

## 玄海原子力発電所4号炉高燃焼度燃料の使用に伴う原子炉設置変更許可申請 コメントリスト(炉心核設計・反応度投入関連)

No.	資料名	11/14 ヒアリングコメント内容	コメント回答	コメント回答日
1	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	全般 関連する本文記載箇所において、本文五号ロ、発電用原子炉施設の一般構造が抜粋されていない条文においては、必要な箇所を抜粋して説明すること。	「申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(11/28付け)」を資料2のとおり修正し、本文五号ロ、発電用原子炉施設の一般構造の必要な箇所を抜粋した。	今回ご説明
2	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則15条1項(原子炉固有の出力制御特性関係) 本文において主要な核的制限値として記載している「減速材温度数」・「ドップラ係数」と、添付資料8にのみ記載している「減速材密度係数」・「圧力係数」・「ボイド係数」の関係について、要求事項を踏まえて整理すること。 その上で、各反応度係数が本申請においてどのように変更となるのか(申請書上は圧力係数のみ変更)、具体的に説明すること。その際には、申請書上で変更のない反応度係数についても、有効数字や数値処理の関係で変更がなかったのかどうか、併せて説明すること。	資料1-1「反応度係数について」にてご説明。	今回ご説明
3	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則15条1項(反応度の制御関係) 出力振動のうち水平方向の振動について、固有の負の反応度フィードバック特性を持たせることにより容易に制御できる設計としているという理解でいいか、明確に説明すること。	資料1-2「出力振動のうち水平方向の振動について」にてご説明。	今回ご説明
4	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則15条1項(反応度の制御関係) 出力振動のうち軸方向の振動について、「炉外核計装で軸方向中性子束偏差を計測すること」及び「アキシアルオフセットを適正な範囲に維持すること」が適合のための設計方針として記載されているが、関連する本文記載箇所として、これらに係る事項が記載されていないため、改めて本要求事項への適合性を整理して説明すること。	資料1-3「軸方向の出力振動に関する適合性について」にてご説明。	今回ご説明
5	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則15条1項(反応度の制御関係) 適合のための設計方針や関連する本文記載箇所に、「制御棒クラスタ」に係る内容のみが記載されていて、「1次冷却材中のほう素濃度調整」に係る内容が記載されていない理由を説明すること。 その際には、「制御棒クラスタの操作」と「1次冷却材中のほう素濃度調整」の目的や関係を整理すること。 その上で、反応度制御能力が本申請においてどのように変更となるのか、具体的に説明すること。	資料1-4「設置許可基準規則第15条第1項適合性説明における反応度制御能力について」にてご説明。	今回ご説明
6	申請書添付書類八 8(4)-3-62~63	設置許可基準規則15条1項 核設計値のうち実効増倍率と反応度制御能力について、初装荷炉心の記載を削除した理由を説明すること。	資料1-5「初装荷炉心に係る記載の取扱いについて」にてご説明。	今回ご説明

玄海原子力発電所4号炉高燃焼度燃料の使用に伴う原子炉設置変更許可申請 コメントリスト(炉心核設計・反応度投入関連)

No.	資料名	11/14 ヒアリングコメント内容	コメント回答	コメント回答日
7	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則25条2項2号～4号 これらの条文では、高温状態又は低温状態において未臨界に移行し、及び未臨界を維持できることを要求している。 まず、高温運転状態から低温停止状態までの運転状態において、どのように未臨界に移行し、及び未臨界を維持するのか、各運転状態の定義を含めて、一連の線図等を用いて整理して説明すること。	資料1-6「設置許可基準規則第25条第2項第二号から第四号における炉心状態及び反応度制御系統について」にてご説明。	今回ご説明
8	申請条文に対する設置許可基準規則適合のための設計方針と申請書記載の整合性について(8/22付け)	設置許可基準規則25条2項2号～4号 No.7に関連して、各要求事項の適合性に必要な設備や当該設備の設計・仕様を明確にすること。 併せて、関連する本文記載箇所・関連する添付書類記載箇所において、申請書本文五号や添八の設備の設計・仕様に関する事項(例えば、添八3.2.3 反応度制御設備・5.8 化学体積制御設備・6.1 原子炉制御設備)についても、必要な箇所を抜粋して説明すること。	資料1-7「設置許可基準規則第25条第2項第二号から第四号における対象設備について」にてご説明。 また、本申請におけるほう素濃度調整による反応度制御能力の値及び導出過程について、資料1-8「ほう素濃度調整による反応度制御能力について」にてご説明。	今回ご説明
9	申請書本文五号へ、(4) (iii)	設置許可基準規則25条2項3号～4号 申請書本文五号へ、における停止時実効増倍率の記載の考え方に関して、申請書添八第3.3.1表の記載との差異を説明すること。	設置許可基準規則25条3号～4号にて、ほう素濃度調整能力の要求として低温状態の未臨界の維持をできるように設計していることから、申請書本文五号へ、に低温停止時の実効増倍率として「0.99以下」と記載している。一方、添付書類八第3.3.1表には低温停止時の実効増倍率を「0.99」と記載しているが、これは実効増倍率が0.99となるよう設計した場合のほう素濃度を記載しているものである。	今回ご説明

## 反応度係数について

## 1. 反応度係数の原子炉設置許可申請における記載

反応度係数については、設置許可基準規則の解釈においてはドップラ係数、減速材温度係数、減速材ボイド係数及び圧力係数の記載がある。これに対して、原子炉設置許可申請書においては、本文五号に減速材温度係数及びドップラ係数を、添付書類八に減速材温度係数、ドップラ係数、ボイド係数、圧力係数、減速材密度係数を記載している。

これらの反応度係数のうち、減速材温度係数及びドップラ係数については原子炉固有の出力抑制特性を有する設計として、本文五号「ハ. 原子炉本体の構造及び設備」「(iii) 主要な核的制限値」に「減速材温度係数は高温出力運転状態で負になるよう」、また、「ドップラ係数は負になるよう」設計することを記載し、これらにより、設置許可基準規則第 15 条第 1 項に規定する「原子炉固有の出力抑制特性を有する」設計としている。一方、添付書類八においては想定する具体的な範囲を記載し、安全解析に使用している。

ボイド係数及び圧力係数については、PWR における設計、評価において直接使用しておらず、核設計ではボイド率や圧力の変化に対する反応度の感度を一般的に表すものとして、添付書類八に想定する具体的な範囲を記載している。

減速材密度係数については、減速材温度係数と同様に減速材の体積変化による反応度係数であり同義と言えるため、本文に制限値としての記載はなく添付書類八に想定する具体的な範囲<sup>\*</sup>を記載し、安全解析に使用している。

また、ボイド係数及び減速材密度係数については、圧力一定下において減速材温度変化に起因する反応度変化と考えることができることから減速材温度係数から換算している。圧力係数は圧力一定下で制御する PWR では意味をなさない反応度係数となることから、便宜上、減速材温度係数から換算している。

