



玄海原子力発電所3号炉で計画されている
プルサーマルの安全性について

平成17年3月
原子力安全・保安院



目次

プルサーマルとは何か

九州電力の計画

安全規制上の手続き

原子力安全・保安院での安全審査

今後の流れ

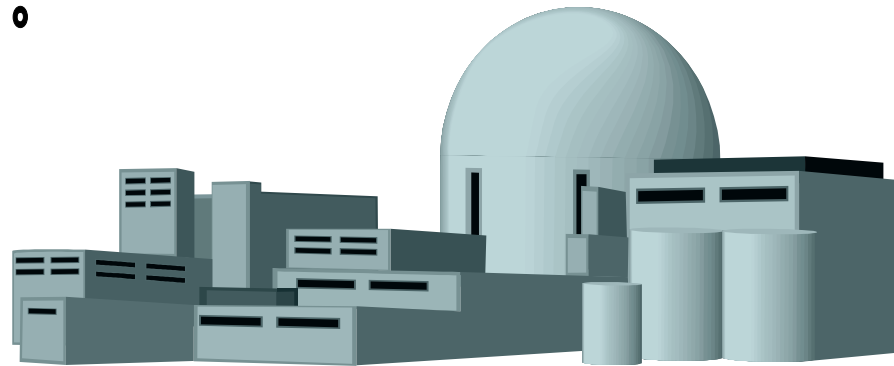


プルサーマルとは何か



プルサーマルとは

プルサーマルとは、現在、ウラン燃料を用いている原子力発電所で、ウラン燃料とともにウランとプルトニウムを混合した燃料を使って発電することです。

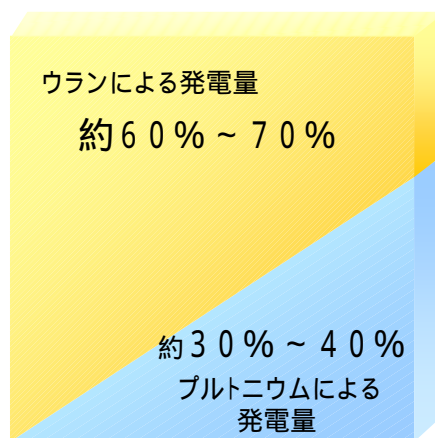


ウランとプルトニウムを混合した燃料をMOX燃料といいます。

今の原子力発電所でもプルトニウムが 発電しています

原子炉の中に入れた
ウラン燃料が燃え始
めると、燃料の中にあ
るウラン238がプルト
ニウムにかわり、ウラ
ン235だけでなく新た
にできたプルトニウム
も核分裂しエネルギー
が発生しています。

ウラン燃料装荷炉心



1 / 4 MOX燃料装荷炉心



炉心に装荷するMOX燃料は1 / 4です



九州電力の計画

プルサーマル計画の概要

(原子炉設置変更許可申請の内容)

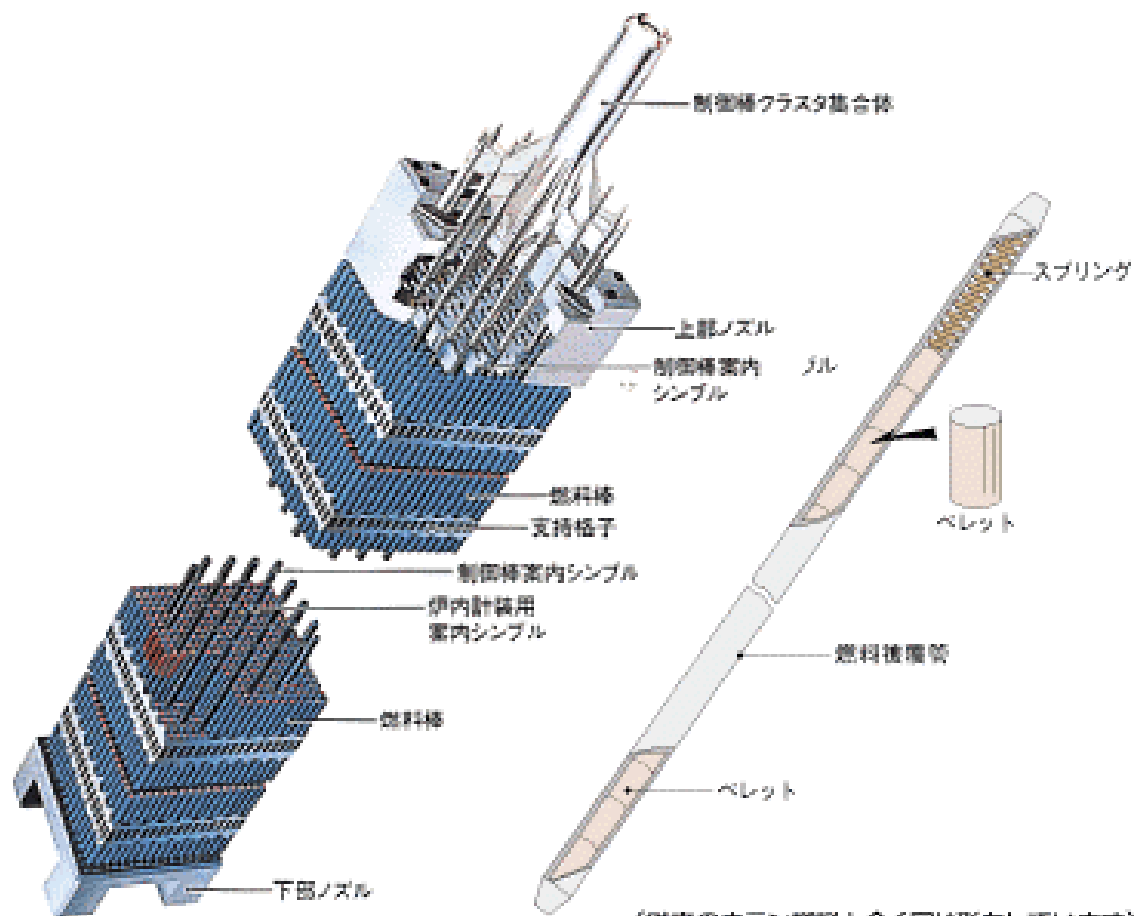
- 申請年月日 平成16年5月28日
- 対象発電所 玄海原子力発電所3号炉
- 定格電気出力 118万kW
- 燃料集合体の数 193体
 - うちMOX燃料の数 (最大)48体
 - MOX燃料の割合 約 1 / 4
- プルトニウム含有率 約11wt%以下
- MOX燃料集合体最高燃焼度 45,000MWd/t

