

敦賀発電所 1 号炉 クリアランス補正申請の準備状況 について

2025年6月16日
日本原子力発電株式会社

1. クリアランス認可申請に係るこれまでの経緯（1／2）

1

年月	経緯概要
2016年9月	クリアランス認可申請 ➤ 対象物：プラント全体の廃棄物を対象 ➤ 推定重量：約2,900トン
2019年9月	クリアランス審査基準制定
2019年12月	審査会合 ➤ クリアランス審査基準に適合させるため、補正に 2年程度 要することを説明
～	クリアランス審査基準適合のための検討
2022年5月	審査会合（補正方針の説明） ➤ 対象物はプラント全体の廃棄物から 水圧制御ユニットアキュムレータ（以下「アキュムレータ」という。）及びN₂ボンベ に変更 ➤ 対象物の変更により、推定重量を約2,900トンから 約5トン へ変更 ➤ 対象物の汚染状況調査のため、 2023年度中に補正 する旨を説明
～	汚染状況調査
2024年3月	審査会合（補正申請の準備状況の説明） ➤ 対象物の表面分布調査の結果、 N₂ボンベにCs-137を検出 （36体中20体） ➤ 汚染性状やメカニズムの調査・検討に時間を要するため、対象物から N₂ボンベを除外 ➤ 対象物の変更により、推定重量を約5トンから 約3トン へ変更 ➤ 補正時期は2023年度中から 2024年度上期 へ変更

1. クリアランス認可申請に係るこれまでの経緯（2／2）

2

年月	経緯概要
2024年7月	ヒアリング（補正申請の準備状況の説明） ➤ アキュムレータの放射化学分析（二次的な汚染）の結果，C o - 60の放射能濃度がクリアランス基準の1／33を超えていたことを確認 ➤ これにより，物理的除染が必要と判断し，除染試験に係る対応のため補正時期を2024年度上期から2024年度末へ変更
～	除染試験に向けた対応
2025年1月	ヒアリング（補正申請の準備状況の説明） ➤ 除染試験前準備として，アキュムレータの放射化学分析を行った結果，クリアランス基準は十分に下回っているものの，外表面に極微量のC s - 137（10^{-4} Bq／g程度）を確認 ➤ 当初，C o - 60のみを評価対象核種とする予定であったが，上記の状況から評価対象核種の再選定及び測定・評価方法の再構築が必要と判断 ➤ これにより，補正申請時期を2024年度末から2025年9月に変更
～	評価対象核種及び測定・評価方法の見直し作業

