

第7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1月14日)

資料1-1

Doc. No. L5-95JY254 R5

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16条関連)

2021.1.14

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. 審査範囲の変更及びご説明スケジュール	…2
2. 設置許可基準規則への適合性概要	…5
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)	…6
4. 指摘事項(コメント)リスト	…21
5. 指摘事項への回答	…23

1. 審査範囲の変更及び今後のご説明スケジュール

● 審査範囲の変更について

- 本申請の設置方法のうち、蓋部の金属部への衝突が設置方法(縦置き①)及び基礎等に固定する設置方法(縦置き②)について本申請範囲から除外させて頂き、蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法(横置き)のみを申請範囲とする(赤枠)。

＜除外の理由＞

蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法(横置き)に集中して審議頂くことで審査期間を短縮するため。

- なお、除外した設置方法については、本審査終了後に改めて別申請として申請させて頂く予定である。

地盤の状態	兼用カスクの基礎等への固定	蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法		基礎等に固定する設置方法
		横置き	縦置き①	縦置き②
地盤の十分な支持を想定しない	基礎等に固定しない	○	○	—
	基礎等に固定する	—	—	—
地盤の十分な支持を想定する	基礎等に固定しない	—	—	—
	基礎等に固定する	—	—	○(注2)

本申請の範囲から縦置き(①・②)を除外する

1. 審査範囲の変更及び今後のご説明スケジュール

● 審査範囲の変更に係る説明事項への影響について

- 現時点で設置許可基準規則第16条の適合性説明として、臨界防止、除熱、閉じ込め機能の説明を実施している。縦置き姿勢の除外に伴う説明事項への影響は下表のとおりであり、既説明内容に対する追加説明事項はなく、縦置き部分の記載の削除のみとなる。
- 本審査会合の適合性説明より、縦置き姿勢を除外した説明を行う。

要求項目		説明実施区分	説明済の安全評価で代表した設置方法	審査範囲の変更に係る説明事項への影響及び変更の反映について
条・項	安全機能			
第2項 一号 ハ	臨界防止	説明済 (2020.11.19審査会合)	共通 (設置方法の差異なし)	設置方法に寄らず共通であり、説明事項に変更なし。
第4項 一号	遮蔽	説明済 (2020.10.26ヒアリング)	横置き及び縦置き	横置きと縦置き評価(並列で記載)について、縦置きの説明事項を削除する。
第4項 二号	除熱	説明済 (2020.11.19審査会合)	横置き (縦置きに比べ温度が高い)	横置きを代表して記載しており、説明事項に変更なし。
第4項 三号	閉じ込め	説明済 (2020.11.19審査会合)	共通 (設置方法の差異なし)	設置方法に寄らず共通であり、説明事項に変更なし。
解釈 別記4 第16条 第5項	長期健全性 (経年変化の 考慮)	説明済 (2020.12.15ヒアリング)	共通 (設置方法の差異なし)	設置方法に寄らず共通であり、説明事項に変更なし。

1. 審査範囲の変更及び今後のご説明スケジュール

● 今後のご説明スケジュール

- 縦置き①・②の除外を踏まえた、今後の説明スケジュールを以下に示す。
- 次回審査会合で16条(残り)及びコメント回答をご説明し、その後、地震(4条)、津波(5条)・竜巻(6条)・その他についてご説明予定。

条項		2020年度			
		4月-6月	7月-9月	10月-12月	1月-3月
全般	ヒアリング 審査会合	概要 ↓ 6/8	申請範囲 ↓ 8/6 申請範囲(2) ↓ 9/29		
16条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設	ヒアリング 審査会合			↓ 11/19	▽ 1/14
4条 地震による損傷の防止	ヒアリング 審査会合				↓
5条 津波による損傷の防止 6条 外部からの衝撃による 損傷の防止 その他	ヒアリング 審査会合				↓

2. 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)◎:設計方針及び安全性能評価を説明する項目、○: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

3. 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)

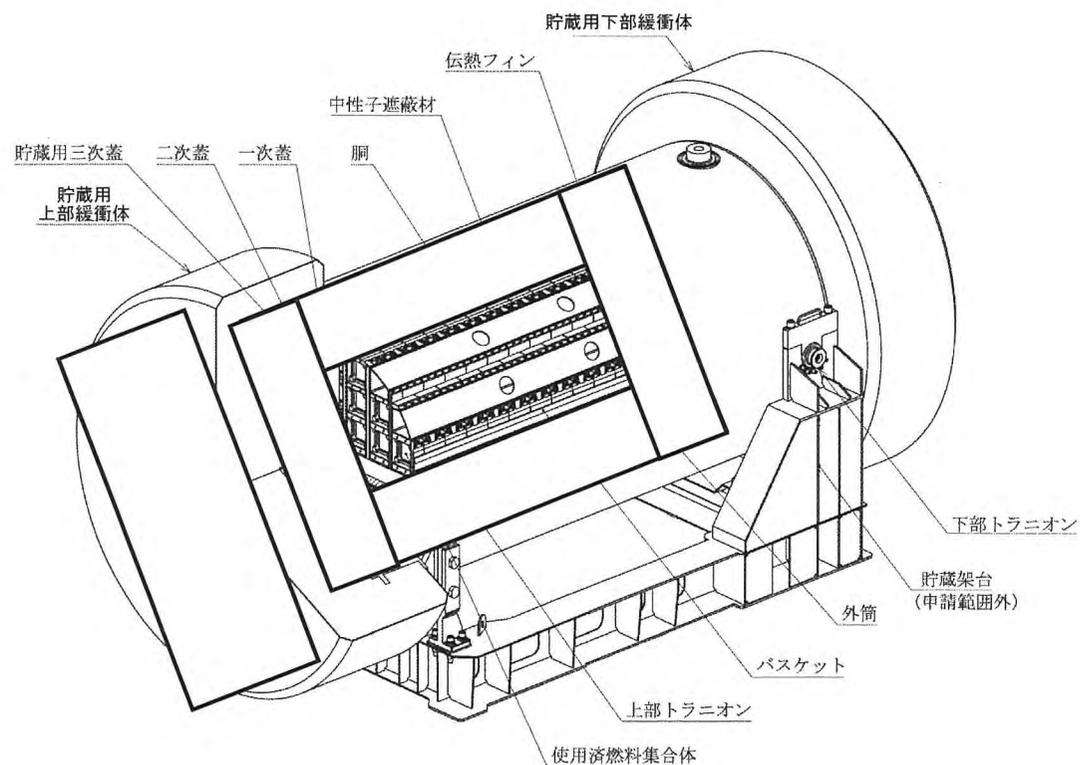
要求項目		要件	設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
条・項	安全機能			
第2項 一号 ハ	臨界防止	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	臨界を防止する構造により、貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態及び使用済燃料を収納する際の冠水状態において、臨界を防止する設計とする。	乾燥状態及び冠水状態における臨界評価により、中性子実効増倍率は0.95を下回ることから臨界に達するおそれはない。
第4項 一号	遮蔽	使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。	ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とする。	使用済燃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。	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。	本体及び金属ガスケット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。

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● MSF-24P型の構造 (詳細は資料1-2のP.7~21参照)

蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法(横置き)



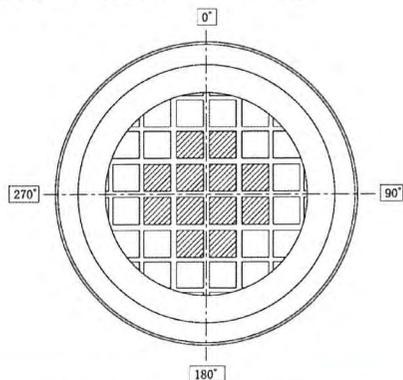
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● MSF-24P型の収納物の収納条件(17×17燃料) (詳細は資料1-2のP.22~26参照)

下表の制限を全て満足する燃料を収納すること。

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1基あたり	平均燃焼度(MWd/t以下)	44,000							
		崩壊熱量(kW以下)	15.8							
バーナブルポイズン集合体 1体		照射期間(日以下)	2344(約90,000MWd/t相当)						—	
		冷却期間(年以上)	15						—	

(注)本表に示す17×17燃料とP.9に示す15×15燃料はMSF-24P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