プルトニウム含有率 : 燃料内でのプルトニウムの量を示す指標

核分裂性プルトニウム富化度 : 燃料内での核分裂性プルトニウムの量を示す指標

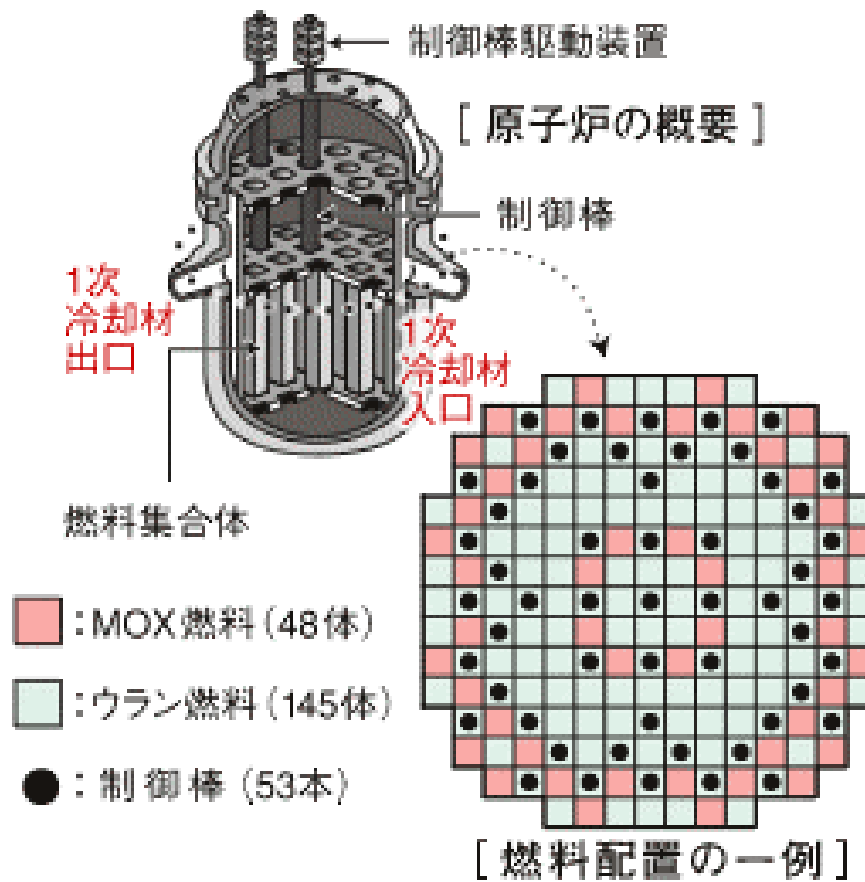
核分裂性プルトニウム割合 : 燃料に含まれるプルトニウムの内、核分裂性プルトニウムの割合

MOX燃料の外観



(従来のウラン燃料と全く同じ形をしています)

