

核種選択結果の妥当性について

No.	Page	質問・コメント等
12	本文 P10 (核種選択)	核種選択について、分析値の不確かさを考慮しても第4位の核種が核種選択の結果に影響しないことについて説明すること。

本認可申請書においては、前回認可申請書で設定した核種組成比を用いて核種選択を行っている。前回認可申請書における核種組成比の設定方法及びその妥当性を以下に示す。

また、本認可申請書においては、放射化学分析値 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ,  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) については算術平均値の 95%上限値を用い放射性物質の種類が幅広く選択されるよう設定できていることを確認した。

更に、放射化学分析値 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ,  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) については算術平均値を採用し、放射化計算結果の妥当性確認で用いた放射化学分析値 ( $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ) については算術平均値の 95%上限値を用いた場合について検証し、選択核種に影響がないことを確認した。

以上のことから、核種組成比の設定方法は妥当であると判断した。

詳細は以下の通り。

1. 核種組成比の設定方法（前回認可申請書の内容）

二次的な汚染において、審査基準 33 核種のうち  $^3\text{H}$  を除く審査基準 32 核種は、放射化計算コード「ORIGEN-2」による放射化計算により行い、CP 核種及び FP 核種毎に代表核種に対する核種組成比を求める。

(1) 放射能濃度の設定（前回認可申請書 3-18 ページ）

二次的な汚染の生成メカニズムとして、放射性物質の発生、浄化、移行、付着及び減衰を考慮して評価対象核種選択のための放射能濃度を求める。二次的な汚染の親元素が原子炉で順次照射されて放射性物質となり、その都度、対象物に付着する。放射性物質の付着は運転中に徐々に進行し、付着後、放射性物質は減衰する。

放射性物質の発生は、放射化計算により放射能濃度比として求める。


放射性物質の付着は、代表的な運転履歴（実績に基づき、運転期間、停止期間を規格化）に基づき経年的に蓄積するとする。

## a) 放射化計算による放射能濃度比の算出

- ・ 上述の生成メカニズムを想定して計算条件を設定し、選定した親元素（CP核種の親元素をステンレス鋼、FP核種の親元素を天然ウラン）の放射化計算を行い、CP核種及びFP核種毎に代表核種（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ ）に対する放射能濃度の比率を求める。

## b) CP核種とFP核種の放射能濃度比の合成

- ・ CP核種とFP核種の代表核種（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ ）に対する放射能濃度の比率を合成するための代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）は、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{60}\text{Co}$ の分析値を用いて設定する。
- ・ 分析データの整理は、分析データの統計的な分布を考慮し、平均値の95%上限値とする。
- ・ 設定した放射能濃度を上記で整理した代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）を用いてCP核種とFP核種を合成（CP核種の値+FP核種の値×（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ））し、核種組成比を仮設定する。

## d) 評価対象核種選択用の放射能濃度の設定

- ・ 以上を基に、評価対象核種の選択に用いる規則32核種の放射能濃度として、 $^{60}\text{Co}$ のD/C=1に対する放射能濃度として設定する。

## (2) 評価モデルの妥当性確認（前回認可申請書 3-20 ページ）

上述 a)の二次的な汚染の評価モデルに基づき求めた計算値と代表サンプルの分析値を比較することにより、評価モデルの妥当性を確認した。比較対象の放射能濃度比は、CP核種の代表として $^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$ 、FP核種の代表として $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ とする。比較結果は以下のとおり。（浜岡1,2号炉原子炉最終停止日を平成29年7月1日に減衰補正した値）

$^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$  放射能濃度比（CP核種）：分析値 B / 計算値 A = 1.2E-00

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  放射能濃度比（FP核種）：分析値 B / 計算値 A = 7.7E-01

計算値と分析値は同程度であり、放射化計算結果については妥当と判断した。

## 2. 放射化学分析値の妥当性の検証

更に、本申請の放射能濃度確認対象物から採取した代表サンプルについて放射化学分析を行い比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ）を求め、先行事例の放射化学分析値を基に設

定した値 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) と比較し、妥当性を確認した。

代表サンプルは、浜岡1号炉から「①サプレッションチェンバー」、「②原子炉給水ポンプ (A) 入口配管」及び「③余熱除去系 (A) 熱交換器出口配管」、浜岡2号炉から「④サプレッションチェンバー」、「⑤高圧第2給水加熱器 (B) 出口配管」及び「⑥高圧第2給水加熱器 (A) ドレン配管」である。

