

島根原子力発電所 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について

令和2年6月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 放射能濃度の測定及び評価方法の概要	.....	P2
2. 放射能濃度確認対象物の種類	.....	P3
3. 評価に用いる放射性物質の種類	.....	P4
4. 放射能濃度の評価単位	.....	P9
5. 放射能濃度を決定する方法	.....	P12
6. 放射線測定装置の種類及び測定条件	.....	P22
7. 放射能濃度確認対象物の管理方法	.....	P29
8. 品質マネジメントシステム	.....	P38

1. 放射能濃度の測定及び評価方法の概要

表－1 放射能濃度の測定及び評価方法の概要

申請項目	主な申請内容
放射能濃度確認対象物が生じる施設	<ul style="list-style-type: none"> ● 島根原子力発電所 1号炉及び2号炉のタービン建物
放射能濃度確認対象物の種類	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象物：低圧タービン（運転中） ● 汚染の状況：二次的な汚染
評価に用いる放射性物質の種類	<ul style="list-style-type: none"> ● Co-60
放射能濃度の評価単位	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定単位100kg以内，評価単位 1トン以内
放射能濃度を決定する方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要核種測定法
放射線測定装置の種類及び測定条件	<ul style="list-style-type: none"> ● トレイ型専用測定装置を選定 ● 検出限界値等の測定条件の設定
放射能濃度確認対象物の管理方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射能濃度確認対象物を保管容器で管理 ● 立ち入り制限等の実施
品質マネジメントシステム	<ul style="list-style-type: none"> ● 業務を実施する者への教育訓練の実施 ● トレイ型専用測定装置の管理等

2. 放射能濃度確認対象物の種類

表－2 放射能濃度確認対象物の種類

号炉	汚染の状況	放射能濃度確認対象物		主な材質	推定量
1号炉	二次的な汚染*1	低圧タービン*2	<ul style="list-style-type: none"> ● 低圧ダイヤフラム ● 低圧内部車室 	<ul style="list-style-type: none"> ● 炭素鋼 ● ステンレス鋼 ● 合金鋼 	約413トン
2号炉	二次的な汚染*1	低圧タービン*2	<ul style="list-style-type: none"> ● 低圧ダイヤフラム ● 低圧内部車室 	<ul style="list-style-type: none"> ● 炭素鋼 ● ステンレス鋼 ● 合金鋼 	約622トン
				合計	約1,035トン

* 1 : 原子炉内で生成した放射化腐食生成物及び核分裂生成物である。

* 2 : 島根 1, 2号炉の運転中にタービン建物から撤去した際に発生した資材である。

3. 評価に用いる放射性物質の種類（1 / 5）

表－3 評価に用いる放射性物質の種類

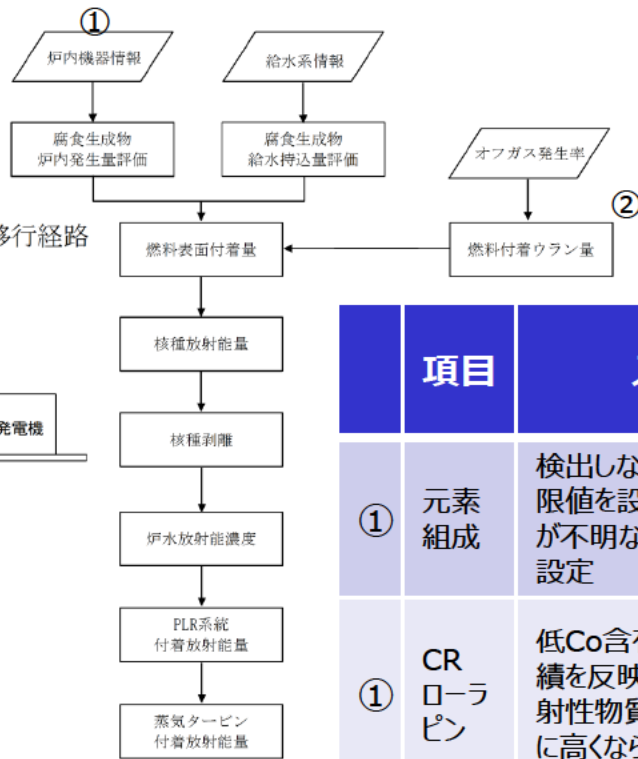
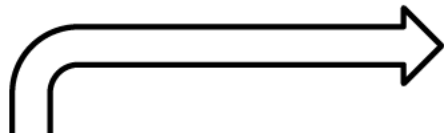
審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<ul style="list-style-type: none"> ●（省略）33種類の放射性物質 k と基準核種との放射能濃度比が計算等により算出されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射能濃度比（比率*）を汚染移行経路を踏まえた計算（評価フロー）により評価 	<p>図－1， 表－4</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 二次的な汚染（省略）については、放射性物質の種類が幅広く選定されるよう、合理的な範囲で当該計算及び評価がなされていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● Co-60以外のCP核種が増加するように低Co含有量の材質等を設定 ● 濃度不明の元素は1,000ppmで設定等 	<p>図－1</p>
<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"> ● 33種類の放射性物質の比率（占有率*）を計算 	<p>表－4</p>
<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"> ● Co-60を選定した。33種類の放射性物質のうちCo-60が90%以上のため。 	<p>表－5</p>
<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"> ● フォールアウトの影響はなし。 	<p>表－6</p>

*：申請書における表現を示す。

3. 評価に用いる放射性物質の種類 (2 / 5)

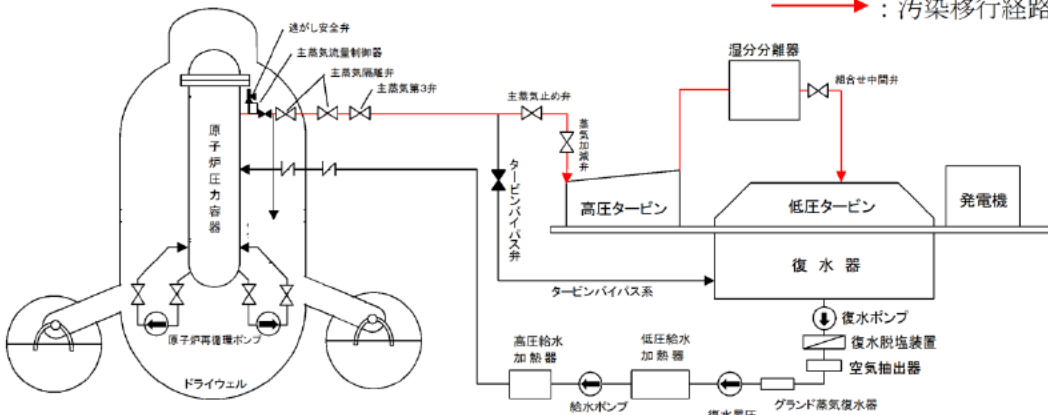
島根 1, 2 号炉の放射性物質の汚染移行経路を考慮した計算 (評価フロー) により, 放射能濃度確認対象物の付着放射エネルギーを求める。

放射性物質の汚染移行経路を評価フロー化



	項目	入力条件*
①	元素組成	検出しなかった元素は検出下限値を設定し, 文献等で濃度が不明な元素は1,000ppmに設定
①	CRローピン	低Co含有量のCFAの使用実績を反映し, Co-60が他の放射性物質に対し, 比率が過度に高ならないように評価
②	燃料付着ウラン量	全量が燃料表面上に吸着するとしウランの燃料表面付着量を評価

二次的な汚染の評価フロー (計算により評価)