2. 敦賀発電所 1 号炉 クリアランス補正申請について

3

敦賀発電所 1 号炉クリアランス補正申請に関し，本年 9 月に補正申請する予定であり，測定・評価方法の概略を説明するとともに申請準備の進捗状況をご報告する。

放射能濃度確認対象物のクリアランス測定・評価方法

放射能濃度確認対象物を除染した上で，プラスチックシンチレータを用いた放射線測定法及び核種組成比法により放射能濃度を決定する。

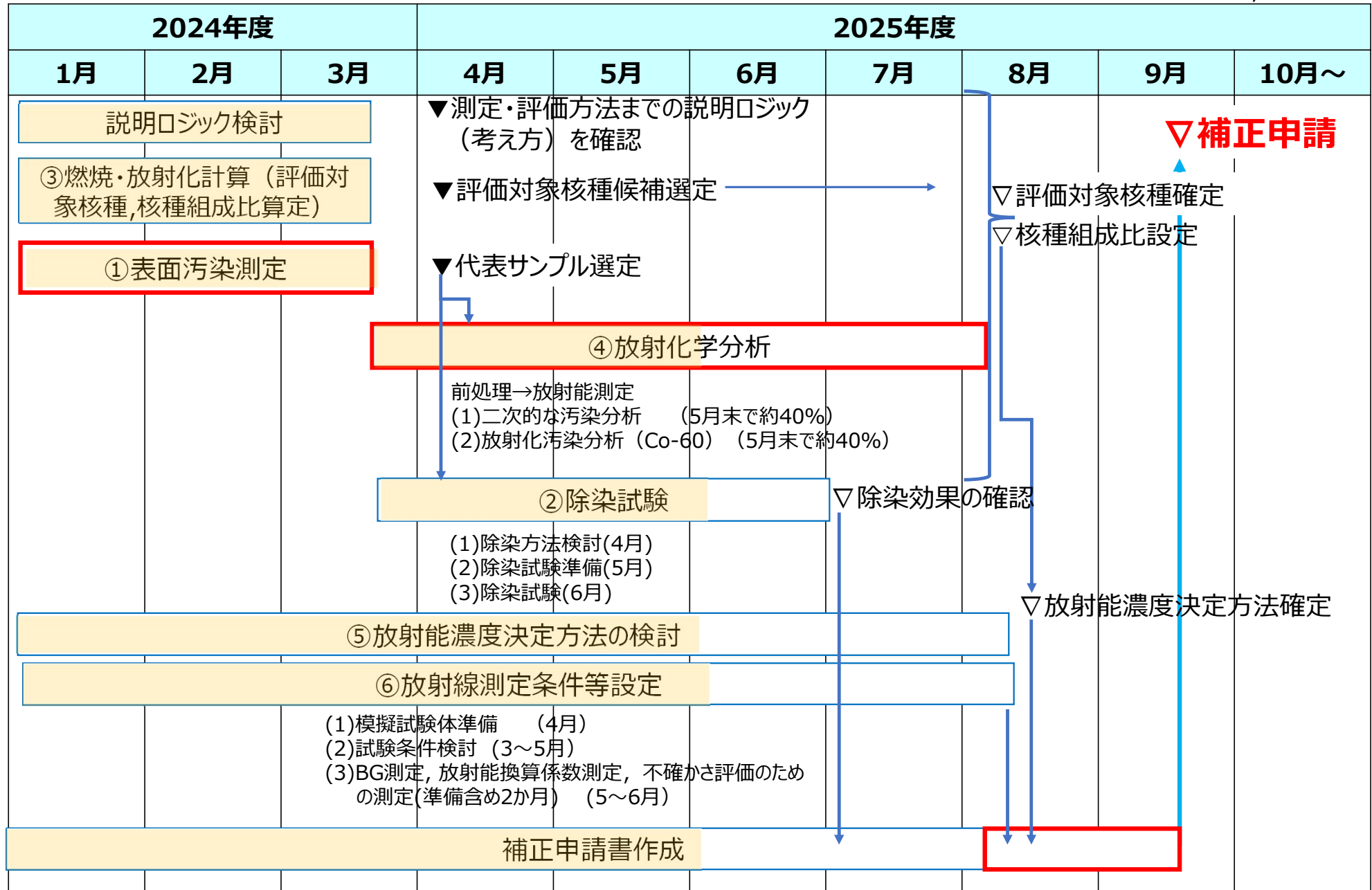
【放射能濃度の決定を行うための実施項目】

申請書本文記載項目	実施項目	補正書作成時期
本文一，二，三 氏名又は名称，放射能濃度確認対象物が生ずる所在地，施設の名称	－（一部変更あり対応中）	6 月
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	① 表面汚染測定：対象物の汚染状況を把握 ② 除染試験	7 月
本文五 評価に用いる放射性物質の種類	③ 燃焼・放射化計算：評価対象核種候補を選定。敦 1 の過去のサンプルデータ及び充填固化体（LLW）の SF から核種組成比を設定 ④ 放射化学分析：③を確認	8 月
本文六 評価単位	評価単位及び測定単位（測定単位：切断片，評価単位：検討中）	7 月
本文七 放射能濃度の決定を行う方法	⑤ 放射能濃度決定方法の検討	8 月
本文八 放射線測定装置の種類及び測定条件	⑥ 放射線測定条件等設定	8 月
本文九 放射能濃度確認対象物の保管場所及び保管方法	エリアごとの管理，保管管理，異物混入防止（検討中）	6 月
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	測定評価業務に係る品質保証体制（検討中）	6 月