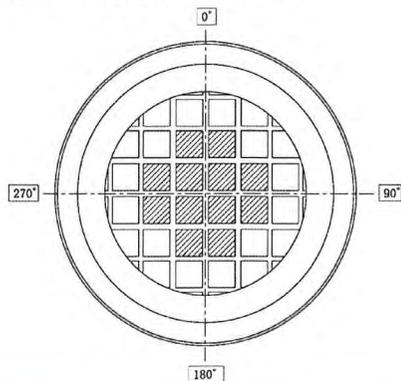
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● MSF-24P型の収納物の収納条件(15×15燃料) (詳細は資料1-2のP.22~26参照)

下表の制限を全て満足する燃料を収納すること。

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1基あたり	平均燃焼度 (MWd/t以下)					44,000			
		崩壊熱量 (kW以下)					15.8			
バーナブルポイズン集合体 1体		照射期間 (日以下)	2671 (約90,000MWd/t相当)				—			
		冷却期間 (年以上)	15				—			

(注) 本表に示す15×15燃料とP.8に示す17×17燃料はMSF-24P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。



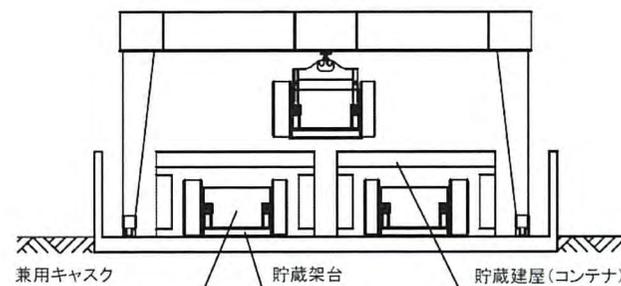
- : 中央部(12体) 燃焼度が48,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置
- : 外周部(12体) 燃焼度が44,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● MSF-24P型を設置する貯蔵施設の前提条件

項目	範囲又は条件
兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下
兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内(コンテナ毎 ^(注1) に1基)又は屋外
兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き
兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置
貯蔵状態における兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20℃ 最高温度 45℃(貯蔵建屋内貯蔵の場合)、38℃(屋外貯蔵の場合)
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃(貯蔵建屋内貯蔵の場合)
貯蔵建屋の主要材質	コンクリート(ふく射率0.94以上)

(注1) 下図参照



貯蔵建屋内貯蔵の概要図(例)

3. 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) (兼用キャスクの遮蔽機能)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-24P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]

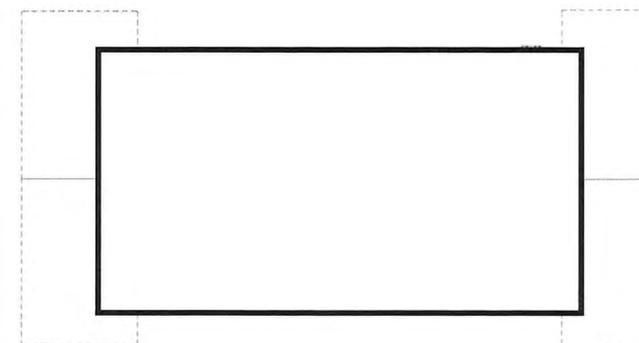
MSF-24P型は、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

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。
- 通常貯蔵時のMSF-24P型表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、MSF-24P型表面から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以下となることを確認した。



■ : 中性子遮蔽材
(レジン)
■ : ガンマ線遮蔽材
(鋼製材)

遮蔽解析モデル図

3. 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.13~17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。	兼用キャスクの線量当量率は、MSF-24P型の実形状を三次元でモデル化し、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。	兼用キャスク表面の線量当量率は2mSv/h以下、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は100 μ Sv/h以下である。
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MCNP5及び断面積ライブラリは、使用済燃料貯蔵キャスク(乾式)及び使用済燃料輸送容器(湿式)の放射線透過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」

3. 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) (詳細は資料1-4のP.4~11、別紙1 参照)

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	≤4.2wt%			
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%			
	燃焼度	最高	≤48GWd/t	≤44GWd/t	48GWd/t	44GWd/t
		MSF-24P型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	≤90GWd/t	—	90GWd/t	—	
	冷却期間	≥15年	—	15年	—	
配置				<p>※数値は燃焼度を示す。</p>		

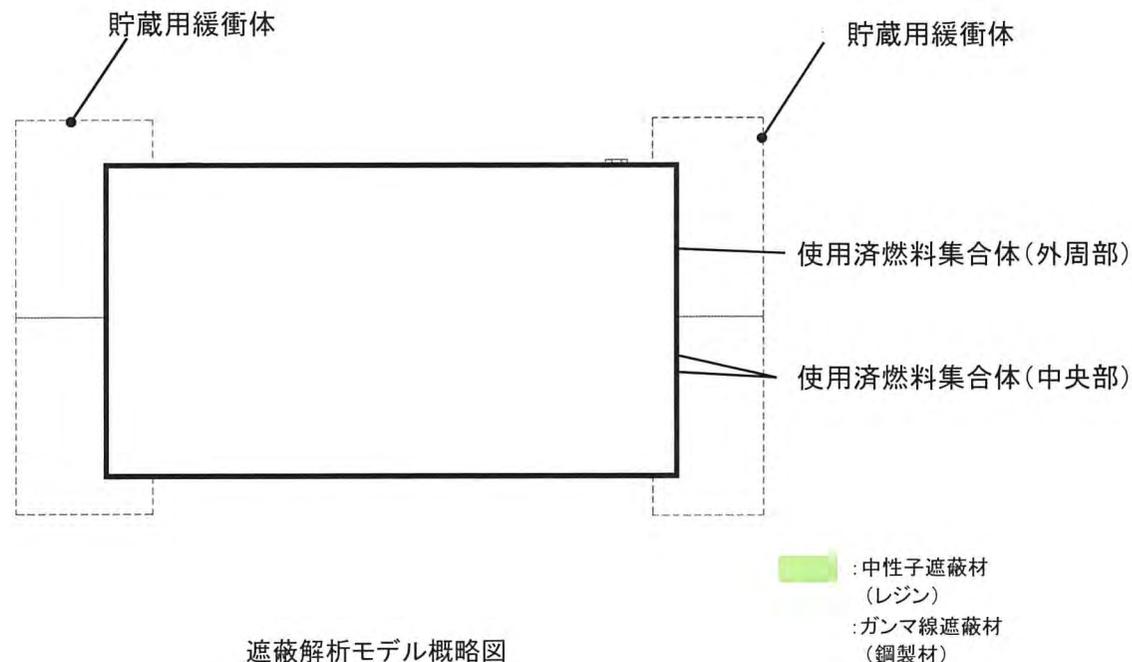
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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)(詳細は資料1-4のP.6、12、13及び別紙1参照)

遮蔽解析は、MCNP5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。

- ・MSF-24P型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。
(貯蔵用緩衝体は構造体としては無視し、評価点距離としては考慮する。)
- ・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

3. 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) (詳細は資料1-4のP.20~36参照)

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。

(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

② 遮蔽解析に用いる解析コード(1/2)

遮蔽解析評価のうち、線量当量率評価には、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。断面積ライブラリは、ガンマ線評価では、EPDL97を基に作成されたMCPLIB84(LANLにて整備されたもの)、中性子評価では、JENDL-3.3を基に作成されたFSXLIB-J33(日本原子力研究所にて整備されたもの)を用いる。

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2)があるコード、ライブラリである。(P.16に示すとおり、MSF-24P型と類似の遮蔽体幾何形状及び線源条件での認可実績を有する。)

また、ガイドライン原案^(注3)にて、遮蔽解析における適用性が明らかにされていることに加え、使用済燃料キャスクの放射線透過試験により妥当性の確認及び計算機能が適正であることを確認している。

(注2) リサイクル燃料貯蔵(株)、リサイクル燃料備蓄センターの使用済燃料貯蔵事業変更許可申請

(注3) 浅見光史他、「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」、海上技術安全研究所報告 第13巻 第1号 研究調査資料、(2013)

