

女川原子力発電所3号機における プルサーマルの安全審査の概要について

平成21年10月27日
東北電力株式会社

目次

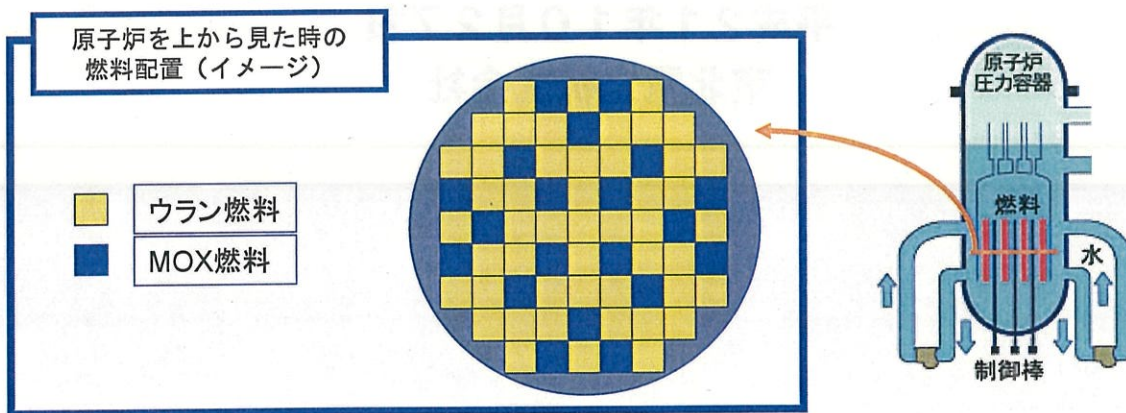
1. プルサーマル計画の概要
2. 安全審査の流れ
 - 2.1 安全設計審査指針への適合性
 - 2.2 安全評価審査指針への適合性
 - 2.2.1 「運転時の異常な過渡変化」について
 - 2.2.2 「事故解析」について
3. まとめ

1. プルサーマル計画の概要

- 女川3号機でMOX燃料を使用します (Mixed OXide)
- MOX燃料のペレット以外の基本的な構造は、ウラン燃料と同じです
- 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) です

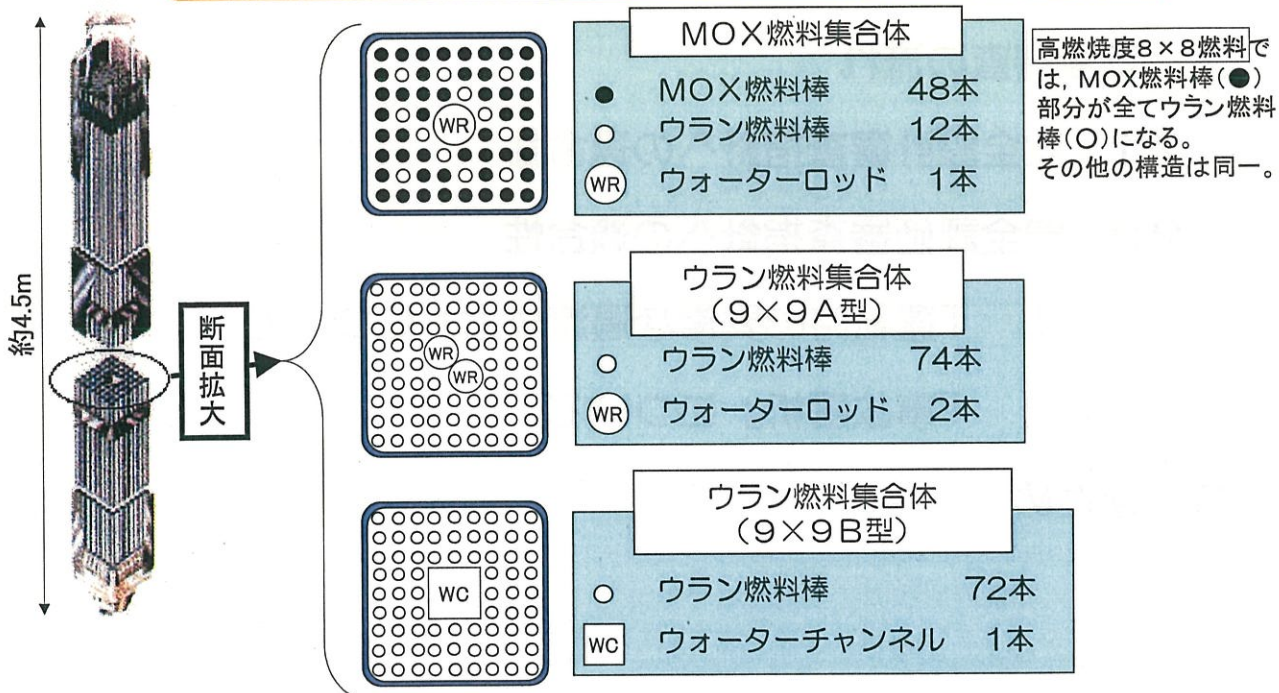
なお、安全設備等の変更はありません。

※「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



MOX燃料 (現在使用しているウラン燃料との比較)

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



MOX燃料 (ペレットの概要)

