2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 の設置について

2021年5月28日(第15回)



東京電力ホールディングス株式会社

©Tokyo Electric Power Company Holdings、Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

2号機燃料取り出し関連 実施計画変更認可申請一覧 <修正> **TEPCO**

本申請は燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台の設置に関する範囲とし,燃料及び 輸送容器の取扱いに関する申請は別申請とする。

項目	本申請	別申請
Ⅱ 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備	\bigcirc	0
添付資料-1-1 燃料の落下防止, 臨界防止に関する説明書	0	-
添付資料-1-2 放射線モニタリングに関する説明書	0	-
添付資料-1-3 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書	(補正)	0
添付資料―2―1 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書	-	0
添付資料―2―2 破損燃料用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書	-	0
添付資料―2―3 構内輸送時の措置に関する説明書	-	0
添付資料-3-1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書	0	-
添付資料 – 3 – 3 移送操作中の燃料集合体の落下	(補正)	-
添付資料 – 4 – 1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書	0	-
添付資料 – 4 – 2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書	0	-
添付資料 – 4 – 3 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書	0	-
添付資料 – 5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表	0	-
II 2.15 放射線管理関係設備等	0	-
添付資料 – 1 ダスト放射線モニタ系統概略図	0	-
Ⅲ 第1編 第34条 新燃料の運搬	-	0
Ⅲ 第1編 第36条 使用済燃料の貯蔵	-	0
Ⅲ 第1編 第37条 使用済燃料の運搬	-	0
Ⅲ 第1編 第42条 気体廃棄物の管理	0	-
Ⅲ 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定	0	-
Ⅲ 第1編 第61条 放射線計測器類の管理	0	-
Ⅲ 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理	0	-
Ⅲ 第3編 3.1.2 放射線管理	0	-

移送操作中の燃料集合体の落下

<追加> TEPCO

■ 補正案

- 評価方針・条件
- ※ 燃料取り出し作業中に, 取扱中の燃料集合体1体が使用済燃料貯蔵ラックに落下すると仮定
- > 落下による燃料集合体の破損体数は2.3体とする
 - 炉心における落下高さ10mからの落下を想定した設置許可申請書の評価と同様。
 - 実際は,使用済燃料プールにおける落下高さは2m以下であり,燃料集合体の配置密度も炉心より低いが,保守的に破損体数を2.3体とする。
 - 評価に用いる炉内燃料の希ガス、よう素の内蔵量は原子炉熱出力及び運転時間により算出している。
 原子炉熱出力が一定であれば、燃料型式によらず、評価核種の内蔵量は変わらないため、燃料型式による結果への影響はない。
- ※ 燃料取り出し作業は,保守的に原子炉停止後<u>365日</u>※冷却された後に行われるものとする ※燃料取り出しの開始を2024年4月1日とした場合の冷却日数は約4900日だが,3,4号機の評価と同 様,保守的に365日とする

•	評価結果	実効線量 [※] (小児)[mSv]	実効線量 [※] (成人)[mSv]
		約4.7×10 ⁻⁴	約4.7×10 ⁻⁴
			※希ガス及びよう素の放出量より評価

移送操作中の燃料集合体の落下



- 評価条件の変更
- 評価方針・条件
- > 燃料取り出し作業中に, 取扱中の燃料集合体1体が使用済燃料貯蔵ラックに落下すると仮定
- ▶ 落下による燃料集合体の破損体数は<u>1体</u>とする
- > 燃料取り出し作業は、保守的に原子炉停止後4900日冷却された後に行われるものとする

• 評価結果

実効線量 [※] (小児)[mSv]	実効線量 [※] (成人)[mSv]
約9.3×10 ⁻⁵	約9.3×10 ⁻⁵

※希ガス及びよう素の放出量より評価

燃料取扱設備 監視・制御装置の多重化・多様化 <修正> **TEPCO**

■ 安全に設備を運用するための多重化・多様化

計器・センサの精度逸脱により,オペレータの誤操作又は制御装置による 誤制御を防止するため,燃料取扱設備の運転に必要な以下の計器・センサ を二重化し,その出力結果の突合せで異常を検出できる構成とする。各計 器・センサは計器誤差を考慮した選定・設定を行う。