3. 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

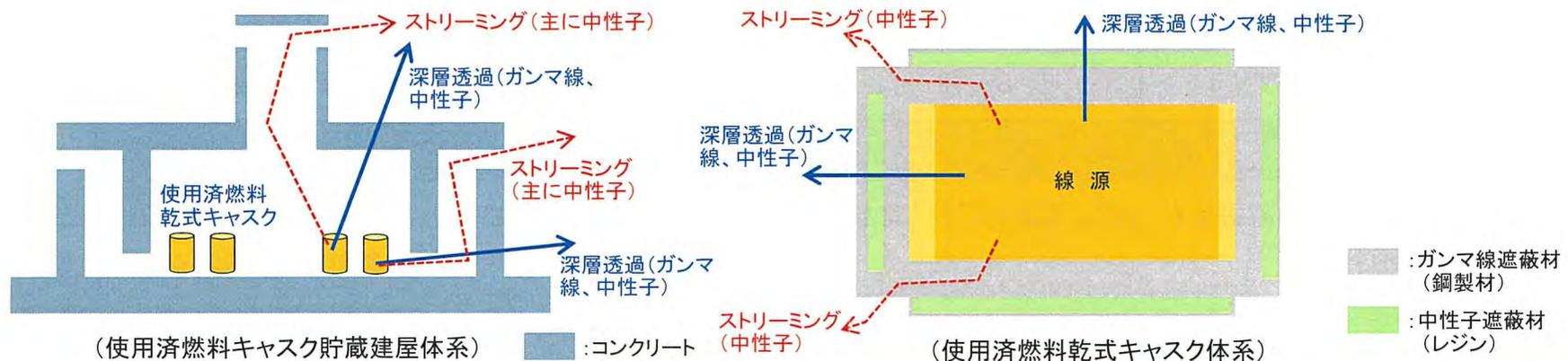
(3) 遮蔽解析評価条件(解析コード及び検証) (詳細は資料1-4のP.20~36参照)

② 遮蔽解析に用いる解析コード(2/2)

国内許認可での使用実績のある使用済燃料キャスク貯蔵建屋の遮蔽解析における解析条件との比較を下表に示す。線源条件及び解析対象の物理現象が同一であり、新規性はない。

項目	使用済燃料キャスク貯蔵建屋(注)	MSF-24P型型式証明 (使用済燃料乾式キャスク)	備 考
解析コード	MCNP4C	MCNP5	MCNP5はMCNP4Cのバージョンアップ版であり、開発元、解析手法は同一
線源条件	使用済燃料からのガンマ線、中性子	同 左	線源条件は同一
解析対象の物理現象	建屋遮蔽体の深層透過・ストリーミング	キャスク遮蔽体の深層透過・ストリーミング	下図に示すとおり、解析が対象は、いずれも遮蔽体を透過する放射線(深層透過)及び遮蔽欠損部を通過する放射線(ストリーミング)であり、物理現象は同一
数学モデル	ボルツマン輸送方程式	同 左	数学モデルは同一

(注)リサイクル燃料貯蔵(株)、リサイクル燃料備蓄センターの使用済燃料貯蔵事業変更許可申請における解析条件



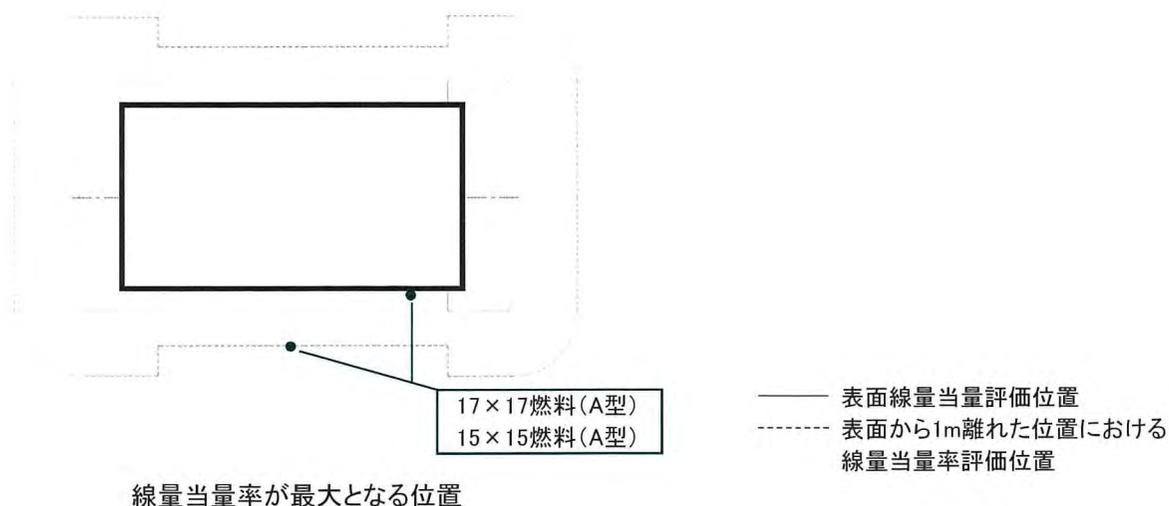
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 遮蔽機能の安全評価について

(4) 遮蔽解析評価結果 (詳細は資料1-4のP.14~18、別紙4参照)

遮蔽評価により、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。

項目	17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準
表面線量当量率	0.79 mSv/h	0.81 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	100 μSv/h以下



● 設計方針の妥当性

以上のとおり、MSF-24P型表面及び表面から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型の遮蔽機能に係る設計方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 遮蔽機能データについて(設置(変更)許可申請での確認事項)

- MSF-24P型を貯蔵する施設を設置する場合、設置許可基準規則第29条及び第30条への適合性確認が必要であり、適合性評価として実施する線量評価におけるソースターム条件として、遮蔽機能データ^(注1)を使用できることが審査ガイドに規定されている。
- 第29条及び第30条の遮蔽評価に用いるソースターム条件として、MSF-24P型の遮蔽機能データを用いる場合は、型式証明申請第16条の適合性評価と同じ手法で求めた線束を用いるものとする。

(注1)MSF-24P型に収納する燃料について、型式証明で示す収納物仕様と実際の収納燃料仕様の差に応じた適度な保守性を有することとなり、型式証明の遮蔽機能データを用いて第29条及び第30条の適合性を説明することは合理的である。