MOX燃料ペレット

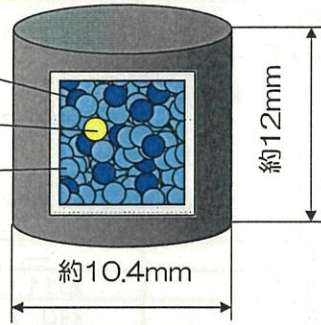
MOX燃料ペレット

初期密度：約95%

プルトニウム

ウラン235

ウラン238

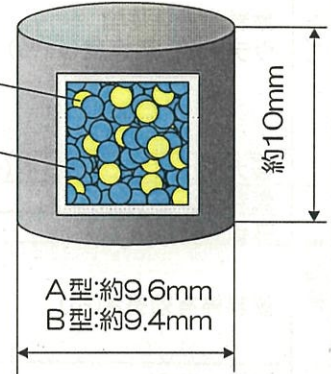


9×9燃料ペレット

初期密度：約97%

ウラン235

ウラン238

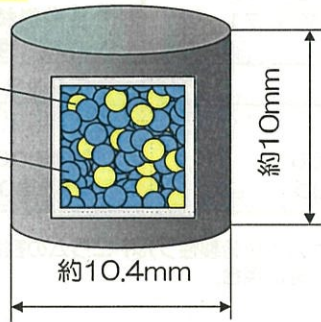


ウラン燃料ペレット

初期密度：約97%

ウラン235

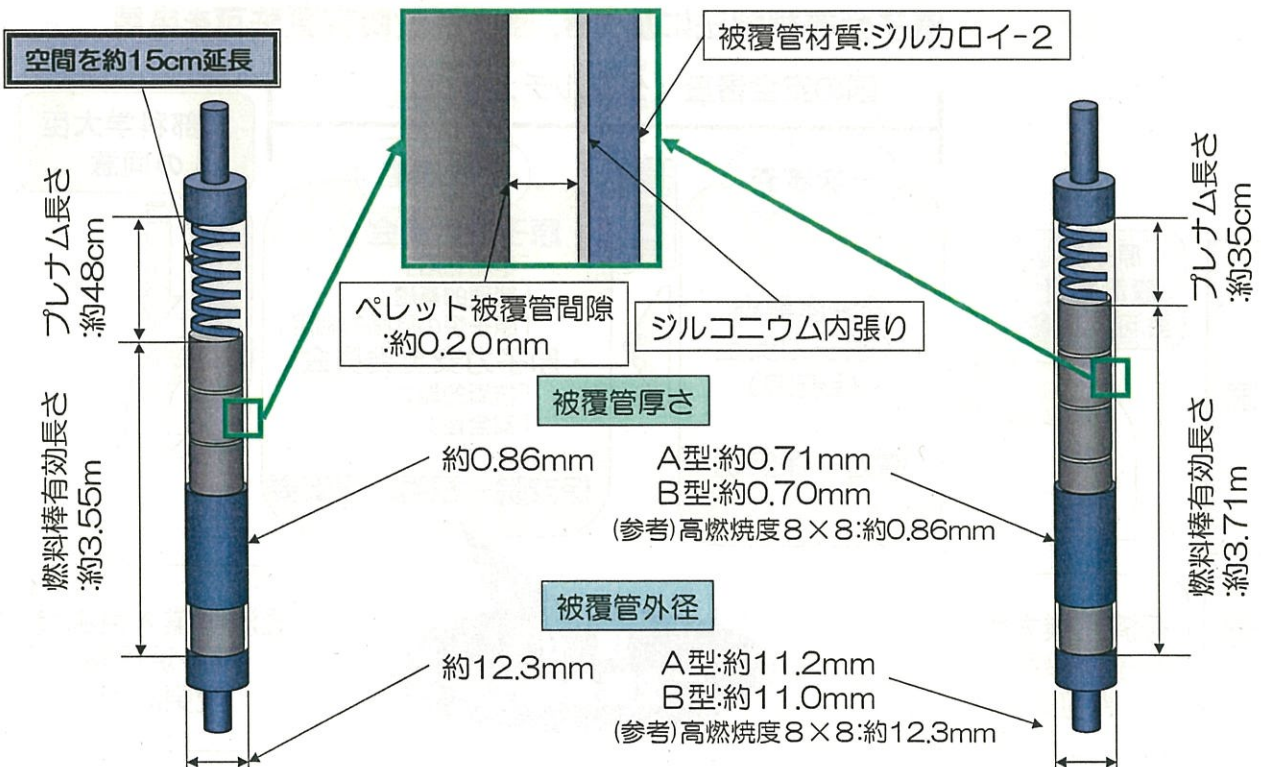
ウラン238



MOX燃料 (燃料棒の概要)

MOX燃料棒

9×9燃料棒



ペレットにPuが含まれる以外、燃料集合体の外観は、これまで十分な実績のある高燃焼度8×8燃料と同じです。

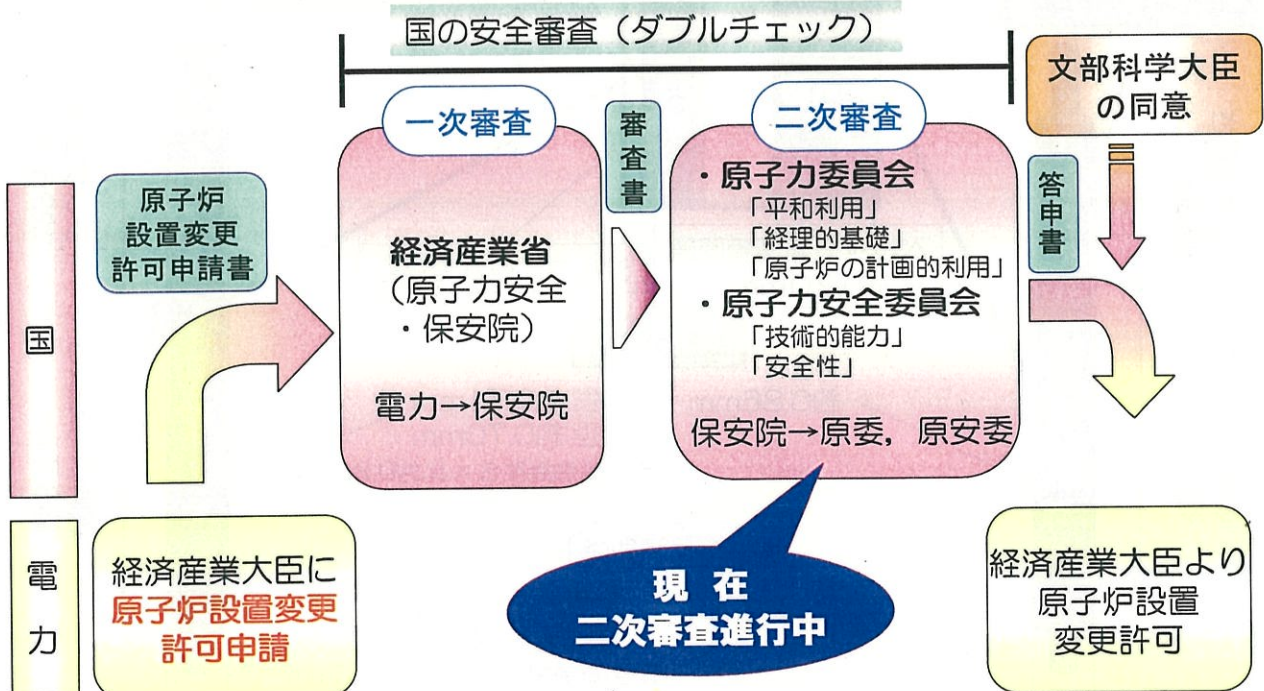
項目	MOX燃料	(参考)9×9燃料	
		(A型)	(B型)
ペレット	ウラン235濃縮度 約3.0相当以下		
	燃料集合体平均 ウラン235濃縮度 (wt%)	約3.7	約3.8
	標準※ ウラン235濃縮度 約1.0~1.2 プルトニウム含有率 約2.9~約5.8	1.0 4.3	
	最大プルトニウム含有率 (wt%)	10以下	—
燃料棒	燃料棒外径 (mm)	約12.3	約11.2
	被覆管厚さ (mm)	約0.86	約0.71
	燃料棒有効長さ (m)	MOX燃料棒: 約3.55 ウラン燃料棒: 約3.71	標準燃料棒 約3.71 部分長燃料棒 約2.16
燃料集合体	燃料棒配列	8×8	9×9
	燃焼度 燃料集合体平均 (MWd/t)	約33,000	約45,000
	燃料集合体最高 (MWd/t)	40,000	55,000

