

資料1-1

Doc. No. L5-95JY264 R1

発電用原子炉施設に係る特定機器の 設計の型式証明変更申請

変更申請の概要・設置許可基準規則への 適合性について

2022.3.17

三菱重工業株式会社

1. 変更申請の概要	…2
2. 変更申請の設置許可基準規則への適合性説明概要	…9
3. 設置許可基準規則への適合性(第4条)	…12
4. 設置許可基準規則への適合性(第5条)	…17
5. 設置許可基準規則への適合性(第6条)	…23
6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)	…29

1. 変更申請の概要

● 変更申請の概要(1/7)

- 特定機器の名称及び型式： MSF-24P(S)型
- 変更^(注1)の内容： 設置方法(基礎等に固定する設置方法：たて置き^(注2))の追加
- 変更の理由： 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲を拡大するため

(注1) 令和3年10月27日付原規規発第2110274号をもって型式証明を受けた発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明からの変更

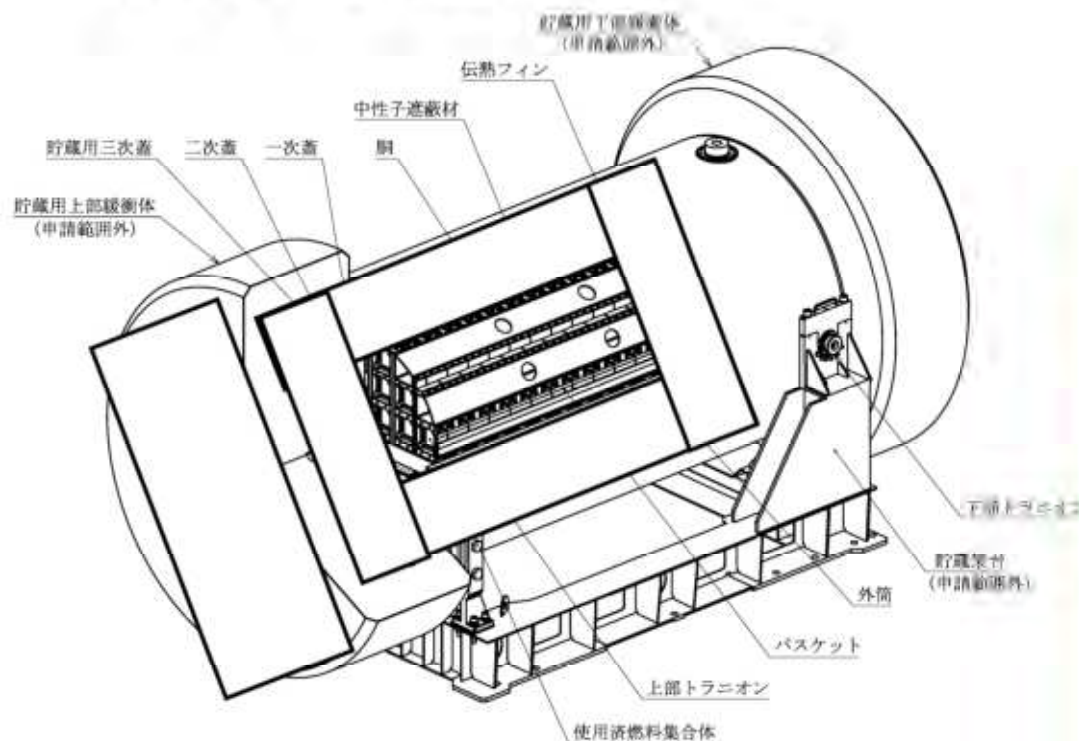
(注2) 下部トラニオンを用いて貯蔵架台に固定し、地震時に転倒させない方法。以下「たて置き」という。

申請書本文		認可済申請からの主な変更内容
一	氏名、名称、住所、代表者氏名	変更なし
二	特定機器の種類	変更なし
三	特定機器の名称及び型式	変更なし
四	特定機器の構造及び設備	
1.	構造	・「ホ.地震による損傷防止に関する構造」他に、たて置きの設計方針を追加 (P.6参照)
2.	主要な設備及び機器の種類	・たて置き時の全質量を追加
3.	貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力	変更なし
五	当該特定機器を使用することができる範囲又は条件	
1.	発電用原子炉施設の範囲	・たて置き時の使用範囲を追加 (P.7参照)
2.	発電用原子炉施設の条件	・たて置き時の設置(変更)許可申請時の別途確認事項を追加 (P.8参照)

1. 変更申請の概要

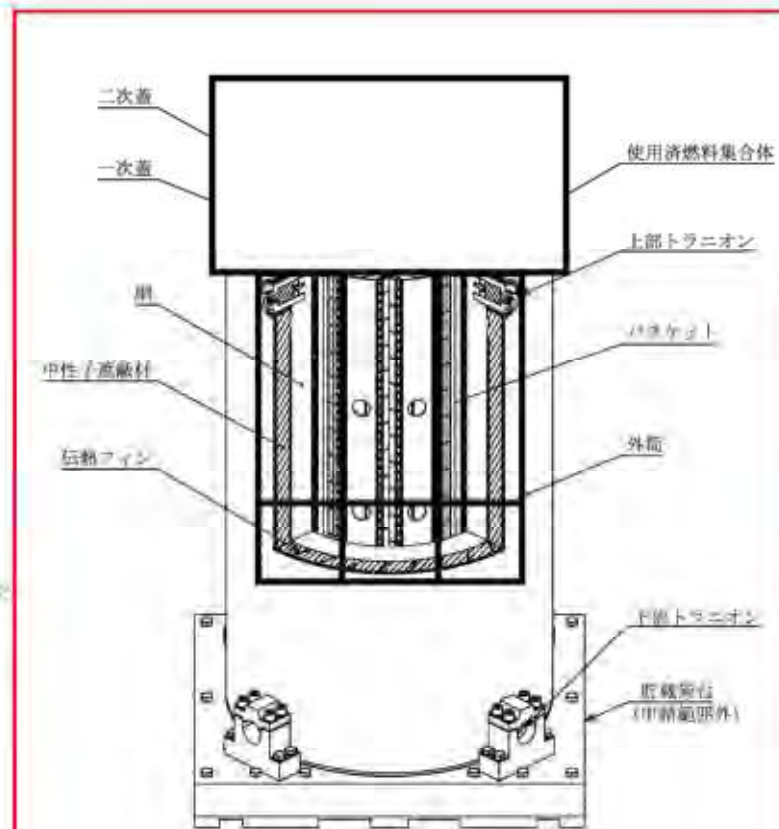
● 変更申請の概要(2/7)

<MSF-24P(S)型の構造>



蓋部が金属部へ衝突しない設置方法(横置き)

【認可済みの設置方法】



基礎等に固定する設置方法(たて置き)

【今回追加する設置方法】

「伊方発電所3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置工事に係る設計及び工事計画認可申請(以下「伊方設工認申請」という。)&及び「玄海原子力発電所3号炉及び4号炉 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(以下「玄海設置(変更)許可申請」という。)」において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)と構造及び設置方式は同じである。

1. 変更申請の概要

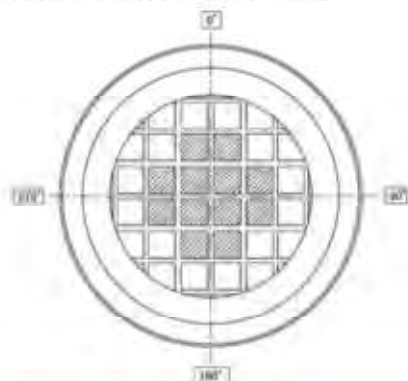
変更申請の概要(3/7)



収納条件(17×17燃料)は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)と同じである。

<MSF-24P(S)型の収納物の収納条件(17×17燃料)【横置き/たて置き共通】>

燃料集合体の種類と型式		中央部				外周部				
		17×17燃料								
		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	
種類		PWR使用済燃料								
燃料集合体	1体	初期濃縮度(wt%以下)	4.2		3.7		4.2		3.7	
		最高燃焼度(MWd/t以下)	48,000		39,000		44,000		39,000	
		冷却期間(年以上)	15	17	15	17	15	17	15	17
	キャスク基あたり	平均燃焼度(MWd/t以下)	44,000							
		崩壊熱量(kW以下)								
バーナブルホイストン集合体 1体	照射期間(日以下)									
	冷却期間(年以上)	15				—				

(注) 本表に示す17×17燃料とP.5に示す15×15燃料はMSF-24P(S)型に混載しないが、48,000MWd/t型と39,000MWd/t型、及びA型とB型は区別なく混載可能である。MSF-24P(S)型への配置上の制約は下のとおり。



-  : 中央部(12体) 燃焼度が48,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置
-  : 外周部(12体) 燃焼度が44,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置

1. 変更申請の概要

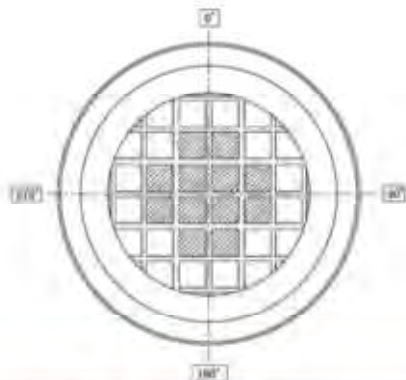
● 変更申請の概要(4/7)



伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)には、15×15燃料を収納しない。

<MSF-24P(S)型の収納物の収納条件(15×15燃料)【横置き/たて置き共通】>

燃料集合体の種類と型式		中央部				外周部				
		15×15燃料								
		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	
種類		PWR使用済燃料								
燃料集合体	1体	初期濃縮度(wt%以下)	4.1		3.5		4.1		3.5	
		最高燃焼度(MWd/t以下)	48,000		39,000		44,000		39,000	
		冷却期間(年以上)	15	17	15	17	15	17	15	17
	キャスク基あたり	平均燃焼度(MWd/t以下)	44,000							
		崩壊熱量(kW以下)								
バーナブルホイストン集合体 1体	照射期間(日以下)									
	冷却期間(年以上)	15				—				

(注) 本表に示す15×15燃料とP.4に示す17×17燃料はMSF-24P(S)型に混載しないが、48,000MWd/t型と39,000MWd/t型、及びA型とB型は区別なく混載可能である。MSF-24P(S)型への配置上の制約は下のとおり。



-  : 中央部(12体) 燃焼度が48,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置
-  : 外周部(12体) 燃焼度が44,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置

1. 変更申請の概要

● 変更申請の概要(5/7)

＜地震による損傷の防止(設置許可基準規則第四条第6項)に対する、たて置き時の設計方針＞

- 告示地震力に対し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。
- 告示地震力に対し、基礎等に固定する支持部(下部トラニオン)の構造健全性を維持して、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。

