

平成 17 年 3 月 3 日  
核燃料サイクル開発機構  
日本原子力研究所

## 核燃料使用施設（照射済燃料及び材料を取り扱う施設）における 重要放射性核種の選定について

### 1. 目的

原子力安全委員会（以下、「原安委」という。）は、核燃料使用施設のうち、専ら、照射済燃料及び材料を取り扱う施設（以下、「核燃料使用施設」という。）の廃止措置等に伴い発生する金属、コンクリート等を対象としたクリアランスレベルについて調査審議を進め、平成 15 年 4 月に「核燃料使用施設（照射済燃料及び材料を取り扱う施設）におけるクリアランスレベルについて」（以下、「核燃料使用施設クリアランスレベル報告書」という。）をとりまとめた。この報告書の内容を踏まえ、クリアランスレベルの値としてIAEA 安全指針 RS-G-1.7 の放射能濃度値を用いた場合の核燃料使用施設における重要放射性核種<sup>1</sup>の選定について検討した。

1 重要放射性核種：線量評価において相対的に重要となる放射性核種

原子炉施設から発生する種々の対象物は、汚染経路毎の放射性核種組成が大きく異なることはないと考えられるため、線量評価の観点から影響度の大きい限られた放射性核種の濃度を制限することで、その他の放射性核種の濃度も自ずと制限されると考えられるので、原子炉施設における重要放射性核種を定めることが実際的である。

（原安委「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」より）

### 2. 検討結果

重要放射性核種の抽出にあたっては、「核燃料使用施設クリアランスレベル報告書」における重要放射性核種の抽出手法と同様の手順で検討を行った。核燃料使用施設で取り扱う原子炉施設等で使用されている主要な照射済試料を対象に、運転に伴い発生する廃棄物等については原子炉取り出し後 0.5 年が、解体に伴い発生する廃棄物等については 5 年が経過しているものとして、これらの照射済試料に含まれる評価対象核種（49 核種）（表 1）の推定濃度を用いて、クリアランスレベルにRS-G-1.7 を適用した場合の相対重要度<sup>2</sup>を評価し、相対重要度が 0.01 以上（2 桁の範囲に入る）となる放射性核種を抽出した。ここで、運転に伴って発生する廃棄物等により抽出される放射性核種は、その物量が廃止措置に伴って発生する物量に比べて極めて少ないため相対的に重要度が小さくなることから対象物毎に最重要となる核種以外は対象外とした。対象とした炉型及び照射済試料毎の相対重要度の評価結果を表 2 に示す。

- 2 相対重要度： 対象物毎に最大となった放射性核種の D/C を 1 として、他の放射性核種の D/C を規格化したもの。

$$\text{相対重要度} = \frac{D_i / C_i}{(D_j / C_j)_{\text{MAX}}}$$

$D_i$  : 核種 $i$ の放射能濃度 (Bq/g)

$C_i$  : 核種 $i$ のクリアランスレベル (Bq/g)

$j$  : D/C が最大となる核種

表 2 の結果から、対象の炉型及び照射済試料において選定されたそれらの核種をすべて集合化することにより重要放射性核種を以下のとおり抽出した。

(最大) H-3、C-14、Mn-54、Co-60、Zn-65、Nb-94、Nb-95、Ru-106、Sb-125、Cs-137

(1 桁目) Cs-134、Eu-154、(Pu-238)、Pu-241、(Am-241)

(2 桁目) Sr-90、(Pu-239)、(Pu-240)、(Cm-244)

( )内の 線を放出する核種については、「核燃料使用施設クリアランスレベル報告書」と同様に「全 核種」として取り扱うものとする、核燃料使用施設における重要核種は以下の通りとなる。

#### 核燃料使用施設における重要放射性核種

H-3、C-14、Mn-54、Co-60、Zn-65、Sr-90、Nb-94、Nb-95、Ru-106、Sb-125、Cs-134、Cs-137、Eu-154、Pu-241、全 核種

なお、評価対象核種のうち RS-G-1.7 に放射能濃度値が示されていない Ag-108m の濃度値については、「IAEA, Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, Draft Safety Report (出版準備中)」を参照した。

また、同様に RS-G-1.7 にその放射能濃度値が示されていない Sn-119m, Sn-123, Pm-148m の 3 核種については、これらの核種の半減期はいずれも 1 年未満であることから運転に伴う廃棄物等に対して評価対象となること、運転に伴い発生する廃棄物等に対しては最重要となる核種のみを重要核種として抽出することから、本検討では RS-G-1.7 と同じ線量換算係数を用いて評価した原安委の再評価値（「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」平成 16 年 12 月）を用いて相対重要度の評価を行った。その結果、これらの核種の相対重要度はいずれも 4 桁目以下であることから、RS-G-1.7 放射能濃度値と原安委再評価値の違い

