

令和4年7月13日

原子力規制委員会 殿

東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
三菱重工業株式会社
取締役社長 泉澤 清次

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書
(特定兼用キャスク)

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の31第1項の規定に基づき、
下記のとおり発電用原子炉施設に係る型式設計特定機器の型式指定の申請をいたします。

記

- 1 氏名又は名称及び住所並びに代表者の氏名
氏名又は名称 三菱重工業株式会社
住 所 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
代表者の氏名 取締役社長 泉澤 清次
- 2 主たる製造工場の名称及び所在地
名 称 三菱重工業株式会社 原子力セグメント (神戸・二見地区)
所 在 地 神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号
- 3 型式設計特定機器の種類
特定兼用キャスク
- 4 型式設計特定機器の名称及び型式
MSF-24P(S)型
- 5 型式設計特定機器の型式証明の番号
C-S E-2110271

6 型式設計特定機器の設計及び製作の方法の概要

6.1 特定兼用キャスクの名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法及び材料並びに放射線遮蔽材の種類、主要寸法、冷却方法及び材料

名称及び型式		—	MSF-24P(S)型 ^(注1)	
種類		—	鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)	
容量		体	24	
最高使用圧力		MPa	(差圧) 0.41	
最高使用温度	容器	℃	150	
	バスケット	℃	195	
主要寸法	全長		mm 5,194 ^(注2)	
	外径		mm 2,596 ^(注2)	
	容器	胴内径	mm	□ ^(注2)
		胴板厚さ	mm	□(□ ^(注2))
		一次蓋外径	mm	1,962 ^(注2)
		一次蓋板厚さ	mm	□(□ ^(注2))
		底板厚さ	mm	□(□ ^(注2))
		高さ	mm	5,119 ^(注2)
	バスケット	外径	mm	□ ^(注2)
		高さ	mm	□ ^(注2)
		格子内幅	mm	□ ^(注2)
		バスケットプレート板厚	mm	□(□ ^(注2))
材料	胴板		— □	
	一次蓋板		— □	
	底板		— □	
	バスケットプレート		—	アルミニウム合金 ^(注3) (MB-A3004-H112)

(注1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)(以下「技術基準規則」という。)第2条第2項第34号に規定されるクラス3容器として設計し、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法(以下「蓋部が金属部へ衝突しない設置方法」という。)で設置する。最大崩壊熱量は15.8kWであり、MSF-24P(S)型全質量(使用済燃料集合体24体を含む)は119.6t以下である。

□内は商業機密のため、非公開とします。

(注1 続き) 以下の燃料を貯蔵する。

PWR 使用済燃料集合体 (ウラン燃料)

- ・ 17×17燃料 48,000MWd/t型 (A型)
- ・ 17×17燃料 48,000MWd/t型 (B型)
- ・ 17×17燃料 39,000MWd/t型 (A型)
- ・ 17×17燃料 39,000MWd/t型 (B型)
- ・ 15×15燃料 48,000MWd/t型 (A型)
- ・ 15×15燃料 48,000MWd/t型 (B型)
- ・ 15×15燃料 39,000MWd/t型 (A型)
- ・ 15×15燃料 39,000MWd/t型 (B型)

使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。

- a. 17×17燃料 48,000MWd/t型 (A型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- b. 17×17燃料 48,000MWd/t型 (B型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- c. 17×17燃料 39,000MWd/t型 (A型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- d. 17×17燃料 39,000MWd/t型 (B型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- e. 15×15燃料 48,000MWd/t型 (A型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- f. 15×15燃料 48,000MWd/t型 (B型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- g. 15×15燃料 39,000MWd/t型 (A型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上
- h. 15×15燃料 39,000MWd/t型 (B型) を収納する場合
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 [] 以下
冷却期間 [] 以上

使用済燃料集合体をMSF-24P(S)型へ収納するに当たり、使用済燃料集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。また、使用済燃料集合体は、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態でMSF-24P(S)型へ収納する場合がある。使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の収納条件を第1図に示す。

なお、17×17燃料と15×15燃料は混載されないが、48,000MWd/t型及び39,000MWd/t型、並びにA型及びB型は混載可能である。

(注2) 公称値を示す。

(注3) 添付書類 12「特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する説明書」別紙1参照。

[] 内は商業機密のため、非公開とします。

放射線遮蔽材	種類	主要寸法（最小厚さ）（mm）		冷却方法	材 料	
	鍛造キャスク（鋼—レジン遮蔽体タイプ）	胴部	胴板（注1）		自然冷却	レジン
中性子遮蔽材						
外筒						
下部端板						
底部		底板（注1）		自然冷却	レジン	
		中性子遮蔽材				
		中性子遮蔽材カバー				
蓋部		一次蓋	一次蓋板（注1）		自然冷却	レジン
			中性子遮蔽材			
			中性子遮蔽材カバー			
		二次蓋		自然冷却		

（注1） 構造強度部材であり、遮蔽機能も有する部材である。

（注2） 公称値を示す。

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

6.2 特定兼用キャスクの基本設計方針、適用基準及び適用規格

MSF-24P(S)型は、軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉（以下「PWR」という。）で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の特定兼用キャスク（以下「特定兼用キャスク」という。）である。MSF-24P(S)型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能（以下「臨界防止機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能（以下「遮蔽機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能（以下「除熱機能」という。）及び特定兼用キャスクに封入された使用済燃料を閉じ込める機能（以下「閉じ込め機能」という。）といった安全性を確保するために必要な安全機能（以下「安全機能」という。）を有するように設計し、自然現象（地震、津波及び竜巻）に対して安全機能が維持される設計とする。

また、MSF-24P(S)型は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法として、貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。

MSF-24P(S)型は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日法律第166号）（以下「原子炉等規制法」という。）等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。

- ・日本産業規格（JIS）
- ・日本機械学会規格（JSME）
- ・日本原子力学会標準（AESJ）等

6.2.1 臨界防止機能に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した中性子吸収材を適切な位置に配置することにより、特定兼用キャスク単体として、使用済燃料集合体を収納した条件下で、臨界を防止する設計とする。

バスケットプレートは、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十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を維持する設計とする。

また、MSF-24P(S)型の特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）への搬

入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態となること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。

MSF-24P(S)型の臨界評価においては、特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮しても、中性子実効増倍率が0.95以下となるようにするため、特定兼用キャスク単体による臨界防止評価において、特定兼用キャスクの境界条件を完全反射境界条件（無限配列）として、特定兼用キャスク相互の中性子干渉による影響を考慮し、複数の特定兼用キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも臨界に達するおそれがない設計とするとともに、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおり考慮する。

- (1) 乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。
- (2) バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように、配置する。
- (3) 特定兼用キャスク周囲を完全反射境界条件（無限配列）とする。
- (4) バスケットプレート幅、バスケット格子内のり及び中性子吸収材板厚等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材のほう素添加量を仕様上の下限値とする。
- (5) 燃焼度クレジット（使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下）は考慮しない。
- (6) 使用済燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニアを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニアの存在を無視する。また、バーナブルポイズン集合体は考慮しない。

6.2.2 遮蔽機能に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、使用済燃料から放出される放射線を特定兼用キャスクの本体及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いる。設計貯蔵期間における特定兼用キャスクの中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率は、それぞれ2 mSv/h以下、100 μ Sv/h以下となるように設計する。

MSF-24P(S)型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、遮蔽評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。特定兼用キャスクの実形状を三次元でモデル化し、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。

6.2.3 除熱機能に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とし、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から、燃料被覆管の累積クリープひずみが1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度、及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とするため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限を設ける。

- ・ 17×17燃料 48,000MWd/t型 (A型及びB型) 275℃以下
- ・ 17×17燃料 39,000MWd/t型 (A型及びB型) 275℃以下
- ・ 15×15燃料 48,000MWd/t型 (A型及びB型) 275℃以下
- ・ 15×15燃料 39,000MWd/t型 (A型及びB型) 275℃以下

また、MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクの安全機能を維持する観点から、特定兼用キャスクの温度を構成部材の健全性が維持される温度以下に制限する設計とし、MSF-24P(S)型の主要な構成部材の温度は、以下の制限を設ける。

- ・ 胴、外筒及び蓋部 350℃以下
- ・ 中性子遮蔽材 149℃以下
- ・ 金属ガスケット 130℃以下
- ・ バスケットプレート 250℃以下

MSF-24P(S)型の除熱機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮する。

さらに、MSF-24P(S)型は、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。

6.2.4 閉じ込め機能に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を

通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気を保つとともに負圧に維持する設計とする。また、MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計として、特定兼用キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部（以下「蓋間」という。）を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、MSF-24P(S)型は、蓋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設計とする。

6.2.5 材料及び構造に関する設計方針

MSF-24P(S)型の材料及び構造は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）（以下「技術基準規則解釈」という。）、（一社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2012」（以下「設計・建設規格」という。）、（一社）日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」（以下「金属キャスク構造規格」という。）等に基づき設計する。

6.2.5.1 材料

容器に使用する材料は、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学成分を有する材料を使用する。

6.2.5.2 構造及び強度

容器は、貯蔵時及び取扱時において、全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。

6.2.5.3 容器の主要な耐圧部の溶接部

容器の主要な耐圧部の溶接部は、次のとおりとし、各種検査により、適用基準及び適用規格に適合していることを確認する。

- ・ 不連続で特異な形状でない設計とする。
- ・ 溶接による割れが生ずるおそれがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを非破壊検査により確認する。
- ・ 適切な強度を有する設計とする。
- ・ 機械試験その他の評価方法により適切な溶接施工法、溶接設備及び技能を有する溶接士であることをあらかじめ確認したものにより溶接する。

6.2.6 地震による損傷の防止に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で横置きに設置する設計とする。また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

6.2.7 津波による損傷の防止に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

6.2.8 竜巻による損傷の防止に関する設計方針

MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

6.2.9 その他の設計方針

- (1) MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスク本体の上部及び下部に貯蔵用緩衝体を装着することにより、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。
- (2) MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。
- (3) MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す設計とする。
- (4) MSF-24P(S)型は、バスケットの構造部材であるバスケットプレートに、アルミニウム合金(MB-A3004-H112)を使用している。当該材料は、金属キャスク構造規格等では規定されていない材料であることから、原子炉等規制法第43条の26の3第1項の規定により、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)を受けた金属製の乾式キャスク(MSF-21P型)のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金(MB-A3004-H112)の適用範囲内で使用する。アルミニウム合金の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく露による強度低下を考慮し、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定しており、MSF-24P(S)型は、その設計用強度を許容応力に用いることにより、バスケットプレートの構造健全性を維持する設計とする。また、バスケットプレートが弾性状態に留まるようにすることで、衝撃荷重が負荷される場合においても、延性き裂進展に対して十分な余裕を有する設計とする。

6.2.10 適用基準及び適用規格

MSF-24P(S)型の設計及び製作において適用する基準及び規格は以下のとおりである。

- ・ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈(平成25年6月19日 原規技発第1306194号)
- ・ 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(平成31年3月13日 原規技発第1903131号)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2012 (一社) 日本機械学会
- ・ 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012 (一社) 日本機械学会

- ・発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2012/2013 (一社) 日本機械学会
- ・使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007 (一社) 日本機械学会

6.3 特定兼用キャスクに係る製作の方法

6.3.1 製作の手順

6.3.1.1 製作の手順と検査

MSF-24P(S)型の製作及び検査のフローを第2図に示す。第2図に示すように、材料入手、加工、組立の各製作手順の適切な時期に、発電用原子炉設置者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定機器の製造者として必要な検査を行う。

なお、具体的な製作の手順については、添付書類14「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」に示す。

6.3.1.2 主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査

MSF-24P(S)型の主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査のフローを第3図に示す。第3図に示すように、各製作手順の適切な時期に、発電用原子炉設置者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定機器の製造者として必要な検査を行う。

6.3.2 検査の方法

構造、強度又は漏えいを確認するために十分な方法、機能又は性能を確認するために十分な方法、その他型式設計特定機器の設計及び製作が計画に従って行われたものであることを確認するために十分な方法により、第2図のフローに基づいて、発電用原子炉設置者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定機器の製造者として必要な検査を行う。

6.3.2.1 構造、強度又は漏えいに係る検査

(1) 構造、強度又は漏えいに係る検査

構造、強度又は漏えいに係る検査ができるようになったとき、第1表に示す検査を実施する。

(2) 主要な耐圧部の溶接部に係る検査

主要な耐圧部の溶接部について、技術基準規則第17条第1項第15号及び技術基

準規則解釈に適合するよう、以下の(a)及び(b)の工程毎に検査を実施する。

(a) あらかじめ確認する事項

あらかじめ確認すべき事項である溶接施工法及び溶接士の技能については、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に、(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2007又はJSME S NB1-2012/2013」(以下「溶接規格」という。)」第2部 溶接施工方法認証標準及び第3部 溶接技能認証標準に従い、第2表及び第3表に示す検査を行う。その際、以下のいずれかに該当する特殊な溶接方法は、その確認事項の条件及び方法の範囲内で「① 溶接施工法に関すること」を確認する。

- ・2000年6月以前に旧「電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令」(昭和45年9月3日 通商産業省令第81号)第2条に基づき、通商産業大臣の認可を受けた特殊な溶接方法。
- ・2000年7月以降に一般社団法人日本溶接協会又は一般財団法人発電設備技術検査協会による確性試験により適合性確認を受けた特殊な溶接方法。

なお、溶接施工法又は溶接士の技能について、以下のいずれかの方法により適合性が確認されているものは、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に第2表及び第3表に示す検査は要さないものとする。

①溶接施工法に関すること

- ・2000年6月30日以前に「電気事業法」(昭和39年7月11日 法律第170号)に基づき国の認可証又は合格証を取得した溶接施工法。
- ・2000年7月1日から2013年7月7日までに電気事業法に基づく溶接事業者検査において、各設置者が技術基準への適合性を確認した溶接施工法。
- ・2013年7月8日以降、原子炉等規制法に基づき、各設置者が技術基準への適合性を確認した溶接施工法。
- ・前述と同等の溶接施工法として、原子炉等規制法における他の施設にて、認可を受けたもの、溶接安全管理審査、使用前事業者検査(溶接)等で溶接施工法の確認を受けたもの又は客観性を有する方法により確認試験が行われ判定基準に適合しているもの。ここで、他の施設とは、加工施設、試験研究用等原子炉施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、特定第一種廃棄物埋設施設、特定廃棄物管理施設をいう。

②溶接士の技能に関すること

- ・溶接規格第3部 溶接士技能認証標準によって認証されたものと同等と認められるものとして、技術基準解釈別記-5に示されている溶接士が溶接を行う場合。

- ・溶接規格第3部 溶接士技能認証標準に適合する溶接士が、技術基準解釈別記-5の有効期限内に溶接を行う場合。

(b) 主要な耐圧部の溶接部に対する確認事項

技術基準規則第17条第1項第15号の主要な耐圧部の溶接部について、第4表に示す検査を実施する。

6.3.2.2 機能又は性能に係る検査

機能又は性能を維持するため、第5表に示す検査を実施する。

6.3.2.3 基本設計方針検査

6.2に示した基本設計方針のうち、第1表に示す「構造、強度又は漏えいに係る検査」及び第5表に示す「機能又は性能に係る検査」では確認できない事項について、第6表に示す検査を実施する。

6.3.2.4 品質マネジメントシステムに係る検査

MSF-24P(S)型の製作が、発電用原子炉設置者における品質マネジメントシステムに示すプロセスとおりに実施されていることの確認を同設置者から求められた場合に、品質記録の提供や立会確認等を受けるものとする。

また、型式設計特定機器の製造者として、調達する物品又は役務が「7.申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載したプロセスとおりに行われていることの実施状況を確認するとともに、調達する物品又は役務に係る記録の信頼性を確保するため、第7表に示す検査を実施する。

6.3.3 製作上の留意事項

型式設計特定機器の製作の実施に当たっては、「7.申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載の品質管理活動に係る要求を遵守するとともに、従事者及び公衆の安全確保等の観点から、以下に留意し製作を進める。

- (1) 製作を行う特定兼用キャスクについて、製作時の環境条件からの悪影響や劣化等を受けないよう、隔離、作業環境維持、異物侵入防止対策等の必要な措置を講じる。
- (2) 製作を行う特定兼用キャスクについて、必要に応じて、供用後の施設管理のための重要なデータを採取する。

- (3) 製作の状況に応じて、検査・試験等の各段階における工程を管理する。
- (4) 特別な工法を採用する場合の施工方法は、技術基準に適合するよう、安全性及び信頼性について必要に応じ検証等により十分確認された方法により実施する。

7 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項

MSF-24P(S)型の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する以下の事項、

- (1) 品質管理の実施に係る組織
- (2) 品質管理活動の計画
- (3) 品質管理活動の実施
- (4) 品質管理活動の評価
- (5) 品質管理活動の改善

については、以下のとおりである。

7.1 品質保証計画

三菱重工業株式会社（以下「当社」という。）の原子力プラントに対する品質保証活動の基本方針は、「品質マネジメントシステムの強化と継続的改善を前提として、適用される法令、基準、規格及び顧客の品質要求事項を満足している安全性と信頼性の高い製品を顧客に供給することにより、最優先としている原子力安全を達成、維持、向上すること」である。

本基本方針に基づいて当社は品質マネジメントシステム（以下「QMS」という。）を確立し、維持する。当社は、本基本方針に合致し、「品質マネジメントシステム-要求事項：ISO9001:2015（JIS Q 9001:2015）」の要求事項を満足する品質マニュアル及び各種業務標準を定めて品質保証活動を確実に遂行する。

7.2 適用範囲

本「品質保証計画」は、MSF-24P(S)型の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項に適用する。

7.3 定義

本「品質保証計画」における用語は、ISO9000:2005（JIS Q 9000:2006）及び当社内で運用上必要なものを基本に次のとおり定義する。

- (1) トップマネジメント
原子力セグメント長をいう。
- (2) 原子力品質統括責任者
原子力関連製品のQMSの活動を統括する管理責任者として原子力セグメント長が任命した原子力セグメント 品質保証部（以下「品証部」という。）長をいう。
- (3) 原子力品質保証責任者（以下「原子力QA責任者」という。）

原子力品質統括責任者の補佐及び品質活動の推進責任者として原子力品質統括責任者が指名した品証部原子力品質保証課長をいう。

(4) 関連部門

MSF-24P(S)型の設計及び製作に係わる業務を担当する営業担当部門（以下「営業部門」という。）、設計・開発担当部門（以下「設計部門」という。）、購買担当部門（以下「購買部門」という。）、製造担当部門（以下「製造部門」という。）、品管担当部門及び品証担当部門（以下「品証部門」という。）をいう。

7.4 品質マネジメントシステム

7.4.1 一般要求事項

トップマネジメント及び関連部門の長は、ISO9001:2015（JIS Q 9001:2015）の要求事項に従って、QMSを確立し、文書化するとともに、同システムを実施、維持する。また、QMSの有効性を評価し、必要に応じて継続的な改善を行う。

(1) トップマネジメント及び関連部門の長は、次の事項を実施し、QMSに従い適切に運営管理する。

(a) QMSに必要なプロセス及びそれらの適用を明確にする。また、当該プロセスについて、それぞれどのように適用されるかを識別する。

(b) プロセスの順序及び相互関係を明確にする。

(c) プロセスの運用及びその管理が効果的であることを確実にするために、必要な判断基準及び方法を明確にする。

(d) プロセスの運用及び監視の支援をするために必要な資源及び情報を利用できる状態にする。

(e) プロセスを監視し、適用可能な場合には測定し分析する。

(f) プロセスが計画どおりの結果を得るため、かつ、継続的な改善を達成するために必要な処置をとる。

(g) 本「品質保証計画」に係るプロセス及び組織を当社QMSと整合的なものとする。

(h) 社会科学及び行動科学の知見を踏まえて、品質保証活動を促進する。

(2) 関連部門の長は、QMSの運用において、原子力安全に対する重要性に応じて、QMSの要求事項の適用の程度についてグレード分けを行う。なお、グレード分けの決定に際しては、原子力安全に対する重要性に加え、次の事項を考慮する。

(a) プロセス及び原子力関連製品の複雑性、独自性、又は斬新性の程度

(b) プロセス及び原子力関連製品の標準化の程度や記録のトレーサビリティの程度

- (c) プロセス及び原子力関連製品の要求事項（原子力安全を含む）への適合性に対する検査又は試験による検証可能性の程度
 - (d) 作業又は製造プロセス、要員、要領、装置等に対する特別な管理や検査の必要性の程度
- (3) 関連部門の長は、QMS の要求事項に対する製品の適合性に影響を与えるプロセスをアウトソースする場合、そのプロセスに関する管理及びこれらのアウトソースしたプロセスに適用される管理の方式及び程度は、QMS の中で定める。
- (4) 関連部門の長は、アウトソースしたプロセスに対する管理を確実にしたとしても、すべての顧客要求事項及び法令・規制要求事項への適合に対する当社の責任が免除されるものではない。アウトソースしたプロセスに適用される管理の方式及び程度は、次のような要因によって影響される。
- (a) 要求事項に適合する製品を提供するために必要な組織の能力に対する、アウトソースしたプロセスの影響の可能性
 - (b) そのプロセスの管理への関与の度合い
 - (c) 「7.7.4 購買」の適用において必要な管理を遂行する能力
- (5) 当社における原子力事業の QMS 体系（概要）を第 4 図に示す。

7.4.2 文書化に関する要求事項

7.4.2.1 一般

QMS の文書には、次の事項を含める。

- (1) 文書化した、品質方針及び品質目標の表明
- (2) 品質マニュアル
- (3) 本「品質保証計画」で規定する“文書化された手順”及び7.4.2.4で管理対象となる記録
- (4) プロセスの効果的な計画、運用及び管理を実施するために、当社が必要と決定した文書（品質保証計画書、部・課標準、仕様書、要領書、指示書等）及び記録

7.4.2.2 品質マニュアル

関連部門は、ISO9001:2015（JIS Q 9001:2015）の要求事項を満たし、かつ品質方針を実行し、品質目標を達成するために、次の事項を含む原子力関連製品の品質マニュアル（以下「品質マニュアル」という。）を作成し、維持する。また、品質マニュアルの適切性、有効性を適宜レビューし必要に応じて改訂する。

- (1) QMS の適用範囲
- (2) QMS について確立された“文書化された手順”又はそれらを参照できる情報
- (3) QMS のプロセス間の相互関係に関する記述

7.4.2.3 文書管理

関連部門は、QMS で必要とする文書（基本計画及び開発計画等を含む各種計画書、品質保証計画書・仕様書・要領書・指示書・図面等、QMS とその実施、検証に関する重要な文書及び技術文書等）を管理する。

次の活動の実施及びその管理の具体的方法を規定するために、“文書化された手順”を確立し実行する。

- (1) QMS で必要とする管理すべき文書を明確にする。
- (2) 文書は、発行前に、発行部門において権限を有する者がその適切性について審査し、承認する。なお、他の部門に影響がある文書については、必要に応じて発行前に該当部門のレビューを受け、問題があれば解決した後、発行する。
- (3) 発行後の文書は、必要に応じて適切性、有効性をレビューし、その結果によっては、更新（変更・改訂）し、再承認する。

- (4) 文書を変更・改訂する場合、(2)、(3)に加え次の事項を確実に行う。
 - (a) 初版の作成あるいは制定根拠及び変更理由を十分に理解して変更・改訂を行う。
 - (b) 特に規定しない限り、初版を発行した部門、又は同一機能を有する部門が、変更・改訂の適切性について審査、承認後、発行する。
 - (c) 変更・改訂内容をその文書中又は改訂来歴表等で明確にする。
 - (d) 文書の変更・改訂の識別及び最新版並びに有効な版が分かるように、適切に識別表示する。
- (5) 該当する文書の適切な版が、必要なときに、必要なところで使用できるようにする。
- (6) 常に適切な文書が使用されるよう、適切な方法で文書の発行及び配付の管理を行う。
- (7) 文書の配付を受けた部門は、最新の文書が適宜利用できるよう適切に管理する。
- (8) 無効又は廃止文書が誤って使用されないよう、速やかに廃棄する。
- (9) 法律上又は知識、保存目的等で無効又は廃止文書を保持する場合は、適切に識別表示する。
- (10) 文書は読みやすく、かつ容易に識別可能な状態であるようにする。
- (11) QMS の計画及び運用のために当社が必要と決定した外部からの文書（法規書、契約書、顧客要求仕様書、購買先からの技術文書等）は、他の文書と明確に区別し、配付する場合は、配付先を明確にして管理する。

7.4.2.4 記録の管理

関連部門は、次の事項を確実にを行い、要求事項への適合及び QMS の効果的運用の証拠を示すために各プロセスで作成する記録の管理対象を明確にし、維持管理する。

- (1) 図面、仕様書、試験・検査・補修記録、トレーサビリティに関する記録及び継続して保持する必要がある各種計画書等を含む管理すべき記録を明確にし、識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関する方法等必要な管理を規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。
- (2) 記録は、読みやすく、容易に識別可能かつ検索可能であるように維持する。

7.5 経営者の責任

7.5.1 経営者のコミットメント

トップマネジメントは、QMS の構築・実施及びその有効性の継続的な改善、並びに顧客重視、原子力安全の重視に対するコミットメントの証拠を次の事項により示す。

- (1) 本「品質保証計画」、品質方針、品質目標等によって法令・規制及び顧客要求事項（原子力安全を含む）を満たすことの重要性を社内に周知する。
- (2) 品質方針を設定する。
- (3) 品質方針に基づく品質目標が関連部門で設定されるよう指示する。
- (4) マネジメントレビューを実施する。
- (5) 必要な資源が使用できるようにする。
- (6) 安全文化を醸成するための活動を促進する。

7.5.2 顧客重視

顧客満足の向上を目指して、トップマネジメントは、顧客要求事項が決定され、満たされている状態にする。その方法は、本「品質保証計画」7.7.2.1 及び 7.8.2.1 に示す。

7.5.3 品質方針

トップマネジメントは、要求事項への適合、QMS の構築・実施及びその有効性の継続的な改善、並びに顧客重視、原子力安全の重視に対するコミットメントとして、次の事項を考慮した関連部門の品質方針を表明し、関連部門に掲示して周知する。

- (1) 当社の目的に対して適切であること。
- (2) 要求事項への適合、QMS の有効性の継続的な改善、原子力安全の重要性に対するコミットメントを含むこと。
- (3) 各部門及び階層で品質目標の設定、活動計画の策定及びレビューを実施させること。
- (4) 当社全体に伝達され、理解されること。
- (5) 品質方針が継続して適切であるよう定期的にレビューし、適宜見直すこと。
- (6) 組織運営に関する方針と整合的なものとする。

7.5.4 計画

7.5.4.1 品質目標

- (1) トップマネジメントは、製品要求事項を満たすために必要なものを含む達成度が判定可能で、品質方針と整合がとれた原子力関連製品の品質目標を設定す

る。関連部門の長は、トップマネジメントが策定した品質目標と整合し達成度が判定可能な各部門における品質目標を実行計画等で策定し、推進する。

- (2) 原子力品質統括責任者は、関連部門が策定し推進する実行計画等の実施状況を適宜フォローし、適切性をレビューする。
- (3) 関連部門の長は、実行計画等で設定した目標の達成に向けて具体的な活動を推進し、その達成状況をマネジメントアセスメントに含め適宜評価し、四半期ごとにトップマネジメントに報告する。また、その評価結果により必要と判断される場合は、次年度へ継続して活動を推進する。

7.5.4.2 品質マネジメントシステムの計画

トップマネジメントは、品質目標、本「品質保証計画」7.4.1の規定を満たすために、原子力品質統括責任者に対して次の事項を指示し、QMSの構築とその維持、管理を行う。

- (1) QMSの構築及びQMSの有効性を維持するために、QMSに係わる文書を定期的及び必要に応じて見直し等を行う。

当社の原子力関連製品のQMSに係わる主な文書の概要は次のとおり。

(a) 原子力品質マニュアル

(i) 品質マニュアル [1次文書]

ISO9001:2015 (JIS Q 9001:2015) 適用の原子力関連製品の管理体系の最上位のもので、全段階で実施するQMSの基準を規定したもの。(付属書を含む)

(ii) 原子力関連製品の品質保証マニュアル (以下「QA マニュアル」という。) [2次文書]

品質マニュアルの下位規定で、業務の基本的な管理方法を規定したものの。

(b) 品質保証計画書 [2次文書相当]

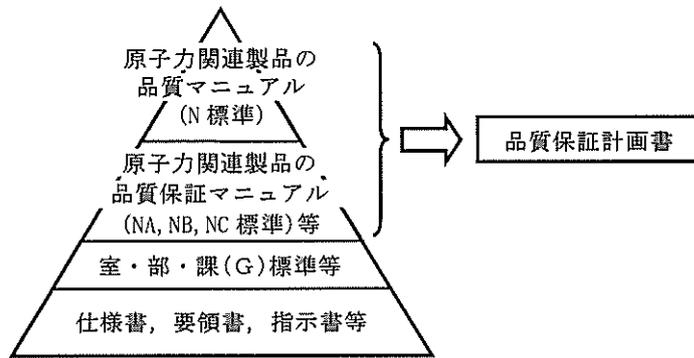
原子力関連製品の個別又は特定工事に適用するQMSとそのプロセス(製品実現のプロセスを含む)及び資源を規定したもの。

(c) 部・課 (G) 標準等 [3次文書]

QA マニュアルの下位規定で、関連部門における業務の具体的実施手順を規定したもの。

(d) 仕様書、要領書、指示書等 [4次文書]

部・課 (G) 標準等の下位にあり、詳細な設計仕様、具体的な作業要領、作業指示等を記述したもの。



原子力関連製品の QMS 体系図

- (2) マネジメントレビュー結果、内部監査結果等により QMS を変更する場合、QMS が滞ることなく継続して機能する状態を維持し、相互に矛盾がなく、整合がとれるよう見直す。

7.5.5 責任、権限及びコミュニケーション

7.5.5.1 責任及び権限

- (1) 原子力セグメント長は、次の責任と権限を有する。

トップマネジメントである原子力セグメント長は、当社の原子力関連製品に関する業務全体を管理する最高責任者として、次の責任と権限を有する。

- (a) 当社の原子力関連製品の QMS を管理・実行し、検証する。
 - (b) 当社の QMS に係わる責任と権限を定め、当社内全体に伝達し周知する。
 - (c) 品質方針を表明し、当社内全体に周知する。
 - (d) 原子力関連製品の品質目標を設定し、当社内全体に周知するとともに、それぞれの部門及び階層に対し品質目標を設定させ、その達成に向けた具体的な活動を推進させる。
 - (e) 品質マニュアル制定及び改廃を行う。
 - (f) 原子力品質統括責任者を任命し、QMS とその実施を統括する管理責任者としての責任と権限を与える。
 - (g) 原子力セグメント副セグメント長を代理者として指名し、(a)に関する権限を与えることができる。
- (2) 原子力セグメント副セグメント長は、次の責任と権限を有する。
原子力セグメント長の指名を受け、代理者として(1)(a)に関する事項を実施する。
- (3) MSF-24P(S)型の設計及び製作に係わる組織を第5図に示す。

7.5.5.2 管理責任者及び関連部門の長

(1) 管理責任者

(a) 原子力品質統括責任者

原子力品質統括責任者は、原子力関連製品の QMS とその実施を統括する管理責任者として、次の責任と権限を有し、品証部長がその任にあたる。

(i) QMS とその実施(品質マニュアルの制定・改廃の権限を除く)を管理・統括する。

① 品質マニュアル付属書及び QA マニュアルの制定・改廃

② QMS の活動の計画立案とその実施

③ QMS に必要なプロセスの確立、実施及び維持

④ 内部監査の統括、外部監査の推進及び外部組織・機関との連絡

(ii) QMS の成果を含む実施状況及び見直し、改善の必要性について取りまとめ、トップマネジメントに報告する。

(iii) 組織内に関係法令の遵守、顧客要求事項(安全文化の醸成活動を含む)に対する認識を高めることを確実にする。

(iv) 原子力 QA 責任者を指名し、原子力品質統括責任者が統括する原子力関連製品の QMS とその実施を補佐させる。

(b) 原子力 QA 責任者

原子力 QA 責任者は、品質活動の推進責任者として原子力品質統括責任者が統括する原子力関連製品の QMS とその実施を補佐する。

(2) 溶接検査責任者

溶接検査責任者は、当社の溶接検査に関する管理業務全般の統括を行う責任を有する。

(3) 溶接技術管理責任者

溶接技術管理責任者は、当社の溶接施工管理業務全般の統括を行う責任を有する。

(4) 関連部門の長

各部門の長は、原子力関連製品において、次の QMS の活動に関する責任と権限を有し、また、権限を委譲することができる。その場合は、委譲内容を文書で明確にする。

(a) 品証部門の長

製品が顧客要求事項、適用法令、基準及び設計指示事項に適合していることとの確認並びに QMS の維持、改善に関する事項

- (i) 品質状況の把握と記録及び QMS の改善の有効性確認
 - (ii) 品質情報の収集分析と関連部門へのフィードバック及び是正勧告
 - (iii) 内部監査の計画、実施とその評価
 - (iv) 監視・測定の計画の取りまとめ
 - (v) 製品要求事項への適合状態の確認
 - (vi) 製品及び計画したプロセスの監視・測定の実施
 - (vii) 監視機器及び測定機器の管理
 - (viii) 不適合製品の処置及び是正処置の確認
 - (ix) 出荷可否の判定
- (b) 営業部門の長
- 契約等に関する事項及び計画したプロセスの監視・測定の実施
- (i) 顧客との契約に関する業務
 - (ii) 顧客仕様を含む契約内容の確認
 - (iii) 製品及び工事に関する見積、予算管理及び製作指図
 - (iv) 顧客との窓口
 - (v) 顧客満足に関する情報の監視及び管理
 - (vi) 顧客からのクレームに関する取りまとめ
- (c) 購買部門の長
- 品質要求事項を満足する製品及び役務（以下「購買製品」という。）の購買に関する事項及び計画したプロセスの監視・測定の実施
- (i) 購買先の認定、維持及び発注先の選定並びに発注
 - (ii) 購買製品の検収、保管及び払い出し業務
 - (iii) 製品の発送及び輸送業務
- (d) 設計部門の長
- 顧客要求事項に適合した基本計画、設計・開発及び仕様書、計算書、図面、要領書の発行等に関する事項並びに計画した各プロセスの監視・測定の実施
- (i) 顧客ニーズに応じた製品の開発
 - (ii) 顧客仕様の技術的検討及び製品仕様の決定
 - (iii) 見積仕様書、引合仕様書等の作成
 - (iv) 製品の設計・開発及び仕様書、図面並びに取扱説明書等の作成
 - (v) 注文仕様書、購入仕様書の作成
- (e) 製造部門の長
- 設計指示事項に適合した製品の製造に関する事項及び計画したプロセスの監視・測定の実施

- (i) 生産・日程管理及び見積管理に関する取りまとめ
- (ii) 製品の製造（加工外注業務の選定及び施工管理を含む）
- (iii) 部品（加工外注品等）の品質要求設定
- (iv) 製造技術の確立、推進及び技量認定の管理
- (v) 製造工程の管理及び作業環境の管理
- (vi) 製造設備・治工具及び測定機器等の整備、保守
- (vii) 製造に関する工法の改善及び新技術の開発・検証

7.5.5.3 内部コミュニケーション

トップマネジメントは、品質に関する情報、QMSの有効性に関する情報の交換等、次の活動を推進し、社内のコミュニケーションを闊達にする。

- (1) 原子力安全推進委員会、同委員会ステアリングコミッティ、三菱保全検討委員会等
- (2) 原子力マネジメントレビュー会議、品質保証連絡会、品質保証委員会等
- (3) 部門長会議、品質管理関連の会議、品質管理パトロール等
- (4) 社内イントラネットや広報活動

7.5.6 マネジメントレビュー

7.5.6.1 一般

トップマネジメントは、当社のQMSが、継続して適切、妥当でかつ有効であるようにするために、あらかじめ定められた間隔で、原子力マネジメントレビュー会議等の会議を通じてQMSの実施状況をレビューする。また、状況によっては、原子力品質統括責任者、原子力QA責任者、関連部門の長より文書による報告を受け、QMSの実施状況をレビューする。

レビューでは、QMSの改善の機会の評価、品質方針及び品質目標を含むQMSの変更の必要性の評価も行う。

これらのマネジメントレビュー結果の記録は、保管期間を定め、適切に維持する。

(7.4.2.4 参照)

7.5.6.2 マネジメントレビューへのインプット

マネジメントレビューへのインプットには、次の情報を含める。

- (1) 監査の結果
- (2) 顧客からのフィードバック

- (3) プロセスの成果を含む実施状況（品質目標の達成状況を含む）及び製品の適合性（関係法令の遵守状況を含む）
- (4) 予防処置及び是正処置の状況
- (5) 安全文化を醸成するための活動の実施状況
- (6) 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ
- (7) QMS に影響を及ぼす可能性のある変更
- (8) 改善のための提案
- (9) 仕損費、クレーム費の状況と低減活動等
- (10) その他の重要品質問題

7.5.6.3 マネジメントレビューからのアウトプット

トップマネジメントは、マネジメントレビューからのアウトプットには、次の事項に関する決定及び処置すべてを含める。また、マネジメントレビューとして報告を受けた活動状況に対するコメントも同等に扱う。必要に応じて、原子力品質統括責任者を通じ該当する関連部門の長に対し、適切な活動の実施又は推進を指示する。

なお、原子力品質統括責任者は、QMS の実施状況等をフォローし、その結果をトップマネジメントへ報告する。

- (1) QMS 及び QMS で計画されたプロセスの有効性の改善
- (2) 顧客要求事項への適合に必要な製品そのものの改善
- (3) 顧客要求事項を満たすために計画されたプロセスに運用する資源の必要性

7.6 資源の運用管理

7.6.1 資源の提供

関連部門の長は、次の事項に必要な資源を明確にし、提供する。

- (1) QMS を実施し維持するとともに、その有効性を継続的に改善すること。
- (2) 顧客満足を、顧客要求事項を満たすことによって向上させること。
- (3) 原子力安全を推進すること。

7.6.2 人的資源

7.6.2.1 一般

関連部門の長は、製品要求事項への適合に影響がある業務に従事する要員には、関連する適切な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として、業務に必要な力量があるようにする。

7.6.2.2 力量、教育・訓練及び認識

関連部門の長は、次の事項を行う。

- (1) 製品要求事項への適合に影響がある業務の遂行に必要な力量を明確にする。
- (2) 製品要求事項への適合に影響がある業務に従事する要員の業務遂行に必要な力量と現有の力量を明確にする。
- (3) 必要な力量が不足している場合には、その必要な力量に到達することができるように次の事項を考慮した教育・訓練計画を策定・実施し、又は他の処置をとる。なお、教育・訓練にはOJTが含まれる。
 - (a) 業務に必要な知識、技術、技量、技能及び各種の管理技術、QMSの理解、原子力安全の重要性の理解等についての習得、維持・向上を図る。
 - (b) 法令、基準等で資格認定が必要とされる者の資格取得に配慮する。
 - (c) 教育、訓練、技能及び経験に基づき資格認定する場合は、資格認定基準を明確にする。
- (4) 教育・訓練又は他の処置を行った場合、その有効性（必要な力量に到達させることに対する有効性等）を適切な方法で評価し明確にする。
- (5) 製品要求事項への適合に影響がある業務に従事する要員が、業務に従事する上で、業務内容の理解と原子力安全の重要性を認識し、品質目標達成に向けて、自らがどのように貢献できるかについて、職種、経験等に応じて、教育・訓練や面談、ミーティング、打合会議等の適切な方法を用いて認識させる。
- (6) 教育、訓練、技能及び経験について、該当する記録は保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4参照）

7.6.3 インフラストラクチャー

関連部門は、製品要求事項への適合を達成するために必要なインフラストラクチャー（製品の製作工程能力及び業務遂行を継続的に維持するために関連部門が保有し、保全・管理する設備等（ハードウェアと業務支援プログラム等のソフトウェアを含む））について、該当する工事計画や関連する標準等で明確にし、提供し維持する。

7.6.4 作業環境

関連部門は、製品要求事項への適合を達成するために必要な作業環境を明確にし、運営管理する。

なお、適切な作業環境を創り出すために考慮する事項には、次のような物理的及び環境的なものがある。

- (1) 温度、湿度、照度、光、天候
- (2) 衛生、清浄、騒音、振動、汚染、他

7.7 製品実現

7.7.1 製品実現の計画

- (1) 関連部門は、製品実現のための業務に必要なプロセスを計画し、構築する。
- (2) 製品実現の計画は、QMS のその他のプロセスの要求事項と整合がとれるようにする。(7.4.1 参照)
- (3) 製品実現の計画において、次の事項について適切に明確にする。
 - (a) 製品に対する品質目標及び要求事項
 - (b) 製品に特有な、プロセス及び文書の確立の必要性、並びに工程、設備、装置、要員等の資源の提供の必要性
 - (c) 製品のための検証、妥当性確認、監視、測定、検査、試験活動及び製品の合否判定基準
 - (d) 製品実現のプロセス及びその結果としての製品が、要求事項を満たしていることを実証するために必要な記録 (7.4.2.4 参照)
- (4) この計画のアウトプットは、関連部門が構築する計画の実行に適した形式とし、品質保証計画書又は特定の製品や工事の計画として作成し、顧客の了解を得た後、関連部門へ正式発行する。

7.7.2 顧客関連のプロセス

7.7.2.1 製品に関連する要求事項の明確化

関連部門は、次の事項を明確にする。

- (1) 顧客が規定した要求事項。これには次の事項を含む。
 - (a) 引渡し及び引渡し後の活動（保証、メンテナンスサービス、リサイクル又は最終廃棄のような補助的サービスの活動等を含む）に関する要求事項
 - (b) 不適合の報告及び処理に関する要求事項
 - (c) 安全文化を醸成するための活動に関する必要な要求事項
 - (d) 製品を顧客に引き渡す場合における製品に関する要求事項への適合の証拠を記録した文書の提出に関する要求事項
 - (e) 製品の引渡し後における製品の維持又は運用に必要な保安に係る技術情報の提供及びそれらを他の組織と共有する場合に必要な処置に関する要求事項
- (2) 顧客要求事項に明示されていないが、顧客によって指定された用途又は意図された用途が既知である場合、それらの用途に応じた要求事項（通常、暗黙のうちに了解されている事項）
- (3) 製品に適用される法令・規制等の法的要求事項

- (4) 上記(1)～(3)以外で製品特性を考慮し当社が必要と判断する追加要求事項すべて

7.7.2.2 製品に関連する要求事項のレビュー

関連部門は、次の事項を実施する。

- (1) 顧客に製品を提供することに対するコミットメント（提案書の提出、契約又は注文の受諾、契約又は注文への変更の受諾）をする前に、顧客から提示された製品に関連する要求事項についてレビューし、次の事項を確実にする。
 - (a) 製品要求事項が定められていること。
 - (b) 契約又は注文の要求事項が以前に提示されたものと異なる場合には、それについて解決されていること。
 - (c) 当社が定められた要求事項を満たす能力を持っていること。
- (2) 顧客と合意した製品要求事項を関連部門に周知し、設計及び製作を指示する。
- (3) レビューの結果の記録及びレビュー結果でとられた処置の記録について、保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）
- (4) 顧客から要求事項が書面で示されない場合、その内容を文書で明確にし、関連部門に配付して、顧客要求事項を受諾する前に確認する。
- (5) 製品要求事項に変更がある場合、関連する文書を変更又は修正した後、その要求事項が関連部門に理解されることを確実にするために、次の事項を行う。
 - (a) 顧客より要求事項の変更があった場合、関連部門とその内容を検討し、変更内容を明確にして関連部門に周知すること。
 - (b) 契約上合意された要求事項において、当社側に内容の変更が生じた場合、顧客の承認を得るとともに、その内容を明確にし、関連部門に周知すること。

7.7.2.3 顧客とのコミュニケーション

関連部門は、次の事項に関して、顧客との打合せ、報告会、連絡会等にて顧客とのコミュニケーションを図り、情報を収集する。また、製品要求事項への適合に影響を与えるような無理な工程になっていないか等、顧客とのコミュニケーションを円滑に実施し、連絡調整を行う。

- (1) 製品情報
- (2) 引合い、契約若しくは注文、又はそれらの変更
- (3) 苦情を含む顧客からのフィードバック

7.7.3 設計・開発

7.7.3.1 設計・開発の計画

- (1) 関連部門は、製品の設計・開発活動において、次の事項を明確にした設計・開発の計画を策定し、管理する。また、設計・開発の進行に応じて計画を適切に更新する。なお、製品には、製品組込み用ソフトウェア、提供するサービス、役務等も含まれる。
 - (a) 設計・開発の段階（設計・開発活動のステップ、スケジュール等）
 - (b) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認（用いる方法を含む）
 - (c) 設計・開発に関する責任と権限
- (2) 関連部門は、効果的なコミュニケーション及び責任の明確な割当てを確実にするために、設計・開発に関与するグループ間のインタフェースを運営管理する。

設計の責務が当社にあるすべての設計について、設計初期段階で重要度に応じた管理区分を設定し、それに適したレビュー、検証及び妥当性確認を行う。なお、レビュー、検証及び妥当性確認は、異なる目的をもつ個別の活動であるが、製品に適用するように、個々に又はどのような組合せでも実施し、記録することとしてもよいものとする。
- (3) 安全上重要な機能を有する部位に使用する材料、部品のうち、公的規格が定められていない特殊な材料又は新技術を採用する場合、関連部門は、材料仕様等の意味や重要性、技術内容等が十分理解されるよう検討するとともに、必要に応じ、顧客、購買先等と一層の情報交換を行う。

7.7.3.2 設計・開発へのインプット

関連部門は、設計・開発へのインプットを確実にするために、次の事項を行う。

- (1) 製品要求事項に関連するインプットを明確にし、その記録は、保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4参照）

なお、インプットには次の事項を含める。

 - (a) 機能及び性能に関する要求事項
 - (b) 適用される法令・規制等の要求事項
 - (c) 適用可能な場合は、以前の類似した設計・開発から得られた情報
 - (d) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項

- (2) 製品要求事項に関連するインプットについては、その適切性をレビューする。要求事項は、漏れがなく、あいまい（曖昧）ではなく、相反することがないこととする。
- (3) インプットが不完全・不明確又は相反する場合は、作成元とその他関連部門で解決することとし、また、製品に関する要求事項のレビュー結果を考慮し設定する。

7.7.3.3 設計・開発からのアウトプット

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 設計・開発からのアウトプットは、設計・開発へのインプットと対比した検証を行うのに適した形式を用いて示す。また、次の段階に進める前に権限を有する者の承認を受ける。
- (2) 設計・開発からのアウトプットは次の状態にする。
 - (a) 設計・開発へのインプットで与えられた要求事項を満たしていること。
 - (b) 購買、製造及びサービス提供に対し、製品の保存に関する情報を含む適切な情報を提供していること。
 - (c) 製品の合否判定基準を含むか、又はそれを参照していること。
 - (d) 製品が安全かつ適正に使用又は機能するために不可欠な製品特性^(注1)を明確にしていること。

(注1) 製品特性とは、例えば、運転、保管、取扱い、保全及び廃棄に関する要求事項をいう。

7.7.3.4 設計・開発のレビュー

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 設計・開発の適切な段階において、設計・開発の計画（7.7.3.1 参照）に従って、設計・開発からのアウトプットに対し、次の事項を目的として体系的な（正式かつ文書による）レビューを行う。
 - (a) 設計・開発の結果が要求事項を満たせるかどうかを評価する。
 - (b) 問題点を明確にし、必要な処置を提案する。
- (2) レビューの参加メンバーは、レビュー対象となっている設計・開発の段階に関連する部門を代表する者とし、必要に応じて他の部門の専門家・顧客等を含める。このレビューの結果の記録及び必要な処置があれば、その記録は保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）

7.7.3.5 設計・開発の検証

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることを確実にするため、設計・開発の計画(7.7.3.1参照)に従い、次のいずれかの方法又はその組合せで検証を行う。
なお、設計・開発の検証は、原設計者以外の者又はグループが行う。
 - (a) 設計・開発時とは別の方法による再計算(代替計算)
 - (b) 試験・実証、シミュレーション及び試行の実施
 - (c) 設計・開発段階における発行前のアウトプットのレビュー
 - (d) その他、検証に適した方法
- (2) 検証結果及び必要な処置があれば、それらの記録は保管期間を定め、適切に維持する。(7.4.2.4参照)

7.7.3.6 設計・開発の妥当性確認

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 結果として得られた製品が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たし得ることを確実にするため、設計・開発の計画(7.7.3.1参照)に従い、次の事項を考慮し、設計・開発の妥当性確認を行う。実施可能な場合には、製品引渡し前又は提供前に妥当性確認を完了する。
 - (a) 設計・開発の検証で合格した後に行う。
 - (b) 通常定められた使用条件下で行う。
 - (c) 通常最終製品に対して行うが、製品の特性や工程等によって実施できない場合は、その状況に応じて製品完成前の早い段階で行う。
 - (d) 設計・開発のアウトプットの性質によっては、設計・開発の検証と妥当性確認を組み合わせて実施する場合がある。
- (2) 妥当性確認結果及び必要な処置があれば、それらの記録は保管期間を定め、適切に維持する。(7.4.2.4参照)

7.7.3.7 設計・開発の変更管理

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 設計・開発の変更は、特に規定しない限り、原設計・開発時に適用された方法(部門又はグループ及び審査、承認を含む手順)と同じ方法で実施する。
なお、次のような場合は、設計・開発の変更として管理するが、設計図書の正式発行前の変更及び設計・開発のレビュー結果で生じた変更のうち、仕様変

更に該当しない修正程度のもの等は、設計・開発の変更として扱わない場合がある。

(a) 製品の仕様を変更する場合

(b) 設計図書を正式に発行した後に仕様変更として当該設計図書を改訂する場合

(c) 許認可済みの原子炉設置許可申請用図書、設計及び工事計画申請用図書等に影響を及ぼす場合

(2) 設計・開発の変更を明確にし、記録を維持する。(7.4.2.4 参照) また、次の事項を考慮し、変更に対して、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に権限を有する者による承認を受ける。

(a) 関連部門への影響を十分考慮するとともに、変更内容が適用される法令、規則、規格、基準及び顧客要求事項を満たしていることを事前に確認する。

(b) その変更が、製品を構成する要素及び既に引き渡されている製品に及ぼす影響について評価する。

(3) 変更に対して適切に行われたレビュー、検証及び妥当性確認の結果、変更内容、変更理由並びに必要な処置があれば、その記録は、保管期間を定め適切に維持する。(7.4.2.4 参照)

(4) 設計変更文書の審査及び承認は、原則として原設計文書の審査及び承認を実施したグループ又は組織が実施する。

(5) 設計変更がある場合、顧客へ連絡又は相談する。また、顧客と協議の上、設計変更の内容に重要度を設定した場合には、重要度に応じて顧客への確認頻度を定める。

7.7.3.8 設計インタフェースの管理

関連部門は、効果的なコミュニケーションと責任の明確な割当を確実にするために、次の事項を行い、設計・開発に関与する部門間のインタフェースを明確にして運営管理する。

(1) 各部門間及び部門内の設計取合い点を文書で明確にし、インタフェースにおける設計・開発のレビュー、設計・開発の変更、設計文書の管理の要領及び関係する組織又は組織内の責任を明確にし、設計・開発業務の円滑な推進を図る。

(2) 設計インタフェースに関連する各部門間及び部門内の設計・開発情報の伝達ルートを決め、文書により伝達することを基本とする。

7.7.3.9 解析業務管理

関連部門は、原子力安全推進協会が発行した「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」(JANSI-GQA-01 第3版 2021年6月)に準拠して解析業務を管理する。

7.7.4 購買

関連部門は、購買製品(材料、部品、設備、機器及び役務)が規定の購買要求事項に適合することを確実にするため、次の事項を行う。なお、QMS適用範囲外の社内部門に対し購買する場合においても、本項を適用する。

7.7.4.1 購買プロセス

- (1) 関連部門は、購買製品がその後の製品実現のプロセス、最終製品及び原子力安全に及ぼす影響に応じて、購買先及び製品の管理方式と程度を定める。
- (2) 関連部門は、QMS及び特定の品質要求事項を含む要求事項に従って、購買先が製品を供給する能力を判断の根拠に、購買製品の形態(ハードウェア、ソフトウェア、役務等)を十分考慮し、監査、書類審査、調査、購買実績等にて購買先を評価し選定する。
- (3) 関連部門は、あらかじめ購買先のQMS及び品質保証能力の評価を行うことが困難な輸入品については、特別な要領を設けて購買製品管理を行う。
- (4) 関連部門は、購買先の評価結果により処置等を実施した場合の再評価基準を定める。なお、評価には、次の項目を適宜含める。
 - (a) 技術的能力及び品質保証体制
 - (b) 購買製品の供給実績及び使用実績
 - (c) 購買製品サンプルの品質
- (5) 関連部門は、購買先の品質管理水準を確認するために監査を実施する場合、次の事項を考慮する。
 - (a) 有効期間を定めて定期的に確認する必要があるとき
 - (b) 発注の時期にあわせて実施する必要があるとき
 - (c) 購買先がQMSどおりに遂行していることを確認する必要があるとき
 - (d) 大幅な組織変更又は管理要領の変更等、購買先のQMSに重大な変更があるとき
 - (e) 購買先のQMS又はその遂行における不備によって、購買製品に重大な不適合が発生したとき、又は不適合の発生が強く懸念されるとき

- (f) 不適合の是正処置が適切に実施されていることを確認する必要があるとき
- (6) 関連部門は、購買先の評価結果の記録及び評価によって必要となった処置があれば、その記録は保管期間を定め、適切に維持する。(7.4.2.4 参照)
- (7) 関連部門は、購買先の評価、選定、購買要求事項の明確化、購買製品の確実な検証の実施等によって、購買先を管理する。また、購買先が同様の方法によって、二次購買先を管理していることを確実にする。
- (8) 関連部門は、購買先に対して、必要に応じて購買先による二次購買先の購買先評価に際して、購買先の同意の下に監査を実施できるようにする。また、不適合発生時には当該不適合発生原因の購買先に監査(調査)を実施できるようにする。
- (9) 関連部門は、作業工程が品質への影響を与えるような無理な工程とならないように注意することを、注文仕様書等の購買文書(以下「購買文書」という。)にて購買先に伝達する。

7.7.4.2 購買情報

関連部門は、次の事項を行う。なお、購買文書は、発行前に関連部門のレビューを受け、規定した購買要求事項が妥当であることが確実にできるようにする。

- (1) 購買製品に関する情報(要求事項等)を明確にした購買文書を作成し、購買先へ発行する。なお、必要な場合には、購買文書に次の事項のうち該当する事項を含める。
 - (a) 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項
 - (b) 要員の適格性確認に関する要求事項
 - (c) QMSに関する要求事項(名称、番号及び版を含む)
 - (d) 不適合の報告及び処理に関する要求事項
 - (e) 安全文化を醸成するための活動に関する必要な要求事項
 - (f) 偽造品、不製品等の防止対策に関する要求事項
 - (g) 購買先への立入権に関する要求事項
 - (h) その他調達物品等に関し必要な事項
- (2) 購買先の外注先に対する購買要求事項の適用を明確にする。
- (3) 当社と購買先との責任範囲を明確にする。
- (4) 購買製品を受領する場合は、購買先に対し購買要求事項への適合状況を記録した文書の提出を明確にする。
- (5) QMSの適用範囲外の社内部門へ業務を委託する場合は、次の事項を行う。

- (a) 規定された様式の購買文書の運用は必要としないが、委託範囲を明確にし、委託内容に関する品質要求事項等を工事図書、打合議事録等により適切に文書化し伝達する。
- (b) 委託内容について委託先の合意を得て、委託先工程表、打合議事録等の適切な文書で明確にする。

7.7.4.3 購買製品の検証

関連部門は、購買製品が規定した購買要求事項を満たしていることを確実にするため、必要な検査又はその他の活動を定め実施する。このとき、購買先から提供された適合の証拠となる記録を考慮に入れる。また、QMSの適用範囲外の社内部門へ委託した業務（役務）の検証についても、本項に準じて実施する。

(1) 購買先での検証

関連部門は、その他関連部門又は顧客が購買先で購買製品を検証する場合、検証の要領及び購買製品のリリース（出荷許可）の方法を購買文書で規定する。

- ##### (2) 安全上重要な機能を有する部位に使用する材料、部品のうち、公的規格が定められていない材料（特殊材料）を購買する場合には、関連部門は、材料メーカーが発行する材料証明書について、材料メーカーの品質保証部門等が確認していること及び発行責任者が明確であることを確認する。また、直接性能確認ができないものについては、必要に応じ元データの確認を実施する。

(3) 購買製品の記録

関連部門は、購買製品が、購買文書で規定された要求事項に適合していることを証明する記録は、製造に先立ち、工場で利用できるようにする。

7.7.5 製造及びサービス提供

7.7.5.1 製造及びサービス提供の管理

関連部門は、製造及びサービス提供を計画し、管理された状態で実行する。管理された状態には、次の事項のうち該当するものを含める。

また、プロセスの設計に相当する製品実現に必要なプロセスの活動計画及び既に証明されている設計の管理にも適用される。

- (1) 製品の特性を述べた情報（参照、法令、規格、基準、判定基準、図面、品質保証計画書等）が利用できること。
- (2) 必要に応じて、工法や作業手順（作業標準、指示書等）が利用できること。
- (3) 適切な設備（装置類、治工具等を含む）を使用していること。
- (4) 適切な環境条件（安全を含む^(注1)）が確保されていること。

- (5) 教育・訓練された力量のある要員が実施していること。
- (6) 適切な監視機器及び測定機器が利用でき、使用していること。
- (7) 規定された監視及び測定が実施されていること。
- (8) 規定要求事項に基づき、製品のリリース（次工程への引渡し）及び顧客への引渡し並びに引渡し後の活動が実施されていること。
- (9) 事故や故障が発生した場合の処置と顧客への対応を迅速に行える体制が整っていること。

製造及びサービス提供の管理の計画には、製品の仕様書、作業実施要領書、品質管理工程表、作業指示書、検査基準、作業チェックシート等を引用することがある。

(注1) 安全確保の実施例として、製造及び工事の施工着手前に事前検討会やツールボックスミーティング等の機会を通じた、作業者に対する作業工程の調整・確認、手順の検討・確認、危険予知等がある。

7.7.5.2 製造及びサービス提供に関するプロセスの妥当性確認

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 製造及びサービス提供の過程で結果として生じるアウトプットが、以降の監視又は測定（検査・試験等）で検証することが不可能で、その結果、製品が使用され、又はサービスが提供された後でしか不具合が顕在化しない場合には、その製造及びサービス提供の該当するプロセスの妥当性確認を行う。
- (2) プロセスの妥当性確認を行い、プロセスが計画どおりの結果を出せることを実証する。
- (3) 次の事項のうち、適用できるものを含んだ手続きを確立する。
 - (a) プロセスのレビュー及び承認のための明確な基準
 - (b) 設備の承認及び要員の適格性確認
 - (c) 所定の方法及び手順の適用
 - (d) 記録に関する要求事項（7.4.2.4 参照）
 - (e) 妥当性の再確認

具体的には、当社の QA マニュアルに従い、製造及びサービス提供の計画としての「実施要領書」等を作成し、「製造及びサービス提供の管理」を実施する。

- (4) プロセスの妥当性確認の結果、及び認定された設備、要員等に関する記録は保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）

- (5) 溶接、熱処理、洗浄、表面処理、その他の特殊工程作業等に係る要員に対する資格を必要に応じ明確にする。

7.7.5.3 識別及びトレーサビリティ

関連部門は、次の事項を行う。

- (1) 必要な場合、製品実現の全過程（製品の受入れから製造、出荷及びサービス提供）において、製品の性質に合わせた適切な方法で製品を識別するとともに、製品（役務等を含む）の状態が分かるよう適切な方法で識別する。

なお、識別では次の事項に留意する。

- (a) 明確で他と区別しやすいこと。
 - (b) 消えにくいこと及び表面処置、塗装等によって消えないような配慮を含む。
 - (c) 製品に要求事項への適合に影響を及ぼさないこと。
- (2) 製品実現の全過程（製品の受入れから製造、出荷及びサービス提供）において、監視及び測定の要求事項に関連して、製品（役務等を含む）の状態が分かるよう適切な方法で識別する。
 - (3) トレーサビリティが要求事項にある場合、その要求事項の範囲及び程度に応じて、製品について一意の識別を管理し、その記録は保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）