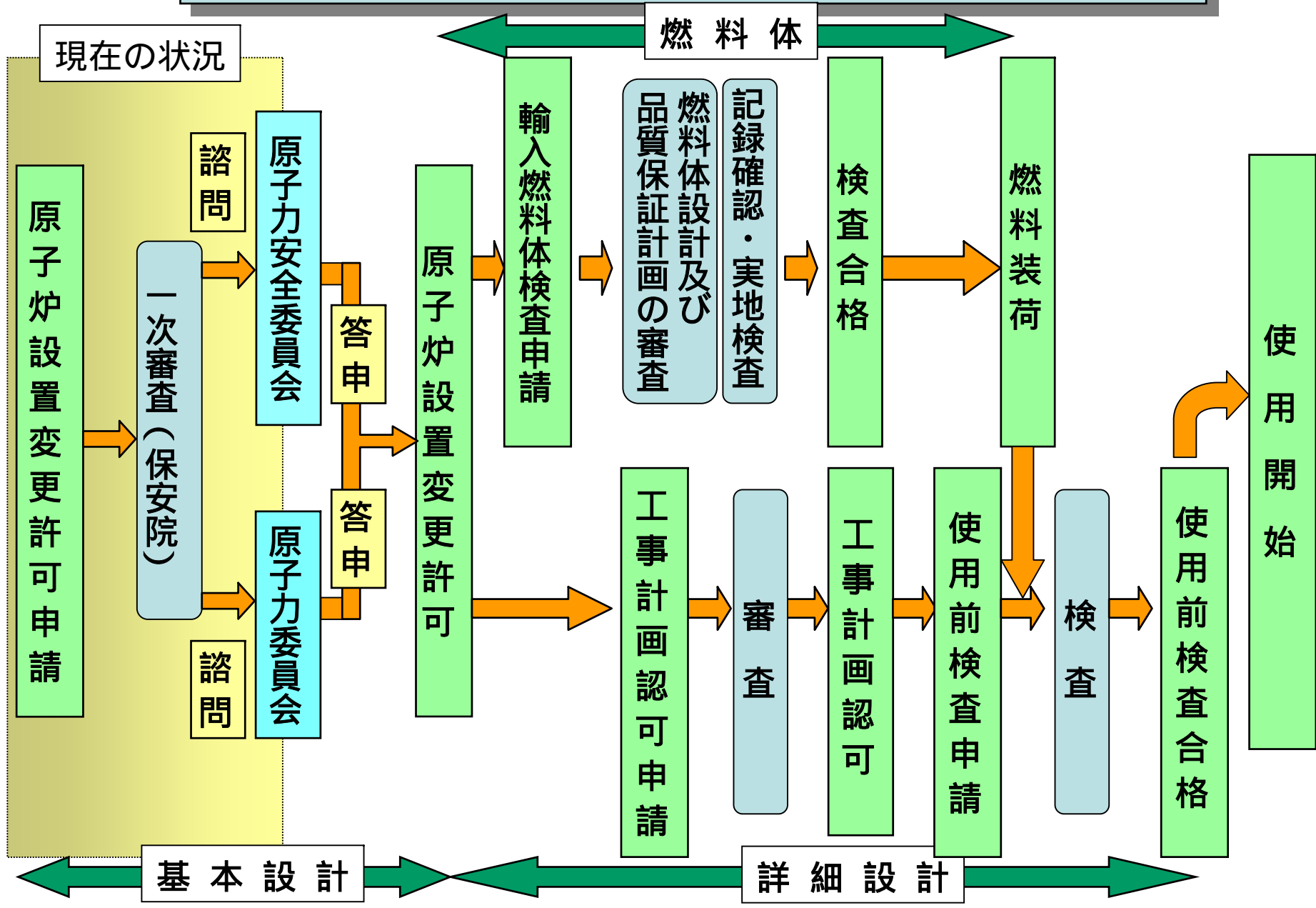
MOX燃料の配置例





安全規制上の手続き

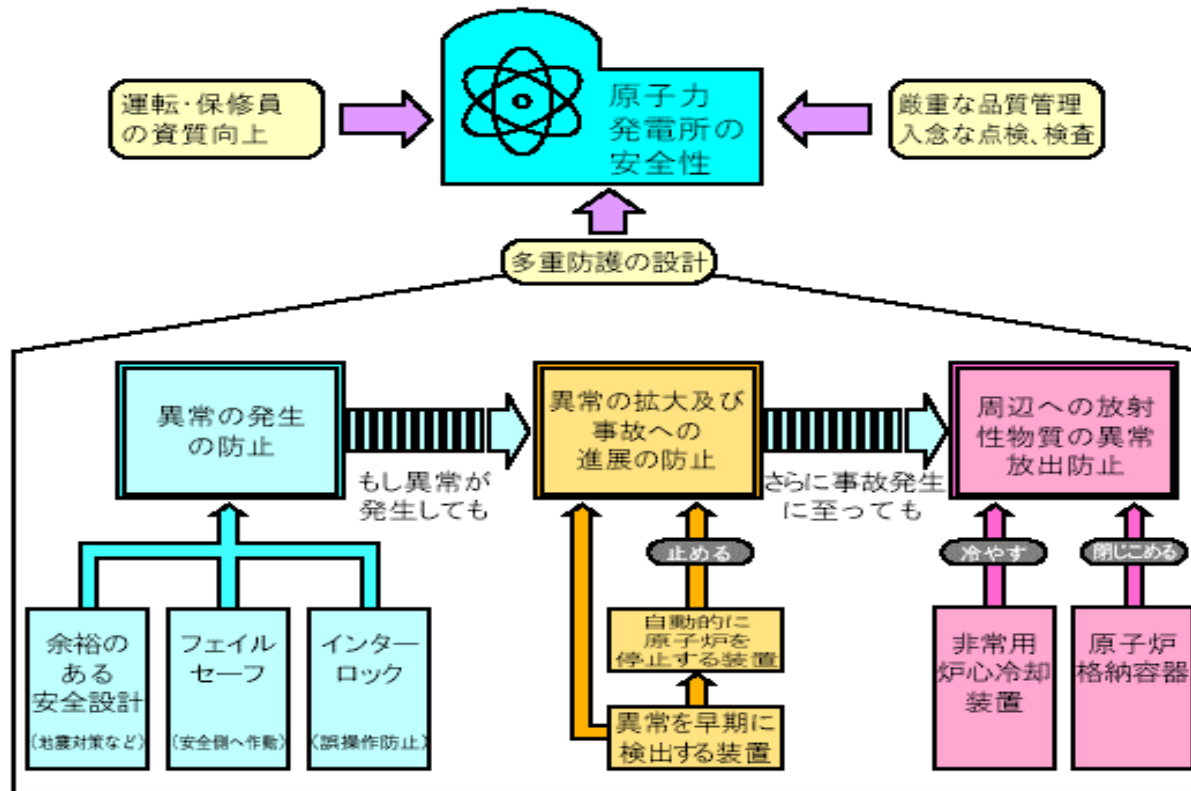
MOX燃料に係る安全規制の流れ





原子力安全・保安院での 安全審査

安全性を判断する基本的考え方



「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」という安全確保の基本を念頭に多重防護の考え方を取り入れ安全が確保されるかを確認する。



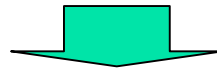
プルサーマルで考慮すべき事項(例)

- 原子炉を停止するための制御棒の効きなどに影響を与える。
- 出力が変動した時、原子炉出力を元に戻そうとする作用が大きくなる。
- 燃料毎の出力の差が大きくなる。
- 燃料棒内でのガスの発生が多くなる。
- 燃料ペレットの融点が低くなる。



原子炉を停止するのに必要な 制御棒の効きなどに影響を与える

MOX燃料は熱中性子の吸収が
ウラン燃料に比べて大きい



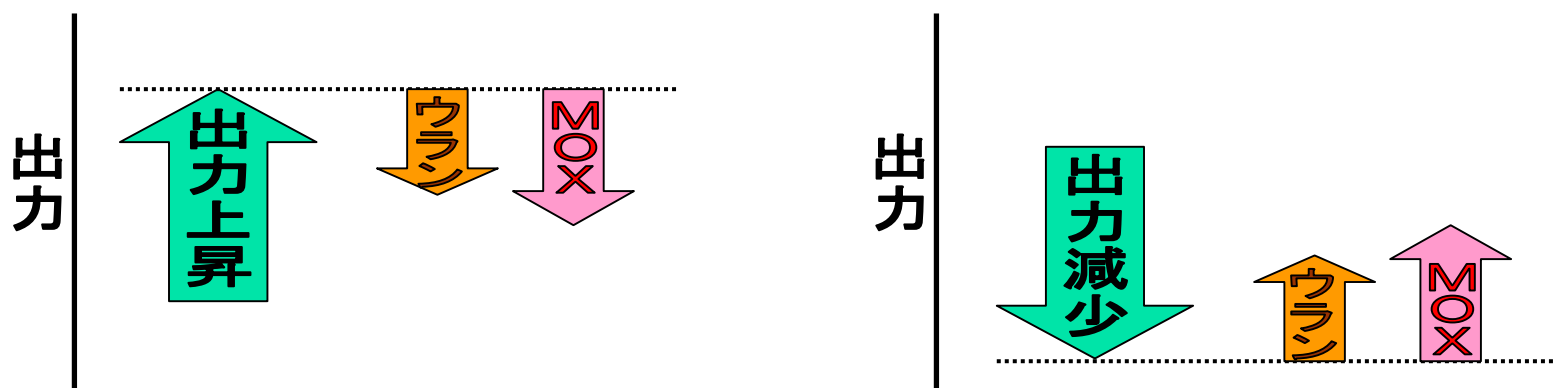
熱中性子の割合がウラン燃料に
比べて少ない



- (1) 制御棒の効きが低下する傾向
- (2) ほう素の効きが低下する傾向

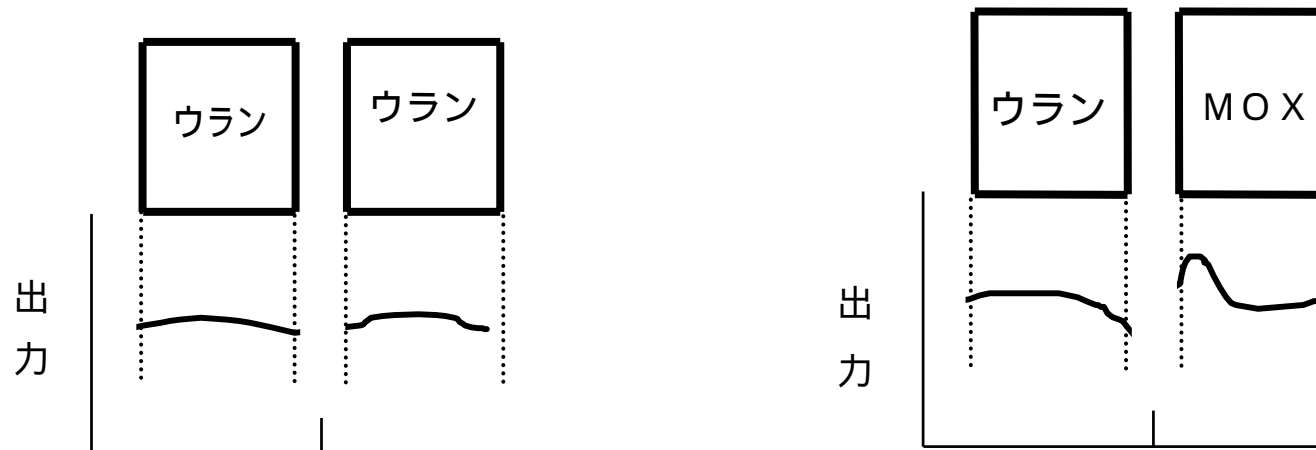
出力が変動した時、原子炉出力を元に戻そうとする作用が大きくなる

何らかの要因で出力が大きくなった場合、原子炉は出力を下げようと応答します。一方、逆の場合は原子炉の出力が上がる応答をします。プルトニウムの量が多くなると原子炉出力を元に戻そうとする作用が大きくなります。



