

中国電力株式会社 審査資料	
資料番号	CL-E-05
提出年月日	令和2年8月3日

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

審査基準3.1 評価に用いる放射性物質の選定

審査基準3.2 評価単位

令和2年8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。

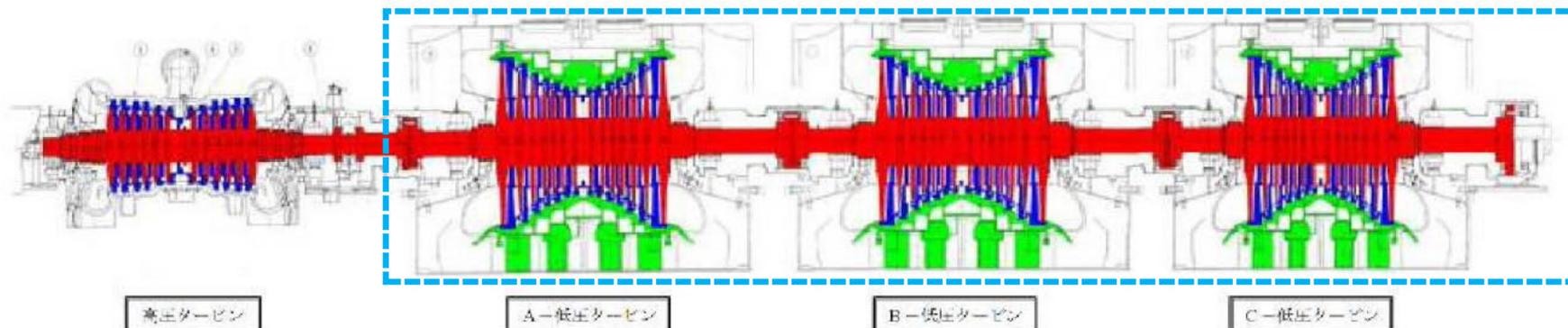
Energia

表－1 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。



- ▶ 青色：ダイヤフラム，緑色：低圧内部車室，赤色：タービンロータ及び動翼
- ▶ 島根1号炉の低圧タービンは2系統（A，B）
- ▶ 薄い点線の青色枠内のタービンロータを除く低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室が放射能濃度確認対象物

図 島根2号炉（例） 蒸気タービン概要図

島根1号炉		島根2号炉	
低圧ダイヤフラム	低圧内部車室	低圧ダイヤフラム	低圧内部車室
			

図-1 低圧タービンの放射能濃度確認対象物

放射能濃度確認対象物の種類

表-2 低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室の材質，重量及び寸法

号 炉	放射能濃度確認対象物	主な材質	重 量	総重量
1号炉	低圧ダイヤフラム	ステンレス鋼及び合金鋼	約231トン	約413トン
	低圧内部車室	炭素鋼	約182トン	
2号炉	低圧ダイヤフラム	ステンレス鋼及び合金鋼	約304トン	約622トン
	低圧内部車室	炭素鋼	約318トン	

合 計 約1,035トン

号 炉	放射能濃度確認対象物	寸 法
1号炉	低圧ダイヤフラム	外径 約4.1m (最大翼の14段)
	低圧内部車室	高さ 上半 約2.5m, 下半 約2.4m 最大外径 約5.8m
2号炉	低圧ダイヤフラム	外径 約4.4m (最大翼の13段)
	低圧内部車室	高さ 上半 約2.6m, 下半 約2.7m 最大外径 約6.0m

表－3 低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室の発生理由

号 炉	放射能濃度確認対象物	発生時期	発生理由
1号炉	低圧内部車室 低圧ダイヤフラム（14段）	1994年度	経年化により減肉による取り替えに伴い発生
	低圧ダイヤフラム（11～13段）	1996年度	同 上
	低圧ダイヤフラム（7～10段）	1997年度	同 上
2号炉	低圧内部車室 低圧ダイヤフラム（7～13段）	2016年度	予防保全の観点から取り替えに伴い発生

評価に用いる放射性物質の種類

表－４ 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) により評価した。 	図－ 3～ 5 表－ 7～ 9
<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"> ● 放射化汚染の影響はなし。 ● 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 	図－ 2 表－ 5～ 6
<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*) を計算した。 	表－ 10
<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。 	表－ 11
<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。 	表－ 12