先行事例の放射化学分析値を基に設定した値 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) と本申請の放射能濃度確認対象物から採取した代表サンプルの放射化学分析結果 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) を比較すると下表に示すとおり、先行事例の設定値が代表サンプルの放射化学分析結果 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ) を上回っていることを確認した。先行事例の設定値を用いることにより、主要核種である  $^{60}\text{Co}$  を第一に選択することを前提とし、 $^{60}\text{Co}$  以外の核種の  $\Sigma\text{D/C}$  に対する比率が相対的に大きくなることから、他の核種が選択されやすくなる。従って、先行事例の設定値を採用することは評価対象核種を幅広く選択することに繋がり、妥当であると判断した。

(2023年8月1日時点)

		$^{14}\text{C} / ^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs} / ^{60}\text{Co}$	
浜岡1号炉	先行事例の設定値	3.8E-01	5.0E-02	
	代表サンプルの放射化学分析結果	サプレッションチェンバー	1.3E-03	5.1E-04
		原子炉給水ポンプ (A) 入口配管	4.8E-03	1.1E-03
		RHR(A)熱交出口配管	6.4E-05	3.4E-06
浜岡2号炉	先行事例の設定値	2.9E-01	5.0E-02	
	代表サンプルの放射化学分析結果	サプレッションチェンバー	4.8E-04	2.6E-06
		高圧第2給水加熱器 (B) 出口配管	6.0E-03	8.6E-04
		高圧第2給水加熱器 (A) ドレン配管	1.3E-02	2.1E-03

### 3. 評価対象核種について

32核種の放射能濃度の設定結果から対象期間中に90%以上となるようD/C割合が大きい順に核種を選択しており、評価対象核種の結果は $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{14}\text{C}$ の3核種である。評価対象核種は $^{60}\text{Co}$ に加えて、結果的に算術平均値の95%上限値を採用した $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{14}\text{C}$ を選択したことから、 $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{14}\text{C}$ の値として算術平均値の95%上限値を用いることによって、第4位の核種にどのような影響があるかを以下のとおり確認した。

#### (1) 確認方法

① $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$  及び  $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$  について、本回答書の表-1に示す算術平均値を用いて放射能濃度を設定し、再度評価対象核種を選択することによって影響の程度を確認した。(上

述のとおり放射化計算結果は妥当であることから、CP核種内及びFP核種内の比率は維持する。)

## (2) 確認結果

①放射能濃度を設定し、上位6核種について、結果を本回答書の表-2に示す。

2023年8月1日時点では、 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ について算術平均値の95%上限値から算術平均値とし、32核種の放射能濃度を設定した。このとき、 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ を算術平均値により設定したため、 $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{14}\text{C}$ のD/Cは約半分となった。また、CP核種とFP核種の合成に用いた $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ を算術平均値とすることにより、FP核種の $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{239}\text{Pu}$ のD/Cも約半分となった。一方で、 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ の比率に伴う影響がないCP核種である $^{63}\text{Ni}$ のD/Cは変動がない。寄与割合は、 $^{137}\text{Cs}$ 等のFP核種減少分がCP核種の増加分となり、CP核種の大半(99%以上)を占める $^{60}\text{Co}$ の割合が増加した。これらは浜岡1,2号炉ともに同じ傾向である。従って、算術平均値の95%上限値で設定することにより、第1位核種( $^{60}\text{Co}$ )の寄与度が下がり、幅広く評価対象核種を選択できると判断した。

2037年4月1日時点でも同様に $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ について算術平均値の95%上限値から算術平均値とし、32核種の放射能濃度を設定すると同様に $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{14}\text{C}$ のD/Cは減少するとともに、FP核種の $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ のD/Cも減少し、CP核種である $^{63}\text{Ni}$ のD/Cは変動がない。寄与割合も同様に $^{137}\text{Cs}$ 等のFP核種減少分がCP核種の増加分となり、CP核種の大半(98%以上(CP核種の第2位の $^{63}\text{Ni}$ のほうが半減期が長いいため割合は2023年8月1日時点の99%から低下する。))を占める $^{60}\text{Co}$ が増加した。また、D/Cの大きい順に全体の90%以上となるように核種を選択すると現行の選択結果と同様に $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{14}\text{C}$ の3核種となり、第4位核種の影響は無いことを確認した。