> クレーン

- ・ 起伏角度/旋回角度/ブーム伸縮/ワイヤ巻取長さ(各ウインチ) (検出すべき異常状態)通常運転範囲外となること
- 吊り荷重

(検出すべき異常状態)過荷重,想定位置外での吊り荷重減

- イコライザシーブ角度
 (検出すべき異常状態)ウィンチ間のワイヤ長さの相違
- ▶ 燃料取扱機
 - ・ 起伏角度/旋回角度/ブーム伸縮/ワイヤ巻取長さ(各ウインチ) (検出すべき異常状態)通常運転範囲外となること。
 - 吊り荷重

(検出すべき異常状態)過荷重,想定位置外での吊り荷重減

 イコライザシーブ角度 (検出すべき異常状態)ウィンチ間のワイヤ長さの相違

燃料取扱設備 監視・制御装置の多重化・多様化 <修正> **TEPCO**

■ 故障時の復旧を考慮した多重化・多様化

燃料取扱設備が原子炉建屋オペレーティングフロアにある状態での監視・ 制御装置の故障を想定し,燃料取り出し用構台までの退避に必要な以下の 構成機器は多重化・多様化を図る。(前項の計器・センサ故障時にはセン サ指示値,警報ログ及びITVカメラにて正常と判断される計器・センサにて 燃料取り出し用構台に退避し,保守・点検を実施する。)

▶前ページ計器・センサ

▶クレーン/燃料取扱機 組込制御装置

 油圧系統を制御する組込制御装置とは別に組込制御装置故障時に油圧系統内の 電磁弁を直接操作可能な制御回路を設けることで多様化
 (油圧供給装置の故障に対しては非常用油圧供給装置で復旧する。)

エリア放射線モニタ 計測範囲/警報表示



■ 計測範囲

▶エリア放射線モニタは雰囲気線量,警報設定値(雰囲気線量の10倍)を包絡する計測範囲を有する。



▶免震重要棟

表示画面への警報発生表示

(*) 燃料取り出し用構台周辺の線源から燃料取り出し用構台作業フロアへの影響を考慮した評価にて実現性を確認済み。

排気設備と換気設備の仕様比較



換気設備では燃料取り出し用構台前室から原子炉建屋オペレーティング フロア側へ気流の流れが生じるよう,排気設備から排気風量を変更する。 (換気設備の排気風量設定根拠については添付資料3参照)

	排気設備	換気設備				
排風機台数	2台	2台				
排気風量	原子炉建屋 :10,000m ³ /h	原子炉建屋 :20,000m ³ /h 燃料取り出し用構台:10,000m ³ /h				
フィルタ効率	97%(粒子径0.3µm)以上	97%(粒子径0.3µm)以上				
耐震クラス	ノンクラス	Cクラス相当				

■ 換気設備の風量調整方法

- 各建屋の排気風量が上記設定値となるよう風量計(仮設)を用いてボ リュームダンパーの開度を調整する。
- ② 燃料取り出し用構台作業フロアから原子炉建屋オペレーティングフロ アに気流が生じることを煙幕等を用いて確認する。
- ③ 気流が確認出来ない場合はボリュームダンパーの開度を再調整する。 (調整完了後,開度は固定され,開度が正常であることを定期的に確認する。)

2号機燃料取扱設備の品質管理強化策(1/7)



3号機燃料取扱設備の不具合事象の反省を踏まえ「重要調達品・設計管理ガイド」を制定。2号機燃料取扱設備は当ガイドに基づき品質管理強化を進めている。 ガイド制定の元となった3号機燃料取り出しで得た教訓への対応を記載する。

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓1

プロジェクトのミッションを達成するために、<u>①必要な体制、責任と権限を明確にし、適切なリソースを確</u> <u>保すること。</u> ②長期にわたるプロジェクトにおいても全体管理を行えるような仕組みとすること。

