

玄海原子力発電所 4 号炉における
高燃焼度燃料の使用に伴う設置変更許可申請について
(3 号及び 4 号発電用原子炉施設の変更)

2 0 2 3 年 2 月 7 日
九 州 電 力 株 式 会 社

1. はじめに
2. 高燃焼度燃料の概要
3. 設置変更許可申請書の変更概要
4. 設置許可基準規則の要求事項と適合のための設計方針

○目 的

使用済燃料発生量低減のため、玄海4号炉において燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tの高燃焼度燃料（以下「高燃焼度燃料」という。）を使用する。

○申請日

2022年12月28日

○内 容

[4号炉]

取替燃料として高燃焼度燃料を使用する。

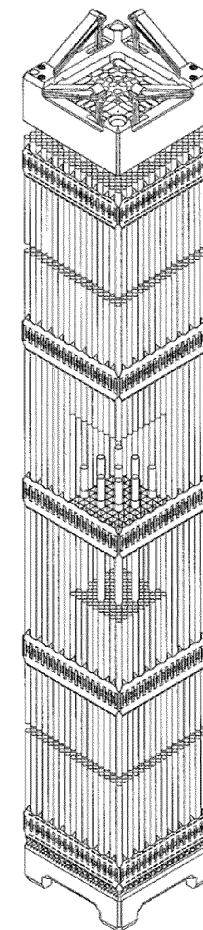
また、高燃焼度燃料の使用に伴い、新評価手法の採用、気象資料の更新及び新指針等への対応を実施する。なお、平常時の被ばく評価については発電所全体で評価するため3号炉の評価も必要であり、3号炉も更新した気象資料を用いる。

[3号炉]

上記に伴い、気象資料を更新する。また、重大事故等対策の有効性評価についても、4号炉の記載を3号炉の申請書に反映する。

○高燃焼度燃料の主要仕様

主要仕様	現 行	高燃焼度燃料	備 考
燃料集合体 最高燃焼度	48,000Mwd/t	55,000Mwd/t	高燃焼度化による 燃料使用期間延長
ウラン235濃縮度 (最大)	約4.1wt% (ガドリニア入りペレット は約2.6wt%)	約4.8wt% (ガドリニア入りペレット は約3.2wt%)	ウラン235装荷量増による 燃料使用期間延長
ペレットの 初期密度	理論密度の約95%	理論密度の約97% (ガドリニア入りペレットは 理論密度の約96%)	
燃料被覆材の 種類	ジルカロイ-4	改良ジルコニウム 基合金 (注1)	燃料使用期間延長に 対応する耐食性向上
ガドリニア濃度	約6wt%	約10wt%以下	サイクル初期における 反応度抑制及び 炉内の出力分布の平坦化



(注1) 「ジルカロイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金」
又は「ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金」

【燃料集合体概要図】

○設置変更許可申請書の変更概要 (4号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更理由	説明頁	該当条文
本文五号	発電用原子炉の炉心	(1) 高燃焼度燃料の使用 (2) その他 (新評価手法の採用、運用ガイドの反映)	5	第15条
	燃料体	(1) 高燃焼度燃料の使用	6	第15条
	核燃料物質取扱設備の構造	(1) 高燃焼度燃料の使用	7	第16条
	核燃料物質貯蔵用冷却設備の構造及び冷却能力	(1) 高燃焼度燃料の使用	7	第16条
	非常用炉心冷却設備	(1) 高燃焼度燃料の使用	7	第25条
本文九号	平常時の被ばく	(1) 高燃焼度燃料の使用 (2) その他 (気象資料の更新)	8	第27条
本文十号	運転時の異常な過渡変化	(1) 高燃焼度燃料の使用 (2) その他 (新評価手法の採用、新指針等への対応)	8	第13条
	設計基準事故	(1) 高燃焼度燃料の使用 (2) その他 (新評価手法の採用、新指針等への対応、気象資料の更新)	9	第13条
	重大事故等対策の有効性評価	(1) 高燃焼度燃料の使用	9	第37条

