

Ⅲ プルサーマルに係る安全性等について

1 一般的事項

論点1 プルトニウムの特性

○検討課題

- ① プルトニウムは重金属で毒性が強く、また、放射性物質であるので、発ガンなど人体への影響が憂慮される。
- ② プルトニウムが含まれているMOX燃料は、従来のウラン燃料とは特性が変わり、原子力発電所の運転に悪影響を与えるのではないか。

○過去に本県や他道県に寄せられた意見

- ・ MOX燃料の使用は核燃料サイクル全体を通じて、人や環境がプルトニウムに触れるリスクが大きくなることは否定できない。
- ・ 作業員ではなく、一般人の年被ばく限度値をもとに検討すべきではないか。
- ・ プルトニウムの放射能はウランより強いいため、MOX燃料の放射能毒性はウラン燃料より大きい。
- ・ 現行軽水炉は、低濃縮ウランを燃料とする炉として設計されているが、本来の目的と異なるMOX燃料を装荷するという変則的な使い方をする。
- ・ プルトニウムは100分の1gで肺がんを引き起こすといわれている。
- ・ 女川3号機では、その猛毒のプルトニウムが年間400kgも炉心に装荷される。

○東北電力株式会社の講じる対策または見解

プルトニウムの特性により、MOX燃料はウラン燃料に比べ以下のような違いがあるが、これらの違いについては、対応する論点項目にて、記載している。

項目		安全上の影響	論点	区分
物 性	融点が下がる	燃料ペレットの融点の低下	8-1	燃料の健全性
	熱伝導度が下がる	燃料ペレット中心温度の上昇	8-1	
	核分裂ガス放出率が高くなる	燃料棒内圧の上昇	8-2	
	ウラン・プルトニウムの不均一性	プルトニウムスポットの発生	8-3	
核 的 性 質	断面積が大きくなる(核分裂, 吸収)	制御棒の効きが悪くなる	10	原子炉の制御性
	反応度係数の絶対値が増大	過渡事象時の急激な反応度変化	9-2	
	出力ピーキングが大きくなる	出力分布の偏りが発生	9-1	
	核分裂収率が異なるアクチニドの生成	よう素, トリチウム, アクチニドの生成増加	13,14	公衆影響
	崩壊熱が増加する	貯蔵管理, 廃棄物管理へ影響	12	MOX燃料の取扱い
	遅発中性子割合が減少する	反応度投入時に出力が上昇しやすくなる	9-2	原子炉の制御性
	放射能が大きくなる	輸送, 作業時の被ばく量の増加	4,11	MOX燃料の取扱い
	アルファ線を放出する	発がん性がある	1	プルトニウムの特性
	高速中性子割合が増加	炉内構造物等の劣化	1	

①について

- ・ プルトニウムはアルファ線を出すため、体内に取り込まれた場合、長い潜伏期間を経て発ガンの可能性がある。
ただし、MOX燃料では、プルトニウムとウランを混ぜ合わせた粉末をセラミック状に焼き固めたもの（ペレット）が金属製の管（燃料被覆管）の中に密封されていることから、プルトニウムそのものが外に出てくる心配はない。

[参考] 燃料要素（燃料棒）は、円筒形被覆管に二酸化ウラン焼結ペレット（一部ガドリニアを含む。）を挿入し、両端を密封した構造（以下、「ウラン燃料棒」という）、又はMOX焼結ペレットを挿入し、両端を密封した構造（以下、「MOX燃料棒」という。）としている。（原子炉設置変更許可申請書 P.14）

- ・ MOX新燃料の放射能は、ウラン新燃料に比べて、 α 崩壊で10000倍程度高くなり、使用済MOX燃料の放射能は、使用済ウラン燃料に比べて α 崩壊で10倍程度高くなる（別紙1-1）。

