

Doc No. L5-95KV151 R0

令和5年3月31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)

本文及び添付書類の一部補正について

令和4年7月13日付け Doc No. L5-95KV100 R0をもって申請しました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)の本文及び添付書類を下記のとおり一部補正いたします。

記

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)の本文及び添付書類を別添1及び別添2のとおり補正する。

以上

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

本文の一部補正

本文を以下のとおり補正する。

頁	行	補正前	補正後
2～ 3	上2～ 下1	(記載変更)	別紙1-1の記載に変更する。
8	上18～ 上19	(記載変更)	別紙1-2の記載に変更する。
48	上2～ 下1	(記載変更)	別紙1-3の記載に変更する。
54の下		(記載追加)	別紙1-4の記載を追加する。
59の下		(記載追加)	別紙1-5の記載を追加する。

補正前				補正後					
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				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)	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)	種類		—	鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)		
容量		体	24	容量		体	24		
最高使用圧力		MPa	(差圧) 0.41	最高使用圧力		MPa	(差圧) 0.41		
最高使用温度	容器	℃	150	最高使用温度	容器	℃	150		
	バスケット	℃	195		バスケット	℃	195		
主要寸法	全長		mm	5,194 ^(注2)	全長		mm	5,194 ^(注2)	
	外径		mm	2,596 ^(注2)	外径		mm	2,596 ^(注2)	
	容器	洞内径	mm	<input type="text"/> ^(注2)	容器	洞内径	mm	<input type="text"/> ^(注2)	
		洞板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)		洞板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)	
		一次蓋外径	mm	1,962 ^(注2)		一次蓋外径	mm	1,962 ^(注2)	
		一次蓋板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)		一次蓋板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)	
		底板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)		底板厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)	
		高さ	mm	5,119 ^(注2)		高さ	mm	5,119 ^(注2)	
	バスケット	外径	mm	<input type="text"/> ^(注2)	外筒	外径	mm	2,596 ^(注2)	
		高さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)		厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)	
		格子内幅	mm	<input type="text"/> ^(注2)		二次蓋	外径	mm	2,198 ^(注2)
		バスケットプレート板厚	mm	<input type="text"/> ^(注2)		二次蓋	厚さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)
	材料	洞板	—	<input type="text"/>	二次蓋ボルト	呼び径	—	<input type="text"/>	
		一次蓋板	—	<input type="text"/>	二次蓋ボルト	本数	本	<input type="text"/>	
底板		—	<input type="text"/>	バスケット	外径	mm	<input type="text"/> ^(注2)		
バスケットプレート		—	アルミニウム合金 ^(注3) (MB-A3004-H112)		高さ	mm	<input type="text"/> ^(注2)		
			格子内幅		mm	<input type="text"/> ^(注2)			
			バスケットプレート板厚		mm	<input type="text"/> ^(注2)			
				トラニオン	上部トラニオン外径(吊上げ部・固縛部)	mm	140 ^(注2)		
					下部トラニオン外径(吊上げ部)	mm	140 ^(注2)		
					下部トラニオン外径(固縛部)	mm	200 ^(注2)		

補正前

補正後

(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。

(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 48,000MWd/t以下
 冷却期間 15年以上
- 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 48,000MWd/t以下
 冷却期間 17年以上

材 料	銅板	-	
	一次蓋板	-	
	底板	-	
	一次蓋ボルト	-	
	外筒	-	C1020
	伝熱フィン	-	
	二次蓋	-	
	二次蓋ボルト	-	
	貯蔵用三次蓋	-	
	貯蔵用三次蓋ボルト	-	
	バスケットプレート	-	アルミニウム合金 ^(注3) (MB-A3004-H112)
	中性子吸収材	-	ほう素添加アルミニウム合金
	上部トラニオン	-	SUS630 H1150
下部トラニオン	-	SUS630 H1150	

(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。

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 48,000MWd/t以下
 冷却期間 15年以上
- 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 48,000MWd/t以下
 冷却期間 17年以上

補 正 前	補 正 後
<p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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 48,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 48,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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。</p> <p>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>(注2) 公称値を示す。</p> <p>(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>	<p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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 48,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 48,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 15年以上</p> <p>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 39,000MWd/t以下 冷却期間 17年以上</p> <p>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。</p> <p>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>(注2) 公称値を示す。</p> <p>(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>

補 正 前	補 正 後
<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>6.2.5.2 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とともに座屈が生じない設計とする。</p>

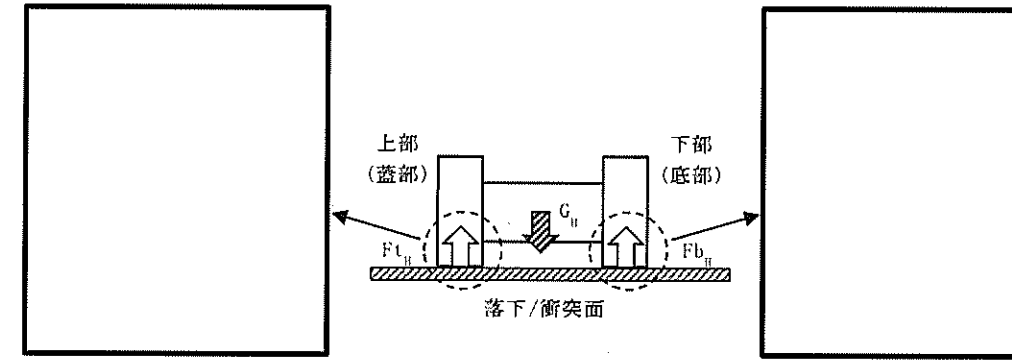
補 正 前	補 正 後
<p>8.2 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件</p> <p>発電用原子炉施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認を要する条件は以下のとおりである。</p> <p>(1) 貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法で設置することについて、金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dに対して、貯蔵用緩衝体は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するために必要な緩衝性能を有すること。</p> <p>(2) MSF-24P(S)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止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</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</p> <p>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、貯蔵用緩衝体の経年変化を考慮したうえで、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。なお、第9表に示す貯蔵施設の想定事象において、特定兼用キャスクに作用する荷重が第9表に示す荷重条件を満足する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための緩衝性能を有するものとする。</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</p>

補 正 前	補 正 後
<p>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>	<p>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）（以下「外運搬規則」という。）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。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際には、次のとおりとすること。</p> <p>(a) 核燃料輸送物の運搬は、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」(イ)章に示す輸送用の緩衝体を装着し、専用積載として周囲温度-20℃以上で実施すること。また、輸送容器の使用予定年数は60年、仕様予定回数は10回であること。</p> <p>(b) 輸送用の緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行うこと。</p> <p>(c) 核燃料輸送物の発送前検査（温度測定検査）により、太陽熱放射のない条件において輸送中人が容易に近づくことができる表面温度が85℃を超える場合は、近接防止金網を装着して輸送すること。</p> <p>(d) 核燃料輸送物の発送前検査（外観検査）により、核燃料輸送物が <input type="checkbox"/> されていることを確認すること。</p> <p>(e) 核燃料輸送物の発送前検査（表面密度検査）により、核燃料輸送物の表面の放射性物質の密度が外運搬規則第4条第1項8号に規定される表面密度限度以下であることを確認すること。</p> <p>(f) 核燃料輸送物の発送前検査（収納物検査）により、核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品（核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。）以外のものが収納されていないことを確認すること。</p>

補 正 前	補 正 後									
	<p style="text-align: center;">第9表 特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される 供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; text-align: center;">想定事象</th> <th style="text-align: center;">特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が 金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの 許容基準を満足するための荷重条件 ^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">MSF-24P(S)型の水平落下</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"> 上部（蓋部）に作用する荷重 (F_{tH}) 4.30×10⁷N 以下 下部（底部）に作用する荷重 (F_{bH}) 3.76×10⁷N 以下 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MSF-24P(S)型と周辺施設等 との径方向衝突</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（上部側）</td> <td style="text-align: center;">上部（蓋部）に作用する荷重 (F_{tV}) 7.55×10⁷N 以下</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（下部側）</td> <td style="text-align: center;">下部（底部）に作用する荷重 (F_{bV}) 7.69×10⁷N 以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 表中に示す荷重は、特定兼用キャスク本体に次の衝撃加速度が生じた場合に上部（蓋部） 又は下部（底部）に作用する荷重である。また、表中に示す荷重は、第6図に示す荷重 作用範囲と同じ、又はより広い範囲に作用するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MSF-24P(S)型の水平落下及びMSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突 <div style="text-align: right;">: 衝撃加速度 (G_H) 650m/s²</div> ・ MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側） : 衝撃加速度 (G_V) 600m/s² ・ MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突（下部側） : 衝撃加速度 (G_V) 600m/s² 	想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が 金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの 許容基準を満足するための荷重条件 ^(注1)	MSF-24P(S)型の水平落下	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _{tH}) 4.30×10 ⁷ N 以下 下部（底部）に作用する荷重 (F _{bH}) 3.76×10 ⁷ N 以下	MSF-24P(S)型と周辺施設等 との径方向衝突	MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（上部側）	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _{tV}) 7.55×10 ⁷ N 以下	MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（下部側）	下部（底部）に作用する荷重 (F _{bV}) 7.69×10 ⁷ N 以下
想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が 金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの 許容基準を満足するための荷重条件 ^(注1)									
MSF-24P(S)型の水平落下	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _{tH}) 4.30×10 ⁷ N 以下 下部（底部）に作用する荷重 (F _{bH}) 3.76×10 ⁷ N 以下									
MSF-24P(S)型と周辺施設等 との径方向衝突										
MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（上部側）	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _{tV}) 7.55×10 ⁷ N 以下									
MSF-24P(S)型と周辺施設等 との軸方向衝突（下部側）	下部（底部）に作用する荷重 (F _{bV}) 7.69×10 ⁷ N 以下									

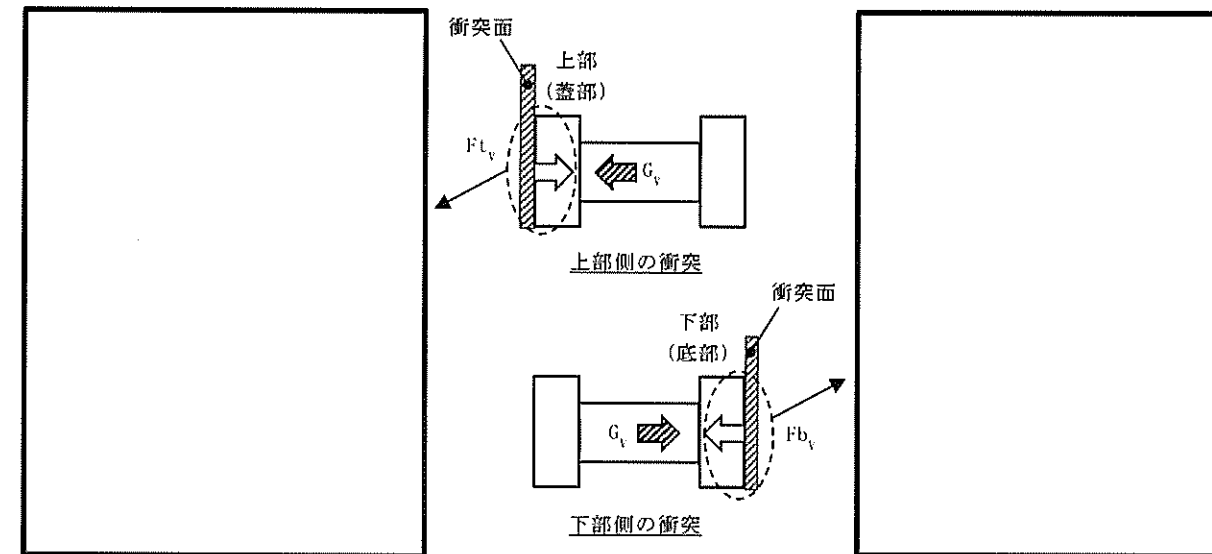
補正前

補正後



G_H : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 (650m/s^2)
 F_{tH} : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 ($4.30 \times 10^4\text{N}$)
 F_{bH} : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 ($3.76 \times 10^4\text{N}$)

(1) MSF-24P(S)型の水平落下及びMSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突



G_V : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 (600m/s^2)
 F_{tV} : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 ($7.55 \times 10^4\text{N}$)
 F_{bV} : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 ($7.69 \times 10^4\text{N}$)

(2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(上部側、下部側)

第6図 特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される
 供用状態Dの許容基準を満足するための荷重作用範囲

添付書類の一部補正

添付書類を以下のとおり補正する。

頁	行	補 正 前	補 正 後
添付書類 2 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 1 の記載に変更する。)
添付書類 5 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 2 の記載に変更する。)
添付書類 6 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 3 の記載に変更する。)
添付書類 13 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 4 の記載に変更する。)
添付書類 14 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 5 の記載に変更する。)
添付書類 15 全頁	上 1～ 下 1	(記載変更)	(別紙 2 - 6 の記載に変更する。)

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

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 (1/11)

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>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、使用済燃料の原子炉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2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、核原料物質、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。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"> ・日本産業規格（JIS） ・日本機械学会規格（JSME） ・日本原子力学会標準（AESJ）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、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、使用済燃料の原子炉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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <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。</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。</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> <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>	

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (2/11)

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。</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ための設計方針とする。</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/l 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ ・17×17 燃料 39,000MWd/l 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ ・15×15 燃料 48,000MWd/l 型 (A型及びB型) 275℃以下⁽¹⁾ ・15×15 燃料 39,000MWd/l 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⁾ ・金属バスケット 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、特定兼用キャスク外</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。</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/l 型 (A型及びB型) 275℃以下 ・17×17 燃料 39,000MWd/l 型 (A型及びB型) 275℃以下 ・15×15 燃料 48,000MWd/l 型 (A型及びB型) 275℃以下 ・15×15 燃料 39,000MWd/l 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 ・金属バスケット 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 (3/11)

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>二. 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、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。</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、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。</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、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>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、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、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。 (後略)</p> <p>ハ. 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、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>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、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。 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、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。 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、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、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。 (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、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>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、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。 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。</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、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、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>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、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>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>	

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (4/11)

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-24P (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-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。</p> <p>MSF-24P (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-24P (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-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、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-24P (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-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。</p> <p>(3) MSF-24P (S) 型は、特定兼用キャスク本体内部、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-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。</p> <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>(中略)</p> <p>ロ、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1-4表のとおりとする。</p> <table border="1" data-bbox="825 850 1359 1123"> <caption>第1-4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 colspan="2">トラック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法 (mm)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2</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 colspan="2">長さ×幅×厚さ 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量 (kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</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">34</td> </tr> <tr> <td>最大鉛直速度 (m/s)</td> <td>33</td> <td>33</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-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。</p> <p>MSF-24P (S) 型は、特定兼用キャスク本体内部、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	コンテナ	トラック		寸法 (mm)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2	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	4750		最大水平速度 (m/s)	49	57	30	60	34		最大鉛直速度 (m/s)	33	33	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-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。</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力施設の範囲</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> <table border="1" data-bbox="1469 735 2003 819"> <tr> <td>竜巻荷重の算出条件</td> <td>風速</td> <td>100m/s (注1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>設計飛来物</td> <td>第8表のとおり (注2)</td> </tr> </table> <p>第8表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="1454 871 1988 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</th> <th>コンテナ</th> <th colspan="2">トラック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法 (mm)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2</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 colspan="2">長さ×幅×厚さ 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量 (kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</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">34</td> </tr> <tr> <td>最大鉛直速度 (m/s)</td> <td>33</td> <td>33</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-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。</p> <p>(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。</p> <p>(3) MSF-24P (S) 型は、特定兼用キャスク本体内部、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>	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)	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 (mm)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2	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	4750		最大水平速度 (m/s)	49	57	30	60	34		最大鉛直速度 (m/s)	33	33	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-24P (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	コンテナ	トラック																																																																																							
寸法 (mm)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2	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	4750																																																																																							
最大水平速度 (m/s)	49	57	30	60	34																																																																																							
最大鉛直速度 (m/s)	33	33	20	40	23																																																																																							
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)																																																																																										
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 (mm)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 4.2×0.3×0.2	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	4750																																																																																							
最大水平速度 (m/s)	49	57	30	60	34																																																																																							
最大鉛直速度 (m/s)	33	33	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 (5/11)

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>(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 (MB-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力の規制に関する法律第四十二条の二十六の二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-1) PC17001) 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。</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」⁽¹¹⁾ (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 RC1-2012」(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とともに座屈が生じない設計とする。</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 (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、原子力規制法第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-1) PC17001) 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。</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 (6/11)

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</p> <p>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"> <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120t^(注1) 約117t^(注2)</td> </tr> <tr> <td>寸 法</td> <td>全 長 約5.2m 外 径 約2.6m</td> </tr> <tr> <td>収 納 体 数</td> <td>24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>炭素鋼 炭素鋼 析出硬化系ステンレス鋼 レジン (エポキシ系樹脂) 銅</td> </tr> <tr> <td>蓋 部</td> <td>炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼</td> </tr> <tr> <td>一次蓋 二次蓋 貯蔵用二次蓋^(注3) 蓋ボルト</td> <td>炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>アルミニウム合金^(注4)</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート 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開圧力監視</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 MB-A3004-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120t ^(注1) 約117t ^(注2)	寸 法	全 長 約5.2m 外 径 約2.6m	収 納 体 数	24体	最大崩壊熱量	15.8 kW	特定兼用キャスク本体	炭素鋼 炭素鋼 析出硬化系ステンレス鋼 レジン (エポキシ系樹脂) 銅	蓋 部	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	一次蓋 二次蓋 貯蔵用二次蓋 ^(注3) 蓋ボルト	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	バスケット	アルミニウム合金 ^(注4)	バスケットプレート 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開圧力監視	<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"> <thead> <tr> <th>名称及び型式</th> <th>MSF-24P (S) 型^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>種 類</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>体 24</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa (表圧) 0.41</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>容 器 ℃ 150 バ ス ケ ッ ト ℃ 195</td> </tr> <tr> <td>全 長</td> <td>mm 5,194^(注2)</td> </tr> <tr> <td>外 径</td> <td>mm 2,596^(注2)</td> </tr> <tr> <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>一次蓋ボルト呼び径</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト本数</td> <td>本 (注2)</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>外 径 mm 2,596^(注2) 厚 さ mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>外 径 mm 2,198^(注2) 厚 さ mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>二次蓋ボルト</td> <td>呼 び 径 mm (注2) 本 数 本 (注2)</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>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)</td> </tr> <tr> <td>トラニオン</td> <td>上部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140^(注2) 下部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140^(注2) 下部トラニオン外径 (胴部) mm 200^(注2)</td> </tr> <tr> <td>胴 板</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋板</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>底板</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>外 筒</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>伝 熱 フ ィ ン</td> <td>C1020</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>二次蓋ボルト</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>貯蔵用二次蓋</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>貯蔵用二次蓋ボルト</td> <td>mm (注2)</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート</td> <td>アルミニウム合金^(注2) (MB-A3004-H112)</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>上部トラニオン</td> <td>SUS630 H1150</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン</td> <td>SUS630 H1150</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-レジン遮蔽体タイプ)	容 量	体 24	最高使用圧力	MPa (表圧) 0.41	最高使用温度	容 器 ℃ 150 バ ス ケ ッ ト ℃ 195	全 長	mm 5,194 ^(注2)	外 径	mm 2,596 ^(注2)	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)	一次蓋ボルト呼び径	mm (注2)	一次蓋ボルト本数	本 (注2)	外筒	外 径 mm 2,596 ^(注2) 厚 さ mm (注2)	二次蓋	外 径 mm 2,198 ^(注2) 厚 さ mm (注2)	二次蓋ボルト	呼 び 径 mm (注2) 本 数 本 (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)	トラニオン	上部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140 ^(注2) 下部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140 ^(注2) 下部トラニオン外径 (胴部) mm 200 ^(注2)	胴 板	mm (注2)	一次蓋板	mm (注2)	底板	mm (注2)	一次蓋ボルト	mm (注2)	外 筒	mm (注2)	伝 熱 フ ィ ン	C1020	二次蓋	mm (注2)	二次蓋ボルト	mm (注2)	貯蔵用二次蓋	mm (注2)	貯蔵用二次蓋ボルト	mm (注2)	バスケットプレート	アルミニウム合金 ^(注2) (MB-A3004-H112)	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	上部トラニオン	SUS630 H1150	下部トラニオン	SUS630 H1150		<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-24P (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120t ^(注1) 約117t ^(注2)																																																																																																	
寸 法	全 長 約5.2m 外 径 約2.6m																																																																																																	
収 納 体 数	24体																																																																																																	
最大崩壊熱量	15.8 kW																																																																																																	
特定兼用キャスク本体	炭素鋼 炭素鋼 析出硬化系ステンレス鋼 レジン (エポキシ系樹脂) 銅																																																																																																	
蓋 部	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼																																																																																																	
一次蓋 二次蓋 貯蔵用二次蓋 ^(注3) 蓋ボルト	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼																																																																																																	
バスケット	アルミニウム合金 ^(注4)																																																																																																	
バスケットプレート 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開圧力監視																																																																																																	
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 (表圧) 0.41																																																																																																	
最高使用温度	容 器 ℃ 150 バ ス ケ ッ ト ℃ 195																																																																																																	
全 長	mm 5,194 ^(注2)																																																																																																	
外 径	mm 2,596 ^(注2)																																																																																																	
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)																																																																																																	
一次蓋ボルト呼び径	mm (注2)																																																																																																	
一次蓋ボルト本数	本 (注2)																																																																																																	
外筒	外 径 mm 2,596 ^(注2) 厚 さ mm (注2)																																																																																																	
二次蓋	外 径 mm 2,198 ^(注2) 厚 さ mm (注2)																																																																																																	
二次蓋ボルト	呼 び 径 mm (注2) 本 数 本 (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)																																																																																																	
トラニオン	上部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140 ^(注2) 下部トラニオン外径 (吊上げ部) mm 140 ^(注2) 下部トラニオン外径 (胴部) mm 200 ^(注2)																																																																																																	
胴 板	mm (注2)																																																																																																	
一次蓋板	mm (注2)																																																																																																	
底板	mm (注2)																																																																																																	
一次蓋ボルト	mm (注2)																																																																																																	
外 筒	mm (注2)																																																																																																	
伝 熱 フ ィ ン	C1020																																																																																																	
二次蓋	mm (注2)																																																																																																	
二次蓋ボルト	mm (注2)																																																																																																	
貯蔵用二次蓋	mm (注2)																																																																																																	
貯蔵用二次蓋ボルト	mm (注2)																																																																																																	
バスケットプレート	アルミニウム合金 ^(注2) (MB-A3004-H112)																																																																																																	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金																																																																																																	
上部トラニオン	SUS630 H1150																																																																																																	
下部トラニオン	SUS630 H1150																																																																																																	

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (7/11)

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>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>PRR使用済燃料集合体 (ウラン燃料)</p> <p>17×17燃料 48,000Mwd/t型 (A型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 48,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 15年以上</p> <p>17×17燃料 48,000Mwd/t型 (B型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 48,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 17年以上</p> <p>17×17燃料 39,000Mwd/t型 (A型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 39,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 15年以上</p> <p>17×17燃料 39,000Mwd/t型 (B型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 39,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 17年以上</p> <p>15×15燃料 48,000Mwd/t型 (A型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 48,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 15年以上</p> <p>15×15燃料 48,000Mwd/t型 (B型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 48,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 17年以上</p> <p>15×15燃料 39,000Mwd/t型 (A型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 39,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 15年以上</p> <p>15×15燃料 39,000Mwd/t型 (B型)</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 39,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 17年以上</p> <p>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、バーナブルボ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ボイズン集合体の収納条件を第3図に示す。</p> <p>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="281 1522 638 1837"> </div> <p>第3図 使用済燃料集合体の収納位置条件</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">48,000Mwd/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214 mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100 mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約680 kg</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">4.2 wt%以下</td> <td>3.7 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="2">48,000 Mwd/t</td> <td>39,000 Mwd/t</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</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">24体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度^(注2)</td> <td colspan="3">44,000 Mwd/t以下</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8 kW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">48,000Mwd/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214 mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100 mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約670 kg</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">4.1 wt%以下</td> <td>3.5 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="2">48,000 Mwd/t</td> <td>39,000 Mwd/t</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</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">24体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度^(注2)</td> <td colspan="3">44,000 Mwd/t以下</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8 kW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="1528 1522 1884 1837"> </div> <p>第1図 使用済燃料集合体の収納位置条件</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		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214 mm			全長	約4100 mm			質量	約680 kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度 (集合体平均)	4.2 wt%以下		3.7 wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 Mwd/t		39,000 Mwd/t	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上	1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	24体			平均燃焼度 ^(注2)	44,000 Mwd/t以下			崩壊熱量	15.8 kW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		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214 mm			全長	約4100 mm			質量	約670 kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度 (集合体平均)	4.1 wt%以下		3.5 wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 Mwd/t		39,000 Mwd/t	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上	1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	24体			平均燃焼度 ^(注2)	44,000 Mwd/t以下			崩壊熱量	15.8 kW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。</p> <p>PRR使用済燃料集合体 (ウラン燃料)</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 48,000Mwd/t以下 冷却期間 15年以上 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 48,000Mwd/t以下 冷却期間 17年以上 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 39,000Mwd/t以下 冷却期間 15年以上 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 39,000Mwd/t以下 冷却期間 17年以上 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 48,000Mwd/t以下 冷却期間 15年以上 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 48,000Mwd/t以下 冷却期間 17年以上 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 39,000Mwd/t以下 冷却期間 15年以上 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 39,000Mwd/t以下 冷却期間 17年以上 <p>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、バーナブルボ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ボイズン集合体の収納条件を第1図に示す。</p> <p>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="1528 1522 1884 1837"> </div> <p>第1図 使用済燃料集合体の収納位置条件</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、MSF-24P (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-24P (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																																																																																																																						
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																					
形状	集合体幅	約214 mm																																																																																																																							
	全長	約4100 mm																																																																																																																							
質量	約680 kg																																																																																																																								
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度 (集合体平均)	4.2 wt%以下		3.7 wt%以下																																																																																																																					
	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 Mwd/t		39,000 Mwd/t																																																																																																																					
	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上																																																																																																																				
1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	24体																																																																																																																							
	平均燃焼度 ^(注2)	44,000 Mwd/t以下																																																																																																																							
	崩壊熱量	15.8 kW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																																																																																																																						
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																					
形状	集合体幅	約214 mm																																																																																																																							
	全長	約4100 mm																																																																																																																							
質量	約670 kg																																																																																																																								
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度 (集合体平均)	4.1 wt%以下		3.5 wt%以下																																																																																																																					
	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 Mwd/t		39,000 Mwd/t																																																																																																																					
	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上																																																																																																																				
1特定兼用キャスクの仕様	収納体数	24体																																																																																																																							
	平均燃焼度 ^(注2)	44,000 Mwd/t以下																																																																																																																							
	崩壊熱量	15.8 kW以下																																																																																																																							

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (8/11)

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 1基あたり 最大崩壊熱量</p> <p>24体 15.8kW</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">48,000MWd/l型</td> <td colspan="2">39,000MWd/l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214 mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100 mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約680 kg</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">4.2 wt%以下</td> <td>3.7 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="2">48,000 MWd/l</td> <td>39,000 MWd/l</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</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">44,000 MWd/l 以下</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8 kW 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">48,000MWd/l型</td> <td colspan="2">39,000MWd/l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214 mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td colspan="3">約4100 mm</td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td colspan="4">約670 kg</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">4.1 wt%以下</td> <td>3.5 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td colspan="2">48,000 MWd/l</td> <td>39,000 MWd/l</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</td> <td>15年以上</td> <td>17年以上</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">44,000 MWd/l 以下</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td colspan="3">15.8 kW 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				48,000MWd/l型		39,000MWd/l型		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214 mm			全長	約4100 mm			質量	約680 kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2 wt%以下		3.7 wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 MWd/l		39,000 MWd/l	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上	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)	44,000 MWd/l 以下			崩壊熱量	15.8 kW 以下			項目	仕様				使用済燃料集合体の種類	15×15燃料				48,000MWd/l型		39,000MWd/l型		A型	B型	A型	B型	形状	集合体幅	約214 mm			全長	約4100 mm			質量	約670 kg				1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1 wt%以下		3.5 wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 MWd/l		39,000 MWd/l	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上	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)	44,000 MWd/l 以下			崩壊熱量	15.8 kW 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 colspan="2">MSF-24P(S)型^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>種類</td> <td></td> <td colspan="2">取造りキャスク(樹脂遮蔽体タイプ)</td> </tr> <tr> <td>容量</td> <td>体</td> <td colspan="2">24</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa</td> <td colspan="2">(差圧) 0.41</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最高使用温度</td> <td>容器</td> <td colspan="2">℃ 150</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td colspan="2">℃ 195</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">全長</td> <td>mm</td> <td colspan="2">5,194^(注2)</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td colspan="2">mm 2,596^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">容器</td> <td>胴内径</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>胴板厚</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋外径</td> <td colspan="2">mm 1,962^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋板厚さ</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>底板厚さ</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td colspan="2">mm 5,119^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト呼び径</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト本数</td> <td colspan="2">本 []^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">外筒</td> <td>外径</td> <td colspan="2">mm 2,596^(注2)</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋</td> <td>外径</td> <td colspan="2">mm 2,198^(注2)</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋ボルト</td> <td>呼び径</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>本数</td> <td colspan="2">本 []^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">バスケット</td> <td>外径</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>格子内幅</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート板厚</td> <td colspan="2">mm []^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">トラニオン</td> <td>上部トラニオン径(吊上げ部・側部)</td> <td colspan="2">mm 140^(注2)</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン径(吊上げ部)</td> <td colspan="2">mm 140^(注2)</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン径(胴部)</td> <td colspan="2">mm 200^(注2)</td> </tr> <tr> <td>胴板</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>一次蓋板</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>底板</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>伝熱フィン</td> <td colspan="3">C1020</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>二次蓋ボルト</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>貯蔵用二次蓋</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>貯蔵用二次蓋ボルト</td> <td colspan="3">-</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート</td> <td>-</td> <td colspan="2">アルミニウム合金^(注3) (NB-A3004-H112)</td> </tr> <tr> <td>中性子吸収材</td> <td>-</td> <td colspan="2">ほう素添加アルミニウム合金</td> </tr> <tr> <td>上部トラニオン</td> <td>-</td> <td colspan="2">SUS630 H1150</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン</td> <td>-</td> <td colspan="2">SUS630 H1150</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		取造りキャスク(樹脂遮蔽体タイプ)		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		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	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)		一次蓋ボルト呼び径	mm [] ^(注2)		一次蓋ボルト本数	本 [] ^(注2)		外筒	外径	mm 2,596 ^(注2)		厚さ	mm [] ^(注2)		二次蓋	外径	mm 2,198 ^(注2)		厚さ	mm [] ^(注2)		二次蓋ボルト	呼び径	mm [] ^(注2)		本数	本 [] ^(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)		トラニオン	上部トラニオン径(吊上げ部・側部)	mm 140 ^(注2)		下部トラニオン径(吊上げ部)	mm 140 ^(注2)		下部トラニオン径(胴部)	mm 200 ^(注2)		胴板	-			一次蓋板	-			底板	-			一次蓋ボルト	-			外筒	-			伝熱フィン	C1020			二次蓋	-			二次蓋ボルト	-			貯蔵用二次蓋	-			貯蔵用二次蓋ボルト	-			バスケットプレート	-	アルミニウム合金 ^(注3) (NB-A3004-H112)		中性子吸収材	-	ほう素添加アルミニウム合金		上部トラニオン	-	SUS630 H1150		下部トラニオン	-	SUS630 H1150			<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																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	48,000MWd/l型		39,000MWd/l型																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																																																																																																																																																																																	
形状	集合体幅	約214 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	全長	約4100 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																			
質量	約680 kg																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.2 wt%以下		3.7 wt%以下																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 MWd/l		39,000 MWd/l																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上																																																																																																																																																																																																																																																																																
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)	44,000 MWd/l 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	崩壊熱量	15.8 kW 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																			
項目	仕様																																																																																																																																																																																																																																																																																				
使用済燃料集合体の種類	15×15燃料																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	48,000MWd/l型		39,000MWd/l型																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	A型	B型	A型	B型																																																																																																																																																																																																																																																																																	
形状	集合体幅	約214 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	全長	約4100 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																			
質量	約670 kg																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1燃料集合体の仕様	初期濃縮度(集合体平均)	4.1 wt%以下		3.5 wt%以下																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	最高燃焼度 ^(注1)	48,000 MWd/l		39,000 MWd/l																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	冷却期間	15年以上	17年以上	15年以上	17年以上																																																																																																																																																																																																																																																																																
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)	44,000 MWd/l 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	崩壊熱量	15.8 kW 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																			
名称及び型式		MSF-24P(S)型 ^(注1)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
種類		取造りキャスク(樹脂遮蔽体タイプ)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
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																																																																																																																																																																																																																																																																																			
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	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)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	一次蓋ボルト呼び径	mm [] ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	一次蓋ボルト本数	本 [] ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
外筒	外径	mm 2,596 ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	厚さ	mm [] ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
二次蓋	外径	mm 2,198 ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	厚さ	mm [] ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
二次蓋ボルト	呼び径	mm [] ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	本数	本 [] ^(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)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
トラニオン	上部トラニオン径(吊上げ部・側部)	mm 140 ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	下部トラニオン径(吊上げ部)	mm 140 ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	下部トラニオン径(胴部)	mm 200 ^(注2)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
胴板	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
一次蓋板	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
底板	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
一次蓋ボルト	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
外筒	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
伝熱フィン	C1020																																																																																																																																																																																																																																																																																				
二次蓋	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
二次蓋ボルト	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
貯蔵用二次蓋	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
貯蔵用二次蓋ボルト	-																																																																																																																																																																																																																																																																																				
バスケットプレート	-	アルミニウム合金 ^(注3) (NB-A3004-H112)																																																																																																																																																																																																																																																																																			
中性子吸収材	-	ほう素添加アルミニウム合金																																																																																																																																																																																																																																																																																			
上部トラニオン	-	SUS630 H1150																																																																																																																																																																																																																																																																																			
下部トラニオン	-	SUS630 H1150																																																																																																																																																																																																																																																																																			

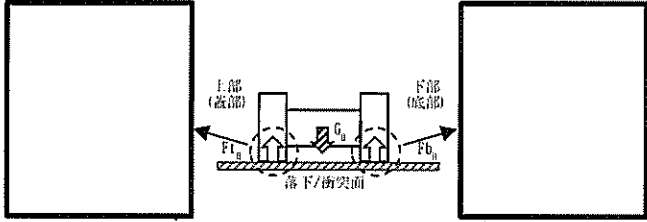
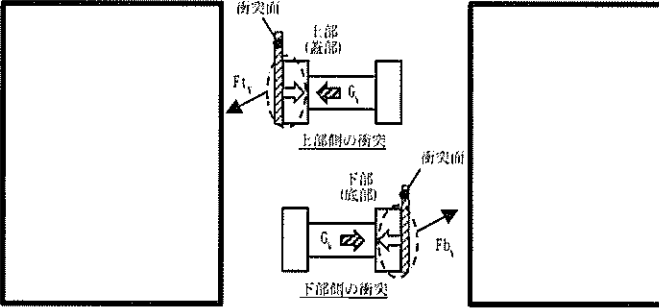
型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (9/11)

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>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が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が施設の範囲</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" data-bbox="192 388 756 724"> <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 (使用済燃料集合体を含む)</td><td>120t以下</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 外径 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℃ 最高温度 45℃^(注1) 最高温度 38℃^(注2)</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 65℃</td></tr> <tr><td>地震力</td><td>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)</td></tr> <tr><td>津波荷重の算出条件</td><td>浸水深 10m^(注3) 流速 20m/s^(注3) 漂流物質量 100t</td></tr> <tr><td>竜巻荷重の算出条件</td><td>風速 100m/s^(注3) 設計飛来物 第1表 のとおりに^(注4)</td></tr> </table> <p>(注1) 貯蔵建屋内で貯蔵する場合 (注2) 屋外で貯蔵する場合 (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 (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> <p>第1表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="192 1491 727 1753"> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="5">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> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6</td> <td>長さ×幅×高さ 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</td> <td>2300</td> <td>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>34</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> </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 (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	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) 最高温度 38℃ ^(注2)	貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度 ^(注1)	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 のとおりに ^(注4)	飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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	<p>2.4 設計条件</p> <p>(I) 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定は、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15.8kW/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>l. 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1-4表のとおりとする。</p> <p>第1-4表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="816 1491 1350 1753"> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="5">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> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6</td> <td>長さ×幅×高さ 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</td> <td>2300</td> <td>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>34</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> </tr> </tbody> </table>	飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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	<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が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が施設の範囲</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" data-bbox="1469 388 2003 724"> <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 (使用済燃料集合体を含む)</td><td>120t以下</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 外径 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℃ 最高温度 45℃ 最高温度 65℃</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) 又は 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) 流速 20m/s^(注1) 漂流物質量 100t</td></tr> <tr><td>竜巻荷重の算出条件</td><td>風速 100m/s^(注1) 設計飛来物 第8表 のとおりに^(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 (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> <p>第8表 設計飛来物条件</p> <table border="1" data-bbox="1469 1491 2003 1753"> <thead> <tr> <th rowspan="2">飛来物の種類</th> <th colspan="5">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> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法(m)</td> <td>長さ×直径 2×0.05</td> <td>長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2</td> <td>長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15</td> <td>長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6</td> <td>長さ×幅×高さ 5×1.9×1.3</td> </tr> <tr> <td>質量(kg)</td> <td>8.4</td> <td>135</td> <td>540</td> <td>2300</td> <td>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>34</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> </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	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	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℃ 最高温度 65℃	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 のとおりに ^(注2)	飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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	<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>	<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 (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	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) 最高温度 38℃ ^(注2)																																																																																																																																																																				
貯蔵状態における貯蔵建屋壁面温度 ^(注1)	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 のとおりに ^(注4)																																																																																																																																																																				
飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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																																																																																																																																																																
飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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																																																																																																																																																																
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	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℃ 最高温度 65℃																																																																																																																																																																				
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 のとおりに ^(注2)																																																																																																																																																																				
飛来物の種類	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×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×高さ 2.4×2.6×6	長さ×幅×高さ 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																																																																																																																																																																

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (10/11)

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>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(1)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、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>ヘ. MSF-24P (S)型の方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)型の安全機能が阻害されないこと。</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、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>リ. 原子力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(1)に対して、貯蔵用緩衝体は、貯蔵用緩衝体の経年変化を考慮したうえで、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。なお、第9表に示す貯蔵施設の想定事象において、特定兼用キャスクに作用する荷重が第9表に示す荷重条件を満足する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態(1)の許容基準を満足するための緩衝性能を有するものとする。</p> <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)型の方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)型の安全機能が阻害されないこと。</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) 原子力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(昭和53年12月28日 総理府令第57号)。(以下「外運搬規則」という。)第21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。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際には、次のとおりとすること。</p> <p>(a) 核燃料輸送物の運搬は、添付書類13「外運搬規則」第六條若しくは第七條及び第十二條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(10)章に示す輸送用の緩衝体を装着し、専用積載として周囲温度-20℃以上で実施すること。また、輸送容器の使用予定年数は60年、仕様予定回数は10回であること。</p> <p>(b) 輸送用の緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実積のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行うこと。</p> <p>(c) 核燃料輸送物の発送前検査(温度測定検査)により、太陽熱放射のない条件において輸送中人が容易に近づけることができる表面温度が55℃を超える場合は、近接防止金網を装着して輸送すること。</p> <p>(d) 核燃料輸送物の発送前検査(外観検査)により、核燃料輸送物が□されていることを確認すること。</p> <p>(e) 核燃料輸送物の発送前検査(表面密度検査)により、核燃料輸送物の表面の放射性物質の密度が外運搬規則第4条第1項8号に規定される表面密度限度以下であることを確認すること。</p> <p>(f) 核燃料輸送物の発送前検査(収納物検査)により、核燃料物質等の使用等に必要書類その他の物品(核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。)以外のものが収納されていないことを確認すること。</p>		<p>型式証明申請書「本文」に記載される、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 (11/11)

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>第9表 特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>想定事象</th> <th>特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MSF-24P (S) 型の水平落下</td> <td rowspan="2">上部（蓋部）に作用する荷重 (F_u) 4.30×10⁵N以下 下部（底部）に作用する荷重 (F_b) 3.76×10⁵N以下</td> </tr> <tr> <td>MSF-24P (S) 型と周辺施設等との径方向衝突</td> </tr> <tr> <td>MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側）</td> <td>上部（蓋部）に作用する荷重 (F₁) 7.55×10⁵N以下</td> </tr> <tr> <td>MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（下部側）</td> <td>下部（底部）に作用する荷重 (F₂) 7.69×10⁵N以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 表中に示す荷重は、特定兼用キャスク本体に次の衝撃加速度が生じた場合に上部（蓋部）又は下部（底部）に作用する荷重である。表中に示す荷重は、第6図に示す荷重作用範囲と同じ、又はより広い範囲に作用するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・MSF-24P (S) 型の水平落下及びMSF-24P (S) 型と周辺施設等との径方向衝突：衝撃加速度 (G₀) 650m/s² ・MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側）：衝撃加速度 (G₁) 600m/s² ・MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（下部側）：衝撃加速度 (G₂) 600m/s²  <p>G₀：特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 (650m/s²) F_u：特定兼用キャスク上部（蓋部）に作用する荷重 (4.30×10⁵N) F_b：特定兼用キャスク下部（底部）に作用する荷重 (3.76×10⁵N)</p> <p>(1) MSF-24P (S) 型の水平落下及びMSF-24P (S) 型と周辺施設等との径方向衝突</p>  <p>G₁：特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 (600m/s²) F₁：特定兼用キャスク上部（蓋部）に作用する荷重 (7.55×10⁵N) F₂：特定兼用キャスク下部（底部）に作用する荷重 (7.69×10⁵N)</p> <p>(2) MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側、下部側）</p> <p>第6図 特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重作用範囲</p>	想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件 ^(注1)	MSF-24P (S) 型の水平落下	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _u) 4.30×10 ⁵ N以下 下部（底部）に作用する荷重 (F _b) 3.76×10 ⁵ N以下	MSF-24P (S) 型と周辺施設等との径方向衝突	MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側）	上部（蓋部）に作用する荷重 (F ₁) 7.55×10 ⁵ N以下	MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（下部側）	下部（底部）に作用する荷重 (F ₂) 7.69×10 ⁵ N以下		
想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件 ^(注1)												
MSF-24P (S) 型の水平落下	上部（蓋部）に作用する荷重 (F _u) 4.30×10 ⁵ N以下 下部（底部）に作用する荷重 (F _b) 3.76×10 ⁵ N以下												
MSF-24P (S) 型と周辺施設等との径方向衝突													
MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（上部側）	上部（蓋部）に作用する荷重 (F ₁) 7.55×10 ⁵ N以下												
MSF-24P (S) 型と周辺施設等との軸方向衝突（下部側）	下部（底部）に作用する荷重 (F ₂) 7.69×10 ⁵ N以下												

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
- 添付書類 5-4 想定事象における特定兼用キャスクの強度に関する説明書

- 別紙1 計算機プログラム（解析コード）の概要
- 別紙2 傾斜落下時の健全性

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 _e	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 _{f0}	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 _{fa}	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	$W_0 = W_{m1}$	
	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：

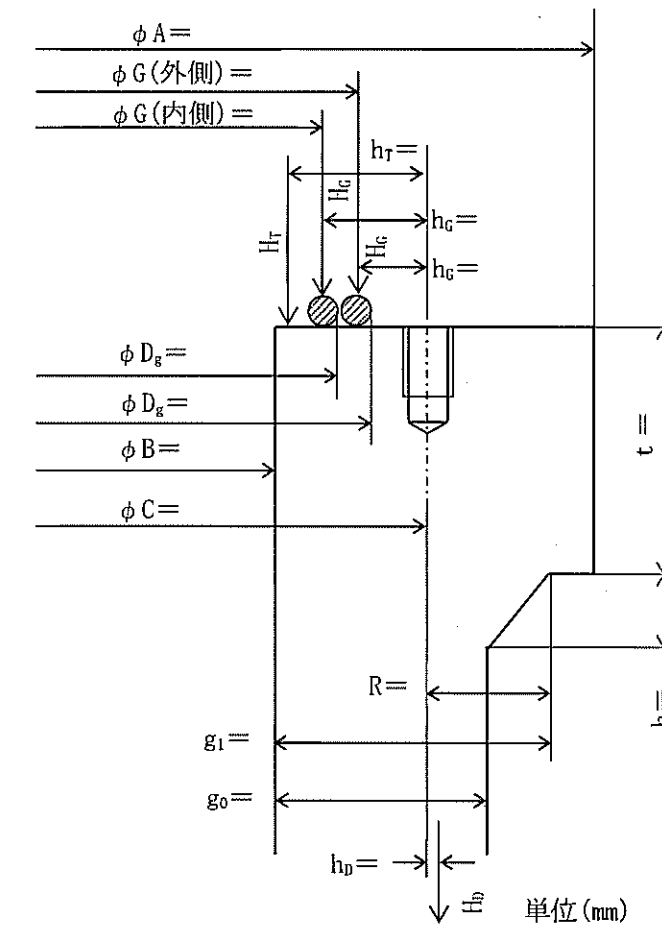
フランジの強度計算の計算結果

	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 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)	使用状態でフランジに 作用する全モーメント M_0	
	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

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 _n (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 圧力 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 圧 P (MPa)	最高使用 温 (°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	<input type="text"/>	118	—	<input type="text"/>	(o)	0.5	73	<input type="text"/>

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 圧 P (MPa)	最高使用 温 (°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	<input type="text"/>	130	—	<input type="text"/>	(a)	0.17	5	<input type="text"/>

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。

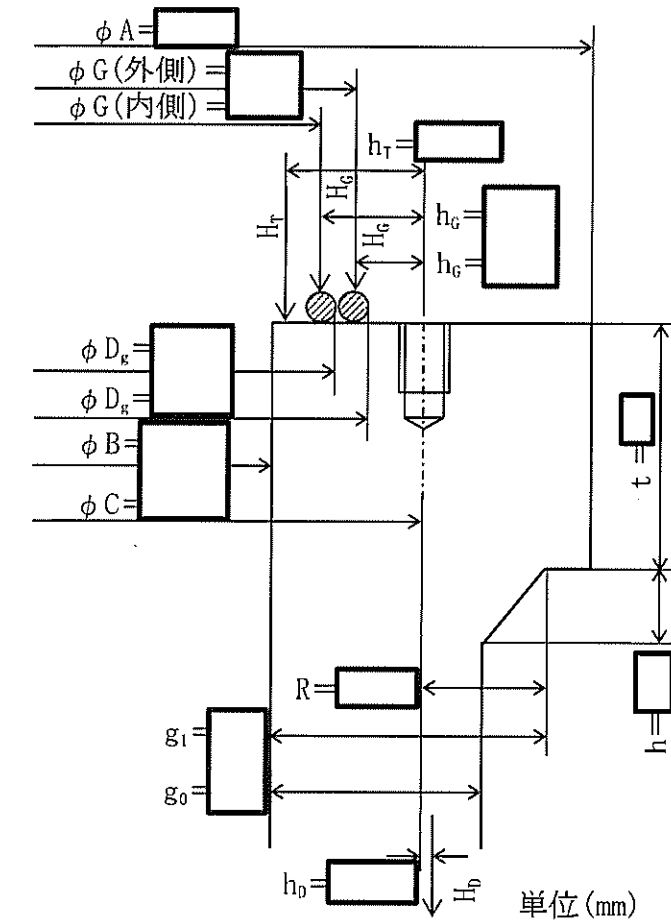
(5) フランジの強度計算の厚さ計算結果 (設計・建設規格 PVC-3710)

	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		$S_b=200$	$S_0=200$			—	—	
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	
	$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$	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"/>	$S_a=200$	$S_0=200$	<input type="text"/>	<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

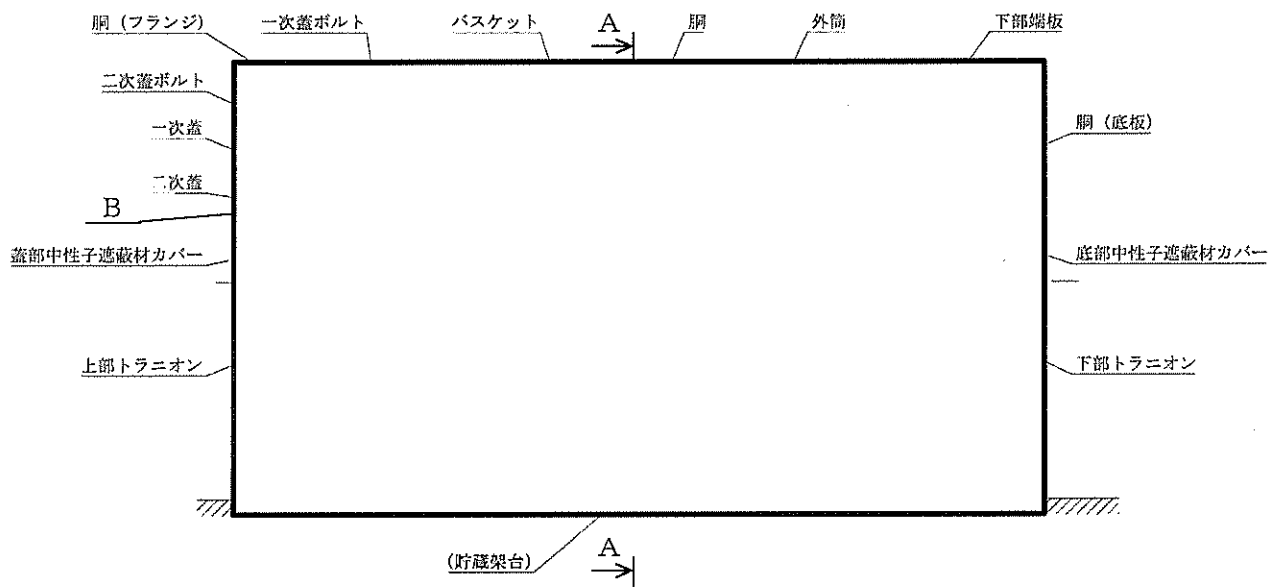
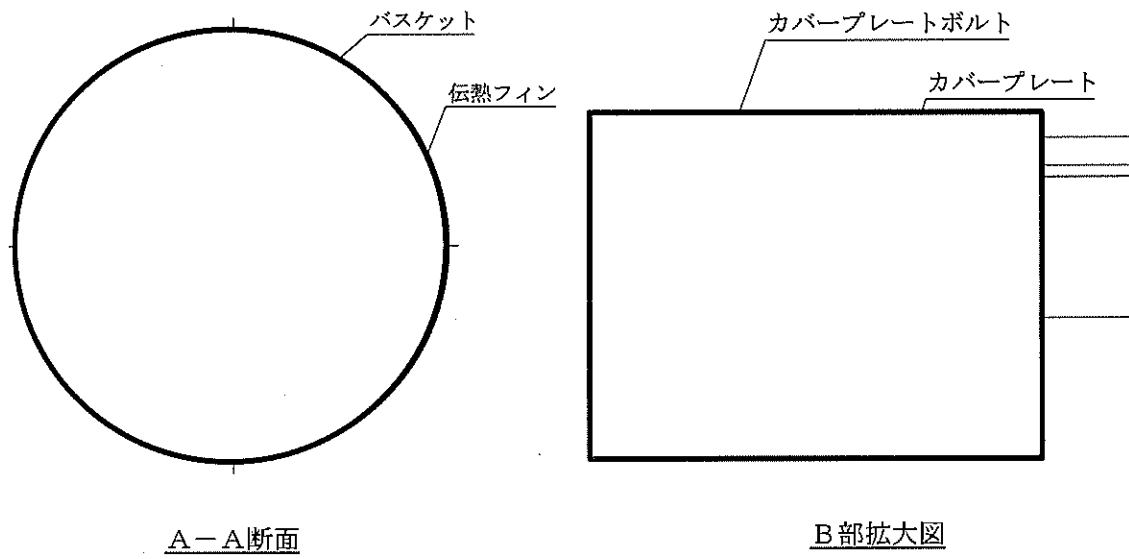
1. 概要	1
2. 適用部材の分類	2
3. 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針	5

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)
トリニオン（上部トリニオン及び下部トリニオン）	トリニオン

(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

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	金属キャスト構造規格の別図 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	「金属キャスト構造規格」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 _i	-	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 _s	-	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 _f	-	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

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
設計荷重	供用状態	評価事象						
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。

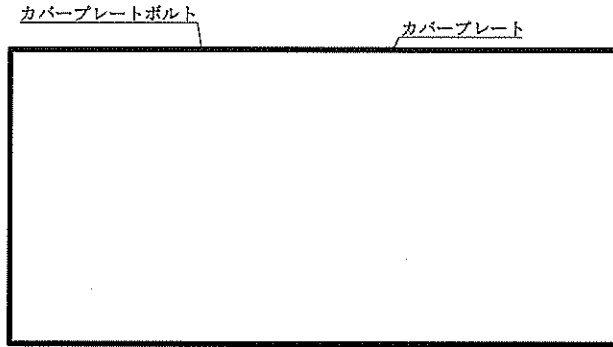
(注1)MSF-24P(S)型に1.3g(下方向)の慣性力を作用させた場合の荷重である。吊上げ時においてMSF-24P(S)型に発生する加速度係数(G_1)は、金属キャスク構造規格 解説表MCD-3300-2-2に記載されるクレーン構造規格に基づいた以下の式により算出した値である。

$$G_1 = \text{衝撃係数} (=1.198) \times \text{作業係数} (=1.08) \\ = 1.3$$

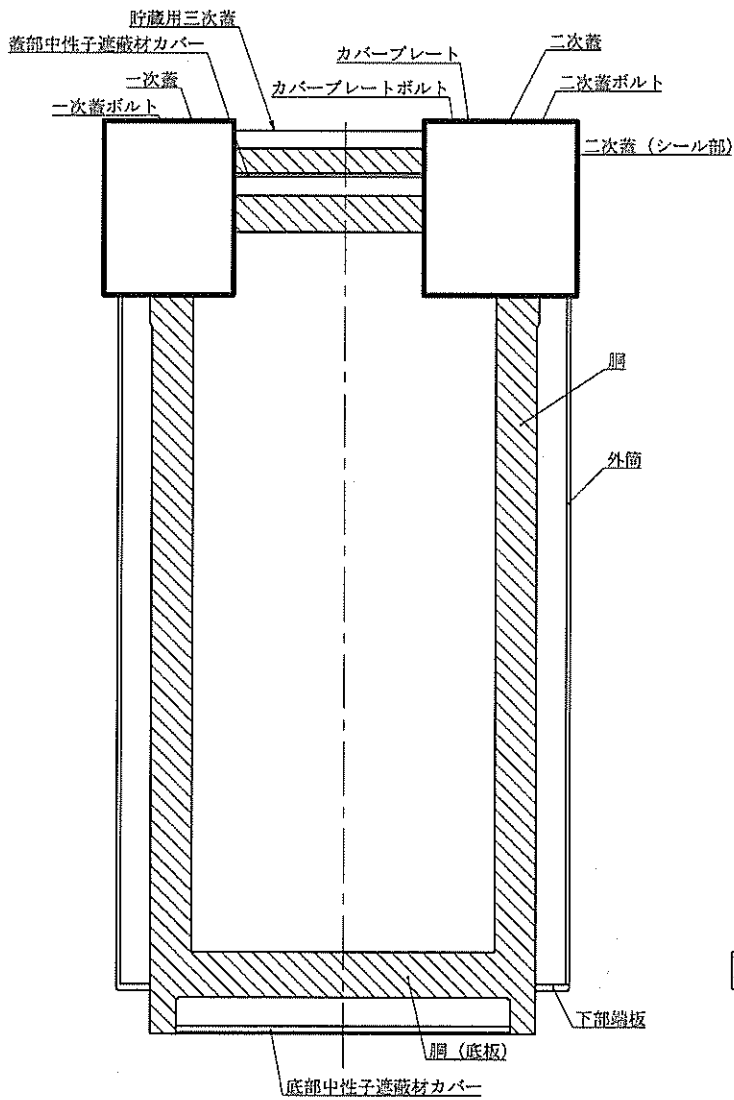
5.2 解析箇所

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

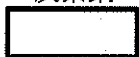

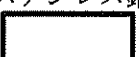
5.3 形状及び寸法

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		11.90	
		75	198000	12.10	
		100		12.30	
		125		12.40	
		150	195000	12.60	
		175		12.70	
		200		192000	
貯蔵用三次蓋	炭素鋼 	20	202000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50		11.90	
		75	198000	12.10	
		100		12.30	
		125		12.40	
		150	195000	12.60	
		175		12.70	
		200		192000	
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		15.90	
		75	189000	16.10	
		100		16.40	
		125		16.60	
		150	186000	16.80	
		175		17.00	
		200		183000	

第 5-2 表 応力計算に使用する材料の物性値 (2/2)

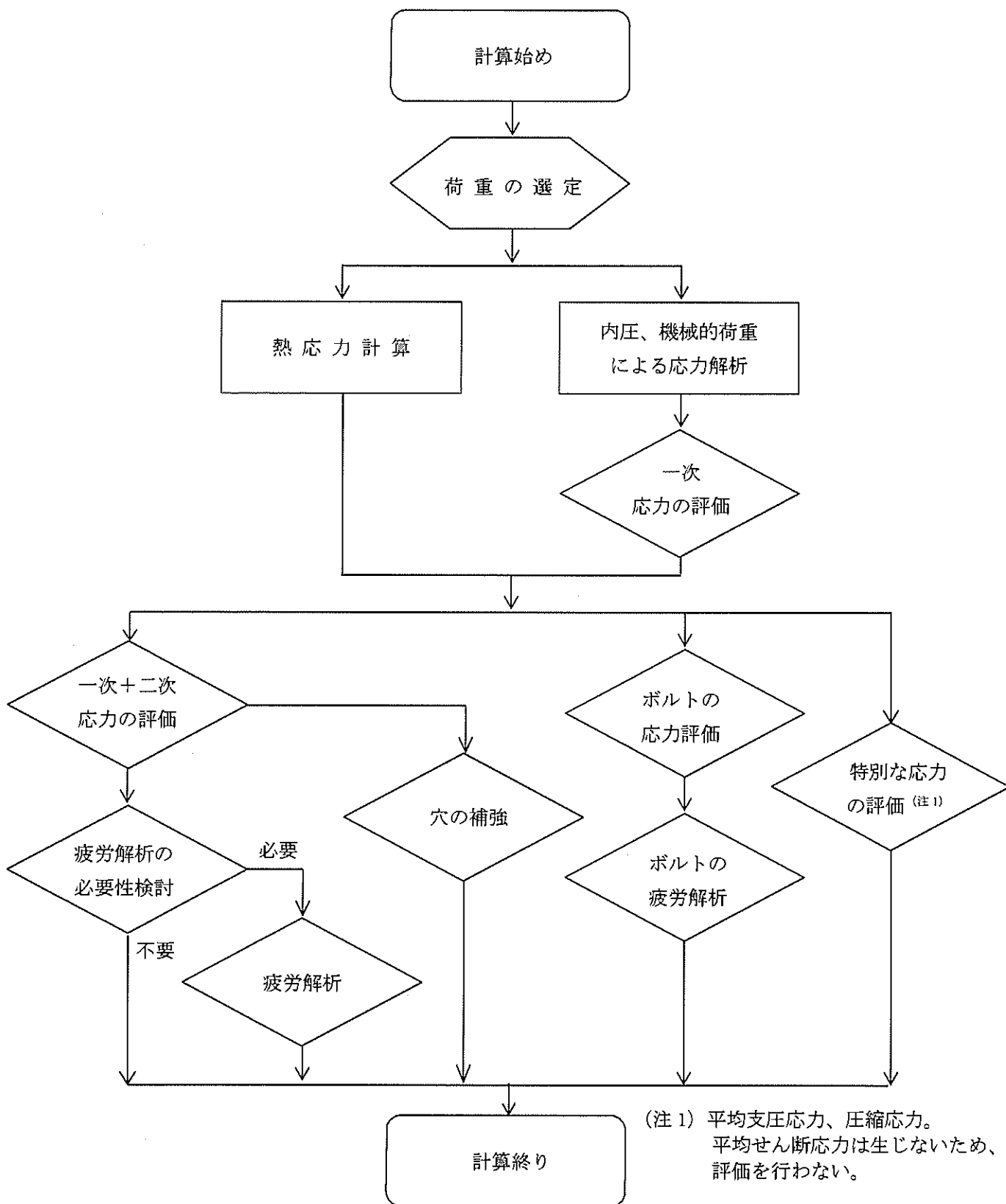
構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性 係数 (MPa)	平均 熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン 比 (-)
外筒 蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 <input type="text"/>	20	202000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50		11.90	
		75	198000	12.10	
		100		12.30	
		125		12.40	
		150	195000	12.60	
		175		12.70	
		200		192000	
一次蓋ボルト 二次蓋ボルト 貯蔵用三次蓋ボルト カバープレートボルト	合金鋼 <input type="text"/>	20	191000	11.50	0.3
		25		11.80	
		50		11.90	
		75	187000	12.10	
		100		12.30	
		125		12.40	
		150	184000	12.60	
		175		12.70	
		200		181000	
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)	20	196000	11.10	0.3
		25		11.20	
		50		11.30	
		75	191000	11.40	
		100		11.40	
		125		11.50	
		150	188000	11.60	
		175		11.60	
		200		184000	

6. 応力解析の手順

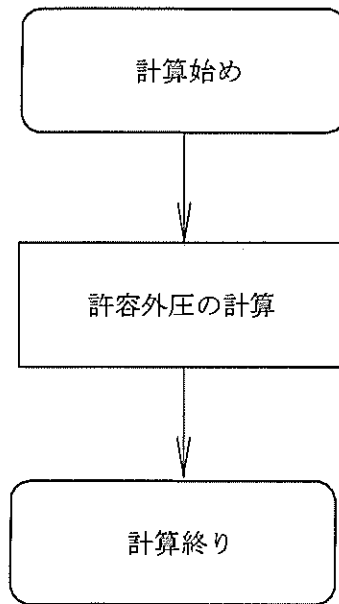
6.1 応力計算の概要

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

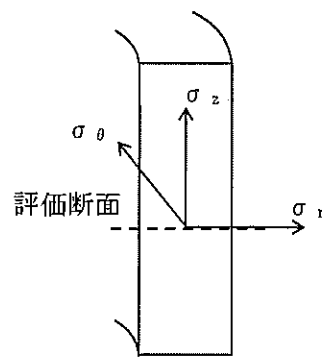
- (1) 応力計算は以下の荷重を入力し行う。荷重条件として与えられるものは、次の3つである。
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重
機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含むMSF-24P(S)型の設計質量を用いる。）、吊上げ荷重及びその他の付加荷重をいう。
 - c. 熱荷重
熱荷重は、密封容器に生じる温度変化、温度勾配による荷重をいう。密封容器の温度分布は各様態に応じた除熱解析で得られた温度分布結果を用いる。
- (2) 解析モデルは、三次元の360°モデルとし、三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。モデル図及び境界条件は強度計算書に示す。
- (3) 応力評価位置は、構造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		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	[]	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)			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_n	183	S_y (注2)
	圧縮応力 (注1)	σ_c	90	Min (S_m , B)
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。