※減速材密度係数の下限値【 $0((\Delta K/K)/(g/cm^3))$ 】は、減速材温度が負であることに対応するためのものであり、減速材温度係数から換算したものではない。減速材密度係数の最小値を使用する安全解析においては、いずれも出力運転時からの事象発生を想定したものであり、炉物理検査で減速材温度係数が負であることが確認された後であるため、下限値としては $0((\Delta K/K)/(g/cm^3))$ を用いて問題ない。

2. ボイド係数、圧力係数、減速材密度係数の算出方法  
これらの各反応度係数の算出方法について、以下に示す。

反応度係数（ボイド係数、圧力係数、減速材密度係数）

$$= \frac{1}{k_{eff}} \cdot \frac{\partial k_{eff}}{\partial x} = \frac{1}{k_{eff}} \cdot \frac{\partial k_{eff}}{\partial T_m} \times \frac{\partial T_m}{\partial x} = \text{減速材温度係数} \times \frac{\partial T_m}{\partial x}$$

ここで、 $k_{eff}$  : 実効増倍率  
 $T_m$  : 減速材温度  
 $x$  : ボイド率、炉心圧力、減速材密度

3. 本申請における変更内容

1. 及び2. で述べた添付書類八に記載の減速材温度係数及びドップラ係数の範囲については、今回申請している高燃焼度燃料を使用しても現行の範囲内で運転可能であることを核設計計算で確認していることから変更はなく、また、減速材温度係数から換算されるボイド係数、圧力係数、減速材密度係数も同様に変更はない。

ただし、圧力係数については、発電用原子炉施設の設置（変更）許可申請に係る運用ガイドに倣い、単位を現行の「 $(\Delta K/K)/(kg/cm^2)$ 」から、SI 単位である「 $(\Delta K/K)/(MPa)$ 」に見直している。

なお、単位変換には、 $1(kg/cm^2) = 0.0980665(MPa)$ を用いている。

## 出力振動のうち水平方向の振動について

出力振動のうち水平方向の振動については、減速材温度係数（減速材温度に依存）及びドップラ係数（燃料温度に依存）に固有の負の反応度フィードバック特性を持たせることで、十分な減衰特性を有している。

具体的には、水平方向の左半炉心で出力（燃料温度）が増加した場合、左半炉心の減速材温度が上昇するが、ドップラ係数及び減速材温度係数による反応度フィードバック効果が出力を抑制する方向に働く。一方で、出力が減少する右半炉心で減速材温度が低下し、ドップラ係数及び減速材温度係数による反応度フィードバック効果が出力を上げる方向に働く。従って、減速材温度係数及びドップラ係数に固有の負の反応度フィードバック特性を持たせることで、炉心全体として十分な減衰特性を持ち、容易に制御できる設計としている。

上記内容を踏まえ、本文五号及び添付書類八においては下表のように記載している。

本文五号	添付書類八
<p>ハ. 原子炉本体の構造及び設備            (1) 発電用原子炉の炉心            (iii) 主要な核的制限値  <u>発電用原子炉を安全かつ安定に制御することを目的として、次のような核的制限値を設定する。</u>            なお、発電用原子炉は高温状態以外で臨界としない設計とする。</p> <p><b>d. 減速材温度係数及びドップラ係数</b>  <u>減速材温度係数は、高温出力運転状態では負になるように設計する。また、ドップラ係数は負になるように設計する。</u></p>	<p>3. 発電用原子炉及び炉心            3.3 核設計            3.3.1 概要  <u>ドップラ係数は常に負であり、減速材温度係数は高温出力運転状態では負に保たれているため、発電用原子炉に固有の安全性を与えている。また、キセノンによる出力振動のうち、径方向振動は収束性であり、軸方向振動も炉心寿命中の大部分において収束性である。</u></p> <p>3.3.2 設計方針            (2) これらを基本とし、濃縮度、ガドリニア濃度等を考慮した上で、以下の方針に基づき具体的設計を行う。            c. 反応度係数  <u>炉心が負の反応度フィードバック特性を有するように、ドップラ係数は常に負であり、かつ、高温出力運転状態で減速材温度係数は負となる設計とし、これらを総合した反応度出力係数が運転時の異常な過渡変化時においても出力抑制効果を有する設計とする。</u>            e. 安定性  <u>出力分布の振動が生じないように、炉心に十分な減衰特性を持たせた設計とするか、又はたとえ振動が生じてもそれを検出し、容易に抑制できる設計とする。</u></p> <p>3.3.5 核設計の内容            (2) 反応度係数            (中略) このように、反応度変化を補償する主な2つの効果、<u>ドップラ係数及び減速材温度係数は、高温出力運転中常に負に保たれており、発電用原子炉に固有の安全性を与えている。</u></p> <p>(4) 安定性            キセノンによる出力分布の空間振動で問題となるのは、軸方向振動のみであり、<u>水平方向振動は、炉心寿命中十分な減衰性を有する。</u></p>

## 軸方向の出力振動に関する適合性について

## 1. 設置許可基準規則第 15 条第 1 項と第 2 項の整理

設置許可基準規則第 15 条第 1 項においては「原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない」、また、解釈において、「反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する」とは出力振動が発生した場合にあってもそれを容易に制御できることを含む。ここで、「容易に制御できる」とは、燃料の許容損傷限界を超える状態に至らないよう十分な減衰特性を持ち、又は出力振動を制御し得ることを意味する。」と記載されている。

一方、第 2 項においては「燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない」、また、解釈において「燃料の許容損傷限界の設定は、燃料ペレットの最高温度、燃料被覆管の最高温度、最大熱流束、最小限界熱流束比、最小限界出力比、燃料ペレットの最大エンタルピー、燃料被覆管の最大変形量及び最大線出力密度（BWR）等が判断の基礎となる。」と記載されている。

従って、第 1 項の要求としては、間接的には燃料の許容損傷限界を超える状態に至らないことではあるが、そうならないように十分な減衰特性を持ち、出力振動を制御し得ることと考えられる。

また、第 2 項の要求としては、直接的に燃料の許容損傷限界を超えないことと考えられる。

## 2. 出力振動のうち軸方向の振動について

出力振動のうち、水平方向振動については、ドップラ係数及び減速材温度係数による反応度フィードバック効果により炉心寿命中十分な減衰性を有している。

また、出力振動のうち軸方向の振動についても、固有の負のフィードバック特性のうち、ドップラ係数が軸方向の振動抑制に大きな効果を有しており、炉心寿命中の大部分において減衰特性を有しているが、燃焼が進むにつれて軸方向出力分布がより平坦化されることから、サイクル末期では軸方向の出力振動が起こる可能性はある。

