

第9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4月27日)

資料1-1

Doc. No. L5-95JY254 R11

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4条・第5条・第6条・第16条関連)

2021.4.27

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. 指摘事項(コメント)リスト	…2
2. 指摘事項への回答	…7

1. 指摘事項(コメント)リスト (1/5)

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

1. 指摘事項(コメント)リスト (2/5)

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/A型(A型)を代表燃料として設定しており、安全評価は、A型とB型を混載することを包絡した評価条件としている。	2021/1/14審査会合で説明。
4	2020/6/8 審査会合	緩衝体について、材料としている木材の長期健全性を、使用期間中の検査の考え方も含めて説明すること。	16条	MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法とする基本設計方針である。貯蔵用緩衝体の緩衝材に木材を用いる場合の長期健全性については、経年変化要因に対する緩衝性能への影響を評価した結果、腐食及び放射線照射による緩衝性能への影響はないが、熱による影響として、高温状態での長時間保持による強度低下の可能性があることから、緩衝体のエネルギー吸収を考慮する場合においては、熱による木材の強度低下を考慮する。	2021/3/22審査会合で説明。
4'	2021/3/22 審査会合	緩衝体については、木材以外の可能性も含めて設計が確定したものではないので、型式証明の段階でどこまで申請書に記載するのか検討すること。	16条	型式証明では、「貯蔵用緩衝体の装着により安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計」を設計方針とすることに加え、貯蔵用緩衝体は型式証明申請の審査対象外の部品であることを踏まえ、兼用キャスクの安全機能を維持するために必要な緩衝性能を有する貯蔵用緩衝体を装着することを、安全設計全般に係る設計方針に係る後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項として型式証明申請書に含める。	本審査会合で説明。
5	2020/11/19 審査会合	臨界評価における評価条件について、特定兼用キャスクへの燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出までの一連の手順を踏まえた上で、最も厳しい条件をどのような考え方で設定したのか説明すること。	16条	MSF-24P型への燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出までの一連の作業フローを整理するとともに、各様態におけるMSF-24P型内部及び外部の条件について感度解析を実施し、設計方針の妥当性確認として実施した安全評価の条件が最も厳しいことを確認した。	2021/1/14審査会合で説明。

1. 指摘事項(コメント)リスト (3/5)

No	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
6	2020/11/19 審査会合	基準漏えい率、リークテスト判定基準及び金属ガasketの漏えい率の関係を整理し、閉じ込め機能の成立性について説明すること。	16条	閉じ込め機能の基本設計方針の妥当性確認として、使用する金属ガasketの性能(設計漏えい率)により閉じ込め機能の成立性を示すこととする。また、基準漏えい率については、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とし、事業者殿において、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値(リークテスト判定基準)が基準漏えい率を下回るように設定頂くものとする。	2021/1/14審査会合で説明。
6'	2021/1/14 審査会合	リークテスト判定基準について、事業者の運用上の目安であるとのことであるが、それ以外の運用上の管理値も含めて、どのような形で、電気事業者が行う特定兼用キャスクの使用に係る設置(変更)許可申請への引き継ぎ事項として整理すべきか再検討すること。	16条	指摘事項(No.6)への回答として、設計貯蔵期間経過後にMSF-24P型内部が大気圧となる漏えい率として、基準漏えい率を設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とし、電気事業者において、貯蔵開始前の気密漏えい検査の基準値(リークテスト判定基準)が基準漏えい率を下回るように設定頂くものとしていた。しかしながら、電気事業者の設置(変更)許可申請書では、基準漏えい率を適用した具体的な記載がないことを踏まえ、設置(変更)許可申請への引継ぎ事項とせず、参考値として示すこととする。	2021/3/22審査会合で説明。
7	2020/11/19 審査会合	型式証明における評価において、後段規制の型式指定、設置変更許可等に引き継ぐべき施設設計の条件について説明すること。	16条	型式証明における評価のうち、設置(変更)許可申請において確認する事項を資料1-7に整理した。なお、型式指定では、型式証明申請で示した全ての施設設計条件について、同一又はその範囲内にあることを確認する。	2021/1/14審査会合で説明。
8	2021/1/14 審査会合	MCNP5コードを遮蔽解析に使用することの妥当性について、許認可審査における使用実績や根拠としている文献の妥当性等も含め、系統立てて再度説明すること。	16条	MCNP5コードをMSF-24P型の遮蔽解析に適用することの妥当性について再整理した。①から③の観点で適用性に問題ないことを確認しており、本型式証明での適用は妥当であると判断している。 ①MSF-24P型について許認可実績が豊富なDOT3.5コード結果(既認可値)との比較により同様の結果が得られていること ②核燃料物質の輸送容器体系や使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽解析に対して本コードの国内許認可実績を有すること ③使用済燃料貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク試験による妥当性検証がなされていること	2021/3/22審査会合で説明。

