

資料1-1

Doc. No. L5-95KV253 R9

発電用原子炉施設に係る型式設計特定機器の 型式指定申請

規則への適合性について

2023.1.30

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. 指摘事項リスト	…2
2. 指摘事項への回答	…3
3. 説明スケジュール	…14

1. 指摘事項リスト

No.	受領日	コメント内容	区分	コメント回答	対応状況
1	2022/9/1 審査会合	型式証明からの変更点(貯蔵用三次蓋の材質・形状)による安全機能の評価への影響について説明すること。	技術基準規則26条(安全機能全般)	型式証明からの貯蔵用三次蓋の構造変更を踏まえ、貯蔵用三次蓋のモデル化の差異、及びその他評価条件の差異による型式証明の各安全機能評価結果への影響を整理した。評価モデル及び評価条件の差異により、遮蔽機能、除熱機能、閉じ込め機能及び長期健全性に係る評価結果への影響がある。除熱機能への影響については、貯蔵用三次蓋の構造変更による影響は僅かであるが、貯蔵場所の差異(型式指定:貯蔵建屋内、型式証明:屋外[代表ケース])に起因する境界条件の差異により、型式証明に対し温度が高くなっている。なお、閉じ込め及び長期健全性への影響は、いずれも除熱評価結果に差異が生じたことによるものである。	2022/12/5 審査会合で 回答済。
2	2022/9/1 審査会合	MCNP5コードの適用妥当性を具体的に説明すること。	技術基準規則26条(遮蔽)	原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン、2015」(以下「シミュレーションガイドライン」という。)のモデル検証及び妥当性確認方法を参考に、本型式指定と類似の評価条件を用いた使用済燃料輸送・貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク解析に基づき、MSF-24P(S)型の体系において、保守的な評価ができることの確認を行った。また、この確認に加え、許認可実績が豊富なDOT3.5コードによる既認可値との比較でも同等の結果となっており、DOT3.5コードと同様に妥当な解が得られることを確認した。以上より、線量当量率基準への適合性確認にMCNP5コードを適用することは妥当であると判断した。	2022/12/5 審査会合で 回答済。
3	2022/9/1 審査会合	申請書添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することが申請書本文に明記されていないため記載を検討のこと。また、貯蔵用緩衝体の性能に係る説明に際して、詳細設計ベースでの具体的な緩衝性能について説明すること。	緩衝体性能	外運搬規則適合のために装着が必要となる輸送用の緩衝体は、型式指定申請書の添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することを型式指定申請書本文に記載する。また、詳細設計ベースでの具体的な貯蔵用緩衝体の緩衝性能については、型式証明申請書に記載している貯蔵用緩衝体の必要性能を踏まえ、MSF-24P(S)型の詳細設計に対する貯蔵用緩衝体の具体的な緩衝性能として、特定兼用キャスク貯蔵施設における想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための具体的な荷重条件を定める。設工認申請での想定事象において特定兼用キャスクに作用する荷重条件が本荷重条件を満足する場合、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の緩衝性能を有するものとする。【P.3参照】	次回審査会 合で説明予 定。

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.3)

申請書添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することが申請書本文に明記されていないため記載を検討のこと。また、貯蔵用緩衝体の性能に係る説明に際して、詳細設計ベースでの具体的な緩衝性能について説明すること。

(回答)

- 輸送用緩衝体を装着して輸送することについて
外運規規則適合のために装着が必要となる輸送用の緩衝体は、型式指定申請書の添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することを型式指定申請書本文に記載する。
- 詳細設計ベースでの具体的な貯蔵用緩衝体の緩衝性能について
型式証明申請書に記載している貯蔵用緩衝体の必要性能を踏まえ、MSF-24P(S)型の詳細設計に対する貯蔵用緩衝体の具体的な緩衝性能として、特定兼用キャスク貯蔵施設における想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(以下「金属キャスク構造規格」という)に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための具体的な荷重条件を定める。設工認申請での想定事象において特定兼用キャスクに作用する荷重条件が本荷重条件を満足する場合、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の緩衝性能を有するものとする(設工認申請への引継ぎ事項として型式指定申請書本文に記載)。
本荷重条件の設定根拠及び本荷重が特定兼用キャスクに作用する場合において特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足することをP.4~9に示す。