なお、トレーサビリティの程度に応じて、次のようなものが含まれる。

- (a) 製品耐用期間を通じた識別の維持
- (b) 組立製品については、使用した材料、部品及び機器の履歴の追跡
- (c) 製品についての一連の製造記録の追跡

7.7.5.4 顧客の所有物

関連部門は、使用するため又は製品に組み込むために提供された顧客の所有物が当社の管理下にある間、又は当社が使用している間は、次の事項を行い顧客の所有物を管理する。なお、顧客の所有物には産業財産権、著作権及び技術、知識、情報等の知的財産並びに個人情報に該当するものも含まれるため、その取扱いに不備がないか注意を払う。

- (1) 顧客の所有物を識別し、使用する前に検証する。また、紛失、損傷、劣化が起こらぬよう、保護及び防護を行う。
- (2) 顧客の所有物を紛失、損傷、劣化させた場合又は使用に適さないと分かった場合、記録を作成し顧客に報告する。その記録は保管期間を定め適切に維持する。（7.4.2.4 参照）

7.7.5.5 製品の保存

関連部門は、購買製品の受入れから製品を顧客へ引き渡すまでの間、次の事項を行い、要求事項への適合を維持するよう製品を保存（識別、取扱い、包装、保管及び保護を含む）する。保存は、製品を構成する要素にも適用する。

- (1) 製品の状態を明確にするため、適切な方法で識別する。
- (2) 製品実現における作業及び製品の移動時等に発生する損傷又は劣化を防ぐため、適切な方法で実施する。
- (3) 製品の出荷に際し、必要な範囲で適切な包装、梱包及び表示方法を定め、輸送中の損傷、劣化を防止する処置を行う。
- (4) 購入品及び製品の損傷又は劣化を防ぐために、適切な保管方法及び保管場所を設定して保管し、製品の状態を維持する。
- (5) 製品が管理下にある場合、製品の品質を維持するために適切な保護対策を行う。

7.7.6 監視機器及び測定機器の管理

7.7.6.1 計測器・計量器の管理要領

関連部門は、製品が適合していることを実証するために必要な監視・測定、それに用いる監視機器及び測定機器を明確にし、監視機器及び測定機器を管理、校正し、維持するための手順を定め、次の事項を行う。

- (1) 定められた要求事項に対する製品の適合性を実証するために、試験・検査要領書、作業実施要領書、据付・試運転計画等にて、実施すべき監視及び測定とともに、それらの実施に必要な監視機器及び測定機器を明確にする。
- (2) 監視及び測定の要求事項との整合性を確保できる方法で監視及び測定が実施できるよう、監視機器及び測定機器を管理、校正し、維持するための手順を確立する。
- (3) 監視機器及び測定機器は、必要な測定能力を満たしている状態で適切に使用する。
- (4) 測定値の正当性を保証しなければならない場合は、測定機器に関して次の事項を満たす。
 - (a) 定められた間隔で、又は使用する前に、国際又は国家計量標準にトレーサブルな計量標準に照らして測定機器を校正若しくは検証、又はその両方を行う。ただし、そのような計量標準が存在しない場合は、校正又は検証に用いた基準を記録する。（7.4.2.4 参照）
 - (b) 測定機器の調整をする、又は必要に応じて再調整する。

- (c) 校正の状態を明確にするために、有効期限をラベルで表示し識別する。
 - (d) 測定した結果が無効になるような操作ができないようにする。
 - (e) 取扱い、保守及び保管についての要領を定め、損傷及び劣化しないよう保護し管理する。
- (5) 測定機器が要求事項に適合していないことが判明した場合、その測定機器でそれまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。(7.4.2.4 参照) また、その機器及び影響を受けた製品すべてに対して再検査等、適切な処置を行う。
- (6) 製品の監視及び測定の判定のために使用するリース品の測定機器について、顧客との個々の契約で、その返却時の健全性確認を個別に要求されている場合、当該測定機器の返却時の校正記録を入手し、確認する。(7.4.2.4 参照)
- (7) 校正及び検証の結果の記録は、保管期間を定め、適切に維持する。(7.4.2.4 参照)
- (8) 監視及び測定にコンピュータソフトウェアを用いる場合には、そのソフトウェアによって意図した監視及び測定ができることを、最初に使用するのに先立って検証し、適切であることを確認する。また、必要に応じて再確認する。
- なお、ソフトウェアの能力の確認には、その使用の適切性を維持するための検証及びバージョン管理等の構成管理も含まれる。

7.8 測定、分析及び改善

7.8.1 一般

関連部門は、次の事項のために必要となる監視、測定、分析及び改善のプロセスを計画し、実施する。これには、統計的手法を含め、適用可能な方法及びその使用の程度を決定することを含める。

- (1) 製品要求事項への適合を実証する。
- (2) QMS の適合性を確実にする。
- (3) QMS の有効性を継続的に改善する。

7.8.2 監視及び測定

7.8.2.1 顧客満足

関連部門は、QMS の成果を含む実施状況の測定の一つとして、製品が原子力安全を含む顧客要求事項を満たしているかどうかに関して、顧客又は外部がどのように受け止めているかについての情報を監視する。この情報の入手及び使用方法を規定し実施する。なお、顧客がどのように受け止めているかの監視には、顧客満足度調査、提供された製品の品質に関する顧客からのデータ、ユーザ意見調査、失注分析、

顧客からの賛辞、補償請求及びディーラ報告等の情報源から得たインプットを含めることができる。

7.8.2.2 内部監査

- (1) 原子力品質統括責任者は、原子力 QA 責任者と協力し、関連部門が実施する QMS 活動及び関連する活動が、QMS の次の事項を満たしているか否かを明確にするため、また、QMS の有効性を調査・検証するために、年 1 回及び必要に応じて、内部監査を実施する。
 - (a) QMS が、個別製品の実現の計画（7.7.1 参照）及び本「品質保証計画」、下位標準等で定める要求事項に適合していること。
 - (b) QMS が効果的に実施、維持されていること。
- (2) 内部監査の手順として、次の事項を規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。
 - (a) 原子力 QA 責任者は、内部監査の実施前に内部監査実施計画を立案し、監査の目的、監査時期、監査対象部門、監査項目を明確にし、原子力品質統括責任者の承認を得る。
 - (b) 原子力 QA 責任者は、監査員の選定及び監査の実施において、認定された監査リーダ及び監査員の中から被監査部門に所属していない者を選定し、客観性及び公平性を確保する。
 - (c) 被監査部門の責任者は、内部監査において不適合が検出された場合、必要な修正及び再発防止のために是正処置（不適合の原因を特定し除去する処置）を遅延なく確実に行う。是正処置のフォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含める。（7.8.5.2 参照）
 - (d) 原子力 QA 責任者は、内部監査実施計画及び監査結果報告、是正処置に関する記録について、保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）
 - (e) 原子力品質統括責任者は、原子力 QA 責任者と協力し、監査結果及び是正処置結果等を取りまとめ、トップマネジメントに報告し、マネジメントレビューを受ける。

7.8.2.3 プロセスの監視及び測定

関連部門は、QMS の各プロセスが計画どおりの結果を達成する能力があることを実証するために、製品要求事項への適合及び QMS の有効性への影響等の重要性に応じて、内部監査、部門別モニタリング、調整会議、工程会議、パトロール、ヒアリング及び部門ごとの計画された業務や各種活動の実施状況フォロー等にてそのプ

プロセスを監視し、適用可能な場合は適切な方法を用いて測定する。計画どおりの結果が達成できない場合は、適切に修正や是正処置を実施し、そのプロセスの目標達成に努める。

7.8.2.4 製品の監視及び測定

関連部門は、製品要求事項が満たされていることを検証するために、次の事項に基づいて、製品（ソフトウェア、製品組込み用ソフトウェア、サービス、役務を含む）の特性を監視し、測定する。

(1) 監視及び測定の実施

- (a) 製品の監視及び測定は、個別製品の実現の計画（7.7.1 参照）に従って、設計・開発、購買、製造、据付、アフターサービスの適切な段階で実施する。
- (b) 製品の監視及び測定は、製品要求事項に基づき、対象品目、項目、実施時期、要領、判定基準等を定めた仕様書や要領書（試験・検査要領書を含む）等に従って実施する。
- (c) 製品の監視及び測定は、適切な環境条件下で、訓練された必要な力量のある要員又は必要に応じて該当する資格を有する要員により実施する。
- (d) 監視及び測定プロセスは、実施する要員（検査員等）の独立の程度と製品の原子力安全上の重要度、監視及び測定（検査及び試験を含む）の種類を適切に組み合わせて定め実施する。
- (e) ホールドポイントとして設定した検査及び試験は、リリースを伴う製品要求事項への適合性評価（合否判定）を行い、製造又はアフターサービス工程を規定する適切な文書に反映する。

(2) 製品の出荷

個別製品の実現の計画で規定されたことが問題なく完了し、製品要求事項のすべてに適合していることを確認し、更に関連データ及び記録等について権限を有する者が承認した後、顧客への引渡しのための製品の出荷及びサービス提供を行う。ただし、出荷の権限をもつ者が承認し、かつ顧客が承認したときは、この限りではない。

(3) 記録の管理

- (a) 製品が監視及び測定を受けた証拠となる記録及び合否判定基準への適合の証拠となる記録を作成し、保管期間を定め、適切に維持する。（7.4.2.4 参照）
- (b) 記録には、製品が定められた合否判定基準に合格したか、不合格になったかの判定結果を明記する。

- (c) 記録には、顧客への引渡しのための製品の出荷を正式に許可した権限を有する者を記録する。(7.4.2.4 参照)

7.8.3 不適合製品の管理

関連部門は、製品要求事項（法令、規格、基準、顧客要求事項及び図面等）に適合しない製品が誤って使用されたり、又は引渡し・据付等されることを防止するために、それらを識別し管理する。不適合製品の処理に関する管理（識別、文書化、評価、隔離、処置、関連部門への通知等）及び関連する責任と権限を規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。なお、“文書化された手順”には、不注意な使用又は受入れを防止するための連絡、識別の方法、取扱いについての審査及び処置に関する方法並びに顧客への報告を必要とする不適合の範囲を含める。

(1) 不適合製品の処理方法

関連部門は、次のいずれかの方法を用いて不適合製品を処理する。

- (a) 検出された不適合を除去するための処置（製品要求事項を満たすための修正）をする。
- (b) 当該の権限をもつ者、及び該当する場合に顧客が、修正した上で又は修正せずに特別採用として、その使用、リリース（次工程への引渡し）若しくは出荷、又は合格と判定することを許可する。
- (c) 本来の意図された使用又は適用ができないような処置（用途変更、不採用、廃棄等）をとる。
- (d) 引渡し後又は使用開始後に不適合製品が検出された場合には、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して適切な処置をとる。

(2) 不適合製品に修正を施した場合

関連部門は、要求事項への適合性を実証するために、不適合製品に対する修正処置を確認するとともに、再検証を行う。

(3) 引渡し後又は使用開始後に不適合製品が発見された場合

関連部門は、その不適合による影響又は起こり得る影響を明確にし、不適合製品の処理に関する管理の手順に従い、適切な処置を行う。

(4) 再発防止対策が必要な場合

再発防止のために不適合の原因を除去する処置については、本「品質保証計画」7.8.5.2 に従って行い、当該の関連部門が再発防止対策を立案し、その他関連部門が必要とも含めてレビューする。

(5) 当社以外の他組織（他社も含む）に影響を与える不適合が発生した場合

関連部門は、協議の上、処置を決定する。

(6) 記録の管理

関連部門は、不適合の性質の記録及び不適合製品の特別採用を含む処置に関する記録について、保管期間を定め、適切に維持する。(7.4.2.4 参照)

7.8.4 データの分析

関連部門は、QMS の適切性及び有効性を実証するため、また、QMS の有効性の継続的な改善の可能性を評価するために、監視及び測定の結果、監査、顧客満足情報、不適合、是正処置等からデータを収集・分析し、必要に応じて次の事項に関連する情報を原子力マネジメントレビュー会議及び関連部門等へ提供し、効果的な決定と改善に役立てる。

- (1) 顧客満足 (7.8.2.1 参照)
- (2) 製品要求事項への適合 (製品、プロセス、原子力安全に関する不適合情報等) (7.8.2.3 及び 7.8.2.4 参照)
- (3) 予防処置の機会を得ることを含む、プロセス及び製品の特性及び傾向 (7.8.2.3 及び 7.8.2.4 参照)
- (4) 監査結果
- (5) 実行計画等の実施状況と品質目標達成の評価
- (6) 購買先の貢献 (購買製品の適合性、協力状況等) (7.7.4 参照)

7.8.5 改善

7.8.5.1 継続的改善

原子力品質統括責任者、原子力 QA 責任者及び関連部門は、品質方針、品質目標、監査結果、データの分析、是正処置、予防処置及びマネジメントレビューを通じて、QMS の有効性を継続的に改善する。

7.8.5.2 是正処置

関連部門は、顧客からの苦情を含む製品、プロセス及び QMS 等に不適合が発生した場合、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置を実施する。ただし、是正処置は、検出された不適合のもつ影響 (リスク等) に応じたものとする。

- (1) 関連部門は、次の事項に関する要求事項 (根本原因分析を含む) を含めた是正処置及びその内容の伝達について規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。
 - (a) 不適合 (顧客の苦情を含む) の内容確認
 - (b) 不適合の原因の特定
 - (c) 不適合の再発防止を確実にするための処置の必要性の評価

- (d) 必要な処置の決定及び実施
- (e) とった処置の結果の記録 (7.4.2.4 参照)
- (f) とった是正処置の有効性のレビュー

なお、“とった是正処置”とは(a)～(e)の活動のことをいう。

(2) 内部監査による不適合の処理

- (a) 内部監査により QMS に関する不適合が検出された場合は、本「品質保証計画」の 7.8.2.2 の規定に従い処理する。
- (b) 外部審査機関の審査で QMS に関する不適合が検出された場合は、本規定を基本に、別途定める要領に従い処理する。
- (c) 再発防止対策実施後、更に有効な対策が得られた場合、あるいは顧客よりその対策の実施を要求された場合、更なる対策を実施する。

(3) 記録の管理

関連部門は、是正処置に関する記録の保管期間を定め、適切に維持する。
(7.4.2.4 参照)

7.8.5.3 予防処置

関連部門は、起こり得る（潜在的）不適合が発生することを防止するため、その原因を除去する処置を実施する。ただし、予防処置は、起こり得る問題の影響（リスク等）に応じたものとする。

- (1) 関連部門は、次の事項に関する要求事項（根本原因分析を含む）を含めた予防処置及びその内容の伝達について規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。
 - (a) 起こり得る不適合及びその原因の特定
 - (b) 不適合の発生を予防するための処置の必要性の評価
 - (c) 必要な処置の決定及び実施
 - (d) とった処置の結果の記録
 - (e) とった予防処置の有効性のレビュー

なお、“とった予防処置”とは(a)～(d)の活動のことをいう。

(2) 予防処置を実施する場合

- (a) 製品の品質に影響がある工程、作業、特別採用、監査結果、サービス提供、クレーム及び先行プラント（国内及び海外プラント含む）からの不適合情報等について、必要な場合は QMS 活動によって得られた知見、及び最新の知見に基づく検討を行い、不適合の潜在的な原因を検出・分析する。

(b) 潜在的原因の分析の結果、不適合の未然防止のために予防処置が必要と判断した場合、その原因を除去するための処置を立案し、その有効性をレビューし決定した場合は、その処置を実施する。

(c) とった予防処置の有効性をレビューする。

(3) 記録の管理

関連部門は、予防処置に関する記録の保管期間を定め、適切に維持する。

(7.4.2.4 参照)

8 型式設計特定機器を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲又は条件

8.1 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲

以下に示す条件により設計された特定兼用キャスク（蓋部が金属部へ衝突しない設置方法）を使用することができる貯蔵施設であること。

特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き
特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置
特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定
特定兼用キャスクの全質量 （使用済燃料集合体を含む）	120t 以下
特定兼用キャスクの主要寸法	全長 5.2m 以下 外径 2.6m 以下
特定兼用キャスク表面における線量当量率	2 mSv/h 以下
特定兼用キャスク表面から 1m 離れた位置 における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20°C 最高温度 45°C
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65°C
地震力	加速度 水平 2300Gal 及び 鉛直 1600Gal (注1) 又は 速度 水平 2 m/s 及び 鉛直 1.4m/s (注1)
津波荷重の算出条件	浸水深 10m (注1) 流速 20m/s (注1) 漂流物質量 100 t
竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s (注1) 設計飛来物 第8表のとおり (注2)

(注1) 兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示に規定される値

(注2) 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員

会が別に定める竜巻により、特定兼用キャスクに衝突し得る飛来物

8.2 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件

発電用原子炉施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認を要する条件は以下のとおりである。

- (1) 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。
- (2) MSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、特定兼用キャスクの遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- (3) MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。
- (4) MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。
- (5) MSF-24P(S)型を貯蔵する場合において、特定兼用キャスク周囲温度が、8.1に示した最高温度以下であること。また、貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋壁面温度が、前項に示した最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。
- (6) MSF-24P(S)型の万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。
- (7) 地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響により、MSF-24P(S)型の安全機能が損なわれないこと。
- (8) 貯蔵施設における設計竜巻によりMSF-24P(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件が、8.1に示した設計飛来物の条件に包絡されていること。
- (9) 原子炉等規制法第43条の3の9第1項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年12月28日 総理府令第57号）第21条第2項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。

第1表 構造、強度又は漏えいに係る検査

検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用されている材料の化学成分、機械的強度等が本申請のとおりであることを確認する。	本申請のとおりであること、及び技術基準に適合するものであること。
寸法検査	主要寸法が本申請のとおりであり、及び許容寸法内であることを確認する。	本申請に記載されている主要寸法の計測値が許容寸法を満足すること。
外観検査	有害な欠陥がないことを確認する。	健全性に影響を及ぼす有害な欠陥がないこと。
耐圧検査	技術基準規則の規定に基づく検査圧力で所定時間保持し、検査圧力に耐え、異常のないことを確認する。耐圧検査が構造上困難な部位については、技術基準の規定に基づく非破壊検査等により確認する。	検査圧力に耐え、かつ、異常のないこと。
漏えい検査	耐圧検査終了後、技術基準の規定に基づく検査圧力により漏えいの有無を確認する。漏えい検査が構造上困難な部位については、技術基準の規定に基づく非破壊検査等により確認する。	著しい漏えいのないこと。

第2表 あらかじめ確認すべき事項（溶接施工法）

検査項目	検査方法及び判定基準
溶接施工法の内容確認	計画している溶接施工法の内容が、技術基準に適合する方法であることを確認する。
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。
溶接作業中確認	溶接施工法及び溶接設備等が計画どおりのものであり、溶接条件等が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。
外観確認	試験材について、目視により外観が良好であることを確認する。
溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が技術基準に基づき計画した内容に適合していることを確認する。
浸透探傷試験確認	技術基準に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面における開口した欠陥の有無を確認する。
機械試験確認	溶接部の強度、延性等の機械的性質を確認するため、継手引張試験及び曲げ試験により溶接部の健全性を確認する。
(判定) ^(注1)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接施工法は技術基準に適合するものとする。

(注1) (判定)は検査項目ではない。

第3表 あらかじめ確認すべき事項（溶接士の技能）

検査項目	検査方法及び判定基準
溶接士の検査内容の確認	検査を受けようとする溶接士の氏名、溶接訓練歴等、及びその者が行う溶接施工法の範囲を確認する。
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。
溶接作業中確認	溶接士及びその溶接士が行う溶接作業が溶接検査計画書のとおりであり、溶接条件が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。
外観確認	目視により外観が良好であることを確認する。
浸透探傷試験確認	技術基準に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面に開口した欠陥の有無を確認する。
機械試験確認	曲げ試験を行い、欠陥の有無を確認する。
(判定) ^(注1)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接士は技術基準に適合する技能を持った者とする。

(注1) (判定)は検査項目ではない。

第4表 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項

検査項目	検査方法及び判定基準
適用する溶接施工法、溶接士の確認	適用する溶接施工方法、溶接士について、第2表及び第3表に示す適合確認がなされていることを確認する。
材料検査	溶接に使用する材料が技術基準に適合するものであることを確認する。
開先検査	開先形状、開先面の清浄及び継手面の食違い等が技術基準に適合するものであることを確認する。
溶接作業検査	あらかじめの確認において、技術基準に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。
熱処理検査	溶接後熱処理の方法、熱処理設備の種類及び容量が、技術基準に適合するものであること、また、あらかじめの確認において技術基準に適合していることを確認した溶接施工法の範囲により実施しているかを確認する。
非破壊検査	溶接部について非破壊試験を行い、その試験方法及び結果が技術基準に適合するものであることを確認する。
機械検査	溶接部について機械試験を行い、当該溶接部の機械的性質が技術基準に適合するものであることを確認する。
耐圧検査	規定圧力で耐圧試験を行い、これに耐え、かつ、漏えいがないことを確認する。規定圧力で行うことが著しく困難な場合は、可能な限り高い圧力で検査を実施し、耐圧検査の代替として非破壊試験を実施する。 (外観の状況確認) 溶接部の形状、外観及び寸法が技術基準に適合することを確認する。
(適合確認) ^(注1)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接部は技術基準に適合するものとする。

(注1) (適合確認)は検査項目ではない。

第5表 機能又は性能に係る検査

検査項目	検査方法	判定基準
遮蔽性能 検査	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録を確認する。	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の判定基準を満足していること。

第6表 基本設計方針検査

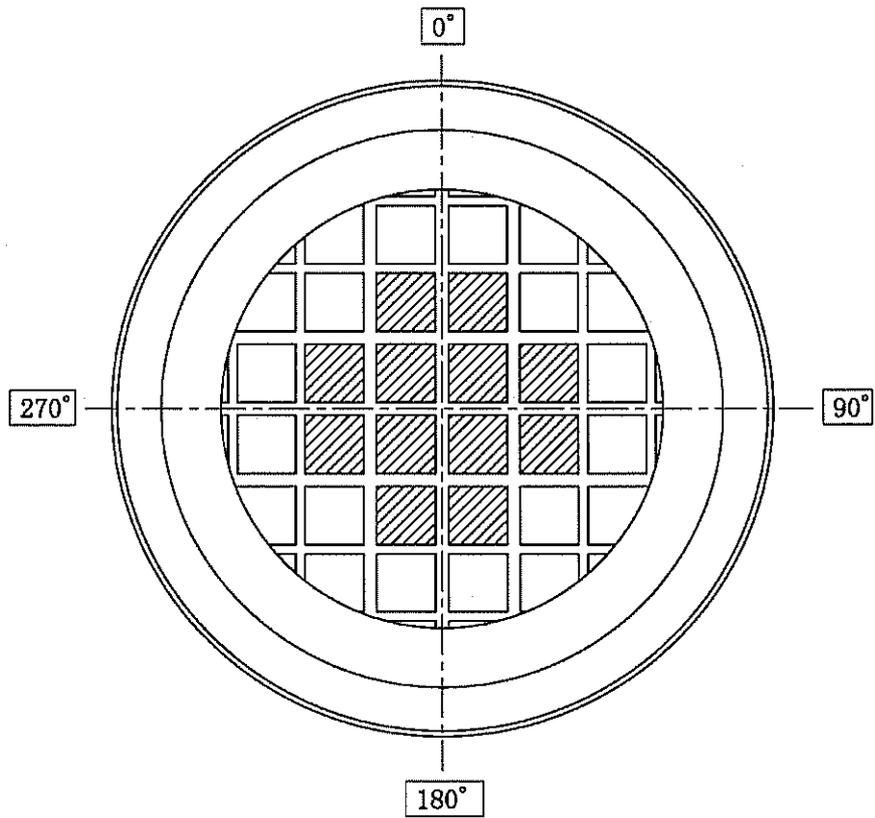
検査項目	検査方法	判定基準
基本設計方針 検査	基本設計方針のうち、第1表及び第5表では確認できない事項について、基本設計方針に従い型式設計特定機器が製作されたことを製造中における適切な段階で確認する。	6.2 に示した基本設計方針のとおりであること。

第7表 品質マネジメントシステムに係る検査

検査項目	検査方法	判定基準
品質マネジメントシステムに係る検査	品質記録や聞き取り等により記録の信頼性が確保されていることを確認するとともに、管理要領やその遵守状況の確認により、品質マネジメントシステムに従ったプロセスとおりに実行されていることを確認する。	「7. 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」の内、購入仕様に係る範囲について、そのとおりであること。

第8表 設計飛来物条件

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量(kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	34
最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23

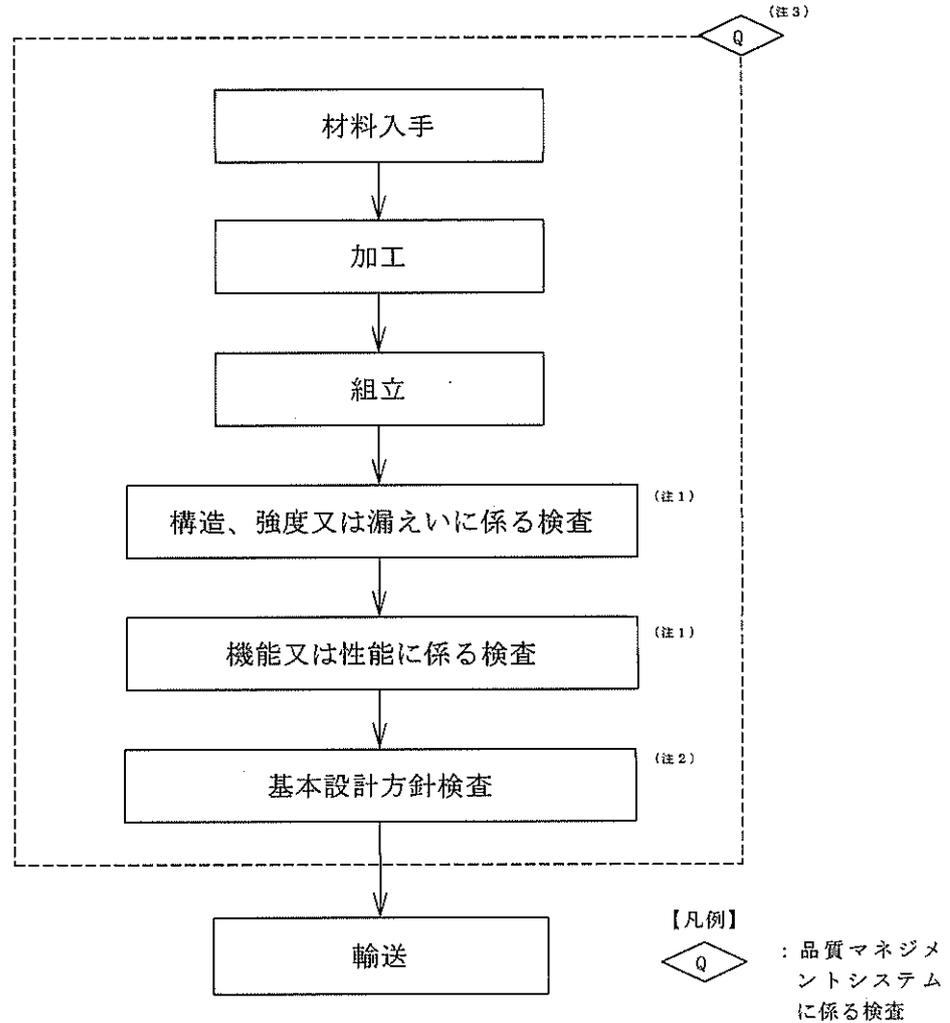


 : 燃焼度が 48,000MWd/t 以下の使用済燃料集合体の収納位置

 : 燃焼度が 44,000MWd/t 以下の使用済燃料集合体の収納位置

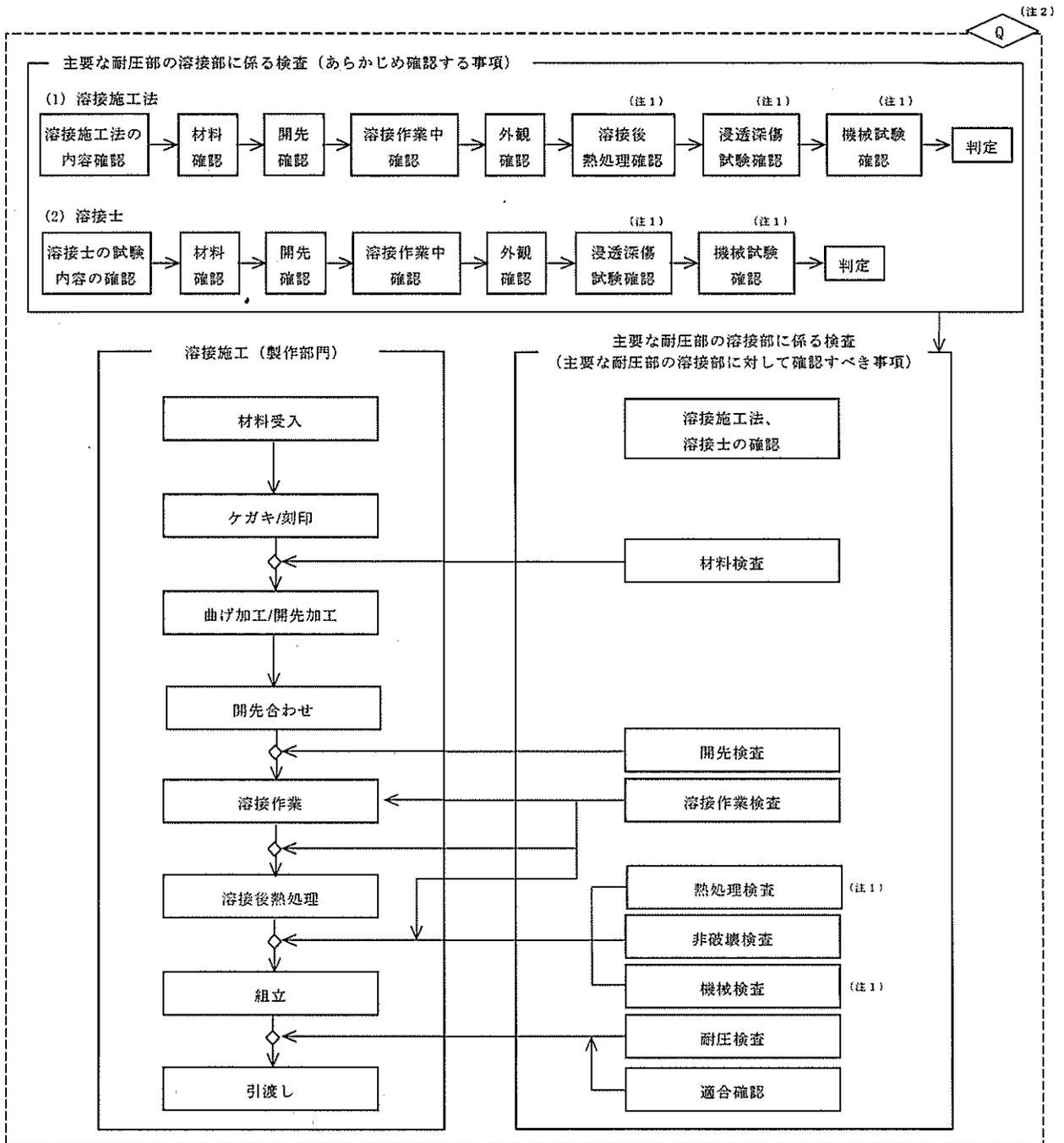
第 1 図 使用済燃料集合体の収納位置条件

 内は商業機密のため、非公開とします。



- (注1) 検査については、発電用原子炉設置者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定機器の製造者として必要な検査を材料入手、加工及び組立の間で適切な時期に実施する。また、主要な耐圧部の溶接部に係る溶接施工は第3図の製作の手順と検査のフローに従い実施する。
- (注2) 6.2に示す基本設計方針のうち、第1表に示す「構造、強度又は漏えいに係る検査」及び第5表に示す「機能又は性能に係る検査」では確認できない事項について、第6表に示す検査を適切な段階で実施する。
- (注3) 品質マネジメントシステムに係る検査は、製作期間等を考慮して適切な時期と頻度で実施する。

第2図 MSF-24P(S)型の製作及び検査のフロー



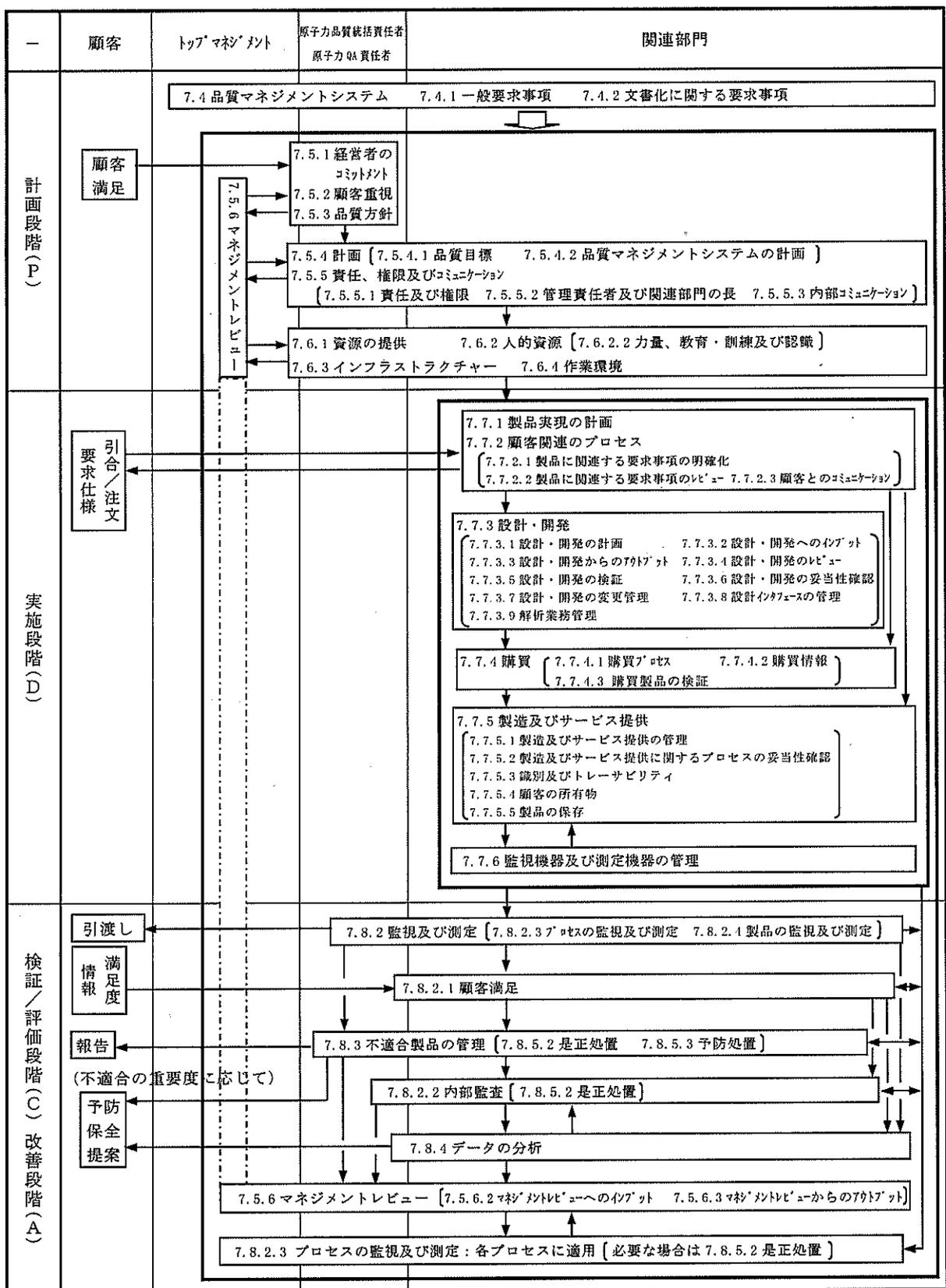
【凡例】

- ◇ (Q) : 品質マネジメントシステムに係る検査
- ◇ : 製作工程を進めるための確認

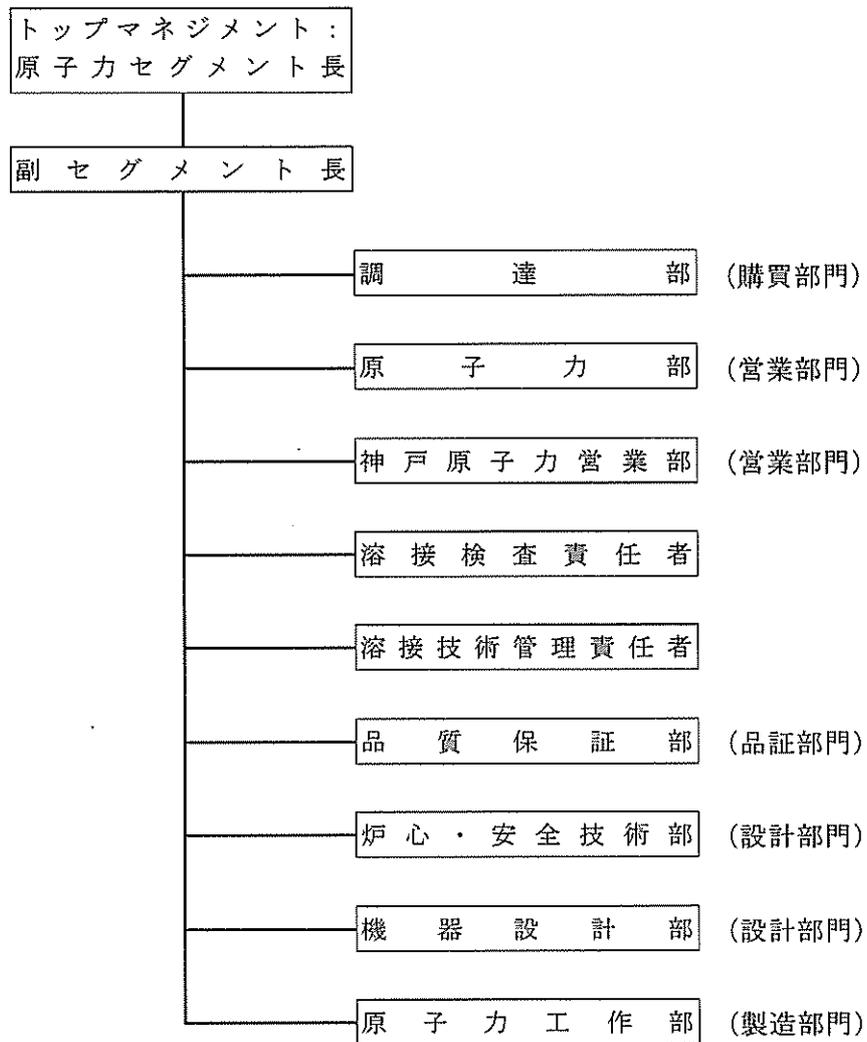
(注1) 熱処理検査、機械検査等は必要な場合のみ実施する。

(注2) 品質マネジメントシステムに係る検査は、製作期間等を考慮して適切な時期と頻度で実施する。

第3図 MSF-24P(S)型の主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査のフロー



第4図 当社における原子力事業のQMS体系(概要)



(注) 本組織図は QMS 上の関係を示したものである。

第 5 図 MSF-24P(S)型の設計及び製作に係わる組織

添付書類

添付書類目次

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書の添付書類は以下のとおりである。

添付書類 1 新技術の内容を十分に説明した書類

資料 1 に示すとおりである。

添付書類 2 型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書

資料 2 に示すとおりである。

添付書類 3 自然現象による損傷の防止に関する説明書

資料 3 に示すとおりである。

添付書類 4 耐震性に関する説明書

資料 4 に示すとおりである。

添付書類 5 強度に関する説明書

資料 5 に示すとおりである。

添付書類 6 構造図

資料 6 に示すとおりである。

添付書類 7 容量、最高使用圧力及び最高使用温度の設定根拠に関する説明書

資料 7 に示すとおりである。

添付書類 8 核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

資料 8 に示すとおりである。

添付書類 9 特定兼用キャスクの冷却能力に関する説明書

資料 9 に示すとおりである。

添付書類 10 放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
資料 10 に示すとおりである。

添付書類 11 特定兼用キャスクの閉じ込めに関する説明書
資料 11 に示すとおりである。

添付書類 12 特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する説明書
資料 12 に示すとおりである。

添付書類 13 外運搬規則第六条若しくは第七条及び第十一条に定める技術上の基準（容器に係るものに限る。）への適合性に関する説明書
資料 13 に示すとおりである。

添付書類 14 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書
資料 14 に示すとおりである。

添付書類 15 第百六条の型式設計特定機器を購入する契約を締結している者にあつては、当該契約書の写し
資料 15 に示すとおりである。

添付書類 16 申請に係る型式設計特定機器の特定機器型式証明変更承認通知書の写し
資料 16 に示すとおりである。

添付書類 1 新技術の内容を十分に説明した書類

1. 概要

本申請において、特定兼用キャスク MSF-24P(S)型の設計及び製作の方法は、四国電力株式会社の『「伊方発電所3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置工事に係る設計及び工事計画 認可申請（原規規発第2107076号 令和3年7月7日認可）」における使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）と同様の方法を適用する。したがって、新技術の適用はない。

添付書類 2 型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 記載の基本事項	1
4. 型式証明を受けた設計との整合性	2

1. 概要

本書は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年 6 月 10 日 法律第 166 号）（以下「法」という。）第 43 条の 3 の 30 第 1 項にて型式証明を受けた設計に基づいた型式の指定であることが法第 43 条の 3 の 31 第 3 項第 1 号により規定されており、当該基準に適合することを説明するものである。

2. 基本方針

MSF-24P(S)型の設計が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書（以下「型式証明申請書」という。）の基本方針に従った詳細設計であることを、型式証明申請書との整合性により示す。

型式証明申請書との整合性は、型式証明申請書「本文（四号）」及び「本文（五号）」について、型式指定申請書「本文」及び型式指定申請書「添付書類」の記載を比較することにより示す。

3. 記載の基本事項

- (1) 説明書の構成は比較表形式とし、左欄から型式証明申請書「本文」、型式証明申請書「添付書類一」、型式指定申請書及び整合性を記載する。
- (2) 説明書の記載順は、型式証明申請書「本文（四号）」及び「本文（五号）」に記載する順とする。
- (3) 型式証明申請書と型式指定申請書の記載が同等の箇所には、実線のアンダーラインまたは囲み枠で明示する。表記等が異なる場合には破線のアンダーラインまたは囲み枠で明示するとともに、型式指定申請の内容が型式証明申請と整合していることを明示する。

4. 型式証明を受けた設計との整合性

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (1/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>四 特定機器等の構造及び設備</p> <p>1. 構造</p> <p>MSF-24P(S)型は、軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉（以下「PWR」という。）で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持ち、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第百条第1項第二号に規定する金属製の特定兼用キャスク（以下「特定兼用キャスク」という。）である。MSF-24P(S)型は、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能（以下「臨界防止機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能（以下「遮蔽機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能（以下「除熱機能」という。）、及び特定兼用キャスクに封入された使用済燃料を閉じ込める機能（以下「閉じ込め機能」という。）といった安全性を確保するために必要な安全機能（以下「安全機能」という。）を有する構造とする。</p> <p>MSF-24P(S)型は、核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。</p> <p>イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料の臨界防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>1. 特定兼用キャスク単体として臨界を防止するための設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく追加した中性子吸収材を適切な位置に配置することにより、特定兼用キャスク単体として、使用済燃料集合体を収納した条件下で、臨界を防止する設計とする。また、MSF-24P(S)型は、MSF-24P(S)型の特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）への搬入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態となること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。</p> <p>2. 臨界防止機能の一部を構成するバスケットの構造健全性を保つための設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型のバスケットプレートは、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十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を維持する設計とする。</p> <p>3. 特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止のための設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮しても、中性子実効増倍率が0.95以下となるようにするため、特定兼用キャスク単体による臨界防止評価において、特定兼用キャスクの境界条件を完全反射境界条件（無限配列）として、特定兼用キャスク相互の中性子干渉による影響を考慮し、複数の特定兼用キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも臨界に達するおそれがない設計とする。</p> <p>4. 臨界評価において、未臨界性に有意な影響を与える因子の考慮</p> <p>MSF-24P(S)型の臨界評価において、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおり考慮し、設計する。</p> <p>(1) 乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。</p> <p>(2) バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最</p>	<p>2. 設計方針及び設計条件</p> <p>2.1 基本設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能（以下「臨界防止機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能（以下「遮蔽機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能（以下「除熱機能」という。）、及び特定兼用キャスクに封入された使用済燃料を閉じ込める機能（以下「閉じ込め機能」という。）といった安全性を確保するために必要な安全機能（以下「安全機能」という。）を有するように設計し、自然現象（地震、津波及び竜巻）に対して安全機能が維持される設計とする。</p> <p>また、MSF-24P(S)型は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合において、貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。</p> <p>(中略)</p> <p>MSF-24P(S)型は、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本産業工業規格（JIS） ・日本機械学会規格（J S M E） ・日本原子力学会標準（A E S J）等 <p>2.2 安全機能に係る設計方針</p> <p>2.2.1 臨界防止機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく追加した中性子吸収材を適切な位置に配置することにより、臨界を防止する設計とする。</p> <p>また、MSF-24P(S)型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態となること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。</p> <p>バスケットプレートは、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十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を維持する設計とする。</p>	<p>6 型式設計特定機器の設計及び製作の方法の概要</p> <p>6.2 特定兼用キャスクの基本設計方針、適用基準及び適用規格</p> <p>MSF-24P(S)型は、軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉（以下「PWR」という。）で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の特定兼用キャスク（以下「特定兼用キャスク」という。）である。MSF-24P(S)型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能（以下「臨界防止機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能（以下「遮蔽機能」という。）、特定兼用キャスクに封入された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能（以下「除熱機能」という。）、及び特定兼用キャスクに封入された使用済燃料を閉じ込める機能（以下「閉じ込め機能」という。）といった安全性を確保するために必要な安全機能（以下「安全機能」という。）を有するように設計し、自然現象（地震、津波及び竜巻）に対して安全機能が維持される設計とする。</p> <p>また、MSF-24P(S)型は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法として、貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。</p> <p>MSF-24P(S)型は、核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日 法律第166号）（以下「原子炉等規制法」という。）等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本産業工業規格（JIS） ・日本機械学会規格（J S M E） ・日本原子力学会標準（A E S J）等 <p>6.2.1 臨界防止機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための断面形状が中空状であるバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく追加した中性子吸収材を適切な位置に配置することにより、特定兼用キャスク単体として、使用済燃料集合体を収納した条件下で、臨界を防止する設計とする。</p> <p>また、MSF-24P(S)型の特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）への搬入から搬出までの乾燥状態、及びMSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態となること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。</p> <p>バスケットプレートは、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十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を維持する設計とする。</p> <p>MSF-24P(S)型の臨界評価においては、特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮しても、中性子実効増倍率が0.95以下となるようにするため、特定兼用キャスク単体による臨界防止評価において、特定兼用キャスクの境界条件を完全反射境界条件（無限配列）として、特定兼用キャスク相互の中性子干渉による影響を考慮し、複数の特定兼用キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも臨界に達するおそれがない設計するとともに、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおり考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。 (2) バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最 	<p>型式証明申請書（本文）第四号において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>添付書類 8 核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書 （核燃料物質が臨界に達しないことに関する詳細な評価は、資料 8 に示すとおりである。）</p>	<p>型式証明申請書（本文）第四号において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (2/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>大となるように、配置する。</p> <p>(3) 特定兼用キャスク周囲を完全反射境界条件（無限配列）とする。</p> <p>(4) バスケットプレート幅、バスケット格子内のり及び中性子吸収材板厚等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材のほう素添加量を仕様上の下限値とする。</p> <p>(5) 燃焼度クレジット（使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下）は考慮しない。</p> <p>(6) 使用済燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニウムの存在を無視する。また、バーナブルポイズン集合体は考慮しない。</p> <p>ロ. 放射線の遮蔽に関する構造</p> <p>MSF-24P(S)型は、放射線の遮蔽に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料から放出される放射線を特定兼用キャスクの本体及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いる。設計貯蔵期間における特定兼用キャスクの中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下、100μSv/h以下となるように設計する。</p> <p>MSF-24P(S)型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、遮蔽評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。特定兼用キャスクの実形状を二次元円筒形状又は三次元でモデル化し、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。</p> <p>ハ. 使用済燃料等の除熱に関する構造</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料等の除熱に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>MSF-24P(S)型は、動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とする。</p> <p>MSF-24P(S)型は、以下のとおり使用済燃料の温度及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。</p> <p>1. 使用済燃料の温度を制限される値以下に維持するための設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃料被覆管の健全性を維持する観点から、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。当該燃料被覆管の温度については、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から、燃料被覆管の累積クリープひずみが1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度、及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とし、使用済燃料集合体の健全性が維持される温度以下となるように設計する。</p> <p>2. 特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持するための設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。除熱評価の結果、特定兼用キャスクの温度が構成部材の健全性が維持される温度以下となるように設計する。</p> <p>また、MSF-24P(S)型は、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャ</p>	<p>2.2.2 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体からの放射線を特定兼用キャスクの本体及び蓋部のガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とし、設計貯蔵期間における中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、以下を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 特定兼用キャスク表面の最大線量当量率を2mSv/h以下とする。 特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における最大線量当量率を100μSv/h以下とする。 <p>2.2.3 除熱機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とし、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から、燃料被覆管の累積クリープひずみが1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度、及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とするため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ 17×17 燃料 39,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ 15×15 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ 15×15 燃料 39,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ <p>また、MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクの安全機能を維持する観点から、特定兼用キャスクの温度を構成部材の健全性が維持される温度以下に制限する設計とし、MSF-24P(S)型の主要な構成部材の温度は、以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> 胴、外筒及び蓋部 350℃以下⁽²⁾ 中性子遮蔽材 149℃以下⁽³⁾⁽⁴⁾ 金属ガスケット 130℃以下⁽⁵⁾ バスケットプレート 250℃以下 (別添1-1参照)⁽⁶⁾ <p>さらに、MSF-24P(S)型は、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャスク</p>	<p>大となるように、配置する。</p> <p>(3) 特定兼用キャスク周囲を完全反射境界条件（無限配列）とする。</p> <p>(4) バスケットプレート幅、バスケット格子内のり及び中性子吸収材板厚等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材のほう素添加量を仕様上の下限値とする。</p> <p>(5) 燃焼度クレジット（使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下）は考慮しない。</p> <p>(6) 使用済燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニウムの存在を無視する。また、バーナブルポイズン集合体は考慮しない。</p> <p>6.2.2 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、使用済燃料から放出される放射線を特定兼用キャスクの本体及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いる。設計貯蔵期間における特定兼用キャスクの中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下、100μSv/h以下となるように設計する。</p> <p>MSF-24P(S)型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、遮蔽評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。特定兼用キャスクの実形状を三次元でモデル化し、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。</p> <p>6.2.3 除熱機能に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とし、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から、燃料被覆管の累積クリープひずみが1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度、及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とするため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下 17×17 燃料 39,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下 15×15 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下 15×15 燃料 39,000Mwd/t 型 (A型及びB型) 275℃以下 <p>また、MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクの安全機能を維持する観点から、特定兼用キャスクの温度を構成部材の健全性が維持される温度以下に制限する設計とし、MSF-24P(S)型の主要な構成部材の温度は、以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> 胴、外筒及び蓋部 350℃以下 中性子遮蔽材 149℃以下 金属ガスケット 130℃以下 バスケットプレート 250℃以下 <p>MSF-24P(S)型の除熱機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件を基に、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮する。</p> <p>さらに、MSF-24P(S)型は、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャスク</p>	<p>添付書類 10 放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書（放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去に関する詳細な評価は、資料10に示すとおりである。）</p> <p>添付書類 9 特定兼用キャスクの冷却能力に関する説明書（特定兼用キャスクの冷却能力に関する詳細な評価は、資料9に示すとおりである。）</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、使用済燃料の温度及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針を具体的に記載しており、整合している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (3/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>スク外表面の温度を測定できる設計とする。</p> <p>ニ、使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 MSF-24P(S)型は、使用済燃料等の閉じ込めに関して、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>1. 使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持するための設計方針 MSF-24P(S)型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、<u>特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気中に保つとともに負圧に維持する設計とする。</u></p> <p>2. 使用済燃料集合体を内封する空間を容器外部から隔離するための設計方針 MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計として、<u>特定兼用キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部（以下「蓋間」という。）を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。</u></p> <p>3. 閉じ込め機能を監視するための設計方針 MSF-24P(S)型は、<u>蓋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設計とする。</u></p> <p>ホ、地震による損傷の防止に関する構造 MSF-24P(S)型は、地震による損傷の防止に関して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないよう、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>1. 特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法（以下「蓋部が金属部へ衝突しない設置方法」という。） MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、<u>その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で横置きに設置する設計とする。</u>また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力を組み合わせた荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u> (後略)</p> <p>ヘ、津波による損傷の防止に関する構造 MSF-24P(S)型は、津波による損傷の防止に関して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないよう、次の方針に基づき安全設計を行う。 MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u></p>	<p>表面の温度を測定できる設計とする。</p> <p>2.2.4 閉じ込め機能に関する設計方針 MSF-24P(S)型は、使用済燃料を限定された区域に閉じ込めるため、<u>特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持する設計とする。</u> また、MSF-24P(S)型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、<u>蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。</u></p> <p>さらに、MSF-24P(S)型は、蓋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設計とする。</p> <p>2.3 自然現象に対する特定兼用キャスクの安全機能維持に係る設計方針 2.3.1 地震による損傷の防止に関する設計方針 (1) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法 MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、<u>その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で横置きに設置する設計とする。</u>また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力を組み合わせた荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u> (後略)</p> <p>2.3.2 津波による損傷の防止に関する設計方針 MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u></p>	<p>外表面の温度を測定できる設計とする。</p> <p>6.2.4 閉じ込め機能に関する設計方針 MSF-24P(S)型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、<u>特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気中に保つとともに負圧に維持する設計とする。</u> また、MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計として、<u>特定兼用キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部（以下「蓋間」という。）を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。</u></p> <p>さらに、MSF-24P(S)型は、蓋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設計とする。</p> <p>6.2.6 地震による損傷の防止に関する設計方針 MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、<u>その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で横置きに設置する設計とする。</u>また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力を組み合わせた荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u></p> <p>6.2.7 津波による損傷の防止に関する設計方針 MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、<u>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</u></p>	<p>添付書類 11 特定兼用キャスクの閉じ込めに関する説明書 (特定兼用キャスクの閉じ込めに関する詳細な評価は、資料 11 に示すとおりである。)</p> <p>添付書類 4 耐震性に関する説明書 (特定兼用キャスクの耐震性に関する詳細な評価は、資料 4 に示すとおりである。)</p> <p>添付書類 3-1 津波による損傷の防止に関する説明書 (特定兼用キャスクの津波による損傷の防止に関する詳細な評価は、資料 3 添付書類 3-1 に示すとおりである。)</p>	<p>整合性</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (4/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																								
<p>ト、竜巻による損傷の防止に関する構造</p> <p>MSF-2IP(S)型は、竜巻による損傷の防止に関して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないよう、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>MSF-2IP(S)型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</p> <p>MSF-2IP(S)型に衝突し得る設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイドを踏まえて、飛来物の種類、寸法、質量及びその最大速度を設定する。</p> <p>チ、その他の主要な構造</p> <p>MSF-2IP(S)型は、イからトに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>(1) MSF-2IP(S)型は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合において、特定兼用キャスク本体の上部及び下部に貯蔵用緩衝体を装着することにより、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。また、MSF-2IP(S)型は、基礎等に固定する設置方法の場合において、特定兼用キャスクを貯蔵架台等に固定し、たて置きで設置する設計とする。</p> <p>(2) MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。</p> <p>(3) MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す設計とする。</p>	<p>2.3.3 竜巻による損傷の防止に関する設計方針</p> <p>MSF-2IP(S)型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</p> <p>2.1 設計条件</p> <p>(1) MSF-2IP(S)型の設計条件</p> <p>MSF-2IP(S)型の設計条件は以下のとおりである。</p> <p>(中略)</p> <p>m. 貯蔵状態における竜巻荷重の算出条件となる風速は、100m/sとする。また、特定兼用キャスクに衝突し得る設計飛来物の条件は、第1-1表のとおりとする。</p> <p>第1-1表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="831 871 1365 1123"> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="2">棒状物</th> <th colspan="2">板状物</th> <th colspan="2">塊状物</th> </tr> <tr> <th>鋼製パイプ</th> <th>鋼製材</th> <th>コンクリート塊</th> <th>コンテナ</th> <th colspan="2">トラック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6</td> <td colspan="2">長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>510</td> <td>2300</td> <td colspan="2">4750</td> </tr> <tr> <td>最大水平速度(m/s)</td> <td>49</td> <td>57</td> <td>30</td> <td>60</td> <td colspan="2">31</td> </tr> <tr> <td>最大鉛直速度(m/s)</td> <td>33</td> <td>38</td> <td>20</td> <td>40</td> <td colspan="2">23</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.2.6 長期健全性に関する設計方針</p> <p>MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。</p> <p>MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す。</p>	飛来物の種類	棒状物		板状物		塊状物		鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート塊	コンテナ	トラック		寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3		質量(kg)	8.4	135	510	2300	4750		最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	31		最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23		<p>6.2.8 竜巻による損傷の防止に関する設計方針</p> <p>MSF-2IP(S)型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。</p> <p>8.1 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲</p> <p>以下に示す条件により設計された特定兼用キャスク（蓋部が金属部へ衝突しない設置方法）を使用することができる貯蔵施設であること。</p> <p>(中略)</p> <p>竜巻荷重の算出条件</p> <table border="1" data-bbox="1439 745 1988 829"> <tr> <td>風速</td> <td>100m/s^(注1)</td> </tr> <tr> <td>設計飛来物</td> <td>第8表</td> </tr> <tr> <td></td> <td>のとおり^(注2)</td> </tr> </table> <p>第8表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="1439 871 1973 1123"> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="2">棒状物</th> <th colspan="2">板状物</th> <th colspan="2">塊状物</th> </tr> <tr> <th>鋼製パイプ</th> <th>鋼製材</th> <th>コンクリート塊</th> <th>コンテナ</th> <th colspan="2">トラック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6</td> <td colspan="2">長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>510</td> <td>2300</td> <td colspan="2">4750</td> </tr> <tr> <td>最大水平速度(m/s)</td> <td>49</td> <td>57</td> <td>30</td> <td>60</td> <td colspan="2">31</td> </tr> <tr> <td>最大鉛直速度(m/s)</td> <td>33</td> <td>38</td> <td>20</td> <td>40</td> <td colspan="2">23</td> </tr> </tbody> </table> <p>6.2.9 その他の設計方針</p> <p>(1) MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスク本体の上部及び下部に貯蔵用緩衝体を装着することにより、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計として、横置きで設置する設計とする。</p> <p>(2) MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。</p> <p>(3) MSF-2IP(S)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す設計とする。</p>	風速	100m/s ^(注1)	設計飛来物	第8表		のとおり ^(注2)	飛来物の種類	棒状物		板状物		塊状物		鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート塊	コンテナ	トラック		寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3		質量(kg)	8.4	135	510	2300	4750		最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	31		最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23		<p>添付書類3-2 竜巻による損傷の防止に関する説明書 (特定兼用キャスクの竜巻による損傷の防止に関する詳細な評価は、資料3添付書類3-2に示すとおりである。)</p> <p>添付書類12 特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する説明書 (特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する詳細な評価は、資料12に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、MSF-2IP(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件を具体的に記載しており、整合している。</p>
飛来物の種類	棒状物		板状物		塊状物																																																																																							
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート塊	コンテナ	トラック																																																																																							
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3																																																																																							
質量(kg)	8.4	135	510	2300	4750																																																																																							
最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	31																																																																																							
最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23																																																																																							
風速	100m/s ^(注1)																																																																																											
設計飛来物	第8表																																																																																											
	のとおり ^(注2)																																																																																											
飛来物の種類	棒状物		板状物		塊状物																																																																																							
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート塊	コンテナ	トラック																																																																																							
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.1×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3																																																																																							
質量(kg)	8.4	135	510	2300	4750																																																																																							
最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	31																																																																																							
最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23																																																																																							