島根 2 号炉 (例) 汚染移行経路

* : 放射性物質が幅広く選定されるように元素組成, 低Coの材質等の設定を行う。

図-1 評価に用いる放射性物質の選定の評価方法

3. 評価に用いる放射性物質の種類（3 / 5）

付着放射エネルギーから比率を求める。比率を33種類の放射性物質の比率の総和で除して、占有率が90%以上の放射性物質を評価する。

表－4 33種類の放射性物質の比率と占有率の評価

33種類の二次的な汚染の比率（島根2号炉の例）

No	放射性物質の種類	低圧タービン		
		発生時点	9年後	34年後
1	H-3			
2	C-14			
3	Cl-36			
4	Ca-41			
5	Sc-46			
6	Mn-54			
7	Fe-55			
8	Fe-59			
9	Co-58			
10	Co-60			
11	Ni-59			
12	Ni-63			
13	Zn-65			
14	Sr-90			
15	Nb-94			
16	Nb-95			
17	Tc-99			
18	Ru-106			
19	Ag-108m			
20	Ag-110m			
21	Sb-124			
22	Te-123m			
23	I-129			
24	Cs-134			
25	Cs-137			
26	Ba-133			
27	Eu-152			
28	Eu-154			
29	Tb-160			
30	Ta-182			
31	Pu-239			
32	Pu-241			
33	Am-241			

33種類の放射性物質の占有率（島根2号炉の例）

No	放射性物質の種類	低圧タービン (%)	
		9年後	34年後
1	H-3		
2	C-14		
3	Cl-36		
4	Ca-41		
5	Sc-46		
6	Mn-54		
7	Fe-55		
8	Fe-59		
9	Co-58		
10	Co-60		
11	Ni-59		
12	Ni-63		
13	Zn-65		
14	Sr-90		
15	Nb-94		
16	Nb-95		
17	Tc-99		
18	Ru-106		
19	Ag-108m		
20	Ag-110m		
21	Sb-124		
22	Te-123m		
23	I-129		
24	Cs-134		
25	Cs-137		
26	Ba-133		
27	Eu-152		
28	Eu-154		
29	Tb-160		
30	Ta-182		
31	Pu-239		
32	Pu-241		
33	Am-241		
33種類合計			

3. 評価に用いる放射性物質の種類（4 / 5）

島根原子力発電所 1, 2 号炉の放射能濃度確認対象物の放射性物質はCo-60が、それぞれの時点において90%以上を占有すると評価した。

表－5 島根原子力発電所 1, 2 号炉 放射性物質の選択

号 炉	時 点	放射性物質 (%)	
		Co-60	Co-60以外* 1
1 号炉	23年後* 2		
	48年後* 3		
2 号炉	9 年後* 2		
	34年後* 3		

* 1 : 規則別表第 1 の第 1 欄に示すCo-60以外の32種類の放射性物質

* 2 : 放射能濃度の測定及び評価を開始する予定時点（2021年4月1日を想定）

* 3 : 放射能濃度の測定及び評価を完了する予定時点（2046年3月31日を想定）

3. 評価に用いる放射性物質の種類（5 / 5）

「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係るフォールアウトによる原子力施設における資材等の安全規制上の取扱いについて（平成24・03・26原院第10号 平成24年3月30日）」によりフォールアウトによる影響の有無を確認した。島根原子力発電所の敷地内の測定値が理論検出限界曲線の検出限界値未満であったことからフォールアウトの影響を考慮する必要はない。

表－6 フォールアウトの影響調査結果

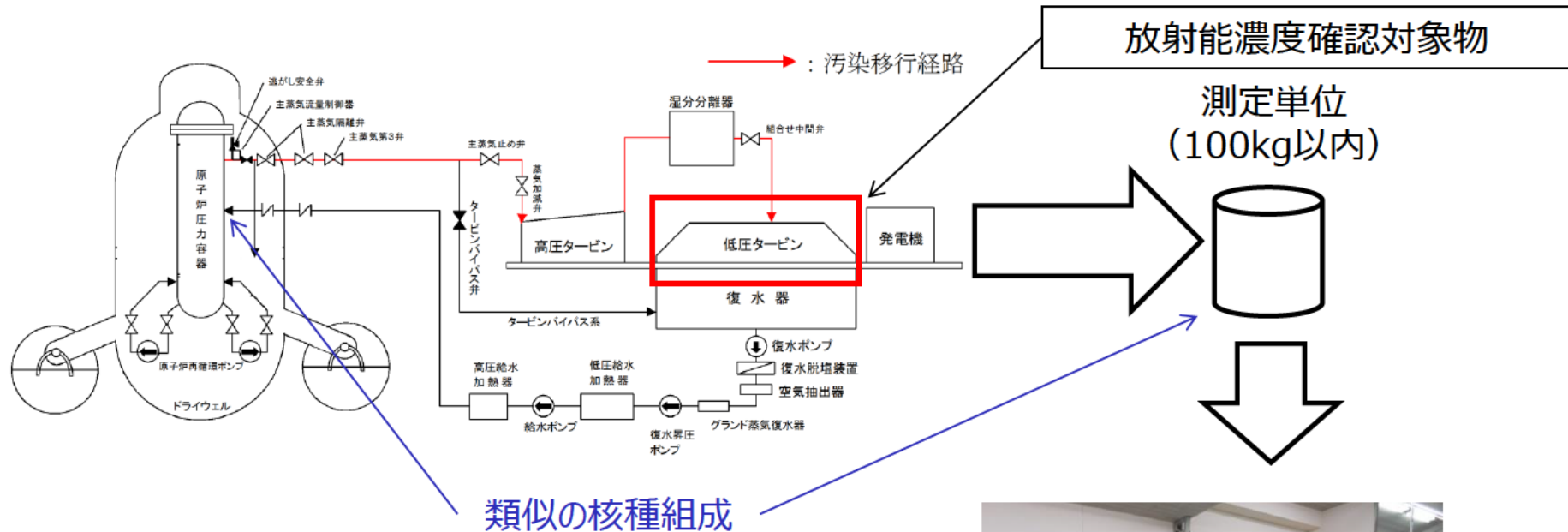
項目	影響調査結果
調査個所	<ul style="list-style-type: none">● 屋外：降下物が堆積しやすい建屋屋上の構造物● 屋内：外気の取り入れ箇所や吹き出し箇所の近傍及びシャッター近傍
測定結果	<ul style="list-style-type: none">● 検出限界値未満
評価	<ul style="list-style-type: none">● 放射能濃度確認対象物の汚染性状として、フォールアウトの影響を考慮する必要はなし。

4. 放射能濃度の評価単位（1 / 3）

表－7 放射能濃度の評価単位

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<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異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"> ● 二次的な汚染である。原子炉内で生成した放射化腐食生成物及び核分裂生成物がタービン建物に伝播した類似の組成であり、汚染の程度は大きく異なる。 	<p>図－2</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 評価単位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"> ● 表面汚染密度測定及び必要により実施する物理除染により、$\Sigma D_j / C_j$が10を超えないことを確認する。 	<p>表－8</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 10トンを超えないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1トン以内 	<p>—</p>

4. 放射能濃度の評価単位 (2 / 3)



- 汚染の種類は二次的な汚染である。
- 原子炉内で生成した放射化腐食生成物及び核分裂生成物が汚染移行経路によりタービン建物に伝播する。
- 汚染移行経路によるタービン建物への伝播のため、測定単位の核種組成は、原子炉で生成した核種組成と類似である。



トレイ型専用測定装置

図 - 2 測定単位の要求事項に対する考え方

4. 放射能濃度の評価単位 (3 / 3)

表面汚染密度測定及び物理除染により、放射性物質の $\Sigma D_j/C_j$ が10を超えない確認方法を以下に示す。

表－8 表面汚染密度測定等による汚染の程度の確認

項目		確認方法
表面汚染密度測定	確認方法	
	前提条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 密度：対象物の密度（炭素鋼なら7.8g/cm³） ● 厚さ：対象物の厚さ（1 cm以上）
物理除染		<ul style="list-style-type: none"> ● ブラスト除染装置等による物理除染により放射能濃度確認対象物の表面汚染を除去する。除染後に表面汚染密度測定を行い$\Sigma D_j/C_j$が10を超えていないことを確認する。

- * 1 : 放射性物質の $\Sigma D_j/C_j$ が10を超えないこと。
- * 2 : 個々のGM式サーベイメータで異なる。使用するGM式サーベイメータが複数台の場合は個々に判定基準（カウント数）を求める。

