



「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び
設備の基準に関する規則第十三条
(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地)
第1項第三号及び第四号への適合性について」の概要

埋設する廃棄物の種類及び放射エネルギーの設定

2022年 11月14日

日本原子力発電株式会社

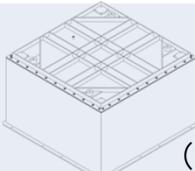
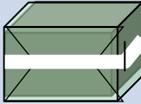
埋設対象とする廃棄物(以下「廃棄物」という。)の種類及び数量, 放射性物質の種類ごとの最大放射能濃度及び総放射エネルギーについて説明する。

- ✓ 「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」第二条第1項第一号では, 申請書に記載する事項の一つとして, 「第二種廃棄物埋設を行う放射性廃棄物の種類及び数量、当該放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの最大放射能濃度、総放射エネルギー及び区画別放射エネルギー(廃棄物埋設地を物理的に区画する場合において区画ごとの放射性物質に含まれる放射エネルギーをいう。以下同じ。)並びに当該放射性廃棄物が有する廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を防止し、又は低減する性能(廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出に関する評価を行うために必要な場合に限る。)を記載すること。」と規定されている。
- ✓ 「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第十三条第1項第三号及び第四号, 「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第13条への適合性を確認するための評価パラメータとして, 総放射エネルギーを設定する必要がある。

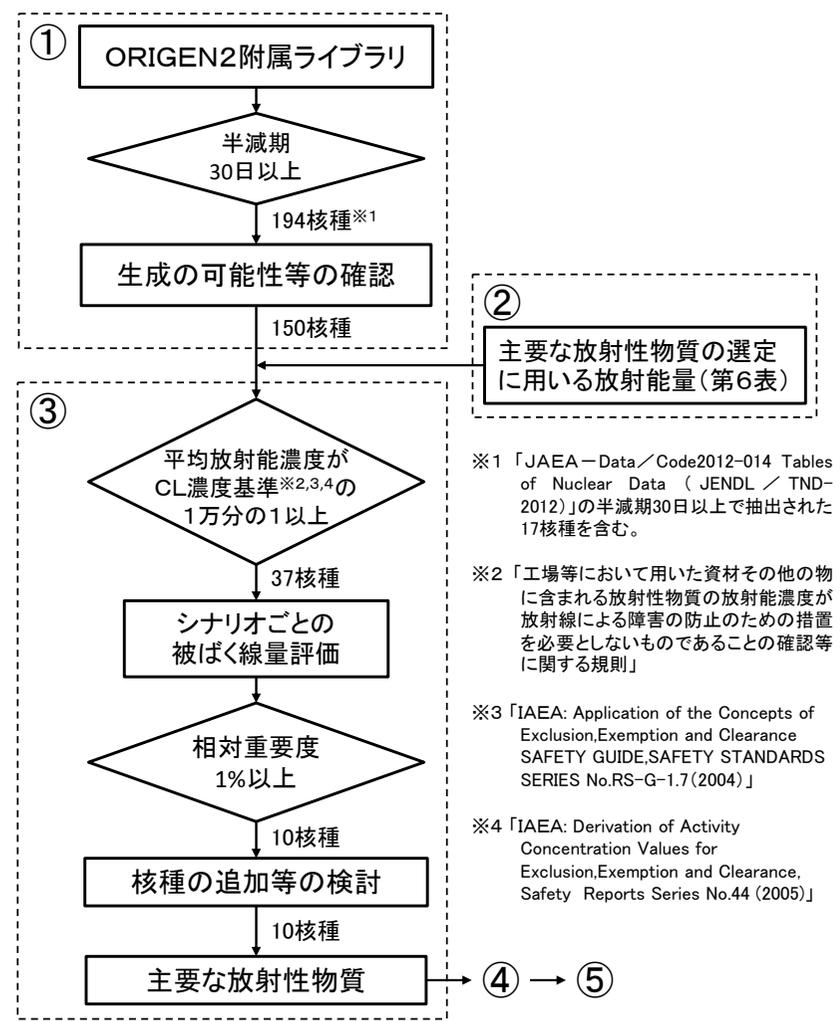
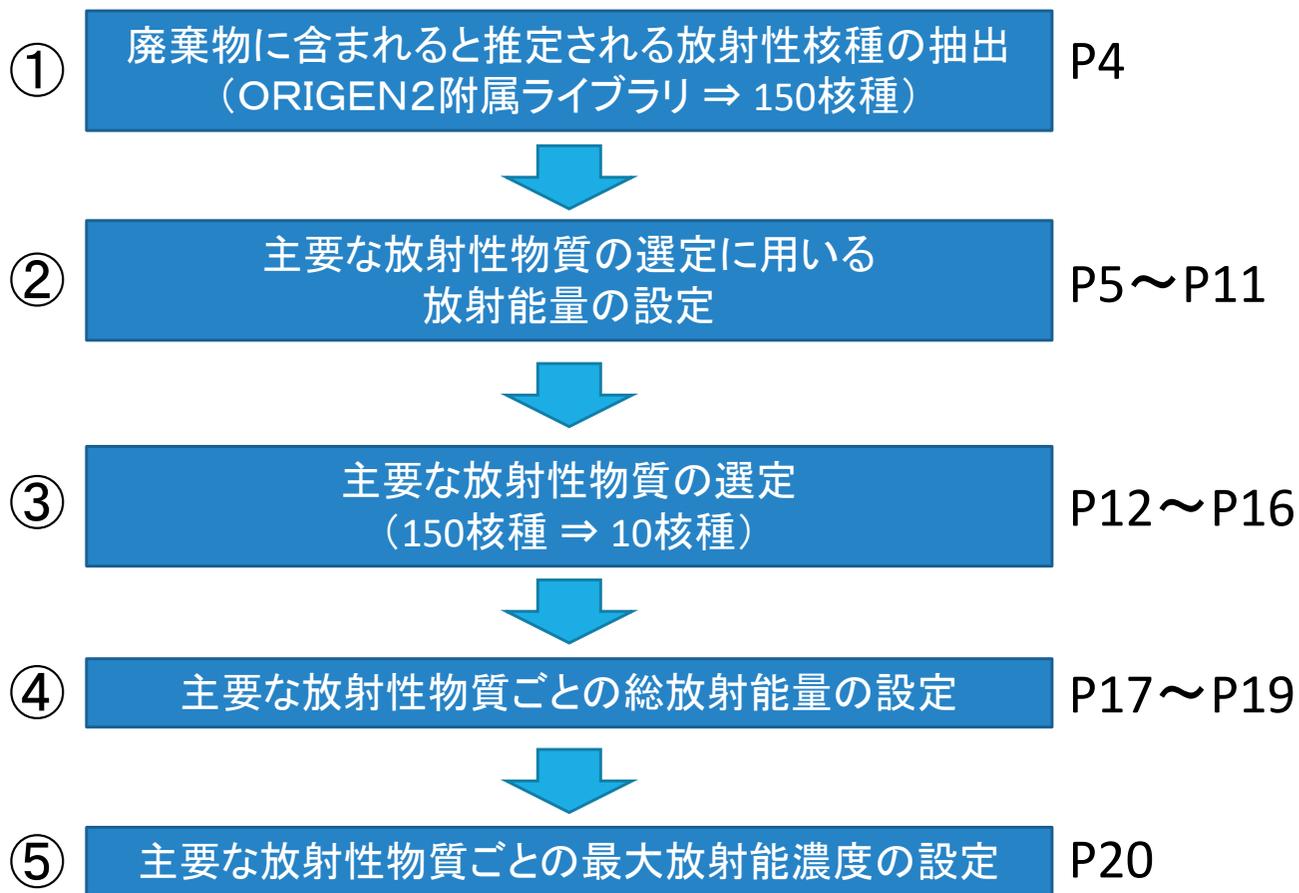
廃棄物の種類及び数量