* : 申請書における表現を示す。

N-17による放射化汚染の影響について、前提条件を設定した。

表－5 N-17による放射化汚染の影響評価の主な前提条件

前提条件	1号炉及び2号炉
材料	炭素鋼，ステンレス鋼及び合金鋼
照射期間	30年連続* 1
中性子束	熱中性子束，高速中性子，熱外中性子
計算コード	ORIGEN-S，ANISN
対象核種	33種類の放射性物質
冷却計算	2021年4月1日及び2046年3月31日を計算

* 1 : 島根1号炉は、運転期間のうち停止期間を差し引いた30年間以下を30年間連続照射とした。島根2号炉は、運転期間は30年未満だが、1号炉と同様に30年間連続照射とした。

設定した前提条件により放射化汚染を評価する。なお、放射化汚染の評価は計算評価である。

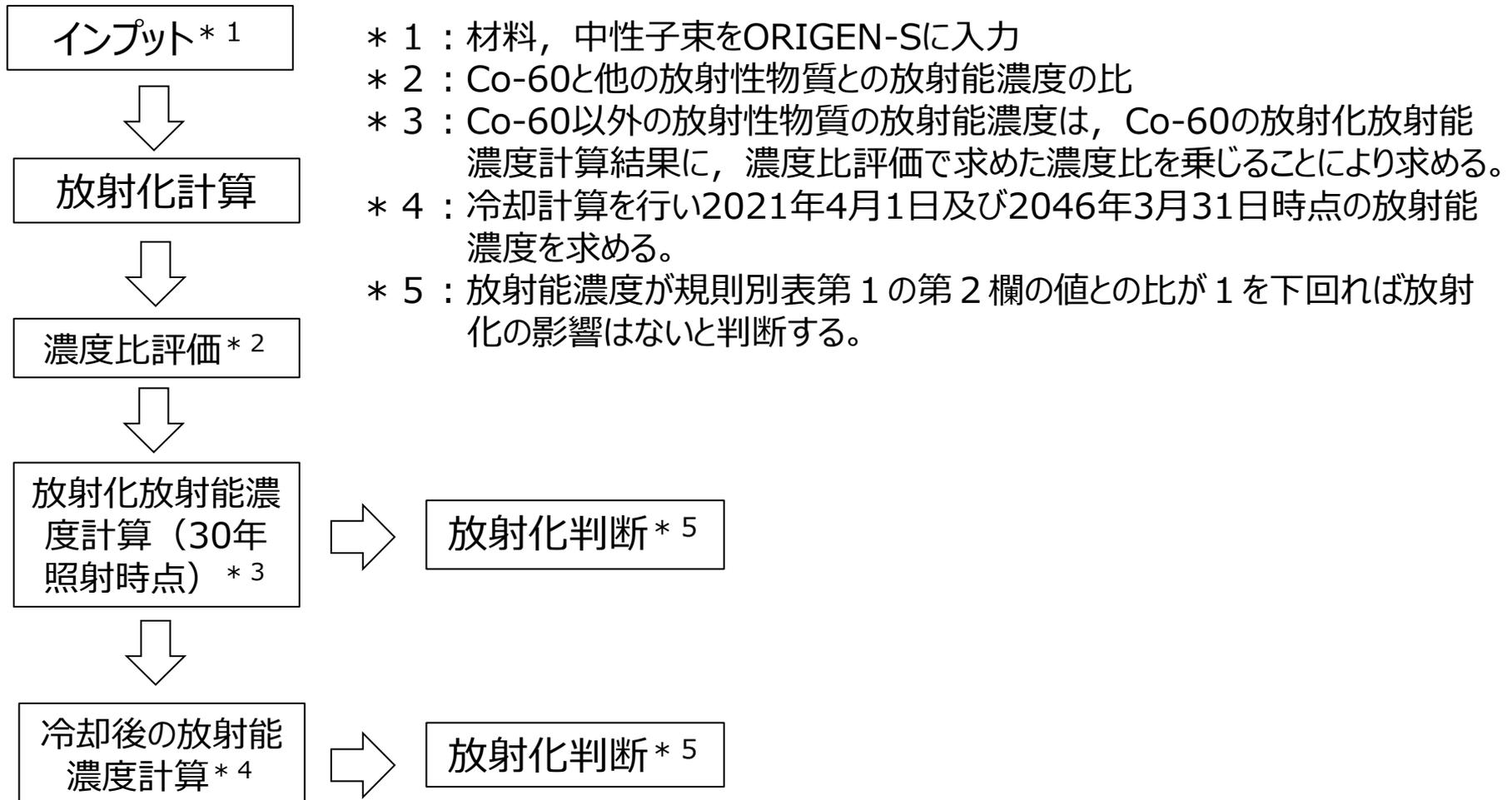


図-2 放射化汚染の評価フロー

放射化計算による材質の入力条件として、元素組成を設定する。ダイヤフラム及び低圧内部車室のそれぞれに材質を設定する。

表－6 放射化計算の材質の入力条件

号 炉	低圧タービン	ステンレス鋼	合金鋼	炭素鋼
1 号炉	ダイヤフラム	元素組成	元素組成	－
	低圧内部車室	－	－	元素組成
2 号炉	ダイヤフラム	元素組成	元素組成	－
	低圧内部車室	－	－	元素組成

設定する主な元素組成は申請書添付書類三の表 3－1 に示す19種類とした。33種類の放射性物質の生成起源から19種類に設定した。

設定した元素組成は、申請書添付書類三の表 3－1 に示す。