項目		認可済の設置方法 (横置き時 (蓋部が金属部へ衝突しない設置方法))	今回追加する設置方法 (たて置き時 (基礎等に固定する設置方法))
設置方法		特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、告示地震力による特定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、蓋部が金属部へ衝突しない方法で設置する設計とする。	地盤の十分な支持を想定して特定兼用キャスクを基礎等に固定し、かつ、その安全機能を損なわない、基礎等に固定する方法で設置する設計とする。
地震力に対する安全機能維持	安全機能を担保する部位	貯蔵時に想定される荷重と告示地震力を組み合わせた荷重条件に対して、以下のとおりとし、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 閉じ込め機能を担保する部位: おおむね弾性状態 ➢ 臨界防止機能を担保するバスケットプレート: 弾性状態 ➢ その他の部位: 塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有する 	左に同じ
	支持部(下部トラニオン)		特定兼用キャスクの基礎等に固定する下部トラニオンは、破断延性限界に十分な余裕を有することで、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。

たて置き時の地震による損傷防止に係る設計方針は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)と同様である。

1. 変更申請の概要

● 変更申請の概要(6/7)

<申請書本文 五.1. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲>

➢ たて置き時の使用範囲は、横置き時に対して下表朱書で示す一部項目のみ異なる。

項目	認可済の設置方法 : 横置き時 (蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)	今回追加する設置方法 : たて置き時 (基礎等に固定する設置方法)
特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下	左に同じ
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内又は屋外	貯蔵建屋内
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き	たて置き
特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置	左に同じ
特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定	左に同じ
特定兼用キャスクの線量当量率	表面: 2mSv/h以下 表面から1m位置: 100 μSv/h以下	左に同じ
貯蔵状態における特定兼用キャスク 周囲温度	最低温度: -20°C 最高温度: 45°C (貯蔵建屋内貯蔵) : 38°C (屋外貯蔵)	最低温度: -20°C 最高温度: 50°C
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度	最高温度: 65°C	左に同じ
地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal 又は速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s	左に同じ
津波荷重の算出条件	浸水深: 10m、流速: 20m/s、漂流物質量: 100t	左に同じ
竜巻荷重の算出条件	風速: 100m/s、設計飛来物: 申請書本文第1表	左に同じ(注1)

・たて置き時における使用範囲は、周囲温度(最低)を除き、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)と同じである。

・本型式証明申請では、上記認可済のMSF-24P型に対して最低温度を広く設定している。

・地震、津波及び竜巻に係る使用範囲は型式証明独自の条件を設定している。

(注1)設計飛来物は横置き時と同じである。

1. 変更申請の概要

● 変更申請の概要(7/7)

<申請書本文 五.2. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件>

➢ たて置き時の使用条件は、横置き時に対して下表朱書で示す一部項目のみ異なる。

項目	認可済の設置方法（横置き時 （蓋部が金属部へ衝突しない設置方法）	今回追加する設置方法（たて置き時 （基礎等に固定する設置方法）
共通事項	供用状態Dの事象に対して、貯蔵用緩衝体は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するために必要な緩衝性能を有すること。	MSF-24P(S)型の設置場所の地盤はMSF-24P(S)型を十分に支持することができる地盤であること。
使用済燃料収納時の措置	臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。	左に同じ
遮蔽	貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。	左に同じ
除熱	貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。	左に同じ
	特定兼用キャスク周囲温度が、前頁に示した最高温度以下であること。また、貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋壁面温度が、前頁に示した最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。	左に同じ
閉じ込め	万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。	左に同じ
波及的影響	地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響により、MSF-24P(S)型の安全機能が損なわれないこと。	左に同じ
竜巻	設計竜巻によりMSF-24P(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件が、申請書本文第1表に示す設計飛来物の条件に包絡されていること。	左に同じ
その他	設計及び工事の計画の認可の申請までに輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。	左に同じ

・これら項目は型式証明の申請範囲外である。
・伊方設工認申請及び玄海設置（変更）許可申請では、これら項目に対して設計方針を示している。

2. 変更申請の設置許可基準規則への適合性説明概要

● 設置許可基準規則への適合性説明事項まとめ(1/3)

- 適合性説明範囲に変更はない。
- たて置きへの追加に伴い、第四条の設計方針を一部追加する(その他の設計方針は同じ)。
- たて置きにおける設計方針の妥当性確認として、たて置き時の安全評価結果を説明する。
- たて置き時の安全評価では、解析コードを含め横置きと同じ手法を適用するため、技術的な論点はない。

設置許可基準規則		たて置き時の設計方針	特定兼用キャスクの安全機能				構造強度	長期健全性
			臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め		
第四条	地震による損傷の防止	一部追加	—	—	—	—	◎	—
第五条	津波による損傷の防止	横置き時と同じ	—	—	—	—	◎	—
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)	横置き時と同じ	—	—	—	—	◎	—
第七条～十五条								
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	横置き時と同じ	◎	◎	◎	◎	—	◎
第十七条～三十六条								

(注)◎:審査説明事項、□:申請の範囲外

項目	たて置き時における安全評価説明事項	評価手法	備考
構造強度	地震	横置き時(認可済)と同じ手法を適用	たて置き時に転倒しないことの確認 たて置き時における安全機能維持の確認
	津波		たて置き時の津波荷重は横置き時に包絡される
	竜巻		たて置き時の竜巻荷重は横置き時に包絡される
臨界防止	(横置き時と評価結果は同じ)		臨界防止解析モデルは横置き時においても貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体を無視
遮蔽	➤ たて置き時の遮蔽評価結果		たて置き時は、貯蔵用三次蓋、貯蔵用緩衝体を装着しない
除熱	➤ たて置き時の除熱評価結果		
閉じ込め	➤ たて置き時の閉じ込め評価結果		たて置き時の特定兼用キャスクの温度を反映
長期健全性	➤ たて置き時の長期健全性評価結果	たて置き時の特定兼用キャスクの温度及び照射量を反映	

2. 変更申請の設置許可基準規則への適合性説明概要

● 設置許可基準規則への適合性説明事項まとめ(2/3)

＜認可済乾式貯蔵施設での適合性説明事項との比較＞

(1) 設計方針

- 地震に係る設計方針は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請に対し、地震力が異なるが、設計方針は同じである。
- 伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請の津波及び竜巻に係る設計方針は、サイト固有の設計方針であり異なる。
- 臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込め及び長期健全性に係る設計方針は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請において認可済の乾式キャスク(MSF-24P型)と同じである。

項目		型式証明でのたて置き時における設計方針(摘要)	伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請での設計方針
構造強度	地震	自重その他の貯蔵時に想定される荷重と告示地震力を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計 ^(注1)	左記と同様 (地震力は、基準地震動を適用)
	津波	告示津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、安全機能が維持される設計 ^(注1)	(基準津波による遡上波が到達しない場所に貯蔵施設を設置)
	竜巻	告示竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、安全機能が維持される設計 ^(注1)	(貯蔵建屋により防護)
臨界防止	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に冠水状態になること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計	左記と同じ	
遮蔽	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	左記と同じ	
除熱	・動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外面に伝え、周囲空気等に伝達し除熱する設計 ・特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計	左記と同じ	
閉じ込め	・蓋シール部に金属ガスケットを用いることにより、使用済燃料を内封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、一次蓋及び二次蓋の二重の閉じ込め構造とし、蓋間を正圧に維持することにより、圧力障壁を形成し、使用済燃料を内封する空間を外部から隔離する設計 ・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設計	左記と同じ	
長期健全性	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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計	左記と同じ	

(注1) 閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有することで安全機能を維持する。

2. 変更申請の設置許可基準規則への適合性説明概要

● 設置許可基準規則への適合性説明事項まとめ(3/3)

＜認可済乾式貯蔵施設での適合性説明事項との比較＞

(2) 設計方針の妥当性説明事項(安全評価)

- 地震、臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込め及び長期健全性に係る安全評価は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請における安全評価方法及び解析コードは同じである。
- 但し、遮蔽(線量当量率評価)に適用している解析コードMCNP5は、伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請では適用しておらず、本申請において適用妥当性を示している。

項目	型式証明		伊方設工認申請及び玄海設置(変更)許可申請	
	たて書き時における安全評価説明事項(摘要)	評価方法・解析コード		
構造強度	地震	地震力に対する構造健全性評価により下部トラニオン及び安全機能を担保する構成部位の構造健全性が維持されることから、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。	応力計算式	左記と同じ
	津波	津波荷重に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。		— (遡上波が到達しない)
	竜巻	竜巻荷重に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。		— (貯蔵建屋により防護)
臨界防止	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。	SCALE6.2.1 (KENO-VI)	左記と同じ	
遮蔽	使用済燃料を線源とした遮蔽評価により、通常貯蔵時の特定兼用キャスク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100μSv/h以下となることから適切な遮蔽能力を有している。	・線源強度:ORIGEN2 ・線量当量率: DOT3.5及びMCNP5 ^(注1)	MCNP5コードの適用を除き、 左記と同じ	
除熱	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特定兼用キャスク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。	・崩壊熱量:ORIGEN2 ・温度:ABAQUS	左記と同じ	
閉じ込め	設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部を負圧に維持できる金属ガスケットを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。	閉じ込め評価式	左記と同じ	
長期健全性	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。	文献・試験データによる 確認	左記と同じ	

(注1) MCNP5コードは、①MSF-24P型設計承認申請における既認可値(DOT3.5コード)との比較、②MCNPコードの輸送容器としての認可実績、及び③使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク試験結果との比較により、適用妥当性を検証(P.39参照)。また、特定兼用キャスク表面及び表面から1m離れた位置の線量当量率(最大)はDOT3.5コードの結果に比べ小さい(P.41参照)。

3. 設置許可基準規則への適合性(第4条)

本頁以降、たて置き時の適合性を示す。
横置き時からの差異を で示す。

● 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、揺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に留まる範囲で耐えること。</p> <p>三 (略)</p>	<p>MSF-24P(S)型は、地盤の十分な支持を想定して特定兼用キャスクを基礎等に固定し、かつ、その安全機能を損なわない、基礎等に固定する方法で設置する設計とする。</p> <p>また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と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を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの基礎等に固定する支持部(下部トラニオン)は、破断延性限界に十分な余裕を有することで、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。</p> <p>さらに、上記の荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</p>	<p>・兼用キャスク告示で定める加速度による地震力に対する構造健全性評価により下部トラニオン及び安全機能を担保する構成部位の構造健全性が維持される。したがって、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない。また、地震力作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。</p>

(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。

3. 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(S)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維持される設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P(S)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維持される設計とするため、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(S)型は、地盤の十分な支持を想定して特定兼用キャスクを基礎等に固定し、かつ、その安全機能を損なわない、基礎等に固定する方法で設置する設計とする。
- MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と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ん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を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの基礎等に固定する支持部(下部トラニオン)は、破断延性限界に十分な余裕を有することで、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。
- MSF-24P(S)型は、上記の荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

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する構造健全性評価により下部トラニオン及び安全機能を担保する構成部位の構造健全性が維持される。したがって、特定兼用キャスクが転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない。また、地震力作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。

● 後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響によりMSF-24P(S)型の安全機能が損なわれないこと。