②について

- ・ MOX燃料とウラン燃料を比較すると、その特性には多少差があるが、その差の程度やそれが及ぼす影響の程度は、今までのデータや知見より把握されている。MOX燃料の原子炉内への装荷率が燃料全体の3分の1程度までの使用範囲であれば、ウラン燃料だけを使用した場合と基本的に同じ安全設計・評価が可能である。

[参考] 原子炉設置変更許可申請書に記載しているMOX燃料の装荷体数（最大228体）は、重量比で約3分の1である。（原子炉設置変更許可申請書 P.11）

- ・ MOX燃料を装荷すると炉心平均の高速中性子（エネルギーが高い中性子）が5%程度増加するが、炉内構造物等に有意な影響を与えることはない。

i) 原子炉圧力容器

炉心付近の原子炉圧力容器は、高速中性子の照射を受けることにより、温度が低下したときに硬く脆くなる傾向（脆化）がある。この脆化の程度を把握するために、4セットの試験片を炉心領域に装荷し、計画的に試験を行っている（発電所運転中に計4回：運転初期（第2回定期検査時取出済）、運転中2回、運転末期）。

試験の結果から脆化の影響の出ない温度を算出（JEAC4201）し、その結果に基づき容器及び原子炉冷却材温度の制限値を定め、その温度以上で管理している。

仮に高速中性子照射量を保守的に20%増加した場合を仮定して、照射による脆化の影響が出ない温度を算出しても、わずかに1℃程度上昇するのみであり、MOX燃料装荷による脆化に対する影響は少ない。

ii) 燃料被覆管及びチャンネルボックス

燃料被覆管及びチャンネルボックスの材料は、高速中性子の照射を受けることにより脆化していく傾向にあるが、照射量がある一定以上になると、その傾向は飽和する。この場合でも構造強度に関する国の基準が維持されることが確認されている。

iii) 制御棒

女川3号機で使用している、ボロンカーバイド型制御棒は、中性子照射による構造材の脆化によってその機能が維持できなくなる事例はこれまでにない。

なお、同型の制御棒は、ホウ素（ボロン）が熱中性子をよく吸収する性質を利用しており、熱中性子を吸収することによりボロンが減少していく。そのため、制御棒の劣化は熱中性子照射量に依存し、高速中性子照射量増加による影響はない。

iv) 炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、ジェットポンプ等

高速中性子の照射により応力腐食割れを起こした場合に備えて、これら炉内構造物については、従来より国の技術基準に従い、点検・管理、および必要に応じ

修理を行うことにより健全性を確保することとしている。

○国の見解(発電用軽水炉型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について 4. 結論)

- ・ 現在までに得られている知見を基に、軽水炉において取替燃料の一部として使用が予想されるMOX燃料及びそれを装荷した炉心について検討を行った結果、検討範囲としたMOX燃料の特性、挙動は、ウラン燃料と大きな差はなく、また、MOX燃料及びその装荷炉心は従来のウラン燃料炉心と同様の設計が可能であると認められるので、安全評価に当たって、従来のウラン燃料炉心に用いている判断基準並びにMOX燃料の特性を適切に取り込んだ安全設計手法、安全評価手法を適用することは差し支えないものと判断する。

