

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（蒸気流量が大きい 2 号炉の低圧タービンのうち、ステンレス鋼であるため炭素鋼である低圧内部車室よりも放射化汚染の Co-60 放射能濃度が高くなる低圧ダイヤフラムの中で、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 段低圧ダイヤフラム噴口部の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、評価対象核種の選択対象とする必要はないと判断した。

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、基準値の 1/33 を下回っていることを確認した。

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	検出下限値 (Co-60) (Bq/g)	D/C
第 7 段低圧ダイヤフラム(A系)噴口部			
		今後分析を行い、確認する	

- 蒸気流量が大きい 2 号炉の低圧タービンのうち、ステンレス鋼であるため炭素鋼である低圧内部車室よりも放射化汚染の Co-60 放射能濃度が高くなる低圧ダイヤフラムの中で、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 段低圧ダイヤフラム噴口部を代表サンプルに選定した。
- 2 号炉低圧タービンは、A 系, B 系, 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。

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（主蒸気にあたる放射能濃度確認対象物（1，2号炉低圧内部車室およ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炉水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① (Bq/g)	基準値② (Bq/g)	①/② (-)	①/②の Co-60 に対する比
H-3	2.6×10^2	100	2.6×10^0	9.3×10^{-2}
Mn-54	3.1×10^{-1}	0.1	3.1×10^0	1.1×10^{-1}
Fe-59	ND	1	-	-
Co-58	6.3×10^0	1	6.3×10^0	2.3×10^{-1}
Co-60	2.8×10^0	0.1	2.8×10^1	1
I-131	1.3×10^{-2}	-	-	-
Cs-137	ND	0.1	-	-