3. 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(S)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.15～17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特定兼用キャスク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。	(型式証明申請の範囲外)
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。	特定兼用キャスクに作用する地震力に加え、特定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」という。)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プレートの許容限界は、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項地震力による特定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、特定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、密封境界部及びバスケットプレート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」

3. 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(1/2)

(1) 地震力に対する安全評価の概要

特定兼用キャスクを支持する下部トラニオンの構造健全性評価に加え、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケットプレート)、遮蔽・除熱機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持するとともに、除熱機能を担う伝熱フィンが取り付けられる部位)及び除熱機能を担う伝熱フィンを評価対象として機能維持評価を行った。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(圧力荷重・機械的荷重・熱荷重)を組み合わせて実施した。

評価対象	地震力	評価方法
下部トラニオン	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)	地震時に下部トラニオン ^(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)、バスケット(バスケットプレート)、外筒、伝熱フィン		地震時に密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィン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、外筒及び伝熱フィンは破断しないことを確認する。

(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(S)型は、たて置き姿勢で貯蔵され、下部トラニオンにより貯蔵架台に固縛される。

(2) トラニオンの構造健全性評価

- 地震時に下部トラニオンに生じる応力は、応力評価式により算出した。
- 下部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、下部トラニオンの構造健全性は維持される。

地震時の下部トラニオンの構造健全性評価結果(たて置き時)^(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	240	591 (1.5f _t *)
	断面B-B	応力強さ	326	591 (1.5f _t *)
接続部		支圧	256	410 (1.5f _c *)

(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。

3. 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(2/2)

(3) 密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンの機能維持評価

- 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)、バスケット(バスケットプレート)、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は、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、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は評価基準を満足する。また、地震時に一次蓋には横ずれが生じない。したがって、地震時において安全機能は維持される。

地震時の構成部材の応力評価結果(たて置き時)^(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	$\sigma_m + \sigma_b$	320	846 (S_y)
バスケットプレート	σ_c	2	56 (S_y)
外筒	引張応力	22	279 ($1.5f_t$)
伝熱フィン	応力強さ	2	183 (S_u)

(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^(注1)

評価項目	計算値(N)	評価基準(N) ^(注2)
一次蓋の慣性力	1.95×10^5	1.50×10^6

(注1)たて置き時に比べ厳しい条件となる横置き時の結果である。

(注2)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

● 設計方針の妥当性

以上のおり、地震時にトラニオンの構造健全性及び特定兼用キャスクの安全機能は維持される。したがって、MSF-24P(S)型の地震に対する設計方針は妥当である。

4. 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(S)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よる荷重が同時に作用する荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。	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の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、津波荷重作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。

(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。

4. 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(S)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維持される設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P(S)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維持される設計とするため、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(S)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よる荷重が同時に作用する荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

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の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、津波荷重作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。

● 後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- なし

4. 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(S)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.20～22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(*)に対して特定兼用キャスク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、特定兼用キャスク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。	津波荷重に対する特定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。	

(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

津波荷重に対する特定兼用キャスクの機能維持評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。
 機能維持評価の評価部位は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケットプレート)、遮蔽・除熱機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持するとともに、除熱機能を担う伝熱フィンが取り付けられる部位)及び除熱機能を担う伝熱フィンとする。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、機能維持評価は、津波荷重に加え、供用中に作用する荷重(圧力荷重・機械的荷重・熱荷重)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。

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)、 バスケット(バスケットプレート)、 外筒、伝熱フィン	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、バスケット、外筒及び伝熱フィン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、外筒及び伝熱フィンは破断しないことを確認する。

(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(S)型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。

4. 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

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。

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

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

- ρ : 海水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- 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)

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。

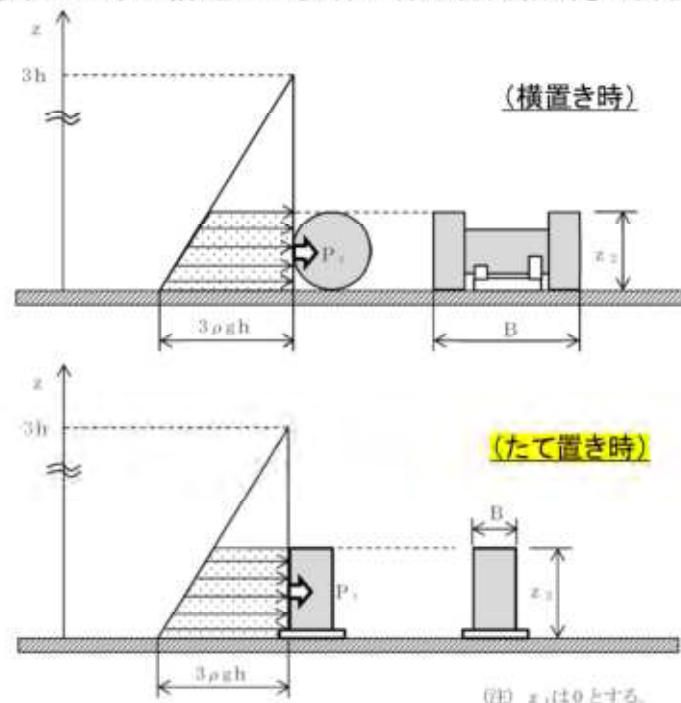
$$P_c = 0.1 W v$$

- W : 漂流物の重量 (N)
- v : 表面流速 (m/s)

③ 津波荷重 (P)

機能維持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、機能維持評価では、津波荷重に加え常時作用する荷重として、MSF-24P(S)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)	
		横置き時	たて置き時
津波波力	P_t	7.07×10^6	3.88×10^6
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	5.85×10^6

4. 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、バスケット、外筒及び伝熱フィンの機能維持評価

- ▶ 津波荷重は、MF-24P(S)型の長手方向と径方向の両方向からの作用を考慮する。たて置き時の津波荷重は、横置き時に比べ小さく、安全機能を担保する構成部材の応力は横置き時に包絡される。
- ▶ 横置きでの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)、バスケット(バスケットプレート)、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は、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、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は評価基準を満足する。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、たて置きでの津波荷重作用時においても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_a	4	56 (S_y)
外筒	せん断応力	52	162 ($1.5f_b$)
伝熱フィン	応力強さ	14	189 (S_u)

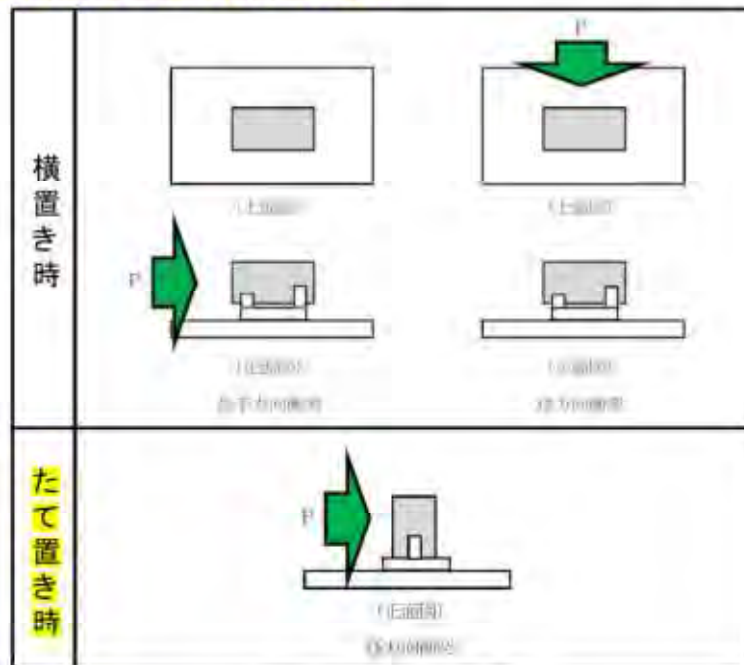
(注) たて置き時に比べ津波荷重が大きい横置き時の評価結果。各評価部位の応力のうち、評価基準に対する余裕が最も少ない結果を記載。

津波荷重作用時の密封境界部の横ずれ評価結果(注1)

評価項目	計算値(N)	評価基準(N) (注2)
一次蓋の慣性力	3.81×10^5	1.50×10^6

(注1) たて置き時に比べ津波荷重が大きい横置き時の評価結果。

(注2) 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、津波荷重作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。したがって、MSF-24P(S)型の津波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ん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(S)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ん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荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。	兼用キャスク告示で定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、竜巻荷重作用時に特定兼用キャスクの安全機能は維持される。

(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。

5. 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(第六条第4項一号)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P(S)型は、兼用キャスク告示に定める竜巻に対して安全機能が維持される設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P(S)型は、兼用キャスク告示に定める竜巻に対して安全機能が維持される設計とするため、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(S)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ん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荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

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荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対する構造健全性評価により構造健全性が維持されるため、特定兼用キャスクの安全機能が維持される。

● 後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 貯蔵施設における設計竜巻によりMSF-24P(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件が、MSF-24P(S)型で想定する設計飛来物の条件に包絡されていること。

5. 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(S)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.26～28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(*)に対して特定兼用キャスク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特定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。特定兼用キャスク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。	竜巻荷重に対する特定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。	

(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

竜巻荷重に対する特定兼用キャスクの機能維持評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。

機能維持評価の評価部位は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケットプレート)、遮蔽・除熱機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持するとともに、除熱機能を担う伝熱フィンが取り付けられる部位)及び除熱機能を担う伝熱フィンとする。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、機能維持評価は、竜巻荷重に加え、供用中に作用する荷重(圧力荷重・機械的荷重・熱荷重)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)、バスケット(バスケットプレート)、外筒、伝熱フィン	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、バスケット、外筒及び伝熱フィン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、外筒及び伝熱フィンは破断しないことを確認する。

(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に基づく)

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 4.2×0.3×0.2	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。

5. 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

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、特定兼用キャスクの外部と特定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(S)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竜巻荷重に比べ十分小さく、竜巻荷重の設定に包絡される。

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

- q : 設計用速度圧 $q = \frac{1}{2} \rho V_D^2$
- G : ガスト影響係数
- C : 風力係数
- A : 受圧面積 (m²)
- ρ : 空気の密度 (kg/m³)
- V_D : 竜巻の最大風速 (m/s)

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

- 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)	
		横置き時	たて置き時
風圧力による荷重	W_w	1.81×10^5	9.95×10^4
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	8.55×10^6