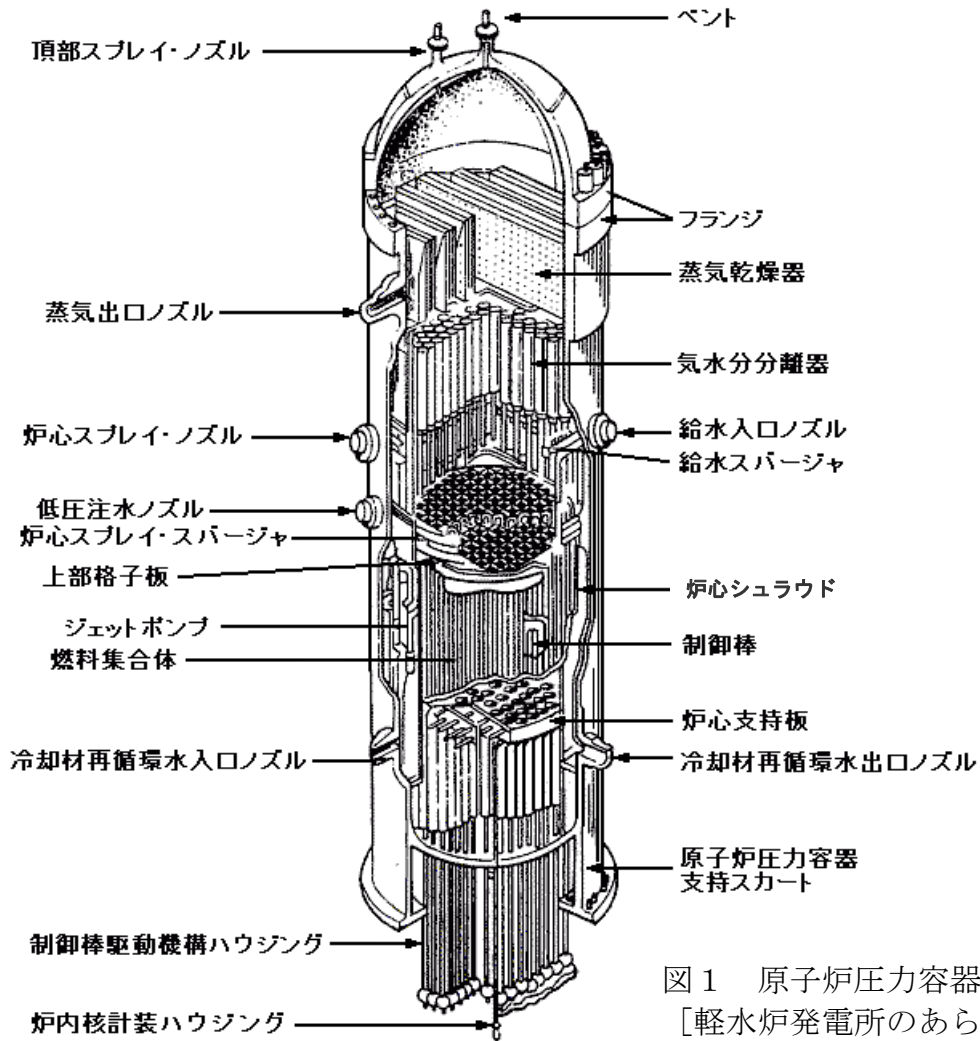


図1 原子炉压力容器概略図
 [軽水炉発電所のあらし (改訂版)
 平成4年10月：原子力安全研究協会]

