

第8回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(2021年3月22日)

資料1-1

Doc. No. L5-95JY254 R9

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

設置許可基準規則への適合性について (第3条・第4条・第5条・第6条・第8条・第12条・第16条関連)

2021.3.22

三菱重工業株式会社

枠囲いの内容は商業機密のため、非公開とします。

1. 設置許可基準規則への適合性概要	…2
2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)	…3
3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)	…7
4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)	…15
5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)	…21
6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)	…27
7. 設置許可基準規則への適合性(第8条)	…33
8. 設置許可基準規則への適合性(第12条)	…37
9. 指摘事項(コメント)リスト	…39
10. 指摘事項への回答	…42

1. 設置許可基準規則への適合性概要

● 設置許可基準規則の要件と審査事項

設置許可基準規則		兼用キャスクの安全機能				構造強度	波及的影響	長期健全性	その他
		臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め				
第三条	設計基準対象施設の地盤	—	—	—	—	◎	—	—	—
第四条	地震による損傷の防止	—	—	—	—	◎	○	—	—
第五条	津波による損傷の防止	—	—	—	—	◎	—	—	—
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	—	—	—	—	◎	—	—	—
第七条									
第八条	火災による損傷の防止	—	—	—	—	—	—	—	○
第九条～第十一条									
第十二条	安全施設	—	—	—	—	—	—	—	○
第十三条～第十五条									
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	◎	◎	◎	◎	—	—	◎	—
第十七条～第二十八条									
第二十九条	工場等周辺における直接線等からの防護	—	—	—	—	—	—	—	○
第三十条	放射線からの放射線業務従事者の防護	—	—	—	—	—	—	—	○
第三十一条～第三十六条									

(注)◎:設計方針及び設計方針の妥当性(安全評価結果)を説明する項目、○:設計方針を説明する項目、:申請の範囲外。

:本資料でのご説明事項

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

要求項目		要件	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
条・項	安全機能			
第2項 一号 ハ	臨界防止	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	臨界を防止する構造により、貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態及び使用済燃料を収納する際の冠水状態において、臨界を防止する設計とする。	乾燥状態及び冠水状態における臨界評価により、中性子実効増倍率は0.95を下回ることから臨界に達するおそれはない。
第4項 一号	遮蔽	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。	ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とする。	使用済燃料を線源とした遮蔽評価により、通常貯蔵時のMSF-24P型表面の線量当量率が2mSv/h以下、及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100 μ Sv/h以下となることから適切な遮蔽能力を有している。
第4項 二号	除熱	使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。	熱伝導、対流及びふく射により、使用済燃料の崩壊熱を適切に除熱できる設計とする。	使用済燃料を熱源とした除熱評価により、貯蔵状態の燃料被覆管及びMSF-24P型の構成部材の温度が健全性を維持できる温度以下となることから崩壊熱を適切に除去できる。
第4項 三号	閉じ込め	使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。	本体及び金属ガasketを使用した一次蓋により、使用済燃料を収納する空間を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持するとともに、一次蓋と二次蓋の蓋間を正圧とし、圧力障壁を形成することにより放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。また、蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる構造とする。	設計貯蔵期間中にMSF-24P型内部を負圧に維持できる基準漏えい率を評価し、基準漏えい率に対し十分漏えい率の小さい金属ガasket用いることから放射性物質を適切に閉じ込めることができる。また、蓋間空間の圧力を監視できる構造であり、閉じ込め機能を監視できる。
解釈 別記4 第16条 第5項	長期健全性 (経年変化の考慮)	兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。	設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して信頼性を有する材料及び構造とし、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。	使用環境における温度、放射線照射、腐食に係る長期健全性評価により、経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を維持できる。

(注) 上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

: 本資料でのご説明事項

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(解釈別記4 第16条5項) (兼用キャスクの長期健全性)

● 長期健全性維持の設計方針

設計方針

- MSF-24P型は、主要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して信頼性を有する材料及び構造とし、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

設計方針の妥当性確認(健全性評価)

- 設計貯蔵期間中の温度、放射線及びその環境下において、MSF-24P型の兼用キャスクの主要な構成部材の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性が維持されることを確認した(文献・試験データによる確認)。

＜兼用キャスク構成部材及び使用済燃料の経年変化要因と設計対応＞(詳細は資料1-2の別紙1参照)

- 兼用キャスクの構成部材及び使用済燃料について、設計特性上考慮すべき経年変化要因^(注)を下表に示す。
- 兼用キャスクの構成部材及び使用済燃料については、安全機能(安全機能部材)及び構造強度(構造強度部材)への影響について、経年変化の影響を防止するための設計対応(防食措置等)を踏まえ、経年変化を考慮する必要の有無を判定する。
- 設計対応を考慮した上でも経年変化による安全機能及び構造強度への影響が生じることが考えられるものについては、経年変化の影響を考慮して設計及び評価を行う。

経年変化要因	兼用キャスク構成部材及び使用済燃料に対して考慮すべき項目
温度(熱)	低温又は高温での材料組成・材料組織の変化、強度・延性・脆性・クリープ・その他物性値の変化及び質量減少
放射線照射	ガンマ線及び中性子照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・延性・脆性・その他物性値の変化
腐食	全面腐食、隙間腐食、応力腐食割れ、異種材料接触部の化学反応及びジルカロイにおける水素吸収・酸化

(注)(出典)(一社)日本原子力学会、「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010(AESJ-SC-F002:2010)」,(2010).

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-24P型の長期健全性維持における考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.6に示す。

要求事項(確認内容)	長期健全性維持における考慮
安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は最低使用温度における低温靱性を考慮したものであること。	安全機能を維持する上で重要なMSF-24P型の構成部材は、最低使用温度における低温靱性を考慮した上で、その必要とされる強度、性能を維持するように設計する。
設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を設計入力値又は設計基準値の算定に際し考慮すること。必要に応じて防食措置等が講じられていること。	MSF-24P型は、主要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化の影響を設計入力値又は設計基準値に考慮する。また、キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を講ずる。
兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。	MSF-24P型は、キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する。経年変化要因に対して、主要な構成部材の健全性を維持することで不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 兼用キャスクの健全性評価 (詳細は資料1-2のP.3~11参照)

(1) 温度影響

MSF-24P型構成部材は、最低使用温度において低温脆化しない材料を用いるとともに、各部位の最高温度において文献等に規定される健全性を維持できる範囲内であるため、熱による経年変化の影響はない。

主要な評価部材		温度(°C)	基準値(°C)
MSF-24P型 構成部材	胴、外筒	140	350
	一次蓋、二次蓋	115	350
	中性子遮蔽材 ^(注1)	135	149
	金属ガスケット	115	130
	バスケット(バスケットプレート)	185	250
	伝熱フィン	120	200
使用済燃料(燃料被覆管)		215	275

(注1) 設計貯蔵期間中の熱影響により質量減損が生じるため、設置許可基準規則第16条遮蔽機能の設計方針の妥当性確認として実施した遮蔽評価において、中性子遮蔽材の質量減損(2.5%)を考慮し、遮蔽機能が維持されることを確認している。

(2) 放射線の照射影響

設計貯蔵期間中のMSF-24P型構成部材及び使用済燃料の照射量は、文献等に規定される特性変化がみられない範囲内であるため、照射による経年変化の影響はない。

主要な評価部材		中性子照射量(n/cm ²) ^(注1)	基準値(n/cm ²)
MSF-24P型 構成部材	胴、外筒	6.9×10^{14}	10^{16}
	一次蓋、二次蓋	2.5×10^{14}	10^{16}
	中性子遮蔽材	1.6×10^{14}	10^{15}
	金属ガスケット	2.5×10^{14}	10^{19}
	バスケット(バスケットプレート)	1.5×10^{15}	10^{16}
	伝熱フィン	1.6×10^{14}	10^{16}
使用済燃料(燃料被覆管)		1.5×10^{15}	$10^{21 \sim 22}$

(注1) 貯蔵初期の中性子が減衰せず設計貯蔵期間中一定であると仮定して保守的に算出した設計貯蔵期間中の累積値。

(3) 腐食による影響

兼用キャスク外面のうち、大気に触れる部分は塗装等による防錆措置により腐食を防止する。また、MSF-24P型の内部及び一次蓋と二次蓋の間には不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としており、使用済燃料の腐食の影響はない。

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、MSF-24P型の主要な構成部材の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計としている。

3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則		設置許可基準規則の解釈 別記4 第3条	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)	
要求項目					
条・項	事項				
第1項	地盤の支持	<p>設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるそ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が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)及び兼用キャスクにあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。)が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</p>	<p>「安全機能が損なわれない方法」とは、以下のいずれかの方法をいう。 ・(略) ・兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法 ここで、輸送荷姿その他の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能が損なわれないものとする。</p>	<p>MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により、地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計とする。</p>	<p>地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中のMSF-24P型が地盤の変形や変位により浮上り、落下することを想定した落下解析により、構造健全性は維持されるため、MSF-24P型の安全機能は損なわれない。</p>
第2項	地盤の変形	<p>耐震重要施設及び兼用キャスクは、変形した場合においてもその安全機能が損なわれない地盤に設けなければならない。</p>	<p>輸送荷姿その他の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、地盤が変形した場合においてもその安全機能が損なわれないものとする。</p>		
第3項	地盤の変位	<p>耐震重要施設及び兼用キャスクは、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤に変位が生じてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</p>	<p>輸送荷姿その他の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、その安全機能が損なわれないものとする。</p>		