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

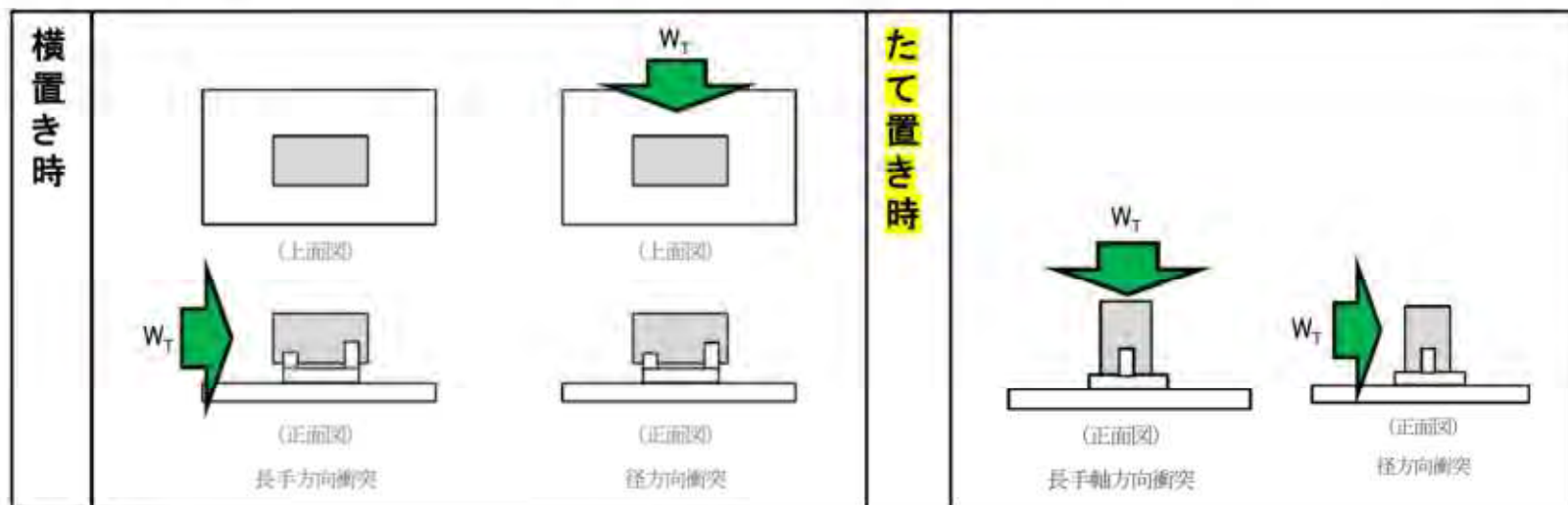
(注2) 竜巻影響評価ガイド解説表4.1の飛来物のうち、最も大きい荷重。

5. 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、バスケット、外筒及び伝熱フィンの機能維持評価

- 竜巻荷重は、MF-24P(S)型の長手方向と径方向の両方向からの作用を考慮する。
- たて置き時の竜巻荷重(8.55×10^6 N)は、横置き時(8.64×10^6 N)に比べ小さく、安全機能を担保する構成部材の応力は横置き時に包絡される。横置き時の竜巻荷重は、規則適合性(第5条)で示した津波荷重(9.04×10^6 N)に比べ小さい。また、構造健全性評価条件のうち、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。



竜巻荷重の作用方向

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、竜巻荷重作用時に特定兼用カスクの安全機能は維持されるしたがって、MSF-24P(S)型の竜巻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(摘要)	設計方針の妥当性 (安全評価結果摘要)
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に冠水状態になること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、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、通常貯蔵時の特定兼用キャスク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100μSv/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。	動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外面に伝え、周囲空気等に伝達し除熱する設計とする。	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特定兼用キャスク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。	蓋シール部に金属ガスケットを用いることにより、使用済燃料を内封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、一次蓋及び二次蓋の二重の閉じ込め構造とし、蓋間を正圧に維持することにより、圧力障壁を形成し、使用済燃料を内封する空間を外部から隔離する設計とする。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設計とする。	設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部を負圧に維持できる金属ガスケットを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。
解説 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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。	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。

6. 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(第16条第2項一号ハ) (臨界防止機能)

臨界防止機能の設計方針

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P(S)型は、燃料体等が臨界に達す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(S)型は、燃料体等が臨界に達す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

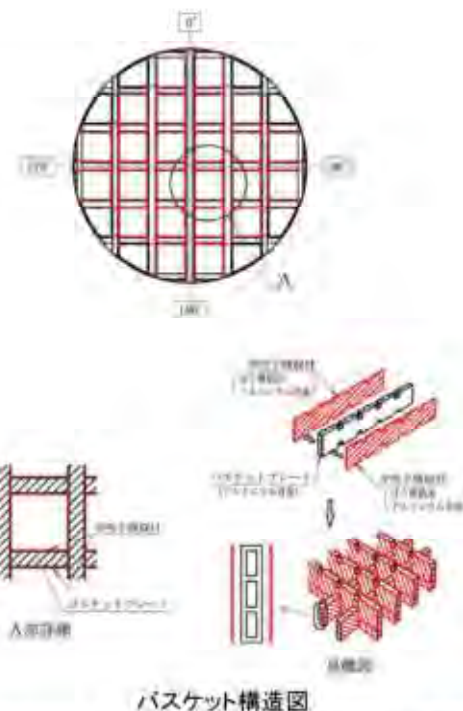
- 使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した中性子吸収材を適切な位置に配置することにより、臨界を防止する。
- バスケットプレートは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を維持する。
- MSF-24P(S)型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態になること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- MSF-24P(S)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態・乾燥状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 使用済燃料集合体を収納するに当たり、臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。



6. 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(S)型の臨界防止設計への考慮を下表に示す。
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.32～34に示す。

項目	要求事項(確認内容)	臨界防止設計における考慮
配置・形状	兼用キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等における適切な安全裕度の考慮	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ MSF-24P(S)型が無限に配列した体系(完全反射)(*) ➢ バスケットプレート幅、バスケット格子内のり等の寸法公差 ➢ バスケット格子内の使用済燃料の配置
	兼用キャスクが滑動する場合の兼用キャスク配置の変化の適切な考慮	(*) 完全反射の考慮により特定兼用キャスクの滑動を考慮しても配置制限は必要ない。
	設計貯蔵期間中を通じてのバスケットの構造健全性維持	設計貯蔵期間を通じてバスケットプレートは設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的位置に維持するために必要な構造健全性を維持する構造とする。
中性子吸収材の効果	以下についての適切な安全裕度の考慮 ・製造公差(濃度・非均質性・寸法等)	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。 ほう素の均質性は製造管理により担保。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 中性子吸収材の濃度(ほう素添加量) ➢ 中性子吸収材の寸法公差
	・中性子吸収に伴う原子個数密度の減少	設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は、 10^{-6} 程度であり無視し得る。
減速材(水)の影響	使用済燃料を収納する際に冠水することの適切な考慮	冠水状態(水密度 1.0g/cm^3)を考慮
解析コード及びデータライブラリ	検証され適用性が確認されていること	臨界解析で使用するSCALEコードシステムは、MSF-24P(S)型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数の臨界実験のベンチマーク解析により検証され適用性を確認している。
バスケットの状態	バスケットの塑性変形が想定される場合に未臨界性が維持されること	設計上考慮すべき自然現象(地震、津波及び竜巻)に対してもバスケットに塑性変形が生じない。

(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16条)

● 臨界防止機能の安全評価について

(1) 臨界解析評価条件(収納物仕様)

解析に用いる収納物仕様は、収納物のうち反応度の高い17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)^(注)とし、以下のとおりとする。

- ・収納する使用済燃料のウラン濃縮度は照射により減損しているが、新燃料(燃焼度クレジット無し:燃焼度0GWd/t)とする。
- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度上限値とする。
- ・中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体を無視する。

(注)17×17燃料については、A型、B型ともに臨界解析で考慮する条件は同じである。
15×15燃料については、A型の方がB型よりもペレット直径が大きく反応度が高い。

項目		キャスク収納位置制限		臨界解析条件		
		中央部	外周部	中央部	外周部	
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型 (A型)		
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%		4.2wt%	
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%		4.1wt%	
	燃焼度	最高	≤48GWd/t	≤44GWd/t	0GWd/t	
		特定兼用キャスク 1基あたり平均	≤44GWd/t			
	冷却期間	A型: ≥15年、B型: ≥17年		—		
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度					
	冷却期間					
配置						

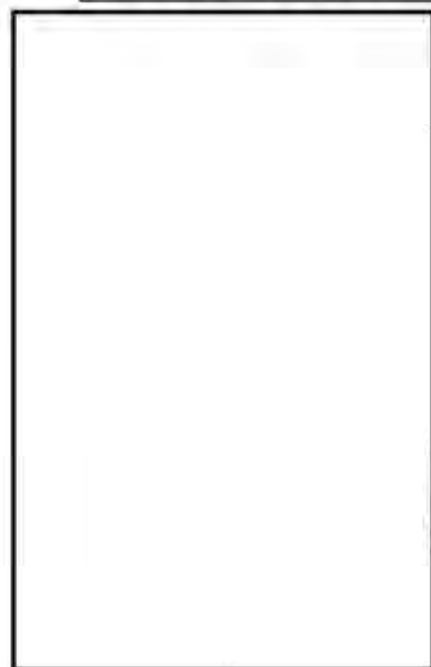
6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 臨界防止機能の安全評価について

(2) 臨界解析評価条件(解析モデル)

解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ・特定兼用キャスク及び使用済燃料集合体の実形状を三次元でモデル化する。
(貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体は無視しており、横置き及びたて置き状態を包絡。)
- ・MSF-24P(S)型が無限に配列した体系(完全反射)とする。(これによりMSF-24P(S)型の滑動等による配置制限は不要。)
- ・バスケット格子内での燃料の偏りを考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
- ・バスケットプレート及び中性子吸収材は寸法公差を考慮し中性子実効増倍率が最も大きくなる寸法とする。
- ・中性子吸収材のほう素添加量は仕様上の下限値とする。(設計貯蔵期間経過後のほう素の減損割合は 10^{-5} 程度であり、無視し得る)
- ・側部、蓋部、底部中性子遮蔽材は無視する。



縦断面図

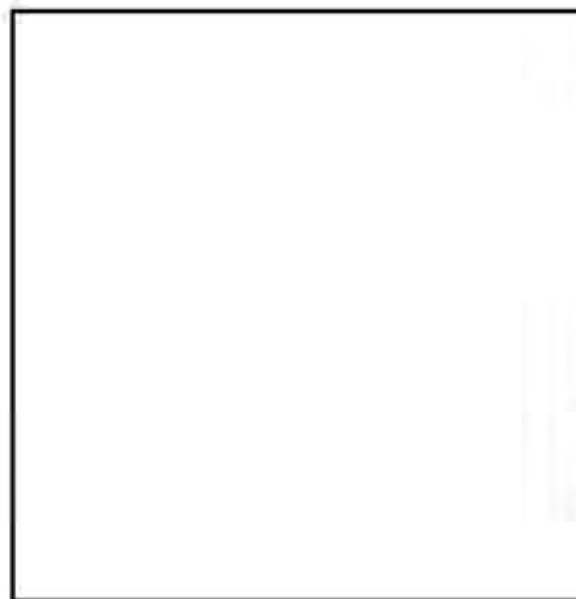
貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体は無視(真空)

MSF-24P(S)型内雰囲気及び使用済燃料集合体構造材
乾燥状態：真空
冠水状態：水密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$
($1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とした場合に中性子実効増倍率は最大)

中性子遮蔽材は無視(真空)

臨界解析モデル

(代表として冠水状態の図を記載)



