

1～3号廃棄物埋設施設の総放射エネルギーの設定について

1. 概要

1～3号廃棄物埋設施設の対象廃棄物の放射能起源は、原子炉冷却材中に存在する放射性物質に起因するものであることから、申請に用いる総放射エネルギーの設定の中で沸騰水型軽水炉（BWR）及び加圧水型軽水炉（PWR）に当たっては、原子炉冷却材中の燃料や腐食生成物起源の放射性物質（燃料・クラッド起源）及び原子炉冷却材中の不純物起源の放射性物質を考慮した。

燃料・クラッド起源の放射能については、原子炉冷却材への放出速度や原子炉冷却材の循環における除去率、原子炉冷却材中の流量、廃棄物発生量等を考慮して、総放射エネルギーとともに放射能濃度を評価した。原子炉冷却材中の不純物起源の放射性物質についても、原子炉冷却材中での生成速度や原子炉冷却材の循環における除去率等を考慮して同様に評価した。

なお、2号に少数埋設している黒鉛減速ガス冷却炉（GCR）から発生した廃棄物の放射エネルギーについては別途設定を行う。放射エネルギー設定フローを図1に示す。

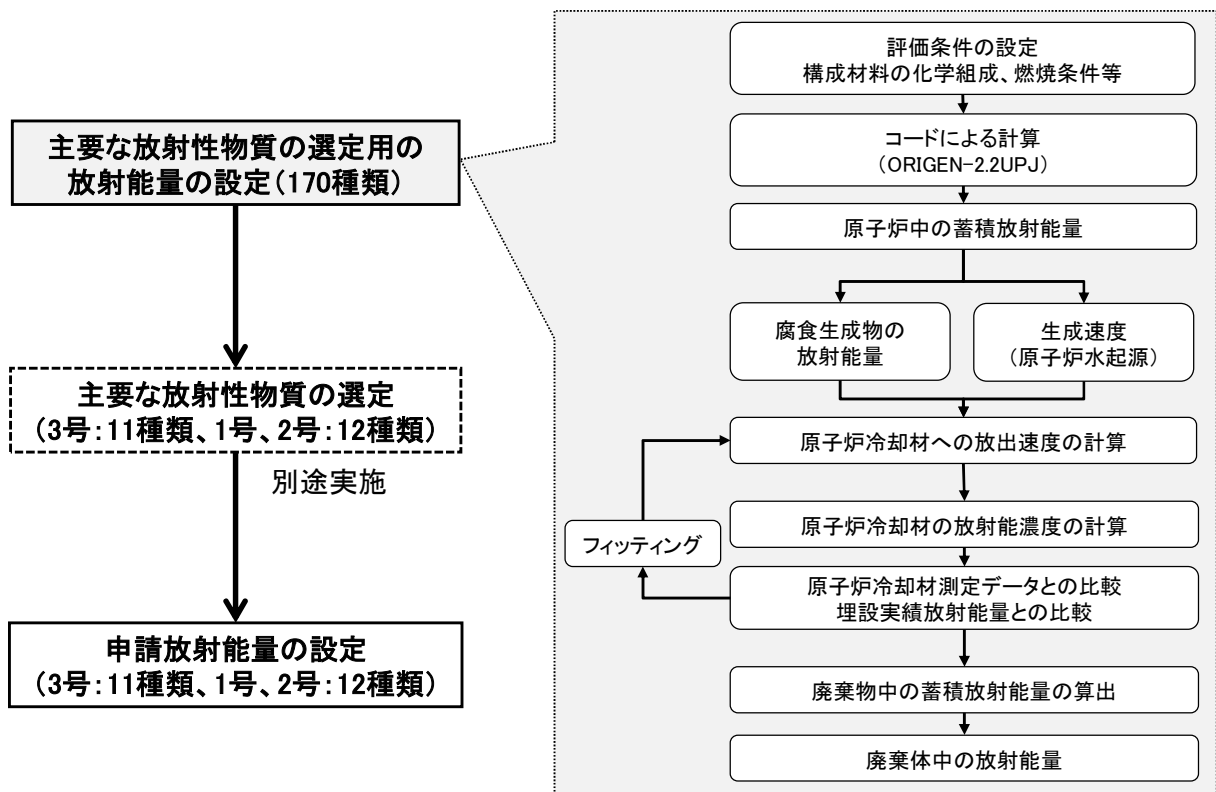


図1 放射エネルギー設定フロー

2. 燃料・クラッド起源の放射エネルギー評価方法の検討

廃棄体中の放射エネルギー、放射能濃度を設定するには、発生源となる構成材料及び燃料の種類、元素組成、照射条件、発生源から廃棄体に至るまでの移行パラメータ、現実的な評価を行うための実測値又は実績値等が必要である。

以下ではこれらの評価パラメータを示す。

2.1 系統構成材料

1～3号廃棄物埋設施設に埋設する廃棄体に含まれる放射性物質の主要な生成源は、原子炉内における腐食生成物又は原子炉冷却材の放射化と燃料からの漏えいである。したがって、廃棄物中の放射性物質の組成を設定するためには、腐食生成物、原子炉冷却材及び燃料中の放射性物質の組成を決定する必要がある。これらの生成源から廃棄物への放射性物質の移行は、原子炉冷却材への溶解、主蒸気への移行、樹脂への吸着、構成材料への沈着等が関係するが、ここでは、原子炉冷却材への溶解と構成材料への沈着については、放射性物質間で差異がないものとした。

2.1.1 ウラン濃度と燃料中の不純物

計算に当たって考慮したウラン濃度と燃料中の不純物を表1に示す。

表 1 計算に当たって考慮したウラン濃度と燃料中の不純物*1

	天然存在比*2 原子数(%)	濃縮度 4% 存在比(%)	濃縮度 4.5% 存在比(%)	原子量*3	重量比(%)	
					濃縮度 4%	濃縮度 4.5%
U-234	0.0055	0.0306	0.0344	234.041	0.030425	0.034228
U-235	0.72	4	4.5	235.044	4	4.5
U-238	残り	残り	残り	238.051	95.96957	95.46577

原子番号	元素記号	濃度(ppm)	原子番号	元素記号	濃度(ppm)
3	Li	1.0	25	Mn	1.7
5	B	1.0	26	Fe	18.0
6	C	89.4	27	Co	1.0
7	N	25.0	28	Ni	24.0
8	O	134,454	29	Cu	1.0
9	F	10.7	30	Zn	40.3
11	Na	15.0	42	Mo	10.0
12	Mg	2.0	47	Ag	0.1
13	Al	16.7	48	Cd	25.0
14	Si	12.1	49	In	2.0
15	P	35.0	50	Sn	4.0
17	Cl	5.3	64	Gd	2.5*4
20	Ca	2.0	74	W	2.0
22	Ti	1.0	82	Pb	1.0
23	V	3.0	83	Bi	0.4
24	Cr	4.0			

*1 : ORNL/TM-6051, p. 58¹⁾

*2 : アイソトープ手帳 11 版²⁾

*3 : <http://www.nist.gov/pml/data/comp.cfm>(平成 25 年 3 月 11 日閲覧)

*4 : BWR 燃料の場合には、1573 ppm とした。

燃料から原子炉冷却材中に放出される放射性物質の組成については、対象となる主要な放射性物質が年オーダー以上の半減期の放射性物質であることから、燃料中に蓄積した組成をベースに考えるものとし、中間の燃焼度(22.5 GWd/MTU)の放射性物質の組成を用いることとした。

構成材の照射時間としては以下の 2 種類を想定した。

- ① 燃料と同じ(1/2 燃焼度) : 燃料被覆管(ジルカロイ-2(Zry-2)、ジルカロイ-4(Zry-4))
- ② 100 日 : 上記を除く構成材

1) A. G. Croff, M. A. Bjerke, G. W. Morrison, L. M. Petrie, “Revised Uranium-Plutonium Cycle PWR and BWR Models for the ORIGEN Computer Code”, ORNL/TM-6051, p. 58, (1978).
 2) (社)日本アイソトープ協会, “アイソトープ手帳 11 版”(2011).

(2.1.1 ウラン濃度と燃料中の不純物の根拠)

1. 計算条件

1.1 「TRU 第2次とりまとめ」³⁾を用いた設定

「TRU 第2次とりまとめ」における計算条件は民間再処理施設における設計値である。対象となる原子炉施設は同一と考えられるため、本評価でも同じ計算条件を使用する。本評価ではその中で以下のパラメータを使用した。

- ・比出力
- ・総照射量
- ・U-235 濃縮度（初期濃縮度）

1.2 その他の計算条件

a. 照射期間（1/2 燃焼度）

全照射期間は（総照射量）÷（比出力）より算出した。

燃料から漏出する放射能の平均的組成として、全照射期間の 1/2 の照射期間を想定した。

b. 照射期間（100 日）

「軽水炉燃料のふるまい第2版」（昭和60年8月）、「軽水炉燃料のふるまい第2版改定新版」（平成2年7月）によると、炉心部における各元素の滞在時間について、PWR は約 30 日、放射性物質の平均値は 8.5～86.8 日とされている。

一方、以下の文献では JPDR 試験炉での炉心部における各元素の滞在時間について、Co : 230±46 日、Ni : 260±52 日、Fe : 70±14 日、Zn : 65±13 日と評価されている。

- ・ Michio HOSHI, Enzo TACHIKAWA, Takeshi SUWA, Chiaki SAGAWA, Chushiro YONEZAWA & Satoshi GOTO, “Residence Time of Crud on Surfaces of Channel Box in JPDR”, Journal of Nuclear Science and Technology (2012)

上記より、全放射性物質に対する一般的な値として 100 日を設定した。

c. 中性子フルエンス率（100 日照射）

計算コードにおいて全照射期間までの平均中性子組成を評価した結果を使用している。

なお、この値は 1/2 燃焼度の計算において出力結果に含まれる。

d. 燃料中不純物組成

3) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構, “TRU 廃棄物処分技術検討書—第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—（第2次 TRU レポート）”, JNC TY 1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02 (2005).