3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

設計基準対象施設の地盤(第三条第1項から第3項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれるおそれがない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により、地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中のMSF-24P型が地盤の変形や変位により浮上がり、落下することを想定した場合において、MSF-24P型の安全機能が損なわれないことを確認した。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- MSF-24P型を設置する貯蔵施設において、貯蔵用緩衝体の装着により、蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵することを設置(変更)許可への引継ぎ事項とする。

(参考)原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド抜粋
別表 兼用キャスクの設置方法に応じた評価の例

設置方法	地盤、基礎、支持部等の評価	蓋部の金属部への衝突評価	兼用キャスク本体評価	備考
①輸送荷役 			-	
②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法 			○ (加速度)	
③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法 	-	○ (速度)	○ (加速度)	

3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-24P型の設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針の妥当性確認結果をP.10～11に示す。

項目	要求事項(確認事項又は確認内容)	設計における考慮
安定性評価の基本方針 (審査ガイド6.1)	兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、当該衝突に対してその安全機能が損なわれないものとし、その確認を要しない(地盤の安定性評価は不要)。	地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中のMSF-24P型が、地盤の変形や変位により浮上り、落下することを想定した場合のMSF-24P型の構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。
	兼用キャスクの設置位置を斜面から離隔すること。離隔しない場合は、基準地震動による地震力に対する安定性評価を行い、兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼすおそれがある場合は、対策を講ずること。	(型式証明申請の範囲外)
	周辺施設が設置されている地盤は、地震力(Cクラスに属する施設に適用されるものに限る。)に対して十分な支持力を有すること。	(型式証明申請の範囲外)
安定性評価 (審査ガイド6.2)	安定性評価の基本方針を踏まえ、安定性評価を行う場合は、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られるすべり等が許容限界を満足すること。	(型式証明申請の範囲外) ※但し、設計方針により地盤の安定性評価は不要。

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

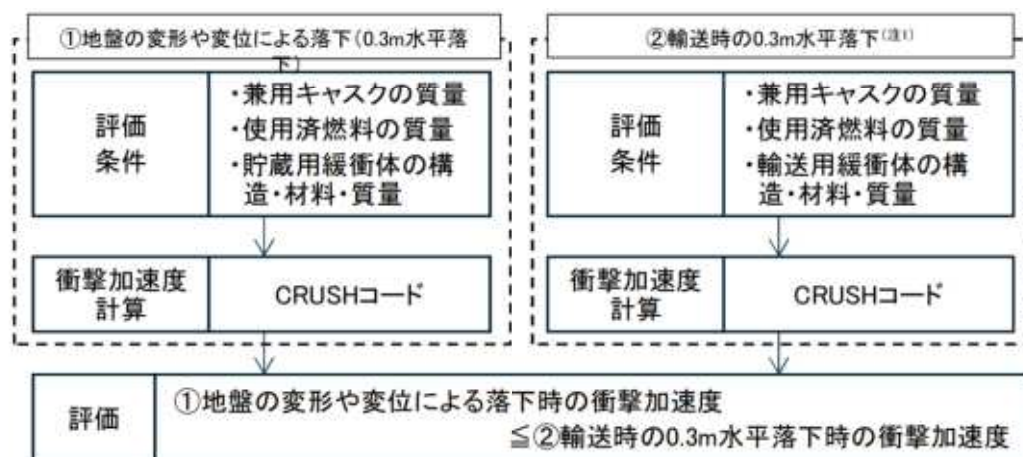
3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

● 落下時の安全評価について(1/2)

＜地盤の変形や変位により浮上り落下する場合の安全評価概要＞（詳細は資料1-4のP.5～8、別紙2、別紙3参照）

- MSF-24P型は、貯蔵架台に設置された状態で貯蔵される。地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中のMSF-24P型が、地盤の変形や変位により浮上り、落下(落下姿勢:0.3m高さからの水平落下)することを想定し、落下時のMSF-24P型の構造健全性が維持されることにより、MSF-24P型の安全機能が損なわれないことを示す。
- 落下時の構造健全性維持は、落下時に発生する衝撃加速度が、事業所外運搬規則で要求される輸送時の0.3m水平落下時の衝撃加速度に比べ小さいことを示すことで説明する。
- 落下時の衝撃加速度は、輸送時の0.3m水平落下時の衝撃加速度以下である。輸送時の0.3m水平落下では、発生する応力が許容限界に対し41%以上の余裕を有する設計であり、貯蔵架台上からの落下時において構造健全性は維持される^(注)。

(注)貯蔵時と輸送時の緩衝体及び三次蓋の構造差異による構造応答への影響(約7%(P.11参照))を考慮してもそれを超える余裕(41%)を有している。



貯蔵架台上からの落下時の構造健全性評価フロー

(注)事業所外運搬規則で定められる0.3m落下時において、MSF-24P型は、金属キャスク構造規格に基づき構造健全性が維持される設計としている。0.3m落下時の許容限界は、金属キャスク構造規格の供用状態Bの評価基準(弾性範囲ベースの基準)であり、CRUSHコードにより求まる衝撃加速度を入力条件としたMSF-24P型の構造解析(ABAQUSコード、応力評価式)により許容限界を満足することを確認している。CRUSHコード及びABAQUSコードは、技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績があるコードである。

衝撃加速度計算結果の比較

地盤の変形や変位による落下時	輸送時
木材緩衝材例 ^(注) : 174 m/s ² 金属緩衝材例 : 147 m/s ²	0.3m水平落下 200 m/s ²

(注)指摘事項(No.4、P.42～44参照)への回答で示した熱による木材の圧潰特性の低下例(80%及び60%)を考慮した結果のうち衝撃加速度が大きい方を記載。



想定する落下の状態

3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

● 落下時の安全評価について(2/2)

＜P.10の補足：貯蔵時と輸送時の構造差異による構造強度への影響確認＞（詳細は資料1-4の別紙1参照）

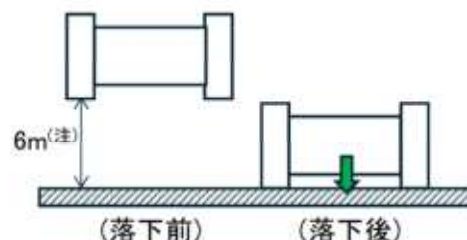
- 貯蔵時と輸送時との構造差異(下表)のうち、構造強度への影響が大きい項目の構造強度への影響確認として、貯蔵時の構造例①②と輸送時との構造健全性への影響確認(同じ落下高さから落下した場合の構造応答の影響評価)を動的解析(LS-DYNAコード)により評価した。
- 構造差異による影響が最も大きい蓋部の構成部材のうち、密封シール部及び蓋ボルトの相当ひずみを比較した。貯蔵時構造例①②と輸送時構造による比較の結果、最大で7%の差異が生じた。したがって、輸送時の落下評価結果を用いて貯蔵時の構造健全性を評価するにあたっては、7%程度のひずみ(応力)の差異が生じることを考慮する必要がある。

輸送用との構造差異(注1)

部位	項目	貯蔵時 構造例① (P.12参照)	貯蔵時 構造例② (P.13参照)
二次蓋	圧力センサ		あり
	モニタリング ポートカバー		なし
貯蔵用 三次蓋	シール材	なし	なし
貯蔵用緩衝体			

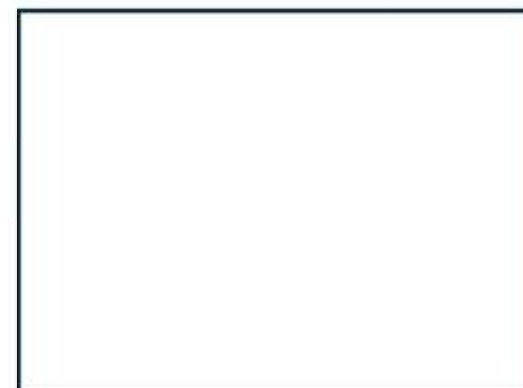
(注1) 構造強度上の影響が大きいものを で示す。

(注2)



