

# 発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の 型式証明申請の概要

2023年2月16日

株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

本資料のうち、太枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

1. 特定機器(GNF3型)の概要	・・・2
2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造	・・・3
3. 特定機器(GNF3型)を使用することができる範囲又は条件	・・・9
4. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性	・・・10
5. 安全設計に関する評価概要	・・・14
6. 発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認	・・・18
7. 後段審査への引継ぎ事項	・・・19
8. 詳細説明を予定する事項	・・・24
9. 今後の説明スケジュール	・・・25

## 付録 既存の設置(変更)許可申請書の抜粋 (本型式証明申請書に対応する主な部分)

【免責条項】本資料の目的以外の使用は認められていません。本資料の目的外の使用に対して、株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパンは、(1) (i) 本資料に含まれる情報に関して、あるいは、(ii) 目的外の使用により第三者が個人的に有する権利を侵害しないこと、を明示的であると黙示的であるとを問わず、如何なる保証または表明も行わず、また、(2) 目的外の使用に起因する如何なる種類の義務または損害賠償に対する責任も負いません。

【著作権】本資料の著作権は株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパンに帰属します。

# 1. 特定機器(GNF3型)の概要

- 特定機器の種類 燃料体
- 特定機器の名称及び型式 GNF3型
- 主要な設備及び機器の種類
  - 燃料体の種類 BWR用10×10燃料体
  - 燃料材の種類 二酸化ウラン焼結ペレット  
(一部ガドリニアを含む)
    - ・ ウラン235濃縮度  
燃料体平均濃縮度 5.0 wt%以下
    - ・ ガドリニア濃度 約10 wt%以下
    - ・ 初期密度 理論密度の  %
  - 燃料被覆材の種類 ジルカロイ-2(ジルコニウム内張)  
又は  
高鉄ジルカロイ<sup>注1</sup>(ジルコニウム内張)

注1 ジルカロイ-2の合金成分のうち  
鉄濃度を高めたジルコニウム合金

内は商業機密のため、非公開とします。

## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

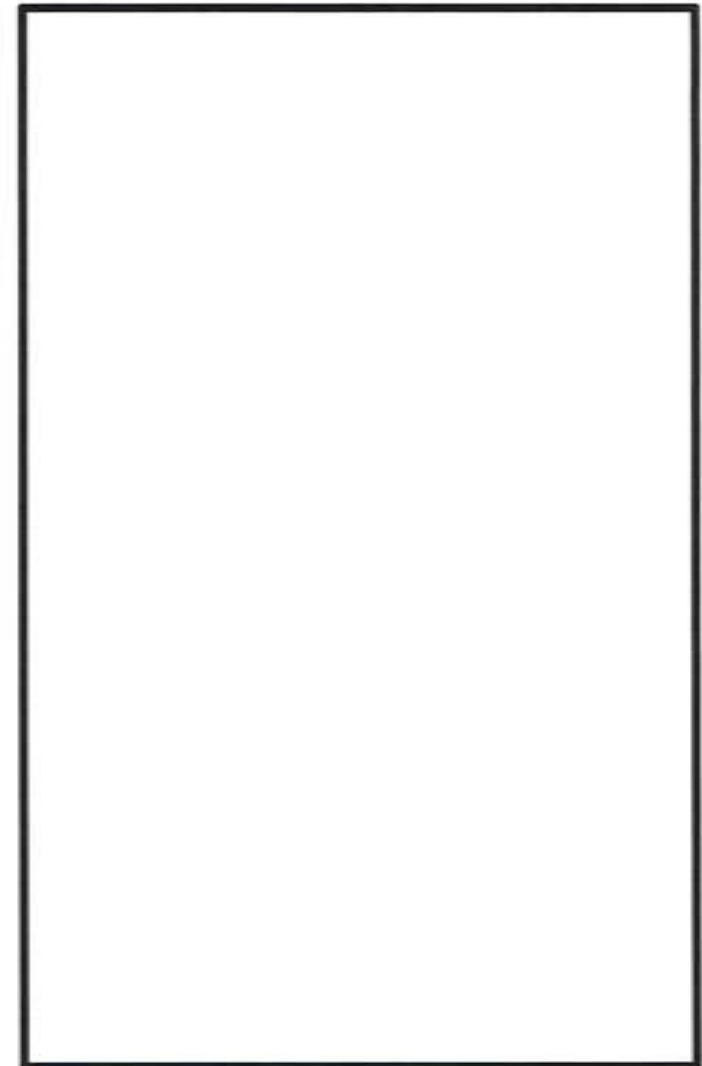
- 燃料要素の主要寸法
  - 燃料棒外径  mm
  - 被覆管厚さ  mm  
(うちジルコニウム内張  mm)
  - 燃料棒有効長さ
    - ・ 標準燃料棒  m
    - ・ 部分長燃料棒(長尺)  m
    - (短尺)  m



内は商業機密のため、非公開とします。

## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

- 燃料体の主要仕様
  - 燃料体における燃料棒配列  10行10列
  - 燃料棒ピッチ  mm
  - 燃料体当たりの燃料棒本数
    - 標準燃料棒  本
    - 部分長燃料棒(長尺/短尺)  本/ 本
  - 燃料体当たりのウォータロッド本数  本
  - 質量
    - ウラン量(燃料体あたり)  kg
    - 全質量(チャンネルボックスは含まない)  kg

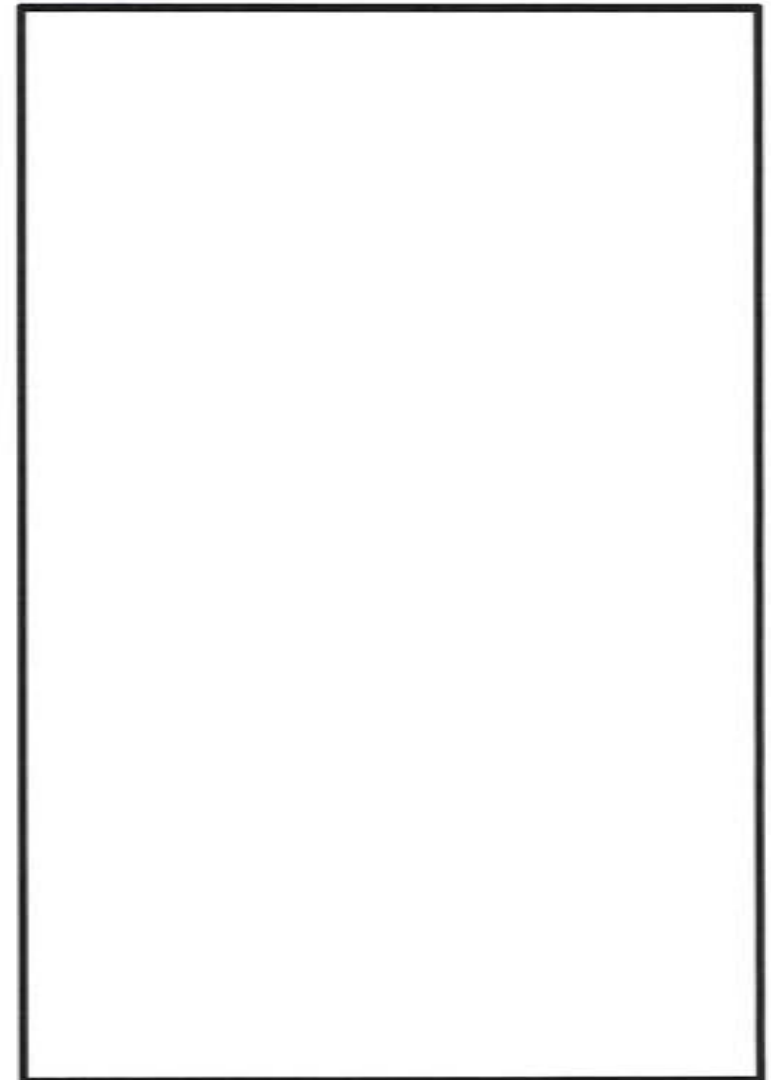


内は商業機密のため、非公開とします。

## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

- GNF3型の主要仕様(添付書類一)

	GNF3型
ペレット直径	[ ] cm
ペレット長さ	[ ] cm
ペレット密度	理論密度の [ ] %
ペレット材	UO <sub>2</sub> 、UO <sub>2</sub> -Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
被覆管外径	[ ] cm
被覆管厚さ	[ ] mm(うち、ジルコニウム内張 [ ] mm)
被覆管材料	ジルカロイ-2(ジルコニウム内張) 又は 高純ジルカロイ(ジルコニウム内張) (Sn: [ ] wt% Fe: [ ] wt% Cr: [ ] wt% Ni: [ ] wt% Zr: 残り)
燃料体全長 (つかみ部分を含む)	[ ] m
燃料棒有効長さ	
標準燃料棒	[ ] m
部分長燃料棒	長尺/短尺: [ ] m
ペレット-燃料被覆管間隙	[ ] mm
プレンナム体積比	
標準燃料棒	[ ]
部分長燃料棒	長尺/短尺: [ ]
ウラン濃縮度(燃料体平均)	5.0 wt%以下
ペレット最高燃焼度	[ ] MWd/t
最大線出力密度	44.0 kW/m
ヘリウム封入圧	[ ] MPa
ガドリニア濃度	約 10 wt%以下
ウォーターロッド外径	[ ] cm



