

高浜発電所第1, 2号機審査資料	
資料番号	1
提出年月日	2022年12月23日

高浜発電所1号機及び2号機  
設計及び工事計画認可申請の概要  
(1、2号機 使用済燃料ピットの未臨界性評価変更)

2022年12月23日

関西電力株式会社

1. 設計及び工事計画認可申請の概要	...	2
2. 設計及び工事計画の主な変更点	...	8
3. 技術基準との関係性	...	10
4. まとめ	...	17

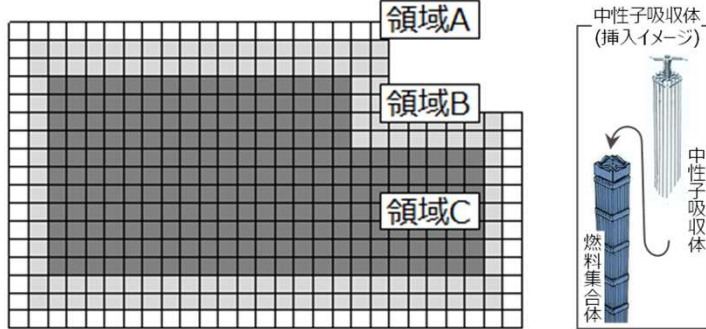
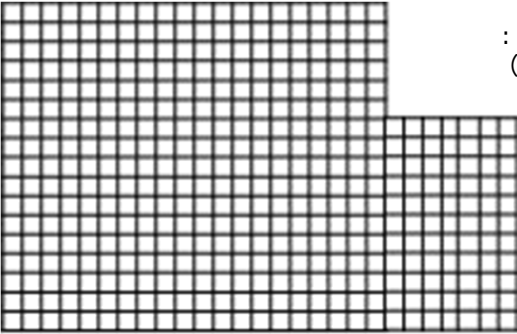
## <申請の概要>

1、2号機の使用済燃料ピット（以下、SFP）の大規模漏えい時における臨界防止設計について、既工事計画では燃焼度や中性子吸収体の有無による貯蔵領域を設けたうえで、理論上の全ての状態を包絡する条件として、液相、気相を区別せず  $0 \sim 1 \text{ g/cm}^3$  までの範囲において臨界に達しない設計としていた。

今回申請では、SFP内の水分状態に対し、重大事故等対応向けに整備しているSFPへの注水・放水手順において用いる設備の特徴や、放水された水の状態等を踏まえたより実態に則した条件を設定し、**燃焼度や中性子吸収体の有無を考慮せずに臨界を防止する設計へ変更**する。

これに伴い、従前の**燃焼度及び中性子吸収体の存在を考慮した配置制限は廃止するが**、配置制限に関する運用の変更のみであり、中性子吸収体である**制御棒クラスタは継続して使用済燃料ピット内に貯蔵すること**、その他**既設設備の改造及び新設設備の設置は伴わないことから、撤去工事を含む現場工事は実施しない。**

### 設計及び工事計画認可申請の概要

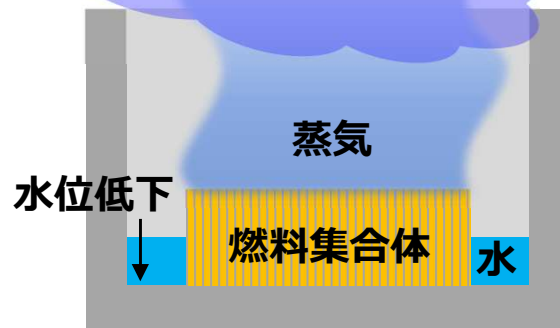
	既工事計画	今回申請																								
水密度条件	非常に保守的な条件 (全ての一様な水密度 $0 \sim 1 \text{ g/cm}^3$ )	<b>重大事故等時の実態に則した条件</b> (事故時に使用する設備の流量や、燃料集合体の幾何形状を踏まえた条件を設定)																								
燃料条件	 <table border="1" data-bbox="264 1284 1019 1524"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">55GWd/t燃料</th> <th colspan="2">48GWd/t燃料</th> </tr> <tr> <th>中性子吸収体なし</th> <th>中性子吸収体あり</th> <th>中性子吸収体なし</th> <th>中性子吸収体あり</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□領域A</td> <td>0GWd/t</td> <td>0GWd/t</td> <td>0GWd/t</td> <td>0GWd/t</td> </tr> <tr> <td>■領域B</td> <td>20GWd/t</td> <td>0GWd/t</td> <td>15GWd/t</td> <td>0GWd/t</td> </tr> <tr> <td>■領域C</td> <td>50GWd/t</td> <td>15GWd/t</td> <td>45GWd/t</td> <td>10GWd/t</td> </tr> </tbody> </table>		55GWd/t燃料		48GWd/t燃料		中性子吸収体なし	中性子吸収体あり	中性子吸収体なし	中性子吸収体あり	□領域A	0GWd/t	0GWd/t	0GWd/t	0GWd/t	■領域B	20GWd/t	0GWd/t	15GWd/t	0GWd/t	■領域C	50GWd/t	15GWd/t	45GWd/t	10GWd/t	 <p>: 全て新燃料 (55GWd/t燃料)</p> <p>55GWd/t新燃料敷詰 中性子吸収体の存在は考慮しない</p>
	55GWd/t燃料		48GWd/t燃料																							
	中性子吸収体なし	中性子吸収体あり	中性子吸収体なし	中性子吸収体あり																						
□領域A	0GWd/t	0GWd/t	0GWd/t	0GWd/t																						
■領域B	20GWd/t	0GWd/t	15GWd/t	0GWd/t																						
■領域C	50GWd/t	15GWd/t	45GWd/t	10GWd/t																						