(注) 落下高さは影響確認用としての一例である。

影響確認ケース



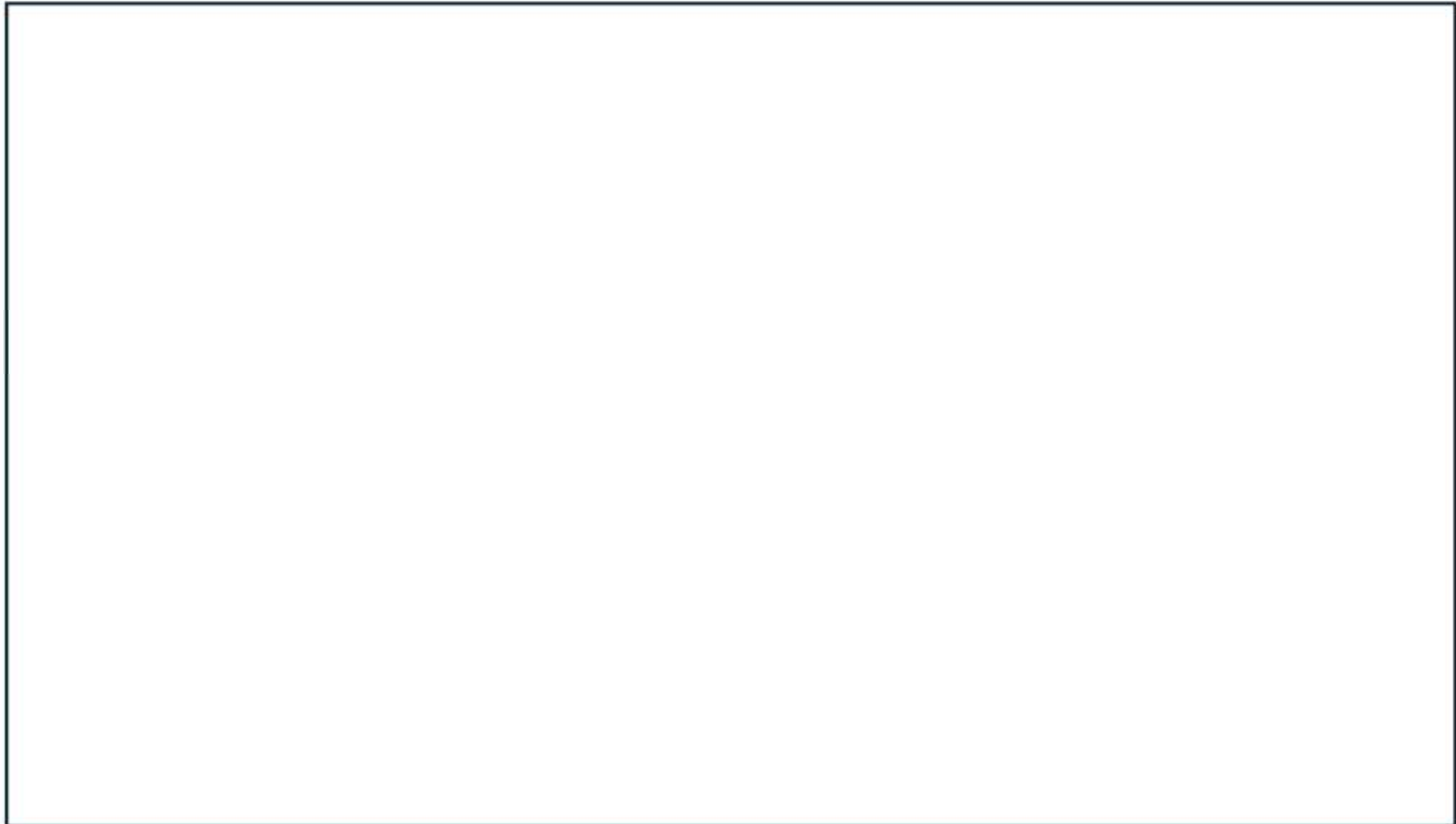
影響確認解析モデル(貯蔵時構造例②)

影響確認解析結果(相当ひずみ)

対象部位	貯蔵時構造				輸送時構造 (3)
	構造例①	比(1/3)	構造例②	比(2/3)	
一次蓋シール部	3.22×10^{-4}	1.00	3.31×10^{-4}	1.02	3.23×10^{-4}
二次蓋シール部	8.83×10^{-4}	0.99	9.14×10^{-4}	1.02	8.95×10^{-4}
一次蓋ボルト	3.29×10^{-3}	1.00	3.30×10^{-3}	1.00	3.30×10^{-3}
二次蓋ボルト	4.06×10^{-3}	1.05	4.12×10^{-3}	1.07	3.85×10^{-3}
三次蓋ボルト	1.89×10^{-3}	0.94	1.93×10^{-3}	0.96	2.01×10^{-3}

3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

- 貯蔵用上部構造(構造例①)



3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

- 貯蔵用上部構造(構造例②)



3. 設置許可基準規則への適合性(第3条)

- 二次蓋の構造



4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則		要件	設置許可基準規則の解釈 別記4 第4条第2項	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
要求項目					
条・項	事項				
第6項	兼用キャスクの地震力に対する安全機能維持	<p>兼用キャスクは、次のいずれかの地震力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。</p> <p>一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの</p> <p>二 基準地震動による地震力</p>	<p>「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」ことを満たすために、兼用キャスクの設計に当たっては、以下の方針によること。</p> <p>一 第6項地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないものであること。ただし、(中略)、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能が損なわれるおそれがないものとする。</p> <p>二 兼用キャスクについては、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該兼用キャスクに要求される機能を保持すること。また、上記により求められる荷重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、当該兼用キャスクに要求される機能に影響を及ぼさないこと。ただし、兼用キャスクの閉じ込め機能を担保する部位は、上記の荷重条件に対しておおむね弾性状態で留まる範囲で耐えること。</p> <p>三 (略)</p>	<p>MSF-24P型は、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力に対して、貯蔵用緩衝体の装着により、その安全機能が損なわれるおそれがない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計とする。また、MSF-24P型は、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 兼用キャスク告示で定める加速度による地震力を作用させた構造健全性評価により、構造健全性が維持されるため、地震時にMSF-24P型の安全機能は損なわれない。 地震力による貯蔵架台又は兼用キャスク固縛装置の損傷等によりMSF-24P型が落下することを想定した落下解析により、構造健全性は維持されるため、MSF-24P型の安全機能は損なわれない。

(注) 上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

地震による損傷の防止(第四条第6項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力に対して、貯蔵用緩衝体の装着により、その安全機能が損なわれるおそれがない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計とする。
- また、MSF-24P型は、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 兼用キャスク告示で定める加速度による地震力に対して、MSF-24P型の構造健全性評価を実施し、地震時にMSF-24P型の安全機能が損なわれないことを確認した。
- 地震力による貯蔵架台又は兼用キャスク固縛装置の損傷等によりMSF-24P型が落下することを想定した場合において、MSF-24P型の安全機能が損なわれないことを確認した。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- 設置(変更)許可申請時において、地震時、周辺施設からの波及的影響により、MSF-24P型の安全機能を損なわないこと(設置許可基準規則解釈別記4第4条第2項三号)の確認を行うことを引継ぎ事項とする。

4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-24P型の設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針の妥当性確認結果をP.18～20に示す。

項目	要求事項(確認事項又は確認内容)	設計における考慮
基本方針 (審査ガイド4.3.1.1)	兼用キャスクを基礎等に固定しない場合、兼用キャスク告示で定める加速度による地震力に対して安全機能が維持される設計であること。	兼用キャスク告示で定める加速度(水平2300Gal、鉛直1600Gal)による地震力に対してMSF-24P型の構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。
	周辺施設から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こと。	後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項とする。
荷重及び荷重の組合せ (審査ガイド4.3.1.2)	兼用キャスクに作用する地震力と地震力以外の荷重を適切に組み合わせていること。	兼用キャスクに作用する地震力に加え、兼用キャスクに作用する地震力以外の荷重として、供用中に作用する荷重を適切に組み合わせる。
許容限界 (審査ガイド4.3.1.3)	兼用キャスクの許容限界は、安全上適切と認められる規格等に基づき設定すること。また、密封境界部がおおむね弾性範囲となる許容限界としていること。バスケットが臨界防止上有意な変形を起こさない許容限界としていること。	許容限界は、日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)(以下、「金属キャスク構造規格」等の安全上適切と認められる規格等を基に設定する。また、密封境界部及びバスケットの許容限界は、弾性範囲内とする。
静的解析及び地震応答解析 (審査ガイド4.3.1.4)	第6項地震力による兼用キャスクの安全機能の評価に際しては、兼用キャスクの設置方法に応じて、静的解析又は地震応答解析を行っていること。また、設置方法及び適用する地震力の種類に応じて、適切な解析モデル及び解析手法を設定していること。	第6項地震力による兼用キャスクの安全機能の評価は、静的震度(兼用キャスク告示で定める加速度)に基づき算定した地震力を基に実施する。
耐震性評価 (審査ガイド4.3.1.5)	第6項地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られる応力等が、許容限界を超えていないこと。また、密封境界部以外の部位に塑性ひずみが生ずる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に対して十分な余裕を有すること。	地震力に加え、兼用キャスクに作用する地震力以外の荷重として、貯蔵時に作用する荷重を組み合わせた結果得られる応力が、許容限界を満足することを確認する。また、密封境界部以外の部位に塑性ひずみが生じる場合には、その量が破断延性限界に対して十分な余裕があることを確認する。

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

● 地震力に対する安全評価について(1/3)

(1) 地震力に対する安全評価の概要 (詳細は資料1-5のP.7~12参照)

地震力に対するMSF-24P型の構造健全性評価を行い、構造健全性が維持されることで安全機能が維持されることを確認する。構造健全性評価の評価部位は、兼用キャスクを支持するトラニオンに加え、弾性範囲内となる許容限界としており、塑性変形を許容できる他の部材に比べて余裕が小さい密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)並びにバスケットとする。また、構造健全性評価は、金属キャスク構造規格を基に、地震力に加え、供用中に作用する荷重を組み合わせ実施した。

構造健全性評価対象		地震力	評価方法
トラニオン		兼用キャスク告示で定める加速度による地震力(注1) ・水平2300Gal(23m/s ²) ・鉛直1600Gal(16m/s ²)	地震時にMSF-24P型のトラニオン(注2)に生じる応力を応力評価式により算出し、金属キャスク構造規格の評価基準を満足することを示す。
密封境界部	一次蓋密封シール部 一次蓋ボルト		地震時に密封境界部及びバスケットに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれ有無を横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットに生じる応力の許容限界は、弾性範囲内とする。
バスケット			

(注1)地震力は、静的震度(加速度)に基づき算定した地震力を使用する。また、地震力は、水平地震力及び鉛直地震力を同時に不利な方向の組合せで作用させる。

(注2)MSF-24P型は、横置き姿勢で貯蔵され、上部トラニオン及び下部トラニオンにより貯蔵架台に固縛される。

① トラニオンの構造健全性 (詳細は資料1-5のP.12~P.14、別紙1参照)