型式証明申請

貯蔵用緩衝体の緩衝性能 (型式証明申請書記載事項)
貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法で設置することについて、金属キャスク構造規格に規定される供用状態D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。



型式指定申請での具体的な緩衝性能(設工認申請への引継ぎ事項)

想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件 ¹⁾
1) MSF-24P(S)型の水平落下 ^(注2)	上部(蓋部)に作用する荷重 $4.30 \times 10^7 \text{N}$ 以下 下部(底部)に作用する荷重 $3.76 \times 10^7 \text{N}$ 以下
2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突	
3)-1 MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(上部側)	上部(蓋部)に作用する荷重 $7.55 \times 10^7 \text{N}$ 以下
3)-2 MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(下部側)	下部(底部)に作用する荷重 $7.69 \times 10^7 \text{N}$ 以下

(注1) 表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に以下の衝撃加速度が作用した場合に上部(蓋部)又は下部(底部)に作用する荷重である。

1)及び2): 衝撃加速度 650m/s^2 、3)-1及び3)-2: 衝撃加速度 600m/s^2

(注2) 水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下(傾斜落下)する場合においても、MSF-24P(S)型の健全性は維持される。


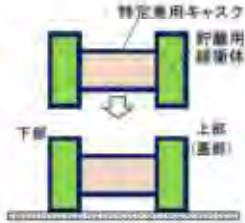
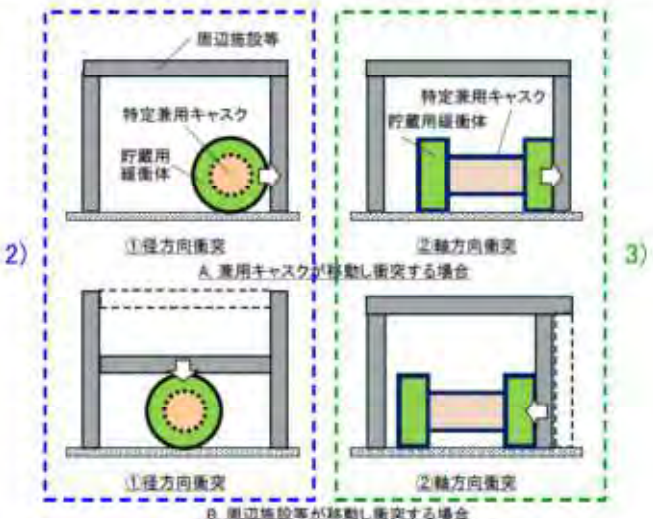
2. 指摘事項への回答

● 貯蔵用緩衝体の性能

特定兼用キャスク貯蔵施設(以下「貯蔵施設」という。)での貯蔵状態における想定事象を仮設定し、各想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件を定める。

(1) 想定事象

貯蔵施設内での貯蔵状態における想定事象は次のとおりとする。

		状態図	
貯蔵状態			
貯蔵状態における想定事象	1) MSF-24P(S)型の水平落下 (以下「水平落下」という。)	2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突(以下、「径方向衝突」という。) 3) MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(以下、「軸方向衝突」という。)	
			

2. 指摘事項への回答

● 貯蔵用緩衝体の性能

(2) 代表事象 (1/2)

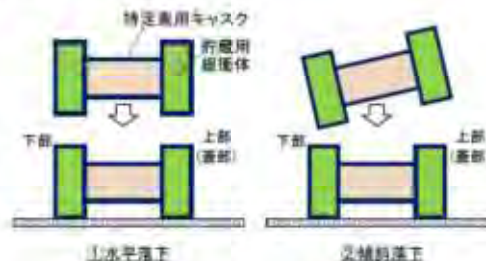
(1)の想定事象のうち、荷重作用位置を考慮し、貯蔵用緩衝体の性能及びMSF-24P(S)型の安全評価(構造強度評価)の評価対象とする事象(代表事象)を選定した。また、各代表事象に対し、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件を設定した。

