

## 大飯 1, 2号炉 燃料取替用水タンク クリアランス認可申請に係る評価対象核種選定ロジックについて

- 放射能濃度確認対象物は、大飯 1, 2号炉（型式：濃縮ウラン、軽水減速、軽水冷却、加圧水型炉）の運転保守に伴い取替えた燃料取替用水タンク（1号炉：胴板、天井板、2号炉：胴板）であり、材質は金属（SUS304）、胴板は除染済である。放射能濃度確認対象物は原子炉初起動から燃料取替用水タンク撤去までの 9,692 日間（1号炉）、9,250 日間（2号炉）使用したものである。
- 放射化汚染については、位置関係及び過去の測定結果から放射化の影響は無いことが明らかである。
- 二次的な汚染については、プラント停止後の燃料取扱時に、系統水を循環することから炉水と燃料取替用水タンク貯留水が混合され、その際に1次冷却材系統の設備から溶出した腐食生成物が炉心の中性子により放射化されることによって生成した放射性物質がタンクに移行し、内面に沈着することにより生じる。CP核種は、構造材の組成から Co-60 が主要な核種であることが明らかである。一方、FP核種は、大飯 1号炉及び2号炉の運転開始から放射能濃度確認対象物解体までの間、燃料リークが1, 2号炉で合計 8回（1号炉：6回、2号炉：2回）発生している。1号炉の燃料リーク前後で Cs-137 濃度の上昇が、たかだか 1桁以内であり FP核種の影響は大きくないと考えられるが、炉水等の分析結果により燃料リークによる FP核種の影響について確認する。ここで、燃料リークによる影響確認については、FP核種の代表として Cs-137 濃度と CP核種の代表として Co-60 濃度を比較する。
- プラント停止中の炉水の分析結果より、Cs-134 及び Cs-137 は全て検出限界未満であり、Co-60 と比較して、最大で約 7%（検出限界値を評価値とした場合）となることから、Co-60 の D/C が最大となった（参考 1）。このことから、二次的な汚染における Cs-137 を代表とする FP核種の影響は CP核種と比較して小さいことが明らかである。
- 2006 年に実施した放射能濃度確認対象物（1号炉燃料取替用水タンクの胴板）の核種分析結果及び他試料の核種分析結果を、2021年2月1日時点まで減衰補正した値を基に各放射性物質の D/C を算出した結果、Co-60 の D/C が最大値となった（参考 2）。
- その他の核種について、Co-58 等の半減期が 1年程度以下の核種は、Co-60 と比較して炉水での濃度が若干高いものがあるものの、半減期が 1年程度以下で短く、且つ放射能濃度確認対象物が発生より 15年以上経過していることから、Co-60 に対して D/C は非常に小さい（Co-58:<1.0E-20）。また、Eu-154 等は、主な生成源のコンクリート等の放射化により生成するが、1次冷却材系統には生成源が殆どないことから、Co-60 に対して D/C は小さくなる。また、Fe-55 の生成源は、1次冷却材系統の SUS304 材中に存在するものの、Fe-55 は、Co-60 と比較して、中性子捕獲断面積が小さいこと、半減期が短いこと及びクリアランスレベルが高いことから、Co-60 に対して D/C は<0.01 となる。
- 従って、二次的な汚染における主要な放射性物質は Co-60 であることは明らかである。
- Co-60 放射能濃度を事前調査（Ge 波高分析装置を使用）に基づき算出した結果、D/C（Co-60）は、クリアランス判断基準に対して最大でも約 1/80 であり、1/33 を十分下回っている（参考 3）。
- 前項に記載の通り、Co-60 以外の核種については Co-60 に対して D/C は小さいことから、クリアランス判断基準に対して 1/33 を十分下回っている。
- 従って、Co-60 以外の核種は考慮する必要はないと判断し、評価対象核種は Co-60 の 1核種とする。
- Co-60 は $\gamma$ 線を放出する核種のため、 $\gamma$ 線を測定すること及び放射能濃度確認対象物の汚染形態は二次的な汚染であることから、汎用の放射線測定器である Ge 波高分析装置で測定を行う。測定は、測定単位の一部を代表として測定し、代表となる測定単位は JIS Z 9015(2006) の「特別検査水準 S-2」に基づき設定する。
- Co-60 の放射能濃度の測定では、評価単位の評価対象核種の D/C（Co-60）が 1/33 以下となることを確認する。また、Ge 波高分析装置のピーク面積（計数率）の不確かさ及び校正線源の不確かさ等を考慮し、評価単位の評価対象核種の D/C（Co-60）が 1/33 以下となることを確認する。

以上

(参考 1-1) 大飯 1 号炉 燃料取替用水タンクに供給される炉水の核種分析結果 (単位: Bq/cm<sup>3</sup>)

号炉		1 号炉					
運転サイクル		16	18	20	平均	D/C (平均)	Co60 との 割合
試料採取日		2000/8/9	2003/4/19	2005/9/27			
不 溶 解 性	<sup>60</sup> Co	1.24E-01	1.21E+00	1.49E+00	9.41E-01	9.41E+00	—
	<sup>134</sup> Cs	<4.65E-02	<7.11E-02	<3.25E-02	<5.00E-02	<5.00E-01	<5.32E-02
	<sup>137</sup> Cs	<5.89E-02	<9.09E-02	<3.75E-02	<6.24E-02	<6.24E-01	<6.63E-02