(3号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更理由	説明頁	該当条文
本文九号	平常時の被ばく	(1) 高燃焼度燃料の使用 (4号炉) (2) その他 (気象資料の更新)	10	第27条
本文十号	設計基準事故	(1) その他 (気象資料の更新)	10	第13条
	重大事故等対策の有効性評価	(1) 4号炉の評価条件及び評価結果の記載の反映	10	第37条

○高燃焼度燃料の使用に伴う発電用原子炉施設の主な変更内容 (1 / 3)
(4号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更内容		
本文五号	発電用原子炉の炉心	○高燃焼度燃料の導入に伴う発電用原子炉の炉心に係る設計		
			変更前	変更後
		燃料体の最高燃焼度	48,000MWd/t	55,000MWd/t (注1)
		燃料体の最大挿入量	初装荷炉心 約2.8t(ウラン235) 取替炉心 約2.5t(ウラン235)	初装荷炉心全ウラン量 約89t 炉心全ウラン量 約91t
		制御棒クラスタで制御すべき最大過剰反応度	約0.037ΔK/K	— (注2)
		制御棒クラスタによる最大反応度添加率	—	0.00075(ΔK/K)/s以下 (注3)
		制御棒クラスタの最大反応度価値	—	高温全出力時 0.0012ΔK/K (注3) 高温零出力時 0.0087ΔK/K (注3)
		最小限界熱流束比 (最小DNBR)	1.80	2.19(注4)
		(注1) 第1～第18領域は既設置許可から変更なし (注2) 3次元核設計手法の採用 (注3) 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の反映 (注4) 改良統計的熱設計手法(以下、「GSTM」)の採用		

○高燃焼度燃料の使用に伴う発電用原子炉施設の主な変更内容 (2 / 3)
(4号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更内容		
本文五号	燃料体	(1) 高燃焼度燃料の導入に伴う発電用原子炉の炉心に係る設計		
			変更前	変更後
		燃料材の種類	約4.1wt%～約3.4wt% (ガドリニア入り燃料については濃縮度約2.6wt%～約1.9wt%、ガドリニア濃度約6wt%)	約4.8wt%以下(注1) (ガドリニア入り燃料については、濃縮度約3.2wt%以下、ガドリニア濃度約10wt%以下)
		ペレットの初期密度	理論密度の約95%	理論密度の約97%(注1) (ガドリニア入り燃料については、理論密度の約96%)
燃料被覆材の種類	ジルカロイ-4	<ul style="list-style-type: none"> ・ジルカロイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金(注1) ・ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金(注1) 		
(注1) 第1～第18領域は既設置許可から変更なし				

○高燃焼度燃料の使用に伴う発電用原子炉施設の主な変更内容 (3 / 3)
(4号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更内容		
本文五号	核燃料物質取扱設備の構造	○高燃焼度燃料を3号炉へ貯蔵しない記載の追加		
			変更前	変更後
		3号炉使用済燃料貯蔵設備に貯蔵する4号炉燃料	7年以上冷却した4号炉の使用済燃料	7年以上冷却した4号炉の使用済燃料 (燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tのものを除く。)
	核燃料物質貯蔵用冷却設備の構造及び冷却能力	○高燃焼度燃料の使用に伴う使用済燃料ピット冷却器の熱負荷増加による変更		
			変更前	変更後
		使用済燃料ピット冷却器の伝熱容量	約5.3MW(1基当たり)	約5.4MW(1基当たり)
非常用冷却設備	○高燃焼度燃料の使用に伴うほう素の制御能力低下による変更			
		変更前	変更後	
	燃料取替用水ピットのほう素濃度	2,500ppm以上	3,100ppm以上	