臨界が防止できることを確認する評価について、今回評価では、大規模漏えい時の事象進展を考慮し、液相部・気相部それぞれに、より実態に則した水分状態を設定する。

## 大規模漏えい時の事象進展

- 大規模漏えい時には、整備している手順に基づき、SFPへ注水・スプレイ及び放水が実施される。
- 注水・スプレイ及び放水時のSFP雰囲気は、液相部（SFP水面より下部）と気相部（SFP水位より上部）の2相に分かれ、ピット水の漏えいが進むにつれ徐々に液相部水位が低下する。

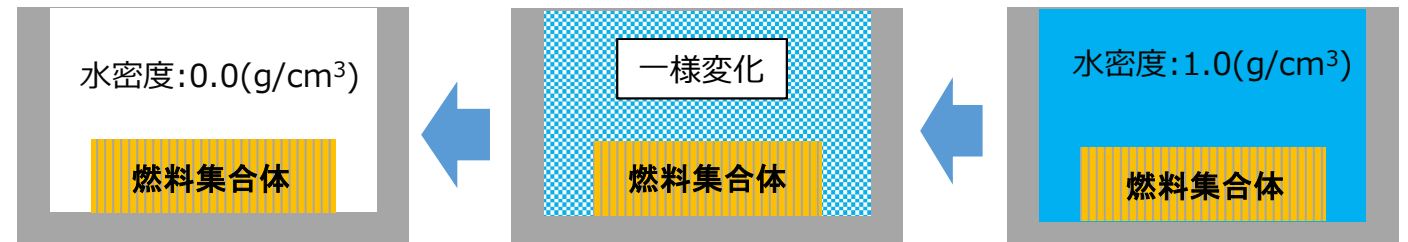
注水・放水により流入する水



【実機での現実的な状態】

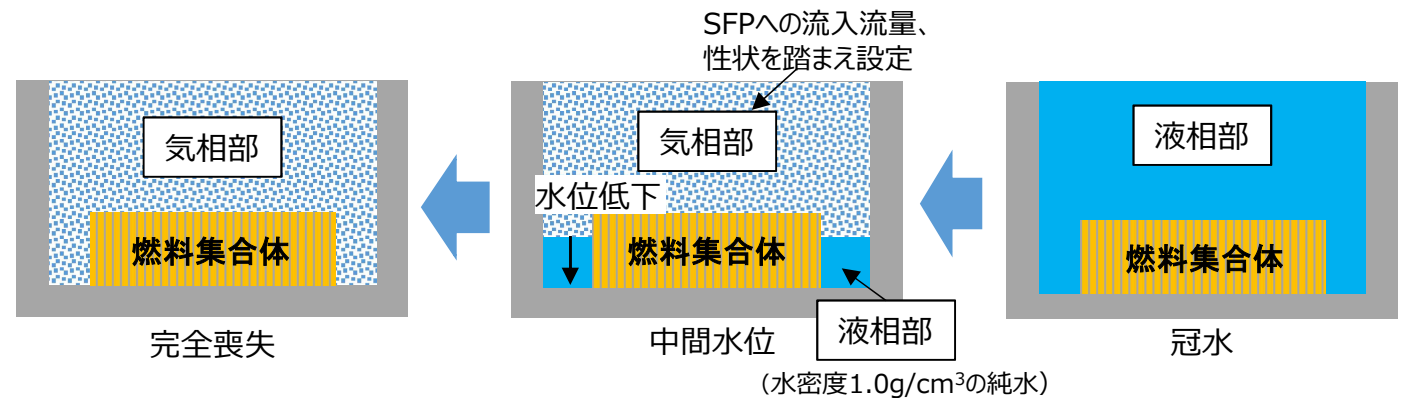