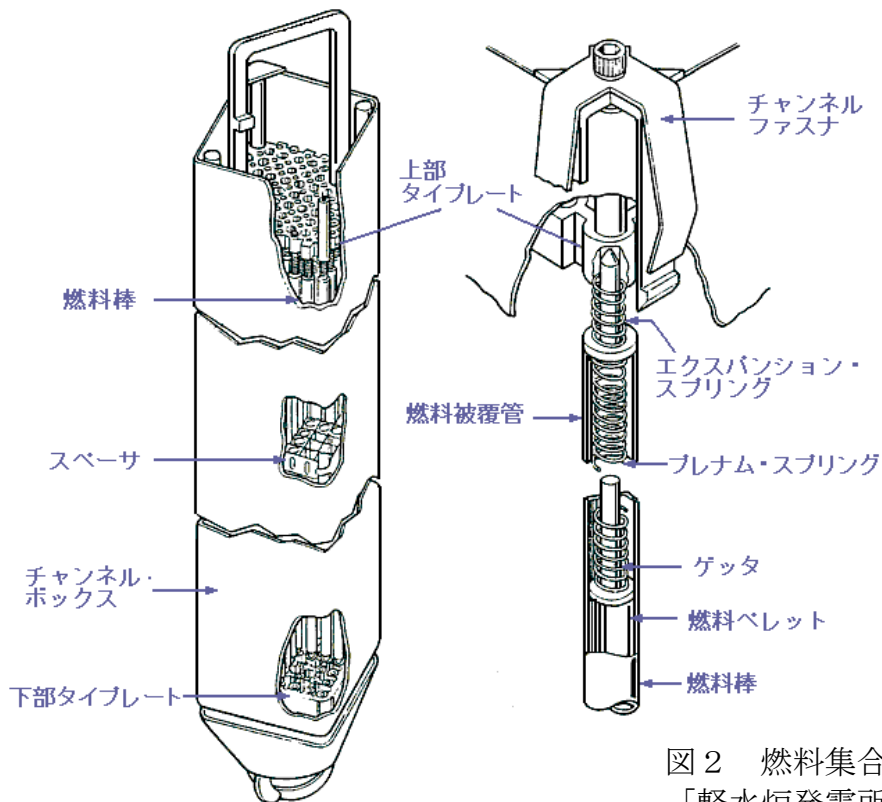


図2 燃料集合体概略図
 [軽水炉発電所のあらし (改訂版)
 平成4年10月：原子力安全研究協会]

