島根原子力発電所のプルサーマルと耐震安全性について

平成20年3月14日
原子力安全・保安院

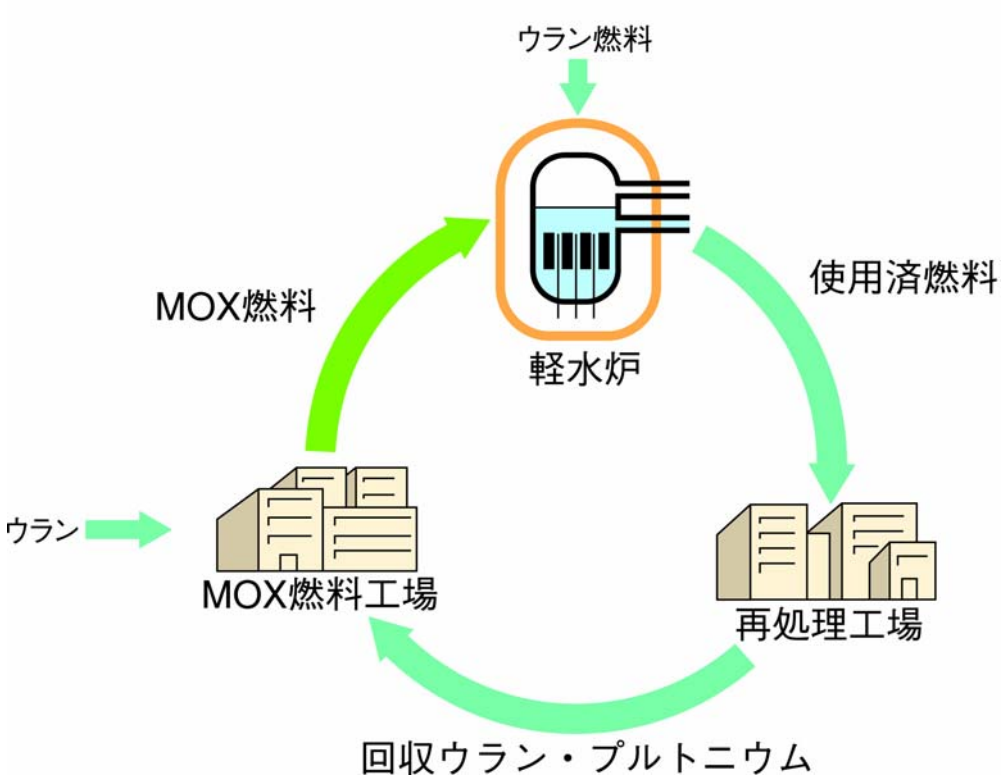
目　　次

１．島根原子力発電所2号機プルサーマル計画の
　一次審査結果について
２．島根原子力発電所の耐震安全性について

１．島根原子力発電所２号機プルサーマル計画の一次審査結果について

プルサーマルとは

使用済燃料から取り出したプルトニウムをウランと混ぜて加工した「MOX燃料（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）」を、現在の原子力発電所（サーマルリアクター）で利用すること。



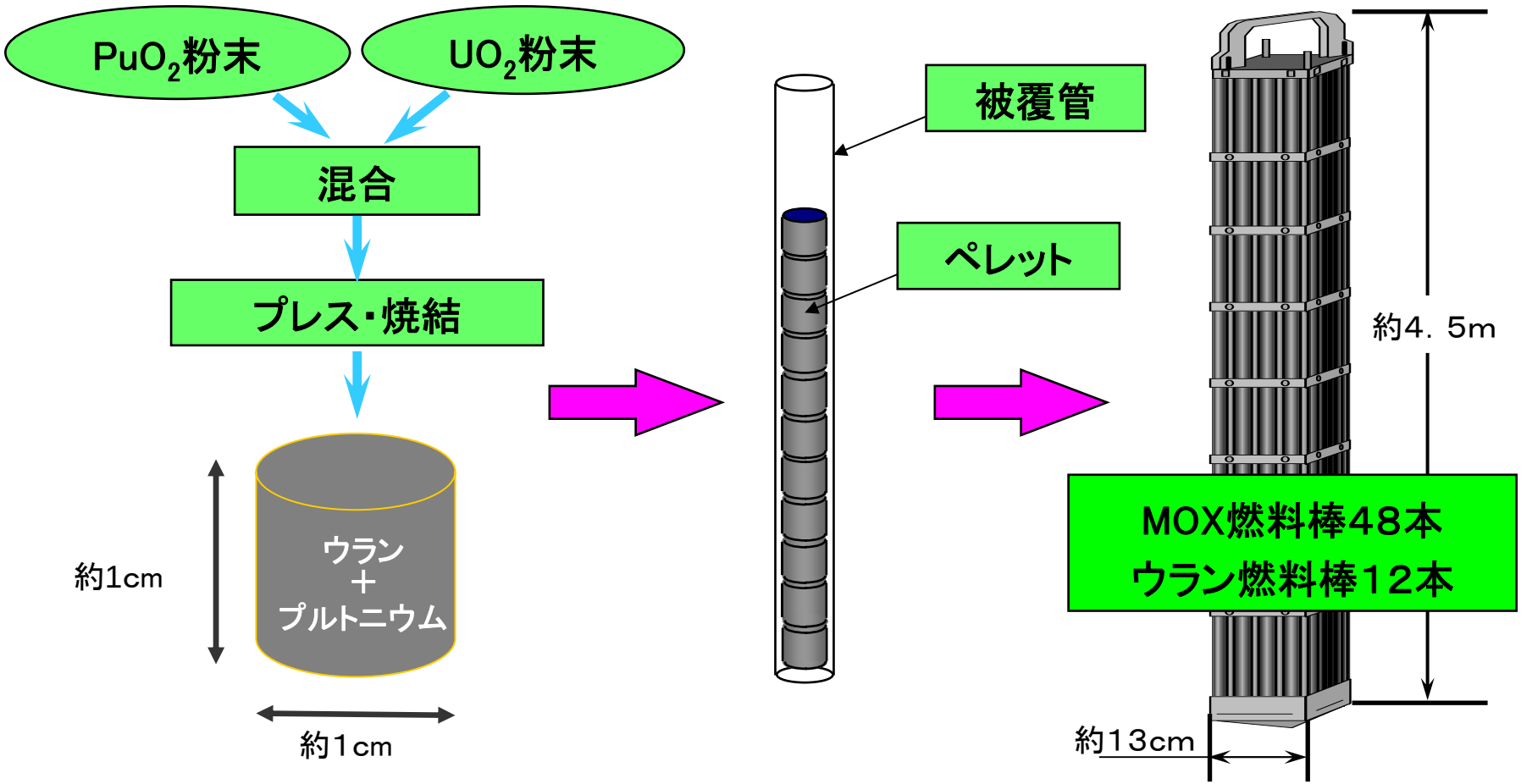
プルサーマル：プルトニウムの「プル」と、サーマルリアクターの「サーマル」をとってつくられた言葉です。

