図 ALPSスラリー分析結果(FRAnDLi)

## 1)炭酸塩スラリー

### ➤ 放射線学的特性

- Sr-90の放射能濃度が高い。バラツキは4桁程度。
- C-14,I-129等の放射能濃度は取得されていない。

### ➤ 物理的・化学的特性

- 白色・粘性のある液体状。
- 平均粒子径3.6~7.4μm、最大粒子径23.2~29.4μm。
- 含水比は90%前後。個体差がある。
- 元素分析の結果より、海水・地下水成分と考えられるCa・Mgが主要な成分。炭酸塩成分、水酸化物成分が主体と推定される。主要成分はCaCO<sub>3</sub>・Mg(OH)<sub>2</sub>の形態で存在していると推定される。
- pH：11~12程度

## 2)鉄共沈スラリー

### ➤ 放射線学的特性

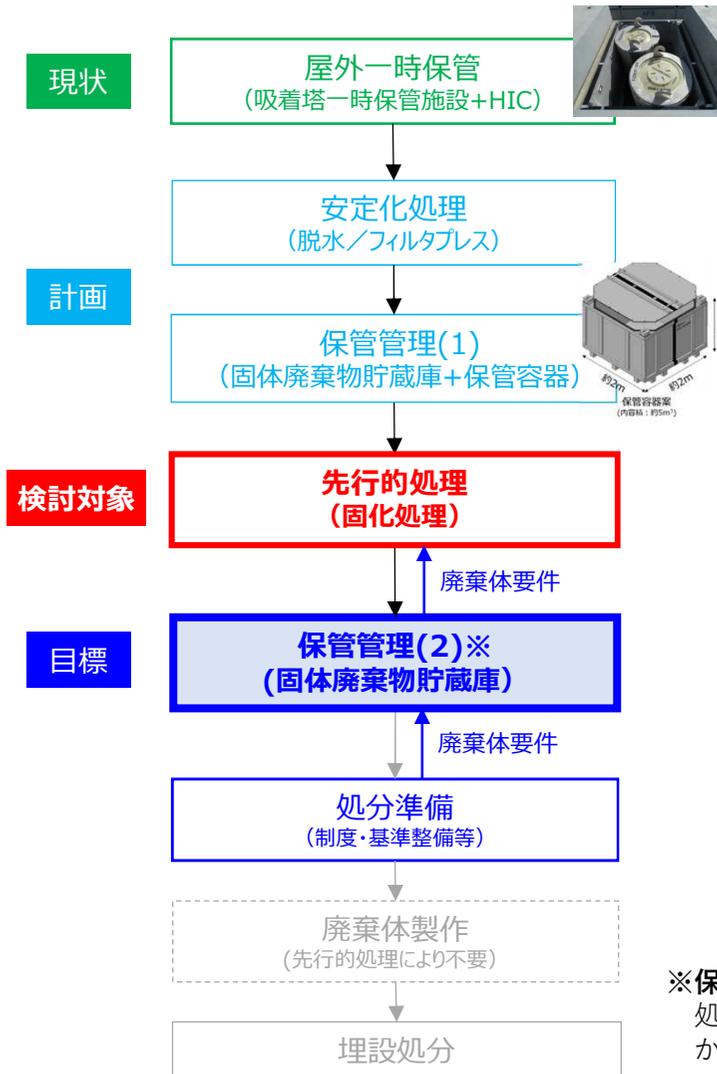
- 炭酸塩スラリーに比べ、Sr-90の放射能濃度は低いが、α核種の放射能濃度が高い。
- C-14,I-129等の放射能濃度は取得されていない。

### ➤ 物理的・化学的特性

- 茶褐色・粘性のある液体状。粒子を形成しない軟泥状。
- 含水比は90%前後。個体差がある。
- 元素分析の結果より、共沈材である水酸化鉄が主要な成分と推定される。Co, Zn, Ti等の遷移金属元素を含んでいる。水酸化物成分が主体と推定される。主要成分はFeO(OH)・H<sub>2</sub>Oの形態で存在していると推定される。
- pH：不明

# 1-2 検討の前提

## ■ 検討の前提



- ALPSスラリーの中長期対策フロー例を左図に示す。将来の処分等に向けて後戻りすることのない状態での安全・安定した保管に移行するため、スラリー脱水物に対する先行的処理について検討を行う。
- 固化処理施設の設置には時間を要すると考えられる。スラリー状での保管の長期化を避けるため、安定化処理の実施を前提とし、先行的処理とは切り離して検討を進める。
- 安定化処理（脱水）ではスラリーを混合し、放射能濃度の平均化を図る。異なる組成のスラリーが混合されることから、安定化処理時の混合物を原廃棄物として取り扱う。
- ALPSスラリーは、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーに大別される。化学的性状が大きく異なることから、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーを別の廃棄物として区分して検討を進める。