## ○既工事計画における設計

理論上の全ての状態を包絡する条件として、液相、気相を区別せず、SFP全体の水密度を一様として、全ての水密度範囲 (0.0~1.0g/cm<sup>3</sup>) の条件で評価する。



## ○今回申請

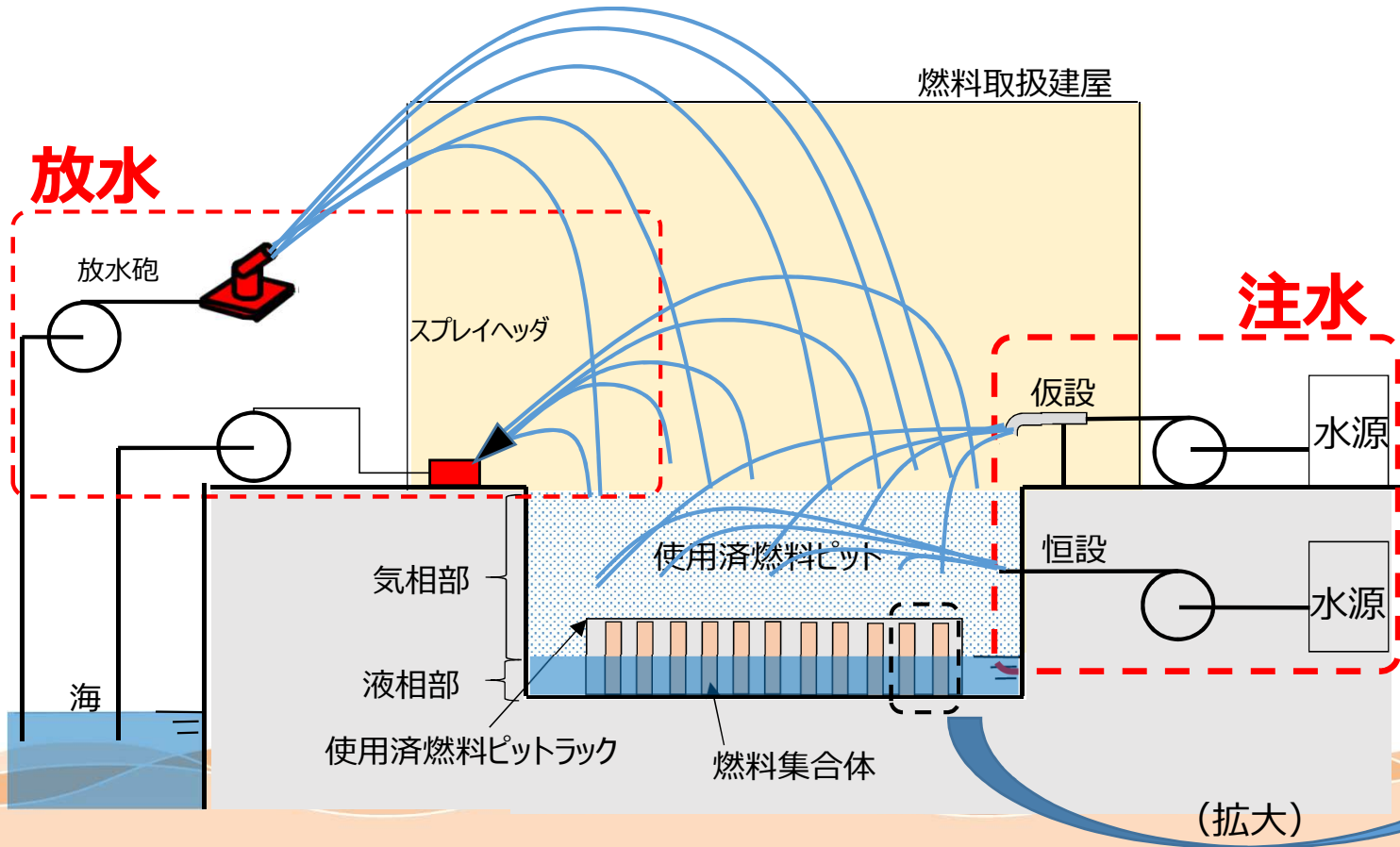
- 大規模漏えい時の実機での現実的な状態を考慮し、液相部と気相部の2相に分け、液相部の水位の変化を踏まえて評価する。
- 気相部の水分条件は、SFPに流入する水の流量や性状(液膜化)を踏まえ設定する。
- 液相部の水分条件は、実効増倍率を高める条件として、水密度1.0g/cm<sup>3</sup>の純水とする。