燃料領域横断面図

MSF-24P(S)型外雰囲気は真空

格子内での燃料の偏りを考慮
(17×17 燃料、 15×15 燃料ともに)
乾燥状態：外周部、中央部ともに中心偏向
冠水状態：外周部は外周に、中央部は中心偏向

MSF-24P(S)型周囲を完全反射とすることで無限配列としてモデル化

バスケットプレート及び中性子吸収材の寸法は、寸法公差を考慮

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 臨界防止機能の安全評価について

(3) 臨界解析評価条件(解析コード及び検証)

臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開のSCALEコードシステムを用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれるKENO-VIコードを用いる。

SCALEコードシステムは、米国NRGにより認証された標準解析コードであり、国内外の臨界解析の分野で幅広く使用されている。SCALEコードシステムに対しては、MSF-24P(S)型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数の臨界実験のベンチマーク解析を実施し、その妥当性を確認している。

また、本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。

(4) 臨界解析評価結果

乾燥状態に加え、最も厳しい条件となるMSF-24P(S)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

項目		17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準
中性子実効増倍率※	冠水状態	0.912	0.911	0.95以下
	乾燥状態	0.385	0.380	

※統計誤差(σ)の3倍(3σ)を加味した値である。

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、設計上想定される状態において、燃料体等が臨界に達するおそれはない。したがって、MSF-24P(S)型の臨界防止機能に係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16条)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第16条第4項一号) (遮蔽機能)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P(S)型は、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P(S)型は、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とするため、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

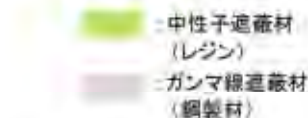
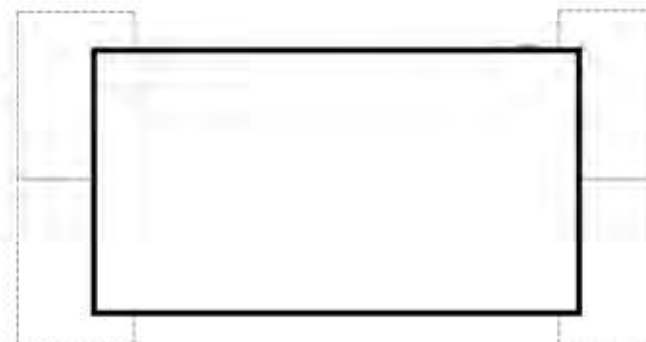
- 使用済燃料集合体からの放射線を特定兼用キャスク及び蓋部のガンマ線遮蔽材(鋼製)及び中性子遮蔽材(レジン)により遮蔽する。
- 設計貯蔵期間中における中性子遮蔽材の熱による遮蔽性能の低下を考慮しても、特定兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率を100 μ Sv/h以下となる設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 使用済燃料を線源として遮蔽評価を実施し、通常貯蔵時の特定兼用キャスク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以下となることを確認した。

後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 遮蔽評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- 貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。



遮蔽解析モデル図
(横置き時の例)

6. 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(S)型の遮蔽設計への考慮を下表に示す。
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.37～40に示す。

項目	要求事項(確認内容)	遮蔽設計における考慮
使用済燃料の放射線源強度評価	放射線源強度は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算し求めること。	放射線源強度は、収納する燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊に基づき燃焼計算コードORIGEN2により求める。
兼用キャスクの遮蔽機能評価	兼用キャスクからの線量当量率は、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、計算した放射線源強度に基づき求めること。その際、設計貯蔵期間中の兼用キャスクのガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材の熱劣化による遮蔽機能の低下を考慮すること。	線量当量率は、特定兼用キャスクの実形状を二次元(DOT3.5コードを用いる場合)又は三次元(MCNP5コードを用いる場合)でモデル化し、使用済燃料の放射線源強度等を条件として、遮蔽解析コードDOT3.5又はMCNP5により求める。その際、設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽材(レジン)の質量減損(2.5%)を考慮する。
	兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率を100 μ Sv/h以下とすること。	特定兼用キャスク表面の線量当量率は2mSv/h以下、かつ、特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率は100 μ Sv/h以下となるように設計する。
解析コード (放射線源強度 ／線量当量率)	検証され適用性が確認された燃焼計算コード／遮蔽解析コード及び断面積ライブラリを使用して求めること	燃焼計算コードORIGEN2は、MSF-24P(S)型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データ等により、また、遮蔽解析コードDOT3.5、MCNP5及びそれらの断面積ライブラリは、使用済燃料輸送容器体系及び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り検証され適用性を確認している。

(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」

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 遮蔽機能の安全評価について

(1) 遮蔽解析評価条件(収納物仕様)

使用済燃料の放射線源強度は、収納物のうち線量当量率への寄与の大きい中性子及び燃料有効部ガンマ線の放射線源強度の高い17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)とし、下表の初期濃縮度、燃焼度及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- ・遮蔽解析では、中央部、外周部ともに最高燃焼度を設定する。
- ・使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、放射線源強度を計算する。
- ・バーナブルポイズン集合体は放射化による放射線源強度については考慮するが、構造材の遮蔽効果は無視する。

項目		キャスク収納位置制限		遮蔽解析条件		
		中央部	外周部	中央部	外周部	
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型 (A型)		
	初期濃縮度	17×17燃料収納時				
		15×15燃料収納時				
	燃焼度	最高	≤48GWd/t	≤44GWd/t	48GWd/t	44GWd/t
		特定兼用キャスク 1基あたり平均	≤44GWd/t		(46GWd/t)	
冷却期間	A型: ≥15年、B型: ≥17年		15年			
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度					
	冷却期間					
配置					※数値は燃焼度を示す。	

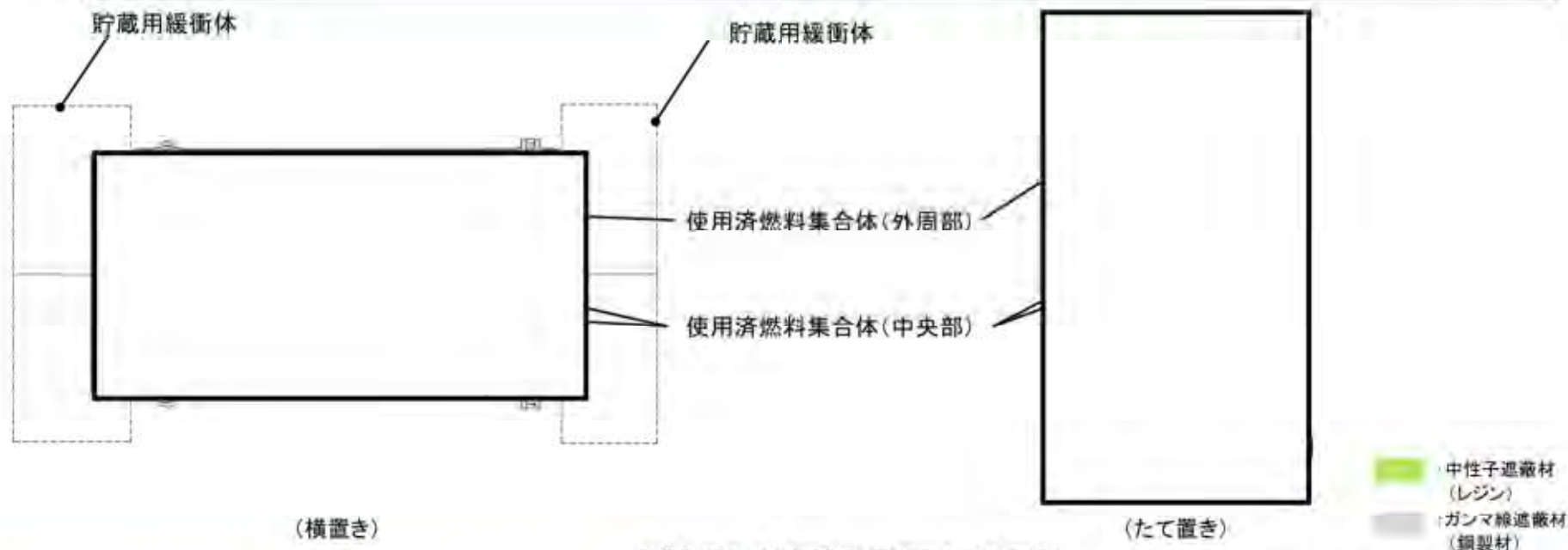
6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 遮蔽機能の安全評価について

(2) 遮蔽解析評価条件(解析モデル)

遮蔽解析は、DOT3.5コード又はMCNP5コードにより実施する。型式証明では、横置き時において示したDOT3.5コードとMCNP5コード間の線量当量率の傾向(P.41)を踏まえ、たて置き時の評価は、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスクから1m離れた位置における最大線量当量率が大きい結果となるDOT3.5コードを用いて解析する。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ・特定兼用キャスク及び使用済燃料集合体の実形状を二次元(DOT3.5コードの場合)又は三次元(MCNP5コードの場合)でモデル化する。
- ・燃料集合体の移動を考慮するため、軸方向については燃料各領域の高さ寸法は固定して一次蓋及び胴底部へ接した状態となるようキャスク全長を短縮し、径方向についてはバスケットセル内に均質化している。
- ・各部寸法はノミナル値とするが、各構成部材のマイナス側の寸法公差を原子個数密度の設定で考慮する。
- ・設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽材(レジン)の質量減損(2.5%)を考慮する。



遮蔽解析モデル概略図(三次元モデルの例)

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 遮蔽機能の安全評価について

(3) 遮蔽解析評価条件(解析コード及び検証)

① 線源強度評価に用いる解析コード

遮蔽解析評価のうち線源強度評価には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開のORIGEN2コード、ライブラリはORIGEN2コードに内蔵されるPWRU50及びPWRUを用いる。

ORIGEN2コードは、コード配布時に同梱されたサンプル問題の再現により計算機能が適正であることを確認している。また米国原子力学会(ANS)において、ANS標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン、プルトニウム、アメリシウムなどの組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

本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^(注1)があるコード、ライブラリである。

② 遮蔽解析に用いる解析コード

遮蔽解析評価のうち、線量当量率評価には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発されたDOT3.5コード又は米国ロスアラモス国立研究所(LANL)で開発されたMCNP5コードを用いる。

DOT3.5コードは、使用済燃料輸送容器体系での放射線透過試験での測定値との比較により妥当性の確認を行っており、また、技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績^(注1)があるコード、ライブラリである。

MCNP5コードは、①MSF-24P型の設計承認申請における既許認可値(DOT3.5コード)^(注2)との比較、②MCNPコードの核燃料物質の輸送容器体系での許認可実績(設計承認申請)^(注3)、及び③使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク試験結果による解析検証(ORIGEN2コードにより設定した線源強度及びMCNP5コードを用いた線量当量率評価(断面積ライブラリ(中性子: FSXLIB-J33、ガンマ線: MCPLIB84)を組み合わせた手法)^(注4)により、解析コードとしての適用妥当性の確認を行っている。

なお、型式指定申請では、DOT3.5コード又はMCNP5コードのいずれかを選択して遮蔽機能評価に適用する。

(注1) 三菱重工業(株)、型式設計特定容器等の型式指定申請、他多数

(注2) 四国電力(株)、核燃料輸送物設計承認申請 他

(注3) 国立大学法人東京工業大学、核燃料輸送物設計承認申請 他

(注4) M. Ueyama M. Osaki, "Dose Equivalent Rate Benchmark Calculations of a Dry Storage Cask for Spent Fuel by 3D Monte Carlo Code", PATRAM 2019, (2019).

