

大飯発電所 1号炉及び2号炉において用いた 資材に含まれる放射性物質の放射能濃度の 測定及び評価方法の認可申請の概要

2020年6月15日

関西電力株式会社

申請書の概要【第一章～第四章】

一 氏名又は名称及び住所並びにその代表者の氏名

名 称	関西電力株式会社
住 所	大阪市北区中之島3丁目6番16号
代表者の氏名	取締役社長 森本 孝

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	大飯発電所
所在地	福井県大飯郡おおい町大島

三 放射能濃度確認対象物が生じる施設の名称

名 称	大飯発電所 1号原子炉施設
	大飯発電所 2号原子炉施設

四 放射能濃度確認対象物の種類

- 放射能濃度確認対象物は、運転保守に伴い、2005年度に大飯1号炉及び大飯2号炉の燃料取替用水タンクエリアに設置していた燃料取替用水タンクを解体した1次冷却材による二次的な汚染があるステンレス鋼の金属くず約70トンを対象。
- 放射能濃度確認対象物の発生領域を図1に示しており、汚染のおそれのない管理区域より発生したものである。

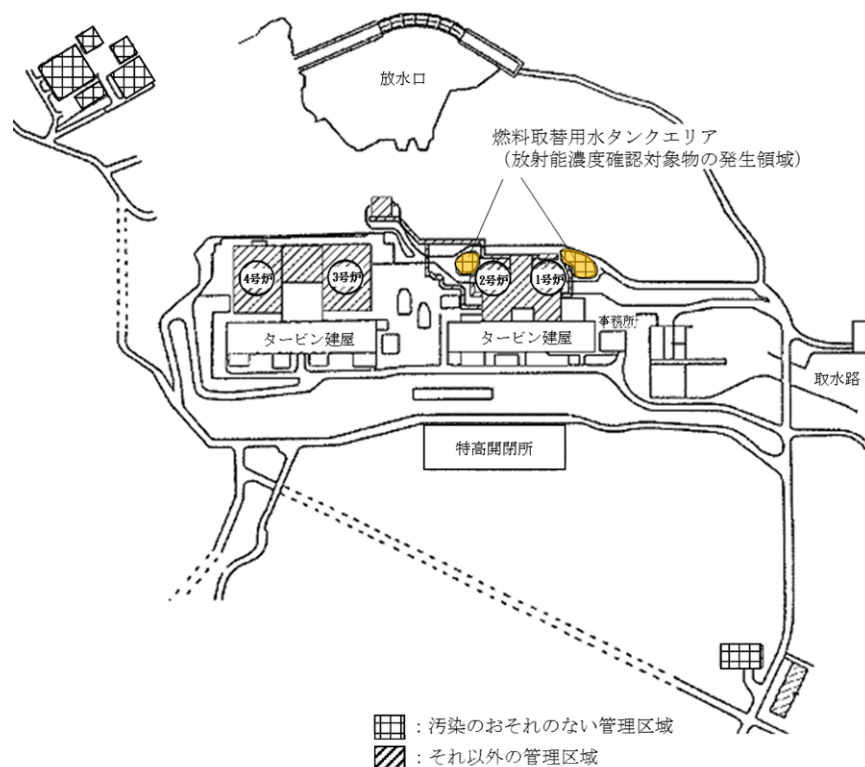
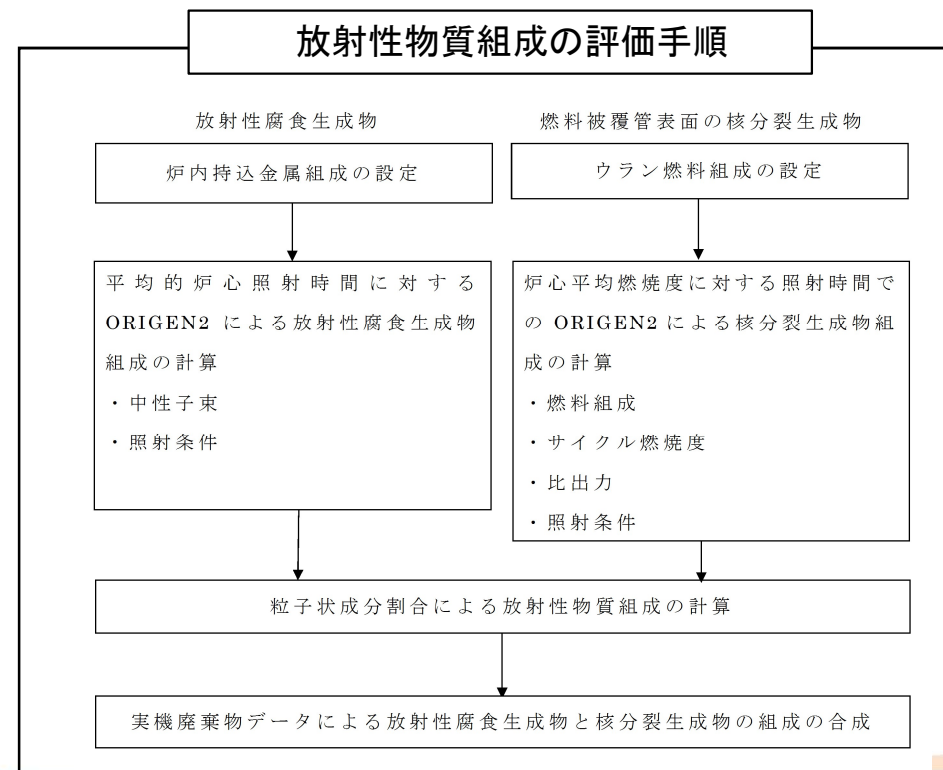
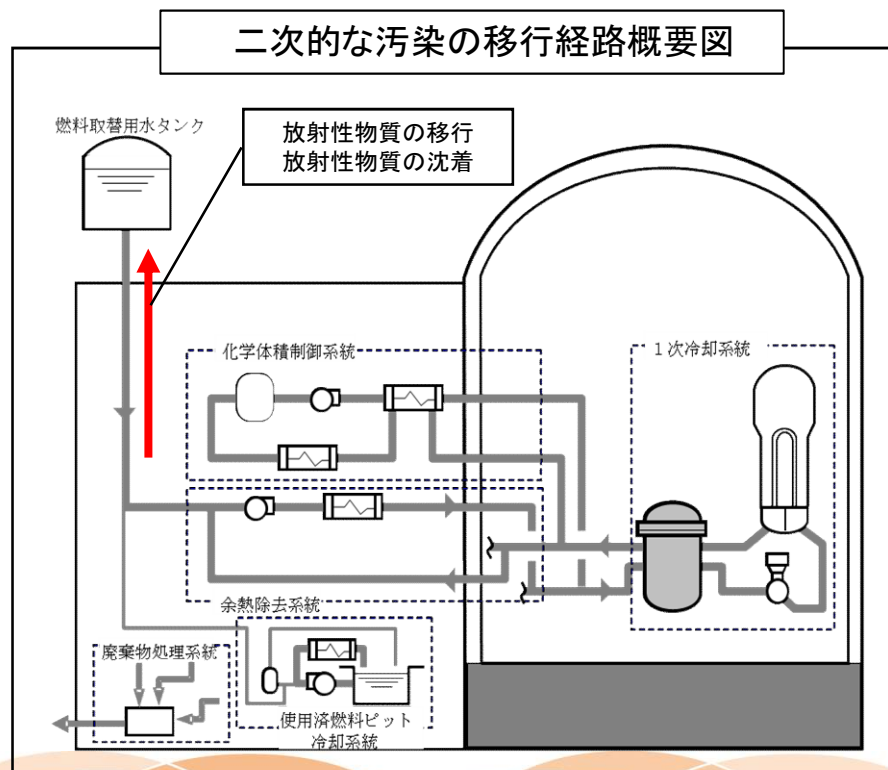


