



JP0550629

JAEA-Research
2005-001



東海再処理施設の軽水炉基準燃料及び
ふげんMOX燃料の内蔵放射能

2005年11月

白井 更知・稲野 昌利

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report was issued subject to the copyright of Japan Atomic Energy Agency.

Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :

Intellectual Resources Section,

Intellectual Resources Department

2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2005

東海再処理施設の軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所再処理技術開発センター技術開発部
白井 更知、稲野 昌利

(2005 年 10 月 28 日受理)

東海再処理施設の機器の設計やその安全性の評価は、施設内に存在する放射エネルギー(内蔵放射能)に基づき実施している。本報告では軽水型原子炉低濃縮ウラン燃料(以下「軽水炉基準燃料」)及び新型転換炉原型炉ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料(以下「ふげん MOX 燃料」)を対象として計算された内蔵放射能について、計算に用いられた方法・計算コード、核データライブラリ及びその計算条件について結果とともに整理し、さらに軽水炉基準燃料とふげん MOX 燃料の内蔵放射能を比較した。

Inventories of LWR UO_2 Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel
in Tokai Reprocessing Plant

Nobutoshi SHIRAI and Masatoshi INANO

Technology Development Department
Tokai Reprocessing Technology Development Center
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 28, 2005)

This report describes calculated results of inventory of radioactivity in the Tokai Reprocessing Plant with calculation code, based on initial conditions and nuclear data library. The inventories were compared with two types of spent fuels, U oxide for light water reactor and U-Pu mixed oxide for advanced thermal reactor.

Keywords: Inventory, Tokai Reprocessing Plant, LWR UO_2 Spent Fuel, ATR MOX Spent Fuel

目 次

1. はじめに	1
2. 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の算出方法及び計算条件	2
2.1 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の算出方法	2
2.2 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の計算条件	2
3. 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能	3
参考文献	4

Contents

1. Introduction	1
2. Inventory Calculation Method and Condition for LWR UO ₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel	2
2.1 Inventory Calculation Method for LWR UO ₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel	2
2.2 Inventory Calculation Condition for LWR UO ₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel	2
3. Inventories of LWR UO ₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel in Tokai Reprocessing Plant	3
References	4

This is a blank page.

1. はじめに

東海再処理施設の機器の設計やその安全性の評価は、施設内に存在する放射エネルギー（内蔵放射能）に基づき実施している。本報告は、今後の東海再処理施設の設計変更や安全性評価において参照するために、現時点において計算されている内蔵放射能についてまとめたものである。本報告では、軽水型原子炉低濃縮ウラン燃料（以下「軽水炉基準燃料」）及び新型転換炉原型炉ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（以下「ふげん MOX 燃料」）を対象として計算された内蔵放射能について、計算に用いられた方法・計算コード、核データライブラリ及びその計算条件について結果とともに整理した。また、軽水炉基準燃料とふげん MOX 燃料の内蔵放射能の比較を行った。

2. 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の算出方法及び計算条件

2.1 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の算出方法

(1) 軽水炉基準燃料の内蔵放射能の算出方法

軽水炉基準燃料の内蔵放射能は、Blomeke-Todd¹⁾の方法による。

ただし、Pu、Pu(α)については、Blomeke-Toddの方法によるPu重量をORIGEN²⁾計算コードによるPu同位体割合で分配して放射能としている。C-14については、ORIGEN2.1³⁾計算コード、PWRUS³⁾核データライブラリ(燃焼度33000MWD/t、加圧水型原子炉用の核データライブラリ)による。

(2) ふげん MOX 燃料の内蔵放射能の算出方法

ふげん MOX 燃料の内蔵放射能は、ORIGEN-79⁴⁾計算コードによる。

ただし、C-14については、ORIGEN2.1計算コード、ATRMOX⁵⁾核データライブラリ(燃焼度30000MWD/t、ふげん MOX 燃料用の核データライブラリ)による。

2.2 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能の計算条件

軽水炉基準燃料の内蔵放射能の計算条件をTable 1に示す。

ふげん MOX 燃料については、タイプA燃料とタイプB燃料があり、この二つの燃料の内蔵放射能の計算条件をTable 2に示す。

3. 軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能

2.1 節の算出方法、Table 1、Table 2 の計算条件を用いて算出した軽水炉基準燃料及びふげん MOX 燃料の内蔵放射能を Table 3 に示す。また、Table 3 には、ふげん MOX 燃料の内蔵放射能の軽水炉基準燃料に対する比を示した。

参考文献

- 1) J. O. Blomeke and M. F. Todd : “Uranium-235 Fission-Product Production as a Function of Thermal Neutron Flux, Irradiation Time, and Decay Time” , ORNL-2127 / TID-4500 (13th ed.), (1957).
- 2) M. J. Bell : “ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code” , ORNL-4628, (1973).
- 3) “ORIGEN2.1: Isotope Generation and Depletion Code - Matrix Exponential Method” , Radiation Safety Information Computational Center, CCC-371, (1991).
- 4) “ORIGEN-79: Isotope Generation and Depletion Code- Matrix Exponential Method” , Radiation Safety Information Computational Center, CCC-217, (1979).
- 5) 周治愛之, 他 : ” ATR MOX 燃料用 ORIGEN-2 ライブラリの評価” , 日本原子力学会「1994年春の年会」予稿集 E27, (1994).
- 6) 永里良彦, 他 : “東海再処理施設における C-14 の挙動” , JNC TN8410 2001-021, (2001).