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (5/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>(4) MSF-24P(S)型は、自重、内圧、熱荷重等に加え、貯蔵施設内での取扱時の荷重を考慮しても特定兼用キャスクの安全機能を維持できる設計とする。</p> <p>(5) MSF-24P(S)型は、バスケットの構造部材であるバスケットプレートに、アルミニウム合金 (NB-A3004-H112) を使用している。当該材料は、(一社) 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」等では規定されていない材料であることから、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第四十三条の二十六の第三項の規定により、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-D P C 17001) を受けた金属製の乾式キャスク (MSF-24P型) のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金 (NB-A3004-H112) の適用範囲内で使用する。アルミニウム合金の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく露による強度低下を考慮し、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定しており、MSF-24P(S)型は、その設計用強度を許容応力に用いることにより、バスケットプレートの構造健全性を維持する設計とする。また、バスケットプレートが弾性状態に留まるようにすることで、衝撃荷重が負荷される場合においても、延性き裂進展に対して十分な余裕を有する設計とする。</p>	<p>2.2.5 構造強度に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮し、(一社) 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」⁽²⁷⁾ (以下「金属キャスク構造規格」という。) 及び/又は (一社) 日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格」⁽²⁷⁾ (以下「設計・建設規格」という。) に基づき設計する。</p>	<p>6.2.5 材料及び構造に関する設計方針</p> <p>MSF-24P(S)型の材料及び構造は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(平成25年6月19日 原規技発第1306194号) (以下「技術基準規則解釈」という。)、(一社) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 <第1編 軽水炉規格> JSME S AC1-2012」(以下「設計・建設規格」という。)、(一社) 日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。) 等に基づき設計する。</p> <p>6.2.5.2 構造及び強度</p> <p>容器は、貯蔵時及び取扱時において、全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。</p> <p>6.2.9 その他の設計方針</p> <p>(4) MSF-24P(S)型は、バスケットの構造部材であるバスケットプレートに、アルミニウム合金 (NB-A3004-H112) を使用している。当該材料は、金属キャスク構造規格等では規定されていない材料であることから、原子炉等規制法第43条の26の3第1項の規定により、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-D P C 17001) を受けた金属製の乾式キャスク (MSF-24P型) のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金 (NB-A3004-H112) の適用範囲内で使用する。アルミニウム合金の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく露による強度低下を考慮し、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定しており、MSF-24P(S)型は、その設計用強度を許容応力に用いることにより、バスケットプレートの構造健全性を維持する設計とする。また、バスケットプレートが弾性状態に留まるようにすることで、衝撃荷重が負荷される場合においても、延性き裂進展に対して十分な余裕を有する設計とする。</p>	<p>添付書類5 強度に関する説明書 (強度に関する詳細な評価は、資料5に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、熱荷重等に加え、貯蔵施設内での取扱時の荷重を考慮しても特定兼用キャスクの安全機能を維持できる設計に対して、設計方針を具体的に記載しており、整合している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (6/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																																				
<p>2. 主要な設備及び機器の種類 特定兼用キャスク</p> <p>種類 鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)</p> <p>全質量 (使用済燃料集合体を含む) 約120t^(注1) 約117t^(注2)</p> <p>寸法 全長 約5.2m 外径 約2.6m</p> <p>(注1) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合 (注2) 基礎等に固定する設置方法の場合</p>	<p>第1-1表 MSF-21P型の仕様</p> <table border="1" data-bbox="807 338 1389 1073"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全質量 (使用済燃料集合体を含む)</td> <td>約120 t^(注1) 約117 t^(注2)</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>全長 約5.2 m 外径 約2.6 m</td> </tr> <tr> <td>収納体数</td> <td>21体</td> </tr> <tr> <td>最大崩壊熱量</td> <td>15.8 kW</td> </tr> <tr> <td>特定兼用キャスク本体</td> <td></td> </tr> <tr> <td>胴 (ガンマ線遮蔽材)</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>外筒 (ガンマ線遮蔽材)</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>トラニオン</td> <td>析出硬化系ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>レジン (エポキシ系樹脂)</td> </tr> <tr> <td>伝熱フィン</td> <td>銅</td> </tr> <tr> <td>蓋部</td> <td></td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>貯蔵用三次蓋^(注3)</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>ニッケルクロムモリブデン鋼</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td></td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート</td> <td>アルミニウム合金^(注4)</td> </tr> <tr> <td>中性子吸収材</td> <td>ほう素添加アルミニウム合金</td> </tr> <tr> <td>内部充填ガス</td> <td>ヘリウムガス</td> </tr> <tr> <td>シール材</td> <td>金属ガスケット</td> </tr> <tr> <td>閉じ込め監視方式</td> <td>圧力センサによる蓋間圧力監視</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合の全質量である。 (注2) 基礎等に固定する設置方法の場合の全質量である。 (注3) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合に取り付けられる。 (注4) バスケットプレートに使用するアルミニウム合金の材料名称は NB-A3001-H112である (別添1-1参照)。</p>	項目	仕様	全質量 (使用済燃料集合体を含む)	約120 t ^(注1) 約117 t ^(注2)	寸法	全長 約5.2 m 外径 約2.6 m	収納体数	21体	最大崩壊熱量	15.8 kW	特定兼用キャスク本体		胴 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼	外筒 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼	トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼	中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	伝熱フィン	銅	蓋部		一次蓋	炭素鋼	二次蓋	炭素鋼	貯蔵用三次蓋 ^(注3)	ステンレス鋼	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	バスケット		バスケットプレート	アルミニウム合金 ^(注4)	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	内部充填ガス	ヘリウムガス	シール材	金属ガスケット	閉じ込め監視方式	圧力センサによる蓋間圧力監視	<p>6.1 特定兼用キャスクの名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法及び材料並びに放射線遮蔽材の種類、主要寸法、冷却方法及び材料</p> <table border="1" data-bbox="1406 338 2006 1041"> <thead> <tr> <th>名称及び型式</th> <th>—</th> <th>MSF-21P(S)型^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>種類</td> <td>—</td> <td>鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)</td> </tr> <tr> <td>容量</td> <td>—</td> <td>体 21</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>—</td> <td>MPa (差圧) 0.41</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最高使用温度</td> <td>容器</td> <td>℃ 150</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>℃ 195</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">全長</td> <td>mm</td> <td>5,194^(注2)</td> </tr> <tr> <td>mm</td> <td>3,506^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">容器</td> <td>胴内径</td> <td>mm □^(注2)</td> </tr> <tr> <td>胴板厚</td> <td>mm □□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋外径</td> <td>mm 1,962^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋板厚さ</td> <td>mm □□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>底板厚さ</td> <td>mm □□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>mm 5,119^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">バスケット</td> <td>外径</td> <td>mm □^(注2)</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>mm □^(注2)</td> </tr> <tr> <td>格子内幅</td> <td>mm □□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート板厚</td> <td>mm □□□□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>胴板</td> <td>—</td> <td>□□□□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋板</td> <td>—</td> <td>□□□□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>底板</td> <td>—</td> <td>□□□□^(注2)</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート</td> <td>—</td> <td>アルミニウム合金^(注3) (NB-A3001-H112)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) (前略) 最大崩壊熱量は 15.8kW であり、MSF-21P(S)型全質量 (使用済燃料集合体 21体を含む) は 119.6t 以下である。 (中略) (注2) 公称値を示す。 (注3) 添付書類 12「特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する説明書」別紙1参照。</p>	名称及び型式	—	MSF-21P(S)型 ^(注1)	種類	—	鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)	容量	—	体 21	最高使用圧力	—	MPa (差圧) 0.41	最高使用温度	容器	℃ 150	バスケット	℃ 195	全長	mm	5,194 ^(注2)	mm	3,506 ^(注2)	容器	胴内径	mm □ ^(注2)	胴板厚	mm □□ ^(注2)	一次蓋外径	mm 1,962 ^(注2)	一次蓋板厚さ	mm □□ ^(注2)	底板厚さ	mm □□ ^(注2)	高さ	mm 5,119 ^(注2)	バスケット	外径	mm □ ^(注2)	高さ	mm □ ^(注2)	格子内幅	mm □□ ^(注2)	バスケットプレート板厚	mm □□□□ ^(注2)	胴板	—	□□□□ ^(注2)	一次蓋板	—	□□□□ ^(注2)	底板	—	□□□□ ^(注2)	バスケットプレート	—	アルミニウム合金 ^(注3) (NB-A3001-H112)	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、全質量 (使用済燃料集合体を含む) 約 120t 並びに、全長約 5.2 m 及び外径約 2.6 m に対して、MSF-21P(S)型全質量及び寸法値を具体的に記載しており、整合している。</p>	
項目	仕様																																																																																																							
全質量 (使用済燃料集合体を含む)	約120 t ^(注1) 約117 t ^(注2)																																																																																																							
寸法	全長 約5.2 m 外径 約2.6 m																																																																																																							
収納体数	21体																																																																																																							
最大崩壊熱量	15.8 kW																																																																																																							
特定兼用キャスク本体																																																																																																								
胴 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼																																																																																																							
外筒 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼																																																																																																							
トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼																																																																																																							
中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)																																																																																																							
伝熱フィン	銅																																																																																																							
蓋部																																																																																																								
一次蓋	炭素鋼																																																																																																							
二次蓋	炭素鋼																																																																																																							
貯蔵用三次蓋 ^(注3)	ステンレス鋼																																																																																																							
蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼																																																																																																							
バスケット																																																																																																								
バスケットプレート	アルミニウム合金 ^(注4)																																																																																																							
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金																																																																																																							
内部充填ガス	ヘリウムガス																																																																																																							
シール材	金属ガスケット																																																																																																							
閉じ込め監視方式	圧力センサによる蓋間圧力監視																																																																																																							
名称及び型式	—	MSF-21P(S)型 ^(注1)																																																																																																						
種類	—	鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)																																																																																																						
容量	—	体 21																																																																																																						
最高使用圧力	—	MPa (差圧) 0.41																																																																																																						
最高使用温度	容器	℃ 150																																																																																																						
	バスケット	℃ 195																																																																																																						
全長	mm	5,194 ^(注2)																																																																																																						
	mm	3,506 ^(注2)																																																																																																						
容器	胴内径	mm □ ^(注2)																																																																																																						
	胴板厚	mm □□ ^(注2)																																																																																																						
	一次蓋外径	mm 1,962 ^(注2)																																																																																																						
	一次蓋板厚さ	mm □□ ^(注2)																																																																																																						
	底板厚さ	mm □□ ^(注2)																																																																																																						
	高さ	mm 5,119 ^(注2)																																																																																																						
バスケット	外径	mm □ ^(注2)																																																																																																						
	高さ	mm □ ^(注2)																																																																																																						
	格子内幅	mm □□ ^(注2)																																																																																																						
	バスケットプレート板厚	mm □□□□ ^(注2)																																																																																																						
胴板	—	□□□□ ^(注2)																																																																																																						
一次蓋板	—	□□□□ ^(注2)																																																																																																						
底板	—	□□□□ ^(注2)																																																																																																						
バスケットプレート	—	アルミニウム合金 ^(注3) (NB-A3001-H112)																																																																																																						

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (7/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																																												
<p>3. 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力</p> <p>イ. 使用済燃料の種類</p> <p><u>PWR使用済燃料集合体（ウラン燃料）</u></p> <p>17×17燃料 48,000Mwd/t型（A型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>17×17燃料 48,000Mwd/t型（B型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>17×17燃料 39,000Mwd/t型（A型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>17×17燃料 39,000Mwd/t型（B型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>15×15燃料 48,000Mwd/t型（A型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>15×15燃料 48,000Mwd/t型（B型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>15×15燃料 39,000Mwd/t型（A型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>15×15燃料 39,000Mwd/t型（B型） 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上</p> <p>使用済燃料集合体をMSF-2IP(S)型へ収納するに当たり、使用済燃料集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。また、使用済燃料集合体は、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態でMSF-2IP(S)型へ収納する必要がある。使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の収納条件を第3図に示す。 なお、17×17燃料と15×15燃料は混載されないが、48,000Mwd/t型及び39,000Mwd/t型、並びにA型及びB型は混載可能である。</p> <div data-bbox="296 1491 652 1806"> <p>第3図 使用済燃料集合体の収納位置条件</p> <p>■ : 燃焼度が48,000Mwd/t以下の使用済燃料集合体の収納位置 <input type="checkbox"/> : 燃焼度が41,000Mwd/t以下の使用済燃料集合体の収納位置</p> </div>	<p>第1-2表(1/2) 使用済燃料集合体の仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="4">仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">使用済燃料集合体の種類</td> <td colspan="4">17×17燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2">48,000Mwd/t型</td> <td colspan="2">39,000Mwd/t型</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">形状</td> <td>集合体幅</td> <td colspan="3">約214mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約680kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1燃料集合体の仕様</td> <td>初期濃縮度(集合体平均)</td> <td colspan="2">4.2wt%以下</td> <td>3.7wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度(注1)</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1特定兼用キャスクの仕様</td> <td>収納体数</td> <td colspan="3">21体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度(注2)</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8kW以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 最高燃焼度とは、収納する燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。 (注2) 平均燃焼度とは、収納する全燃料集合体に対する燃焼度の平均値を示す。</p> <p>第1-2表(2/2) 使用済燃料集合体の仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="4">仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">使用済燃料集合体の種類</td> <td colspan="4">15×15燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2">48,000Mwd/t型</td> <td colspan="2">39,000Mwd/t型</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">形状</td> <td>集合体幅</td> <td colspan="3">約214mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約670kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1燃料集合体の仕様</td> <td>初期濃縮度(集合体平均)</td> <td colspan="2">4.1wt%以下</td> <td>3.5wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度(注1)</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1特定兼用キャスクの仕様</td> <td>収納体数</td> <td colspan="3">21体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度(注2)</td> <td colspan="3"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8kW以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 最高燃焼度とは、収納する燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。 (注2) 平均燃焼度とは、収納する全燃料集合体に対する燃焼度の平均値を示す。</p> <div data-bbox="1513 1491 1869 1806"> <p>第1図 使用済燃料集合体の収納位置条件</p> <p>■ : 燃焼度が48,000Mwd/t以下の使用済燃料集合体の収納位置 <input type="checkbox"/> : 燃焼度が41,000Mwd/t以下の使用済燃料集合体の収納位置</p> </div>	項目	仕様				使用済燃料集合体の種類	17×17燃料				48,000Mwd/t型		39,000Mwd/t型		形状	集合体幅	約214mm			全長	約4100mm			質量	約680kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2wt%以下		3.7wt%以下	最高燃焼度(注1)	<input type="text"/>			冷却期間	<input type="text"/>			1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	21体			平均燃焼度(注2)	<input type="text"/>			崩壊熱量	15.8kW以下			項目	仕様				使用済燃料集合体の種類	15×15燃料				48,000Mwd/t型		39,000Mwd/t型		形状	集合体幅	約214mm			全長	約4100mm			質量	約670kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1wt%以下		3.5wt%以下	最高燃焼度(注1)	<input type="text"/>			冷却期間	<input type="text"/>			1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	21体			平均燃焼度(注2)	<input type="text"/>			崩壊熱量	15.8kW以下			<p>6.1 特定兼用キャスクの名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法及び材料並びに放射線遮蔽材の種類、主要寸法、冷却方法及び材料</p> <p>(注1) (前略)</p> <p>以下の燃料を貯蔵する。 <u>PWR使用済燃料集合体（ウラン燃料）</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・17×17燃料 48,000Mwd/t型（A型） ・17×17燃料 48,000Mwd/t型（B型） ・17×17燃料 39,000Mwd/t型（A型） ・17×17燃料 39,000Mwd/t型（B型） ・15×15燃料 48,000Mwd/t型（A型） ・15×15燃料 48,000Mwd/t型（B型） ・15×15燃料 39,000Mwd/t型（A型） ・15×15燃料 39,000Mwd/t型（B型） <p>使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> 17×17燃料 48,000Mwd/t型（A型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 17×17燃料 48,000Mwd/t型（B型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 17×17燃料 39,000Mwd/t型（A型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 17×17燃料 39,000Mwd/t型（B型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 15×15燃料 48,000Mwd/t型（A型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 15×15燃料 48,000Mwd/t型（B型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 15×15燃料 39,000Mwd/t型（A型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 15×15燃料 39,000Mwd/t型（B型）を収納する場合 収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 <input type="text"/> 以下 冷却期間 <input type="text"/> 以上 <p>使用済燃料集合体をMSF-2IP(S)型へ収納するに当たり、使用済燃料集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。また、使用済燃料集合体は、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態でMSF-2IP(S)型へ収納する必要がある。使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の収納条件を第1図に示す。 なお、17×17燃料と15×15燃料は混載されないが、48,000Mwd/t型及び39,000Mwd/t型、並びにA型及びB型は混載可能である。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、MSF-2IP(S)型で貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力に対して、MSF-2IP(S)型の設計方針を具体的に記載しており、整合している。</p>	
項目	仕様																																																																																																															
使用済燃料集合体の種類	17×17燃料																																																																																																															
	48,000Mwd/t型		39,000Mwd/t型																																																																																																													
形状	集合体幅	約214mm																																																																																																														
	全長	約4100mm																																																																																																														
質量	約680kg																																																																																																															
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2wt%以下		3.7wt%以下																																																																																																												
	最高燃焼度(注1)	<input type="text"/>																																																																																																														
	冷却期間	<input type="text"/>																																																																																																														
1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	21体																																																																																																														
	平均燃焼度(注2)	<input type="text"/>																																																																																																														
	崩壊熱量	15.8kW以下																																																																																																														
項目	仕様																																																																																																															
使用済燃料集合体の種類	15×15燃料																																																																																																															
	48,000Mwd/t型		39,000Mwd/t型																																																																																																													
形状	集合体幅	約214mm																																																																																																														
	全長	約4100mm																																																																																																														
質量	約670kg																																																																																																															
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1wt%以下		3.5wt%以下																																																																																																												
	最高燃焼度(注1)	<input type="text"/>																																																																																																														
	冷却期間	<input type="text"/>																																																																																																														
1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	21体																																																																																																														
	平均燃焼度(注2)	<input type="text"/>																																																																																																														
	崩壊熱量	15.8kW以下																																																																																																														

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (8/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																																																																																																																															
<p>ロ. 最大貯蔵能力 特定兼用キャスク1基当たりの貯蔵能力 PWR使用済燃料集合体 <u>24体</u> 最大崩壊熱量 <u>15.8kW</u></p>	<p>第1-2表(1/2) 使用済燃料集合体の仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="4">仕 様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">使用済燃料集合体の種類</td> <td colspan="4">17×17燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2">18,000MWd/t型</td> <td colspan="2">39,000MWd/t型</td> </tr> <tr> <td>A型</td> <td>B型</td> <td>A型</td> <td>B型</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">形状</td> <td>集合体幅</td> <td colspan="3">約214mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100mm</td> </tr> <tr> <td>質 量</td> <td colspan="4">約680kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1燃料集合体の仕様</td> <td>初期濃縮度(集合体平均)</td> <td colspan="2">4.2wt%以下</td> <td>3.7wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1特定兼用キャスク1基当たりの仕様</td> <td>収納体数</td> <td colspan="3">24体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度^(注2)</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8kW以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 最高燃焼度とは、収納する燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。 (注2) 平均燃焼度とは、収納する全燃料集合体に対する燃焼度の平均値を示す。</p> <p>第1-2表(2/2) 使用済燃料集合体の仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="4">仕 様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">使用済燃料集合体の種類</td> <td colspan="4">15×15燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2">18,000MWd/t型</td> <td colspan="2">39,000MWd/t型</td> </tr> <tr> <td>A型</td> <td>B型</td> <td>A型</td> <td>B型</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">形状</td> <td>集合体幅</td> <td colspan="3">約214mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100mm</td> </tr> <tr> <td>質 量</td> <td colspan="4">約670kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1燃料集合体の仕様</td> <td>初期濃縮度(集合体平均)</td> <td colspan="2">4.1wt%以下</td> <td>3.5wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1特定兼用キャスク1基当たりの仕様</td> <td>収納体数</td> <td colspan="3">24体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度^(注2)</td> <td colspan="3">[]</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8kW以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 最高燃焼度とは、収納する燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。 (注2) 平均燃焼度とは、収納する全燃料集合体に対する燃焼度の平均値を示す。</p>	項目	仕 様				使用済燃料集合体の種類	17×17燃料				18,000MWd/t型		39,000MWd/t型		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214mm			全長	約4100mm			質 量	約680kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2wt%以下		3.7wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	[]			冷却期間	[]			1特定兼用キャスク1基当たりの仕様	収納体数	24体			平均燃焼度 ^(注2)	[]			崩壊熱量	15.8kW以下			項目	仕 様				使用済燃料集合体の種類	15×15燃料				18,000MWd/t型		39,000MWd/t型		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214mm			全長	約4100mm			質 量	約670kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1wt%以下		3.5wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	[]			冷却期間	[]			1特定兼用キャスク1基当たりの仕様	収納体数	24体			平均燃焼度 ^(注2)	[]			崩壊熱量	15.8kW以下			<p>6.1 特定兼用キャスクの名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法及び材料並びに放射線遮蔽材の種類、主要寸法、冷却方法及び材料</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">名称及び型式</th> <th>—</th> <th>MSF-24P(S)型^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>種 類</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>鍛造キャスク (鋼-レジン複合体タイプ)</td> </tr> <tr> <td>容 量</td> <td>—</td> <td>体</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>—</td> <td>MPa</td> <td>(差圧) 0.11</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最高使用温度</td> <td>容 器</td> <td>°C</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>バ ス ケ ッ ト</td> <td>°C</td> <td>195</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">主 要 寸 法</td> <td>全 長</td> <td>mm</td> <td>5,194^(注3)</td> </tr> <tr> <td>外 径</td> <td>mm</td> <td>2,596^(注3)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">容 器</td> <td>胴 内 径</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>胴 板 厚</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>一 次 蓋 外 径</td> <td>mm</td> <td>1,962^(注3)</td> </tr> <tr> <td>一 次 蓋 板 厚 さ</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">バ ス ケ ッ ト</td> <td>底 板 厚 さ</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>高 さ</td> <td>mm</td> <td>5,119^(注3)</td> </tr> <tr> <td>外 径</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>高 さ</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>格 子 内 幅</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td>バスケップレート板厚</td> <td>mm</td> <td>[]^(注3)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">材 料</td> <td>胴 板</td> <td>—</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>一 次 蓋 板</td> <td>—</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>底 板</td> <td>—</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>バスケップレート</td> <td>—</td> <td>アルミニウム合金^(注3) (MB-A3004-H112)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) (前略) 最大崩壊熱量は15.8kWであり、MSF-24P(S)型全質量(使用済燃料集合体24体を含む)は119.6t以下である。 (中略) (注2) 公称値を示す。 (注3) 添付書類12「特定兼用キャスクが使用される条件の下における健全性に関する説明書」別紙1参照。</p>	名称及び型式		—	MSF-24P(S)型 ^(注1)	種 類	—	—	鍛造キャスク (鋼-レジン複合体タイプ)	容 量	—	体	24	最高使用圧力	—	MPa	(差圧) 0.11	最高使用温度	容 器	°C	150	バ ス ケ ッ ト	°C	195	主 要 寸 法	全 長	mm	5,194 ^(注3)	外 径	mm	2,596 ^(注3)	容 器	胴 内 径	mm	[] ^(注3)	胴 板 厚	mm	[] ^(注3)	一 次 蓋 外 径	mm	1,962 ^(注3)	一 次 蓋 板 厚 さ	mm	[] ^(注3)	バ ス ケ ッ ト	底 板 厚 さ	mm	[] ^(注3)	高 さ	mm	5,119 ^(注3)	外 径	mm	[] ^(注3)	高 さ	mm	[] ^(注3)	格 子 内 幅	mm	[] ^(注3)	バスケップレート板厚	mm	[] ^(注3)	材 料	胴 板	—	[]	一 次 蓋 板	—	[]	底 板	—	[]	バスケップレート	—	アルミニウム合金 ^(注3) (MB-A3004-H112)		<p>型式証明申請書「本文」に記載される、MSF-24P(S)型の最大貯蔵能力を、同等に記載しており、整合している。</p>
項目	仕 様																																																																																																																																																																																																		
使用済燃料集合体の種類	17×17燃料																																																																																																																																																																																																		
	18,000MWd/t型		39,000MWd/t型																																																																																																																																																																																																
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																																																																																															
形状	集合体幅	約214mm																																																																																																																																																																																																	
	全長	約4100mm																																																																																																																																																																																																	
質 量	約680kg																																																																																																																																																																																																		
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2wt%以下		3.7wt%以下																																																																																																																																																																																															
	最高燃焼度 ^(注1)	[]																																																																																																																																																																																																	
	冷却期間	[]																																																																																																																																																																																																	
1特定兼用キャスク1基当たりの仕様	収納体数	24体																																																																																																																																																																																																	
	平均燃焼度 ^(注2)	[]																																																																																																																																																																																																	
	崩壊熱量	15.8kW以下																																																																																																																																																																																																	
項目	仕 様																																																																																																																																																																																																		
使用済燃料集合体の種類	15×15燃料																																																																																																																																																																																																		
	18,000MWd/t型		39,000MWd/t型																																																																																																																																																																																																
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																																																																																															
形状	集合体幅	約214mm																																																																																																																																																																																																	
	全長	約4100mm																																																																																																																																																																																																	
質 量	約670kg																																																																																																																																																																																																		
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1wt%以下		3.5wt%以下																																																																																																																																																																																															
	最高燃焼度 ^(注1)	[]																																																																																																																																																																																																	
	冷却期間	[]																																																																																																																																																																																																	
1特定兼用キャスク1基当たりの仕様	収納体数	24体																																																																																																																																																																																																	
	平均燃焼度 ^(注2)	[]																																																																																																																																																																																																	
	崩壊熱量	15.8kW以下																																																																																																																																																																																																	
名称及び型式		—	MSF-24P(S)型 ^(注1)																																																																																																																																																																																																
種 類	—	—	鍛造キャスク (鋼-レジン複合体タイプ)																																																																																																																																																																																																
容 量	—	体	24																																																																																																																																																																																																
最高使用圧力	—	MPa	(差圧) 0.11																																																																																																																																																																																																
最高使用温度	容 器	°C	150																																																																																																																																																																																																
	バ ス ケ ッ ト	°C	195																																																																																																																																																																																																
主 要 寸 法	全 長	mm	5,194 ^(注3)																																																																																																																																																																																																
	外 径	mm	2,596 ^(注3)																																																																																																																																																																																																
	容 器	胴 内 径	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		胴 板 厚	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		一 次 蓋 外 径	mm	1,962 ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		一 次 蓋 板 厚 さ	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
	バ ス ケ ッ ト	底 板 厚 さ	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		高 さ	mm	5,119 ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		外 径	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
		高 さ	mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																															
格 子 内 幅		mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																																
バスケップレート板厚		mm	[] ^(注3)																																																																																																																																																																																																
材 料	胴 板	—	[]																																																																																																																																																																																																
	一 次 蓋 板	—	[]																																																																																																																																																																																																
	底 板	—	[]																																																																																																																																																																																																
	バスケップレート	—	アルミニウム合金 ^(注3) (MB-A3004-H112)																																																																																																																																																																																																

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (9/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																																																														
<p>五 特定機器を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲又は条件</p> <p>1. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲</p> <p>以下に示す条件により設計された特定兼用キャスクを使用することができる貯蔵施設であること。</p> <p>1.1 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法</p> <table border="1"> <tr><td>特定兼用キャスクの設計貯蔵期間</td><td>60年以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの貯蔵場所</td><td>貯蔵建屋内又は屋外</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの貯蔵姿勢</td><td>横置き</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの設置方式</td><td>貯蔵架台上に設置</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの固定方式</td><td>トラニオン固定</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの全質量</td><td>120t以下</td></tr> <tr><td>(使用済燃料集合体を含む)</td><td></td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの主要寸法</td><td>全長 5.2m以下</td></tr> <tr><td>外径</td><td>2.6m以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスク表面における線量当量率</td><td>2mSv/h以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率</td><td>100μSv/h以下</td></tr> <tr><td>貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度</td><td>最低温度 -20℃</td></tr> <tr><td>最高温度</td><td>45℃^(注1)</td></tr> <tr><td>貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度^(注1)</td><td>最高温度 38℃^(注2)</td></tr> <tr><td>最高温度</td><td>65℃</td></tr> <tr><td>地震力</td><td>加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal^(注3)</td></tr> <tr><td>又は</td><td>速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s^(注3)</td></tr> <tr><td>津波荷重の算出条件</td><td>浸水深 10m^(注3)</td></tr> <tr><td>流速</td><td>20m/s^(注3)</td></tr> <tr><td>漂流物質量</td><td>100t</td></tr> <tr><td>竜巻荷重の算出条件</td><td>風速 100m/s^(注3)</td></tr> <tr><td>設計飛来物</td><td>第1表のとおり^(注4)</td></tr> </table> <p>(注1) 貯蔵建屋内で貯蔵する場合</p> <p>(注2) 屋外で貯蔵する場合</p> <p>(注3) 兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示に規定される値</p> <p>(注4) 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻により、特定兼用キャスクに衝突し得る飛来物</p> <p>(後略)</p> <table border="1"> <caption>第1表 設計飛来物条件</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="2">棒状物</th> <th colspan="2">板状物</th> <th colspan="2">塊状物</th> </tr> <tr> <th>鋼製パイプ</th> <th>鋼製材</th> <th>コンクリート</th> <th>コンテナ</th> <th>トラック</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×厚さ 1.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×厚さ 2.4×2.6×6</td> <td>長さ×幅×厚さ 5×1.9×1.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</td> <td>2300</td> <td>1750</td> <td></td> </tr> <tr> <td>最大水平速度(m/s)</td> <td>49</td> <td>57</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>34</td> <td></td> </tr> <tr> <td>最大鉛直速度(m/s)</td> <td>33</td> <td>38</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>23</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下	特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内又は屋外	特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き	特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置	特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定	特定兼用キャスクの全質量	120t以下	(使用済燃料集合体を含む)		特定兼用キャスクの主要寸法	全長 5.2m以下	外径	2.6m以下	特定兼用キャスク表面における線量当量率	2mSv/h以下	特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/h以下	貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20℃	最高温度	45℃ ^(注1)	貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度 ^(注1)	最高温度 38℃ ^(注2)	最高温度	65℃	地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal ^(注3)	又は	速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s ^(注3)	津波荷重の算出条件	浸水深 10m ^(注3)	流速	20m/s ^(注3)	漂流物質量	100t	竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s ^(注3)	設計飛来物	第1表のとおり ^(注4)	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	コンテナ	トラック		寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×厚さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×厚さ 5×1.9×1.3		質量(kg)	8.4	135	540	2300	1750		最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	34		最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23		<p>2.4 設計条件</p> <p>(1) MSF-24P(S)型の設計条件</p> <p>MSF-24P(S)型の設計条件は以下のとおりである。</p> <p>a. 設計貯蔵期間は60年とする。</p> <p>b. 特定兼用キャスクの貯蔵場所は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合、貯蔵建屋内又は屋外とし、基礎等に固定する設置方法の場合、貯蔵建屋内とする。</p> <p>c. 特定兼用キャスクの貯蔵姿勢は蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合、横置きとし、基礎等に固定する設置方法の場合、たて置きとする。</p> <p>d. 特定兼用キャスクは、貯蔵架台上に設置する。また、特定兼用キャスクの固縛は、トラニオンによる固定方式とする。</p> <p>e. 特定兼用キャスクの全質量(使用済燃料集合体を含む)は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合、約120t、基礎等に固定する設置方法の場合、約117tとする。</p> <p>f. 特定兼用キャスクの主要寸法は、全長約5.2m及び外径約2.6mとする。</p> <p>g. 特定兼用キャスクの最大崩壊熱量は15.8kWh/基とする。</p> <p>h. 特定兼用キャスク表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下及び100μSv/h以下とする。</p> <p>i. 貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲の最低温度は、-20℃とし、最高温度は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合、45℃(貯蔵建屋内貯蔵の場合)及び38℃(屋外貯蔵の場合)、基礎等に固定する設置方法の場合、50℃とする。</p> <p>j. 貯蔵状態における貯蔵建屋壁面最高温度は65℃とする(貯蔵建屋内貯蔵の場合)。</p> <p>k. 貯蔵状態における水平方向及び鉛直方向の地震力(加速度)は、それぞれ2300Gal及び1600Galとする。また、貯蔵状態における水平方向及び鉛直方向の地震力(速度)は、それぞれ2m/s及び1.4m/sとする。</p> <p>1. 貯蔵状態における津波荷重の算出条件は、浸水深10m、流速20m/s及び漂流物質量100tとする。</p> <p>m. 貯蔵状態における竜巻荷重の算出条件となる風速は、100m/sとする。また、特定兼用キャスクに衝突し得る設計飛来物の条件は、第1-1表のとおりとする。</p>	<p>8 型式設計特定機器を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲又は条件</p> <p>8.1 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲</p> <p>以下に示す条件により設計された特定兼用キャスク(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)を使用することができる貯蔵施設であること。</p> <table border="1"> <tr><td>特定兼用キャスクの設計貯蔵期間</td><td>60年以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの貯蔵場所</td><td>貯蔵建屋内</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの貯蔵姿勢</td><td>横置き</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの設置方式</td><td>貯蔵架台上に設置</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの固定方式</td><td>トラニオン固定</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの全質量</td><td>120t以下</td></tr> <tr><td>(使用済燃料集合体を含む)</td><td></td></tr> <tr><td>特定兼用キャスクの主要寸法</td><td>全長 5.2m以下</td></tr> <tr><td>外径</td><td>2.6m以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスク表面における線量当量率</td><td>2mSv/h以下</td></tr> <tr><td>特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率</td><td>100μSv/h以下</td></tr> <tr><td>貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度</td><td>最低温度 -20℃</td></tr> <tr><td>最高温度</td><td>45℃</td></tr> <tr><td>貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度</td><td>最高温度 65℃</td></tr> <tr><td>地震力</td><td>加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal^(注1)</td></tr> <tr><td>又は</td><td>速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s^(注1)</td></tr> <tr><td>津波荷重の算出条件</td><td>浸水深 10m^(注1)</td></tr> <tr><td>流速</td><td>20m/s^(注1)</td></tr> <tr><td>漂流物質量</td><td>100t</td></tr> <tr><td>竜巻荷重の算出条件</td><td>風速 100m/s^(注1)</td></tr> <tr><td>設計飛来物</td><td>第8表のとおり^(注2)</td></tr> </table> <p>(注1) 兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示に規定される値</p> <p>(注2) 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻により、特定兼用キャスクに衝突し得る飛来物</p>	特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下	特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内	特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き	特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置	特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定	特定兼用キャスクの全質量	120t以下	(使用済燃料集合体を含む)		特定兼用キャスクの主要寸法	全長 5.2m以下	外径	2.6m以下	特定兼用キャスク表面における線量当量率	2mSv/h以下	特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/h以下	貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20℃	最高温度	45℃	貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃	地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal ^(注1)	又は	速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s ^(注1)	津波荷重の算出条件	浸水深 10m ^(注1)	流速	20m/s ^(注1)	漂流物質量	100t	竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s ^(注1)	設計飛来物	第8表のとおり ^(注2)	<p>型式証明申請書(本文)第五号において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p>
特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内又は屋外																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの全質量	120t以下																																																																																																																																	
(使用済燃料集合体を含む)																																																																																																																																		
特定兼用キャスクの主要寸法	全長 5.2m以下																																																																																																																																	
外径	2.6m以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスク表面における線量当量率	2mSv/h以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/h以下																																																																																																																																	
貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20℃																																																																																																																																	
最高温度	45℃ ^(注1)																																																																																																																																	
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度 ^(注1)	最高温度 38℃ ^(注2)																																																																																																																																	
最高温度	65℃																																																																																																																																	
地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal ^(注3)																																																																																																																																	
又は	速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s ^(注3)																																																																																																																																	
津波荷重の算出条件	浸水深 10m ^(注3)																																																																																																																																	
流速	20m/s ^(注3)																																																																																																																																	
漂流物質量	100t																																																																																																																																	
竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s ^(注3)																																																																																																																																	
設計飛来物	第1表のとおり ^(注4)																																																																																																																																	
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	コンテナ	トラック																																																																																																																													
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 1.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×厚さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×厚さ 5×1.9×1.3																																																																																																																													
質量(kg)	8.4	135	540	2300	1750																																																																																																																													
最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	34																																																																																																																													
最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23																																																																																																																													
特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	横置き																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定																																																																																																																																	
特定兼用キャスクの全質量	120t以下																																																																																																																																	
(使用済燃料集合体を含む)																																																																																																																																		
特定兼用キャスクの主要寸法	全長 5.2m以下																																																																																																																																	
外径	2.6m以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスク表面における線量当量率	2mSv/h以下																																																																																																																																	
特定兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/h以下																																																																																																																																	
貯蔵状態における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -20℃																																																																																																																																	
最高温度	45℃																																																																																																																																	
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃																																																																																																																																	
地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal ^(注1)																																																																																																																																	
又は	速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s ^(注1)																																																																																																																																	
津波荷重の算出条件	浸水深 10m ^(注1)																																																																																																																																	
流速	20m/s ^(注1)																																																																																																																																	
漂流物質量	100t																																																																																																																																	
竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s ^(注1)																																																																																																																																	
設計飛来物	第8表のとおり ^(注2)																																																																																																																																	

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (10/10)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>2. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件 発電用原子炉施設の設置(変更)許可時に別途確認を要する条件は以下のとおりである。</p> <p>2.1 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法</p> <p>イ. 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、(一社)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。</p> <p>ロ. MSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、特定兼用キャスクの遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。</p> <p>ハ. MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。</p> <p>ニ. MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。</p> <p>ホ. MSF-24P(S)型を貯蔵する場合において、特定兼用キャスク周囲温度が、1.1に示した最高温度以下であること。また、貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋壁面温度が、前項に示した最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。</p> <p>ヘ. MSF-24P(S)型の万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。</p> <p>ト. 地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響により、MSF-24P(S)型の安全機能が損なわれないこと。</p> <p>チ. 貯蔵施設における設計竜巻によりMSF-24P(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件が、1.1に示した設計飛来物の条件に包絡されていること。</p> <p>リ. 原子炉等規制法第四十三条の三の九第一項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則第二十一条第二項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。</p> <p>(後略)</p>		<p>8.2 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件 発電用原子炉施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認を要する条件は以下のとおりである。</p> <p>(1) 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。</p> <p>(2) MSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、特定兼用キャスクの遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。</p> <p>(3) MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。</p> <p>(4) MSF-24P(S)型を貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。</p> <p>(5) MSF-24P(S)型を貯蔵する場合において、特定兼用キャスク周囲温度が、8.1に示した最高温度以下であること。また、貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、貯蔵建屋壁面温度が、前項に示した最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。</p> <p>(6) MSF-24P(S)型の万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。</p> <p>(7) 地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響により、MSF-24P(S)型の安全機能が損なわれないこと。</p> <p>(8) 貯蔵施設における設計竜巻によりMSF-24P(S)型に衝突し得る設計飛来物の条件が、8.1に示した設計飛来物の条件に包絡されていること。</p> <p>(9) 原子炉等規制法第43条の3の9第1項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(昭和53年12月28日 総理府令第57号)第21条第2項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。</p>		

添付書類 3 自然現象による損傷の防止に関する説明書

目 次

- 添付書類 3-1 津波による損傷防止に関する説明書
 - 添付書類 3-1-1 津波に対する強度計算の基本方針
 - 添付書類 3-1-2 津波に対する強度計算書
- 添付書類 3-2 竜巻による損傷防止に関する説明書
 - 添付書類 3-2-1 竜巻に対する強度計算の基本方針
 - 添付書類 3-2-2 竜巻に対する強度計算書

- 別紙 1 計算機プログラム（解析コード）の概要

添付書類 3 - 1 津波による損傷防止に関する説明書

添付書類 3 - 1 - 1 津波に対する強度計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 津波による損傷を防止する設計の基本方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 荷重の組合せ及び許容限界	2
2.3 適用規格	3
3. 機能維持の基本方針	4
3.1 構造強度	4
3.2 機能維持	4

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 6 号）第 6 条第 2 項及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則解釈」という。）第 6 条第 2 項に基づき、MSF-24P(S)型が津波に対してその安全性が損なわれるおそれがない設計の強度計算の基本方針を説明するものである。

2. 津波による損傷を防止する設計の基本方針

2.1 基本方針

MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重が同時に作用する荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

2.2 荷重の組合せ及び許容限界

MSF-24P(S)型の津波による損傷を防止する設計は、「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」（平成31年3月13日 原規技発第1903131号）に基づき、以下に示す津波荷重とそれ以外の荷重の組合せを適切に考慮して、MSF-24P(S)型の構造強度評価及び機能維持評価を実施し、それらの結果がそれぞれ定める許容限界を満足することを確認する。

2.2.1 荷重の種類

(1) 津波荷重(P)

津波荷重としては、浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく漂流物衝突荷重を考慮する。浸水深は10m、流速は20m/s、漂流物質量は100tとする。

a. 津波波力(P_t)

津波波力は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」（国土交通省住宅局（平成23年11月））に基づき、次式により算定する。

海水の密度(ρ_w)は、「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン」（国土交通省港湾局（平成25年10月）より1030kg/m³とする。また、水深係数(a)は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」より3とする。

$$P_t = \rho_w g B \left(ahz - \frac{1}{2} z^2 \right)$$

ここで、

ρ_w : 海水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

B : 受圧面の幅 (m)

a : 水深係数 (-)

- h : 浸水深 (m)
z : 受圧面の最高高さ (m)

b. 漂流物衝突荷重(P_c)

漂流物衝突荷重は、「道路橋示方書・同解説 (I 共通編)」((公社)日本道路協会、平成29年11月)に基づき、次式により算定する。

$$P_c = 0.1Wv$$

ここで、

- W : 漂流物の重量 (N)
v : 表面流速 (m/s)

(2) その他の荷重

常時作用する荷重(F_d)として自重を考慮するとともに、運転時の状態で作用する荷重(F_p)として供用中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を考慮する。

2.2.2 荷重の組合せ

津波波力と漂流物衝突荷重が同時に作用することに加え、その他の荷重として、常時作用する荷重及び運転時の状態で作用する荷重を適切に考慮する。

2.2.3 許容限界

許容限界は津波荷重として衝突荷重が特定兼用キャスクに作用すること、及び「2.1 基本方針」に示した特定兼用キャスクの安全機能を維持するための設計方針を踏まえ、(一社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(以下「JSME S FA1-2007」という。)に準じた供用状態Dの許容応力等を許容限界として設定する。

2.3 適用規格

津波による損傷を防止する設計に適用する規格等を以下に示す。

- ・「発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012」(一社)日本機械学会(以下「JSME S NJ1-2012」という。)
- ・「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(一社)日本機械学会

3. 機能維持の基本方針

津波による損傷を防止する設計におけるMSF-24P(S)型の安全機能の維持は、津波荷重及びその他考慮すべき荷重に対して、特定兼用キャスクの構造強度の確保を基本とする。機能維持の方針を以下に示す。

3.1 構造強度

MSF-24P(S)型は、津波荷重及びその他考慮すべき荷重の組合せを適切に考慮した上で、特定兼用キャスクに生じる応力を許容限界以下とすることで構造強度を確保する設計とする。具体的な荷重の組合せ及び許容限界を第3-1表に示す。

3.2 機能維持

MSF-24P(S)型は、「3.1 構造強度」による構造強度を確保し、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性範囲に留まること、閉じ込め機能を担保する部位及び臨界防止機能を担保するバスケットプレート以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。さらに、バスケットプレートについては、弾性状態に留まること、及び除熱機能を担保する伝熱フィンについては、破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。以上をもって、安全機能を維持する設計とする。

第3-1表 荷重の組合せ及び許容限界

(1)記号の説明

- P_t : 津波波力
 P_e : 漂流物衝突荷重
 F_d : 常時作用する荷重
 F_p : 運転時の状態で作用する荷重
 S_y : 設計降伏点 JSME S NJ1-2012 Part3第1章表6に規定される値
 S_u : 設計引張強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表7 (ただし、技術基準規則解釈「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って(別記-2)」の要件を付したものに)に規定される値
 S_m : 設計応力強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表1に規定される値。
 F : JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(1)に規定される値
 F^* : F 値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3721.3(1)の規定により読み替えた値
 f_c^* : 許容圧縮応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(3)に規定される f_c の値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3721.3(1)b.により規定される読み替えにより算出した値。
 B : JSME S FA1-2007の別図7-1及び別図7-2から求めた値

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

a. 特定兼用キヤスク本体 (注1)

荷重の組合せ	許容応力 区分	許 容 限 界 (密封シール部及びボルト以外)			純せん断応力	圧縮応力 (一次)
		一次一般 膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部 膜応力		
$P_t + P_c + F_d + F_p$	(注2) 供用状態 D	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	左欄の (注3) α 倍の値	S_u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については S_u と $3.6S_m$ の小さい方。	$0.4S_u$	$1.5S_m$ と $1.5B$ の小さい方

6

荷重の組合せ	許容応力 区分	許 容 限 界 (密封シール部)			許 容 限 界 (ボルト)		
		一次一般 膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	一次 + 二次応力	平均引張 応力	平均引張応力 + 曲げ応力
$P_t + P_c + F_d + F_p$	(注2) 供用状態 D	S_y	S_y	S_y	S_y	S_y	S_y

(注1) JSME S FA1-2007の「密封容器」に準じて設計する。

(注2) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

(注3) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。

b. 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 (注1)

許容応力		許 容 限 界			
		一 次 応 力 (注2)			
荷重の組合せ	許容応力 区分	引張	せん断	圧縮	曲げ
		$P_t + P_c + F_d + F_p$	(注3) 供用状態 D	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_u$ の小さい方。	$2/3S_u/\sqrt{3}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_u$ の小さい方を $\sqrt{3}$ で除した値。

(注1) JSME S FA1-2007の「中間胴」に準じて設計する。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

添付書類 3-1-2 津波に対する強度計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	3
3. 応力評価箇所	5
4. 応力評価	8
4.1 基本方針	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 応力評価方法	13
4.4 応力評価条件	21
5. 機能維持評価	23
5.1 機能維持評価方針	23
5.2 機能維持評価方法	26
5.3 機能維持評価条件	33
6. 評価結果	34

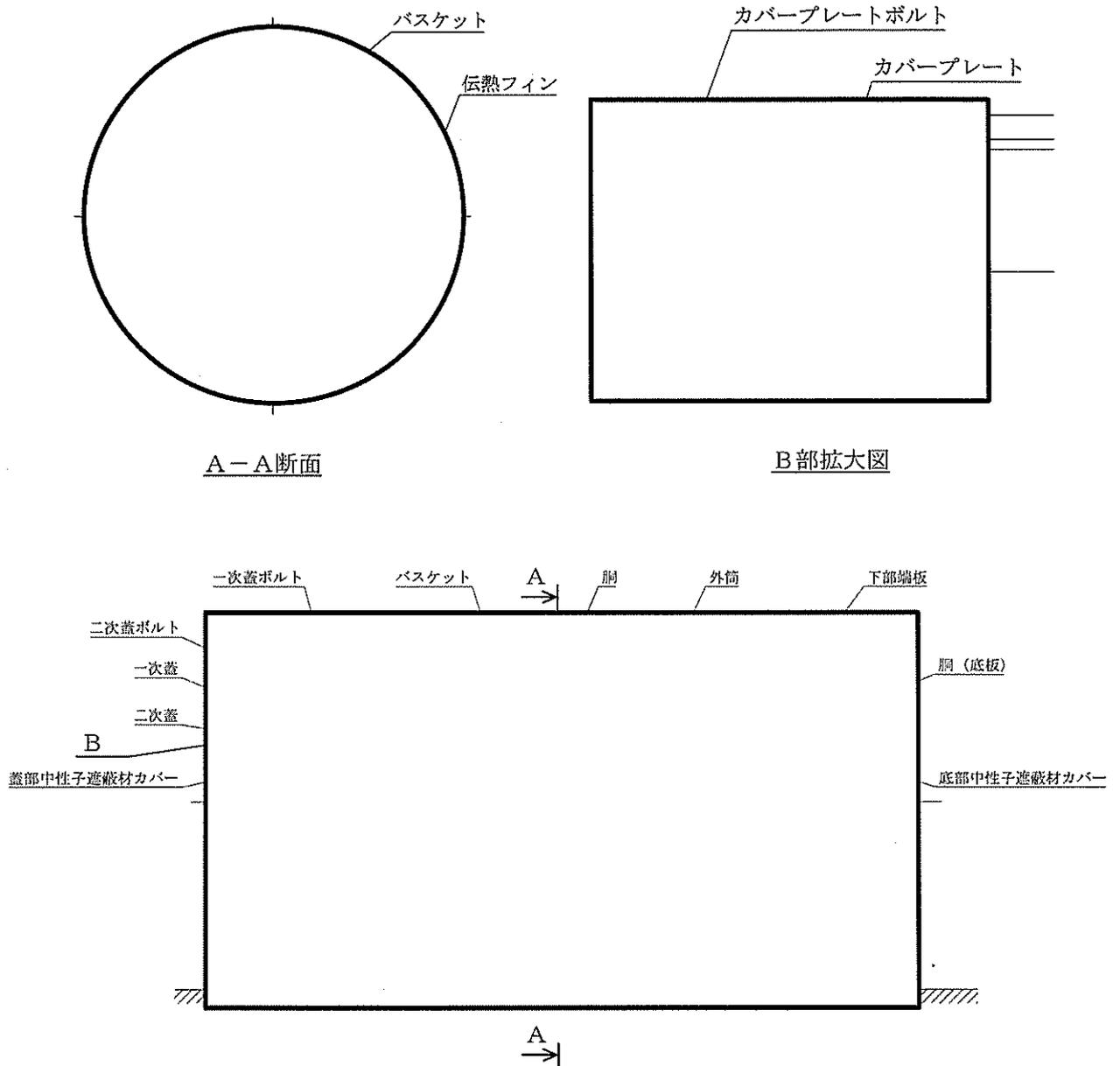
1. 概要

本資料は、添付書類 3-1-1 「津波に対する強度計算の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の基本方針に基づき、MSF-24P(S)型が津波荷重及びその他考慮すべき荷重に対して十分な構造強度及び安全機能を有していることを説明するものである。津波に対する評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

MSF-24P(S)型の構造図を第2-1図に示す。

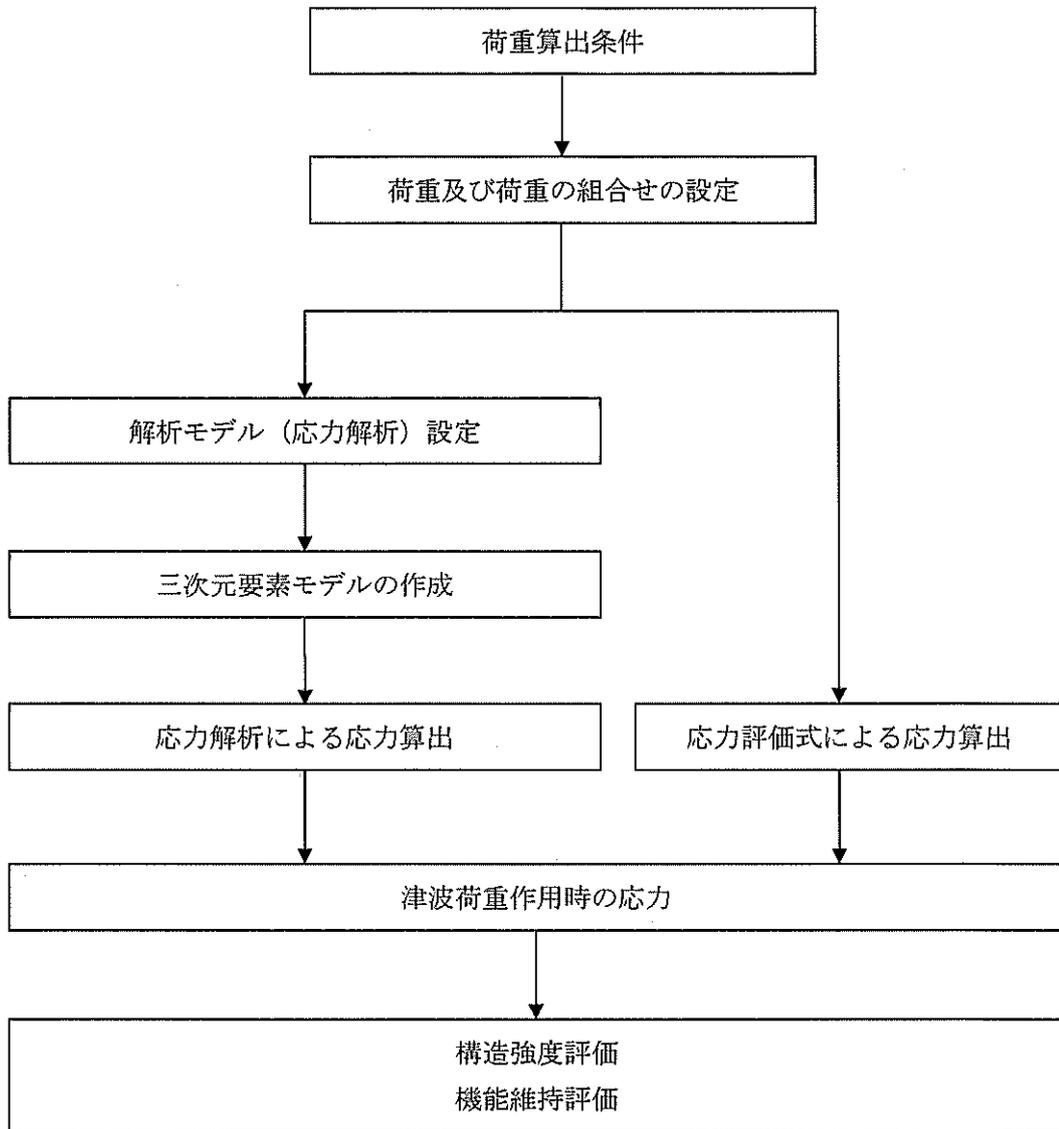


第2-1図 MSF-24P(S)型の構造図

2.2 評価方針

MSF-24P(S)型の津波荷重作用時の評価フローを第2-2図に示す。

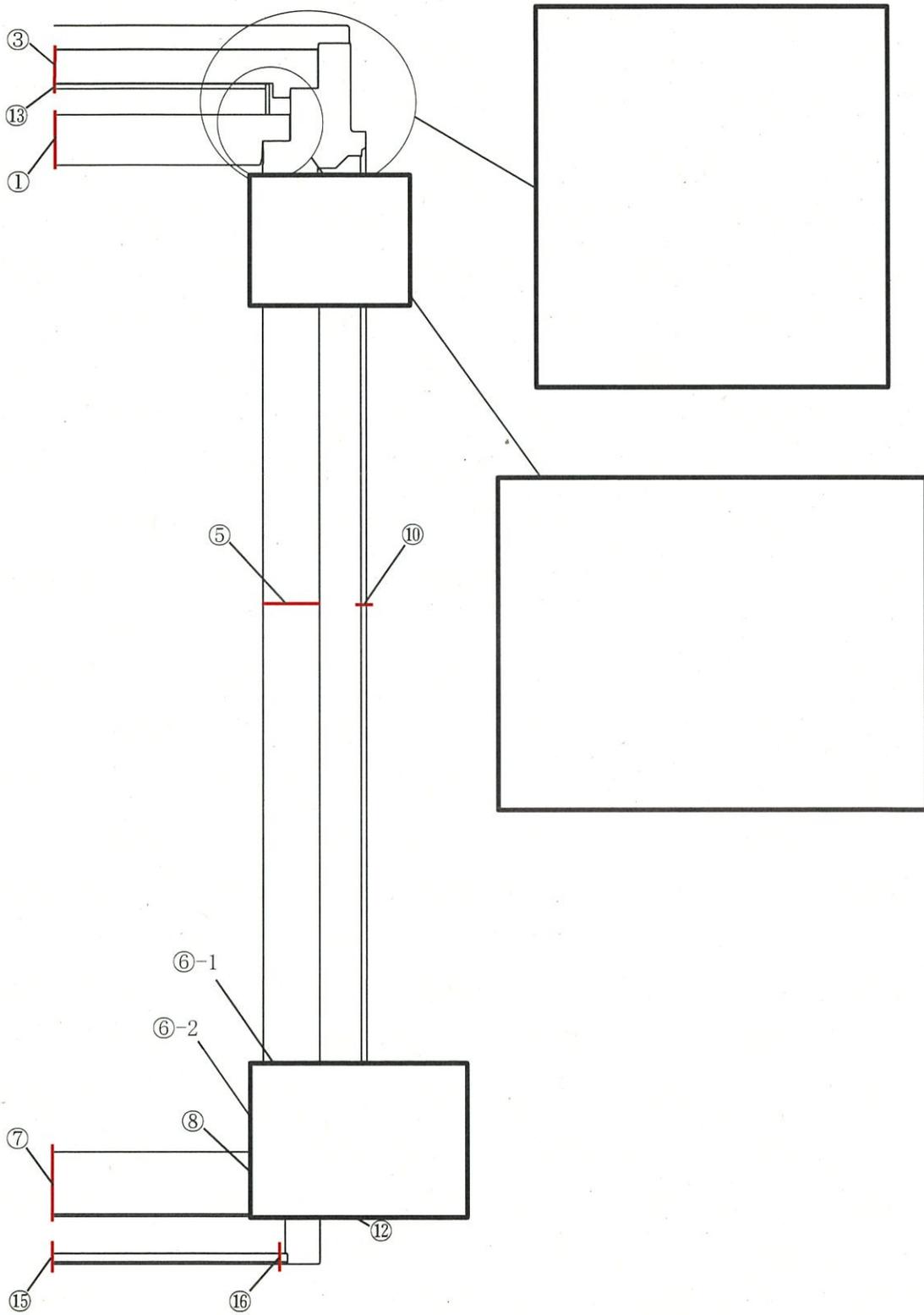
MSF-24P(S)型の津波荷重作用時の評価は、添付書類 3-1-1 「津波に対する強度計算の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示すMSF-24P(S)型の部位を踏まえ「3. 応力評価箇所」にて設定する箇所において、荷重による応力が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、MSF-24P(S)型の機能維持評価は、添付書類 3-1-1 「津波に対する強度計算の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき、津波荷重作用時に発生する応力が機能維持できる応力以下であることを「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。



第2-2図 MSF-24P(S)型の津波荷重作用時の評価フロー

3. 応力評価箇所

MSF-24P(S)型の応力評価箇所の説明図を第3-1図に示す。応力評価は、応力評価上厳しくなる構造上の不連続部等を選定して行う。



第3-1図 MSF-24P(S)型の応力評価箇所 (1/2)

No.	評価部位
①	一次蓋中央部
②	一次蓋端部
③	二次蓋中央部
④	二次蓋端部
⑤	胴中央部
⑥	胴下部
⑦	胴（底板）中央部
⑧	胴（底板）端部
⑨	外筒上部
⑩	外筒中央部
⑪	外筒下部
⑫	下部端板
⑬	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部
⑭	蓋部中性子遮蔽材カバー端部
⑮	底部中性子遮蔽材カバー中央部
⑯	底部中性子遮蔽材カバー端部
⑰	一次蓋シール部（蓋側）
⑱	一次蓋シール部（胴側）
⑲	一次蓋ボルト
⑳	二次蓋ボルト
㉑	カバープレート
㉒	カバープレートボルト

第3-1図 MSF-24P(S)型の応力評価箇所 (2/2)

4. 応力評価

4.1 基本方針

(1) MSF-24P(S)型の応力計算モデルは、有限要素モデルを基本とし、モデルに津波荷重が作用するものとする。また、一部評価部位については、応力評価式により応力を算出する。

(2) 許容応力について、JSME S NJ1-2012を用いて計算する際に、温度が中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(3) 応力計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の設定

MSF-24P(S)型に作用する津波荷重は、添付書類3-1-1「津波に対する強度計算の基本方針」の「2.2.1 荷重の種類」で設定した荷重とする。

4.2.2 荷重の組合せ及び許容応力区分

荷重の組合せ及び許容応力区分を第4-1表に示す。

4.2.3 許容限界

許容限界を第4-2表から第4-4表に示す。

4.2.4 使用材料の許容応力

応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第4-5表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

部位	機器等の区分 ^(注1)	荷重の組合せ ^(注2)	許容応力区分 ^(注3)
胴 一次蓋 二次蓋 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバープレート カバープレートボルト	密封容器	$P_t + P_c + F_d + F_p$	供用状態D
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	$P_t + P_c + F_d + F_p$	供用状態D