各元素の組成比は「ORNL/TM-6051」における燃料中の元素組成を使用した。BWR については全量ガドリニア混合燃料を想定した。比出力は一定であるため、これによる初期中性子束低下は生じない。

ウラン中の同位体組成について、U-234 と U-235 の同位体組成比は濃縮後も天然ウランと変化しないと想定し、濃縮後の U-234, U-235, U238 の存在比（原子数）を算出し、それに各同位体の質量数を用いて重量比を算出した。

2.1.2 原子炉構成材料の元素組成（不純物含む）

BWR 及び PWR の原子炉構成材料の種類を表 2 に示す。

表 2 BWR 及び PWR の原子炉構成材料の種類

原子炉構成材料		BWR	PWR
ステンレス鋼	SUS304	○	○
	SUS316	○	○
ジルカロイ	Zry-2	○	—
	Zry-4	○	○
ニッケル基合金 (インコネル)	Inc600	○	—
	Inc690	—	○
	Inc718	—	○
	IncX750	○	—
ステライト鋼	ステライト #3	○	○
ステライト代替材	ナイトロニック #60	○	—
	CFA	○	—

また、原子炉構成材料の不純物組成については、以下の方法で設定を行っている。

- ① JIS 等の規格値にある元素については、規格値の上限を用いる。
- ② 検出データが 3 点以上ある元素については、データの幾何平均濃度、幾何標準偏差を基に、算術平均相当の濃度を算出した値を元素濃度とする。
 なお、使用データは電気事業者が取得したデータを優先し、それらが無い元素については一般文献データを使用する（以降も同様）。
- ③ 検出データが 3 点未満の元素についても同様に評価するが、その際に幾何平均濃度については保守的に分析データの最大値を、幾何標準偏差については保守的な値を使用する。
- ④ 検出データが 0 点の元素で、ND データが存在するものに関しては、ND 値の最小値を使用する。
- ⑤ 分析データが無い元素については、一律 0.1%を使用する。

なお、評価に使用する分析データについては、電気事業者が取得した分析データに加え、新型転換炉「ふげん」の構成材の元素分析データ及び国内外の文献における分析データを使用した。また、使用量が非常に少ないステライト鋼及びステライト代替材については、仕様による主要元素組成のみを使用した。評価に使用した材料別の元素組成設定値を表 3 に示す。

表 3 評価に使用した材料別の元素組成設定値 (単位：%)

原子番号	元素記号	SUS304	SUS316	Zry-2	Zry-4	Inc600	Inc690	Inc718	IncX750	ステライト #3	ナイトロニック #60	CFA
1	H	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	2.5×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
3	Li	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	2.0×10^{-5}	3.0×10^{-6}	-	-	-
4	Be	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
5	B	4.0×10^{-4}	4.0×10^{-3}	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	4.0×10^{-3}	1.0×10^{-5}	6.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	-	0.0015	-
6	C	8.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	2.7×10^{-2}	2.7×10^{-2}	1.5×10^{-1}	5.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	2.45	0.08	-
7	N	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}	2.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	7.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	-	0.18	-
8	O	5.0×10^{-2}	2.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}	1.6×10^{-1}	6.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
9	F	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
11	Na	2.0×10^{-3}	6.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
12	Mg	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
13	Al	3.0×10^{-1}	8.0×10^{-2}	7.5×10^{-3}	7.5×10^{-3}	3.0×10^0	1.0×10^{-1}	8.0×10^{-1}	1.0×10^0	-	0.02	3.72
14	Si	1.0×10^0	1.0×10^0	1.2×10^{-2}	1.2×10^{-2}	5.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	3.5×10^{-1}	5.0×10^{-1}	1	4.2	0.27
15	P	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-2}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.5×10^{-2}	1.0×10^{-1}	-	0.04	-
16	S	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.0×10^{-2}	-	0.03	-
17	Cl	1.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	-	-	-
19	K	5.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	7.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	-	-	-
20	Ca	5.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	5.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	-	-	-
21	Sc	2.0×10^{-4}	8.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
22	Ti	2.0×10^{-2}	8.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	6.0×10^0	1.0×10^{-1}	1.2×10^0	2.8×10^0	-	0.05	-
23	V	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	3.0×10^{-4}	6.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	0.2	-
24	Cr	2.0×10^1	1.8×10^1	1.5×10^{-1}	1.3×10^{-1}	1.7×10^1	3.1×10^1	2.1×10^1	1.7×10^1	31	17	37.5
25	Mn	2.0×10^0	2.0×10^0	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^0	5.0×10^{-1}	3.5×10^{-1}	1.0×10^0	1	8.5	0.57
26	Fe	8.0×10^1	8.0×10^1	2.0×10^{-1}	2.4×10^{-1}	1.0×10^1	1.1×10^1	2.5×10^1	9.0×10^0	3	64.64	-
27	Co	3.0×10^{-1}	4.0×10^{-1}	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	4.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	1.0×10^0	1.0×10^0	51.55	-	-
28	Ni	1.1×10^1	1.4×10^1	8.0×10^{-2}	7.0×10^{-3}	8.0×10^1	6.5×10^1	5.5×10^1	7.8×10^1	3	8.5	56.82
29	Cu	3.0×10^0	6.0×10^{-1}	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	-	0.75	-
30	Zn	3.0×10^{-2}	6.0×10^{-3}	2.0×10^{-5}	7.0×10^{-5}	9.0×10^{-4}	6.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
31	Ga	2.0×10^{-2}	9.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
32	Ge	8.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
33	As	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
34	Se	3.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	-	-	-
35	Br	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	7.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
37	Rb	2.0×10^{-4}	9.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-3}	7.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
38	Sr	3.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
39	Y	6.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
40	Zr	4.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1.0×10^2	1.0×10^2	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	8.0×10^{-4}	5.0×10^{-2}	-	-	-
41	Nb	5.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	3.0×10^0	5.0×10^{-2}	5.5×10^0	1.2×10^0	-	0.1	-
42	Mo	4.0×10^{-1}	3.0×10^0	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}	3.3×10^0	7.0×10^{-2}	-	0.75	1.12

原子番号	元素記号	SUS304	SUS316	Zry-2	Zry-4	Inc600	Inc690	Inc718	IncX750	ステライト #3	ナイトロニック #60	CFA
44	Ru	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
45	Rh	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
46	Pd	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
47	Ag	3.0×10^{-4}	8.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	-	-	-
48	Cd	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
49	In	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	7.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
50	Sn	7.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	1.7×10^0	1.7×10^0	3.0×10^{-3}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	8.0×10^{-1}	-	0.05	-
51	Sb	1.0×10^{-2}	4.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
52	Te	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
53	I	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
55	Cs	5.0×10^{-6}	5.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
56	Ba	6.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
57	La	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
58	Ce	1.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-	-	-
59	Pr	8.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
60	Nd	8.0×10^{-5}	8.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
62	Sm	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	4.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-	-	-
63	Eu	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	-	-	-
64	Gd	7.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
65	Tb	8.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
66	Dy	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-	-	-
67	Ho	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-	-	-
68	Er	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-	-	-
69	Tm	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
70	Yb	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
71	Lu	2.0×10^{-4}	4.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
72	Hf	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	-	-	-
73	Ta	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	5.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
74	W	8.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	7.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	13	0.15	-
75	Re	6.0×10^{-5}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
76	Os	2.0×10^{-5}	9.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
77	Ir	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
78	Pt	5.0×10^{-5}	4.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
79	Au	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
80	Hg	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
81	Tl	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
82	Pb	8.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	9.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
83	Bi	4.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	-	-	-
90	Th	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}	9.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	2.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	-	-	-
92	U	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	3.5×10^{-4}	3.5×10^{-4}	1.0×10^{-6}	5.0×10^{-6}	4.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	-	-	-

※ステライト#3、ナイトロニック#60、CFA は成分表の値を使用した。他は規格値、分析値、文献値より設定し、データのない元素は 0.1%とした。また、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。

(2.1.2 原子炉構成材料の元素組成（不純物含む）の根拠）

1. 設定に使用した分析値等の出典

1.1 ふげん

平成 16～20 年度エネルギー対策特別会計委託事業（文部科学省委託）として、解体中の新型転換炉「ふげん」の構成材（機器、配管等）を対象に、元素分析が実施されている。これらの元素分析データは、財団法人原子力安全技術センターのホームページで公開されている。SUS304、SUS316 について上記の分析データを使用した。

1.2 規格値他

- ・ JIS G 4305 「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」（2005）：SUS304, SUS316
- ・ JIS H 4751 「ジルコニウム合金管」（1998）：Zry-4
- ・ JIS H 4751 「ジルコニウム合金管」（1998）：Zry-2
- ・ SPECIAL METALS 社 WEB サイトにおける Technical bulletins：各種インコネル合金
- ・ Deloro Stellite Group の WEB サイトにおける Alloy Database：ステライト#3（ステライト合金）
- ・ ELECTRALLOY 社のデータシート：ナイトロニック#60
- ・ 有井満，河合光雄，縄井武男，“低コバルト耐摩耗合金の開発”，東芝レビュー（1979）：CFA 合金

なお、インコネル合金において原子炉仕様と一般用で上限濃度が異なるものが存在するが、安全のため基本的に高い側の値を使用した。

2. 評価方法

a. JIS 等の規格値がある元素の元素組成

規格の存在する元素は、規格値の範囲内又は規格の上限値近傍の濃度になり、また、その存在濃度範囲も比較的狭いと考えられ、規格の上限値を利用してもインベントリ評価に与える影響はそれほど大きくはないと考えられることから、「規格の上限値」を元素成分条件として設定した。

b. 検出値データがある元素

比較的データが充足しているレベルにある元素（ここでは分布を仮定できる最低限のデータ数として 3 点以上の元素を対象とした。基本的に元素濃度分布の基本形状は対数正規分布となる。）については、データ充足性が比較的高いと考え、元素分析データから得られる基本統計量に過度な保守性は見込まず、基本的な統計評価で得られる程度の保守性のみを考慮した。

検出値データが3点未満の元素については、存在濃度範囲の推定が困難であり、また、分布の大きさ（ここでは対数正規分布の平均値と標準偏差）についても、現実的には推定困難である（統計評価上の意味をなさないと考えられる）。つまり、このような検出値データがほとんどない場合については、当該元素の元素分析データを利用して、統計的に元素濃度分布の推定を行うことは困難である。

このため、当該データについては、基本統計量等ではなく、検出値データ等から推定できる保守的な分布を想定し、当該推定濃度分布から、元素成分条件の評価を行った。

c. 検出値がない元素（検出限界値（ND 値）のみ）

検出値データはなく、ND 値データしかない元素については、実際の存在濃度範囲は当該 ND 値より低い元素濃度の範囲にあることが推察できるものの、その分布の形状を推定することは困難である。したがって、ND 値データしかない元素については、保守的に「ND 値データの最小値（VN-min）」を元素成分条件とした。

d. 検出値がない元素

0.1%を設定した。

2.1.3 原子炉冷却材中の不純物組成

原子炉冷却材中の不純物組成設定値を表 4 に示す。

なお、PWR のホウ素濃度については、ホウ素単体濃度が合計 1,000ppm となるように BO_2 濃度を調整した。また、残りは全て H_2O とした。

表 4 原子炉冷却材中の不純物組成設定値

(単位: ppm)