3. 補正申請に向けた工程 準備状況

補正申請に向けた準備状況は以下のとおりであり、9月に補正申請を行う。

【▼実施済, ▽計画】



: クリティカル工程

4. 敦賀発電所 1号炉 クリアランス補正申請 放射能濃度確認対象物について (1/2)

5

1. 放射能濃度確認対象物の種類 及び推定される総重量

- ◆ 対象物：アキュムレータ36体※2
- ◆ 推定総重量：約3トン（36体分）
- ◆ 対象物の材質：金属（ステンレス鋼）

※1：水圧制御ユニット

制御棒の挿入・引抜を制御するための装置。
制御棒（全73体）1体毎に設置している。
アキュムレータは原子炉緊急停止の際、窒素で加圧されたアキュムレータ内の水により、急速に制御棒を挿入する。

※2：シリンダのみ（ピストン等の複雑形状物は除く）



第1図 水圧制御ユニット※1アキュムレータ

4. 敦賀発電所 1 号炉 クリアランス補正申請 放射能濃度確認対象物について (2/2)

2. 放射能濃度確認対象物の状況

- ◆ 1970年の営業運転開始後，第11回定期検査（1980年）及び第12回定期検査（1981年）にて現在のアキュムレータに取り替えて以降，2015年の営業運転停止まで使用を継続。
- ◆ 廃止措置に伴い2018年に解体撤去したアキュムレータは，切断しない状態で鉄箱に収納し，固体廃棄物貯蔵庫で保管。なお，解体・撤去の段階で除染は行っていない。
- ◆ アキュムレータの汚染形態として，「二次的な汚染」を想定。なお，放射化汚染については，アキュムレータの設置エリアの中性子線量率が十分に低いことから，無視できる程度と想定。
- ◆ 「二次的な汚染」の形態として，原子炉冷却材（原子炉水・系統水）の接液による直接的な汚染（内表面汚染）及び機器の点検作業等の際，開口部から空気中に飛散した放射性物質の付着による間接的な汚染（外表面汚染）を想定。なお，フォールアウトについては過去の調査結果より，影響は見られないことから，考慮しない。
- ◆ 二次的な汚染はC P 核種※¹及びF P 核種※²による影響を想定。なお，敦賀発電所 1 号炉は，営業運転開始初期に燃料破損を経験しており，F P 核種による影響が比較的大きい。

※1：原子炉冷却系の設備から溶出した腐食生成物が炉心の中性子で放射化されて生成した放射性物質及び冷却水が炉心の中性子で放射化されて生成した放射性物質

※2：燃料集合体及び炉内の構造材の微量元素として存在するウラン等が炉心の中性子で照射されて生成した核分裂生成物及び中性子捕獲生成物

①表面汚染測定（1／3）

実施済

1. 概要

- ◆ アキュームレータの汚染状況把握並びに放射化学分析及び除染試験の代表サンプルを選定するため、代表1体を 50 mm×50 mm 程度に細断（全240試料）し、Ge 半導体検出器による表面汚染の測定を行った。

2. 表面汚染測定対象アキュームレータ選定の考え方

- ◆ 2023年度にアキュームレータの汚染状況調査を実施。アキュームレータ全数測定（外表面：GM管式サーベイメータ、内表面：スミヤ）の結果に基づき、内表面汚染が検出されたアキュームレータから代表サンプルを選定し、放射化学分析を行った結果、一部の試料（外表面）にCs-137を検出した。このため、より詳細な汚染状況の把握が必要と判断。
- ◆ しかしながら、当該アキュームレータについては、放射化学分析のために細断していること、また、一部の細断片は放射化学分析で使用しており、1体全体の汚染分布を把握するためには使用できない状況であったため、新たにアキュームレータを選定する必要が生じた。
- ◆ 2023年度に実施した外表面のGM管式サーベイメータによる測定では検出限界未満であったこと、また、使用環境等から残りのアキュームレータは同程度の汚染分布と考え、2023年度に選定したアキュームレータに隣接する1体を選定。