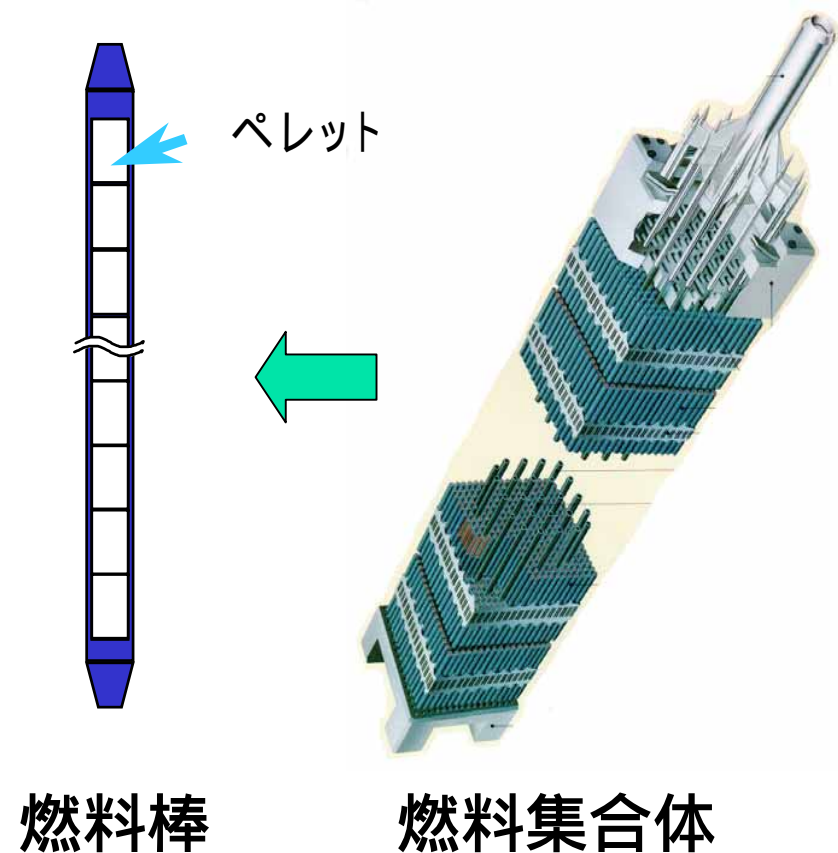
燃料毎の出力の差が大きくなる

安全性の判断は、燃料の出力が最も高いものに注目して評価することから、出力の差が大きくなると評価結果が厳しくなります。



燃料棒内でのガスの発生量が多くなる

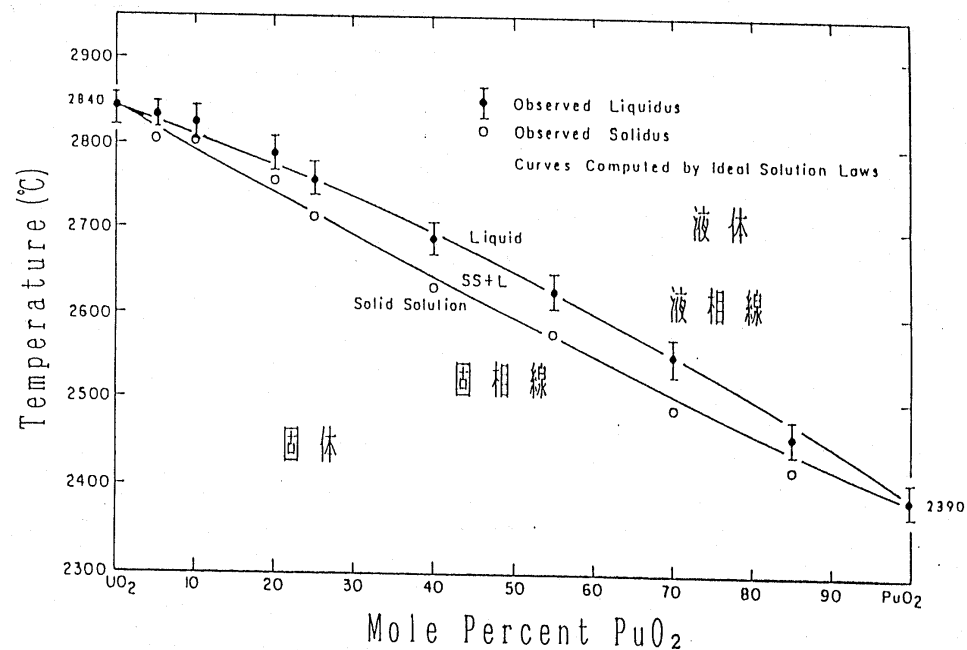
ガスの発生量が多くなると燃料棒内の圧力が高くなり、燃料被覆管の健全性に影響を与える可能性があります。



ペレットの融点*が低くなる

ペレットが溶けると燃料被覆管の健全性に影響を与えます。

	融点 (未照射時)
ウラン燃料ペレット	2800
MOX燃料ペレット	2730



* 融点:物質が溶ける温度



どのように安全を判断したのか

- コンピュータを用いて原子炉の中の状態や燃料の挙動などを解析をする。
- コンピュータの解析結果は、実験や測定データなどの結果とよく一致することが確かめられている。
- 解析した結果が安全上の判断基準を満足するか確認する。

このようにして安全性を判断する手法は、MOX燃料でもウラン燃料でも変わるものではありません。

原子力安全委員会での検討

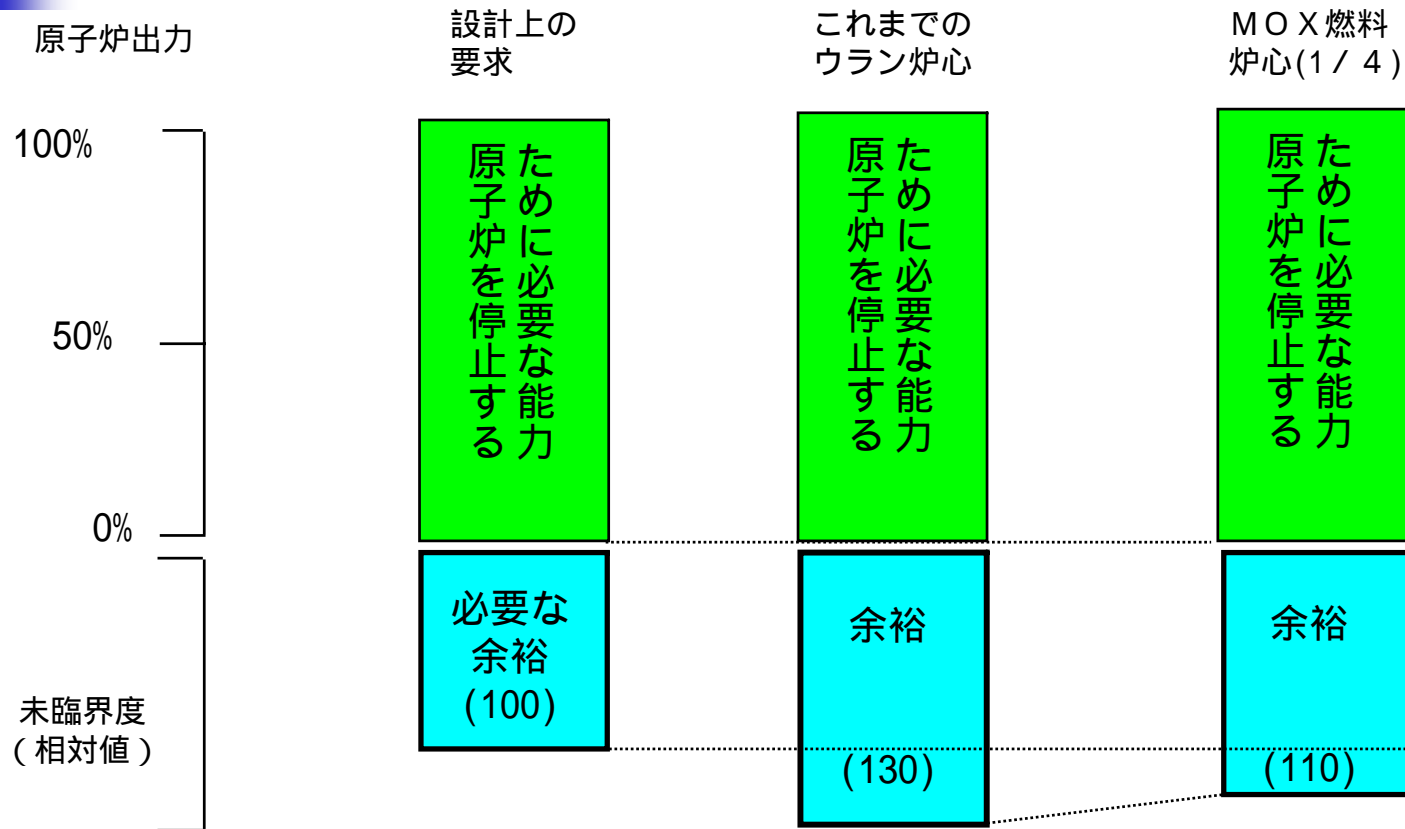
「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について」

