

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、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。
- 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、放射能濃度確認対象物の除染後の核種分析の結果を基にCs-137/Co-60比を算出した結果、Co-60に対してCs-137は約11%（追加分析を検討中）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に対する比率は平均でも約11%（平均で10%以下となるよう追加分析予定）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

- 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、「測定単位」の一部を代表として測定し、その結果を基に「評価単位」の放射能濃度を決定する。
- **Co-60** は β (γ) 線を放出する核種のため、 β 線を測定すること、対象物が平板であり、かつ表面が平滑であること、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り、汚染は表面のみであることから、汎用の放射線測定器である **GM** 汚染サーベイメータで測定を行う。
- **Co-60** の放射能濃度の測定では、放射能濃度確認対象物から放出される **Co-60** 及び **Cs-137** を含む全ての β 線放出核種の計数率を測定し、全ての β 線が **Co-60** からの放出であるとして放射能濃度を決定する。また、測定条件及び評価に関する不確かさを考慮し、評価単位の評価対象核種の **D/C (Co-60)** が **1** 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

※ 追加分析の要否を検討中。なお、不確かさを考慮した平均値+95%上限値を10%以下にする場合には、二十数点以上の追加分析が必要であると想定され、分析期間は3ヶ月程度要する。

(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。