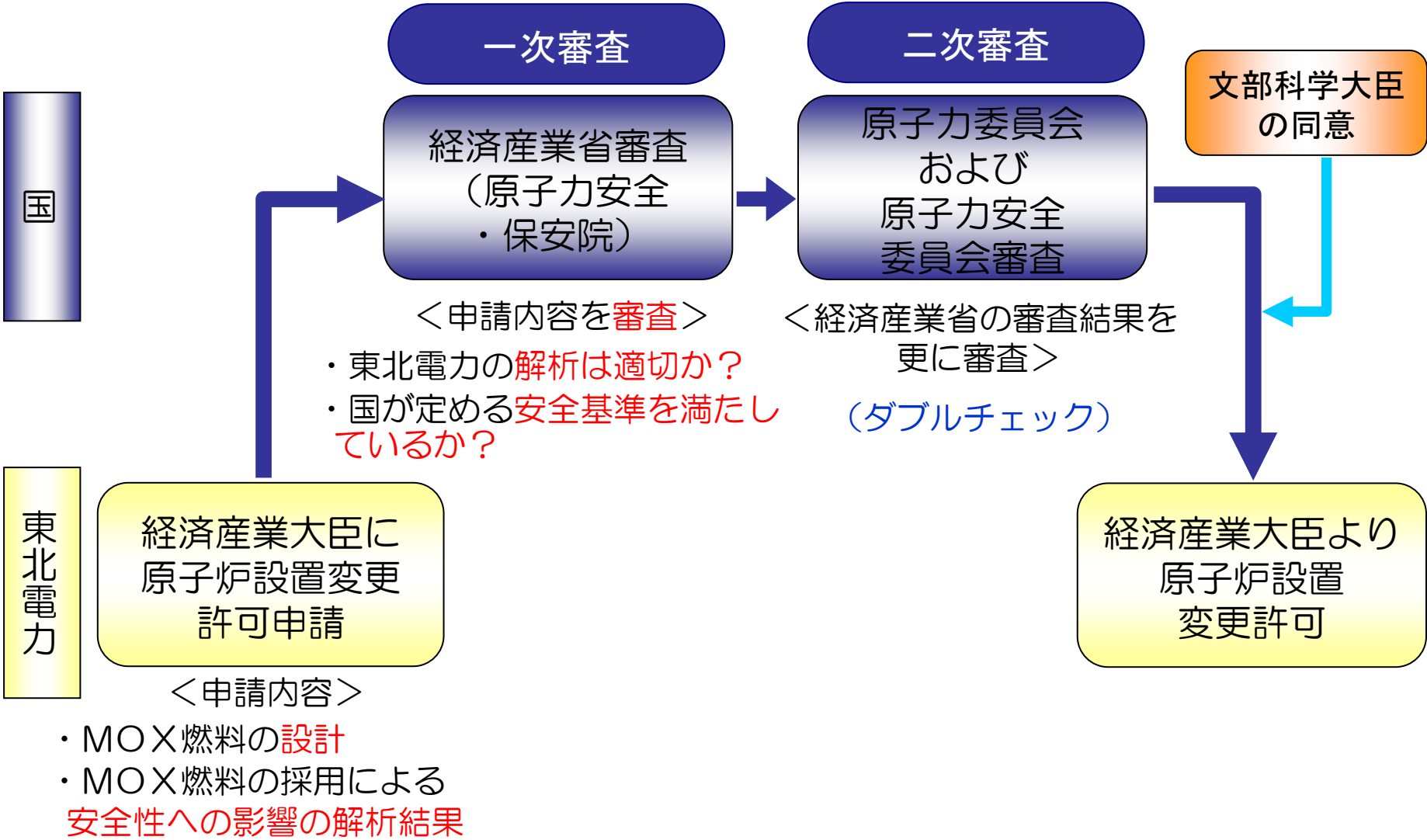


女川原子力発電所3号機におけるMOX燃料採用に伴う 原子炉設置変更許可申請の概要について

平成21年2月6日
東北電力株式会社

安全審査の流れ

国による審査を受け，安全性を確認していただきます。



安全審査のポイント

安全審査では、国が定めた各種の指針類等への適合性について以下の観点から確認を受けます。

安全審査のポイント	具体的な確認項目
1.燃料棒は運転中に健全性を確保できるか？	燃料棒内圧, 温度
2.各々の燃料の出力が出すぎたり冷却不足にならないか？	熱的制限値
3.出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか？	炉心安定性
4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？	スクラム反応度, 停止余裕
5.MOX燃料の貯蔵や取り扱いは安全に行えるか？	燃料プール水温等
6.異常が発生した場合に安全は保てるのか？	燃料, 原子炉の健全性
7.事故を想定した場合にも発電所の健全性は確保できるか？	燃料, 原子炉の健全性
8.通常運転時, 事故時の発電所周辺へ放射線影響は無いか？	被ばく線量

MOX燃料の概要

以降では、MOX燃料を装荷した炉心と現在の9×9燃料のみを装荷した炉心における特性を比較します。

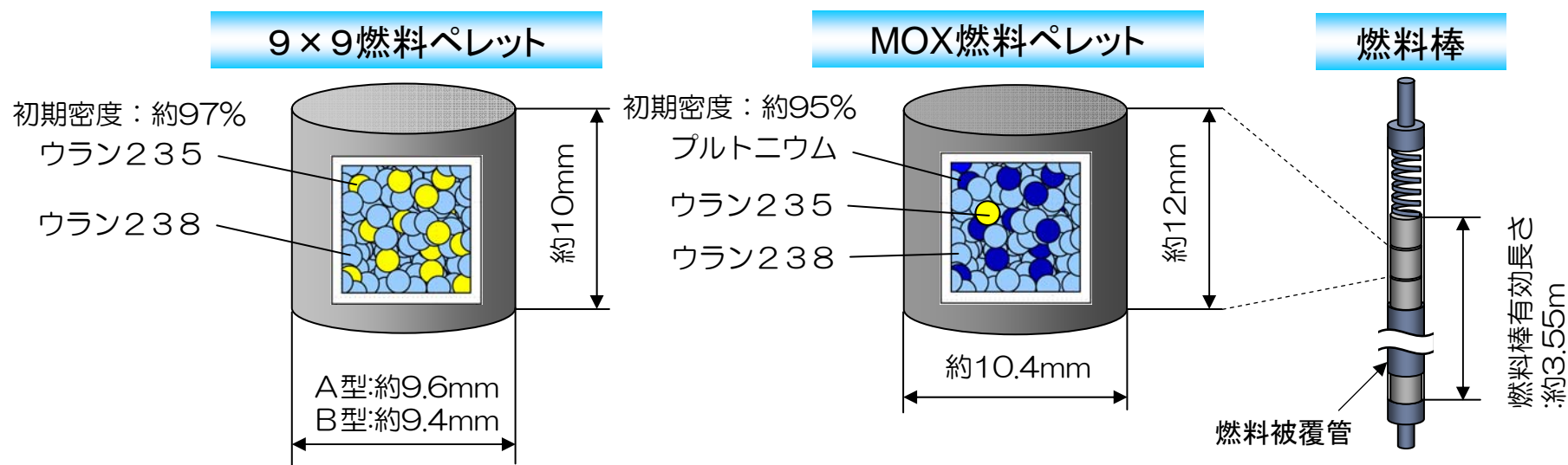
	9×9燃料 (A型)	MOX燃料+9×9燃料 (A型)
炉心燃料集合体数	560体	MOX燃料：228体 9×9燃料：332体
燃料形状	9行9列	MOX燃料：8行8列 9×9燃料：9行9列
ペレット直径 (cm)	約0.96	MOX燃料：約1.04 9×9燃料：約0.96
ペレット密度 (%)	約97	MOX燃料：約95 ウラン燃料：約97
被覆管外径 (cm)	約1.12	MOX燃料：約1.23 9×9燃料：約1.12
被覆管厚さ (mm)	約0.71	MOX燃料：約0.86 9×9燃料：約0.71
ペレット被覆管間隙 (mm)	約0.20	同 左
燃料有効長さ (m)	標準燃料棒 約3.71 部分長燃料棒約2.16	MOX燃料 MOX燃料棒：約3.55 ウラン燃料棒：約3.71
ペレット最大フルトリウム含有率 (wt%)	—	10
ヘリウム封入圧 (MPa)	約1.0	MOX燃料：約0.5