※保管管理(2)：  
 処分・再利用へ合理的に移行できる見通しがあり、かつ長期の安定・安全な保管が可能な状態

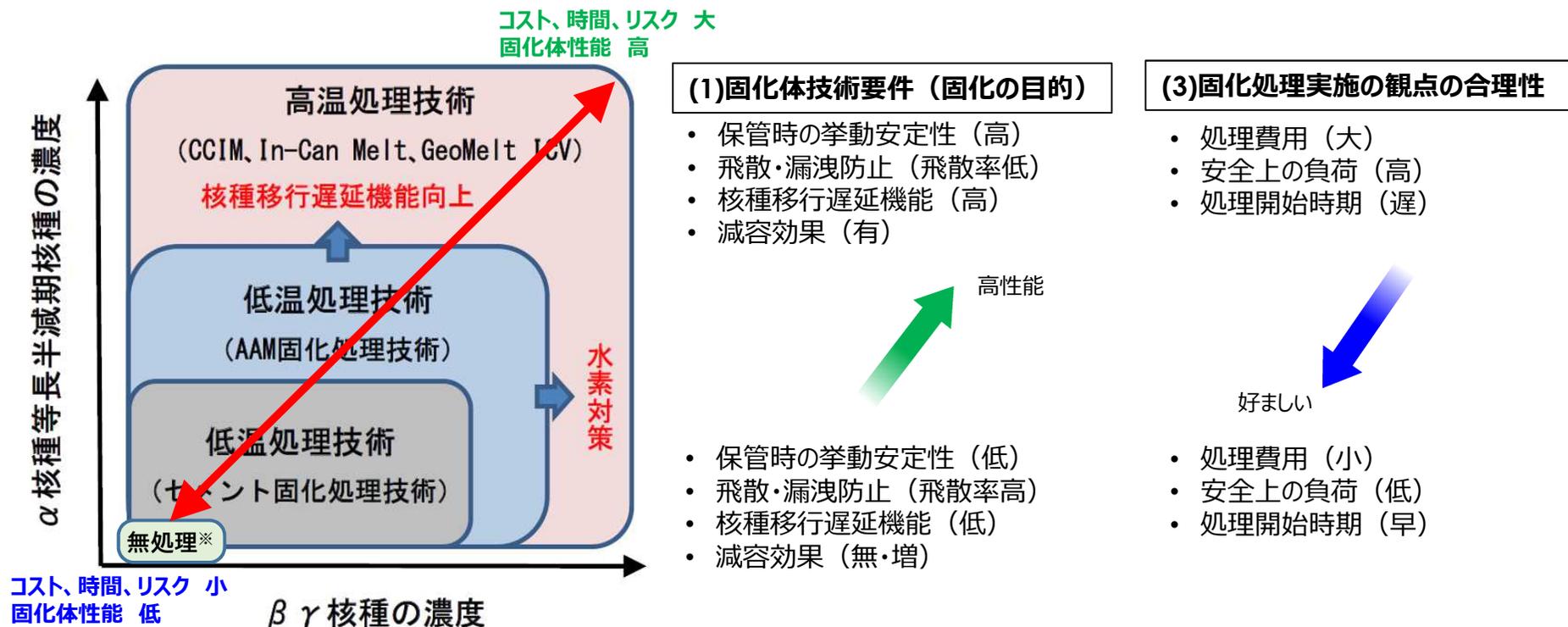
図 ALPSスラリーの中長期対策フロー例

第102回特定原子力施設監視・評価検討会配布資料(資料1-1)掲載図をベースに作成

# 1-2 検討の前提

## ■ 水処理二次廃棄物の固化処理方針策定の考え方

- 水処理二次廃棄物の固化については、下記を考慮して処理方針を決定する。
  - (1) 固化体に求められる技術要件を満足すること（廃棄体要件、設計・評価上の要件等）
  - (2) 固化処理が可能であること（処理技術に対する廃棄物の適合性）
  - (3) 固化処理実施の観点からの合理性を有すること（費用、安全上の負荷、処理開始時期等）
- (1) 技術要件を満足し、(2) 適用可能な技術の中から、(3) 処理実施の観点で合理的な技術を選択する。
- (1)(2)の検討・評価に必要な分析ニーズを抽出し、分析計画を策定する。



※ 例えば砂、ゼオライト等のオプションとして想定

## ■ 水処理二次廃棄物の先行的処理（固化）に係る技術要件

- 「固化体に求められる技術要件」を下記に整理する。
- 第二種埋設規則における廃棄体基準及び施設等設計・評価上の必要となる考慮事項を参考に技術要件を整理した。
- 技術基準の解釈、設計・評価の実施内容に関しては引き続き議論が必要であること及び規制上の二一  
ズが別途示される予定であることから、本結果は暫定とする。

### 技術要件の抽出結果（暫定）

#### (1)埋設規則等を参考にした技術要件（参考資料：p.24）

- ①最大放射能濃度の評価・管理
- ②平均放射能濃度の評価・管理
- ③総放射エネルギーの評価・管理
- ④容器封入及び/又は固化（飛散・漏洩防止）
- ⑤落下時の容器機能維持又は固形化（飛散率の低減）
- ⑥廃棄体の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去
- ⑦廃棄体の耐荷重に対する力学的性能の確保
- ⑧埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去

#### (2)設計・評価上の考慮事項（参考資料：p.25）

- ⑨廃棄物の長期化学的安定性（保管時、埋設時）
- ⑩水分除去（水素発生抑制、腐食リスク低減）
- ⑪減容
- ⑫処理技術の適用性（廃棄物性状が適用条件に合致すること）
- ⑬環境影響物質の除去／溶出率の低減
- ⑭核種移行遅延機能の付与（低溶出性、収着性）

# 1-3 技術要件

## ■ 要件に対応する処理技術、分析ニーズの整理イメージ

要件	要件に対する効果、適合性等 (例)						分析ニーズ
	高温処理		常温処理		中間処理	無処理	
	ガラス溶融	アパタイト固化	ジオポリマー	セメント			
①最大放射能濃度の評価・管理				-	-	-	・放射能濃度 (最大値)
②平均放射能濃度の評価・管理							・放射能濃度 (分布)
③総放射能量の評価・管理							-
④容器封入及び/又は固化 (飛散・漏洩防止)	○	○	○	○	×	×	-
⑤落下時の容器機能維持又は固形化 (飛散率の低減)	○	○	○	○	×	×	・放射能濃度 (最大値) ・放射能濃度 (分布)
⑥廃棄体の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去	○	○	×	×	○	×	・当該物質の有無確認 ・化学組成
⑦廃棄体の耐荷重に対する力学的性能の確保	(容器)	(容器)	(容器)	(容器)	(容器)	(容器)	
⑧埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去	○	○	×	×	○	×	・当該物質の有無確認 ・化学組成
⑨廃棄物の長期化学的安定性 (保管時、埋設時)	○	○	▲	▲	●	×	・化学組成
⑩水分除去	○	○	▲	(ベント、乾燥)	○	(ベント、乾燥)	
⑪減容	○	×	×	×	○	-	
⑫処理技術の適用性 (廃棄物性状が適用条件に合致すること)	● 廃棄物側情報	● 廃棄物側情報	▲	▲	● 廃棄物側情報	-	・放射能濃度 (最大値) ・物理的・化学的特性
⑬環境影響物質の除去/溶出率の低減	○	○	▲	×	○	×	・当該物質の有無確認 ・溶出率 (固化後)
⑭核種移行遅延機能の付与 (低溶出性、収着性)	○	○	●	○	×	×	・放射能濃度 (長半減期、低Kd核種等)

・要件に対する効果、適合性に係る対応状況、課題を整理  
・今後のR&D計画に反映

・要件に対応した検討に必要な廃棄物情報 (分析ニーズ) を整理

# 1-4 分析方針

## ■ 分析項目（案）

・前項で整理した分析ニーズに基づいた分析項目を下表に整理した。

表 ALPSスラリー 分析項目（案）

目的	分析項目	分析の目的
放射線学的特性	(1)放射能濃度（最大値）	・ 最大放射能濃度の評価・管理
	(2)放射能濃度（平均、分布）	・ 平均放射能濃度の評価・管理 ・ 総放射エネルギーの評価・管理
	(3)長半減期核種、低収着性核種の放射能濃度（C-14、I-129、α核種等）	・ 核種移行遅延機能の要否判断（ガラス化等の要否）
物理的・化学的特性	(4)物理的特性	・ 処理技術の適用性
	(5)化学組成	・ 処理技術の適用性 ・ 廃棄体／埋設設備の健全性評価 ・ 廃棄物の長期化学的安定性（保管時／埋設時）
	(6)溶出率（固化体）	・ バリア機能評価（低溶出性） ・ 環境影響物質対策（溶出率低減）
	(7)廃棄体の機能、健全性を損ねる物質	・ 廃棄体の機能、健全性を損ねる物質の確認（記録による担保ができない場合）
	(8)環境影響物質	・ 環境影響物質の確認（記録による担保ができない場合）

# 1-4 分析方針

## ■ 分析計画の検討方針（実施時期）

- ALPSスラリーは、上流側（セシウム除去装置）の運転条件により主要核種であるSr-90濃度が大きく異なる個体が存在する。また、安定化処理時にスラリーの混合を行う予定であることから、発生からの記録に基づく管理は難しい。
- そのため、安定化処理時のブレンド後の状態を原廃棄物とし、統計学的手法（分布）を念頭に置いた分析計画を策定する（統計処理が可能な程度の分析数を確保）。
- 分析試料の採取は安定化処理のラインで実施するものとし、2026年度から試料採取、翌年より分析を実施する（本調査）。

表 ALPSスラリー 分析計画（本調査）

	分析数（想定）										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	合計
炭酸塩スラリー（既設）					8	8	8	8	8		40
鉄共沈スラリー（既設）					4	4	4	4	4		20
炭酸塩スラリー（増設）					12	12	12	12	12		60
合計					24	24	24	24	24		120

- 一方、リスクマップにおいて2025年度に固化方針策定が目標として設定されたことを踏まえ、固化方針検討に必要な分析を先行して実施する（プレ調査）。
- プレ調査は昨年度策定した分析計画では想定してなかったため、新規に追加する形で計画を検討中。