【2号機燃料取り出しにおける対応】

①基本設計段階から専門部門が協働関係を構築し、横断的に設計、製作、据付工事を進める。

②プール燃料取り出しプログラム部門が当該設備に関する全体管理を実施中。

③運用開始後はトラブル対応など,適宜内容に応じた体制を構築する。



2号機燃料取り出し体制表





Γ	2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 実施計画変更申請の説明	スケジ	ュール	(案)																					
_	※説明進捗に合わせて適宜変更 2021年度																								
N	説明内容(実施計画の構成に基づいて説明)	20214-0		4月			5月			6	词		7)	月			8	月			9)	月		10月	11月
全(ネ スケジュール		回答期間																	補	証申請予定 ▽	規制庁	殿取り纏め	期間	認可希望 ↓ ▽
1	申請,申請範囲と措置を講ずべき事項への適合性に関する説明																								
2	<u>燃料取扱設備概要と燃料取扱いに関する説明</u> 【RR簡所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本化業 2.11.予付資料 - 1 - 1 燃料の落下防止,職界防止に関する説明書 2.11.予付資料 - 5 使用素燃料プールからの燃料取り出し工程表	第1	I2⊡(4/14 ▼	1)				第16回 て	回(5/31週) V																
3	 (認識知)出し用構合の構造強度及び耐酸性に関する説明 (記載箇所) (記載箇所) 2.11.1 基本設計 2.11.万付資料 - 4 - 2 燃料取り出し用力「一の構造強度及び耐酸性に関する説明書 					第13回(5/11 ▼)	第16回	□(5/31週) ▽						耐	戦闘係のコ.	メント回答	準備中 (8	甪頃予定)	_					
2	<u>燃料取扱設備の構造地度及び耐酸性に関する説明</u> 【記載節所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11.3 基本仕様 2.11 添付資料-4-1 燃料取扱設備の構造強度及び耐酸性に関する説明書					第13回(5/11 ▼)第14回(! ▼	5/18)																	
5	<u>換表記編の設備概要</u> ,構造強度と耐震性に関す <u>る説明</u> (記載箇所) 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本設計 2.11.3 基本化業 2.11 添付資料-3 - 1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料-4 - 3 燃料取り出し用力パー換款設備の構造強度及び制度性に関する説明書	Ŧ	12⊡(4/1 ▼	14)				第15回(5 ▽	5/28)						ι.					- 4					
e	原子伊達夏オペレーティングフロアに設置する道部体に関する説明 (記載所) 2.11 添付資料-4-2 別添8 2号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止に ついて	Ĵ	到2回(4/1 ▼	14)				第15回(▽	(5/28)																
,	<u> 乾健健理理局協設備,保安措置に関する説明</u> (記載箇所) 2.11 高付資料 - 1 - 2 放射線モニタリングに関する説明書 2.15.1 基本設計 2.15.5 基本化構 2.15.5 局付資料 - 1 ダスト投射線モニタ系統戦略回 面 第1編 第42条 気体廃棄物の管理 面 非編 第45条 気体廃棄物の管理 面 年3編 第15条 成制線計測器類の管理 面 年3編 第1.5 放射操作理解動列の管理 面 年3編 3.1.2 放射操管理	▼						第15回(! ▽	5/28)																
8	<u>燃料の健全性及び移送操作中の燃料集合体の落下に係る説明</u> 【RR職所】 2.11. 時付資料 - 1 - 3 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書 2.11 時付資料 - 3 - 3 移送操作中の燃料集合体の落下							第15回(マ	5/28)																
ġ	値認単頂に関する説明 (R4総新所) 2.11 添付資料 - 1 - 1 燃料の落下防止、器界防止に関する説明書 2.11 添付資料 - 1 - 2 放射線モニタリングに関する説明書 2.11 添付資料 - 3 - 1 放射性物質の現象、拡散を防止するため機能に関する説明書 2.11 添付資料 - 4 - 1 燃料取扱価の構造成変反び補償性に関する説明書 2.11 添付資料 - 4 - 1 燃料取り出し用力バーの構造強度及び耐酸性に関する説明書						第14回(5/ ▼	18)																	

添付資料



補足説明資料 添付資料1 燃料取り出し用構台 補足説明資料 添付資料2 燃料取扱設備の耐震性についての計算書 添付資料3 換気設備 換気風量について 添付資料4 原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の耐震性についての計算書 添付資料5 確認事項について

■添付資料6 移送操作中の燃料集合体の落下について

原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する 遮蔽体の耐震性についての計算書

I. 遮蔽体に係る耐震設計の基本方針

1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

借夕	耐震	確認用
通行	クラス別	地震動
遮蔽体	ノンクラス	\mathbf{Ss}

2 号機原子炉建屋内の作業環境改善のため,原子炉建屋内のオペレーティング フロア床面及び壁側に遮蔽体を設置する計画としている。

遮蔽体の耐震クラス別分類は原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601・補-1984)に規定される放射性物質にかかわる設備には該当しないため、ノンクラスとな る。但し、オペレーティングフロアに設置する遮蔽体のうち使用済燃料プール周りに 設置するものが、地震による破損などの事象により、使用済燃料プール及び使用済 燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。