放射能濃度確認対象物の中性子束評価は、島根1, 2号炉タービン建物で行った中性子線量による測定結果*¹と比較し、計算結果*²が測定結果を上回ったことからN-17による放射化の影響がないことを確認した。

（申請書 添付書類三 図3-2参照）

- * 1 : 「放射性廃棄物でない廃棄物」の適用性を検討した際に測定
- * 2 : ANISNにより中性子線量と中性子束を評価
中性子束は申請書 添付書類三 表3-1参照

濃度比は、Co-60をKey核種として、Key核種以外の規則別表第1の第1欄に示す放射性物質の放射能濃度との比を計算する。ORIGEN-Sにより、照射完了後の放射エネルギーを計算する。

Co-60をKey核種として、濃度比を乗じて規則別表第1の第1欄の放射性物質の放射能濃度を評価し、高い放射能濃度を照射完了後の放射能濃度に採用する。

冷却後の放射能濃度は、半減期により減衰を考慮して計算する。冷却計算のタイミングは、放射能濃度確認対象物の測定及び評価を開始する時点と完了する予定時点である。評価した結果、照射直後～測定評価完了時まで検出された核種は存在しなかった。このため、放射化汚染を考慮する必要がないと評価した。

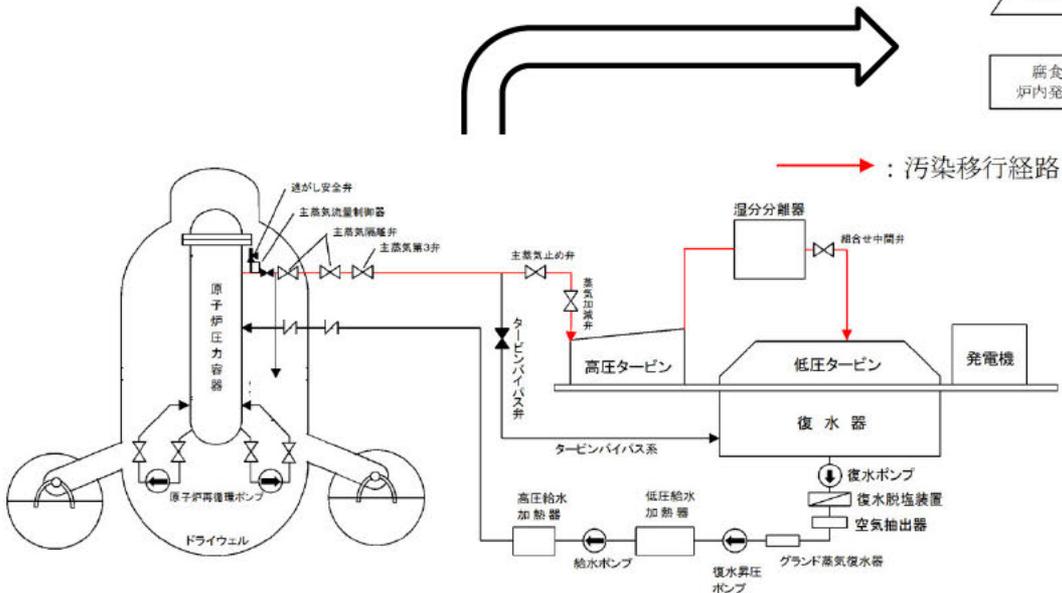
表－6 放射化汚染の影響 評価結果

号 炉	対象物	検出核種		
		照射直後	測定評価開始時	測定評価完了時
1号炉	低圧タービン	検出核種なし	検出核種なし	検出核種なし
2号炉	低圧タービン	検出核種なし	検出核種なし	検出核種なし