表 ALPSスラリー 分析計画（プレ調査）

	分析数（想定）										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	合計
炭酸塩スラリー（既設）		プレ調査 分析数、対象 個体等調整中			8	8	8	8	8		40
鉄共沈スラリー（既設）					4	4	4	4	4		20
炭酸塩スラリー（増設）					12	12	12	12	12		60
合計					24	24	24	24	24		120

▲  
固化方針策定

# 1-4 分析方針

## ■ 分析計画の検討方針（分析項目）

- 調査段階別の分析項目の案を下記に示す。
- プレ調査では、固化方針策定の観点から保守的・特徴的と考えられる個体を選択して試料を調達する。試料採取対象、詳細な分析内容・手法は関係個所と調整中。
- 今後、規制上のニーズが示される予定である。示されたニーズを踏まえて、技術要件及び分析計画の更新を2023年度中に実施する。

表 調査段階別の分析項目（案）

	分析数（想定）										合計
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
合計		調整中	調整中		24	24	24	24	24		120

目的	評価項目（分析項目）	要件（廃棄体に係るもの）	調査段階	
			プレ調査	本調査
放射線学的特性	(1)放射能濃度（最大値）	・ 最大放射能濃度の管理	○	○
	(2)放射能濃度（平均、分布）	・ 平均放射能濃度の管理		○
		・ 総放射能量の管理		○
物理的・化学的特性	(3)長半減期核種、低収着性核種濃度	・ 核種移行遅延の要否判断（ガラス化要否）	○	○
	(4)物理的特性	・ 処理技術の適用性	○	○
		・ 処理技術の適用性	○	○
		・ 廃棄物／容器／埋設設備の長期健全性評価		○
(5)化学組成	・ 廃棄物の長期化学的安定性	○	○	
	(6)溶出率	・ バリア機能評価（低溶出性）		（固化体）
		・ 環境影響物質対策（溶出率）		（固化体）
制限物質	(7)廃棄体の機能、健全性を損ねる物質	・ 廃棄体の機能、健全性を損ねる物質の確認		○
	(8)環境影響物質	・ 環境影響物質の確認		○

## 2. 低レベルコンクリート等廃棄物の分析方針

- 2-1 既存の知見
- 2-2 検討の前提
- 2-3 技術要件
- 2-4 分析方針

## 2-1 既存の知見

### ■ 既存の知見（一部抜粋・整理）

- コンクリートは建屋内の瓦礫を中心に分析を実施されている。
- 建屋から採取された瓦礫類等の分析結果（下図）については、核種毎の濃度の相関等が整理されている。現時点では、一定の相関性は確認できるものの、核種、建屋で大きく傾向が異なる結果となっており、引き続き分析データの拡充、汚染メカニズムの理解、グルーピング方法の検討等を進めていく必要がある。

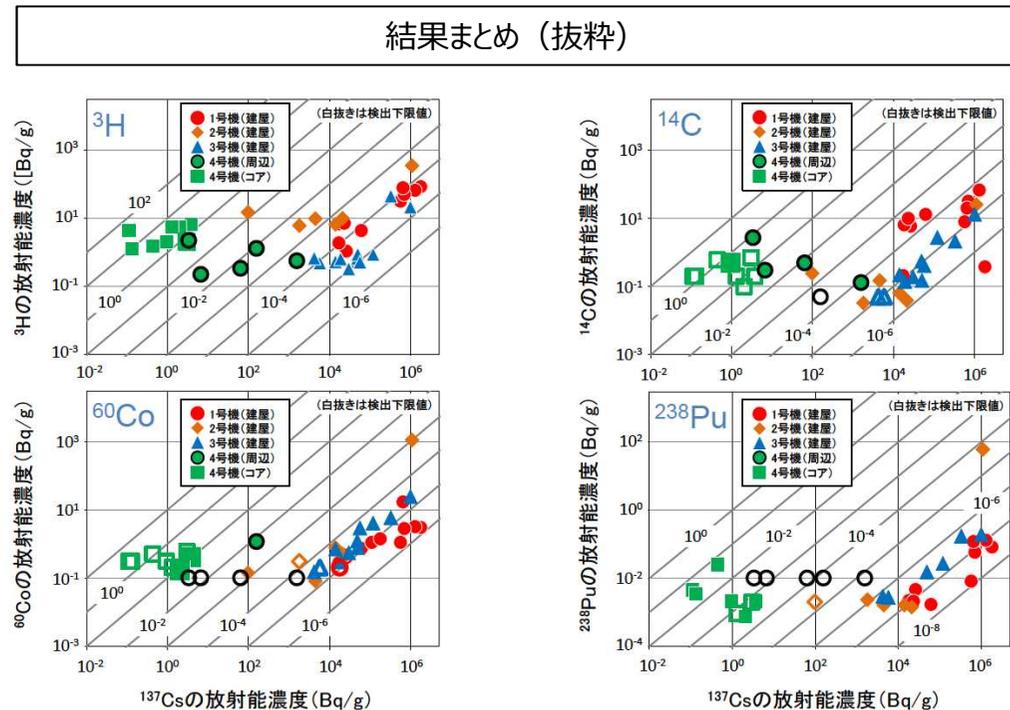
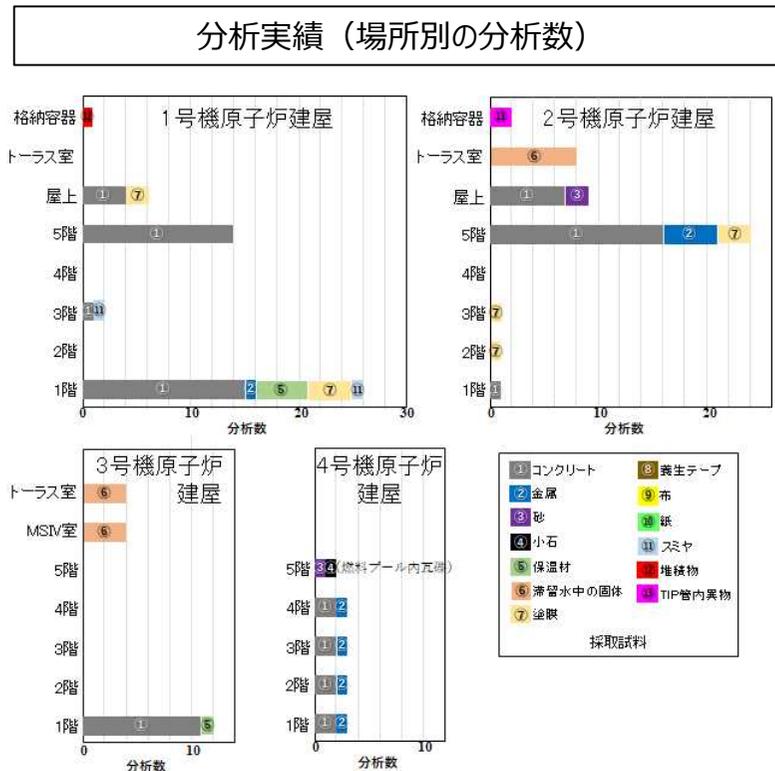


図 建屋から採取された瓦礫類等の分析結果

## 2-2 検討の前提

### ■ 検討の前提

- 昨年度策定した分析計画では、瓦礫コンクリートを下記に区分して検討を行った。ここでは、「低レベルのコンクリート等廃棄物」として、(1)~(2)を対象に整理を行うものとする。