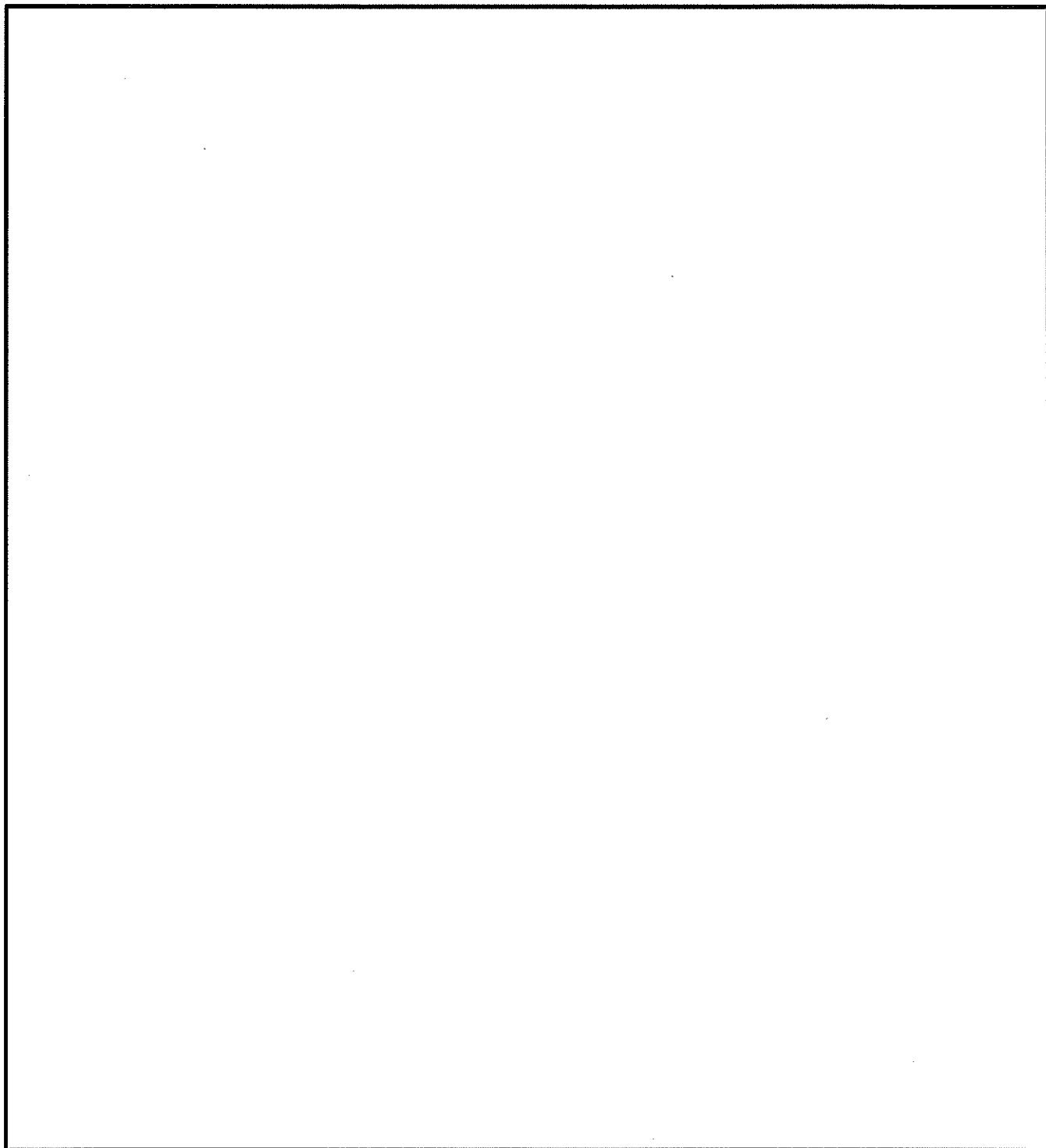
第5-1表 代表事象

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)	—

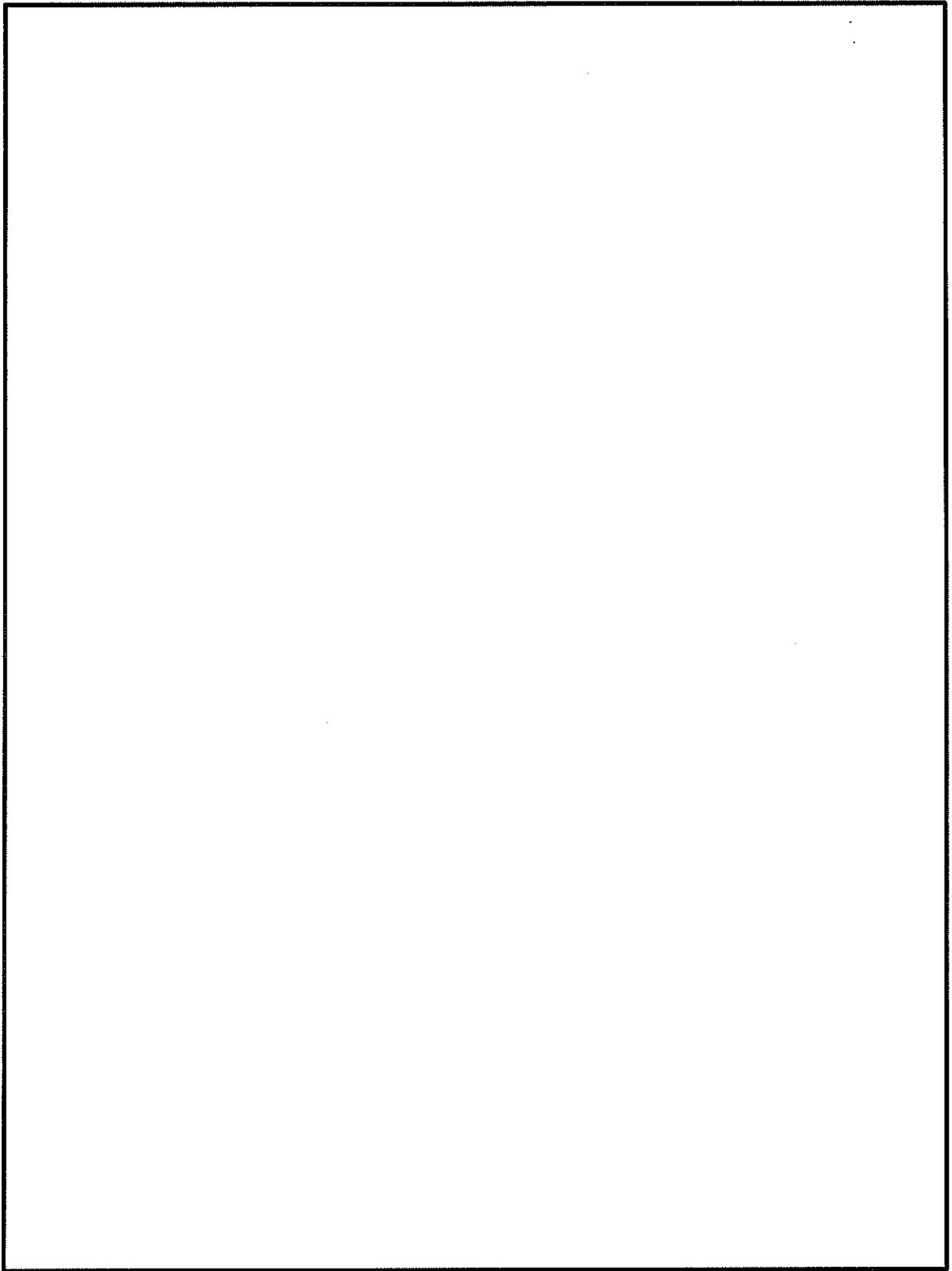
(注1) MSF-24P(S)型に1.3gの慣性力(下方向)を作用させた場合の荷重である。慣性力の根拠は、添付書類5-3-2-1「密封容器の強度計算方法」に示す。

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

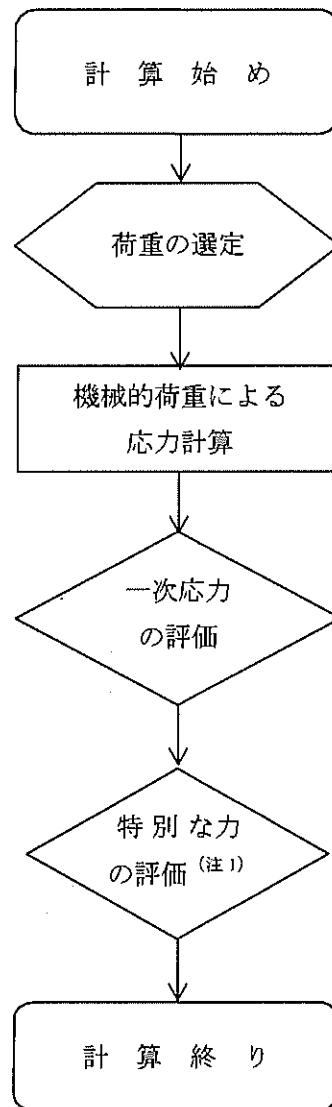
構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性 ^(注1) 係数 (MPa)
バスケット プレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	20	73900
		50	73300
		75	72800
		100	72100
		125	71400
		150	70600
		175	69800
200	68900		

(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

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以下の通りである。

a. 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。

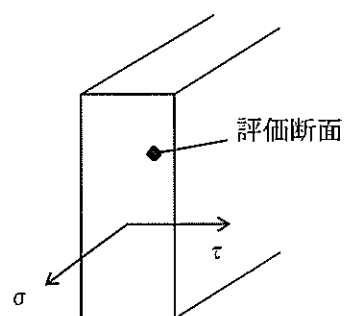
(2) 応力評価位置は、構造及び材料の不連続性及び代表性を考慮して設定する。評価位置は第5-1図に示す。応力評価は、この応力評価位置について行う。

6.3.2 応力の評価

応力の評価は、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、以下の評価を応力計算書に示す。なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力
 τ : せん断応力



バスケットの応力評価は、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-DPC17001)を受けた応力評価と同様に、以下の項目を評価する。

[供用状態 A (貯蔵時)]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq S$
- ・一次一般膜+一次曲げ応力強さ： $P_m + P_b \leq K_0 S$
- ・せん断応力： $\tau \leq 0.6S$
- ・圧縮応力： $\sigma_c \leq f_c \left(= \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \right)$

[供用状態 A (吊上げ時)]

- ・一次一般膜応力強さ： $P_m \leq S_m$
- ・一次一般膜+一次曲げ応力強さ： $P_m + P_b \leq \alpha S_m$
- ・せん断応力： $\tau \leq 0.6S_m$
- ・圧縮応力： $\sigma_c \leq f_c \left(= \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \right)$

ここで、

F : MIN[0.7S_w, S_y]により定まる値

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

6.3.3 許容基準

バスケットの許容基準は、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バスケットで設定する温度に対応した値とする。バスケット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。この値は、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に記載するアルミニウム合金の材料特性から算出した値である。

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。

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)
	貯蔵時 ^(注1) 吊上げ時
バスケット	□

(注1)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「特定兼用キャ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。

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)	許容引張 応力 S (MPa)	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)
バスケット プレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	□	16	36	56	113

第 6-3 表 許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	許容応力
供用状態 A (貯蔵時)	一次一般膜応力強さ	P_m	16	S
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	16	$K_0 S$ (注 1)
	せん断応力	τ	9	0.6S
	圧縮応力	σ_c	37	f_c
供用状態 A (吊上げ時)	一次一般膜応力強さ	P_m	36	S_m
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	43	αS_m (注 2)
	せん断応力	τ	21	0.6 S_m
	圧縮応力	σ_c	37	f_c

(注 1) $K_0 = 1$

(注 2) $\alpha = 1.2$

添付書類 5-3-2-3 トラニオンの強度計算方法

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	11
6.1 応力計算の概要	11
6.2 荷重条件の選定	12
6.3 応力計算と評価	12

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)型のトラニオン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

トラニオン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トラニオンを適用する。

3. 記号の説明

トラニオン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
A_4	mm^2	評価位置④の断面積
A_5	mm^2	評価位置⑤の断面積
A_6	mm^2	評価位置⑥の断面積
a_1	mm	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_2	mm	重心から胴上部固縛位置までの距離
b	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
d_3	mm	上部トラニオン嵌め込み部の外径
d_7	mm	下部トラニオン嵌め込み部の外径
d_{31}	mm	上部トラニオン接続部（トラニオン側）の外径
d_{32}	mm	上部トラニオンの外輪(穴)内径
d_{33}	mm	上部トラニオンの外輪(穴)外径
d_{71}	mm	下部トラニオン接続部（トラニオン側）の外径
d_{72}	mm	下部トラニオンの外輪(穴)内径
d_{73}	mm	下部トラニオンの外輪(穴)外径
E	MPa	トラニオンの縦弾性係数
E'	MPa	胴の縦弾性係数
E_i	MPa	状態 i のトラニオンの縦弾性係数
E_i'	MPa	状態 i の胴の縦弾性係数
E_0	MPa	設計疲労線図の基本縦弾性係数
E_t	MPa	解析に用いる縦弾性係数
F	MPa	S_y, S_u により決まる値
F_1	N	トラニオン押さえの固縛荷重
F_L	N	下部トラニオンに作用する荷重
F_U	N	上部トラニオンに作用する荷重
f_b	MPa	許容曲げ応力
f_p	MPa	許容支圧応力
f_s	MPa	許容せん断応力
f_t	MPa	許容引張応力
g	m/s^2	重力加速度
G_1	-	鉛直方向加速度係数（貯蔵時）

記号	単位	定義
G_2	-	鉛直方向加速度係数 (吊上げ時)
i	-	応力サイクルの型式
k	-	応力サイクルの型式の総数
K_t	-	応力集中係数
K_r	-	表面粗さ係数
L_{11}	mm	評価位置①と荷重作用位置との距離
L_{12}	mm	評価位置①と荷重作用位置との距離
L_{21}	mm	評価位置②と荷重作用位置との距離
L_{22}	mm	評価位置②と荷重作用位置との距離
L_3	mm	0点から反力 R_{32} の作用点までの距離
L_{42}	mm	評価位置④と荷重作用位置との距離
L_{51}	mm	評価位置⑤と荷重作用位置との距離
L_{52}	mm	評価位置⑤と荷重作用位置との距離
L_{61}	mm	評価位置⑥と荷重作用位置との距離
L_{62}	mm	評価位置⑥と荷重作用位置との距離
L_7	mm	0点から反力 R_{72} の作用点までの距離
m	kg	貯蔵時及び吊上げ時における MSF-24P(S) 型の質量
M_L	N・mm	下部トラニオンの曲げモーメント
M_U	N・mm	上部トラニオンの曲げモーメント
N_a	-	許容繰返し回数
N_c	-	実際の繰返し回数
P_3	MPa	上部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力
P_7	MPa	下部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力
P_{3i}	MPa	状態 i での上部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力
P_{7i}	MPa	状態 i での下部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力
R_{31}	N	上部トラニオンに作用する反力
R_{32}	N	上部トラニオンに作用する反力
R_{71}	N	下部トラニオンに作用する反力
R_{72}	N	下部トラニオンに作用する反力
S	MPa	応力強さの変動
S_3	MPa	上部トラニオンの支圧応力
S_7	MPa	下部トラニオンの支圧応力
S_a	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_u	MPa	設計引張強さ
S_y	MPa	設計降伏点

記号	単位	定義
T_0	°C	初期温度 (=20°C)
T_{1i}	°C	状態 i のトラニオンの温度
T_{2i}	°C	状態 i のトラニオン接続部 (胴側) の温度
U_f	-	疲労累積係数
Z_1	mm ³	評価位置①の断面係数
Z_2	mm ³	評価位置②の断面係数
Z_4	mm ³	評価位置④の断面係数
Z_5	mm ³	評価位置⑤の断面係数
Z_6	mm ³	評価位置⑥の断面係数
α_{1i}	-	状態 i のトラニオンの熱膨張率
α_{2i}	-	状態 i のトラニオン接続部 (胴側) の熱膨張率
α_{3i}	-	状態 i の上部トラニオンのしまり嵌め比
α_{7i}	-	状態 i の下部トラニオンのしまり嵌め比
α_3	-	上部トラニオンのしまり嵌め比
α_7	-	下部トラニオンのしまり嵌め比
δ_3	mm	上部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめ代 (直径差)
δ_7	mm	下部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめ代 (直径差)
δ_{3i}	mm	上部トラニオン接続部のしめ代 (直径差)
δ_{7i}	mm	下部トラニオン接続部のしめ代 (直径差)
μ	-	摩擦係数
ν	-	ポアソン比
σ	MPa	評価断面に垂直な方向の応力
σ_{31}	MPa	評価位置③の反力 R_{31} による応力
σ_{32}	MPa	評価位置③の反力 R_{32} による応力
σ_{71}	MPa	評価位置⑦の反力 R_{71} による応力
σ_{72}	MPa	評価位置⑦の反力 R_{72} による応力
σ_b	MPa	曲げ応力
σ_{bL}	MPa	下部トラニオンの曲げ応力
σ_{bU}	MPa	上部トラニオンの曲げ応力
σ_{TL}	MPa	下部トラニオンの組合せ応力
σ_{TU}	MPa	上部トラニオンの組合せ応力
τ	MPa	せん断応力
τ_L	MPa	下部トラニオンのせん断応力
τ_U	MPa	上部トラニオンのせん断応力

4. 設計条件

トラニオンは、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

トラニオンの基本仕様を第4-1表に示す。

第 4-1 表 トラニオンの基本仕様

材質	トラニオン	SUS630
----	-------	--------

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、トラニオン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-3100-1を参考に、トラニオン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 トラニオン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				
			ボルト初期締付け力	自重による荷重	吊上げ荷重	固縛荷重	熱荷重 ^(注4)
I	A ^(注1)	貯蔵時	— ^(注2)	○	—	○	○
		吊上げ時	— ^(注2)	— ^(注3)	○	—	○

(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) トラニオン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) 密封容器の熱膨張により生じる応力に限る。

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

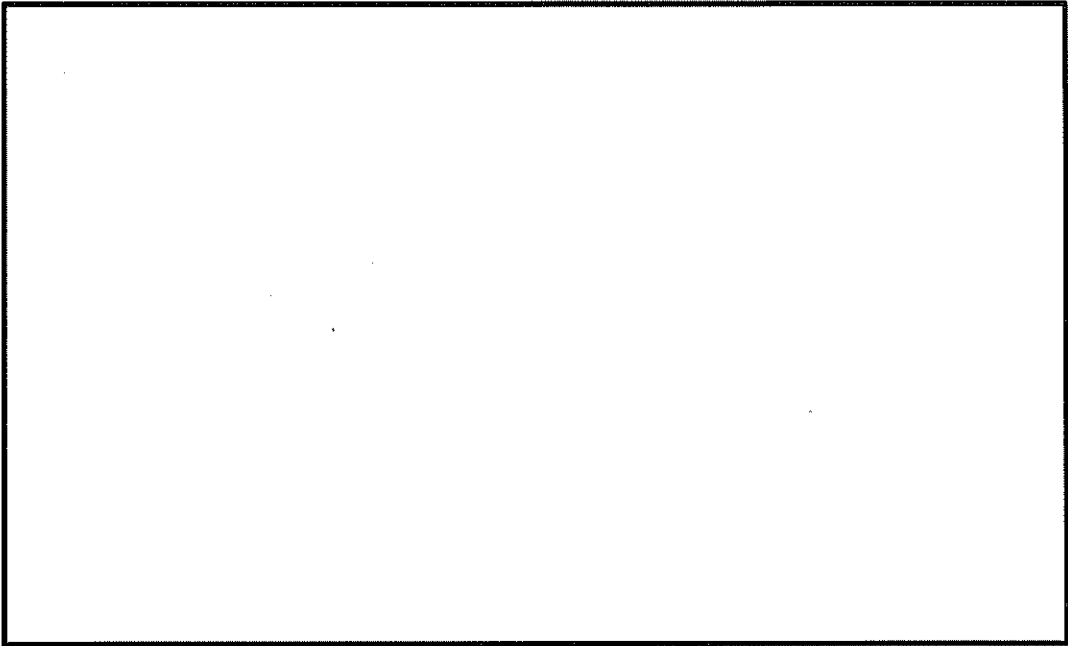
設計事象	供用状態	代表事象	包絡される事象	荷重条件	備考
I	A	貯蔵時	・準備作業時	<ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・固縛荷重 ・熱荷重 	供用状態Aのうち大半の期間を占める代表的事象である。また、準備作業時の荷重条件等は貯蔵時と同じである。
		吊上げ時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・吊上げ荷重^(注1) ・熱荷重 	—

(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。

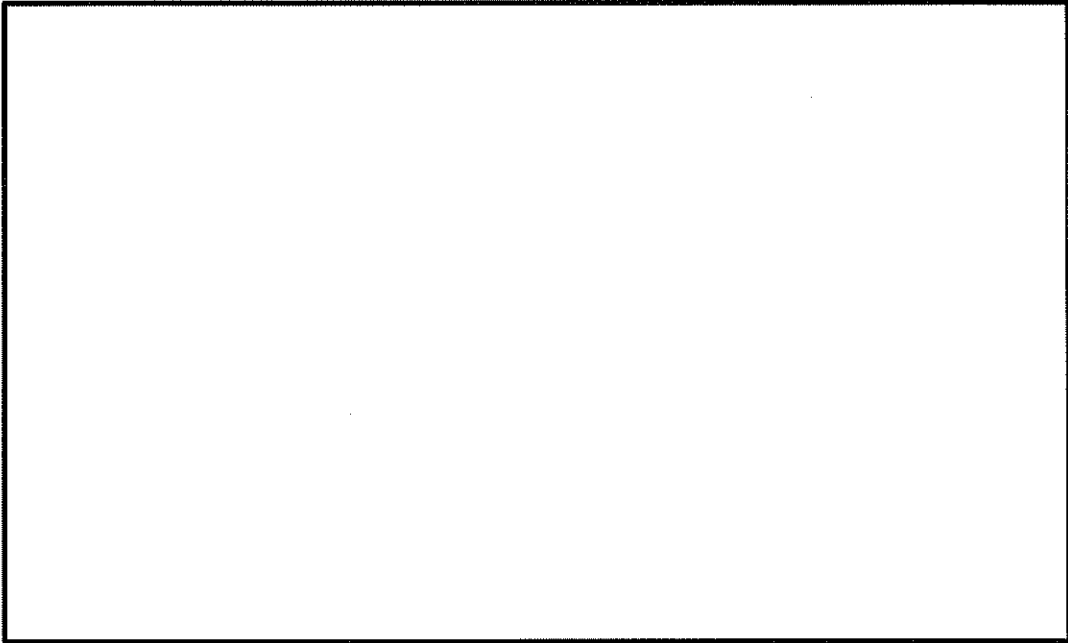
5.2 解析箇所

トラニオン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図及び第5-2図に示す。

- (1) 上部トラニオン
 - ・トラニオン段付き部
 - ・トラニオン接続部
- (2) 下部トラニオン
 - ・トラニオン段付き部
 - ・トラニオン接続部



第5-1図 上部トラニオンの評価位置



第5-2図 下部トラニオンの評価位置

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。

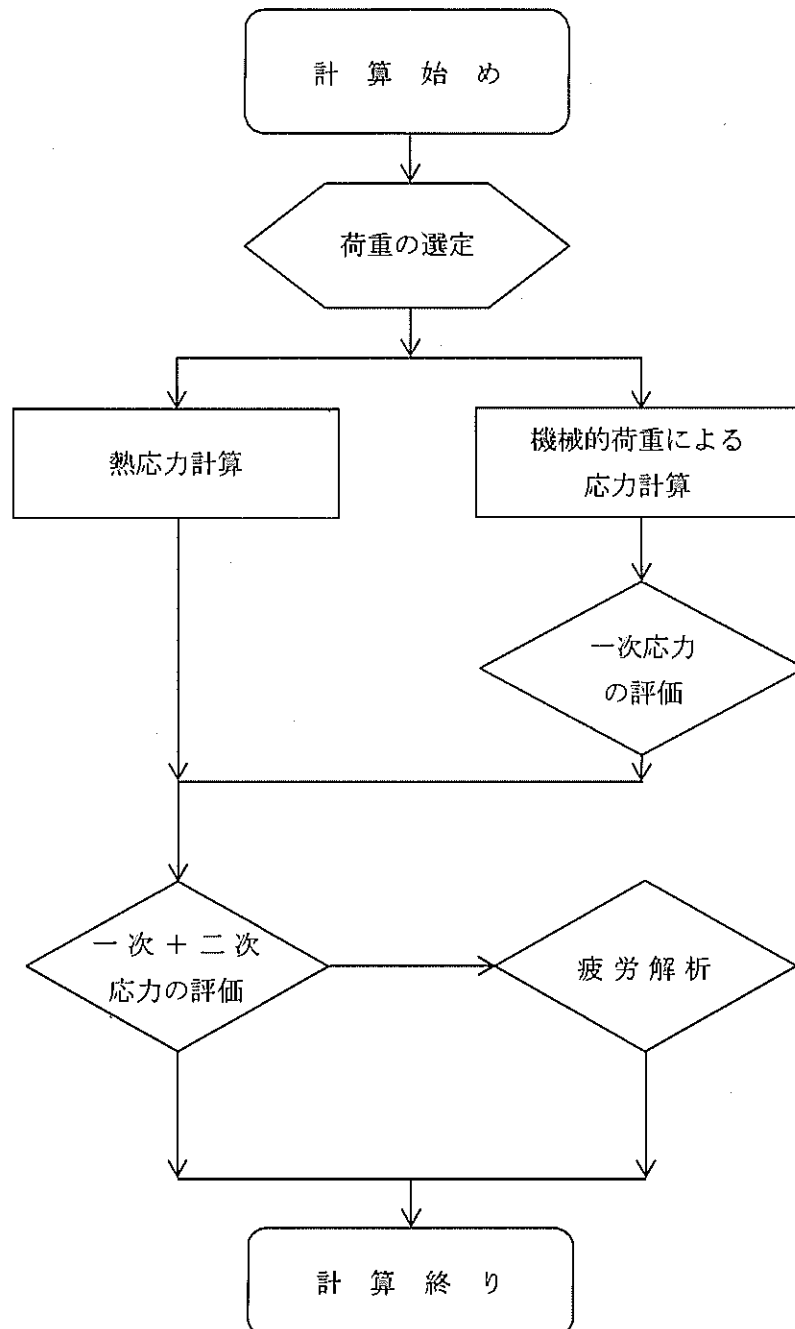
第 5-2 表 応力計算に使用する材料の物性値

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 (-)
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		11.60	
胴	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	

6. 応力解析の手順

6.1 応力計算の概要

トラニオンの応力評価フローを第6-1図に示す。トラニオンの応力評価は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。



第6-1図 トラニオンの応力評価フロー

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以下の通りである。

a. 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。

b. 熱荷重

(2) 貯蔵時は、上部トラニオン2個及び下部トラニオン2個を用いて固縛する。また、吊上げ時は、上部トラニオン2個及び下部トラニオン2個を用いて吊上げる。荷重作用位置は、荷重支持面の中央部とする。

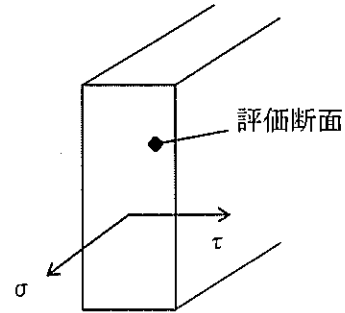
(3) 応力評価位置は、構造及び材料の不連続性及び代表性を考慮して設定する。評価位置は強度計算書に示す。応力評価は、この応力評価位置について行う。

6.3.2 応力の評価

応力の評価は、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、以下の評価を応力計算書に示す。なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
 τ : せん断応力



トランシオンの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-3300に従い、以下の項目を評価する。

(1) 一次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-3311.1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

- ・せん断応力 (一次) $\leq f_s \left(= \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$
- ・曲げ応力 (一次) $\leq f_b (=f_t)$
- ・支圧応力 (一次) $\leq f_p (=1.25F)$
- ・組合せ応力 (一次) $\leq f_t \left(= \frac{F}{1.5} \right)$

ここで、

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$$

(2) 一次+二次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-3312.1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

- ・せん断応力 (一次+二次) $\leq 3f_s$
- ・曲げ応力 (一次+二次) $\leq 3f_b$
- ・支圧応力 (一次+二次) $\leq 1.5f_p$

ここで、 f_s 、 f_b 及び f_p は、6.3.2(1)に示すとおり。

6.3.3 許容基準

トランニオンの許容基準は、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応力を第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)	
	貯蔵時 ^(注1)	吊上げ時
上部トラニオン 下部トラニオン	□	
胴		

(注1) 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「特定兼用キャ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。

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)	設計降伏点 S _y (MPa)	設計引張強さ S _u (MPa)	F (MPa)
上部トラニオン 下部トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)	□	647	845	591
胴	炭素鋼 □		183	377	183

第 6-3 表 許容応力値

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	許容応力
供用状態 A	せん断応力 (一次応力)	227	f_s
	曲げ応力 (一次応力)	394	f_b
	支圧応力 (トラニオン側) (一次応力)	738	f_p
	支圧応力 (本体側) (一次応力)	228	f_p
	組合せ応力 (一次応力)	394	f_t
	せん断応力 (一次+二次応力)	682	$3f_s$
	曲げ応力 (一次+二次応力)	1182	$3f_b$
	支圧応力 (トラニオン側) (一次+二次応力)	1108	$1.5f_p$
	支圧応力 (本体側) (一次+二次応力)	343	$1.5f_p$

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

目 次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 記号の説明	2
4. 設計条件	3
4.1 基本仕様	3
4.2 設計事象	3
4.3 荷重の種類とその組合せ	4
5. 計算条件	5
5.1 解析対象とする事象	5
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	8
5.4 物性値	8
6. 応力解析の手順	9
6.1 応力計算の概要	9
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

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中間胴を適用する。

3. 記号の説明

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
F	MPa	S_y 、 S_u により決まる値
f_b	MPa	許容曲げ応力
f_c	MPa	許容圧縮応力
f_s	MPa	許容せん断応力
f_t	MPa	許容引張応力
S_u	MPa	設計引張強さ
S_y	MPa	設計降伏点
λ	—	有効細長比
Λ	—	限界細長比
ν	—	係数
σ_r	MPa	半径方向の応力
σ_z	MPa	軸方向の応力
σ_θ	MPa	円周方向の応力
$\tau_{r\theta}$	MPa	せん断応力
τ_{zr}	MPa	せん断応力
$\tau_{\theta z}$	MPa	せん断応力


4. 設計条件

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

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基本仕様を第4-1表に示す。

第4-1表 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基本仕様

材質	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	

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、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-3600-1を参考に、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 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	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重
I	A ^(注1)	貯蔵時	○	○	—	—	○
		吊上げ時	○	— ^(注2)	○	—	○

(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) 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

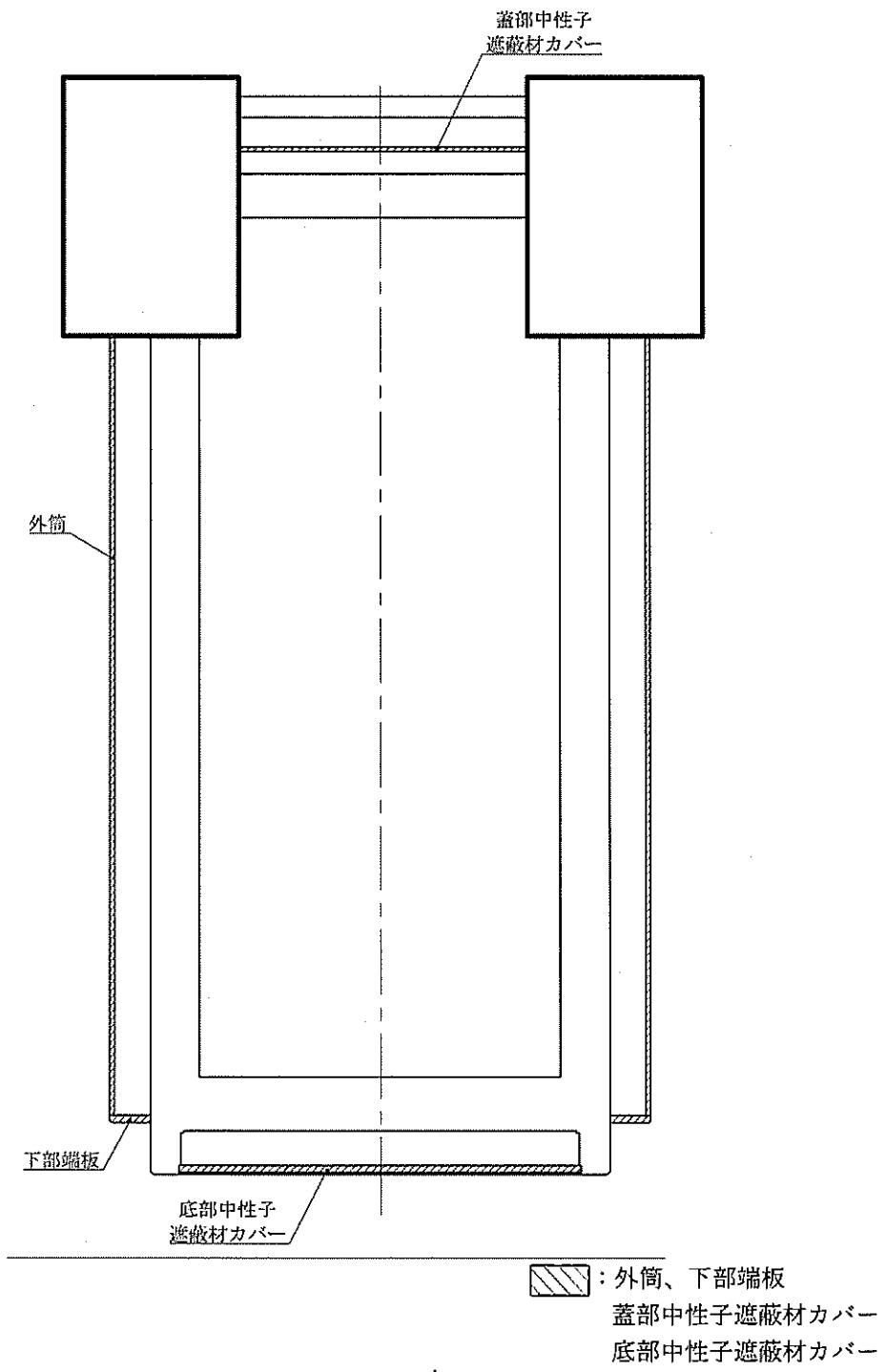
設計事象	供用状態	代表事象	包絡される事象	荷重条件	備考
I	A	貯蔵時	・準備作業時	<ul style="list-style-type: none"> ・蓋間圧力 ・蓋部中性子遮蔽材部圧力 ・側部中性子遮蔽材部圧力 ・底部中性子遮蔽材部圧力 ・自重 ・熱荷重 	供用状態Aのうち大半の期間を占める代表的事象である。また、準備作業時の荷重条件等は貯蔵時と同じである。
		吊上げ時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・蓋間圧力 ・蓋部中性子遮蔽材部圧力 ・側部中性子遮蔽材部圧力 ・底部中性子遮蔽材部圧力 ・吊上げ荷重^(注1) ・熱荷重 	—

(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

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) 外筒
- (2) 下部端板
- (3) 蓋部中性子遮蔽材カバー
- (4) 底部中性子遮蔽材カバー



第 5-1 図 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。

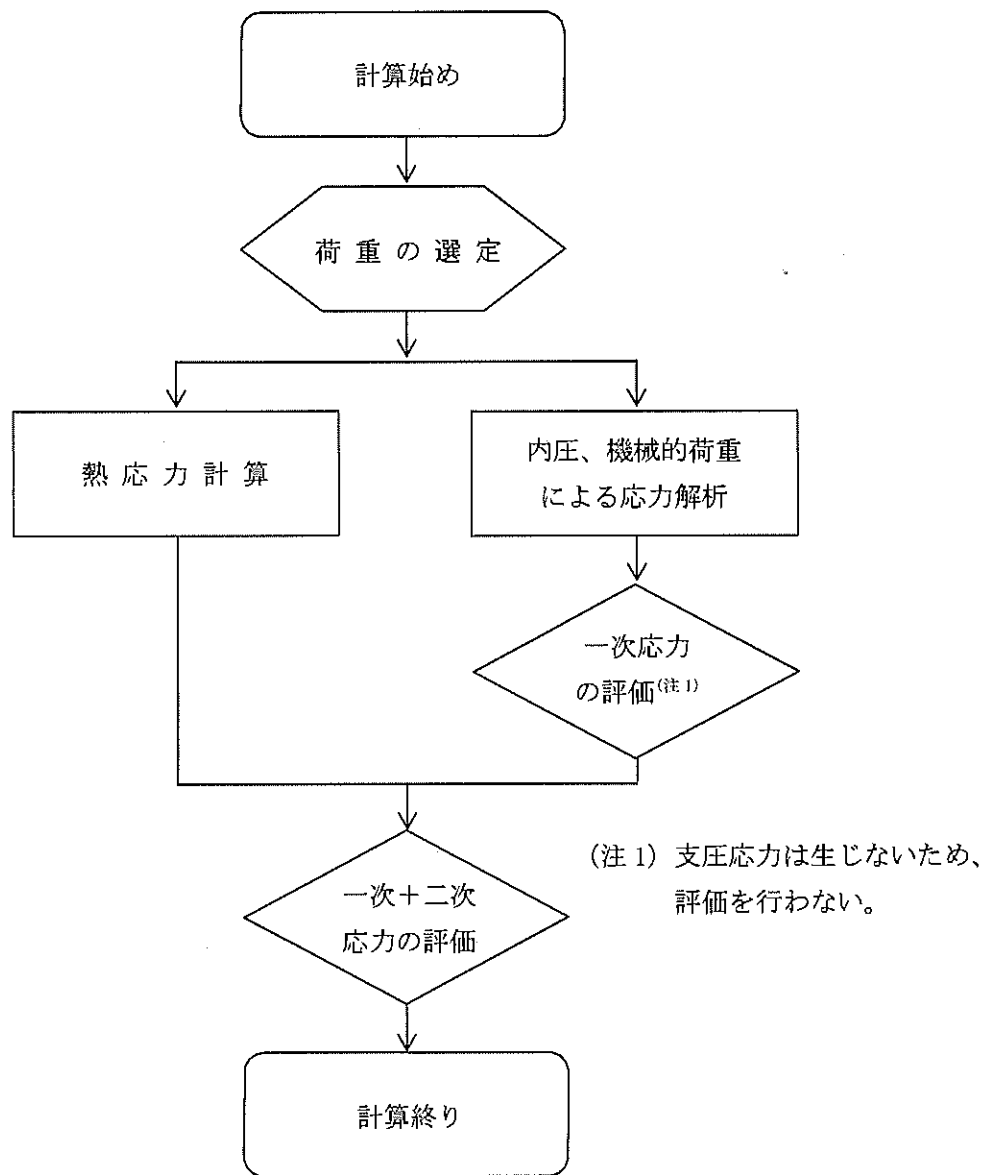
5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は、「添付書類 5 - 3 - 2 - 1 密封容器の強度計算方法」の第5-2表と同じである。

6. 応力解析の手順

6.1 応力計算の概要

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フローを第6-1図に示す。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、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。



第6-1図 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

応力計算は、添付書類5-3-3-1「密封容器の強度計算書」に示す解析と同じである。応力計算の方法の詳細を以下に示す。

(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

内圧は、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及びその他の付加荷重をいう。

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)型的设计質量を用いる。）、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、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等に生じる温度変化、温度勾配による荷重をいう。密封容器、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等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。

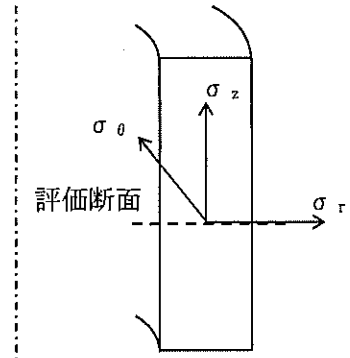
(4) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

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、以下の評価を応力計算書に示す。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



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は、金属キャスク構造規格 MCD-3700に従い、以下の項目を評価する。

(1) 一次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-3721.1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

- ・引張応力 (一次) $\leq f_t \left(= \frac{F}{1.5} \right)$
- ・せん断応力 (一次) $\leq f_s \left(= \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$
- ・圧縮応力 (一次) $\leq f_c \left(= \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{v} \right)$
- ・曲げ応力 (一次) $\leq f_b (= f_t)$
- ・組合せ応力 (一次) $\leq f_t \left(= \frac{F}{1.5} \right)$

ここで、

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ (オーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ (オーステナイト系ステンレス鋼以外)

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

(2) 一次＋二次応力強さ

金属キャスク構造規格 MCD-3722.1に基づき評価を行う。評価項目を以下に示す。

[供用状態A]

- ・引張応力及び圧縮応力（一次＋二次） $\leq 3f_t$
- ・せん断応力（一次＋二次） $\leq 3f_s$
- ・曲げ応力（一次＋二次） $\leq 3f_b$

ここで、 f_t 、 f_s 及び f_b は、6.3.2(1)に示すとおり。

6.3.3 許容基準

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応力を第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)	
	貯蔵時 ^(注1)	吊上げ時
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		

(注1) 貯蔵時の許容応力値を定める温度は、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」に示す解析結果を基に設定する。

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)	設計降伏点 S_y (MPa)	設計引張 強さ S_u (MPa)	F (MPa)
外筒	炭素鋼 □	□	234	426	234
下部端板	ステンレス鋼 □		159	429	205
蓋部中性子 遮蔽材カバー	炭素鋼 □		235	427	235
底部中性子 遮蔽材カバー	ステンレス鋼 □		159	429	205

第 6-3 表 許容応力値 (1/4)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	外筒	
		許容応力値	許容応力
供用状態 A	引張応力 (一次応力)	156	f_t
	せん断応力 (一次応力)	90	f_s
	圧縮応力 (一次応力)	156	f_c
	曲げ応力 (一次応力)	156	f_b
	組合せ応力 (一次応力)	156	f_t
	引張及び圧縮応力 (一次+二次応力)	468	$3f_t$
	せん断応力 (一次+二次応力)	270	$3f_s$
	曲げ応力 (一次+二次応力)	468	$3f_b$

第 6-3 表 許容応力値 (2/4)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	下部端板	
		許容応力値	許容応力
供用状態 A	引張応力 (一次応力)	136	f_t
	せん断応力 (一次応力)	78	f_s
	圧縮応力 (一次応力)	136	f_c
	曲げ応力 (一次応力)	136	f_b
	組合せ応力 (一次応力)	136	f_t
	引張及び圧縮応力 (一次+二次応力)	410	$3f_t$
	せん断応力 (一次+二次応力)	236	$3f_s$
	曲げ応力 (一次+二次応力)	410	$3f_b$

第 6-3 表 許容応力値 (3/4)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類	蓋部中性子遮蔽材カバー	
		許容応力値	許容応力
供用状態 A	引張応力 (一次応力)	156	f_t
	せん断応力 (一次応力)	90	f_s
	圧縮応力 (一次応力)	156	f_c
	曲げ応力 (一次応力)	156	f_b
	組合せ応力 (一次応力)	156	f_t
	引張及び圧縮応力 (一次+二次応力)	470	$3f_t$
	せん断応力 (一次+二次応力)	271	$3f_s$
	曲げ応力 (一次+二次応力)	470	$3f_b$

第 6-3 表 許容応力値 (4/4)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類	底部中性子遮蔽材カバー	
		許容応力値	許容応力
供用状態 A	引張応力 (一次応力)	136	f_t
	せん断応力 (一次応力)	78	f_s
	圧縮応力 (一次応力)	136	f_c
	曲げ応力 (一次応力)	136	f_b
	組合せ応力 (一次応力)	136	f_t
	引張及び圧縮応力 (一次+二次応力)	410	$3f_t$
	せん断応力 (一次+二次応力)	236	$3f_s$
	曲げ応力 (一次+二次応力)	410	$3f_b$

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

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

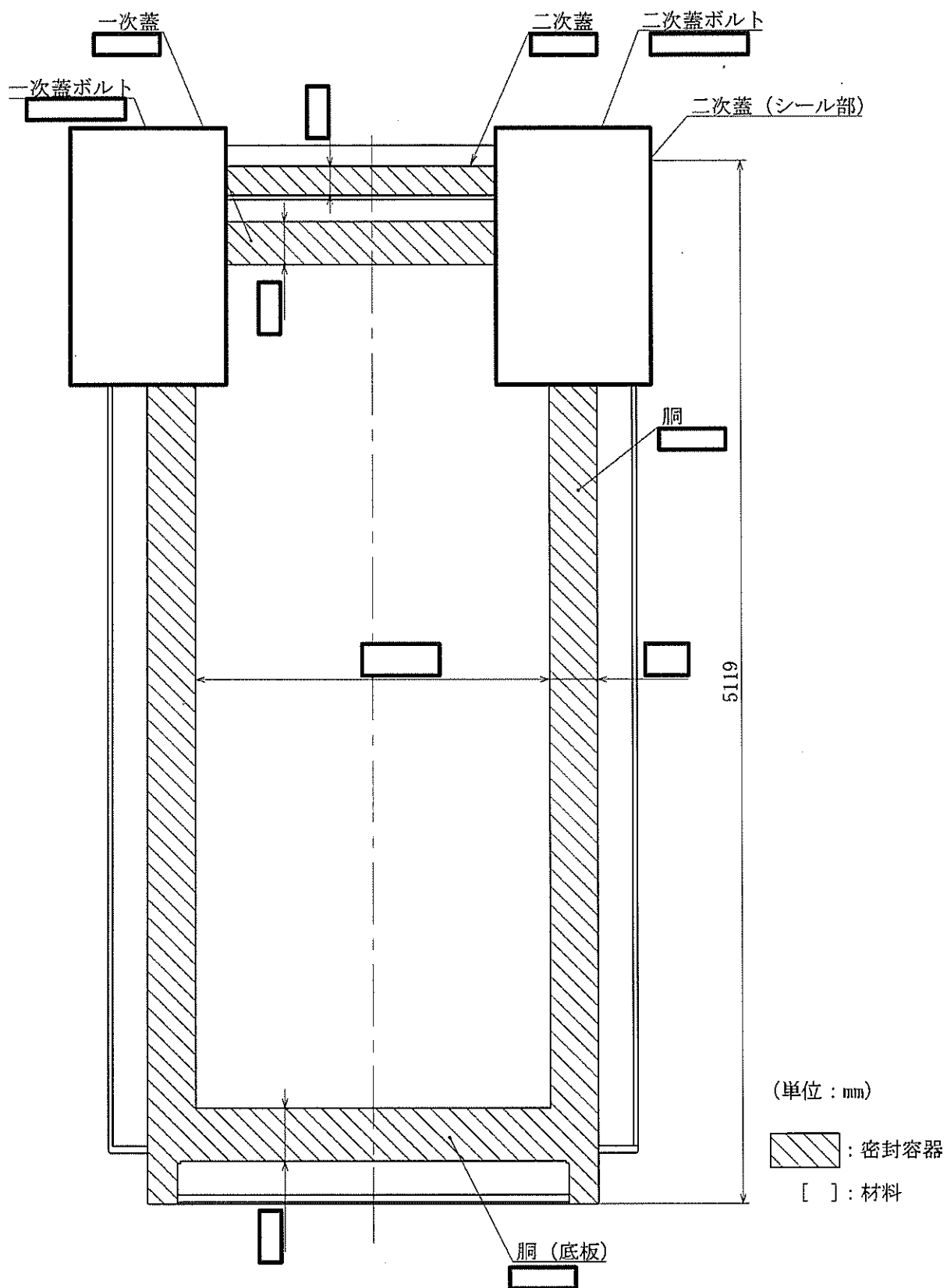
1. 概要	1
2. 形状・寸法・材料	1
3. 応力計算	4
3.1 応力評価位置	4
3.2 設計時	6
3.3 貯蔵時	12
3.4 吊上げ時	20
3.5 試験時	27
4. 繰返し荷重の評価	32
4.1 密封容器（ボルトを除く）の応力評価	32
4.2 ボルトの評価	38
5. 穴の補強	47
6. 外圧の評価	49

1. 概要

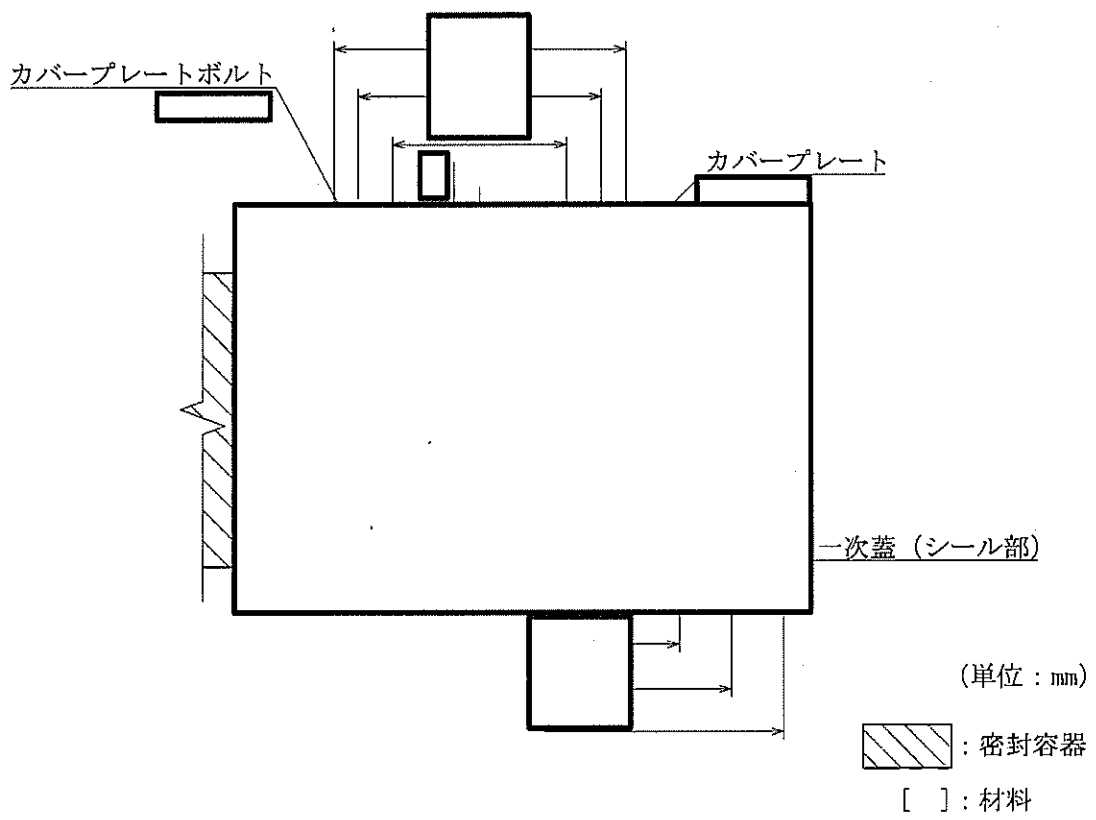
本資料は、添付書類 5-3-2-1 「密封容器の強度計算方法」に基づき、MSF-24P(S)型の密封容器が十分な強度を有することの確認結果を示すものである。

2. 形状・寸法・材料

本資料で解析する密封容器の形状・寸法・材料を第 2-1 図に示す。



第2-1図 密封容器の形状・寸法・材料(1/2)

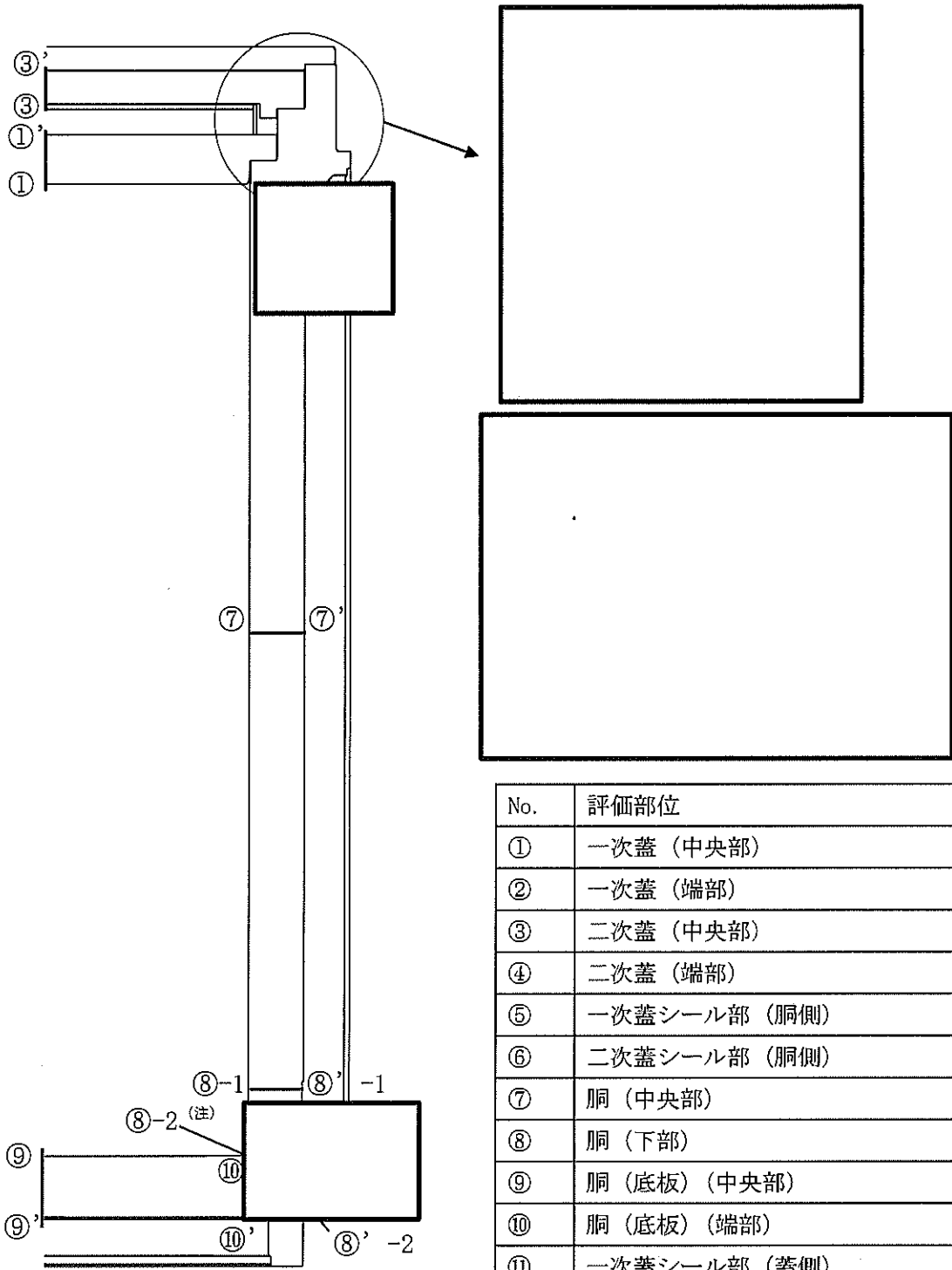


第2-1図 密封容器の形状・寸法・材料(2/2)
 (カバープレート部詳細)

3. 応力計算

3.1 応力評価位置

密封容器の応力評価位置を第3-1図に示す。



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	一次蓋シール部 (胴側)
⑥	二次蓋シール部 (胴側)
⑦	胴 (中央部)
⑧	胴 (下部)
⑨	胴 (底板) (中央部)
⑩	胴 (底板) (端部)
⑪	一次蓋シール部 (蓋側)
⑫	二次蓋シール部 (蓋側)
⑬	一次蓋ボルト
⑭	二次蓋ボルト
⑮	カバープレート
⑯	カバープレートボルト

(注) 評価断面⑧-2 は下部トランニオンを取り付けていない断面を含む。

第 3-1 図 密封容器の応力評価位置

3.2 設計時

3.2.1 荷重条件

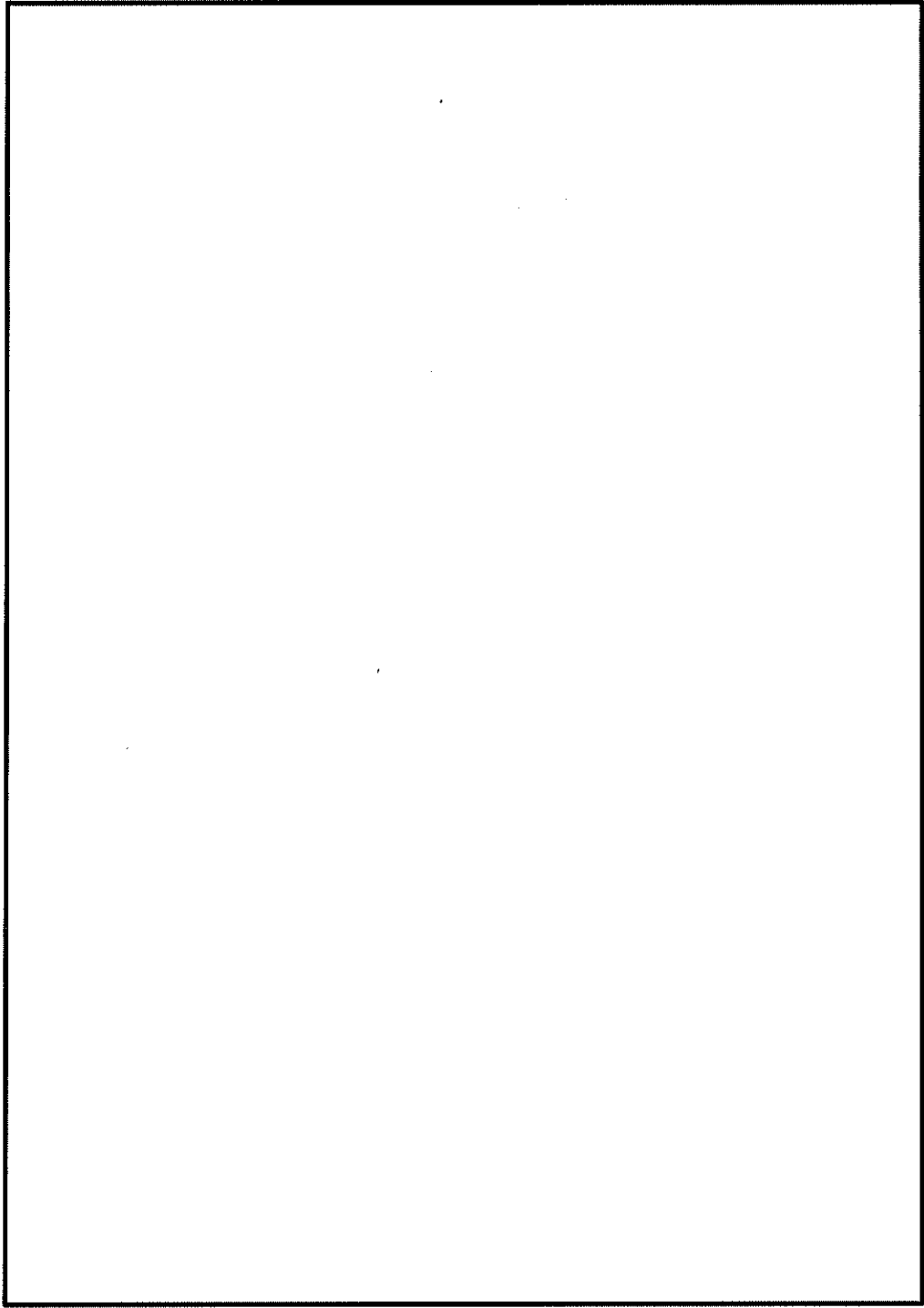
設計時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・ 密封容器内圧力
- ・ 蓋間圧力
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力

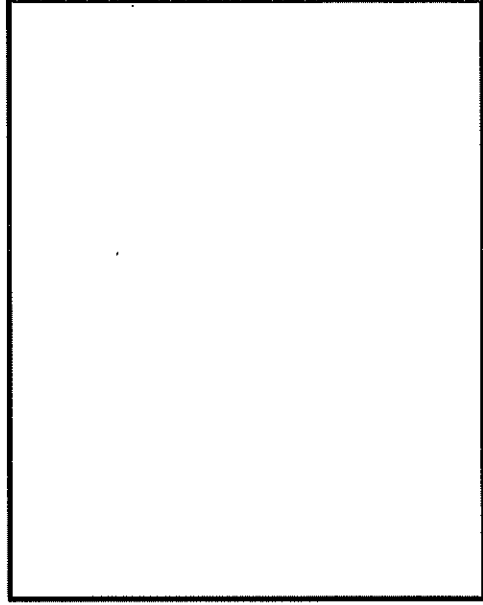
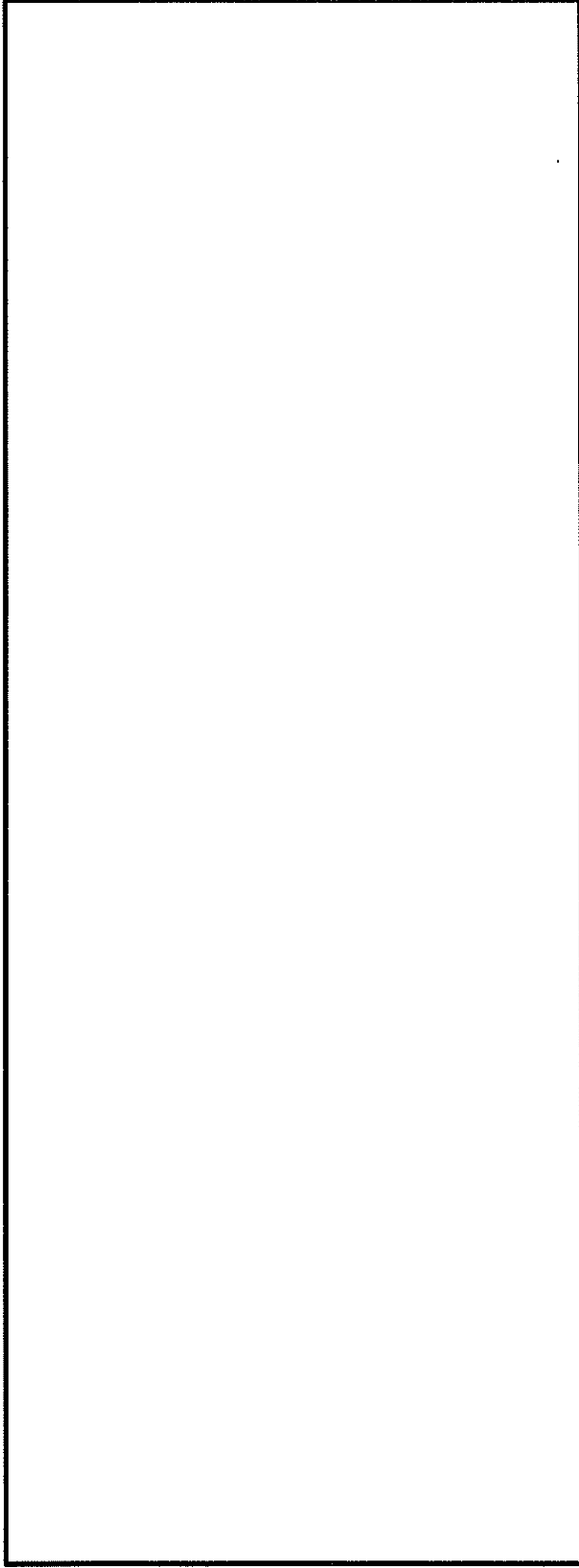
3.2.2 計算方法

- (1) 一次蓋、二次蓋、胴、胴（底板）、一次蓋ボルト及び二次蓋ボルト

応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体要素による解析モデルを第3-2図に、荷重及び境界条件を第3-3図に示す。



第 3-2 図 密封容器の解析モデル（設計時）



- P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
- P_{ii} : 蓋間圧力 (0.31 MPa G)
- P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{bia} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- P_{bim} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

第 3-3 図 荷重 (内圧) 及び境界条件 (設計時)

(2) カバープレート及びカバープレートボルト

応力計算は、応力評価式により行う。カバープレート及びカバープレートボルトの応力計算の詳細は、以下に示すとおりである。

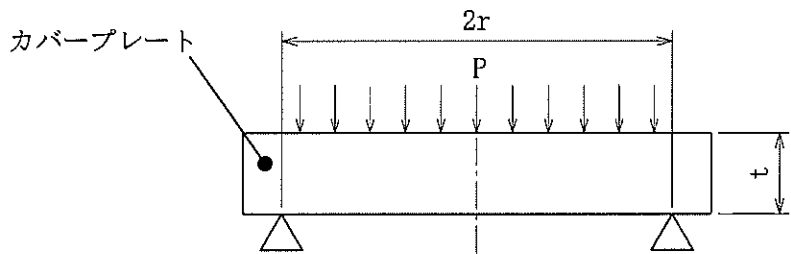
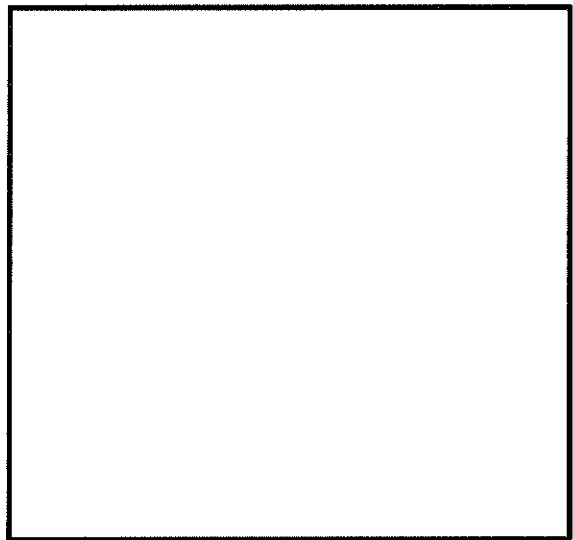
a. カバープレート

内圧により発生する一次膜＋一次曲げ応力 (σ_{r1} 、 $\sigma_{\theta 1}$ 、 σ_{z1}) は、カバープレートを周辺支持の円板としてモデル化し、次式（「日本機械学会 機械工学便覧（基礎編） α3材料力学」に示される等分布荷重が作用する場合の周辺支持円板の式）で計算される。カバープレートの最大応力は第3-1図⑮に発生する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{r1} &= \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2} \\ \sigma_{\theta 1} &= \sigma_{r1} \\ \sigma_{z1} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- P : 最高使用圧力 (0.41 MPa)
- r : ボルトピッチ半径 (mm)
- t : 板厚 (mm)



b. カバープレートボルト

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_{n1}) は、カバープレートに加わる内圧による平均引張応力 (σ_{n2}) とガスケット締付け時の平均引張応力 (σ_{n3}) の合計値で求められる。計算式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{n1} &= \sigma_{n2} + \sigma_{n3} \\ \sigma_{n2} &= \frac{H}{A} \\ \sigma_{n3} &= \frac{W_{n2} \times n_b}{A} \\ H &= \frac{\pi}{4} \cdot D_G^2 \cdot P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3. 2)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

A : カバープレートボルト最小断面積の合計値 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \times n_b$$

d_s : カバープレートボルトの最小径 (mm)

n_b : カバープレートボルトの本数 (本)

H : カバープレートに加わる内圧による全荷重 (N)

D_G : ガスケット反力の作用する位置 (直径) (mm)

P : 最高使用圧力 (0. 41 MPa)

W_{n2} : ガスケット締付け時のボルト荷重
(ボルト1本当たり) (N)

3.2.3 計算結果

応力計算結果を第3-1表に示す。第3-1表に示すとおり、密封容器に発生する応力は、許容応力値以下である。

第3-1表 密封容器の応力評価（設計時）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋（中央部）	①-①'	P_m	1	124
	①	$P_L + P_b$	6	186
	①'	$P_L + P_b$	6	186
一次蓋（端部）	②-②'	P_L	4	186
二次蓋（中央部）	③-③'	P_m	4	124
	③	$P_L + P_b$	22	186
	③'	$P_L + P_b$	25	186
二次蓋（端部）	④-④'	P_L	5	186
胴（中央部）	⑦-⑦'	P_m	1	122
	⑦	$P_L + P_b$	1	183
	⑦'	$P_L + P_b$	1	183
胴（下部）	⑧-⑧' -1	P_L	1	183
	⑧-⑧' -2	P_L	1	183
胴（底板）（中央部）	⑨-⑨'	P_m	1	122
	⑨	$P_L + P_b$	1	183
	⑨'	$P_L + P_b$	1	183
胴（底板）（端部）	⑩-⑩'	P_L	1	183
一次蓋ボルト	⑬	σ_m	248	280
二次蓋ボルト	⑭	σ_m	220	281
カバープレート	⑮	$P_L + P_b$	3	205
カバープレートボルト	⑯	σ_m	166	280