(注1) JSME S FA1-2007に準じた機器等の区分

(注2) P_t : 津波波力 P_c : 漂流物衝突荷重 F_d : 常時作用する荷重 F_p : 運転時の状態で作用する荷重

(注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

第4-2表 許容限界 (密封容器)

許容応力 区分	評価部位	許容限界				
		一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	一次+ 二次応力	圧縮応力 (一次)
供用状態D	一次蓋中央部 一次蓋端部 二次蓋中央部 二次蓋端部 胴中央部 胴下部 胴 (底板) 中央部 胴 (底板) 端部 カバープレート	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_u$ の 小さい方。	左欄の (注1) α 倍の値	S_u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については S_u と $3.6S_u$ の小さい方。	—	$1.5S_m$ と $1.5B$ の 小さい方
供用状態D	一次蓋シール部 (蓋側) 一次蓋シール部 (胴側)	S_y	S_y	S_y	S_y	—

(注1) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さいほうの値とする。

第4-3表 許容限界 (密封容器)

許容応力 区分	評価部位	許容限界	
		平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
供用状態D	一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバークラケットボルト	S_y	S_y

第4-4表 許容限界 (中間胴)

許容応力 区分	評価部位	許容限界		
		引張	せん断	圧縮
供用状態D	外筒上部 外筒中央部 外筒下部 下部端板 蓋部中性子遮蔽材カバークラケット中央部 蓋部中性子遮蔽材カバークラケット端部 底部中性子遮蔽材カバークラケット中央部 底部中性子遮蔽材カバークラケット端部	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $4S_u$ の小さい方。	$2/3S_u/\sqrt{3}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $4S_u$ の小さい方を $\sqrt{3}$ で除した値。	$1.5f_c$ * ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $4S_u$ の小さい方。
		一次応力 (註1)		

(注1) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第4-5表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _n (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	B (MPa)	評価部位
		—	124	185	377	—	—	—	一次蓋中央部、一次蓋端部 一次蓋シール部 (蓋側)
		—	124	185	377	—	—	—	二次蓋中央部、二次蓋端部
		—	122	183	377	—	—	90	胴中央部、胴下部
		—	—	185	—	—	—	—	一次蓋シール部 (胴側)
		—	122	183	377	—	—	—	胴 (底板) 中央部、胴 (底板) 端部
		—	—	842	—	—	—	—	一次蓋ボルト
		—	—	844	—	—	—	—	カバープレートボルト
		—	137	—	431	—	—	—	二次蓋ボルト
		—	—	—	—	—	—	—	カバープレート
		—	—	234	426	234	280	—	外筒上部、外筒中央部、外筒下部
		—	—	159	429	205	214	—	下部端板
		—	—	235	427	235	282	—	蓋部中性子遮蔽材カバ-中央部 蓋部中性子遮蔽材カバ-端部
		—	—	159	429	205	214	—	底部中性子遮蔽材カバ-中央部 底部中性子遮蔽材カバ-端部

4.3 応力評価方法

4.3.1 胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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

(1) 荷重条件

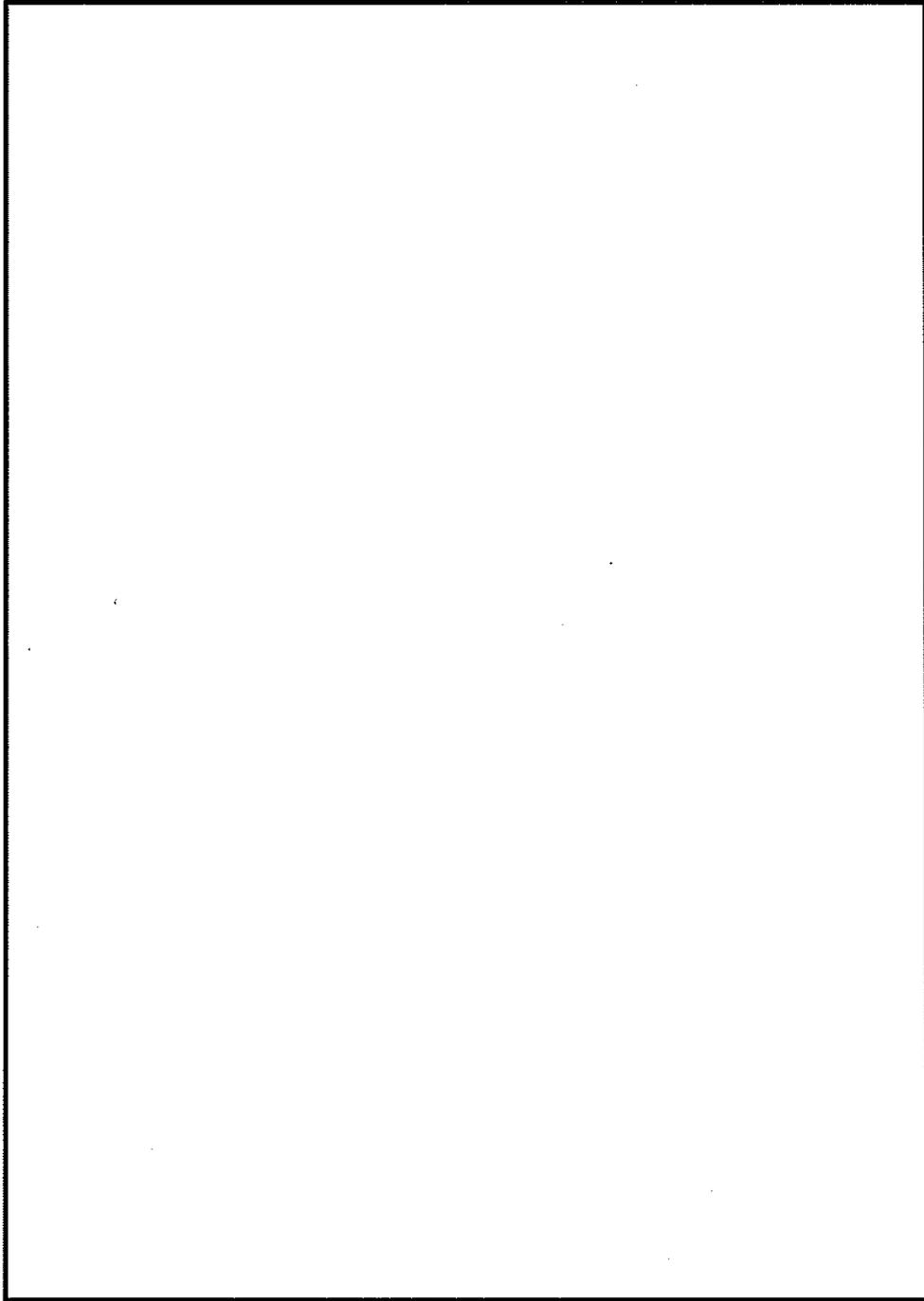
津波時における荷重は次に示す組合せとする。津波荷重（津波波力及び漂流物衝突荷重）がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。いずれの場合においても、漂流物衝突荷重の作用位置は、評価部位のうち許容応力に対して余裕が小さく、最も厳しくなる蓋部とする。

- ・ 密封容器内圧力 (MPa G)
- ・ 蓋間圧力 (MPa G)
- ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 自重 (－)
- ・ 津波波力 (N)
- ・ 漂流物衝突荷重 (N)
- ・ 熱荷重 (－)

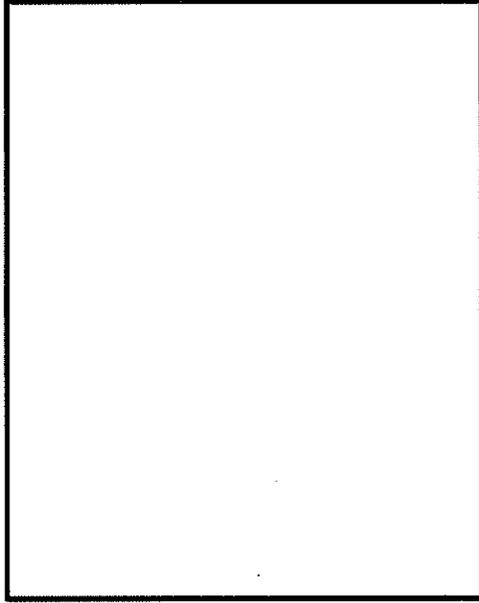
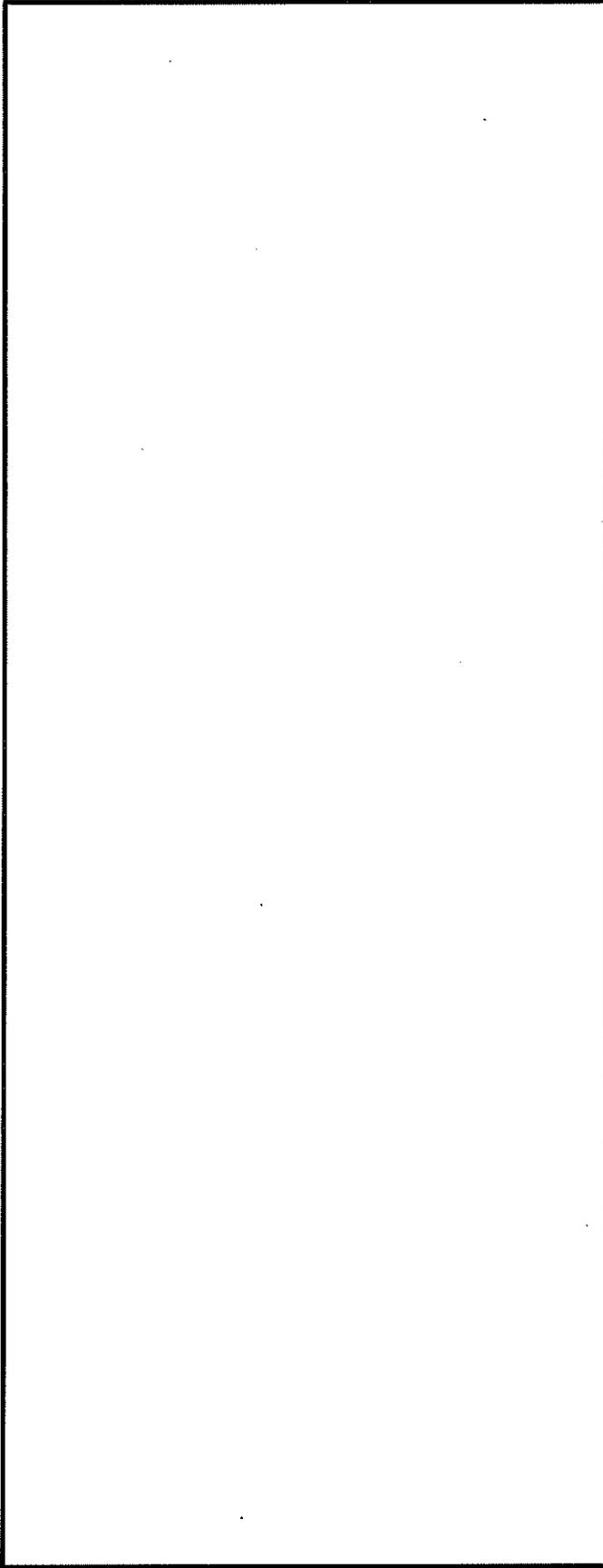
(2) 応力計算

胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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計算は、解析コードABAQUSにより行う。また、評価に用いる汎用解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙1「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデルを第4-1図に、荷重及び境界条件を第4-2図及び第4-3図に示す。

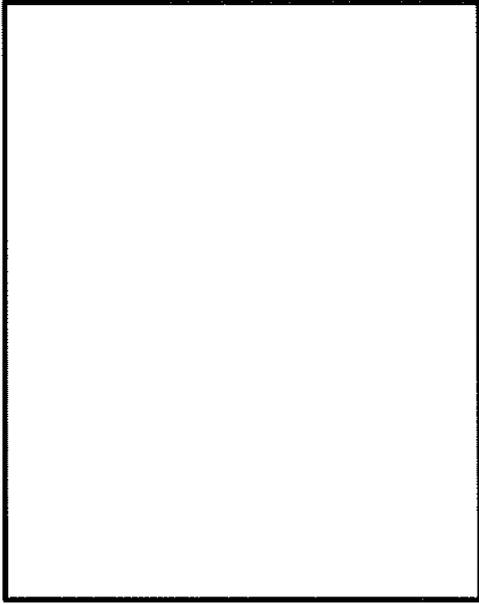
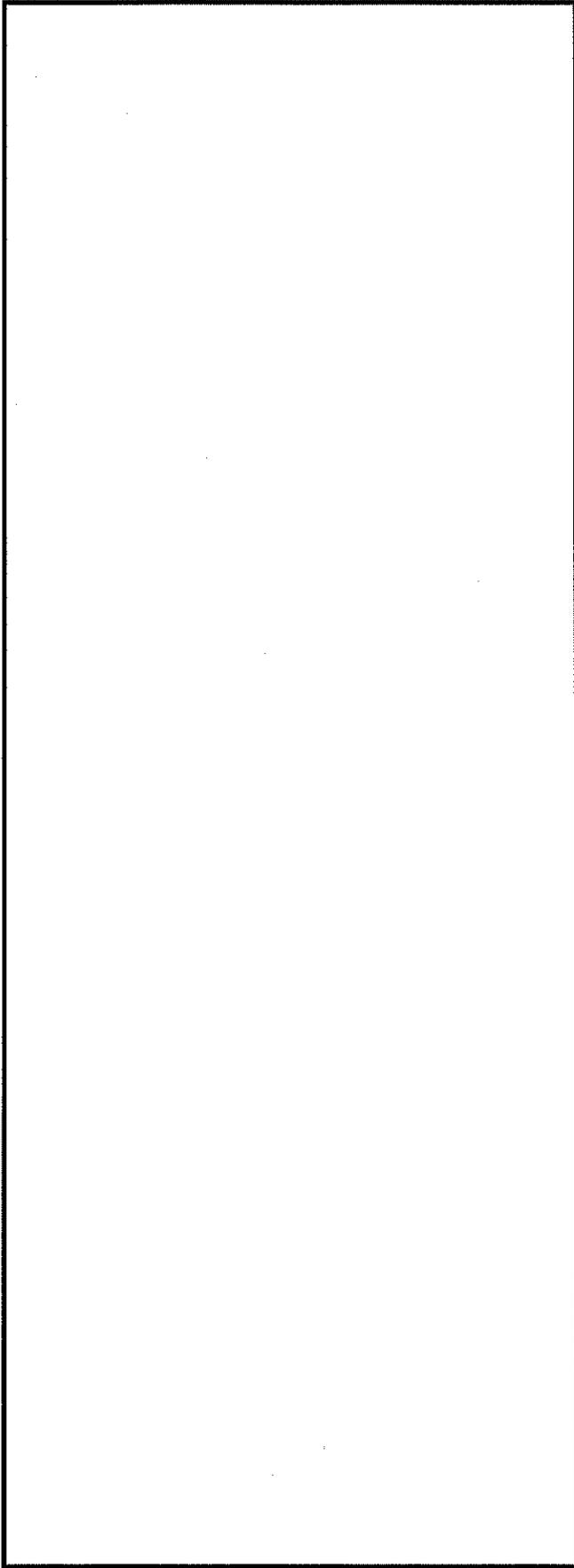


第4-1図 解析モデル



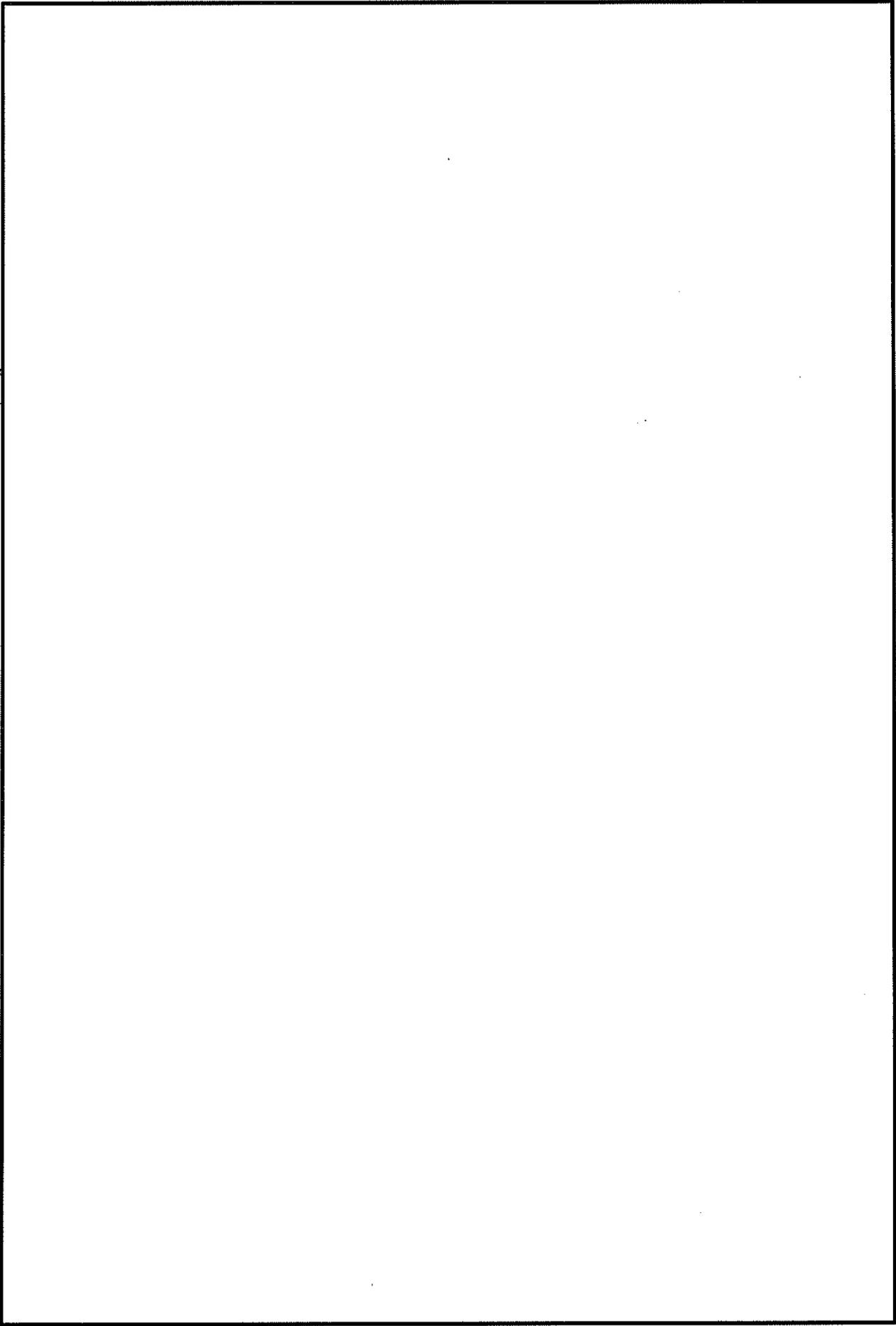
- F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (2.187×10^5 N)
- P_{en} : 津波波力による荷重 (3.60×10^6 N)
- P_e : 漂流物による衝撃荷重 (1.97×10^6 N)
- P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
- P_{hi} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
- P_{sr} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) (MPa G)
- P_{er} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (端板面) (MPa G)
- P_{tr} : 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

第4-2図 荷重及び境界条件 (MSF-24P (S)型の軸方向に津波荷重が作用する場合)



- F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (2.187×10^5 N)
- P_{tr} : 津波波力による荷重 (6.31×10^6 N)
- P_c : 漂流物による衝撃荷重 (1.97×10^6 N)
- P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
- P_{ii} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
- P_{sr} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) (MPa G)
- P_{er} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (端面) (MPa G)
- P_{tr} : 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

第4-3図 荷重及び境界条件 (MSF-24P (S) 型の径方向に津波荷重荷重が作用する場合) (1/2)



第4-3図 荷重及び境界条件 (MSF-24P (S) 型の径方向に津波荷重荷重が作用する場合) (2/2)

4.3.2 カバープレート及びカバープレートボルト

(1) 荷重条件

津波時における荷重は次に示す組合せとする。津波荷重がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。

- ・密封容器内圧力 (MPa G)
- ・蓋間圧力 (MPa G)
- ・カバープレートボルト初期締付力 (MPa)
- ・自重 (-)
- ・津波波力 (N)
- ・漂流物衝突荷重 (N)

(2) 応力計算

カバープレート及びカバープレートボルトの応力計算は、応力評価式により行う。

(a) カバープレート

密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧及び軸方向に津波荷重が作用する場合の慣性力により発生する一次膜＋一次曲げ応力(σ_{r3} 、 $\sigma_{\theta3}$ 、 σ_{z3})は、カバープレートを周辺支持の円板としてモデル化し、密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力(σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 σ_{z1})と慣性力により発生する応力(σ_{r2} 、 $\sigma_{\theta2}$ 、 σ_{z2})より次式で計算される。なお、径方向に津波荷重が作用する場合には慣性力により応力は発生しないため、一次膜＋一次曲げ応力は密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力(σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 σ_{z1})となる。

$$\sigma_{r3} = \sigma_{r1} + \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{\theta3} = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2}$$

$$\sigma_{z3} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$$

$$\sigma_{r1} = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta1} = \sigma_{r1}$$

$$\sigma_{z1} = 0$$

$$\sigma_{r2} = \frac{1.24 \cdot w \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta2} = \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{z2} = 0$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa G)

$$P = P_2 - P_1$$

P_1 : 密封容器内圧力 (MPa G)

P_2 : 蓋間圧力 (MPa G)

r : ボルトピッチ半径 (mm)

t : 板厚 (mm)

w : 慣性力による分布荷重 (MPa)

$$w = t \cdot \rho \cdot G_a$$

ρ : カバープレート材料 (SUS304) の密度 (kg/mm^3)

G_a : 津波荷重により生じる軸方向加速度 (m/s^2)

$$G_a = \frac{P_{ta} + P_c}{m}$$

P_{ta} : 津波波力による荷重 (軸方向衝突時) (N)

$$P_{ta} = \rho_w g B_a \left(ahz_a - \frac{1}{2} z_a^2 \right)$$

P_c : 漂流物衝突荷重 (N)

$$P_c = 0.1Wv$$

m : 貯蔵時におけるMSF-24P(S)型の質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

ρ_w : 海水の密度 (kg/m^3)

B_a : 受圧面の幅 (軸方向衝突時) (m)

a : 水深係数 (—)

h : 浸水深 (m)

z_a : 受圧面の最高高さ (軸方向衝突時) (m)

W : 漂流物の重量 (N)

v : 表面流速 (m/s)

(b) カバープレートボルト

径方向又は軸方向に津波荷重が作用する場合においてカバープレートボルトに発生する平均引張応力 (σ_{n1} 又は σ_{n1}') 及び平均引張応力+曲げ応力 (σ_{n+tb} 又は σ_{n+tb}') は、次式で計算される。なお、軸方向に津波荷重が作用する場合には、曲げ応力は発生しないため、平均引張応力+曲げ応力は平均引張応力と同じである。

(径方向に津波荷重が作用する場合)

$$\sigma_{n+tb} = \sigma_{n1} + \sigma_{b1}$$

$$\sigma_{n1} = \sigma_{n2} + \sigma_{n3}$$

(軸方向に津波荷重が作用する場合)

$$\sigma_{n+tb}' = \sigma_{n1}'$$

$$\sigma_{n1}' = \sigma_{n2} + \sigma_{n3} + \sigma_{n4}$$

$$\sigma_{n2} = \frac{H}{A}$$

$$\sigma_{n3} = \frac{H_p}{A}$$

$$\sigma_{n4} = \frac{m_r \cdot G_a}{A}$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot D_G^2 \cdot P$$

$$H_p = W_m$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z}$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

σ_{n2} : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧による平均引張応力 (MPa)

σ_{n3} : ガasket縮付時の平均引張応力 (MPa)

σ_{n4} : 慣性力による平均引張応力 (MPa)

A : カバープレートボルト最小断面積の合計値 (mm²)

H : カバープレートに加わる内圧による全荷重 (N)

H_p : ガasketに加わる圧縮力 (N)

D_G : ガasket反力の作用する位置 (直径) (mm)

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa)

W_m : ガasket縮付け時に必要な最小ボルト荷重 (N)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = m_r \cdot G_r \cdot L$$

m_r : カバープレートの質量 (kg)

G_r : 津波荷重により生じる径方向加速度 (m/s²)

$$G_r = \frac{P_{tr} + P_c}{m}$$

L : カバープレートボルト軸部の長さ (mm)

Z : カバープレートボルト断面係数の合計値 (mm³)

P_{tr} : 津波波力による荷重 (径方向衝突時) (N)

$$P_{tr} = \rho_w g \left\{ B_{r1} \left(ahz_{r1} - \frac{1}{2} z_{r1}^2 \right) + B_{r2} \left(ahz_{r2} - \frac{1}{2} z_{r2}^2 \right) + B_{r3} \left(ahz_{r3} - \frac{1}{2} z_{r3}^2 \right) \right\}$$

B_{r1} : 受圧面の幅 (径方向衝突時 貯蔵用上部緩衝体領域) (m)

B_{r2} : 受圧面の幅 (径方向衝突時 胴部領域) (m)

- B_{r3} : 受圧面の幅 (径方向衝突時 貯蔵用下部緩衝体領域) (m)
 z_{r1} : 受圧面の最高高さ (径方向衝突時 貯蔵用上部緩衝体領域) (m)
 z_{r2} : 受圧面の最高高さ (径方向衝突時 胴部領域) (m)
 z_{r3} : 受圧面の最高高さ (径方向衝突時 貯蔵用下部緩衝体領域) (m)
 $G_a, P_c, m, g, \rho_w, a, h$: 4.3.2(2)(a)と同じ

4.4 応力評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第4-6表及び第4-7表に示す。

第4-6表 胴、胴 (底板)、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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評価条件

項目	単位	数値
密封容器内圧力	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	MPa G	0.36
蓋部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
底部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
側部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
一次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
二次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
貯蔵用三次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
自重	m/s ²	9.80665
津波波力 (軸方向に津波波力が作用する場合)	N	3.60×10^6
津波波力 (径方向に津波波力が作用する場合)	N	6.31×10^6
漂流物衝突荷重	N	1.97×10^6

第4-7表 カバープレート及びカバープレートボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
密封容器内圧力	P_1	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	P_2	MPa G	0.36
ボルトピッチ半径	r	mm	
板厚	t	mm	
カバープレート材料の密度	ρ	kg/mm ³	7.93×10^{-6}
貯蔵時におけるMSF-24P(S)型の質量	m	kg	134600
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
海水の密度	ρ_w	kg/m ³	1030
受圧面の幅 (軸方向衝突時)	B_a	m	3.55
水深係数	a	-	3
浸水深	h	m	10
受圧面の最高高さ (軸方向衝突時)	z_a	m	3.55
漂流物の重量	W	N	9.807×10^5
表面流速	v	m/s	20
カバープレートボルト最小断面積の合計値	A	mm ²	
ガスケット反力の作用する位置 (直径)	D_G	mm	
ガスケット締付け時に必要な最小ボルト荷重	W_m	N	1.851×10^5
カバープレートの質量	m_r	kg	10
カバープレートボルト軸部の長さ	L	mm	
カバープレートボルト断面係数の合計値	Z	mm ³	
受圧面の幅 (径方向衝突時 貯蔵用上部緩衝体領域)	B_{r1}	m	1.245
受圧面の幅 (径方向衝突時 胴部領域)	B_{r2}	m	4.519
受圧面の幅 (径方向衝突時 貯蔵用下部緩衝体領域)	B_{r3}	m	1.019
受圧面の最高高さ (軸方向衝突時 貯蔵用上部緩衝体領域)	z_{r1}	m	3.55
受圧面の最高高さ (軸方向衝突時 胴部領域)	z_{r2}	m	3.073
受圧面の最高高さ (軸方向衝突時 貯蔵用下部緩衝体領域)	z_{r3}	m	3.55

5. 機能維持評価

MSF-24P(S)型のバスケット及び伝熱フィンの機能維持評価について以下に示す。

5.1 機能維持評価方針

津波荷重が作用した場合にバスケット及び伝熱フィンに発生する応力が、機能が維持される許容応力以下であることを確認する。なお、機能維持評価に用いる寸法は公称値を使用する。

5.1.1 荷重の組合せ及び許容応力区分

バスケット及び伝熱フィンの荷重の組合せ及び許容応力区分を第5-1表に示す。

5.1.2 許容限界

バスケットの機能が維持される許容限界を第5-2表に、伝熱フィンの機能が維持される許容限界を第5-3表に示す。

5.1.3 使用材料の許容応力

バスケット及び伝熱フィンの応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第5-4表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

部位	機器等の区分	荷重の組合せ ^(注3)	許容応力区分 ^(注4)
バスケット	バスケット ^(注1)	$P_t + P_c + F_d + F_p$	供用状態D
伝熱フィン	— ^(注2)	$P_t + P_c + F_d + F_p$	供用状態D

(注1) JSME S FA1-2007 に準じた機器等の区分

(注2) 除熱機能を維持できる破断点を許容限界として設定する。

(注3) P_t : 津波波力 P_c : 漂流物衝突荷重 F_d : 常時作用する荷重 F_p : 運転時の状態で作用する荷重

(注4) JSME S FA1-2007 に準じた評価事象

第5-2表 許容限界 (バスケット)

許容応力区分	評価部位	許容限界		
		一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	せん断応力
供用状態 ^(注1) D	バスケットプレート	2/3S _u	左欄のα倍 ^(注2)	1.2S _m
				圧縮応力 1.5f _c *

(注1) JSME S FAI-2007に規定されている材料を用いていないため、同規定は使用できない。このことから、核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第四十三条の二十六の三第一項の規定により、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-D P C17001) を受けた金属製の乾式キャスク (MSF-21P型) のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金 (MB-A3004-HI12) における供用状態Dの設計基準を許容限界として設定する。

(注2) αは純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

第5-3表 許容限界 (伝熱フィン)

許容応力区分	評価部位	許容限界
		せん断応力
供用状態 ^(注1) D	伝熱フィン	2/3S _u

(注) JSME S FAI-2007に規定がないため、除熱機能を維持できる破断点を許容限界とする。

第5-4表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	評価部位
アルミニウム合金 (MB-A3004-HI12)	195	—	36	56	113	バスケットプレート
銅	140	—	—	—	175	伝熱フィン

5.2 機能維持評価方法

5.2.1 バスケット

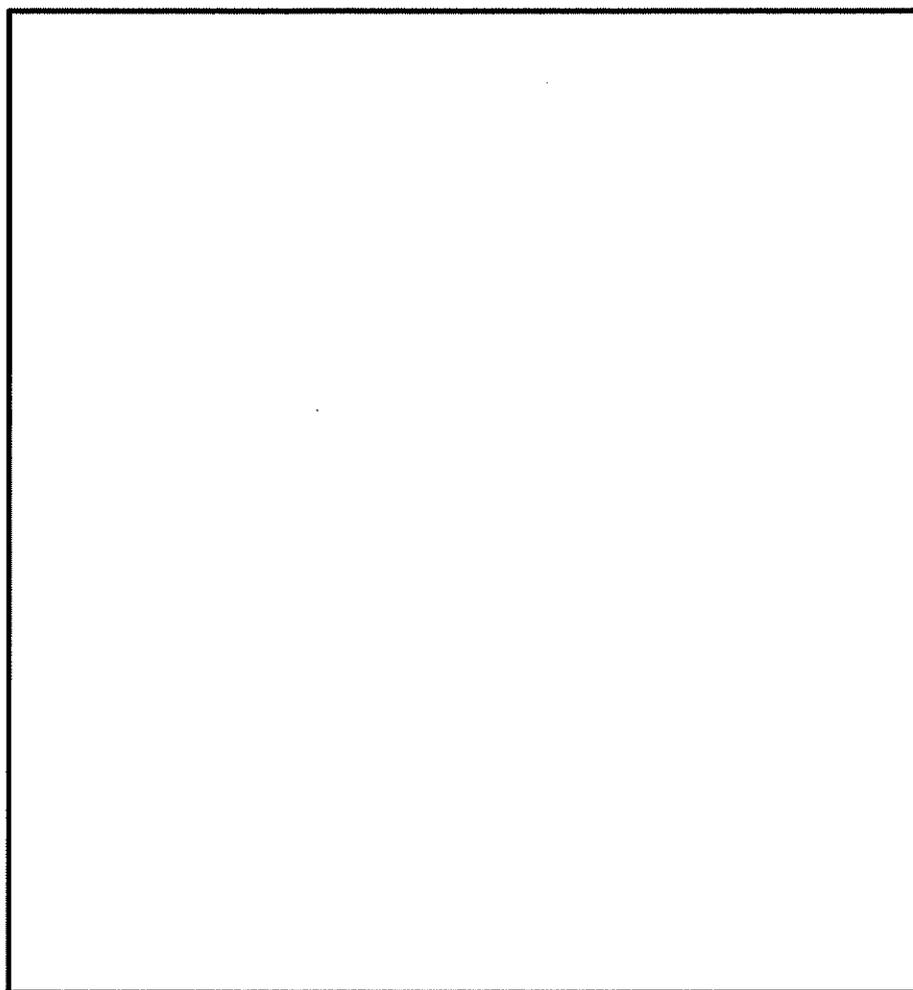
(1) 荷重条件

津波時における荷重は次に示す組合せとする。津波荷重がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。

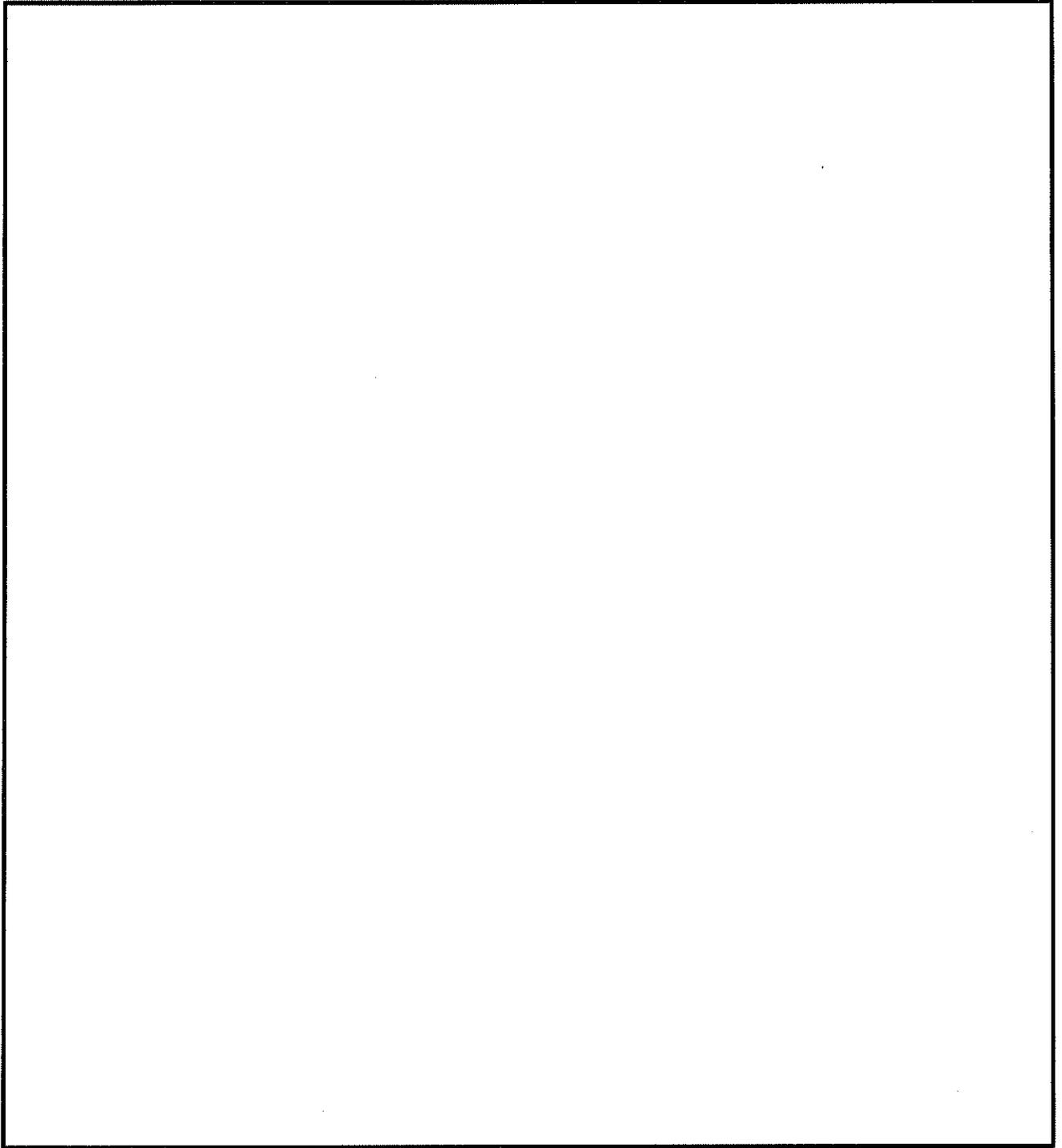
- ・津波波力 (N)
- ・漂流物衝突荷重 (N)

(2) 応力計算

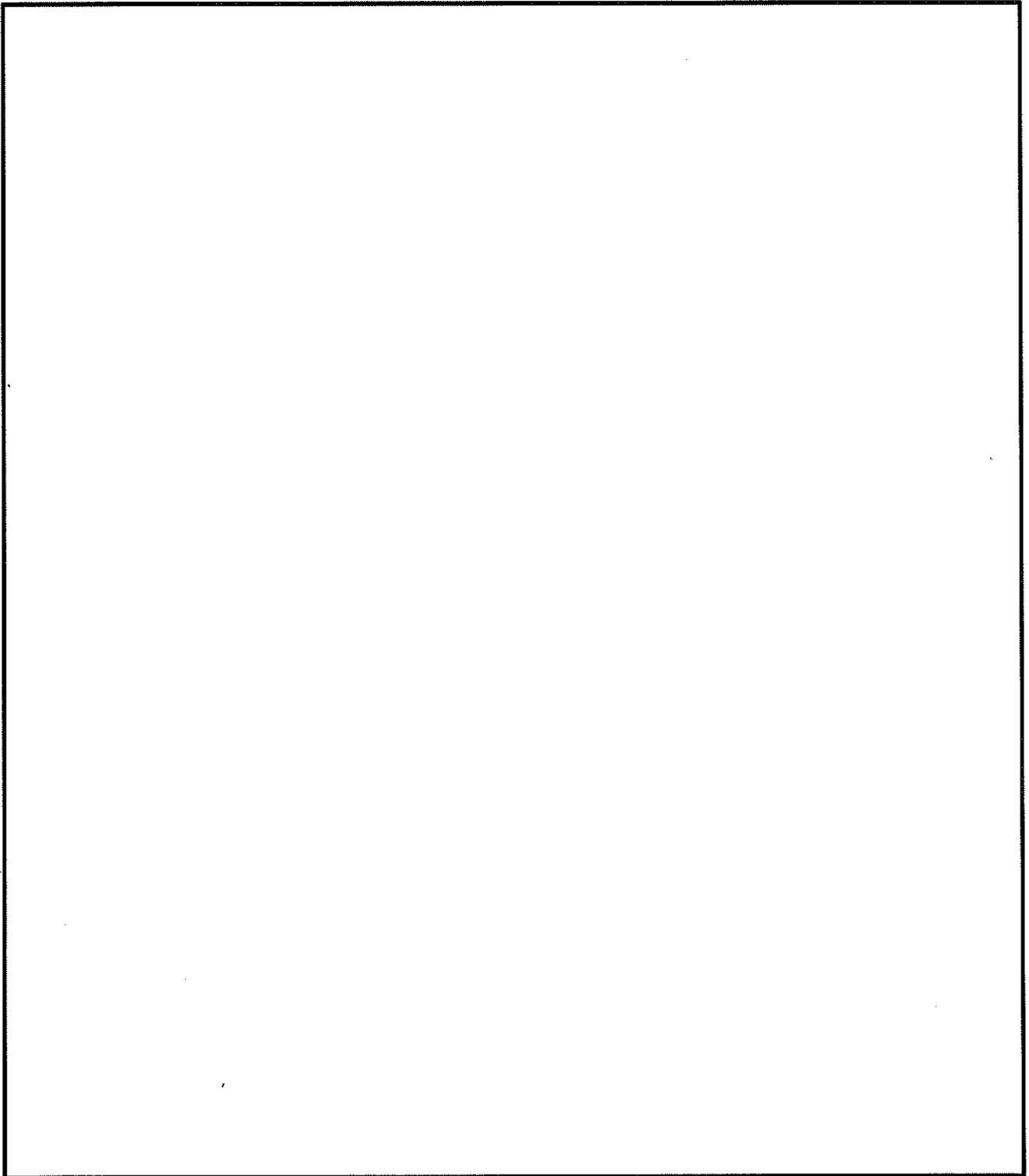
バスケットに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-1図及び第5-2図示す。



第5-1図 軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの解析モデル及び応力評価位置



第5-2図 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの
解析モデル及び応力評価位置 (1/2)



第5-2図 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの
解析モデル及び応力評価位置 (2/2)

(a) 一次一般膜応力

(i) 軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{ma} = \frac{m_1 G_a}{A_1}$$

ここで、

- σ_{ma} : 津波荷重により生じる軸方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)
- m_1 : バスケット質量 (kg)
- G_a : 津波荷重により生じる軸方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (a)と同じ)
- A_1 : 評価位置①の断面積 (mm^2)

(ii) 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{mr} = \frac{m_2 G_r}{A_2 N}$$

ここで、

- σ_{mr} : 津波荷重により生じる径方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)
- m_2 : 第 5-2 図(1/2)に示す領域 I 及び II に含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量 (kg)
- G_r : 津波荷重により生じる径方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (b)と同じ)
- A_2 : 評価位置②の断面積 (mm^2)
- N : バスケットプレートの段数 (—)

(b) 一次一般膜応力＋一次曲げ応力

(i) 軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

評価位置①には、軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜応力＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(ii) 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次曲げ応力は、バスケットプレートを両端固定梁としてモデル化し、次式で計算される。なお、評価位置③には径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により一次一般膜応力は発生しないため、一次一般膜応力+一次曲げ応力は、一次曲げ応力と同じとなる。

$$\sigma_{br} = \frac{M}{Z}$$
$$M = \frac{wG_r L^2}{12}$$

ここで、

σ_{br} : 津波荷重により生じる径方向加速度により発生する曲げ応力 (MPa)

M : 評価位置③に発生する曲げモーメント (N・mm)

Z : 評価位置③の断面係数 (mm³)

w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)

G_r : 津波荷重により生じる径方向加速度 (m/s²) (4.3.2 (2) (b) と同じ)

L : バスケットプレート長さ (mm)

(c) せん断応力

(i) 軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により、バスケットプレートにせん断応力は発生しないため、評価を省略する。

(ii) 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生するせん断応力は、次式で計算される。

$$\tau_r = \frac{F}{A_3}$$
$$F = \frac{wG_r L}{2}$$

ここで、

- τ_r : 津波荷重により生じる径方向加速度により発生するせん断応力 (MPa)
- F : 評価位置③に発生する荷重 (N)
- A_3 : 評価位置③の断面積 (mm²)
- w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)
- G_r : 津波荷重により生じる径方向加速度 (m/s²) (4.3.2 (2) (b) と同じ)
- L : バスケットプレート長さ (mm)

(d) 圧縮応力

(i) 軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。発生する圧縮応力は、(a) (i) と同様に計算される。

(ii) 径方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。発生する圧縮応力は、(a) (ii) と同様に計算される。

5.2.2 伝熱フィン

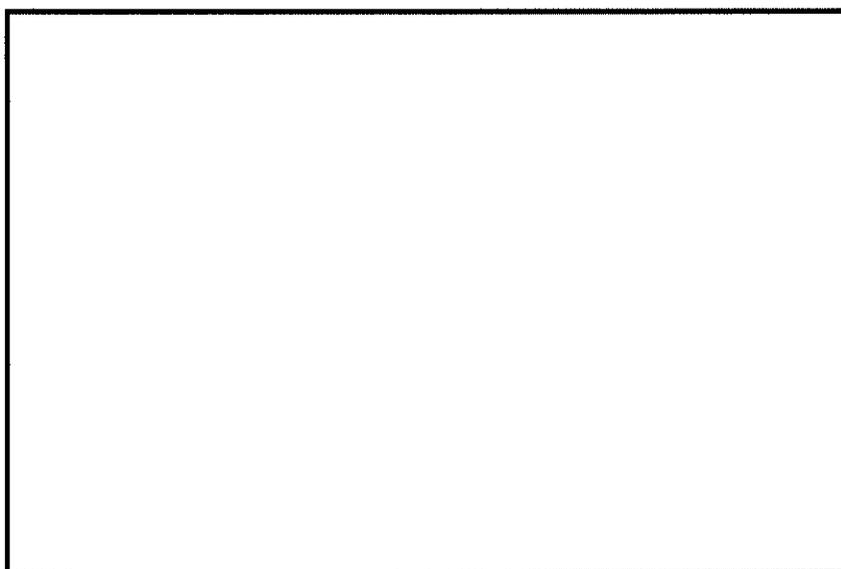
(1) 荷重条件

津波時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・津波波力 (N)
- ・漂流物衝突荷重 (N)

(2) 応力計算

伝熱フィンに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-3図に示す。軸方向に津波荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力は次式で計算される。



第5-3図 伝熱フィンの解析モデル及び評価位置

$$\tau = \frac{(W_1 + W_2)G_a}{A}$$

ここで、

- τ : 伝熱フィンに発生するせん断応力 (MPa)
- W_1 : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- W_2 : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- G_a : 津波荷重により生じる軸方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (a)と同じ)
- A : 伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 (mm^2/mm)

5.3 機能維持評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第5-5表及び第5-6表に示す。

第5-5表 バスケットの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケット質量	m_1	kg	
評価位置①の断面積	A_1	mm^2	
第5-2図(1/2)に示す領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量	m_2	kg	
評価位置②の断面積	A_2	mm^2	
バスケットプレートの段数	N	—	
評価位置③の断面係数	Z	mm^3	
第5-2図(2/2)に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	w	kg/mm	
バスケットプレート長さ	L	mm	
評価位置③の断面積	A_3	mm^2	

第5-6表 伝熱フィンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量	W_1	kg/mm	
中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量	W_2	kg/mm	
伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積	A	mm^2/mm	

6. 評価結果

応力評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、必要な強度を有することを確認した。応力評価結果を第6-1表に示す。また、機能維持評価結果を第6-2表に示す。バスケットプレートに生じる応力は、設計降伏点（56MPa）より低いため、バスケットプレートは弾性状態に留まる。

第6-1表 応力評価結果 (1/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
一次蓋	一次一般膜応力	1	3	251
	一次局部膜応力	7	9	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	8	9	377
二次蓋	一次一般膜応力	7	5	251
	一次局部膜応力	5	6	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	28	29	377
カバープレート	一次膜応力+一次曲げ応力	5	4	431

第6-1表 応力評価結果 (2/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
胴	一次一般膜応力	4	4	251
	一次局部膜応力	17	13	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	6	10	377
	圧縮応力 (一次)	11	7	135
胴 (底板)	一次一般膜応力	2	6	251
	一次局部膜応力	15	14	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	3	7	377

第6-1表 応力評価結果 (3/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
一次蓋 シール部 (蓋側)	一次膜応力+一次曲げ応力	34	35	185
	一次+二次応力	78	76	185
一次蓋 シール部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	21	39	185
	一次+二次応力	60	63	185

第6-1表 応力評価結果 (4/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
外筒	引張 (一次応力)	36	39	284
	圧縮 (一次応力)	3	35	280
	せん断 (一次応力)	16	44	163
	曲げ (一次応力)	60	86	284
	組合せ (一次応力)	34	78	284

第6-1表 応力評価結果 (5/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
下部端板	引張 (一次応力)	4	10	286
	圧縮 (一次応力)	1	4	214
	せん断 (一次応力)	6	17	165
	曲げ (一次応力)	22	49	286
	組合せ (一次応力)	10	32	286

第6-1表 応力評価結果 (6/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
蓋部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	2	3	284
	圧縮 (一次応力)	2	4	282
	せん断 (一次応力)	1	2	164
	曲げ (一次応力)	2	3	284
	組合せ (一次応力)	3	4	284

第6-1表 応力評価結果 (7/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
底部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	7	5	286
	圧縮 (一次応力)	1	1	214
	せん断 (一次応力)	6	6	165
	曲げ (一次応力)	38	39	286
	組合せ (一次応力)	11	11	286

第6-1表 応力評価結果 (8/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
一次蓋ボルト	平均引張応力	250	252	842
	平均引張応力+曲げ応力	364	339	842
二次蓋ボルト	平均引張応力	201	229	844
	平均引張応力+曲げ応力	372	339	844
カバープレートボルト	平均引張応力	167	166	842
	平均引張応力+曲げ応力	167	172	842

第6-2表 機能維持評価結果

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に津波荷重が作用する場合	径方向に津波荷重が作用する場合	
バスケットプレート (評価位置①)	一次一般膜応力	1	—	75
	一次膜応力+一次曲げ応力	1	—	90
	圧縮応力	1	—	66
バスケットプレート (評価位置②)	一次一般膜応力	—	4	75
	圧縮応力	—	4	66
バスケットプレート (評価位置③)	一次膜応力+一次曲げ応力	—	3	90
	せん断応力	—	1	43
伝熱フィン	せん断応力	1	—	116

添付書類 3 - 2 竜巻による損傷防止に関する説明書

添付書類 3 - 2 - 1 竜巻に対する強度計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 竜巻による損傷を防止する設計の基本方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 荷重の組合せ及び許容限界	2
2.3 適用規格	5
3. 機能維持の基本方針	6
3.1 構造強度	6
3.2 機能維持	6

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 6 号）第 7 条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則解釈」という。）第 7 条に基づき、MSF-24P(S)型が竜巻に対してその安全性が損なわれるおそれがない設計の強度計算の基本方針を説明するものである。

2. 竜巻による損傷を防止する設計の基本方針

2.1 基本方針

MSF-24P(S)型は、兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

2.2 荷重の組合せ及び許容限界

MSF-24P(S)型の竜巻による損傷を防止する設計は、「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」(平成31年3月13日 原規技発第1903131号)に基づき、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061911号)を参照して、以下に示す設計竜巻荷重とそれ以外の荷重の組合せを適切に考慮して、MSF-24P(S)型の構造強度評価及び機能維持評価を実施し、それらの結果がそれぞれ定める許容限界を満足することを確認する。

2.2.1 荷重の種類

(1) 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重としては、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(2) 設計竜巻荷重(W_T)

設計竜巻荷重としては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を考慮する。設計竜巻の風速(最大風速)は100m/sとする。

a. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重は、次式により算定する。

ガスト影響係数(G)は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず $G=1.0$ とする。また、空気密度(ρ)は、「建築物荷重指針・同解説」((一社)日本建築学会(2015改定))より $\rho_A=1.22\text{kg/m}^3$ とし、風力係数(C)は、「建築物荷重指針・同解説」に基づき設定する。

$$W_w = qGA$$

ここで、

$$q : \text{設計用速度圧 (kg/(m}\cdot\text{s}^2))$$

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

- G : ガスト影響係数
 C : 風力係数
 A : 受圧面積 (m²)
 ρ_A : 空気の密度 (kg/m³)
 V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

b. 気圧差による荷重 (W_p)

評価においては、第2-1表に示すとおり、MSF-24P(S)型の外部と特定兼用キャスク本体内部の差圧を保守的に設計値の最大 (0.021MPa) に対して0.101MPaと設定することで考慮する。

第2-1表 評価における内圧設定

部位	設計値	評価で考慮する 圧力設定
特定兼用キャスク 本体内部(①)	0.08MPa~0.097MPa	0MPa
外気(②)	大気圧(0.101MPa) (注)	大気圧(0.101MPa)
①と②の差圧	最大0.021MPa	0.101MPa

(注) 竜巻により外気圧は低下するが、特定兼用キャスク本体内部の圧力は負圧であることから、①と②の差圧が大きくなるように竜巻による気圧の低下はないものとする。

c. 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物の衝撃荷重は、設計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、次式にて算出する。

設計飛来物の緒元を第2-2表に示す。

なお、設計飛来物の最大速度については、評価の代表性を考慮し、水平方向及び鉛直方向の飛来速度のうち大きい水平方向速度を設定するとともに、衝突による影響が大きくなるように、設計飛来物による衝撃荷重が大きくなる向きでMSF-24P(S)型に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

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

ここで、

- 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) (m)

第2-2表 設計飛来物の緒元

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
寸法(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量(kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度(m/s)	49	57	30	60	34
最大鉛直速度(m/s)	33	38	20	40	23

(3) 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重としては、供用中に作用する荷重 (圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重) を考慮する。

2.2.2 荷重の組合せ

常時作用する荷重、設計竜巻荷重及び運転時の状態で作用する荷重を組み合わせる。MSF-24P(S)型に作用する設計竜巻荷重は、風圧力による荷重(W_w)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組合せた複合荷重(W_T)を以下のとおり設定する。

$$W_T = W_w + W_M$$

なお、竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、雹及び雨である。これらの自然現象による荷重は竜巻荷重に比べ十分小さく、竜巻荷重の設定に包絡されるため考慮しない。また、MSF-24P(S)型は、外部からの動力供給を必要としない金属製の静的機器であるため、落雷等による影響を受けない。

2.2.3 許容限界

許容限界は設計竜巻荷重として衝撃荷重が特定兼用キャスクに作用すること、及び「2.1 基本方針」に示した特定兼用キャスクの安全機能を維持するための設計方針を踏まえ、(一社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(以下「JSME S FA1-2007」という。)に準じた供用状態Dの許容応力等を許容限界として設定する。

2.3 適用規格

竜巻による損傷を防止する設計に適用する規格等を以下に示す。

- ・「発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012」(一社)日本機械学会(以下「JSME S NJ1-2012」という。)
- ・「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(一社)日本機械学会

3. 機能維持の基本方針

竜巻による損傷を防止する設計におけるMSF-24P(S)型の安全機能の維持は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対して、特定兼用キャスクの構造強度の確保を基本とする。機能維持の方針を以下に示す。

3.1 構造強度

MSF-24P(S)型は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重の組合せを適切に考慮した上で、特定兼用キャスクに生じる応力を許容限界以下とすることで構造強度を確保する設計とする。具体的な荷重の組合せ及び許容限界を第3-1表に示す。

3.2 機能維持

MSF-24P(S)型は、「3.1 構造強度」による構造強度を確保し、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まること、閉じ込め機能を担保する部位及び臨界防止機能を担保するバスケットプレート以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。さらに、バスケットプレートについては、弾性状態に留まること、及び除熱機能を担保する伝熱フィンについては、破断延性限界に十部な余裕を有する設計とする。以上をもって、安全機能を維持する設計とする。

第3-1表 荷重の組合せ及び許容限界

(1) 記号の説明

- W_T : 風圧力による荷重(W_W)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_I)を組合わせた複合荷重
- F_d : 常時作用する荷重
- F_p : 運転時の状態で作用する荷重
- S_y : 設計降伏点 JSME S NJ1-2012 Part3第1章表6に規定される値
- S_u : 設計引張強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表7 (ただし、技術基準規則解釈「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って(別記-2)」の要件を付したものに)に規定される値
- S_m : 設計応力強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表1に規定される値。
- F : JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(1)に規定される値
- F^* : F 値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3721.3(1)の規定により読み替えた値
- f_c^* : 許容圧縮応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(3)に規定される f_c の値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3721.3(1)b.により規定される読み替えにより算出した値。
- B : JSME S FA1-2007の別図7-1及び別図7-2から求めた値

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

a. 特定兼用キヤク本体 (注1)

荷重の組合せ	許容応力 区分	許 容 限			界 (密封シール部及びボルト以外)	
		一次一般 膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	純せん断応力	圧縮応力 (一次)
$W_T + F_d + F_p$	(注2) 供用状態 D	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	左欄の (注3) α 倍の値	S_u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については S_u と $3.6S_m$ の小さい方。	$0.4S_u$	$1.5S_m$ と $1.5B$ の小さい方

荷重の組合せ	許容応力 区分	許容限界 (密封シール部)				許容限界 (ボルト)	
		一次一般 膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	一次 + 二次応力	平均引張 応力	平均引張応力 + 曲げ応力
$W_T + F_d + F_p$	(注2) 供用状態 D	S_y	S_y	S_y	S_y	S_y	S_y

(注1) JSME S FAI-2007の「密封容器」に準じて設計する。

(注2) JSME S FAI-2007に準じた評価事象

(注3) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。

b. 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 (注1)

許容応力区分		許 容 限 界			
		せん断	圧縮	曲げ	
荷重の組合せ					
$W_T + F_d + F_p$	(注3) 供用状態 D	引張 $2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	せん断 $2/3S_u/\sqrt{3}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方を $\sqrt{3}$ で除した値。	圧縮 $1.5f_c^*$	曲げ $2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。

(注1) JSME S FA1-2007の「中間胴」に準じて設計する。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

添付書類 3 - 2 - 2 竜巻に対する強度計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	3
3. 応力評価箇所	5
4. 応力評価	8
4.1 基本方針	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 応力評価方法	13
4.4 応力評価条件	21
5. 機能維持評価	23
5.1 機能維持評価方針	23
5.2 機能維持評価方法	26
5.3 機能維持評価条件	33
6. 評価結果	34

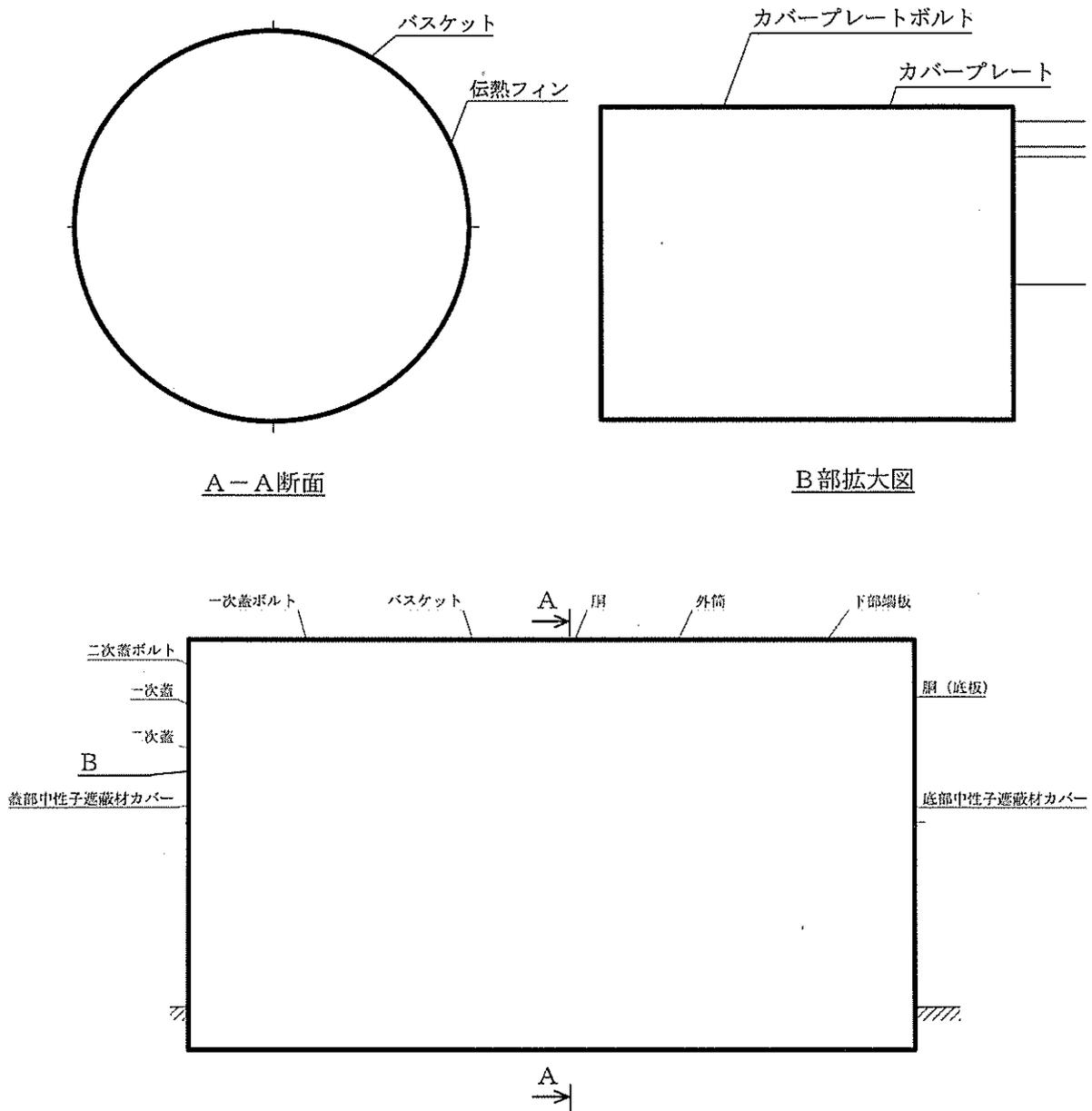
1. 概要

本資料は、添付書類 3-2-1 「竜巻に対する強度計算の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の基本方針に基づき、MSF-24P(S)型が設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対して十分な構造強度及び安全機能を有していることを説明するものである。竜巻に対する評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