5. 放射能濃度を決定する方法（1 / 10）

表－9 放射能濃度を決定する方法

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> Co-60を主要核種測定法で測定する。 評価単位の放射能濃度は，測定単位の放射エネルギーを求め，評価単位の重量で除して求める。 放射線測定値，測定効率等に起因する不確かさの要因を抽出する。抽出した要因を定量化し拡張不確かさを評価する。放射線測定からデータ処理まで，不確かさを見積もっており適切である。 	図－3～ 図－7 表－10～ 表－12
<ul style="list-style-type: none"> 評価単位における評価に用いる放射性物質の$\Sigma D_j / C_j$の信頼の水準を片側95%としたときの上限値が1を超えないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 信頼の水準90%の包含係数を乗じた拡張不確かさを加算した安全率を放射能換算係数に乗じることで95%上限値を求める。 95%上限値が1を超えないことを評価する。 	図－3 表－13

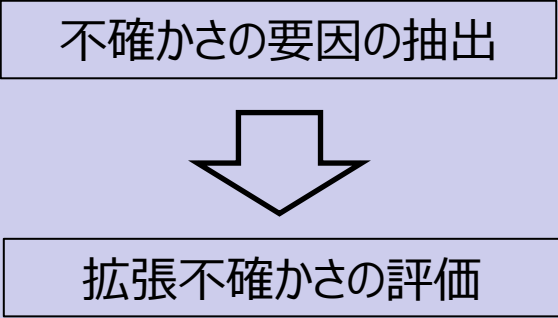
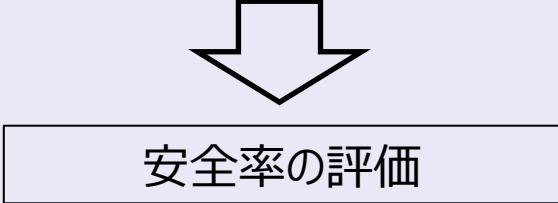
5. 放射能濃度を決定する方法（2 / 10）

表－10 Co-60放射能濃度の測定単位及び評価単位の求め方

区分	概要	求め方
測定単位	<ul style="list-style-type: none"> ● トレイ型専用測定装置で計測されたγ線の計数率が全てCo-60から放出された放射線によるものとして放射能濃度を決定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● $C_{Co} = F_s \times CF \times C_{ts} / W$ ● C_{Co} : Co-60放射能濃度 (Bq/g) ● F_s : Co-60に対する安全率 ● CF : Co-60に対する放射能換算係数 (Bq/s⁻¹) ● C_{ts} : 全γ線計数率 (s⁻¹) ● W : 放射能濃度確認対象物の重量 (g)
評価単位	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定単位のCo-60の総和の放射エネルギーを求め、放射能濃度確認対象物の重量で除して求める。 ● 測定単位の重量100kg以下、評価単位の重量は1トン以内とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定単位のCo-60の放射能濃度に測定単位の重量を乗じて、Co-60の総和の放射エネルギーを求める。 ● Co-60の放射エネルギーを評価単位の放射能濃度確認対象物の重量で除して求める。

5. 放射能濃度を決定する方法（3 / 10）

不確かさは、「測定における不確かさの表現のガイド（GUM）ハンドブック」（一般財団法人日本規格協会）に従い評価する。

審査基準	不確かさの評価方法	
不確かさに関する適切な説明がなされていること。	 <p>不確かさの要因の抽出</p> <p>↓</p> <p>拡張不確かさの評価</p>	<ul style="list-style-type: none">● 放射線測定法から不確かさの要因を処理フローと特性要因図により抽出● 不確かさの要因を定量化（拡張不確かさ）し数値で表現する。
95%上限値が1を超えないこと。	 <p>↓</p> <p>安全率の評価</p>	<ul style="list-style-type: none">● 拡張不確かさに1を加算した数値を安全率とする。安全率を放射能濃度換算係数に乗じて、95%上限値を評価する。● 95%上限値が1を超えていないことを確認する。

図－3 不確かさの定量評価

5. 放射能濃度を決定する方法 (4 / 10)

放射線測定法を処理フロー化し、全γ線計数率、放射能濃度換算係数等の不確かさの要因を抽出する。

【放射線測定法】

$$C_{Co} = F_s \times CF \times C_{ts} / W$$

ここで、 C_{Co} : Co-60の放射能濃度 (Bq/g)

F_s : Co-60に対する安全率

CF : Co-60に対する放射能換算係数 (Bq/s⁻¹)

C_{ts} : 全γ線計数率 (s⁻¹)

W : 放射能濃度確認対象物の重量 (g)

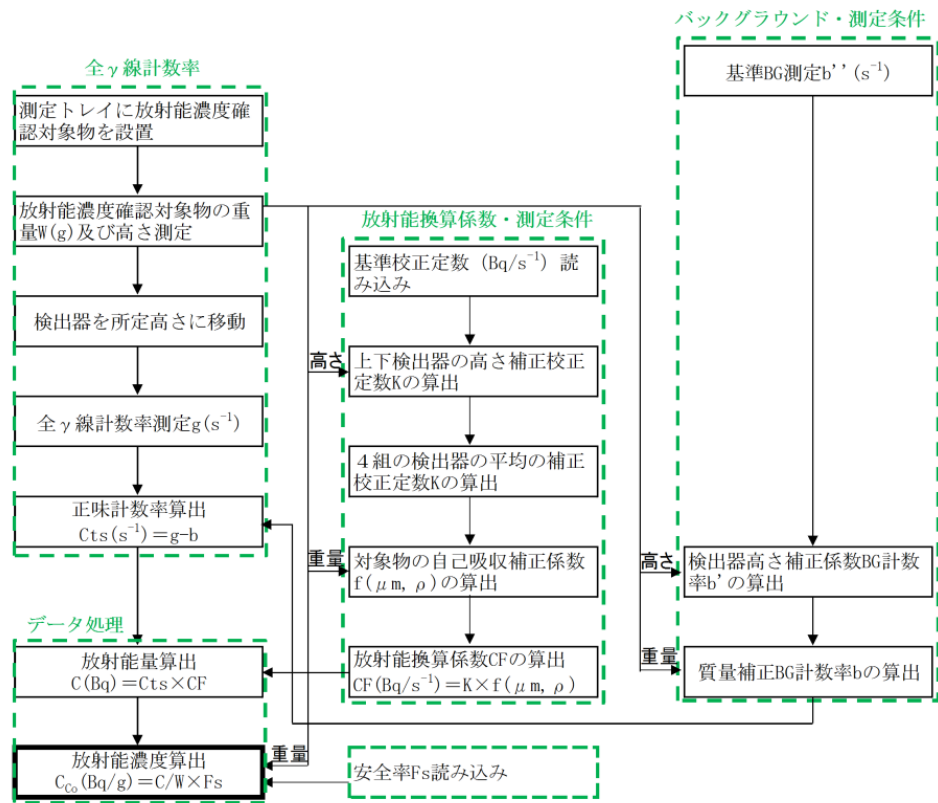
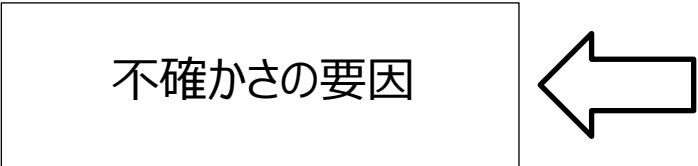
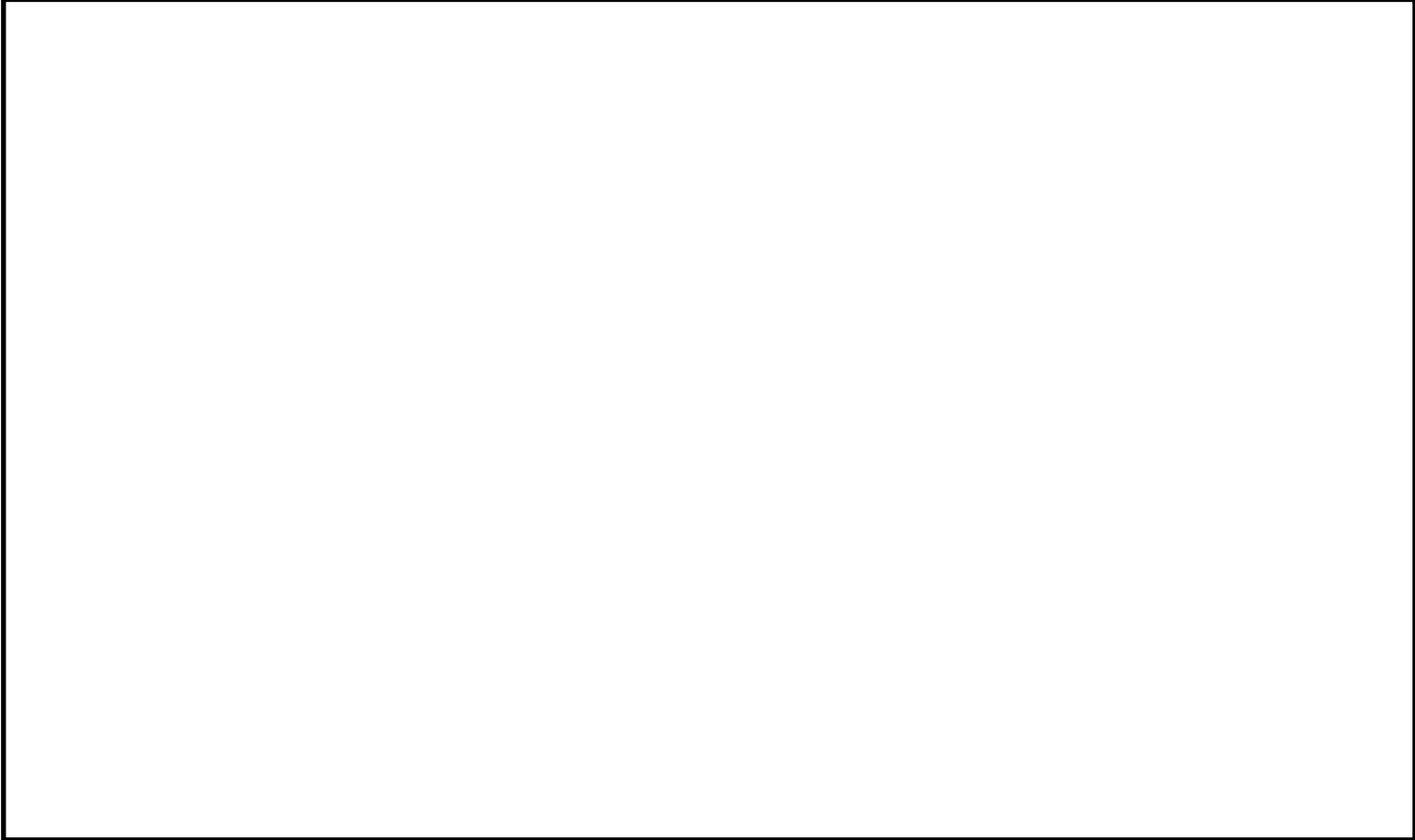