○高燃焼度燃料の使用に伴う評価に係る主な変更内容及び確認結果 (1 / 3) (4号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更内容	確認結果	説明頁(参考)
本文九号	平常時の被ばく	<ul style="list-style-type: none"> ○高燃焼度燃料の使用 <ul style="list-style-type: none"> ・年間放出量及びγ線実効エネルギー ○その他 <ul style="list-style-type: none"> ・気象資料の更新 	<p>発電所敷地周辺での平常時の線量評価を行った結果、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に示されている線量目標値(50μSv/年)を十分満足していることを確認した。</p>	33
本文十号	運転時の異常な過渡変化	<ul style="list-style-type: none"> ○高燃焼度燃料の使用 <ul style="list-style-type: none"> ・燃料取替用水ピットほう素濃度 ○その他 <ul style="list-style-type: none"> ・GSTMの採用 ・炉心崩壊熱(日本原子力学会推奨値及びORIGEN-2) ・反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱い(RIE報告書)の反映 	<p>運転時の異常な過渡変化について、燃料、原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が確保されていることを確認した。</p>	30

○高燃焼度燃料の使用に伴う評価に係る主な変更内容及び確認結果 (2 / 3)
(4号炉)

本文記載箇所	項目		主な変更内容	確認結果	説明頁(参考)
本文十号	設計基準事故	安全解析	<ul style="list-style-type: none"> ○高燃焼度燃料の使用 <ul style="list-style-type: none"> ・燃料取替用水ピットほう素濃度 ○その他 <ul style="list-style-type: none"> ・GSTMの採用 ・炉心崩壊熱 (日本原子力学会推奨値及びORIGEN-2) ・蒸気発生器伝熱管施栓率の取扱い ・制御棒飛び出しにおける解析手法 ・反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱い (RIE報告書) の反映 ・美浜2号機蒸気発生器伝熱管損傷事象の教訓反映 ・水素生成割合 (G値) の見直し 	設計基準事故について、炉心の冷却能力並びに原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリの健全性が確保されていることを確認した。	31
		被ばく	<ul style="list-style-type: none"> ○高燃焼度燃料の使用 <ul style="list-style-type: none"> ・運転時間 ○その他 <ul style="list-style-type: none"> ・気象資料の更新 ・美浜2号機蒸気発生器伝熱管損傷事象の教訓反映 	発電所敷地周辺での設計基準事故時の線量評価を行った結果、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に示されている判断基準 (5mSv) を十分満足していることを確認した。	32
	重大事故等対策の有効性評価	<ul style="list-style-type: none"> ○高燃焼度燃料の使用 <ul style="list-style-type: none"> 【変更となる事故シーケンス】 <ul style="list-style-type: none"> ・運転時間【格納容器過圧破損】 ・使用済燃料ピット崩壊熱【想定事故1, 2】 ・燃料取替用水ピットほう素濃度【反応度の誤投入】 	現行の炉心・燃料体等の損傷防止及び格納容器破損防止のための重大事故等対策が有効であることを確認した。	34 35	

○高燃焼度燃料の使用に伴う評価に係る主な変更内容及び確認結果 (3 / 3) (3号炉)

本文記載箇所	項目	主な変更内容	確認結果	説明頁(参考)
本文九号	平常時の被ばく	○高燃焼度燃料の使用 (4号炉) ・年間放出量及びγ線実効エネルギー ○その他 ・気象資料の更新	発電所敷地周辺での平常時の線量評価を行った結果、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に示されている線量目標値 (50 μSv/年) を十分満足していることを確認した。	33
本文十号	設計基準事故 被ばく	○その他 ・気象資料の更新	発電所敷地周辺での設計基準事故時の線量評価を行った結果、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に示されている判断基準 (5 mSv) を十分満足していることを確認した。	32
	重大事故等対策の有効性評価	○4号炉の評価条件及び評価結果の記載の反映	現行の炉心・燃料体等の損傷防止及び格納容器破損防止のための重大事故等対策が有効であることを確認した。	34 35

【3号炉の変更概要】

- ・高燃焼度燃料の使用に伴い、4号炉の線量評価にて使用する気象資料を更新した。平常時の被ばく評価については発電所全体で評価するため3号炉の評価も必要であり、3号炉も更新した気象資料を用いる。
- ・重大事故等対策の有効性評価においては、評価条件及び評価結果を3、4号炉の申請書で共通の記載としていることから、3号炉の申請書にも反映。

