

# 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

## コメント回答

2023年12月21日

株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

1. 指摘事項への回答
2. 今後のスケジュールについて

## 添付 主な評価項目に関する評価手法等一覧

【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. 指摘事項への回答

## 2023/11/16審査会合 指摘事項

本申請で説明を予定している試験データ及び照射データ(特にGNF-Zironに関係するもの)並びに解析結果についての準備状況を早い段階で示すこと。

### 回答

本申請で説明を予定している試験データ及び照射データ並びに解析結果について、概要を以下に、詳細を添付に示す。

- 本申請の説明に必要な解析結果、実績及び試験データ(当該データの代替が可能な同等データ\*1を含む)は全て準備されている。

\*1:“同等データ”とは、当該データと評価に必要な特性・挙動が同等であると判断されるデータ(例えば、被覆管形状ではなく材質で支配される材料強度特性等について、形状の異なる同材質の材料照射データは、GNF3型燃料被覆管の燃料棒照射データの同等データとした)。

- これまで9×9燃料の許認可において確認された評価項目は全て含まれている。新たに追加された主な内容は、燃料棒内圧評価における限界内圧に対する燃料棒内圧の比の評価、及び新たな被覆管材料GNF-Ziron\*2の適合性に関する説明である。

\*2:GNF-Ziron製被覆管は、機械特性等には影響ない範囲でジルカロイ-2の合金成分のうち鉄濃度を高くすることによって、耐食性及び耐水素吸収特性をジルカロイ-2と同等以上に改善したもの。GNF-Ziron製被覆管の挙動は燃料棒熱・機械設計コードPRIME03で評価可能であることについて、トピカルレポートの技術評価を受審済。

また、指摘事項を踏まえ、今後のスケジュールを次ページに改めて整理した。

## 2. 今後のスケジュールについて

項目	2022年度	2023年度				2024年度		
	1月～3月	4月～6月	7月～9月	10月～12月	1月～3月	4月～6月	7月～9月	
申請/補正	▼申請				補正▼		補正▼	
審査会合		▼		▼	▼	▼	▼	
概要説明・ 申請範囲の明確化	概要説明	申請範囲の明確化(条文整理等)						
機械設計① (概要・設計方針・ 基本仕様)	補足説明資料1～3章	▲	▲					
機械設計② (設計手法)	補足説明資料4章 (1) 燃料棒熱・機械設計評価 (2) 燃料棒内圧評価 (3) 燃料被覆管応力評価 (4) 燃料被覆管疲労評価 (5) その他健全性評価等	▲(1)～(4)	▲(1)	▲(2)	△(1)	△(3)～(5)		
機械設計③-1 (評価:材料関連)	補足説明資料5章 (1)材料 (2)照射効果				△(1)(2)			
機械設計③-2 (評価:解析関連)	(3) 燃料温度 (4) 燃料棒内圧 (5) 応力解析 (6) 応力サイクル及び疲労限界				△(4)	△(3)	△(5)(6)	
機械設計③-3 (評価:試験関連 及び実績関連)	(7) フレッチング腐食 (8) 水素化 (9) 被覆管のクリープ圧潰	(10) ペレット-被覆管相互作用 (11) 寸法形状安定性 (12) 燃料体の輸送及び取扱い				△(7)～(9) (11)(12)	△(10)	
耐震設計 (設計方針・ 設計手法・評価)						△		