MOX燃料：使い終わったウラン燃料からプルトニウムを取り出し、燃えにくいウランなどと混ぜてつくった燃料です。

※MOX=Mixed Oxide：混合酸化物

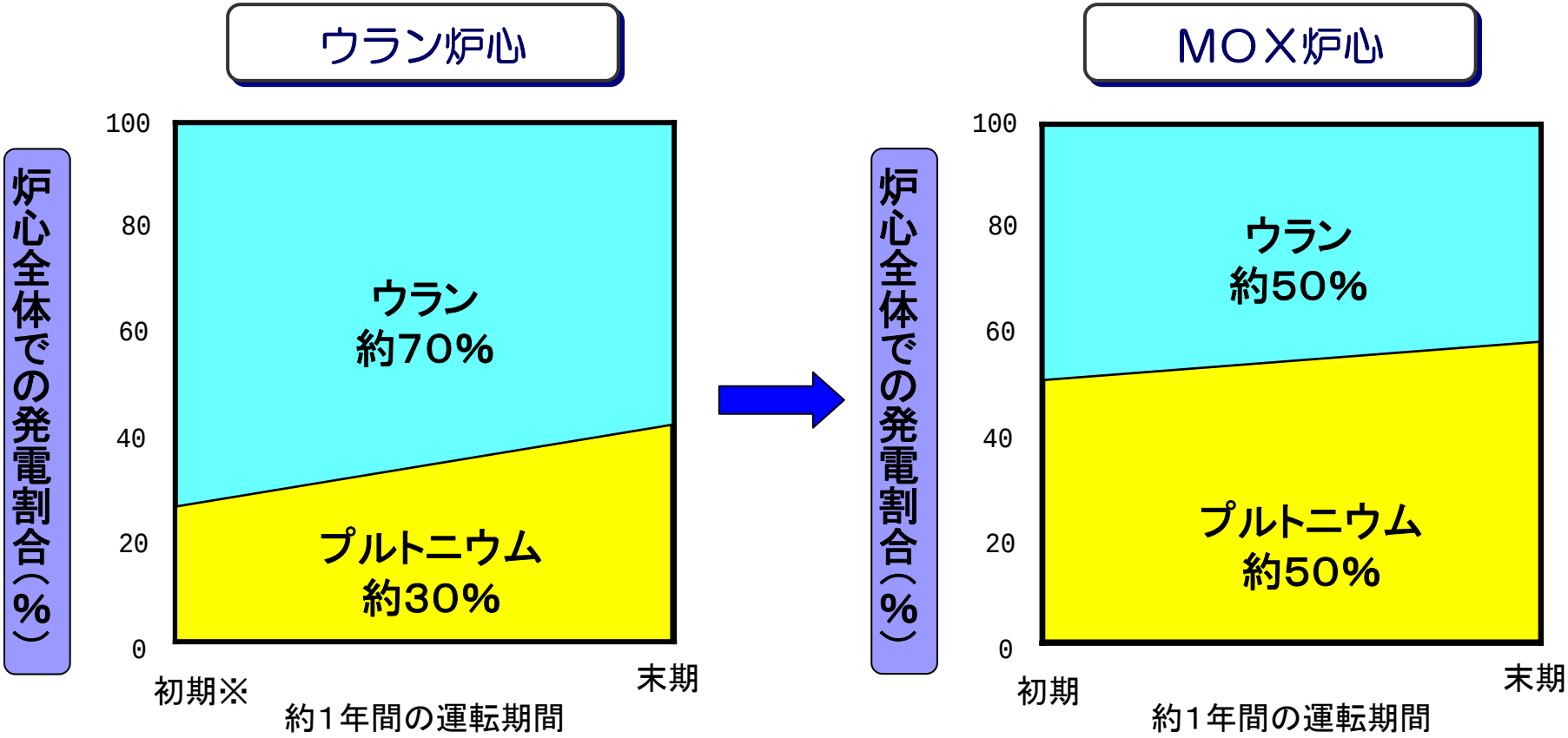
プルサーマルに使用する燃料（MOX燃料）について

MOX燃料の外観は、高燃焼度8行8列型ウラン燃料と変わらない。



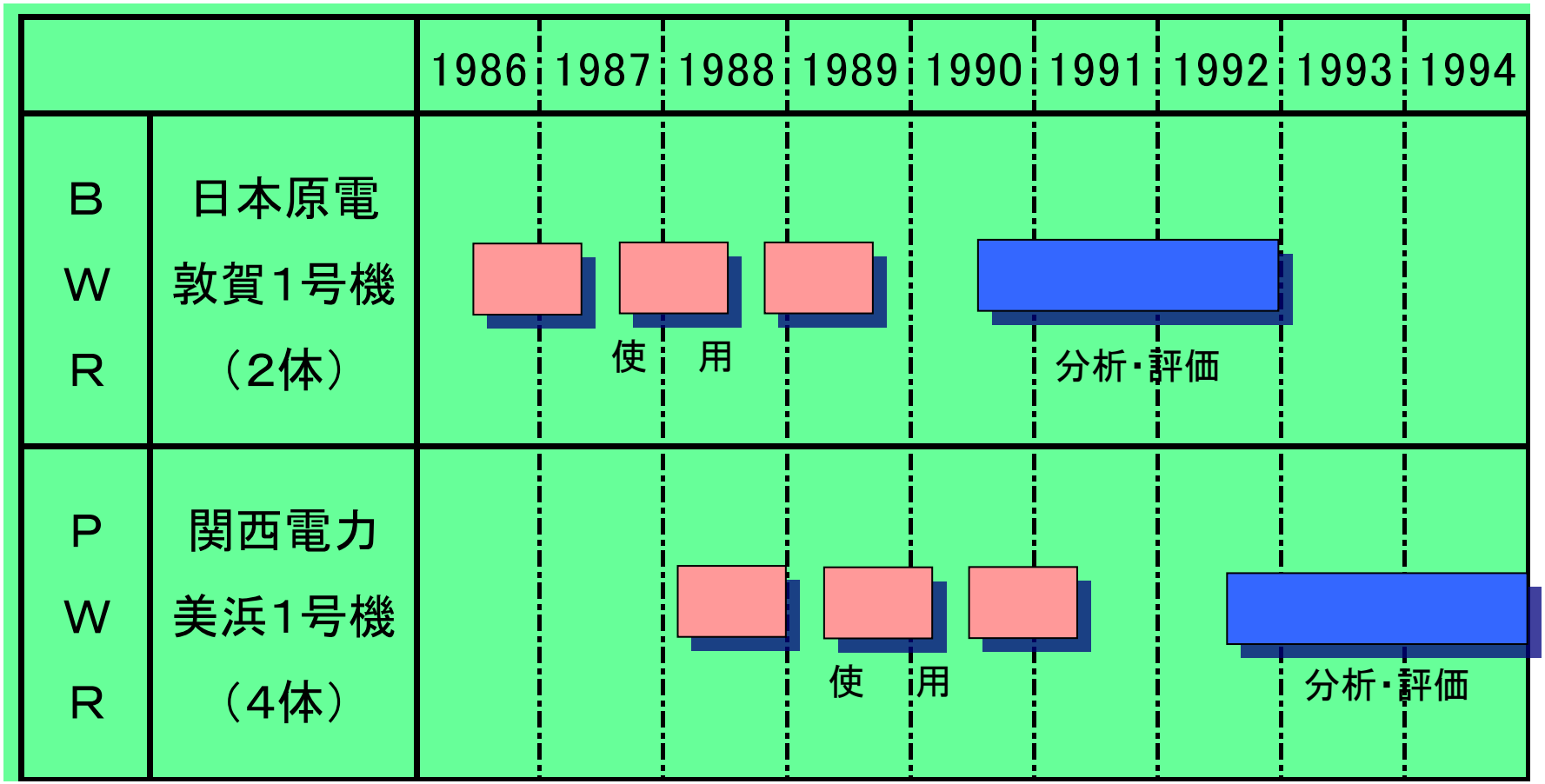
プルトニウムの発電割合

現在の発電所でもプルトニウムで発電している。



※約1年間の運転毎に、炉心の燃料の約1/5から1/4を新燃料に取り替えるが、残りは継続使用するため、ウラン炉心の運転初期でも燃焼して生成したプルトニウムを含む燃料が存在している。

日本におけるMOX燃料の使用実績



原子力発電所の安全確保の基本は

原子炉の災害防止

＝「万一の事故時にも
発電所周辺の住民に放射線
による影響を及ぼさないこと」

安全確保の基本を守るために

電力会社が安全上重要な施設の変更を
行おうとする都度、

国が安全審査を行って
安全性を確認

安全審査の流れ[島根2号機でのプルサーマル計画の場合･･･]

中国電力㈱

＜経済産業大臣に原子炉設置変更許可を申請＞
- MOX燃料の設計
- MOX燃料の採用による安全性への影響を解析

↓

経済産業省
（原子力安全・保安院）

＜中国電力㈱の解析内容を審査＞
- 中国電力㈱の解析は適切か？
- 国が定める安全基準を満たしているか？

↓

原子力安全委員会
原子力委員会

＜経済産業省の審査結果をさらに審査＞

← **現在の段階**

↓

文部科学大臣

＜同意＞

↓

経済産業大臣

＜原子炉設置変更許可＞

中国電力㈱のプルサーマル計画

- 申請年月日　平成18年10月23日
- 対象発電所　島根原子力発電所2号機
- 定格電気出力　82．0万kW
- 燃料集合体の数　560体
  - うちMOX燃料の数　（最大）228体
  - MOX燃料の重量割合　約　1／3 以下
- MOX燃料
  - プルトニウム含有率[1)]（ペレット）　10 wt%以下
  - 核分裂性プルトニウム富化度[2)]（ペレット）　6 wt%以下
    - （燃料集合体平均ウラン235濃縮度　約3．0wt%相当以下）
  - 燃料集合体最高燃焼度　40，000MWd／t
- （参考）9×9燃料（A型及びB型）
  - 燃料集合体平均ウラン235濃縮度　約3．7 wt%
  - 燃料集合体最高燃焼度　55，000MWd／t

1)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
2)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

安全審査の際の基本的な考え方

原子力安全委員会は、軽水炉に取替燃料の一部としてMOX燃料を装荷することに係る安全審査の指標について検討

（検討の範囲）

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、燃料集合体最高燃焼度は45,000MWd/tまで

（検討結果）

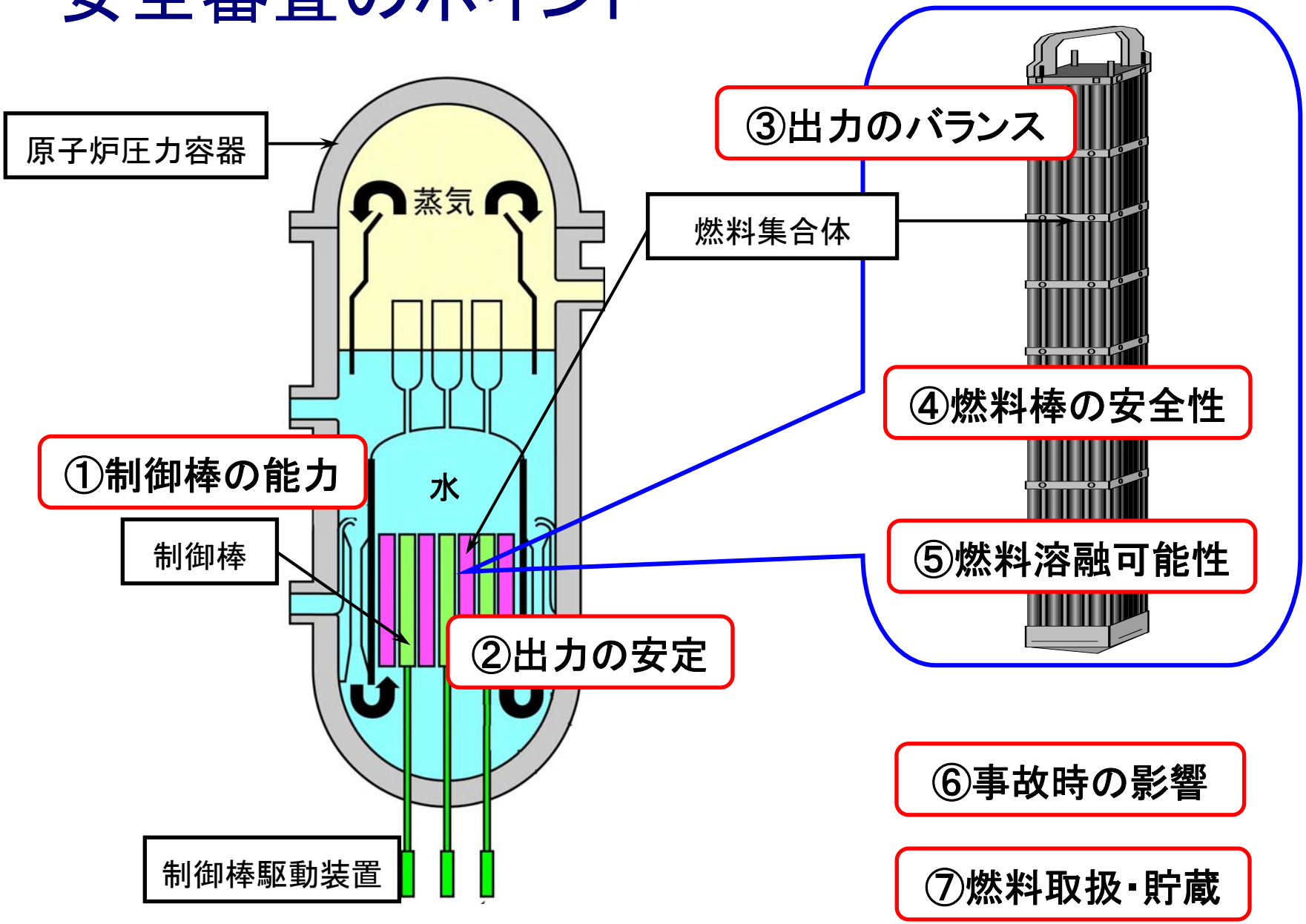
MOX燃料の特性、挙動はウラン燃料と大きな差はなく、また、MOX燃料及びその装荷炉心は、従来のウラン燃料炉心と同様の設計が可能

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

↓

原子力安全委員会の検討結果を踏まえ、ウラン炉心に用いている各種指針等を適用して安全審査を実施

安全審査のポイント


原子炉圧力容器
蒸気
水
燃料集合体
制御棒
制御棒駆動装置
①制御棒の能力
②出力の安定
③出力のバランス
④燃料棒の安全性
⑤燃料溶融可能性
⑥事故時の影響
⑦燃料取扱・貯蔵