更に、 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ の比率を算術平均値の95%上限値より小さい値である算術平均値として計算したが、極端な例として $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ の比率を「0」とした場合、FP核種[ ]「0」と評価される。これは、認可申請書「(添付3)表-1」で示すCP核種の放射能濃度[ ]評価結果となり、 $^{60}\text{Co}$ のみで90%以上(上述の通り第2位は $^{63}\text{Ni}$ )となる。

以上から、 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ を算術平均値の95%上限値で設定することは、評価対象外となった核種を過小に評価することはなく $^{60}\text{Co}$ の寄与度を下げ、他の核種から幅広く評価対象核種を選択できると判断した。

<参考>

32 核種の設定方法の妥当性は上述のとおりである。更に確認のため、評価モデルの妥当性確認を行った放射化学分析値（CP 核種の代表： $^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$ ，FP 核種の代表： $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ）について、それらの不確かさを考慮し、算術平均値の95%上限値を用いた場合においても、核種選択結果が変わらないことを確認した。具体的には、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ のうちD/C（寄与割合）の大きい $^{90}\text{Sr}$ について代表で確認し、他の放射化学分析値（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 、 $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ ）は算術平均値を用いた上で、放射化学分析値（ $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ）は算術平均値の95%上限値を用いて32核種の放射能濃度を設定した。上位6核種について、設定結果を本回答書の表-3に示す。評価対象核種を選択を行った結果、評価対象核種が変わらないことを確認した。

以上

表-1 設定に用いる分析値

比率	算術平均値の95%上限値 (申請書記載値)	算術平均値
$^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$	2.6E-02	1.3E-02
$^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$	2.2E-02	1.1E-02

表-2 放射能濃度の評価結果

①&lt;浜岡1号炉&gt;

(2023年8月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 $(^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}, ^{14}\text{C}/^{60}\text{Co})$			算術平均値 $(^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}, ^{14}\text{C}/^{60}\text{Co})$		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	$^{60}\text{Co}$	1.0E+00	90.9%	$^{60}\text{Co}$	1.0E+00	95.1%
2	$^{137}\text{Cs}$	5.0E-02	4.6%	$^{137}\text{Cs}$	2.5E-02	2.4%
3	$^{14}\text{C}$	3.8E-02	3.4%	$^{14}\text{C}$	1.9E-02	1.8%
4	$^{90}\text{Sr}$	4.2E-03	0.4%	$^{90}\text{Sr}$	2.1E-03	0.2%
5	$^{239}\text{Pu}$	4.2E-03	0.4%	$^{239}\text{Pu}$	2.1E-03	0.2%
6	$^{63}\text{Ni}$	1.7E-03	0.2%	$^{63}\text{Ni}$	1.7E-03	0.2%
	選択3核種の割合		98.9%	選択3核種の割合		99.3%

②&lt;浜岡2号炉&gt;

(2023年8月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 $(^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}, ^{14}\text{C}/^{60}\text{Co})$			算術平均値 $(^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}, ^{14}\text{C}/^{60}\text{Co})$		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	$^{60}\text{Co}$	1.0E+00	91.7%	$^{60}\text{Co}$	1.0E+00	95.1%
2	$^{137}\text{Cs}$	5.0E-02	4.6%	$^{137}\text{Cs}$	2.5E-02	2.4%
3	$^{14}\text{C}$	2.9E-02	2.7%	$^{14}\text{C}$	1.9E-02	1.8%
4	$^{90}\text{Sr}$	4.2E-03	0.4%	$^{90}\text{Sr}$	2.1E-03	0.2%
5	$^{239}\text{Pu}$	4.0E-03	0.4%	$^{239}\text{Pu}$	1.9E-03	0.2%
6	$^{63}\text{Ni}$	1.3E-03	0.1%	$^{63}\text{Ni}$	1.3E-03	0.1%
	選択3核種の割合		99.0%	選択3核種の割合		99.4%

## ③&lt;浜岡1号炉&gt;

(2027年4月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	66.2%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	79.2%
2	<sup>14</sup> C	2.3E-01	15.1%	<sup>14</sup> C	1.1E-01	9.1%
3	<sup>137</sup> Cs	2.2E-01	14.7%	<sup>137</sup> Cs	1.1E-01	8.8%
4	<sup>239</sup> Pu	2.5E-02	1.7%	<sup>239</sup> Pu	1.3E-02	1.0%
5	<sup>90</sup> Sr	1.8E-02	1.2%	<sup>63</sup> Ni	9.4E-03	0.7%
6	<sup>63</sup> Ni	9.4E-03	0.6%	<sup>90</sup> Sr	9.3E-03	0.7%
	選択3核種の割合		95.9%	選択3核種の割合		97.0%