○ 設置許可基準規則（解釈含む）における高燃焼度燃料の使用に対する要求事項と適合のための設計方針を以下に示す。

要求項目	要求事項	設計方針
第4条 地震による損傷の防止		
燃料被覆材の放射性物質の閉じ込め機能	設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	<p>（4号炉）</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まる設計とする。</p>
	炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<p>（4号炉）</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさない設計とする。</p> <p>なお、燃料の機械設計においては、燃料中心最高温度、燃料要素内圧、燃料被覆材応力、燃料被覆材に生じる円周方向引張歪の変化量及び累積疲労サイクルに対する設計方針を満足するように燃料要素の設計を行うが、上記の設計方針を満足させるための設計に当たっては、これらのうち燃料被覆材への地震力の影響を考慮すべき項目として、燃料被覆材応力及び累積疲労サイクルを評価項目とする。評価においては、内外圧差による応力、ペレットの接触圧による応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考慮し、設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnellの曲線を使用する。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止		
外部からの衝撃による損傷の防止	安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	（4号炉） 燃料集合体は、発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。
	安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。	（4号炉） 燃料集合体は、発電所敷地又はその周辺で想定される人為による事象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。
第12条 安全施設		
安全施設	安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。	（4号炉） 燃料集合体は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に基づき、それが果たす安全機能の性質に応じて分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。
	安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障（単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと（従属要因による多重故障を含む。）をいう。以下同じ。）が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。	（4号炉）（3号炉） 設計基準事故が発生した場合に長期間にわたって機能が要求される静的機器のうち、単一設計とするスプレイリングを有する原子炉格納容器スプレイ設備については、安全機能に最も影響を与える単一故障を仮定しても、原子炉格納容器の冷却機能を達成できる設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第12条 安全施設 (続き)		
安全施設	<p>安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならない。</p>	<p>(4号炉) 燃料集合体の設計条件を設定するに当たっては、材料疲労、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される圧力、温度、湿度、放射線量等各種の環境条件を考慮し、十分安全側の条件を与えることにより、これらの条件下においても期待されている安全機能を発揮できる設計とする。</p>
	<p>安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならない。</p>	<p>(4号炉) 燃料集合体は、それらの健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、必要性及びプラントに与える影響を考慮して、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第13条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止		
<p>運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止</p>	<p>設計基準対象施設は、次に掲げる要件を満たすものでなければならない。</p> <p>一 運転時の異常な過渡変化時において次に掲げる要件を満たすものであること。</p> <p>イ 最小限界熱流束比（燃料被覆材から冷却材への熱伝達が低下し、燃料被覆材の温度が急上昇し始める時の熱流束（単位時間及び単位面積当たりの熱量をいう。以下同じ。）と運転時の熱流束との比の最小値をいう。）又は最小限界出力比（燃料体に沸騰遷移が発生した時の燃料体の出力と運転時の燃料体の出力との比の最小値をいう。）が許容限界値以上であること。</p> <p>ロ 燃料被覆材が破損しないものであること。</p> <p>ハ 燃料材のエンタルピーが燃料要素の許容損傷限界を超えないこと。</p> <p>二 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の1.1倍以下となること。</p> <p>二 設計基準事故時において次に掲げる要件を満たすものであること。</p> <p>イ 炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること。</p> <p>ロ 燃料材のエンタルピーが炉心及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性を維持するための制限値を超えないこと。</p> <p>ハ 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の1.2倍以下となること。</p> <p>ニ 原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び原子炉格納容器バウンダリにおける温度が最高使用圧力及び最高使用温度以下となること。</p> <p>ホ 設計基準対象施設が工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであること。</p>	<p>（4号炉） 設計基準対象施設は固有の安全性及び安全確保のために設計した設備により安全に運転できることを示すために、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対する解析及び評価を、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成2年8月30日原子力安全委員会決定）及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（昭和57年1月28日原子力安全委員会決定）等に基づき実施し、要件を満足する設計とする。</p> <p>（3号炉） 設計基準対象施設は固有の安全性及び安全確保のために設計した設備により安全に運転できることを示すために、設計基準事故に対する解析及び評価を、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成2年8月30日原子力安全委員会決定）及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（昭和57年1月28日原子力安全委員会決定）等に基づき実施し、要件を満足する設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第15条 炉心等		