ただし、この軸方向の出力振動はアキシャルオフセットを適正な範囲に維持することにより容易に避けることができるとともに、炉外核計装で軸方向中性子束偏差を計測することにより確実かつ容易に検出でき、制御棒クラスタの操作によって容易に制御可能である。

従って、設置許可基準規則第 15 条第 1 項の要求として想定する軸方向の出力振動については、十分な減衰特性を持つこととして「ドップラ係数は負になるように設計する」こと及び軸方向の出力振動が制御可能であることとして、「制御棒クラスタの反応度制御能力」で適合すると考える。

本文五号	添付書類八
<p>ハ. 原子炉本体の構造及び設備</p> <p>(1) 発電用原子炉の炉心</p> <p>(iii) 主要な核的制限値</p> <p><u>発電用原子炉を安全かつ安定に制御すること※を目的として、次のような核的制限値を設定する。</u></p> <p>なお、発電用原子炉は高温状態以外で臨界としない設計とする。</p> <p><u>d. 減速材温度係数及びドップラ係数</u></p> <p>減速材温度係数は、高温出力運転状態では負になるように設計する。また、<u>ドップラ係数は負になるように設計する。</u></p> <p>ヘ. 計測制御系統施設の構造及び設備</p> <p>(3) 制御設備</p> <p>(iii) <u>反応度制御能力</u></p> <p>a. <u>制御棒クラスタ</u></p> <p><u>制御する最大過剰反応度は、約 0.03ΔK/Kとし、その場合の反応度制御能力は約 0.05ΔK/Kとする。</u></p> <p>(最大反応度値を有する制御棒クラスタ1本が、全引抜位置のまま挿入できない場合)</p> <p>※「発電用原子炉を安全かつ安定に制御すること」には、設置許可基準規則の解釈に倣い「出力振動が発生した場合にあってもそれを容易に制御できることを含む」と考えられる。</p>	<p>3. 発電用原子炉及び炉心</p> <p>3.3 核設計</p> <p>3.3.1 概要</p> <p><u>ドップラ係数は常に負</u>であり、減速材温度係数は高温出力運転状態では負に保たれているため、発電用原子炉に固有の安全性を与えている。また、<u>キセノンによる出力振動のうち、径方向振動は収束性であり、軸方向振動も炉心寿命中の大部分において収束性である。サイクル末期では軸方向振動が起こる可能性があるが、たとえ振動が生じても制御棒クラスタの操作によって容易に抑制可能である。</u></p> <p>3.3.2 設計方針</p> <p>(2) これらを基本とし、濃縮度、ガドリニア濃度等を考慮した上で、以下の方針に基づき具体的設計を行う。</p> <p>c. 反応度係数</p> <p><u>炉心が負の反応度フィードバック特性を有するように、ドップラ係数は常に負</u>であり、かつ、高温出力運転状態で減速材温度係数は負となる設計とし、これらを総合した反応度出力係数が運転時の異常な過渡変化時においても出力抑制効果を有する設計とする。</p> <p>e. 安定性</p> <p><u>出力分布の振動が生じないように、炉心に十分な減衰特性を持たせた設計とするか、又はたとえ振動が生じてもそれを検出し、容易に抑制できる設計とする。</u></p> <p>3.3.5 核設計の内容</p> <p>(1) <u>反応度制御</u></p> <p>炉心の反応度制御は、<u>制御棒クラスタの操作</u>及び1次冷却材中のほう素濃度調整の原理の異なる2つの方法によって行う。</p> <p>(2) 反応度係数</p> <p>(中略) このように、反応度変化を補償する主な2つの効果、<u>ドップラ係数及び減速材温度係数は、高温出力運転中常に負に保たれており、発電用原子炉に固有の安全性を与えている。</u></p> <p>(4) 安定性</p> <p><u>キセノンによる出力分布の空間振動で問題となるのは、軸方向振動のみであり、水平方向振動は、炉心寿命中十分な減衰性を有する。軸方向振動に対しては、減速材温度係数による効果は小さいが、ドップラ係数が振動の抑制に大きな効果を有している。サイクル末期では軸方向振動が起こる可能性があるが、この軸方向振動は、制御グループの制御棒クラスタを操作して、アキシアルオフセットを適正な範囲に維持することにより、容易に避けることができるとともに、たとえ振動が生じてもそれを検出し、制御グループの制御棒クラスタの操作によって容易に抑制可能である。</u></p> <p>第 3.3.1 表 核設計値 (4号炉)</p> <p>(5)<u>反応度制御能力 (取替炉心)</u></p> <p><u>制御棒クラスタ 約 0.05ΔK/K</u></p> <p>最大反応度値を有する制御棒クラスタ 1本挿入不能時</p>

設置許可基準規則第 15 条第 1 項適合性説明における反応度制御能力について

## 1. 制御棒クラスタ及びほう素濃度調整の役割

反応度制御系統である制御棒クラスタ（制御棒制御系）及びほう素濃度調整（化学体積制御設備）の設計上の役割は以下の通りである。

### ○制御棒クラスタ

起動、停止、負荷変化等に伴う比較的急速な反応度変化を制御

### ○ほう素濃度調整

燃料の燃焼に伴う反応度変化、キセノン、サマリウム等の変化に伴う反応度変化、常温から運転温度までの温度変化に伴う反応度変化等の比較的緩やかな反応度変化を制御

設置許可基準規則第 15 条第 1 項については、その解釈において出力振動が生じた場合にあっては出力振動が制御可能であることも求められている。この要求への適合性に対しては、軸方向振動の抑制並びに原子炉出力の設計負荷変化及び外乱に起因する反応度変化を想定する動特性解析において、比較的急速な反応度変化を制御することを目的として制御棒クラスタの動作を考慮している。

一方、ほう素濃度調整による反応度制御能力は比較的緩やかな反応度変化を制御するものであるため、第 15 条第 1 項への適合性に対しては期待していない。

従って、ほう素濃度調整による反応度制御能力を関連する本文記載箇所としていない。

## 2. 本申請における変更内容

本申請においては、高燃焼度燃料使用に伴う中性子スペクトル硬化による制御棒価値低下及び核設計手法の変更により、制御棒クラスタの反応度制御能力を以下のように変更している。なお、先行プラントの記載に合わせて、有効数字を小数点以下 2 桁に統一している。

単位： $\Delta K/K$

	変更前	変更後
本文五号	約 0.054 <sup>※1</sup>	約 0.05 <sup>※3</sup>
添付書類八	約 0.06 <sup>※2</sup>	約 0.05 <sup>※3</sup>
核設計手法	1, 2 次元合成核設計手法	3 次元核設計手法