本資料では,使用済燃料プール周りに設置する下記遮蔽体の支持部材の構造 強度の結果を示す。各遮蔽体の配置を図1に示す。なお,本書に示す形状は現 場の状況に合わせて変更する可能性がある。

- (1) 使用済燃料プール(SFP)北側遮蔽
- (2) 使用済燃料プール(SFP)南側遮蔽
- (3) 使用済燃料プール(SFP)東側遮蔽
- (4) 使用済燃料プール(SFP)西側遮蔽



図 1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

2. 設計用地震力

遮蔽体の耐震評価には,原子炉建屋オペレーティングフロアの層せん断係数より 1.2 倍の裕度を考慮した静的地震力(水平震度 0.99G, 鉛直震度 0.29), 地震応答解 析結果から, 遮蔽体を剛構造とみなし 1.2 倍の裕度を考慮した動的地震力(水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54)のうち,保守的となる地震力を選定する。

遮蔽体に負荷される水平力 F は以下のようにあらわされる。

 $F = mgC_H - \mu(1 - C_V)mg = (C_H - \mu(1 - C_V))mg$

- m : 遮蔽体質量
- g :重力加速度
- C_H:水平方向地震力
- Cv:鉛直方向地震力
- μ :摩擦係数(=0.25)

上式において静的地震力により遮蔽体に負荷される水平力 Fは,

F = 0.8125mg

動的地震力による遮蔽体に負荷される水平力 Fは,

F = 0.825 mg

となり,動的地震力の方が大きくなる。以降の評価では,遮蔽体の設計用地震力として動的地震力を適用する。

3. 荷重の組合せ,応力算定及び許容応力

記号の説明

- D :死荷重
- Ss : Ss 地震動により求まる地震力
- 1.5f_s:許容せん断応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5fc:許容圧縮応力

同上

1.5fb:許容曲げ応力

同上

	許容限界							
荷重の組合せ	1 次応力							
	せん断	圧縮	曲げ					
D+Ss	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$					

注)組合せ応力についても評価する。

II. 遮蔽体の耐震性についての計算書

- 1. 概要
- 1.1. 一般事項

本計算書は遮蔽体の耐震性についての計算書である。

- 2. 計算条件
 - (1) 遮蔽体は原子炉建屋のオペレーティングフロア上に設置されるため, 摩擦 係数(μ=0.25)*を考慮し,水平方向地震力からオペレーティングフロアと 遮蔽体間の摩擦力を減じた荷重が遮蔽体に負荷されるものとする。

(*)電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立・地震時のキャスク転 倒評価・」(研究報告: U92037)より、コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を 様々に変化させた試験結果のうち、最も不利な摩擦係数を適用する。

- 3. 評価方法
- 3.1. 応力算定方法

各遮蔽体の支持部に発生する曲げ応力, せん断応力, 支圧応力を工学算定 式により算出し, それぞれ許容応力以下となることを確認する。また, 曲げ応力と せん断応力が同時に負荷される場合には, 組合せ応力が許容応力以下となるこ とを確認する。 3.2. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 1 に示す。

立7.4士		++ 65	許容応	「力		
<u>-</u> ира		111 頁	(MPa)			
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280		
			せん断	161		
			組合せ	280		
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252		
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280		
			せん断	161		
			組合せ	280		
	荷重受け部材2	SS400	曲げ	280		
			せん断	161		
			組合せ	280		
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280		
			せん断	161		
			組合せ	280		
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280		
			せん断	161		
			組合せ	280		
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323		
			せん断	161		
			組合せ	280		
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323		
			せん断	161		
			組合せ	280		

表 1 材料及び許容応力

- 4. 設計条件
- 4.1. 耐震上の重要度分類 ノンクラス(Ss)
- 4.2. 据付場所及び床面高さ 原子炉建屋オペレーティングフロア T.P.38484
- 4.3. 設計震度

水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54G

4.4. 荷重条件

自重+地震荷重

5. 結論

強度評価の結果を表 2 に示す。使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について,地震時水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力は許容応力を下回るため,遮蔽体が使用済燃料プールへ落下することはない。