平成7年6月

- (検討の目的)
 - MOX燃料を装荷することに係る安全審査の際の指標を作成。
- (検討の範囲)
 - ペレット最高核分裂性プルトニウム富化度は8%まで、MOX燃料の炉心装荷率は1 / 3 程度まで。
- (検討結果)
 - 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。
 - 安全評価に当たって、従来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。

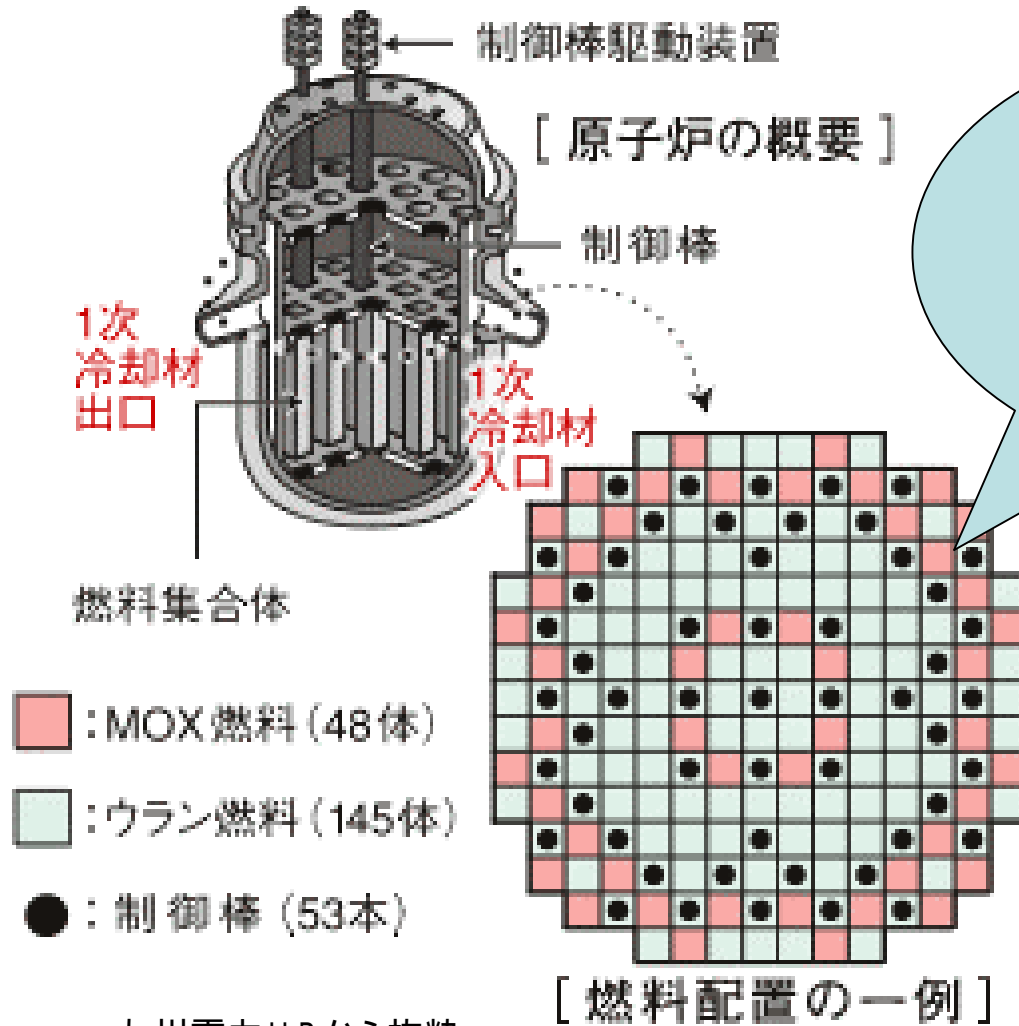
【どのように安全を判断したか】

制御棒の効きについて

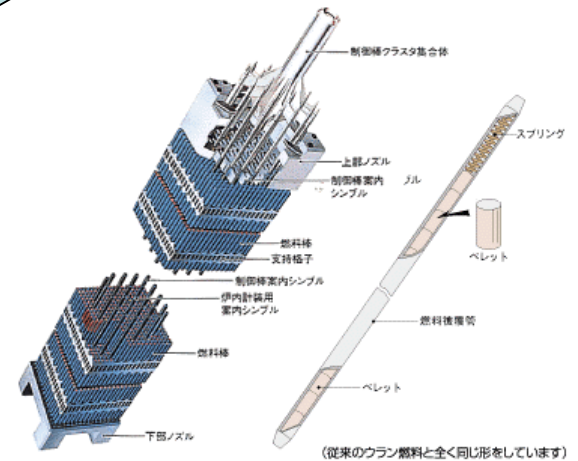


プルトニウムとウランとの核的性質の違いを設計時に考慮して、燃料配置等を工夫することにより必要な余裕を確保することが可能であることを確認した。

MOX燃料の配置例



制御棒挿入位置を避けてMOX燃料を装荷



燃料集合体と制御棒クラスタ

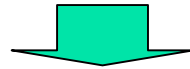
九州電力HPから抜粋

(従来のウラン燃料と全く同じ形をしています)

