

島根 1, 2号炉低圧タービンのクリアランス認可申請書基本ロジックについて

【エビデンス】

1. 放射化汚染を無視できる根拠

- 対象物の低圧タービンは、タービン建物で使用していたことから、放射化汚染は、原子炉からの直接線やストリーミング線の影響はなく、主蒸気中に含まれる N-17 からの中性子線により生じる。事前調査（2号炉の低圧ダイヤフラム第7段噴口部（主蒸気中の中性子源 N-17 の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあること、公開文献により相対重要度比率の高いステンレス鋼を採用）及び低圧内部車室入口側（低圧ダイヤフラム第7段の位置）から採取したサンプル（二次的な汚染を除去したもの）の核種分析）の結果、放射性物質が検出されなかったため、放射化汚染は無視できると判断した。

下線部のエビデンスを以下に示す。

- 2号炉の第7段低圧ダイヤフラム噴口部を代表サンプルとして放射化汚染の核種分析を行った。核種分析の結果、Co-60 他全て検出限界値未満であり、放射化汚染は確認されなかった。Co-60 の検出限界値においても、基準値に対し無視できることを確認した。

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Co-60) (Bq/g)	D/C
第7段低圧ダイヤフラム(A系)噴口部(ステンレス鋼)		今後分析を行い、確認する	
低圧内部車室入口側(炭素鋼)			

- 2号炉の低圧タービン（低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室）を代表サンプルに選定した。低圧ダイヤフラムは、主蒸気中の中性子源 N-17 の放射能濃度が最も高い主蒸気入口付近にあり、主蒸気に直接さらされる第7段の噴口部を選定した。低圧内部車室は、低圧ダイヤフラムの第7段側である入口側を選定した。
- 2号炉低圧タービンは、A系、B系及びC系があるが、高圧タービンを出た主蒸気は、各低圧タービンに並列に流れることから、汚染の程度は各系統で差がないため、A系のサンプルで確認した。
- 採取したサンプルを酸により二次的な汚染を除去した後、残った母材を強酸で溶解

させた後、Ge 半導体検出器を用いて測定した。

- ・対象核種は、公開文献<sup>\*1</sup>から原子炉停止6年後<sup>\*2</sup>の最重要の核種が Co-60 であること、許認可実績（浜岡1，2号炉）から Co-60 を選定し分析していたため、Co-60 を選定した。

※1：主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて（原子力安全委員会）

※2：表-4-5 BWR の放射化物（ステンレス及び炭素鋼） 島根2号炉は2012年1月から第17回定期検査により停止中

## 2. 二次的な汚染の主要核種が Co-60 である根拠

- ・対象物が使用されていた期間、放射性物質による汚染に影響を及ぼすような事故、トラブル及び燃料破損がなかったことから、FP 核種の影響は僅かであり、CP 核種が主である。CP 核種は、事前調査（対象物（1，2号炉低圧内部車室及び低圧ダイヤフラム）から採取したサンプル等の二次的な汚染の核種分析）の結果から、Co-60 が主要な核種であった。これは、材料組成から明らかであり、運転中の原子炉水中の放射能濃度の核種分析結果および公開文献等（「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」（原子力安全委員会 平成13年7月16日）等）とも整合する。

下線部のエビデンスを以下に示す。

### (1) 島根1，2号炉の運転中の炉水放射能濃度

#### ①原子炉水の核種分析結果

- ・原子炉水の核種の分析結果を、分析値①と基準値②の比で見ると、島根1，2号炉の運転中に原子炉水中で顕著に検出される核種は Co-60 である。

### <島根1号炉>

(第20サイクル原子炉運転時：1997年9月3日時点)

核種	分析値 (Bq/g)	基準値 (Bq/g)	分析値／基準値 (-)	分析値／基準値 の Co-60 に対する比
H-3	$2.6 \times 10^2$	100	$2.6 \times 10^0$	$9.3 \times 10^{-2}$
Mn-54	$3.1 \times 10^{-1}$	0.1	$3.1 \times 10^0$	$1.1 \times 10^{-1}$
Fe-59	ND	1	-	-
Co-58	$6.3 \times 10^0$	1	$6.3 \times 10^0$	$2.3 \times 10^{-1}$
Co-60	$2.8 \times 10^0$	0.1	$2.8 \times 10^1$	1
I-131	$1.3 \times 10^{-2}$	-	-	-
Cs-137	ND	0.1	-	-