安全審査のポイント

① **制御棒**の原子炉を*止める能力は十分か*

② 出力が**急激に変動**したとき*うまく元に戻ろうとするか*

③ 各々の**燃料棒の出力**の出方に*アンバランスはないか*

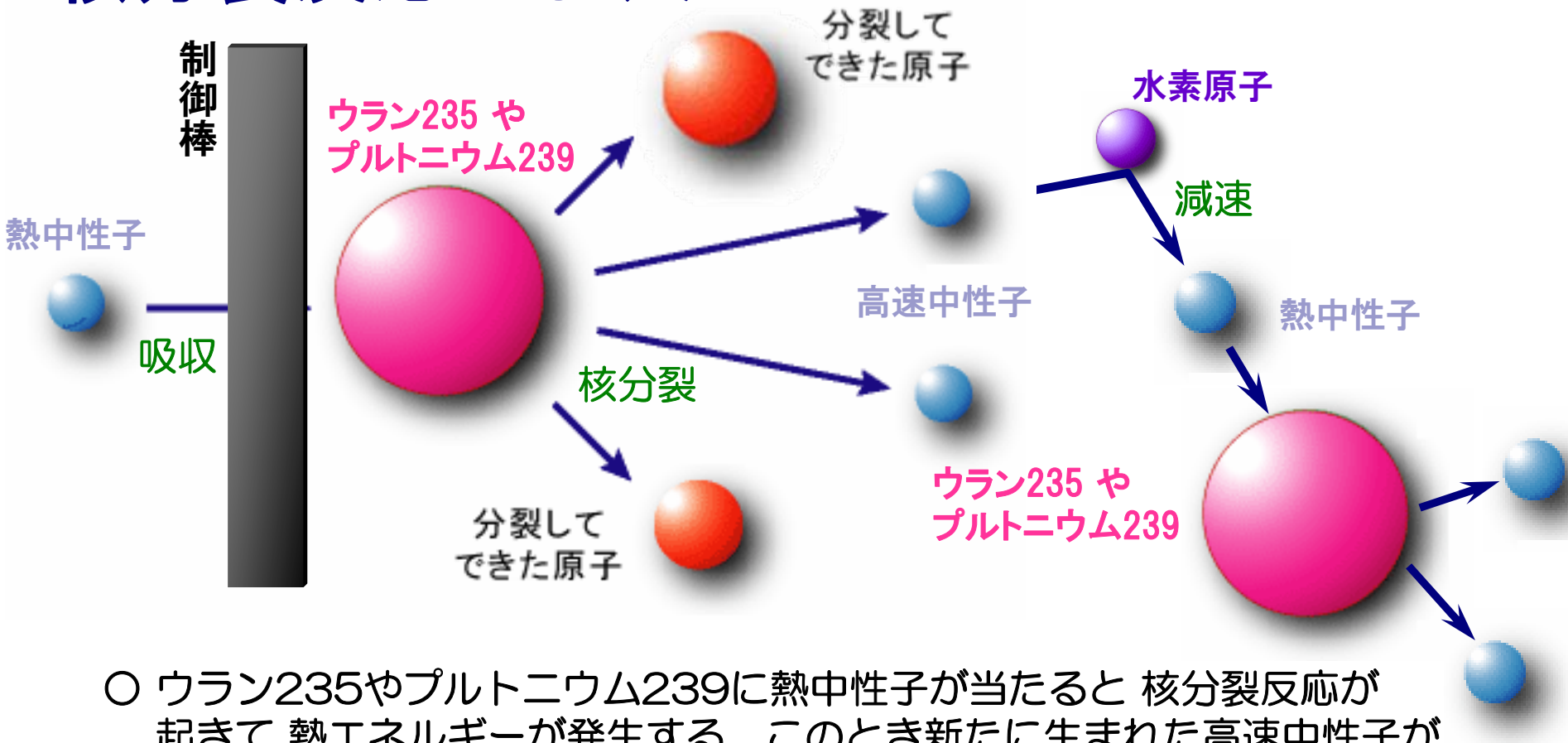
④ 燃料棒内に**ガスが異常に充満**したり、**出力が異常に上昇**した時に*燃料棒を傷めないか*

⑤ 運転中に**燃料が高温**になり*燃料が溶けないか*

⑥ **事故を想定**した場合に*発電所周辺への影響はないか*

⑦ MOX燃料の**取扱いや貯蔵**は*安全に行えるか*

核分裂反応のしくみ



○ ウラン235やプルトニウム239に熱中性子が当たると 核分裂反応が起きて 熱エネルギーが発生する。このとき新たに生まれた高速中性子が減速されて熱中性子となり、次の核分裂反応を起こす。

制御棒は－
熱中性子を吸収して核分裂を停止させることにより 原子炉を停止

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

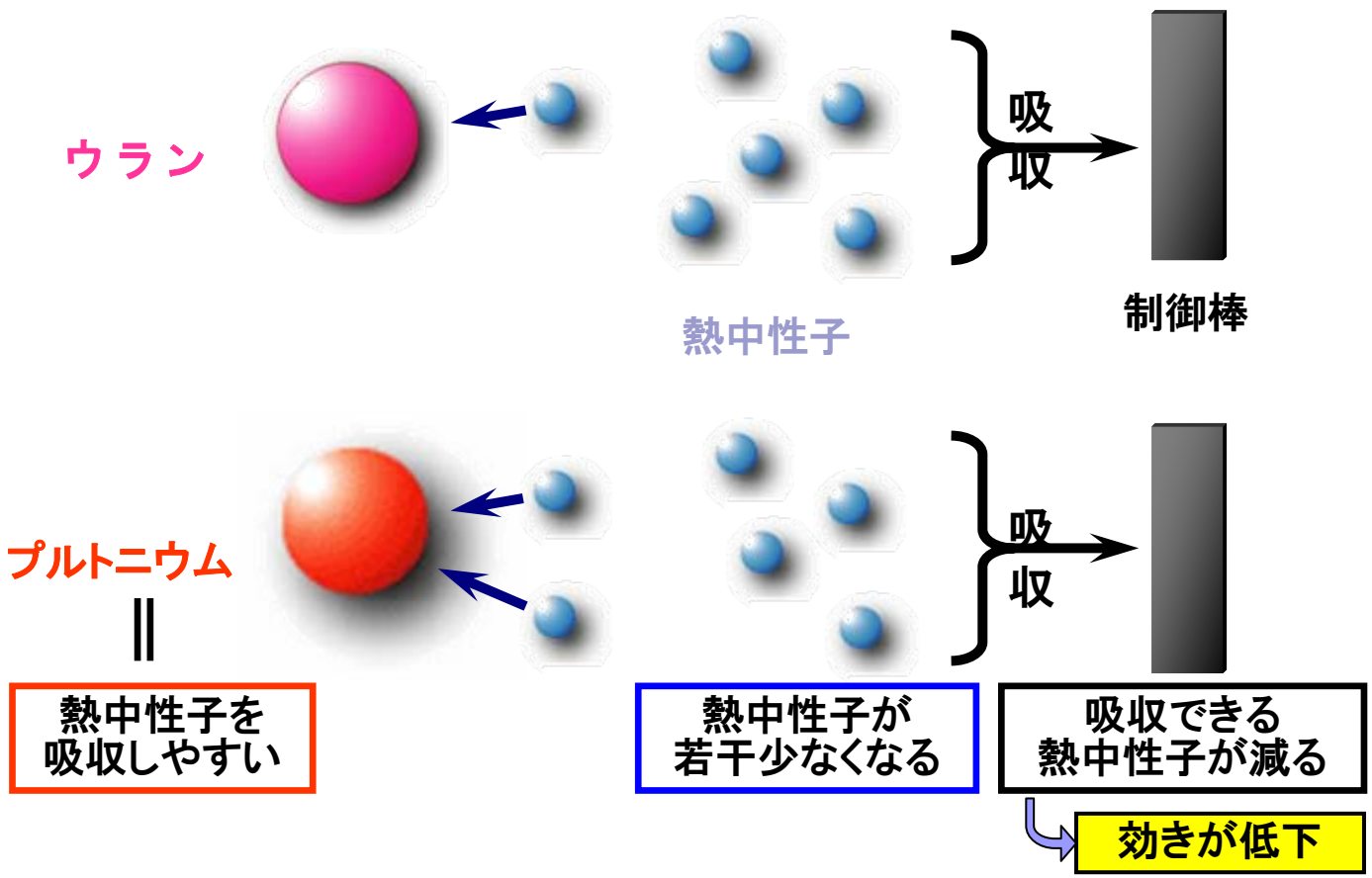
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

制御棒の原子炉を止める能力は十分か（1）



安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

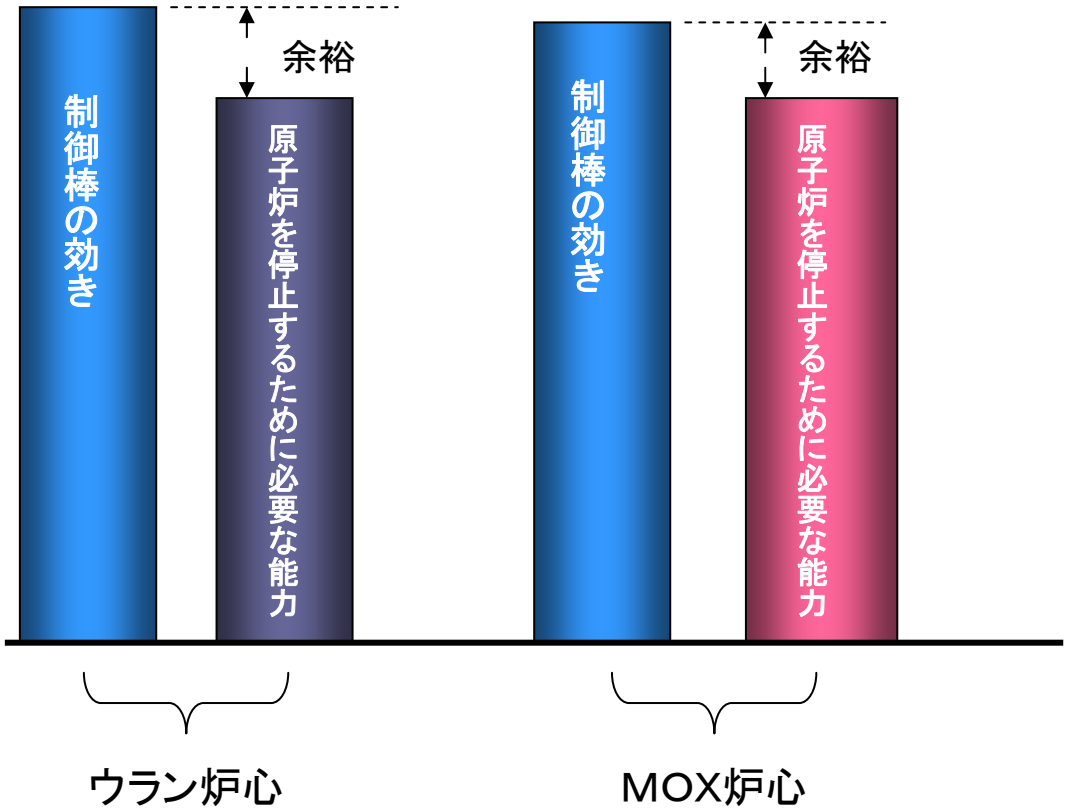
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

制御棒の原子炉を止める能力は十分か（2）



ウラン炉心と同様に余裕をもって
原子炉が停止できることを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