①表面汚染測定（2／3）

3. 表面汚染測定条件

◆ 以下の条件によりγ線核種による表面汚染測定を実施した。

項目	内容
測定方法	直接測定
測定機器	G e 半導体検出器
測定時間	6,000秒／片面

4. 表面汚染測定結果

- ◆ 表面汚染測定の結果，以下のとおり，外表面にC s－137の付着が確認された。なお，内表面は全て検出限界カウント未満であった。（表面汚染測定を行ったアキュムレータの外表面の汚染分布は第2図参照）
 - 外表面：240試料中51試料にC s－137を検出
 - 内表面：全て検出限界カウント未満
- ◆ 上記の表面汚染測定結果のうち検出カウントが高い試験片から放射化学分析及び除染試験用サンプルを選定。

①表面汚染測定 (3/3)

上側											
3-①	3-②	2-①	2-②	1-①	1-②	12-①	12-②	11-①	11-②	10-①	10-②
3-③	3-④	2-③	2-④	1-③	1-④	12-③	12-④	11-③	11-④	10-③	10-④
6-①	6-②	5-①	5-②	4-①	4-②	15-①	15-②	14-①	14-②	13-①	13-②
6-③	6-④	5-③	5-④	4-③	4-④	15-③	15-④	14-③	14-④	13-③	13-④
9-①	9-②	8-①	8-②	7-①	7-②	18-①	18-②	17-①	17-②	16-①	16-②
9-③	9-④	8-③	8-④	7-③	7-④	18-③	18-④	17-③	17-④	16-③	16-④
21-①	21-②	20-①	20-②	19-①	19-②	27-①	27-②	26-①	26-②	25-①	25-②
21-③	21-④	20-③	20-④	19-③	19-④	27-③	27-④	26-③	26-④	25-③	25-④
24-①	24-②	23-①	23-②	22-①	22-②	30-①	30-②	29-①	29-②	28-①	28-②
24-③	24-④	23-③	23-④	22-③	22-④	30-③	30-④	29-③	29-④	28-③	28-④
33-①	33-②	32-①	32-②	31-①	31-②	39-①	39-②	38-①	38-②	37-①	37-②
33-③	33-④	32-③	32-④	31-③	31-④	39-③	39-④	38-③	38-④	37-③	37-④
36-①	36-②	35-①	35-②	34-①	34-②	42-①	42-②	41-①	41-②	40-①	40-②
36-③	36-④	35-③	35-④	34-③	34-④	42-③	42-④	41-③	41-④	40-③	40-④
45-①	45-②	44-①	44-②	43-①	43-②	54-①	54-②	53-①	53-②	52-①	52-②
45-③	45-④	44-③	44-④	43-③	43-④	54-③	54-④	53-③	53-④	52-③	52-④
48-①	48-②	47-①	47-②	46-①	46-②	57-①	57-②	56-①	56-②	55-①	55-②
48-③	48-④	47-③	47-④	46-③	46-④	57-③	57-④	56-③	56-④	55-③	55-④
51-①	51-②	50-①	50-②	49-①	49-②	60-①	60-②	59-①	59-②	58-①	58-②
51-③	51-④	50-③	50-④	49-③	49-④	60-③	60-④	59-③	59-④	58-③	58-④
下側											

<凡例>

-  : 検出限界カウント未満
 : 汚染あり (C s -137)

