

# 東京電力株式会社 福島第一原子力発電所における 放射性ヨウ素の残存量等について

平成26年12月22日

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ  
安全技術管理官(システム安全担当)付

## 検討項目

本資料は、資料3 別添の内容をまとめたものである。

### 次の2点を検討

- ① 東京電力福島第一原子力発電所の放射性ヨウ素の残存量の評価
  - 放射性ヨウ素は核分裂の結果発生するものであり、未臨界状態では新たな発生はなく、半減期に従って減少する。
  - 東京電力福島第一原子力発電所の1～6号機の炉心及び使用済燃料プールの燃料について放射性ヨウ素の残存量を検討(この際、自発核分裂も考慮に入れた)
- ② 東京電力福島第一原子力発電所における臨界の可能性の評価

## 検討項目1

現在の福島第一原子力発電所の炉内  
及び使用済燃料プールにおける  
放射性ヨウ素の残存量の評価について

## 福島第一原子力発電所の燃料集合体の保管状況

福島第一原子力発電所では、廃炉に向けて6号機では炉内から使用済燃料プールへの移送が実施された。また、4号機では使用済燃料プールから共用プールへの燃料集合体の移送が実施されており、炉内及び使用済燃料プールにおける燃料集合体の保管体数は日々変化している。表1に平成26年4月30日現在の燃料集合体の保管状況を示す。放射性ヨウ素の評価対象は、この表に示す保管状況に対応したものである。なお、1～3号機では事故時に放射性ヨウ素が炉外に漏洩したが、この計算では炉内に残存しているとして評価している。

表1 福島第一原子力発電所の炉内及び使用済燃料プールの燃料集合体保管体数  
 (新燃料を除く、平成26年4月30日現在)

	炉心	使用済燃料プール	備考
1号機	400体	292体	
2号機	548体	587体	
3号機	548体	514体	
4号機	—	583体	共用プールへ移送中
5号機	428体	946体	
6号機	—	1,456体	使用済燃料プールへ移送完了
共用プール	—	6,119体	4号機プールから受入中

## 放射性ヨウ素生成量等の評価手法

図1に示すように ORLIBJ40\*とORIGEN-2.2コードを用いて、集合体当たりの放射性ヨウ素生成量等を評価し、それらを各炉心、使用済燃料プールごとに積算することで評価した。