1. 指摘事項(コメント)リスト (4/5)

No	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
8'	2021/3/22 審査会合	許認可実績のない遮蔽解析コードについては、適用に当たって詳細な説明が必要になるが、型式証明申請の段階ですべて説明する必要があるのかどうか整理するとともに、後段の手続きとの関係も考慮の上、本申請における説明の範囲について検討すること。	16条	型式証明では、遮蔽機能に係る設計方針の妥当性確認として、DOT3.5コード(Sn法)及びMCNP5コード(モンテカルロ法)を用いた線量当量率計算により、通常貯蔵時のMSF-24P型の線量当量率が評価基準を満足することを確認した。 許認可実績のないMCNP5コードをMSF-24P型の遮蔽解析に適用することについては、指摘事項(No.8)への回答に示したとおり、①MSF-24P型の設計承認申請における既許認可値(DOT3.5コード)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)、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を示し、遮蔽機能に関する基本設計方針の妥当性確認の見通しを示すために用いる解析コードとしての適用妥当性を示した。後段の型式指定申請においては、本コードの適用妥当性について、より詳細な説明を行う予定である。	本審査会合で説明。
9	2021/3/22 審査会合	第3条への基準適合性について、基準適合性を説明するのではなく、キャスクの設置方法としての前提条件を説明するのではないのか、再検討すること。	3条	型式証明における第3条の説明事項は、施設設計の適合性説明のための前提条件となるものであることを踏まえ、「地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計」については、第3条適合性説明としてではなく、安全設計全般に係る設計方針として申請書に含めることとする。	本審査会合で説明。
10	2021/3/22 審査会合	第4条、第5条、第6条への基準適合性について、構造健全性評価対象の部材を評価することによって、4つの安全機能(臨界、閉じ込め、遮へい、除熱)が維持されることを説明すること。	4条,5条, 6条	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)並びに臨界防止機能を担うバスケットを代表部位として評価を示していたが、これらに加え、遮蔽機能及び除熱機能については、遮蔽機能を担う外筒(遮蔽構造体として最も板厚が薄い部材)及び除熱機能を担う伝熱フィンの機能維持部材が欠損せず、安全機能を損なわないことを確認した結果を追加した。	本審査会合で説明。

1. 指摘事項(コメント)リスト (5/5)

No	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
11	2021/3/22 審査会合	閉じ込め機能を監視するための構造部材である圧力計及びケーブルについては、適切に検査及び交換が可能となるよう、長期健全性維持の説明をすること。	16条	閉じ込め機能を監視するための圧力計及びケーブルについては、周辺施設であり、審査範囲外であるが、MSF-24P型は二次蓋に圧力計を取り付けた状態において、且つ、蓋間空間の圧力を維持した状態で圧力計及びケーブルの保守及び交換が可能な設計としている。蓋間空間の圧力を維持することで、使用済燃料等を内封する空間を外部と隔離している状態を維持できる設計としていることから、閉じ込め機能に係る長期健全性は維持される。	本審査会合で説明。
12	2021/3/22 審査会合	第8条、第12条、第29条及び第30条の基準の要求事項は施設設計に依存することから、型式証明の審査で説明するのであれば、基準適合性を説明するのではなく、評価の前提条件や設計上の考慮事項として説明するのではないのか、再検討すること。	8条,12条, 29条,30条	型式証明における第8条、第12条、第29条及び第30条の説明事項は、特定兼用キャスクの設計方針のみにおいて適合性を示すものではなく、周辺施設等の施設設計を含めた適合性説明が必要である。型式証明申請では、特定兼用キャスクの貯蔵様式的前提条件を示すのみであり、貯蔵基数、立地条件等を特定するものではないことから、電気事業者が行う設置(変更)許可申請における審査の合理化に寄与する部分は限定的であると判断する。上記を踏まえ、第8条、第12条、第29条及び第30条の説明は審査範囲から除外する。	本審査会合で説明。

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.4')

緩衝体については、木材以外の可能性も含めて設計が確定したものではないので、型式証明の段階でどこまで申請書に記載するか検討すること。

(回答)

型式証明では、「貯蔵用緩衝体の装着により安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計」を設計方針とすることに加え、貯蔵用緩衝体は型式証明申請の審査対象外の部品であることを踏まえ、MSF-24P型の安全機能を維持するために必要な緩衝性能を有する貯蔵用緩衝体を装着することを、安全設計全般に係る設計方針に係る後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項として型式証明申請書に含める。(安全設計全般に係る設計方針については、指摘事項No.9への回答を参照)

指摘事項(No.9)