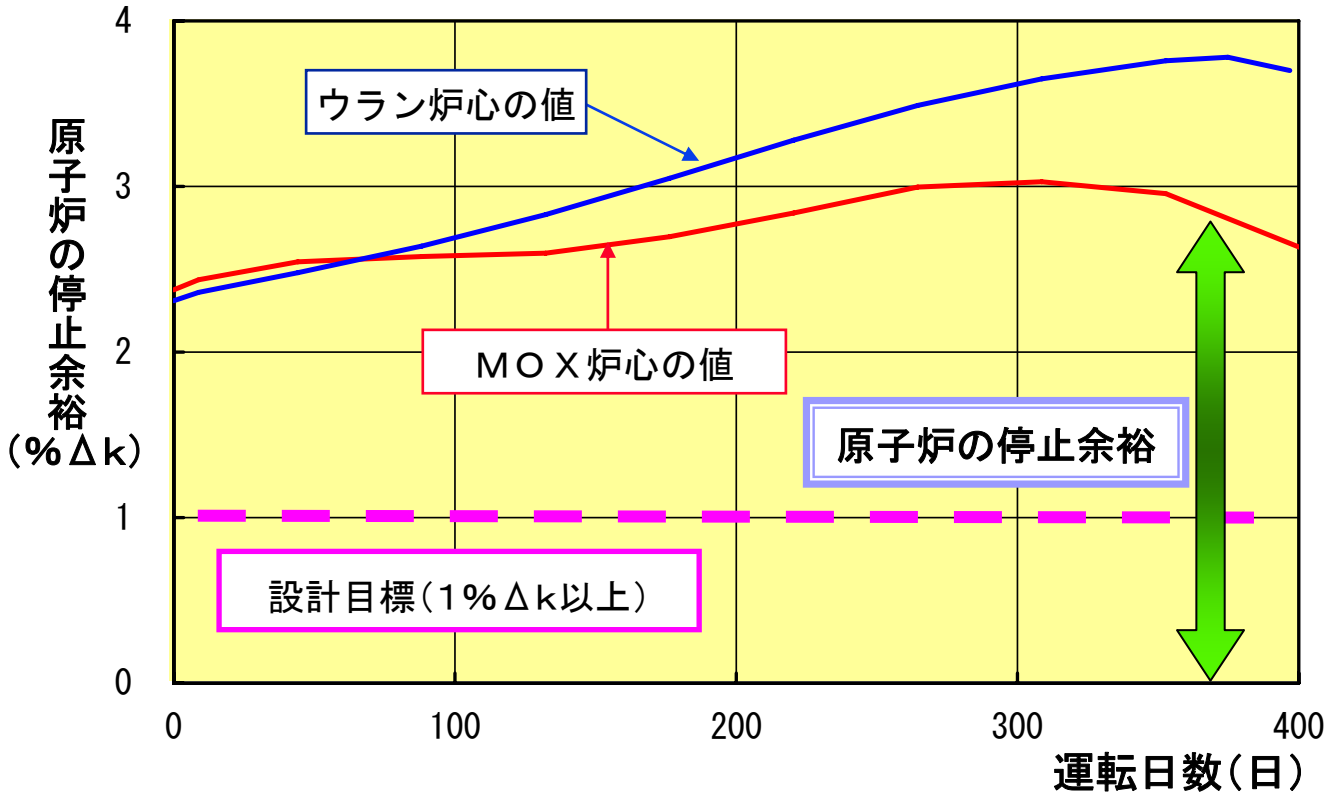
⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

制御棒の原子炉を止める能力は十分か（3）

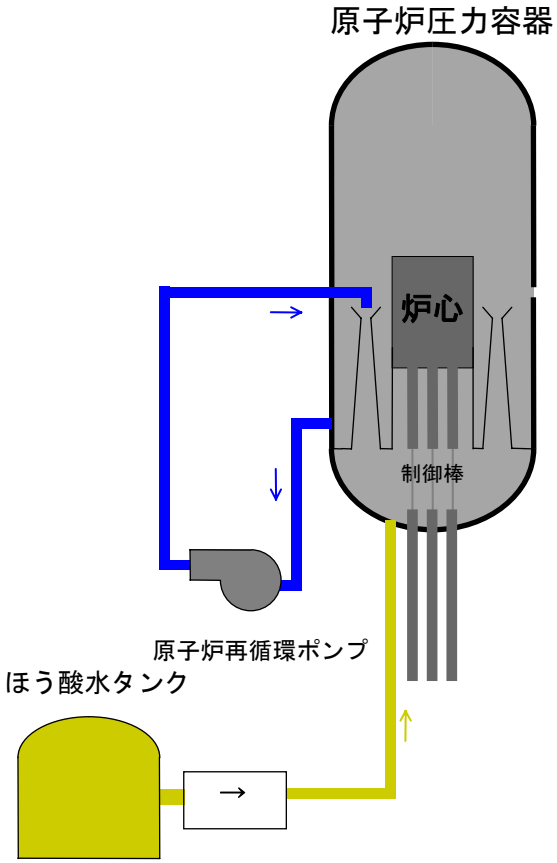
制御棒１本が入らない場合に原子炉を停止する能力



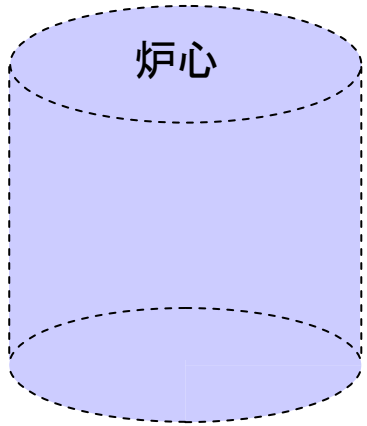
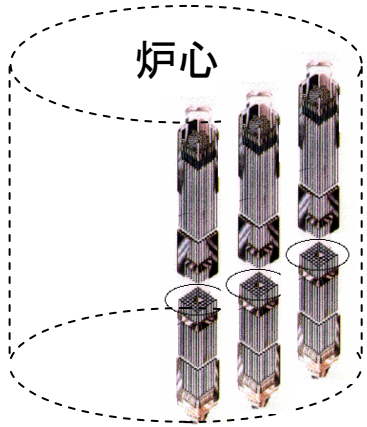
ウラン炉心と同様十分な
原子炉の停止余裕を確保できることを確認した

ほう酸水注入系作動時の未臨界性評価手法の変更

未臨界性評価手法について、より詳細に評価できる最新の手法を採用



ほう酸水注入系（ＳＬＣ）

対象	従来	今回の島根2号機
解析モデル	一点近似解析	三次元解析
解析方法	炉内を平均化し、空間的に一点で近似  	中性子等の解析要素を炉内の各燃料集合体、高さごとに考慮することで、炉内の実際の出力分布を模擬 

ほう酸水注入系により余裕を持って原子炉を未臨界にできることを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

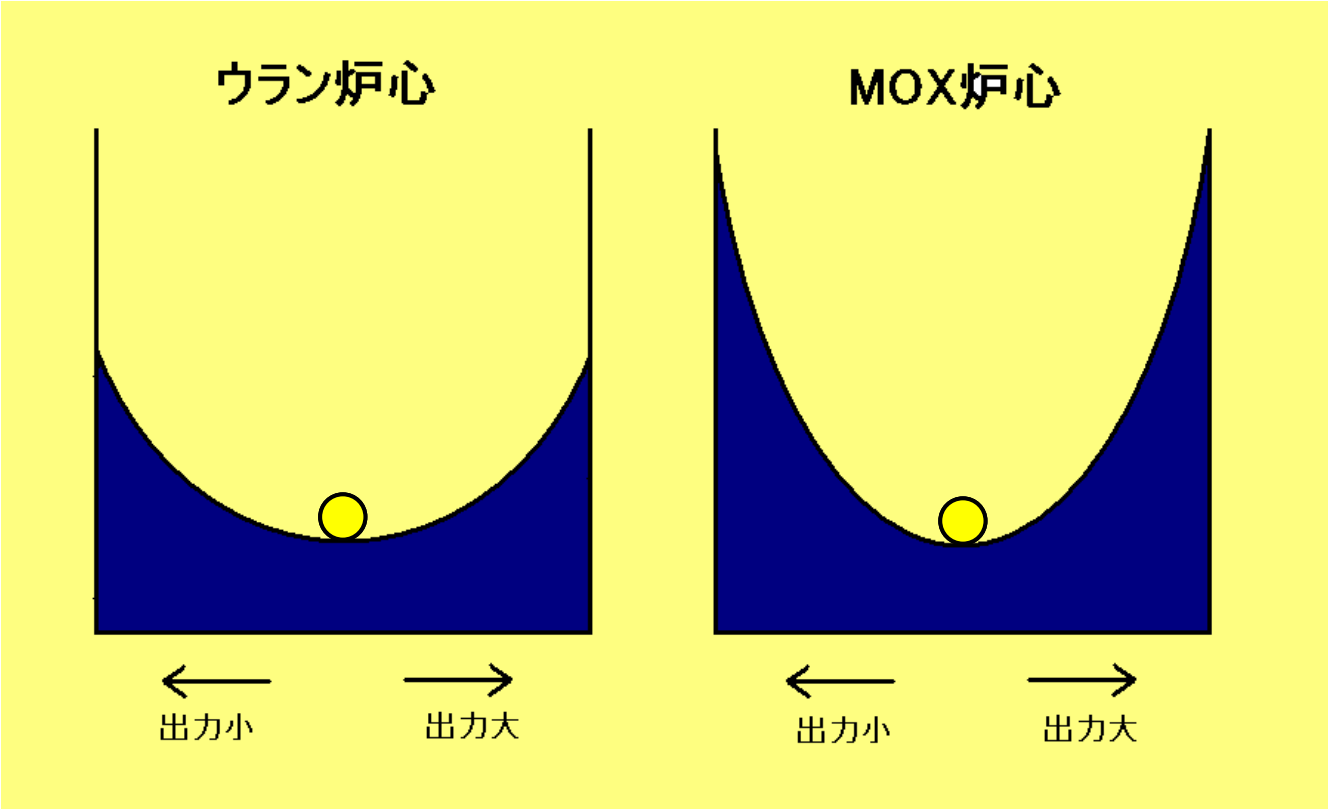
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか（1）