- 1号炉は検出限界値の記録がないため、NDと記載した。
- Fe-59は、1号炉の運転期間に数点しか検出されていない。その値は $1 \times 10^{-2}$ オーダーであり基準値に対し十分低い値である。
- Cs-137は、原子炉水が接触した金属を分析した値が $1 \times 10^{-3}$ オーダーだった。この分析方法は、濃縮操作（加熱処理）を行うため、原子炉水（濃縮操作は行わないフィルターでの吸引）よりも高くなる。Co-60の場合、金属の分析値が $1 \times 10^3$ オーダーである。このため、Cs-137の原子炉水の分析値は $1 \times 10^{-3}$ オーダー未満と推測する。基準値に対して十分に低い値である。
- 核種は、「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて（原子力安全委員会）」表-4-5のBWRの汚染物で最重要の扱いであるCo-60の他に2桁目まで上がったMn-54, Co-58を選定した。その他に33核種のうち原子炉水の核種分析しているH-3, Fe-59, I-131及びCs-137を選定した。

<島根2号炉>

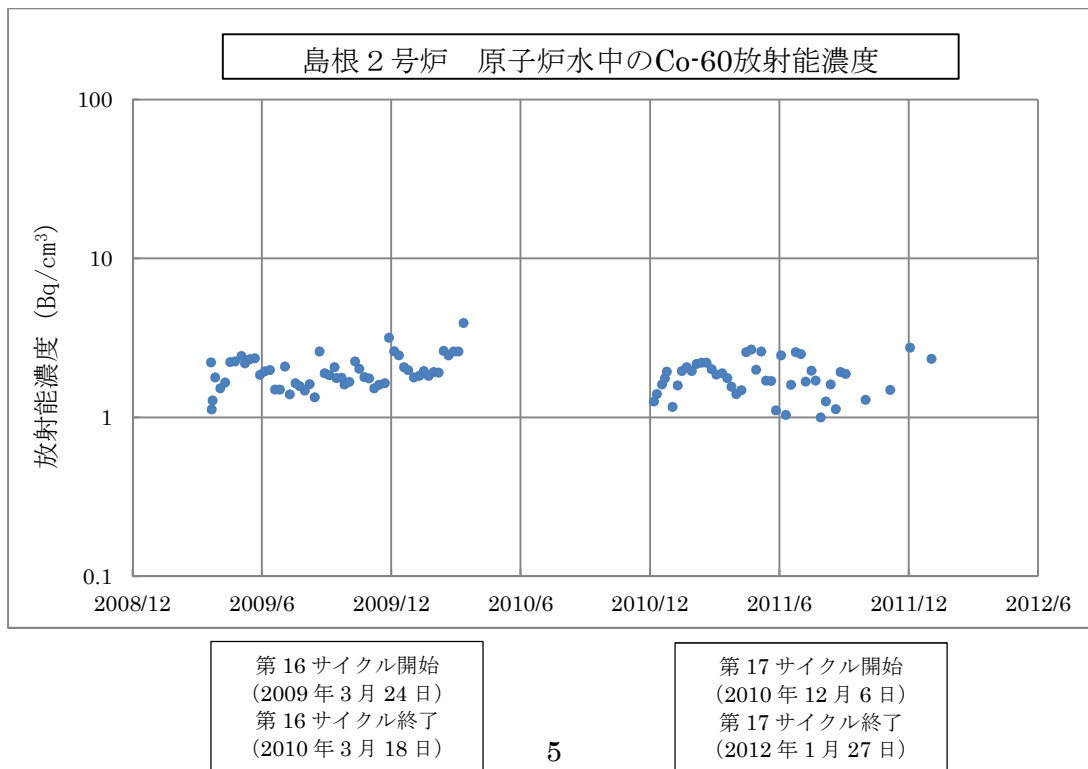
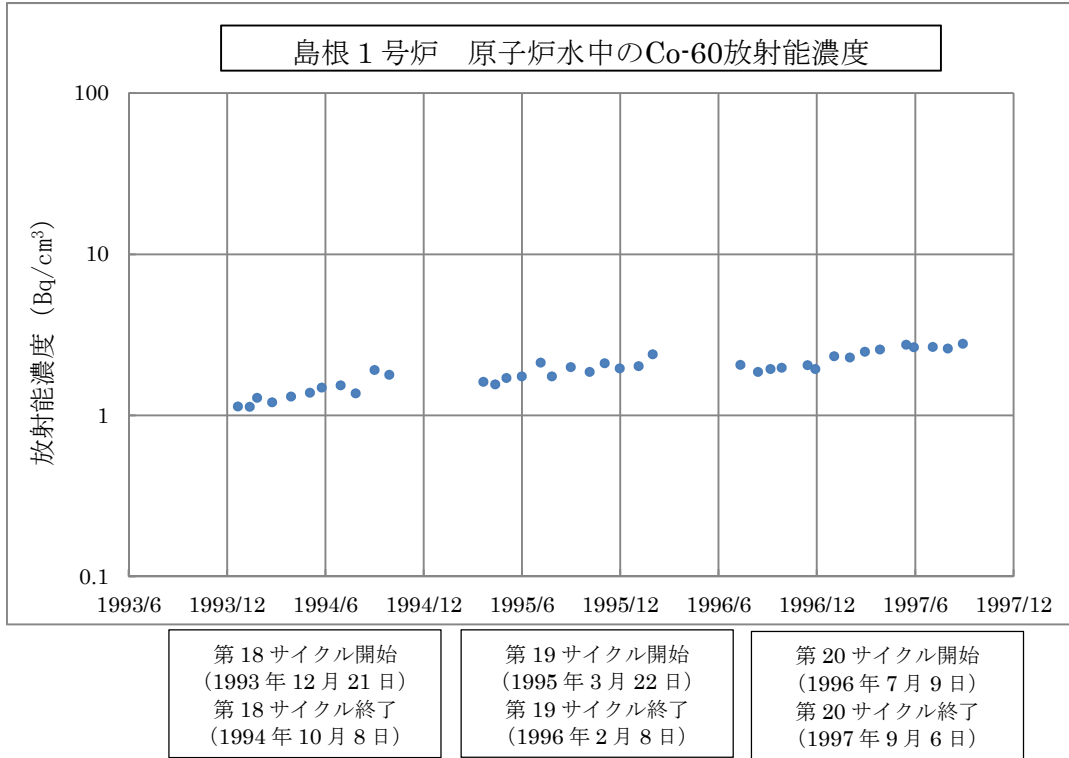
(第17サイクル原子炉運転時：2011年11月7日時点)