代表事象	代表事象と同等として扱う想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件(P.6参照) ^(注1)
1) 水平落下 ^(注2)	2) 径方向衝突 ^(注3)	上部(蓋部)に作用する荷重 $4.30 \times 10^7\text{N}$ 以下 下部(底部)に作用する荷重 $3.76 \times 10^7\text{N}$ 以下
3)-1 軸方向衝突(上部側)	—	上部(蓋部)に作用する荷重 $7.55 \times 10^7\text{N}$ 以下
3)-2 軸方向衝突(下部側)	—	下部(底部)に作用する荷重 $7.69 \times 10^7\text{N}$ 以下

(注1)表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に以下の衝撃加速度が作用した場合に上部(蓋部)又は下部(底部)に作用する荷重である。

1) 水平落下(2) 径方向衝突: 衝撃加速度 650m/s^2 、3)-1、3)-2 軸方向衝突(上部側、下部側): 衝撃加速度 600m/s^2

(注2)水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下する場合(以下「傾斜落下」という。)がある。傾斜落下となる場合、細長い輸送物では落下エネルギーの一部が特定兼用キャスクの回転運動エネルギーとなり二次衝撃側の吸収エネルギーが増加する。特に、蓋密封部が二次衝撃側となる場合、密封性能を損なうおそれがあるため、二次衝撃側の衝撃加速度の影響を評価する必要がある。傾斜落下による密封性能への影響がなく、傾斜落下時にMSF-24P(S)型の健全性が維持されることをP.10~13に示す。



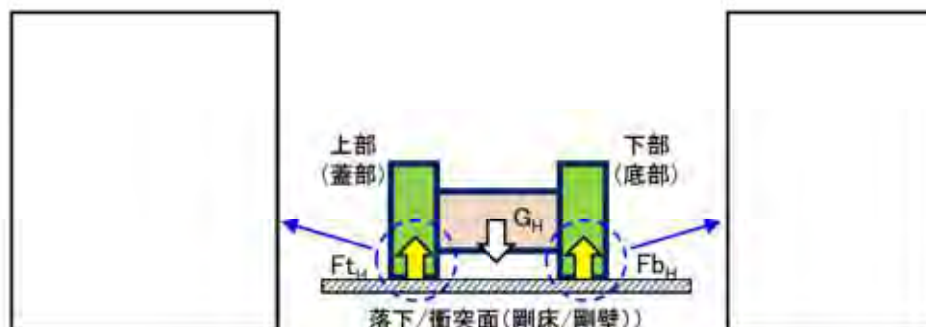
(注3)径方向衝突は、水平落下と荷重作用位置が同一であり、水平落下と同等の事象として水平落下で代表する。

2. 指摘事項への回答

● 貯蔵用緩衝体の性能

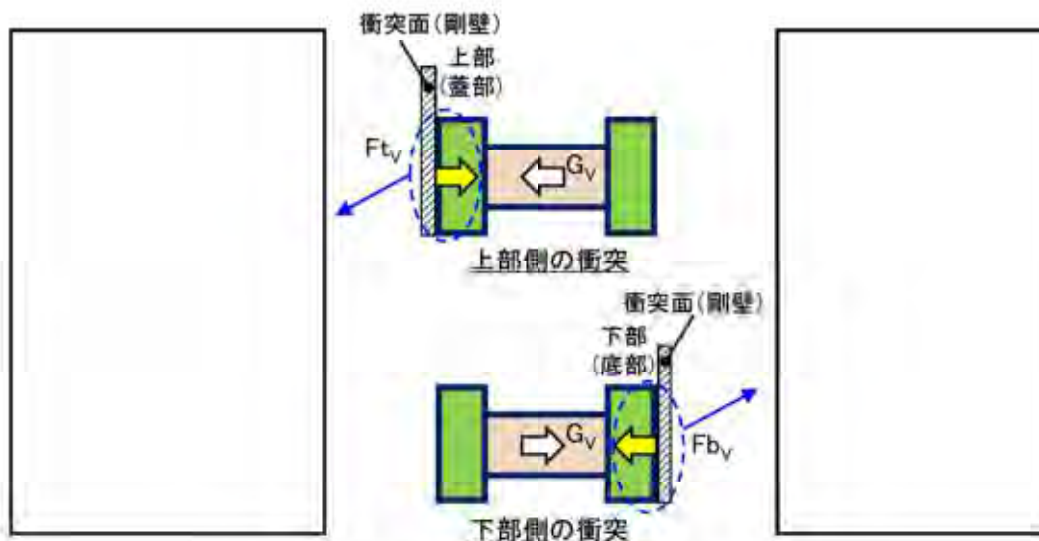
(2) 代表事象 (2/2)