第3条への基準適合性について、基準適合性を説明するのではなく、キャスクの設置方法としての前提条件を説明するのではないのか、再検討すること。

(回答)

型式証明における第3条の説明事項は、施設設計の適合性説明のための前提条件となるものであることを踏まえ、「地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計」については、第3条適合性説明としてではなく、安全設計全般に係る設計方針として申請書に含めることとする。

上記の見直しを踏まえ、安全設計全般に係る設計方針及びその妥当性確認をP.8~17に再整理した。

2. 指摘事項への回答

● MSF-24P型の設置方法に関する安全設計全般に係る設計方針（詳細は資料1-3のP.5参照）

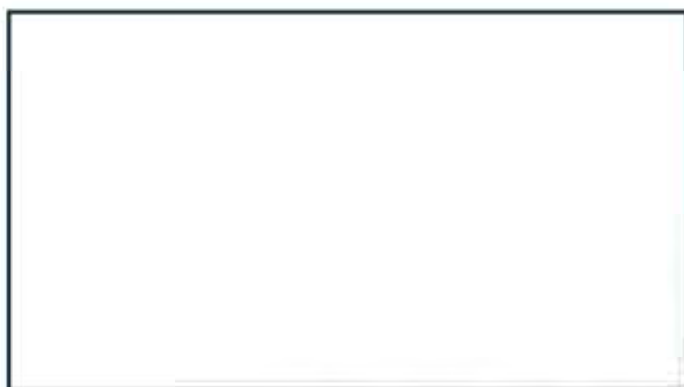
MSF-24P型は、地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設において、基礎等に固定せず、貯蔵用緩衝体を装着して設置される。本設置方法において、地盤の変形や変位が生じた場合の安全機能維持に係る設計方針について示す。

具体的な設計方針

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

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中(横置き)のMSF-24P型が地盤の変形や変位により、兼用キャスク告示で定める地震力により衝突する場合の構造評価を行い、安全機能が損なわれないことを確認した。



兼用キャスク告示で定める地震力
 $V_H=2$ (m/s) (200 cm/s)
 $V_V=1.4$ (m/s) (140 cm/s)

貯蔵中のMSF-24P型に作用する地震力(速度)

● 後段審査(設置(変更)許可申請)への引継ぎ事項について

- MSF-24P型の安全機能を維持するために必要な緩衝性能を有する貯蔵用緩衝体を装着することを設置(変更)許可への引継ぎ事項とする。

2. 指摘事項への回答

● 衝突時の安全評価 – 兼用キャスク告示で定める地震力による衝突 – (1/3)

<安全評価方針の補足説明>

- MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体を装着するため、審査ガイド別表の「②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法」に該当。
- 設置許可基準規則及び審査ガイドでは、設置方法②は、「兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能が損なわれないものとする。」とされているが、貯蔵用緩衝体の性能に対する説明が必要である。
- 審査ガイドの規定を踏まえ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスク告示で定める地震力(速度)で衝突しても安全機能を維持できることの確認を行う。

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

安全評価方針	安全評価方針の設定の考え方
兼用キャスク告示で定める地震力(速度)で衝突しても安全機能を維持できること。	<p>設置方法③では、兼用キャスク告示で定める地震力(速度)による蓋部の金属部への衝突評価により安全機能を損なわないことを確認することとされている。設置方法②(MSF-24P型の設置方法)と設置方法③との差異は、貯蔵用緩衝体の有無であり、貯蔵用緩衝体を装着する設置方法②においても設置方法③における確認方法を適用することが可能と判断される。</p> <p>設置方法③に対する地盤への要求事項</p> <p>(審査ガイド 6.1 安定性評価の基本方針) ②. 安全機能を損なわないことを確認を要する場合(別表 42) 次のいずれかにより確認すること。 a. 兼用キャスク蓋部の金属部への衝突評価を行う(地盤の安定性評価は不要)。また、評価に当たっては「4.3.1 地盤に対する設計方針」を参考にする。こと。 b. 地盤の次下や基礎の傾斜等の評価を行う(地盤の安定性評価が必要)。</p>

設置方法	地盤、基礎、支持部等の評価	蓋部の金属部への衝突評価	兼用キャスク本体評価	備考
①輸送向き	-	-	-	
②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法	-	-	○(加速度)	*1
③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法	-	○(速度)	○(加速度)	
④基礎等に固定する	○(基準地震動)	/	○(加速度)	*2

○: 評価要
-: 評価不要

*1~*3: 「6.1 安定性評価の基本方針」参照

2. 指摘事項への回答

● 衝突時の安全評価 – 兼用キャスク告示で定める地震力による衝突 – (2/3)