核種	分析値※ <sup>1</sup> (Bq/g)	基準値 (Bq/g)	分析値／基準値 (-)	分析値／基準値 の Co-60 に対する 比
H-3	$1.4 \times 10^2$	100	$1.4 \times 10^0$	$9.3 \times 10^{-2}$
Mn-54	$4.7 \times 10^{-1}$	0.1	$4.7 \times 10^0$	$3.1 \times 10^{-1}$
Fe-59	$<1.3 \times 10^{-1}$	1	$<1.3 \times 10^{-1}$	$<8.7 \times 10^{-3}$
Co-58	$3.9 \times 10^0$	1	$3.9 \times 10^0$	$2.6 \times 10^{-1}$
Co-60	$1.5 \times 10^0$	0.1	$1.5 \times 10^1$	1
I-131	$1.0 \times 10^{-2}$	—	—	—
Cs-137	$<1.4 \times 10^{-1}$	0.1	$<1.4 \times 10^0$	$<9.3 \times 10^{-2}$

※1：「<」は検出限界値未満を示す。

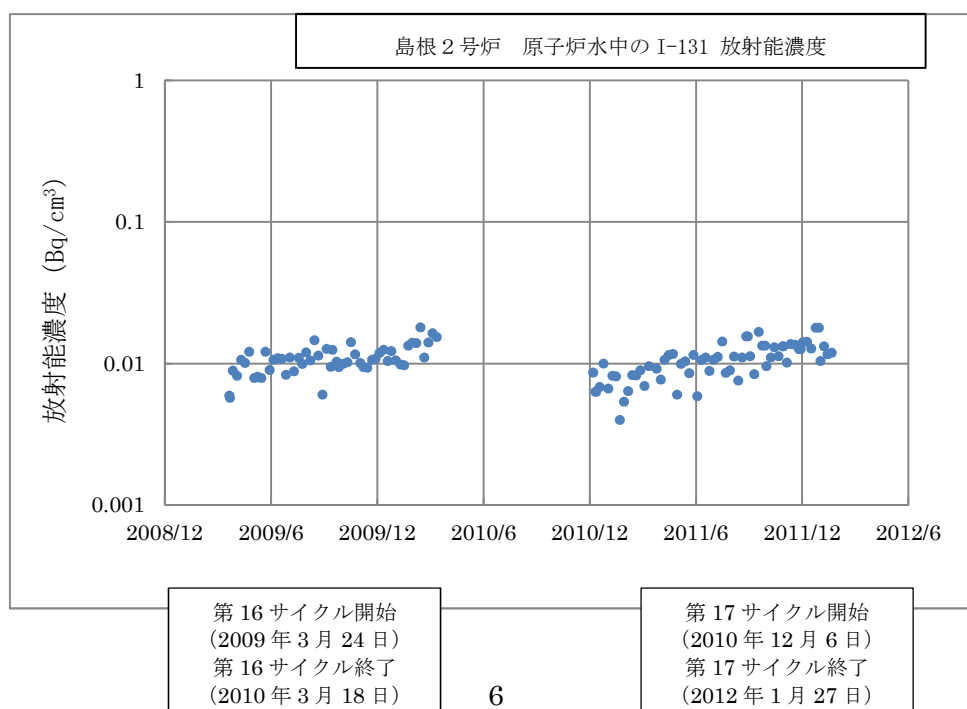
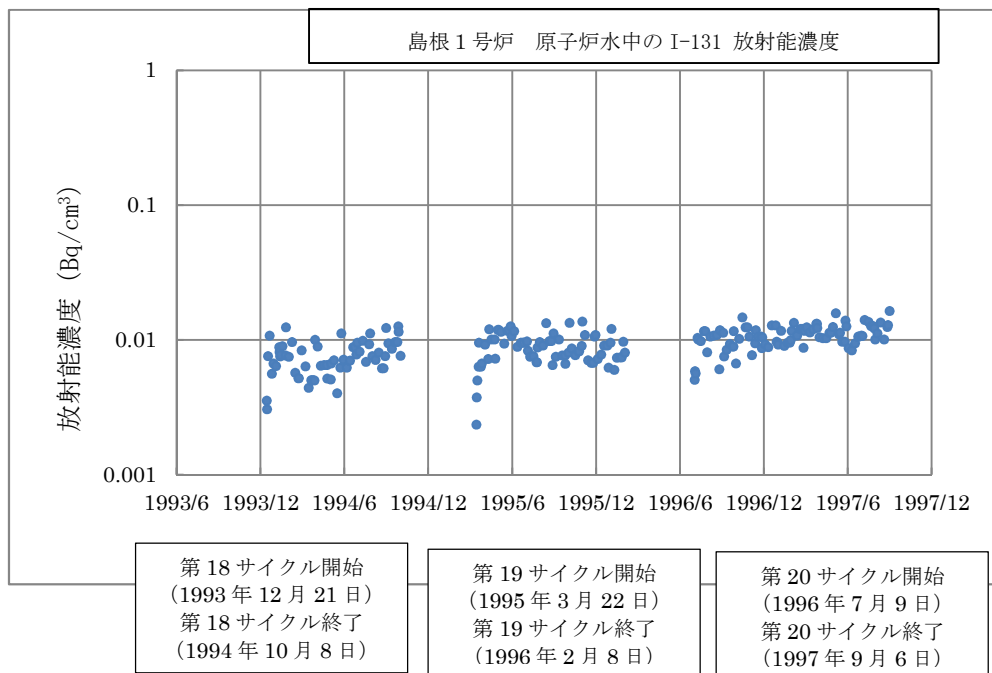
②Co-60 放射能濃度

- ・対象物が使用されていた原子炉運転中における原子炉水中の Co-60 放射能濃度の推移を以下に示す。
- ・原子炉水中の Co-60 放射能濃度は数 Bq/cm<sup>3</sup> で安定的に推移している。



③I-131 放射能濃度

- ・対象物が使用されていた原子炉運転中における，原子炉水中の I-131 放射能濃度の推移を以下に示す。
- ・燃料破損の指標として測定している原子炉水中の I-131 (FP 核種) は， $0.01\text{Bq}/\text{cm}^3$  程度で安定的に推移している。
- ・原子炉水中の Co-60 (CP 核種) に対する I-131 (FP 核種) の比は 1/100 程度である。