3.3 貯蔵時

3.3.1 荷重条件

貯蔵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
- ・ 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
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力
- ・ 熱荷重

3.3.2 計算方法

(1) 一次蓋、二次蓋、胴、胴（底板）、一次蓋ボルト及び二次蓋ボルト

応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体要素による解析モデルを第3-4図に、荷重及び境界条件を第3-5図に示す。温度分布は、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」に示す貯蔵時の除熱解析結果を入力する。

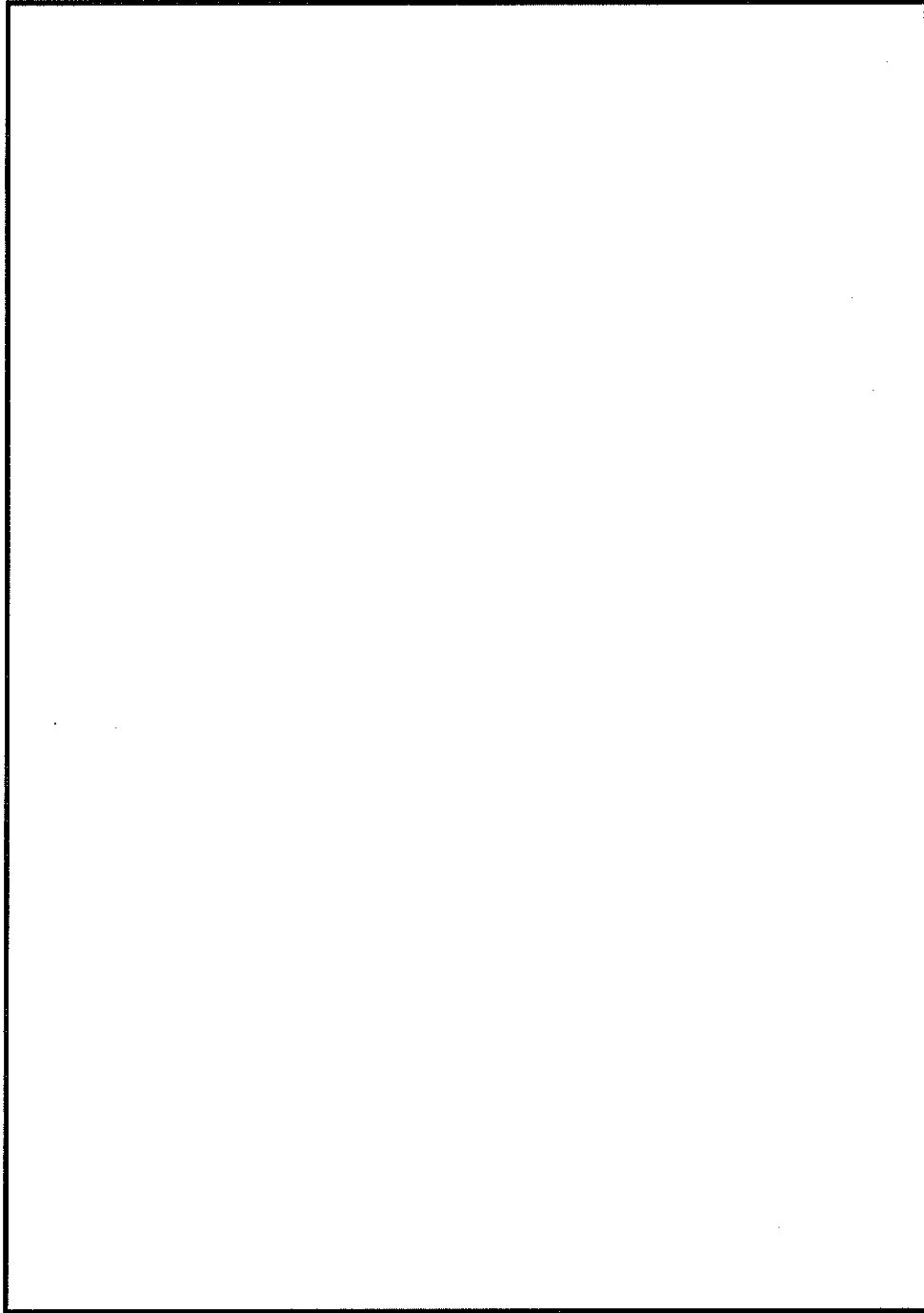
なお、胴の平均支圧応力計算は、応力評価式により行う。

バスケットとの接触部である胴に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は次式で計算する。

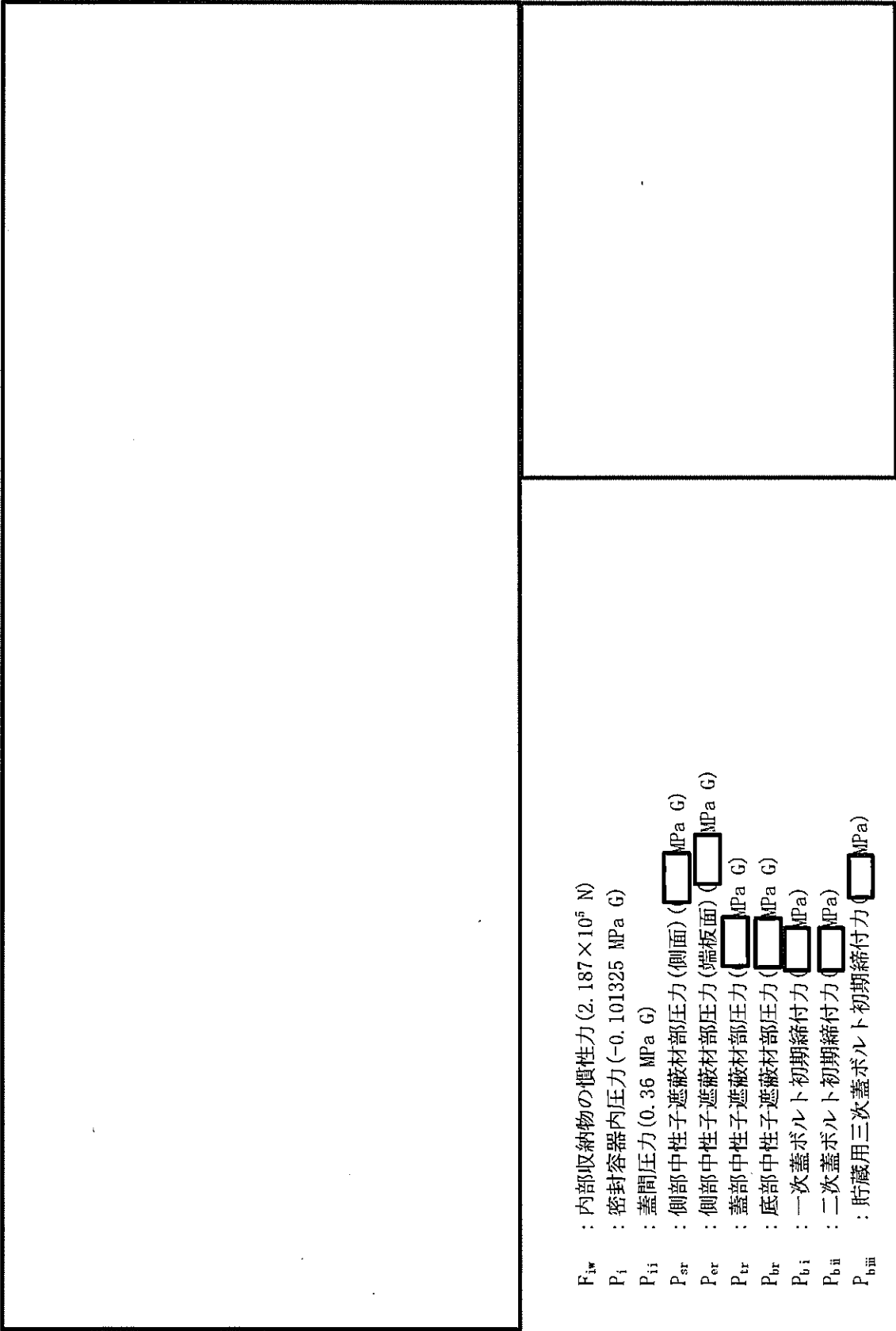
$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_1 \cdot g}{A_1} \dots\dots\dots (3.3)$$

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(22300 kg)
- G_1 : 鉛直方向加速度係数 (1)
- g : 重力加速度(9.80665 m/s²)
- A_1 : バスケットと胴内面の接触面積(5.794×10⁶ mm²)



第 3-4 図 密封容器の解析モデル (貯蔵時)



- F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (2.187×10^5 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)

第 3-5 図 荷重 (慣性力/内圧) 及び境界条件 (貯蔵時)

(2) カバープレート及びカバープレートボルト

応力計算は、応力評価式により行う。カバープレート及びカバープレートボルトの応力計算の詳細は、以下に示すとおりである。

a. カバープレート

鉛直方向の慣性力によりカバープレートに応力は発生しないため、カバープレートに発生する応力は3.2.2(2)と同じ値である。なお、カバープレートは一次蓋に比べて薄く、カバープレート内の温度差は小さく熱荷重の影響は無視できることから、二次応力は無視できる。

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}) + 曲げ応力(σ_{b1})は、次式で計算される。

平均引張応力(σ_{n1})は、3.2.2(2)と同じ値である。

カバープレートボルトの曲げ応力の解析モデルを第3-6図に示す。鉛直方向下向きの慣性力に伴うカバープレートへ作用する荷重により、カバープレートボルトへ曲げモーメントが作用する。カバープレートは□本のカバープレートボルトを用いて一次蓋へ取り付けられており、この曲げモーメントは□本のカバープレートボルトへ負荷される。カバープレートボルトに発生する曲げ応力は、次式で計算される。

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{n_b Z} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = m_r \cdot G_1 \cdot g \cdot L$$

m_r : カバープレートの質量 (10 kg)

G_1 : 鉛直方向加速度係数 (1)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

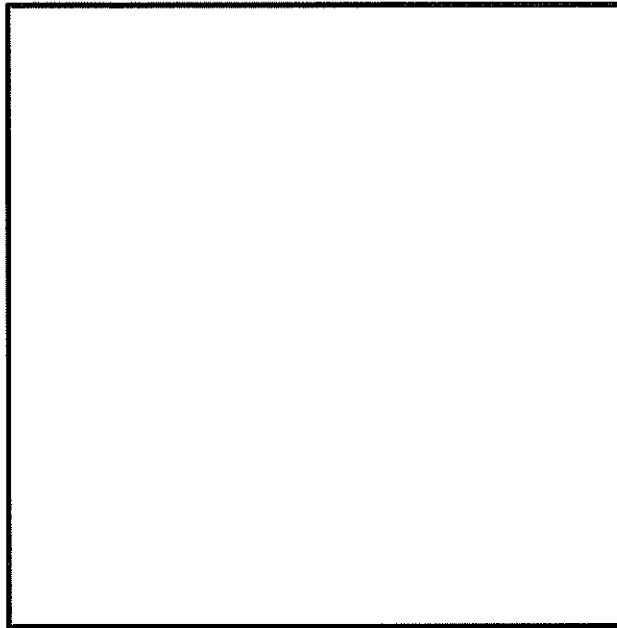
L : カバープレートボルト軸部の長さ (□ mm)

Z : カバープレートボルトの断面係数 (□ mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot d_s^3$$

d_s : カバープレートボルトの最小径 (□ mm)

n_b : カバープレートボルトの本数 (□ 本)



第3-6図 カバープレートボルトの曲げ応力の解析モデル

3.3.3 計算結果

応力計算結果を第3-2表に示す。第3-2表に示すとおり、密封容器に発生する応力は、許容応力値以下である。

第 3-2 表 密封容器の応力評価（貯蔵時）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋 (中央部)	①-①'	P_m	1	124
	①	$P_L + P_b$	8	186
	①'	$P_L + P_b$	7	186
	①	$P_L + P_b + Q$	8	372
	①'	$P_L + P_b + Q$	13	372
一次蓋 (端部)	②-②'	P_L	6	186
	②	$P_L + P_b + Q$	27	372
	②'	$P_L + P_b + Q$	25	372
二次蓋 (中央部)	③-③'	P_m	5	124
	③	$P_L + P_b$	25	186
	③'	$P_L + P_b$	28	186
	③	$P_L + P_b + Q$	27	372
	③'	$P_L + P_b + Q$	32	372
二次蓋 (端部)	④-④'	P_L	5	186
	④	$P_L + P_b + Q$	19	372
	④'	$P_L + P_b + Q$	21	372
胴 (一次蓋シール部)	⑤-⑤'	P_L	15	185
	⑤	$P_L + P_b + Q$	75	185
	⑤'	$P_L + P_b + Q$	61	185
胴 (二次蓋シール部)	⑥-⑥'	P_L	13	185
	⑥	$P_L + P_b + Q$	46	185
	⑥'	$P_L + P_b + Q$	39	185
胴 (中央部)	⑦-⑦'	P_m	4	122
	⑦	$P_L + P_b$	4	183
	⑦'	$P_L + P_b$	3	183
	⑦	$P_L + P_b + Q$	26	366
	⑦'	$P_L + P_b + Q$	17	366
	⑦	σ_D	1	183
	⑦-⑦'	σ_c	15	90

第 3-2 表 密封容器の応力評価 (貯蔵時) (2/3)

(単位 : MPa)

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
胴 (下部)	⑧-⑧' -1	P_L	4	183
	⑧-1	P_L+P_b+Q	79	366
	⑧' -1	P_L+P_b+Q	106	366
	⑧-⑧' -1	σ_c	35	90
	⑧-⑧' -2	P_L	5	183
	⑧-2	P_L+P_b+Q	105	366
	⑧' -2	P_L+P_b+Q	105	366
	⑧-⑧' -2	σ_c	20	90
胴 (底板) (中央部)	⑨-⑨'	P_m	1	122
	⑨	P_L+P_b	1	183
	⑨'	P_L+P_b	1	183
	⑨	P_L+P_b+Q	26	366
	⑨'	P_L+P_b+Q	10	366
胴 (底板) (端部)	⑩-⑩'	P_L	3	183
	⑩	P_L+P_b+Q	58	366
	⑩'	P_L+P_b+Q	42	366
一次蓋 (シール部)	⑪-⑪'	P_L	34	185
	⑪	P_L+P_b+Q	29	185
	⑪'	P_L+P_b+Q	80	185
二次蓋 (シール部)	⑫-⑫'	P_L	15	185
	⑫	P_L+P_b+Q	25	185
	⑫'	P_L+P_b+Q	21	185

第 3-2 表 密封容器の応力評価（貯蔵時）（3/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋ボルト	⑬	σ_m	250	560
	⑬	$\sigma_m + \sigma_b$	380	840
二次蓋ボルト	⑭	σ_m	227	562
	⑭	$\sigma_m + \sigma_b$	431	843
カバープレート	⑮	$P_t + P_b$	3	205
カバープレートボルト	⑯	σ_m	166	560
	⑯	$\sigma_m + \sigma_b$	167	840

3.4 吊上げ時

3.4.1 荷重条件

吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。

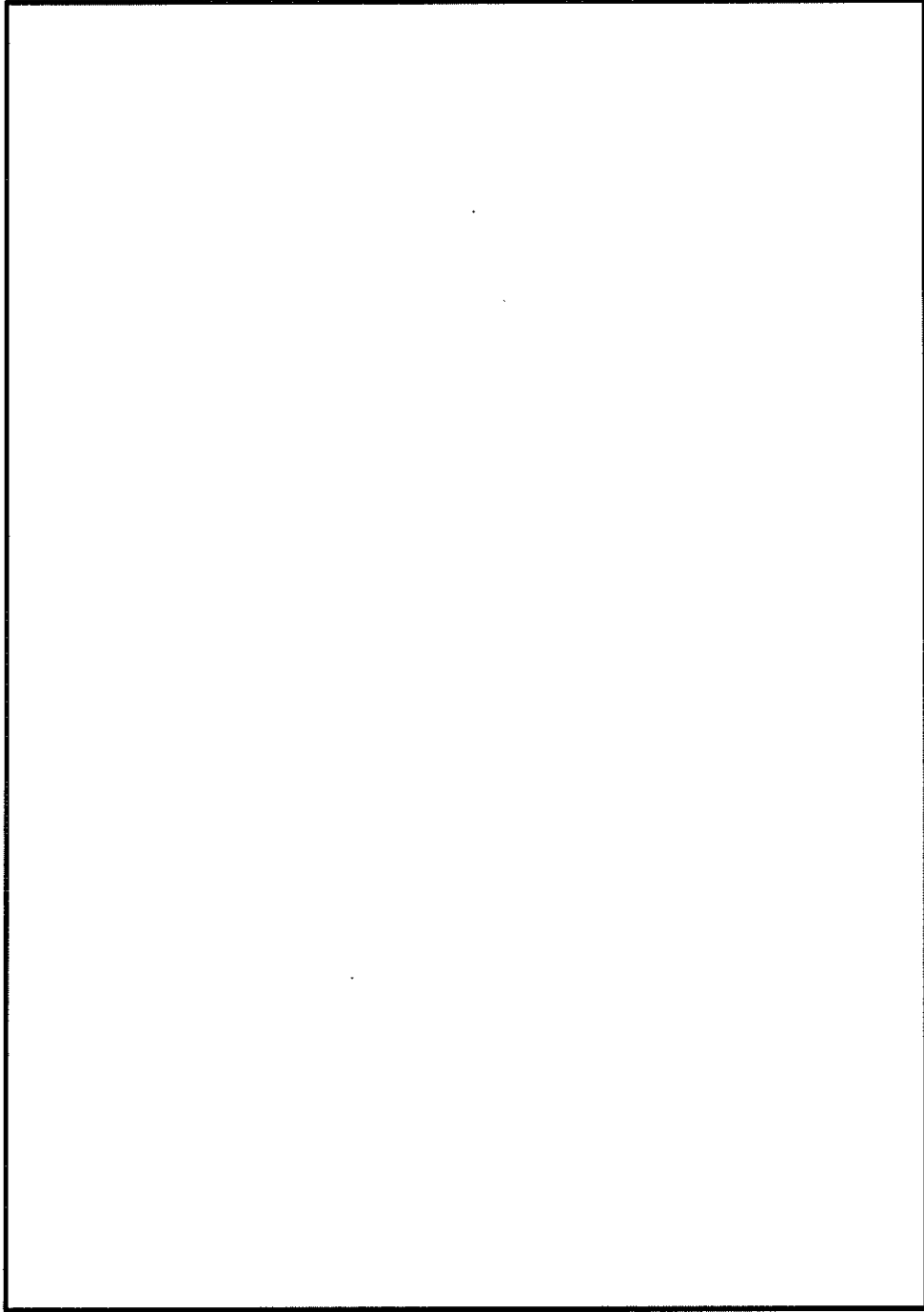
- ・ 密封容器内圧力
- ・ 蓋間圧力
- ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力
- ・ 底部中性子遮蔽材部圧力
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力
- ・ 二次蓋ボルト初期締付力
- ・ 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力
- ・ 吊上げ荷重（自重含む）
- ・ 熱荷重

3.4.2 計算方法

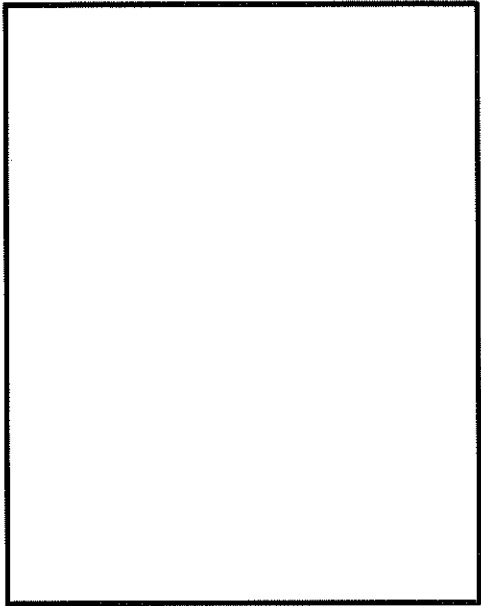
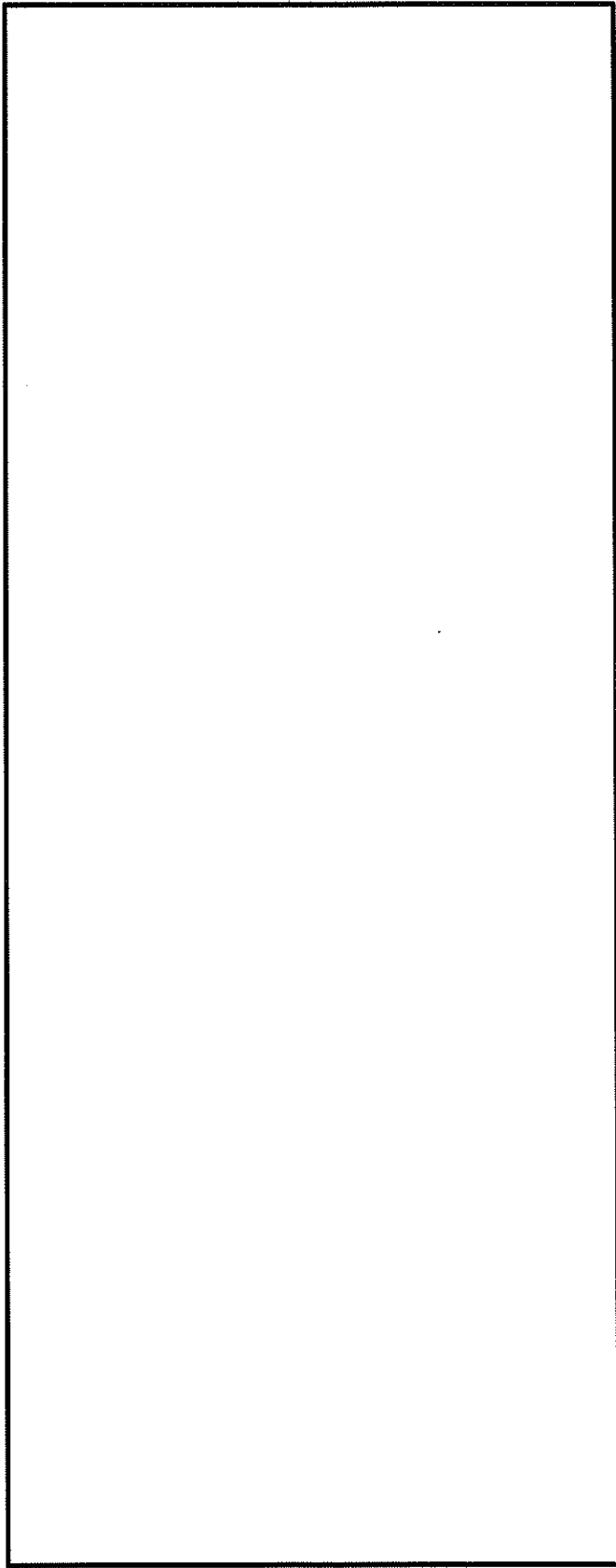
(1) 一次蓋、二次蓋、胴、胴（底板）、一次蓋ボルト及び二次蓋ボルト

応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体要素による解析モデルを第3-7図に、荷重及び境界条件を第3-8図に示す。温度分布は、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」に示す貯蔵時の除熱解析結果を入力する。

なお、胴の平均支圧応力計算は、応力評価式により行う。応力計算方法は、3.3.2(1)と同様である。ただし、鉛直方向加速度係数 $G_1=1.3$ とする。



第 3-7 図 密封容器の解析モデル (吊上げ時)



- F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (2.843×10^5 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_{st} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) (MPa G)
- P_{et} : 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 3-8 図 荷重 (慣性力/内圧) 及び境界条件 (吊上げ時)

(2) カバープレート及びカバープレートボルト

応力計算方法は、3.3.2(2)と同様である。ただし、鉛直方向加速度係数 $G_1=1.3$ とする。

3.4.3 計算結果

応力計算結果を第3-3表に示す。第3-3表に示すとおり、密封容器に発生する応力は、許容応力値以下である。

第 3-3 表 密封容器の応力評価（吊上げ時）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋 (中央部)	①-①'	P_m	1	124
	①	$P_L + P_b$	8	186
	①'	$P_L + P_b$	7	186
	①	$P_L + P_b + Q$	8	372
	①'	$P_L + P_b + Q$	11	372
一次蓋 (端部)	②-②'	P_L	7	186
	②	$P_L + P_b + Q$	21	372
	②'	$P_L + P_b + Q$	20	372
二次蓋 (中央部)	③-③'	P_m	5	124
	③	$P_L + P_b$	25	186
	③'	$P_L + P_b$	28	186
	③	$P_L + P_b + Q$	26	372
	③'	$P_L + P_b + Q$	30	372
二次蓋 (端部)	④-④'	P_L	5	186
	④	$P_L + P_b + Q$	17	372
	④'	$P_L + P_b + Q$	19	372
胴 (一次蓋シール部)	⑤-⑤'	P_L	16	185
	⑤	$P_L + P_b + Q$	51	185
	⑤'	$P_L + P_b + Q$	42	185
胴 (二次蓋シール部)	⑥-⑥'	P_L	13	185
	⑥	$P_L + P_b + Q$	27	185
	⑥'	$P_L + P_b + Q$	23	185
胴 (中央部)	⑦-⑦'	P_m	4	122
	⑦	$P_L + P_b$	5	183
	⑦'	$P_L + P_b$	3	183
	⑦	$P_L + P_b + Q$	23	366
	⑦'	$P_L + P_b + Q$	15	366
	⑦	σ_p	1	183
	⑦-⑦'	σ_c	11	90

第 3-3 表 密封容器の応力評価（吊上げ時）(2/3)

(単位：MPa)

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
胴 (下部)	⑧-⑧' -1	P_L	4	183
	⑧-1	P_L+P_b+Q	66	366
	⑧' -1	P_L+P_b+Q	84	366
	⑧-⑧' -1	σ_c	26	90
	⑧-⑧' -2	P_L	6	183
	⑧-2	P_L+P_b+Q	93	366
	⑧' -2	P_L+P_b+Q	97	366
	⑧-⑧' -2	σ_c	16	90
胴（底板） (中央部)	⑨-⑨'	P_m	1	122
	⑨	P_L+P_b	1	183
	⑨'	P_L+P_b	1	183
	⑨	P_L+P_b+Q	26	366
	⑨'	P_L+P_b+Q	9	366
胴（底板） (端部)	⑩-⑩'	P_L	4	183
	⑩	P_L+P_b+Q	49	366
	⑩'	P_L+P_b+Q	39	366
一次蓋（シール部）	⑪-⑪'	P_L	34	185
	⑪	P_L+P_b+Q	28	185
	⑪'	P_L+P_b+Q	71	185
二次蓋（シール部）	⑫-⑫'	P_L	15	185
	⑫	P_L+P_b+Q	25	185
	⑫'	P_L+P_b+Q	18	185

第 3-3 表 密封容器の応力評価（吊上げ時）（3/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋ボルト	⑬	σ_m	250	560
	⑬	$\sigma_m + \sigma_b$	299	840
二次蓋ボルト	⑭	σ_m	226	562
	⑭	$\sigma_m + \sigma_b$	339	843
カバープレート	⑮	$P_L + P_b$	3	205
カバープレートボルト	⑯	σ_m	166	560
	⑯	$\sigma_m + \sigma_b$	168	840

3.5 試験時

3.5.1 荷重条件

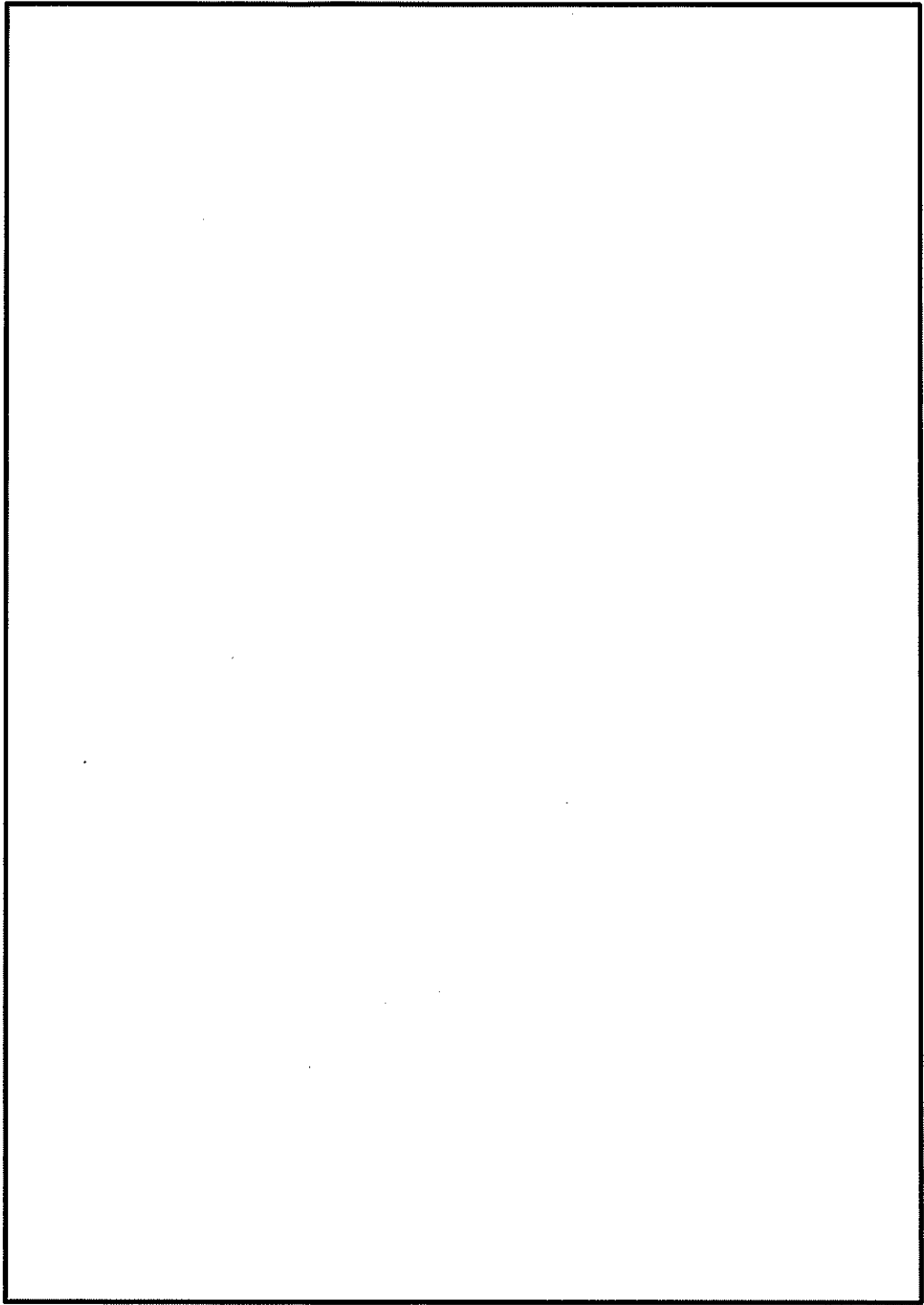
試験時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・ 密封容器内圧力
- ・ 自重
- ・ 一次蓋ボルト初期締付力

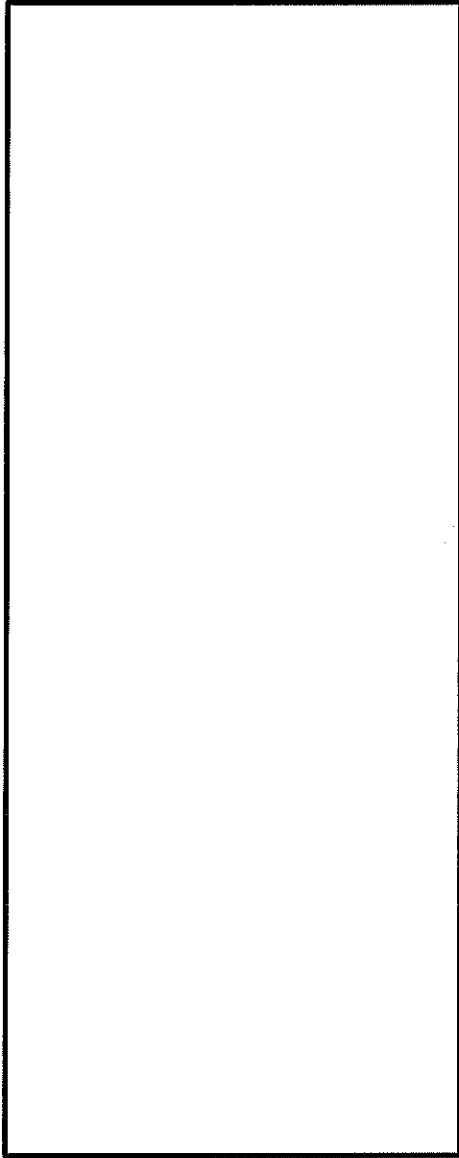
3.5.2 計算方法

(1) 一次蓋、胴及び胴（底板）

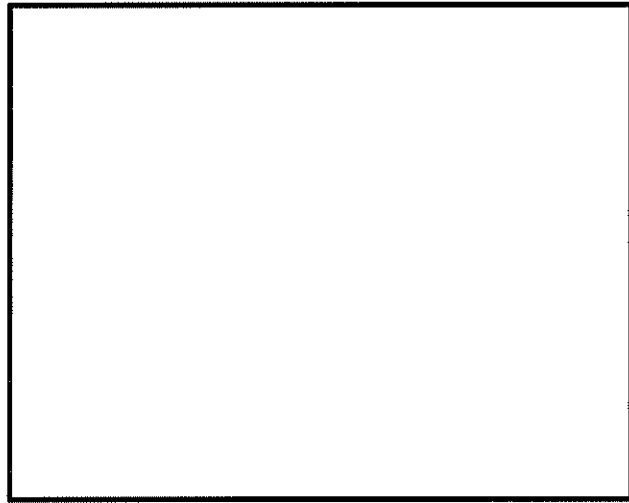
応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体要素による解析モデルを第3-9図に、荷重及び境界条件を第3-10図に示す。耐圧試験は常温で行うため、温度分布は全ての部材を常温として入力する。



第 3-9 図 密封容器の解析モデル (試験時)



P_i : 密封容器内圧力 (0.5125 MPa G)
 P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 MPa)



第 3-10 図 荷重（慣性力/内圧）及び境界条件（試験時）

(2) カバープレート

応力計算方法は、3.2.2(2)と同様である。ただし、 $P=0.5125$ MPaとする。

3.5.3 計算結果

応力計算結果を第3-4表に示す。第3-4表に示すとおり、密封容器に発生する応力は、許容応力値以下である。

第 3-4 表 密封容器及び二次蓋の応力評価（試験時）

（単位：MPa）

部 位	応力評価位置	応力分類	計算値	許容応力値
一次蓋 (中央部)	①-①'	P_m	2	186
	①	$P_m + P_b$	14	279
	①'	$P_m + P_b$	14	279
一次蓋 (端部)	②-②'	P_L	9	279
胴 (一次蓋シール部)	⑤-⑤'	P_L	11	207
	⑤	$P_L + P_b + Q$	11	207
	⑤'	$P_L + P_b + Q$	11	207
胴 (中央部)	⑦-⑦'	P_m	3	186
	⑦	$P_m + P_b$	3	279
	⑦'	$P_m + P_b$	2	279
胴 (下部)	⑧-⑧' -1	P_L	2	279
	⑧-⑧' -2	P_L	3	279
胴 (底板) (中央部)	⑨-⑨'	P_m	1	186
	⑨	$P_m + P_b$	4	279
	⑨'	$P_m + P_b$	5	279
胴 (底板) (端部)	⑩-⑩'	P_L	3	279
一次蓋 (シール部)	⑪-⑪'	P_L	34	207
	⑪	$P_L + P_b + Q$	16	207
	⑪'	$P_L + P_b + Q$	61	207
カバープレート	⑮	$P_m + P_b$	4	276

4. 繰返し荷重の評価

4.1 密封容器（ボルトを除く）の応力評価

金属キャスク構造規格 MCD-1332により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を以下の(1)から(6)に示し、第4-1表にその評価結果のまとめを示す。第4-1表に示すとおり、金属キャスク構造規格 MCD-1332の規定に全て適合しているため、疲労解析を必要としない。

(1) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (1) (大気圧—使用圧力—大気圧の変動)

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_i)は、燃料装荷及び燃料取出し想定回数である10回として評価する。

$$N_i = 10 \text{ (回)}$$

胴及び一次蓋について、金属キャスク構造規格 別図8-1において、設計温度における設計応力強さ(S_m)の3倍の値(366 MPa)を繰返しピーク応力強さとした場合に、これに対応する許容繰返し回数(N_a)は、

$$N_a = 3627 \text{ (回)}$$

である。したがって、

$$N_i \leq N_a$$

であり、燃料装荷及び燃料取出し想定回数を10回としても条件を満足する。

また、二次蓋については設計温度における設計応力強さ(S_m)の3倍の値は372 MPaと大きくなるが、許容繰返し回数(N_a)は3443回であり、同様に条件を満足する。

(2) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (2) (燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける圧力変動)

胴について、燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける圧力変動の全振幅の許容値(A_m)は、次式で計算する。

$$A_m = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S'}{S_m} = 0.096 \text{ MPa} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、

P : 最高使用圧力(=0.41 MPa)

S_m : 設計応力強さ(=122 MPa)

S' : 金属キャスク構造規格 別図8-1において、許容繰返し回数 10^6 回に対する繰返しピーク応力強さ(=86 MPa)

また、(4.1)式で計算される値を超えるものにあつては、許容値(A_m)は、次式で計算される。

$$A_m = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S_a}{S_m} \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで、

S_a : 金属キャスク構造規格 別図8-1において、(4.1)式による値を超える圧力変動

の回数を許容繰返し回数とした場合、それに対応する繰返しピーク応力強さ (MPa)

(4.1)式より、圧力変動の全振幅の許容値(A_m)は、0.096 MPa となる。燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける実際の圧力は、密封容器のため0.096 MPa を超える変動は生じないため、燃料装荷及び燃料取出し想定回数を10 回としても条件を満足する。

次に、一次蓋及び二次蓋について同様に評価する。(4.1)式の A_m 、 P 及び S_m をそれぞれ以下に示す条件に読み替えて計算すると、圧力変動の全振幅の許容値(A_{m2})は、0.083 MPa となる。

A_{m2} : 一次蓋及び二次蓋の圧力変動の全振幅の許容値 (MPa)

P_2 : 一次蓋又は二次蓋の最高使用圧力 (0.36 MPa)

(最高使用圧力0.41 MPaと蓋間圧力0.36 MPaの小さい方)

S_{m2} : 一次蓋又は二次蓋の使用材料の設計応力強さ (124 MPa)

(一次蓋の設計応力強さ124 MPaと二次蓋の設計応力強さ124 MPaは同じ値である)

一次蓋及び二次蓋において燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける実際の圧力の変動はほとんどないが、一次蓋と二次蓋間の圧力を調整する可能性を考え、その回数を 240 回 (一次蓋と二次蓋間の圧力は、燃料装荷及び燃料取出し回数に係わらず、設計貯蔵期間の60年間において3ヵ月毎の圧力監視を行うことを想定する。ここで、繰返し回数を保守側に3ヵ月毎の圧力監視毎に圧力調整すると設定する。240回=4回/年×60年。) として(4.2)式を用いて評価すると、

$$S_n = 989 \text{ MPa}$$

$$A_{m2} = 0.9 \text{ MPa}$$

したがって、燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける圧力変動の全振幅を二次蓋の最高使用圧力($P_2 = 0.36 \text{ MPa}$)と仮定しても、

$$P_2 \leq A_{m2}$$

であり、繰返し回数を240回としても条件を満足する。

(3) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (3) (燃料装荷時及び燃料取出し時の温度差)

胴の任意の2点間の距離(p)は、次式で計算される。

$$p = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = 1018 \text{ mm} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

R : 胴の平均半径 () mm

t : 胴の板厚 () mm

燃料装荷時及び燃料取出し時において、相互の距離がpを超えない任意の2点間の温度差の変動の全振幅の許容値(T)は、次式で計算する。なお、2点間の平均温度は胴の最高使用温度($T_{max}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$)とする。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = 776\text{ }^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで、

E : 2点間の平均温度における縦弾性係数 ($1.95 \times 10^5\text{ MPa}$)

α : 2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数 ($13.20 \times 10^{-6}\text{ mm}/(\text{mm}\cdot^{\circ}\text{C})$)

S_a : 金属キャスク構造規格 別図8-1において、燃料装荷及び燃料取出しの回数 (10回)を許容繰返し回数とした場合、それに対応する繰返しピーク応力強さ (3999 MPa)

したがって、任意の2点間において生じる温度差を最高使用温度(T_{max})と常温との差($\Delta T=130\text{ }^{\circ}\text{C}$)と仮定しても、

$$\Delta T \leq T$$

であり、燃料装荷及び燃料取出し想定回数を10回としても条件を満足する。

また、一次蓋及び二次蓋については、上記評価で代表できるため、同様に条件を満足する。

(4) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (4) (燃料装荷時及び燃料取出し時を除く供用状態A及びBの温度差変動)

燃料装荷時及び燃料取出し時を除く供用状態A及びBにおいて、相互の距離がpを超えない任意の2点間の温度差の変動の全振幅の許容値(T)は、次式で計算する。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで、

E : 2点間の平均温度における縦弾性係数 ($1.95 \times 10^5\text{ MPa}$)

α : 2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数 ($13.20 \times 10^{-6}\text{ mm}/(\text{mm}\cdot^{\circ}\text{C})$)

S_a : 金属キャスク構造規格 別図8-1において、(4.6)式により計算した値を超える温度差(T')の変動回数を許容繰返し回数とした場合、それに対応する繰返しピーク応力強さ (MPa)

$$T' = \frac{S_1}{2 \cdot E \cdot \alpha} = 16\text{ }^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで、

S_1 : 金属キャスク構造規格 別図 8-1 において、 10^6 を許容繰返し回数とした場合にこれに対応する繰返しピーク応力強さ (MPa)

供用状態 A 及び B において密封容器は密封状態であり、かつ温度変動する加熱源を収納していないので、任意の 2 点間の温度差の変動が (4. 6) 式により計算された値の $16\text{ }^\circ\text{C}$ を超えることは、貯蔵期間における崩壊熱低下による 10 回と考えられ、(4. 5) 式を用いて評価すると、

$$S_a = 3999 \text{ MPa}$$

$$T = 776 \text{ }^\circ\text{C}$$

したがって、胴の任意の 2 点間の温度差の変動の全振幅を最高使用温度 (T_{\max}) と常温との差 ($\Delta T = 130\text{ }^\circ\text{C}$) と仮定しても、

$$\Delta T \leq T$$

であり、繰返し回数を 10 回としても条件を満足する。

なお、一次蓋及び二次蓋については、上記評価で代表できるため、同様に条件を満足する。

(5) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (5) (異なる材料で作られた部分の温度変動)

一次蓋ボルト及び二次蓋ボルトは同種の合金鋼を使用しており、一次蓋及び二次蓋は炭素鋼を使用している。したがって、合金鋼と炭素鋼の組合せで評価する。なお、カバープレート内の温度差は小さく熱荷重の影響は無視できることから、評価を無視する。

合金鋼と炭素鋼の部分の温度変動の許容値 (T) は、(4. 7) 式で計算する。なお、縦弾性係数及び熱膨張係数は密封容器の最高使用温度 ($T_{\max} = 150\text{ }^\circ\text{C}$) に対する値とする。

$$T = \frac{S_1}{2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)} = 296 \text{ }^\circ\text{C} \quad \dots\dots\dots (4. 7)$$

ここで、

S_1 : 金属キャスク構造規格 別図 8-1 において、許容繰返し回数 10^6 回に対する繰返しピーク応力強さ (86 MPa)

E_1 : 炭素鋼の縦弾性係数 (1.95×10^5 MPa)

E_2 : 合金鋼の縦弾性係数 (1.84×10^5 MPa)

α_1 : 炭素鋼の瞬時熱膨張係数 (13.20×10^{-6} mm/(mm \cdot °C))

α_2 : 合金鋼の瞬時熱膨張係数 (13.20×10^{-6} mm/(mm \cdot °C))

また、(4. 7) 式で計算される値を超えるものにあつては、許容値 (T) は、(4. 8) 式で計算する。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)} \quad \dots\dots\dots (4. 8)$$

ここで、

S_a : 金属キャスク構造規格 別図 8-1 において、(4. 7) 式により計算した値を超える温度差の変動回数を許容繰返し回数とした場合、これに対応する繰返しピーク

応力強さ (MPa)

(4.7)式より、温度変動の許容値は296 °Cとなる。したがって、異なる材料で作られた部分の温度変動を、最高使用温度(T_{max})と常温との差($\Delta T=130$ °C)と仮定しても、

$$\Delta T \leq T$$

であり、繰返し回数を10回としても条件を満足する。

(6) 金属キャスク構造規格 MCD-1332 (6) (機械的荷重の変動)

供用状態A及びBにおける機械的荷重の変動回数は、以下に示すように全事象の合計回数の210回と想定する。

燃料装荷・取出し時	10 回
吊上げ時	200 回
<hr/>	
合 計	210 回

この回数に対応する繰返しピーク応力強さ S_n は金属キャスク構造規格 別図8-1より、

$$S_n = 1047 \text{ MPa}$$

である。

第3-2表及び第3-3表に示した供用状態A及びBにおける応力強さの最大値($\Delta \sigma_1 = 106$ MPa)を機械的荷重により発生する応力の全振幅と考えたとしても、

$$2 \cdot \Delta \sigma_1 \leq S_n$$

であり、条件を満足する。

第4-1表 密封容器（ボルトを除く）の疲労解析不要の評価結果

金属キヤスク 構造規格 MCD-1332	繰返し荷重	設定繰返し 回数	評価値	許容値	評価
(1)	大気圧－使用圧力－大気圧の変動	10	繰返し回数 $N_1=10$	$3S_m$ に対する 許容繰返し回数 $N_a=3627$	$N_1 \leq N_a$ であるので 本条件を満足
(2)	燃料装荷時、燃料取出し時及び耐圧試験時を除く供用状態 A 及び B における圧力変動	240	圧力変動 の全振幅 $P=0.36 \text{ MPa}$	圧力変動許容値 $A_m=0.9 \text{ MPa}$	$P \leq A_m$ であるので 本条件を満足
(3)	燃料装荷時及び燃料取出し時の温度差	10	温度差 $\Delta T=130 \text{ }^\circ\text{C}$	温度差許容値 $T=776 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T \leq T$ であるので 本条件を満足
(4)	燃料装荷時及び燃料取出し時を除く供用状態 A 及び B の温度差変動	10	温度差変動 の全振幅 $\Delta T=130 \text{ }^\circ\text{C}$	温度差変動許容値 $T=776 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T \leq T$ であるので 本条件を満足
(5)	異なる材料で作られた部分の温度変動	10	温度変動 $\Delta T=130 \text{ }^\circ\text{C}$	温度変動許容値 $T=296 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T \leq T$ であるので 本条件を満足
(6)	機械的荷重の変動	210	応力の全振幅 $2 \cdot \Delta \sigma_1=212 \text{ MPa}$	機械的荷重の変動回 数210回 に対する 許容繰返しピーク 応力強さ $S_a=1047 \text{ MPa}$	$2 \cdot \Delta \sigma_1 \leq S_a$ であるの で本条件に対する評価 で考慮する必要がな い。

4.2 ボルトの評価

金属キャスク構造規格 MCD-1322に従って疲労解析を行う。

4.2.1 金属キャスク構造規格 MCD-1322 及び別図 8-4 に対する検討

一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの金属キャスク構造規格 別図8-4の使用条件に対する検討を以下の(1)から(4)に示す。以下の(1)から(4)に示すとおり、一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトは、金属キャスク構造規格 別図8-4の曲線1の使用条件を満足する。

- (1)一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの最小引張強さは915 MPa、915MPa及び918 MPaであり、金属キャスク構造規格 MCD-1322に従い、設計疲労曲線として金属キャスク構造規格 別図8-4を使用する。
- (2)一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの平均引張応力+曲げ応力は、380 MPa、168 MPa及び431 MPaであり、この値は $2.7S_u$ 以下であるため、設計疲労曲線として、金属キャスク構造規格 別図8-4の“曲線1”を使用する。
- (3)ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋ボルトが mm、カバープレートボルトが 0.25 mm、二次蓋ボルトが mm であって mm 以上である。
- (4)シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は、

一次蓋ボルト	:	<input type="text"/>
カバープレートボルト	:	<input type="text"/>
二次蓋ボルト	:	<input type="text"/>

であって0.06以上である。

4.2.2 ボルトの疲労解析

4.2.2.1 疲労評価において考慮する事象

疲労解析で考慮する事象は以下とする。

- ①燃料装荷及び燃料取出し時
- ②吊上げ時
- ③貯蔵時（貯蔵期間における崩壊熱の低下）
- ④蓋間空間の圧力調整

4.2.2.2 ピーク応力強さの算出

4.2.2.1に示す事象において、一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの各応力サイクルに対応したピーク応力強さは、ピーク応力強さのサイクルにおいてその極大値と極小値の差であることより、次式で計算する。

$$S_p = K \cdot (|S_{b2} - S_{b1}|) \dots\dots\dots (4.9)$$

ここで、

- S_p : 各応力サイクルに対応したピーク応力強さ (MPa)
- K : ボルトのねじ部の応力集中係数 (=4)
(金属キャスク構造規格 表MCD-1331-1による)
- S_{b1} : ボルトに発生する応力強さ (変動前) (MPa)
- S_{b2} : ボルトに発生する応力強さ (変動後) (MPa)

4.2.2.3 応力の変動

4.2.2.1に示す事象による応力変動は以下のとおり考慮する。

①燃料装荷及び燃料取り出し時

燃料装荷後のボルト締め付け時は、ボルトが締め付けられていない応力零状態からの変動、燃料取り出し時のボルト取り外し時は、ボルト締め付け時からの変動を考慮する。

②吊上げ時

吊上げ時は①の燃料装荷後のボルト締め付け時からの変動を考慮する。

③貯蔵時 (貯蔵期間における崩壊熱の低下)

貯蔵時は①の燃料装荷後のボルト締め付け時からの変動を考慮する。

④蓋間空間の圧力調整時

蓋間空間の圧力調整時は①の燃料装荷後のボルト締め付け時からの変動を考慮する。

4.2.2.4 繰返しピーク応力強さの算出

(4.9)式で求めた各応力サイクルに対応したピーク応力強さ(S_p)と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル並びに各事象の繰返し回数を第4-2表、第4-4表及び第4-6表に示す。

各応力サイクルに対応したピーク応力強さ(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、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_0)と解析に用いる縦弾性係数(E : 添付書類5-3-2-1「密封容器の強度計算方法」の「第5-2表 応力計算に使用する材料の物性値」に示す縦弾性係数と「第6-1表 許容応力値を定める温度」の一次蓋ボルト、二次蓋ボルト及びカバープレートボルトの温度から求められる値)との比を考慮し補正する。

$$\left. \begin{aligned} S_c &= \frac{1}{2} \cdot S_p \\ S_c' &= S_c \cdot \frac{E_0}{E} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.10)$$

4.2.3 ボルトの疲労解析結果

金属キャスク構造規格 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_a)を求める。疲労累積係数(U_f)は、金属キャスク構造規格 MCD-1322より以下式で計算される。

$$U_f = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)} \dots\dots\dots (4.11)$$

ここで、

- N_c : 各サイクルの繰返し回数 (—)
- N_a : 許容繰返し回数 (—)
- i : 応力サイクルの型式 (—)
- k : 応力サイクルの型式の総数 (—)

各サイクルの繰返し回数(N_c)と許容繰返し回数(N_a)との比は第4-3表、第4-5表及び第4-7表に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数(U_f)は1.0以下であり、金属キャスク構造規格 MCD-1322の規定を満足する。

第4-2表 応力差の変動（一次蓋ボルト）

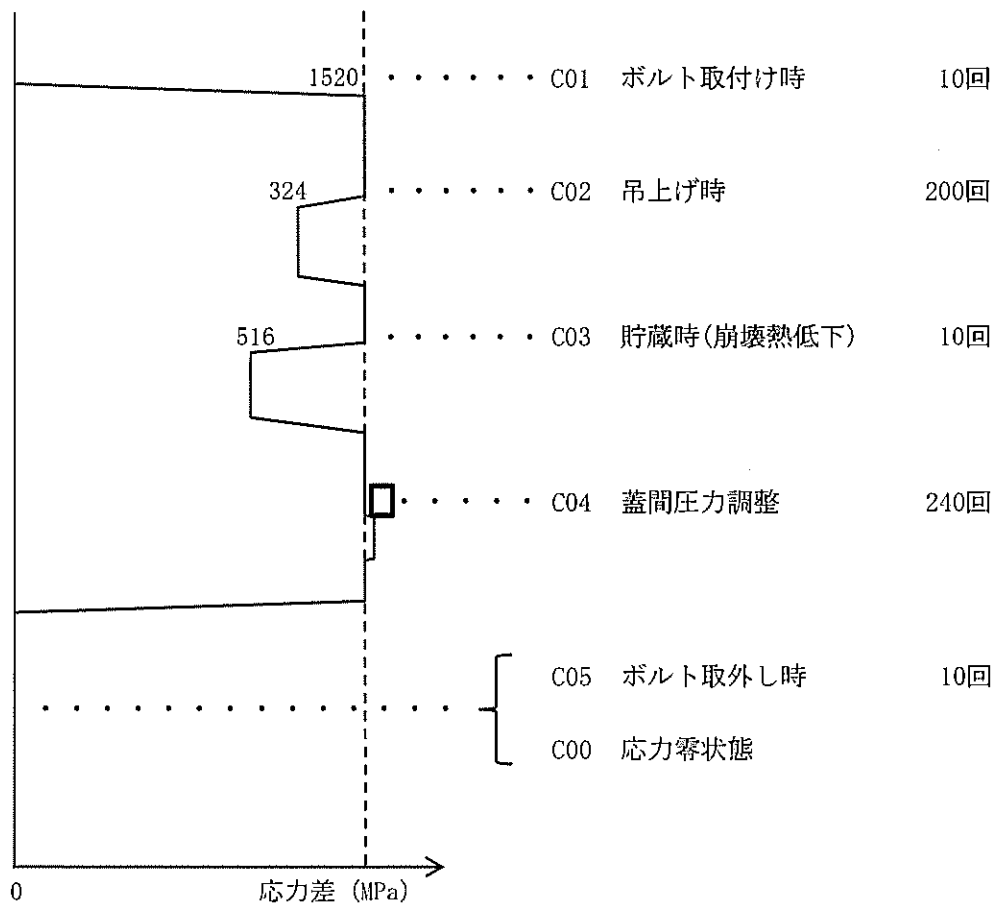
i	変動後		変動前		S _p (MPa)
	事象	S _{b2} (MPa)	事象	S _{b1} (MPa)	
1	C01	380 ^(注1)	C00	0	1520
2	C02	299 ^(注2)	C01	380 ^(注1)	324
3	C03	251 ^(注3)	C01	380 ^(注1)	516
4	C04	251 ^(注4)	-	□ ^(注4)	□

(注1) 第3-2表に示す貯蔵時の一次蓋ボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$: 熱応力考慮) を用いる。

(注2) 第3-3表に示す吊上げ時の一次蓋ボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$: 熱応力考慮) を用いる。

(注3) 保守側に使用済燃料の崩壊熱が無い状態を想定し、貯蔵時の一次蓋ボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$: 熱応力未考慮) を用いる。

(注4) 保守側に蓋間圧力を0 MPaから0.36 MPaまで変化させた場合の応力とし、変動前は蓋ボルト初期締付力を用い、変動後は貯蔵時 (熱応力未考慮 (蓋間空間の圧力は0.36 MPa)) の解析結果を用いる。



第4-3表 疲労評価 (一次蓋ボルト)

i	S_p (注1) (MPa)	S_c (MPa)	S_c' (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	1520	760	846	672	10	0.0149
2	324	162	181	22633	200	0.0089
3	516	258	288	5994	10	0.0017
4				10^6	240	0.0003
疲労累積係数						$U_f = 0.0258$

(注1) S_p は第4-2表による。

第4-4表 応力差の変動 (カバープレートボルト)

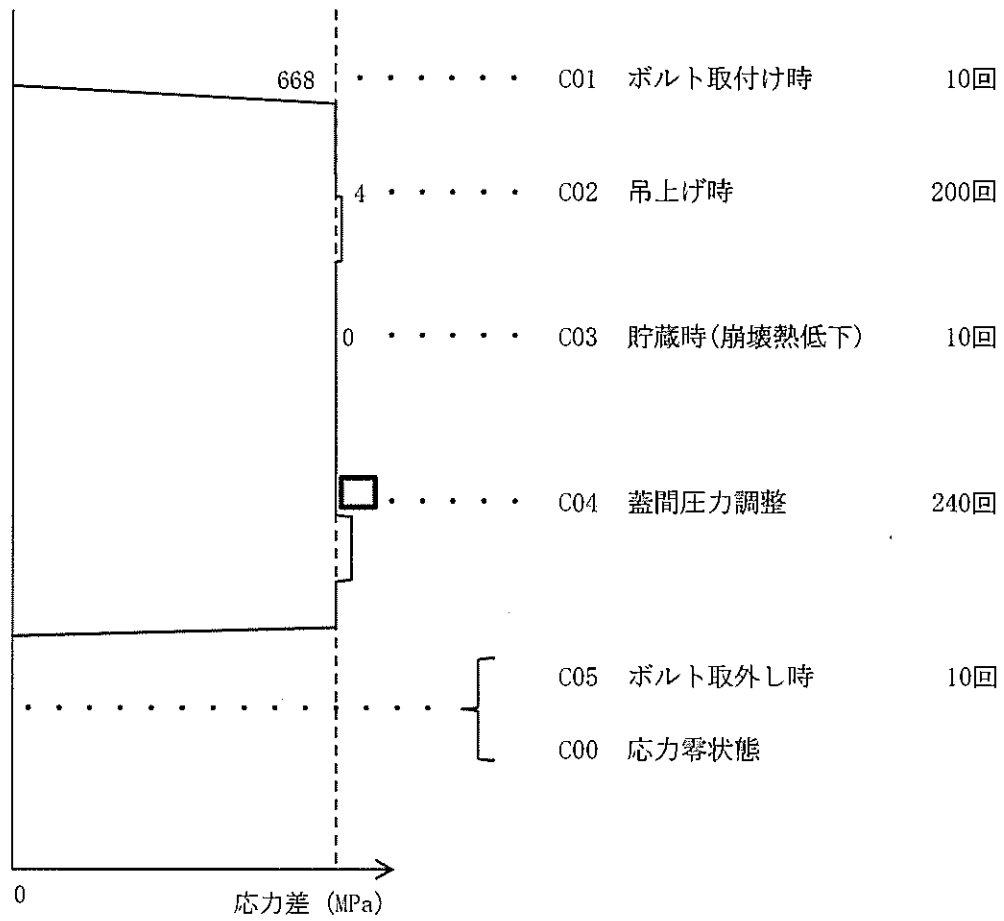
i	変動後		変動前		S _p (MPa)
	事象	S _{b2} (MPa)	事象	S _{b1} (MPa)	
1	C01	167 ^(注1)	C00	0	668
2	C02	168 ^(注2)	C01	167 ^(注1)	4
3	C03	167 ^(注3)	C01	167 ^(注1)	0
4	C04	167 ^(注4)	-	□ ^(注4)	□

(注1) 第3-2表に示す貯蔵時のカバープレートボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$) を用いる。

(注2) 第3-3表に示す吊上げ時のカバープレートボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$) を用いる。

(注3) 3.3.2(2)に記載するようにカバープレートの二次応力は無視できることから、第3-2表に示す貯蔵時のカバープレートボルトの解析結果 ($\sigma_m + \sigma_b$) を用いる。

(注4) 保守側に蓋間圧力を0 MPaから0.36 MPaまで変化させた場合の応力とし、変動前は、カバープレートボルト初期締付力を用い、変動後は貯蔵時(蓋間空間の圧力は0.36 MPa)の解析結果を用いる。



第4-5表 疲労評価 (カバープレートボルト)

i	S_p (注1) (MPa)	S_c (MPa)	S_c' (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	668	334	372	3471	10	0.0029
2	4	2	3	10^6	200	0.0002
3	0	0	0	—	10	—
4				10^6	240	0.0003
疲労累積係数 $U_f = 0.0034$						

(注1) S_p は第4-4表による。

第4-6表 応力差の変動（二次蓋ボルト）

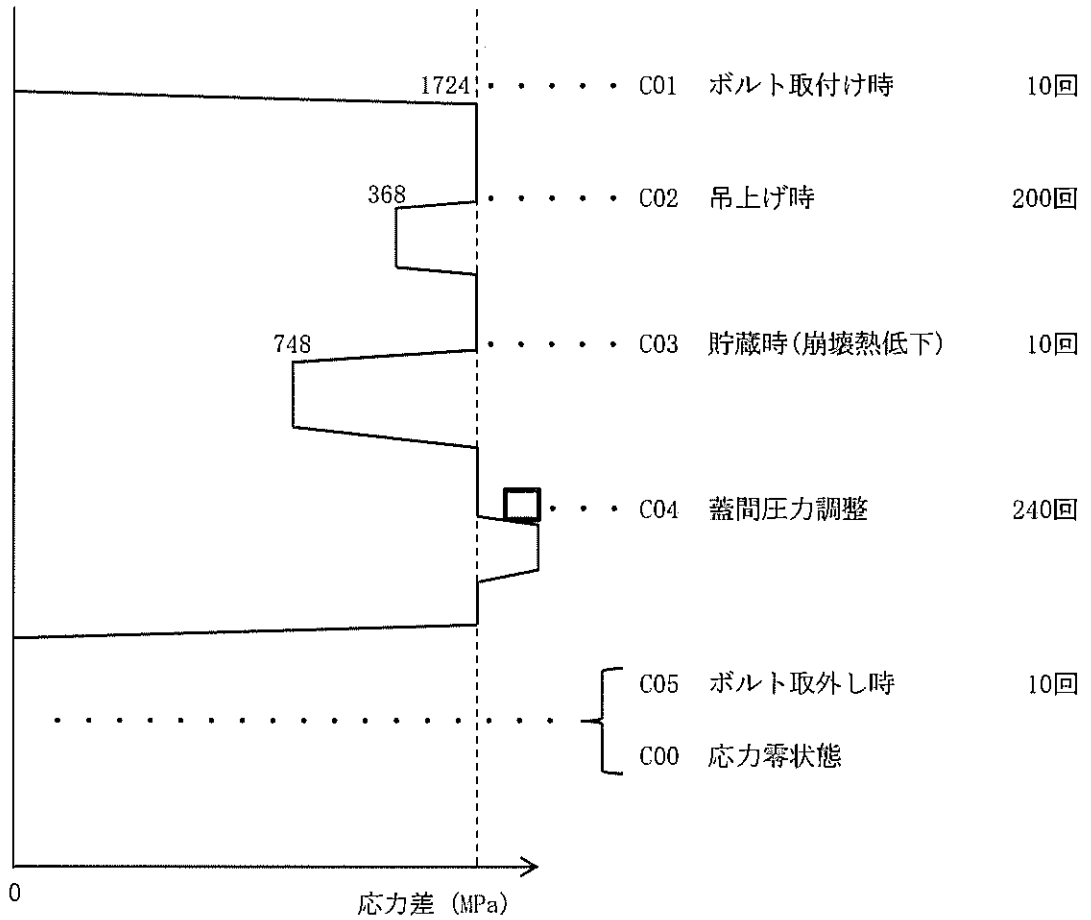
i	変動後		変動前		S _p (MPa)
	事象	S _{b2} (MPa)	事象	S _{b1} (MPa)	
1	C01	431 ^(注1)	C00	0	1724
2	C02	339 ^(注2)	C01	431 ^(注1)	368
3	C03	244 ^(注3)	C01	431 ^(注1)	748
4	C04	244 ^(注1)	-	□ ^(注4)	□

(注1) 第3-2表に示す貯蔵時の二次蓋ボルトの解析結果（ $\sigma_m + \sigma_b$ ：熱応力考慮）を用いる。

(注2) 第3-3表に示す吊上げ時の二次蓋ボルトの解析結果（ $\sigma_m + \sigma_b$ ：熱応力考慮）を用いる。

(注3) 保守側に使用済燃料の崩壊熱が無い状態を想定し、貯蔵時の二次蓋ボルトの解析結果（ $\sigma_m + \sigma_b$ ：熱応力未考慮）を用いる。

(注4) 保守側に蓋間圧力を0 MPaから0.36 MPaまで変化させた場合の応力とし、変動前は蓋ボルト初期締付力を用い、変動後は貯蔵時（熱応力未考慮（蓋間空間の圧力は0.36 MPa））の解析結果を用いる。



第4-7表 疲労評価 (二次蓋ボルト)

i	S_p (注1) (MPa)	S_c (MPa)	S_c' (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	1724	862	960	526	10	0.0191
2	368	184	205	14910	200	0.0135
3	748	374	417	2762	10	0.0037
4				700879	240	0.0004
疲労累積係数						$U_f = 0.0367$