(参考 1-2) 大飯 2 号炉 燃料取替用水タンクに供給される炉水の核種分析結果 (単位: Bq/cm<sup>3</sup>)

号炉		2 号炉				
運転サイクル		17	19	平均	D/C (平均)	Co60 との 割合
試料採取日		2002/10/26	2005/3/22			
不 溶 解 性	<sup>60</sup> Co	4.43E-01	5.49E+00	2.97E+00	2.97E+01	—
	<sup>134</sup> Cs	<6.89E-02	<7.61E-02	<7.25E-02	<7.25E-01	<2.44E-02
	<sup>137</sup> Cs	<7.83E-02	<8.12E-02	<7.98E-02	<7.98E-01	<2.69E-02

(参考 2-1) 燃料取替用水タンクの放射化学分析結果 (2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

放射性物質	D/C	各放射性物質の D/C に対す る Co-60 の D/C の比率
H-3	7.84E-05	3.01E-02
C-14	<2.91E-04	<1.12E-01
Co-60	2.61E-03	1.00E+00
Sr-90	<4.65E-06	<1.78E-03
Nb-94	1.30E-04	4.98E-02
Cs-134	<3.46E-06	<1.33E-03
Cs-137	5.51E-04	2.11E-01
Pu-239	<4.74E-06	<1.82E-03
Am-241	<1.79E-06	<6.86E-04

(参考 2-2) 除染後の 1 号炉及び 2 号炉の燃料取替用水タンクの胴板の核種分析結果  
(2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

試料名	Co-60		Cs-137		比率
	放射能濃度 (Bq/g)	D/C	放射能濃度 (Bq/g)	D/C	
1u-2-43 (参考 2-1 と同試料)	2.61E-04	2.61E-03	5.51E-05	5.51E-04	2.11E-01
1u-16-49	5.86E-04	5.86E-03	<4.25E-05	<4.25E-04	<7.25E-02
2u-12-16	4.90E-04	4.90E-03	<4.93E-05	<4.93E-04	<1.01E-01

(参考3) 燃料取替用水タンクの Co-60 の放射能濃度及び D/C(Co-60)

(2021年2月1日時点まで減衰補正した値)

○ 1号炉 燃料取替用水タンク

○ 2号炉 燃料取替用水タンク

試料名	Co-60 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (Co-60) (-)
胴板①	2.61E-04	2.61E-03
胴板②	6.94E-04	6.94E-03
胴板③	3.57E-04	3.57E-03
胴板④	6.18E-04	6.18E-03
胴板⑤	4.86E-04	4.86E-03
胴板⑥	2.12E-04	2.12E-03
胴板⑦	4.75E-04	4.75E-03
胴板⑧	1.89E-04	1.89E-03
胴板⑨	6.63E-04	6.63E-03
胴板⑩	6.19E-04	6.19E-03
天井板①	6.86E-05	6.86E-04
天井板②	8.44E-05	8.44E-04
天井板③	<7.85E-05	<7.85E-04

試料名	Co-60 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (Co-60) (-)
胴板①	2.39E-04	2.39E-03
胴板②	3.20E-04	3.20E-03
胴板③	3.56E-04	3.56E-03
胴板④	1.15E-03	1.15E-02 <sup>※</sup>
胴板⑤	4.60E-04	4.60E-03
胴板⑥	2.67E-04	2.67E-03
胴板⑦	4.80E-04	4.80E-03
胴板⑧	1.52E-04	1.52E-03
胴板⑨	3.30E-04	3.30E-03
胴板⑩	2.93E-04	2.93E-03

※：2号炉 燃料取替用水タンクの胴板④が最大値であり、D/C の約 1/80 となる。

大飯 1 号炉の燃料リーク前後の炉水 Cs-137 濃度

下表に大飯 1 号炉の燃料リーク前後の炉水 Cs-137 濃度を示す

表 大飯 1 号炉の燃料リーク前後の炉水 Cs-137 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。

審査基準 33 核種のうち、Fe-55 を除外する考え方

○ Fe-55 の生成過程を基にした検討

下表の通り、Fe-55 と Co-60 の中性子による放射化の生成反応から、SUS304 材の元素含有率、天然の存在率および中性子捕獲断面積より存在量概算で Fe-55/Co-60 は約 2 となる。

しかし、RWST 取替から 15 年以上経過していることから、上記で求めた結果に 15 年減衰後の減衰率を乗じ、クリアランスレベルで除した存在量概算は、Fe-55/Co-60 は<0.01 となる。

これらのことから、Fe-55 について核種選定の対象外としている。

表 Fe-55 及び Co-60 の存在量概算

項目	Fe-55	Co-60	備考
生成反応	$^{54}\text{Fe}(n, \gamma)^{55}\text{Fe}$	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$	アイソトープ手帳
① SUS304 の含有率	70%(Fe)	0.14%(Co)	NUREG/CR-3437(1984)
②天然の存在率	5.84%( $^{54}\text{Fe}$ )	100%( $^{59}\text{Co}$ )	
③中性子捕獲断面積	2.3(b)	37(b)	アイソトープ手帳
④存在量概算 (①×②×③)	9.4E-02	5.2E-02	9.4E-02/5.2E-02≒2
⑤半減期 15年減衰後の減衰率	2.73年 1/45	5.27年 1/7	RWST 取替から 15 年以上経過
⑥クリアランスレベル	1000	0.1	
⑦存在量概算(D/C) (④×⑤(減衰率)÷⑥)	2.1E-06	7.4E-02	2.1E-06/7.4E-02 < 0.01

以上