

資料1-1

Doc. No. L5-95JY254 R4

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)

2020.12.21

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	…36
5. 指摘事項への回答	…38

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

- ▶ 本ヒアリング(審査会合)以降、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、以下理由により、本申請範囲から除外させて頂く。

<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	兼用キャ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	▼
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。	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。

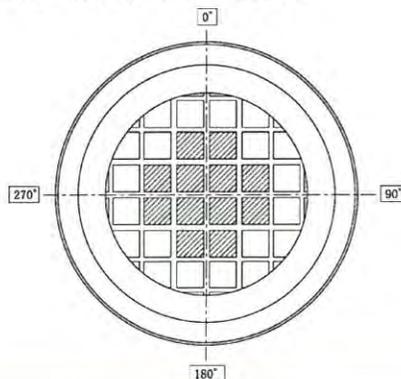
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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	
燃料集合体	種類	PWR使用済燃料								
	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

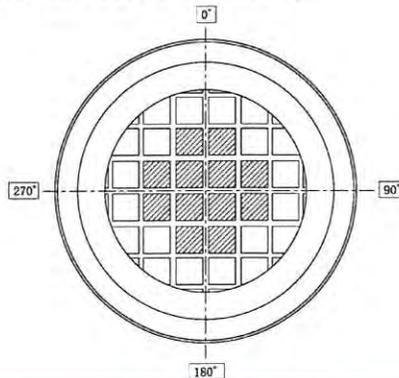
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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	
燃料集合体	1体	PWR使用済燃料								
		種類								
	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。



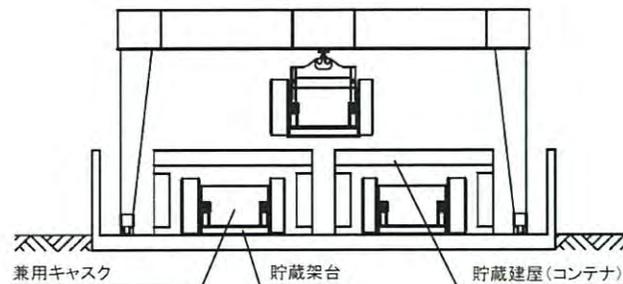
- : 中央部(12体) 燃焼度が48,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置
- : 外周部(12体) 燃焼度が44,000MWd/t以下の使用済燃料の収納位置

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2項一号ハ) (兼用キャスクの臨界防止機能)

● 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

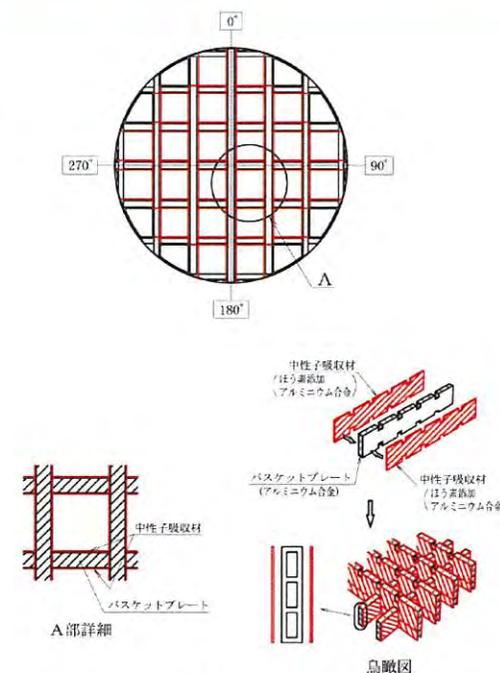
- 使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び適切な位置に配置された中性子吸収材(ほう素添加アルミニウム合金)により臨界を防止する(注1)。
- MSF-24P型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P型に使用済燃料集合体を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- MSF-24P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。

(注1) 設計上想定される状態において、バスケットが塑性変形しない設計とする。

(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バスケットに塑性変形が生じないことを第4条、第5条、第6条への適合性説明で示す予定。)



バスケット構造図

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.13～15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型が無限に配列した体系(完全反射)(*) ➢ バスケットプレート寸法公差 ➢ 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が構造健全性を維持できる構造とする。 【今後、第16条「長期健全性」で説明予定】
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 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$)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)及び地震時に想定する波及的影響に対してもバスケットに塑性変形が生じない。 【今後、第4条、第5条、第6条で説明予定】

(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)

● 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) (詳細は資料1-3のP.6~10参照)

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	
		MSF-24P型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	≤90GWd/t	—	—		
	冷却期間	≥15年	—			
配置						