(1) 水平落下



G_H : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 ($650m/s^2$)
 F_{t_H} : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 (4.30×10^7N)
 F_{b_H} : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 (3.76×10^7N)

(2) 軸方向衝突



G_V : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 ($600m/s^2$)
 F_{t_V} : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 (7.55×10^7N)
 F_{b_V} : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 (7.69×10^7N)

2. 指摘事項への回答

● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

代表事象及びそれらの荷重条件に対して、構造強度評価を行い、特定兼用キャスクの安全機能を担保する強度部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足することを示す。

(1) 水平落下及び軸方向衝突による衝撃荷重に対する安全評価方法

特定兼用キャスクの安全機能を担保する強度部材の構造強度評価は、落下・衝突時の衝撃荷重及び設計上考慮すべき荷重の組合せを考慮して実施した。

評価部位	衝撃荷重	衝撃荷重以外の荷重	適用規格等		評価方法	許容限界
胴・一次蓋・カバープレート・ 一次蓋ボルト・カバープレート ボルト・二次蓋・二次蓋ボルト	落下又は衝突により特定兼用 キャスクに生じる衝撃加速度 による自重の慣性力として落下 又は衝突方向に作用させる	貯蔵施設での特定兼用キャスクの貯蔵状態に作用する荷重(自重、圧力荷重、機械的荷重、熱荷重)	金属キャスク 構造規格	密封容器	ABAQUSコード ^① 及び応力評価式	供用状態Dの 許容基準
外筒・下部端板・ 蓋部中性子遮蔽材カバー・ 底部中性子遮蔽材カバー				中間胴	ABAQUSコード ^②	
バスケットプレート	・水平落下 650m/s^2 ・軸方向衝突 600m/s^2		使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計 特定容器等の型式の指定(指定の番 号:T-DPC17001)を受けた評価方法		応力評価式	供用状態Dの 許容基準及び 弾性範囲内

2. 指摘事項への回答

● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

(2) 応力解析に用いる解析コード

落下・衝突時の衝撃荷重に対する構造強度評価では、密封容器のうち、胴、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋及び二次蓋ボルト、並びに中間胴として評価する外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの応力解析にABAQUSを使用している。ABAQUSは、MSF-24P(S)型のプロトタイプであるMSFキャスクの落下試験モデルを用いた落下試験により検証され適用性を確認している。また、このコードは、技術的な特殊性、新規性はなく、許認可で実績があるコードである。

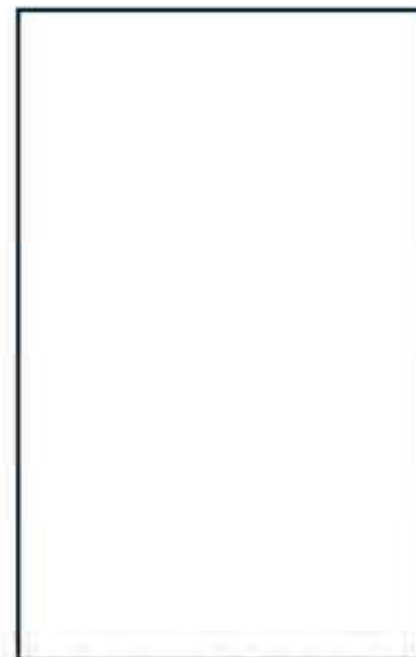
(3) 評価結果 (1/2)