[ ] 内は商業機密のため、非公開とします。

## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

### ● GNF3型の構造

GNF3型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)に装荷され、安全に核分裂によるエネルギーを発生させる機能を有し、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第二条に規定する燃料体である。

燃料棒は、円筒形燃料被覆管に二酸化ウラン焼結ペレット(一部ガドリニアを含む。)を挿入し、両端を密封した構造とし、ヘリウムが加圧充てんされている。

GNF3型は□本の燃料棒(標準燃料棒□本及び2種類の長さの部分長燃料棒□本)と燃料体の中央部に配した□本の太径のウォータロッドを10行10列の正方形に配列し、上端及び下端にタイプレートを取り付ける。

GNF3型の外側にはチャンネルボックスを取り付け、冷却材流路を構成する。各燃料棒の間隔は、スペーサにより一定に保たれる構造とする。

GNF3型は、機械設計、核設計、熱水力設計及び耐震設計に関して要求される必要な機能を有する構造とする。

GNF3型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という。)等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。本申請においては、機械設計及び耐震設計に関する次のイ. 及びロ. の設計方針に対する適合性を示す。

□内は商業機密のため、非公開とします。

## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

### イ. 機械設計に関する設計方針

#### (基本的設計方針)

GNF3型は、機械設計に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) GNF3型は、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(安全保護系)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設計とする。
- (2) GNF3型は、原子炉冷却材の循環、沸騰その他の原子炉冷却材の挙動により生ずる流体振動により損傷を受けない設計とする。
- (3) GNF3型は、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設計とする。
- (4) GNF3型は、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し、輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じない設計とする。

#### (具体的設計方針)

燃料体の機械的設計においては、燃料材料、使用温度、圧力条件及び照射効果を考慮し、次の設計方針を満足する設計とする。

- (1) GNF3型は、運転時の異常な過渡変化時において、発電用原子炉施設の各系統とあいまって、燃料の許容損傷限界の一つである被覆管に1%の円周方向平均塑性歪が生じる線出力密度を超えないこと。
- (2) 燃料棒内圧は、通常運転時において、被覆管の外向きのクリープ変形によりペレットと被覆管のギャップが増加する圧力(以下「限界内圧」という。)を超えないこと。
- (3) 被覆管応力は、許容応力以下であること。
- (4) 設計応力サイクル条件及びサイクル数から計算された疲労の累積係数は1以下であること。

上記のほか、被覆管の水素化、フレット腐食、ペレット—被覆管相互作用、使用中の燃料棒の変化等による燃料体の過度の寸法変化、燃料体の輸送及び取扱い時の健全性等についても考慮し、総合的に燃料の健全性を評価する。



## 2. 特定機器(GNF3型)の仕様・構造

### ロ. 耐震設計に関する設計方針

#### (基本的設計方針)

GNF3型は、耐震設計に関して、炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) 弾性設計用地震動 $S_d$ 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に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまるように設計する。
- (2) 基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。

#### (具体的設計方針)

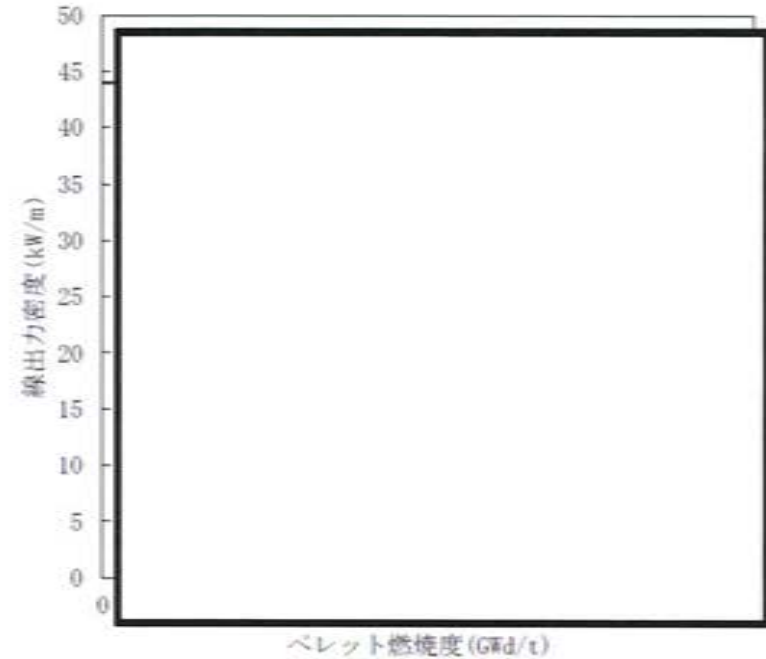
炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

- (1) 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能の確認においては、通常運転時の状態で燃料被覆管に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって燃料被覆管に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (2) 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能についての許容限界は、以下のとおりとする。
  - a. 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力との組み合わせに対する許容限界  
応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることとする。
  - b. 基準地震動 $S_s$ による地震力との組合せに対する許容限界  
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とど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こととする。

### 3. 特定機器(GNF3型)を使用することができる範囲又は条件

- チャンネルボックス
  - 断面内寸法  cm
- 最大線出力密度 44.0 kW/m
- 最高燃焼度
  - ペレット最高燃焼度  MWd/t
- 設計用出力履歴 右図
- 耐震設計条件
  - 地震応答加速度及び変位等 右表
  - 運転時の異常な過渡変化時の状態

冷却材圧力  MPa[abs]又は  
設計用出力履歴に対して  %過出力状態



第1表 GNF3型の耐震設計に用いる地震応答加速度及び変位等

項目		評価条件
水平方向 加速度	基準地震動 $S_s$	<input type="text"/> $m/s^2$
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力 <sup>②</sup>	
鉛直方向 加速度	基準地震動 $S_s$	<input type="text"/> $m/s^2$
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力 <sup>②</sup>	
燃料体 変位	基準地震動 $S_s$	<input type="text"/> mm
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力 <sup>②</sup>	
地震荷重の 繰り返し回数	基準地震動 $S_s$	<input type="text"/> 回
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力 <sup>②</sup>	

<sup>②</sup>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考慮する。

内は商業機密のため、非公開とします。

## 4. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

### ● 設置許可基準規則での要求事項に対する評価項目概要

設置許可基準規則		機械設計	耐震設計
第三条			
第四条	地震による損傷の防止	—	◎
第五条～第十四条			
第十五条	炉心等	◎	—
第十六条～第三十六条			
第三十七条～第六十二条			

◎: 設計方針及び安全評価を説明する項目

■: 申請の範囲外

## 4. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

### ● 地震による損傷の防止(第四条第1項)

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。

#### 適合のための設計方針

炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

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 $S_d$ 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、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまる設計とする。

その他の設計基準対象施設については、型式証明申請の範囲外とする。

### ● 地震による損傷の防止(第四条第5項)

5 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。

#### 適合のための設計方針

炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

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 $S_s$ 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とど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。

なお、燃料体の機械設計においては、燃料被覆管応力、累積疲労サイクル及び過度の寸法変化防止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管への地震力の影響を考慮すべき項目として、燃料被覆管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、内外圧力差による応力、熱応力、水力振動による応力、支持格子の接触圧による応力等のほか、地震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。

## 4. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

### ● 炉心等(第十五条第2項)

- 2 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。

#### 適合のための設計方針

燃料の健全性を確保するため、熱水力設計上の燃料要素の許容損傷限界を定め、運転時の異常な過渡変化時において、この限界値を満足するように通常運転時の熱的制限値を定める。

熱水力設計上の燃料要素の許容損傷限界の一つは、燃料被覆管とペレットの相対的膨張によって燃料被覆管に1%の円周方向平均塑性歪が生ずる線出力密度である。本申請においては、上記設計方針に対して、評価基準(線出力密度)、評価方法及び評価条件を示すが、その評価結果及びその他の許容損傷限界(最小限界出力比の過渡時の限界値及び反応度投入事象における燃料エンタルピ基準)に関する内容は型式証明申請の範囲外とする。

### ● 炉心等(第十五条第4項)

- 4 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。

#### 適合のための設計方針

燃料体は、原子炉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。

炉心支持構造物並びに原子炉冷却系に係る容器、管、ポンプ及び弁については、型式証明申請の範囲外とする。

## 4. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

### ● 炉心等(第十五条第5項及び第6項第1号)

- 5 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。
- 6 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。
  - 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。

#### 適合のための設計方針

燃料体は、発電用原子炉内における使用期間中を通じ、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、燃料棒の内圧差、燃料棒及び他の材料の照射、負荷の変化により起こる圧力・温度の変化、化学的効果、静的・動的荷重、燃料ペレットの変形、燃料棒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、その機能が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管の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。