MOX炉心の方が出力が元に戻ろうとする力が強い

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

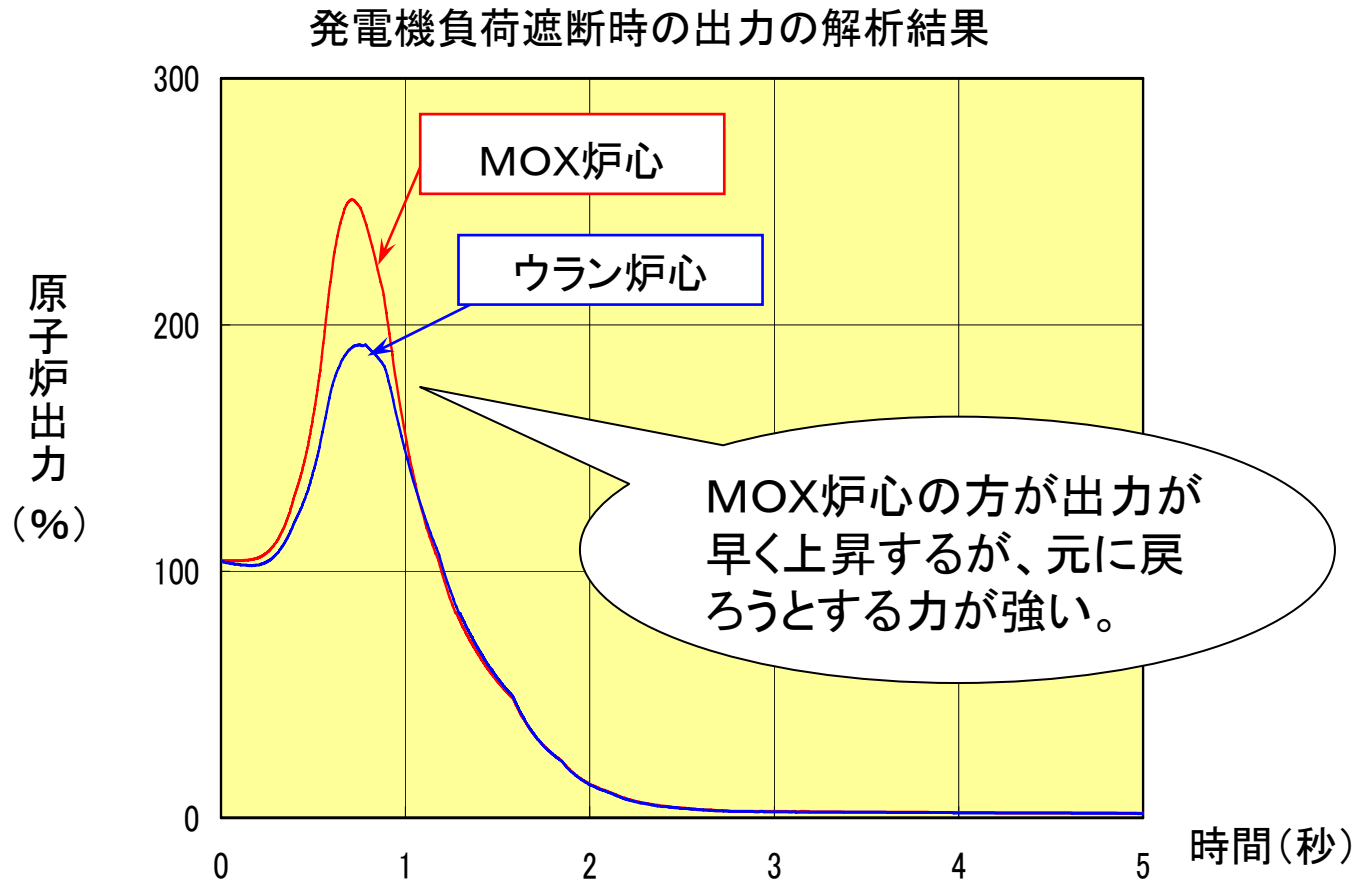
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか（2）



MOX炉心もウラン炉心と同様に出力の急激な変動が抑えられる

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

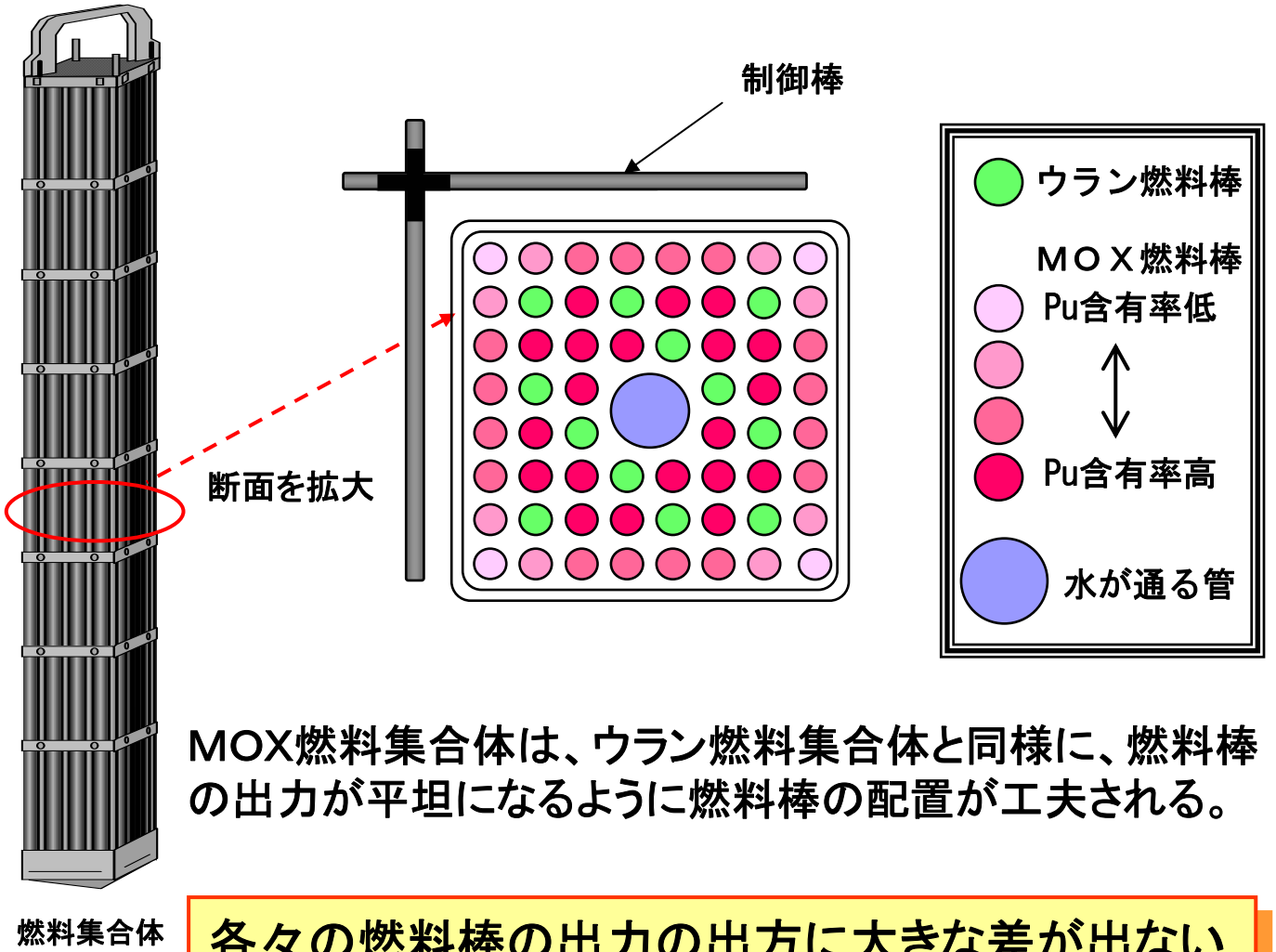
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

各々の燃料棒の出力の出方にアンバランスはないか



MOX燃料集合体は、ウラン燃料集合体と同様に、燃料棒の出力が平坦になるように燃料棒の配置が工夫される。

各々の燃料棒の出力の出方に大きな差が出ないように燃料棒が配置されることを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

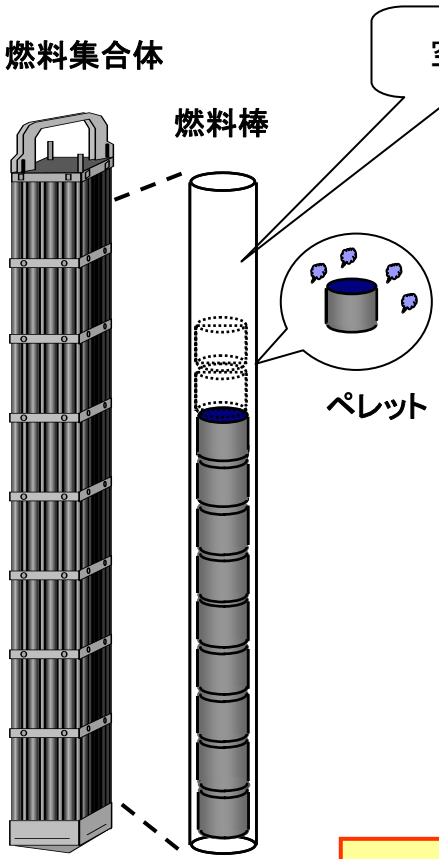
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

燃料棒内にガスが異常に充満して燃料棒を傷めないか



MOXペレットの特性

ペレットから燃料棒内に出てくるガスの量が多くなる可能性あり

対応策

あらかじめ燃料棒内のガスを溜める空間の体積を増やして圧力の上昇を抑える

解析プログラム

燃料棒内の圧力上昇等によって燃料棒に加わる応力を計算

解析結果（代表例）

MOX燃料棒

：0.56（設計比＊）

＊設計比：計算値と基準値の比

燃料棒内の圧力上昇等によって燃料棒に加わる応力が、安全上問題ない範囲に抑えられることを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

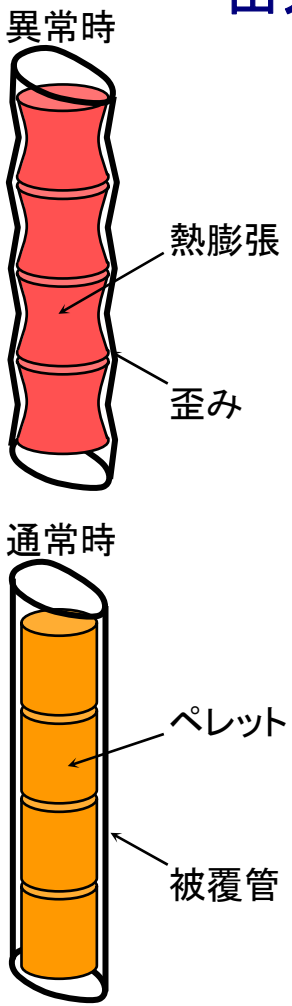
④ 燃料棒の安全性

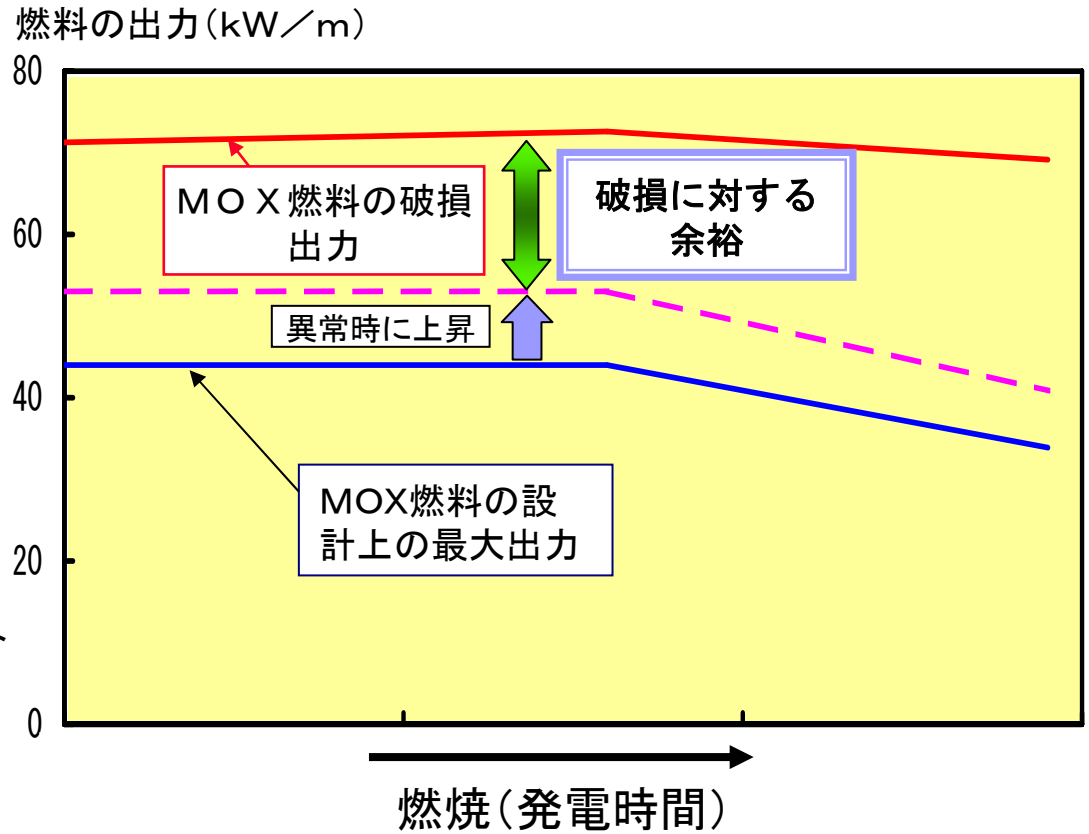
⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