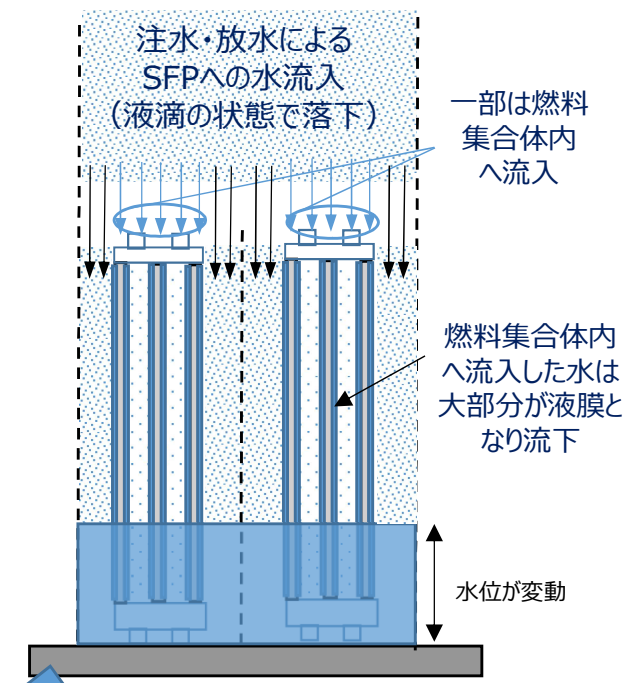
## <条件設定における基本的考え方>

- 重大事故等対応向けに整備しているSFPへの注水・放水手順において用いる設備の特徴や、放水された水の状態を等を踏まえた、事故時の実態により則した状態（基本ケース）を設定する。**例えば、以下のように条件を設定する。
  - SFP内には手順で使用するポンプの流量に基づく水量が流入する。
  - 海水には中性子吸収効果を有する塩素が存在しており、海を水源とする手順では塩素も同時にピット内に流入する。
  - 燃料集合体に流入した水は、液滴としてではなく、燃料棒の表面を液膜となり流下する。
- 基本ケース条件に対して、外的要因等による不確かさの発生により評価結果が厳しくなりうる場合は、当該不確かさ影響を考慮した状態を設定（感度解析ケース）し、未臨界性を確認する。**

### <SFPへの注水・放水時の状況>



### <流入した水の状態>





# 設計及び工事計画認可申請の概要 (4/6)

流量や流入範囲等に事故時の実態により則した条件を設定した基本ケース、及び各条件に対する不確かさ影響を確認する感度解析ケースを設定し、これらの条件に基づき未臨界性評価を実施した。