### ● 炉心等(第十五条第6項第2号)

- 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。

#### 適合のための設計方針

燃料体は、輸送及び取扱い中に受ける通常の荷重に耐える設計となっており、さらに輸送及び取扱いに当たっては、過度な外力を受けないよう十分配慮して行う。また、現地搬入後、燃料体の変形の有無等を点検し、その健全性を確認する。

## 5. 安全設計に関する評価概要

### ● 機械設計

GNF3型の機械設計においては、燃料材料、使用温度、圧力条件及び照射効果を考慮し、設計方針を満足する設計とすることとしている。次の項目についての評価によって設計方針への適合性を示す。

#### 機械設計に関する評価(各評価内容は申請書添付書類一 4章参照)

項目	設計方針(評価基準)	主な評価結果
(1) 材料	燃料体に使用する主要材料は、BWRの条件に十分適合でき、発電用原子炉の運転中にその設計目的を十分満足できること	機械的特性、耐食性等の材料特性は、過去の実績等からBWRの条件に十分適合でき、発電用原子炉の運転中にその設計目的を十分満足する
(2) 照射効果	性能に影響を与える照射効果を考慮していること	燃料の燃焼が進むと燃料材及び被覆管の材料特性に影響を受けるが、性能に影響を与える照射効果を考慮した設計としている
(3) 燃料温度	ペレットが中心溶融を起こさないこと(設計目標)	解析結果から設計目標を満足する (ペレット最高温度は融点に対して十分低い)
(4) 燃料棒内圧	燃料棒内圧は限界内圧を超えないこと	解析結果から設計方針(評価基準)を満足する (燃料棒内圧は限界内圧を超えない)
(5) 応力解析	被覆管応力は許容応力以下であること	解析結果から設計方針(評価基準)を満足する (被覆管応力は許容応力以下となる)
(6) 応力サイクル及び疲労限界	疲労の累積係数は1以下であること	解析結果から設計方針(評価基準)を満足する (疲労の累積係数は1に対し十分余裕がある)
(7) フレッチング腐食	フレッチング腐食によって燃料の健全性が損なわれないこと	燃料棒の間隔を一定に保つとともに、燃料棒の振動を抑えるためにスペーサを用いているが、スペーサは、過度なフレッチング腐食又は摩耗を起こさない設計としている
(8) 水素化	燃料棒の製造工程に起因する水素化によって燃料の健全性が損なわれないこと	燃料棒の製造工程では、被覆管の水素化による損傷が生じないよう、燃料棒内の水分を十分低く抑えるように管理している
(9) 被覆管のクリープ圧潰	被覆管のクリープ圧潰によって燃料の健全性が損なわれないこと	BWR燃料は、クリープを考慮しても外圧によって座屈を起こすことがないよう設計・製造しており、過去の実績でもクリープ圧潰を起こしたことはない
(10) ペレット-被覆管相互作用	ペレット-被覆管相互作用によって燃料の健全性が損なわれないこと	対策として延性の大きいジルコニウムを内張りした被覆管の使用等の考慮をしている 許容損傷限界である1%の円周方向平均塑性歪が生じる線出力密度は余裕を有する
(11) 寸法形状安定性	使用中に異常な寸法形状変化が生じないこと	使用中に異常な寸法形状変化が生じないよう、被覆管は製造時に残留応力の除去を行う等、設計及び製造上の考慮をしている
(12) 燃料体の輸送及び取扱い	輸送及び取扱い中に受ける通常の荷重に十分耐えること	燃料体を構成する上部タイプレート、下部タイプレート、被覆管、スペーサ等は、輸送及び取扱い中に受ける通常の荷重に十分耐える設計としている

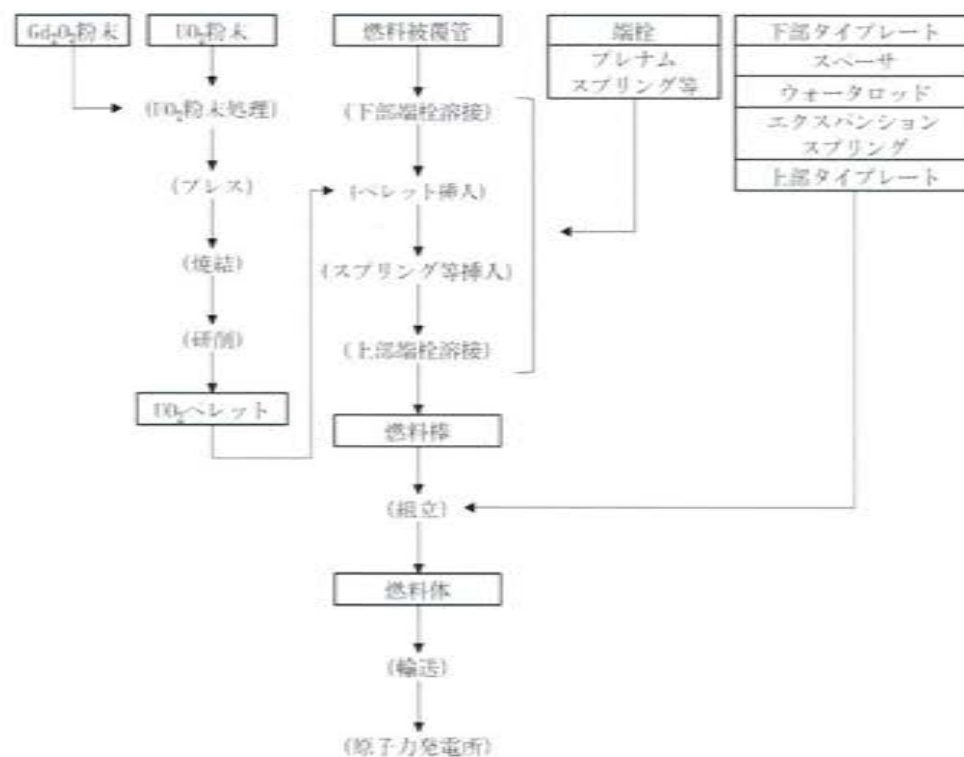
## 5. 安全設計に関する評価概要

### ● 燃料体の製造及び検査

品質管理は、燃料製造工程のすべての段階において厳しく行い、設計仕様を満たしているかどうか確認する。各段階での品質管理は、製造工程書類と品質管理計画書によって定める。

ペレットについては、 $UO_2$ 粉末の特性、ペレットの密度、化学成分、表面仕上げ等の検査を行う。被覆管については、寸法検査、管壁欠陥を検出するための超音波探傷試験等を行い、さらに破壊試験として、化学分析、引張試験等を行う。端栓溶接の健全性は、超音波検査等によって確認する。燃料棒については、ヘリウム漏えい試験を行い、被覆管及び端栓溶接部からのヘリウムの漏れがないことを確認する。燃料体については、燃料棒間隙のような重要部分についての寸法検査と目視検査を行う。

また、現地搬入後は、燃料体の変形の有無等を点検し、その健全性を確認する。



GNF3型の製造工程概略図



## 5. 安全設計に関する評価概要

### ● 燃料体の使用実績

BWR燃料は、1960年のドレスデン1号炉初装荷燃料以来長年にわたる使用実績を持っている。これらの燃料の使用経験や多数の開発試験燃料の使用経験は、BWRの燃料設計、運転条件、燃料製造技術の向上に反映されており、1973年に改良型7×7燃料、1974年に8×8燃料が採用されて以来被覆管の損傷を生じた燃料棒は非常に少なくなっている。

海外においてグローバル・ニュークリア・フュエル・アメリカズ社又はGE社が製造した10×10燃料及びそれと同型の燃料としては、2021年時点において[ ]体の使用実績があり、そのうちGNF3型と燃料棒断面形状が同一の燃料については[ ]体の使用実績がある。また、先行使用燃料を含めると、ペレット燃焼度では[ ] MWd/t、炉内滞在期間では[ ]年以上を達成しているものもある。なお、従来燃料(10×10燃料以外)では、炉内滞在期間が11年以上のものもある。燃料の熱的制限値及び損傷限界値は、これらの燃料の使用実績及び開発試験結果に基づいて定めたものである。

GNF3型と従来燃料の設計仕様値

	GNF3型	従来燃料 9×9燃料(A型)	従来燃料 GE社実績 (10×10燃料除く)
燃料体形状	10×10	9×9	6×6 7×7 8×8 9×9 11×11 12×12
燃料棒有効長さ(m) 標準燃料棒 部分長燃料棒 長尺/短尺	[ ]	約3.71 約2.16	1.44~3.81
プレンナム体積比 (プレンナム体積/燃料体積) 標準燃料棒 部分長燃料棒		約0.1 約0.2	0.013~0.11
燃料棒外径(cm)		約1.12	1.08~1.51
ペレット被覆管間隙(mm)		約0.20	0.07~0.30
燃料棒ピッチ(cm)		約1.43~約1.44	1.35~2.22
燃料棒間隙(cm)		約0.31~約0.32	0.33~0.54

[ ] 内は商業機密のため、非公開とします。

# 5. 安全設計に関する評価概要

- 耐震設計

GNF3型の耐震設計においては、炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能について、次の項目についての評価によって設計方針への適合性を示す。

耐震設計に関する評価(各評価内容は申請書添付書類一 4章参照)