「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」より抜粋

2.2 遮蔽機能

【確認内容】

3) 敷地境界における実効線量

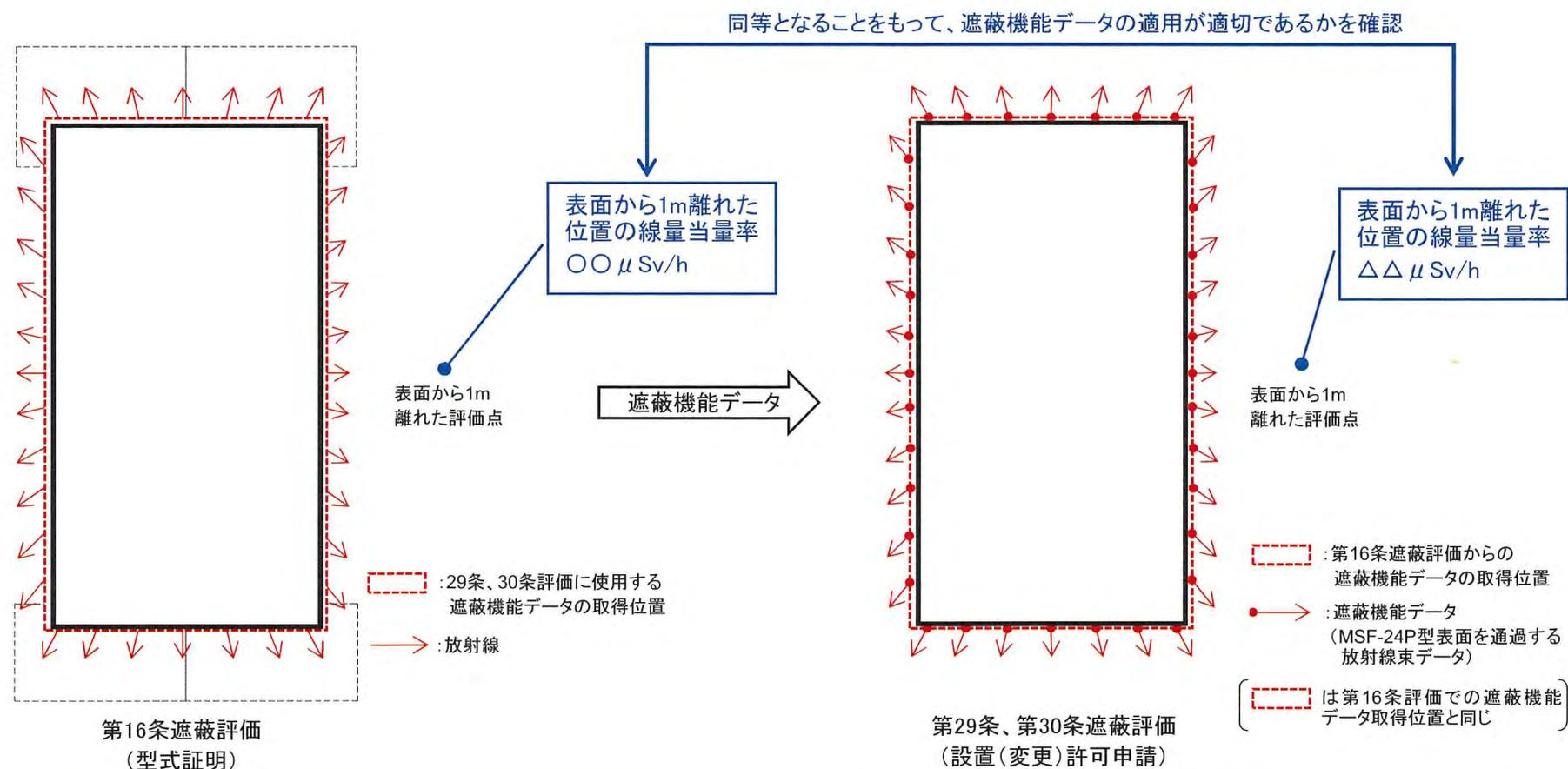
② ソースターム

兼用キャスクの遮蔽機能データ又は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が100 μ Sv/h となるよう放射線源強度を規格化したものを用いること。ここで、放射線源強度を規格化して用いる場合は、中性子100%又はガンマ線100%のいずれか保守的な線量評価とすること。また、中性子及びガンマ線の表面エネルギースペクトルは、保守的な線量評価となるものを使用すること。

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

(参考)設置(変更)許可申請時における遮蔽機能データの設定例(1/2)

- 設置(変更)許可申請時に実施する第29条及び第30条の遮蔽評価では、第16条遮蔽評価のMSF-24P型表面を通過する放射線束データを用いて線量評価を行う。
- MSF-24P型表面から1m離れた位置の代表評価点(5点)における遮蔽機能データを用いて計算した線量当量率が、第16条の遮蔽評価結果(P.20参照)と同等となることをもって、遮蔽機能データが適切に使用されていることを確認することができる。



3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

(参考)設置(変更)許可申請時における遮蔽機能データの設定例(2/2)

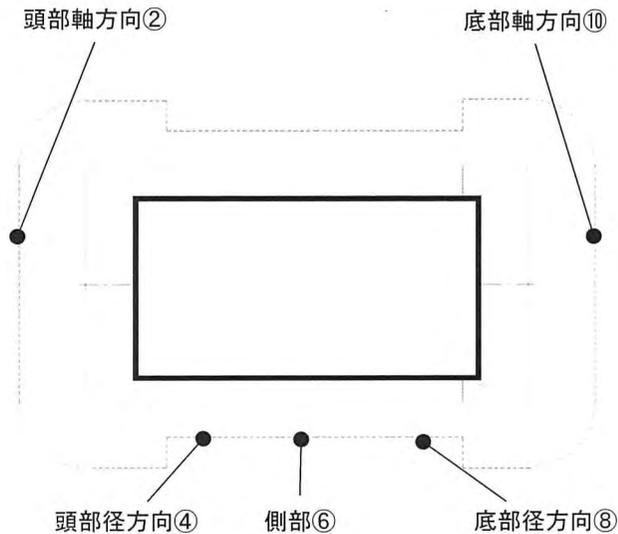
MSF-24P型の表面から1m離れた位置における代表評価点の線量当量率(17×17燃料(A型)収納時)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	②	④	⑧	⑩		
表面から1m ガンマ線	燃料有効部	<0.1	23.4	45.0	27.1	2.9
	構造材放射化	0.2	22.7	11.5	13.0	16.8
	二次ガンマ線	0.2	5.1	10.0	5.5	1.8
	中性子	20.3	32.3	17.7	29.1	12.9
	合計	20.8	83.5	84.2	74.7	34.4

MSF-24P型の表面から1m離れた位置における代表評価点の線量当量率(15×15燃料(A型)収納時)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	②	④	⑧	⑩		
表面から1m ガンマ線	燃料有効部	0.1	22.4	44.9	25.4	3.1
	構造材放射化	0.1	16.2	8.5	8.3	10.6
	二次ガンマ線	0.2	5.3	10.5	5.5	1.9
	中性子	22.2	35.9	19.0	32.0	14.0
	合計	22.6	79.8	82.9	71.2	29.6

単位: μ Sv/h



4. 指摘事項(コメント)リスト (1/2)

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	<ul style="list-style-type: none"> ・(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。
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。

4. 指摘事項(コメント)リスト (2/2)

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。(P.23～P.28参照)	本審査会合で説明。
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	今後回答する。	未 (今後回答予定)
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(P.29参照)。	本審査会合で説明。
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スケット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、使用する金属ガスケットの性能(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(P.29参照)。	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条他	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(P.29参照)。	本審査会合で説明。

5. 指摘事項への回答

指摘事項(No.3)

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。

(回答)

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(臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込め)における代表燃料及びその選定理由を下表に示す。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。

安全評価における代表燃料の選定理由

安全評価	代表燃料		選定理由	
			48,000MWd/t型と39,000MWd/t型の選定理由	A型とB型の選定理由
臨界防止	17×17燃料	48,000MWd/t型(A型)	臨界評価では新燃料(燃焼度0GWd/t)とするため、燃焼度は考慮不要であり、初期濃縮度の高い48,000MWd/t型を選定	A型、B型共に臨界解析で考慮する条件は同じであり、A型を選定(P.24参照)
	15×15燃料	48,000MWd/t型(A型)		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A型を選定(P.24参照)
遮蔽	17×17燃料	48,000MWd/t型(A型)	線源強度は燃焼度が高い方が大きくなるため48,000MWd/t型を選定	冷却期間が短く、線量当量率への寄与が大きい燃料有効部ガンマ線源強度及び中性子源強度が大きいA型を選定(P.25～27参照)
	15×15燃料	48,000MWd/t型(A型)		
除熱	17×17燃料	48,000MWd/t型(A型)	崩壊熱量は燃焼度が高い方が大きくなるため48,000MWd/t型を選定	冷却期間が短く、崩壊熱量が大きいA型を選定(P.28参照)
	15×15燃料	48,000MWd/t型(A型)		
閉じ込め	17×17燃料	48,000MWd/t型(A型)	燃料棒内圧は燃料棒温度が高い方が大きくなるため48,000MWd/t型を選定	燃料棒内圧は燃料棒温度が高い方が大きくなるためA型を選定
	15×15燃料	48,000MWd/t型(A型)		

5. 指摘事項への回答

● 臨界防止評価における燃料型式(A型又はB型)の代表性

臨界防止評価では、評価に用いる燃料型式(A型又はB型)を以下のとおり選定している。

- 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ため、A型を対象とした。
- 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ため、A型を対象とした。

臨界評価に使用する燃料集合体の仕様比較

17×17燃料 (48,000MWd/t型)

項目	A型	B型
燃料材質	二酸化ウラン	左記と同じ
被覆管材質	ジルコニウム	左記と同じ
燃料密度	<input type="text"/>	左記と同じ
燃料棒直径	<input type="text"/>	左記と同じ
ペレット直径	<input type="text"/>	左記と同じ
被覆管肉厚	0.057cm	左記と同じ
燃料有効長	<input type="text"/>	左記と同じ
燃料棒ピッチ	<input type="text"/>	左記と同じ
初期濃縮度	4.2wt%	左記と同じ

15×15燃料 (48,000MWd/t型)

項目	A型	B型
燃料材質	二酸化ウラン	左記と同じ
被覆管材質	ジルコニウム	左記と同じ
燃料密度	<input type="text"/>	左記と同じ
燃料棒直径	<input type="text"/>	左記と同じ
ペレット直径	<input type="text"/>	<input type="text"/>
被覆管肉厚	0.062cm	0.066cm
燃料有効長	<input type="text"/>	左記と同じ
燃料棒ピッチ	<input type="text"/>	左記と同じ
初期濃縮度	4.1wt%	左記と同じ

5. 指摘事項への回答

● 遮蔽評価における燃料型式(A型又はB型)の代表性(1/3)

遮蔽評価では、評価に用いる燃料型式(A型又はB型)を以下のとおり選定している。

➢ MSF-24P型の線量当量率への寄与が大きい燃料有効部ガンマ線源強度及び中性子源強度が大きいA型を対象とした。

(線量当量率の評価結果は、A型収納時がB型収納時を包絡する^(注)ことを確認した。)