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

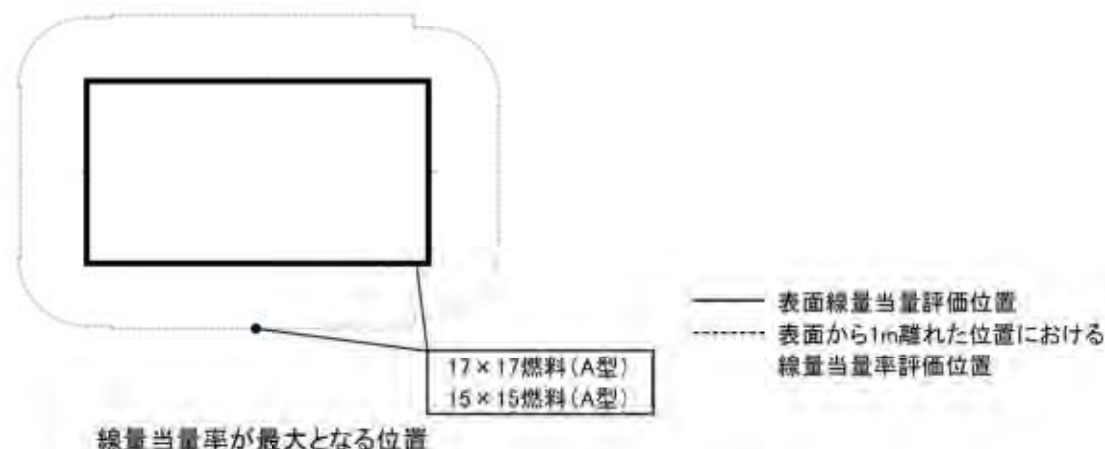
● 遮蔽機能の安全評価について

(4) 遮蔽解析評価結果

遮蔽評価により、特定兼用キャスク表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率は、評価基準を下回ることを確認した。

線量当量率評価結果(たて置き時)

項目	17×17燃料収納時		15×15燃料収納時		評価基準
	A型	B型	A型	B型	
表面線量当量率	1.83 mSv/h	1.72 mSv/h	1.92 mSv/h	1.83 mSv/h	2 mSv/h以下
表面から1m離れた位置における線量当量率	86 μSv/h	86 μSv/h	85 μSv/h	82 μSv/h	100 μSv/h以下



● 設計方針の妥当性

以上のとおり、特定兼用キャスク表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率は、基準を満足することから、MSF-24P(S)型は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設計である。したがって、MSF-24P(S)型の遮蔽機能に係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16条)

● (参考)横置き時の遮蔽解析結果

横置き時のDOT3.5コードによる線量当量率評価結果は、MCNP5コードによる結果に比べ大きい。また、両コードともに、線量当量率が最大となる位置は、たて置き時と同様に、特定兼用キャスク側部方向(径方向位置)である。したがって、たて置き時においても、横置き時と同様にDOT3.5コードの線量当量率の最大値はMCNP5コードに比べ大きくなる傾向となる。

DOT3.5コードによる線量当量率評価結果(横置き時)

項目	17×17燃料収納時		15×15燃料収納時		評価基準
	A型	B型	A型	B型	
表面線量当量率	1.14 mSv/h	1.06 mSv/h	1.18 mSv/h	1.12 mSv/h	2 mSv/h以下
表面から1m離れた位置における線量当量率	87 μSv/h	87 μSv/h	84 μSv/h	83 μSv/h	100 μSv/h以下

MCNP5コードによる線量当量率評価結果(横置き時)

項目	17×17燃料収納時		15×15燃料収納時		評価基準
	A型	B型	A型	B型	
表面線量当量率	0.789 mSv/h	0.580 mSv/h	0.805 mSv/h	0.560 mSv/h	2 mSv/h以下
表面から1m離れた位置における線量当量率	85 μSv/h	83 μSv/h	83 μSv/h	79 μSv/h	100 μSv/h以下

6. 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(第16条第4項二号) (除熱機能)

● 除熱機能の設計方針

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P(S)型は、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

MSF-24P(S)型は、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とするため、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

- 動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とし、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する。
- 使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 使用済燃料を熱源とした貯蔵状態の伝熱評価を実施し、燃料被覆管及び特定兼用キャスクを構成する部材の健全性を維持できる温度を超えないことを確認した。

後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 除熱評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- 貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。
- 特定兼用キャスクの周囲温度が、貯蔵建屋内で貯蔵する場合は45℃以下(横置き時)又は50℃以下(たて置き時)、屋外で貯蔵する場合は38℃以下であること。また、貯蔵建屋内で貯蔵する場合は、貯蔵建屋壁面温度が65℃以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。

MSF-24P(S)型
の伝熱経路図

6. 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(S)型の除熱設計への考慮を下表に示す。
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.44～46に示す。

項目	要求事項(確認内容)	除熱設計における考慮
使用済燃料の崩壊熱評価	崩壊熱は、燃料型式、燃料体の実形状、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件として計算した各種の生成及び崩壊から求めること	崩壊熱量は、収納する燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊に基づき燃焼計算コードORIGEN2により求める。
兼用キャスク各部の温度評価	使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスク周囲の温度を条件とし、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること	特定兼用キャスク各部の温度は、MSF-24P(S)型の実形状を三次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件として、伝熱解析コードABAQUSにより求める。
	求めた温度は、兼用キャスクの構成部材が兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲に収まること	特定兼用キャスク各部の温度は、安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度以下とする。
燃料被覆管の温度評価	使用済燃料の崩壊熱と兼用キャスクの各部の温度を条件とし、使用済燃料集合体、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること	燃料被覆管の温度は、燃料集合体の径方向断面の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱と特定兼用キャスク各部の温度評価で求めたバスケットの温度を境界条件として、伝熱解析コードABAQUSにより求める。
	求めた温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲に収まること	燃料被覆管の温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度以下とする。
解析コード (崩壊熱 ／温度評価)	検証され適用性が確認された燃焼計算コード／伝熱解析コードを使用して求めること	燃焼計算コードORIGEN2は、MSF-24P(S)型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データにより、また、伝熱計算コードABAQUSは、MSF-24P(S)型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。

(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」

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 除熱機能の安全評価について



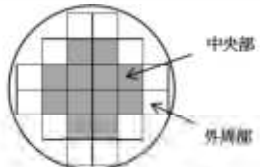
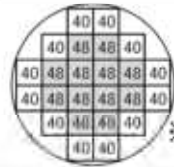
(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様)

使用済燃料の崩壊熱量は、崩壊熱量が最も高い17×17燃料48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料48,000MWd/t型(A型)^(注1)とし、下表の初期濃縮度、燃焼度及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- ・温度解析では、燃料集合体最高温度を高め算出するために、中央部(12体)に最高燃焼度(48GWd/t)の崩壊熱量を設定し、外周部(12体)には、特定兼用キャスク1基の総崩壊熱量が平均燃焼度(44GWd/t)の崩壊熱量24体分(18.1kW)^(注2)となるように調整した崩壊熱量(40GWd/t相当)を設定する(下表配置図参照)。
- ・温度解析では、伝熱体となるバーナブルポイズン集合体を無視する。

(注1) A型の方がB型よりも冷却期間が短く崩壊熱量が大きい。

(注2) 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(15.8kW)を上回る設計崩壊熱量(18.1kW)を適用する。

項目		キャスク収納位置制限		除熱解析条件		
		中央部	外周部	中央部	外周部	
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型 (A型)		
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%			
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%			
	燃焼度	最高	≤48GWd/t	≤44GWd/t	48GWd/t	(40GWd/t相当)
		特定兼用キャスク 1基あたり平均	≤44GWd/t		44GWd/t	
冷却期間	A型: ≥15年、B型: ≥17年		15年			
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度					
	冷却期間					
配置					※数値は燃焼度を示す。	

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 除熱機能の安全評価について

(2) 除熱解析評価条件(解析モデル)

温度解析は、ABAQUSコードにより実施する。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ・ 特定兼用キャスクの各部温度は、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件として、MSF-24P(S)型の実形状を三次元でモデル化した全体モデルにより求める。
- ・ 燃料被覆管の温度は、使用済燃料の崩壊熱と特定兼用キャスク各部の温度評価で求めたバスケット温度を境界条件として、燃料集合体の径方向の実形状を二次元でモデル化した燃料集合体モデルにより求める。
- ・ 燃料集合体モデルでは、軸方向への伝熱を無視し断熱とする。



(モデル全体) (バスケット) (燃料集合体)

全体モデル(三次元モデル)



(17×17燃料) (15×15燃料)

燃料集合体モデル(二次元モデル)

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 除熱機能の安全評価について

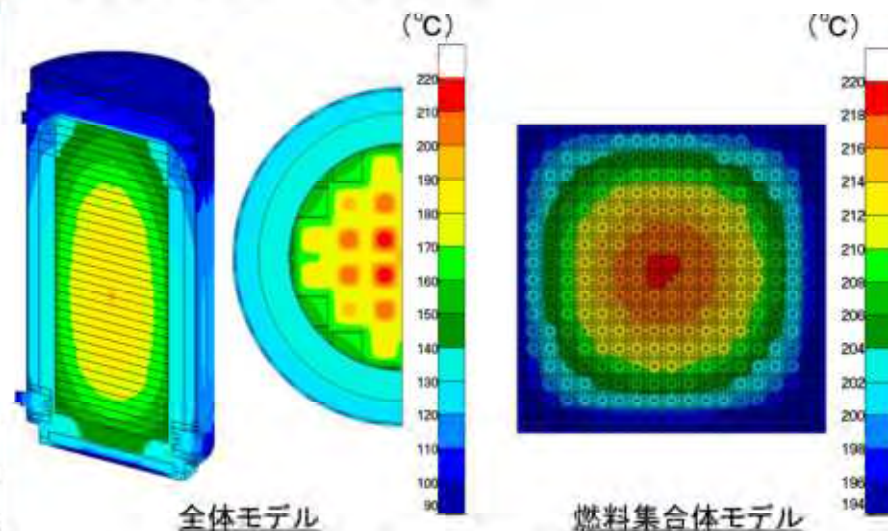
(3) 除熱解析評価条件(解析コード及び検証)

使用済燃料の崩壊熱計算に用いる燃焼計算コードORIGEN2は、MSF-24P(S)型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データにより、また、特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の温度解析に用いる伝熱計算コードABAQUSは、MSF-24P(S)型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。また、これらの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。