図1 放射能濃度確認対象物の発生領域

申請書の概要【第五章】 (1/2)

五 評価に用いる放射性物質の種類

- 大飯1, 2号炉の燃料取替用水タンクに係る放射能濃度の測定及び評価に用いる放射性物質の種類は、大飯1, 2号炉の二次的な汚染の計算に基づく放射性物質組成を評価した結果から、Co-60とする。なお、2019年6月1日から5年後にわたって規則33核種の存在割合を評価した結果、Co-60が90%以上であることを確認している。
- 放射能濃度確認対象物は、2005年度に解体した後、容器に封入し、廃棄物庫に保管廃棄されていることから、2011年に発生した東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴うフォールアウトについては、影響を考慮する必要はない。



申請書の概要【第五章】 (2/2)

規則33核種の $\sum D_k/C_k$ に対する D_k/C_k の割合

表1 規則33核種の $\sum D_k/C_k$ に対する D_k/C_k の割合(大飯1号炉)
(2019年6月1日時点)

--

(2024年6月1日時点)

--

表2 規則33核種の $\sum D_k/C_k$ に対する D_k/C_k の割合(大飯2号炉)
(2019年6月1日時点)

--

(2024年6月1日時点)

--

※1:規則33核種合計を1Bq/gとした場合の放射能濃度
※2:規則別表第1第2欄の放射能濃度

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

申請書の概要【第六章】

六 放射能濃度の評価単位

- 測定単位
 - 放射線測定装置(以下「トレイ型専用測定装置」という。)の測定用トレイに積載可能な100kg以内とする。

- 評価単位
 - 評価単位は、一つの測定単位とし、100kg以内とする。

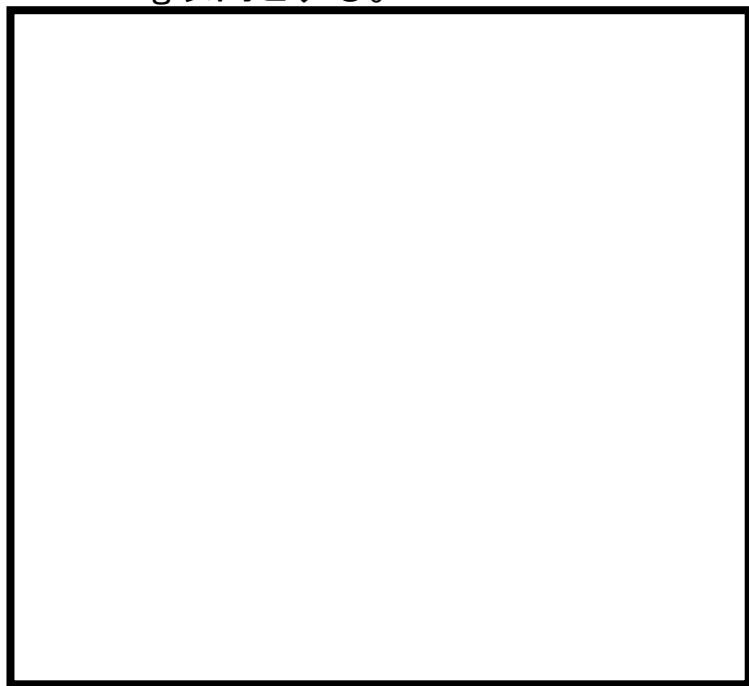


図 測定用トレイ外形図

測定装置外観・仕様 (トレイ型専用測定装置)



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

申請書の概要【第七章】(1/2)

七 放射能濃度を決定する方法

1. 測定単位及び評価単位のCo-60の放射能濃度

トレイ型専用測定装置を用いた放射線測定法によって、トレイに積載した放射能濃度確認対象物から放出される全 γ 線がCo-60からの放出であるとして次式にて算定する。

算出式

$$D = n_{\text{net}} \times CF \times SF / W$$

D : Co-60の放射能濃度(Bq/g)

n_{net} : 全 γ 線正味計数率(s^{-1}) (不確かさを考慮した全 γ 線正味計数率)

CF : Co-60に対する放射能換算係数(Bq/s^{-1}) (不確かさを考慮した放射能換算係数)

SF : Co-60に対する安全率

W : 放射能濃度確認対象物の重量(g)

2. 放射能濃度を決定する方法に関する不確かさ

- 不確かさの評価方法は、「測定における不確かさの表現のガイド(GUM)ハンドブック」に準拠し算出。
- 不確かさは、トレイ型専用測定装置の①放射線測定値に起因する不確かさ並びに②測定効率、測定条件およびデータ処理に起因する不確かさ(以下、「測定条件等に関する不確かさ」という。)を考慮する。

申請書の概要【第七章】(2/2)

① トレイ型専用測定装置の放射線測定値に関する不確かさ

- 放射線測定値に関する不確かさは、全 γ 線正味計数率の統計誤差 σ_n を考慮し、信頼の水準を片側99.9%(包含係数=3)として、全 γ 線正味計数率に $3\sigma_n$ を加算する。

② トレイ型専用測定装置の測定条件等に関する不確かさ

- 測定条件等に関する不確かさは、下表の通り相対拡張不確かさ(U)を算出する。 $\Sigma D/C$ の片側95%上限値が1を超えないことの評価方法は、放射能換算係数に相対拡張不確かさを考慮した値を用いて評価する。

表 不確かさの算出方法

ステップ	項目	方法
①	標準不確かさの評価	特性要因図より抽出した要因による放射能濃度の標準不確かさを算出
②	合成標準不確かさの評価	①で設定した標準不確かさを、不確かさの伝播則により合成して算出
③	拡張不確かさの評価	②で算出した合成標準不確かさに信頼の水準を片側95%としたときの包含係数(1.645)を乗じて算出
④	相対拡張不確かさ(U)の評価	③で算出した拡張不確かさを不確かさ評価における放射能濃度設定値(Co-60のクリアランスレベル)で除して算出()と設定

Co-60の放射能濃度 (Bq/g)