を考慮しても問題とならないと考えられる。

### 3. クリアランス検認における検認対象核種選定にあたっての留意事項

クリアランスレベル以下であることの検認方法については、基本的に「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」が核燃料使用施設にも適用できると考えられる。ただし、「核燃料使用施設クリアランスレベル報告書」においては、核燃料使用施設では種々の炉から発生する種々の照射済試料を扱うことを十分考慮する必要があるとしている。重要放射性核種は将来の検認に際して重要度の高いものとして、線量評価の観点から影響度の大きい放射性核種を集合化するステップを踏んで抽出されているため、核燃料施設に共通して適用できると考えるが、特定の核燃料使用施設を対象に検討する場合、上記の特性に注意する必要がある。

検認に際して、D/C の総和が 1 以下であることにより判断する方法を用いる場合、重要放射性核種を対象とするが以下の留意事項がある（「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」）。

重要放射性核種を抽出した前提（各炉型、対象物、汚染経路に関したこと）が大きく異なること、重要放射性核種以外の放射性核種の影響が十分小さいことを確認する。

重要放射性核種の D/C の総和が全放射性核種の D/C の総和の 90% に満たない場合、重要放射性核種以外の核種を評価対象核種として追加することも考慮。

表1 核燃料使用施設における評価対象核種

No.	原子番号	放射性核種	半減期 <sup>*1</sup>	評価対象核種	重要放射性核種として抽出された核種	RS-G-1.7放射能濃度値(Bq/g)
1	1	H-3	12.33 年			100
2	6	C-14	5.73E+03 年			1
3	21	Sc-46	83.8 日			0.1
4	25	Mn-54	312 日			0.1
5	26	Fe-55	2.70 年			1000
6		Fe-59	44.6 日			1
7	27	Co-58	70.8 日			1
8		Co-60	5.271 年			0.1
9	30	Zn-65	244.1 日			0.1
10	38	Sr-89	50.5 日			1000
11		Sr-90	28.8 年			1
12	39	Y-91	58.5 日			100
13	40	Zr-95	64.0 日			1
14	41	Nb-94	2.00E+04 年			0.1
15		Nb-95	35.0 日			1
16	44	Ru-103	39.4 日			1
17		Ru-106	367.0 日			0.1
18	47	Ag-108m	4.18E+02 年			0.1 <sup>*2</sup>
19		Ag-110m	252.0 日			0.1
20	49	In-114m	49.51 日			10
21	50	Sn-113	115.1 日			1
22		Sn-119m	293.1 日			1000 <sup>*3</sup>
23		Sn-123	129.0 日			300 <sup>*3</sup>
24	51	Sb-124	60.2 日			1
25		Sb-125	2.7 年			0.1
26	52	Te-125m	58 日			1000
27		Te-127m	109 日			10
28		Te-129m	33.5 日			10
29	55	Cs-134	2.062 年			0.1
30		Cs-137	30.17 年			0.1
31	58	Ce-141	32.5 日			100
32		Ce-144	284.0 日			10
33	61	Pm-148m	41.8 日			3 <sup>*3</sup>
34	63	Eu-154	8.50 年			0.1
35		Eu-155	4.90 年			1
36	64	Gd-153	241.6 日			10
37	65	Tb-160	72.1 日			1
38	72	Hf-181	42.4 日			1
39	73	Ta-182	115.0 日			0.1
40	94	Pu-238	87.74 年			0.1
41		Pu-239	2.410E+04 年			0.1
42		Pu-240	6.57E+03 年			0.1
43		Pu-241	14.4 年			10
44	95	Am-241	433.0 年			0.1
45		Am-242m	152 年			0.1
46		Am-243	7.37E+03 年			0.1
47	96	Cm-242	162.8 日			10
48		Cm-243	28.5 年			1
49		Cm-244	18.11 年			1

注) \*1 : Table of Isotopes 7th Edition (Ag-108m,Sn-119mは8th Edition) の半減期による。

\*2 : IAEAの安全レポート(Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance,「規制除外、規制免除及びクリアランスのための放射能濃度値の算出」)の値を用いた。

\*3 : 原子力安全委員会「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」(平成16年12月)の値を用いた。