MSF-24P(S)型の構造図を第2-1図に示す。

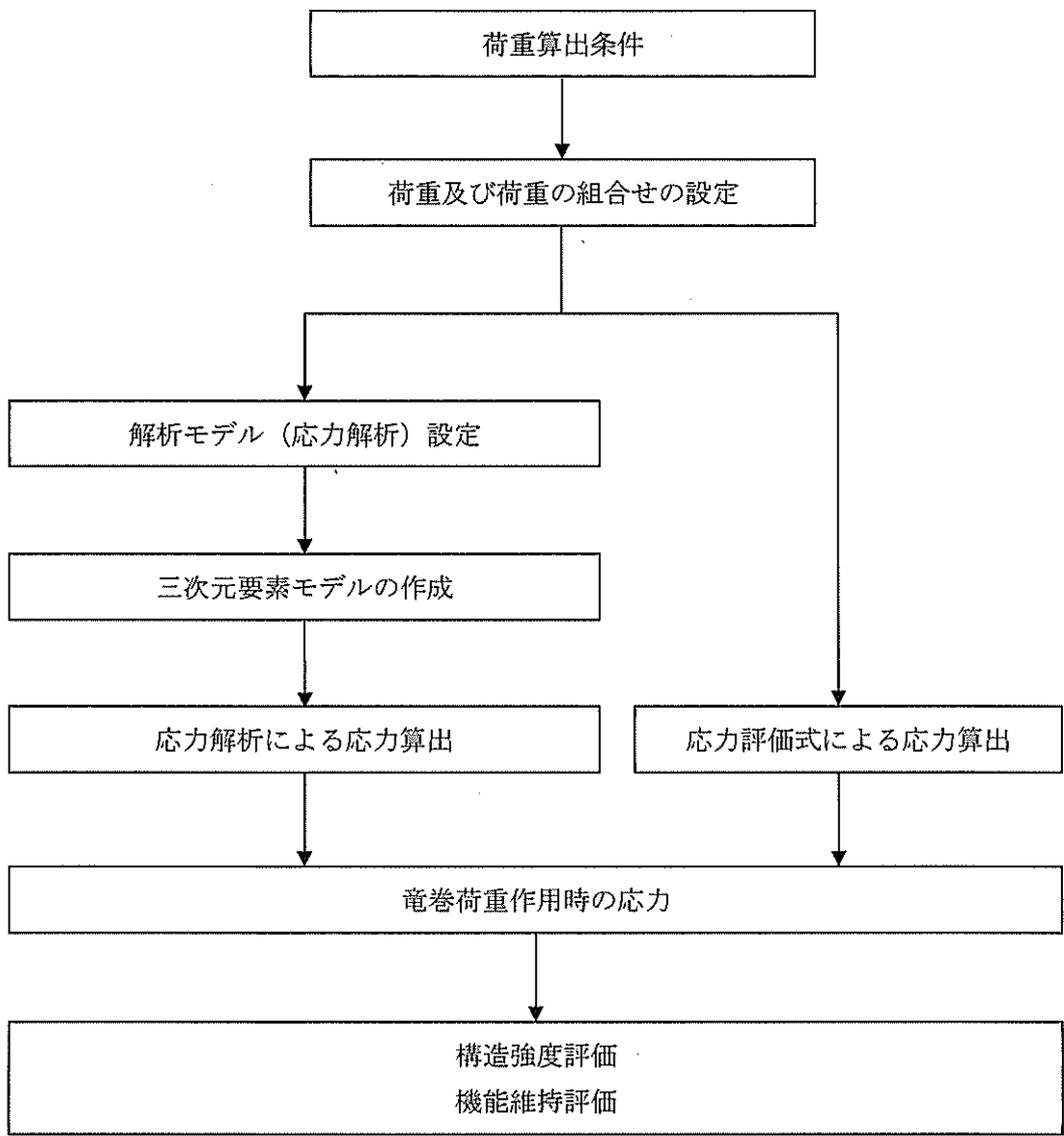


第2-1図 MSF-24P(S)型の構造図

2.2 評価方針

MSF-24P(S)型の竜巻荷重作用時の評価フローを第2-2図に示す。

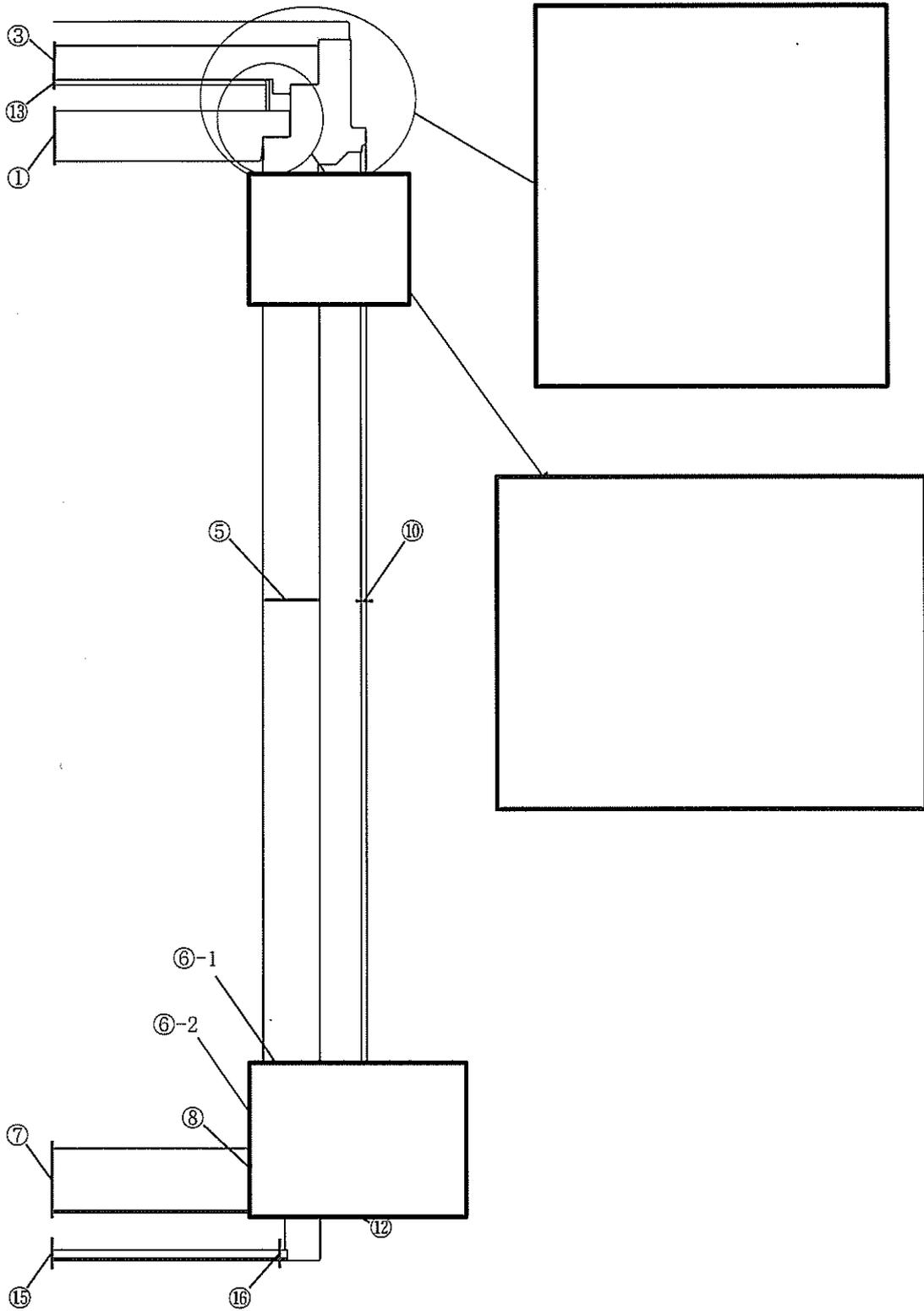
MSF-24P(S)型の竜巻荷重作用時の評価は、添付書類3-2-1「竜巻に対する強度計算の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示すMSF-24P(S)型の部位を踏まえ「3. 応力評価箇所」にて設定する箇所において、荷重による応力が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、MSF-24P(S)型の機能維持評価は、添付書類3-2-1「竜巻に対する強度計算の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき、竜巻荷重作用時に発生する応力が機能維持できる応力以下であることを「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。



第2-2図 MSF-24P(S)型の竜巻荷重作用時の評価フロー

3. 応力評価箇所

MSF-24P(S)型の応力評価箇所の説明図を第3-1図に示す。応力評価は、応力評価上厳しくなる構造上の不連続部等を選定して行う。



第3-1図 MSF-24P(S)型の応力評価箇所 (1/2)

No.	評価部位
①	一次蓋中央部
②	一次蓋端部
③	二次蓋中央部
④	二次蓋端部
⑤	胴中央部
⑥	胴下部
⑦	胴（底板）中央部
⑧	胴（底板）端部
⑨	外筒上部
⑩	外筒中央部
⑪	外筒下部
⑫	下部端板
⑬	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部
⑭	蓋部中性子遮蔽材カバー端部
⑮	底部中性子遮蔽材カバー中央部
⑯	底部中性子遮蔽材カバー端部
⑰	一次蓋シール部（蓋側）
⑱	一次蓋シール部（胴側）
⑲	一次蓋ボルト
⑳	二次蓋ボルト
㉑	カバープレート
㉒	カバープレートボルト

第3-1図 MSF-24P(S)型の応力評価箇所 (2/2)

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) MSF-24P(S)型の応力計算モデルは、有限要素モデルを基本とし、モデルに竜巻荷重が作用するものとする。また、一部評価部位については、応力評価式により応力を算出する。
- (2) 許容応力について、JSME S NJ1-2012を用いて計算する際に、温度が中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 応力計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の設定

MSF-24P(S)型に作用する竜巻荷重は、添付書類3-2-1「竜巻に対する強度計算の基本方針」の「2.2.1 荷重の種類」で設定した荷重とする。設計竜巻荷重のうち、設計飛来物による衝撃荷重については、添付書類3-2-1「竜巻に対する強度計算の基本方針」の第2-2表に示す設計飛来物のうち、設計飛来物による衝撃荷重が最も大きくなるトラックが衝突する場合とする。また、応力評価においては、設計飛来物による衝撃荷重が最も大きくなる向きでMSF-24P(S)型に設計飛来物による衝撃荷重を作用させる。

4.2.2 荷重の組合せ及び許容応力区分

荷重の組合せ及び許容応力区分を第4-1表に示す。

4.2.3 許容限界

許容限界を第4-2表から第4-4表に示す。

4.2.4 使用材料の許容応力

応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第4-5表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

部位	機器等の区分 ^(注1)	荷重の組合せ ^(注2)	許容応力区分 ^(注3)
胴 一次蓋 二次蓋 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバープレート カバープレートボルト	密封容器	$W_T + F_d + F_p$	供用状態D
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	$W_T + F_d + F_p$	供用状態D

(注1) JSME S FA1-2007に準じた機器等の区分

(注2) W_T : 風圧力による荷重 (W_w) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組合わせた複合荷重 F_d : 常時作用する荷重

F_p : 運転時の状態で作用する荷重

(注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

第4-2表 許容限界 (密封容器)

許容応力 区分	評価部位	許容限界			
		一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	一次+ 二次応力
供用状態D	一次蓋中央部 一次蓋端部 二次蓋中央部 二次蓋端部 胴中央部 胴下部 胴 (底板) 中央部 胴 (底板) 端部 カバープレート	2/3S _u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については2/3S _u と2.4S _u の小さい方。	左欄の (注1) α倍の値	S _u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼についてはS _u と3.6S _u の小さい方。	1.5S _m と1.5Bの小さい方
供用状態D	一次蓋シール部 (蓋側) 一次蓋シール部 (胴側)	S _y	S _y	S _y	S _y

(注1) αは純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。

第4-3表 許容限界 (密封容器)

許容応力 区分	評価部位	許容限界	
		平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
供用状態D	一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバープレートボルト	S_y	S_y

第4-4表 許容限界 (中間胴)

許容応力 区分	評価部位	許容限界		
		引張	せん断	圧縮
供用状態D	外筒上部 外筒中央部 外筒下部 下部端板 蓋部中性子遮蔽材カババー中央部 蓋部中性子遮蔽材カババー端部 底部中性子遮蔽材カババー中央部 底部中性子遮蔽材カババー端部	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	$2/3S_u/\sqrt{3}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方を $\sqrt{3}$ で除した値。	$1.5f_c$
		$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	$2/3S_u/\sqrt{3}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方を $\sqrt{3}$ で除した値。	$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。

(注1) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第4-5表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	B (MPa)	評価部位	
		—	124	185	377	—	—	—	一次蓋中央部、一次蓋端部 一次蓋シール部 (蓋側)	
		—	124	185	377	—	—	—	二次蓋中央部、二次蓋端部	
		—	122	183	377	—	—	90	胴中央部、胴下部	
		—	—	185	—	—	—	—	一次蓋シール部 (胴側)	
		—	122	183	377	—	—	—	胴 (底板) 中央部、胴 (底板) 端部	
		—	—	842	—	—	—	—	一次蓋ボルト	
		—	—	844	—	—	—	—	カバープレートボルト	
		—	137	—	—	431	—	—	二次蓋ボルト	
		—	—	—	—	—	—	—	カバープレート	
		—	—	234	234	426	234	280	—	外筒上部、外筒中央部、外筒下部
		—	—	159	205	429	205	214	—	下部端板
		—	—	235	235	427	235	282	—	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部 蓋部中性子遮蔽材カバー端部
		—	—	159	205	429	205	214	—	底部中性子遮蔽材カバー中央部 底部中性子遮蔽材カバー端部

4.3 応力評価方法

4.3.1 胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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

(1) 荷重条件

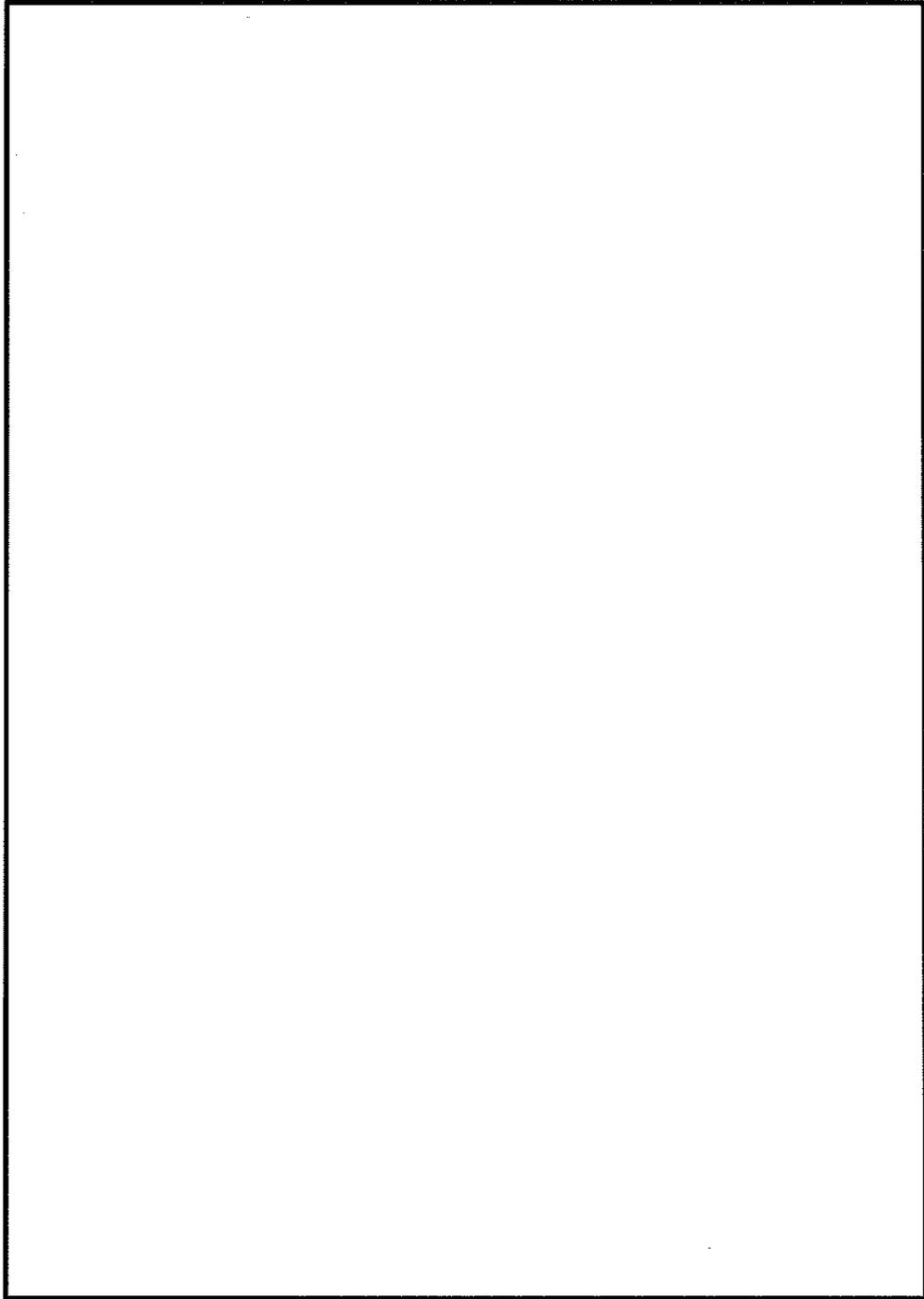
竜巻時における荷重は次に示す組合せとする。設計竜巻荷重（風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重）がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。いずれの場合においても、設計飛来物による衝撃荷重の作用位置は、評価部位のうち許容応力に対して余裕が小さく、最も厳しくなる蓋部とする。

- ・ 密封容器内圧力 (MPa G)
- ・ 蓋間圧力 (MPa G)
- ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 自重 (－)
- ・ 風圧力による荷重 (N)
- ・ 設計飛来物による衝撃荷重 (N)
- ・ 熱荷重 (－)

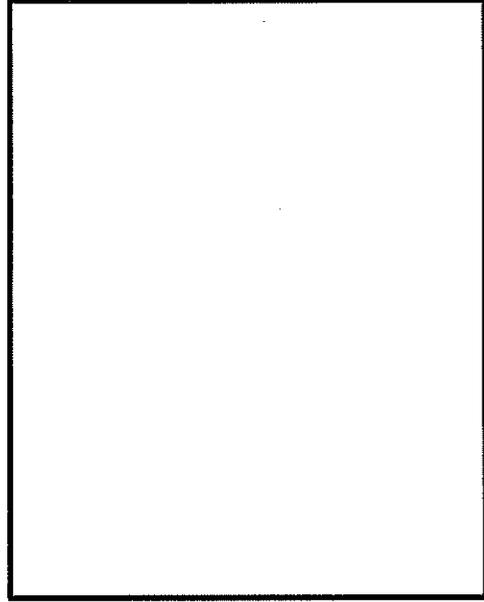
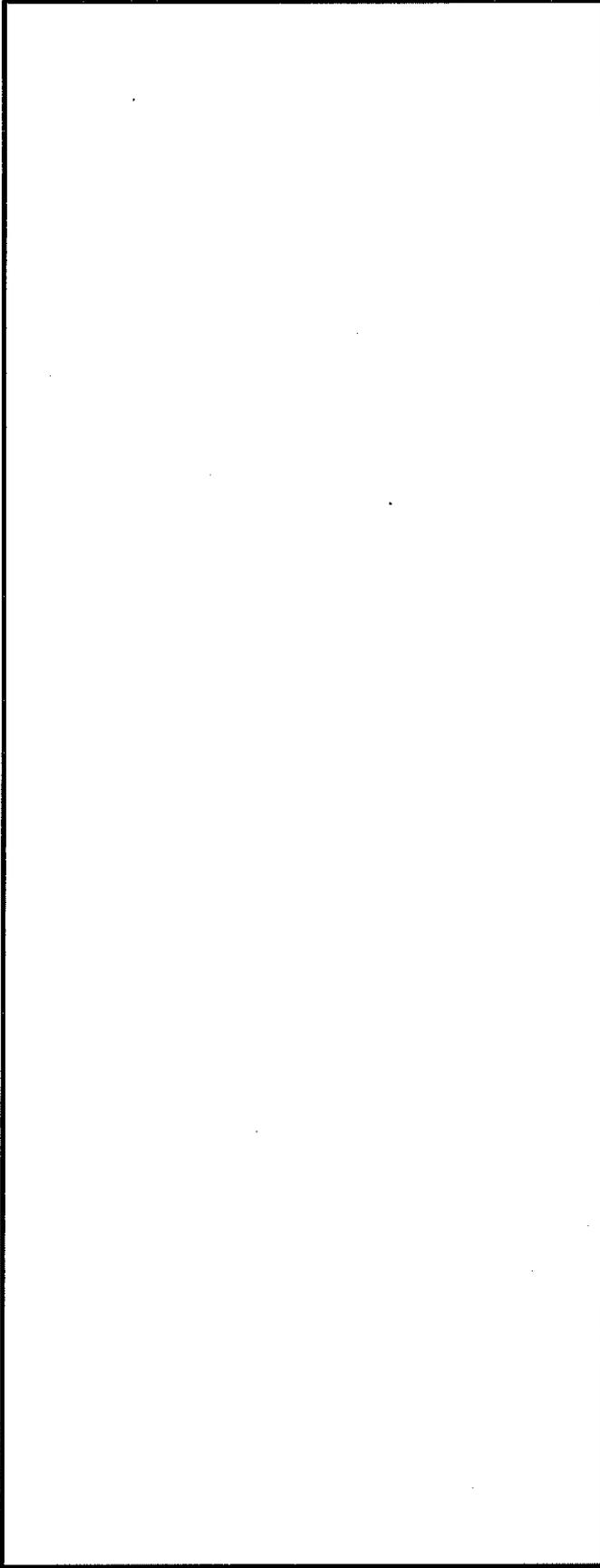
(2) 応力計算

胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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計算は、解析コードABAQUSにより行う。また、評価に用いる汎用解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙1「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデルを第4-1図に、荷重及び境界条件を第4-2図及び第4-3図に示す。

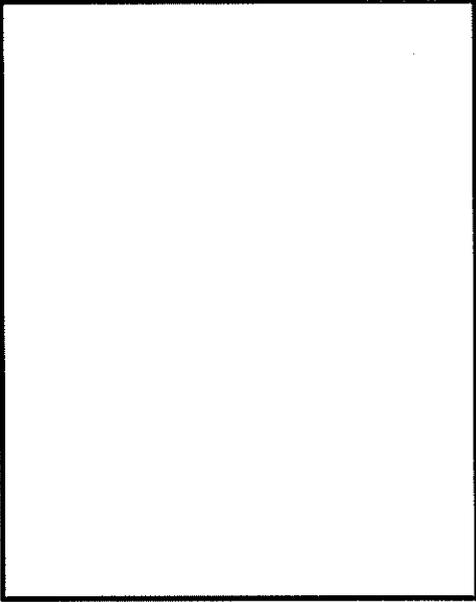
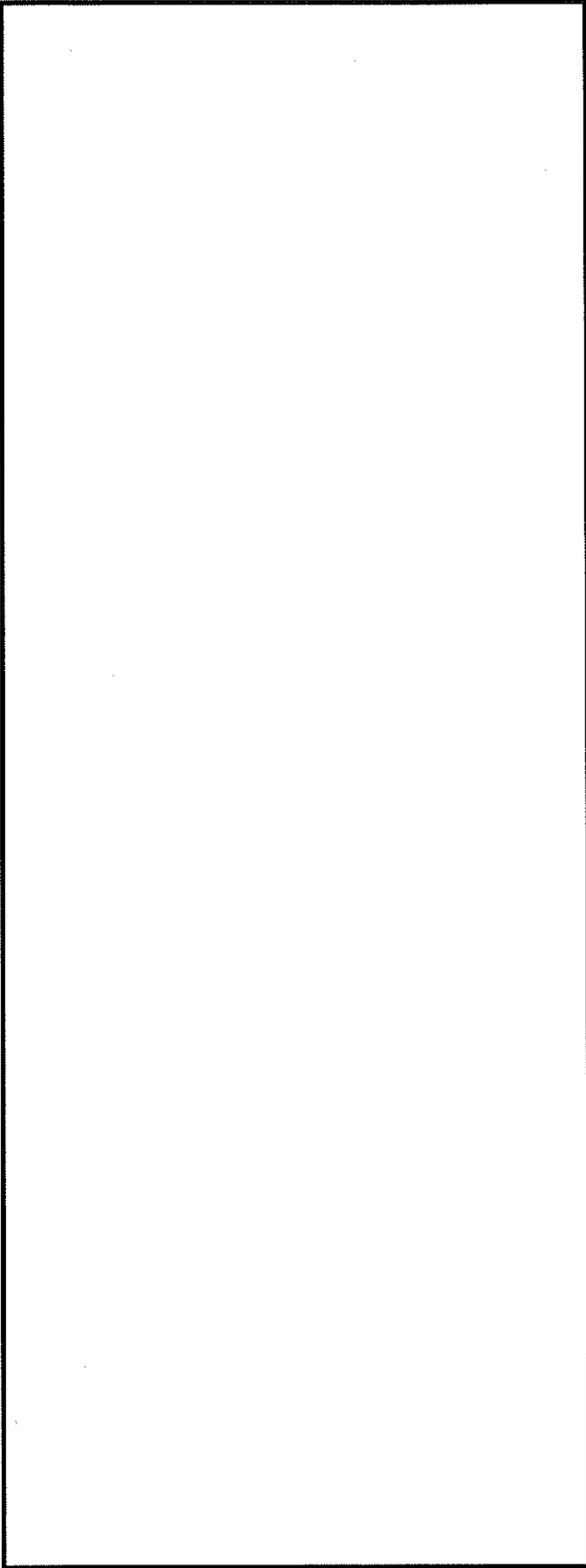


第4-1図 解析モデル



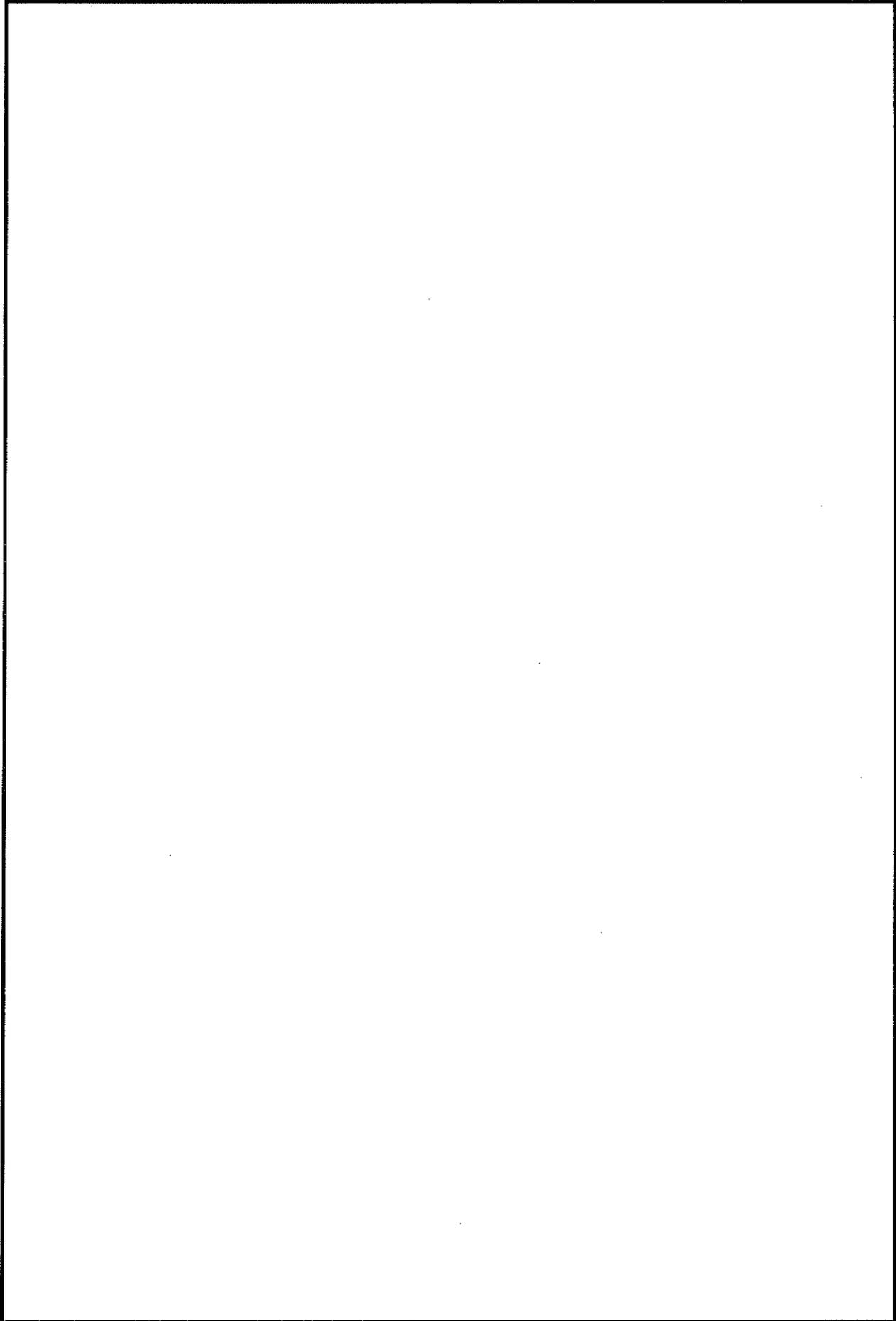
- F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (2.187×10^5 N)
 W_{wa} : 風圧力による荷重 (1.45×10^5 N)
 W_H : 設計飛来物による衝撃荷重 (8.45×10^6 N)
 P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
 P_{ii} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
 P_{sr} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) (MPa G)
 P_{er} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (端板面) (MPa G)
 P_{tr} : 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
 P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
 P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
 P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
 P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

第4-2図 荷重及び境界条件 (MSF-24P (S)型の軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合)



- $F_{i,w}$: 内部収納物の慣性力 (2.187×10^5 N)
- W_w : 風圧力による荷重 (2.28×10^5 N)
- W_M : 飛来物による衝撃荷重 (8.45×10^6 N)
- P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
- P_{ii} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
- P_{sr} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) (MPa G)
- P_{er} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (端板面) (MPa G)
- P_{tr} : 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

第4-3図 荷重及び境界条件 (MSF-24P(S)型の径方向に設計荷重が作用する場合) (1/2)



第4-3図 荷重及び境界条件 (MSF-24P (S)型の径方向に設計竜巻荷重が作用する場合) (2/2)

4.3.2 カバープレート及びカバープレートボルト

(1) 荷重条件

竜巻時における荷重は次に示す組合せとする。設計竜巻荷重がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。

- ・密封容器内圧力 (MPa G)
- ・蓋間圧力 (MPa G)
- ・カバープレートボルト初期締付力 (MPa)
- ・自重 (—)
- ・風圧力による荷重 (N)
- ・設計飛来物による衝撃荷重 (N)

(2) 応力計算

カバープレート及びカバープレートボルトの応力計算は、応力評価式により行う。

(a) カバープレート

密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧及び軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合の慣性力により発生する一次膜＋一次曲げ応力(σ_{r3} 、 $\sigma_{\theta3}$ 、 σ_{z3})は、カバープレートを周辺支持の円板としてモデル化し、密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力(σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 σ_{z1})と慣性力により発生する応力(σ_{r2} 、 $\sigma_{\theta2}$ 、 σ_{z2})より次式で計算される。なお、径方向に設計竜巻荷重が作用する場合には慣性力により応力は発生しないため、一次膜＋一次曲げ応力は密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力(σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 σ_{z1})となる。

$$\sigma_{r3} = \sigma_{r1} + \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{\theta3} = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2}$$

$$\sigma_{z3} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$$

$$\sigma_{r1} = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta1} = \sigma_{r1}$$

$$\sigma_{z1} = 0$$

$$\sigma_{r2} = \frac{1.24 \cdot w \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta2} = \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{z2} = 0$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa G)

$$P = P_2 - P_1$$

P₁ : 密封容器内圧力 (MPa G)

P₂ : 蓋間圧力 (MPa G)

r : ボルトピッチ半径 (mm)

t : 板厚 (mm)

w : 慣性力による分布荷重 (MPa)

$$w = t \cdot \rho \cdot G_a$$

ρ : カバープレート材料(SUS304)の密度 (kg/mm³)

G_a : 設計竜巻荷重により生じる軸方向加速度 (m/s²)

$$G_a = \frac{W_{wa} + W_M}{m}$$

W_{wa} : 風圧力による荷重 (軸方向衝突時) (N)

$$W_{wa} = q G C_a A_a$$

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重 (N)

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

m : 貯蔵時における MSF-24P(S) 型の質量 (kg)

q : 設計用速度圧 (kg/(m·s²))

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

G : ガスト影響係数 (—)

C_a : 風力係数 (軸方向衝突時) (—)

A_a : 受圧面積 (軸方向衝突時) (m²)

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) (m)

ρ_A : 空気の密度 (kg/m³)

V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

(b) カバープレートボルト

径方向又は軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合においてカバープレートボルトに発生する平均引張応力 (σ_{n1}又はσ_{n1'}) 及び平均引張応力+曲げ応力 (σ_{n+b}又はσ_{n+b'}) は、次式で計算される。なお、軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合には、曲げ応力は発生しないため、平均引張応力+曲げ応力は平均引張応力と同じである。

(径方向に設計竜巻荷重が作用する場合)

$$\sigma_{nb} = \sigma_{n1} + \sigma_{b1}$$

$$\sigma_{n1} = \sigma_{n2} + \sigma_{n3}$$

(軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合)

$$\sigma_{nb}' = \sigma_{n1}'$$

$$\sigma_{n1}' = \sigma_{n2} + \sigma_{n3} + \sigma_{n4}$$

$$\sigma_{n2} = \frac{H}{A}$$

$$\sigma_{n3} = \frac{H_p}{A}$$

$$\sigma_{n4} = \frac{m_r \cdot G_r}{A}$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot D_G^2 \cdot P$$

$$H_p = W_m$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z}$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

σ_{n2} : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧による平均引張応力 (MPa)

σ_{n3} : ガasket縮付時の平均引張応力 (MPa)

σ_{n4} : 慣性力による平均引張応力 (MPa)

A : カバープレートボルト最小断面積の合計値 (mm²)

H : カバープレートに加わる内圧による全荷重 (N)

H_p : ガasketに加わる圧縮力 (N)

D_G : ガasket反力の作用する位置 (直径) (mm)

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa)

W_m : ガasket縮付け時に必要な最小ボルト荷重 (N)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = m_r \cdot (G_r + g) \cdot L$$

m_r : カバープレートの質量 (kg)

G_r : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度 (m/s²)

$$G_r = \frac{W_{Gr} + W_M}{m}$$

g : 重力加速度 (m/s²)

- L : カバープレートボルト軸部の長さ (mm)
 Z : カバープレートボルト断面係数の合計値 (mm³)
 W_{Wr} : 風圧力による荷重 (径方向衝突時) (N)
 $W_{Wr} = qGC_r A_r$
 C_r : 風力係数 (径方向衝突時) (-)
 A_r : 受圧面積 (径方向衝突時) (m²)
 G_a 、 W_M 、 m 、 q 、 G : 4.3.2(2)(a)と同じ

4.4 応力評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第4-6表及び第4-7表に示す。

第4-6表 胴、胴 (底板)、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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評価条件

項目	単位	数値
密封容器内圧力	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	MPa G	0.36
蓋部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
底部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
側部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
一次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
二次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
貯蔵用三次蓋ボルトの初期締付力	MPa	
自重	m/s ²	
風圧力による荷重 (軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合)	N	1.45×10^5
風圧力による荷重 (径方向に設計竜巻荷重が作用する場合)	N	2.28×10^5
設計飛来物による衝撃荷重	N	8.45×10^6

第4-7表 カバープレート及びカバープレートボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
密封容器内圧力	P_1	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	P_2	MPa G	0.36
ボルトピッチ半径	r	mm	
板厚	t	mm	
カバープレート材料の密度	ρ	kg/mm ³	7.93×10^{-6}
貯蔵時におけるMSF-24P(S)型の質量	m	kg	134600
ガスト影響係数	G	-	1
風力係数 (軸方向衝突時)	C_a	-	2.4
受圧面積 (軸方向衝突時)	A_a	m ²	9.90
設計飛来物の質量	M	kg	4750
設計飛来物の最大速度	V	m/s	34
設計飛来物の衝突方向長さ (最小長さ)	L_{min}	m	1.3
空気の密度	ρ_A	kg/m ³	1.22
設計竜巻の最大風速	V_D	m/s	100
カバープレートボルト最小断面積の合計値	A	mm ²	
ガスケット反力の作用する位置 (直径)	D_G	mm	
ガスケット締付け時に必要な最小ボルト荷重	W_m	N	1.851×10^5
カバープレートの質量	m_r	kg	10
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
カバープレートボルト軸部の長さ	L	mm	
カバープレートボルト断面係数の合計値	Z	mm ³	
風力係数 (径方向衝突時)	C_r	-	1.2
受圧面積 (径方向衝突時)	A_r	m ²	31.08

5. 機能維持評価

MSF-24P(S)型のバスケット及び伝熱フィンの機能維持評価について以下に示す。

5.1 機能維持評価方針

設計竜巻荷重が作用した場合にバスケット及び伝熱フィンに発生する応力が、機能が維持される許容応力以下であることを確認する。なお、機能維持評価に用いる寸法は公称値を使用する。

5.1.1 荷重の組合せ及び許容応力区分

バスケット及び伝熱フィンの荷重の組合せ及び許容応力区分を第5-1表に示す。

5.1.2 許容限界

バスケットの機能が維持される許容限界を第5-2表に、伝熱フィンの機能が維持される許容限界を第5-3表に示す。

5.1.3 使用材料の許容応力

バスケット及び伝熱フィンの応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第5-4表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

部位	機器等の区分	荷重の組合せ ^(注3)	許容応力区分 ^(注4)
バスケット	バスケット ^(注1)	$W_T + F_d + F_p$	供用状態D
伝熱フィン	— ^(注2)	$W_T + F_d + F_p$	供用状態D

(注1) JSME S FAI-2007 に準じた機器等の区分

(注2) 除熱機能を維持できる破断点を許容限界として設定する。

(注3) W_T : 風圧力による荷重 (W_W) 及び飛来物による衝撃荷重 (W_H) を組合わせた複合荷重 F_d : 常時作用する荷重

F_p : 運転時の状態で作用する荷重

(注4) JSME S FAI-2007 に準じた評価事象

第5-2表 許容限界 (バスケット)

許容応力区分	評価部位	許容限界		
		一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	せん断応力
供用状態 ^(注1) D	バスケットプレート	$2/3S_u$	左欄の α 倍 ^(注2)	$1.2S_m$
				$1.5f_c^*$

(注1) JSME S FA1-2007に規定されている材料を用いていないため、同規定は使用できない。このことから、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第四十三条の二十六の三第1項の規定により、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-D P C17001)を受けた金属製の乾式キャスク(MSF-21P型)のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金(MB-A3004-H112)における供用状態Dの設計基準を許容限界として設定する。

(注2) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

第5-3表 許容限界 (伝熱フィン)

許容応力区分	評価部位	許容限界
		せん断応力
供用状態 ^(注1) D	伝熱フィン	$2/3S_u$

(注) JSME S FA1-2007に規定がないため、除熱機能を維持できる破断点を許容限界とする。

第5-4表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	評価部位
アルミニウム合金(MB-A3004-H112)	195	—	36	56	113	バスケットプレート
銅	140	—	—	—	175	伝熱フィン

5.2 機能維持評価方法

5.2.1 バスケット

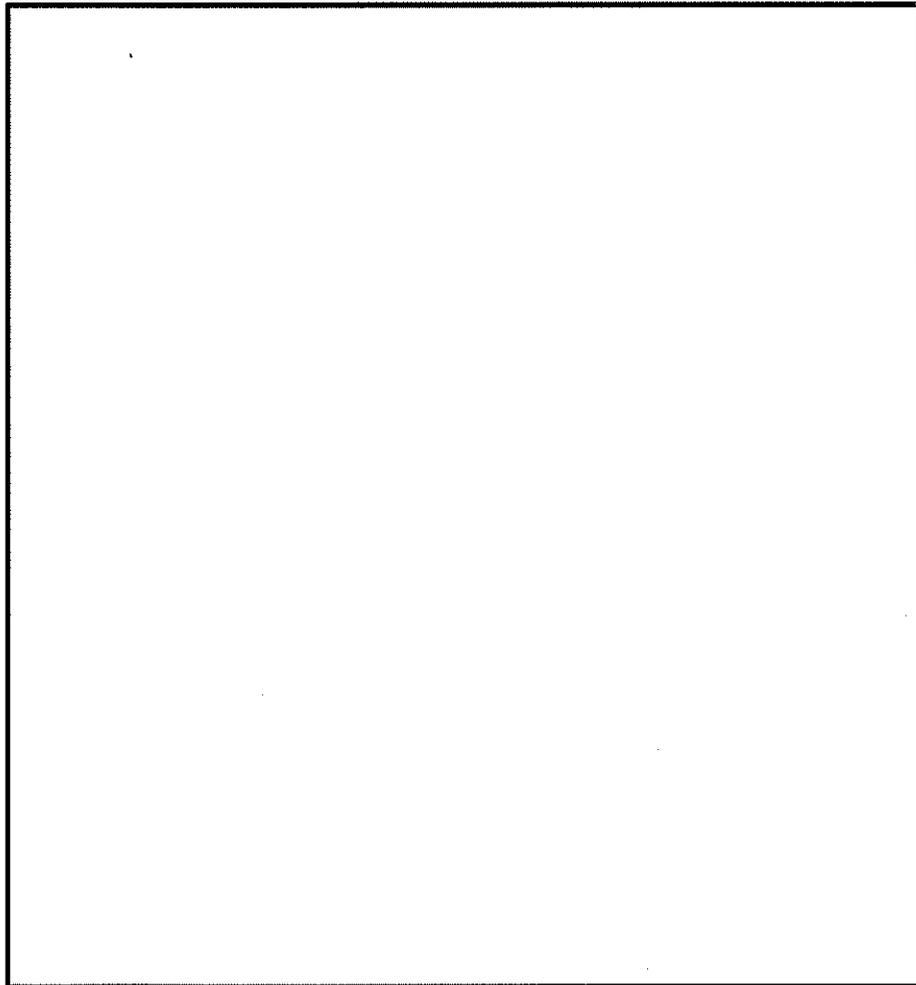
(1) 荷重条件

竜巻時における荷重は次に示す組合せとする。設計竜巻荷重がMSF-24P(S)型の軸方向に作用する場合及びMSF-24P(S)型の径方向に衝突する場合を評価する。

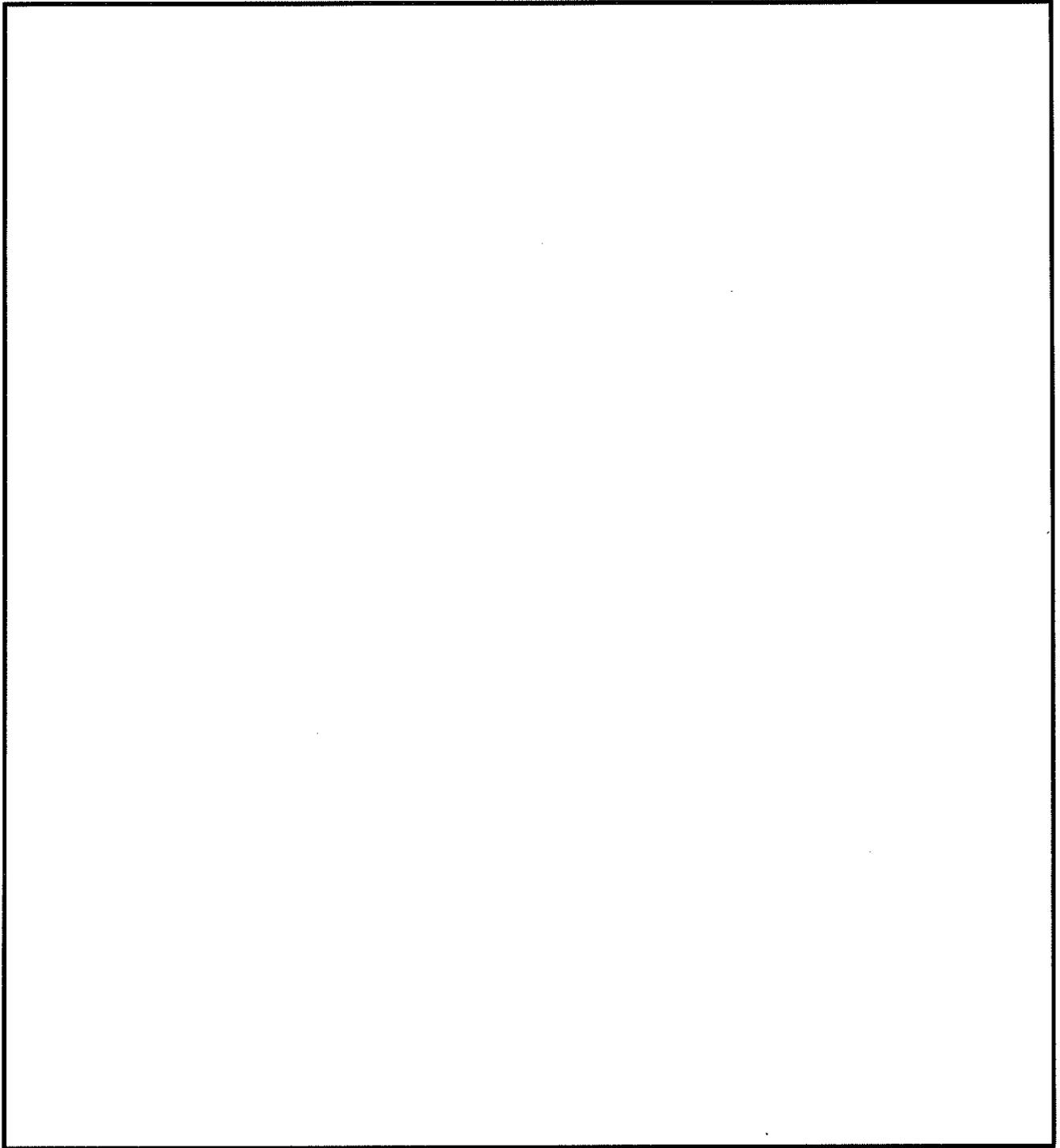
- ・自重 (一)
- ・風圧力による荷重 (N)
- ・設計飛来物による衝撃荷重 (N)

(2) 応力計算

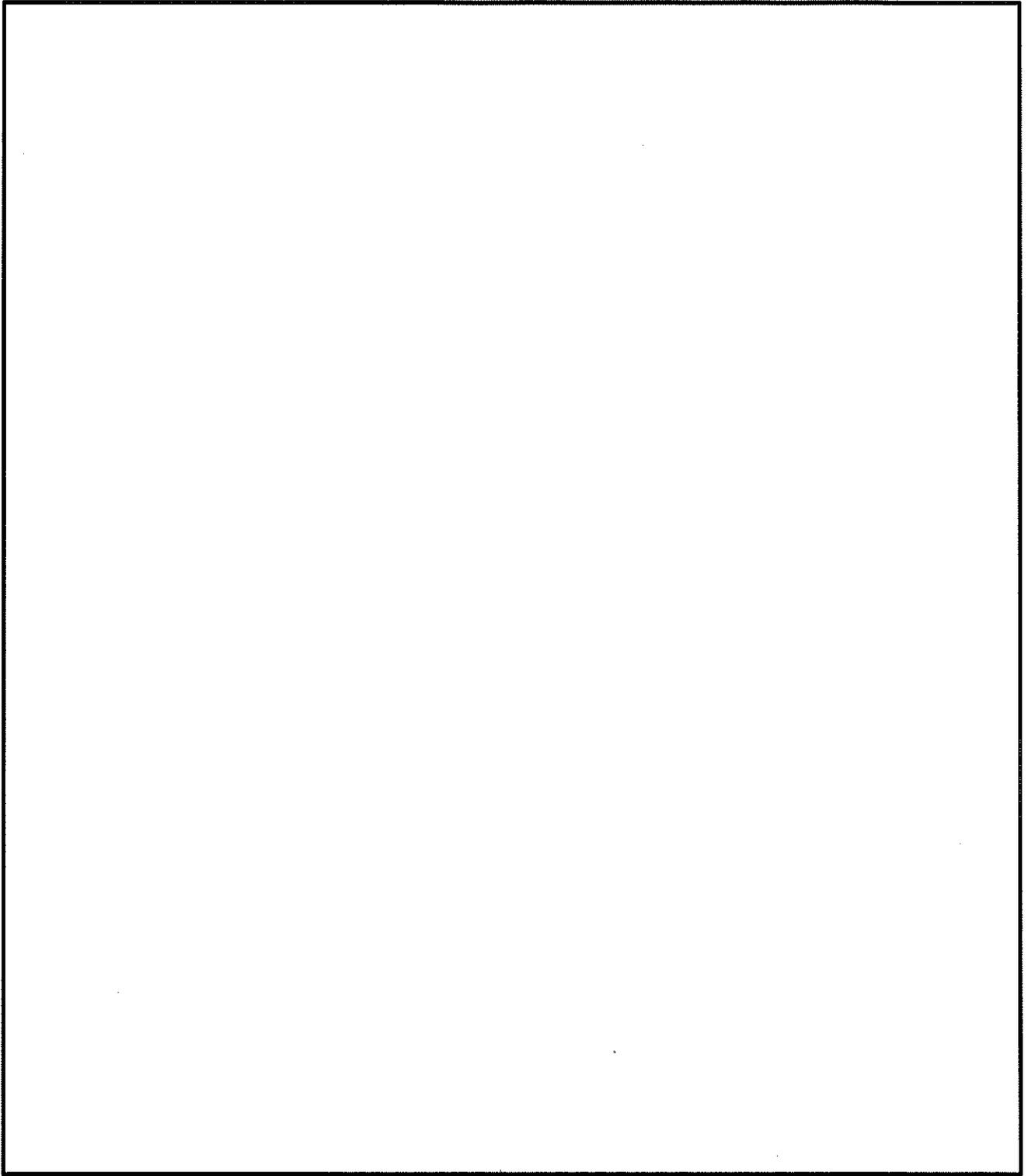
バスケットに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-1図及び第5-2図示す。



第5-1図 軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの解析モデル及び応力評価位置



第5-2図 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの
解析モデル及び応力評価位置 (1/2)



第5-2図 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度に対するバスケットの
解析モデル及び応力評価位置 (2/2)

(a) 一次一般膜応力

(i) 軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{ma} = \frac{m_1 G_a}{A_1}$$

ここで、

σ_{ma} : 設計竜巻荷重により生じる軸方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)

m_1 : バスケット質量 (kg)

G_a : 設計竜巻荷重により生じる軸方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (a)と同じ)

A_1 : 評価位置①の断面積 (mm^2)

(ii) 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{mr} = \frac{m_2 (g + G_r)}{A_2 N}$$

ここで、

σ_{mr} : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)

m_2 : 第5-2図(1/2)に示す領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

G_r : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (b)と同じ)

A_2 : 評価位置②の断面積 (mm^2)

N : バスケットプレートの段数 (—)

(b) 一次一般膜応力＋一次曲げ応力

(i) 軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

評価位置①には、軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜応力＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(ii) 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する一次曲げ応力は、バスケットプレートを両端固定梁としてモデル化し、次式で計算される。なお、評価位置③には径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により一次一般膜応力は発生しないため、一次一般膜応力+一次曲げ応力は、一次曲げ応力と同じとなる。

$$\sigma_{br} = \frac{M}{Z}$$
$$M = \frac{w(g+G_r)L^2}{12}$$

ここで、

- σ_{br} : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度により発生する曲げ応力 (MPa)
- M : 評価位置③に発生する曲げモーメント (N・mm)
- Z : 評価位置③の断面係数 (mm³)
- w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- G_r : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度 (m/s²) (4.3.2 (2) (b) と同じ)
- L : バスケットプレート長さ (mm)

(c) せん断応力

(i) 軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により、バスケットプレートにせん断応力は発生しないため、評価を省略する。

(ii) 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生するせん断応力は、次式で計算される。

$$\tau_r = \frac{F}{A_3}$$
$$F = \frac{w(g+G_r)L}{2}$$

ここで、

- τ_r : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度により発生するせん断応力 (MPa)
F : 評価位置③に発生する荷重 (N)
 A_3 : 評価位置③の断面積 (mm²)
w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)
g : 重力加速度 (m/s²)
 G_r : 設計竜巻荷重により生じる径方向加速度 (m/s²) (4.3.2 (2) (b) と同じ)
L : バスケットプレート長さ (mm)

(d) 圧縮応力

(i) 軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。発生する圧縮応力は、(a) (i) と同様に計算される。

(ii) 径方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。発生する圧縮応力は、(a) (ii) と同様に計算される。

5.2.2 伝熱フィン

(1) 荷重条件

竜巻時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・風圧力による荷重(N)
- ・設計飛来物による衝撃荷重(N)

(2) 応力計算

伝熱フィンに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-3図に示す。軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合に生じる加速度により発生する応力は次式で計算される。



第5-3図 伝熱フィンの解析モデル及び評価位置

$$\tau = \frac{(W_1 + W_2)G_a}{A}$$

ここで、

- τ : 伝熱フィンに発生するせん断応力 (MPa)
- W_1 : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- W_2 : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- G_a : 設計竜巻荷重により生じる軸方向加速度 (m/s^2) (4.3.2 (2) (a)と同じ)
- A : 伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 (mm^2/mm)

5.3 機能維持評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第5-5表及び第5-6表に示す。

第5-5表 バスケットの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケット質量	m_1	kg	
評価位置①の断面積	A_1	mm^2	
第5-2図(1/2)に示す領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量	m_2	kg	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
評価位置②の断面積	A_2	mm^2	
バスケットプレートの段数	N	—	
評価位置③の断面係数	Z	mm^3	
第5-2図(2/2)に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	w	kg/mm	
バスケットプレート長さ	L	mm	
評価位置③の断面積	A_3	mm^2	

第5-6表 伝熱フィンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量	W_1	kg/mm	
中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量	W_2	kg/mm	
伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積	A	mm^2/mm	

6. 評価結果

応力評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、必要な強度を有することを確認した。応力評価結果を第6-1表に示す。また、機能維持評価結果を第6-2表に示す。バスケットプレートに生じる応力は、設計降伏点（56MPa）より低いため、バスケットプレートは弾性状態に留まる。

第6-1表 応力評価結果 (1/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
一次蓋	一次一般膜応力	1	4	251
	一次局部膜応力	8	11	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	8	11	377
二次蓋	一次一般膜応力	9	6	251
	一次局部膜応力	14	7	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	62	31	377
カバープレート	一次膜応力+一次曲げ応力	5	4	431

第6-1表 応力評価結果 (2/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
胴	一次一般膜応力	5	8	251
	一次局部膜応力	26	9	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	7	13	377
	圧縮応力 (一次)	17	6	135
胴 (底板)	一次一般膜応力	3	1	251
	一次局部膜応力	22	5	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	4	2	377

第6-1表 応力評価結果 (3/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
一次蓋 シール部 (蓋側)	一次膜応力+一次曲げ応力	35	39	185
	一次+二次応力	76	69	185
一次蓋 シール部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	28	78	185
	一次+二次応力	51	82	185

第6-1表 応力評価結果 (4/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
外筒	引張 (一次応力)	36	44	284
	圧縮 (一次応力)	4	53	280
	せん断 (一次応力)	19	33	163
	曲げ (一次応力)	61	97	284
	組合せ (一次応力)	35	88	284

第6-1表 応力評価結果 (5/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
下部端板	引張 (一次応力)	4	4	286
	圧縮 (一次応力)	2	2	214
	せん断 (一次応力)	6	7	165
	曲げ (一次応力)	23	24	286
	組合せ (一次応力)	11	13	286

第6-1表 応力評価結果 (6/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
蓋部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	4	8	284
	圧縮 (一次応力)	2	8	282
	せん断 (一次応力)	2	5	164
	曲げ (一次応力)	3	6	284
	組合せ (一次応力)	5	9	284

第6-1表 応力評価結果 (7/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
底部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	10	5	286
	圧縮 (一次応力)	3	1	214
	せん断 (一次応力)	6	6	165
	曲げ (一次応力)	38	39	286
	組合せ (一次応力)	14	11	286

第6-1表 応力評価結果 (8/8)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
一次蓋ボルト	平均引張応力	250	253	842
	平均引張応力+曲げ応力	351	506	842
二次蓋ボルト	平均引張応力	203	246	844
	平均引張応力+曲げ応力	352	586	844
カバープレートボルト	平均引張応力	167	166	842
	平均引張応力+曲げ応力	167	174	842

第6-2表 機能維持評価結果

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		軸方向に設計竜巻荷重が作用する場合	径方向に設計竜巻荷重が作用する場合	
バスケットプレート (評価位置①)	一次一般膜応力	2	—	75
	一次膜応力+一次曲げ応力	2	—	90
	圧縮応力	2	—	66
バスケットプレート (評価位置②)	一次一般膜応力	—	4	75
	圧縮応力	—	4	66
バスケットプレート (評価位置③)	一次膜応力+一次曲げ応力	—	3	90
	せん断応力	—	1	43
伝熱フィン	せん断応力	1	—	116

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

1. はじめに	別紙 1-1
2. 解析コードの概要	別紙 1-2
2.1 ABAQUS	別紙 1-2

1. はじめに

本資料は、添付書類3「自然現象による損傷の防止に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS

項目	コード名
	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver 2018 HF4
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析、伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>ABAQUS Ver. 2018 HF4 は JSME クラス「クラス 3 容器」である特定兼用キャスクの 3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、適用機能による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本申請で使用する 3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、発電用原子炉の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンアップにおいて、今回使用している解析機能に影響が生じていないことを確認している。 ・検証の体系と本申請で使用する体系が同等であることから、解析解が理論モデルによる理論解を再現できることをもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・本申請における構造に対し使用する要素、応力解析に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

添付書類 4 耐震性に関する説明書

目 次

添付書類 4-1 耐震設計の基本方針

添付書類 4-2 耐震計算書

別紙 1 計算機プログラム（解析コード）の概要

添付書類 4 - 1 耐震設計の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 耐震設計の基本方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 適用規格	2
3. 設計用地震力	3
4. 機能維持の基本方針	4
4.1 構造強度	4
4.2 機能維持	4

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 6 号）第 5 条第 5 項及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則解釈」という。）第 5 条に基づき、MSF-24P(S)型が地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがない設計とすることの基本方針を説明するものである。

2. 耐震設計の基本方針

2.1 基本方針

MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、貯蔵用緩衝体の装着により、兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で横置きに設置する設計とする。また、MSF-24P(S)型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケットプレートは、弾性状態に留まるように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

2.2 適用規格

耐震設計に適用する規格を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 1987」(一社) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」(一社) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」(一社) 日本電気協会
(以降「JEAG4601」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- ・「発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012」(一社) 日本機械学会 (以下「JSME S NJ1-2012」という。)
- ・「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(一社) 日本機械学会 (以下「JSME S FA1-2007」という。)

ただし、JEAG4601に記載されているA_sクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設とした上で、基準地震動S₂を基準地震動S_sと読み替える。

