

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

1. 燃料取替用水タンクの汚染形態

- 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（1 号炉：1979 年 3 月 27 日、2 号炉：1979 年 12 月 5 日）から燃料取替用水タンク撤去（1 号炉：2005 年 10 月 7 日、2 号炉：2005 年 4 月 1 日）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、燃料取替用水タンクの設置位置及び近傍の中性子線量当量率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、燃料取扱時に、系統水を循環することから 1 次冷却材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、燃料製造時に燃料棒表面に付着したウラン等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。ここで、放射能濃度確認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は発生していないことから、FP 核種の影響は小さく、CP 核種が主となる。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。

2. 炉水の分析結果を基にした確認結果

- 大飯 1 号炉及び 2 号炉については運転開始から放射能濃度確認対象物解体までの間、軽微な燃料リークは発生したものの、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は発生していないことから、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。なお、比較においては、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 濃度を比較することとし、1 次冷却材と燃料取替用水タンク貯留水が混合される直前の 1 次冷却材の粒子状成分濃度で比較した。
- プラント運転中の 1 次冷却材は、還元性雰囲気であることから、Co-60 が配管表面等のクラッド層に取り込まれやすく Co-60 濃度が低くなるとともに、溶解性である Cs-137 はクラッド層に取り込まれ難く、Cs-137 濃度が高くなる。一方、1 次冷却材と燃料取替用水タンク貯留水が混合される直前の 1 次冷却材は、酸性性雰囲気となり Co-60 濃度が増加し浄化されたものとなる。
- 1 次冷却材と燃料取替用水タンク貯留水が混合される前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 1-1,1-2）。

3. 核種分析結果等（難測定核種含む）を基にした確認結果

- H-3、C-14、Cl-36、Co-60、Ni-63、Nb-94、Sr-90、Tc-99、I-129、Cs-137、全 α 核種（Pu-239、Pu-241、Am-241）については、大飯 1・2 号炉の濃縮廃液（1991~2006 年、Cl-36 は 2004~2006 年）の核種分析結果を基に、Ni-59 については充填固化体スケーリングファクタを基に D/C を算出した結果、Co-60 の D/C が最大となった（参考 2-1,2-2）。
- 前項の分析結果において、濃縮廃液は粒子状成分と可溶性成分が混在し、可溶性成分の Cs-137 が高めの濃度となり、Co-60 に次いで Cs-137 の放射能濃度が高くなったことから、放射能濃度確認対象物の実際の汚染状況を確認するために、除染後の放射能濃度確認対象物の核種分析結果を基に Cs-137/Co-60 比を算出した結果、Co-60 に対して Cs-137 は最大で約 20%であった（参考 3）。
- その他の核種については、Co-60 と比較して短半減期核種であること、クリアランスレベルが高いこと、及

び放射能濃度確認対象物の汚染源では無い核種であることから、Co-60 に対して D/C は十分小さくなる。

- ・従って、放射能濃度確認対象物の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。

4. 放射能濃度確認対象物の Co-60 放射能濃度分析結果

- ・ 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 4）。
- ・ 3.項に記載の通り、Co-60 に次いで Cs-137 放射能濃度が高くなるものの、Co-60 に対する比率は約 20% であり、Co-60 以外の核種についても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。

5. Co-60 放射能濃度の決定方法（不確かさの設定及び運用方法の詳細を検討中）

- ・ 二次的な汚染の測定は、放射能濃度確認対象物の「測定単位」の D/C が 1 以下で、汚染状況が均一であることから、胴板及び天井板の各々の測定単位全数を母集団として、日本工業規格（JIS Z 9015(2006) 計数値検査に対する抜取検査手順）の「特別検査水準 S-2」に基づき設定する。
- ・ Co-60 は γ 線を放出する核種のため、 γ 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。
- ・ 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/cm³)

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	⁶⁰ Co	1.24E-01	1.21E+00	1.49E+00	9.41E-01	9.41E+00	—
	¹³⁴ Cs	<4.65E-02	<7.11E-02	<3.25E-02	<5.00E-02	<5.00E-01	<5.32E-02
	¹³⁷ 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/cm³)