- 地震時にトラニオンに生じる応力は、作用する荷重が大きくなる下部トラニオンを対象とし、応力評価式により算出した。
- トラニオンに生じる応力は、金属キャスク構造規格の評価基準を満足しており、トラニオンの構造健全性は維持される。



地震時のトラニオンの構造健全性評価結果(注1)

評価位置(注2)		応力の種類	計算値(MPa)	評価基準(MPa)
トラニオン本体	断面A-A	応力強さ	185	591 (1.5f _t *)
	断面B-B	応力強さ	252	591 (1.5f _t *)
接続部		支圧	209	412 (1.5f _p *)

(注1)各評価部位の応力のうち、評価基準に対する余裕が最も少ない結果を記載。

(注2)評価位置は左図参照。

4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

● 地震力に対する安全評価について(2/3)

②密封境界部及びバスケットの構造健全性 (詳細は資料1-5のP.15~P.17、別紙2参照)

- 地震時に密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)及びバスケットに生じる応力は、供用中に作用する荷重(内圧・蓋ボルト締付力等)を考慮し、応力評価式により算出した。
- 地震時の一次蓋の横ずれ有無は、一次蓋に生じる慣性力と一次蓋ボルトの締付力による摩擦力の比較により評価した。
- 密封境界部及びバスケットに生じる応力は評価基準(弾性範囲内)を満足する。また、地震時に一次蓋には横ずれが生じない。したがって、地震時において構造健全性は維持される。

地震時の密封境界部及びバスケットの応力評価結果^(注)

評価位置	応力の種類	計算値(MPa)	評価基準(MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b$	26	185 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	330	846 (S_y)
バスケットプレート	σ_G	2	56 (S_y)

(注)各評価部位の応力のうち、評価基準に対する余裕が最も少ない結果を記載。

地震時の密封境界部の横ずれ評価結果

評価項目	計算値(N)	評価基準(N) ^(注)
一次蓋の慣性力	1.95×10^5	1.50×10^6

(注)評価基準は一次蓋ボルトの締付力による摩擦力である。



一次蓋の応力評価位置

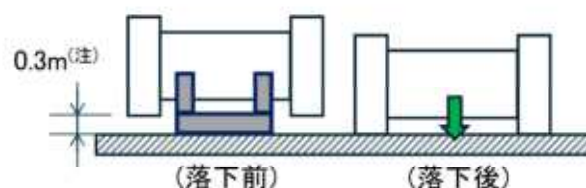
4. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

● 地震力に対する安全評価について(3/3)

(2) 地震力によりMSF-24P型が落下することを想定した場合の安全機能維持の確認(詳細は資料1-5のP.8参照)

地震力による貯蔵架台又は兼用キャスク固縛装置の損傷等によりMSF-24P型が落下することを想定した場合の構造健全性評価を行い、構造健全性が維持されることで安全機能が維持されることを確認する。

- 第3条(地盤)の適合性説明(P.10)に示したとおり、0.3m高さからの水平落下において、落下時のMSF-24P型の構造健全性が維持される。
- したがって、地震力によりMSF-24P型が落下しても安全機能は維持される。



(注) 落下高さは一例である。

地震力によるMSF-24P型の落下

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、地震時にMSF-24P型の構造健全性は維持されることから、第6項地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがない設計である。したがって、MSF-24P型の地震に対する設計方針は妥当である。

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則		要件	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
要求項目				
条・項	事項			
第2項	兼用キャスクの津波に対する安全機能維持	兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波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。 一 兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定めるもの 二 基準津波	MSF-24P型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。	兼用キャスク告示で定める津波による遡上波の波力及び漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重を作用させた構造健全性評価により、構造健全性が維持されるため、津波荷重作用時にMSF-24P型の安全機能は損なわれない。

(注)上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

津波による損傷の防止(第五条第2項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 兼用キャスク告示で定める津波による遡上波の波力及び漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重に対して、MSF-24P型の構造健全性評価を実施し、津波荷重作用時にMSF-24P型の安全機能が損なわれないことを確認した。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- なし

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-24P型の設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針の妥当性確認結果をP.24～26に示す。

項目	要求事項(確認事項又は確認内容)	設計における考慮
基本方針 (審査ガイド4.3.2.1)	兼用キャスクは、兼用キャスク告示で定める津波による作用力に対して安全機能が維持されること。	兼用キャスク告示で定める津波による作用力(*)に対してMSF-24P型の構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。 (*) 算出条件…浸水深:10m、流速:20m/s、漂流物質量:100t
設計・評価の方針 (審査ガイド4.3.2.2)	兼用キャスクの評価において保守的な荷重の作用及び組合せを設定すること。	浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重が同時に作用することに加え、供用中に作用する荷重を組み合わせ、MSF-24P型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。
	考慮する荷重は、浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重を基本とし、それぞれの荷重については、兼用キャスクの評価上最も厳しくなる位置に作用させること。	
	津波波力及び漂流物荷重は以下の指針等を参考に設定することができる。 ・津波波力(津波波圧) 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針 ・漂流物衝突荷重 道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)	津波波力は、東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針、漂流物衝突荷重は、道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)に基づき設定する。
	津波荷重に対する兼用キャスクの評価は、既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により行われていること。	津波荷重に対する兼用キャスクの詳細評価は、型式指定において、既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により実施する。

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

● 津波荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 津波荷重に対する安全評価の概要 (詳細は資料1-6のP.4~7参照)

津波荷重に対するMSF-24P型の構造健全性評価を行い、構造健全性が維持されることで安全機能が維持されることを確認する。構造健全性評価の評価部位は、弾性範囲内となる許容限界としており、塑性変形を許容できる他の部材に比べて余裕が小さい密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)並びにバスケットとする。また、津波荷重は、貯蔵用緩衝体によるエネルギー吸収を無視して算定し、構造健全性評価は、津波荷重に加え、供用中に作用する荷重を組み合わせ、貯蔵用緩衝体の構造体としての剛性を考慮しない条件として実施した。

構造健全性評価対象		津波荷重	評価方法
密封境界部	一次蓋密封シール部 一次蓋ボルト	兼用キャスク告示で定める津波による作用力 ^(注) ・浸水深: 10m ・流速: 20m/s ・漂流物質量: 100t	津波荷重作用時に密封境界部及びバスケットに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれ有無を横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットに生じる応力の許容限界は、弾性範囲内とする。
	バスケット		

(注) 浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重が同時に作用することに加え、供用中に作用する荷重を組み合わせ、MSF-24P型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

● 津波荷重に対する安全評価について(2/3)

(2) 津波荷重の算定 (詳細は資料1-6のP.8~P.10参照)

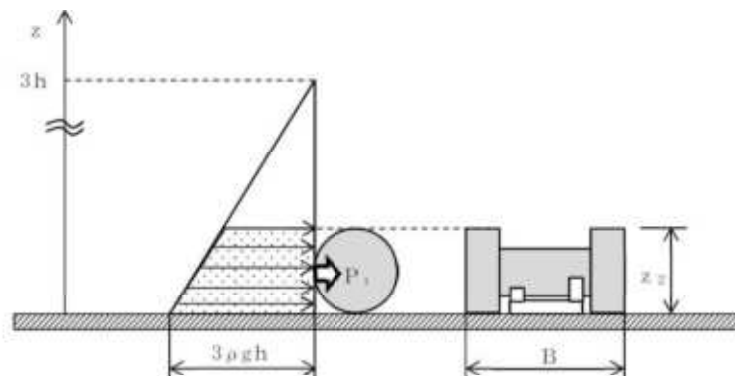
① 津波波力(P_t)

「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」の評価式(次式)により算定する。

$$P_t = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

$$= \rho g B \left\{ \left(a h z_2 - \frac{1}{2} z_2^2 \right) - \left(a h z_1 - \frac{1}{2} z_1^2 \right) \right\}$$

ρ	: 海水の密度 (kg/m ³)
g	: 重力加速度 (m/s ²)
a	: 水深係数 (=3)
h	: 浸水深 (m)
z_1	: 受圧面の最小高さ (m)
z_2	: 受圧面の最大高さ (m)
B	: 構造物の幅 (m)



(注) z_1 は0とする。

② 漂流物衝突荷重(P_c)

「道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編」の衝突荷重の評価式(次式)により算定する。

$$P_c = 0.1 W v$$

W	: 漂流物の重量 (N)
v	: 表面流速 (m/s)

③ 津波荷重(P)

構造健全性評価に用いる津波荷重は、津波波力と漂流物衝突荷重を組み合わせる。

また、構造健全性評価では、津波荷重に常時作用する荷重として、MSF-24P型の供用中に作用する荷重を考慮する。

項目	記号	計算値(N)
津波波力	P_t	7.07×10^6
漂流物衝突荷重	P_c	1.97×10^6
津波荷重(上記合計)	P	9.04×10^6

5. 設置許可基準規則への適合性(第5条)

● 津波荷重に対する安全評価について(3/3)

(3) 密封境界部及びバスケットの構造健全性 (詳細は資料1-6のP.10~P.11、別紙1参照)

- 津波荷重は、MF-24P型の長手方向と径方向の両方向からの作用を考慮する。
- 津波荷重作用時に密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)及びバスケットに生じる応力は、供用中に作用する荷重(内圧・蓋ボルト締付力等)を考慮し、応力評価式により算出した。津波荷重作用時の一次蓋の横ずれ有無は、一次蓋に生じる慣性力と一次蓋ボルトの締付力による摩擦力の比較により評価した。
- 密封境界部及びバスケットに生じる応力は評価基準(弾性範囲内)を満足する。また、津波荷重作用時に一次蓋には横ずれが生じない。したがって、津波荷重作用時において構造健全性は維持される。