表 瓦礫コンクリートの管理区分

区分	計画	備考
(1)~5μSv/h	屋外一時保管（継続） → <b>再利用</b>	構内路盤材等として利用
(2)5μSv/h~1mSv/h	屋外一時保管 → <b>減容（破砕）</b> → 固体庫	
(3)1mSv/h~30mSv/h	屋外一時保管 → 固体庫	
(4)30mSv/h~	固体庫	

- ここでは、瓦礫コンクリートを中心に検討を進める。
- 解体に伴い発生するコンクリートは、適切に解体することで計画的に除染・分別が可能である。瓦礫コンクリートとは切り分け、今後、解体モデルケースとして別途検討を進めるものとする。
- 瓦礫コンクリートは、保管対象とする廃棄物量の低減を図る観点から、積極的に再利用を進める。再利用が困難な廃棄物については、適切な管理、安定・安全な保管への移行を目標とする。
- いずれも放射能濃度管理への移行を前提とする。廃棄物量が多く、目録記録等による放射能濃度管理が難しいため、表面線量による濃度管理を指向する。
- 将来、処分等に移行する場合に問題が生じないよう、予め埋設規則の技術基準等を参考とした技術要件への適合について考慮する。

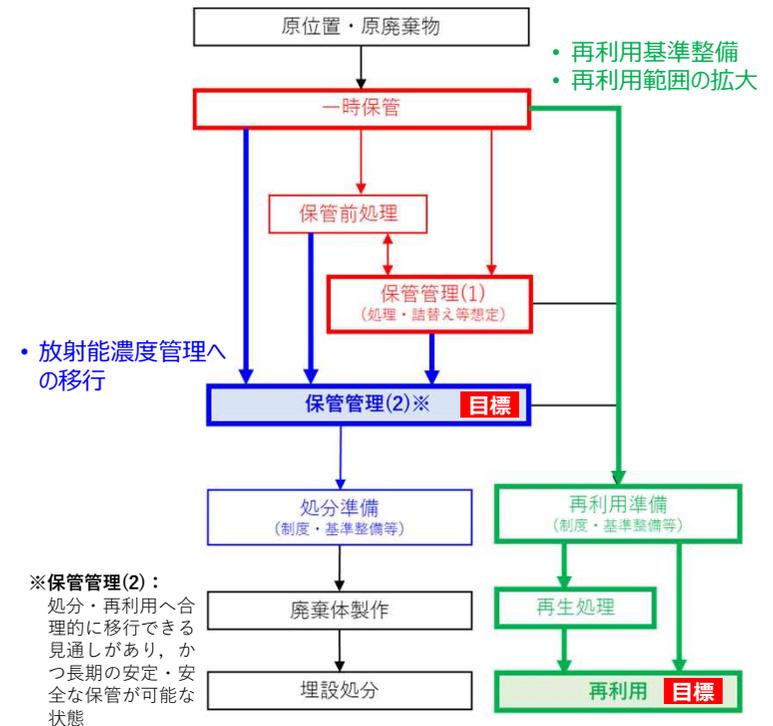


図 瓦礫コンクリートの中長期対策フロー例

### ■ 技術要件（低レベルコンクリート等）

- コンクリート等廃棄物\*に係る技術要件の抽出結果を下記に整理する。
- 技術基準の解釈、設計・評価の実施内容に関しては引き続き議論が必要であることから、技術要件についても適宜修正を行い、必要に応じて分析計画等の更新を図る。

#### 技術要件の抽出結果（暫定）

（参考資料：p.26）

##### (1)埋設規則等を参考にした技術要件

- ①最大放射能濃度の評価・管理
- ②平均放射能濃度の評価・管理
- ③総放射エネルギーの評価・管理
- ④廃棄物の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去
- ⑤埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去

##### (2)設計・評価上の考慮事項

- ⑥減容
- ⑦再利用基準（放射能濃度）の設定
- ⑧環境影響物質の除去
- ⑨再利用基準への適合性確認方法の構築

\* **コンクリート等廃棄物の定義：第二種埋設規則 第一条の二 第2項第七号を参照**

「コンクリート等廃棄物」とは、固体状の放射性廃棄物であつて次に掲げるものをいう。

- イ 核燃料物質によつて汚染されたコンクリート
- ロ 核燃料物質によつて汚染された金属
- ハ その他イ又はロに類するもの

容器への封入・固形化を前提としない（梱包等に対応可）

## 2-3 技術要件（コンクリート等）

### ■ 要件に対応する分析ニーズの整理イメージ

要件	取り扱い		分析ニーズ
	再利用	保管	
①最大放射能濃度の評価・管理	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度（最大値）</li> <li>表面線量－放射能濃度の紐づけ</li> <li>核種濃度比</li> <li>核種浸透状況</li> </ul>
②平均放射能濃度の評価・管理	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度（分布）</li> <li>表面線量－放射能濃度の紐づけ</li> <li>核種濃度比</li> <li>核種浸透状況</li> </ul>
③総放射エネルギーの評価・管理	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度（分布）</li> </ul>
④廃棄物の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去		○	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該物質の有無確認</li> </ul>
⑤埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去		○	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該物質の有無確認</li> </ul>
⑥減容		○	
⑦再利用基準（放射能濃度）の設定	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>核種濃度比、放射能減衰特性等</li> <li>核種浸透状況</li> </ul>
⑧環境影響物質の除去	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>環境影響物質の確認</li> </ul>
⑨再利用基準への適合性確認方法の構築	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>表面線量－放射能濃度の紐づけ</li> <li>核種浸透状況</li> </ul>

○：必要

・要件に対応した検討に必要な廃棄物情報（分析ニーズ）を整理

## 2-4 分析方針

### ■ 分析項目（案）

・前項で整理した分析ニーズに基づいた分析項目を下表に整理した。

表 低レベルコンクリート等 分析項目（案）

目的	分析項目	分析の目的
放射線学的特性	(1)放射能濃度（最大値）	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大放射能濃度の評価・管理</li> </ul>
	(2)放射能濃度（平均、分布）	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均放射能濃度の評価・管理</li> <li>総放射能量の評価・管理</li> </ul>
	(3)核種濃度比、放射能減衰特性等	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度の管理</li> <li>再利用基準（放射能濃度）の設定</li> </ul>
	(4)表面線量－放射能濃度の紐づけ	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度の管理</li> <li>再利用基準への適合性確認方法の構築</li> </ul>
	(5)核種浸透状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度の評価・管理</li> <li>再利用基準（放射能濃度）の設定</li> <li>再利用基準への適合性確認方法の構築</li> </ul>
物理的・化学的特性	(6)化学組成	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄物／埋設設備の長期健全性評価（相互影響を考慮した化学変質評価）</li> </ul>
	(7)廃棄物の機能、健全性を損ねる物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄物の機能、健全性を損ねる物質の確認</li> </ul>
	(8)環境影響物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境影響物質の確認</li> </ul>

### ■ 基本方針

- 低レベルコンクリート等廃棄物の当面の分析方針を下表に示す。
- 分析は、1)放射能濃度評価、2)核種浸透評価を区別して検討する。

表 低レベルコンクリート等 分析方針

分類	分析項目	試料	汚染状態
1)放射能濃度評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 放射能濃度</li> <li>• 核種濃度比、放射能減衰特性等</li> <li>• 表面線量率</li> <li>• 化学組成</li> <li>• 廃棄物の機能、健全性を損ねる物質</li> <li>• 環境影響物質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減容処理後（破碎後の試料を採取・粉碎）</li> <li>• 屋外一時保管対象（詰め替え等のプロセスで採取・粉碎）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1mSv/h未満（コンテナ・屋外保管）</li> <li>• 再利用基準を考慮し、5μSv/h付近を手厚く実施</li> </ul>
2)核種浸透評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 試料内の核種の空間的濃度分布の把握（各材料の界面での挙動、コンクリートの劣化状態等の影響を考慮）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コンクリートコア</li> <li>• 解体前コンクリート</li> <li>• いずれも曝露環境の履歴が明確であること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 暴露環境－浸透範囲の関係を把握するため、幅広い環境を対象に実施</li> </ul>