	去17 /上	++ 66	許容応	动	算出応力	
	制犯	材質	(MP	(MPa)		
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280	146	
			せん断	161	46	
			組合せ	280	167	
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252	73	
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280	244	
			せん断	161	17	
			組合せ	280	246	
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280	270	
			せん断	161	20	
			組合せ	280	273	
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280	52	
			せん断	161	3	
			組合せ	280	53	
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280	23	
			せん断	161	6	
			組合せ	280	26	
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323	201	
			せん断	161	$1\overline{3}$	
			組合せ	280	203	
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323	57	
			せん断	161	2	
			組合せ	280	58	

表	2	遮蔽体支持部材の構造強度評価結果
---	----------	------------------

- 6. 数値計算
- 6.1. SFP 北側遮蔽
- 6.1.1 形状·寸法

SFP 北側遮蔽は図 2 に示す通り, SFP 北側のオペレーティングフロア上に並べられた各遮蔽体支持部材間を, かぎ型のフックで接続し, SFP 北側遮蔽全体の地震時水平方向荷重を, 北側端部の遮蔽体支持部材のブラケットで支持する構造を有する。そのため, 地震時水平方向荷重がブラケットに負荷された場合の強度評価を行う。また, ブラケットと取合い地震時荷重が負荷される D/S プールカバー支持ビームの強度評価を行う。



図 2 SFP 北側遮蔽 評価対象部

6.1.2 ブラケットの強度

(1) 曲げ応力

$P_1 = W_1 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_1$							
P ₁	:地震時にブラケット1個	当たりに生じる荷重(N)					
W_1	:SFP 北側遮蔽質量	432000(kg)					
g	:重力加速度	$9.80665(m/s^2)$					
C _H	:水平方向設計震度	0.94					
C_V	:鉛直方向設計震度	0.54					
μ	:摩擦係数	0.25					
N_1	:ブラケット数量	20					

$$M_1 = P_1 \cdot L_1$$
 $\sigma_1 = M_1/Z_1 = 146$ (MPa)

 σ_1 :ブラケット1 個当たりに生じる曲げ応力(MPa)

 M_1 :ブラケット1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

 L_1 :評価断面から荷重点の距離 225(mm)

 Z_1 :ブラケットの断面係数 271000(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_1 = P_1/A_1 = 46(MPa)$$

 τ_1 :ブラケット1 個当たりに生じるせん断力(N)
 A_1 :ブラケットの断面積 3811(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = 167$$
(MPa)
 σ_{fa1} :ブラケット1個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

6.1.3 D/S プールカバー支持ビームの強度

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p1} = P_1 / A_2 = 73 (MPa)$$

- σ_{p1} :D/S プールカバー支持ビームに生じる支圧応力(MPa)
- A2 : D/S プールカバー支持ビームの支圧断面積 2400(mm²)

6.2. SFP 南側遮蔽

6.2.1 形状·寸法

SFP 南側遮蔽は図 3 に示す通り, SFP 南側のオペレーティングフロア上に 並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重をジブクレーン及びチャンネル取扱い ブーム間に設置する荷重受け部材で支持する構造を有する。ジブクレーン及び チャンネル取扱ブームはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレ ーティングフロア床面に固定されているため, 地震時水平方向荷重を支持する荷 重受け部材の強度評価を行う。また, SFP 南側遮蔽のうち, 荷重受け部材より使 用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平荷重が, 同遮蔽体の引っ掛 け部材に負荷された場合の強度評価を行う。



- 6.2.2 荷重受け部材①の強度
 - (1) 曲げ応力 $P_2 = W_2 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/L_2$ P_2 :地震時に荷重受け部材に生じる単位長さ当たりの荷重(N/mm) W_2 :SFP 南側遮蔽質量 88000(kg) L_2 :荷重受け部材が荷重を受ける長さ 12323(mm) $M_2 = P_2 \cdot l_2^2/8$

$$\sigma_2 = M_2/Z_2 = 244$$
(MPa) σ_2 :荷重受け部材①に生じる曲げ応力 (MPa) M_2 :荷重受け部材①に生じる曲げモーメント(N・mm) l_1 :荷重受け部材①の支持点間距離 6748(mm) Z_2 :荷重受け部材①の断面係数 1350000(mm³)