評価に用いる放射性物質の種類

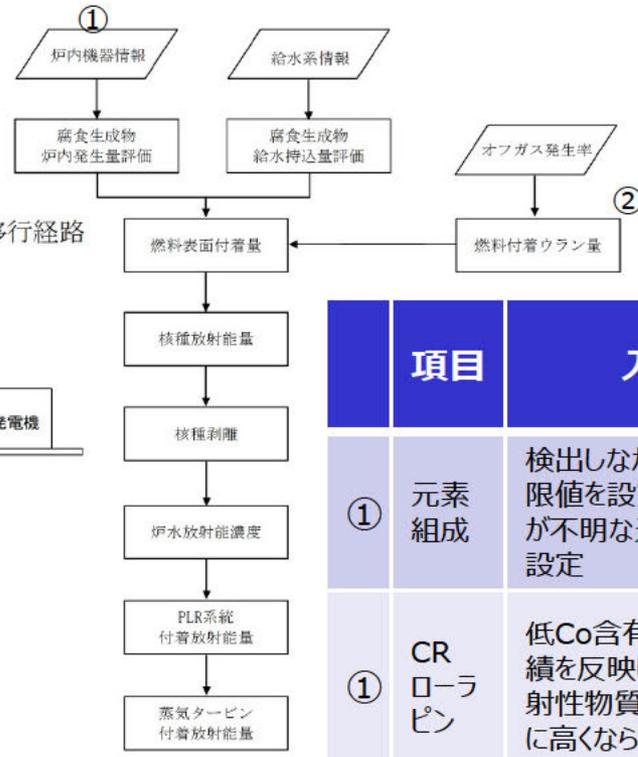
島根 1, 2 号炉の放射性物質の汚染移行経路を考慮した計算（評価フロー）により、放射能濃度確認対象物の付着放射エネルギーを求める。

放射性物質の汚染移行経路を評価フロー化



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。



二次的な汚染の評価フロー（計算により評価）

	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ローリン	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