図 - 4 放射線測定法の処理フローと不確かさの要因の抽出

5. 放射能濃度を決定する方法（5 / 10）

図－4の放射線測定法の処理フローを特性要因図に展開し、漏れなく不確かさの要因を抽出する。



特性要因図の
枝が不確かさ
の要因である。

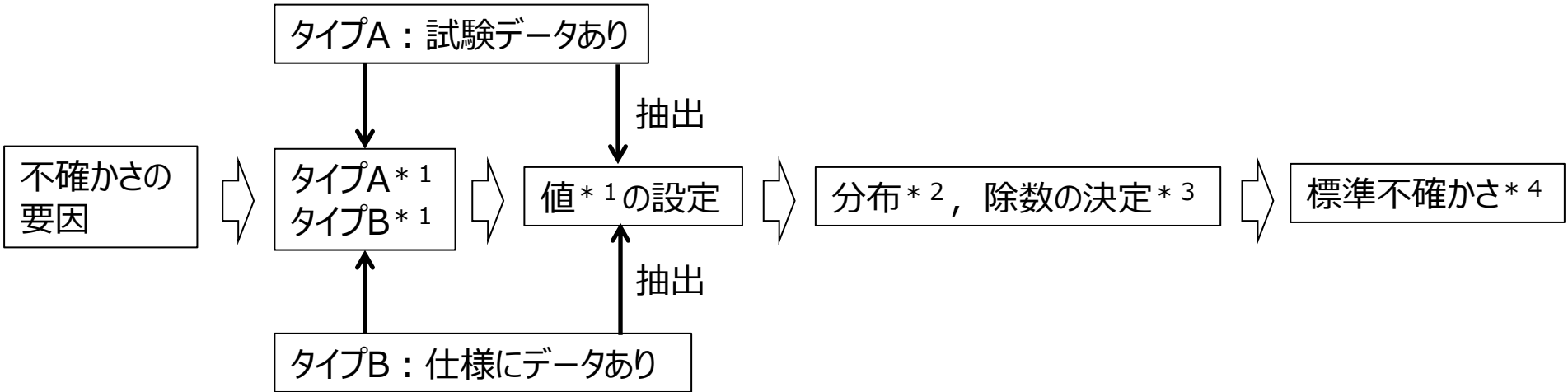
図－5 特性要因図による不確かさの要因の抽出

図 - 4, 5 から抽出した不確かさの要因を定量化する。定量化は、「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」に従い拡張不確かさで表す。

表 - 1 1 不確かさの定量化の方法

ステップ	項目	方法
①	標準不確かさの評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 不確かさの要因をタイプA,Bに分類し, 値を抽出する。 ● タイプAは値を標準不確かさとし, タイプBは値に除数により除して標準不確かさを求める。
②	相対標準不確かさの評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 標準不確かさをBq/gに単位換算する。 ● 標準不確かさ (Bq/g) を規則別表第 1 の第 2 欄 (Co-60) の放射能濃度で除して相対標準不確かさを求める。
③	拡張不確かさの評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 相対標準不確かさを合成 (二乗和し平方根による) し合成標準不確かさを求める。 ● 合成標準不確かさに包含係数を乗じて拡張不確かさを求める。

表 - 11ステップ①「標準不確かさの評価」の評価手順の詳細を以下に示す。



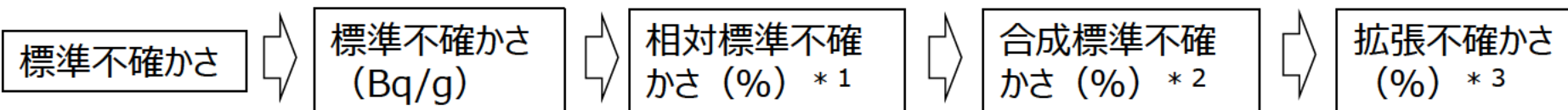
- * 1 : タイプA 試験等によりデータが得られた不確かさの要因, 値は標準偏差を示す。
 タイプB 仕様等によりデータが与えられた不確かさの要因および値
- * 2 : タイプA 試験データがあることから正規分布を仮定する。
 タイプB 分布が不明な場合は矩形, 仕様等で分布が与えられていれば正規分布
- * 3 : タイプA 1とする。
 タイプB データが正規分布を示すものは1, 正規分布を示し, かつ校正証明書に除数が与えられているものは2, 矩形分布を示すものは $\sqrt{3}$ とする。
- * 4 : タイプA 値を除数 (= 1) で除すため値と同じである。
 タイプB 値を除数により除して求める。

図 - 6 ステップ① 標準不確かさの評価の手順

5. 放射能濃度を決定する方法（8 / 10）

表－11ステップ②「相対標準不確かさの評価」及びステップ③「拡張不確かさの評価」の評価手順の詳細を以下に示す。

単位換算



- * 1 : 標準不確かさ (Bq/g) / 0.1Bq/g
(規則別表第1の第2欄のCo-60の放射能濃度)
- * 2 : 相対標準不確かさを二乗和し平方根により求める。
- * 3 : 合成標準不確かさ×包含係数
(包含係数は、右表に示す信頼の水準を90%としたときの包含係数 を切り上げて とする。)

95%上限値に相当する包含係数*3

--

出典：測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック (一般財団法人 日本規格協会)