水平落下時及び軸方向衝突時に生じる各部位の応力は、金属キャスク構造規格等に規定される許容基準を満足していることを確認した。また、P.10～13に示すとおり、水平落下時に傾斜して落下する場合において、MSF-24P(S)型の健全性が損なわれることはないことを確認している。

水平落下時の強度評価結果

部位 ^(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容 基準値 (MPa)
一次蓋	膜(一次)	9	251
二次蓋	膜(一次)	54	377
胴(シール部)	一次+二次応力	121	185
胴	膜(一次)	152	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	83	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	634	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	841	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	4	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	228	842
外筒	曲げ(一次)	189	284
下部端板	曲げ(一次)	167	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	組合せ(一次)	28	284
底部中性子遮蔽材カバー	圧縮(一次)	137	214
バスケットプレート	圧縮	35	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。



密封容器及び外筒等の
応力解析モデル

2. 指摘事項への回答

● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

(3) 評価結果 (2/2)

軸方向衝突時(上部側)の強度評価結果

部位 ^(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容 基準値 (MPa)
一次蓋	膜+曲げ(一次)	152	377
二次蓋	膜+曲げ(一次)	76	377
胴(シール部)	一次+二次応力	32	185
胴	膜(一次)	91	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	180	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	557	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	504	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	6	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	172	842
外筒	組合せ(一次)	69	284
下部端板	曲げ(一次)	14	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	125	284
底部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	10	286
バスケットプレート	圧縮	15	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。

軸方向衝突時(下部側)の強度評価結果

部位 ^(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容 基準値 (MPa)
一次蓋	膜+曲げ(一次)	28	377
二次蓋	膜+曲げ(一次)	63	377
胴(シール部)	一次+二次応力	42	185
胴	膜+曲げ(一次)	68	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	69	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	288	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	265	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	6	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	172	842
外筒	曲げ(一次)	93	284
下部端板	曲げ(一次)	125	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	27	284
底部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	85	286
バスケットプレート	圧縮	15	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。

● 後段審査(設工認)で別途確認される事項

設工認において本回答で示した想定事象が存在する場合、貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型が落下・衝突する際に特定兼用キャスクに作用する荷重がP.31に示す条件を満足するかどうかの確認を行う。本条件を満足する場合、貯蔵用緩衝体の性能は、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の緩衝性能を有することとなり、その場合において、当該想定事象に対するMSF-24P(S)型の安全機能は維持されるものとする。

2. 指摘事項への回答

● 傾斜落下時の影響について

水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下する場合(傾斜落下)がある。傾斜落下となる場合、細長い輸送物では落下エネルギーの一部が特定兼用キャスクの回転運動エネルギーとなり二次衝撃側の吸収エネルギーが増加する。特に、蓋密封部が二次衝撃側となる場合、密封性能を損なうおそれがあるため、二次衝撃側の衝撃加速度の影響を評価する必要がある。落下試験結果を基にした密封性能の評価の結果、傾斜落下時にMSF-24P(S)型の健全性が維持されることを以下に示す。

(1) MSF-24P(S)型の密封設計(蓋部構造)

MSF-24P(S)型の蓋部構造は、MSF-24P(S)型のプロトタイプであるMSFキャスクの落下試験モデル(実機大モデル)による落下試験(傾斜落下、P.11参照)により密封性能が実証されている蓋部構造を基に、胴フランジ、一次蓋及び二次蓋の剛性を落下試験モデルよりも高め、蓋部の変形量を低減させる等し、落下試験モデルよりも密封性能を向上させた設計としている。

蓋部構造の比較

2. 指摘事項への回答

● 傾斜落下時の影響について

(2) 実機大落下モデル落下試験(傾斜落下)

9.3mの高さから傾斜させた状態で水平方向に落下(底部側が一次衝突、蓋部側が二次衝突)させた。一次蓋の漏えい率は、落下試験前後で変化はなかった。また、落下時に最も影響を受ける蓋ボルトに生じた応力は、基準値(設計降伏点)に対し余裕があり、蓋ボルトは弾性範囲に留まる。以上より、傾斜落下時に密封性能が維持されることを確認した。

