

# 女川原子力発電所 3号機における プルサーマル計画について

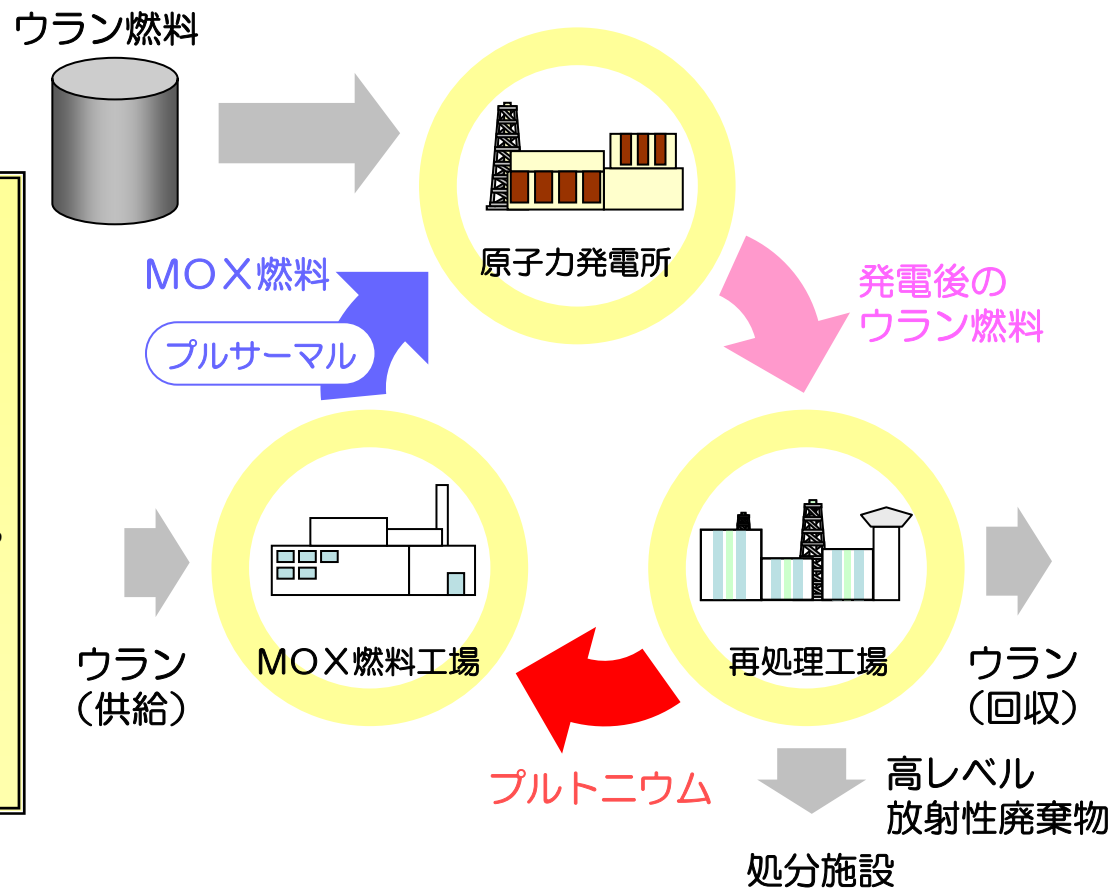
平成20年11月7日  
東北電力株式会社

- I. プルサーマル計画の概要
- II. プルサーマルの必要性
- III. プルサーマルの安全性

# 1. プルサーマル計画の概要

# プルサーマルとは

- 発電に利用した後のウラン燃料の中には、再利用できる「ウラン」と「プルトニウム」が含まれています。
- この発電後のウラン燃料を再処理してプルトニウムを取り出し、ウランと混ぜて作った新しい燃料（**MOX燃料※1**）を、再び原子力発電所で利用して発電するのが**プルサーマル※2**です。



※1MOX燃料:ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料(混合酸化物=MixedOxide)

※2プルサーマル:下記の2つの単語からできた言葉。

プル:プルトニウム+サーマル:サーマルリアクター(熱中性子炉:商用原子力発電所)

- 女川3号機でMOX燃料を使用。
- 使用するMOX燃料は，過去に豊富な使用実績のある高燃焼度8×8燃料と同一の構造。
- 燃料集合体560体のうち，使用するMOX燃料は228体以下（重量※にして1／3以下）。

※「原子炉全体の燃料棒の重量」に占める「MOX燃料棒の重量」の割合

# 燃料の基本仕様

項目		MOX燃料	(参考) 9×9燃料	
			(A型)	(B型)
	燃料集合体平均 ウラン235濃縮度 (wt%)	ウラン235濃縮度 約3.0相当*以下 (ウラン235濃縮度 約1.0~1.2 プルトニウム含有率 約2.9~約5.8)	約3.7	約3.8
	プルトニウム含有率 (wt%)	10以下	—	—
燃料棒	燃料棒外径 (mm)	約12.3	約11.2	約11.0
	被覆管厚さ (mm)	約0.86	約0.71	約0.70
	燃料棒有効長さ (m)	MOX燃料棒：約3.55 ウラン燃料棒：約3.71	標準燃料棒 約3.71 部分長燃料棒 約2.16	約3.71
燃料集合体	燃料棒配列	8×8	9×9	9×9
	燃焼度 燃料集合体平均 (MWd/t)	約33,000	約45,000	約45,000
	燃料集合体最高 (MWd/t)	40,000	55,000	55,000

\*：原料のプルトニウムの核分裂性プルトニウムの割合が約6.7wt%，プルトニウムと混合するウラン母材のウラン235濃縮度が約0.2wt%  
の場合には，燃料集合体平均プルトニウム含有率が約4.3wt%，燃料集合体平均ウラン235濃縮度が約1.0wt%となる。