「1.燃料棒は運転中に健全性を確保できるか？」の確認

(前回ご説明済み)

p4

MOX燃料を採用しても燃料の健全性が確保できることを以下の観点から確認します。



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

燃料棒内圧の確認

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

ペレット最高温度の確認

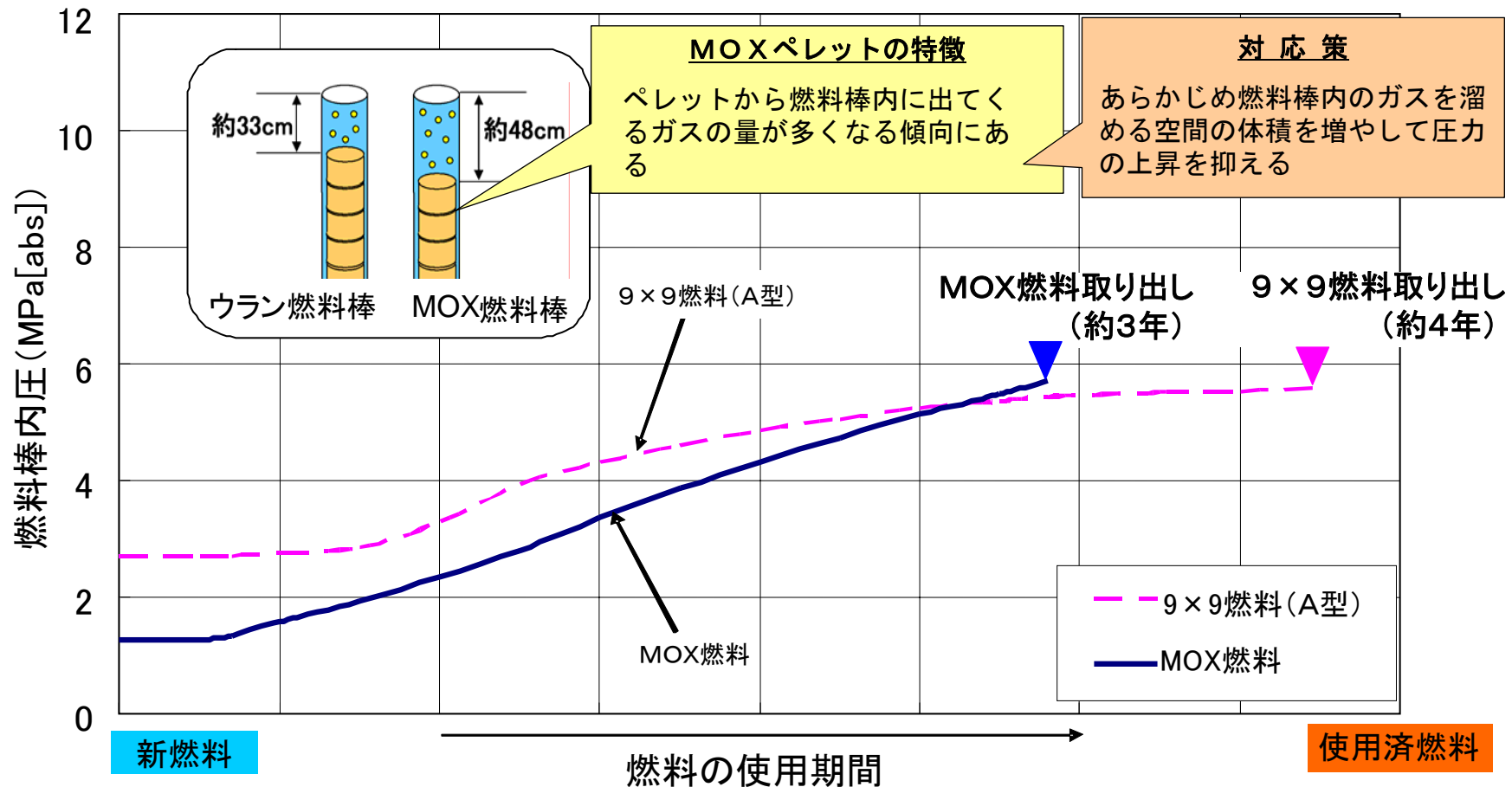
「1.燃料棒は運転中に健全性を確保できるか？」の確認

「燃料棒内圧」の確認結果

(前回ご説明済み)

p5

判断基準：被覆管の応力が許容応力を超えないこと



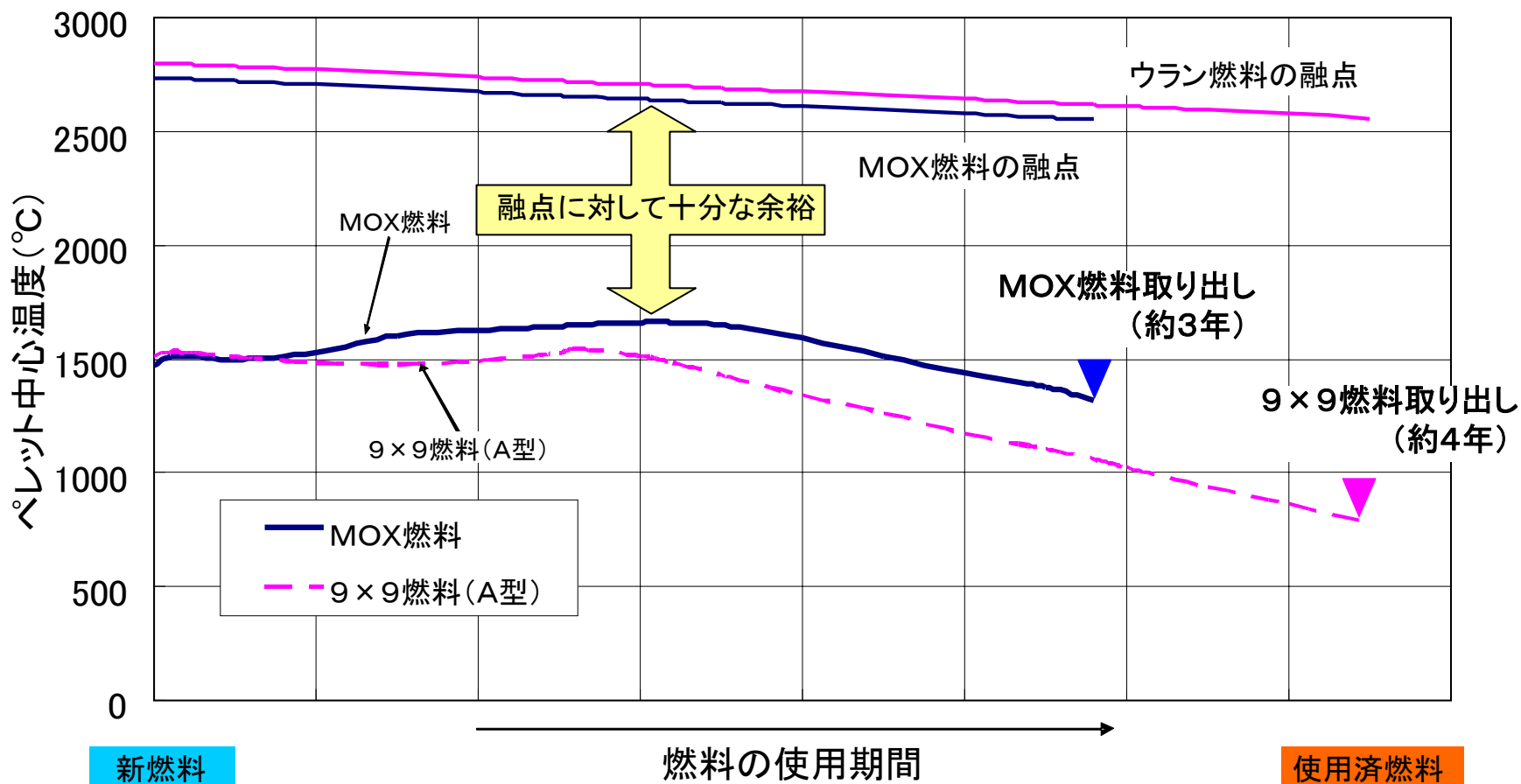
確認結果：燃料棒内圧等から計算される応力の許容応力に対する比(設計比)は内外圧差が最も厳しい使用初期でも最大0.36であることから許容応力に対し十分余裕があり、判断基準を満足する。

「1.燃料棒は運転中に健全性を確保できるか？」の確認

「ペレット中心温度」の確認結果

(前回ご説明済み)

判断基準：運転中に燃料が融点に達しないこと



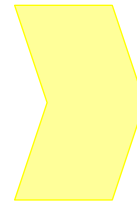
確認結果：運転中のMOXペレットの中心温度は融点に対し
最低約1000°Cの余裕があり、判断基準を満足する。

「2.各々の燃料の出力が出すぎたり冷却不足にならないか？」の確認

p7

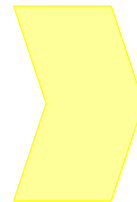
MOX燃料集合体が運転中に健全性を確保して運転できることを以下の観点から確認します。