廃棄物は、東海発電所から発生する固体状の廃棄物であって、中性子線的作用によって放射化されたもの（以下「放射化放射性物質」という。）、原子炉冷却材等で汚染されたもの（以下「汚染放射性物質」という。）又はその両方を含むものである。東海発電所における汚染移行経路としては、気体が循環する原子炉冷却系（以下「ガス系」という。）と廃液が循環する廃液系がある。廃棄物の種類は、これらの汚染形態に応じて分類された金属類及びコンクリート類がある。

第1表 廃棄物の種類及び数量

廃棄物の種類	汚染形態	物量(t)		埋設時荷姿
		小計	合計	
金属類	放射化放射性物質	約600	約6,100	 (鉄箱内に砂を充填) 鉄箱
	汚染放射性物質	約5,500		
コンクリート類	ブロック	放射化放射性物質	約9,400	 プラスチックシート
	ガラ	放射化放射性物質	約100	
		汚染放射性物質	約400	
				約9,900
			約16,000	

最大放射能濃度及び総放射エネルギーの設定フロー



※1 「JAEA-Data/Code2012-014 Tables of Nuclear Data (JENDL/TND-2012)」の半減期30日以上で抽出された17核種を含む。

※2 「工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則」

※3 「IAEA: Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance SAFETY GUIDE, SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.7 (2004)」

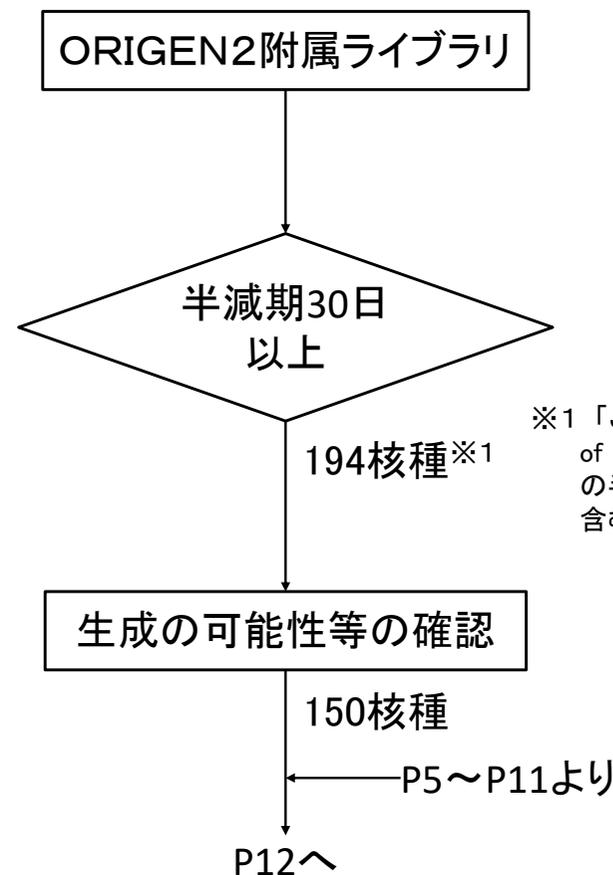
※4 「IAEA: Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports Series No.44 (2005)」