- ※1 : 内表面は全て検出限界カウント未満
 ※2 : 図中のサンプル番号は、アキュームレータ細断後に、Ge検出器測定のためにつけた番号である。

第2図 アキュームレータ外表面汚染分布

②除染試験

除染試験準備中

1. 概要

- ◆ 放射能濃度確認対象物は、ブラスト除染（物理的除染）により除染を実施する計画である。
- ◆ アキュムレータの汚染が、ブラスト除染（物理的除染）により除染できる性状であることを確認する。
- ◆ 表面汚染測定で選定したサンプルを用い、除染試験を実施する。

2. 状況

- ◆ 4月 除染方法検討
- ◆ 5月 除染試験準備（除染装置調達）
- ◆ 6月 除染試験（準備含め2週間程度 6月中旬試験終了予定）

3. 除染前後の核種組成比の変化について

- ◆ 二次的な汚染の形態は、比較的緩やかに付着している外層のソフトクラッド層と、金属母材に酸化被膜として生成している内層のハードクラッド層に分類できる。公開文献※から、C o - 60及びM n - 54は内層のハードクラッド層に取り込まれやすく、C s - 137, S r - 90, α核種は内層に取り込まれにくく外層のソフトクラッド層に付着、或いは吸着していると考えられる。このことから、物理的除染の前後でC s - 137, α核種の組成比率の変化はない。また、物理的除染の前後でC o - 60の核種組成比率は、同等若しくはC o - 60が大きくなるものと考えられる。

※：「平成11年度放射性廃棄物処理システム開発調査報告書－原子力発電施設解体放射性廃棄物基準調査－」（平成12年3月 財団法人原子力環境整備センター）

1. 概要

- ◆放射能濃度確認対象物の二次的な汚染源である F P 及び C P の核種組成を燃焼・放射化計算により求め、評価対象核種を選定した※1。
- ◆計算に当たっては、想定される燃焼・照射期間、汚染源の発生時期、放射能濃度確認対象物の測定までの減衰期間を考慮し、複数の計算条件を設定した。各計算結果から選定される核種を全て評価対象とすることで、幅広く核種を選定した。

※1：審査基準 $(\sum (D_j / C_j) / \sum (D_k / C_k) \geq 0.9, k: 33 \text{核種}, j: 33 \text{核種のうち } D_j / C_j \text{ の大きい順の核種})$ に基づき選定。

2. 計算条件

- ◆計算コード：ORIGEN2

- ◆計算条件：

- 燃焼計算（F P 核種）

燃料タイプ：7 x 7 燃料（燃料破損を経験した運転開始当初の燃料）

照射期間：約300日～約1,600日（燃料の燃焼度（設置許可及び実績）に基づき設定）

冷却期間：40年～60年（F P 発生から放射能濃度確認対象物の測定までの時間より幅広く設定）

- 放射化計算（C P 核種）

燃料タイプ：7 x 7 燃料，8 x 8 燃料，9 x 9 燃料（運転開始～停止まで使用した燃料タイプ）

材質：SUS・炭素鋼（プラント各系統の機器・配管に使用されている主な材質）

照射期間：400日～約2,700日（C P の炉内での照射を考慮し、炉内滞在時間を想定して幅広く設定）

冷却期間：15年～60年（C P 発生から放射能濃度確認対象物の測定までの時間より幅広く設定）

3. 結果

- ◆計算結果より、現段階における評価対象核種として、Cs - 137，全α，Co - 60を選定した。

④放射化学分析 (1/3)

1. 概要

化学分析実施中

- ◆二次的な汚染について、汚染の蓋然性のある核種を分析対象核種として選定したうえで、放射化学分析を行い、燃焼・放射化計算から選定した評価対象核種を確認する。また、燃焼・放射化計算、充填固化体のスケーリングファクタ（S F）及び敦賀発電所 1 号炉のこれまでのサンプル分析データを用いて算定した核種組成比が十分保守的に設定されていることを、放射化学分析により確認する。
- ◆放射化汚染について、放射化汚染の影響が無視できることを、放射化学分析により確認する。