(注1) S_p は第4-6表による。

5. 穴の補強

金属キャスク構造規格 MCD-1700 により、一次蓋貫通孔及び二次蓋貫通孔の補強が不要となることを示す。

一次蓋貫通孔部及び二次蓋貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で計算する。

$$S_2 = K \cdot S_3 \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、

S_2 : 一次蓋貫通孔部又は二次蓋貫通孔部の応力強さ (MPa)

K : 応力集中係数 (=4.0 : 「西田正孝、応力集中 増補版、森北出版(株) より」)

S_3 : 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 (MPa)

一次蓋貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S_3) と一次蓋貫通孔部の応力強さ (S_2) は第 5-1 表に、二次蓋貫通孔を無視した場合の二次蓋の応力強さ (S_3) と二次蓋貫通孔部の応力強さ (S_2) は第 5-2 表に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、一次蓋貫通孔部及び二次蓋貫通孔部の補強は不要となる。

第5-1表 一次蓋貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

許容応力区分	応力分類	貫通孔を無視した場合の応力強さ(S ₃)	貫通孔部の応力強さ(S ₂)	許容応力値
設計時	P _m	1	4	124
	P _L	4	16	186
	P _L +P _b	6	24	186
貯蔵時	P _m	1	4	124
	P _L	6	24	186
	P _L +P _b	8	32	186
	P _L +P _b +Q	27	108	372
吊上げ時	P _m	1	4	124
	P _L	7	28	186
	P _L +P _b	8	32	186
	P _L +P _b +Q	21	84	372
試験時	P _m	2	8	186
	P _L	9	36	279
	P _m +P _b	14	56	279

第5-2表 二次蓋貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

許容応力区分	応力分類	貫通孔を無視した場合の応力強さ(S ₃)	貫通孔部の応力強さ(S ₂)	許容応力値
設計時	P _m	4	16	124
	P _L	5	20	186
	P _L +P _b	25	100	186
貯蔵時	P _m	5	20	124
	P _L	5	20	186
	P _L +P _b	28	112	186
	P _L +P _b +Q	32	128	372
吊上げ時	P _m	5	20	124
	P _L	5	20	186
	P _L +P _b	28	112	186
	P _L +P _b +Q	30	120	372

6. 外圧の評価

供用状態 A 及び B の場合に、密封容器の内圧は負圧であり、最高使用圧力(外圧) (P) は 0.41 MPa である。許容外圧(P_a)は、添付書類 5-3-2-1 「密封容器の強度計算方法」 第 6-3 表より 13.2 MPa であるので、金属キャスク構造規格 MCD-1410(1) の規定を満足する。

添付書類 5-3-3-2 バスケットの強度計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

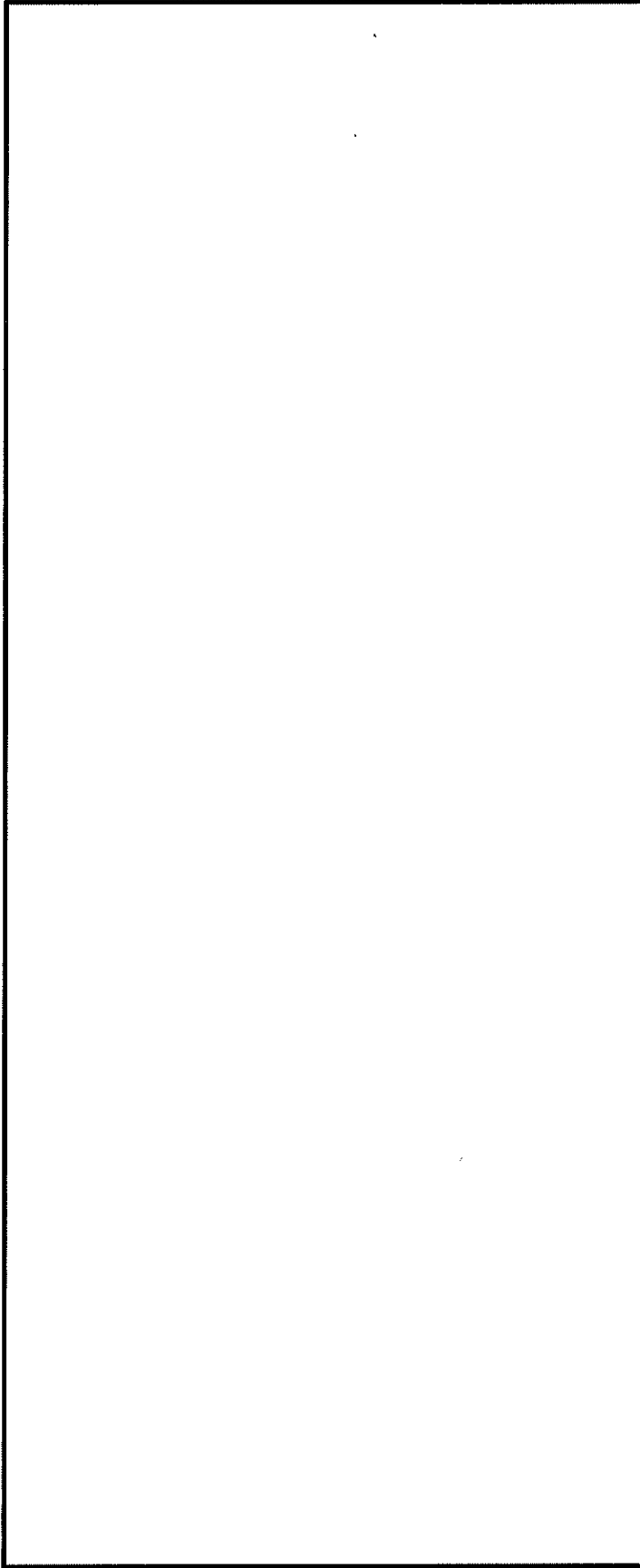
1. 概要	1
2. 形状・寸法・材料	1
3. 応力計算	4
3.1 応力評価位置	4
3.2 貯蔵時	7
3.3 吊上げ時	10

1. 概要

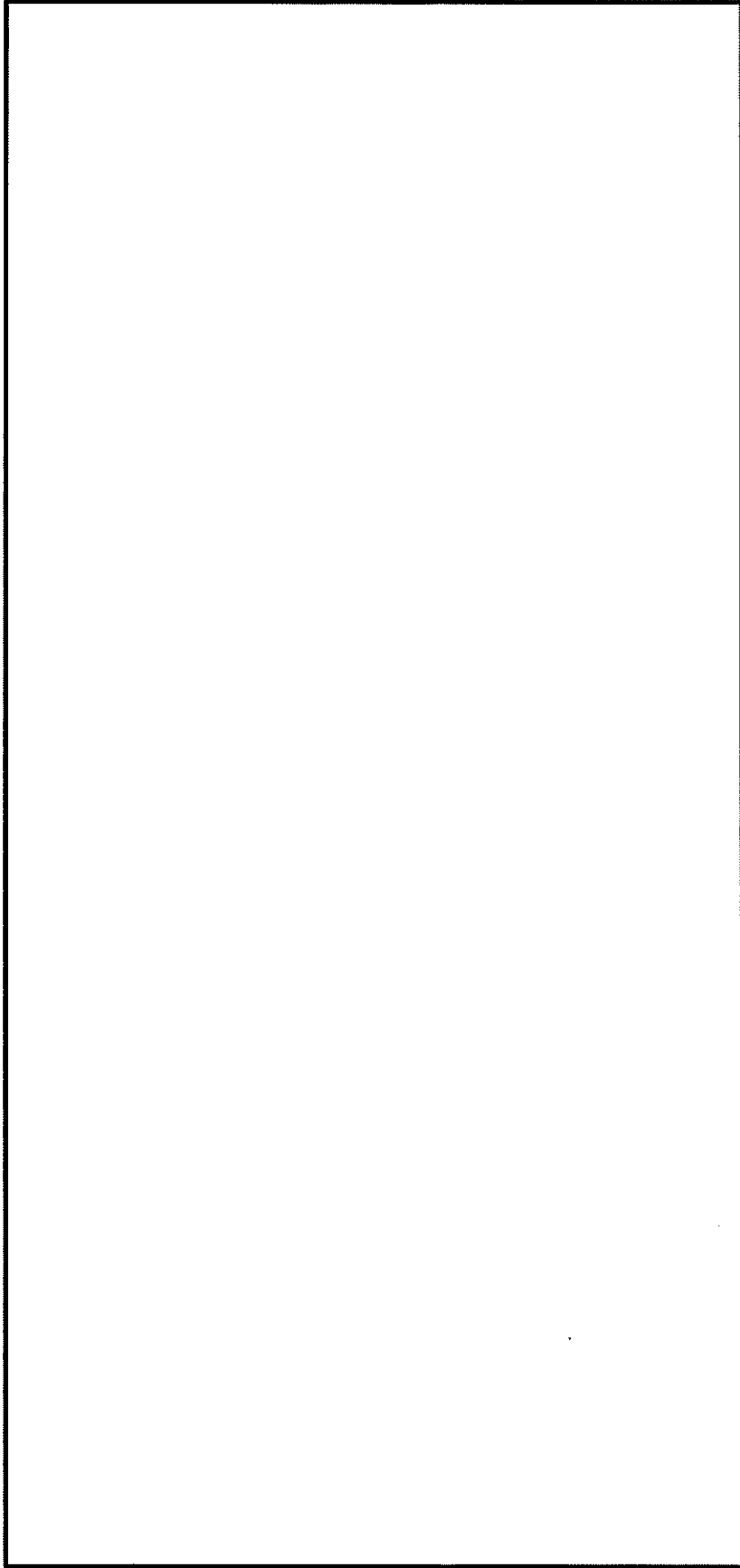
本資料は、資料5-3-2-2「バスケットの強度計算方法」に基づき、MSF-24P(S)型のバスケットが十分な強度を有することの確認結果を示すものである。

2. 形状・寸法・材料

本資料で解析するバスケットの形状・寸法・材料を第2-1図に示す。



第2-1図 バスケットの形状・寸法・材料 (1/2)



(単位 : mm)

材料

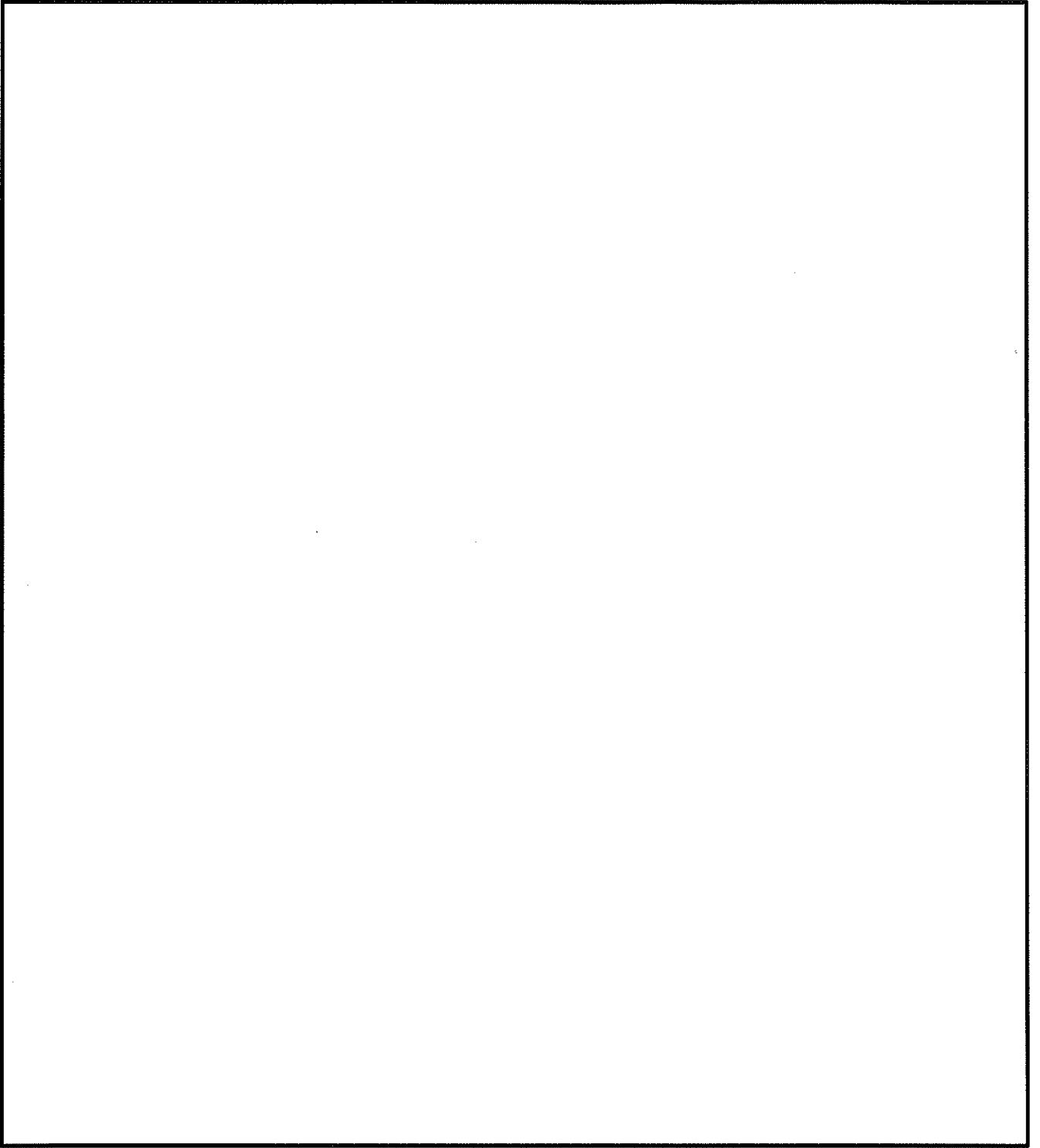
- バスケットプレート : アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)
- 中性子吸収材 : ほう素添加アルミニウム合金 (非強度部材)
- バスケットサポート : アルミニウム合金 (非強度部材)

第2-1図 バスケットの形状・寸法・材料 (2/2)

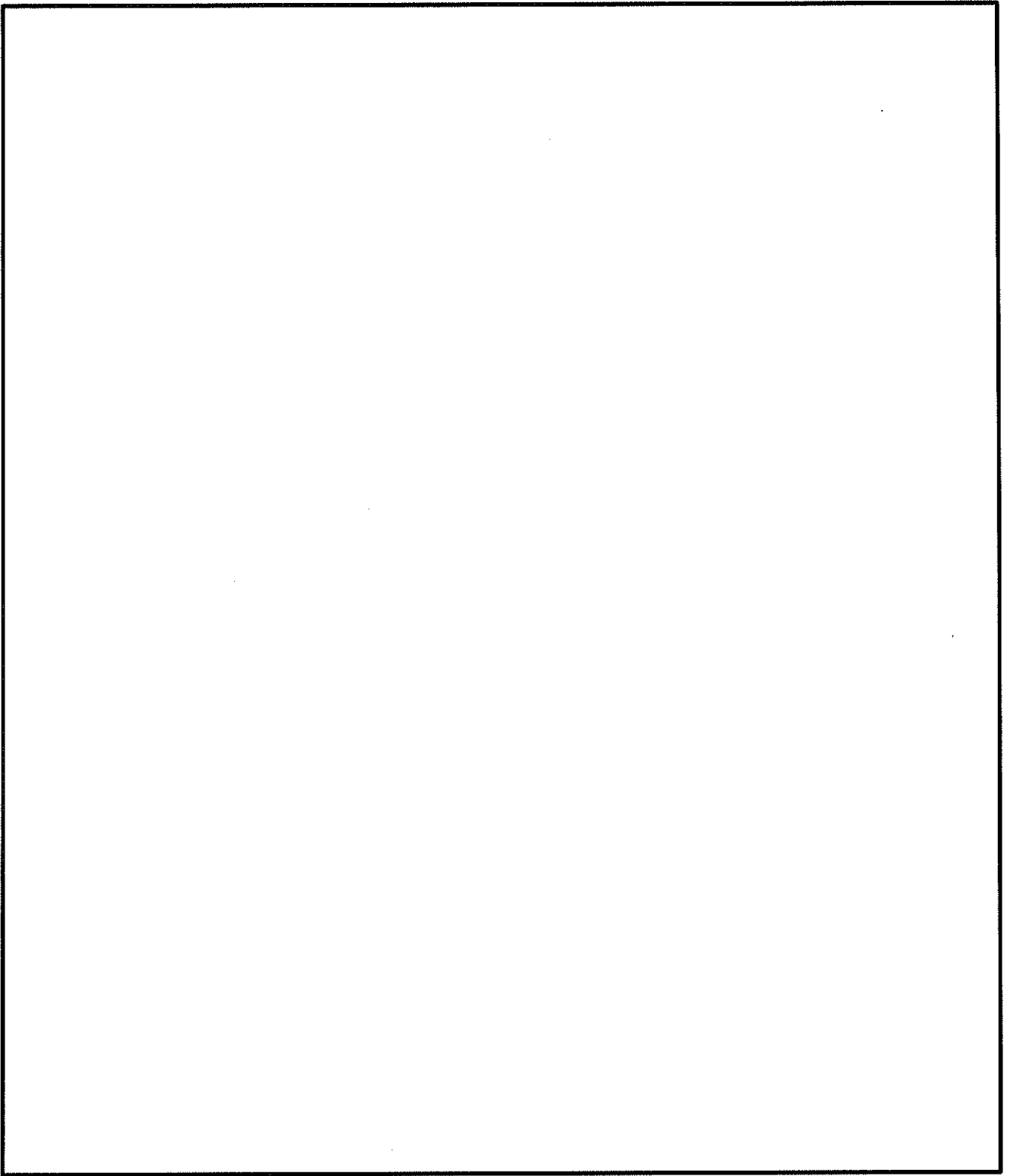
3. 応力計算

3.1 応力評価位置

バスケットの解析モデル及び応力評価位置を第3-1図に示す。



第 3-1 図 バスケットプレートの応力評価位置 (1/2)



第 3-1 図 バスケットプレートの応力評価位置 (2/2)

3.2 貯蔵時

3.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは第3-1図(1/2)の評価位置①である。自重により発生する一次一般膜応力は、次式で計算される。

$$\sigma_m = \frac{mGg}{A_1N} \quad (3.1)$$

ここで、

- σ_m : 一次一般膜応力 (MPa)
- m : 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 (= kg)
- G : 鉛直方向加速度係数 (貯蔵時) (=1)
- g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- A_1 : 評価位置①の断面積 (mm²)
- N : バスケットプレートの段数 (=)

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

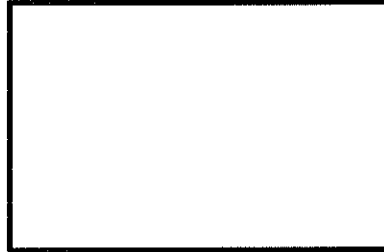
最大応力が発生するのは第3-1図(2/2)の評価位置②である。自重により発生する一次曲げ応力は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{wGgL^2}{12} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

ここで、

- σ_b : 曲げ応力 (MPa)
- M : 評価位置②に発生する曲げモーメント (N・mm)
- Z : 評価位置②の断面係数 (= mm³)
- $Z = \frac{h_1^3 \times b_1 - h_2^3 \times (b_2 + b_3 \times 2)}{6h_1}$
- h_1 : バスケットプレート高さ 1 (mm)
- b_1 : バスケットプレート幅 1 (mm)

- b_2 : バスケットプレート幅 2 (mm)
- h_2 : バスケットプレート高さ 2 (mm)
- b_3 : バスケットプレート幅 3 (mm)



(評価位置②の断面形状)

- w : 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 (= kg/mm)
- G : 鉛直方向加速度係数 (貯蔵時) (=1)
- g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- L : バスケットプレート長さ (= mm)

(3) 平均せん断応力

最大応力が発生するのは第3-1図(2/2)の評価位置②である。自重により発生するせん断応力は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F}{A_2} \\ F &= \frac{wGgL}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

ここで、

- τ : せん断応力 (MPa)
- F : 評価位置②に発生する荷重 (N)
- A_2 : 評価位置②の断面積 (= mm²)
- w 、 G 、 g 、 L : 3.2.2(2)と同じ

(4) 圧縮応力

最大応力が発生するのは第3-1図(1/2)の評価位置①である。評価位置①に発生する圧縮応力 (σ_c) は、(3.1)式で計算される。

ここで、

- m 、 G 、 g 、 A_1 、 N : 3.2.2(1)と同じ

3.2.3 計算結果

応力計算結果を第3-1表に示す。第3-1表に示すように、発生する応力は許容応力値以下である。また、バスケットプレートに発生する応力は、設計降伏点(56 MPa)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3-1表 バスケットの応力評価(貯蔵時)

(単位: MPa)

部 位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
バスケット プレート	①	P_m	1	16
	②	$P_m + P_b$	1	16
	②	τ	1	9
	①	σ_c	1	37

3.3 吊上げ時

3.3.1 荷重条件

吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・吊上げ荷重（自重を含む）

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは第3-1図(1/2)の評価位置①である。吊上げ荷重により発生する一次一般膜応力は、(3.1)式で計算される。

ここで、

σ_m 、 m 、 g 、 A_1 、 N : 3.2.2(1)と同じ

G : 鉛直方向加速度係数（吊上げ時）(=1.3)

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

最大応力が発生するのは第3-1図(2/2)の評価位置②である。吊上げ荷重により発生する一次曲げ応力は、(3.2)式で計算される。

ここで、

σ_b 、 M 、 Z 、 h_1 、 b_1 、 b_2 、 h_2 、 b_3 、 w 、 g 、 L : 3.2.2(2)と同じ

G : 鉛直方向加速度係数（吊上げ時）(=1.3)

(3) 平均せん断応力

最大応力が発生するのは第3-1図(2/2)の評価位置②である。吊上げ荷重により発生するせん断応力は、(3.3)式で計算される。

ここで、

τ 、 F 、 A_2 、 w 、 g 、 L : 3.2.2(3)と同じ

G : 鉛直方向加速度係数（吊上げ時）(=1.3)

(4) 圧縮応力

最大応力が発生するのは第3-1図(1/2)の評価位置①である。評価位置①に発生する圧縮応力 (σ_c) は、(3.1)式で計算される。

ここで、

m 、 g 、 A_1 、 N : 3.2.2(1)と同じ

G : 鉛直方向加速度係数（吊上げ時）(=1.3)

3.3.3 計算結果

応力計算結果を第3-2表に示す。第3-2表に示すように、発生する応力は許容応力値以下である。また、バスケットプレートに発生する応力は、設計降伏点(56 MPa)より低いいため、バスケットプレートは弾性状態に留まる。

第3-2表 バスケットの応力評価（吊上げ時）

(単位：MPa)

部 位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
バスケット プレート	①	P_m	1	36
	②	P_m+P_b	1	43
	②	τ	1	21
	①	σ_c	1	37

添付書類 5-3-3-3 トラニオンの強度計算書

本資料における は商業機密のため、非公開とします。

目 次

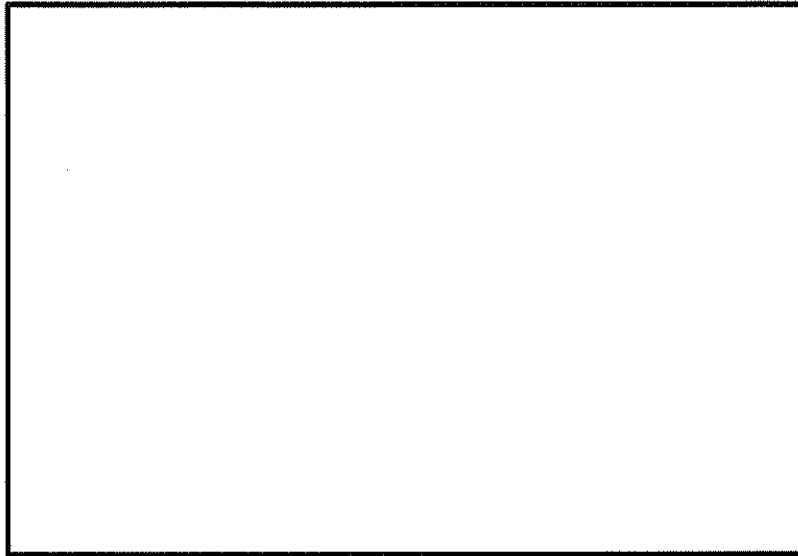
1. 概要	1
2. 形状・寸法・材料	1
3. 応力計算	4
3.1 応力評価位置	4
3.2 貯蔵時	4
3.3 吊上げ時	13
3.4 疲労評価	20

1. 概要

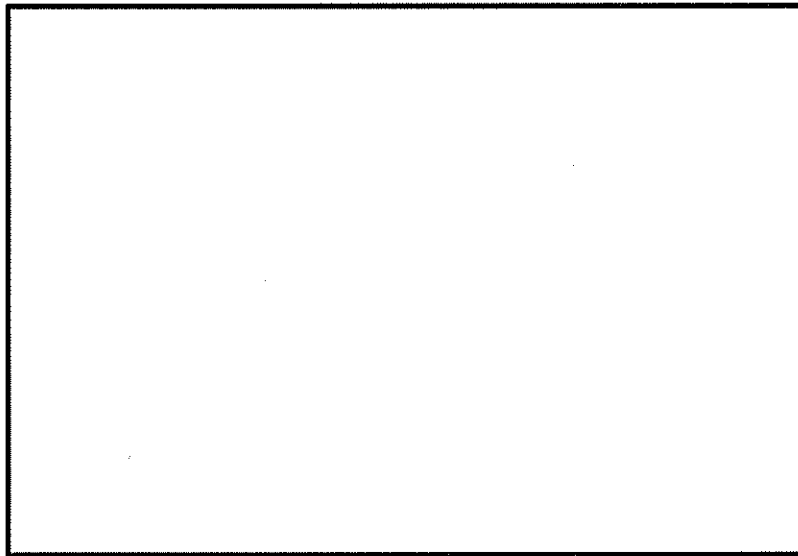
本資料は、添付書類 5-3-2-3 「トラニオンの強度計算方法」に基づき、MSF-24P(S)型のトラニオンが十分な強度を有することの確認結果を示すものである。

2. 形状・寸法・材料

本資料で解析するトラニオンの形状・寸法・材料を第2-1図及び第2-2図に示す。



貯蔵時



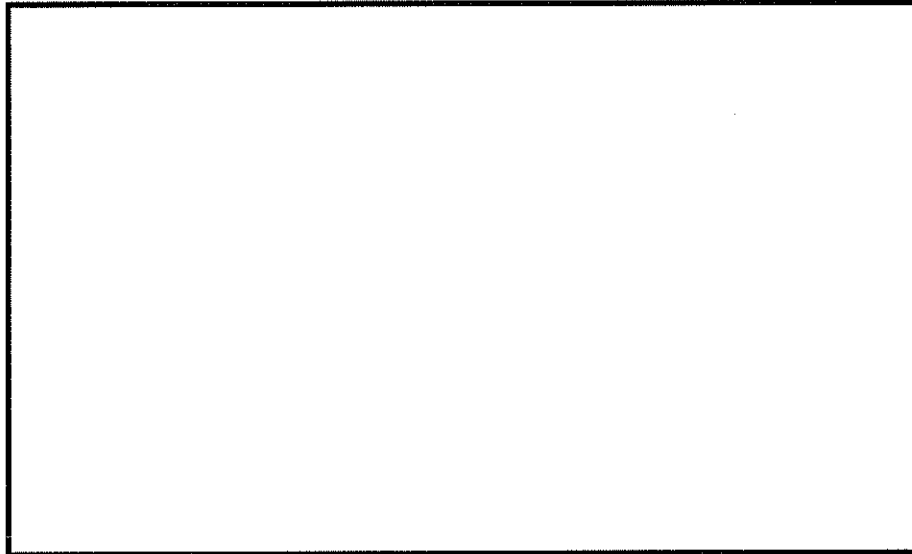
吊上げ時

No.	評価部位
①	上部トラニオン段付き部
②	上部トラニオン段付き部
③	上部トラニオン接続部

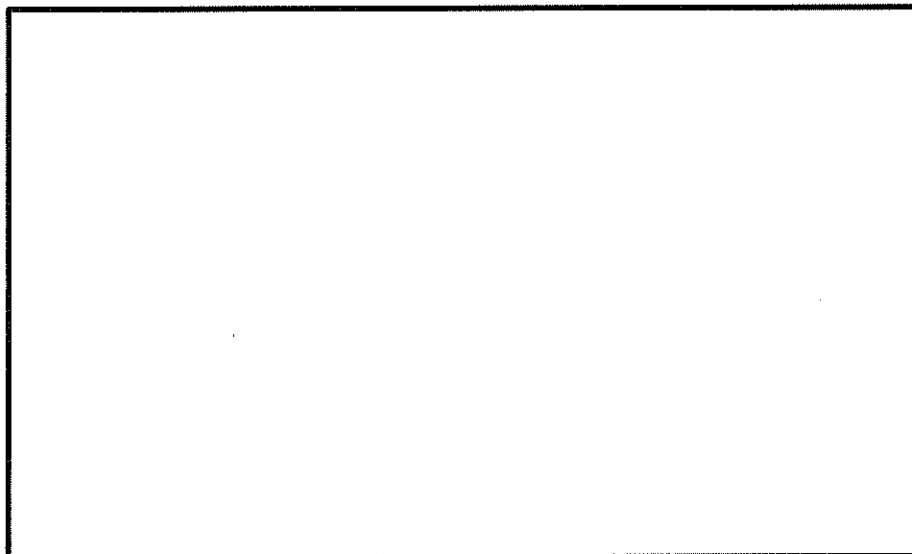
材質：SUS630

(単位：mm)

第2-1図 上部トラニオンの形状・寸法・材料・応力評価位置



貯蔵時



吊上げ時

No.	評価部位
④	下部トラニオン段付き部
⑤	下部トラニオン段付き部
⑥	下部トラニオン段付き部
⑦	下部トラニオン接続部

材質：SUS630
(単位：mm)

第2-2図 下部トラニオンの形状・寸法・材料・応力評価位置

3. 応力計算

3.1 応力評価位置

トラニオンの応力評価位置を第2-1図及び第2-2図に示す。

3.2 貯蔵時

3.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

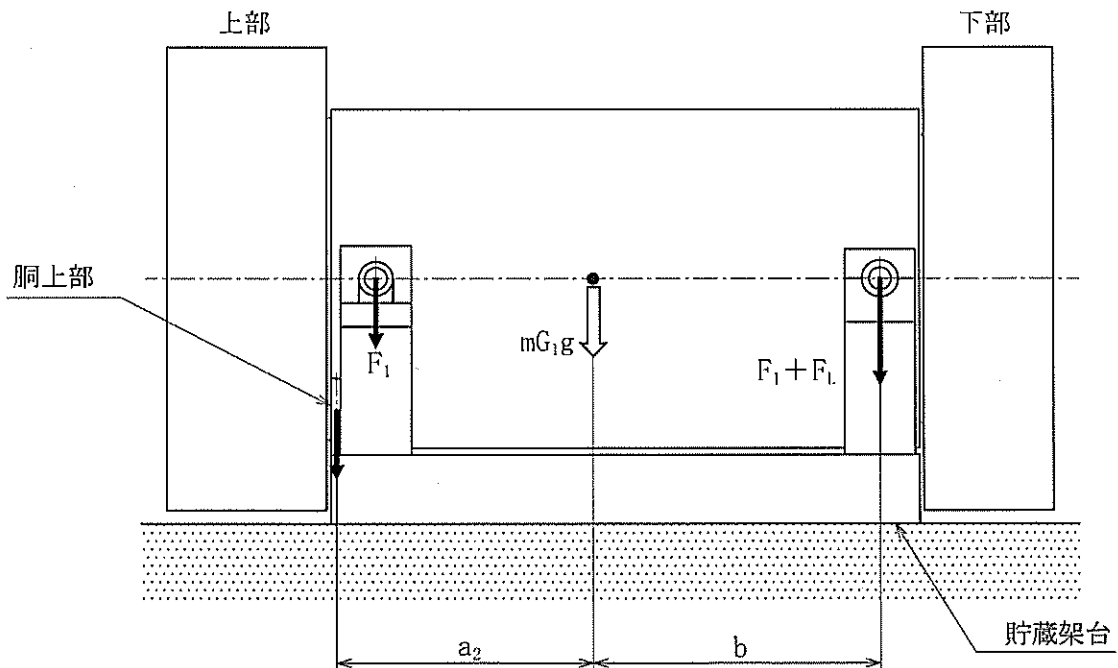
- ・ 自重
- ・ 固縛荷重
- ・ 熱荷重

3.2.2 計算方法

(1) トラニオン段付き部

(a) 一次応力

貯蔵時において、MSF-24P(S)型の自重は、胴上部及び下部トラニオンで受けるため、自重による一次応力は下部トラニオンのみに発生する。(第3-1図参照)



第3-1図 トラニオンに作用する荷重 (貯蔵時)

(i) せん断応力

自重により評価位置⑤に発生するせん断応力(τ_L)は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \tau_L &= \frac{F_L}{A_5} \\ F_L &= \frac{a_2}{2(a_2+b)} m G_1 g \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

ここで、

- F_L : 下部トラニオンに作用する荷重 (N)
- A_5 : 評価位置⑤の断面積 (= mm²)
- m : 貯蔵時及び吊上げ時における MSF-24P(S)型の質量 (=134600 kg)
- G_1 : 鉛直方向加速度係数(貯蔵時) (=1)
- g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- 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)

また、評価位置⑥に発生するせん断応力(τ_L)は、(3.1)式で計算される。ただし、(3.1)式の A_5 を A_6 とする。

ここで、

- A_6 : 評価位置⑥の断面積 (= mm²)

(ii) 曲げ応力

自重により評価位置⑤に発生する曲げ応力(σ_{bL})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bL} &= \frac{M_L}{Z_5} \\ M_L &= F_L L_{51} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

ここで、

- M_L : 下部トラニオンの曲げモーメント (N・mm)
- Z_5 : 評価位置⑤の断面係数 (= mm³)
- F_L : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ
- L_{51} : 評価位置⑤と荷重作用位置との距離 (=55 mm)

また、評価位置⑥に発生する曲げ応力(σ_{bL})は、(3.2)式で計算される。ただし、(3.2)式の Z_5 及び L_{51} を Z_6 及び L_{61} とする。

ここで、

Z_6 : 評価位置⑥の断面係数 (= mm³)

L_{61} : 評価位置⑥と荷重作用位置との距離 (=265 mm)

(iii) 組合せ応力

せん断応力(τ_L)と曲げ応力(σ_{bL})との組合せ応力(σ_{TL})は、次式で計算される。

$$\sigma_{TL} = \sqrt{\sigma_{bL}^2 + 3\tau_L^2} \quad (3.3)$$

(b) 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、熱荷重の考慮は不要である。

貯蔵時において、MSF-24P(S)型は、上部トラニオン及び下部トラニオンを用いて固縛されるため、固縛荷重による二次応力が上部トラニオン及び下部トラニオンに発生する。(第3-1図参照)

(i) せん断応力

① 上部トラニオン

トラニオン押さえ(貯蔵架台)の固縛荷重により評価位置①に発生するせん断応力(τ_U)は、次式で計算される。

$$\tau_U = \frac{F_1}{A_1} \quad (3.4)$$

ここで、

F_1 : トラニオン押さえの固縛荷重 (= N)

A_1 : 評価位置①の断面積 (= mm²)

評価位置①の内径は mm であるが、保守的に近傍の内径 mm として評価する。

また、評価位置②に発生するせん断応力(τ_U)は、(3.4)式で計算される。ただし、(3.4)式の A_1 を A_2 とする。

ここで、

A_2 : 評価位置②の断面積 (= mm²)

② 下部トラニオン

自重及びトラニオン押さえ(貯蔵架台)の固縛荷重により評価位置⑤に発生する下部トラニオンのせん断応力(τ_U)は、次式で計算される。

$$\tau_L = \frac{F_1 + F_L}{A_5} \quad (3.5)$$

ここで、

- F_1 : 3.2.2 (1) (b) (i) と同じ
- F_L : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ
- A_5 : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ

また、評価位置⑥に発生する下部トラニオンのせん断応力 (τ_L) は、(3.5)式で計算される。ただし、(3.5)式の A_5 を A_6 とする。

ここで、

- A_6 : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ

(ii) 曲げ応力

①上部トラニオン

トラニオン押さえ(貯蔵架台)の固縛荷重により評価位置①に発生する曲げ応力(σ_{bu})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bu} &= \frac{M_0}{Z_1} \\ M_0 &= F_1 \cdot L_{11} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

ここで、

- M_0 : 上部トラニオンの曲げモーメント (N・mm)
- F_1 : 3.2.2 (1) (b) (i) と同じ
- Z_1 : 評価位置①の断面係数 (= mm³)
評価位置①の内径は mm であるが、保守的に近傍の内径 mm として評価する。
- L_{11} : 評価位置①と荷重作用位置との距離 (=35 mm)

また、評価位置②に発生する上部トラニオンの曲げ応力(σ_{bu})は、(3.6)式で計算される。ただし、(3.6)式の Z_1 及び L_{11} を Z_2 及び L_{21} とする。

ここで、

- Z_2 : 評価位置②の断面係数 (= mm³)
- L_{21} : 評価位置②と荷重作用位置との距離 (=245 mm)

②下部トラニオン

自重及びトラニオン押さえの固縛荷重により評価位置⑤に発生する曲げ応力(σ_{bl})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bl} &= \frac{M_L}{Z_5} \\ M_L &= F_1 \cdot L_{51} + F_L L_{51} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

ここで、

- F_1 : 3.2.2 (1) (b) (i)と同じ
- F_L : 3.2.2 (1) (a) (i)と同じ
- Z_5 : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ
- L_{51} : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ

また、評価位置⑥に発生する曲げ応力(σ_{bl})は、(3.7)式で計算される。ただし、(3.7)式の Z_5 及び L_{51} を Z_6 及び L_{61} とする。

ここで、

- Z_6 : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ
- L_{61} : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ

(2) トラニオン接続部

(a) 一次応力

貯蔵時において、MSF-24P(S)型の自重は、胴上部及び下部トラニオンで受けるため、自重による一次応力は下部トラニオンのみに発生する。(第3-1図参照)

支圧応力が発生する箇所は第2-2図に示す下部トラニオンの評価位置⑦である。自重により発生する支圧応力(σ_{r1} 及び σ_{r2})は、次式で計算される。

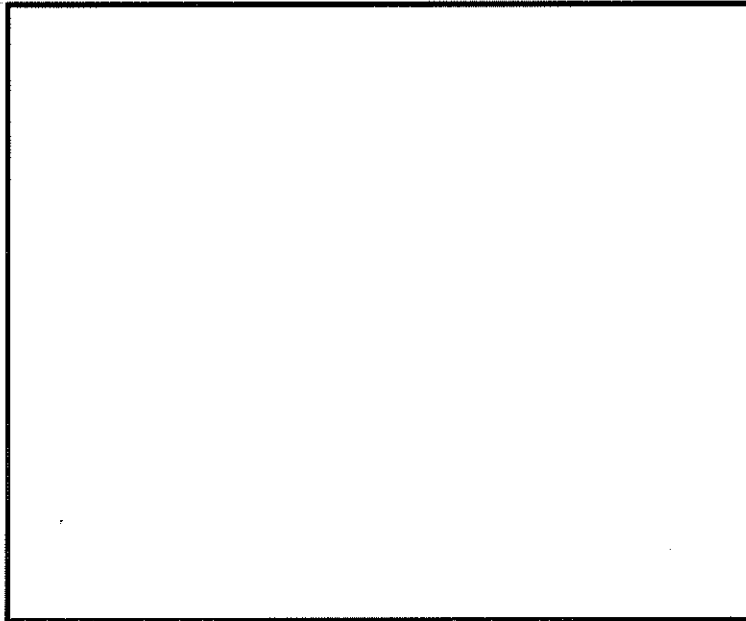
$$\left. \begin{aligned} \sigma_{r1} &= R_{71} / (d_7 \cdot L_7 / 2) \\ \sigma_{r2} &= R_{72} / (d_7 \cdot L_7 / 2) \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} R_{71} &= \frac{F_L L_{61} + \mu F_L (d_7 / 2) + F_L L_7}{\mu d_7 + L_7} \\ R_{72} &= \frac{F_L L_{61} - \mu F_L (d_7 / 2)}{\mu d_7 + L_7} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

- R_{71} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)
- R_{72} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)
- F_L : 3.2.2 (1) (a) (i)と同じ

- L_{61} : 0点から荷重作用点までの距離 (3.2.2 (1)(a)(ii)と同じ)
 L_7 : 0点から反力 R_{72} の作用点までの距離 (=140 mm)
 μ : 摩擦係数 (=0.35)
 (「日本機械学会 機械工学便覧(基礎編) $\alpha 2$ 機械力学」に示される鋼同士の摩擦係数より)
 d_7 : 下部トラニオン嵌め込み部の外径 (=290 mm)



下部トラニオン接続部の解析モデル

(b) 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、熱荷重の考慮は不要である。

貯蔵時において、MSF-24P(S)型は、上部トラニオン及び下部トラニオンを用いて固縛されるため、固縛荷重による二次応力が上部トラニオン及び下部トラニオンに発生する。(第3-1図参照)

(i) 自重及び固縛荷重による支圧応力

①上部トラニオン

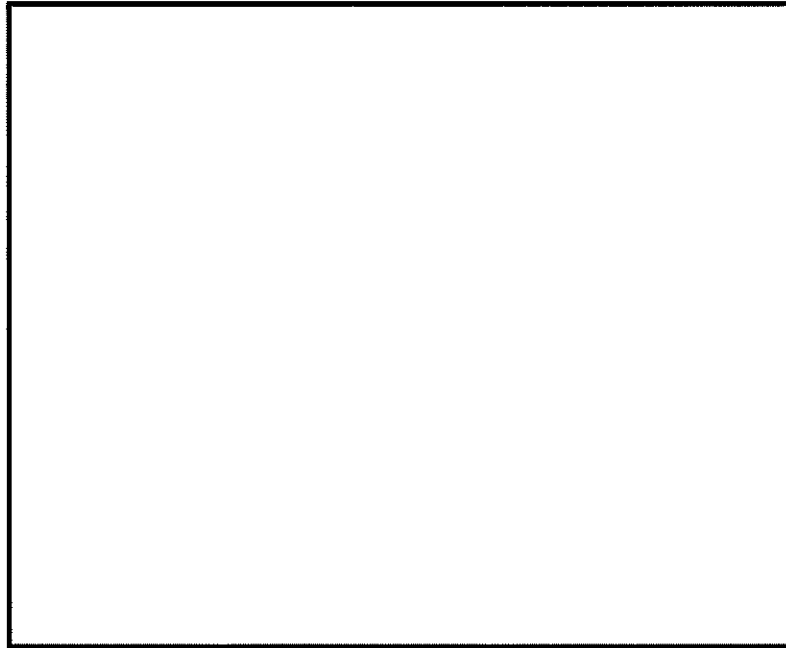
評価位置③の固縛荷重により発生する支圧応力(σ_{31} 及び σ_{32})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{31} &= R_{31} / (d_3 \cdot L_3 / 2) \\ \sigma_{32} &= R_{32} / (d_3 \cdot L_3 / 2) \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} R_{31} &= \frac{F_1 L_{21} + \mu F_1 (d_3/2) + F_1 L_3}{\mu d_3 + L_3} \\ R_{32} &= \frac{F_1 L_{21} - \mu F_1 (d_3/2)}{\mu d_3 + L_3} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

- R_{31} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)
 R_{32} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)
 F_1 : 3.2.2 (1) (b) (i) と同じ
 L_{21} : 0点から荷重作用点までの距離 (3.2.2 (1) (b) (ii) と同じ)
 L_3 : 0点から反力 R_{32} の作用点までの距離 (=140 mm)
 μ : 摩擦係数 (3.2.2 (2) (a) と同じ)
 d_3 : 上部トラニオン嵌め込み部の外径 (=270 mm)



上部トラニオン接続部の解析モデル

②下部トラニオン

評価位置⑦の自重及び固縛荷重による支圧応力の計算方法は、3.2.2 (2) (a) と同様である。ただし、作用荷重 (F_L) は $F_1 + F_L$ とする。

(ii) しまり嵌めによる支圧応力

評価位置③及び⑦のしまり嵌めによる支圧応力 (P_3 及び P_7) は次式 (「機械設計便覧編集委員会 機械設計便覧 (第3版)」に示される組合せ円筒の式) で計算される。

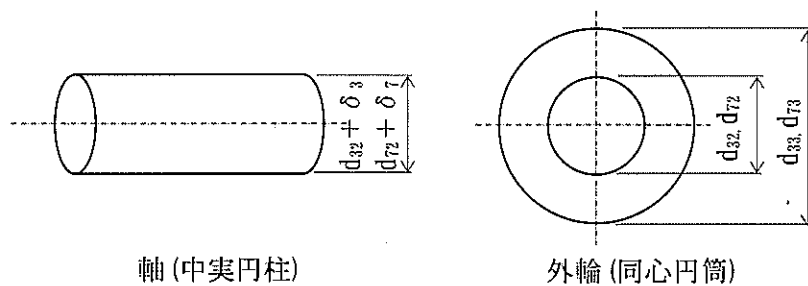
$$\left. \begin{aligned}
 P_3 &= \frac{\alpha_3}{\left(\frac{1-\nu}{E} + \frac{1+\nu}{E'}\right) + \frac{2}{E'} \frac{d_{32}^2}{d_{33}^2 - d_{32}^2}} \\
 P_7 &= \frac{\alpha_7}{\left(\frac{1-\nu}{E} + \frac{1+\nu}{E'}\right) + \frac{2}{E'} \frac{d_{72}^2}{d_{73}^2 - d_{72}^2}}
 \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

ここで、

- ν : ポアソン比 (=0.3)
- α_3 : 上部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_3/d_{32})
- α_7 : 下部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_7/d_{72})
- δ_3 : 上部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめ代(直径差) (= mm)
- δ_7 : 下部トラニオンの外輪(穴)と軸の初期しめ代(直径差) (= mm)
- d_{32} : 上部トラニオンの外輪(穴)内径 (=270mm)
- d_{33} : 上部トラニオンの外輪(穴)外径 (= mm)

- d_{72} : 下部トラニオンの外輪(穴)内径 (=290mm)
- d_{73} : 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)



軸(中実円柱)

外輪(同心円筒)

しまり嵌め荷重による支圧応力の解析モデル

(iii) 支圧応力(一次+二次応力)

評価位置③及び⑦の自重、固縛荷重及びしまり嵌めによる支圧応力を加えた支圧応力 S_3 及び S_7 は次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned}
 S_3 &= \text{MAX}[\sigma_{31}, \sigma_{32}] + P_3 \\
 S_7 &= \text{MAX}[\sigma_{71}, \sigma_{72}] + P_7
 \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

3.2.3 計算結果

応力計算結果を第3-1表に示す。第3-1表に示すように、発生する応力は許容応力値以下である。

第3-1表 トラニオンの応力評価（貯蔵時）

（単位：MPa）

部 位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
上部トラニオン 段付き部	①	せん断応力（一次応力）	—	—
		曲げ応力（一次応力）	—	—
		組合せ応力（一次応力）	—	—
		せん断応力（一次＋二次応力）	29	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	44	1182
	②	せん断応力（一次応力）	—	—
		曲げ応力（一次応力）	—	—
		組合せ応力（一次応力）	—	—
		せん断応力（一次＋二次応力）	9	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	48	1182
上部トラニオン 接続部	③	支圧応力（一次応力）	—	—
		支圧応力（一次＋二次応力）	75	343 ^(注1)
下部トラニオン 段付き部	⑤	せん断応力（一次応力）	12	227
		曲げ応力（一次応力）	23	394
		組合せ応力（一次応力）	31	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	23	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	44	1182
	⑥	せん断応力（一次応力）	8	227
		曲げ応力（一次応力）	42	394
		組合せ応力（一次応力）	45	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	14	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	83	1182
下部トラニオン 接続部	⑦	支圧応力（一次応力）	30	228 ^(注1)
		支圧応力（一次＋二次応力）	100	343 ^(注1)

（注1）トラニオン接続部（胴側）の方が許容応力は小さいため、トラニオン接続部（胴側）の評価基準値を示す。

3.3 吊上げ時

3.3.1 荷重条件

吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。

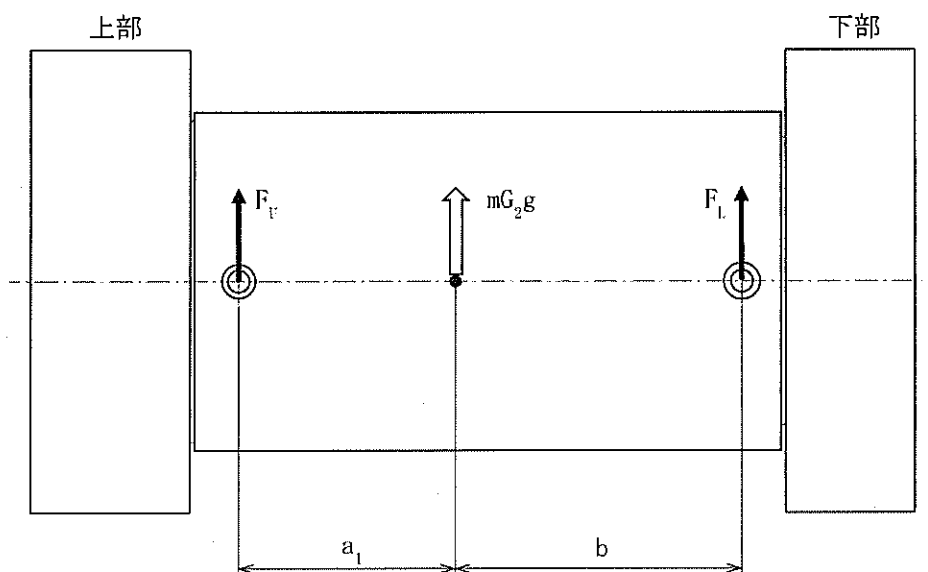
- ・吊上げ荷重（自重を含む。）
- ・熱荷重

3.3.2 計算方法

(1) トラニオン段付き部

(a) 一次応力

吊上げ時において、MSF-24P(S)型の吊上げ荷重は、上部トラニオン及び下部トラニオンに作用する。(第3-2図参照)



第3-2図 トラニオンに作用する荷重（吊上げ時）

(i) せん断応力

①上部トラニオン

吊上げ荷重により評価位置①に発生するせん断応力(τ_U)は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \tau_U &= \frac{F_U}{A_1} \\ F_U &= \frac{b}{2(a_1+b)} m G_2 g \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

ここで、

- F_U : 上部トラニオンに作用する荷重 (N)
- A_1 : 3.2.2 (1) (b) (i) と同じ
- m : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ
- G_2 : 鉛直方向加速度係数 (吊上げ時) (=1.3)
- g : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ
- 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)
- b : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ

また、評価位置②に発生するせん断応力(τ_U)は、(3.14)式で計算される。ただし、(3.14)式の A_1 を A_2 とする。

ここで、

- A_2 : 3.2.2 (1) (b) (i) と同じ

②下部トラニオン

吊上げ荷重により評価位置④に発生するせん断応力(τ_L)は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \tau_L &= \frac{F_L}{A_4} \\ F_L &= \frac{a_1}{2(a_1+b)} m G_2 g \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

ここで、

- F_L : 下部トラニオンに作用する荷重 (N)
- A_4 : 評価位置④の断面積 (= mm²)
評価位置④の内径は mm であるが、保守的に近傍の内径 mm として評価する。
- m : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ
- G_2 : 3.3.2 (1) (a) (i) と同じ
- g : 3.2.2 (1) (a) (i) と同じ

- a_1 : 3. 3. 2 (1) (a) (i) と同じ
 b : 3. 2. 2 (1) (a) (i) と同じ

また、評価位置⑤及び⑥に発生するせん断応力 (τ_1) は、(3. 15)式で計算される。ただし、(3. 15)式の A_1 を A_5 又は A_6 とする。

ここで、

- A_5 : 3. 2. 2 (1) (a) (i) と同じ
 A_6 : 3. 2. 2 (1) (a) (i) と同じ

(ii) 曲げ応力

①上部トラニオン

吊上げ荷重により評価位置①に発生する曲げ応力 (σ_{bU}) は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bU} &= \frac{M_U}{Z_1} \\ M_U &= F_U \cdot L_{12} \end{aligned} \right\} \quad (3. 16)$$

ここで、

- M_U : 上部トラニオンの曲げモーメント (N・mm)
 F_U : 3. 3. 2 (1) (a) (i) と同じ
 Z_1 : 3. 2. 2 (1) (b) (ii) と同じ
 L_{12} : 評価位置①と荷重作用位置との距離 (=40 mm)

また、評価位置②に発生する上部トラニオンの曲げ応力 (σ_{bU}) は、(3. 16)式で計算される。ただし、(3. 16)式の Z_1 及び L_{12} を Z_2 及び L_{22} とする。

ここで、

- Z_2 : 3. 2. 2 (1) (b) (ii) と同じ
 L_{22} : 評価位置②と荷重作用位置との距離 (=250 mm)

②下部トラニオン

吊上げ荷重により評価位置④に発生する下部トラニオンの曲げ応力 (σ_{bL}) は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bL} &= \frac{M_L}{Z_4} \\ M_L &= F_L \cdot L_{12} \end{aligned} \right\} \quad (3. 17)$$

ここで、

- M_L : 下部トラニオンの曲げモーメント (N・mm)

F_L : 3.3.2 (1) (a) (i)と同じ

Z_1 : 評価位置④の断面係数 (= \square mm³)

評価位置④の内径は \square mm であるが、保守的に近傍の内径 \square mm として評価する。

L_{12} : 評価位置④と荷重作用位置との距離 (=40 mm)

また、評価位置⑤及び⑥に発生する曲げ応力(σ_{bU})は、(3.17)式で計算される。ただし、(3.17)式の Z_1 及び L_{12} を Z_5 又は Z_6 及び L_{52} 又は L_{62} とする。

ここで、

Z_5 : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ

Z_6 : 3.2.2 (1) (a) (ii)と同じ

L_{52} : 評価位置⑤と荷重作用位置との距離 (=130 mm)

L_{62} : 評価位置⑥と荷重作用位置との距離 (=340 mm)

(iii) 組合せ応力

せん断応力(τ_U 及び τ_L)と曲げ応力(σ_{bU} 及び σ_{bL})との組合せ応力(σ_{TU} 及び σ_{TL})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{TU} &= \sqrt{\sigma_{bU}^2 + 3\tau_U^2} \\ \sigma_{TL} &= \sqrt{\sigma_{bL}^2 + 3\tau_L^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

(b) 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、3.3.2(1) (a)と同じである。

(2) トラニオン接続部

(a) 一次応力

吊上げ時において、吊上げ荷重は、上部トラニオン及び下部トラニオンに作用する。(第3-2図参照) 支圧応力が発生する箇所は第2-1図に示す上部トラニオンの評価位置③及び第2-2図に示す下部トラニオンの評価位置⑦である。

① 上部トラニオン

吊上げ荷重により評価位置③に発生する支圧応力(σ_{31} 及び σ_{32})は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{31} &= R_{31} / (d_3 \cdot L_3 / 2) \\ \sigma_{32} &= R_{32} / (d_3 \cdot L_3 / 2) \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} R_{31} &= \frac{F_U L_{22} + \mu F_U (d_3/2) + F_U L_3}{\mu d_3 + L_3} \\ R_{32} &= \frac{F_U L_{22} - \mu F_U (d_3/2)}{\mu d_3 + L_3} \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

R_{31} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)

R_{32} : 上部トラニオンに作用する反力 (N)

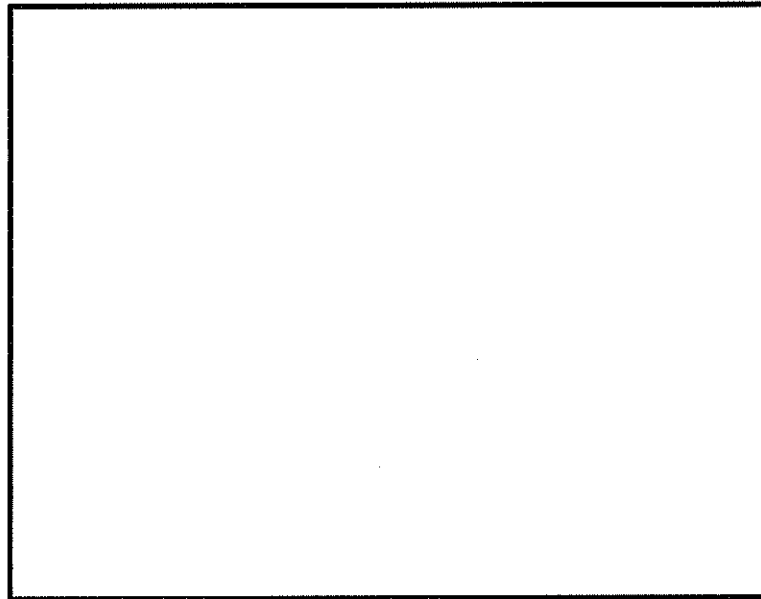
F_U : 3.3.2(1)(a)(i)と同じ

L_{22} : 0点から荷重作用点までの距離 (3.3.2(1)(a)(ii)と同じ)

L_3 : 0点から反力 R_{32} の作用点までの距離 (3.2.2(2)(b)(i)と同じ)

μ : 摩擦係数 (3.2.2(2)(a)と同じ)

d_3 : 上部トラニオン嵌め込み部の外径 (3.2.2(2)(b)(i)と同じ)



上部トラニオン接触部の解析モデル

②下部トラニオン

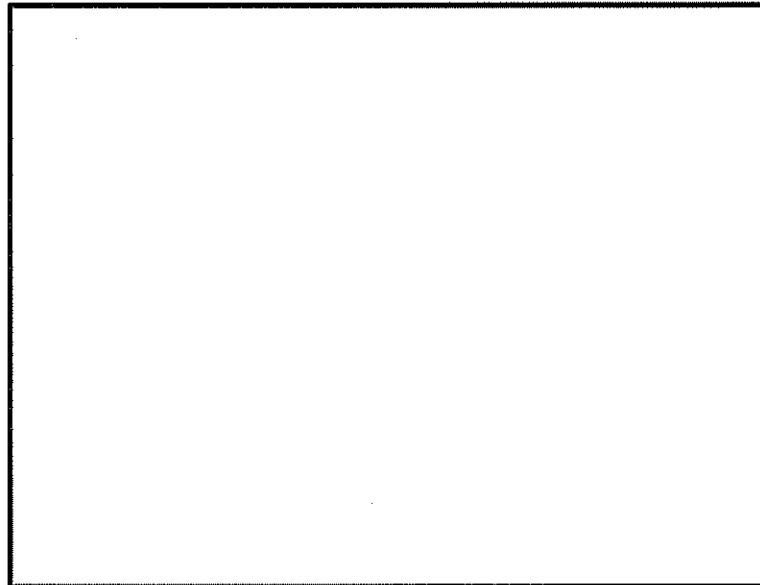
吊上げ荷重により評価位置⑦の下部トラニオンに発生する支圧応力 (σ_{71} 及び σ_{72}) は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{71} &= R_{71} / (d_7 \cdot L_7 / 2) \\ \sigma_{72} &= R_{72} / (d_7 \cdot L_7 / 2) \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} R_{71} &= \frac{F_L L_{62} + \mu F_L (d_7/2) + F_L L_7}{\mu d_7 + L_7} \\ R_{72} &= \frac{F_L L_{62} - \mu F_L (d_7/2)}{\mu d_7 + L_7} \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

- R_{71} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)
- R_{72} : 下部トラニオンに作用する反力 (N)
- F_L : 3.3.2 (1) (a) (i)と同じ
- L_{62} : 0点から荷重作用点までの距離 (3.3.2(1) (a) (ii)と同じ)
- L_7 : 0点から反力 R_{72} の作用点までの距離 (3.2.2(2) (a)と同じ)
- μ : 摩擦係数 (3.2.2(2) (a)と同じ)
- d_7 : 嵌め込み部の外径 (3.2.2(2) (a)と同じ)



下部トラニオン接続部の解析モデル

(b) 二次応力

評価位置③及び⑦のしまり嵌めによる支圧応力 (P_3 及び P_7) は、3.2.2(2) (b) (ii)で計算される値と同じである。

(c) 一次+二次応力

評価位置③及び⑦の吊上げ荷重及びしまり嵌めによる支圧応力を加えた支圧応力 S_3 及び S_7 は次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} S_3 &= \text{MAX}[\sigma_{31}, \sigma_{32}] + P_3 \\ S_7 &= \text{MAX}[\sigma_{71}, \sigma_{72}] + P_7 \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

3.3.3 計算結果

応力計算結果を第3-2表に示す。第3-2表に示すとおり、発生する応力は、許容応力値以下である。

第3-2表 トラニオンの応力評価（吊上げ時）

(単位：MPa)

部 位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
上部トラニオン 段付き部	①	せん断応力（一次応力）	48	227
		曲げ応力（一次応力）	82	394
		組合せ応力（一次応力）	117	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	48	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	82	1182
	②	せん断応力（一次応力）	14	227
		曲げ応力（一次応力）	80	394
		組合せ応力（一次応力）	84	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	14	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	80	1182
上部トラニオン 接続部	③	支圧応力（一次応力）	49	228 ^(注1)
		支圧応力（一次＋二次応力）	94	343 ^(注1)
下部トラニオン 段付き部	④	せん断応力（一次応力）	36	227
		曲げ応力（一次応力）	62	394
		組合せ応力（一次応力）	88	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	36	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	62	1182
	⑤	せん断応力（一次応力）	14	227
		曲げ応力（一次応力）	63	394
		組合せ応力（一次応力）	68	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	14	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	63	1182
	⑥	せん断応力（一次応力）	9	227
		曲げ応力（一次応力）	64	394
		組合せ応力（一次応力）	66	394
		せん断応力（一次＋二次応力）	9	682
		曲げ応力（一次＋二次応力）	64	1182
下部トラニオン 接続部	⑦	支圧応力（一次応力）	41	228 ^(注1)
		支圧応力（一次＋二次応力）	84	343 ^(注1)

(注1) トラニオン接続部（胴側）の方が許容応力は小さいため、トラニオン接続部（胴側）の評価基準値を示す。

3.4 疲労評価

金属キャスク構造規格 MCD-3313 に従って疲労解析を行う。

3.4.1 疲労評価において考慮する事象

疲労解析で考慮する事象は、以下とする。また、疲労評価における繰り返し回数は添付書類 5-3-2-1 「密封容器の強度計算方法」と同様とする。

- ①燃料装荷及び燃料取出し時：10 回
- ②吊上げ時（吊上げ荷重）：200 回
- ③貯蔵時（自重及び固縛荷重）：10 回
- ④貯蔵時（貯蔵期間における崩壊熱の低下）：10 回

3.4.2 ピーク応力強さの算出

(1) トラニオン段付き部

繰り返しピーク応力強さは、次式（「ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII Division 3(以下「ASME」という。）」に示される繰り返しピーク応力強さの算出式）より計算される。

$$S_a = \frac{SK_t K_r \frac{E_0}{E_t}}{2} \quad (3.24)$$

ここで、

- S_a : 繰り返しピーク応力強さ (MPa)
- S : 応力強さの変動 (MPa)
- K_t : 応力集中係数（「西田正孝, 応力集中 増補版」より）
- K_r : 表面粗さ係数（-）（=1.24）（ASME Figure KD-320.6M(a)より）
- E_0 : 設計疲労線図の基本縦弾性係数 (MPa)（ASME Figure KD-320.4Mより）
- E_t : 解析に用いる縦弾性係数 (MPa)

（添付書類 5-3-2-3 「トラニオンの強度計算方法」の「第 5-2 表 応力計算に使用する材料の物性値」に示す縦弾性係数と「第 6-1 表 許容応力値を定める温度」の上部トラニオン及び下部トラニオンの温度から求められる値）

また、トラニオン段付き部の応力強さの変動(S)は、以下のとおり計算される。

(a) 燃料装荷及び取出しによる応力強さの変動

トラニオン段付き部に熱荷重による応力は生じないため、燃料装荷及び取出し時にトラニオン段付き部の応力は変動しない。

(b) 吊上げ時（吊上げ荷重）による応力強さの変動

吊上げ荷重による応力強さの変動は、第3-2表の上部トラニオン段付き部及び下部トラニオン段付き部示す値より次式で計算される。

$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \quad (3.25)$$

ここで、

σ_b : 第3-2表に示す曲げ応力（一次＋二次）

τ : 第3-2表に示すせん断応力（一次＋二次）

(c) 貯蔵時（自重及び固縛荷重）による応力強さの変動

自重及び固縛荷重による応力強さの変動は、第3-1表の上部トラニオン段付き部及び下部トラニオン段付き部に示す値より(3.25)式で計算される。

ここで、

σ_b : 第3-1表に示す曲げ応力（一次＋二次）

τ : 第3-1表に示すせん断応力（一次＋二次）

(d) 貯蔵時（貯蔵期間における崩壊熱の低下）による応力強さの変動

トラニオン段付き部に熱荷重による応力は生じないため、崩壊熱低下時にトラニオン段付き部の応力は変動しない。

(2) トラニオン接続部

繰返しピーク応力強さは、次式より計算される。ここで、繰返しピーク応力強さ(S_a)は、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_0)と解析に用いる縦弾性係数(E_t)の比を考慮し補正する。

$$S_a = \frac{SK_t \frac{E_0}{E_t}}{2} \quad (3.26)$$

ここで、

S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力強さの変動 (MPa)

K_t : 応力集中係数 (=4.0) (金属キャスク構造規格 表 MCD-1331-1 による)

E_0 : 設計疲労線図の基本縦弾性係数 (MPa) (金属キャスク構造規格 別図 8-1 より)

E_t : 解析に用いる縦弾性係数 (MPa)

(添付書類 5-3-2-3 「トラニオンの強度計算方法」の「第5-2表 応力計算に使用する材料の物性値」に示す縦弾性係数と「第6-1表 許容応力値を定める温度」の上部トラニオン及び下部トラニオンの温度から求められる値)