図－7 ステップ②相対標準不確かさの評価および③拡張不確かさの評価の手順

5. 放射能濃度を決定する方法（9 / 10）

表－11ステップ①～ステップ③により評価した拡張不確かさを以下に示す。

表－12 拡張不確かさの評価（まとめ）

	不確かさ項目	不確かさ要因	相対標準不確かさ	備考	
全 γ 線計数率 (Net)	グロス計数率	検出器高さ等		—	
	BG計数率	BG変動等		—	
放射能換算係数 (CF)	校正定数	標準線源等		—	
	自己吸収補正	測定高さ等		—	
安全率 (Fs)		モデル形状と実形状の差等		—	
放射能濃度確認対象物の重量 (W)		丸め誤差等		—	
合成標準不確かさ (Uc)				Net～Wの和*1	
拡張不確かさ				Uc×包含係数*2	

* 1 : 相対標準不確かさを二乗和し平方根により求める。

* 2 : 包含係数は図－7より を適用する。

5. 放射能濃度を決定する方法 (10/10)

95%上限値が1を超えないことは、安全率を放射能換算係数に乗じることで評価する。1に拡張不確かさを加算したものを安全率とする。

信頼の水準90%の包含係数に乗じた拡張不確かさを加算した安全率を考慮することにより図-4の放射線測定法で求めた主要核種の放射能濃度は、95%上限値となる。この放射能濃度が規則別表第1の第2欄の放射能濃度を下回れば、「95%上限値が1を超えない」ことになる。

表-13 安全率の評価

$\Sigma D_i/C_i$	拡張不確かさ*1	安全率*2

* 1 : 表-12に示す拡張不確かさ

* 2 : 評価結果 $\Sigma D_i/C_i = Co-60$ の評価結果 $D_i/C_i = \text{実測値}D_i/C_i + \text{不確かさ} = \text{実測値}D_i/C_i + \text{実測値}D_i/C_i \times \text{拡張不確かさ} = \text{実測値}D_i/C_i (1 + \text{拡張不確かさ}) = \text{実測値}D_i/C_i \times \text{安全率}$

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件（1 / 7）

表－14 放射線測定装置の種類及び測定条件

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<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"> ● 放射能濃度確認対象物の自己吸収補正を踏まえた測定効率 	図－8
<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。模擬線源を用いて実測するときは、放射能濃度測定値が最少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，安全率及び検出限界値の性能を評価 ● 放射能濃度測定値が最少となる配置で安全率を評価した。 	表－15
<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BGの状況等が考慮されていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● クリアランスレベルよりも1桁低い0.040Bq/gを検出限界値に設定 	図－12
<ul style="list-style-type: none"> ● 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"> ● 検出限界値以下の場合にはCo-60の検出限界値とする。 	—

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件（2 / 7）

測定効率（以下「放射能換算係数」という）は、全 γ 線計数率が過小評価されないように自己吸収補正係数を考慮しているため、適切に設定している。

$$CF = K \times f(\mu_m, \rho)$$

CF : 放射能換算係数 (Bq/s^{-1})

K : 校正定数 (Bq/s^{-1})

$f(\mu_m, \rho)$: 自己吸収補正係数 (—)

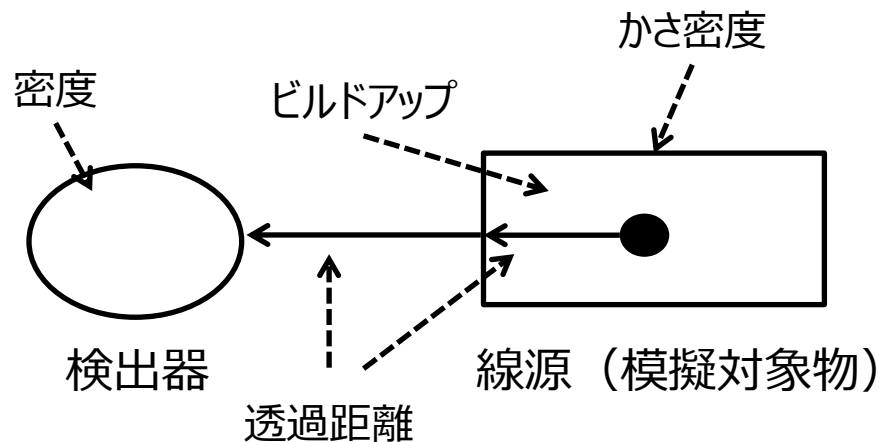


図 放射能換算係数の評価モデル

図－8 測定効率（放射能濃度換算係数）の適切な設定

- 放射能濃度確認対象物から検出器に入射する全 γ 線の計数率は、「かさ密度」、「ビルドアップ」、「透過距離」、「検出器の密度」等により増減する。
- 全 γ 線計数率が過小評価されないように「かさ密度」、「ビルドアップ」、「透過距離」、「検出器の密度」等を考慮した自己吸収補正係数を放射能換算係数の評価式に組み込んでいる。このため、放射能換算係数は適切である。

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件（3 / 7）

表-15 申請書に記載した性能

項目	性能	評価結果
バックグラウンド変動	至近のバックグラウンド測定値に対して±2.49%以内 (測定部内)	図-9
相対誤差	・バックグラウンド変動に起因する相対誤差：2.74% ・放射能換算係数の相対誤差：0%	図-9 図-11
安全率	<input type="text"/>	表-13 図-10
検出限界値	0.040Bq/g以下 (Co-60に対して)	図-12
測定重量	20～100kg (測定単位あたり)	図-12

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件（4 / 7）

トレイ型専用測定装置の検出限界値の構成要素にはBG変動に起因する相対誤差 r_1 がある。 r_1 は、自己吸収補正誤差の標準偏差とBGの変動係数の二乗和の平方根で求められる。自己吸収補正誤差 r_B の標準偏差 σ_1 は1.14%、BGの変動係数 σ_2 は2.49%である。二乗和し平方根にすると r_1 は2.74%である。



$$r_B = \frac{(N_{B0} - N_B)}{N_B}$$

$$r_1 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

- N_{B0} : 模擬試験体を載せた場合のBGの自己吸収補正計算値
 N_B : 模擬試験体を載せた場合のBG実測値
 r_B : BGの自己吸収補正誤差
 σ_1 : r_B の標準偏差
 σ_2 : トレイ型専用測定装置のBGの変動係数（標準偏差/平均値）

標準偏差 σ_1 および変動係数 σ_2 の評価

N_B	N_{B0}	r_B	BG(s^{-1})	標準偏差	
				平均値	
				変動係数 σ_2	2.49%
		標準偏差 σ_1			
		1.14%			

トレイ型専用測定装置によるBG測定結果（左表（ $N_B \sim r_B$ ）が模擬試験体あり、右表（BG～変動係数 σ_2 ）が模擬試験体なし）

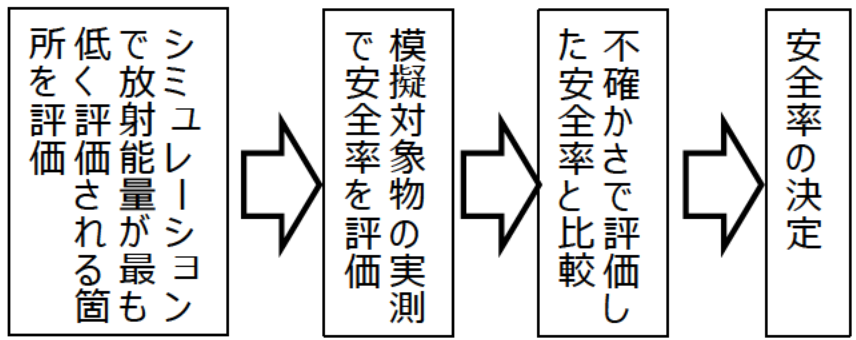
$$r_1 = \sqrt{1.14^2 + 2.49^2} = 2.74\%$$

図－9 相対誤差の評価

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件 (5 / 7)

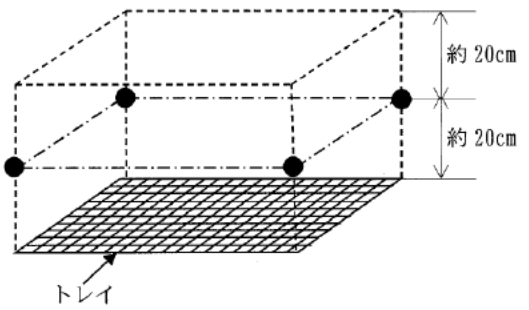
模擬線源の放射エネルギーが最も低くなる配置での試験により設定し評価した安全率は である。
表-13で評価した安全率 の方が高いため、安全率は とする。

