

検出限界値の設定方法の見直しについて

No.	Page	質問・コメント等
8	本文 P18 (検出限界値)	^{60}Co の検出限界値の妥当性について、評価対象核種を全て考慮して設定されるべきであり、申請書の期間末 (2037年4月1日時点) の条件であっても $\Sigma\text{D/C}$ が1以下を満足することの説明を追記すること。

本申請では、計数率の統計的誤差を考慮しても $\text{D/C} (^{60}\text{Co})$ が1以下であることの判断が可能となるよう、検出限界値を $5.0\text{E-}02\text{Bq/g} (^{60}\text{Co})$ 以下とした。また、検出限界値の妥当性確認として、「添付図表 6-31」に示す 16 通りのモデルケース全ての測定単位に対して、検出限界計数率を検出値として扱い計数率の統計的誤差を考慮した場合であっても $\text{D/C} (^{60}\text{Co})$ の基準値を下回る測定が可能であると判断した。

しかしながら再検討した結果、 ^{60}Co 以外の評価対象核種 (^{137}Cs 及び ^{14}C) 及びそれらの減衰を考慮したうえで、 ^{60}Co の検出限界値を設定する必要があると判断した。

1. 検出限界値 ($5.0\text{E-}02\text{Bq/g}$ 以下) の妥当性確認の方法

^{60}Co の検出限界値を $5.0\text{E-}02\text{Bq/g}$ とし、計数率の統計的誤差及び評価対象核種の減衰を考慮した場合であっても、 $\Sigma\text{D/C}$ が1以下となることを確認する。この確認において、保守的な条件として浜岡1号炉の核種組成比 (2037年4月1日時点) を採用する。これは時間経過に伴い ^{60}Co に対して ^{137}Cs 及び ^{14}C の割合が大きくなることに加え、原子炉最終停止時から現在までの期間は浜岡2号炉よりも浜岡1号炉の方が長いことから、妥当であると判断した。

その他の条件は、変更せず、「添付図表 6-31」に示す 16 通りのモデルケース全ての測定単位に対して確認を行った。

2. 検出限界値 ($5.0\text{E-}02\text{Bq/g}$ 以下) の妥当性確認結果

確認結果は本回答書表-1 のとおりであり、最短では 2035年10月において、 $\Sigma\text{D/C} (^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が1を超えるケース (標準型容器に比表面積 $2.7\text{cm}^2/\text{g}$ の解体撤去物 1 トンを最大高さ (562mm) まで収納したモデルケース) を確認したため、検出限界値を $5.0\text{E-}02\text{Bq/g} (^{60}\text{Co})$ 以下とすることは妥当でなく、見直しを行う。具体的には ^{60}Co の検出限界値を $4.5\text{E-}02\text{Bq/g}$ とし、再度妥当性確認を行う。

3. 検出限界値 (4.5E-02Bq/g 以下) の妥当性確認結果

確認の結果, 全てのモデルケースで, 2037年4月1日までの期間において Σ D/C(^{60}Co , ^{137}Cs , ^{14}C)が1を超えないことを確認したため, 検出限界値を4.5E-02Bq/g(^{60}Co)以下とすることは妥当であると判断した。

従って, 検出限界値を4.5E-02Bq/g(^{60}Co)以下とし, 申請書の記載を見直す。

以上

表-1 検出限界値 (5.0E-02Bq/g 以下) の妥当性確認結果

検出限界値を 5.0E-02Bq/g(⁶⁰Co)として調査した結果は次のとおりである。

No.	D/C (⁶⁰ Co) が 5.0E-01 となる検出 限界計数率 (s ⁻¹)	統計的誤差 (1.645 σ) を考慮した D/C (⁶⁰ Co) (-)	ΣD/C (⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ¹⁴ C) 2037/4/1 時点	ΣD/C=1 超過年月
1	2.21E-02	0.67	0.97	—
2	1.52E-02	0.66	0.96	—
3	5.06E-02	0.70	1.02	2036年10月
4	2.64E-02	0.69	0.99	—
5	2.21E-02	0.67	0.97	—
6	1.52E-02	0.66	0.96	—
7	4.23E-02	0.69	1.01	2037年2月
8	2.16E-02	0.66	0.96	—
9	1.73E-02	0.69	0.99	—
10	9.44E-03	0.69	0.998	—
11	4.04E-02	0.73	1.05	2035年10月
12	2.04E-02	0.72	1.04	2036年2月
13	1.73E-02	0.69	0.99	—
14	9.44E-03	0.69	0.998	—
15	3.52E-02	0.71	1.03	2036年5月
16	1.51E-02	0.69	1.005	2037年2月