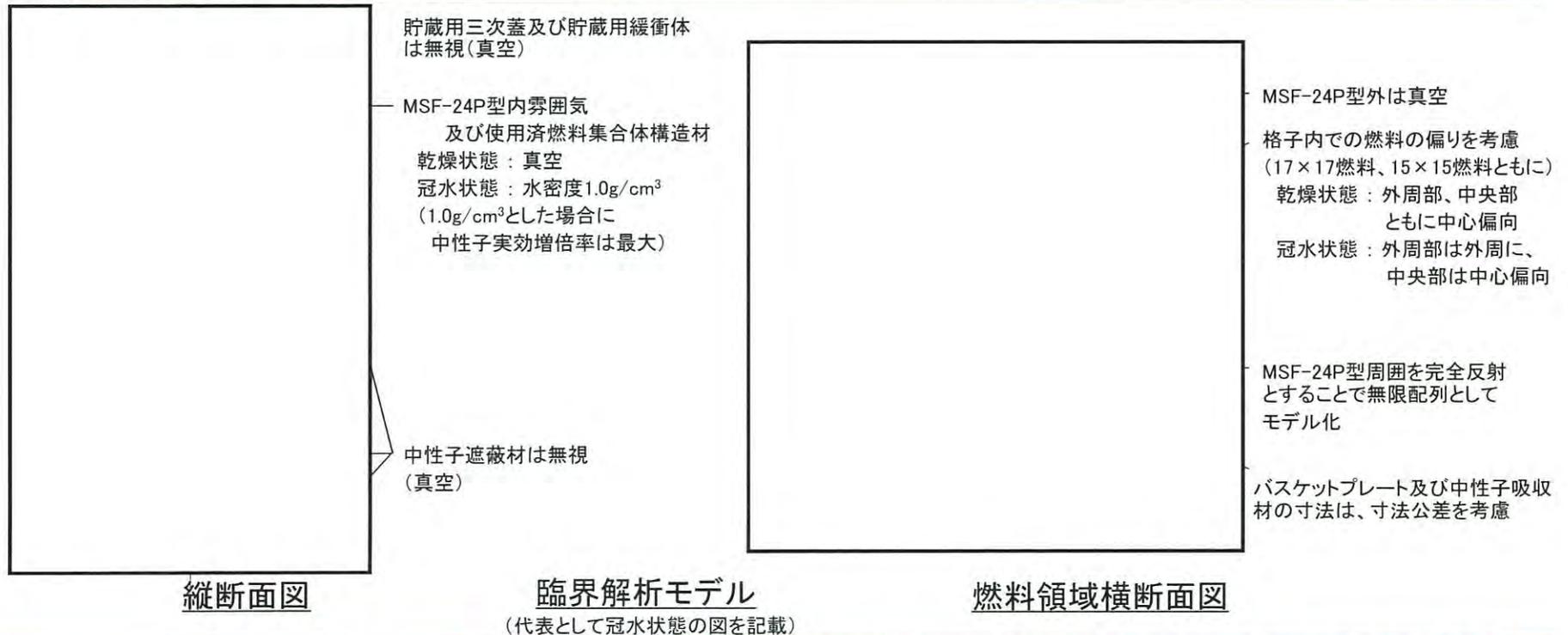
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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) (※詳細は資料1-3のP.6~7、P.11~26、別紙1及び別紙3参照)

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。
(貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体は無視。)
- ・MSF-24P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。



3. 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) (※詳細は資料1-3の別紙2参照)

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NRC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 (※詳細は資料1-3のP.27参照)

乾燥状態に加え、最も厳しい条件となるMSF-24P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型の臨界防止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)

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]

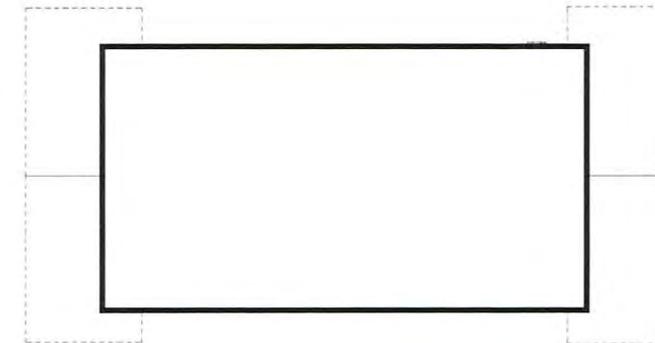
MSF-24P型は、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

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.18～21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」

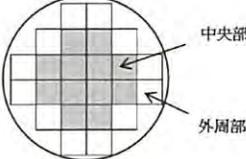
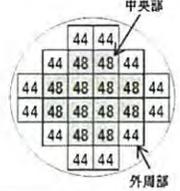
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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>		

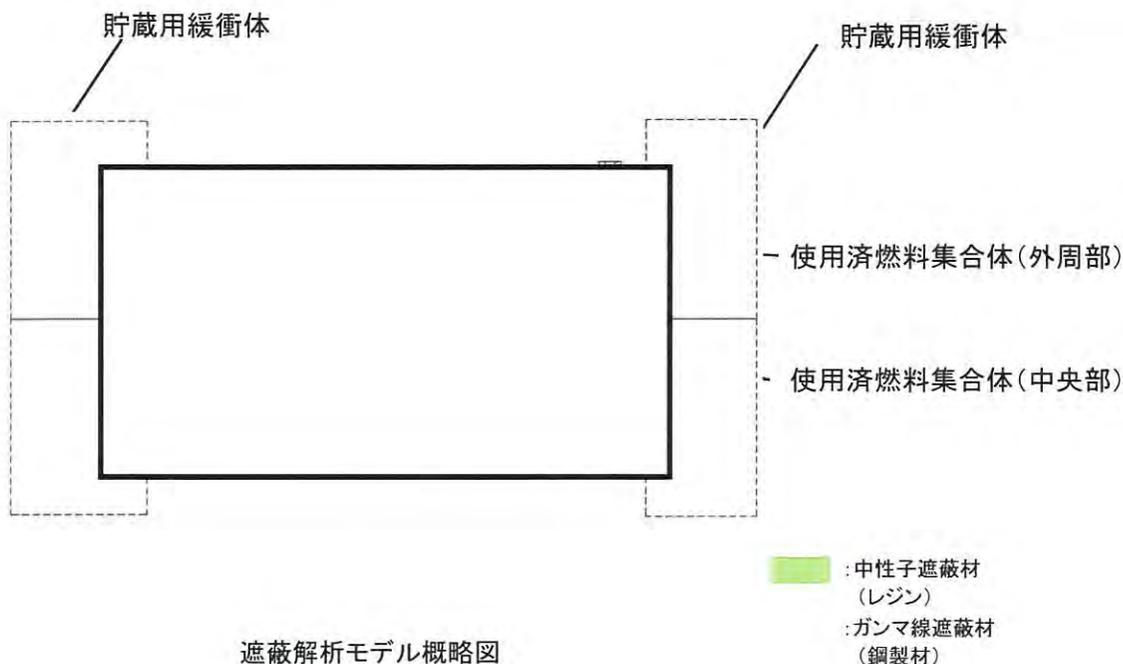
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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.20~35参照)