# MOX燃料 (ペレットの概要)

## MOX燃料ペレット

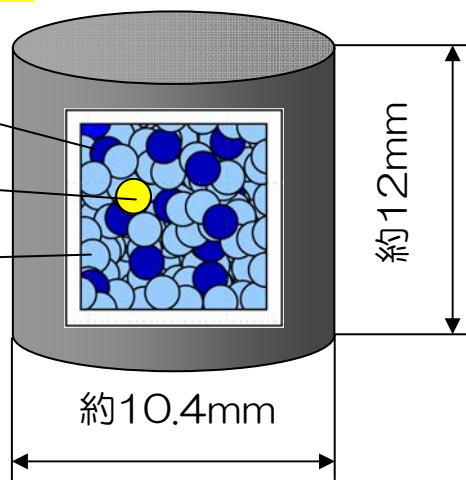
### MOX燃料ペレット

初期密度：約95%

プルトニウム

ウラン235

ウラン238

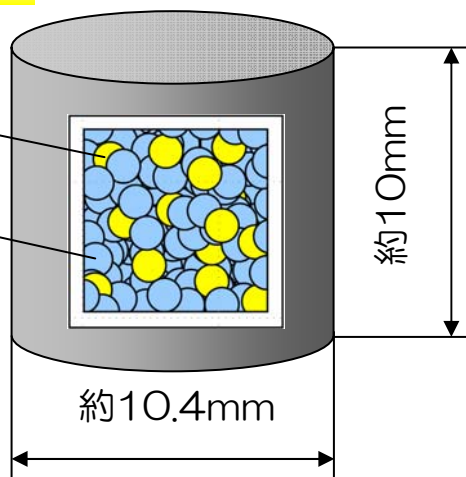


### ウラン燃料ペレット

初期密度：約97%

ウラン235

ウラン238

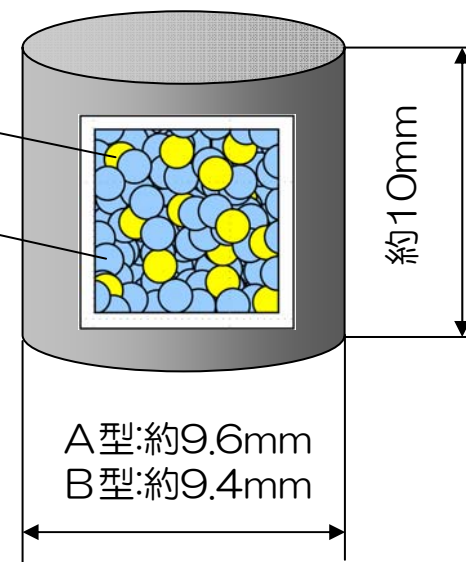


## 9×9燃料ペレット

初期密度：約97%

ウラン235

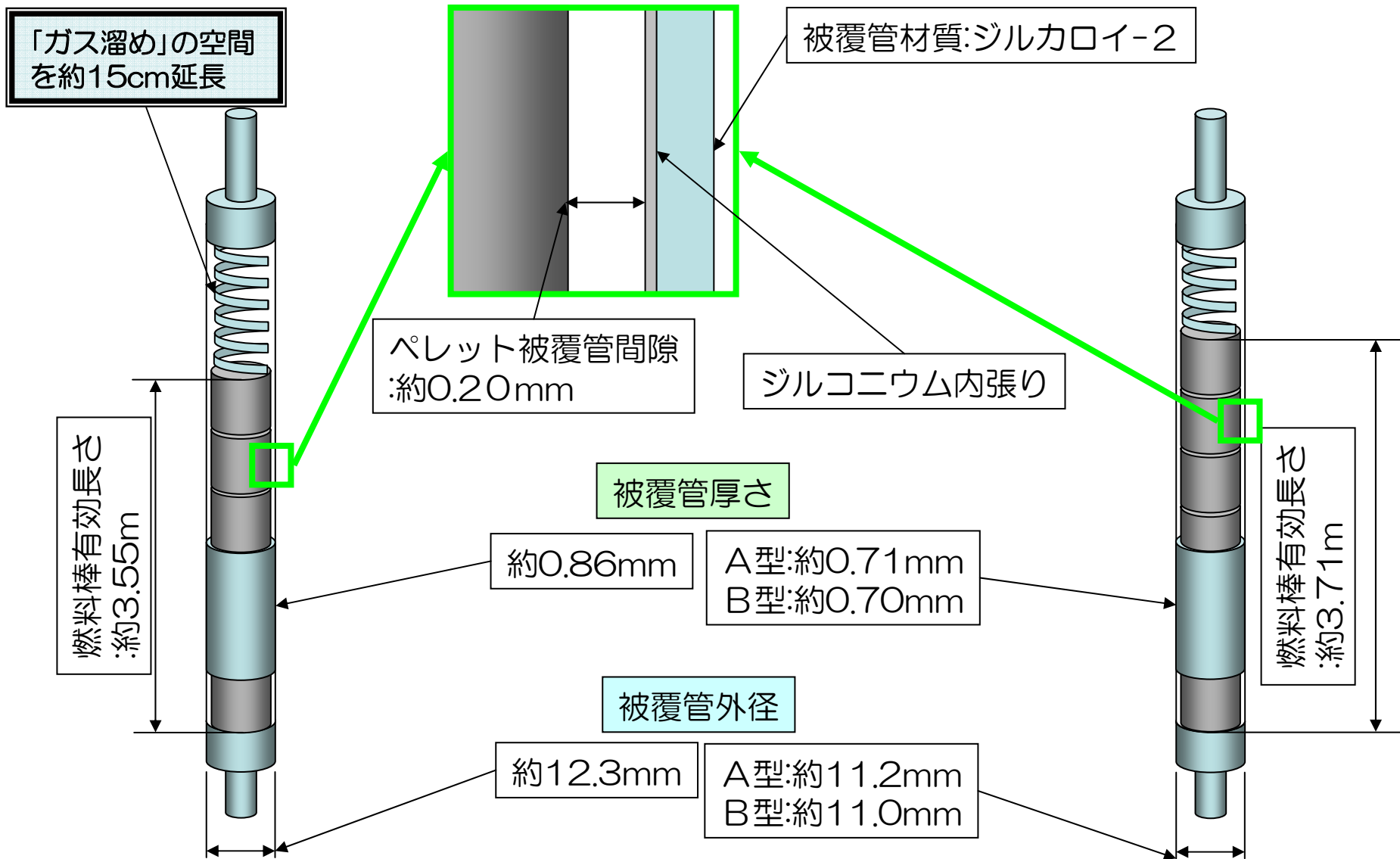
ウラン238



# MOX燃料 (燃料棒の概要)

## MOX燃料棒

## 9×9燃料棒





# MOX燃料と既装荷燃料の燃料集合体比較

MOX燃料集合体の外観・形状は従来のウラン燃料（高燃焼度8×8燃料）と同一



断面拡大

MOX燃料集合体  
断面図及び解説

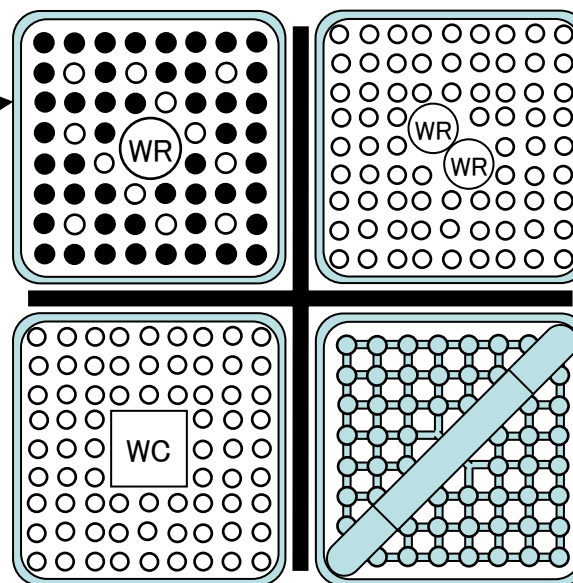
- MOX燃料棒 48本
- ウラン燃料棒 12本
- WR ウォーターロッド 1本