表-2 検出限界値 (4.5E-02Bq/g 以下) の妥当性確認結果

検出限界値を 4.5E-02Bq/g(⁶⁰Co)として調査した結果は次のとおりである。

No.	D/C (⁶⁰ Co) が 4.5E-01 となる検出 限界計数率 (s ⁻¹)	統計的誤差 (1.645 σ) を考慮した D/C (⁶⁰ Co) (-)	ΣD/C (⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ¹⁴ C) 2037/4/1 時点	ΣD/C=1 超過年月
1	1.88E-02	2.91E-02	0.88	—
2	1.29E-02	2.00E-02	0.87	—
3	4.47E-02	6.92E-02	0.92	—
4	2.31E-02	3.57E-02	0.91	—
5	1.88E-02	2.91E-02	0.88	—
6	1.29E-02	2.00E-02	0.87	—
7	3.67E-02	5.68E-02	0.90	—
8	1.84E-02	2.86E-02	0.87	—
9	1.50E-02	2.33E-02	0.90	—
10	8.13E-03	1.26E-02	0.90	—
11	3.61E-02	5.60E-02	0.95	—
12	1.78E-02	2.76E-02	0.93	—
13	1.50E-02	2.33E-02	0.90	—
14	8.13E-03	1.26E-02	0.90	—
15	3.10E-02	4.80E-02	0.93	—
16	1.32E-02	2.05E-02	0.91	—

(参考) 16通りのモデルケースについて(「添付図表6-31」より抜粋)

<確認方法>

- ・検出限界値(Bq/g)が $5.0E-02$ Bq/g(評価対象核種 ^{60}Co), すなわちD/C(^{60}Co)が $5.0E-01$ となる検出限界計数率を「添付書類六」の(6-4)式を用いて算出し, その検出限界計数率に計数率の統計的誤差(1.645σ)を考慮した場合のD/C(^{60}Co)を算出する。この値が基準値(D/C=1)を下回ることを確認する。
- ・検出限界計数率は 3σ 式を用いて算出していることから, 検出限界計数率の標準偏差(σ)は検出限界計数率の $1/3$ となる。D/C(^{60}Co)の計算に用いる統計的誤差を考慮した計数率は, 検出限界計数率に 1.645σ を加えた値とする。
- ・この評価の目的は, D/C(^{60}Co)が $5.0E-01$ となる測定値の統計的誤差(1.645σ)を考慮した評価の上振れの程度を確認することである。
- ・代表例とする「測定単位」は, 容器の大きさ, 収納重量, 収納高さ及び比表面積を考慮し, 以下に示す16通りとする。

No.	容器種類	測定単位重量 (kg)	収納高さ (mm)	比表面積 (cm^2/g)
1	標準型容器	125	82	$5.0E-01$
2	標準型容器	200	131	$5.0E-01$
3	標準型容器	125	562	$5.0E-01$
4	標準型容器	200	562	$5.0E-01$
5	トレイ型容器	125	82	$5.0E-01$
6	トレイ型容器	200	131	$5.0E-01$
7	トレイ型容器	125	250	$5.0E-01$
8	トレイ型容器	200	250	$5.0E-01$
9	標準型容器	125	82	2.7
10	標準型容器	200	131	2.7
11	標準型容器	125	562	2.7
12	標準型容器	200	562	2.7
13	トレイ型容器	125	82	2.7
14	トレイ型容器	200	131	2.7
15	トレイ型容器	125	250	2.7
16	トレイ型容器	200	250	2.7

(参考) 検出限界値の設定変更に伴う記載内容の修正箇所及び修正案について

検出限界値の設定変更に伴う記載内容の修正箇所及び修正案を以下に示す。

【本文 P18】

(4) 測定時間

- Ge 半導体検出器の測定時間は、放射能濃度確認対象物の $\Sigma D/C(^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が 1 以下であることの判断が可能な測定時間とする。具体的には、放射線測定値の統計的誤差及び評価対象核種の減衰を考慮しても $\Sigma D/C(^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が 1 以下となるよう、検出限界値が $4.5\text{E-}02\text{Bq/g}$ (^{60}Co) 以下となるような測定時間を設定する。

【添付書類 P6-2】

2. 1 測定条件の抽出

- 「測定単位」の放射能濃度を適度な保守性をもって求めるため、「測定単位」内の汚染分布、小領域内の汚染分布、小領域当たりの放射エネルギー、遮蔽に関する密度分布、Ge 半導体検出器の幾何学的効率及び放射能濃度確認対象物と Ge 半導体検出器の位置関係を保守的に設定する。
- 測定条件として、測定場所周辺のバックグラウンドの状況、放射能換算係数、検出限界値、測定時間、点検・校正及び不確かさを考慮する。
- 測定条件は、「測定単位」において、検出限界値が $4.5\text{E-}02\text{Bq/g}$ (^{60}Co) 以下になるように設定する。

【添付書類 P6-9】

2. 2. 4 検出限界値

- Ge 半導体検出器の検出限界値は、計数率の統計的誤差及び評価対象核種の減衰を考慮しても $\Sigma D/C(^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が 1 以下であることの判断が可能となるよう $4.5\text{E-}02\text{Bq/g}$ (^{60}Co) 以下とする。
- 計数率の統計的誤差及び評価対象核種の減衰を考慮しても $\Sigma D/C(^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が 1 以下となる測定ができることを確認するため、「(添付 6) 表-3」に示すとおり、検出限界値 ($4.5\text{E-}02\text{Bq/g}$) に相当する検出限界計数率の不確かさ (1.645σ) 及び評価対象核種の減衰を考慮して評価した結果、 $\Sigma D/C(^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C})$ が 1 以下となることを確認した。