BWR						PWR					
原子番号	元素記号	設定値	原子番号	元素記号	設定値	原子番号	元素記号	設定値	原子番号	元素記号	設定値
1	H	1.12×10^5	31	Ga	1.00×10^{-7}	1	H	1.12×10^5	31	Ga	1.00×10^{-10}
3	Li	1.00×10^{-7}	32	Ge	0	3	Li	1.00×10^{-7}	32	Ge	1.00×10^{-10}
3	Li-7	0	33	As	1.00×10^{-7}	3	Li-7	1.02×10^0	33	As	1.00×10^{-3}
4	Be	1.00×10^{-7}	34	Se	1.00×10^{-7}	4	Be	1.00×10^{-7}	34	Se	1.00×10^{-7}
5	B	1.00×10^{-7}	35	Br	1.00×10^{-7}	5	B	1.00×10^3	35	Br	1.00×10^{-7}
7	N	0	38	Sr	1.00×10^{-7}	7	N	5.91×10^1	38	Sr	1.00×10^{-7}
8	O	8.88×10^5	40	Zr	0	8	O	8.87×10^5	40	Zr	1.00×10^{-11}
9	F	1.00×10^{-7}	41	Nb	0	9	F	5.00×10^{-2}	41	Nb	1.00×10^{-11}
11	Na	7.00×10^{-3}	42	Mo	1.00×10^{-7}	11	Na	1.00×10^{-3}	42	Mo	1.00×10^{-7}
12	Mg	1.00×10^{-7}	46	Pd	0	12	Mg	1.00×10^{-3}	46	Pd	1.00×10^{-11}
13	Al	1.00×10^{-6}	47	Ag	1.00×10^{-7}	13	Al	1.00×10^{-3}	47	Ag	1.00×10^{-7}
14	Si	1.00×10^{-6}	48	Cd	1.00×10^{-7}	14	Si	5.00×10^{-1}	48	Cd	1.00×10^{-7}
15	P	1.00×10^{-7}	49	In	1.00×10^{-7}	15	P	3.26×10^{-4}	49	In	1.00×10^{-7}
16	S	1.67×10^{-3}	50	Sn	1.00×10^{-7}	16	S	3.34×10^{-4}	50	Sn	1.00×10^{-7}
17	Cl	1.00×10^{-3}	51	Sb	1.00×10^{-7}	17	Cl	5.00×10^{-3}	51	Sb	1.00×10^{-7}
19	K	1.00×10^{-7}	53	I	1.00×10^{-7}	19	K	1.00×10^{-7}	53	I	1.00×10^{-7}
20	Ca	1.00×10^{-7}	56	Ba	1.00×10^{-7}	20	Ca	1.00×10^{-1}	56	Ba	1.00×10^{-7}
22	Ti	1.00×10^{-7}	72	Hf	1.00×10^{-7}	22	Ti	1.00×10^{-7}	72	Hf	1.00×10^{-7}
23	V	1.00×10^{-7}	73	Ta	1.00×10^{-7}	23	V	1.00×10^{-7}	73	Ta	1.00×10^{-7}
24	Cr	1.00×10^{-7}	75	Re	1.00×10^{-7}	24	Cr	1.00×10^{-7}	75	Re	1.00×10^{-7}
25	Mn	1.00×10^{-7}	77	Ir	1.00×10^{-7}	25	Mn	1.00×10^{-7}	77	Ir	1.00×10^{-7}
26	Fe	1.00×10^{-2}	78	Pt	1.00×10^{-7}	26	Fe	5.00×10^{-2}	78	Pt	1.00×10^{-7}
27	Co	1.00×10^{-7}	79	Au	0	27	Co	1.00×10^{-7}	79	Au	1.00×10^{-11}
28	Ni	1.00×10^{-7}	80	Hg	1.00×10^{-7}	28	Ni	1.00×10^{-7}	80	Hg	1.00×10^{-5}
29	Cu	1.00×10^{-7}	81	Tl	0	29	Cu	1.00×10^{-1}	81	Tl	1.00×10^{-11}
30	Zn	0	82	Pb	1.00×10^{-7}	30	Zn	1.00×10^{-5}	82	Pb	1.00×10^{-1}
30	Zn-64	1.00×10^{-4}	83	Bi	1.00×10^{-7}	30	Zn-64	1.00×10^{-4}	83	Bi	1.00×10^{-7}
30	Zn-66	1.00×10^{-2}				30	Zn-66	1.00×10^{-2}			
30	Zn-67	1.00×10^{-3}				30	Zn-67	1.00×10^{-3}			
30	Zn-68	1.00×10^{-2}				30	Zn-68	1.00×10^{-2}			
30	Zn-70	1.00×10^{-3}				30	Zn-70	1.00×10^{-3}			

2.1.4 放射化・燃焼条件及び放射化・燃焼計算

腐食生成物の放射化計算に当たって用いた照射条件は、「TRU 第 2 次とりまとめ」に示されたものを基に、表 5 の放射化・燃焼条件を用いることとした。

これらの計算条件に基づいて、「ORIGEN-2.2UPJ (JENDL3.3 ライブラリ, BS240J33.LIB, PWR47J33.LIB)」により構成材の放射性物質の組成を計算した。

表 5 放射化・燃焼条件

	BWR		PWR	
	1/2 燃焼度	100 日照射	1/2 燃焼度	100 日照射
比出力 (MW/MTU)	26	—	38	—
照射時間 (d)	1730.8/2	100	1184.2/2	100
総照射量 (GWd/MTU)	45	—	45	—
U-235 濃縮度	4.0%		4.5%	
中性子フルエンス率 ($n/cm^2 \cdot s^{-1}$)	—*1	$1.99810E+14^{*2}$	—*1	$3.2584E+14^{*2}$
断面積ライブラリ	BWR STEP-2 VR=40 <50GWd/TIHM		PWR 17×17 U5-4.7%UO2 <60GWd/TIHM	

*1：比出力が一定となるように変動

*2：最大燃焼度までの燃焼計算における平均中性子フルエンス率

燃料起源の核分裂生成物、TRU 元素及びその子孫核種については、核分裂に伴い放出されるものと、蓄積した放射性物質の溶解の二種類のメカニズムが考えられているが、埋設後の各段階で重要となる放射性物質の半減期は、一般に炉内の照射期間に比べれば十分に長いいため、ここでは燃料中に蓄積した放射エネルギーと溶解性に比例して燃料から放出されるものとした。

燃料からの放出割合は燃料破損の程度に依存するため、個々のプラント間の差は大きいと考えられるが、例えば、廃棄物で容易に測定可能で、「Key 核種」である Cs-137 との比の変動は小さいと考えられるため、Cs-137 を実績ベースで設定し、その他の放射性物質については、燃料からの溶出率（相対値）と原子炉内での移行率等を考慮して推定するものとした。

燃料から生成する放射性物質としては、核分裂生成物及び TRU 元素の他に、燃料中の不純物の放射化も考えられる。

ここで、燃料の燃焼計算の条件は表 5 に示したとおりである。U-234 については、天然ウランから U-235 と同じ割合で濃縮されるものとした。計算に当たって考慮した燃料中の不純物は、表 1 に示したとおりである。

2.2 腐食生成物及び核分裂生成物の原子炉冷却材への移行に関する計算

腐食生成物の原子炉冷却材への移行は、材料ごとの溶出率、表面積に応じて算出を行い、核分裂生成物の原子炉冷却材への移行は、燃料からの溶出率と原子炉内での移行率を考慮して算出する。

2.2.1 原子炉構成材料の溶出率

原子炉構成材料の溶出率（相対値）については、「AESJ-SC-F022:2011 日本原子力学会標準ピット処分及びトレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度決定に関する基本手順：2011」（「学会標準」）における設定値を基に、「学会標準」にない材料については、性質が類似の材料と同じ値とした。原子炉構成材料の溶出率を表 6 に示す。ジルカロイ（Zry）の Zry-2 と Zry-4 においては、他の構成材とは別に計算を行うためここでは設定しないが、Zry-2 と Zry-4 の溶出率は同じとする。

表 6 原子炉構成材料の溶出率

原子炉構成材量		溶出率（相対値）		設定方法
		BWR	PWR	
ステンレス鋼	SUS304	1 ^{*1}	0.94	「学会標準」
	SUS316	1	<u>0.94</u>	BWR：「学会標準」 PWR：SUS304 と同値
ニッケル基合金 (インコネル)	Inc600	3.2	2	「学会標準」
	Inc690	-	1	「学会標準」
	Inc718	-	<u>2</u>	Inc600 と同じ値
	IncX750	12.7	-	「学会標準」
ステライト鋼		12.7	4.6	「学会標準」
ステライト代替材		<u>12.7</u>	-	ステライト鋼と同じ値

*1：給水系配管の溶出率は高温部：1、低温部：0.25（評価では 0.5 を用いる）

下線部は本評価で設定した値

(2.2.1 原子炉構成材料の溶出率の根拠)

BWR のステライト代替材については、ステライトと同程度の溶出率を想定した。

PWR の SUS316 については BWR の SUS304 と SUS316 が「学会標準」で同じ溶出率を用いていることから、PWR についても SUS304 と同じ溶出率を用いた。

2.2.2 評価対象とする原子炉構成材料と接液面積率

一次系材料使用調査結果及び「学会標準」を基に、一次系で使用されている材料と接液面積率を設定した。材料別接液面積率設定結果を表 7 に示す。

表 7 材料別接液面積率設定結果

原子炉構成材料		接液面積率	
		BWR (%)	PWR (%)
ステンレス鋼	SUS304	42.6	5.6
	SUS316	32.8	0.100
ジルカロイ	Zry-2	17.5	—
	Zry-4	6.4	24.5
ニッケル基合金 (インコネル)	Inc600	0.21	—
	Inc690	—	69.1
	Inc718	—	0.62
	IncX750	0.46	—
ステライト鋼	ステライト #3	0.035	0.075
ステライト代替材	ナイトロニック #60	0.00099	—
	CFA	0.0032	—
合計		100	100

(2.2.2 評価対象とする原子炉構成材料と接液面積率の根拠)

接液面積を評価するに当たって、評価対象とした部位は以下のとおりである。

1. BWR

- a. 一次系接液機器 (b. 以降を除く)
- b. チャンネルボックス
- c. 燃料体
- d. 給水系

2. PWR

- a. 圧力容器
- b. 蒸気発生器 (SG)
- c. 燃料被覆管
- d. 燃料グリッド、軸受
- e. 炉内構造物
- f. 軸受
- g. 交換物 (BP、PD、RCC)

2.2.3 燃料溶出率及び主蒸気移行率

燃料溶出率及び主蒸気移行率を別紙1に示す。

2.2.4 放射性物質の移行モデル及び評価に用いたパラメータ

原子炉内での燃料から放出する放射性物質や腐食生成物（クラッド）の挙動に関する基本的なモデルは、「評価指針」⁴⁾ や「ANSI/ANS-18.1-1999」⁵⁾ 等に示されている。また、より詳細なモデルは、「原子炉水化学ハンドブック」⁶⁾ 等に示されている。

1号及び2号廃棄物埋設施設の申請時の放射能濃度評価では、実廃棄物の分析データ等がまだ少なく、対象となる放射性物質の放射能濃度の絶対値評価が必要であったため、「評価指針」や「ANSI/ANS-18.1-1999」等を参考にモデルが作成された。

現在では、実廃棄物の主要な放射性物質についてはデータが蓄積されていることから、これらの放射性物質との相対値が求めれば十分である。また、ここで評価の対象とするのは、廃棄物中の放射エネルギーであり、気体廃棄物として放出される放射性物質や短半減期の放射性物質は考慮する必要はない。このような観点から原子炉内のモデルについては最も単純なものをを用いることとし、基本的には標準的なプラントでの挙動で代表する。

原子炉内での放射性物質の挙動に関して、BWRについては、放射性崩壊、浄化系での樹脂への移行、主蒸気への移行、復水系樹脂への移行を考慮して、次式で燃料及び構成材起源の放射性物質の濃度を評価する。

$$C = \frac{S \cdot C_S \cdot S_L}{M \cdot \lambda + F_A \cdot N_A + F_S \cdot N_S \cdot N_B} \quad (1)$$

$$R = C \cdot F_A \cdot N_A \quad (2)$$

ここで、

- R : 樹脂への移行速度 (Bq/s)
- C : 原子炉冷却材中の放射性物質濃度 (Bq/ton)
- F_A : 原子炉浄化系流量 (ton/s)
- N_A : 原子炉浄化系樹脂での除去率 (-)
- S : 原子炉冷却材への放出速度 (Bq/s)
- C_S : 燃料又は構成材中の放射性物質の組成 (-)

-
- 4) 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針, 平成13年3月29日, 原子力安全委員会
 - 5) American Nuclear Society (1999) : Radioactive Source Term for Normal Operation of Light Water Reactors, ANSI/ANS-18.1-1999
 - 6) 日本原子力学会編 (2000) : 原子炉水化学ハンドブック

- S_L : 燃料及び構成材の溶出率 (-)
- M : 原子炉冷却材量 (ton)
- λ : 放射性物質の崩壊定数 (1/s)
- F_S : 主蒸気流量 (ton/s)
- N_S : 主蒸気への移行率 (-)
- N_B : 復水系樹脂の除去率 (-)

PWR については、浄化系混床式樹脂、カチオン樹脂及びホウ酸回収系への移行を考慮して、次式で評価する。

なお、ホウ酸回収系への移行分についても樹脂への移行量に加える。

$$C = \frac{S \cdot C_S \cdot S_L}{M \cdot \lambda + F_D \cdot N_A + (1 - N_A) \cdot (F_B + F_C \cdot N_C)} \quad (3)$$

$$R = C \cdot (F_D \cdot N_A + (1 - N_A) \cdot (F_B + F_C \cdot N_C)) \quad (4)$$