### ■ 分析計画の検討方針（放射能濃度評価）

#### a. 放射能濃度、核種濃度比、放射能減衰特性等

- 瓦礫コンクリートを対象に、核種毎の放射能濃度を測定する。
- 試料は、減容処理施設において破砕したコンクリートまたは屋外一時保管施設より採取したサンプルを破砕したものを想定。
- 試料は破砕物をさらに粉砕したものを対象に放射能濃度を測定し、主に核種濃度比に関するデータ蓄積を進める。
- 試料は、再利用基準としている $5\mu\text{Sv/h}$ 近傍を中心に、スケーリングファクタの適用を念頭に分析数を設定する。分析結果を踏まえ、必要に応じて追加分析を実施する。

#### b. 表面線量－放射能濃度の紐づけ

- 表面線量と放射能濃度(Cs-137)の相関性を定量的に把握する（Cs-137と他核種の濃度比はa.で整理）。
- コンテナ、容器等に入ったコンクリートの表面線量及び採取したサンプルのCs-137濃度を測定する。
- コンクリートの収納状態により表面線量が大きく変動するため、標準的な収納状態を仮定するとともに、収納状態と表面線量、放射能濃度の関係に関するケーススタディ等の実施を検討する。

#### c. 化学組成等

- a.の分析に供した粉砕物等を対象に化学組成に関する分析を実施する。

### ■ 分析計画の検討方針（核種浸透評価）

- コンクリートへの核種浸透状況、コンクリート内の核種分布は、コンクリート状態、曝露環境の影響を受け、多様な状態を呈するものと考えられる。
- 浸透範囲は核種毎に異なり、また、結合材、骨材などコンクリート内で不均一に分布すると考えられる。曝露環境の影響も強く受けるため、核種浸透状況は部位毎に傾向が大きく異なるものと推測される。
- 上記を踏まえ、コンクリートの核種浸透状況の評価は、コンクリート状態、曝露環境等の条件から解析等により評価できるよう、現象理解、モデル構築、パラメータ取得、実証を念頭に置いた分析計画の策定を行う。
- 試料は、コンクリートの状態、曝露環境の履歴等が明らかな部位から採取する。
- 参考として、プロセス主建屋床材を対象とした分析計画の検討状況をp.29～に示す。

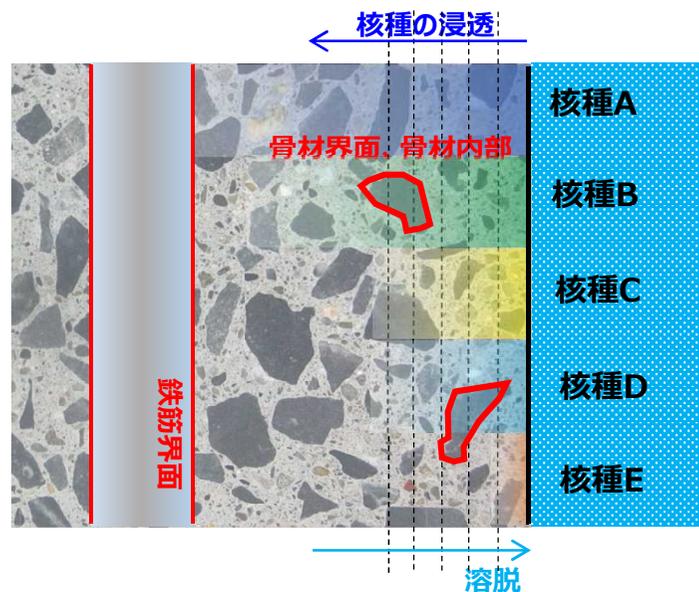


表 核種浸透評価における考慮事項（例）

分類	核種浸透に関する影響因子
コンクリートの状態	基質部の空隙構造、中性化・溶脱状態
	亀裂、マイクロクラック
	コンクリート配合（骨材比、水セメント比等）
	表面状態（塗装、保護層有無、状態）
曝露環境	配筋、鉄筋の状態（腐食生成物等）
	温度・湿度の履歴
	水接触の履歴（接触時間・時期、接触状況等）
核種の特異性	接触水の化学組成
核種の特異性	核種の移行特性

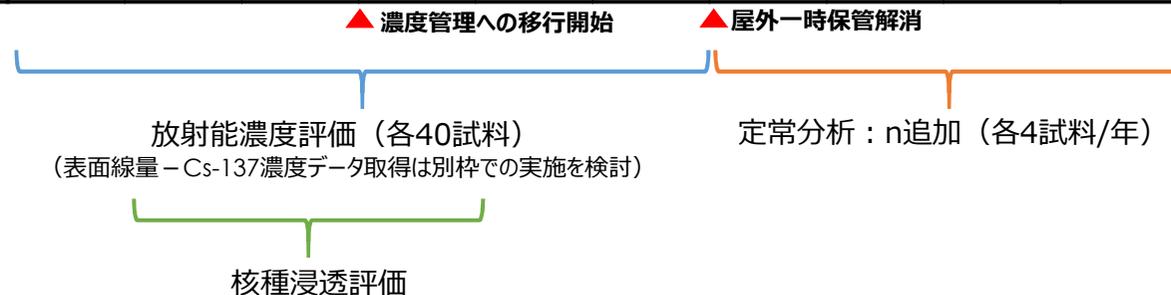
## 2-4 分析方針

### ■ 分析計画（案）

- 瓦礫コンクリートの放射能濃度管理への移行（表面線量－放射能濃度の相関、核種毎の濃度比に関するデータ蓄積等）について、屋外一時保管解消を図る2028年度までの対応を目指す。
- 再利用を進めている5 $\mu$ Sv/h未満の瓦礫コンクリートは、2025年度を目途にデータ蓄積を進める。
- 分析数は、管理区分(線量)ごとに40試料※からスタート。分析結果の分布傾向等を確認し、追加分析可否を判断する。
- コンクリート基質部への核種の浸透評価は、建屋からのコア採取を想定し、分析数を仮設定した（5か所×5層）。
- 解体物を想定した分析計画は、今後、解体モデルケース検討への対応を念頭に、調査・分析計画の具体化を進める。

表 瓦礫コンクリートの分析計画

分類		分析数（想定）										合計
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
放射能濃度評価	～5 $\mu$ Sv/h	15	15	10	4	4	4	4	4	4	4	68
	5 $\mu$ Sv/h～1mSv/h	10	6	6	6	6	6	4	4	4	4	56
核種浸透評価			10	10	5							25



※「SFの設定のための1分類当たりの分析数」については、性状にばらつきがない廃棄物（均質・均一固化体）について、十分な信頼性でSFの値を決定できるとされるデータ数30～40点（H8放射性廃棄物処理処分対策調査研究）