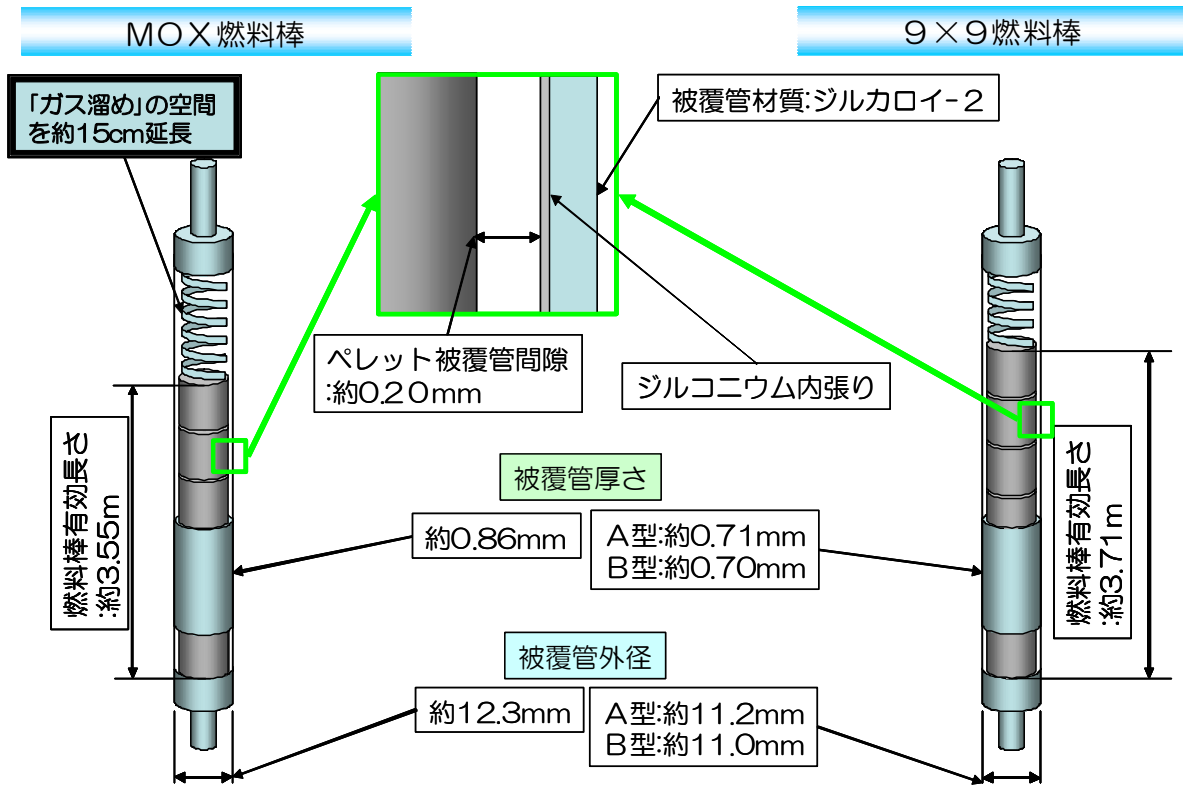


図3 MOX燃料棒とウラン燃料棒の比較

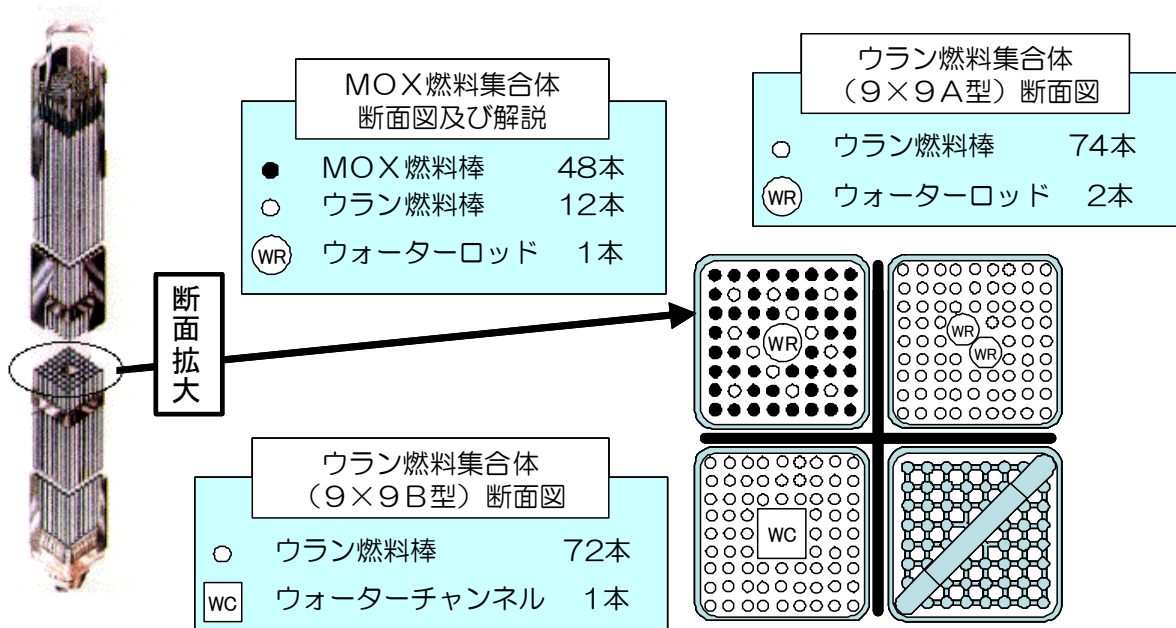


図4 MOX燃料集合体とウラン燃料集合体の比較

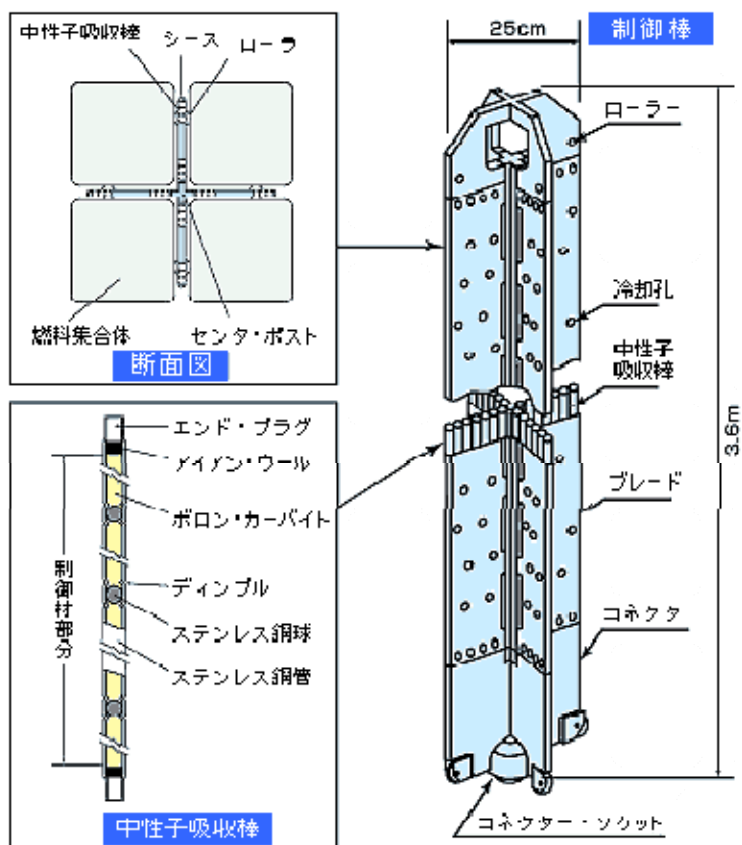


図5 ボロンカーバイド型制御棒概略図

(株)日立製作所HPより引用

<http://www.hitachi-hgnc.co.jp/nuclear/product/abwr/reactor/controlrod/index.html>

ウラン燃料とMOX燃料の放射能の比較

ウラン燃料，MOX燃料の放射能は表1のとおりである。

新燃料の場合，MOX燃料はウラン燃料に比べてプルトニウム等による放射能が高いため， α 崩壊で10000倍程度高くなる。

使用済燃料の場合，ウラン燃料，MOX燃料ともにキュリウムによる影響が大きく， α 崩壊ではMOX燃料が10倍程度高くなる。

また，ウラン燃料，MOX燃料のプルトニウム組成比の例を表2に示す。

表1 ウラン燃料とMOX燃料の放射能 (α 崩壊)

	ウラン燃料		MOX燃料 (低組成)	
	新燃料	使用済燃料	新燃料	使用済燃料
ウラン	8.1E+04	6.E+04	3.4E+04	3.E+04
ネプツニウム	—	1.E+04	—	3.E+03