(4) 除熱解析評価結果

貯蔵時における除熱解析評価により、各評価部位の最高温度が設計基準値を下回ることを確認した。

評価部位		たて置き時評価結果(°C)		設計基準値 (°C) ^(注)
		17×17燃料 収納時	15×15燃料 収納時	
燃料被覆管		219	219	275
特定 兼用 キャ スク	胴	147	147	350
	一次蓋	109	109	350
	一次蓋ボルト	110	110	350
	中性子遮蔽材	136	136	149
	金属ガスケット	108	108	130
	バスケット	191	191	250
	伝熱フィン	131	131	200



17×17燃料収納時の温度分布

(注) 燃料被覆管の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持できる温度

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、燃料被覆管及び特定兼用キャスクを構成する部材の健全性を維持できる温度以下であり、MSF-24P(S)型は使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計である。したがって、MSF-24P(S)型の除熱機能に係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16条)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第16条第4項三号) (閉じ込め機能)

● 閉じ込め機能の設計方針

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P(S)型は、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(S)型は、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

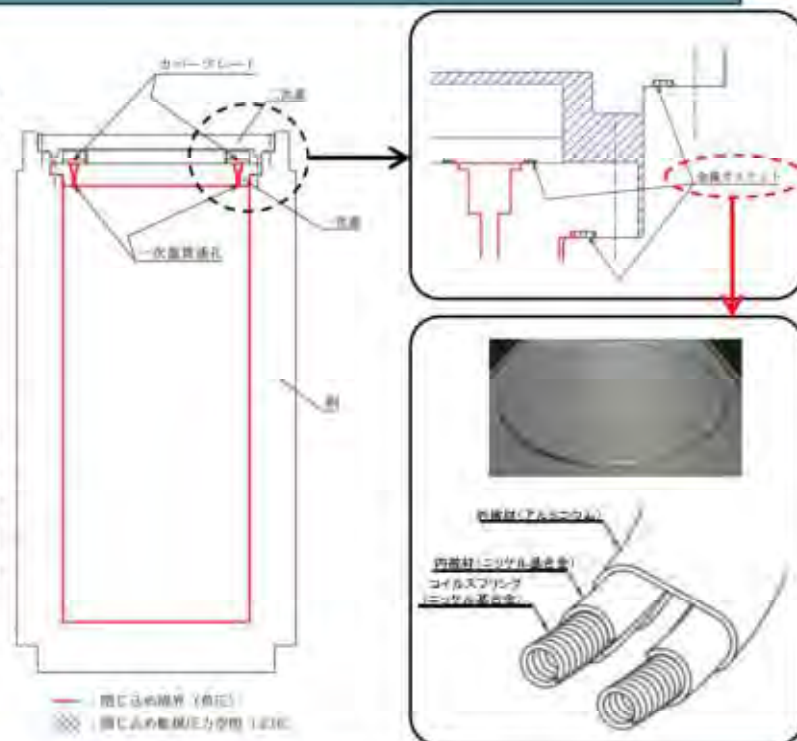
- 使用済燃料を限定された区域に閉じ込めるため、特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持する設計とする。
- 一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。
- 蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 蓋間空間に充填されるヘリウムガスが設計貯蔵期間を通じて圧力一定とした条件にて特定兼用キャスク内部に漏えいするとともに燃料棒からの核分裂性ガスの放出を仮定し、設計貯蔵期間経過後に大気圧となるように求めた基準漏えい率を算出する。MSF-24P(S)型に用いる金属ガスケットの性能は、基準漏えい率及び基準漏えい率を下回るように設定するリークテスト判定基準に対し小さい漏えい率であることを確認した。

後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。



閉じ込め構造図

6. 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(S)型の閉じ込め設計への考慮を下表に示す。
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.49～52に示す。

項目	要求事項(確認内容)	閉じ込め設計における考慮
閉じ込め構造及び監視	金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、蓋間圧力を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。	一次蓋と二次蓋の二重構造とし、蓋及び蓋貫通孔のシール部には金属ガスケットを使用する。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。
負圧維持	設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。	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。
密封境界部の漏えい率	密封境界部の漏えい率は、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。また、使用する金属ガスケット等のシール部は当該漏えい率以下であること。	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部の負圧を維持できる漏えい率とし、金属ガスケットは、その漏えい率を満足するものを使用する。
閉じ込め機能評価	密封境界部の漏えい率が、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求めること。	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、漏えい孔中の流れの形態を考慮した適切な評価式を用いる。
兼用キャスクの衝突評価	転倒等による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。また、使用済燃料を取り出すために、一次蓋及び二次蓋が開放でき、使用済燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、かつ、使用済燃料集合体の過度な変形を生じないこと。	(型式証明申請の範囲外)
閉じ込め機能の修復性	閉じ込め機能の異常に対し、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。	〈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16条)

● 閉じ込め機能の安全評価について

(1) 閉じ込め機能評価条件(収納物仕様)

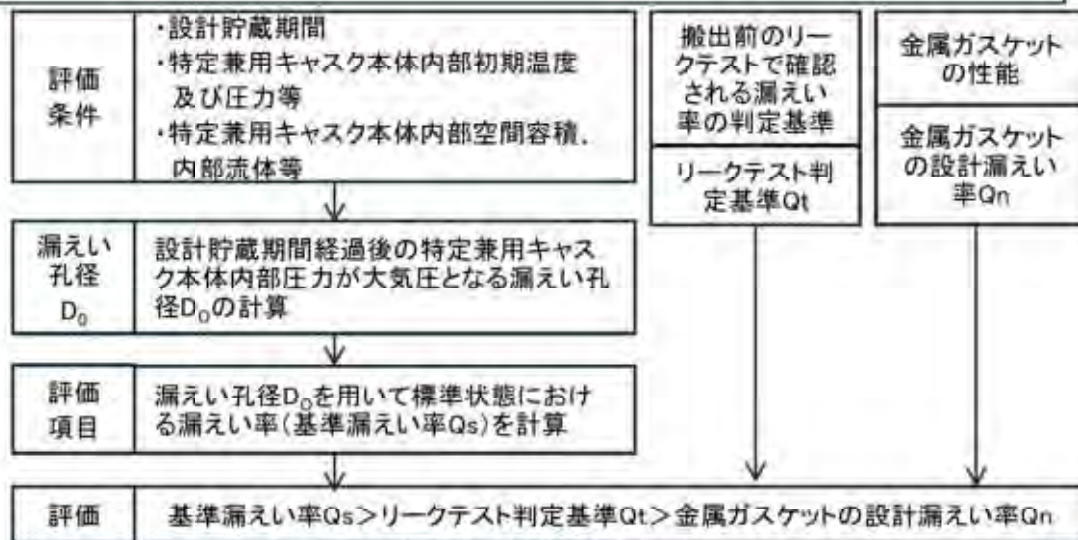
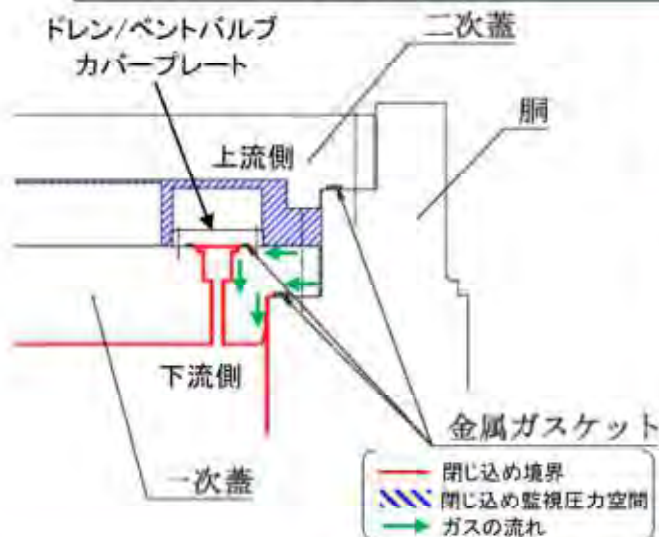
評価に用いる収納物仕様は、燃料棒の温度が最も高く、燃料棒内圧が大きくなり、基準漏えい率を算出する上で安全側となる、 17×17 燃料 48,000MWd/t型(A型)及び 15×15 燃料 48,000MWd/t型(A型)とし、以下のとおりとする。

- ・燃料棒からの核分裂生成ガスの放出(0.1%破損)を仮定する。
- ・特定兼用キャスク本体の内部体積が小さくなるようにパーナブルポイズン集合体の存在を考慮する。

(2) 閉じ込め評価概要

設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部が大気圧となる基準漏えい率を算出(流体力学の基礎式による)し、基準漏えい率及び基準漏えい率を下回るように設定したリークテスト判定基準よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認する。基準漏えい率の算出では、以下のとおり保守的な条件とする。

- ・設計貯蔵期間中に蓋間空間に充填されているヘリウムガス圧力は低下するが、設計貯蔵期間を通じて貯蔵開始時の圧力で一定とした条件で特定兼用キャスク本体内部側にのみに漏えいするものとする。
- ・設計貯蔵期間中に蓋間空間及び特定兼用キャスク本体内部の温度は低下するが、設計貯蔵期間を通じて貯蔵開始時の温度で一定とした条件とする。



(閉じ込め機能評価フロー)

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 閉じ込め機能の安全評価について

(3) 閉じ込め評価条件(内部圧力の算出式)

基準漏えい率は、ボイル・シャルルの式で与えられる特定兼用キャスク本体内部圧力の時間変化を基に、設計貯蔵期間経過後の特定兼用キャスク本体内部圧力が大気圧となるためのシール部の標準状態(大気圧、25°C)での漏えい率として算出される。本手法は、技術的な特殊性及び新規性は無く、許認可で使用実績がある手法である。

(ボイル・シャルルの式)

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{Q}{V_d} \times \frac{T_d}{T}$$

$$Q = L \cdot P_a$$

$$L = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot R_g}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a}$$

$$F_m = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$$

dP_d : 特定兼用キャスク本体内部圧力の変化 (Pa)

dt : 時間変化 (s)

Q : 漏えい率 (Pa·m³/s)

T_d : 特定兼用キャスク本体内部温度 (K)

V_d : 特定兼用キャスク本体内部の空間容積 (m³)

T : 漏えい気体の温度 (K)

L : 圧力Paにおける体積漏えい率 (m³/s)

P_a : 流れの平均圧力 (Pa) [$P_a = (P_u + P_d) / 2$]

F_c : 連続流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa·s))

F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa·s))

P_u : 上流側(蓋間)の圧力 (Pa)

P_d : 下流側(特定兼用キャスク本体内部)の圧力 (Pa)

D_0 : 漏えい孔径 (m)