項目	設計方針(評価基準)	主な評価結果
(1)応力解析	被覆管応力は許容応力以下であること	解析結果から設計方針(評価基準)を満足する (被覆管応力は許容応力以下となる)
(2)応力サイクル及び疲労限界	疲労の累積係数は1以下であること	解析結果から設計方針(評価基準)を満足する (疲労の累積係数は1に対し十分余裕がある)

## 6. 発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認

- 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

GNF3 型は、発電用原子炉施設において使用した場合に発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさない設計とする。

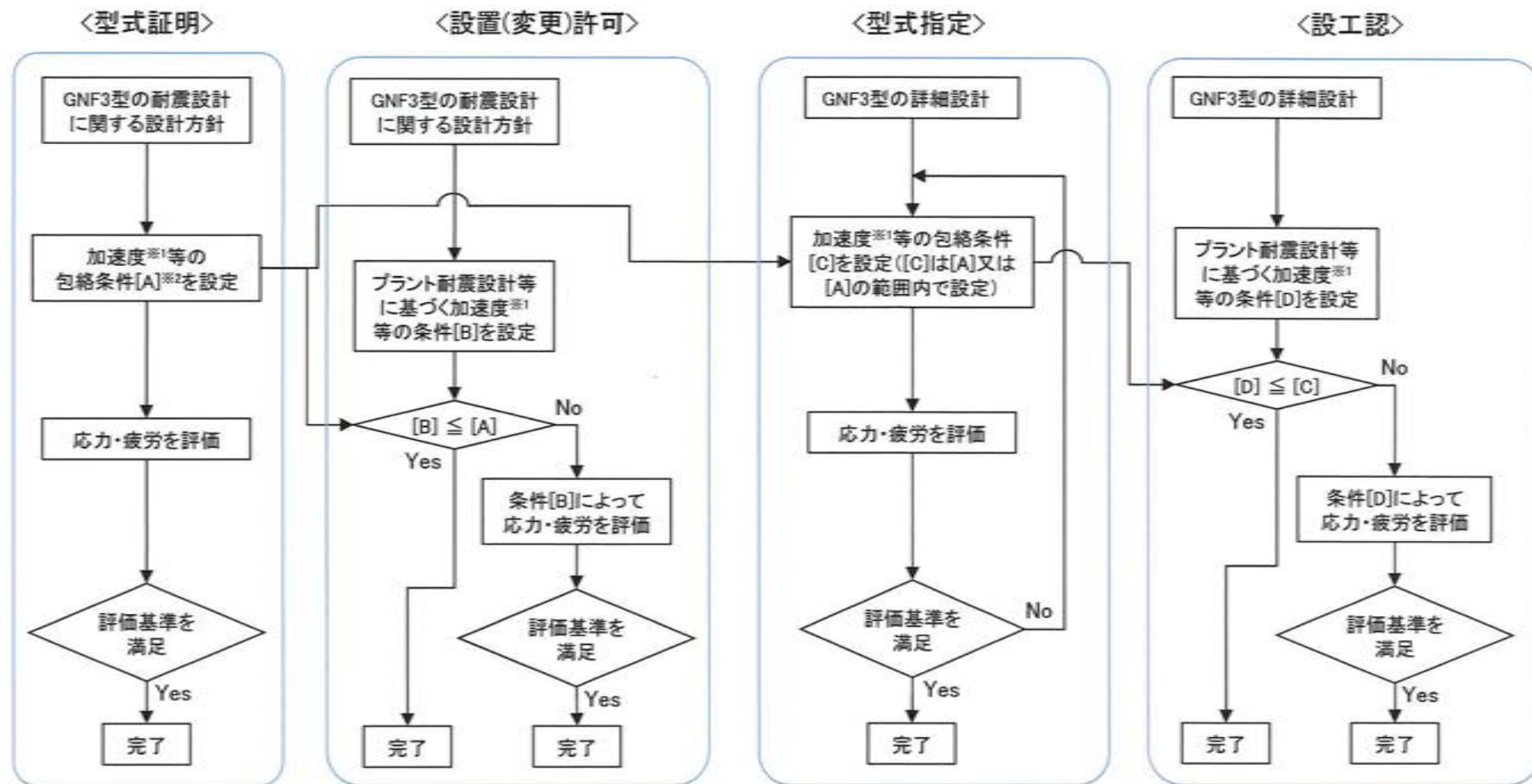
GNF3 型を発電用原子炉施設において使用した場合に、発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさないことを、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備に関する基準」の各条に沿って確認した。

確認の結果、GNF3 型を発電用原子炉施設において使用した場合に、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼすおそれはない。

# 7. 後段審査への引継ぎ事項

GNF3型の許認可における適合性評価の概略フローを以下に示す。

## ●耐震設計の場合

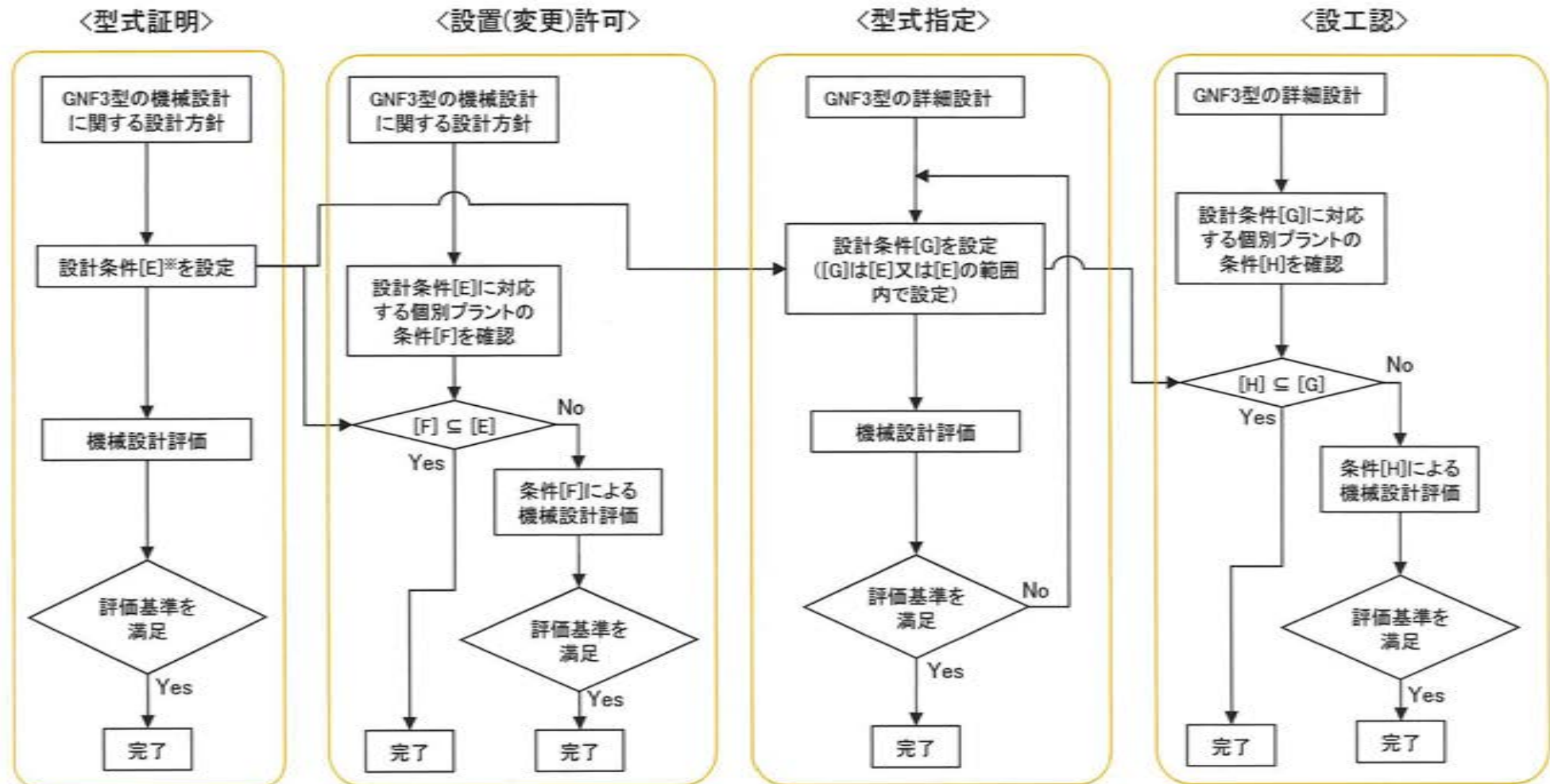


\*1 燃料体の地震応答加速度

\*2 申請書本文五号1項(スライド9)に記載の耐震設計条件

# 7. 後段審査への引継ぎ事項

## ●機械設計の場合



\*申請書本文五号1項(スライド9)に記載の設計条件

## 7. 後段審査への引継ぎ事項

●本型式証明申請(燃料体の機械設計及び耐震設計)に係る適合性説明方針について、次表のとおり整理した。

部品	設置許可基準規則			
	第四条 地震による損傷の防止		第十五条 炉心等	
	第1項・第5項		第2項・第4項・第5項・第6項	
	型式証明	設置(変更)許可	型式証明	設置(変更)許可
燃料体	○	(○)	○	(○)
チャンネルボックス	△	(△)	△	(△)