ウラン燃料集合体  
(9×9A型) 断面図

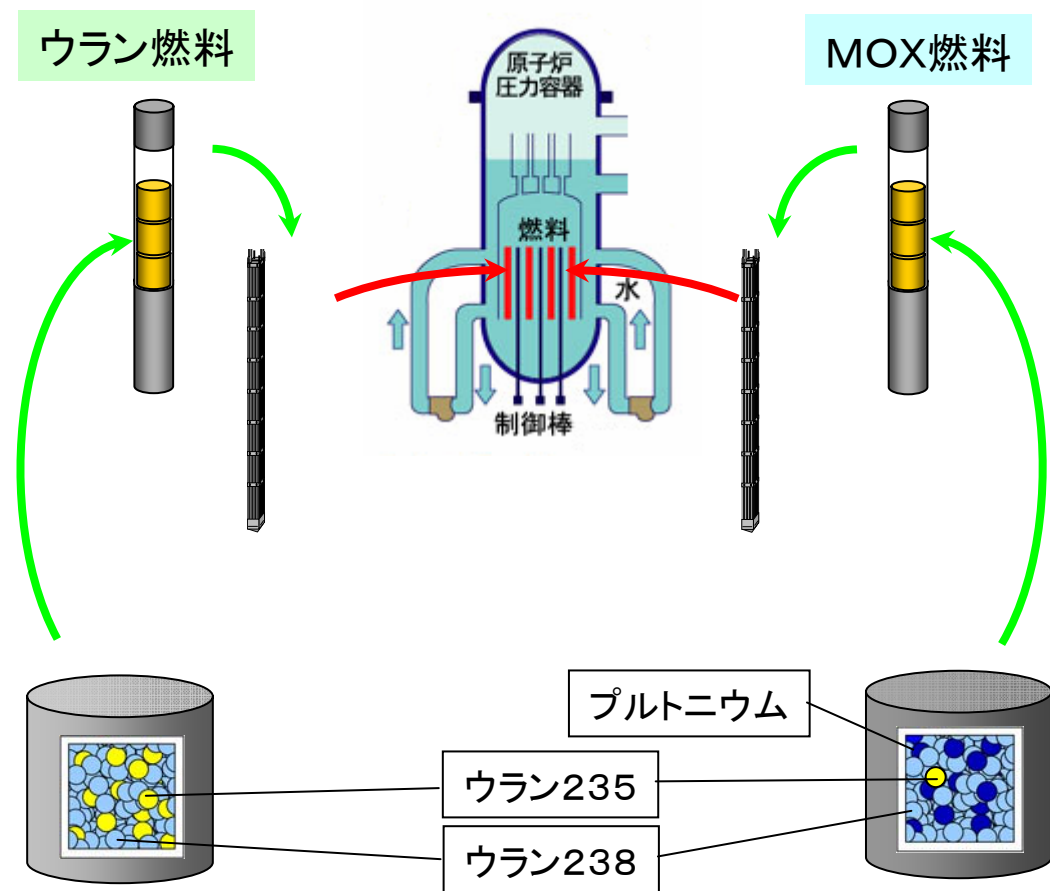
- ウラン燃料棒 74本
- WR ウォーターロッド 2本

ウラン燃料集合体  
(9×9B型) 断面図

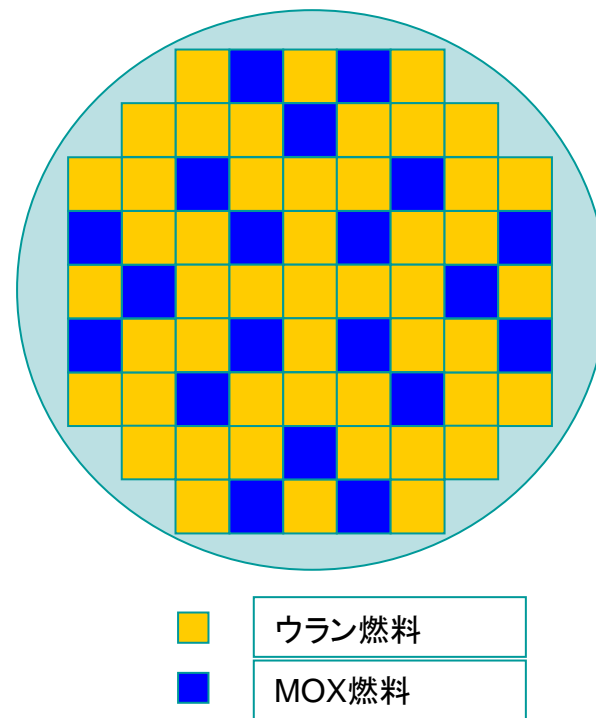
- ウラン燃料棒 72本
- WC ウォーターチャンネル 1本



# MOX燃料の使用方法



原子炉を上から見た時の燃料配置 (イメージ)



ペレット以外の、基本的な構造はウラン燃料と同じ。  
原子炉内でのMOX燃料使用体数は228体（重量※にして1/3）以下

※「原子炉全体の燃料棒の重量」に占める「MOX燃料の重量」の割合

## II. プルサーマルの必要性

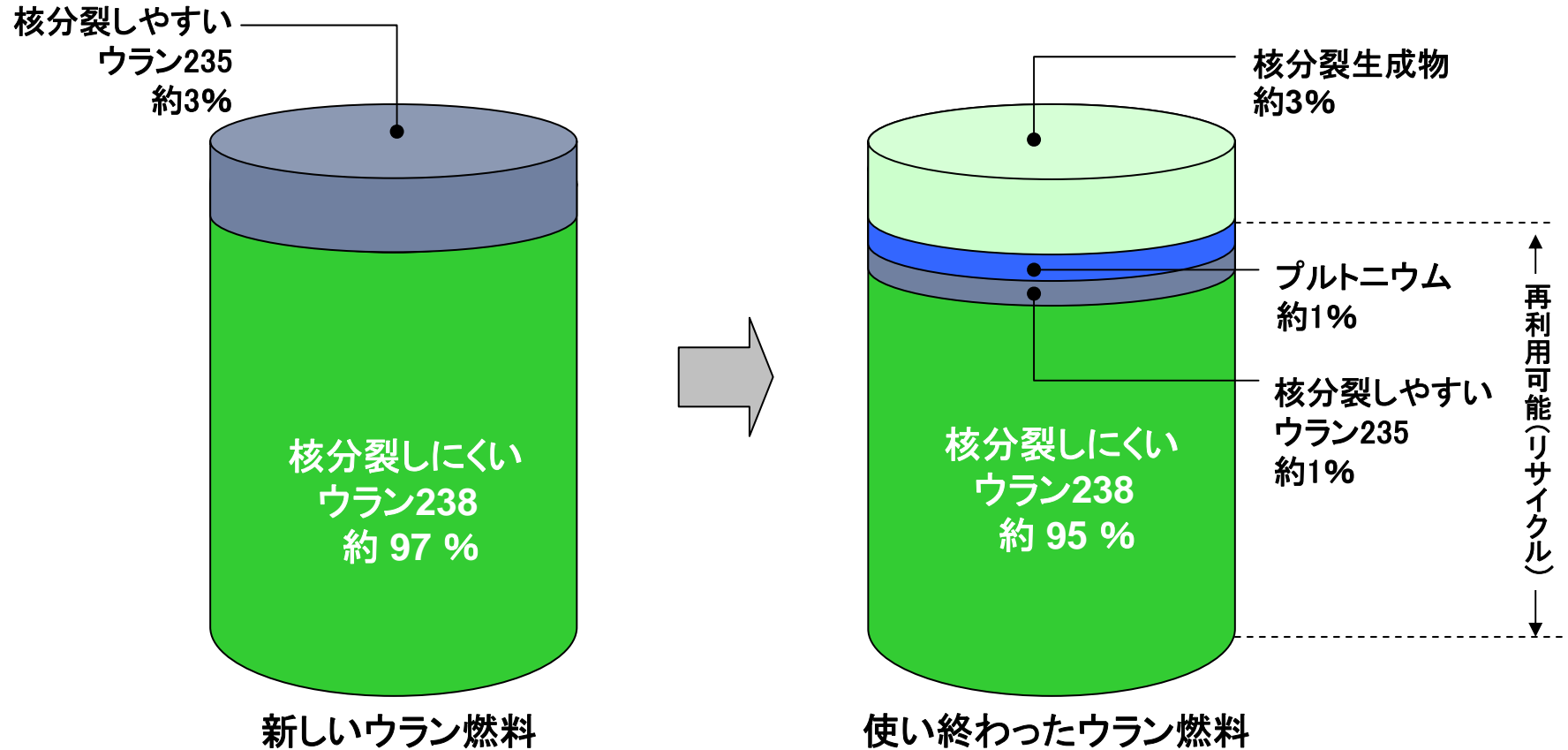
- 回収プルトニウム等を有効利用するために、当面、プルサーマルを着実に進めていくこととしています。
- プルサーマルの実績を踏まえ、高速増殖炉の導入を目指します。