安全率の評価手順



模擬対象物の実測による安全率の評価
 $\text{模擬対象物} \times \text{安全率} > \text{標準線源 (放射エネルギー)}$
 安全率の比較

不確かさ評価の安全率	模擬線源で評価した安全率



●: 放射エネルギーが最も低く評価される箇所 (4箇所のうち、いずれか1箇所)
 点線: トレイ (約80cm×約80cm) 上の測定領域 (高さ40cm以下)

放射エネルギーが最も低く評価される箇所の概念図
 (シミュレーション評価結果)

図-10 安全率の設定

放射能換算係数の相対誤差 r_2 は、安全率を設定するため0%とする。

$$r_{CF} = \frac{(A_E - A_C)}{A_E}$$

$$r_2 = 0 \quad r_{CF}$$

r_{CF} : トレイ型専用測定装置を用いた既知の標準線源を含む模擬試験体の測定値における放射能換算係数の相対誤差

A_E : 模擬試験体の既知の放射能量

A_C : 模擬試験体をトレイ型専用測定装置で測定したときの放射能評価値

A_E は、線源の既知の放射能量

$$A_E = A \text{ Bq}$$

A_C は、線源を実測したときの放射能量である。

$$A_C = A_M \text{ Bq} \times \boxed{}$$



$$A_E (A \text{ Bq}) < A_C (A_M \text{ Bq} \times \boxed{})$$

r_{CF} の評価式から r_{CF} は負の値になる。



模擬対象物の既知の放射能量より測定した時の放射能量が高く評価される ($A_E < A_C$) ことになり、換算係数の誤差を考慮しなくても放射能量を実際より低く評価するようなことはない。したがって r_2 を0にすることができる。

図-11 放射能換算係数の相対誤差の設定

6. 放射線測定装置の種類及び測定条件（7 / 7）

検出限界値は、以下の式により求める。検出限界値は、0.040Bq/g以下であり、規則第2条第1項の第2欄の放射能濃度以下であることの判断が可能である。

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

ここで、

A_{LD} : 検出限界値 (Bq)

k : 定数 (=3)

t_T : 測定時間 (s)

n_B : BG 計数率 (s^{-1})

t_B : BG 測定時間 (s)

CF : 放射能換算定数 (Bq/s^{-1})

r_1 : BG 変動に起因する相対誤差 (-)

r_2 : 放射能換算定数の相対誤差 (-)

自己吸収補正を考慮 * 1

測定場所周辺のBG
の状況を考慮 * 1

- * 1 : 審査基準に基づく要求事項（測定場所周辺のBGの状況，放射能濃度確認対象物の遮蔽効果等が考慮されていること）の対応
- * 2 : 検出限界値が，規則第2条第1項の第2欄（Co-60）の放射能濃度の1桁下になる重量範囲

図－12 検出限界値の評価

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法（1 / 9）

表－16 放射能濃度確認対象物の管理方法（1 / 3）

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<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、保管容器に封入した状態で、管理区域の外側に保管する。 	<p>図－13</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 放射能濃度確認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る立入制限等を行う。 	<p>表－17</p>
<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"> ● トレイ型専用測定装置の入口側と出口側を敷居の設置により物理的に分離する。 ● 測定時はカメラ撮影を行う。 	<p>図－14</p>

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法（2 / 9）

表-16 放射能濃度確認対象物の管理方法（2 / 3）

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<ul style="list-style-type: none"> ● 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"> ● 保安規定の下部規程に保管容器、保管場所等の管理と実施手順を定める。 	<p>図-15</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線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、1号炉の追加的な汚染のおそれのない管理区域に設置する。 ● 追加的な汚染のおそれのない管理区域はB区域内に設置する。 	<p>図-14</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 放射能濃度確認対象物の運搬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じること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 保管容器に封入することで追加的な汚染を防止する。 ● 保管容器は施錠可能な仕様とし、放射性物質の混入を防止する。 	<p>図-16</p>

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法 (3 / 9)

表-16 放射能濃度確認対象物の管理方法 (3 / 3)

審査基準に基づく要求事項	評価結果
<ul style="list-style-type: none"> ● 経年変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。腐食や劣化が生じないように管理を徹底すること等の措置を講ずること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価に用いる放射性物質の種類で選定したCo-60の半減期を超えない時期に原子力規制委員会の確認を受ける。 ● Co-60の半減期を超えない管理は、帳票により管理する。帳票に測定日を記載し、測定日を起点に半減期を超えない期限を帳票により管理する。 ● 測定後に放射能濃度確認対象物を保管容器に収納し、腐食や劣化が生じないように管理する。保管容器は施錠管理可能な仕様とし、保管容器の開放による腐食や劣化を防止する。

図-17

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法（4 / 9）

放射能濃度確認対象物を封入した保管容器は、確認を受けるまでの間、島根原子力発電所の管理区域の外側に保管する。

- ①～⑪：管理区域
①，②：放射能濃度確認対象物の発生領域

①～⑪以外の場所に保管容器の保管エリアを設定する。

管理区域の外側に保管する考え方

- トレイ型専用測定装置による測定前に物品搬出基準（実用炉規則第78条）を満足していることを確認しているため、管理区域の外側に保管可能である。

申請時点の構内図

図－13 放射能濃度確認対象物の保管

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法（5 / 9）

図－13の保管場所には，以下の立ち入り制限等を行う。

表－17 立ち入り制限等の内容

処置	対応	実施理由
● 立ち入り制限	● 放射能濃度確認担当箇所の所属員，同箇所から承認を受けた者以外は立ち入らない。	● 所属員及び承認を受けた者は教育訓練を受けており，異物混入防止に効果があるため。
● 保管場所の巡視	● 所属員又は承認を受けた者が保管場所の巡視を行う。	● 保管場所への異物の早期発見
● 保管量の確認	● 所属員又は承認を受けた者が保管量の数量確認を行う。	● 保管容器*以外の容器の発見
● 施錠管理	● 保管作業終了後に所属員又は承認を受けた者が保管場所を施錠する。	● 保管場所への異物の混入防止
● 保管容器の点検	● 保管容器の外観に異常のないことを確認する。	● 保管容器の破損防止による異物の混入防止