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。

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、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。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。

MCNP5コード及びライブラリは、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。

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、ライブラリである。

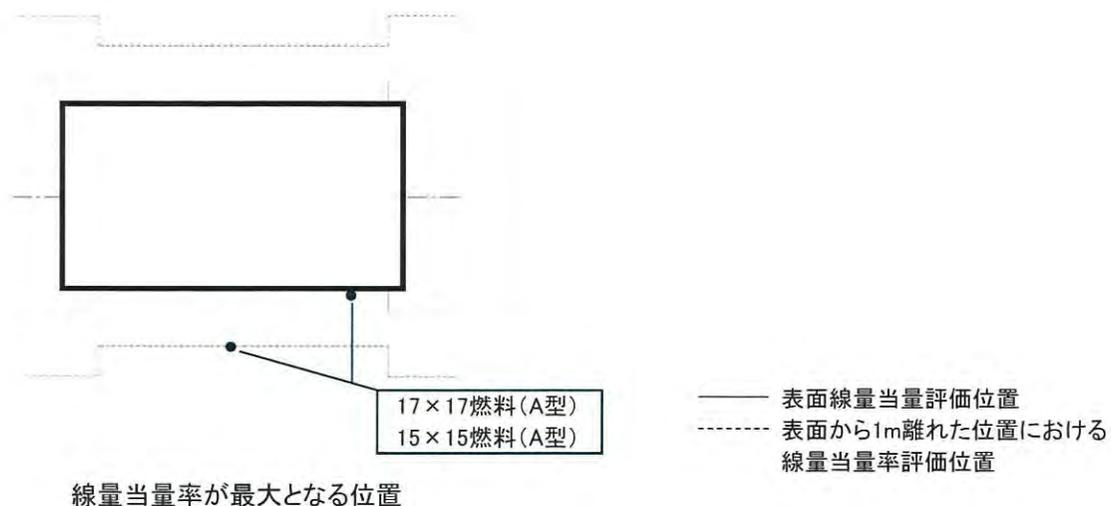
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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)

● 設置(変更)許可申請に引き継ぐ遮蔽機能データ(1/3)

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条の適合性の確認が必要となる。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なる遮蔽機能データとして、第16条の適合性評価にて実施する遮蔽解析で得られるMSF-24P型を通過する放射線束を設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とする。

(1) 遮蔽機能データを用いることの妥当性

- 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妥当である。
- また、審査ガイドにはソースターム条件として遮蔽機能データを用いることが規定されている。

「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。

(2) 第29条、第30条の遮蔽評価に用いる遮蔽機能データ

- 収納物仕様の異なる計2つの遮蔽機能データを型式証明申請書に含める。

収納物仕様	17×17燃料	15×15燃料
遮蔽機能データ	○ (A型燃料で代表) ^(注)	○ (A型燃料で代表) ^(注)

(注) A型燃料の代表性については資料1-4の別紙7参照

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 設置(変更)許可申請に引き継ぐ遮蔽機能データ(2/3)

(3) 遮蔽機能データの概要及び設置(変更)許可申請時における適用の確認方法

- 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、MSF-24P型 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。

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 設置(変更)許可申請に引き継ぐ遮蔽機能データ(3/3)

(4) 遮蔽機能データ適用の確認対象とする

➤

をもち、遮蔽機能データの適用が適切であることを確認する。

*

とする。

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項二号) (兼用キャスクの除熱機能)

● 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

- 使用済燃料の崩壊熱を熱伝導、対流及びふく射によりMSF-24P型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する構造により使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性を維持する温度を満足する設計とする。

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MSF-24P型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。

MSF-24P型の
伝熱経路図

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.27～29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	兼用キャスク各部の温度は、MSF-24P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	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である。
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である。
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」

3. 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) (※詳細は資料1-5のP.8~15、別紙1参照)

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、MSF-24P型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)
		MSF-24P型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	≤90GWd/t	—	—(無視)		
	冷却期間	≥15年	—			
配置				<p>※数値は燃焼度を示す。</p>		

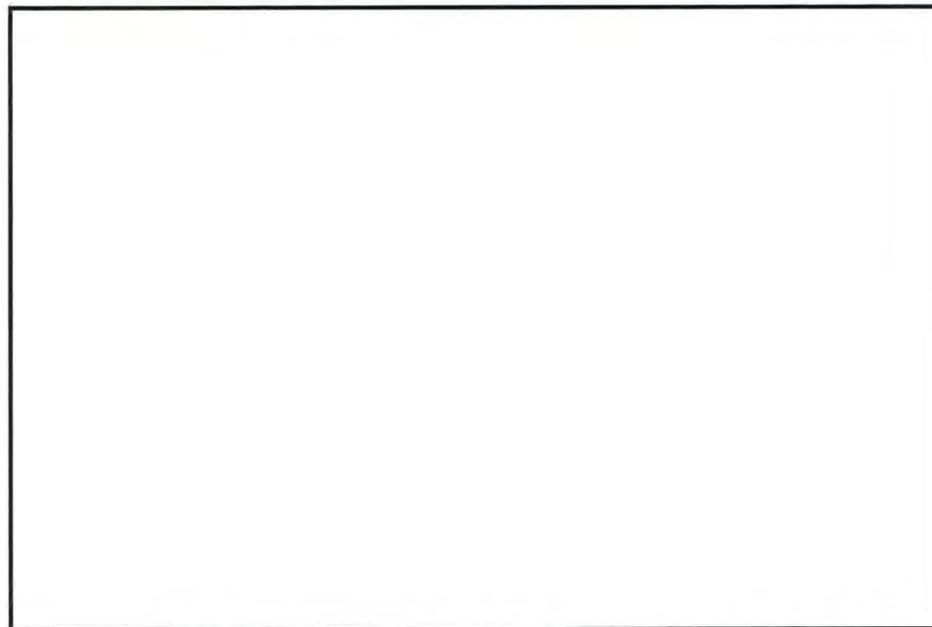
3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 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) (※詳細は資料1-5のP.16~22、別紙1及び別紙2参照)