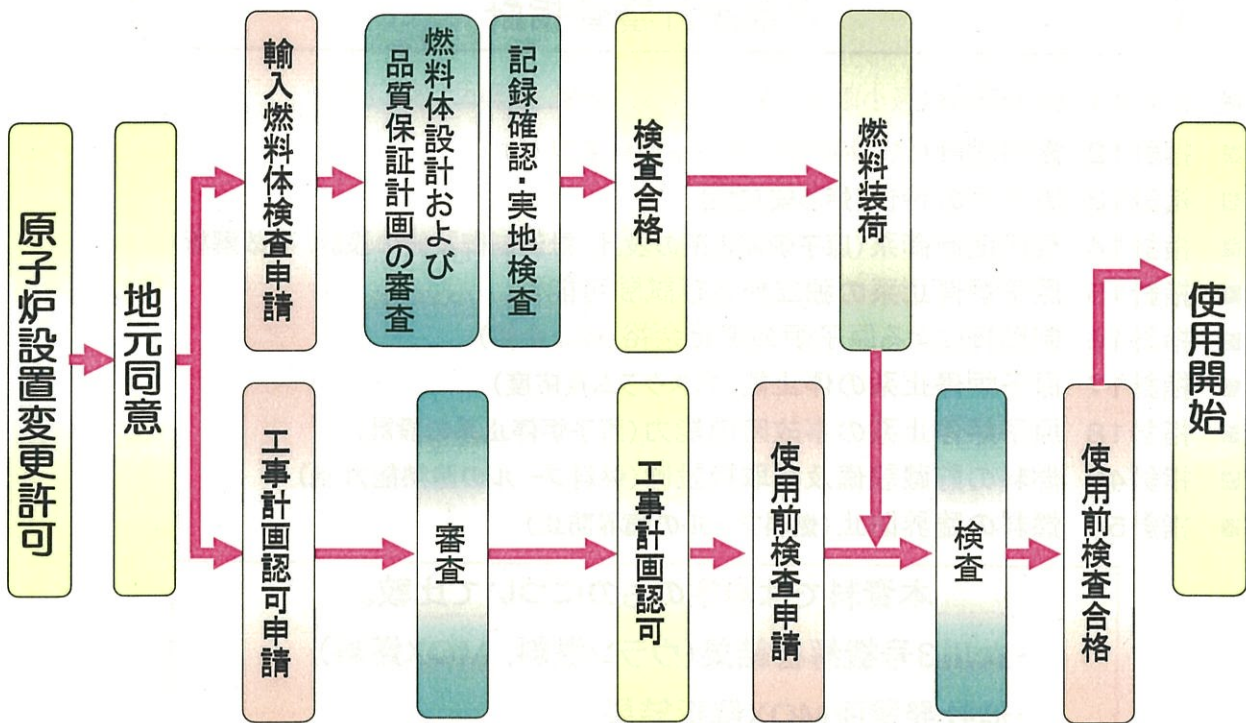
※：原料によってプルトニウムの組成は異なる。原料のプルトニウムの核分裂性プルトニウムの割合が約67wt%，プルトニウムと混合するウラン母材のウラン235濃縮度が約0.2wt%の場合。