表 2-(1) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(1/4)  
( 運転廃棄物：原子炉取り出し後 0.5 年 )

	BWR						
	燃 料		材 料				
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルコイ	イコ祢	ステン	炭素鋼	アルミ
最重要	Ru-106	Ru-106	Sb-125	Co-60	Co-60	Mn-54	Co-60
1 桁目	Cs-134 Cs-137	Cs-134 Cs-137	Co-60 Zr-95 Nb-95 Ta-182		Mn-54	Co-60	Zn-65
2 桁目	Sr-90 Zr-95 Nb-95 Ru-103 Ag-110m Sb-125 Ce-144 Eu-154 Pu-238	Zr-95 Nb-95 Ag-110m Sb-125 Eu-154 Pu-238 Cm-244	Mn-54 Sn-113	Mn-54 Co-58			C-14 Mn-54 Ag-110m
3 桁目	Eu-155 Pu-241 Cm-244	Sr-90 Ru-103 Ce-144 Eu-155 Pu-240 Pu-241 Am-241 Cm-242	C-14 Co-58 Hf-181		Co-58 Zn-65	Fe-55 Fe-59 Co-58 Zn-65	Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したもの。  
 \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。  
 \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(1) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(2/4)  
( 運転廃棄物：原子炉取り出し後 0.5 年 )

	PWR						
	燃 料		材 料				
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルコイ	イコ祢	ステン	炭素鋼	アルミ
最重要	Ru-106	Ru-106	Sb-125	Co-60	Co-60	Mn-54	Co-60
1 桁目	Cs-134 Cs-137	Cs-134 Cs-137	Co-60 Zr-95 Nb-95 Ta-182	Mn-54	Mn-54	Co-60	Mn-54 Zn-65
2 桁目	Sr-90 Zr-95 Nb-95 Ru-103 Sb-125 Ce-144 Eu-154 Pu-238	Zr-95 Nb-95 Sb-125 Eu-154 Pu-240 Pu-241	Mn-54 Sn-113	Co-58	Co-58 Zn-65		C-14 Ag-110m
3 桁目	Ag-110m Eu-155 Pu-241 Cm-244	Sr-90 Ru-103 Ag-110m Ce-144 Eu-155 Pu-238 Pu-239 Am-241 Cm-242	C-14 Hf-181	Sc-46 Nb-94 Nb-95	Fe-59	Fe-59 Co-58 Zn-65	Sc-46 Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したものの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(1) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(3/4)  
( 運転廃棄物：原子炉取り出し後 0.5 年 )

	GCR			核融合関連				
	燃 料	材 料		材 料				
	U	マグネシウム	黒鉛	ヘリウム	ステンレス	銅	高マンガン鋼	アルミニウム
最重要	Ru-106	Zn-65	Co-60	H-3	Co-60	Zn-65	Mn-54	Co-60
1 桁目	Nb-95 Cs-137	Sc-46 Co-60	C-14	Co-60 Eu-154	Mn-54	Co-60	C-14	Zn-65
2 桁目	Sr-90 Zr-95 Ru-103 Sb-125 Cs-134 Ce-144	Ag-110m Cs-134 Eu-154 Ta-182	Sc-46 Zn-65	Mn-54 Ag-110m			Co-60	C-14 Mn-54 Ag-110m
3 桁目	Ag-110m Eu-154 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Am-241	Mn-54 Eu-155 Tb-160	Mn-54 Eu-154	C-14 Co-58 Zn-65 Eu-155	Co-58 Zn-65		Fe-55 Fe-59	Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したもの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(1) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(4/4)  
( 運転廃棄物：原子炉取り出し後 0.5 年 )

	重水炉 ( ふげん )						高速炉 ( 常陽 )	
	燃 料		材 料				燃 料	材 料
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルカドイ	インコル	Zr-Nb 合金	ステンス	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ステンス
最重要	Ru-106	Ru-106	Sb-125	Co-60	Nb-95	Co-60	Ru-106	Mn-54
1 桁目	Nb-95 Cs-134 Cs-137	Cs-134 Cs-137	Co-60 Zr-95 Nb-95	Ta-182	Zr-95		Nb-95 Cs-137	Ta-182
2 桁目	Sr-90 Zr-95 Ru-103 Sb-125 Ce-144 Eu-154	Zr-95 Nb-95 Ru-103 Sb-125 Ce-144 Eu-154	Mn-54 Sn-113	Mn-54 Co-58	Co-60 Nb-94 Ta-182	Mn-54	Zr-95 Ru-103 Sb-125 Cs-134 Ce-144 Pu-238 Pu-241	Co-60
3 桁目	Ag-110m Eu-155 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241	Sr-90 Ag-110m Eu-155 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Am-241 Cm-242	Co-58 Hf-181 Ta-182	Nb-95	Mn-54 Sb-125 Hf-181	Fe-59 Co-58 Zn-65	Sr-90 Ag-110m Eu-154 Eu-155 Pu-239 Pu-240 Am-241	