津波荷重作用時の密封境界部及びバスケットの応力評価結果(注)

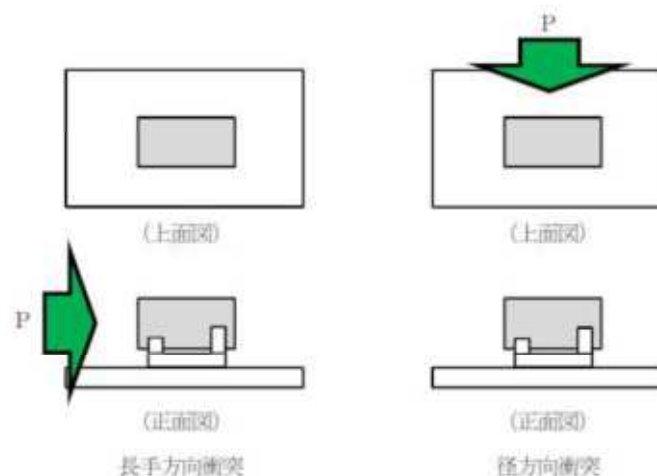
評価位置	応力の種類	計算値(MPa)	評価基準(MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b$	30	185 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	450	846 (S_y)
バスケットプレート	σ_c	4	56 (S_y)

(注)各評価部位の応力のうち、評価基準に対する余裕が最も少ない結果を記載。

津波荷重作用時の密封境界部の横ずれ評価結果

評価項目	計算値(N)	評価基準(N)(注)
一次蓋の慣性力	3.81×10^5	1.50×10^6

(注)評価基準は一次蓋ボルトの締付力による摩擦力である。



津波荷重の作用方向

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、津波荷重作用時にMSF-24P型の構造健全性は維持されることから、津波に対してその安全機能が損なわれるおそれがない設計である。したがって、MSF-24P型の津波に対する設計方針は妥当である。

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則		要件	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
要求項目				
条・項	事項			
第4項	兼用キャスクの竜巻・森林火災に対する安全機能維持	兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。 一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの 二 (略)	MSF-24P型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による飛来物の衝突において、その安全機能を損なわない設計とする。	兼用キャスク告示で定める竜巻による飛来物の衝突による竜巻荷重を作用させた構造健全性評価により、構造健全性が維持されるため、竜巻荷重用時にMSF-24P型の安全機能は損なわれぬ。
第5項		前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。	MSF-24P型は、想定される自然現象(地震、津波、竜巻及び森林火災を除く)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。	兼用キャスク告示で定める地震力等に対する安全機能の維持を求めることを踏まえると、地震、津波、竜巻、森林火災以外のその他の外部事象のうち、火山立地評価以外の外部事象は兼用キャスクの安全機能を損なわせるものではない。(審査ガイド4.2.4)

(注) 上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

外部からの衝撃による損傷の防止(第6条第4項一号及び第5項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める竜巻及び想定される自然現象(地震、津波、竜巻及び森林火災を除く)に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、兼用キャスク告示に定める竜巻及び想定される自然現象に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による飛来物の衝突において、その安全機能を損なわない設計とする。
- MSF-24P型は、想定される自然現象(地震、津波、竜巻及び森林火災を除く)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。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 兼用キャスク告示で定める竜巻による飛来物の衝突による竜巻荷重に対して、MSF-24P型の構造健全性評価を実施し、竜巻荷重作用時にMSF-24P型の安全機能が損なわれないことを確認した。
- なお、兼用キャスク告示で定める地震力等に対する安全機能の維持を求めることを踏まえると、地震、津波、竜巻、森林火災以外のその他の外部事象のうち、火山立地評価以外の外部事象は兼用キャスクの安全機能を損なわせるものではない(審査ガイド4.2.4参照)。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- 竜巻により兼用キャスクに衝突し得る飛来物(設計飛来物)の条件が、MSF-24P型で想定する設計飛来物の条件に包絡されていること。

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-24P型の設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針の妥当性確認結果をP.30～32に示す。

項目	要求事項(確認事項又は確認内容)	設計における考慮
設計方針(竜巻) (審査ガイド4.3.3)	兼用キャスクは、兼用キャスク告示で定める竜巻による作用力に対して安全機能が維持されること。	兼用キャスク告示で定める竜巻による作用力(*)に対してMSF-24P型の構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。 (*) 算出条件…最大風速:100m/s、設計飛来物:原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に示される飛来物のうち兼用キャスクに与える影響が最大となるもの
	竜巻による飛来物の衝突荷重及び評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考にしていること。	設計竜巻に対する飛来物及び最大速度は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(以下、「竜巻影響評価ガイド」という)解説表4.1に記載の値を基に設定し、飛来物の衝突荷重は、Rieraの方法に基づき、飛来物の圧潰挙動を無視して算定する。MSF-24P型に竜巻荷重及び竜巻荷重が作用した場合の評価は、竜巻影響評価ガイドを参考に実施する。
	設計竜巻に対する飛来物及び最大速度は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に記載の値を参考に設定し、飛来物の衝突荷重を算定(例えば、建築物の耐衝撃設計の考え方((一社)日本建築学会2015.1)を参考に飛来物の圧潰挙動を無視してRieraの式等で算定)していること。	
	竜巻荷重に対する兼用キャスクの評価は、既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により行われていること。	竜巻荷重に対する兼用キャスクの詳細評価は、型式指定において、既往の研究事例や機能確認試験等の結果との追比、FEM解析に基づく応力評価等により実施する。
設計方針(その他の外部事象) (審査ガイド4.3.4)	兼用キャスクは、森林火災、爆発及び人為による火災に対して安全機能が維持されること。森林火災、爆発及び人為による火災に対する具体的な評価は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、離隔等の適切な対応が図られていること。	(型式証明申請の範囲外)

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

● 竜巻荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 竜巻荷重に対する安全評価の概要 (詳細は資料1-7のP.4~7参照)

竜巻荷重に対するMSF-24P型の構造健全性評価を行い、構造健全性が維持されることで安全機能が維持されることを確認する。構造健全性評価の評価部位は、弾性範囲内となる許容限界としており、塑性変形を許容できる他の部材に比べて余裕が小さい密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)並びにバスケットとする。また、竜巻荷重は、貯蔵用緩衝体によるエネルギー吸収を無視して算定し、構造健全性評価は、竜巻荷重に加え、供用中に作用する荷重を組み合わせ、貯蔵用緩衝体の構造体としての剛性を考慮しない条件として実施した。

構造健全性評価対象		竜巻荷重	評価方法
密封境界部	一次蓋密封シール部 一次蓋ボルト	兼用キャスク告示で定める竜巻津波による作用力 ^(注) ・最大風速: 100m/s ・設計飛来物: 下表	竜巻荷重作用時に密封境界部及びバスケットに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれ有無を横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットに生じる応力の許容限界は、弾性範囲内とする。
バスケット			

(注) 竜巻荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に加え、供用中に作用する荷重を組み合わせる。

設計飛来物 (竜巻影響評価ガイド解説表4.1)

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量(kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度(m/s)	49	57 ^(注)	30	60	34
最大鉛直速度(m/s)	33	38 ^(注)	20	40	23

(注) 竜巻影響評価ガイド解説表4.1に記載の速度(最大水平速度51 m/s、最大鉛直速度34 m/s)に対し保守的な設定とした。

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

● 竜巻荷重に対する安全評価について(2/3)

(2) 竜巻荷重の算定 (詳細は資料1-7のP.8~P.11参照)

竜巻荷重は、「竜巻影響評価ガイド」に基づき、次の①から③の荷重を組み合わせた複合荷重④を作用させる。

① 風圧力による荷重 (W_W)

② 気圧差による荷重 (W_P)

竜巻により生じる外気の気圧差による荷重は、構造健全性評価において、MSF-24P型の外部と兼用キャスク本体内部の差圧設定にて考慮する。

③ 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

Rieraの方法に基づき、飛来物の圧潰挙動を無視するとともに、設計飛来物の衝突による減速を考慮せず、設計飛来物の衝突前の運動量と衝撃荷重(衝撃荷重時刻歴:三角波、衝突時間=衝突長さ/速度)による力積が等しいとして、算出する。

④ 複合荷重 (W_T)

構造強度評価に用いる設計竜巻荷重は、①から③の荷重を組み合わせた複合荷重 W_T を作用させる(右表参照)。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(竜巻荷重と組み合わせる荷重について)

a) 常時作用する荷重

MSF-24P型の供用中に作用する荷重を考慮する。

b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、雹及び雨である。これらの自然現象による荷重は設計竜巻荷重に比べ十分小さく、設計竜巻荷重の設定に包絡される。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

q	: 設計用速度圧
G	: ガスト影響係数
C	: 風力係数
A	: 受圧面積 (m ²)
ρ	: 空気の密度 (kg/m ³)
V _D	: 竜巻の最大風速 (m/s)

$$W_M = \frac{2MV^2}{L_{min}}$$

M	: 設計飛来物の質量(kg)
V	: 設計飛来物の最大速度(m/s)
L _{min}	: 設計飛来物の衝突方向長さ(最小長さ)

項目	記号	計算値(N)
風圧力による荷重	W_W	1.81×10^5
気圧差による荷重	W_P	—(注1)
設計飛来物による衝撃荷重	W_M	8.45×10^6 (注2)
複合荷重	W_{T1}	—
	W_{T2}	8.64×10^6