第1図 最大放射能濃度及び総放射エネルギーの設定フロー

① 廃棄物に含まれると推定される放射性物質の抽出

廃棄物に含まれると推定される放射性物質の抽出に当たっては、第2図に示すフローに基づき以下のとおり実施する。

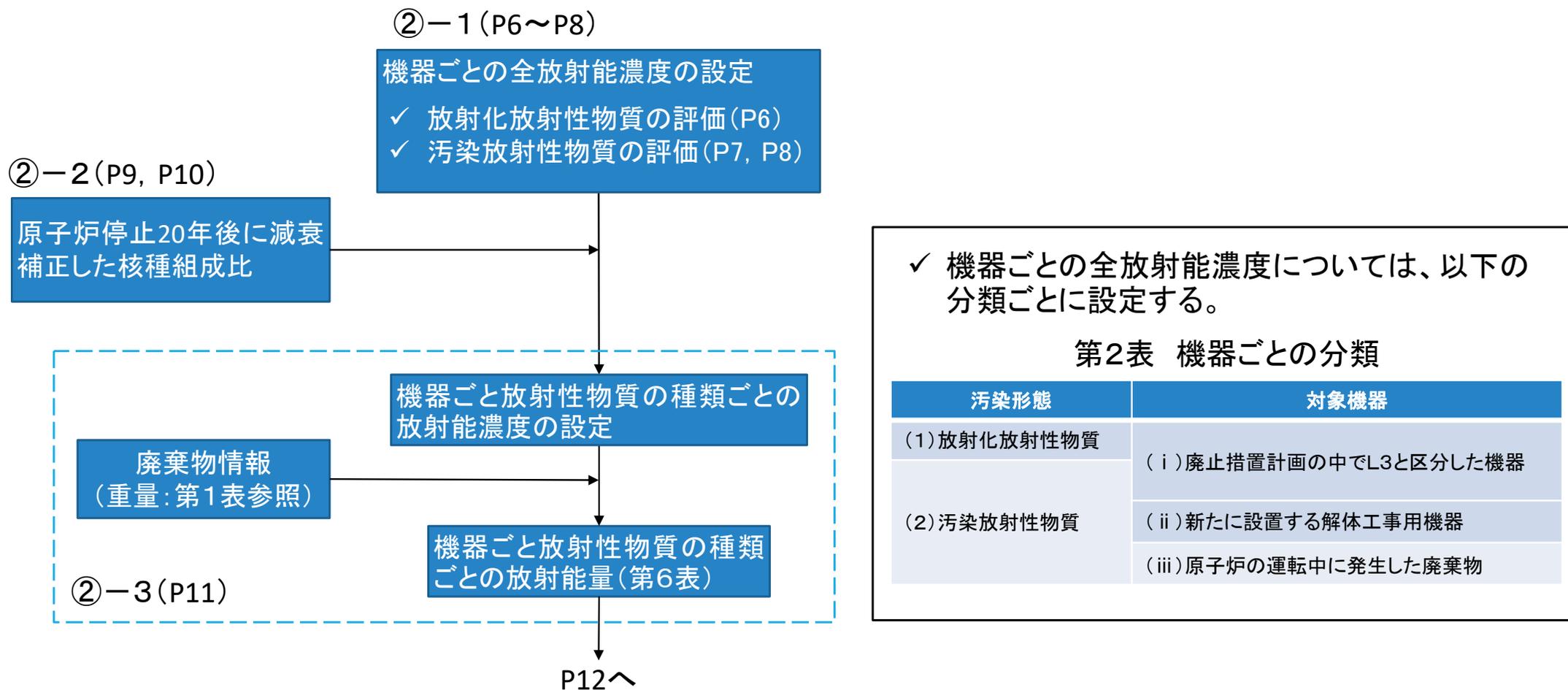
- ✓ 原子炉内で生成する半減期30日以上の放射性核種をORIGEN2コードの附属ライブラリより抽出する。
(194核種)
- ✓ 上記で抽出した194核種には、生成量が少ないものが含まれているため、生成の可能性等の確認により、考慮する必要のない核種として44核種を除外した。
(194核種 ⇒ 150核種)
- ✓ 以上より、L3廃棄物に含まれると推定される放射性核種を150核種とした。



※1 「JAEA-Data/Code2012-014 Tables of Nuclear Data (JENDL/TND-2012)」の半減期30日以上で抽出された17核種を含む。

第2図 廃棄物に含まれると推定される放射性物質の抽出フロー

② 主要な放射性物質の選定に用いる放射能量の設定



第3図 主要な放射性物質の選定に用いる放射能量の設定フロー

② 主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーの設定

②-1 機器ごとの全放射能濃度の設定：(1)放射化放射性物質

「VITAMIN-C」と「ANISN」を用いて多次元Sn輸送計算用縮約群定数を設定。「DOT3.5」を用いて中性子フルエンス率分布を求めた。なお、中性子ストリーミングの影響が大きい箇所は、「TORT」使用。

中性子フルエンス率計算

サンプル調査

生体遮へい体コンクリート中の中性子フルエンス率計算に影響の大きい水素の存在量を把握するため、一次生体遮へい体の水分量を分析し、中性子フルエンス率計算に用いている。

金属箔照射測定値との比較・確認

計算結果は原子炉運転中の金属箔による測定結果と比較し、妥当性を確認。

中性子フルエンス率分布設定

放射化放射性物質濃度の計算には「ORIGEN2」を使用。当該コードのデータベースとなる放射化断面積は、東海発電所原子炉の中性子スペクトルを用いて1群へ縮約。

放射化計算

中性子照射履歴

中性子照射履歴は、運転履歴に基づき試運転から最終停止までを実際の稼働実績で区分し、各期間の平均熱出力を用いている。

元素組成

構成材は、金属(ステンレス鋼、炭素鋼、アルミニウム材)、コンクリートで、重要な放射性物質を生成する親元素の存在量を、分析値又は文献を基に設定。

サンプル調査
(放射化量測定結果)