原子炉固有の出力抑制特性	設計基準対象施設は、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。	<p>（4号炉）</p> <p>濃縮ウラン燃料、軽水減速、軽水冷却、加圧水型の本発電用原子炉は、低濃縮二酸化ウラン燃料及びガドリニア入り低濃縮二酸化ウラン燃料を使用し、ドップラ係数、減速材温度係数、減速材ポイド係数及び圧力係数を総合した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、固有の出力抑制特性を有する設計とする。</p> <p>具体的には、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。ドップラ係数は、急激な反応度増加があっても十分な出力抑制効果を有するように、常に負になる設計とする。減速材温度係数は、高温出力運転状態で負になる設計とする。減速材ポイド係数及び圧力係数は、減速材温度係数と同様、減速材密度の変化に基づく反応度係数であるが、これらによる反応度が炉心に与える効果は、通常、温度の効果に比べ小さい。</p> <p>これらにより、設計負荷変化及び外乱に起因する反応度変化に対しては、固有の出力抑制特性と原子炉制御設備により原子炉出力の振動が十分な減衰特性を有する設計とするとともに、急激な反応度増加に対しても、固有の出力抑制特性により十分な出力抑制効果を有する設計とする。</p> <p>発電用原子炉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により、キセノンによる原子炉出力分布の空間振動のうち水平方向振動は減衰特性を有する設計とする。軸方向振動は、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、制御棒クラスタを操作して、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って出力振動を抑制できる設計とする。</p> <p>また、アキシャルオフセットが運転目標値から大きく逸脱した場合には、原子炉制御設備又は原子炉保護設備が作動し、出力低下あるいは原子炉トリップを行うことにより、燃料要素の許容損傷限界を超えない設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第15条 炉心等（続き）		
燃料要素の許容損傷限界	炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより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。	<p>（4号炉）</p> <p>(1) 炉心は、それに関連する1次冷却系統、反応度制御系統、原子炉停止系統、計測制御系統、安全保護回路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要素の許容損傷限界を超えないように以下の基準を満足する設計とする。</p> <p>a. 最小DNBRは、許容限界値以上であること。</p> <p>b. 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの溶融点未満であること。</p> <p>すなわち、炉心設計においては、炉内出力分布が平坦になるような燃料取替方式を採用するほか、必要に応じてバーナブルポイズン又はガドリニア入り二酸化ウラン燃料を使用する。また、計測制御系統により、原子炉運転中の炉内出力分布を監視できる設計とする。</p> <p>さらに、燃料中心最高温度が二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの溶融点を超えるか又は最小DNBRが許容限界値を下回るおそれがある場合には、安全保護回路の作動により発電用原子炉を自動的に停止できる設計とする。</p> <p>(2) 想定される反応度投入過渡事象（原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き）時においては「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針」に定める燃料材のエンタルピに関する燃料要素の許容損傷限界及び「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱いについて」に定めるPCMI破損しきい値のめやすを超えることのない設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第15条 炉心等（続き）		
構造及び強度	燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。	（4号炉） 炉心を構成する燃料要素以外の燃料体の構成要素及び原子炉容器内で炉心近辺に位置する燃料体以外の構成要素は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において想定される荷重の組合せに対し、発電用原子炉の安全停止及び炉心の冷却を確保するために必要な構造及び強度を維持し得る設計とする。
流体振動	燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならない。	（4号炉） 燃料体は、1次冷却材の挙動により生じる流体振動により損傷を受けない設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第15条 炉心等（続き）		
燃料体	<p>燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。</p> <hr/> <p>燃料体は、次に掲げるものでなければならない。</p> <p>一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> <p>二 輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとする。</p>	<p>（4号炉）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料体は、通常運転時における燃料要素の内外圧差、燃料要素及び他の材料の照射、負荷の変化により起こる圧力及び温度の変化、化学的効果、静的及び動的荷重、燃料材の変形並びに燃料要素内封入ガスの組成の変化等を考慮して、各構成要素が十分な強度を有し、その機能を保持できる設計とし、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。 <p>このため、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準を満足できる設計とする。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの溶融点未満であること。 (2) 燃料要素内圧は、通常運転時において、燃料被覆材の外向きのクリープ変形により燃料材と燃料被覆材のギャップが増加する圧力を超えないこと。 (3) 燃料被覆材応力は、燃料被覆材の耐力以下であること。 (4) 燃料被覆材に生じる円周方向引張歪の変化量は、各過渡変化に対して1%以下であること。 (5) 累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料体は、輸送及び取扱中に燃料体に加わる荷重に対して構成部品が十分な強度を有し、燃料体としての機能を阻害することのない設計とする。 <p>また、輸送及び取扱いに当たっては、過度な外力がかからないよう十分な配慮をするとともに、発電所へ搬入後、健全性を確認する。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設		