通常運転中に燃料が基準を満足し、十分低い出力で余裕を持って運転できるか



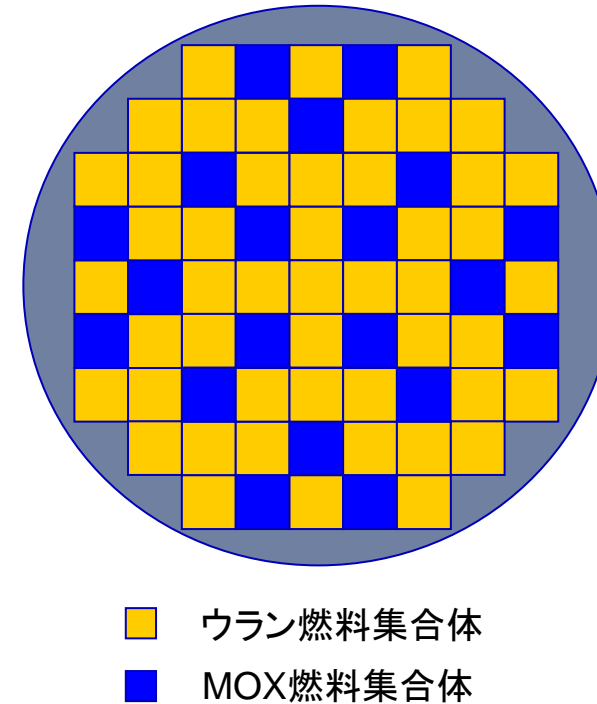
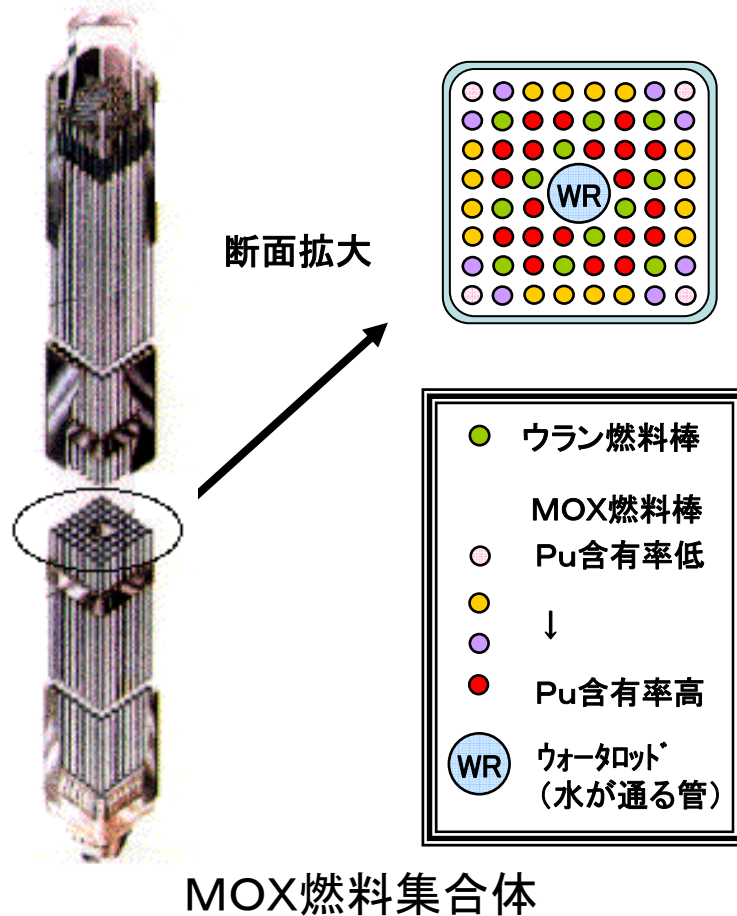
燃料棒の出力の程度
(最大線出力密度)の確認