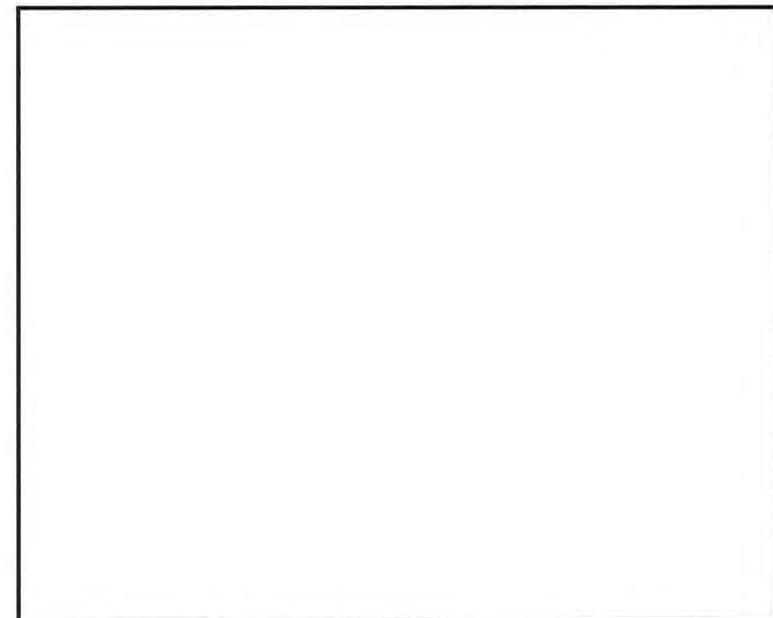
温度解析は、縦置きに比べ対流による放熱量が小さく、温度が高くなる横置き(屋外貯蔵時)を代表としてABAQUSコードにより実施する。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ・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)

3. 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

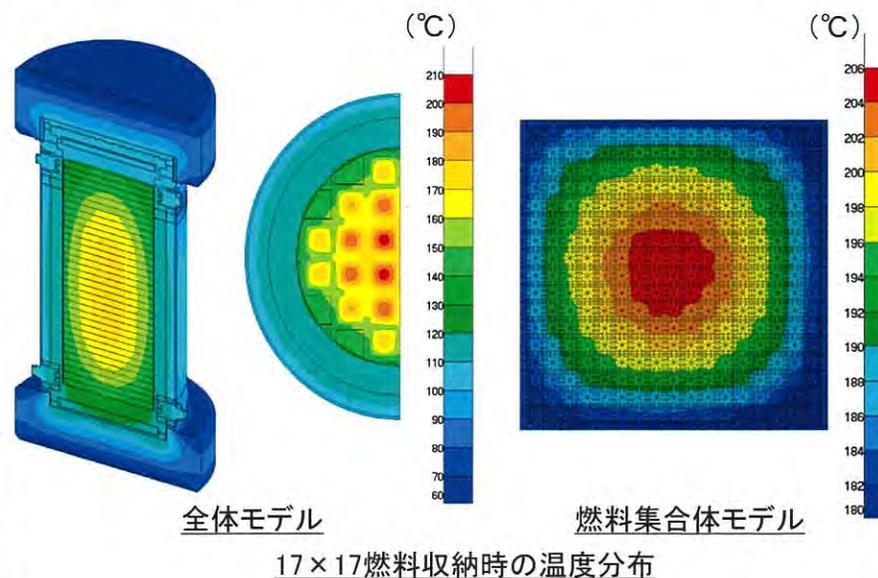
(3) 除熱解析評価条件(解析コード及び検証) (※詳細は資料1-5のP.31~38参照)

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、MSF-24P型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 (※詳細は資料1-5のP.23~29参照)

貯蔵時における除熱解析評価により、安全機能を担保する主要な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		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		206	206	275
兼用 キャ スク	胴	133	133	350
	一次蓋	110	110	350
	一次蓋ボルト	109	110	350
	中性子遮蔽材	127	126	149
	金属ガスケット	109	109	130
	バスケット	177	178	250
伝熱フィン		115	115	200



(注) 燃料被覆管の構造健全性及びMSF-24P型構成部材の構造健全性及び安全機能を維持できる温度

● 設計方針の妥当性

以上とおり、燃料被覆管及びMSF-24P型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型の除熱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)