2. 安全審査の流れ

原子力燃料及び主要設備の変更

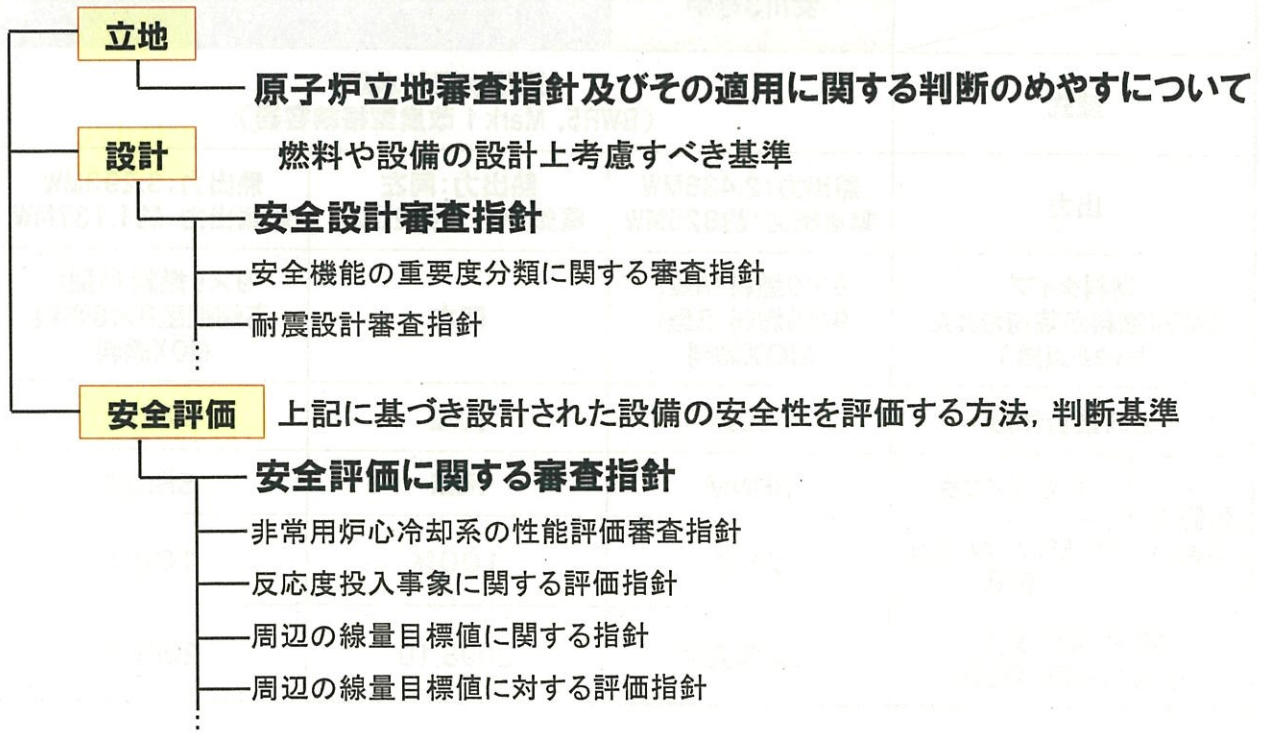
→ 原子炉等規制法に基づき、**原子炉設置変更許可を申請**





安全審査について

安全審査においては、国の指針を満足していることを確認します。



安全設計審査指針

- 指針11 炉心設計(最小限界出力比, 線出力密度, 燃料エンタルピ)
- 指針12 燃料設計(燃料棒内圧, ペレット最高温度 他)
- 指針13 原子炉の特性(炉心安定性)
- 指針14 反応度制御系(原子炉停止系の設計, 計測制御設備の設計, 事故解析)
- 指針15 原子炉停止系の独立性及び試験可能性
- 指針16 制御棒による原子炉の停止余裕(停止余裕)
- 指針17 原子炉停止系の停止能力(スクラム反応度)
- 指針18 原子炉停止系の事故時の能力(原子炉停止系の設計)
- 指針49 燃料の貯蔵設備及び取扱設備(燃料プールの除熱能力 他)
- 指針50 燃料の臨界防止(燃料プールの臨界防止)

本資料では赤字のものについて比較。

- 女川3号機解析結果(ウラン燃料, MOX燃料)
- 他社発電所MOX解析結果

比較対象とした原子炉の概要

		女川3号炉	島根2号炉 (中国電力株)	浜岡4号炉 (中部電力株)
型式		沸騰水型軽水炉 (BWR5, Mark I 改良型格納容器)		
出力		熱出力:2,436MW 電気出力:約825MW	熱出力:同左 電気出力:約820MW	熱出力:3,293MW 電気出力:約1,137MW
燃料タイプ (MOX燃料が装荷された サイクル以降)		9×9燃料(A型) 9×9燃料(B型) MOX燃料	同左	9×9燃料(A型) 高燃焼度8×8燃料 MOX燃料
燃料集合体数		560体	同左	764体
設備上 の違い	中性子モニタ	SRNM	IRM	SRNM
	タービンバイパス弁 容量	25%	100%	100%
MOX燃料採用 設置変更許可時期		二次審査中	2008.10	2007.7

安全設計審査指針

指針11. 炉心設計

1. 炉心は、それに関連する原子炉冷却系，原子炉停止系，計測制御系及び安全保護系の機能とあいまって，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において，燃料の許容設計限界を超えることのない設計であること。

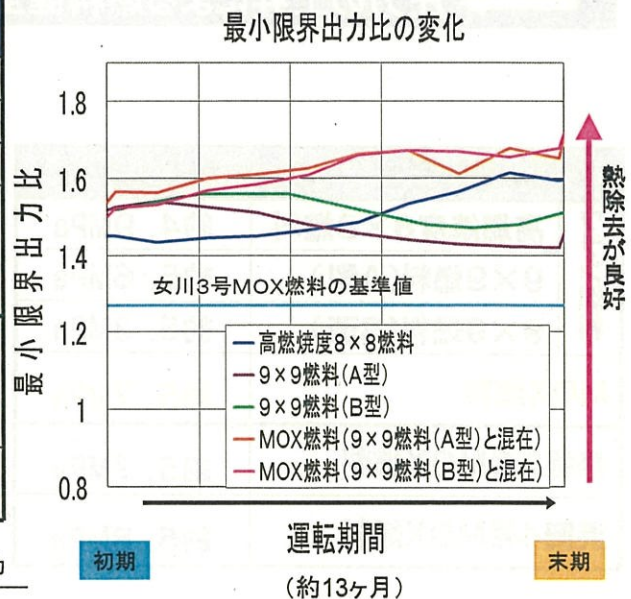
⋮

運転時の異常な過渡変化時でも許容設計限界を満足するように通常運転時の熱的制限値を設定。

通常運転時，常に熱的制限値(最小限界出力比，最大線出力密度)を満足しているかを確認。

- ・燃料の熱除去の程度を表す最小限界出力比※は基準値を下回らない。
 → 燃料棒が冷却不足になることはありません。

燃料型式		最小限界出力比	判断基準
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	1.43	1.23以上
	9×9燃料(A型)	1.42	1.23以上
	9×9燃料(B型)	1.45	1.22以上
MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		1.53	1.27以上
(9×9燃料(B型)混在)		1.50	
島根2号MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		1.54	1.39以上
(9×9燃料(B型)混在)		1.63	
浜岡4号MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		1.61	1.29以上

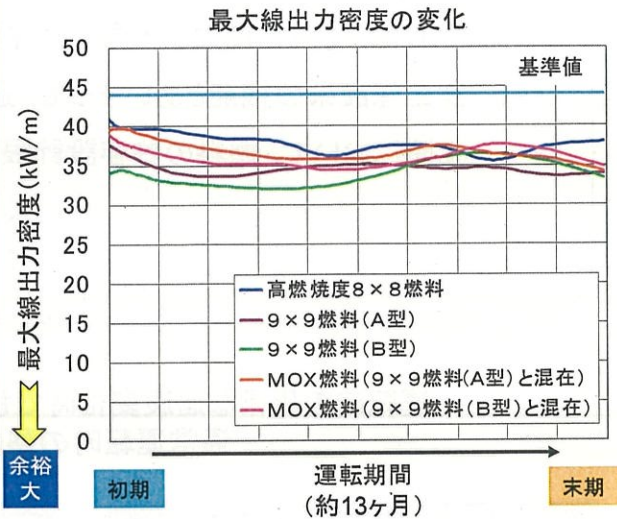


※ 最小限界出力比 = $\frac{\text{燃料が過熱状態で冷却不足になる出力}}{\text{運転出力}}$

燃料の熱除去の程度を表すもので，基準値を下回ると燃料が過熱破損を起こす可能性が高くなる。
 基準値は，運転時の異常な過渡変化時にも燃料が過熱状態にならないよう，十分な余裕をもって設定している。