<落下試験による主な確認項目>

- 密封性能維持(蓋部漏えい率)
- 構造健全性(各部応力)

<主な落下試験結果>

蓋部漏えい率

部位	落下試験前 (Pa・m ³ /s)	落下試験後 (Pa・m ³ /s)
一次蓋	< 1 × 10 ⁻¹¹	< 1 × 10 ⁻¹¹

蓋ボルトの最大応力

部位	応力成分	最大応力 (MPa)	基準値 (MPa)
一次蓋ボルト	膜	462	890 (設計降伏点)
	曲げ	470	
二次蓋ボルト	膜	560	
	曲げ	625	



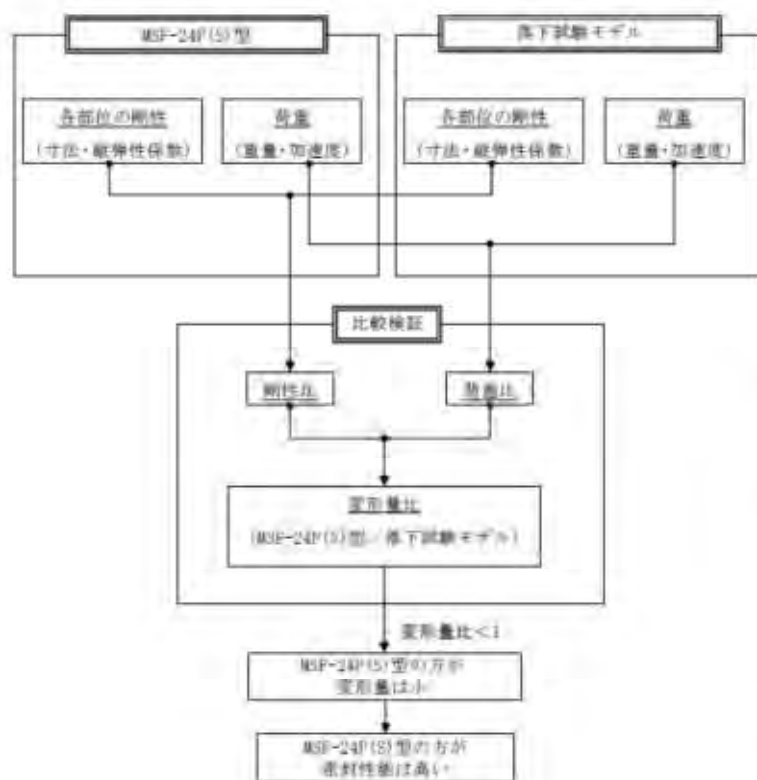
実機大落下試験モデルによる9.3m傾斜落下

2. 指摘事項への回答

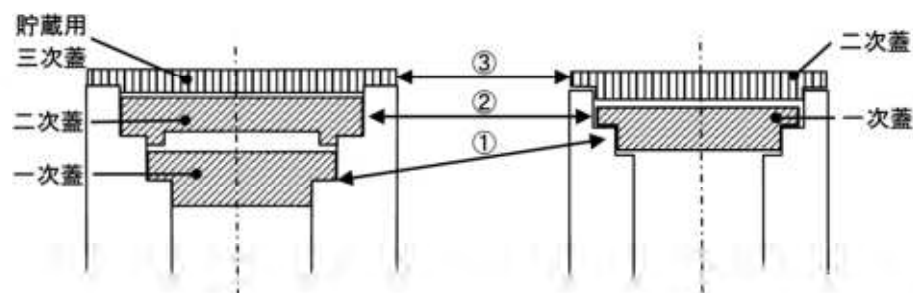
● 傾斜落下時の影響について

(3) MSF-24P(S)型の傾斜落下時における密封性能評価方法

傾斜落下においてMSF-24P(S)型の密封性能が維持されることを、落下試験により密封性能が維持されることが実証されている落下試験結果を用いて評価した。落下後の漏えい率の増加は、蓋に取り付けられた金属ガスケットと胴フランジ面との口開き量の増加、金属ガスケットの相対横ずれ量の増加、金属ガスケットの圧縮量の増加及び蓋ボルトの締付力の低下に起因するリークパスの発生とガスケット線力の低下が原因である。したがって、蓋部の変形量を抑えることが密封性能の維持につながる。そこで、MSF-24P(S)型の蓋、胴フランジ及び蓋ボルトの変形量が落下試験モデルに比べて小さいことを示すことにより、MSF-24P(S)型の密封性能を検証する。