(2) 島根 1, 2 号炉の放射能濃度確認対象物の事前調査結果

- 放射能濃度確認対象物から採取したサンプルの核種の測定結果を下表に示す。1 号炉は、既に除染済みであり、汚染が検出されなかったため、2 号炉の分析を行った。分析の結果、放射能濃度確認対象物の汚染は Co-60 が主要であることを確認した。

【分析条件】

- 実施時期：2021 年 1 月～2021 年 2 月
- 実施場所：島根原子力発電所 2 号炉 放射化学分析室
- 分析担当：協力会社
- 分析対象：2 号炉低圧ダイヤフラム第 7 段噴口部及び低圧内部車室入口側<sup>※1</sup>
- 除染区分：未除染（主要な放射性物質を選定するため、未除染とした）
- 対象核種：Co-60, Mn-54, Co-58<sup>※2</sup>
- 分析方法：採取したサンプルの二次的な汚染を酸で溶解させた後、Ge 半導体検出器を用いて測定

※1：周方向及び軸方向の表面汚染密度の調査結果（4 項）から低圧ダイヤフラムは、第 7 段が最も汚染されているため、噴口部を選定した。低圧内部車室は低圧ダイヤフラム第 7 段噴口部と同様に周方向及び軸方向の表面汚染密度の調査結果（4 項）から入口側を選定した。

2 号炉で代表した考え方は以下のとおりである。

- 1 号炉の高圧タービンと低圧タービンの間にある湿分分離器（未除染）の核種分析の結果、Co-60 のみ検出され他の核種は検出限界値未満であった。
- 1 号炉高圧ダイヤフラム（除染済み）も Co-60 のみ検出されていること、蒸気タービン出口側の系統である給水加熱器（除染済み）も Co-60 のみ検出されている。
- 1 号炉の高圧ダイヤフラム及び湿分分離器～給水加熱器の間の低圧タービンも Co-60 のみ検出されると推定する。

※2：(1) 項の核種から燃料破損がないため、FP 核種を除外した。CP 核種のうち「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて（原子力安全委員会）」表 4-5 の BWR の汚染物で最重要の扱いである Co-60 の他に 2 桁目まで上がった Mn-54, Co-58 を選定した。

【分析結果】

(単位：Bq/g)

試料採取箇所 (2号炉)	分析結果※ <sup>1</sup>		
	Co-60	Mn-54	Co-58
低圧ダイヤフラム 第7段噴口部	分析中		
低圧内部車室入口 側			

※1：「<」は検出限界値未満を示す。

(参考) 1号炉の各機器の分析結果

(単位：Bq/g)

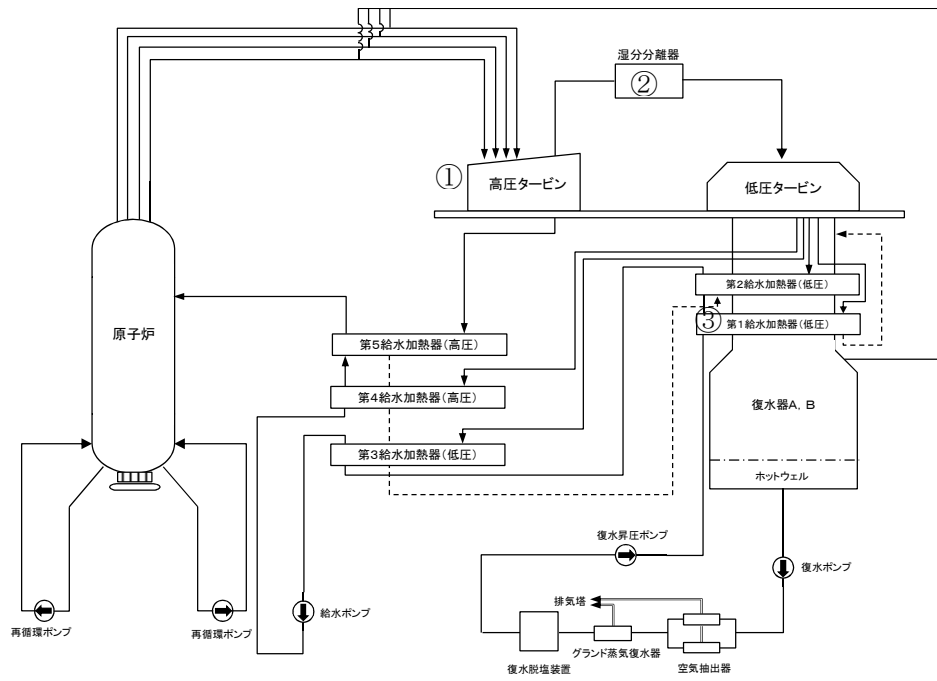
試料採取箇所 (1号炉) ※ <sup>2</sup>	分析結果	
	Co-60	Co-60 以外※ <sup>1</sup>
① 高圧ダイヤフラム	$2.19 \times 10^{-3}$	検出限界値未満
② 湿分分離器	$2.05 \times 10^0$	検出限界値未満
③ 給水加熱器	$5.20 \times 10^{-2}$	検出限界値未満