通常運転中に、燃料被覆管の温度が異常に高くないように安定的に除熱できるか



燃料が冷却不足で過熱状態にならないこと(最小限界出力比)の確認

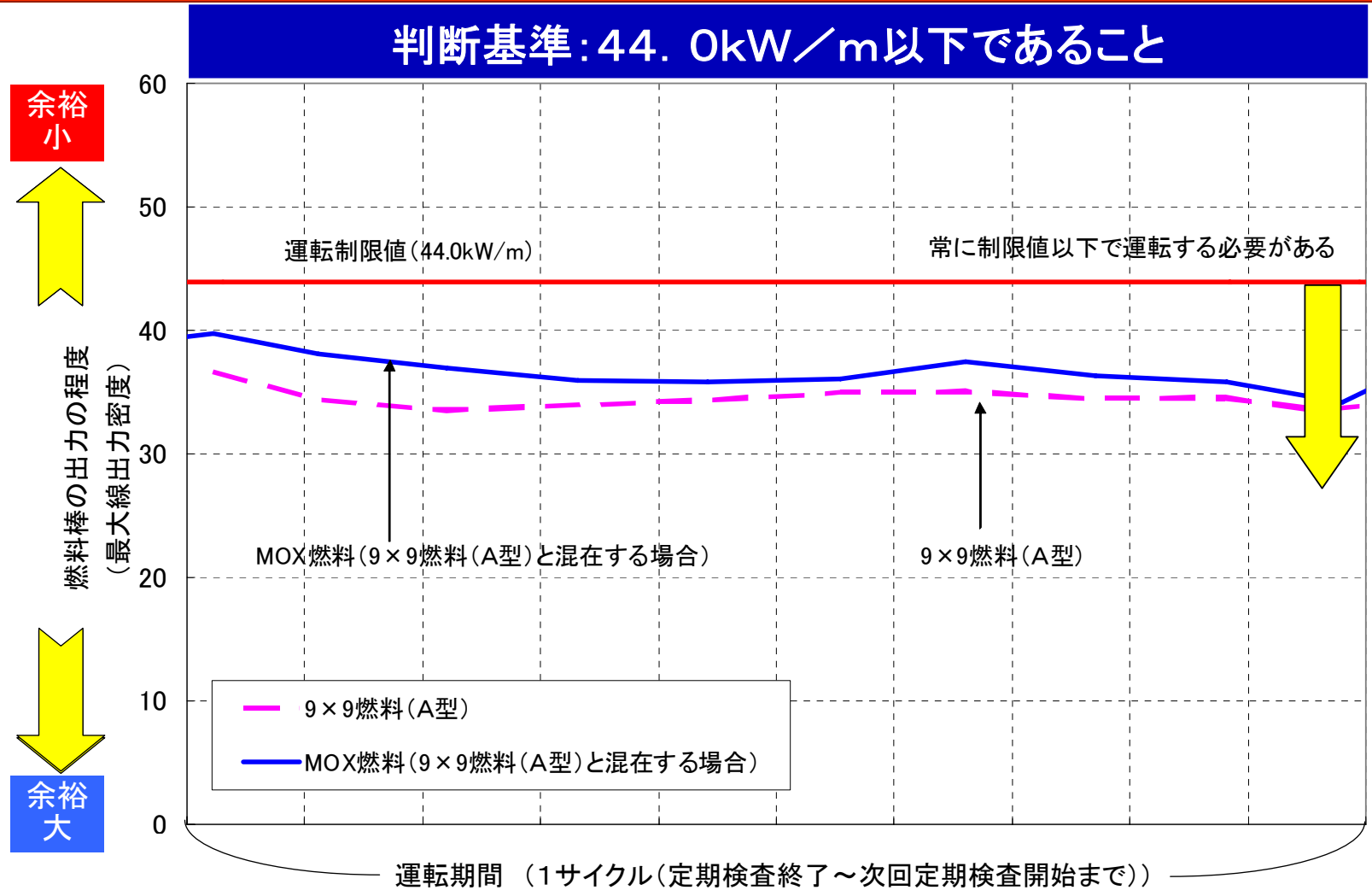
「2.各々の燃料の出力が出すぎたり冷却不足にならないか？」の確認



プルトニウムはウランと比較して核分裂しやすいためプルトニウムが多い部分では出力が大きくなる性質がある。

MOX燃料集合体は、燃料集合体内の燃料棒の配置と、炉心内での燃料集合体の配置を工夫する事で、ウラン燃料集合体と同様の出力特性としている。

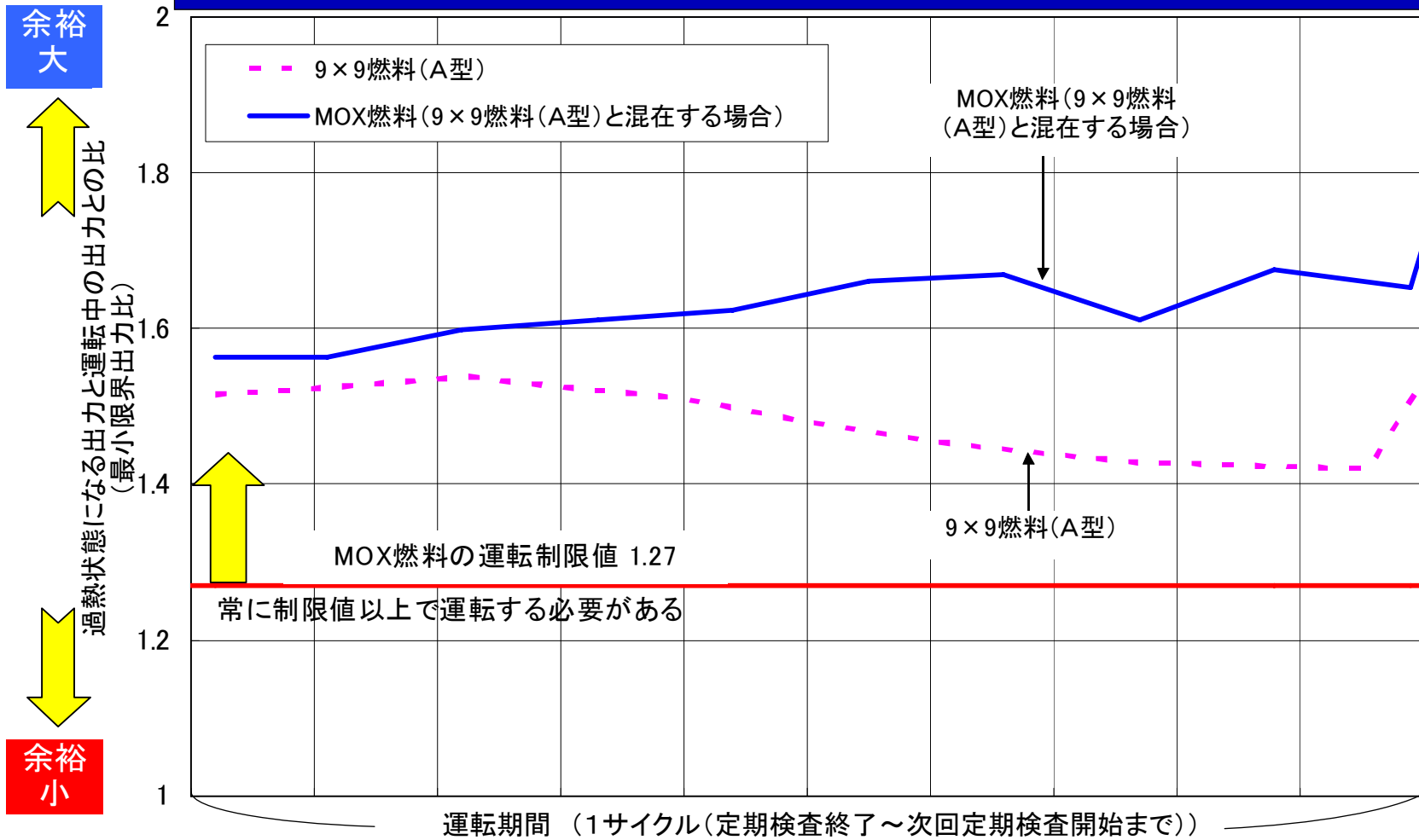
「2.各々の燃料の出力が出すぎたり冷却不足にならないか？」の確認 「燃料棒の出力の程度(最大線出力密度)」の確認結果



確認結果: MOX燃料は燃料棒が9×9燃料より太いため、燃料棒あたりの出力は大きくなるが、炉心内での燃料集合体の配置を工夫することで、判断基準を満足して運転できることを確認している。なお、定期検査時の燃料取替毎に、判断基準を満足していることを確認していく。

「2.各々の燃料の出力が出すぎたり冷却不足にならないか？」の確認 「燃料が冷却不足で過熱状態にならないこと(最小限界出力比)」の確認結果

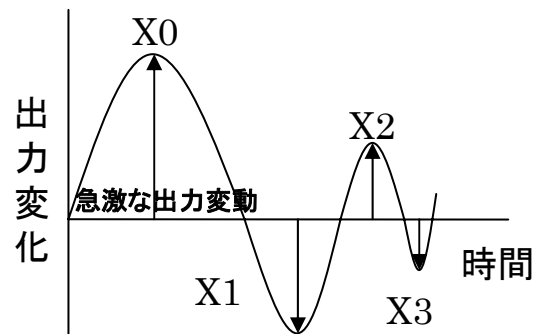
判断基準: 運転制限値を下回らないこと



確認結果: MOX燃料を入れても判断基準に余裕をもって運転できることを確認している。
 なお, 定期検査時の燃料取替毎に, 判断基準を満足していることを確認していく。

「3.出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか？」の確認 「炉心安定性」の確認結果

MOX燃料を装荷した炉心で急激な出力変動が生じた場合に、出力が元に戻るかどうかを確認します。



「出力が元に戻るかどうか」の指標

出力振幅の変化割合(減幅比)

$$= \frac{X2}{X0}$$

判断基準：出力振幅の変化割合が1を超えないこと

		9×9燃料 (A型)	MOX燃料 + 9×9燃料(A型)	判断 基準	結果
炉心 安定性	(最低ポンプ速度 最大出力運転時: 63%出力, 37%流量)	0.60	0.75	1	良

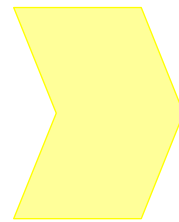
確認結果: 判断基準に対して十分余裕があることを確認した。

なお, MOX燃料炉心は約6秒で, ウラン燃料炉心は約4秒で振幅は半分になる。

「4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？」の確認

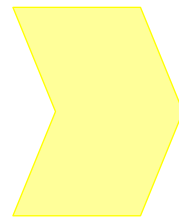
MOX燃料を装荷した炉心の制御棒による原子炉停止能力が十分に確保されているかを確認します。

停止している原子炉の停止状態を維持する機能は十分か



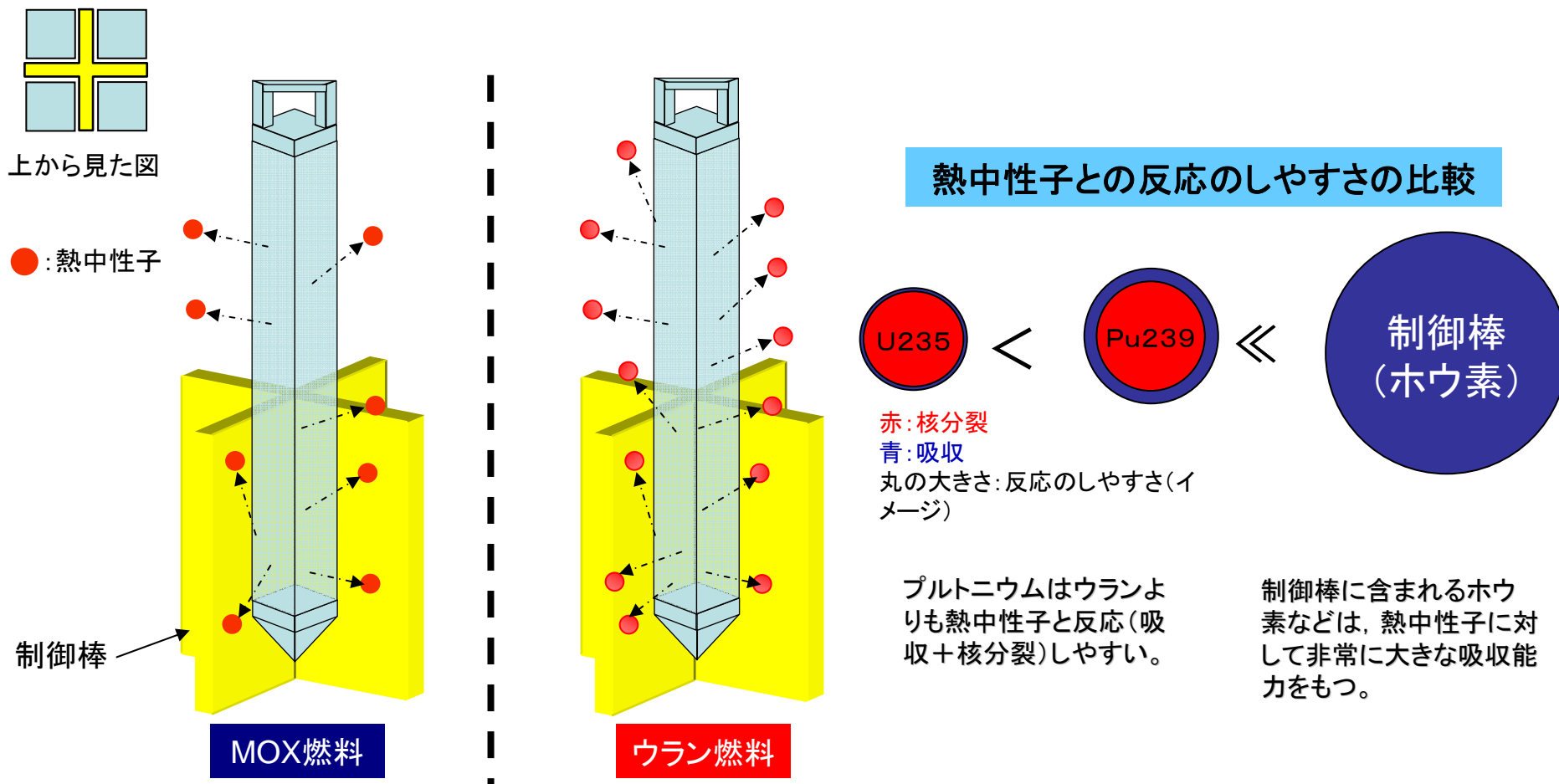
いかなる制御棒1本が挿入できなくても、原子炉を未臨界にするための余裕(原子炉停止余裕)の確認