・燃料棒の出力の程度を表す最大線出力密度※は基準値を上回らない。
 → 燃料棒が過出力状態になることはありません。

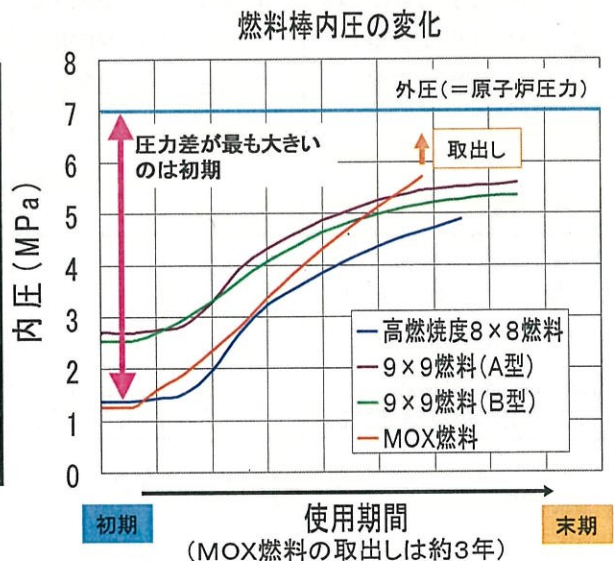
燃料型式		最大線出力密度 (kW/m)	判断基準 (kW/m)
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	41.1	44.0 以下
	9×9燃料(A型)	36.7	
	9×9燃料(B型)	38.0	
MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		39.7	
MOX燃料 (9×9燃料(B型)混在)		39.0	
島根2号MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		39.8	
MOX燃料 (9×9燃料(B型)混在)		39.9	
浜岡4号MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		39.9	



※燃料棒の出力の程度を表すもので、燃料棒の破損を防止する目的で制限する。基準値は、運転時の異常な過渡変化があっても燃料棒の破損に至らないよう、十分な余裕をもって設定している。

・MOX燃料棒内圧は外圧(=原子炉圧力 約7MPa)を超えません。
 → 圧力の上昇による燃料健全性への影響はありません。

燃料型式		内圧(最高値)
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	約4.9MPa
	9×9燃料(A型)	約5.6MPa
	9×9燃料(B型)	約5.3MPa
MOX燃料		約5.7MPa
島根2号MOX燃料		約5.7MPa
浜岡4号MOX燃料		約5.8MPa

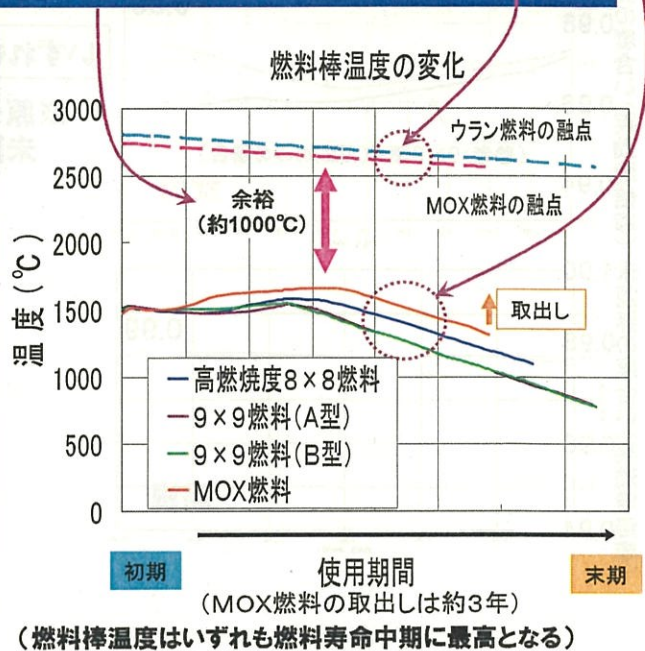


・MOX燃料はウラン燃料よりも融点が下がり、ペレット中心温度が上昇する傾向があります。

・燃料使用期間中、常に1000℃程度の余裕があります。

	融点
ウラン燃料	約2805℃
MOX燃料	約2740℃

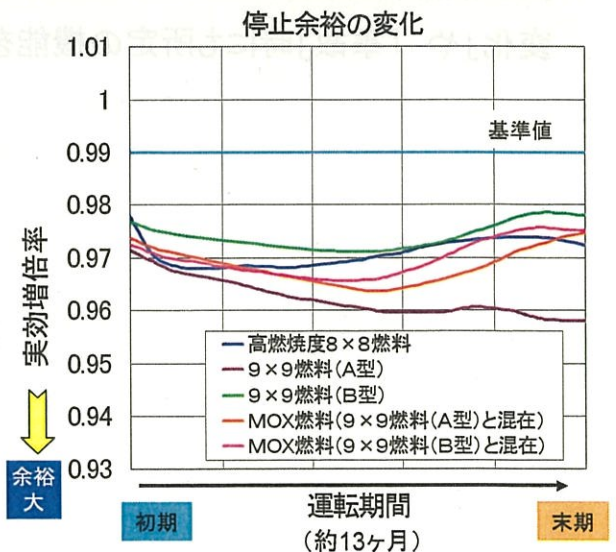
燃料型式		温度(最高値)
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	約1590℃
	9×9燃料(A型)	約1550℃
	9×9燃料(B型)	約1550℃
MOX燃料		約1660℃
島根2号MOX燃料		約1660℃
浜岡4号MOX燃料		約1660℃