3. 設計用地震力

MSF-24P(S)型の耐震設計に適用する設計用地震力は、第3-1表のとおりとする。

第3-1表 設計用地震力

種別	耐震クラス	地震力 ^(注)	
		水平方向	鉛直方向
特定兼用キャスク	S	2.35 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$)	1.64 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$)

(注) 兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示(平成31年 原子力規制委員会告示第2号)第1条の加速度(水平2300 Gal及び鉛直1600 Gal)をSI単位系に換算した値である。

4. 機能維持の基本方針

耐震設計におけるMSF-24P(S)型の安全機能の維持は、設計用地震力及び地震力以外の荷重に対して、特定兼用キャスクの構造強度の確保を基本とする。機能維持の方針を以下に示す。

4.1 構造強度

MSF-24P(S)型は、JEAG4601に基づき、設計用地震力による荷重と地震力以外の荷重の組合せを適切に考慮した上で、特定兼用キャスクに生じる応力を許容限界以下とすることで構造強度を確保する設計とする。許容限界は、JSME S FA1-2007の適用部材の分類に応じた供用状態Dの許容応力を適用する。具体的な荷重の組合せ及び許容限界を第4-1表に示す。

4.2 機能維持

MSF-24P(S)型は、「4.1 構造強度」による構造強度を確保し、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まること、閉じ込め機能を担保する部位及び臨界防止機能を担保するバスケットプレート以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。さらに、バスケットプレートについては、弾性状態に留まること、及び除熱機能を担保する伝熱フィンについては、破断延性限界に十分な余裕を有する設計とする。以上をもって、安全機能を維持する設計とする。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容限界

(1) 記号の説明

- D : 死荷重
- P_0 : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲがある場合にはこれを含む）^(註)、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_0 : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲがある場合にはこれを含む）^(註)、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力
- S_y : 設計降伏点 JSME S NJ1-2012 Part3第1章表6に規定される値
- S_u : 設計引張強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表7（ただし、技術基準規則解釈「日本機械学会「設計・建設規格」及び「材料規格」の適用に当って（別記-2）」の要件を付したものに規定される値
- S_m : 設計応力強さ JSME S NJ1-2012 Part3第1章表1に規定される値。
- F : JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(1)に規定される値
- F^* : F値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3311.3、MCD-3312.3又はMCD-3721.3(2)の規定により読み替えた値
- f_t : 許容引張応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(1)に規定される値
- f_s : 許容せん断応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(2)に規定される値
- f_c : 許容圧縮応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(3)に規定される値
- f_b : 許容曲げ応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(4)に規定される値
- f_p : 許容支圧応力 JSME S FA1-2007 MCD-3311.1(5)に規定される値
- $f_t^*, f_s^*, f_c^*, f_b^*, f_p^*$: 上記の f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際にJSME S FA1-2007 MCD-3311.3、MCD-3312.3又はMCD-3721.3(2)に規定される読み替えにより算出される値
- B : JSME S FA1-2007の別図7-1及び別図7-2から求めた値

(注) プラントの運転状態は、次のように定義される。

- (1) 「運転状態Ⅰ」とは、発電用原子炉施設の通常運転時の状態をいう。ここで通常運転とは、運転計画等で定める起動、停止、出力運転、高温待機、燃料取替等の発電用原子炉施設の運転をいう。
- (2) 「運転状態Ⅱ」とは、運転状態Ⅰから逸脱した運転状態であって、運転状態Ⅲ、運転状態Ⅳ及び試験状態以外の状態をいう。「試験状態」とは、耐圧試験により発電用原子炉施設に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。
- (3) 「運転状態Ⅲ」とは、発電用原子炉施設の故障、異常な作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる運転状態をいう。
- (4) 「運転状態Ⅳ」とは、発電用原子炉施設の安全性を評価する観点から異常な状態を想定した運転状態をいう。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

a. 特定兼用キヤスク本体 (注1)

耐震クラス	荷重の組合せ (注2) $D + P_D + M_D + S_S$	許容応力区分 (注3) 供用状態 D	許 容 限 界 (密封シール部及びボルト以外)							
			一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部膜応力	一次 + 二次応力	一次 + 二次 + ピーク応力	純せん断応力	支圧応力	圧縮応力 (一次)
S			$2/3S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	左欄の (注4) α 倍の値	S_u ただし、オーステナイト系ステンレス鋼については S_u と $3.6S_m$ の小さい方。	$3S_m$ 設計用地震力のみによる応力振幅について評価する。	(注5) (注6) 設計用地震力のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1.0以下とする。	$0.4S_u$	S_u (注7) ($1.5S_u$)	$1.5S_m$ と $1.5B$ の小さい方

耐震クラス	荷重の組合せ (注2) $D + P_D + M_D + S_S$	許容応力区分 (注3) 供用状態 D	許容限界 (密封シール部)			許容限界 (ボルト)		
			一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次局部膜応力	一次 + 二次応力	平均引張応力	平均引張応力 + 曲げ応力
S			S_y	S_y	S_y	S_y	S_y	(注5) (注6) 設計用地震力のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1.0以下とする。

- (注1) JSME S FA1-2007の「密封容器」に準じて設計する。
- (注2) P_b と M_b の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I における荷重」に読み替える。ここで、「設計事象 I」とは、特定兼用キヤスク貯蔵施設での特定兼用キヤスクの通常の取扱い時及び通常の貯蔵時の状態をいう。また、 S_s の荷重は「基準地震動 S_s により定まる地震力」を「設計用地震力」に読み替える。
- (注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象
- (注4) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。
- (注5) JSME S FA1-2007 MCD-1332を満たすときは、疲労解析を行うことを要しない。ただし、「応力の全振幅」は「設計用地震力による応力の全振幅」と読み替える。
- (注6) 供用状態A及びBにおいて疲労解析を要しない場合は、設計用地震力のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。
- (注7) () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

b. トラニオン (注1)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力区分	許容限界 (ボルト以外)									
			一次応力 (注2)					一次+二次応力				
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
S	(注3) $D + P_D + M_D + S_s$	(注4) 供用状態 D	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	支圧 $1.5f_p^*$	$3f_t$	$3f_s$	曲げ $3f_b$	支圧 $1.5f_p^*$	(注5) $1.5f_b,$ $1.5f_s$ 又は $1.5f_c$

(注1) JSME S FA1-2007の「トラニオン」に準じて設計する。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) P_D と M_D の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I」に読み替える。ここで、「設計事象 I」とは、特定兼用キヤスク貯蔵施設での特定兼用キヤスクの通常の取扱い時及び通常の貯蔵時の状態をいう。また、 S_s の荷重は「基準地震動 S_s により定まる地震力」を「設計用地震力」に読み替える。

(注4) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

(注5) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、設計用地震力による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

c. 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 (注1)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力区分	許容限界									
			一次応力 (注2)					一次+二次応力				
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
S	(注3) $D + P_b + M_b + S_s$	(注4) 供用状態 D	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$	$3f_t$	$3f_s$	$3f_b$	$1.5f_p^*$	(注5) $1.5f_b,$ $1.5f_s$ 又は $1.5f_c$

(注1) JSME S FAI-2007の「中間胴」に準じて設計する。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) P_b と M_b の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象Iにおける荷重」に読み替える。ここで、「設計事象I」とは、特定兼用キヤスク貯蔵施設での特定兼用キヤスクの通常の取扱い時及び通常の貯蔵時の状態をいう。また、 S_s の荷重は「基準地震動 S_s により定まる地震力」を「設計用地震力」に読み替える。

(注4) JSME S FAI-2007に準じた評価事象

(注5) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、設計用地震力による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

添付書類 4 - 2 耐震計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	3
3. 応力評価箇所	5
4. 応力評価	9
4.1 基本方針	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3 設計用地震力	15
4.4 応力評価方法	16
4.5 応力評価条件	34
5. 機能維持評価	39
5.1 機能維持評価方針	39
5.2 機能維持評価方法	42
5.3 機能維持評価条件	49
6. 評価結果	50

別紙1 計算機プログラム（解析コード）の概要

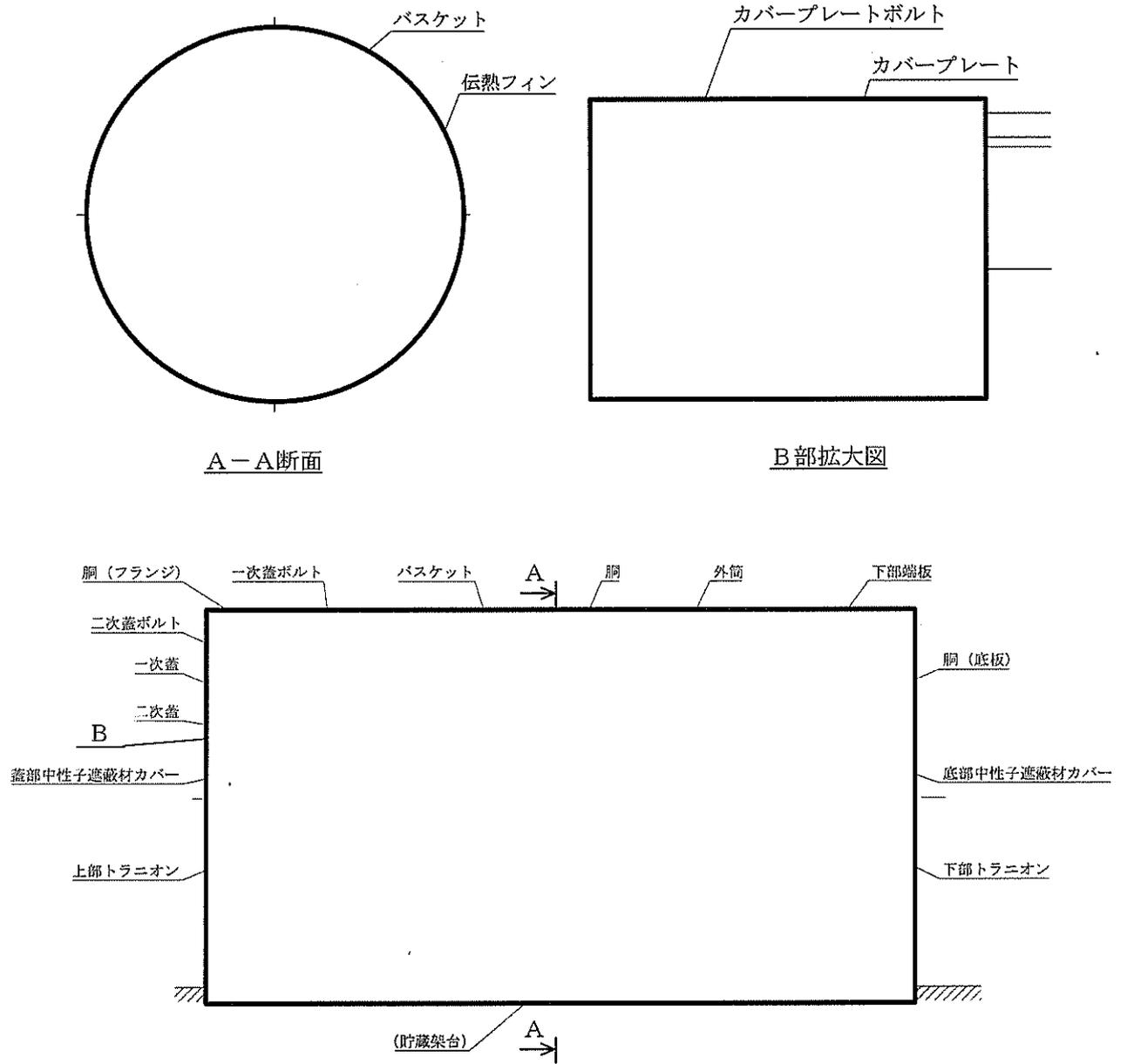
1. 概要

本資料は、添付書類 4 - 1 「耐震設計の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の基本方針に基づき、MSF-24P(S)型が設計用地震力に対して十分な構造強度及び安全機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

MSF-24P(S)型の構造図を第2-1図に示す。

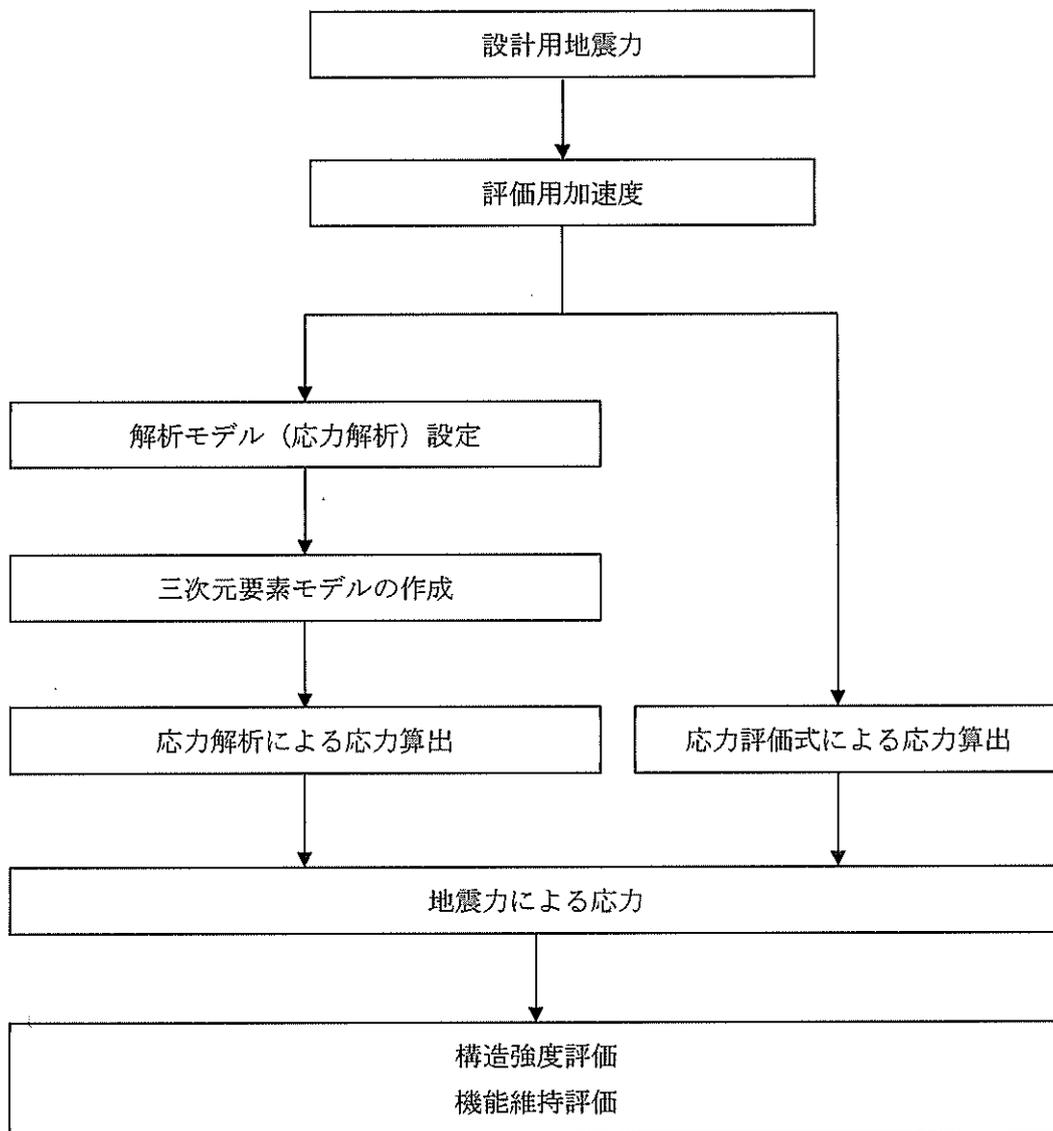


第2-1図 MSF-24P(S)型の構造図

2.2 評価方針

MSF-24P(S)型の耐震評価フローを第2-2図に示す。

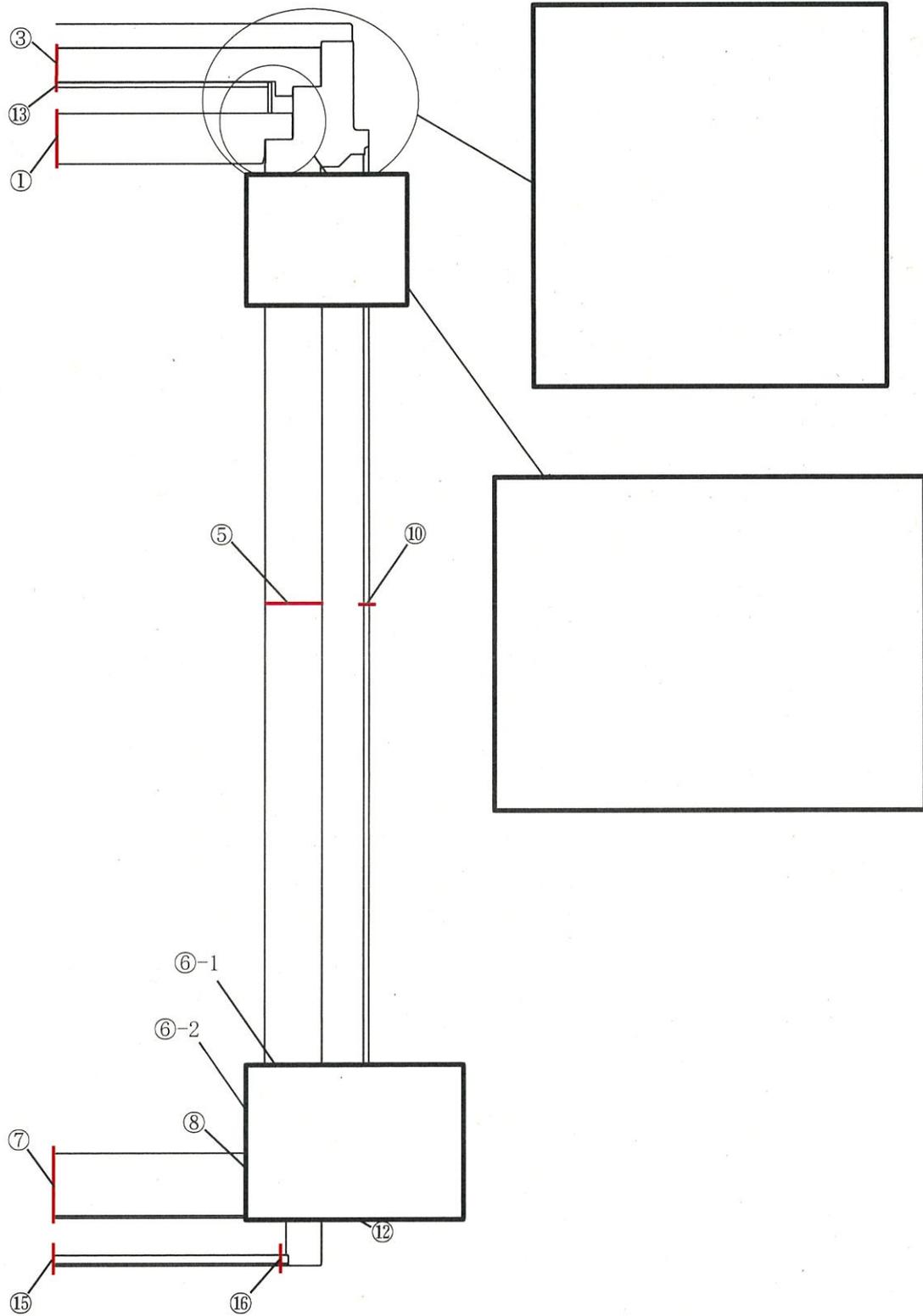
MSF-24P(S)型の耐震評価は、添付書類4-1「耐震設計の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示すMSF-24P(S)型の部位を踏まえ「3. 応力評価箇所」にて設定する箇所において、地震時に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、MSF-24P(S)型の機能維持評価は、添付書類4-1「耐震設計の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき、地震時に発生する応力が機能維持できる応力以下であることを「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。



第2-2図 MSF-24P(S)型の耐震評価フロー

3. 応力評価箇所

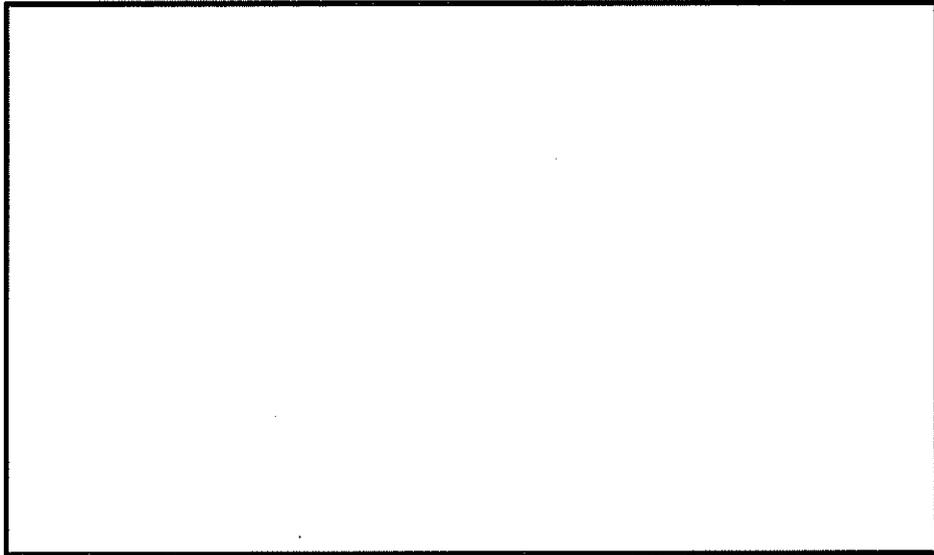
MSF-24P(S)型の応力評価箇所の説明図を第3-1図及び第3-2図に示す。応力評価は、応力評価上厳しくなる構造上の不連続部等を選定して行う。



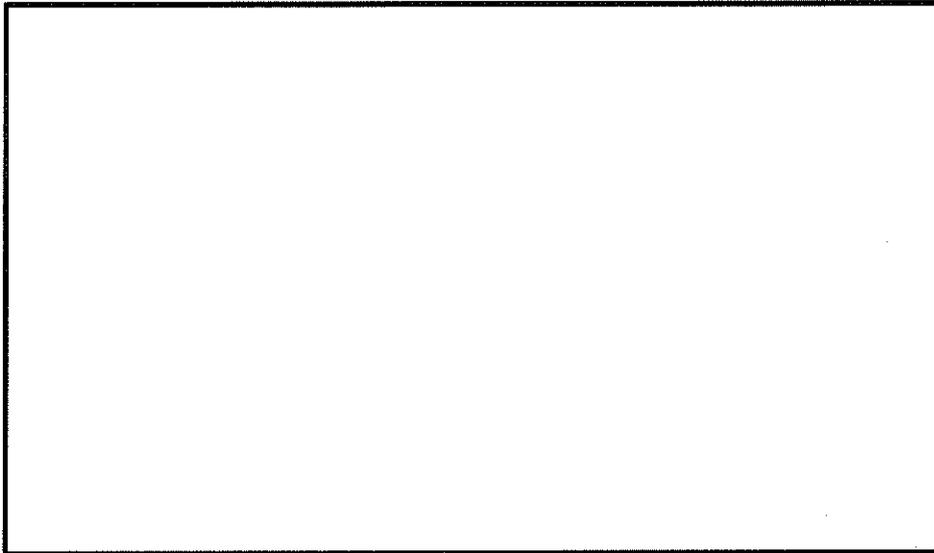
第3-1図 MSF-24P(S)型（トラニオンを除く）の応力評価箇所（1/2）

No.	評価部位
①	一次蓋中央部
②	一次蓋端部
③	二次蓋中央部
④	二次蓋端部
⑤	胴中央部
⑥	胴下部
⑦	胴（底板）中央部
⑧	胴（底板）端部
⑨	外筒上部
⑩	外筒中央部
⑪	外筒下部
⑫	下部端板
⑬	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部
⑭	蓋部中性子遮蔽材カバー端部
⑮	底部中性子遮蔽材カバー中央部
⑯	底部中性子遮蔽材カバー端部
⑰	一次蓋シール部（蓋側）
⑱	一次蓋シール部（胴側）
⑲	一次蓋ボルト
⑳	二次蓋ボルト
㉑	カバープレート
㉒	カバープレートボルト

第3-1図 MSF-24P(S)型（トラニオンを除く）の応力評価箇所（2/2）



(上部トランジオン)



(下部トランジオン)

No.	評価部位
①、②	上部トランジオン本体
③	上部トランジオン接続部
④、⑤	下部トランジオン本体
⑥	下部トランジオン接続部

第3-2図 MSF-24P(S)型のトランジオンの応力評価箇所

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) MSF-24P(S)型の応力計算モデルは、有限要素モデルを基本とし、モデル全体に地震荷重が作用するものとする。また、一部評価部位については、応力評価式により応力を算出する。
- (2) 許容応力について、JSME S NJ1-2012を用いて計算する際に、温度が中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力区分

荷重の組合せ及び許容応力区分を第4-1表に示す。

4.2.2 許容限界

許容限界を第4-2表から第4-5表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第4-6表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

耐震クラス	部位	機器等の区分 (注1)	荷重の組合せ (注2)	許容応力区分 (注3)
S	胴 一次蓋 二次蓋 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバープレート カバープレートボルト	密封容器	D+P _b +M _b +Ss	供用状態D
	上部トラニオン 下部トラニオン	トラニオン	D+P _b +M _b +Ss	供用状態D
	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	D+P _b +M _b +Ss	供用状態D

(注1) JSME S FA1-2007に準じた機器等の区分

(注2) P_bとM_bの荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I における荷重」に読み替える。ここで、「設計事象 I」とは、特定兼用キヤスク貯蔵施設での特定兼用キヤスクの通常の取扱い時及び通常の貯蔵状態をいう。また、Ssの荷重は「基準地震動Ssにより定まる地震力」を「設計用地震力」に読み替える。

(注3) JSME S FA1-2007に準じた評価事象

第4-2表 許容限界 (密封容器)

許容 応力 区分	評価部位	許容限界						支圧応力	圧縮応力 (一次)
		一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次局部 膜応力	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力	(注2) (注3) 設計用地震力		
供用 状態D	一次蓋中央部 一次蓋端部 二次蓋中央部 二次蓋端部 胴中央部 胴下部 胴 (底板) 中央部 胴 (底板) 端部 カバープレート	$2/3S_u$ ただし、オー ステナイト系 ステンレス鋼 については $2/3S_u$ と $2.4S_m$ の小さい方。	左欄の (注1) α 倍の値	S_u ただし、オー ステナイト系 ステンレス鋼 については S_u と $3.6S_m$ の小 さい方。	$3S_m$ 設計用地震力 のみによる応 力振幅につい て評価する。	(注2) (注3) 設計用地震力 のみによる疲 勞解析を行 い、供用状態 A及びBにおけ る疲勞累積係 数との和を 1.0以下とす る。	S_u (注4) ($1.5S_u$)	$1.5S_u$ と $1.5B$ の小さい方	
	一次蓋シール部 (蓋側) 一次蓋シール部 (胴側)	S_y	S_y	S_y	S_y	-	-	-	

(注1) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さいほうの値とする。

(注2) JSME S FA1-2007 MCD-1332を満たすときは、疲勞解析を行うことを要しない。ただし、「応力の全振幅」は「設計用地震力による応力の全振幅」と読み替える。

(注3) 供用状態A及びBにおいて疲勞解析を要しない場合は、設計用地震力のみによる疲勞累積係数が1.0以下とする。

(注4) () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

第4-3表 許容限界 (密封容器)

許容応力 区分	評価部位	許容限界	
		平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
供用状態D	一次蓋ボルト 二次蓋ボルト カバープレートボルト	S_y	一次+二次+ピーク応力 設計用地震力のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1.0以下とする。 (注1) (注2)

(注1) JSME S FA1-2007 MCD-1332を満たすときは、疲労解析を行うことを要しない。ただし、「応力の全振幅」は「設計用地震力による応力の全振幅」と読み替える。

(注2) 供用状態A及びBにおいて疲労解析を要しない場合は、設計用地震力のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。

第4-4表 許容限界 (トラニオン)

許容応力 区分	評価部位	許容限界			
		一次応力 (注1)		一次+二次応力	
		せん断	曲げ	せん断	曲げ
供用状態D	上部トラニオン本体 上部トラニオン接続部 下部トラニオン本体 下部トラニオン接続部	$1.5f_s^*$	$1.5f_b^*$	$3f_s$	$3f_b$
			$1.5f_p^*$	$1.5f_p^*$ (注2) (設計用地震力のみによる応力振幅について評価する。) 幅について評価する。	

(注1) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注2) 設計用地震力のみによる応力及び密封容器の熱膨張により生じる応力について評価する。

第4-5表 許容限界 (中間胴)

許容応力 区分	評価部位	許容限界							
		一次応力 (注1)				一次+二次応力			
		引張	せん断	圧縮	曲げ	引張 圧縮	せん断	曲げ	座屈
供用状態D	外筒上部 外筒中央部 外筒下部 下部端板 蓋部中性子遮蔽材カバ-中央部 蓋部中性子遮蔽材カバ-端部 底部中性子遮蔽材カバ-中央部 底部中性子遮蔽材カバ-端部	1.5f _t *	1.5f _s *	1.5f _c *	1.5f _b *	3f _t	3f _s	3f _b	(注2) 1.5f _b 1.5f _s 又は 1.5f _c

(注1) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注2) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、設計用地震力による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

第4-6表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	B (MPa)	評価部位	
		—	124	185	377	—	—	—	一次蓋中央部、一次蓋端部 一次蓋シール部 (蓋側)	
		—	124	185	377	—	—	—	二次蓋中央部、二次蓋端部	
		—	122	183	377	—	—	90	胴中央部、胴下部	
		—	—	185	—	—	—	—	一次蓋シール部 (胴側)	
		—	122	183	377	—	—	—	胴 (底板) 中央部、胴 (底板) 端部	
		—	—	842	—	—	—	—	一次蓋ボルト	
		—	—	844	—	—	—	—	カバープレートボルト	
		—	137	—	431	—	—	—	二次蓋ボルト	
		—	—	234	426	234	280	—	—	カバープレート
		—	—	159	429	205	214	—	—	外筒上部、外筒中央部、外筒下部 下部端板
		—	—	235	427	235	282	—	—	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部 蓋部中性子遮蔽材カバー端部
		—	—	159	429	205	214	—	—	底部中性子遮蔽材カバー中央部 底部中性子遮蔽材カバー端部
		SUS630		—	—	647	845	591	591	—

4.3 設計用地震力

応力計算に用いる設計用地震力には、添付書類 4-1 「耐震設計の基本方針」第3-1表に記載の値を用いる。

4.4 応力評価方法

4.4.1 胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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

(1) 荷重条件

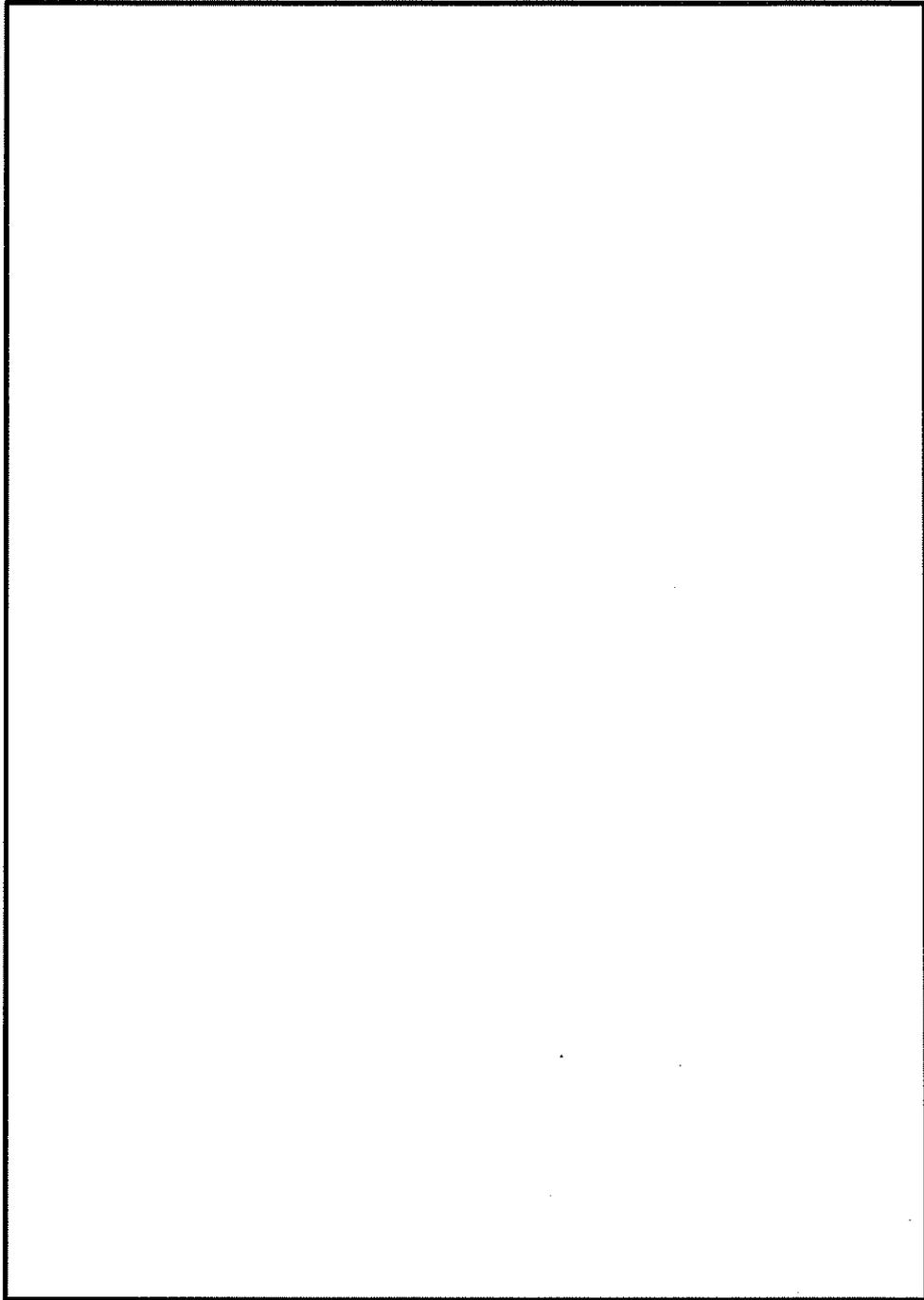
地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・ 密封容器内圧力 (MPaG)
- ・ 蓋間圧力 (MPaG)
- ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPaG)
- ・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPaG)
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (MPaG)
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・ 自重 (－)
- ・ 鉛直方向地震力 (－)
- ・ 水平方向地震力 (－)
- ・ 熱荷重 (－)

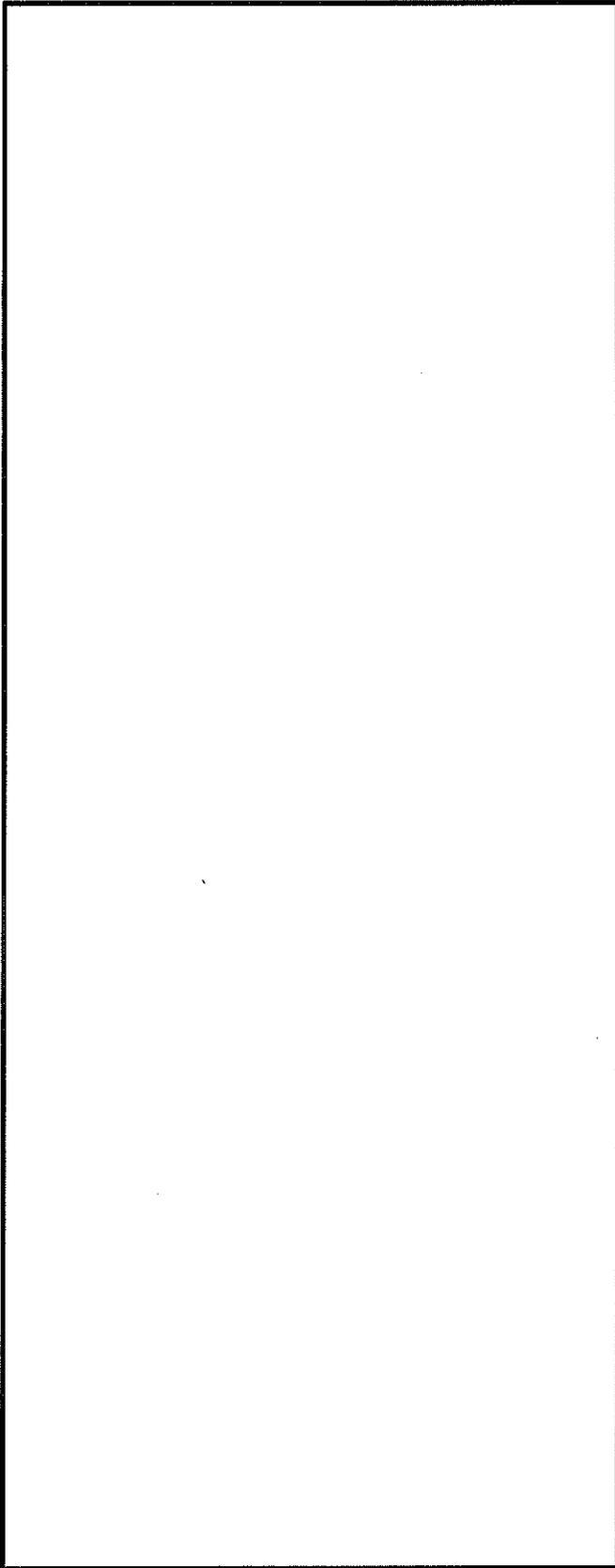
(2) 応力計算

胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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計算は、解析コードABAQUSにより行う。なお、胴（底部）に作用する支圧については4.4.3、各ボルトに対する疲労評価は4.4.5による。また、評価に用いる汎用解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙1「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

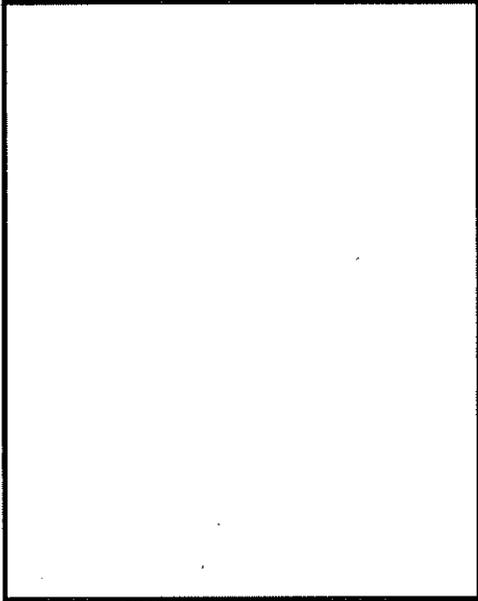
解析モデルを第4-1図に、荷重及び境界条件を第4-2図に示す。



第4-1図 解析モデル



- $F_{i w1}$: 内部収納物の慣性力 (軸方向) (5.14×10^5 N)
 - $F_{i w2}$: 内部収納物の慣性力 (径方向) (5.78×10^5 N、自重を考慮しない場合は、 3.59×10^5 N)
 - P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
 - P_{ii} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
 - P_{sr} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) MPa G)
 - P_{or} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (端板面) MPa G)
 - P_{tr} : 蓋部中性子遮蔽材部圧力 MPa G)
 - P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 MPa G)
 - P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 MPa)
 - P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 MPa)
 - P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 MPa)
- (注) 一次＋二次応力として設計用地震力のみによる応力振幅について評価する場合、内圧及び自重は考慮しない。



第4-2図 荷重及び境界条件

4.4.2 カバープレート及びカバープレートボルト

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・密封容器内圧力 (MPa G)
- ・蓋間圧力 (MPa G)
- ・カバープレートボルト初期締付力 (MPa)
- ・自重 (-)
- ・鉛直方向地震力 (-)
- ・水平方向地震力 (-)

(2) 応力計算

カバープレート及びカバープレートボルトの応力計算は、応力評価式により行う。

(a) カバープレート

密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧及び慣性力により発生する一次膜＋一次曲げ応力 (σ_{r3} 、 $\sigma_{\theta3}$ 、 σ_{z3})は、カバープレートを周辺支持の円板としてモデル化し、密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力 (σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 σ_{z1}) と慣性力により発生する応力 (σ_{r2} 、 $\sigma_{\theta2}$ 、 σ_{z2}) より次式で計算される。

$$\sigma_{r3} = \sigma_{r1} + \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{\theta3} = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2}$$

$$\sigma_{z3} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$$

$$\sigma_{r1} = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta1} = \sigma_{r1}$$

$$\sigma_{z1} = 0$$

$$\sigma_{r2} = \frac{1.24 \cdot w \cdot r^2}{t^2}$$

$$\sigma_{\theta2} = \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{z2} = 0$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa G)

$$P = P_2 - P_1$$

P₁ : 密封容器内圧力 (MPa G)

P₂ : 蓋間圧力 (MPa G)

r : ボルトピッチ半径 (mm)

t : 板厚 (mm)

w : 慣性力による分布荷重 (MPa)

$$w = t \cdot \rho \cdot G_H$$

ρ : カバープレート材料 (SUS304) の密度 (kg/mm³)

G_H : 水平方向加速度 (水平方向地震力) (m/s²)

また、一次+二次応力は応力振幅を考慮し、慣性力により発生する応力を2倍し算出する。

(b) カバープレートボルト

カバープレートボルトに発生する平均引張応力 (σ_{n1}) 及び平均引張応力+曲げ応力 (σ_{n+b}) は、次式で計算される。

$$\sigma_{n+b} = \sigma_{n1} + \sigma_{b1}$$

$$\sigma_{n1} = \sigma_{n2} + \sigma_{n3} + \sigma_{n4}$$

$$\sigma_{n2} = \frac{H}{A}$$

$$\sigma_{n3} = \frac{H_p}{A}$$

$$\sigma_{n4} = \frac{m_r \cdot G_H}{A}$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot D_G^2 \cdot P$$

$$H_p = W_m$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z}$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

σ_{n2} : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧による平均引張応力 (MPa)

σ_{n3} : ガasket締付時の平均引張応力 (MPa)

σ_{n4} : 慣性力による平均引張応力 (MPa)

σ_{b1} : 慣性力による曲げ応力 (MPa)

A : カバープレートボルト最小断面積の合計値 (mm²)

H : カバープレートに加わる内圧による全荷重 (N)

H_p : ガasketに加わる圧縮力 (N)

D_G : ガasket反力の作用する位置 (直径) (mm)

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa)

- W_m : ガスケット締付け時に必要な最小ボルト荷重(N)
 M : 曲げモーメント(N・mm)
 $M = m_r \cdot G_v \cdot L$
 m_r : カバープレートの質量(kg)
 G_H : 水平方向加速度 (水平方向地震力) (m/s²)
 G_v : 鉛直方向加速度 (自重+鉛直方向地震力) (m/s²)
 L : カバープレートボルト軸部の長さ (mm)
 Z : カバープレートボルト断面係数の合計値(mm³)

4.4.3 胴の支圧応力

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重 (－)
- ・鉛直方向地震力 (－)

(2) 応力計算

バスケットとの接触部である胴に発生する支圧応力の計算は、応力評価式により行う。
支圧応力 (σ_p) は次式で計算される。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot \sqrt{G_v^2 + G_H^2}}{A_1}$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- m_G : バスケット及び使用済燃料集合体の質量(kg)
 G_v : 鉛直方向加速度 (自重+鉛直方向地震力) (m/s²)
 G_H : 水平方向加速度 (水平方向地震力) (m/s²)
 A_1 : 接触面積(mm²)

4.4.4 トラニオン

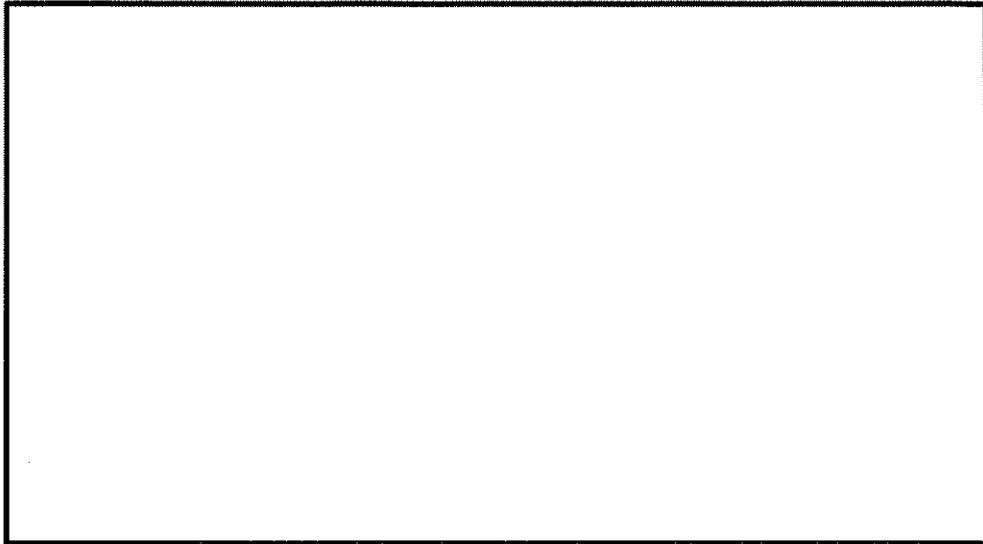
(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

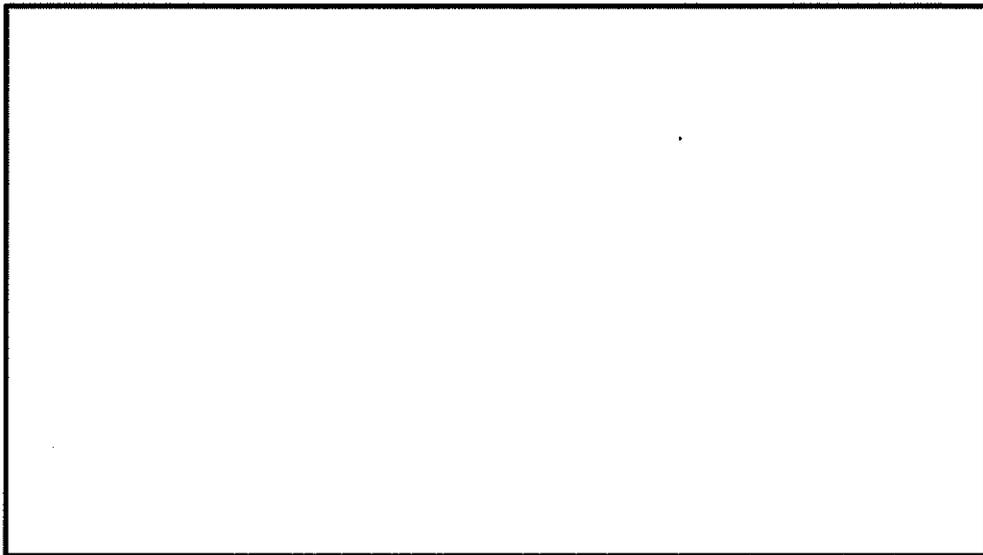
- ・自重（－）
- ・鉛直方向地震力（－）
- ・水平方向地震力（－）

(2) トラニオン本体の応力計算

トラニオン本体の応力計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第4-3図に示す。



(1) 上部トラニオン



(2) 下部トラニオン

第4-3図 トラニオンの解析モデル及び応力評価位置

(a) 一次応力

(i) せん断応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により評価位置①、②、④及び⑤に発生するせん断応力は、次式で計算される。(第4-4図参照)

$$\tau_{1,2} = \frac{F_U}{A_{1,2}}$$

$$\tau_{4,5} = \frac{F_L}{A_{4,5}}$$

ここで、

$\tau_{1,2}$: 上部トラニオンのせん断応力 (MPa)

$\tau_{4,5}$: 下部トラニオンのせん断応力 (MPa)

F_U : 地震力により上部トラニオンに作用する荷重 (N)

$$F_U = \frac{F_{UV}}{N_U}$$

F_{UV} : 鉛直方向地震力により上部トラニオンに作用する合計荷重 (N)

$$F_{UV} = \frac{b}{a_1 + b} m(C_V - 1)g$$

F_L : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)

$$F_L = \frac{\sqrt{F_{LV}^2 + F_{LH}^2}}{N_L}$$

F_{LV} : 鉛直方向地震力により下部トラニオンに作用する合計荷重 (N)

$$F_{LV} = \frac{a_2}{a_2 + b} m(1 + C_V)g$$

F_{LH} : 水平方向地震力により下部トラニオンに作用する合計荷重 (N)

$$F_{LH} = mC_Hg$$

A_1 : 応力評価位置①の断面積 (mm²)

A_2 : 応力評価位置②の断面積 (mm²)

A_4 : 応力評価位置④の断面積 (mm²)

A_5 : 応力評価位置⑤の断面積 (mm²)

m : 貯蔵時における MSF-24P(S) 型の質量 (kg)

N_U : 地震力を受ける上部トラニオン数 (-)

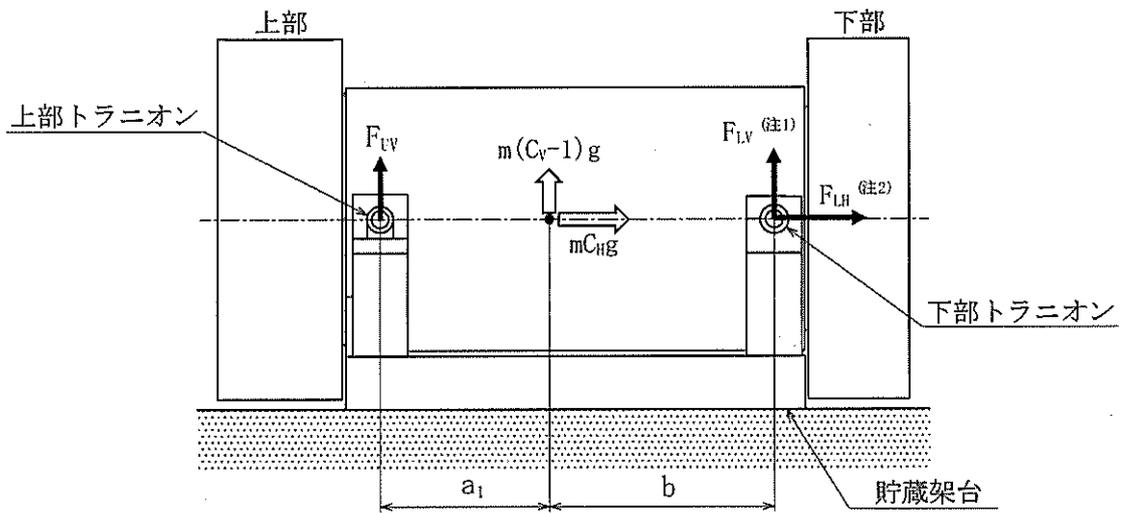
N_L : 地震力を受ける下部トラニオン数 (-)

C_H : 設計用水平震度 (-)

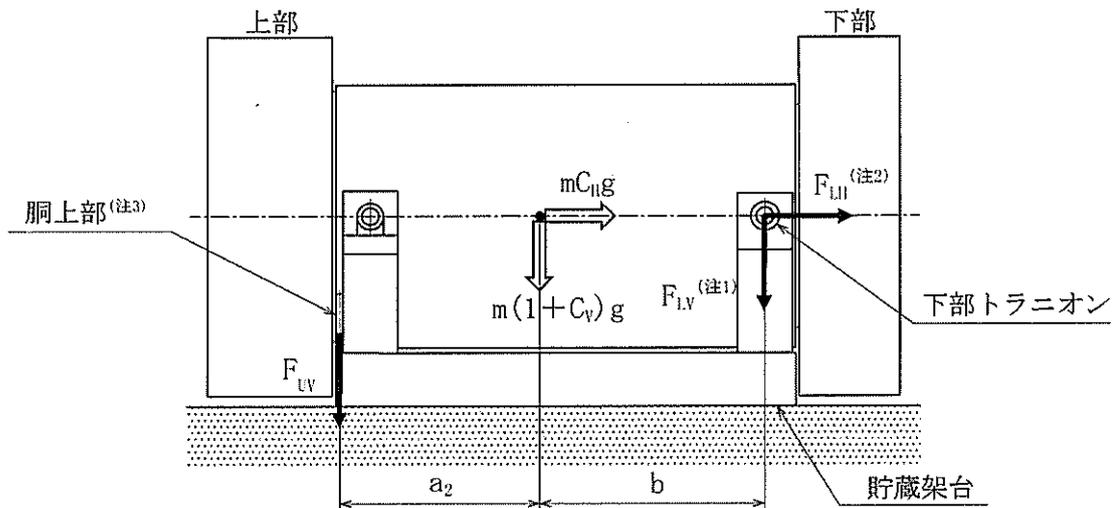
C_V : 設計用鉛直震度 (-)

g : 重力加速度 (m/s²)

- a_1 : 重心から上部トラニオンに作用する荷重の作用点までの距離 (mm)
- a_2 : 重心から胴上部固縛位置までの距離 (mm)
- b : 重心から下部トラニオンに作用する荷重の作用点までの距離 (mm)



(1)鉛直方向地震力（鉛直上向き）と水平方向地震力が作用する場合



(2)鉛直方向地震力（鉛直下向き）と水平方向地震力が作用する場合

⇨ : 地震力により、MSF-24P(S)型重心に生じる慣性力

→ : 慣性力によりトラニオン又は胴上部に生じる荷重

(注1) 鉛直方向地震力（鉛直下向き）により下部トラニオンに作用する荷重は鉛直方向地震力（鉛直上向き）により作用する荷重に比べて大きい。

(注2) 上部トラニオン固縛部は上部トラニオン外径に対して特定兼用キャスクの長手方向に隙間を有しており、長手方向に作用する水平方向地震力は下部トラニオンのみに作用する。

(注3) 鉛直方向地震力（鉛直下向き）を胴上部で受けるため、上部トラニオンに鉛直方向地震力（鉛直下向き）による荷重は作用しない。

第4-4図 地震時にトラニオンへ作用する荷重

(ii) 曲げ応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により評価位置①、②、④及び⑤に発生する曲げ応力は、トラニオンを片持ち梁としてモデル化し、次式で計算される。

$$\sigma_{b1, b2} = \frac{M_{1, 2}}{Z_{1, 2}}$$

$$\sigma_{b4, b5} = \frac{M_{4, 5}}{Z_{4, 5}}$$

ここで、

$\sigma_{b1, b2}$: 上部トラニオンの曲げ応力 (MPa)

$\sigma_{b4, b5}$: 下部トラニオンの曲げ応力 (MPa)

$M_{1, 2}$: 上部トラニオンに発生する曲げモーメント (N・mm)

$$M_{1, 2} = F_U L_{1, 2}$$

$M_{4, 5}$: 下部トラニオンに発生する曲げモーメント (N・mm)

$$M_{4, 5} = F_L L_{4, 5}$$

F_U : 地震力により上部トラニオンに作用する荷重 (N)

F_L : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)

Z_1 : 応力評価位置①の断面係数 (mm³)

Z_2 : 応力評価位置②の断面係数 (mm³)

Z_4 : 応力評価位置④の断面係数 (mm³)

Z_5 : 応力評価位置⑤の断面係数 (mm³)

L_1 : 応力評価位置①と荷重作用位置との距離 (mm)

L_2 : 応力評価位置②と荷重作用位置との距離 (mm)

L_4 : 応力評価位置④と荷重作用位置との距離 (mm)

L_5 : 応力評価位置⑤と荷重作用位置との距離 (mm)

(iii) 組合せ応力

せん断応力 ($\tau_{1, 2, 4, 5}$) と曲げ応力 ($\sigma_{b1, b2, b4, b5}$) の組合せ応力 ($\sigma_{T1, T2, T4, T5}$) は、次式で計算される。

$$\sigma_{T1, T2, T4, T5} = \sqrt{\sigma_{b1, b2, b4, b5}^2 + 3 \tau_{1, 2, 4, 5}^2}$$

(iv) 支圧応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により評価位置③及び⑥に発生する支圧応力は、次式で計算される。支圧応力の解析モデルを第4-5図に示す。

$$\sigma_{p31} = R_{1U} / (d_U \cdot L_{2U} / 2)$$

$$\sigma_{p32} = R_{2U} / (d_U \cdot L_{2U} / 2)$$

$$\sigma_{p61} = R_{1L} / (d_L \cdot L_{2L} / 2)$$

$$\sigma_{p62} = R_{2L} / (d_L \cdot L_{2L} / 2)$$

ここで、

σ_{p31} : 上部トラニオンA領域の支圧応力 (MPa)

σ_{p32} : 上部トラニオンB領域の支圧応力 (MPa)

σ_{p61} : 下部トラニオンA領域の支圧応力 (MPa)

σ_{p62} : 下部トラニオンB領域の支圧応力 (MPa)

R_{1U} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)

$$R_{1U} = \frac{F_U L_{1U} + \mu F_U (d_U / 2) + F_U L_{2U}}{\mu d_U + L_{2U}}$$

R_{2U} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)

$$R_{2U} = \frac{F_U L_{1U} - \mu F_U (d_U / 2)}{\mu d_U + L_{2U}}$$

R_{1L} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)

$$R_{1L} = \frac{F_L L_{1L} + \mu F_L (d_L / 2) + F_L L_{2L}}{\mu d_L + L_{2L}}$$

R_{2L} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)

$$R_{2L} = \frac{F_L L_{1L} - \mu F_L (d_L / 2)}{\mu d_L + L_{2L}}$$

F_U : 地震力により上部トラニオンに作用する荷重 (N)

F_L : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)

L_{1U} : 上部トラニオンの0点から荷重作用点までの距離 (mm)

L_{2U} : 上部トラニオンの0点から反力 R_{2U} の作用点までの距離 (mm)

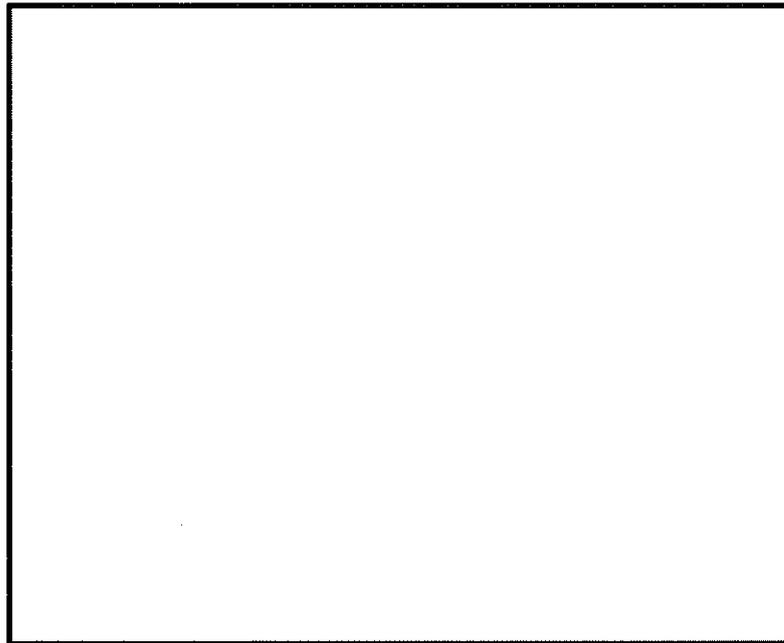
L_{1L} : 下部トラニオンの0点から荷重作用点までの距離 (mm)

L_{2L} : 下部トラニオンの0点から反力 R_{2L} の作用点までの距離 (mm)