図-3 評価に用いる放射性物質の選定の評価方法

二次的な汚染の評価にあたり，材質，燃料仕様，運転履歴等の条件を設定する。

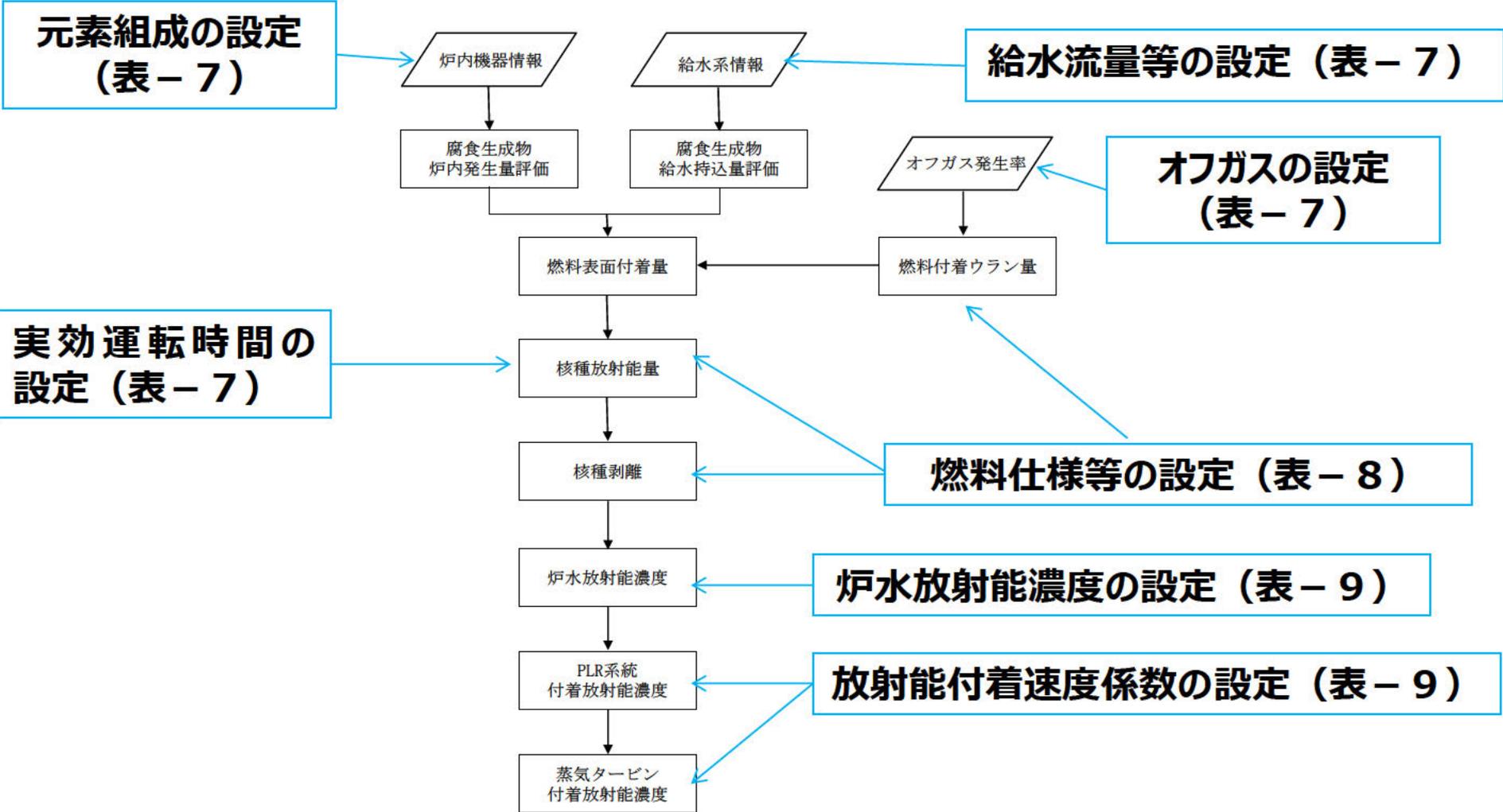


図-4 二次的な汚染の評価条件の設定

評価に用いる放射性物質の種類（汚染の機構）

給水系からの腐食生成物及び燃料付着ウラン量を設定するため、給水系の情報及びオフガスの入力条件を設定する。

表－7 評価に用いる放射性物質の種類の設定

項目	設定内容	理由
元素組成	炭素鋼，ステンレス鋼，ステライト及びステライト代替材* 1	原子炉の構成材のため。
実効運転時間	各号炉の1サイクルの停止期間を除く運転期間* 1	給水持込量等の評価条件のため。
給水流量	1号炉 2,458ton/h 2号炉 4,727ton/h	島根1, 2号炉の仕様のため。
給水金属濃度	各号炉の給水鉄，ニッケル，コバルト濃度* 1	給水系の分析対象のため。
給水持込量	給水持込量 = 給水金属濃度 × 給水流量 × 実効運転時間	燃料表面への付着量の評価に使用するため。
オフガス	各号炉のオフガス発生率* 1 Kr-85m, 87, 88 Xe-133, 135, 135m, 138	燃料表面に付着するウラン量の評価に使用するため。

* 1 : 申請書 添付書類三 表3 - 3 参照

評価に用いる放射性物質の種類（汚染の機構）

燃料に関する諸元から評価した燃料表面に蓄積する放射性物質と炉水核種濃度から核種剥離の割合を求める。

表－8 評価に用いる放射性物質の種類の種類燃料仕様等の設定

項目	設定内容	理由
対象燃料	1号炉 高燃焼度 8×8燃料 2号炉 9×9（A型）燃料	燃料量が最大のため。
ウラン組成	1号炉 U-235 3.4wt% 2号炉 U-235 3.7wt%	対象燃料の仕様のため。
炉心全ウラン量	1号炉 68ton 2号炉 97ton	島根1, 2号炉の仕様のため。
原子炉熱出力	1号炉 1,380MW 2号炉 2,436MW	島根1, 2号炉の仕様のため。
炉水核種濃度	Mn-54, Fe-59, Co-58, Co-60* 1	給水金属から放射化により生成するため。