※ △は資料提出時期を示す。

表 主な評価項目に関する評価手法等一覧

主な評価項目	評価手法										備考			
	解析	実績 (商用炉装荷)			試験									
		Zry-2	GNF-Ziron	被覆管以外の材料 (UO <sub>2</sub> ,インコネル,ステンレス)	Zry-2 [未照射]	Zry-2 [照射]	GNF-Ziron [未照射]	GNF-Ziron [照射]	被覆管以外の材料 (インコネル,ステンレス) [未照射]	被覆管以外の材料 (インコネル,ステンレス) [照射]				
機械設計 (1) 材料	材料の使用実績	—	□	□	□	—	—	—	—	—	—	現行燃料に関する説明と同様に実績を持って説明		
	被覆管酸化膜厚さ	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		a	
	シャドウ腐食について	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		b	
	被覆管クラッド付着	—	□	□	—	—	○ (約53GWd/t) *1	—	◇	—	—	クラッド付着は被覆管材質・形状の影響は十分小さいため従来Zry-2データで評価	c	
	被覆管水素吸収及びその機械特性への影響	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		d	
	径方向水素化物の形成について	—	□	□	—	—	○ (約57GWd/t) *2	—	—	—	—		e	
	ステンレス鋼及びインコネルの腐食	—	—	—	□	—	—	—	—	—	—	ステンレス鋼は上部/下部タイフレート、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;"> </span> 等に、インコネルはスパーサ、エクспанションスプリング等に使用。商用炉に問題なく装荷されている。		
	(2) 照射効果	ペレットの焼きしまり	—	—	—	□	—	—	—	—	—	—	データとの照合含め妥当性確認済の解析コードにより評価	
		被覆管強度及び延性変化	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		f
	(3) 燃料温度	ペレット最高温度	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	データとの照合含め妥当性確認済の解析コードにより評価	
	(4) 燃料棒内圧	限界内圧に対する燃料棒内圧の比	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	データとの照合含め妥当性確認済の解析手法により評価	
	(5) 応力解析	応力計算値と許容応力との比	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	既認可燃料にて実績のある解析手法により評価	
(6) 応力サイクル及び疲労限界	累積疲労係数	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	既認可燃料にて実績のある解析手法により評価		
(7) フレETING腐食	過度なフレETING腐食又は摩耗の有無	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		g	
(8) 水素化	製造時残留水分に起因する水素化損傷の有無	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—	現行燃料に関する説明と同様に実績を持って説明		
(9) 被覆管のクリープ圧潰	クリープ圧潰発生の有無	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—	現行燃料に関する説明と同様に実績を持って説明		
(10) ペレット-被覆管相互作用	1%塑性歪相当出力	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	データとの照合含め妥当性確認済の解析コードにより評価		
	1%塑性歪に対する出力余裕	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	データとの照合含め妥当性確認済の解析コードにより評価		
	通常時挙動	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—	現行燃料に関する説明と同様に実績を持って説明		
	出力急昇時挙動評価	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		h	
	DHC(*4)について	—	—	—	—	○ (約53GWd/t) *1	—	—	—	—	—		i	
(11) 寸法形状安定性	照射伸び(異常な寸法形状変化)	—	□	□	—	—	—	—	—	—	—		j	
(12) 燃料体の輸送及び取扱い	燃料体部材損傷発生の有無	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—		k	

\*1 集合体平均燃焼度  
\*2 燃料棒平均燃焼度  
\*3 局所高速中性子照射量  
\*4 Delayed Hydride Cracking (遅れ水素割れ)の略  
◎ 解析主体の評価項目  
□ 商用炉に問題なく装荷された実績がある項目  
○ 当該データに基づいて評価した項目(機械設計(1)~(12)では燃料照射を対象、付録-6では材料照射を対象)  
◇ 同等と判断されるデータに基づいて評価した項目  
— 主要な説明根拠としては用いる計画としていない項目

各列中の右詰め表記は直上項目の一部として記載の意  
照射量(単位:1/m<sup>2</sup>)と燃焼度及び照射期間の関係の目安として、例えば国内商用炉で5サイクル照射された9x9燃料LUAのうち1体は集合体平均燃焼度53GWd/t/集合体平均高速中性子照射量は約10×10<sup>25</sup> 1/m<sup>2</sup>、実効照射日数1957日と報告されている(JNES, 07基炉報-0002 付録1(2007年)より)。

本資料のうち、太枠囲みの部分は商業機密に属しますので公開できません。

表 主な評価項目に関する評価手法等一覧(続き)