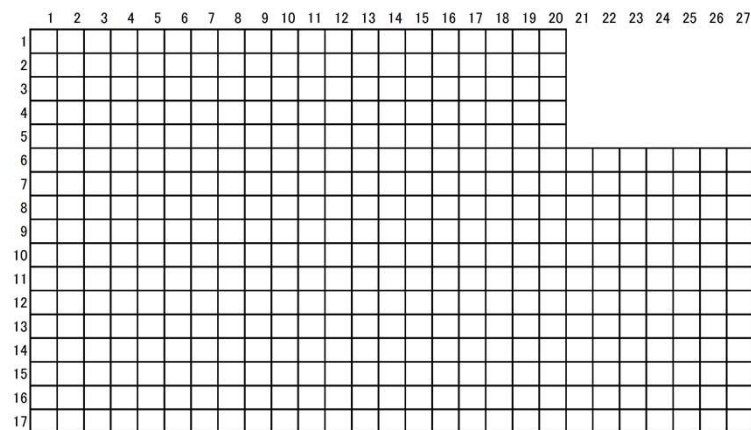
評価条件		事故時の実態により則したケース (基本ケース)	1手順あたりのポンプ 台数による感度を確認 する解析 (ケース①)	風の影響① (流入範囲を 狭める風の影響) による感 度を確認する解析 (ケース②)	風の影響② (斜め方向に液滴を落 下させ燃料集合体内への流入割合 に影響を与える風の影響) による 感度を確認する解析 (ケース③)	スプレイ試験における液滴径 測定箇所毎の結果の差異に よる感度を確認する解析 (ケース④)	
水分条件	流量	□ (m <sup>3</sup> /h) ・重大事故等対応向けに整備している注 水・放水手順を全て同時に実施 ・1手順につき1台のポンプを使用	□ (m <sup>3</sup> /h) <b>1手順につき、設置さ れるポンプ全数を使用</b>	□ (m <sup>3</sup> /h)	←	←	
	SFPへの流入範 囲、流量分布	流入範囲	SFP全面 ・流量が大きい放水設備の着水範囲を踏 まえ設定 (SFPの大きさは約110m <sup>2</sup> )	←	局所 <b>全流量が4×4 ラック(約2.6m<sup>2</sup>) へ流入</b>	SFP全面	←
		流量分布	一様	←	←	←	←
	燃料集合体内への流入割合		23 (%) ・ラックピッチと燃料集合体の幾何形状より 求まる面積比	←	←	46(%) <b>斜め方向からの液滴流入を 考慮した最大割合</b>	23(%)
	液膜厚さ	集合体内へ流入した流量 のうち液膜となる流量割合	100 (%)	←	←	←	←
		液膜厚さ評価式	包絡式	←	←	←	←
	気相部 水密度 (放水の 液滴径 等)	流入 範囲内	集合体内へ流入した流量のうち 液滴のまま落下する流量割合	0 (%)	←	←	←
			燃料集合体内	飽和蒸気密度 0.0006 (g/cm <sup>3</sup> ) 液滴径1.5mmを用いた水密度	←	←	←
		燃料集合体外	・評価結果が厳しくなるよう、全流量がス プレイ設備による放水時の液滴の状態となっ て落下することを想定。 ・液滴径は、体積換算した平均値を使用	←	←	←	液滴径0.4mmを用いた水 密度 <b>体積換算で、有意であると 考えられる液滴径の下限值</b>
		流入範囲外	-	-	0.0006 (g/cm <sup>3</sup> )	-	-
	海水中の塩分濃度		3.3(%)	←	←	←	←

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

- 基本ケース及び感度解析ケースの全てのケースにおいて、純水冠水状態から液相部高さの低下に伴い実効増倍率は減少し、純水冠水状態において最大0.947となった。
- これに製造公差による不確定性を考慮しても実効増倍率は0.959であり、未臨界性上の判断基準0.98を下回っており、燃烧度や中性子吸収体の有無を考慮せずに大規模漏えい時においても臨界を防止できることを確認した。