ここで、

- R : 樹脂への移行速度 (Bq/s)
- C : 原子炉冷却材中の放射性物質の濃度 (Bq/ton)
- F_D : 浄化系混床式樹脂への流量 (ton/s)
- N_A : 混床式樹脂での除去率 (-)
- S : 原子炉冷却材への放出速度 (Bq/s)
- C_S : 燃料又は構成材中の放射性物質の組成 (-)
- S_L : 燃料及び構成材の溶出率 (-)
- M : 原子炉冷却材量 (ton)
- λ : 放射性物質の崩壊定数 (1/s)
- F_B : ホウ酸回収系流量 (ton/s)
- F_C : カチオン樹脂への流量 (ton/s)
- N_C : カチオン樹脂の除去率 (-)

これらの評価式で用いるパラメータについては、「ANSI/ANS-18.1-1999」等を参考に表 8 のとおり設定した。原子炉冷却材への放出速度 S については、構成材からの放出については単位放出速度として 1 Bq/s とし、燃料からの放出については放射性物質ごとに設定した (別紙 1 に示す燃料溶出率の値を用いた)。燃料及び構成材の溶出率 S_L については、以下の通り設定した。

- ① 燃料起源：1とした。
- ② ジルカロイ以外の構成材：接液面積比×溶出率より材料ごとの相対寄与率を S_L とした。
- ③ ジルカロイ：接液面積比より材料ごとの相対寄与率を S_L とした。

上記の式により、BWR・PWR それぞれについて、構成材（ジルカロイ）、構成材（ジルカロイ以外）及び燃料起源それぞれの原子炉冷却材中の放射性物質の濃度を算出する。

表 8 原子炉冷却材の放射能収支計算の評価に用いたパラメータ設定値

	パラメータ	記号	設定値	備考
BWR	原子炉浄化系流量 (kg/s)	F_A	35.6	給水流量の 2% ^{*1}
	原子炉浄化系樹脂での除去率 (-)	N_A	—	別紙 1 参照
	原子炉冷却材量 (ton)	M	272	*1
	主蒸気流量 (kg/s)	F_S	1778	6400ton/h ^{*1}
	主蒸気への移行率 (-)	N_S	—	別紙 1 参照
	復水系樹脂の除去率 (-)	N_B	—	別紙 1 参照
PWR	浄化系混床式樹脂への流量 (kg/s)	F_D	4.7	*2
	混床式樹脂での除去率 (-)	N_A	—	別紙 1 参照
	原子炉冷却材量 (ton)	M	250	*2
	ホウ酸回収系流量 (kg/s)	F_B	0.063	*2
	カチオン樹脂への流量 (kg/s)	F_C	0.47	*2
	カチオン樹脂の除去率 (-)	N_C	—	別紙 1 参照

*1：原子力安全研究協会(1992)：軽水炉発電所のあらし (改訂版)

*2：ANSI/ANS-18.1-1999

(2.2.4 放射性物質の移行モデル及び評価に用いたパラメータの根拠)

1. 評価式

「ANSI/ANS-18.1-1999」を基に一次系の収支式を作成した。

Figure 1
Removal Paths for the Reference BWR

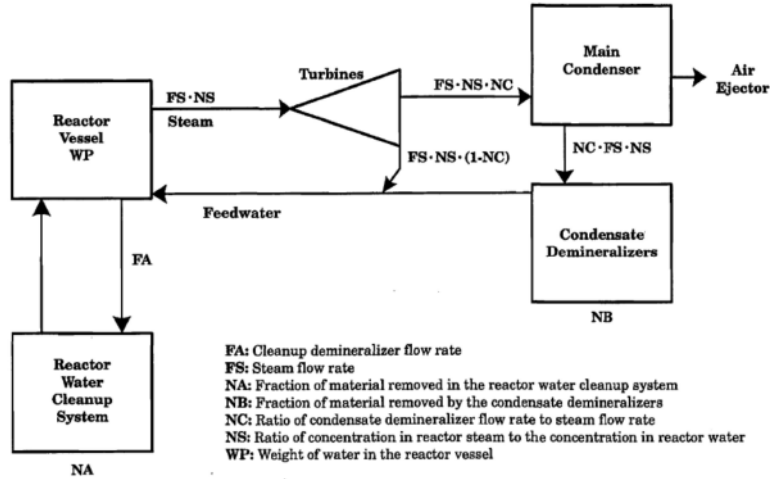
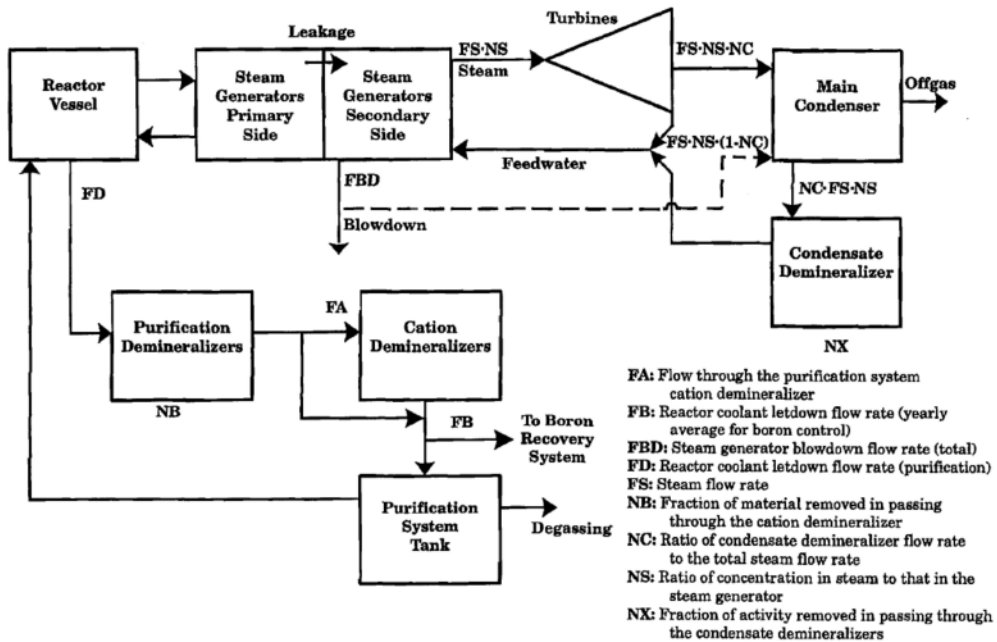


Figure 2
Removal Paths for the Reference PWR with U-Tube Steam Generators



原子炉冷却材への各放射性物質の放出速度 (Bq/s) を S 、燃料又は構成材中の放射性物質の組成を C_s 、燃料及び構成材の溶出率を S_L と設定した上で、上記のフロー図における一次系原子炉水の定常時の原子炉冷却材中放射性物質の濃度及びその時の樹脂への移行速度の評価式を求めた。

2. 評価パラメータ

2.1 軽水炉発電所のあらましによる設定 (BWR)

原子力安全研究協会(1992)：「軽水炉発電所のあらまし (改訂版)」を用いて以下のパラメータを設定した。

- ・ 原子炉冷却材量：同資料「付録7 BWR・PWR プラント主要諸元 (1, 100 MWe 級の例)」における一次冷却材総量の値を使用した。
- ・ 主蒸気流量：同資料「表 2.5.2 1, 100 MWe 級タービン設備主要機器仕様 (例)」における、蒸気タービンの蒸気流量：約 6, 400 ton/h を基に設定した。
- ・ 原子炉浄化系流量：同資料「2.8.3 原子炉冷却材浄化設備 (CUW 設備)」において「系統流量は主給水流量の 1~7% であり、プラントによって異なるが最近の 1, 100 MWe 標準プラントでは約 2% 流量のプラントが多い。」と記載されていることから、給水流量の 2% の値を用いた。

2.2 「ANSI/ANS-18.1-1999」による設定

「ANSI/ANS-18.1-1999」を用いて以下の設定を行った。

- a. 浄化系混床式樹脂への流量・原子炉冷却材量・ホウ酸回収系流量・カチオン樹脂への流量 (PWR)
- b. 別紙 1 のパラメータ (半減期, λ 及び燃料溶出率を除く)

ただし、「ANSI/ANS-18.1-1999」の値に対し、以下の見直しを行っている。

- ・ H-3 の N_A 及び N_B (BWR)、 N_C (PWR) については、値が 0 となっているが、樹脂側への移行量が 0 となるため 0.01 に見直した。
- ・ C-14 については蒸気側に移行し易いと考えられることから、BWR の N_S の値を 1×10^{-3} から 0.99 に見直した。

なお、H-3 も C-14 も最終的に埋設実績値を用いて放射エネルギーを設定しているため、上記の見直しは今回評価した放射エネルギーに影響しない。

2.3 その他のパラメータ (別紙 1)

- a. 半減期及び壊変定数

以下の文献値を使用した。

- ・ ICRP Publication 107: Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, 1e (International Commission on Radiological Protection) (2009)

なお、日から年への換算は平均太陽年：365.2422 d/y (「アイソトープ手帳 11 版」) を使用した。

b. 燃料からの溶出率（相対値）

燃料からの溶出率として、原子炉冷却材の分析結果等より以下の値を設定した。

希ガス及び H、C : 1

ハロゲン及び Tc、Mo : 0.2

アルカリ金属、Ba 等 : 0.02

その他（TRU を含む） : 0.002

- ・ H 及び C については溶解性が非常に高いと考えられるため、1 とした。
- ・ Tc については計算値が非保守側になる傾向が見られたことから、分析結果の 10 倍のハロゲンと同じ値とした。Mo についても Tc と化学挙動が似ていることから同様に設定した。
- ・ アルカリ金属は全て Cs と同じ値とした。アルカリ土類金属については元素ごとに溶解率が異なるため Ba 以外は「その他」とした。

3. 原子炉中の蓄積放射エネルギーの設定

原子炉冷却材起源放射エネルギー設定に当たり、生成速度への換算及び放射エネルギーへの換算は、以下のとおり。

3.1 生成速度への換算

各放射性物質について、照射 10 日後の濃度 $C_1(i)$ (Bq/g) 及び照射 100 日後の濃度 $C_2(i)$ (Bq/g) より、生成速度 S_0 ((Bq/g)/s) を以下の式でそれぞれ評価し、高い側の S_0 に炉心水量を乗ずることで各放射性物質の生成速度 S (Bq/d) を設定する。その際、炉心水量としてモデルプラント同様の大型炉を想定し BWR : 32.87 ton、PWR : 14.6 ton を用いた。

$$S_0 = \frac{\lambda \cdot C_x(i)}{1 - e^{-\lambda t}} \quad (5)$$

ここで、

λ : 各放射性物質の崩壊定数 (1/y)

t : 照射後の時間 (y)

3.2 放射エネルギーへの換算

上記で得られた炉型別・放射性物質別生成速度 (Bq/d) を基に以下のとおり設定した。

近年までの全生成放射エネルギーの評価として、平成 23 年度版の原子力施設運転管理年報記載の総発電量を基に生成放射エネルギーを評価する。ただし、原子炉冷却材浄化系樹脂に関しては L1 埋設が想定されていることから、原子炉冷却材浄化系樹脂への移行を考慮する必要がある。(1)式～(4)式を基に、原子炉冷却材中の放射性物質の濃度及び樹脂への移行速度を算出し、1 年間 (1 運転サイクル相当) への樹脂移行放射エネルギーを評価する。一方、(原子炉冷却材中の濃度) × (原子炉冷却材量 + 年間ドレン量) を樹脂以外へ移行する放射エネルギーとする。その比と以下に示す式により 2010 年度末までの総生成量を基に、固体状の放射性廃棄物に移行する総放射エネルギーを整理する。その際、BWR は、復水浄化系樹脂へ移行する放射エネルギーも固体状の放射性廃棄物への移行分に加える。