プルトニウム	0	1.6E+08	7.0E+08	9.1E+08
Pu238	0	1.3E+08	5.2E+08	7.6E+08
Pu239	0	1.E+07	6.E+07	2.E+07
Pu240	0	2.E+07	1.E+08	1.E+08
Pu241	0	1.E+05	0	6.E+05
Pu242	0	8.E+04	4.E+05	8.E+05
アメリカシウム	0	7.0E+06	5.6E+07	1.1E+08
キュリウム	—	2.2E+09	—	2.05E+10
総合計	8.1E+04	2.4E+09	7.6E+08	2.15E+10

(単位：MBq，初期金属重量1トン当たり，原子炉停止直後)

出典：松岡理 (1998)，「プルトニウム物語 プルサーマルをめぐる」，ミオシン出版

表2 ウラン燃料，MOX燃料のプルトニウム組成比

	ウラン燃料		MOX燃料	
	新燃料	使用済燃料	新燃料	使用済燃料
Pu238	0	0.02	0.06	0.07
Pu239	0	0.4	2.3	1.1
Pu240	0	0.2	1.1	1.1
Pu241	0	0.1	0.3	0.4
Pu242	0	0.08	0.2	0.3

(単位：%)

※：表2の値は，『プルトニウムを燃料とする原子炉の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について』の適用方法などについて（原子力安全委員会，平成13年3月）からの読み取り値である