＜兼用キャスク告示で定める地震力による衝突時の安全評価方針＞（詳細は資料1-3のP.6参照）

- MSF-24P型は、十分な支持を想定しない地盤上に横置き状態で貯蔵される。
- 貯蔵中のMSF-24P型に兼用キャスク告示で定める地震力(速度)が作用しても、貯蔵架台上に横置き姿勢で設置されたMSF-24P型は転倒しないが、地盤の十分な支持が想定されないことから、兼用キャスク告示地震力に定める地震力(速度)で基礎(剛体面)に衝突する場合を想定する。
- 基礎への衝突には、兼用キャスク告示で定める地震力の鉛直方向速度(1.4m/s)で衝突するが、この速度に対して衝突速度が大きい0.3m高さからの落下(衝突速度: 2.43m/s、落下姿勢: 水平落下)を評価ケースとし、落下時のMSF-24P型の構造健全性が維持されることにより、安全機能が損なわれないことを示す。

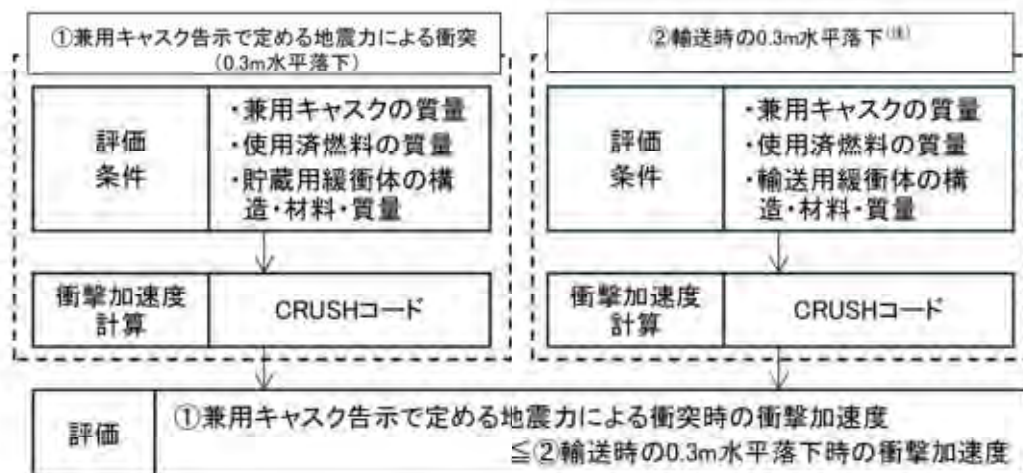


2. 指摘事項への回答

● 衝突時の安全評価 – 兼用キャスク告示で定める地震力による衝突 – (3/3)

＜兼用キャスク告示で定める地震力による衝突時の安全評価結果＞（詳細は資料1-3のP.6～9、別紙2、別紙3参照）

- ▶ 兼用キャスク告示で定める地震力による衝突時の安全評価は、下図の評価フローに基づき、衝突時に発生する衝撃加速度が、事業所外運搬規則で要求される輸送時の0.3m水平落下時^(注)の衝撃加速度に比べて小さいことを示すことで説明する。
- ▶ 衝突時の衝撃加速度は、輸送時の0.3m水平落下時の衝撃加速度と同等以下である。貯蔵時と輸送時の緩衝体及び三次蓋の構造差異による構造応答への影響は約7%(次頁参照)であるが、輸送時の0.3m水平落下では、発生する応力が許容限界に対し、約7%を超える41%以上の余裕を有する設計であり、衝突時において構造健全性は維持されることから、安全機能は損なわれない。



兼用キャスク告示で定める地震力による衝突時の構造評価フロー

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

衝撃加速度計算結果の比較

兼用キャスク告示で定める地震力による衝突時	輸送時
木材緩衝材例 ^(注) : 200 m/s ² 以下 金属緩衝材例: 147 m/s ²	0.3m水平落下 200 m/s ²

(注)指摘事項(No.4)への回答で示した熱による木材の圧潰特性の低下がない状態の衝撃加速度、0.3m高さからの落下では、圧縮強度の低下がない状態の方が、圧潰特性の低下がある状態(例:80%及び60%)に比べて衝撃加速度は大きくなる。