使用するパラメータは、表 9 を除き基本的に「2.2.4 放射性物質の移行モデル及び評価に用いたパラメータ」と同様である。

$$A = S \cdot T_a \cdot 365.2422 \frac{1 - e^{-\lambda T_b}}{\lambda T_b} \quad (6)$$

$$T_a = \frac{P_{all}}{P_0 \cdot 8760}$$

ここで、

- A : 原子炉冷却材起源の生成放射能量 (Bq)
 S : 放射性物質の生成速度 (Bq/d)
 T_a : 換算照射期間 (y)
 λ : 各放射性物質の崩壊定数 (1/y)
 T_b : 各原子炉の平均運転期間 (y)
 P_{all} : 各炉型における総発電量 (GWh)
 P_o : 想定した原子炉の出力 (GW)

表 9 固体状の放射性廃棄物への移行量評価に用いたパラメータ

	BWR	PWR
P_{all} (GWh)	3,966,295 (2010年度末までの総発電量)	3,412,498 (2010年度末までの総発電量)
T_b (y)	16 (2010年度末までの総発電量と、 2010年度末時点での総出力 (28.682GW) より概算設定)	19 (2010年度末までの総発電量と、 2010年度末時点での総出力 (20.278GW) より概算設定)
ドレン水量 (ton/y)	0 (保守的評価 ; BWR では原子炉冷却 材やドレン水に移行する放射能より も、復水浄化系樹脂に移行する量が ほとんどのため)	800 (大飯 2 号設置許可申請書におけ る機器ドレン年間推定発生量 (1 号機 と 2 号機の合計で 1600m ³ /y))

(3. 原子炉中の蓄積放射エネルギーの設定の根拠)

1. 評価モデル

1.1 生成速度への換算

評価式(5)は放射性物質の崩壊による減衰を考慮した式である。

燃料・クラッド起源放射能インベントリでは照射期間は 100 日としたが、原子炉冷却材起源インベントリは生成量をそのまま総放射能に用いることから、より保守的に照射期間は 10 日と 100 日の高い側を使用した。

「ORIGEN2.2UPJ」を用いた放射化計算は燃料・クラッド起源放射能インベントリと同様である。

1.2 放射エネルギーへの換算

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により、平成 24 年度以降の発電量は限定的であることから、平成 22 年度（2010 年度）までに生成した総放射エネルギーを算出する。

なお、今回の評価では平成 22 年度までに生成した原子炉冷却材起源総放射エネルギーの全量が 1, 2, 3 号廃棄物埋設施設それぞれに埋設される非常に保守的な設定である。

2. 評価パラメータ

2.1 炉心水量

どちらも 110 万 kW 級の大型炉を想定している。

2.2 移行評価パラメータ

表 9 のとおり。

4. 代表とする放射性物質の放射エネルギー設定

4.1 予想発生量の設定

(a) 3号廃棄物埋設施設

3号廃棄物埋設施設の総埋設本数は211,200本である。本評価ではBWRとPWRの埋設本数が同じと仮定し、以下のとおり設定する。

BWR：105,600本

PWR：105,600本

(b) 1号廃棄物埋設施設

1号廃棄物埋設施設の総埋設本数は204,800本であり、その内訳は以下のとおりである。

- ・均質・均一固化体（1～6群）：153,600本
- ・均質・均一固化体（7,8群）：5,120本
- ・充填固化体（7,8群）：46,080本

それぞれのBWR/PWR発生本数比は埋設実績から設定するものとする。

(c) 2号廃棄物埋設施設

2号廃棄物埋設施設の総埋設本数は207,360本である。本評価ではBWRとPWRの埋設本数の割合は埋設実績から設定するものとする。

(4. 代表とする放射性物質の放射エネルギー設定の根拠)

1. 炉型別本数比

1.1 3号廃棄物埋設施設

今後建設・埋設する施設であるため、BWRとPWRの埋設本数が同じと仮定し設定した。

1.2 1号及び2号廃棄物埋設施設

既に総埋設本数の過半数が埋設されていることから、2016年3月末までの埋設実績に従いBWR：PWRの埋設本数比を設定する。

なお、2号廃棄物埋設施設におけるGCR廃棄物については、当該埋設施設に今後埋設する予定がないことから、埋設実績をそのまま総埋設本数とする。

4.2 放射エネルギーの設定

これまでの1号及び2号埋設実績に基づく埋設放射エネルギーを表10及び表11に示す。この中からBWR、PWR分のみを対象として、それぞれ1本相当の放射エネルギーの推定値を算出する。ただし、燃料寄与を求めるためのCs-137の放射エネルギーについては、以下の理由からNi-63量と均質・均一固化体におけるCs-137/Ni-63比を用いて設定した。

なお、Cs-137そのものの放射エネルギーは、2号埋設実績を用いた。

- ① 固体状の放射性廃棄物においては、Cs-137は検出されにくくND値を用いて評価している廃棄体が多い。
- ② Cs-137は溶解度が高く固体状の放射性廃棄物に残存しにくいと考えられている。しかしながら、他の核分裂生成物は同様の挙動をとるかどうかは明確ではない。そのため、固体状の放射性廃棄物のCs-137量を基準に他の核分裂生成物の放射エネルギーを設定する場合、過小評価となるおそれがあるため、均質・均一固化体におけるCs-137/Ni-63比を用いて設定した。

1号及び2号埋設放射エネルギー（実績）におけるCs/Ni比を比較した場合、表12に示すとおり、1号の方が概ね1桁大きい。

また、構成材の中で別途放射エネルギーを計算するジルカロイ（Zry-2, Zry-4）については、運転中の原子炉冷却材分析値におけるCo-60, Zr-95の平均濃度（有効数字2桁に切り上げ）を用いて寄与率を設定した。

BWR

Co-60 : 6.7 Bq/g

Zr-95 : 0.18 Bq/g

PWR

Co-60 : 1.8 Bq/g

Zr-95 : 0.12 Bq/g

表 10 1号埋設放射能量 (2016年3月末時点)

		BWR	PWR	合計
埋設数量 (本)		105,606	42,541	148,147
放射能量 (Bq) (実績)	H-3	3.9×10^{11}	1.3×10^{12}	1.7×10^{12}
	C-14	9.7×10^{11}	6.3×10^{11}	1.6×10^{12}
	Co-60	6.2×10^{12}	1.2×10^{12}	7.3×10^{12}
	Ni-59	2.8×10^{10}	3.3×10^{10}	6.1×10^{10}
	Ni-63	3.1×10^{12}	3.8×10^{12}	6.8×10^{12}
	Sr-90	4.5×10^{11}	3.2×10^{10}	4.9×10^{11}
	Nb-94	8.8×10^8	1.2×10^9	2.0×10^9
	Tc-99	6.4×10^8	4.5×10^8	1.1×10^9
	I-129	7.0×10^6	4.4×10^4	7.1×10^6
	Cs-137	8.6×10^{12}	1.3×10^{12}	9.9×10^{12}
全 α	7.5×10^{10}	6.5×10^9	8.1×10^{10}	

表 11 2号埋設放射能量 (2016年3月末時点)

		BWR	PWR	GCR	合計	PB合計
埋設数量 (本)		74,888	60,320	144	135,352	135,208
放射能量 (Bq) (実績)	H-3	1.0×10^{11}	8.2×10^{11}	0	9.2×10^{11}	9.2×10^{11}
	C-14	3.6×10^{10}	8.5×10^{10}	2.9×10^4	1.2×10^{11}	1.2×10^{11}
	Co-60	1.2×10^{11}	5.7×10^{10}	2.0×10^7	1.8×10^{11}	1.8×10^{11}
	Ni-59	9.2×10^8	2.2×10^9	9.4×10^6	3.1×10^9	3.1×10^9
	Ni-63	1.0×10^{11}	2.4×10^{11}	9.6×10^8	3.4×10^{11}	3.4×10^{11}
	Sr-90	3.4×10^{10}	1.1×10^{10}	4.0×10^8	4.6×10^{10}	4.5×10^{10}
	Nb-94	8.3×10^7	4.0×10^8	1.3×10^7	4.9×10^8	4.8×10^8
	Tc-99	4.5×10^6	6.0×10^5	1.1×10^7	1.6×10^7	5.1×10^6
	I-129	5.1×10^5	7.0×10^4	2.2×10^0	5.8×10^5	5.8×10^5
	Cs-137	3.1×10^{10}	1.7×10^{10}	9.8×10^7	4.8×10^{10}	4.8×10^{10}
全 α	3.7×10^{10}	9.8×10^9	3.2×10^7	4.7×10^{10}	4.7×10^{10}	

表 12 1号及び2号埋設放射能量（実績）のCs-137/Ni-63比（2016年3月末時点）

	1号	2号
BWR	2.8	0.3
PWR	0.35	0.072
B, P 合計	1.5	0.14

得られた1本当たりの放射能量に「4.1 予想発生量の設定」で設定した埋設本数を乗じることで、総放射能量を設定する。均質・均一固化体と充填固化体を埋設する1号7,8群に関しては、放射能量の設定が保守側となるよう、均質・均一固化体が7群及び8群のそれぞれに埋設されるものと想定して放射能量を設定する。

設定結果を表13から表16に示す。

なお、表16におけるGCRの発生量及び放射能量は今後埋設されない見込みであることから2016年3月末までの埋設実績値である。

表 13 2号埋設実績を基にした3号予想放射能量

		BWR	PWR	合計
想定埋設数量（本）		105,600	105,600	211,200
放射能量（Bq）	H-3	1.4×10^{11}	1.4×10^{12}	1.6×10^{12}
	C-14	5.1×10^{10}	1.5×10^{11}	2.0×10^{11}
	Co-60	1.7×10^{11}	1.0×10^{11}	2.7×10^{11}
	Ni-59	1.3×10^9	3.8×10^9	5.1×10^9
	Ni-63	1.4×10^{11}	4.1×10^{11}	5.6×10^{11}
	Sr-90	4.8×10^{10}	1.9×10^{10}	6.7×10^{10}
	Nb-94	1.2×10^8	7.0×10^8	8.1×10^8
	Tc-99	6.4×10^6	1.1×10^6	7.4×10^6
	I-129	7.1×10^5	1.2×10^5	8.4×10^5
	Cs-137	4.3×10^{10}	3.0×10^{10}	7.3×10^{10}
	全 α	5.2×10^{10}	1.7×10^{10}	7.0×10^{10}
Cs-137*	4.0×10^{11}	1.4×10^{11}	5.5×10^{11}	

*：Ni-63放射能量×Cs-137/Ni-63比（1号実績）より算出。

代表とする放射性物質以外の放射性物質の放射能量評価計算にはこちらの値を用いる。

表 14 1号埋設実績を基にした1号7,8群均質・均一固化体放射能量

		BWR	PWR	合計
想定埋設数量 (本)		3,650	1,470	5,120
放射能量 (Bq)	H-3	1.4×10^{10}	4.6×10^{10}	5.9×10^{10}
	C-14	3.4×10^{10}	2.2×10^{10}	5.5×10^{10}
	Co-60	2.1×10^{11}	4.1×10^{10}	2.5×10^{11}
	Ni-59	9.7×10^8	1.1×10^9	2.1×10^9
	Ni-63	1.1×10^{11}	1.3×10^{11}	2.4×10^{11}
	Sr-90	1.6×10^{10}	1.1×10^9	1.7×10^{10}
	Nb-94	3.0×10^7	4.0×10^7	7.1×10^7
	Tc-99	2.2×10^7	1.5×10^7	3.7×10^7
	I-129	2.4×10^5	1.5×10^3	2.4×10^5
	Cs-137	3.0×10^{11}	4.5×10^{10}	3.4×10^{11}
全 α	2.6×10^9	2.3×10^8	2.8×10^9	