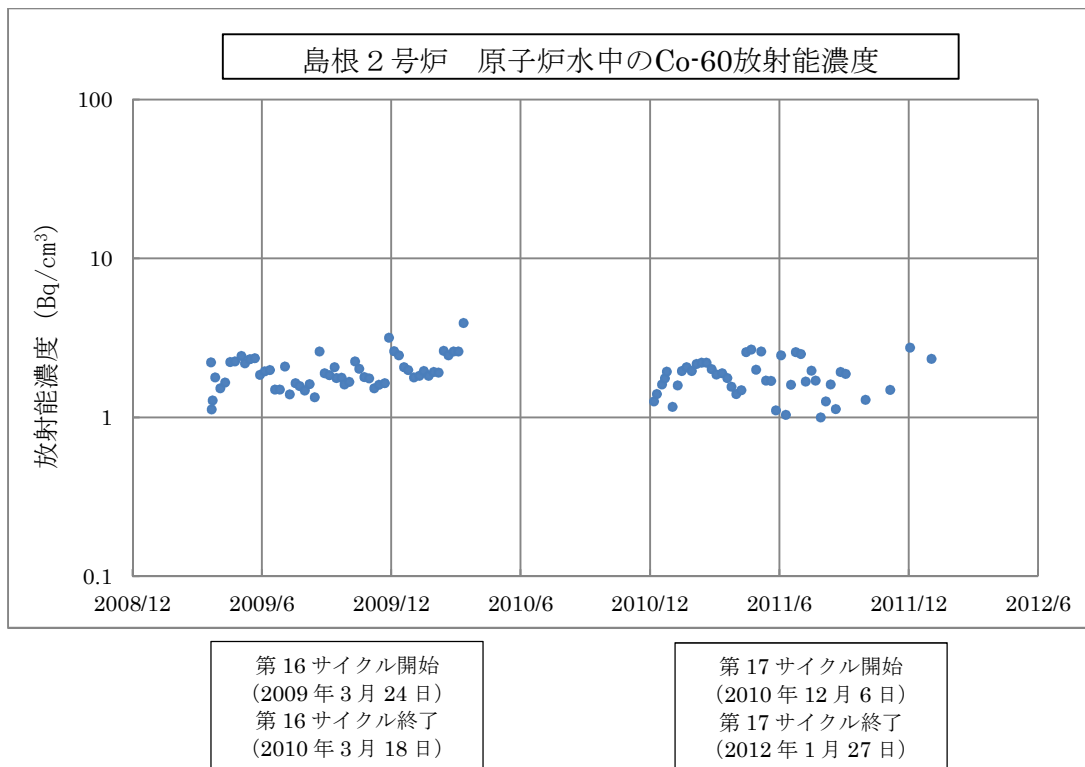
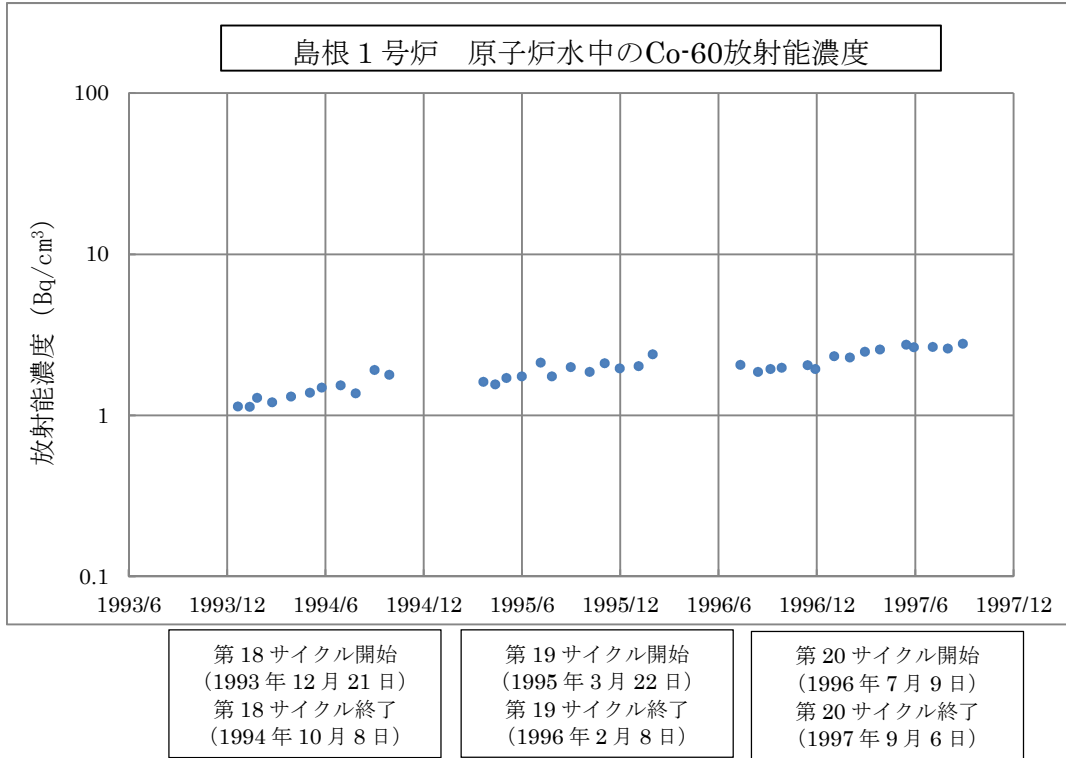
<島根2炉>

