

「常陽」における核分裂生成物（希ガス、よう素及びセシウム）の炉内蓄積量

原子炉運転中の核分裂生成物（希ガス、よう素及びセシウム）の炉内蓄積量は、以下の式により概算できる。なお、当該式は、「常陽」の原子炉設置変更許可申請書の添付書類九「3. 放射性廃棄物の廃棄」で使用したものと同一である。

$$(R_i^1)w = K \cdot Y_i(1 - e^{-\lambda_i T_0})$$

ここで

$(R_i^1)w$: 炉内蓄積量 (Bq)

K : 1 秒当たりの核分裂数 (fission/s)

Y_i : 核種 i の核分裂収率

λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/s)

T_0 : 燃焼度に対応する積算運転時間 (s)

当該式より、核分裂生成物（希ガス、よう素及びセシウム）の炉内蓄積量は、K に比例する。K は、原子炉熱出力に概ね比例するため、軽水炉（ここでは、熱出力 300 万 kW を想定）と「常陽」（100MW = 10 万 kW）では、炉内蓄積量に約 30 倍の違いが生じる。

一方、 Y_i も、核分裂生成物（希ガス、よう素及びセシウム）の炉内蓄積量の比例係数の一つである。核分裂収率を比較した結果を第 1 表に示す。なお、「常陽」の核分裂収率には、Meek & Rider (1974 年版) [1] の核種毎の累積核分裂収率推奨値を用いた。軽水炉の核分裂収率には、希ガス及びよう素については「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」 [2] の値、セシウムについては Meek & Rider (1974 年版) の累積核分裂収率推奨値を用いた。軽水炉と「常陽」の核分裂収率の比は 0.77 ~ 1.83 であり、その影響は、原子炉熱出力の差異によって生じるものと比較して、十分に小さい。

また、希ガス及びよう素の半減期は、基本的に短く、原子炉運転中において、当該核分裂生成物の炉内蓄積量は飽和する。燃焼度を 90,000MWD/t（「常陽」における炉心燃料集合体の最高燃焼度）とした場合と約 39,000MWD/t（平均燃焼度）とした場合の核分裂生成物（希ガス、よう素及びセシウム）の炉内蓄積量の評価結果を第 2 表に示す。燃焼度が 2 倍となっても、希ガス及びよう素の炉内蓄積量は概ね同じである。セシウムについては、半減期が長く、燃焼度（積算運転時間）に概ね比例して増加する。ただし、その影響は、原子炉熱出力の差異によって生じるものと比較して、十分に小さい。なお、ここでは、希ガス及びよう素の半減期には、「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」 [2] の値、セシウムの半減期には、ICRP Pub. 107 [3] の値を用いた。

[1] Meek, M. E. & Rider, B. F., "Compilation of Fission Products Yields", Vallecitos Nuclear Center, NEDO-12154-1 (1974)

[2] 原子力安全委員会、「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」、平成元年 3 月 27 日了承（平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）

[3] ICRP Publication 107, "Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculation", Approved by ICRP Committee 2 in October 2007

第1表 炉内蓄積量の評価における核分裂収率の比較

核種		軽水炉 核分裂収率 (%)	「常陽」 核分裂収率 (%)	比 (軽水炉／「常陽」)
希ガス	Kr-83m	0.53	0.43	1.23
	Kr-85m	1.31	0.86	1.52
	Kr-85	0.29	0.20	1.46
	Kr-87	2.54	1.58	1.61
	Kr-88	3.53	2.10	1.68
	Kr-89	4.63	2.59	1.79
	Kr-90	4.69	2.57	1.83
	Xe-131m	0.040	0.052	0.77
	Xe-133m	0.19	0.21	0.90
	Xe-133	6.77	6.84	0.99
	Xe-135m	1.06	1.40	0.75
	Xe-135	6.63	7.12	0.93
	Xe-137	6.13	6.22	0.99
	Xe-138	6.28	5.51	1.14
Xe-139	5.16	4.32	1.20	
ヨウ素	I-131	2.84	3.70	0.77
	I-132	4.21	5.13	0.82
	I-133	6.77	6.81	0.99
	I-134	7.61	7.42	1.03
	I-135	6.41	6.39	1.00
セシウム	Cs-137	6.26	6.52	0.96