表 15 2号埋設実績を基にした1号7,8群充填固化体放射能量

		BWR	PWR	合計
想定埋設数量 (本)		22,687	18,273	40,960
放射能量 (Bq)	H-3	3.0×10^{10}	2.5×10^{11}	2.8×10^{11}
	C-14	1.1×10^{10}	2.6×10^{10}	3.7×10^{10}
	Co-60	3.7×10^{10}	1.7×10^{10}	5.5×10^{10}
	Ni-59	2.8×10^8	6.5×10^8	9.3×10^8
	Ni-63	3.1×10^{10}	7.1×10^{10}	1.0×10^{11}
	Sr-90	1.0×10^{10}	3.3×10^9	1.4×10^{10}
	Nb-94	2.5×10^7	1.2×10^8	1.5×10^8
	Tc-99	1.4×10^6	1.8×10^5	1.6×10^6
	I-129	1.5×10^5	2.1×10^4	1.7×10^5
	Cs-137	9.3×10^9	5.2×10^9	1.4×10^{10}
	全 α	1.1×10^{10}	3.0×10^9	1.4×10^{10}
	Cs-137*	8.7×10^{10}	2.5×10^{10}	1.1×10^{11}

* : Ni-63 放射能量 \times Cs-137/Ni-63 比 (1号実績) より算出。

代表とする放射性物質以外の放射性物質の放射能量評価計算にはこちらの値を用いる。

表 16 2号埋設実績を基にした2号予想放射エネルギー

		BWR	PWR	GCR	合計
想定埋設数量 (本)		114,771	92,445	144	207,360
放射エネルギー (Bq)	H-3	1.5×10^{11}	1.3×10^{12}	0	1.4×10^{12}
	C-14	5.6×10^{10}	1.3×10^{11}	2.9×10^4	1.9×10^{11}
	Co-60	1.9×10^{11}	8.8×10^{10}	2.0×10^7	2.8×10^{11}
	Ni-59	1.4×10^9	3.3×10^9	9.4×10^6	4.7×10^9
	Ni-63	1.6×10^{11}	3.6×10^{11}	9.6×10^8	5.2×10^{11}
	Sr-90	5.3×10^{10}	1.7×10^{10}	4.0×10^8	7.0×10^{10}
	Nb-94	1.3×10^8	6.1×10^8	1.3×10^7	7.5×10^8
	Tc-99	6.9×10^6	9.2×10^5	1.1×10^7	1.9×10^7
	I-129	7.8×10^5	1.1×10^5	2.2×10^0	8.8×10^5
	Cs-137	4.7×10^{10}	2.6×10^{10}	9.8×10^7	7.3×10^{10}
	全 α	5.7×10^{10}	1.5×10^{10}	3.2×10^7	7.2×10^{10}
	Cs-137*	4.4×10^{11}	1.3×10^{11}	-	5.6×10^{11}

* : Ni-63 放射エネルギー \times Cs-137/Ni-63 比 (1号実績) より算出。

代表とする放射性物質以外の放射性物質の放射エネルギー評価計算にはこちらの値を用いる。

(4.2 放射エネルギーの設定の根拠)

1. 評価方法

a. 埋設データの整理

1号及び2号廃棄物埋設施設それぞれについて、炉型別に受入本数(発生量)と放射エネルギーを整理した。

b. 廃棄体1本当たりの放射エネルギー算出

(放射エネルギー) \div (発生量) により廃棄体1本当たりの放射エネルギーを算出する。ただし、充填固化体の Cs-137 (放射エネルギー評価計算用) については、(2号受入廃棄体の Ni-63 放射エネルギー) \times (1号受入廃棄体の Cs-137/Ni-63) 放射エネルギー比で評価する。

c. 各廃棄物埋設施設に対する炉型別発生量設定

3号廃棄物埋設施設については、BWR : PWR 比 1:1 で設定された総埋設本数を按分する。

充填固化体を除く1号廃棄物埋設施設については、1号廃棄物埋設施設の埋設実績に従った BWR : PWR 比を用いて総埋設本数を按分する。

1号廃棄物埋設施設の充填固化体及び2号廃棄物埋設施設については、2号廃棄物埋

施設の埋設実績に従った BWR : PWR 比を用いて総埋設本数を按分する。ただし、2号廃棄物埋設施設については GCR の埋設実績値をそのまま GCR の総埋設数量として残りを BWR ・ PWR で按分する。

d. 運転中の原子炉冷却材分析値における Co-60, Zr-95 の平均濃度

- ① 発電所運転中の原子炉冷却材分析データに基づく。
- ② Co-60, Zr-95 の運転中の算術平均濃度を炉型別に算出する。

5. 全放射性物質の放射能量設定

主要な放射性物質の選定用及び申請用の全放射性物質の放射能量は、図 1 に示すフロー図に基づいて実施する。

5.1 主要な放射性物質の選定用の放射能量設定

以下のとおり主要な放射性物質の選定に必要となる 170 種類の放射性物質の放射能量を設定する。

- ① 構成材及び燃料中の放射性物質の組成を BWR・PWR それぞれについて設定する。
 - (ア) 「2.1.3 原子炉冷却材中の不純物組成」で設定した不純物組成と「2.1.4 放射化・燃焼条件及び放射化・燃焼計算」における放射化・燃焼計算条件により構成材料の放射化計算を行う。
 - (イ) 「2.2 腐食生成物及び核分裂生成物の原子炉冷却材への移行に関する計算」で設定した燃料の不純物組成と燃焼計算条件により、燃焼計算を行い、燃料起源の放射性物質の組成を設定する。
 - (ウ) Zry を除く構成材については、「2.2.1 原子炉構成材料の溶出率」に示す溶出率と「2.2.2 評価対象とする原子炉構成材料と接液面積率」に示す材料別接液面積比で補正し炉型別に合計し、クラッド起源 (Zry 以外) の放射性物質の組成を設定する。
 - (エ) Zry については「2.2.2 評価対象とする原子炉構成材料と接液面積率」に示す材料別接液比で補正し炉型別に合計し、クラッド起源 (Zry) の放射性物質の組成を設定する。
- ② 原子炉冷却材内における燃料・クラッドそれぞれの放射性物質の組成を BWR・PWR それぞれについて以下の方法で設定した上で実績に一致する様に足し合わせ (フィッティング)、燃料・クラッド起源放射能量を算出する。
 - (ア) ①で算出された燃料、クラッド (Zry 以外)、クラッド (Zry) の 3 種類の放射性物質の組成を用い、「2.2.4 放射性物質の移行モデル及び評価に用いたパラメータ」における評価式及びパラメータを用いて原子炉冷却材中における 3 種類の生成起源別の放射性物質の組成を設定する。
 - (イ) 「4. 代表とする放射性物質の放射能量設定」で設定した放射能量を用いて、以下の条件に合うように燃料、クラッド (Zry 以外)、クラッド (Zry) それぞれの生成源の放射性物質の組成の寄与率を設定した上で合計し、燃料・クラッド起源放射

エネルギーを設定する。

- ① Ni-63 及び Cs-137 の放射エネルギーは「4. 代表とする放射性物質の放射エネルギー設定」の実績値（Cs-137 は放射エネルギー評価計算用）に等しい。
- ② Zr-95/Co-60 比が「4.2 放射エネルギーの設定」における運転中の原子炉冷却材分析値における Co-60, Zr-95 の平均濃度の比に等しい。
- ③ BWR・PWR それぞれについて「3. 原子炉中の蓄積放射エネルギーの設定」に示すモデル・パラメータで原子炉冷却材起源放射エネルギーを計算し、表 13 に示す 11 種類の放射性物質及び Cl-36 を除き②の結果に足し合わせる。
- ④ BWR・PWR の結果を合計した上で、表 13 に示す 11 種類の放射性物質の中で Co-60 を除く 10 種類の放射性物質については、表 13 の値を用いる。
- ⑤ Cl-36 については別途設定した値を使用する。
- ⑥ 上記を主要な放射性物質選定に用いる総放射エネルギーとする。3号廃棄物埋設施設の重要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギーを表 17 に示す。

表 17 3号廃棄物埋設施設の重要な放射性物質の選定に用いる放射エネルギー

放射性物質の種類	半減期 (y)	放射エネルギー (Bq)	放射性物質の種類	半減期 (y)	放射エネルギー (Bq)
H-3	1.23×10^1	1.6×10^{12}	Cd-115m	1.22×10^{-1}	6.9×10^9
Be-10	1.51×10^6	2.8×10^8	In-114m	1.36×10^{-1}	6.2×10^{11}
C-14	5.70×10^3	2.0×10^{11}	In-115	4.41×10^{14}	6.1×10^{-1}
Na-22	2.60×10^0	9.7×10^5	Sn-113	3.15×10^{-1}	4.6×10^{10}
Si-32	1.32×10^2	4.8×10^1	Sn-119m	8.03×10^{-1}	6.0×10^{10}
S-35	2.40×10^{-1}	1.4×10^{10}	Sn-121m	4.39×10^1	8.3×10^6
Cl-36	3.01×10^5	4.8×10^5	Sn-123	3.54×10^{-1}	9.7×10^9
K-40	1.25×10^9	3.5×10^2	Sn-126	2.30×10^5	1.6×10^5
Ca-41	1.02×10^5	4.1×10^6	Sb-124	1.65×10^{-1}	4.3×10^{12}
Ca-45	4.46×10^{-1}	4.2×10^{10}	Sb-125	2.76×10^0	2.0×10^{10}
Sc-46	2.30×10^{-1}	1.4×10^{13}	Te-121m	4.22×10^{-1}	0
V-49	9.04×10^{-1}	0	Te-123	6.00×10^{14}	1.9×10^{-1}
Mn-54	8.55×10^{-1}	2.3×10^{12}	Te-123m	3.27×10^{-1}	4.3×10^{10}
Fe-55	2.74×10^0	6.9×10^{12}	Te-125m	1.57×10^{-1}	5.6×10^9
Fe-59	1.22×10^{-1}	2.3×10^{12}	Te-127m	2.99×10^{-1}	1.1×10^{10}
Co-58	1.94×10^{-1}	7.9×10^{13}	Te-129m	9.21×10^{-2}	1.2×10^{10}
Co-60	5.27×10^0	1.6×10^{13}	I-125	1.63×10^{-1}	1.2×10^2
Ni-59	1.01×10^5	5.1×10^9	I-129	1.57×10^7	8.4×10^5
Ni-63	1.00×10^2	5.6×10^{11}	Cs-134	2.06×10^0	2.1×10^{12}
Zn-65	6.69×10^{-1}	1.1×10^{11}	Cs-135	2.30×10^6	2.6×10^6
Se-75	3.28×10^{-1}	1.1×10^{10}	Cs-137	3.02×10^1	7.3×10^{10}
Se-79	2.95×10^5	1.5×10^4	Ba-133	1.05×10^1	1.3×10^8
Rb-87	4.92×10^{10}	9.3×10^2	La-137	6.00×10^4	3.9×10^1
Sr-85	1.78×10^{-1}	7.5×10^9	La-138	1.02×10^{11}	2.4×10^0
Sr-89	1.38×10^{-1}	3.8×10^{11}	Ce-139	3.77×10^{-1}	9.6×10^6
Sr-90	2.88×10^1	6.7×10^{10}	Ce-141	8.91×10^{-2}	5.5×10^{11}
Y-91	1.60×10^{-1}	4.6×10^{11}	Ce-144	7.81×10^{-1}	4.2×10^{11}
Zr-93	1.53×10^6	1.8×10^6	Nd-144	2.29×10^{15}	3.2×10^{-2}
Zr-95	1.75×10^{-1}	1.2×10^{12}	Pm-145	1.77×10^1	6.9×10^4
Nb-91	6.80×10^2	0	Pm-146	5.53×10^0	4.4×10^5
Nb-92	3.47×10^7	3.1×10^2	Pm-147	2.62×10^0	7.4×10^{10}
Nb-93m	1.61×10^1	2.2×10^5	Pm-148m	1.13×10^{-1}	9.3×10^9
Nb-94	2.03×10^4	8.1×10^8	Sm-145	9.32×10^{-1}	4.9×10^6
Nb-95	9.59×10^{-2}	1.2×10^{12}	Sm-146	1.03×10^8	1.3×10^{-2}
Mo-93	4.00×10^3	2.7×10^7	Sm-147	1.06×10^{11}	9.8×10^{-1}
Tc-97	2.60×10^6	7.9×10^3	Sm-148	7.00×10^{15}	1.6×10^{-5}
Tc-97m	2.47×10^{-1}	3.9×10^7	Sm-151	9.00×10^1	2.6×10^8
Tc-98	4.20×10^6	8.6×10^0	Eu-149	2.55×10^{-1}	0
Tc-99	2.11×10^5	7.4×10^6	Eu-150	3.69×10^1	4.7×10^0
Ru-103	1.08×10^{-1}	8.0×10^{11}	Eu-152	1.35×10^1	5.0×10^7
Ru-106	1.02×10^0	1.2×10^{11}	Eu-154	8.59×10^0	1.3×10^9
Rh-102	5.67×10^{-1}	5.3×10^8	Eu-155	4.76×10^0	9.4×10^8
Pd-107	6.50×10^6	3.9×10^4	Gd-152	1.08×10^{14}	3.9×10^{-3}
Ag-108m	4.18×10^2	3.2×10^6	Gd-153	6.59×10^{-1}	1.4×10^{11}
Ag-110m	6.84×10^{-1}	1.8×10^{10}	Tb-157	7.10×10^1	1.9×10^4
Cd-109	1.26×10^0	6.0×10^8	Tb-160	1.98×10^{-1}	2.8×10^{13}
Cd-113	7.70×10^{15}	2.3×10^{-6}	Dy-159	3.96×10^{-1}	1.6×10^6
Cd-113m	1.41×10^1	5.7×10^6	Ho-163	4.57×10^3	6.1×10^2