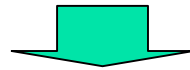
【どのように安全を判断したか】

ほう素の効きについて

ほう素の効きが低下する傾向



ほう素濃度を高くして、効きの低下を防止
(燃料取替用水タンク、蓄圧タンク)*



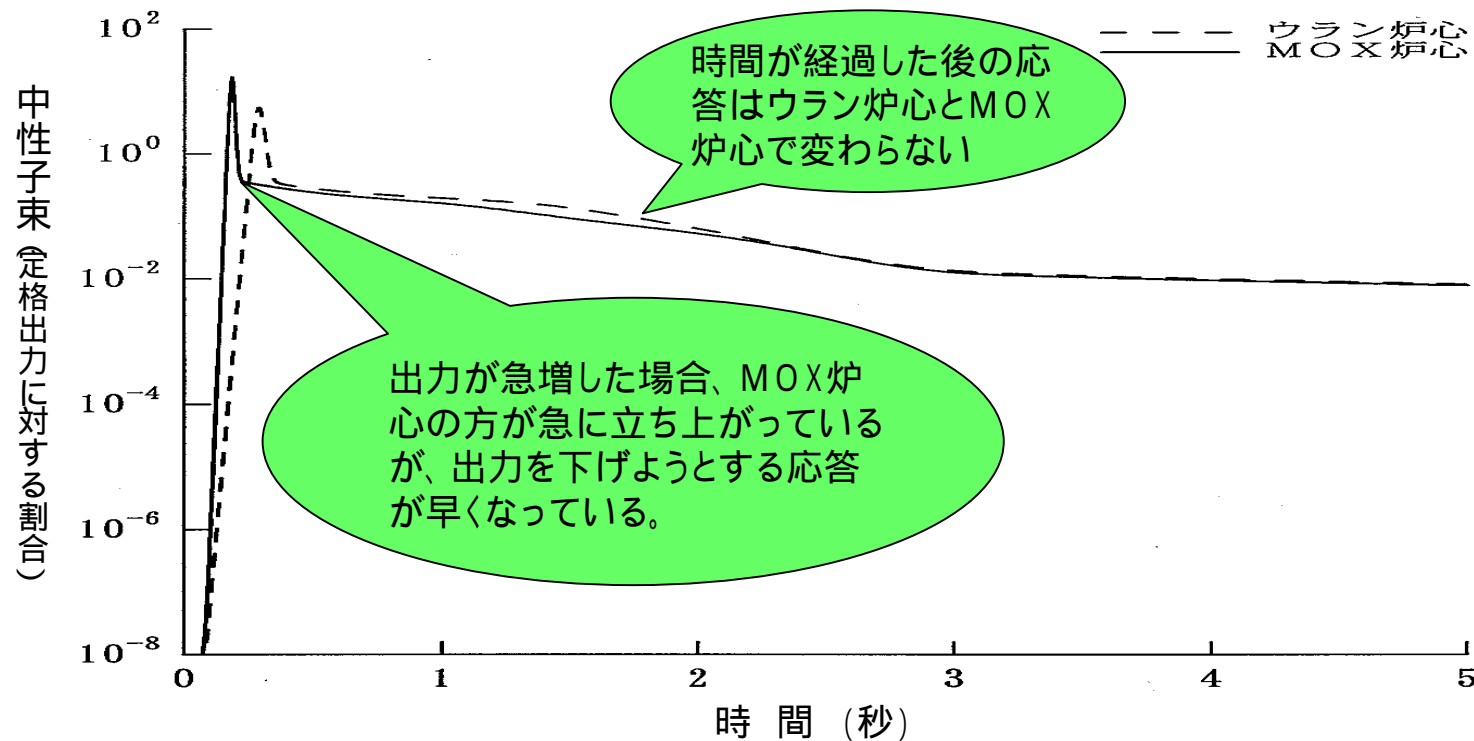
ほう素の効きを確保できることを確認した

(*)(玄海3号機の例)

燃料取替用水タンク	約2,500ppm	3,100ppm以上
蓄圧タンク	約2,500ppm	3,100ppm以上

【どのように安全を判断したか】

原子炉の応答について



出力が急に増加した場合の解析結果

制御棒飛び出し(サイクル初期高温零出力) ウラン炉心 - MOX炉心比較図

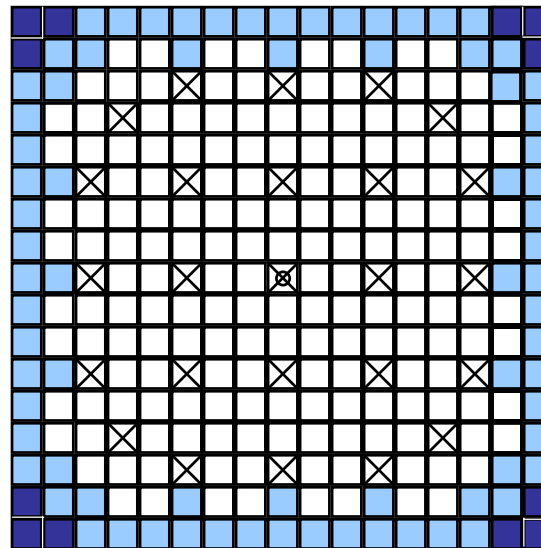
【どのように安全を判断したか】

燃料の出力差について

想定される出力差を前提に評価しましたが燃料は健全であることを確認しました。

なお、燃料は右の図のとおり、できるだけ出力差が出ないように燃料棒の配置が工夫されています。

MOX燃料のPu含有率に3つの含有率分布を設定する



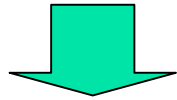
- Pu含有率(代表組成)
- 高Pu含有率棒(約10.6wt%)
 - 中Pu含有率棒(約6.2wt%)
 - 低Pu含有率棒(約4.5wt%)
- 集合体平均Pu含有率
約9.0wt%