出力が異常に上昇して燃料を傷めないか





異常時においても燃料が破損するような出力に達しないことを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

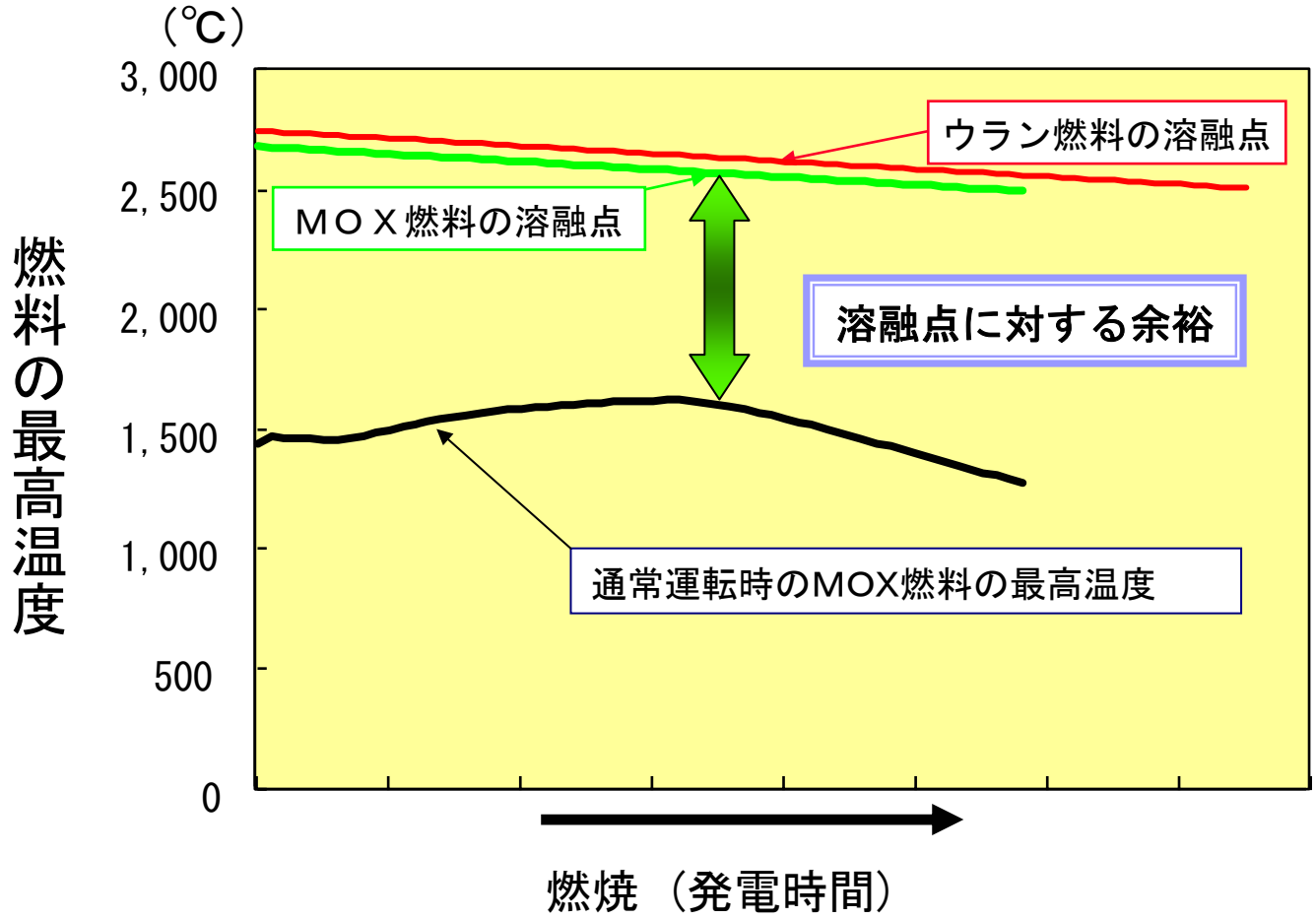
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

運転中に燃料が高温になり燃料が溶けないか



通常運転中に、燃料最高温度が溶融点に達しないことを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

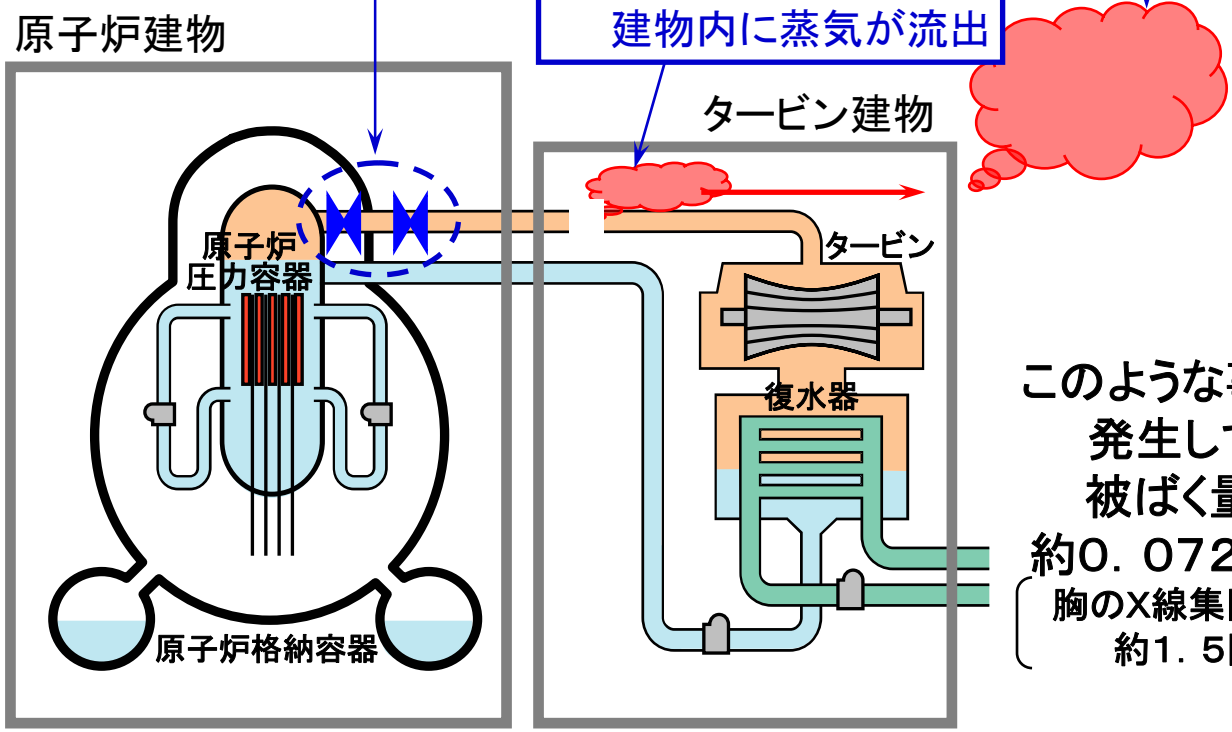
⑦ 燃料取扱・貯蔵

事故を想定した場合に発電所周辺への影響はないか

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

① 主蒸気管が破断し建物内に蒸気が流出



このような事故が発生しても被ばく量は約0．072　mSv

（胸のX線集団検診約1．5回分）

MOX燃料を使用した場合でも、周辺の住民が放射線による著しい影響がないことを確認した

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

MOX燃料の取扱いは安全に行えるか

新燃料受け入れ

MOX新燃料は、ウラン新燃料と比べて数十倍放射線が高い

↓

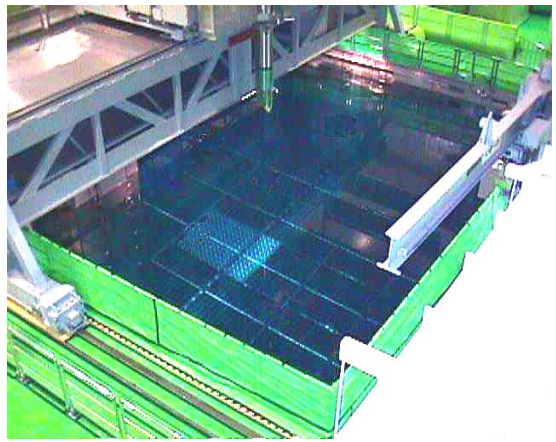
- 専用の容器に入れて輸送
- 取扱時に遮へいを設ける、取扱時間を短くする、距離を取る等の被ばく管理を行う
- 燃料プールに保管

使用済燃料の取扱い

- 専用装置で遠隔操作
- すべて水中で取扱う

↓

ウラン燃料と取扱いは同じ



MOX燃料を安全に取扱うことができる

安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

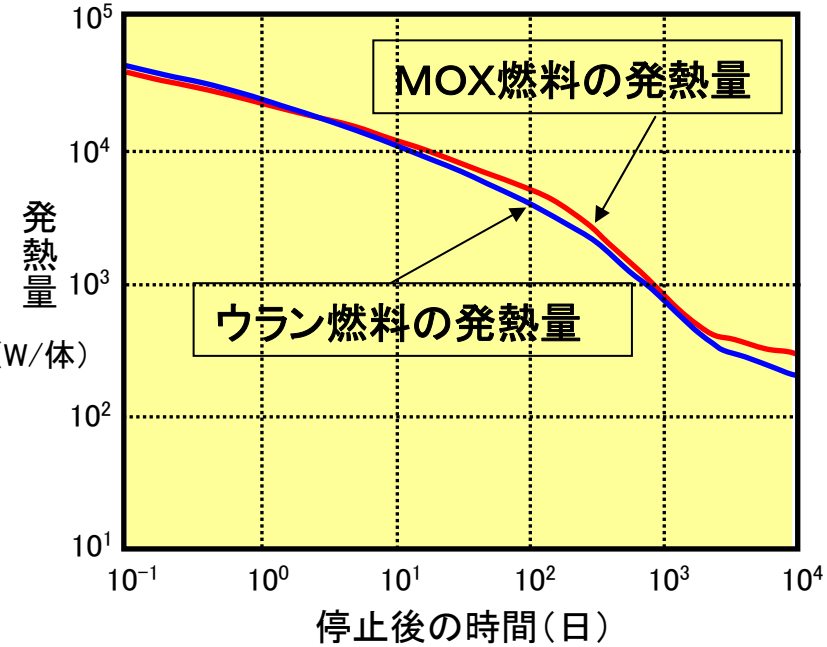
⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