## ④&lt;浜岡2号炉&gt;

(2027年4月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	68.9%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	79.5%
2	<sup>137</sup> Cs	2.2E-01	15.3%	<sup>14</sup> C	1.1E-01	9.1%
3	<sup>14</sup> C	1.7E-01	12.0%	<sup>137</sup> Cs	1.1E-01	8.8%
4	<sup>239</sup> Pu	2.4E-02	1.7%	<sup>239</sup> Pu	1.2E-02	0.9%
5	<sup>90</sup> Sr	1.8E-02	1.3%	<sup>90</sup> Sr	9.3E-03	0.7%
6	<sup>63</sup> Ni	6.9E-03	0.5%	<sup>63</sup> Ni	6.9E-03	0.5%
	選択3核種の割合		96.1%	選択3核種の割合		97.4%

表-3 放射能濃度の評価結果

## ①&lt;浜岡1号炉&gt;

(2023年8月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co) ( <sup>90</sup> Srのみ算術平均値の95%上限値)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	90.9%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	94.9%
2	<sup>137</sup> Cs	5.0E-02	4.6%	<sup>137</sup> Cs	2.5E-02	2.4%
3	<sup>14</sup> C	3.8E-02	3.4%	<sup>14</sup> C	1.9E-02	1.8%
4	<sup>90</sup> Sr	4.2E-03	0.4%	<sup>90</sup> Sr	4.3E-03	0.4%
5	<sup>239</sup> Pu	4.2E-03	0.4%	<sup>239</sup> Pu	2.1E-03	0.2%
6	<sup>63</sup> Ni	1.7E-03	0.2%	<sup>63</sup> Ni	1.7E-03	0.2%
	選択3核種の割合		98.9%	選択3核種の割合		99.1%

## ②&lt;浜岡2号炉&gt;

(2023年8月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co) ( <sup>90</sup> Srのみ算術平均値の95%上限値)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	91.7%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	95.0%
2	<sup>137</sup> Cs	5.0E-02	4.6%	<sup>137</sup> Cs	2.5E-02	2.4%
3	<sup>14</sup> C	2.9E-02	2.7%	<sup>14</sup> C	1.9E-02	1.8%
4	<sup>90</sup> Sr	4.2E-03	0.4%	<sup>90</sup> Sr	4.3E-03	0.4%
5	<sup>239</sup> Pu	4.0E-03	0.4%	<sup>239</sup> Pu	1.9E-03	0.2%
6	<sup>63</sup> Ni	1.3E-03	0.1%	<sup>63</sup> Ni	1.3E-03	0.1%
	選択3核種の割合		99.0%	選択3核種の割合		99.2%



## ③&lt;浜岡1号炉&gt;

(2027年4月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co) ( <sup>90</sup> Srのみ算術平均値の95%上限値)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	66.2%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	78.6%
2	<sup>14</sup> C	2.3E-01	15.1%	<sup>14</sup> C	1.1E-01	9.0%
3	<sup>137</sup> Cs	2.2E-01	14.7%	<sup>137</sup> Cs	1.1E-01	8.7%
4	<sup>239</sup> Pu	2.5E-02	1.7%	<sup>90</sup> Sr	1.9E-02	1.5%
5	<sup>90</sup> Sr	1.8E-02	1.2%	<sup>239</sup> Pu	1.3E-02	1.0%
6	<sup>63</sup> Ni	9.4E-03	0.6%	<sup>63</sup> Ni	9.4E-03	0.7%
	選択3核種の割合		95.9%	選択3核種の割合		96.3%

## ④&lt;浜岡2号炉&gt;

(2027年4月1日時点)

順位	算術平均値の95%上限値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co)			算術平均値 ( <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co, <sup>14</sup> C/ <sup>60</sup> Co) ( <sup>90</sup> Srのみ算術平均値の95%上限値)		
	核種	D/C (-)	寄与割合	核種	D/C (-)	寄与割合
1	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	68.9%	<sup>60</sup> Co	1.0E+00	78.9%
2	<sup>137</sup> Cs	2.2E-01	15.3%	<sup>14</sup> C	1.1E-01	9.1%
3	<sup>14</sup> C	1.7E-01	12.0%	<sup>137</sup> Cs	1.1E-01	8.7%
4	<sup>239</sup> Pu	2.4E-02	1.7%	<sup>90</sup> Sr	1.9E-02	1.5%
5	<sup>90</sup> Sr	1.8E-02	1.3%	<sup>239</sup> Pu	1.2E-02	0.9%
6	<sup>63</sup> Ni	6.9E-03	0.5%	<sup>63</sup> Ni	6.9E-03	0.5%
	選択3核種の割合		96.1%	選択3核種の割合		96.7%