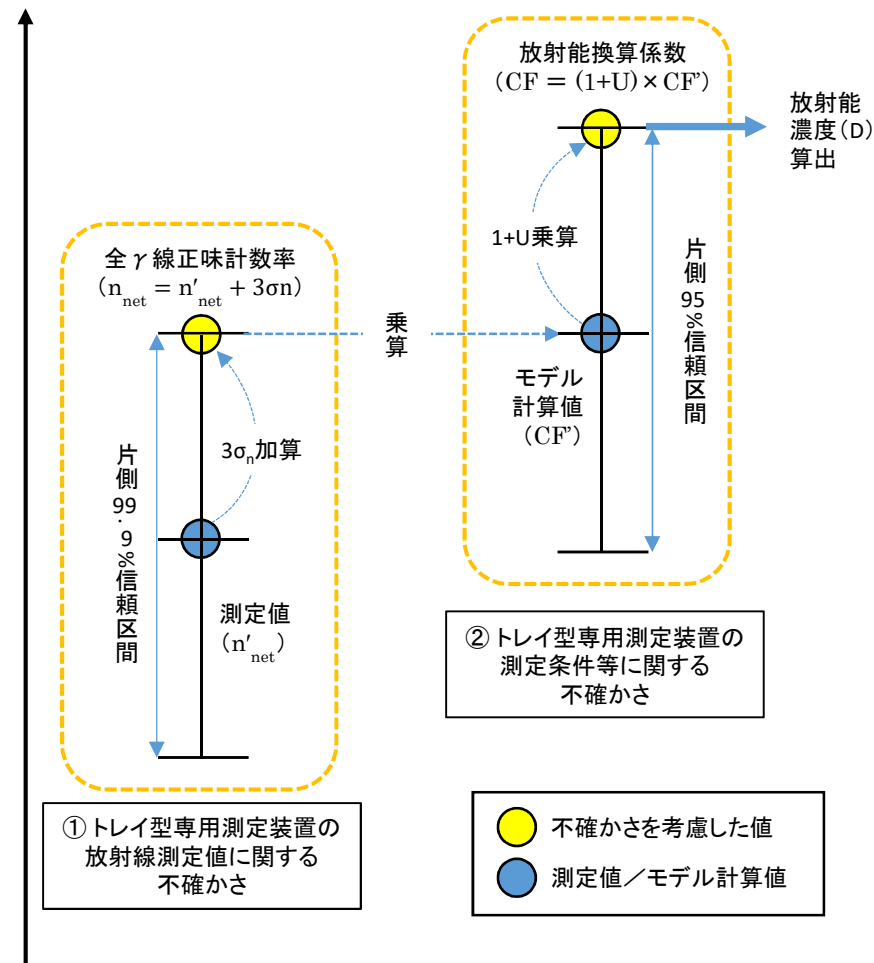


図 不確かさの考慮に関するイメージ図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

申請書の概要【第八章】(1/3)

八 放射線測定装置の種類及び測定条件

1. 放射線測定装置の種類

- Co-60の放射能濃度を測定する放射線測定装置には、放射能濃度確認対象物をトレイに配置し、外部からプラスチックシンチレータ検出器によりγ線を測定するトレイ型専用測定装置を選択した。

2. 測定条件等

- 放射能濃度確認対象物の重量、長さ、幅及び高さの測定値に基づき、放射能換算係数及び安全率を設定し、放射能濃度及び検出限界値を計算する。

放射能換算係数

[Redacted]

モンテカルロ解析により得られる計数率、設定放射能濃度等から求める。

なお、測定条件等に起因する相対拡張不確かさを考慮して設定する。

$$CF = (1 + U) \times CF' \quad CF' = D_0 \times W_0 / n_0$$

- ここで、
- CF : 不確かさを考慮した放射能換算係数(Bq/s⁻¹)
 - U : 測定条件等に起因する相対拡張不確かさ
 - CF' : 放射能換算係数(Bq/s⁻¹)
 - D₀ : モデル計算の設定濃度(Bq/g)
 - W₀ : モデル計算の設定重量(g)
 - n₀ : [Redacted] モデル計算により得られる計数率(s⁻¹)

安全率

[Redacted]

[Redacted]

申請書の概要【第八章】(2/3)

八 放射線測定装置の種類及び測定条件

➤ 放射能換算係数及び安全率の設定の妥当性

トレイ型専用測定装置によるCo-60放射エネルギーの測定結果(測定値)と模擬廃棄物と標準線源から設定したCo-60放射エネルギー(設定値)の比を、下図に示す。

Co-60放射エネルギーの測定値と設定値の比は全て1.0以上となっており、トレイ型専用測定装置による放射能濃度の測定結果は保守的に評価されていることを確認している。