※ 1：保守的に燃料集合体最高燃焼度 39GWd/t 燃料の値 (0.0539) を四捨五入

※ 2：燃料集合体最高燃焼度 48GWd/t 燃料の値 (0.0557) を四捨五入

※ 3：燃料集合体最高燃焼度 55GWd/t 燃料の値 (0.0460) を四捨五入



## 初装荷炉心に係る記載の取扱いについて

添付書類八「3. 発電用原子炉及び炉心」では、基本的には申請する典型的な炉心の設計値等を示すこととしている。初装荷炉心に係る記載については、本変更申請以前の申請書には記載しているものの、本申請以降の炉心運用との相違及び本申請における安全評価との関係性の観点から削除することとしたものである。なお、当社の先行プラントにおいても同様である。

設置許可基準規則第 25 条第 2 項第二号から第四号における  
炉心状態及び反応度制御系統について

設置許可基準規則第 25 条第 2 項第二号から第四号における炉心状態及び炉心状態の移行・維持に使用する反応度制御系統を下表に示すとともに、高温状態から低温状態への移行時に生じ得る炉心反応度について、制御する反応度と反応度制御系統の制御能力との関係にて整理した一例を図に示す。

表 炉心状態及び炉心状態の移行・維持に使用する反応度制御系統

第 25 条 第 2 項	炉心状態	移行・維持	反応度制御系統		状態 番号
第二号	通常運転時の 高温状態	未臨界に移行、 未臨界を維持	制御棒クラスタまたは ほう素濃度調整		①
		長期の臨界未 満の維持	ほう素濃度調整		②
	運転時の異常 な過渡変化時 の高温状態	未臨界に移行、 未臨界を維持	制御棒 クラスタ	左記に加え、非常 用炉心冷却設備に よる 1 次冷却材中 へのほう酸注入 <sup>※1</sup>	③
		長期の臨界未 満の維持	ほう素濃度調整		④
第三号	通常運転時及 び運転時の異 常な過渡変化 時における低 温状態	未臨界に移行、 未臨界を維持	ほう素濃度調整		⑤
第四号	設計基準事故 時	未臨界へ移行、 未臨界を維持	制御棒 クラスタ	左記に加え、非常 用炉心冷却設備に よる 1 次冷却材中 へのほう酸注入 <sup>※2</sup>	⑥
		未臨界を維持 (長期の臨界 未満の維持、低 温未臨界状態 の達成)	ほう素濃度調整		⑦

※ 1 「2 次冷却系の異常な減圧」のように炉心が冷却されるような運転時の異常な過渡変化時

※ 2 「主蒸気管破断」のように炉心が冷却されるような設計基準事故時

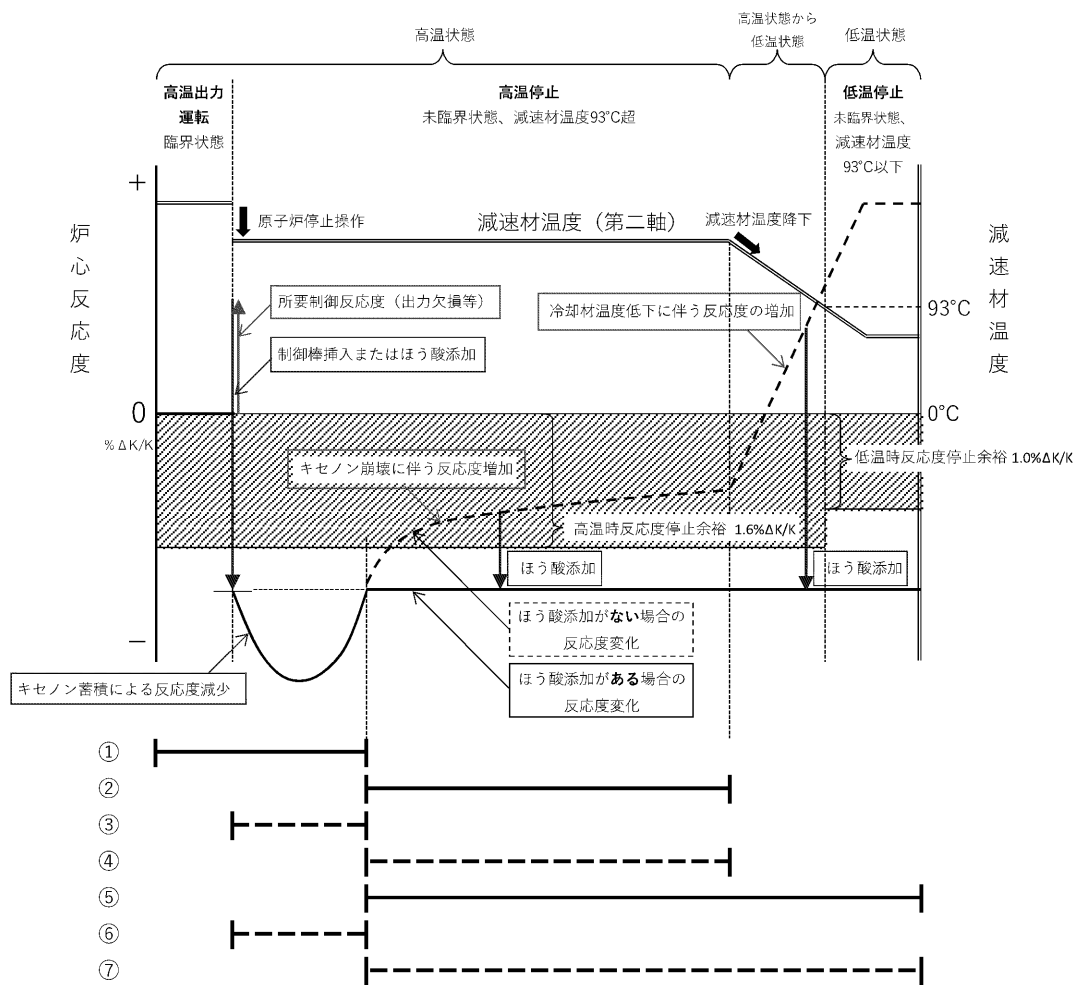


図 設置許可基準規則第 25 条第 2 項で規定している炉心状態並びに反応度制御の目的及び制御時に期待する反応度制御系統

設置許可基準規則第 25 条第 2 項第二号から第四号における対象設備について

設置許可基準規則第 25 条第 2 項第二号から第四号における対象設備及び要求事項を示すとともに、それに対する設備設計及び仕様を表に示す。

表 第 25 条第 2 項第二号から第四号の対象設備及び要求事項等

第 25 条 第 2 項	要求事項	設備	設備設計及び仕様
第二号	通常運転時の高温状態において、二以上の独立した系統がそれぞれ高温出力運転状態から未臨界への移行、及びキセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間の未臨界の維持に必要な反応度制御能力を有すること。	制御棒 クラスタ	<p><b>【設備設計】</b> 高温出力運転状態から未臨界へ移行し、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、所定の反応度停止余裕（1.6% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b> 高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、制御する反応度 2.81% ΔK/K に対して、制御棒クラスタの反応度制御能力は 4.60% ΔK/K であり、未臨界へ移行でき、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、反応度停止余裕 1.79% ΔK/K をもって未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙 1 のとおり。</p>
		ほう酸	<p><b>【設備設計】</b> 制御棒クラスタ挿入による高温臨界未満の状態から、キセノン崩壊により反応度が添加されるような反応度変化がある場合にも、化学体積制御設備であるほう酸タンクからのほう酸添加により未臨界に維持でき、高温状態から低温状態まで移行させ、低温状態において所定の反応度停止余裕（1.0% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p>ここでほう酸に要求される反応度制御能力は、上記に比べ、その炉心の状態変化から小さいものである。そのため、上記を満足する設計とすることで、化学体積制御設備であるほう酸タンクからのほう酸添加により、高温出力運転状態から未臨界へ移行し、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、未臨界を維持できる設計となっている。</p> <p><b>【設備仕様】</b> 高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、必要ほう酸水量 [ ]m<sup>3</sup> に対して、ほう酸タンクの有効容量約 225m<sup>3</sup> であり、未臨界へ移行でき、キセノン崩壊により反応度が添加</p>