以上

参考

(添付3) 表-1 評価対象核種の選択に用いる審査基準 32 核種  
(CP 核種 / FP 核種別) の放射能濃度 (1/4)

審査基準 32 核種のうち CP 核種の放射能濃度を以下に示す。表中の放射化計算値は  $^{60}\text{Co}$  の放射能濃度を 1Bq/g とした場合の放射能濃度である。

<浜岡 1 号炉>

(2023 年 8 月 1 日時点)

No.	核種	放射化計算値 (Bq/g)	D/C (-)	$^{60}\text{Co}$ の D/C に対する比率
1	$^{14}\text{C}$	2.9E-03	2.9E-03	0%
2	$^{36}\text{Cl}$	5.1E-05	5.1E-05	0%
3	$^{41}\text{Ca}$	4.7E-07	4.7E-09	0%
4	$^{46}\text{Sc}$	0	0	0%
5	$^{54}\text{Mn}$	6.1E-08	6.1E-07	0%
6	$^{55}\text{Fe}$	1.0E-01	1.0E-04	0%
7	$^{59}\text{Fe}$	0	0	0%
8	$^{58}\text{Co}$	0	0	0%
9	$^{60}\text{Co}$	1.0	1.0E+01	100%
10	$^{59}\text{Ni}$	1.7E-02	1.7E-04	0%
11	$^{63}\text{Ni}$	1.7E+00	1.7E-02	0.2%
12	$^{65}\text{Zn}$	1.1E-11	1.1E-10	0%
13	$^{90}\text{Sr}$	5.8E-18	5.8E-18	0%
14	$^{94}\text{Nb}$	1.4E-05	1.4E-04	0%
15	$^{95}\text{Nb}$	0	0	0%
16	$^{99}\text{Tc}$	2.2E-06	2.2E-06	0%
17	$^{106}\text{Ru}$	0	0	0%
18	$^{108\text{m}}\text{Ag}$	2.0E-05	2.0E-04	0%
19	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	7.5E-13	7.5E-12	0%
20	$^{124}\text{Sb}$	0	0	0%
21	$^{123\text{m}}\text{Te}$	0	0	0%
22	$^{129}\text{I}$	2.4E-12	2.4E-10	0%
23	$^{134}\text{Cs}$	2.7E-06	2.7E-05	0%
24	$^{137}\text{Cs}$	1.3E-08	1.3E-07	0%
25	$^{133}\text{Ba}$	1.6E-04	1.6E-03	0%
26	$^{152}\text{Eu}$	1.1E-03	1.1E-02	0.1%
27	$^{154}\text{Eu}$	8.7E-05	8.7E-04	0%
28	$^{160}\text{Tb}$	0	0	0%
29	$^{182}\text{Ta}$	0	0	0%
30	$^{239}\text{Pu}$	—	—	—
31	$^{241}\text{Pu}$	—	—	—
32	$^{241}\text{Am}$	—	—	—

<補足>

- ・代表核種： $^{60}\text{Co}$
- ・先行事例における放射能濃度の設定結果（参考文献「添付図表 3-84」）を本申請における基準日（2023 年 8 月 1 日）に減衰補正した値

参考

(添付3) 表-1 評価対象核種の選択に用いる審査基準 32 核種  
(CP 核種 / FP 核種別) の放射能濃度 (2/4)

&lt;浜岡 2 号炉&gt;

(2023 年 8 月 1 日時点)

