

放射線発生装置の解体等に伴って発生する RI 汚染物中の核種の選定について

平成 21 年 8 月 25 日

高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

前回の第 8 回クリアランス技術検討WGにおいて、放射線発生装置使用施設から発生する RI 汚染物の種類と物量等について報告した。本資料ではクリアランスレベル値の試算のため、対象物に含まれる核種から、試算対象とする核種選定方法について説明する。

放射線発生装置で発生する RI 汚染物（放射化物）生成の主要な原因は、原子炉と同様に中性子によるものであることが先の中間報告で示されている。このため、基本的には原子炉で検討された核種の選定手順を参考にすることができる。

核種の選定に当たっては、「放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係わる技術的検討について」（中間報告書、平成 18 年、安全規制検討会クリアランス技術検討ワーキンググループ）における評価結果、及び電子加速器である JAEA の LINAC や高エネ研の粒子加速器施設をモデルとして行ったクリアランスの対象となる金属やコンクリート等の放射化計算の結果を参考にした。また、高エネルギーの放射線発生装置の場合、発生する中性子のエネルギーが高く、原子炉で見られる熱中性子捕獲反応のみならず、速中性子反応も考慮に入れておく必要があるため、それぞれの材料毎に数核種の追加を行った。

2. 物質組成について

評価対象となる材質は、鉄、ステンレス、銅、アルミニウム、鉛およびコンクリートである。鉄や銅は放射線発生装置の電磁石で主に使用されており、純度は高い。しかし、純鉄ではしばしばコバルトが不純物として含まれる。計算では炭素鋼の成分 (NUREG/CR3474) を用いている。ステンレスは配管材料などであり、SUS304 が代表的であることから、その NUREG/CR3474 の成分表を使用している。アルミニウムも低放射化を目的とした真空容器、配管材料、として用いられており、押し出し加工に優れた JIS の 6063 番がよく使用されていることから、JIS6063 番の成分表を用いている。鉛の不純物としては JT-60 の構造材分析値のデータを用いている。コンクリートは、セメントに粗骨材や細骨材として岩石が含まれている。主要成分の組成は変動が少ないが、微量に含まれる成分の濃度にはばらつきがある。そこで、一般には米国で用いられている NUREG/CR3474 のデータ、およびその他国内放射線発生装置使用施設などでのコンクリート分析結果を参考にしている。

3. 主要核種について

鉄、SUS、銅、アルミニウム、鉛及びコンクリート中の生成核種を検討するにあたり、解体時の放射化物の評価過程を考慮して冷却期間は 1 年、半減期は 1 月を超える核種とした。評価対象核種の選定に当たっては、核種の生成量 (D) 及び現在使用されている RS-G-1.7 の値 (C) をもとに、主要核種の (D/C) max に対し、その核種の D/C 値の比 $[(D/C) / (D/C) \max]$ をとることとした。コンクリートについては中間報告書表 6 に示された核種のうち、KEK 陽子加速器では $[(D/C) / (D/C) \max]$ 値が 4 桁目まで、その他の発生装置では 3 桁目までを選んだ。その他の材質については、「平成 17 年度 放射線発生装置、放射性同位元素使用施設及びウラン取扱施設等から

発生する廃棄物のクリアランスレベル設定に係る基礎調査」報告書の計算結果を参考にし、
 $[(D/C) / (D/C)_{max}]$ 値が4桁目までの核種を選定した。

以上により、クリアランス計算を行うために選定した核種を表2の「放射線発生装置の使用に伴い放射化することが想定される核種」の欄に挙げた。材質毎に核種を示したが、▲印は高エネルギー粒子で照射された場合に検出される可能性があると思われるために追加した核種である。