放射化放射性物質濃度の計算結果と放射能分析による測定結果を比較し、計算結果が測定結果を上回るよう保守的に設定。

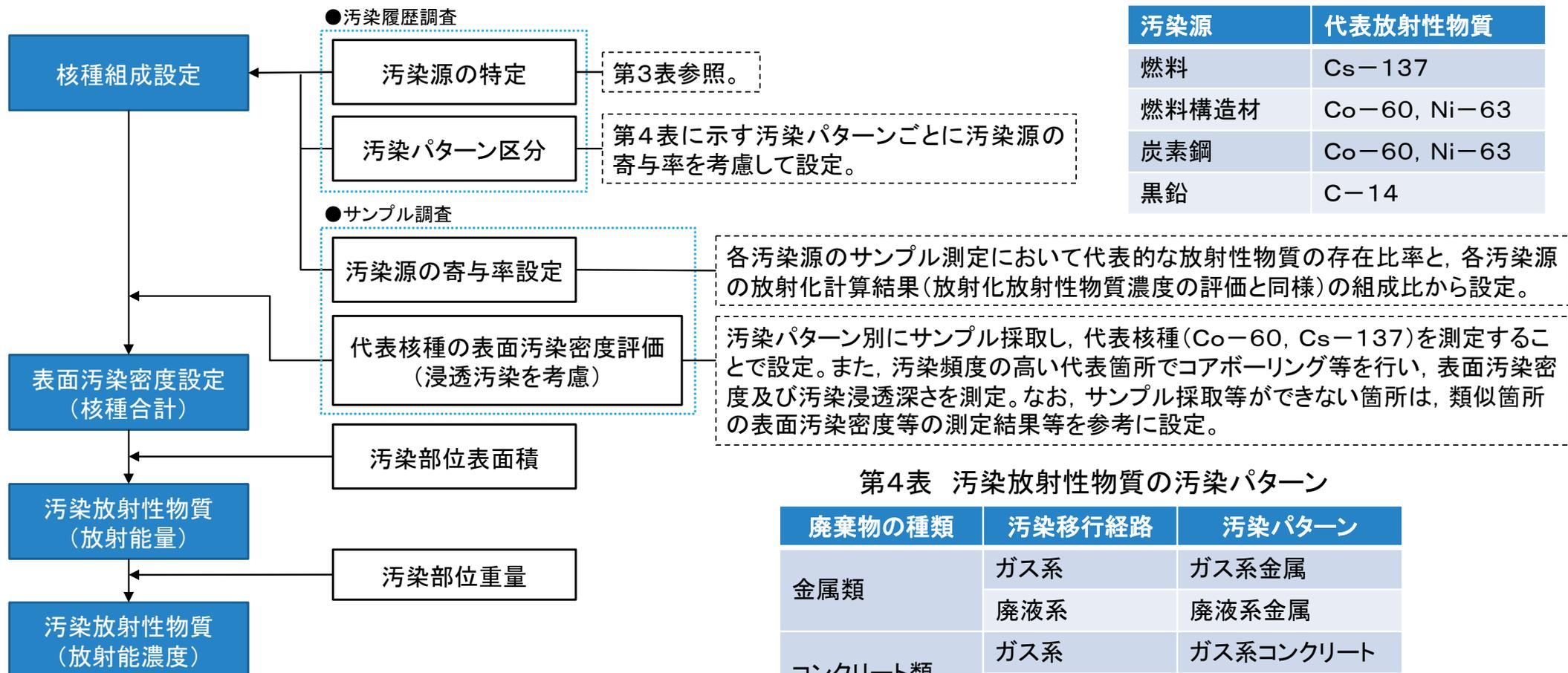
放射化放射性物質濃度
(評価結果)

第4図 放射化放射性物質の放射能濃度の設定フロー

② 主要な放射性物質の選定に用いる放射能量の設定

②-1 機器ごとの全放射能濃度の設定：(2)汚染放射性物質

(i) 廃止措置計画の中でL3と区分した機器



第3表 汚染源ごとの代表放射性物質

汚染源	代表放射性物質
燃料	Cs-137
燃料構造材	Co-60, Ni-63
炭素鋼	Co-60, Ni-63
黒鉛	C-14

第4表 汚染放射性物質の汚染パターン

廃棄物の種類	汚染移行経路	汚染パターン
金属類	ガス系	ガス系金属
	廃液系	廃液系金属
コンクリート類	ガス系	ガス系コンクリート
	廃液系	廃液系コンクリート