部品	技術基準規則			
	第五条 地震による損傷の防止		第二十三条 炉心等	
	第1項・第2項・第4項		第1項・第2項	
	型式指定	設工認	型式指定	設工認
燃料体	○	(○)	○	(○)
チャンネルボックス	△	(△)	△	(△)

- ：型式証明又は型式指定の申請範囲であり、設置許可基準規則又は技術基準規則に対する適合性についての説明を行うもの  
 △：型式証明又は型式指定の申請範囲ではないが、チャンネルボックス断面内寸法を設計条件として考慮しているもの  
 (○)：部品の構造・仕様・設計方針及び設計条件が型式証明又は型式指定の範囲内であることの確認によって設置許可基準規則又は技術基準規則に対する適合性についての説明を行うもの  
 (△)：チャンネルボックス断面内寸法が型式証明又は型式指定の範囲内であることを確認するもの

## 7. 後段審査への引継ぎ事項

### ● 設置(変更)許可申請への引継ぎ事項

型式証明で基準適合性を示した以外の要求に対する適合性を設置(変更)許可申請で別途確認する。GNF3型が特に関係する、設置(変更)許可申請で別途確認を要する条件は次のとおりである。

項目	設置(変更)許可申請への引継ぎ事項
第十三条 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  第十五条 炉心等	(1) GNF3型を使用する発電用原子炉施設の設計基準対象施設は、設置許可基準規則第十三条及び第十五条第1項から第3項を満たすものであること。設計基準対象施設の安全設計の基本方針の妥当性を確認するために、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」、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」等に基づき実施し、要件を満足すること。
	(2) 上記(1)において、核分裂の連鎖反応を制御できる能力に対しては、特に次を満足すること。 (i) プラント運転中に予期されるあらゆる運転状態において、チャンネル水力学的安定性、炉心安定性、領域安定性及びプラント安定性に対して減幅比が1よりも小さいこと。 (ii) キセノン空間振動の安定性に関しては、出力反応度係数はキセノン空間振動を十分減衰できる大きさを有すること。
	(3) 上記(1)において、運転時の異常な過渡変化に対しては、プラントの各系統とあわせて、以下の燃料要素の許容損傷限界を超えないこと。 (i) 燃料被覆管とペレットの相対的膨張によって燃料被覆管に1%の円周方向平均塑性歪が生ずる線出力密度。 (ii) 定格出力運転時に、炉心状態を監視する各パラメータの標準偏差を考慮して、炉心内の99.9%以上の燃料棒が沸騰遷移を起こさない最小限界出力比。 (iii) 「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」の第2図に示されている燃料エンタルピ <sup>6</sup> 、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」に示されているPCMI破損を生ずる燃料エンタルピのしきい値。
	(4) 上記(1)において、事故に対しては、特に次を満足すること。 (i) 原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化において、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針」に示されている判断基準を満足すること。 (ii) 反応度投入事象において、「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」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」に示されている事故に対する判断基準を満足すること。

## 7. 後段審査への引継ぎ事項

(次表は前頁からの続き)

項目	設置(変更)許可申請への引継ぎ事項
第十六条 燃料体等の取扱施設及び 貯蔵施設	(5) 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設は、設置許可基準規則第十六条を満たすものであること。
第二十五条 反応度制御系統及び原子 炉停止系統	(6) GNF3型を使用する発電用原子炉施設の反応度制御系統及び原子炉停止系統は、設置許可基準規則第二十五条を満たすものであること。
第三十七条 重大事故等の拡大の防止 等	(7) 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、使用済燃料プール内の燃料体等及び運転停止中原子炉内の燃料体の著しい損傷が防止されること。また、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発電用原子炉施設外への放射性物質の異常な水準の放出が防止されること。
第四条 地震による損傷の防止	(8) 地震応答加速度及び変位等が第1項ホの条件を超える場合、炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、次を満足すること。 (i) 弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 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に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまること。 (ii) 基準地震動S <sub>s</sub> による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないこと。



## 8. 詳細説明を予定する事項

- GNF3型について、次の項目を詳細に説明する予定である。

項目	内容
1. 概要説明及び申請範囲の明確化について	従来設置変更許可申請との対応部分について説明する。 ・従来設置(変更)許可申請と本申請の対応箇所について
2. 機械設計について (設置許可基準規則第十五条関連)	機械設計に関する次の項目の妥当性について説明する。 ・燃料棒内圧基準について ・高鉄ジルカロイ被覆管について
3. 耐震設計について (設置許可基準規則第四条関連)	耐震設計に関する次の項目の妥当性について説明する。 ・耐震設計に関する評価について

# 9. 今後の説明スケジュール

- 審査での説明スケジュール案を以下に示す。

項目	2022年度	2023年度			
	1月～3月	4月～6月	7月～9月	10月～12月	1月～3月
全般	▽ 申請  審査会合				補正 ▽
概要説明・申請 範囲の明確化	[Bar]				
機械設計		[Bar]			
耐震設計			[Bar]		

## 付録

### 既存の設置(変更)許可申請書の抜粋 (本型式証明申請書に対応する主な部分)

なお、本型式証明申請は個別プラントに依存しない申請であり、記載した設置(変更)許可申請書<sup>[1]</sup>は代表例として示すものである。

[1] 東京電力ホールディングス株式会社 柏崎刈羽原子力発電所 発電用原子炉設置許可申請書(6号炉及び7号炉完本)本文及び添付書類 2020年5月。

# 本文 対応部分(その1)

## 五 ハ 原子炉本体の構造及び設備

### ハ 原子炉本体の構造及び設備

#### 1. 6号炉

原子炉本体は、燃料集合体、制御棒、減速材及び反射材、炉心支持構造物、原子炉压力容器、内部構造物等から構成する。原子炉压力容器の外側には放射線遮蔽体を設ける。

#### (1) 発電用原子炉の炉心

##### (i) 構造

a. 炉心は、多数の燃料集合体及び制御棒を正方格子に配列した円柱状の構造である。十字形の制御棒は、4体の燃料集合体によって囲まれる配置とする。

また、燃料集合体は炉心シェラド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管で構成する炉心支持構造物で支持され、その荷重は原子炉压力容器に伝えられる。

冷却材は、燃料集合体周囲のチャンネル・ボックスが形成した冷却材流路を炉心下方から上方向に流れる。

これらの構造物は、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原子炉を安全に停止し、かつ炉心の冷却を確保し得る構造とする。

b. 格子形状 X格子

##### c. 主要寸法

炉心等価直径 約 5.2m

炉心有効高さ 約 3.7m

#### (ii) 燃料体の最大挿入量

燃料集合体の体数 872

炉心全ウラン量 約 150 t (高燃焼度 8×8 燃料)

約 151 t (9×9 燃料 (A 型))

約 149 t (9×9 燃料 (B 型))

以下特に断わらない限り、9×9 燃料 (A 型) と 9×9 燃料 (B 型) を総称して 9×9 燃料という。

#### (iii) 主要な熱的制限値

原子炉を安全かつ安定に制御することを目的として、次のような熱的制限値を設定する。

##### a. 反応度停止余裕

最大反応度余裕を有する制御棒 (同一の水圧制御ユニットに属する 1 組又は 1 本) が未挿入の状態であっても、他の制御棒によって常に炉心を臨界未満にできる能力を持つ設計とする。

##### b. 制御棒の最大反応度余裕

制御棒をグループで同時に引き抜く場合、臨界近接時の制御棒グループの最大反応度余裕は 0.005 Δk 以下とする。また、臨界近接時の制御棒 1 本の最大反応度余裕は 0.015 Δk 以下 (9×9 燃料が装荷されるまでのサイクル) 又は 0.013 Δk 以下 (9×9 燃料が装荷されたサイクル以降) とする。

##### c. 減速材ボイド係数及びドブブラ係数

減速材ボイド係数及びドブブラ係数は、負となるように設計する。

#### (iv) 主要な熱的制限値

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、安全保護系の作動等とあいまって、燃料被覆管の過熱及び過度の歪を生じさせないことを目的として、次のような通常運転時の熱的制限値を設定する。

##### a. 最小限界出力比

#### (a) 9×9 燃料が装荷されたサイクル以降

高燃焼度 8×8 燃料	1.22
9×9 燃料 (A 型)	1.22
9×9 燃料 (B 型)	1.21

#### b. 燃料棒最大線出力密度

44.0kW/m

#### (2) 燃料体

##### (i) 燃料材の種類

二酸化ウラン焼結ペレット (一部ガドリニアを含む)

ウラン 235 濃縮度

初装荷炉心平均濃縮度 約 2.6wt%

初装荷燃料集合体平均濃縮度 約 3.5wt%以下

取替燃料集合体平均濃縮度

高燃焼度 8×8 燃料 約 3.5wt%

9×9 燃料 約 3.8wt%

ペレットの初期密度 理論密度の約 97%

##### (ii) 燃料被覆材の種類

ジルカロイ-2

(ジルコニウム内張)