(注)「包絡する」とは、MSF-24P型表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率(合計値)が、それぞれ比較対象より大きいことを示す。

各燃料型式のMSF-24P型1基当たりの線源強度^(注1)

17×17燃料(48,000MWd/t型)収納時

線源強度	A型(15年冷却)	B型(17年冷却)
燃料有効部ガンマ線 (photons/s/基)	1.073×10^{17}	1.007×10^{17}
構造材放射化ガンマ線 (⁶⁰ Co TBq/基) ^(注2)	5.922×10^2	6.024×10^2
燃料有効部中性子 (n/s/基) ^(注3)	1.205×10^{10}	1.120×10^{10}

15×15燃料(48,000MWd/t型)収納時

線源強度	A型(15年冷却)	B型(17年冷却)
燃料有効部ガンマ線 (photons/s/基)	1.062×10^{17}	9.967×10^{16}
構造材放射化ガンマ線 (⁶⁰ Co TBq/基) ^(注2)	4.438×10^2	4.984×10^2
燃料有効部中性子 (n/s/基) ^(注3)	1.266×10^{10}	1.175×10^{10}

(注1) 中央部12体の燃焼度を48,000MWd/t、外周部12体の燃焼度を44,000MWd/tとしたMSF-24P型1基当たりの線源強度。

(注2) パーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値。構造材放射化ガンマ線のMSF-24P型外面の線量当量率結果への影響は局所的(燃料集合体端部(ノズル・プレナム部)近傍の評価点)である。

(注3) 実効増倍率を考慮した全中性子源強度。

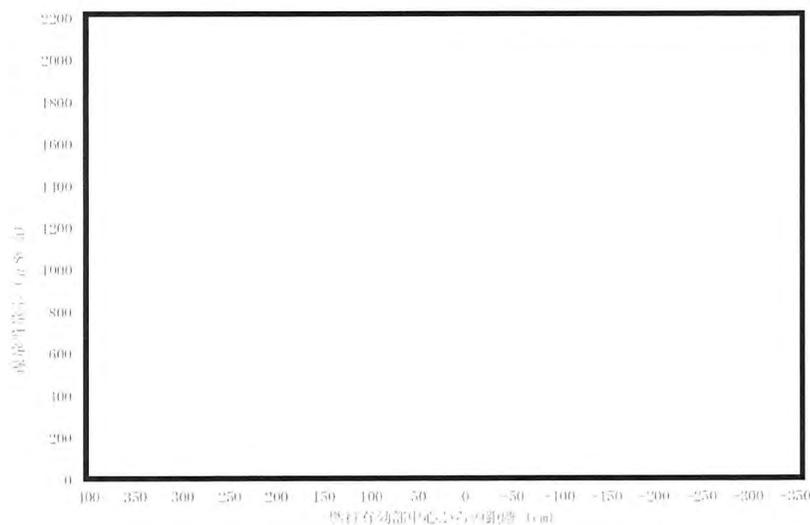
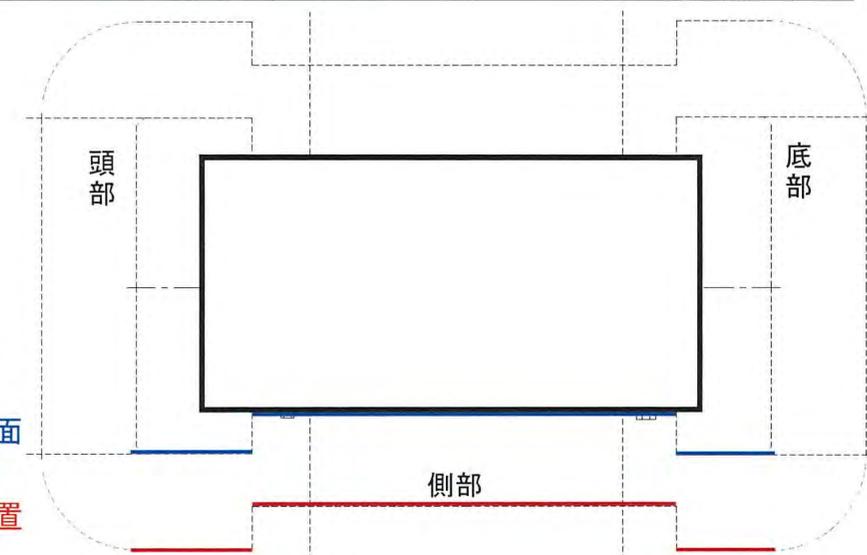
各燃料型式収納時の線量当量率比較

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	0.79 mSv/h	0.58 mSv/h	0.81 mSv/h	0.56 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

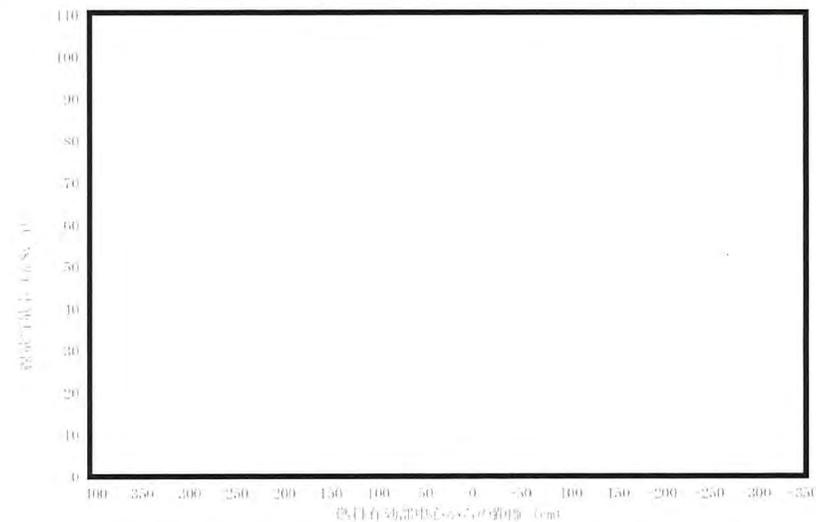
5. 指摘事項への回答

● 遮蔽評価における燃料型式(A型又はB型)の 代表性(2/3)

- 17×17燃料収納時の線量当量率評価結果について、A型収納時がB型収納時を包絡する。
- 放射化ガンマ線源の寄与が大きい箇所(燃料集合体上下端付近)ではB型燃料収納時の線量当量率が高くなるものの、局所的であり、大部分はA型燃料収納時の線量当量率の方が高い。



17×17燃料(A型/B型)収納時の線量当量率評価結果
(MSF-24P型表面位置)

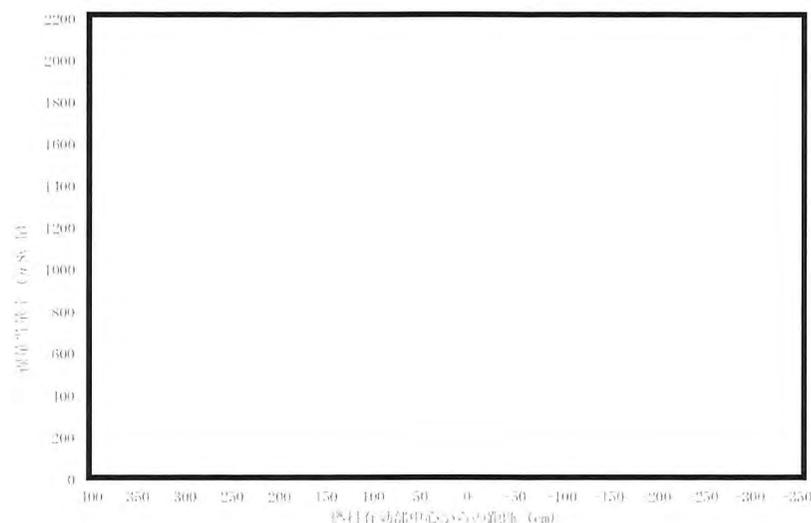
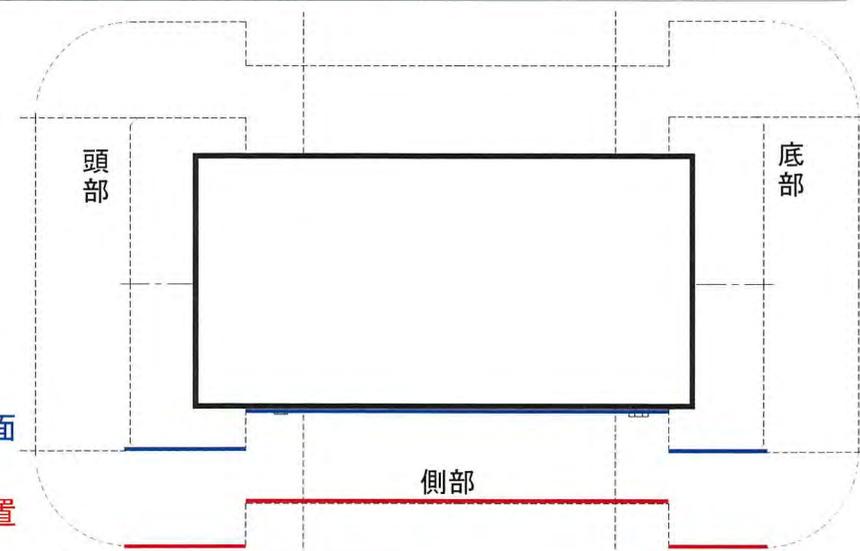