## 2-4 分析方針

### ■「東京電力に求めること」への対応

- 2023.4.14監視評価検討会で示された低レベルコンクリートに対する「東京電力に求めること」に対する対応方針について下表に整理する。

表 「東京電力に求めること」に対する対応

分類	東京電力に求めること	対応	備考
1)表面線量率と放射能濃度の関係の整理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 表面線量率とCs-137の放射能濃度との関係は整理されていない</li> <li>• 特に、今後10年程度で物量の大半を占める表面線量率1mSv/hを下回るものについて、表面線量率とCs-137の放射能濃度の関係が整理できるよう分析を要望</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2028年度（再利用対象は2025年度）を目標に対応</li> <li>• 表面線量-Cs-137濃度の相関についてデータ取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 汚染の不均一性に起因する表面線量の不確かさへの対応が課題（廃棄物状態と濃度推定における保守性の関係を体系的に整理）</li> </ul>
2)Cs-137とその他の核種の放射能濃度の関係の整理、長半減期核種（α核種、I-129等）の放射能濃度が低いことの確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cs-137と、その他の核種の放射能濃度の関係について、長半減期核種、短半減期核種との関係を整理できるよう分析を要望 その際、検出下限値はクリアランスレベルを十分に下回る濃度で測定することを要望</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2028年度（再利用対象は2025年度）を目標に対応</li> <li>• 40試料/管理区分から分析スタート。必要に応じて追加</li> <li>• 特に地下水シナリオで影響度の高い核種のデータを取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 検出限界については、対象廃棄物の取り扱い方針を踏まえて設定したい</li> </ul>
3)コンクリート内への核種の浸透深さ・表面汚染のみの場合は核種の遊離性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• はつり等の実効性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コンクリートの核種浸透評価を実施</li> <li>• 曝露環境の履歴が明確な試料を対象に核種毎の濃度分布を確認</li> <li>• 曝露条件により浸透状況は大きく異なることから、それらの条件から推定できるよう整理を実施</li> </ul>	
4)上記の整理に基づき、Cs-137、Sr-90が支配的な汚染源であり、一定期間で減衰が期待できる低レベルのコンクリート等廃棄物の量を特定する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 量の特定の対象： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ すでに発生が見込まれているもの（現時点で線量管理をベースとしているもの）</li> <li>✓ 今後建屋解体から発生するもの</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1)2)により、放射能濃度条件に対応した廃棄物量の推定が可能になるものとする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 「今後建屋解体から発生するもの」については、当面は解体モデルケース検討の範囲で対応する</li> </ul>

以下、参考

# 参考：技術要件（水処理二次廃棄物）

## ■ 埋設規則上の要件

- 第二種埋設規則の技術基準を参考とした廃棄体に係る要件を下記に示す。これらを満足することで、将来、後戻りすることのない状態での保管に移行する。
- 埋設規則の技術基準は通常の放射性廃棄物を想定したものであり、1F廃棄物の特性を踏まえ、必要に応じて同様の機能確保、目的が達成可能な合理的な代替手段についての検討も実施する。

表 「廃棄体」に係る埋設規則を参考とした要件

目的	記載事項	要件（廃棄体に係るもの）
放射能濃度の適合性管理	• 放射能濃度が許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないこと	①最大放射能濃度の評価・管理
総放射エネルギーの適合性管理	• 許可を受けたところによる放射性物質の種類ごとの総放射エネルギー及び区画別放射エネルギーをそれぞれ超えないこと	②平均放射能濃度の評価・管理 ③総放射エネルギーの評価・管理
飛散・漏洩防止（平常時）	• 液体状の放射性廃棄物又は粉状若しくは粒状の放射性廃棄物若しくはこれらを成型した放射性廃棄物は、容器に固型化してあること • 固体状の放射性廃棄物は、容器に封入し、又は固型化してあること	④容器封入及び/又は固型化（飛散・漏洩防止）
飛散・漏洩防止（事故時）	• 最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないこと	⑤落下時の容器機能維持又は固型化（飛散率の低減）
廃棄体の機能・健全性の維持	• 廃棄体に含まれる物質により健全性を損なうおそれがないものであること	⑥廃棄体の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去
	• 埋設の終了までの間において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること	⑦廃棄体の保管時/埋設時の耐荷重に関する力学的性能の確保
埋設設備の機能・健全性の維持	• 爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質その他の危険物であつて、当該物質の性質及び量に照らして、廃棄物埋設地の安全機能を損なうおそれのあるものを埋設しないこと	⑧埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去

# 参考：技術要件（水処理二次廃棄物）

## ■ 設計・評価上の考慮事項

- 技術基準以外で、施設の設計・評価において廃棄物に対して考慮すべき事項に対応した技術要件を下表に整理する。

表 「廃棄体」に係る設計・評価上の考慮事項

目的		考慮事項	要件（廃棄体に係るもの）
保管	保管時の 容器機能維持	• 保管期間を通じて容器の健全性が維持されること	⑨ 廃棄物の長期化学的安定性（保管時の化学的安定性、容器との相互作用含む） ⑩ 水分除去（腐食リスク低減）
		• 水素対策	⑩ 水分除去（水素発生防止）
	保管容量の確保	• 廃棄物の減容 • 合理的な保管場所の確保	⑪ 減容
処理	適合性確認	• 処理技術の適用条件に合致していること（放射線学的性状） • 処理技術の適用条件に合致していること（物理的・化学的性状）	① 最大放射能濃度の評価・管理 ② 処理技術の適用性（廃棄物性状が適用条件に合致すること）
処分	環境影響物質	• 埋設しようとする重金属等の有害物質を含む放射性廃棄物に応じた廃棄物埋設施設の設計及び管理の方法に関して、廃掃法の技術基準に相当する水準を満足していることその他重金属等の有害物質に対して講じる対策について確認	⑬ 環境影響物質の除去 or 溶出率の低減
	核種移行抑制	• 核種の半減期、移行特性に応じた低溶出性（ガラス固化等）、核種収着性（セメント固化）等の付与	⑭ 核種移行遅延機能の付与（溶出率の低減、核種収着性）
	長期安定性	• 埋設環境下において物理的・化学的に安定であり、その変化が緩慢であること（長期状態評価において外挿が可能であること）	⑨ 廃棄物の長期化学的安定性（埋設環境下での化学的安定性）

## ■ 技術要件の検討

表 「コンクリート等廃棄物」に係る埋設規則を参考とした要件

目的	記載事項	要件（廃棄体に係るもの）
放射能濃度の適合性管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度が許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないこと</li> </ul>	①最大放射能濃度の評価・管理 －放射能濃度管理手法の構築
総放射エネルギーの適合性管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>許可を受けたところによる放射性物質の種類ごとの総放射エネルギー及び区画別放射エネルギーをそれぞれ超えないこと</li> </ul>	②平均放射能濃度の評価・管理 ③総放射エネルギーの評価・管理 －放射能濃度管理手法の構築
埋設設備の機能・健全性の維持	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート等廃棄物に含まれる物質により廃棄物埋設地の安全機能を損なうおそれがないこと。</li> </ul>	④廃棄物の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去 ⑤埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去
	<ul style="list-style-type: none"> <li>爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質その他の危険物であつて、当該物質の性質及び量に照らして、廃棄物埋設地の安全機能を損なうおそれのあるものを埋設しないこと</li> </ul>	⑤埋設設備の機能、健全性を損なう可能性のある物質の除去