MSF-24P(S)型の密封性能評価手順



	MSF-24P(S)型		落下試験モデル
①	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)	↔	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)
②	蓋密封部(二次蓋:内側の蓋)	↔	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)
③	蓋密封部(貯蔵用三次蓋:最外の蓋)	↔	蓋密封部(二次蓋:最外の蓋)

- MSF-24P(S)型の三次蓋構造に対して落下試験モデルは二次蓋構造であるが、荷重の伝達経路と蓋密封部の構造について、MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋周辺部(最外の蓋)と落下試験モデルの二次蓋周辺部(最外の蓋)は同様であり、MSF-24P(S)型の二次蓋周辺部及び一次蓋周辺部(内側の蓋)と落下試験モデルの一次蓋周辺部(内側の蓋)で同様である。したがって、MSF-24P(S)型の蓋密封部(二次蓋及び一次蓋)は落下試験モデルの蓋密封部(一次蓋)と比較する。
- MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋は密封境界ではないが、MSF-24P(S)型の蓋部を構成する部材であることから、落下試験モデルの蓋密封部(二次蓋)と比較する。

蓋部変形量の比較対象

2. 指摘事項への回答

● 傾斜落下時の影響について

(4) MSF-24P(S)型の傾斜落下時における密封性能評価結果

傾斜落下時の蓋部の変形量比較結果を下表に示す。全ての評価部位において変形量比は1以下であり、MSF-24P(S)型の蓋部の変形量は落下試験モデルに比べ小さい。したがって、MSF-24P(S)型は、落下試験モデルに比べて高い密封性能を有している。

MSF-24P(S)型の傾斜落下時の蓋部の変形量評価結果

部位 ^(注1)	変形モード	荷重比 ^(注2)	剛性比 ^(注2)	変形量比 ^(注2)
一次蓋	曲げ	0.51	1.58	0.32
一次蓋ボルト	引張	0.51	0.98	0.52
	曲げ	0.51	0.98	0.52
二次蓋	曲げ	0.41	3.86	0.11
二次蓋ボルト	引張	0.41	0.86	0.48
	曲げ	0.41	0.86	0.48
貯蔵用三次蓋	曲げ	0.50	0.55	0.90
貯蔵用三次蓋ボルト	引張	0.50	1.00	0.50
	曲げ	0.50	1.41	0.35
胴フランジ (二次蓋側)	曲げ	0.76	1.16	0.65
胴フランジ (貯蔵用三次蓋側)	曲げ	0.76	1.25	0.61

(注1)部位は、MSF-24P(S)型の各部位を示す。

(注2)荷重比、剛性比及び変形量比は全て、落下試験モデルに対するMSF-24P(S)型の比を示す。

3. 説明スケジュール

● 審査説明スケジュール

項目	2022年度			
	7-9月		10-12月	1-3月
型式指定審査 (MSF-24P(S)型横置き)	申請 ▼ 7/13	審査会合 ▼ 9/1	審査会合 ▼ 12/5	認可希望 ▼
概要	[Redacted]			
1. 技術基準規則適合性 ・安全機能・長期健全性(26条)	[Redacted]			
・構造強度評価(17条・26条)			[Redacted]	
・地震/津波/竜巻時評価(5・6・7条)			[Redacted]	
2. 外運搬規則適合性			[Redacted]	
3. 品質管理基準適合性			[Redacted]	
4. 貯蔵用緩衝体装着状態での安全性				[Redacted]
コメント回答 他		[Redacted]		[Redacted] 〇〇〇

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