17×17燃料(A型/B型)収納時の線量当量率評価結果
(MSF-24P型表面から1m離れた位置)

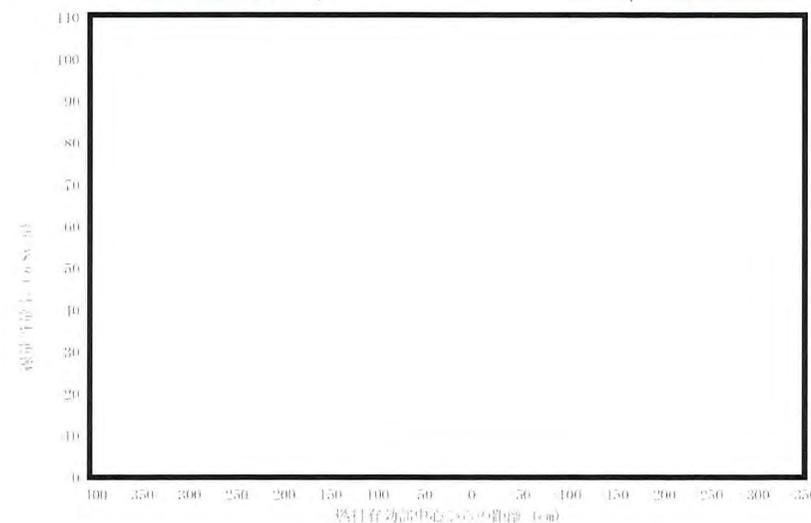
5. 指摘事項への回答

● 遮蔽評価における燃料型式(A型又はB型)の 代表性(3/3)

- 15×15燃料収納時の線量当量率評価結果について、A型収納時がB型収納時を包絡する。
- 放射化ガンマ線源の寄与が大きい箇所(燃料集合体上下端付近)ではB型燃料収納時の線量当量率が高くなるものの、局所的であり、大部分はA型燃料収納時の線量当量率の方が高い。



15×15燃料(A型/B型)収納時の線量当量率評価結果
(MSF-24P型表面位置)



15×15燃料(A型/B型)収納時の線量当量率評価結果
(MSF-24P型表面から1m離れた位置)

5. 指摘事項への回答

● 除熱評価における燃料型式(A型又はB型)の代表性

除熱評価では、評価に用いる燃料型式(A型又はB型)を以下のとおり選定している。

- 冷却期間が短く、崩壊熱量が大きいA型を対象とした。

除熱評価(崩壊熱量計算)に使用する燃料集合体の緒元比較

17×17燃料(48,000MWd/t型)

項目	A型	B型
最高燃焼度	48,000MWd/t	左記と同じ
平均燃焼度 ^(注1)	44,000MWd/t	左記と同じ
照射期間 ^(注2)	<input type="text"/>	左記と同じ
濃縮度	<input type="text"/>	左記と同じ
冷却期間	15年	17年
燃料集合体1体あたりの崩壊熱量	754.0 W	719.2 W

15×15燃料(48,000MWd/t型)

項目	A型	B型
最高燃焼度	48,000MWd/t	左記と同じ
平均燃焼度 ^(注1)	44,000MWd/t	左記と同じ
照射期間 ^(注2)	<input type="text"/>	左記と同じ
濃縮度	<input type="text"/>	左記と同じ
冷却期間	15年	17年
燃料集合体1体あたりの崩壊熱量	755.0 W	720.3 W

(注1) 平均燃焼度とは、MSF-24P型1基当たり収納される使用済燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

(注2) 照射期間は、平均燃焼度に対応する。

5. 指摘事項への回答

指摘事項(No.5)

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。

(回答)

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(資料1-3の別紙3参照)。

指摘事項(No.6)

基準漏えい率、リークテスト判定基準及び金属ガスケット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。

(回答)

閉じ込め機能の基本設計方針の妥当性確認として、使用する金属ガスケットの性能(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(P.30~36参照)。

指摘事項(No.7)

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。

(回答)

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。また、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。

5. 指摘事項への回答

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第16条第4項三号) (兼用キャスクの閉じ込め機能)

● 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。

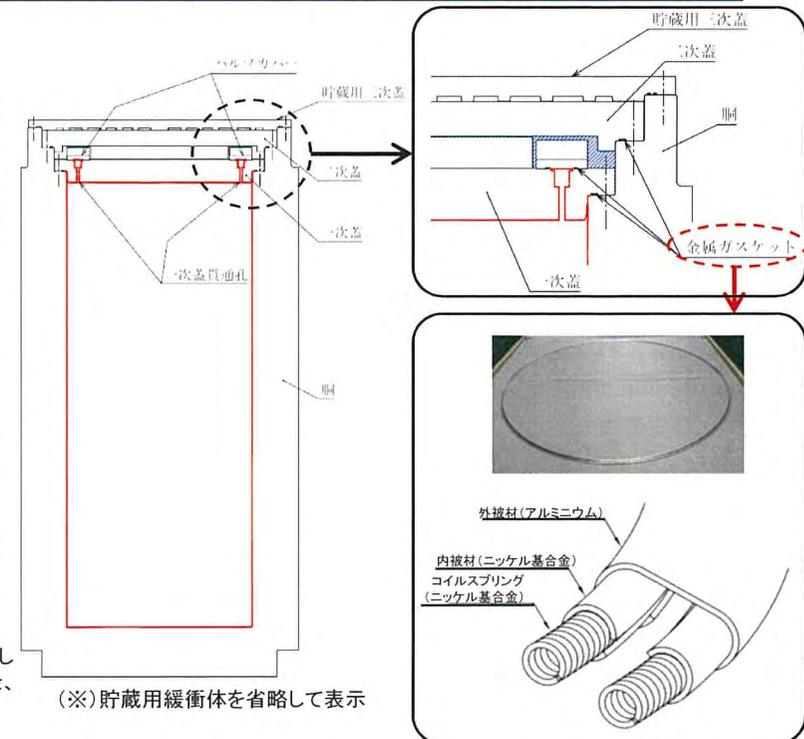
具体的な設計方針

- MSF-24P型本体及び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(注1)。また、一次蓋と二次蓋の蓋間を正圧(0.41MPa以下)とし圧力障壁を形成することにより放射性物質をMSF-24P型内部に閉じ込める。蓋及び蓋貫通孔のシール部には、長期間閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを使用する。金属ガスケットは、設計貯蔵期間中にMSF-24P型内部を負圧に維持できる漏えい率を満足するものを使用する。
- 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構造とする。

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とし、蓋間空間のヘリウムガスが、金属ガスケットの設計漏えい率にてMSF-24P型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た場合において、MSF-24P型内部は設計貯蔵期間中に負圧を維持されることを確認した。

(注1)密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内となる設計とする。(MSF-24P型は、設計上考慮すべき自然現象(地震、津波及び竜巻)、及び地震時に想定する波及的影響に対しても密封境界部がおおむね弾性範囲内であり、また、使用済燃料の再取出性に問題がないことを第4条、第5条、第6条への適合性説明で示す予定。)



閉じ込め構造図

5. 指摘事項への回答

● 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.32～35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。	密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内とし、また、使用済燃料の再取出性に問題ない設計とする。 【今後、第4条、第5条、第6条で説明予定】
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」

5. 指摘事項への回答

● 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) (※詳細は資料1-6の別紙1及び別紙2参照)