実効増倍率※は基準値を超えない。

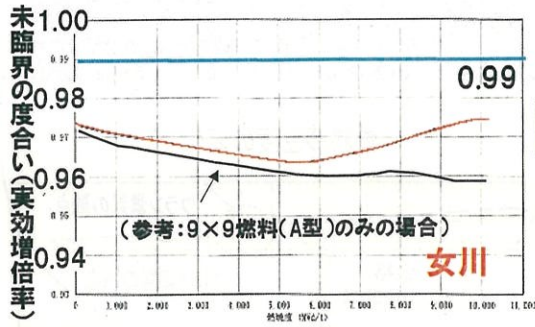
➡ 制御棒が原子炉を制御・停止する能力には十分な余裕があります。

燃料型式		実効増倍率	判断基準
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	0.974	0.99以下
	9×9燃料(A型)	0.972	
	9×9燃料(B型)	0.979	
MOX燃料 (9×9燃料(A型)混在)		0.975	
MOX燃料 (9×9燃料(B型)混在)		0.975	



※原子炉の中で中性子が増加する割合。停止余裕の評価では、全制御棒全挿入状態から、最も効く制御棒1本を引抜いた状態で評価している。

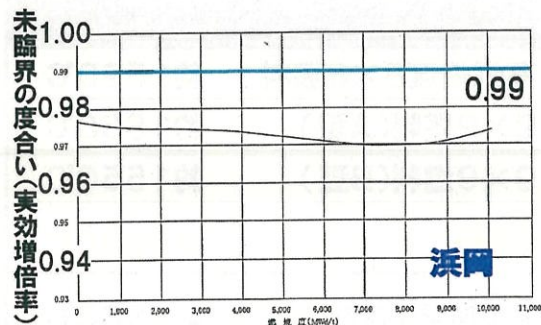
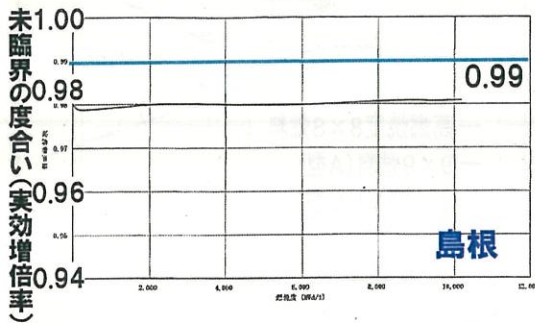
原子炉停止余裕の解析結果の比較



(例)MOX燃料+9×9燃料(A型)炉心の解析結果

いずれも設計基準である0.99以下を満足している。

※原子炉内における燃料の配置が異なるため、未臨界の度合いの変化は一致しない



2.2. 安全評価審査指針への適合性

安全評価に関する審査指針

安全設計審査指針に基づいて設計された設備が、「運転時の異常な過渡変化」や「事故」時にも所定の機能を果たすことを評価、確認します。

2.2.1. 「運転時の異常な過渡変化」について ～想定事象～

p20

運転時の異常な過渡変化（赤字：例示）	
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

これらの事象を仮定しても、安全性が確保される（判断基準を満足できる）ことを確認します。

「運転時の異常な過渡変化」について ～判断基準～

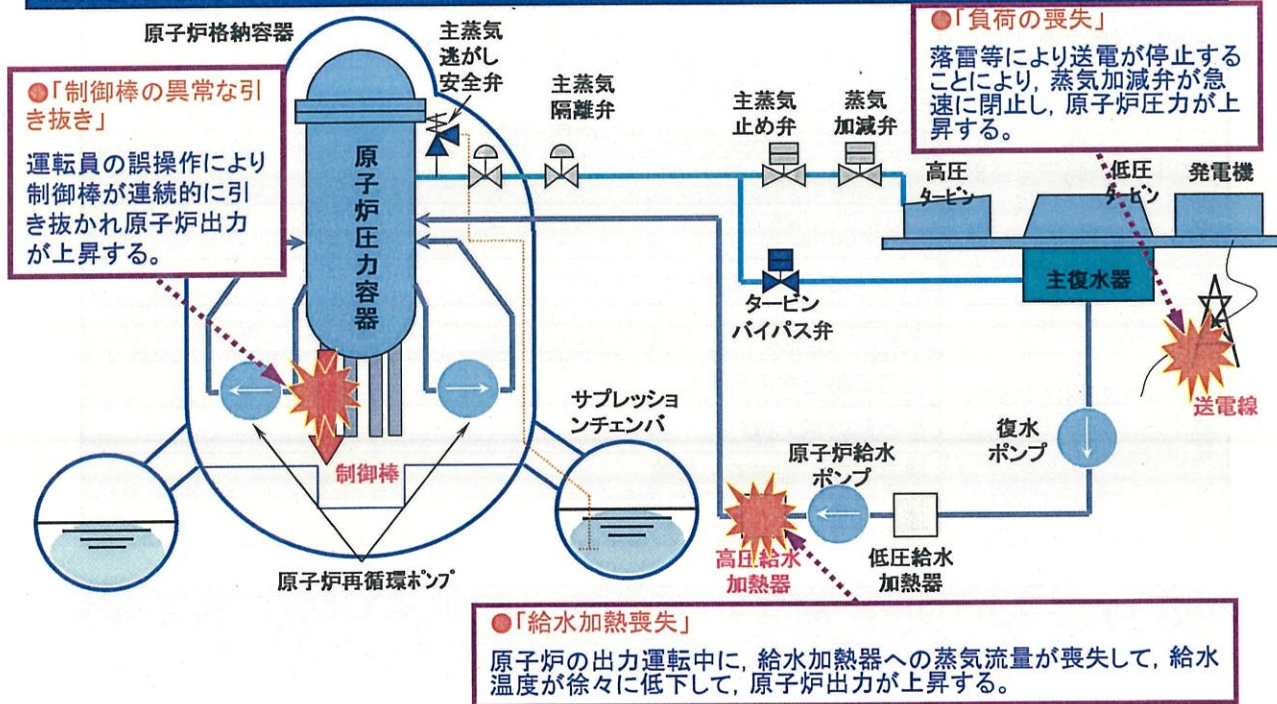
p21

運転時の異常な過渡変化に対する判断基準

- (1) 最小限界出力比が許容限界値以上であること
- (2) 燃料被覆管は機械的に破損しないこと
- (3) 燃料エンタルピは許容限界値以下であること
- (4) 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、最高使用圧力の1.1倍以下であること

「運転時の異常な過渡変化」について ～解析結果の比較～

「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
(合計12事象)