(補足) 測定時の配置パターン

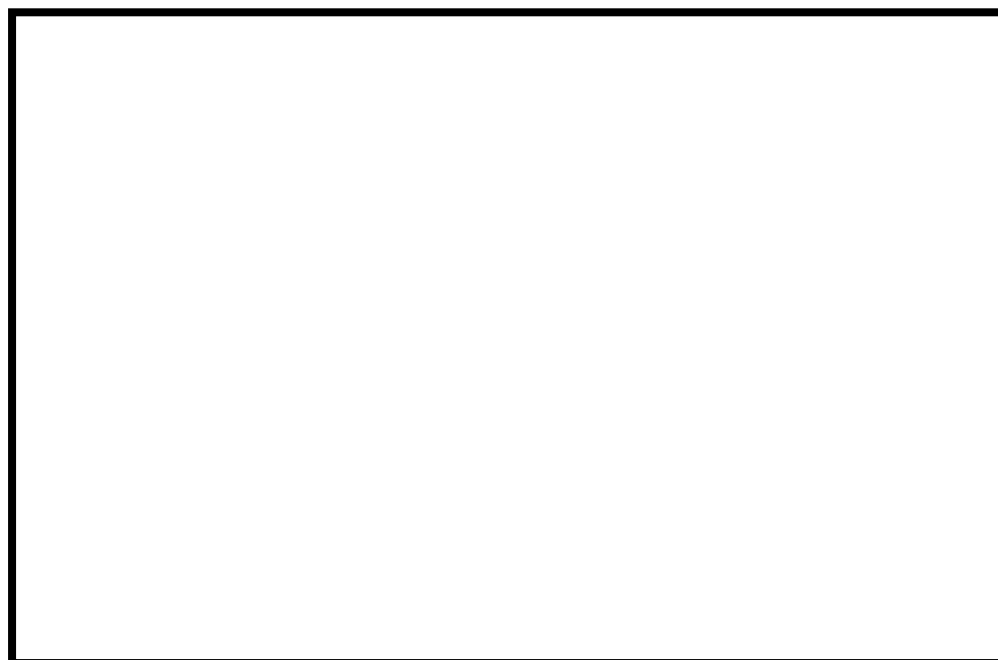
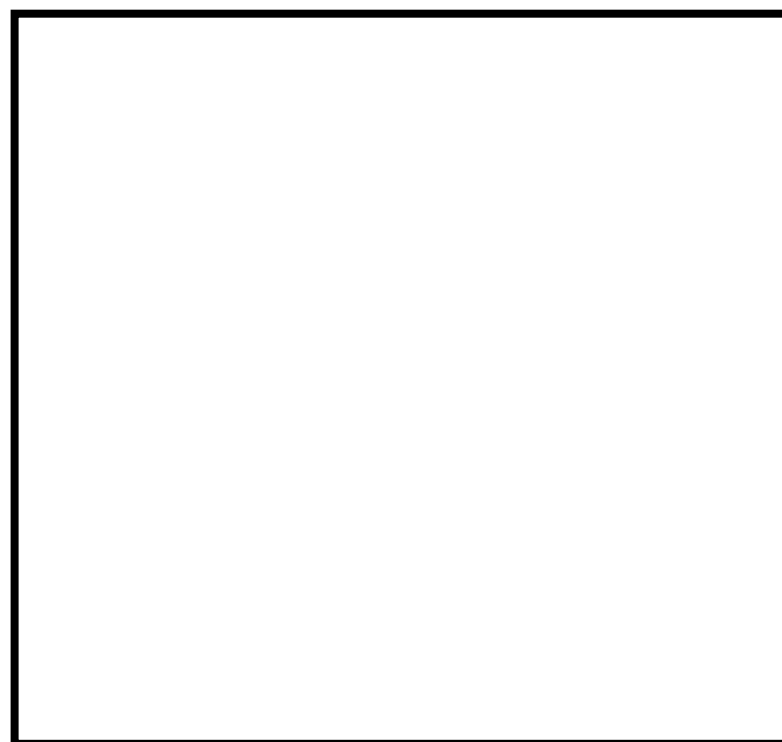


図 Co-60放射エネルギーの設定値と測定値の比



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

申請書の概要【第八章】(3/3)

八 放射線測定装置の種類及び測定条件

3. 検出限界値

- 検出限界値は、下表の通り算定する。なお、放射能濃度の測定結果が検出限界値未満であった場合には、放射能濃度確認対象物のCo-60の放射能濃度の測定値は検出限界値と同じとする。

項目	算定方法	補足
検出限界放射エネルギーの算定	BG計数率、BG変動に起因する相対誤差及び放射能換算係数の相対誤差を考慮し求める	下記式参照
BG変動に起因する相対誤差(r1)	放射能濃度確認対象物の遮蔽効果によるBG変動に起因する相対誤差(r1)を求める	算定の結果、r1=□とした
放射能換算係数の相対誤差(r2)	放射能が既知の標準線源を用い、模擬対象物を用いた専用測定器による測定を行い、個々の測定の相対誤差の変動係数を求める	

検出限界放射エネルギーの算定

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_{LD} = CF \times SF \times \frac{k^2}{\alpha \times t_T} + \sqrt{\left(\frac{k^2}{\alpha \times t_T}\right)^2 + 4 \times (1 - k^2 \times r_2^2) \times k^2 \times \left\{ n_B \times \left(\frac{1}{\alpha \times t_T} + \frac{1}{\alpha \times t_B}\right) + r_1^2 \times n_B^2 \right\}}{2 \times (1 - k^2 \times r_2^2)}$$

<p>ここで、A_{LD} : 検出限界放射エネルギー(Bq)</p> <p>CF : 不確かさを考慮した放射能換算係数(Bq/s⁻¹)</p> <p>SF : 安全率</p> <p>k : 包含係数(k=3)</p> <p>α : 各測定パターンにおけるγ線検出器の数</p>	<p>t_T : 放射能濃度確認対象物の測定時間(s)</p> <p>n_B : BG計数率(s⁻¹)</p> <p>t_B : BG測定時間(s)</p> <p>r_1 : BG変動に起因する相対誤差</p> <p>r_2 : 放射能換算係数の相対誤差</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