No.	核種	放射化計算値 (Bq/g)	D/C (-)	<sup>60</sup> Co の D/C に対する比率
1	<sup>14</sup> C	2.0E-03	2.0E-03	0%
2	<sup>36</sup> Cl	3.8E-05	3.8E-05	0%
3	<sup>41</sup> Ca	3.3E-07	3.3E-09	0%
4	<sup>46</sup> Sc	0	0	0%
5	<sup>54</sup> Mn	2.7E-07	2.7E-06	0%
6	<sup>55</sup> Fe	1.4E-01	1.4E-04	0%
7	<sup>59</sup> Fe	0	0	0%
8	<sup>58</sup> Co	0	0	0%
9	<sup>60</sup> Co	1.0	1.0E+01	100%
10	<sup>59</sup> Ni	1.2E-02	1.2E-04	0%
11	<sup>63</sup> Ni	1.3E+00	1.3E-02	0.1%
12	<sup>65</sup> Zn	8.1E-11	8.1E-10	0%
13	<sup>90</sup> Sr	4.4E-18	4.4E-18	0%
14	<sup>94</sup> Nb	1.0E-05	1.0E-04	0%
15	<sup>95</sup> Nb	0	0	0%
16	<sup>99</sup> Tc	1.6E-06	1.6E-06	0%
17	<sup>106</sup> Ru	0	0	0%
18	<sup>108m</sup> Ag	1.5E-05	1.5E-04	0%
19	<sup>110m</sup> Ag	5.1E-12	5.1E-11	0%
20	<sup>124</sup> Sb	0	0	0%
21	<sup>123m</sup> Te	0	0	0%
22	<sup>129</sup> I	1.7E-12	1.7E-10	0%
23	<sup>134</sup> Cs	4.0E-06	4.0E-05	0%
24	<sup>137</sup> Cs	9.9E-09	9.9E-08	0%
25	<sup>133</sup> Ba	1.4E-04	1.4E-03	0%
26	<sup>152</sup> Eu	9.0E-04	9.0E-03	0.1%
27	<sup>154</sup> Eu	7.6E-05	7.6E-04	0%
28	<sup>160</sup> Tb	0	0	0%
29	<sup>182</sup> Ta	0	0	0%
30	<sup>239</sup> Pu	—	—	—
31	<sup>241</sup> Pu	—	—	—
32	<sup>241</sup> Am	—	—	—

&lt;補足&gt;

- ・代表核種：<sup>60</sup>Co
- ・先行事例における放射能濃度の設定結果（参考文献「添付図表 3-85」）を本申請における基準日（2023 年 8 月 1 日）に減衰補正した値

参考

(添付3) 表-1 評価対象核種の選択に用いる審査基準 32 核種  
(CP 核種 / FP 核種別) の放射能濃度 (3/4)

審査基準 32 核種のうち FP 核種の放射能濃度を以下に示す。表中の放射化計算値は  $^{137}\text{Cs}$  の放射能濃度を 1Bq/g とした場合の放射能濃度である。

<浜岡 1 号炉>

(2023 年 8 月 1 日時点)

No.	核種	放射化計算値 (Bq/g)	D/C (-)	$^{137}\text{Cs}$ の D/C に対する比率
1	$^{14}\text{C}$	—	—	—
2	$^{36}\text{Cl}$	—	—	—
3	$^{41}\text{Ca}$	—	—	—
4	$^{46}\text{Sc}$	—	—	—
5	$^{54}\text{Mn}$	—	—	—
6	$^{55}\text{Fe}$	—	—	—
7	$^{59}\text{Fe}$	—	—	—
8	$^{58}\text{Co}$	—	—	—
9	$^{60}\text{Co}$	—	—	—
10	$^{59}\text{Ni}$	—	—	—
11	$^{63}\text{Ni}$	—	—	—
12	$^{65}\text{Zn}$	—	—	—
13	$^{90}\text{Sr}$	8.5E-01	8.5E-01	8.5%
14	$^{94}\text{Nb}$	1.0E-10	1.0E-09	0%
15	$^{95}\text{Nb}$	0	0	0%
16	$^{99}\text{Tc}$	3.1E-04	3.1E-04	0%
17	$^{106}\text{Ru}$	2.1E-07	2.1E-06	0%
18	$^{108\text{m}}\text{Ag}$	0	0	0%
19	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	0	0	0%
20	$^{124}\text{Sb}$	0	0	0%
21	$^{123\text{m}}\text{Te}$	0	0	0%
22	$^{129}\text{I}$	4.4E-07	4.4E-05	0%
23	$^{134}\text{Cs}$	2.7E-09	2.7E-08	0%
24	$^{137}\text{Cs}$	1.0	1.0E+01	100%
25	$^{133}\text{Ba}$	7.7E-14	7.7E-13	0%
26	$^{152}\text{Eu}$	2.2E-11	2.2E-10	0%
27	$^{154}\text{Eu}$	1.4E-08	1.4E-07	0%
28	$^{160}\text{Tb}$	0	0	0%
29	$^{182}\text{Ta}$	—	—	—
30	$^{239}\text{Pu}$	8.3E-02	8.3E-01	8.3%
31	$^{241}\text{Pu}$	9.4E-18	9.4E-19	0%
32	$^{241}\text{Am}$	1.2E-18	1.2E-17	0%