放射性物質の種類	半減期 (y)	放射エネルギー (Bq)	放射性物質の種類	半減期 (y)	放射エネルギー (Bq)
Ho-166m	1.20×10^3	1.4×10^5	U-233	1.59×10^5	1.1×10^2
Tm-170	3.52×10^{-1}	6.7×10^{13}	U-234	2.46×10^5	6.2×10^5
Tm-171	1.92×10^0	4.2×10^{11}	U-235	7.04×10^8	1.8×10^4
Yb-169	8.77×10^{-2}	8.6×10^{11}	U-236	2.34×10^7	9.9×10^4
Lu-176	3.85×10^{10}	2.3×10^2	U-238	4.47×10^9	1.3×10^5
Lu-177m	4.39×10^{-1}	2.3×10^{10}	Np-235	1.09×10^0	4.6×10^2
Hf-175	1.92×10^{-1}	6.4×10^8	Np-236	1.54×10^5	9.4×10^{-1}
Hf-181	1.16×10^{-1}	8.6×10^9	Np-237	2.14×10^6	6.4×10^4
Hf-182	9.00×10^6	3.9×10^0	Pu-236	2.86×10^0	8.7×10^4
Ta-180m	1.2×10^{15}	1.7×10^{-3}	Pu-237	1.24×10^{-1}	5.2×10^4
Ta-182	3.14×10^{-1}	1.4×10^{13}	Pu-238	8.77×10^1	2.7×10^8
W-181	3.32×10^{-1}	2.7×10^{10}	Pu-239	2.41×10^4	1.2×10^8
W-185	2.06×10^{-1}	1.0×10^{12}	Pu-240	6.56×10^3	1.2×10^8
W-188	1.91×10^{-1}	5.0×10^{10}	Pu-241	1.44×10^1	2.8×10^{10}
Re-187	4.12×10^{10}	2.8×10^3	Pu-242	3.75×10^5	1.9×10^5
Os-185	2.56×10^{-1}	5.2×10^{10}	Pu-244	8.00×10^7	1.2×10^{-2}
Os-194	6.00×10^0	9.0×10^7	Am-241	4.32×10^2	2.4×10^7
Ir-192	2.02×10^{-1}	9.1×10^{12}	Am-242m	1.41×10^2	8.6×10^5
Ir-192m	2.41×10^2	5.5×10^6	Am-243	7.37×10^3	9.2×10^5
Ir-194m	4.68×10^{-1}	3.9×10^{11}	Cm-241	8.99×10^{-2}	1.1×10^3
Pt-190	6.50×10^{11}	4.5×10^{-2}	Cm-242	4.46×10^{-1}	4.3×10^9
Pt-193	5.00×10^1	3.9×10^7	Cm-243	2.91×10^1	7.0×10^5
Hg-203	1.28×10^{-1}	3.5×10^{11}	Cm-244	1.81×10^1	5.0×10^7
Tl-204	3.78×10^0	8.7×10^{10}	Cm-245	8.50×10^3	3.4×10^3
Pb-205	1.53×10^7	1.8×10^2	Cm-246	4.76×10^3	2.5×10^2
Pb-210	2.22×10^1	1.5×10^{-4}	Cm-247	1.56×10^7	3.8×10^{-4}
Bi-208	3.68×10^5	2.5×10^2	Cm-248	3.48×10^5	4.9×10^{-4}
Bi-210m	3.04×10^6	7.3×10^1	Cm-250	8.30×10^3	1.9×10^{-10}
Po-210	3.79×10^{-1}	5.8×10^8	Bk-249	9.04×10^{-1}	9.9×10^{-1}
Ra-226	1.60×10^3	5.9×10^{-3}	Cf-249	3.51×10^2	2.8×10^{-4}
Ra-228	5.75×10^0	7.4×10^{-3}	Cf-250	1.31×10^1	2.2×10^{-2}
Ac-227	2.18×10^1	1.1×10^{-1}	Cf-251	9.00×10^2	8.0×10^{-5}
Th-228	1.91×10^0	2.6×10^2	Cf-252	2.65×10^0	5.8×10^{-3}
Th-229	7.34×10^3	1.7×10^{-2}	Cf-254	1.66×10^{-1}	2.4×10^{-6}
Th-230	7.54×10^4	1.1×10^1	Es-254	7.55×10^{-1}	1.5×10^{-6}
Th-232	1.41×10^{10}	1.3×10^{-1}	Es-255	1.09×10^{-1}	1.4×10^{-8}
Pa-231	3.28×10^4	6.5×10^0	全α		7.0×10^{10} *
U-232	6.89×10^1	1.5×10^3			

※ α核種の合計値

5.2 申請放射能量設定

別途実施した線量評価により主要な放射性物質に選定した放射性物質の申請放射能量については、それぞれ以下のとおり設定する。

- ・3号廃棄物埋設施設の申請放射能量は、今後の放射能量の変動に対する安全裕度を考慮することとし、主要な放射性物質設定に用いる放射能量（埋設実績に基づいた放射能量）を10倍した放射能量とする。ただし、表18に示す1号及び2号廃棄物埋設施設の放射能量申請値（有効数字2桁 端数切捨て）を超える場合には、表18と同じ値とする。
- ・1号廃棄物埋設施設の均質・均一固化体を埋設する埋設設備の申請放射能量は表18の値とする。
- ・1号廃棄物埋設施設の充填固化体を埋設する埋設設備の申請放射能量は、今後の放射能量の変動に対する安全裕度を考慮することとし、主要な放射性物質設定に用いる放射能量を5倍した放射能量（充填固化体の重量が3号廃棄物埋設施設の半分であることを考慮）を設定する。
- ・2号廃棄物埋設施設の申請放射能量は表18の値とする。

表18 1号及び2号廃棄物埋設施設の埋設放射能量申請値（既申請）

放射能量 (Bq)	
H-3	1.22×10^{14}
C-14	3.37×10^{12}
Co-60	1.11×10^{15}
Ni-59	3.48×10^{12}
Ni-63	4.44×10^{14}
Sr-90	6.66×10^{12}
Nb-94	3.33×10^{10}
Tc-99	7.40×10^9
I-129	1.11×10^8
Cs-137	4.07×10^{13}
全 α	2.33×10^{11}

(5. 全放射性物質の放射エネルギー設定の根拠)

1. 汚染源の分類（燃料・クラッド起源）

汚染源は燃料、クラッド（Zry 以外）、クラッド（Zry）の3種類に集約した。「学会標準」等、従前の評価ではクラッド起源は1種類に集約しているが、本評価では新たにクラッドの起源として Zry 合金の構成材（燃料被覆管及びチャンネルボックス）を加えたが、これらの材料に対する溶出率のデータが文献等により設定できなかったため、従前のクラッド起源とは分離して原子炉冷却材中の放射性物質の組成を設定した。

2. 放射エネルギー設定方法（燃料・クラッド起源）

2.1 設定に用いた放射エネルギー

1号既申請書では原子炉冷却材中の Co-60 及び I-131 濃度を用いて放射エネルギーを設定した。当時と比較して既に十分な量の埋設実績が存在することから、実際に埋設された廃棄物の代表的な腐食生成物と核分裂生成物の放射エネルギーを用いて評価を行った。

腐食生成物（クラッド起源）の代表としては Ni-63 を用いた。腐食生成物の代表として良く用いられる Co-60 については、半減期が比較的短く受け入れた廃棄物中の濃度に減衰の影響が見られるおそれがあったため、比較的半減期が長い Ni-63 を放射性物質の代表とした。

核分裂生成物（燃料起源）の代表としては Cs-137 を用いた。ただし、Cs-137 は溶解度が高い化学形態が多く、付着汚染物については他の核分裂生成物と比較して相対的に濃度が低いおそれがあることから、充填固化体については別途計算を行った。

クラッド起源（Zry）については特有の放射性物質（Zr、Sn 起源等）が規制対象となっていないため、原子炉冷却材中の Zr-95 濃度より設定することとした。その際、同じ腐食生成物で代表的な放射性物質である Co-60 との平均濃度の比を用いるものとした。

2.2 設定方法

均質・均一固化体、充填固化体共に原子炉冷却材中の放射性物質の組成の足し合わせで設定した。均質・均一固化体については1号既申請書における評価でも放射エネルギーは原子炉冷却材中に生成した放射性物質の総量に設定している。充填固化体においても放射性物質の発生源は均質・均一固化体と同じく全て原子炉内での放射化、燃料被覆管からの漏出に帰着することから、1号既申請書における放射エネルギーと同じ値を使用している。

そのため、本評価でも基本的に均質・均一固化体、充填固化体ともに同じ方法で評価した。ただし、1号及び2号廃棄物埋設施設の埋設実績における1体当たりの平均放射エネルギーや放射性物質の組成には相違が見られ、炉型でも異なることから、実績値に従い評

価した今回の結果では各廃棄物埋設施設の平均放射エネルギーはそれぞれ異なる。

3. 放射エネルギー設定方法（原子炉冷却材起源）

設定方法は「4. 代表とする放射性物質の放射エネルギー設定」に記載しているため省略する。

なお、11種類の放射性物質及びC1-36を用いない理由として、以下が挙げられる。

- ・ Co-60を除く11種類の放射性物質及びC1-36は別途評価した放射エネルギーを用いる。
- ・ Co-60についても原子炉冷却材起源で生成する量は極めて少なく、燃料・クラッド起源放射能と比較して無視できる。