- ・実施時期：2014年度
- ・実施場所：社外分析機関の事業所
- ・分析担当：社外分析機関
- ・分析方法：採取したサンプルの二次的な汚染を酸で溶解させた後、Ge 半導体検出器を用いて測定

※1：H-3, Mn-54, Sr-90, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Pu-239, Am-241 (分析等時は重要10核種が申請対象だったため分析を実施した)

※2：試料採取箇所の系統は以下のとおり(表中の○数字が系統図の○数字に対応する)。復水系は、サンプルを採取していないが給水加熱器～湿分分離器でCo-60以外の核種は検出されていないため、Co-60のみ検出されると推定する。





1号炉 系統図

(3) 公開文献等の確認結果

- 「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」(原子力安全委員会 平成13年7月16日)にて、「放射性核種組成に基づく相対重要度比率評価結果例(BWR)」が示されており、二次的な汚染について、燃料損傷がない場合FP核種の影響は僅かであり、CP核種の主要核種がCo-60であると評価されている。この評価は、「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて(原子力安全委員会)」が出典である。出典の中で「線量評価の観点から影響度の大きい限られた放射性核種の濃度を制限することによって、その他の放射性核種も自ずと制限される(4.3(1))」とあり、線量評価の結果から影響の小さい核種は相対重要度が小さくなる。線量評価の観点から影響度の大きい核種は、埋設処分、再利用の評価経路を設定し評価したことが記載されている。

添付表1-1 放射性核種組成に基づく相対重要度比率評価結果例(BWR)

BWR ①/②合計値に対する放射性核種別①/②値の割合

(添付1)

○原子炉停止後0.5年(運転廃棄物)

○原子炉停止後15年(解体廃棄物)

放射性核種(アリスレベル)	放射性核種				汚染物				
	割合(%)	桁	割合(%)	桁	割合(%)	桁	割合(%)	桁	
C-14	5	0.03	5	0.03	5	0.03	4	0.02	4
Se-48	0.4	0.03	6	0.03	4	4.02	2	0.00	-
Mn-54	0.1	0.03	3	0.03	3	0.03	3	0.03	3
Fe-55	3000	0.03	4	0.30	3	0.03	3	0.03	4
Fe-59	0.7	0.20	3	2.42	2	0.58	2	0.45	3
Co-58	0.3	0.74	3	0.43	3	0.00	5	4.03	2
Co-60	0.4	87.89	max	84.30	max	31.75	max	87.50	max
Zn-65	1	0.05	4	0.10	3	0.28	3	0.09	3
Nb-94	0.2	0.00	8	0.00	4	0.00	6	0.00	5
Nb-95	1	0.00	7	0.00	8	0.01	4	0.00	-
Ru-108	3	0.00	8	0.00	8	0.00	6	0.00	7
Ag-108m	0.3	0.00	15	0.00	18	0.00	19	0.00	6
Ag-110m	0.4	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-
Sb-124	0.5	0.01	5	0.12	3	0.02	4	0.00	-
Te-123m	4	0.00	15	0.00	19	0.00	17	0.00	-
Cd-124	0.1	0.00	7	0.00	10	0.00	3	0.00	3
Cd-127	1	0.00	-	0.00	-	0.00	5	0.00	3
Pd-123	0.4	0.00	3	0.00	3	0.00	10	0.00	7
Ru-106	0.4	0.00	7	0.00	4	0.00	7	0.00	4
Tb-160	0.9	0.00	11	0.00	15	0.00	13	0.00	-
Ta-182	0.7	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-
Pr-241	10	0.00	11	0.00	13	0.00	10	0.00	5
合計	11	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7
重要放射性核種の合計	88.89		88.81		84.06		83.38		85.83
2桁以内	88.97		98.53		99.18		98.41		98.54