評価ケース

2. 指摘事項への回答

■ 前頁の補足：貯蔵時と輸送時の構造差異による構造強度への影響確認（詳細は資料1-3の別紙1参照）

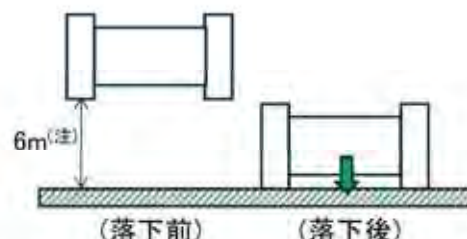
- 貯蔵時と輸送時との構造差異(下表)のうち、構造強度への影響が大きい項目の構造強度への影響確認として、貯蔵時の構造例①②と輸送時との構造健全性への影響確認(同じ落下高さから落下した場合の構造応答の影響評価)を動的解析(LS-DYNAコード)により評価した。
- 構造差異による影響が最も大きい蓋部の構成部材のうち、密封シール部及び蓋ボルトの相当ひずみを比較した。貯蔵時構造例①②と輸送時構造による比較の結果、最大で7%の差異が生じた。したがって、輸送時の落下評価結果を用いて貯蔵時の構造健全性を評価するにあたっては、7%程度のひずみ(応力)の差異が生じることを考慮する必要がある。

輸送用との構造差異(注1)

部位	項目	貯蔵時 構造例① (P.14参照)	貯蔵時 構造例② (P.15参照)
二次蓋	圧力センサ		あり
	モニタリング ポートカバー		なし
貯蔵用 三次蓋	シール材	なし	なし
貯蔵用緩衝体			

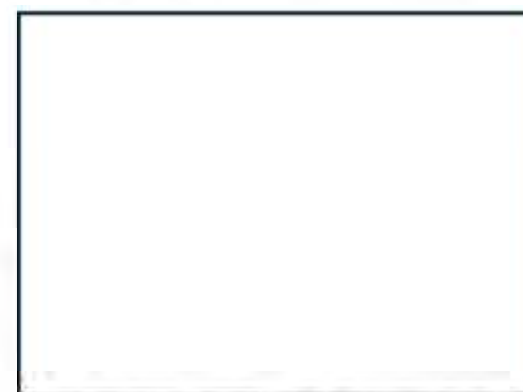
(注1) 構造強度上の影響が大きいものを で示す。

(注2)



(注) 落下高さは影響確認用としての一例である。

影響確認ケース



影響確認解析モデル(貯蔵時構造例②)

影響確認解析結果(相当ひずみ)

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

2. 指摘事項への回答

● 衝突時の安全評価 – 貯蔵用緩衝体に要求する性能について – (詳細は資料1-3のP.10、別紙4参照)

MSF-24P型は、事業所外運搬規則に規定される輸送時の9m落下時においても安全機能が損なわれないことを確認している。したがって、貯蔵用緩衝体は、貯蔵時に想定される衝突事象に対して、輸送時の9m落下時にMSF-24P型に生じる荷重相当以下となる衝撃吸収性能を有するものとする。

➤ 輸送時の9m落下時にMSF-24P型に生じる荷重

輸送時の9m落下(9m水平落下)にMSF-24P型に生じる荷重は 9.299×10^7 N(衝撃加速度: 692 m/s^2)であり、この荷重が作用した場合において安全機能が維持される。貯蔵時においてもこの荷重相当の荷重が作用しても安全機能が維持できる見通しである。

2. 指摘事項への回答

- 審査における説明事項及び事業者審査への引継ぎ事項について（詳細は資料1-3のP.11参照）

前頁までの内容を踏まえ、MSF-24P型の設置方法に関する安全設計全般に係る設計方針に係る型式証明及び型式指定での説明事項、並びに事業者審査への引継ぎ事項を下表に整理した。

型式証明での説明事項		型式指定での説明事項
設計方針	MSF-24P型は、貯蔵用緩衝体の装着により、地盤の十分な支持がなく、地盤に変形や変位が生じてもその安全機能が損なわれない蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法により貯蔵する設計とする。	型式証明の設計方針に変更ないこと
妥当性説明	地盤の十分な支持が想定されない貯蔵施設に貯蔵中(横置き)のMSF-24P型が地盤の変形や変位により、兼用キャスク告示で定める地震力により衝突する場合の構造評価を行い、安全機能が損なわれないこと。	①詳細設計における型式証明での妥当性説明の詳細評価 (兼用キャスク告示で定める地震力による衝突評価) ②詳細設計における安全機能を損なわないための衝突荷重の評価 (輸送時の9m落下時に生じる相当荷重の評価)
事業者審査への引継ぎ事項	(設置(変更)許可申請) MSF-24P型の安全機能を維持するために必要な緩衝性能を有する貯蔵用緩衝体を装着すること。	(設工認申請) 貯蔵用緩衝体が上記①及び②を満足する性能を有すること

2. 指摘事項への回答

- 貯蔵用上部構造(構造例①)



2. 指摘事項への回答

- 貯蔵用上部構造(構造例②)



2. 指摘事項への回答

● 二次蓋の構造



2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.8')

許認可実績のない遮蔽解析コードについては、適用に当たって詳細な説明が必要になるが、型式証明申請の段階ですべて説明する必要があるのであるかどうか整理するとともに、後段の手続きとの関係も考慮の上、本申請における説明の範囲について検討すること。