また、トラニオン接続部の応力強さの変動(S)は、以下のとおり計算される。

(a) 燃料装荷及び取出しによる応力強さの変動

燃料装荷及び取出しの温度変化によるトラニオン接続部のしめ代(直径差) (δ_{3i} 及び δ_{7i})は、次式により計算される。

$$\left. \begin{aligned} \delta_{3i} &= d_{32} \times \alpha_{3i} \times (T_{2i} - T_0) - d_{31} \times \alpha_{1i} \times (T_{1i} - T_0) \\ \delta_{7i} &= d_{72} \times \alpha_{2i} \times (T_{2i} - T_0) - d_{71} \times \alpha_{1i} \times (T_{1i} - T_0) \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

ここで、

- d_{32} : 上部トラニオン接続部(胴側)の穴径(=270mm)
- d_{31} : 上部トラニオン接続部(トラニオン側)の外径(= mm)
- d_{72} : 下部トラニオン接続部(胴側)の穴径(=290mm)
- d_{71} : 下部トラニオン接続部(トラニオン側)の外径(= mm)
- α_{2i} : トラニオン接続部(胴側)の熱膨張率(温度 T_{2i}) ($1/^\circ\text{C}$)
- α_{1i} : トラニオンの熱膨張率(温度 T_{1i}) ($1/^\circ\text{C}$)
- T_{2i} : トラニオン接続部(胴側)の温度($i=I$; $^\circ\text{C}$, $i=0$; 20°C)
- T_{1i} : トラニオンの温度($i=I$; $^\circ\text{C}$, $i=0$; 20°C)
- T_0 : 初期温度(= 20°C)
- i : 添え字(燃料装荷時; $i=I$, 燃料取出し時; $i=0$)

しめ代(直径差)変化による応力強さの変動は、次式より計算される。

$$\left. \begin{aligned} P_{3i} &= \frac{\alpha_{3i}}{\left(\frac{1-\nu}{E_i} + \frac{1+\nu}{E_i'}\right) + \frac{2}{E_i'} \frac{d_{32}^2}{d_{33}^2 - d_{32}^2}} \\ P_{7i} &= \frac{\alpha_{7i}}{\left(\frac{1-\nu}{E_i} + \frac{1+\nu}{E_i'}\right) + \frac{2}{E_i'} \frac{d_{72}^2}{d_{73}^2 - d_{72}^2}} \\ S_3 &= P_{3I} - P_{30} \\ S_7 &= P_{7I} - P_{70} \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

ここで、

- P_{3i} : 上部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力(MPa)
- P_{7i} : 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(=0.3)
- α_{3i} : 上部トラニオンのしまり嵌め比(= δ_{3i}/d_{32})
- α_{7i} : 下部トラニオンのしまり嵌め比(= δ_{7i}/d_{72})
- δ_{3i} : 上部トラニオン接続部のしめ代(直径差) (mm)

- δ_{7i} : 下部トラニオン接続部のしめ代 (直径差) (mm)
- d_{32} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{33} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{72} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{73} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- E_i : トラニオンの縦弾性係数 (MPa)
- E_i' : 胴の縦弾性係数 (MPa)
- i : 添え字 (燃料装荷時 ; $i=I$, 燃料取出し時 ; $i=0$)

(b) 吊上げ時 (吊上げ荷重) による応力強さの変動

吊上げ荷重による応力強さの変動は、第3-2表の上部トラニオン接続部 支圧応力 (一次応力) 及び下部トラニオン接続部 支圧応力 (一次応力) に示す値と同じである。

(c) 貯蔵時 (自重及び固縛荷重) による応力強さの変動

自重及び固縛荷重による応力強さの変動は、3.2.2(2) (b) (i) で計算される値である。

(d) 貯蔵時 (貯蔵期間における崩壊熱の低下) による応力強さの変動

貯蔵期間中の燃料の崩壊熱の低下による温度変化に対してトラニオン接続部のしめ代 (直径差) (δ_{3i} 及び δ_{7i}) は、(3.27) 式より計算される。なお、崩壊熱低下時は、使用済燃料の崩壊熱が無い状態とし、トラニオン及びトラニオン接続部 (胴側) の温度は20°Cとする。

ただし、下記に示す記号については、以下のとおりとする。

- T_{2i} : トラニオン接続部 (胴側) の温度 ($i=B$; \square °C, $i=E$; 20°C)
- T_{1i} : トラニオンの温度 ($i=B$; \square °C, $i=E$; 20°C)
- T_0 : 初期温度 (=20°C)
- i : 添え字 (貯蔵初期時 ; $i=B$, 崩壊熱低下時 ; $i=E$)

しめ代 (直径差) 変化による応力強さの変動は、次式より計算される。

$$\left. \begin{aligned} P_{3i} &= \frac{\alpha_{3i}}{\left(\frac{1-\nu}{E_i} + \frac{1+\nu}{E_i'}\right) + \frac{2}{E_i'} \frac{d_{32}^2}{d_{33}^2 - d_{32}^2}} \\ P_{7i} &= \frac{\alpha_{7i}}{\left(\frac{1-\nu}{E_i} + \frac{1+\nu}{E_i'}\right) + \frac{2}{E_i'} \frac{d_{72}^2}{d_{73}^2 - d_{72}^2}} \\ S_3 &= P_{3B} - P_{3E} \\ S_7 &= P_{7B} - P_{7E} \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

ここで、

- P_{3i} : 上部トラニオンのしまり嵌めによる支圧応力 (MPa)
- P_{7i} : 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 (=0.3)
- α_{3i} : 上部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_{3i}/d_{32})
- α_{7i} : 下部トラニオンのしまり嵌め比 (= δ_{7i}/d_{72})
- δ_{3i} : 上部トラニオン接続部のしめ代 (直径差) (mm)
- δ_{7i} : 下部トラニオン接続部のしめ代 (直径差) (mm)
- d_{32} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{33} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{72} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- d_{73} : 3.2.2 (2) (b) (ii) と同じ
- E_i : トラニオンの縦弾性係数 (MPa)
- E_i' : 胴の縦弾性係数 (MPa)
- i : 添え字 (貯蔵初期時 ; $i=B$, 崩壊熱低下時 ; $i=E$)

3.4.3 疲労計算結果

金属キャスク構造規格 別図8-1及びASMEより、繰返しピーク応力強さ(S_a)に対する許容繰返し回数(N_a)を求める。疲労累積係数(U_f)は、金属キャスク構造規格 MCD-3313より以下式で計算される。

$$U_f = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)} \quad (3.30)$$

ここで、

- N_c : 実際の繰返し回数 (—)
- N_a : 許容繰返し回数 (—)
- i : 応力サイクルの型式 (—)
- k : 応力サイクルの型式の総数 (—)

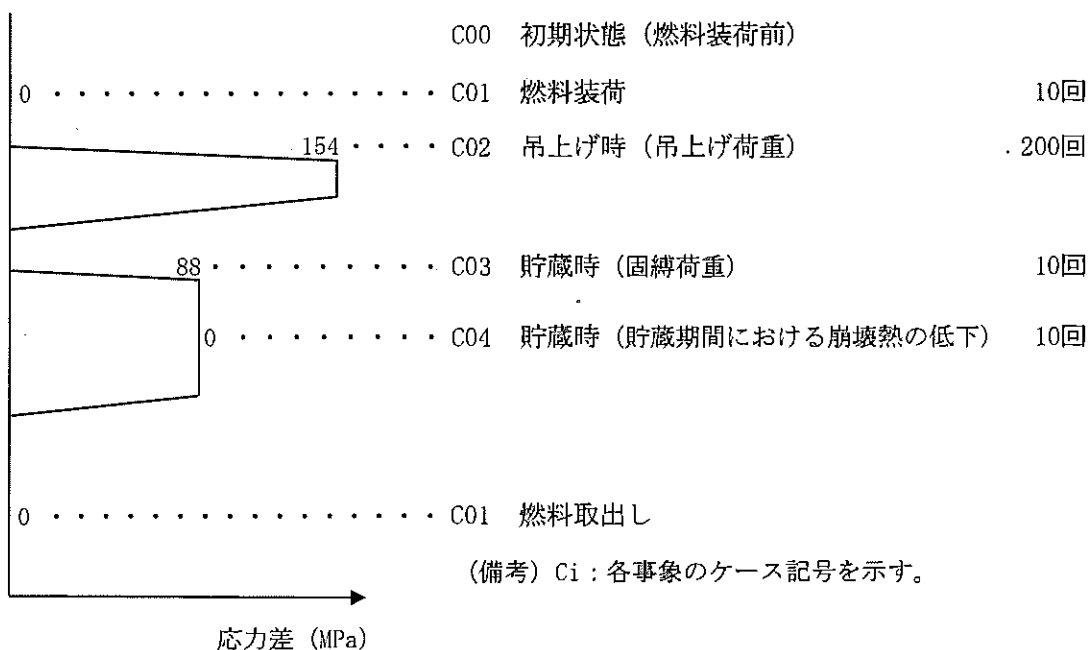
各サイクルの繰返し回数(N_c)と許容繰返し回数(N_a)との比は第3-3表から第3-6表に示すとおりとなり、疲労累積係数(U_f)は1.0以下であり、金属キャスク構造規格 MCD-3313の規定を満足する。

第3-3表 疲労解析結果（上部トラニオン段付き部）

i	S (MPa)	S _a (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	0	0	—	10	—
2	117	154	10 ⁷	200	0.0001
3	67	88	10 ⁷	10	0.0001
4	0	0	—	10	—

疲労累積係数 U_f=0.0002

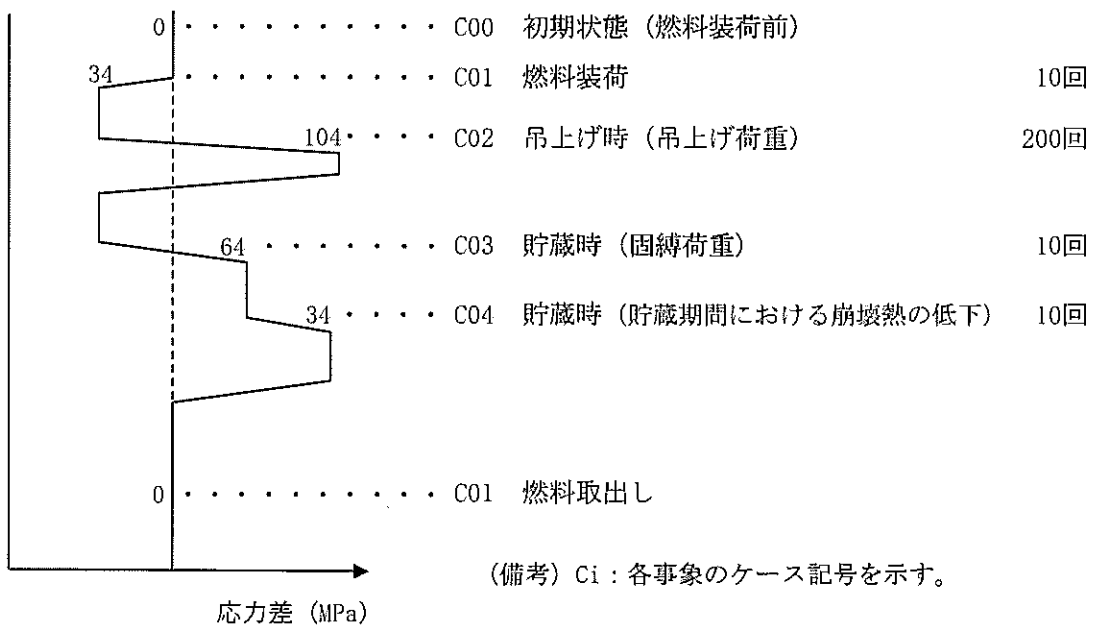
以下に、各事象における応力差の変動概念図を示す。



第3-4表 疲労解析結果（上部トラニオン接続部）

i	S (MPa)	S _a (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	16	34	10 ⁶	10	0.0001
2	49	104	302322	200	0.0007
3	30	64	10 ⁶	10	0.0001
4	16	34	10 ⁶	10	0.0001
疲労累積係数 U _f =0.0010					

以下に、各事象における応力差の変動概念図を示す。

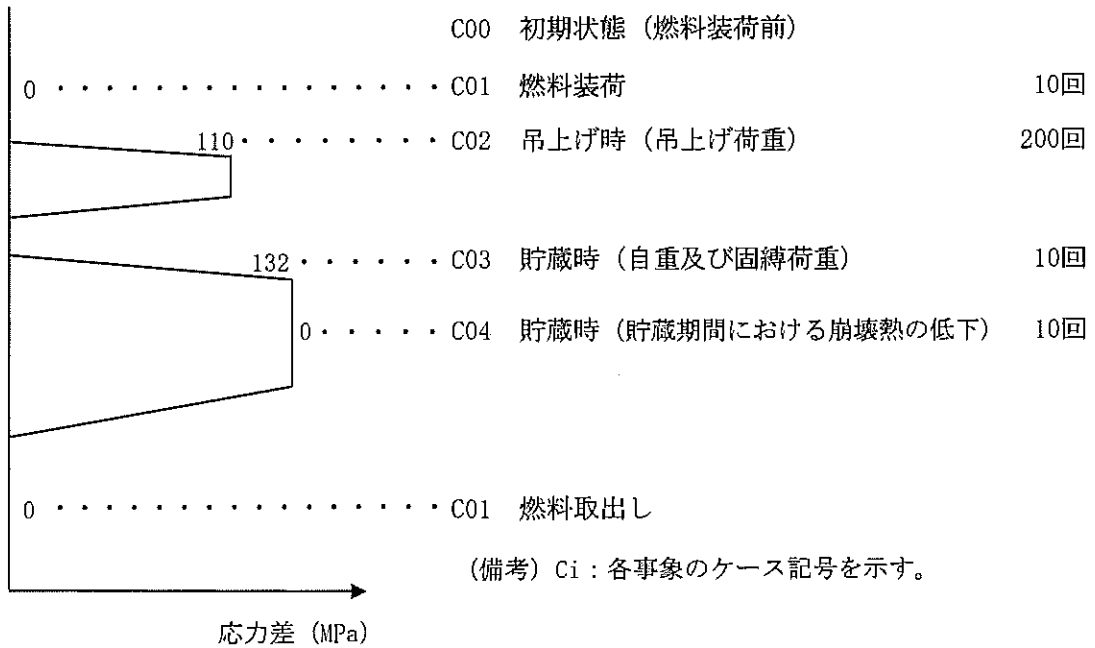


第3-5表 疲労解析結果（下部トラニオン段付き部）

i	S (MPa)	S _a (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	0	0	—	10	—
2	88	110	10 ⁷	200	0.0001
3	87	132	10 ⁷	10	0.0001
4	0	0	—	10	—

疲労累積係数 U_f=0.0002

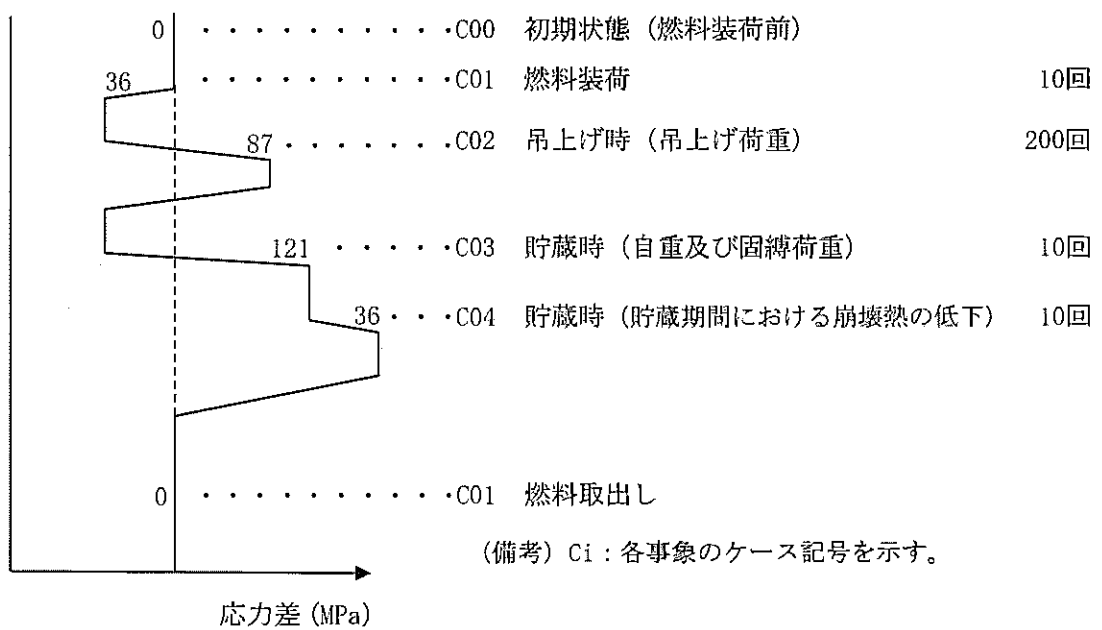
以下に、各事象における応力差の変動概念図を示す。



第 3-6 表 疲労解析結果（下部トラニオン接続部）

i	S (MPa)	S _a (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	17	36	10 ⁶	10	0.0001
2	41	87	902664	200	0.0003
3	57	121	161114	10	0.0001
4	17	36	10 ⁶	10	0.0001
疲労累積係数 U _f =0.0006					

以下に、各事象における応力差の変動概念図を示す。



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

目 次

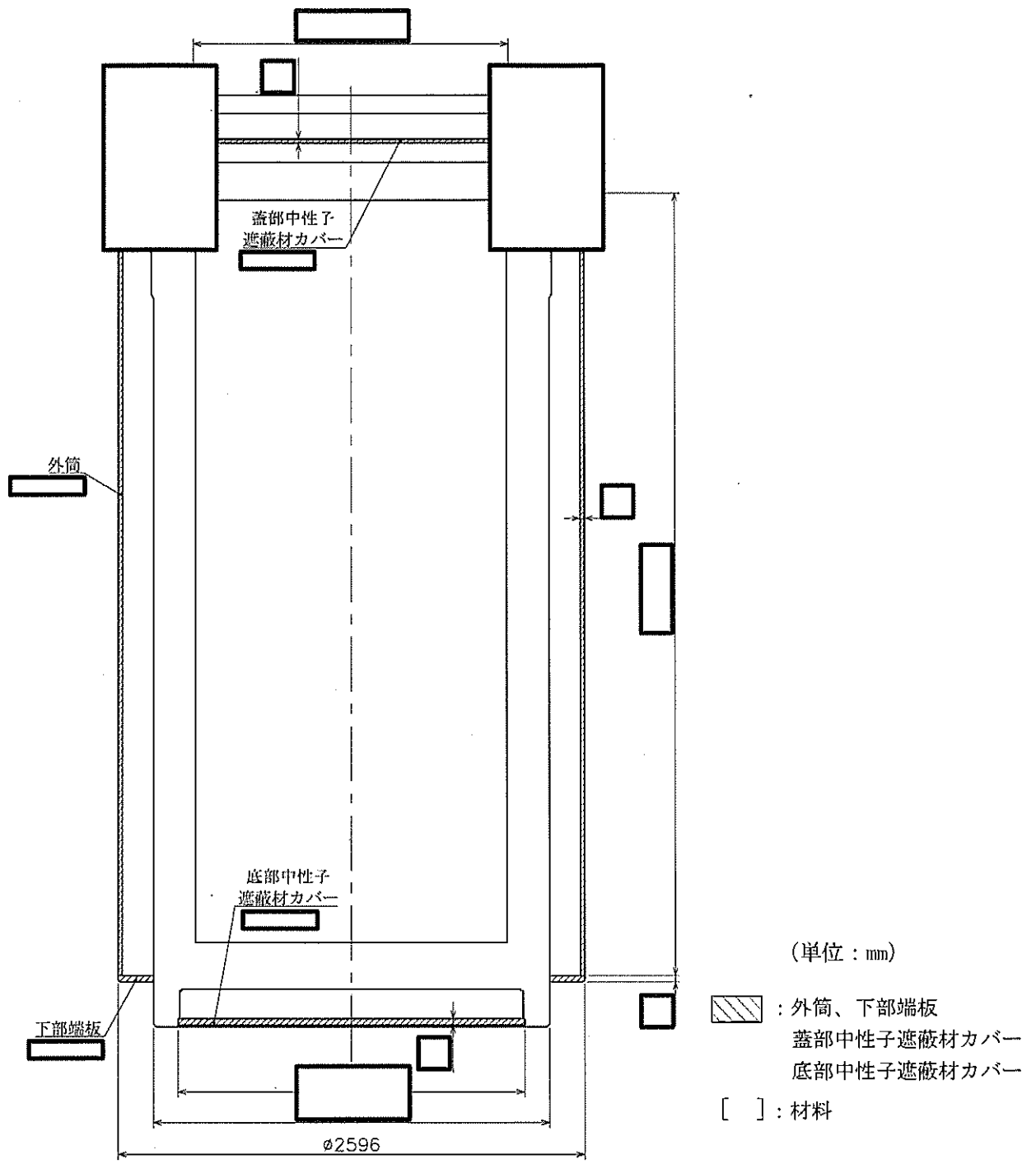
1. 概要.....	1
2. 形状・寸法・材料.....	1
3. 応力計算.....	3
3.1 応力評価位置.....	3
3.2 貯蔵時.....	5
3.3 吊上げ時.....	10

1. 概要

本資料は、資料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」に基づき、MSF-24P(S)型の外筒、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が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. 形状・寸法・材料

本資料で解析する外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの形状・寸法・材料を第2-1図に示す。

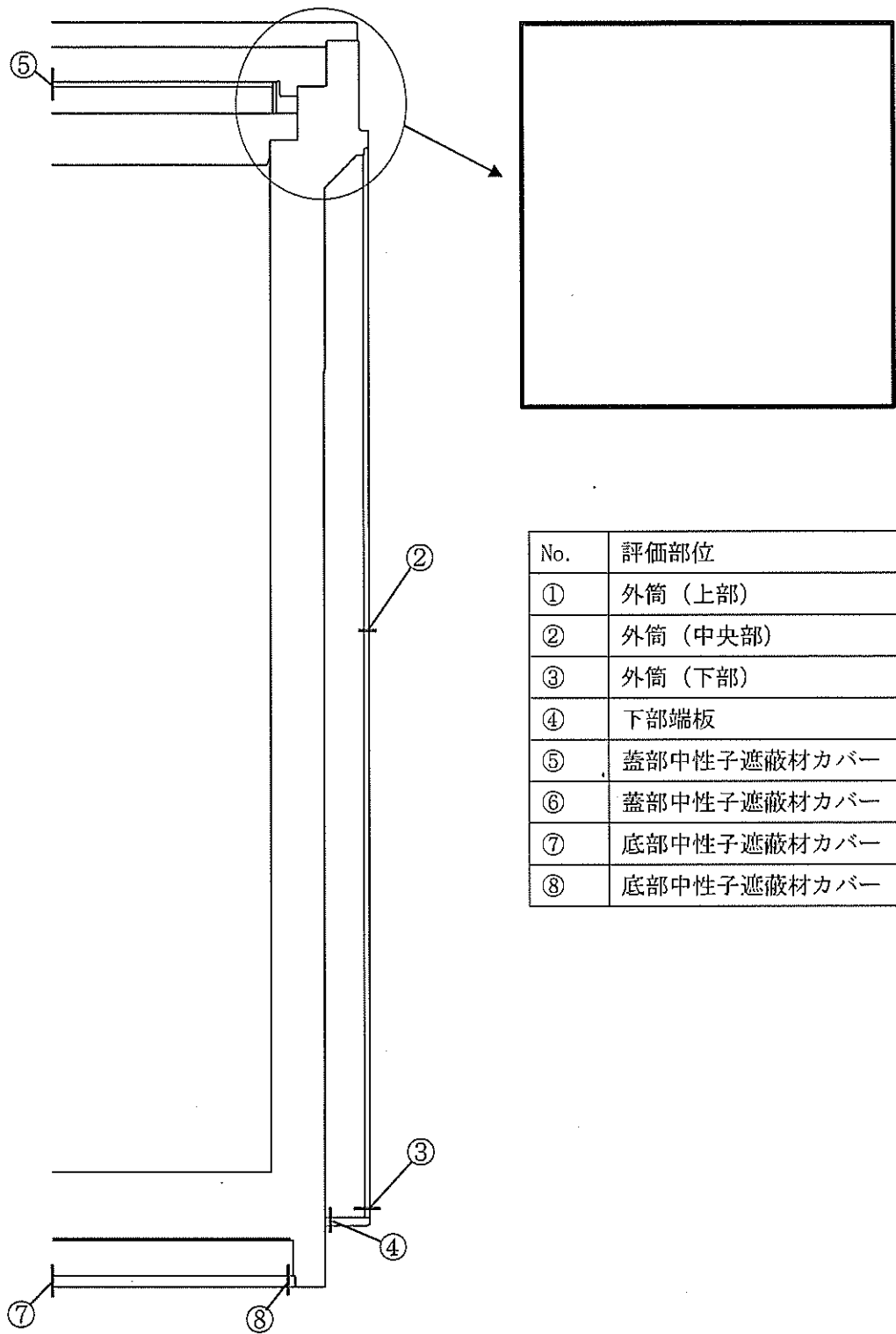


第2-1図 外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの形状・寸法・材料

3. 応力計算

3.1 応力評価位置

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位置を第3-1図に示す。



No.	評価部位
①	外筒（上部）
②	外筒（中央部）
③	外筒（下部）
④	下部端板
⑤	蓋部中性子遮蔽材カバー（中央部）
⑥	蓋部中性子遮蔽材カバー（端部）
⑦	底部中性子遮蔽材カバー（中央部）
⑧	底部中性子遮蔽材カバー（端部）

第3-1図 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位置

3.2 貯蔵時

3.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は、添付書類 5-3-3-1 「密封容器の強度計算書」の3.3.1と同じである。

3.2.2 計算方法

応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。計算方法は、添付書類 5-3-3-1 「密封容器の強度計算書」の3.3.2と同じである。

3.2.3 応力計算結果

応力計算結果を第3-1表から第3-4表に示す。第3-1表から第3-4表に示すとおり、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に発生する応力は、許容応力値以下である。

第 3-1 表 外筒の応力評価 (貯蔵時)

(単位 : MPa)

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
外筒 (上部)	①	引張応力 (一次応力)	18	156
	①	圧縮応力 (一次応力)	2	156
	①	せん断応力 (一次応力)	13	90
	①	曲げ応力 (一次応力)	60	156
	①	組合せ応力 (一次応力)	25	156
	①	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	76	468
	①	せん断応力 (一次+二次応力)	24	270
	①	曲げ応力 (一次+二次応力)	51	468
外筒 (中央部)	②	引張応力 (一次応力)	36	156
	②	圧縮応力 (一次応力)	1	156
	②	せん断応力 (一次応力)	1	90
	②	曲げ応力 (一次応力)	4	156
	②	組合せ応力 (一次応力)	33	156
	②	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	43	468
	②	せん断応力 (一次+二次応力)	3	270
	②	曲げ応力 (一次+二次応力)	5	468
外筒 (下部)	③	引張応力 (一次応力)	10	156
	③	圧縮応力 (一次応力)	3	156
	③	せん断応力 (一次応力)	13	90
	③	曲げ応力 (一次応力)	60	156
	③	組合せ応力 (一次応力)	26	156
	③	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	92	468
	③	せん断応力 (一次+二次応力)	24	270
	③	曲げ応力 (一次+二次応力)	111	468

第 3-2 表 下部端板の応力評価（貯蔵時）

（単位：MPa）

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
下部端板	④	引張応力（一次応力）	4	136
	④	圧縮応力（一次応力）	2	136
	④	せん断応力（一次応力）	5	78
	④	曲げ応力（一次応力）	20	136
	④	組合せ応力（一次応力）	10	136
	④	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	53	410
	④	せん断応力（一次＋二次応力）	26	236
	④	曲げ応力（一次＋二次応力）	117	410

第 3-3 表 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価 (貯蔵時)

(単位 : MPa)

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
蓋部中性子 遮蔽材 カバー (中央部)	⑤	引張応力 (一次応力)	-	156
	⑤	圧縮応力 (一次応力)	1	156
	⑤	せん断応力 (一次応力)	1	90
	⑤	曲げ応力 (一次応力)	1	156
	⑤	組合せ応力 (一次応力)	1	156
	⑤	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	3	470
	⑤	せん断応力 (一次+二次応力)	1	271
	⑤	曲げ応力 (一次+二次応力)	2	470
蓋部中性子 遮蔽材 カバー (端部)	⑥	引張応力 (一次応力)	-	156
	⑥	圧縮応力 (一次応力)	1	156
	⑥	せん断応力 (一次応力)	1	90
	⑥	曲げ応力 (一次応力)	1	156
	⑥	組合せ応力 (一次応力)	1	156
	⑥	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	20	470
	⑥	せん断応力 (一次+二次応力)	6	271
	⑥	曲げ応力 (一次+二次応力)	18	470

第 3-4 表 底部中性子遮蔽材カバーの応力評価 (貯蔵時)

(単位：MPa)

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
底部中性子 遮蔽材 カバー (中央部)	⑦	引張応力 (一次応力)	3	136
	⑦	圧縮応力 (一次応力)	1	136
	⑦	せん断応力 (一次応力)	4	78
	⑦	曲げ応力 (一次応力)	10	136
	⑦	組合せ応力 (一次応力)	6	136
	⑦	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	41	410
	⑦	せん断応力 (一次+二次応力)	8	236
	⑦	曲げ応力 (一次+二次応力)	14	410
底部中性子 遮蔽材 カバー (端部)	⑧	引張応力 (一次応力)	5	136
	⑧	圧縮応力 (一次応力)	-	136
	⑧	せん断応力 (一次応力)	6	78
	⑧	曲げ応力 (一次応力)	39	136
	⑧	組合せ応力 (一次応力)	11	136
	⑧	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	46	410
	⑧	せん断応力 (一次+二次応力)	13	236
	⑧	曲げ応力 (一次+二次応力)	34	410

3.3 吊上げ時

3.3.1 荷重条件

吊上げ時における荷重は、添付書類 5-3-3-1 「密封容器の強度計算書」の3.4.1と同じである。

3.3.2 計算方法

応力計算は、解析コードABAQUSにより行う。計算方法は、添付書類 5-3-3-1 「密封容器の強度計算書」の3.4.2と同じである。

3.3.3 応力計算結果

応力計算結果を第3-5表から第3-8表に示す。第3-5表から第3-8表に示すとおり、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に発生する応力は、許容応力値以下である。

第3-5表 外筒の応力評価（吊上げ時）

（単位：MPa）

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
外筒 (上部)	①	引張応力（一次応力）	18	156
	①	圧縮応力（一次応力）	-	156
	①	せん断応力（一次応力）	13	90
	①	曲げ応力（一次応力）	60	156
	①	組合せ応力（一次応力）	25	156
	①	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	58	468
	①	せん断応力（一次＋二次応力）	9	270
	①	曲げ応力（一次＋二次応力）	35	468
外筒 (中央部)	②	引張応力（一次応力）	36	156
	②	圧縮応力（一次応力）	1	156
	②	せん断応力（一次応力）	1	90
	②	曲げ応力（一次応力）	4	156
	②	組合せ応力（一次応力）	33	156
	②	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	40	468
	②	せん断応力（一次＋二次応力）	2	270
	②	曲げ応力（一次＋二次応力）	5	468
外筒 (下部)	③	引張応力（一次応力）	10	156
	③	圧縮応力（一次応力）	3	156
	③	せん断応力（一次応力）	13	90
	③	曲げ応力（一次応力）	60	156
	③	組合せ応力（一次応力）	26	156
	③	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	92	468
	③	せん断応力（一次＋二次応力）	24	270
	③	曲げ応力（一次＋二次応力）	112	468

第 3-6 表 下部端板の応力評価（吊上げ時）

（単位：MPa）

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
下部端板	④	引張応力（一次応力）	4	136
	④	圧縮応力（一次応力）	2	136
	④	せん断応力（一次応力）	5	78
	④	曲げ応力（一次応力）	19	136
	④	組合せ応力（一次応力）	10	136
	④	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	53	410
	④	せん断応力（一次＋二次応力）	26	236
	④	曲げ応力（一次＋二次応力）	119	410

第 3-7 表 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価 (吊上げ時)

(単位 : MPa)

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
蓋部中性子 遮蔽材 カバー (中央部)	⑤	引張応力 (一次応力)	-	156
	⑤	圧縮応力 (一次応力)	1	156
	⑤	せん断応力 (一次応力)	1	90
	⑤	曲げ応力 (一次応力)	1	156
	⑤	組合せ応力 (一次応力)	1	156
	⑤	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	3	470
	⑤	せん断応力 (一次+二次応力)	1	271
	⑤	曲げ応力 (一次+二次応力)	2	470
蓋部中性子 遮蔽材 カバー (端部)	⑥	引張応力 (一次応力)	-	156
	⑥	圧縮応力 (一次応力)	1	156
	⑥	せん断応力 (一次応力)	1	90
	⑥	曲げ応力 (一次応力)	1	156
	⑥	組合せ応力 (一次応力)	1	156
	⑥	引張/圧縮応力 (一次+二次応力)	14	470
	⑥	せん断応力 (一次+二次応力)	4	271
	⑥	曲げ応力 (一次+二次応力)	14	470

第 3-8 表 底部中性子遮蔽材カバーの応力評価（吊上げ時）

（単位：MPa）

部位	応力 評価位置	応力分類	計算値	許容 応力値
底部中性子 遮蔽材 カバー (中央部)	⑦	引張応力（一次応力）	3	136
	⑦	圧縮応力（一次応力）	1	136
	⑦	せん断応力（一次応力）	4	78
	⑦	曲げ応力（一次応力）	10	136
	⑦	組合せ応力（一次応力）	6	136
	⑦	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	40	410
	⑦	せん断応力（一次＋二次応力）	6	236
	⑦	曲げ応力（一次＋二次応力）	13	410
底部中性子 遮蔽材 カバー (端部)	⑧	引張応力（一次応力）	5	136
	⑧	圧縮応力（一次応力）	-	136
	⑧	せん断応力（一次応力）	6	78
	⑧	曲げ応力（一次応力）	39	136
	⑧	組合せ応力（一次応力）	11	136
	⑧	引張/圧縮応力（一次＋二次応力）	41	410
	⑧	せん断応力（一次＋二次応力）	11	236
	⑧	曲げ応力（一次＋二次応力）	32	410

添付書類 5 - 4 想定事象における特定兼用キャスクの
強度に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 想定事象及び代表事象の設定	2
2.1 想定事象	2
2.2 代表事象	4
3. 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針	6
3.1 適用基準	6
3.2 評価方針	7
4. 特定兼用キャスク本体及び蓋部の応力評価	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 応力評価方法	15
4.4 応力評価条件	23
5. バスケットの応力評価	24
5.1 基本方針	24
5.2 応力評価方法	26
5.3 応力評価条件	31
6. 応力評価結果	32

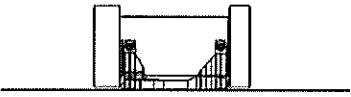
1. 概要

本資料は、型式指定申請書「本文」8.2(1)に示した貯蔵施設の想定事象において、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法で設置された特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足することを説明するものである。

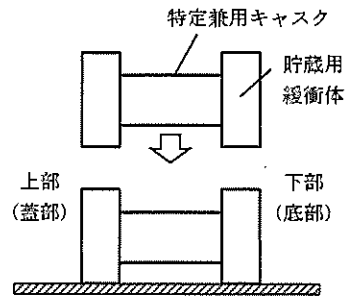
2. 想定事象及び代表事象の設定

2.1 想定事象

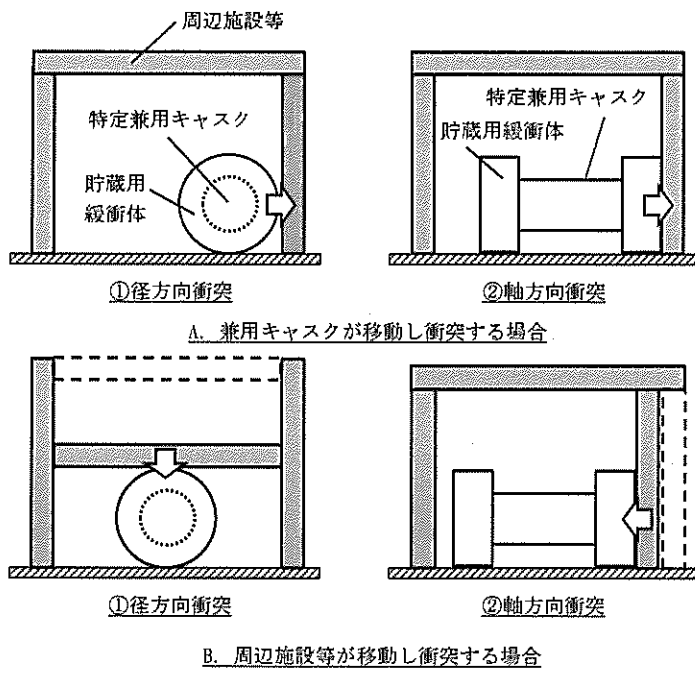
貯蔵施設内での貯蔵状態における想定事象を第2-1図に示す。

状態図	想定事象	
<p>・貯蔵状態</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・MSF-24P(S)型の水平落下 (以下、「水平落下」という。) ・MSF-24P(S)型と周辺施設等との 径方向又は軸方向衝突 (以下、「径方向衝突」又は「軸 方向衝突」という。) 	<p>第2-1図(2/2) の(1)</p> <p>第2-1図(2/2) の(2)</p>

第2-1図(1/2) 貯蔵状態における想定事象



(1) 水平落下



(2) 径方向衝突及び軸方向衝突

第 2-1 図 (2/2) 貯蔵状態における想定事象

2.2 代表事象

2.1 で示した想定事象のうち、荷重作用位置を考慮し、強度計算の評価対象とする事象（以下「代表事象」という。）を第 2-1 表に示す。また、各代表事象に対し、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態 D の許容基準を満足するための荷重条件を第 2-1 表に併せて示す。

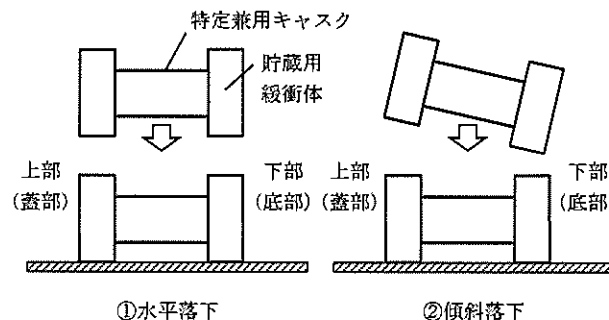
第 2-1 表 代表事象及び特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態 D の許容基準を満足するための荷重条件

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

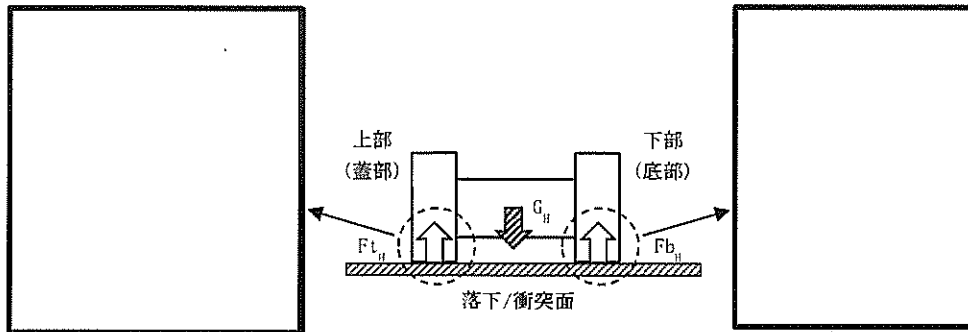
(注 1) 表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に次の衝撃加速度が生じた場合に上部 (蓋部) 又は下部 (底部) に作用する荷重である。

- ・ 水平落下 : 衝撃加速度 (G_H) 650m/s^2
- ・ 軸方向衝突 (上部側) : 衝撃加速度 (G_V) 600m/s^2
- ・ 軸方向衝突 (下部側) : 衝撃加速度 (G_V) 600m/s^2

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

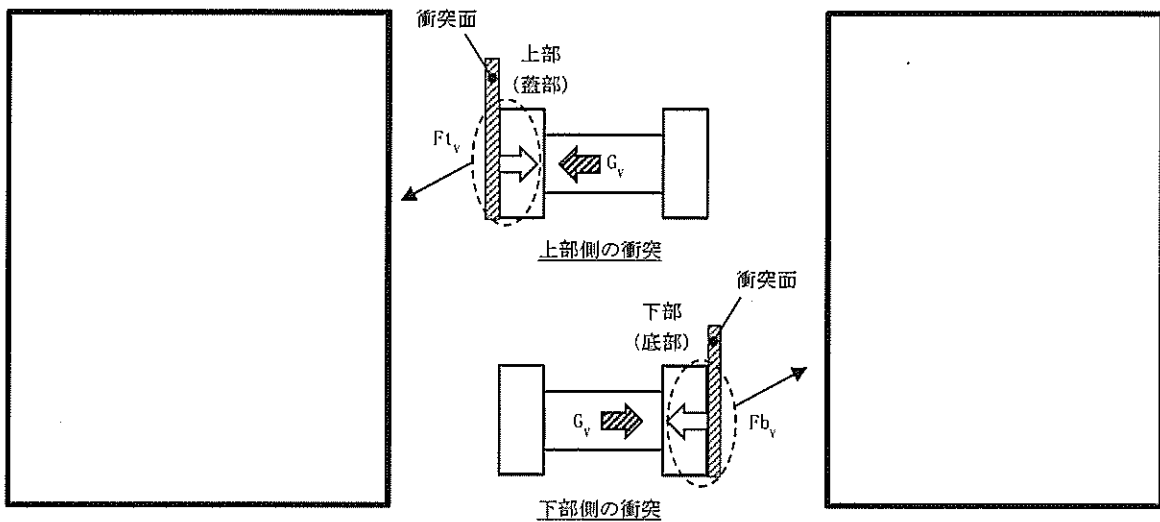


(注 3) 径方向衝突は、水平落下と荷重作用位置が同一であり、水平落下と同等の事象として水平落下で代表する。



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

(1) MSF-24P(S)型の水平落下及びMSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突



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

(2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突 (上部側、下部側)

第 2-2 図 代表事象における特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態 D の許容基準を満足するための荷重条件

3. 特定兼用キャスクの強度計算の基本方針

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

3.1 適用基準

特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材の強度評価は、金属キャスク構造規格の供用状態 D の基準等を適用する。金属キャスク構造規格の適用部材の分類を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材（強度部材）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	
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)

(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-DPC17001）を受けた評価に準じた評価を行う。

3.2 評価方針

3.2.1 解析対象とする事象

解析対象とする事象としては、2.2 に示した代表事象について第 3-2 表に示すように荷重条件等を考慮して評価を実施する。

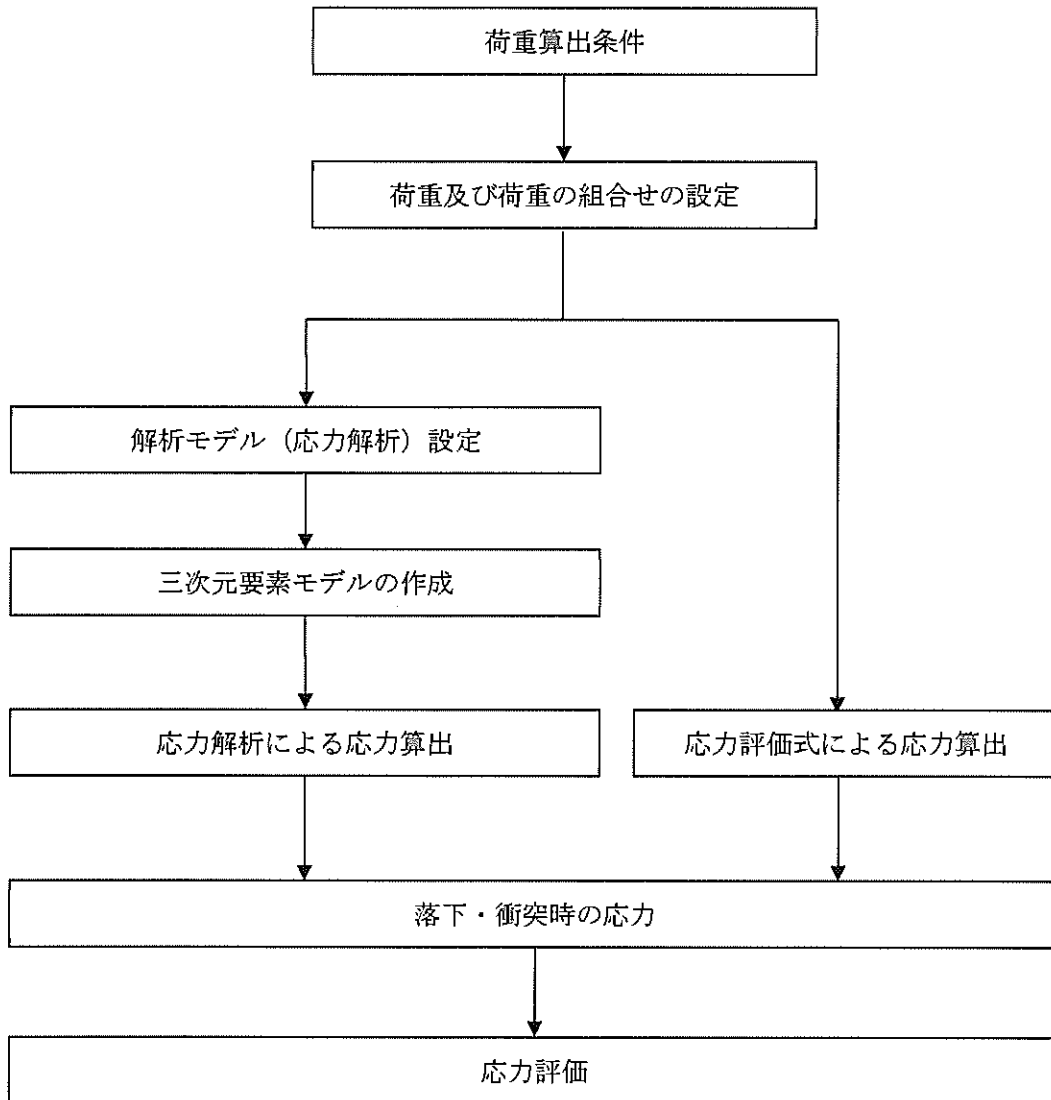
第 3-2 表 代表事象及び荷重条件

設計事象	供用状態	代表事象	代表事象と同等として扱う想定事象	荷重条件
IV	D	水平落下	径方向衝突	<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 ・衝撃荷重^(注1) ・熱荷重
		軸方向衝突 (上部側及び下部側)	—	<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 ・衝撃荷重 ・熱荷重

(注 1) 自重による荷重は、衝撃荷重の慣性力による荷重に含まれる。

3.2.2 強度評価フロー

MSF-24P(S)型の落下・衝突時の強度評価フローを第3-1図に示す。



第3-1図 MSF-24P(S)型の落下・衝突時の強度評価フロー

4. 特定兼用キャスク本体及び蓋部の応力評価

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、モデルに落下荷重又は衝突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。応力評価箇所を第4-1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。
- (2) 許容応力について、(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」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

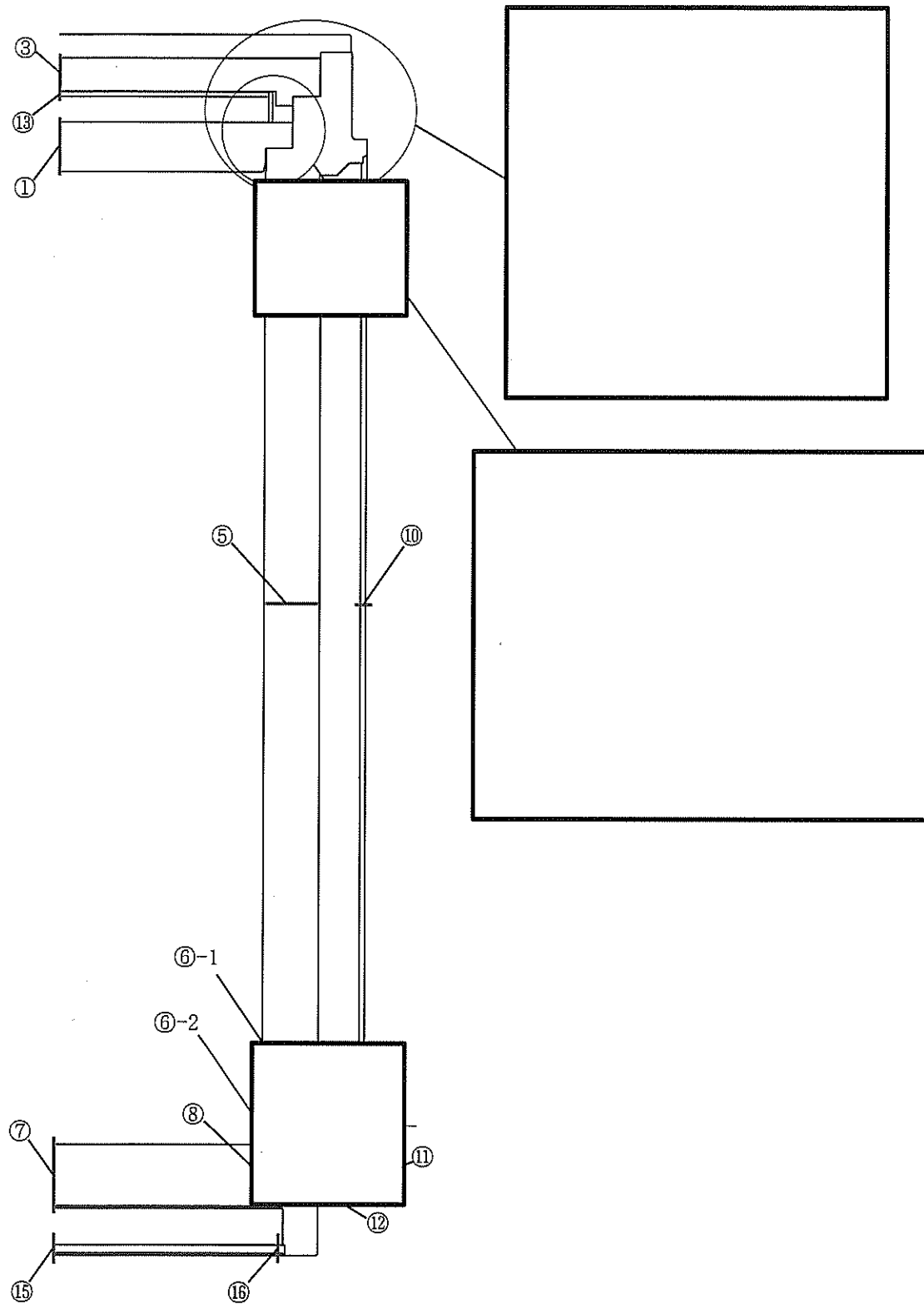
MSF-24P(S)型に作用する落下荷重及び衝突荷重は、2.2で設定した荷重とする。

4.2.2 許容限界

許容限界を第4-1表から第4-3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4-4表に示す。



第 4-1 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 4-1 図 MSF-24P(S)型の応力評価箇所(2/2)

第 4-1 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 一次蓋シール部 (蓋側) 一次蓋シール部 (胴側)	$2/3S_u$ 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。	—	$1.5S_u$ と $1.5B$ の 小さい方
供用状態 D		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 4-2 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 4-3 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)		
		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-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	$2/3S_u$ 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 $2.4S_m$ の小さい方を。	$2/3S_u/\sqrt{3}$ 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。

(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 4-4 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)	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

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

水平落下及び軸方向衝突時における荷重は次に示す組合せとする。

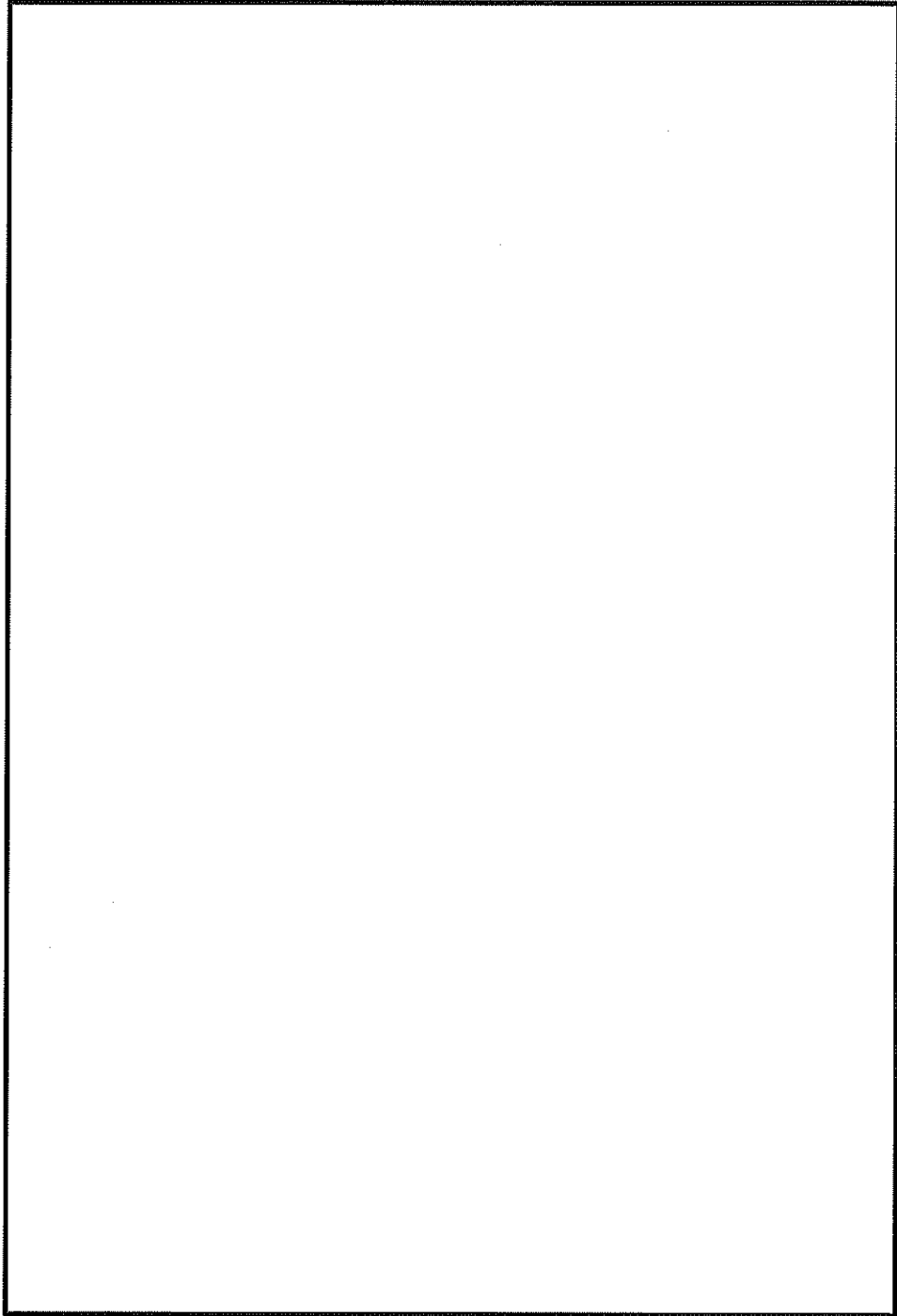
- ・密封容器内圧力 (MPa G)
- ・蓋間圧力 (MPa G)
- ・蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- ・一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)
- ・自重 (－)
- ・衝撃荷重^(注) (N)
- ・熱荷重 (－)

(注) 落下又は衝突により特定兼用キャスクに生じる衝撃加速度による自重の慣性力として落下又は衝突方向に作用させる。

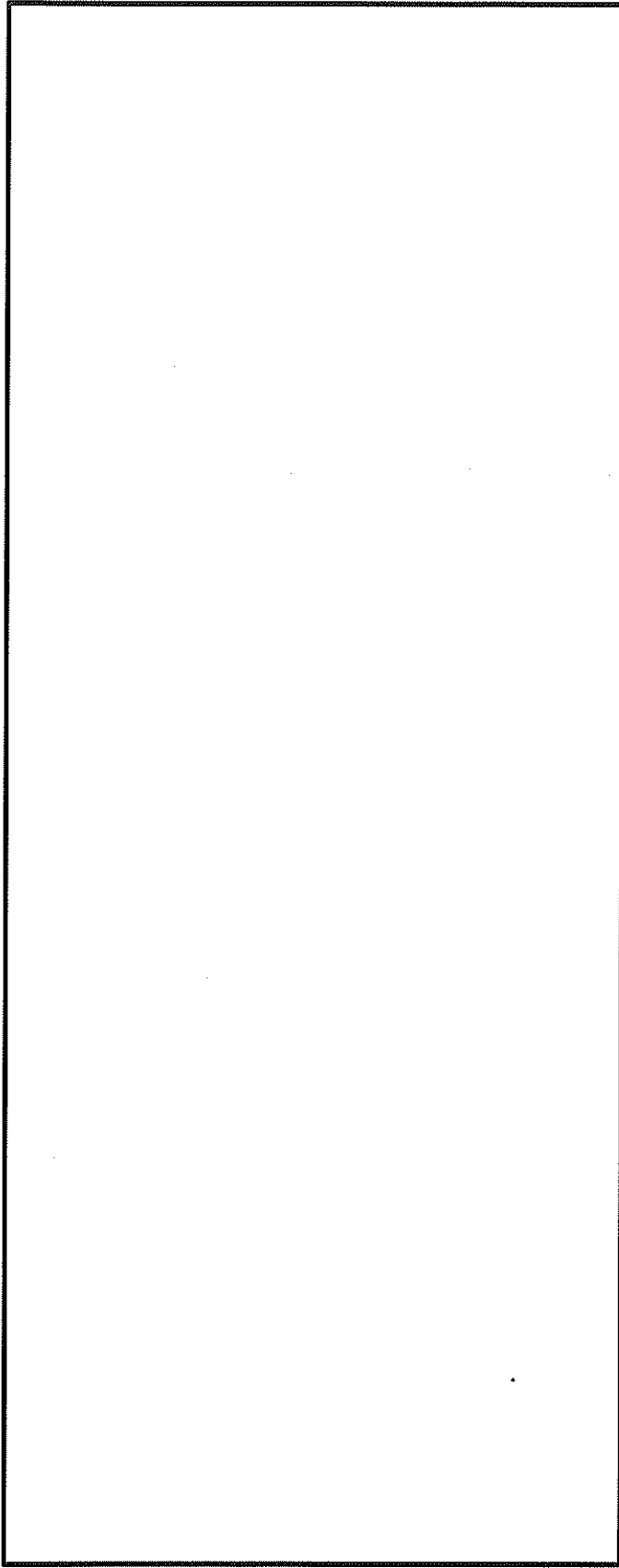
(2) 応力計算

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。

解析モデルを第4-2図に、荷重及び境界条件を第4-3図から第4-5図に示す。



第 4-2 図 解析モデル



F_{iw} : 内部収納物の慣性力 (1.740×10^7 N) ^(注)

F_{tr} : 貯蔵用上部緩衝体反力 (4.30×10^7 N)

F_{br} : 貯蔵用下部緩衝体反力 (3.76×10^7 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)

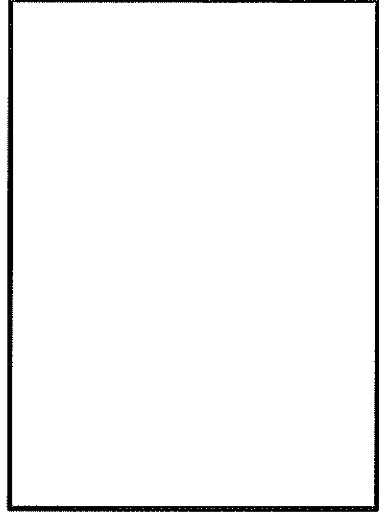
P_{br} : 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)

(注) 衝撃加速度 (650 m/s^2) に加速度割増係数として 1.2 を乗じた加速度による内部収納物の慣性力を作用させる。

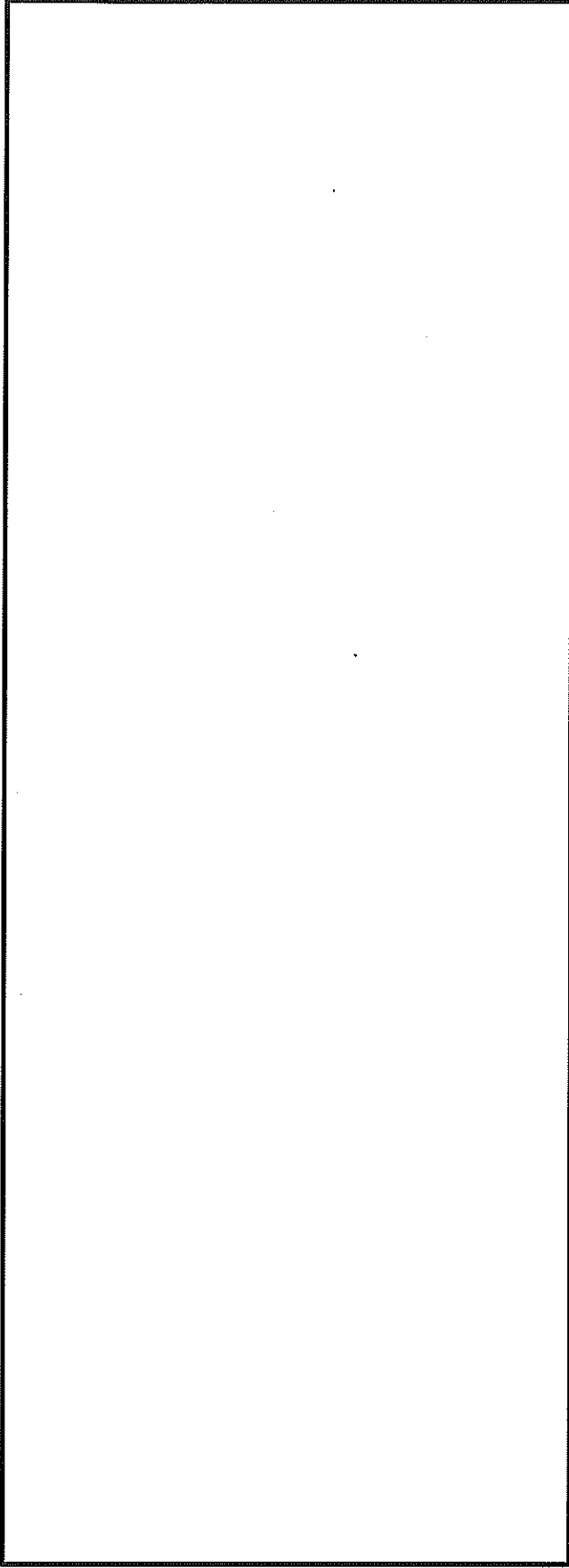
P_{bi} : 一次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

P_{bii} : 二次蓋ボルト初期締付力 (MPa)

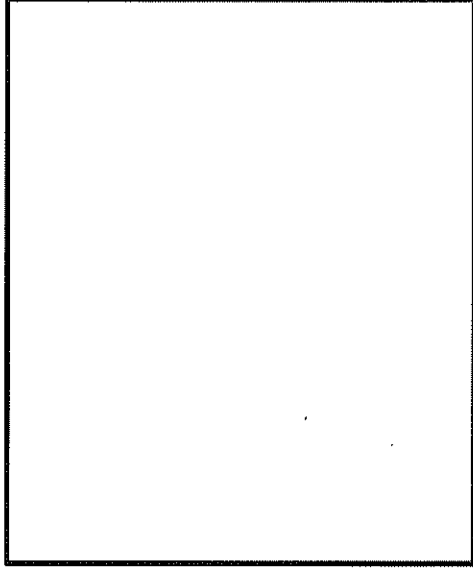
P_{biii} : 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 (MPa)



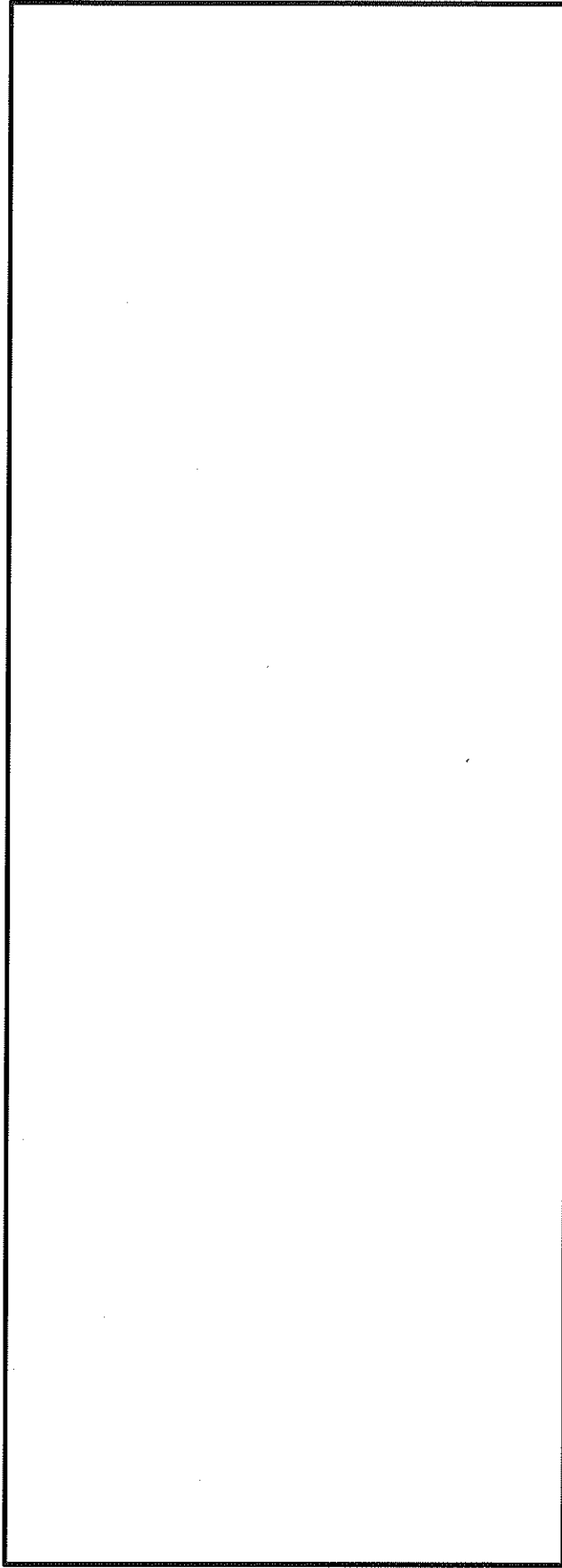
第 4-3 図 荷重及び境界条件 (水平落下)