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	⁶⁰ Co	4.43E-01	5.49E+00	2.97E+00	2.97E+01	—
	¹³⁴ Cs	<6.89E-02	<7.61E-02	<7.25E-02	<7.25E-01	<2.44E-02
	¹³⁷ Cs	<7.83E-02	<8.12E-02	<7.98E-02	<7.98E-01	<2.69E-02

(参考 2-1) 大飯 1・2 号炉の濃縮廃液の難測定核種の分析結果等を基に算出した D/C (1991~2006 年度の 16 年度分の平均値: H-3、C-14、Cl-36、Co-60、Ni-63、Nb-94、Sr-90、Tc-99、I-129、Cs-137、全 α 核種 (Pu-239、Pu-241、Am-241))

放射性物質	濃縮廃液等から算出した 放射能濃度 (Bq/g)	D/C	各放射性物質の D/C の Co-60 の D/C に対する比率
H-3	3.63E+03	3.63E+01	1.34E-02
C-14	1.20E+01	1.20E+01	4.42E-03
Co-60	2.71E+02	2.71E+03	<u>1</u>
Ni-59 ^{※1}	4.01E+00	4.01E-02	1.48E-05
Ni-63	5.01E+02	5.01E+00	1.85E-03
Sr-90	1.71E-01	1.71E-01	6.31E-05
Nb-94	1.11E-01	1.11E+00	4.08E-04
Tc-99	1.82E-04	1.82E-03	6.70E-07
I-129	<7.68E-04	<7.68E-02	<2.83E-05
Cs-137	1.36E+02	1.36E+03	<u>5.01E-01</u>
全 α ^{※2}	2.81E-04	2.81E-03	1.04E-06

※1: Ni-59 の放射能濃度は、JNES-SS レポート (JNES-SS-0403) に基づき算出。

※2: クリアランスレベルが小さい Pu-239 (C=0.1) として D/C を算出。

(参考 2-2) 大飯 1・2 号炉の濃縮廃液の難測定核種の分析結果等を基に算出した D/C (2004~2006 年度の 3 年度分の平均値: Cl-36)

放射性物質	濃縮廃液から算出した 放射能濃度 (Bq/g)	D/C	Cl-36 の D/C の Co-60 の D/C に対する比率
Co-60	2.07E+02	2.07E+03	1
Cl-36	3.53E-02	3.53E-02	1.71E-05

(参考3) 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

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	2.61E-04	2.61E-03	5.51E-05	5.51E-04	2.11E-01
1u-16-49 (再分析結果)	5.86E-04	5.86E-03	< 4.25E-05	< 4.25E-04	< 7.25E-02
2u-12-16 (再分析結果)	4.90E-04	4.90E-03	< 4.93E-05	< 4.93E-04	< 1.01E-01
平均値	4.46E-04	4.46E-03	4.90E-05	4.90E-04	1.10E-01

(参考4) 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) (—)	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①	2.39E-04	2.39E-03
胴板②	6.94E-04	6.94E-03	胴板②	3.20E-04	3.20E-03
胴板③	3.57E-04	3.57E-03	胴板③	3.56E-04	3.56E-03
胴板④	6.18E-04	6.18E-03	胴板④	1.15E-03	1.15E-02 [※]
胴板⑤	4.86E-04	4.86E-03	胴板⑤	4.60E-04	4.60E-03
胴板⑥	2.12E-04	2.12E-03	胴板⑥	2.67E-04	2.67E-03
胴板⑦	4.75E-04	4.75E-03	胴板⑦	4.80E-04	4.80E-03
胴板⑧	1.89E-04	1.89E-03	胴板⑧	1.52E-04	1.52E-03
胴板⑨	6.63E-04	6.63E-03	胴板⑨	3.30E-04	3.30E-03
胴板⑩	6.19E-04	6.19E-03	胴板⑩	2.93E-04	2.93E-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			

※：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。