燃料体等の取扱施設	<p>発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。</p> <p>二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。</p> <p>四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。</p> <p>五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。</p>	<p>（4号炉） 燃料体等の取扱施設は、下記事項を考慮した設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料取扱設備は、燃料体等を一体ずつ取り扱う構造とし、臨界を防止する設計とする。 ・ 使用済燃料の取扱設備は、取扱い時において、十分な水遮へい深さが確保される設計とするなど、放射線業務従事者の線量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。 ・ 燃料取扱設備は、移送操作中の燃料体等の落下を防止するため十分な考慮を払った設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（続き）		
燃料体等の貯蔵施設	<p>発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない</p> <p>一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。</p> <p> □ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。</p> <p>ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。</p>	<p>（4号炉）</p> <p>・ 燃料体等の貯蔵施設は、以下のように設計する。</p> <p> □ 新燃料の貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とし、また、使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。</p> <p>ハ 新燃料貯蔵庫中の新燃料ラックは、燃料集合体の間隔を十分にとり、設備容量分の燃料を収容しても実効増倍率は、0.95（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。</p> <p> 使用済燃料ピット中の使用済燃料ラックは、燃料集合体の間隔を十分にとり、設備容量分の燃料を収容しても実効増倍率は、0.98（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（続き）		
燃料体等の貯蔵施設	<p>ニ 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。） にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲 げるものであること。</p> <p>イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮 蔽能力を有するものとする。</p> <p>ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融 しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱 を輸送できる設備及びその浄化系を有するも のとする。</p> <p>ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の 落下時及び重量物の落下時においてもその機 能が損なわれないものとする。</p>	<p>（4号炉）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料の貯蔵設備は以下のように設計する。 <p>イ 使用済燃料ピットの壁面及び底部はコンクリート壁 による遮へいを有し、使用済燃料の上部は十分な水深 を持たせた遮へいにより、放射線業務従事者の受ける 線量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。</p> <p>ロ 使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料ピット水浄化 冷却設備を有する設計とする。使用済燃料ピット水浄 化冷却設備は、使用済燃料ピット水を冷却して、使用 済燃料ピットに貯蔵した使用済燃料からの崩壊熱を十 分除去できる設計とする。使用済燃料ピット水浄化冷 却設備で除去した熱は、原子炉補機冷却水設備及び原 子炉補機冷却海水設備を経て最終的な熱の逃がし場 である海へ輸送できる設計とする。 また、浄化系は、使用済燃料ピット水を適切な水質 に維持できる設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料の貯蔵設備は、燃料体等の取扱中に想定さ れる燃料体等の落下時においても使用済燃料ピット水 の著しい減少を引き起こすような損傷が生じない設計 とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統		
反応度制御設備	<p>発電用原子炉施設には、反応度制御系統（原子炉停止系統を含み、安全施設に係るものに限る。次項において同じ。）を設けなければならない。</p> <p>反応度制御系統は、計画的な出力変化に伴う反応度変化を燃料要素の許容損傷限界を超えることなく制御できる能力を有し、かつ、次に掲げるものでなければならない。</p> <p>一 制御棒、液体制御材その他反応度を制御するものによる二以上の独立した系統を有するもの とすること。</p>	<p>（4号炉） 反応度制御系統としては、制御棒クラスタの位置を制御することによって反応度を制御する制御棒制御系と、1次冷却材中のほう素濃度を調整することによって反応度を制御する化学体積制御設備の原理の異なる2つの系統を設け、通常運転時に生じることが予想される反応度変化を制御するのに十分な反応度制御能力を有する設計とする。</p> <p>（4号炉） 反応度制御系統のうち、制御棒制御系は主として負荷変動及び零出力から全出力までの反応度変化を制御し、化学体積制御設備はキセノン濃度変化、高温状態から低温状態までの1次冷却材温度変化及び燃料の燃焼に伴う反応度変化を制御する設計とし、両者の組合せによって所要の運転状態に維持できる設計とする。制御棒制御系は、制御棒クラスタの炉心への挿入により、高温運転状態から速やかに炉心を高温状態で未臨界にすることができる設計とする。 化学体積制御設備は、燃料の燃焼、キセノン濃度変化、高温状態から低温状態までの温度変化等による比較的緩やかな反応度変化の制御に使用するが、全制御棒クラスタが挿入不能の場合でも、炉心を高温運転状態から高温状態で未臨界にし、その状態を維持できる設計とする。 反応度制御系統は、計画的な出力変化に伴う反応度変化を燃料要素の許容損傷限界を超えることなく制御できる能力を有する設計とする。さらに、反応度制御系統は以下の能力を有する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 反応度制御系統は、制御棒制御系による制御棒クラスタの炉心への挿入と、化学体積制御設備による1次冷却材中へのほう酸注入の原理の異なる2つの独立した系統を設ける。