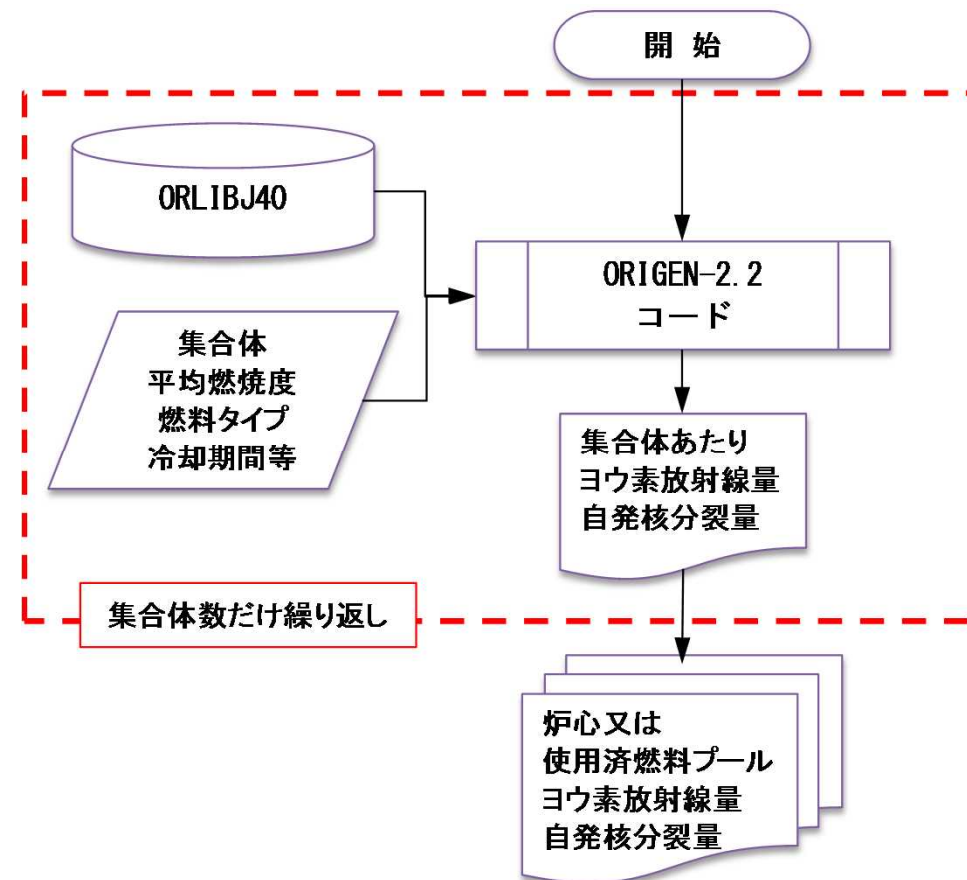


図1 放射性ヨウ素生成量等の評価方法

\*奥村啓介他、"JENDL-4.0に基づくORIGEN用断面積ライブラリセット:ORLIBJ40", JAEA-Data/Code 2012-032. (2012).

## 事故以前の運転によって蓄積された炉内放射性ヨウ素の残存量の評価

福島第一原子力発電所の1号機から3号機までは、震災発生時までは定格出力による運転が行われており、事故直後はそれまでの運転履歴に応じた放射性ヨウ素が燃料中に蓄積していた。しかし、現在(平成26年4月30日時点)では、長半減期核種であるI-129を除き、表2に示すように放射性ヨウ素はほとんど残存していない。

表2 事故後の各号機炉内のヨウ素放射能  
 (平成26年4月30日時点での放射性ヨウ素の放射能)

核種	半減期	平成26年4月30日時点での放射能(GBq/core)			
		1号機	2号機	3号機	5号機
I-128	24.99m	0	0	0	0
I-129	$1.57 \times 10^7$ y	$4.8 \times 10^1$	$5.9 \times 10^1$	$5.6 \times 10^1$	$5.2 \times 10^1$
I-130	12.36h	0	0	0	0
I-131	8.0252d	0	0	0	0
Te-132/I-132	3.204d/2.295h	0	0	0	0
I-133	20.8h	0	0	0	0
I-134	52.5m	0	0	0	0
I-135	6.58h	0	0	0	0

注 “0”表示は1Bq以下であることを示す。

注 4号機はシュラウド交換作業のため、事故時に炉心に装荷されていた燃料はない。

6号機炉心に装荷されていた燃料集合体は、平成25年11月29日までに使用済燃料プールへ移送済み。

## 使用済燃料プールに蓄積された放射性ヨウ素の残存量の評価

福島第一原子力発電所の使用済燃料プールに保管されている燃料集合体は、現在（平成26年4月30日時点）では、冷却期間の最も短い燃料でも3年以上が経過しており、長半減期核種であるI-129を除き、表3に示すように放射性ヨウ素はほとんど残存していない。

表3 事故後の各号機使用済燃料プールのヨウ素放射能  
 （平成26年4月30日時点での放射性ヨウ素の放射能）

核種	平成26年4月30日時点での放射能(GBq/SFP)						
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	共用プール
I-128	0	0	0	0	0	0	0
I-129	$4.8 \times 10^1$	$1.2 \times 10^2$	$1.1 \times 10^2$	$1.1 \times 10^2$	$1.9 \times 10^2$	$2.6 \times 10^2$	$9.9 \times 10^2$
I-130	0	0	0	0	0	0	0
I-131	0	0	0	0	0	0	0
I-132	0	0	0	0	0	0	0
I-133	0	0	0	0	0	0	0
I-134	0	0	0	0	0	0	0
I-135	0	0	0	0	0	0	0