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。

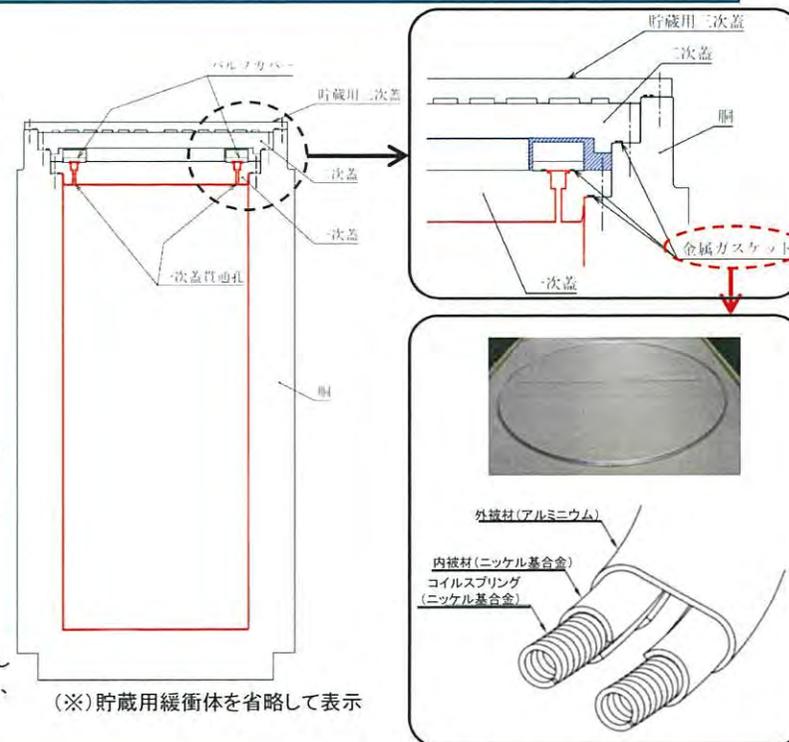
具体的な設計方針

- 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、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型に用いる金属ガスケットは、基準漏えい率に対し小さい漏えい率であることを確認した。

(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

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」

3. 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) (※詳細は資料1-6のP.8及び別紙1参照)

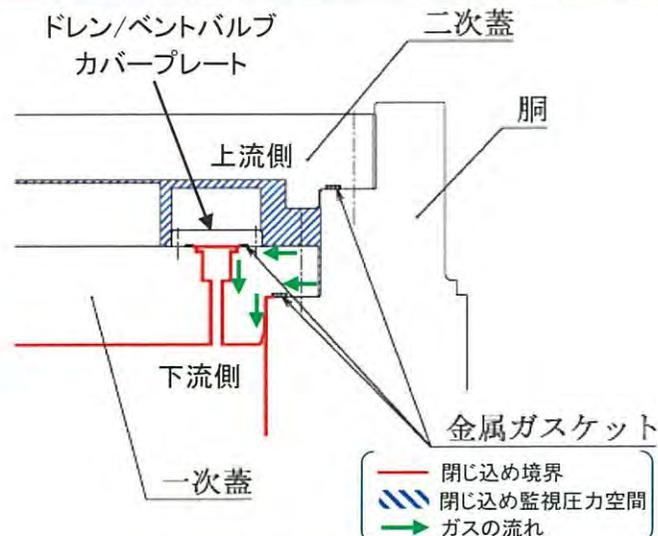
評価に用いる収納物仕様は、燃料棒の温度が最も高く、燃料棒内圧が大きくなり、基準漏えい率を算出する上で安全側となる、17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)とし、以下のとおりとする。

- ・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。
- ・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。

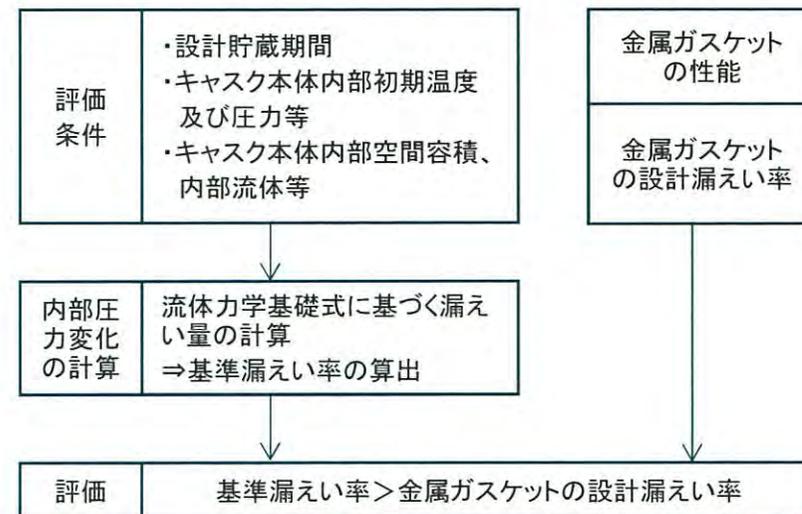
(2) 閉じ込め評価概要 (※詳細は資料1-6のP.8~9、別紙1参照)

設計貯蔵期間中にMSF-24P型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)

3. 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(基準漏えい率算出式) (※詳細は資料1-6の別紙1参照)

基準漏えい率は、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)

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

$$Q = L \cdot P_a$$

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

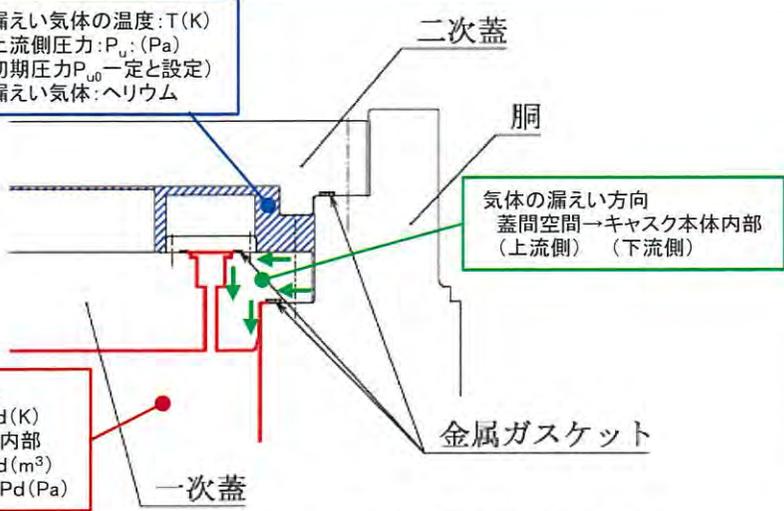
$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a}$$