(回答)

型式証明では、遮蔽機能に係る設計方針の妥当性確認として、DOT3.5コード(Sn法)及びMCNP5コード(モンテカルロ法)を用いた線量当量率計算により、通常貯蔵時のMSF-24P型の線量当量率が評価基準を満足することを確認した。(資料1-7のP.23参照)

許認可実績のないMCNP5コードをMSF-24P型の遮蔽解析に適用することについては、指摘事項(No.8)への回答に示したとおり、①MSF-24P型の設計承認申請における既許認可値(DOT3.5コード)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)、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を示し、遮蔽機能に関する基本設計方針の妥当性確認の見通しを示すために用いる解析コードとしての適用妥当性を示した。後段の型式指定申請においては、本コードの適用妥当性について、より詳細な説明を行う予定である。

DOT3.5コードによる線量当量率評価結果

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	1.2 mSv/h	1.1 mSv/h	1.2 mSv/h	1.2 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

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

2. 指摘事項への回答

指摘事項 (No.10)

第4条、第5条、第6条への基準適合性について、構造健全性評価対象の部材を評価することによって、4つの安全機能(臨界、閉じ込め、遮へい、除熱)が維持されることを説明すること。

(回答)

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)並びに臨界防止機能を担うバスケットを代表部位として評価を示した。これらに加え、遮蔽機能及び除熱機能については、遮蔽機能を担う外筒(遮蔽構造体として最も板厚が薄い部材)及び除熱機能を担う伝熱フィンの機能維持部材が欠損せず、安全機能を損なわないことを確認した結果を追加した。

第4条、第5条及び第6条の設計方針の妥当性確認として実施した安全評価(遮蔽機能及び伝熱機能を追加)をP.20～27に示す。

2. 指摘事項への回答

● 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 (詳細は資料1-4のP.7~12参照)

兼用キャスクを支持するトラニオンの構造健全性評価に加え、MSF-24P型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、遮蔽機能を担う外筒(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部位)及び除熱機能を担う伝熱フィンの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)を組み合わせ実施した。

評価対象	地震力	評価方法
トラニオン	兼用キャスク告示で定める加速度による地震力 ^(注1) ・水平2300Gal(23m/s ²) ・鉛直1600Gal(16m/s ²)	地震時にMSF-24P型のトラニオン ^(注2) に生じる応力を応力評価式により算出し、金属キャスク構造規格の評価基準を満足することを示す。
密封境界部(一次蓋密封シール部・一次蓋ボルト)、バスケット、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型は、横置き姿勢で貯蔵され、上部トラニオン及び下部トラニオンにより貯蔵架台に固縛される。

(2) トラニオンの構造健全性評価 (詳細は資料1-4のP.12~P.14、別紙1参照)

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



地震時のトラニオンの構造健全性評価結果^(注1)

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

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

(注2)評価位置は左図参照。

2. 指摘事項への回答

● 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 (詳細は資料1-4のP.15~P.18、別紙2参照)

- 地震時に密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、バスケット、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^(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	$P_1 + P_b$	26	185 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	330	846 (S_y)
バスケットプレート	σ_c	2	56 (S_y)
外筒	引張応力	22	282 ($1.5f_t$)
伝熱フィン	応力強さ	2	189 (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

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

[注] 評価基準は一次蓋ボルトの締付力による摩擦力である。



一次蓋の応力評価位置

● 設計方針の妥当性

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

2. 指摘事項への回答

● 第5条 津波荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 津波荷重に対する安全評価の概要（詳細は資料1-5のP.4～7参照）

津波荷重に対するMSF-24P型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、MSF-24P型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、遮蔽機能を担う外筒（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、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型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。

2. 指摘事項への回答

● 第5条 津波荷重に対する安全評価について(2/3)

(2) 津波荷重の算定 (詳細は資料1-5のP.8~P.10参照)

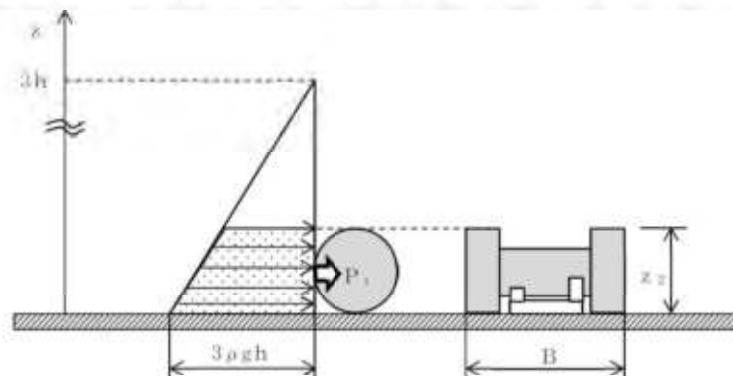
① 津波波力(P_t)