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

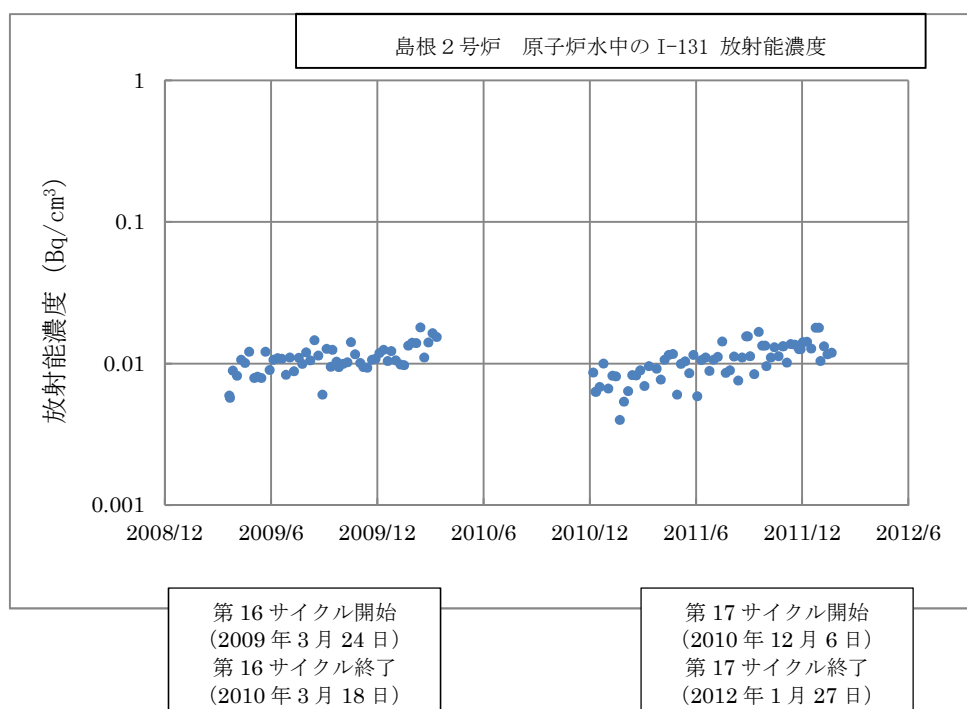
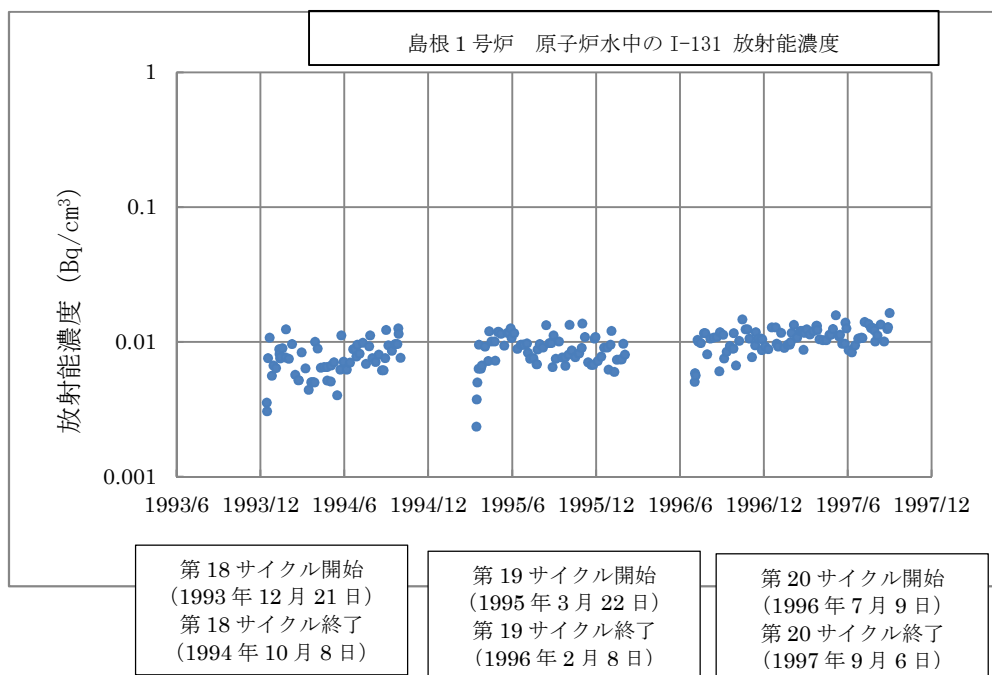
②Co-60 放射能濃度

- ・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 1 ～数 Bq/cm³ 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、同じ主蒸気にさらされている上流側の高圧タービンについても分析を行った。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。

【1 号炉第 13 段低圧ダイヤフラム (B 系)】

(単位 : Bq/g)

核種	Mn-54	Co-60	Cs-137
測定結果※	$< 7.66 \times 10^{-4}$	$< 9.62 \times 10^{-4}$	$< 5.63 \times 10^{-4}$
基準値	0.1	0.1	0.1
D/C	7.66×10^{-3} 未満	9.62×10^{-3} 未満	5.63×10^{-3} 未満

【1 号炉低圧内部車室 (B 系)】

(単位 : Bq/g)

核種	Mn-54	Co-60	Cs-137
測定結果※	$< 8.29 \times 10^{-4}$	$< 1.09 \times 10^{-3}$	$< 6.08 \times 10^{-4}$
基準値	0.1	0.1	0.1
D/C	8.29×10^{-3} 未満	1.09×10^{-2} 未満	6.08×10^{-3} 未満