第2表 炉内蓄積量の評価における燃焼度の影響

核種	半減期	ガンマ線 エネルギー (MeV)	炉内蓄積量 (Bq)		比 (①/②)	
			①平均燃焼度(約 39,000MWD/t) ※ 積算運転時間: 約 7,262 時間	②最高燃焼度 (90,000MWD/t) ※ 積算運転時間: 約 16,802 時間		
希ガス	Kr-83m	0.0025	1.4×10^{16}	1.4×10^{16}	1.00	
	Kr-85m	0.159	2.7×10^{16}	2.7×10^{16}	1.00	
	Kr-85	0.0022	3.3×10^{14}	7.3×10^{14}	0.45	
	Kr-87	0.793	5.0×10^{16}	5.0×10^{16}	1.00	
	Kr-88	1.95	6.6×10^{16}	6.6×10^{16}	1.00	
	Kr-89	2.067	8.1×10^{16}	8.1×10^{16}	1.00	
	Kr-90	1.325	8.1×10^{16}	8.1×10^{16}	1.00	
	Xe-131m	0.02	1.7×10^{15}	1.7×10^{15}	1.00	
	Xe-133m	0.042	6.6×10^{15}	6.6×10^{15}	1.00	
	Xe-133	0.045	2.2×10^{17}	2.2×10^{17}	1.00	
	Xe-135m	15.65min	0.432	4.4×10^{16}	4.4×10^{16}	1.00
	Xe-135	9.08h	0.25	2.3×10^{17}	2.3×10^{17}	1.00
	Xe-137	3.83min	0.181	2.0×10^{17}	2.0×10^{17}	1.00
	Xe-138	14.17min	1.183	1.8×10^{17}	1.8×10^{17}	1.00
	Xe-139	39.5s	0.85	1.4×10^{17}	1.4×10^{17}	1.00
合計 (Bq)			1.3×10^{18}	1.3×10^{18}	1.00	
合計 (MeV・Bq)			8.9×10^{17}	8.9×10^{17}	1.00	
よう素	I-131	8.06d	1.2×10^{17}	1.2×10^{17}	1.00	
	I-132	2.28h	1.6×10^{17}	1.6×10^{17}	1.00	
	I-133	20.8h	2.2×10^{17}	2.2×10^{17}	1.00	
	I-134	52.6min	2.4×10^{17}	2.4×10^{17}	1.00	
	I-135	6.61h	2.0×10^{17}	2.0×10^{17}	1.00	
合計 (Bq)			9.2×10^{17}	9.2×10^{17}	1.00	
合計 (Bq : I-131 換算)			1.9×10^{17}	1.9×10^{17}	1.00	
セシウム	30.1671y		3.9×10^{15}	8.8×10^{15}	0.44	

玄海原子力発電 3 号炉、4 号炉安全審査資料 (SA-074 改 23) 添付資料 3.1.1.7 より抜粋

別紙

ウラン炉心^{※1}及び 1/4MOX 燃料装荷炉心^{※2}での炉心内蓄積量の比較

今回、玄海原子力発電所 3 号炉の Cs-137 の環境への放出放射エネルギー評価については、1/4MOX 燃料装荷炉心を対象炉心とした。これはウラン炉心と 1/4MOX 燃料装荷炉心を比較した結果、Cs-137 の炉心内蓄積量が 1/4MOX 燃料装荷炉心のほうが多いためである。環境へ放出されるまでの過程及び低減効果については、ウラン炉心でも 1/4MOX 燃料装荷炉心でも同じであるため、Cs-137 の炉心内蓄積量が多い炉心が、結果として、環境への放出放射エネルギーも多くなる。

以下、ウラン炉心及び 1/4MOX 燃料装荷炉心での Cs-137 の炉心内蓄積量の比較を示す。主要解析条件を表 1 に示す。

表 1 主要解析条件

	主要条件	
	ウラン炉心	1/4MOX 燃料装荷炉心
炉心熱出力	100% (3,411MWt) × 1.02	
原子炉運転時間	最高 30,000 時間	最高 30,000 時間 (ウラン燃料) 最高 30,000 時間 (MOX 燃料)
炉心内蓄積量	ORIGEN2 を用いて算出	

Cs-137 の核分裂収率^{※3}は、プルトニウムは約 6.7×10^{-2} 、ウランは約 6.3×10^{-2} であり、プルトニウムのほうがウランに比べて若干大きいため、ウラン炉心及び 1/4MOX 燃料装荷炉心の Cs-137 の炉心内蓄積量を比較した結果、表 2 に示すとおり、1/4MOX 燃料装荷炉心の炉心内蓄積量がウラン炉心の値を上回っている。よって、1/4MOX 燃料装荷炉心のほうが Cs-137 の環境への放出放射エネルギーは多くなる。

表 2 ウラン炉心及び 1/4MOX 燃料装荷炉心での炉心内蓄積量及び環境への放出放射エネルギーの比較

	ウラン炉心	1/4MOX 燃料装荷炉心
Cs-137 の炉心内蓄積量	約 3.461×10^{17} Bq	約 3.463×10^{17} Bq
Cs-137 の環境への放出放射エネルギー	約 4.409×10^{12} Bq	約 4.412×10^{12} Bq

※1: 燃料集合体最高燃焼度 48,000MWd/t までのウラン燃料を 100% 装荷した炉心

※2: 炉心の約 3/4 に燃料集合体最高燃焼度 48,000MWd/t までのウラン燃料、約 1/4 に燃料集合体最高燃焼度 45,000MWd/t までの MOX 燃料を装荷した炉心

※3: 出典: IAEA, Nuclear Data Services, Fission product yields (2013 年 8 月時点)

添 3.1.1.7-5