表 「コンクリート等廃棄物」に係る設計・評価上の考慮事項

目的	考慮事項	要件（廃棄体に係るもの）
保管	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄物の減容</li> <li>合理的な保管・管理のあり方の構築</li> </ul>	⑥減容 ①～③ 放射線学的特性理解
再利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>線量基準を満足する放射能濃度基準の設定を行う</li> <li>5<math>\mu</math>Sv/h未満の再利用の安全性に関する技術的エビデンスの補強</li> </ul>	⑦再利用基準（放射能濃度）の設定
	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃掃法の技術基準に相当する水準を満足していることその他重金属等の有害物質に対して講じる対策について確認（路盤材、埋戻材等として利用する場合など）</li> </ul>	⑧環境影響物質の除去
	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能濃度が再利用基準に適合していること</li> </ul>	⑨基準適合性確認方法の構築
	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート、金属等であること</li> </ul>	－当該材料であること（コンクリート等）

# 参考：健全性を損なう可能性のある物質の除去

## ■ 廃棄物確認に関する運用要領（規制庁内規）

\*廃棄物確認に関する運用要領（H26.3、原子力規制庁）

- ・ 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質に関する規制庁内規\*抜粋を下記に示す。
- ・ 当該物質を含まないことが技術基準として定められており、分別または溶融処理が行われている必要がある。対応できない場合は、将来、処分が困難となるおそれがある。
- ・ 1Fにおいて当該物質が含まれないことについて記録による担保が困難な場合、分析による確認が必要になる可能性がある。
- ・ 当該物質が有意に含まれる、または含まれる可能性が否定できない場合、ガラス溶融、熱分解処理等が選択肢となる。

### 技術基準（根拠条項）規則第8条第2項第4号 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質を含まないこと

健全性を損なうおそれのある物質を次のように定める。

- ① 爆発性の物質又は水と接触したときに爆発的に反応する物質
- ② 揮発性の物質
- ③ 自然発火性の物質
- ④ 廃棄体を著しく腐食させる物質
- ⑤ 多量にガスを発生させる物質
- ⑥ その他これまでの知見を踏まえた有害物質

標準製作法によると放射性廃棄物を分別する際には、健全性を損なうおそれのある物質等が混入しないように分別作業を実施することとされている。

なお、溶融処理された廃棄物のみを含む廃棄体は、処理温度からして上記物質の残留は考えられないので、当該廃棄体について本確認を省略することができる。

上記①～⑤に該当する物質に係る具体的物質名は規定されていないため、「消防法（昭和23年7月24日、法律第186号）」及び「危険物の規制に関する政令（昭和34年9月26日、政令第306号）」に定められている危険物について、健全性を損なうおそれのある物質と見なすこととする。  
また、上記⑥に該当する物質については、これまでの知見を踏まえ、標準製作法において廃棄体へ直接充填しないよう除去対象物として取り扱っているものとする。

#### (1) 爆発性の物質

第五類に区分された「自己反応性物質」で爆発性物質に該当するもの。

#### (2) 水と接触したときに爆発的に反応する物質

第三類に区分された「自然発火性物質又は禁水性物質」で水と接触したときに爆発的に反応する物質に該当するもの。

#### (3) 揮発性の物質

第四類に区分された「引火性液体」で揮発性物質に該当するもの。

#### (4) 自然発火性の物質

第二類若しくは第三類に区分された「可燃性固体」又は「自然発火性物質又は禁水性物質」で自然発火性物質に該当するもの。

#### (5) 廃棄体を著しく腐食させる物質

第一類、第三類若しくは第六類に区分された「酸化性固体」、「自然発火性物質又は禁水性物質」又は「酸化性液体」で廃棄体を著しく腐食させる物質に該当するもの。  
ただし、中和等の処理がなされているものを除く。

#### (6) 多量にガスを発生させる物質

第二類若しくは第三類に区分された「可燃性固体」又は「自然発火性物質又は禁水性物質」で多量にガスを発生させる物質に該当するもの。

#### (7) その他これまでの知見を踏まえた有害物質

（省略：硫黄分が付着した所内ボイラで使用された耐火レンガ、及び類似品である焼却炉・溶融炉の耐火レンガ及びセラミックフィルタに関する制限等に関する記述）

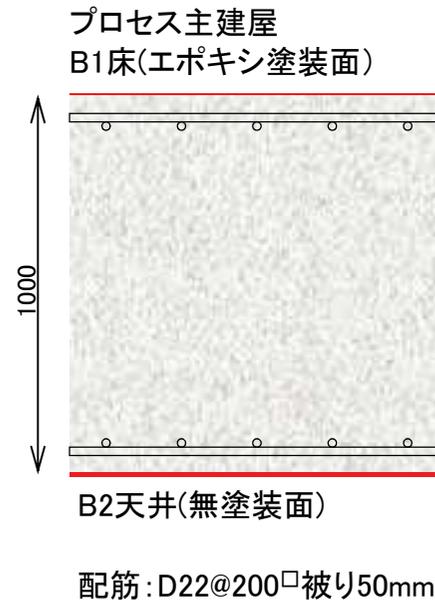
## ■ 環境影響物質（有害物）への対応

- 環境基本法で規制される有害物質については、廃掃法に準じた対応が求められる（下記、原子力規制庁文書参照）。
- 廃棄物に有害物が有意に含まれ、且つ分別・除去が困難な場合には、有害物の熱分解、溶出率低減などの効果を有する処理技術の適用が選択肢となる。

### 重金属等の有害物質を含む放射性廃棄物の埋設処分に関する対応について（令和3年2月3日、原子力規制庁）

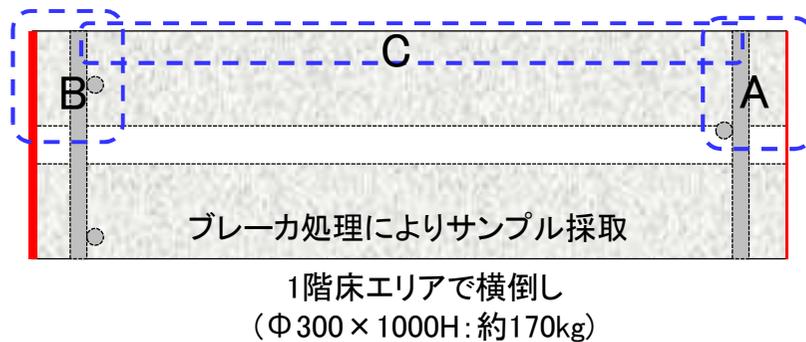
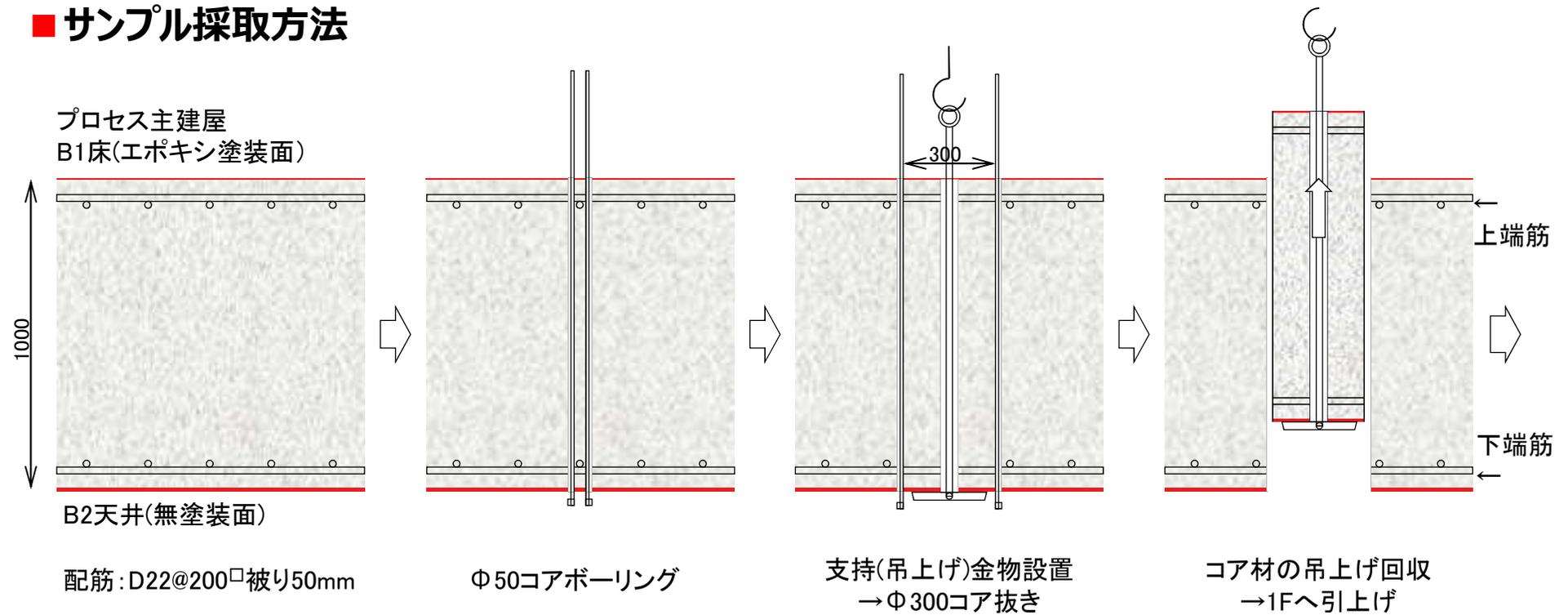
- 原子力規制庁は、放射性廃棄物の埋設処分に係る事業許可基準への適合性の審査の他に、事業者に対して、埋設しようとする重金属等の有害物質を含む放射性廃棄物に応じた廃棄物埋設施設の設計及び管理の方法に関して、廃掃法の技術基準に相当する水準を満足していることその他重金属等の有害物質に対して講じる対策について確認を求める。
- 上記の確認に当たっては、必要に応じて、廃掃法を所管する環境省等に廃棄物の処理に係る基準等について問合せを行う。また、関係機関とのやりとりについては、文書で行うか、又は、面談と同様に議事録を作成し公開する。
- 原子力規制庁は、事業許可に係る審査書とは別に、重金属等の有害物質の埋設に関して、廃掃法の技術基準に相当する水準を満足していること等の確認結果について取りまとめる。