(注1) 気圧差による荷重は、構造健全性評価において、MSF-24P型の外部と兼用キャスク本体内部の差圧設定にて考慮する。

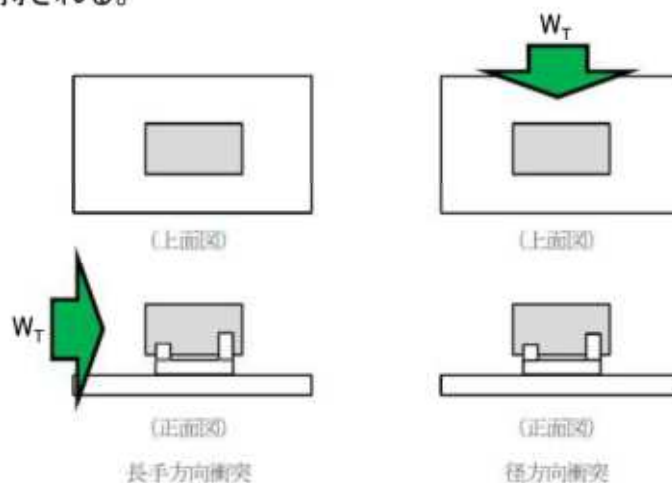
(注2) 竜巻影響評価ガイド解説表4.1の飛来物のうち、最も大きい荷重。

6. 設置許可基準規則への適合性(第6条)

● 竜巻荷重に対する安全評価について(3/3)

(3) 密封境界部及びバスケットの構造健全性 (詳細は資料1-7のP.11参照)

- 竜巻荷重は、MF-24P型の長手方向と径方向の両方向からの作用を考慮する。
- 竜巻荷重(8.64×10^6 N)は、規則適合性(第5条)のP.25で示した津波荷重(9.04×10^6 N)に比べ小さい。また、構造強度評価条件のうち、津波荷重以外の荷重条件及びその他の条件は同じである。
- したがって、竜巻荷重による構造健全性評価は、津波荷重による構造健全性評価に包絡される。したがって、竜巻荷重が作用しても同様に構造健全性が維持される。



竜巻津波荷重の作用方向
(津波荷重作用時と同じ)

● 設計方針の妥当性

以上のおり、竜巻荷重作用時にMSF-24P型の構造健全性は維持されることから、竜巻に対してその安全機能が損なわれるおそれがない設計である。したがって、MSF-24P型の竜巻に対する設計方針は妥当である。

7. 設置許可基準規則への適合性(第8条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則		要件	設計方針
要求項目			
条・項	事項		
第1項	火災の発生防止	設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備(以下「火災感知設備」という。)及び消火を行う設備(以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。)並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。	MSF-24P型は、火災の発生を防止することができるよう、主要構造及び外表面を金属製の不燃性材料で構成し、発火源となる恐れのない設計とする。 なお、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置については、型式証明申請の範囲外とする。

(注)上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

7. 設置許可基準規則への適合性(第8条)

火災による損傷の防止(第八条第1項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、金属製とし、発火源となる恐れのない設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、金属製とし、発火源となる恐れのない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、火災の発生を防止することができるよう、主要構造及び外表面を金属製の不燃性材料で構成し、発火源となる恐れのない設計とする。

なお、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置については、型式証明申請の範囲外とする。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- なし

7. 設置許可基準規則への適合性(第8条)

● 実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準の要求事項(1/2)

実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準の2.1 火災発生防止の要求事項に対するMSF-24P型の設計方針を下表に示す。

実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準			設計方針
要求項目		主たる要件	
項目	記載事項		
2.1.1(1)	火災の発生防止対策	発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域は、火災の発生防止対策を講じること。	MSF-24P型は、金属製の不燃性材料を使用し、火災が発生するおそれがない設計とする。 貯蔵用緩衝体については、緩衝材に木材を使用する可能性があるが、貯蔵用緩衝体の外殻は金属製の不燃性材料とし、且つ木材を封入した貯蔵用緩衝体内は外気から遮断された密閉構造として、火災が発生するおそれがない設計とする。
2.1.1(2)	可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策	可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがある火災区域には、滞留する蒸気又は微粉を屋外の高所に排出する設備を設けるとともに、電気・計装品は防爆型とすること。また、着火源となるような静電気が溜まるおそれのある設備を設置する場合には、静電気を除去する装置を設けること。	MSF-24P型は、可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が発生又は内包する設備ではない。
2.1.1(3)	発火源の対策	火花を発生する設備や高温の設備等発火源となる設備を設置しないこと。	MSF-24P型は、発火源となる設備ではない。
2.1.1(4)	水素の漏えい対策	火災区域内で水素が漏えいしても、水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように、水素を排気できる換気設備を設置すること。また、水素が漏えいするおそれのある場所には、その漏えいを検出して中央制御室にその警報を発すること。	MSF-24P型は、水素を内包する設備ではない。
2.1.1(5)	放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策	放射線分解等により発生し、蓄積した水素の急速な燃焼によって、原子炉の安全性を損なうおそれがある場合には、水素の蓄積を防止する措置を講じること。	MSF-24P型は、水素を発生する設備ではない。
2.1.1(6)	過電流による過熱防止対策	電気系統は、地絡、短絡等に起因する過電流による過熱防止のため、保護継電器と遮断器の組合せ等により故障回路の早期遮断を行い、過熱、焼損の防止する設計であること。	MSF-24P型は、電気系統をもつ設備ではない。

7. 設置許可基準規則への適合性(第8条)

● 実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準の要求事項(2/2)

実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準			設計方針
要求項目		主たる要件	
項目	記載事項		
2.1.2(1)	主要な構造材に対する不燃性材料の使用	機器、配管、ダクト、トレイ、電線管、盤の筐体、及びこれらの支持構造物のうち、主要な構造材は不燃性材料を使用すること。	MSF-24P型の主要な構造材は、ステンレス鋼や炭素鋼等の金属製の不燃性材料を使用する設計とする。
2.1.2(2)	変圧器及び遮断器に対する絶縁油等の内包	建屋内の変圧器及び遮断器は、絶縁油等の可燃性物質を内包していないものを使用すること。	MSF-24P型は、変圧器及び遮断器を持つ設備ではない。
2.1.2(3)	難燃ケーブルの使用	ケーブルは難燃ケーブルを使用すること。	MSF-24P型は、電気系統を持たず、ケーブルを使用する設備ではない。
2.1.2(4)	換気設備のフィルタに対する不燃性材料及び難燃性材料の使用	換気設備のフィルタは、不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。	MSF-24P型は、換気設備を持たず、フィルタを使用する設備ではない。
2.1.2(5)	保温材に対する不燃性材料の使用	保温材は金属、ロックウール又はグラスウール等、不燃性のものを使用すること。	MSF-24P型は、保温材を使用する設備ではない。
2.1.2(6)	建屋内装材に対する不燃性材料の使用	建屋内装材は、不燃性材料を使用すること。	(型式証明申請の範囲外)
2.1.3(1)	避雷設備の設置	落雷による火災の発生防止対策として、建屋等に避雷設備を設置すること。	(型式証明申請の範囲外)
2.1.3(2)	機器の設置	十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに、自らが破壊又は倒壊することによる火災の発生を防止すること。	(型式証明申請の範囲外)

8. 設置許可基準規則への適合性(第12条)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

設置許可基準規則			設計方針
要求項目		要件	
条・項	事項		
第1項	安全機能の確保	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。	MSF-24P型は、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安全重要度をPS-2に分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。
第3項	環境条件	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。	MSF-24P型の設計条件を設定するに当たっては、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、設計貯蔵期間中の温度、放射線等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。
第4項	試験・検査	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。	MSF-24P型の設計条件を設定するに当たっては、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、設計貯蔵期間中に試験又は検査ができる設計とする。

(注)上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

8. 設置許可基準規則への適合性(第12条)

安全施設(第十二条第1項、第3項及び第4項)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P型は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能を確保し、かつ、維持し得る設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P型は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能を確保し、かつ、維持し得る設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- MSF-24P型は、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安全重要度をPS-2に分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。
- MSF-24P型の設計条件を設定するに当たっては、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、設計貯蔵期間中の温度、放射線等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。
- MSF-24P型の設計条件を設定するに当たっては、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、設計貯蔵期間中に試験又は検査ができる設計とする。

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- なし

9. 指摘事項(コメント)リスト (1/3)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2020/6/8 審査会合	型式証明の審査範囲を明確にするために、以下事項について説明すること。 (1-1) 輸送容器と輸送荷姿の仕様・構造・評価上の差異 (1-2) 縦置き姿勢で設置する方法における緩衝体の設置有無	全般	・(1-1) 構造及び安全機能上の輸送容器との差異を踏まえ、「輸送荷姿」として申請している貯蔵方式の分類を「蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法」に適正化し、同設置方法の要求事項を満足する設計とする。また、本貯蔵方法の名称は、「蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法(横置き)」とする。 ・(1-2) 各設置方法の概要、及び縦置き姿勢で設置する方法における緩衝体の有無及び緩衝体の位置づけを示す。	2020/8/6審査会合で説明。
1'	2020/8/6 審査会合	兼用キャスクの定義を整理すると共に、型式証明での審査事項及び後段申請での確認事項を明確にすること。	全般	兼用キャスクの定義、及び型式証明の審査対象とする部品又は設備、並びに型式証明の審査事項及び後段申請での確認事項を明確にした。本整理結果を踏まえ、申請範囲として申請している「基礎等に固定する設置方法(縦置き②)の貯蔵架台」については本申請の審査対象設備から除くこととする。	2020/9/29審査会合で説明。
1''	2020/8/6 審査会合	縦置き②による設置方法における基本設計方針を示すとともに、型式証明と後段申請の範囲を明確にすること。	全般	基礎等に固定する設置方法設置方法(縦置き②)の基本設計方針及び耐震評価方針、並びに耐震評価における型式証明での審査事項及び後段申請での確認事項を示す。	2020/9/29審査会合で説明。
1'''	2020/9/29 審査会合	型式証明における申請範囲と審査対象を明確に分けて整理を行うこと。また、今後、後段審査との関係において詳細設計の評価を行うために必要となる条件を具体化すること。	全般	今後回答する。	未 (今後回答予定)
2	2020/6/8 審査会合	型式証明での確認事項と設置(変更)許可段階での確認事項の整理表を作成すること。	全般	・型式証明での確認事項(説明事項)と設置(変更)許可申請における確認事項の整理表を示す。	2020/8/6審査会合で説明。