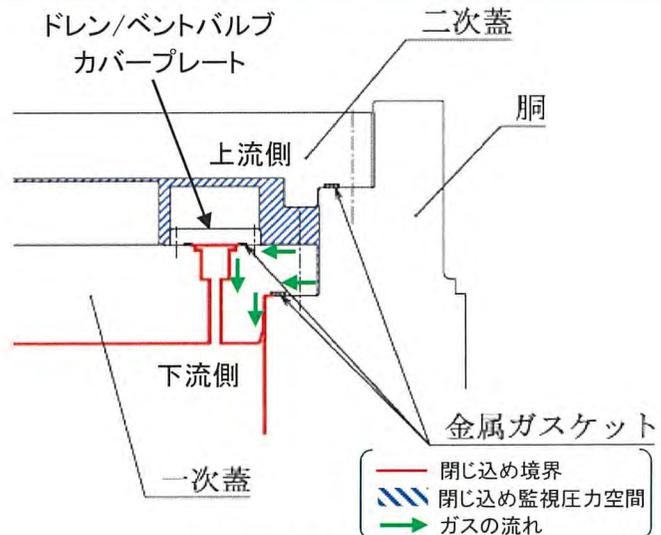
評価に用いる収納物仕様は、燃料棒の温度が最も高く、燃料棒内圧が大きくなり、MSF-24P型本体内部圧力を算出する上で安全側となる、17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)とし、以下のとおりとする。

- ・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。
- ・MSF-24P型本体の内部体積が小さくなるようにバーナブルポイズン集合体の存在を考慮する。

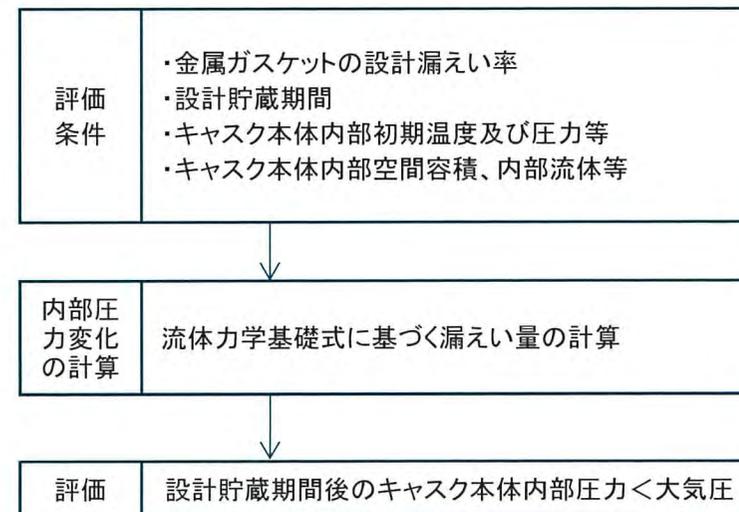
(2) 閉じ込め評価概要 (※詳細は資料1-6のP.8~9、別紙2参照)

金属ガスケットの設計漏えい率($1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)によるMSF-24P型本体内部の圧力変化を以下の保守的な条件を基に計算(流体力学の基礎式による)し、設計貯蔵期間中にMSF-24P型本体内部圧力が負圧に維持されることを確認する。

- ・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MSF-24P型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MSF-24P型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。



(※)貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体を省略して表示



(閉じ込め機能評価フロー)

5. 指摘事項への回答

● 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) (※詳細は資料1-6の別紙2参照)

ボイル・シャルルの式で与えられるMSF-24P型本体内部圧力の時間変化を基に、設計貯蔵期間経過後のMSF-24P型本体内部圧力を算出する。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)

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

$$Q = L \cdot P_a$$

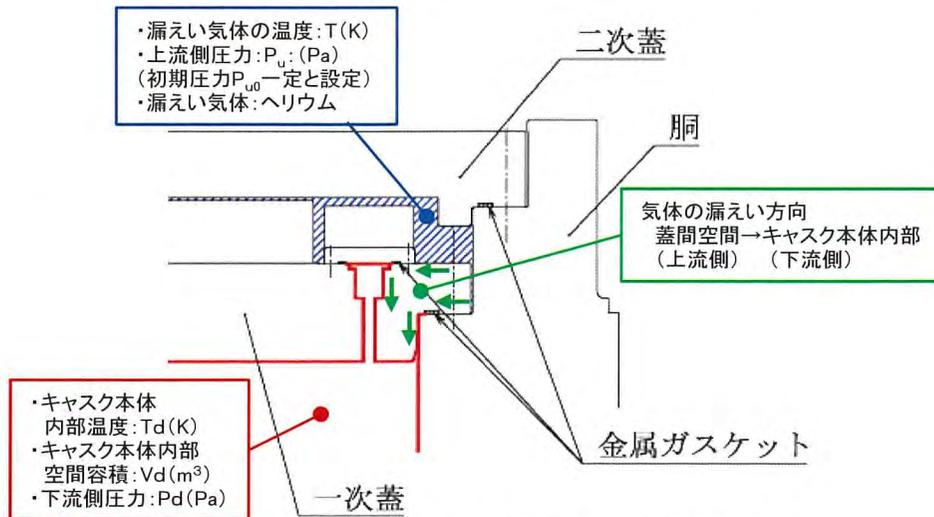
$$L = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d)$$

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot P_a}$$

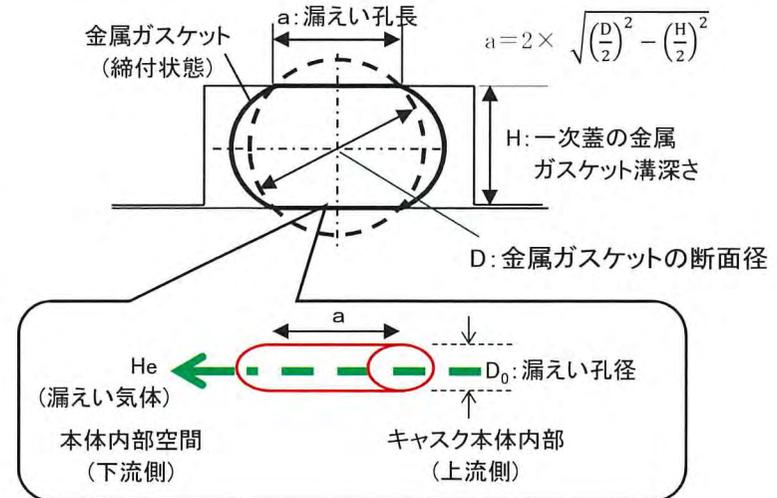
$$F_c = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$$

dPd : 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)
 Td : キャスク本体内部温度 (K)
 Vd : 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)
 Pa : 流れの平均圧力 (Pa)【Pa = (Pu+Pd)/2】
 Fc : 連続流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
 Fm : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))

Pu : 上流側(蓋間)の圧力 (Pa)
 Pd : 下流側(乾式キャスク本体内部)の圧力 (Pa)
 Do : 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)
 Ro : ガス定数 (J/(mol・K))



(※)貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体を省略して表示



(金属ガスケット部及び漏えい孔長)

5. 指摘事項への回答

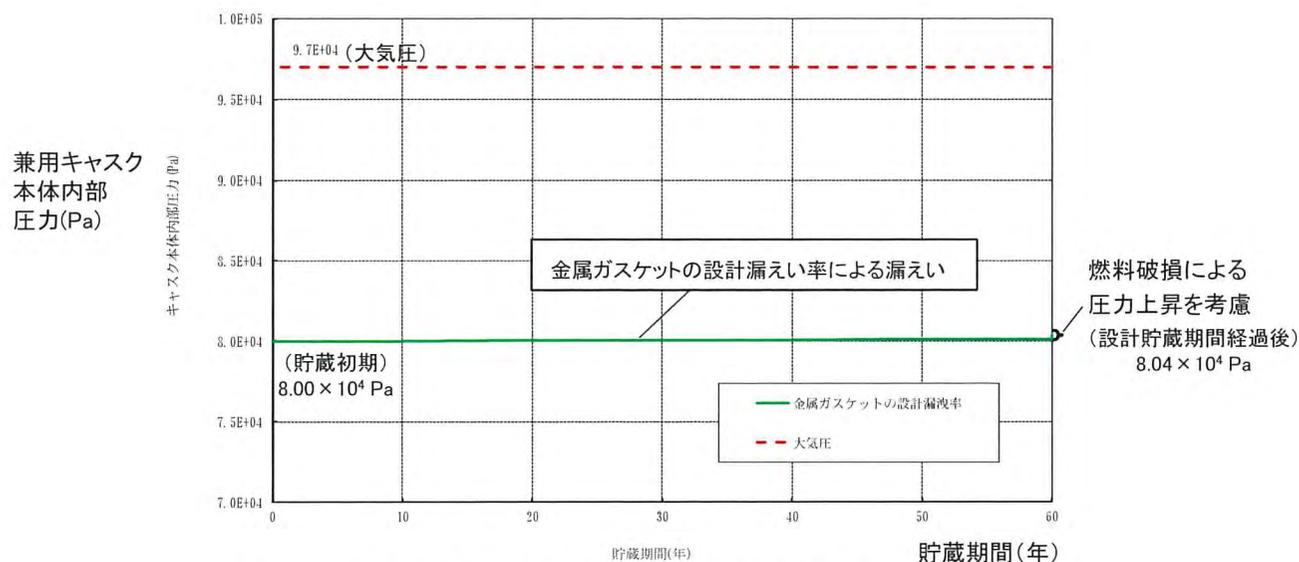
● 閉じ込め機能の安全評価について

(4) 閉じ込め評価結果 (※詳細は資料1-6のP.10参照)