放射性核種(アリスレベル)	放射性核種				汚染物				
	割合(%)	桁	割合(%)	桁	割合(%)	桁	割合(%)	桁	
C-14	5	0.01	5	0.01	4	0.06	3	0.02	4
Se-48	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn-54	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-55	3000	0.01	4	0.17	3	0.06	4	0.02	4
Fe-59	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Co-58	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Co-60	1	80.96	max	80.00	max	23.01	max	80.96	max
Zn-65	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb-94	0.2	0.00	6	0.00	5	0.00	3	0.01	5
Nb-95	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ru-108	3	0.00	9	0.00	10	0.00	8	0.00	5
Ag-108m	0.3	0.00	15	0.00	18	0.00	16	0.00	5
Ag-110m	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb-124	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Te-123m	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd-124	0.1	0.00	7	0.00	11	0.00	12	0.00	3
Cd-127	1	0.00	3	0.00	6	0.00	6	0.00	3
Pd-123	0.4	0.00	3	0.00	3	0.00	10	0.00	7
Ru-106	0.1	0.00	3	0.00	3	0.00	7	0.00	4
Tb-160	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta-182	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Pr-241	10	0.00	7	0.00	13	0.00	10	0.00	5
合計	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4
重要放射性核種の合計	89.89		88.82		89.88		89.88		89.88
2桁以内	89.88		98.98		99.88		99.88		97.58

注1. 主な原子炉施設毎の廃止措置などに伴って発生する廃棄物の種類及び廃棄物ごとの廃棄場所を用いて線量評価について評価した。「割合(%)」の欄は①/②合計値に対する放射性核種別①/②値の割合を示し、「桁」の欄は①/②値の桁数を示し、線量放射性核種の種類が最大となる①/②の桁数が0になるかを示す。表中の放射性核種は、その時にCP、FP、CR、燃料損傷が原因で発生する放射性核種が認められる核種と見なされる核種を記載した。なお、相対重要度が最大となる「max」で表示し、桁数が0になる核種は「-」で示した。  
 注2. 上記数値は、原子力発電所等における放射性核種濃度の測定結果に基づき算出されたものである。放射性核種濃度の測定結果は、原子力発電所等において測定されたものである。  
 注3. 「重要放射性核種」は、①/②合計値に対する放射性核種別①/②値の割合が0.01以上となる核種を指す。

出典：「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」(原子力安全委員会 平成13年7月16日) 添付1 「放射性核種組成に基づく相対重要度比率評価結果例(BWR)」

### 3. D/C の 1/33 の評価について

- 対象物の Co-60 の放射能濃度は、事前調査（2号炉の低圧ダイヤフラム第7段噴口部及び低圧内部車室入口側の二次的な汚染の核種分析）の結果、D/C (Co-60) で 1/33 以下であった。

下線部のエビデンスを以下に示す。

- 2号炉の低圧ダイヤフラム第7段噴口部及び低圧内部車室入口側を分析した結果、Co-60 の放射能濃度は基準値の 1/33 以下であることを確認した。

#### 【分析条件】

- 実施時期：2021年1月～2021年2月
- 実施場所：島根原子力発電所2号炉 放射化学分析室
- 分析担当：協力会社
- 分析対象：2号炉低圧ダイヤフラム第7段噴口部及び低圧内部車室入口側<sup>※1</sup>
- 除染区分：除染済み<sup>※2</sup>
- 対象核種：Co-60
- 分析方法：採取したサンプルの二次的な汚染を酸で溶解させた後、Ge 半導体検出器を用いて測定

※1：1号炉は取り替え（1997年度）してから 4.6 半減期（Co-60）以上が経過して  $4.26 \times 10^{-2}$ （取り替え時を1とした場合）まで減少していること、2号炉は取り替え（2016年度）してから約1半減期（Co-60）経過し、 $5.18 \times 10^{-1}$ まで減少している。1号炉は2号炉に対し減衰が大きいことから2号炉を代表にした。第7段噴口部及び低圧内部車室入口側を選定した理由は、(2)と同じである。