MOX燃料を装荷した原子炉の緊急停止能力が十分に確保されているか



緊急停止時に、制御棒が原子炉に入った割合に対して停止能力の大きさを示したもの(スクラム反応度曲線)の確認

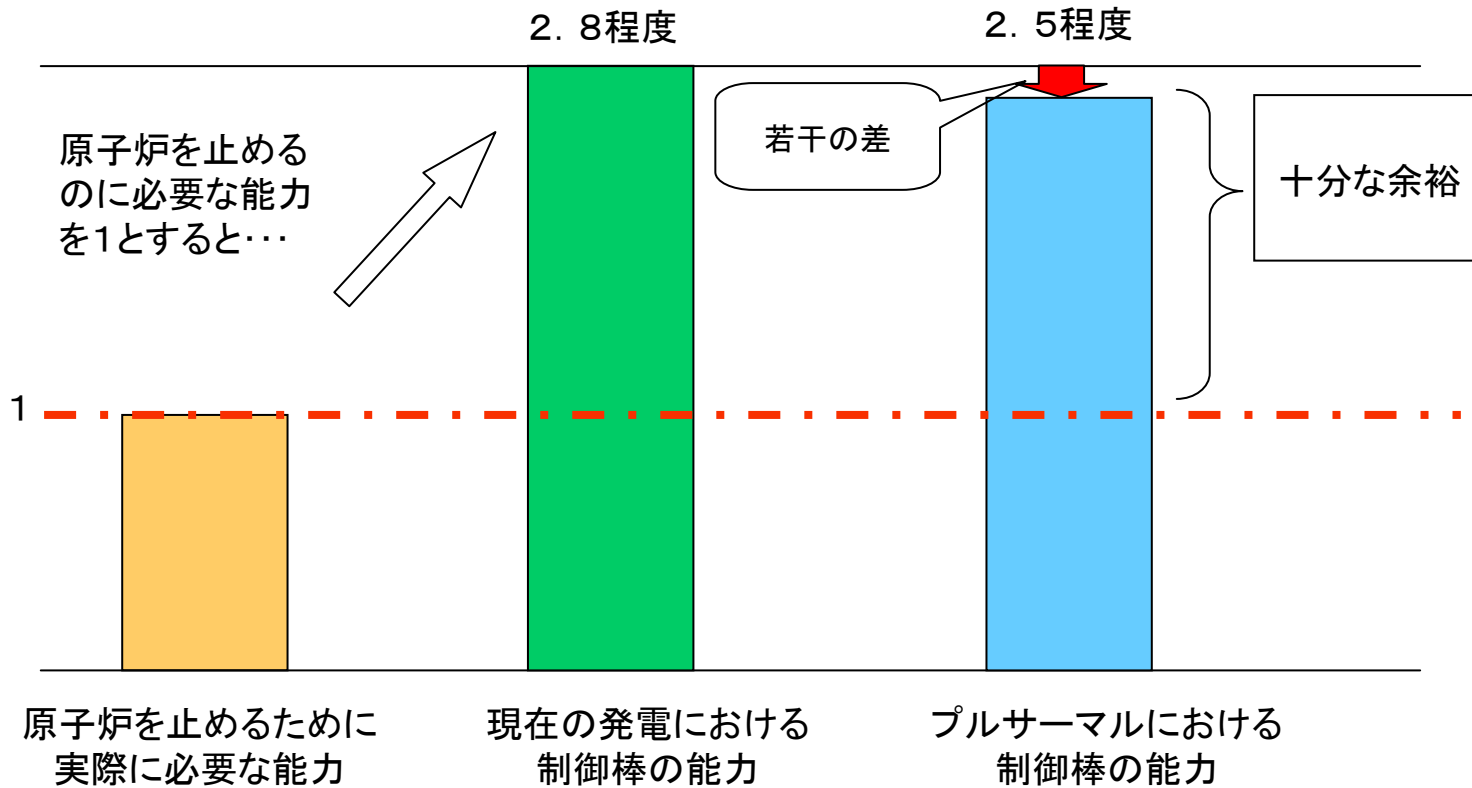
「4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？」の確認 「制御棒能力の変化」のイメージ



プルトニウムはウランに比べて熱中性子を吸収しやすいことから、熱中性子の割合が減少する。

→ 制御棒が吸収できる熱中性子の割合が減少する。

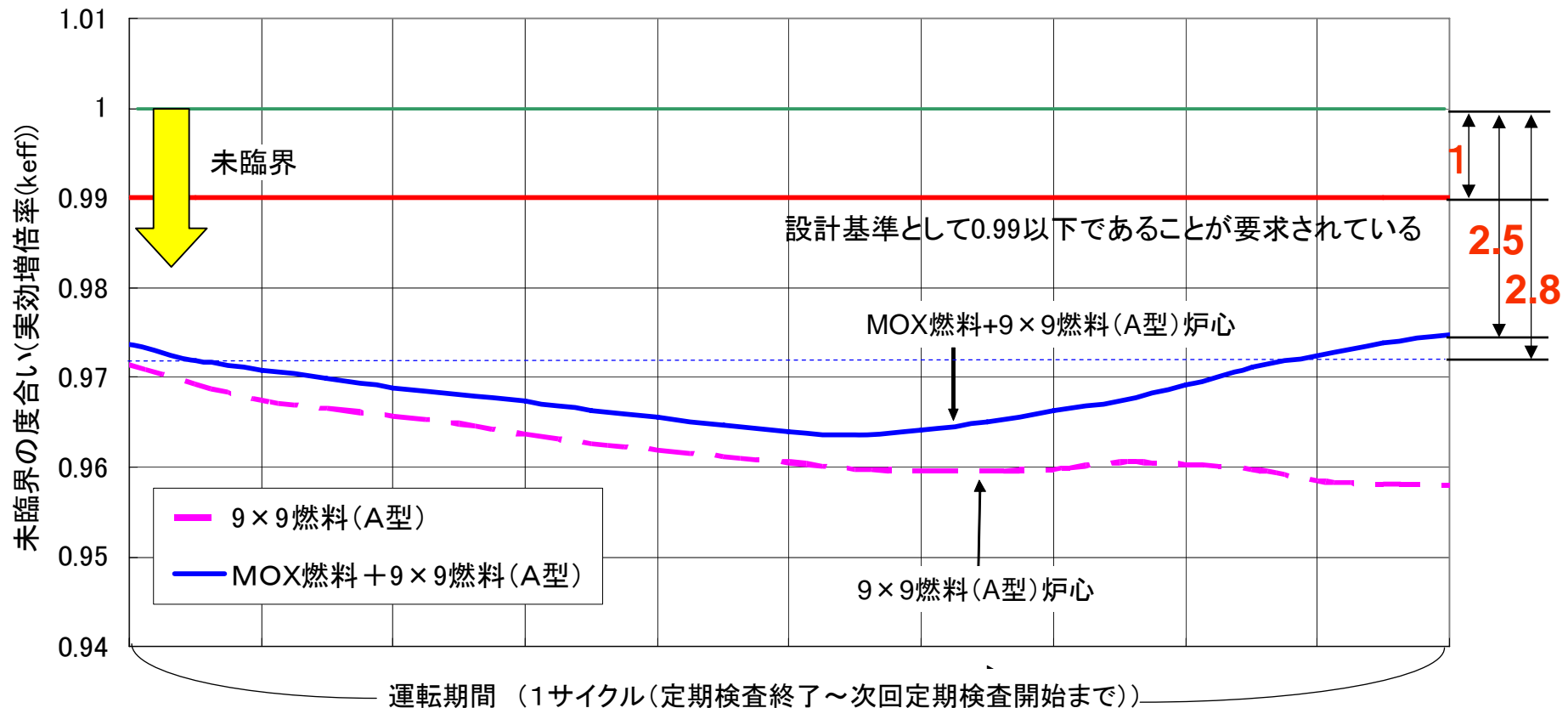
「4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？」の確認 「原子炉停止余裕」の比較(イメージ)