## 原子力政策大綱(平成17年10月閣議決定)抜粋

- ◆ 我が国においては、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用するという基本的方針を踏まえ、当面、プルサーマルを着実に推進することとする。
- ◆ 高速増殖炉については、(中略)プルサーマルなどの核燃料サイクル事業を着実に推進して、それらの実績を踏まえつつ、(中略)2050年頃から商業ベースでの導入を目指す。

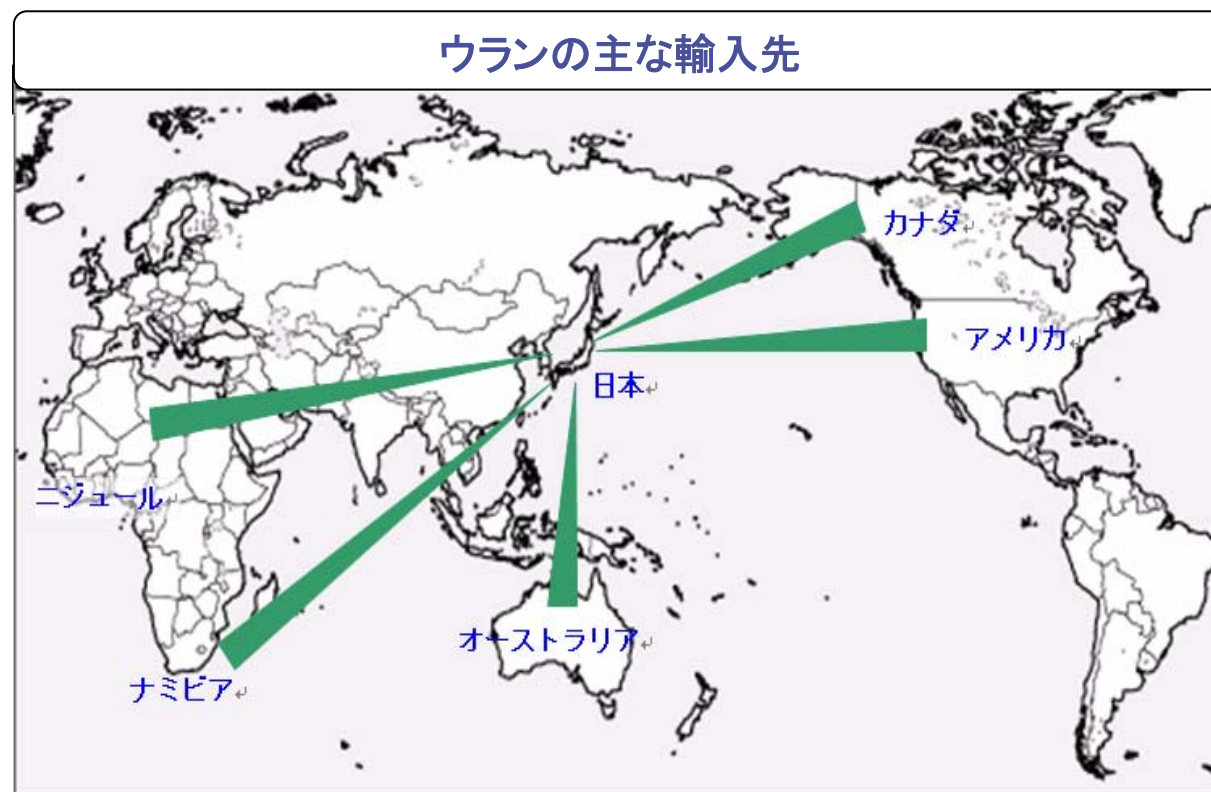
原子力発電所で発電に利用した後の燃料は再利用することのできる貴重な資源を含む「リサイクル燃料」です

### ウラン燃料の組成の変化（例）



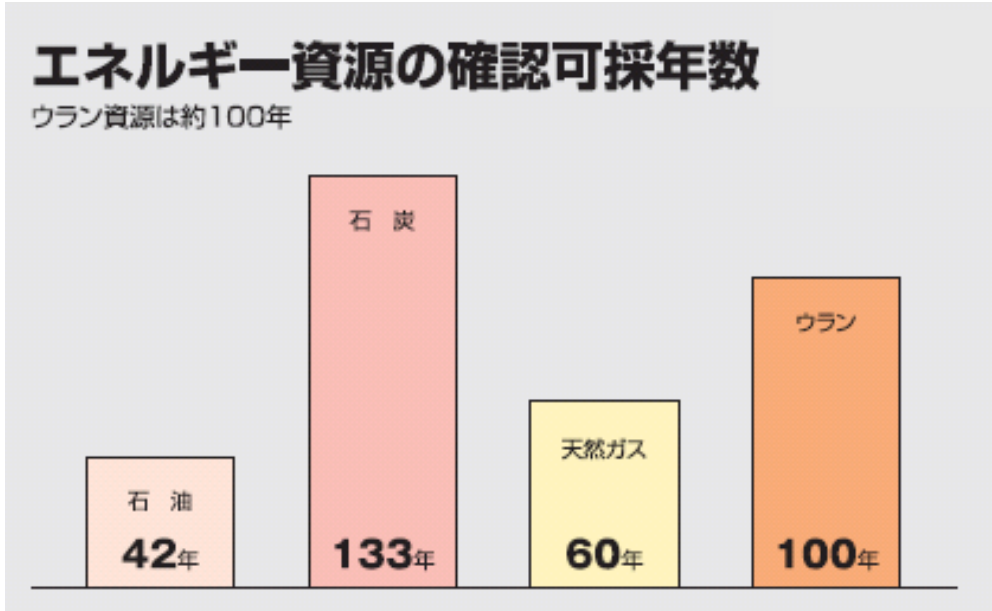
## ■ 長期的なエネルギーの安定確保

- 日本はウランを100%輸入に頼っています。
- 発電後のウラン燃料を再処理し、リサイクルすることによって、国産の燃料として活用でき、エネルギー資源に乏しい日本にとって、供給安定性がさらに強化されます。



## ■ ウラン資源の節約効果

- ウラン資源は、他の資源と同様、埋蔵量には限りがあります。
- 発電後のウラン燃料を再処理し、発電に利用することによって、ウラン資源を1～2割ほど節約することができます。  
(青森県六ヶ所の再処理工場で再処理する場合)