2. 状況

◆4月 分析対象核種の選定

二次的な汚染：審査基準の33核種から、汚染物の核種組成※¹及び材質並びに短半減期核種を考慮し、以下の13核種を分析対象に選定（第3図に選定フローを示す。）

H-3, C-14, Cl-36, Co-60, Ni-59※², Ni-63,
Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-134, Cs-137, 全α

放射化汚染：放射能濃度確認対象物の材質を考慮し、Co-60を分析対象に選定※³

◆4月 分析サンプルの選定

二次的な汚染：「①表面汚染測定」でCs-137の検出カウントが高い試験片のうち、内外表面ごとに対象物の上中下領域から選定

放射化汚染：無作為に選定

◆5～8月 放射化学分析（実施中）

※1：「原子力発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集」（平成10年11月 財団法人原子力環境整備センター）のBWRの汚染物の核種組成比

※2：Ni-59はNi-63の分析結果と理論計算比により算出

※3：「主な原子力施設におけるクリアランスレベルについて（平成11年3月17日 原子力安全委員会）」（表-4-5 放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果（BWR, 原子炉停止後6年後））から、アキュムレータの材質であるSUSについては、Co-60のD/C（原子炉施設の放射化物の推定放射能濃度／算定クリアランスレベル）が最大であり、「原子炉発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状等に関する資料集（平成10年11月 財団法人 原子力環境整備センター）」（表1 BWR 放射化物（ステンレス鋼）の相対重要度経年変化）を基に、原子炉停止後期間における減衰を考慮しても、Co-60が最大であることから、分析対象として選定した。

④放射化学分析 (2/3)

＜審査基準で定める33核種＞

H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Sc-46, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Zn-65, Sr-90, Nb-94, Nb-95, Tc-99, Ru-106, Ag-108m, Ag-110m, Sb-124, Te-123m, I-129, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Eu-152, Eu-154, Tb-160, Ta-182, Pu-239, Pu-241, Am-241

1年程度以下の短半減期核種を除外

H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Fe-55, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, Ag-108m, I-129, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Eu-152, Eu-154, Pu-239, Pu-241, Am-241

コンクリートの放射化により主に生成する核種 (Ca-41, Ba-133, Eu-152及びEu-154^{※1}) 及び主に軽水炉型試験研究用原子炉施設において確認される核種 (Ag-108m) を除外

H-3, C-14, Cl-36, Fe-55, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-134, Cs-137, Pu-239, Pu-241, Am-241

Fe-55はCo-60と比較して中性子捕獲断面積が小さいこと、短半減期核種であること及び基準値が高いことにより除外

H-3, C-14, Cl-36, Co-60, Ni-59^{※2}, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-134, Cs-137, Pu-239^{※3}, Pu-241^{※3}, Am-241^{※3}

※1: Eu-152及びEu-154については、燃焼・放射化計算結果より照射期間及び冷却期間を考慮し、Co-60及びCs-137に対するD/Cの比が小さいことから除外