[ ] : 商業機密に係る事項のため、公開できません。

		<p>されるまでの期間において、未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙2のとおり。</p>
通常運転時の高温状態において、高温出力運転状態からの未臨界への移行後、キセノン濃度変化による反応度変化がある場合にも高温状態での臨界未満の維持に必要な反応度制御能力を有すること。	ほう酸	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタ挿入による高温臨界未満の状態からキセノン崩壊により反応度が添加されるような反応度変化がある場合にも、化学体積制御設備であるほう酸タンクからのほう酸添加により未臨界に維持でき、高温状態から低温状態まで移行させ、低温状態において所定の反応度停止余裕（1.0% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入に伴う影響を考慮しても、必要ほう酸水量[ ]m<sup>3</sup>に対して、ほう酸タンクの有効容量約 225m<sup>3</sup> であり、未臨界へ移行でき、キセノン濃度変化による反応度変化がある場合にも、未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙2のとおり。</p>
運転時の異常な過渡変化時の高温状態においても、燃料要素の許容損傷限界を超えないことなく、高温出力運転状態から未臨界への移行、及びキセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間の未臨界の維持に必要な反応度制御能力を有すること。	制御棒 クラスタ	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>高温出力運転状態から未臨界へ移行し、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、所定の反応度停止余裕（1.6% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、制御する反応度 2.81% ΔK/K に対して、制御棒クラスタの反応度制御能力は 4.60% ΔK/K であり、未臨界へ移行でき、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、反応度停止余裕 1.79% ΔK/K をもって未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙1のとおり。</p>
「2次冷却系の異常な減圧」のように炉心が冷却されるような運転時の異常な	ほう酸	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタの炉心への挿入に加え、非常用炉心冷却設備である燃料取替用水ピットからのほう酸添加によって、炉心が冷却されるような運転時の異常な過渡変化時において高</p>

[ ] : 商業機密に係る事項のため、公開できません。

	<p>過渡変化時において、制御棒クラスタの炉心への挿入に加えて作動することにより、未臨界への移行及び高温状態での臨界未満の維持に必要な反応度制御能力を有すること。</p>		<p>温状態で臨界未満に移行し、維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮して、非常用炉心冷却設備である燃料取替用水ピットのほう素濃度を 2500ppm 以上から 3100ppm 以上に変更する。</p> <p>添付書類十に示す「2次冷却系の異常な減圧」の安全評価においては、一時的に臨界となるが非常用炉心冷却設備が作動することにより、高温状態で臨界未満への移行、維持ができる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙3のとおり。</p>
	<p>運転時の異常な過渡変化時の高温状態において、高温出力運転状態からの未臨界への移行後、キセノン濃度変化による反応度変化がある場合にも高温状態での臨界未満の維持に必要な反応度制御能力を有すること。</p>	<p>ほう酸</p>	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタ挿入による高温臨界未満の状態からキセノン崩壊により反応度が添加されるような反応度変化がある場合にも、化学体積制御設備であるほう酸タンクからのほう酸添加により未臨界に維持でき、高温状態から低温状態まで移行させ、低温状態において所定の反応度停止余裕（1.0% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入に伴う影響を考慮しても、必要ほう酸水量 [ ]m<sup>3</sup> に対して、ほう酸タンクの有効容量約 225m<sup>3</sup> であり、未臨界へ移行でき、キセノン濃度変化による反応度変化がある場合にも、未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙2のとおり。</p>

[ ] : 商業機密に係る事項のため、公開できません。

第三号	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における低温状態において、高温臨界未満の状態からキセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を補償し、低温未臨界状態へ移行、及び維持するために必要な反応度制御能力を有すること。	ほう酸	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタ挿入による高温臨界未満の状態から、化学体積制御設備であるほう酸タンク及びほう酸ポンプによるほう酸添加により、キセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を補償しつつ、低温未臨界状態へ移行でき、低温状態において所定の反応度停止余裕（1.0% <math>\Delta K/K</math> 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、必要ほう酸水量[ ]<math>m^3</math>に対して、ほう酸タンクの有効容量約 225<math>m^3</math>であり、高温臨界未満の状態から低温未臨界状態へ移行でき、所定の反応度停止余裕（1.0% <math>\Delta K/K</math> 以上）をもって低温未臨界状態に維持できる。</p> <p>また、高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、ほう酸ポンプ 1 台使用時において <math>0.18 \times 10^{-3}</math> (<math>\Delta K/K</math>) /min 以上の負の反応度添加が可能であり、キセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を十分に補償できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙 2、別紙 4 及び別紙 5 のとおり。</p>
第四号	一次冷却材喪失その他の設計基準事故時の高温状態において、高温出力運転状態から未臨界への移行、及びキセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間の未臨界の維持に必要な反応度制御能力を有すること。	制御棒 クラスタ	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>高温出力運転状態から未臨界へ移行し、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、所定の反応度停止余裕（1.6% <math>\Delta K/K</math> 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、制御する反応度 2.81% <math>\Delta K/K</math> に対して、制御棒クラスタの反応度制御能力は 4.60% <math>\Delta K/K</math> であり、未臨界へ移行でき、キセノン崩壊により反応度が添加されるまでの期間において、反応度停止余裕 1.79% <math>\Delta K/K</math> をもって未臨界に維持できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙 1 のとおり。</p>