第5図 汚染放射性物質の放射能濃度の設定フロー

② 主要な放射性物質の選定に用いる放射能量の設定

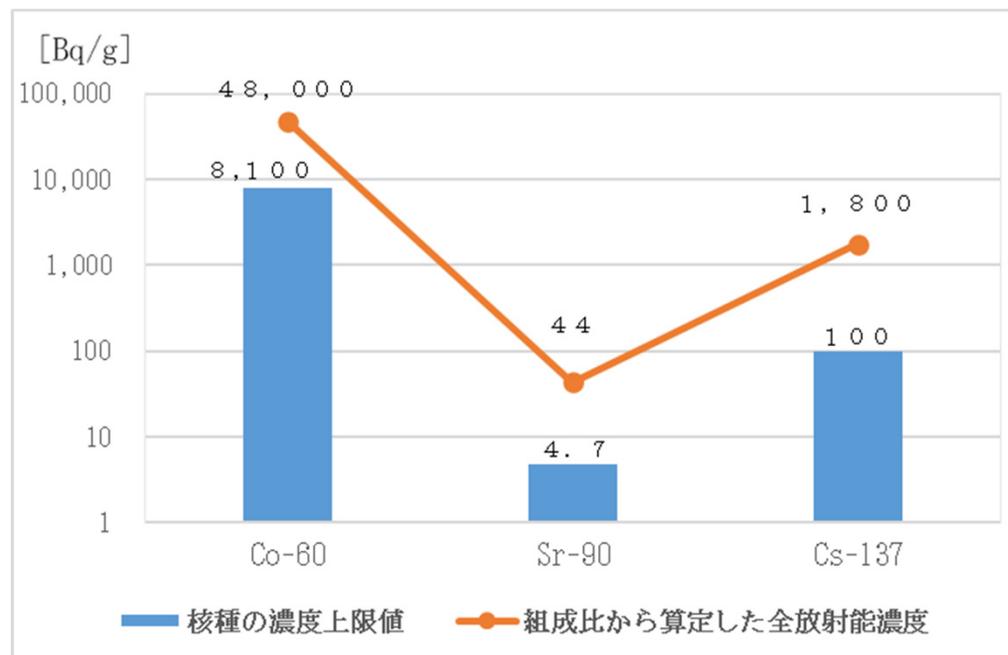
②-1 機器ごとの全放射能濃度の設定：(2)汚染放射性物質

(ii)新たに設置する解体工事用機器

- ✓ 廃止措置中に新たに設置する解体工事用機器は、一部については埋設対象とすることを想定。
- ✓ 放射能濃度は、事業規則で濃度上限値が定められているCo-60, Sr-90, Cs-137の3種類の放射性物質で、濃度上限値は事業規則と比較して保守的に低い旧政令「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」で定められた値を使用し、ガス系金属の汚染組成によって濃度上限値に基づく全放射能濃度を算定(第6図参照)。
- ✓ 最も低い値となるSr-90から算定された全放射能濃度 44 Bq/g から、10分の1の裕度をとった4.4 Bq/gを全放射能濃度として設定。

(iii)原子炉の運転中に発生した廃棄物

- ✓ 廃棄物発生時に測定した容器の外部表面線量から算定したCo-60の放射能量から、発生年度ごとに放射性物質の放射能濃度を、ガス系金属及びガス系コンクリートのそれぞれの組成から算定し、原子炉停止20年後まで、放射性物質の種類ごとの減衰を考慮して設定。
- ✓ 外部表面線量が測定下限以下のものは、廃棄物のサンプルから測定したCo-60の分析データを用いて、原子炉停止20年後まで、放射性物質の種類ごとの減衰を考慮した放射能濃度を設定。



第6図 濃度上限値に基づく全放射能濃度



② 主要な放射性物質の選定に用いる放射能量の設定

②-2 原子炉停止20年後に減衰補正した核種組成比

(1) 放射化放射性物質

放射化については「炭素鋼」、「ステンレス鋼」、「アルミニウム」、「コンクリート」で分類された材質ごとの組成比(原子炉停止20年後)を使用。

(2) 汚染放射性物質

汚染については「ガス系金属」、「ガス系コンクリート」、「廃液系金属及びコンクリート」で分類された組成比(原子炉停止20年後)を使用。ただし、運転中に発生した廃棄物は、「ガス系金属」、「ガス系コンクリート」で分類された組成比(原子炉停止直後)を用いて、廃棄物の発生から原子炉停止20年後までの期間を放射性物質ごとで減衰評価。

- ✓ 汚染放射性物質におけるH-3は、金属類においては、これまでに収集した原子炉冷却材等による汚染の分析データから評価した放射能量が、組成比から評価した結果と比較して一桁以上高いため、分析値の算術平均値を用いて設定する(第5表参照)。
- ✓ 汚染放射性物質におけるCl-36は、これまで取得した最新の分析データを基にCo-60との組成比から幾何平均値を用いて設定(次ページ参照)。

第5表 H-3の分析値の算術平均値(金属類)

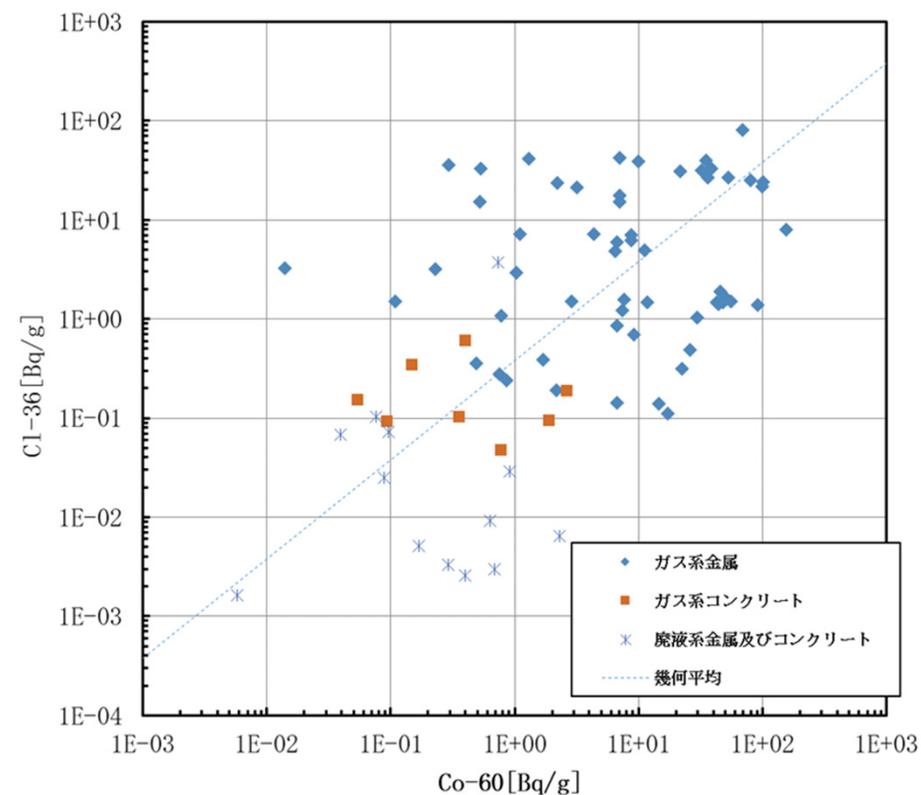
廃棄物の性状		原子炉停止時 (Bq/t)	原子炉停止20年後 (Bq/t)
金属類	ガス系	2.2×10^8	7.5×10^7
	廃液系	5.9×10^5	2.0×10^5