申請書の概要【第九章】

九 放射能濃度確認対象物の管理方法

1. 放射能濃度測定前の管理

- 放射能濃度確認対象物は、放射能濃度測定までの間、専用容器に封入し、測定待ちエリアに保管する。

2. 放射能濃度測定前後の管理

- 放射能濃度測定時に測定前後の放射能濃度確認対象物が混在しないよう区画分離により異物の混入を防止する。
- 放射能濃度の測定の結果、放射能濃度が基準以下となる放射能濃度確認対象物は汚染のおそれのない管理区域へ搬送、満足しない場合は計数率の高い放射能濃度確認対象物を除去し再測定を行うか、放射能濃度確認対象外とする。

3. 放射能濃度測定後から放射能濃度確認までの管理

- 放射能濃度確認対象物は、測定単位ごとに整理番号を付し、専用の保管容器に封入した状態で廃棄物庫内に保管する。

○ 各段階共通の管理

- 各エリアは施錠管理し、立入りを制限することにより、異物の混入及び放射性物質による追加汚染を防止する。

表 管理事項

場所・エリア 管理事項	分別場所	測定評価場所	確認待ちエリア
放射性廃棄物との分離	○	○	
異物の混入防止、追加汚染防止	○	○	○
エリアの出入管理	○	○	○
管理区域※1である	○	○ ※2	
汚染のおそれのない管理区域である		○ ※3	○