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

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

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

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



(注) z_1 は0とする。

② 漂流物衝突荷重(P_c)

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

$$P_c = 0.1Wv$$

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型の供用中に作用する荷重を考慮する。

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

2. 指摘事項への回答

● 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（詳細は資料1-5のP.10～P.12、別紙1参照）

- 津波荷重は、MF-24P型の長手方向と径方向の両方向からの作用を考慮する。
- 津波荷重作用時に密封境界部（一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト）、バスケット、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、津波荷重作用時において構造健全性は維持される。

津波荷重作用時の密封境界部及びバスケットの応力評価結果^(注)

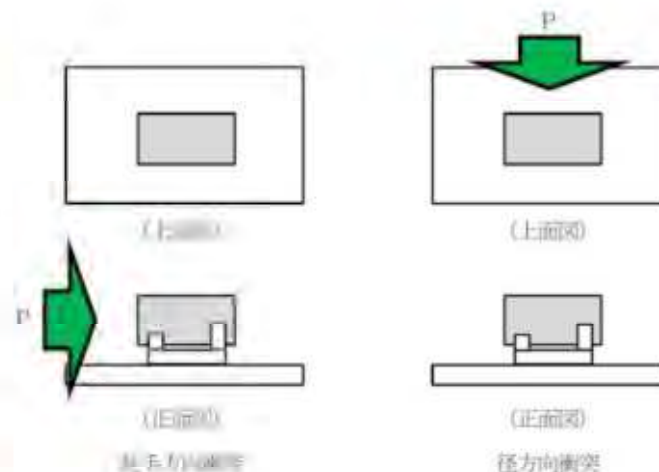
評価位置	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準 (MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b$	30	185 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	450	846 (S_y)
バスケットプレート	σ_{\square}	4	56 (S_y)
外筒	せん断応力	52	162 ($1.5f_b$)
伝熱フィン	応力強さ	14	189 (S_u)

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

津波荷重作用時の密封境界部の横ずれ評価結果

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

(注) 評価基準は一次蓋ボルトの締付力による摩擦力である。



津波荷重の作用方向

● 設計方針の妥当性

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

2. 指摘事項への回答

● 第6条 竜巻荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 竜巻荷重に対する安全評価の概要（詳細は資料1-6のP.4～7参照）

竜巻荷重に対するMSF-24P型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、MSF-24P型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、遮蔽機能を担う外筒（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、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）

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

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

2. 指摘事項への回答

● 第6条 竜巻荷重に対する安全評価について(2/3)

(2) 竜巻荷重の算定 (詳細は資料1-6のP.8~P.11参照)

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

① 風圧力による荷重 (W_W)

② 気圧差による荷重 (W_P)

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

③ 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

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

④ 複合荷重 (W_T)

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

$$W_T = W_W$$

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

(竜巻荷重と組み合わせる荷重について)

a) 常時作用する荷重

MSF-24P型の供用中に作用する荷重を考慮する。

b) 竜巻以外の自然現象による荷重

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

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

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

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 (m^2)
ρ	: 空気の密度 (kg/m^3)
V_D	: 竜巻の最大風速 (m/s)

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

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

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

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

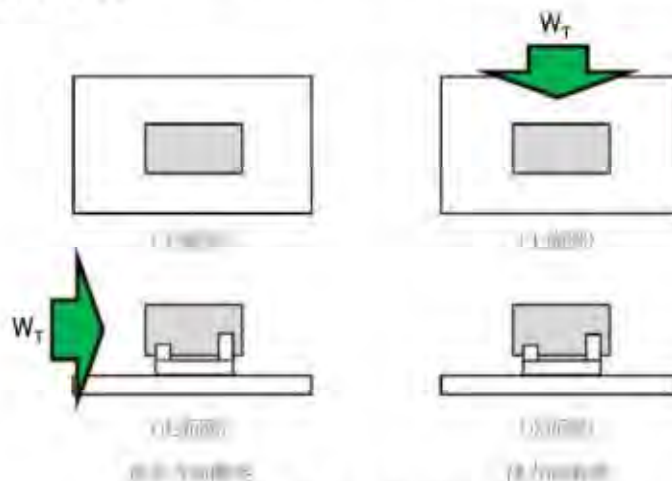
(注2) 竜巻影響評価ガイド解説表4.1の飛来物のうち、最も大きい荷重。

2. 指摘事項への回答

● 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（詳細は資料1-6のP.11参照）

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



竜巻津波荷重の作用方向
(津波荷重作用時と同じ)