注 “0”表示は1Bq以下であることを示す。

## 自発核分裂によって生じる炉内の放射性ヨウ素の発生量の評価

事故発生前の運転によって蓄積されたCm-242、Cm-244等による自発核分裂によって、表4に示すように、現在もわずかながら放射性ヨウ素は発生している。しかし、自発核分裂は出力換算で1W以下であり、炉停止直後の放射エネルギーと比較して9桁程度低く、生成量は僅かである。

表4 各号機炉内の自発核分裂による放射性ヨウ素発生量

核種	平成 26 年 4 月 30 日時点(個/sec/core)			
	1号機	2号機	3号機	5号機
I-128	$5.2 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-5}$	$5.3 \times 10^{-5}$	$4.8 \times 10^{-5}$
I-129	$2.5 \times 10^7$	$2.8 \times 10^7$	$2.5 \times 10^7$	$2.3 \times 10^7$
I-130	$3.0 \times 10^4$	$3.3 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	$2.7 \times 10^4$
I-131	$1.2 \times 10^8$	$1.3 \times 10^8$	$1.2 \times 10^8$	$1.1 \times 10^8$
I-132	$1.6 \times 10^8$	$1.8 \times 10^8$	$1.7 \times 10^8$	$1.5 \times 10^8$
I-133	$2.2 \times 10^8$	$2.5 \times 10^8$	$2.2 \times 10^8$	$2.0 \times 10^8$
I-134	$2.5 \times 10^8$	$2.9 \times 10^8$	$2.6 \times 10^8$	$2.3 \times 10^8$
I-135	$2.5 \times 10^8$	$2.8 \times 10^8$	$2.6 \times 10^8$	$2.3 \times 10^8$



## 自発核分裂によって生じる使用済燃料プールの放射性ヨウ素の発生量の評価

事故発生前の運転によって蓄積されたCm-242、Cm-244等による自発核分裂によって、表5に示すように、現在もわずかながら放射性ヨウ素は発生している。しかし、収納体数の最も多い共用プールでも出力換算で数W程度であり、生成量は僅かである。

表5 各号機使用済燃料プールの自発核分裂による放射性ヨウ素発生量

核種	平成26年4月30日時点での放射性ヨウ素の発生量(個/sec/SFP)						
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	共用プール
I-128	$7.2 \times 10^{-5}$	$2.4 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-4}$	$3.6 \times 10^{-4}$	$4.6 \times 10^{-4}$	$9.5 \times 10^{-4}$
I-129	$3.4 \times 10^7$	$1.2 \times 10^8$	$1.0 \times 10^8$	$9.7 \times 10^7$	$1.7 \times 10^8$	$2.2 \times 10^8$	$4.5 \times 10^8$
I-130	$4.1 \times 10^4$	$1.4 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$	$2.1 \times 10^5$	$2.6 \times 10^5$	$5.4 \times 10^5$
I-131	$1.6 \times 10^8$	$5.4 \times 10^8$	$4.7 \times 10^8$	$4.6 \times 10^8$	$8.1 \times 10^8$	$1.0 \times 10^9$	$2.1 \times 10^9$
I-132	$2.2 \times 10^8$	$7.6 \times 10^8$	$6.6 \times 10^8$	$6.4 \times 10^8$	$1.1 \times 10^9$	$1.4 \times 10^9$	$3.0 \times 10^9$
I-133	$3.0 \times 10^8$	$1.0 \times 10^9$	$8.8 \times 10^8$	$8.6 \times 10^8$	$1.5 \times 10^9$	$1.9 \times 10^9$	$4.0 \times 10^9$
I-134	$3.5 \times 10^8$	$1.2 \times 10^9$	$1.0 \times 10^9$	$1.0 \times 10^9$	$1.8 \times 10^9$	$2.2 \times 10^9$	$4.7 \times 10^9$
I-135	$3.5 \times 10^8$	$1.2 \times 10^9$	$1.0 \times 10^9$	$9.9 \times 10^8$	$1.8 \times 10^9$	$2.2 \times 10^9$	$4.6 \times 10^9$