原子炉を停止するために必要な能力には十分な余裕があります。

「4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？」の確認 「原子炉停止余裕」の確認結果

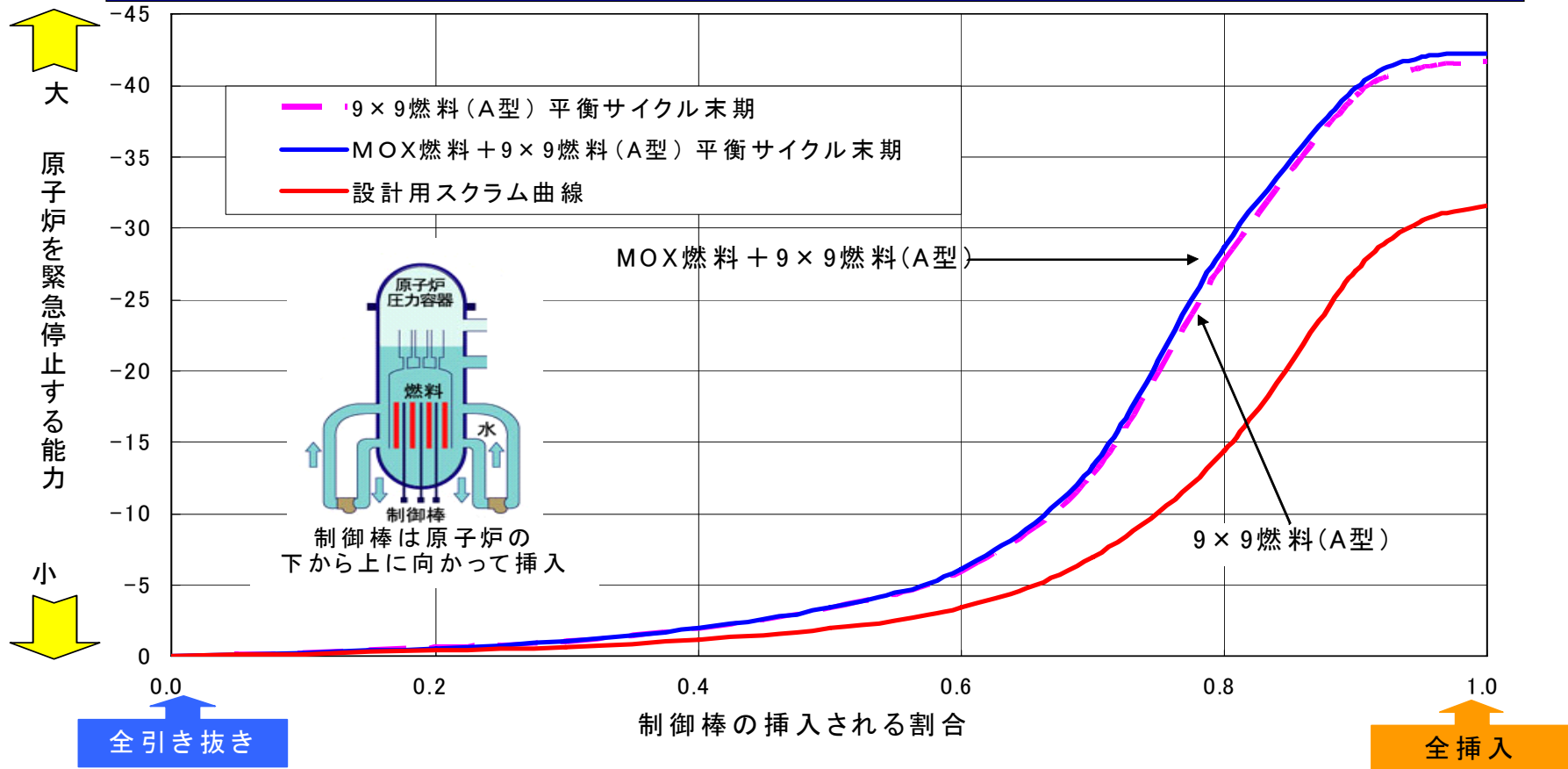
判断基準：未臨界の度合いが0.99以下であること



確認結果：MOX燃料を使用すると制御棒の効きが若干低下するものの、判断基準に対して余裕を持って運転できることを確認した。
なお、定期検査毎に、判断基準を満足していることを確認していく。

「4.制御棒の原子炉を止める能力は十分か？」の確認 「スクラム反応度曲線」の確認結果

判断基準：実際の曲線の方が設計で使用する曲線よりも停止能力が大きいこと



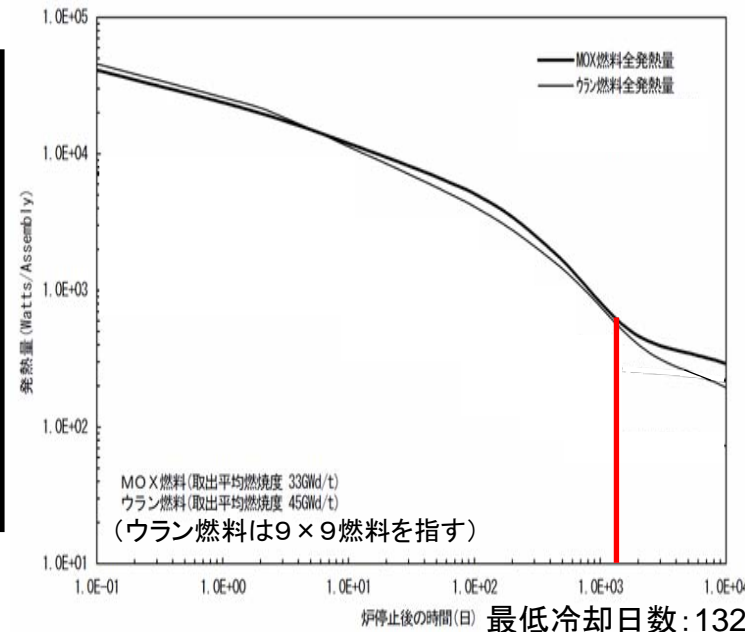
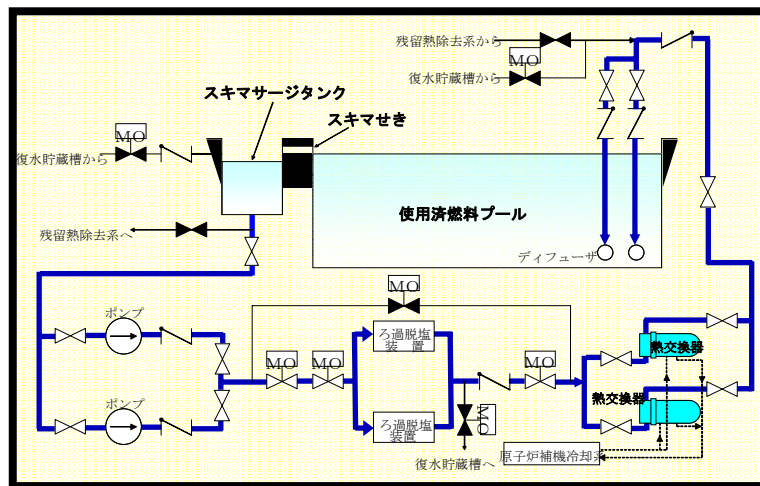
確認結果：MOX燃料を装荷すると制御棒の能力は若干悪くなるが、炉内の熱中性子量も少ないため、制御棒の効きはウラン炉心と同等となり、判断基準を満足する。

「5.MOX燃料の貯蔵や取り扱いが安全に行えるか？」の確認 「燃料プール水温」の確認結果

現行の設備でMOX燃料を使用済み燃料プールに安全に貯蔵できることを確認します。

判断基準【使用済燃料プール水温】

- : 燃料プール内のみの使用済燃料を冷却する場合 52℃を超えない
- : 原子炉および燃料プール内の使用済燃料を冷却する場合 65℃を超えない



「沸騰水型原子力発電所
MOX燃料の貯蔵について」
(株式会社東芝 TLR-068
改訂1 平成11年2月)より
抜粋

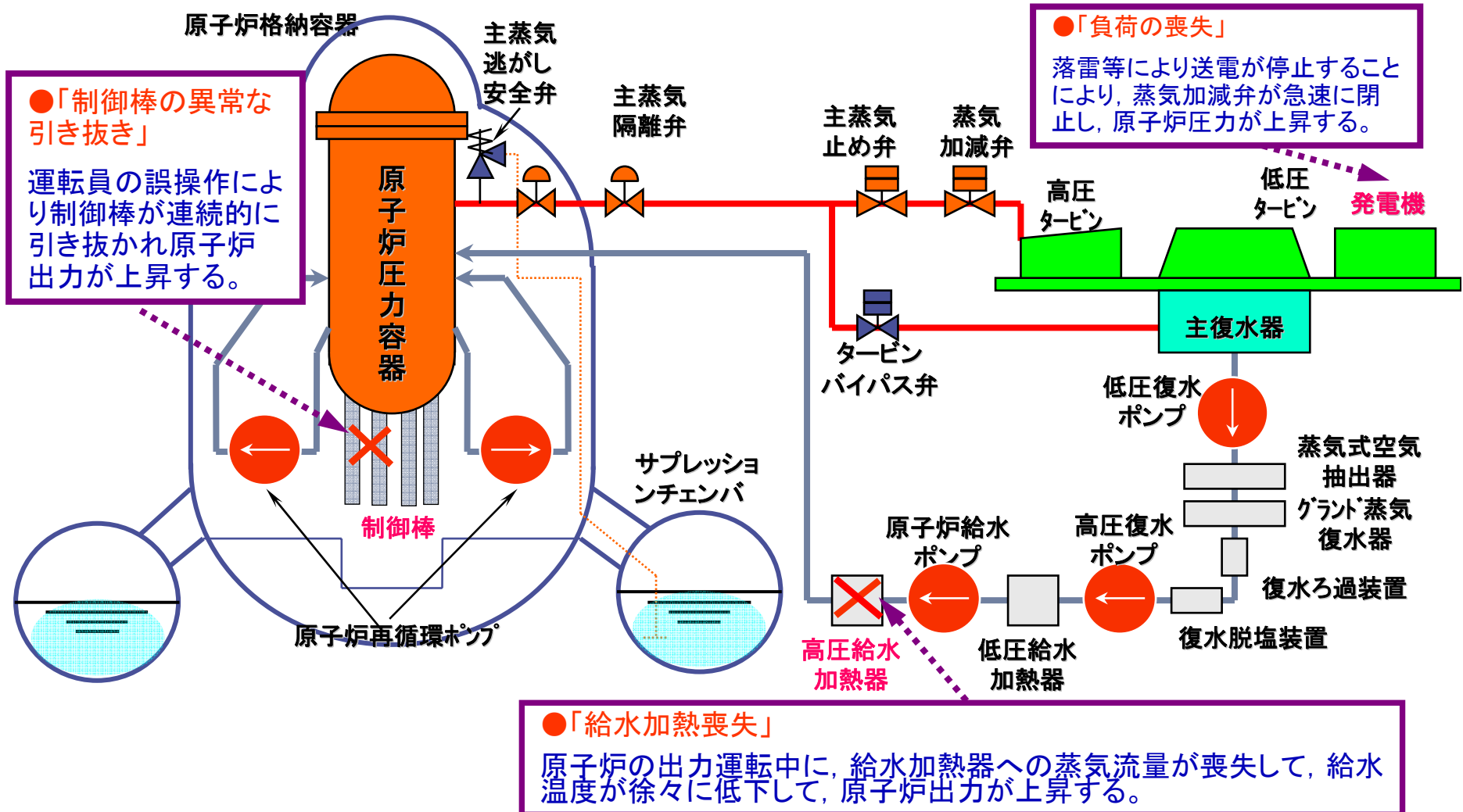
(参考)
現在の使用済み燃料
(高燃焼度8×8燃料)の
管理方法
・原子炉から取り出し後、
最低1320日(約3.6年)
プールにて冷却したのち、
専用の輸送容器に入れて
再処理工場に搬出