3含有率分布の設定により集合体内の出力分布を平坦化

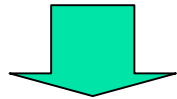
【どのように安全を判断したか】

ガスの発生量について

FPガス放出率が大い



燃料棒内圧が高くなる

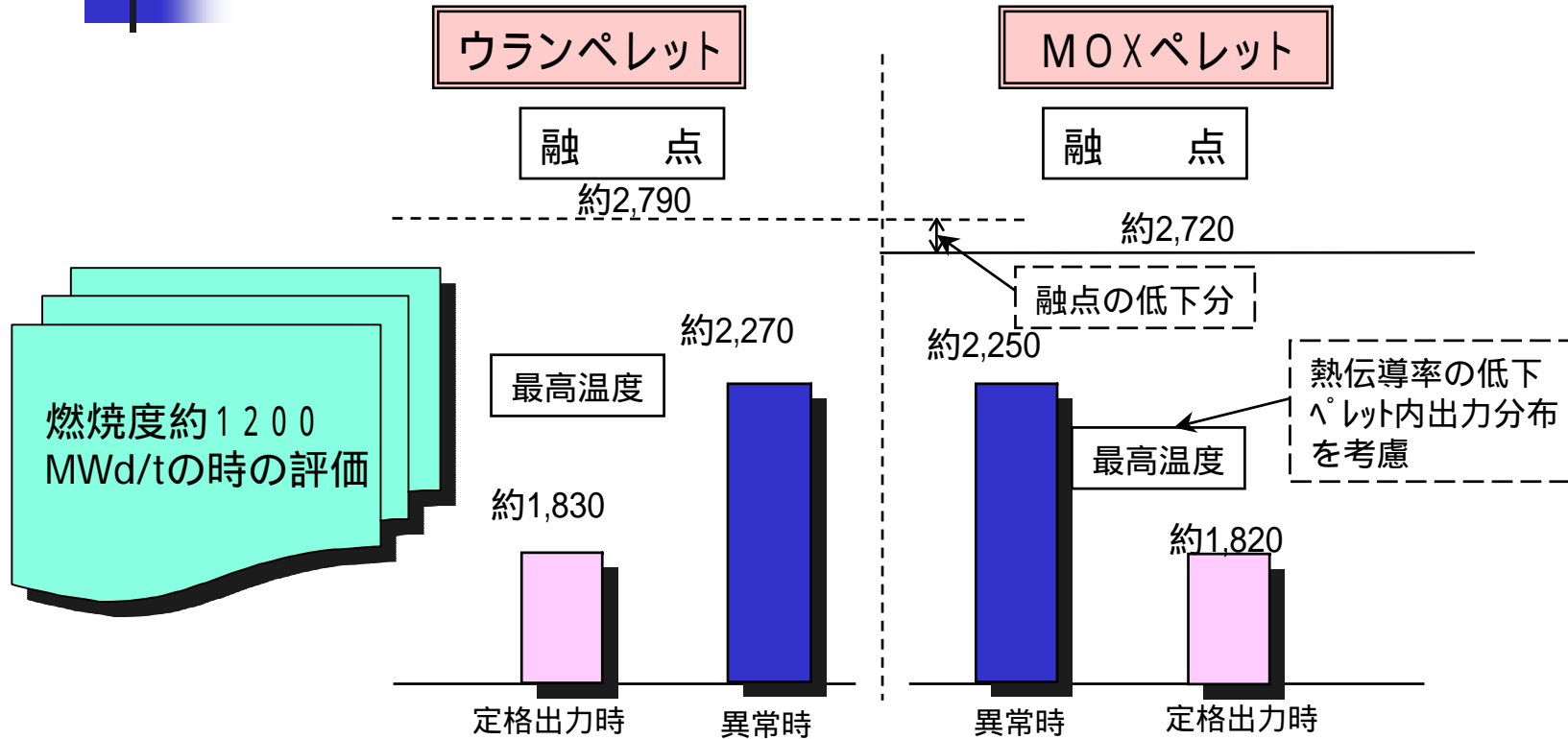


内圧評価(代表組成)
ウラン燃料:約16.3MPa
MOX燃料:約16.1MPa

燃料棒内の初期He加圧量を低下させること等により、燃料棒内圧の上昇を燃料健全性上問題ない範囲に抑えることができることを確認した。

【どのように安全を判断したか】

ペレットの融点について

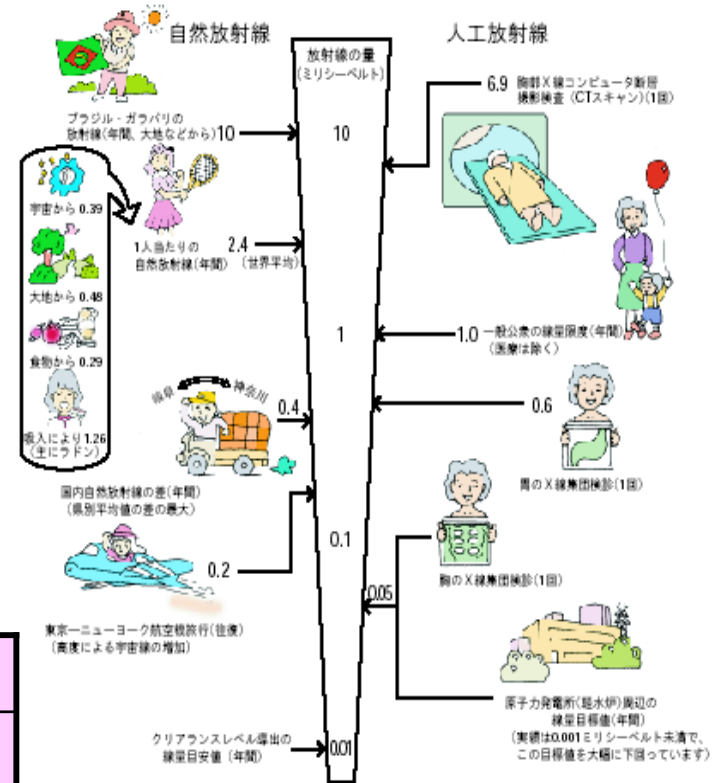


燃料中心温度の融点に対する余裕は確保できることを確認した。

【どのように安全を判断したか】

事故時のふるまい(1)

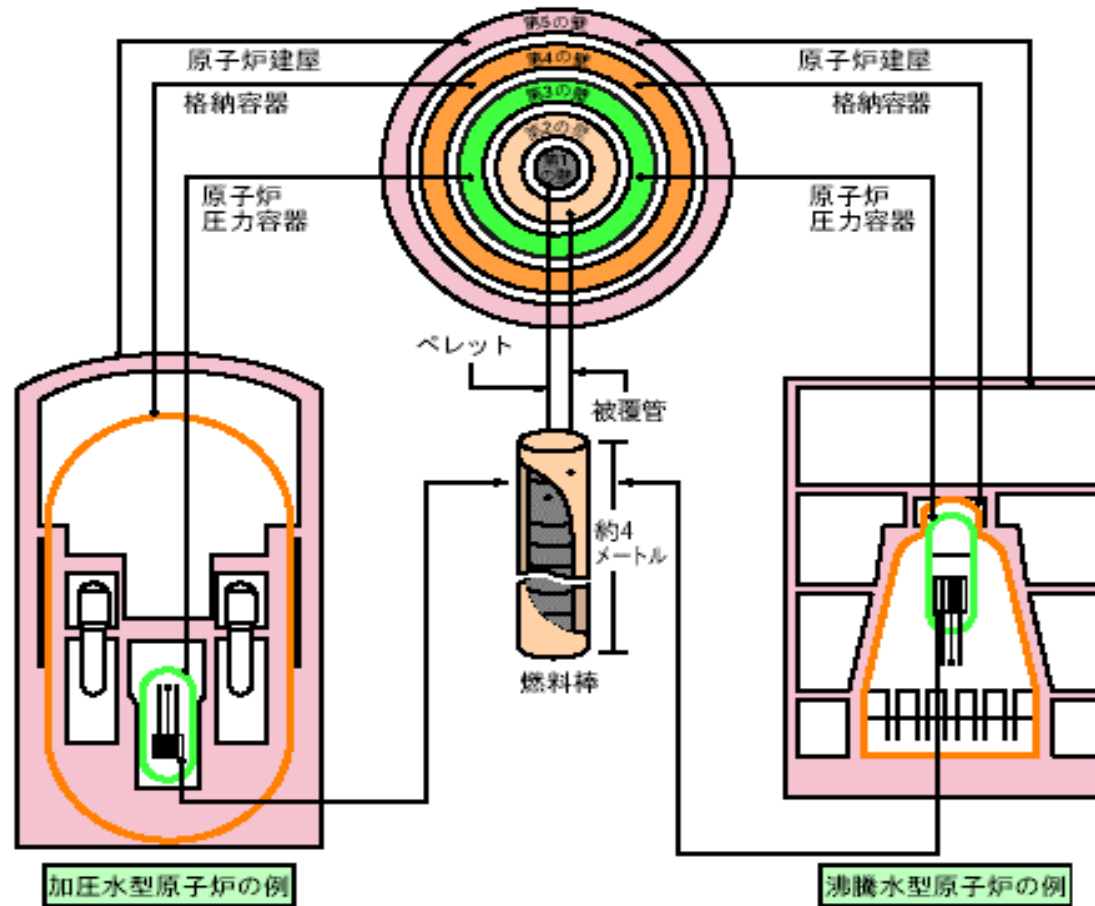
事故を想定して発電所周辺の放射線の影響を評価。最も影響の大きい蒸気発生器伝熱管破断事故でも判断基準を下回っていることを確認した。