<補足>

- ・代表核種： $^{137}\text{Cs}$
- ・先行事例における放射能濃度の設定結果（参考文献「添付図表 3-86」）を本申請における基準日（2023 年 8 月 1 日）に減衰補正した値

参考

(添付3) 表-1 評価対象核種の選択に用いる審査基準 32 核種  
(CP 核種 / FP 核種別) の放射能濃度 (4/4)

&lt;浜岡2号炉&gt;

(2023年8月1日時点)

No.	核種	放射化計算値 (Bq/g)	D/C (-)	<sup>137</sup> Cs の D/C に対する比率
1	<sup>14</sup> C	—	—	—
2	<sup>36</sup> Cl	—	—	—
3	<sup>41</sup> Ca	—	—	—
4	<sup>46</sup> Sc	—	—	—
5	<sup>54</sup> Mn	—	—	—
6	<sup>55</sup> Fe	—	—	—
7	<sup>59</sup> Fe	—	—	—
8	<sup>58</sup> Co	—	—	—
9	<sup>60</sup> Co	—	—	—
10	<sup>59</sup> Ni	—	—	—
11	<sup>63</sup> Ni	—	—	—
12	<sup>65</sup> Zn	—	—	—
13	<sup>90</sup> Sr	8.5E-01	8.5E-01	8.5%
14	<sup>94</sup> Nb	9.5E-11	9.5E-10	0%
15	<sup>95</sup> Nb	0	0	0%
16	<sup>99</sup> Tc	2.9E-04	2.9E-04	0%
17	<sup>106</sup> Ru	9.1E-07	9.1E-06	0%
18	<sup>108m</sup> Ag	0	0	0%
19	<sup>110m</sup> Ag	0	0	0%
20	<sup>124</sup> Sb	0	0	0%
21	<sup>123m</sup> Te	0	0	0%
22	<sup>129</sup> I	4.1E-07	4.1E-05	0%
23	<sup>134</sup> Cs	5.5E-09	5.5E-08	0%
24	<sup>137</sup> Cs	1.0	1.0E+01	100%
25	<sup>133</sup> Ba	7.2E-14	7.2E-13	0%
26	<sup>152</sup> Eu	2.4E-11	2.4E-10	0%
27	<sup>154</sup> Eu	1.6E-08	1.6E-07	0%
28	<sup>160</sup> Tb	0	0	0%
29	<sup>182</sup> Ta	—	—	—
30	<sup>239</sup> Pu	7.7E-02	7.7E-01	7.7%
31	<sup>241</sup> Pu	9.4E-18	9.4E-19	0%
32	<sup>241</sup> Am	1.1E-18	1.1E-17	0%

&lt;補足&gt;

- ・代表核種：<sup>137</sup>Cs
- ・先行事例における放射能濃度の設定結果（参考文献「添付図表3-87」）を本申請における基準日（2023年8月1日）に減衰補正した値

## 2.3 評価対象核種選択用の放射能濃度の設定手順

### (1) $^3\text{H}$ を除く規則 32 核種

- ・ $^3\text{H}$  を除く規則 32 核種の放射能濃度は、主要核種 ( $^{60}\text{Co}$ ) に対する核種組成比を求め、核種組成比を放射能濃度に変換して求める。
- ・二次的な汚染の生成メカニズムとして、放射性物質の発生、浄化、移行、付着及び減衰を考慮して評価対象核種選択のための放射能濃度を求める。二次的な汚染の親元素が原子炉で順次照射されて放射性物質となり、その都度、対象物に付着する。放射性物質の付着は運転中に徐々に進行し、付着後、放射性物質は減衰する。
- ・放射性物質の発生は、放射化計算により放射能濃度比として求める。
- ・放射性物質の浄化は、核種の物理的半減期による減衰より原子炉浄化系の核種の除去が早いため、原子炉水中の放射能濃度比は、核種発生率の比率で一定とする。
- ・放射性物質の移行は、二次的な汚染が原子炉水から主蒸気に移行して対象物に付着する過程において、
- ・放射性物質の付着は、代表的な運転履歴（実績に基づき、運転期間、停止期間を規格化）に基づき経年的に蓄積するとする。
- ・放射性物質の減衰は、付着後、順次進行するとし、その際、逐次壊変を考慮する。
- ・評価対象核種の選択に用いる核種組成比及び放射能濃度の設定方法は以下のとおり。