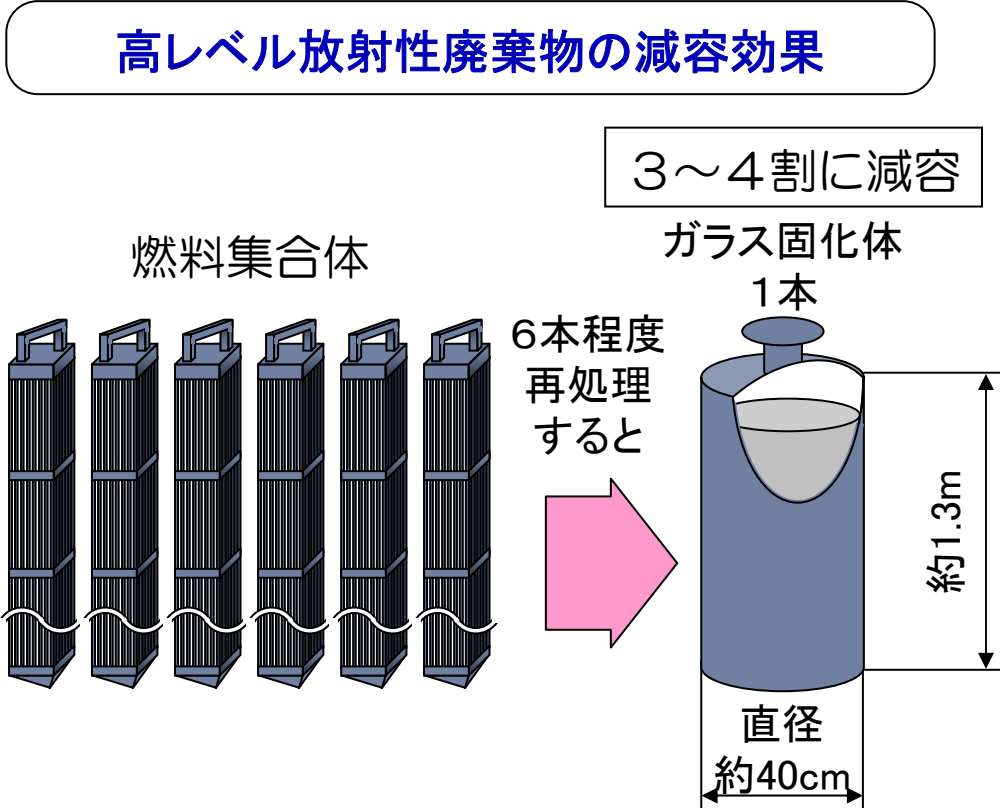


2007年末現在  
(ウランは2006年末現在)

出典:BP統計2008, URANIUM2007

## ■ 高レベル放射性廃棄物の低減

- 発電後のウラン燃料を再処理しない場合、燃料そのものが高レベル放射性廃棄物となります。
- 再処理をすると、再利用できるウランやプルトニウムと、不要な廃棄物に分別できます。
- 高レベル放射性廃棄物は、再処理により分別すると、燃料をそのまま処分する場合に比べ、体積を3～4割に低減できます。

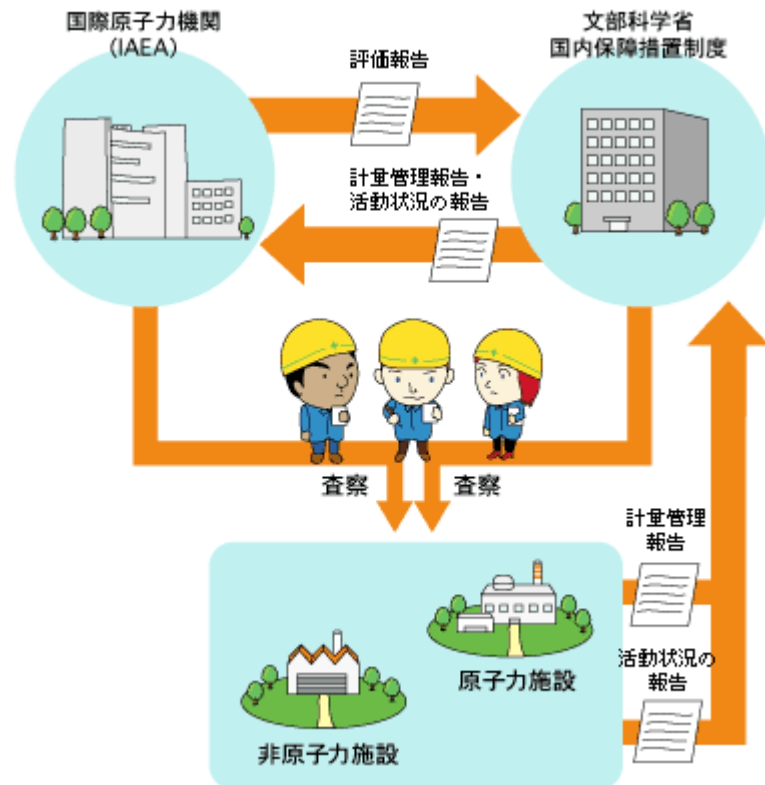




## ■ プルトニウムの平和利用に貢献

- プルトニウムは核兵器の材料にもなる物質です。
- 日本は利用目的のない余剰プルトニウムを持たないことを国際的に公約しています。
- 原子燃料サイクルは、回収したプルトニウムを再び燃料として活用します。
- プルトニウムの平和利用は、世界への約束を果たすことにもなります。

## 日本の保障措置制度の流れ

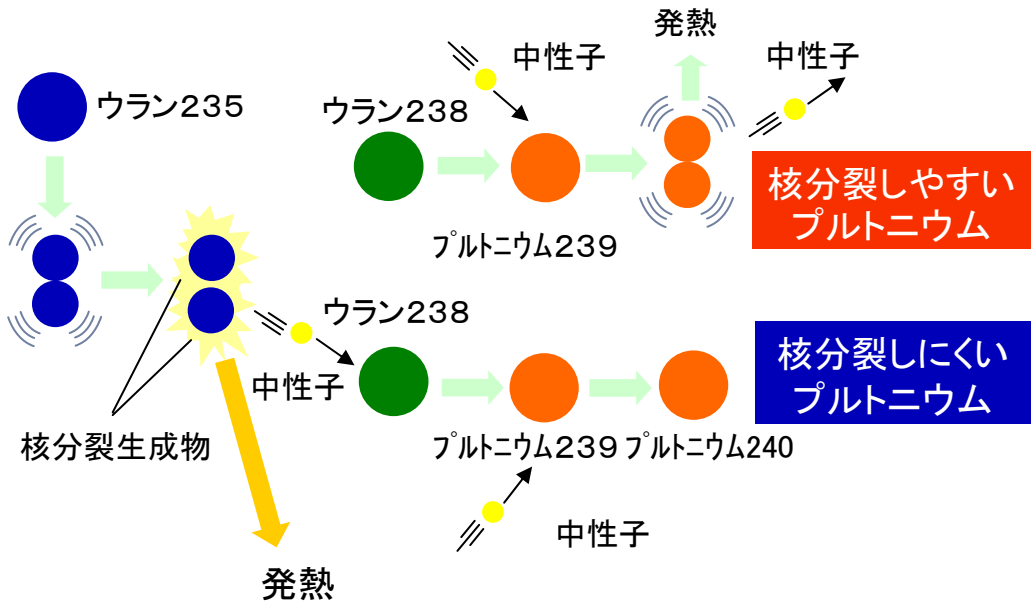


(出所:「原子力の平和利用のために」(財)核物質管理センター)

## III. プルサーマルの安全性

## ■ 現在の原子炉の中でもプルトニウムは作られています

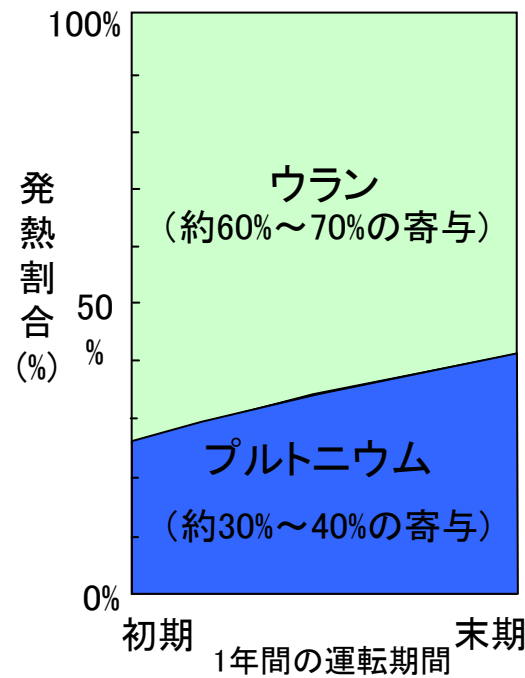
- ウランには核分裂しやすいウラン235と核分裂しにくいウラン238が存在します。
- ウラン235は核分裂し、エネルギーを出すと同時に中性子を放出します。
- この中性子がウラン238に吸収され、プルトニウム239が生成されます。
- このプルトニウム239が核分裂し、エネルギーを出します。