※2: Ni-59はNi-63の分析結果と理論計算比により算出

※3: 全α核種として評価

第3図 二次的な汚染の放射化学分析核種の選定フロー

3. 放射化学分析工程の進捗状況

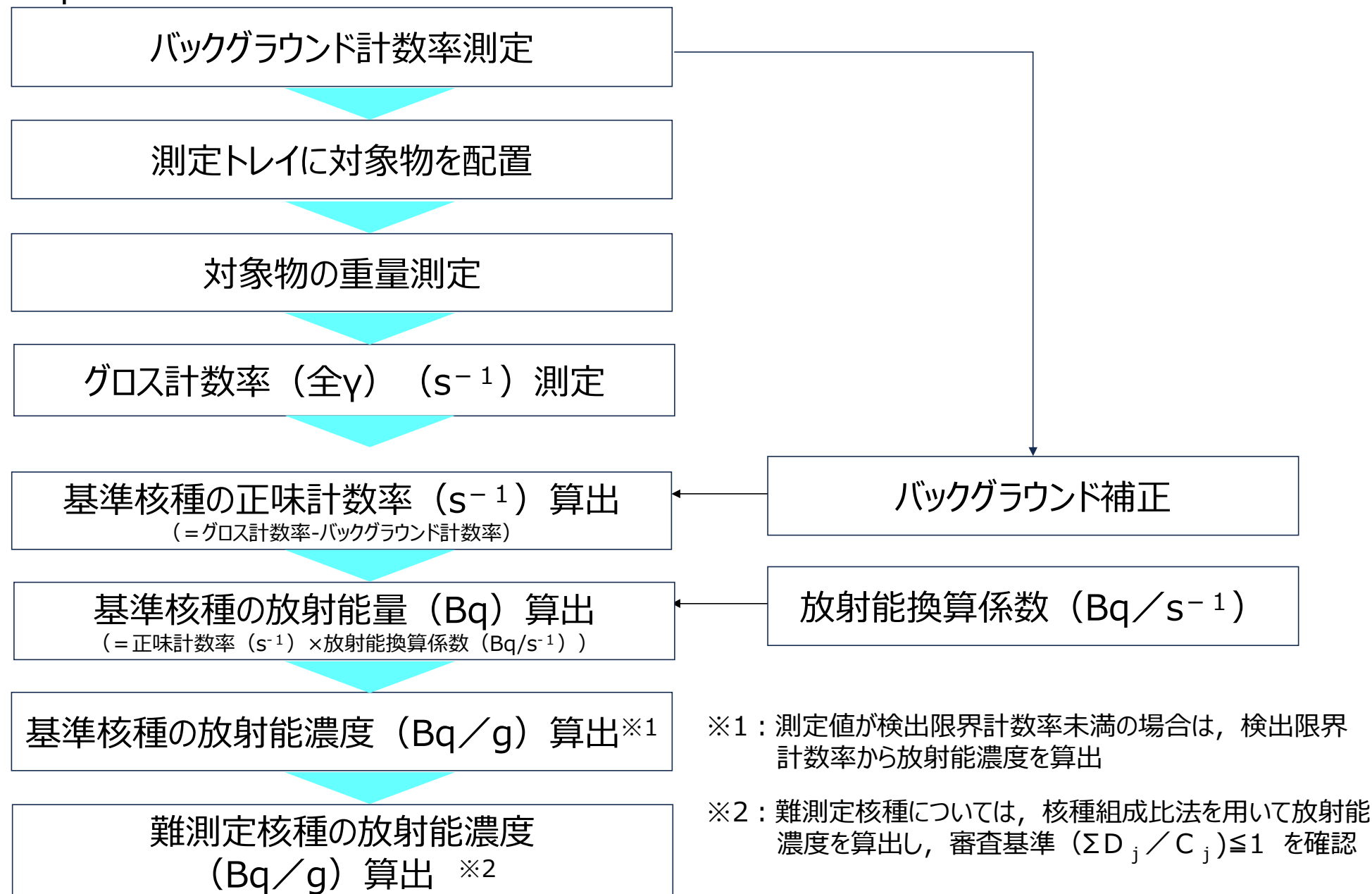
- ◆ 二次的な汚染の放射化学分析は、核種毎に4つの試料に分けて分析作業中。
- ◆ 5月から分析作業を開始し、5月末時点で約40%終了。分析は8月初旬終了予定。
- ◆ 第1表に、分析工程の進捗状況（5月末時点）を示す。

第1表 分析工程の進捗状況（5月末時点）

<凡例> ○：実施済，△：実施中，→：今後実施

分析対象核種	分析対象面	エッチング	溶液化	単離作業	放射能測定	分析終了予定
二次的な汚染						
A：Co-60, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Cs-134, Cs-137, 全α	外表面	○	○	→	→	8月初旬
	内表面	○	○	→	→	8月初旬
B：H-3, C-14	外表面	○	○	○	→	7月末
	内表面	○	○	→	→	7月末
C：Cl-36	外表面	△	△	→	→	8月初旬
	内表面	→	→	→	→	8月初旬
D：Tc-99, I-129	外表面	→	→	→	→	8月初旬
	内表面	→	→	→	→	8月初旬
放射化汚染						
Co-60	—	○	→	→	→	8月初旬