[ ] : 商業機密に係る事項のため、公開できません。



	<p>「主蒸気管破断」のように炉心が冷却されるような設計基準事故時において、制御棒クラスタの炉心への挿入に加えて作動することにより、未臨界への移行及び高温状態での臨界未満の維持に必要な反応度制御能力を有すること。</p>	ほう酸	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタの炉心への挿入に加え、非常用炉心冷却設備である燃料取替用水ピットからのほう酸添加によって、炉心が冷却されるような設計基準事故時において高温状態で臨界未満に移行し、維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮して、非常用炉心冷却設備である燃料取替用水ピットのほう酸濃度を 2500ppm 以上から 3100ppm 以上に変更する。</p> <p>添付書類十に示す「主蒸気管破断」の安全評価においては、一時的に臨界となるが非常用炉心冷却設備が作動することにより、高温状態での臨界未満への移行、維持ができる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙 3 のとおり。</p>
	<p>一次冷却材喪失その他の設計基準事故時において、高温臨界未満の状態からキセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を補償し、低温未臨界状態へ移行及び維持するために必要な反応度制御能力を有すること。</p>	ほう酸	<p><b>【設備設計】</b></p> <p>制御棒クラスタ挿入による高温臨界未満の状態から、化学体積制御設備であるほう酸タンク及びほう酸ポンプによるほう酸添加により、キセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を補償しつつ、低温未臨界状態へ移行でき、低温状態において所定の反応度停止余裕（1.0% ΔK/K 以上）をもって未臨界に維持できる設計としている。</p> <p><b>【設備仕様】</b></p> <p>高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、必要ほう酸水量 [ ]m<sup>3</sup> に対して、ほう酸タンクの有効容量約 225m<sup>3</sup> であり、高温臨界未満の状態から低温未臨界状態へ移行でき、所定の反応度停止余裕（1.0% ΔK/K 以上）をもって低温未臨界状態に維持できる。</p> <p>また、高燃焼度燃料導入等に伴う影響を考慮しても、ほう酸ポンプ 1 台使用時において 0.18×10<sup>-3</sup> (ΔK/K) /min 以上の負の反応度添加が可能であり、キセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を十分に補償できる。</p> <p>なお、高燃焼度燃料導入等に伴う影響の詳細については、別紙 2、別紙 4 及び別紙 5 のとおり。</p>

[ ] : 商業機密に係る事項のため、公開できません。

## 制御棒クラスタの反応度制御能力への影響

高燃焼度燃料導入に伴う中性子スペクトル硬化により、制御棒クラスタの反応度価値（反応度制御能力）は低下するものの、表 1 に示すとおり最大反応度価値を有する制御棒クラスタ 1 本が全引抜位置のまま挿入できない場合でも、高温停止状態では 1.6%  $\Delta K/K$  以上の反応度停止余裕が確保でき、炉心を未臨界に維持できる。

なお、現行は 1,2 次元核設計手法を用いていたが、今回は 3 次元核設計手法を適用している。

表 1 反応度停止余裕の評価結果

	今回*1)	現行*2)
所要制御反応度 (% $\Delta K/K$ )	約 2.81	約 3.68
制御棒クラスタの反応度*3) (% $\Delta K/K$ )	約 4.60	約 5.57
反応度停止余裕 (% $\Delta K/K$ )	約 1.79	約 1.89

\*1) 3 次元核設計手法

\*2) 1, 2 次元核設計手法

\*3) 制御棒クラスタのバンク D が挿入限界まで挿入されている状態から、最大反応度価値を有する制御棒クラスタ 1 本が全引抜位置のまま挿入できないものとし、他の制御棒クラスタを全挿入させて反応度を求め、さらに、設計裕度 10% を差し引いた値

## 高温停止から低温停止に必要なほう酸水量への影響について

高燃焼度燃料の導入に伴う中性子スペクトル硬化によりほう酸の反応度価値（反応度制御能力）は低下し、表 1 及び表 2 に示すとおり高温停止から低温停止に必要なほう素濃度及びほう酸水量は増加するものの、原子炉停止系であるほう酸タンクの有効容量が上回るため、低温停止状態で 1.0%  $\Delta K/K$  以上の反応度停止余裕が確保でき、炉心を未臨界に維持できる。

表 1 必要ほう酸水量評価に用いるほう素濃度

	ほう素濃度 (ppm)	
	今回	現行
高温全出力時のほう素濃度と、最大反応度価値を有する制御棒 1 本が全引抜状態で残りの制御棒が全挿入での低温停止時のほう素濃度との濃度差	1,400	1,300

表 2 低温停止に必要なほう酸水量

ほう酸タンク有効容量 (m <sup>3</sup> )	必要ほう酸水量 (m <sup>3</sup> )	
	今回	現行
約 225		

[- - - -]: 商業機密に係る事項のため、公開できません。

## 燃料取替用水ピットのほう素濃度の根拠について

高燃焼度燃料導入に伴う、非常用炉心冷却設備である燃料取替用水ピットのほう素濃度の設定に際しては、安全評価の観点からは、主に以下の事象評価を設計要求とする他、玄海 3 号炉との設備共有の観点を考慮して、ほう素濃度を変更している。

- ①燃料取替停止時の未臨界性確保
- ②原子炉冷却材喪失（LOCA）時の未臨界性確保
- ③ほう素の異常な希釈（プラント起動時）時の対応操作時間の余裕の確保

## 1. 各設計要求に基づくほう素濃度設定の考え方

## ①燃料取替停止時の未臨界性確保

サイクル初期、低温停止、制御棒全挿入、Xe なしの状態で 5%未臨界を確保できるようにする。

また、対象炉心としては、ステップ 2 燃料を装荷した平衡炉心の他、移行炉心、予定外炉心も考慮する。

## ②原子炉冷却材喪失（LOCA）時の未臨界性確保

LOCA 後の長期冷却において、1 次冷却系、燃料取替用水ピット及び蓄圧タンクのほう酸水が均一に混合するとして、そのほう素濃度が臨界ほう素濃度を上回るようにする。

## ③ほう素の異常な希釈（プラント起動時）時の対応操作時間の余裕の確保

起動時に燃料取替用水ピットのほう素濃度と同一の状態から希釈が始まるとするが、その場合に事象の検知から希釈停止操作開始までの時間を 10 分、さらに、機器の停止に要する時間分を 20 秒（=0.33 分）として、安全評価指針に適合するように 10.33 分以上を満足する初期ほう素濃度にする。

上述の評価から各設計要求に基づくほう素濃度は、表 1 のとおり。

表1 各設計要求に基づくほう素濃度

項目	要素	ほう素濃度 (ppm)	
		今回	現行
①燃料取替停止時の未臨界性確保	燃料取替停止ほう素濃度計算値 (BOC,CSD,ARI,keff=0.95)	2,163	1,944
	RWSP 必要ほう素濃度算出に用いる 燃料取替停止ほう素濃度*1)	2,600	2,350
	RWSP 必要ほう素濃度	2,600	2,350
②原子炉冷却材喪失(LOCA)時の未臨界性確保	臨界ほう素濃度計算値 (BOC,CZP,ARO,keff=1.00)	1,963	1,914
	RWSP 必要ほう素濃度算出に用いる 臨界ほう素濃度*1)	2,400	2,300
	RWSP 必要ほう素濃度*2)	2,650	2,450
③ほう素の異常な希釈(プラント起動時)時の対応操作時間の余裕の確保	臨界ほう素濃度計算値 (BOC,CZP,ARI,keff=1.00)	1,568	1,409
	RWSP 必要ほう素濃度算出に用いる 臨界ほう素濃度*1)	2,000	1,800
	RWSP 必要ほう素濃度*3)	2,700	2,400