(2) せん断応力

 $\tau_2 = P_2 \cdot l_1 / (2 \cdot A_1) = 17 (MPa)$ τ_2 :荷重受け部材①に生じるせん断応力(MPa) A_3 :荷重受け部材①の断面積 11850(mm²)

(3) 組合せ応力
$$\sigma_{fa2} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = 246$$
(MPa)
 σ_{fa2} :荷重受け部材①に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.3 荷重受け部材②の強度

(1) 曲げ応力

M₃ = P₂ · l₂²/8

σ₃ = M₃/Z₃ = 270(MPa)
σ₃ :荷重受け部材②に生じる曲げ応力(MPa)
M₃ :荷重受け部材②に生じる曲げモーメント(N・mm)
l₂ :荷重受け部材②の支持点間距離 4193 (mm)
Z₃ :荷重受け部材②の断面係数 472000(mm³)

(2) せん断応力

 $au_3 = P_2 \cdot l_2 / (2 \cdot A_4) = 20 (MPa)$ $au_3 : 荷重受け部材②に生じるせん断応力(MPa)$ $A_4 : 荷重受け部材②の断面積 6353(mm²)$

(3) 組合せ応力

 $\sigma_{fa3} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} = 273$ (MPa) σ_{fa3} :荷重受け部材②に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.4 引っ掛け部材の強度

SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており, 個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため, 評価単位での評価とし, 評価単位の質量 を保守的に設定することで代表とする。引っ掛け部材の評価においては最も大き な曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

- (1) 曲げ応力
 - $P_3 = W_3 \cdot g \cdot (C_H \mu(1 C_V)) / N_2$ P₃ : 地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)
 - W₂ :SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 380 (kg)
 - N₂:遮蔽体1個当たりの引っ掛け部材数 2

 $M_4 = P_3 \cdot l_3$
 $\sigma_4 = M_4/Z_4 = 52(MPa)$
 σ_4 :引っ掛け部材1個当たりに生じる曲げ応力(MPa)

 M_4 :引っ掛け部材1個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

 l_3 :引っ掛け部材高さ
 280(mm)

 Z_4 :引っ掛け部材の断面係数
 8438(mm³)

(2) せん断応力

 $au_4 = P_3/A_5 = 3(MPa)$ $au_4 : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)$ $A_5 : 引っ掛け部材の断面積 675 (mm²)$

(3) 組合せ応力 $\sigma_{fa4} = \sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} = 53$ (MPa) σ_{fa4} :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

6.3. SFP 東側遮蔽

6.3.1 形状·寸法

SFP 東側遮蔽は図 4 に示す通り, SFP 東側のオペレーティングフロア上に 並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を燃料取替機レールで支持し, 同レ ールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重は引っ 掛け部材, 荷重受け部材で支持する構造を有する。燃料取替機レールはケミカ ルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定さ れているため, 燃料取替機レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の 地震時水平方向荷重が引っ掛け部材及び荷重受け部材に負荷された場合の強 度評価を行う。



図 4 SFP 東側遮蔽体 評価対象部

6.3.2 荷重受け部材の強度

SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており, 個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため, 評価単位での評価とし, 評価単位の質量 を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては, 最も大 きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

 $P_4 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_3$ P_4 :地震時に荷重受け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm) W_4 :SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 570(kg) N_3 :W₄を支持する荷重受け部材数 2

$$M_5 = P_4 \cdot H_1$$
 $\sigma_5 = M_5/Z_5 = 23$ (MPa)

 σ_5
 :荷重受け部材1個当たりに生じる曲げ応力(MPa)

 M_5
 :荷重受け部材1個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

 H_1
 :荷重受け部材部材高さ
 29(mm)

 Z_5
 :荷重受け部材1個当たりの断面係数
 2888(mm³)

(2) せん断応力

$$au_5 = P_4/A_6 = 6(MPa)$$
 $au_5 : 荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)$
 $A_6 : 荷重受け部材の断面積 456(mm2)$

- (3) 組合せ応力 $\sigma_{fa5} = \sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} = 26$ (MPa) σ_{fa5} :荷重受け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)
- 6.3.3 引っ掛け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