##### (iii) 燃料要素の構造

##### a. 構造

燃料棒は円筒形被覆管に二酸化ウラン焼結ペレット (一部ガドリニアを含む) を挿入し、両端を密封した構造とし、ヘラウムが加圧充てんされている。

##### b. 主要寸法

燃料棒外径	高燃焼度 8×8 燃料	約 12mm
	9×9 燃料	約 11mm

# 本文 対応部分(その2)

## 五 ハ 原子炉本体の構造及び設備

被覆管長さ	高燃焼度 8×8 燃料 約 0.9m (うちジルコニウム内張約 0.1m) 9×9 燃料 約 0.7m (うちジルコニウム内張約 0.1m)
燃料棒有効長さ	高燃焼度 8×8 燃料 約 3.7m 9×9 燃料 (A 型) 標準燃料棒 約 3.7m 部分長燃料棒 約 2.2m 9×9 燃料 (B 型) 約 3.7m
(iv) 燃料集合体の構造	
エ. 構造	
	高燃焼度 8×8 燃料は 60 本の燃料棒と 1 本のウォータ・ロッドをそれぞれ 8 行 8 列の正方形に配列し、また、9×9 燃料 (A 型) は 74 本の燃料棒 (標準燃料棒 66 本及び部分長燃料棒 8 本) と 2 本のウォータ・ロッドを、9×9 燃料 (B 型) は 72 本の燃料棒と 1 本のウォータ・チャンネルをそれぞれ 9 行 9 列の正方形に配列し、上層及び下層にタイ・プレートを取り付ける。
	燃料集合体の外側にはチャンネル・ボックスを取り付け、冷却材流路を構成する。各燃料棒の間隔は、ウォータ・ロッド又はウォータ・チャンネルで上下方向の位置を定めたスペーサにより一定に保たれる構造とする。
	燃料集合体は、原子炉の使用期間中に生じ得る種々の因子を考慮しても、その健全性を失うことがない設計とする。
	また、燃料集合体は、輸送及び取扱い中に過度の変形を生じない設計とする。
h. 主要仕様	
	燃料集合体における燃料棒配列
	高燃焼度 8×8 燃料 8×8
	9×9 燃料 9×9
	燃料棒ピッチ
	高燃焼度 8×8 燃料 約 16mm
	9×9 燃料 約 14mm
	燃料集合体当たりの燃料棒本数
	高燃焼度 8×8 燃料 60
	9×9 燃料 (A 型) 標準燃料棒 66
	部分長燃料棒 8
	9×9 燃料 (B 型) 72
	燃料集合体当たりのウォータ・ロッド本数
	高燃焼度 8×8 燃料 1
	9×9 燃料 (A 型) 2
	燃料集合体当たりのウォータ・チャンネル本数
	9×9 燃料 (B 型) 1
(v) 最高燃焼度	
	燃料集合体最高燃焼度
	高燃焼度 8×8 燃料 50,000MWd/t
	9×9 燃料 55,000MWd/t ↑
(ix) 減速材及び反射材の種類	
	軽水

### (14) 原子炉容器

#### (i) 構造

a. 原子炉圧力容器は、円筒形の胴部にさら部の底部を付した胴部容器に、半球形の胴部上ぶたをボルト締めする構造である。

また、使用期間中定期的にその健全性に関する検査を行い、得るような構造とする。

#### h. 主要寸法

胴部内径	約 7.1m
全高 (内寸)	約 21m
肉厚	約 170mm

#### c. 材料

母材	低合金鋼 (JIS G3129 及び JIS G3204)
内張	ステンレス鋼及び高ニッケル合金

#### d. 主要ノズル取付位置

主要気出口ノズル	胴上部 4箇所
給水入口ノズル	胴中央部 4箇所

#### e. 支持方法

下部	円筒スカート支持
上部	横梁吊り機構で原子炉遮蔽室に支持

#### f. 非延性破壊に対する考慮

原子炉圧力容器は、原子力規制委員会規則等に基づき最低使用温度を考慮して非延性破壊を防止するように設計する。

なお、中性子照射による破壊脆性の変化を監視するため、原子炉圧力容器内に試験片を挿入する。

#### (ii) 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力	87.5kPa/g
温度	302℃

#### (15) 放射性遮蔽体の構造

主要な放射線遮蔽体は、原子炉圧力容器周囲のコンクリート壁、原子炉格納容器円筒部のコンクリート壁及び原子炉格納容器上部のコンクリート床である。

#### (16) その他の主要な事項

なし

# 本文 対応部分(その3)

## 五 口 発電用原子炉施設の一般構造／(1)耐震構造／(i)設計基準対象施設の耐震設計

基準地震動を策定する。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らないような値として、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）」における基準地震動  $S_0$  を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数 0.5 を乗じて設定する。

なお、B クラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に 2 分の 1 を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

e. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物は、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。

f. 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

g. 炉心内の燃料被覆材（燃料被覆管）の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

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に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的にお

おおむね弾性状態に留まるように設計する。

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に影響を及ぼさないように設計する。

(ii) 重大事故等対処施設の耐震設計

重大事故等対処施設については、設計基準対象施設の耐震設計における動的地震力又は静的地震力に対する設計方針を踏襲し、重大事故等対処施設の構造上の特徴、重大事故等における運転状態及び重大事故等時の状態で施設に作用する荷重等を考慮し、適用す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ことを目的として、設備分類に応じて、以下の項目に従って耐震設計を行う。

a. 重大事故等対処施設について、施設の各設備が有する重大事故等に対処するために必要な機能及び設置状態を踏まえて、(a)、(b)、(c)、(d)及び(e)のとおり分類し、以下の設備分類に応じて設計する。

(a) 常設重大事故防止設備

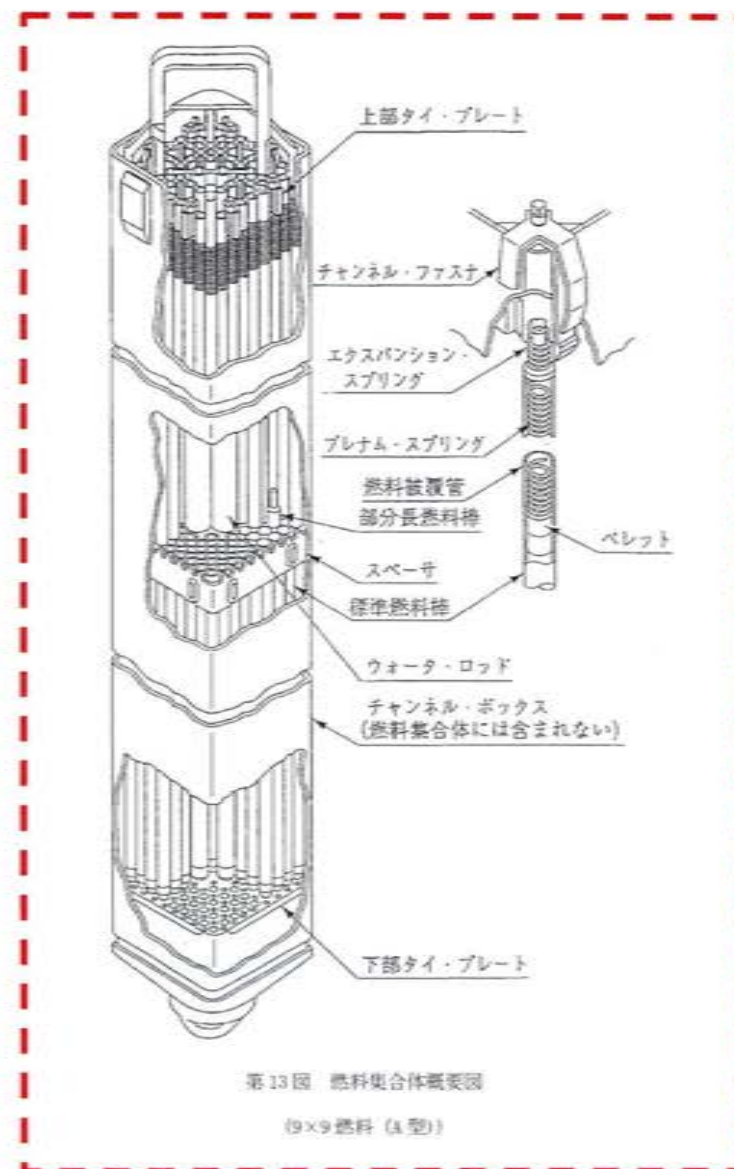
重大事故等対処設備のうち、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合であって、設計基準事故対処設備の安全機能又は使用済燃料貯蔵プール（以下「使用済燃料プール」という。）の冷却機能若しくは注水機能が喪失した場合において、その喪失した機能（重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能に限る。）を代替することにより重大事故の発生を防止する機能を有する設備であって常設のもの