要求項目	要求事項	設計方針
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統（続き）		
反応度制御設備	<p>二 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発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できるものであり、かつ、運転時の異常な過渡変化時の高温状態においても反応度制御系統のうち少なくとも一つは、燃料要素の許容損傷限界を超えることなく発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できること。この場合において、非常用炉心冷却設備その他の発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合に作動する設備の作動に伴って注入される液体制御材による反応度価値を加えることができる。</p> <p>三 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、反応度制御系統のうち少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できること。</p>	<p>（4号炉）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 反応度制御系統に含まれる独立した系統の1つである制御棒制御系による反応度制御は、制御棒クラスタの炉心への挿入により、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要素の許容損傷限界を超えることなく、高温状態で炉心を未臨界にできる設計とする。 また、化学体積制御設備による反応度制御は、1次冷却材中へのほう酸注入により、キセノン濃度変化に対しても高温状態で十分未臨界を維持できる設計とする。原子炉運転中は、所要の反応度停止余裕を確保するため、制御棒クラスタの位置が挿入限界を超えないことを監視する。 なお、「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には、原子炉トリップ信号による制御棒クラスタの炉心への挿入に加えて、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により炉心を未臨界にでき、かつ、運転時の異常な過渡変化後において未臨界を維持できる設計とする。 ・ 反応度制御系統に含まれる独立した系統の1つである化学体積制御設備による反応度制御は、1次冷却材中へのほう酸注入により、キセノン濃度変化に伴う反応度変化及び高温状態から低温状態までの反応度変化を制御し、低温状態で炉心を未臨界に維持できる設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統（続き）		
反応度制御設備	<p>四 一次冷却材喪失その他の設計基準事故時において、反応度制御系統のうち少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界へ移行することができ、かつ、少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界に維持できること。この場合において、非常用炉心冷却設備その他の発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合に作動する設備の作動に伴って注入される液体制御材による反応度価値を加えることができる。</p> <p>五 制御棒を用いる場合にあっては、反応度価値の最も大きな制御棒一本が固着した場合においても前三号までの規定に適合すること。</p>	<p>（4号炉）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 反応度制御系統に含まれる独立した系統の一つである制御棒制御系は、1次冷却材の喪失その他の設計基準事故時において、原子炉トリップ信号により制御棒クラスタを炉心に挿入することにより、高温状態において炉心を未臨界にできる設計とする。また、反応度制御系統に含まれる独立した系統の一つである化学体積制御設備は、キセノン濃度変化及び1次冷却材温度変化による反応度変化がある場合には、1次冷却材中へのほう酸注入により炉心を未臨界に維持できる設計とする。なお、「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は、原子炉トリップ信号による制御棒クラスタの炉心への挿入に加えて、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により炉心を未臨界にでき、かつ、設計基準事故後において未臨界を維持できる設計とする。 ・ 制御棒クラスタは、最も反応度価値の大きい制御棒クラスタ1本が、全引抜位置のまま挿入できないときでも、高温状態で十分な反応度停止余裕を有して炉心を未臨界にできる設計とする。さらに、低温状態でも化学体積制御設備によるほう酸注入により、十分な反応度停止余裕を有して炉心を未臨界に維持できる設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統（続き）		
反応度制御設備	<p>制御棒の最大反応度価値及び反応度添加率は、想定される反応度投入事象（発電用原子炉に反応度が異常に投入される事象をいう。）に対して原子炉冷却材圧力バウンダリを破損せず、かつ、炉心の冷却機能を損なうような炉心、炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物の損壊を起こさないものでなければならない。</p>	<p>（4号炉）</p> <p>反応度が大きく、かつ、急激に投入される事象として「制御棒飛び出し」があるが、零出力から全出力間の制御棒クラスタの挿入限界を設定することにより、制御棒クラスタの位置を制限し、制御棒クラスタ1本が飛び出した場合でも過大な反応度が添加されない設計とする。</p> <p>また、反応度が急激に投入される事象として「原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き」があるが、この場合には制御棒クラスタの引抜最大速度を制限することにより、過度の反応度添加率とならない設計とする。</p> <p>さらに、これら反応度投入事象に対しては「出力領域中性子束高」等による原子炉トリップ信号を設け、燃料材の最大エンタルピや原子炉圧力が顕著に上昇する前に、発電用原子炉を自動的に停止し、過渡状態を早く終結させることにより、原子炉冷却材圧力バウンダリを破損せず、また、炉心冷却を損なうような炉心及び炉内構造物の破壊を生じない設計とする。</p>