■ ウラン燃料炉心においてもプルトニウムは核分裂をして発電に寄与しています

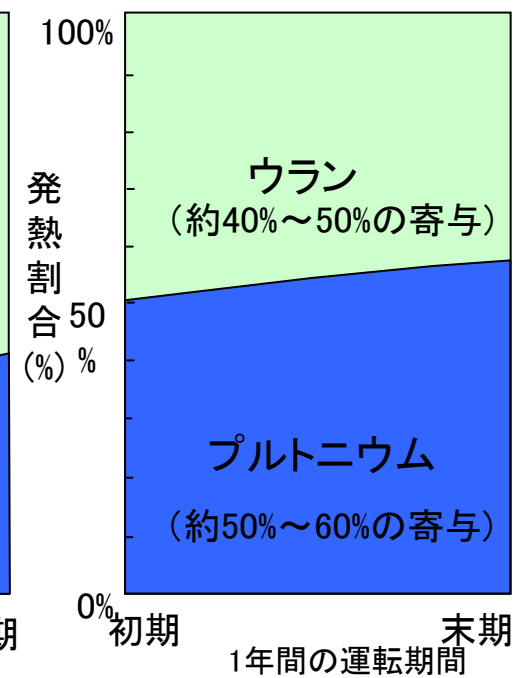
- 現在(ウラン燃料炉心)でもプルトニウムが発電の約30~40%に寄与しています。
- プルサーマルを実施した場合, その割合は約50~60%になります。

ウラン燃料炉心



MOX燃料炉心

(燃料の1/3をMOX燃料とした場合)



ウランとプルトニウムの発電割合

■ 女川原子力発電所3号機におけるプルサーマル計画は国によって検討された範囲内です

■ 今後、国の審査により安全性の確認を受けます

○国の検討結果(原子力安全委員会:平成7年6月)

MOX燃料の炉心装荷率が1/3程度までであれば、ウラン燃料のみの場合と同じ設計・評価が可能

	安全評価検討範囲	女川3号機の計画範囲
MOX燃料炉心装荷率	原子炉内燃料の1/3程度まで	原子炉内燃料の1/3以下
核分裂性プルトニウム富化度 (プルトニウム含有率)	約8% (約13%)	6%以下 (10%以下)
燃料集合体最高燃焼度	45000MWd/t	40000MWd/t

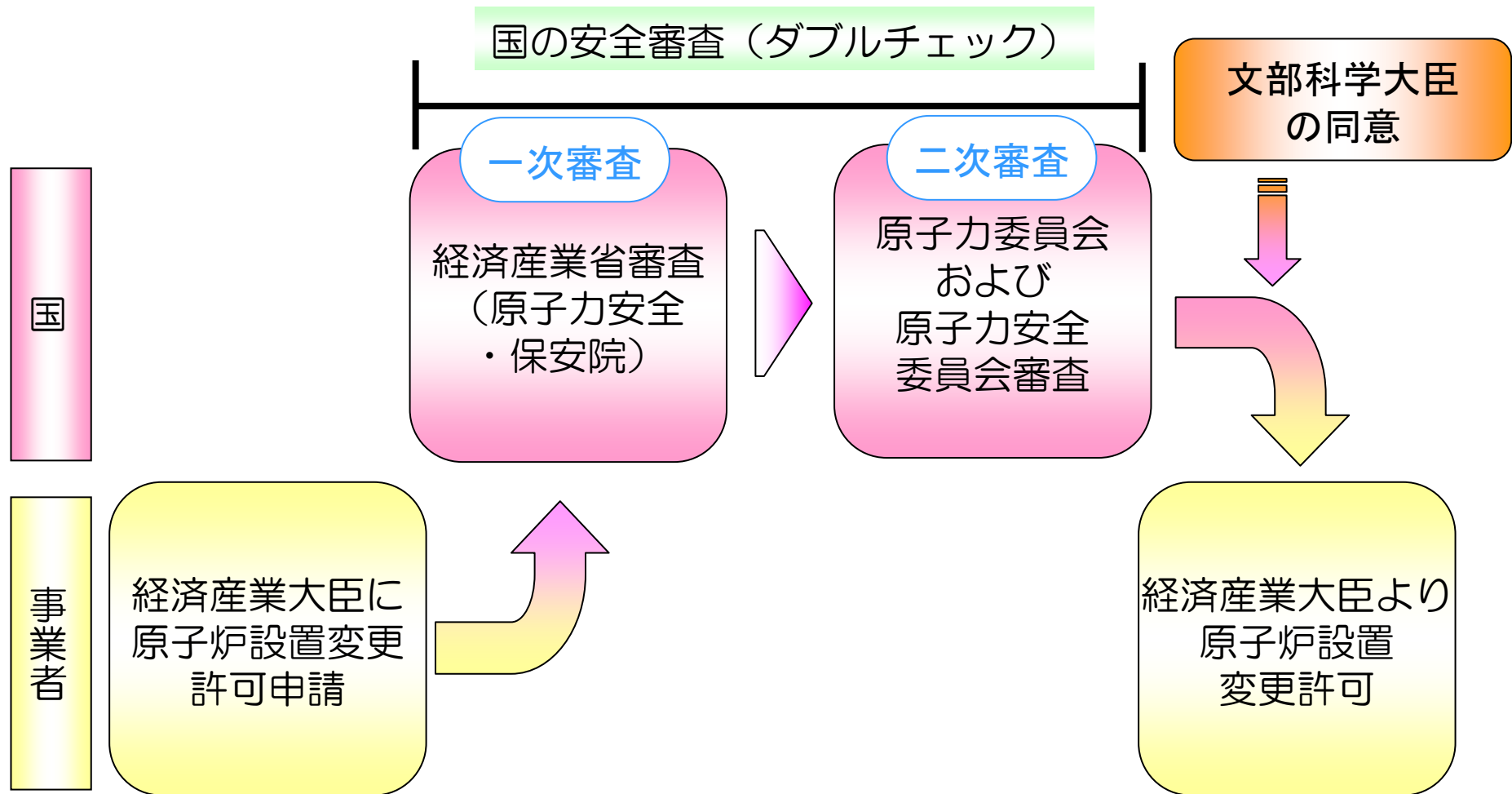
MOX燃料炉心装荷率:「原子炉全体の燃料棒の重量」に占める「MOX燃料棒の重量」の割合