Table 1 軽水炉基準燃料の内蔵放射能の計算条件

	軽水炉基準燃料 注1)
燃焼度 (MWD/t)	28000
比出力 (MW/t)	35
初期ウラン濃縮度 (%)	4.0
冷却期間	180 日

注 1) C-14 の内蔵放射能の計算において、燃料中の初期窒素含有量は 40 (ppm) とした⁶⁾。

Table 2 ふげん MOX 燃料の内蔵放射能の計算条件

	ふげん MOX タイプ A 燃料 ^{注 1)}	ふげん MOX タイプ B 燃料 ^{注 1)}
燃焼度 (MWD/t)	12000	17000
比出力 (MW/t)	20	20
Pu-fissile (%) (Pu-239+Pu-241) / (U+Pu)	0.7	1.3
ウラン濃縮度 (%)	0.7	1.4 ^{注 2)}
冷却期間	2年	2年

注 1) プルトニウム同位体割合は軽水炉基準燃料の計算条件で算出した値とした。

C-14 の内蔵放射能の計算において、燃料中の初期窒素含有量は 200 (ppm) とした ⁶⁾。

注 2) C-14 の内蔵放射能の計算においては、C-14 の内蔵放射能が多く算出される天然ウラン (ウラン濃縮度 0.7%) とした。

Table 3 軽水炉基準燃料及びふげんMOX燃料の内蔵放射能

	内蔵放射能 (Bq/l)			軽水炉基準燃料に対する比	
	軽水炉基準燃料	ふげんMOX タイプA燃料	ふげんMOX タイプB燃料	ふげんMOX タイプA燃料	ふげんMOX タイプB燃料
H-3	1.04E+13	7.51E+12	1.02E+13	0.73	0.99
C-14	2.15E+10	6.07E+10	6.29E+10	2.83	2.93
Kr-85	4.23E+14	9.10E+13	1.30E+14	0.22	0.31
I-129	6.87E+08	5.70E+08	7.92E+08	0.83	1.16
I-131	6.61E+09	1.05E-11	1.02E-11	0.01	0.01
Sr-89	5.16E+15	9.07E+11	9.62E+11	0.01	0.01
Sr-90	3.55E+15	7.33E+14	1.07E+15	0.21	0.31
Y-90	3.55E+15	7.33E+14	1.07E+15	0.21	0.31
Y-91	7.65E+15	3.69E+12	3.85E+12	0.01	0.01
Zr-95	9.32E+15	1.45E+13	1.46E+13	0.01	0.01
Nb-95	1.97E+16	3.12E+13	3.16E+13	0.01	0.01
Ru-103	2.05E+15	1.08E+11	1.04E+11	0.01	0.01
Ru-106	1.44E+16	3.50E+15	3.92E+15	0.25	0.28
Rh-103m	2.05E+15	1.08E+11	1.04E+11	0.01	0.01
Rh-106	1.44E+16	3.50E+15	3.92E+15	0.25	0.28
Cs-134	3.35E+15	7.55E+14	1.12E+15	0.23	0.34
Cs-137	3.35E+15	1.45E+15	2.03E+15	0.44	0.61
Ba-137m	3.35E+15	1.37E+15	1.92E+15	0.41	0.58
Ce-141	1.37E+15	5.99E+09	5.99E+09	0.01	0.01
Ce-144	3.72E+16	3.44E+15	3.96E+15	0.10	0.11
Pr-144	3.72E+16	3.44E+15	3.96E+15	0.10	0.11
Pm-147	1.25E+16	1.79E+15	2.25E+15	0.15	0.18
Pu	3.68E+15	3.58E+15	6.99E+15	0.98	1.90
Pu(α)	1.16E+14	1.50E+14	2.94E+14	1.30	2.54
全放射能	1.72E+17	2.14E+16	2.61E+16	0.13	0.16

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10⁻¹⁹J
1 u=1.66054×10⁻²⁷kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガール	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1nm=10⁻¹⁰m
1 b=100fm²=10⁻²⁸m²
1 bar=0.1MPa=10⁵Pa
1 Gal=1cm/s²=10⁻²m/s²
1 Ci=3.7×10¹⁰Bq
1 R=2.58×10⁻⁴C/kg
1 rad=1cGy=10⁻²Gy
1 rem=1cSv=10⁻²Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC関係理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²)=10P(ポアズ)(g/(cm·s))
動粘度 1m²/s=10⁴St(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 ⁻⁴	1.35951×10 ⁻³	1.31579×10 ⁻³	1	1.93368×10 ⁻²
	6.89476×10 ⁻³	7.03070×10 ⁻²	6.80460×10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁴	0.737562	6.24150×10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹
	3.6×10 ⁶	3.67098×10 ⁵	1	8.59999×10 ⁵	3412.13	2.65522×10 ⁶	2.24694×10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279×10 ⁻⁶	1	3.96759×10 ⁻³	3.08747	2.61272×10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616×10 ⁻⁷	0.323890	1.28506×10 ⁻³	1	8.46233×10 ¹⁸
	1.60218×10 ⁻¹⁹	1.63377×10 ⁻²⁰	4.45050×10 ⁻²⁶	3.82743×10 ⁻²⁰	1.51857×10 ⁻²²	1.18171×10 ⁻¹⁹	1

1 cal= 4.18605J (計量法)
= 4.184J (熱化学)
= 4.1855J (15°C)
= 4.1868J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS(仏馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 ⁻¹¹
	3.7×10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

東海再処理施設の軽水炉基準燃料及びふげんMOX燃料の内蔵放射能