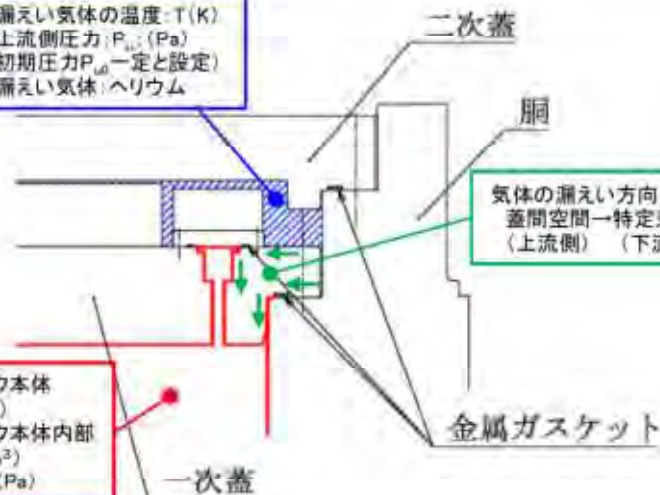
a : 漏えい孔長 (m)

μ : 漏えい気体の粘性係数 (Pa·s)

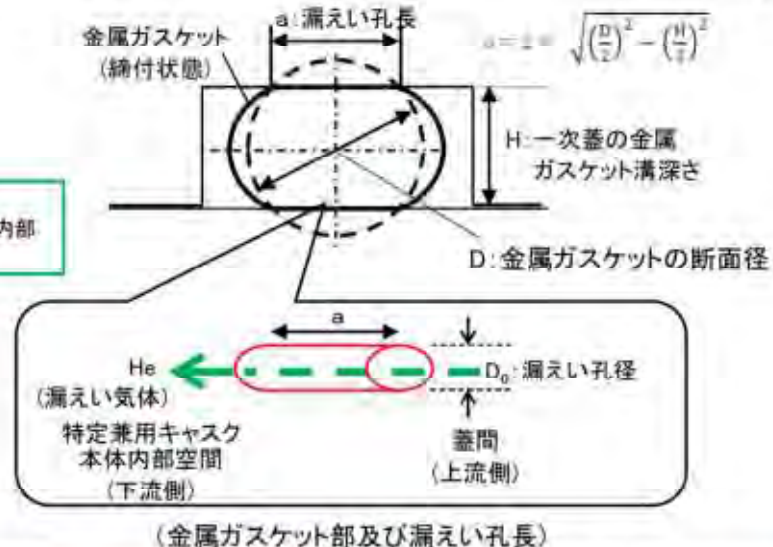
M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)

R_g : ガス定数 (J/(mol·K))

- ・漏えい気体の温度: T (K)
- ・上流側圧力: P_u (Pa)
- ・初期圧力 P_{u0} 一定と設定
- ・漏えい気体: ヘリウム



- ・特定兼用キャスク本体内部温度: T_d (K)
- ・特定兼用キャスク本体内部空間容積: V_d (m³)
- ・下流側圧力: P_d (Pa)



6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

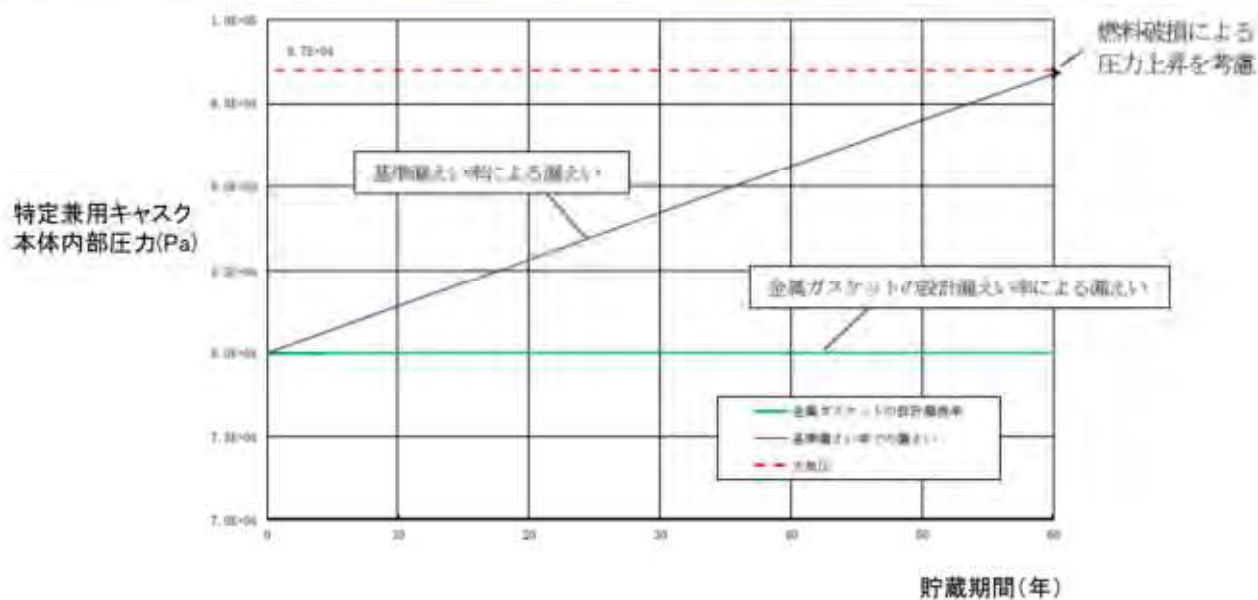
● 閉じ込め機能の安全評価について

(4) 閉じ込め評価結果

MSF-24P(S)型に用いる金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率、及び基準漏洩率を下回るように設定したリークテスト判定基準に対し、小さいことを確認した。

(たて置き時)

収納状態	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	リークテスト判定基準 (Pa・m ³ /s) ^(注1)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
17×17燃料収納時	2.56 × 10 ⁻⁶	1.58 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁸ 以下
15×15燃料収納時	2.55 × 10 ⁻⁶	1.58 × 10 ⁻⁶	



特定兼用キャスク本体内部圧力の経時変化(17×17燃料収納時の例)

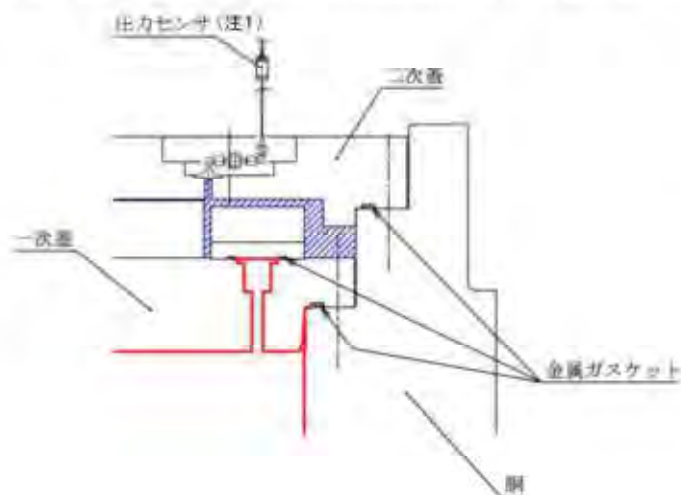
6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 閉じ込め機能の安全評価について

(5) 閉じ込め機能の監視構造

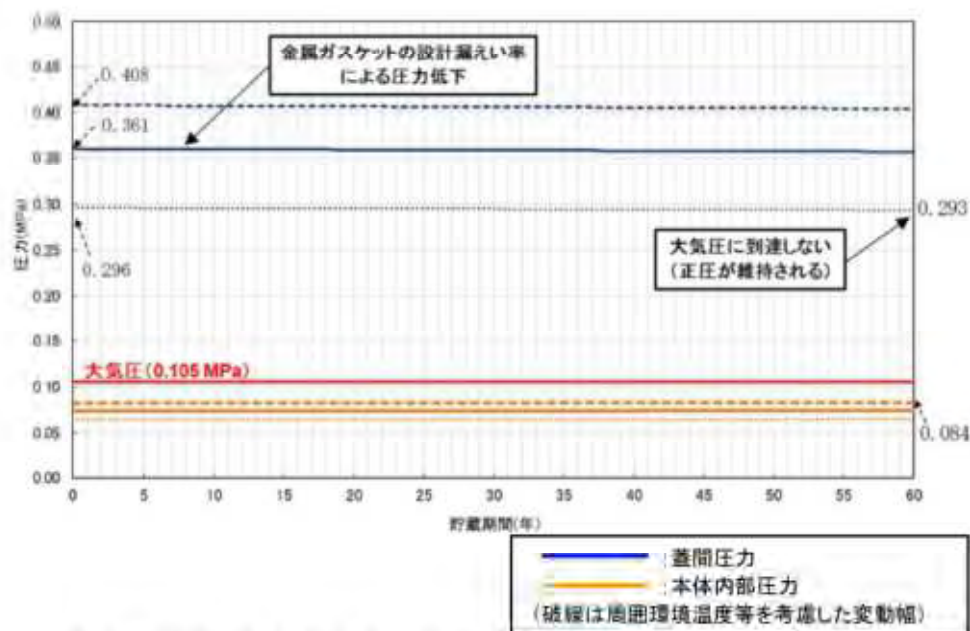
- 二次蓋に貫通部を設け、圧力センサ(圧力計)を設置する構造とし、蓋間空間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視できる構造とする。
- 蓋間空間の圧力が金属ガスケットの設計漏えい率により低下(注)しても、蓋間圧力は、設計貯蔵期間中に有意な圧力低下は生じず、正圧(大気圧)以上が維持される。

(注) 蓋間空間のガスが金属ガスケットの設計漏えい率で一次蓋側(兼用キャスク内部)及び二次蓋側(兼用キャスク外部)の二方向から同時に漏えいすることを想定。



(注1) 圧力センサの取付位置は限定しない。

閉じ込め機能の監視構造



金属ガスケットの設計漏えい率による蓋間圧力の経時変化の例

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部を負圧に維持できる設計としている。また、一次蓋と二次蓋の間の圧力を監視できる構造している。したがって、MSF-24P(S)型の閉じ込め機能に係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) (長期健全性)

● 長期健全性維持の設計方針

設計方針

- MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。

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、特定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)。

＜特定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＞

- 特定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。
- 特定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	特定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)。

6. 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(S)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.55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特定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(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、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、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に考慮する。また、特定兼用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(S)型は、特定兼用キャスク本体内部、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」

6. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 特定兼用キャスク及び使用済燃料の健全性評価

(1) 温度影響

特定兼用キャスクの構成部材は、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)
特定兼用キャスク 構成部材	胴、外筒	155	350
	一次蓋、二次蓋	115	350
	中性子遮蔽材 ^(注1)	145	149
	金属ガスケット	115	130
	バスケット(バスケットプレート)	200	250
	伝熱フィン	140	200
	使用済燃料(燃料被覆管)	225	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

設計貯蔵期間中の特定兼用キャスク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)
特定兼用キャスク 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	1.7×10^{14}	10^{15}
	金属ガスケット	2.5×10^{14}	10^{16}
	バスケット(バスケットプレート)	1.6×10^{15}	10^{16}
	伝熱フィン	1.6×10^{14}	10^{16}
	使用済燃料(燃料被覆管)	1.6×10^{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

特定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、特定兼用キャスク本体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、特定兼用キャスクの構成部材の経年変化を考慮した上で、その必要とされる強度及び性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保する設計としている。

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