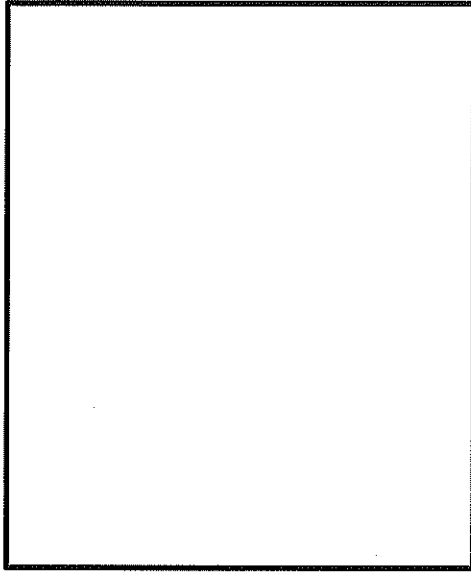
- F_{ivr} : 内部収納物の慣性力 (径方向) (2.187×10^5 N)
- F_{iwr} : 内部収納物の慣性力 (軸方向) (1.338×10^7 N)
- F_{unbr} : 貯蔵用上部緩衝体の慣性力 (径方向) N
- F_{lnbr} : 貯蔵用下部緩衝体の慣性力 (径方向) N
- F_{laln} : 貯蔵用下部緩衝体の慣性力 (軸方向) N
- P_i : 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa G)
- P_{ii} : 蓋間圧力 (0.36 MPa G)
- P_{sz} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (側面) MPa G
- P_{er} : 側部中性子遮蔽材部圧力 (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
- $P_{i,iii}$: 貯蔵用三次蓋ボルト初期締付力 MPa



第 4-4 図 荷重及び境界条件 (軸方向衝突 (上部側))



- F_{ivr} : 内部収納物の慣性力 (径方向) (2.187×10^5 N)
- F_{iwa} : 内部収納物の慣性力 (軸方向) (1.338×10^7 N)
- F_{uabr} : 貯蔵用上部緩衝体の慣性力 (径方向) (N)
- F_{uaba} : 貯蔵用上部緩衝体の慣性力 (軸方向) (N)
- F_{labr} : 貯蔵用下部緩衝体の慣性力 (径方向) (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 4-5 図 荷重及び境界条件 (軸方向衝突 (下部側))

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

水平落下及び軸方向衝突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 (－)
- ・衝撃荷重^(注) (N)

(注) 落下又は衝突により特定兼用キャスクに生じる衝撃加速度による自重の慣性力として落下又は衝突方向に作用させる。

(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衝突時に慣性力により発生する一次膜＋一次曲げ応力(σ_{r3} 、 $\sigma_{\theta 3}$ 、 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} 、 $\sigma_{\theta 1}$ 、 σ_{z1})と慣性力により発生する応力(σ_{r2} 、 $\sigma_{\theta 2}$ 、 σ_{z2})より次式で計算される。なお、水平落下時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} 、 $\sigma_{\theta 1}$ 、 σ_{z1})となる。

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

$$\sigma_{\theta 3} = \sigma_{\theta 1} + \sigma_{\theta 2}$$

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

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

$$\sigma_{\theta 1} = \sigma_{r1}$$

$$\sigma_{z1} = 0$$

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

$$\sigma_{\theta 2} = \sigma_{r2}$$

$$\sigma_{z2} = 0$$

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)

$$w = t \cdot \rho \cdot G_v$$

ρ : カバープレート材料 (SUS304) の密度 (kg/mm^3)

G_v : 軸方向衝突時に生じる衝撃加速度 (m/s^2)

(b) カバープレートボルト

水平落下時又は軸方向衝突時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、軸方向衝突時には、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。

(水平落下時)

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

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

(軸方向衝突時)

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

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

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

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

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

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

$$H_p = W_m$$

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

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_n : 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)

$$M = m_r \cdot G_H \cdot L$$

m_r : カバープレートの質量 (kg)

G_v : 軸方向衝突時に生じる衝撃加速度 (m/s²)

G_H : 水平落下時に生じる衝撃加速度 (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)

4.4 応力評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第4-5表及び第4-6表に示す。

第4-5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	
衝撃荷重（水平落下時に生じる衝撃加速度）	m/s ²	650
衝撃荷重（軸方向衝突時に生じる衝撃加速度）	m/s ²	600

第4-6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
軸方向衝突時に生じる衝撃加速度	G _v	m/s ²	600
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
水平落下時に生じる衝撃加速度	G _H	m/s ²	650
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	

5. バasketの応力評価

5.1 基本方針

落下荷重及び軸方向衝突荷重が作用した場合にBasketに発生する応力が、許容応力以下であることを確認する。なお、応力評価に用いる寸法は公称値を使用する。

5.1.1 許容限界

許容限界を第5-1表に示す。

5.1.2 使用材料の許容応力

応力評価に用いる使用材料の許容応力を第5-2表に示す。

第 5-1 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 _u
				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 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 5-2 表 使用材料の許容応力

材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _a (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

5.2 応力評価方法

(1) 荷重条件

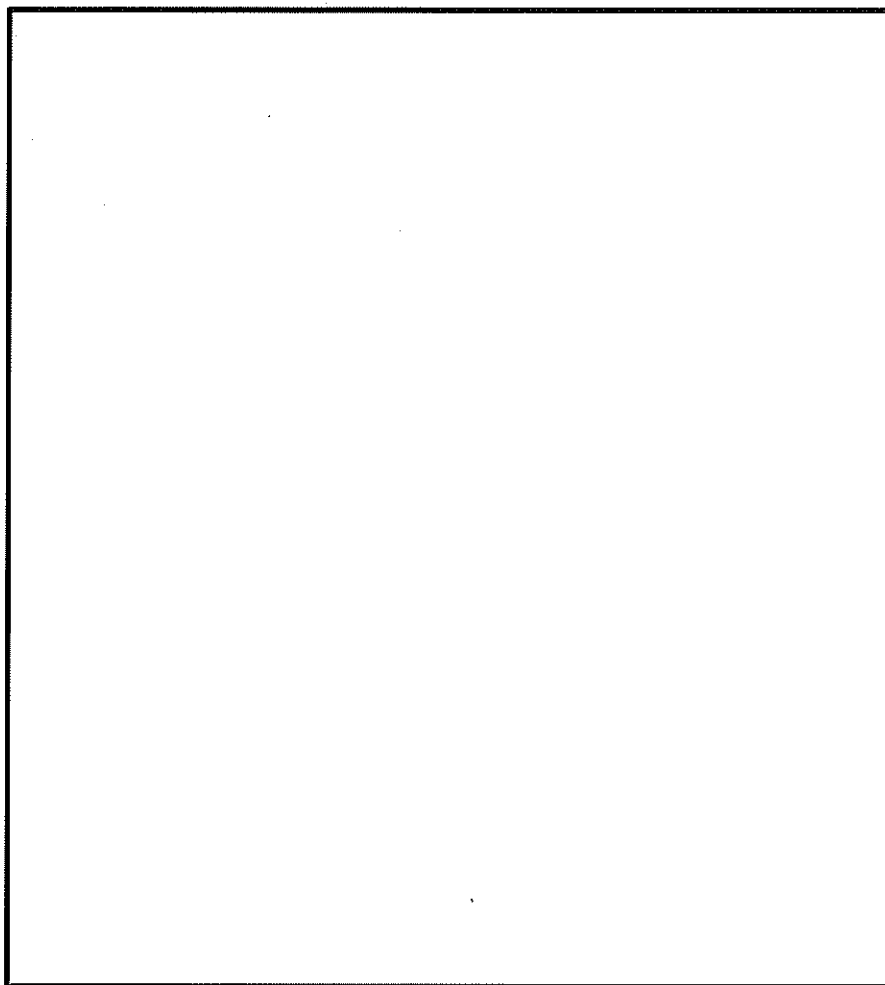
水平落下及び軸方向衝突時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重（－）
- ・衝撃荷重^(注)

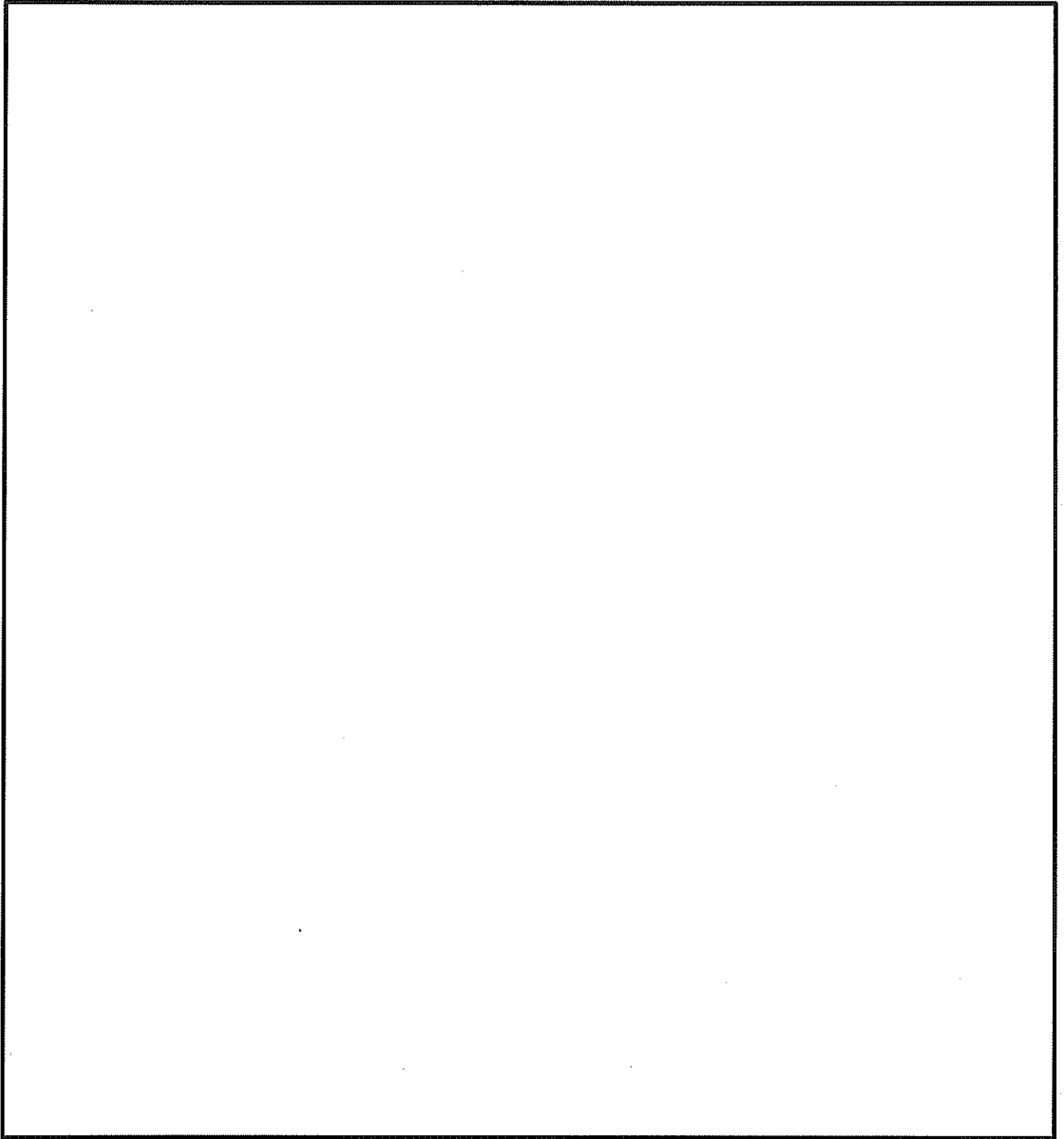
(注) 落下又は衝突により特定兼用キャスクに生じる衝撃加速度による自重の慣性力 (m/s^2) として落下又は衝突方向に作用させる。

(2) 応力計算

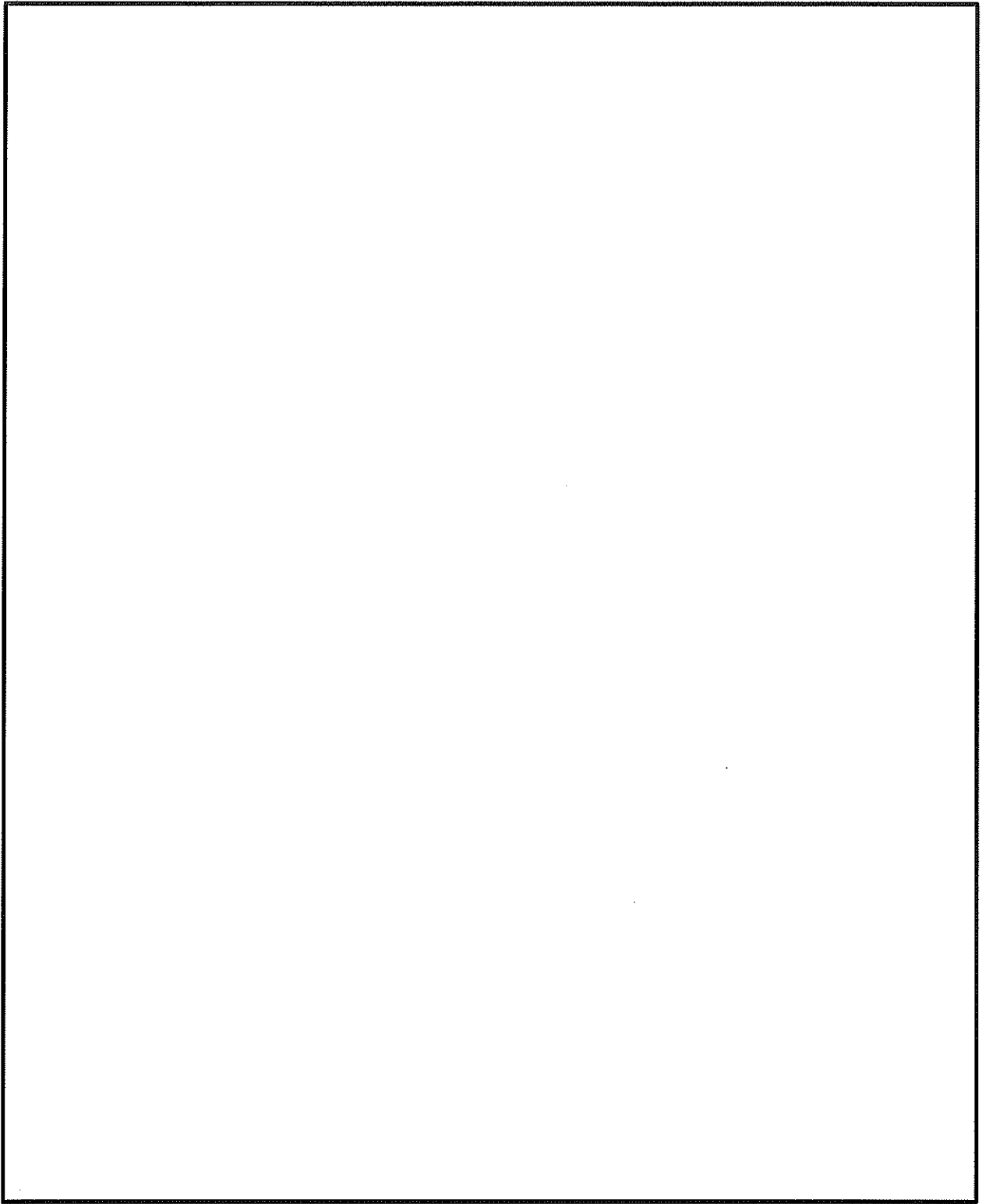
バスケットに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第5-1図及び第5-2図に示す。



第 5-1 図 軸方向衝突時に生じる衝撃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 水平落下時に生じる衝撃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 水平落下時に生じる衝撃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) 軸方向衝突時に生じる衝撃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。軸方向衝突時に生じる衝撃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。

$$\sigma_{mV} = \frac{m_1 G_V}{A_1}$$

ここで、

- σ_{mV} : 軸方向衝突時に生じる衝撃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_V : 軸方向衝突時に生じる衝撃加速度 (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) 水平落下時に生じる衝撃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。水平落下時に生じる衝撃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。

$$\sigma_{mH} = \frac{m_2 G_H}{A_2 N}$$

ここで、

- σ_{mH} : 水平落下時に生じる衝撃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_H : 水平落下時に生じる衝撃加速度 (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) 軸方向衝突時に生じる衝撃加速度により発生する応力

評価位置①には、軸方向衝突時に生じる衝撃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) 水平落下時に生じる衝撃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。水平落下時に生じる衝撃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には水平落下時に生じる衝撃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。

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

$$M = \frac{wG_H L^2}{12}$$

ここで、

- σ_{bh} : 水平落下時に生じる衝撃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_H : 水平落下時に生じる衝撃加速度 (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) 軸方向衝突時に生じる衝撃加速度により発生する応力

軸方向衝突時に生じる衝撃加速度により、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) 水平落下時に生じる衝撃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。水平落下時に生じる衝撃加速度により発生するせん断応力は、次式で計算される。

$$\tau_H = \frac{F}{A_3}$$

$$F = \frac{wG_H L}{2}$$

ここで、

- τ_H : 水平落下時に生じる衝撃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_H : 水平落下時に生じる衝撃加速度 (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) 軸方向衝突時に生じる衝撃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) 水平落下時に生じる衝撃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。

5.3 応力評価条件

各評価箇所の応力評価条件を第5-3表に示す。

第 5-3 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	

6. 応力評価結果

特定兼用キャスク本体、蓋部及びバスケットの応力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。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 (1/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
一次蓋	一次一般膜応力	9	16	3	251
	一次局部膜応力	20	76	20	377
	一次膜応力 +一次曲げ応力	18	152	28	377
二次蓋	一次一般膜応力	17	11	10	251
	一次局部膜応力	54	11	18	377
	一次膜応力 +一次曲げ応力	52	76	63	377
カバープレート	一次膜応力 +一次曲げ応力	4	6	6	431

第 6-1 表 応力評価結果 (2/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
胴	一次一般膜応力	63	20	26	251
	一次局部膜応力	152	91	37	377
	一次膜応力+一次 曲げ応力	88	20	26	377
	圧縮応力 (一次)	36	20	36	135
胴 (底板)	一次一般膜応力	25	2	10	251
	一次局部膜応力	50	8	26	377
	一次膜応力+一次 曲げ応力	36	12	68	377

第 6-1 表 応力評価結果 (3/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
一次蓋 シール部 (蓋側)	一次膜応力 +一次曲げ応力	44	87	39	185
	一次+二次応力	83	180	69	185
一次蓋 シール部 (胴側)	一次膜応力 +一次曲げ応力	113	21	40	185
	一次+二次応力	121	32	42	185

第 6-1 表 応力評価結果 (4/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
外筒	引張 (一次応力)	166	36	37	284
	圧縮 (一次応力)	45	63	16	280
	せん断 (一次応力)	60	19	23	163
	曲げ (一次応力)	189	50	93	284
	組合せ (一次応力)	174	69	47	284

第 6-1 表 応力評価結果 (5/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
下部端板	引張 (一次応力)	19	3	13	286
	圧縮 (一次応力)	31	1	9	214
	せん断 (一次応力)	41	4	29	165
	曲げ (一次応力)	167	14	125	286
	組合せ (一次応力)	77	7	51	286

第 6-1 表 応力評価結果 (6/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
蓋部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	24	28	—	284
	圧縮 (一次応力)	13	1	8	282
	せん断 (一次応力)	12	22	6	164
	曲げ (一次応力)	24	125	27	284
	組合せ (一次応力)	28	40	11	284

第 6-1 表 応力評価結果 (7/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
底部中性子遮蔽材カバー	引張 (一次応力)	33	1	30	286
	圧縮 (一次応力)	137	2	7	214
	せん断 (一次応力)	44	2	12	165
	曲げ (一次応力)	73	10	85	286
	組合せ (一次応力)	120	3	40	286

第 6-1 表 応力評価結果 (8/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)			評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側)	軸方向衝突 (下部側)	
一次蓋ボルト	平均引張応力	262	406	249	842
	平均引張応力 + 曲げ応力	634	557	288	842
二次蓋ボルト	平均引張応力	326	250	205	844
	平均引張応力 + 曲げ応力	841	504	265	844
カバープレートボルト	平均引張応力	166	172	172	842
	平均引張応力 + 曲げ応力	228	172	172	842

第 6-1 表 応力評価結果 (9/9)

評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)
		水平落下	軸方向衝突 (上部側/下部側)	
バスケットプレート (評価位置①)	一次一般膜応力	—	15	75
	一次膜応力 +一次曲げ応力	—	15	90
	圧縮応力	—	15	66
バスケットプレート (評価位置②)	一次一般膜応力	35	—	75
	圧縮応力	35	—	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	24	—	90
	せん断応力	6	—	43

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5「強度に関する説明書」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。

傾斜落下時の健全性

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. MSF-24P(S)型の落下試験結果に基づく密封性能評価	別紙 2-1
2.1 MSF-24P(S)型の密封設計	別紙 2-1
2.2 MSF-24P(S)型の密封性能評価	別紙 2-1
別添 1 傾斜落下時の蓋部の変形量評価詳細	別紙 2-6

1. 概要

本資料は、添付書類 5-4「想定事象における特定兼用キャスクの強度に関する説明書」に示した水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下する場合（以下「傾斜落下」という。）における MSF-24P(S)型の健全性が維持されることを説明するものである。

2. MSF-24P(S)型の落下試験結果に基づく密封性能評価

傾斜落下となる場合、細長い輸送物では落下エネルギーの一部が特定兼用キャスクの回転運動エネルギーとなり二次衝撃側の吸収エネルギーが増加し、二次衝撃側に作用する荷重は水平落下時の荷重よりも増加する。特に、蓋密封部が二次衝撃側となる場合、密封性能を損なうおそれがあるため、二次衝撃側の影響を評価する必要がある。本資料では、MSF-24P(S)型の傾斜落下条件下における密封性能について、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」(ロ)章 A. 10. 1 に示す MSF キャスクの落下試験結果に基づき評価を行った。

2.1 MSF-24P(S)型の密封設計

第 2-1 図に MSF-24P(S)型及び落下試験モデルの蓋部構造の比較を示す。MSF-24P(S)型の胴フランジ、一次蓋及び二次蓋の剛性を落下試験モデルよりも高めることで蓋密封部の変形量を低減させる等の反映により、落下試験モデルよりも密封性能を向上させている。

2.2 MSF-24P(S)型の密封性能評価

傾斜落下において、MSF-24P(S)型の密封性能が維持されることを、落下試験により密封性能が維持されることが実証されている落下試験モデル及びその落下試験結果を用いて評価する。

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

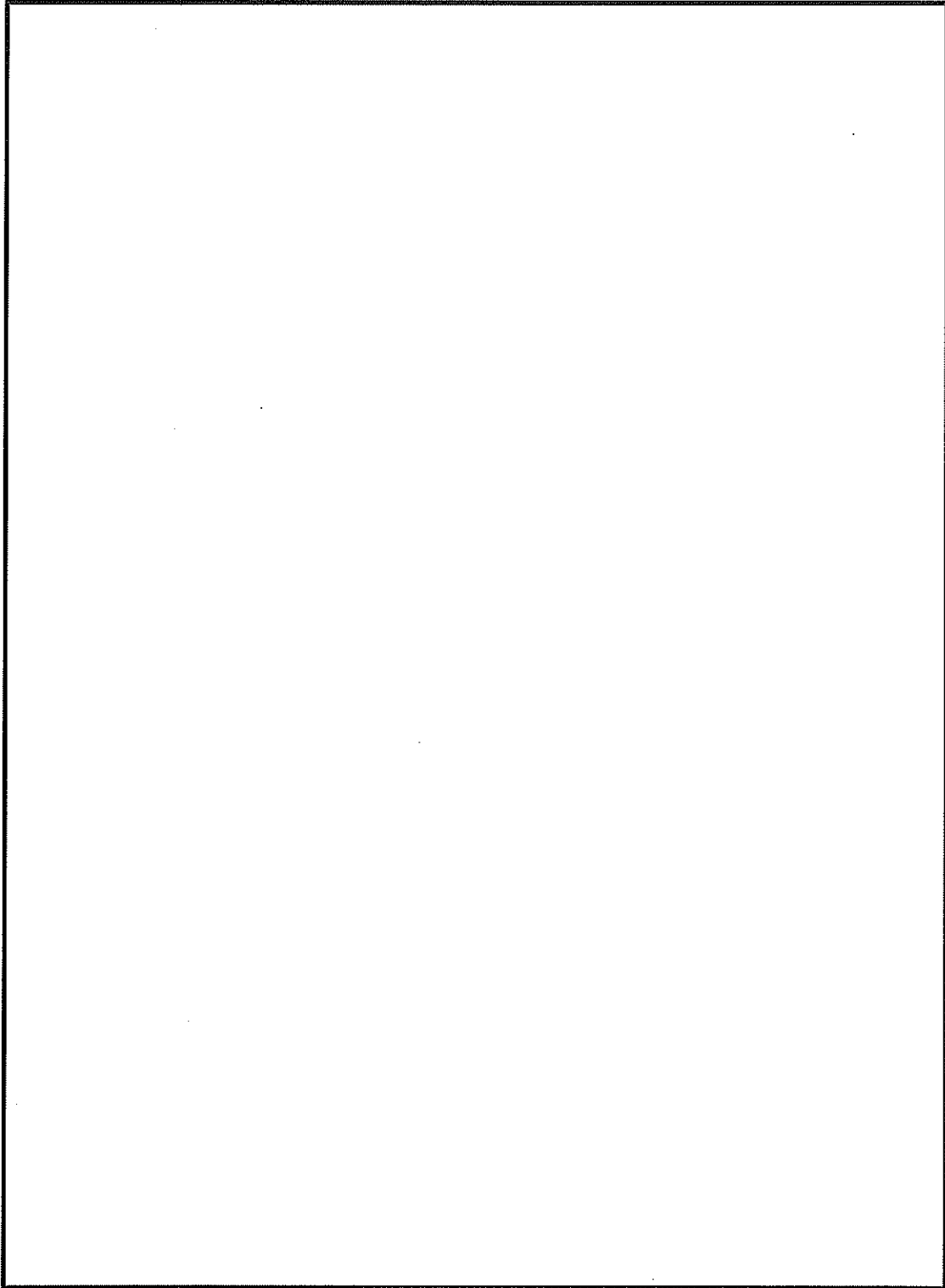
また、MSF-24P(S)型の三次蓋構造に対して落下試験モデルは二次蓋構造であるが、荷重の伝達経路と蓋密封部の構造について、MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋周辺部（最外の蓋）と落下試験モデルの二次蓋周辺部（最外の蓋）は同様であり、MSF-24P(S)型の二次蓋周辺部及び一次蓋周辺部（内側の蓋）と落下試験モデルの一次蓋周辺部（内側の蓋）で同様である。したがって、MSF-24P(S)型の蓋密封部（二次蓋及び一次蓋）は落下試験モデルの蓋密封部（一

次蓋)と比較する。また、MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋は密封境界ではないが、MSF-24P(S)型の蓋部を構成する部材であることから、落下試験モデルの落下試験モデルの蓋密封部(二次蓋)と比較する。

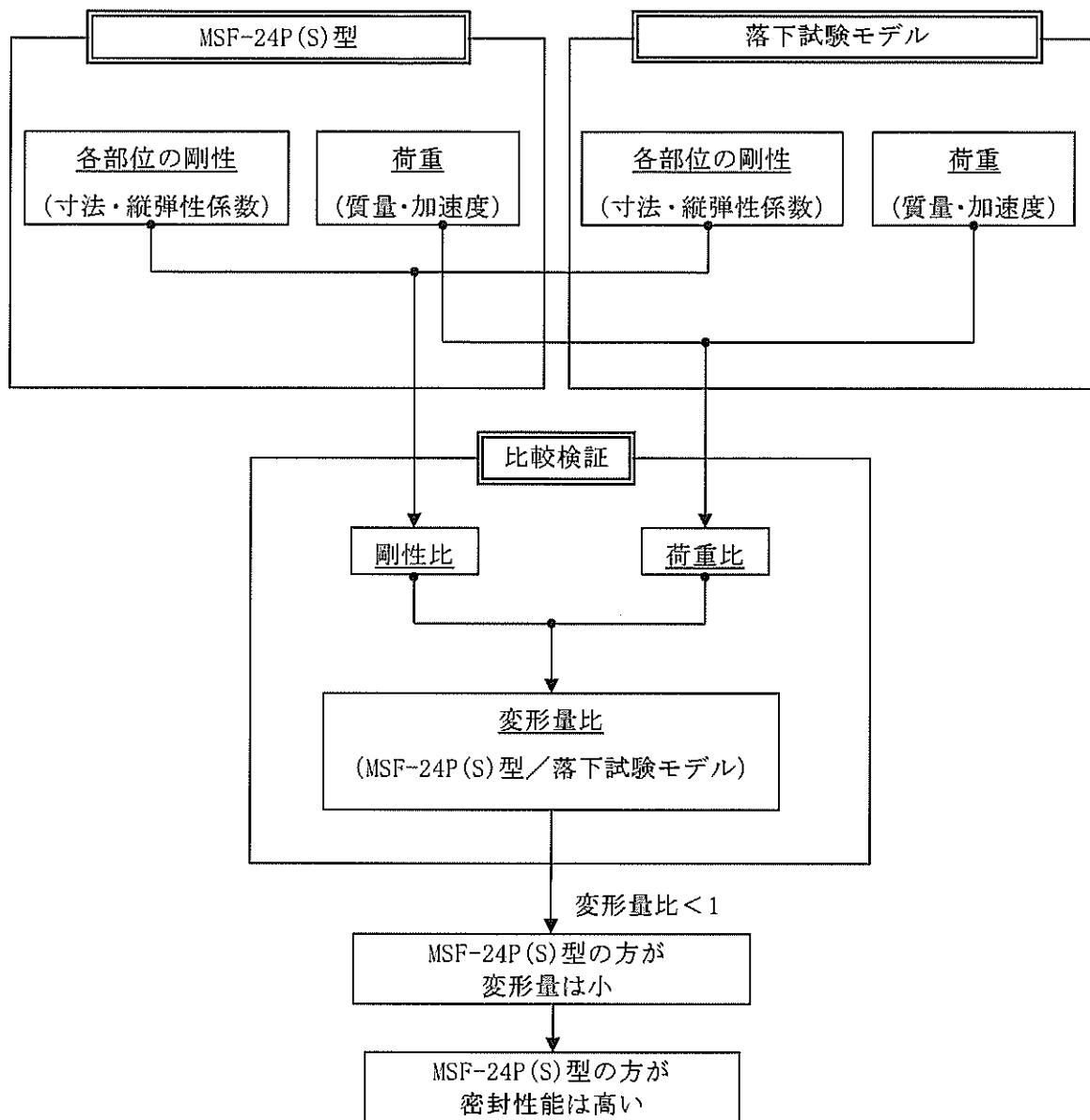
2.2.1 評価手順

密封性能評価方法の手順を以下に示す。(第2-2図参照)

- (1) MSF-24P(S)型と落下試験モデルの蓋部を構成する各部位(胴フランジ、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、貯蔵用三次蓋、貯蔵用三次蓋ボルト)の各変形モード(曲げ、圧縮、引張、オーバル変形)の剛性に影響する寸法を抽出する。
- (2) 各部位の剛性に影響する設計条件(材質、設計温度、縦弾性係数)を抽出する。
- (3) 抽出した寸法及び設計条件を基に、MSF-24P(S)型と落下試験モデルの各部位の剛性比を算出する。
- (4) 落下衝撃力を決定する設計条件(質量、落下時の衝撃加速度)を抽出し、MSF-24P(S)型と落下試験モデルの落下時に作用する荷重比を算出する。
- (5) 各部位の剛性比と落下時に作用する荷重比から、落下衝撃負荷時の変形量比を算出する。
- (6) (5)で算出した変形量比が1以下(MSF-24P(S)型の方が小さい)であれば、落下試験モデルに比べて、より高い密封性能を有していることが示される。



第 2-1 図 MSF-24P(S)型及び落下試験モデルの蓋密封部構造の比較



第 2-2 図 密封性能評価手順

2.2.2 評価結果及びまとめ

傾斜落下において、MSF-24P(S)型の密封性能が維持されていることを落下試験結果を用いて評価した。評価結果を以下に示す。

<傾斜落下の評価結果>

傾斜落下時の蓋部の変形量比較結果を第2-1表に示す(評価の詳細は別添1参照)。全ての評価部位において変形量比は1以下であり、MSF-24P(S)型の蓋部の変形量は落下試験モデルに比べ小さい。したがって、MSF-24P(S)型は、落下試験モデルに比べて高い密封性能を有している。

第2-1表 傾斜落下時の蓋部の変形量評価結果

部位 ^(注1)	変形モード	荷重比 ^(注3)	剛性比 ^(注2)	変形量比 ^(注2)
一次蓋	曲げ	0.51	1.58	0.32
一次蓋ボルト	引張	0.51	0.98	0.52
	曲げ	0.51	0.98	0.52
二次蓋	曲げ	0.41	3.86	0.11
二次蓋ボルト	引張	0.41	0.86	0.48
	曲げ	0.41	0.86	0.48
貯蔵用三次蓋	曲げ	0.50	0.55	0.90
貯蔵用三次蓋ボルト	引張	0.50	1.00	0.50
	曲げ	0.50	1.41	0.35
胴フランジ (二次蓋側)	曲げ	0.76	1.16	0.65
胴フランジ (貯蔵用三次蓋側)	曲げ	0.76	1.25	0.61

(注1) 部位は、MSF-24P(S)型の各部位を示す。

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

傾斜落下時の蓋部の変形量評価詳細

1. 概要

本資料は、MSF-24P(S)型の傾斜落下時の蓋部の変形量評価における荷重比、剛性比及び変形量比の算出方法を示すものである。

2. 評価条件

荷重比及び剛性比を算出するために用いる寸法及び数量、質量、材質及び温度、並びに傾斜落下時の衝撃加速度を別添 1-1 表から別添 1-4 表に示す。また、別添 1-3 表の条件より決定される縦弾性係数を別添 1-5 表に示す。

別添 1-1 表 寸法及び数量

部位	寸法/数量	MSF-24P(S)型	落下試験モデル
本体			
一次蓋			
二次蓋			
貯蔵用 三次蓋			

別添 1-2 表 質量

項目	MSF-24P(S)型 (kg)	落下試験モデル (kg)
一次蓋		4,500
二次蓋		2,900
貯蔵用三次蓋		—
総質量	134,600	127,300

別添 1-3 表 材質及び温度

部位	MSF-24P(S)型		落下試験モデル	
	材質 (規格)	温度 (設計温度)	材質 (規格)	温度
胴フランジ				常温
一次蓋				
二次蓋				
貯蔵用三次蓋				—
一次蓋ボルト				常温
二次蓋ボルト				
貯蔵用三次蓋ボルト				

別添 1-4 表 衝撃加速度

MSF-24P(S)型 (m/s ²) (注1)	落下試験モデル (m/s ²)
	1451 (148 g) (注2)

(注 1) 傾斜落下の衝撃加速度は、添付書類 5-4「想定事象における特定兼用キャスクの強度に関する説明書」第 2-1 表に示される水平落下の衝撃加速度 (650m/s²) に対して、傾斜落下時の二次衝突時の衝撃加速度と水平落下の衝撃加速度の比 (落下試験により得られた値、1.6) を考慮した値を用いた。

(注 2) 9.3m 傾斜落下試験時における二次蓋の最大加速度である。

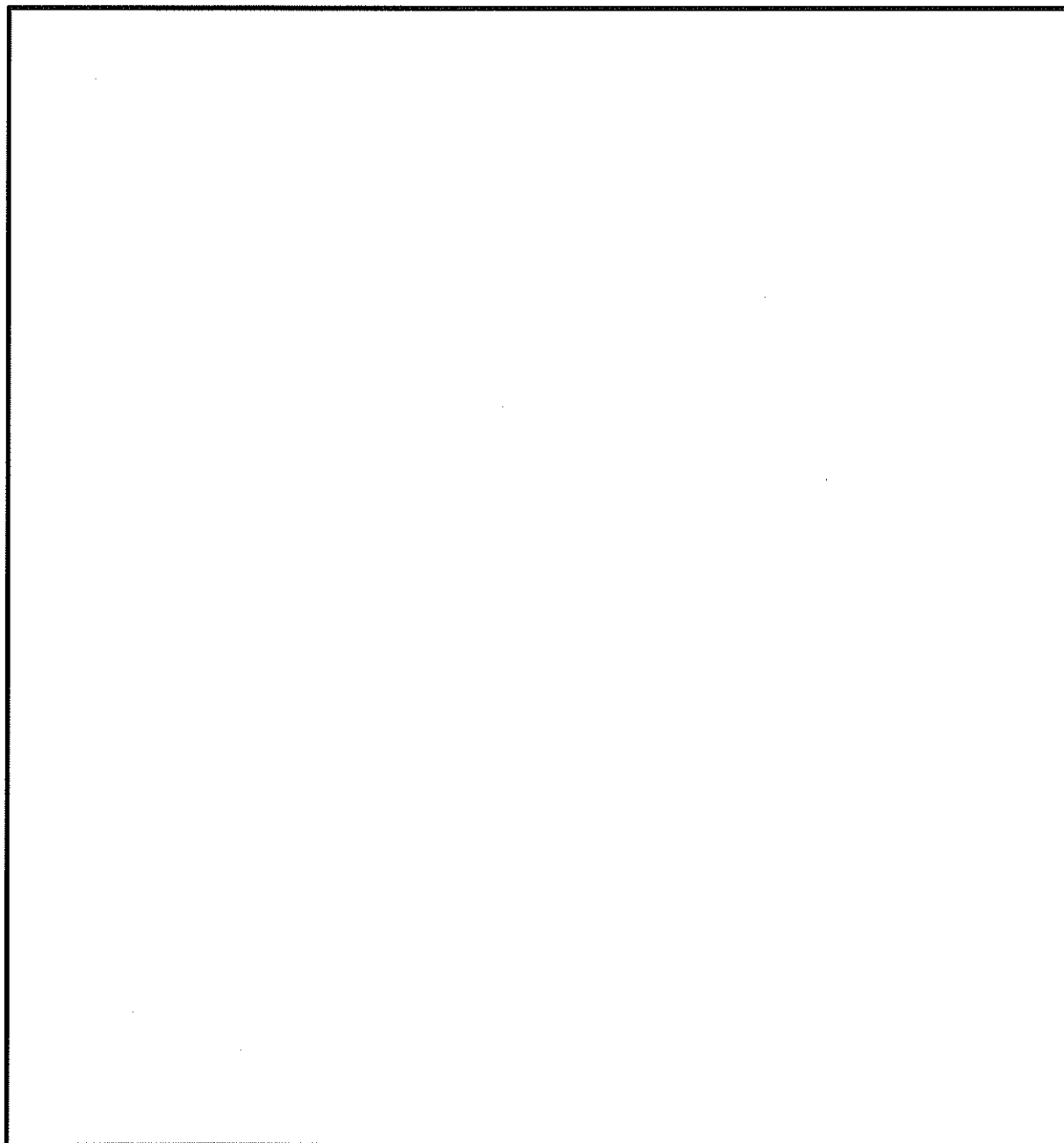
別添 1-5 表 縦弾性係数

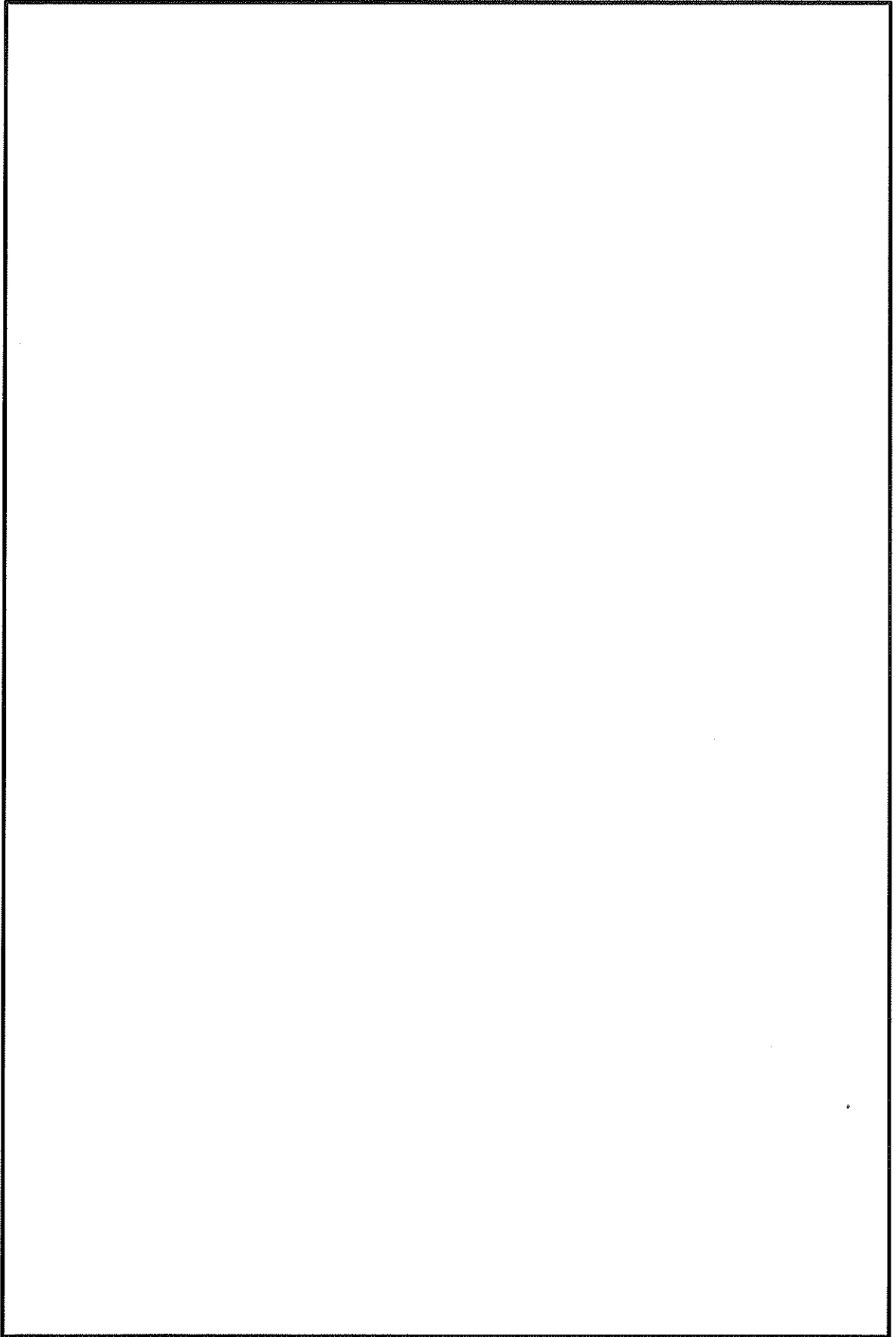
部位	MSF-24P(S)型	落下試験モデル
胴フランジ		
一次蓋		
二次蓋		
貯蔵用三次蓋		
一次蓋ボルト		
二次蓋ボルト		
貯蔵用三次蓋ボルト		

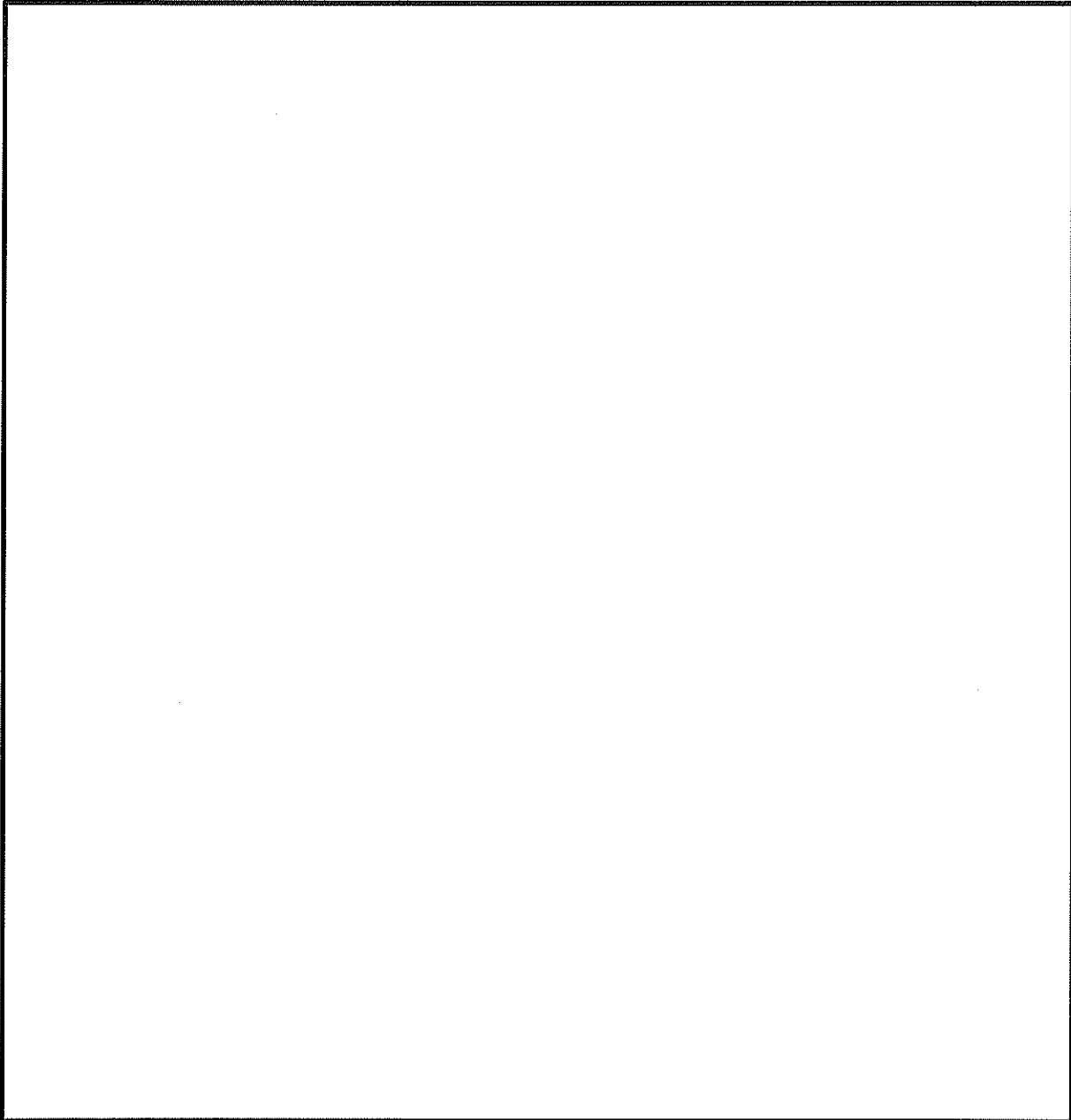
3. 評価方法

傾斜落下時には、胴フランジ及び蓋の曲げ変形、並びに蓋ボルトの引張及び曲げ変形が生じ、蓋密封部の漏えいを防止するためには、これらの変形を抑制する必要がある。したがって、胴フランジ、蓋及び蓋ボルトの変形について評価を行う。

MSF-24P(S)型と落下試験モデルとの各部の荷重比、剛性比及び変形量比の算出方法を以下に示す。

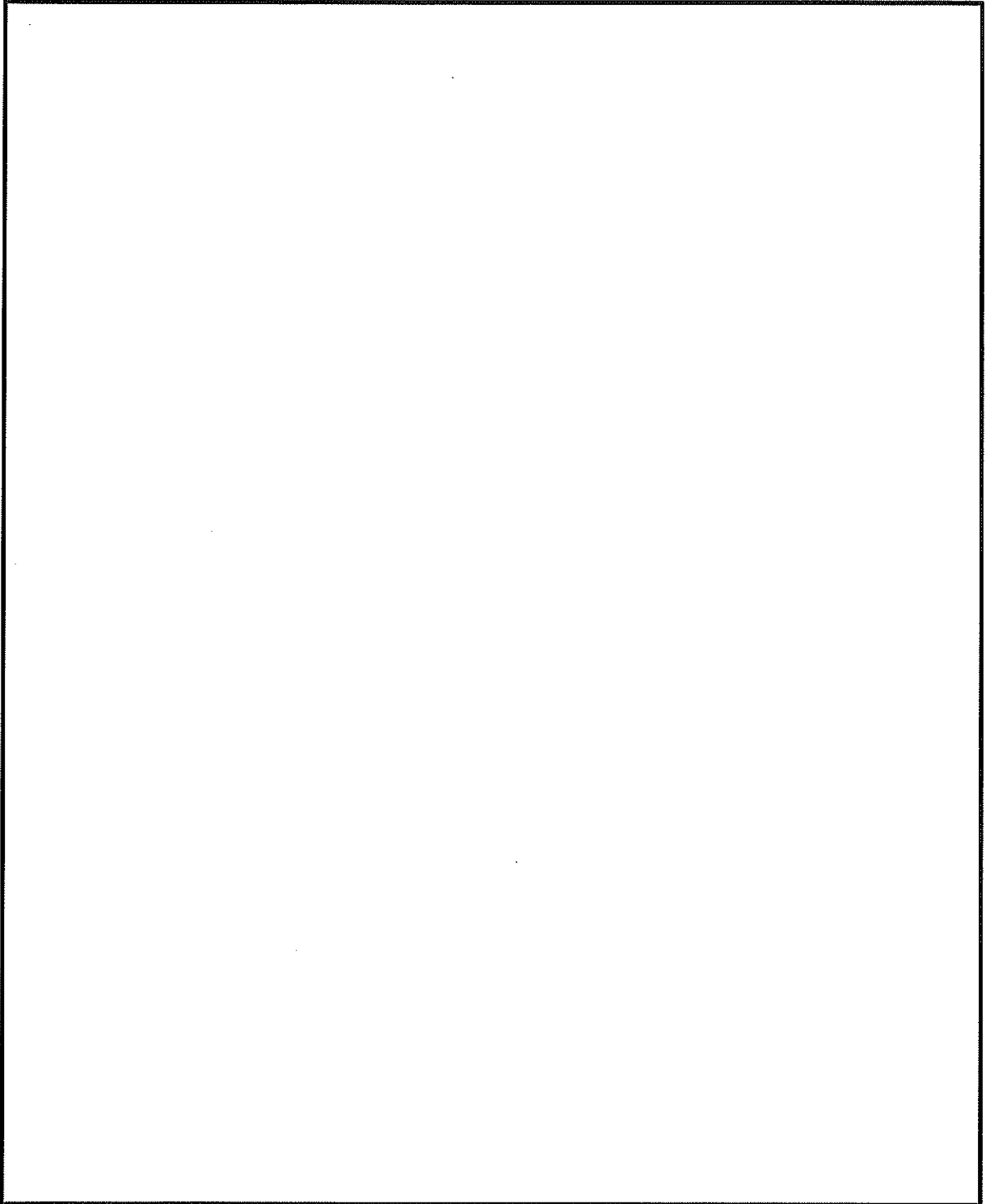


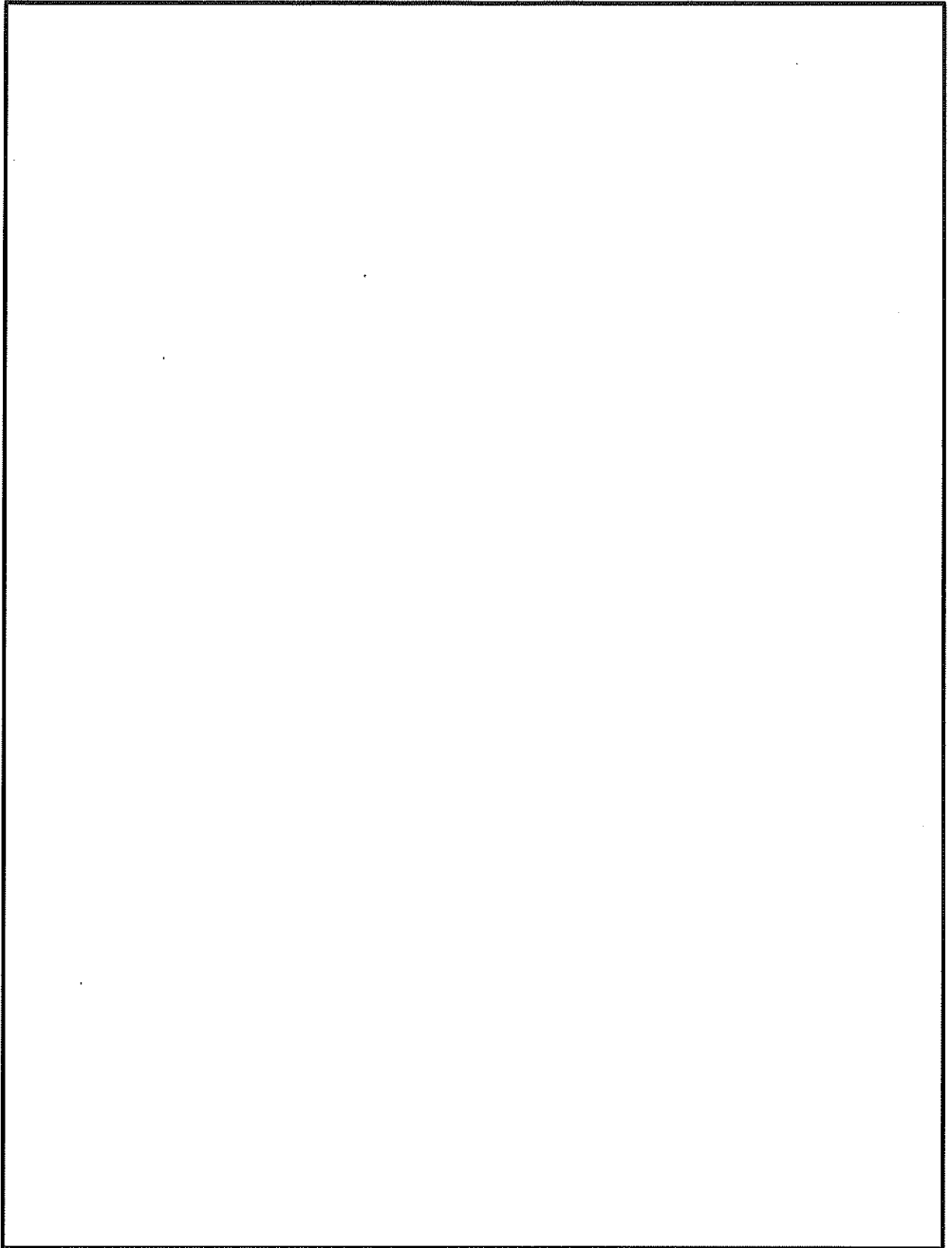


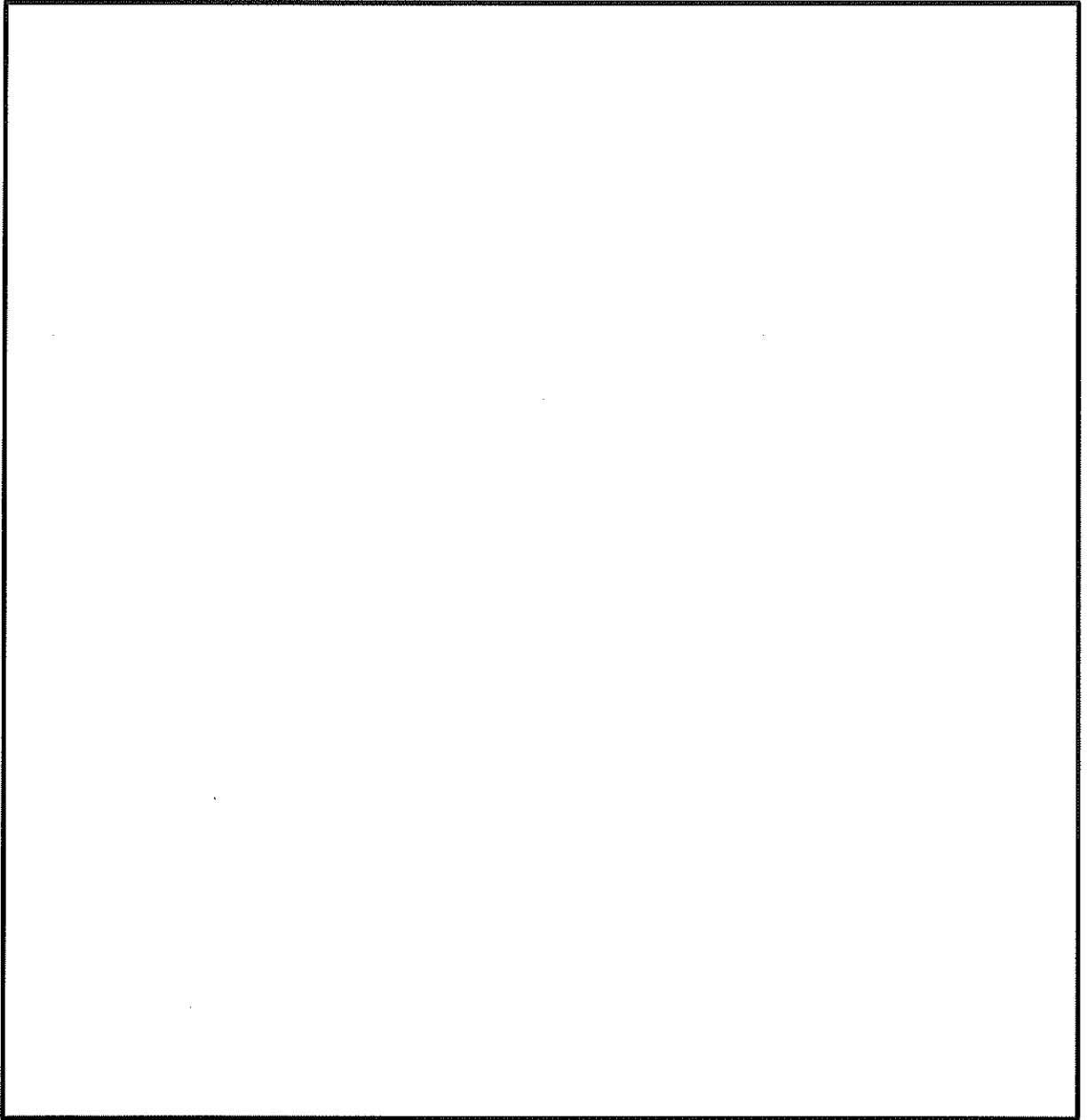


3.2 蓋部

蓋の曲げ変形に対する荷重比、剛性比及び変形量比の算出方法を以下に示す。

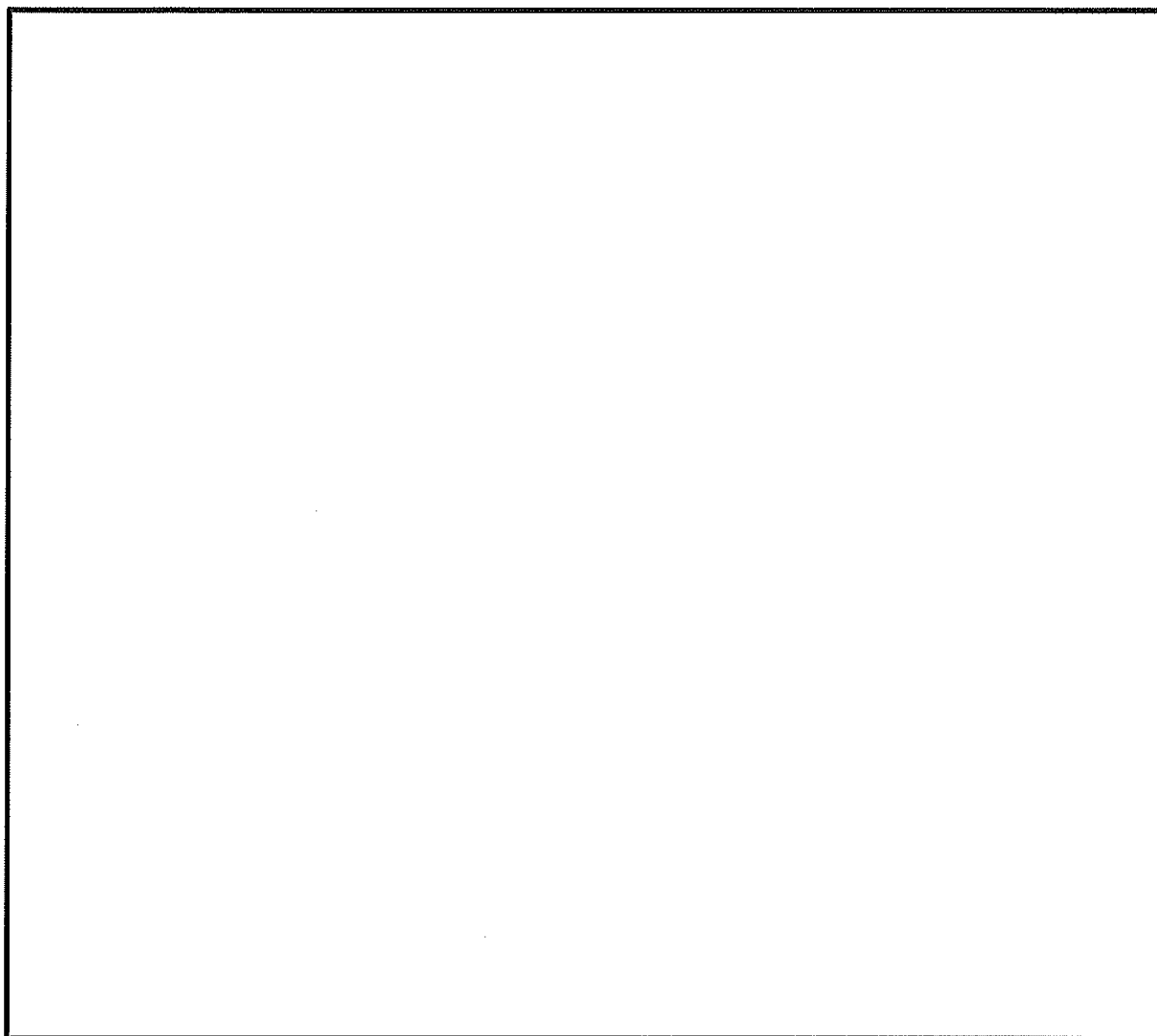


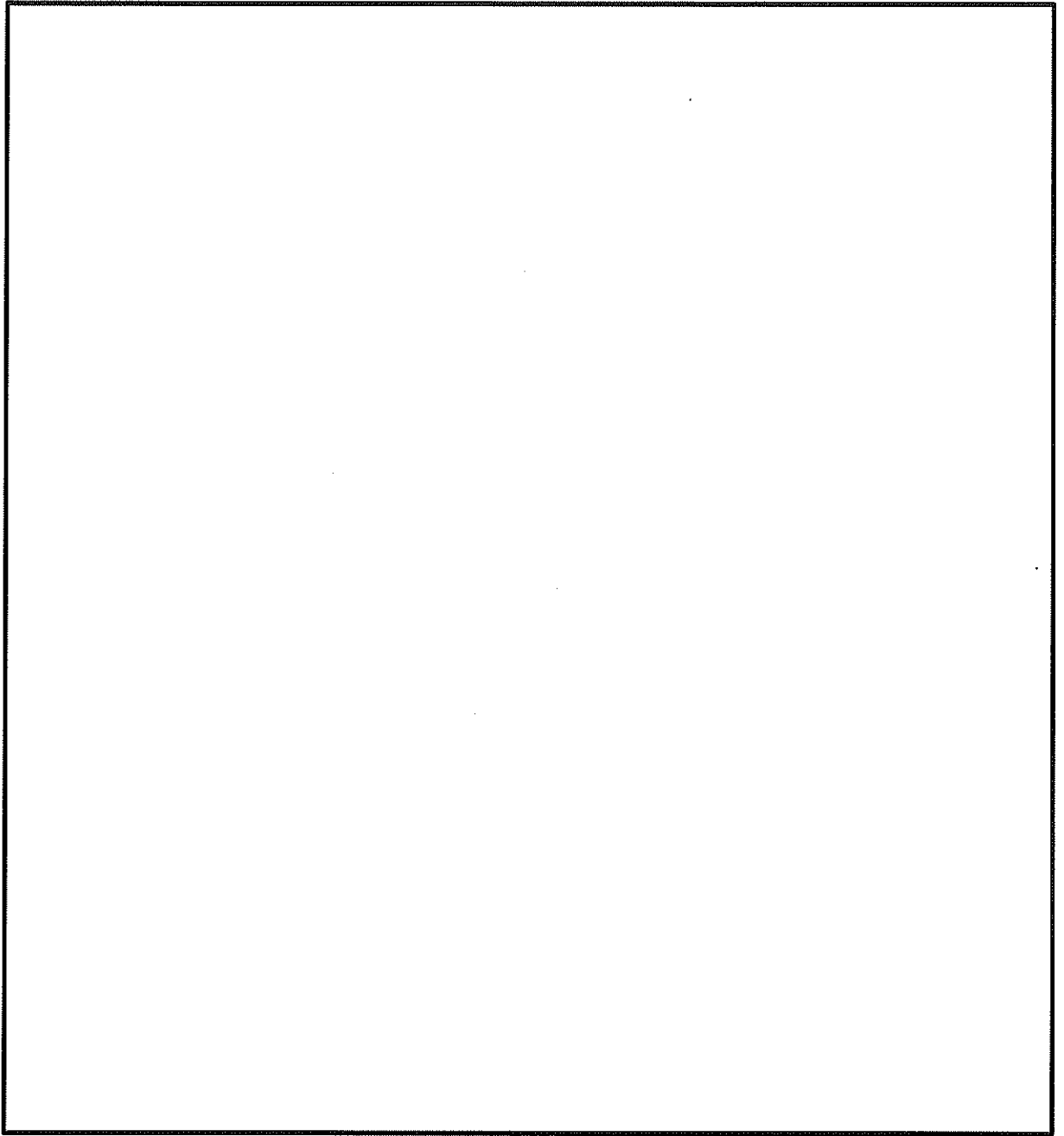


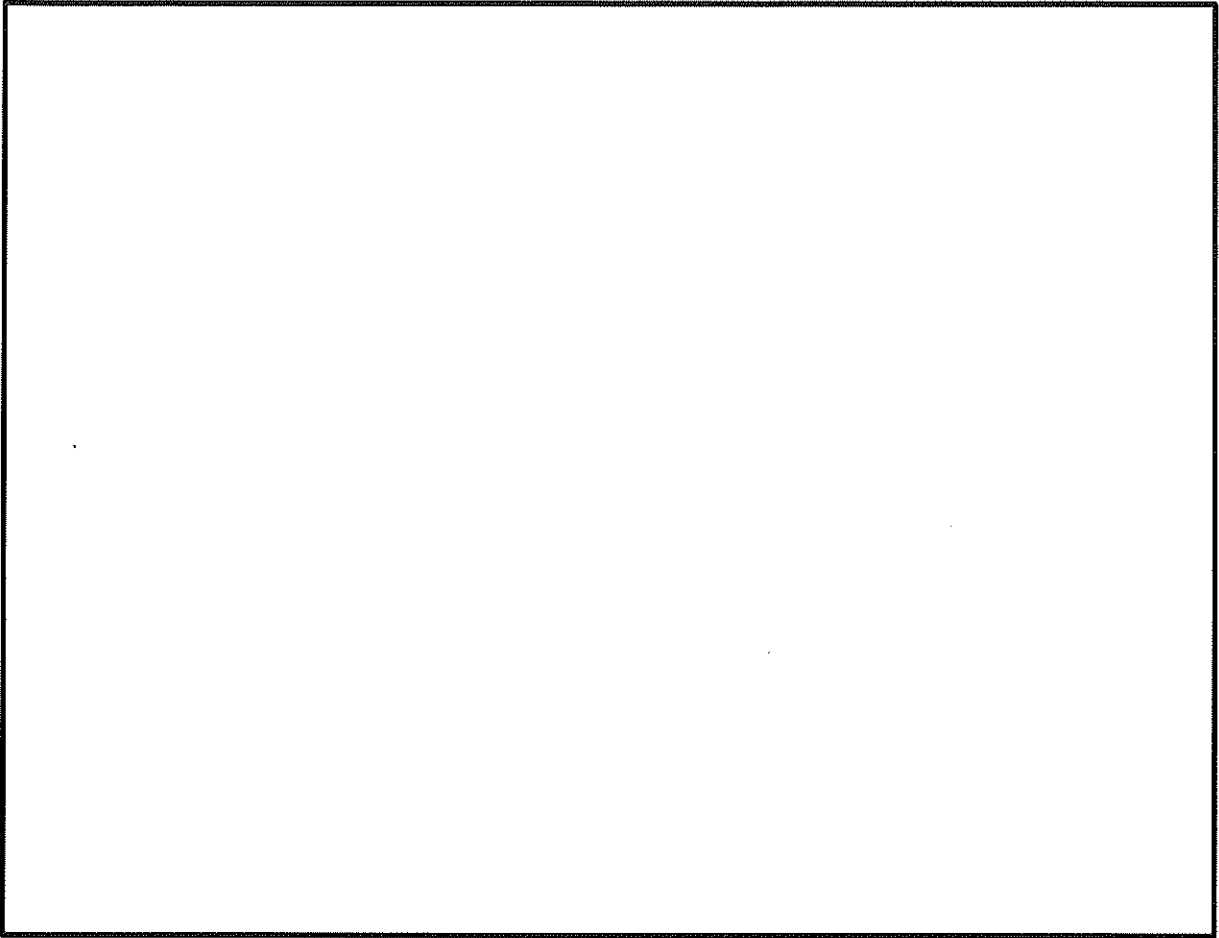


3.3 蓋ボルト部

蓋ボルトの引張及び曲げに対する荷重比、剛性比及び変形量比の算出方法を以下に示す。







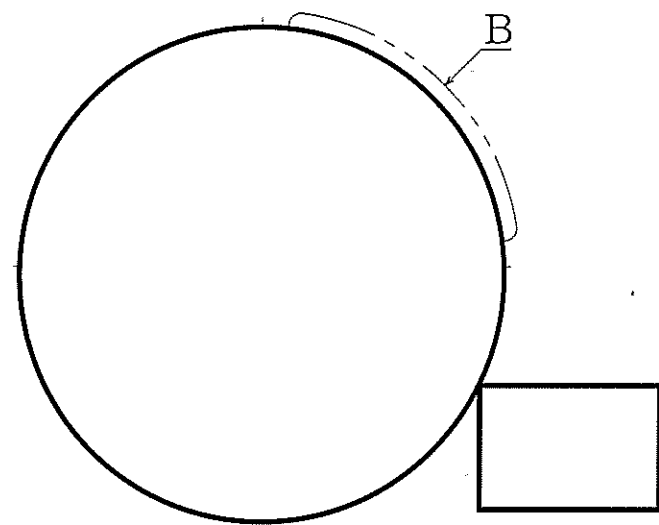
4. 参考文献

- (1) Warren C. Young , Richard G . Budynas , “ Roark’ s Formulas For Stress and Strain Seventh edition ” , the McGraw-Hill Companies, (2002) .
- (2) (一社)日本機械学会編, 「機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学」, (2005).