② 主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーの設定

②-2 原子炉停止20年後に減衰補正した核種組成比

放射エネルギーの設定におけるCl-36の核種組成比について

- ✓ 汚染放射性物質におけるCl-36は、これまで取得した最新の分析データを基にCo-60との組成比から幾何平均値(0.38)を用いて設定する。Cl-36とCo-60はいずれも炉内構造物の放射化により生成する放射性物質であり、原子炉冷却材等によって系統内の機器に移行し、付着する。これまでに収集した原子炉冷却材等による汚染の分析データのばらつきが確認できるが、これはCl-36の付着挙動の温度依存性がCo-60と比較して大きいと考えられ、全体的には汚染の相関があると考えられる。
- ✓ 汚染分類ごとの分析データの算術平均を用いて設定することも考えられるが、主要な放射性物質の選定において、Cl-36が最重要核種となった場合、他の放射性物質の相対重要度を下げることによって、選定される放射性物質の種類が少なくなるといった非保守的な選定とならないように、Cl-36の放射エネルギーが低い設定となる評価方法を選択。



第7図 Cl-36とCo-60の分析データ(原子炉停止時点)



② 主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーの設定

②-3 機器ごとの放射性物質の種類ごとの放射エネルギー

廃棄物の放射性物質の種類ごとの放射能濃度から、機器ごとの重量を用いて放射性物質の種類ごとの放射エネルギーを算定し、これを主要な放射性物質の選定に用いる。

第6表 主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギー

No.	放射性物質の種類	金属類(Bq)	コンクリート類(Bq)
1	H-3	4.3×10^{11}	6.7×10^{11}
2	Be-10	3.3×10^5	6.2×10^3
3	C-14	2.3×10^9	2.2×10^9
4	Si-32	2.1×10^0	8.0×10^{-2}
5	S-35	1.7×10^{-11}	3.6×10^{-9}
⋮			
146	Cm-250	2.9×10^{-12}	4.8×10^{-14}
147	Cf-249	4.3×10^{-4}	4.5×10^{-6}
148	Cf-250	2.0×10^{-3}	2.4×10^{-5}
149	Cf-251	2.0×10^{-5}	3.4×10^{-7}
150	Cf-252	8.7×10^{-5}	6.0×10^{-7}

③ 主要な放射性物質の選定

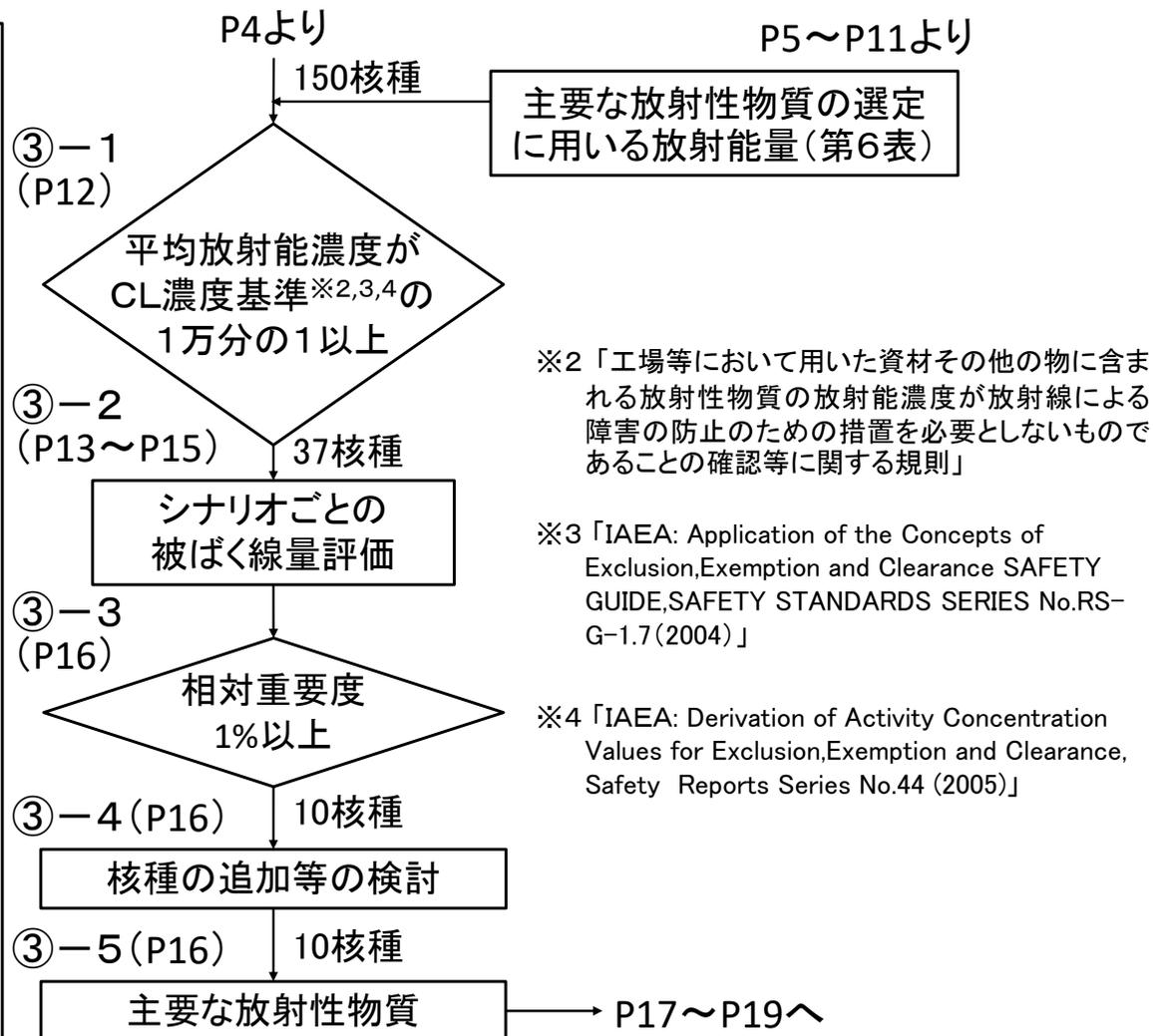
③-1 クリアランス(CL)濃度基準に基づく放射性物質の選定

- ✓ **CL濃度基準**には被ばく線量への寄与が無視できる放射性物質の濃度が示されており、これと比較して十分小さい放射性物質は、被ばく線量への寄与が小さいと考える。
- ✓ 低レベル放射性廃棄物の中でもL3は、**CL濃度基準より濃度が低い放射性物質が多く存在**する。
- ✓ 第6表の主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーを基に金属類とコンクリート類に分類して算定した**放射性物質の放射能濃度が、CL濃度基準の1万分の1以上となる放射性物質を選定対象として抽出**。(150核種 ⇒ 37核種)