MOX燃料はウラン燃料に比べて原子炉での燃焼期間が短いため、原子炉停止直後の崩壊熱は小さいが、半減期の長い核種が多いことから長期的にはウラン燃料よりも崩壊熱が高くなる傾向にある。しかしながら、この差はわずかであることから、現在の冷却設備で十分冷却することができる。

「6.異常が発生した場合に安全は保てるのか？」の確認

「運転時の異常な過渡変化」:

原子炉の運転中に一つの機器の故障や誤動作などにより発生すると予想される事象



「6.異常が発生した場合に安全は保てるのか？」の確認

「運転時の異常な過渡変化」～想定事象～

運転時の異常な過渡変化	
炉心内の反応度又は出力分布の異常な変化	原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き
	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
炉心内の熱発生又は熱除去の異常な変化	原子炉冷却材流量の部分喪失
	原子炉冷却材系の停止ループの誤起動
	外部電源喪失
	給水加熱喪失
	原子炉冷却材流量制御系の誤動作
原子炉冷却材圧力又は原子炉冷却材保有量の異常な変化	負荷の喪失
	主蒸気隔離弁の誤閉止
	給水制御系の故障
	原子炉圧力制御系の故障
	給水流量の全喪失

これらの事象が発生しても、種々の判断基準を満足できることを確認します。

「6.異常が発生した場合に安全は保てるのか？」の確認

「運転時の異常な過渡変化」の確認結果

・MOX燃料を装荷すると、炉内の蒸気の泡が減った場合に核分裂反応を促進する効果(ボイド効果)が強くなるため、原子炉圧力が上昇するような事象では出力が上昇する傾向にある。

評価項目	解析結果	判断基準	結果
燃料が冷却不足で過熱状態になる出力と運転中の出力の比 (最小限界出力比)	9×9燃料(A型): 1.26 9×9燃料(B型): 1.25 MOX燃料: 1.27 (給水加熱喪失)	この解析結果が 運転時の 制限値	—
局所的に発生する単位面積当たりの熱量	約121% (出力運転中の制御棒の異常な引き抜き) (参考:9×9燃料採用時は約121%)	165%以下	良
燃料エンタルピ(熱量)の最大値	約92kJ/kg(22cal/g) (原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き) (参考:9×9燃料採用時は約95kJ/kg)	272kJ/kg (65cal/g)以下	良
原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力の最大値	約8.25 MPa[gage] (負荷の喪失, タービンバイパス弁不作動) (参考:9×9燃料採用時は約8.23MPa[gage])	9.48MPa[gage] 以下	良

確認結果: 女川3号炉では、全制御棒を急速挿入して出力を低下させることができる設計であるため、MOX燃料装荷の影響は現れず、**判断基準を満足する。**

「7.事故を想定した場合にも発電所の健全性は確保できるか？」の確認

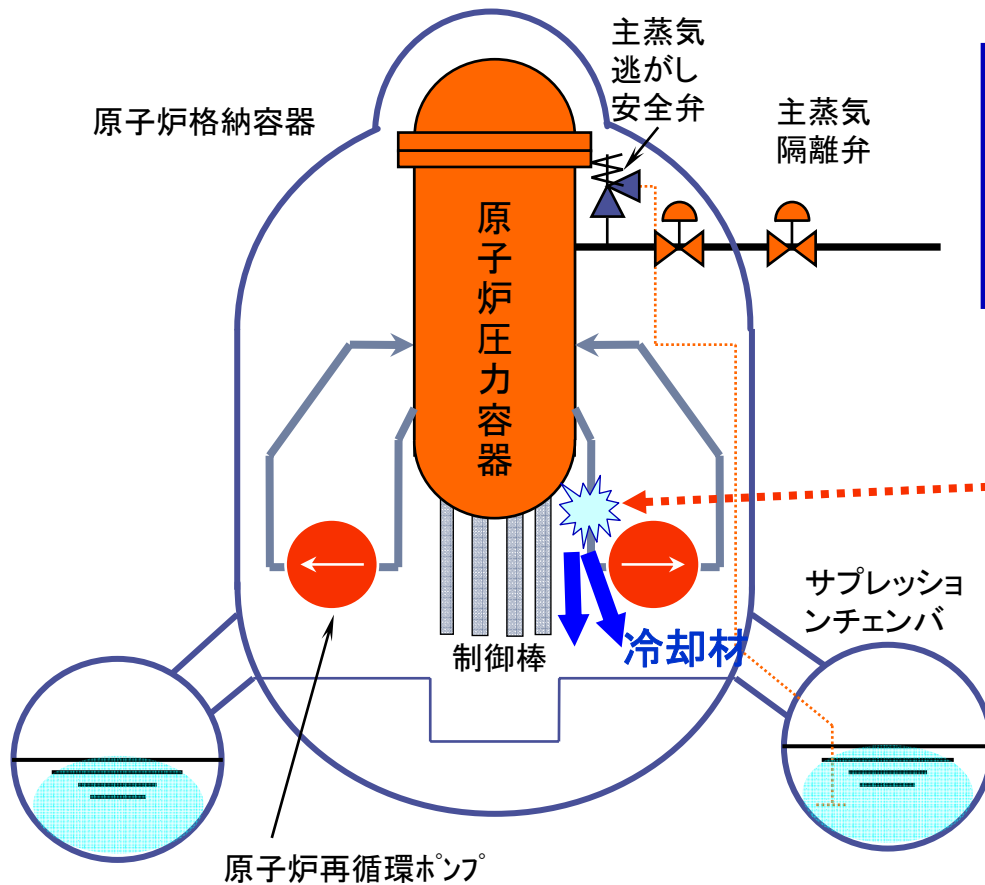
「事故」:

発生する頻度は稀であるが、発生した場合は原子炉施設からの放射性物質の放出の可能性がある事象

事 故		
原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化	原子炉冷却材喪失	
	原子炉冷却材流量の喪失	
	原子炉冷却材ポンプの軸固着	
反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化	制御棒落下	【備考】 本解析のうち、燃料破損による放射性物質の放出影響については「事故時の被ばく評価」で確認する。
原子炉格納容器内圧力、雰囲気等の異常な変化	原子炉冷却材喪失	【備考】 本解析は、燃料タイプに依らない解析である。
	可燃性ガスの発生	