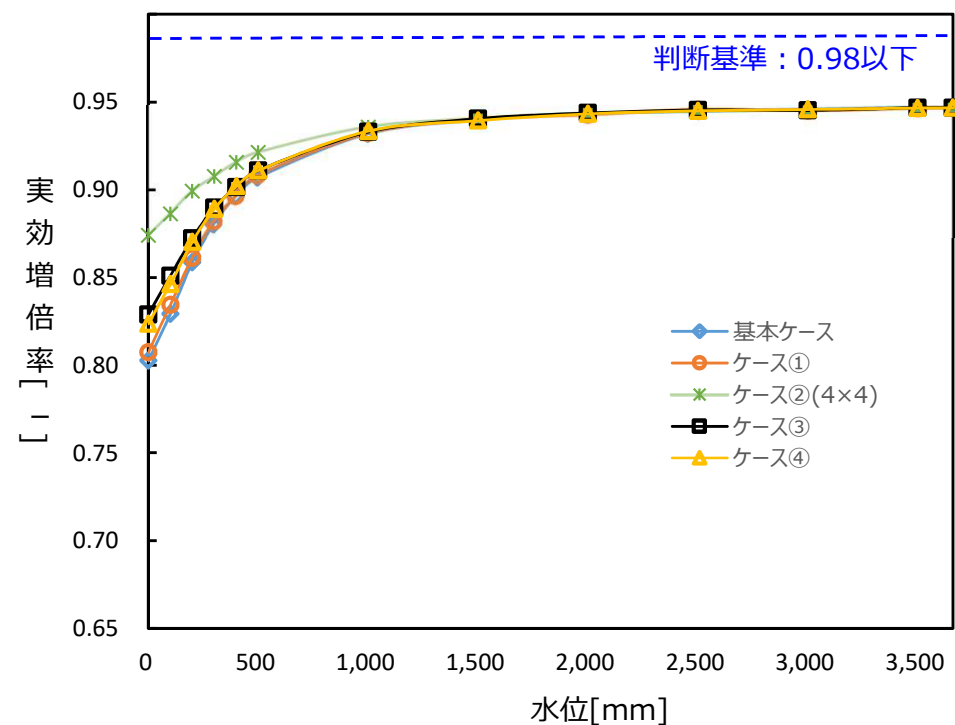
### 【評価条件】

○ 燃料条件：新燃料敷き詰め（下図）



○ 水分条件：前頁の整理表に基づく条件

### 【各ケース評価結果】



今回申請では、既認可の設計及び工事計画の一部を次の通り変更する。

【設計及び工事計画の変更概要】

設備	記載事項	変更内容
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	要目表	・変更なし
	基本設計方針	・未臨界性の評価方針を変更 (SFP全面の水密度を0~1cm <sup>3</sup> の範囲で一様に変化 →重大事故等時の実態に則した条件+不確かさの感度解析) ・貯蔵領域の設定や中性子吸収体に係る記載を削除
計測制御系統施設	要目表	・制御棒の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設との兼用を廃止
	基本設計方針	・変更なし



6 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の基本設計方針、適用基準及び適用規格

(1) 基本設計方針

変更前	変更後	変更概要
<p>2. 燃料貯蔵設備</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、使用済燃料ピットからの大量の水の漏えいにより使用済燃料ピット水位が使用済燃料ピット出口配管下端未満かつ水位低下が継続する場合に、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状、燃料配置及び制御棒クラスタ若しくは使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体（以下「使用済燃料ピット用中性子吸収体」という。）配置において貯蔵領域を設定することにより、スプレイや蒸気条件においても臨界を防止する設計とする。</u></p>	<p>2. 燃料貯蔵設備</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、使用済燃料ピットからの大量の水の漏えいにより使用済燃料ピット水位が使用済燃料ピット出口配管下端未満かつ水位低下が継続する場合に、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状及び燃料配置において、使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための手順等で想定される注水、スプレイ及び蒸気条件のもと、制御棒クラスタ等の中性子吸収効果を考慮せずに臨界を防止する設計とする。</u></p> <p><u>未臨界性の確認における条件の設定に際しては、設計値等の現実的な条件を基本としつつ、原則、実効増倍率に対して余裕が小さくなるような設定とする。また、解析条件の不確かさ影響を考慮する必要がある場合には、影響評価において感度解析を行う。</u></p>	<p>設計を変更</p> <p>未臨界性評価手法を反映</p>
<p>貯蔵領域は以下の方針に基づき、外周領域、中間領域及び中央領域を設計する。</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>中央領域：10GWd/t以上”を貯蔵する設計とする。</p> <p>燃料体等又は使用済燃料ピット用中性子吸収体の移動に際しては、未臨界が維持できることをあらかじめ確認している配置に基づき移動することを保安規定に定めて、臨界を防止できるよう管理する。</p>	<p style="text-align: center;">(削除)</p>	<p>貯蔵領域の設定に係る記載を削除</p>
<p>使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体は、20本の中性子吸収棒をクラスタ状にし、</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>悪影響を及ぼさない設計とする。</p>	<p style="text-align: center;">(削除)</p>	<p>使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体に係る記載を削除</p>
<p>4. 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備</p> <p>(3) 使用済燃料ピットへのスプレイ</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、使用済燃料ピットは、可搬型スプレイ設備にて、使用済燃料ピットラック及び燃料体等を冷却し、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状、燃料配置及び使用済燃料ピット用中性子吸収体配置において、いかなる一様な水密度であっても実効増倍率は不確定性を含めて0.98以下で臨界を防止できる設計とする。</u></p>	<p>4. 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備</p> <p>(3) 使用済燃料ピットへのスプレイ</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、使用済燃料ピットは、可搬型スプレイ設備にて、使用済燃料ピットラック及び燃料体等を冷却し、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状及び燃料配置において、使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための手順等で想定される注水、スプレイ及び蒸気条件であっても実効増倍率は不確定性を含めて0.98以下で臨界を防止できる設計とする。</u></p>	<p>設計を変更</p>

## 計測制御系統施設

加圧水型発電用原子炉施設に係るもの（発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係るものを除く。）にあつては、次の事項