核分裂性プルトニウム富化度:MOX燃料中に含まれる核分裂しやすいプルトニウムの割合

プルトニウム含有率:MOX燃料に含まれる総プルトニウム(核分裂しやすいプルトニウムと核分裂しにくいプルトニウムの和)の割合

燃料集合体最高燃焼度:燃料から取り出せる最大エネルギー

# プルサーマルの安全性 ~国の安全審査~

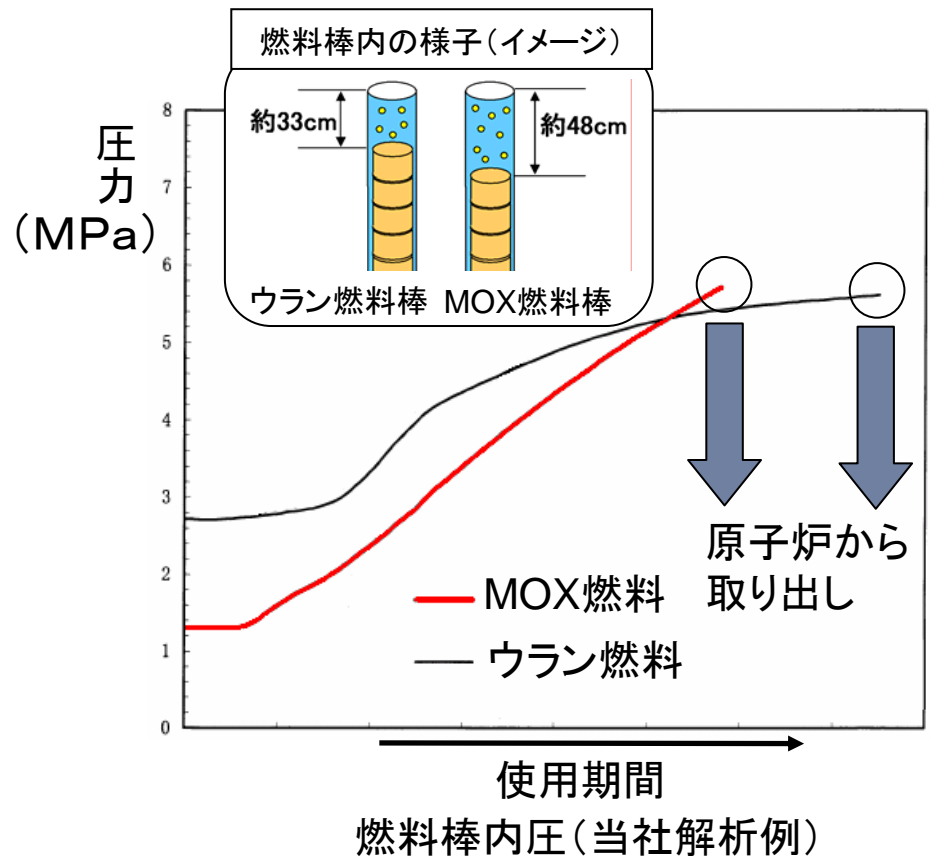


## MOX燃料の特性

- ①核分裂で生成する気体状の物質が燃料棒内に放出される割合が高くなる傾向がある（⇒燃料棒内圧）
- ②プルトニウムの混合により融点や熱伝導度が低下する傾向がある（⇒ペレット最高温度）
- ③ウラン燃料と比べて熱中性子と反応しやすい性質がある（⇒停止余裕）
- ④ウラン燃料と比べてガンマ線や中性子線が多く出る特性がある（⇒燃料取扱い時の安全性）

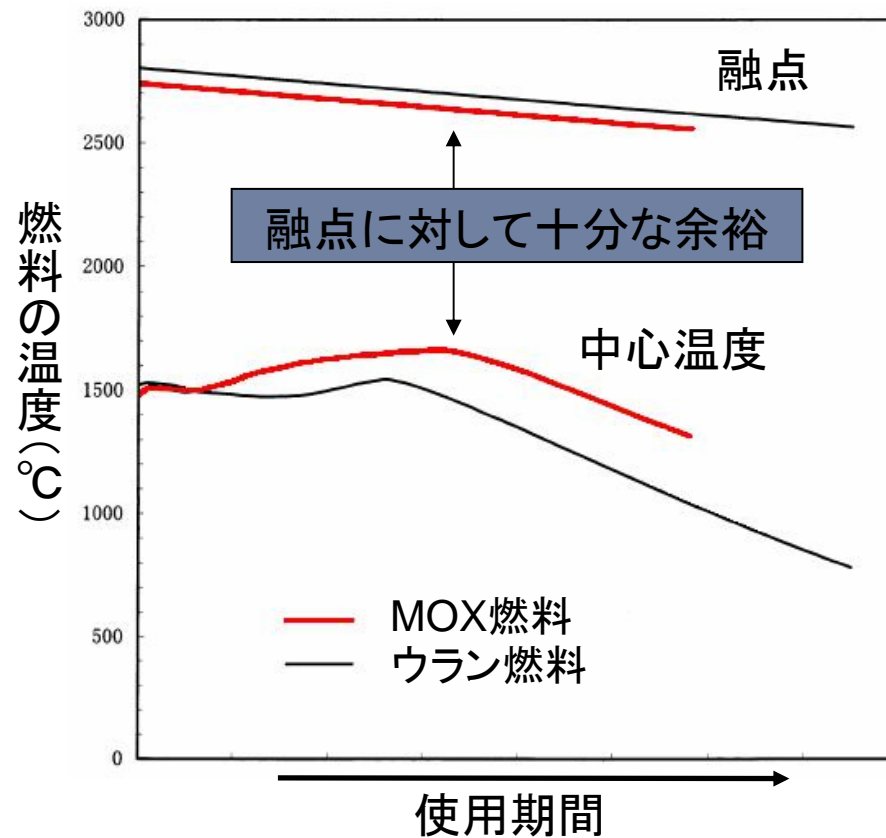
# プルサーマルの安全性 ～燃料棒内圧～

- 核分裂で生成する気体状の物質が燃料棒内に放出される割合が高くなる傾向があるため、燃料棒内の空間（ガス溜め用）の体積を増やし内圧の上昇を抑制しています
- 原子炉から取り出される時の燃料棒の内圧は、MOX燃料とウラン燃料ではほとんど同じです



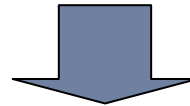


- MOX燃料であっても、融点に対して十分余裕があり、燃料が溶けるということはありません



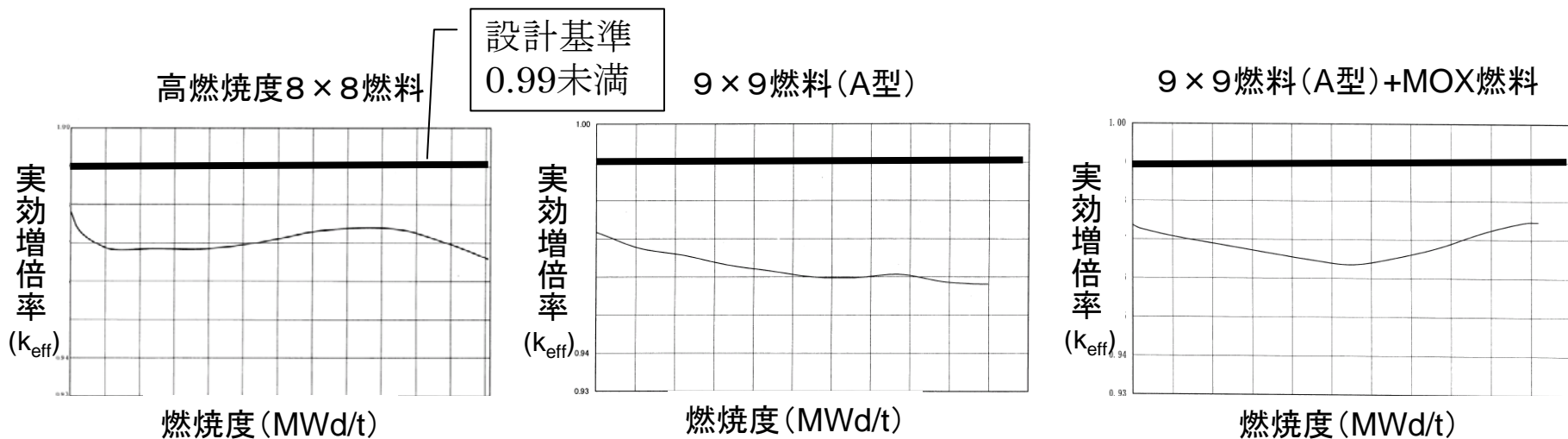
燃料の融点と温度の関係(当社解析例)