【添付書類 P6-10】

2. 2. 5 測定時間

- ・測定ごとに検出限界値を評価し、「測定単位」において検出限界値で $4.5E-02Bq/g$ (^{60}Co) 以下になる測定時間とする。
- ・なお、標準型容器における「測定単位」の測定時間は、「測定単位」重量 $125kg$ 及び比表面積 $2.7cm^2/g$ の条件で 10 分程度、「測定単位」重量 $200kg$ 及び比表面積 $2.7cm^2/g$ の条件で 30 分から 50 分程度である。

【添付図表 6-31】

(添付 6) 表-3 検出限界値の設定 (1/2)

検出限界値 ($4.5E-02Bq/g$: 評価対象核種 ^{60}Co) に計数率の統計的誤差 (1.645σ) 及び評価対象核種の減衰を考慮しても、 $\Sigma D/C(^{60}Co, ^{137}Cs, ^{14}C)$ が 1 を下回ることを以下のとおり確認した。

<確認方法>

- ・検出限界値 (Bq/g) が $4.5E-02Bq/g$ (評価対象核種 ^{60}Co)、すなわち $D/C(^{60}Co)$ が $4.5E-01$ となる検出限界計数率を「添付書類六」の (6-4) 式を用いて算出し、その検出限界計数率に計数率の統計的誤差 (1.645σ) 及び評価対象核種の減衰を考慮した場合の $\Sigma D/C(^{60}Co, ^{137}Cs, ^{14}C)$ を算出する。この値が 1 を下回ることを確認する。
- ・検出限界計数率は 3σ 式を用いて算出していることから、検出限界計数率の標準偏差 (σ) は検出限界計数率の $1/3$ となる。 $D/C(^{60}Co)$ の計算に用いる統計的誤差を考慮した計数率は、検出限界計数率に 1.645σ を加えた値とする。
- ・この確認において、保守的な条件として浜岡 1 号炉の核種組成比 (2037 年 4 月 1 日時点) を採用する。これは時間経過に伴い ^{60}Co に対して ^{137}Cs 及び ^{14}C の割合が大きくなることに加え、原子炉最終停止時から現在までの期間は浜岡 2 号炉よりも浜岡 1 号炉の方が長いことから、妥当であると判断した。

【添付図表 6-32】

<計算手順>

- (1) $D/C(^{60}Co)$ が $4.5E-01$ となる検出限界計数率 (s^{-1}) を「放射能換算係数 (CF_{Ge})」及び「測定単位重量」を用いて算出する。
- (2) $D/C(^{60}Co)$ の計算に用いる統計的誤差を考慮した計数率は、検出限界計数率に 1.645σ を加えた値とする。
- (3) 検出限界計数率の標準偏差 (σ) は検出限界計数率の $1/3$ とする。
- (4) 統計的誤差 (1.645σ) を考慮した計数率、放射能換算係数及び測定単位重量から、 $D/C(^{60}Co)$ を算出する。浜岡 1 号炉の核種組成比 (2037 年 4 月 1 日時点) を用いて、 $\Sigma D/C(^{60}Co, ^{137}Cs, ^{14}C)$ が 1 を下回ることを確認する。

<計算結果>

No.	D/C (^{60}Co) が 4.5E-01 となる検 出限界計数率 (s^{-1})	標準偏差 (σ) (s^{-1})	1.645 σ を 加えた計数 率 (s^{-1})	統計的誤差 (1.645 σ) を考慮した場合の Σ D/C ($^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C}$) (2037/4/1 時点) (-)
1	1.88E-02	6.26E-03	2.91E-02	0.88
2	1.29E-02	4.31E-03	2.00E-02	0.87
3	4.47E-02	1.49E-02	6.92E-02	0.92
4	2.31E-02	7.69E-03	3.57E-02	0.91
5	1.88E-02	6.26E-03	2.91E-02	0.88
6	1.29E-02	4.31E-03	2.00E-02	0.87
7	3.67E-02	1.22E-02	5.68E-02	0.90
8	1.84E-02	6.15E-03	2.86E-02	0.87
9	1.50E-02	5.01E-03	2.33E-02	0.90
10	8.13E-03	2.71E-03	1.26E-02	0.90
11	3.61E-02	1.20E-02	5.60E-02	0.95
12	1.78E-02	5.94E-03	2.76E-02	0.93
13	1.50E-02	5.01E-03	2.33E-02	0.90
14	8.13E-03	2.71E-03	1.26E-02	0.90
15	3.10E-02	1.03E-02	4.80E-02	0.93
16	1.32E-02	4.41E-03	2.05E-02	0.91

- ・検出限界計数率で D/C (^{60}Co) が 4.5E-01 であれば、計数率の統計的誤差 (1.645 σ) 及び評価対象核種の減衰を考慮しても Σ D/C ($^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}, ^{14}\text{C}$) が 1 を下回ることを確認した。
- ・以上より、検出限界値で 4.5E-02Bq/g (^{60}Co) 以下を測定条件とする。