### 2 制御材に係る次の事項

(1) 制御棒の名称、種類、組成、反応度制御能力、停止余裕、主要寸法及び個数

以下の設備は、既存の計測制御系統施設のうち制御材（核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のうち使用済燃料貯蔵設備と兼用）であり、本設計及び工事計画で計測制御系統施設のうち制御材とする。

制御棒の核燃料物資の取扱施設及び貯蔵施設との兼用を廃止し、制御棒は計測制御系統施設としてのみ使用する。  
 なお、計測制御系統施設としての制御棒の設計に変更はない。

			変更前	変更後
名称			制御棒 <sup>(注1)</sup>	制御棒
種類	—	—	制御棒クラスタ	変更なし
組成	制御材	—	銀-インジウム-カドミウム合金	
反応度制御能力		$\Delta k/k$	(最大反応度効果を有するクラスタ1本挿入不能時) 約 0.05	
停止余裕		$\Delta k/k$	(最大反応度効果を有するクラスタ1本挿入不能時) 0.0177 以上	
主要寸法	クラスタ全長	mm	4,025 <sup>(注2)</sup>	
	クラスタ有効長さ	mm	3,607 <sup>(注2)</sup>	
	クラスタたて	mm	153.4 <sup>(注2)</sup>	
	クラスタ横	mm	153.4 <sup>(注2)</sup>	
	制御棒外径	mm	11.2 <sup>(注2)</sup>	
	制御棒被覆管厚さ	mm	0.5 (0.5 <sup>(注2)</sup> )	
クラスタ個数		—	48	

(注1) 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のうち使用済燃料貯蔵設備と兼用

(注2) 公称値

本設計変更に係る設備及び技術基準規則の各条文への関連性を整理した結果は以下の通り。

○：対象 ×：対象外

技術基準規則	適用条文	審査対象 条文	理由
○重大事故等対処施設			
第49条 重大事故等対処施設の地盤	○	×	重大事故等対処施設であることから適用条文であるが、本申請は重大事故等時のSFP臨界評価に関する評価手法及び運用の変更に関する申請であり、既存設備の仕様変更及び新設設備の設置は行わない。 また、核燃料取扱施設及び貯蔵施設としての機能が廃止される制御棒クラストについても継続してSFPに貯蔵することから、既工事計画に影響を与えないため、審査対象条文とならない。
第50条 地震による損傷の防止	○	×	
第51条 津波による損傷の防止	○	×	
第52条 火災による損傷の防止	○	×	
第54条 重大事故等対処設備	○	×	
第69条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	○	○	本申請により、重大事故等時の実態に則した条件においても中性子吸収体の存在を考慮せずとも臨界に至らない設計とし、使用済燃料ピット用中性子吸収体及び貯蔵領域の設定の廃止を行うことから、第2項への適合性を説明する。

（重大事故等対処施設の地盤）  
 第四十九条  
 重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める地盤に施設しなければならない。

適合のための設計方針  
 第1項について

適合のための設計方針	
既認可での設計方針	（基本設計方針） 1. 地盤等 1. 1 地盤 <中略> 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設については、自重や運転時の荷重等に加え、その供用中に大きな影響を及ぼすおそれがある地震動（以下「基準地震動」という。）による地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。
今回申請での設計方針	未臨界性の評価方針及び運用の変更のみであり、 <u>既設計に影響を与えないことから、設計方針の変更不要</u>
本申請書での対応	<u>設計方針に変更はないため、審査対象外</u>

（地震による損傷の防止）  
 第五十条  
 重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定めるところにより施設しなければならない。

適合のための設計方針  
 第1項について

適合のための設計方針	
既認可での設計方針	（基本設計方針） 2. 自然現象 2. 1 地震による損傷の防止 2. 1. 1 耐震設計 a. <中略> 重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）は、基準地震動Ssによる地震力に対して、重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない設計とする。
今回申請での設計方針	未臨界性の評価方針及び運用の変更のみであり、 <u>既設計に影響を与えないことから、設計方針の変更不要</u>
本申請書での対応	<u>設計方針に変更はないため、審査対象外</u>



(津波による損傷の防止)  
 第五十一条  
 重大事故等対処施設が基準津波によりその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。