\*1) 各ほう素濃度計算値に核的不確定性及び取替炉心の変動分を含んだ余裕を考慮したほう素濃度

\*2) LOCA 発生後に1次冷却材及び蓄圧タンクのほう酸水と混合された際に、未臨界を達成するために必要なRWSPほう素濃度

\*3) プラント起動時(初期ほう素濃度:RWSPほう素濃度)にほう素を誤って希釈した際に、原子炉が臨界になるまでに、運転員が異常状態を検知し、これを終結させるのに十分な時間を確保するために必要なRWSPほう素濃度

## 2. 燃料取替用水ピットほう素濃度の決定

燃料取替用水ピットのほう素濃度は、1. で評価した要求値に対して余裕を確保しつつ、玄海3号炉との設備共用の観点から表2のとおり決定している。

表2 燃料取替用水ピットほう素濃度

	ほう素濃度 (ppm)	
	今回※ <sup>1</sup>	現行※ <sup>2</sup>
燃料取替用水ピット	3,100 以上	2,500 以上

※1 1. の評価値の最大値は2,700ppmであるが、玄海3号炉との設備共用の観点から3,100ppmとしている。

※2 1. の評価値の最大値2,450ppmに対し、運用管理の観点から100ppm単位に切り上げて2,500ppmとしている。

## ほう素濃縮速度とキセノン消滅・冷却材温度変化速度の関係

## 1. キセノン濃度変化に対するほう素濃度調整の反応度制御能力

## 1-1. ほう素濃縮速度

以下に示すとおり、低温停止に必要なほう素濃度までの濃縮にかかる時間は、平衡キセノン状態から停止した場合に、正の反応度が添加されるまでの時間に比べて十分短い。

平衡キセノン状態から正の反応度が添加される時間

原子炉停止後のキセノン生成・消滅時の反応度変化を図 1 に示す。これより、平衡キセノン状態から停止した場合に、正の反応度が添加されるのは停止から 15 時間以上経過してからである。

低温停止に必要なほう素濃度まで濃縮するのにかかる時間

高温停止状態から低温停止状態に移行する際に必要なほう素濃度変化量は別紙 2 に示した通り 1400ppm であり、このほう素濃度までの濃縮にかかる時間は、別紙 5 に示すほう素濃縮速度を使用して評価すると 約 7.3 時間である。

## 1-2. ほう素濃縮による反応度添加速度

以下に示すとおり、原子炉停止後のキセノン消滅による正の反応度添加率は、保守的に評価したほう素濃縮による負の反応度添加率に比べて十分小さい。

原子炉停止後のキセノン消滅による正の反応度添加率

キセノン反応度がピーク状態以降に最大となり、図 1 よりその反応度添加率は大きく見積もっても  $2 \times 10^{-5} (\Delta K/K) / \text{min}$  である。

ほう素濃縮速度に対応する負の反応度添加速度

1-1 のほう素濃縮速度に対応する負の反応度添加速度は  $0.18 \times 10^{-3} (\Delta K/K) / \text{min}$  である。

以上より、原子炉停止後のキセノン消滅による正の反応度添加率は、保守的に評価したほう素濃縮による負の反応度添加率に比べて十分小さいことから、化学体積制御設備はキセノン濃度変化に対して十分な反応度制御能力を有しているといえる。

## 2. 冷却材温度降下に対するほう素濃度調整の反応度制御能力

高温停止状態から低温停止状態へ移行する際の冷却材温度降下率を  $27.8^\circ\text{C}/\text{hr}$  とした場合、約 10 時間で低温停止状態の温度になる。これに対して、上記の低温停止に必要なほう素濃度にするために必要な時間は約 7.3 時間と短いことから、化学体積

制御設備は冷却材温度降下に伴う反応度変化を十分に制御できる能力を有している<sup>1</sup>といえる。

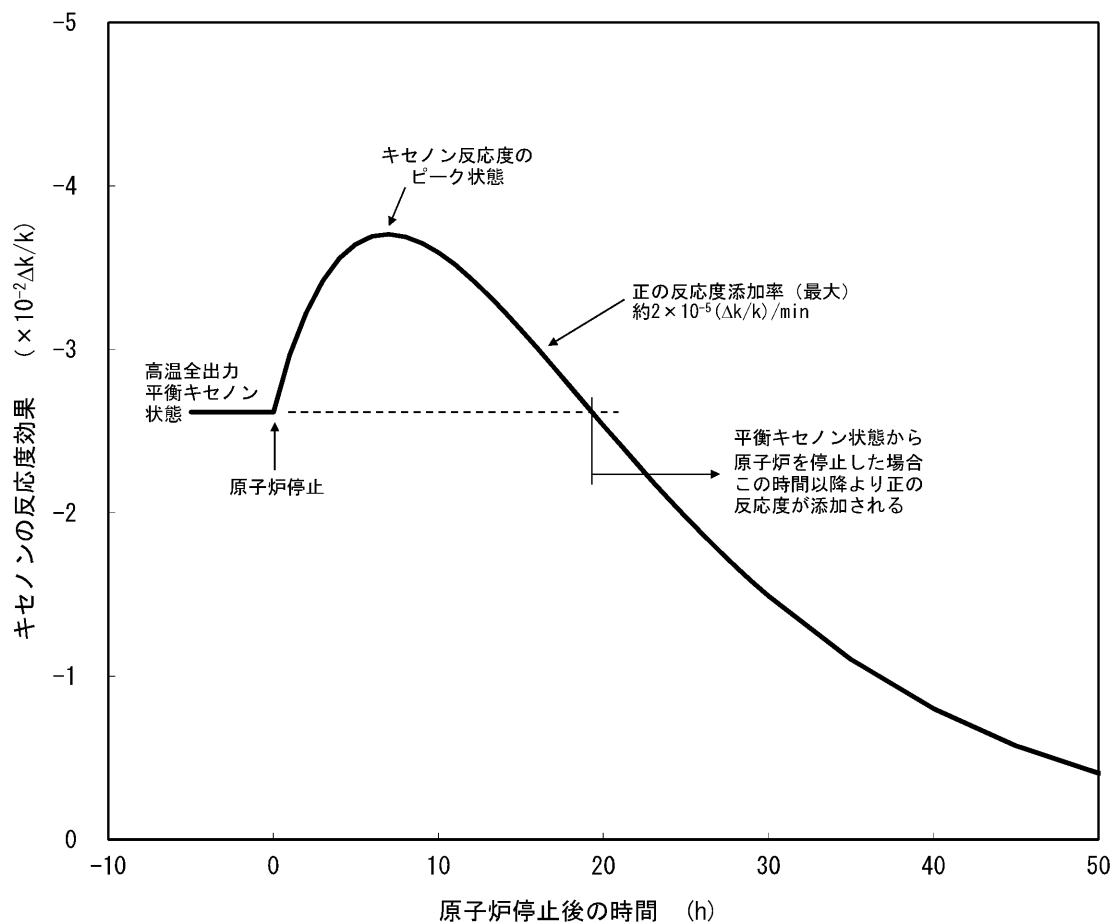


図1 原子炉停止後のキセノン反応度変化  
(高燃焼度燃料装荷炉心、平衡炉心、サイクル末期)