使用済MOX燃料の貯蔵は安全に行えるか

MOX燃料は取出直後を除きウラン燃料より発熱量が大きい

最も厳しい条件下（燃料プールが使用済のウラン燃料とMOX燃料で占められ、発熱が最も大きくなる場合）での水温を解析



燃料プール冷却設備で十分冷却できることを確認した

	2号機燃料プールの水温	基準値
MOX燃料貯蔵時	約46 ℃	65 ℃

これまでのプルサーマルに関する許可の実績

沸騰水型原子炉（BWR）

・東京電力㈱福島第一原子力発電所3号炉
平成10年11月　4日　原子炉設置変更許可申請
平成11年　7月　2日　原子炉設置変更許可

・東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所3号炉
平成11年　4月　1日　原子炉設置変更許可申請
平成12年　3月15日　原子炉設置変更許可

・中部電力㈱浜岡原子力発電所4号炉
平成18年　3月　3日　原子炉設置変更許可申請
平成19年　7月　4日　原子炉設置変更許可

加圧水型原子炉（PWR）

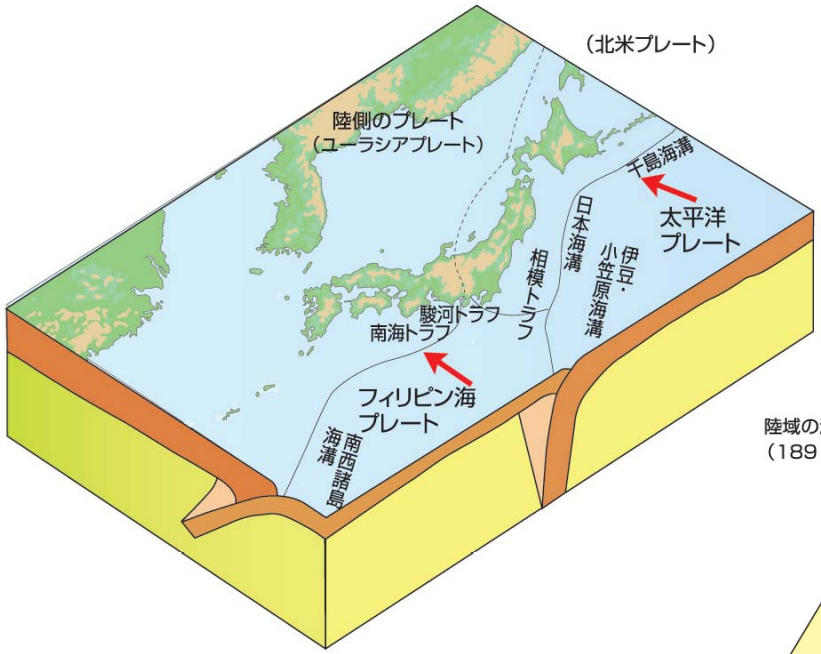
・関西電力㈱高浜発電所3、4号炉
平成10年　5月11日　原子炉設置変更許可申請
平成10年12月16日　原子炉設置変更許可

・九州電力㈱玄海原子力発電所3号炉
平成16年　5月28日　原子炉設置変更許可申請
平成17年　9月　7日　原子炉設置変更許可

・四国電力㈱伊方発電所3号炉
平成16年11月　1日　原子炉設置変更許可申請
平成18年　3月28日　原子炉設置変更許可

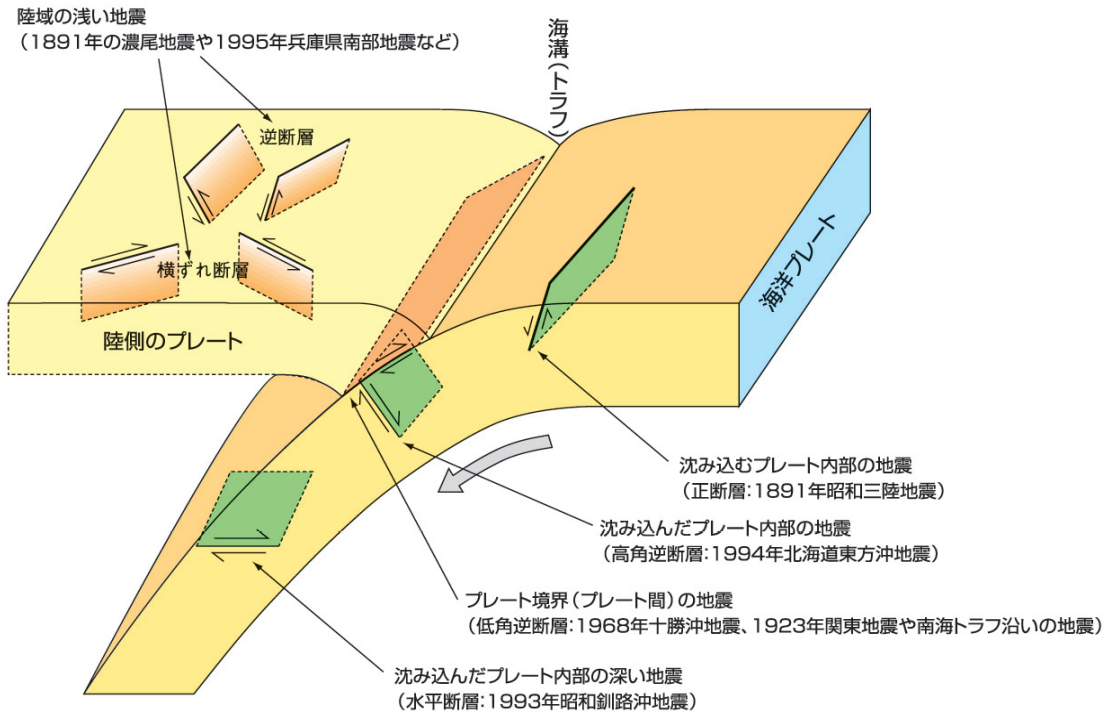
２．島根原子力発電所の耐震安全性について

地震発生のメカニズム



図中の矢印は、陸側のプレートに対する各プレートの相対運動を示す

日本列島とその周辺で発生する地震のタイプ



▲図は文部科学省　地震調査研究推進本部　HPより抜粋、一部加筆

原子力発電所の耐震設計の基本的考え方

原子力発電所の耐震設計は、原子力安全委員会が定めた耐震設計審査指針に従い設計

その基本的考え方は、

大きな地震があっても、発電所周辺に放射性物質の影響を及ぼさない

↓

安全上重要な「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」機能が確保されるように設計

耐震設計の基本方針を実現するために

徹底した調査

・活断層調査、過去の地震の調査等

↓

基準地震動の策定

・敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

・震源を特定せず策定する地震動
（旧指針のマグニチュード6．5の直下地震に代わるもの）

↓

重要度に応じた耐震設計

・Sクラス（原子炉圧力容器など） 止める、冷やす、閉じ込める機能	基準地震動に対して 安全機能維持 建築基準法の3．0倍※
・Bクラス（廃棄物処理設備など）	建築基準法の1．5倍※
・Cクラス（発電機など）	建築基準法の1．0倍※

※機器・配管は更に2割増し

自動停止機能

・一定以上の大きな揺れに対し、自動的に安全に停止

新耐震設計審査指針の目的と経緯

（1）改訂の目的

最近の地震学や耐震工学の成果など最新の知見を取り入れて、発電用原子炉施設の耐震安全性及びその信頼性等のより一層の向上を目指すもの。

（2）改訂の経緯

平成13年7月～ 原子力安全委員会の
耐震指針検討分科会で審議
平成18年4月　新耐震指針原案作成
平成18年5月　パブリックコメント
平成18年8月　新耐震指針修正案作成
平成18年9月　新耐震指針決定

新耐震設計審査指針のポイント

旧指針		新指針
		最新知見を考慮した基準地震動の策定を要求
・考慮すべき活断層の活動時期の範囲：5万年前以降 ・マグニチュード6．5の「直下地震」の想定	より厳しい水準 →	・考慮すべき活断層の活動時期の範囲：12～13万年前以降に拡大 ・マグニチュード6．5の直下地震に代えて、国内外の観測記録を基に、より厳しい「震源を特定せず策定する地震動」を設定
・文献調査、空中写真判読、現地調査等による活断層調査を実施	より入念な調査 →	・従来の調査に加え、不明瞭な活断層を見逃さないよう、変動地形学的手法等を用いた総合的な活断層調査を実施
・水平方向について、基準地震動を策定 ・地震規模と震源からの距離に基づき経験式による地震動評価（応答スペクトル評価式）	より高度な手法 →	・水平方向に加え鉛直方向についても、基準地震動を策定 ・応答スペクトル評価式に加え、地震発生メカニズムを詳細にモデル化できる断層モデルを地震動評価手法として全面的に採用