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

- 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))

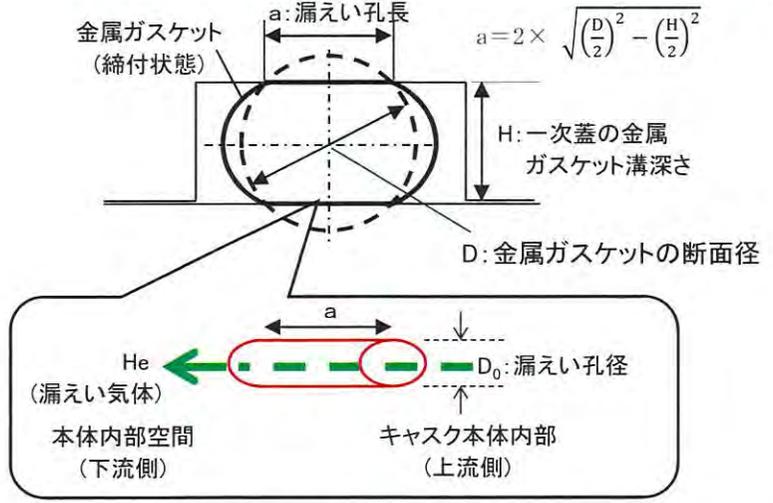
- Pu : 上流側(蓋間)の圧力 (Pa)
- Pd : 下流側(乾式キャスク本体内部)の圧力 (Pa)
- Do : 漏えい孔径 (m)
- a : 漏えい孔長 (m)
- μ : 漏えい気体の粘性係数 (Pa・s)
- M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)
- Ro : ガス定数 (J/(mol・K))

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



- ・キャスク本体内部温度: Td(K)
- ・キャスク本体内部空間容積: Vd(m³)
- ・下流側圧力: Pd(Pa)

(※)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)

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

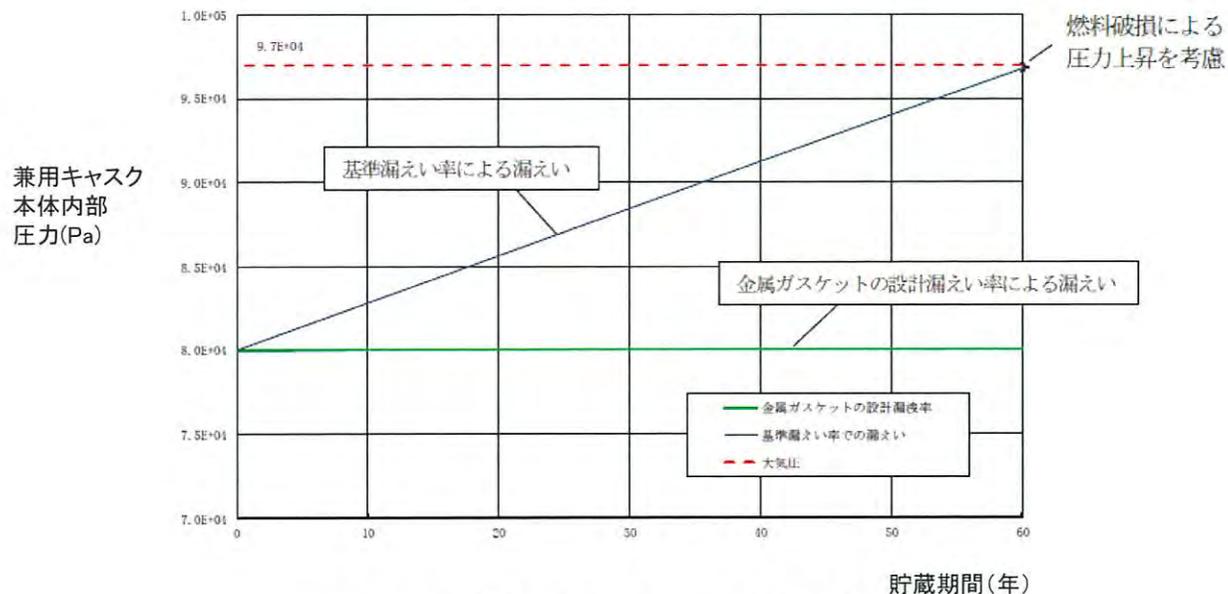
● 閉じ込め機能の安全評価について

(4) 閉じ込め評価結果 (※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漏えい率は算出した基準漏えい率^(注)に対し、小さいことを確認した。

(注) 設置(変更)許可申請への引継ぎ事項として基準漏えい率を受け渡す。
(事業者殿においては、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値が本値を下回ることを確認頂く。)

収納状態	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
17×17燃料収納時	2.60×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁸ 以下
15×15燃料収納時	2.60×10 ⁻⁶	



漏えい率の経時変化(17×17燃料収納時の例)

3. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

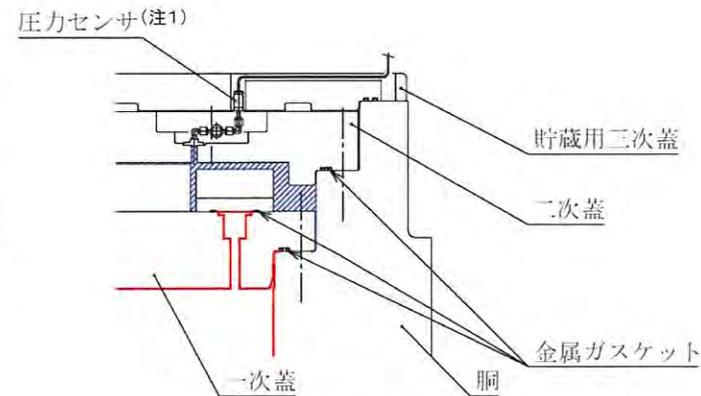
● 閉じ込め機能の安全評価について

(5) 閉じ込め機能の監視構造

- 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。
- 蓋間空間の圧力が基準漏えい率^(注)により低下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3参照)

(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。



(※) 貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体を省略して表示
(注1) 圧力センサの取付位置は限定しない。

● 設計方針の妥当性

以上のおり、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に対し漏えい率の小さい金属ガスケットを用いる設計としている。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。

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	・(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に示す。	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.37～P.43参照)	次回審査会合で説明予定。
4	2020/6/8 審査会合	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。	16条	緩衝材の長期健全性に対する評価結果を示す。設計貯蔵期間中の熱に対する緩衝性能への影響(木材強度の低下)があることを踏まえ、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評価に対する構造強度評価において、木材の強度低下(実際に収納される使用済燃料の崩壊熱量及び貯蔵経過期間に応じた残存強度)を考慮する。	次回審査会合で説明予定。
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.44参照)。	次回審査会合で説明予定。
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、基準漏えい率に対し、使用する金属ガスケットの漏えい率が十分小さいことをもって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)許可変更申請への引継ぎ事項とする。事業者殿において、基準漏えい率を下回るように貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値を設定頂くこととし、リークテスト判定基準は、型式証明申請に含めないこととする(P.44参照)。	次回審査会合で説明予定。
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.44参照)。	次回審査会合で説明予定。

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.39参照)
	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.39参照)
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.40～42参照)
	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.43参照)
	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)バ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部的(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。

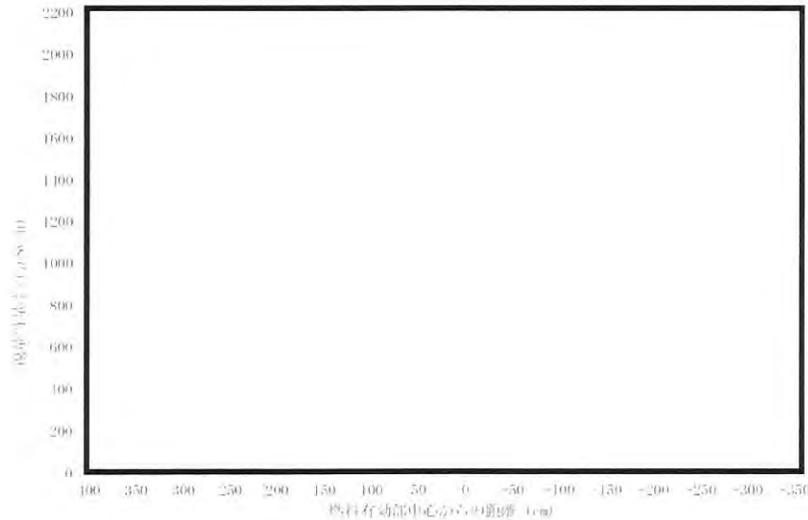
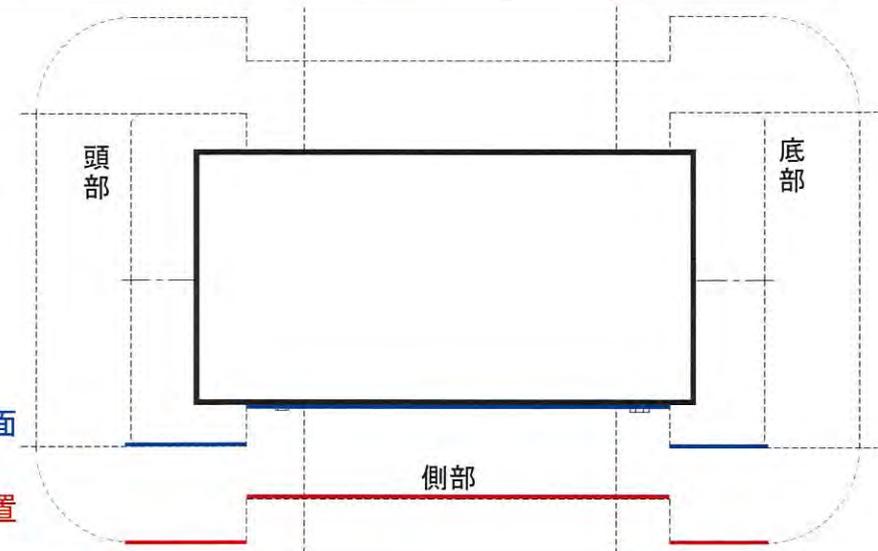
各燃料型式収納時の線量当量率比較

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

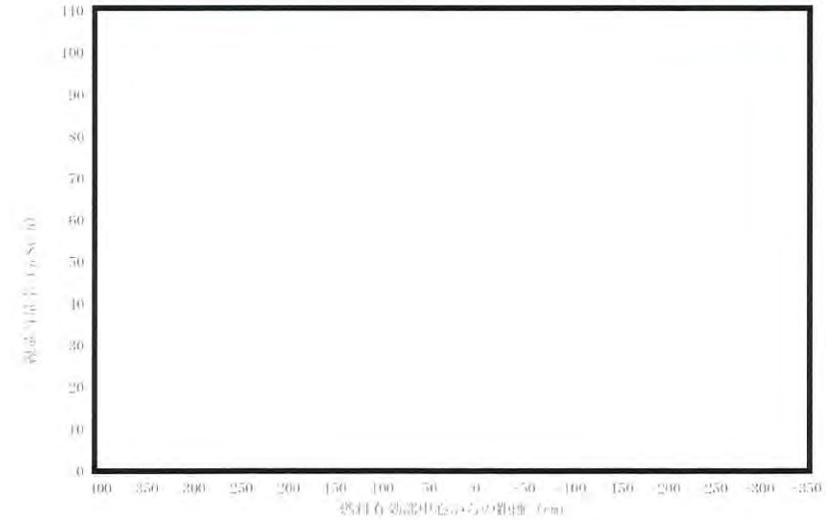
5. 指摘事項への回答

● 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。



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)