・制御棒が原子炉を停止するにはもともと十分な余裕があります



■ MOX燃料とウラン燃料の配置等を工夫することにより、設計基準※を満足します

※最大反応度値を有する制御棒1本が完全に引き抜かれた状態でも炉心の実効増倍率を、常に0.99未満とすること

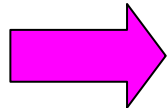


停止余裕の変遷(申請書より抜粋)

## ■ 適切な遮へい対策を行うことでMOX燃料を安全に扱うことができます

### 外部被ばく

MOX燃料には、ウラン燃料に比べガンマ線や中性子線が多く出る特性があります。

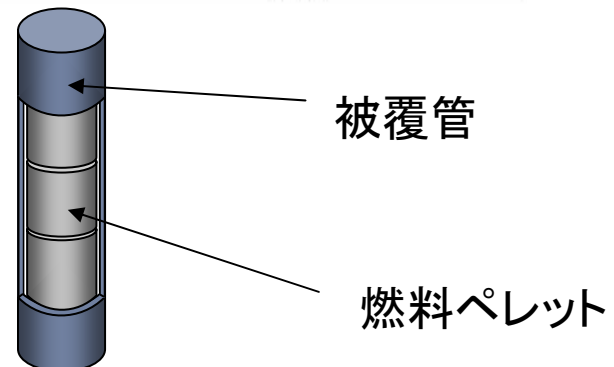
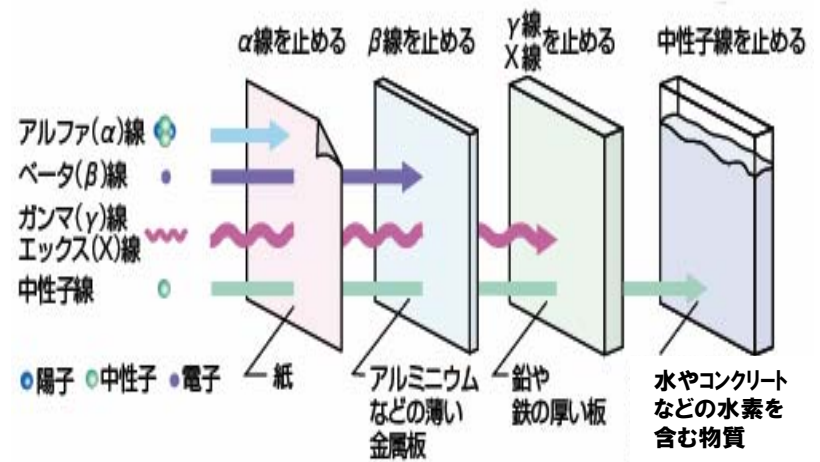


- ◆ 専用の輸送容器の使用
- ◆ 作業員への被ばく低減対策
- ◆ 使用済燃料プールに保管

### 体内への取込み

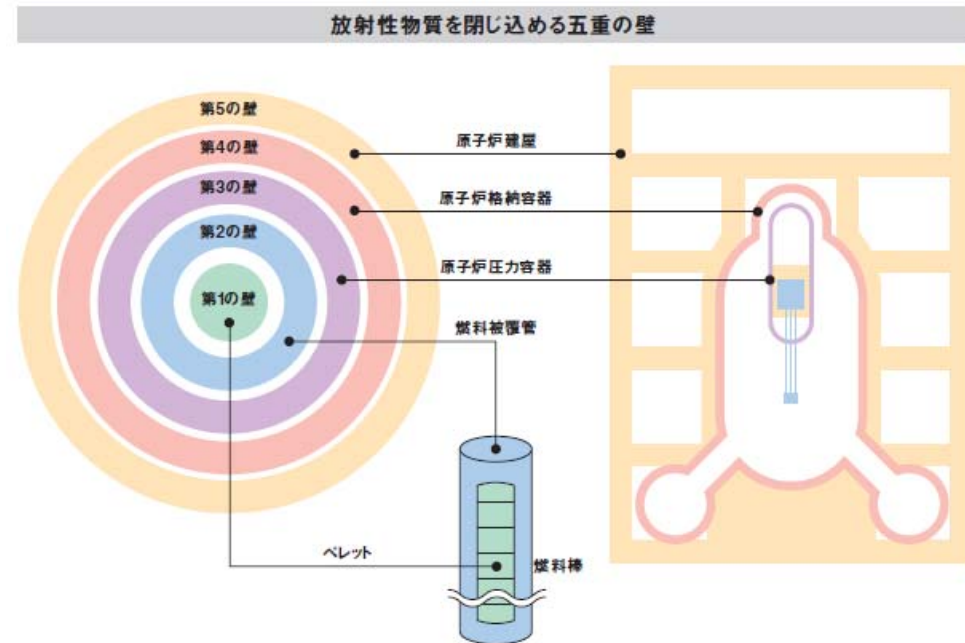
なお、MOX燃料に含まれるプルトニウムからはアルファ線も出ますが、金属(燃料被覆管)の中に密閉されていることから、アルファ線が燃料の外に出ることはありません。

### 放射線の種類と透過力



### ■ プルトニウムなどの放射性物質をしっかりと閉じ込めます

- 原子力発電所は、大きな地震や万が一の事故が起きた場合、原子炉を安全に止め、冷やし、放射性物質が外部に漏れないよう「五重の壁」でしっかりと閉じ込めます。
- この対策はMOX燃料を使用するプルサーマルでも同じであり、原子力発電所ではプルトニウムなどの放射性物質が外部に漏れないよう設計されています。



### 周辺環境への影響

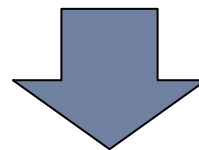
- ・ MOX燃料を採用しても、環境への放射性物質の放出量は変わらない
- ・ ICRPの90年勧告取り込みによる指針改訂を反映した評価を実施

### 過渡変化: 機器の単一の故障等の外乱によって生ずる異常な状態

- ・ 気泡がつぶれるような過渡事象においては、熱的余裕が減少する傾向
- ・ 女川3号機では、全制御棒を急速に挿入することができるため、影響はほとんど受けない

### 事故: 安全性を評価するために想定する「過渡変化」を超える事象

- ・ 9×9燃料と比べて燃料棒あたりの熱容量が大きい
  - ・ 燃料温度上昇時の出力抑制効果がより大きい
- 出力, 被覆管温度を抑える影響



各評価結果は、これまでと同程度であり、判断基準を満足します。

### ■ 国内外において豊富な使用実績があります

#### 海外での使用実績

- 40年以上の実績  
欧州を中心に約6018体,  
57基で使用
- 現在, 5ヶ国, 36基で使用中

#### 国内での使用実績

- 美浜1号, 敦賀1号の少数体実績(6体)
  - 新型転換炉「ふげん」の実績(772体)
- いずれも, 問題なく安全に使用

#### 各国の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績