MSF-24P型に用いる金属ガスケットの設計漏えい率による設計貯蔵期間経過後のMSF-24P型内部圧力は大気圧以下となり、設計貯蔵期間中にMSF-24P型内部を負圧に維持することを確認した。

収納状態	MSF-24P型内部圧力 (Pa)		大気圧 (Pa) (注)
	貯蔵初期	設計貯蔵期間経過後	
17×17燃料収納時	8.00×10^4	8.04×10^4	9.7×10^4
15×15燃料収納時	8.00×10^4	8.04×10^4	

(注) 設計貯蔵期間中の大気圧変動による大気圧の下限を考慮した設定値。



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)

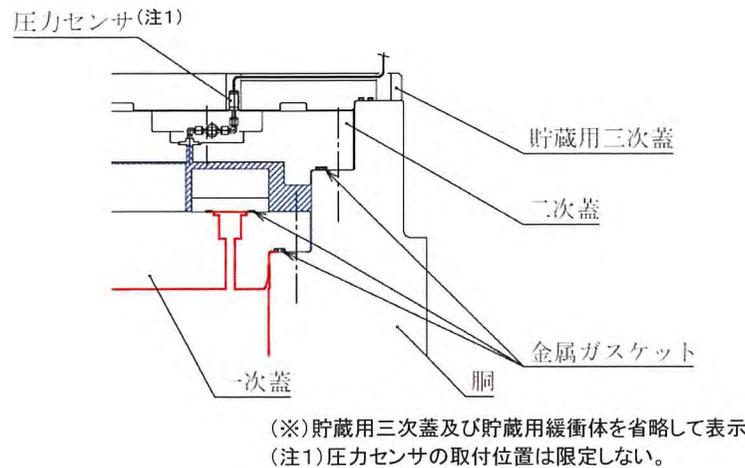
5. 指摘事項への回答

● 閉じ込め機能の安全評価について

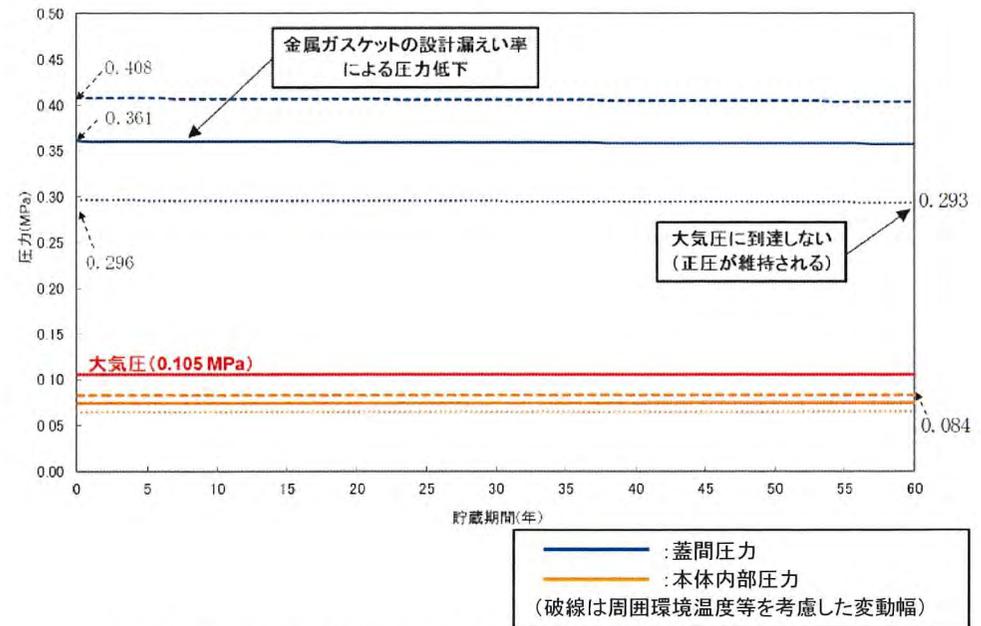
(5) 閉じ込め機能の監視構造

- MSF-24P型は、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。(詳細は資料1-6の別紙4参照)

(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。



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

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、設計貯蔵期間中にMSF-24P型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型の閉じ込め機能に係る設計方針は妥当である。

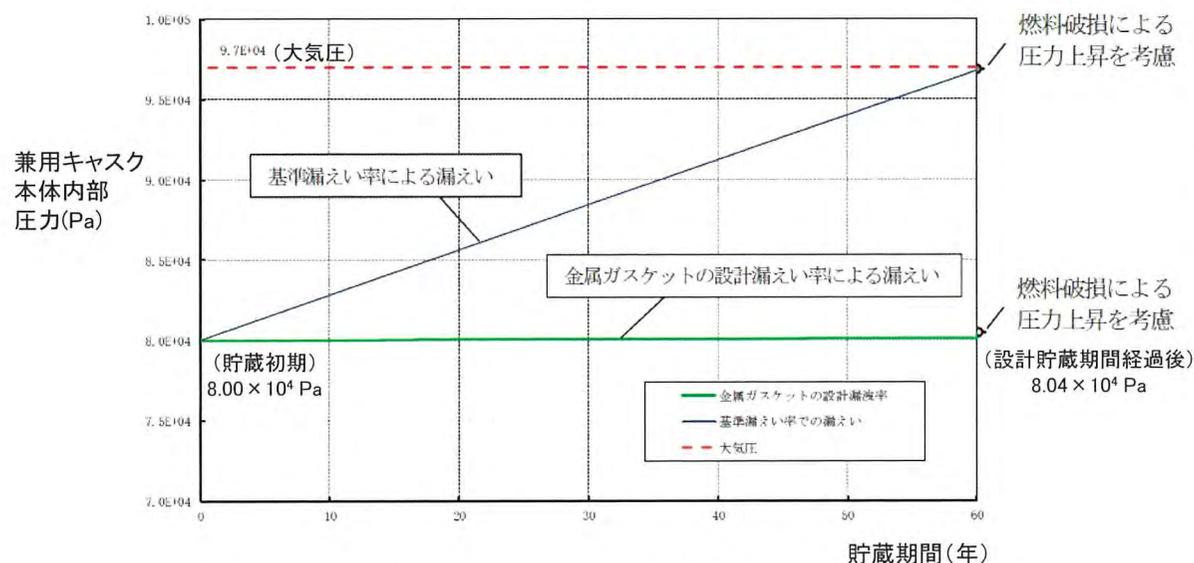
5. 指摘事項への回答

● 設置(変更)許可申請への引継ぎ事項

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(計算詳細は、資料1-6の別紙1参照)を設定し、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項として受け渡す。

- 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)は、基準漏えい率を下回るように設定する。
- 蓋間空間の圧力が基準漏えい率により低下(注)する場合、蓋間圧力は設計貯蔵期間中に大気圧に到達する可能性がある。この場合、大気圧に到達する前に蓋間圧力の管理値を設定し、管理値に到達した時点で蓋間空間の圧力を再充填する運用とする。なお、この場合において、再充填による蓋間のヘリウムガスが保守的に全て兼用キャスク内部のみに流入するとしても、兼用キャスク内部は設計貯蔵期間中に負圧を維持可能である。(詳細は資料1-6の別紙4参照)

(注) 蓋間空間のガスが基準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。



収納状態	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)
17×17燃料収納時	2.60 × 10 ⁻⁶
15×15燃料収納時	2.60 × 10 ⁻⁶

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)

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