● 設計方針の妥当性

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

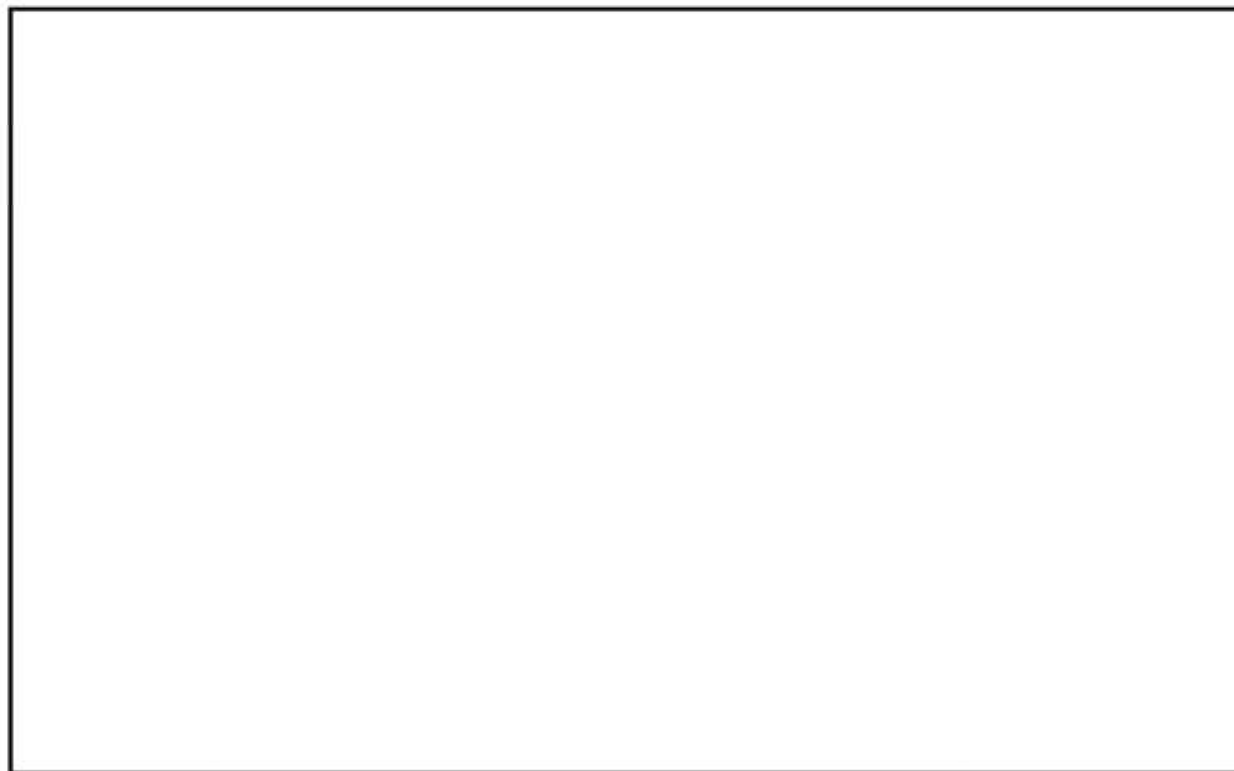
2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.11)

閉じ込め機能を監視するための構造部材である圧力計及びケーブルについては、適切に検査及び交換が可能となるよう、長期健全性維持の説明をすること。

(回答)

閉じ込め機能を監視するための圧力計及びケーブルについては、周辺施設であり、審査範囲外であるが、MSF-24P型は二次蓋に圧力計を取り付けた状態において、且つ、蓋間空間の圧力を維持した状態で圧力計及びケーブルの保守及び交換が可能な設計としている(下図参照)。蓋間空間の圧力を維持することで、使用済燃料等を内封する空間を外部と隔離している状態を維持できる設計としていることから、閉じ込め機能に係る長期健全性は維持される。



蓋間圧力の監視構造例

2. 指摘事項への回答

指摘事項 (No.12)

第8条、第12条、第29条及び第30条の基準の要求事項は施設設計に依存することから、型式証明の審査で説明するのであれば、基準適合性を説明するのではなく、評価の前提条件や設計上の考慮事項として説明するのではないのか、再検討すること。

(回答)

型式証明における第8条、第12条、第29条及び第30条の説明事項は、特定兼用キャスクの設計方針のみにおいて適合性を示すものではなく、周辺施設等の施設設計を含めた適合性説明が必要である。型式証明申請では、特定兼用キャスクの貯蔵様式の前提条件を示すのみであり、貯蔵基数、立地条件等を特定するものではないことから、電気事業者が行う設置(変更)許可申請における審査の合理化に寄与する部分は限定的であると判断する。上記を踏まえ、第8条、第12条、第29条及び第30条の説明は審査範囲から除外する。

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