要求項目	要求事項	設計方針
第27条 放射性廃棄物の処理施設		
放射性廃棄物の処理施設	<p>工場等には、次に掲げるところにより、通常運転時において放射性廃棄物（実用炉規則第二条第二項第二号に規定する放射性廃棄物をいう。以下同じ。）を処理する施設（安全施設に係るものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。</p> <p>一 周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できるよう、発電用原子炉施設において発生する放射性廃棄物を処理する能力を有するものとする。</p>	<p>（4号炉）（3号炉）</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射性気体廃棄物処理設備の設計に際しては、原子力発電所の運転に伴い周辺環境に放出する放射性気体廃棄物による発電所周辺の一般公衆の被ばく線量を合理的に達成できる限り低く保つ設計とし、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」（昭和50年5月13日原子力安全委員会決定）を満足する設計とする。 放射性液体廃棄物処理設備の設計に際しては、原子力発電所の運転に伴い周辺環境に放出する放射性液体廃棄物による発電所周辺の一般公衆の被ばく線量を合理的に達成できる限り低く保つ設計とし、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」（昭和50年5月13日原子力安全委員会決定）を満足する設計とする。

要求項目	要求事項	設計方針
第37条 重大事故等の拡大の防止等		
炉心の著しい損傷の防止	発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。	（4号炉） 重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、想定した事故シーケンスグループに対して、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じる設計とする。
原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出の防止	発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。	（4号炉）（3号炉） 重大事故が発生した場合において、想定した格納容器破損モードに対して、原子炉格納容器破損及び放射性物質の発電所の外への異常な放出を防止するために必要な措置を講じる設計とする。
使用済燃料貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷の防止	発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、使用済燃料貯蔵槽内の燃料体又は使用済燃料（以下「貯蔵槽内燃料体等」という。）の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。	（4号炉）（3号炉） 重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、想定した事故に対して、使用済燃料ピット内に貯蔵されている燃料体等の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じる設計とする。
運転停止中原子炉内燃料体の著しい損傷の防止	発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、運転停止中における発電用原子炉内の燃料体（以下「運転停止中原子炉内燃料体」という。）の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。	（4号炉）（3号炉） 重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、想定した運転停止中事故シーケンスグループに対して、運転停止中における発電用原子炉内の燃料体の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じる設計とする。