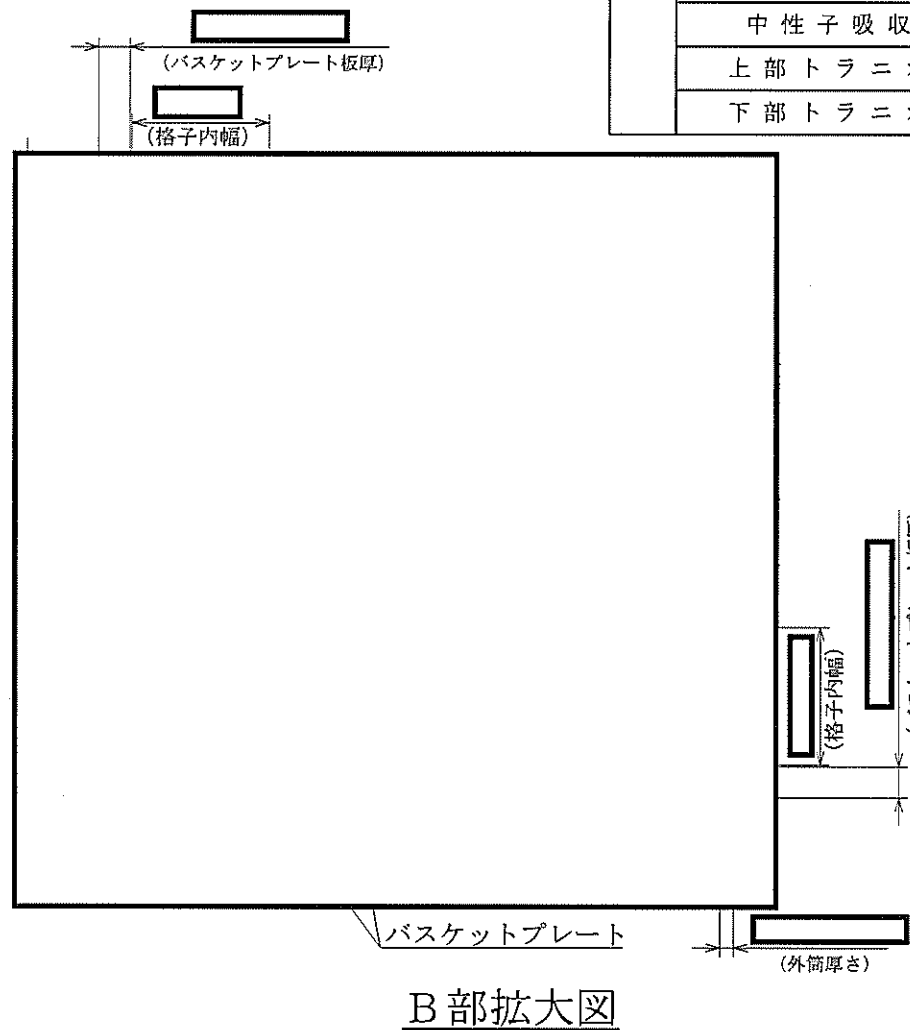
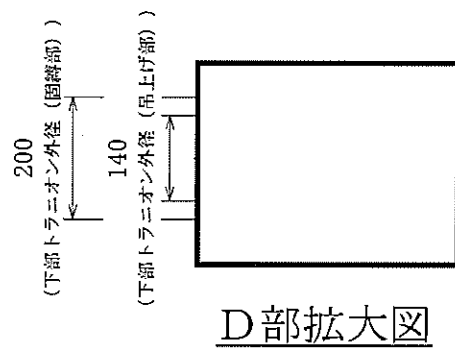
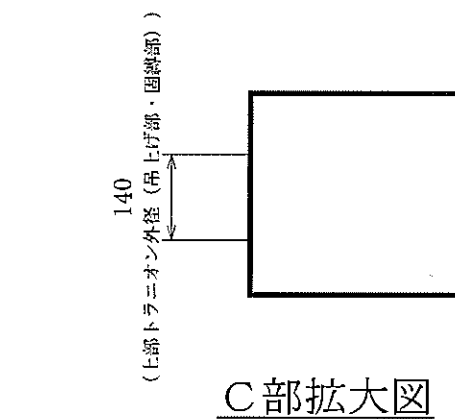
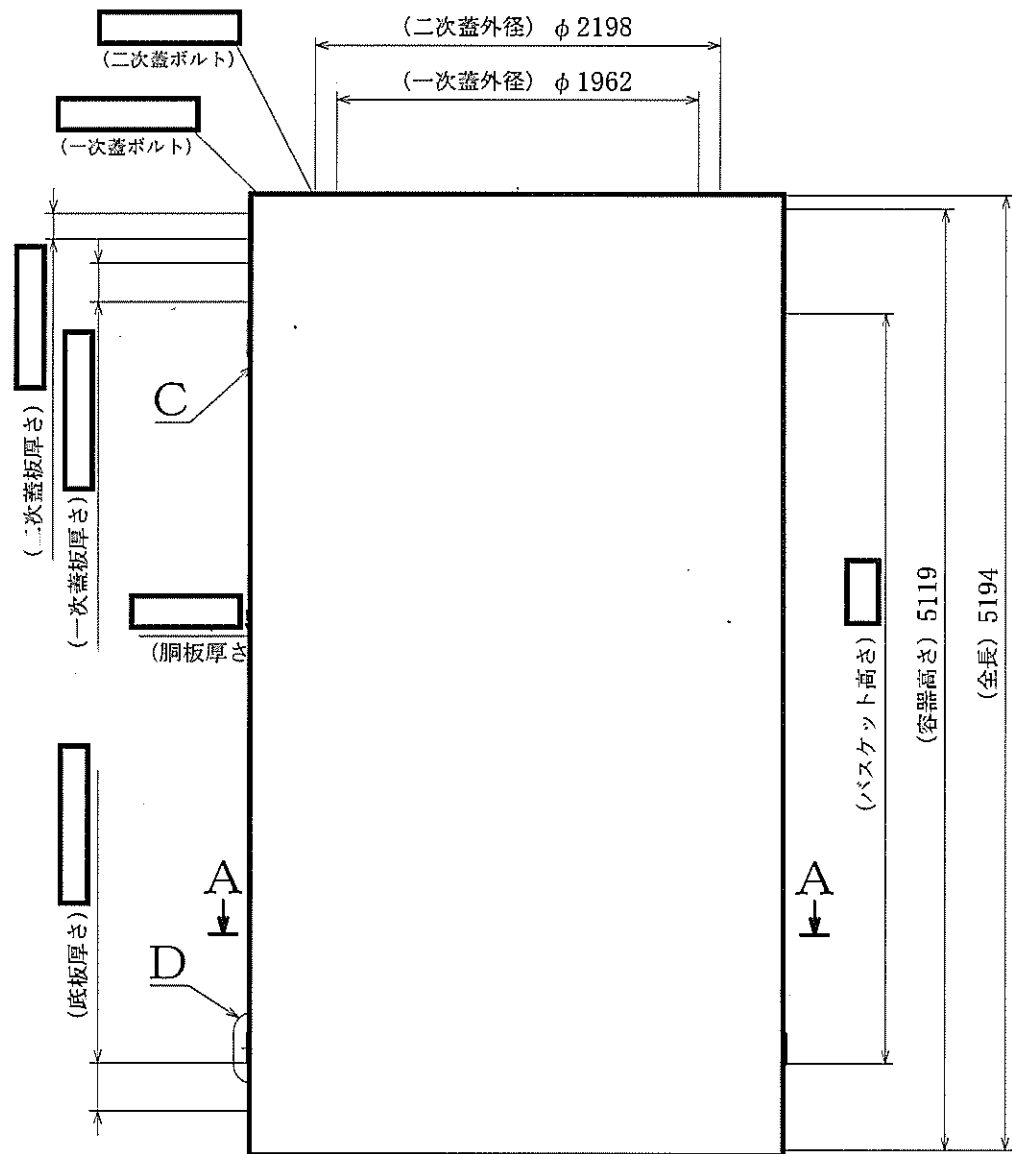
添付書類 6 構造図

目 次

第1図 特定兼用キャスクの構造図 MSF-24P(S)型 (1/2)	1
第2図 特定兼用キャスクの構造図 MSF-24P(S)型 (2/2)	2
第1図及び第2図「特定兼用キャスクの構造図 MSF-24P(S)型」の補足	3



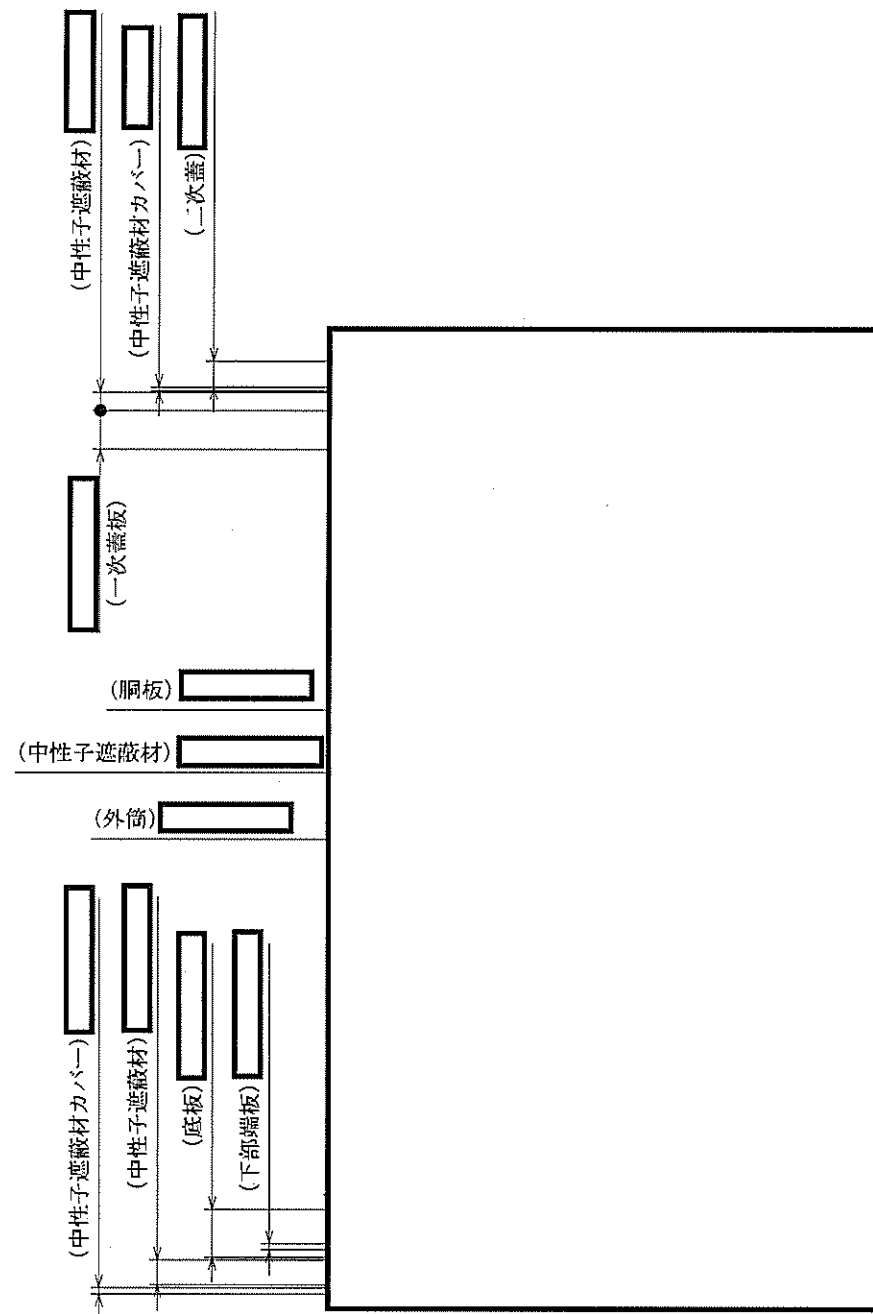
A-A断面



主要目表				
名称及び型式	—	MSF-24P (S) 型		
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	
材 料	胴板	—	C1020	
	一次蓋板	—		
	底板	—		
	一次蓋ボルト	—		
	外筒	—	C1020	
	伝熱フィン	—		
	二次蓋	—		
	二次蓋ボルト	—	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	
	貯蔵用三次蓋	—		
	貯蔵用三次蓋ボルト	—	ほう素添加アルミニウム合金	
	バスケットプレート	—		
	中性子吸収材	—	ほう素添加アルミニウム合金	
	上部トラニオン	—	SUS630 H1150	
下部トラニオン	—	SUS630 H1150		

(注) 寸法の単位はmmである。

第1図
型式設計特定機器の型式指定申請
特定兼用キャスクの構造図 MSF-24P (S) 型 (1/2)
三菱重工業株式会社



主要目表				
放射線遮蔽材	種類	部位	冷却方法	材料
				鍛造キャスク (鋼-レジン遮蔽体タイプ)
		中性子遮蔽材	自然冷却	レジン
		外筒	自然冷却	[]
		下部端板	自然冷却	[]
		底板	自然冷却	[]
		中性子遮蔽材	自然冷却	レジン
		中性子遮蔽材カバー	自然冷却	[]
	蓋部	一次蓋板	自然冷却	[]
		中性子遮蔽材	自然冷却	レジン
		中性子遮蔽材カバー	自然冷却	[]
		二次蓋	自然冷却	[]

(注) 寸法の単位はmmである。

第2図

型式設計特定機器の型式指定申請

特定兼用キャスクの構造図
MSF-24P (S) 型 (2/2)

三菱重工業株式会社

第1図及び第2図 「特定兼用キャスクの構造図 MSF-24P (S) 型」 の補足

(1) MSF-24P (S) 型の寸法許容範囲

MSF-24P (S) 型に関する公称値の許容範囲は次のとおり。

名 称		適用寸法 (mm)、呼び径又は数量		
		最大値	公称値	最小値
全	長		5,194	
外	径		2,596	
容器	胴 内 径			
	胴 板 厚 さ			
	一 次 蓋 外 径		1,962	
	一 次 蓋 板 厚 さ			
	底 板 厚 さ			
	高 さ		5,119	
	一 次 蓋 ボ ル ト 呼 び 径			
	一 次 蓋 ボ ル ト 本 数			
外筒	外 径		2,596	
	厚 さ			
二次蓋	外 径		2,198	
	厚 さ			
二次蓋 ボルト	呼 び 径			
	本 数			
バスケット	外 径			
	高 さ			
	格 子 内 幅			
	ハ ス ケ ッ ト フ レ ー ト 板 厚			
トラニオン	上部トラニオン外径 (吊上げ部・固縛部)	140		
	下部トラニオン外径 (吊上げ部)	140		
	下部トラニオン外径 (固縛部)	200		

また、MSF-24P (S) 型に関する放射線遮蔽材の公称値の許容範囲は次のとおり。

名 称			適用寸法 (mm)			
			最大値	公称値	最小値	
放射線遮蔽材	洞部	洞 板				
		中 性 子 遮 蔽 材				
		外 筒				
		下 部 端 板				
	底部	底 板				
		中 性 子 遮 蔽 材				
		中 性 子 遮 蔽 材 カ バ ー				
	蓋部	一 次 蓋				一 次 蓋 板
						中 性 子 遮 蔽 材
						中 性 子 遮 蔽 材 カ バ ー
		二 次 蓋				

(2) 許容範囲の根拠

許容範囲の根拠となる許容差等は次のとおり。

名 称		許容値 (mm)	根 拠
全	長		
外	径		
容器	洞 内 径		
	洞 板 厚 さ		
	一 次 蓋 外 径		
	一 次 蓋 板 厚 さ		
	底 板 厚 さ		
	高 さ		
	一 次 蓋 ボルト 呼び 径		
	一 次 蓋 ボルト 本 数		
外 筒	外 径		
	厚 さ		
二 次 蓋	外 径		
	厚 さ		
二 次 蓋 ボルト	呼 び 径		
	本 数		

バスケット	外 径		
	高 さ		
	格 子 内 幅		
	バスケットプレート板厚		
トラニオン	上部トラニオン外径 (吊り上げ部・固縛部)		
	下部トラニオン外径 (吊り上げ部)		
	下部トラニオン外径 (固縛部)		

--

名 称		許容値 (mm)	根 拠	
放射線遮蔽材	洞 部	洞 板		
		中 性 子 遮 蔽 材		
		外 筒		
		下 部 端 板		
	底 部	底 板		
		中 性 子 遮 蔽 材		
		中 性 子 遮 蔽 材 力 パ ー		
	蓋 部	一 次 蓋		一 次 蓋 板
				中 性 子 遮 蔽 材
				中 性 子 遮 蔽 材 力 パ ー
二 次 蓋				

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

目 次

(イ) 章 核燃料輸送物の説明	(イ)-1
A. 目的及び条件	(イ)-1
B. 核燃料輸送物の種類	(イ)-5
C. 輸送容器	(イ)-5
D. 輸送容器の収納物	(イ)-29
(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)-1
A. 構造解析	(ロ)-A-1
A. 1 構造設計	(ロ)-A-1
A. 1. 1 概 要	(ロ)-A-1
A. 1. 2 設計基準	(ロ)-A-2
A. 2 重量及び重心	(ロ)-A-23
A. 3 材料の機械的性質	(ロ)-A-24
A. 4 輸送物の要件	(ロ)-A-40
A. 4. 1 化学的及び電気的反応	(ロ)-A-40
A. 4. 2 低温強度	(ロ)-A-42
A. 4. 3 密封装置	(ロ)-A-44
A. 4. 4 吊上装置	(ロ)-A-44
A. 4. 4. 1 応力評価	(ロ)-A-44
A. 4. 4. 2 上部トラニオンの疲労評価	(ロ)-A-51
A. 4. 5 固縛装置	(ロ)-A-53
A. 4. 6 圧 力	(ロ)-A-59
A. 4. 7 振 動	(ロ)-A-59
A. 4. 8 輸送物の要件に対する評価結果の要約	(ロ)-A-61
A. 5 一般の試験条件	(ロ)-A-62
A. 5. 1 熱的試験	(ロ)-A-62
A. 5. 1. 1 温度及び圧力の要約	(ロ)-A-62
A. 5. 1. 2 熱膨張	(ロ)-A-64
A. 5. 1. 3 応力計算	(ロ)-A-64

A. 5. 1. 4	許容応力との比較	(p)-A-73
A. 5. 2	水噴霧	(p)-A-73
A. 5. 3	自由落下	(p)-A-74
A. 5. 3. 1	落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度	(p)-A-74
A. 5. 3. 2	落下時の応力計算	(p)-A-83
A. 5. 4	積み重ね試験	(p)-A-116
A. 5. 5	貫通	(p)-A-119
A. 5. 6	角又は縁落下	(p)-A-120
A. 5. 7	結果の要約及びその評価	(p)-A-120
A. 6	特別の試験条件	(p)-A-128
A. 6. 1	強度試験・落下試験 I (9m 落下時)	(p)-A-128
A. 6. 1. 1	垂直落下	(p)-A-131
A. 6. 1. 2	水平落下	(p)-A-140
A. 6. 1. 3	コーナー落下	(p)-A-147
A. 6. 1. 4	傾斜落下	(p)-A-149
A. 6. 1. 5	結果の要約	(p)-A-150
A. 6. 2	強度試験・落下試験 II (1m 落下時)	(p)-A-150
A. 6. 2. 1	結果の要約	(p)-A-153
A. 6. 3	熱的試験	(p)-A-154
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	(p)-A-154
A. 6. 3. 2	熱膨張	(p)-A-156
A. 6. 3. 3	許容応力との比較	(p)-A-158
A. 6. 4	浸漬	(p)-A-161
A. 6. 5	結果の要約及びその評価	(p)-A-162
A. 7	強化浸漬試験	(p)-A-167
A. 8	放射性収納物	(p)-A-170
A. 9	核分裂性輸送物	(p)-A-171
A. 9. 1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(p)-A-171
A. 9. 2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(p)-A-173
A. 10	付属書類	(p)-A-178
B.	熱解析	(p)-B-1
B. 1	概要	(p)-B-1
B. 2	材料の熱的性質	(p)-B-3
B. 3	構成要素の仕様	(p)-B-7
B. 4	一般の試験条件	(p)-B-8
B. 4. 1	熱解析モデル	(p)-B-8

B. 4. 1. 1	解析モデル	(p)-B-8
B. 4. 1. 2	試験モデル	(p)-B-25
B. 4. 2	最高温度	(p)-B-25
B. 4. 3	最低温度	(p)-B-34
B. 4. 4	最大内圧	(p)-B-34
B. 4. 5	最大熱応力	(p)-B-38
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	(p)-B-39
B. 5	特別の試験条件	(p)-B-43
B. 5. 1	熱解析モデル	(p)-B-43
B. 5. 1. 1	解析モデル	(p)-B-43
B. 5. 1. 2	試験モデル	(p)-B-52
B. 5. 2	輸送物の評価条件	(p)-B-53
B. 5. 3	輸送物温度	(p)-B-53
B. 5. 4	最大内圧	(p)-B-64
B. 5. 5	最大熱応力	(p)-B-68
B. 5. 6	結果の要約及びその評価	(p)-B-69
B. 6	付属書類	(p)-B-73
C.	密封解析	(p)-C-1
C. 1	概要	(p)-C-1
C. 2	密封装置	(p)-C-1
C. 2. 1	密封装置	(p)-C-1
C. 2. 2	密封装置の貫通部	(p)-C-1
C. 2. 3	密封装置のガスケット及び溶接部	(p)-C-1
C. 2. 4	蓋	(p)-C-2
C. 3	一般の試験条件	(p)-C-2
C. 3. 1	放射性物質の漏えい	(p)-C-2
C. 3. 2	密封装置の加圧	(p)-C-6
C. 3. 3	冷却材汚染	(p)-C-6
C. 3. 4	冷却材損失	(p)-C-6
C. 4	特別の試験条件	(p)-C-6
C. 4. 1	核分裂生成ガス	(p)-C-6
C. 4. 2	放射性物質の漏えい	(p)-C-6
C. 5	結果の要約及びその評価	(p)-C-8
C. 6	付属書類	(p)-C-9

D.	遮蔽解析	(p)-D-1
D.1	概要	(p)-D-1
D.2	線源仕様	(p)-D-1
D.2.1	ガンマ線源	(p)-D-6
D.2.2	中性子源	(p)-D-11
D.3	モデル仕様	(p)-D-18
D.3.1	解析モデル	(p)-D-18
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p)-D-26
D.4	遮蔽評価	(p)-D-34
D.5	結果の要約及びその評価	(p)-D-45
D.6	付属書類	(p)-D-48
E.	臨界解析	(p)-E-1
E.1	概要	(p)-E-1
E.2	解析対象	(p)-E-1
E.2.1	収納物	(p)-E-1
E.2.2	輸送容器	(p)-E-5
E.2.3	中性子吸収材	(p)-E-5
E.3	モデル仕様	(p)-E-6
E.3.1	解析モデル	(p)-E-6
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p)-E-21
E.4	未臨界評価	(p)-E-23
E.4.1	計算条件	(p)-E-23
E.4.2	核燃料輸送物への水の浸入等	(p)-E-23
E.4.3	計算方法	(p)-E-24
E.4.4	計算結果	(p)-E-24
E.5	ベンチマーク試験	(p)-E-26
E.6	結果の要約及びその評価	(p)-E-34
E.7	付属書類	(p)-E-35
F.	核燃料輸送物の経年変化の考慮	(p)-F-1
F.1	考慮すべき経年変化要因	(p)-F-1
F.2	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(p)-F-1
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(p)-F-15
F.4	付属資料	(p)-F-22
G.	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	(p)-G-1

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A. 核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A.1 装荷方法	(ハ)-1
A.2 貯蔵方法	(ハ)-3
A.3 取出し方法	(ハ)-3
A.4 空容器の準備	(ハ)-5
A.5 核燃料輸送物の発送前検査	(ハ)-7
A.6 使用済燃料の長期健全性に関する状況調査	(ハ)-17
B. 保守条件	(ハ)-19
B.1 外観検査	(ハ)-19
B.2 耐圧検査	(ハ)-19
B.3 気密漏えい検査	(ハ)-19
B.4 遮蔽検査	(ハ)-19
B.5 未臨界検査	(ハ)-19
B.6 熱検査	(ハ)-19
B.7 吊上検査	(ハ)-19
B.8 作動確認検査	(ハ)-20
B.9 補助系の保守	(ハ)-20
B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)-20
B.11 輸送容器の保管	(ハ)-20
B.12 記録の保管	(ハ)-20
B.13 その他	(ハ)-20
(ニ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ニ)-1
参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	(参)-A-1

(注) 本資料における「輸送物」とは、「核燃料輸送物」を指すものとする。

(1)章 核燃料輸送物の説明

(イ)章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. 使用目的 | 軽水炉型原子力発電所（PWR）の使用済燃料を、原子力発電所から再処理工場に輸送するため。 |
| 2. 輸送容器の型名 | MSF-24P(S)型 |
| 3. 輸送物の種類 | BM型核分裂性輸送物 |
| 4. 輸送制限個数 | なし |
| 5. 輸送指数 | 10以下 |
| 6. 臨界安全指数 | 0 |
| 7. 輸送物の総重量 | 134.4トン以下（輸送架台は含まず） |
| 8. 輸送容器の外形寸法 | 外径約3.6m、長さ約6.8m（上・下部緩衝体を含む） |
| 9. 輸送容器の重量 | 117.7トン以下（輸送架台は含まず） |
| 10. 輸送容器の材質 | 胴—炭素鋼
外筒—炭素鋼
一次蓋—炭素鋼
二次蓋—炭素鋼
三次蓋—ステンレス鋼
中性子遮蔽材—レジン
伝熱フィン—銅
バスケット—ほう素添加アルミニウム合金
及びアルミニウム合金
緩衝体—ステンレス鋼及び木材 |
| 11. 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様 | 核燃料物質の仕様を(イ)-第A.1表に示す。 |
| 12. 輸送形態 | 車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送
いずれの場合も本書に示す緩衝体を装着し専用積載として輸送 |
| 13. 冷却方法 | 自然空気冷却 |
| 14. 使用予定年数 | 60年（設計評価期間） |
| 15. 輸送容器の使用予定回数 | 10回 |
| 16. 貯蔵予定期間 | 60年（設計貯蔵期間） |
| 17. その他特記事項 | 本輸送物の運搬は、周囲温度-20℃以上で実施する。 |

(イ)-第 A.1 表 輸送容器 1 基に収納する核燃料物質の仕様 (1/2)

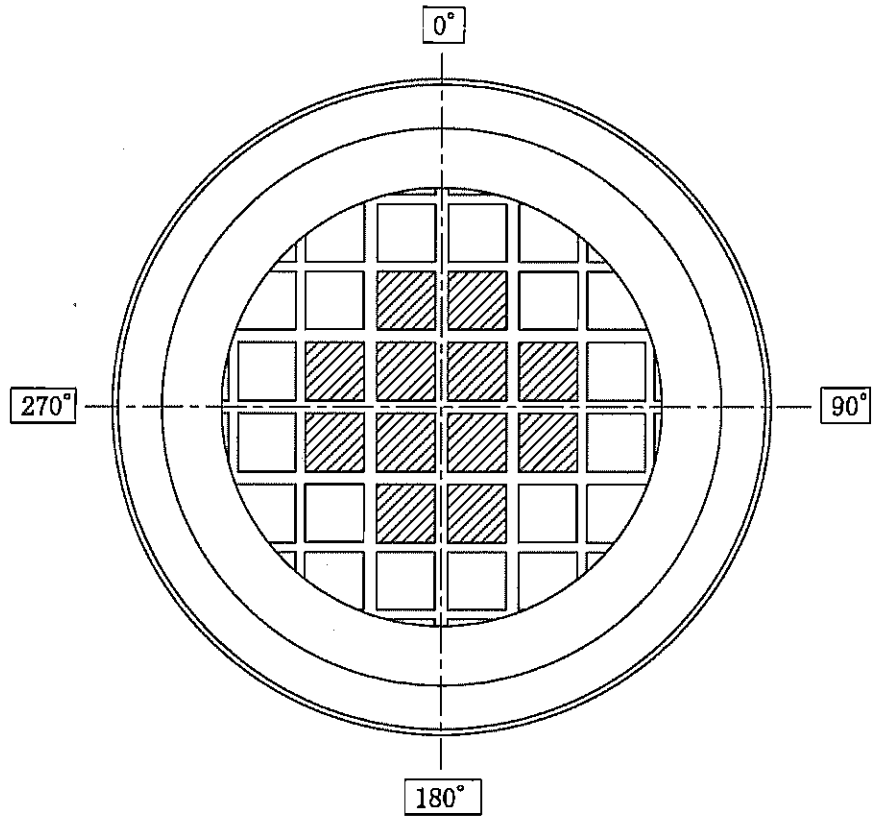
燃料集合体の種類と型式		中央部 (注)				外周部 (注)			
		17×17 燃料							
		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
		A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型
種 類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料							
性 状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)							
燃料集合体 1 体の仕様	ウラン重量 (kg 以下)	□							
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)								
	初期濃縮度 (wt% 以下)	4.2		3.7		4.2		3.7	
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	48,000		39,000		44,000		39,000	
	冷却日数 (日以上)	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209
輸送容器 1 基当たりの仕様	収納体数 (注) (体以下)	12				12			
		24							
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	44,000							
	放射能の量 (PBq 以下)	□							
	発熱量 (kW 以下)	15.8							



(注) 燃料集合体は (イ)-第 A.1 図に示すとおり収納位置が制限される。

(イ)-第 A.1 表 輸送容器 1 基に収納する核燃料物質の仕様 (2/2)

燃料集合体の種類と型式		中央部 ^(注)				外周部 ^(注)			
		15×15 燃料							
		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
		A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型
種 類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料							
性 状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)							
燃料集合体 1 体の仕様	ウラン重量 (kg 以下)	[]							
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)								
	初期濃縮度 (wt% 以下)	4.1		3.5		4.1		3.5	
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	48,000		39,000		44,000		39,000	
	冷却日数 (日以上)	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209
輸送容器 1 基当たりの仕様	収納体数 ^(注) (体以下)	12				12			
		24							
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	44,000							
	放射能の量 (PBq 以下)	[]							
	発熱量 (kW 以下)	15.8							

(注) 燃料集合体は (イ)-第 A.1 図に示すとおり収納位置が制限される。



 : 中央部 (12 体)
 : 外周部 (12 体)

(イ)-第 A. 1 図 燃料集合体の収納位置

B. 核燃料輸送物の種類

BM 型核分裂性輸送物

C. 輸送容器

1. 設計の概要

輸送物の全体図を(イ)-第 C.1 図に、断面図を(イ)-第 C.2 図に示す。

輸送容器外形は円筒形状である。輸送容器は輸送中には、(イ)-第 C.3 図に示すように輸送架台に横置き状態に保持され、固縛装置で固定される。落下衝撃を緩和するため、容器の上部及び下部に緩衝体を取り付けられている。

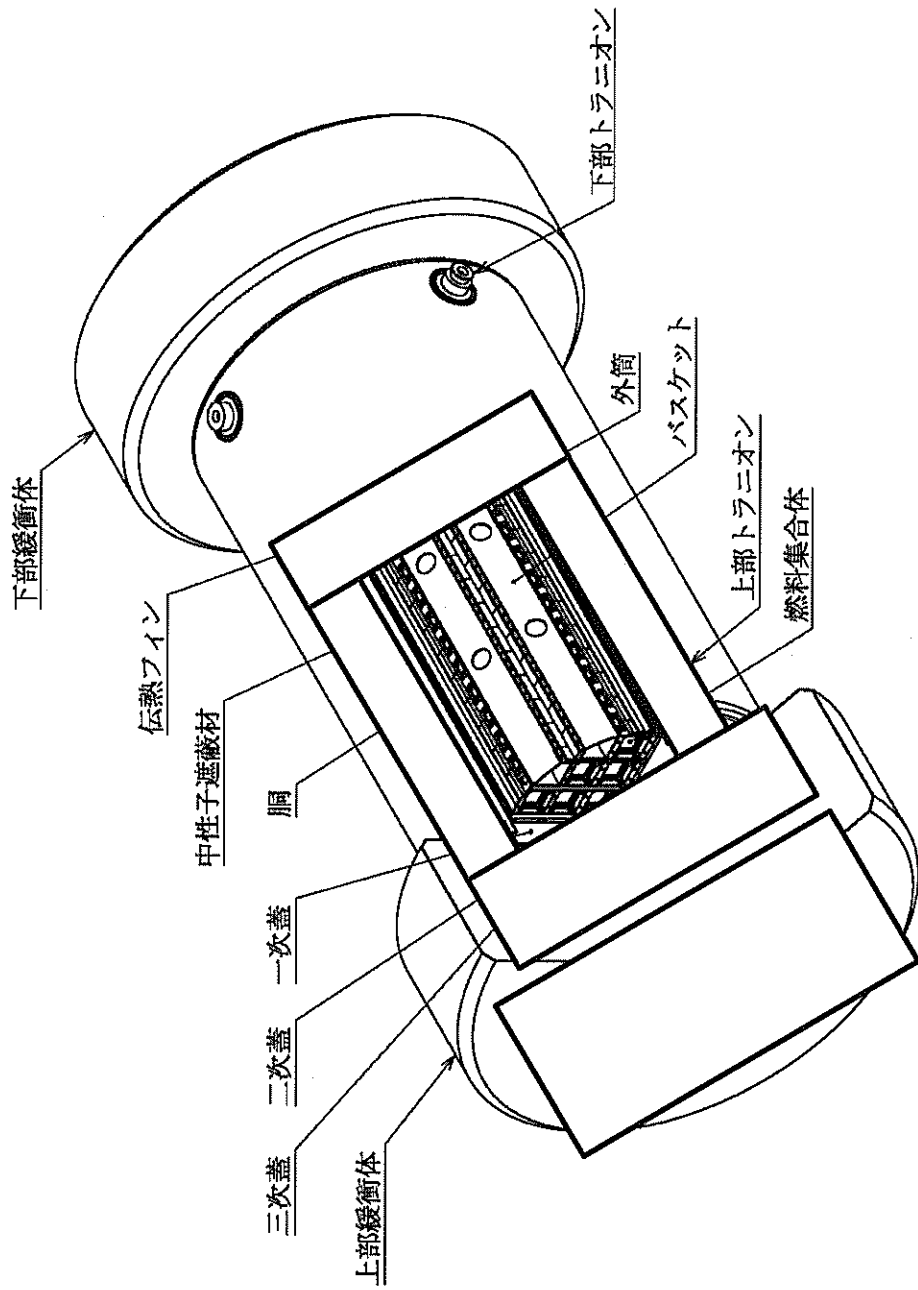
輸送容器は原子力発電所での取り扱い時には横置き又はたて置き状態に保持される。燃料集合体の出し入れは、原子力発電所内の所定場所においてたて置き状態に保持された容器の上部から行われる。輸送容器の取扱いは容器に設けられたトラニオンを使用して行われる。

輸送容器は、一次蓋、二次蓋及び三次蓋を有し、三重の密封構造となっている。輸送容器における密封装置は胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートで構成され、密封境界は(イ)-第 C.4 図に示すとおりである。

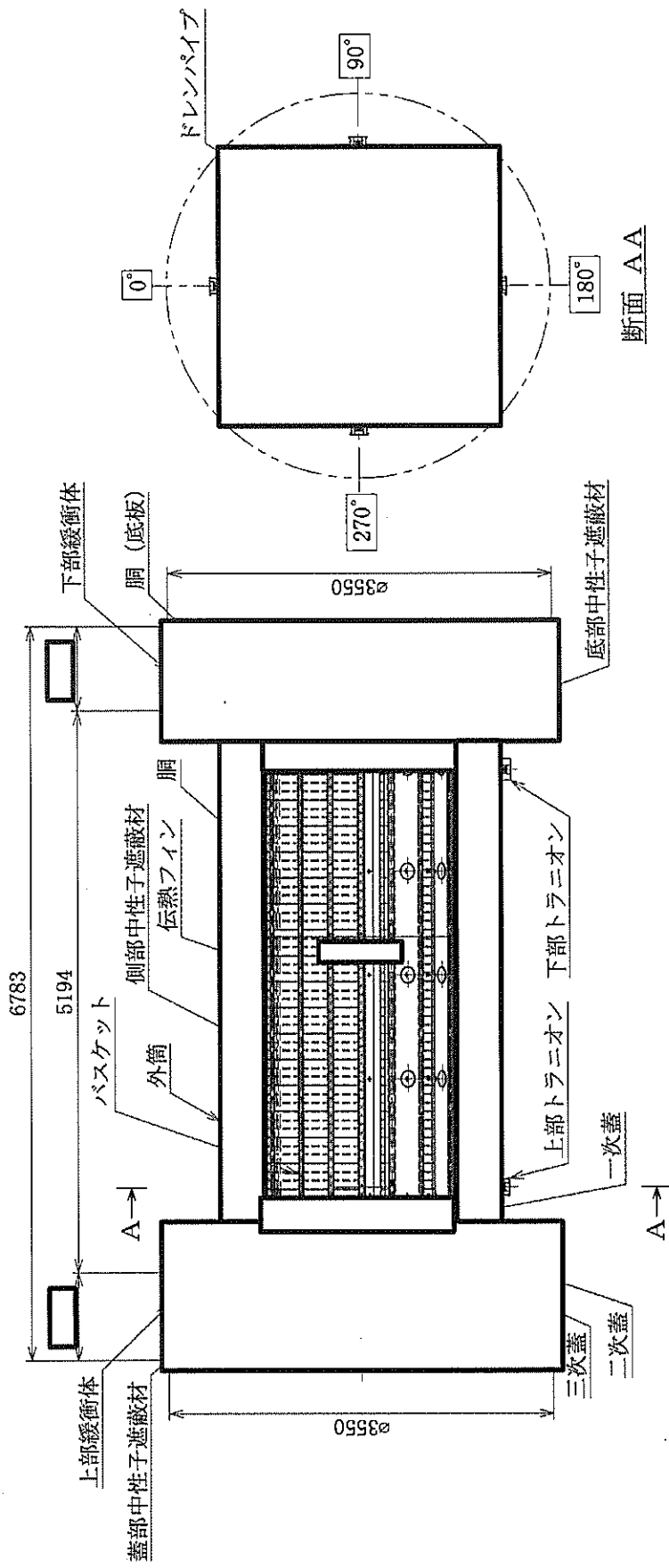
輸送容器の主な遮蔽材は、炭素鋼及びレジンである。炭素鋼は主にガンマ線遮蔽材、レジン中性子遮蔽材として用いられている。胴と外筒の間に中性子遮蔽材であるレジンが充填されている。また、レジンがキャスク本体下部及び一次蓋部にも充填されている。

一次蓋と胴に囲まれる空間（以下「胴内」という。）には、燃料集合体より発生する崩壊熱の除去を容易にするため、ヘリウムが約 0.05 MPa 充填される。また、燃料集合体を輸送中に保持するために胴内にバスケットが収納されている。

バスケットは、断面形状が中空状のアルミニウム合金製のバスケットプレートから構成された格子構造であり、個々の使用済燃料集合体がキャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納される。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置している。



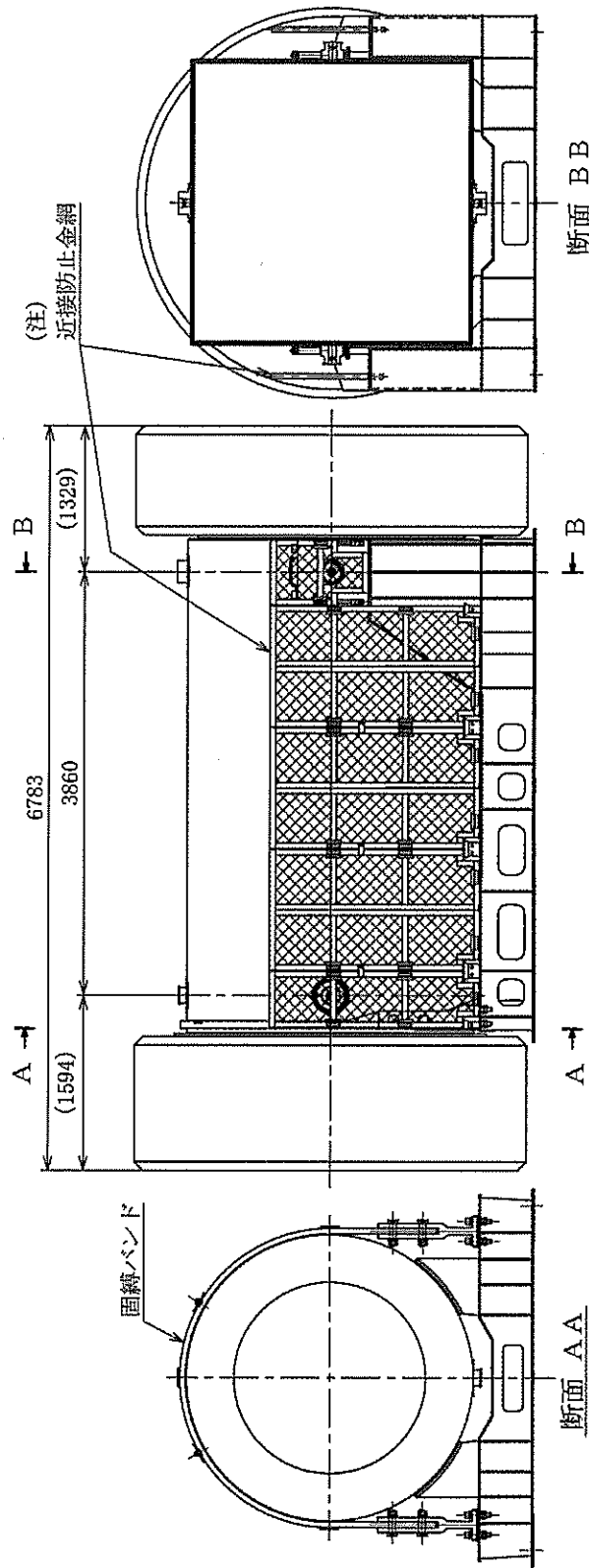
(イ)-第 C.1 図 輸送物全体図 (鳥瞰図)



(単位：mm)

(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

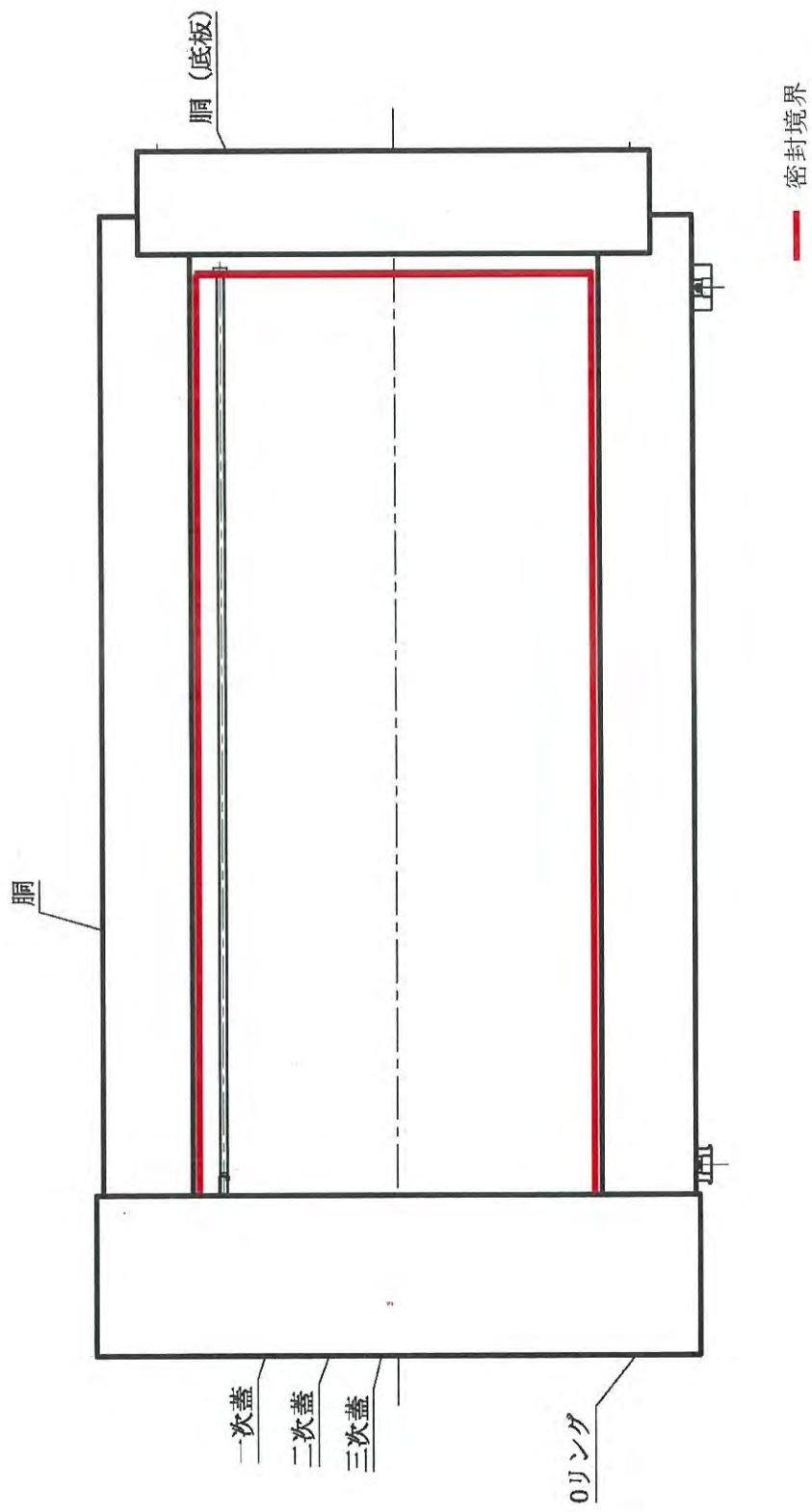
(イ)-第 C.2 図 輸送容器断面図



(単位：mm)

(注) 取り付けない場合がある。

(1)-第 C.3 図 輸送荷姿



(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

(イ)-第 C. 4 図 密封境界

2. 構造

輸送容器は(イ)-第 C.1 図及び(イ)-第 C.2 図に示すようにキャスク本体、一次蓋、二次蓋、三次蓋、バスケット及び緩衝体により構成される。

付属機器として、輸送架台がある。また、輸送架台には近接防止金網を取り付ける場合がある。

(1) キャスク本体

本体縦断面図を(イ)-第 C.5 図に、横断面図を(イ)-第 C.6 図に示す。

キャスク本体の主要部は胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

輸送容器の密封境界を形成する胴は炭素鋼製の単層構造であり、胴の炭素鋼は主要なガンマ線遮蔽材である。胴内面には

胴の表面のうち、一次蓋、二次蓋及び三次蓋との接触面には

胴外面のうち、外気接触面には塗装が施されている。

外筒は、上部が胴に溶接され、下部は下部端板に溶接されている。外筒は炭素鋼製であり、外表面には塗装が施されている。

下部端板はステンレス鋼製であり、胴の下部に溶接され、外筒及び胴とともに中性子遮蔽材（レジン）を保持している。胴と外筒の間には除熱を促進するための伝熱フィンを設けている。

胴（底板）と底部中性子遮蔽材カバーで形成されている空間には中性子遮蔽材（レジン）が充填されている。

また、胴内には、一次蓋に設けられた貫通孔を介して胴内の加圧並びに水抜きが可能なようにドレンパイプが設けられている。ドレンパイプの上端部は、ゴムパッキンを介して一次蓋に設けられた貫通孔へ接続されている。

キャスク本体上部には、上部トラニオンが取り付けられている。上部トラニオンは、吊上専用のトラニオン並びに吊上、横置き時の固縛に使用可能な吊上、固縛兼用のトラニオンがあり、これらのトラニオンが各一対ずつ設けられている。上部トラニオンの構造は(イ)-第 C.7 図に示すとおりである。

キャスク本体下部には、下部トラニオンが取り付けられている。下部トラニオンは、水平吊り、輸送架台への積載及び横置き時の固縛に使用する吊上、固縛兼用のトラニオン並びにたて置き時の固縛に使用可能な固縛専用のトラニオンがあり、これらのトラニオンが各一対ずつ設けられている。下部トラニオンの構造は(イ)-第 C.7 図に示すとおりである。

輸送容器又は輸送物は原子力発電所において、垂直吊り又は水平吊りで取り扱われる。輸送船及びトレーラへの積み降ろしでは輸送架台の付いた状態で水平吊りされる。輸送時には輸送架台に固縛され、輸送架台は船倉やトレーラ荷台に固定される。

輸送容器を単体で垂直吊りする場合には、一對の上部トラニオンの外径φ140 mmの部分が使用される。

輸送容器又は輸送物を単体で水平吊りする場合には、上・下部トラニオンの90°、270°方向の二對の外径φ140 mmの部分が使用される。

輸送架台に固縛した輸送容器又は輸送物を水平吊りする場合には、単体の水平吊りと同様に上・下部トラニオンの90°、270°方向の二對の外径φ140 mmの部分が使用される。

輸送架台への固縛は、輸送容器のキャスク本体上部、並びに下部トラニオンの90°、270°方向の一對の外径φ200 mmの部分が使用される。

(2) 一次蓋

一次蓋の構造を(イ)-第C.8図に示す。一次蓋は炭素鋼製であり、本の一次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。一次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

また、一次蓋には、頭部側の中性子遮蔽のために、中性子遮蔽材（レジン）が充填されており、炭素鋼製の蓋部中性子遮蔽材カバーで覆われている。

一次蓋のシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

胴との接触面及びシール部には、また、その他の表面及び蓋部中性子遮蔽材カバーの外表面にはが施されている。

一次蓋には内水の排水、真空乾燥及びヘリウム充填のために貫通孔が2ヶ所設けられており、それぞれの貫通孔にはベントバルブ及びドレンバルブが設置されている。ベントバルブ及びドレンバルブの構造を(イ)-第C.9図に示す。これらの貫通孔上にはステンレス鋼製のカバープレートが取り付けられる。カバープレートのシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

なお、一次蓋は外側を二次蓋に覆われており、不用意に一次蓋ボルトが外されないようになっている。

(3) 二次蓋

二次蓋の構造を(イ)-第C.10図に示す。二次蓋は炭素鋼製であり、本の二次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。二次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

二次蓋のシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

胴との接触面及びシール部には、その他の表面にはが施されている。

二次蓋には、一次蓋と二次蓋で形成される空間にヘリウムを充填するための貫通孔

と、この空間の圧力を検出するための貫通孔が設けられており、それぞれの貫通孔にはモニタリングポートバルブが設置されている。モニタリングポートバルブの構造を(イ)-第 C. 11 図に示す。輸送中はその外側にモニタリングポートカバープレートが取り付けられる。モニタリングポートカバープレートのシール部には O リングが設けられている。

なお、二次蓋は外側を三次蓋に覆われており、不用意に二次蓋ボルトが外されないようになっている。

(4) 三次蓋

三次蓋の構造を(イ)-第 C. 12 図に示す。三次蓋はステンレス鋼製であり、 本の三次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。三次蓋のステンレス鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

三次蓋には、二次蓋と三次蓋で形成される空間の圧力を開放するための貫通孔が設けられており、貫通孔にはリリースバルブが設置されている。リリースバルブの構造を(イ)-第 C. 13 図に示す。輸送中はその外側にリリースバルブカバープレートが取り付けられる。

三次蓋及びリリースバルブカバープレートのシール部には二重の O リングが設けられており、この二重の O リングの内側 O リングにより輸送中の密封境界を形成する。

なお、三次蓋は外側を緩衝体に覆われており、不用意に三次蓋ボルトが外されないようになっている。

(5) バスケット

バスケットは、個々の燃料集合体がキャスク本体内部の所定の格子内に収納できるよう設けられる。バスケットの構造を(イ)-第 C. 14 図に示す。バスケットは、断面形状が中空状のアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成されたバスケットと、アルミニウム合金製のバスケットサポートにより構成される。また、燃料集合体の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置している。

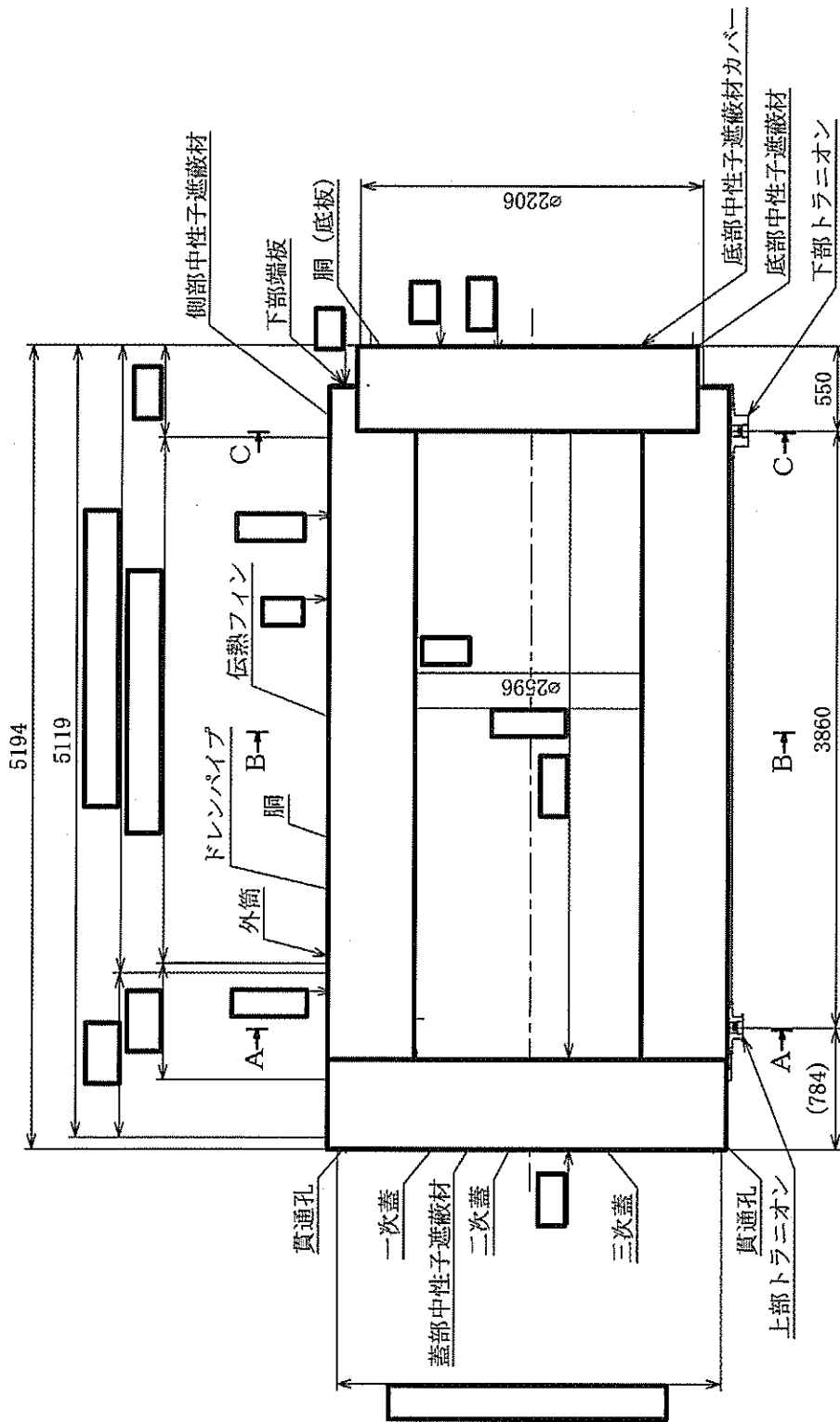
(6) 緩衝体

上部緩衝体はキャスク本体上部に、下部緩衝体はキャスク本体下部に各々 本のボルトで取り付けられ、落下等により輸送容器に加わる衝撃を吸収して輸送容器を保護する。

上部緩衝体を(イ)-第 C. 15 図に、下部緩衝体を(イ)-第 C. 16 図に示す。

上部及び下部緩衝体は、ステンレス鋼のカバープレートとリブから構成される溶接構造物の内部に、緩衝材である木材 を充填した

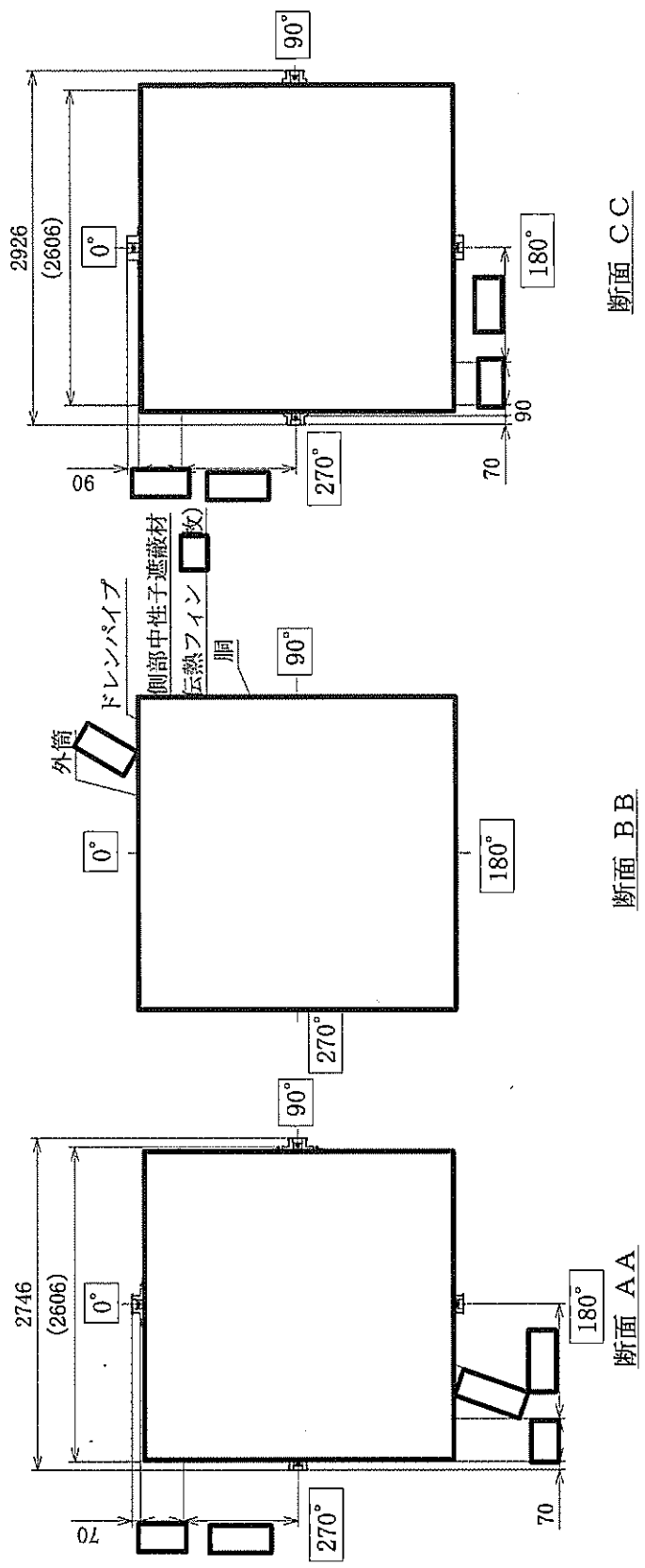
ものである。



(単位：mm)