耐震安全性再評価（バックチェック）の指示

○ 平成18年9月20日（耐震バックチェック）

・保安院が策定した評価手法に従った耐震安全性の評価の実施
・耐震安全性の評価に係る実施計画書の報告（平成18年10月18日受取）
・評価結果の報告

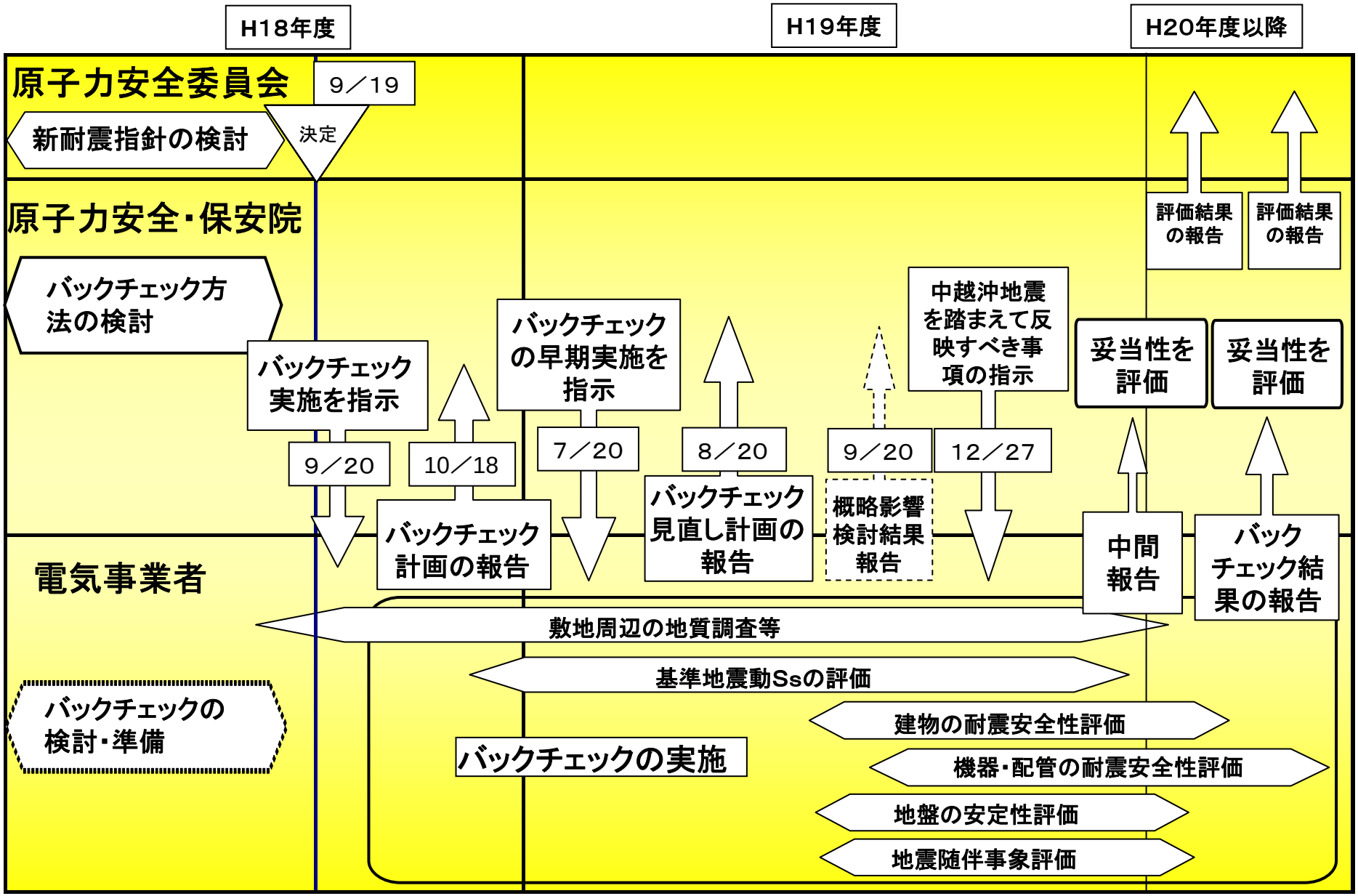
○ 平成19年7月20日（耐震バックチェックの実施計画の見直し）

・平成19年8月20日、各電力会社による見直し計画受取
・島根原子力発電所のバックチェック見直し工程
　1，2号機　：　平成20年3月　中間報告、平成20年12月　最終報告
　　3号機　：　平成21年12月　最終報告

○ 平成19年12月27日（新潟県中越沖地震を踏まえて耐震バックチェックに反映すべき事項をとりまとめて通知）

区分	主な反映すべき事項
地震・地震動の評価	a. ひずみ集中帯のような構造帯に係る地震の考慮 b. 活断層調査に基づく不確かさを考慮した震源断層モデルにより地震動を評価 c. 孤立した短い断層はM6.8相当を想定 d. 柏崎の観測波を踏まえた評価
地質・地質構造の評価	a. 断層関連褶曲の考え方を適用 b. 断層・褶曲の連続性を考慮
施設の地震応答解析	a. 解放基盤面が深い場合は入力地震動を適切に評価

新耐震指針に照らした耐震安全性再評価の流れ



バックチェックの確認体制

当院は、下記委員会及びWG等を開催して厳正に確認していく。

総合資源エネルギー調査会　原子力安全・保安部会　耐震・構造設計小委員会

- 地質・地盤WG
- 地震・津波WG
- 構　造　W　G

新潟県中越沖地震の概要

- 発生日時：平成19年7月16日
  午前10時13分頃

- 震源地名：新潟県上中越沖
- 地震規模：マグニチュード6．8
- 震源深さ：17km
- 震央距離：
  柏崎刈羽原子力発電所ー震央間
  約16km
- 各地の震度：
  震度6強（新潟県）
  柏崎市、刈羽村他
  震度5強（新潟県）
  小千谷市他

柏崎刈羽原子力発電所で観測された揺れ

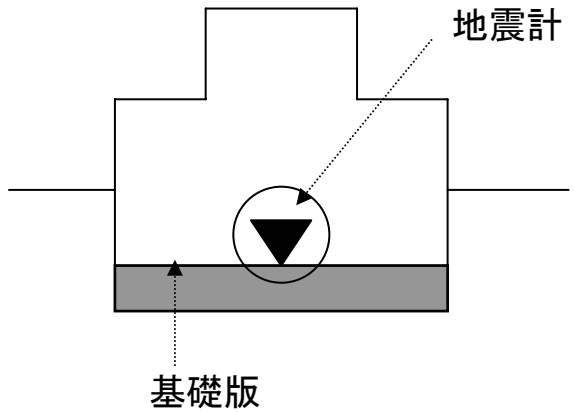
○設計時の想定を大きく超える揺れが観測

（観測例） 1号機　観測記録：680ガル
設計時想定：273ガル　約2．5倍

柏崎刈羽原子力発電所の基礎版上で観測された最大加速度

観測値	南北方向	東西方向	上下方向
1号機	311（274）	680（273）	408（235）
2号機	304（167）	606（167）	282（235）
3号機	308（192）	384（193）	311（235）
4号機	310（193）	492（194）	337（235）
5号機	277（249）	442（254）	205（235）
6号機	271（263）	322（263）	488（235）
7号機	267（263）	356（263）	355（235）

（　）内は設計時の想定加速度値（単位：ガル）

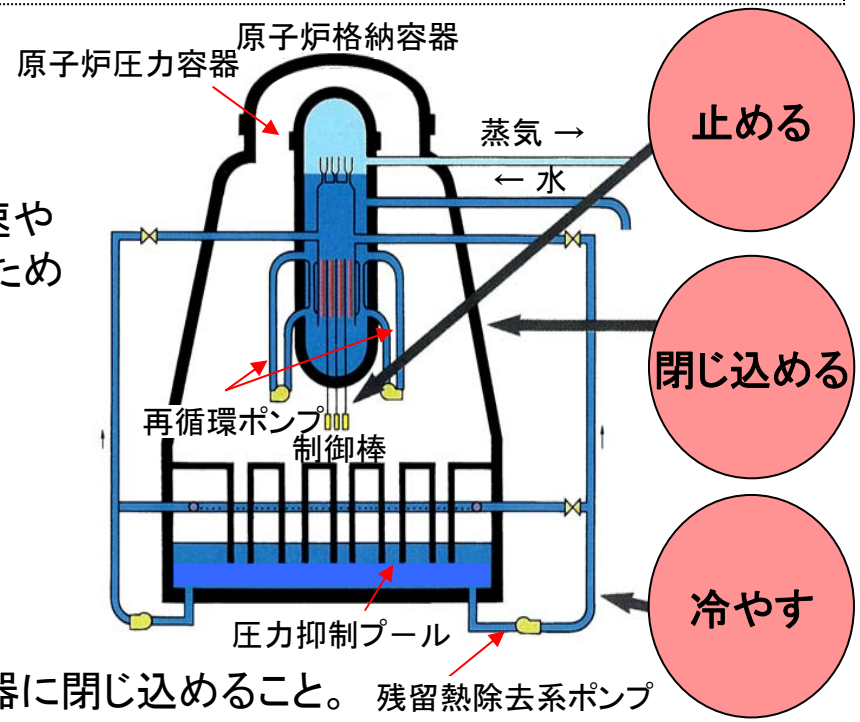


ガルとは

地震の揺れを表す加速度の単位の一つ。建物などの質量を掛けると加わる力の大きさが分かる。重力の加速度は980ガル。1ガル＝1cm/s²

今回の地震時でも原子力発電所は安全に止まったのか

発電用原子炉施設は想定されるいかなる地震力に対しても、これが大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない。この基本方針に則り、「止める」「冷やす」「閉じ込める」という重要な安全機能が確保されるよう設計。



①止める

→ 原子炉を緊急停止すること。

【今回の地震では】

○運転中の3，4，7号機及び起動中の2号機は速やかに自動停止。（1，5，6号機は定期検査中のため停止中。）

②冷やす

→原子炉停止後の崩壊熱を除去すること。

【今回の地震では】

○冷却装置は正常に作動。

③閉じ込める

→燃料が破損した場合に放射性物質を格納容器に閉じ込めること。

【今回の地震では】

○燃料破損はなく、原子炉圧力容器等からの冷却材の漏えいもなし。（ただし、6，7号機で微量の放射性漏えいがあったことから、東京電力に対して根本原因分析を指示し、その結果を踏まえてさらに安全性を高めていく。）

6号機の漏えい量：1年間に自然界から受ける放射線量の　約10億分の1
7号機の漏えい量：1年間に自然界から受ける放射線量の　約1000万分の1

柏崎刈羽原子力発電所に対する今後の確認事項

1. 今回の地震に対して、柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性は確保されているか？

2. 今回の地震の解明
（地震による揺れが設計で想定した揺れを大きく上回った要因は何か？）

3. 柏崎刈羽原子力発電所の今後の耐震安全性を確認するための基準地震動はどのように設定するのか？

4. 新たに設定した基準地震動による耐震安全性は確保されるのか？

IAEAによる柏崎刈羽原子力発電所の調査

-1/3-

第1回ミッション

○ 2007年7月19日に調査申し入れ。知見の国際共有の重要性に鑑みて受け入れる旨を回答。

・2007年8月6日～10日　現地調査及び保安院等との意見交換

フォローアップミッション

○ 第一次調査時にフォローアップすることを確認しており、実施にいたったもの。

・2008年1月28日～2月1日　現地調査及び保安院等との意見交換

IAEAによる柏崎刈羽原子力発電所の調査

-2/3-

-第一次報告書概要(2007年8月17日公表)-

- 安全に自動停止し、3つの基本的安全性能（止める、冷やす、閉じ込める）は確保
- 放射性物質の漏洩による個人被ばく線量は規制値に比べて大変低い
- 安全に関する構造、システム、機器は、予想より良い状態。目に見える損害なし
- 各機器は通常運転では機能するであろうが、隠れたダメージを受けているかもしれないことを考慮すべき

- 新耐震指針に従った再評価においては、今回の地震の影響や発電所の下に活断層がある可能性を考慮した評価が必要

IAEAによる柏崎刈羽原子力発電所の調査

-3/3-

-フォローアップミッションの結果概要-

＜全般的評価＞

・本調査への日本の対応は大変開放的で率直な雰囲気

＜個別論点に関する評価＞

○ 耐震安全性

・設計を超える地震動が発生したが、安全裕度の織り込みにより耐えられる設計となった

・地震のメカニズムについては、多量のデータが収集され、分析されているが、全体像を把握するためには更なる調査が必要

○ 設備健全性

・安全に関する機器の健全性は予想以上に良好であった

○ 防火対策・情報連絡

・発電所の防火対策は、昨年から飛躍的に向上している

まとめ

島根原子力発電所の耐震安全性については、新潟県中越沖地震の教訓を踏まえ、また、信頼性の一層の向上の観点から実施された新耐震指針に照らした耐震安全性再評価（バックチェック）を行うなどして、今後とも万全を期していく。