表2から表5に示される炉内及び使用済燃料プールの放射性ヨウ素が全量放出されるとしても、吸入摂取による小児甲状腺等価線量は敷地境界で約28mSv/週であり、安定ヨウ素剤服用に関するIAEAの判断基準50mSv/週を下回っている。

## 検討項目2

# 福島第一原子力発電所における 臨界の可能性の評価について

## 炉内燃料デブリの臨界の可能性の前提

- 新たな放射性ヨウ素の発生源となる臨界の可能性について検討した。
- 現在の福島第一原子力発電所の1号機から3号機では、格納容器ガス監視システムによって短半減期核種Xe-135(半減期:9.14時間)の観測が行われており、1号機から3号機の圧力容器内及び格納容器内の燃料は未臨界状態であることが確認されている。

現時点では、1号機から3号機の燃料デブリの堆積状況が確認できていないため、圧力容器及び格納容器での定量的な臨界評価は困難である。しかし、今後の燃料取り出し作業\*までの期間において、燃料の堆積・冠水状態が変わらなければ未臨界が維持されることを確認しておく必要がある。

燃料取り出しまでの時間経過に伴う燃料デブリの反応度に影響を与える項目としては、

- ① 崩壊熱低下に伴う燃料、減速材の温度変化
  - ② 経時変化に伴う燃料デブリの組成変化
- 等が考えられる。

注\* 燃料デブリの取り出し工程における臨界管理については、現在事業者等により検討中である。

## 炉内燃料デブリの臨界の可能性

- 燃料デブリの温度変化については、圧力容器下部の温度は、1号機で15～30℃、2,3号機で20～40℃程度の範囲で推移しており、季節変化による注水温度変化の影響を受けている。今後の崩壊熱低下に伴う燃料デブリの温度変化はわずかであり、臨界性に及ぼす影響は小さい。

経時変化に伴い、燃料デブリ中の核種の比較的短半減期の放射性核種の壊変（Eu155→Gd155:半減期(4.753年)、Pu241→Am241:半減期(14.29年))によって燃料デブリの反応度は今後100年間は低下していく。図3に、平均燃焼度の小さい3号機と同じ21.7GWd/tまで定格運転で燃焼させた後、冷却した場合の反応度変化の例を示す。

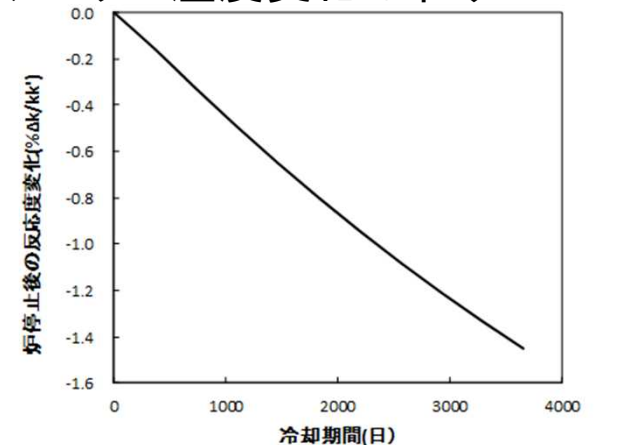


図3 冷却による燃料組成変化に伴う反応度変化の例

したがって、燃料の堆積・冠水状態が変わらなければ、時間経過による燃料デブリの温度及び組成変化によって臨界となることは考えられない。

- TMI-2号機の燃料デブリの分析では、燃料デブリは塊状と粒子状の形状となっている。軽水炉燃料では、臨界となるためには粒径の小さい燃料(<数cm)と水が一定の割合で混合していることが必要である。水中の塊状デブリでは減速不足のため臨界にはならない。一方、水中の粒子状デブリでは、粒子間の水のみでは減速不足な状態であり、仮に地震による粒子状デブリの再配置があっても、より減速不足な状態に移行するため、現在の状況では臨界となることは考えにくい。