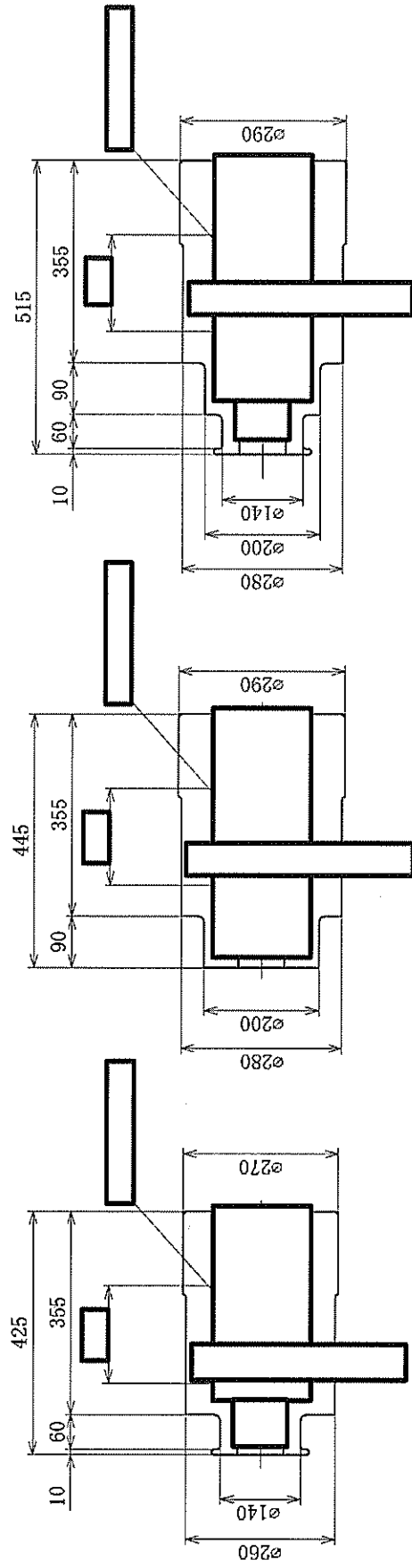
(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

(イ)-第 C.5 図 本体縦断面図



(単位：mm)

(イ)-第 C. 6 図 本体横断面図



上部トラニオン (吊上専用)

(0°, 180°)

及び

上部トラニオン (吊上・固縛兼用)

(90°, 270°)

下部トラニオン (固縛専用)

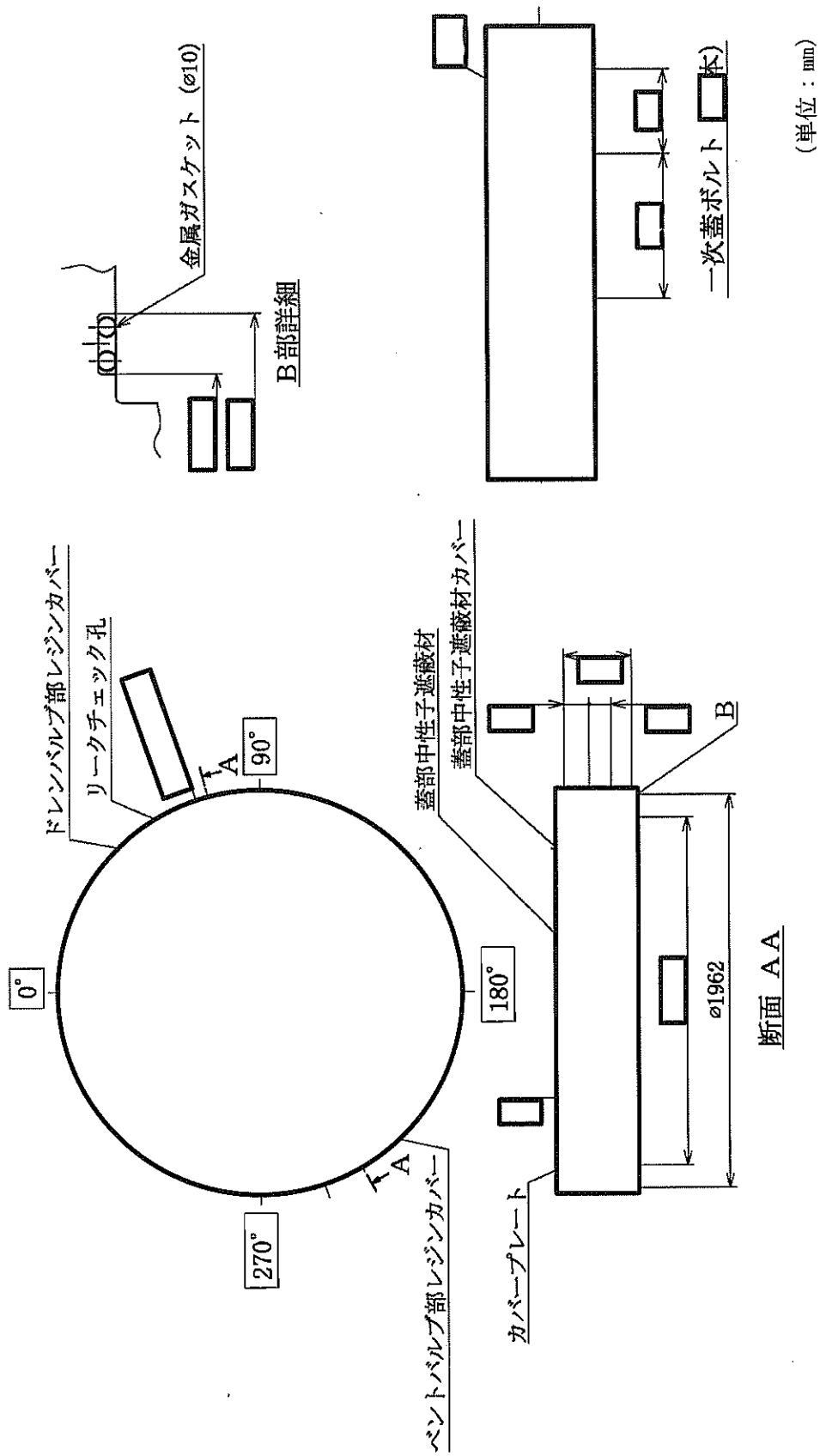
(0°, 180°)

下部トラニオン (吊上・固縛兼用)

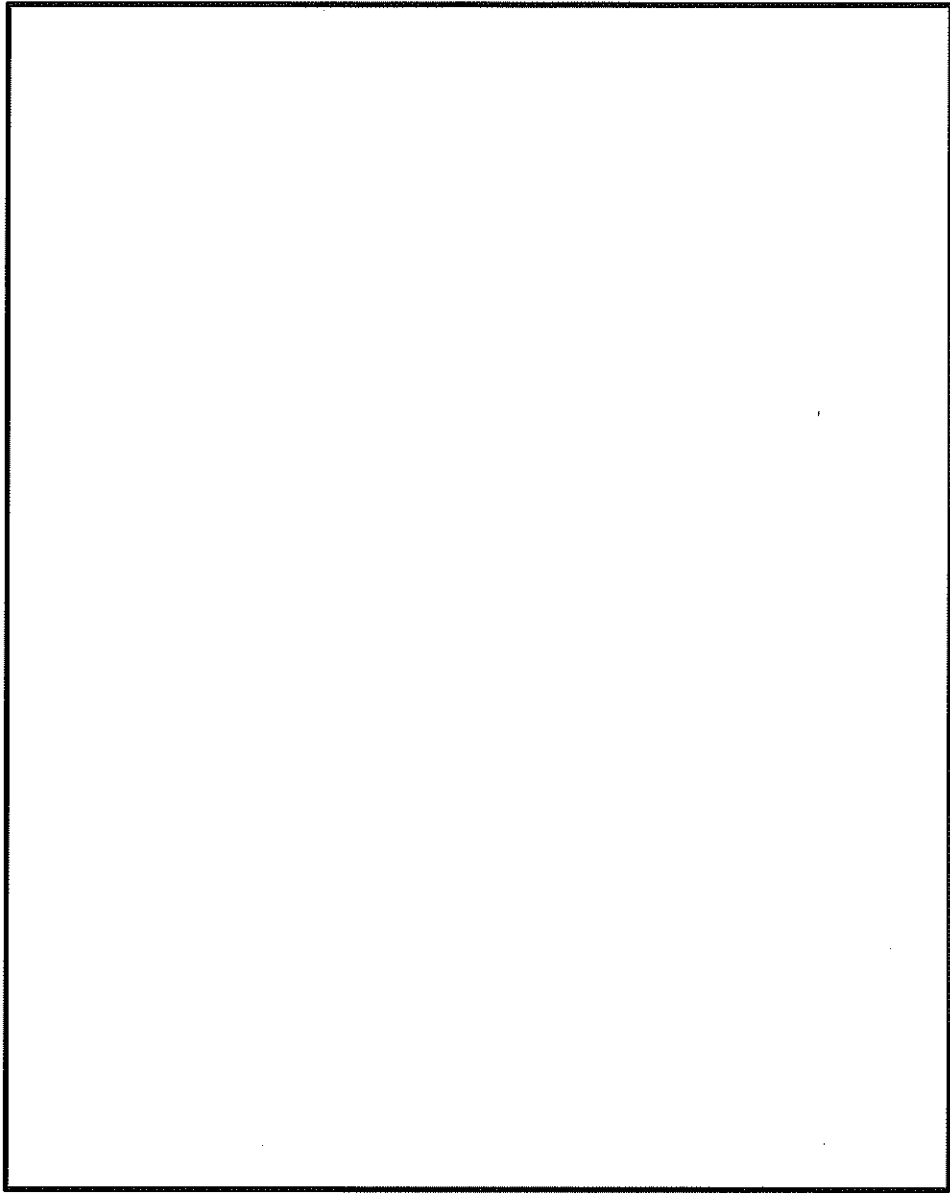
(90°, 270°)

(単位 : mm)

(イ)-第 C.7 図 トラニオン

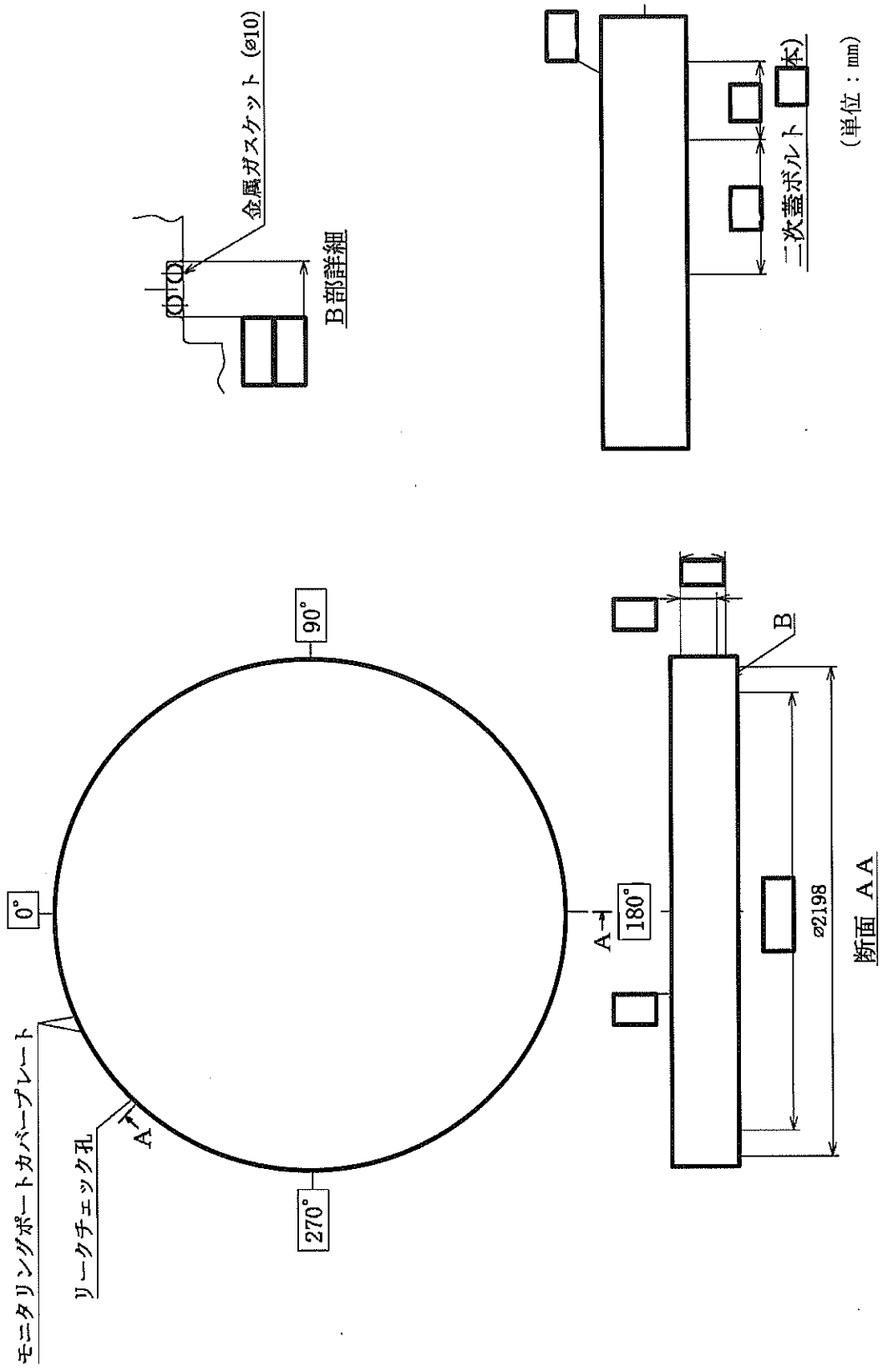


(イ)-第 C. 8 図 一次蓋

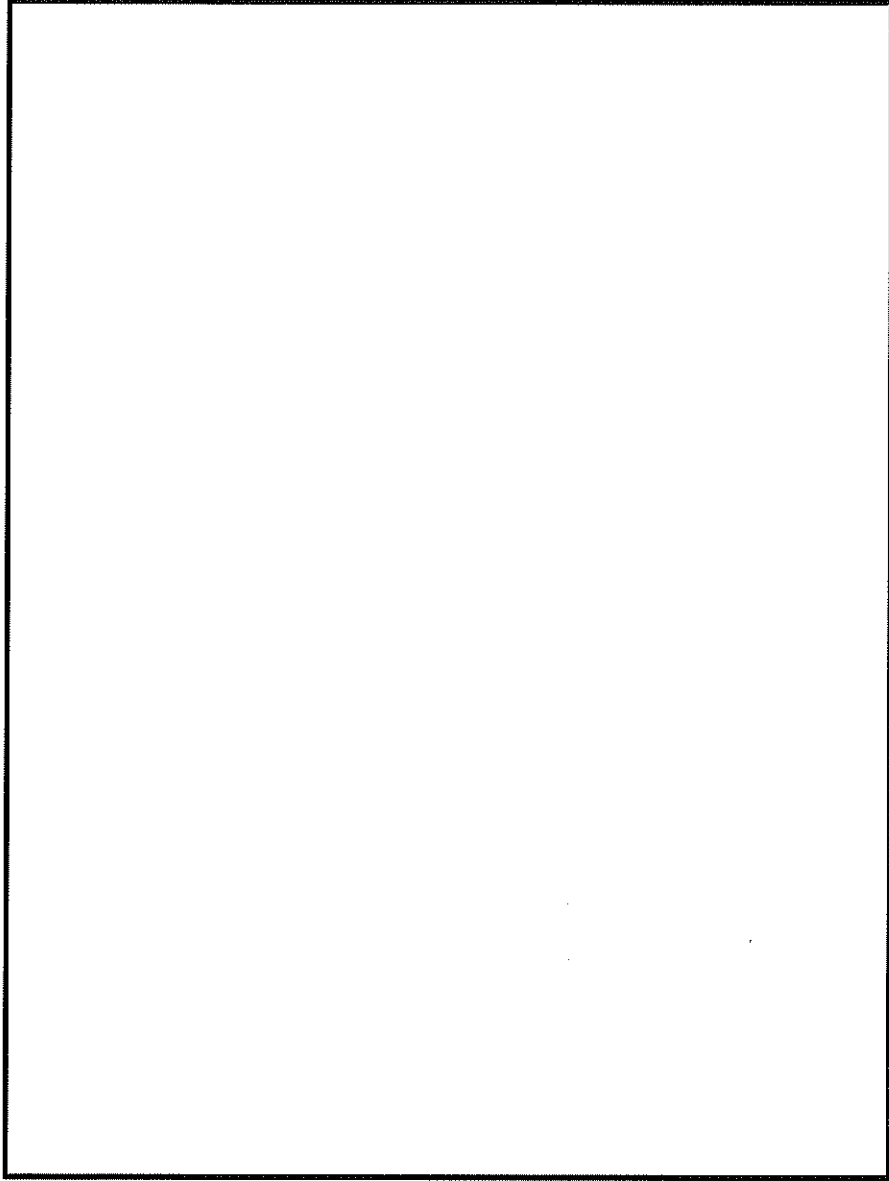


(單位：mm)

(i)-第 C.9 圖 一次蓋貫通孔

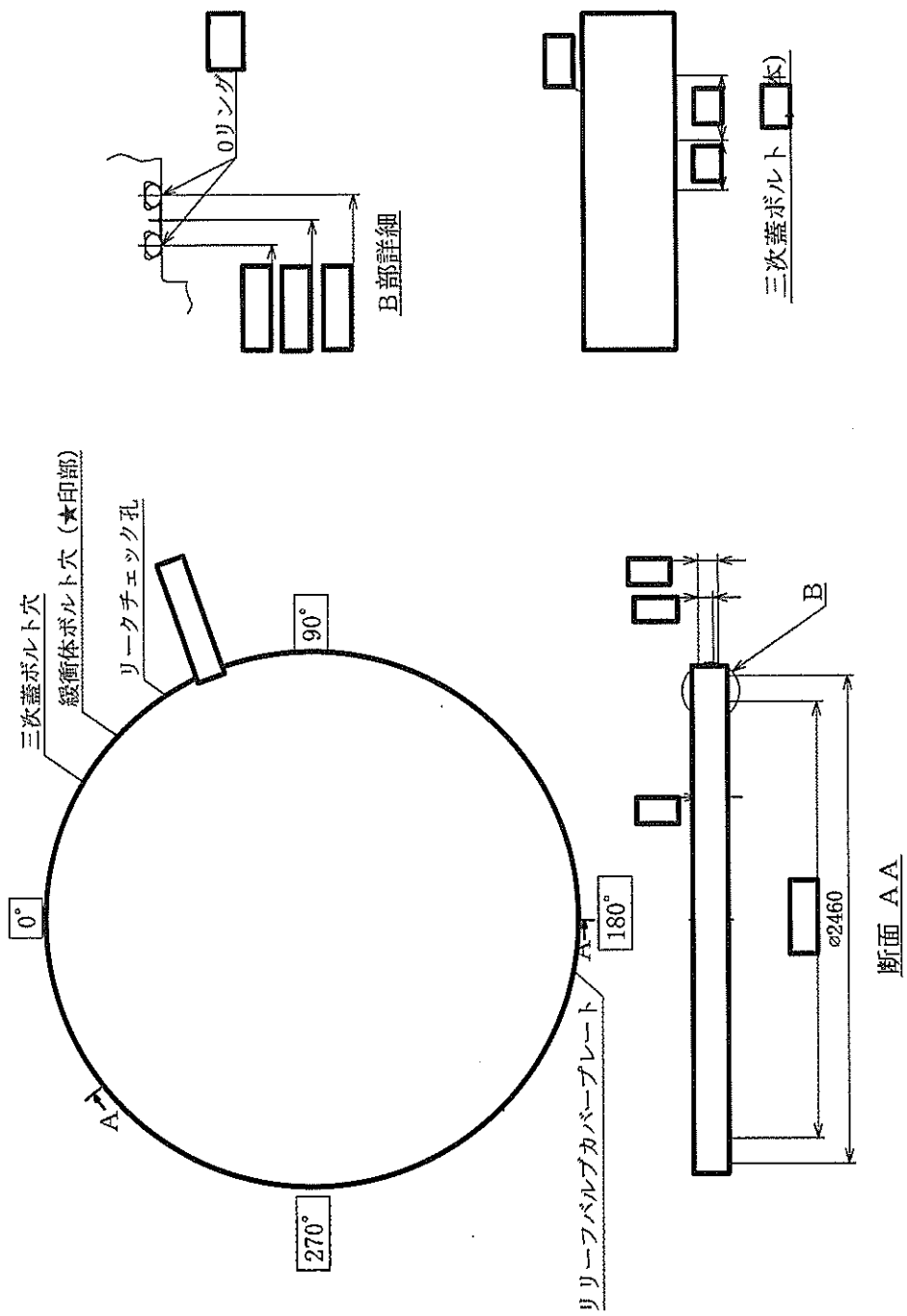


(イ)-第 C.10 図 二次蓋



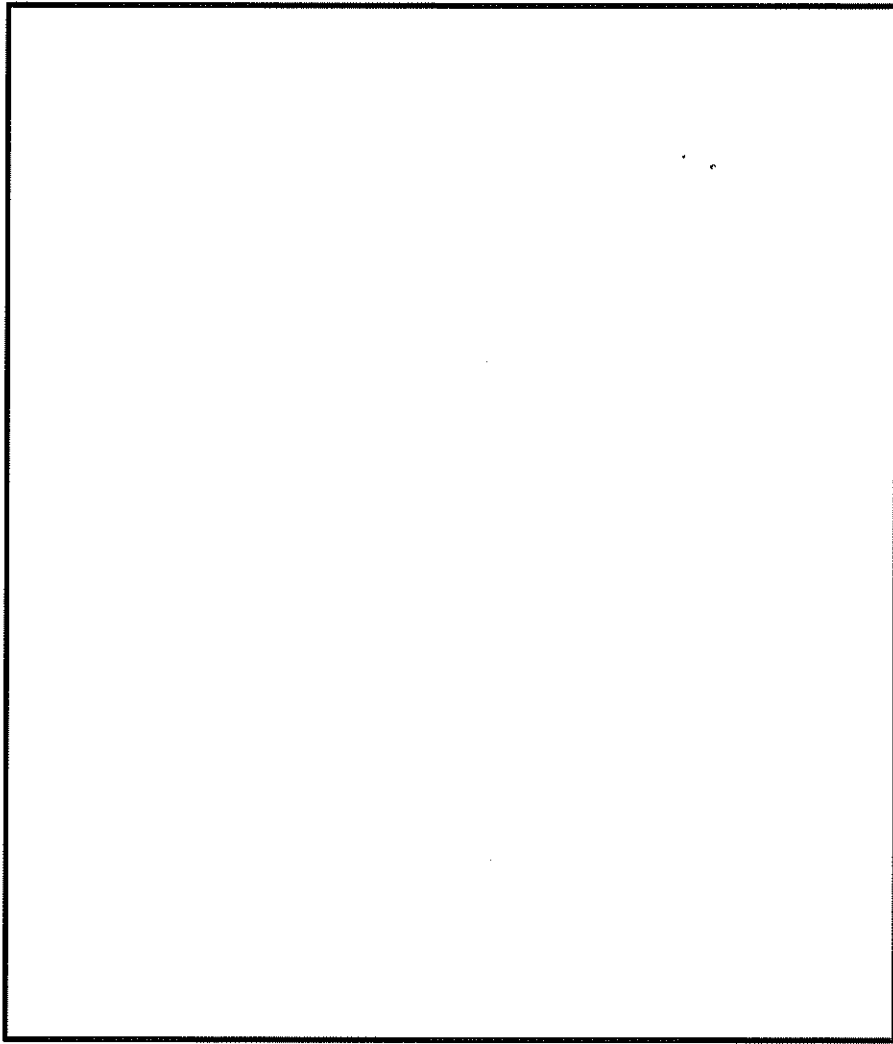
(單位：mm)

(4)-第 C.11 圖 二次蓋貫通孔



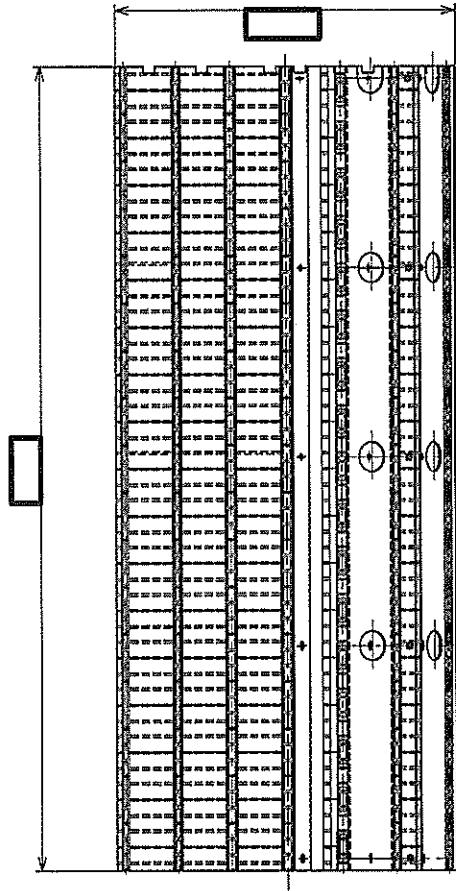
(単位：mm)

(1)-第 C.12 図 三次蓋

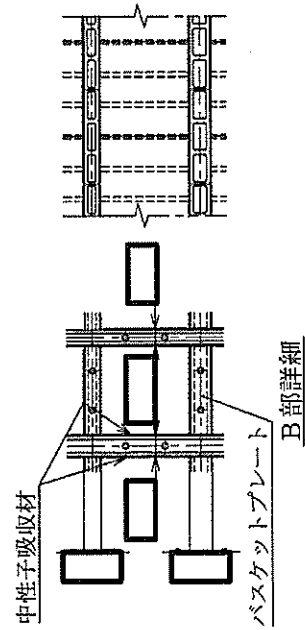
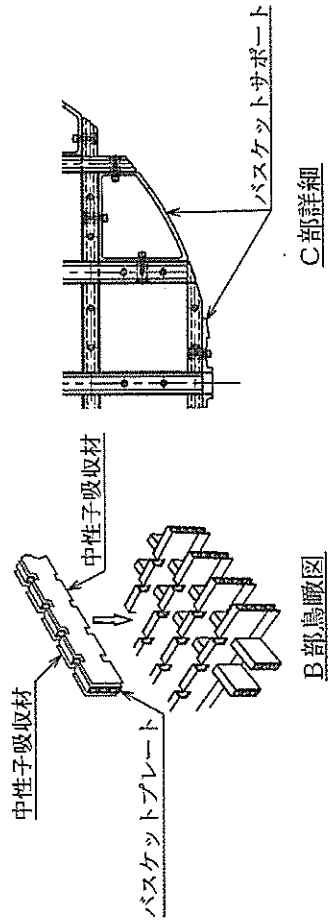
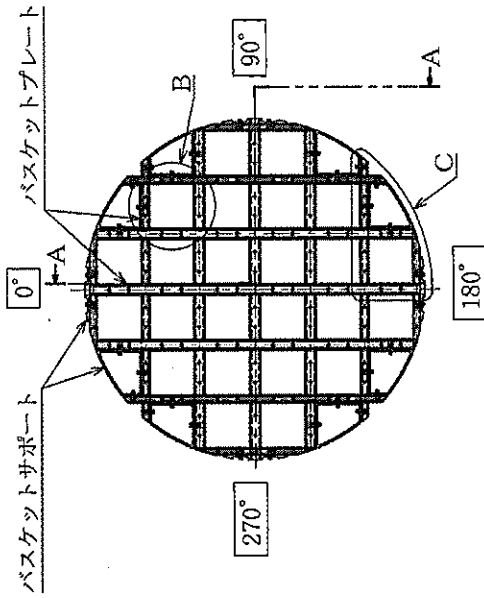


(单位：mm)

(1)-第 C.13 图 三次蓋貫通孔

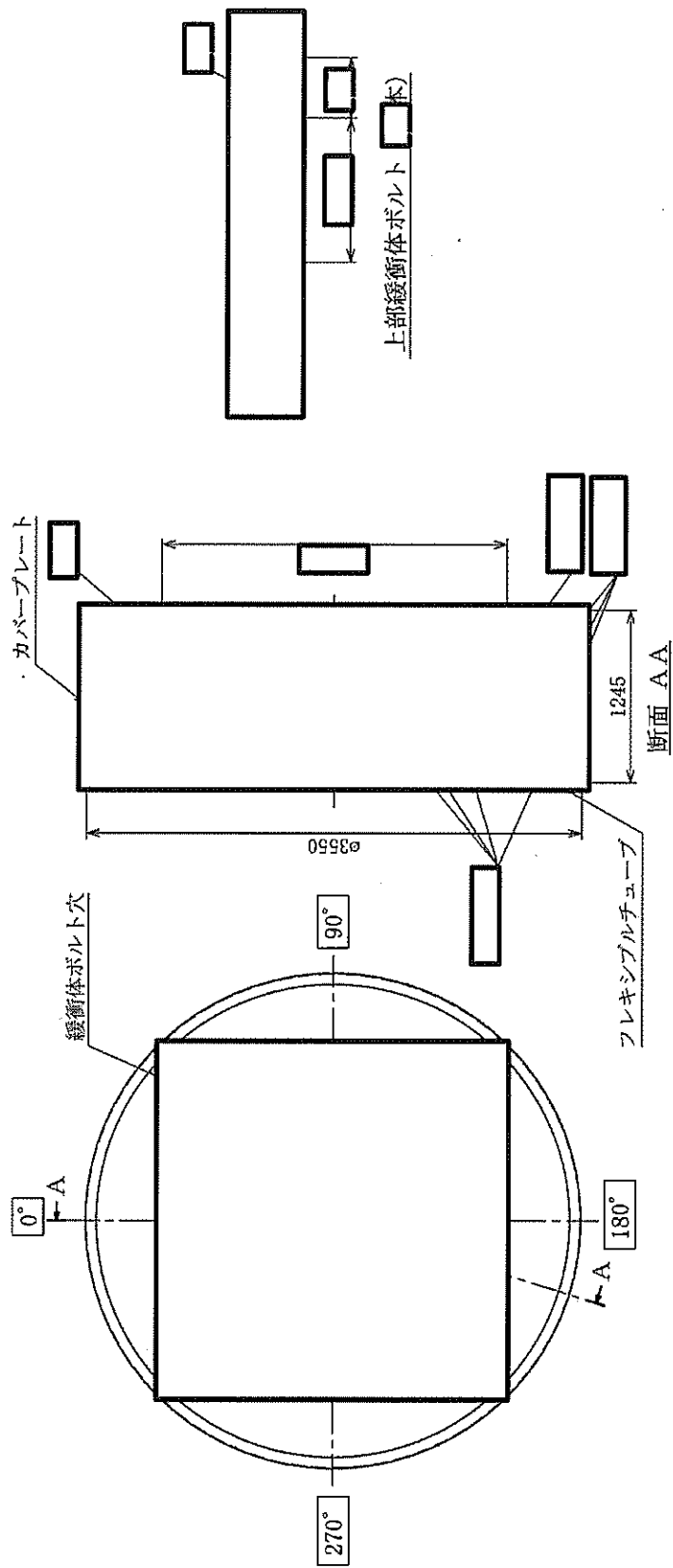


断面 AA



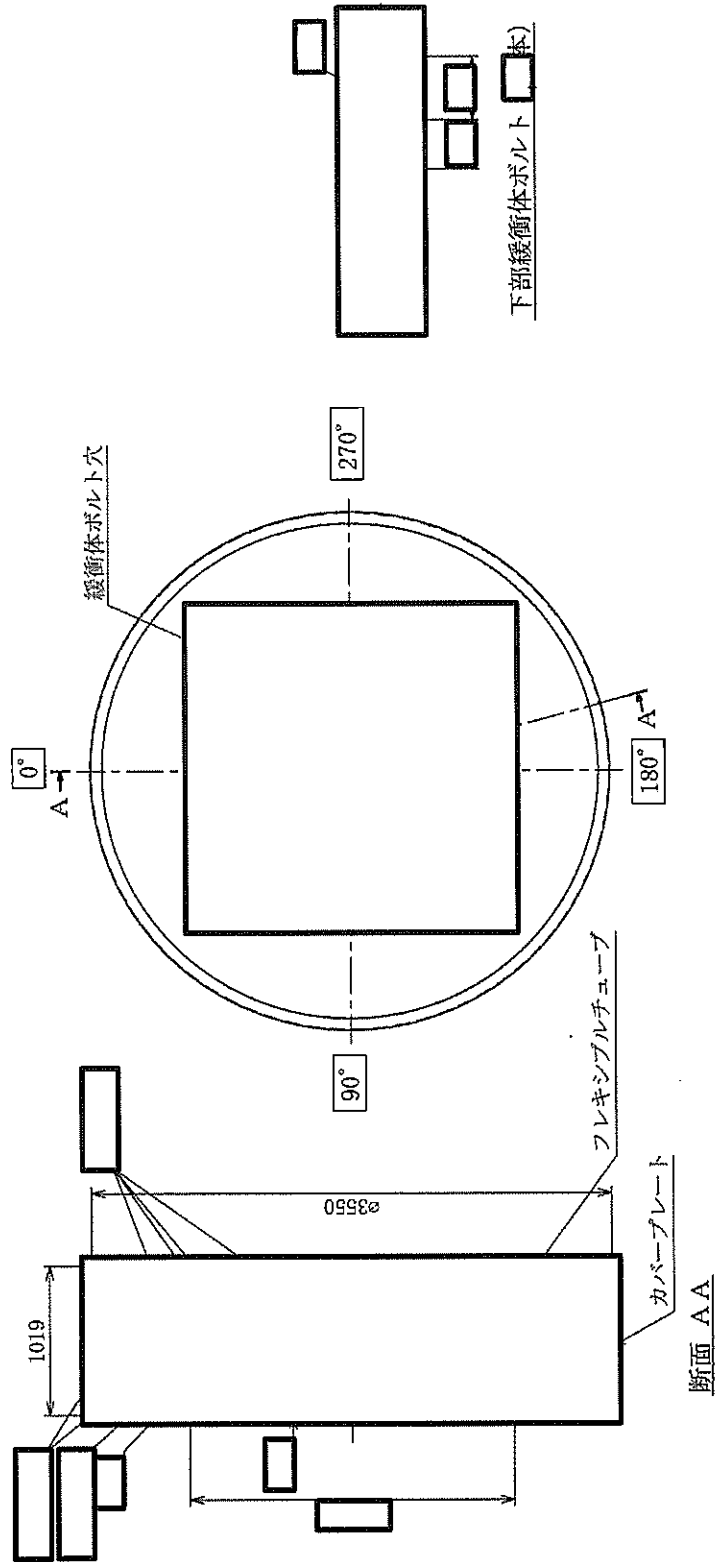
(単位：mm)

(4)-第 C.14 図 バスケット



(単位 : mm)

(イ)-第 C.15 図 上部緩衝体



(単位：mm)

(イ)-第 C.16 図 下部緩衝体

3. 材質

下記(イ)-第C.1表のとおりである。

(イ)-第C.1表 材質

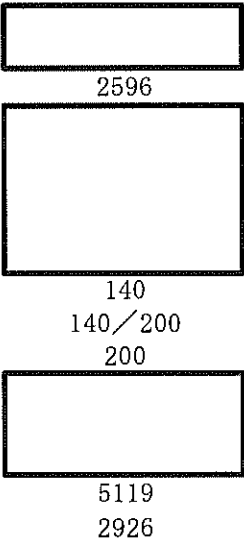
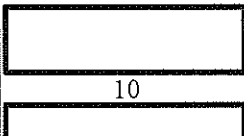
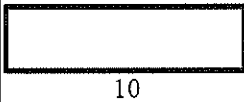

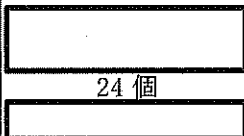
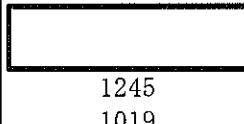
部位	部品	材料	規格 (注)
キャスク 本体	胴	炭素鋼	
	外筒	炭素鋼	
	下部端板	ステンレス鋼	
	側部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	底部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	伝熱フィン	銅	
	トランニオン	析出硬化系ステンレス鋼	
	底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	JIS H3100 C1020P JIS G 4303 SUS630-H1150
一次蓋	蓋板	炭素鋼	
	蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼	
	カバープレート	ステンレス鋼	
	中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金	
二次蓋	蓋板	炭素鋼	
	モニタリングポートカバープレート	ステンレス鋼	
	Oリング	EPDM	
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金	
三次蓋	蓋板	ステンレス鋼	
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	リリースバルブカバープレート	ステンレス鋼	
	Oリング	EPDM	
バスケット	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	
	バスケットプレート	アルミニウム合金	MB-A3004-H112
	バスケットサポート	アルミニウム合金	MB-A3004-H112
緩衝体	緩衝材	木材	
		木材	
		木材	
	上部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	下部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
カバープレート	ステンレス鋼		
リブ	ステンレス鋼		

(注)記載の規格材料又は相当品を使用する。

4. 寸法（公称）

下記(イ)-第 C. 2 表に各部品の代表寸法を示す。

(イ)-第 C. 2 表 輸送容器各部の寸法

部品名	寸法(mm)	参照図
キャスク本体 胴内径 板厚 外筒外径 板厚 下部端板厚さ 側部中性子遮蔽材厚さ 伝熱フィン板厚 枚数 上部トランニオン外径 下部トランニオン外径 (90° , 270°) 下部トランニオン外径 (0° , 180°) 底部中性子遮蔽材厚さ 底部中性子遮蔽材カバー厚さ 底板厚さ 全長 全幅	 2596 140 140/200 200 5119 2926	(イ)-第 C. 5 図 (イ)-第 C. 6 図 (イ)-第 C. 7 図
一次蓋 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 金属ガスケット断面径 蓋部中性子遮蔽材厚さ	1962  10	(イ)-第 C. 8 図 (イ)-第 C. 9 図
二次蓋 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 金属ガスケット断面径	2198  10	(イ)-第 C. 10 図 (イ)-第 C. 11 図
三次蓋 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 Oリング断面径 蓋板用 カバープレート用	2460 	(イ)-第 C. 12 図 (イ)-第 C. 13 図
バスケット 外径 長さ 格子数 格子内幅	 24 個	(イ)-第 C. 14 図
緩衝体 外径 上部緩衝体ボルト径 下部緩衝体ボルト径 上部緩衝体長さ 下部緩衝体長さ	3550  1245 1019	(イ)-第 C. 15 図 (イ)-第 C. 16 図

5. 重量

本輸送物の総重量は 134.4 トン以下であり、その詳細を (イ)-第 C.3 表に示す。

(イ)-第 C.3 表 輸送物重量

輸送容器各部及び収納物	重量 (トン)
A. キャスク本体	83.7 以下
B. 一次蓋	5.6 以下
C. 二次蓋	4.5 以下
D. 三次蓋	3.3 以下
E. バスケット	5.6 以下
F. 緩衝体	
①上部緩衝体	8.72 以下
②下部緩衝体	6.24 以下
G. 燃料集合体	16.7 以下
H. 輸送容器総重量 A+B+C+D+E+F	117.7 以下
I. 輸送物総重量 A+B+C+D+E+F+G	134.4 以下

D. 輸送容器の収納物

輸送容器の収納物は、使用済燃料集合体である。

輸送容器に収納可能な PWR 燃料集合体の仕様を (イ)-第 D.1 表に示す。

(イ)-第 D.1 図は本輸送容器に収納する燃料集合体 (17×17 燃料) の代表的な全体図である。17×17 燃料 (A型) 及び 17×17 燃料 (B型) の断面図を (イ)-第 D.2 図及び (イ)-第 D.3 図に、15×15 燃料 (A型) 及び 15×15 燃料 (B型) の断面図を (イ)-第 D.4 図及び (イ)-第 D.5 図に示す。これらの図及び表に示されているように、燃料集合体は正方配列された燃料棒で構成され、両端及び中間部数箇所が支持格子により保持されている。燃料は低濃縮の UO₂ ペレットでジルカロイ製の被覆管の中に充填され、両端に端栓を溶接して密封されている。また、燃料には、可燃性毒物である Gd₂O₃ を含むものがある。

燃料集合体は燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体 (容器当たり最大 12 体) を挿入した状態で本輸送容器に収納することができる。バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体は、(イ)-第 A.1 図に示す中央部に収納する。バーナブルポイズン集合体の仕様例を (イ)-第 D.2 表に示す。

(イ)-第 D.6 図及び (イ)-第 D.7 図は、バーナブルポイズン集合体 (17×17 燃料用) 及びバーナブルポイズン集合体 (15×15 燃料用) の断面図であり、(イ)-第 D.8 図は、燃料集合体へのバーナブルポイズン集合体の代表的な挿入図である。

収納物の燃焼条件及び冷却日数は、(イ)-第 D.3 表に示すとおりである。燃料集合体は上述のようにジルカロイ製の被覆管とセラミック状の UO₂ ペレットが主であり、照射に伴って発生する核分裂生成ガスが被覆管内の空隙に蓄積されている。

収納物の主要な放射性核種と放射能の量 (放射能強度) は (イ)-第 D.4 表に示すとおりである。

また、輸送容器 1 基あたりの最大崩壊熱量は (イ)-第 A.1 表に示すとおり 15.8 kW に制限される。

燃料集合体は (イ)-第 C.14 図に示したバスケットに格納して胴内に収納され、胴内は水抜き、乾燥された上、不活性ガスのヘリウムが充填される。

(イ)-第 D.1 表 燃料集合体の型式及び仕様 (1/2)

燃料集合体の 種類と型式	17×17 燃料			
	48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
	A 型	B 型	A 型	B 型
主要な燃料緒元				
材質				
燃料	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)
被覆管	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4
燃料密度 (理論密度比 %)				
初期濃縮度 (U-235 wt%)	4.2 以下 (集合体平均)	4.2 以下 (集合体平均)	3.7 以下 (集合体平均)	3.7 以下 (集合体平均)
形状				
集合体長さ(mm)	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100
燃料有効長(mm)				
燃料棒直径(mm)				
燃料棒ピッチ(mm)	12.6	12.6	12.6	12.6
集合体幅(mm)	214	214	214	214
重量				
集合体重量(kg)	680 以下	680 以下	680 以下	680 以下
UO ₂ 重量(kg)				
ウラン重量(kg)				

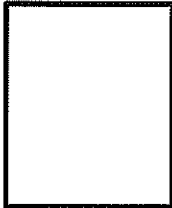
(注) 可燃性毒物として Gd₂O₃ を含むものがある。

(イ)-第D.1表 燃料集合体の型式及び仕様 (2/2)

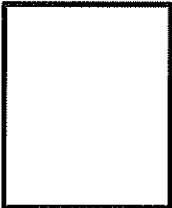
燃料集合体の 種類と型式	15×15 燃料			
	48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
	A型	B型	A型	B型
主要な燃料緒元				
材質				
燃料	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)
被覆管	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4
燃料密度 (理論密度比 %)				
初期濃縮度 (U-235 wt%)	4.1 以下 (集合体平均)	4.1 以下 (集合体平均)	3.5 以下 (集合体平均)	3.5 以下 (集合体平均)
形状				
集合体長さ (mm)	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100
燃料有効長 (mm)				
燃料棒直径 (mm)				
燃料棒ピッチ (mm)	14.3	14.3	14.3	14.3
集合体幅 (mm)	214	214	214	214
重量				
集合体重量 (kg)	670 以下	670 以下	670 以下	670 以下
UO ₂ 重量 (kg)				
ウラン重量 (kg)				

(注) 可燃性毒物として Gd₂O₃ を含むものがある。

(イ)-第D.2表 バーナブルポイズン集合体の仕様例 (1/2)

緒 元	型 式	17×17 燃料用
①形状、全長等 バーナブルポイズン集合体 外 形 (mm) 全 長 (mm) バーナブルポイズン棒 吸収材有効長 (mm) 外 径 (mm) 内 径 (mm)		161×161 3961 
②重 量 総重量 (kg)		
③材 料 吸収材 被覆管 シンプルプラグ ホールドダウンアセンブリ		ホウケイ酸ガラス ステンレス鋼 ステンレス鋼 ステンレス鋼 インコネル

(イ)-第D.2表 バーナブルポイズン集合体の仕様例 (2/2)

緒 元	型 式	15×15 燃料用
①形状、全長等 バーナブルポイズン集合体 外 形 (mm) 全 長 (mm) バーナブルポイズン棒 吸収材有効長 (mm) 外 径 (mm) 内 径 (mm)		156×156 3964 
②重 量 総重量 (kg)		
③材 料 吸収材 被覆管 シンプルプラグ ホールドダウンアセンブリ		ホウケイ酸ガラス ステンレス鋼 ステンレス鋼 ステンレス鋼 インコネル

(イ)-第D.3表 収納物の燃焼条件 (1/2)

燃焼条件			燃料集合体の種類と型式		17×17 燃料				
					48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		
					A 型	B 型	A 型	B 型	
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000 以下		39,000 以下				
		外周部	44,000 以下		39,000 以下				
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)		44,000 以下						
	平均比出力 (MW/t)								
	冷却日数		5,479 日 以上	6,209 日 以上	5,479 日 以上	6,209 日 以上			
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数								
	冷却日数	5,479 日以上							

(注 1) 最高燃焼度は燃料集合体 1 体の燃焼度の最大値を示す。

(注 2) 平均燃焼度は収納する全燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

(イ)-第D.3表 収納物の燃焼条件 (2/2)

燃焼条件			燃料集合体の種類と型式		15×15 燃料				
					48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		
					A 型	B 型	A 型	B 型	
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000 以下		39,000 以下				
		外周部	44,000 以下		39,000 以下				
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)		44,000 以下						
	平均比出力 (MW/t)								
	冷却日数		5,479 日 以上	6,209 日 以上	5,479 日 以上	6,209 日 以上			
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数								
	冷却日数	5,479 日以上							

(注 1) 最高燃焼度は燃料集合体 1 体の燃焼度の最大値を示す。

(注 2) 平均燃焼度は収納する全燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

(イ)-第 D. 4 表 主要核種の種類及び量 (1/2) (注)

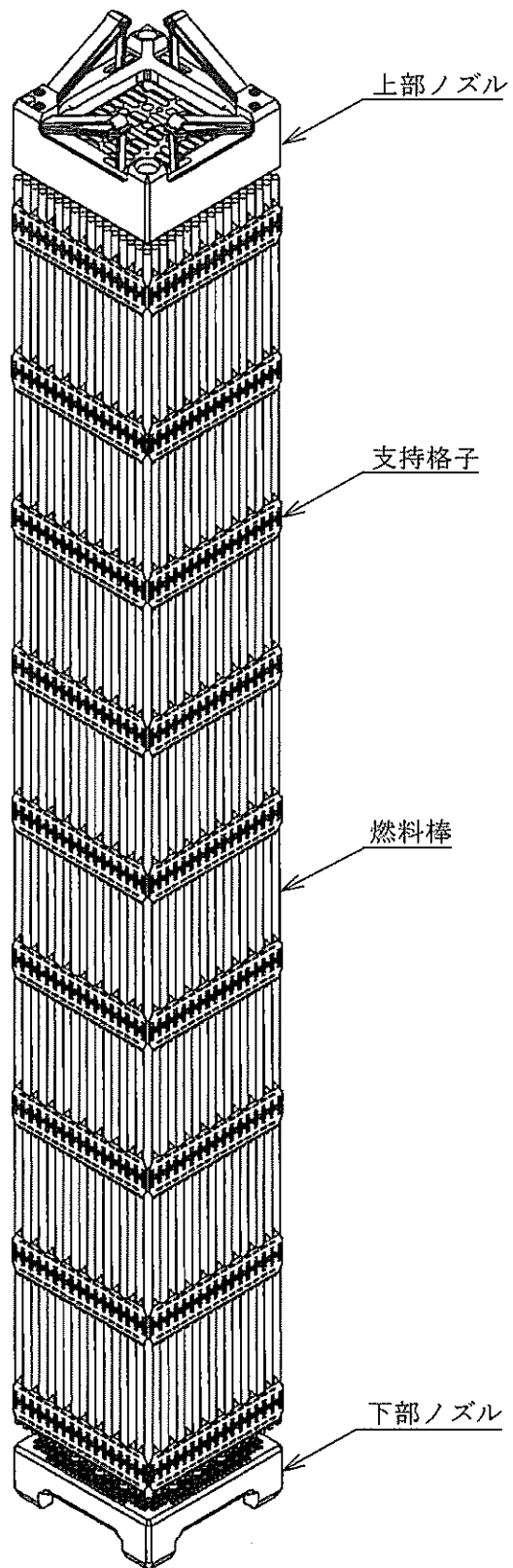
項目	燃料集合体の種類と型式 17×17 燃料 (A型)
① 燃料集合体収納体数 (体)	24
② 最大放射能強度 (PBq) (輸送容器 1 基当たり)	
③ 主要核種の放射能強度 (PBq) (②を主要核種ごとに分類)	
[核種]	
79Se	
90Sr	
90Y	
93Zr	
93mNb	
99Tc	
106Ru	
106Rh	
107Pd	
113mCd	
121mSn	
125Sb	
125mTe	
126Sn	
126Sb	
126mSb	
134Cs	
135Cs	
137Cs	
137mBa	
144Ce	
144Pr	
146Pm	
147Pm	
151Sm	
152Eu	
154Eu	
155Eu	
3H	
85Kr	
その他	
合計	

(注)放射能強度は平均燃焼度に対する ORIGEN2 コードによる計算値である。

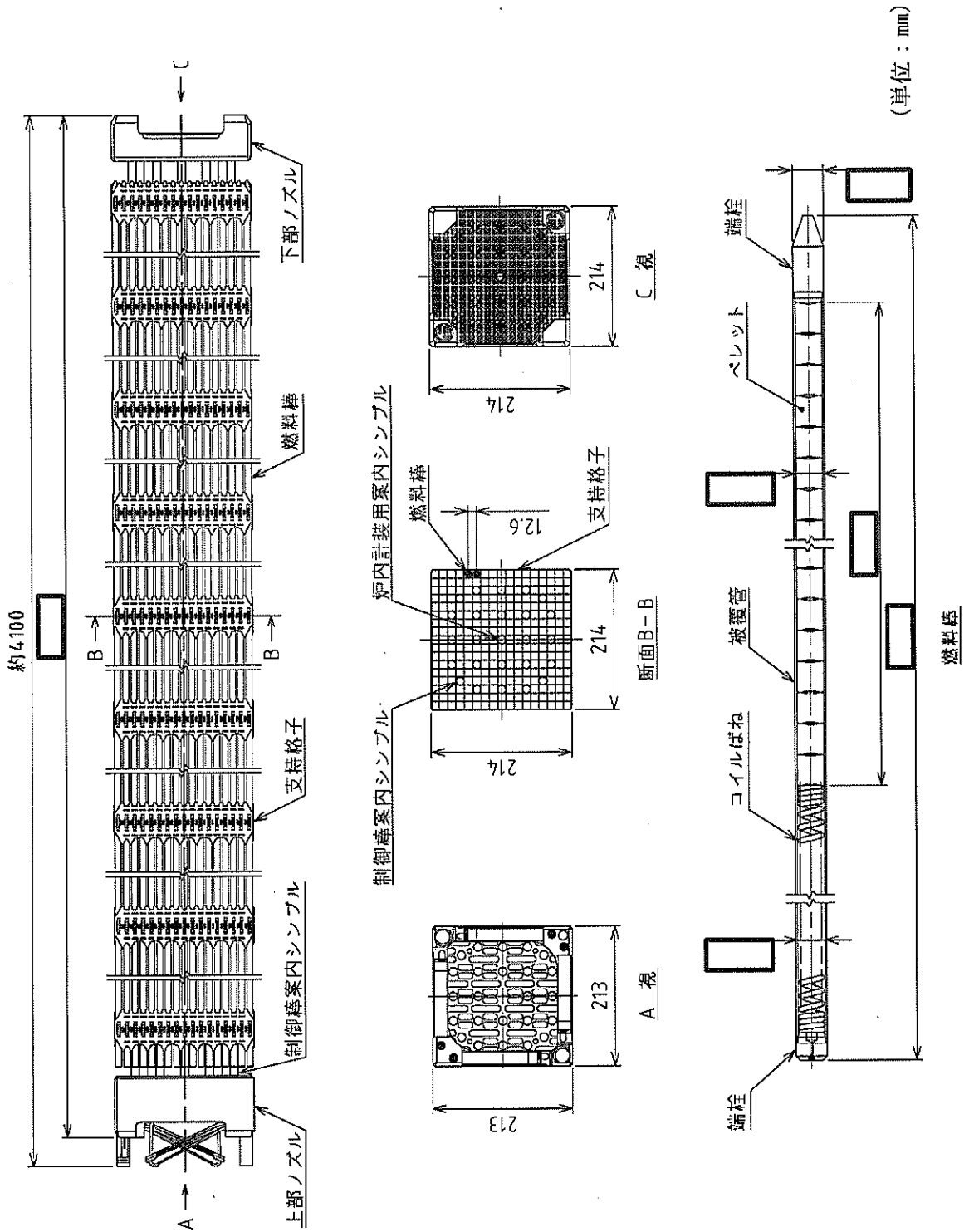
(イ)-第D.4表 主要核種の種類及び量 (2/2) (注)

項目	燃料集合体の種類と型式 15×15 燃料 (A型)
① 燃料集合体収納体数 (体)	24
② 最大放射能強度 (PBq) (輸送容器 1 基当たり)	
③ 主要核種の放射能強度 (PBq) (②を主要核種ごとに分類)	
[核種]	
79Se	
90Sr	
90Y	
93Zr	
93mNb	
99Tc	
106Ru	
106Rh	
107Pd	
113mCd	
121mSn	
125Sb	
125mTe	
126Sn	
126Sb	
126mSb	
134Cs	
135Cs	
137Cs	
137mBa	
144Ce	
144Pr	
146Pm	
147Pm	
151Sm	
152Eu	
154Eu	
155Eu	
3H	
85Kr	
その他	
合計	

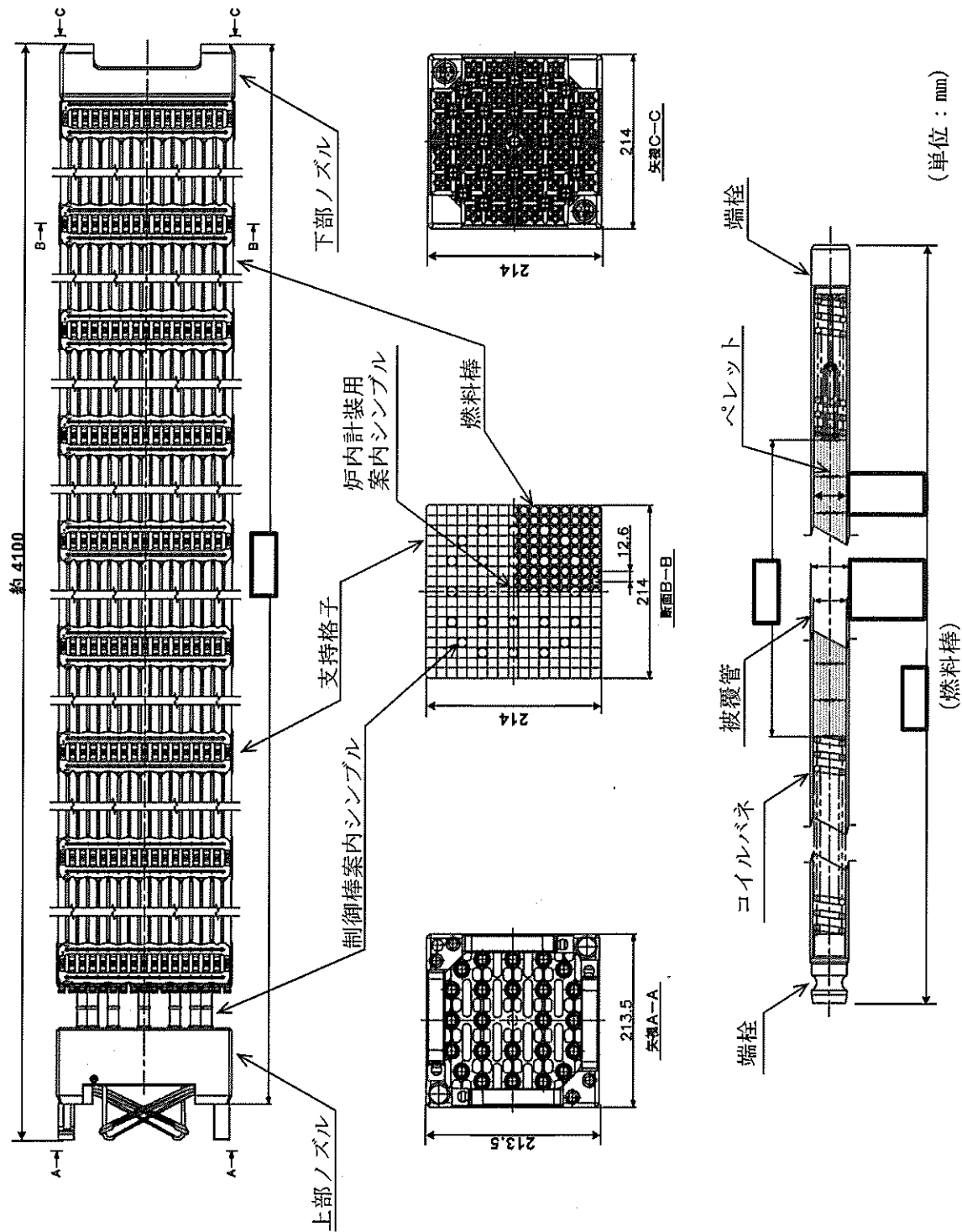
(注)放射能強度は平均燃焼度に対する ORIGEN2 コードによる計算値である。



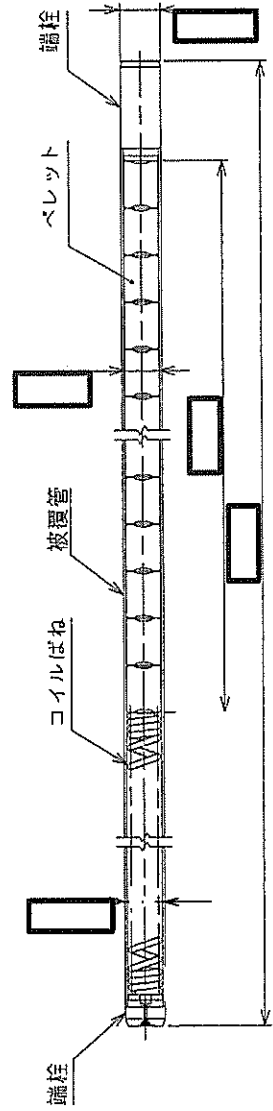
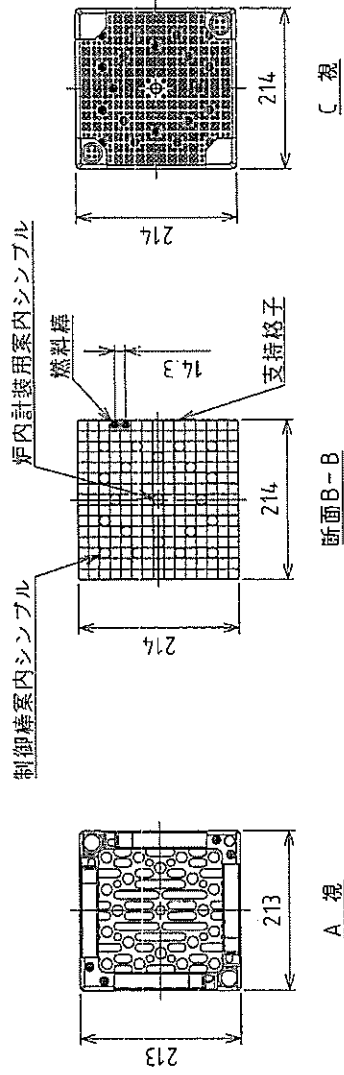
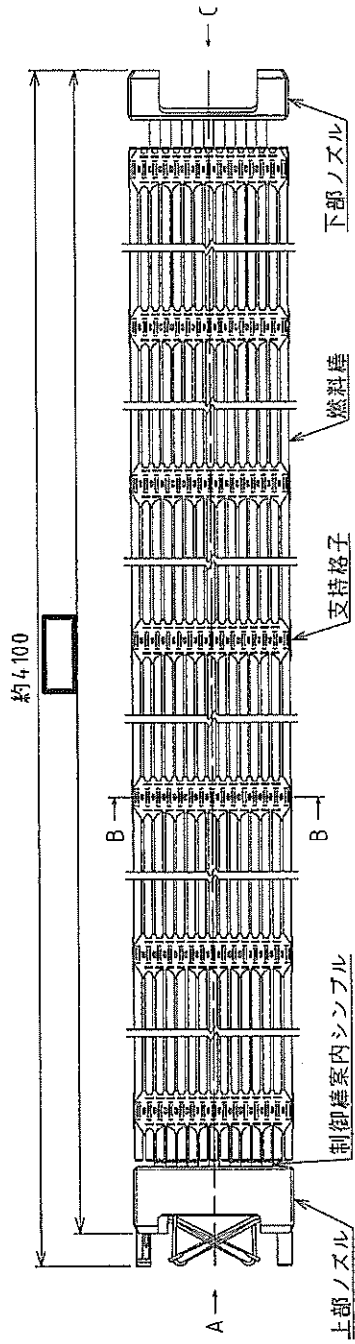
(イ)-第 D.1 図 PWR 燃料集合体全体図 (17×17 燃料 代表例)



(イ)-第D.2図 PWR燃料集合体 (17×17燃料 (A型) 代表例)



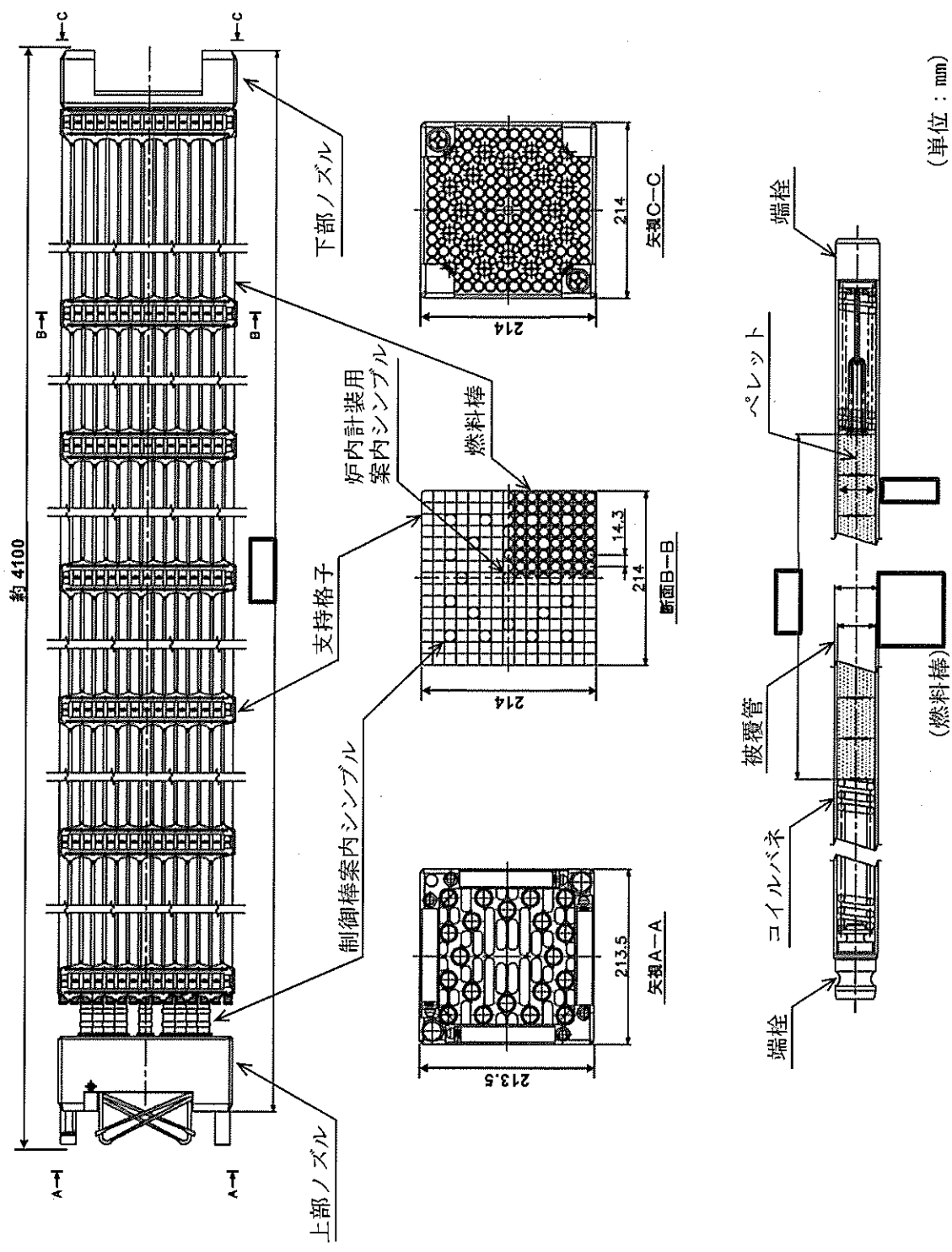
(1)-第D.3図 PWR燃料集合体 (17×17燃料 (B型) 代表例)



燃料棒

(単位：mm)

(イ)-第D.4図 PWR 燃料集合体 (15×15 燃料 (A型) 代表例)



(イ)-第 D.5 図 PWR 燃料集合体 (15×15 燃料 (B 型) 代表例)