「運転時の異常な過渡変化」について ～解析結果の比較～

局所的に発生する熱量（単位面積当たり）の解析結果

燃料被覆管が機械的に破損しないことを確認するためのパラメータの解析結果の比較

	MOX燃料	9×9燃料		判断基準
		(A型)	(B型)	
女川3号		約121%		165%以下
島根2号		約121%		
浜岡4号		約121%	—	

「出力運転中における制御棒の異常な引き抜き」の解析結果

3基とも全く同じ結果となっている。

「運転時の異常な過渡変化」について ～解析結果の比較～

燃料の冷却状態の悪化度合い（最小限界出力比の変化）の解析結果

p24

女川3号では、「給水加熱喪失」事象において最小限界出力比の変化量が最も大きくなる。（燃料が冷却不足状態となる出力に最も近づく）

	MOX燃料	9×9燃料		判断基準
		(A型)	(B型)	
女川3号	0.18	0.17	0.16	この解析結果を用いて運転時の制限値を設定 ※
島根2号	0.17	0.16	0.16	
浜岡4号	0.18	0.17	—	

「給水加熱喪失」の解析結果

最小限界出力比とは、燃料の熱除去の程度を表すものであり、判断基準を下回ると燃料破損を起こす可能性が高くなる

※島根2号、浜岡4号は「負荷遮断(タービンバイパス弁不作動)」が最も厳しくなる。

- ・送電系異常時にも原子炉の運転を継続できるように、原子炉蒸気全て(女川3号は25%)をタービンバイパス弁により、直接復水器に導ける設計。
- ・タービンバイパス弁不作動を検知後にスクラムする設計のため、時間遅れが生じる。
- ・その分、原子炉圧力が上昇して、原子炉出力が上昇するため、「給水加熱喪失」よりも厳しい結果となる。(島根2号MOX燃料で0.30、浜岡4号MOX燃料で0.20)

「運転時の異常な過渡変化」について ～解析結果の比較～

原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力の最大値の解析結果

p25

	MOX燃料	9×9燃料		判断基準
		(A型)	(B型)	
女川3号	約8.25 MPa [gage]		9.48MPa [gage] 以下	
島根2号	約8.50 MPa [gage]			
浜岡4号	約8.29 MPa [gage]	—		

「負荷の喪失(発電機負荷しゃ断、タービンバイパス弁不作動)」の解析結果

島根2号は女川3号と比べ、原子炉圧力上昇時に蒸気を逃がすための設備である「主蒸気逃がし安全弁」の作動設定圧力が約0.21MPa [gage] 高いため、圧力の最大値も高くなる結果となっている。

「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 (赤字: 例示)	
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

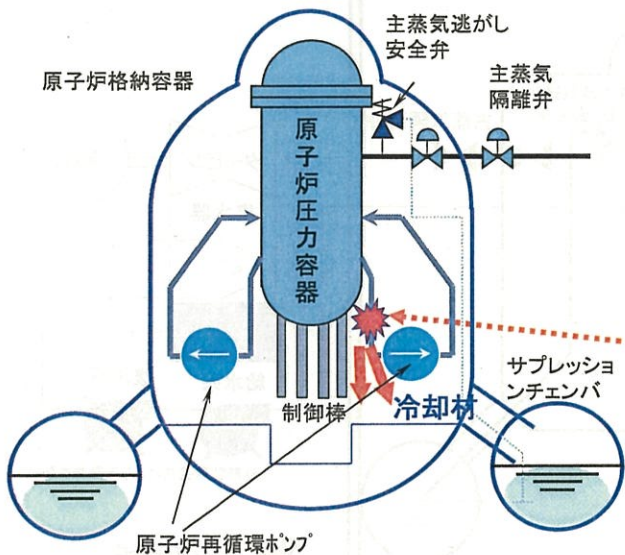
これらの事象を仮定しても、安全が確保される(判断基準を満足できる)ことを確認します。

「事故解析」について ～判断基準～

事故に対する判断基準

- (1) 炉心は著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却が可能であること
- (2) 燃料エンタルピは制限値を超えないこと
- (3) 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、最高使用圧力の1.2倍以下であること
- (4) 原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力は最高使用圧力以下であること
- (5) 周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと

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。



事故想定の例

安全設計により、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、仮想的な事故「**原子炉冷却材喪失**」を想定している。

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。

緊急炉心冷却系(ECCS)が大量の水を注水し、炉心を速やかに冷却する。

「事故解析」について ～原子炉冷却材喪失の過程～

再循環配管の両端破断(破断面積約0.23m²)

原子炉スクラム

【原子炉圧力・保有水量の減少】

主蒸気隔離弁全閉

高圧炉心スプレ~~イ~~系注水開始 (仮定)