*：保管容器にはタグを付け対象物が確認（タグから対象物を追跡可能な仕様とする）できる。

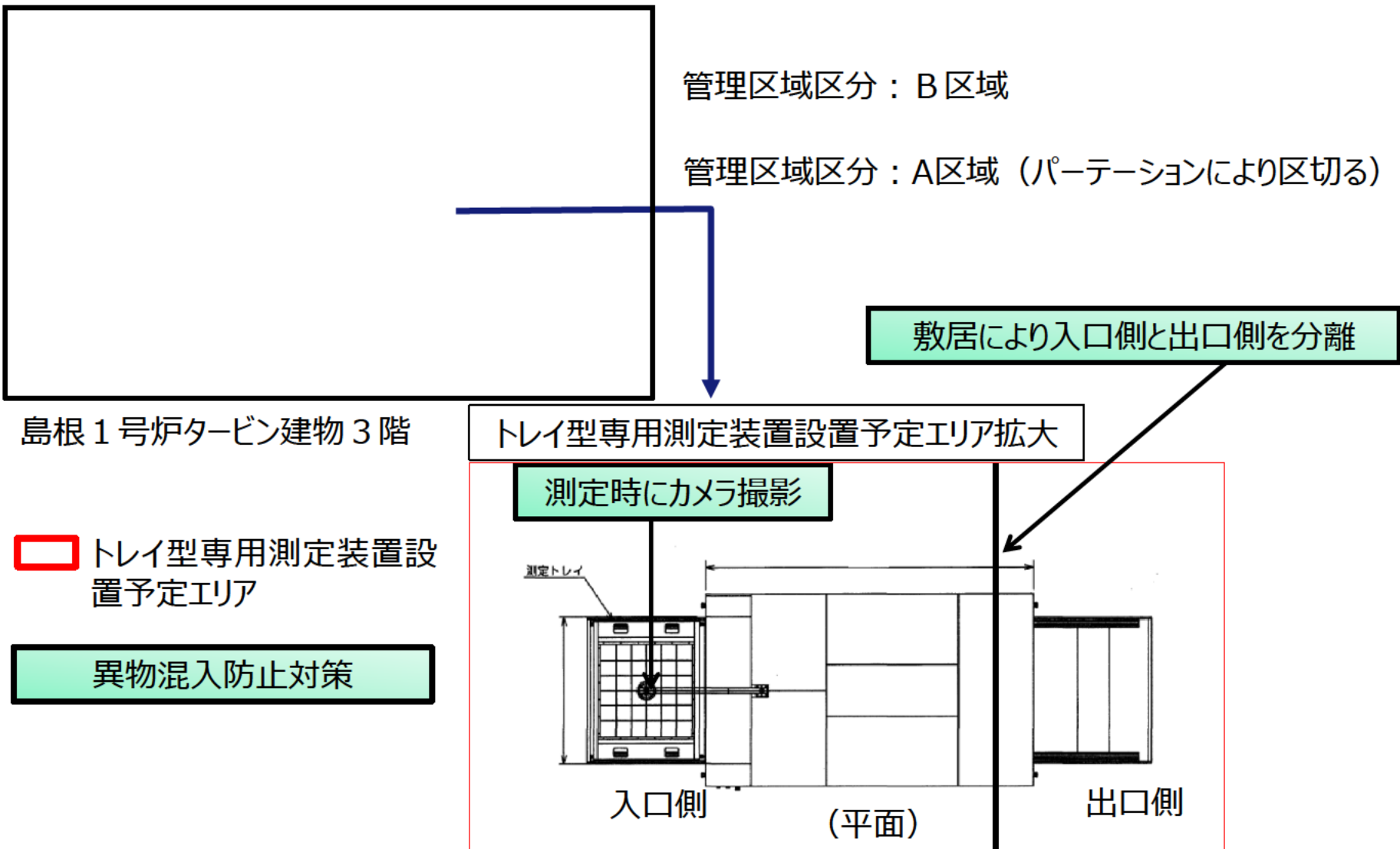
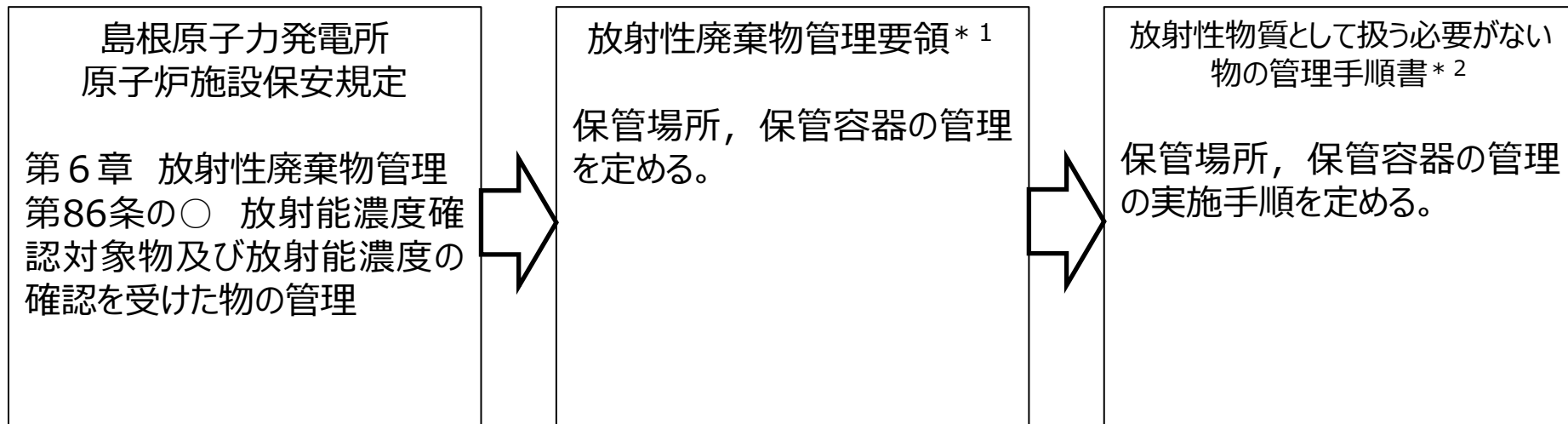


図-14 トレイ型専用測定装置 設置エリア及び異物混入防止対策

7. 放射能濃度確認対象物の管理方法（7 / 9）

「島根原子力発電所原子炉施設保安規定」で方針を示し、「放射性廃棄物管理要領」（二次文書）で管理を定め、「放射性物質として扱う必要がない物の管理手順書」（三次文書）で実施手順を定める。

保管場所，保管容器の管理を保安規定に紐づけることで，厳格な品質管理の下で行う。

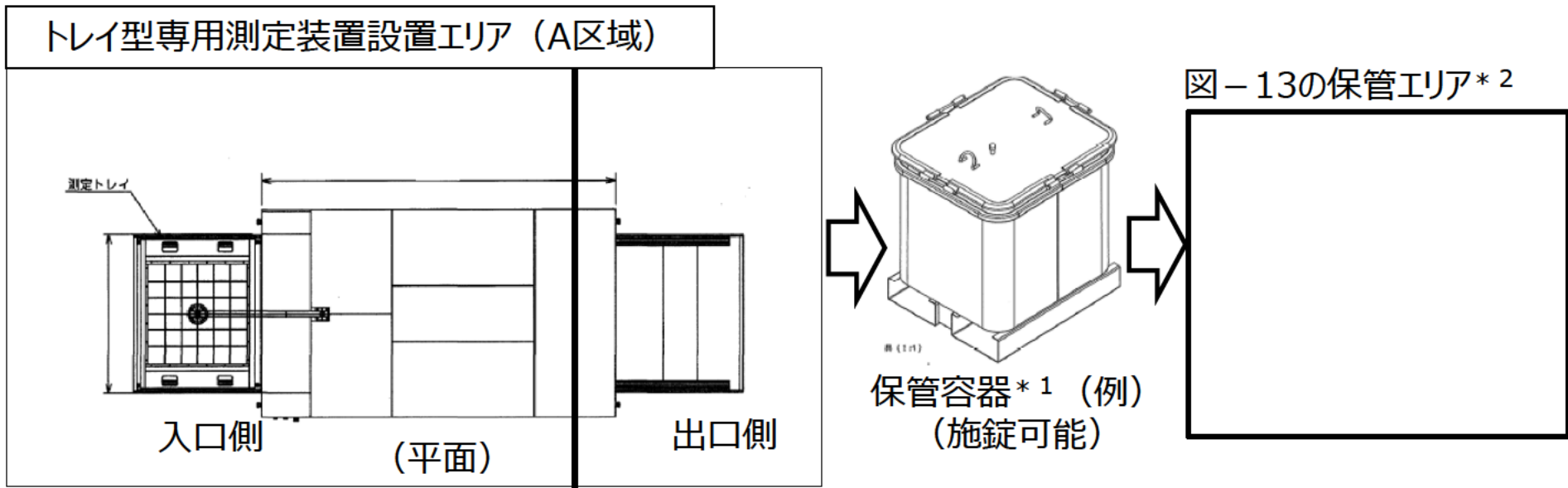


* 1 : 放射性廃棄物管理の遂行を定めた二次文書

* 2 : 放射能濃度確認対象物の測定及び管理等を遂行するための具体的事項を定めた三次文書

図－15 品質保証体系による管理体制

測定後の放射能濃度確認対象物は、保管容器に収納する。収納後～確認証を受領するまで保管容器から放射能濃度確認対象物を取り出さないことで、運搬における保管容器への異物の混入を防止する。