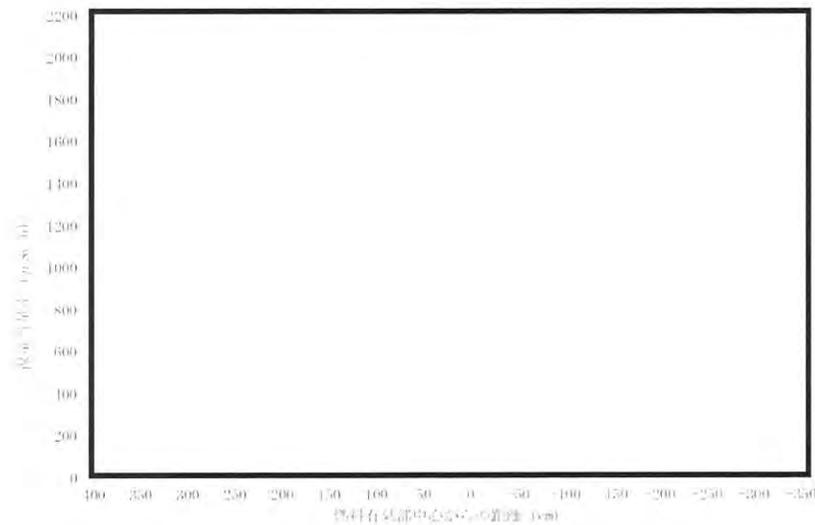
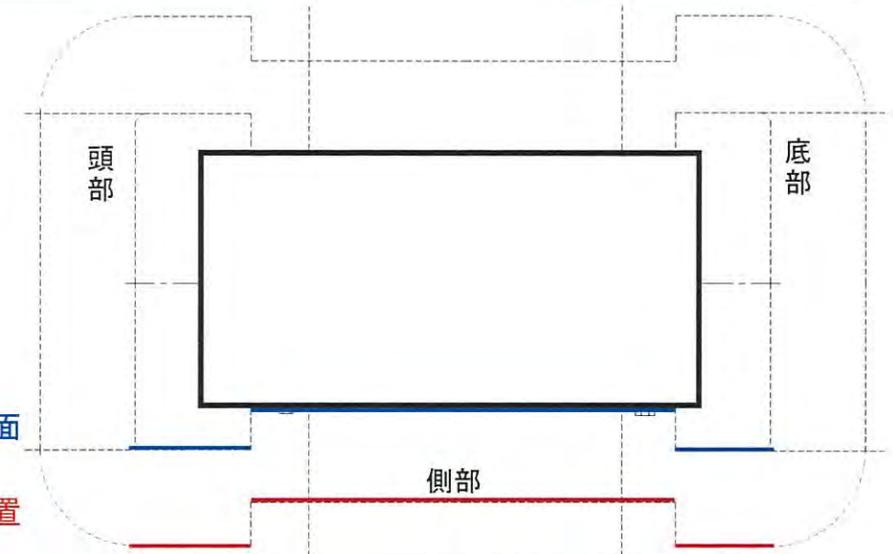


17×17燃料(A型/B型)収納時の線量当量率評価結果
(MSF-24P型表面から1m離れた位置)

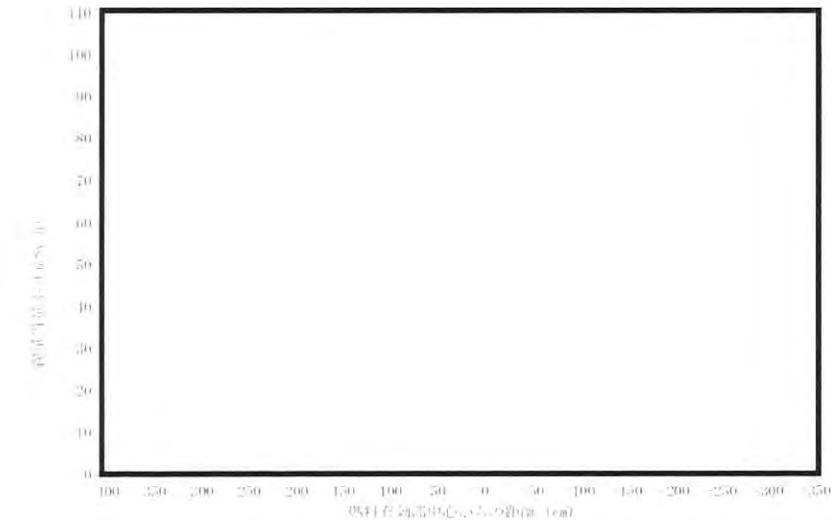
5. 指摘事項への回答

● 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。



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、基準漏えい率に対し、使用する金属ガスケットの漏えい率が十分小さいことをもって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)許可変更申請への引継ぎ事項とする。事業者殿において、基準漏えい率を下回るように貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値を設定頂くこととし、リークテスト判定基準は、型式証明申請に含めないこととする(P.29~34参照)。

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。

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