【1 号炉高圧ダイヤフラム】

(単位 : Bq/g)

核種	Mn-54	Co-60	Cs-137
測定結果※	$< 1.16 \times 10^{-3}$	2.19×10^{-3}	$< 9.62 \times 10^{-3}$
基準値	0.1	0.1	0.1
D/C	1.16×10^{-2} 未満	2.19×10^{-2}	9.62×10^{-2} 未満

【2 号炉 13 段低圧ダイヤフラム (A 系)】

(単位 : Bq/g)

核種	Mn-54	Co-60	Cs-137
測定結果※	$< 2.48 \times 10^{-3}$	1.03×10^{-2}	$< 3.10 \times 10^{-3}$
基準値	0.1	0.1	0.1
D/C	2.48×10^{-2} 未満	1.03×10^{-1}	3.10×10^{-2} 未満

【2 号炉低圧内部車室 (B 系)】

(単位 : Bq/g)

核種	Mn-54	Co-60	Cs-137
測定結果※	$< 1.74 \times 10^{-3}$	1.14×10^{-2}	$< 1.49 \times 10^{-3}$
基準値	0.1	0.1	0.1
D/C	1.74×10^{-2} 未満	1.14×10^{-1}	1.49×10^{-2} 未満

※「<」は検出限界値未満を示す。

- 低圧タービンについて1号炉はA系, B系があり, 2号炉はA系, B系, 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, 二次的な汚染の核種組成は異なる。また, 二次的な汚染は原子炉で生成された放射性物質が主蒸気に移行して対象物に付着するものであるため, 上流側, 下流側でも核種組成は異なる。従って, 部材(低圧ダイヤフラム及び低圧内部車室)毎に1サンプルずつ分析した。
- 核種は主要なCP核種に加えて, FP核種の代表としてCs-137の分析を行った。
- 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した。

(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。

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	クリアランスレベル	放射性物質				汚染物					
		ステンレス	鉄素鋼	エポキシ	汚染	燃料損傷	ステンレス	鉄素鋼	エポキシ	汚染	燃料損傷
Co-60	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C-14	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Se-48	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn-54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe-55	3000	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe-59	0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co-58	0.3	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co-60	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn-65	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni-64	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb-95	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ru-108	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag-108m	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag-110m	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr-124	0.5	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Te-123m	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd-127	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd-137	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pa-182	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi-184	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tb-160	0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta-182	0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pu-241	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計(%)	運来放射性核種の合計	98.99	98.01	98.06	98.38	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00
	2桁以内	98.97	98.00	98.18	98.41	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00

放射性核種	クリアランスレベル	放射性物質				汚染物					
		ステンレス	鉄素鋼	エポキシ	汚染	燃料損傷	ステンレス	鉄素鋼	エポキシ	汚染	燃料損傷
Co-60	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C-14	5	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Se-48	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn-54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe-55	3000	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe-59	0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co-58	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co-60	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn-65	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni-64	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb-95	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ru-108	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag-108m	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag-110m	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr-124	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Te-123m	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd-127	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd-137	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pa-182	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi-184	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tb-160	0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta-182	0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pu-241	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計(%)	運来放射性核種の合計	99.99	99.82	99.88	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
	2桁以内	99.98	99.86	99.88	99.96	99.96	99.96	99.96	99.96	99.96	99.96

注1: 主な原子炉施設廃止措置などに伴って発生する廃棄物の形態及び廃棄物の安全管理等について評価した。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」欄は①/②を丸めし放射性核種の量が最大となる桁の0/1になるかを示す。表中の放射性核種は、その半減期、PDR、PDR及び燃料損傷が原因で放射性核種が生成される核種の内なる核種を示した。なお、相対重要度が最大の桁は「桁」で表示し、桁以下の桁は対象外の核種として表示した。
 注2: 上記数値は、原子力発電所の運転及び廃止に伴って発生する廃棄物の形態、放射性物質の種類、(注)「原子力発電施設セクター」を参照した。
 注3: 「桁」欄は、0.01未満の桁で示されている放射性核種である。

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（1号炉低圧タービンの上流にあり放射能濃度が高い高圧ダイヤフラムの核種分析）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。