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したものの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。



表 2-(2) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(1/4)  
 (解体廃棄物：原子炉取り出し後 5 年)

	BWR						
	燃 料		材 料				
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルカой	イコ祢	ステンズ	炭素鋼	アルミニウ
最重要	Cs-137	Cs-137	Sb-125	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
1 桁目	Ru-106 Cs-134 Eu-154	Ru-106 Cs-134 Eu-154	Co-60				
2 桁目	Sr-90 Sb-125 Pu-238 Cm-244	Sr-90 Sb-125 Pu-238 Pu-240 Pu-241 Am-241 Cm-244					C-14
3 桁目	Eu-155 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Am-241	Eu-155 Pu-239 Am-243	C-14			C-14 Fe-55	Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したもの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(2) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(2/4)  
(解体廃棄物：原子炉取り出し後 5 年)

	PWR						
	燃 料		材 料				
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルカой	イコル	ステン	炭素鋼	アルミウ
最重要	Cs-137	Cs-137	Sb-125	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
1 桁目	Ru-106 Cs-134	Ru-106 Cs-134 Pu-241 Am-241	Co-60				
2 桁目	Sr-90 Sb-125 Eu-154 Pu-238 Pu-241 Am-241	Sr-90 Sb-125 Eu-154 Pu-238 Pu-239 Pu-240					C-14
3 桁目	Eu-155 Pu-239 Pu-240 Am-243 Cm-244	Eu-155 Am-242m Cm-244	C-14	Nb-94		Fe-55	Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したもの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(2) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(3/4)  
(解体廃棄物：原子炉取り出し後 5 年)

	GCR			核融合関連				
	燃 料	材 料		材 料				
	UO <sub>2</sub>	マグノックス	黒鉛	ヘリウム	ステンレス	銅	高マンガノ鋼	アルミニウム
最重要	Cs-137	Co-60	Co-60	H-3	Co-60	Co-60	C-14	Co-60
1 桁目	Ru-106		C-14	Co-60 Eu-154				
2 桁目	Sr-90 Sb-125 Cs-134 Eu-154 Pu-239 Pu-240	Cs-134 Eu-154					Co-60	C-14
3 桁目	Eu-155 Pu-238 Pu-241 Am-241	Eu-155	Eu-154	C-14 Ag-108m Eu-155		C-14		Ag-108m

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したものの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。

表 2-(2) 核燃料使用施設における放射性核種組成に基づく相対重要度評価結果(4/4)  
(解体廃棄物：原子炉取り出し後5年)

	重水炉（ふげん）						高速炉（常陽）	
	燃 料		材 料				燃 料	材 料
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ジルコイ	インコル	Zr-Nb 合金	ステンス	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>	ステンス
最重要	Cs-137	Cs-137	Sb-125	Co-60	Nb-94	Co-60	Cs-137	Co-60
1 桁目	Ru-106 Cs-134	Ru-106 Cs-134	Co-60		Co-60		Ru-106 Pu-238	
2 桁目	Sr-90 Sb-125 Eu-154 Pu-238	Sr-90 Sb-125 Eu-154 Pu-238 Pu-240 Pu-241 Am-241					Sr-90 Sb-125 Cs-134 Eu-154 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Am-241	
3 桁目	Eu-155 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Am-241	Eu-155 Pu-239 Cm-244		Nb-94	C-14 Sb-125		Eu-155	Nb-94 Cs-134

- \*1：上記表は各放射性核種のうち D/C の最大となった放射性核種の D/C で規格化し、桁で分類したものの。
- \*2：運転廃棄物の場合、原子炉から取り出された後クリアランスされるまでの期間として、対象物の取り扱いの状況等を考慮して原子炉施設から取り出し後 6 か月とした。また、解体廃棄物は 5 年とした。
- \*3：運転廃棄物では半減期が 1 か月未満及び解体廃棄物では半減期 1 年未満の放射性核種は、減衰により放射性核種の濃度が初期濃度の 0.04 以下となるため対象外とした。また、放射性希ガスも対象外とした。