9. 指摘事項(コメント)リスト (2/3)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
3	2020/6/8 審査会合	17×17燃料と15×15燃料の同一キャスクへの混載について説明すること。また、A型とB型の混載について整理して説明すること。	16条	17×17燃料と15×15燃料は同一キャスクに混載しない。また、A型とB型については同一キャスクに混載する。安全評価では、17×17燃料及び15×15燃料でそれぞれ厳しい条件となる燃料(48,000MWd/t型(A型))を代表燃料として設定しており、安全評価は、A型とB型を混載することを包絡した評価条件としている。	2021/1/14審査会合で説明。
4	2020/6/8 審査会合	緩衝体について、材料としていたる木材の長期健全性を、使用期間中の検査の考え方も含めて説明すること。	16条	MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法とする基本設計方針である。貯蔵用緩衝体の緩衝材に木材を用いる場合の長期健全性については、経年変化要因に対する緩衝性能への影響を評価した結果、腐食及び放射線照射による緩衝性能への影響はないが、熱による影響として、高温状態での長時間保持による強度低下の可能性のあることから、緩衝体のエネルギー吸収を考慮する場合においては、熱による木材の強度低下を考慮する。	本審査会合で説明。
5	2020/11/19 審査会合	臨界評価における評価条件について、特定兼用キャスクへの燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出までの一連の手順を踏まえた上で、最も厳しい条件をどのような考え方で設定したのか説明すること。	16条	MSF-24P型への燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出までの一連の作業フローを整理するとともに、各様態におけるMSF-24P型内部及び外部の条件について感度解析を実施し、設計方針の妥当性確認として実施した安全評価の条件が最も厳しいことを確認した。	2021/1/14審査会合で説明。
6	2020/11/19 審査会合	基準漏えい率、リークテスト判定基準及び金属ガasketの漏えい率の関係を整理し、閉じ込め機能の成立性について説明すること。	16条	閉じ込め機能の基本設計方針の妥当性確認として、使用する金属ガasketの性能(設計漏えい率)により閉じ込め機能の成立性を示すこととする。また、基準漏えい率については、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とし、事業者殿において、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値(リークテスト判定基準)が基準漏えい率を下回るように設定頂くものとする。	2021/1/14審査会合で説明。

9. 指摘事項(コメント)リスト (3/3)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
6'	2021/1/14 審査会合	リークテスト判定基準について、事業者の運用上の目安であるとのことであるが、それ以外の運用上の管理値も含めて、どのような形で、電気事業者が行う特定兼用キャスクの使用に係る設置(変更)許可申請への引き継ぎ事項として整理すべきか再検討すること。	16条	指摘事項(No.6)への回答として、設計貯蔵期間経過後にMSF-24P型内部が大気圧となる漏えい率として、基準漏えい率を設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とし、電気事業者において、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値(リークテスト判定基準)が基準漏えい率を下回るように設定頂くものとしていた。しかしながら、電気事業者の設置(変更)許可申請書では、基準漏えい率を適用した具体的な記載がないことを踏まえ、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とせず、参考値として示すこととする。	本審査会合で説明。
7	2020/11/19 審査会合	型式証明における評価において、後段規制の型式指定、設置変更許可等に引き継ぐべき施設設計の条件について説明すること。	16条	型式証明における評価のうち、設置(変更)許可申請において確認する事項を資料1-7に整理した。なお、型式指定では、型式証明申請で示した全ての施設設計条件について、同一又はその範囲内にあることを確認する。	2021/1/14審査会合で説明。
8	2021/1/14 審査会合	MCNP5コードを遮蔽解析に使用することの妥当性について、許認可審査における使用実績や根拠としている文献の妥当性等も含め、系統立てて再度説明すること。	16条	MCNP5コードをMSF-24P型の遮蔽解析に適用することの妥当性について再整理した。①から③の観点で適用性に問題ないことを確認しており、本型式証明での適用は妥当であると判断している。 ①MSF-24P型について許認可実績が豊富なDOT3.5コード結果(既認可値)との比較により同様の結果が得られていること ②核燃料物質の輸送容器体系や使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽解析に対して本コードの国内許認可実績を有すること ③使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク試験による妥当性検証がなされていること	本審査会合で説明。

10. 指摘事項への回答

指摘事項(No.4)

緩衝体について、材料としている木材の長期健全性を、使用期間中の検査の考え方も含めて説明すること。

(回答)

MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法とする基本設計方針である。貯蔵用緩衝体の緩衝材に木材を用いる場合の長期健全性については、以下の経年変化要因に対する緩衝性能への影響を評価している。

- 高分子材料の一つである緩衝材(木材)の劣化因子を下図に示す。
- 緩衝材は、カバープレートに覆われた設計としており、大気から遮断した環境にあることから、光、電気的作用、大気汚染物の影響はなく、水分については、木材が含有する水分以外が侵入することはない。また、薬品の使用及び機械的作用による影響もない。したがって、腐食(微生物)、熱及び放射線照射が主な経年変化要因となる。
- 緩衝体は、兼用キャスクの落下や飛来物等のエネルギーを緩衝材の圧縮変形により吸収し、兼用キャスクに生じる荷重を緩和する機能を有することから、上記経年変化要因による、緩衝材の緩衝性能(圧縮強度)への影響について評価する。



：緩衝材が考慮すべき劣化因子

高分子材料の経年劣化因子

(出典)大澤善次郎, 成澤郁夫監修, 「高分子の寿命予測と長寿命化技術」, エス・ティー・エス, (2002).

緩衝材(木材)の経年変化要因に対する健全性評価の観点

要因	主な評価の観点
腐食	緩衝材の使用環境を踏まえ、微生物による腐食の有無を確認し、腐食による緩衝性能(圧縮強度)への影響について評価する。
温度(熱)	緩衝材の使用温度を踏まえ、緩衝材の熱による緩衝性能(圧縮強度)への影響について評価する。
放射線照射	緩衝材の放射線照射量を踏まえ、照射による緩衝性能(圧縮強度)への影響について評価する。

10. 指摘事項への回答

● 緩衝材(木材の場合)の健全性評価

緩衝材(木材)の緩衝性能に与える腐食、熱及び放射線照射による影響に対する評価結果を下表に示す。

下表のとおり、腐食及び放射線照射による緩衝性能への影響はないが、熱による影響として、高温状態での長時間保持による強度低下が挙げられる。したがって、兼用キャスクの構造健全性評価において、緩衝体のエネルギー吸収を考慮する場合は、熱による木材の強度低下を考慮する。熱による木材の強度低下の考慮方法の一例をP.44に示す。

要因	経年変化に係るデータ	設計条件	評価
腐食	<ul style="list-style-type: none"> 微生物による腐食要因として、木材腐朽菌の付着により木材細胞壁を分解する腐朽がある。腐朽は、水分(木材の含水率が繊維飽和点である約28%以上)、酸素、温度(5°C~40°C)の3条件が揃うことで生じる⁽¹⁾。 	緩衝材含水率 <input type="text"/> 使用環境 :閉鎖環境(空気)	緩衝材の含水率は <input type="text"/> であり、また、木材充填空間はカバープレートに覆われた閉鎖環境であり、腐朽による緩衝性能への影響はない。
熱	<ul style="list-style-type: none"> 木材の熱劣化の要因は、熱分解であり、木材の熱分解は、200°C以上で生じる⁽²⁾。 木材を空気環境で様々な温度及び保持時間で熱曝露した木材の強度試験データ基に、温度及び保持時間をパラメータとした残存強度の予測式が構築されている⁽³⁾。本予測式により、貯蔵中の熱劣化による木材の残存強度に対応する、貯蔵期間及び温度の組合せの推定が可能である。 木材は-20°Cでも割れ等の強度劣化はない⁽⁴⁾。 	使用環境温度 :-20~120°C 使用平均温度 :-20~75°C 使用環境 :閉鎖環境(空気)	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝材最高温度は200°C以下であり、かつ、木材充填空間はカバープレートに覆われた閉鎖環境であるため、熱分解はない。 木材とカバープレート間に設置する断熱材により、製作時のカバープレート溶接の影響はない。 緩衝材の温度は、熱分解が明確に生じる温度(200°C以上)よりも低い温度であるため、明確な熱劣化は生じないが、長期間の保持により、熱劣化が生じる可能性を否定できないことから、構造健全性評価(緩衝体のエネルギー吸収を考慮する場合)においては、熱劣化による木材の強度低下を考慮する。
照射	<ul style="list-style-type: none"> ガンマ線照射量が10^5Gyまでは、圧縮特性に顕著な変化は認められない⁽⁵⁾。また、木材は、木材を構成するセルロースに比べ放射線に対する耐性が高い⁽⁵⁾。 木材に比べ放射線による劣化に対する耐性が低いセルロースについて、中性子による影響は、$1n/cm^2=10^{-11}Gy$の関係でガンマ線による影響から換算できる⁽⁶⁾。上記より、圧縮特性に顕著な変化が認められない中性子照射量は、$1 \times 10^{16}n/cm^2$となる。 	中性子照射量 : $10^{13}n/cm^2$ 以下 ガンマ線照射量 :39Gy以下	中性子照射量及びガンマ線照射量は、緩衝材の圧縮特性に変化が認められる値以下であり、緩衝性能への影響はない。

(出典)

(1)(公社)土木学会 鋼構造工学委員会 木橋技術小委員会, 木材技術の手引き2005, (2005). (2)岡野健, 祖父江信夫編, 「木材科学ハンドブック」, 朝倉書店, (2006).