* 1 : 申請書 添付書類三 表3-3参照

評価に用いる放射性物質の種類（汚染の機構）

33種類の放射性物質の炉水放射能濃度を設定する。

表－9 評価に用いる放射性物質の種類の炉水放射能濃度の設定

項目	設定内容	理由
炉水放射能濃度（H-3）	実測値* 1	化学形態が水であり、他の放射性物質と異なるため。
炉水放射能濃度（H-3以外の32種類の放射性物質）	放射能バランス式* 2から求めた炉水放射能濃度	付着放射能量の評価に使われるため。
付着速度係数	付着放射能濃度／系統毎放射能濃度 ／実効運転時間	放射能濃度確認対象物の付着放射能濃度を求めるため。

* 1 : 申請書 添付書類三 表3 - 3参照

* 2 : 放射能バランス式

評価に用いる放射性物質の種類

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-10 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			

評価に用いる放射性物質の種類

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 - 11 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)

評価に用いる放射性物質の種類

「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。

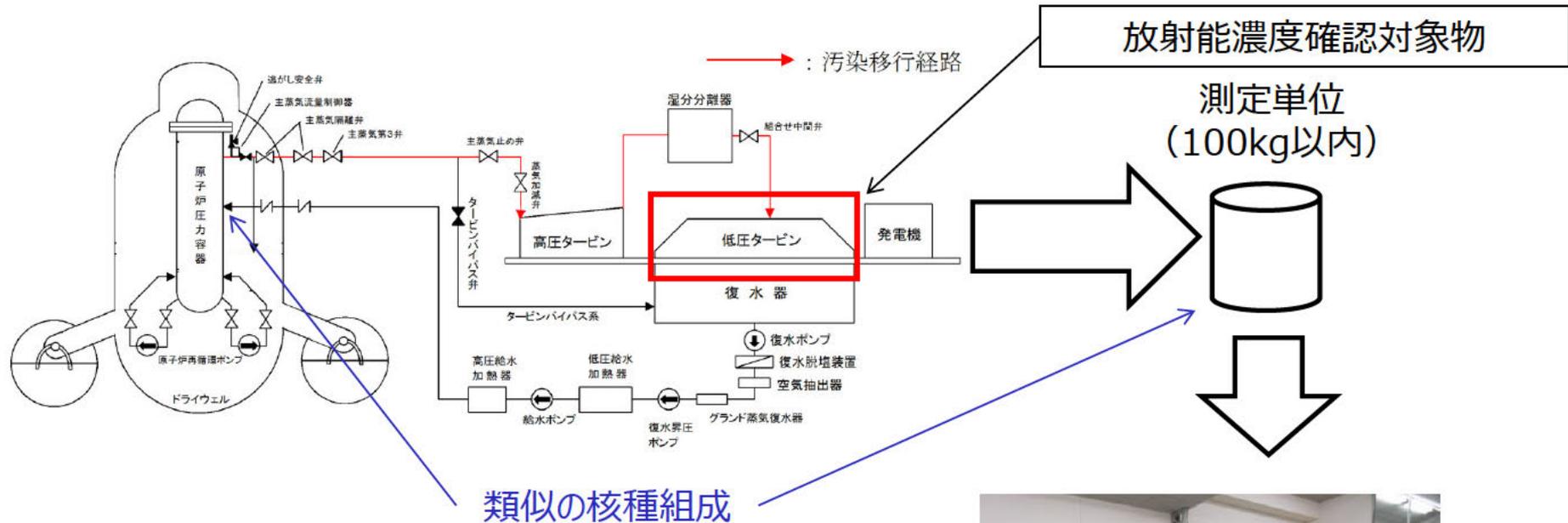
表－12 フォールアウトの影響調査結果

項目	影響調査結果
調査箇所	<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。

放射能濃度の評価単位

表－13 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ため、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らない。 	<p>図－5</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－14</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 評価単位が10トンを超えないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1トン以内 	<p>図－6</p>



- 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 - 5 測定単位の要求事項に対する考え方

放射能濃度の評価単位

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－14 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。