 $P_5 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_4$ P_5 :地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm) N_4 :W₄を支持する引っ掛け部材数 2

$$M_6 = P_5 \cdot H_2$$

 $\sigma_6 = M_6/Z_6 = 201(MPa)$
 σ_6 :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

M ₆	:引っ掛け部材1個当たりに生じる曲げモーメント	(N•mm)
H ₂	:引っ掛け部材高さ	42(mm)
Z ₆	:引っ掛け部材の断面係数	512(mm ³)

(2) せん断応力

$$au_6 = P_5/A_7 = 13 (MPa)$$
 $au_6 : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)$ $A_7 : 引っ掛け部材の断面積
 192 (mm²)$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa6} = \sqrt{\sigma_6^2 + 3 \cdot \tau_6^2} = 203 (MPa)$$

 σ_{fa6} :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

6.4. SFP 西側遮蔽

6.4.1 形状·寸法

SFP 西側遮蔽は図 5 に示す通り, SFP 西側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を既設燃料取替機レールで支持する構造を有する。既設燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため, SFP 西側遮蔽体の地震時水平方向荷重が荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。



6.4.2 荷重受け部材の強度

SFP 西側遮蔽は評価単位に分割されており, 個々に荷重受け部材で支持されるため, 評価単位での評価とし, 評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては, 最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$P_6 = W_6 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))$			
P ₆	:地震時に荷重受け部材1個当たりにな	主じる荷重(N)	
W_6	:SFP 西側遮蔽質量	960(kg)	

$$M_7 = P_6 \cdot H_3$$

 $\sigma_7 = M_7/Z_7 = 57$ (MPa)
 σ_7 :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)
 M_7 :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)
 H_3 :荷重受け部材部材高さ 42.7(mm)
 Z_7 :荷重受け部材断面係数 5880 (mm³)

 $<math>
 au_7 = P_6/A_8 = 2(MPa)$ $au_7 : 荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)$ $A_8 : 引っ掛け部材の断面積 5880(mm²)$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa7} = \sqrt{\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2} = 58(MPa)$$

 σ_{fa7} :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

移送操作中の燃料集合体の落下

1. 原因

福島第一2号機使用済燃料プール内における燃料の移送操作中に,何らかの原因で燃料 集合体が落下して破損し,放射性物質が環境に放出される。

2. 事故防止対策

燃料集合体の落下を防止するため、次のような設計及び運転管理上の対策を講じる。

- (1) 燃料取扱機は、燃料集合体の総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に 設計する。
- (2) 燃料把握機のワイヤを二重化する。
- (3) 燃料把握機は、圧縮空気等の駆動源が喪失した場合、燃料集合体が外れないフェイル・セイフ設計とする。
- (4) 燃料把握機が燃料集合体を確実につかんでいない場合には、吊上げができないよう なインターロックを設ける。
- (5) 運転要領を十分整備し、よく訓練された監督者の直接指揮下で燃料取扱作業を行う 運転管理体制をとる。
- (6) 使用済燃料プールに貯蔵されている燃料集合体について,移送前に燃料集合体の機 械的健全性を確認する。
- (7) 燃料集合体の機械的健全性確認において、破損が確認された燃料集合体を移送する 場合には、破損形態に応じた適切な取扱手法及び収納方法により、放射性物質の飛 散・拡散を防止する。
- 3. 第2号機核分裂生成物の放出量及び線量の評価
 - 3.1. 核分裂生成物の放出量
 - (1) 破損燃料棒の評価

本事故時に破損する燃料棒の本数は、次の仮定に基づいて評価する。

- a. 燃料取り出し作業に際し,使用済燃料貯蔵ラックの上部で取扱中の燃料集合体 1 体が使用済燃料貯蔵ラックに落下するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、炉心での落下を想定した設置許可申請書の 評価と同様の 2.3 体とする。

なお、炉心での落下高さ 10m に対し、使用済燃料プールでの落下高さは使用済燃 料貯蔵ラックへの落下及び構内用輸送容器への落下共に 2m 以下であり、装荷・貯蔵 されている燃料集合体の配置密度も炉心と比較して使用済燃料プール及び構内用輸 送容器の方が低いため、使用済燃料プールでの落下を想定した場合の破損体数が、 炉心での落下を想定した場合の破損体数を上回ることはない。 (2) 評価条件

