

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、CP核種はステンレス鋼を親元素とし、またFP核種は天然ウランを親元素として、放射化計算により放射能濃度を算出し、代表核種（CP核種： ^{60}Co 、FP核種 ^{137}Cs ）の放射化学分析値を基に比率を設定し、CP核種とFP核種を合成している。

上記の方法により32核種の放射能濃度を設定したことから、放射化学分析により設定した比率は $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 及び $^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ である。これらの比率は不確かさを考慮するため、分析値の統計的な分布を考慮した算術平均値の95%上限値とした。

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}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{14}C の3核種である。評価対象核種は ^{60}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}Cs 及び ^{14}C を選択したことから、 ^{137}Cs 及び ^{14}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。

<確認方法>

$^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 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。

<確認結果>

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}Cs 及び ^{14}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}Sr 及び ^{239}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}Ni のD/Cは変動がない。寄与割合は、 ^{137}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}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}Co ）の寄与度が下がり、幅広に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}Cs 及び ^{14}C の D/C は減少するとともに、FP 核種の ^{90}Sr 、 ^{239}Pu の D/C も減少し、CP 核種である ^{63}Ni の D/C は変動がない。寄与割合も同様に ^{137}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}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}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}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{14}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 は「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}Co のみで 90%以上（上述の通り第 2 位は ^{63}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ではなく ^{60}Co の寄与度を下げ、他の核種から幅広に評価対象核種を選択できると判断した。

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<浜岡1号炉>

(2023年8月1日時点)

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

(2023年8月1日時点)

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

(2037年4月1日時点)

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

(2037年4月1日時点)

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

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}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}Co の D/C に対する比率
1	^{14}C	2.9E-03	2.9E-03	0%
2	^{36}Cl	5.1E-05	5.1E-05	0%
3	^{41}Ca	4.7E-07	4.7E-09	0%
4	^{46}Sc	0	0	0%
5	^{54}Mn	6.1E-08	6.1E-07	0%
6	^{55}Fe	1.0E-01	1.0E-04	0%
7	^{59}Fe	0	0	0%
8	^{58}Co	0	0	0%
9	^{60}Co	1.0	1.0E+01	100%
10	^{59}Ni	1.7E-02	1.7E-04	0%
11	^{63}Ni	1.7E+00	1.7E-02	0.2%
12	^{65}Zn	1.1E-11	1.1E-10	0%
13	^{90}Sr	5.8E-18	5.8E-18	0%
14	^{94}Nb	1.4E-05	1.4E-04	0%
15	^{95}Nb	0	0	0%
16	^{99}Tc	2.2E-06	2.2E-06	0%
17	^{106}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}Sb	0	0	0%
21	$^{123\text{m}}\text{Te}$	0	0	0%
22	^{129}I	2.4E-12	2.4E-10	0%
23	^{134}Cs	2.7E-06	2.7E-05	0%
24	^{137}Cs	1.3E-08	1.3E-07	0%
25	^{133}Ba	1.6E-04	1.6E-03	0%
26	^{152}Eu	1.1E-03	1.1E-02	0.1%
27	^{154}Eu	8.7E-05	8.7E-04	0%
28	^{160}Tb	0	0	0%
29	^{182}Ta	0	0	0%
30	^{239}Pu	—	—	—
31	^{241}Pu	—	—	—
32	^{241}Am	—	—	—

<補足>

- ・代表核種： ^{60}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)

<浜岡 2 号炉>

(2023 年 8 月 1 日時点)

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

<補足>

- ・代表核種：⁶⁰Co
- ・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}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}Cs の D/C に対する比率
1	^{14}C	—	—	—
2	^{36}Cl	—	—	—
3	^{41}Ca	—	—	—
4	^{46}Sc	—	—	—
5	^{54}Mn	—	—	—
6	^{55}Fe	—	—	—
7	^{59}Fe	—	—	—
8	^{58}Co	—	—	—
9	^{60}Co	—	—	—
10	^{59}Ni	—	—	—
11	^{63}Ni	—	—	—
12	^{65}Zn	—	—	—
13	^{90}Sr	8.5E-01	8.5E-01	8.5%
14	^{94}Nb	1.0E-10	1.0E-09	0%
15	^{95}Nb	0	0	0%
16	^{99}Tc	3.1E-04	3.1E-04	0%
17	^{106}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}Sb	0	0	0%
21	$^{123\text{m}}\text{Te}$	0	0	0%
22	^{129}I	4.4E-07	4.4E-05	0%
23	^{134}Cs	2.7E-09	2.7E-08	0%
24	^{137}Cs	1.0	1.0E+01	100%
25	^{133}Ba	7.7E-14	7.7E-13	0%
26	^{152}Eu	2.2E-11	2.2E-10	0%
27	^{154}Eu	1.4E-08	1.4E-07	0%
28	^{160}Tb	0	0	0%
29	^{182}Ta	—	—	—
30	^{239}Pu	8.3E-02	8.3E-01	8.3%
31	^{241}Pu	9.4E-18	9.4E-19	0%
32	^{241}Am	1.2E-18	1.2E-17	0%

<補足>

- ・代表核種： ^{137}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)

<浜岡2号炉>

(2023年8月1日時点)

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

<補足>

- ・代表核種：¹³⁷Cs
- ・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