主な評価項目	評価手法										備考		
	解析	実績 (商用炉装荷)			試験								
		Zry-2	GNF-Ziron	被覆管以外の材料 (UO <sub>2</sub> ,インコネル,ステンレス)	Zry-2		GNF-Ziron		被覆管以外の材料 (インコネル,ステンレス)				
				[未照射]	[照射]	[未照射]	[照射]	[未照射]	[照射]	概要	試験データ詳細 注記番号		
機械設計	付録-6 GNF-Zironについて	PRIME03で使用される熱的・機械的特性 (熱伝導率、輻射率、ヤング率、ポアソン比、降伏応力及び照射硬化、熱膨張係数、照射成長、クリープ)	—	—	—	—	—	—	—	—	PRIME03トピカルレポートで確認済みの内容 (未照射材試験データ、照射材試験データ又は評価による)		
		延性	—	—	—	○	○ (約15×10 <sup>25</sup> 1/m <sup>2</sup> )*3	○	○ (約15×10 <sup>25</sup> 1/m <sup>2</sup> )*3	—	—	照射材試験データは材料照射試験データ	f
		疲労特性	—	—	—	○	○ (約13×10 <sup>25</sup> 1/m <sup>2</sup> )*3	○	○ (約13×10 <sup>25</sup> 1/m <sup>2</sup> )*3	—	—	照射材試験データは材料照射試験データ	f
		耐熱性(相変態温度)	—	—	—	□	—	□	—	—	—	高温での特性であり照射の影響は軽微であるため未照射材で代表して評価	l
		耐食性	—	—	—	○	○ (約2500日)	○	○ (約2500日)	—	—	照射材試験データは材料照射試験データ	m
		耐水素吸収特性	—	—	—	○	○ (約2500日)	○	○ (約2500日)	—	—	照射材試験データは材料照射試験データ	f
		その他の性質(高温酸化及び昇温内圧破裂特性)	—	—	—	□	—	□	—	—	—	高温での特性であり照射の影響は軽微であるため未照射材で代表して評価	n
		製造実績	—	—	□	—	—	—	—	—	—		
		照射実績	—	—	□	—	—	—	—	—	—		
耐震設計	応力解析	応力計算値と許容応力との比	◎	—	—	—	—	—	—	—	既認可燃料にて実績のある解析手法により評価		
		応力サイクル及び疲労限界	◎	—	—	—	—	—	—	—	既認可燃料にて実績のある解析手法により評価		

- \*1 集合体平均燃焼度
- \*2 燃料棒平均燃焼度
- \*3 局所高速中性子照射量
- \*4 Delayed Hydride Cracking (遅れ水素割れ)の略
- ◎ 解析主体の評価項目
- 商用炉に問題なく装荷された実績がある項目
- 当該データに基づいて評価した項目(機械設計(1)~(12)では燃料照射を対象、付録-6では材料照射を対象)
- (◇) 同等と判断されるデータに基づいて評価した項目
- 主要な説明根拠としては用いる計画としない項目

各列中の右詰め表記は直上項目の一部として記載の意  
照射量(単位:1/m<sup>2</sup>)と燃焼度及び照射期間の関係の目安として、例えば国内商用炉で5サイクル照射された9x9燃料LUAのうち1体は集合体平均燃焼度53GWd/t/集合体平均高速中性子照射量は約10×10<sup>25</sup> 1/m<sup>2</sup>、実効照射日数1957日と報告されている(JNES, 07基炉報-0002 付録1(2007年)より)。

本資料のうち、太枠囲みの部分は商業機密に属しますので公開できません。

試験データ詳細 注記記号	主な試験データに関する補足説明
a	
b	
c	国内商用炉9×9燃料LUA照射試験(5サイクル照射)/照射後外観/照射後金相
d	
e	国内商用炉材料照射(中性子源ホルダ位置装荷6サイクル照射、被覆管寸法はGNF3型と異なる)/引張試験
f	国内商用炉9×9燃料LUA照射被覆管(5サイクル照射)を用いた水素化物再配向試験
g	
h	国内商用炉材料照射(中性子源ホルダ位置装荷6サイクル照射、被覆管寸法はGNF3型と異なる)/照射後試験
i	海外商用炉スペーススプリングに関する押付け力評価(約46GWd/tまで照射された集合体から採取)
j	
k	
l	
m	国内商用炉9×9燃料LUA照射被覆管(5サイクル照射)を用いた材料試験
n	
o	
p	国内商用炉材料照射(中性子源ホルダ位置装荷6サイクル照射、被覆管寸法はGNF3型と異なる)/照射後試験
q	
r	

本資料のうち、太枠囲みの部分は商業機密に属しますので公開できません。