(選定された37核種)

H-3, Be-10, C-14, Cl-36, K-40, Ca-41, Fe-55, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Zr-93, Nb-93m, Nb-94, Mo-93, Ag-108m, Cd-113m, Sb-125, I-129, Cs-134, Cs-137, Ba-133, Sm-147, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Ho-163, Ho-166m, Ir-192, Ir-192m, Tl-204, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Am-242m



第8図 主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーの設定フロー



③ 主要な放射性物質の選定

③-2 シナリオごとの被ばく線量評価

第7-1表 自然事象シナリオにおける被ばく経路

被ばく経路	評価対象個人	被ばく経路の補足説明	最も可能性が高い	最も厳しい			
			居住者	漁業従事者	農業従事者	建設業従事者	居住者
水利用	海産物摂取[内]	東海村沿岸海域で水揚げされた海産物の摂取による内部被ばく	○	○	○	○	○
	海面活動[外]	東海村沿岸海域での漁業における海面からの外部被ばく	—	○	—	—	—
	漁網整備[外]	東海村沿岸海域での漁業に用いた漁網からの外部被ばく	—	○	—	—	—
	灌漑農産物摂取[内]	水理(地下水の流れ)上あり得ないが、仮の想定として、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質を含む地下水を灌漑用水として利用された場合の農産物の摂取による内部被ばく及び農作業による内部被ばく並びに外部被ばく	/	—	○	○	○
	灌漑農作業[外,内]			—	○	—	—
	井戸水の飲用[内]※			—	○	○	○
土地利用	建設作業[外,内]	放射性物質を含む地下水に接した土壌(以下「汚染土壌」という。)を掘削して利用する人間活動で、住宅の建設作業での内部被ばく及び外部被ばく	—	—	—	○	—
	居住[外,内]	汚染土壌の掘削後の土壌を利用する人間活動で、掘削土壌上での居住による内部被ばく及び外部被ばく	○	—	○	○	○
	農産物摂取(家庭菜園)[内]	汚染土壌を掘削して利用する人間活動で、掘削土壌上での居住に伴う家庭菜園で生産される農産物の摂取による内部被ばく	○	—	○	○	○

※:10/4審査会合での本被ばく経路の追加に関する指摘を踏まえ、主要な放射性物質の選定に反映する。

③ 主要な放射性物質の選定

③-3 相対重要度1%以上の放射性物質

- ✓ ③-2でシナリオごとに評価した線量評価結果を基に以下のとおり対象核種の相対重要度を算出し、1%以上を選定する。

$$\text{相対重要度} = \frac{\text{対象核種の線量}(\mu\text{Sv/y})}{\text{最大の線量を与える核種の線量}(\mu\text{Sv/y})}$$

- ✓ 上記に加え、事業規則で放射能濃度の制限が定められている、Co-60, Sr-90, Cs-137を選定する。

第8表 シナリオごとの相対重要度1%以上の主要な放射性物質の種類

シナリオ	金属類	コンクリート類
最も可能性が高い自然事象	H-3, C-14, Cl-36	H-3, C-14, Cl-36, K-40
最も厳しい自然事象	H-3, C-14, Cl-36	H-3, C-14, Cl-36, K-40, Ca-41
人為事象	H-3, C-14, Cl-36, Co-60, Sr-90, Cs-137	H-3, C-14, Eu-152 , Eu-154

赤字は、相対重要度100%(最重要核種)

③-4 核種の追加等の検討

- ✓ コンクリート類の廃棄物中に含まれる**K-40**の濃度は、不純物元素として含まれるK元素の天然存在比率から推定されるK-40の濃度と比較して二桁程度低いため、天然起源由来のものが大部分を占めることから主要な放射性物質の対象からは除外。
- ✓ α 線を放出する放射性物質(以下「全 α 」という。)は、いずれも相対重要度で1%未満であるが、ウランの放射性物質の濃度及び放射エネルギーの管理が必要であると考えため、「全 α 」として主要な放射性物質として追加。

③-5 主要な放射性物質

- ✓ ③-3で選定した放射性物質の種類に、③-4の検討結果を反映し主要な放射性核種を設定した。

第9表 主要な放射性物質の種類

廃棄物の種類	主要な放射性物質の種類
金属類	H-3, C-14, Cl-36, Co-60, Sr-90, Cs-137, 全 α
コンクリート類	H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Co-60, Sr-90, Cs-137, Eu-152, Eu-154, 全 α

④ 主要な放射性物質ごとの総放射エネルギーの設定

第10表 主要な放射性物質の放射エネルギー設定の考え方

放射性物質	設定の考え方
Ca-41	第6表の主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーを用いて設定する。
Co-60	
Cs-137	
Eu-152	
Eu-154	
H-3	第6表の主要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーを用いて設定するが、このうち「汚染放射性物質」の放射エネルギーについては、将来の廃棄確認の際に分析データを基に評価することを想定し、現時点までに収集された放射能濃度の分析データを用いて保守的に再設定する。
C-14	
Cl-36	
Sr-90	
全α	
	Po-210より原子量が多い放射性物質のうち、主にβ線放出核種であるPu-241と主にγ線放出核種であるAm-242mを除いた合計を用いて設定する。