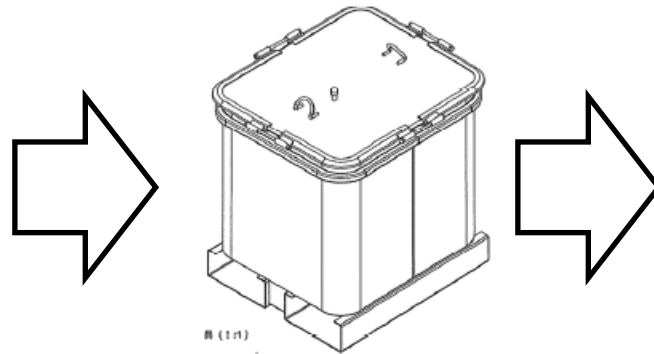
- * 1 : 測定後の放射能濃度確認対象物をトレイ型専用測定装置設置エリア（A区域）内で保管容器に収納する。
- * 2 : 保管エリアに保管容器を運搬し保管する。収納以降は、確認証を受領するまで保管容器を開けない。

図-16 追加的な汚染の防止措置

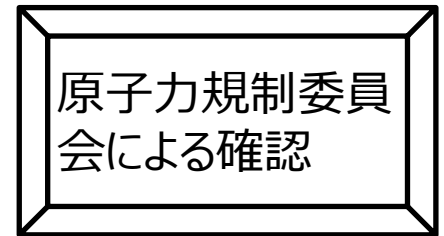
表 - 5 に示すCo-60が90%以上を占有する期間に放射能濃度確認対象物を測定し、Co-60の半減期を超えない期間に原子力規制委員会の確認を受ける。



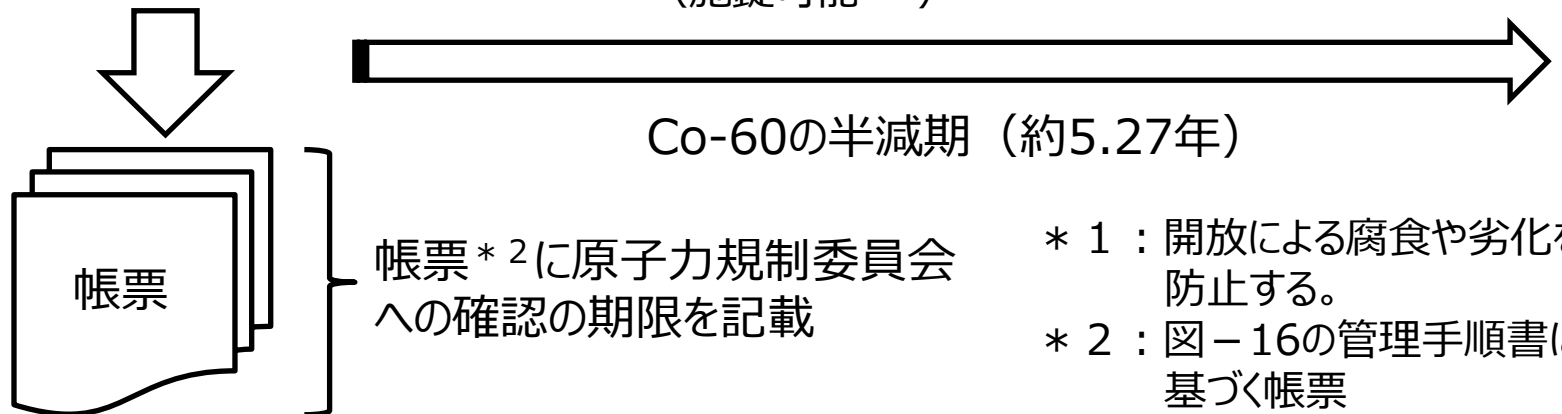
トレイ型専用測定装置



保管容器 (例)
(施錠可能*1)



原子力規制委員
会による確認



Co-60の半減期 (約5.27年)

帳票

帳票*2に原子力規制委員会
への確認の期限を記載

* 1 : 開放による腐食や劣化を
防止する。

* 2 : 図 - 16の管理手順書に
基づく帳票

図 - 17 経年変化を生じない管理

8. 品質マネジメントシステム（1 / 6）

表－18 品質マネジメントシステム

審査基準に基づく要求事項	評価結果	
<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"> ● 保安規定で業務を統一的に管理する者と責任を定める。 	図－18 表－19
<ul style="list-style-type: none"> ● 測定及び評価は、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社内認定制度による教育及び訓練により知識技能の維持を図る。 ● 教育及び訓練は下部規程に定めて実施する。 	表－20
<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線測定装置の点検及び校正のマニュアル等を定め、点検及び校正が行な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"> ● 定期的な点検・校正を含む保守管理を実施する。 ● 点検・校正は下部規程に定めて実施する。 	表－21
<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がないよう分別管理する体制が定められていること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分別管理を下部規程に定めて実施する。 	表－22

8. 品質マネジメントシステム（3 / 6）

島根原子力発電所保安規定第5条に組織の保安に関する職務を定める。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保管に関する業務を統一的に管理する者及び責任は保安規定第5条に従う。

表－19 責任の明確化

管理する者	責任	業務
社長	● 業務の統括	● 発電所における保安活動に係る品質マネジメントシステムの構築，実施，維持及び改善
電源事業本部長	● 業務の統括	● 品質マネジメントシステムの具体的な活動
電源事業本部部長 （原子力管理）	● 業務の統括	● 電源事業本部（原子力管理）が実施する。 発電所における保安に関する業務
発電所長	● 業務の統括	● 発電所における保安に関する業務
廃止措置・環境管理 部長	● 業務の統括	● 課長（放射線管理）及び課長（廃止措置 総括）の所管する業務
課長（放射線管理）	● 業務を行う	● 放射性廃棄物管理*

*：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保管に関する業務を含む。

測定及び評価に係る業務に必要な知識及び技術，教育及び訓練は，下部規程*¹に定めて実施する。

表－20 教育及び訓練

業務* ²	知識及び技術	教育及び訓練
識別・分別	● 放射能濃度確認対象物以外の種類，取り扱い	● 島根原子力発電所で発生する雑固体廃棄物の種類，取り扱い
切断	● 装置管理，切断装置による操作	● 切断装置の管理，操作訓練
除染	● 装置管理，除染装置による操作	● 除染装置の管理，操作訓練
測定・評価	● 装置管理，規則等，トレイ型専用測定装置の操作	● トレイ型専用測定装置の管理，操作訓練，規則等の知識
保管管理	● 異物の混入防止，保管容器の管理	● 異物の混入防止，保管容器の取り扱い
確認	● 放射性物質，保管容器の管理	● 経年変化，保管容器の取り扱い

* 1 : 図－15に示す手順書

* 2 : 島根原子力発電所 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申請書の図 8 - 1 に示す業務

トレイ型専用測定装置の定期的な点検校正を含む保守管理を実施する。主な点検校正内容を以下に示す。点検・校正は下部規程*¹に定めて実施する。

表-21 トレイ型専用測定装置の保守管理

項目	区分	頻度	内容
日常点検* ²	点検	● 測定開始前	● チェック線源による測定
	点検	● 測定開始前	● 装置の外観点検
	点検	● 測定開始前	● BG測定
定期点検	点検	● 1回/年	● 単体機器（重量計，高さ検出器等）の動作確認
	点検	● 1回/年	● 模擬対象物による測定動作確認
	点検	● 1回/年	● 標準線源を設定した模擬対象物の測定（安全率の確認）
	校正	● 1回/年	● 検出器の校正定数の評価
	校正	● 1回/年	● 相対誤差の評価

* 1 : 図-15に示す手順書

* 2 : 日常点検の内容は定期点検でも実施する。

図－17に示すトレイ型専用測定装置による測定から原子力規制委員会の確認（確認証の受領）を受ける間，放射能濃度確認対象物とそれ以外の一般廃棄物等が混在しないように分別管理を実施する。

分別管理は，下部規程（図－15に示す手順書）に定めて実施する。

表－22 分別管理の実施方法

業 務	分別管理		実施方法
	放射能濃度確認対象物	放射能濃度確認対象物以外	
測定・評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定評価の対象物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定評価の対象物以外 	<ul style="list-style-type: none"> ● 図－16に出口側で測定後に対象物を速やかに保管容器に収納する。
保管管理	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定評価完了の対象物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般廃棄物，資材 	<ul style="list-style-type: none"> ● 保管中は保管容器を開けないようにする。 ● 確認証を受領するまで開けないようにする。