出典：資源エネルギー庁「原子力2004」他

	評価値	判断基準
蒸気発生器伝熱管破断事故	約0.24 mSv	5 mSv

事故時のふるまい(2)



発電所で利用される燃料は、ペレットに焼き固められ、被覆管に密封されており、通常運転中には、放射性物質が燃料棒の中に閉じこめられています。さらに、その外側には、原子炉容器、原子炉格納容器、外周コンクリート壁があり、事故などによって、燃料棒から放射性物質が放出された場合でも、発電所内に閉じこめるようになっています。また、万が一燃料が破損した場合でも、ペレットは水に溶けにくく、気体にもなりにくいいため、外部に拡散しにくくなっています。

【どのように安全を判断したか】

MOX新燃料の取り扱い

MOX新燃料は放射線線量が高い

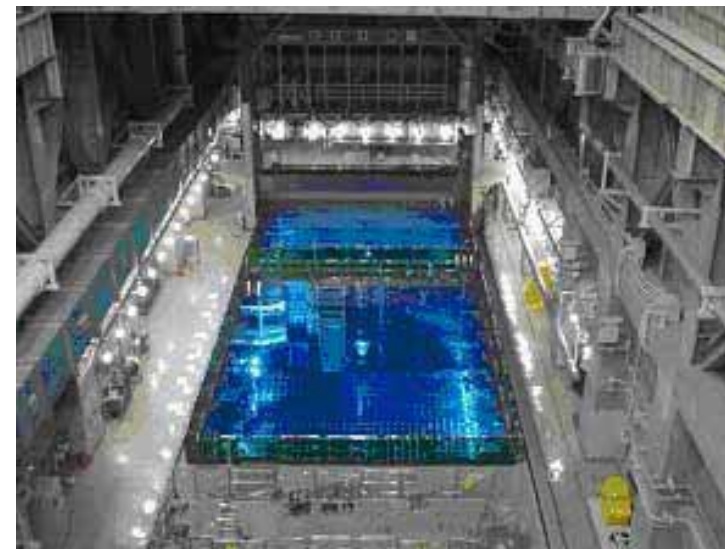
(単位:mSv/h)

	ウラン燃料	MOX燃料
表面線量率	約0.04	約11

発電所における取扱では、
遮へい体の設置などで放射線
を遮へい

発電所における貯蔵では、
使用済燃料ピットに貯蔵し、
放射線を遮へい

安全な取扱が可能なことを確認した



使用済燃料ピット

【どのように安全を判断したか】

使用済MOX燃料の貯蔵

使用済MOX燃料の崩壊熱は、使用済ウラン燃料の崩壊熱に比べて高くなるが、使用済燃料ピット冷却系により熱除去できることを確認した。

	使用済燃料ピット水温()	基準値()注1)
MOX燃料	58.4 注2)	65 注3)

注1) 使用済燃料ピットポンプ1台運転時の基準値

注2) 異常時の値(使用済燃料ピットポンプ1台運転) 崩壊熱の大きい燃料を除き、貯蔵燃料を全てMOX燃料とした場合

注3) コンクリートの健全性維持の観点から決められている



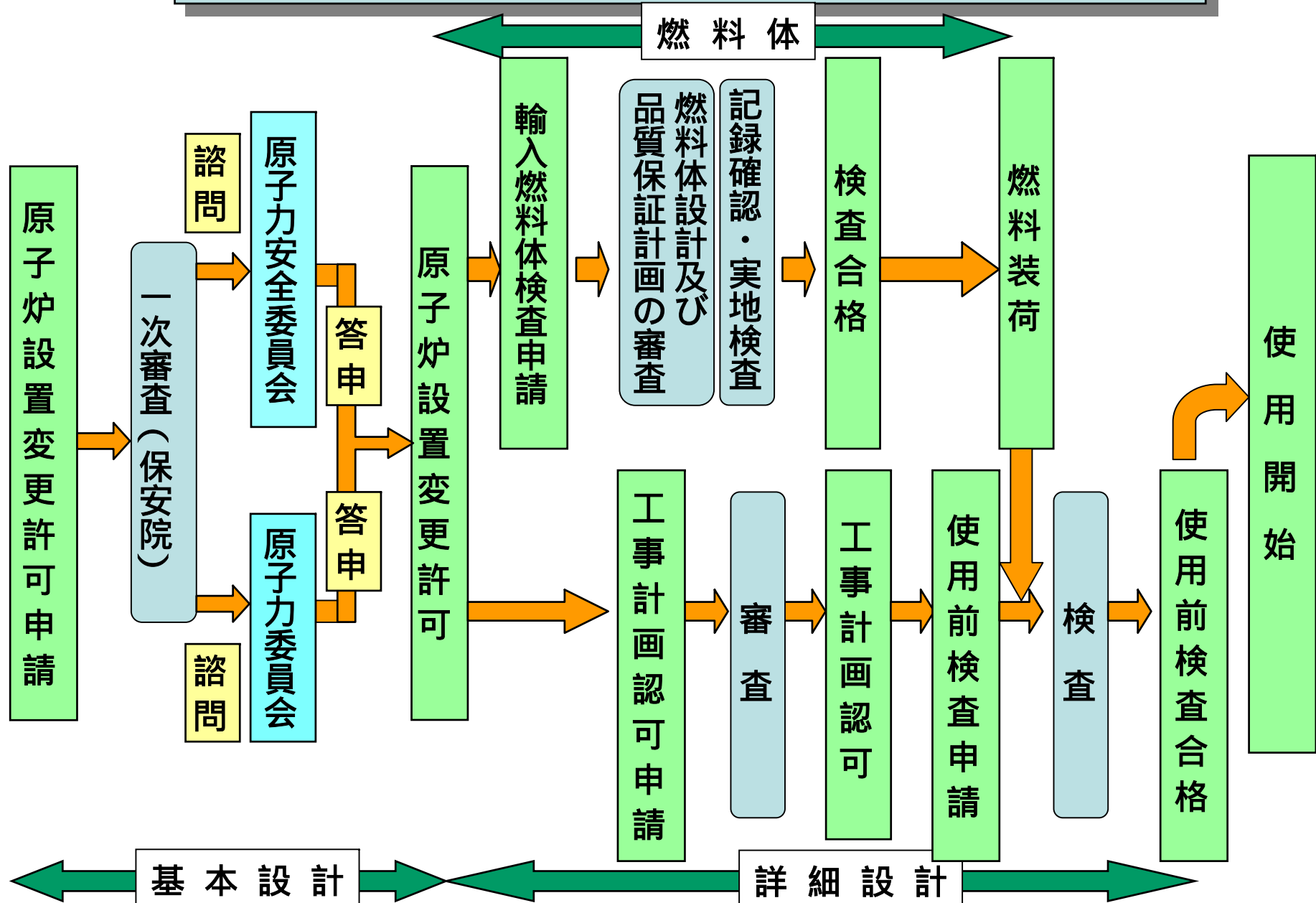
今後の流れ



原子力安全委員会等におけるダブル チェック

- 2月10日、原子力安全委員会(安全性に関するものなど)と原子力委員会(平和利用に関するものなど)へ諮問。
- 両委員会から当院の審査結果について妥当である旨の答申がいただければ、文部科学大臣の同意を得た上で許可処分を行う予定。

MOX燃料に係る安全規制の流れ



玄海原子力発電所のプルサーマルの安全性は厳正に審査します。