#### 【分析結果】

試料採取箇所	Co-60 放射能濃度 (Bq/g)	D/C <sup>※3</sup>	1/33 の D/C
低圧ダイヤフラム 第7段噴口部	分析中		$3.03 \times 10^{-2}$
低圧内部車室入口 側			$3.03 \times 10^{-2}$

※2：試料をブラスト除染装置で除染した。

DF：評価中

研削材：アルミナ

※3：Co-60 放射能濃度を基準値（0.1Bq/g）で除して算出（規則は Bq/kg だが D/C を求めるため Bq/g とした。）

#### 4. 放射能濃度確認対象物の二次的な汚染の分布について

- ・二次的な汚染は、主蒸気が、低圧タービンの中心部から入り下流側に向かって膨張しながら流れることから、主蒸気入口付近が高く、下流側に向けて低くなる傾向を示す。また低圧タービンは回転設備であるため、周方向では均一な汚染の傾向を示す。

下線部のエビデンスを以下に示す。

- ・除染前の2号炉の放射能濃度確認対象物の表面汚染密度を測定した結果、軸方向には入口付近が高く、下流側に向けて低くなる傾向を確認した。また、周方向には均一な傾向を示すことを確認した。

##### 【測定条件】

- ・測定期間：2021年2月
- ・測定場所：島根原子力発電所1号炉タービン建物<sup>※1</sup>
- ・測定担当：協力会社
- ・除染区分：未除染<sup>※2</sup>，除染後（DF）
- ・測定対象：2号炉低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室<sup>※2</sup>
- ・測定方法：GMサーベイメータによる直接測定法<sup>※3</sup>

※1：2号炉低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室を保管中

※2：軸方向周方向の傾向を把握することが目的のため、未除染を対象

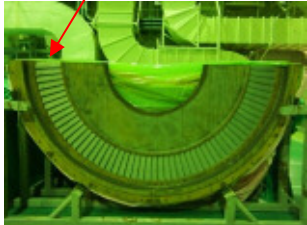
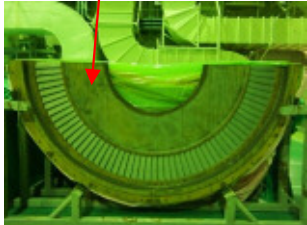
※3：固定性表面汚染のため、直接測定法を採用

#### 5. 二次的な汚染による表面汚染密度が高い箇所について


- ・低圧ダイヤフラムは、10トン以内である各段の上半、下半をそれぞれ測定単位とし、評価単位と同一とする。測定単位の内、GMサーベイメータを水平に当てられる噴口部の表面全体（主蒸気が通過するため、二次的な汚染による表面汚染密度が高い箇所）を測定箇所とする。

低圧内部車室は、軸方向に10トン以内に分割し、測定単位とし、評価単位と同一とする（低圧内部車室は1号炉が91トン／系統、2号炉が106トン／系統のため、軸方向に10トン以内に測定単位を設定する）。測定単位の内、主蒸気入口側の仕切り板（主蒸気入口側のため、二次的な汚染による表面汚染密度が高い箇所）を測定箇所とする。  
下線部を以下に示す。

【低圧ダイヤフラム】

	第7段噴口部	第7段噴口部周辺
表面汚染密度	2.82Bq/cm <sup>2</sup>	1.63Bq/cm <sup>2</sup>
測定箇所	<p>測定箇所</p> 	<p>測定箇所</p> 

【低圧内部車室】

	仕切り板	仕切り板上	仕切り板下
平均表面汚染密度	0.69Bq/cm <sup>2</sup>	0.43Bq/cm <sup>2</sup>	0.40Bq/cm <sup>2</sup>
測定箇所	<p>仕切り板</p> <p>仕切り板上</p>  <p>仕切り板下</p>		

- ・低圧内部車室はデータのバラツキが大きいため、第7～第13段の検出値の平均とした。
- ・仕切り板の上下は、低圧ダイヤフラムを挟むため、放射性物質の付着する箇所が限られ表面汚染密度が低くなる。
- ・測定条件は4項と同じである。

以 上