「7.事故を想定した場合にも発電所の健全性は確保できるか？」の確認 「事故」 ～想定事象～

事象の一例として、原子炉冷却材喪失が発生した場合の影響について示します。



事故想定例

炉心の溶融あるいは著しい損傷の恐れがないことを確認するため**原子炉冷却材喪失**を想定している

原子炉冷却材喪失とは

再循環配管が破断し、冷却材が格納容器内に放出され、燃料温度が上昇する。

「7.事故を想定した場合にも発電所の健全性は確保できるか？」の確認 「事故」の確認結果

p23

判断基準：燃料被覆管最高温度が1,200℃以下であること

評価項目		9×9燃料(A型)	MOX燃料	判断基準	結果
炉心損傷 (原子炉冷却材喪失)	燃料被覆管 最高温度(℃)	約625	約564	1,200以下	良

MOX燃料は9×9燃料に比べて燃料棒径が太いことから、燃料被覆管の熱容量(温度上昇に必要な熱量)が大きいため、温度上昇率が小さくなる。

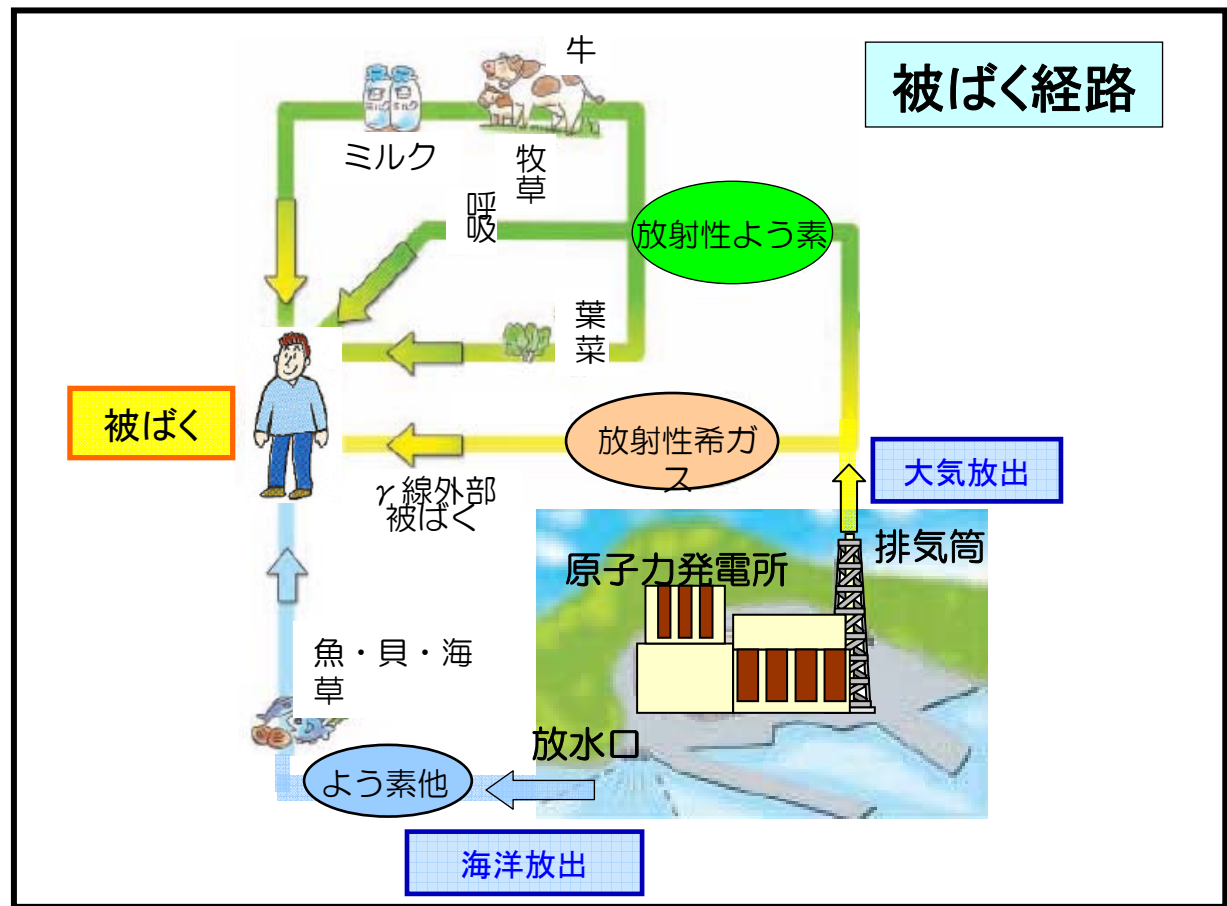
確認結果：判断基準を満足する。

「8.通常運転時，事故時の発電所周辺へ放射線影響は無いか？」の確認 「通常運転時における被ばく量」の確認

通常運転時に発電所より放出される可能性のある放射性物質による影響がないことを確認します。

・ MOX燃料の場合，核分裂により発生する放射性物質の量は若干異なるが，その差は評価手法の保守性の範囲内にあることが指針※に示されている。したがって，放射性物質の放出量は従来と変わらないとして評価を行っている。

・ ICRPの90年勧告では，よう素を摂取した場合の実効線量への換算係数等の見直しが行われ，これを受けて指針も改訂されており，これを用いた評価を行っている。（実効線量への係数は2倍程度）



※発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について(平成7年6月:原子力安全委員会了承)

「8.通常運転時，事故時の発電所周辺へ放射線影響は無いか？」の確認 「通常運転時における被ばく量」の確認結果

判断基準：線量目標値（年間50 μ Sv）以下であること

（単位： μ Sv）

	従来指針による 評価結果 (9×9燃料)	ICRP90年勧告取り 込み後の評価結果		判断 基準	結果
		9×9 燃料	MOX 燃料		
大気放出された空気中の放射性物質 (希ガス)から受ける線量	約11	約11	約11	50	良
海洋放出された液体廃棄物(よう素以 外)から受ける線量	約1	約0.9	約0.9		
大気放出及び海洋放出されたよう素か ら受ける線量	約0.8	約1.7	約1.7		
評価結果の合計	約13	約13	約13		

確認結果：線量目標値に対して十分な余裕があり，判断基準を満足する。

「8.通常運転時，事故時の発電所周辺へ放射線影響は無いか？」の確認 「事故時における被ばく量」の確認

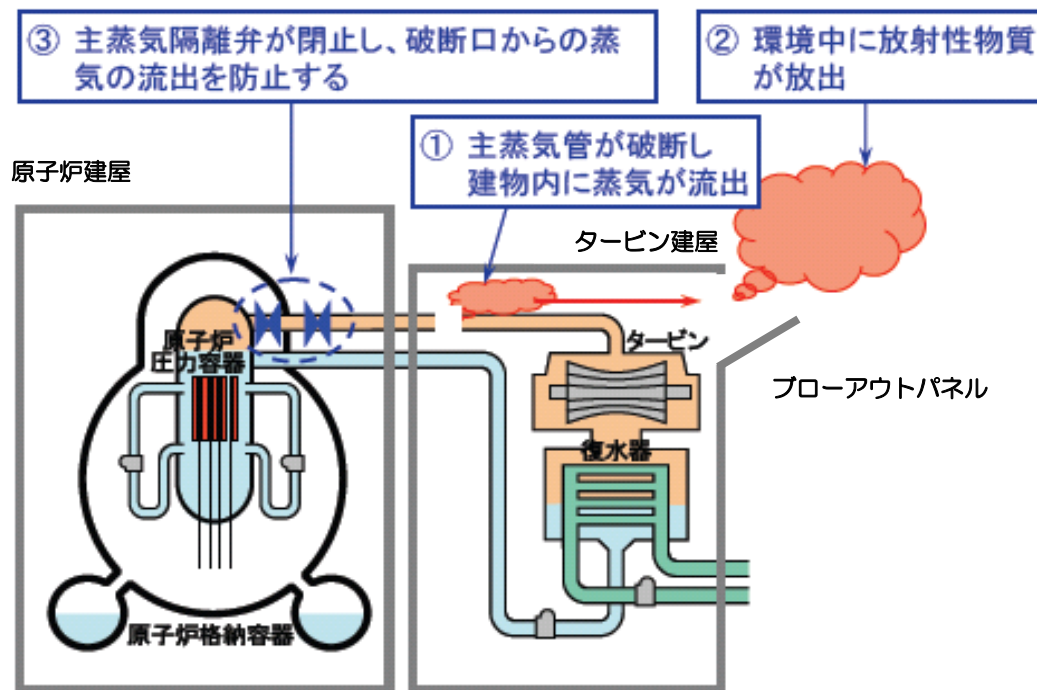
p26

万が一事故が発生した場合でも，放射性物質による影響がないことを確認します。

事故時の被ばく評価用の事象	
環境への放射性物質の異常な放出	気体廃棄物処理施設の破損
	主蒸気管破断
	燃料集合体の落下
	原子炉冷却材喪失
	制御棒落下

「8.通常運転時，事故時の発電所周辺へ放射線影響は無いか？」の確認 「事故時における被ばく量」の確認結果

(例)主蒸気管破断:原子炉格納容器外で主蒸気管が1本瞬時に破断し，原子炉冷却材が流出して，放射性物質が環境に放出される評価事象



**判断基準：
5mSv以下であること**

(参考)
一人あたりが受ける自然放射線
(世界平均): 2.4mSv/年
(日本平均): 1.5mSv/年

(単位:mSv)

	従来指針による評価結果 (9×9燃料)	ICRP90年勧告取り込み後の 評価結果		判断基準	結果
		9×9燃料	MOX燃料		
主蒸気管破断	約0.031	約0.09	約0.09	5以下	良

確認結果: 9×9燃料とMOX燃料は形がほぼ同じであり，事故時の水や蒸気の流出量に差は無いことから放射線量も同じであり，**判断基準を満足する。**

当社は、女川原子力発電所3号炉にMOX燃料を採用しても、国の定める安全基準を満足することを確認しております。

女川原子力発電所3号炉におけるMOX燃料の採用については平成20年11月6日、経済産業大臣へ「原子炉設置変更許可申請」を行い、現在国の厳正な安全審査を受けております。

今後、関係自治体のご指導をいただきますとともに、地域の皆様には十分なお説明を行い、ご理解をいただけるよう誠心誠意努めてまいります。