事故時の核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉が定格出力の約 105%(熱出力
 2,483MW)で十分長時間(2,000日)運転された取替炉心のサイクル末期の最大出力
 燃料集合体について行う。
- b. 燃料取り出し作業は,原子炉停止後365日冷却された後に行われるものとし,原 子炉停止後の放射能の減衰は考えるものとする。

なお,第2号機の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料は2010年9月16日に 発電停止したものであり,使用済燃料プールからの燃料取り出しの開始は2024年度 ~2026年度を目標としている。2024年4月1日までの間の冷却日数は約4900日と なる。

- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス及びよう素それぞれ30%とする。
- d. 放出された希ガスは,全量が水中から燃料取り出し用カバーの空気中へ移行する ものとする。
- e. 燃料取り出し作業開始時には,燃料及び冷却材温度は低下しているので,放出さ れたよう素のうち 1%は有機状とし,すべて燃料取り出し用カバー内に移行するも のとする。
- f. 水中へ放出された無機よう素の水中での除染係数は 500 とする。
- (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 3.1 の通りである。

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギ 0.5MeV 換算値) 大気放出量	約 5.0×10 ¹¹ Bq
よう素(I-131 等価量(小児実効))大気放出量	約 3.3×10 ⁶ Bq
よう素(I-131 等価量(成人実効))大気放出量	約 1.3×10 ⁷ Bq

表 3.1 核分裂生成物の大気中への放出量

3.2. 線量当量の評価

(1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は,地上放出されるものとし,これによる実効線 量の計算は,次の仮定に基づいて行う。

a. 敷地境界外の地表空気中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析

に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求 める。

なお、相対濃度 (χ / Q) は設置許可申請書記載の主蒸気管破断(地上放出)の 値 2.0×10⁻⁵ s/m³ を適用する。

b. 敷地境界外の希ガスによる y 線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の
 「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を
 乗じて求める。

なお,相対線量(D/Q)は設置許可申請書記載の主蒸気管破断(地上放出)の 値 2.4×10⁻¹⁹Gy/Bq を適用する。

(2) 評価方法

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被 ばく(γ線及びβ線)による実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量H₁(Sv)は、(3.2-1)式で計算する。

R

:呼吸率(m³/s)

「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の 活動中の呼吸率(小児:0.31m³/h,成人:1.2m³/h)を秒当た りに換算して用いる。

- H_∞ :よう素(I-131)を1Bq吸入した場合の小児の実効線量
 (I-131,小児:1.6×10⁻⁷Sv/Bq,成人:2.0×10⁻⁸Sv/Bq)
- χ/Q :相対濃度 (s/m³)

Q_I : 事故期間中のよう素の大気放出量(Bq)(I-131 等価量) 希ガスのγ線外部被ばくによる実効線量H_γ(Sv)は, (3.2-2)式で計算する。

K:空気吸収線量から実効線量への換算係数(K=1Sv/Gy)

- D/Q :相対線量 (Gy/Bq)
- **Q**_y : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)

(γ線実効エネルギ 0.5MeV 換算値)

希ガスのβ線外部被ばくによる実効線量H_β(Sv)は、(3.2-3)式で計算する。

 $H_{\beta} = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_{\beta} \cdot E_{\beta} \cdot W_{TS} \cdots (3.2-3)$

- ここで,
 - χ∕Q :相対濃度 (s/m³)

Q_β : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)

E_β: β線のエネルギ (MeV) (0.251MeV Kr-85 実効エネルギ)

W_{TS}:皮膚の組織荷重係数は ICRP Publication. 60 の値を用いる。 (0.01)

(3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表 3.2 の 通りである。

衣 0:1				
実効線量 (小児)	実効線量(成人)			
約4.7×10 ⁻⁴ mSv	約4.7×10 ⁻⁴ mSv			

表 3.2 燃料集合体の落下時の実効線量

上記の値から判断して、本事象による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは +分に小さいものと考えられる。

今回評価した実効線量は設置許可申請書での評価(6.4×10⁻²mSv)と比較して2桁 以上減少しているが、その原因は、設置許可申請書の評価で排気筒放出であったもの が、今回地上放出として評価することによる実効線量の上昇要因があるものの、冷却 が進んだことによる希ガス及びよう素の減少効果がそれ以上に大きいことである。

3.3. 判断基準への適合性の検討

3.1, 3.2 に示した通り,周辺公衆に対し,著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。