1. γ 線測定による放射能濃度決定の方法（案）



第4図 γ 線測定による放射能濃度算定フロー

2. 模擬試験及び模擬試験の進捗状況

- ◆ プラスチックシンチレーション検出器の測定条件のうち、「バックグラウンド補正係数」及び「放射能換算係数」を設定するため、第2表の模擬試験を行い、各種データを取得する。
- ◆ 模擬試験の進捗状況は表2表のとおりであり、各種データ取得後、データを整理の上、放射能濃度決定のための「バックグラウンド補正係数」及び「放射能換算係数」を設定する。

第2表 模擬試験項目

No.	分類	試験項目	進捗状況
1	バックグラウンド補正係数	①バックグラウンド計数率の測定試験（遮蔽有，模擬試験体無）	6月初旬試験終了，評価中
		②バックグラウンド計数率の測定試験（遮蔽有，模擬試験体有）	6月初旬試験終了，評価中
2	放射能換算係数	①線源位置の確認試験	6月初旬試験終了
		②グロス計数率の測定試験	6月中旬試験終了
3	不確かさ評価※	①測定トレイ停止位置による不確かさ試験	6月中旬試験終了
		②測定対象物の配置による不確かさ試験	
		③標準線源位置の不確かさによる試験	

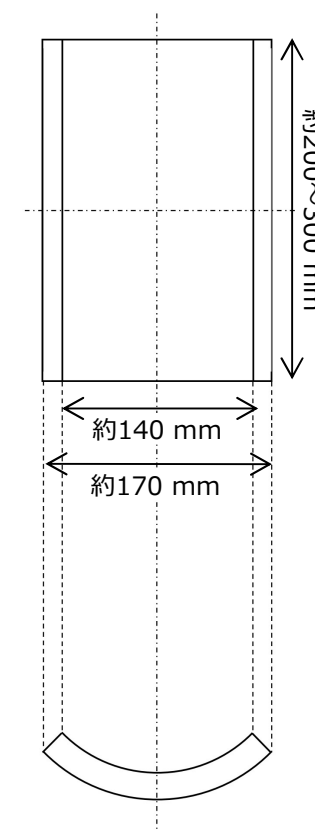
※：審査基準3.3（１）イに示す測定効率及び測定条件に起因する不確かさを評価する。

1. 放射線測定装置の種類

- ◆ 放射線測定装置は、燃焼・放射化計算の結果から選定した評価対象核種（ γ 線核種）の γ 線を計測でき、かつ、アキュムレータの汚染状況を踏まえ、ある程度大きな測定単位で測定できる放射線測定装置として、汎用の「**プラスチックシンチレーション検出器（大面積）**」を選定。

2. 放射線測定装置の測定条件の検討状況

- ◆ 放射能濃度測定装置の測定効率の設定のため、アキュムレータ（切断片）の形状を模擬した模擬試験体と標準線源（ $Cs-137$ 及び $Co-60$ ）を用いて、クリアランスレベル近傍の放射能を実測する模擬試験を実施。
- ◆ この結果から、「**放射能換算係数**」及び「**バックグラウンド補正係数**」を保守的に設定。
- ◆ 上記の設定に当たっては、測定効率及び測定条件に起因する「**不確かさ**」を適切に考慮する。
- ◆ 測定条件として、評価対象核種を考慮し審査基準を満足する放射能濃度が決定できる「**検出限界値**」及び「**測定時間**」を設定する。
- ◆ 設定した「放射能換算係数」及び「バックグラウンド補正係数」を適用するアキュムレータ切断片の形状を第5図に示す。



第5図 アキュムレータ切断片の形状
アキュムレータの高さ4分割、
径方向4分割（90度分）