適合のための設計方針

適合のための設計方針	
既認可での設計方針	(基本設計方針) 1. 津波による損傷の防止 1. 1. 耐津波設計の基本方針 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設が設置(変更)許可を受けた基準津波によりその安全性又は重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう、遡上への影響要因及び浸水経路等を考慮して、耐津波設計に用いるために、最も水位変動が大きい入力津波を設定する。
今回申請での設計方針	未臨界性の評価方針及び運用の変更のみであり、 <u>既設計に影響を与えないことから、設計方針の変更不要</u>
本申請書での対応	<u>設計方針に変更はないため、審査対象外</u>

（火災による損傷の防止）

第五十二条

重大事故等対処施設が火災によりその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないよう、次に掲げる措置を講じなければならない。

一 火災の発生を防止するため、次の措置を講ずること。

□ 重大事故等対処施設には、不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。ただし、次に掲げる場合は、この限りでない。

適合のための設計方針

適合のための設計方針

	適合のための設計方針
既認可での設計方針	<p>（基本設計方針）</p> <p>(1)火災発生防止</p> <p>b. 不燃性材料又は難燃性材料の使用</p> <p>火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設は、不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とし、不燃性材料又は難燃性材料が使用できない場合は、不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの（以下「代替材料」という。）を使用する設計、若しくは、当該構築物、系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合は、当該構築物、系統及び機器における火災に起因して他の火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。</p>
今回申請での設計方針	<p>未臨界性の評価方針及び運用の変更のみであり、<u>既設計に影響を与えないことから、設計方針の変更不要</u></p>
本申請書での対応	<p><u>設計方針に変更はないため、審査対象外</u></p>

（重大事故等対処設備）

第五十四条

重大事故等対処設備は、次に定めるところによらなければならない。

- 一 想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮すること。

適合のための設計方針

適合のための設計方針	
既認可での設計方針	<p>（基本設計方針）</p> <p>2. 燃料貯蔵設備</p> <p>&lt;中略&gt;</p> <p>使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体は、使用済燃料ピットにおける圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、耐放射線性、寸法安定性、耐熱性、核性質、耐食性及び化学的安定性を保持する設計とする。また、流路孔を有し、制御棒クラスタより軽量とすることで、燃料体等の冷却性、使用済燃料ピットラック及び使用済燃料ピットクレーンの耐震性並びに使用済燃料ピットへの波及的影響の観点から、悪影響を及ぼさない設計とする。</p>
今回申請での設計方針	<p>使用済燃料ピット用中性子吸収体の有無を考慮せず臨界を防止する設計とすることから、<u>記載を削除する。</u></p>
本申請書での対応	<p><u>・基本設計方針を削除</u></p> <p><u>・使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体は重大事故等対処設備として使用しなくなることから、適合性を確認する必要はなく、審査対象条文とならない。</u></p> <p>なお、<u>使用済燃料ピット用中性子吸収体を撤去しても臨界に達しないことについては、第69条にて説明する。</u></p>

（使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備）

第六十九条

2 発電用原子炉施設には、使用済燃料貯蔵槽からの大量の水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が異常に低下した場合において貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷の進行を緩和し、及び臨界を防止するために必要な設備を施設しなければならない。

適合のための設計方針

第2項について

適合のための設計方針	
既認可での設計方針	<p>（基本設計方針）</p> <p>2. 燃料貯蔵設備                      &lt;中略&gt;</p> <p>また、使用済燃料ピットからの大量の水の漏えいにより使用済燃料ピット水位が使用済燃料ピット出口配管下端未満かつ水位低下が継続する場合に、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状、燃料配置及び制御棒クラスタ若しくは使用済燃料ピット用中性子吸収棒集合体（以下「使用済燃料ピット用中性子吸収体」という。）配置において貯蔵領域を設定することにより、スプレイや蒸気条件においても臨界を防止する設計とする。</u></p>
今回申請での設計方針	<p>2. 燃料貯蔵設備                      &lt;中略&gt;</p> <p>また、使用済燃料ピットからの大量の水の漏えいにより使用済燃料ピット水位が使用済燃料ピット出口配管下端未満かつ水位低下が継続する場合に、<u>臨界にならないよう配慮したラック形状及び燃料配置において、使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための手順等で想定される注水、スプレイ及び蒸気条件のもと、制御棒クラスタ等の中性子吸収効果を考慮せずに臨界を防止する設計とする。</u></p>
本申請書での対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>基本設計方針を変更</u></li> <li>・<u>添付資料2「燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書」を添付</u></li> </ul>

1, 2号機の使用済燃料ピットの燃焼度や中性子吸収体の有無を考慮せずに臨界を防止する設計への変更に関して、「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則」に適合していることを確認した。