#### a) 放射化計算による放射能濃度比の算出

- ・上記の生成メカニズムを想定して計算条件を設定し、選定した親元素の放射化計算を行い、CP 核種及び FP 核種毎に代表核種 ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) に対する放射能濃度の比率を求める。
- ・放射化計算の計算条件を「(添付 3) 表-8」に示す。  
(参考文献 10, 11)

#### b) CP 核種と FP 核種の放射能濃度比の合成

- ・CP 核種と FP 核種の代表核種 ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) に対する放射能濃度の比率を合成するための代表核種比率 ( $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ) は、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{60}\text{Co}$  の分析値を用いて設定する。
- ・分析値は、代表部位での可搬型 Ge 半導体検出器及び代表採取部位の放射化学分析による分析データを用いて設定する。
- ・分析データの整理は、分析データの統計的な分布を考慮し、平均値の「95%信頼区間片側上限値（以下、「95%上限値」という。）」とする。統計的な分布を考慮する際は、分析データの統計的な分布を網羅的に考慮

することができる4ケース（正規分布，対数正規分布，ガンマ分布，特定の分布を示さない）を設定し，それぞれ検定を行う。

- CP核種及びFP核種毎の放射能濃度比を代表核種（ $^{60}\text{Co}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ）の放射能濃度をそれぞれ1Bq/gとして，その他の核種の放射能濃度を設定する。
- 設定した放射能濃度を上記で整理した代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）を用いてCP核種とFP核種を合成（CP核種の値+FP核種の値×（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ））し，核種組成比を仮設定する。

c)


d) 評価対象核種選択用の放射能濃度の設定

- 以上を基に，評価対象核種の選択に用いる規則32核種の放射能濃度として， $^{60}\text{Co}$ のD/C=1に対する放射能濃度として設定する。

- 放射化計算による放射能濃度比は，「(添付3)表-9(1),(2)」に示すとおりCP核種及びFP核種毎に算出した。
- 全 $\alpha$ の放射能濃度比は，天然ウランの放射化計算で $^{241}\text{Pu}$ ， $^{241}\text{Am}$ 及び $^{239}\text{Pu}$ の放射能濃度比を設定するとともに， $^{241}\text{Am}$ の親核種 $^{241}\text{Pu}$ からの逐次壊変も考慮した。
- 代表核種比率は，「(添付2)表-4」に示す調査結果の分析データ（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）を用いて整理した。
- 調査の結果， $^{60}\text{Co}$ を検出したデータ45点のうち， $^{137}\text{Cs}$ を検出したデータは10点で全体数の22%である。また，「(添付2)表-6」に示すとおり，原子炉水中の $^{129}\text{I}$ 濃度の測定結果が全て検出限界値未満であることから，燃料破損の影響は見られない。以上より，全体的な傾向としてCP核種に対してFP核種の割合は少ないと判断し，代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）の設定には $^{137}\text{Cs}$ が検出限界値未満のデータも使用する。
- 検定の結果，平均値の95%上限値は，「(添付3)表-9(3)」及び「(添付3)表

－10」に示すとおり、平均値の95%上限値として、浜岡1,2号炉ともに $2.6 \times 10^{-2}$ （平成29年7月1日現在）となり、これを代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）として設定した。（参考文献12）

- ・「(添付3)表－9(1),(2)」に示すCP核種及びFP核種毎の放射能濃度比を代表核種比率（ $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ ）を用いて合成した結果を「(添付3)表－11」に示す。

- ・検定の結果、平均値の95%上限値は、「(添付3)表－9(3)」及び「(添付3)表－10」に示すとおり、平均値の95%上限値として、浜岡1号炉 $1.7 \times 10^{-1}$ 、2号炉 $1.3 \times 10^{-1}$ （いずれも平成29年7月1日現在）となった。（参考文献13）

※（補足）

- ・二次的な汚染の生成メカニズム及び評価モデルの妥当性確認として、「(添付3)表－8」に示すとおり、放射化計算により算出した計算値と代表サンプルの分析値を比較（CP核種の代表： $^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$ 、FP核種の代表： $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ）し、計算値と分析値に有意な差は見られないことから判断した。

- ・以上を基に $^{60}\text{Co}$ のD/C=1に対する放射能濃度として整理し設定した規則32核種の放射能濃度を「(添付3)表－12」に示す。
- ・これを評価対象核種の選択に用いる規則32核種の放射能濃度とする。