評価に使用した放射性物質の種類別パラメータ

No.	放射性物質の種類	半減期 (y)	λ (1/s)	燃料 溶出率	主蒸気 移行率	BWR DFCUW (N_A)	BWR DFCD (N_B)	PWR DFCM (N_B)	PWR DFCK (N_A)
1	H-3	1.23×10^1	1.78×10^{-9}	(1)	(1)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0)
2	Be-10	1.51×10^6	1.45×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
3	C-14	5.70×10^3	3.85×10^{-12}	(1)	(0.99)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0)
4	Na-22	2.60×10^0	8.44×10^{-9}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
5	Si-32	1.32×10^2	1.66×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
6	S-35	2.40×10^{-1}	9.17×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
7	Cl-36	3.01×10^5	7.30×10^{-14}	0.2	0.02	0.9	0.9	0.99	0
8	K-40	1.25×10^9	1.76×10^{-17}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
9	Ca-41	1.02×10^5	2.15×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
10	Ca-45	4.45×10^{-1}	4.93×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
11	Sc-46	2.29×10^{-1}	9.57×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
12	V-49	9.04×10^{-1}	2.43×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
13	Mn-54	8.55×10^{-1}	2.57×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
14	Fe-55	2.74×10^0	8.03×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
15	Fe-59	1.22×10^{-1}	1.80×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
16	Co-58	1.94×10^{-1}	1.13×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
17	Co-60	5.27×10^0	4.17×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
18	Ni-59	1.01×10^5	2.17×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
19	Ni-63	1.00×10^2	2.19×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
20	Zn-65	6.68×10^{-1}	3.29×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
21	Se-75	3.28×10^{-1}	6.70×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
22	Se-79	2.95×10^5	7.45×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
23	Rb-87	4.92×10^{10}	4.46×10^{-19}	0.02	0.001	0.5	0.5	0.5	0.9
24	Sr-85	1.78×10^{-1}	1.24×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
25	Sr-89	1.38×10^{-1}	1.59×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
26	Sr-90	2.88×10^1	7.63×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
27	Y-91	1.60×10^{-1}	1.37×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
28	Zr-93	1.53×10^6	1.44×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
29	Zr-95	1.75×10^{-1}	1.25×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
30	Nb-91	6.80×10^2	3.23×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
31	Nb-92	3.47×10^7	6.33×10^{-16}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
32	Nb-93m	1.61×10^1	1.36×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
33	Nb-94	2.03×10^4	1.08×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
34	Nb-95	9.58×10^{-2}	2.29×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
35	Mo-93	4.00×10^3	5.49×10^{-12}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
36	Tc-97	2.60×10^6	8.45×10^{-15}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
37	Tc-97m	2.47×10^{-1}	8.90×10^{-8}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
38	Tc-98	4.20×10^6	5.23×10^{-15}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
39	Tc-99	2.11×10^5	1.04×10^{-13}	0.02	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
40	Ru-103	1.08×10^{-1}	2.04×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
41	Ru-106	1.02×10^0	2.15×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
42	Rh-102	5.67×10^{-1}	3.88×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
43	Pd-107	6.50×10^6	3.38×10^{-15}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
44	Ag-108m	4.18×10^2	5.25×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
45	Ag-110m	6.84×10^{-1}	3.21×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
46	Cd-109	1.26×10^0	1.74×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
47	Cd-113	7.70×10^{15}	2.85×10^{-24}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9

No.	放射性物質の種類	半減期 (y)	λ (1/s)	燃料 溶出率	主蒸気 移行率	BWR DFCUW (N_A)	BWR DFCD (N_B)	PWR DFCM (N_B)	PWR DFCK (N_A)
48	Cd-113m	1.41×10^1	1.56×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
49	Cd-115m	1.22×10^{-1}	1.80×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
50	In-114m	1.36×10^{-1}	1.62×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
51	In-115	4.41×10^{14}	4.98×10^{-23}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
52	Sn-113	3.15×10^{-1}	6.97×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
53	Sn-119m	8.02×10^{-1}	2.74×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
54	Sn-121m	4.39×10^1	5.00×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
55	Sn-123	3.54×10^{-1}	6.21×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
56	Sn-126	2.30×10^5	9.55×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
57	Sb-124	1.65×10^{-1}	1.33×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
58	Sb-125	2.76×10^0	7.96×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
59	Te-121m	4.22×10^{-1}	5.21×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
60	Te-123	6.00×10^{14}	3.66×10^{-23}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
61	Te-123m	3.26×10^{-1}	6.73×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
62	Te-125m	1.57×10^{-1}	1.40×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
63	Te-127m	2.98×10^{-1}	7.36×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
64	Te-129m	9.20×10^{-2}	2.39×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
65	I-125	1.63×10^{-1}	1.35×10^{-7}	0.2	0.02	0.9	0.9	0.99	0
66	I-129	1.57×10^7	1.40×10^{-15}	0.2	0.02	0.9	0.9	0.99	0
67	Cs-134	2.06×10^0	1.06×10^{-8}	0.02	0.001	0.5	0.5	0.5	0.9
68	Cs-135	2.30×10^6	9.55×10^{-15}	0.02	0.001	0.5	0.5	0.5	0.9
69	Cs-137	3.02×10^1	7.28×10^{-10}	0.02	0.001	0.5	0.5	0.5	0.9
70	Ba-133	1.05×10^1	2.09×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
71	La-137	6.00×10^4	3.66×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
72	La-138	1.02×10^{11}	2.15×10^{-19}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
73	Ce-139	3.77×10^{-1}	5.83×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
74	Ce-141	8.90×10^{-2}	2.47×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
75	Ce-144	7.80×10^{-1}	2.82×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
76	Nd-144	2.29×10^{15}	9.59×10^{-24}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
77	Pm-145	1.77×10^1	1.24×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
78	Pm-146	5.53×10^0	3.97×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
79	Pm-147	2.62×10^0	8.37×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
80	Pm-148m	1.13×10^{-1}	1.94×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
81	Sm-145	9.31×10^{-1}	2.36×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
82	Sm-146	1.03×10^8	2.13×10^{-16}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
83	Sm-147	1.06×10^{11}	2.07×10^{-19}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
84	Sm-148	7.00×10^{15}	3.14×10^{-24}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
85	Sm-151	9.00×10^1	2.44×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
86	Eu-149	2.55×10^{-1}	8.62×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
87	Eu-150	3.69×10^1	5.95×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
88	Eu-152	1.35×10^1	1.62×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
89	Eu-154	8.59×10^0	2.56×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
90	Eu-155	4.76×10^0	4.61×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
91	Gd-152	1.08×10^{14}	2.03×10^{-22}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
92	Gd-153	6.58×10^{-1}	3.34×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
93	Tb-157	7.10×10^1	3.09×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
94	Tb-160	1.98×10^{-1}	1.11×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
95	Dy-159	3.95×10^{-1}	5.56×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
96	Ho-163	4.57×10^3	4.81×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9

No.	放射性物質の種類	半減期 (y)	λ (1/s)	燃料 溶出率	主蒸気 移行率	BWR DFCUW (N_A)	BWR DFCD (N_B)	PWR DFCM (N_B)	PWR DFCK (N_A)
97	Ho-166m	1.20×10^3	1.83×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
98	Tm-170	3.52×10^{-1}	6.24×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
99	Tm-171	1.92×10^0	1.14×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
100	Yb-169	8.77×10^{-2}	2.51×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
101	Lu-176	3.85×10^{10}	5.71×10^{-19}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
102	Lu-177m	4.39×10^{-1}	5.00×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
103	Hf-175	1.92×10^{-1}	1.15×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
104	Hf-181	1.16×10^{-1}	1.89×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
105	Hf-182	9.00×10^6	2.44×10^{-15}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
106	Ta-180m	1.20×10^{15}	1.83×10^{-23}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
107	Ta-182	3.13×10^{-1}	7.01×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
108	W-181	3.32×10^{-1}	6.62×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
109	W-185	2.06×10^{-1}	1.07×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
110	W-188	1.91×10^{-1}	1.15×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
111	Re-187	4.12×10^{10}	5.33×10^{-19}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
112	Os-185	2.56×10^{-1}	8.57×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
113	Os-194	6.00×10^0	3.66×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
114	Ir-192	2.02×10^{-1}	1.09×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
115	Ir-192m	2.41×10^2	9.11×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
116	Ir-194m	4.68×10^{-1}	4.69×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
117	Pt-190	6.50×10^{11}	3.38×10^{-20}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
118	Pt-193	5.00×10^1	4.39×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
119	Hg-203	1.28×10^{-1}	1.72×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
120	Tl-204	3.78×10^0	5.81×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
121	Pb-205	1.53×10^7	1.44×10^{-15}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
122	Pb-210	2.22×10^1	9.89×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
123	Bi-208	3.68×10^5	5.97×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
124	Bi-210m	3.04×10^6	7.23×10^{-15}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
125	Po-210	3.79×10^{-1}	5.80×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
126	Ra-226	1.60×10^3	1.37×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
127	Ra-228	5.75×10^0	3.82×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
128	Ac-227	2.18×10^1	1.01×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
129	Th-228	1.91×10^0	1.15×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
130	Th-229	7.34×10^3	2.99×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
131	Th-230	7.54×10^4	2.91×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
132	Th-232	1.41×10^{10}	1.56×10^{-18}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
133	Pa-231	3.28×10^4	6.70×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
134	U-232	6.89×10^1	3.19×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
135	U-233	1.59×10^5	1.38×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
136	U-234	2.46×10^5	8.95×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
137	U-235	7.04×10^8	3.12×10^{-17}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
138	U-236	2.34×10^7	9.38×10^{-16}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
139	U-238	4.47×10^9	4.92×10^{-18}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
140	Np-235	1.08×10^0	2.03×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
141	Np-236	1.54×10^5	1.43×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
142	Np-237	2.14×10^6	1.02×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
143	Pu-236	2.86×10^0	7.69×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
144	Pu-237	1.24×10^{-1}	1.77×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
145	Pu-238	8.77×10^1	2.50×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9

No.	放射性物質の種類	半減期 (y)	λ (1/s)	燃料 溶出率	主蒸気 移行率	BWR DFCUW (N_A)	BWR DFCD (N_B)	PWR DFCM (N_B)	PWR DFCK (N_A)
146	Pu-239	2.41×10^4	9.11×10^{-13}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
147	Pu-240	6.56×10^3	3.35×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
148	Pu-241	1.44×10^1	1.53×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
149	Pu-242	3.75×10^5	5.86×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
150	Pu-244	8.00×10^7	2.75×10^{-16}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
151	Am-241	4.32×10^2	5.08×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
152	Am-242m	1.41×10^2	1.56×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
153	Am-243	7.37×10^3	2.98×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
154	Cm-241	8.98×10^{-2}	2.45×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
155	Cm-242	4.46×10^{-1}	4.93×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
156	Cm-243	2.91×10^1	7.55×10^{-10}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
157	Cm-244	1.81×10^1	1.21×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
158	Cm-245	8.50×10^3	2.58×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
159	Cm-246	4.76×10^3	4.61×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
160	Cm-247	1.56×10^7	1.41×10^{-15}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
161	Cm-248	3.48×10^5	6.31×10^{-14}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
162	Cm-250	8.30×10^3	2.65×10^{-12}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
163	Bk-249	9.04×10^{-1}	2.43×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
164	Cf-249	3.51×10^2	6.26×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
165	Cf-250	1.31×10^1	1.68×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
166	Cf-251	9.00×10^2	2.44×10^{-11}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
167	Cf-252	2.65×10^0	8.30×10^{-9}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
168	Cf-254	1.66×10^{-1}	1.33×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
169	Es-254	7.55×10^{-1}	2.91×10^{-8}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9
170	Es-255	1.09×10^{-1}	2.02×10^{-7}	0.002	0.001	0.9	0.9	0.98	0.9

以上