(3)M.A. Millett, C.C. Gerhards, "Accelerated Aging: Residual Weight and Flexural Properties of Wood Heated in Air at 115°C to 175°C", Wood Science Vol.4(4), (1972). (4)(一社)日本原子力学会, 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準:2013 (AESJ-SC-F006:2013)」, (2013). (5)T. Aoki, M. Norimoto, T. Yamada, "Some Physical Properties of Wood and Cellulose Irradiated with Gamma Rays", Wood Research No.62, (1977). (6)O.Teszler, et al., "The effect of Nuclear Radiation on Fibrous Materials PART III: Relative Order of Stability of Cellulosic Fibers", Textile Research Journal 28, (1958).

10. 指摘事項への回答

● 緩衝材(木材の場合)の温度による圧縮強度への影響について

- 空気環境で様々な温度及び保持時間で熱曝露した木材の強度試験データ⁽¹⁾を基に、温度及び保持時間をパラメータとした熱劣化なしの強度に対する残存強度比の予測式(アレニウスモデル)が構築されている⁽¹⁾。本予測式により、貯蔵中の熱劣化による木材の残存強度比に対する、貯蔵期間及び温度の組合せの推定が可能である。
- 上記の関係式より、MSF-24P型の貯蔵初期の緩衝材温度を設計貯蔵期間中一定とした条件で、設計貯蔵期間経過後の残存強度を算定した例を下表に示す。

貯蔵場所	崩壊熱量の設定例 ^(注1)	緩衝材温度の例 ^(注2)	設計貯蔵期間経過後の残存強度比 ^(注3)	備考
屋外	7.9kW	75°C	0.6	残存強度比が0.6となるための貯蔵期間は、63.1年である。
貯蔵建屋内	8.8kW	65°C	0.8	残存強度比が0.8となるための貯蔵期間は、62.4年である。

(注1) MSF-24P型の制限崩壊熱量は15.8kWであり、その範囲内で崩壊熱量を制限して使用する。崩壊熱量を制限して使用する場合、電気事業者は、その崩壊熱量以下となるように使用済燃料を収納することとなる。

(注2) 「崩壊熱量の設定例」欄の崩壊熱量を用いた除熱解析により算定した、貯蔵初期の平均温度である。緩衝材温度は、保守的に貯蔵期間一定とする。

(注3) 木材の残存強度比は、緩衝材温度及び熱曝露期間を基に、文献(1)の残存強度の予測式(下式)により算出される。熱曝露期間が設計貯蔵期間である60年以上となるように残存強度比を決定した。

$$\log t = -13.755 + 6125/T \quad (\text{残存強度比}0.8\text{の場合})$$

$$\log t = -13.451 + 6202/T \quad (\text{残存強度比}0.6\text{の場合})$$

ここで、t: 貯蔵期間(熱曝露期間)(日)、緩衝材温度(K)である。

(出典) (1) 前ページの出典(3)と同じ。

● 緩衝材(木材の場合)の温度による圧縮強度への影響について

- MSF-24P型が落下する場合等、緩衝体がエネルギー吸収する場合において、緩衝材の残存強度が低下すると、同じエネルギー量を吸収するために必要な緩衝材の変形量が大きくなる。吸収すべきエネルギー量が大きい場合、変形量が過大となり、エネルギーを吸収しきれずに金属衝突が生じ衝撃力の増大に繋がる恐れがある。
- したがって、構造健全性評価において、緩衝体のエネルギー吸収を考慮する場合においては、上述した熱による木材の強度低下を考慮する。

10. 指摘事項への回答

指摘事項(No.6')

リークテスト判定基準について、事業者の運用上の目安であるとのことであるが、それ以外の運用上の管理値も含めて、どのような形で、電気事業者が行う特定兼用キャスクの使用に係る設置(変更)許可申請への引き継ぎ事項として整理すべきか再検討すること。

(回答)

指摘事項(No.6)への回答として、設計貯蔵期間経過後にMSF-24P型内部が大気圧となる漏えい率として、基準漏えい率を設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とし、電気事業者において、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値(リークテスト判定基準)が基準漏えい率を下回るように設定頂くものとしていた。しかしながら、電気事業者の設置(変更)許可申請書では、下表のとおり基準漏えい率を適用した具体的な記載がないことを踏まえ、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項としない。

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に係る設置(変更)許可申請書記載事項例(注)

分類	主な該当章	記載事項(閉じ込め機能関連の主な抜粋)
本文	五 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備 二 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備 (2)核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力 a. 構造	使用済燃料乾式貯蔵容器は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とするとともに、(略)。
添付書類八	1.12 原子炉設置変更許可申請に係る安全設計の方針 1.12.12 発電用原子炉設置変更許可申請(平成30年5月25日申請)に係る安全設計の方針 1.12.12.1 「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(平成25年6月19日制定平成31年4月2日一部改正)に対する適合	第十六条 4 について 三 使用済燃料乾式貯蔵容器は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とする。
	4. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 4.1 燃料取扱及び貯蔵設備 4.1.1 通常運転時等 4.1.1.2 設計方針	(9)使用済燃料乾式貯蔵容器は、(中略)、閉じ込め機能を周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により適切に監視することができる設計とする。また、使用済燃料を乾式貯蔵容器蓋間圧力を適切な頻度で監視する設計とする。 (14)使用済燃料乾式貯蔵施設 使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、二重の蓋及び金属ガスケットにより漏えいを防止し、設計貯蔵期間中の貯蔵容器内部圧力を負圧に維持できる構造とする。(中略) 使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋間圧力は、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視し、(略)。

(注) (出典)四国電力株式会社、「伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号原子炉施設の変更)の一部補正」、(2020)。

10. 指摘事項への回答

指摘事項 (No.8)

MCNP5 コードを遮蔽解析に使用することの妥当性について、許認可審査における使用実績や根拠としている文献の妥当性等も含め、系統立てて再度説明すること。

(回答)

MCNP5コードをMSF-24P型の遮蔽解析に適用することの妥当性について、下表のとおり再整理した。①から③の観点で適用性に問題ないことを確認しており、本型式証明での適用は妥当と判断している。

- ①MSF-24P型について許認可実績が豊富なDOT3.5コード結果(既認可値)との比較により同様の結果が得られていること
- ②核燃料物質の輸送容器体系や使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽解析に対して本コードの国内許認可実績を有すること
- ③使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク試験による妥当性検証がなされていること

適用妥当性の観点	適用妥当性確認内容	備考(詳細説明)
①既許認可値との比較 (DOT3.5コードによる解析値との比較)	<ul style="list-style-type: none"> ・同じMSF-24P型で、許認可実績の豊富な二次元SN輸送計算コードDOT3.5を使用して評価した設計承認申請書の解析値^(注1)と、今回のMCNP5コードの解析値を比較した。 ・許認可実績を有する解析コードの評価値と比較して、コードの特性による差異の他は概ね同様の結果が得られるため、使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽評価へのMCNP5コードの適用性は問題ない。 	資料1-11のP.27参照 資料1-11の別紙5参照
②MCNP5コードの国内許認可実績	<ul style="list-style-type: none"> ・MCNP5コードによる核燃料物質の輸送容器体系の許認可実績として、S300型輸送容器の設計承認申請^(注2)がある。 ・MCNP5コードによる使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽評価は、上記設計承認実績例と線源条件及び遮蔽体構造が同等であり、新規性はない。 ・MCNPコードは使用済燃料乾式貯蔵建屋の許認可での使用実績*もあり、MCNPコードは広く遮蔽解析に使用できる汎用計算コードである。 *: 既認可ではMCNP4Cを使用しているが、主な差異はプログラム言語であり物理・数学モデルは同じ 	資料1-11のP.27-28参照
③MCNP5コードの妥当性検証	<ul style="list-style-type: none"> ・MCNP5コードによる使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク解析結果が測定値と同様の傾向であることが、日本原子力学会に設立された研究機関、規制当局及びメーカー等により構成された委員会において内容及び適用範囲等について議論され取り纏められた文献^(注3)に示されている。 	資料1-11のP.28-29参照

(注1) (出典) 四国電力株式会社、「核燃料輸送物設計承認申請書」、原燃発第18-78号、(2018)。

(注2) (出典) 国立大学法人東京工業大学、「核燃料輸送物設計承認申請書」、東工大研 第4-3号、(2016)。

(注3) (出典) 一般社団法人日本原子力学会、「モンテカルロ法による放射性物質輸送容器の遮蔽安全評価手法の高度化 平成23年度報告書」、(2013)。

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社