<sup>1</sup> 通常は高温停止状態で低温停止状態に必要なほう素濃度まで濃縮してから温度を降下させる。



## ほう素添加速度及びほう素添加による負の反応度添加速度について

## 1. 添付書類八記載数値の算出根拠

<ほう素添加速度； $\partial C(t)/\partial t$  (ppm/min)>

$$\partial C(t)/\partial t = (Q/V) \times (C_{BAT} - C(t)) / 60$$

<反応度添加速度； $\partial p/\partial t$  (( $\Delta K/K$ )/min)>

$$\partial p/\partial t = (Q/V) \times (C_{BAT} - C(t)) / 60 \times BW$$

ここで、 $C(t)$  ; 時刻  $t$  での RCS ほう素濃度(ppm)

$C_{BAT}$  ; ほう酸タンクほう素濃度(ppm)

$Q$  ; 濃縮流量(t/h)

$V$  ; 1次冷却材重量（添加速度を小さく見積もるため体積を重量と見なして使用：t)

$BW$  ; ほう素価値(( $\Delta K/K$ )/ppm)

評価に使用した各パラメータ入力値を下表に示す。

	$Q^*$ (t/h)	$V^*$ (t)	$C_{BAT}$ (ppm)	初期ほう素濃度 (ppm)	$BW^*$ (( $\Delta K/K$ )/ppm)
現行	17.0	341	7000	2100	$6.0 \times 10^{-5}$
今回	13.6	351	7000	2100	$6.0 \times 10^{-5}$

これらの入力値を用いて計算したほう素添加速度及び反応度添加速度の計算結果と、その結果の端数処理の考え方について、次に示す。

## (1)ほう素濃度添加速度

	計算結果 (ppm/min)	端数処理 の考え方	端数処理結果 (ppm/min)	添付書類八記載値 (ppm/min)
現行	4.07...	小数点以下 第2位四捨五入	4.1	4.1
今回	3.16...	小数点以下 第2位四捨五入	3.2	約 3.2

## (2)負の反応度添加速度

	計算結果 (( $\Delta K/K$ )/min)	端数処理 の考え方	端数処理結果 (( $\Delta K/K$ )/min)	添付書類八記載値 (( $\Delta K/K$ )/min)
現行	$0.244 \dots \times 10^{-3}$	小数点以下 第3位切り捨て	$0.24 \times 10^{-3}$	$0.24 \times 10^{-3}$
今回	$0.189 \dots \times 10^{-3}$	小数点以下 第3位切り捨て	$0.18 \times 10^{-3}$	$0.18 \times 10^{-3}$

(\*)濃縮速度と1次冷却材重量及びほう素価値の取り扱い

	現行	今回	変更理由と数値の根拠
濃縮速度(t/h)	17	13.6	<p>先行プラントと考え方を統一</p> <p>現行： ほう酸ポンプの定格流量 17m<sup>3</sup>/h をそのまま 17t/h として使用</p> <p>今回： ほう酸ポンプの定格流量 17m<sup>3</sup>/h に対して、有効流量 13.6t/h を使用</p>
1次冷却材重量(t)	341	351	<p>先行プラントと考え方を統一</p> <p>現行： 高温全出力時の1次冷却材体積 351m<sup>3</sup> から熱膨張を考慮し算出した低温時の1次冷却材体積 341m<sup>3</sup> を重量として 341t を使用</p> <p>今回： 高温全出力時の1次冷却材体積 351m<sup>3</sup> をそのまま重量として 351t を使用</p>
ほう素価値 ( $\Delta K/K$ )/ppm)	$6.0 \times 10^{-5}$	$6.0 \times 10^{-5}$	<p>先行プラントと考え方を統一</p> <p>現行： ステップ 1 燃料装荷平衡炉心評価値 <math>6.9 \times 10^{-5}(\Delta K/K)/\text{ppm}</math> を小さめに包絡した <math>6.0 \times 10^{-5}(\Delta K/K)/\text{ppm}</math> を使用</p> <p>今回： 高燃焼度燃料装荷平衡炉心評価値 <math>6.0 \times 10^{-5}(\Delta K/K)/\text{ppm}</math> をそのまま使用</p>

## ほう素濃度調整による反応度制御能力について

## 1. 反応度制御能力の値について

本申請におけるほう素濃度調整による反応度制御能力は、高燃焼度燃料の使用に伴う中性子スペクトル硬化によりほう素の反応度値は低下するものの、燃料取替時のほう素濃度変更及び反応度制御能力の算出方法変更に伴い、結果としてほう素濃度調整による反応度制御能力 ( $0.18 \Delta K/K$  以上) に変更はない。

## 2. 反応度制御能力の導出方法について

本申請におけるほう素濃度調整による反応度制御能力の導出方法は、先行プラントの導出方法と整合するよう、以下のとおり変更した。

既許可の導出方法 ( $0.189 \Delta K/K$  を切り捨て)

反応度制御能力 =  $\text{LN}(\text{純水条件}(0\text{ppm})\text{における実効増倍率}(1.13755) / \text{燃料取替時のほう素濃度}(2500\text{ppm})\text{における実効増倍率}(0.94157))$   
から求まる反応度差

本申請の導出方法 ( $0.186 \Delta K/K$  を切り捨て)

反応度制御能力 =  $\text{純水条件}(0\text{ppm})\text{から燃料取替時のほう素濃度}(3100\text{ppm})\text{まで濃縮するときのほう素濃度増分} \times \text{ほう素値}(6.0 \times 10^{-3}(\Delta K/K)/\text{ppm})$

いずれの方法も、最もほう素値が小さくなるサイクル初期高温全出力時を仮定しており、実際の炉心で高温無負荷温度の状態から燃料取替停止時のほう素濃度まで高める場合よりも小さいほう素値による評価となっている。

また、本反応度制御能力は安全解析に使用されておらず、何らかの運転状態を担保するためにも使用していないパラメータであり、単に設備の性能を示すものであるが、炉心状態による変動が大きいことから、最も小さい反応度制御能力を示す状態での評価値に「以上」を付けて記載しているものである。

上述のとおり、実際の炉心でこの本文記載値を下回ることはないため、いずれの導出過程でも問題とならない。