【炉心露出】

低圧炉心スプレ~~イ~~系注水開始

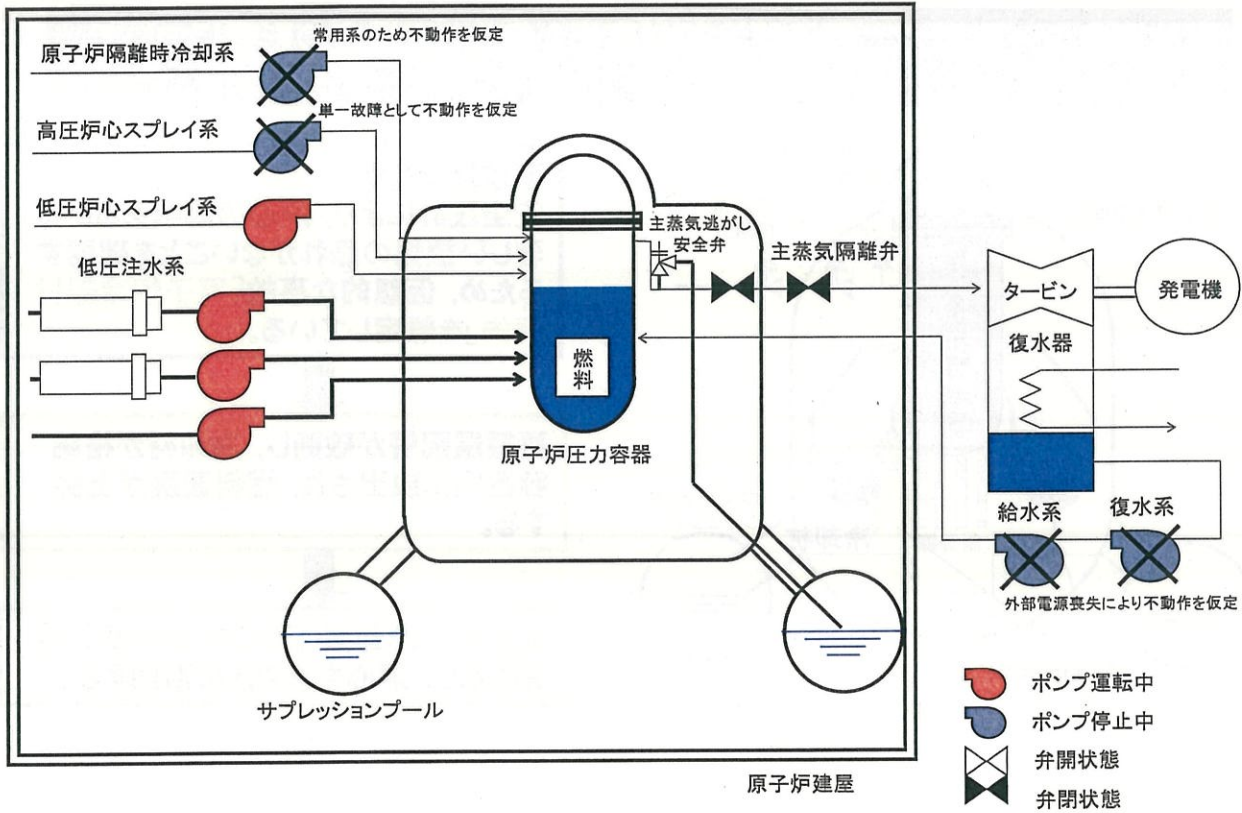
低圧注水系注水開始

【炉心再冠水】

原子炉水位低(レベル3)による原子炉スクラム

原子炉水位低(レベル2)による主蒸気隔離弁全閉及び高圧炉心スプレ~~イ~~系起動

原子炉水位低(レベル1)による低圧炉心スプレ~~イ~~系及び低圧注水系起動



		大破断 (再循環配管両端破断)	判断基準
ウラン燃料	高燃焼度8×8燃料	約501℃	燃料被覆管 表面温度 1,200℃ 以下
	9×9燃料(A型)	約615℃	
	9×9燃料(B型)	約562℃	
MOX燃料		約564℃	
島根2号MOX燃料		約564℃	
浜岡4号MOX燃料		約565℃	

【参考】女川3号MOX燃料初期値:約309℃

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 (赤字：例示)	
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

これらの事象を仮定しても、安全性が確保される(判断基準を満足できる)ことを確認します。

事故に対する判断基準 (再掲)

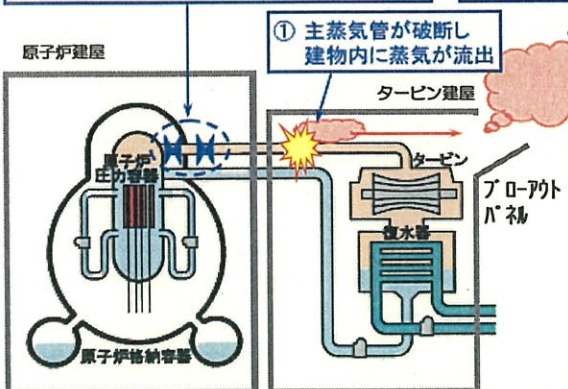
(5) 周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと

主蒸気管破断の解析結果比較

主蒸気管破断

格納容器外で主蒸気管が1本瞬時に破断し冷却材が流出して、放射性物質が環境に放出される事象

- ③ 主蒸気隔離弁が閉止し、破断口からの蒸気の流出を防止する
- ② 環境中に放射性物質が放出



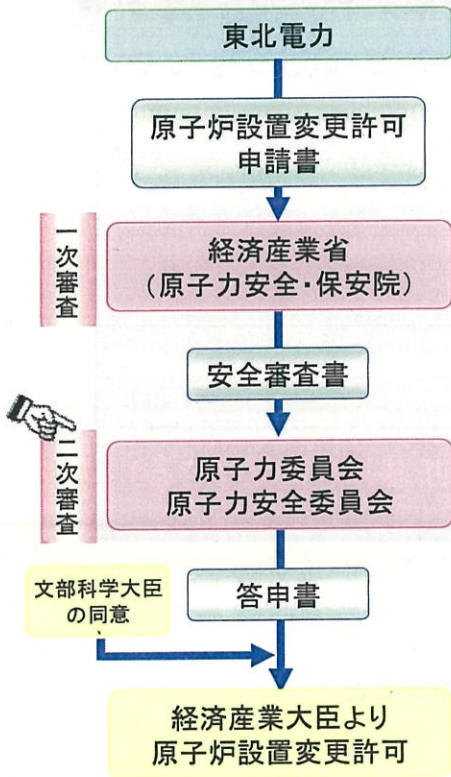
	敷地境界における被ばく量 (mSv)			判断基準
	ICRP1990年 勧告取込前		ICRP1990年 勧告取込後	
	9×9燃料	9×9燃料	MOX燃料	
女川3号	約0.031	約0.090	約0.090	5以下
島根2号	約0.069	約0.072	約0.072	
浜岡4号	約0.027	約0.074	約0.074	

原子炉冷却材浄化系容量の相違により、仮定する冷却材中の放射能濃度は女川3号炉がわずかに高い※。

→ 事故時に冷却材とともに放出される核分裂生成物の量も多くなる評価結果。

※解析では、事故発生前から燃料棒に破損が発生していて冷却材中の放射能濃度が高くなるという、安全側に余裕をとった条件を設定している。但し、実績としては女川原子力発電所の被ばく線量は世界的に見ても大変低い(優れている)。

当社プルサーマルの安全審査進捗状況について



平成20年11月6日 原子炉設置変更許可申請
 (女川3号機の現在の設備を用いてMOX燃料を安全に使用できることを当社が評価。)

平成21年6月10日 原子力安全・保安院より原子力委員会, 原子力安全委員会に諮問
 (保安院が当社の申請内容を確認。)

現在 二次審査中

今後とも、関係自治体および本検討会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。