評価単位の重量は，運用上の観点から1トンとする。



島根1号炉タービン建物3階

 トレイ型専用測定装置設置予定エリア

- 放射能濃度確認対象物は，トレイ型専用測定装置の測定前に評価単位のグループを作り，測定後に保管容器内に保管する。
- 評価単位のグループは，規則別表第1の第2欄の放射能濃度以下の判定結果が得られるまでタービン建物3階に仮置きする。
- 仮置きにより，タービン建物3階のスペースがなくなり運用が困難になると考えられるため，評価単位は1トンとする。

図-6 評価単位の重量

No.	年月日	コメント内容	回答
1	R2.6.8	今回、中国電力が考える測定装置が他事業所で既認可の装置と同じものであれば、既認可での資料をよく確認して資料を見直すこと。(同じ評価をしているのに表現・数値が違くと分かりづらい)	後日回答
2	R2.6.8	CL-E-01 P21の記載では、拡張不確かさに1を加算することで安全率を求めることが分かるが、申請書の当該箇所の記載と異なるため、表現を適正化すること	後日回答
3	R2.6.8	放射能換算係数の相対誤差が、考慮されていることを説明すること	後日回答
4	R2.6.8	CL-E-01 図11で模擬対象物の放射能量測定値の記載があるが、安全率の設定における前提条件を明確にすること。	後日回答
5	R2.6.8	CL-E-01 図11の模擬線源で評価した安全率と不確かさ評価の安全率の関係を明確にすること。	後日回答
6	R2.6.8	検出限界値を求めるにあたっては、安全率の寄与を説明することを考慮すること。	後日回答

No.	年月日	コメント内容	回答
7	R2.6.8	放射性物質の種類を選定において考慮した汚染のメカニズムについて運転履歴も考慮したうえで説明すること。	本日回答 P12～15
8	R2.6.8	N-17による放射化汚染の影響についても説明すること。	本日回答 P6～10
9	R2.6.8	申請対象物について、対象物の形状やサイズのイメージがわかるように写真等を交えて具体的に説明すること。	本日回答 P2～4
10	R2.6.8	測定対象物の放射能濃度 (Bq/g) を求めるにあたり、計算過程を示すこと。その中で、対象物の重量の補正や各検出器での測定値の扱いを説明すること。	後日回答
11	R2.6.8	検認後のクリアランス対象物が汚染の恐れのある場所を通過する可能性があるが、追加的汚染が発生しないことの担保の方法を説明すること	後日回答
12	R2.6.8	B区域の中にA区域を設定する方法についてパーテーションで区切る程度でB区域の中にA区域を設定できるのか、その考え方を説明すること	後日回答

No.	年月日	コメント内容	回答
13	R2.6.8	測定装置の性能確認において、クリアランスレベル相当のものを用いて確認した結果を説明すること。	後日回答
14	R2.6.8	申請書 表5-1 不確かさの計算の過程を説明し、資料構成を分かりやすく見直すこと。	後日回答
15	R2.6.26	審査基準の要求事項に対する結果だけでなく、結果を導き出す根拠、過程を説明すること。その際、公開されている他事業所の既認可内容を参考にすること。	後日回答
16	R2.6.26	拡張不確かさについて1に切り上げている根拠を説明すること。	後日回答
17	R2.6.26	模擬線源で評価した安全率と不確かさ評価の安全率の関係を明確にすること。	後日回答
18	R2.6.26	検出限界値を求めるにあたっては、安全率の寄与を説明することを考慮すること。	後日回答
19	R2.6.26	放射性物質の種類を選定において原子炉の運転状況を考慮した汚染のメカニズム、パラメータ選定理由について説明すること。	本日回答 P12～15

No.	年月日	コメント内容	回答
20	R2.6.26	放射化汚染の影響について説明すること。	本日回答 P6~10
21	R2.6.26	検認後のクリアランス対象物が汚染の恐れのある場所を通過する可能性があることについて、追加汚染が発生しない方法を説明すること。	後日回答
22	R2.6.26	B区域の中にA区域を設定する方法および考え方について説明すること。	後日回答
23	R2.6.26	測定装置の性能確認においてクリアランスレベル近傍の模擬線源を用いた確認結果を説明すること。	後日回答
24	R2.6.26	データ処理における不確かさについて放射能濃度を求める計算過程を明確に説明すること。	後日回答