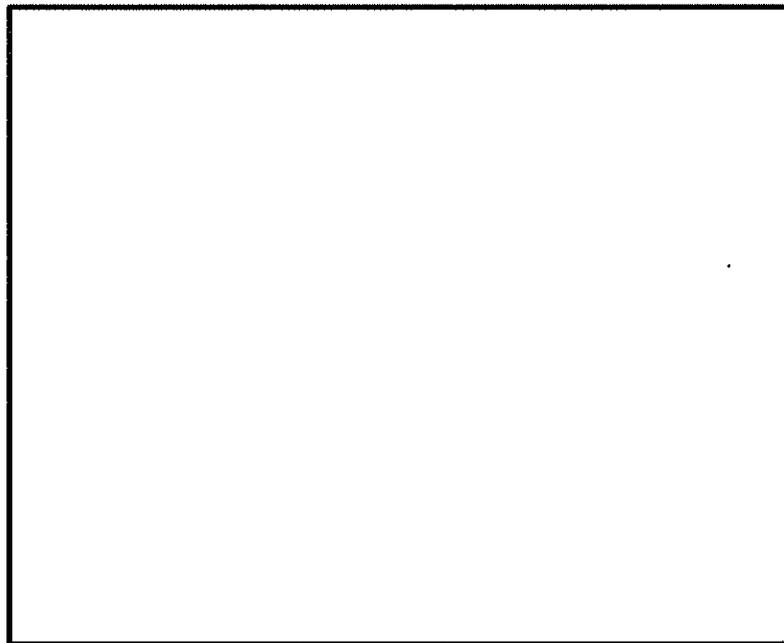
d_U : 上部トラニオン嵌め込み部の外径 (mm)

d_L : 下部トラニオン嵌め込み部の外径 (mm)

μ : 摩擦係数



(1) 上部トラニオン



(2) 下部トラニオン

第4-5図 トラニオン接続部の解析モデル

(b) 一次+二次応力

(i) せん断応力

地震力のみにより評価位置①、②、④及び⑤に発生するせん断応力（応力振幅を考慮、自

重は考慮しない) は、次式で計算される。

$$\tau_{1, 2} = \frac{F_U}{A_{1, 2}}$$

$$\tau_{4, 5} = \frac{2F_L}{A_{4, 5}}$$

ここで、

$\tau_{1, 2}$: 上部トラニオンのせん断応力 (MPa)

$\tau_{4, 5}$: 下部トラニオンのせん断応力 (MPa)

F_U : 地震力により上部トラニオンに作用する荷重 (N)

$$F_U = \frac{F_{UV}}{N_U}$$

F_{UV} : 鉛直方向地震力により上部トラニオンに作用する合計荷重 (N)

$$F_{UV} = \frac{b}{a_1 + b} m C_V g$$

F_L : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)

$$F_L = \frac{\sqrt{F_{LV}^2 + F_{LH}^2}}{N_L}$$

F_{LV} : 鉛直方向地震力により下部トラニオンに作用する合計荷重 (N)

$$F_{LV} = \frac{a_2}{a_2 + b} m C_V g$$

F_{LH} 、 $A_{1, 2, 4, 5}$ 、 m 、 N_U 、 N_L 、 C_H 、 C_V 、 g 、 a_1 、 a_2 、 b : 上記(a)(i)と同じ

(ii) 曲げ応力

地震力のみにより評価位置①、②、④及び⑤に発生する曲げ応力(応力振幅を考慮、自重は考慮しない)は、トラニオンを片持ち梁としてモデル化し、次式で計算される。

$$\sigma_{b1, b2} = \frac{M_{1, 2}}{Z_{1, 2}}$$

$$\sigma_{b4, b5} = \frac{2M_{4, 5}}{Z_{4, 5}}$$

ここで、

$\sigma_{b1, b2}$: 上部トラニオンの曲げ応力 (MPa)

$\sigma_{b4, b5}$: 下部トラニオンの曲げ応力 (MPa)

$M_{1, 2}$: 上部トラニオンに発生する曲げモーメント (N・mm)

$$M_{1, 2} = F_U L_{1, 2}$$

$M_{4.5}$: 下部トラニオンに発生する曲げモーメント (N・mm)

$$M_{4.5} = F_L L_{4.5}$$

F_U, F_L : 上記 (b) (i) と同じ

$Z_{1.2.4.5}, L_{1.2.4.5}$: 上記 (a) (ii) と同じ

(iii) 支圧応力

地震力のみにより評価位置③及び⑥に発生する支圧応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{p31} = R_{1U} / (d_U \cdot L_{2U} / 2)$$

$$\sigma_{p32} = R_{2U} / (d_U \cdot L_{2U} / 2)$$

$$\sigma_{p61} = R_{1L} / (d_L \cdot L_{2L} / 2)$$

$$\sigma_{p62} = R_{2L} / (d_L \cdot L_{2L} / 2)$$

ここで、

$\sigma_{p31}, \sigma_{p32}, \sigma_{p61}, \sigma_{p62}, R_{1U}, R_{2U}, R_{1L}, R_{2L}, F_U, F_L, L_{1U}, L_{2U}, L_{1L}, L_{2L}, d_U, d_L, \mu$
: 上記 (a) (iv) と同じ

また、しまり嵌めによる支圧応力は次式で計算される。しまり嵌めによる支圧応力の解析モデルを第4-6図に示す。

$$P_U = \frac{\alpha_U}{\left(\frac{1-\nu}{E} + \frac{1+\nu}{E'}\right) + \frac{2}{E'} \frac{d_{iU}^2}{d_{oU}^2 - d_{iU}^2}}$$

$$P_L = \frac{\alpha_L}{\left(\frac{1-\nu}{E} + \frac{1+\nu}{E'}\right) + \frac{2}{E'} \frac{d_{iL}^2}{d_{oL}^2 - d_{iL}^2}}$$

ここで、

P_U : 上部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力 (MPa)

P_L : 下部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力 (MPa)

ν : ポアソン比 (-)

α_U : 上部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_U/d_{iU}) (-)

α_L : 下部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_L/d_{iL}) (-)

δ_U : 上部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめしろ (直径差) (mm)

δ_L : 下部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめしろ (直径差) (mm)

d_{iU} : 上部トラニオンの外輪(穴)内径 (mm)

d_{iL} : 下部トラニオンの外輪(穴)内径 (mm)

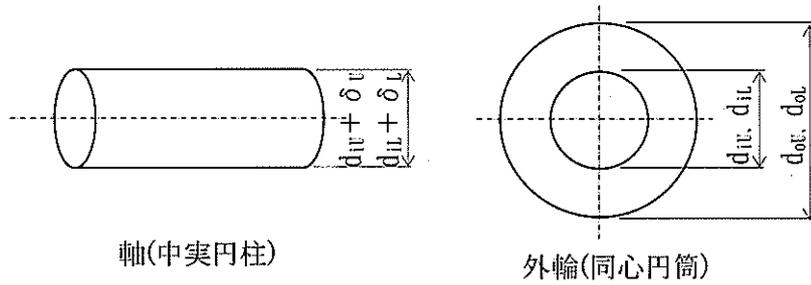
d_{oU} : 上部トラニオンの外輪(穴)外径 (mm)



d_{ol} : 下部トラニオンの外輪(穴)外径 (mm)

E : トラニオンの縦弾性係数 (MPa)

E' : 胴の縦弾性係数 (MPa)



第4-6図 しまり嵌めによる支圧応力の解析モデル

以上より、評価位置③及び⑥に発生する支圧応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{p3} = \text{MAX} [\sigma_{p31}, \sigma_{p32}] + P_U$$

$$\sigma_{p6} = \text{MAX} [\sigma_{p61}, \sigma_{p62}] + P_L$$

4.4.5 密封容器（ボルト）の疲労評価

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・鉛直方向地震力（－）
- ・水平方向地震力（－）
- ・地震荷重の変動回数（－）

(2) 疲労解析計算

地震時のボルトのピーク応力強さは、次式のとおり計算される。

$$S_p = K \cdot S$$

ここで、

S_p : ボルトのピーク応力強さ (MPa)

K : ボルトのねじ部の応力集中係数(－)

S : 地震力のみによりボルトに発生する応力強さ (MPa)

次に、ピーク応力強さの範囲(S_p)から、次式により繰返しピーク応力強さ(S_c, S_c')を求める。ここで、繰返しピーク応力強さ(S_c)は、JSME S FA1-2007 別図8-4に使用されている縦弾性係数(E_0)と解析に用いる縦弾性係数(E)との比を考慮し補正する。

$$S_c = \frac{1}{2} \cdot S_p$$

$$S_c' = S_c \cdot \frac{E_0}{E}$$

JSME S FA1-2007 別図8-4より、補正した繰返しピーク応力強さ(S_c')に対する許容繰返し回数(N_n)を求め、次式のとおり供用状態A及びBを考慮した疲労累積係数を計算する。なお、地震荷重の変動回数は10000回とする。また、供用状態A及びBにおける疲労累積係数の計算詳細は、添付資料5-3「特定兼用キャスクの強度に関する説明書」に示す。

$$U_f = U_n + U_{Ss}$$

$$U_{Ss} = \frac{N_c}{N_n}$$

ここで、

U_f : 供用状態A及びBと地震時の疲労累積係数の和(－)

U_n : 供用状態A及びBの疲労累積係数(－)

U_{Ss} : 地震時の疲労累積係数(－)

N_n : 許容繰返し回数(－)

N_c : 地震荷重の変動回数(－)

4.5 応力評価条件

評価用加速度を第4-7表に示す。また、各評価箇所の応力評価条件を第4-8表から第4-15表に示す。

第4-7表 評価用加速度

方向	記号	評価用加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$)
水平	G_H	2.35
鉛直	G_V	1.64

第4-8表 胴、胴（底板）、一次蓋、一次蓋ボルト、一次蓋シール部、二次蓋、二次蓋ボルト、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評価条件

項目	単位	数値
密封容器内圧力	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	MPa G	0.36
蓋部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
底部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
側部中性子遮蔽材部圧力	MPa G	
一次蓋ボルトの初期締付応力	MPa	
二次蓋ボルトの初期締付応力	MPa	
貯蔵用三次蓋ボルトの初期締付応力	MPa	
自重	m/s^2	9.80665

第4-9表 カバープレート及びカバープレートボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
密封容器内圧力	P_1	MPa G	-0.101325
蓋間圧力	P_2	MPa G	0.36
ボルトピッチ半径	r	mm	
板厚	t	mm	
カバープレート材料の密度	ρ	kg/mm ³	7.93×10^{-6}
自重	—	m/s ²	9.80665
カバープレートボルト最小断面積の合計値	A	mm ²	
ガスケット反力の作用する位置（直径）	D_G	mm	
ガスケット締付け時に必要な最小ボルト荷重	W_m	N	1.851×10^5
カバープレートの質量	m_r	kg	10
カバープレートボルト軸部の長さ	L	mm	
カバープレートボルト断面係数の合計値	Z	mm ³	

第4-10表 胴の支圧応力の評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケット及び使用済燃料集合体の質量	m_G	kg	22300
自重	—	m/s^2	9.80665
接触面積	A_1	mm^2	2.897×10^6

第4-11表 上部トラニオンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
応力評価位置①の断面積	A_1	mm^2	
応力評価位置②の断面積	A_2	mm^2	
貯蔵時におけるMSF-24P(S)型の質量	m	kg	134600
地震力を受ける上部トラニオン数	N_G	—	2
設計用水平震度	C_H	—	2.35
設計用鉛直震度	C_V	—	1.64
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
重心から上部トラニオンに作用する荷重の作用点までの距離	a_1	mm	
重心から下部トラニオンに作用する荷重の作用点までの距離	b	mm	
応力評価位置①の断面係数	Z_1	mm^3	
応力評価位置②の断面係数	Z_2	mm^3	
応力評価位置①と荷重作用位置との距離	L_1	mm	35
応力評価位置②と荷重作用位置との距離	L_2	mm	245
上部トラニオンの0点から荷重作用点までの距離	L_{1V}	mm	245
上部トラニオンの0点から反力 R_{2V} の作用点までの距離	L_{2V}	mm	140
上部トラニオン嵌め込み部の外径	d_V	mm	270
摩擦係数	μ	—	0.35
ポアソン比	ν	—	0.3
上部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめしろ(直径差)	δ_V	mm	
上部トラニオンの外輪(穴)内径	d_{iV}	mm	270
上部トラニオンの外輪(穴)外径	d_{oV}	mm	
トラニオンの縦弾性係数	E	MPa	189000
胴の縦弾性係数	E'	MPa	

第4-12表 下部トラニオンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
応力評価位置④の断面積	A_4	mm^2	
応力評価位置⑤の断面積	A_5	mm^2	
貯蔵時におけるMSF-24P(S)型の質量	m	kg	134600
地震力を受ける下部トラニオン数	N_L	—	2
設計用水平震度	C_H	—	2.35
設計用鉛直震度	C_V	—	1.64
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
重心から胴上部固縛位置までの距離	a_2	mm	
重心から下部トラニオンに作用する荷重の作用点までの距離	b	mm	
応力評価位置④の断面係数	Z_4	mm^3	
応力評価位置⑤の断面係数	Z_5	mm^3	
応力評価位置④と荷重作用位置との距離	L_4	mm	55
応力評価位置⑤と荷重作用位置との距離	L_5	mm	265
下部トラニオンの0点から荷重作用点までの距離	L_{11}	mm	265
下部トラニオンの0点から反力 R_{21} の作用点までの距離	L_{21}	mm	140
下部トラニオン嵌め込み部の外径	d_L	mm	290
摩擦係数	μ	—	0.35
ポアソン比	ν	—	0.3
下部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめしろ(直径差)	δ_L	mm	
下部トラニオンの外輪(穴)内径	d_{iL}	mm	290
下部トラニオンの外輪(穴)外径	d_{oL}	mm	
トラニオンの縦弾性係数	E	MPa	189000
胴の縦弾性係数	E'	MPa	

第4-13表 一次蓋ボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
地震力のみによりボルトに発生する応力強さ	S	MPa	8
JSME S FA1-2007 別図8-4に使用されている縦弾性係数	E_0	MPa	2.07×10^5
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.86×10^5
供用状態A及びBの疲労累積係数	U_n	—	0.0258
地震荷重の変動回数	N_c	—	10000

第4-14表 カバープレートボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
地震力のみによりボルトに発生する応力強さ	S	MPa	5
JSME S FA1-2007 別図8-4に使用されている縦弾性係数	E_0	MPa	2.07×10^5
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.86×10^5
供用状態A及びBの疲労累積係数	U_n	—	0.0034
地震荷重の変動回数	N_c	—	10000

第4-15表 二次蓋ボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
地震力のみによりボルトに発生する応力強さ	S	MPa	12
JSME S FA1-2007 別図8-4に使用されている縦弾性係数	E_0	MPa	2.07×10^5
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.86×10^5
供用状態A及びBの疲労累積係数	U_n	—	0.0367
地震荷重の変動回数	N_c	—	10000

5. 機能維持評価

MSF-24P(S)型のバスケット及び伝熱フィンの機能維持評価について以下に示す。

5.1 機能維持評価方針

設計用地震力が作用した場合にバスケット及び伝熱フィンに発生する応力が、機能が維持される許容応力以下であることを確認する。なお、機能維持評価に用いる寸法は公称値を使用する。

5.1.1 荷重の組合せ及び許容応力区分

バスケット及び伝熱フィンの荷重の組合せ及び許容応力区分を第5-1表に示す。

5.1.2 許容限界

バスケットの機能が維持される許容限界を第5-2表に、伝熱フィンの機能が維持される許容限界を第5-3表に示す。

5.1.3 使用材料の許容応力

バスケット及び伝熱フィンの応力評価に用いる各部位の使用材料の許容応力を第5-4表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力区分

耐震クラス	部位	機器等の区分	荷重の組合せ ^(注3)	許容応力区分 ^(注4)
S	バスケット	バスケット ^(注1)	$D+P_b+M_b+S_s$	供用状態D
	伝熱フィン	— ^(注2)	$D+P_b+M_b+S_s$	供用状態D

(注1) JSME S FAI-2007に準じた機器等の区分

(注2) JSME S FAI-2007に規定がないため、除熱機能を維持できる破断点を許容限界として設定する。

(注3) P_b と M_b の荷重は「プラントの運転状態における荷重」を「設計事象 I における荷重」に読み替える。ここで、「設計事象 I」とは、特定兼用キヤスク貯蔵施設での特定兼用キヤスクの通常の取扱い時及び通常の貯蔵状態をいう。また、 S_s の荷重は「基準地震動 S_s により定まる地震力」を「設計用地震力」に読み替える。

(注4) JSME S FAI-2007に準じた評価事象

第5-2表 許容限界 (バスケット)

許容応力区分	評価部位	許容限界		
		一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	せん断応力
供用状態 ^(注1) D	バスケットプレート	2/3S _u	左欄のα倍 ^(注2)	1.2S _m
				圧縮応力 1.5f.*

(注1) JSME S FAI-2007に規定されている材料を用いていないため、同規定は使用できない。このことから、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第四十三条の二十六の三第1項の規定により、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-1)

D P C 17001) を受けた金属製の乾式キャスク (MSF-21P型) のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金 (MB-A3004-H112) における供用状態Dの設計基準を許容限界として設定する。

(注2) αは純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

第5-3表 許容限界 (伝熱フィン)

許容応力区分	評価部位	許容限界
		せん断応力
供用状態D ^(注)	伝熱フィン	2/3S _u

(注) JASME S FAI-2007に規定がないため、除熱機能を維持できる破断点を許容限界とする。

第5-4表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	評価部位
アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	195	—	36	56	113	バスケットプレート
銅	140	—	—	—	175	伝熱フィン

5.2 機能維持評価方法

5.2.1 バスケット

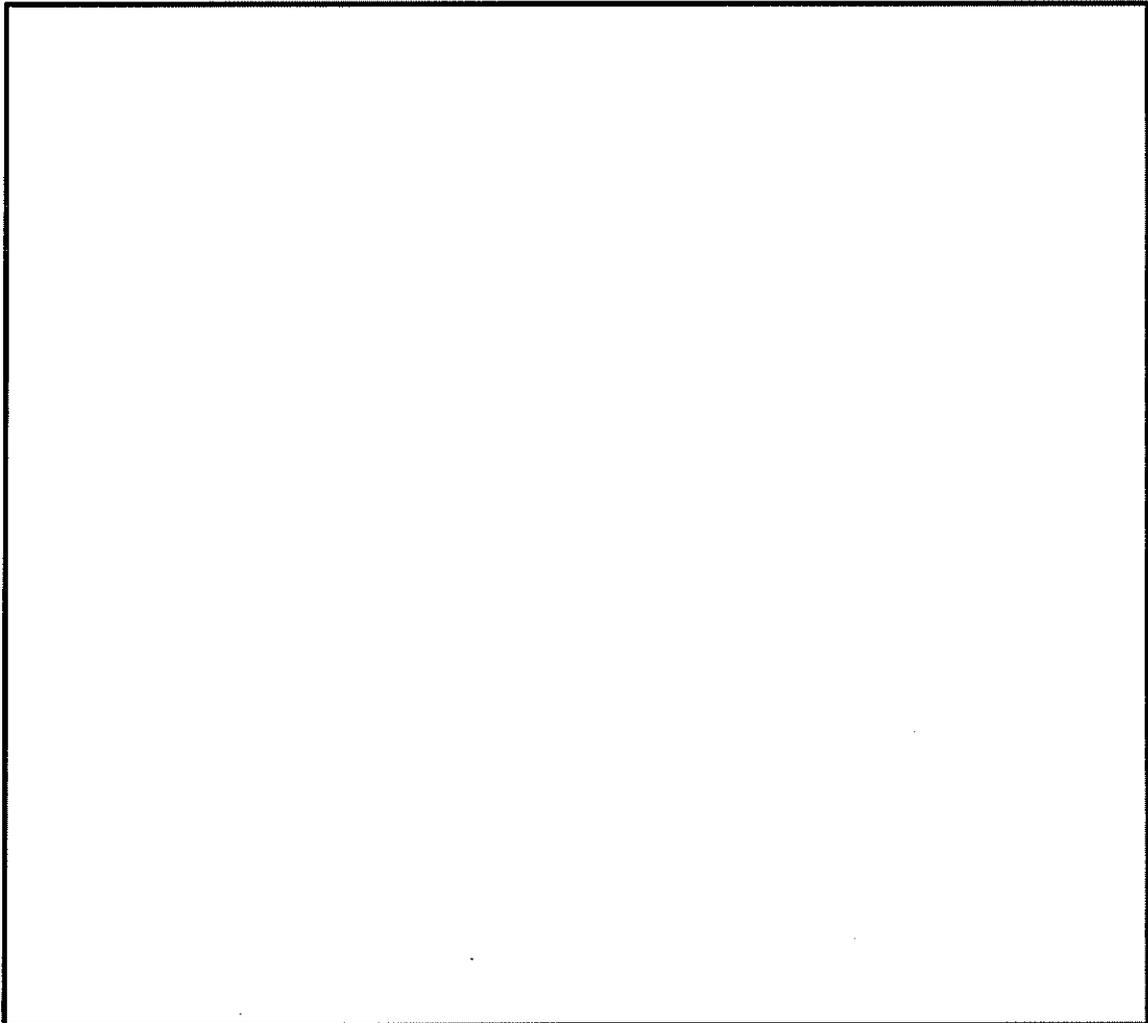
(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

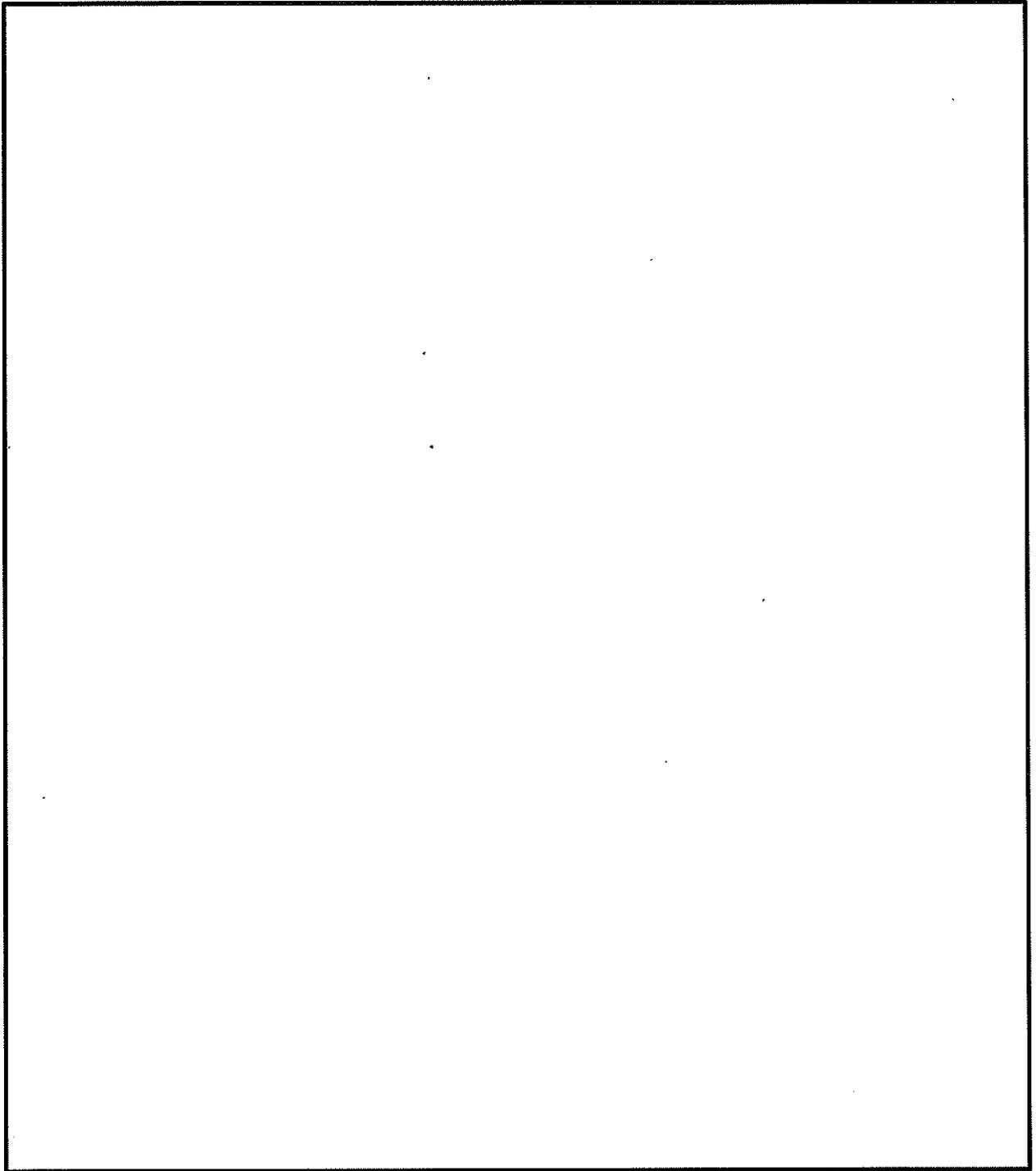
- ・自重（－）
- ・水平方向地震力（－）
- ・鉛直方向地震力（－）

(2) 応力計算

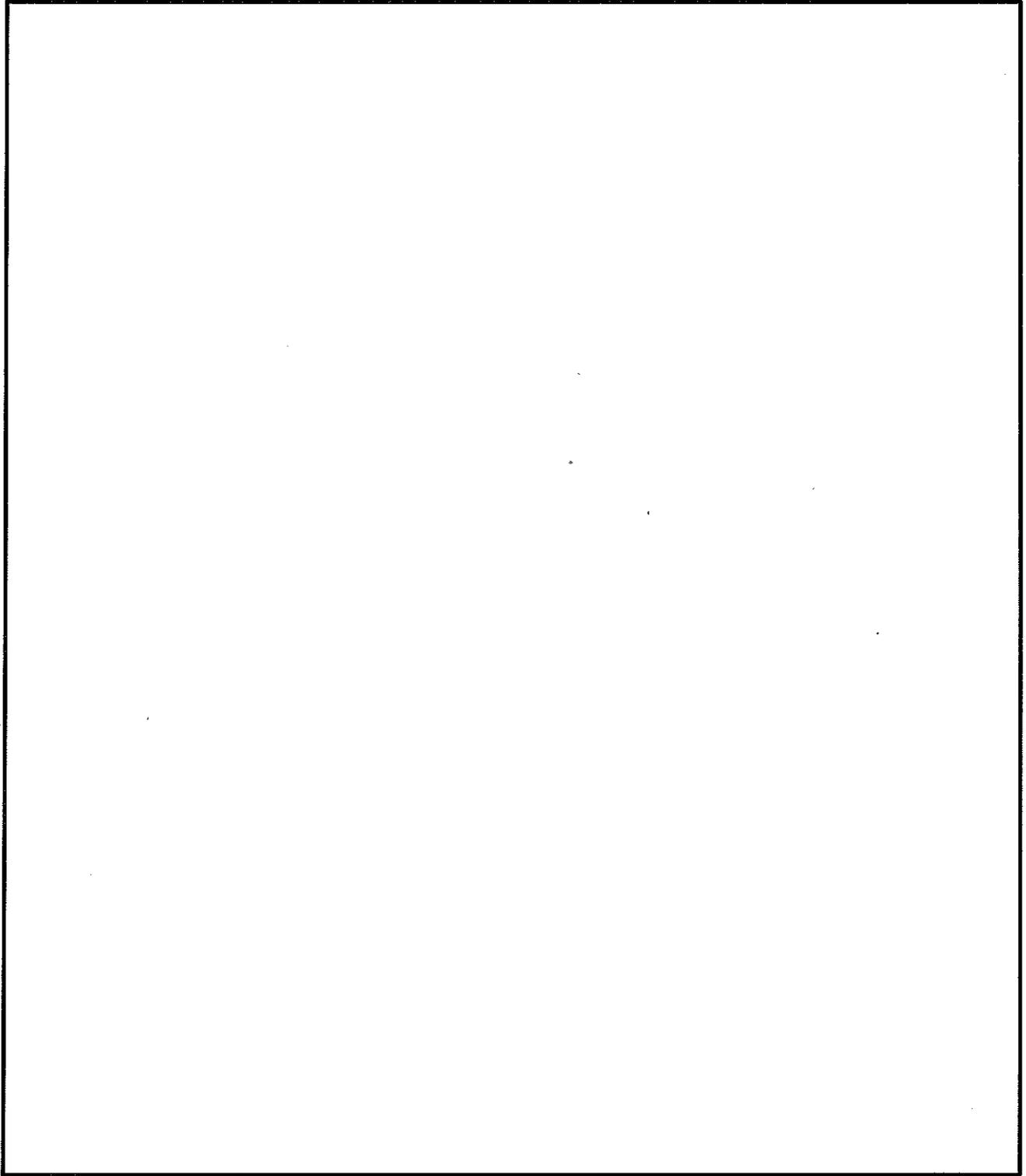
バスケットに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-1図及び第5-2図示す。



第5-1図 水平方向加速度に対するバスケットの解析モデル及び応力評価位置



第5-2図 鉛直方向加速度に対するバスケットの解析モデル及び応力評価位置 (1/2)



第5-2図 鉛直方向加速度に対するバスケットの解析モデル及び応力評価位置 (2/2)

(a) 一次一般膜応力

(i) 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。水平方向加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{mH} = \frac{m_1 C_H g}{A_1}$$

ここで、

σ_{mH} : 水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)

m_1 : バスケット質量 (kg)

C_H : 設計用水平震度 (-)

g : 重力加速度 (m/s^2)

A_1 : 評価位置①の断面積 (mm^2)

(ii) 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{mV} = \frac{m_2 (1 + C_V) g}{A_2 N}$$

ここで、

σ_{mV} : 鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力 (MPa)

m_2 : 第 5-2 図 (1/2) に示す領域 I 及び II に含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量 (kg)

C_V : 設計用鉛直震度 (-)

g : 重力加速度 (m/s^2)

A_2 : 評価位置②の断面積 (mm^2)

N : バスケットプレートの段数 (-)

(b) 一次一般膜応力+一次曲げ応力

(i) 水平方向加速度により発生する応力

評価位置①には、水平方向加速度によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜応力+一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(ii) 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力は、バスケットプレートを両端固定梁としてモデル化し、次式で計算される。なお、評価位置③には鉛直方向加速度により一次一般膜応力は発生しないため、一次一般膜応力＋一次曲げ応力は、一次曲げ応力と同じとなる。

$$\sigma_{bv} = \frac{M}{Z}$$
$$M = \frac{w(1+C_v)gL^2}{12}$$

ここで、

- σ_{bv} : 鉛直方向加速度により発生する曲げ応力 (MPa)
- M : 評価位置③に発生する曲げモーメント (N・mm)
- Z : 評価位置③の断面係数 (mm³)
- w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)
- C_v : 設計用鉛直震度 (—)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- L : バスケットプレート長さ (mm)

(c) せん断応力

(i) 水平方向加速度により発生する応力

水平方向加速度により、バスケットプレートにせん断応力は発生しないため、評価を省略する。

(ii) 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置③である。鉛直方向加速度により発生するせん断応力は、次式で計算される。

$$\tau_v = \frac{F}{A_3}$$
$$F = \frac{w(1+C_v)gL}{2}$$

ここで、

τ_v : 鉛直方向加速度により発生するせん断応力 (MPa)

F : 評価位置③に発生する荷重 (N)

A_3 : 評価位置③の断面積 (mm^2)

w : 第 5-2 図 (2/2) に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量 (kg/mm)

C_v : 設計用鉛直震度 (—)

g : 重力加速度 (m/s^2)

L : バスケットプレート長さ (mm)

(d) 圧縮応力

(i) 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置①である。発生する圧縮応力は、(a)(i)と同様に計算される。

(ii) 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは評価位置②である。発生する圧縮応力は、(a)(ii)と同様に計算される。

5.2.2 伝熱フィン

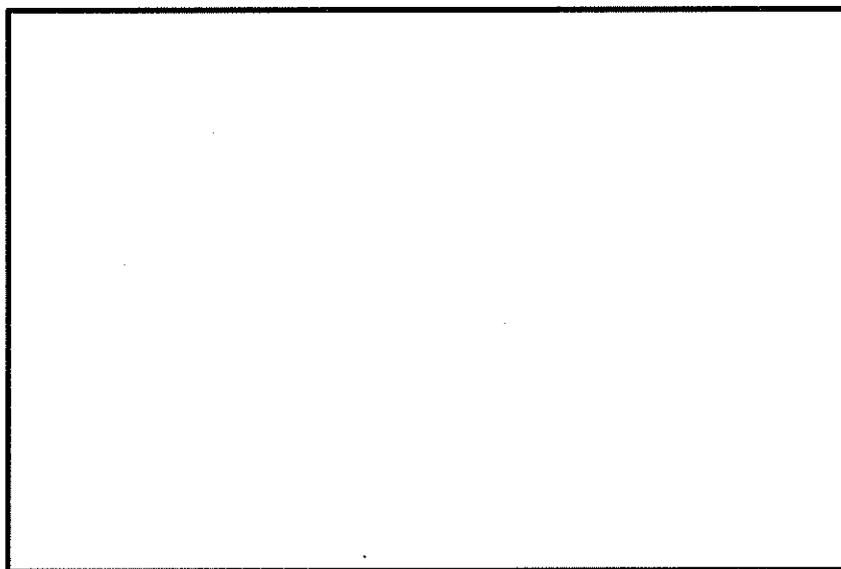
(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重 (－)
- ・水平方向地震力 (－)

(2) 応力計算

伝熱フィンに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-3図に示す。水平方向加速度により発生する応力は次式で計算される。



第5-3図 伝熱フィンの解析モデル及び評価位置

$$\tau = \frac{(W_1 + W_2) C_H g}{A}$$

ここで、

- τ : 伝熱フィンに発生するせん断応力 (MPa)
- W_1 : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- W_2 : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量 (kg/mm)
- C_H : 設計用水平震度 (－)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- A : 伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 (mm^2/mm)

5.3 機能維持評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第5-5表及び第5-6表に示す。

第5-5表 バスケットの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケット質量	m_1	kg	
設計用水平震度	C_H	—	2.35
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
評価位置①の断面積	A_1	mm^2	
第5-2図(1/2)に示す領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量	m_2	kg	
設計用鉛直震度	C_V	—	1.64
評価位置②の断面積	A_2	mm^2	
バスケットプレートの段数	N	—	
評価位置③の断面係数	Z	mm^3	
第5-2図(2/2)に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	w	kg/mm	
バスケットプレート長さ	L	mm	
評価位置③の断面積	A_3	mm^2	

第5-6表 伝熱フィンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり質量	W_1	kg/mm	
中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり質量	W_2	kg/mm	
設計用水平震度	C_H	—	2.35
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
伝熱フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積	A	mm^2/mm	

6. 評価結果

応力評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。応力評価結果を第6-1表に示す。また、機能維持評価結果を第6-2表に示す。バスケットプレートに生じる応力は、設計降伏点(56MPa)より低いため、バスケットプレートは弾性状態に留まる。

第6-1表 応力評価結果 (1/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
一次蓋	一次一般膜応力	1	251
	一次局部膜応力	5	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	3	377
	一次+二次応力 ^(注1) ^(注2)	23	372
二次蓋	一次一般膜応力	5	251
	一次局部膜応力	6	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	30	377
	一次+二次応力 ^(注1) ^(注2)	15	372
カバー プレート	一次膜応力+一次曲げ応力	4	431
	一次+二次応力 ^(注1) ^(注2)	1	411

(注1) 設計用地震力のみによる全振幅について評価する。

(注2) 添付書類 5-3 「特定兼用キャスクの強度に関する説明書」に示すとおり、供用状態A及びBについて、JSME S FA1-2007 MCD-1332(1)～(6)に示す疲労評価が不要となる条件を満足する。また、供用状態Dについて、JSME S FA1-2007 MCD-1332(6)に示す疲労評価が不要となる条件を満足する。これらの結果より、供用状態A及びB並びに供用状態Dについて、疲労解析不要の条件を満足するため、疲労解析を行うことを要しない。

第6-1表 応力評価結果 (2/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
胴	一次一般膜応力	4	251
	一次局部膜応力	11	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	5	377
	一次+二次応力 ^(注1) ^(注2)	33	366
	支圧応力	1	377
	圧縮応力 (一次)	4	135
胴 (底板)	一次一般膜応力	2	251
	一次局部膜応力	9	377
	一次膜応力+一次曲げ応力	3	377
	一次+二次応力 ^(注1) ^(注2)	28	366

(注1)設計用地震力のみによる全振幅について評価する。

(注2)添付書類5-3「特定兼用キャスクの強度に関する説明書」に示すとおり、供用状態A及びBについて、JSME S FA1-2007 MCD-1332(1)～(6)に示す疲労評価が不要となる条件を満足する。また、供用状態Dについて、JSME S FA1-2007 MCD-1332(6)に示す疲労評価が不要となる条件を満足する。これらの結果より、供用状態A及びB並びに供用状態Dについて、疲労解析不要の条件を満足するため、疲労解析を行うことを要しない。

第6-1表 応力評価結果 (3/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
一次蓋シール部 (蓋側)	一次膜応力+一次曲げ応力	34	185
	一次+二次応力	81	185
一次蓋シール部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	18	185
	一次+二次応力	82	185

第6-1表 応力評価結果 (4/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
外筒	引張 (一次応力)	37	280
	圧縮 (一次応力)	6	280
	せん断 (一次応力)	14	161
	曲げ (一次応力)	65	280
	組合せ (一次応力)	33	280
	引張圧縮 (一次+二次応力)	12	468
	せん断 (一次+二次応力)	7	270
	曲げ (一次+二次応力)	9	468
	座屈 (一次+二次応力)	17	234

第6-1表 応力評価結果 (5/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
下部端板	引張 (一次応力)	4	214
	圧縮 (一次応力)	2	214
	せん断 (一次応力)	6	123
	曲げ (一次応力)	20	214
	組合せ (一次応力)	11	214
	引張圧縮 (一次+二次応力)	4	410
	せん断 (一次+二次応力)	3	236
	曲げ (一次+二次応力)	5	410
	座屈 (一次+二次応力)	42	205

第6-1表 応力評価結果 (6/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
蓋部中性子 遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	1	282
	圧縮 (一次応力)	2	282
	せん断 (一次応力)	1	162
	曲げ (一次応力)	5	282
	組合せ (一次応力)	3	282
	引張圧縮 (一次+二次応力)	5	470
	せん断 (一次+二次応力)	3	271
	曲げ (一次+二次応力)	18	470
	座屈 (一次+二次応力)	17	235

第6-1表 応力評価結果 (7/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
底部中性子 遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	5	214
	圧縮 (一次応力)	1	214
	せん断 (一次応力)	6	123
	曲げ (一次応力)	37	214
	組合せ (一次応力)	11	214
	引張圧縮 (一次+二次応力)	9	410
	せん断 (一次+二次応力)	4	236
	曲げ (一次+二次応力)	5	410
	座屈 (一次+二次応力)	47	205

第6-1表 応力評価結果 (8/8)

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
一次蓋ボルト	平均引張応力	250	842
	平均引張応力+曲げ応力	400	842
	疲労評価	0.0358	1(単位なし)
二次蓋ボルト	平均引張応力	230	844
	平均引張応力+曲げ応力	460	844
	疲労評価	0.0467	1(単位なし)
カバープレート ボルト	平均引張応力	166	842
	平均引張応力+曲げ応力	169	842
	疲労評価	0.0134	1(単位なし)
上部トラニオン	せん断 (一次応力)	24	341
	曲げ (一次応力)	39	591
	組合せ (一次応力)	55	591
	支圧 (一次応力)	24	377 ^(注3)
	せん断 (一次+二次応力) ^(注1)	60	682
	曲げ (一次+二次応力) ^(注1)	99	1182
	支圧 (一次応力+二次応力) ^(注2)	105	377 ^(注3)
下部トラニオン	せん断 (一次応力)	65	341
	曲げ (一次応力)	236	591
	組合せ (一次応力)	247	591
	支圧 (一次応力)	164	377 ^(注3)
	せん断 (一次+二次応力) ^(注1)	120	682
	曲げ (一次+二次応力) ^(注1)	439	1182
	支圧 (一次応力+二次応力) ^(注2)	195	377 ^(注3)

(注1) 設計用地震力のみによる全振幅について評価する。

(注2) 設計用地震力のみによる応力及び密封容器の熱膨張により生じる応力について評価する。

(注3) トラニオン接続部 (胴側) の方が許容応力は小さいため、上部トラニオン接続部 (胴側) 及び下部トラニオン接続部 (胴側) の評価基準値を示す。

第6-2表 機能維持評価結果

評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
		MPa	MPa
バスケットプレート (評価位置①)	一次一般膜応力	1	75
	一次膜応力+一次曲げ応力	1	90
	圧縮応力	1	66
バスケットプレート (評価位置②)	一次一般膜応力	2	75
	圧縮応力	2	66
バスケットプレート (評価位置③)	一次膜応力+一次曲げ応力	1	90
	せん断応力	1	43
伝熱フィン	せん断応力	1	116

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

1. はじめに	別紙 1-1
2. 解析コードの概要	別紙 1-2
2.1 ABAQUS	別紙 1-2

1. はじめに

本資料は、添付書類4「耐震性に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS

項目	コード名
	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver 2018 HF4
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析、伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>ABAQUS Ver. 2018 HF4 は耐震 S クラス、JSME クラス「クラス 3 容器」である特定兼用キャスクの 3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、適用機能による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本申請で使用する 3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、発電用原子炉の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンアップにおいて、今回使用している解析機能に影響が生じていないことを確認している。 ・検証の体系と本申請で使用する体系が同等であることから、解析解が理論モデルによる理論解を再現できることをもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・本申請における構造に対し使用する要素、応力解析に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

添付書類 5 強度に関する説明書

目 次

- 添付書類 5-1 強度計算の基本方針
 - 添付書類 5-2 クラス3容器の強度に関する説明書
 - 添付書類 5-2-1 クラス3容器の強度計算の基本方針
 - 添付書類 5-2-2 クラス3容器の強度計算方法
 - 添付書類 5-2-3 クラス3容器の強度計算書
 - 添付書類 5-3 特定兼用キャスクの強度に関する説明書
 - 添付書類 5-3-1 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針
 - 添付書類 5-3-2 特定兼用キャスクの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-1 密封容器の強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-2 バスケットの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-3 トラニオンの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-4 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強度計算方法
 - 添付書類 5-3-3 特定兼用キャスクの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-1 密封容器の強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-2 バスケットの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-3 トラニオンの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-4 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強度計算書
- 別紙1 計算機プログラム（解析コード）の概要

添付書類 5 - 1 強度計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度計算の基本方針	2

1. 概要

MSF-24P(S)型の材料及び構造の設計については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条に規定されている設計基準対象施設に属するクラス 3 容器の設計を行うことから、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有する必要がある。

また、技術基準規則第 26 条第 2 項第 6 号ニに規定される「キャスク本体その他のキャスクを構成する部材は、使用される温度、放射線、荷重その他の条件に対し、適切な材料及び構造であること」にも適合する必要がある。

本資料は、MSF-24P(S)型が適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

2. 強度計算の基本方針

MSF-24P(S)型の強度評価については、クラス3容器として、(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2012」(以下「設計・建設規格」という。)に基づく評価を実施するとともに、(一社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)等に準じた評価を実施する。また、材料についても、設計・建設規格に基づく評価及び金属キャスク構造規格等に準じた評価に用いた材料を使用する。

添付書類 5 - 2 クラス 3 容器の強度に関する説明書

目 次

- 添付書類 5-2-1 クラス 3 容器の強度計算の基本方針
- 添付書類 5-2-2 クラス 3 容器の強度計算方法
- 添付書類 5-2-3 クラス 3 容器の強度計算書

添付書類 5-2-1 クラス 3 容器の強度計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 機器等の区分	2
3. クラス 3 容器の強度計算の基本方針	3

1. 概要

本資料は、クラス 3 容器となるMSF-24P(S)型が設計・建設規格に基づき、十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 機器等の区分

特定兼用キャスクについて、技術基準規則に基づく機器等の区分を下表に示す。

区分	名称及び型式	機器クラス ^(注1)	重大事故等機器クラス ^(注2)
容器	MSF-24P(S)型	クラス3	—

(注1) 設計基準対象施設としての区分

(注2) 重大事故等対処設備としての区分

3. クラス3容器の強度計算の基本方針

クラス3容器の材料及び構造については、技術基準規則第17条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）第17条第11項において、設計・建設規格及び（一社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012」（以下「材料規格」という。）によることが認められている。

よって、クラス3容器の評価は、設計・建設規格による評価を実施する。材料についても、材料規格に規定されている材料を使用する設計とする。

添付書類 5-2-2 クラス 3 容器の強度計算方法

目 次

1. 概要	1
2. 強度計算方法	1
2.1 記号の定義	2
2.2 強度計算方法	7
3. 強度計算書のフォーマット	14
3.1 強度計算書のフォーマットの概要	14
3.2 記載する数値に関する注意事項	14
3.3 強度計算書のフォーマット	14

1. 概要

本資料は、添付書類5-2-1「クラス3容器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス3容器であるMSF-24P(S)型が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものであり、強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

2. 強度計算方法

本項では、添付書類5-2-1「クラス3容器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス3容器が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する、設計・建設規格の規定に基づく強度計算方法について説明する。

なお、申請範囲の容器には、鏡板、フランジ付きさら形ふた板、管板、管台及び伸縮継手は使用しない。

2.1 記号の定義

容器の厚さ計算及びフランジの強度計算に用いる記号について以下に説明する。

	記号	単位	定義
胴及び平板の厚さ計算に使用するもの	B	MPa	最高使用温度における材料規格Part3第3章図1及び図2により求めた値
	D_o	mm	円筒形胴の外径
	d	mm	平板の取付方法に応じ、設計・建設規格表PVD-3310-1に示す平板の径又は最小内のり
	K	—	平板の取付け方法による係数で設計・建設規格表PVD-3310-1に記載の値
	t	mm	平板の計算上必要な厚さ
	t_1	mm	胴の材料による制限最小厚さ
	t_2	mm	胴の計算上必要な厚さ
	t_s	mm	実際の使用最小厚さ
	P	MPa	最高使用圧力
	P_e	MPa	外面に受ける最高の圧力
	S	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章表 3 に規定する材料の許容引張応力
	S_B	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章表 3 に定める値の 2 倍の値、または材料規格 Part3 第 1 章表 6 に定める値の 0.9 倍の値のいずれか小さい方の値

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	A	mm	フランジの外径
	A_b	mm^2	実際に使用するボルトの総有効断面積
	A_m	mm^2	ボルトの総有効断面積
	A_{m1}	mm^2	使用状態でのボルトの総有効断面積
	A_{m2}	mm^2	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積
	B	mm	フランジの内径
	C	mm	ボルト穴の中心円の直径
	D_g	mm	ガスケット接触面の外径
	d	mm^3	係数で、一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合は $\frac{U}{V} h_0 g_0^2$ 、 ルーズ形フランジの場合は $\frac{U}{V_L} h_0 g_0^2$
	d_b	mm	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径
	e	mm^{-1}	係数で、一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合は $\frac{F}{h_0}$ 、ルーズ形フランジの場合は $\frac{F_L}{h_0}$
F	—	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数（「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003）附属書 3 図 5 又は附属書 3 表 4 による。）	
f	—	ハブ応力修正係数（「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003）附属書 3 図 4 又は附属書 3 表 4 による。）	

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	G	mm	ガスケット反力円の直径
	g ₀	mm	ハブ先端の厚さ
	g ₁	mm	フランジ背面のハブの厚さ
	H	N	内圧によってフランジに加わる全荷重
	H _b	N	内圧によってフランジの内径面に加わる荷重
	H _g	N	ガスケット荷重
	H _p	N	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力
	H _r	N	内圧によってフランジに加わる全荷重と内圧によってフランジの内径面に加わる荷重との差
	h ₀	mm	$\sqrt{Bg_0}$
	h _b	mm	ボルト穴の中心円から H _b 作用点までの半径方向の距離
	h _g	mm	ボルト穴の中心円から H _g 作用点までの半径方向の距離
	h _r	mm	ボルト穴の中心円から H _r 作用点までの半径方向の距離
	L	—	係数 $L = \frac{et+1}{T} + \frac{t^3}{d}$
	M	N・mm	フランジに作用するモーメント
	M ₀	N・mm	使用状態でフランジに作用するモーメント
	M _g	N・mm	ガスケット荷重によるモーメント
	n	—	ボルトの本数
	P	MPa	最高使用圧力(内圧)
P _c	MPa	最高使用圧力(外圧)	

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	R	mm	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離 $R = g_1 - \frac{C-B}{2}$
	S ₀	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章表5に規定するボルト材料の許容引張応力
	S _a	MPa	常温における材料規格 Part3 第1章表5に規定するボルト材料の許容引張応力
	S _{r0}	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章表3に規定するフランジ材料の許容引張応力
	S _{ra}	MPa	常温における材料規格 Part3 第1章表3に規定するフランジ材料の許容引張応力 (ガスケット締付時)
	T	—	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (「圧力容器の構造一般事項」 (日本産業規格 JIS B 8265-2003) 附属書 3 図 7 又は図中の算式による。)
	t	mm	フランジの厚さ (ガスケット座面の高さ及びガスケット溝の深さは含めない)
	U	—	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (「圧力容器の構造一般事項」 (日本産業規格 JIS B 8265-2003) 附属書 3 図 7 又は図中の算式による。)
V	—	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数 (「圧力容器の構造一般事項」 (日本産業規格 JIS B 8265-2003) 附属書 3 図 8 又は附属書 3 表 4 による。)	

	記 号	単 位	定 義
フランジの強度計算に使用するもの	W	N	ボルト荷重
	W_0	N	使用状態でのボルト荷重
	W_R	N	ガスケット締付時のボルト荷重
	W_{m1}	N	使用状態での必要な最小ボルト荷重
	W_{m2}	N	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重
	Y	—	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数（「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003）附属書 3 図 7 又は図中の算式による。）
	y	MPa	ガスケットの最小設計締付圧力（「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003）附属書 3 表 2 による。）
	Z	—	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数（「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003）附属書 3 図 7 又は図中の算式による。）
	σ_H	MPa	ハブの軸方向応力
	σ_R	MPa	フランジの径方向応力
	σ_T	MPa	フランジの周方向応力

2.2 強度計算方法

クラス 3 容器の計算上必要な厚さ及びフランジの強度計算の方法を示す。

材料の許容引張応力は材料規格Part3第1章表3及び表5に応じた値を用いる。材料規格Part3第1章表3及び表5記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は材料規格に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

2.2.1 胴

(1) 胴の形状 (設計・建設規格PVC-3111)

容器の胴の形状は、設計・建設規格 PVC-3111に適合する円筒形とする。また、容器の継手は、設計・建設規格 PVC-3112に適合する溶接継手を使用する。

(2) 胴の厚さの計算

胴の厚さは、以下のa. 及びb. から求められる計算上必要な厚さ以上であることを示して、強度に対する要求事項に適合することを確認する。

a. 材料による制限最小厚さ： t_1 (設計・建設規格 PVC-3121)

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたもの…………… 3 mm

上記以外の材料で作られたもの…………… 1.5 mm

b. 以下の計算式による

区 分 (注1)	適用規格番号	計算式
円筒形 (外面圧)	設計・建設規格 PVC-3122(4)	胴の厚さが外径の0.1倍を超えるもの ・次の2つの計算式により計算した値のいずれか大きい方の値 $t_2 = \frac{D_o \left(\frac{P_e}{S_B} + 0.0833 \right)}{2.167}$ $t_2 = \frac{D_o}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2P_e}{S_B}} \right)$

(注1) 本容器は外面から圧力を受けるため、内面から圧力を受ける場合の計算式 (設計・建設規格 PVC-3122(1)(2)) の記載は省略する。

また、本容器は胴の厚さが外径の0.1倍を超えるため、胴の厚さが外径の0.1倍以下の場合の計算式 (設計・建設規格 PVC-3122(3)) の記載は省略する。

2.2.2 平板

(1) 平板の厚さの計算

平板の厚さは、以下の計算上必要な厚さ以上であることを示して、強度に対する要求事項に適合することを確認する。

適用規格番号	計算式
設計・建設規格 PVD-3310	$t = d \cdot \sqrt{\frac{KP}{S}}$

(2) 穴の補強計算

a 穴の形（設計・建設規格 PVD-3321）

容器の平板に設ける穴は、円形又はだ円形とする。

b 補強計算（設計・建設規格 PVD-3322）

穴をあける場合の板厚は、平板の厚さが以下の計算上必要な厚さ以上であることを示して、強度に対する要求事項に適合することを確認する。

穴の径がPVD-3310のdの値の1/2以下で、穴の補強計算を行う場合には、補強に有効な面積が、補強に必要な面積の1/2より大きいことを確認する。

適用規格番号	計算式
設計・建設規格 PVD-3322(1)b	穴の径がdの値の1/2以下の場合 $t = d \cdot \sqrt{\frac{2KP}{S}}$

2.2.3 フランジ（設計・建設規格 PVC-3710）

フランジは、「鋼製管フランジ」（日本産業規格 JIS B 2220-2004）（材料に関する部分を除く）又は「鋳鉄製管フランジ」（日本産業規格 JIS B 2239-2004）（材料に関する部分を除く）に適合するもの、もしくは設計・建設規格 別表2に掲げるもの、もしくは必要な強度を有することが確認できたものを使用する。

(1) フランジの強度計算

フランジの強度は、「圧力容器の構造—一般事項」（日本産業規格 JIS B 8265-2003） 附属書3（規定） 圧力容器のボルト締めフランジに準じて計算及び評価することで、必要な強度を有することを確認する。

なお、MSF-24P(S)型のフランジは、一体形フランジであるため、一体形フランジとして計算する。

以下に強度計算及び評価方法を示す。

使用状態及びガスケット締付時におけるボルトの強度計算及び評価は、以下のようになる。

項 目		計 算 式
計算上必要なボルト荷重	内圧によってフランジに加わる全荷重	$H = \frac{\pi}{4} G^2 \cdot P$
	気密を十分に保つためにガスケットに加える圧縮力	$H_p = W_{m2}$
	使用状態での必要な最小ボルト荷重	$W_{m1} = H + H_p$
	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	$W_{m2} = \pi \cdot G \cdot y$
実際のボルトの総有効断面積及び ボルトの総有効断面積及び	使用状態でのボルトの総有効断面積	$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_0}$
	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a}$
	ボルトの総有効断面積	A_m は、 A_{m1} 又は A_{m2} の大きい方の値
	実際に使用するボルトの総有効断面積	$A_b = n \frac{\pi}{4} d_b^2$
	評 価	A_b は A_m より大きいことを確認する。

項 目		計 算 式	
フランジに作用するモーメント	使用状態でのボルト荷重	$W_0 = W_m$	
	ガスケット締付時のボルト荷重	$W_g = \frac{A_m2 + A_b}{2} S_a$	
	外圧によってフランジの内径面に加わる荷重	$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 P_e$	
	ガスケット荷重	$H_G = W_0 - H$	
	内圧によってフランジに加わる全荷重と外圧によってフランジの内径面に加わる荷重との差	$H_T = H - H_D$	
	使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム(一体形フランジ)	一体形	
			$h_0 = R - 0.5g_1$
			$h_G = \frac{C-G}{2}$
		$h_T = \frac{g_1 - R + h_G}{2}$	
使用状態でフランジに作用するモーメント (外圧を受けるフランジ)		$M_0 = H_D \cdot (h_0 - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$	
ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント		$M_g = W_g h_G$	

使用状態及びガスケット締付時のフランジに作用するモーメントについて以下の応力計算を行い、フランジに作用する応力が許容応力より小さいことを確認する。

なお、評価する許容応力は、使用状態の場合は最高使用温度、ガスケット締付時の場合は常温における値とする。

項目	計 算 式 (注1)	許容応力 (注1)
フランジに生じる応力	ハブの軸方向応力 $\sigma_H = \frac{fM}{Lg_1^2B}$	1.5S _f
	フランジの径方向応力 $\sigma_R = \frac{(1.33te+1)M}{Lt^2B}$	S _f
	フランジの周方向応力 $\sigma_T = \frac{YM}{t^2B} - Z\sigma_R$	
	組合せ応力 $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$ $\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$	

(注1) M、S_fは、それぞれ使用状態に対してはM₀、S_{f0}とし、ガスケット締付時に対してはM_g、S_{fg}とする。

3. 強度計算書のフォーマット

3.1 強度計算書のフォーマットの概要

強度計算書のフォーマットは、容器の種類及び構造について以下の3.3のフォーマットを必要に応じて組み合わせるものとし、フォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2 記載する数値に関する注意事項

計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄には — として記載する。

3.3 強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-I	容器の胴の計算結果
FORMAT-II	容器の平板の計算結果
FORMAT-III	フランジの強度計算の計算結果

FORMAT- I

容器の胴の計算結果 (円筒形、外面に圧力を受ける胴)

最高使用 圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	材 料	胴の外径 D _o (mm)	外圧チャート より求められ る値 B (MPa)	材料規格よ り求められ る値 S _B (MPa)	材料による 制限最小厚さ t ₁ (mm)	計算上 必要な厚さ t ₂ (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)

評価：

FORMAT- II

容器の平板の計算結果

最高使用 圧 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	材 料	許容 引張応力 S (MPa)	穴の径 (mm)	径又は 最小 内のり d (mm)	取り付け 方法 による 係数 K (-)	計算上 必要な 厚さ t (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)

評価：

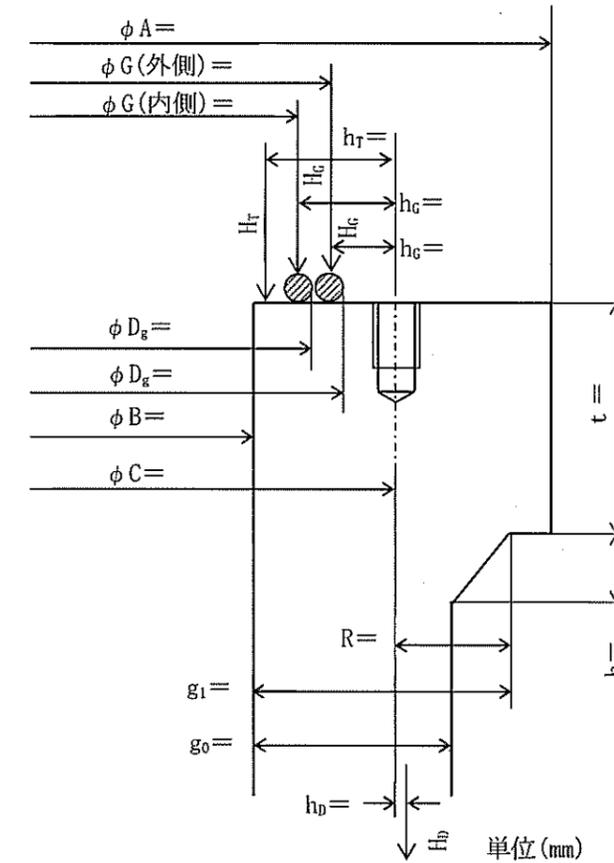
フランジの強度計算の計算結果

	材料	許容引張応力 (MPa)		ボルト 谷径 d_b (mm)	ボルト 本数 n (-)	ガスケット寸法 ^(注1) 中心径 G (mm)		最小設計 締付圧力 y (N/mm)
		常 温	最高使用 温度			内側	外側	
		フランジ	$S_{fa} =$			$S_{fo} =$	—	
ボルト	$S_a =$	$S_o =$	—	—	—	—	—	
ガスケット	—	—	—	—	—	—	—	—

(注1) 二重のガスケットを用いる場合は、内側寸法と外側寸法を記載する。

計算上必要なボルト荷重 (N)	使用状態における 必要な最小ボルト荷重 W_{m1}	
	ガスケット締付に 必要な最小ボルト荷重 W_{m2}	
ボルトの所要総有効断面積及び実際の ボルト総有効断面積 (mm^2)	ボルトの所要 総有効断面積 A_m	
	実際に使用する ボルトの総有効断面積 A_b	
	評 価	
フランジに作用するモーメント ($N \cdot mm$)	使用状態でフランジに 作用する全モーメント M_0	
	ガスケット締付時にフランジに 作用するモーメント M_g	

フランジに生じる応力	使用状態		ガスケット締付時	
	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ハブの軸方向応力 σ_H		$1.5S_{fo} =$		$1.5S_{fa} =$
フランジの半径方向応力 σ_R		$S_{fo} =$		$S_{fa} =$
フランジの周方向応力 σ_T				
応力の 組合せ	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$			
	$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$			
評 価				



フランジ型式——体形フランジ

添付書類 5-2-3 クラス3 容器の強度計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. クラス 3 容器の強度計算結果	2

1. 概要

本資料は、MSF-24P(S)型がクラス3容器として十分な強度を有することの確認結果を示すものである。

2. クラス3容器の強度計算結果

クラス3容器の強度計算結果を以下に示す。

(1) 胴の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVC-3122 (4))