- 除染済みの1号炉の高圧ダイヤフラム噴口部（放射能濃度確認対象物である低圧タービンの上流側にあり、二次的な汚染による表面汚染密度が高く、比表面積が大きくなるように採取した噴口部先端のサンプル）を代表サンプルとして、核種分析を行った結果、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。

【1号炉の高圧ダイヤフラム噴口部 Co-60 分析結果】

（単位：Bq/g）

試料採取箇所	放射能濃度 (Bq/g)	D/C
高圧ダイヤフラム 噴口部	2.19×10^{-3}	2.19×10^{-2}

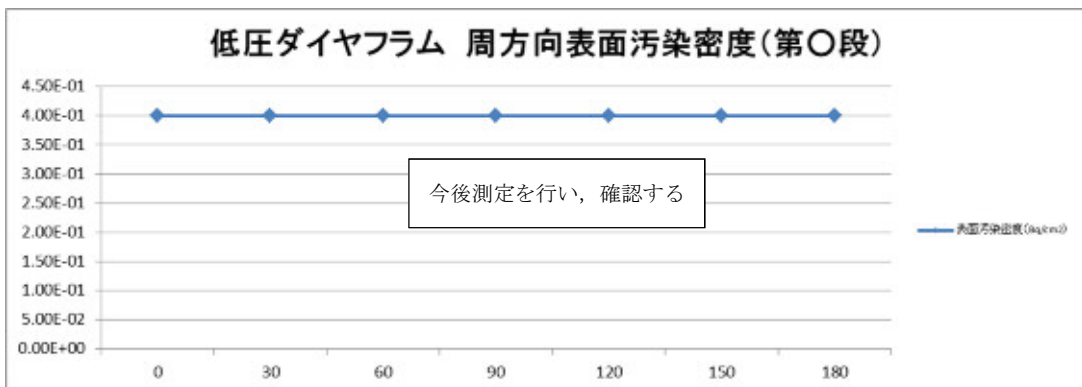
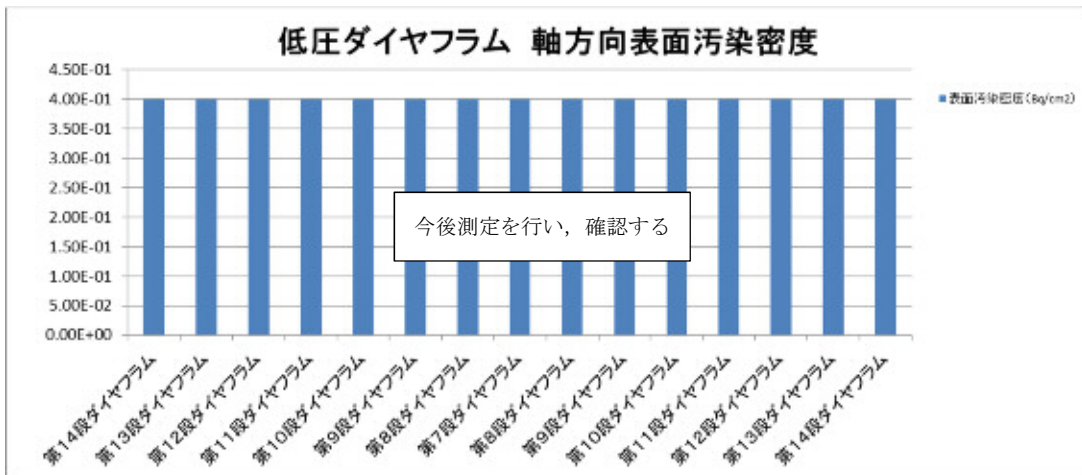
- 原子炉で生成された放射性物質が、原子炉内から主蒸気に移行することで二次的な汚染が生じるため、放射能濃度確認対象物である低圧タービンより上流にあり、汚染が高くなる高圧タービンのダイヤフラム噴口部を代表サンプルに選定した。
- 採取したサンプルの二次的な汚染を酸で溶解させた後、Ge 半導体検出器を用いて測定した。
- 2号炉の対象物については、今後1号炉と同様な除染を実施し、代表サンプルのD/C(Co-60)が1/33 以下になることを確認した後に検認測定を実施する。

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、原子炉からの主蒸気が、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。



以上