## ■プロセス主建屋床材を対象とした核種浸透汚染調査概要



- プロセス主建屋地下1F床（地下2F天井）のコアを採取（2023年度採取、2024年度分析）
- 当該サンプルは下記の特徴を有す。滞留水との接触歴のある部位の核種浸透評価に資する分析の実施に適している。
  - ✓ 滞留水と長期間の接触していること
  - ✓ 滞留水との接触時間の履歴（滞留水水位データ）が残っていること
  - ✓ 滞留水の組成が把握できていること
  - ✓ 上面：エポキシ塗装、下面：塗装無し であり、表面状態の違いの比較が可能であること
- 今回の検討は、核種浸透に関する調査計画策定のベースとなるものであると考えられることから、研究的なアプローチでコンクリート中の核種移行挙動等の把握を目的とした分析を実施する。

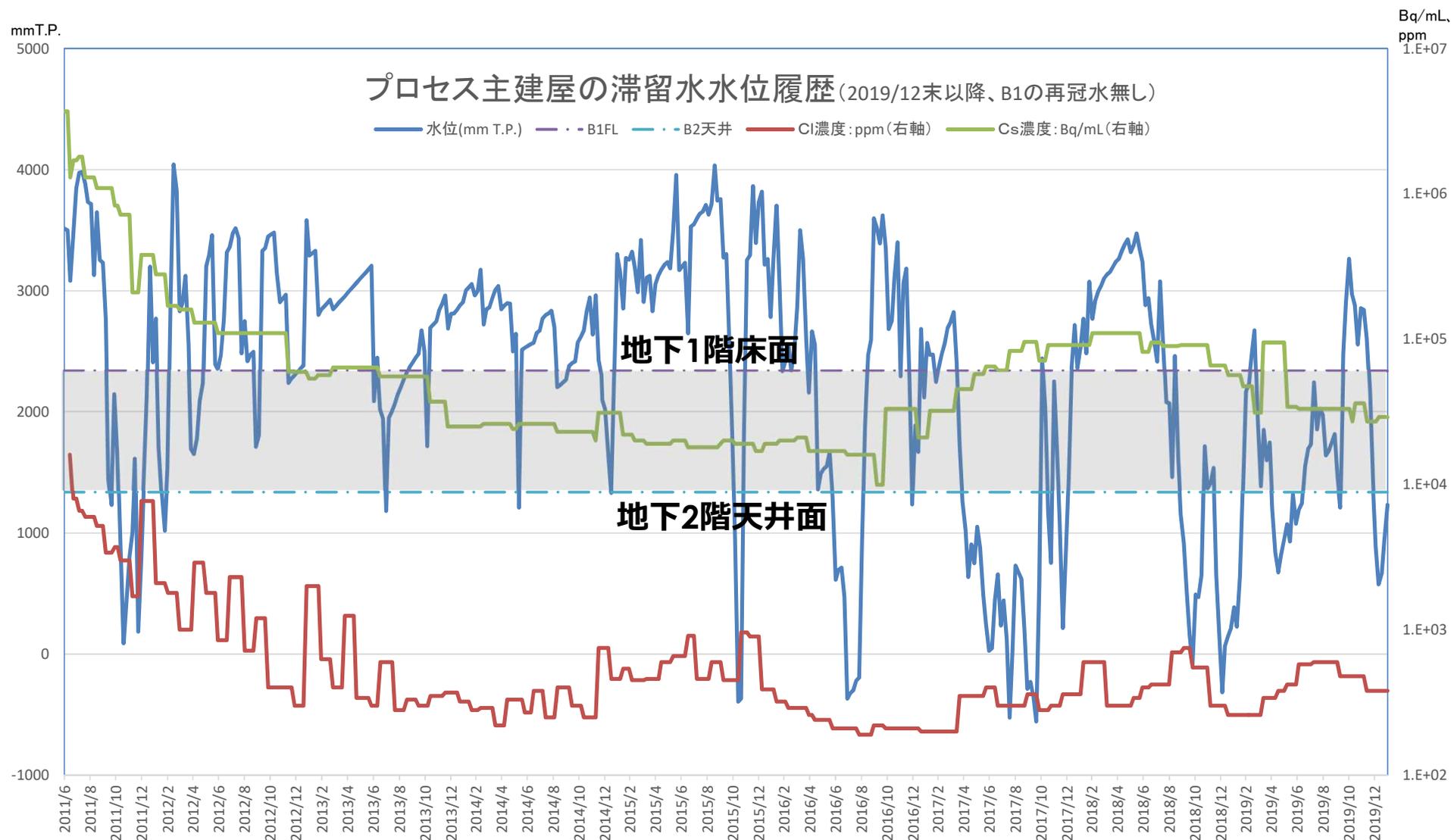
## ■ サンプル採取方法



### 検討の着目点

- ✓ 核種毎の浸透深さの評価（表面から層状に試料採取）
- ✓ エポキシ塗装の有無の影響評価
- ✓ 粗骨材界面での核種挙動の確認
- ✓ 鉄筋界面の核種挙動の確認
- ✓ 基質部の空隙構造との関係

## ■ プロセス主建屋の滞留水水位、放射能濃度等履歴



以上