(a-1) 常設耐震重要重大事故防止設備

常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設

申請書添付参考図面目録

- 第1図 発電所敷地付近図
- 第2図 発電所一般配置図 (添付書類八 第2.4-1図)
- 第3図 6号及び7号炉機器配置図 (その1)
- 第4図 6号及び7号炉機器配置図 (その2)
- 第5図 6号及び7号炉機器配置図 (その3)
- 第6図 6号及び7号炉機器配置図 (その4)
- 第7図 6号及び7号炉機器配置図 (その5)
- 第8図 6号及び7号炉機器配置図 (その6)
- 第9図 6号及び7号炉機器配置図 (その7)
- 第10図 6号及び7号炉断面図
- 第11図 原子炉圧力容器内部構造図
- 第12図 炉心配置図
- 第13図 燃料集合体概要図 (添付書類八 第3.2-7図)
- 第14図 減速材ボイド係数
- 第15図 ドップラ係数
- 第16図 原子炉圧力容器及び一次冷却材設備系統概要図
- 第17図 非常用炉心冷却系統概要図
- 第18図 冷却材再循環流量制御系統概要図
- 第19図 残留熱除去系統概要図
- 第20図 原子炉緊急停止系作動回路説明図
- 第21図 制御棒駆動機構概要図
- 第22図 気体廃棄物処理系統概要図
- 第23図 液体廃棄物処理系統概要図



目次

1. 安全設計.....	8-1-1	1.1.10 環境条件.....	8-1-41	2. 原子炉本体.....	8-3-1
1.1 安全設計の方針.....	8-1-1	1.1.11 内部発生現象物.....	8-1-42	2.1 概要.....	8-3-1
1.1.1 安全設計の基本方針.....	8-1-1	1.1.12 被ばく低減に対する設計上の基本方針.....	8-1-43	2.2 機械設計.....	8-3-7
1.1.1.1 放射線被ばく.....	8-1-1	1.2 発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針への適合.....	8-1-44	2.2.1 燃料.....	8-3-7
1.1.1.2 異常時過渡時対応.....	8-1-2	1.3 安全機能の重要度分類.....	8-1-146	2.2.2 圧力容器内部構造物.....	8-3-39
1.1.1.3 多重防護.....	8-1-2	1.3.1 安全上の機能別重要度分類.....	8-1-147	2.3 核設計.....	8-3-46
1.1.1.4 外部からの襲撃.....	8-1-2	1.3.2 分類の適用の原則.....	8-1-148	[その1-9×9燃料が装荷されるまでのサイクル]	
1.1.1.5 人の不法な侵入等の防止.....	8-1-4	1.4 耐震設計.....	8-1-150	2.3.1 概要.....	8-3-46
1.1.1.6 共用.....	8-1-6	1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計.....	8-1-150	2.3.2 設計方針.....	8-3-47
1.1.1.7 多重性又は多様性及び独立性.....	8-1-7	1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針.....	8-1-150	2.3.3 解析方法.....	8-3-50
1.1.1.8 単一故障.....	8-1-7	1.4.1.2 耐震重要度分類.....	8-1-153	2.3.4 炉心特性.....	8-3-52
1.1.1.9 試験検査.....	8-1-8	1.4.1.3 地震力の算定方法.....	8-1-155	2.3.5 核特性データ.....	8-3-64
1.1.1.10 誤操作の防止.....	8-1-8	1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界.....	8-1-162	2.3.6 評価.....	8-3-66
1.1.1.11 安全避難通路等.....	8-1-9	1.4.1.5 設計における留意事項.....	8-1-171	2.3.7 参考文献.....	8-3-67
1.1.1.12 全交流動力電源喪失対策設備.....	8-1-9	1.4.1.6 構造計画と配置計画.....	8-1-173	[その2-9×9燃料が装荷されたサイクル以降]	
1.1.2 核分裂生成物放射線の防止・抑制対策.....	8-1-10	1.4.1.7 手順等.....	8-1-174	2.3.1 概要.....	8-3-68
1.1.3 原子炉固有の安全性.....	8-1-11	1.4.2 重大事故等対応施設の耐震設計.....	8-1-175	2.3.2 設計方針.....	8-3-69
1.1.4 核設計及び熱水力設計の基本方針.....	8-1-12	1.4.2.1 重大事故等対応施設の耐震設計の基本方針.....	8-1-175	2.3.3 解析方法.....	8-3-74
1.1.5 安全保護回路設計の基本方針.....	8-1-14	1.4.2.2 重大事故等対応設備の設備分類.....	8-1-178	2.3.4 炉心特性.....	8-3-76
1.1.6 工学的安全施設設計の基本方針.....	8-1-15	1.4.2.3 地震力の算定方法.....	8-1-179	2.3.5 核特性データ.....	8-3-86
1.1.7 重大事故等対応設備に関する基本方針.....	8-1-16	1.4.2.4 荷重の組合せと許容限界.....	8-1-181	2.3.6 参考文献.....	8-3-88
1.1.8 物理的分離及び電気的分離に関する基本方針.....	8-1-39	1.4.2.5 設計における留意事項.....	8-1-191	2.4 熱水力設計.....	8-3-90
1.1.9 強度設計の基本方針.....	8-1-40	1.4.2.6 構造計画と配置計画.....	8-1-192	[その1-9×9燃料が装荷されるまでのサイクル]	
		1.4.2.7 緊急時対策等.....	8-1-193	2.4.1 概要.....	8-3-90
				2.4.2 設計方針.....	8-3-91



# 添付書類八 1.4 耐震設計 対応部分

## 1.4 耐震設計 / 1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計 / 1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針

また、重大事故等対処施設を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

(7) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせるものとし、Sクラス施設と同様に許容限界の範囲内に留まることを確認する。

(8) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

(9) 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

(10) 設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

(11) Sクラスの施設及びその間接支持構造物等は、地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜が基本設計段階の目安値である1/2,000を上回る場合、

傾斜に対する影響を地震力に考慮する。

(12) 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

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に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

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に影響を及ぼさないように設計する。

響を及ぼさないように設計する。

### 1.4.1.2 耐震重要度分類

設計基準対象施設の耐震重要度を、次のように分類する。

#### (1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものであり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系
- ・使用済燃料を貯蔵するための施設
- ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力降壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための

# 添付書類八 1.4 耐震設計 対応部分

## 1.4 耐震設計 / 1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計 / 1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界 (3) 荷重の組合せ / (4) 許容限界

用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(b) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(c) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせる。

(d) Mクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重と、動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

(e) 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能の確認においては、通常運転時の状態で燃料被覆管に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって燃料被覆管に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

(a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と基準地震動による地震力とを組み合わせる。

(c) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破壊を生ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないことを確認する。

(d) 燃料被覆管

炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能についての許容限界は、以下のとおりとする。

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

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こととする。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、当該施設及び建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能及び浸水防止機能）が保持できることを確認する（評価項目はせん断ひずみ、応力等）。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その設備に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できることを確認する。

d. 基礎地盤の支持性能

1.10.3 発電用原子炉設置変更許可申請(原管発官30第164号)に係る実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則への適合

(地震による損傷の防止)

第四条 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。

2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

3 耐震重要施設は、その使用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全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。

4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全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。

5 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。

適合のための設計方針

炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

1 について

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、炉心内の燃料被覆管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。

5 について

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。

なお、燃料の機械設計においては、燃料被覆管応力、累積疲労サイクル、過度の寸法変化防止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管への地震力の影響を考慮すべき項目として、燃料被覆管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、内外圧力差による応力、熱応力、水力振動による応力、支持格子の接触圧による応力等の他、地震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。

水密層については、以下のとおり設計する。

3 について

水密層は、基準地震動による地震力に対して、浸水防止機能が保持できるように設計する。

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、水密層が、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、浸水防止機能を損なわないように設計する。

4 について

水密層は、基準地震動による地震力によって生じるおそれがある両辺の

## 1.10.2 発電用原子炉設置変更許可申請(平成25年9月27日申請)に係る実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則への適合

(炉心等)

第十五条 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。

2 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。

3 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 燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱減速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漏洩、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力学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。

5 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。

6 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。

- 一 通常運転時における発電用原子炉内の最高使用圧力、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。
- 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。

適合のための設計方針

1 について

(1) 沸騰水型原子炉には、通常運転時に何らかの原因で出力が上昇することがあっても、炉心内の蒸気量の増大に伴う大きな負のボイド反応度効果により、出力の上昇を抑える働きがある。

また、沸騰水型原子炉では、低濃縮ウラン燃料を用いており、これは、ドップラ効果に基づく負の反応度係数を持っている。このため発電用原子炉に急激に反応度が投入され出力の上昇があった場合でも、二酸化ウラン焼結ペレット燃料の熱伝導率が低いこととあいまって、ペレットの温度が急上昇してドップラ効果が有効に働き、核的逸走は自動的に抑えられる。

このように発電用原子炉は固有の負の反応度フィードバック特性を有しており、さらに原子炉停止(原子炉スクラム)系等の反応度投入の影響を抑制する諸設備を設けることにより、発電用原子炉に急激に反応度が投入されたとしても、原子炉固有の安全性とあいまって反応度投入の影響を十分小さく抑えることができる設計とする。