※1: 汚染のおそれのない管理区域以外の管理区域

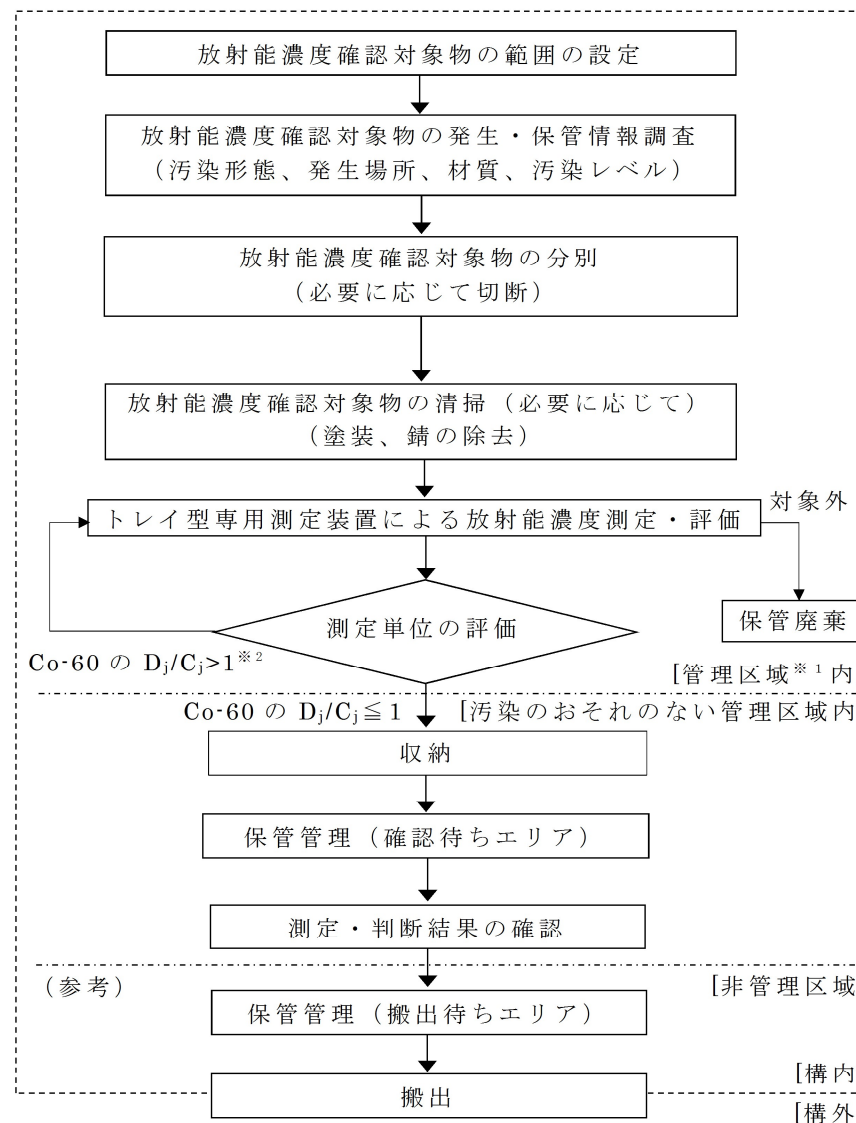
※2: 測定前のエリアが該当

※3: 測定後のエリアが該当

申請書の概要【第十章】

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

- 品質マネジメントシステムは社長をトップマネジメントとして構築し、体系化した組織及び文書類により、放射能濃度の測定及び評価のための一連の業務に係る計画と実施、評価及び改善のプロセスを実施するための品質保証計画を定める。
- 図「放射能濃度確認対象物の取扱い及び管理の基本フロー」に示す放射能濃度確認対象物の発生から分別、放射能濃度確認対象物の測定・評価、保管管理、搬出、これら一連の管理に関する記録の作成・保存、不適合の発生時の処置等を行い、測定及び評価のための一連の業務の信頼性を確保する。
- 以上については、大飯発電所原子炉施設保安規定及び原子力発電の安全に係る品質保証規程並びにこれに基づく下部規程において具体的な運用の手順を定めて実施するとともに、これらを継続的に改善することとする。



※ 1 : 汚染のおそれのない管理区域以外の管理区域

※ 2 : トレイ上の計数率を確認し、再測定又は保管廃棄とする。

図 放射能濃度確認対象物の取扱い及び管理の基本フロー

以下、補足説明資料

クリアランス審査基準に対する適合性について(1/7)

1. 評価に用いる放射性物質の選定(クリアランス審査基準3.1項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none"> ➤ (省略)33種類の放射性物質kと基準核種との放射能濃度比が計算等により算出されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 炉内持込金属組成およびウラン燃料組成より放射性物質組成比を算出し、放射能濃度比を計算により算出
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 二次的な汚染(省略)については、放射性物質の種類が幅広く選定されるよう、合理的な範囲で当該計算及び評価がなされていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 二次的な汚染の放射性物質組成は、放射化計算の結果を基に算出 ➤ 分析データがない核種は で設定 ➤ 放射性腐食生成物成及び核分裂生成物の放射性物質組成を、Co-60及びCs-137の放射能濃度比を用いることにより算出
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度D_kを放射能濃度C_kで除した比率D_k/C_kが計算されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規則33核種の放射性物質の割合を計算
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 33種類の放射性物質kの中からD_k/C_kの大きい順にn種類の放射性物質jが選定されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規則33核種の放射性物質の割合を計算した結果、Co-60を選定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ フォールアウトの取り扱いについて 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2005年度に解体した後、容器に封入し、廃棄物庫に保管廃棄していることから、フォールアウトの影響は考慮不要

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

クリアランス審査基準に対する適合性について(2/7)

2. 評価単位(クリアランス審査基準3. 2項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none">➤ 汚染の履歴等を考慮して、汚染の程度が大きくことなると考えられる物を一つの測定単位としていないこと。	<ul style="list-style-type: none">➤ 放射能濃度確認対象物の発生・保管情報の調査結果を考慮して、汚染の程度が大きく異なるものを一つの測定単位とはしない
<ul style="list-style-type: none">➤ 評価単位内のいずれの測定単位においても、評価に用いる放射性物質の$\Sigma(D_j/C_j)$が10を超えないこと。	<ul style="list-style-type: none">➤ 測定単位ごとに規則第2条で規定される放射能濃度の基準以下であることを確認
<ul style="list-style-type: none">➤ 10トンを超えないこと。	<ul style="list-style-type: none">➤ 評価単位は測定単位と同様の100kg

クリアランス審査基準に対する適合性について(3/7)

3. 放射能濃度の決定方法(クリアランス審査基準3. 3項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<p>➤ 放射線測定法によって放射能濃度を決定する場合には、放射線測定値、測定効率、測定条件、データ処理に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていること。</p>	<p>➤ 放射線測定値、測定条件等に起因する不確かさの要因を抽出</p> <p>➤ 抽出した要因を定量化し、相対拡張不確かさを評価</p> <p>➤ 放射線測定からデータ処理まで、不確かさを考慮して放射線測定法により放射能濃度を決定</p>
<p>➤ 上記に掲げる不確かさを考慮しても評価単位における評価に用いる放射性物質の$\sum(D_j/C_j)$の信頼の水準を片側95%としたときの上限值(以下「95%上限値」という。)が1を超えないこと。</p>	<p>➤ 放射線測定値においては、信頼の水準を片側99.9%としたときの包含係数を用いて評価</p> <p>➤ 測定条件等においては、信頼の水準95%の包含係数を乗じた相対拡張不確かさを放射能換算係数に乗じて評価</p>

クリアランス審査基準に対する適合性について(4/7)