表1 放射化コンクリートの放射能濃度に係る放射化計算結果と分析・測定結果に基づく評価対象核種の選定（18年度中間報告の表6を引用）

(D/C) / (D/C) _{max} *1	KEK 陽子加速器施設	JAEA LINAC	RI 協会 仁科記念サイクロトロンセンター
	装置停止1年後 (コンクリート表面から100cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面から80cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面*2)
最重要核種	Na-22	Co-60	Co-60
1桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0~1.0E-1)	Mn-54	Mn-54 Sb-125 Cs-134 Eu-152 Eu-154	Mn-54 Eu-152
2桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0E-1~1.0E-2)	Co-60	Na-22 Sc-46 Zn-65 Ba-133 Ta-182	H-3 Sc-46 Zn-65 Sb-125 Ba-133 Cs-134 Eu-154
3桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0E-2~1.0E-3)	H-3 Sc-46 Fe-55 Zn-65 Sb-125 Cs-134 Ba-133 Eu-152	H-3 Ag-110m Sn-113 Te-123m	Ca-45 Fe-55 Te-123m Ta-182
4桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0E-3~1.0E-4)	C-14 Co-57 Te-123m Cs-137 Ce-139 Eu-154 Ta-182	C-14 Ca-45 Fe-55 Fe-59 Sb-124 Te-127m Eu-155 Tb-160 Tl-204 Pu-239	C-14 Fe-59 Ag-110m Sn-113 Eu-155 Tl-204
5桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0E-4~1.0E-5)	Ca-45 Co-58 Sr-85 Ag-110m Sn-113 Te-127m Eu-150	Cl-36 Ca-41 Co-57 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-93m Nb-94 Zr-95 Ce-139 Gd-153	Cl-36 Ca-41 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-94 Sb-124 Te-127m Gd-153 Tb-160 Pu-239

*1: D:放射能濃度の計算値(Bq/g) C:RS-G-1.7の放射能濃度(Bq/g)

各放射性核種のD/Cの値を最重要核種(D/Cの値の最大となる核種)のD/Cの値で除して、その値の桁で分類した。また、半減期が1ヶ月未満、放射性希ガス及び天然起源の放射性核種を除外した。

*2: 放射能濃度の測定部位の位置(深さ)を考慮し、放射化計算結果に基づいたクリアランス対象部位の近傍位置(深さ)

表2 放射化物に係るクリアランスレベル値の試算対象核種

核種	IAEA RS-G-1.7 (Bq/g)	放射線発生装置の使用に伴い放射化することが想定される核種						原子炉等規制 法に規定され ている原子炉 施設のクリア ランスレベル
		放射化コンク リート中の評 価対象核種	放射化金属中の評価対象核種					
			ステンレス鋼	炭素鋼	銅	アルミ ニウム	鉛	
		23 核種	15 核種	10 核種	6 核種	8 核種	10 核種	33 核種
H-3	100	○				▲	▲	○
Be-7	10	▲				▲		
C-14	1	○						○
Na-22	0.1	○				○		
Cl-36	1	▲						○
Ca-41 (放射化)	-							○
Ca-45	100	○						
Sc-46	0.1	○	▲	▲		○		○
Ti-44	-		▲	▲				
Mn-54	0.1	○	○	○		○	○	○
Fe-55	1000	○	○	○				○
Fe-59	1		○	○		○		○
Co-56	0.1		▲	▲	▲			
Co-57	1	○	○	○	▲			
Co-58	1		○	○	▲			○
Co-60	0.1	○	○	○	○	○	○	○
Ni-59 (放射化)	100							○
Ni-63	100				○			○
Zn-65	0.1	○	○	○	▲	○	○	○
Sr-90 (FP)	1							○
Nb-94 (FP)	0.1							○
Nb-95 (FP)	1							○
Tc-99 (FP)	1							○
Ru-106 (FP)	0.1							○
Ag-108m (放射化)	-							○
Ag-110m	0.1	○	○					○
Sn-113	1	○					○	
Sb-124	1		○				○	○
Sb-125	0.1	○					○	
Te-123m	1	○						○
I-129 (FP)	0.01							○
Cs-134	0.1	○	○					○
Cs-137	0.1	○						○
Ba-133	-	○						○
Ce-139	1	○						
Eu-152	0.1	○	○					○
Eu-154	0.1	○						○
Tb-160	1		○					○
Ta-182	0.1	○						○
Au-195	-						▲	
Hg-203	10						○	
Pu-239 (放射化)	0.1							○
Pu-241 (放射化)	0.1							○
Am-241 (放射化)	0.1							○

※黄色の欄の核種については、クリアランスレベルを算出する対象核種として選定する必要があるものについて検討を行う。