最高使用 圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	材 料	胴の外径 D _o (mm)	外圧チャート より求められ る値 B (MPa)	材料規格よ り求められ る値 S _B (MPa)	材料による 制限最小厚さ t ₁ (mm)	計算上 必要な厚さ t ₂ (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)
0.41	150	<input type="text"/>	<input type="text"/>	90	164	3	90	<input type="text"/>

評価：胴の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

(2) 平板 (一次蓋) の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVD-3322 (1) b)

最高使用 圧 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	材 料	許容 引張応力 S (MPa)	穴の径 (mm)	径又は 最小 内のり d (mm)	取り付け 方法 による 係数 K (-)	計算上 必要な 厚さ t (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)
0.41	150	<input type="text"/>	118	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.17	65	<input type="text"/>

評価：一次蓋の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

(3) 平板 (胴 (底板)) の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVD-3310)

最高使用 力 圧 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容 引張応力 S (MPa)	穴の径 (mm)	径又は 最小 内のり d (mm)	取り付け 方法	取付け 方法 による 係数 K(-)	計算上 必要な 厚さ t (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)
0.41	150		118	-		(o)	0.5	73	

評価：胴 (底板) の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

4

(4) 平板 (カバープレート) の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVD-3310)

最高使用 力 圧 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容 引張応力 S (MPa)	穴の径 (mm)	径又は 最小 内のり d (mm)	取り付け 方法	取付け 方法 による 係数 K(-)	計算上 必要な 厚さ t (mm)	実際の使用 最小厚さ t _s (mm)
0.41	150		130	-		(a)	0.17	5	

評価：カバープレートの最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

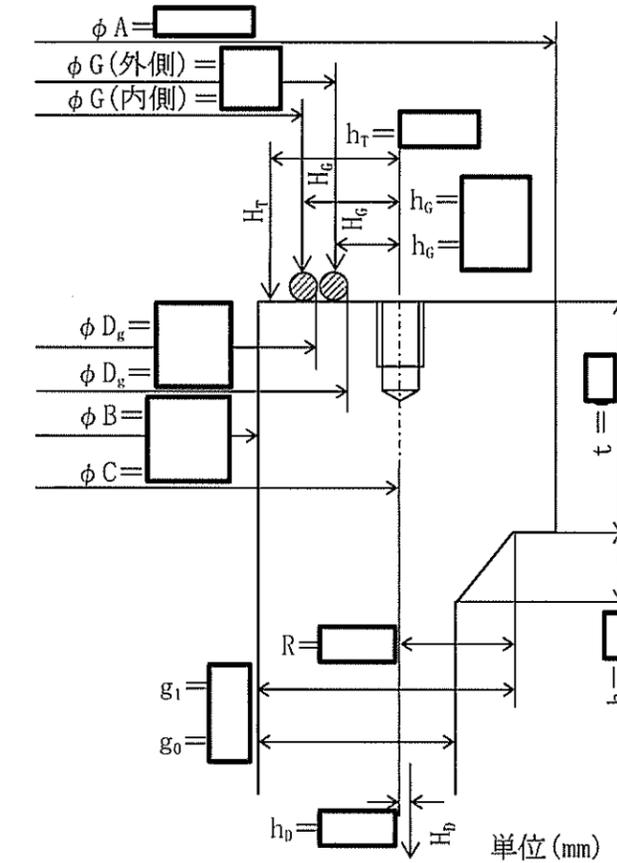
(5) フランジの強度計算の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVC-3710)

	材料	許容引張応力 (MPa)		ボルト 谷径 d_b (mm)	ボルト 本数 n (-)	ガスケット寸法 ^(注1) 中心径 G (mm)		最小設計 締付圧力 y (N/mm)
		常 温	最高使用 温度			内 側	外 側	
フランジ		$S_{fa}=118$	$S_{fo}=118$	—	—	—	—	—
ボルト		$S_a=200$	$S_o=200$			—	—	—
ガスケット	—	—	—	—	—			

(注1) 二重のガスケットを用いる場合は、内側寸法と外側寸法を記載する。

計算上必要なボルト荷重 (N)	使用状態における 必要な最小ボルト荷重 W_{m1}	5.323×10^6
	ガスケット締付に 必要な最小ボルト荷重 W_{m2}	4.286×10^6
ボルトの所要総有効断面積及び実際の ボルト総有効断面積 (mm^2)	ボルトの所要 総有効断面積 A_m	2.662×10^4
	実際に使用する ボルトの総有効断面積 A_b	
	評 価	実際に使用するボルトの総有効断面積は、 ボルトの所要総有効断面積より大きい。
フランジに作用するモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)	使用状態でフランジに 作用する全モーメント M_0	5.679×10^7
	ガスケット締付時にフランジに 作用するモーメント M_g	3.296×10^8

フランジに生じる応力	使用 状 態		ガスケット締付時		
	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
ハブの軸方向応力 σ_H	1	$1.5S_{fo}=177$	2	$1.5S_{fa}=177$	
フランジの半径方向応力 σ_R	16	$S_{fo}=118$	89	$S_{fa}=118$	
フランジの周方向応力 σ_T	3		15		
応力の 組合せ	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$		8		46
	$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$		2		9
評 価	いずれの状態でも許容応力を上回っていない。				



フランジ型式——一体形フランジ

(6) カバープレートボルトの強度計算の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVC-3710)

	材料	許容引張応力 (MPa)		ボルト 谷径 d_b (mm)	ボルト 本数 n (-)	ガスケット寸法 ^(注1) 中心径 G (mm)		最小設計 締付圧力 y (N/mm)
		常 温	最高使用 温度			内側	外側	
		ボルト	<input type="text"/>					
ガスケット	—	—	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(注1) 二重のガスケットを用いる場合は、内側寸法と外側寸法を記載する。

計算上必要なボルト荷重 (N)	使用状態における 必要な最小ボルト荷重 W_{m1}	1.756×10^5
	ガスケット締付に 必要な最小ボルト荷重 W_{m2}	1.713×10^5
ボルトの所要総有効断面積及び実際の ボルト総有効断面積 (mm^2)	ボルトの所要 総有効断面積 A_m	8.781×10^2
	実際に使用する ボルトの総有効断面積 A_b	<input type="text"/>
	評 価	実際に使用するボルトの総有効断面積は、 ボルトの所要総有効断面積より大きい。

添付書類 5 - 3 特定兼用キャスクの強度に関する説明書

目 次

- 添付書類 5-3-1 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針
- 添付書類 5-3-2 特定兼用キャスクの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-1 密封容器の強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-2 バスケットの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-3 トラニオンの強度計算方法
 - 添付書類 5-3-2-4 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強度計算方法
- 添付書類 5-3-3 特定兼用キャスクの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-1 密封容器の強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-2 バスケットの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-3 トラニオンの強度計算書
 - 添付書類 5-3-3-4 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強度計算書

添付書類 5-3-1 特定兼用キャッシュの強度計算の基本方針

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

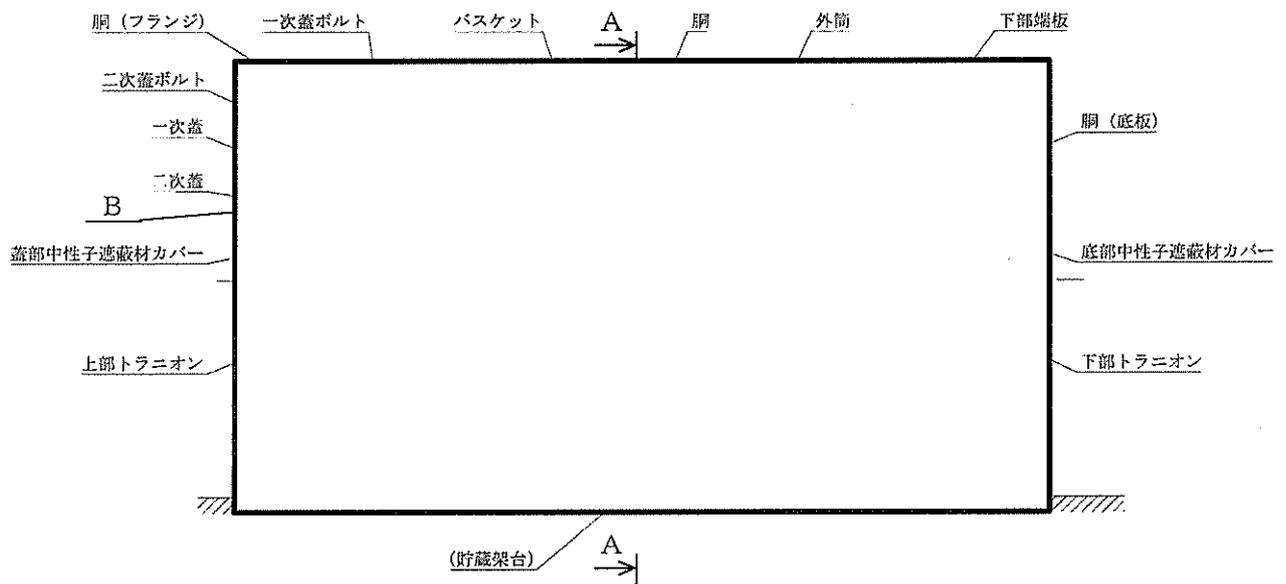
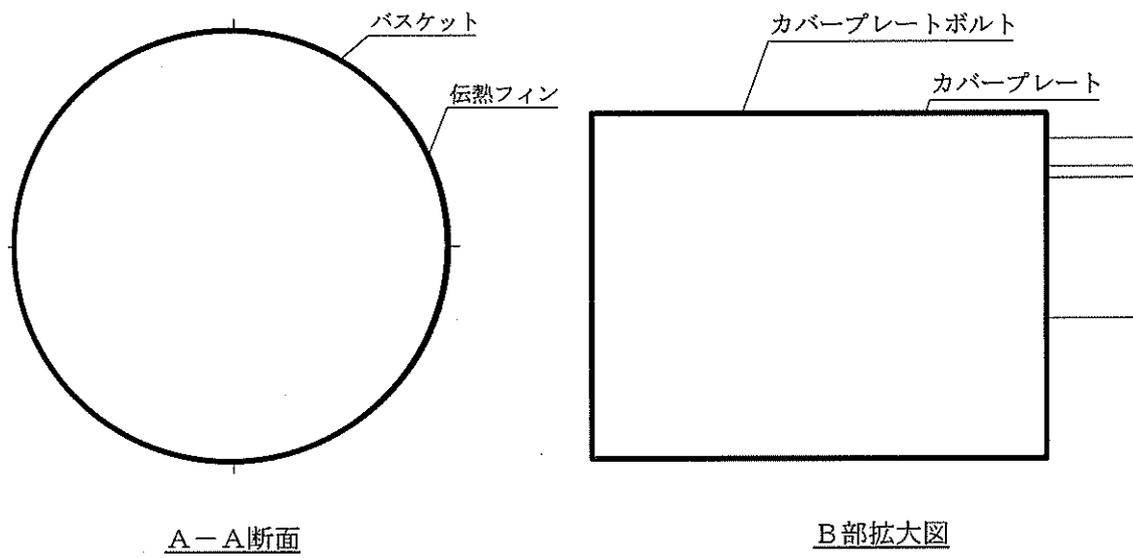
1. 概要	1
2. 適用部材の分類	2
3. 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針	5

1. 概要

本資料は、MSF-24P(S)型が、金属キャスク構造規格等に準じて、十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 適用部材の分類

MSF-24P(S)型の構造図を第2-1図に示す。MSF-24P(S)型の構成部材のうち、技術基準規則第26条に規定される安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）を確保するために必要な強度部材として、胴、一次蓋、二次蓋、バスケット、トラニオン、外筒等を評価対象とし、金属キャスク構造規格に基づく適用部材の分類を第2-1表に示す。



第 2-1 図 MSF-24P(S)型の構造図

第2-1表 MSF-24P(S)型適用部材の分類

部材名	金属キャスク構造規格 適用部材の分類
胴	密封容器
胴（底板）	
胴（フランジ）	
一次蓋	
一次蓋ボルト	
カバープレート	
カバープレートボルト	
二次蓋	
二次蓋ボルト	
外筒	中間胴 ^(注1)
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	
バスケット	バスケット ^(注2)
トランニオン（上部トランニオン及び下部トランニオン）	トランニオン

(注1) MSF-24P(S)型の外筒等は、多層キャスク（胴部が構造強度機能を有する複数の層で構成されているタイプのキャスク）の中間胴と同様に密封容器を支持する構造ではないが、中性子遮蔽材を保持する機能を有しているため、中間胴と同等に扱い、中間胴に準じた評価を行う。ただし、中間胴は密封容器を支持し、その損壊を防止する機能が要求されるため、密封容器との溶接部近接部分に対する特別な規定が設けられている（MCD-3710）が、外筒においてはこの機能は要求されないため、当該規定は参考としない。

(注2) 金属キャスク構造規格のバスケットの評価を参考とし、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日 法律第166号）第43条の26の3第1項の規定により、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-D P C17001）を受けた評価に準じた評価を行う。

3. 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針

第2-1表に従い、金属キャスク構造規格及び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）に基づく評価を実施する。

添付書類 5 - 3 - 2 特定兼用キャスクの強度計算方法

添付書類 5-3-2-1 密封容器の強度計算方法

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 記号の説明	2
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	6
5. 計算条件	7
5.1 解析対象とする事象	7
5.2 解析箇所	8
5.3 形状及び寸法	10
5.4 物性値	10
6. 応力解析の手順	13
6.1 応力計算の概要	13
6.2 荷重条件の選定	16
6.3 応力計算と評価	16

1. 概要

本資料は、添付書類5-3-1「特定兼用キャスクの強度計算の基本方針」に基づき、MSF-24P(S)型の密封容器が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものである。

2. 適用基準

密封容器の強度評価については、添付書類5-3-1「特定兼用キャスクの強度計算の基本方針」に基づき、金属キャスク構造規格の密封容器を適用する。

3. 記号の説明

密封容器の強度評価に用いる記号について以下に説明する。

記号	単位	定 義
A	mm ²	カバープレートボルト最小断面積の合計値
A ₁	mm ²	バスケットと胴内面の接触面積
A _m	MPa	圧力変動の全振幅の許容値
A _{m2}	MPa	一次蓋及び二次蓋の圧力変動の全振幅の許容値
B	MPa	金属キャスク構造規格の別図 7-1 及び別図 7-2 から求めた値
D _G	mm	ガスケット反力の作用する位置 (直径)
D ₀	mm	胴の外径
d _s	mm	カバープレートボルトの最小径
E	MPa	縦弾性係数
E ₀	MPa	「金属キャスク構造規格」別図 8-4 に使用されている縦弾性係数
E ₁	MPa	炭素鋼の縦弾性係数
E ₂	MPa	合金鋼の縦弾性係数
g	m/s ²	重力加速度
G ₁	-	鉛直方向加速度係数
H	N	カバープレートに加わる内圧による全荷重
i	-	応力サイクルの型式
k	-	応力サイクルの総数
K	-	応力集中係数
L	mm	カバープレートボルト軸部の長さ
m _G	kg	バスケット及び使用済燃料集合体の質量
m _r	kg	カバープレートの質量
M	N・mm	曲げモーメント
n _b	-	カバープレートボルトの本数
N ₁	-	大気圧から使用圧力になり、再び大気圧に戻る繰返し回数
N _a	-	許容繰返し回数

記号	単位	定 義
N_c	-	各サイクルの繰返し回数
P	MPa	最高使用圧力
p	mm	胴の任意の 2 点間の距離
P_2	MPa	一次蓋又は二次蓋の最高使用圧力
P_a	MPa	許容外圧
P_b	MPa	一次曲げ応力強さ
P_L	MPa	一次局部膜応力強さ
P_m	MPa	一次一般膜応力強さ
Q	MPa	二次応力強さ
r	mm	ボルトピッチ半径
R	mm	胴の平均半径
S	MPa	$1.5S_m$ と $0.9S_y$ の小さい方
S'	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_1	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_2	MPa	一次蓋貫通孔部又は二次蓋貫通孔部の応力強さ
S_3	MPa	一次蓋貫通孔部又は二次蓋貫通孔部を無視した場合の一次蓋または二次蓋の応力強さ
S_a	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_{b1}	MPa	ボルトに発生する応力強さ (変動前)
S_{b2}	MPa	ボルトに発生する応力強さ (変動後)
S_c	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_c'	MPa	補正した繰返しピーク応力強さ
S_m	MPa	設計応力強さ
S_{m2}	MPa	一次蓋又は二次蓋の使用材料の設計応力強さ
S_p	MPa	各応力サイクルに対応したピーク応力強さ
S_u	MPa	設計引張強さ
S_y	MPa	設計降伏点
t	mm	板厚

記号	単位	定 義
T	°C	温度変動の許容値
T'	°C	温度差
T _{max}	°C	最高使用温度
U _r	-	疲労累積係数
W _{m2}	N	ガスケット締付け時のボルト荷重 (ボルト 1 本当たり)
Z	mm ³	カバープレートボルトの断面係数
α	mm/(mm・°C)	瞬時熱膨張係数
α ₁	mm/(mm・°C)	炭素鋼の瞬時熱膨張係数
α ₂	mm/(mm・°C)	合金鋼の瞬時熱膨張係数
ΔT	°C	最高使用温度(T _{max})と常温との差
Δσ ₁	MPa	供用状態 A 及び B における応力強さの最大値
σ _b	MPa	曲げ応力
σ _{b1}	MPa	カバープレートボルトに発生する曲げ応力
σ _c	MPa	圧縮応力
σ _m	MPa	平均引張応力
σ _{n1}	MPa	カバープレートに加わる内圧により発生するボルト荷重及びガスケット締付け時のボルト荷重による平均引張応力
σ _{n2}	MPa	カバープレートに加わる内圧による平均引張応力
σ _{n3}	MPa	ガスケット締付け時の平均引張応力
σ _p	MPa	平均支圧応力
σ _{r1}	MPa	内圧により発生する一次膜+一次曲げ応力
σ _{z1}	MPa	内圧により発生する一次膜+一次曲げ応力
σ _{θ1}	MPa	内圧により発生する一次膜+一次曲げ応力

4. 設計条件

密封容器は、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

密封容器の最高使用圧力と最高使用温度を第4-1表に示す。

第 4-1 表 密封容器の最高使用圧力と最高使用温度

最高使用圧力	0.41 MPa ^(注1)
最高使用温度	150 °C

(注1) 使用済燃料収納空間の最小圧力 (-0.1 MPaG) と一次蓋-二次蓋の間の最大圧力 (0.31 MPaG) の差圧

4.2 設計事象

設計上考慮する事象として、特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）内及び試験時における選定事象について、各選定事象を金属キャスク構造規格 解説 MGB-1300及び解説表MGA-2200-1を参考に、設計事象及び供用状態を分類した結果を第4-2表に示す。

第 4-2 表 貯蔵施設内及び試験時における選定事象

設計事象	供用状態	貯蔵施設内及び試験時における選定事象
I	A	・貯蔵（貯蔵時） ・MSF-24P(S)型の水平吊上げ、水平吊下げ、水平移動（吊上げ時） ・貯蔵前作業及び搬出前作業（準備作業時）
試験状態	試験状態	・耐圧試験（製造時）

4.3 荷重の種類とその組合せ

金属キャスク構造規格の解説表 MCD-1100-1-1を参考に、密封容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを選定した結果を第4-3表に示す。なお、応力評価に用いる荷重は、強度計算書に記載する。

第 4-3 表 密封容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計荷重	供用状態	評価事象	荷 重					
			圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重
設計条件	設計条件	設計時 ^(注1)	○ ^(注3)	—	○	—	—	—
I	A ^(注2)	貯蔵時	○		○	—	—	○
		吊上げ時	○	— ^(注5)	○	○	—	○
試験状態	試験状態	試験時	○ ^(注4)	○	○	—	—	—

(注1) 最高使用圧力に対する評価条件である。

(注2) 評価事象の中で、他の評価事象に包絡される事象や荷重条件については評価を省略する。

(注3) 本評価は、最高使用圧力（密封容器内圧力及び蓋間圧力）に対する評価を行うことを目的とするため、中性子遮蔽材部圧力は入力しない。

(注4) 耐圧試験圧力（最高使用圧力により定められる圧力）とする。耐圧試験は、一次蓋のみを取り付けた状態で行うため、一次蓋-二次蓋間圧力は作用しない。また、耐圧試験は使用済燃料を装荷せず常温で行うことから、中性子遮蔽材部の内圧は上昇しないため、中性子遮蔽材部圧力は作用しない。

(注5) 本状態での自重による荷重は、吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

4.2で示した貯蔵施設内及び試験時における選定事象のうち、第5-1表に示すように荷重条件等を考慮して選定した代表事象について評価を実施する。

第5-1表 代表事象

設計事象	供用状態	代表事象	包絡される事象	荷重条件	備考
設計条件	設計条件	設計時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・密封容器内圧力 ・蓋間圧力 ・ボルト初期締付力 	最高使用圧力に対する評価条件である。
I	A	貯蔵時	・準備作業時	<ul style="list-style-type: none"> ・密封容器内圧力 ・蓋間圧力 ・蓋部中性子遮蔽材部圧力 ・側部中性子遮蔽材部圧力 ・底部中性子遮蔽材部圧力 ・自重 ・ボルト初期締付力 ・熱荷重 	供用状態 A のうち大半の期間を占める代表的な事象である。また、準備作業時の荷重条件等は貯蔵時と同じである。
		吊上げ時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・密封容器内圧力 ・蓋間圧力 ・蓋部中性子遮蔽材部圧力 ・側部中性子遮蔽材部圧力 ・底部中性子遮蔽材部圧力 ・ボルト初期締付力 ・吊上げ荷重^(注1) ・熱荷重 	—
試験状態	試験状態	試験時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・密封容器内圧力 ・自重 ・ボルト初期締付力 	最高使用圧力の 1.25 倍の圧力を密封容器圧力とする。

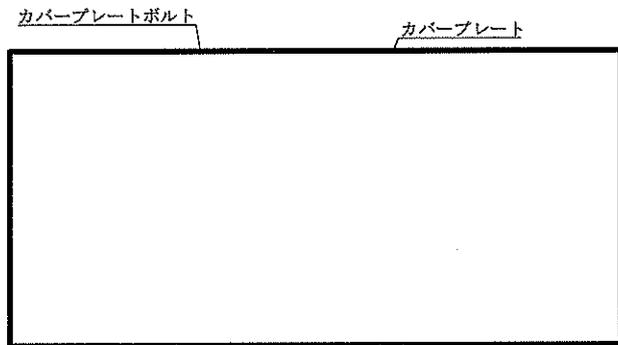
(注1)MSF-24P(S)型に1.3g(下方向)の慣性力を作用させた場合の荷重である。吊上げ時においてMSF-24P(S)型に発生する加速度係数(G_1)は、金属キャスク構造規格 解説表MCD-3300-2-2に記載されるクレーン構造規格に基づいた以下の式により算出した値である。

$$G_1 = \text{衝撃係数} (=1.198) \times \text{作業係数} (=1.08) \\ = 1.3$$

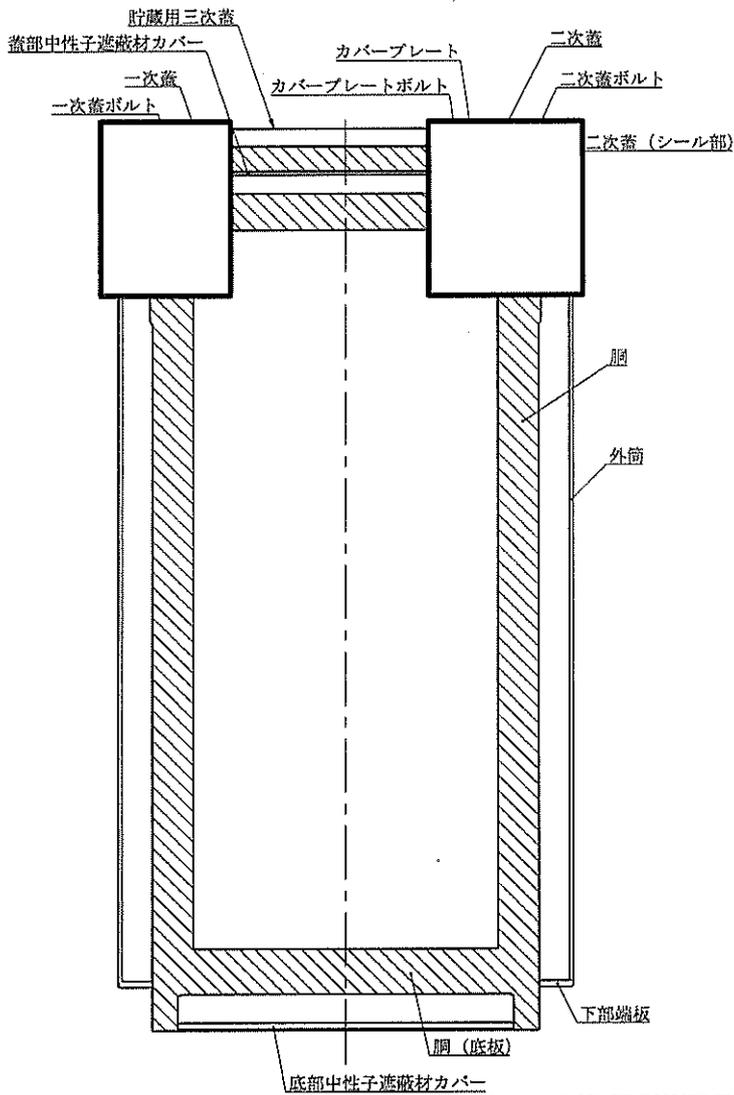
5.2 解析箇所

密封容器の応力評価を行う箇所は、次のとおりである。応力評価箇所を第5-1図に示す。

- (1) 胴
- (2) 胴（底板）
- (3) 一次蓋
- (4) 一次蓋（シール部）
- (5) 一次蓋ボルト
- (6) カバープレート
- (7) カバープレートボルト
- (8) 二次蓋
- (9) 二次蓋（シール部）
- (10) 二次蓋ボルト



(*部拡大図)



(全体図)

 密封容器 (ボルト含む)

第 5-1 図 密封容器の応力評価箇所

5.3 形状及び寸法

応力評価を行う部位の形状及び寸法は、強度計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算及び疲労解析に使用する材料の物性値を第5-2表に示す。

第 5-2 表 応力計算に使用する材料の物性値 (1/2)

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性 係数 (MPa)	平均 熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン 比 (-)
洞 洞 (底板) 一次蓋 二次蓋	炭素鋼 	20	202000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50			
		75	198000	11.90	
		100		12.10	
		125		12.30	
		150	195000	12.40	
		175		12.60	
		200		12.70	
貯蔵用三次蓋	炭素鋼 	20	202000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50			
		75	198000	11.90	
		100		12.10	
		125		12.30	
		150	195000	12.40	
		175		12.60	
		200		12.70	
底部中性子遮蔽材カバー 下部端板 カバープレート	ステンレス鋼 	20	195000	15.30	0.3
		25		15.60	
		50			
		75	189000	15.90	
		100		16.10	
		125		16.40	
		150	186000	16.60	
		175		16.80	
		200		17.00	

第 5-2 表 応力計算に使用する材料の物性値 (2/2)

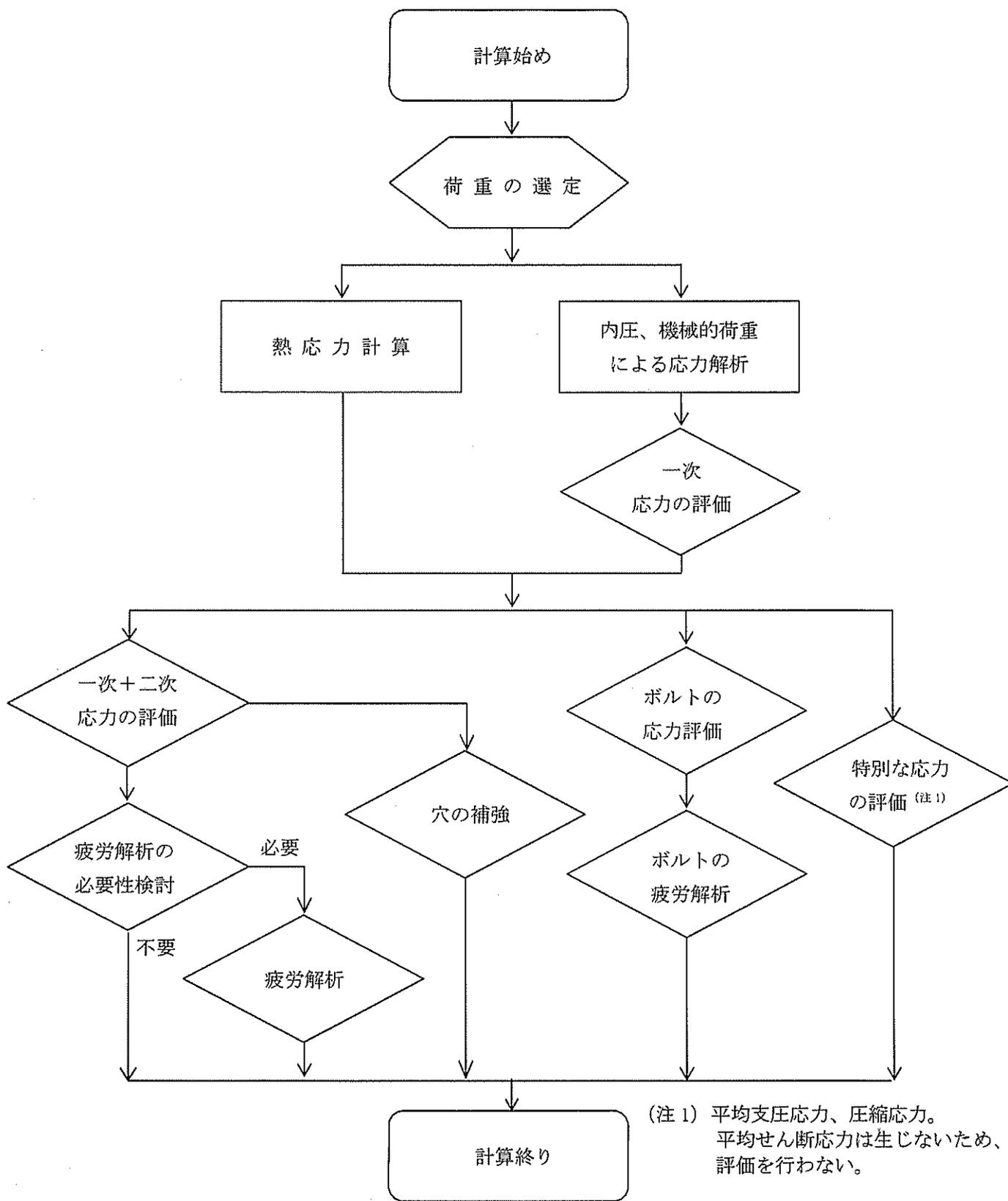
構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性 係数 (MPa)	平均 熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン 比 (-)
外筒 蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 <input type="checkbox"/>	20	202000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50			
		75	198000	11.90	
		100		12.10	
		125		12.30	
		150	195000	12.40	
		175	12.60		
		200	192000	12.70	
一次蓋ボルト 二次蓋ボルト 貯蔵用三次蓋ボルト カバープレートボルト	合金鋼 <input type="checkbox"/>	20	191000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50			
		75	187000	11.90	
		100		12.10	
		125		12.30	
		150	184000	12.40	
		175	12.60		
		200	181000	12.70	
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)	20	196000	11.10	0.3
		25		11.20	
		50			
		75	191000	11.30	
		100		11.40	
		125		11.40	
		150	188000	11.50	
		175	11.60		
		200	184000	11.60	

6. 応力解析の手順

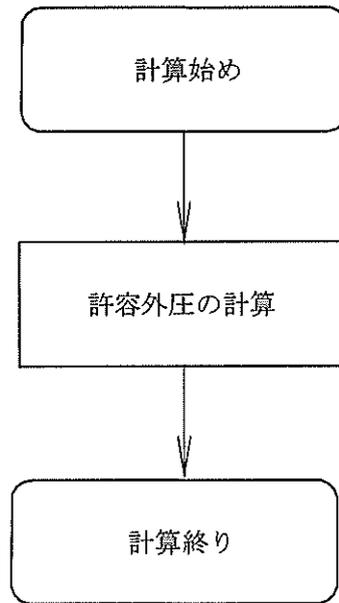
6.1 応力計算の概要

密封容器の応力評価フローを第6-1図に示す。密封容器の応力評価は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、密封容器及び外筒等の実形状をモデル化し、解析コードであるABAQUSを用いて行う。ABAQUSは、有限要素法に基づく伝熱解析、応力解析の汎用解析コードである。また、カバープレート、カバープレートボルト及び胴（平均支圧応力のみ）の応力評価は、応力評価式を用いて行う。

また、外面に圧力を受ける密封容器の評価フローを第6-2図に示す。外面に圧力を受ける密封容器の評価は、構造公式を用いて許容外圧の評価を行う。



第6-1図 密封容器の応力評価フロー



第6-2図 外面に圧力を受ける密封容器の評価フロー

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は4. に示しているが、各部位の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は、強度計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は以下の荷重を入力し行う。荷重条件として与えられるものは、次の3つである。

a. 内圧

b. 機械的荷重

機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含むMSF-24P(S)型の設計質量を用いる。）、吊上げ荷重及びその他の付加荷重をいう。

c. 熱荷重

熱荷重は、密封容器に生じる温度変化、温度勾配による荷重をいう。密封容器の温度分布は各様態に応じた除熱解析で得られた温度分布結果を用いる。

(2) 解析モデルは、三次元の360°モデルとし、三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。モデル図及び境界条件は強度計算書に示す。

(3) 応力評価位置は、構造及び材料の不連続性及び代表性を考慮して設定する。評価位置は強度計算書に示す。応力評価は、この応力評価位置について行う。

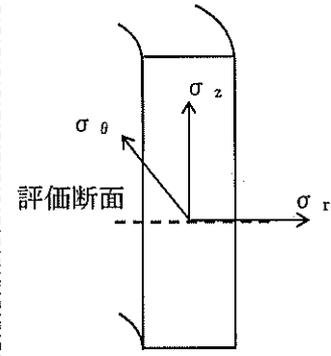
(4) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

6.3.2 応力の評価

応力の評価は、ABAQUSコードを用いた有限要素法及び機械工学便覧等による応力評価式により行う。評価の詳細は、強度計算書に示す。

応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を強度計算書に示す。なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。

σ_r	: 半径方向の応力
σ_θ	: 円周方向の応力
σ_z	: 軸方向の応力
$\tau_{r\theta}$: せん断応力
$\tau_{\theta z}$: せん断応力
τ_{zr}	: せん断応力



(1) 密封容器（ボルトを除く。）の応力評価

密封容器の応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1310に従い、以下の項目を評価する。

a. 一次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-1311.1、MCD-1311.4、MCD-1318.1及びMCD-1318.2に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

(i) 密封シール部以外

[設計条件、供用状態A]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq S_m$
- ・一次局部膜応力強さ： $P_L \leq 1.5S_m$
- ・一次膜＋一次曲げ応力強さ： $P_L + P_b \leq 1.5S_m$

[試験状態]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq 0.9S_y$
- ・一次局部膜応力強さ： $P_L \leq 1.35S_y$
- ・一次膜＋一次曲げ応力強さ： $P_m + P_b \leq 1.35S_y$ ($P_m \leq 2/3S_y$ の場合)
： $P_m + P_b \leq 2.15S_y - 1.2P_m$ ($P_m > 2/3S_y$ の場合)

(ii) 密封シール部

[供用状態A]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq S_y$
- ・一次局部膜応力強さ： $P_L \leq S_y$
- ・一次膜＋一次曲げ応力強さ： $P_L + P_b \leq S_y$

[試験状態]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq 0.9S_y$
- ・一次局部膜応力強さ： $P_l \leq S_y$
- ・一次膜＋一次曲げ応力強さ： $P_l + P_b \leq S_y$

b. 一次＋二次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-1312、MCD-1318.1及びMCD-1318.2に基づき評価を行う。

評価項目を以下に示す。

(i) 密封シール部以外

[供用状態A]

- ・一次＋二次応力強さ： $P_l + P_b + Q \leq 3S_m$

(ii) 密封シール部

[供用状態A]

- ・一次＋二次応力強さ： $P_l + P_b + Q \leq S_y$

[試験状態]

- ・一次＋二次応力強さ： $P_l + P_b + Q \leq S_y$

c. 疲労評価

金属キャスク構造規格 MCD-1314に基づき疲労評価を行う。なお、金属キャスク構造規格 MCD-1332に示される疲労解析不要の条件に適合する部位については、疲労解析を行わない。

また、疲労評価における繰り返し回数は以下のとおりとする。

- ・燃料装荷及び取出し：10回（燃料装荷及び取出しサイクルは通常1回であるが、保守側に10回とする。）
- ・吊上げ：200回（燃料装荷から取出しまでの一連の作業における吊上げ回数を20回と想定し、上記の燃料装荷及び取出し回数を10回とすることを踏まえ、200回と設定する。）
- ・貯蔵期間中の使用済燃料の崩壊熱低下による温度変動：10回（1回の貯蔵において1回の温度低下を想定し、上記の燃料装荷及び取出し回数を保守側に10回とすることを踏まえ、同じ回数に設定する。）

d. 特別な応力の検討

(a) 平均支圧応力の評価

金属キャスク構造規格 MCD-1316. 1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

・平均支圧応力： $\sigma_p \leq S_y$

(支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合以外の値)

(b) 圧縮応力の評価

金属キャスク構造規格 MCD-1317に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

・圧縮応力： $\sigma_c \leq \text{MIN}[S_m, B]$

(2) ボルトの応力評価

一次蓋ボルト、二次蓋ボルト及びカバープレートボルトの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1320に基づき以下の項目を評価する。

a. 平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力

金属キャスク構造規格 MCD-1321. 1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[設計条件]

・平均引張応力： $\sigma_m \leq S_m$

[供用状態A]

・平均引張応力： $\sigma_m \leq 2S_m$

・平均引張応力+曲げ応力： $\sigma_m + \sigma_b \leq 3S_m$

b. 疲労評価

金属キャスク構造規格 MCD-1322に基づき疲労評価を行う。疲労評価における繰り返し回数は、6.3.2 (1) c. と同じとする。

(3) 外面に圧力を受ける密封容器の評価

外面に圧力を受ける密封容器の評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1410に基づき、外面に圧力を受ける円筒形の胴として、以下の項目を評価する。

[供用状態A]

・外面に受ける圧力： $P \leq P_a$

$$P_a = \frac{4Bt}{3D_0} \quad (t \leq 0.1D_0 \text{ の場合})$$

$$P_a = \text{MIN}[P_{a1}, P_{a2}] \quad (t > 0.1D_0 \text{ の場合})$$

$$P_{a1} = \left(\frac{2.167t}{D_0} - 0.0833 \right) B$$

$$P_{a2} = \frac{2St}{D_0} \left(1 - \frac{t}{D_0} \right)$$

ここで、

P_a : 許容外圧 (MPa)

B : 金属キャスク構造規格の別図7-1及び別図7-2から求めた値 (MPa)

t : 胴の厚さ (mm)

D_0 : 胴の外径 (mm)

S : $1.5S_m$ と $0.9S_y$ の小さい方 (MPa)

6.3.3 許容基準

密封容器の許容基準は、6.3.2に示すとおり設定する。ここで、許容応力は、除熱解析結果を基に各部位で設定する温度に対応した値とする。各部位の許容応力値を定める温度を第6-1表に示す。また、許容応力値を定める温度に対応する機械的強度を第6-2表に示す。

さらに、第6-2表に示す機械的強度から求められる許容基準を第6-3表に示す。なお、許容応力は、(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012」による。

第 6-1 表 許容応力値を定める温度

部 位	許容応力値を定める温度(°C)	
	設計時 ^(注2) 貯蔵時 吊上げ時	試験時 ^(注3)
胴	[Redacted]	20
胴 (フランジ部)		
胴 (底板)		
一次蓋		
二次蓋		-
一次蓋ボルト		
二次蓋ボルト		
カバープレート ^(注1)		20
カバープレートボルト ^(注1)		-

(注1) カバープレート及びカバープレートボルトの温度は、一次蓋の温度と同じとする。

(注2) 設計時、貯蔵時及び吊上げ時の許容応力値を定める温度は、添付書類9「特定兼用キヤスクの冷却能力に関する説明書」に示す解析結果を基に設定する。

(注3) 耐圧試験は常温で実施するため、試験時の許容応力値を定める温度は、常温とする。

第 6-2 表 許容応力値を定める温度に対応する機械的強度

部 位	材 料	許容応力値の 設定温度 (°C)	設計応力 強さ S_m (MPa)	設計降伏点 S_y (MPa)	設計引張 強さ S_u (MPa)
胴	炭素鋼	[Redacted]	122	183	377
胴 (フランジ部)			124	185	377
胴 (底板)			122	183	377
一次蓋			124	185	377
二次蓋			124	185	377
— (注 1)			138	207	414
一次蓋ボルト	合金鋼		280	842	915
二次蓋ボルト			281	844	918
カバープレート ボルト			280	842	915
カバープレート	ステンレス鋼		137	161	431
— (注 1)	[Redacted]		137	205	520

(注1) 試験状態の温度に対応する機械的強度を示す。

第 6-3 表 許容応力値 (1/10)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		胴 (シール部、底板以外)	
			許容応力値	許容応力
設計条件	一次一般膜応力強さ	P_m	122	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	183	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	183	$1.5S_m$
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	122	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	183	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	183	$1.5S_m$
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	366	$3S_m$
	平均支圧応力	σ_p	183	S_y (注2)
	圧縮応力 (注1)	σ_c	90	Min (S_m, B)
	最高使用圧力 (外圧)	P	13.2	P_a
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	186	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	279	$1.35S_y$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_m+P_b	279	$1.35S_y$ (注3)

(注1) 円筒形の軸方向の圧縮に対して適用する。

(注2) 支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合以外の値

(注3) $P_m \leq 2/3S_y$ のときの値

第 6-3 表 許容応力値 (2/10)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		胴 (底板)	
			許容応力値	許容応力
設計条件	一次一般膜応力強さ	P_m	122	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	183	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	183	$1.5S_m$
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	122	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	183	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	183	$1.5S_m$
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	366	$3S_m$
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	186	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	279	$1.35S_y$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_m+P_b	279	$1.35S_y$ (注1)

(注1) $P_m \leq 2/3S_y$ のときの値

第 6-3 表 許容応力値 (3/10)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		胴 (シール部)	
			許容応力値	許容応力
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	185	S_y
	一次局部膜応力強さ	P_L	185	S_y
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	185	S_y
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	185	S_y
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	186	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	207	S_y
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_m+P_b	207	S_y
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	207	S_y

第 6-3 表 許容応力値(4/10)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		一次蓋（シール部以外）	
			許容応力値	許容応力
設計条件	一次一般膜応力強さ	P_m	124	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	186	$1.5S_m$
	一次膜＋一次曲げ応力強さ	$P_L + P_b$	186	$1.5S_m$
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	124	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	186	$1.5S_m$
	一次膜＋一次曲げ応力強さ	$P_L + P_b$	186	$1.5S_m$
	一次＋二次応力強さ	$P_L + P_b + Q$	372	$3S_m$
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	186	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	279	$1.35S_y$
	一次膜＋一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	279	$1.35S_y$ (注1)

(注1) $P_m \leq 2/3S_y$ のときの値

第 6-3 表 許容応力値(5/10)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		一次蓋（シール部）	
			許容応力値	許容応力
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	185	S_y
	一次局部膜応力強さ	P_L	185	S_y
	一次膜＋一次曲げ応力強さ	$P_L + P_b$	185	S_y
	一次＋二次応力強さ	$P_L + P_b + Q$	185	S_y
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	186	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	207	S_y
	一次膜＋一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	207	S_y
	一次＋二次応力強さ	$P_L + P_b + Q$	207	S_y

第 6-3 表 許容応力値 (6/10)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		カバープレート	
			許容応力値	許容応力
設計条件	一次一般膜応力強さ	P_m	137	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	205	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	205	$1.5S_m$
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	137	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	205	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	205	$1.5S_m$
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	411	$3S_m$
試験状態 (常温)	一次一般膜応力強さ	P_m	184	$0.9S_y$
	一次局部膜応力強さ	P_L	276	$1.35S_y$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_m+P_b	276	$1.35S_y$ (注1)

(注1) $P_m \leq 2/3S_y$ のときの値

第 6-3 表 許容応力値 (7/10)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		二次蓋 (シール部以外)	
			許容応力値	許容応力
設計条件	一次一般膜応力強さ	P_m	124	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	186	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	186	$1.5S_m$
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	124	S_m
	一次局部膜応力強さ	P_L	186	$1.5S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ	P_L+P_b	186	$1.5S_m$
	一次+二次応力強さ	P_L+P_b+Q	372	$3S_m$

第 6-3 表 許容応力値(8/10)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		二次蓋 (シール部)	
			許容応力値	許容応力
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	185	S_y
	一次局部膜応力強さ	P_L	185	S_y
	一次膜+一次曲げ応力強さ	$P_L + P_b$	185	S_y
	一次+二次応力強さ	$P_L + P_b + Q$	185	S_y

第 6-3 表 許容応力値(9/10)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		一次蓋ボルト カバープレートボルト	
			許容応力値	許容応力
設計条件	平均引張応力	σ_m	280	S_m
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	平均引張応力	σ_m	560	$2S_m$
	平均引張応力+曲げ応力	$\sigma_m + \sigma_b$	840	$3S_m$

第 6-3 表 許容応力値(10/10)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		二次蓋ボルト	
			許容応力値	許容応力
設計条件	平均引張応力	σ_m	281	S_m
供用状態 A (貯蔵時) (吊上げ時)	平均引張応力	σ_m	562	$2S_m$
	平均引張応力+曲げ応力	$\sigma_m + \sigma_b$	843	$3S_m$

添付書類 5-3-2-2 バスケットの強度計算方法

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 記号の説明	2
4. 設計条件	4
4.1 基本仕様	4
4.2 設計事象	4
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	7
5.3 形状及び寸法	9
5.4 物性値	9
6. 応力解析の手順	10
6.1 応力計算の概要	10
6.2 荷重条件の選定	11
6.3 応力計算と評価	11

1. 概要

本資料は、添付書類 5-3-1「特定兼用キャスクの強度計算の基本方針」に基づき、MSF-24P(S)型のバスケットが十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものである。

2. 適用基準

バスケットの強度評価については、添付書類 5-3-1「特定兼用キャスクの強度計算の基本方針」に基づき、金属キャスク構造規格のバケットの評価を参考とし、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)を受けた評価に準じた評価を行う。なお、評価事象の供用状態の分類については金属キャスク構造規格に準拠する。

3. 記号の説明

バスケットの強度評価に用いる記号について以下に説明する。

記号	単位	定義
A_1	mm^2	評価位置①の断面積
A_2	mm^2	評価位置②の断面積
b_1	mm	バスケットプレート幅 1
b_2	mm	バスケットプレート幅 2
b_3	mm	バスケットプレート幅 3
F	N	評価位置②に発生する荷重
f_c	MPa	許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
G	-	鉛直方向加速度係数
h_1	mm	バスケットプレート高さ 1
h_2	mm	バスケットプレート高さ 2
K_0	-	制限係数
L	mm	バスケットプレート長さ
M	$\text{N}\cdot\text{mm}$	評価位置②に発生する曲げモーメント
m	kg	第 3-1 図 (1/2) に示す領域 I 及び II に含まれるバスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計重量
N	-	バスケットプレートの段数
P_b	MPa	一次曲げ応力強さ
P_m	MPa	一次一般膜応力強さ
S	MPa	許容引張応力
S_m	MPa	設計応力強さ
S_y	MPa	設計降伏点
S_u	MPa	設計引張強さ
w	kg/mm	第 3-1 図 (2/2) に示す領域 III に含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの重量
Z	mm^3	評価位置②の断面係数
α	-	純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値
F	MPa	$\text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ により定まる値
λ	-	有効細長比
Λ	-	限界細長比

記号	単位	定 義
ν	-	係数
σ_b	MPa	曲げ応力
σ_c	MPa	圧縮応力
σ_m	MPa	一次一般膜応力
τ	MPa	せん断応力

4. 設計条件

バスケットは、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

バスケットの基本仕様を第4-1表に示す。

第 4-1 表 バスケットの基本仕様

材質	バスケットプレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)
----	-----------	-----------------------------

4.2 設計事象

添付書類 5-3-2-1 「密封容器の強度計算方法」と同様に、バスケットに係る設計上考慮する事象として、貯蔵施設内における選定事象について、各選定事象を金属キャスク構造規格 解説 MGB-1300及び解説表MGA-2200-1を参考に、設計事象及び供用状態に分類した結果を第4-2表に示す。

第 4-2 表 貯蔵施設内における選定事象

設計事象	供用状態	貯蔵施設内における選定事象
I	A	<ul style="list-style-type: none">・貯蔵（貯蔵時）・MSF-24P(S)型の水平吊上げ、水平吊下げ、水平移動（吊上げ時）・貯蔵前作業及び搬出前作業（準備作業時）

4.3 荷重の種類とその組合せ

金属キャスク構造規格の解説表MCD-2100-1を参考に、バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを選定した結果を第4-3表に示す。応力評価に用いる荷重は強度計算書に記載する。

第 4-3 表 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

荷 重			ボルト初期締付け力	自重による荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重
設計荷重	供用状態	評価事象					
I	A (注1)	貯蔵時	— (注2)	○	—	—	— (注4)
		吊上げ時	— (注2)	— (注3)	○	—	— (注4)

(注1) 評価事象の中で、他の評価事象に包絡される事象や荷重条件については評価を省略する。

(注2) バスケットの構造材としてボルトを使用していない。

(注3) 本状態での自重による荷重は、吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

(注4) バスケットは、バスケット同士又は胴により拘束されないため、熱荷重は発生しない。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

4.2で示した貯蔵施設内における選定事象のうち、第5-1表に示すように荷重条件等を考慮して選定した代表事象について評価を実施する。

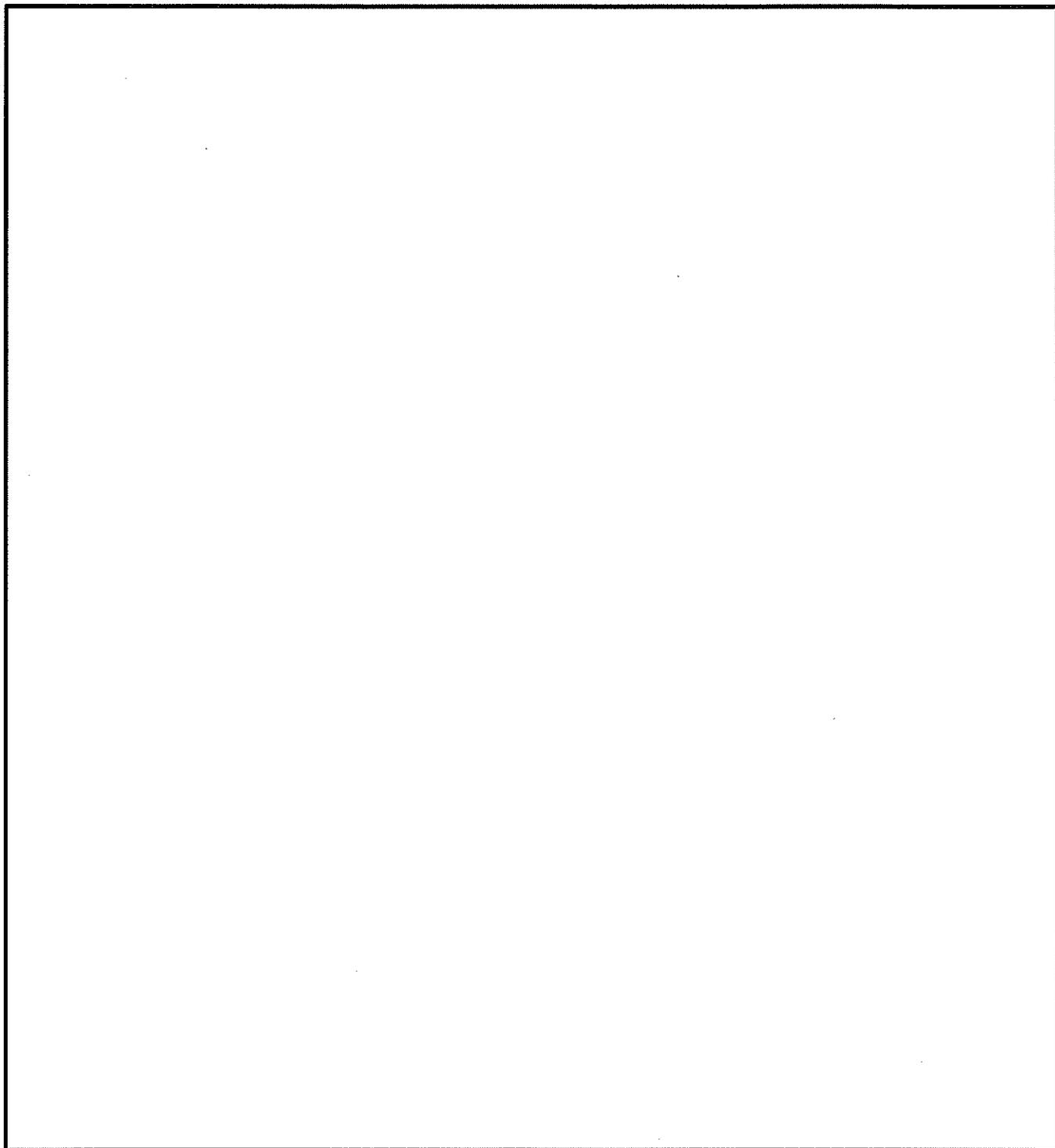
第5-1表 代表事象

設計事象	供用状態	代表事象	包絡される事象	荷重条件	備考
I	A	貯蔵時	・準備作業時	・自重	供用状態Aのうち大半の期間を占める代表的事象である。また、準備作業時の荷重条件等は貯蔵時と同じである。
		吊上げ時	—	・吊上げ荷重 ^(注1)	—

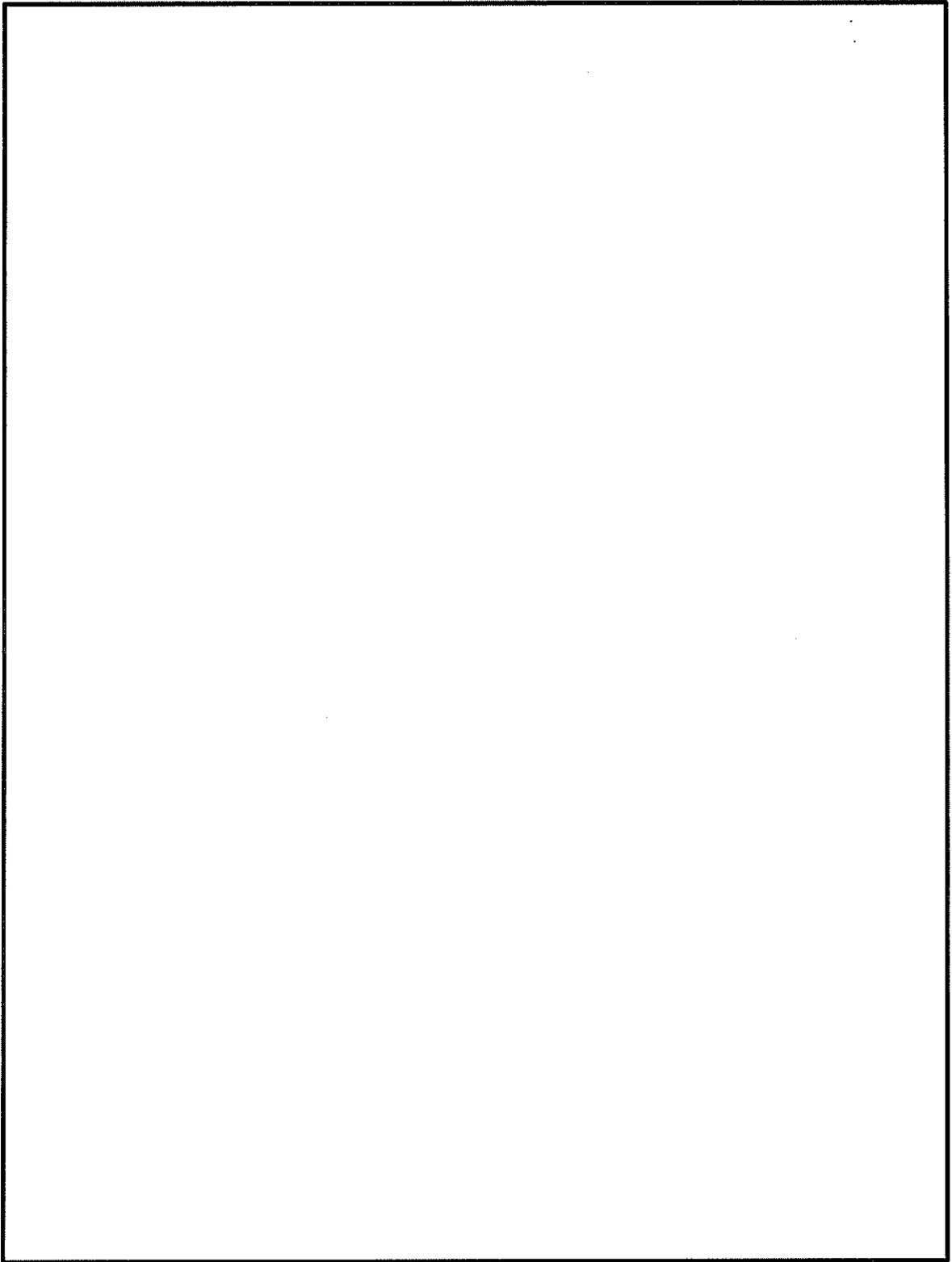
(注1) MSF-24P(S)型に1.3gの慣性力（下方向）を作用させた場合の荷重である。慣性力の根拠は、添付書類5-3-2-1「密封容器の強度計算方法」に示す。

5.2 解析箇所

バスケットの応力評価を行う箇所は、次のとおりである。応力評価箇所を第5-1図に示す。



第 5-1 図 バスケットプレートの応力評価位置 (1/2)



第 5-1 図 バスケットプレートの応力評価位置 (2/2)

5.3 形状及び寸法

応力評価を行う部位の形状及び寸法は、強度計算書に示す。

5.4 物性値

応力評価に使用する材料の物性値を第5-2表に示す。使用する材料の物性値は、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-D P C17001）を受けた金属製の乾式キャスク（MSF-21P型）のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金（MB-A3004-H112）と同じである。

第5-2表 応力評価に使用する材料の物性値

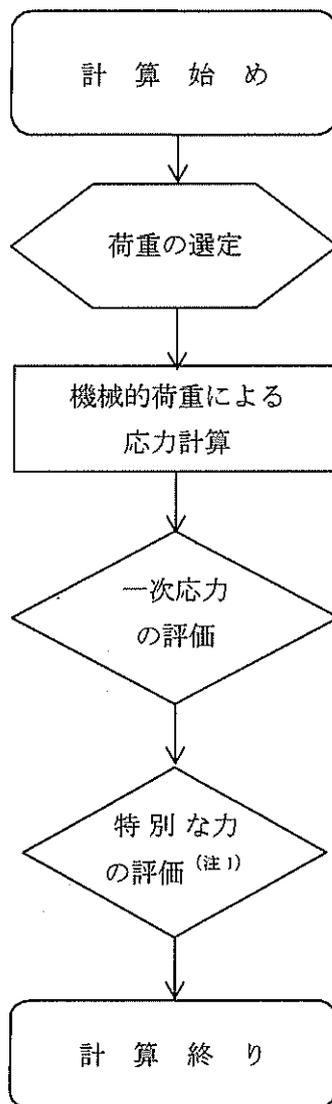
構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性 ^(注1) 係数 (MPa)
バスケット プレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	20	73900
		50	73300
		75	72800
		100	72100
		125	71400
		150	70600
		175	69800
200	68900		

(注1) 圧縮応力の許容応力値の計算に使用。

6. 応力解析の手順

6.1 応力計算の概要

バスケットの応力評価フローを第6-1図に示す。バスケットの応力評価は、想定される機械的荷重を基に、応力評価式を用いて行う。



(注1) せん断応力、圧縮応力。
なお、バスケットには、
局所的な支圧荷重は発生
しないため支圧応力は評
価不要である。

第6-1図 バスケットの応力評価フロー