第11表 汚染放射性物質(5種類)の再設定方法

放射性物質	再設定方法
H-3	廃棄物の汚染性状に応じて、「ガス系金属」、「ガス系コンクリート」及び「廃液系」に分類し、 <u>分析値の算術平均値を用いて設定</u> する。
C-14	放射化生成する放射性物質として代表的な <u>Co-60との比から算術平均値を用いて設定</u> する。
Cl-36	「 <u>ガス系金属</u> 」における汚染の分析データの一部で $1 \times 10^8 \text{Bq/t}^*$ の1/10を超える。これらは除染による濃度低減ののち埋設するため、代表的な機器の <u>SRU伝熱管の分析値の算術平均値から、除染試験結果を踏まえ設定</u> する。 なお、「 <u>ガス系コンクリート</u> 」及び「 <u>廃液系</u> 」については、 <u>分析値の算術平均値を用いて設定</u> する。
Sr-90	核分裂生成する放射性物質として代表的な <u>Cs-137</u>
全α	<u>との比から算術平均値を用いて設定</u> する。

※「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」(原子力安全委員会)に示されたトレンチ処分の区分値充足性の評価の値

④ 主要な放射性物質ごとの総放射能量の設定

- ✓ 各設定値(第11表に基づく設定値)は原子炉停止からの期間を考慮して原子炉停止20年後に減衰補正した算術平均値を用いる。
- ✓ ただし、「運転中に発生した廃棄物」分については、「均質・均一固化体及び充填固化体の廃棄のための確認方法について(一部改正)JNES-SSレポート」(2008年4月)に示される値を用いて、原子炉停止20年後まで発生年度ごとに減衰補正している。

第12表 C-14, Sr-90, 全αの設定値

放射性物質	種類	原子炉停止時	原子炉停止20年後	原子炉停止時 (運転中廃棄物)
C-14	金属/コンクリート	2.6×10^{-1}	3.6×10^0	3.0×10^{-1}
Sr-90	金属/コンクリート	1.9×10^0	1.9×10^0	2.1×10^0
全α	金属	4.6×10^{-2}	7.3×10^{-2}	8.2×10^{-2}
	コンクリート	5.8×10^{-1}	9.3×10^{-1}	

第14表 Cl-36の設定値

放射性物質	廃棄物の性状		原子炉停止時 (Bq/t)	原子炉停止20年後 (Bq/t)
Cl-36	ガス系	金属	3.0×10^6	3.0×10^6
		コンクリート	1.0×10^6	1.0×10^6
	廃液系	金属/コンクリート	1.0×10^6	1.0×10^6

第13表 H-3の設定値

放射性物質	廃棄物の性状		原子炉停止時 (Bq/t)	原子炉停止20年後 (Bq/t)	原子炉停止時 (Bq/t) (運転中廃棄物)
H-3	ガス系	金属	2.2×10^8	7.5×10^7	2.2×10^8
		コンクリート	3.3×10^6	1.1×10^6	
	廃液系	金属/コンクリート	5.9×10^5	2.0×10^5	—

④ 主要な放射性物質ごとの総放射エネルギーの設定

- ✓ 廃棄確認における分析・測定精度など、今後の評価における放射エネルギーの変動を踏まえて1.2倍(全αについてはビルドアップを考慮して更に1.2倍)し、有効数字2桁となるように切り上げた値で設定。
- ✓ Cl-36はガス系金属が大部分であり、除染によって低減を行うため、一定の放射能濃度を上限として管理することが可能であることから、裕度を見込まない。

第15表 主要な放射性物質の総放射エネルギー(廃棄物の種類別の総放射エネルギーを含む)

放射性物質	総放射エネルギー(Bq)	廃棄物の種類別の総放射エネルギー	
		金属類の総放射エネルギー(Bq)*	コンクリート類の総放射エネルギー(Bq)
H-3	1.4×10^{12}	5.3×10^{11}	8.2×10^{11}
C-14	1.2×10^{10}	8.6×10^9	2.8×10^9
Cl-36	1.8×10^{10}	1.8×10^{10}	4.5×10^8
Ca-41	3.4×10^9	—	3.4×10^9
Co-60	1.3×10^{11}	1.2×10^{11}	9.7×10^9
Sr-90	1.7×10^9	1.5×10^9	1.2×10^8
Cs-137	9.1×10^8	8.1×10^8	1.0×10^8
Eu-152	5.5×10^{10}	—	5.5×10^{10}
Eu-154	2.5×10^9	—	2.5×10^9
全α	1.4×10^8	7.1×10^7	6.4×10^7

*「—」は主要な放射性物質に選定されないため、設定なし。

⑤ 主要な放射性物質ごとの最大放射能濃度の設定

- ✓ 主要な放射性物質の最大放射能濃度は、廃棄確認における外部非破壊測定の精度など、今後の評価における放射エネルギーの変動を踏まえて、機器ごとの最大の放射能濃度を10倍にして設定。

第16表 主要な放射性物質の最大放射能濃度

放射性物質	最大放射能濃度(Bq/t)
H-3	3.0×10^9
C-14	5.0×10^7
Cl-36	1.0×10^8
Ca-41	2.0×10^7
Co-60	8.0×10^9
Sr-90	1.0×10^7
Cs-137	7.0×10^6
Eu-152	3.0×10^8
Eu-154	9.0×10^6
全 α	4.0×10^6

- ✓ Cl-36については、放射能濃度が高いものは、ガス系金属の汚染放射性物質であり、除染により放射能濃度の低減を図ったうえで、埋設する計画であるため、一部の機器に極端に高い放射能濃度が含まれるものではない。
- ✓ このため、「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」(原子力安全委員会)に示されたトレンチ処分の区分値充足性の評価の値を参考として、最大放射能濃度を 1×10^8 Bq/tと設定。