(2) 沸騰水型原子炉は、一般に大きな負の出力反応度係数を持ち、制御棒の操作等に起因する反応度の外乱に対して自己制御性を持っている。

一方、沸騰水型原子炉は正の圧力係数を持つので、発電用原子炉には、蒸気圧力一定制御方式を採用するとともに、再循環流量を調整することによって出力を制御する。

また、発電用原子炉は、強制循環によって水力学的な乱れを抑え、核的特性とあいまって負荷変動や外乱に対する安定性、あるいは沸騰による中性子束ノイズ特性の向上を図っている。このほか二酸化ウラン焼結ペレット燃料を使用しているため熱伝達時定数は大きく、安定性に寄与

している。

さらに、選択制御棒挿入機構を設けるとともに安定性制限曲線を設け、低炉心流量高出力領域での運転を制限することにより、安定性の余裕を確保するようにしている。

上記のような諸特性により、出力変動に対し、十分な減衰特性を有している。また、たとえ出力変動が生じて、局部出力領域モニタ等の原子炉診断装置で出力分布を監視し、燃料要素の許容損傷限界を超えないように反応度制御系により調整することができる設計とする。

2 について

(1) 燃料の健全性を確保するため、熱水力設計上の燃料要素の許容損傷限界を定め、運転時の異常な過渡変化時において、この限界値を満足するように通常運転時の熱的制限値を定める。

a. 熱水力設計上の燃料要素の許容損傷限界

WRFRが1.07以上及び燃料被覆管の円周方向平均変形率が1%以下であることを、

b. 通常運転時の熱的制限値

WRFRについては、

(a) 9×9燃料が装着されたサイクル以降

高燃焼度 8×8 燃料 1.22

9×9 燃料 (A型) 1.22

9×9 燃料 (B型) 1.21

最大線出力密度については46.0kW/gとする。

以上の値を守っているという前提で、炉心は、それに関連する原子炉冷却系、原子炉停止系、計測制御系及び安全保護系の機能とあいま

## 1.10.2 発電用原子炉設置変更許可申請(平成25年9月27日申請)に係る実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則への適合

て、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において熱水力設計上の燃料要素の許容損傷限界を超えることのない設計とする。

(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」に定める燃料エンタルジに関する燃料要素の許容損傷限界を超えることのない設計とする。

(3) 原子炉冷却系、原子炉停止系、計測制御系及び安全保護系は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料を確実に冷却する炉心流量を確保し、燃料の出力を計測し、プロセス量がある制限値に達したときには、決められた安全保護動作を開始する設計とする。

### 3 について

炉心を構成する燃料棒以外の構成要素及び原子炉圧力容器内で炉心近辺に位置する構成要素は、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。

燃料体には燃料棒冷却のための流路を確保するとともに制御棒をガイドする機能を持つチャンネル・ボックスをかぶせる。

### 4 について

燃料体は、原子炉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。

炉心支持構造物並びに原子炉冷却系に係る容器、管、ポンプ及び弁は、原子炉冷却材の循環、沸騰等により生じる流体振動又は温度差のある流体

の混合等により生じる温度変動により損傷を受けない設計とする。

### 5及び6の一について

燃料体は、発電用原子炉内における使用期間中を通じ、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、燃料棒の内外圧差、燃料棒及び他の材料の照射、負荷の変化により起こる圧力・温度の変化、化学的効果、静的・動的荷重、燃料ペレットの変形、燃料棒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、その機能が保持できる設計とし、通常運転時における発電用原子炉内の最高使用圧力、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。

燃料体には燃料棒を保護する機能を持つチャンネル・ボックスをかぶせる。

### 6 二について

燃料体は、輸送及び取扱い中に受ける通常の荷重に耐える設計になっており、さらに輸送及び取扱いに当たっては、過度な外力を受けないよう十分配慮して行う。また、現地搬入後、燃料体の変形の有無等を検査し、その健全性を確認する。

# 添付書類八 3.2 機械設計 対応部分

## 3.2.1(その2-9×9燃料が装荷されたサイクル以降) (冒頭部分のみ)

[その2-9×9燃料が装荷されたサイクル以降]

### 3.2.1.1 概要

燃料集合体は、多数の二酸化ウラン・ペレット（一部の燃料棒についてはゴドリニア入り二酸化ウラン・ペレット）をジルコニウムを内張りしたジルカロイ-2製の燃料被覆管（以下3.では「被覆管」という。）に入れた燃料棒を固定したものである。燃料棒の配列は、高燃度8×8燃料については、8行8列（8×8）であり、60本の燃料棒と1本の太径のウォータ・ロッド（内部に燃料が入っていない）からなる。9×9燃料の燃料棒の配列は、9行9列（9×9）であり、9×9燃料（A型）は74本の燃料棒と2本の太径のウォータ・ロッドからなり、このうち8本の燃料棒は標準燃料棒の約2/3の長さとした部分長燃料棒からなる。また9×9燃料（B型）は72本の燃料棒と角管のウォータ・チャンネル1本からなる。

燃料集合体を炉心に装荷する際には、外側にチャンネル・ボックスをはめる。チャンネル・ボックスは、燃料集合体内の冷却材流路を定めるとともに、制御棒作動のガイド及び燃料を保護する役割を果たしている。

燃料集合体は、その受ける熱、放射線、水力学的影響等を十分考慮のうえ、機械的及び熱的に十分安全であるように設計を行う。

燃料の主要仕様を第3.2-1表に示す。

### 3.2.1.2 設計方針

燃料の機械的設計においては、燃料材料、使用温度、圧力条件及び照射効果を考慮し、次の設計方針を満足する設計とする。

(1) 添付書類十の「2. 運転時の異常な過渡変化の解析」に記載する運転時の異常な過渡変化時において、プラントの各系統とあいまって、燃料の許容設計限界を超えないこと。

(2) 被覆管応力は、許容応力以下であること。

(3) 設計応力サイクル条件及びサイクル数から計算された疲労の累積係数は1未満であること。

上記のほか、被覆管の水素化、フリクティング腐食、ペレット-被覆管相互作用、使用中の燃料棒の変化等による燃料集合体の過渡的寸法変化、燃料集合体の輸送及び取扱い時の健全性等についても考慮し、総合的に燃料の健全性を評価する。

なお、燃料の機械的設計において示す解析は、代表的な9行9列型の燃料集合体の設計について行ったものである。

### 3.2.1.3 主要設備

#### 3.2.1.3.1 高燃度8×8燃料について

記述は、平成8年12月25日付け、8資庁第8898号をもって設置変更許可を受けた柏崎刈羽原子力発電所原子炉設置変更許可申請書の添付書類八の「3.2.1 燃料 3.2.1.1 主要設備」の記載内容と同じ。

#### 3.2.1.3.2 9×9燃料について

##### (1) 燃料棒

燃料材は、通常の燃料棒では、二酸化ウラン（以下3.では「U<sub>2</sub>」という。）焼結ペレットを使用する。ゴドリニア（以下3.では「Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>」という。）を含む燃料棒では、少量のGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をU<sub>2</sub>と混合した焼結ペレットを使用する。

ペレットの平均密度は、理論密度の約97%である。ペレットは、ジルコニウムを内張りしたジルカロイ-2製の被覆管内に入れ、被覆管の両端にジルカロイ-2製の端栓を挿入する。

被覆管は、ペレットによる内部からの支持がなくても外圧によってつぶれることがない“自立形”設計である。ペレットから放出された核分裂生成物を收容するため、燃料棒にはブレナムを設けている。ブレナムの体積は、設計寿命中の核分裂生成ガス及びその他のガス蓄積により、過大な圧力上昇をもたらさないよう十分大きくとっている。燃料棒の有効長さ（ペレットの入っている部分の長さ）は、約3.71m（9×9燃料（A型）の標準燃料棒及び9×9燃料（B型）の燃料棒）及び、約2.16m（9×9燃料（A型）の部分長燃料棒）である。ピーキング係数を適切な値にするため、燃料集合体内に9×9燃料（A型）では7種程度、9×9燃料（B型）では5種程度の濃縮度の燃料棒を使用するとともに、燃料棒の軸方向にも濃縮度分布をもたせている。

第3.2-1図(2)、(3)に燃料集合体の燃料棒配置図を示す。

##### (2) 燃料集合体

第3.2-2図(2)、(3)及び第3.2-7図(2)、(3)に燃料集合体の構造を示す。

9×9燃料（A型）は、2本の太径のウォータ・ロッドを燃料集合体の中央部に配し、その両側に74本の燃料棒を9行9列（9×9）に配して構成する。このうち8本の燃料棒は、標準燃料棒の約2/3の長さとした部分長燃料棒であり、下部の燃料支持板（タイ・プレート）に固定されている。<sup>(1)</sup>また、74本の燃料棒のうち8本の燃料棒（タイ・ロッド）が上部タイ・プレート及び下部タイ・プレートを結びつける役目をしている。

9×9燃料（B型）は、1本の角管のウォータ・チャンネルを燃料集合体の中央部に配し、その両側に72本の燃料棒を9行9列（9×9）に配して構成する。<sup>(2)</sup>72本の燃料棒のうち8本の燃料棒（タイ・ロッド）が上部