4. 放射線測定装置及び測定条件(クリアランス審査基準3. 4項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 測定効率が適切に設定されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 均一に放射能が分布している解析モデルを用いて、あらかじめ解析評価して、放射能換算係数及び安全率を設定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 当該測定装置が申請書に記載されている性能を有していることが確認されていること。標準線源を用いて実測するときは、放射能濃度測定値が最小となるような模擬線源の配置を含んでいること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ バックグラウンド性能、相対誤差、放射能換算係数、安全率および検出限界値の性能を評価 ➤ 不確かさを考慮した放射能換算係数と安全率を乗じ、標準線源から設定したCo-60放射能量(設定値)と模擬廃棄物から設定したCo-60放射能量(測定値)を評価 ➤ 安全率は、トレイ上の最も感度が低い場所に放射能が集中している場合を想定して設定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ クリアランスレベル以下であることの判断が可能となるよう検出限界値が設定されていること。また、測定場所周辺のバックグラウンドの状況等が考慮されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Co-60の検出限界放射能濃度は、Co-60のクリアランスレベル(0.1Bq/g)よりも十分低い値を設定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 測定単位の放射能濃度を測定した結果、検出限界値以下である場合には、当該測定単位の放射能濃度の値が検出限界値と同じであるとみなしていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 検出限界未満であった場合には、Co-60の放射能濃度の測定値は検出限界値と設定

クリアランス審査基準に対する適合性について(5/7)

5. 異物の混入等の防止措置(1/2)(クリアランス審査基準3. 5項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 容器等に収納する場合は、当該容器等に封入し、施設内のあらかじめ定められた放射性物質による追加的な汚染のない場所で保管していること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度確認対象物は、容器に封入した状態で汚染のおそれのない管理区域に保管
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度を担当する部署の者及び事業者から承認を受けた者以外の者が保管場所に立ち入らないようにするための制限を行っていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 保管場所の施錠管理により立入りを制限
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 測定後の放射能濃度確認対象物に測定前の放射能濃度確認対象物等が混入しないように措置を講じること。異物が混入した場合にもその状況が確認できるようモニター撮影する等の措置を講じること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 測定前後の放射能濃度確認対象物が混在しないよう、区画により物理的に分離 ➤ 測定時に放射能濃度確認対象物をモニター撮影し、記録
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度の測定後から原子力規制委員会の確認が行われるまでの間の事業者の管理体制が厳格な品質管理の下になされること等の措置を講じること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 原子炉施設保安規定および原子力発電の安全に係る品質保証規程並びに下部規程において具体的な運用の手順を規定 ➤ 継続的な改善活動を実施

クリアランス審査基準に対する適合性について(6/7)

5. 異物の混入等の防止措置(2/2)(クリアランス審査基準3.5項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射能濃度測定装置の設置場所を追加的な汚染のない場所とすること。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ トレイ型専用測定装置は、保守点検建屋内の追加的な汚染のおそれのない管理区域に設置
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射能濃度確認対象物の運搬に当たっては、追加的な汚染のおそれのある場所を通らないルートを選定すること等の措置を講ずること。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射能濃度確認対象物の運搬に当たっては、追加的な汚染が発生するおそれのある場所を通らない経路を選定
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 原子力規制委員会による確認において、経年劣化によって放射能濃度の測定が認可を受けた方法に従って行われていることを判別できない状況が発生することを防止するため、評価に用いる放射性物質のうち放射線測定法によって放射能濃度を測定する放射性物質の半減期を超える管理をしないこと、放射能濃度確認対象物の表面において放射線の測定効率が大きくかわるような腐食や劣化が生じないように管理を徹底すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 測定・評価した放射能濃度確認対象物は、評価時点よりCo-60の半減期以内に確認の申請を実施 ▶ 放射能濃度確認対象物を封入した保管容器は、確認が終わるまで汚染のおそれのない管理区域(廃棄物庫内)に保管する。また保管エリアは施錠管理し、立入り制限を実施 ▶ 確認を受けるまで保管容器を開放しないこととし、定期的な巡視により保管状態の確認を実施

クリアランス審査基準に対する適合性について(7/7)

6. 放射能濃度の測定及び評価のための品質保証(クリアランス審査基準4項)

審査基準に基づく要求事項	申請書記載内容
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 統一的に管理する者を定め、その責任を明らかにしていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度確認対象物の保管管理に係る業務を統一的に管理する者を組織の中で規定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度の測定及び評価に係る業務は、それぞれの業務に必要な知識及び技術を習得した者に行わせているとともに、当該業務を実施する上で定期的な教育及び訓練についてのマニュアル等を定め、教育及び訓練を実施していることが確認できる体制が定められていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 業務に必要な知識及び技能を明確にし、業務を実施する者への教育及び訓練により知識技能を維持を規定 ➤ 測定及び評価に必要な知識及び技術を習得した者がそれぞれの業務を実施するよう規定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射線測定装置の点検及び校正についてのマニュアル等を定め、これに基づいて点検及び校正が行われていることが確認できる体制が定められていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 点検・校正等についての手順を規定 ➤ 定期的な点検・校正、保守管理を規定
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度確認対象物とそれ以外の廃棄物が混在することのないよう分別して管理する体制が定められていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 放射能濃度の測定から確認を受けるまでの間、保管場所等において、放射能濃度確認対象物に、放射能濃度確認対象物以外の物が混在しないよう分別管理を規定